柏崎刈羽原子力発電所７号機
ハフニウムフラットチューブ型制御棒における
ひびについて

平成 24 年 4 月

東京電力株式会社

目次

１．はじめに 1
２．事象の概要 1
３．状況調査 2
　３．１ ひびの状況 2
　３．２ 当社他プラントにおける同型制御棒の点検結果 3
４．制御棒動作確認結果 3
５．原因調査 3
　５．１ 要因分析表に基づく調査項目 3
　５．２ 製造履歴調査 4
　　５．２．１ 製造記録の調査 4
　　５．２．２ 製造方法の変更の調査 4
　５．３ 運転履歴調査 7
　５．４ モックアップ試験 11
　　５．４．１ 溶接残留応力測定 12
　　５．４．２ タイロッド金属組織観察及び硬さ測定 12
　５．５ オンサイト調査 12
　　５．５．１ ハフニウムフラットチューブ及びシース内面の外観観察 12
　　５．５．２ ハフニウムフラットチューブの照射成長量確認 12
　　５．５．３ 上下ハフニウムフラットチューブの干渉について 13
　５．６ 照射後試験施設における調査 13
　５．７ 地震影響評価 14
　５．８ 原因調査結果まとめ 17
　５．９ 溶け込み不足の発生要因について 19
６．推定原因 20
７．考察 22
　７．１ シース／タイロッド溶接部近傍のひびの軸方向依存性について 22
　７．２ シース／タイロッド溶接部近傍のひびの照射量依存性について 23
　７．３ 地震被災とひび発生制御棒本数について 24
８．再発防止対策 26
９．制御棒の要求機能（技術基準）適合性評価 27
　９．１ 要求機能（技術基準）の適合性 27
　９．２ 適合性評価のまとめ 29
１０．他の型式の制御棒について 29
添付資料　目次 30

１.はじめに

本報告書は、平成 22 年 11 月１日付で当社に対して発出された経済産業省 原子力安全・保安院の指示文書「制御棒のひびに関する対応について（指示)」(22 原企課第 110 号）に基づき、当社が所有する使用済みのハフニウムフラットチューブ型制御棒及び柏崎刈羽原子力発電所７号機において定期検査前に炉内に装荷されていた同型制御棒について外観点検を実施し、それらの制御棒に確認されたシース／タイロッド溶接部近傍のひびについて、原因調査が完了したことから報告するものである。

（添付資料－１）

２.事象の概要

制御棒の研究材料サンプル採取の準備※1の一環として、柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の使用済燃料プールに保管中の使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒２本の外観点検（「発電用原子力設備規格　維持規格　JSME S NA1-2007」で規定される MVT-1 試験※2）を実施したところ、１本の制御棒においてタイロッドの軸方向中央部付近１箇所に、ほぼ全周にわたって微細なひび（最大幅約 0.3㎜）があることを平成 22 年 10 月 27 日に確認した。

また、当該事象を確認したことから、柏崎刈羽原子力発電所７号機の使用済燃料プールに保管中の同型の使用済制御棒の全数 44 本※4及び定期検査前に炉内に装荷されていた同型の制御棒の全数 25 本について外観点検（MVT-1 試験）を実施したところ、27 本のシース／タイロッドの溶接部近傍にひびを確認した。

（添付資料－２、３、４、５、６、７）

※１　今回、最初にタイロッドに微細なひびを確認した制御棒は、第４回定期検査（平成 14 年４月～平成 14 年８月）において原子炉内から取り出した後、使用済燃料プールで保管していたが、平成 18 年１月に当社福島第一原子力発電所６号機で確認された類似事象の調査のため、技術基準適合性に影響を与えると考えられる制御棒の過度な変形、部品の破損及び脱落を確認することを目的に平成 18 年４月に外観点検（「発電用原子力設備規格　維持規格　JSME S NA1-2004」で規定される VT-3 試験※3）を行い、シース部分に健全性には影響のないひびがあることを確認している。このため、ハフニウム照射特性の知見を拡充する観点から、電力共通研究「ハフニウム制御棒の健全性評価研究」の一環として、当該制御棒のシース部分におけるひびの発生原因等の調査を実施することとしており、調査のためのサンプル採取に先立ち、試験片の採取位置の状態を確認するために詳細な外観点検を実施していた。

※２　MVT-1 試験は、炉内構造物の表面について、磨耗、き裂、腐食、浸食等の異常を検出するために行う試験で、0.025㎜幅のワイヤの識別ができることが条件である。

※３　VT-3 試験は、遠隔目視試験にて、炉内構造物について、過度の変形・心合せ不良・傾き、部品の破損及び脱落を検出するために行う試験で、直接目視試験における眼から試験対象部の表面までの距離は 1,200㎜以内で、幅 0.8㎜の黒線が識別できることが条件である。

※４　当社が保有する使用済みのハフニウムフラットチューブ型制御棒のうち、平成 22 年 11 月１日に報告済みの２本を除く。

３.状況調査

３．１　ひびの状況

今回の外観点検で確認されたひびの発生部位及び進展状況は、以下の２つのパターンに分類される。

（１）シース／タイロッドの溶接部近傍におけるタイロッドのひび
（タブ溶接部上下のひび）
シースとタイロッドのタブ溶接部の上部または下部のタイロッドに確認されたひび。

（２）シース／タイロッドの溶接部におけるタイロッド及びシースのひび
（タブ溶接部のひび）
シースとタイロッドのタブ溶接部からタイロッド側及びシース側に伸びるひび。

以下、タブ溶接部上下のひび及びタブ溶接部のひびを総称して、シース／タイロッド溶接部近傍のひびと記す。

なお、これらのひびには、タイロッドのほぼ全周にわたっているひびも確認しているが、タイロッド表面の一部にてひび先端の繋がっていない様相を確認している。また、１本の制御棒に複数のひびを確認したものもあるが、その開口幅は最大約 0.3㎜以下と微細なものであり、ひび近傍の変形や段差等は確認されていない。

点検を実施した制御棒 71 本中 13 本についてハンドル／シース溶接部近傍のひびを今回新たに確認したが、平成 16 年（2004 年）に福島第二原子力発電所３・４号機のハフニウム板型制御棒の点検で確認されたひび並びに平成 18 年（2006 年）に柏崎刈羽原子力発電所７号機及び日本原子力発電株式会社の東海第二発電所においてハフニウムフラットチューブ型制御棒の点検を実施した際に確認されたひびと同じ様相のものであり、制御棒の健全性に影響を与えるものではない。

また、点検を実施した制御棒 71 本中 45 本についてハンドルガイドローラ部のひびを今回新たに確認したが、平成 16 年（2004 年）に福島第二原子力発電所３・４号機のハフニウム板型制御棒の点検で確認されたひびと同じ様相のものであり、制御棒の健全性に影響を与えるものではない。

（添付資料－７－１、７－２、資料集　資料－１－１、１－３）

なお、外観点検において、点検を開始した当初は、タイロッド部の点検については翼面に対して 45 度付近から観察を行う方法をとっていたが、タイロッド以外の部位の点検を行っていた際にタイロッド部点検時に確認されていなかったタイロッド部のひびを確認したことから、点検方法の見直しを行っている。

（添付資料－２、６参照）

３．２ 当社他プラントにおける同型制御棒の点検結果

ハフニウムフラットチューブ型制御棒については、平成９年より当社原子力発電所で使用しており、柏崎刈羽原子力発電所７号機以外では、これまで５プラントで合計 29 本の使用実績がある。平成 24 年１月 31 日までに柏崎刈羽原子力発電所４号機及び５号機と福島第一原子力発電所１号機及び４号機、福島第二原子力発電所２号機において、合計 29 本について外観点検（MVT-1 試験）を実施し、柏崎刈羽原子力発電所７号機において確認されたシース／タイロッドの溶接部近傍のひびと同じ様相のものは確認されなかった。

なお、福島第一原子力発電所４号機において点検した８本中６本についてハンドル／シース溶接部近傍のシースにひびを今回初めて確認したが、平成 18 年（2006 年）に柏崎刈羽原子力発電所７号機及び日本原子力発電株式会社の東海第二発電所においてハフニウムフラットチューブ型制御棒の点検を実施した際に確認されたひびと同じ様相のものであり、制御棒の健全性に影響を与えるものではない。

（添付資料－７－１、資料集　資料－１－２）

４.制御棒動作確認結果

経済産業省 原子力安全・保安院の指示文書「制御棒のひびに関する対応について（指示）」（22 原企課第 110 号）に基づき、定期検査前にハフニウムフラットチューブ型制御棒を炉内に装荷して運転していた柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の運転中の安全機能（原子炉の停止機能）を確認することを目的とし、定期検査に伴う停止までに 11 回（平成 22 年 11 月６日、11 月 24 日、12 月 24 日、平成 23 年１月 19 日、２月 19 日、３月 26 日、４月 16 日、５月 13･14 日、６月 10･11 日、７月８・９日及び８月５・６日）の動作確認を実施し、ハフニウムフラットチューブ型制御棒の挿入性に問題がないことを確認した。

（添付資料－８、資料集　資料－２）

５.原因調査

５．１ 要因分析表に基づく調査項目

ハフニウムフラットチューブ型制御棒に確認されたシース／タイロッド溶接部近傍のひびについて、要因分析表に基づき以下の通り調査を実施した。

（添付資料－９－１）

５．２ 製造履歴調査

５．２．１ 製造記録の調査

シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した28本の制御棒に使用されたハンドル、シース、タイロッド及びハフニウム材について、製造時の材料記録、外観・寸法記録、製造工程及び溶接施工記録を確認した結果、異常は確認されなかった。

（添付資料－９－２－１）

５．２．２ 製造方法の変更の調査

シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した28本の制御棒のうち、10本は1996年２月に製造終了した25本の製造ロットの制御棒であり、18本は2002年３月に製造終了した21本の製造ロットの制御棒であった。

これら制御棒の製造方法の変更について調査を行った結果、以下のとおりであった。

（１）溶接方法の変更

シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した1996年２月と2002年３月の製造ロットのシースとタイロッドの溶接方法は、当初手動TIG溶接であったが、2002年３月の製造ロットの一部からレーザ溶接を採用している。

手動TIG溶接を採用していた42本中、27本に当該のひびを確認した。また、レーザ溶接を採用していた４本中、１本に当該のひびを確認した。

手動TIG溶接を採用している42本については、製造ロットで溶接電流の条件が異なり、1996年２月製造の25本は一定電流による施工方法を採用しており、その中の10本に当該のひびを確認した。残りの2002年３月製造の17本は溶接時の入熱量を低減する目的でパルス電流による施工方法を採用しており、その中の17本全てに当該のひびを確認した。

なお、当該のひびが確認されなかった製造ロットでは、当社他プラントを含め50本の製造にレーザ溶接を採用しており、４本の製造に一定電流による手動TIG溶接を採用していた。

溶接時の熱引き治具の使用についても確認を行い、これまでに４度の変更を行っていることを確認したが、使用の状況から亜鉛等の低融点金属が付着・浸入する可能性はないことを確認した。

（２）溶接開先部のタイロッドの機械加工

タイロッドは引抜加工によって十字型に成型される。この工程でシースタブとの溶接開先部(段差)の加工も行われるが、当該のひびが確認された 1996 年２月と 2002 年３月の製造ロットでは、追加工程としてタイロッド全長にわたって機械加工による開先部の寸法調整を行っていた。

1996 年２月の製造ロットでは、タイロッドの十字翼端部の溶接開先部となる段差部にエンドミル*1による機械加工を施していた。25 本製造した中で 10 本に当該のひびを確認した。

2002 年３月の製造ロットでは、タイロッドの十字翼端部にプレーナ加工*2を施していた。21 本製造した中で 18 本に当該のひびを確認した。

当該のひびが確認されなかった製造ロットでは、当社他プラントを含め 17 本の製造にプレーナ加工を採用しており、37 本の製造にエンドミルによる機械加工、プレーナ加工のいずれも採用していなかった。

なお、現在製造されているタイロッドにおいては、エンドミルによる機械加工もプレーナ加工も実施されていない。

＊１　エンドミル加工とは、エンドミルと呼ばれるドリルに類似した切削工具を用いた機械加工方法。エンドミル加工は軸に直交する方向に穴を削り広げる加工や端面を平滑に仕上げる際にも用いられる。

＊２　プレーナ加工とは、プレーナと呼ばれる平削り盤に鉋の平刃に似た切削工具を用いた機械加工方法。プレーナ加工は平刃部を加工面にあてて端面を平滑に仕上げる際等に用いられる。

（３）溶接ビード仕上げ

溶接後のビード仕上げ方法は、当該ひびが確認された制御棒では、スキルタッチまたは弾性砥石及びワイヤブラシによる溶接ビード部の仕上げ加工後、フラッパホイルにより最終処理を実施していた。

なお、当該のひびが確認されなかった製造ロットでも、溶接後のビード仕上げは、同等の処理を行っていた。

（４）溶接士

ひびの発生数と溶接作業を行った溶接士の関係及びひびの発生数と溶接士の経験年数の関係を確認したが、相関は認められなかった。

（添付資料－９－２－２）

表 5.2-1　タイロッドに関わる製造方法の変遷(1/2)

製造番号	製造時期	溶接方法	開先長寸法(mm)	タイロッドの機械加工		溶接ビード仕上げ	タブ溶接部上下のひび	タブ溶接部のひび
				加工方法	加工範囲			
HH-46-001	1996 年 2 月	手動 TIG (一定電流溶接)	1.1	エンドミル加工	十字翼先端の段差部の R 部を加工	ｽｷﾙﾀｯﾁ, ﾜｲﾔﾌﾞﾗｼ, ﾌﾗｯﾊﾟﾎｲｰﾙ	無し	無し
〃 -002							無し	無し
〃 -003							無し	無し
〃 -004							無し	有り
〃 -005							有り	無し
〃 -006							無し	無し
〃 -007							無し	無し
〃 -008							無し	有り
〃 -009							無し	無し
〃 -010							無し	無し
〃 -011							無し	無し
〃 -012							無し	無し
〃 -013							無し	無し
〃 -014							無し	有り
〃 -015							有り	有り
〃 -016							有り	有り
〃 -017							無し	無し
〃 -018							無し	無し
〃 -019							無し	無し
〃 -020							無し	無し
〃 -021							無し	有り
〃 -022							無し	有り
〃 -023							無し	有り
〃 -024							無し	有り
〃 -025							無し	無し
〃 -027	1998 年 6 月			機械加工なし	―		無し	無し
〃 -028							無し	無し
〃 -029							無し	無し
〃 -030							無し	無し
〃 -031	2002 年 3 月	手動 TIG (パルス電流溶接)		プレーナ加工	段差部及び十字翼先端部を全面加工		無し	有り
〃 -032							無し	有り
〃 -033							無し	有り
〃 -034							無し	有り
〃 -035							無し	有り
〃 -036							無し	有り
〃 -037							無し	有り
〃 -038							無し	有り
〃 -039							有り	有り
〃 -040							有り	有り
〃 -041							無し	有り
〃 -042							有り	有り
〃 -043							無し	有り
〃 -044							無し	有り
〃 -045							有り	有り
〃 -046							有り	有り
〃 -047							無し	有り

表 5.2-1　タイロッドに関わる製造方法の変遷(2/2)

製造番号	製造時期	溶接方法	開先長寸法(mm)	タイロッドの機械加工		溶接ビード仕上げ	タブ溶接部上下のひび	タブ溶接部のひび
				加工方法	加工範囲			
〃 -048	2002 年 3 月	レーザ	0.5	プレーナ加工	段差部及び十字翼先端部を全面加工	弾性砥石，ﾜｲﾔﾌﾞﾗｼ，ﾌﾗｯﾊﾟﾎｲﾙ	無し	無し
〃 -049							無し	有り
〃 -050							無し	無し
〃 -051							無し	無し
〃 -052	2008 年 4 月			機械加工なし	—	弾性砥石，研磨ﾌﾞﾗｼ，ﾌﾗｯﾊﾟﾎｲﾙ	無し	無し
〃 -056	2008 年 6 月						無し	無し
〃 -057							無し	無し
〃 -058							無し	無し
〃 -059							無し	無し
〃 -060							無し	無し
〃 -061							無し	無し
〃 -062							無し	無し
〃 -063							無し	無し
〃 -064							無し	無し
〃 -065							無し	無し
〃 -066							無し	無し
〃 -067							無し	無し
〃 -068							無し	無し
〃 -069							無し	無し
〃 -070							無し	無し
〃 -071							無し	無し
〃 -072							無し	無し
〃 -073							無し	無し
〃 -074							無し	無し
〃 -075							無し	無し

5．3　運転履歴調査

（1）シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した制御棒 28 本の使用履歴及び取り扱い履歴

シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した制御棒 28 本の使用履歴を以下に示す。なお、これらの制御棒の炉内装荷及び使用済燃料プール内での保管時等の取扱いにおいて、過度の荷重がかかるような不具合は発生していない。

①製造番号 HH-46-004, 005, 008, 014, 015, 016, 021, 022, 023, 024

製造番号 HH-46-004, 005, 008, 014, 015, 016, 021, 022, 023, 024 の 10 本の制御棒は建設時(営業運転開始;1997 年 7 月 2 日)に原子炉内へ装荷している。このうち、製造番号 HH-46-004, 005, 021, 022, 023, 024 の 6 本は、第 4 回定期検査に伴う停止(解列;2002 年 4 月 9 日)まで 4 サイクル(第 1 ～第 4 サイクル)使用していた。なお、新潟県中越沖地震発生時(2007 年 7 月 16 日)は、これらの制御棒は使用済燃料プールに保管中の状態であった。

製造番号 HH-46-008,014,015,016 の４本は第９回定期検査に伴う停止(解列;2010年４月18日)まで９サイクル(第１～第９サイクル)使用していた。なお、新潟県中越沖地震発生時(2007 年７月 16 日)は，これらの制御棒は原子炉内で供用中であった。

②製造番号 HH-46-031,032,034,036,037,038,039,040,041,042,043,044,045,046

製造番号 HH-46-031,032,034,036,037,038,039,040,041,042,043,044,045,046 の 14 本の制御棒は、第４回定期検査に伴う停止(並列;2002 年７月 28 日)時に原子炉内へ装荷し、第９回定期検査に伴う停止(解列;2010 年４月 18 日)まで５サイクル(第５～第９サイクル)使用していた。なお、新潟県中越沖地震発生時(2007 年７月 16 日)は、これらの制御棒は原子炉内で供用中であった。

③製造番号 HH-46-033,035,047,049

製造番号 HH-46-033,035,047,049 の４本の制御棒は、第４回定期検査に伴う停止(並列;2002 年７月 28 日)時に原子炉内へ装荷し、第７回定期検査に伴う停止(解列;2006 年８月 23 日)まで３サイクル(第５～第７サイクル)使用していた。なお、新潟県中越沖地震発生時(2007 年７月 16 日)は、使用済燃料プールに保管中の状態であった。

軸方向詳細中性子照射量については、概ね第１タブから第 12 タブ*1までは高く、第 13 タブ以降はタブ位置が下に移動するにつれ中性子照射量は大きく低下していく傾向にあることを確認した。

今回、シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した溶接部の軸方向詳細中性子照射量は、熱中性子照射量で 2.1×10^{25}n/m^2（高速中性子照射量で 2.4×10^{25}n/m^2）以上であり、軸方向の詳細な中性子照射量評価の結果において照射誘起応力腐食割れ（ＩＡＳＣＣ）の感受性が高まる高速中性子照射量 1.0×10^{25}n/m^2 を上回っていたことを確認した。

なお、制御棒の使用サイクル数は３～９サイクルで、原子炉内滞在期間は 1,160～3,214 日であった。

（添付資料－９－３－１、資料集　資料－３）

＊1　シース／タイロッドの溶接は、軸方向に 25 箇所の溶接箇所があり、この溶接箇所をタブと呼び、上部から第１タブ、第２タブと数え、一番下部にある溶接箇所を第 25 タブと呼称する。

（２）ハフニウムフラットチューブ型制御棒の管理

ハフニウムフラットチューブ型制御棒は、ＡＢＷＲプラント用に開発された制御棒で、柏崎刈羽原子力発電所７号機で 1997 年に採用され、その後にＢＷＲプラント用に設計のバックフィットを行い代表プラントにおける先行使用を 2001 年から

順次開始し、照射実績に応じた制御棒の健全性を確認しつつ、段階的な導入拡大を計画していた。

同型制御棒の取替目安としては、導入当初、メーカの推奨値と炉内におけるステンレス鋼の中性子照射実績を考慮して制御棒を高さ方向に４分割した1/4領域の平均熱中性子照射量（6.0×10^{25}n/㎡）＊２を取替目安として採用していた。

平成18年（2006年）のハフニウム板型制御棒にひびが確認された事象に伴って実施したハフニウムフラットチューブ型制御棒の点検において、柏崎刈羽原子力発電所７号機にてハンドル／シース溶接部にひびが確認され、ひびの発生を考慮して、一部暫定運用を図りながら、取替目安を4.0×10^{25}n/㎡に見直した運用を開始した。

なお、柏崎刈羽原子力発電所７号機においては、新潟県中越沖地震後の運転サイクルにて暫定運用の範囲でハフニウムフラットチューブ型制御棒を使用していた。この時は、中性子の照射を考慮して定格出力運転中に全引抜きとなる位置に装荷して運用を行い、定期検査時に取替を行った。

＊２　以下、本報告書で記す中性子照射量は特に断らない限り、制御棒を軸方向に４分割した1/4領域の平均値の中における最大値を記載するものとする。

（参考資料－１）

表 5.3-1　シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した制御棒の炉内滞在期間及び熱中性子照射量

柏崎刈羽原子力発電所7号機　制御棒運転履歴											
製造番号		上段:サイクル初期熱中性子照射量(×10^{25}n/m^2) 下段:炉内装荷位置									
	サイクル	試運転及びサイクル1	サイクル2	サイクル3	サイクル4	サイクル5	サイクル6	サイクル7	サイクル8	サイクル9	サイクル10
	並列年月	1996年12月	1998年7月	1999年11月	2001年2月	2002年7月	2004年1月	2005年6月	2006年12月	2009年5月	2010年6月
	解列年月	1998年5月	1999年9月	2000年12月	2002年4月	2003年9月	2005年3月	2006年8月	2007年7月	2010年4月	2011年8月
HH-46-004		0.0 26-11	1.3 →	2.7 →	4.1 →	5.1 取出					
HH-46-005		0.0 34-19	1.5 →	2.9 →	4.0 →	5.2 取出					
HH-46-008		0.0 34-27	1.2 →	2.6 →	3.6 →	3.6 →	3.6 →	4.1 →	4.1 →	4.1 58-15	4.1 取出
HH-46-014		0.0 42-35	1.2 →	2.6 →	3.5 →	3.5 →	3.6 →	4.1 →	4.1 →	4.1 58-55	4.1 取出
HH-46-015		0.0 26-35	1.2 →	2.6 →	3.6 →	4.1 →	4.1 →	4.6 →	4.6 →	4.6 10-15	4.6 取出
HH-46-016		0.0 34-43	1.2 →	2.6 →	3.5 →	3.5 →	3.6 →	4.1 →	4.1 →	4.1 10-55	4.1 取出
HH-46-021		0.0 42-59	1.3 →	2.7 →	4.0 →	5.0 取出					
HH-46-022		0.0 50-51	1.4 →	2.8 →	4.0 →	5.3 取出					
HH-46-023		0.0 34-51	1.5 →	2.9 →	3.9 →	5.3 取出					
HH-46-024		0.0 18-51	1.4 →	2.9 →	4.0 →	5.0 取出					
HH-46-031						0.0 26-11	1.1 →	2.4 →	3.7 26-27	4.4 02-39	4.4 取出
HH-46-032						0.0 42-11	1.1 →	2.4 →	3.7 42-27	4.4 30-03	4.4 取出
HH-46-033						0.0 50-19	1.1 →	2.5 →	4.1 取出		
HH-46-034						0.0 34-19	1.2 →	2.7 →	4.0 →	4.8 46-07	4.8 取出
HH-46-035						0.0 18-19	1.2 →	2.6 →	4.3 取出		
HH-46-036						0.0 10-27	1.1 →	2.4 →	3.8 →	4.6 18-27	4.6 取出
HH-46-037						0.0 26-27	1.2 →	2.8 →	4.4 26-11	4.8 26-19	4.8 取出
HH-46-038						0.0 42-27	1.2 →	2.8 →	4.3 42-11	4.7 42-19	4.7 取出
HH-46-039						0.0 58-27	1.1 →	2.4 →	3.8 →	4.5 50-27	4.6 取出
HH-46-040						0.0 50-35	1.2 →	2.8 →	4.1 →	4.9 50-11	4.9 取出
HH-46-041						0.0 34-35	1.2 →	2.3 →	3.6 →	4.3 38-43	4.3 取出
HH-46-042						0.0 18-35	1.2 →	2.7 →	4.0 →	4.9 22-39	4.9 取出
HH-46-043						0.0 10-43	1.1 →	2.4 →	3.8 →	4.6 18-43	4.6 取出
HH-46-044						0.0 26-43	1.2 →	2.8 →	4.4 26-59	4.8 26-51	4.8 取出
HH-46-045						0.0 42-43	1.2 →	2.7 →	4.3 42-59	4.8 42-51	4.8 取出
HH-46-046						0.0 58-43	1.1 →	2.3 →	3.7 →	4.4 50-43	4.5 取出
HH-46-047						0.0 50-51	1.1 →	2.5 →	4.2 取出		
HH-46-049						0.0 18-51	1.1 →	2.6 →	4.3 取出		

（３）原子炉圧力、原子炉水温度及び使用済燃料プール水温度

シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した制御棒28本を使用した運転期間における原子炉圧力及び原子炉水温度を確認した結果、異常は確認されなかった。

なお、使用済燃料プールに保管されている期間のプール水温度にも異常は確認されなかった。

（４）原子炉水質

原子炉水質については、不純物濃度として導電率、塩素イオン、硫酸イオンについて確認し、導電率と硫酸イオン濃度が「BWRVIP-130：BWR Vessel and Internals Project BWR Water Chemistry Guidelines - 2004 Revision (EPRI)」（以下、EPRI水化学ガイドライン　という）の推奨する運転中におけるアクションレベルを一時的に超える時期があったことが確認された。また、溶存酸素濃度が応力腐食割れ（ＳＣＣ）を発生させる可能性のあるレベルになっていたことを確認した。

導電率が EPRI 水化学ガイドラインの推奨するアクションレベルを超えたのは定期検査期間中における大気開放期間であり、この期間においては停止中のアクションレベルを満足していた。また、硫酸イオン濃度はEPRI水化学ガイドラインの推奨する運転中のアクションレベルを超えた場合であっても、処置を行うことによりアクションレベル以下に復帰していることから、炉内構造材に問題を与えるものではなかった。

なお、BWR 炉水環境下では原子炉水の放射線分解により、炉水の溶存酸素は200～300ppb になることが知られており、この範囲にあることが確認できていることから溶存酸素濃度についても適切に管理されていたと言える。

以上より、原子炉水中の溶存酸素濃度については、ＳＣＣが発生する可能性のあるレベルにあったものの、ＳＣＣを助長する塩素イオン・硫酸イオン濃度についてはEPRI水化学ガイドラインが推奨する範囲にあったことから、原子炉水質については適正な管理が行われていたと評価している。

（添付資料－９－３－２）

５．４ モックアップ試験

使用前のハフニウムフラットチューブ型制御棒の状態について調査するため、実機相当の材料及び同等の施工で加工した模擬試験体（モックアップ）を製作し、以下の調査を行った。

５．４．１ 溶接残留応力測定

タイロッドとシースの溶接部に関して TIG 溶接の全長試験体にひずみゲージを使用して残留応力測定を実施した結果、ハンドル／シース溶接部及びコネクタ／シース溶接部の近傍のタブ溶接部を除き、タブ溶接部周辺には最大 360MPa 程度の引張残留応力(軸方向)が生じていることを確認した。また、レーザ溶接を施したものについては、TIG 溶接と比較して引張残留応力の範囲が狭く、最大 390MPa 程度の引張残留応力（軸方向）が生じていることを確認した。

（添付資料－９－４－１、資料集　資料－４）

５．４．２ タイロッド金属組織観察及び硬さ測定

タイロッドの十字翼先端及びシースとの溶接部への機械加工（エンドミル加工及びプレーナ加工）の影響を確認するために、モックアップ試験体を用いて機械加工後の金属組織観察及び硬さ測定を行った。

金属組織を観察した結果、機械加工部の極表層で機械加工の影響を確認したが、硬さ測定結果については、機械加工の影響が極表層であったことから、機械加工前後で明らかな数値の違いは現れなかった。

なお、本試験に使用した現用の素材のシース取付段差部で深さ 0.3～0.5mm 程度の加工組織を確認したが、照射後試験施設における調査結果とは状況が異なり、使用金具や最終引抜き前後の断面減面率の違いに起因する相違と評価された。

（添付資料－９－４－２）

５．５ オンサイト調査

シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した制御棒のうち１本（HH-46-005）について調査部位を選定し、柏崎刈羽原子力発電所７号機の使用済燃料プール内において、以下の調査を実施した。なお、当該制御棒の熱中性子照射量は約 $5.2\times10^{25}n/m^2$ に達するものであり、シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した制御棒の中で以下のとおり代表性を有するものと考える。

５．５．１ ハフニウムフラットチューブ及びシース内面の外観観察

シースを剥離して外観観察を実施した結果、軽微なハフニウムフラットチューブ側の腐食生成物とシース側の腐食を確認したが、採取試料のハフニウムは容易にシースから分離し、シースとハフニウムの固着の原因となるような著しい腐食生成物は認められなかった。

５．５．２ ハフニウムフラットチューブの照射成長量確認

上下ハフニウムフラットチューブはブレード中央部で運転中の寸法変化を吸収す

る構造設計としている。また、上下ハフニウムフラットチューブ係合部領域のシースを剥離し、ギャップ確認を行った結果、適切なギャップが確保されており、ハフニウム照射に伴う上下ハフニウムフラットチューブの干渉がないことを確認した。

５．５．３ 上下ハフニウムフラットチューブの干渉について

オンサイト試験サンプル（HH-46-005）の熱中性子照射量が 5.2×10^{25}n/m^2 であり、シース／タイロッド溶接部近傍のひびが確認された制御棒のうち熱中性子の照射が最も高い制御棒の熱中性子照射量 5.3×10^{25}n/m^2 と大きな差異はない。本損傷事象が認められたハフニウムフラットチューブ型制御棒のハフニウムは、熱中性子照射量とハフニウムの伸びが概ね比例関係になると仮定し、熱中性子照射量が最も高い制御棒 HH-46-022 の伸び量を推定しても製造時のギャップ（18.5㎜）は照射成長量（約9㎜）に対して十分な余裕があり、ハフニウム照射成長を起因とする上下ハフニウムフラットチューブの干渉は生じないと評価した。

（添付資料－９－５）

５．６ 照射後試験施設における調査

シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した制御棒について、タブ溶接部上下のひびからサンプル１を、タブ溶接部のひびは多数確認されたこと等から製造方法の異なる制御棒（エンドミル加工＋一定電流 TIG 溶接、プレーナ加工＋パルス電流 TIG 溶接、プレーナ加工＋レーザ溶接）より各々１サンプルずつ（サンプル２，３，４）の計４サンプル（下表）を採取した。なお、サンプル２、３、４に関しては地震の影響確認等を目的としてひび先端部が取得可能な部位を選定した。また、調査サンプルの抽出は外観点検でのひびの特徴や他の原因調査項目を勘案して行い、ひびの位置や製造方法を代表して下表のサンプルを採取し調査を実施した。

これらのサンプルについて、照射後試験施設に輸送した後、外観観察、表面観察、破面観察、断面観察、硬さ測定、ＥＤＸ分析及び結晶粒界化学成分分析を実施した。

サンプル No.	製造番号	製造年	ひびの位置	溶接方法	機械加工	新潟県中越沖地震時の状態
1	HH-46-005	1996 年	タブ溶接部上	手動 TIG (一定電流溶接)	エンドミル加工	使用済燃料プール内
2	HH-46-016	1996 年	タブ溶接部	手動 TIG (一定電流溶接)	エンドミル加工	原子炉内
3	HH-46-031	2002 年	タブ溶接部	手動 TIG (ﾊﾟﾙｽ電流溶接)	プレーナ加工	原子炉内
4	HH-46-049	2002 年	タブ溶接部	レーザ (自動)	プレーナ加工	使用済燃料プール内

調査の結果、いずれのサンプルにおいても破面は粒界破面（溶接金属部は柱状晶破面）であり、枝分かれも確認した。

タブ溶接部上下のひびから採取したサンプル１ではタイロッドのシース取付段差加工部のエンドミル加工部位で表層の硬さの上昇と粒内割れ破面、及び、加工と溶接熱影響の重ね合わせにより生じた再結晶組織と当該部の小さなひびを観察した。

タブ溶接部のひびから採取したサンプル２，３，４においては、断面観察や破面観察において、溶接時の溶け込み不足に伴う隙間と隙間腐食に起因する粒界割れを観察した。

更に、結晶粒界化学成分分析と硬さ測定において明瞭な中性子照射に伴う材料劣化（照射硬化及び照射誘起偏析）を確認した。

なお、ＥＤＸ分析*1の結果においては、ひび近傍に Zn, Pb 等の低融点金属は認められなかった。また、サンプル 1 で局所的に観察された Cu, Sn は、照射後試験施設におけるサンプルの切断時に使用した切断工具に由来するものと評価された。

（添付資料－９－６）

＊１　ＥＤＸ分析とは、エネルギー分散型Ｘ線分析(Energy dispersive X-ray spectrometry)を意味しており、電子線を物体に照射した際に発生する特性Ｘ線を半導体検出器等のようなエネルギー分散型検出器にて検出し、そのエネルギーと強度から、物体を構成する元素と濃度を調べる元素分析手法である。

５．７ 地震影響評価

（１）はじめに

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の使用済みのハフニウムフラットチューブ型制御棒 46 本及び柏崎刈羽原子力発電所 7 号機において定期検査前に炉内に装荷されていた同型制御棒 25 本のうち、シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した制御棒は 28 本であり、そのうち 10 本（照射後試験施設において破面観察を行った制御棒（HH-46-005, 049）を含む）は 2007 年 7 月に発生した新潟県中越沖地震時に使用済燃料プール内のハンガーに保管されていた状態であり、18 本（照射後試験施設において破面観察を行った制御棒（HH-46-016, 031）を含む）は原子炉内にて使用されていた状態であった。

中越沖地震時に原子炉内で使用されていた制御棒及び使用済燃料プール内のハンガーに保管されていた制御棒に確認されたひびについて、中越沖地震の影響の有無を以下の観点で確認を行った。

①外観点検

制御棒のような長尺部材に地震による外力が加わったときの代表的な負荷は曲げモーメントと考えられ、径方向中心軸に位置するタイロッド部から

離れた制御棒の翼端部で最大となる。また、このようなモードでひびが発生する場合には翼端部に塑性変形を伴うひびが発生すると考えられる。これらのことから、ひびの様相が延性破壊を原因とするひびの特徴を備えているかどうかを確認した。

②破面観察

破面観察において、破面の酸化皮膜の状況（破面の色）から高温履歴があると評価される部位について、延性破面、疲労破面及び脆性破面の有無を確認し、延性破壊、疲労破壊、脆性破壊を原因とするひびの特徴を備えているかどうかを確認した。＊1

③解析評価

解析により、地震荷重による延性破壊、疲労破壊、脆性破壊を原因とするひびの可能性を確認した。

具体的には、延性破壊については一次応力が評価基準値を下回っていること、疲労破壊については疲労累積係数が 1.0 を下回っていること、また脆性破壊については応力拡大係数が破壊靭性値を下回っていることを確認した。

確認結果について以下に示す。

＊1　延性破面、疲労破面、脆性破面の代表例を参考資料－２に示す。また、地震時に使用済燃料プールに保管されていた制御棒 HH-46-005 と 049 から採取したサンプル１、サンプル４に関しては、地震後の高温履歴がないため、５．７（２）②に記載のとおりサンプル４は照射後試験施設で恒温槽を使用して高温にさらした後に破面を開放することによって照射後試験施設の破面開放時に生じた破面とそれ以前の破面を区別した。サンプル１については、破面全面が高温履歴を有していると評価されるため、破面の酸化皮膜の状況を確認した。なお、使用済燃料プール内の環境は低温であるため、仮に使用済燃料プール内でひびが生じた場合には、当該部位の破面は金属光沢を示すと考えられる。

（２）中越沖地震時に使用済燃料プール内に保管されていた制御棒

①外観点検結果

外観点検の結果、使用済燃料プール内に保管されていた制御棒のうちひびを確認した制御棒について、ひびの発生している状況は同様であり、タブ溶接部近傍のタイロッド、タブ溶接部のタイロッド及びシースにひびを確認した。

ひびは制御棒の径方向中心軸側に発生しており、ひびの周辺に変形も認められないことから、地震荷重が作用したことによる延性破壊を原因とするひびではない。

（添付資料－７－２、資料集　資料－１－１）

②破面観察結果（HH-46-005、049）

005（サンプル１）の破面は、酸化皮膜の状況から全体が高温を経験していると評価されることから、地震により生じたものではない。

049（サンプル４）の破面は、照射後試験施設において恒温槽で加熱処理を施した後に破面を開放して観察を行った。その結果、高温履歴を有する部位は粒界破面（溶接金属部は柱状晶破面）を呈しており、地震荷重が作用したことによる延性破壊、疲労破壊、脆性破壊を原因とするひびではない。

（添付資料－９－６）

③解析評価結果

発生応力の算出にあたっての荷重条件がより厳しい、中越沖地震時に炉内にて使用されていた制御棒について、発生応力を計算し、延性破壊、疲労破壊、脆性破壊の評価を行った結果、それぞれ基準を下回っている（（３）③）ことから、地震荷重が作用したことによる延性破壊、疲労破壊、脆性破壊を原因とするひびではない。

（添付資料－９－７）

（３）中越沖地震時に炉内にて使用されていた制御棒

①外観点検結果

外観点検の結果、炉内にて使用されていた制御棒のうちひびを確認した制御棒について、ひびの発生している状況は同様であり、タブ溶接部近傍のタイロッド、タブ溶接部のタイロッド及びシースにひびを確認した。

ひびは制御棒の径方向中心軸側に発生しており、ひびの周辺に変形も認められないことから、地震荷重が作用したことによる延性破壊を原因とするひびではない。

（添付資料－７－２、資料集　資料－１－１）

②破面観察結果（HH-46-016、031）

酸化皮膜の状況から高温を経験していると評価される部位は粒界破面（溶接金属部は柱状晶破面）を呈しており、地震荷重が作用したことによる延性破壊、疲労破壊、脆性破壊を原因とするひびではない。

（添付資料－９－６）

③解析評価結果

中越沖地震時のスクラムによる発生応力を計算し、延性破壊、疲労破壊、脆性破壊の評価を行った結果、それぞれ基準を下回っており、地震荷重が作用したことによる延性破壊、疲労破壊、脆性破壊を原因とするひびではない。

（添付資料－９－７）

（4）地震の影響評価に関するまとめ

中越沖地震時に使用済燃料プールに保管されていた制御棒、中越沖地震時に炉内で使用されていた制御棒のいずれについても、延性破壊を原因とするひびが発生したような外観上の特徴は確認されなかったこと、照射後試験施設における破面観察において、ひび破面上に延性破面、疲労破面及び脆性破面が確認されていないこと、さらに、地震により発生する応力を計算し、延性破壊、疲労破壊、脆性破壊の評価を行った結果、それぞれ基準を下回っていることから、シース／タイロッドの溶接部近傍に確認されたひびは、地震荷重を原因としたものではない。

5．8 原因調査結果まとめ

ハフニウムフラットチューブ型制御棒のシース／タイロッド溶接部近傍のひびについて、外観点検の特徴と今回実施した各々の調査結果を以下に整理する。

（1）製造履歴調査結果

（a）製造時の材料記録、外観・寸法記録、製造工程及び溶接施工記録を確認した結果、異常は確認されなかった。

（b）シース／タイロッド溶接部近傍のひびは、1996 年製の 25 本の中で 10 本の制御棒に確認し、2002 年製の 21 本の中で 18 本の制御棒に確認した。

（c）シース／タイロッドの溶接方法は当初手動 TIG 溶接を採用していたが、2002 年製の制御棒の一部からレーザ溶接を採用している。また、従来一定電流による TIG 溶接にて施工していたものを、2002 年製の手動 TIG 溶接からは溶接時の入熱量を低減する目的でパルス電流による TIG 溶接の施工方法を採用していた。なお、2002 年製のパルス電流による TIG 溶接を採用した制御棒は 17 本中、17 本にシース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した。

（d）1996 年製制御棒は、シース取付段差加工部にエンドミル加工を施していた。

（e）2002 年製制御棒は、タイロッド十字翼端部分にプレーナ加工を施していた。

（f）1996 年製及び 2002 年製制御棒のタブ溶接部表面はスキルタッチまたは弾性砥石を施した後、フラッパホイルで最終処理を実施していた。

（g）ひびの発生数と溶接士の関係を確認したが、相関は認められなかった。

（2）運転履歴調査

（h）運転サイクルにおいて特異な傾向は見られなかった。なお、中越沖地震時に炉内で使用されていた 18 本の制御棒と、使用済燃料プールで保管されていた 10 本の制御棒にシース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した。

（i）軸方向中性子照射量については概ね第 1 タブから第 12 タブまでは高く、第 13 タブ以降はタブ位置が下に移動するにつれ中性子照射量は大きく低下して

いく傾向にあることを確認した。今回、シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した溶接部の軸方向詳細中性子照射量は、熱中性子照射量で 2.1×10^{25}n/m^2（高速中性子照射量で 2.4×10^{25}n/m^2）以上であり、軸方向の詳細な中性子照射量評価においてＩＡＳＣＣの感受性が高まる高速中性子照射量 1.0×10^{25}n/m^{2}を上回っていたことを確認した。

（ｊ）運転期間中の原子炉圧力、原子炉水温度及び使用済燃料プール水温度を確認した結果、異常は認められなかった。また、原子炉水質については、導電率や硫酸イオン濃度が一時的に高い時期があったこと及び溶存酸素濃度がＳＣＣを発生させる可能性のあるレベルになっていたことを確認したが、これらの値は管理基準に従って適切に管理されていた。

（3）モックアップ試験結果

（ｋ）TIG 溶接におけるタブ溶接部近傍において、ハンドル／シース溶接部及びコネクタ／シース溶接部の近傍のタブ溶接部を除き、タブ溶接部周辺には最大 360MPa 程度の引張残留応力(軸方向)が生じていることを確認した。また、レーザ溶接におけるタブ溶接部近傍には最大 390MPa 程度の引張残留応力（軸方向）が生じており､その引張応力の範囲が TIG 溶接と比較して狭いことを確認した。

（ｌ）エンドミル加工とプレーナ加工施工部の極表層で加工影響層を観察した。

なお、本試験に使用した現用の素材のシース取付段差部で深さ 0.3～0.5㎜程度の加工組織を確認したが、照射後試験施設における調査結果とは状況が異なり、使用金具や最終引抜き前後の断面減面率の違いに起因する相違と評価された。

（4）オンサイト調査結果

（m）シースとハフニウムの固着の原因になるような著しい腐食生成物は確認されず、また、上下ハフニウムフラットチューブ係合部領域には適切なギャップが確保されていた。

（5）照射後試験施設における調査結果

（ｎ）タブ溶接部上下のひび及びタブ溶接部のひび共に、ひび先端部まで全面で粒界破面（溶接金属部は柱状晶破面）を呈しており、枝分かれも確認した。また、材料に中性子照射に伴う材料劣化（照射硬化及び照射誘起偏析）を確認した。

（ｏ）タブ溶接部上下のひびから採取したサンプル１ではシース取付段差加工部のエンドミル加工部位で表層の硬さの上昇と粒内割れ破面や再結晶組織部の小さなひびを観察した。

（ｐ）タブ溶接部のひびから採取したサンプル２、３、４（製造工程の異なるもの）

とも、溶接施工時の溶け込み不足に伴う隙間と、隙間腐食を起因とする粒界割れをタイロッド母材に観察した。

（ｑ）ＥＤＸ分析の結果、ひび近傍で Zn，Pb 等の低融点金属は認められなかった。また、局所的に観察された Cu，Sn は、照射後試験施設におけるサンプルの切断時の切断工具に由来するものと評価された。

（６）地震影響評価

（ｒ）地震時に使用済燃料プールに保管されていた制御棒、地震時に炉内で使用されていた制御棒のいずれについても、ひびの周辺に変形は確認されなかったことから、地震荷重が作用したことによる延性破壊を原因としたものではない。

（ｓ）照射後試験施設における破面観察において、地震時に使用済燃料プールに保管されていた制御棒、地震時に炉内で使用されていた制御棒のいずれについてもひび破面上に延性破面、疲労破面及び脆性破面は確認されなかったことから、地震荷重が作用したことによるこれらの破壊形態を原因としたものではない。

（ｔ）地震時に炉内で使用されていた制御棒について、地震により発生する応力を計算し、延性破壊、疲労破壊、脆性破壊の評価を行った結果、基準を下回っていることを確認したことから、地震荷重が作用したことによるこれらの破壊形態を原因としたものではない。

（ｕ）地震時に使用済燃料プールに保管されていた制御棒についても、地震による発生応力の算出にあたっての荷重条件がより厳しい、地震時に炉内にて使用されていた制御棒の評価結果がそれぞれ基準を下回っている（上記（ｔ））ことから、地震荷重が作用したことによる延性破壊、疲労破壊、脆性破壊を原因としたものではない。

５．９ 溶け込み不足の発生要因について

照射後試験施設における調査によって、シース／タイロッド溶接部における溶接溶け込み不足による隙間を確認した。当該溶接方法の管理状況について調査し、溶け込み不足発生の要因を分析した。

なお、レーザ溶接導入に関する情報はメーカから当社へ連絡が行われていたが、TIG 溶接の一定電流からパルス電流への変更に関する情報については連絡が行われていなかった。

（１）パルス電流による TIG 溶接及びレーザ溶接導入の経緯

一定電流による初期の TIG 溶接の方法に対し、制御棒完成体の変形を抑制することを目的に、入熱量を低減し、溶け込み量の確保が可能なパルス電流による TIG 溶接の方法を導入した。また、更に制御棒完成体の変形を抑制することができるレーザ溶接による溶接方法を導入した。

（２）溶接施工条件の確認

シース／タイロッド溶接における施工条件を策定するに当たり、部分要素試験片を用いた基礎試験による最適条件範囲の確認を経た後、全長試験体*1を試作し、寸法確認、溶接部断面金相確認、外観確認等を実施し、溶接条件の適切性を確認している。

＊１　ハンドル、コネクタの溶接を行わないシース／タイロッド部の全長を模擬した試験体

（３）作業指示書への反映

製品用の制御棒を製造する際の作業指示書について確認した結果、下記の項目について、レーザ溶接では作業指示書において明確に指示されていたものの、TIG 溶接では明確に指示されていなかったことを確認した。

ａ．シース／タイロッドの開先合わせ確認

ｂ．溶接ねらい位置

（４）推定原因

TIG 溶接は手動で行うため、溶け込み不足の発生を防止する観点から溶接位置を明確に規定する必要があったにもかかわらず、溶接ねらい位置を作業指示書で明確に指示していなかった。このため、溶接士が溶接ねらい位置をタイロッド中心側に偏らせた*2ことにより、シース／タイロッドの開先合わせ位置における溶け込み不足が生じたものと考える。なお、照射後試験施設における調査結果においてもその状況が見られている。

＊２　タイロッドとシースの溶接は、薄板を厚板に溶接する特殊な溶接のため、シースの溶け落ちを防止し変形を抑制する観点から溶接士は溶接ねらい位置をタイロッド中心側に偏らせる傾向がある。

また、レーザ溶接については、溶接ねらい位置を作業指示書で明確に指示していたものの、位置合わせを手動で行っており、溶接ねらい位置がずれた場合に溶け込み不足が生じる可能性があると考える。

なお、TIG 溶接のうちパルス電流を用いた溶接方法を採用している制御棒においてひびの発生率が高いことも、入熱量の低減と溶接ねらい位置の指示不足を考慮するとこれらの重畳によりひびの発生率を高めたものと類推される。

（添付資料－９－８、参考資料－４）

６.推定原因

以上の調査結果から、ハフニウムフラットチューブ型制御棒のシース／タイロッド溶

接部近傍のひびの原因は、以下のとおりと考える。

（1）タブ溶接部上下のひび

５．８の原因調査結果まとめより、

・タブ溶接部上下のひびは機械加工（エンドミル加工またはプレーナ加工）が施されたタイロッドに確認しており、当該加工施工部には加工により生じた表面硬化層や粒内割れ破面等を観察したこと。

・ＳＵＳ３１６Ｌ材は、高速中性子照射量1×10^{25}n/㎡程度でＩＡＳＣＣ感受性を有する様になることが知られており、また、照射後試験施設における調査で明瞭に中性子照射による材料劣化（照射硬化及び照射誘起偏析）を確認したこと。また、破面は二次割れを伴う粒界割れであったこと。

・モックアップ試験によって、当該のひびが確認されたタブ溶接部近傍で最大390MPa 程度の軸方向引張り残留応力を確認したこと。

等から、当該のひびは、エンドミル加工部またはプレーナ加工部で加工により導入された表面硬化層より生じた粒内割れ等のＳＣＣによる微少な初期き裂が溶接残留応力によって進展したＩＡＳＣＣと考える。

なお、現在製造されているハフニウムフラットチューブ型制御棒のタイロッドにおいては、エンドミル加工、プレーナ加工は実施されていない。

以上からハフニウムフラットチューブ型制御棒のタブ溶接部上下のひびの発生に関するメカニズムは以下のとおりと推定される。

①タイロッドの表面にエンドミル加工またはプレーナ加工に伴う強加工によって表面硬化層が形成される。

② シース／タイロッド溶接部近傍には、シース／タイロッド溶接部における溶接の際に引張り応力が残留する。

③ 炉内使用環境下で高溶存酸素の高温水に接した際に、タイロッド表面の表面硬化層にＳＣＣによる微小な初期き裂が発生する。

④ 中性子照射量の蓄積に伴い、材料劣化（具体的には、照射誘起偏析による粒界のＣｒ濃度減少と照射硬化）が進み、材料の耐ＳＣＣ性が低下。ＳＣＣの進展速度が上昇する。

⑤ 溶接残留応力によってＩＡＳＣＣでひびが進展した。

（2）タブ溶接部のひび

５．８の原因調査結果まとめより、

・照射後試験施設における調査の結果、溶接施工時の溶け込み不足に伴うタイロッドとシースの隙間と、隙間腐食を起因とする粒界割れを確認したこと。

・ＳＵＳ３１６Ｌ材は、高速中性子照射量 1×10^{25}n/㎡程度でＩＡＳＣＣ感受性を有する様になることが知られており、また、照射後試験施設における調査で明瞭に中性子照射による材料劣化（照射硬化及び照射誘起偏析）を確認したこと。また、破面は二次割れを伴う粒界割れであったこと。
・モックアップ試験によって、当該のひびが確認されたタブ溶接部近傍で最大390MPa 程度の軸方向引張り残留応力を確認したこと。

等から、当該のひびは、溶接部の溶け込み不足により生じたタイロッドとシースの隙間部の隙間腐食を起点として溶接残留応力によって進展したＩＡＳＣＣと考える。

以上からハフニウムフラットチューブ型制御棒のタブ溶接部のひびの発生に関するメカニズムは以下のとおりと推定される。

① シース／タイロッド溶接部の溶接時溶け込み不足によって、溶接部裏面に隙間構造が形成される。
② シース／タイロッド溶接部近傍には、上記の溶接の際に引張り応力が残留する。
③ 炉内使用時にシース／タイロッド溶接部の裏面における隙間部で隙間腐食による微小なひびが発生する。
④ 中性子照射量の蓄積に伴い、材料劣化（具体的には、照射誘起偏析による粒界のＣｒ濃度減少と照射硬化）が進み、材料の耐ＳＣＣ性が低下。ＳＣＣの進展速度が上昇する。
⑤ 溶接残留応力によってＩＡＳＣＣでひびが進展した。

以上をまとめると、これまでの外観点検にてシース／タイロッド溶接部近傍に確認したひびは、隙間または強加工部の表面硬化層を起点として溶接残留応力により進展したＩＡＳＣＣと評価される。また、外観点検、応力解析、破面観察等の結果から本事象は地震の影響によるものではないと結論づけられる。

なお、TIG 溶接（パルス電流）の制御棒に多くのひびを確認した原因として考えている溶接部の溶け込み不足については、メーカの TIG 溶接施工管理における指示事項の作業指示書への反映不足によるものと推定される。

7.考察

7.1 シース／タイロッド溶接部近傍のひびの軸方向依存性について

シース／タイロッド溶接部近傍のひびは第２タブから第 16 タブで確認され、第４タブから上方向へ移動及び第 13 タブから下方向への移動につれ、ひびを確認した制御棒本数と確認したひびの累積数が減少していた。

モックアップ試験を用いた溶接残留応力調査において、タブ溶接部近傍の溶接残留

応力は、第４タブから第 16 タブはほぼ同等であるが、第３タブからハンドル／シース溶接部に近づくにつれ引張残留応力は低くなっていく傾向であった。

一方、軸方向の中性子照射量分布は、ハフニウムフラットチューブ型制御棒は一般的にコントロールセル位置にて使用し、各サイクル毎の炉心燃焼度が進むにつれ反応度調整のため徐々に引抜かれるため、制御棒中段の中性子照射量も高い。具体的には、第２タブ付近から第 13 タブ付近までの中性子照射量はほぼ同等で、その後、下方向に移動するにつれ照射量は低下していく。

シース／タイロッド溶接部近傍のひびの軸方向中性子照射量の依存性を確認するため、ひびが多く確認されている製造方法であるプレーナ加工＋TIG 溶接（パルス電流）で確認されたひびのうち、溶接引張残留応力がほぼ一定となる第４タブから第 22 タブについて、高速中性子照射量とひび発生率（ひびの確認されたタブ数／タブ総数）を確認した。その結果、高速中性子照射量が高まるにつれひび発生率は高まり、2×10^{25}n/m^2 以下では発生率 0%（0/87）、$2\sim3\times10^{25}$n/m^2 では 9%（2/22）、$3\sim4\times10^{25}$n/m^2 では 45%（14/31）、$4\sim5\times10^{25}$n/m^2 では 71%（60/84）、$5\sim6\times10^{25}$n/m^2 では 77%（76/99）と中性子照射量が上昇するに従いひび発生率は増加し中性子照射量依存性が認められた。

以上の溶接残留応力の影響と軸方向中性子照射量の影響の重ね合わせにより、第２タブから第 16 タブにひびが確認され、第２タブ、第３タブは溶接残留応力の低下に従い、第 13 タブから第 16 タブは中性子照射量の低下に従い、ひびを確認した制御棒本数及び確認したひびの累積数が減少しているものと考える。

（参考資料－３）

7．2 シース／タイロッド溶接部近傍のひびの照射量依存性について

これまでのハフニウムフラットチューブ型制御棒の外観点検の結果では、シース／タイロッド溶接部近傍のひびは柏崎刈羽原子力発電所７号機のみで確認され、当社他プラントでは確認されていない。これらの制御棒の熱中性子照射量を比較すると（添付資料－７－１参照）、柏崎刈羽原子力発電所７号機で当該ひびを確認した制御棒の熱中性子照射量（4.1×10^{25}n/m^2 以上）と比較して当社他プラントの制御棒は熱中性子照射量が低く（3.8×10^{25}n/m^2 以下）、また、シース／タイロッド溶接部隙間発生の観点から、自動化が進み施工のばらつきの少ないレーザ溶接を採用している。そのため、ひびの発生リスクが低く、当社他プラントの同型制御棒にはひびが確認されなかったものと推定される。

なお、特に福島第一、福島第二原子力発電所の使用済み制御棒に関しては、熱中性子照射量は更に低く（2.9×10^{25}n/m^2 以下）、また、レーザ溶接を採用していることからひびが確認されなかったものと推定される。

７．３ 地震被災とひび発生制御棒本数について

新潟県中越沖地震が発生した際に原子炉内に装荷されていたハフニウムフラットチューブ型制御棒25本の中で18本にシース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認し、また使用済燃料プール内に保管されていた同型の使用済制御棒 25 本の中で 10 本に同様のひびを確認した。

５．７に示すとおり、シース／タイロッド溶接部近傍に確認したひびは地震荷重を原因とするものではないと考えるが、ここでは新潟県中越沖地震時に原子炉内及び使用済燃料プール内に存在したそれぞれのひび発生制御棒本数について、製造方法の異なるタイプ毎に以下の通り考察を示す。

（１）製造方法の異なるタイプ毎の考察

①エンドミル加工及び TIG 溶接（一定電流）

エンドミル加工及び TIG 溶接（一定電流）の制御棒については、原子炉内に装荷されていた４本中４本全てにひびを確認し、使用済燃料プール内に保管されていた 21 本中６本にひびを確認した。

ハフニウムフラットチューブ型制御棒のシース／タイロッド溶接部近傍のひびの推定原因は、機械加工部における表面硬化層及び隙間部における隙間腐食による初期き裂がＩＡＳＣＣにより進展したものと考えており、ＩＡＳＣＣへの感受性の観点で中性子照射量、ひびの進展する期間という観点で腐食環境下に存在した期間として炉内滞在期間について両者の比較を行った。この結果、エンドミル加工及び TIG 溶接（一定電流）の制御棒のうち、原子炉内に装荷されていた制御棒に多くひびが発生しているように見えるのは、使用済燃料プール内に保管されていた制御棒よりも炉内滞在期間が長いためと考える。

②機械加工なし及び TIG 溶接（一定電流）

機械加工なし及び TIG 溶接（一定電流）の制御棒については、原子炉内に装荷されていた４本全てにひびは確認されていない。すなわち、地震時に原子炉内に装荷されていた制御棒について、特にひびの発生率が高いという状況は見られていない。

中性子照射量と炉内滞在期間の観点で、上記①において当該ひびの確認された制御棒と比較を行うと、この方法により製造された制御棒は、中性子照射量、炉内滞在期間共にひびの確認された制御棒よりも低く（または短く）、このことがひびの確認されなかったことに影響していると考える。

なお、この製造方法により製造された制御棒は使用済燃料プールには保管されていなかった。

③プレーナ加工及びTIG溶接（パルス電流）

プレーナ加工及びTIG溶接（パルス電流）の制御棒については、原子炉内に装荷されていた14本中14本全てにひびを確認し、使用済燃料プール内に保管されていた３本中３本全てにひびを確認した。すなわち、原子炉内及び使用済燃料プール内いずれの制御棒もひびの発生率は100％であり差異は認められない。

中性子照射量と炉内滞在期間の観点で、上記①において当該ひびの確認された制御棒と比較を行うと、この方法により製造された制御棒は、中性子照射量、炉内滞在期間共にひびの確認された制御棒と同等かそれよりも低い（または短い）ことがわかった。

この製造方法において、地震時の状況にかかわらず、当該ひびの発生率が高いことは、この製造方法が固有のひび発生要因を有しているものと考えられる。この要因は、これまでの調査結果から５．２．２に示すパルス電流採用による入熱量の低減と５．９に示す製造にあたっての溶接ねらい位置の指示不足が重畳したものと類推される。

以上のことから、プレーナ加工及びTIG溶接（パルス電流）において、地震時に原子炉内に装荷されていた制御棒と使用済燃料プールに保管されていた制御棒の間でひびの発生率に差異は認められておらず、他の製造方法に比べて当該ひびの発生率の高いプレーナ加工及びTIG溶接（パルス電流）によって製造された制御棒が地震時に原子炉内に多く装荷されていたことが、地震時に炉内に装荷されていた制御棒にひびが多く確認されているという状況を生んでいるものと考える。

④プレーナ加工及びレーザ溶接

プレーナ加工及びレーザ溶接の制御棒については、原子炉内に装荷されていた３本にひびは確認しておらず、使用済燃料プール内に保管されていた１本にひびを確認した。すなわち、原子炉内に装荷されていた制御棒について、特にひびの発生率が高いという状況は見られていない。

中性子照射量と炉内滞在期間の観点で、両者の比較を行った結果、当該のひびが確認された使用済燃料プール内に保管されていた制御棒は、ひびの確認されなかった原子炉内に装荷されていた制御棒と比較して中性子照射量が低く、炉内滞在期間も短い。当該のひびが使用済燃料プール内に保管されていた制御棒にのみ確認されているのは、この方法により製造されている制御棒が少ないことによるものと考える。

なお、プレーナ加工及びレーザ溶接においては、地震時原子炉内に装荷されていた制御棒に多くひびが確認されたという事実はない。

（2）まとめ

以上のとおり、新潟県中越沖地震時に原子炉内に装荷されていた制御棒にシース／タイロッド溶接部近傍のひびが多く確認されているような傾向が見られているが、その理由は、

・エンドミル加工及びTIG溶接（一定電流）の制御棒については、原子炉内に装荷されていた制御棒の炉内滞在期間が長いこと。

・プレーナ加工及びTIG溶接（パルス電流）の制御棒については、隙間腐食の発生しやすい製造要因をもった制御棒であり、地震時にはこの製造方法により製造された制御棒が多く原子炉内に装荷されていたこと。

の両者によるものであり、５．７に記すように、地震荷重の影響によって、地震時に原子炉内に装荷されていた制御棒のひびの発生率が有意に高いものではないと考える。

（参考資料－４）

８.再発防止対策

柏崎刈羽原子力発電所７号機にて定期検査前に使用していたハフニウムフラットチューブ型制御棒については、当該のひびが原子炉の安全に影響を及ぼすものではないことを確認しているものの、現在実施中の定期事業者検査にて全数取り出した後は本事象の対策として以下を実施していない同型制御棒を含め継続使用しないこととする。

（1）製造方法に関する対策

ａ．現在、ハフニウムフラットチューブ型制御棒の製造にあたっては、溶接残留応力の観点から優位性が見込まれ、かつタブ溶接部隙間発生の観点から、自動化が進み施工のばらつきの少ないレーザ溶接を採用しているが、溶接施工時の溶け込み不足に起因する隙間の発生を防止するため、隙間を発生させないよう施工方法の改善を検討する。

ｂ．シース／タイロッド溶接部の残留応力の観点で、溶接の施工方法等の改善を検討する。

ｃ．現在製造されているハフニウムフラットチューブ型制御棒のタイロッドにおいては、エンドミル加工、プレーナ加工は実施されていないが、引抜加工において部分的に加工組織が確認されたことから、タイロッド加工方法の改善を検討する。

（2）溶接施工管理に関する対策

ａ．溶接時の溶け込み不足防止の観点で、メーカの施工管理における指示事項の作業指示書への反映不足が確認されたことから、上記対策の導入に際しては、必要な溶接施工条件を適切に作業指示書に反映することをメーカへ指示する

とともに、当社としても適切な溶接施工条件が設定されていることを設計変更管理において確認していくこととする。

なお、対策を施した制御棒の使用に際しては、メーカの取替基準推奨値に対して、本件に関連して実施した外観点検の結果を踏まえた保守的な取替基準を設定し、適切な点検計画を策定して外観点検を実施する。また、外観点検により、中性子照射によるタイロッド及びシース等の状況を確認しつつ、実施した点検結果を踏まえてメーカの取替基準推奨値まで段階的に取替基準の見直しを行っていくこととする。

９.制御棒の要求機能（技術基準）適合性評価

ハフニウムフラットチューブ型制御棒で確認されたシース／タイロッド溶接部近傍のひびに関して、制御棒に要求される機能について以下のとおり評価を実施した。

（添付資料－１０－１）

９．１ 要求機能（技術基準）の適合性

（１） 制御棒の制御機能（過剰反応度の印加防止機能、未臨界維持機能）

外観点検においてひびの確認された制御棒の制御機能については、外観点検の結果、中性子吸収材の保持状態に異常がなく、制御棒動作時に周辺の機器と干渉する程度の段差がシース面に確認されていないことから、制御棒の制御機能は維持されていたものと考える。

（添付資料－７－２、８、資料集　資料－１－１）

（２） 原子炉の緊急停止機能

制御棒には地震時においても原子炉を安全に停止する機能が求められており、耐震性の評価基準は JEAG4601「原子力発電所耐震設計技術指針」において「地震時の燃料集合体の相対変位値が機能確認済相対変位値以下であること、あるいは挿入時間が挿入目安時間以下であることを確認すること、もしくは過渡解析等により燃料要素等の冷却に関する安全性を確認することをもって、制御棒の動的機能維持が満足されるものと判断する」とされている。柏崎刈羽原子力発電所７号機においては、基準地震動 Ss が作用した場合の燃料集合体の相対変位値は 15.9 ㎜であり、ハフニウムフラットチューブ型制御棒の機能確認済相対変位値 40 ㎜を下回っている。

ここでは、定期検査前に実施した使用済みの同型制御棒における外観点検のひびの状況を踏まえ保守的なひびの状態を仮定し、当該ひびを確認した制御棒が原子炉の緊急停止機能を有していたことを確認するために、以下のとおり基準地震動 Ss の地震力が作用したスクラム時の構造健全性及び制御棒挿入性の評価を行った。

a. 構造健全性

複数箇所のタイロッド破断及びシースのひびを仮定して、基準地震動 Ss の地震力が作用したスクラム時における構造強度評価を実施した結果、発生応力は評価基準値を下回っており構造強度は十分保たれていることを確認した。

したがって、基準地震動 Ss の地震力が作用したスクラム時においても、シースは制御材を適切に保持することができ、所要の反応度制御機能が維持されるものと考える。

（添付資料－１０－２）

b. 制御棒の挿入性

地震時に制御棒を挿入した場合、制御棒の剛性が大きいほど燃料から受ける集中荷重が大きく、挿入時の抵抗が大きくなる。タイロッド及びシースが破断した場合には、剛性が小さくなるため、挿入時の抵抗力も小さくなり、制御棒の挿入時間に影響はなく、制御棒の挿入性は満足していると考える。

（添付資料－１０－３）

なお、技術基準第23条第5項にて要求される「必要な物理的及び化学的性質の保持」のうち「物理的性質」に属する「寸法安定性」に関しては、ひびの発生に伴い変化しうるものである。しかしながら、外観点検の結果、確認されたひびは、制御棒動作時に周辺の機器と干渉する程度のシース面に段差を生じさせるひびではなかったことから、技術基準への適合に問題はないと考える。

また、「化学的性質」に属する「耐食性」に関しては、ステンレスは含有するクロム成分が表面に不働態皮膜を形成することで高い耐食性を示すことが知られており、高温水中での腐食試験結果からもそれが示されている。シース及びタイロッドに用いているＳＵＳ３１６Ｌは含有する炭素濃度を抑制した耐ＳＣＣ材料であり、炉水環境中の高速中性子で約 10×10^{25}n/㎡の照射実績も得られている。ハフニウムについても耐食性の優れた金属として知られており、蒸気中及び高温水中での腐食試験結果で高い耐食性が示されている。また、炉水環境中で約 5×10^{25}n/㎡ の中性子照射を受けたハフニウムの表面には一様な酸化皮膜が形成されており、皮膜の損傷も確認されなかった[*1]。このことからも良好な耐食性が示されていると言える。

このように材料は耐食性を有するものを使用しており、かつ、今回確認された腐食はその腐食自体が制御材としての機能喪失、構成部材の破壊・喪失といった事象を発生させておらず、この腐食が制御棒の機能に影響を与えるものではないことから「必要な化学的性質」は保持されていたものと考える。

＊１　「ハフニウム制御棒の健全性評価研究（その１）　平成２１年度報告書」

９．２ 適合性評価のまとめ

以上のとおり、外観点検においてひびを確認した制御棒に要求される機能について評価した結果、当該ひびは制御棒の機能に影響を与えるものではなく、原子炉施設の安全を確保するために必要な機能は維持されることを確認した。

なお、定期検査前の運転期間中において、炉内に装荷されていた同型制御棒は定期的に動作確認を実施することにより、機能が維持されていることを確認した。

１０.他の型式の制御棒について

（１）ボロンカーバイド型制御棒について

取替基準を熱中性子照射量 1.5×10^{25}n/㎡ としていることからＩＡＳＣＣのリスクは低く抑えられていると考える。

（２）ハフニウム棒型制御棒について

機械加工の観点ではハフニウムフラットチューブ型制御棒に見られたような加工硬化層を生じる強加工を行っておらず、タイロッドとシースの溶接にもハフニウムフラットチューブ型制御棒で採用している溶接方法と異なるスポット溶接を採用している。本溶接手法については、タブ溶接と比較して引張残留応力の範囲が狭く、ＳＣＣが進展しうる方向はスポット溶接部の周方向に限定されるため、タブ溶接に見られるような軸方向の高い残留応力によりタイロッドまたはシースで水平方向にひびが進展する可能性は低いと考える。

なお、電力共通研究「ハフニウム制御棒の健全性評価研究」の知見を基に、今回の知見も踏まえてより信頼性の高い設計の検討を進めていくこととする。

添付資料　目次

添付資料－１	「制御棒のひびに関する対応について（指示)」(22 原企課第 110 号）の指示内容
添付資料－２	柏崎刈羽原子力発電所７号機 ハフニウムフラットチューブ型制御棒のひびに関する時系列
添付資料－３	ハフニウムフラットチューブ型制御棒構造図
添付資料－４	ハフニウムフラットチューブ型制御棒鳥かん図
添付資料－５	ハフニウムフラットチューブ型制御棒の主要仕様
添付資料－６	制御棒外観目視点検概要図（例）
添付資料－７－１	ハフニウムフラットチューブ型制御棒点検結果
添付資料－７－２	ひびの状況（代表例）
添付資料－８	制御棒動作確認結果について
添付資料－９－１	ハフニウムフラットチューブ型制御棒 シース／タイロッド溶接部近傍のひびの要因分析表
添付資料－９－２－１	製造記録調査結果
添付資料－９－２－２	製造方法調査結果
添付資料－９－３－１	柏崎刈羽原子力発電所７号機 ハフニウムフラットチューブ型制御棒炉内装荷実績
添付資料－９－３－２	柏崎刈羽原子力発電所７号機における水質調査結果
添付資料－９－４－１	柏崎刈羽原子力発電所７号機ハフニウムフラットチューブ型制御棒 溶接残留応力測定
添付資料－９－４－２	タイロッド金属組織観察及び硬さ測定
添付資料－９－５	オンサイト調査結果
添付資料－９－６	照射後試験施設における調査
添付資料－９－７	新潟県中越沖地震の影響に係る評価について
添付資料－９－８	溶け込み不足の発生要因について
添付資料－１０－１	制御棒に関する技術基準の要求事項
添付資料－１０－２	制御棒の構造健全性評価
添付資料－１０－３	制御棒の挿入性評価

参考資料－１　　当社プラントにおけるハフニウムフラットチューブ型制御棒の使用の経緯について
参考資料－２　　延性破面、疲労破面、脆性破面について
参考資料－３　　ハフニウムフラットチューブ型制御棒のひびに関する考察
参考資料－４　　地震被災とひび発生制御棒本数について

資料集　資料－１－１　ひびの状況（柏崎刈羽原子力発電所７号機）使用済制御棒
資料集　資料－１－２　ひびの状況（福島第一原子力発電所４号機）
資料集　資料－１－３　ひびの状況（柏崎刈羽原子力発電所７号機）定期検査前に炉内に装荷されていた制御棒
資料集　資料－２　　制御棒動作確認結果
資料集　資料－３　　タブ位置のひび数と中性子照射量（詳細）
資料集　資料－４　　残留応力測定結果（詳細）

以　　上

「制御棒のひびに関する対応について（指示)」(22 原企課第 110 号)
の指示内容

対象制御棒	指示内容	備　考
１．現在柏崎刈羽原子力発電所７号機の原子炉内に装荷されているハフニウムフラットチューブ型制御棒について[*1]	現在運転中である柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の原子炉において使用されているハフニウムフラットチューブ型制御棒については、構造強度に係る健全性評価及び制御棒の挿入性等の技術基準適合性を含む安全性の評価を確定。	平成 22 年 12 月 8 日報告済み
	至近の定期事業者検査までの間、運転中における当該制御棒の動作確認を実施。	平成 22 年 11 月 6 日、 平成 22 年 11 月 24 日、 平成 22 年 12 月 24 日、 平成 23 年 1 月 19 日、 平成 23 年 2 月 19 日、 平成 23 年 3 月 26 日、 平成 23 年 4 月 16 日、 平成 23 年 5 月 13,14 日、 平成 23 年 6 月 10,11 日、 平成 23 年 7 月 8,9 日、 平成 23 年 8 月 5,6 日 実施済み
	至近の定期事業者検査において当該制御棒のひびの有無について確認を行い、ひびが確認された場合は、以下に示す対応を実施。 (1) ひびの状況及び発生原因を調査すること (2) 製造及び中性子照射量等を含む運転の履歴を調査すること (3) 構造強度に係る健全性評価及び制御棒の挿入性等の技術基準適合性を含む安全性の評価を行うこと	今回報告書にて報告を実施
２．タイロッドのひびが確認された製造番号 HH-46-005 の制御棒について	今般ひびが確認された使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒については、1. (1)、(2)、(3)に示す対応を実施。	今回報告書にて報告を実施
３．使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒について	現在停止中の原子炉に装荷又は使用済みとして保管しているハフニウムフラットチューブ型制御棒がある場合には、ひびの有無について確認し、ひびが確認された場合は、1. (1)、(2)、(3)に示す対応を実施[*2]。	1. (1)のひびの状況については，平成 23 年１月７日に報告済み[*3] その他については、今回報告書にて報告を実施

＊１：使用済制御棒のタイロッドにひびが確認された平成 22 年 10 月時点で炉内に装荷されていた 25 本が対象。

＊２：点検対象
福島第一原子力発電所 1 号機 9 本、福島第一原子力発電所 4 号機 8 本、
福島第二原子力発電所 2 号機 4 本、柏崎刈羽原子力発電所 4 号機 4 本、
柏崎刈羽原子力発電所 5 号機 4 本、柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 44 本

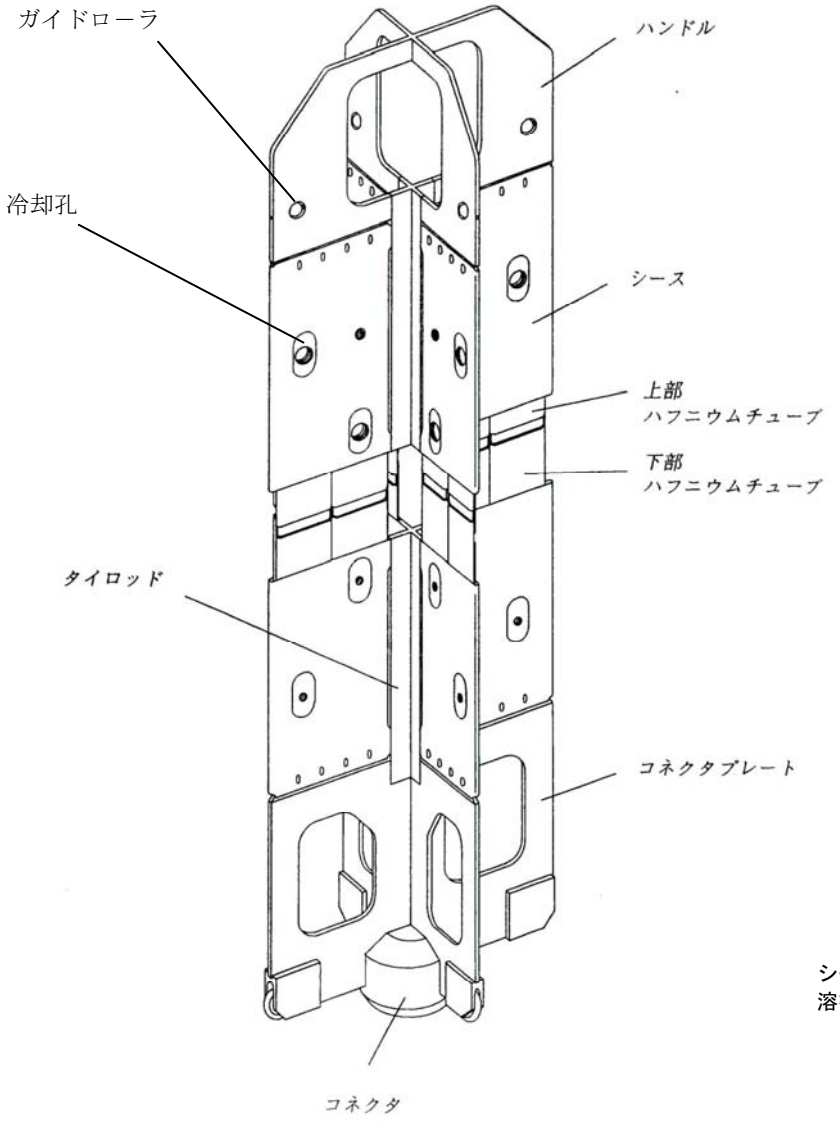
＊３：平成 23 年 1 月時点で柏崎刈羽原子力発電所４号機の停止中の原子炉内に保管されていた制御棒については今回の報告書にて報告を実施。

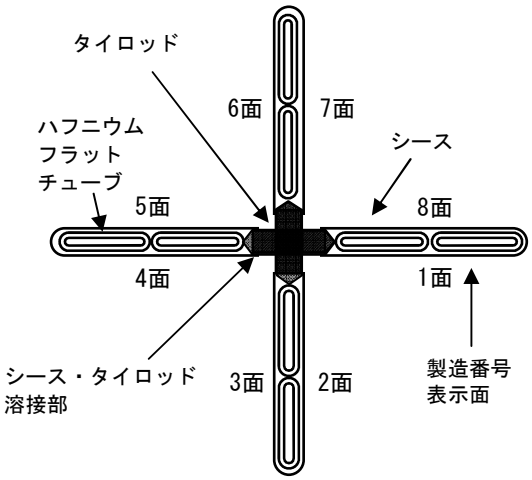
柏崎刈羽原子力発電所７号機
ハフニウムフラットチューブ型制御棒のひびに関する時系列

平成 22 年 10 月 16 日	柏崎刈羽原子力発電所７号機の使用済燃料プールにおいて使用済みのハフニウムフラットチューブ型制御棒２本の外観点検を実施し、制御棒１本（製造番号 HH-46-005）のタイロッドに線状模様を確認
平成 22 年 10 月 25 日 ～平成 22 年 10 月 27 日	当該制御棒の詳細調査を実施し、当該の線状模様がひびであることを確認
平成 22 年 10 月 27 日 ～平成 22 年 11 月 1 日	自主的に当社所有の使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒について、タイロッド部の点検を目的に制御棒の翼面に対して 45 度付近から外観点検を実施する計画を策定するとともに、確認された線状模様をひびと判定して経済産業省原子力安全・保安院へ報告
平成 22 年 11 月 1 日	経済産業省原子力安全・保安院より指示文書「制御棒のひびに関する対応について（指示）」（22 原企課第 110 号）を受領
平成 22 年 11 月 1 日 ～平成 22 年 11 月 30 日	福島第一原子力発電所１号機、４号機及び福島第二原子力発電所２号機の使用済みの同型制御棒において、タイロッド部以外とタイロッド部の翼面に対して 45 度付近からの外観点検を終了 柏崎刈羽原子力発電所５号機、７号機の使用済みの同型制御棒において、タイロッドの翼面に対して 45 度付近からの外観点検を終了
平成 22 年 11 月 6 日 ～平成 22 年 11 月 9 日	運転中の柏崎刈羽原子力発電所７号機の原子炉内に装荷されていた同型制御棒についての第１回目の動作確認を実施し、「ハフニウムフラットチューブ型制御棒のひびに関する対応に係る動作確認結果報告書（11 月 6 日実施分）の提出について」（原管発官 22 第 325 号）を経済産業省原子力安全・保安院へ提出
平成 22 年 11 月 24 日	運転中の柏崎刈羽原子力発電所７号機の原子炉内に装荷されていた同型制御棒についての第 2 回目の動作確認を実施
平成 22 年 12 月 3 日 ～平成 22 年 12 月 8 日	柏崎刈羽原子力発電所７号機の使用済みの同型制御棒におけるタイロッド部以外の外観点検にて 11 月中に実施した外観点検で確認されていないタイロッド部のひびが確認された 検討の結果、外観点検時の翼面に対する観察角度に問題があったものと判断し、タイロッド部の点検方法を翼面に対して 90 度付近から実施する計画へ変更
平成 22 年 12 月 8 日	経済産業省原子力安全・保安院へ「ハフニウムフラットチューブ型制御棒のひびに関する対応に係る報告書の提出について」（原管発官 22 第 372 号）を提出

平成 22 年 12 月 8 日 ～平成 23 年 1 月 6 日	福島第一原子力発電所１号機、４号機、福島第二原子力発電所２号機及び柏崎刈羽原子力発電所５号機、７号機の使用済みの同型制御棒において、タイロッド部の外観点検方法見直しを含め、全ての部位の外観点検を終了
平成 22 年 12 月 24 日	運転中の柏崎刈羽原子力発電所７号機の原子炉内に装荷されていた同型制御棒についての第 3 回目の動作確認を実施
平成 23 年 1 月 7 日	経済産業省原子力安全・保安院へ「ハフニウムフラットチューブ型制御棒に関する外観点検結果報告書の提出について」（原管発官 22 第 410 号）を提出
平成 23 年 1 月 19 日	運転中の柏崎刈羽原子力発電所７号機の原子炉内に装荷されていた同型制御棒についての第 4 回目の動作確認を実施
平成 23 年 2 月 19 日	運転中の柏崎刈羽原子力発電所７号機の原子炉内に装荷されていた同型制御棒についての第 5 回目の動作確認を実施
平成 23 年 3 月 11 日	東北地方太平洋沖地震発生
平成 23 年 3 月 26 日	運転中の柏崎刈羽原子力発電所７号機の原子炉内に装荷されていた同型制御棒についての第 6 回目の動作確認を実施
平成 23 年 4 月 16 日	運転中の柏崎刈羽原子力発電所７号機の原子炉内に装荷されていた同型制御棒についての第 7 回目の動作確認を実施
平成 23 年 5 月 13, 14 日	運転中の柏崎刈羽原子力発電所７号機の原子炉内に装荷されていた同型制御棒についての第 8 回目の動作確認を実施
平成 23 年 6 月 10, 11 日	運転中の柏崎刈羽原子力発電所７号機の原子炉内に装荷されていた同型制御棒についての第 9 回目の動作確認を実施
平成 23 年 7 月 8, 9 日	運転中の柏崎刈羽原子力発電所７号機の原子炉内に装荷されていた同型制御棒についての第 10 回目の動作確認を実施
平成 23 年 8 月 5, 6 日	運転中の柏崎刈羽原子力発電所７号機の原子炉内に装荷されていた同型制御棒についての第 11 回目の動作確認を実施
平成 23 年 8 月 23 日	柏崎刈羽原子力発電所７号機停止（定期検査開始）
平成 23 年 11 月 7 日 ～平成 23 年 11 月 16 日	定期検査前に柏崎刈羽原子力発電所７号機の炉内に装荷されていた同型制御棒の外観点検を終了
平成 24 年 1 月 30 日 ～平成 24 年 1 月 31 日	平成 23 年 1 月時点で柏崎刈羽原子力発電所４号機の炉内に保管されていた同型制御棒の外観点検を終了

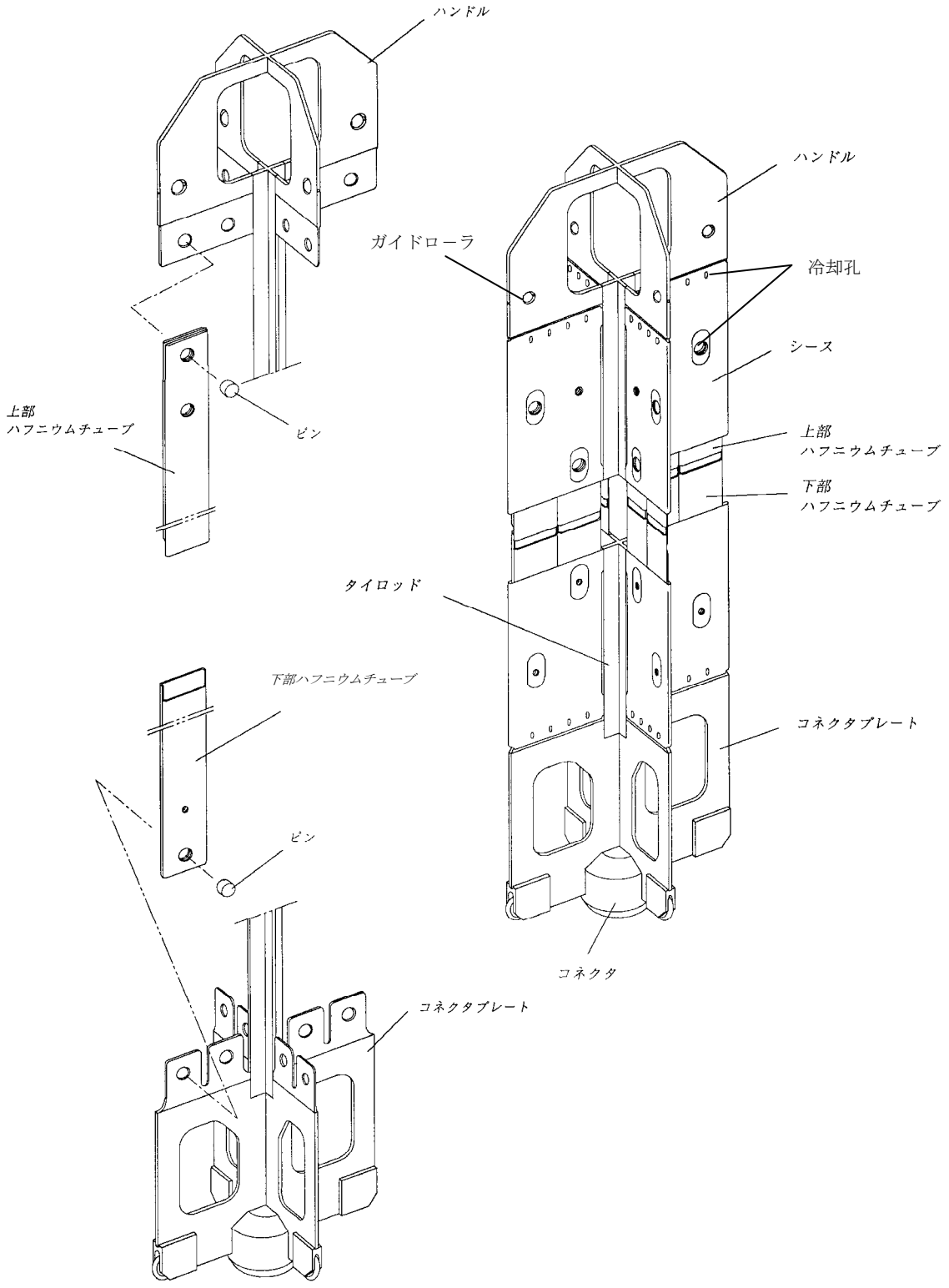
以　上



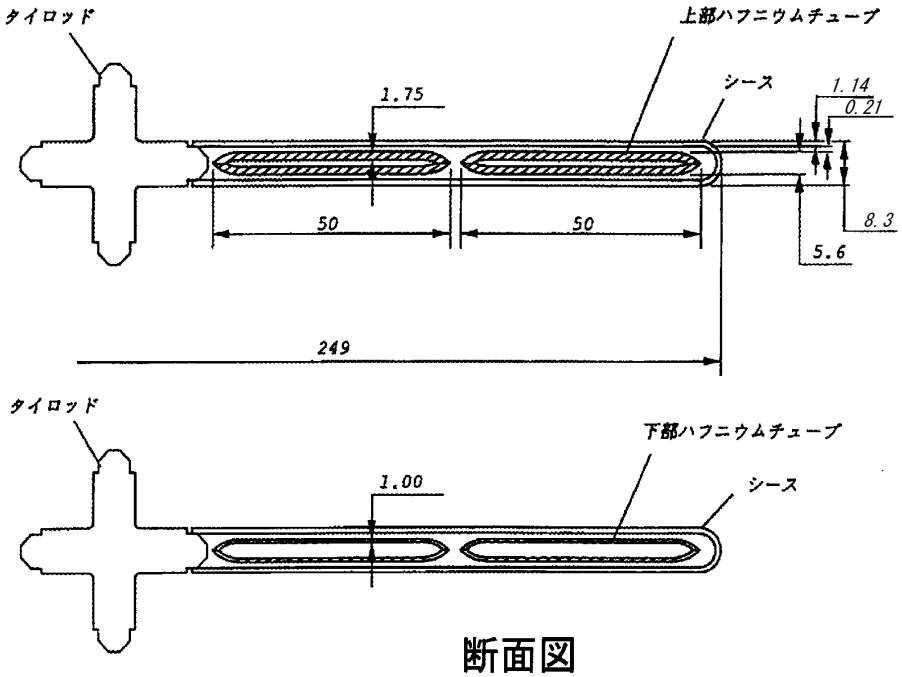


制御棒を上から見た概略図

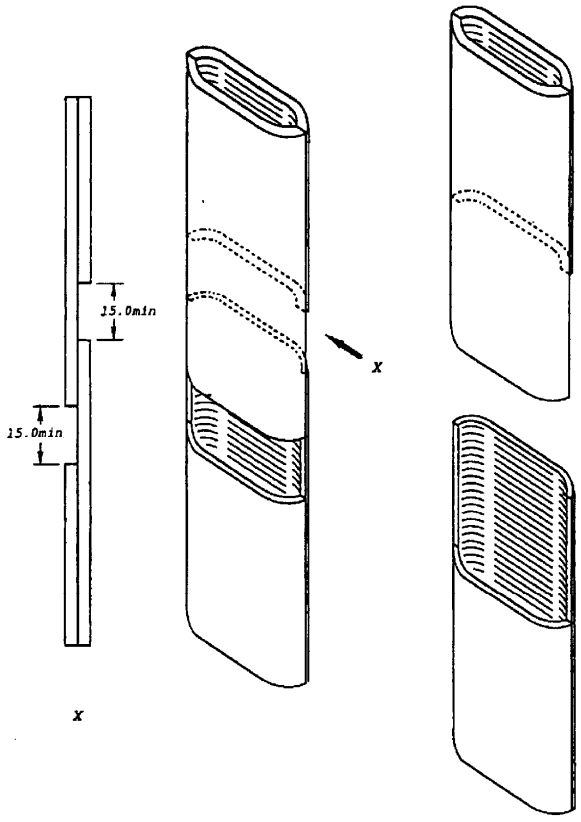
ハフニウムフラットチューブ型制御棒構造図



ハフニウムフラットチューブ型制御棒鳥かん図(１／２)



断面図

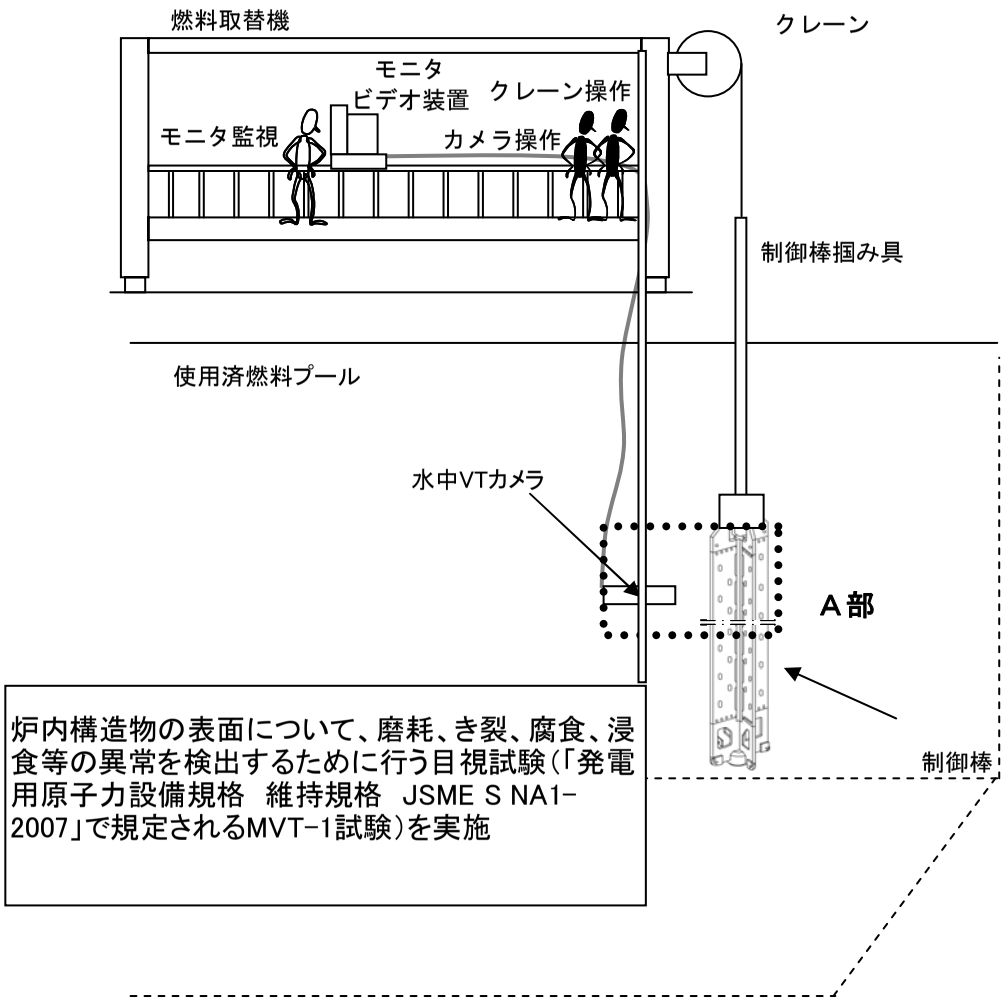


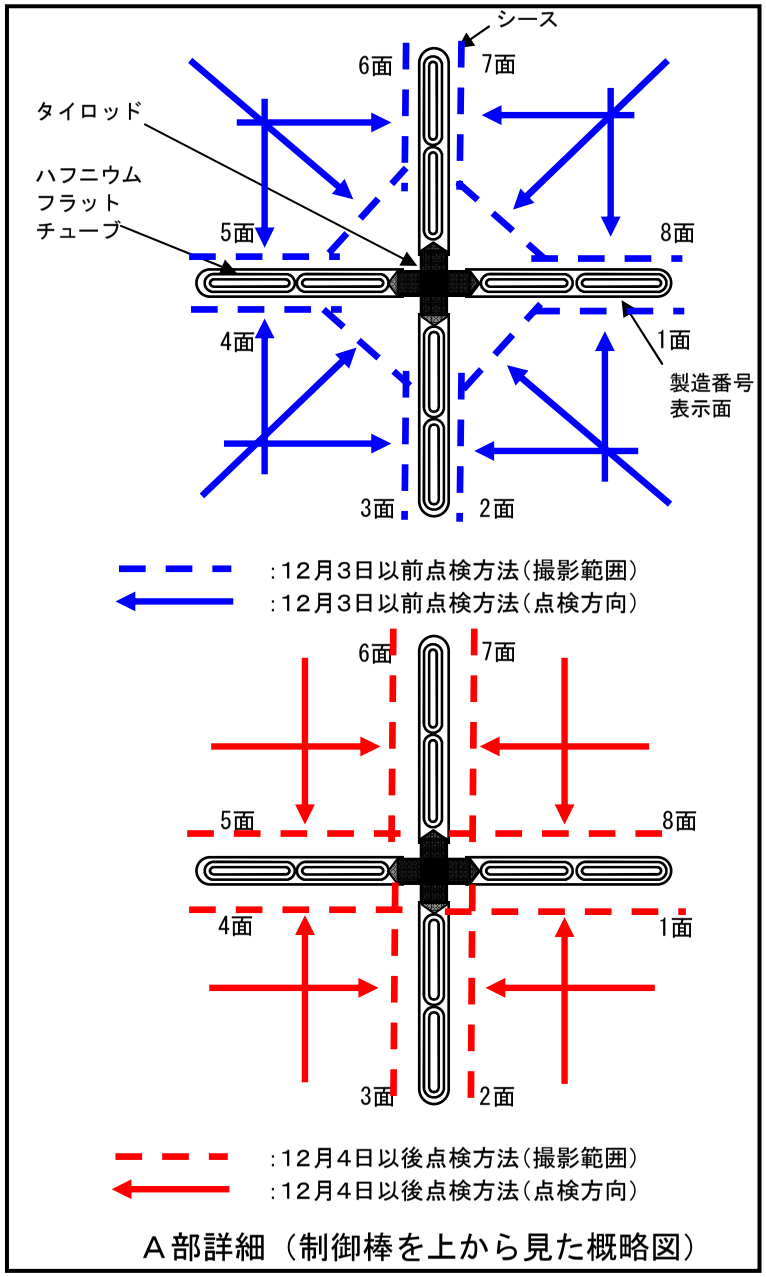
上下ハフニウムの重なり部の構造

ハフニウムフラットチューブ型制御棒鳥かん図（２／２）

ハフニウムフラットチューブ型制御棒の主要仕様

号機		柏崎刈羽原子力発電所７号機
種類		十字形
制御材		ハフニウムフラットチューブ
主要寸法	幅	２４９㎜
	全長	４０５０㎜
	シース長さ	３．６５６ｍ
	シース板厚	１．１４㎜
	有効長さ	３６３２㎜
	ブレード厚さ	８．３㎜
	質量	１００㎏
材質	ハンドル	ステンレス鋼（ＧＸＭ１）
	シース	ステンレス鋼（ＳＵＳ３１６Ｌ）
	タイロッド	ステンレス鋼（ＳＵＳ３１６Ｌ）
	ローラ	ニッケル基合金（ＷＰＭ）
	ピン	ステンレス鋼（ＡＳＴＭ　Ａ５８０　Ｓ２１８００（ナイトロニック　６０相当））
	アブソーバピン	ステンレス鋼（ＧＸＭ１），Ｈｆ





制御棒外観目視点検概要図（例）

ハフニウムフラットチューブ型制御棒点検結果

発電所号機	製造番号	熱中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	今回の点検状況※1 ひびの発生箇所※2 タイロッド	シース	ガイドローラ	装荷サイクル	炉内滞在期間（日）注3	製造時期	溶接方法	中越沖地震時の状態	C/F通水量注2	備考
K-7	HH-46-001	5.3	なし	なし	有り	Cy1～4※6	1544	1996年2月	TIG	使用済燃料プール	全量通水	
（N格子）注1	HH-46-002	5.1	なし	なし	有り							
	HH-46-003	5.4	なし	なし	有り							
	HH-46-004	5.1	有り	有り※4	有り							
	HH-46-005※5	5.2	有り	なし	なし							
	HH-46-006	5.0	なし	なし	有り							
	HH-46-007	5.1	なし	なし	有り							
	HH-46-008	4.1	有り	有り※4	なし	Cy1～9※6	3214			炉心内		
	HH-46-009	5.5	なし	なし	有り	Cy1～4※6	1544			使用済燃料プール		
	HH-46-010※5	5.6	なし	なし	有り							
	HH-46-011	5.3	なし	なし	有り							
	HH-46-012	3.5	なし	なし	有り							
	HH-46-013	5.2	なし	なし	なし							
	HH-46-014	4.1	有り	有り※3※4	有り	Cy1～9※6	3214			炉心内		
	HH-46-015	4.6	有り	有り※3※4	なし							
	HH-46-016	4.1	有り	有り※3※4	なし							
	HH-46-017	5.1	なし	有り※3	有り	Cy1～4※6	1544			使用済燃料プール		
	HH-46-018	5.1	なし	なし	なし							
	HH-46-019	4.9	なし	有り※3	有り							
	HH-46-020	5.5	なし	なし	有り							
	HH-46-021	5.0	有り	有り※4	有り							
	HH-46-022	5.3	有り	有り※4	有り							
	HH-46-023	5.3	有り	有り※4	有り							
	HH-46-024	5.0	有り	有り※4	有り							
	HH-46-025	5.1	なし	なし	有り			（25本）				
	HH-46-031	4.4	有り	有り※4	有り	Cy5～9※6	1669	2002年3月		炉心内		
	HH-46-032	4.4	有り	有り※4	有り							
	HH-46-033	4.1	有り	有り※4	有り	Cy5～7※6	1160			使用済燃料プール		
	HH-46-034	4.8	有り	有り※4	なし	Cy5～9※6	1669			炉心内		
	HH-46-035	4.3	有り	有り※4	なし	Cy5～7※6	1160			使用済燃料プール		
	HH-46-036	4.6	有り	有り※4	有り	Cy5～9※6	1669			炉心内		
	HH-46-037	4.8	有り	有り※3※4	有り							
	HH-46-038	4.7	有り	有り※4	有り							
	HH-46-039	4.6	有り	有り※4	有り							
	HH-46-040	4.9	有り	有り※3※4	なし							
	HH-46-041	4.3	有り	有り※4	なし							
	HH-46-042	4.9	有り	有り※4	なし							
	HH-46-043	4.6	有り	有り※4	有り							
	HH-46-044	4.8	有り	有り※4	有り							
	HH-46-045	4.8	有り	有り※4	有り							
	HH-46-046	4.5	有り	有り※4	有り							
	HH-46-047	4.2	有り	有り※3※4	有り	Cy5～7※6	1160			使用済燃料プール		
	HH-46-048	4.9	なし	なし	なし	Cy5～9※6	1669		レーザ	炉心内		
	HH-46-049	4.3	有り	有り※4	なし	Cy5～7※6	1160			使用済燃料プール		
	HH-46-050	4.3	なし	有り※3	有り	Cy5～9※6	1669			炉心内		
（計46本）	HH-46-051	4.4	なし	なし	有り			（21本）				

注1：炉心の格子の形状により、制御棒の設計寸法が変わり、腐食環境に影響する隙間環境が異なり、C格子プラントが最もハフニウムとシースの隙間が狭く、隙間腐食の発生感度が高い。

注2：C/F通水量によって炉水の水質環境が異なり、部分通水プラントの方が一般的に水質環境が悪い。

注3：並列～解列（1サイクルは営業運転開始～解列）

※1：2012年1月31日時点

※2：過去の点検で確認された（既知）以外のひびが確認された箇所

※3：ハンドル-シース溶接部近傍に，平成16年および平成18年に他プラントの点検で確認されたひびと同じ様相のひびが新たに確認された

※4：タブ溶接部のひびがシース部へ進展しているものが確認された

※5：「ハフニウム型制御棒の健全性」研究対象の制御棒

※6：装荷サイクルに対応する運転期間は、下表「別表　柏崎刈羽原子力発電所7号機　装荷サイクルと運転期間の対応表」を参照

※7：中越沖地震後に購入

別表　柏崎刈羽原子力発電所7号機　装荷サイクルと運転期間の対応表

装荷サイクル	装荷サイクルに対応した運転期間		
Cy1～4	（1997年7月	～	2002年4月）
Cy1～9	（1997年7月	～	2010年4月）
Cy5～7	（2002年7月	～	2006年8月）
Cy5～9	（2002年7月	～	2010年4月）
Cy8～10	（2006年12月	～	2011年8月）
Cy10	（2010年6月	～	2011年8月）

ハフニウムフラットチューブ型制御棒点検結果

発電所号機	製造番号	熱中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	今回の点検状況※1 ひびの発生箇所※2 タイロッド	シース	ガイドローラ	装荷サイクル	炉内滞在期間（日）注3	製造時期	溶接方法	中越沖地震時の状態	C/F通水量注2	備考
K-7	HH-46-027	2.8	なし	有り※3	有り	Cy8～10※6	930	1998年6月	TIG	炉心内	全量通水	
(N格子)注1	HH-46-028	3.1	なし	有り※3	有り							
	HH-46-029	3.1	なし	有り※3	有り							
	HH-46-030	3.1	なし	有り※3	有り			（4本）				
	HH-46-052	1.1	なし	なし	なし	Cy10※6	420	2008年4月	レーザ	※7		
	HH-46-056	0.8	なし	なし	なし			2008年6月				
	HH-46-057	1.2	なし	なし	有り							
	HH-46-058	1.4	なし	なし	なし							
	HH-46-059	1.1	なし	なし	なし							
	HH-46-060	1.4	なし	なし	有り							
	HH-46-061	0.0	なし	なし	なし							
	HH-46-062	1.3	なし	なし	なし							
	HH-46-063	0.0	なし	なし	なし							
	HH-46-064	1.4	なし	なし	有り							
	HH-46-065	1.3	なし	なし	有り							
	HH-46-066	1.0	なし	なし	なし							
	HH-46-067	1.2	なし	なし	なし							
	HH-46-068	1.4	なし	なし	有り							
	HH-46-069	0.1	なし	なし	なし							
	HH-46-070	1.1	なし	なし	有り							
	HH-46-071	1.4	なし	なし	有り							
	HH-46-072	0.0	なし	なし	なし							
	HH-46-073	1.4	なし	なし	有り							
	HH-46-074	1.1	なし	なし	なし							
（計25本）	HH-46-075	1.2	なし	なし	なし			（20本）				

注1：炉心の格子の形状により、制御棒の設計寸法が変わり、腐食環境に影響する隙間環境が異なり、C格子プラントが最もハフニウムとシースの隙間が狭く、隙間腐食の発生感度が高い。
注2：C/F通水量によって炉水の水質環境が異なり、部分通水プラントの方が一般的に水質環境が悪い。
注3：並列～解列（1サイクルは営業運転開始～解列）

※1：2012年1月31日時点
※2：過去の点検で確認された（既知）以外のひびが確認された箇所
※3：ハンドルーシース溶接部近傍に，平成16年および平成18年に他プラントの点検で確認されたひびと同じ様相のひびが新たに確認された
※4：タブ溶接部のひびがシース部へ進展しているものが確認された
※5：「ハフニウム型制御棒の健全性」研究対象の制御棒
※6：装荷サイクルに対応する運転期間は、下表「別表 柏崎刈羽原子力発電所7号機 装荷サイクルと運転期間の対応表」を参照
※7：中越沖地震後に購入

別表 柏崎刈羽原子力発電所7号機 装荷サイクルと運転期間の対応表

装荷サイクル	装荷サイクルに対応した運転期間		
Cy1～4	（1997年7月	～	2002年4月）
Cy1～9	（1997年7月	～	2010年4月）
Cy5～7	（2002年7月	～	2006年8月）
Cy5～9	（2002年7月	～	2010年4月）
Cy8～10	（2006年12月	～	2011年8月）
Cy10	（2010年6月	～	2011年8月）

ハフニウムフラットチューブ型制御棒点検結果

発電所号機	製造番号	熱中性子照射量 ($\times 10^{25}$n/m^2)	今回の点検状況※1 ひびの発生箇所※2 タイロッド	シース	ガイドローラ	装荷サイクル	炉内滞在期間(日) 注3	製造時期	溶接方法	中越沖地震時の状態	C/F通水量 注2	備考
1F-1	HF-05-001	1.5	なし	なし	なし	Cy21～22	791	2001年9月	レーザ	－	部分通水	
(D格子) 注1	HF-05-002	2.2	なし	なし	なし	(2001年11月～2006年12月)						
	HF-05-003	2.2	なし	なし	なし							
	HF-05-004	2.2	なし	なし	なし							
	HF-05-005	2.2	なし	なし	なし							
	HF-05-006	2.5	なし	なし	なし							
	HF-05-007	1.5	なし	なし	なし							
	HF-05-008	1.5	なし	なし	なし							
(計9本)	HF-05-009	1.6	なし	なし	なし			(9本)				
1F-4	HF-11-001	2.2	なし	有り※3	なし	Cy20～21	665	2003年1月	レーザ	－	部分通水	
(D格子) 注1	HF-11-002	2.5	なし	なし	なし	(2004年3月～2007年2月)						
	HF-11-003	2.5	なし	なし	なし							
	HF-11-004	2.2	なし	有り※3	なし							
	HF-11-005	2.2	なし	有り※3	なし							
	HF-11-006	1.9	なし	有り※3	なし							
	HF-11-007	2.5	なし	有り※3	なし							
(計8本)	HF-11-008	2.0	なし	有り※3	なし			(8本)				
2F-2	HF-20-001	2.9	なし	なし	なし	Cy15～17	883	2002年5月	レーザ	－	全量通水	
(C格子) 注1	HF-20-002	2.9	なし	なし	なし	(2002年7月～2007年4月)						
	HF-20-003	2.9	なし	なし	なし							
(計4本)	HF-20-004	2.9	なし	なし	なし			(4本)				
K-4	HF-41-001	0.7	なし	なし	なし	Cy10	213	2006年4月	レーザ	炉心内	全量通水	
(S格子) 注1	HF-41-002	0.7	なし	なし	なし	(2006年12月～2007年7月)						
	HF-41-003	0.7	なし	なし	なし							
(計4本)	HF-41-004	0.7	なし	なし	なし			(4本)				
K-5	HF-30-001	3.8	なし	なし	なし	Cy10～12	1209	2001年12月	レーザ	使用済燃料プール	全量通水	
(S格子) 注1	HF-30-002	3.6	なし	なし	なし	(2002年2月～2006年11月)						
	HF-30-003	3.8	なし	なし	なし							
(計4本)	HF-30-004	3.8	なし	なし	なし			(4本)				

注1：炉心の格子の形状により、制御棒の設計寸法が変わり、腐食環境に影響する隙間環境が異なり、C格子プラントが最もハフニウムとシースの隙間が狭く、隙間腐食の発生感度が高い。

注2：C/F通水量によって炉水の水質環境が異なり、部分通水プラントの方が一般的に水質環境が悪い。

注3：並列～解列(1サイクルは営業運転開始～解列)

※1：2012年1月31日時点

※2：過去の点検で確認された(既知)以外のひびが確認された箇所

※3：ハンドルーシース溶接部近傍に，平成16年および平成18年に他プラントの点検で確認されたひびと同じ様相のひびが新たに確認された

※4：タブ溶接部のひびがシース部へ進展しているものが確認された

※5：「ハフニウム型制御棒の健全性」研究対象の制御棒

※6：装荷サイクルに対応する運転期間は、下表 「別表 柏崎刈羽原子力発電所7号機 装荷サイクルと運転期間の対応表」を参照

※7：中越沖地震後に購入

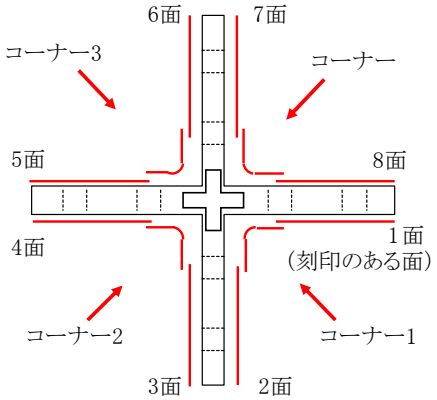
別表 柏崎刈羽原子力発電所7号機 装荷サイクルと運転期間の対応表

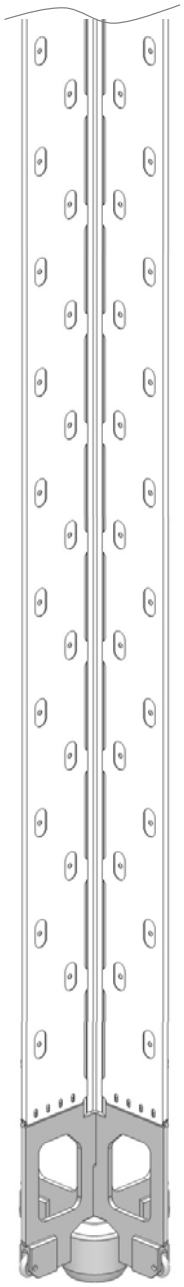
装荷サイクル	装荷サイクルに対応した運転期間		
Cy1～4	(1997年7月	～	2002年4月)
Cy1～9	(1997年7月	～	2010年4月)
Cy5～7	(2002年7月	～	2006年8月)
Cy5～9	(2002年7月	～	2010年4月)
Cy8～10	(2006年12月	～	2011年8月)
Cy10	(2010年6月	～	2011年8月)

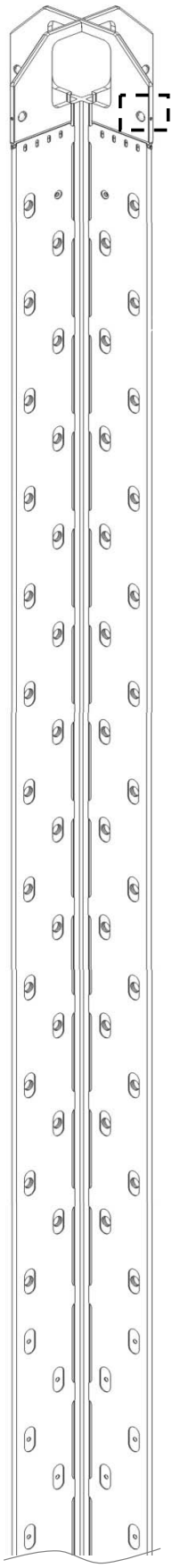
ひびの状況（代表例）

ひびの状況(代表例)

製造番号	機械加工／溶接方法	ひびの状況		備　考
HH-46-001	エンドミル／TIG(一定)	ガイドローラ部	あり	ガイドローラ部のみ
		ハンドル／シース部	なし	
		シース／タイロッド部	なし	
HH-46-005	エンドミル／TIG(一定)	ガイドローラ部	なし	最初に確認されたタイロッドのひび
		ハンドル／シース部	なし	
		シース／タイロッド部	14タブ	
HH-46-008	エンドミル／TIG(一定)	ガイドローラ部	なし	7タブの4面のひびが最長長さ(片翼:43mm)
		ハンドル／シース部	なし	
		シース／タイロッド部	3，4，7，8，9タブ	
HH-46-016	エンドミル／TIG(一定)	ガイドローラ部	なし	最初に確認された複数(2タブ)のシース／タイロッド溶接部近傍のひび ハンドル／シース部ひびあり
		ハンドル／シース部	あり	
		シース／タイロッド部	10，12タブ	
HH-46-031	プレーナ／TIG(パルス)	ガイドローラ部	あり	複数(12タブ)のシース／タイロッド溶接部近傍のひび
		ハンドル／シース部	なし	
		シース／タイロッド部	4～15タブ	
HH-46-033	プレーナ／TIG(パルス)	ガイドローラ部	あり	複数(13タブ)のシース／タイロッド溶接部近傍のひび 最上部位置
		ハンドル／シース部	なし	
		シース／タイロッド部	2～15タブ(12タブなし)	
HH-46-037	プレーナ／TIG(パルス)	ガイドローラ部	あり	複数(14タブ)のシース／タイロッド溶接部近傍のひび 最下部位置 ハンドル／シース部ひびあり
		ハンドル／シース部	あり	
		シース／タイロッド部	3～16タブ	
HH-46-042	プレーナ／TIG(パルス)	ガイドローラ部	なし	最上部位置(2タブ)から最下部位置(16タブ)に確認された複数のシース／タイロッド溶接部近傍のひび
		ハンドル／シース部	なし	
		シース／タイロッド部	2～16タブ(15タブなし)	
HH-46-049	プレーナ／レーザ	ガイドローラ部	なし	レーザ溶接施行品
		ハンドル／シース部	なし	
		シース／タイロッド部	14，15タブ	

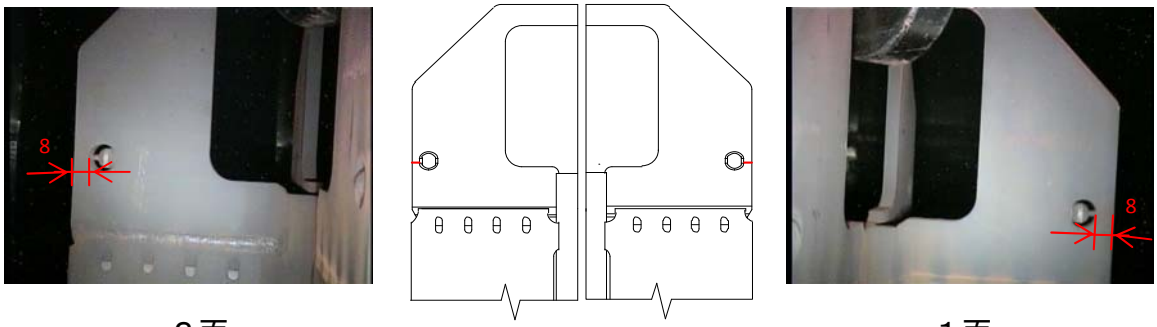




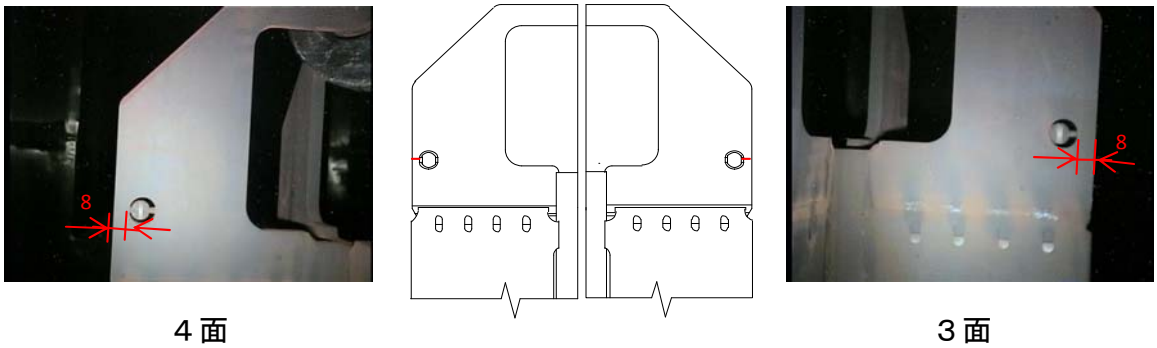




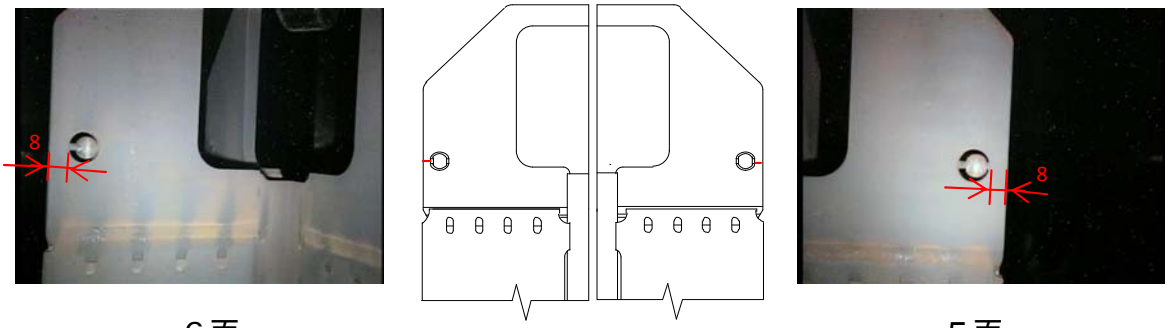
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－001）（1／2）



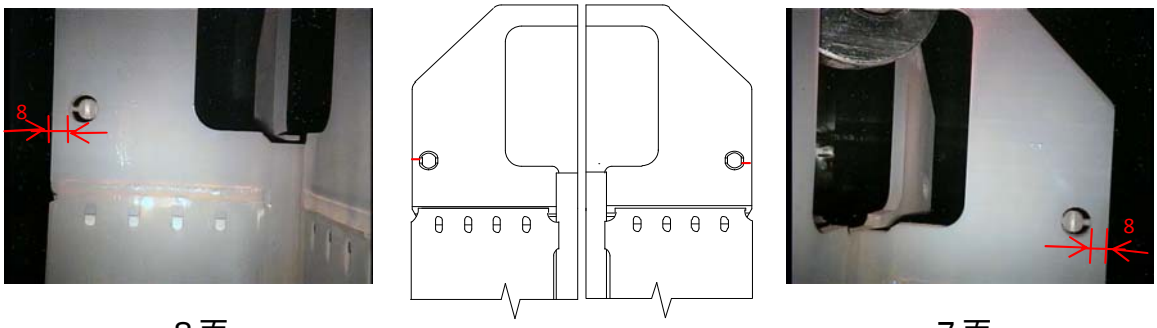
２面　　１面



４面　　３面



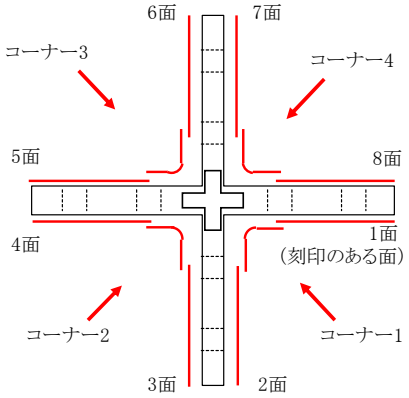
６面　　５面

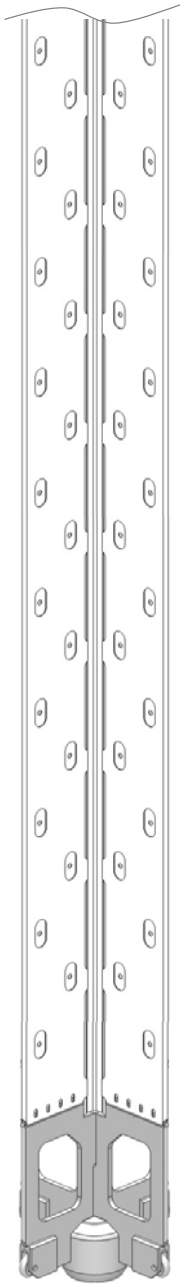


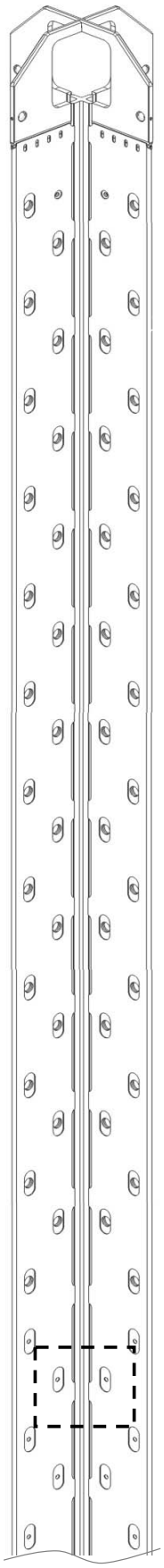
８面　　７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－001）（2／2）



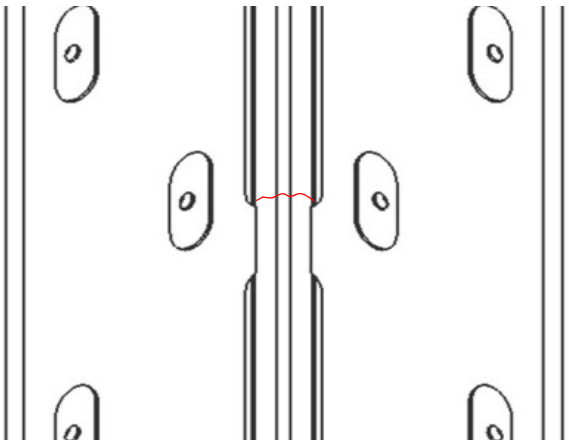


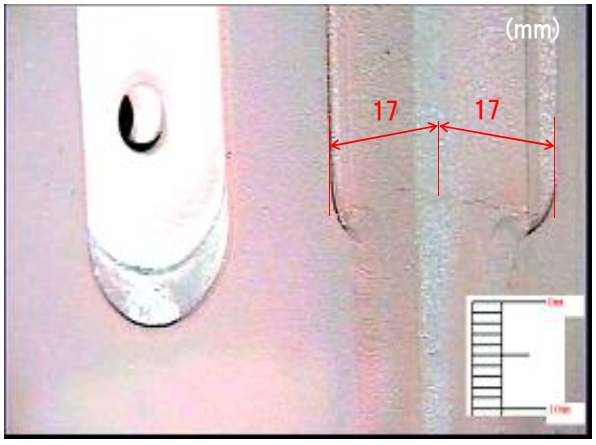


14タブ

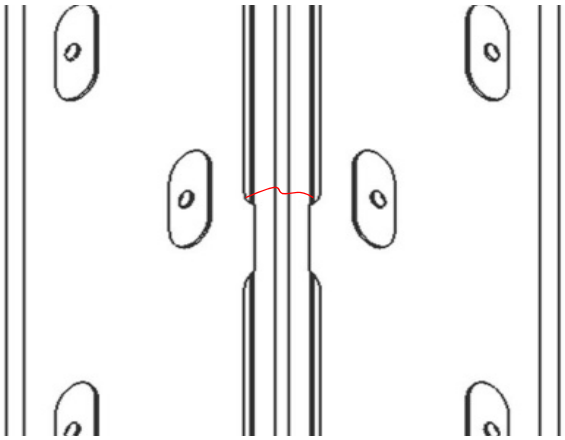
ひび有り位置

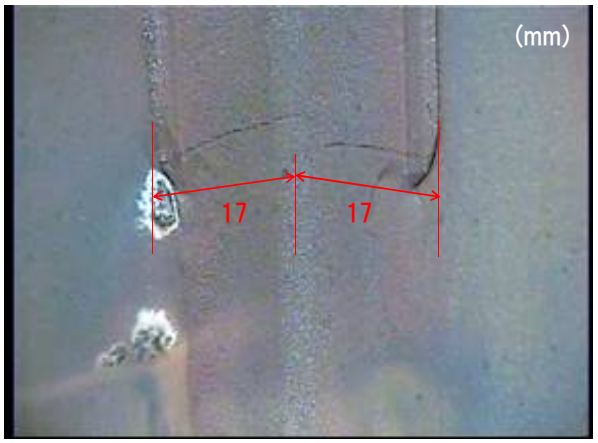
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－005）（1／3）



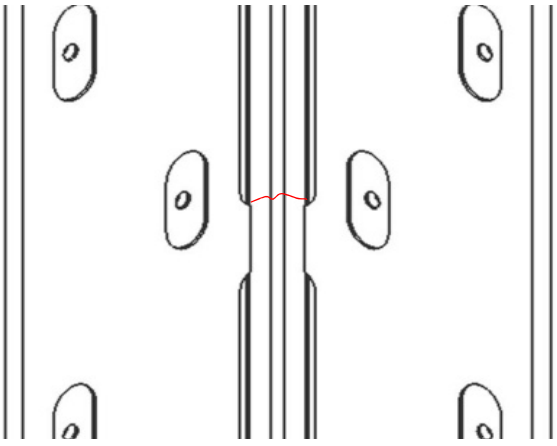


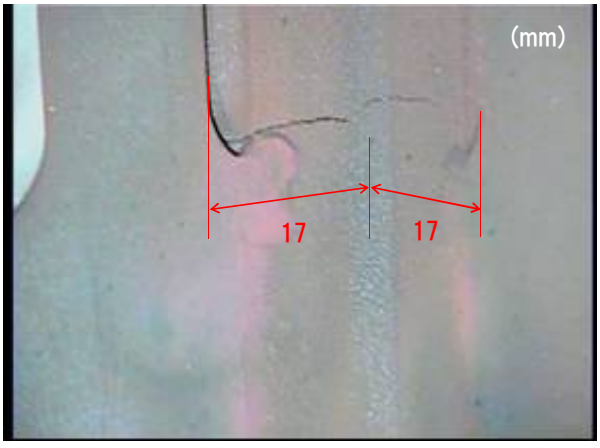
コーナー　１　　１４　タブ





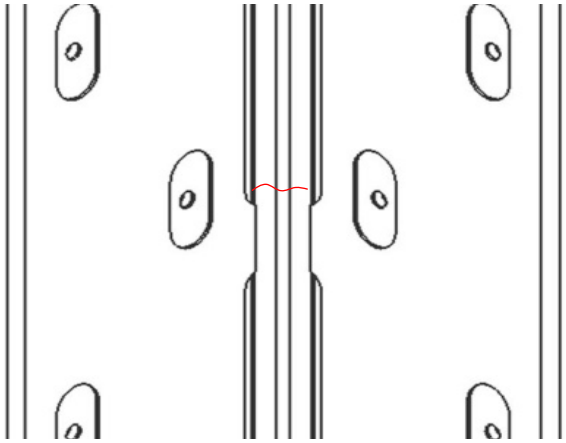
コーナー　２　　１４　タブ

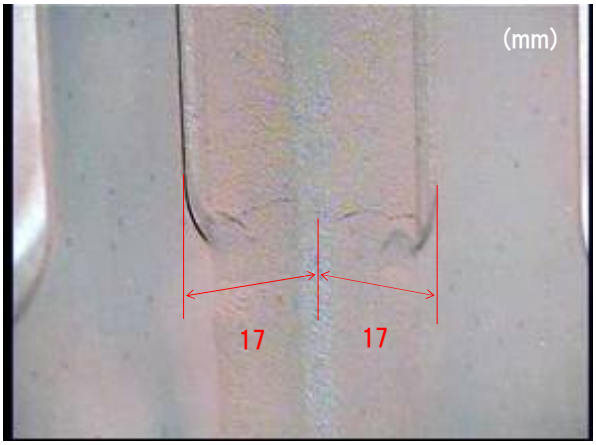




コーナー　３　　１４　タブ

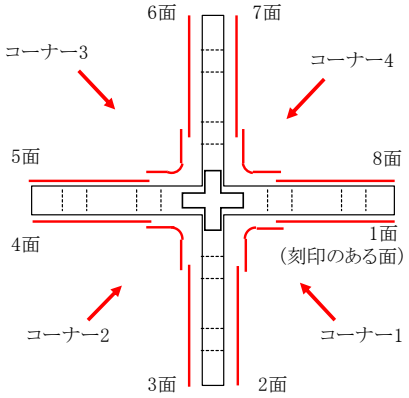
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－005）（2／3）

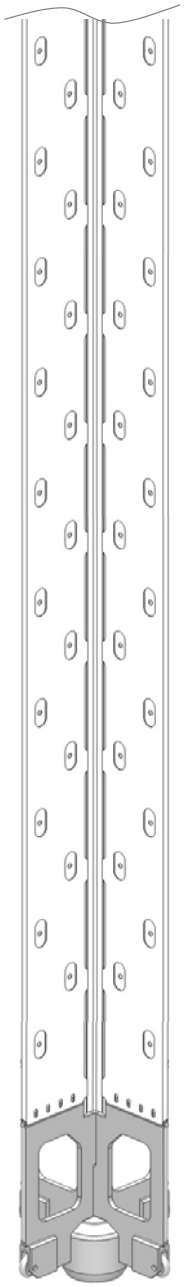


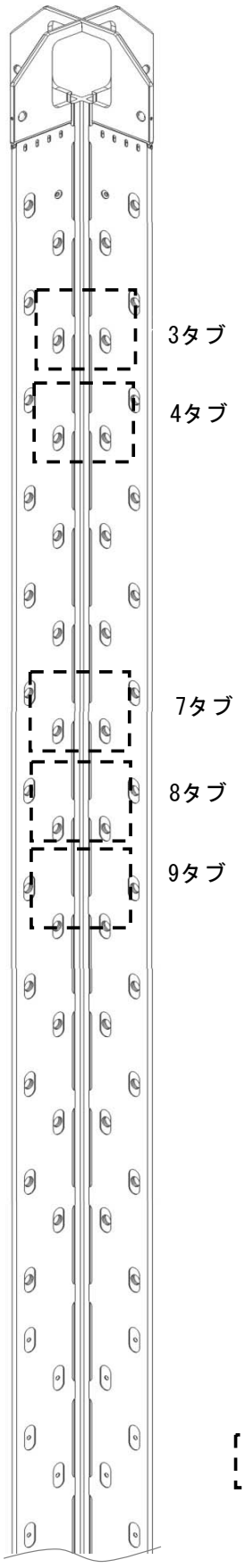


コーナー　4　　14　タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－005）（3／3）

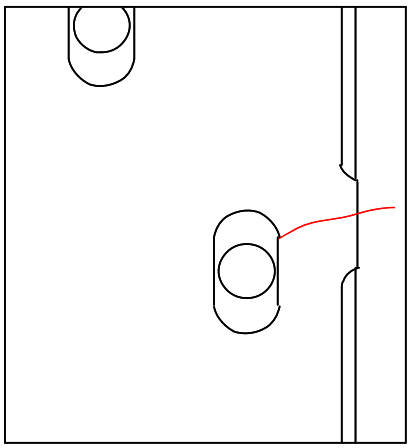


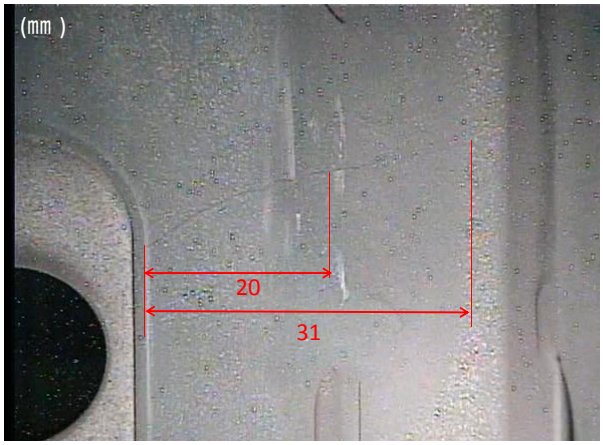




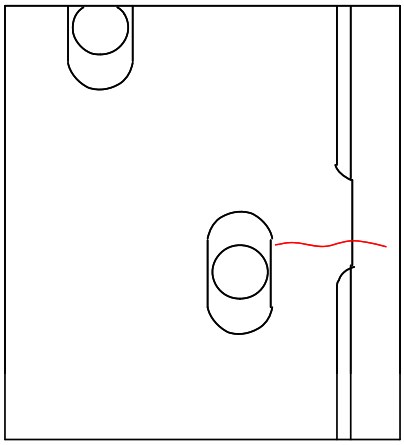
ひび有り位置

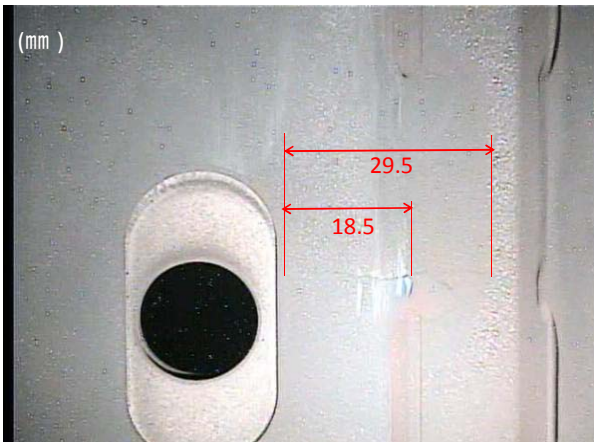
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－008）（1／4）



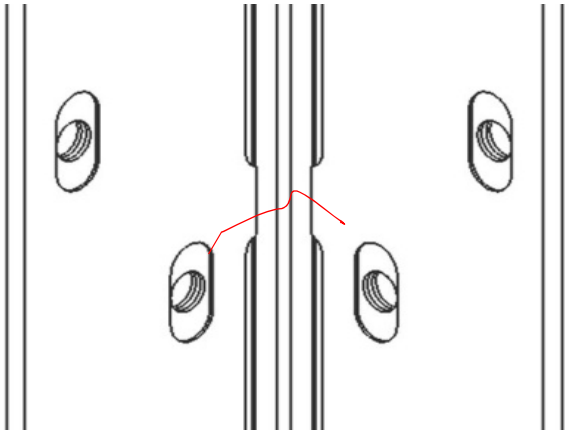


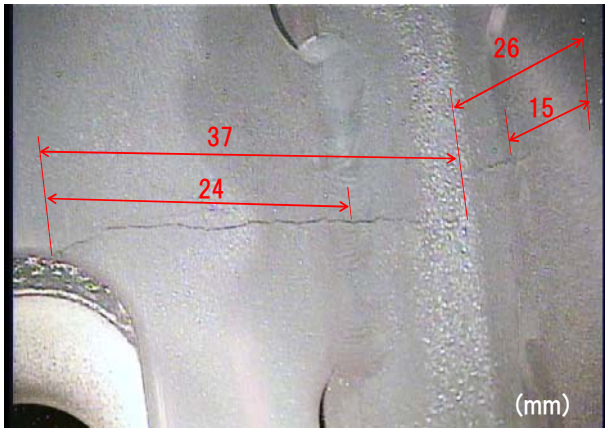
コーナー４　８面　３タブ





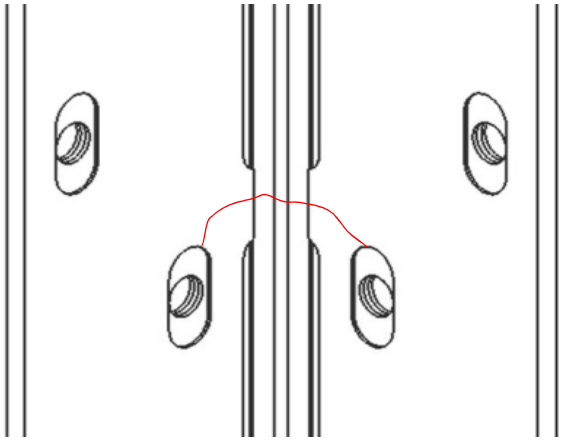
コーナー４　８面　４タブ

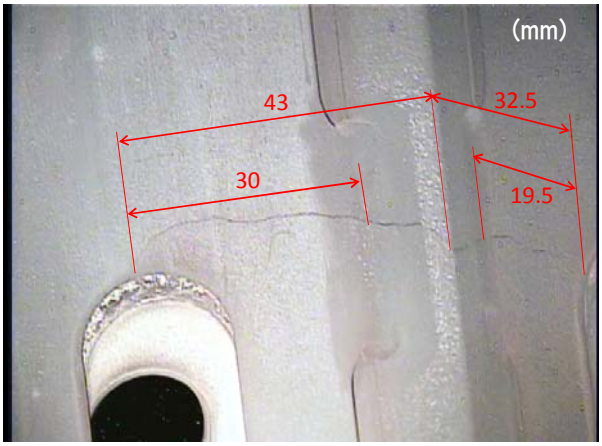




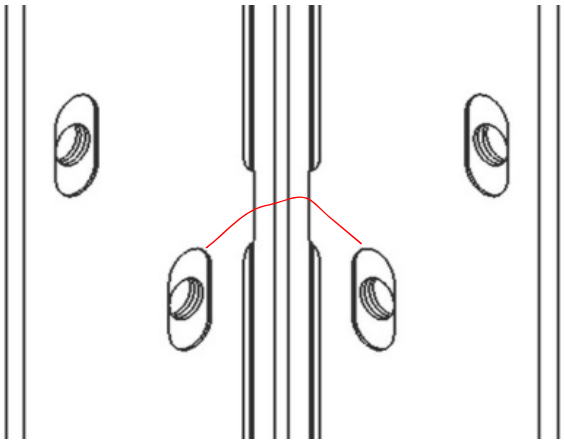
コーナー1　　7タブ

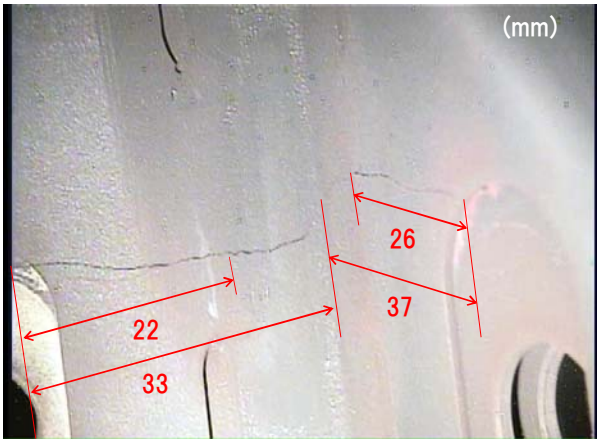
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況（製造番号：HH－46－008）（2／4）



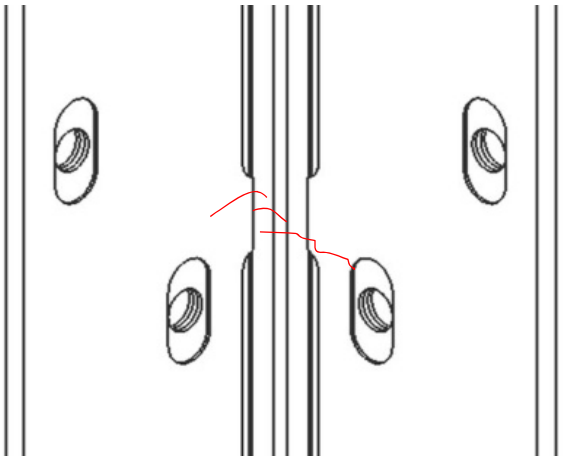


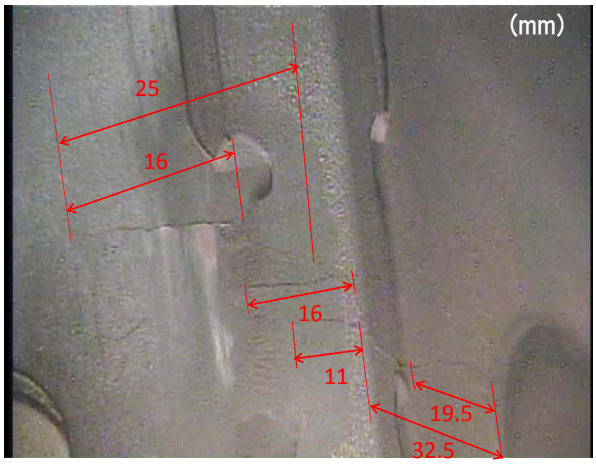
コーナー2　　7タブ





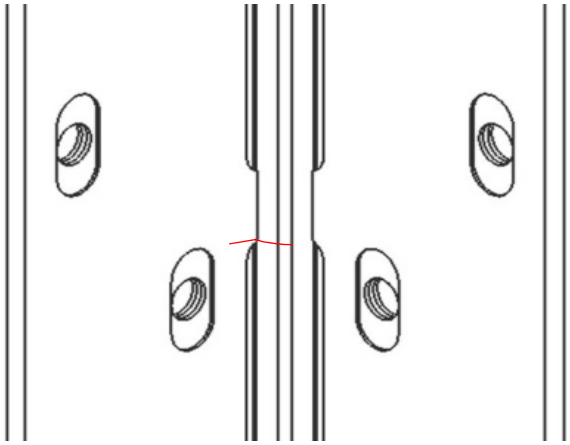
コーナー3　　7タブ

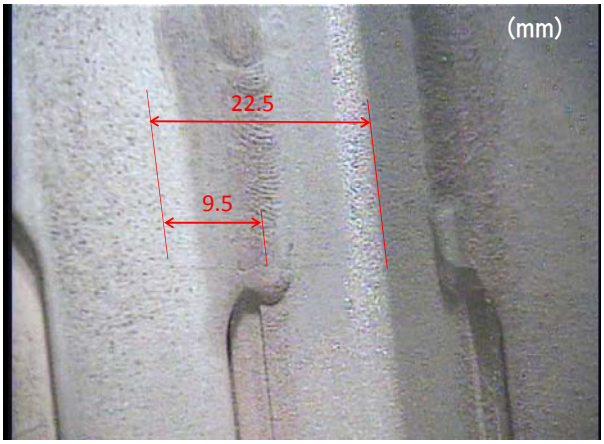




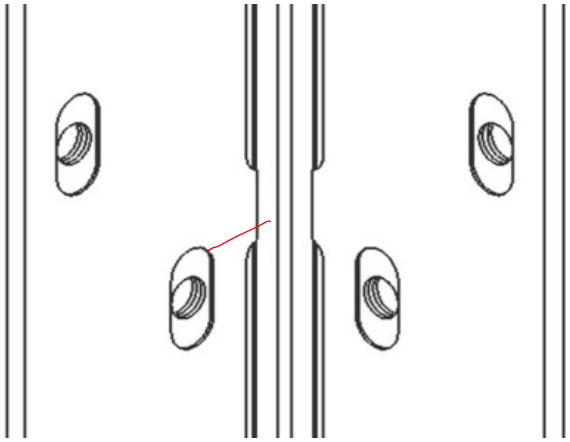
コーナー4　　7タブ

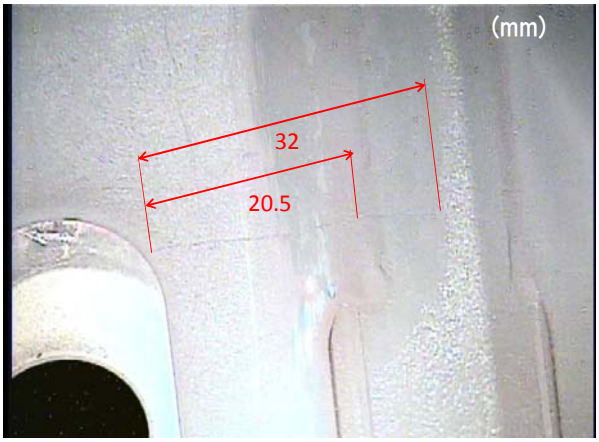
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－008）（3／4）





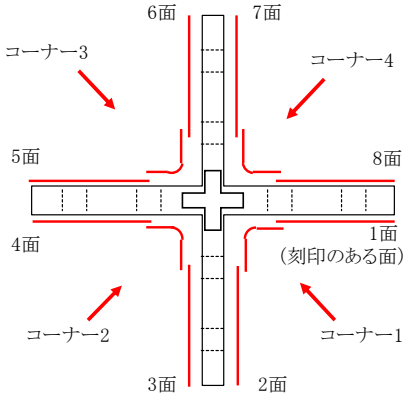
コーナー2　　8タブ

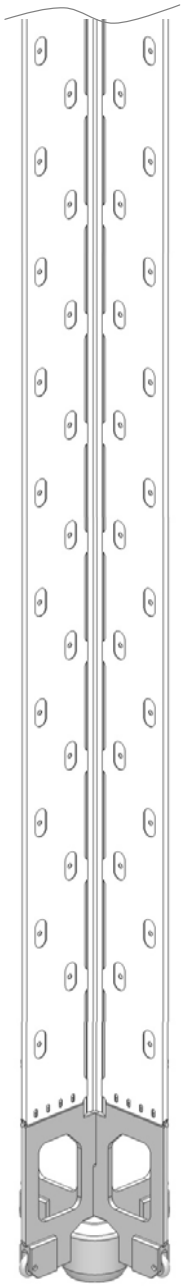


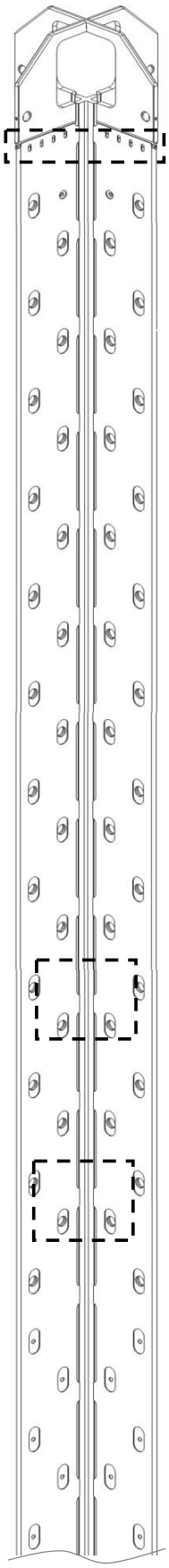


コーナー4　　9タブ

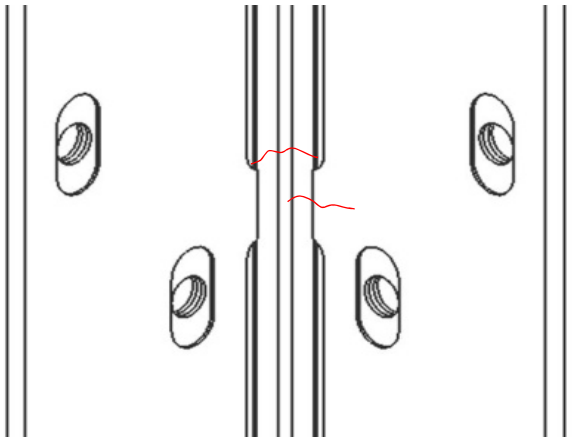
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－008）（4／4）

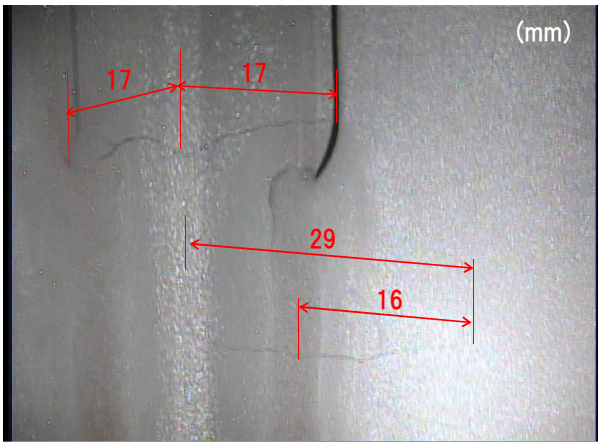




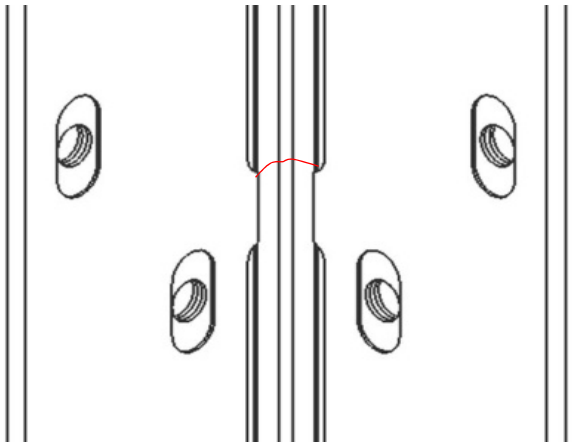


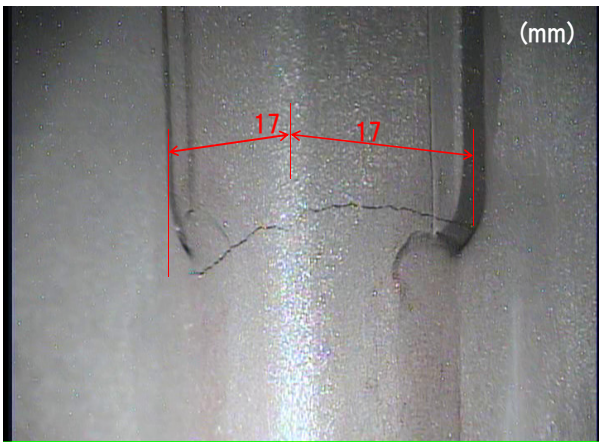
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－016）（1／5）



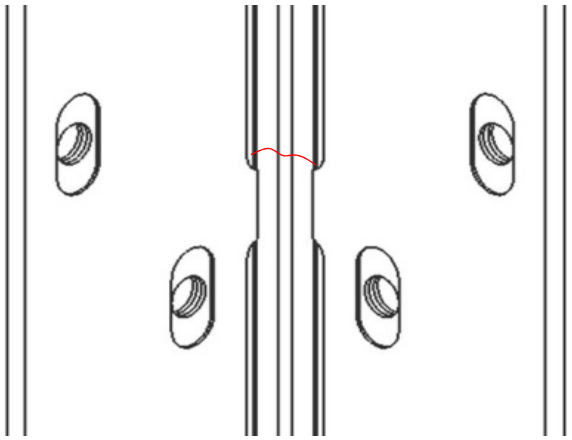


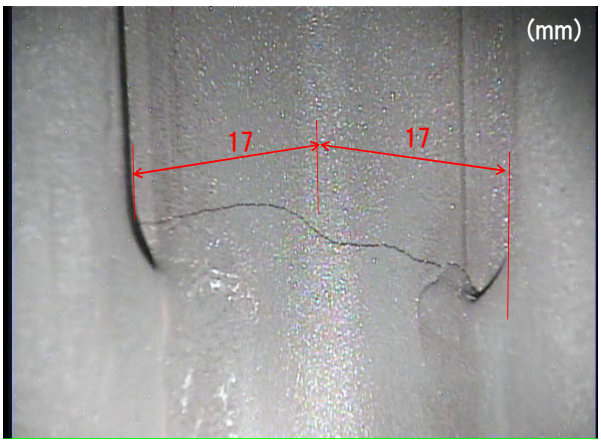
コーナー1　10タブ





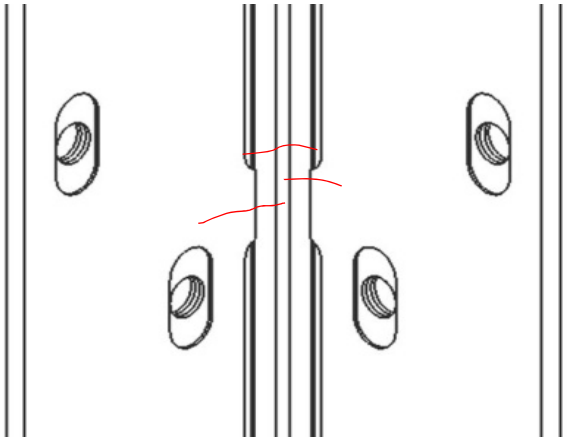
コーナー2　10タブ

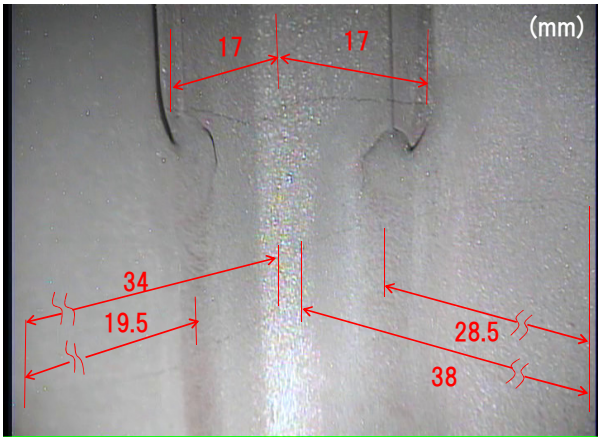




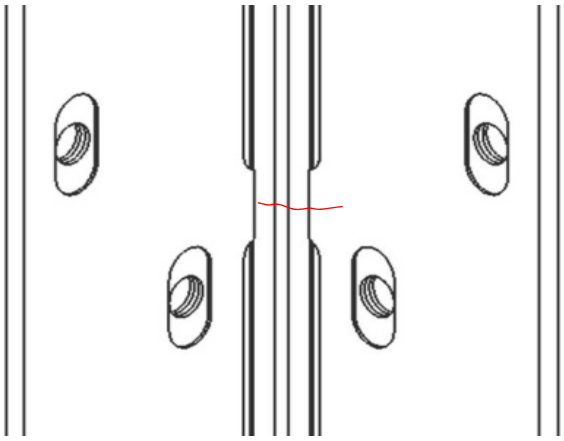
コーナー3　10タブ

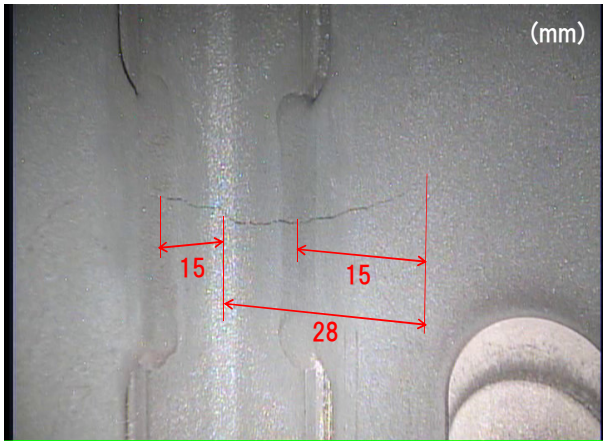
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－016）（2／5）



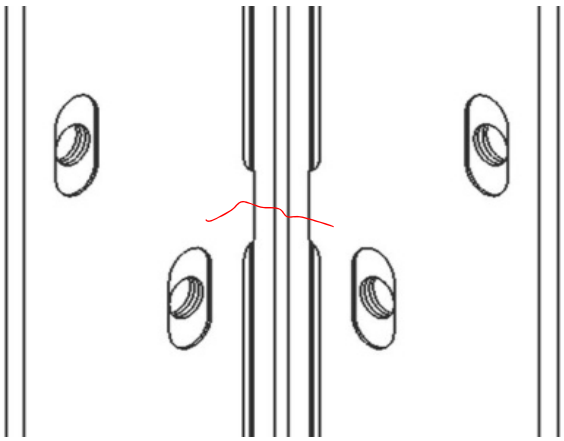


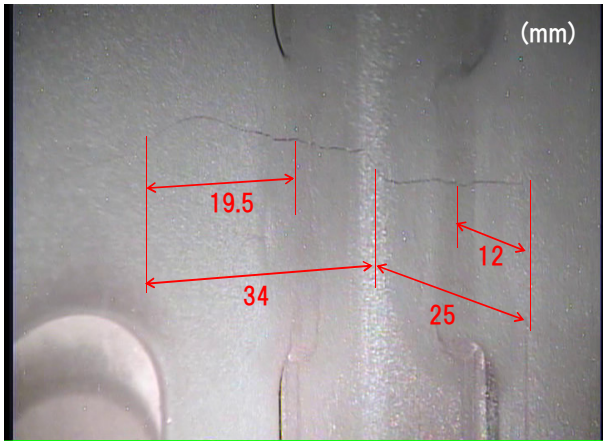
コーナー4　10タブ





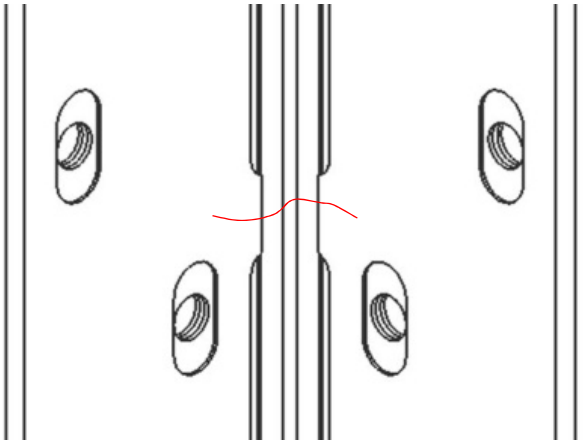
コーナー1　12タブ

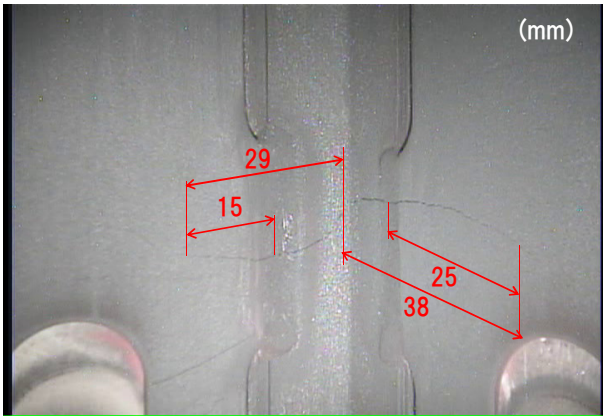




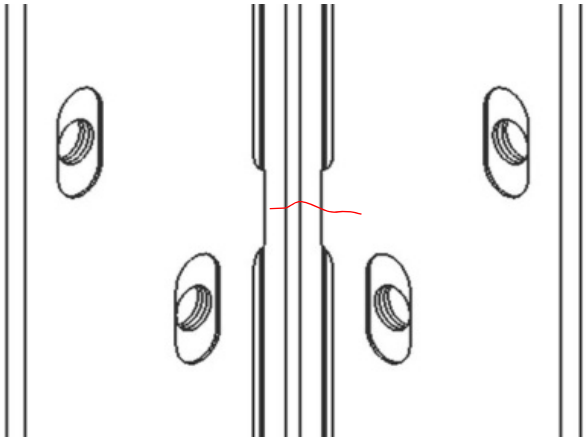
コーナー2　12タブ

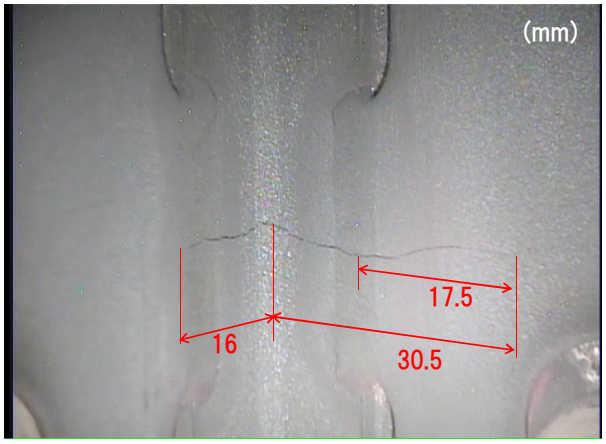
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－016）（3／5）





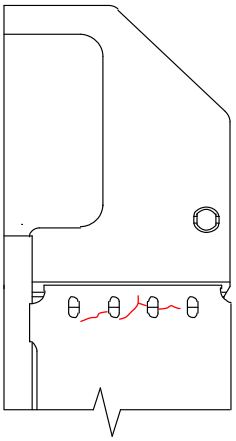
コーナー3　　12タブ

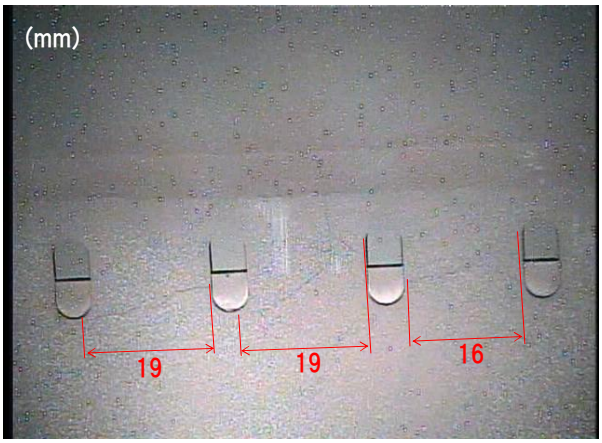




コーナー4　　12タブ

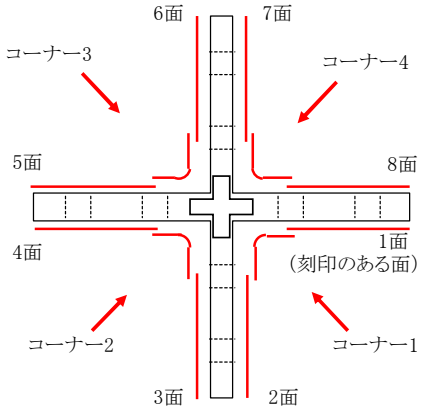
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－016）（4／5）

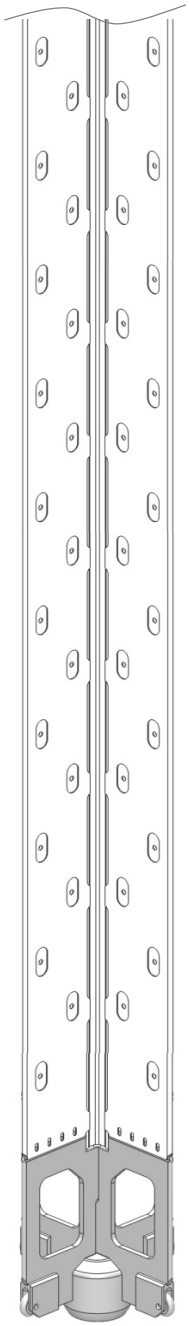


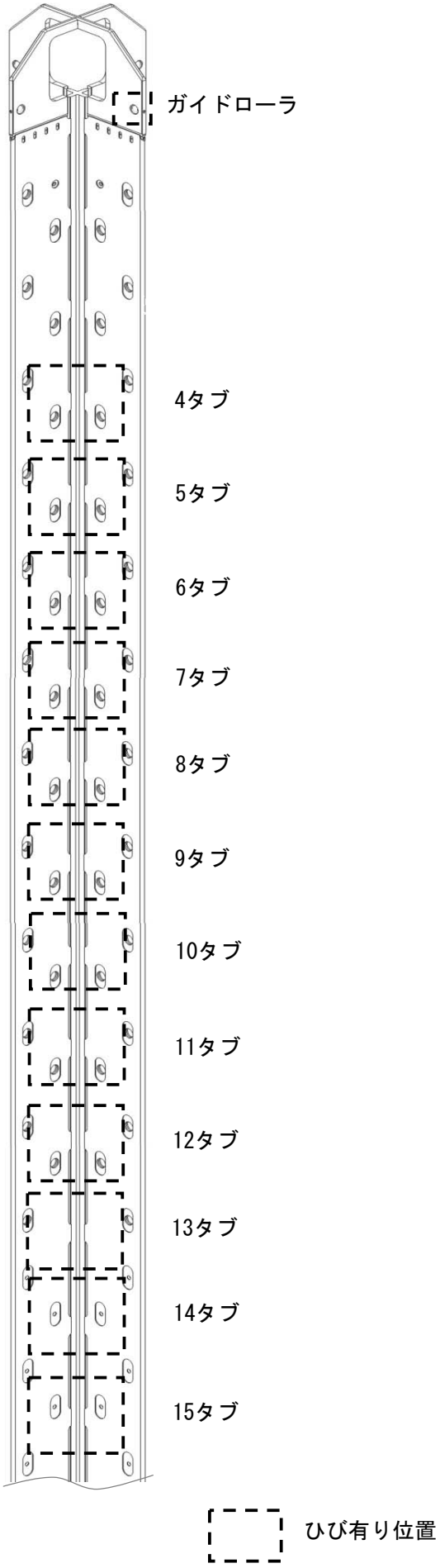


５面

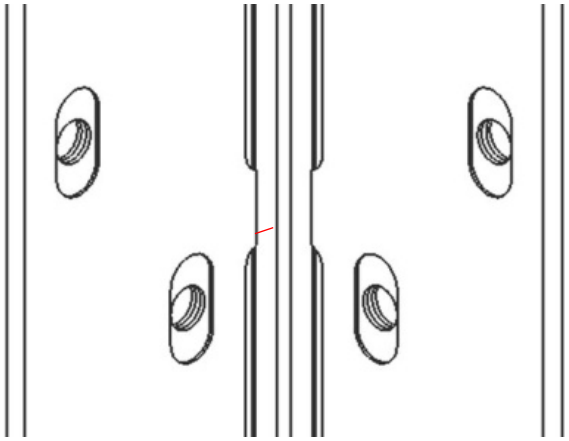
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－016）（5／5）

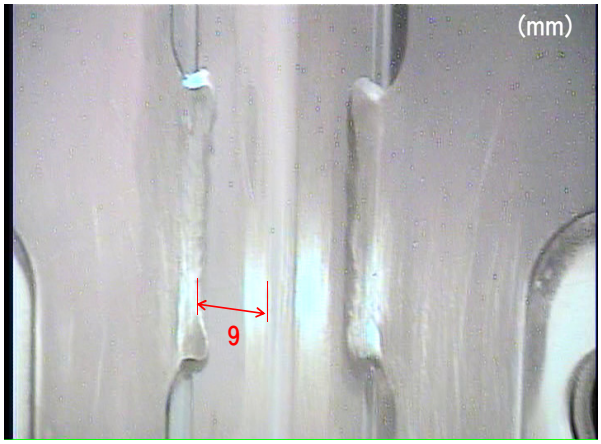




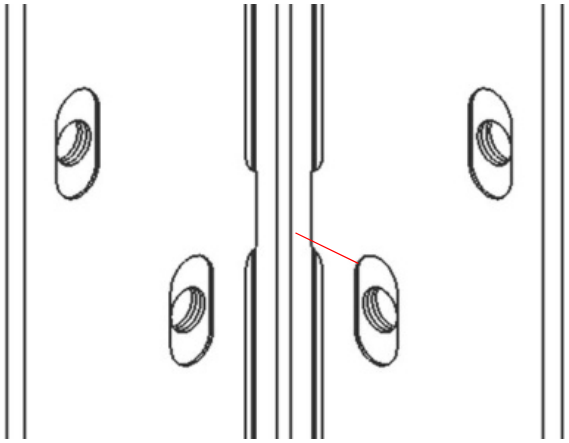


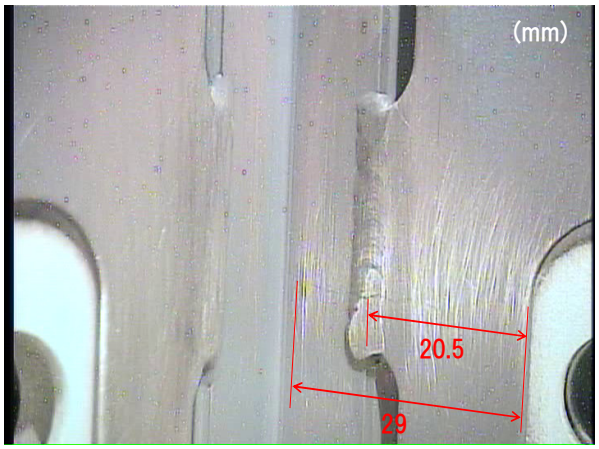
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（1／15）



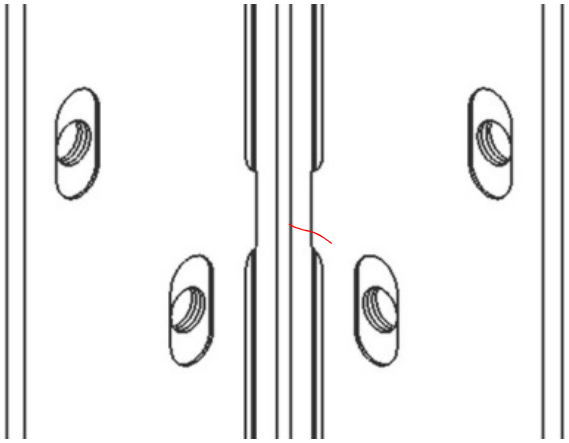


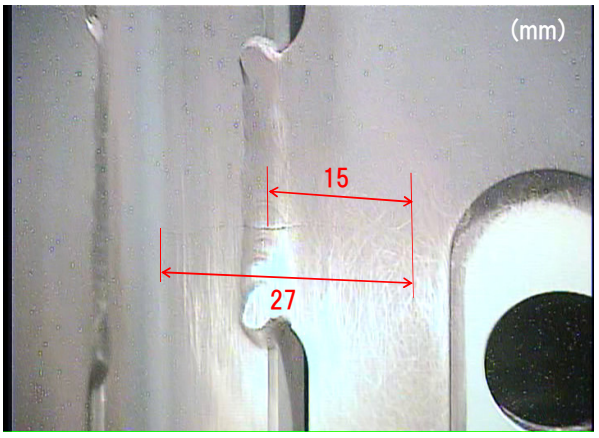
コーナー2　4タブ





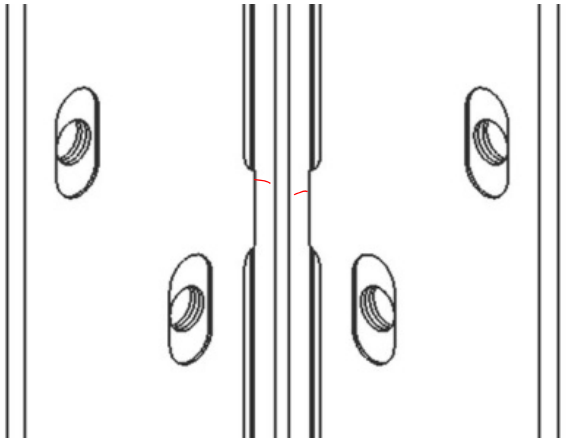
コーナー3　4タブ

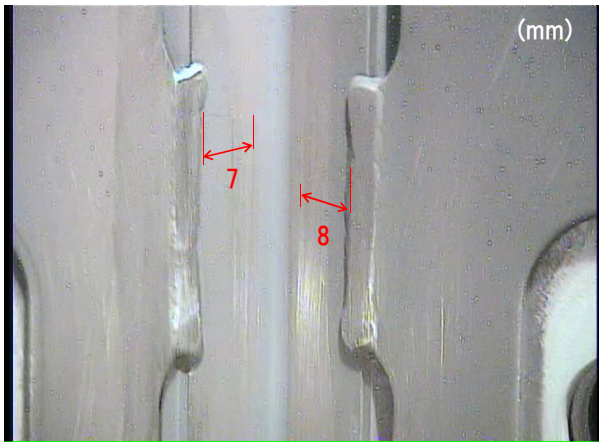




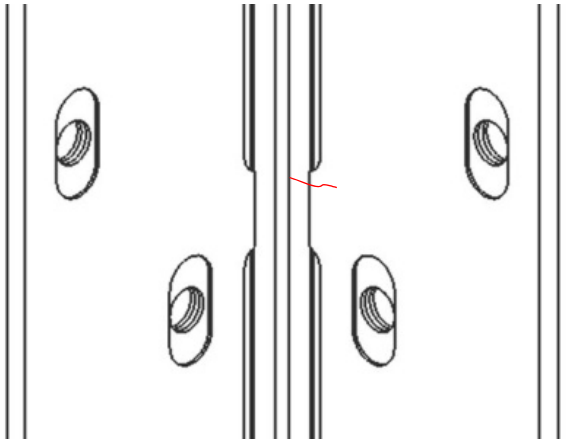
コーナー1　5タブ

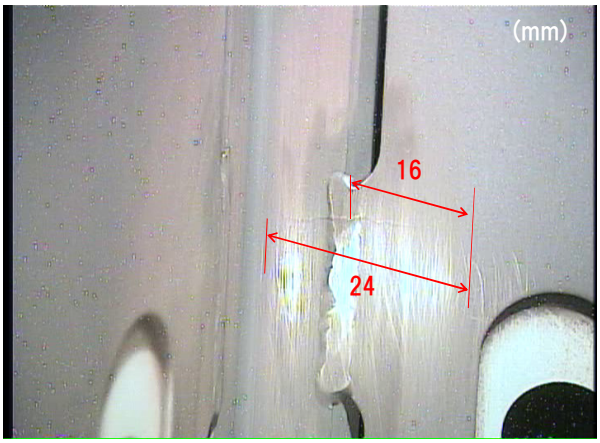
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（2／15）



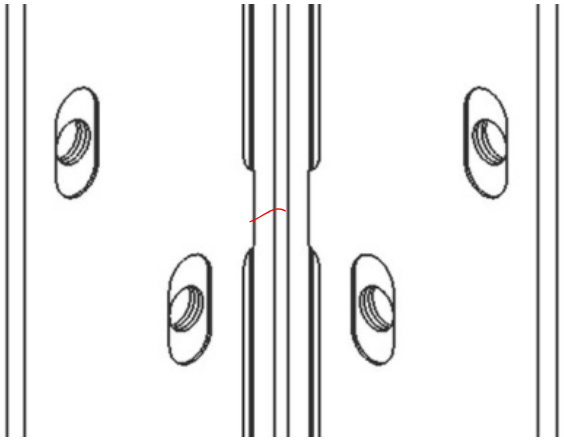


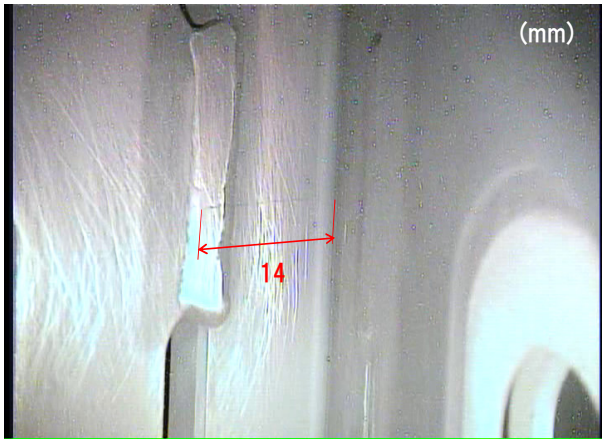
コーナー2　5タブ





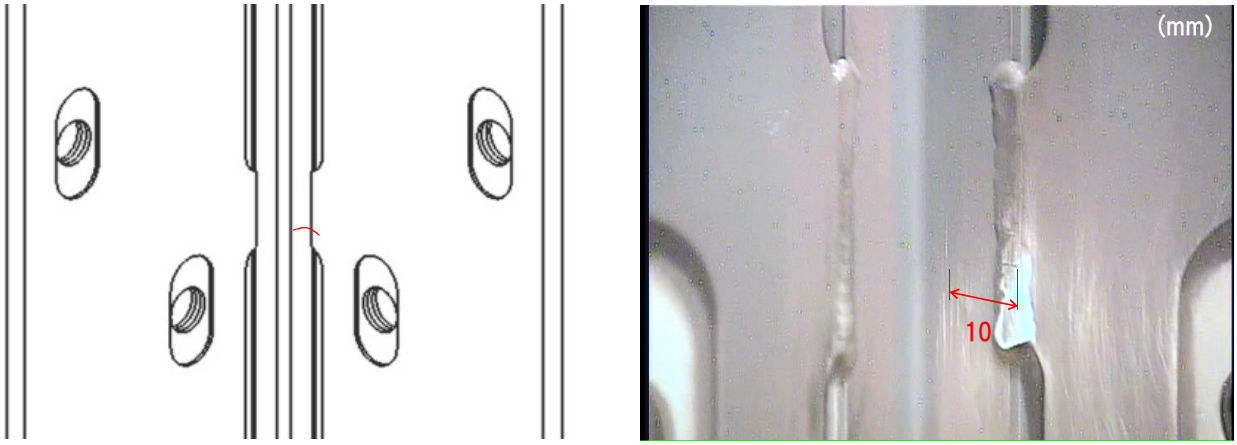
コーナー3　5タブ



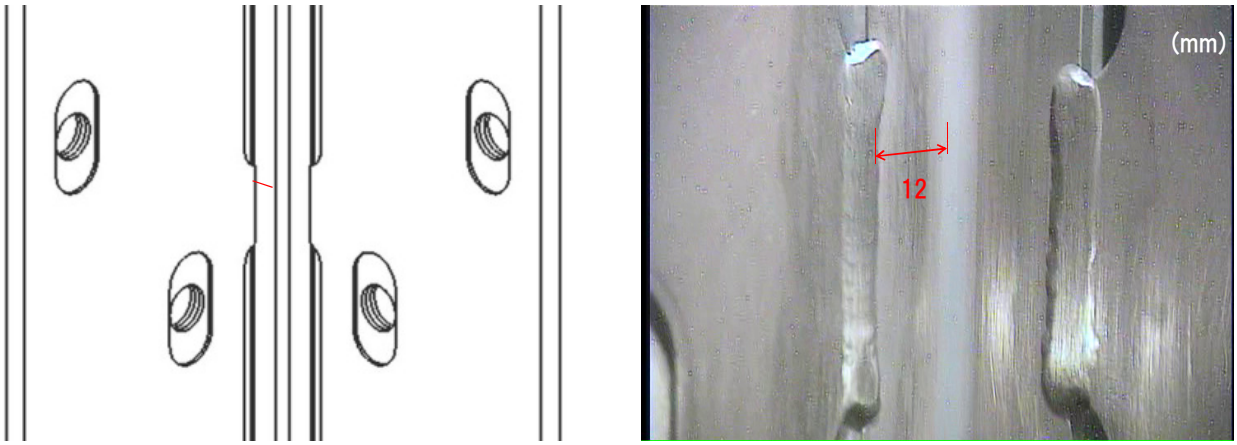


コーナー4　タブ５

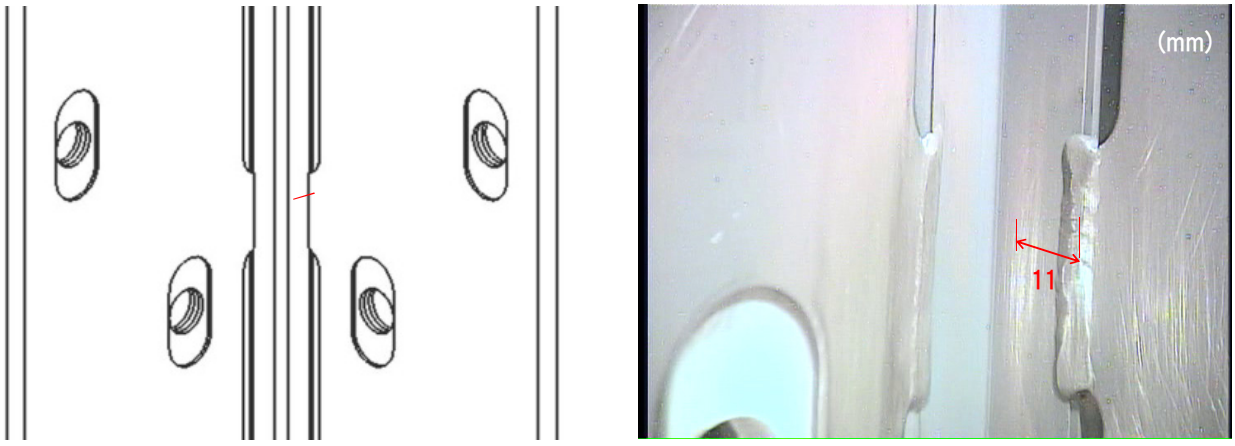
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（3／15）



コーナー1　6タブ

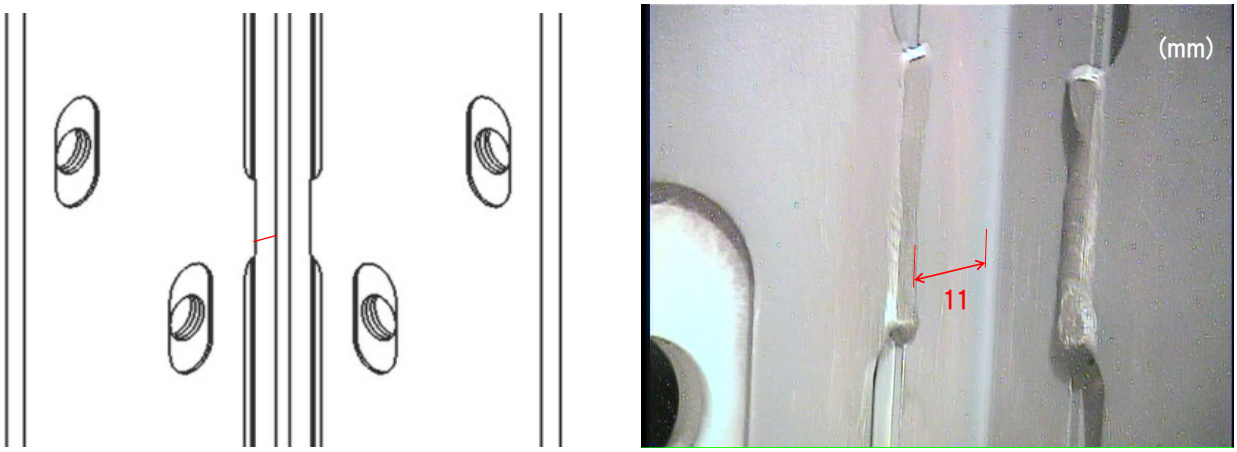


コーナー2　6タブ

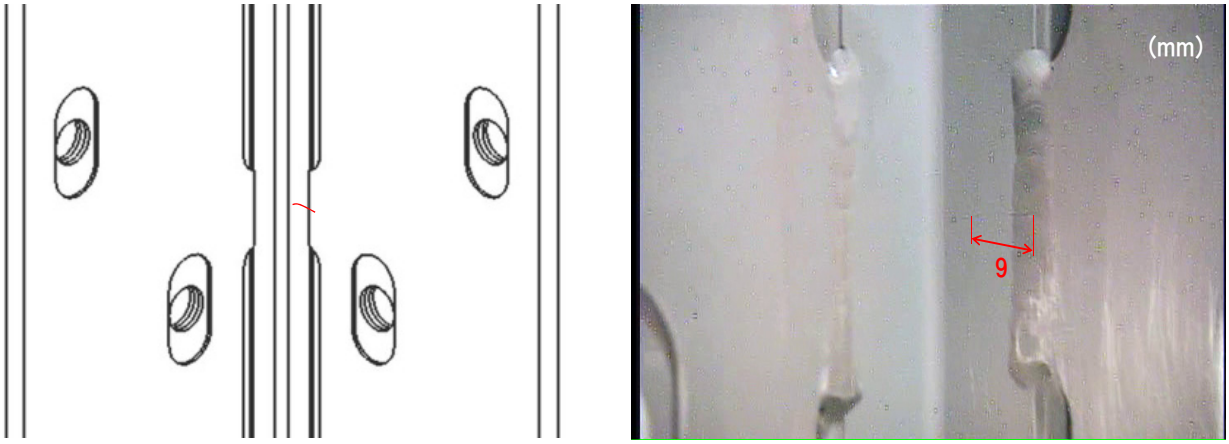


コーナー　3　　6タブ

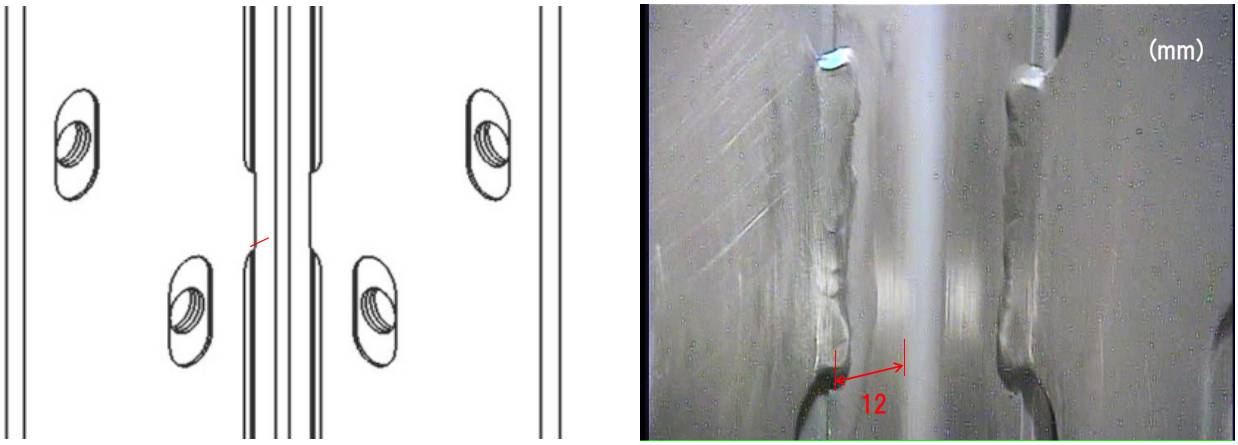
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（4／15）



コーナー4　6タブ

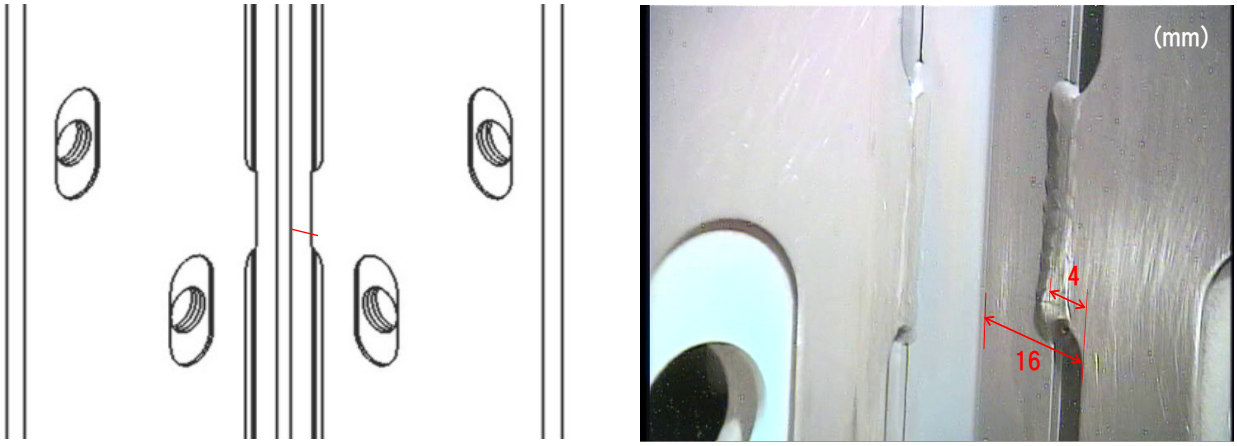


コーナー1　7タブ

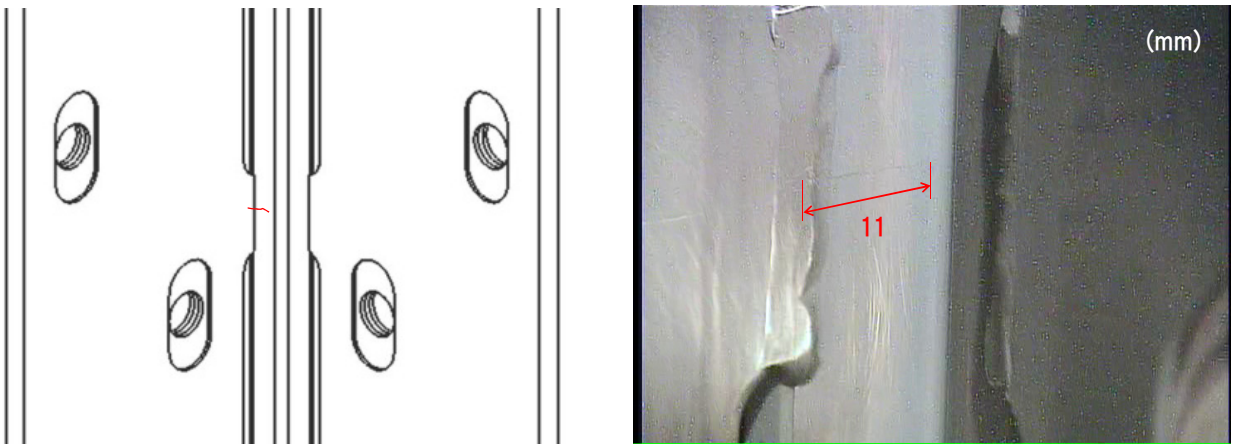


コーナー2　7タブ

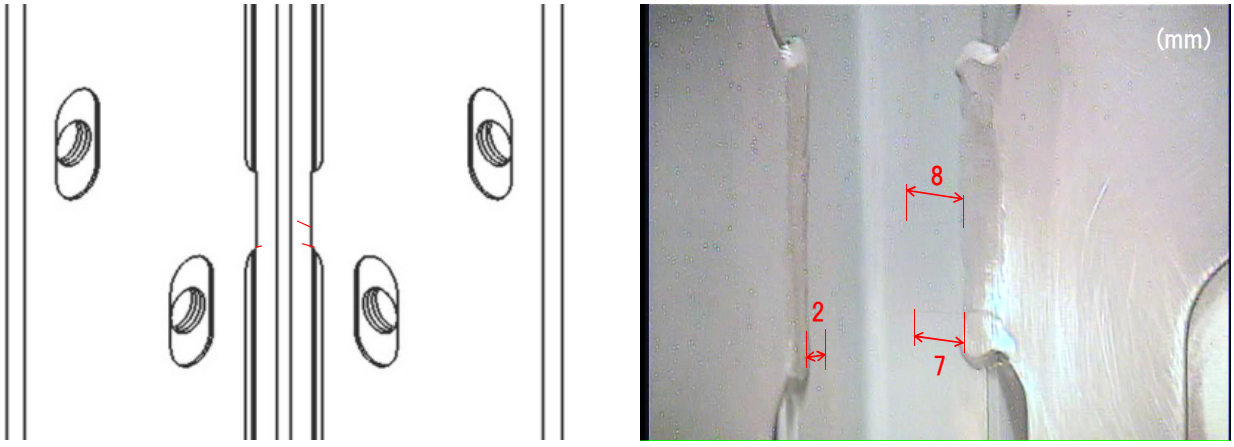
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（5／15）



コーナー3　7タブ

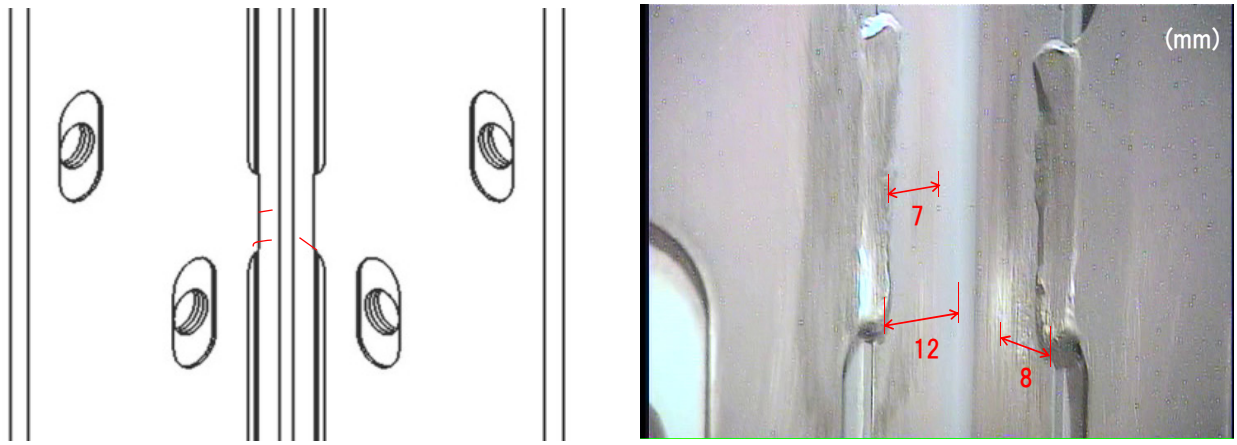


コーナー4　7タブ

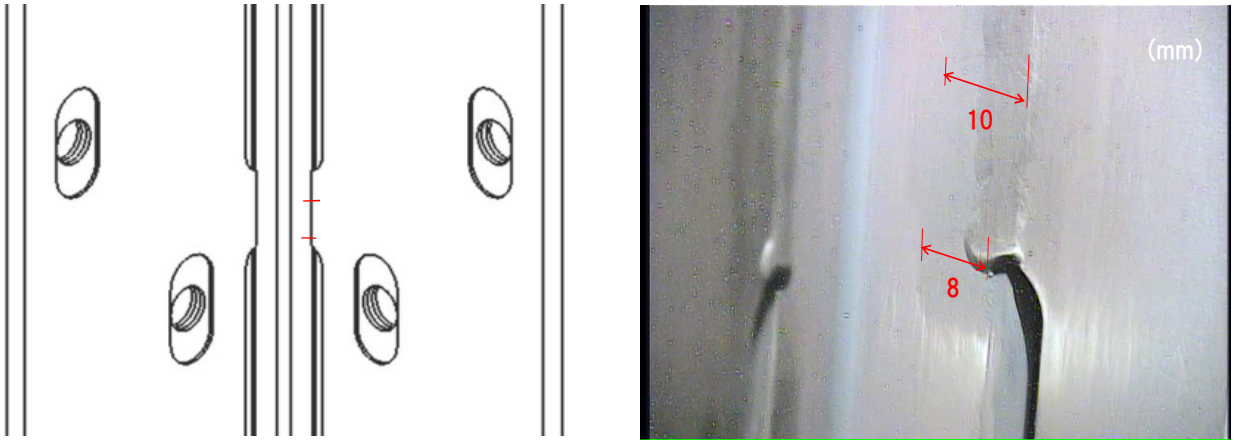


コーナー1　8タブ

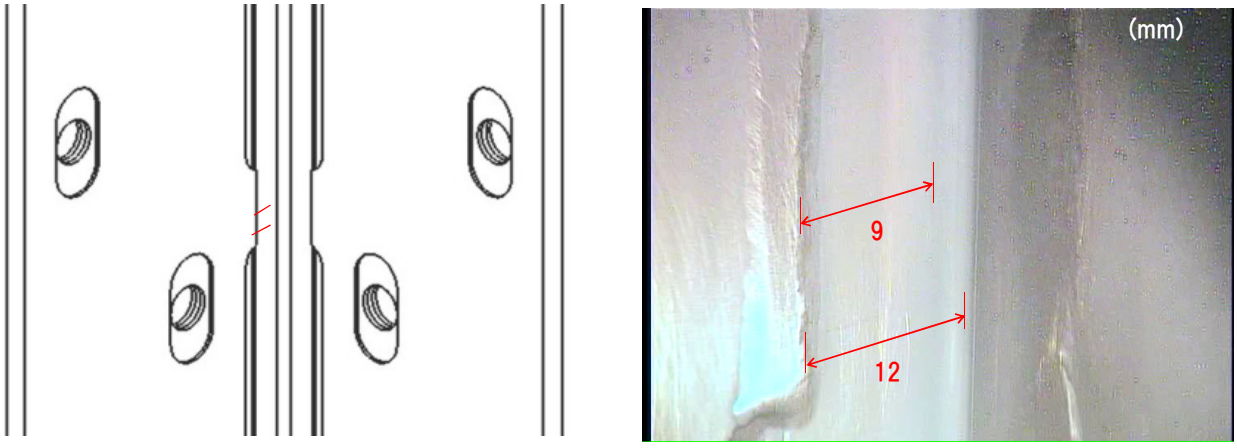
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（6／15）



コーナー2　8タブ

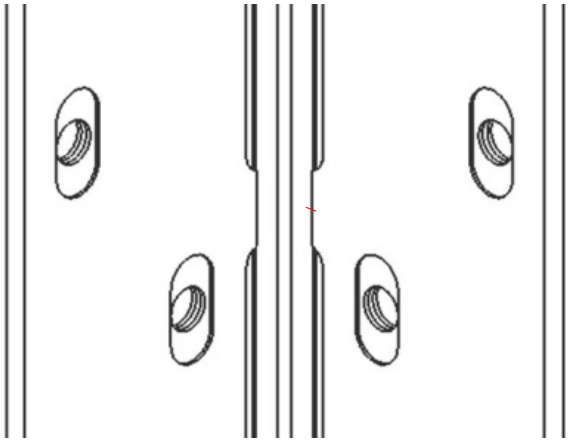


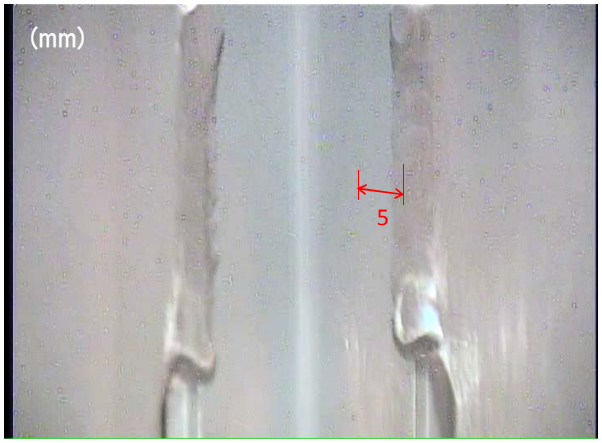
コーナー3　8タブ



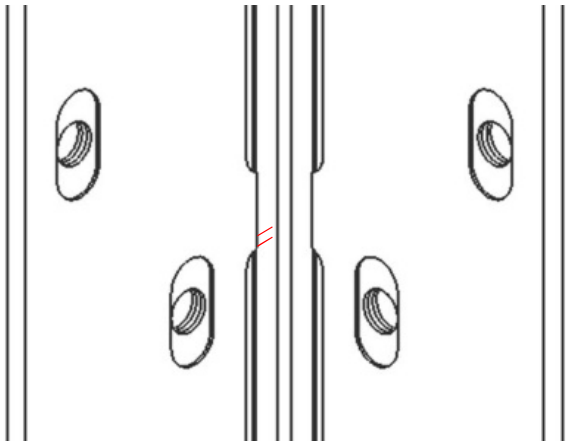
コーナー4　8タブ

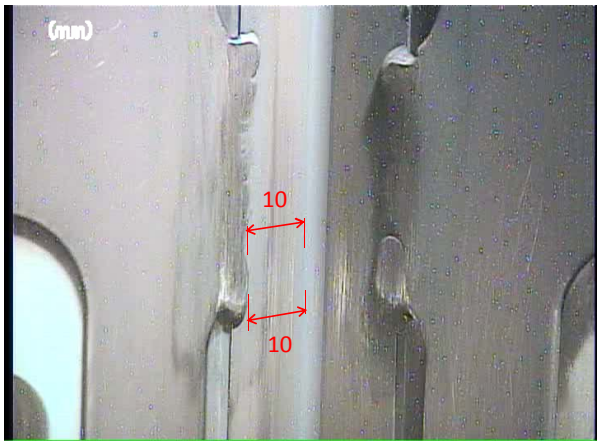
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（7／15）



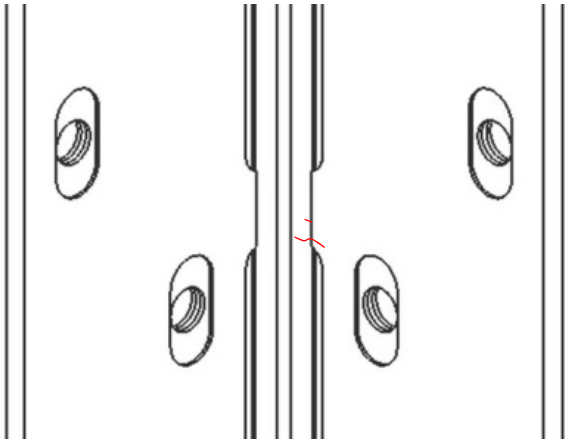


コーナー1　9タブ





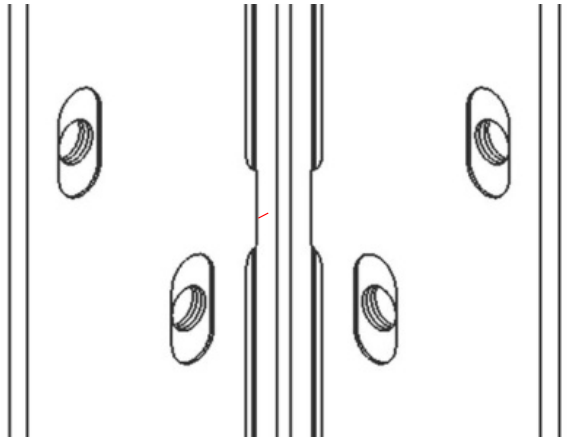
コーナー2　9タブ

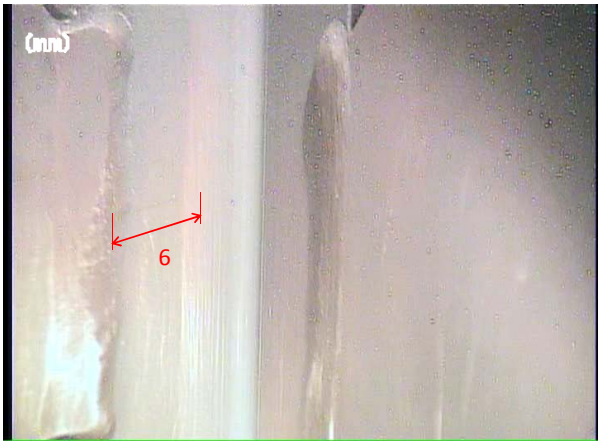




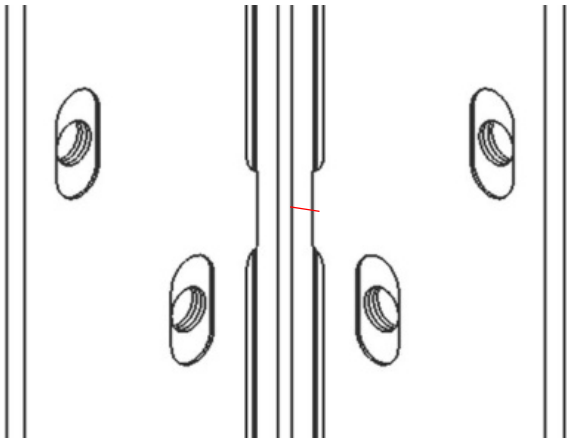
コーナー3　9タブ

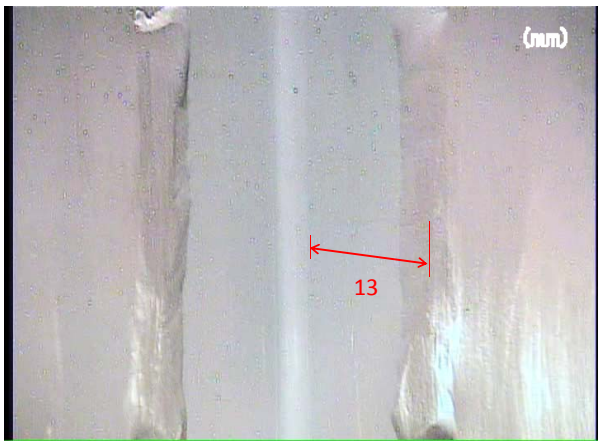
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（8／15）



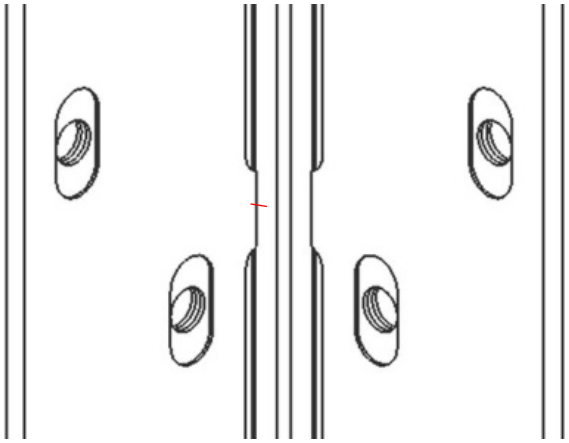


コーナー4　9タブ





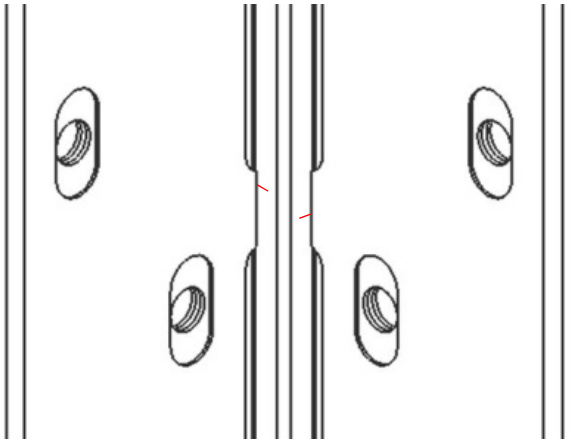
コーナー1　10タブ

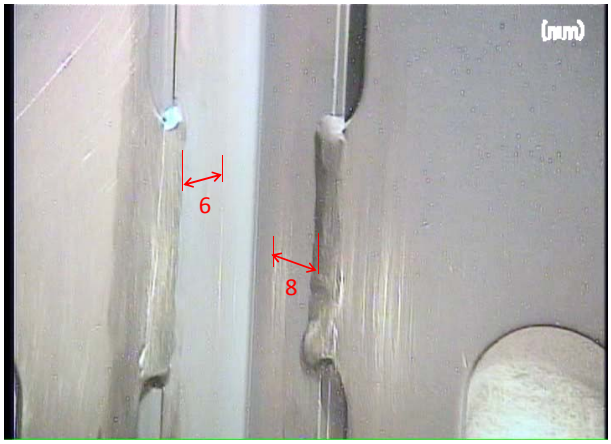




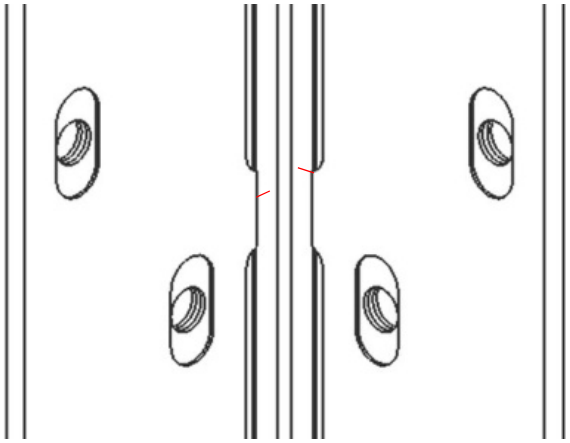
コーナー2　10タブ

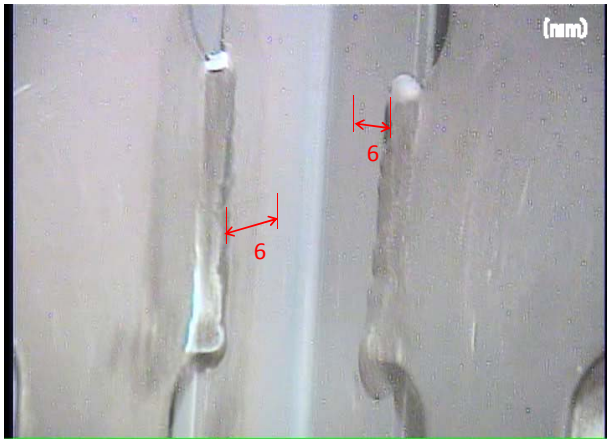
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（9／15）



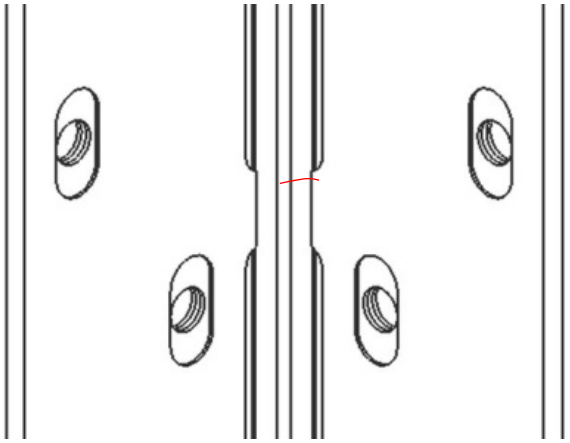


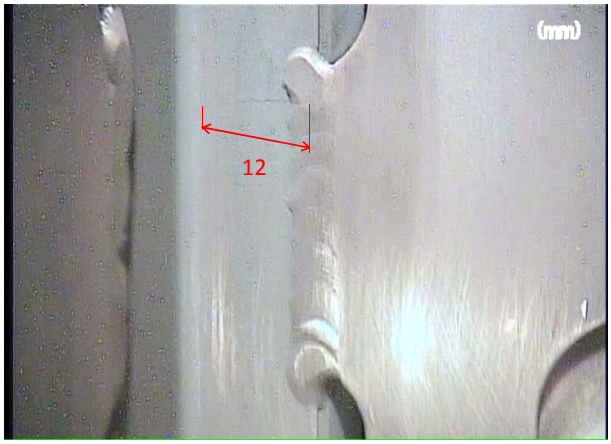
コーナー3　10タブ





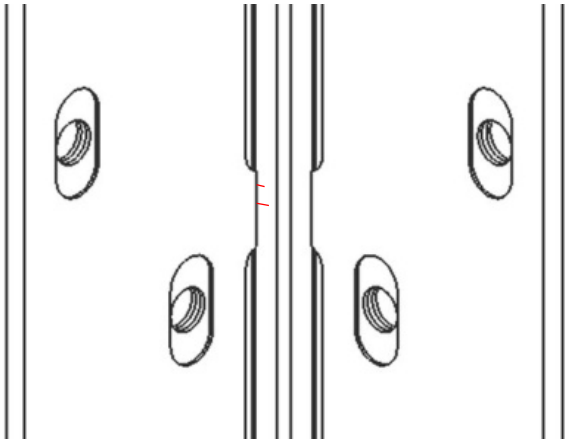
コーナー4　10タブ





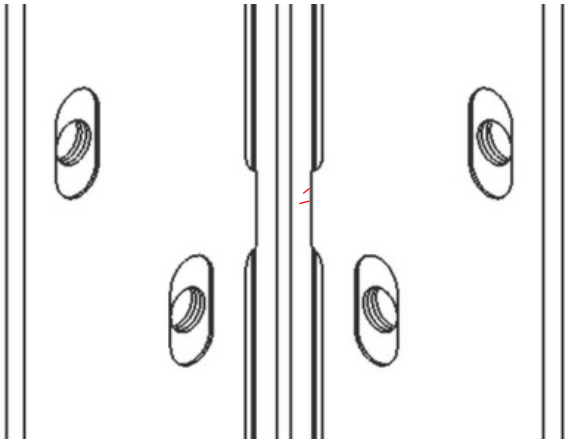
コーナー1　11タブ

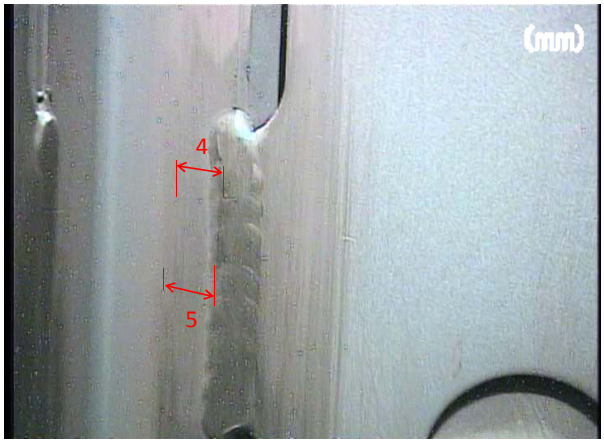
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（10／15）



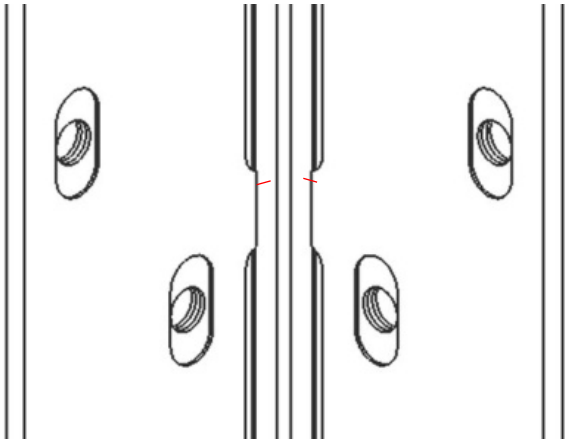


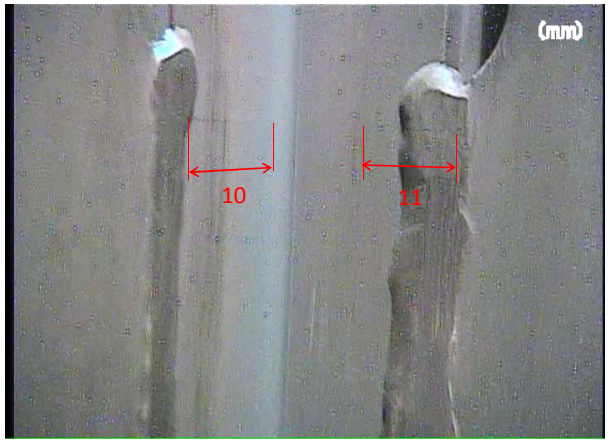
コーナー2　11タブ





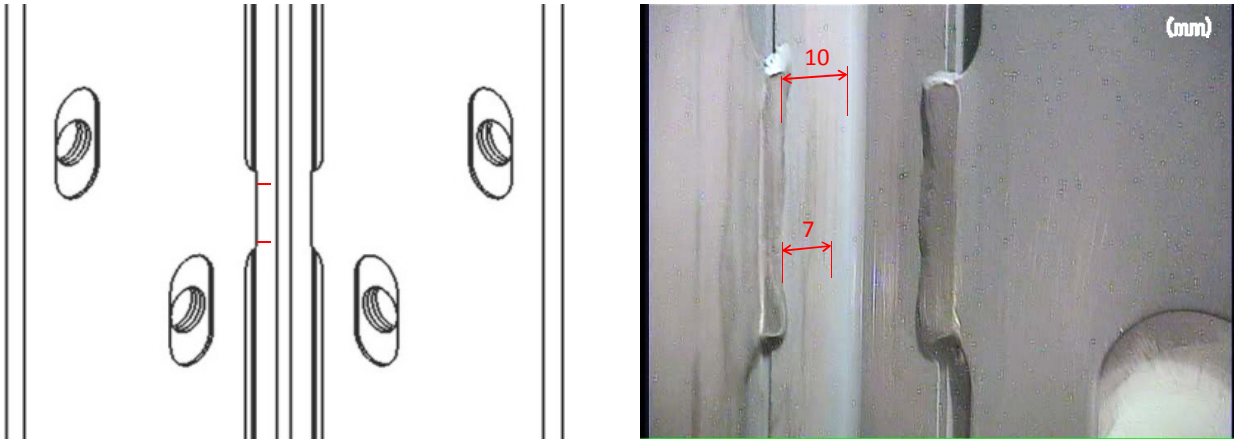
コーナー3　11タブ



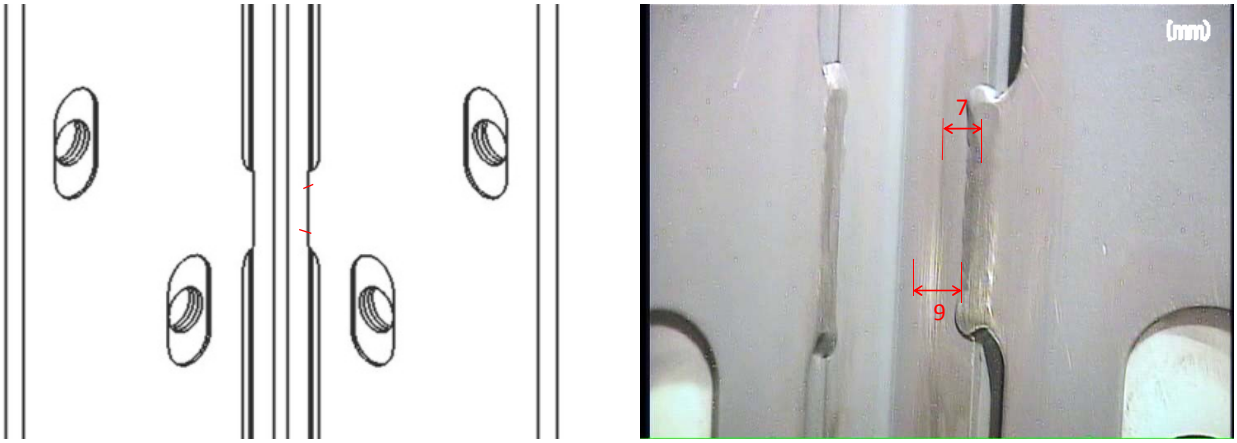


コーナー4　11 タブ

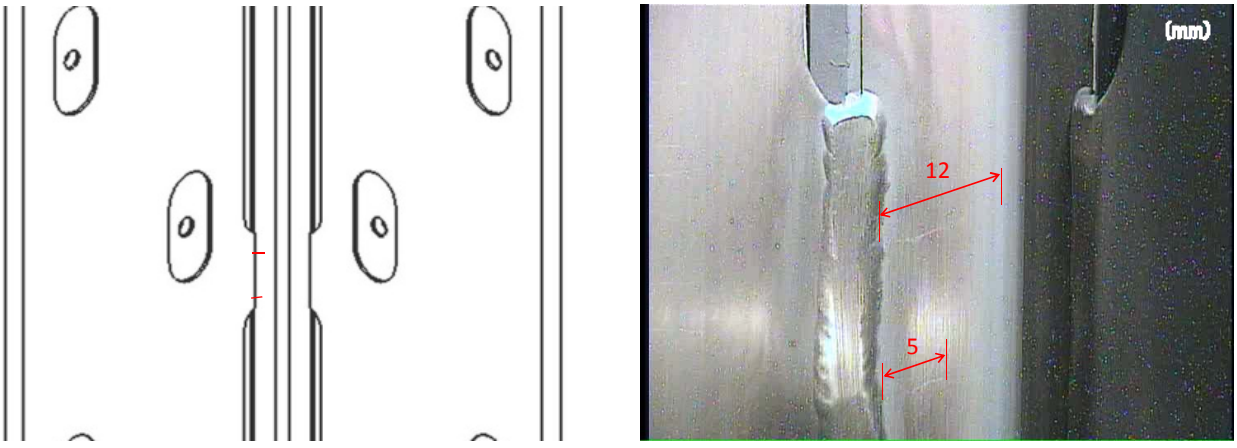
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（11／15）



コーナー2　12タブ

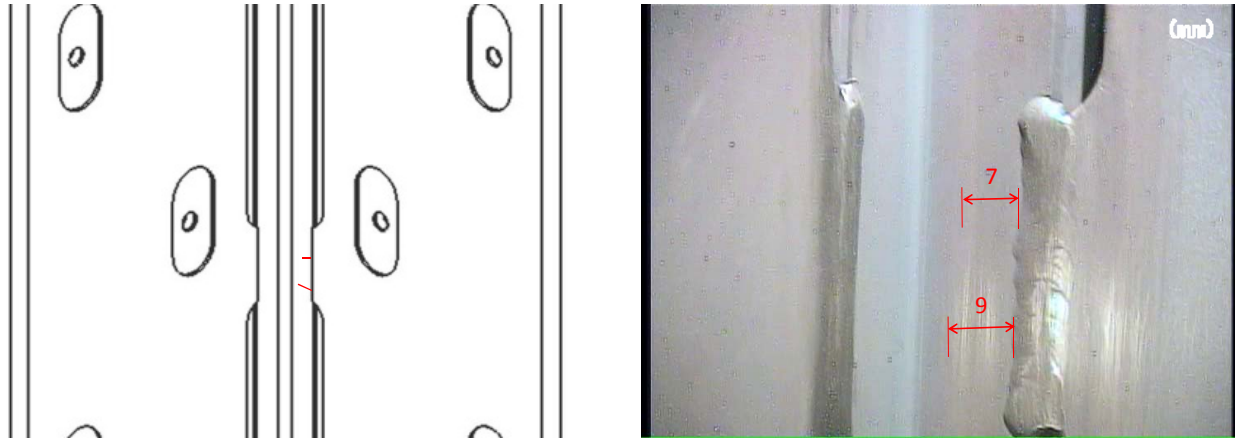


コーナー3　12タブ

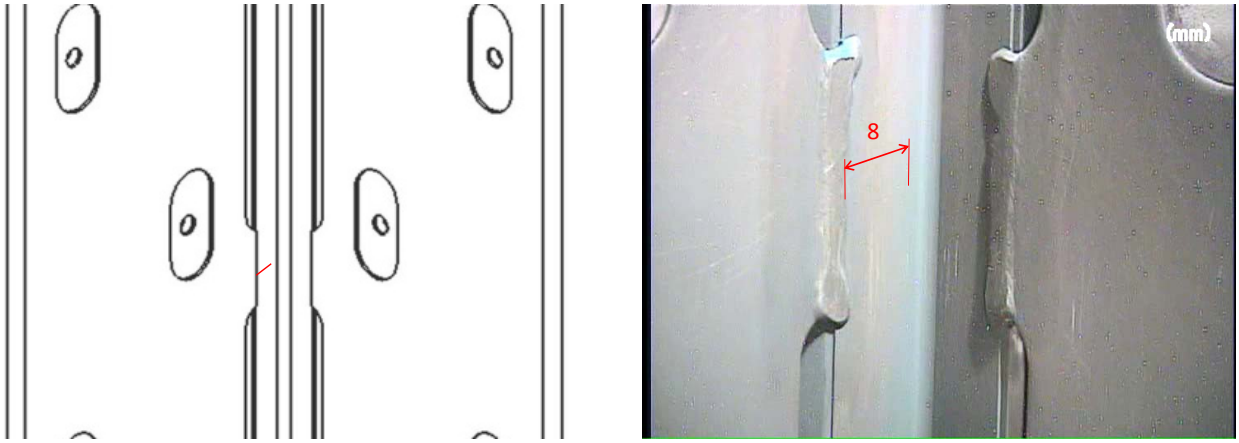


コーナー2　13タブ

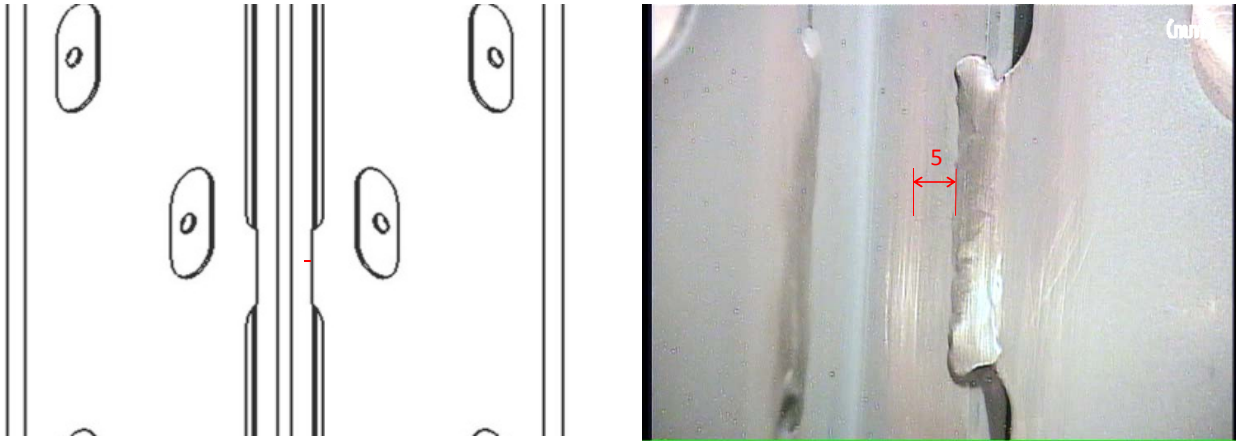
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（12／15）



コーナー3　13タブ

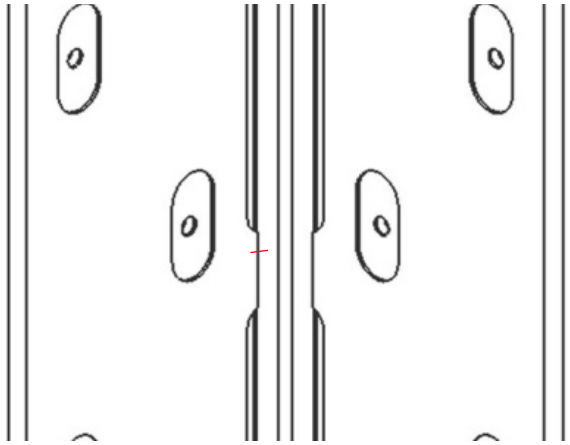


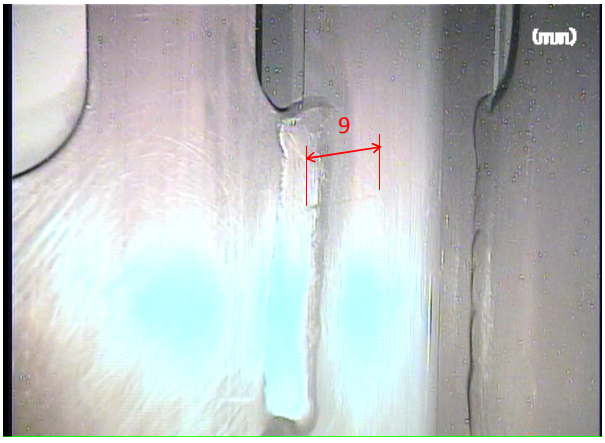
コーナー 2　14 タブ



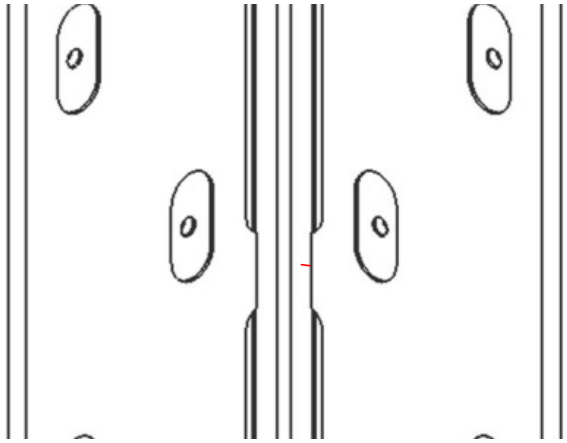
コーナー3　14タブ

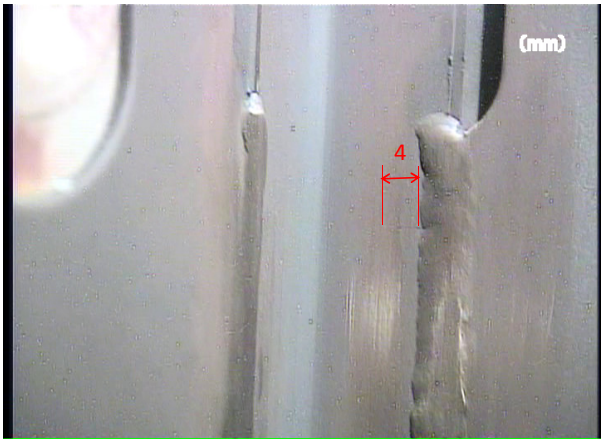
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（13／15）





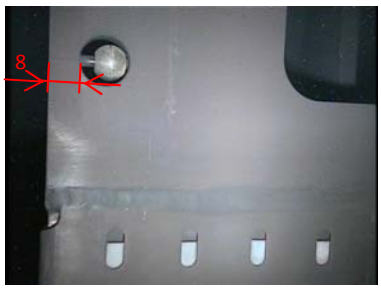
コーナー2　15タブ



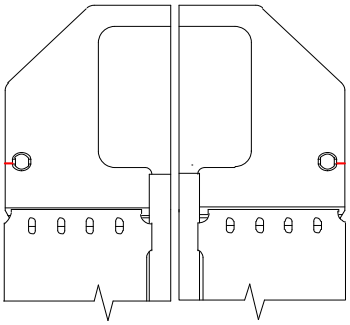


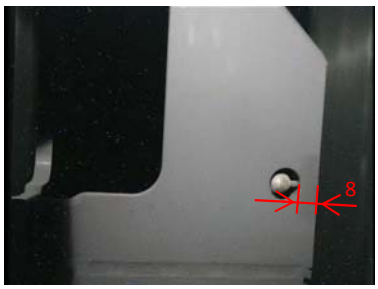
コーナー3　15タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（14／15）



２面

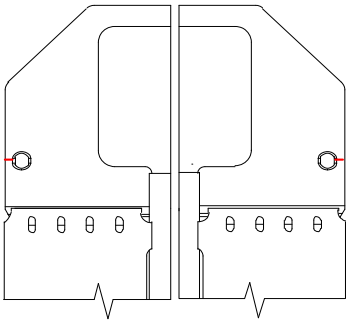




１面



４面

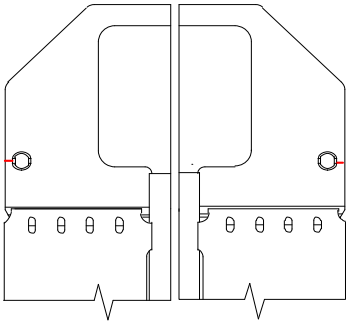


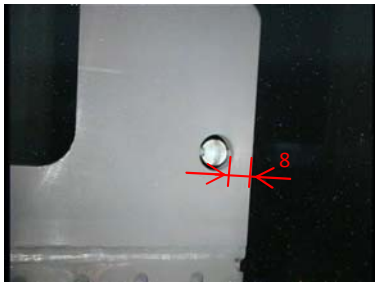


３面



６面

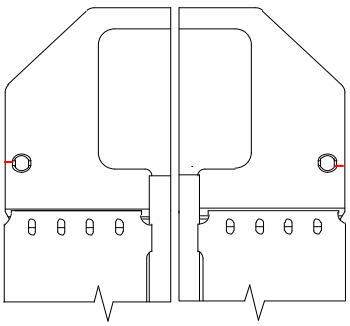




５面



８面

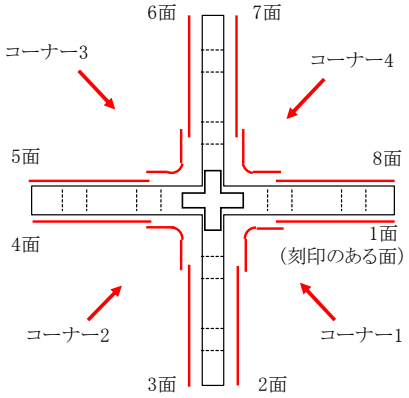


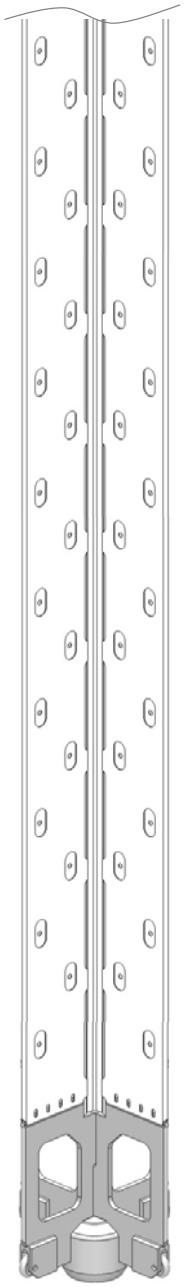


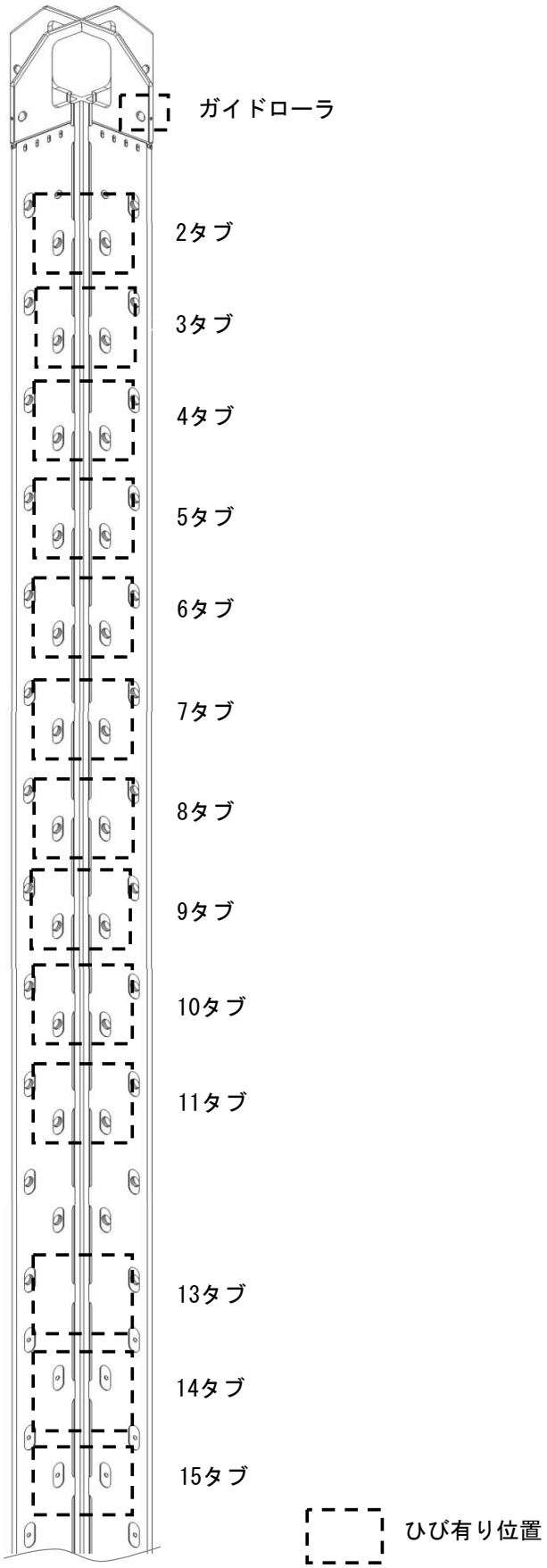
７面

単位：mm

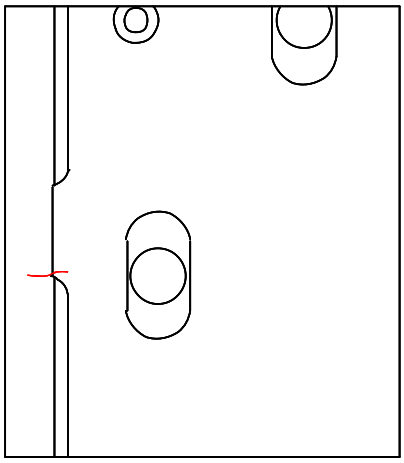
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－031）（15/15）





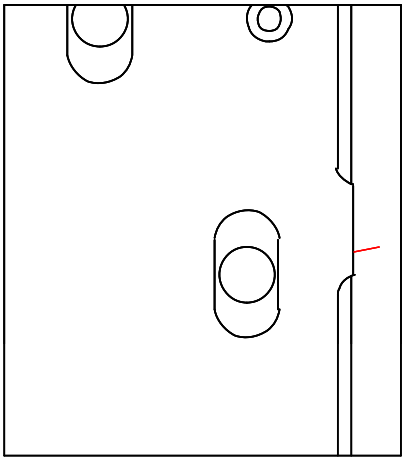


柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（1／10）



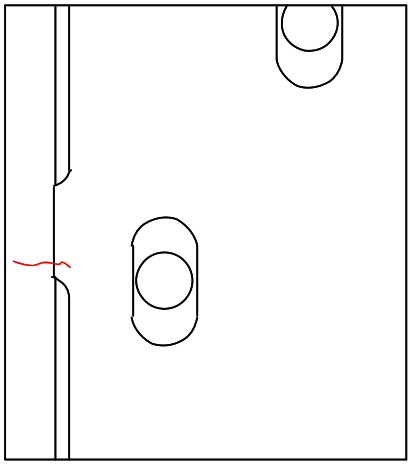


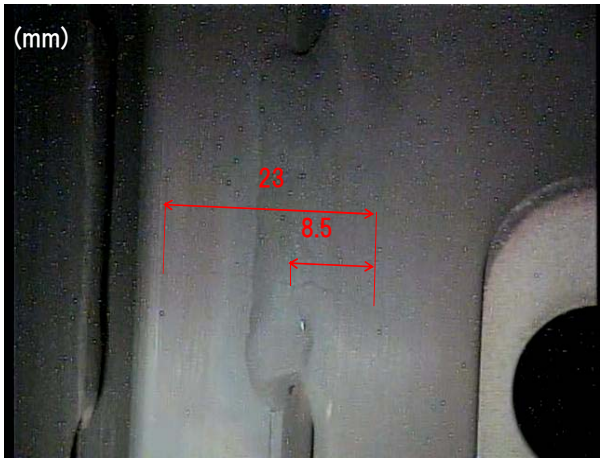
コーナー1　1面　2タブ





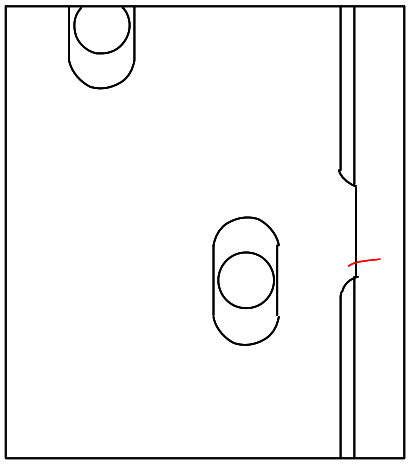
コーナー4　8面　2タブ





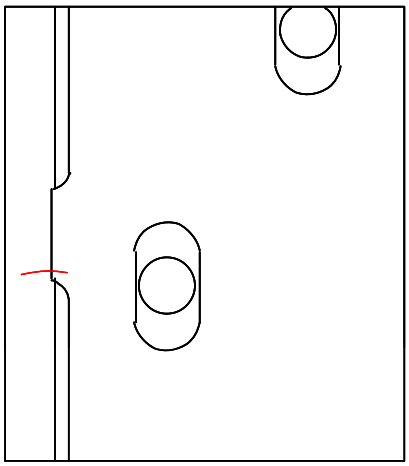
コーナー1　1面　3タブ

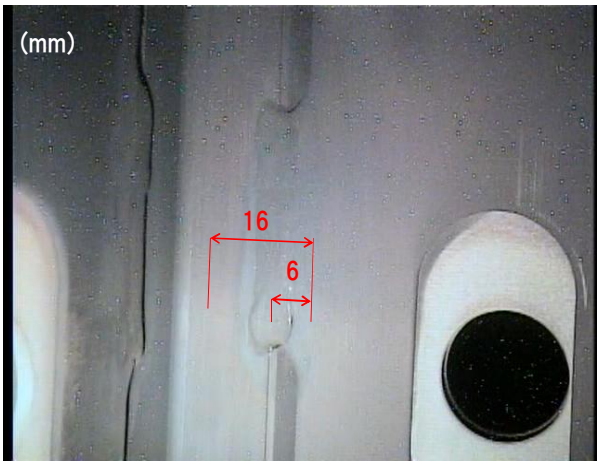
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（2／10）



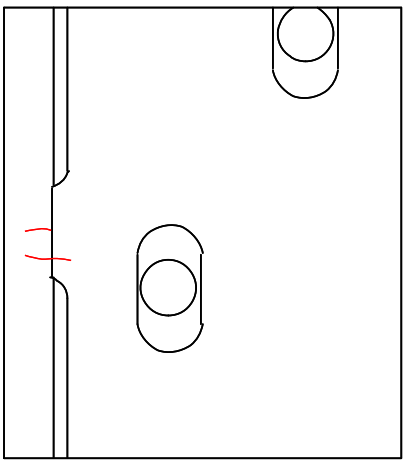


コーナー4　8面　3タブ





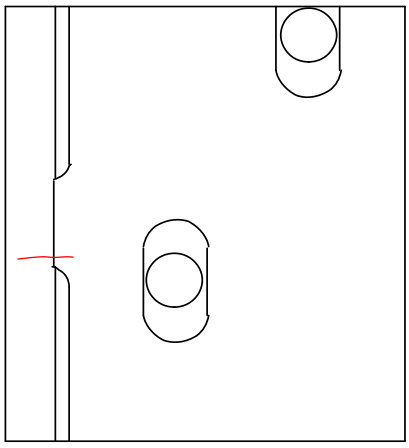
コーナー1　1面　4タブ

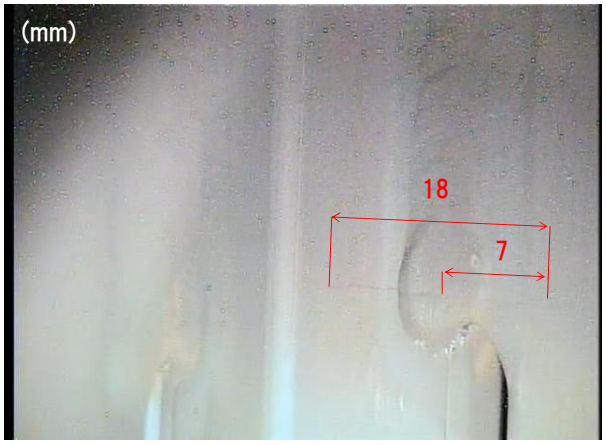




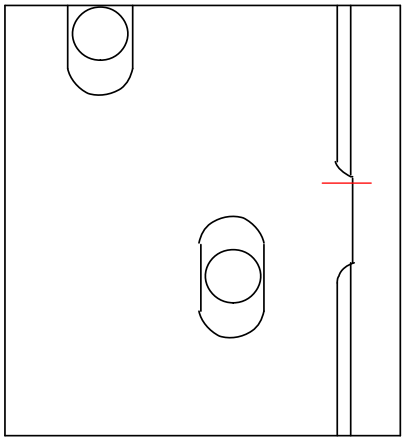
コーナー1　1面　5タブ

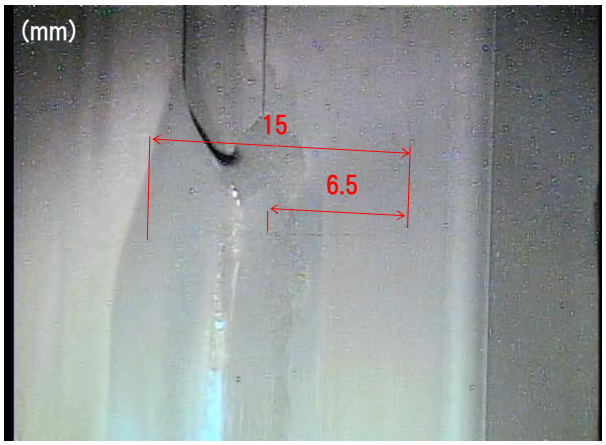
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（3／10）



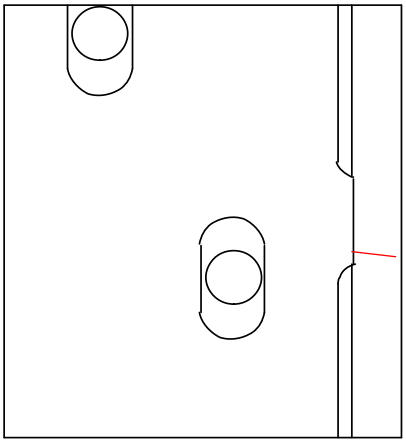


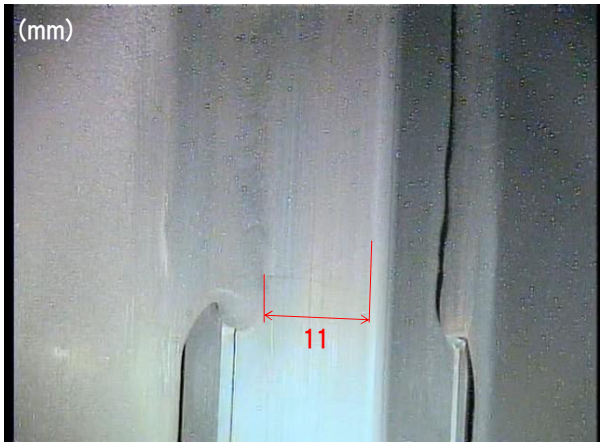
コーナー1　1面　6タブ





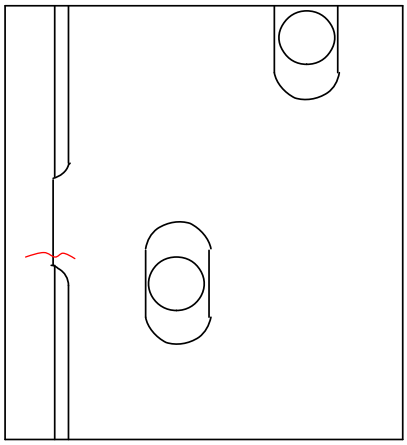
コーナー2　4面　6タブ

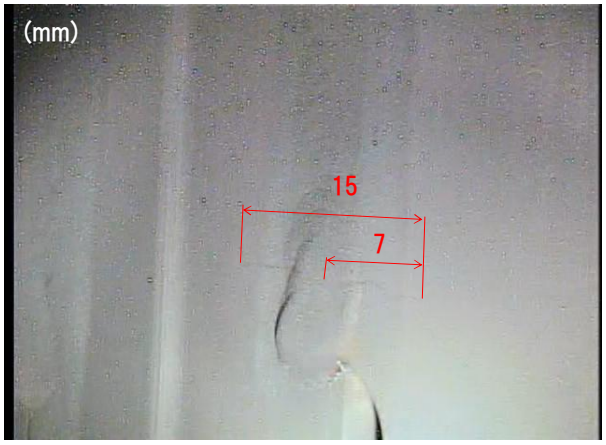




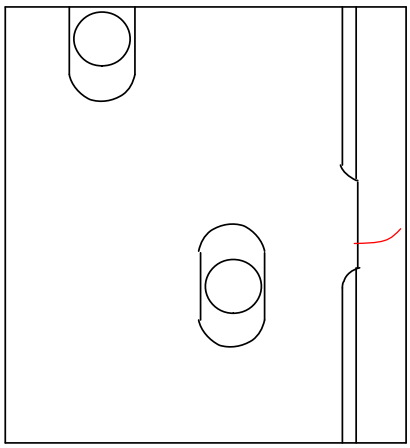
コーナー4　8面　6タブ

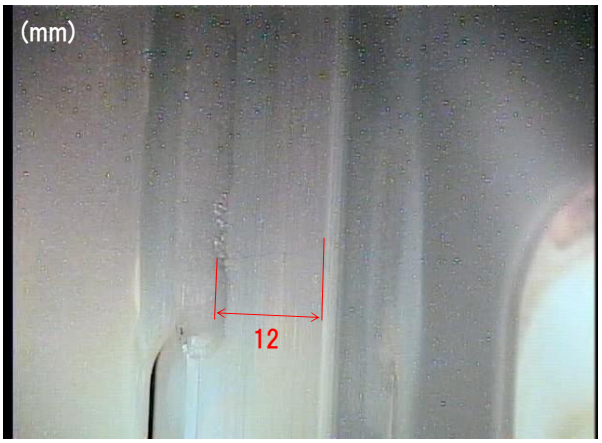
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（4／10）



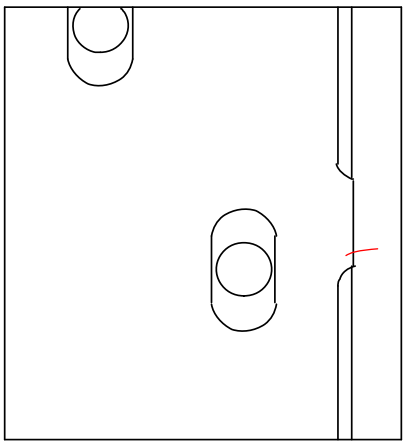


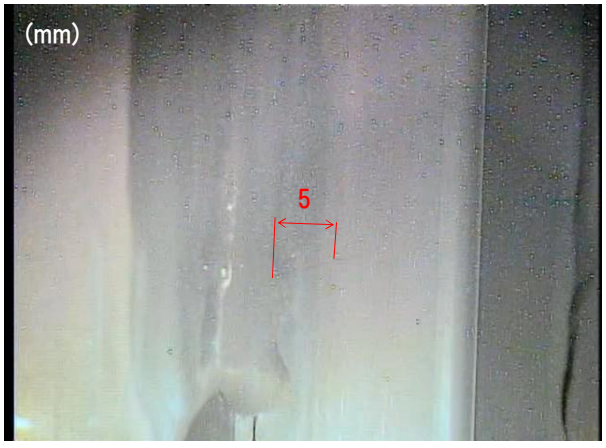
コーナー1　1面　7タブ





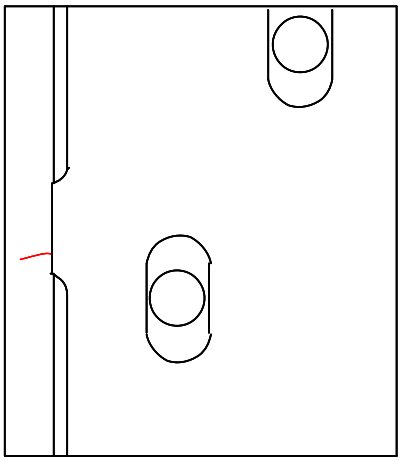
コーナー4　8面　7タブ





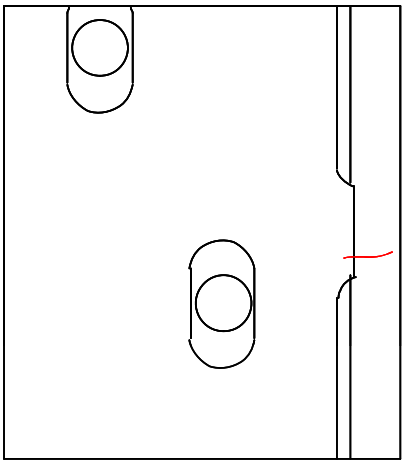
コーナー2　4面　8タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（5／10）



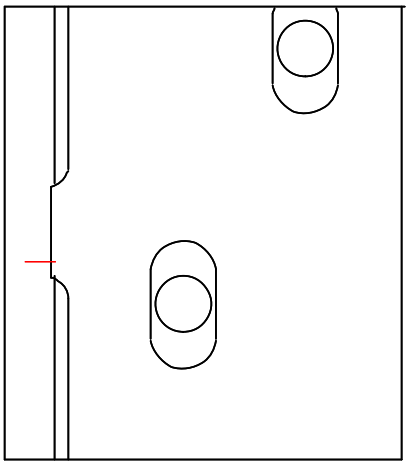


コーナー3　5面　8タブ





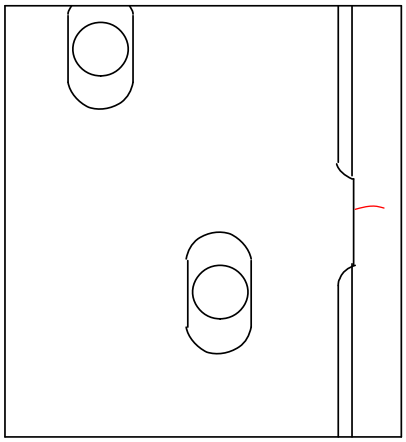
コーナー2　4面　9タブ

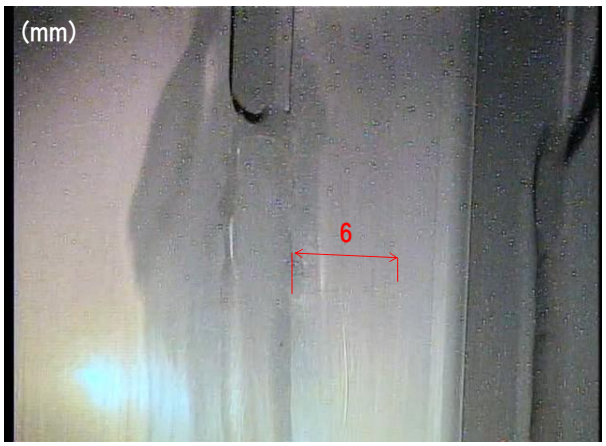




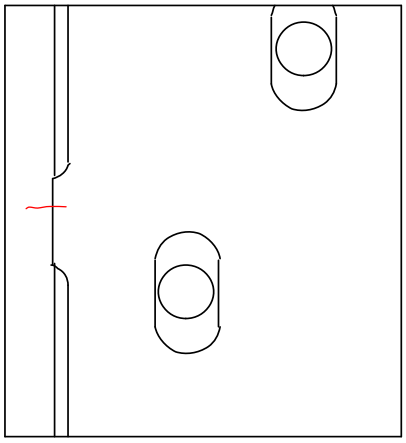
コーナー3　5面　9タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（6／10）



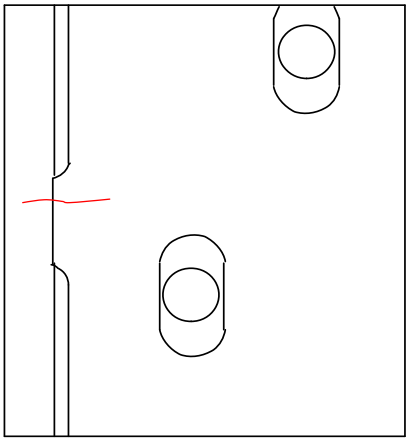


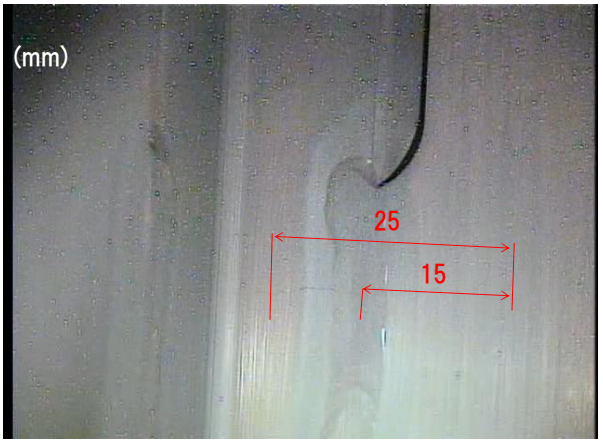
コーナー2　4面　10タブ





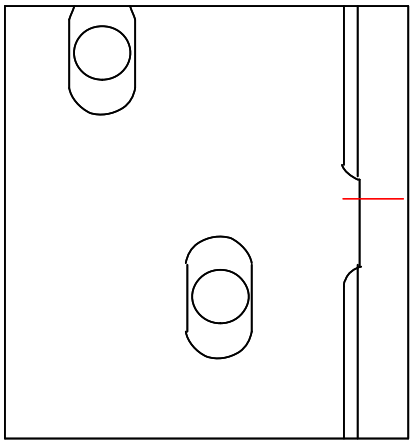
コーナー3　5面　10タブ





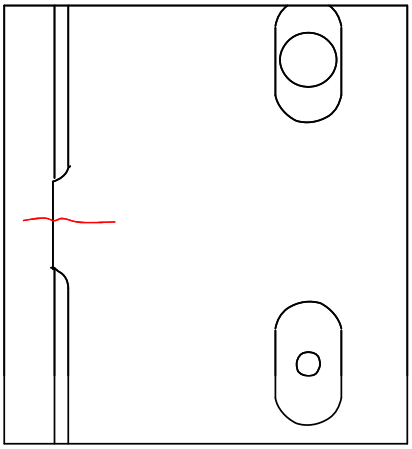
コーナー1　1面　11タブ

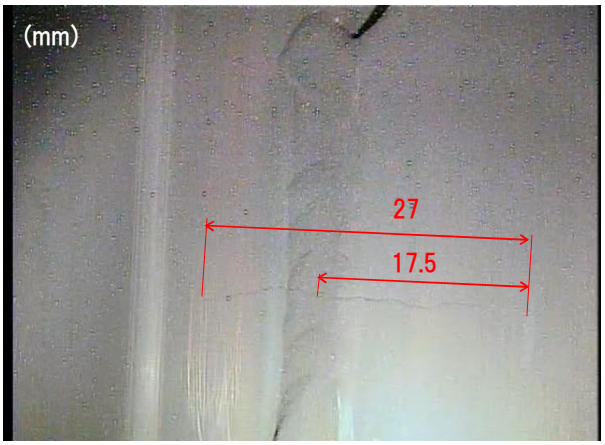
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（7／10）



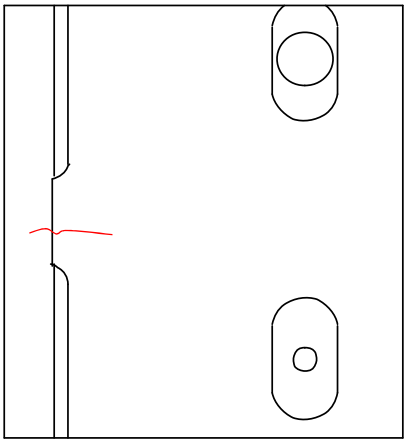


コーナー4　8面　11タブ





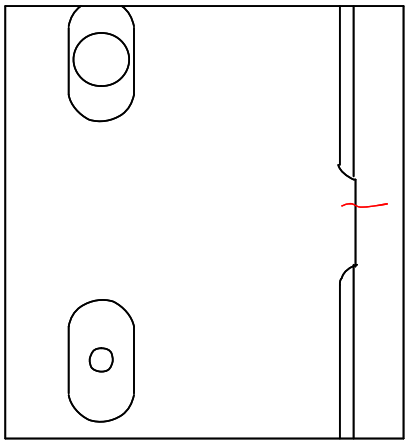
コーナー1　1面　13タブ





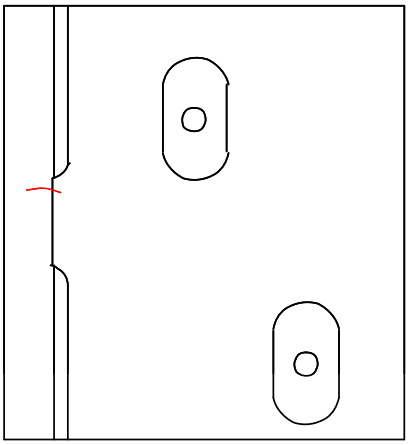
コーナー3　5面　13タブ

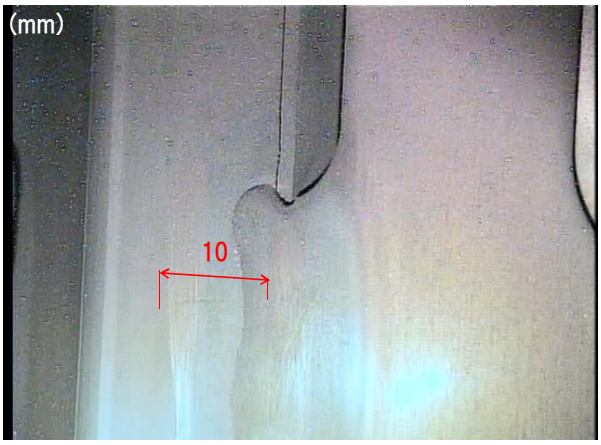
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（8／10）



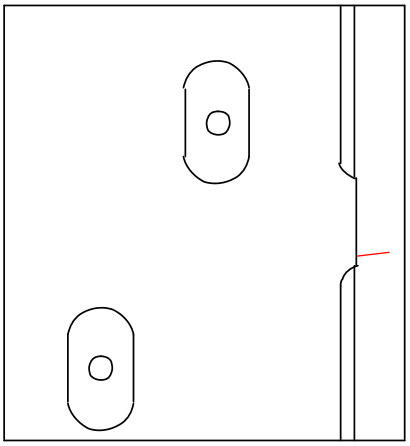


コーナー4　8面　13タブ





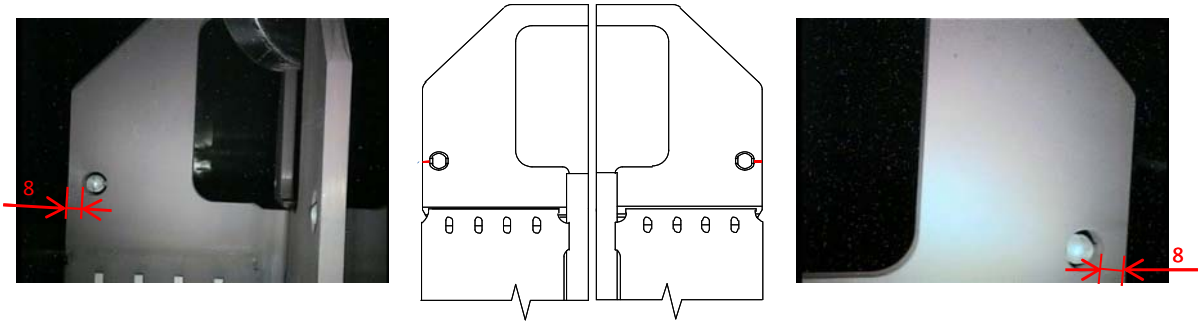
コーナー3　5面　14タブ



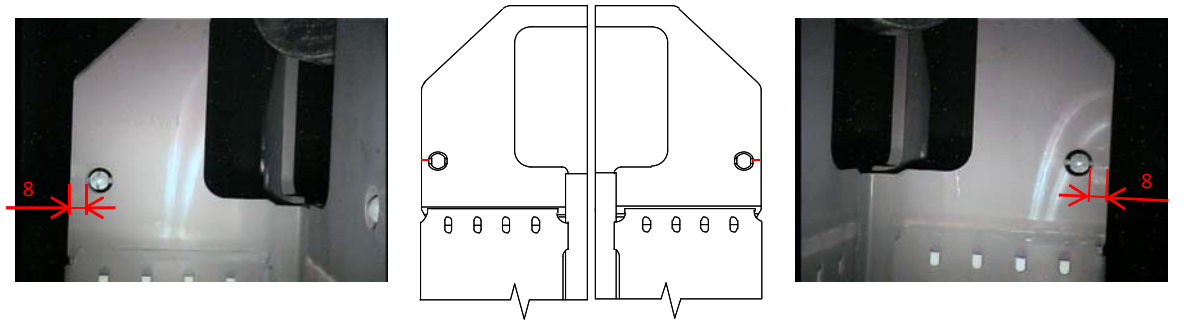


コーナー2　4面　15タブ

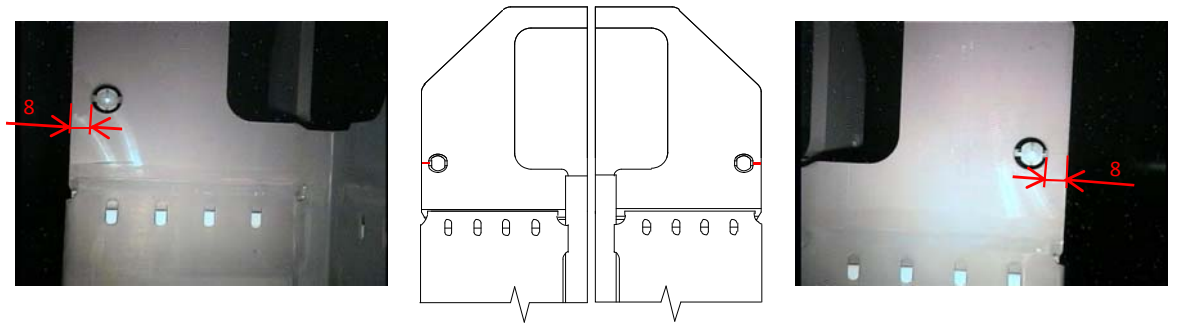
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（9／10）



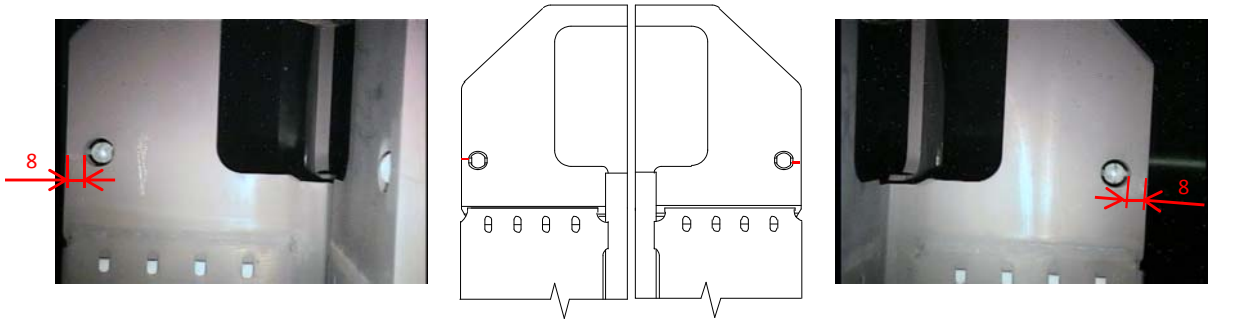
２面　　１面



４面　　３面



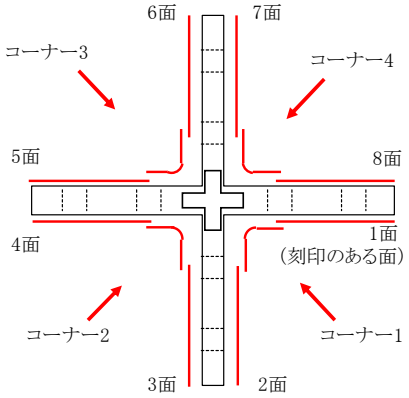
６面　　５面

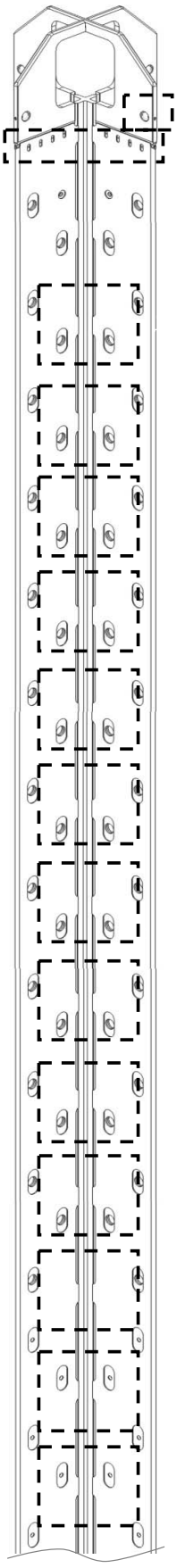


８面　　７面

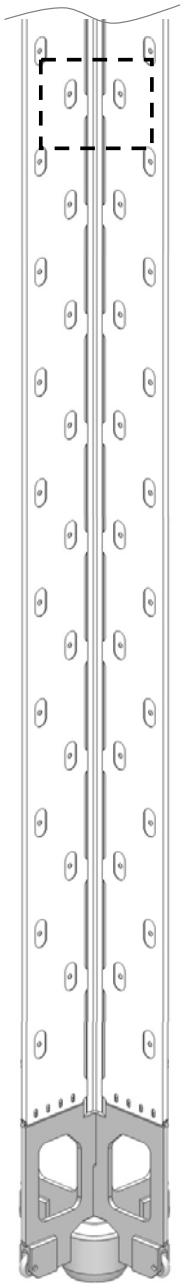
単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（10／10）



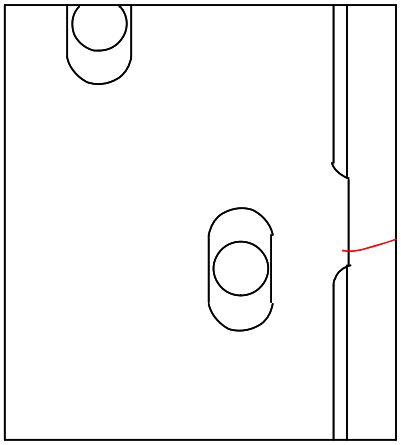


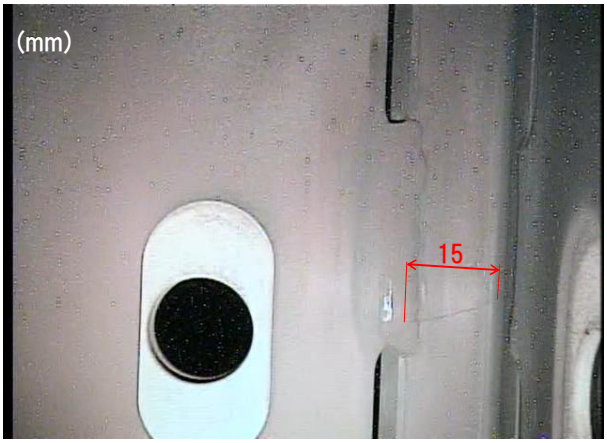
16タブ



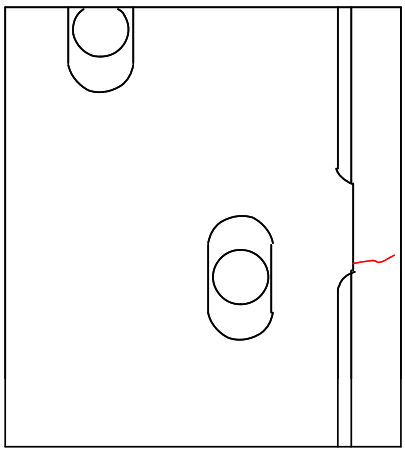
ひび有り位置

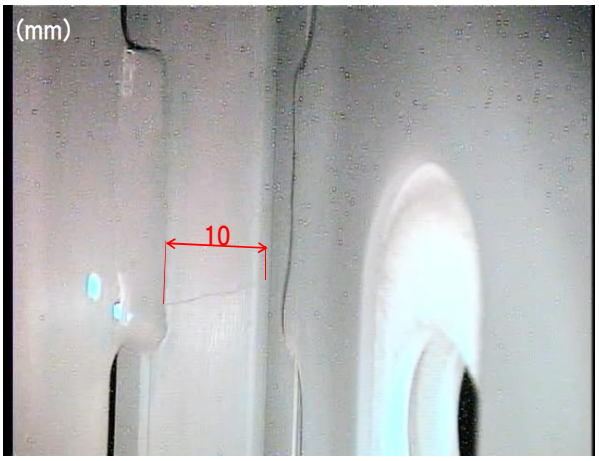
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（1／19）



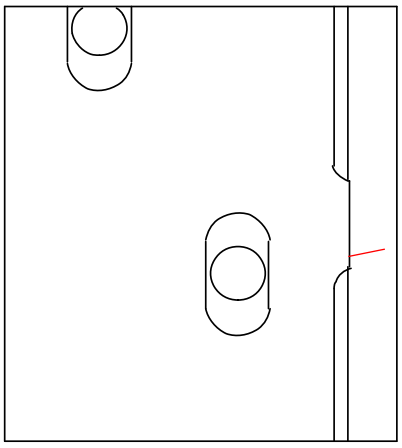


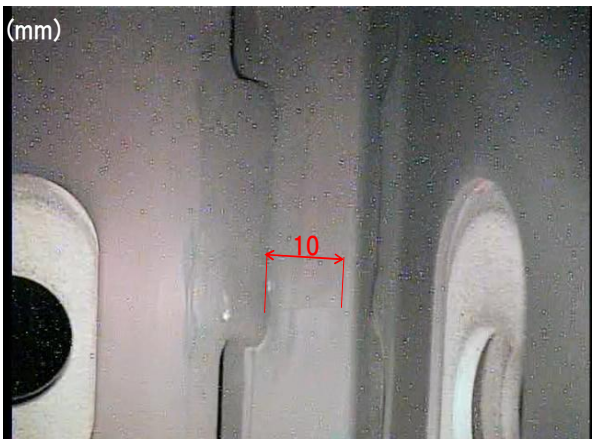
コーナー2　4面　3タブ





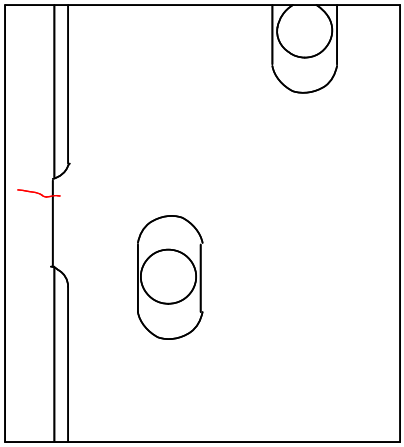
コーナー2　4面　4タブ





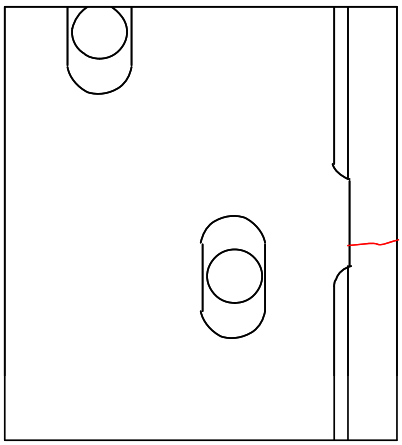
コーナー4　8面　4タブ

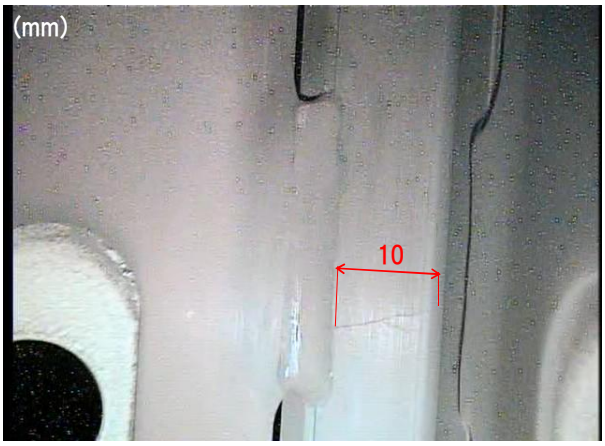
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（2／19）



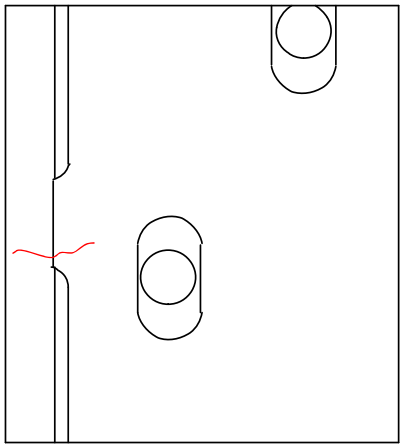


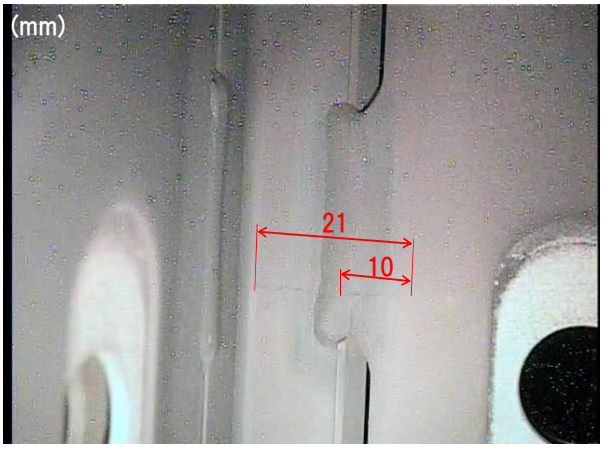
コーナー1　1面　5タブ





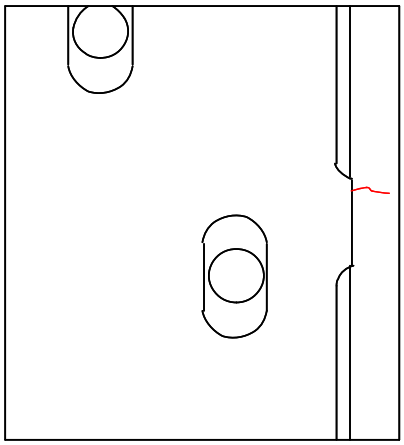
コーナー2　4面　5タブ





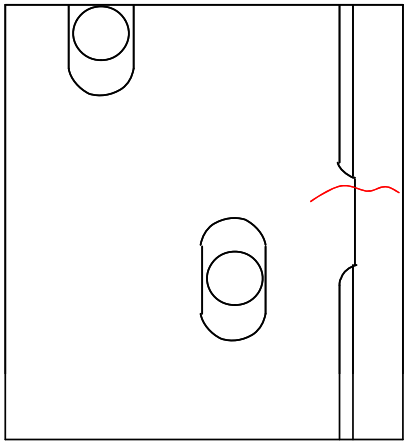
コーナー3　5面　5タブ

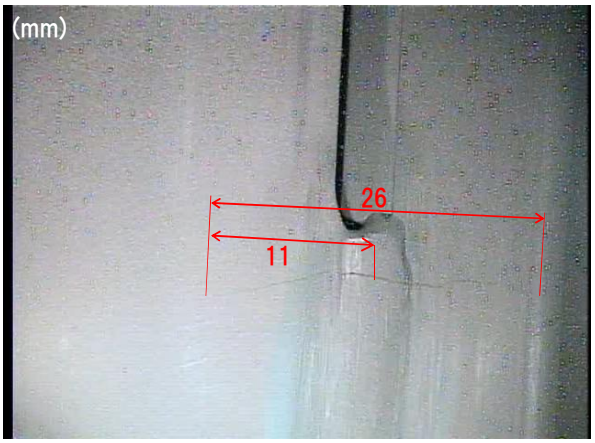
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（3／19）



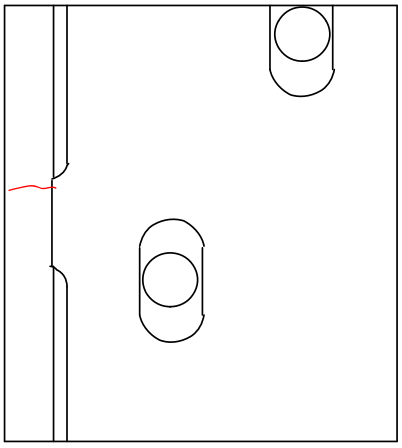


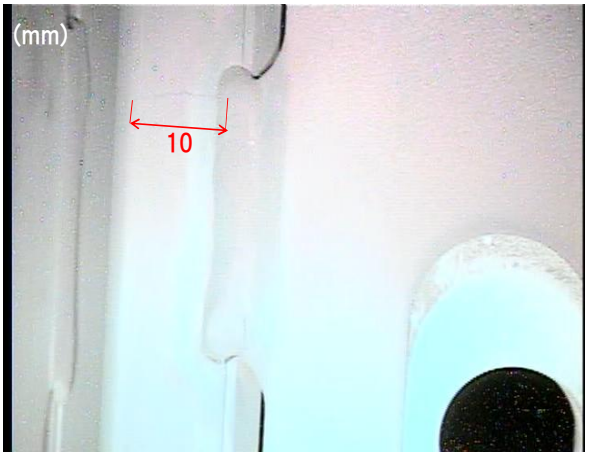
コーナー4　8面　5タブ





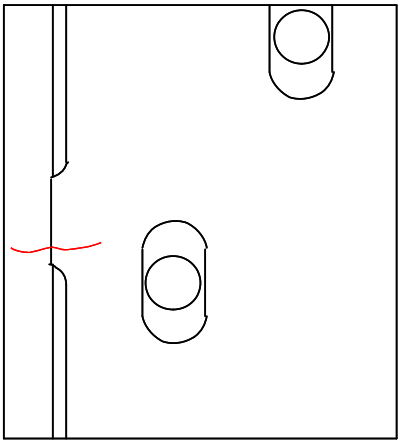
コーナー2　4面　6タブ

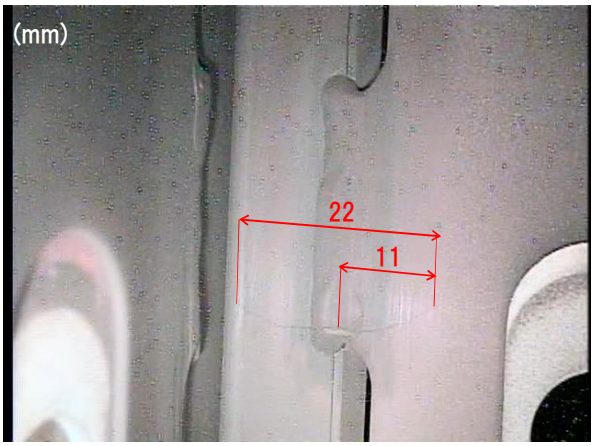




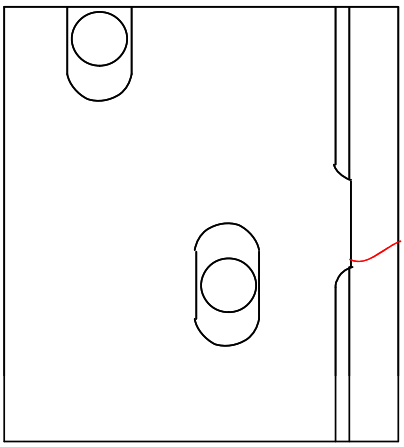
コーナー3　5面　6タブ

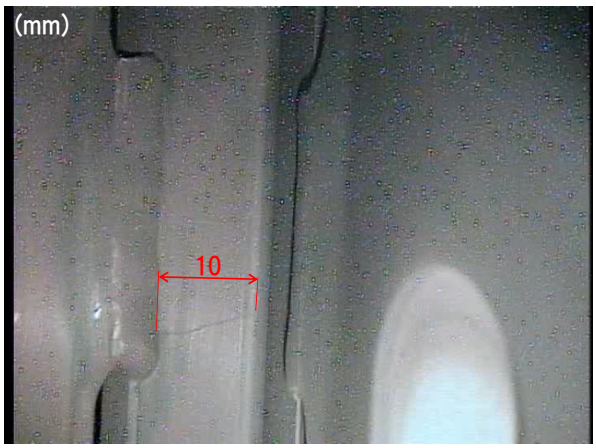
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（4／19）



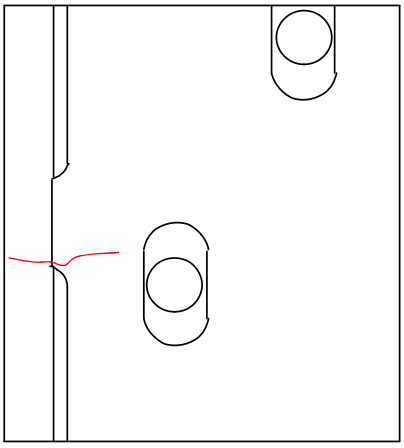


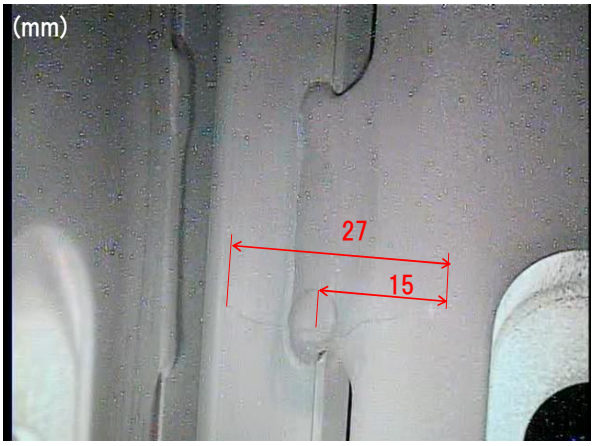
コーナー1　1面　7タブ





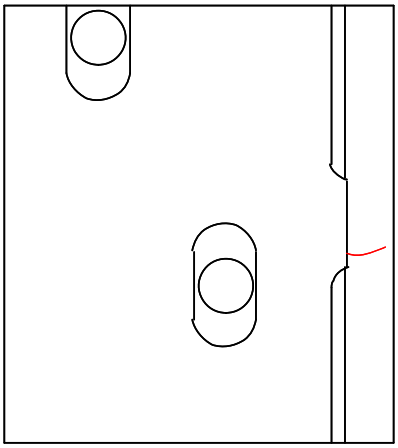
コーナー2　4面　7タブ

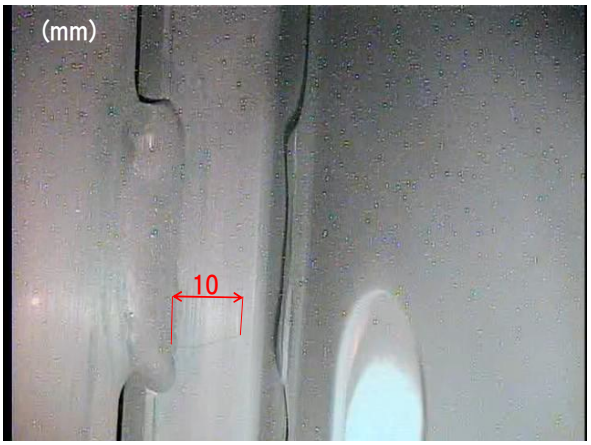




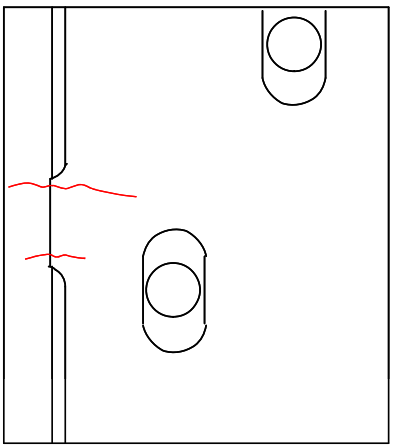
コーナー3　5面　7タブ

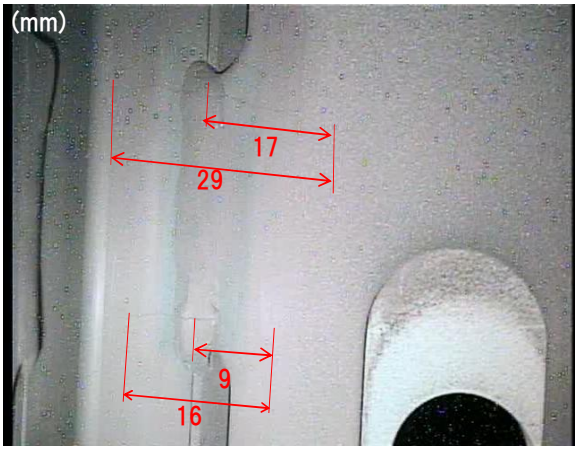
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（5／19）



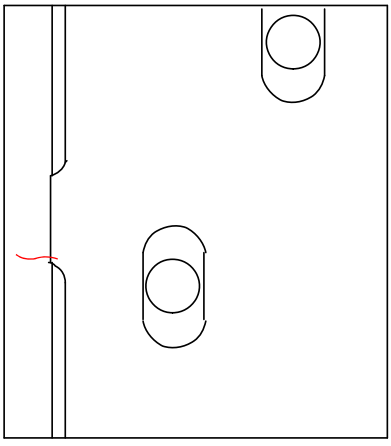


コーナー4　8面　7タブ





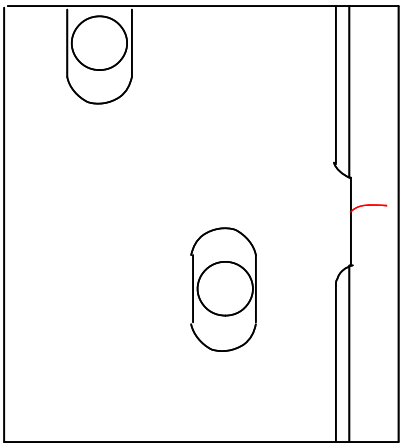
コーナー1　1面　8タブ

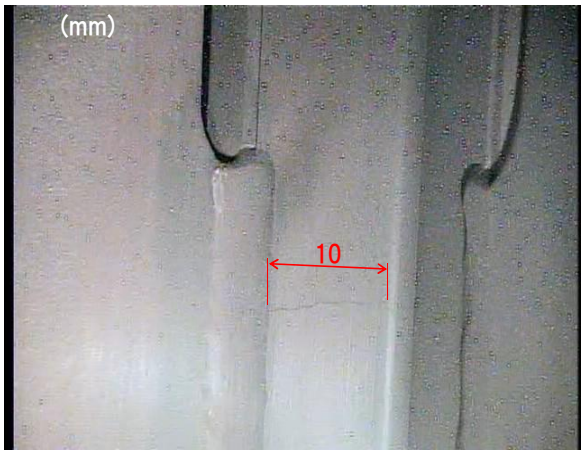




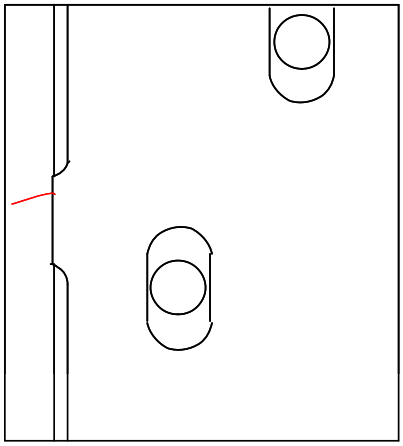
コーナー2　3面　8タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（6／19）



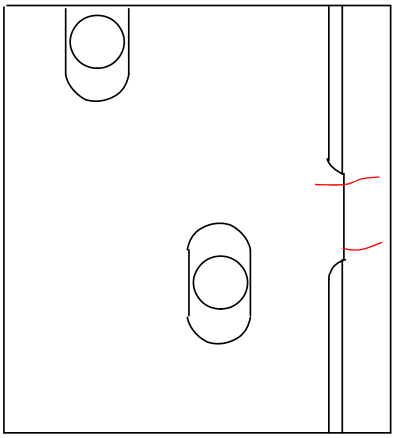


コーナー2　4面　8タブ





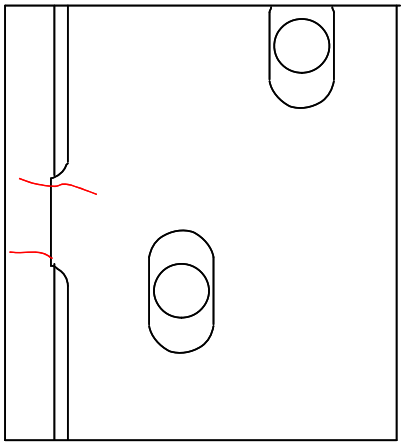
コーナー3　5面　8タブ

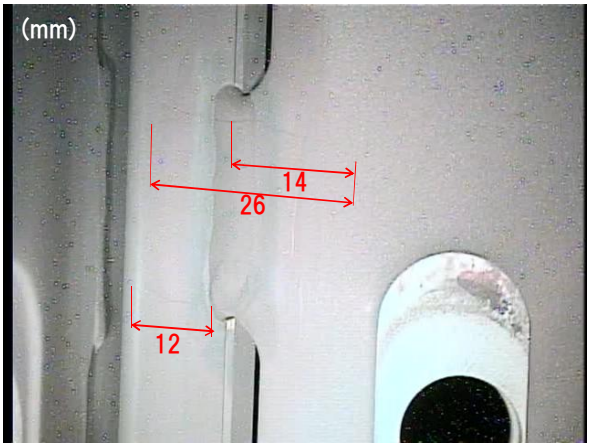




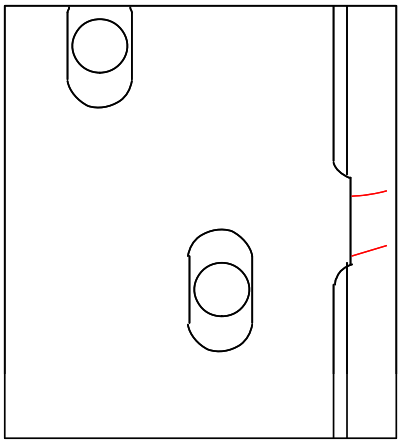
コーナー4　8面　8タブ

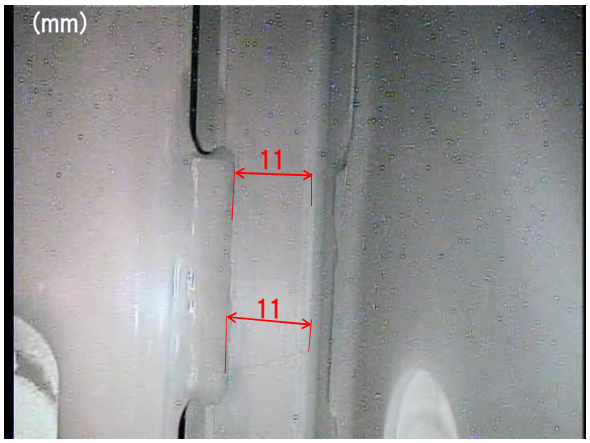
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（7／19）



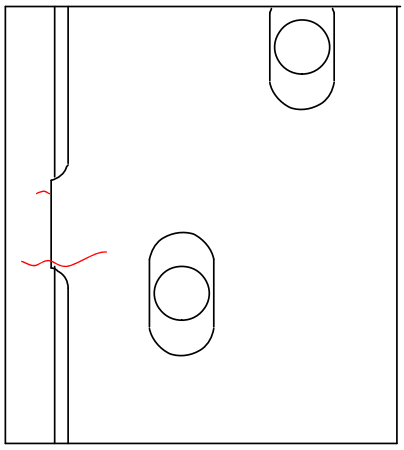


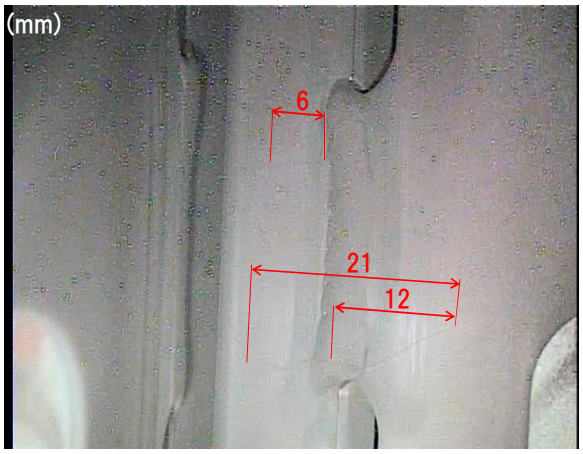
コーナー1　1面　9タブ





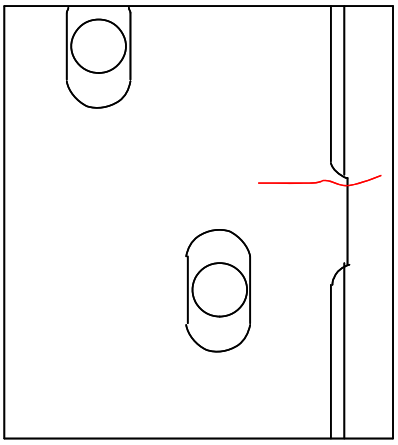
コーナー2　4面　9タブ

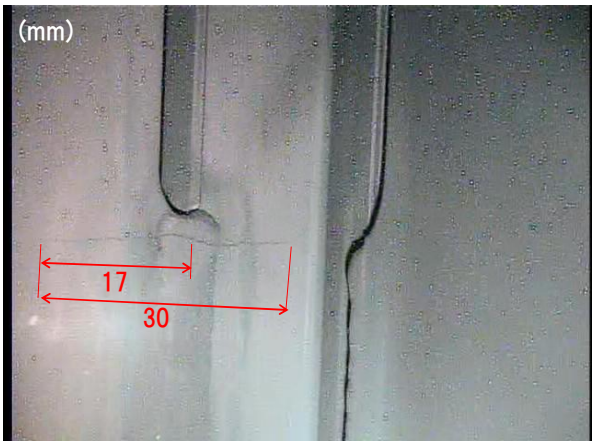




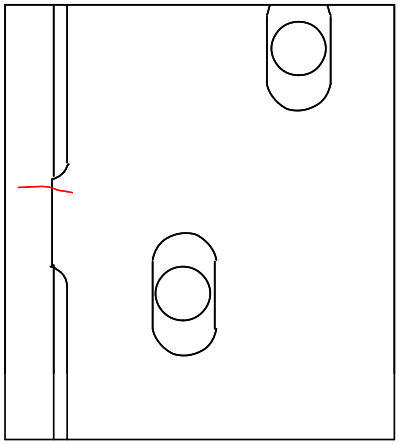
コーナー3　5面　9タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（8／19）



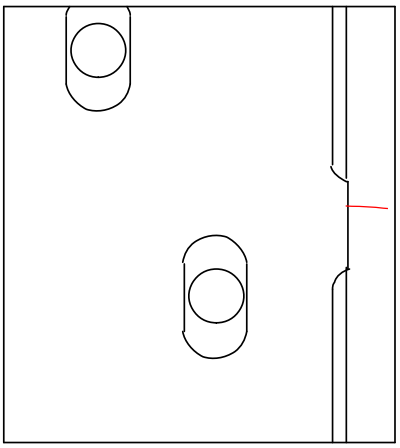


コーナー4　8面　9タブ





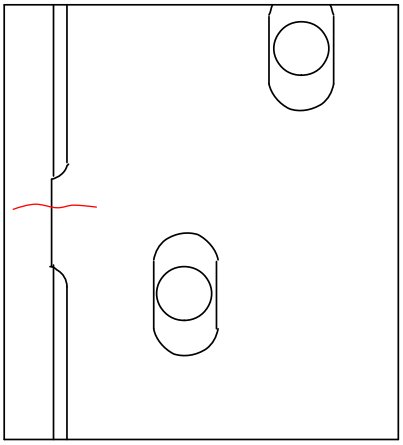
コーナー1　1面　10タブ

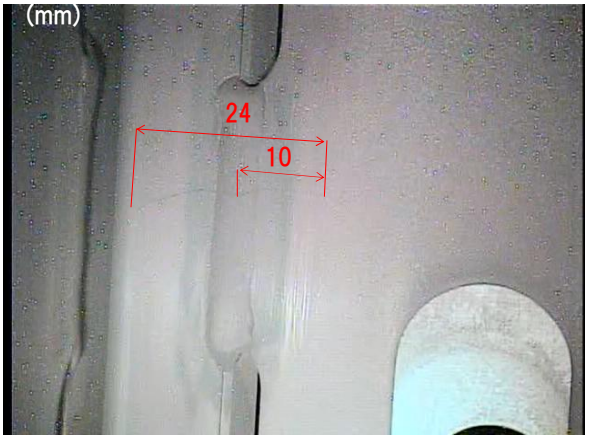




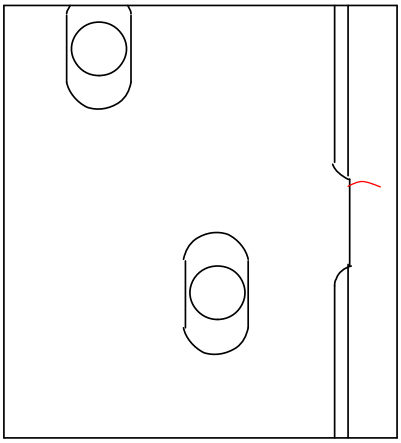
コーナー2　4面　10タブ

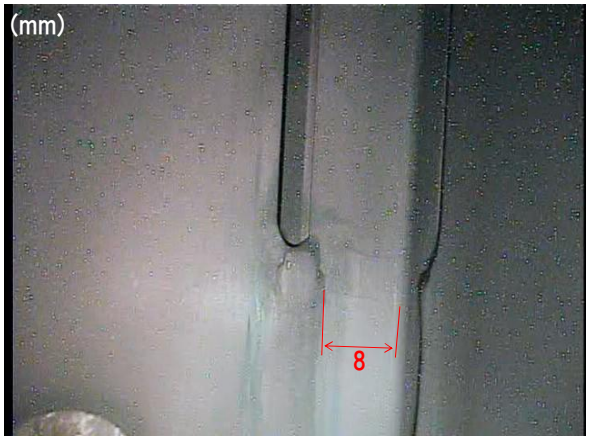
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（9／19）



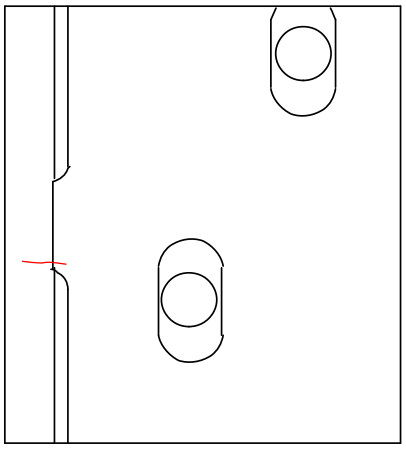


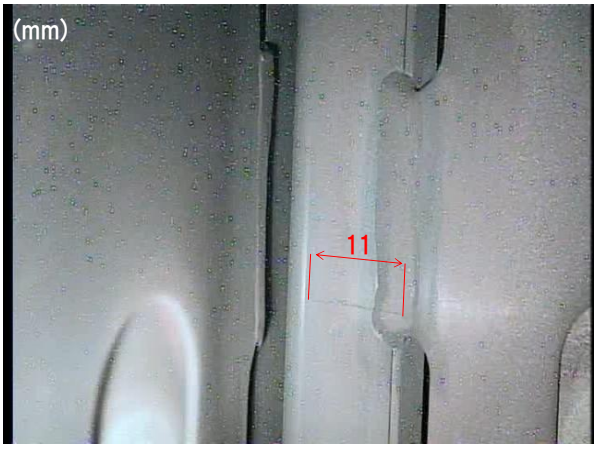
コーナー3　5面　10タブ





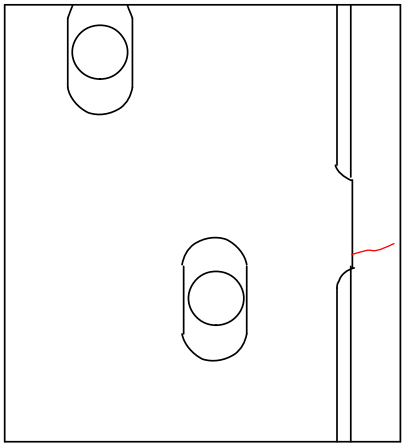
コーナー4　8面　10タブ





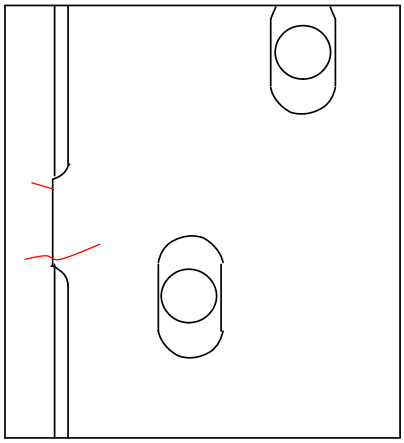
コーナー1　1面　11タブ

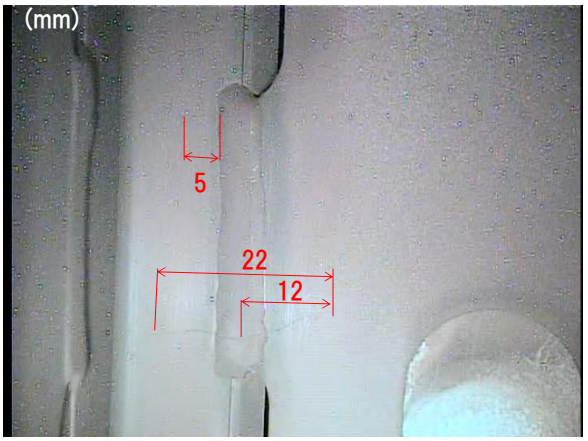
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（10／19）



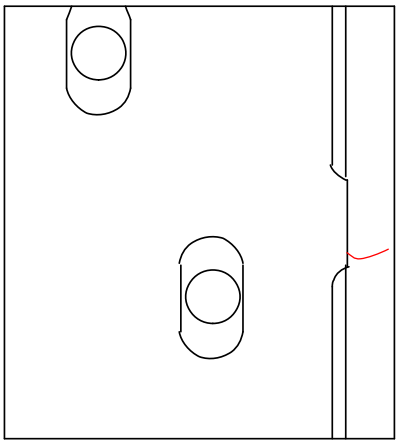


コーナー2　4面　11タブ





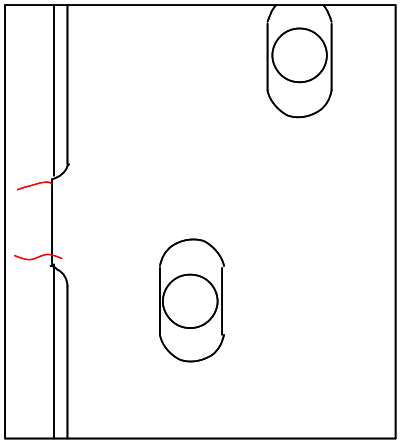
コーナー3　5面　11タブ

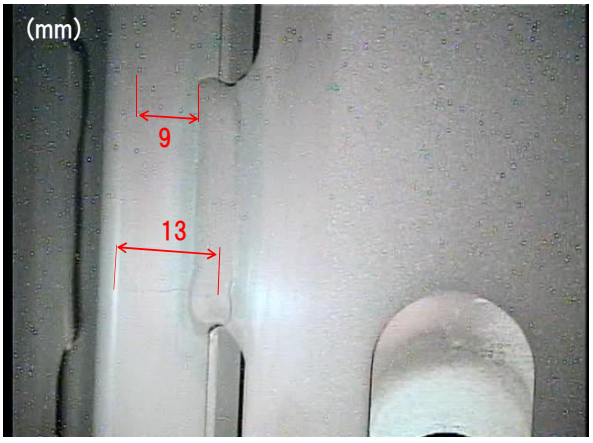




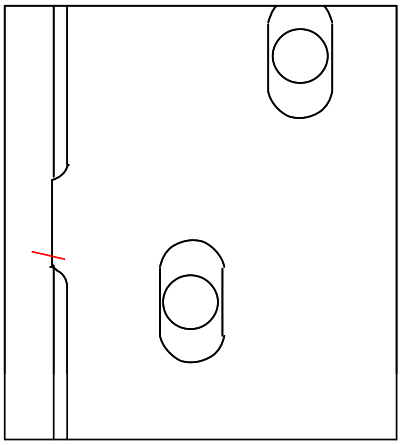
コーナー4　8面　11タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（11／19）



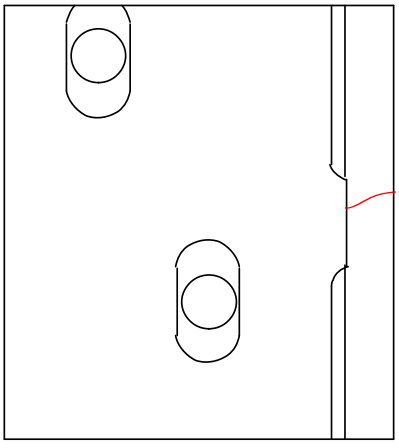


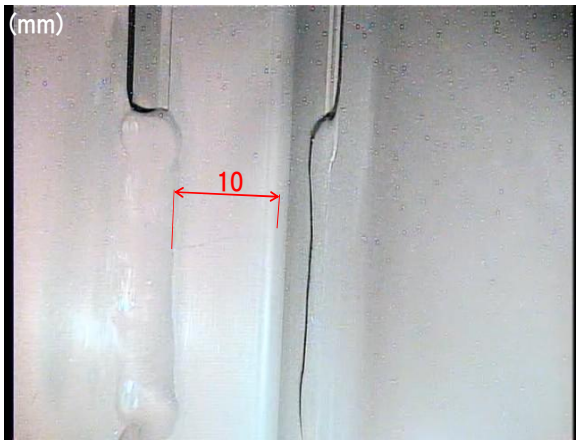
コーナー1　1面　12タブ





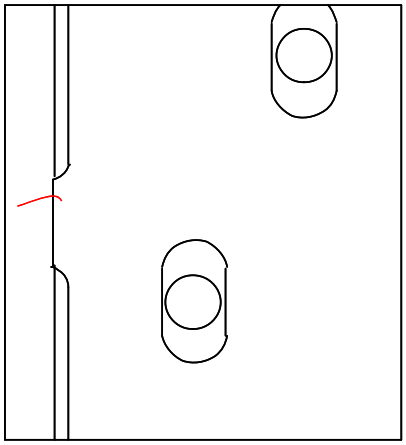
コーナー2　3面　12タブ

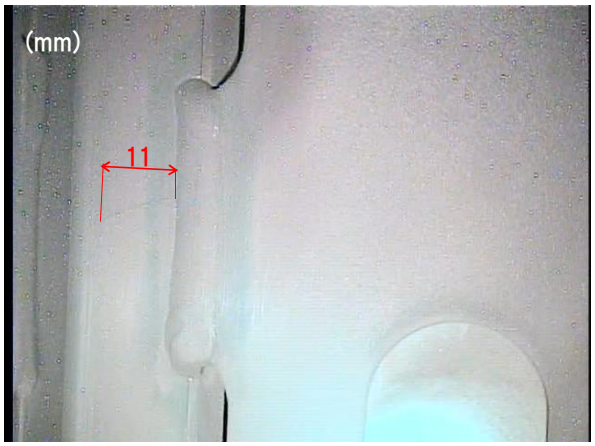




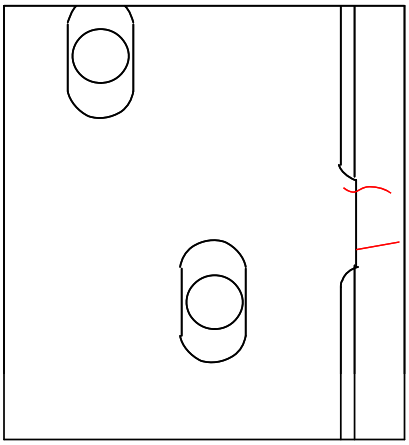
コーナー2　4面　12タブ

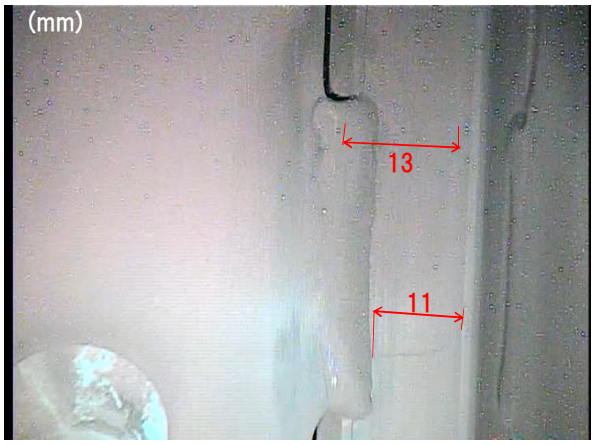
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－037）（12／19）



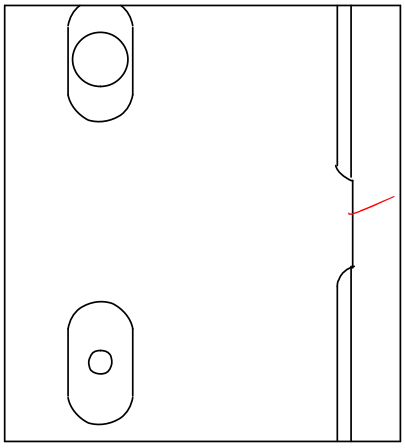


コーナー3　5面　12タブ





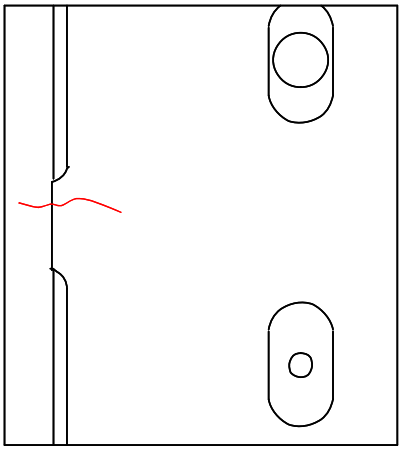
コーナー4　8面　12タブ

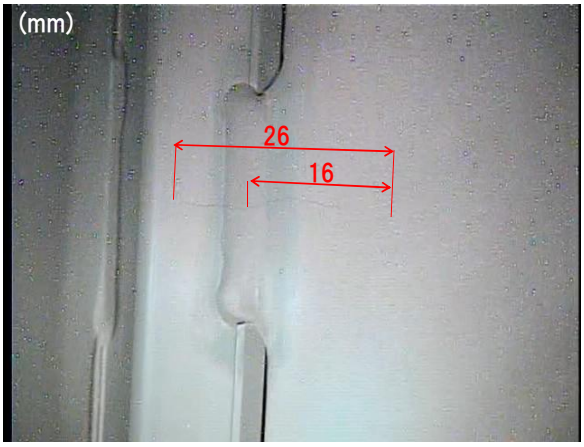




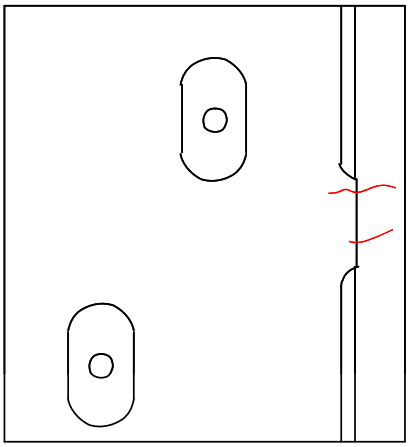
コーナー2　4面　13タブ

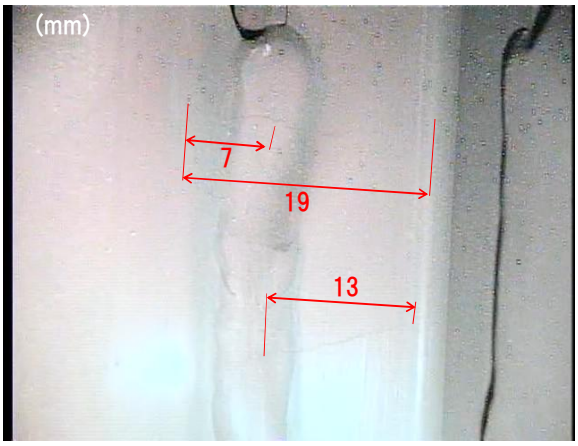
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－037）（13／19）



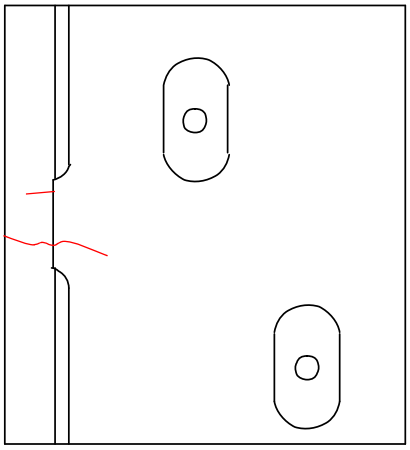


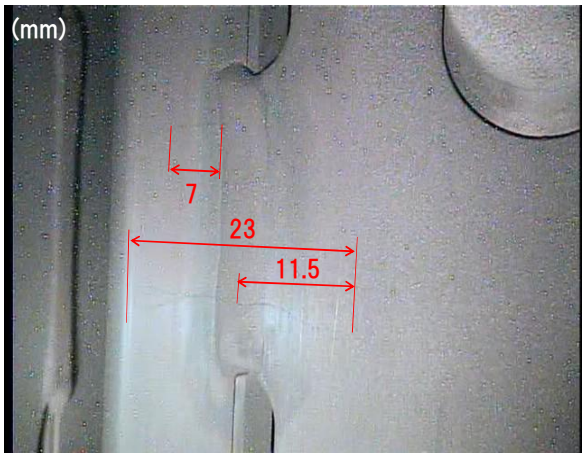
コーナー3　5面　13タブ





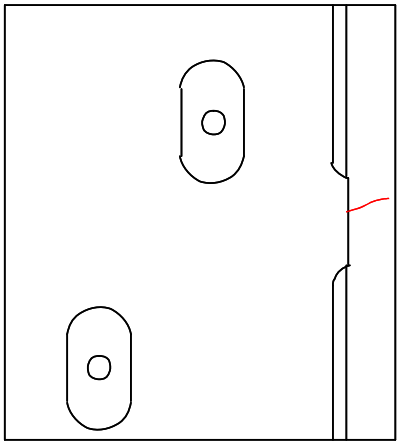
コーナー2　4面　14タブ

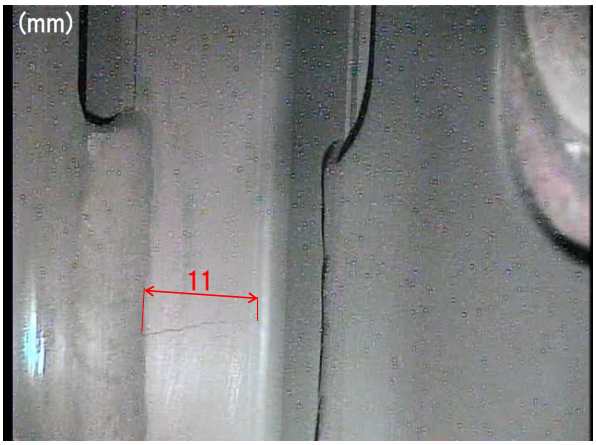




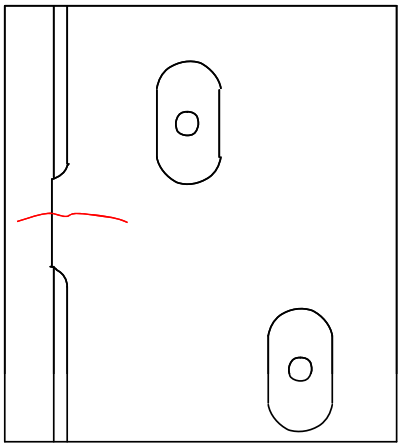
コーナー3　5面　14タブ

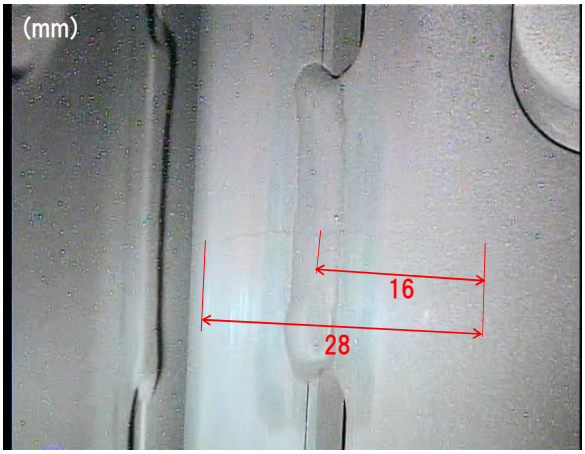
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（14／19）



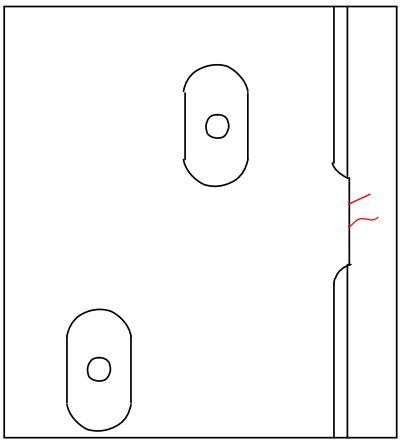


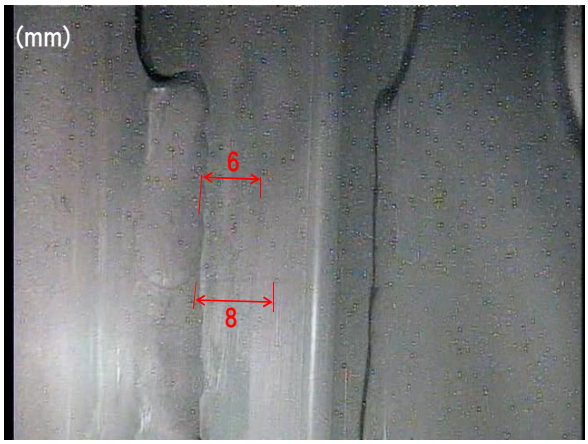
コーナー2　4面　15タブ





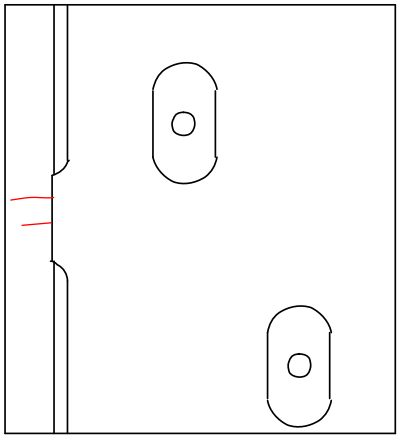
コーナー3　5面　15タブ

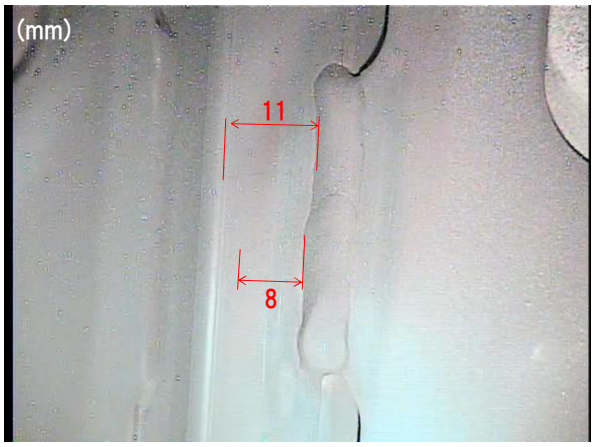




コーナー2　4面　16タブ

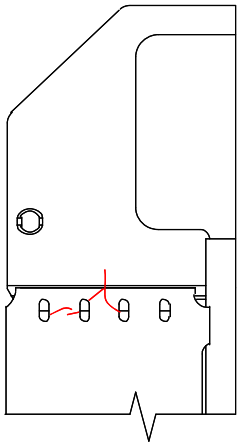
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－037）（15／19）

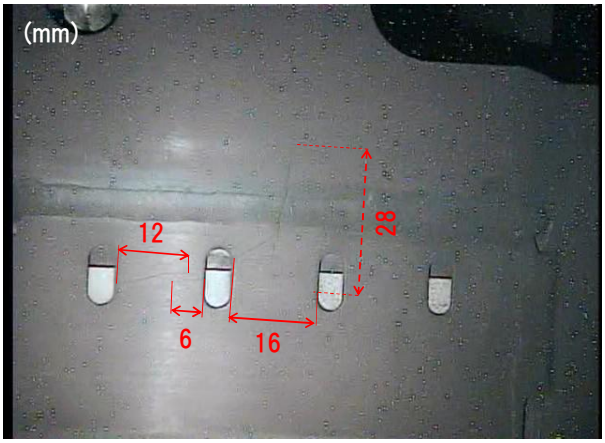




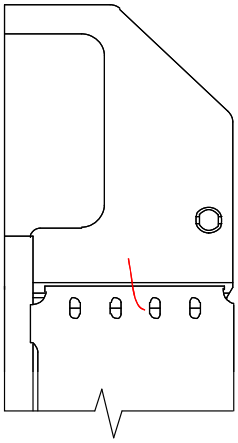
コーナー3　5面　16タブ

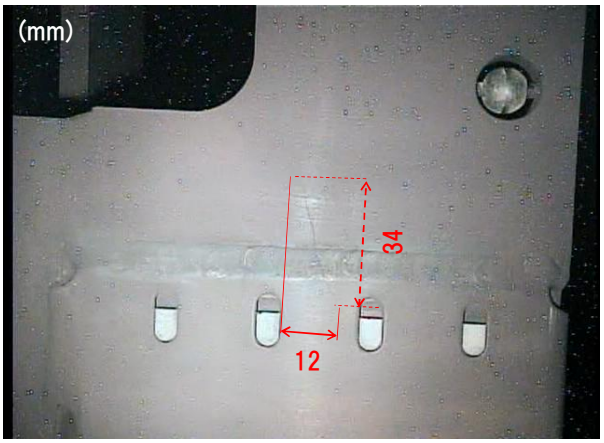
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（16／19）



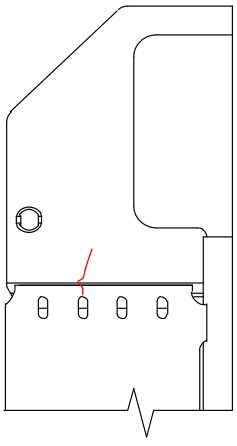


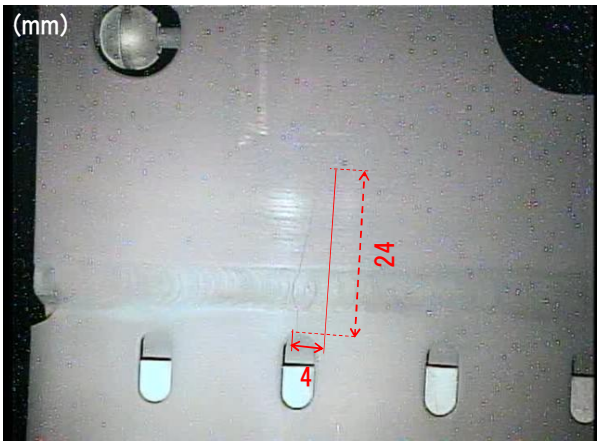
2面





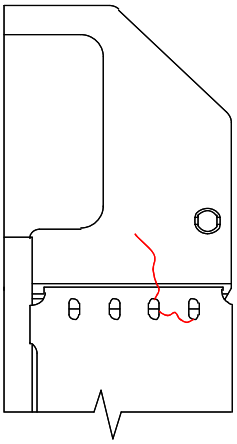
3面

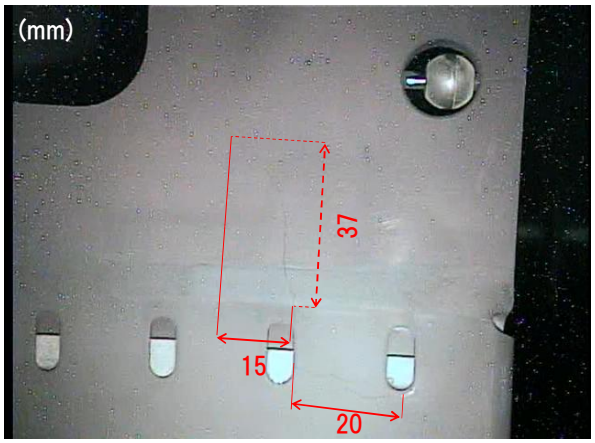




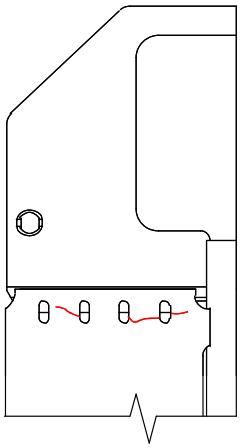
4面

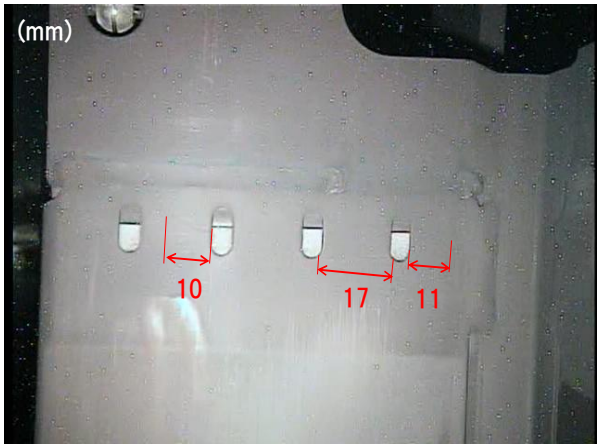
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（17／19）





5面



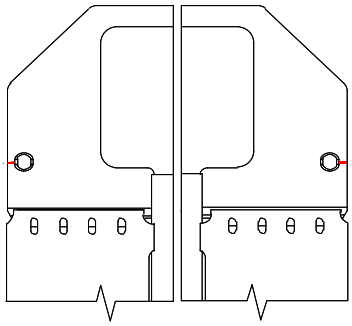


8面

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（18／19）



２面

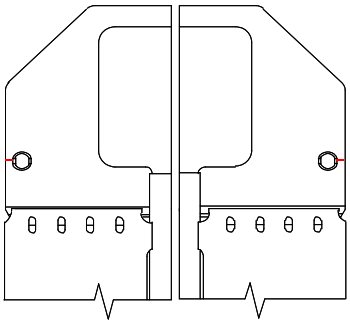




１面



４面

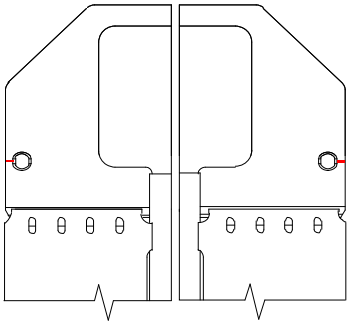




３面



６面

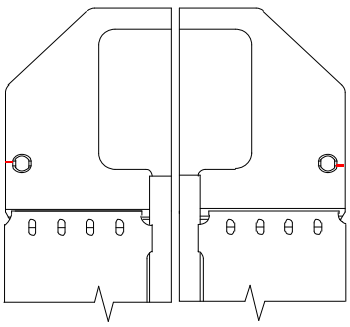


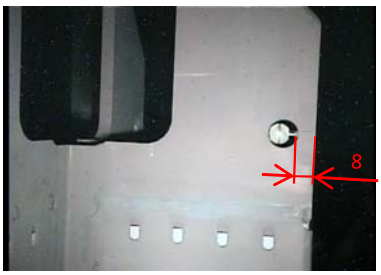


５面



８面

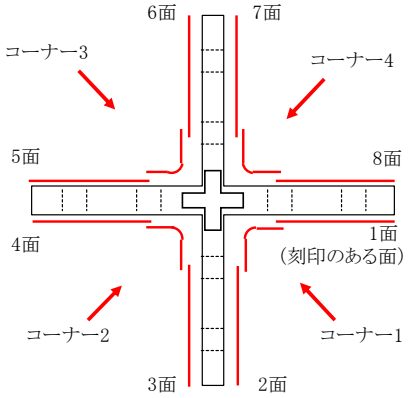


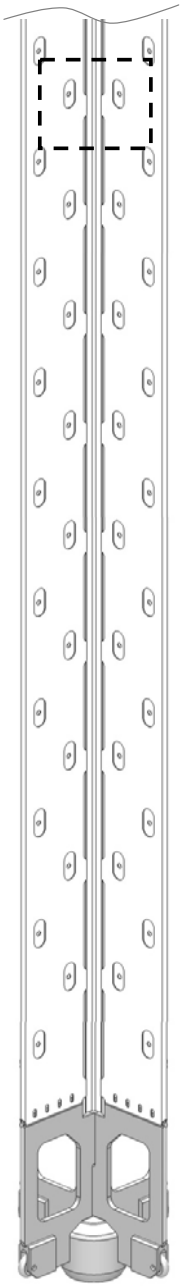


７面

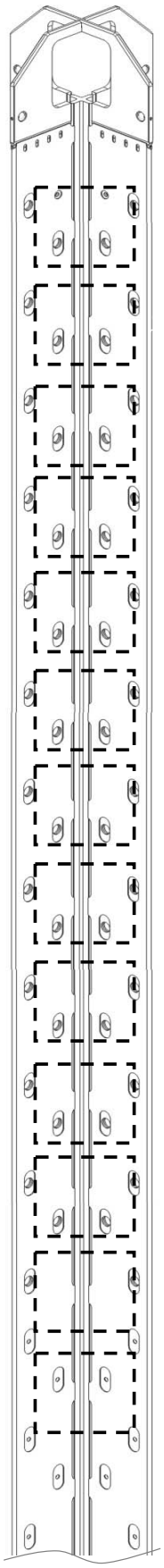
単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－037）（19／19）





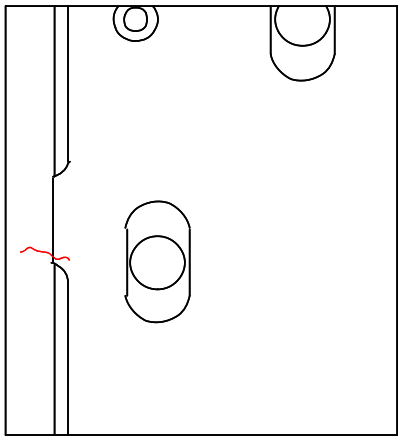
16タブ

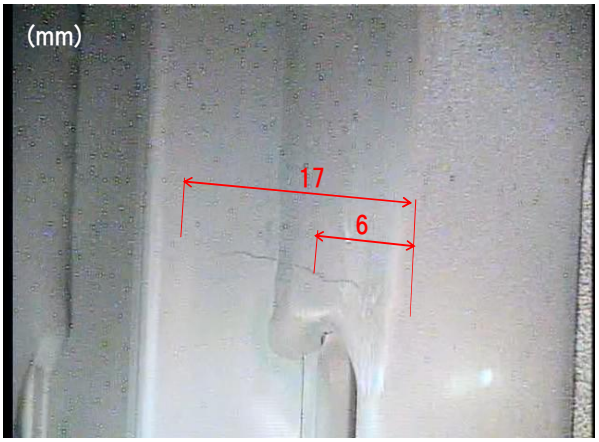


2タブ
3タブ
4タブ
5タブ
6タブ
7タブ
8タブ
9タブ
10タブ
11タブ
12タブ
13タブ
14タブ

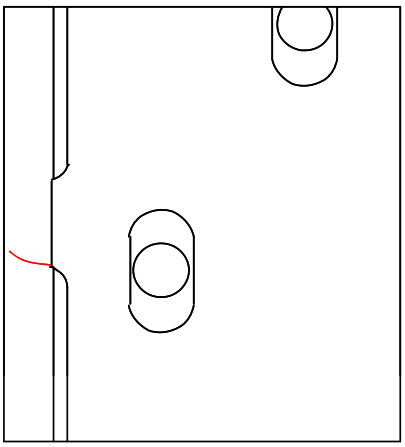
ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（1／19）



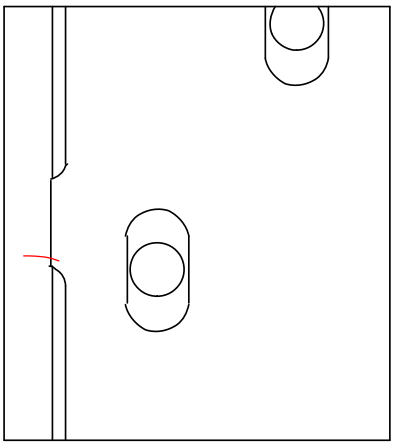


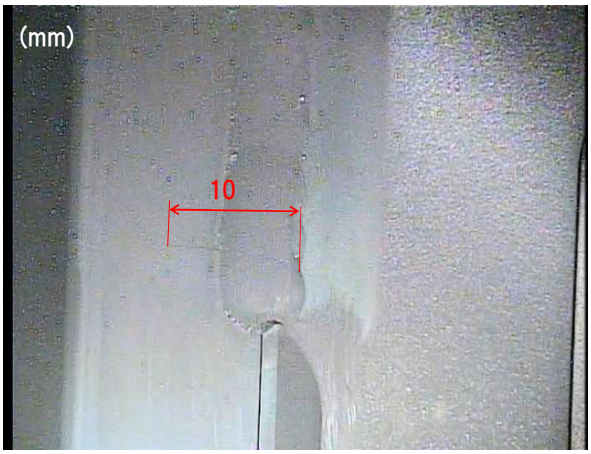
コーナー1　1面　　2タブ





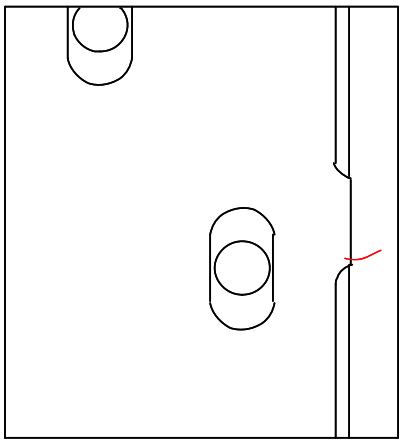
コーナー1　1面　　3タブ

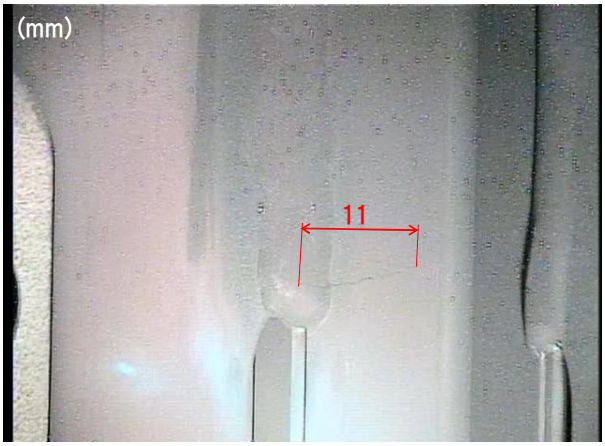




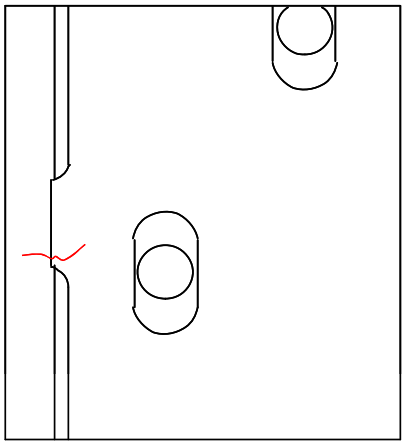
コーナー3　5面　　3タブ

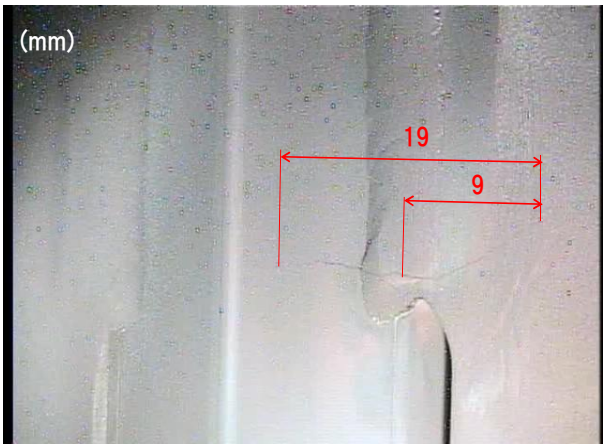
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（2／19）



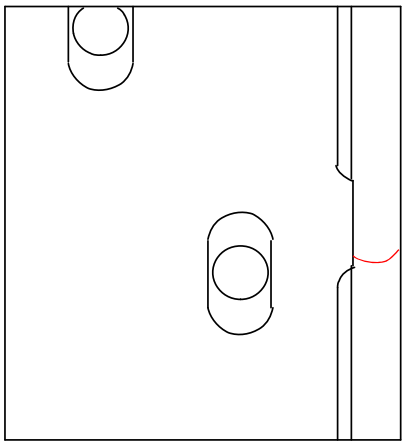


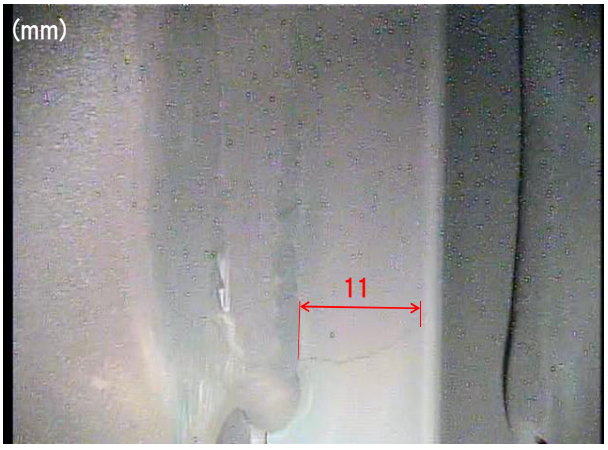
コーナー4　8面　　3タブ





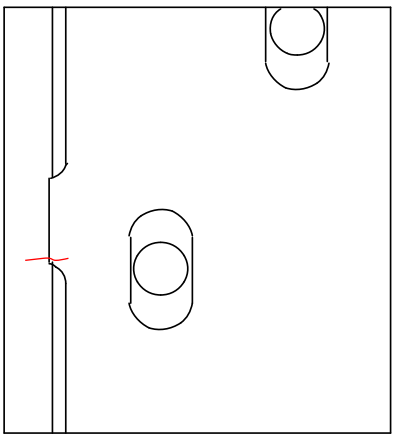
コーナー1　1面　　4タブ

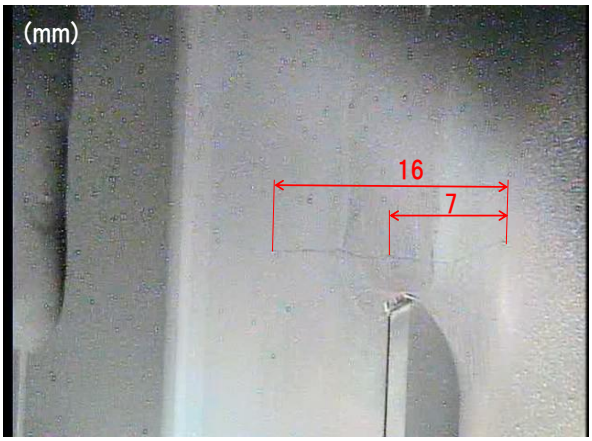




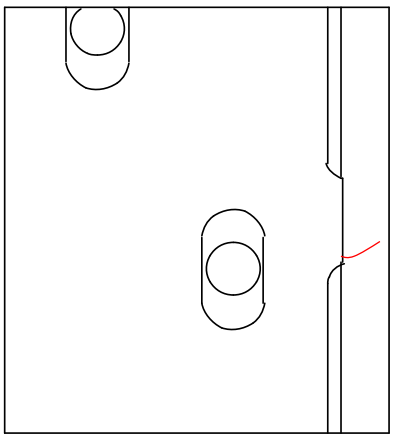
コーナー2　4面　　4タブ

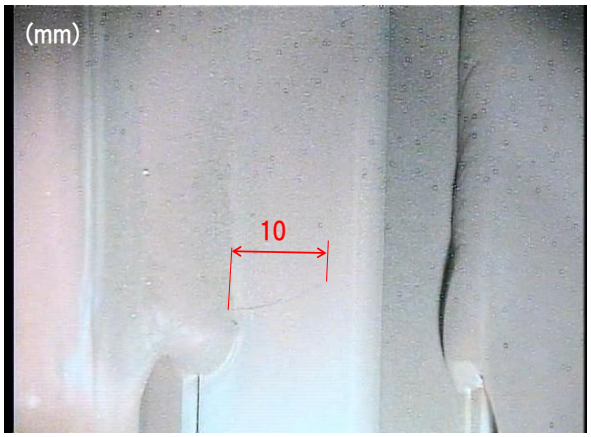
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（3／19）



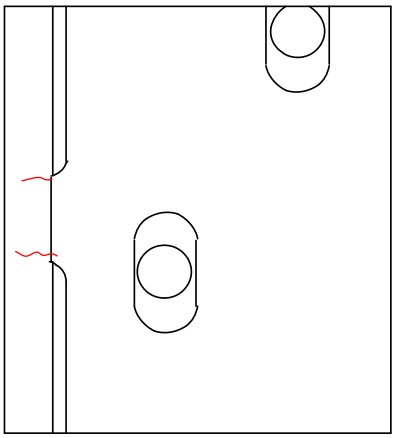


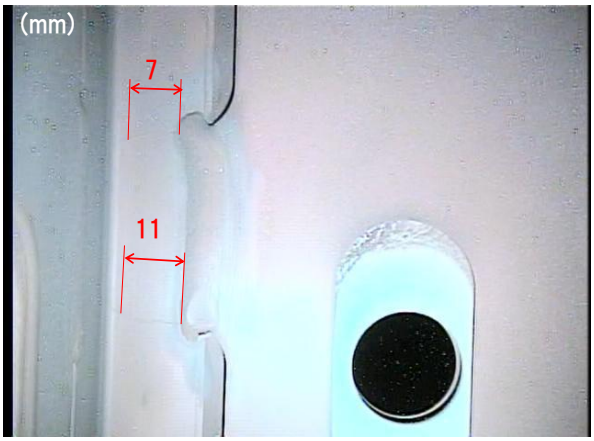
コーナー3　5面　　4タブ





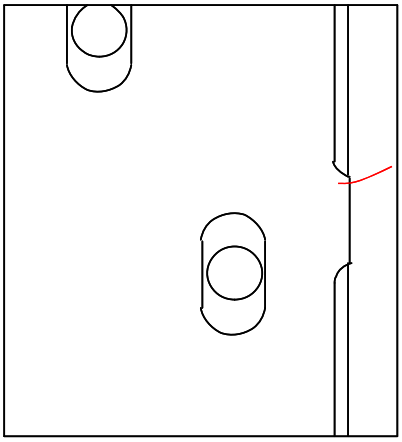
コーナー4　8面　　4タブ

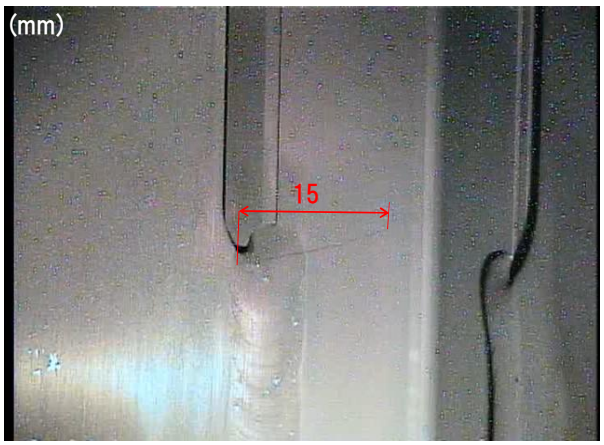




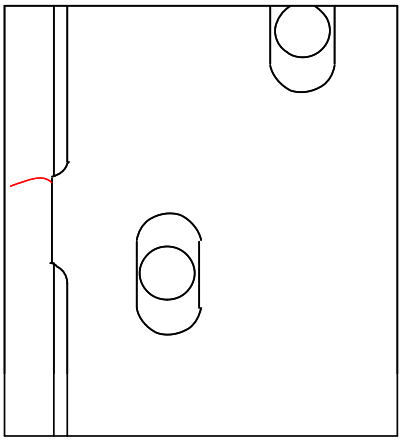
コーナー1　1面　　5タブ

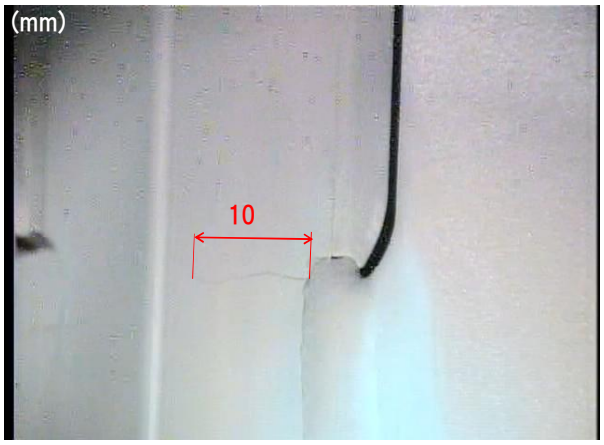
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（4／19）



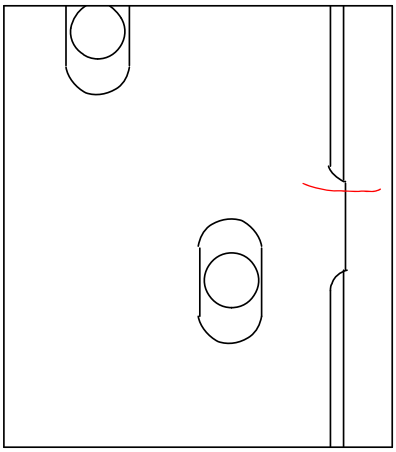


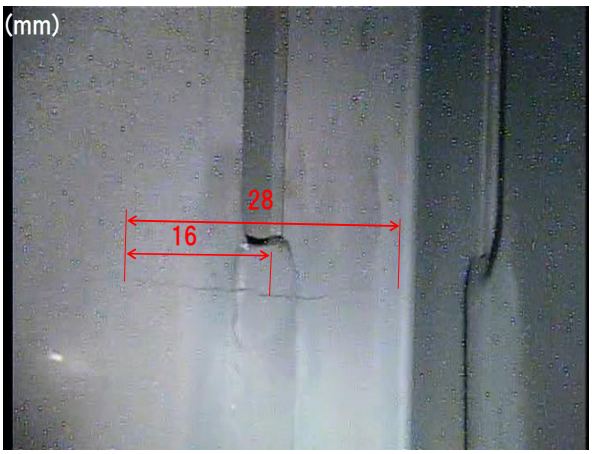
コーナー1　2面　　5タブ





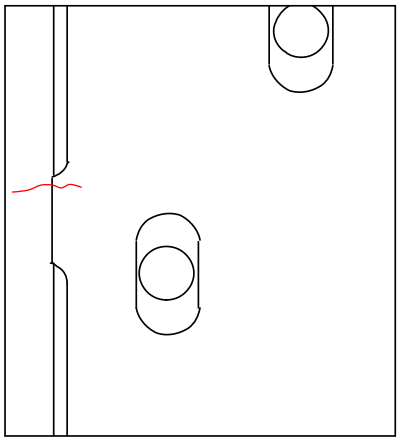
コーナー2　3面　　5タブ

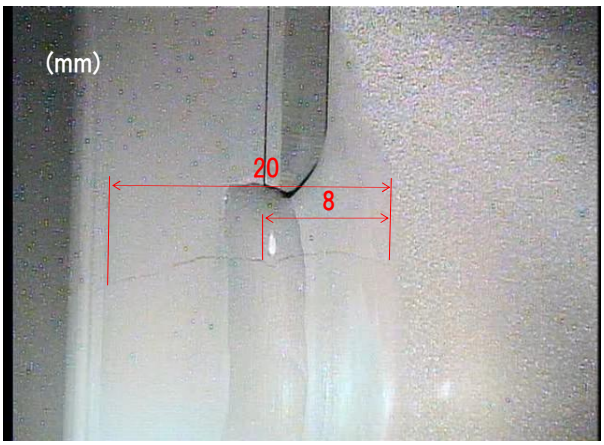




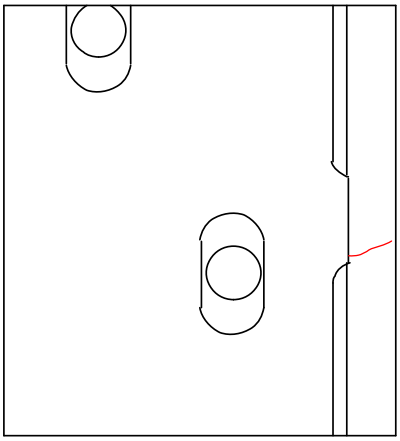
コーナー2　4面　　5タブ

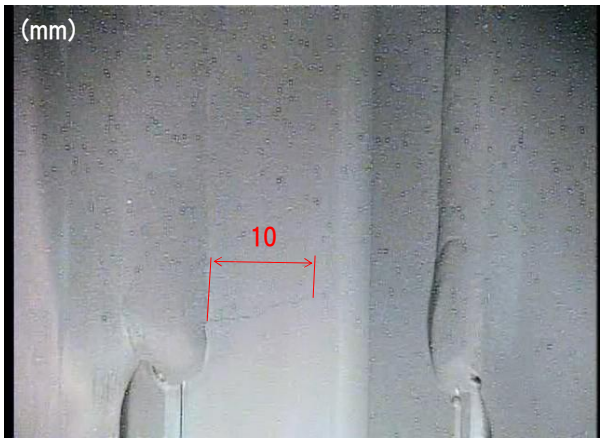
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（5／19）



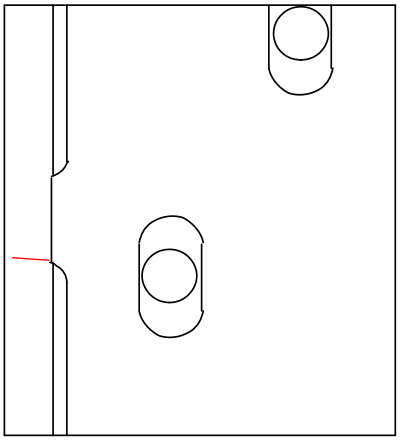


コーナー3　5面　　5タブ





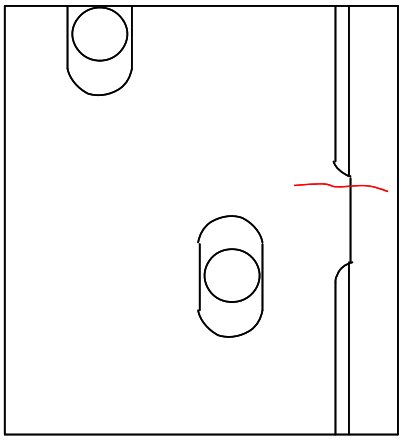
コーナー4　8面　　5タブ

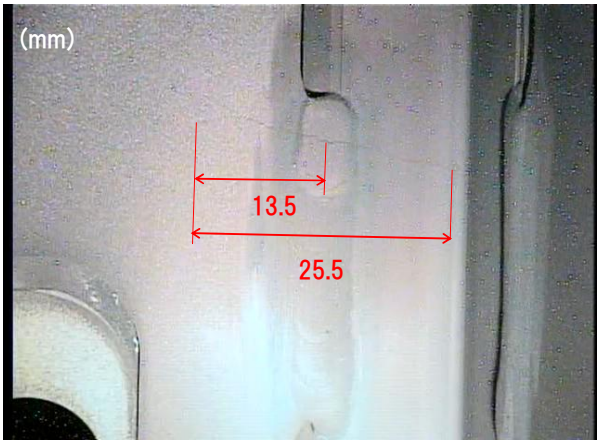




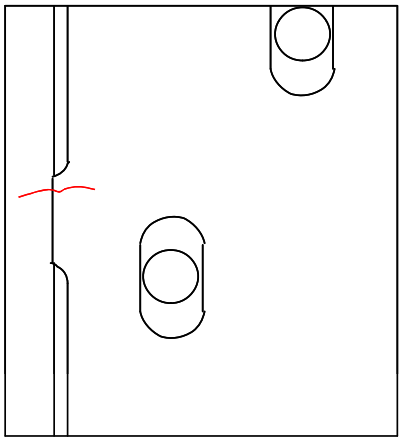
コーナー1　1面　　6タブ

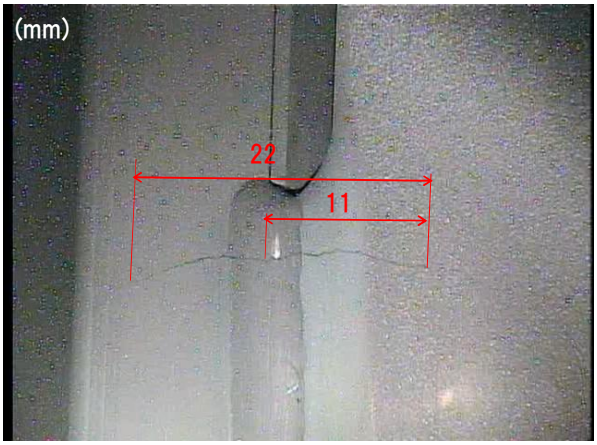
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（6／19）



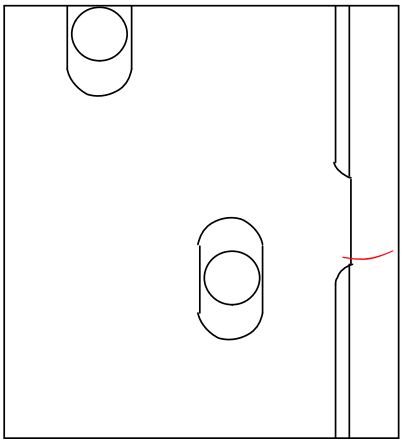


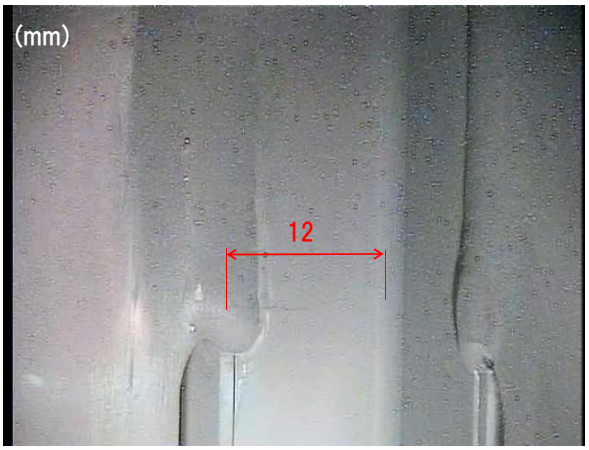
コーナー2　4面　6タブ





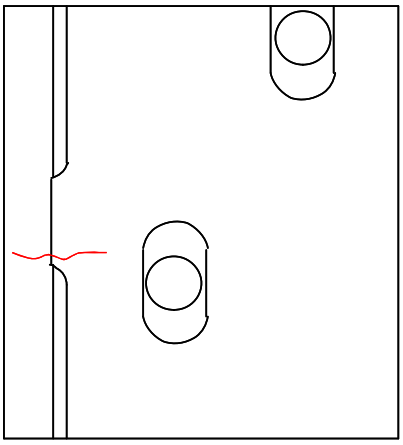
コーナー3　5面　6タブ

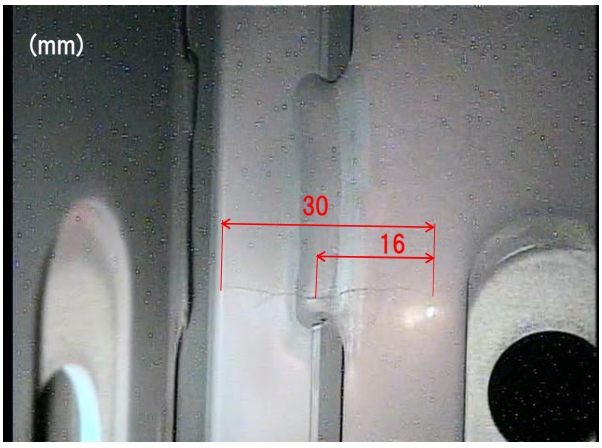




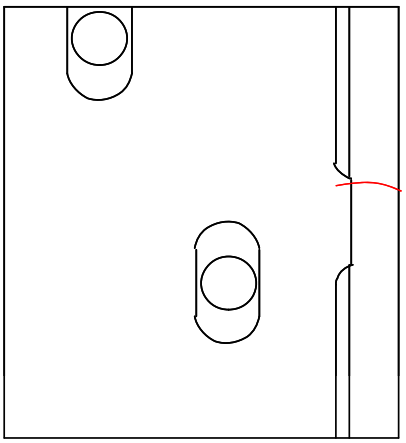
コーナー4　8面　6タブ

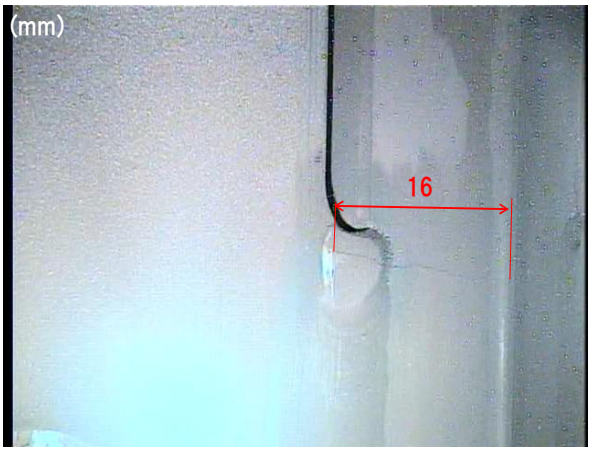
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（7／19）



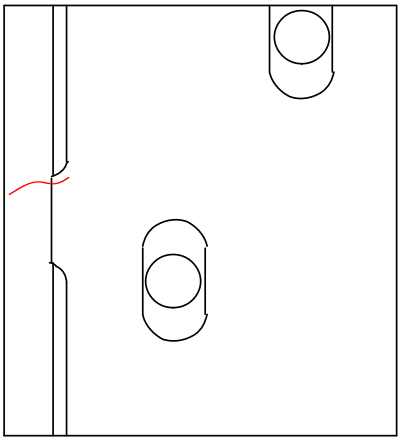


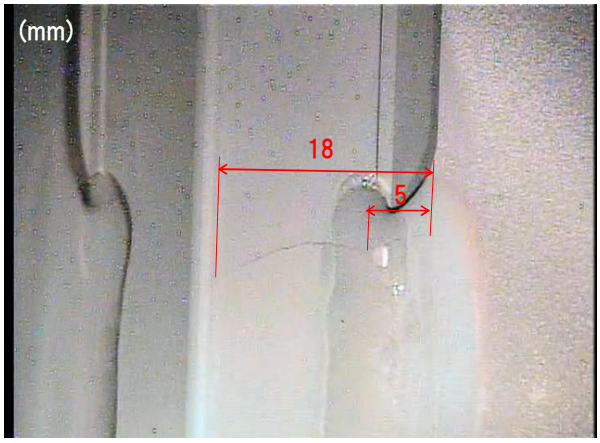
コーナー1　1面　7タブ





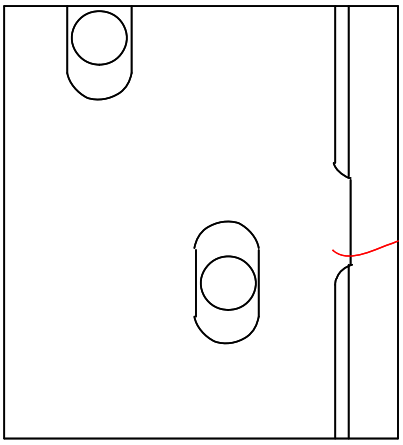
コーナー2　4面　7タブ

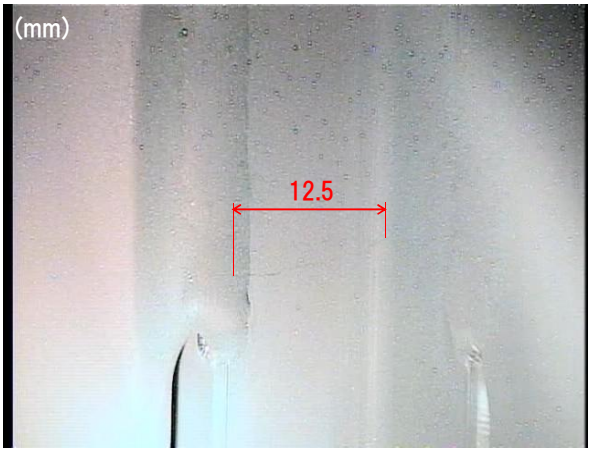




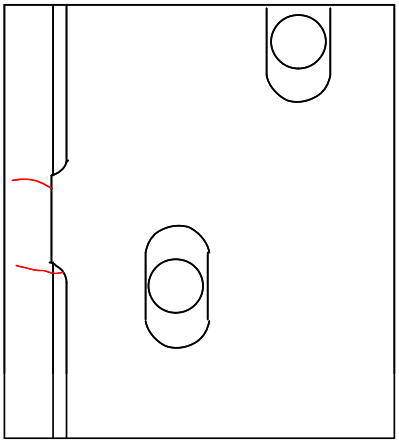
コーナー3　5面　7タブ

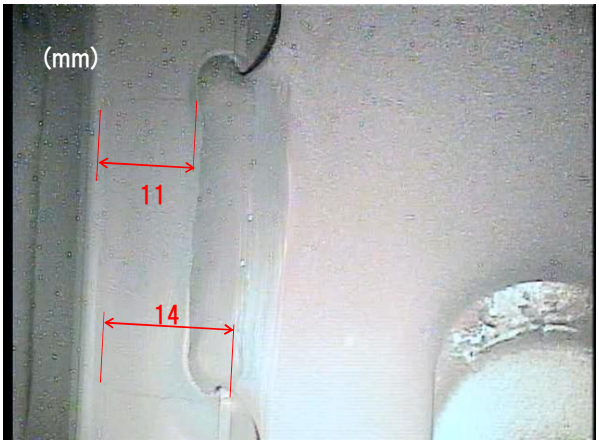
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（8／19）



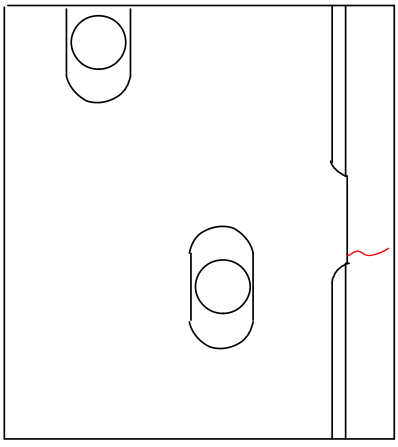


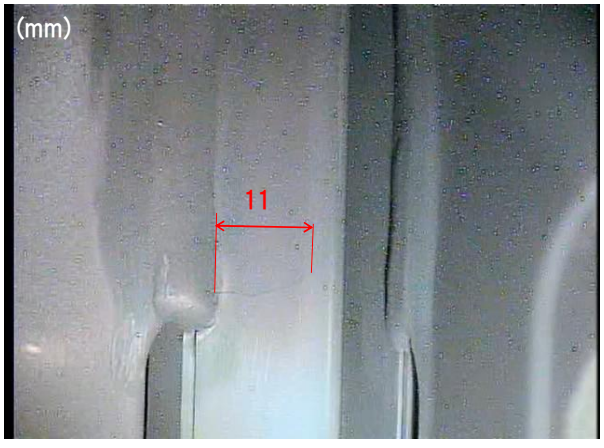
コーナー4　8面　　7タブ





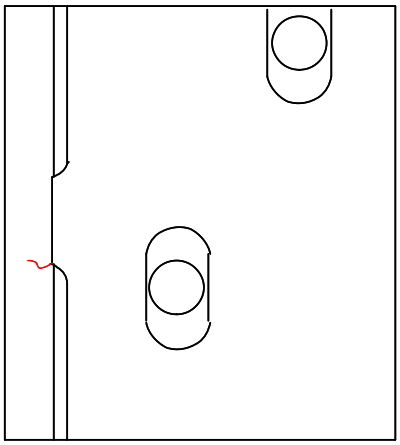
コーナー1　1面　　8タブ





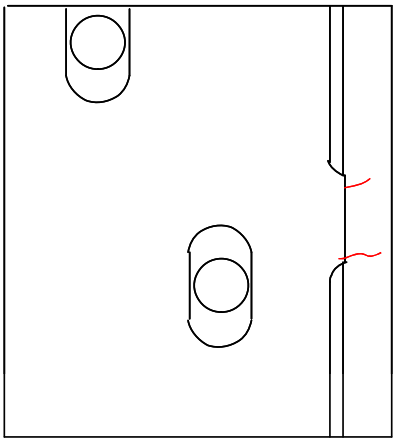
コーナー2　4面　　8タブ

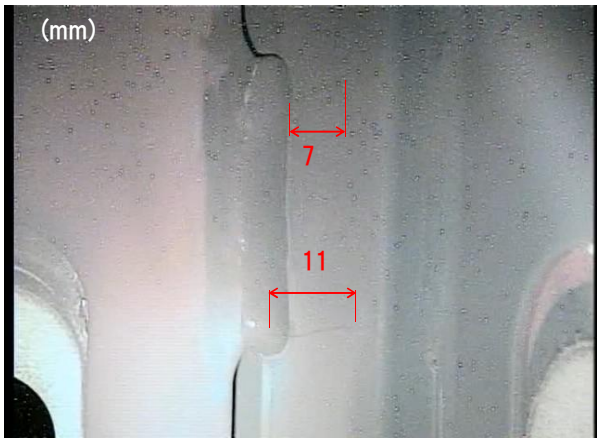
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（9／19）



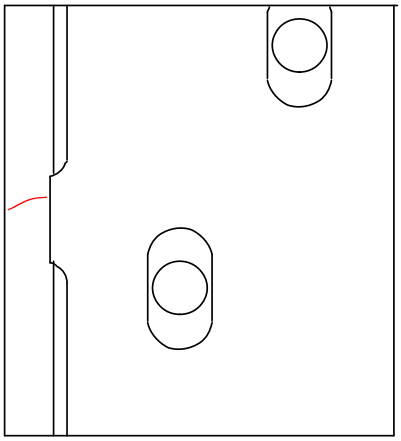


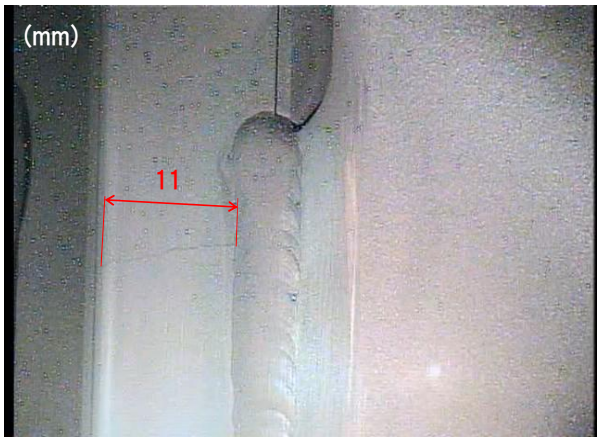
コーナー3　5面　　8タブ





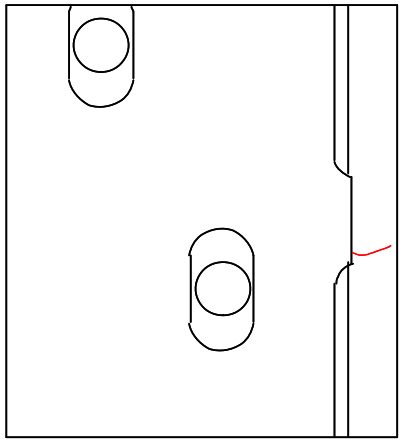
コーナー4　8面　　8タブ

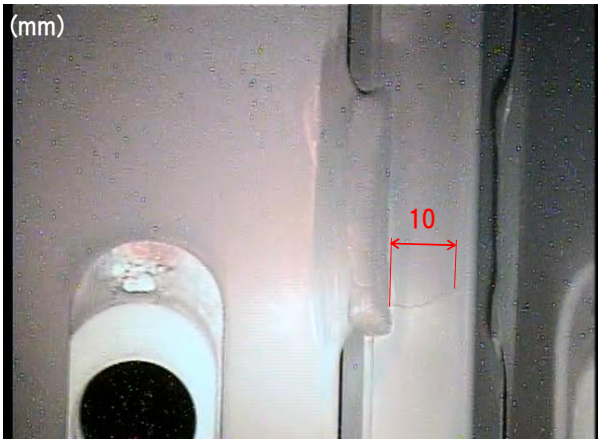




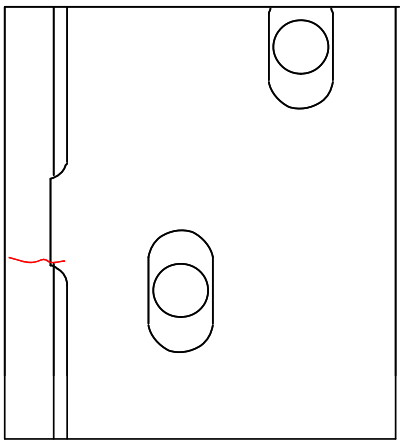
コーナー1　1面　　9タブ

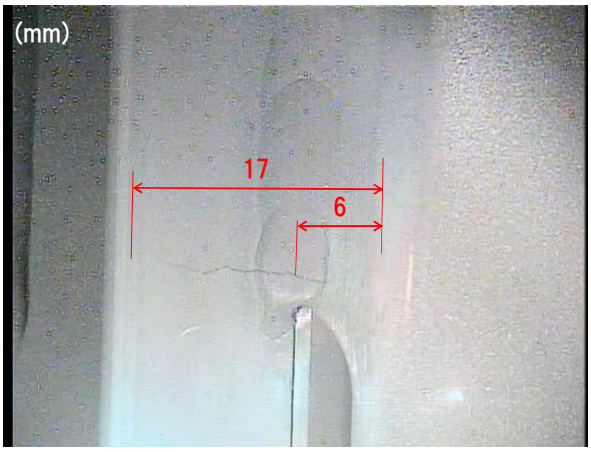
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－042）（10／19）



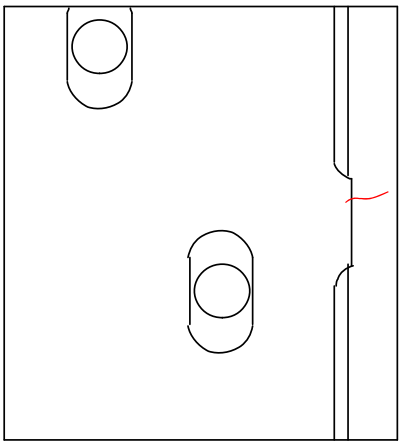


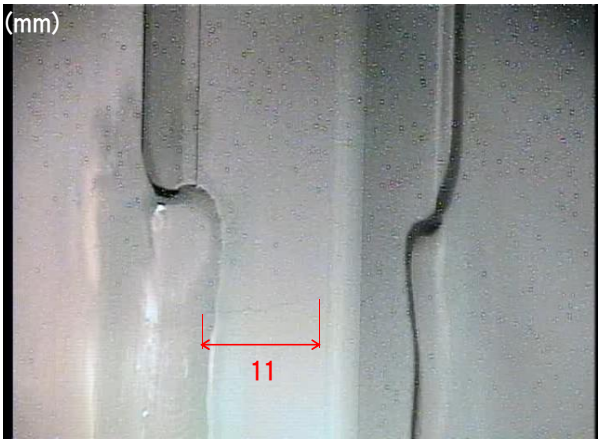
コーナー2　4面　　9タブ





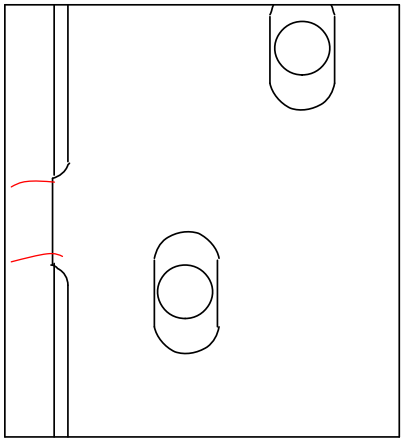
コーナー3　5面　　9タブ

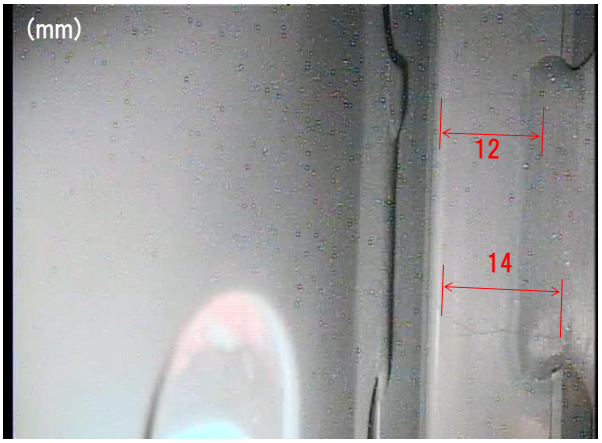




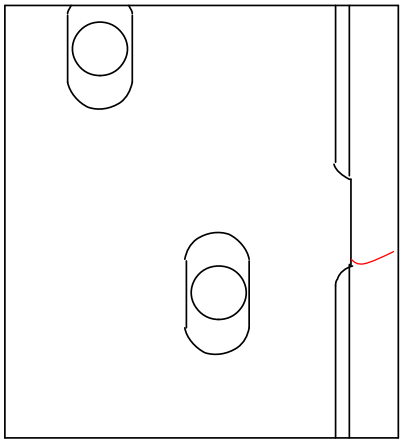
コーナー4　8面　　9タブ

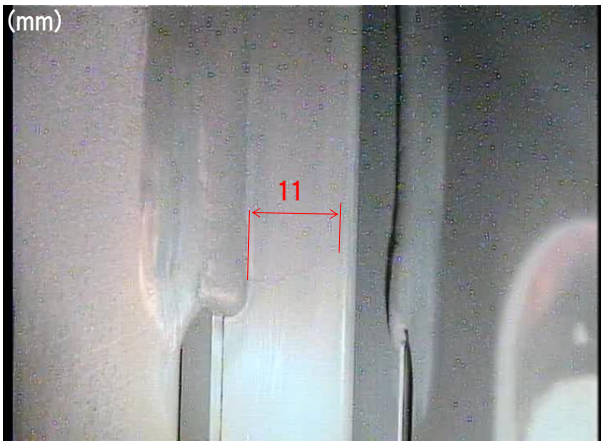
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－042）（11／19）



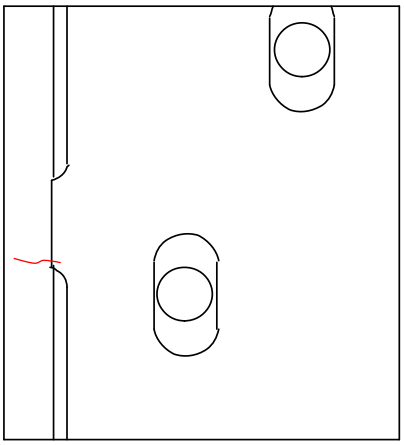


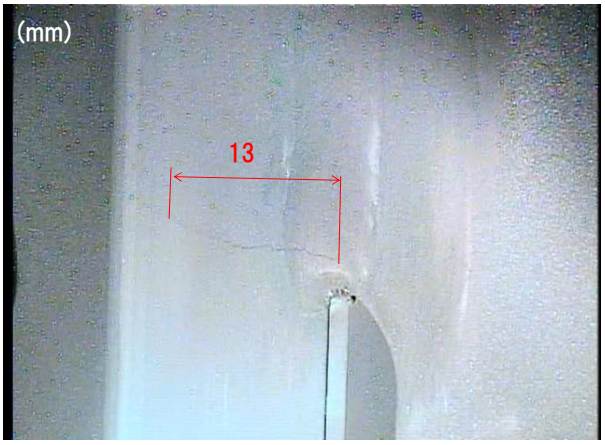
コーナー1　1面　　10タブ





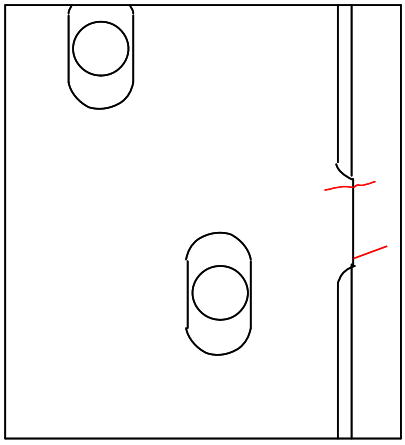
コーナー2　4面　　10タブ

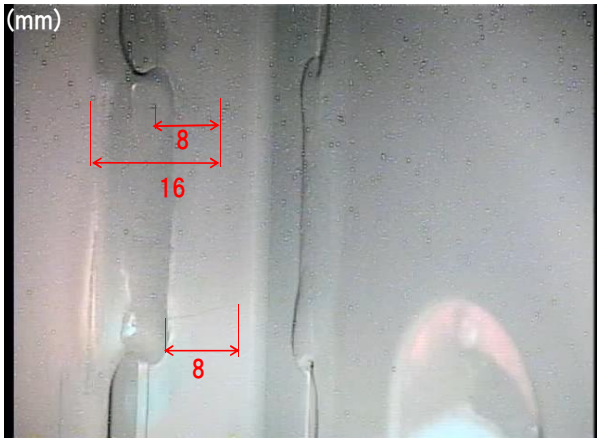




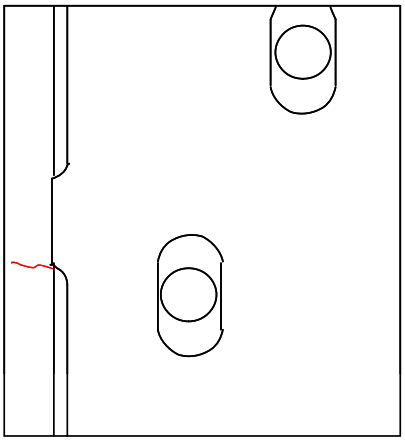
コーナー3　5面　　10タブ

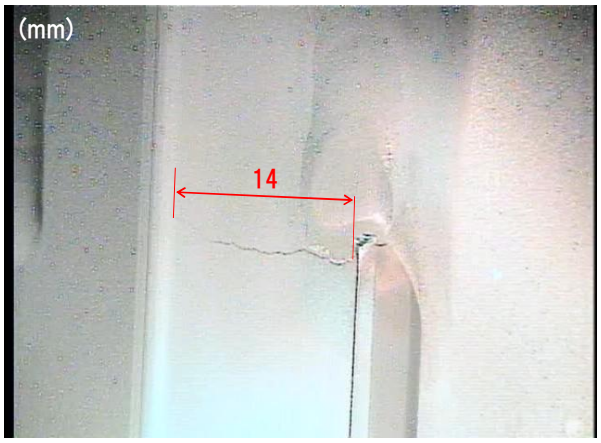
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（12／19）



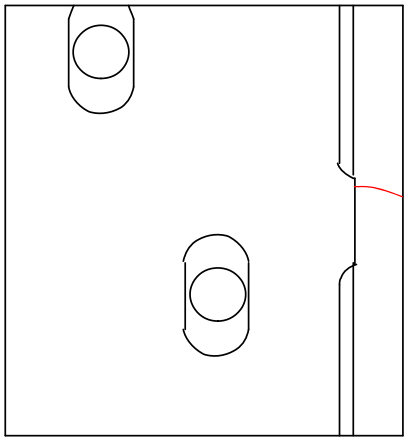


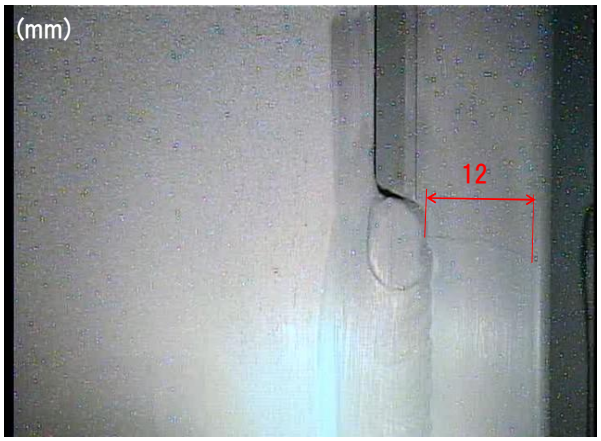
コーナー4　8面　　10タブ





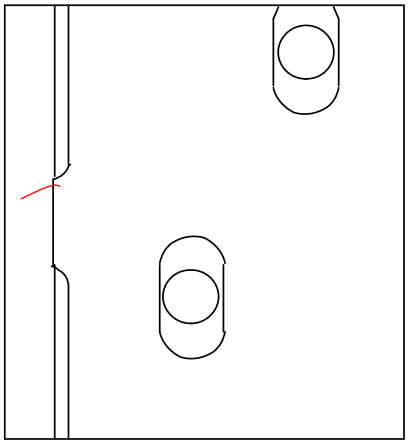
コーナー1　1面　　11タブ

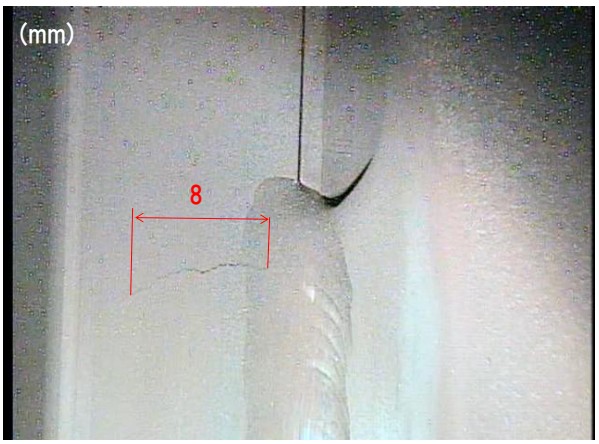




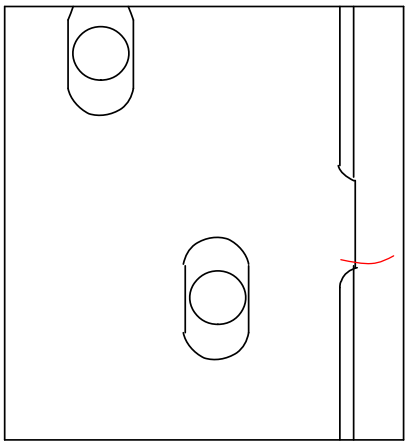
コーナー2　4面　　11タブ

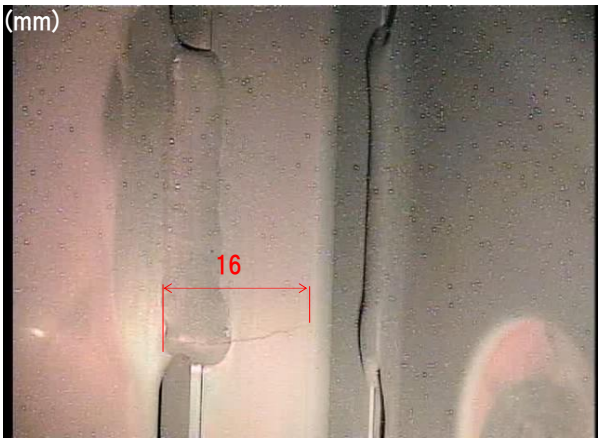
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－042）（13／19）



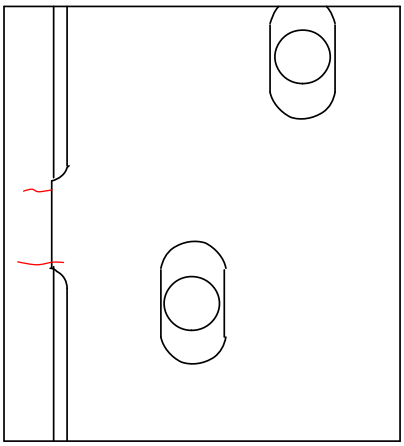


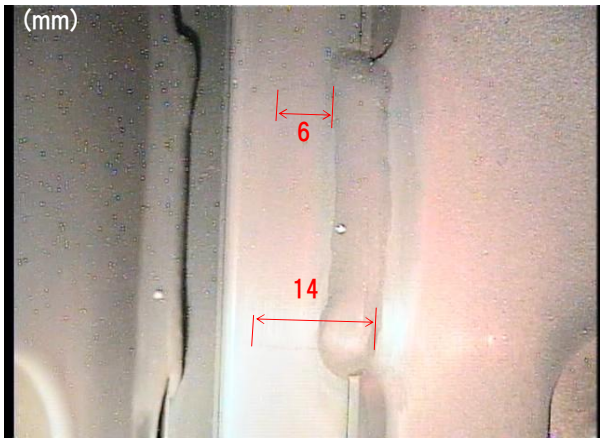
コーナー3　5面　　11タブ





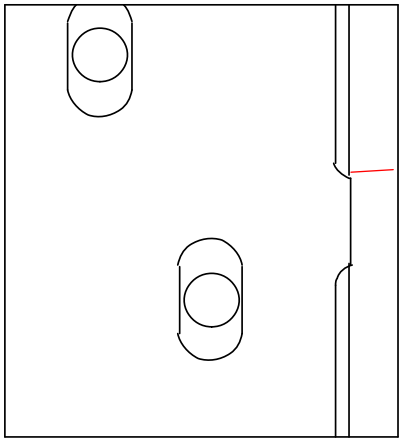
コーナー4　8面　　11タブ

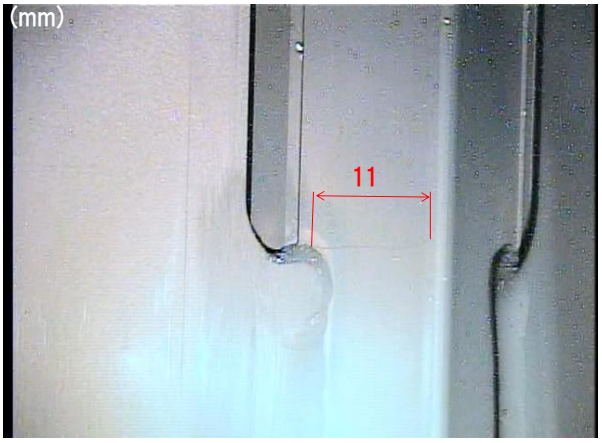




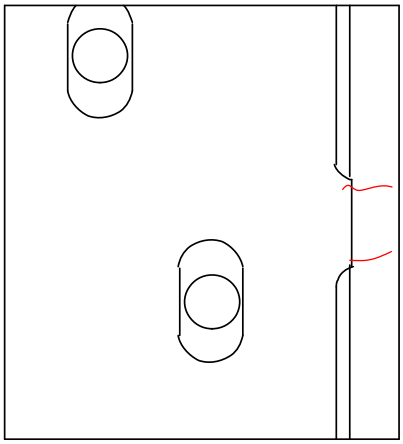
コーナー1　1面　　12タブ

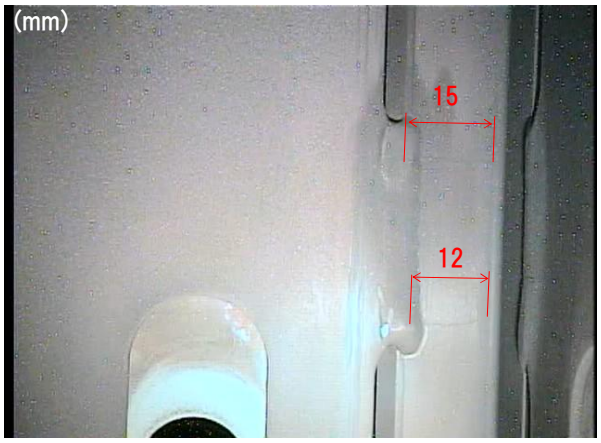
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（14／19）



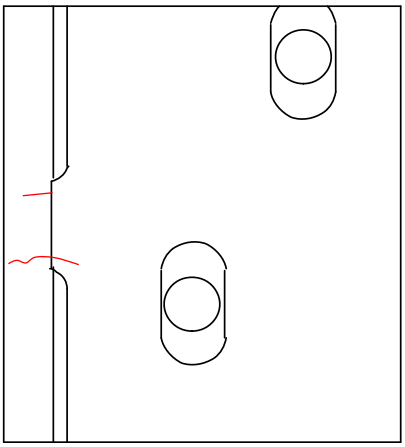


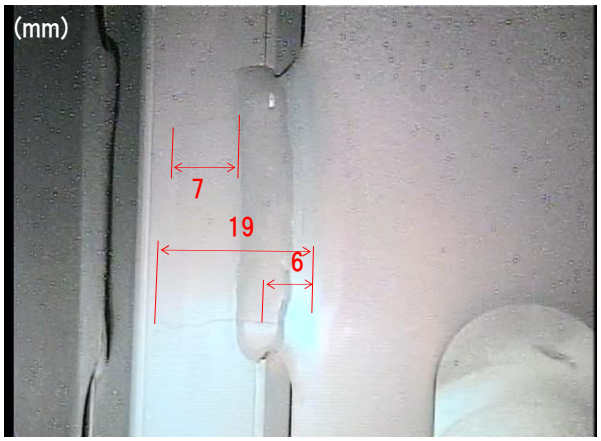
コーナー1　2面　　12タブ





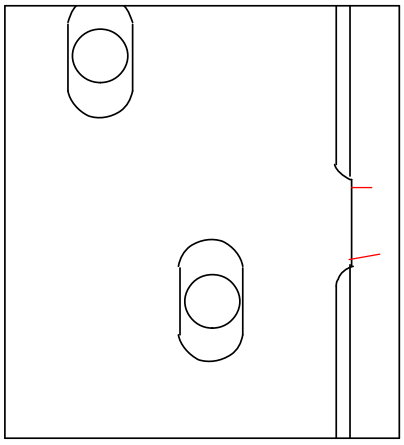
コーナー2　4面　　12タブ

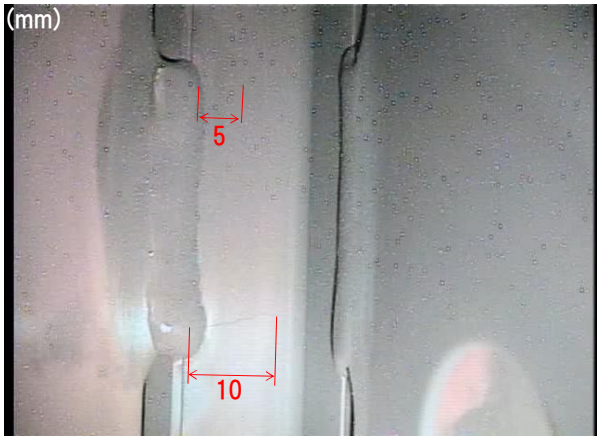




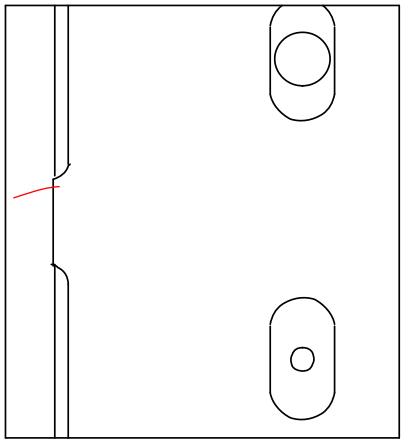
コーナー3　5面　　12タブ

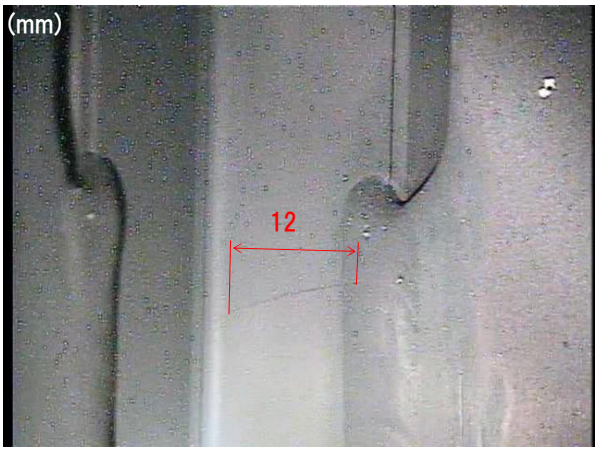
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（15／19）



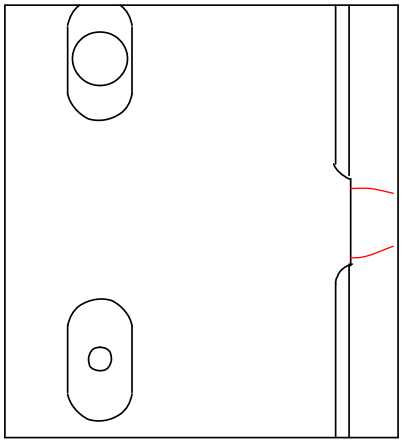


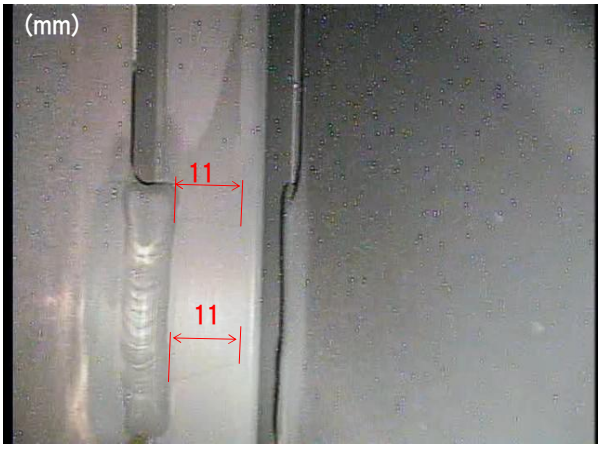
コーナー4　8面　　12タブ





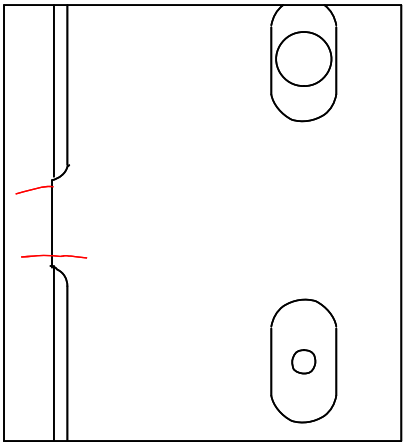
コーナー1　1面　　13タブ

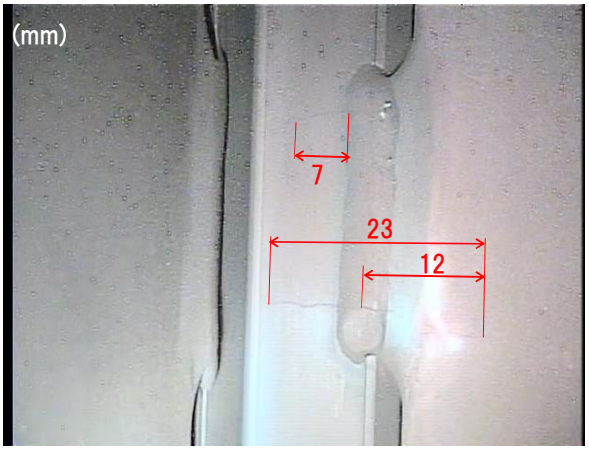




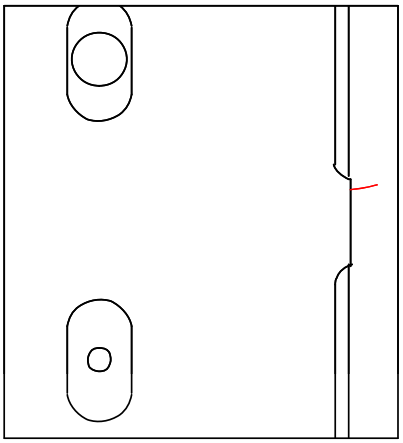
コーナー2　4面　　13タブ

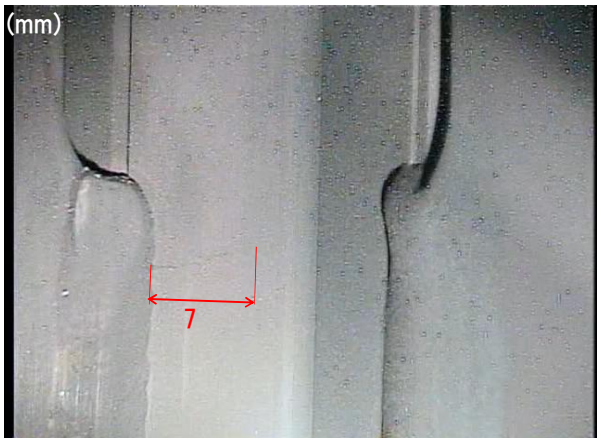
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（16／19）



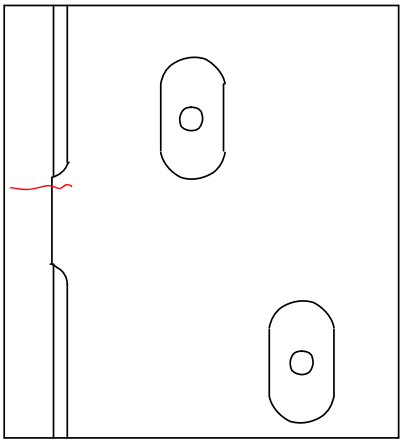


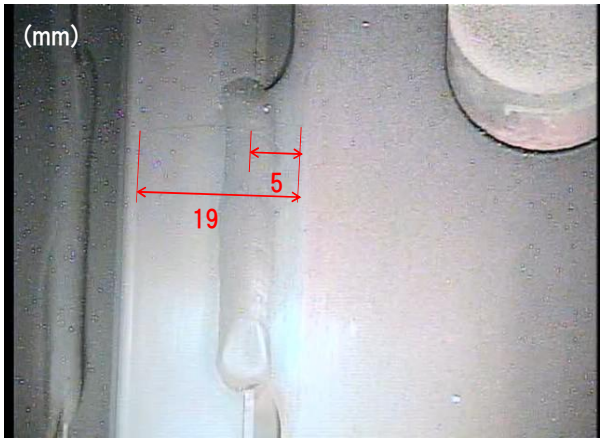
コーナー3　5面　　13タブ





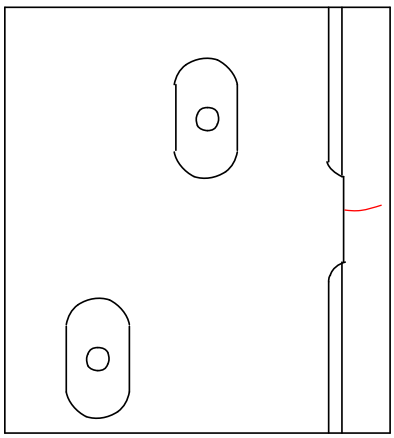
コーナー4　8面　　13タブ

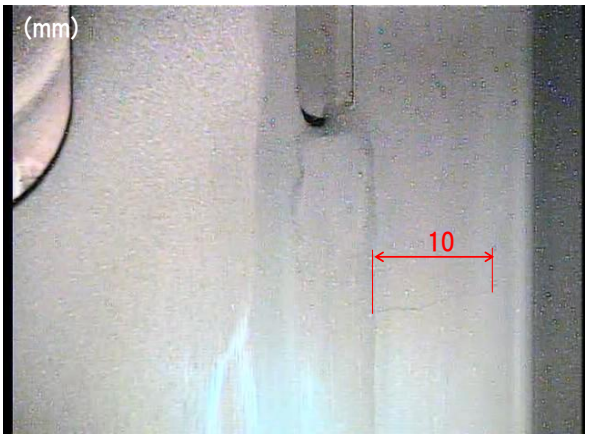




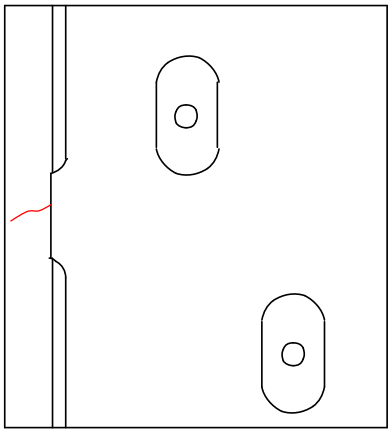
コーナー1　1面　　14タブ

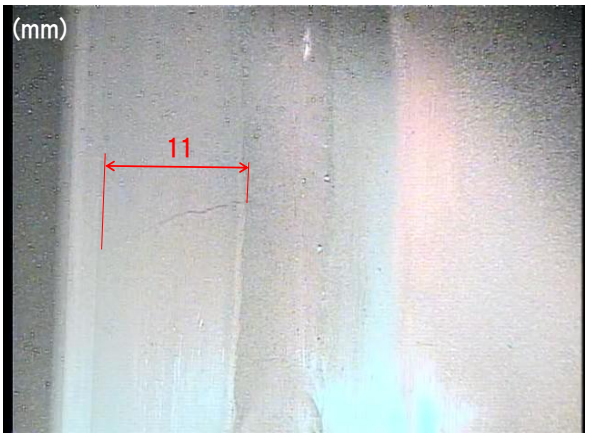
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（17／19）



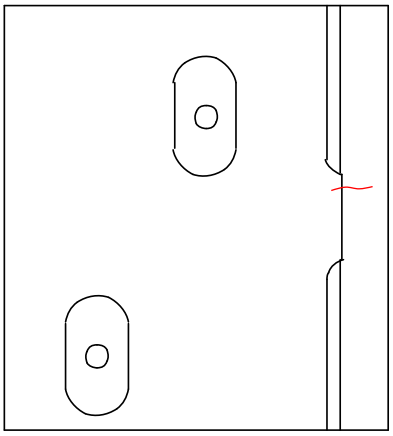


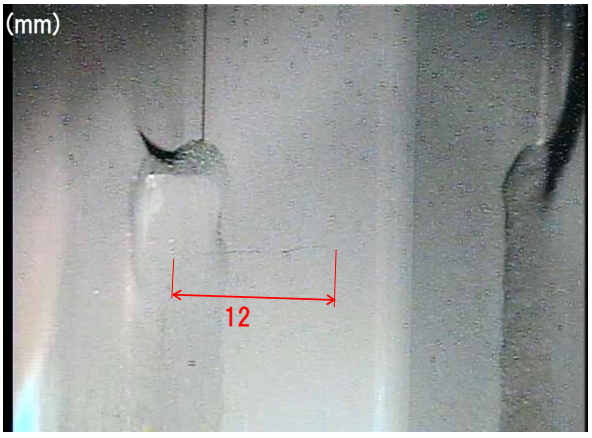
コーナー2　4面　　14タブ





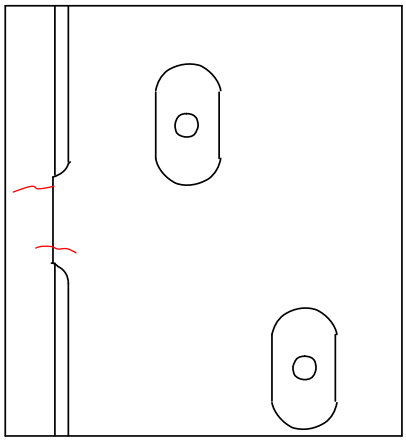
コーナー3　5面　　14タブ

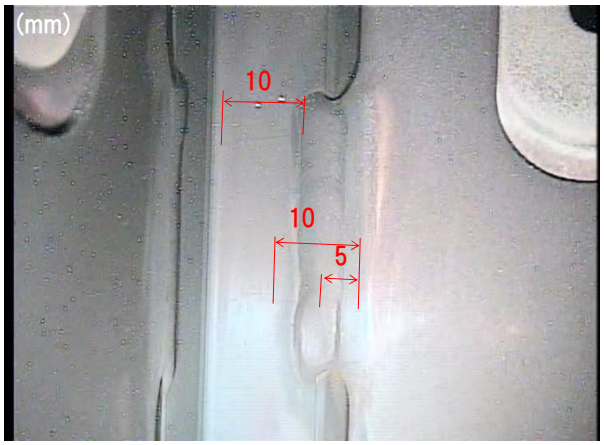




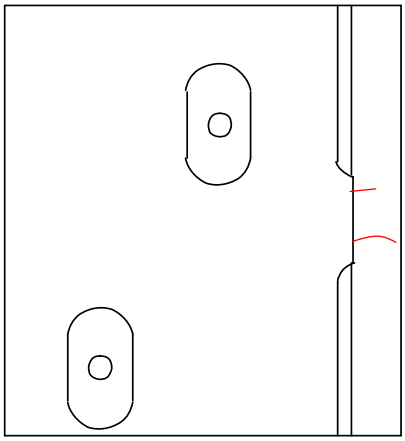
コーナー4　8面　　14タブ

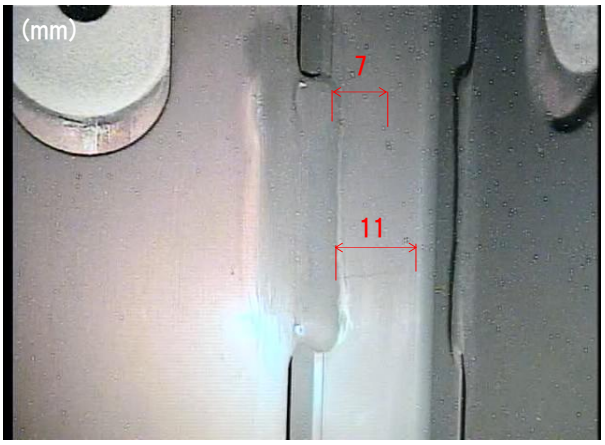
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（18／19）





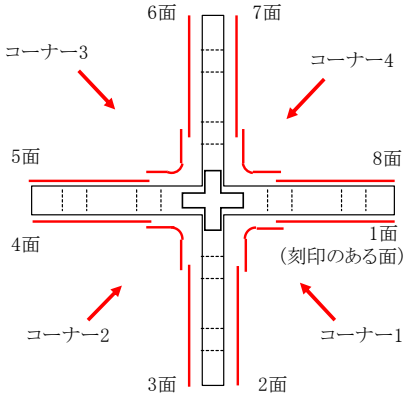
コーナー1　1面　　16タブ

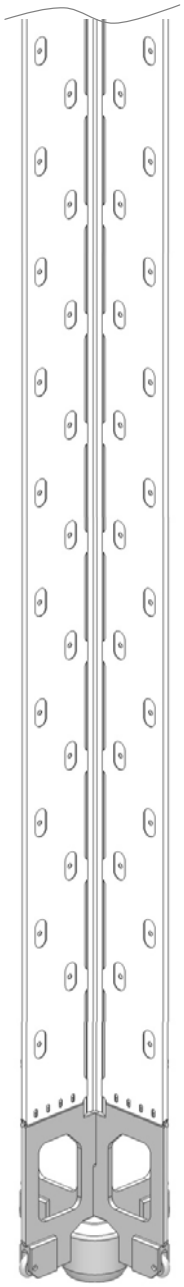


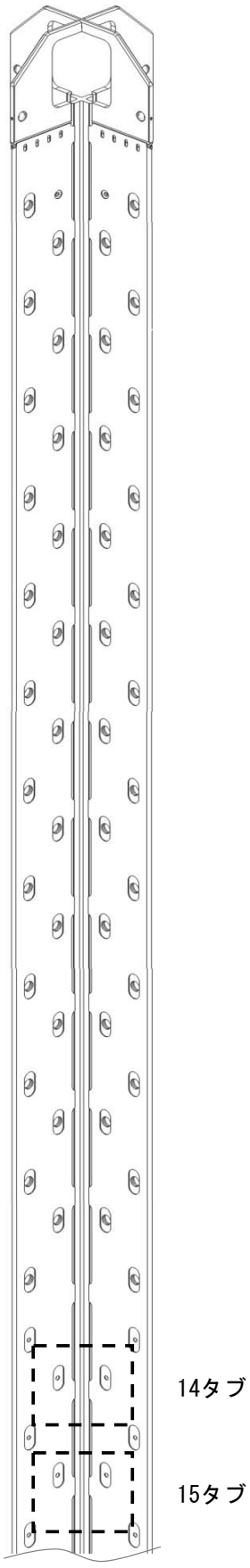


コーナー4　8面　　16タブ

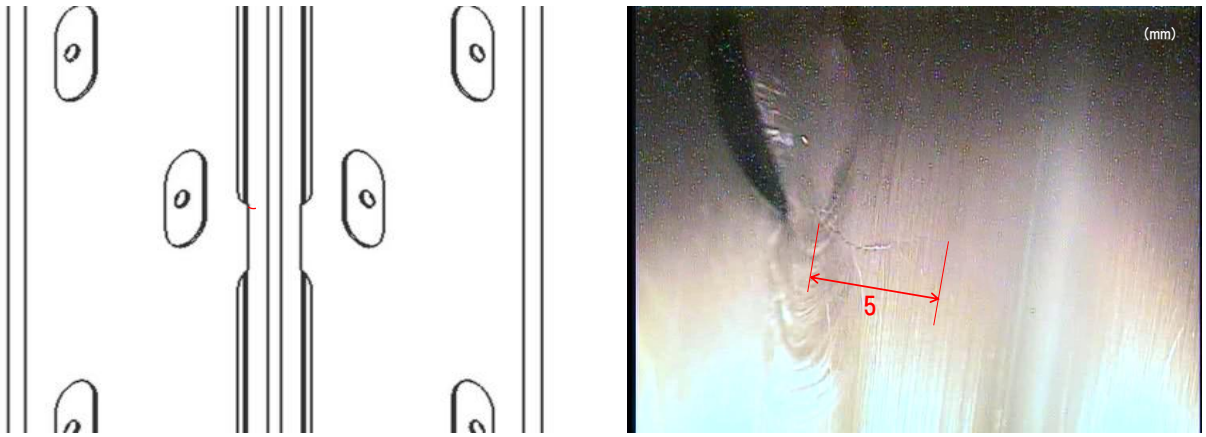
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（19／19）







柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－049）（1／2）



コーナー2　14タブ



コーナー4　15タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－049）（2／2）

制御棒動作確認結果について

1. はじめに

平成 22 年 11 月 1 日付で当社に対して発出された経済産業省 原子力安全・保安院の指示文書「制御棒のひびに関する対応について（指示)」(22 原企課第 110 号）に従い実施する調査・点検のうち、柏崎刈羽原子力発電所 7 号機にてハフニウムフラットチューブ型制御棒（以下、「HfFT 型制御棒」という。）の運転中における動作確認を実施した。

2. 動作確認実施日

平成 22 年 11 月 6 日
平成 22 年 11 月 24 日
平成 22 年 12 月 24 日
平成 23 年 1 月 19 日
平成 23 年 2 月 19 日
平成 23 年 3 月 26 日
平成 23 年 4 月 16 日
平成 23 年 5 月 13,14 日
平成 23 年 6 月 10,11 日
平成 23 年 7 月 8,9 日
平成 23 年 8 月 5,6 日

3. HfFT型制御棒の動作確認の計画及び結果について

(1) 目　的

指示文書で求められている対応事項のうち、「至近の定期事業者検査までの間、運転中における当該制御棒の動作確認を行い、その結果を報告すること。」を受けて、定期検査前に HfFT 型制御棒を使用して運転していた柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の運転中の安全機能（原子炉の停止機能）を確認することを目的とし、HfFT 型制御棒の挿入性に問題がないことを以下の方法により確認した。

(2) 確認方法

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機において現在使用している HfFT 型制御棒 25 本のうち、全挿入としている 2 本を除く 23 本について全挿入動作確認を実施する。

a. 実施にあたっては、制御棒 1 本毎に実施前の制御棒位置から挿入操作を実施し、全挿入位置まで挿入できることを確認した後、元の位置まで引抜く。なお、全挿入の制御棒については、動作確認は実施しない。
b. 判定基準は、「全挿入動作が可能であること」とする。
c. 制御棒操作は原則、連続操作とする。
d. 必要に応じ、上記操作に先立ち出力を低下させる場合がある。

e. 実施頻度は、次回の定期事業者検査までの間において、１ヶ月に１回とする（ひびの発生原因により必要に応じて見直す)。

(3) 確認結果

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の HfFT 型制御棒 23 本の動作確認を実施し、異常のないことを確認した。(資料集　資料－２参照)

なお、停止時において炉内に装荷されていた HfFT 型制御棒 25 本は、全て停止操作中に制御棒の操作に係わる不適合を発生させることなく、全挿入となったことを確認している。

4. まとめ

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機において動作確認を実施することにより、定期検査前に炉内にて使用していた HfFT 型制御棒の運転中の動作に異常のなかったことを確認した。

以　上

ハフニウムフラットチューブ型制御棒　シース／タイロッド溶接部近傍のひびの要因分析表　（１／２）

事　象	破壊形態	破壊因子	要因	調　査　項　目	調　査　方　法	調　査　結　果	判　定	備考
ひび発生	延性破壊	応力	新潟県中越沖地震の荷重	地震荷重による一次応力	地震荷重により発生する応力を評価し、基準値との比較を実施。	・一次応力は、基準値（一次応力の制限）を下回っていることを確認した。	×	本文5．7 添付資料－９－７
			その他（運転・保管期間中）の荷重	運転・保管期間中の履歴	運転・保管期間中履歴及び取扱い履歴を確認。	・ひびが確認された制御棒を原子炉内に装荷していたサイクルの運転期間の原子炉圧力及び原子炉水温度に異常は確認されず、また、使用済燃料プール内に保管されていた期間のプール水温度に異常は確認されていない。なお、制御棒の取扱いにおいても不具合は発生していなかった。	×	本文5．3
				ハフニウムの固着	シースを一部切除し、ハフニウムフラットチューブとシースの状態を確認。	・上部および下部ハフニウムフラットチューブはブレード中央部で運転中の寸法変化を吸収する構造としており、オンサイト調査において、上部および下部ハフニウムフラットチューブの間に適切なギャップが確保されていることを確認した。 ・シースとハフニウムフラットチューブが固着していないことを確認した。	×	本文5．5 添付資料－９－５
		材料	材料が不適切	製造記録	製造時の材料記録・製造履歴を確認。	・製造時の材料検査証明書を確認した結果、化学成分、機械的性質は、規格を満足していた。 ・各製造段階での検査記録、溶接施工記録に異常は確認されなかった。	×	本文5．2 添付資料－９－２－１
				ひび周辺部の外観観察	MVT-1により制御棒の外観点検を実施。	・ひびは制御棒の径方向中心軸側に発生しており、ひびの周辺に塑性変形は確認されなかった。	×	本文5．7 添付資料－９－７ （添付資料－７－２） （資料集　資料－１－１）
				破面パターンの観察	ひび破面の光学顕微鏡観察とSEM観察を実施。	・ひびの破面を観察した結果、照射後試験施設での破面開放時に生じた強制破断面以外の部位に延性破面（ディンプル等）は確認されなかった。	×	本文5．6 添付資料－９－６
	疲労破壊	応力	新潟県中越沖地震の繰返し荷重	地震時の繰返し荷重による疲労累積係数	地震荷重により発生する応力と設計疲労線図より疲労累積係数を評価し、基準値との比較を実施。	・疲労累積係数は、基準値（１．０）を下回っていることを確認した。	×	本文5．7 添付資料－９－７
			その他（運転・保管期間中）の繰返荷重	運転・保管期間中の履歴	運転・保管期間中履歴及び取扱い履歴を確認。	・ひびが確認された制御棒を原子炉内に装荷していたサイクルの運転期間の原子炉圧力及び原子炉水温度に異常は確認されず、また、使用済燃料プール内に保管されていた期間のプール水温度に異常は確認されていない。なお、制御棒の取扱いにおいても不具合は発生していなかった。	×	本文5．3
		材料	材料が不適切	製造記録	製造時の材料記録・製造履歴を確認。	・製造時の材料検査証明書を確認した結果、化学成分、機械的性質は、規格を満足していた。 ・各製造段階での検査記録、溶接施工記録に異常は確認されなかった。	×	本文5．2 添付資料－９－２－１
				破面パターンの観察	ひび破面の光学顕微鏡観察とSEM観察を実施。	・ひびの破面を観察した結果、疲労破面（ビーチマーク、ストライエーション等）は確認されなかった。	×	本文5．6 添付資料－９－６
	脆性破壊	応力	新潟県中越沖地震の荷重	地震荷重による応力	地震荷重により発生する応力より応力拡大係数を評価し、基準値との比較を実施。	・応力拡大係数は、基準値（破壊靭性値）を下回っていることを確認した。	×	本文5．7 添付資料－９－７
			その他（運転・保管期間中）の荷重	運転・保管期間中の履歴	運転・保管期間中履歴及び取扱い履歴を確認。	・ひびが確認された制御棒を原子炉内に装荷していたサイクルの運転期間の原子炉圧力及び原子炉水温度に異常は確認されず、また、使用済燃料プール内に保管されていた期間のプール水温度に異常は確認されていない。なお、制御棒の取扱いにおいても不具合は発生していなかった。	×	本文5．3
				ハフニウムの固着	シースを一部切除し、ハフニウムフラットチューブとシースの状態を確認。	・上部および下部ハフニウムフラットチューブはブレード中央部で運転中の寸法変化を吸収する構造としており、オンサイト調査において、上部および下部ハフニウムフラットチューブの間に適切なギャップが確保されていることを確認した。 ・シースとハフニウムフラットチューブが固着していないことを確認した。	×	本文5．5 添付資料－９－５
		材料	材料が不適切	製造記録	製造時の材料記録・製造履歴を確認。	・製造時の材料検査証明書を確認した結果、化学成分、機械的性質は、規格を満足していた。 ・各製造段階での検査記録、溶接施工記録に異常は確認されなかった。	×	本文5．2 添付資料－９－２－１
			中性子照射による材料劣化	高速中性子照射量	中性子照射量を確認。	・ひび発生部位の中性子照射量を評価した結果、材料は照射硬化や延性低下を示していると推定される。 ・なお、脆性破壊評価において応力拡大係数が破壊靭性値を下回っていることを確認した。	×	本文5．3 添付資料－９－３－１ 資料集　資料－３
		環境（温度）	使用中の温度が低い	炉水温度、プール水温度	SUS316Lを含めステンレスは、基本的に低温脆性が見られないが、低温脆性の観点から炉水温度、プール水温度を確認する。	・ひびが確認された制御棒を原子炉内に装荷していたサイクルの運転期間の原子炉水温度、使用済燃料プール内に保管されていた期間におけるプール水温度、ともに低温脆性の観点からは高い温度であった。	×	本文5．3
				破面パターンの観察	ひび破面の光学顕微鏡観察とSEM観察を実施。	・ひびの破面を観察した結果、脆性破面（リバーパターン等）は確認されなかった。	×	本文5．6 添付資料－９－６

要因分析表（２／２）へ

○：要因の可能性あり　×：要因の可能性なし

ハフニウムフラットチューブ型制御棒　シース／タイロッド溶接部近傍のひびの要因分析表　（2／2）

事　象	破壊形態	破壊因子	要因	調　査　項　目	調　査　方　法	調　査　結　果	判　定	備考
要因分析表（1／2）より								
応力腐食割れ(SCC)		応力	残留応力	シース／タイロッド溶接部及びその近傍の残留応力の値	制御棒の試験体を製作し、シース／タイロッド溶接部及びその近傍の残留応力の値を測定。	・溶接タブ周辺には最大390MPa程度の引張残留応力（軸方向）が生じていることを確認した。 ・溶接タブから10～15mm離れると残留応力は圧縮応力に転じていることを確認した。	○	本文5．4 添付資料－９－４－１ 資料集　資料－４
			その他、持続して発生する応力	ハフニウムの固着	シースを一部切除し、ハフニウムフラットチューブとシースの状態を確認。	・上部および下部ハフニウムフラットチューブはブレード中央部で運転中の寸法変化を吸収する構造としており、オンサイト調査において、上部および下部ハフニウムフラットチューブの間に適切なギャップが確保されていることを確認した。 ・シースとハフニウムフラットチューブが固着していないことを確認した。	×	本文5．5 添付資料－９－５
		材料	材料が不適切	製造記録	製造時の材料記録・製造履歴を確認。	・製造時の材料検査証明書を確認した結果、化学成分、機械的性質は、規格を満足していた。 ・各製造段階での検査記録、溶接施工記録に異常は確認されなかった。	×	本文5．2 添付資料－９－２－１
			シース／タイロッド溶接部の鋭敏化	シース／タイロッド部材の溶接による鋭敏化	溶接による鋭敏化を起こす可能性のある材料であるかを確認。	タイロッド及びシースは低炭素ステンレス鋼（SUS316L）であり、溶接による鋭敏化をおこさない。	×	―
			洗浄不良	製造工程	製造工程における洗浄状況を確認。	・製造工程において、不純物除去のための洗浄が適切に実施されていることを確認した。	×	本文5．2 添付資料－９－２－１
			タイロッド表面加工層	金属組織、硬さ	照射後試験施設における調査およびモックアップ試験における金属組織観察と硬さ測定により、製造工程上表面層に影響のある処理の有無を確認。	・ 照射後試験施設における調査でエンドミル加工部に表面加工組織および極表層の硬さの上昇が認められた。 ・ モックアップ試験金属組織観察においてエンドミル加工およびプレーナ加工による表面加工組織が確認された。	○	本文5．4、5．6 添付資料－９－４－２ 添付資料－９－６
			溶接施工方法・表面処理	溶接工程	ひびの認められた溶接部の溶接施工方法及び表面処理条件を確認。	・タブ溶接の施工方法は、一定電流によるTIG溶接、パルス電流によるTIG溶接、レーザ溶接があり、入熱量や溶融形態が異なることを確認した。 ・溶接部はグラインダー等で表面処理が施された後フラッパホイルにて仕上げ処理が施されていた。 ・ひびの発生数と溶接士の関係を確認したが、相関は認められなかった。	○	本文5．2 添付資料－９－２－２
			中性子照射による材料劣化	高速中性子照射量	中性子照射量を確認。	・ひびの発生部位の高速中性子照射量を評価すると、約2.4×1025n/m2以上となる。タイロッドの材質であるSUS316L材は、1×1025n/m2以上の高速中性子照射量において照射誘起応力腐食割れ（IASCC）の感受性が高まることが知られており、今回ひびの確認された部位はそのしきい照射量に達していた。	○	本文5．3 添付資料－９－３－１ （資料集　資料－３）
				硬さ	照射後試験施設にてサンプルの硬さ測定を行い、照射による硬化を確認。	・タイロッドの母材部の硬さは350～400HV程度で、ミルシートと比較して約200HV高く、中性子照射に伴う照射硬化が観察された。	○	本文5．6 添付資料－９－６
				金属組織（Crの欠乏状態）	照射後試験施設において粒界分析を行い、中性子照射による粒界のCr欠乏の有無を確認。	・中性子照射による照射誘起偏析が認められ、結晶粒界上でCr濃度が減少し、Ni、Si濃度が上昇していた。	○	本文5．6 添付資料－９－６
		環境	腐食環境	炉水環境	炉水の水質及び温度を確認。	・運転中の炉水の溶存酸素濃度は高く（170～270ppb程度）、300℃近くの高温であるため、SCCが発生・進展し得る環境であった。	○	本文5．3 添付資料－９－３－２
				保管中のプール水環境	保管中の水質データ及び温度を確認。	・使用済燃料プールの水温は65℃（保安規定値）以下で管理されており、SCCが懸念される温度ではなかった。	×	―
				隙間構造	腐食環境において隙間構造を形成しているか確認。	・当該品の照射後試験施設における調査において、タイロッドとシースの接合部に溶接溶け込み不足による隙間を確認し、特に2002年製（プレーナ加工、パルス電流によるTIG溶接）の制御棒には、タイロッドとシースの接合部にタイトな隙間があることを確認した。また、隙間部のタイロッド側に隙間腐食を確認した。	○	本文5．6 添付資料－９－６
			破面パターンの観察		ひび破面の光学顕微鏡観察とSEM観察を実施。	・ひびの破面を観察した結果、ほぼ全面的に粒界割れ（ロックキャンディ）が確認され、溶接金属部は柱状晶割れ（ﾃﾞﾝﾄﾞﾗｲﾄ）が確認された。	○	本文5．6 添付資料－９－６
低融点金属割れ		材料	材料が不適切	化学成分	製造時の記録確認及び破面の元素分析	・製造工程を調査した結果、亜鉛等の低融点金属が付着・浸入する可能性はないことを確認した。 ・破面近傍のEDX分析を行ったところ、低融点金属割れの傾向を示す元素は確認されなかった。	×	本文5．2、5．6 添付資料－９－２－２ 添付資料－９－６
				破面パターンの観察	ひび破面の光学顕微鏡観察とSEM観察を実施。	・ひびの破面を観察した結果、ほぼ全面的に粒界割れ（ロックキャンディ）が確認され、溶接金属部は柱状晶割れ（ﾃﾞﾝﾄﾞﾗｲﾄ）が確認された。 ・なお、EDX分析の結果、低融点金属割れの傾向を示す元素は確認されなかった。	×	本文5．6 添付資料－９－６

○：要因の可能性あり　×：要因の可能性なし

添付資料－９－２－１

製造記録調査結果

１．目　的

シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した２８本の制御棒に使用されたハンドル、シース、タイロッド、ハフニウム材について、材料記録、外観・寸法記録、製造工程、溶接施工記録について調査し、異常のないことを確認する。

２．材料記録

ハンドル、シース、タイロッド、ハフニウム材の材料の材料検査証明書（ミルシート）を確認した結果、化学成分と機械的性質は規格値を満足していることが確認された。

３．外観・寸法記録

ハフニウム材並びに制御棒組み立て後の外観・寸法記録を確認した結果、外観に異常はなく、寸法は規格値を満足していることが確認された。

４．製造工程

ひびの確認されたハフニウムフラットチューブ型制御棒の製造工程について確認した結果、各製造段階で検査が実施されており、その検査結果に異常は確認されなかった。また、各検査終了後に不純物除去のための洗浄が適切に実施されていることが確認された。

５．溶接施工記録

ハフニウムフラットチューブ型制御棒のシースとタイロッド、シースとハンドル溶接部及びハンドルガイドローラのピン溶接部について溶接施工記録を確認した結果、溶接条件に異常は確認されなかった。

６．評　価

シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した２８本の制御棒に使用されたハンドル、シース、タイロッド、ハフニウム材について、製造時の材料記録、外観・寸法記録、製造工程、溶接施工記録について確認した結果、異常は確認されなかった。

以　　上

製造方法調査結果

ハフニウムフラットチューブ型制御棒の各製造工程について、製造方法を調査した結果、シースとタイロッドの溶接部分の製造方法を製造時期により変更していることを確認した。以下に、その内容を示す。

（添付－１）

（１）シースとタイロッドの溶接方法の変更

ハフニウムフラットチューブ型制御棒のシースとタイロッドの溶接方法は、当初手動ＴＩＧ溶接であったが、柏崎刈羽原子力発電所７号機向けとしては 2002 年 3 月の製造ロットの一部からレーザ溶接を採用している。なお、手動 TIG 溶接は、1996 年 2 月製造の制御棒については一定電流による施工方法を採用しており、2002 年 3 月製造の制御棒からパルス電流による施工方法を採用している。

溶接時の熱引き治具の使用についても確認を行い、これまでに４度の変更を行っていることを確認したが、使用の状況から亜鉛等の低融点金属が付着・浸入する可能性はないことを確認した。

（添付－２、３、６）

（２）溶接開先部のタイロッドの機械加工方法の変更

タイロッドは引抜加工によって十字型に成型され、この工程でシースタブとの溶接開先部（段差）の加工も行われる。その後の工程としてタイロッド全長にわたって機械加工による開先部の寸法を調整するが、その機械加工方法をエンドミル加工から一旦機械加工を実施しない時期をへて、その後プレーナ加工に変更。更にその後、機械加工を実施しないように変更している。

（添付－４）

（３）シースとタイロッドの溶接ビード仕上げ方法の変更

溶接後のビード仕上げ方法のグラインダ処理は当初スキルタッチであったが、柏崎刈羽原子力発電所７号機向けとしては 2002 年３月の製造ロットの一部から弾性砥石による処理に変更している。また、磨き仕上げはワイヤーブラシによる処理から、研磨ブラシによる処理に変更している。これらの溶接ビード部の仕上げ加工後、最終的にフラッパホイルによる仕上げを実施していた。

（添付－５）

（４）溶接士

ひびの発生数と溶接作業を行った溶接士の関係及びひびの発生数と溶接士の経験年数の関係を確認したが、相関は認められなかった。

以　上

ハフニウムフラットチューブ型制御棒の製造方法履歴

：シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した制御棒

発電所号機	製造番号	熱中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	製造時期（製造本数）	タイロッド開先加工			熱引き治具※				シース-タイロッド溶接				溶接順序※					溶接士	ビード仕上げ				
															パターン						グラインダ処理		みがき（仕上げ）		
				ｴﾝﾄﾞﾐﾙ加工	ブレーナ加工	加工なし	タイプA	タイプB	タイプC	使用せず	手動TIG溶接		レーザ溶接								スキルタッチ	弾性砥石	ワイヤーブラシ	研磨ブラシ	フラッパホイル
										アルミプレートにより拘束			実施者												
											一定電流	ﾊﾟﾙｽ電流	日立GE	外注	1	2	3	4	5						
K-7	HH-46-001	5.3	1996年2月	○			○				○				○（1または2で実施）					A	○		○		○
（N格子）	HH-46-002	5.1		○			○				○				○（1または2で実施）					A	○		○		○
	HH-46-003	5.4		○			○				○				○（1または2で実施）					A	○		○		○
	HH-46-004	5.1		○			○				○				○（1または2で実施）					A	○		○		○
	HH-46-005	5.2		○			○				○				○（1または2で実施）					A	○		○		○
	HH-46-006	5.0		○			○				○				○（1または2で実施）					A	○		○		○
	HH-46-007	5.1		○			○				○				○（1または2で実施）					A	○		○		○
	HH-46-008	4.1		○			○				○				○（1または2で実施）					A	○		○		○
	HH-46-009	5.5		○			○				○				○（1または2で実施）					A	○		○		○
	HH-46-010	5.6		○			○				○				○（1または2で実施）					A	○		○		○
	HH-46-011	5.3		○			○				○				○（1または2で実施）					A	○		○		○
	HH-46-012	3.5		○			○				○				○（1または2で実施）					A	○		○		○
	HH-46-013	5.2		○			○				○				○（1または2で実施）					A	○		○		○
	HH-46-014	4.1		○			○				○				○（1または2で実施）					A	○		○		○
	HH-46-015	4.6		○			○				○				○（1または2で実施）					A	○		○		○
	HH-46-016	4.1		○			○				○				○（1または2で実施）					B	○		○		○
	HH-46-017	5.1		○			○				○				○（1または2で実施）					B	○		○		○
	HH-46-018	5.1		○			○				○				○（1または2で実施）					B	○		○		○
	HH-46-019	4.9		○			○				○				○（1または2で実施）					B	○		○		○
	HH-46-020	5.5		○			○				○				○（1または2で実施）					B	○		○		○
	HH-46-021	5.0		○			○				○				○（1または2で実施）					B	○		○		○
	HH-46-022	5.3		○			○				○				○（1または2で実施）					B	○		○		○
	HH-46-023	5.3		○			○				○				○（1または2で実施）					B	○		○		○
	HH-46-024	5.0		○			○				○				○（1または2で実施）					B	○		○		○
	HH-46-025	5.1	（25本）	○			○				○				○（1または2で実施）					B	○		○		○
K-7	HH-46-027	2.8	1998年6月			○		○			○						○			A,B	○		○		○
（N格子）	HH-46-028	3.1				○		○			○						○			A,B	○		○		○
	HH-46-029	3.1				○		○			○						○			A,B	○		○		○
	HH-46-030	3.1	（4本）			○		○			○						○			A,B	○		○		○
1F-1	HF-05-001	1.5	2001年9月		○				○					○				○		a		○	○		○
（D格子）	HF-05-002	2.2			○				○					○				○		a		○	○		○
	HF-05-003	2.2			○				○					○				○		a		○	○		○
	HF-05-004	2.2			○				○					○				○		a		○	○		○
	HF-05-005	2.2			○				○					○				○		a,b		○	○		○
	HF-05-006	2.5			○				○					○				○		a		○	○		○
	HF-05-007	1.5			○				○					○				○		a		○	○		○
	HF-05-008	1.5			○				○					○				○		a,b		○	○		○
	HF-05-009	1.6	（9本）		○				○					○				○		b		○	○		○
K-5	HF-30-001	3.8	2001年12月		○				○					○				○		b		○	○		○
（S格子）	HF-30-002	3.6			○				○					○				○		b		○	○		○
	HF-30-003	3.8			○				○					○				○		b		○	○		○
	HF-30-004	3.8	（4本）		○				○					○				○		b		○	○		○

※熱引き治具タイプ及び制御棒の溶接順序については添付－6を参照

ハフニウムフラットチューブ型制御棒の製造方法履歴

：シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した制御棒

発電所号機	製造番号	熱中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	製造時期（製造本数）	タイロッド開先加工			熱引き治具※				シース-タイロッド溶接				溶接順序※					溶接士	ビード仕上げ				
										使用せず	手動TIG溶接		レーザ溶接		パターン						グラインダ処理		みがき（仕上げ）		
				ｴﾝﾄﾞﾐﾙ加工	ブレーナ加工	加工なし	タイプA	タイプB	タイプC	アルミプレートにより拘束	一定電流	パルス電流	日立GE	外注	1	2	3	4	5		スキルタッチ	弾性砥石	ワイヤーブラシ	研磨ブラシ	フラッパホイル
K-7	HH-46-031	4.4	2002年3月		○			○				○					○			B,C	○		○		○
（N格子）	HH-46-032	4.4			○			○				○					○			B,C	○		○		○
	HH-46-033	4.1			○			○				○					○			B,C	○		○		○
	HH-46-034	4.8			○			○				○					○			B,C	○		○		○
	HH-46-035	4.3			○			○				○					○			B,C	○		○		○
	HH-46-036	4.6			○			○				○					○			B,C	○		○		○
	HH-46-037	4.8			○			○				○					○			C,D	○		○		○
	HH-46-038	4.7			○			○				○					○			C,D	○		○		○
	HH-46-039	4.6			○			○				○					○			C,D	○		○		○
	HH-46-040	4.9			○			○				○					○			C,D	○		○		○
	HH-46-041	4.3			○			○				○					○			C,D	○		○		○
	HH-46-042	4.9			○			○				○					○			C,D	○		○		○
	HH-46-043	4.6			○			○				○					○			A,E	○		○		○
	HH-46-044	4.8			○			○				○					○			A,E	○		○		○
	HH-46-045	4.8			○			○				○					○			A,E	○		○		○
	HH-46-046	4.5			○			○				○					○			A,E	○		○		○
	HH-46-047	4.2			○			○				○					○			A,E	○		○		○
	HH-46-048	4.9			○				○					○				○		b		○	○		○
	HH-46-049	4.3			○				○					○				○		b		○	○		○
	HH-46-050	4.3			○				○					○				○		b		○	○		○
	HH-46-051	4.4	（21本）		○				○					○				○		b		○	○		○
2F-2	HF-20-001	2.9	2002年5月		○				○					○				○		b		○	○		○
（C格子）	HF-20-002	2.9			○				○					○				○		b		○	○		○
	HF-20-003	2.9			○				○					○				○		b		○	○		○
	HF-20-004	2.9	（4本）		○				○					○				○		b		○	○		○
1F-4	HF-11-001	2.2	2003年1月			○			○					○				○		b		○		○	○
（D格子）	HF-11-002	2.5				○			○					○				○		b		○		○	○
	HF-11-003	2.5				○			○					○				○		b		○		○	○
	HF-11-004	2.2				○			○					○				○		b		○		○	○
	HF-11-005	2.2				○				○			○						○	B		○		○	○
	HF-11-006	1.9				○				○			○						○	B		○		○	○
	HF-11-007	2.5				○				○			○						○	B		○		○	○
	HF-11-008	2.0	（8本）			○				○			○						○	B		○		○	○
K-4	HF-41-001	0.7	2006年4月			○				○			○						○	F		○		○	○
（S格子）	HF-41-002	0.7				○				○			○						○	F		○		○	○
	HF-41-003	0.7				○				○			○						○	H		○		○	○
	HF-41-004	0.7	（4本）			○				○			○						○	H		○		○	○

※熱引き治具タイプ及び制御棒の溶接順序については添付－6を参照

ハフニウムフラットチューブ型制御棒の製造方法履歴

：シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した制御棒

発電所号機	製造番号	熱中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	製造時期（製造本数）	タイロッド開先加工			熱引き治具※				シース-タイロッド溶接				溶接順序※					溶接士	ビード仕上げ				
															パターン						グラインダ処理		みがき（仕上げ）		
				ｴﾝﾄﾞﾐﾙ加工	ブレーナ加工	加工なし	タイプA	タイプB	タイプC	使用せず アルミプレートにより拘束	手動TIG溶接		レーザ溶接 実施者		1	2	3	4	5		スキルタッチ	弾性砥石	ワイヤーブラシ	研磨ブラシ	フラッパホイル
											一定電流	ﾊﾟﾙｽ電流	日立GE	外注											
K-7	HH-46-052	1.1	2008年4月			○				○			○						○	H		○		○	○
（N格子）	HH-46-056	0.8	2008年6月			○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-057	1.2				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-058	1.4				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-059	1.1				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-060	1.4				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-061	0.0				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-062	1.3				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-063	0.0				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-064	1.4				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-065	1.3				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-066	1.0				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-067	1.2				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-068	1.4				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-069	0.1				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-070	1.1				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-071	1.4				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-072	0.0				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-073	1.4				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-074	1.1				○				○			○						○	J		○		○	○
	HH-46-075	1.2	（20本）			○				○			○						○	J		○		○	○

※熱引き治具タイプ及び制御棒の溶接順序については添付－6を参照

ハフニウムフラットチューブ型制御棒における
シースとタイロッド溶接におけるＴＩＧ溶接とレーザ溶接の違い

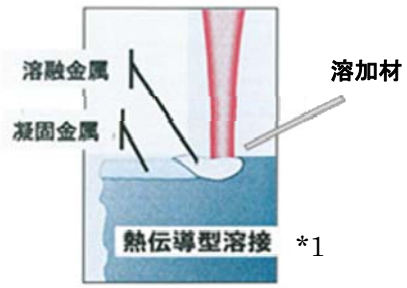
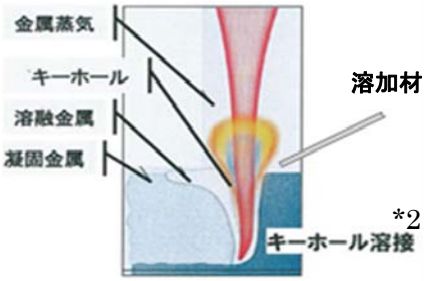
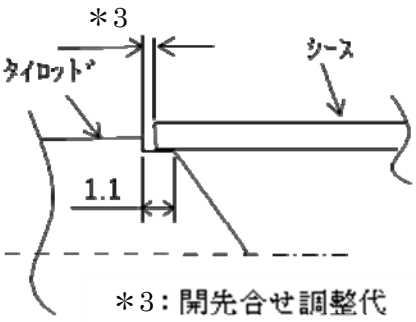
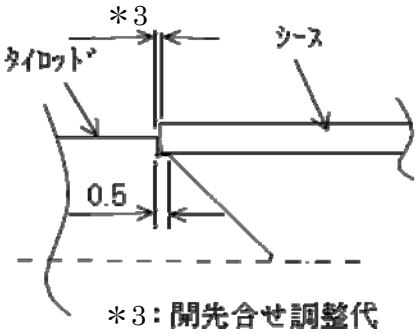
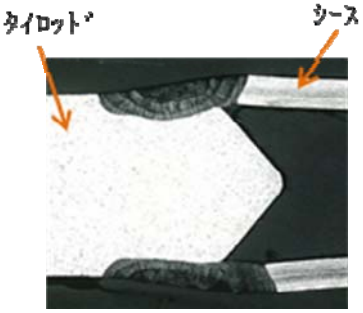
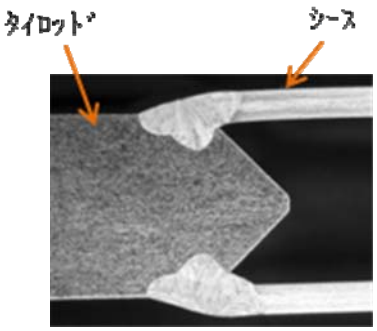
ハフニウムフラットチューブ型制御棒のシースとタイロッドの溶接方法は、当初手動ＴＩＧ溶接であったが、柏崎刈羽原子力発電所７号機向けとしては、2002 年 3 月の製造ロットの一部からレーザ溶接を採用している。ハフニウムフラットチューブ型制御棒のシースとタイロッドの溶接に関し、ＴＩＧ溶接とレーザ溶接における溶接方法の違いを以下に説明する。

溶融形態及び開先形状、作業方法についてＴＩＧ溶接とレーザ溶接の比較を表に示す。ＴＩＧ溶接は熱伝導型の溶融形態*1 であるのに対し、レーザ溶接は、キーホール溶接*2 となるため深い溶け込みを有する。

シースとタイロッド開先寸法が異なり、ＴＩＧ溶接での開先寸法はシースとタイロッドの重なり寸法の開先合せ調整代を考慮して 1.1 ㎜あるのに対して、レーザ溶接では 0.5 ㎜であり、完全溶け込み溶接が得られやすい開先寸法となっている。

作業方法についても、ＴＩＧ溶接は手動溶接であるが、レーザ溶接は自動溶接のため安定した溶け込みが得られやすい。

表　ＴＩＧ溶接とレーザ溶接の違い

項目	ＴＩＧ溶接	レーザ溶接
溶融形態		
開先形状		
作業方法	手動	自動
溶接部断面		

＊1：熱伝導型溶接　　：アークの熱エネルギーが材料内に伝導しながら溶融する溶接
＊2：キーホール型溶接：加工点に数 kW のエネルギーを集中できるため、溶融池で金属の蒸発が起こり
金属蒸気によって材料表面に反発力が生じるため加工点にキーホールと呼ばれる
深い穴を形成させ溶接する方法

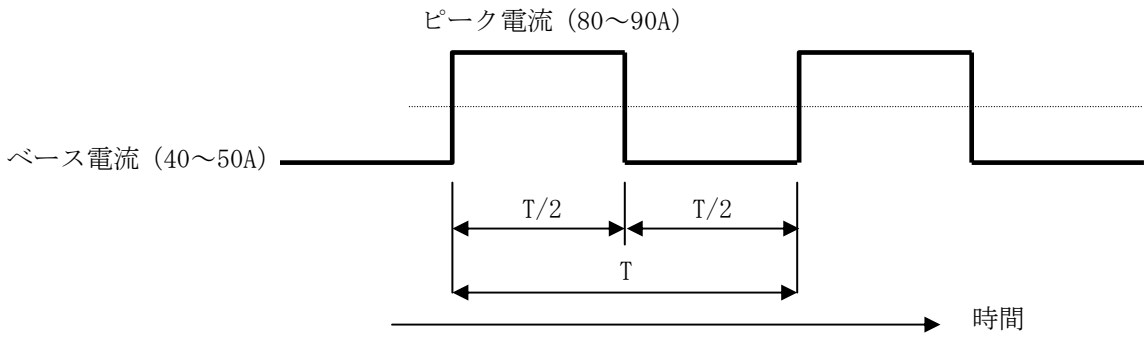
ハフニウムフラットチューブ型制御棒の
シースとタイロッド溶接におけるＴＩＧ溶接の溶接条件の変遷

ハフニウムフラットチューブ型制御棒のシースとタイロッドの手動ＴＩＧ溶接方法は、当初一定の電流値の電流による溶接条件を採用していたが、2002 年 3 月の製造ロットから、制御棒完成体の変形を抑制することを目的に入熱を低く抑えることが可能なパルス状電流を用いた溶接条件に変更している。一定電流値による溶接条件とパルス電流を用いた溶接条件の違いを以下に説明する。

表　一定電流値による溶接条件とパルス電流を用いた溶接条件の違い

項目	一定電流値による溶接条件 （1996 年 2 月）	パルス電流を用いた溶接条件 （2002 年 3 月）
電流制御	一定電流	パルス＊1
電流値 （A）	70～75	ピーク：80～90 ベース：40～50
電圧 （V）	12	12
溶接速度 (mm/min)	60	120
入熱量 (相対比較)	1	約 0.4

＊1：パルス　：　溶接電流を周期的に変化させる方法

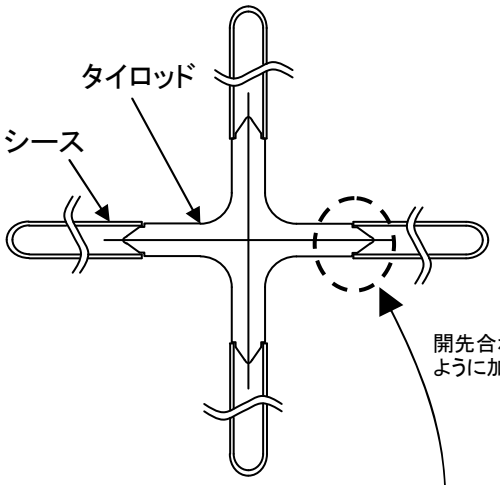


以　上

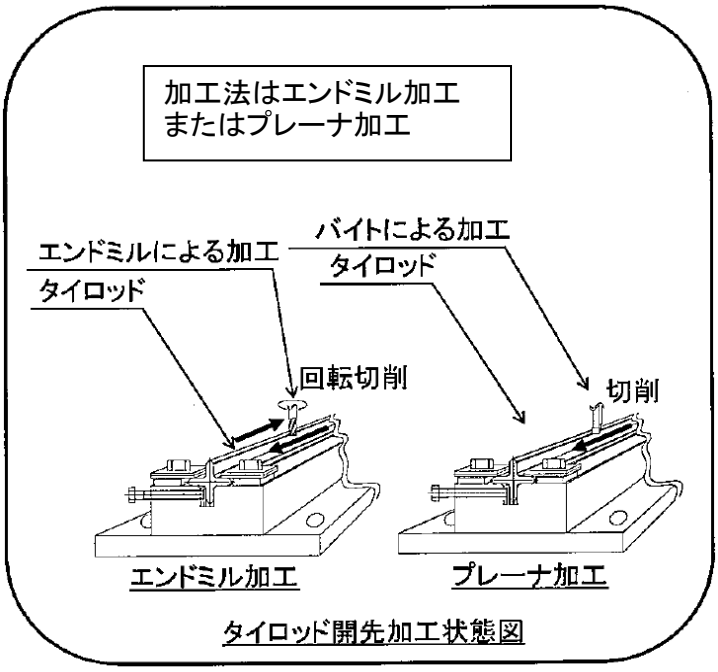
タイロッド部開先部の機械加工について

開先加工は以下の2種類があり、下図のような機械加工で加工した変遷がある。
・エンドミル加工
・プレーナ加工

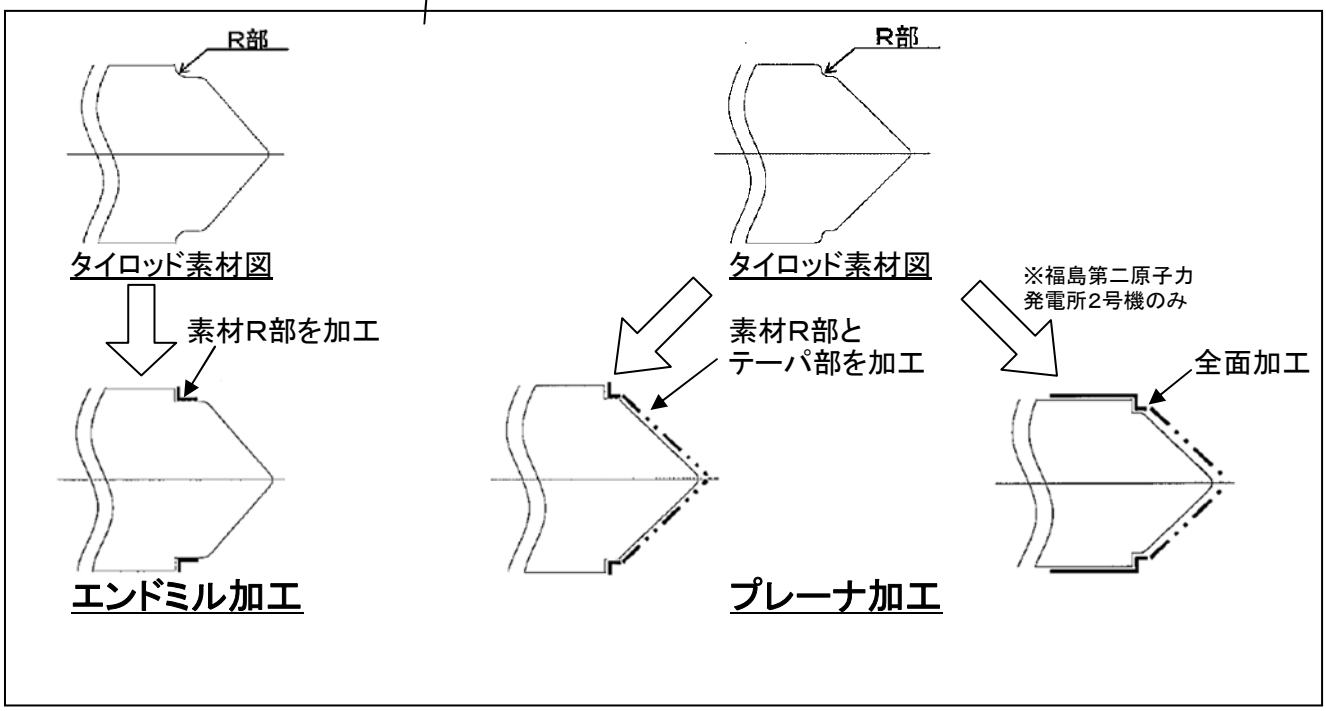
タイロッドは引抜き加工によって十字型に成型される。この工程でシースタブとの溶接開先部（段差）の加工も行われるが、追加工程としてタイロッド全長にわたって機械加工による開先部の寸法調整を行っていた。



シースとタイロッドの開先合わせ図



タイロッド開先加工状態図



ハフニウムフラットチューブ型制御棒　シースとタイロッドとの溶接仕上げの種類

No.	項目	グラインダ仕上げ		みがき（仕上げ）		
1	使用砥石	スキルタッチ （砥粒：アルミナ研磨材）	弾性軸付き砥石 （砥粒：アルミナ研磨材）	ワイヤーブラシ （ステンレスワイヤ）	研磨ブラシ （砥粒：アルミナセラミック研磨材）	フラッパーホイル （砥粒：アルミナ研磨材）
						
2	用途	・TIG手動溶接ビード部の余盛高さが大きい場合、スキルタッチによりビードを滑らかに仕上る。	・レーザ溶接ビード部の溶接止端部を滑らかに仕上る。	・溶接部の磨き （ワイヤブラシは2002年7月以降使用していない。）	・溶接部の磨き	・溶接部のグラインダ仕上後の磨き

ハフニウムフラットチューブ型制御棒溶接順序および熱引き治具について(1/5)

1.溶接順序パターン1

(1)溶接方法:手動TIG溶接



(3)熱引き治具(タイプA):熱引き治具シース3タブ用(純銅製)



ハフニウムフラットチューブ型制御棒溶接順序および熱引き治具について(2/5)

1.溶接順序パターン2

(1)溶接方法:手動TIG溶接



(3)熱引き治具(タイプA):シース3タブ用(純銅製)



ハフニウムフラットチューブ型制御棒溶接順序および熱引き治具について(3/5)

1.溶接順序パターン3

(1)溶接方法:手動TIG溶接(2面同時溶接)



(3)熱引き治具(タイプB):シース5タブ用(純銅製)



ハフニウムフラットチューブ型制御棒溶接順序および熱引き治具について(4/5)

1.溶接順序パターン4

(1)溶接方法:レーザ溶接(外注)



(3)熱引き治具(タイプC):シース5タブ用(純銅製)



ハフニウムフラットチューブ型制御棒溶接順序および熱引き治具について(5/5)

1.溶接順序パターン5

(1)溶接方法:レーザ溶接(内作)



柏崎刈羽原子力発電所7号機　ハフニウムフラットチューブ型制御棒炉内装荷実績

：シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した制御棒

柏崎刈羽原子力発電所7号機　制御棒運転履歴

製造番号	サイクル	試運転及びサイクル1	サイクル2	サイクル3	サイクル4	サイクル5	サイクル6	サイクル7	サイクル8	サイクル9	サイクル10	サイクル11	シース／タイロッド溶接部近傍のひびの有無
	並列年月	1996年12月	1998年7月	1999年11月	2001年2月	2002年7月	2004年1月	2005年6月	2006年12月	2009年5月	2010年6月	－	
	解列年月	1998年5月	1999年9月	2000年12月	2002年4月	2003年9月	2005年3月	2006年8月	2007年7月	2010年4月	2011年8月	－	
	上段：サイクル初期熱中性子照射量（×10^{25}n/m^2） 下段：炉内装荷位置												
HH-46-001		0.0 50-19	1.4 →	2.8 →	4.0 →	5.3 取出							
HH-46-002		0.0 42-11	1.3 →	2.7 →	4.0 →	5.1 取出							
HH-46-003		0.0 18-19	1.4 →	2.9 →	4.1 →	5.4 取出							
HH-46-004		0.0 26-11	1.3 →	2.7 →	4.1 →	5.1 取出							ひび有り
HH-46-005		0.0 34-19	1.5 →	2.9 →	4.0 →	5.2 取出							ひび有り
HH-46-006		0.0 10-27	1.3 →	2.7 →	4.0 →	5.0 取出							
HH-46-007		0.0 58-27	1.3 →	2.7 →	4.0 →	5.1 取出							
HH-46-008		0.0 34-27	1.2 →	2.6 →	3.6 →	3.6 →	3.6 →	4.1 →	4.1 →	4.1 58-15	4.1 取出		ひび有り
HH-46-009		0.0 42-27	1.4 →	2.8 →	4.1 →	5.5 取出							
HH-46-010		0.0 26-27	1.4 →	2.8 →	4.2 →	5.6 取出							
HH-46-011		0.0 18-35	1.5 →	2.9 →	3.9 →	5.3 取出							
HH-46-012		0.0 34-35	0.2 →	1.5 →	3.0 →	3.5 取出							
HH-46-013		0.0 50-35	1.5 →	2.8 →	4.0 →	5.2 取出							
HH-46-014		0.0 42-35	1.2 →	2.6 →	3.5 →	3.5 →	3.6 →	4.1 →	4.1 →	4.1 58-55	4.1 取出		ひび有り
HH-46-015		0.0 26-35	1.2 →	2.6 →	3.6 →	4.1 →	4.1 →	4.6 →	4.6 →	4.6 10-15	4.6 取出		ひび有り
HH-46-016		0.0 34-43	1.2 →	2.6 →	3.5 →	3.5 →	3.6 →	4.1 →	4.1 →	4.1 10-55	4.1 取出		ひび有り
HH-46-017		0.0 58-43	1.3 →	2.7 →	4.0 →	5.1 取出							
HH-46-018		0.0 26-43	1.4 →	2.8 →	4.1 →	5.1 取出							
HH-46-019		0.0 10-43	1.3 →	2.7 →	4.0 →	4.9 取出							
HH-46-020		0.0 42-43	1.4 →	2.8 →	4.1 →	5.5 取出							
HH-46-021		0.0 42-59	1.3 →	2.7 →	4.0 →	5.0 取出							ひび有り
HH-46-022		0.0 50-51	1.4 →	2.8 →	4.0 →	5.3 取出							ひび有り
HH-46-023		0.0 34-51	1.5 →	2.9 →	3.9 →	5.3 取出							ひび有り
HH-46-024		0.0 18-51	1.4 →	2.9 →	4.0 →	5.0 取出							ひび有り
HH-46-025		0.0 26-59	1.3 →	2.7 →	4.0 →	5.1 取出							

柏崎刈羽原子力発電所7号機　ハフニウムフラットチューブ型制御棒炉内装荷実績

:シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した制御棒

柏崎刈羽原子力発電所7号機　制御棒運転履歴

製造番号	サイクル	試運転及びサイクル1	サイクル2	サイクル3	サイクル4	サイクル5	サイクル6	サイクル7	サイクル8	サイクル9	サイクル10	サイクル11	シース／タイロッド溶接部近傍のひび有無
	並列年月	1996年12月	1998年7月	1999年11月	2001年2月	2002年7月	2004年1月	2005年6月	2006年12月	2009年5月	2010年6月	－	
	解列年月	1998年5月	1999年9月	2000年12月	2002年4月	2003年9月	2005年3月	2006年8月	2007年7月	2010年4月	2011年8月	－	
	上段:サイクル初期熱中性子照射量(×10^{25}n/m^2) 下段:炉内装荷位置												
HH-46-031						0.0 26-11	1.1 →	2.4 →	3.7 26-27	4.4 02-39	4.4 取出		ひび有り
HH-46-032						0.0 42-11	1.1 →	2.4 →	3.7 42-27	4.4 30-03	4.4 取出		ひび有り
HH-46-033						0.0 50-19	1.1 →	2.5 →	4.1 取出				ひび有り
HH-46-034						0.0 34-19	1.2 →	2.7 →	4.0 →	4.8 46-07	4.8 取出		ひび有り
HH-46-035						0.0 18-19	1.2 →	2.6 →	4.3 取出				ひび有り
HH-46-036						0.0 10-27	1.1 →	2.4 →	3.8 →	4.6 18-27	4.6 取出		ひび有り
HH-46-037						0.0 26-27	1.2 →	2.8 →	4.4 26-11	4.8 26-19	4.8 取出		ひび有り
HH-46-038						0.0 42-27	1.2 →	2.8 →	4.3 42-11	4.7 42-19	4.7 取出		ひび有り
HH-46-039						0.0 58-27	1.1 →	2.4 →	3.8 →	4.5 50-27	4.6 取出		ひび有り
HH-46-040						0.0 50-35	1.2 →	2.8 →	4.1 →	4.9 50-11	4.9 取出		ひび有り
HH-46-041						0.0 34-35	1.2 →	2.3 →	3.6 →	4.3 38-43	4.3 取出		ひび有り
HH-46-042						0.0 18-35	1.2 →	2.7 →	4.0 →	4.9 22-39	4.9 取出		ひび有り
HH-46-043						0.0 10-43	1.1 →	2.4 →	3.8 →	4.6 18-43	4.6 取出		ひび有り
HH-46-044						0.0 26-43	1.2 →	2.8 →	4.4 26-59	4.8 26-51	4.8 取出		ひび有り
HH-46-045						0.0 42-43	1.2 →	2.7 →	4.3 42-59	4.8 42-51	4.8 取出		ひび有り
HH-46-046						0.0 58-43	1.1 →	2.3 →	3.7 →	4.4 50-43	4.5 取出		ひび有り
HH-46-047						0.0 50-51	1.1 →	2.5 →	4.2 取出				ひび有り
HH-46-048						0.0 34-51	1.2 →	2.7 →	4.0 →	4.9 26-39	4.9 取出		
HH-46-049						0.0 18-51	1.1 →	2.6 →	4.3 取出				ひび有り
HH-46-050						0.0 26-59	1.1 →	2.3 →	3.7 26-43	4.3 30-67	4.3 取出		
HH-46-051						0.0 42-59	1.1 →	2.4 →	3.7 42-43	4.4 66-39	4.4 取出		

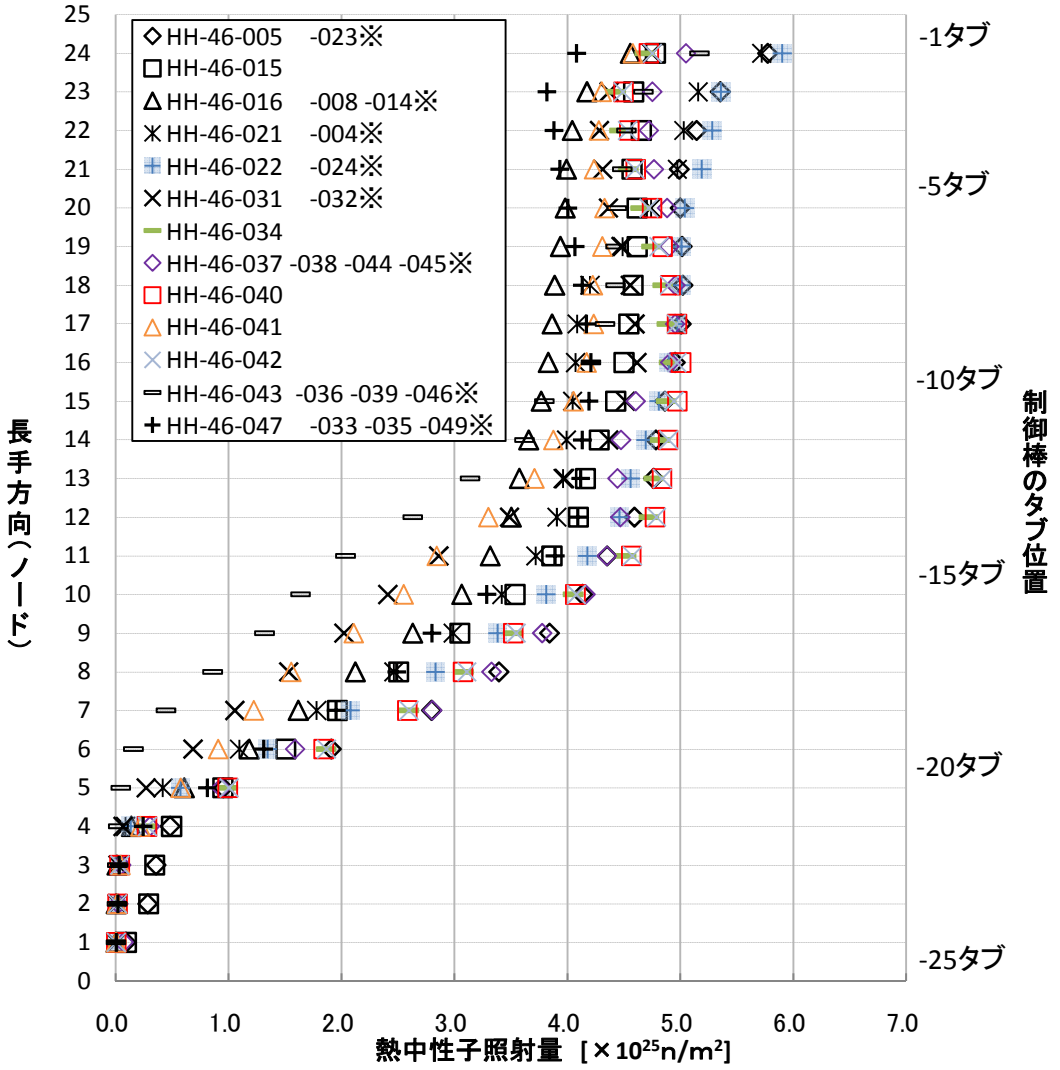
柏崎刈羽原子力発電所7号機　ハフニウムフラットチューブ型制御棒炉内装荷実績

:シース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認した制御棒

柏崎刈羽原子力発電所7号機　制御棒運転履歴

製造番号	サイクル	上段:サイクル初期熱中性子照射量(×10^{25}n/m^2) 下段:炉内装荷位置 試運転及びサイクル1	サイクル2	サイクル3	サイクル4	サイクル5	サイクル6	サイクル7	サイクル8	サイクル9	サイクル10	サイクル11	シース／タイロッド溶接部近傍のひびの有無
	並列年月	1996年12月	1998年7月	1999年11月	2001年2月	2002年7月	2004年1月	2005年6月	2006年12月	2009年5月	2010年6月	－	
	解列年月	1998年5月	1999年9月	2000年12月	2002年4月	2003年9月	2005年3月	2006年8月	2007年7月	2010年4月	2011年8月	－	
HH-46-027									0.0 18-19	0.8 →	1.8 →	2.8 取出	
HH-46-028									0.0 18-51	0.8 →	1.8 →	3.1 取出	
HH-46-029									0.0 50-51	0.8 →	1.8 →	3.1 取出	
HH-46-030									0.0 50-19	0.8 →	1.8 →	3.1 取出	
HH-46-052											0.0 58-43	1.1 取出	
HH-46-056											0.0 10-27	0.8 取出	
HH-46-057											0.0 10-43	1.2 取出	
HH-46-058											0.0 18-35	1.4 取出	
HH-46-059											0.0 26-59	1.1 取出	
HH-46-060											0.0 26-27	1.4 取出	
HH-46-061											0.0 26-35	0.0 取出	
HH-46-062											0.0 26-43	1.3 取出	
HH-46-063											0.0 34-43	0.0 取出	
HH-46-064											0.0 34-19	1.4 取出	
HH-46-065											0.0 34-51	1.3 取出	
HH-46-066											0.0 26-11	1.0 取出	
HH-46-067											0.0 34-35	1.2 取出	
HH-46-068											0.0 42-43	1.4 取出	
HH-46-069											0.0 34-27	0.1 取出	
HH-46-070											0.0 42-11	1.1 取出	
HH-46-071											0.0 50-35	1.4 取出	
HH-46-072											0.0 42-35	0.0 取出	
HH-46-073											0.0 42-27	1.4 取出	
HH-46-074											0.0 42-59	1.1 取出	
HH-46-075											0.0 58-27	1.2 取出	

柏崎刈羽原子力発電所７号機
ひびの発生した制御棒における熱中性子照射量分布



4 サイクル終了時：HH-46-004, HH-46-005, HH-46-021, HH-46-022, HH-46-23, HH-46-024

7 サイクル終了時：HH-46-033, HH-46-035, HH-46-047, HH-46-049

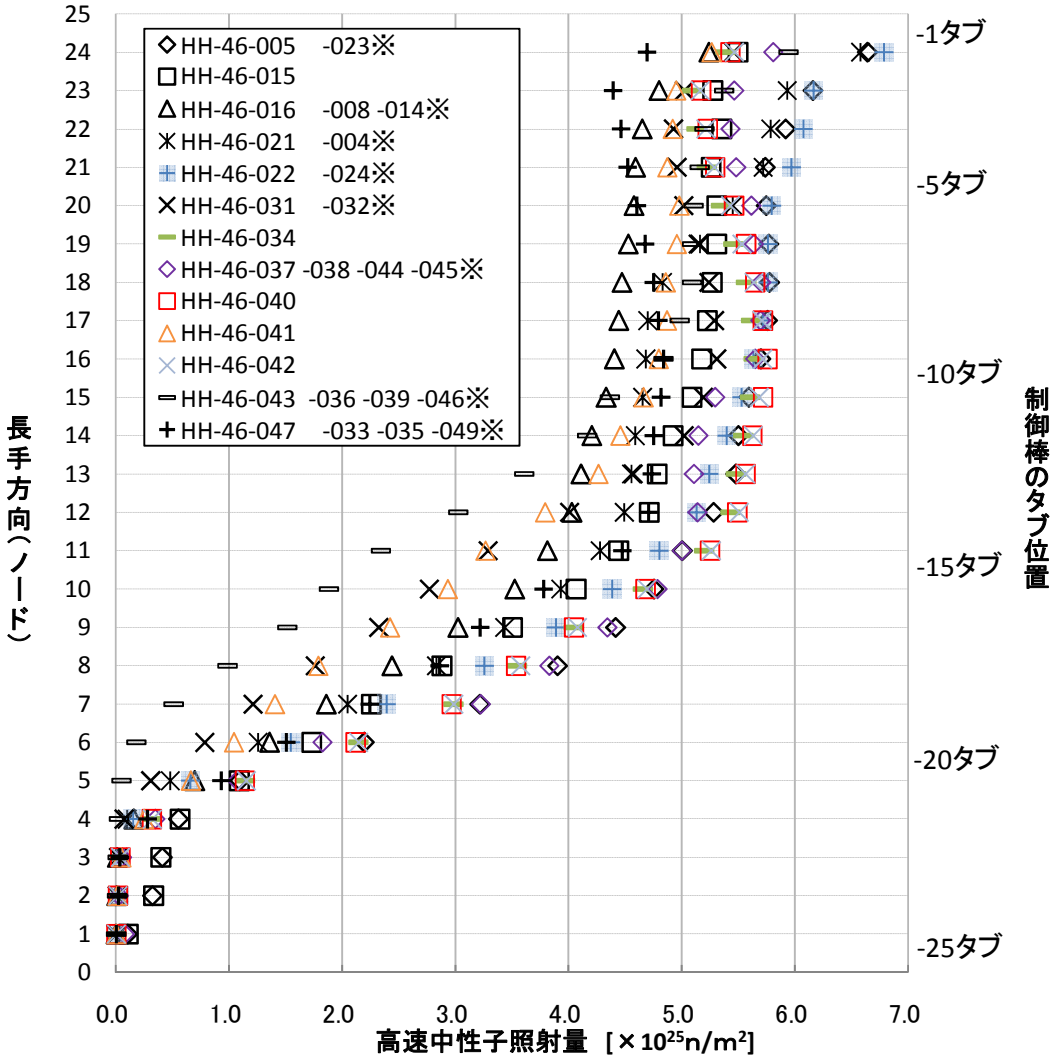
9 サイクル終了時：HH-46-008, HH-46-014, HH-46-015, HH-46-016, HH-46-031, HH-46-032, HH-46-034, HH-46-036, HH-46-037, HH-46-038, HH-46-039, HH-46-040, HH-46-041, HH-46-042, HH-46-043, HH-46-044, HH-46-045, HH-46-046

高速中性子は、高速中性子束/熱中性子束＝1.15 を元に換算した概略値

※ただし、炉心内対称位置に装荷され照射量もほぼ変わらない制御棒は、図では１本のみで代表してプロットする。

HH-46-005（HH-46-023 も代表） HH-46-016（HH-46-008, HH-46-014 も代表）HH-46-021（HH-46-004 も代表）HH-46-022（HH-46-024 も代表）
HH-46-031（HH-46-032 も代表）HH-46-037（HH-46-038,HH-46-044,HH-46-045 も代表）
HH-46-043（HH-46-036,HH-46-039,HH-46-046 も代表） HH-46-047（HH-46-033, HH-46-035,HH-46-049 も代表）

柏崎刈羽原子力発電所７号機
ひびの発生した制御棒における高速中性子照射量分布



4 サイクル終了時：HH-46-004, HH-46-005, HH-46-021, HH-46-022, HH-46-23, HH-46-024

7 サイクル終了時：HH-46-033, HH-46-035, HH-46-047, HH-46-049

9 サイクル終了時：HH-46-008, HH-46-014, HH-46-015, HH-46-016, HH-46-031, HH-46-032, HH-46-034, HH-46-036, HH-46-037, HH-46-038, HH-46-039, HH-46-040, HH-46-041, HH-46-042, HH-46-043, HH-46-044, HH-46-045, HH-46-046

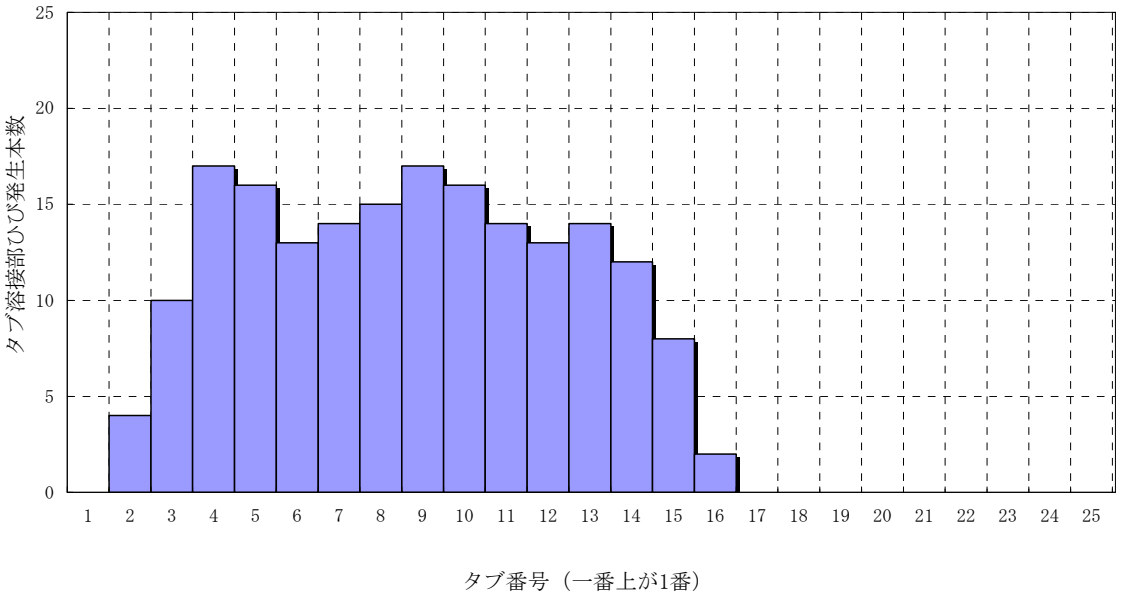
高速中性子は、高速中性子束/熱中性子束＝1.15 を元に換算した概略値

※ただし、炉心内対称位置に装荷され照射量もほぼ変わらない制御棒は、図では１本のみで代表してプロットする。

HH-46-005（HH-46-023 も代表） HH-46-016（HH-46-008, HH-46-014 も代表）HH-46-021（HH-46-004 も代表）HH-46-022（HH-46-024 も代表）
HH-46-031（HH-46-032 も代表）HH-46-037（HH-46-038,HH-46-044,HH-46-045 も代表）
HH-46-043（HH-46-036,HH-46-039,HH-46-046 も代表） HH-46-047（HH-46-033, HH-46-035,HH-46-049 も代表）

柏崎刈羽原子力発電所７号機
タイロッド部のひびの軸方向発生頻度について

タブ溶接位置とタブ溶接位置にひびの発生した制御棒本数

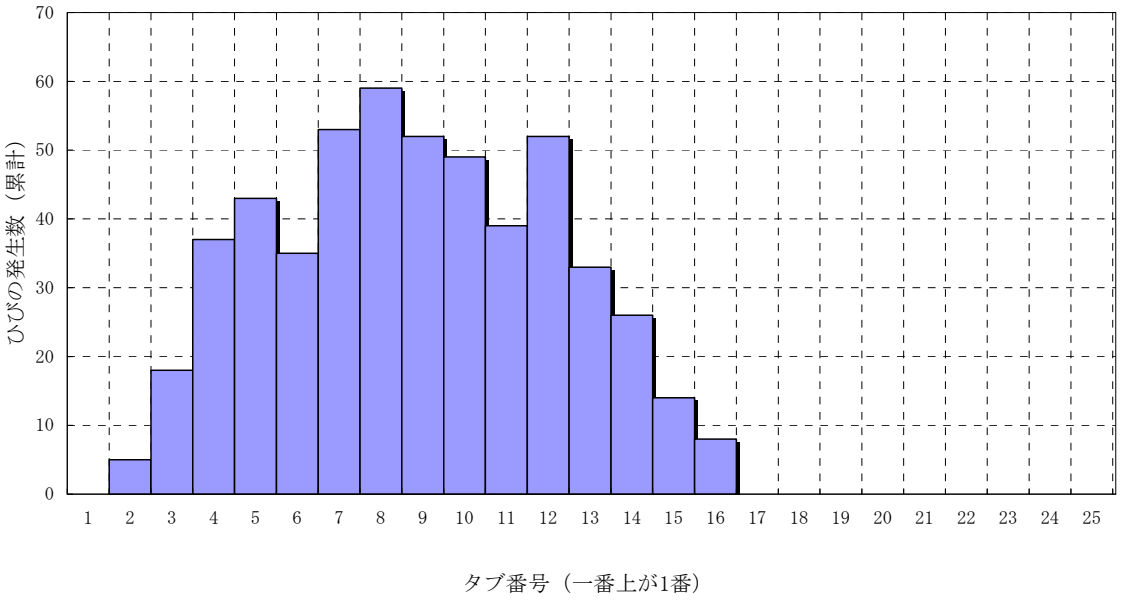


注）・一つの溶接箇所に複数のひびが発生している場合も一つと数えた。

・ひびの長さ等の性状は考慮していない。

・タイロッド部のみのひびはタブ溶接部直上に発生していることから、当該タブ溶接位置に含めた。

タブ溶接位置とタブ溶接位置に発生したひびの累積数



注）・ひびの長さ等の性状は考慮していない。

・タイロッド部のみのひびはタブ溶接部直上に発生していることから、当該タブ溶接位置に含めた。

柏崎刈羽原子力発電所７号機における水質調査結果

柏崎刈羽原子力発電所７号機において確認されたハフニウムフラットチューブ型制御棒のひび発生事象に伴い、運転開始時から当該制御棒が取出されるまでの期間を対象に運転中の原子炉水水質について調査した。

なお、調査にあたっては「BWRVIP-130: BWR Vessel and Internals Project BWR Water Chemistry Guidelines - 2004 Revision (EPRI)」（以下、EPRI 水化学ガイドライン　という）の管理推奨値と比較した。

1.　調査結果

(1)　不純物濃度

EPRI 水化学ガイドラインにおいて応力腐食割れ(SCC)の発生、進展を緩和させるために導電率、塩素イオン及び硫酸イオンについて必要な対応毎に管理推奨値(アクションレベル)以下に維持することが推奨されている。なお、当社は運転実績や EPRI 水化学ガイドラインに基づき運転サイクルや停止期間毎に水質管理計画を策定し、水質管理を実施している。

(a)　導電率

導電率は、定検中の大気開放状態により、EPRI 水化学ガイドラインの運転中における第一のアクションレベル(＞0.3μS/cm、以下 AL1 という）を超えた時期があったが、プラント運転中はこの AL1 以下に維持されていた。なお、定検中の大気開放状態においては、EPRI 水化学ガイドラインの停止中におけるアクションレベル（＞2μS/cm）以下に維持されていた。

(b)　塩素イオン

塩素イオン濃度については、EPRI 水化学ガイドラインの運転中における AL1(＞5ppb)以下に維持されていた。

(c)　硫酸イオン

硫酸イオン濃度については、EPRI 水化学ガイドラインの運転中における AL1(＞5ppb)を超える時期があったが、水質改善処置を行い EPRI 水化学ガイドラインの運転中における第二のアクションレベル（＞20ppb、以下 AL2 という）を逸脱することはなく AL1 に復帰していた。

(2)　溶存酸素濃度

当該号機においては、溶存酸素濃度は 170～270ppb 程度を推移しており、SCC が発生する可能性のあるレベルにあった。(水素注入未実施）ただし、BWR 炉水環境下では原子炉水の放射線分解により、炉水の溶存酸素は 200～300ppb になることが知られており、この範囲にあることが確認できていることから溶存酸素濃度についても適切に管理されていたと言える。

(3)　給水クラッド鉄濃度

原子炉内に持込まれる給水クラッド鉄濃度については、定格出力運転期間中は 1ppb 以下の低い値に維持されていた。

(4)　金属注入

当該号機において、亜鉛、鉄等の金属注入の実績はない。

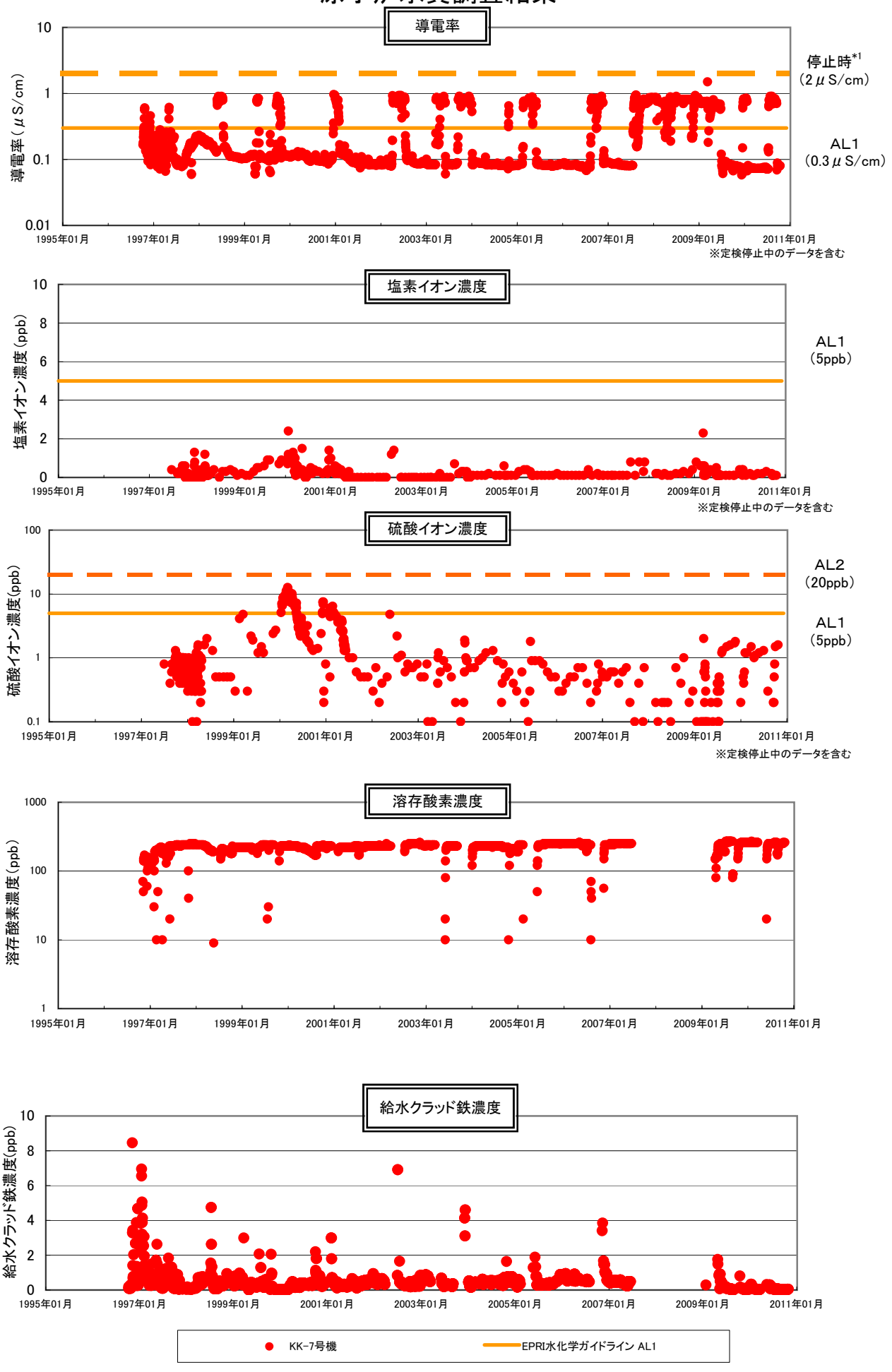
以上より、原子炉水中溶存酸素濃度については、SCC が発生する可能性のあるレベルにあったものの、SCC を助長する塩素イオン・硫酸イオン濃度については EPRI 水化学ガイドラインが推奨する範囲にあったことから、原子炉水質については適正な管理が行われていたと評価している。

2.　添付資料

原子炉水質調査結果

以　上

原子炉水質調査結果



*1　EPRI水化学ガイドラインにおける停止中のアクションレベル

柏崎刈羽原子力発電所７号機ハフニウムフラットチューブ型制御棒
溶接残留応力測定

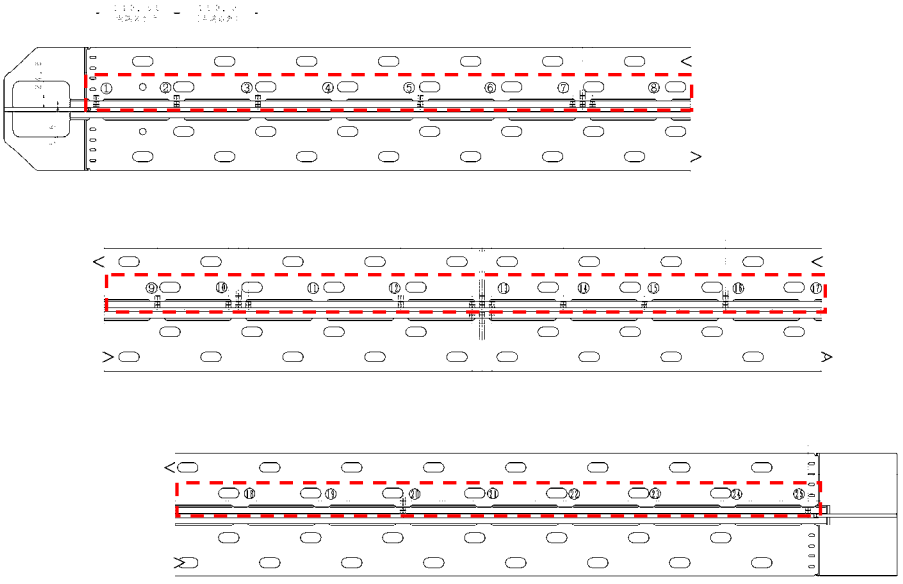
１．はじめに

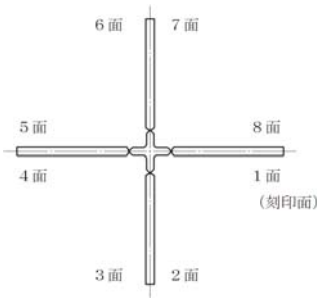
制御棒のモックアップ試験体をTIG溶接２体、レーザ溶接１体それぞれ用意し、ひずみゲージによる残留応力測定を行った。結果を以下に示す。

２．測定位置

初装荷納入品（シース／タイロッド溶接部はTIG溶接による）を模擬したモックアップ試験体１体目のひずみゲージ設置位置を図２－１に、２体目の設置位置を図２－２に示す。タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布を測定するため、１体目は第１～３、５、７、９、１０、１２～１６、２０、２５タブ、２体目は第１～４、６、８、９、１１、１３タブの溶接部近傍にひずみゲージを設置した。（図中赤破線）

なお、測定面については、溶接順序の観点で残留応力が大きくなると考えられる７面を基準面とし、各ブレード間の比較対象の観点で１体目の１３タブのみ各ブレードの内における溶接順序の観点で残留応力が大きくなることが考えられる１面、２面、４面を追加で測定することとした。





（面の数え方）
制御棒を上から見て刻印面を基準に左記の通りとする。
なお、レーザ溶接についても同じ。

図２－１　ひずみゲージ設置位置（TIG溶接１体目）

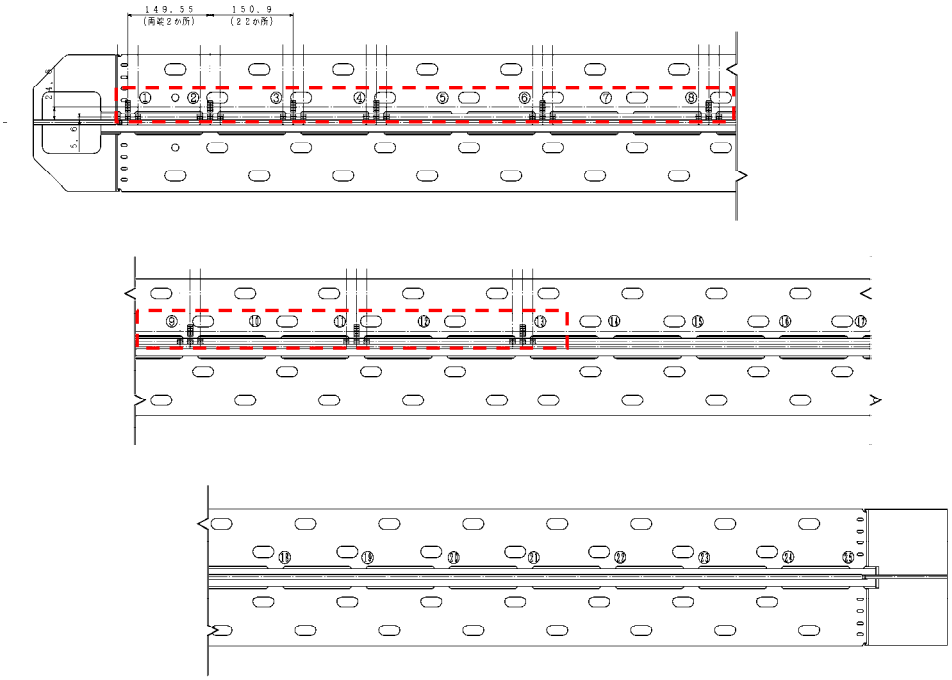


図２－２　ひずみゲージ設置位置（TIG 溶接２体目）

次に現行仕様のレーザ溶接を模擬した試験体のひずみゲージ設置位置を図２－３に示す。TIG 溶接と同様、シース溶接部の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布を測定するため、第１～１６、２０、２５タブの溶接部近傍にひずみゲージを設置した。（図中赤破線）

なお、レーザ溶接により発生する残留応力が急峻なピークを持つことも考えられることから、通常使用している２軸５連ゲージ（測定ピッチ：2mm）の補間用に測定ピッチが 0.5mm と狭い超小型５素子ゲージを５、９、１２、１６タブに設置した。（図中青線）

なお、測定面については、溶接順序の観点で残留応力が大きくなると考えられる４面を基準面とし、各ブレード間の比較対象の観点で１３タブのみ各ブレードの内における溶接順序の観点で残留応力が大きくなることが考えられる１面、３面、６面を追加で測定することとした。

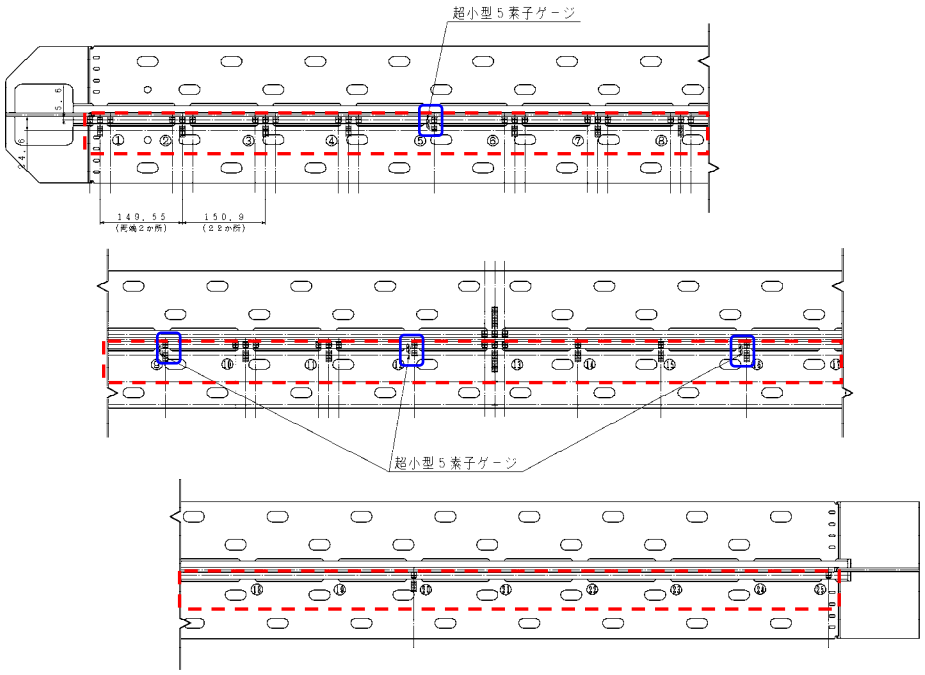


図２－３　ひずみゲージ設置位置（レーザ溶接）

３．シース／タイロッドのタブ溶接部の残留応力測定結果

TIG 溶接１体目と、TIG 溶接２体目のタブ溶接部中央における軸方向残留応力の制御棒水平方向分布の測定結果を図３－１に示す。垂直ブレード端からの距離 13mm を中心に最大で 360MPa 程度の引張残留応力が生じている。なお、溶接部から 10～15mm 離れると残留応力は圧縮に転じる傾向が見られた。

30mm を超えると各タブの応力値には開きが生じているが、要因としては各溶接部における冷却孔とひずみゲージの距離の違い等が影響していると考えられる。

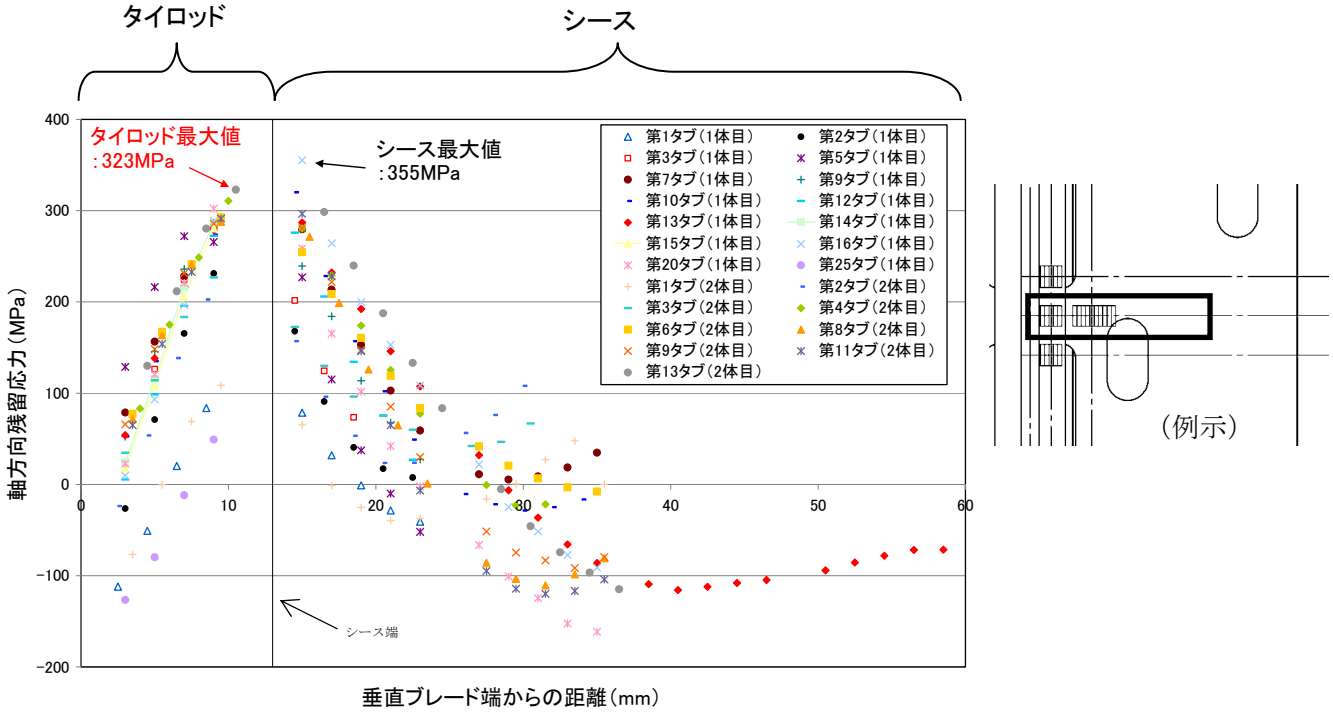


図３－１　タブ溶接部中央における軸方向残留応力の制御棒水平方向分布（TIG 溶接）

次に、レーザ溶接試験体のタブ溶接部中央における軸方向残留応力の制御棒水平方向分布の測定結果を図３－２に示す。垂直ブレード端からの距離 13mm を中心に最大で 340MPa 程度の引張残留応力が生じている。なお、溶接部から 10mm 離れると残留応力は圧縮に転じる傾向が見られた。

TIG 溶接と同様に 30mm を超えると各タブの応力値には開きが生じており、要因としては各溶接部における冷却孔とひずみゲージの距離の違い等が影響していると考えられる。

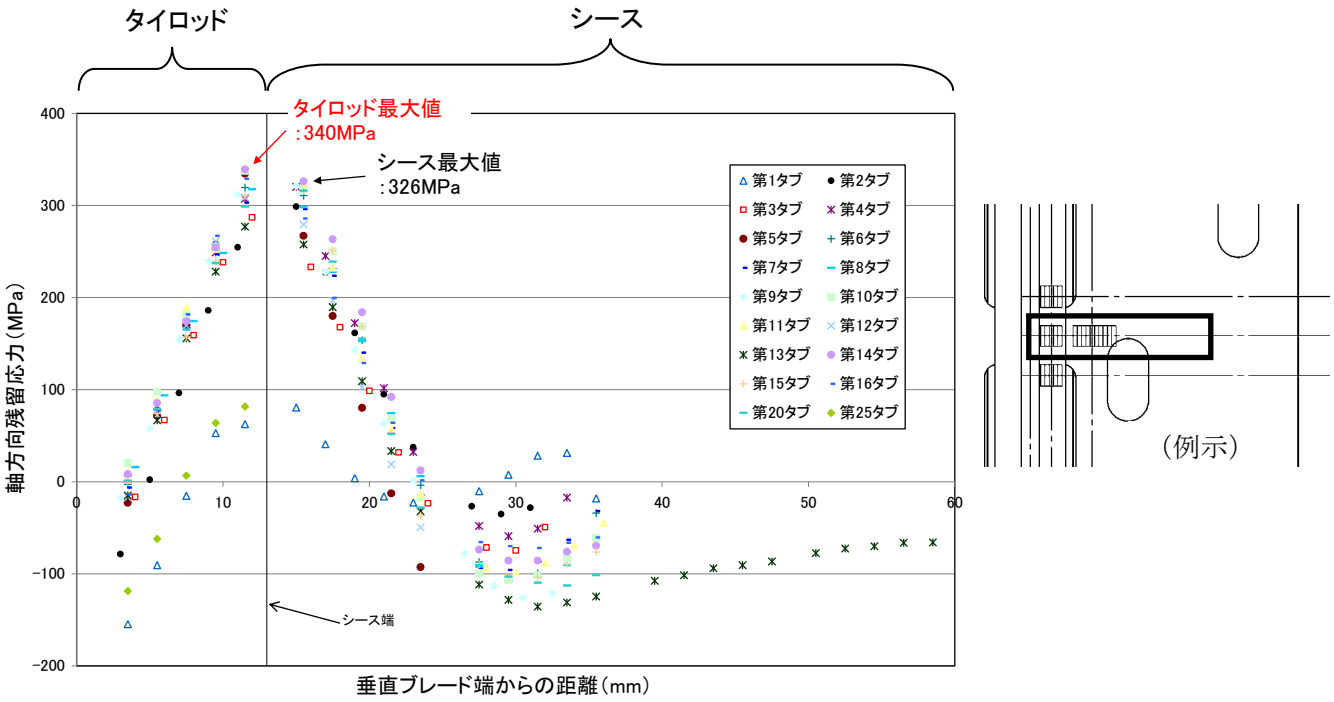


図３－２　タブ溶接部中央における軸方向残留応力の制御棒水平方向分布（レーザ溶接）

４．タブ溶接位置上下の残留応力測定結果

TIG 溶接時のタブ溶接位置の上下のタイロッド部残留応力について、測定位置を代表して１体目第１３タブ（４面測定タブ）と２体目第１３タブ（最大応力発生タブ）の測定結果を図４－１～図４－５に示す。タブ溶接位置の上下のタイロッド部においても最大で 310MPa 程度の残留応力が発生しており、タブ溶接の上下に発生しているタイロッド部のひび進展の要因となっていると考えられる。（他の測定位置のデータは資料集　資料－４を参照）

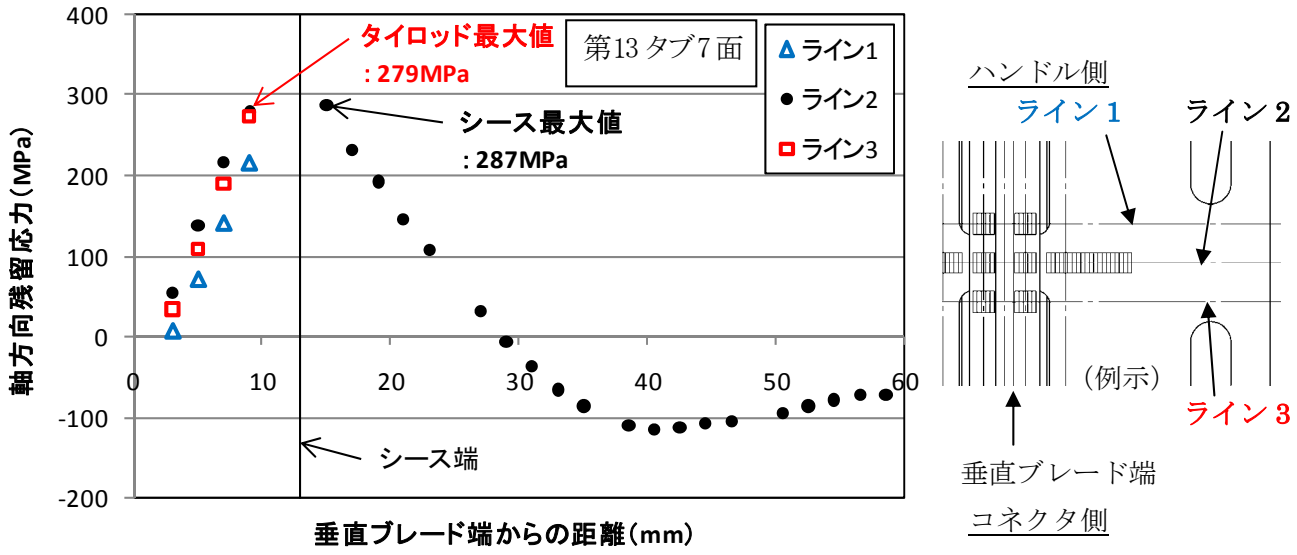


図４－１　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接１体目　第 13 タブ７面（他の測定点と同一面））

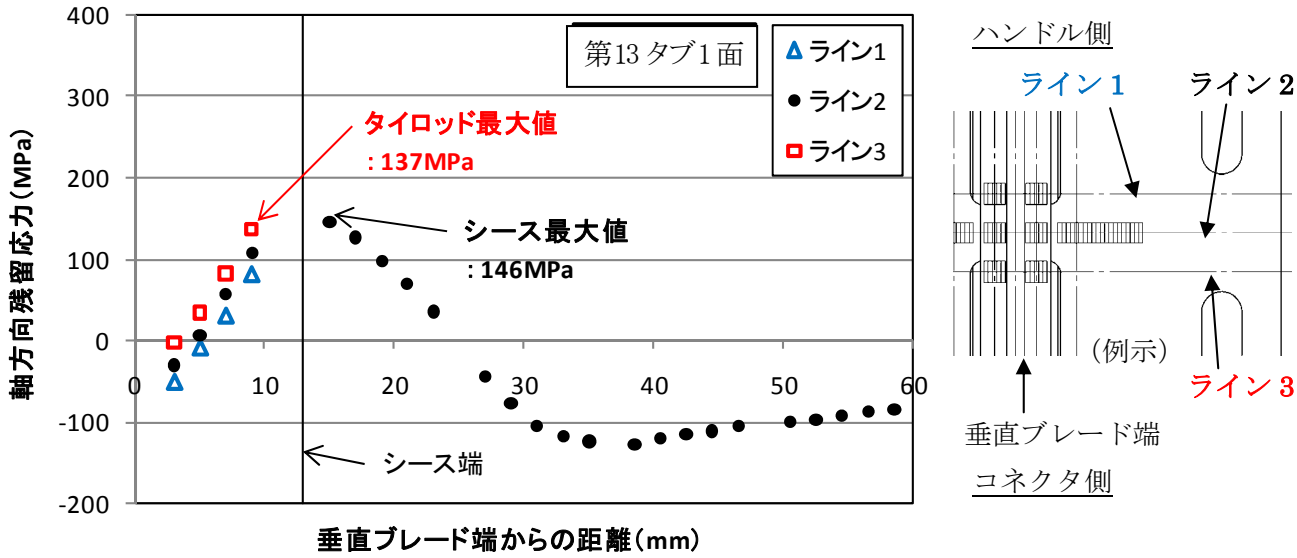


図４－２　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接１体目　第 13 タブ１面（他の測定点と異なる面））

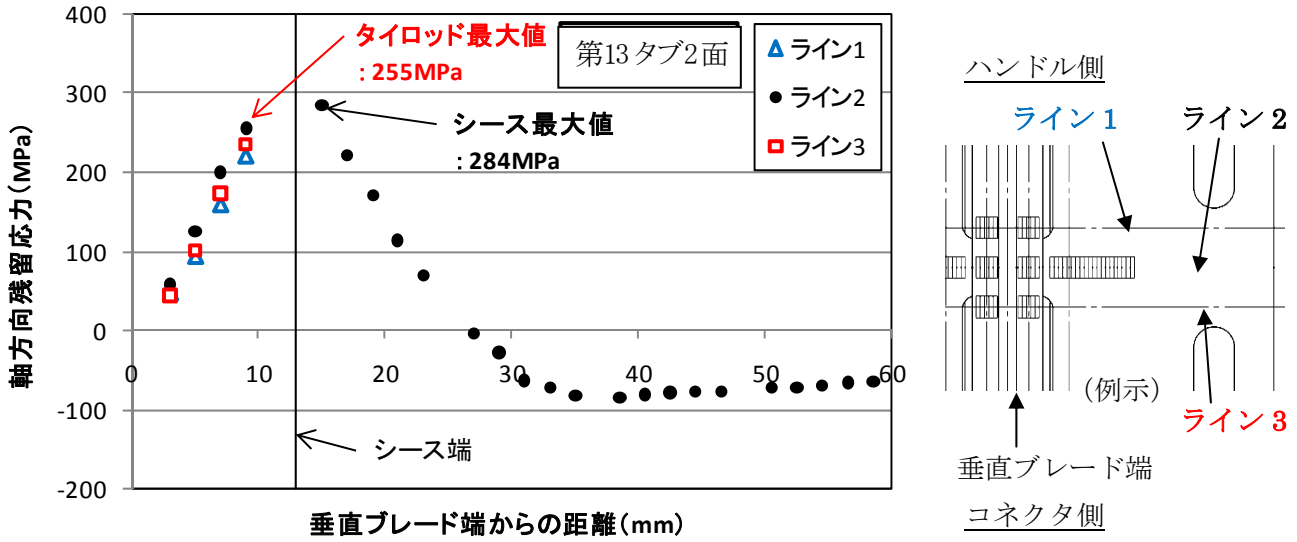


図４－３　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接１体目　第 13 タブ２面（他の測定点と異なる面））

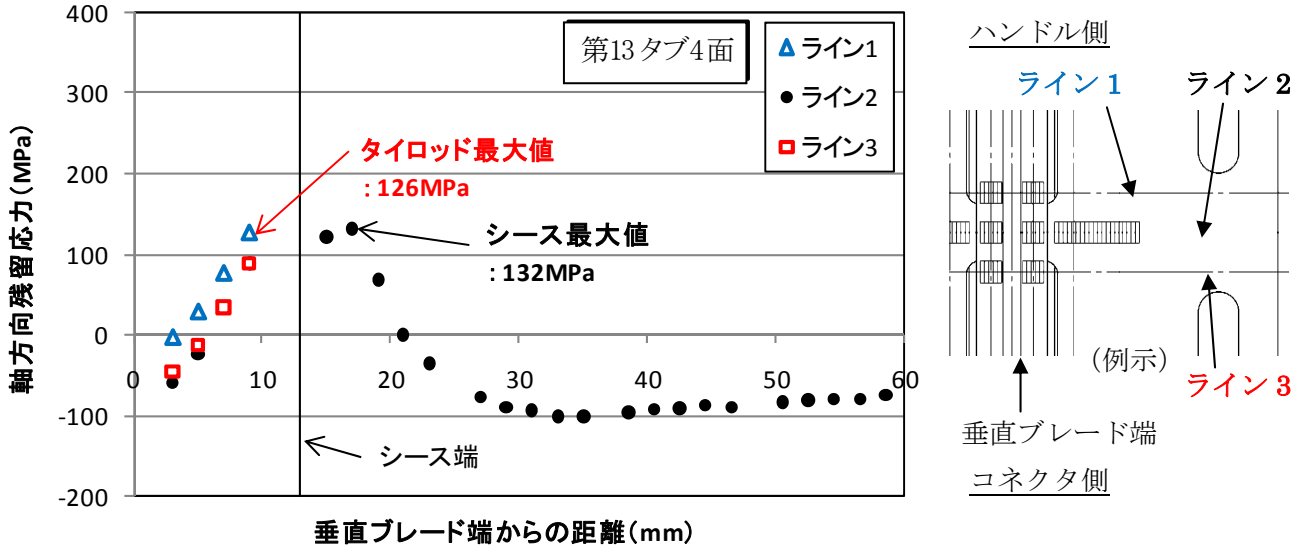


図４－４　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接１体目　第 13 タブ４面（他の測定点と異なる面））

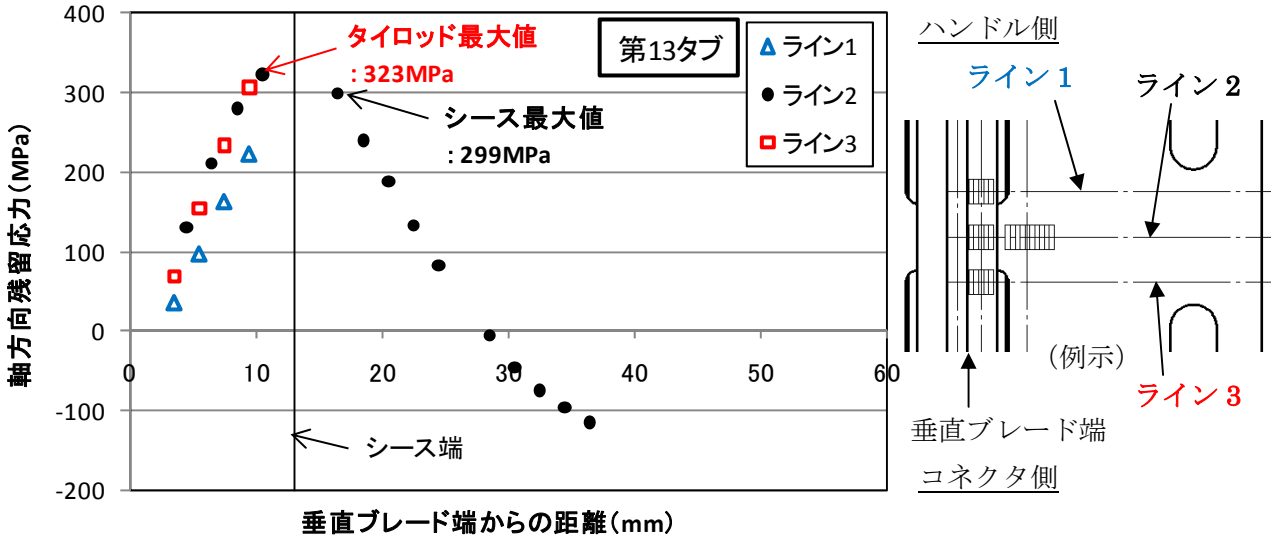


図４－５　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接 2 体目　第 13 タブ）

レーザ溶接時のタブ溶接位置の上下のタイロッド部残留応力について、測定位置を代表して第１３タブ（４面測定タブ）と第７タブ（最大応力発生タブ）の測定結果を図４－６～図４－１０に示す。TIG 溶接と同様にタブ溶接位置の上下のタイロッド部においても最大で 390MPa 程度の残留応力が発生しており、タブ溶接の上下に発生しているタイロッド部のひび進展の要因となっていると考えられる。（他の測定位置のデータは資料集　資料－４を参照）

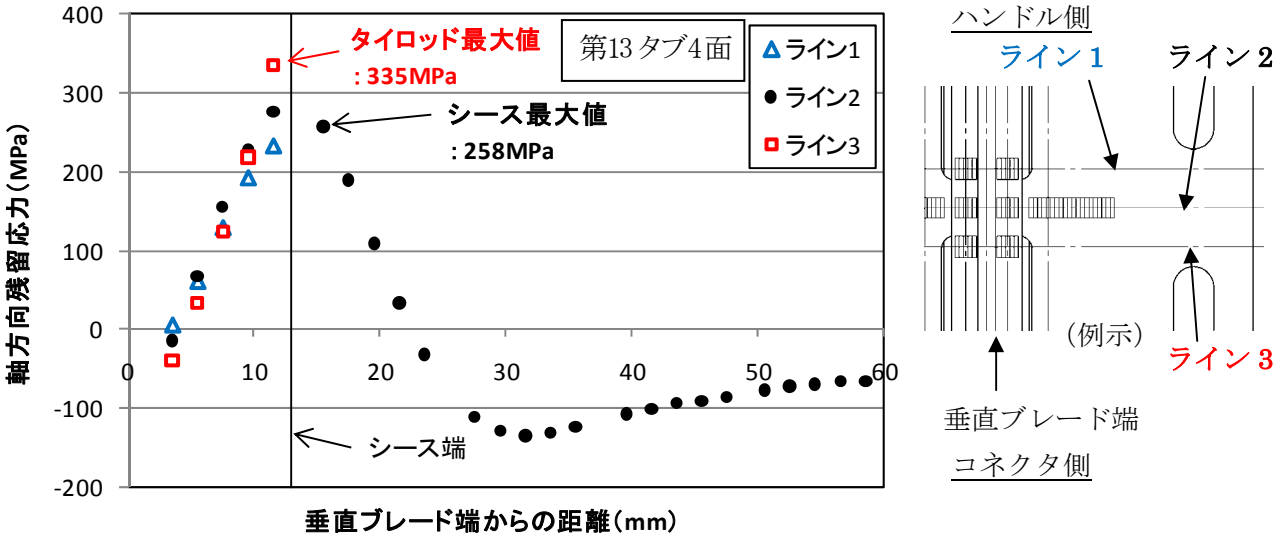


図４－６　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第 13 タブ 4 面（他の測定点と同一面））

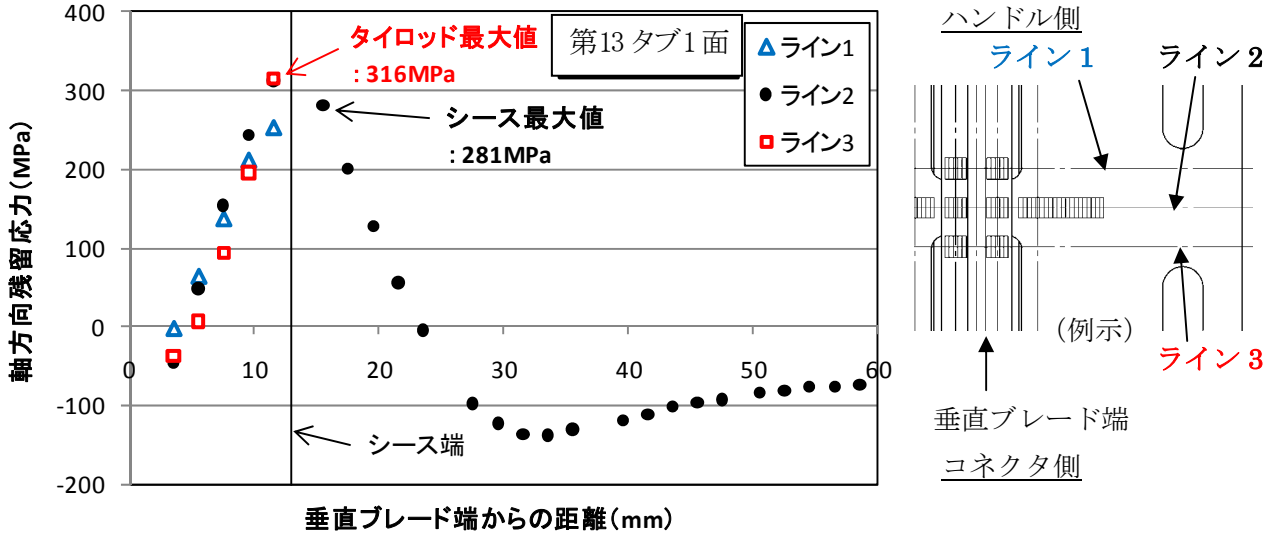


図４－７　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第 13 タブ 1 面（他の測定点と異なる面））

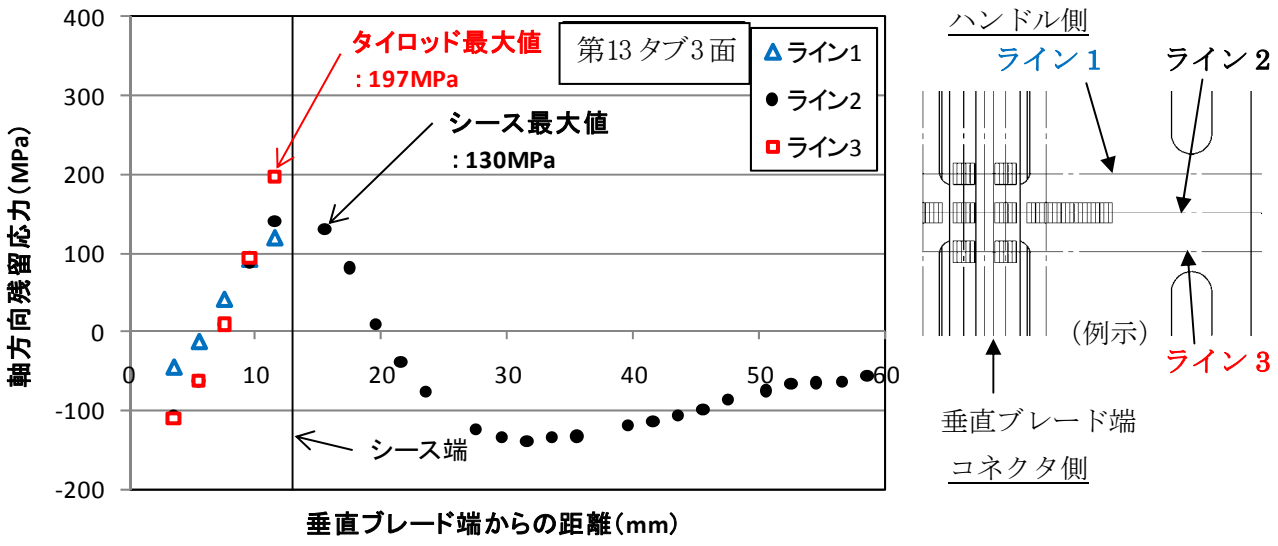


図４－８　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第 13 タブ 3 面（他の測定点と異なる面））

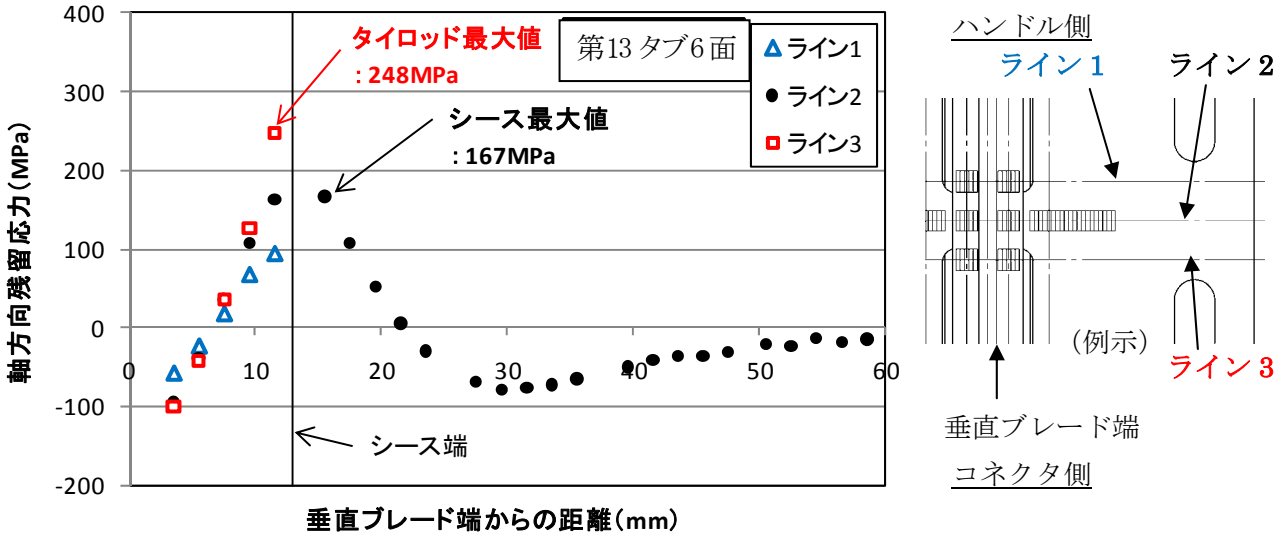


図４－９　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第 13 タブ 6 面（他の測定点と異なる面））

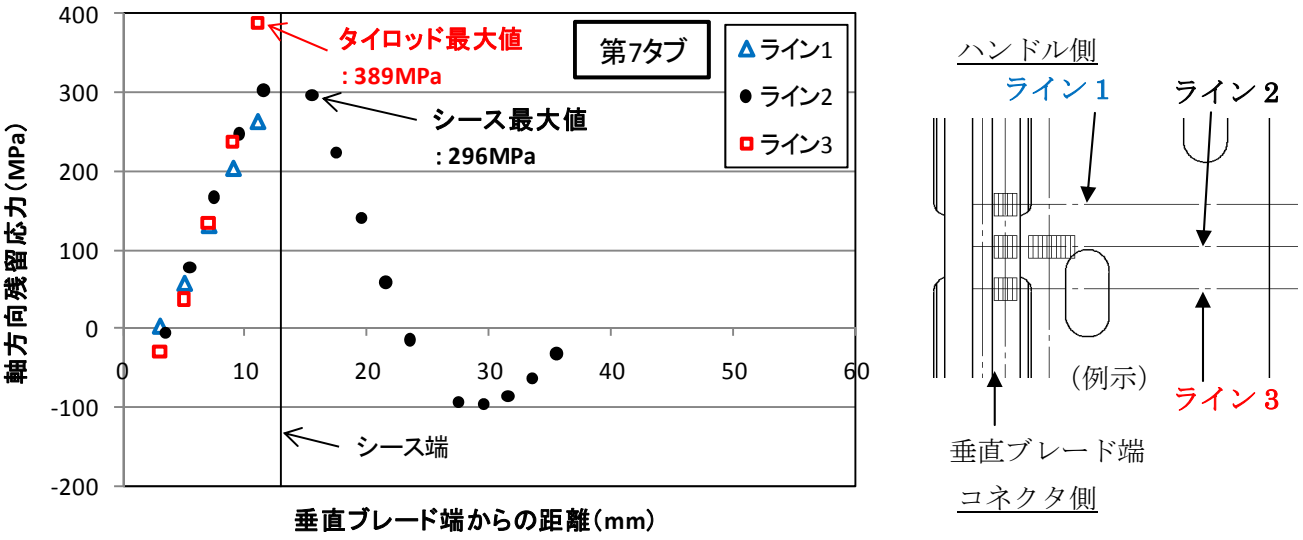


図４－１０　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第７タブ）

５．制御棒長手方向残留応力測定結果

TIG 溶接の制御棒長手方向のタイロッド軸方向残留応力測定結果を図５－１に示す。第１タブ中央部で最大 109MPa、第 25 タブ中央部で最大 49MPa であったが、それ以外のタブ中央部ではおおむね 300MPa 程度の残留応力が発生していた。また、全てのタブで垂直ブレード端からシース／タイロッド溶接部に近づくにつれてタイロッドの軸方向残留応力値が大きくなる傾向がみられた。なお、TIG 溶接では、垂直ブレード端から 11mm の位置に溶接金属部分がかかり、残留応力値にばらつきが生じるため、図中には示していない。

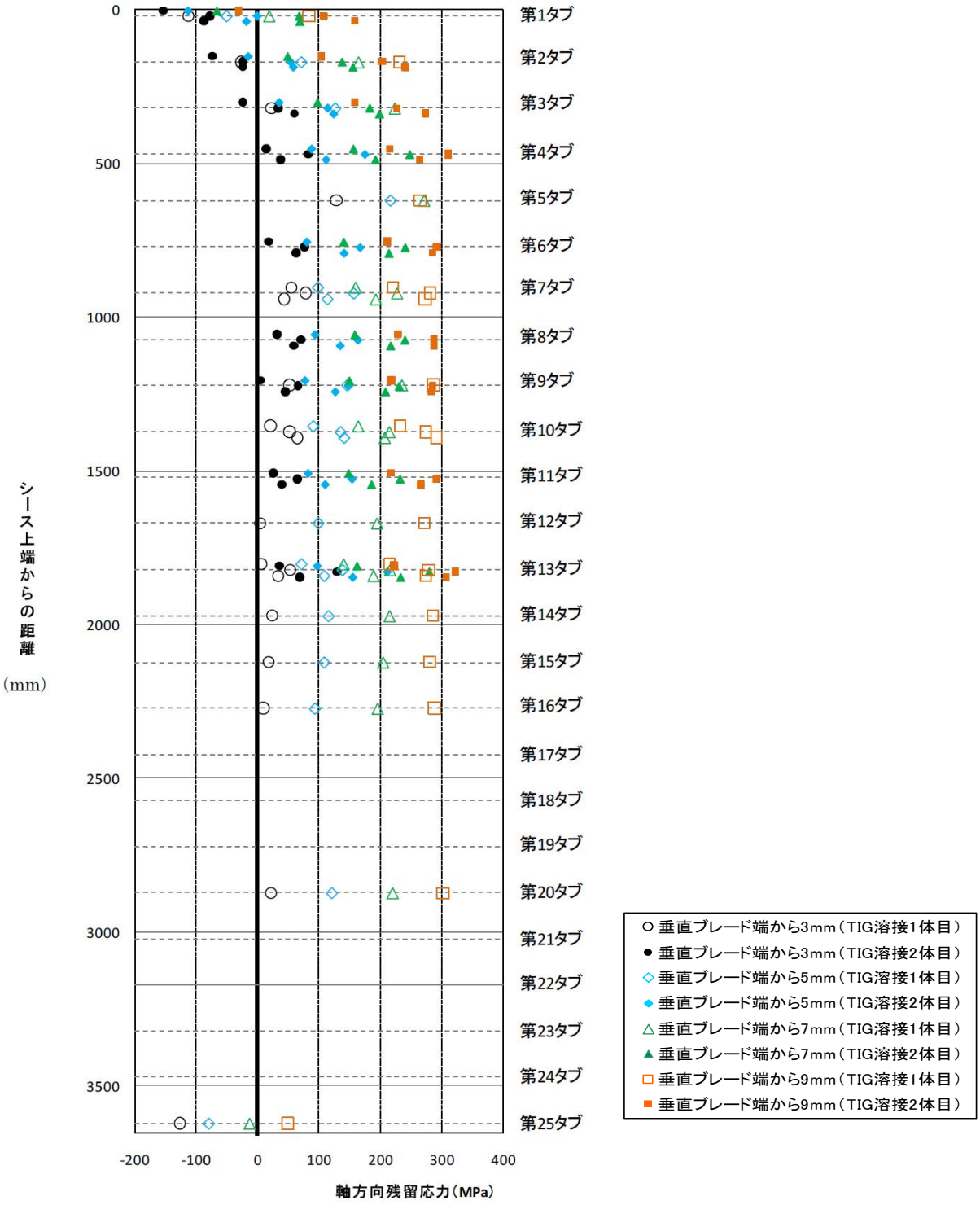


図５－１　軸方向残留応力測定結果の制御棒長手方向分布（TIG 溶接）

レーザ溶接の制御棒長手方向のタイロッド軸方向残留応力測定結果を図５－２に示す。第１タブ中央部で最大 63MPa、第 25 タブ中央部で最大 82MPa であったが、それ以外のタブ中央部ではおおむね 300MPa 以上の残留応力が発生していた。また、全てのタブでシース／タイロッド溶接部に近づくにつれてタイロッドの残留応力値が大きくなる傾向がみられた。

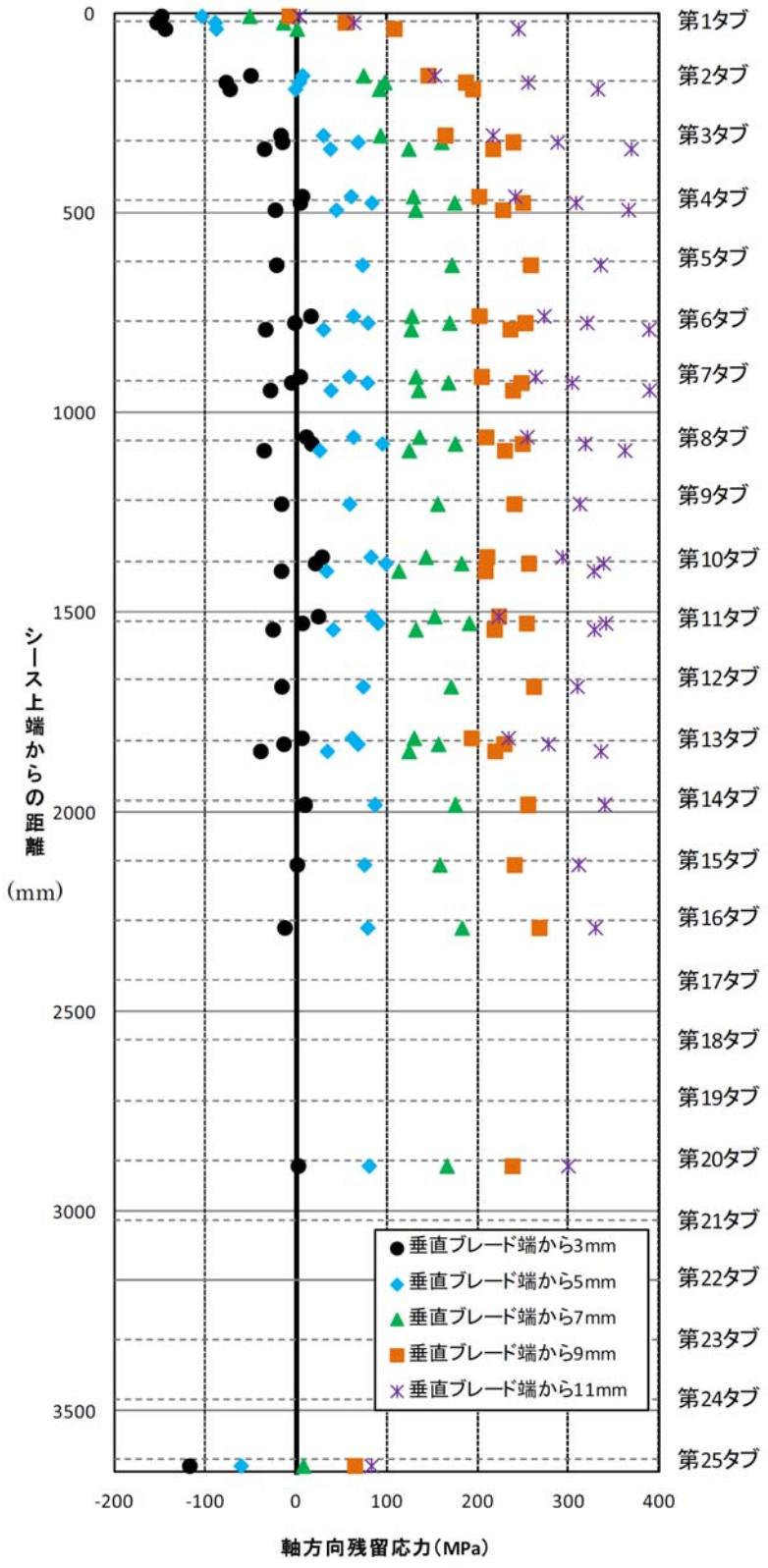


図５－２　軸方向残留応力測定結果の制御棒長手方向分布（レーザ溶接）

６．レーザ溶接のシース／タイロッド溶接部の残留応力のピーク値確認結果

（超小型５素子ゲージ）

シース／タイロッド溶接部近傍の軸方向残留応力の測定値を補間する目的で通常使用している２軸５連ゲージ（測定ピッチ：2㎜）に加え、第５、９、１２、１６タブにて測定ピッチが 0.5㎜の超小型５素子ゲージを用いて測定を実施した。その測定結果を図６－１～図６－４に示す。超小型５素子ゲージで得られた残留応力値は、２軸５連ゲージで得られた残留応力値よりも低い傾向はあるものの、概ねよい一致を示している。シース／タイロッド溶接部近傍の残留応力のピーク値は、２軸５連ゲージで十分に捉えることができたと考える。

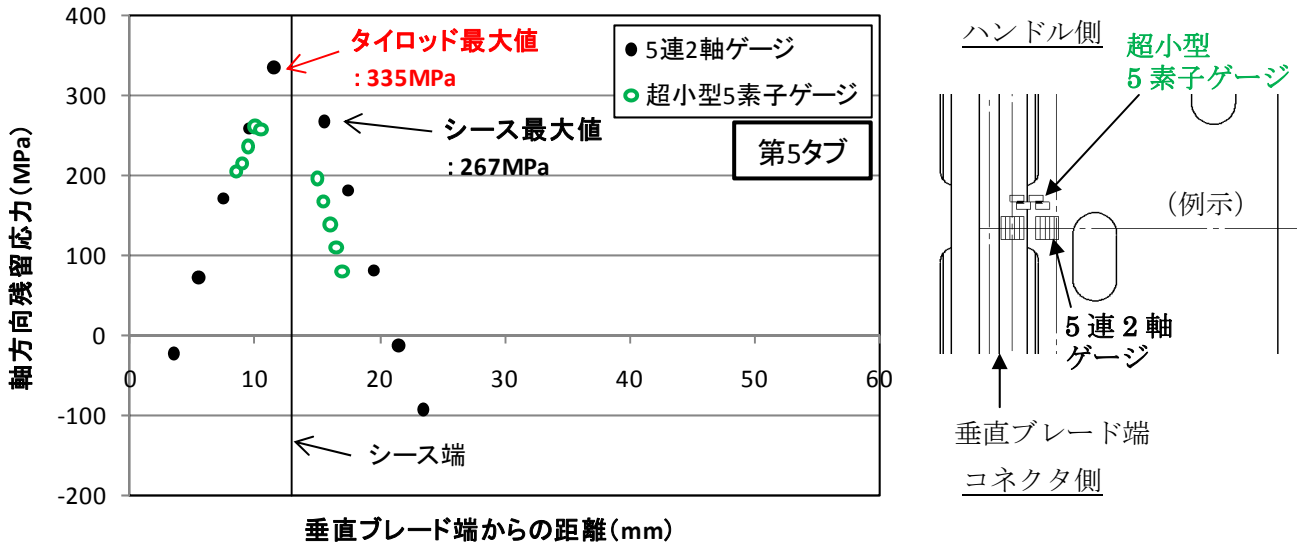


図６－１　レーザ溶接の軸方向残留応力のピーク値の確認結果

（第５タブ位置　超小型５素子ゲージ）

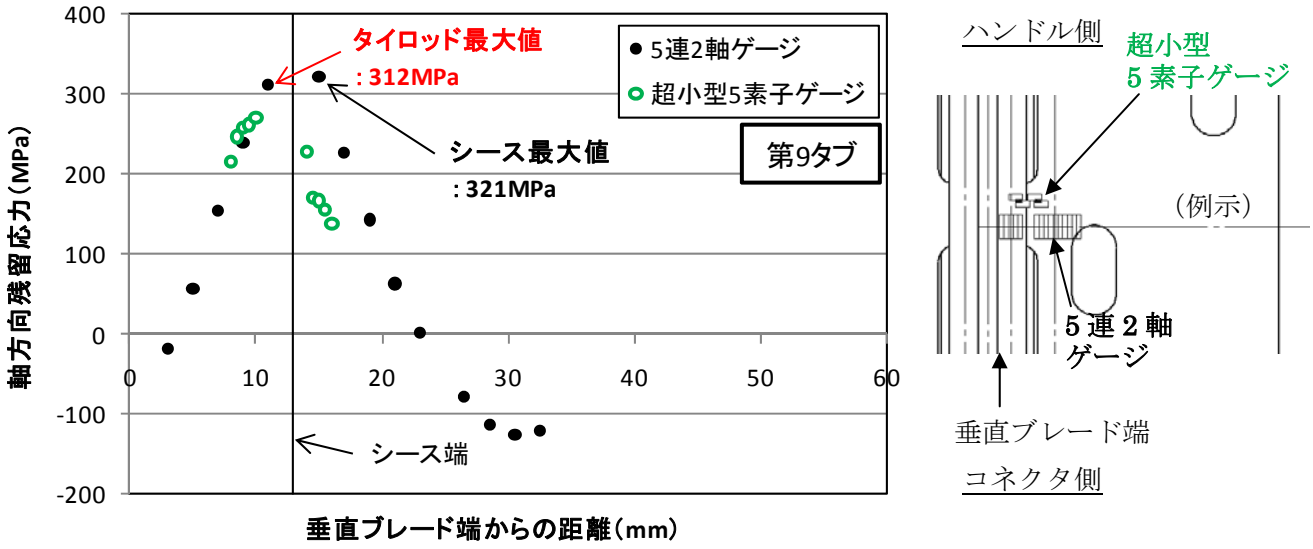


図６－２　レーザ溶接の軸方向残留応力のピーク値の確認結果

（第９タブ位置　超小型５素子ゲージ）

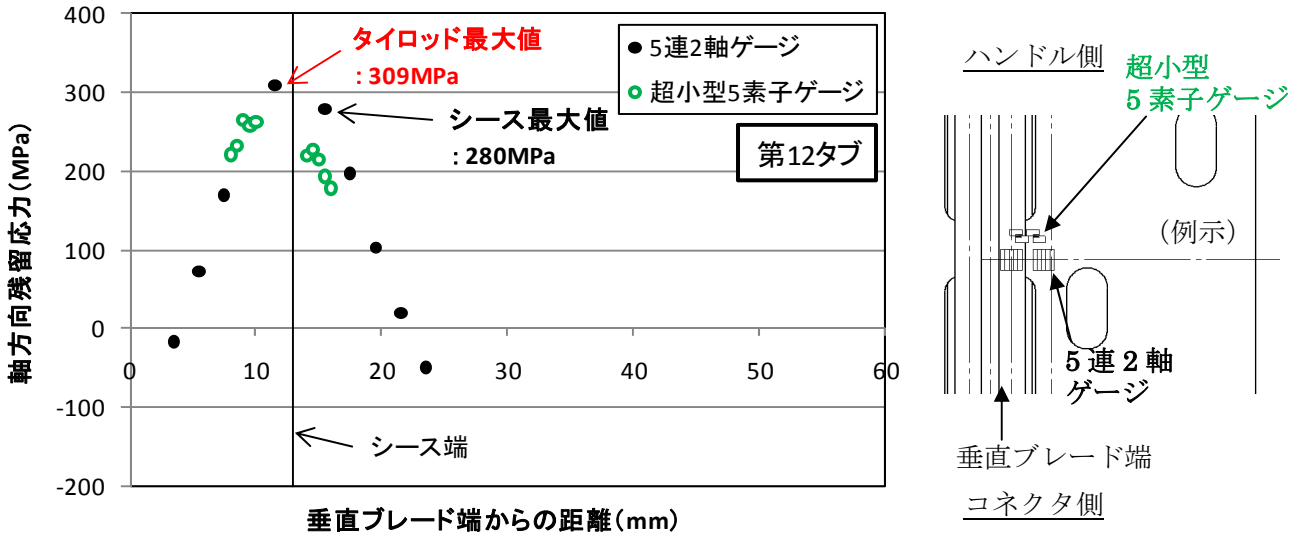


図６－３　レーザ溶接の軸方向残留応力のピーク値の確認結果
（第 12 タブ位置　超小型 5 素子ゲージ）

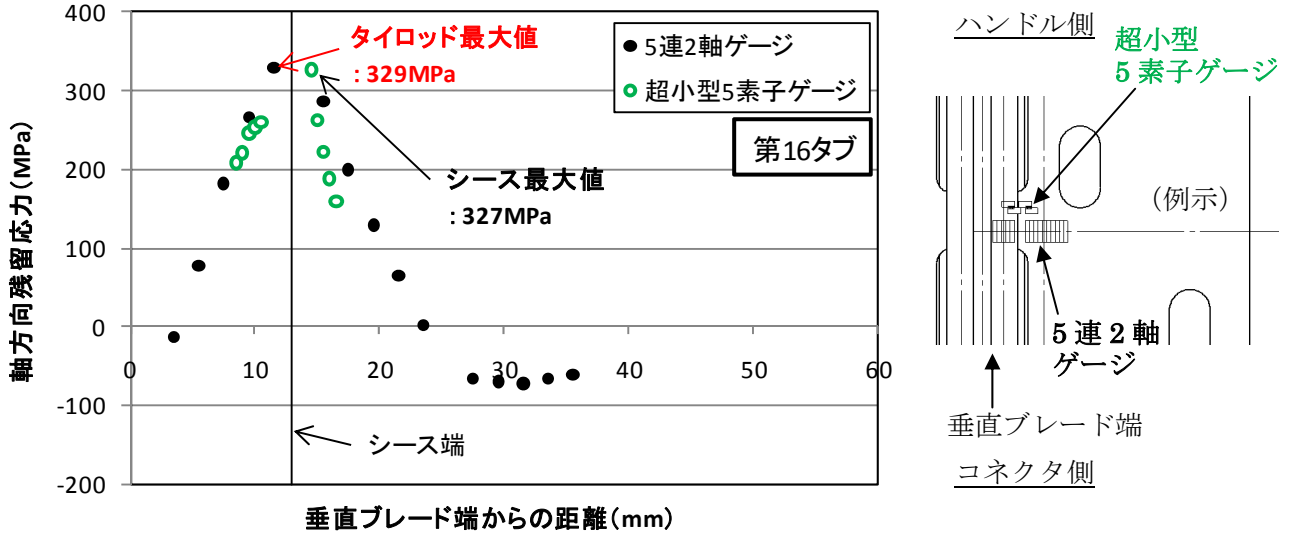


図６－４　レーザ溶接の軸方向残留応力のピーク値の確認結果
（第 16 タブ位置　超小型 5 素子ゲージ）

以　上

タイロッド金属組織観察及び硬さ測定

１．目　的

柏崎刈羽原子力発電所７号機制御棒について、タイロッドのひびの発生原因を究明するため、モックアップ試験体を用いてタイロッドの金属組織観察及び硬さ測定を実施した。

２．調査内容

以下、２種類の製造工程を模擬したモックアップ材を製作し、エンドミル加工及びプレーナ加工の前後で硬さ測定と金属組織観察を行い、加工の影響を確認した。

（１）　開先加工としてエンドミル加工を施工（以下、「タイプＡ」と呼ぶ。1996 年製造の制御棒の加工方法）

（２）　タイロッド翼端部にプレーナ加工を施工（以下、「タイプＢ」と呼ぶ。2002 年製造の制御棒の加工方法）

なお、タイプＡタイロッドについては、1996 年当時の素材がないため現在の素材を使用して、タイプＡ及びＢの試験を行った。

３．調査結果

３．１　タイプＡタイロッド金属組織観察

図１及び図２にエンドミル加工前後の金属組織観察結果を示す。両者いずれも加工組織が認められているが、エンドミル加工前は表面の凸部において結晶粒で顕著にすべり線が観察され、エンドミル加工施工後は表層全体で加工影響層が観察された。

なお、照射後試験施設における調査では、引抜き加工のままのタイロッド表層に本素材に観察された図１の様な表面硬化層は観察されていない（添付資料－９－６　図１－６－５等）。タイロッド素材の製造において、今回照射後試験施設で調査を実施した制御棒のタイロッド素材と現用の素材とでは、使用している金型や最終引抜き前後の断面減面率が異なるため（添付－１参照）、本モックアップの素材の段階の状況は照射後試験施設にて調査した制御棒の製造時の状況と異なるものと考えられるが、今回の組織観察においてエンドミル加工の影響は確認されたと考える。

３．２　タイプＢタイロッド金属組織観察

図３にプレーナ加工施工後の金属組織観察結果を示す。プレーナ加工施工部において極表層部に加工影響組織が観察された。

３．３　硬さ測定結果

図４に組織観察位置でのエンドミル加工前後及びプレーナ加工後の硬さ測定結果を示す。タイロッドのシース取付段差部には素材の段階で既に深さ 0.3㎜～0.5㎜ 程度の硬化層が存在していたことと、エンドミル及びプレーナ加工の加工層は極表層であったことから、今回の硬さ測定では両者の加工の影響は確認が困難であった。

４．調査結果まとめ

タイプＡ及びタイプＢのタイロッド金属組織観察において、エンドミル加工及びプレーナ加工の影響を確認した。なお、硬さ測定での確認は困難であった。

また、現用のタイロッド素材のシース取付段差部には深さ 0.3㎜～0.5㎜ 程度の硬化層が存在していた。

以　上

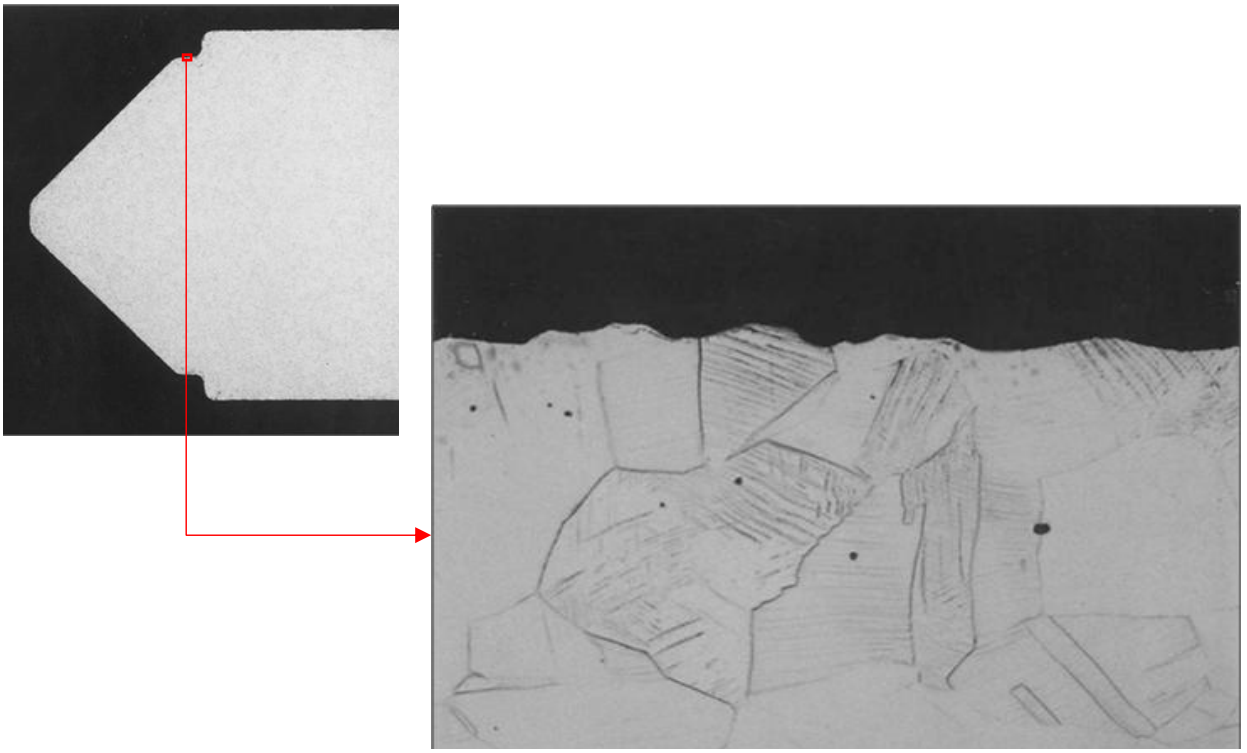


図１　金属組織観察結果（素材）

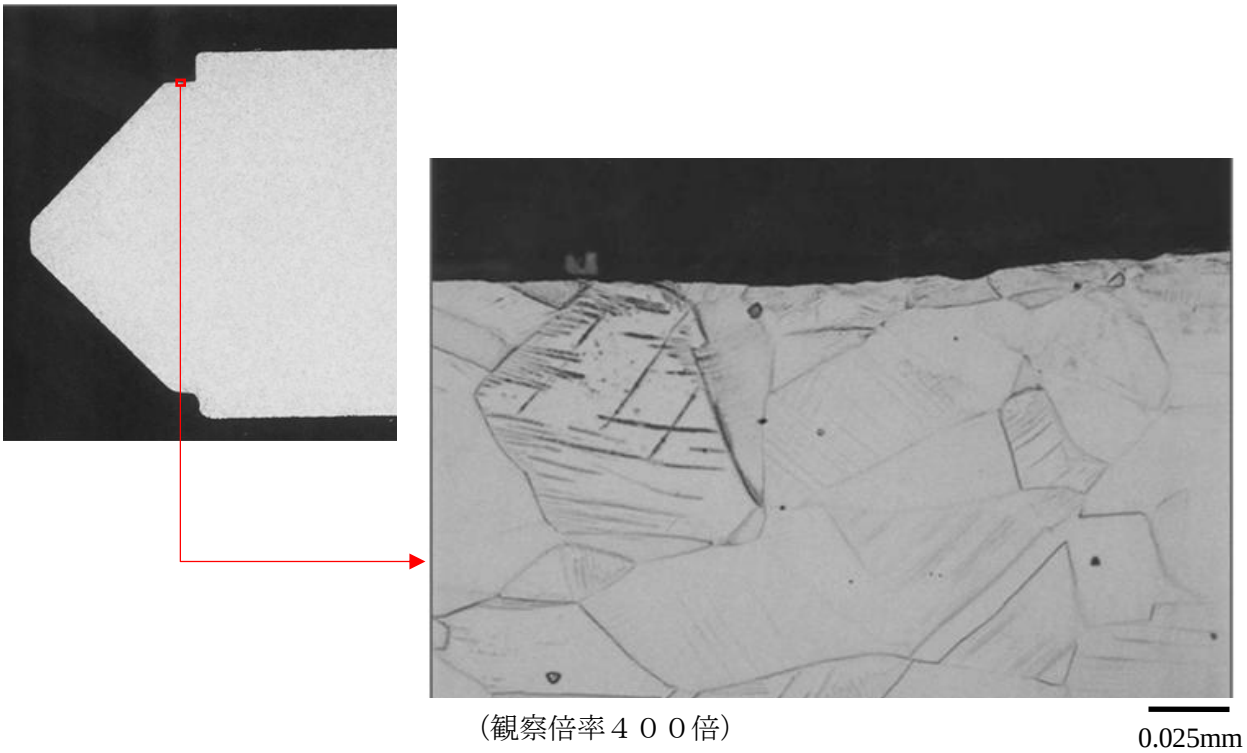


図２　金属組織観察結果（エンドミル加工後）

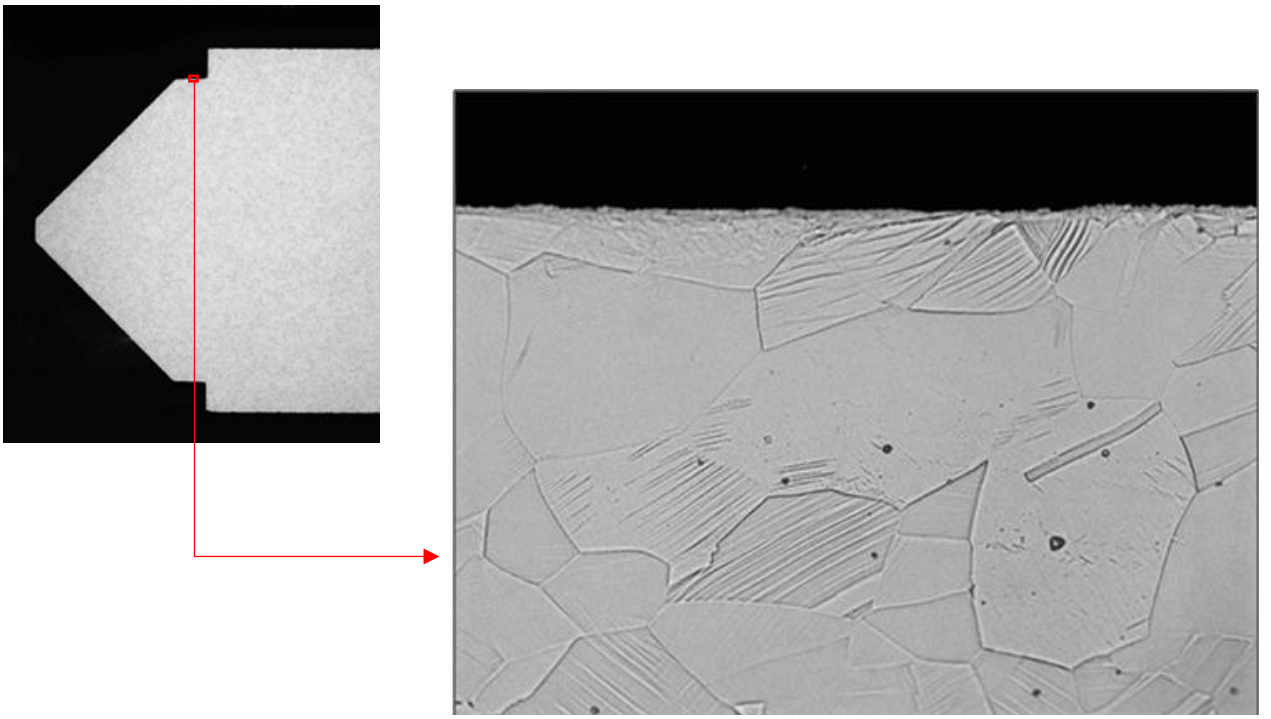
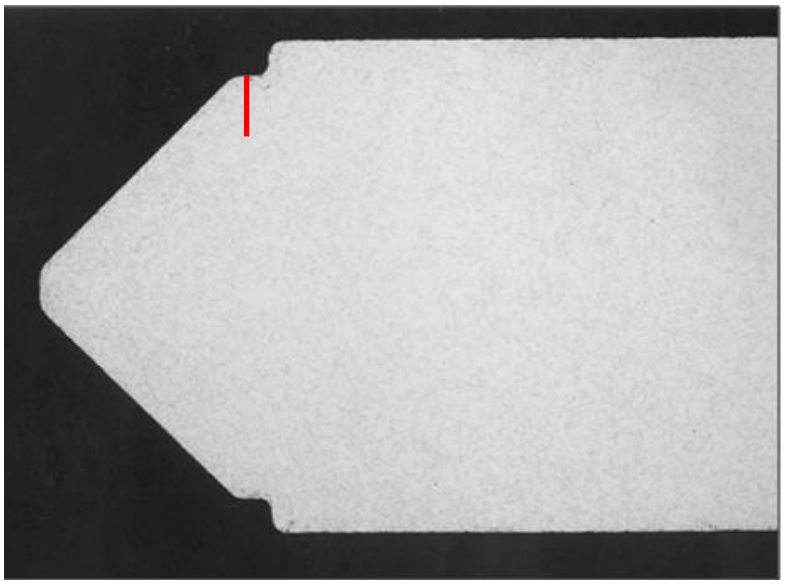


図３　金属組織観察結果（プレーナ加工後）



硬さ測定位置
（素材、エンドミル加工後、プレーナ加工後）

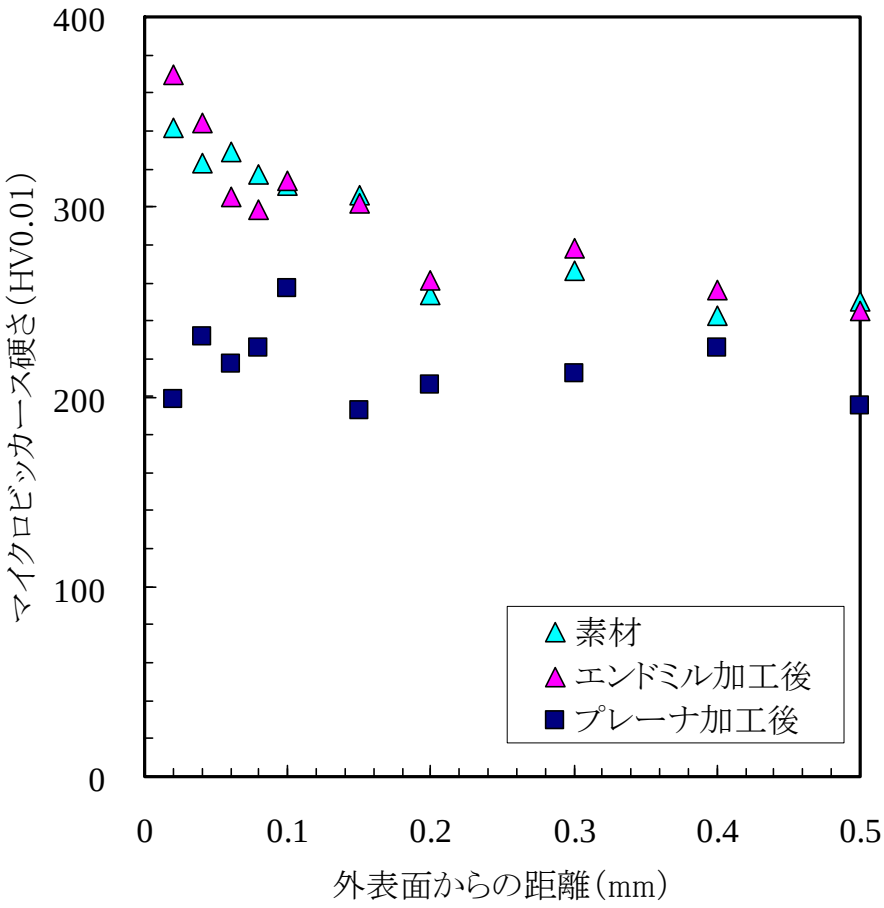


図４　モックアップ材タイロッド部 硬さ測定結果

（　参　　考　）

モックアップに用いたタイロッド部材に確認された硬化層について

タイロッドの素材は、図１に示すダイス（使用金具）で引抜くことによって、目的の寸法を持った部材として成形される。今回の照射後試験施設における試験（以下、ＰＩＥ）にて使用されたタイロッド部材は、この引抜き加工のみでは所要の形状を得られないためエンドミル加工やプレーナ加工を施していたものである。

一方、モックアップに使用したタイロッドは、現在の製造ラインで使用されている成形加工法として、引抜き加工のみで所要の寸法を得る施工方法を採用している。モックアップではこれをそのままの状態（素材）とエンドミル加工またはプレーナ加工を施したものについて、各々金属組織観察や硬さ測定を実施した。

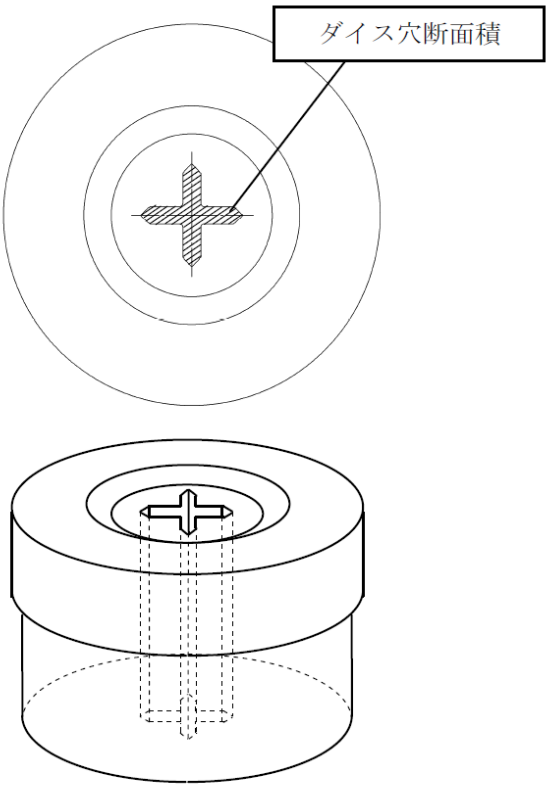


図１　タイロッド素材加工時に使用するダイス（使用金具）

この結果、モックアップで使用したタイロッド部材は、引抜き加工のままの状態でもシース取付段差部に 0.3～0.5mm 程度の硬化層が観察された。一方、ＰＩＥでの硬さ測定結果ではこの様な比較的深い硬化層は認められず、エンドミル加工（またはプレーナ

（　参　　考　）

加工）の影響と思われる硬さの上昇が極表層に観察されたのみであった。

そのため、ＰＩＥで調査した実機損傷材料とモックアップ材とでは、エンドミル加工またはプレーナ加工を施す前のタイロッド素材の状態が異なるものと考えられたため、タイロッド素材の製造方法を確認した。

図２と表１に示すようにモックアップで使用したタイロッドはＰＩＥで調査したタイロッド部材に比較して高い寸法精度を要求され、引抜き前後の減面率が約１％程度高くなっている。一般に、タイロッドの材料であるオーステナイト系ステンレス鋼では冷間加工によって材料が硬化することから、表面の加工率が局所的に高まったことによってシース取付段差部の硬化層の形成を助長したものと考えられる。

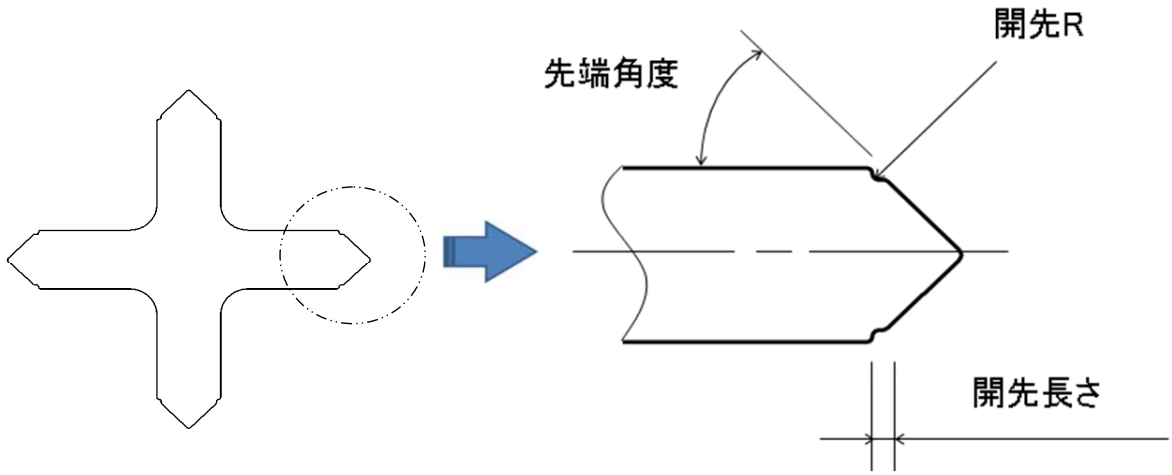


図２　タイロッド素材の機械加工部の概略図

表１ タイロッドの先端部寸法について

区分	開先長さ	開先Ｒ	先端角度	備考
ＰＩＥ用ﾀｲﾛｯﾄﾞ	1.1mm	0.5mm(最大)	50°	*1
ﾓｯｸｱｯﾌﾟ用ﾀｲﾛｯﾄﾞ	0.5mm	0.25mm(最大)	45°	

*1　ＰＩＥで機械加工による硬化が見られたもの

＜参考＞

ＰＩＥ用ﾀｲﾛｯﾄﾞ　・・・　(A－A')／A＝0.04

ﾓｯｸｱｯﾌﾟ用ﾀｲﾛｯﾄﾞ　・・・　(B－B')／B＝0.05

A、B　：最終引抜き前　ダイス穴断面積

A'、B'　：　最終引抜き　ダイス穴断面積

オンサイト調査結果

１．概要

タイロッドにひびが確認された制御棒（HH-46-005）について、原因調査の一環としてシースを剥離し、腐食状況の確認及びハフニウムフラットチューブの照射成長量の確認を実施した。

その結果、シースとハフニウムフラットチューブとの固着の原因となる様な著しい腐食生成物は認められなかった。また、上下ハフニウムフラットチューブ係合部には適切なギャップが確保されており、供用期間中の寸法変化を吸収できる状況であった。

以上から、シースとハフニウムフラットチューブ、及び、上下のハフニウムフラットチューブが固着または干渉することによって、タイロッドやシースに軸方向の引張応力が付与されることがないことを確認した。

２．ハフニウムフラットチューブの状況

シースを剥離して外観観察を実施したところ、軽微なハフニウムフラットチューブ側の腐食生成物とシース側の腐食が認められたが、採取試料のハフニウムは容易にシースから分離し、シースとハフニウムの固着の原因となるような甚大な腐食生成物は観察されなかった。

（添付－１）

３．ハフニウムフラットチューブの照射成長量確認

ハフニウムは運転中の照射に伴い寸法変化が起こるため、ハフニウムフラットチューブは、上部チューブをハンドル固定部にピン固定、下部チューブを下部コネクタ部にピン固定し、運転中の寸法変化は長手中央の係合部で吸収できるように、適切なギャップを設けている。オンサイト検査では、設計段階において適切なギャップ設定がなされ、供用後も干渉などが生じず、適切なギャップが確保されていることの確認を行うため、当該位置のシースを剥離し、健全性の確認を行った。

柏崎刈羽原子力発電所７号機の使用済燃料プール内キャスクピットにサンプリング装置を設置し、制御棒のシースを剥離した。

ハフニウムの照射成長量は８．５ｍｍまたは９．０ｍｍと評価され、上下ハフニウムチューブ係合部には適切なギャップが確保されていることを確認した。

（添付－２）

４．上下ハフニウムフラットチューブの干渉について

ハフニウムの照射伸びの観点では、オンサイト試験サンプル（ＨＨ－４６－００５）の熱中性子照射量が 5.2×10^{25}n/㎡であり、シース／タイロッド溶接部近傍のひびが確認された制御棒のうち熱中性子の照射が最も高い制御棒の熱中性子照射量 5.3×10^{25}n/㎡と大きな差異はない。本損傷事象が認められたハフニウムフラットチューブ型制御棒のハフニウムは同一の調達ルートであるため、熱中性子照射量とハフニウムの伸びは概ね比例関係になると推定され、オンサイト結果の伸び量の最大値を用いて熱中性子照射量が最も高い制御棒ＨＨ－４６－０２２の伸び量を推定すると

$$\Delta L = 9.0 \times 5.3 / 5.2 \fallingdotseq 9.2\,\mathrm{mm}$$

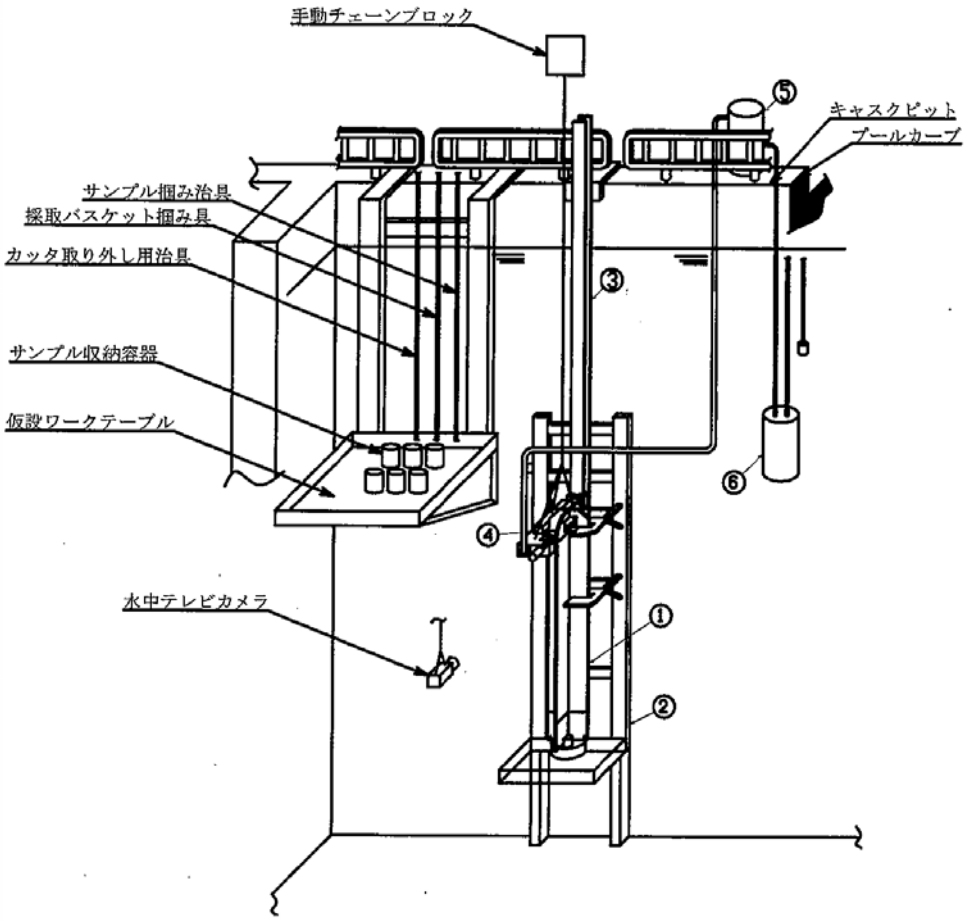
となり、製造時のギャップ（１８．５ｍｍ）は照射成長量（約９ｍｍ）に対して十分な余裕があり、ハフニウム照射成長を起因とする上下ハフニウムフラットチューブの干渉は生じないと評価した。

（添付－２）



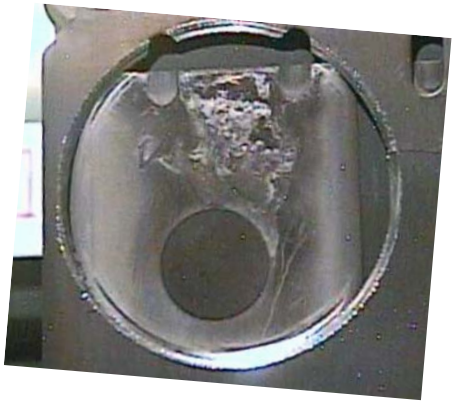
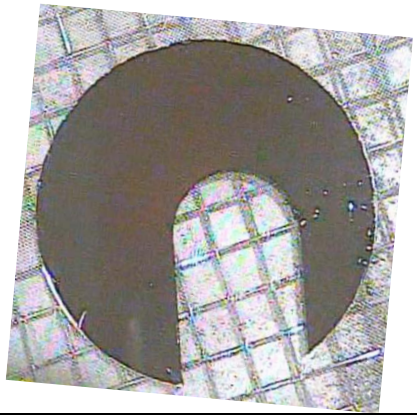
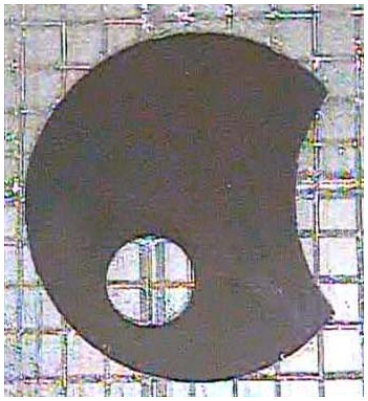
制御棒 HH－46－005 のシース剥離位置概要

①制御棒
②制御棒固定台
③採取ヘッド案内ガイド
④サンプリング採取ヘッド
⑤ダイアフラムポンプ
⑥切粉回収用フィルタ



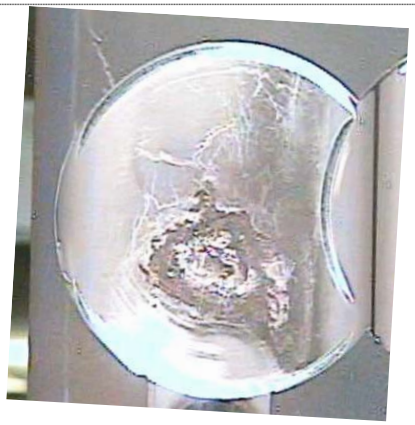
サンプリング作業配置の概要

HH-46-005　Hf 側及びシース側オンサイト外観

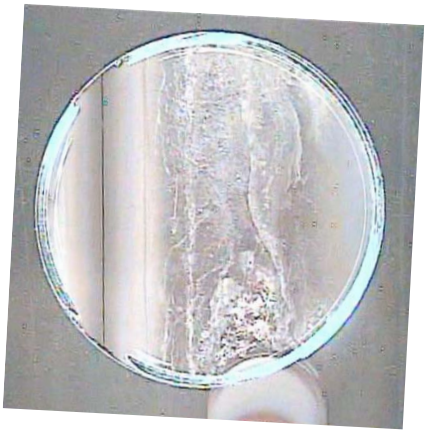
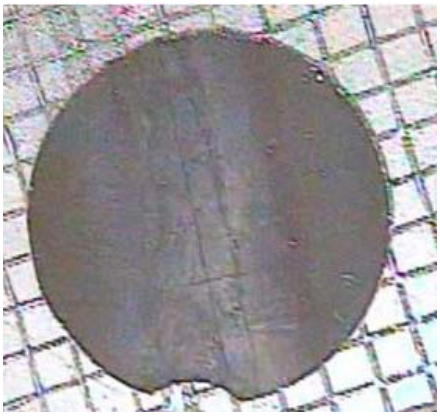
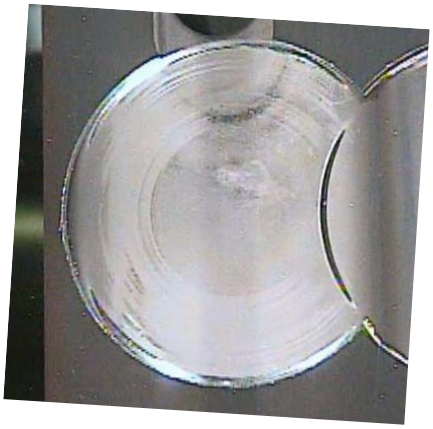
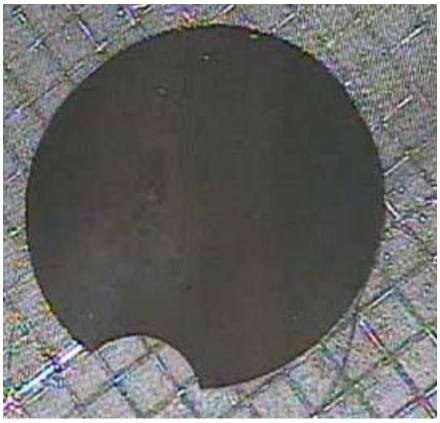
０１Ａ	０１Ｂ
Hf 側 	Hf 側 
シース側 	シース側 
０２Ａ	０２Ｂ
Hf 側 	Hf 側 
シース側 	シース側 

HH-46-005　Hf 側及びシース側オンサイト外観

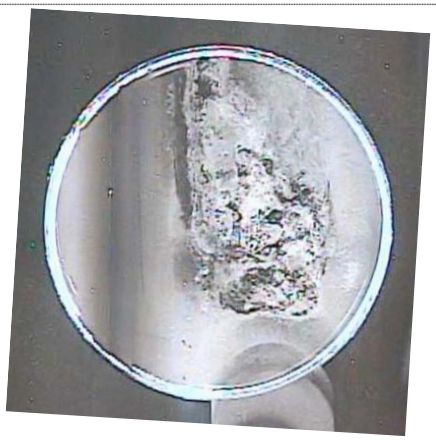
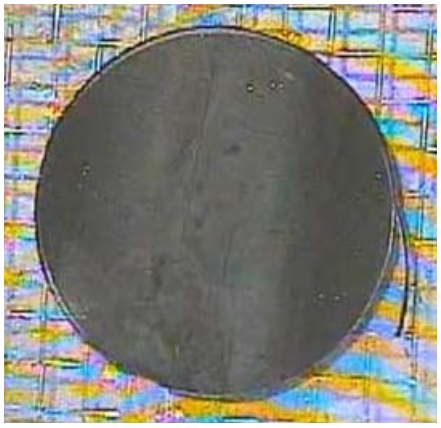
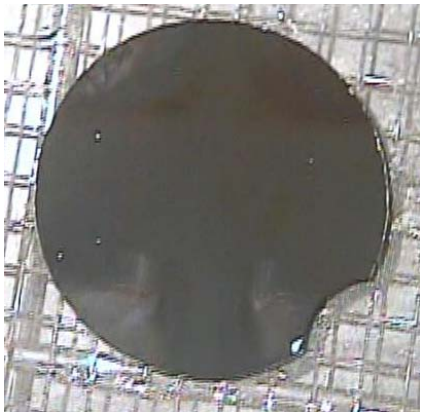
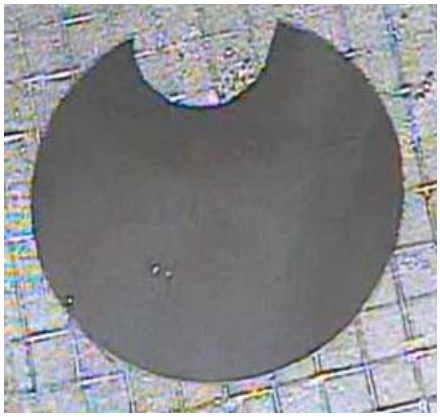
０３Ａ	０３Ｂ
Hf 側 	Hf 側 
シース側 	シース側 

０４Ａ	０４Ｂ
Hf 側 	Hf 側 
シース側 	シース側 

HH-46-005　Hf 側及びシース側オンサイト外観

０５Ａ	０５Ｂ
Hf 側 	Hf 側 
シース側 	シース側 
０６Ｂ	０７Ａ
Hf 側 	Hf 側 
シース側 	シース側 

HH-46-005　Hf 側及びシース側オンサイト外観

０７Ｂ	０８Ｂ
Hf 側 	Hf 側 
シース側 	シース側 
０９Ｃ（ハフニウムチューブ係合部）	１０Ｂ
Hf 側 	Hf 側 
シース側 	シース側 

ハフニウムフラットチューブの照射成長量確認

図１のオンサイト確認結果から長手中央係合部のギャップ寸法を計算すると表１－１の通りとなる。設計時に係合部へ設けたギャップ（１８．５mm）に対して照射後においても９．５mmのギャップを有しており、ハフニウムの照射に伴う上下ハフニウムフラットチューブの干渉がないことを確認した。

表１－１　ハフニウムフラットチューブ　ギャップ寸法測定結果（単位　mm）

測定位置	製作時　公称寸法	オンサイト実測値
図１の（１）	１８．５	９．５
図１の（２）	１８．５	１０．０



図１　ハフニウムフラットチューブ　長手中央係合部　オンサイト確認結果
（制御棒　製造番号　ＨＨ－４６－００５）

照射後試験施設における調査

１．目　的

柏崎刈羽原子力発電所７号機制御棒について、シース／タイロッド溶接部近傍のひびの発生原因を究明するため、照射後試験施設においてサンプルの金属調査を実施した。

２．調査内容

（１）調査対象

シース／タイロッド溶接部近傍のひびが認められた部分のうち、タブ溶接部上下のひびについては制御棒ＨＨ－４６－００５の第１４タブ溶接部上部から、多数を占めるタブ溶接部のひびに関してはＨＨ－４６－０１６の第１２タブ、ＨＨ－４６－０３１の第９タブ、ＨＨ－４６－０４９の第１５タブからサンプルを採取し、照射後試験施設に輸送したのち調査を行った。サンプル採取位置の概要を図 1～4 に、サンプルの特徴を表１に示す。なお、サンプル 1 は発電所にて採取した際に２つに分離した。(図 1-1-1 参照。以下、サンプル 1-1、サンプル 1-2 と呼ぶ)

表１　採取サンプルの概要

サンプル名	制御棒 No.	位置	面	製造方法	ひびの位置	新潟県中越沖地震時の状態
サンプル１	HH-46-005	14 タブ	4/5	エンドミル加工＋TIG 溶接(一定電流)	タブ溶接部上	使用済燃料プール
サンプル２	HH-46-016	12 タブ	4/5	エンドミル加工＋TIG 溶接(一定電流)	タブ溶接部	原子炉内
サンプル３	HH-46-031	9 タブ	1/8	プレーナ加工＋TIG 溶接(ﾊﾟﾙｽ電流)	タブ溶接部	原子炉内
サンプル４	HH-46-049	15 タブ	1/8	プレーナ加工＋レーザ溶接	タブ溶接部	使用済燃料プール

（２）上記サンプルの選定理由

ハフニウムフラットチューブ型制御棒のシース／タイロッド溶接部近傍のひびについて、始めにひびが確認されたタブ溶接部上下のひびから１サンプル、損傷が多く確認されたタブ溶接部のひびに関しては製造方法が異なる制御棒で、かつ、地震の影響確認等を目的としてひびの先端部が取得可能な部位を選定し、上記の表の通りサンプルを採取した。

ひびの確認された制御棒は、エンドミル加工＋一定電流 TIG 溶接、プレーナ加工＋パルス電流 TIG 溶接、プレーナ加工＋レーザ溶接の３種類であり、ひび先端は、サンプル２の４面側シース部（図 2-5-1)、サンプル３の溶接金属部とタイロッド十字側肉厚中央部（図 3-5-1)、サンプル

４の８面側シース部、１面側溶接金属部とタイロッド十字側肉厚中央部（図 4-6-1、4-7-1)、に観察された。

なお、調査サンプルの抽出は外観点検でのひびの特徴や他の原因調査項目を勘案して行い、ひびの位置や製造方法を代表して上表のサンプルを採取し調査を実施した。

（３）調査項目

１）外観観察
２）表面観察
３）破面観察
４）断面観察
５）硬さ測定
６）ＥＤＸ分析
７）結晶粒界化学成分分析

（４）調査要領

１）外観観察

サンプル受け入れ時にデジタルマイクロスコープで外観観察を行った。

２）表面観察

走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）及びデジタルマイクロスコープにてサンプルの表面観察を行った。

３）破面観察

ＳＥＭを用いてひび破面を観察した。なお、サンプル 4 については、地震後に運転履歴（高温履歴）がないことから破面開放前後の破面を区別するため、破面開放前に恒温槽内で加熱処理を行い、既存破面を着色した。

４）断面観察

切断したサンプルを樹脂に埋め込み、研磨、エッチングの後に光学顕微鏡により観察を行った。

５）硬さ測定

サンプル断面の硬さをマイクロビッカース硬さ計により測定した。

６）ＥＤＸ分析

ひび近傍部の化学成分をＥＤＸにより測定した。

７）結晶粒界化学成分分析

透過型電子顕微鏡（ＴＥＭ）を用いてステンレス鋼の結晶粒界近傍の化学成分分析を行った。

（５）調査目的

１）外観観察

サンプル受け入れ時の外観を記録した。

２）表面観察

外観点検で確認されたひびの状況とタイロッドやシース外表面の溶接部近傍の状況（ひびの有無等)、タイロッド翼端部や溶接部の溶け込みの状況を確認した。

３）破面観察

ひびの破面形態を観察した。また、損傷と地震との時系列を明確化するためにデジタルマイクロスコープで破面の色を記録した。

４）断面観察

エンドミル加工やプレーナ加工等の加工影響、一定電流 TIG 溶接やパルス TIG 溶接、レーザ溶接による熱影響、加工と溶接熱影響の複合影響、および、溶接部の溶け込み形状の確認を目的として金属組織を観察した。

５）硬さ測定

加工や溶接の影響、及び、中性子照射による照射硬化の確認を目的として実施した。なお、３種類の製造方法に関して、エンドミル加工＋一定電流 TIG 溶接はサンプル１、プレーナ加工＋パルス TIG 溶接はサンプル３、プレーナ加工＋レーザ溶接はサンプル４で測定を実施した。

６）ＥＤＸ分析

低融点金属割れの可能性を評価するため、ひび近傍の化学成分を Pb, Zn, Sn, Cu を含めて測定した。

７）結晶粒界化学成分分析

中性子照射に伴う照射誘起偏析を確認することを目的として実施した。なお、照射誘起偏析の度合いは中性子照射量と良い相関を示すことから、タイロッド母材部はサンプル１、シース母材部はサンプル２で測定を行った。

３．調査結果

調査の結果を、サンプル毎に以下にまとめる。

３．１　サンプル１（タブ溶接部上下のひび、エンドミル加工＋一定電流 TIG 溶接）

（１）表面観察

表面観察の結果、ひびはタイロッドを蛇行して進展していた。また、その他に溶接部近傍等にひびは認められなかった。

【図 1-3】

（２）破面観察

破面観察の結果、観察された破面形態は概ね粒界割れ（ロックキャンディ）であった。また、

タイロッド肉厚中央付近のひび破面には腐食生成物により形態が明瞭でない箇所があった。

【図 1-4-3～8】

サンプル 1-2 に酸化物除去処理を施した後に破面観察を実施した結果、腐食生成物が存在していた部位の破面は粒界割れであり、機械加工部の表面近傍部においては、４面側に再結晶組織が、５面側には粒内割れが認められた。

【図 1-5-3～8】

（３）断面観察

サンプル 1-2 の断面観察の結果、機械加工層は元々の表面と比較して平坦であり、表層部数十μｍの範囲ですべり線が観察された。

【図 1-6-2～7】

サンプル 1-1 の断面観察１の結果、ひびは粒界割れであり、４面側のひび近傍において再結晶組織と小さなひびが認められた。また、５面側では表層部で粒内割れが、肉厚中央付近ではひびの枝分かれと破面上の腐食生成物が観察された。

【図 1-7-2～7】

サンプル 1-1 の断面観察２の結果、４面側においてシースとタイロッド接合部に溶接時の溶け込み不足と当該隙間部に小さな粒界割れが観察された。なお、当該箇所は、金属組織の特徴よりエンドミル加工が施されてないものと想定された。

【図 1-8-8～11】

（４）硬さ測定

硬さ測定の結果、タイロッド母材の硬さは約３７０ＨＶ程度であり中性子照射による照射硬化が明瞭に認められた。また、エンドミル加工部表層では硬さが上昇しており加工の影響が観察された。

【図 1-10-1～4】

隙間部においては、表層の硬さの上昇は認められなかった。

【図 1-10-4】

（５）ＥＤＸ分析結果

ＥＤＸ分析の結果、ひび近傍部に Pb，Zn は認められなかった。また、Cu，Sn が観察された部位があったが、極めて限定的であり、照射後試験施設におけるサンプルの切断時に使用した切断工具に由来するものと考えられたこと等から、ひびが低融点金属割れで発生した可能性は低いものと想定された。

【図 1-11、表 1-11-1】

なお、本結果に鑑みサンプル２～４では Cu，Sn を含まないステンレス刃を用いて調査中の切断作業を実施し、後述の通り Cu，Sn も Pb，Zn と同様にＥＤＸ分析で検出されなかった。

（６）結晶粒界化学成分分析

タイロッド材の結晶粒界近傍の化学成分分析を実施した結果、照射誘起偏析（結晶粒界上でCrの欠乏とNi及びSiの濃縮）が明瞭に認められた。

【図1-12】

３．２　サンプル２（タブ溶接部のひび、エンドミル加工＋一定電流TIG溶接）

（１）表面観察

表面観察の結果、４面にひびの枝分かれが観察された。また、４面、５面に目視検査で確認されたひびは繋がっており、同一のひびであった。

【図2-1-1～3、2-3-1】

溶接部近傍に、目視検査で確認されたひびを除いて、ひび等は観察されなかった。

【図2-3-1,2】

表面観察の結果、４面側、５面側、いずれにもシースとタイロッド間に隙間が観察された。

【図2-3-3,8,10】

（２）破面観察

破面は全体的に粒界破面（ロックキャンディ）が観察され、溶接金属部は柱状晶破面（デンドライト）を呈していた。

【図2-4、2-5、2-8】

ひび先端が、サンプル２の４面側シースに存在し、照射後試験施設での破面開放時に生じた強制破断面（デジタルマイクロスコープ観察像で金属光沢を呈している部位）では延性破面（ディンプル等）が観察された。また、ひびは先端部まで粒界破面が観察された。

【図2-5-1,14～22】

酸化物除去処理後のタイロッド部分の破面では、タイロッドのシース取付段差部のエンドミル加工施工部に加工と溶接熱影響による再結晶組織が観察された。その結晶粒はタイロッド翼端側が小さく、また、十字側に小さな粒界割れが認められた。なお、段差部にエンドミル加工が施されていない箇所があり当該部は通常の結晶粒径であった。

【図2-8-7～10】

サンプル２の４面側、５面側に溶け込み不足によるシースとタイロッド間の隙間が認められた。

【図2-4-9,10、2-8-7～9】

（３）断面観察

断面観察２の結果、ひびは粒界割れで進展しており、応力腐食割れ特有のひびの枝分かれが認められた。また、タイロッド肉厚中央では粒の腐食が観察された。

【図2-7】

溶接金属部では、ひびは応力腐食割れの特徴である溶接金属組織に沿った進展を示していた。

また、枝分かれの状況からマクロ的にひびはタイロッド側から外表面側に進展したものと推定される。

【図 2-7-3～5】

断面観察でも破面観察結果と同様、４面側、５面側に溶け込み不足によるシースとタイロッド間の隙間が観察された。また、上記の隙間において隙間腐食を起因とする小さな粒界割れが認められた。

【図 2-6-6～8、2-7-1,2】

隙間部のタイロッドの組織はエンドミル加工と溶接熱影響による再結晶組織が観察された。

【図 2-6-6】

外表面側の溶接熱影響部にひび等は認められなかった。

【図 2-6-2,3】

（４）ＥＤＸ測定

ＥＤＸ分析の結果、粒界割れ発生の近傍部に Pb，Zn，Cu，Sn は認められなかった。

【図 2-9、表 2-9-1】

（５）結晶粒界化学成分分析

シース材の結晶粒界近傍の化学成分分析を実施した結果、結晶粒界上で Cr が欠乏し、Ni 及び Si が濃縮しており、照射誘起偏析が明瞭に認められた。

【図 2-10】

３．３　サンプル３（タブ溶接部のひび、プレーナ加工＋パルス電流 TIG 溶接）

（１）表面観察

１面、８面に目視検査で確認されたひびは繋がっており、同一のひびであった。また、溶接部近傍に、上記を除いてひび等は観察されなかった。

【図 3-1-1～3】

表面ＳＥＭ観察で８面側のシースとタイロッド間に隙間が観察された。

【図 3-2-3】

（２）破面観察

破面は全体的に粒界破面（ロックキャンディ）が観察され、溶接金属部は柱状晶破面（デンドライト）を呈していた。

【図 3-5】

本サンプルでは、ひび先端がタイロッド十字側肉厚中央部と溶接金属部に確認され、先端部まで粒界破面、柱状晶破面であった。照射後試験施設での破面開放時に生じた新生面では延性破面（ディンプル等）が観察された。

【図 3-5-7～11】

８面側に、溶け込み不足によるシースとタイロッド間の隙間が存在した。

【図 3-5-12】

（３）断面観察

タイロッド翼端側にプレーナ加工による加工組織が観察された。また、観察された金属組織の特徴より、翼端先端部はプレーナ加工が施されていないものと想定された。

【図 3-4-6, 7】

８面側に、溶け込み不足によるシースとタイロッド間の隙間が観察され、翼端側のタイロッド母材に小さな粒界割れが観察された。また、１面側の同部位では小さな空隙が認められた。

【図 3-4-8, 9】

上記の隙間部のタイロッドの組織はサンプル２（エンドミル加工）と同様にプレーナ加工と溶接熱影響による再結晶組織が観察され、翼端側の結晶粒は小さく十字側へ行くに従い通常の粒径となっていた。これは溶接時の入熱量に起因する変化と想定される。

【図 3-4-9】

外表面側の溶接熱影響部にひび等は認められなかった。

【図 3-4-2～5】

（４）硬さ測定

硬さ測定の結果、タイロッド母材の硬さは約３８０ＨＶ程度であり中性子照射による照射硬化が明瞭に認められた。

【図 3-6-1～5】

溶接金属部や溶融線近傍部、隙間部の表層に硬さの上昇は認められなかった。

【図 3-6-4～5】

（５）ＥＤＸ測定

ＥＤＸ分析の結果、粒界割れ発生の近傍部に Pb，Zn，Cu，Sn は認められなかった。

【図 3-7、表 3-7-1】

３．４　サンプル４（タブ溶接部のひび、プレーナ加工＋レーザ溶接）

（１）表面観察

表面観察の結果、１面側タイロッドにもひびが観察され、８面側のひびと繋がっていた。また、１面側、８面側ともにひびの枝分かれが観察された。

【図 4-2-1～3、4-4-1】

タイロッド翼端側からの表面ＳＥＭ観察において、１面側のひび部でシースとタイロッド間に隙間が観察された。

【図 4-4-5, 6】

１面側の溶接始端部に長さ 0.5㎜程度の小さなひびが観察された。

【図 4-4-4】

（２）破面観察

破面は全体的に粒界破面（ロックキャンディ）が確認され、溶接金属部は柱状晶破面（デンドライト）を呈していた。

【図 4-6、4-7】

当該サンプルでは、ひび先端は８面側シース、１面側溶接金属部とタイロッド肉厚中央部に存在し、先端部まで粒界破面（溶接金属部は柱状晶破面）であった。照射後試験施設での破面開放時に生じた新生面は延性破面であった。

【図 4-6、4-7-6, 7, 9】

１面側に、溶け込み不足によるシースとタイロッド間の隙間が認められた。なお、上側の破面では当該部は開いた状況であったが、下側の破面では隙間は狭くシースとタイロッドに小さなひび破面の段差が認められている。

【図 4-7-9, 10、4-8】

（３）断面観察

サンプル３と同様、タイロッド翼端側にプレーナ加工による加工組織が観察され、金属組織の特徴から翼端先端部はプレーナ加工が施されていないものと想定された。

【図 4-5-4～7】

サンプル４の断面観察位置では溶け込み不足に起因する隙間は観察されず、小さな粒界割れ等も認められなかった。

【図 4-5】

１面側の溶接部始端部に観察された小さなひびは柱状晶境界割れであった。このひびは、溶接始端部に位置し溶接金属内に留まっていることと本観察結果から、溶接割れの可能性が高いと推定される。

【図 4-9-2, 3】

上記の溶接金属内のひびの近傍部に、シースと溶接部境界の形状不連続部に小さなき裂が観察された。これは、不連続形状と金属組織（すべり線が密度高く観察されていること、き裂内に酸化物が観察されないこと）から照射後試験施設での破面割りの際に生じたものと評価され、上側破面の隙間部の形状が下側破面や表面ＳＥＭ観察での隙間部位の形状と異なること（図 4-4-5、4-7-9, 10、4-8-3）とも合致する。

【図 4-9-4, 5】

（４）硬さ測定

硬さ測定の結果、タイロッド母材の硬さは約３５０～４００ＨＶであり中性子照射による照射硬化が明瞭に認められた。

【図 4-10-1～5】

サンプル４のシース／タイロッドのレーザ溶接接合部に、主にシース側に溶接歪に起因すると

想定される若干の硬さの上昇が認められた他は、溶接金属部や溶融線近傍部に硬さの上昇は認められなかった。

【図 4-10-4, 5】

（５）ＥＤＸ測定

ＥＤＸ分析の結果、粒界割れ発生の近傍部に Pb，Zn，Cu，Sn は認められなかった。

【図 4-11、表 4-11-1】

３．５　各観察の結果

サンプル１、２、３、４の調査結果を整理し、下表に示す。

項　目	主たる特徴
表面観察	－奇数面と偶数面のひびは一つのひびであり、応力腐食割れ特有の枝分かれや蛇行した進展が観察された。 －いずれのサンプルにも溶接の溶け込み不足によるシースータイロッド間の隙間が存在した。
破面観察	－破面はひび先端部まで粒界破面（溶接金属部は柱状晶破面）を呈していた。 －サンプル１の破面では、エンドミル加工部に粒内割れ破面、及び、加工と溶接熱影響の重畳で生じる再結晶組織の破面が観察された。 －サンプル２、３、４の破面では、シースータイロッド間の隙間が認められた。
断面観察	－TIG 溶接のサンプルでは、シースとタイロッド間に溶け込み不足による隙間が存在し、当該部に隙間腐食による粒界割れが観察された。 －サンプル１の断面観察１において、エンドミル加工による加工影響層、及び、加工と溶接熱影響の重畳により生じる再結晶組織が観察され、再結晶組織部には微小なひびが存在した。
硬さ測定	－硬さは 200HV 程度上昇しており、中性子照射による照射硬化が明瞭に認められた。 －エンドミル加工施工部では極表層に硬さの上昇が観察された。
ＥＤＸ分析	－分析の結果、ひび起点部に Pb，Zn，Cu，Sn は認められなかった。なお、サンプル１では Cu，Sn が観察された部位があったが、照射後試験施設におけるサンプルの切断時に使用した切断工具に由来するものと評価された。
結晶粒界 化学成分分析	－タイロッド部、シース部とも、結晶粒界上で耐食性元素の Cr が低下し Ni、Si が上昇しており、照射誘起偏析が明瞭に観察された。

４．まとめ

以上の調査結果より、タブ溶接部上下のひび（サンプル１）はエンドミル加工施工部で生じた応力腐食割れを起点として、また、今回のシース／タイロッド溶接部近傍のひび事象において主として確認されているタブ溶接部のひび（サンプル２、３、４）はシースとタイロッド間の隙間での隙間腐食を起点として、照射誘起応力腐食割れで進展したものと推定される。

なお、破面形態はひび先端部まで粒界破面（溶接部は柱状晶破面）であり、地震の影響は認められなかった。また、サンプル３のシースータイロッド間の隙間は間隔が狭く炉心使用時の環境が厳しくなるため、この環境面の影響によってプレーナ加工＋TIG 溶接（パルス電流）の制御棒の損傷確率が高くなったと評価された。

以　上

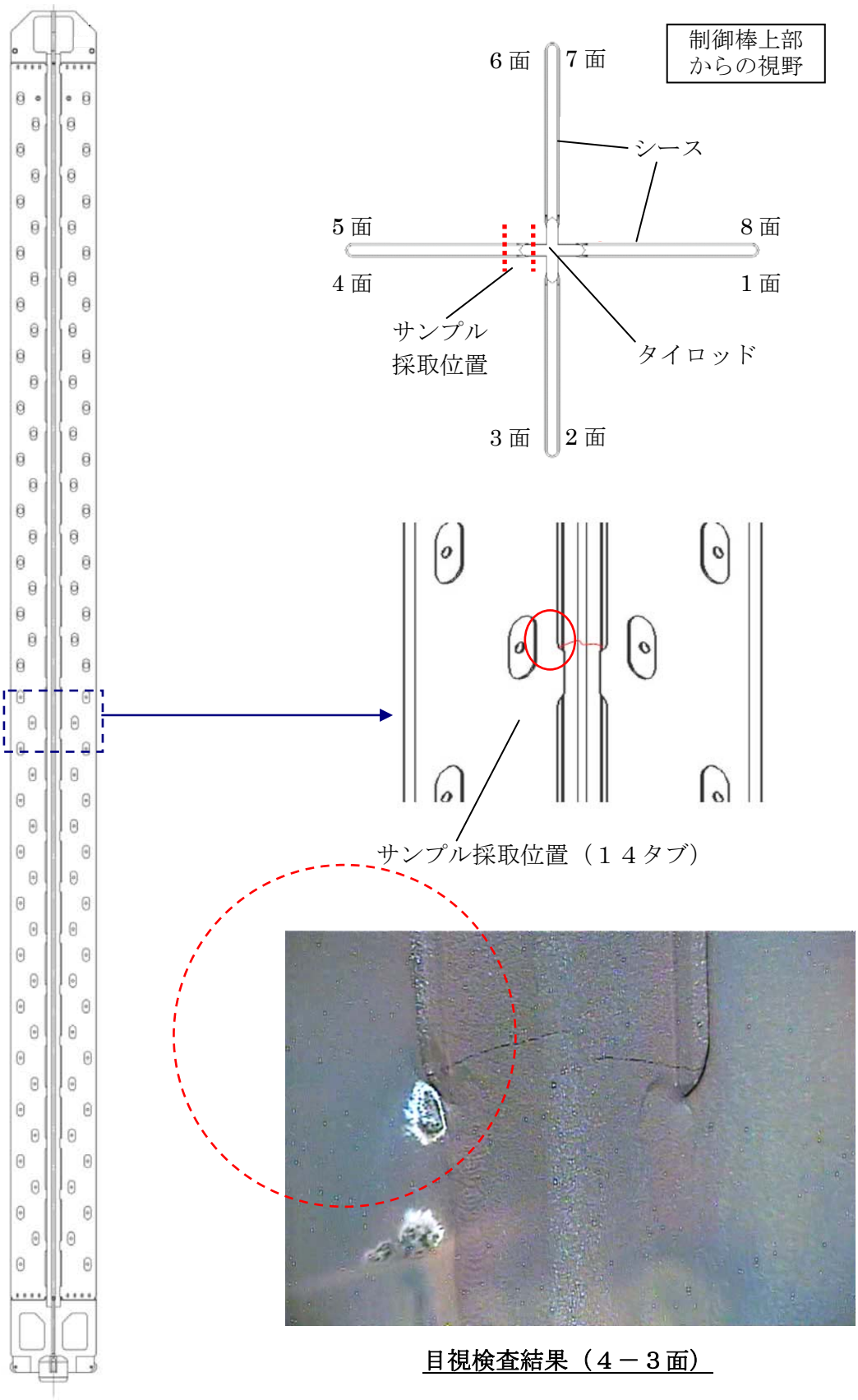
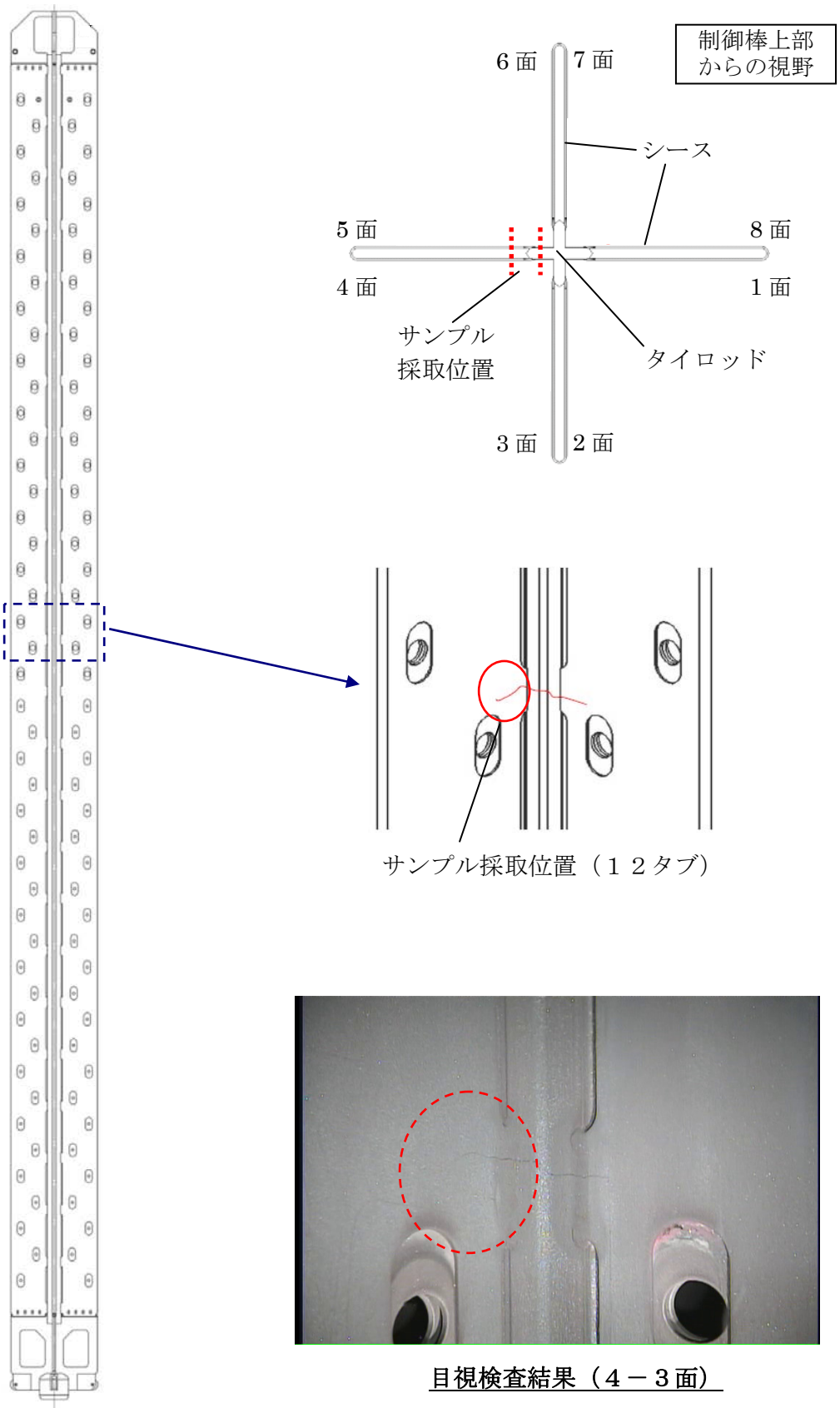


図１ サンプル採取位置詳細（サンプル１）



HH-46-016

図２ サンプル採取位置詳細（サンプル２）

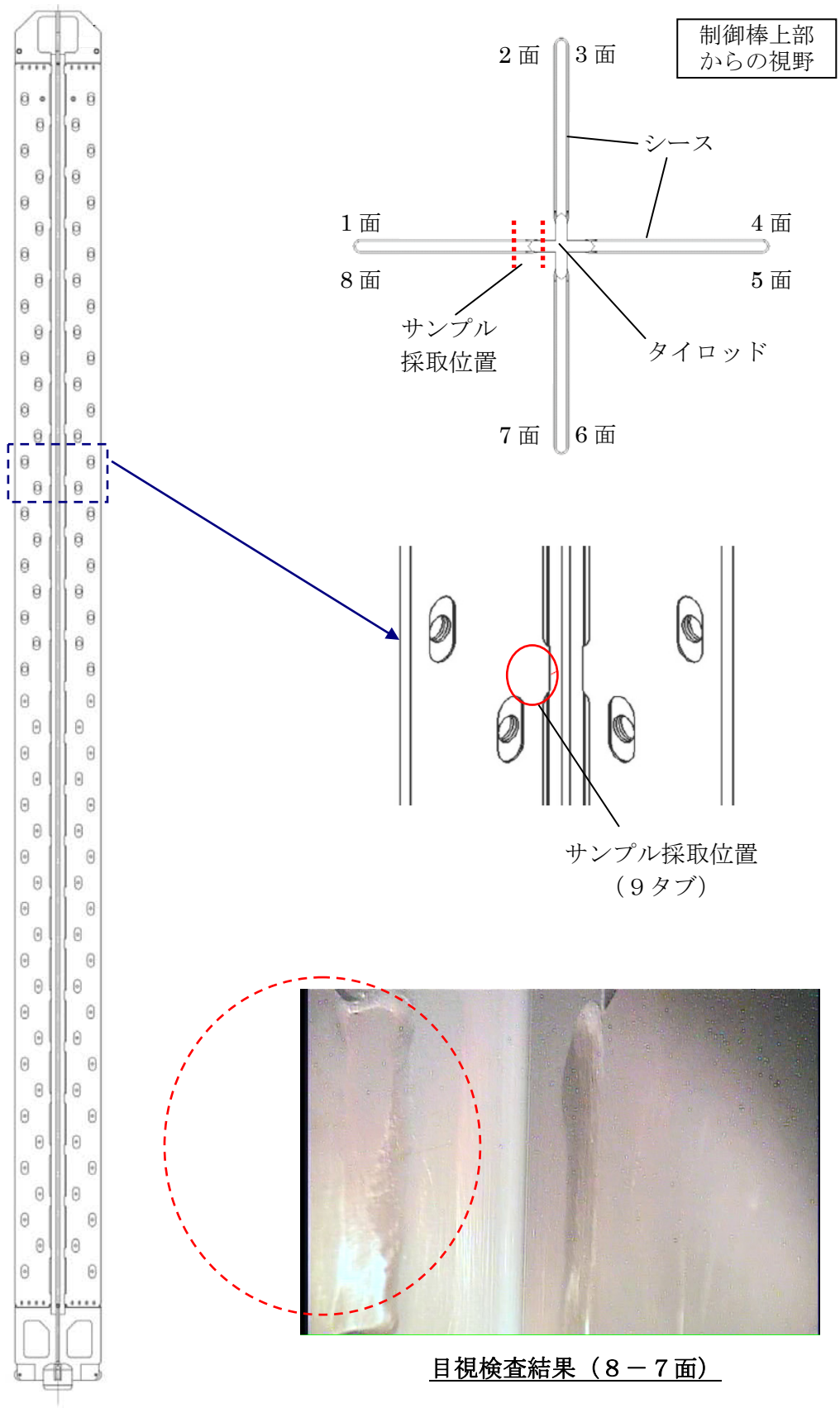


図３ サンプル採取位置詳細（サンプル３）

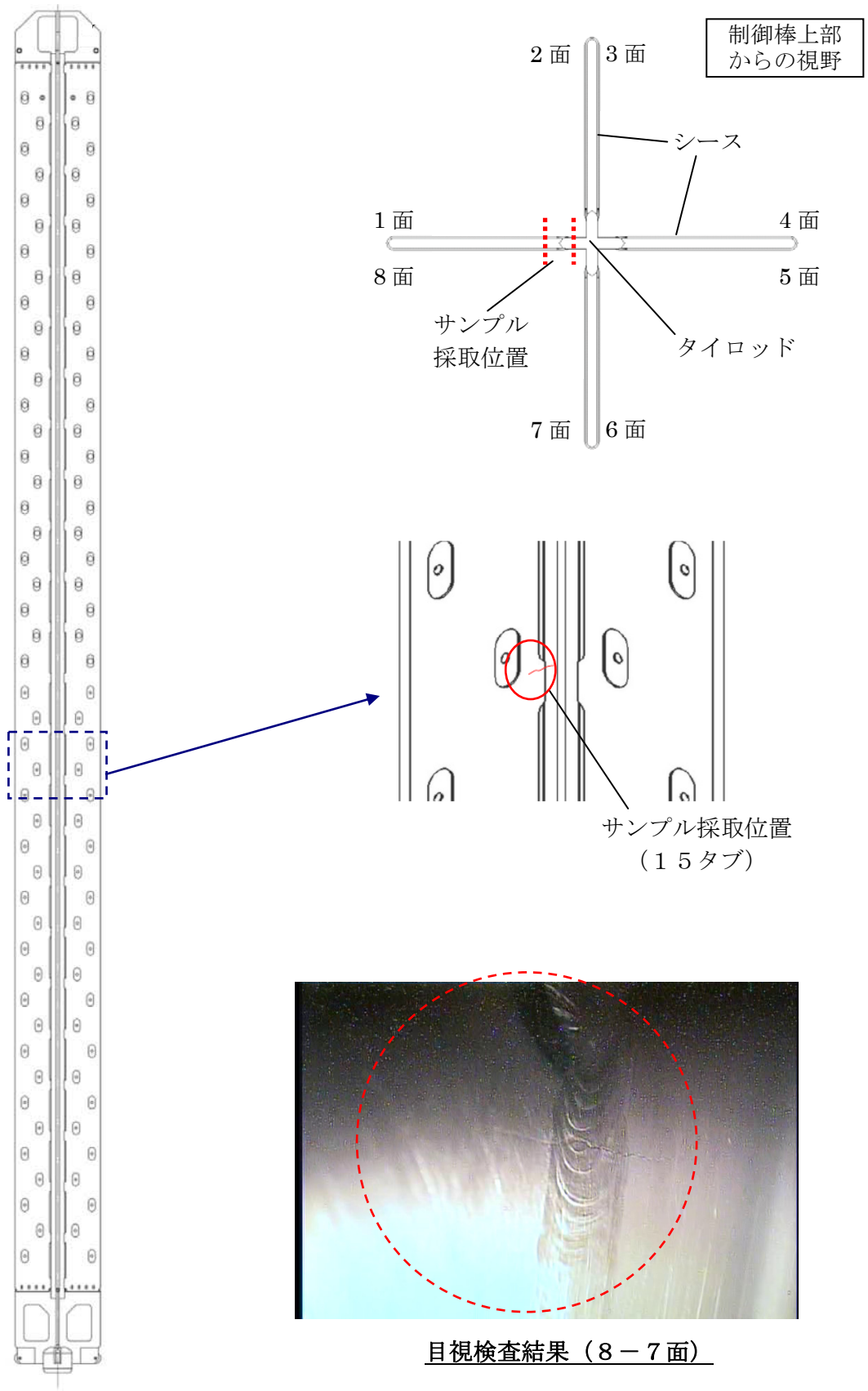


図４ サンプル採取位置詳細（サンプル４）

調査サンプル 詳細

制御棒 No.005
エンドミル加工＋Tig溶接
高速中性子照射量
約5.0x10^{25}n/m^2

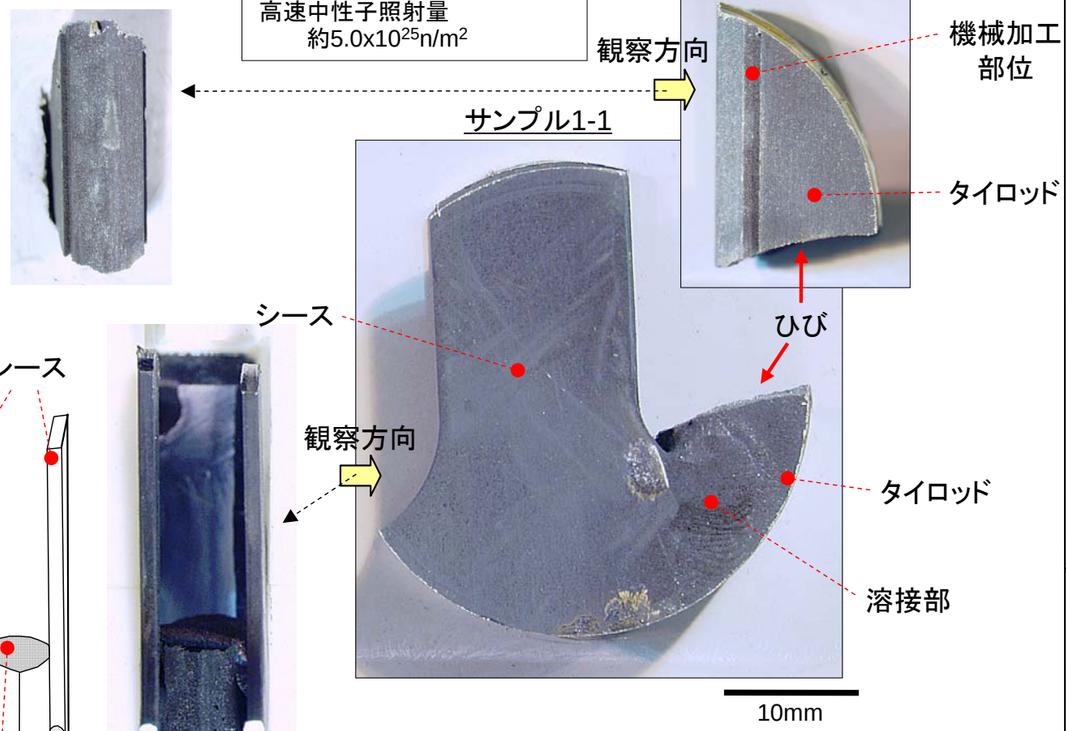


図1-1-1　4面側　外観



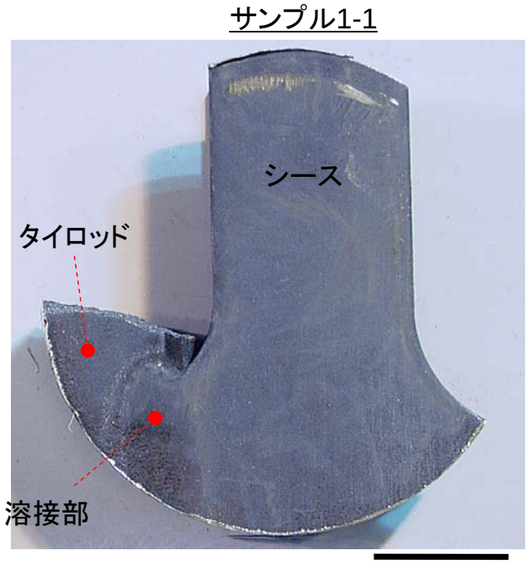
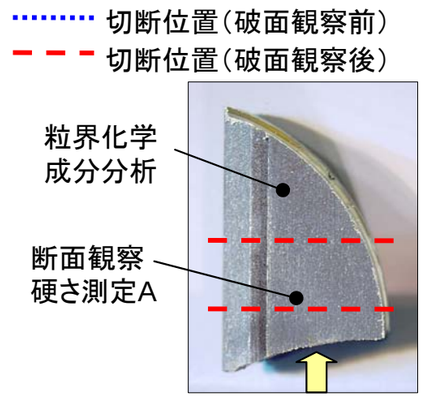


図1-1-2　5面側　外観

サンプル調査項目



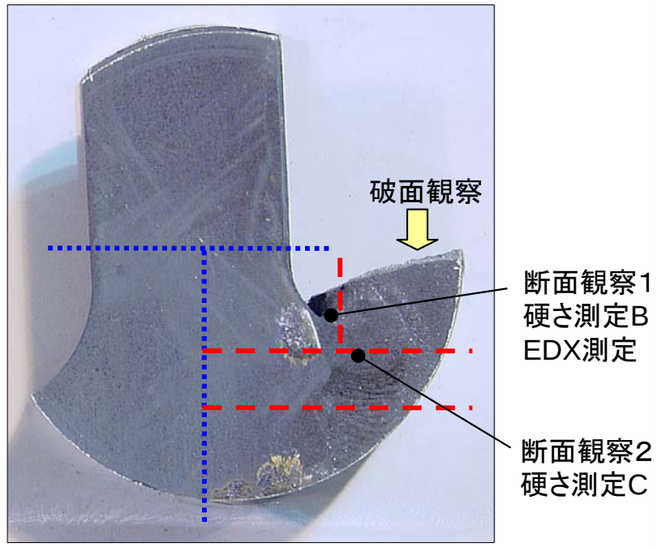


図1-2　サンプル切断位置

表面観察

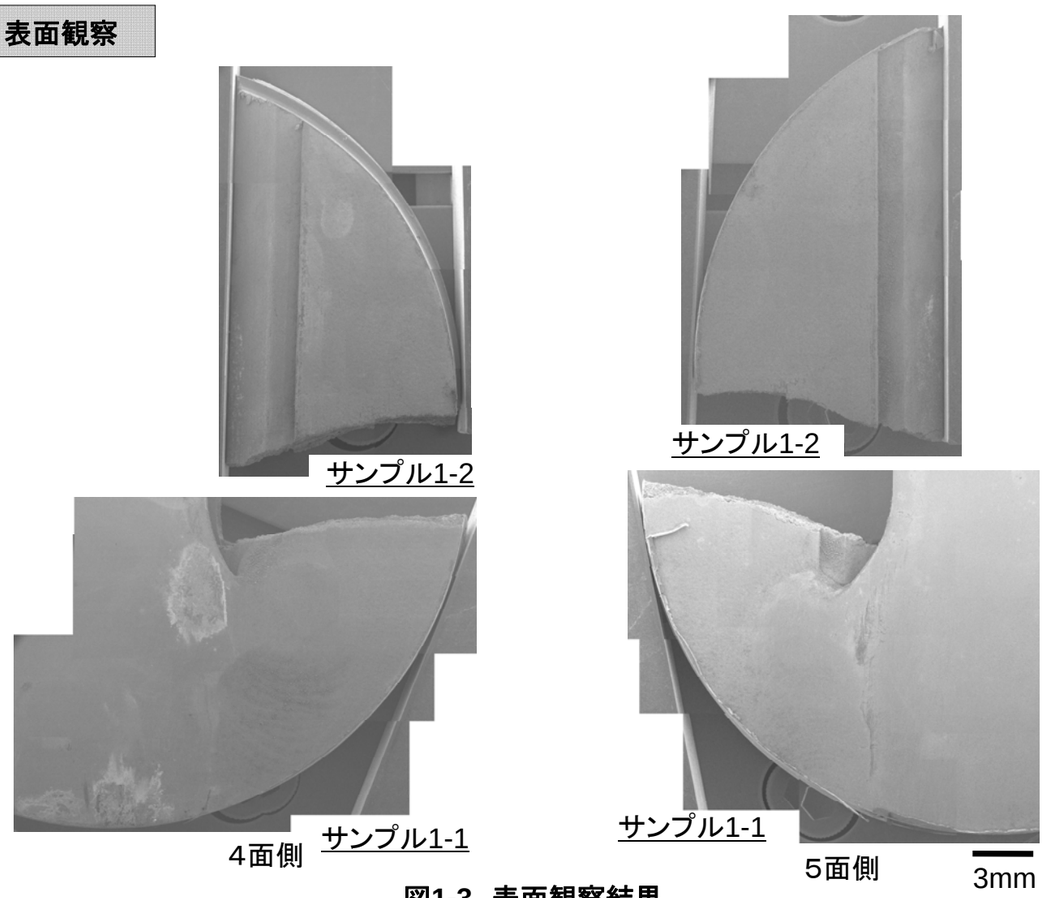


図1-3　表面観察結果

サンプル1-1 破面観察

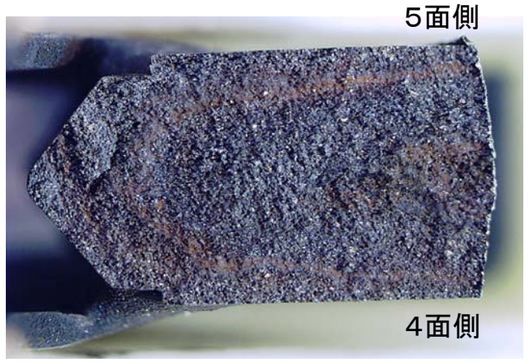


図1-4-1　サンプル1-1 破面
（デジタルマイクロスコープ）

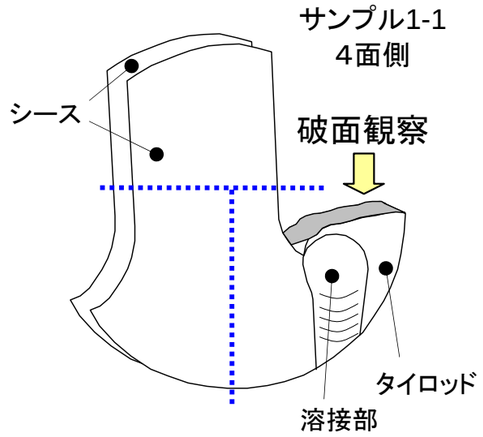


図1-4-2　観察サンプル

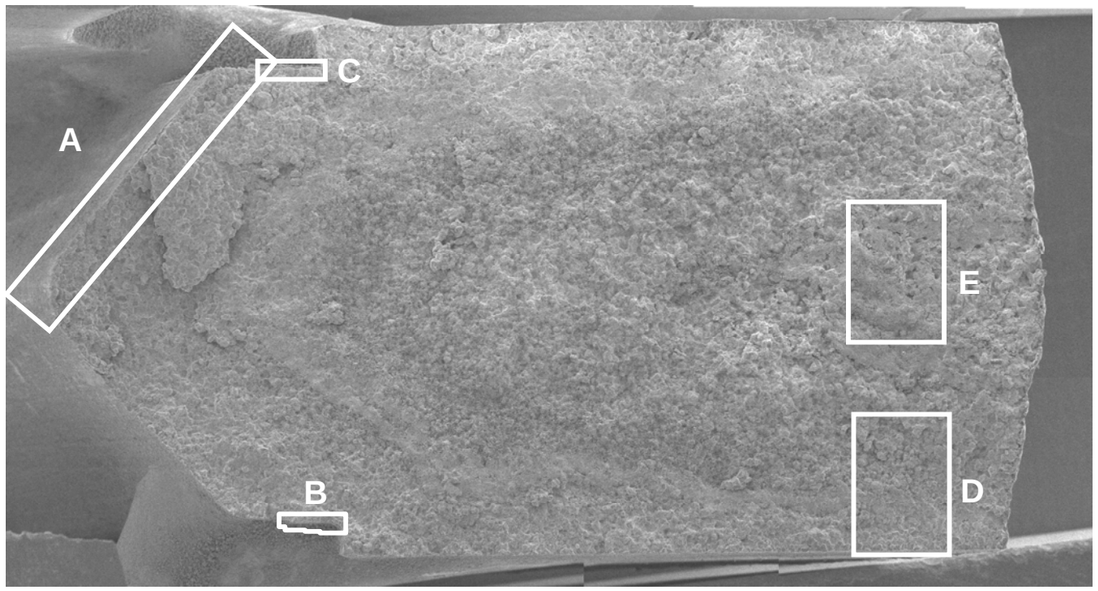


図1-4-3　サンプル1-1破面全体
（SEM観察：観察倍率 25倍）

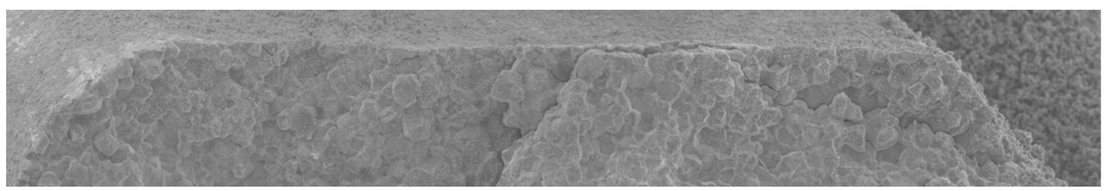


図1-4-4　位置A （SEM観察：観察倍率 100倍）

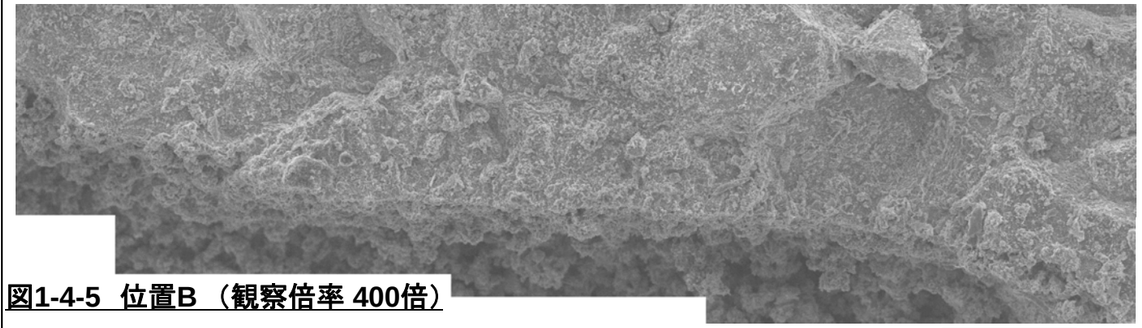


図1-4-5　位置B （観察倍率 400倍）

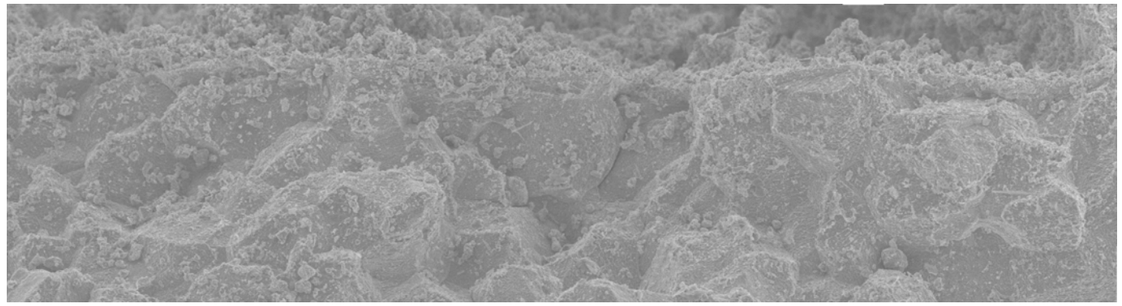


図1-4-6　位置C （観察倍率 400倍）

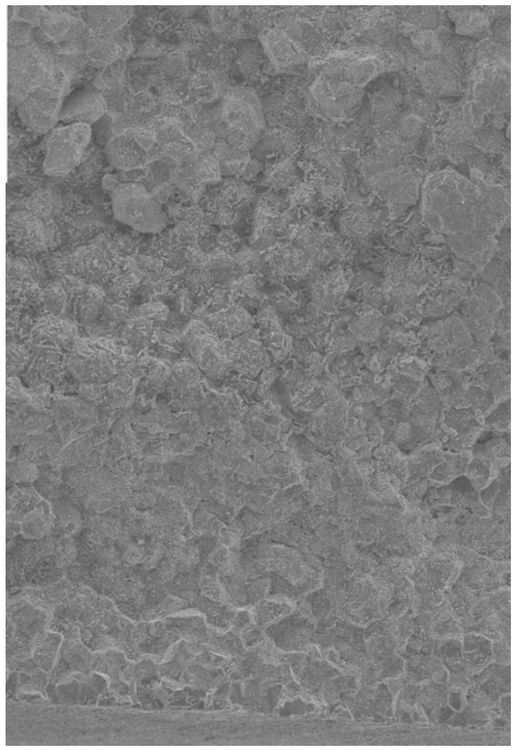


図1-4-7　位置D
（観察倍率 100倍）

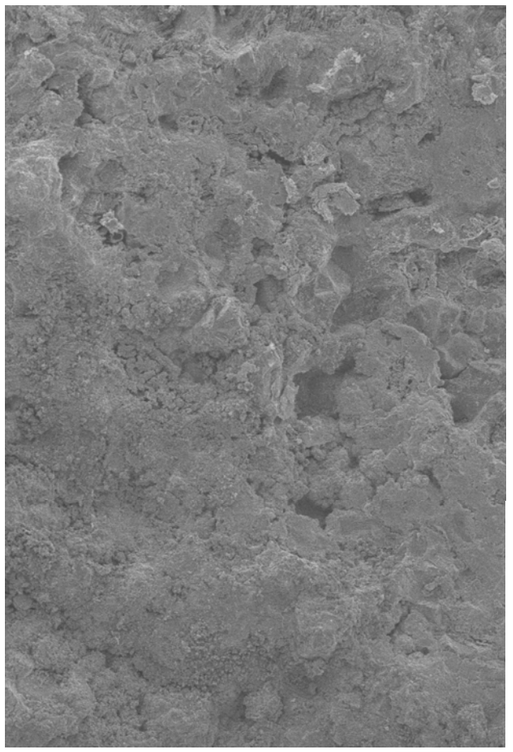


図1-4-8　位置E
（観察倍率 100倍）

サンプル1-2 破面観察 (酸化物除去処理後)

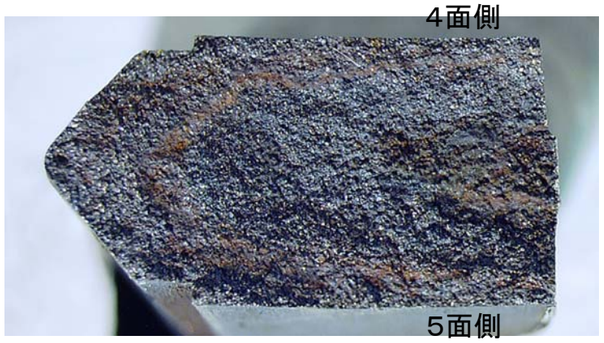


図1-5-1　サンプル1-2 破面
（デジタルマイクロスコープ 酸化物除去処理前）

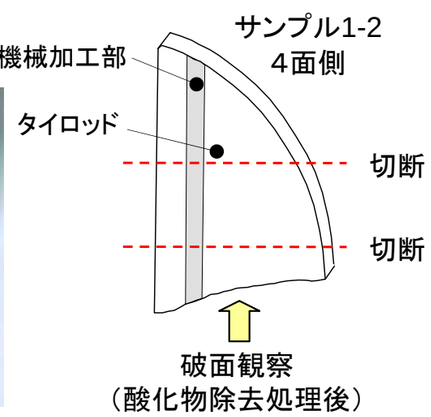


図1-5-2　観察サンプル

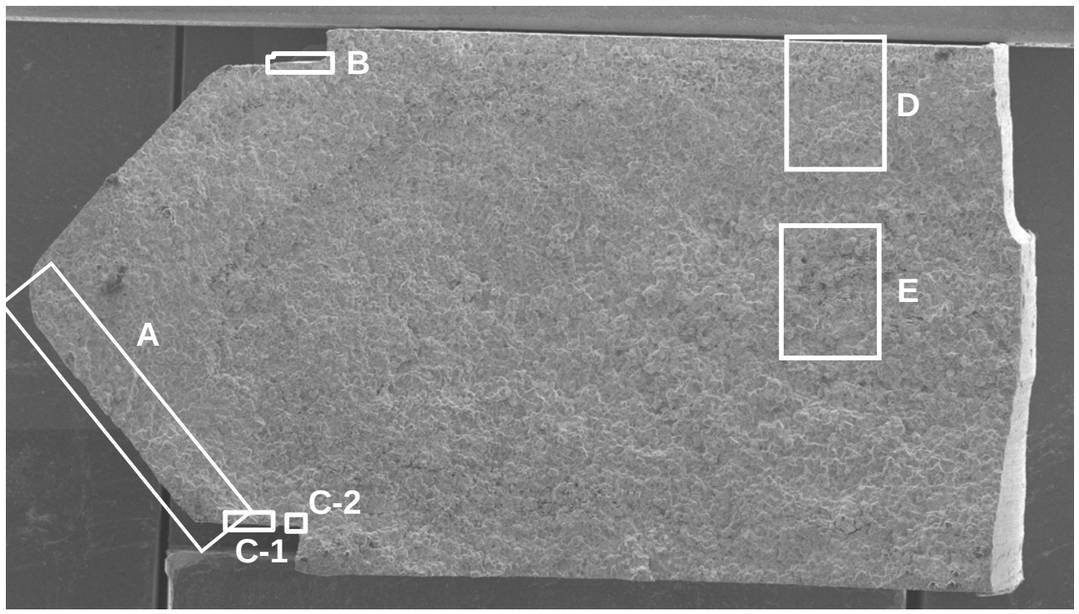


図1-5-3　サンプル1-2 破面全体
（SEM観察：観察倍率 25倍）

2mm

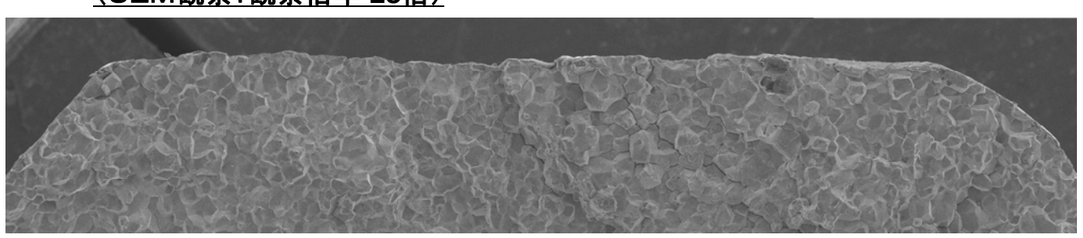


図1-5-4　位置A　（観察倍率 100倍）

0.4mm

ー 酸化物除去処理を施した後に破面観察を実施した結果、破面は粒界割れであり（図1-5-4,7,8）、機械加工部の表面近傍部においては、4面側に再結晶組織が（図1-5-5）、5面側には粒内割れが認められた。（図1-5-6）

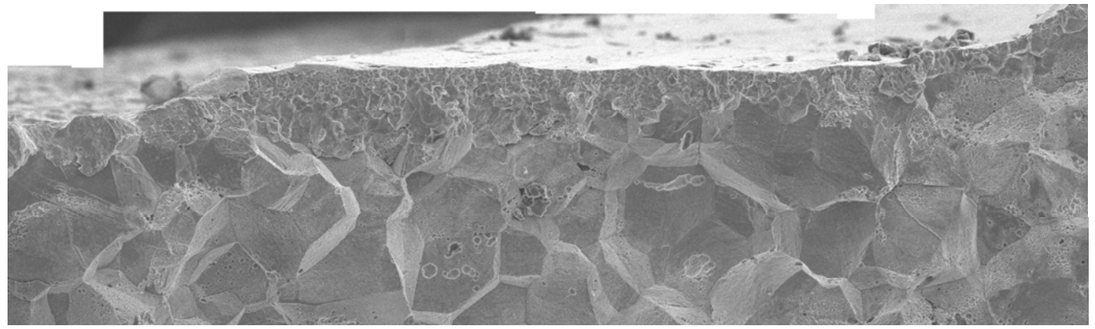
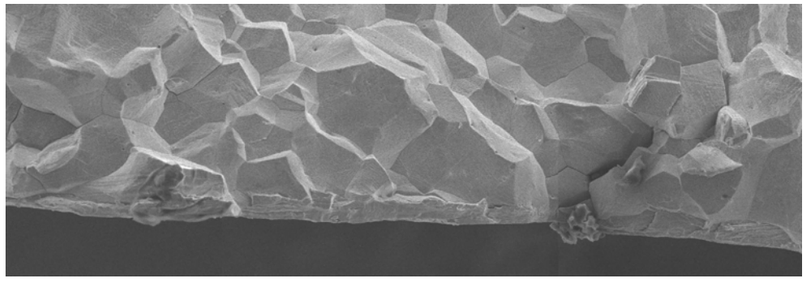


図1-5-5　位置B　（観察倍率 400倍）

0.1mm



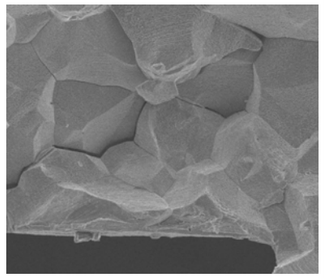


図1-5-6　位置C-1（左）、位置C-2（右）　（観察倍率 400倍）

0.1mm

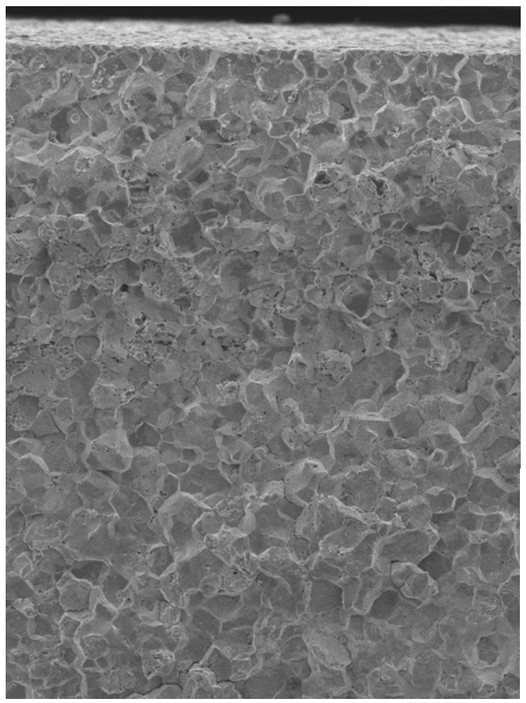


図1-5-7　位置D
（観察倍率 100倍）

0.2mm

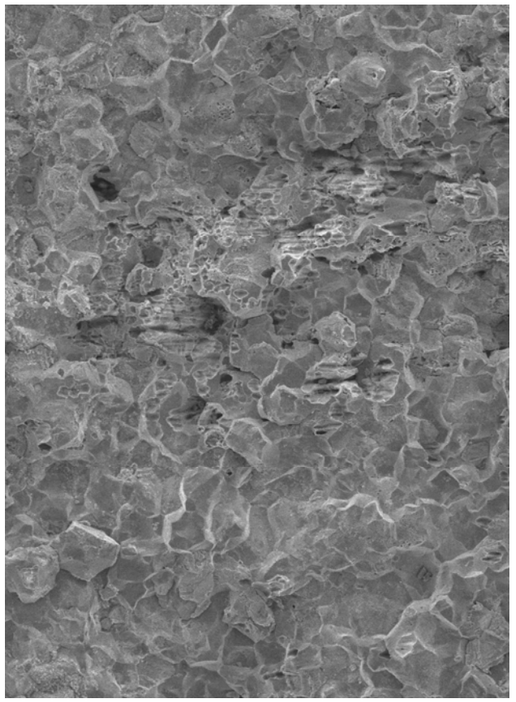
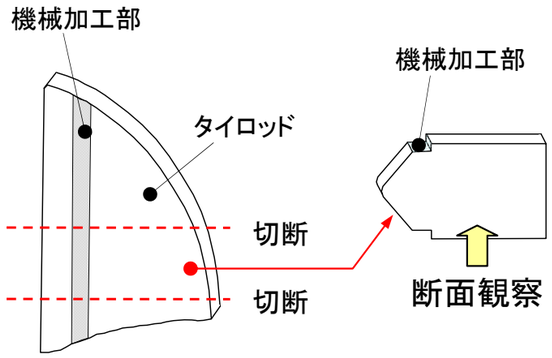


図1-5-8　位置E
（観察倍率 100倍）

0.2mm

サンプル1-2 断面観察



サンプル1-2
4面側

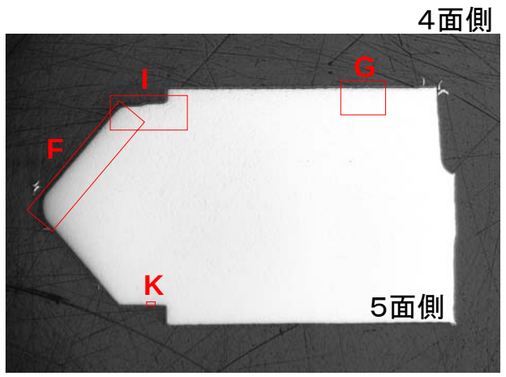


図1-6-1　サンプル1-2 断面全体、研磨面　（観察倍率 10倍）　2mm



図1-6-2　位置F、研磨面
（観察倍率 100倍）　0.3mm

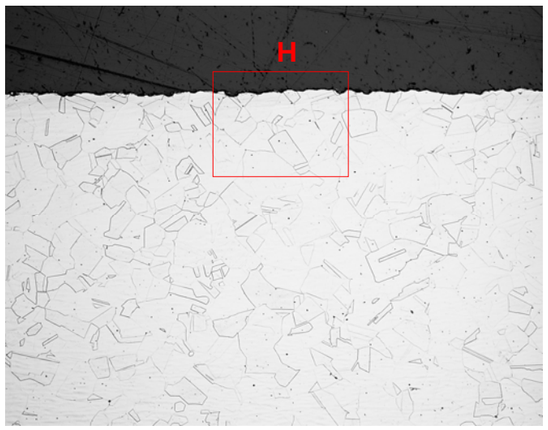


図1-6-3　位置G
（観察倍率 100倍）　0.2mm

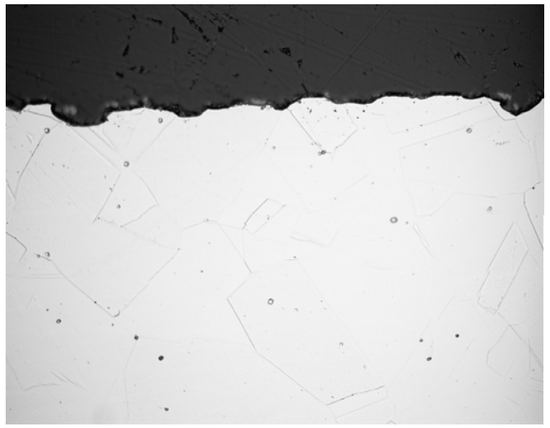


図1-6-4　位置H
（観察倍率 400倍）　0.05mm

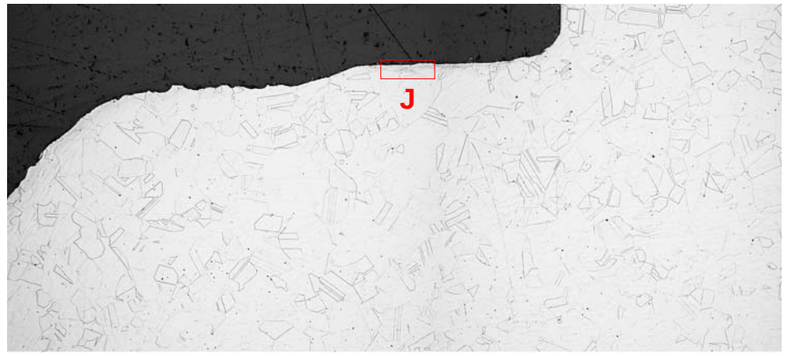


図1-6-5　位置I
（観察倍率 100倍）　0.2mm

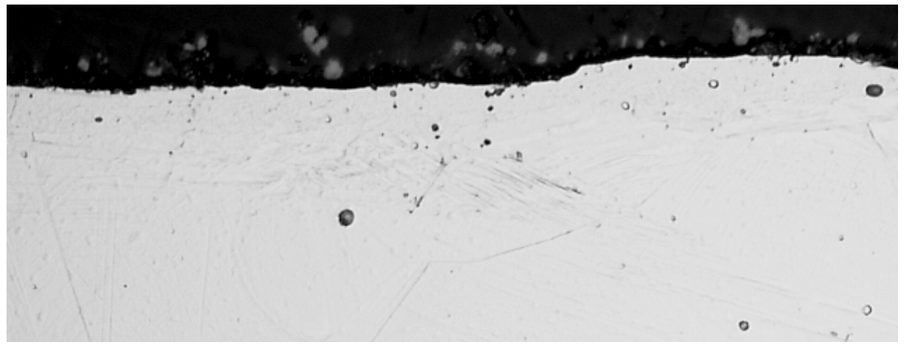


図1-6-6　位置J
（観察倍率 400倍）　25μm

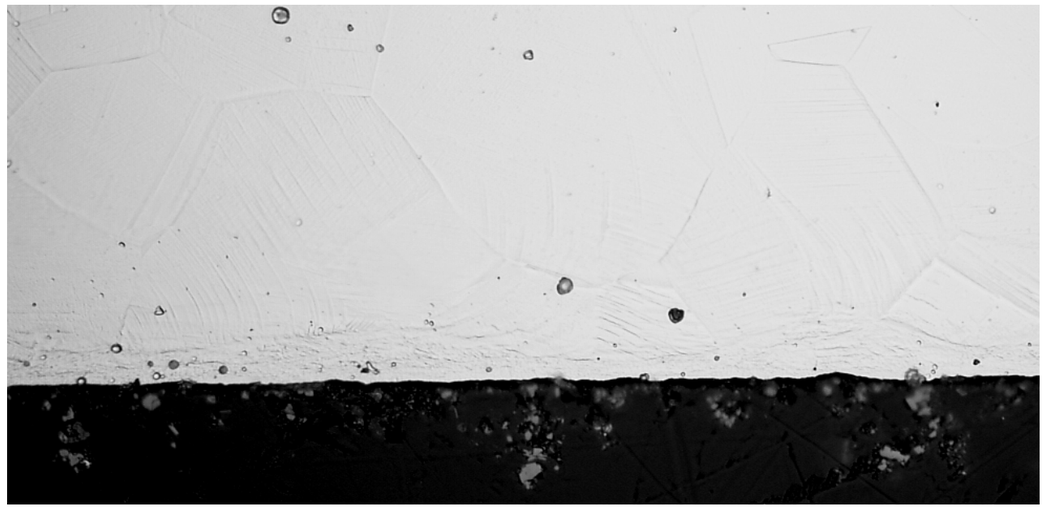
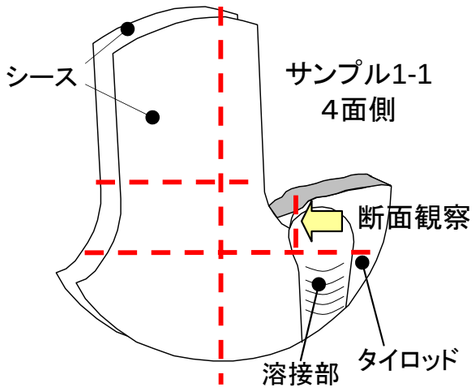


図1-6-7　位置K
（観察倍率 400倍）　25μm

－ 機械加工層は元々の表面と比較して平坦であり、表層部数十μmの範囲ですべり線が観察された。（図1-6-2～7）

サンプル1-1　断面観察1



観察位置

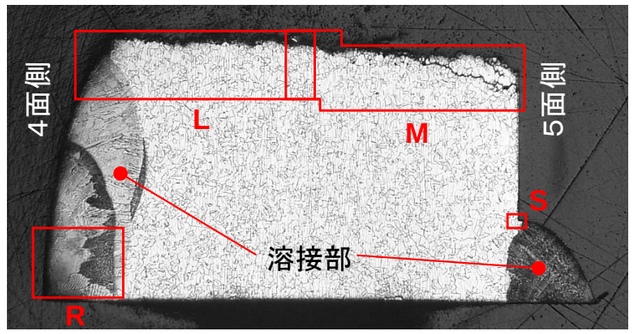


図1-7-1　サンプル1-1 断面1 全体
（観察倍率 10倍）

1mm

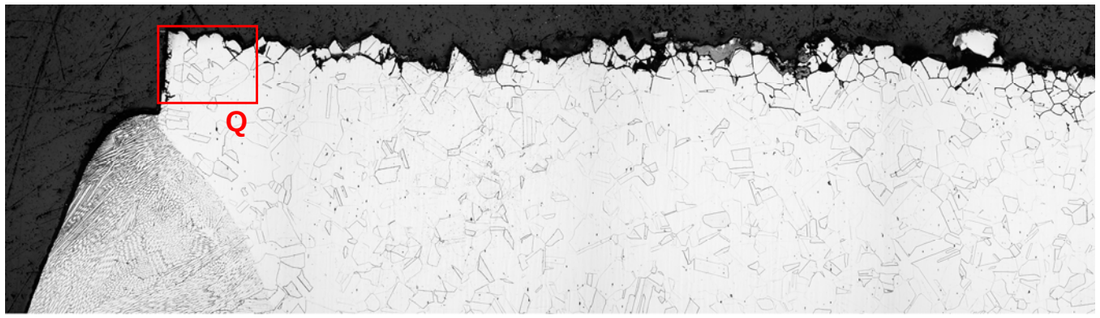


図1-7-2　位置L
（観察倍率 100倍）

0.3mm

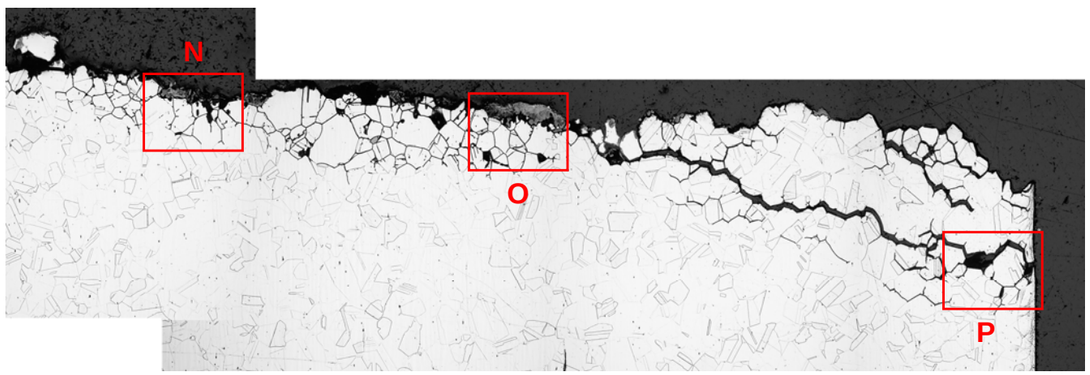


図1-7-3　位置M
（観察倍率 100倍）

0.3mm

- ひびは粒界割れ。タイロッド肉厚中央部ではひびの枝分かれと破面上に酸化物を観察（図1-7-2, 3, 4, 5）
- 5面側表層部に粒内割れを観察（図1-7-6）
- 4面側に加工＋溶接熱影響により生じた再結晶組織と小さなひびを観察（図1-7-7）

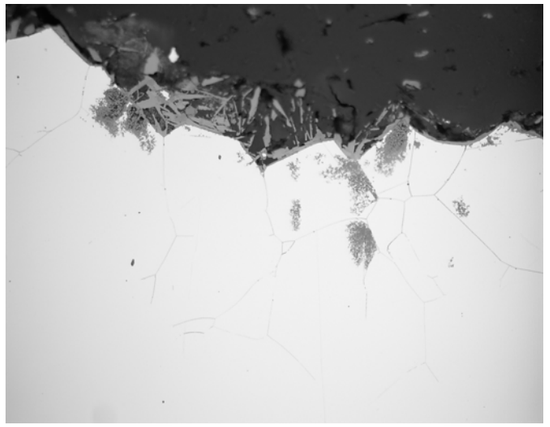


図1-7-4　位置N、研磨面
（観察倍率 400倍）

0.05mm

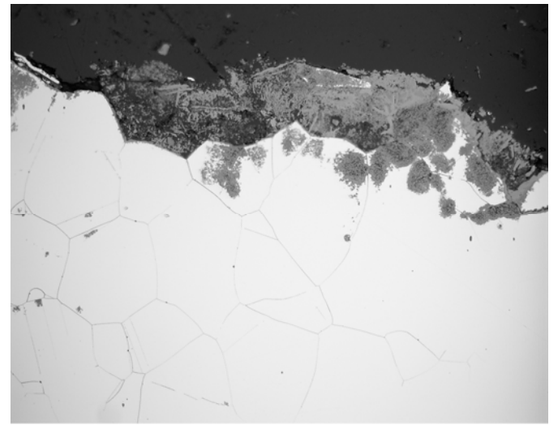


図1-7-5　位置O、研磨面
（観察倍率 400倍）

0.05mm

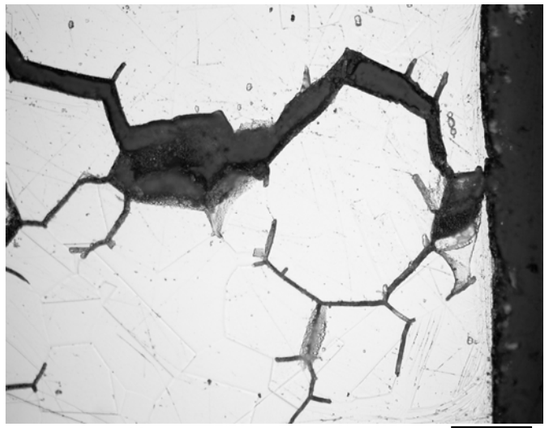


図1-7-6　位置P
（観察倍率 400倍）

0.05mm

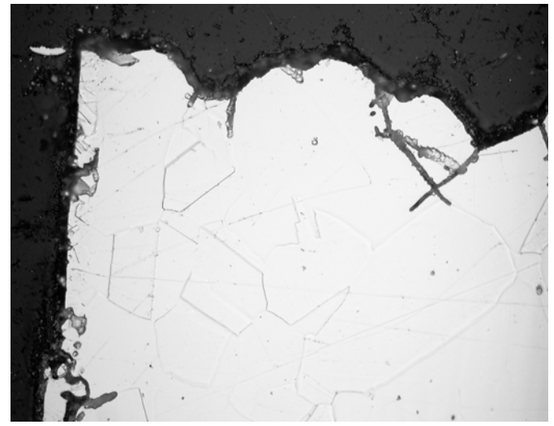


図1-7-7　位置Q
（観察倍率 400倍）

0.05mm

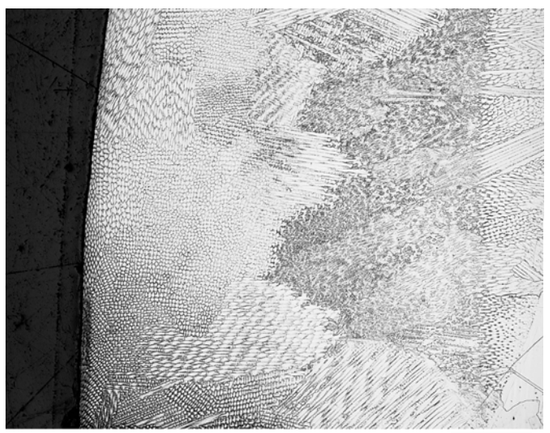


図1-7-8　位置R
（観察倍率 100倍）

0.2mm

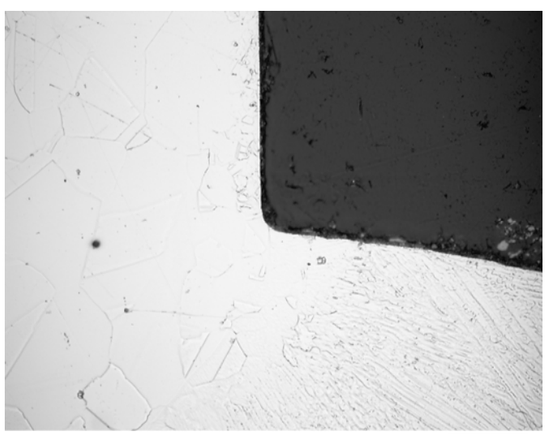
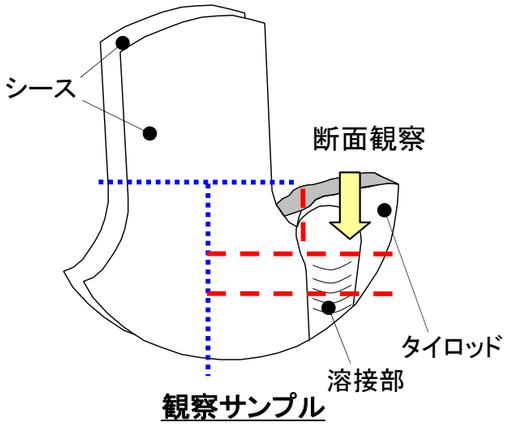


図1-7-9　位置S
（観察倍率 400倍）

0.05mm

サンプル1-1　断面観察2



観察サンプル

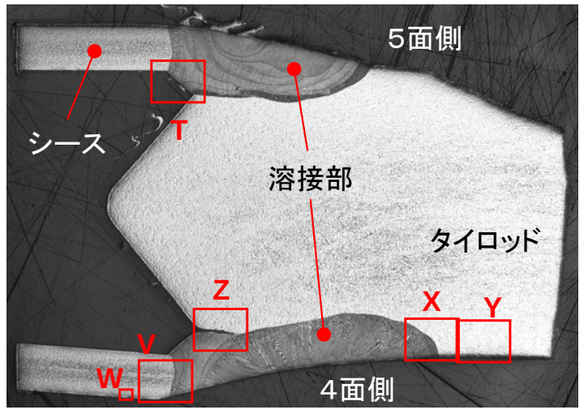


図1-8-1　断面サンプル全体　2mm

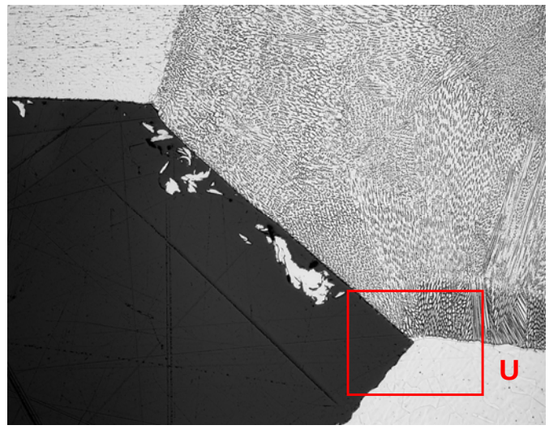


図1-8-2 位置T（観察倍率：100倍）　0.2mm

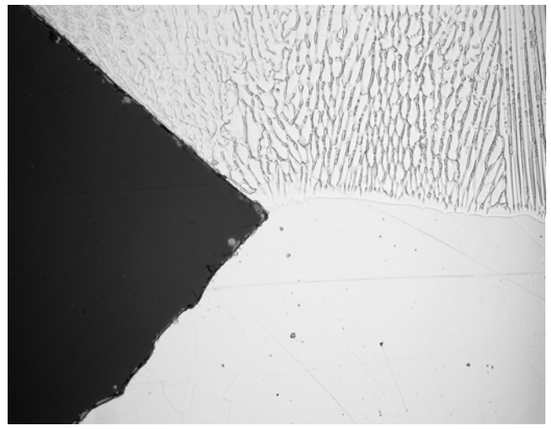


図1-8-3 位置U（観察倍率：400倍）　0.05mm

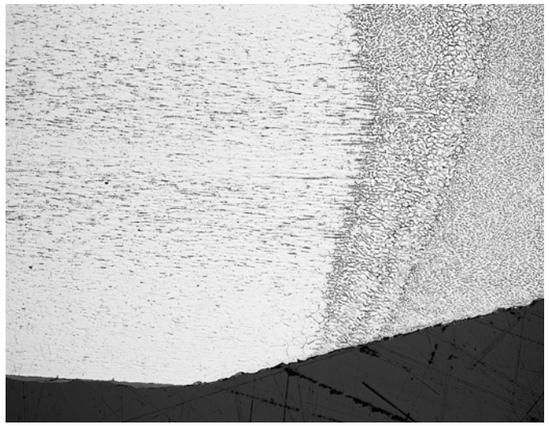


図1-8-4 位置V（観察倍率：100倍）　0.2mm



図1-8-5 位置W 、研磨面（観察倍率：400倍）　0.05mm



図1-8-6 位置X（観察倍率：100倍）　0.2mm



図1-8-7 位置Y（観察倍率：100倍）　0.2mm

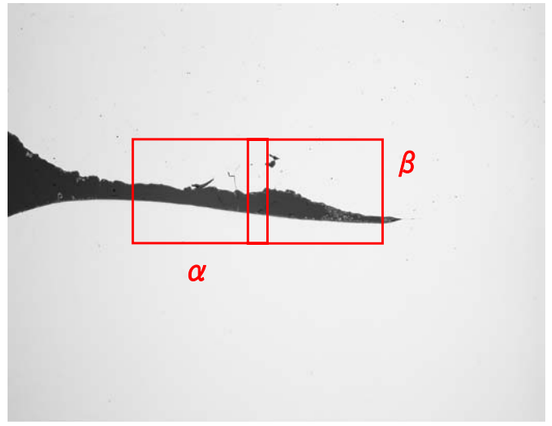


図1-8-8 位置Z、研磨面（観察倍率：100倍）　0.2mm



図1-8-9 位置Z（観察倍率：100倍）　0.2mm



図1-8-10 位置α（観察倍率：400倍）　0.05mm

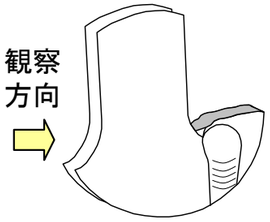


図1-8-11 位置β（観察倍率：400倍）　0.05mm

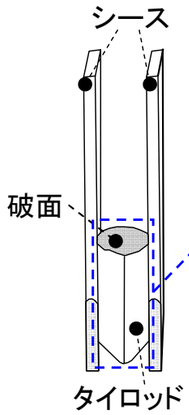
ー 4面側に溶け込み不足を起因とするシースとタイロッド間の隙間と隙間腐食による粒界割れをタイロッド母材に観察。（図1-8-8～11この隙間腐食はタブ溶接部のひびの初期き裂となる）

ー 左記隙間部のタイロッド母材は、その金属組織からエンドミル加工は施工されていないと評価される。（図1-8-8, 9, 10, 11）

表面観察2



観察サンプル



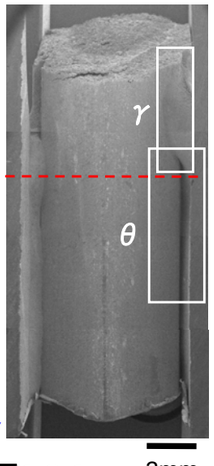


図1-9-1
観察面全体
（観察倍率 15倍）



図1-9-2 位置γ
（観察倍率 100倍）

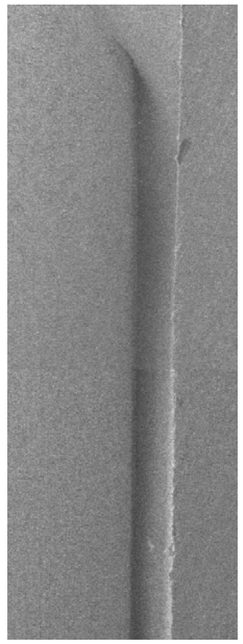
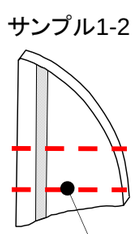
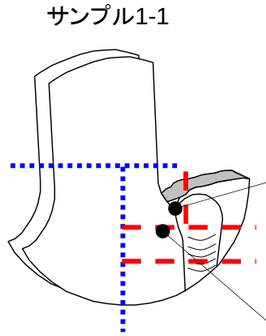


図1-9-3 位置θ
（観察倍率 15倍）

硬さ測定





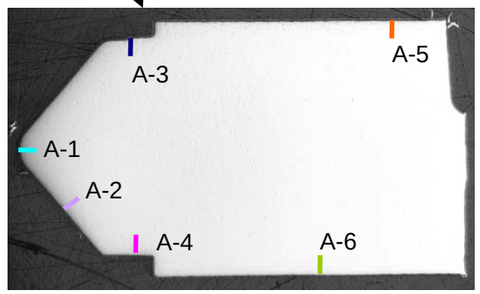


図1-10-1(a) サンプル1-2 断面1
（硬さ測定A）

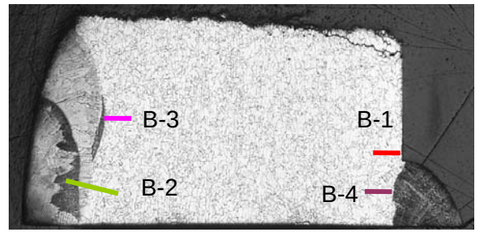


図1-10-1(b) サンプル1-1 断面1
（硬さ測定B）

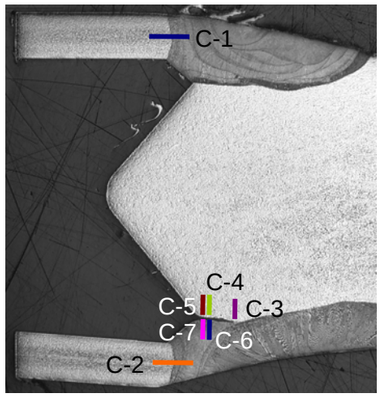


図1-10-1(c) サンプル1-1 断面2
（硬さ測定C）

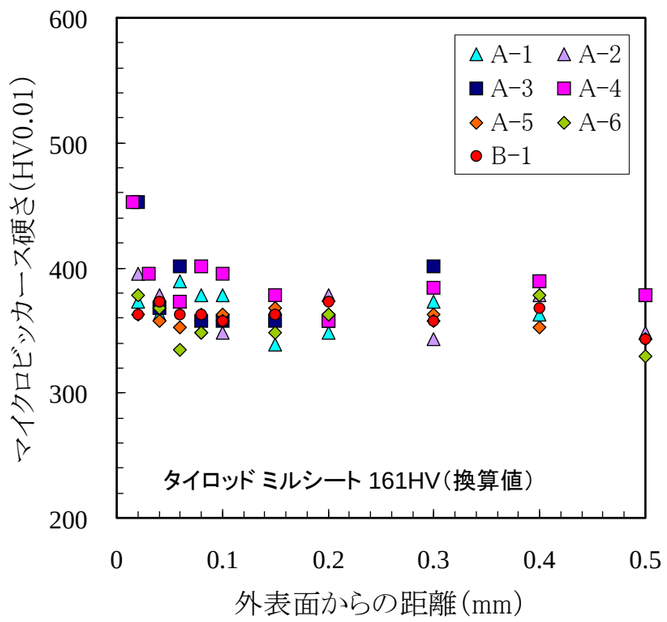


図1-10-2 タイロッド母材 硬さ分布

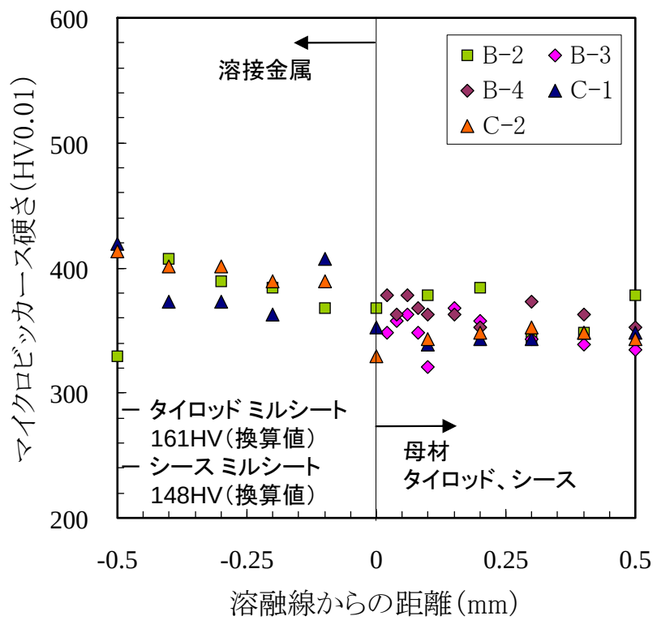


図1-10-3 溶接接合部溶融線近傍の硬さ分布

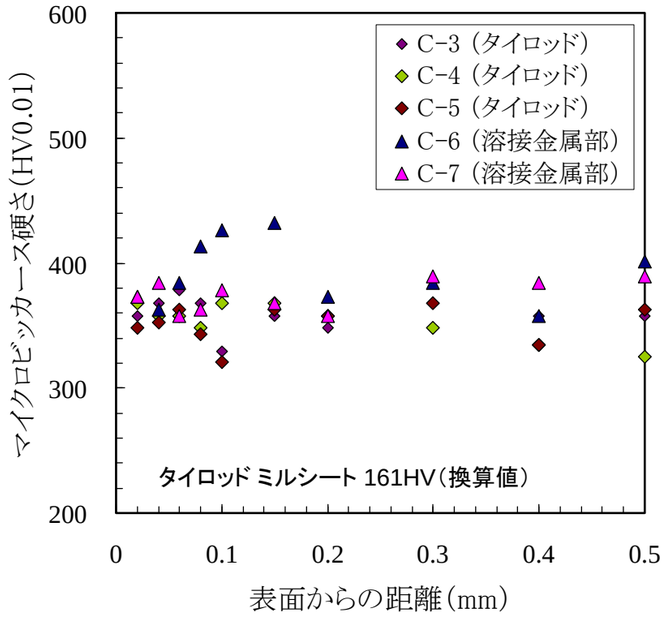
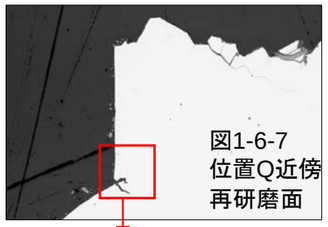
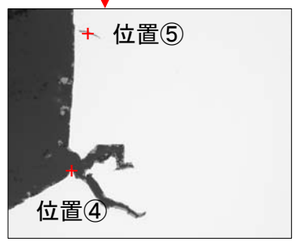


図1-10-4 隙間部 硬さ分布

－表面観察の結果、シースとタイロッドの間に間隙を観察（図1-9-2, 3）
－ タイロッド母材や溶接金属の硬さは約370HV程度であり、明瞭な中性子照射による照射硬化が認められた。（図1-10-2～4）
－ エンドミル加工部表層で硬さの上昇が認められ、加工に伴う表面硬化層を観察した。（図1-10-2）
－ 溶接接合部の溶融線近傍や、シース－タイロッド間の隙間部表層に硬さの上昇は観察されない。（図1-10-3, 4）

EDX分析





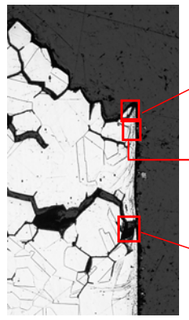
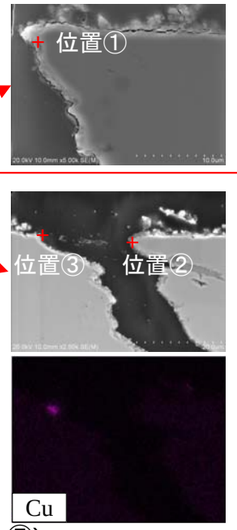


図1-6-6
位置P近傍



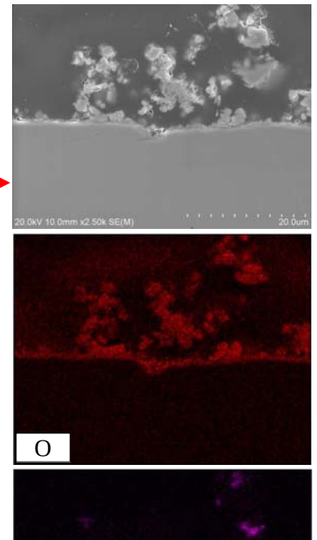


表1-11-1　点測定結果(位置①～⑤)

元素 (at%)	位置①	位置②	位置③	位置④	位置⑤	切断刃
O	43.40	19.81	25.27	40.79	18.79	5.51
Si	0.92	0.98	1.15	0.82	1.40	1.86
P	2.38	1.90	0.35	0.55	0.60	0.01
Mo	0.69	0.80	0.43	0.31	0.63	0.05
S	0.00	0.03	0.12	0.19	0.00	0.00
Pb	0.00	0.05	0.00	0.02	0.07	0.00
Sn	0.00	0.00	0.15	0.00	0.03	1.39
Cr	6.40	13.02	7.10	7.39	11.57	0.00
Fe	35.36	53.22	39.78	36.99	51.83	0.49
Ni	10.45	10.08	13.04	12.58	14.62	0.06
Cu	0.27	0.11	12.62	0.23	0.34	12.67
Zn	0.13	0.00	0.00	0.12	0.15	0.30

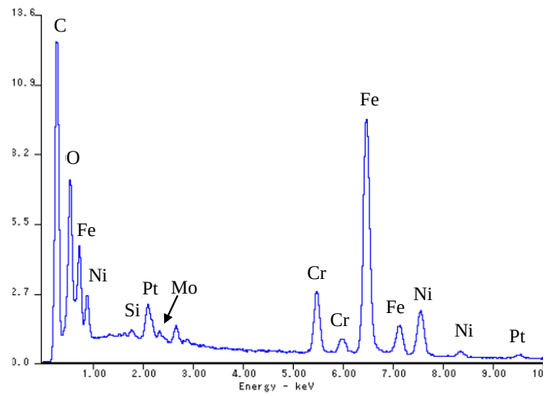


図1-11-1 位置①

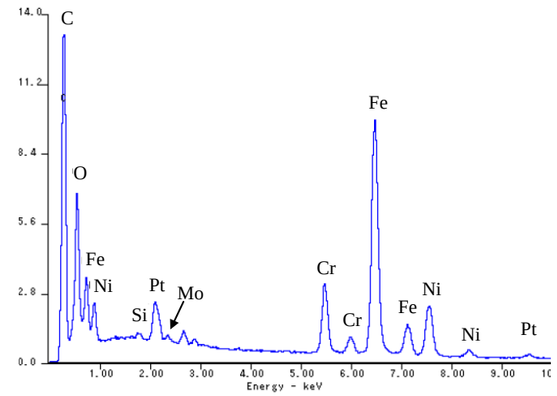


図1-11-4 位置④

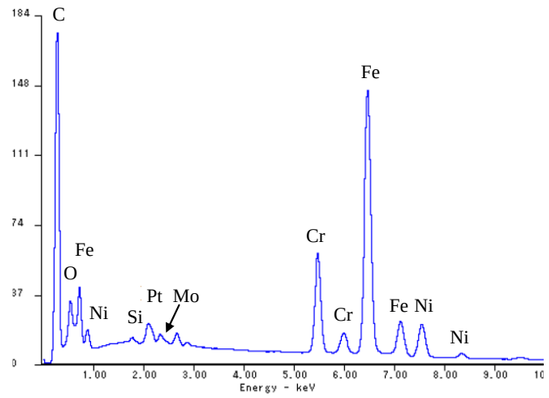


図1-11-2 位置②

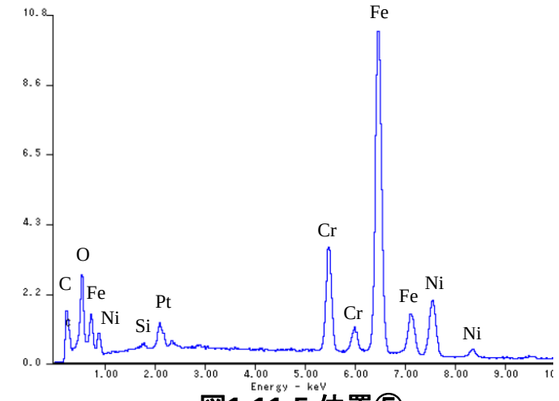


図1-11-5 位置⑤

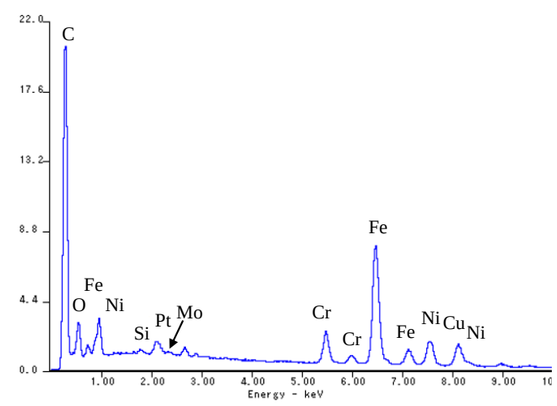


図1-11-3 位置③

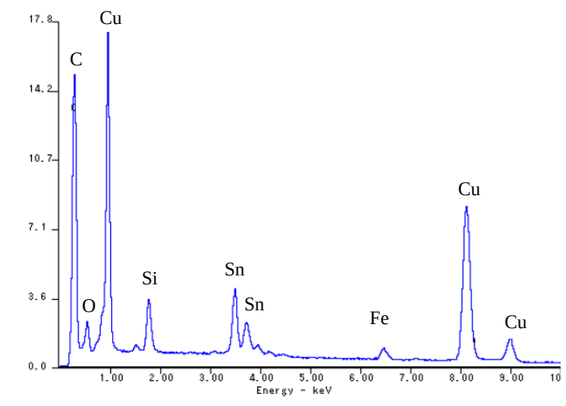
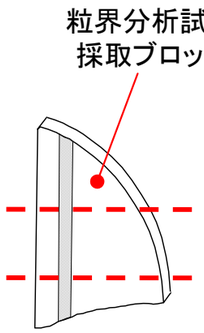


図1-11-6 切断刃

注：サンプルにPtを蒸着した後EDX分析を実施

粒界分析



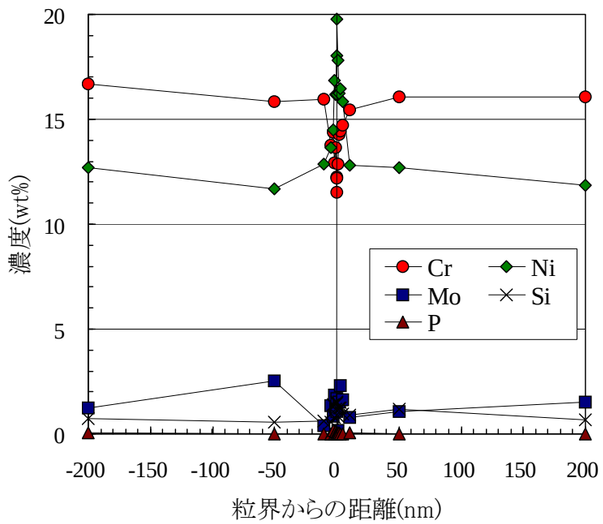


図1-12　粒界分析結果（タイロッド材）

- EDX分析の結果、ひび近傍部にPb, Znは認められない。また、Cu, Snが観察された部位があったが、切断時の切断工具に由来するものと考えられたこと等から、ひびが低融点金属割れで発生した可能性は低いものと評価（図1-11-1～6、表1-11-1）
- タイロッド材の結晶粒界近傍の化学成分分析を実施した結果、照射誘起偏析（結晶粒界上でCrの欠乏とNi及びSiの濃縮）が明瞭に認められた。（図1-12）

サンプル2　詳細

制御棒 No.016
エンドミル加工＋Tig溶接
高速中性子照射量
約4.1x10^{25}n/m^2

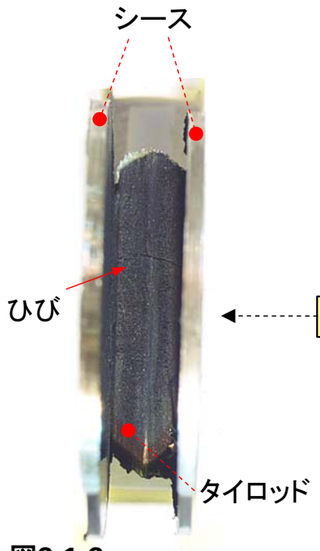
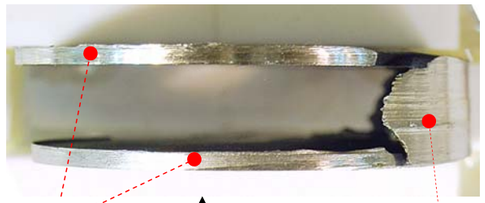


図2-1-3
タイロッド翼端部外観



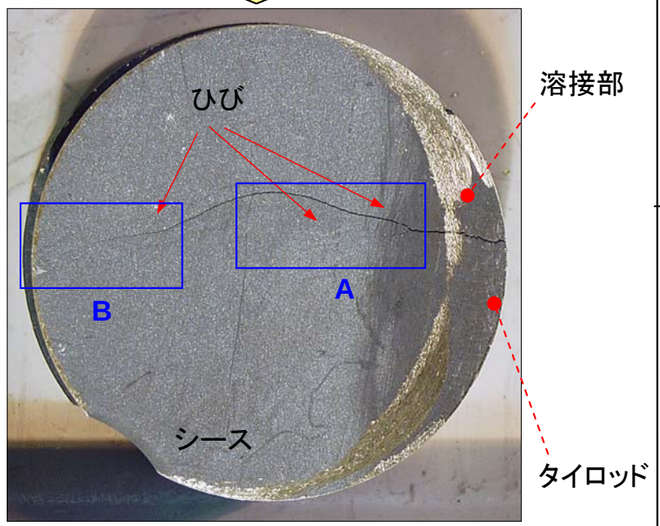


図2-1-1　4面側 外観

10mm

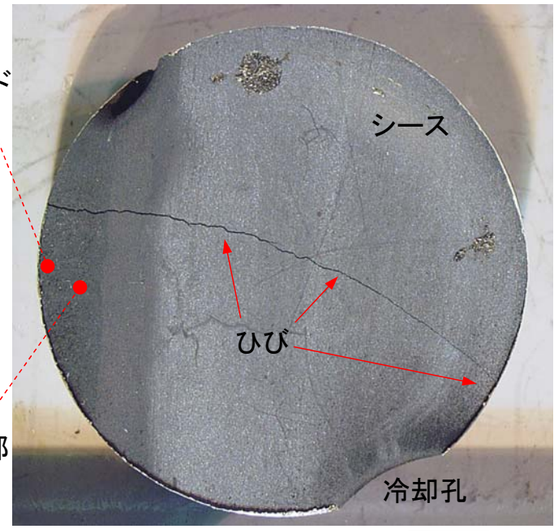


図2-1-2　5面側 外観

10mm

- 4面、5面のタイロッドのひびは同一のひびであった。（図2-1-1, 2, 3）
- 応力腐食割れ特有のひびの枝分かれを観察（図2-3-1）
- 表面SEM観察において4面側、5面側にシースとタイロッド間に隙間を観察（図2-3-3, 8, 10）

サンプル調査項目

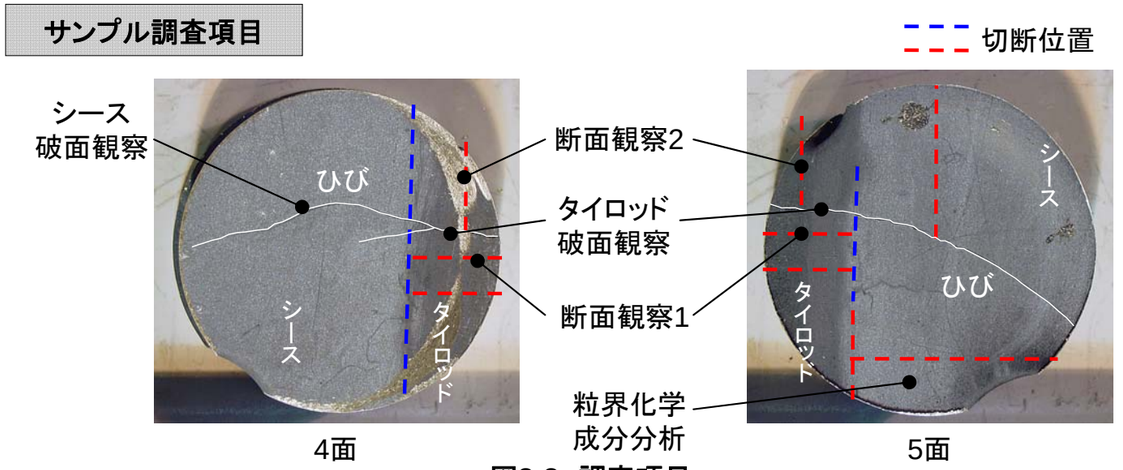


図2-2　調査項目

表面観察 1

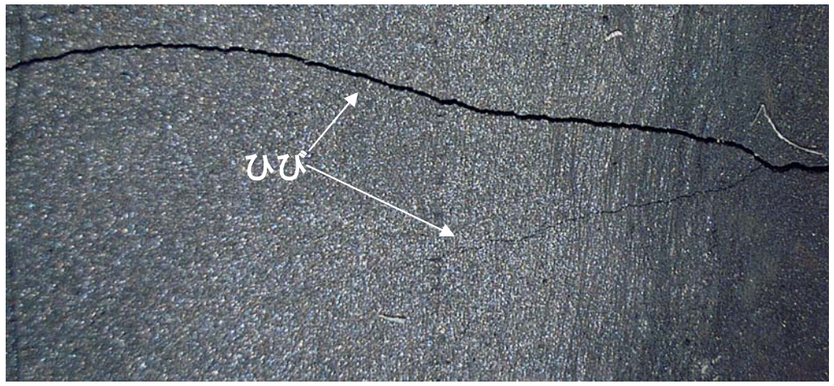
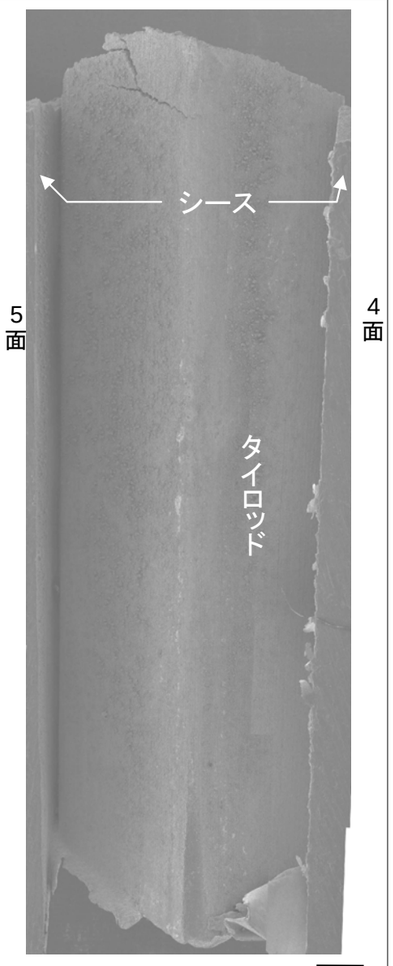


図2-3-1　位置A拡大



図2-3-2　位置B拡大



1mm

図2-3-3
表面SEM観察
タイロッド翼端部（観察倍率20倍）

表面観察 2

切断位置

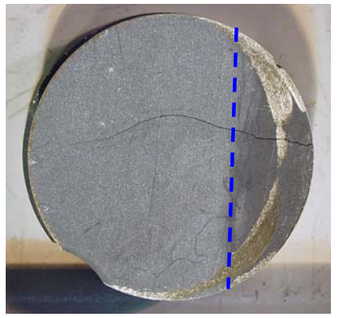


図2-3-4 4面側

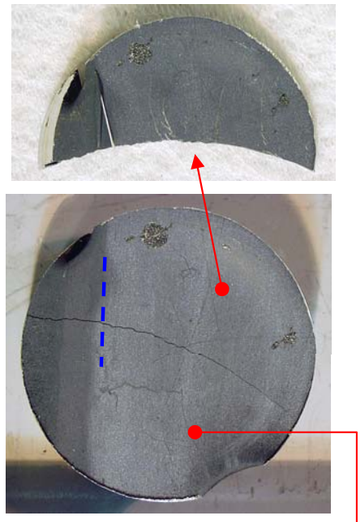


図2-3-5 5面側
注：切断中に上下に分離





図2-3-6 4面シース外観

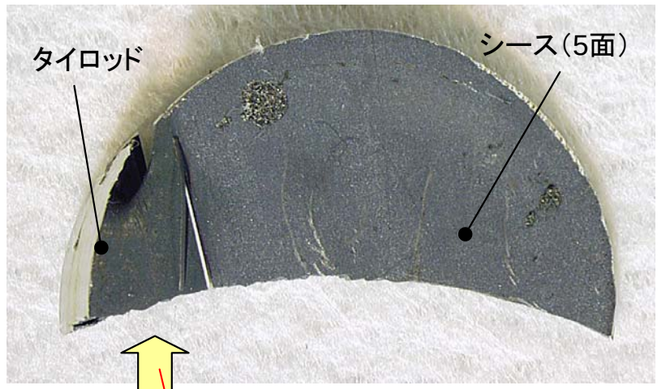


図2-3-7 5面上部サンプル 外観

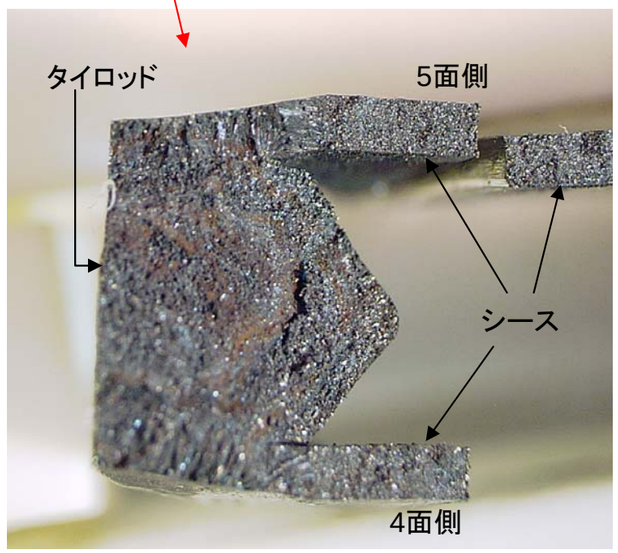


図2-3-8 5面上部サンプル　破面

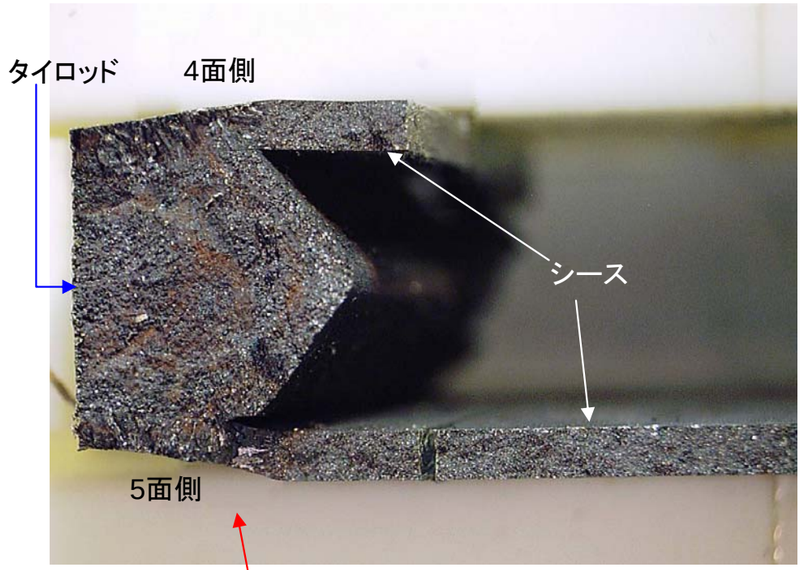


図2-3-10 5面下部サンプル　破面

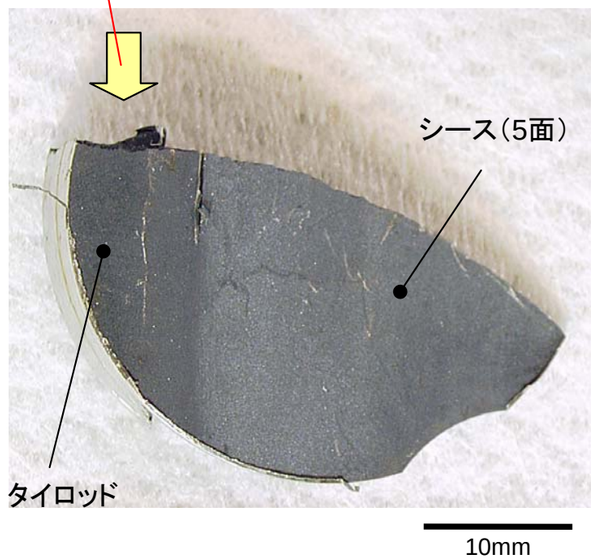
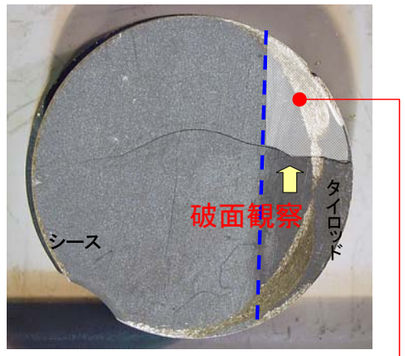


図2-3-9 5面下部サンプル 外観

- タイロッド部のひびと5面側シース部のひびはサンプル端まで存在していたため、デジタルマイクロスコープを用いたサンプルの外観および表面の観察を実施した後に走査型電子顕微鏡観察のためにシースを切断している際（4面側シースの切断完了後、5面側シース切断完了前）に、サンプルはタイロッドと5面シースが繋がったまま上下に分離した。（図2-3-5, 7, 9）
- デジタルマイクロスコープや走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて、表面や破面の状態を記録した後、図2-2に示した箇所（赤破線）で切断し調査を行った。

破面SEM観察
タイロッド部



観察サンプル

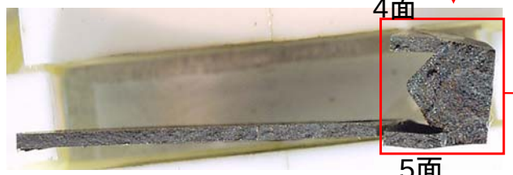


図2-4-1 破面外観写真
（デジタルマイクロスコープ）

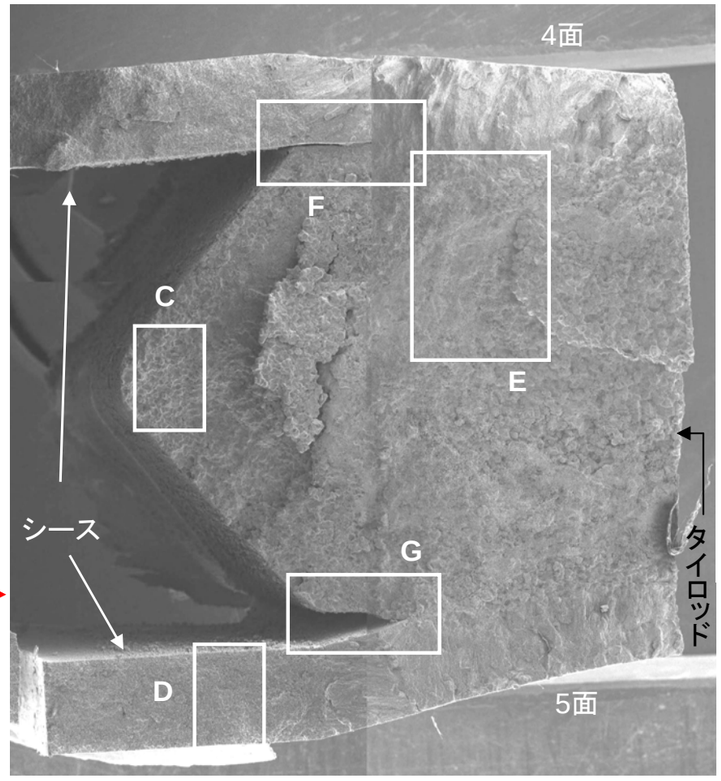


図2-4-2　タイロッド破面全体（観察倍率20倍）　1mm

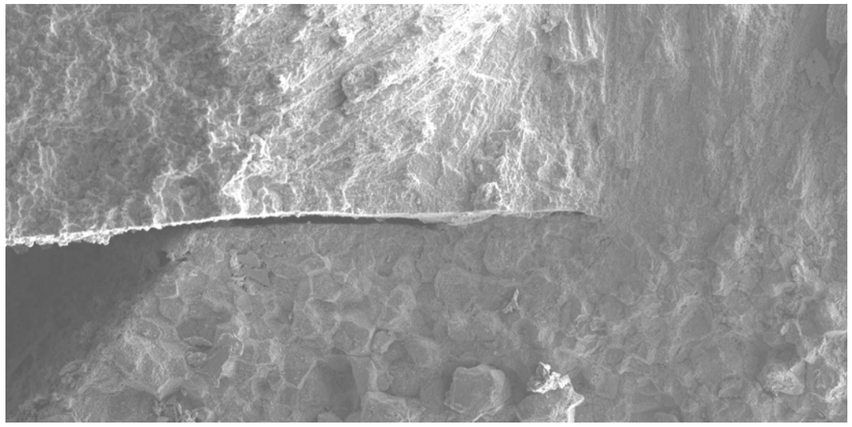


図2-4-9　位置F（観察倍率100倍）　0.2mm

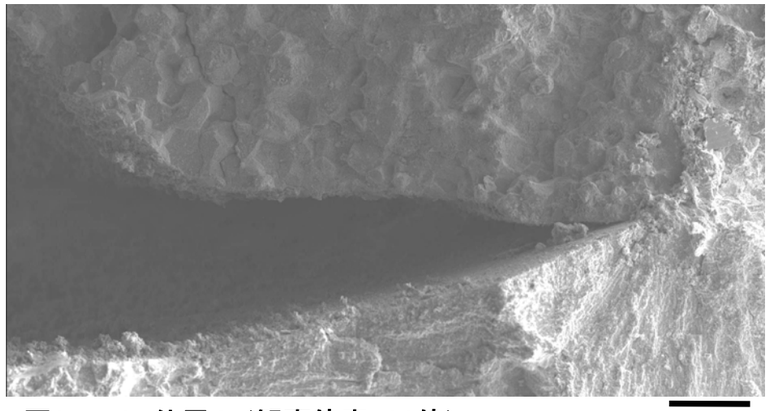


図2-4-10　位置G（観察倍率100倍）　0.2mm

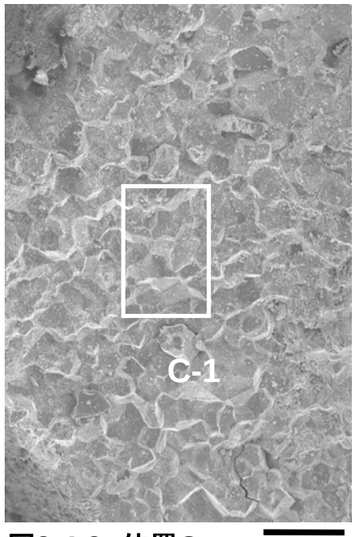


図2-4-3　位置C
（観察倍率100倍）　0.2mm

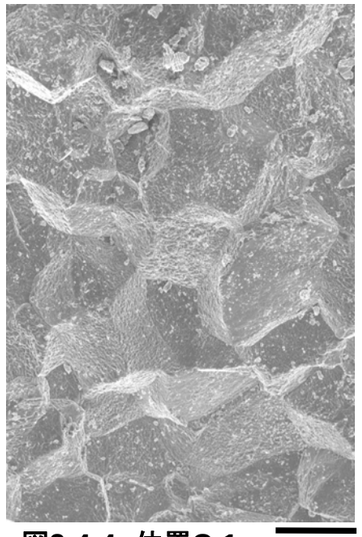


図2-4-4　位置C-1
（観察倍率400倍）　0.05mm

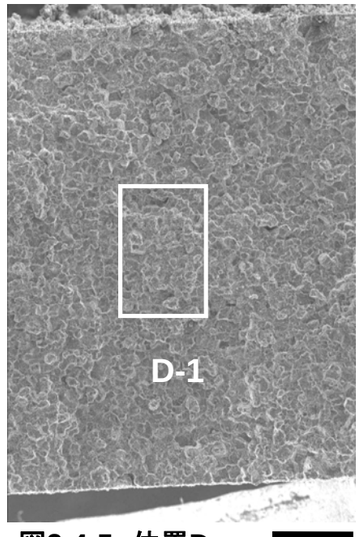


図2-4-5　位置D
（観察倍率100倍）　0.2mm

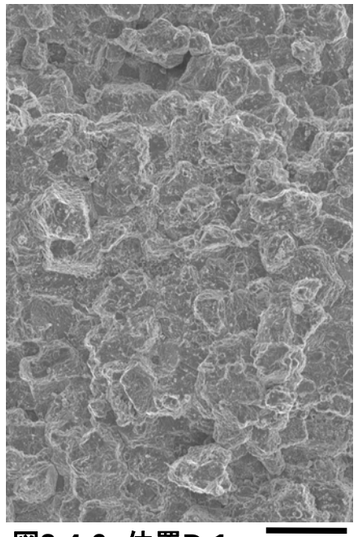


図2-4-6　位置D-1
（観察倍率400倍）　0.05mm

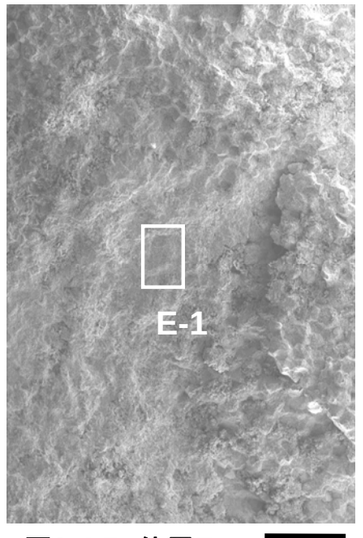


図2-4-7　位置E
（観察倍率50倍）　0.4mm

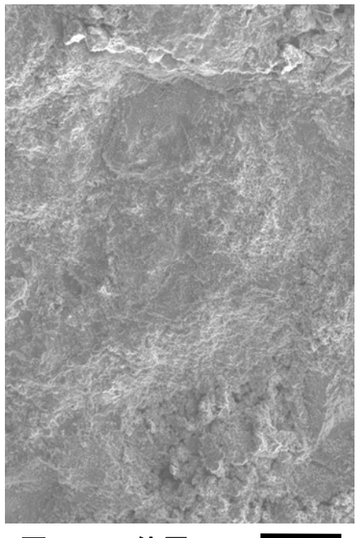


図2-4-8　位置E-1
（観察倍率50倍）　0.05mm

破面SEM観察
4面シース

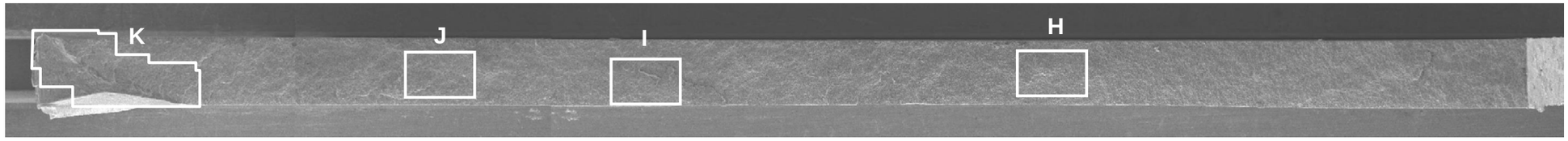


図2-5-2　サンプル全体　（観察倍率20倍）

1mm

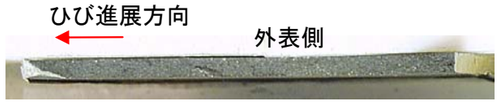
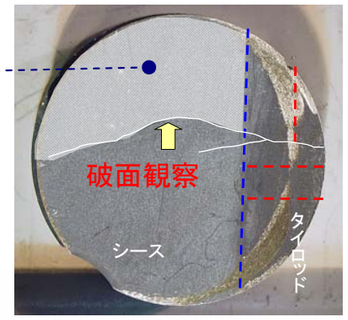


図2-5-1　サンプル全体
（デジタルマイクロスコープ観察）



観察サンプル
＜4面側外観より＞

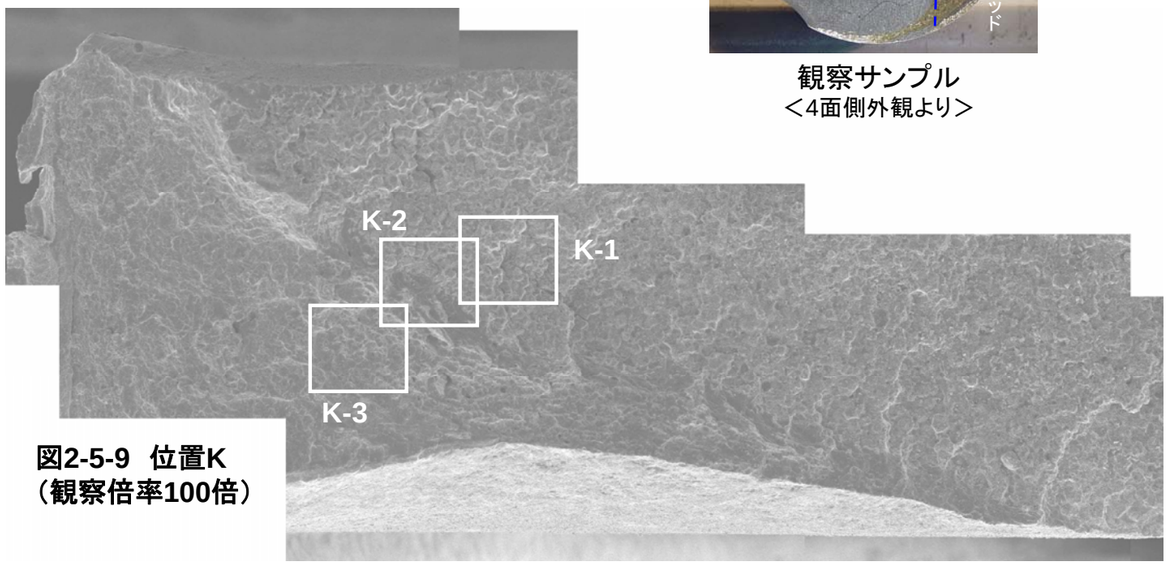


図2-5-9　位置K
（観察倍率100倍）

0.2mm

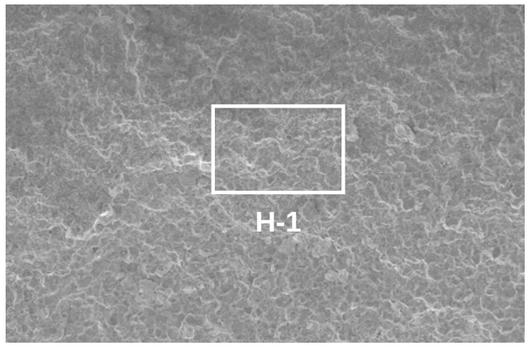


図2-5-3　位置H
（観察倍率100倍）

0.2mm

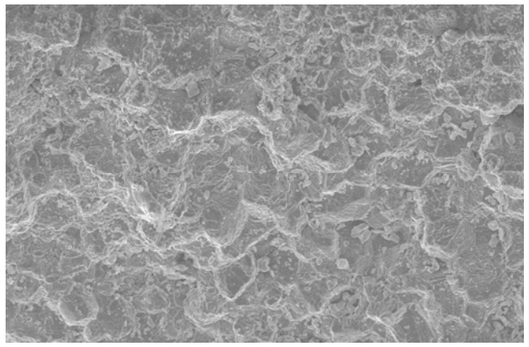


図2-5-4　位置H-1
（観察倍率400倍）

0.05mm

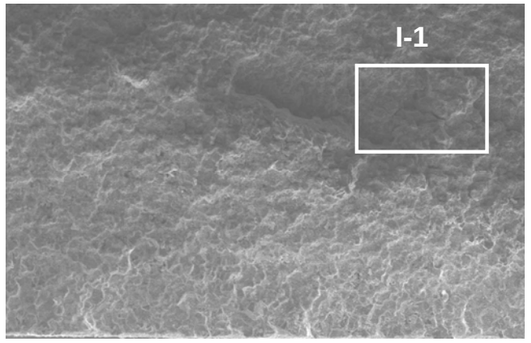


図2-5-5　位置I
（観察倍率100倍）

0.2mm

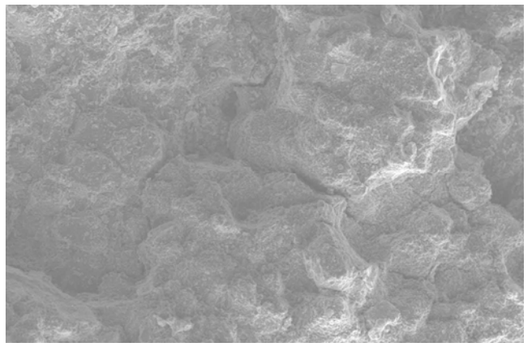


図2-5-6　位置I-1
（観察倍率400倍）

0.05mm

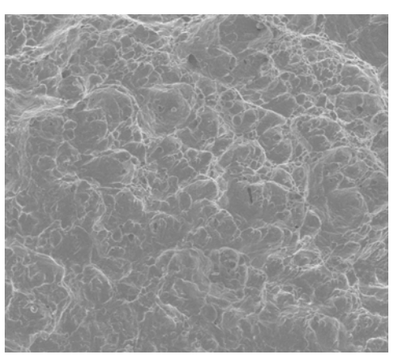


図2-5-10 位置K-3
（観察倍率400倍）

0.05mm

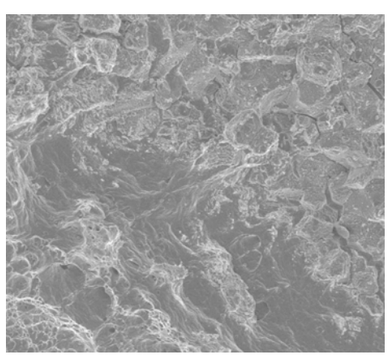


図2-5-11 位置K-2
（観察倍率400倍）

0.05mm

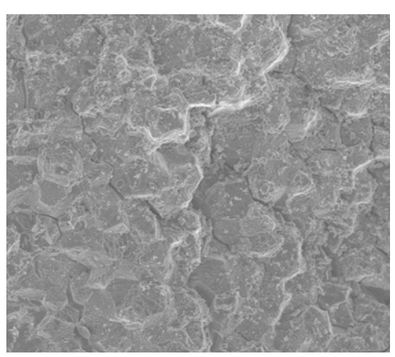


図2-5-12 位置K-1
（観察倍率400倍）

0.05mm

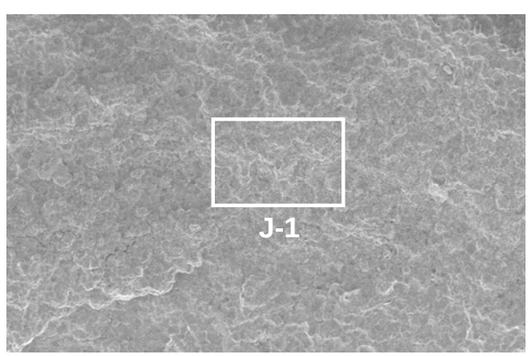


図2-5-7　位置J
（観察倍率100倍）

0.2mm

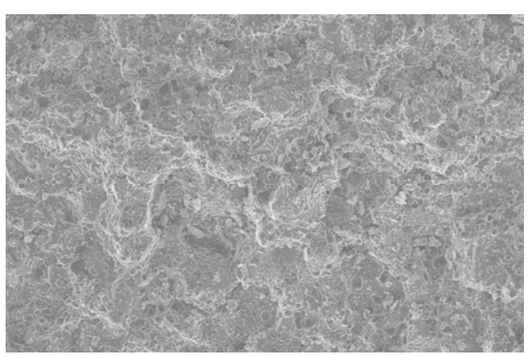


図2-5-8　位置J-1
（観察倍率400倍）

0.05mm

破面SEM観察
4面シース
酸化物除去処理後

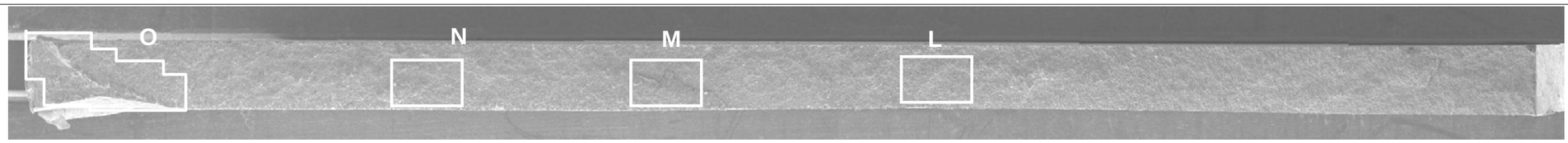
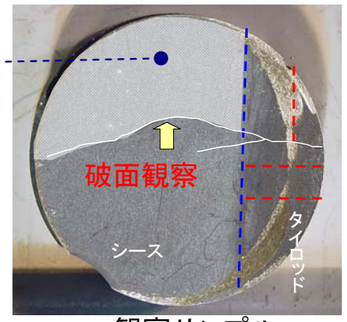


図2-5-13　サンプル全体　（観察倍率20倍）

1mm



図2-5-1　サンプル全体
（デジタルマイクロスコープ観察）
酸化物除去処理前



観察サンプル
＜4面側外観より＞

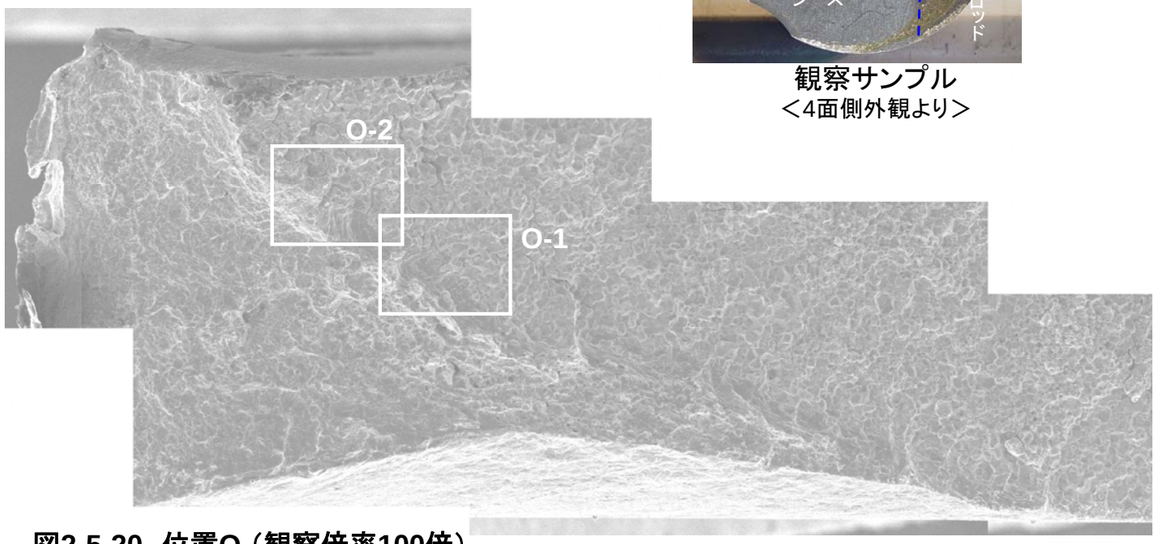


図2-5-20　位置O（観察倍率100倍）

0.2mm

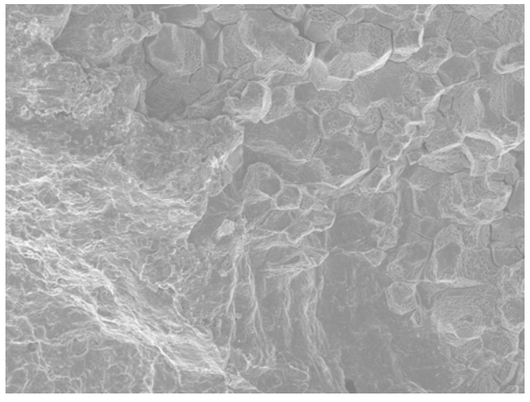


図2-5-21 位置O-2
（観察倍率400倍）

0.05mm

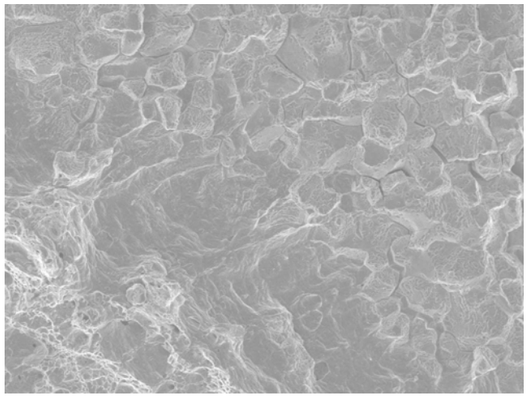


図2-5-22 位置O-1
（観察倍率400倍）

0.05mm

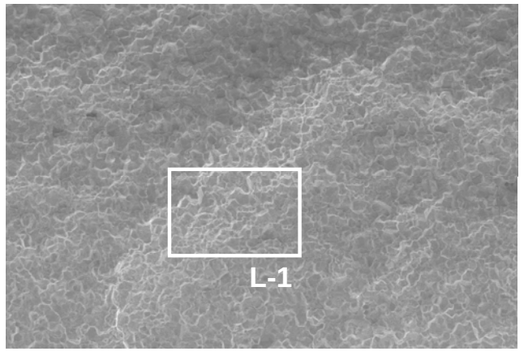


図2-5-14　位置L
（観察倍率100倍）

0.2mm

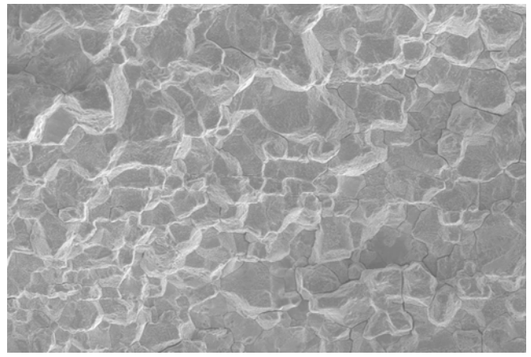


図2-5-15　位置L-1
（観察倍率400倍）

0.05mm

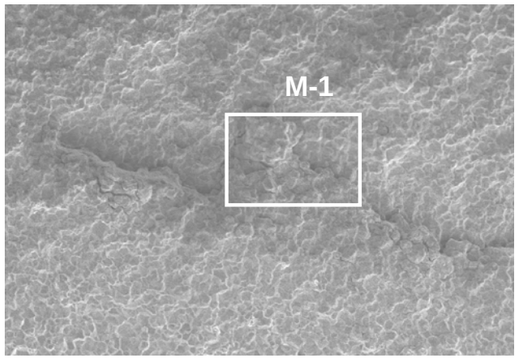


図2-5-16　位置M
（観察倍率100倍）

0.2mm

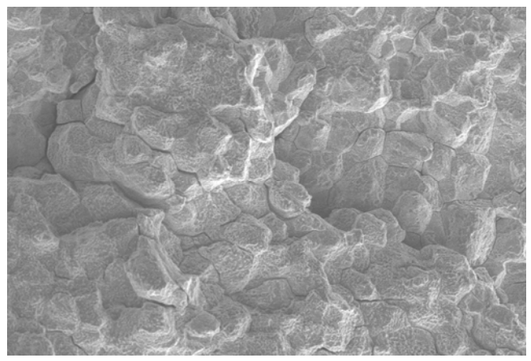


図2-5-17　位置M-1
（観察倍率400倍）

0.05mm

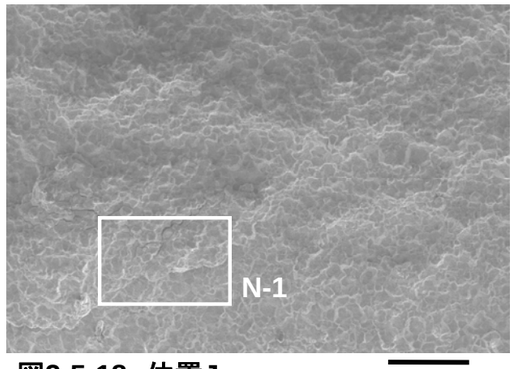


図2-5-18　位置J
（観察倍率100倍）

0.2mm

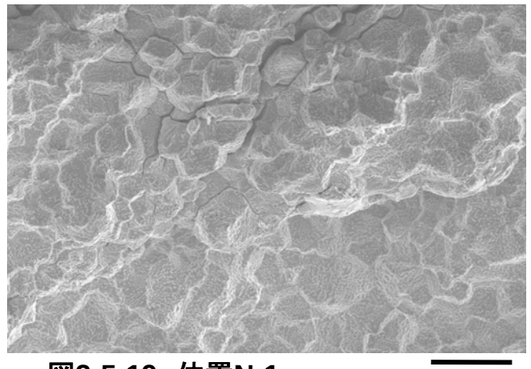
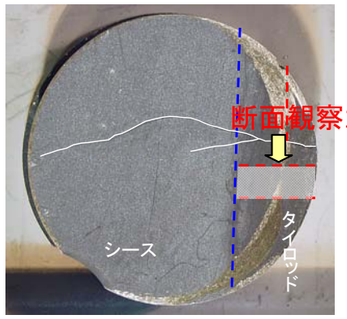


図2-5-19　位置N-1
（観察倍率400倍）

0.05mm

－ 高温履歴を有する部位の破面は全面粒界破面（ロックキャンディ）（図2-5-14～22）。
－ 照射後試験施設での破面開放の際に生じた新生面はデジタルマイクロスコープ像で金属光沢を示している部位。当該部は延性破面（図2-5-20～22）

断面観察1



観察サンプル
（4面側外観写真より）

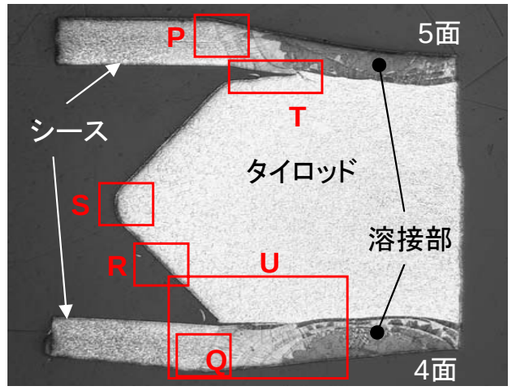


図2-6-1　サンプル全体
（観察倍率10倍）

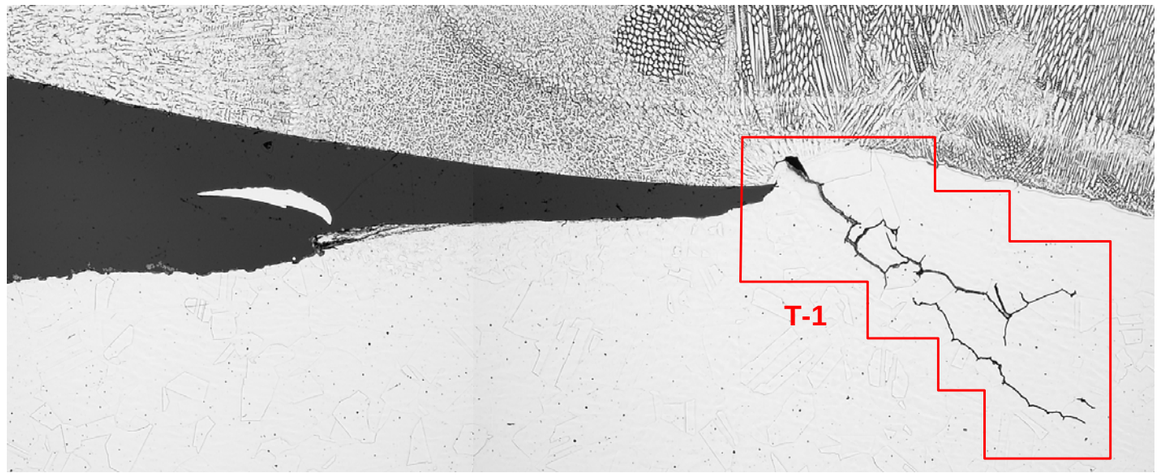


図2-6-6　位置T　観察倍率100倍）



図2-6-2　位置P
（観察倍率100倍）



図2-6-3　位置Q
（観察倍率100倍）

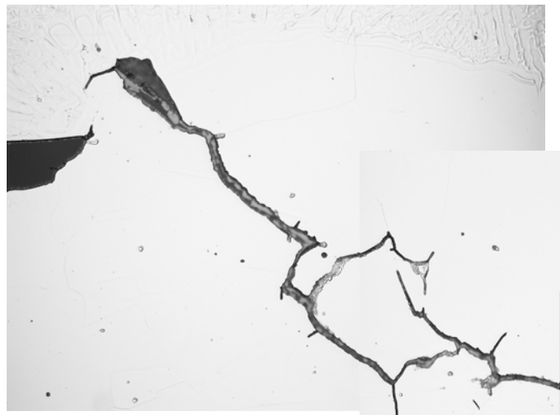


図2-6-7　位置T-1
（観察倍率400倍）

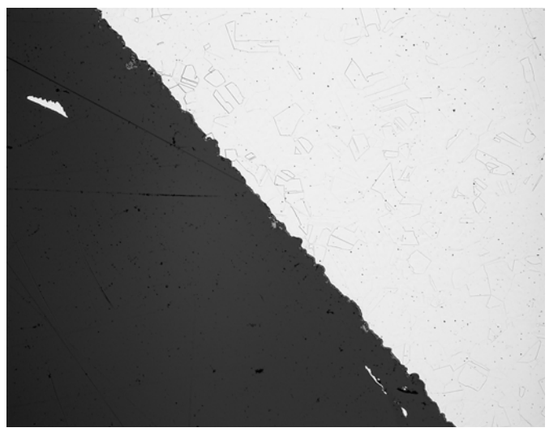


図2-6-4　位置R
（観察倍率100倍）

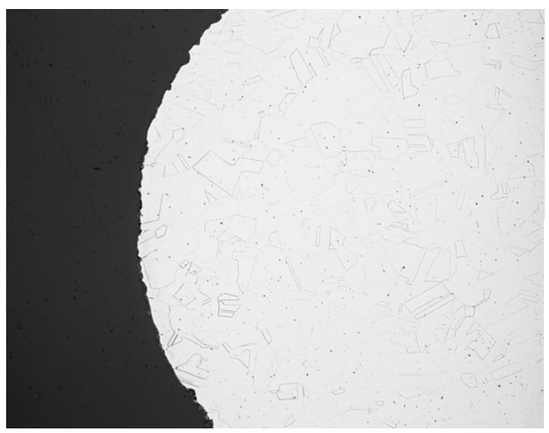


図2-6-5　位置S
（観察倍率100倍）

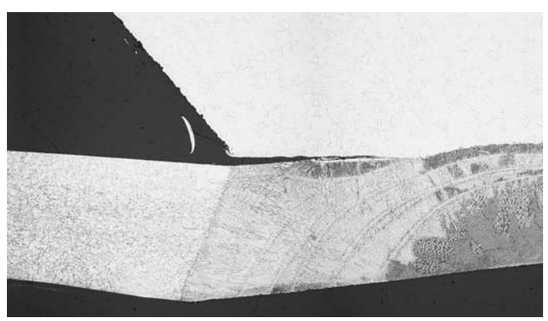
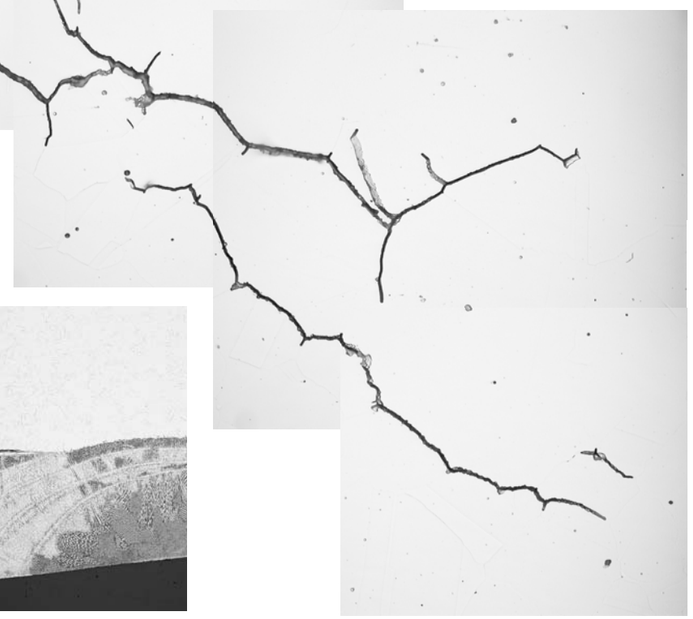


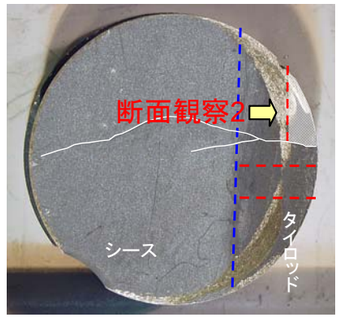
図2-6-8　位置U
（観察倍率30倍）



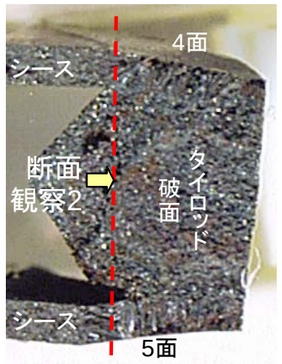
ー シースとタイロッド間に溶接の溶け込み不足を起因とする隙間構造を観察（図2-6-6, 8）
ー 5面側隙間部の奥に隙間腐食による粒界割れを観察（図2-6-6, 7）

ー 5面側隙間部では、エンドミル加工と溶接時の熱影響によって生じた再結晶組織を観察。なお、サンプル1の断面観察2と同様に、この隙間構造部の翼端側はエンドミル加工は施されておらず通常組織（図2-6-6）

断面観察2



観察サンプル
（4面側外観写真より）



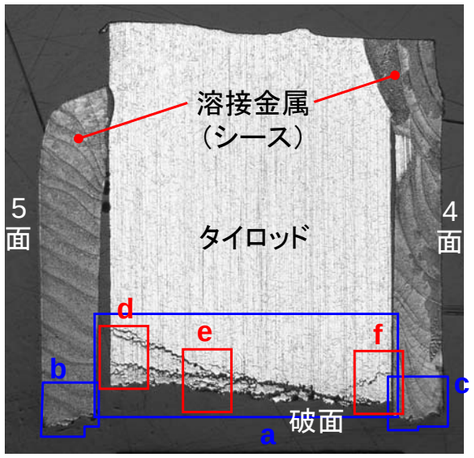


図2-7-1　サンプル全体
（観察倍率10倍）

2mm

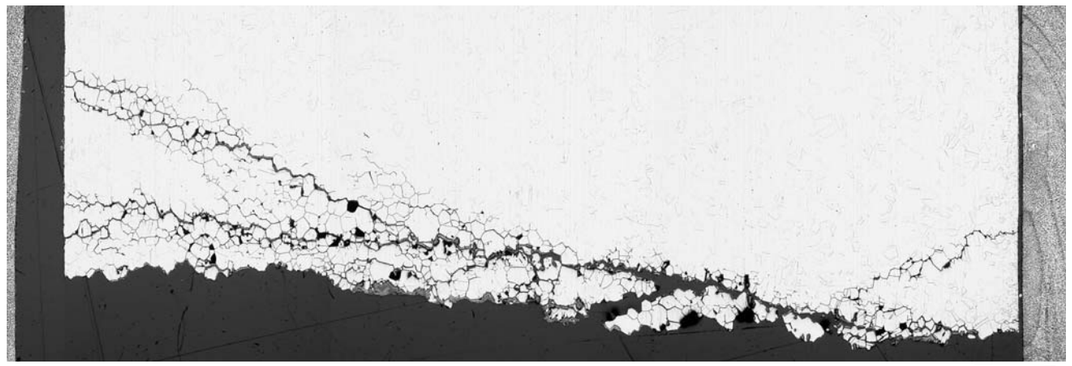


図2-7-2　位置a　（観察倍率30倍）

0.5mm

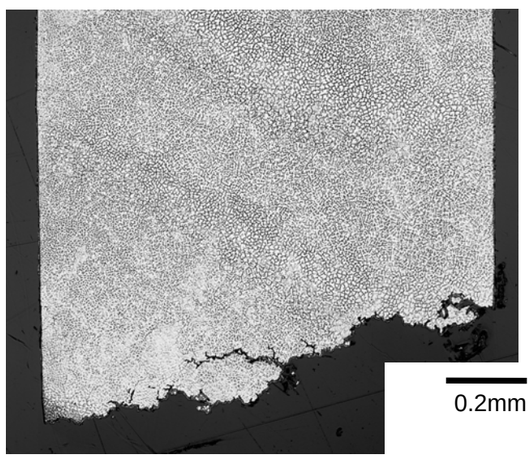


図2-7-3　位置b
（観察倍率100倍）

0.2mm

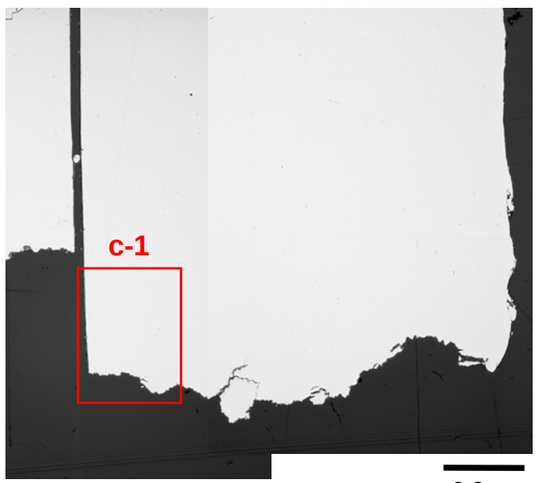


図2-7-4　位置c, 研磨面
（観察倍率100倍）

0.2mm

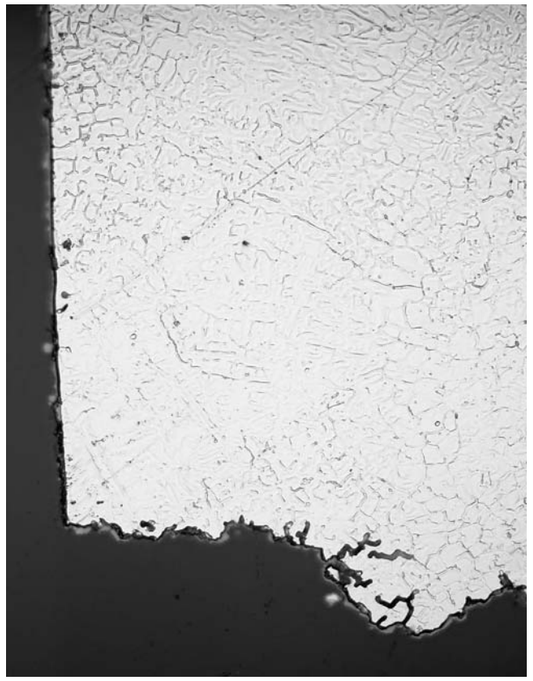


図2-7-5　位置c-1
（観察倍率400倍）

0.05mm

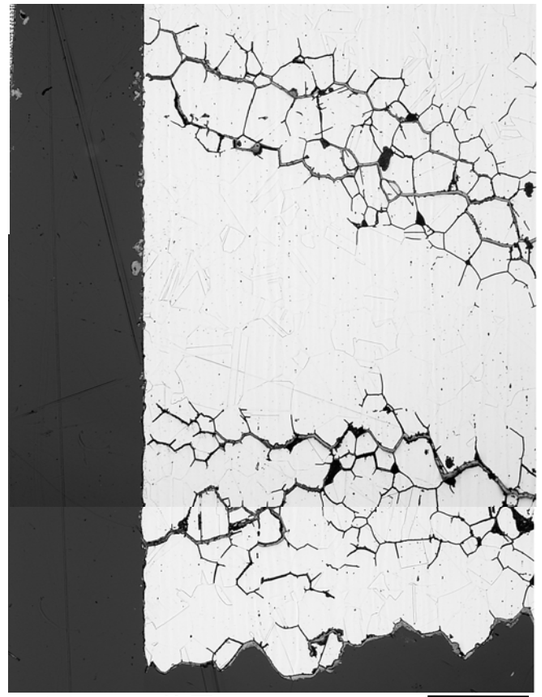


図2-7-6　位置d
（観察倍率100倍）

0.2mm



図2-7-7　位置e, 研磨面
（観察倍率100倍）

0.2mm

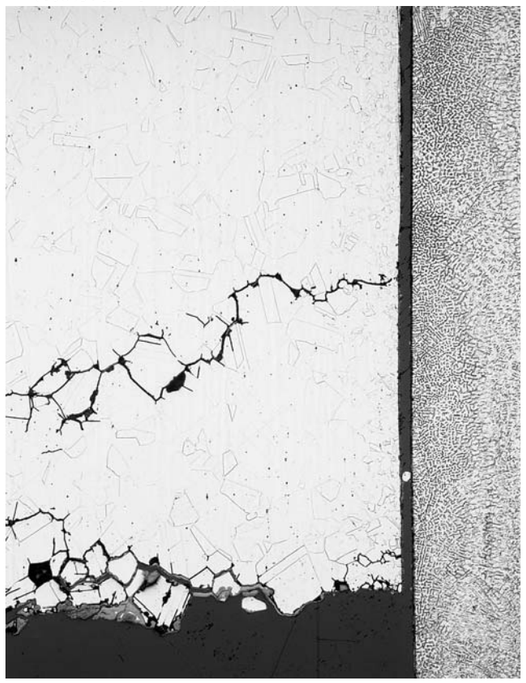


図2-7-8　位置f
（観察倍率100倍）

0.2mm

- ひびは、応力腐食割れ特有の枝分かれを有しつつ粒界割れで進展。枝分かれの様相からひびは4面側から5面側へ進展した可能性が示唆される。（図2-7-2）
- タイロッド肉厚中央部のひび破面では粒の腐食も観察された。（図2-7-7）
- シース（溶接金属部）では、ひびは溶接金属組織の境界を進展。枝分かれの様相はひびがマクロ的にタイロッド側から外表面側に進展したことを示唆。（図2-7-3～5）
- シースとタイロッド間に隙間構造が認められる。（図2-7-1, 2, 4, 8）

破面SEM観察
タイロッド部
酸化物除去処理後

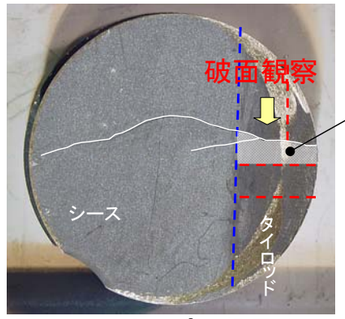


図2-8-1 サンプル採取位置
4面側

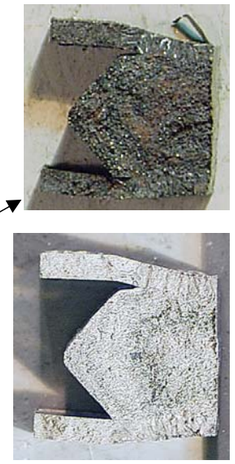


図2-8-2 破面外観写真
（デジタルマイクロスコープ）
上：酸化物除去処理前
下：酸化物除去処理後

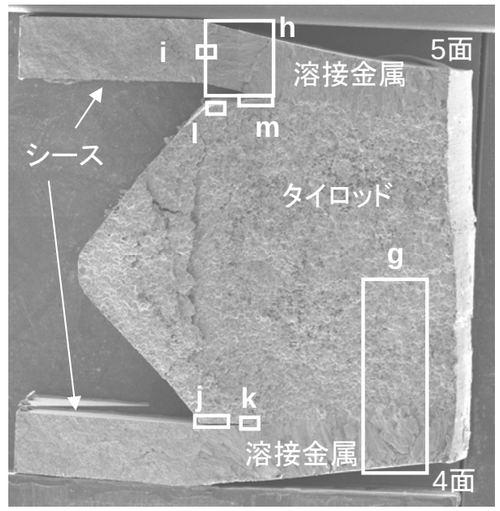


図2-8-3 破面全体
（観察倍率20倍）

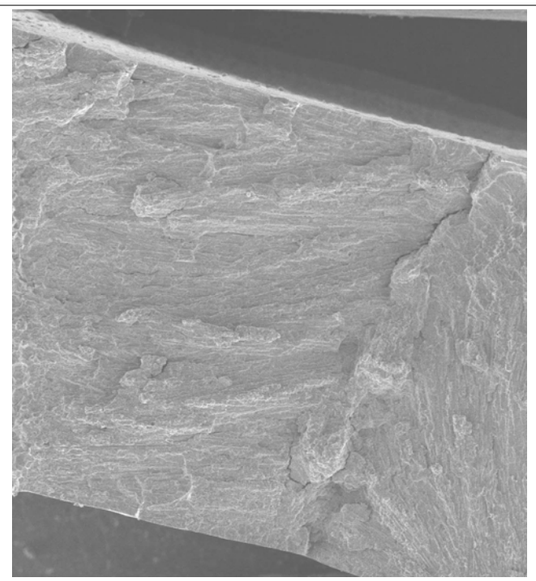


図2-8-5 位置h
（観察倍率100倍）

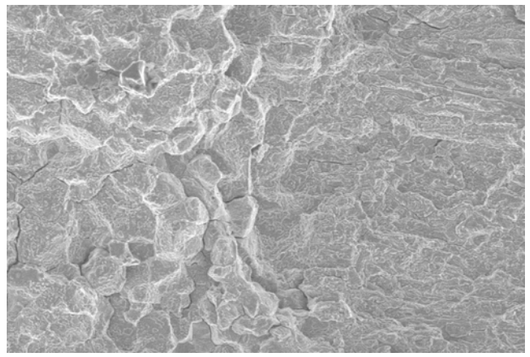


図2-8-6 位置i
（観察倍率400倍）

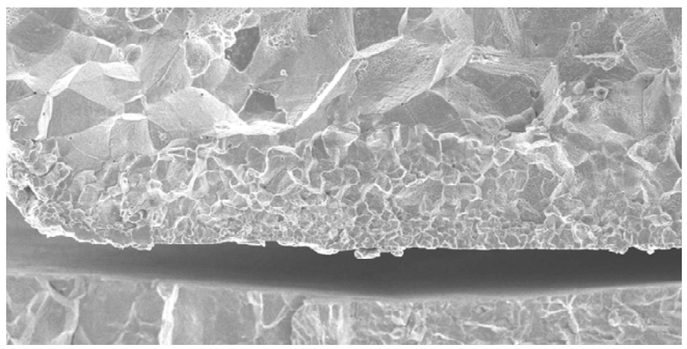


図2-8-7 位置j （観察倍率400倍）

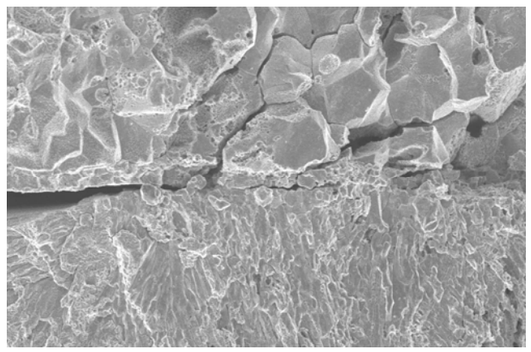


図2-8-8 位置k
（観察倍率400倍）

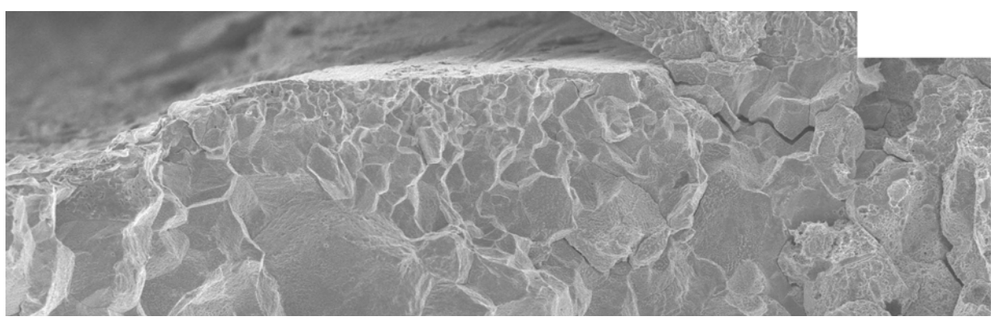


図2-8-9 位置m （観察倍率400倍）

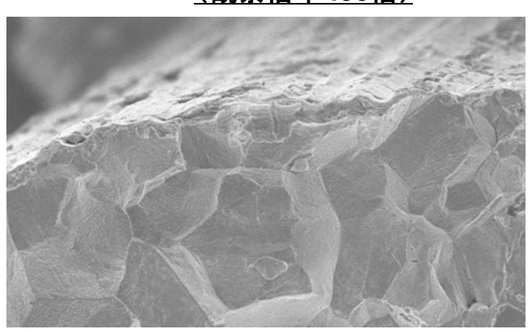


図2-8-10 位置l
（観察倍率400倍）

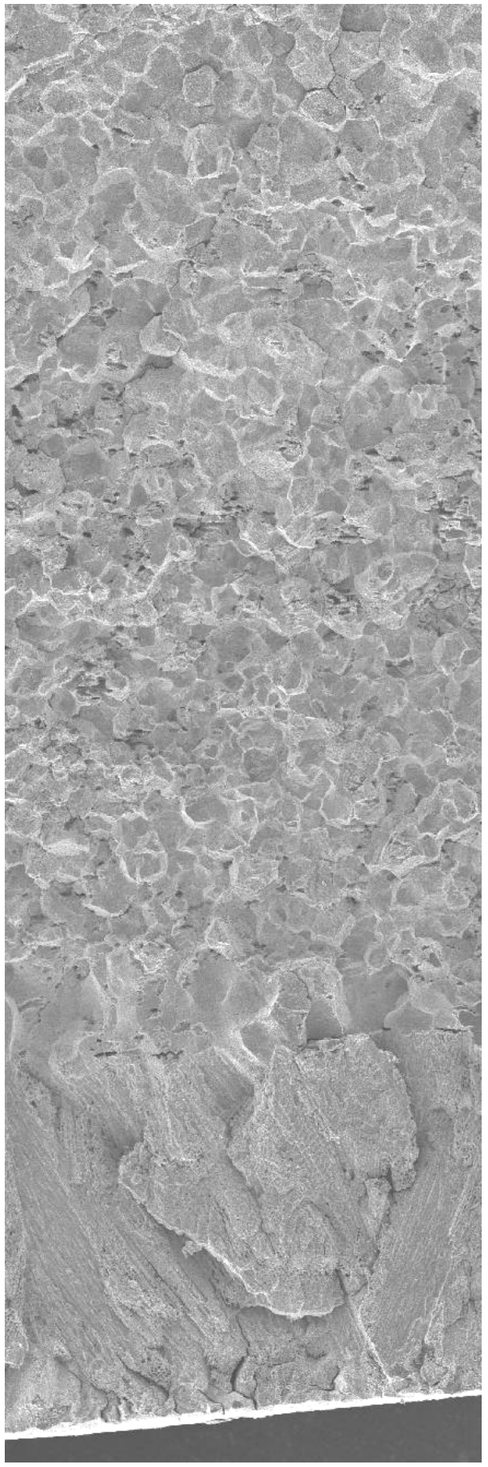


図2-8-4 位置g
（観察倍率100倍）

ー 粒界破面（ロックキャンディ）が観察され、溶接金属部は柱状晶破面（デンドライト）を呈していた。（図2-8-3～6）
ー 4面側、5面側のシースとタイロッド間に隙間構造が認められた。（図2-8-7, 9）

EDX分析

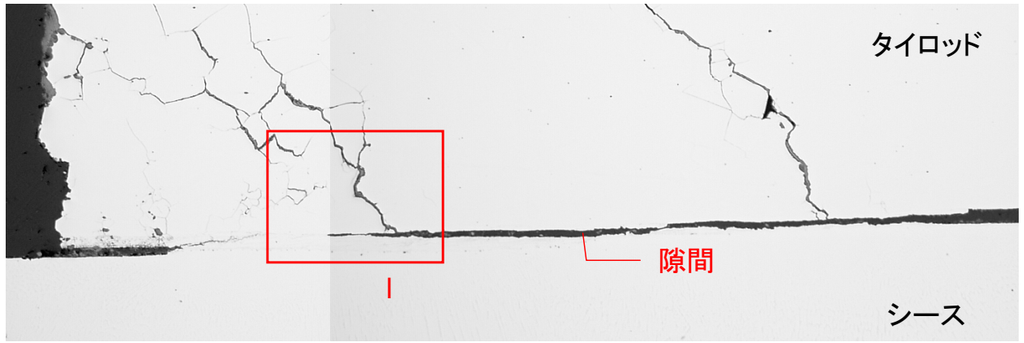


図2-9-1　EDX測定サンプル 4面側タイロッド母材、研磨面（観察倍率100倍）
図2-7-2より追込研磨後測定

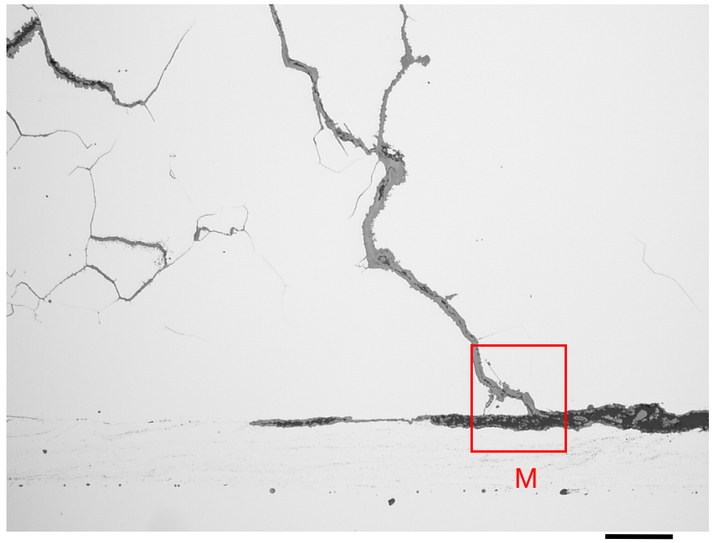


図2-9-2　位置I 、研磨面（観察倍率400倍）

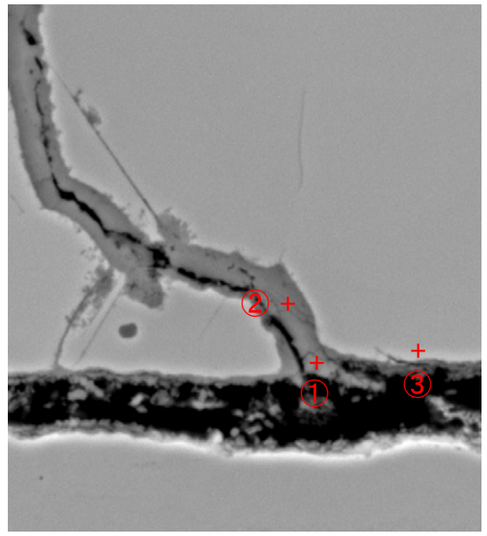


図2-9-3　位置M SEM像（観察倍率2000倍）

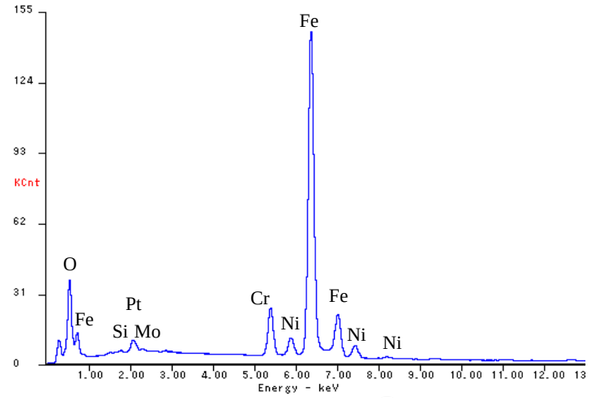


図2-9-4 位置①

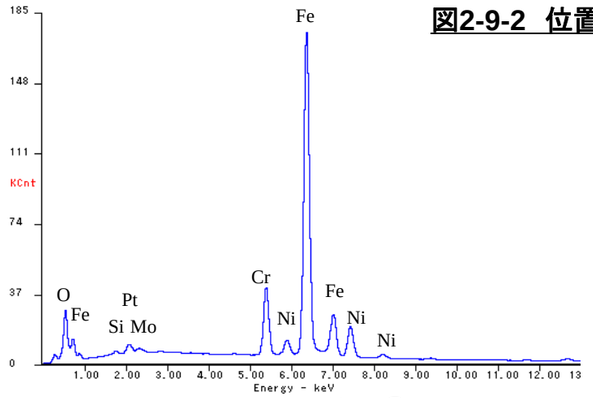


図2-9-5 位置②

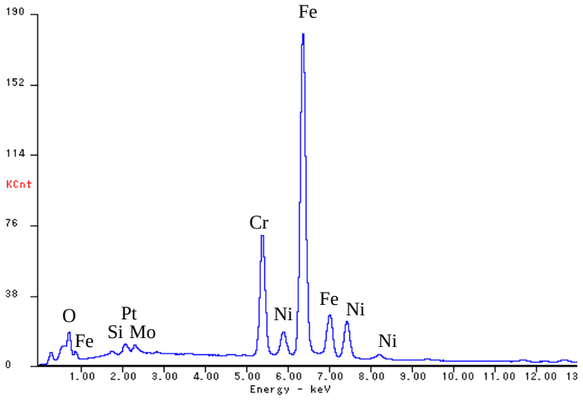
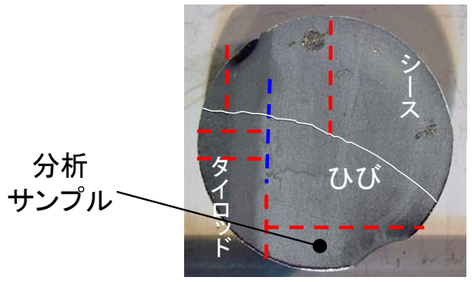


図2-9-6 位置③

元素 (at%)	位置①	位置②	位置③
O	16.08	10.17	3.72
Si	0.81	0.80	0.85
P	1.52	1.03	1.08
Mo	1.27	1.26	2.22
S	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00
Sn	0.00	0.08	0.00
Cr	6.23	8.80	15.25
Fe	69.34	67.07	64.74
Ni	4.33	10.47	11.68
Cu	0.23	0.27	0.37
Zn	0.19	0.04	0.10

表2-9-1 点測定結果（位置①～③）

結晶粒界化学成分分析



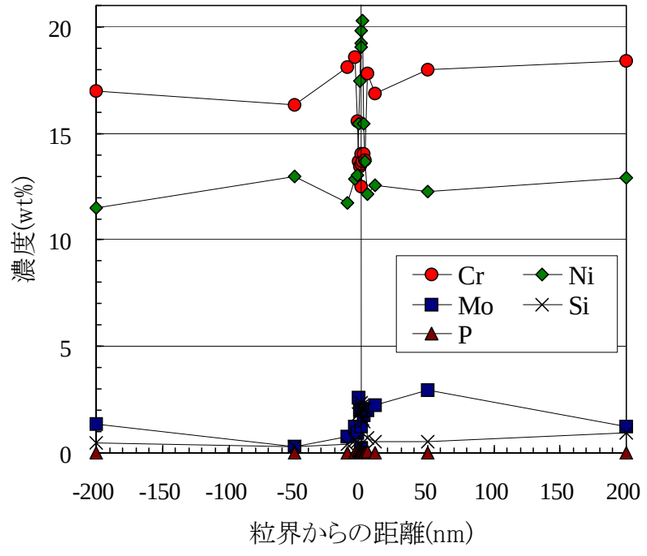
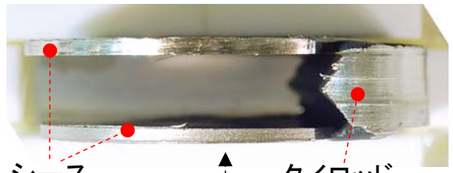


図2-10　粒界分析結果（シース材）

- ひび起点と想定される4面側隙間部で粒界割れ発生部のEDX分析を行った結果、低融点金属割れの原因となるPb, Sn, Cu, Zn は検出されなかった。（図2-9-4～6、表2-9-1）
- シース材の結晶粒界近傍の化学成分分析を実施した結果、結晶粒界上でCrが欠乏してNiとSiが濃縮しており、照射誘起偏析が明瞭に認められた。（図2-10）

サンプル3　詳細

制御棒 No.031
プレーナ加工＋Tig溶接
高速中性子照射量
約5.3x10^{25}n/m^2



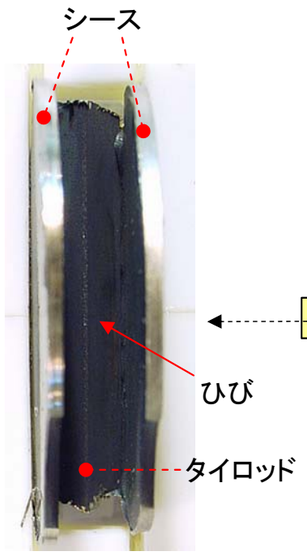


図3-1-3
タイロッド翼端側外観

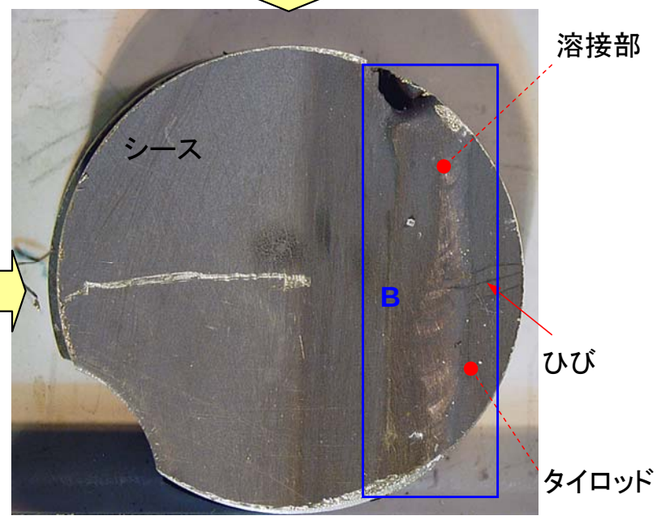


図3-1-1　8面側 外観

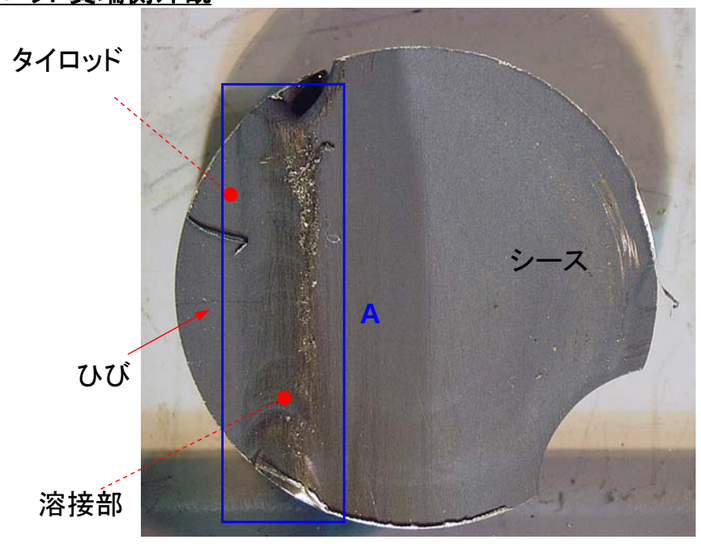


図3-1-2　1面側 外観

- 8面、1面のタイロッドのひびは同一のひびであった。（図3-1-1, 2, 3）
- 8面側にシースとタイロッド間に隙間を観察（図3-2-3）
- 目視検査で確認されたひびを除いて溶接部近傍にひびは認められない。（図3-2-1,2）

表面観察

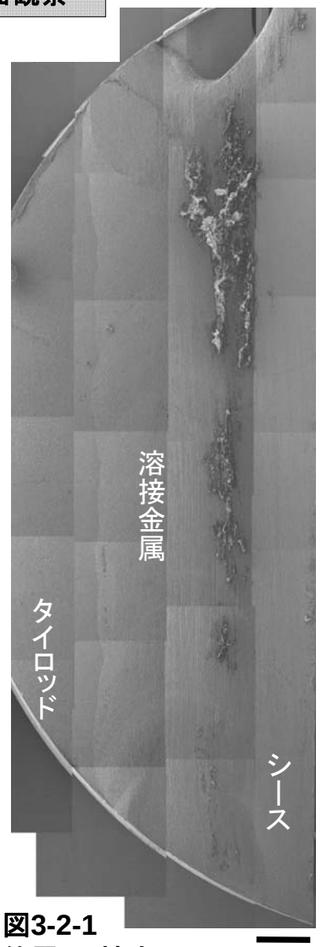


図3-2-1
位置A　拡大



図3-2-2
位置B　拡大

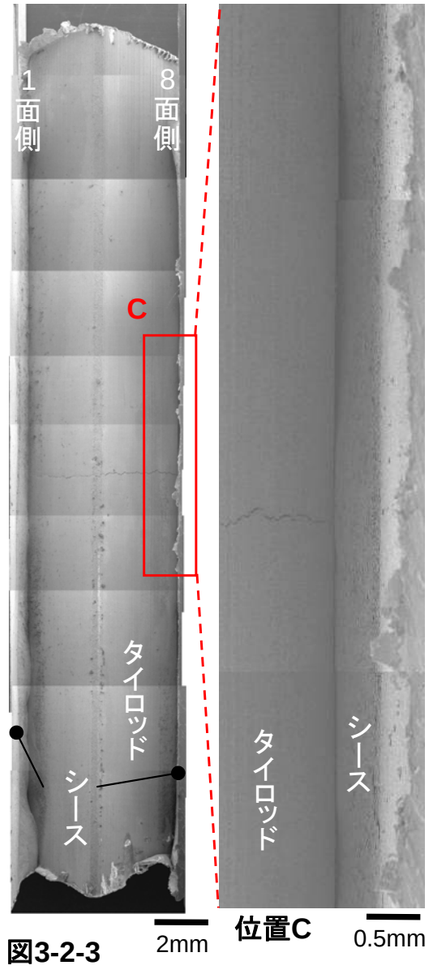


図3-2-3
表面SEM観察 タイロッド翼端部
（観察倍率20倍）

サンプル調査項目

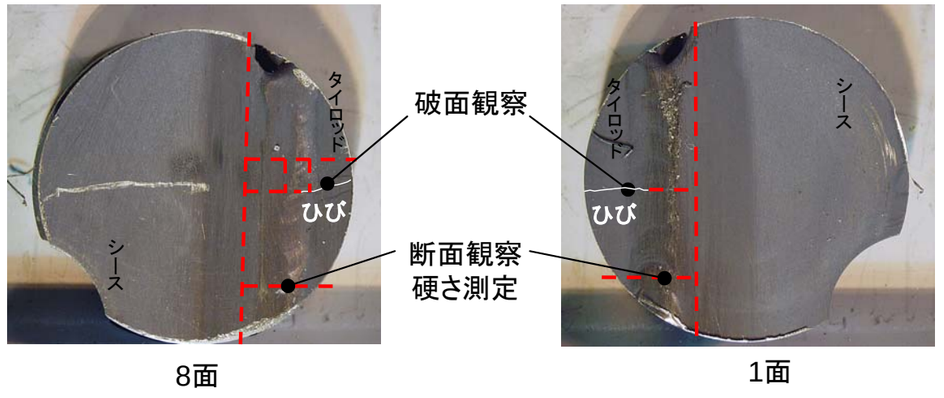
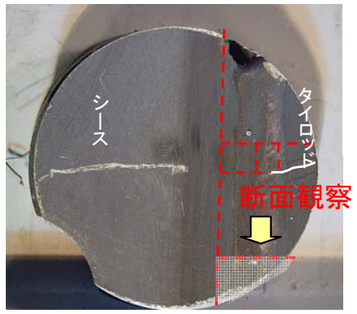


図3-3　調査項目

断面観察



観察サンプル

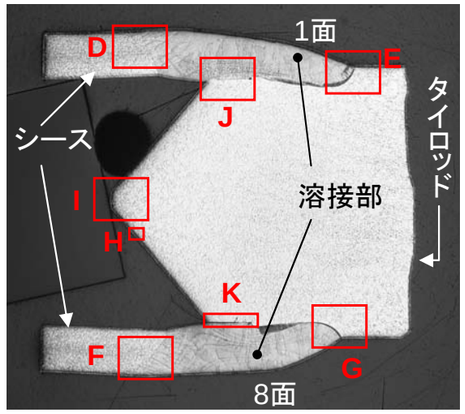


図3-4-1　サンプル全体
（観察倍率10倍）

2mm



図3-4-2　位置D
（観察倍率100倍）

0.2mm



図3-4-3　位置E
（観察倍率100倍）

0.2mm



図3-4-4　位置F
（観察倍率100倍）

0.2mm

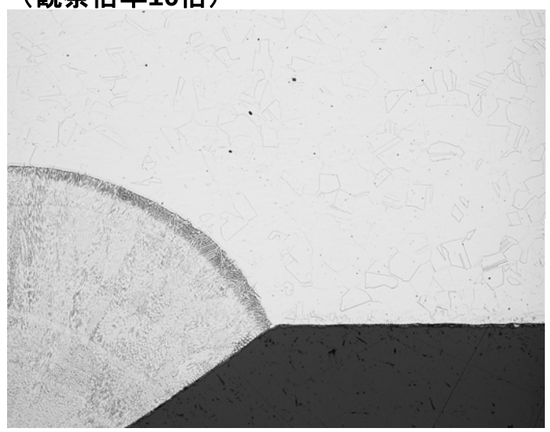


図3-4-5　位置G
（観察倍率100倍）

0.2mm

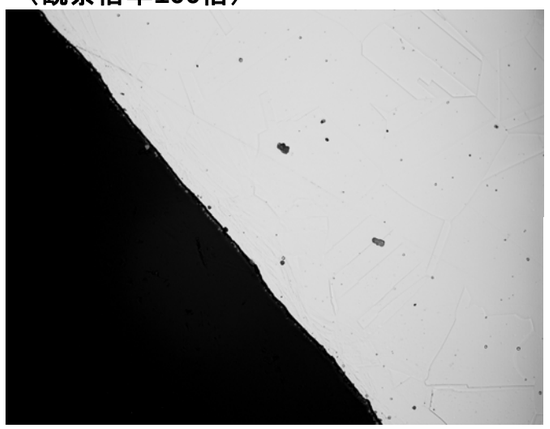


図3-4-6　位置H
（観察倍率400倍）

0.05mm

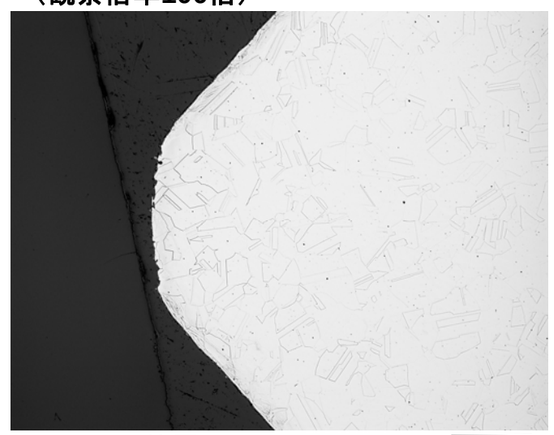


図3-4-7　位置I
（観察倍率100倍）

0.2mm



図3-4-8　位置J
（観察倍率100倍）

0.2mm



図3-4-9　位置K　（観察倍率100倍）

0.1mm

- 8面側で溶接の溶け込み不足による隙間を観察。（図3-4-9）
- 隙間部のタイロッド母材の金属組織は、加工＋溶接の熱影響による再結晶組織が認められ、溶接時の入熱量の違いにより結晶粒径は翼端側は細かく十字側は通常粒径となる（図3-4-9）
- 隙間の奥（十字側）に隙間腐食に起因する粒界割れを観察（図3-4-9）
- 1面側のシースとタイロッド間に空隙が認められる（図3-4-8）
- 外表面側の溶接熱影響部に割れや鋭敏化組織等は観察されない（図3-4-2, 3, 4, 5）
- プレーナ加工による加工組織がタイロッド翼端側の極表層で観察（図3-4-6, 7）
- タイロッド翼端先端部は、その金属組織からプレーナ加工は施されていないと評価（図3-4-7）

破面観察

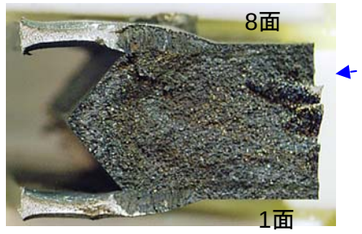
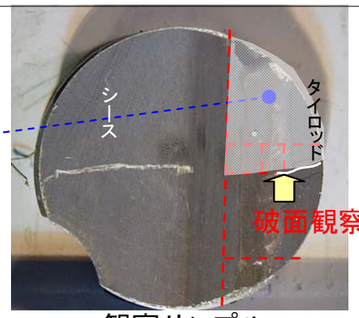


図3-5-1　サンプル全体
（デジタルマイクロスコープ観察）



観察サンプル

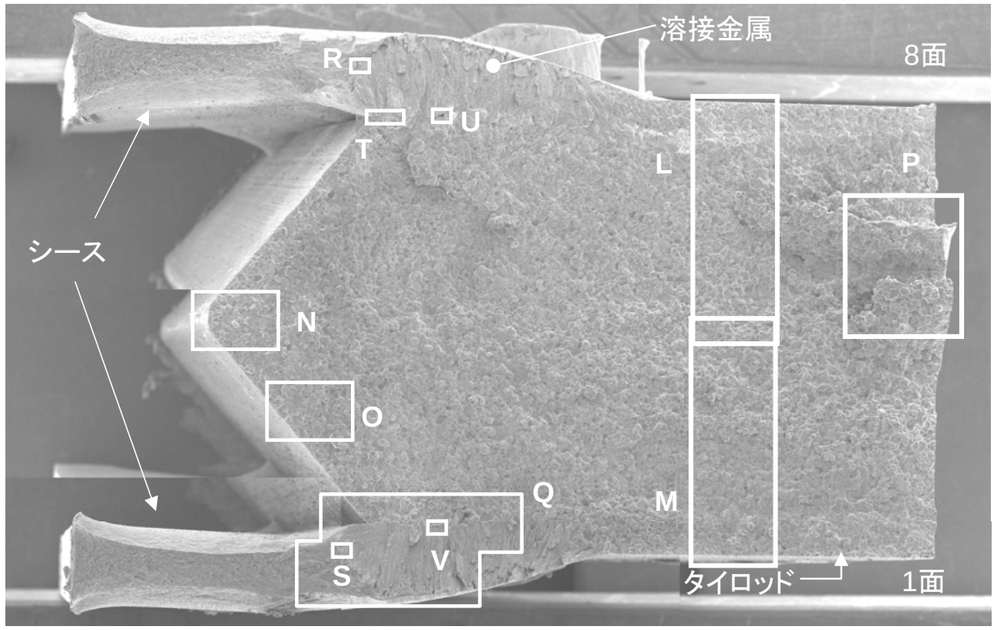


図3-5-2　サンプル全体　（観察倍率20倍）

1.5mm

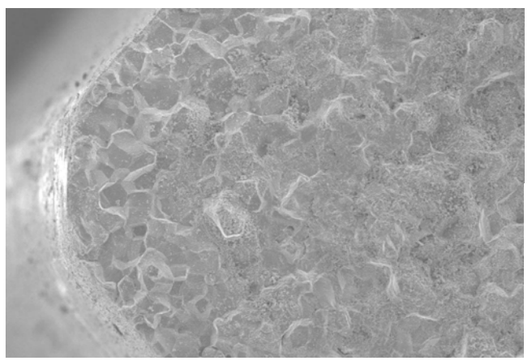


図3-5-5　位置N
（観察倍率100倍）

0.2mm

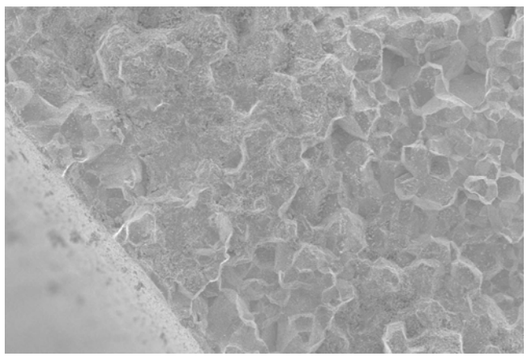


図3-5-6　位置O
（観察倍率100倍）

0.2mm

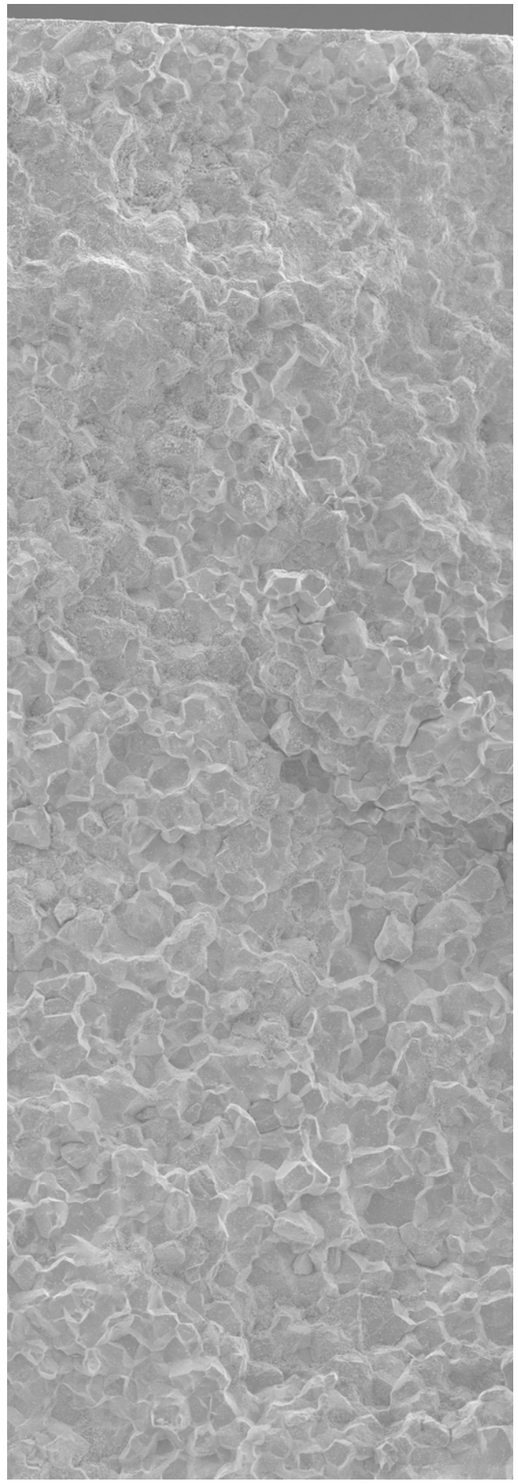


図3-5-3　位置L
（観察倍率100倍）

0.2mm

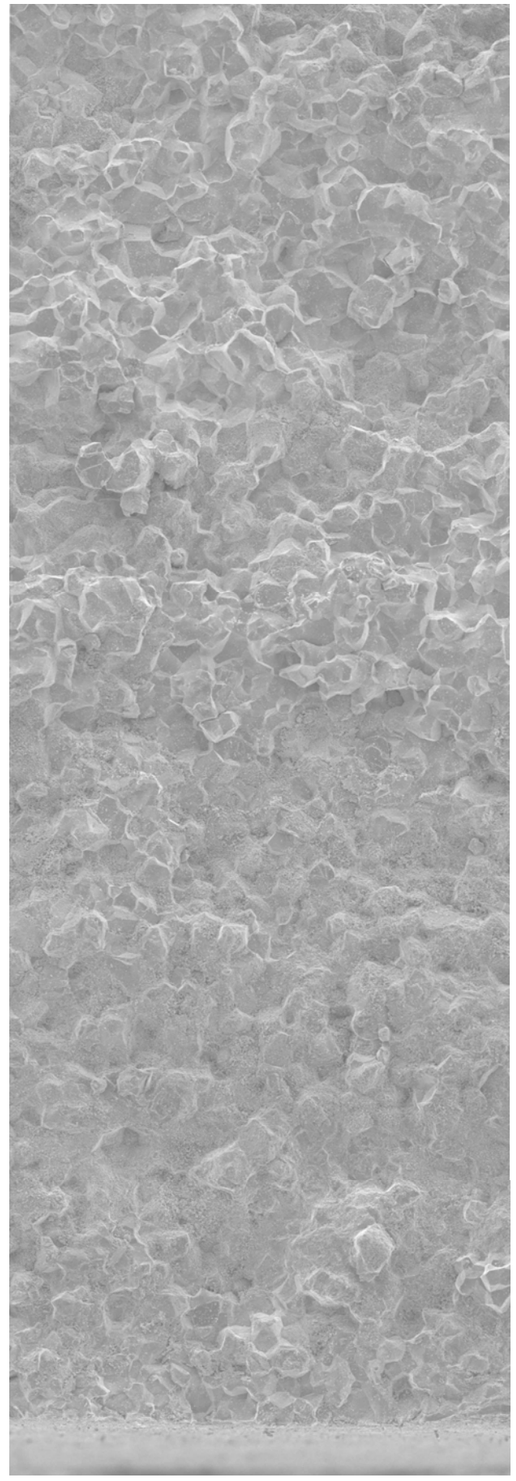


図3-5-4　位置M
（観察倍率100倍）

0.2mm

破面観察 No.2

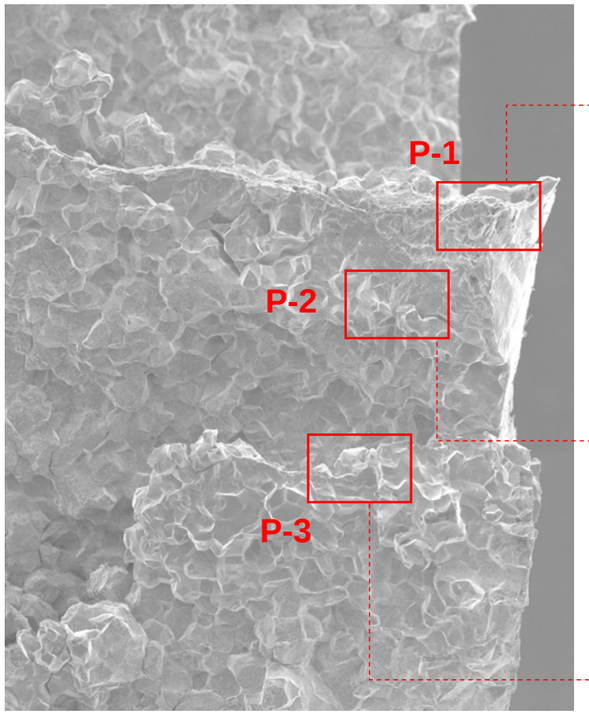


図3-5-7　位置P
（観察倍率100倍）

0.4mm

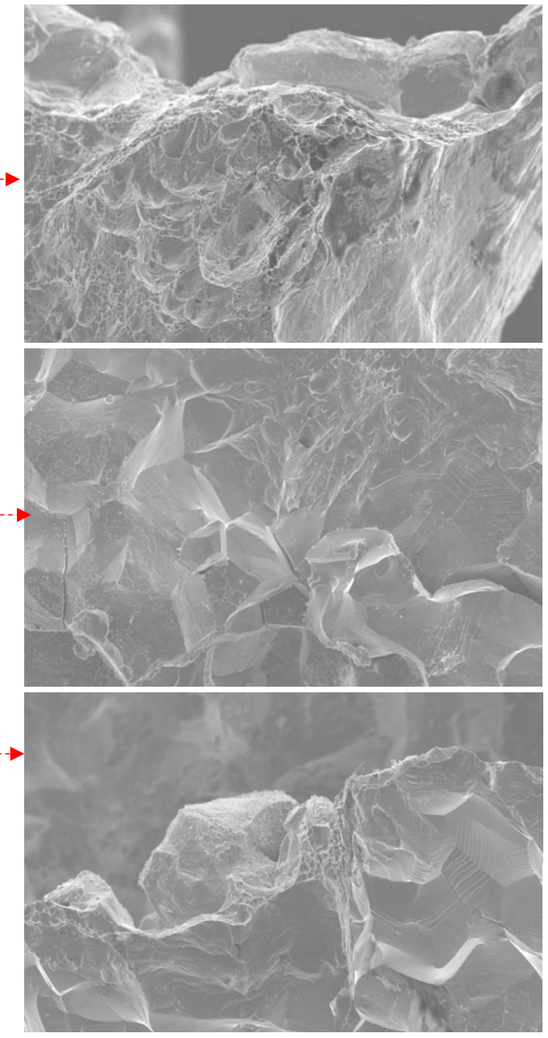


図3-5-8　位置 P-1, P-2, P-3
（観察倍率400倍）

0.05mm

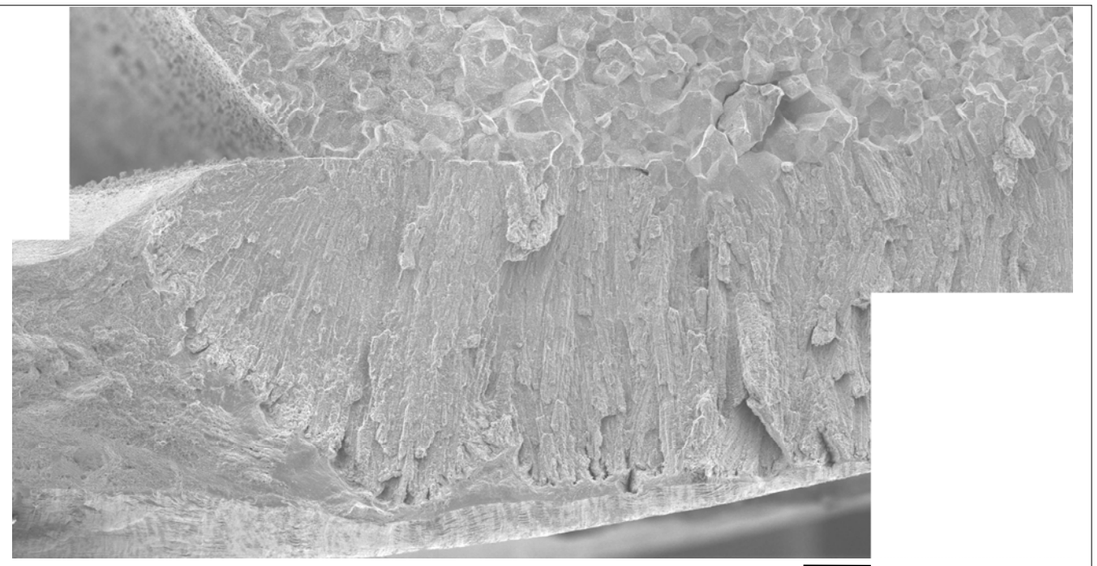


図3-5-9　位置Q　（観察倍率100倍）

0.2mm

図3-5-10　位置R
（観察倍率400倍）

0.05mm

図3-5-11　位置S
（観察倍率400倍）

0.05mm

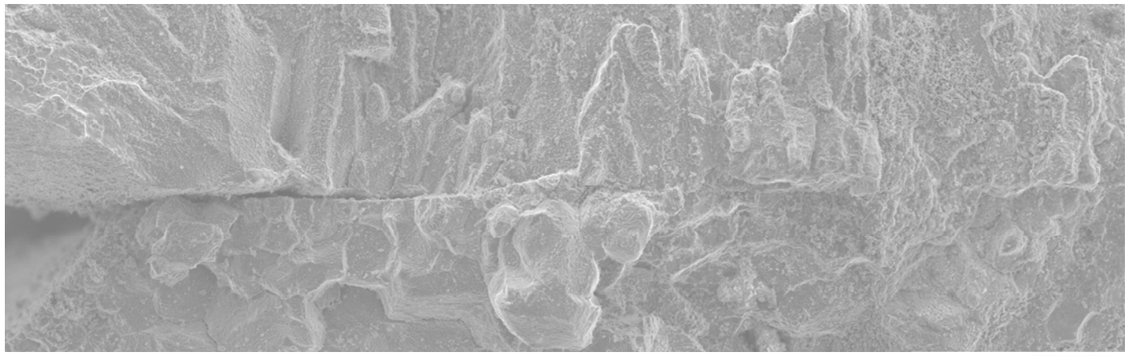


図3-5-12　位置T　（観察倍率400倍）

0.05mm

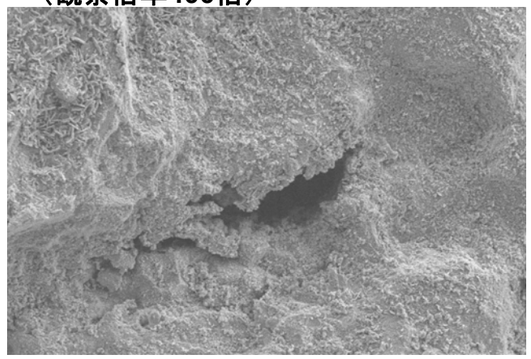


図3-5-13　位置U
（観察倍率400倍）

0.05mm

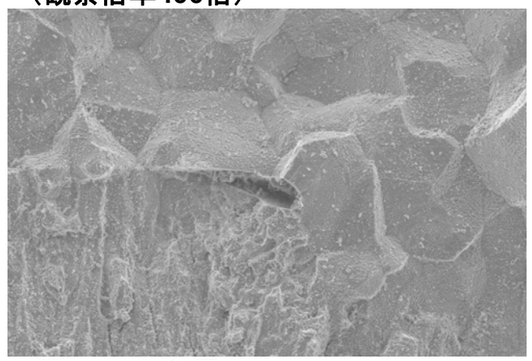
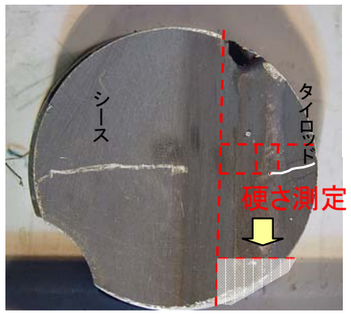


図3-5-14　位置V
（観察倍率400倍）

0.05mm

- 破面はひび先端部まで粒界破面（溶接金属部は柱状晶破面）であり、照射後試験施設での破面割りの新生面以外で延性破面等は観察されない（図3-5-1～11）。
- ひび先端は溶接金属部とタイロッド十字側肉厚中央部に存在（図3-5-7, 8, 9, 10, 11）
- 8面側のシースとタイロッド間に組織的に繋がっていない隙間と破面の段差を観察（図3-5-12, 13, 14）

硬さ測定



測定サンプル

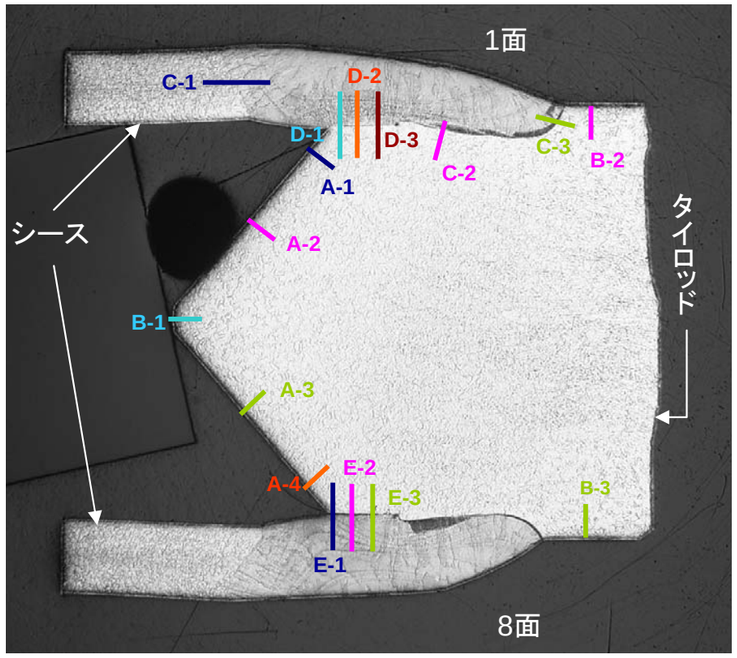


図3-6-1 硬さ測定位置

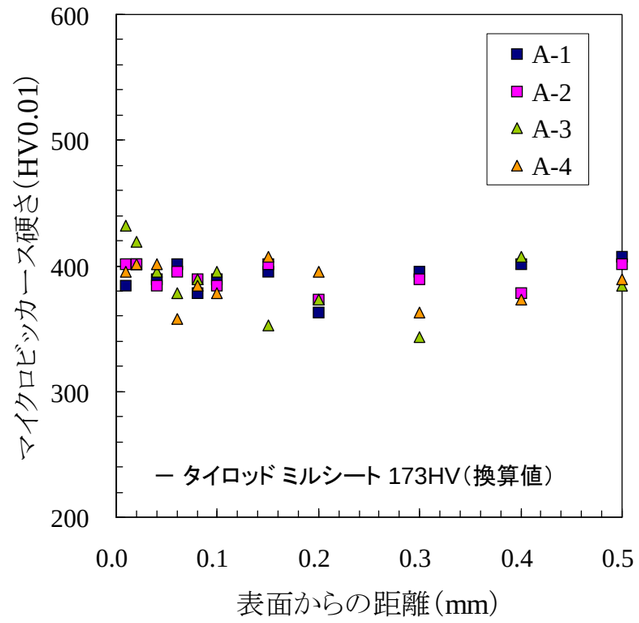


図3-6-2 プレーナ加工部 硬さ分布

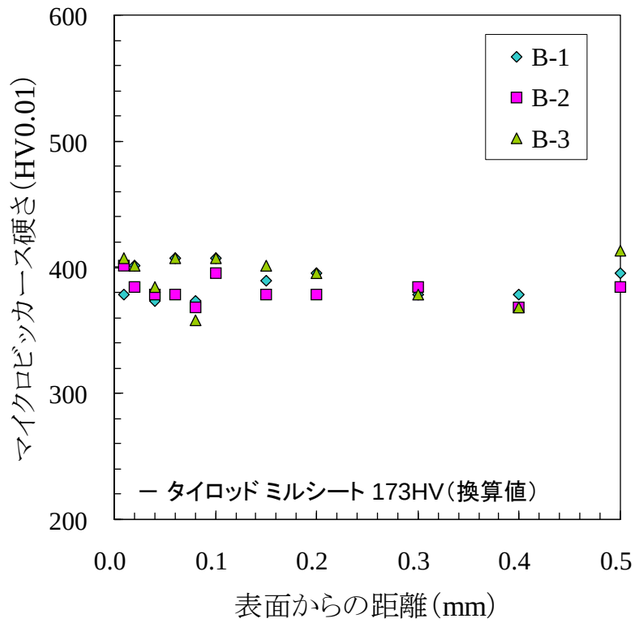


図3-6-3 タイロッド母材 硬さ分布

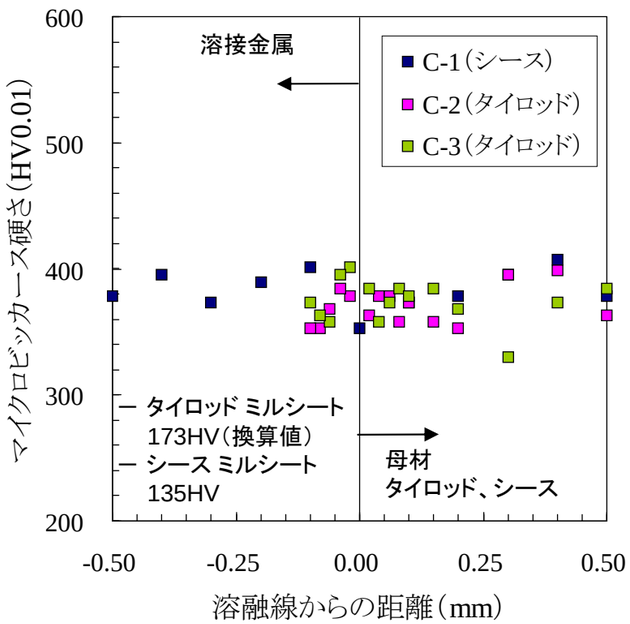


図3-6-4 溶接接合部溶融線近傍の硬さ分布

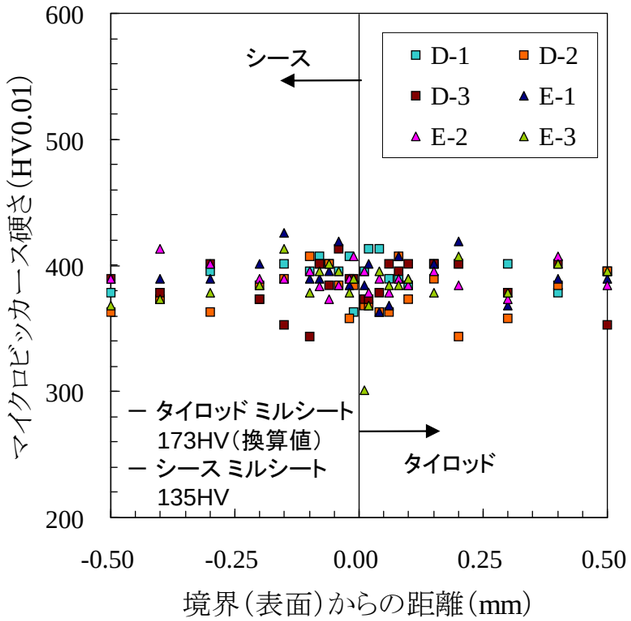
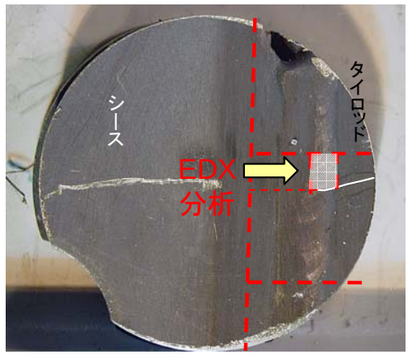


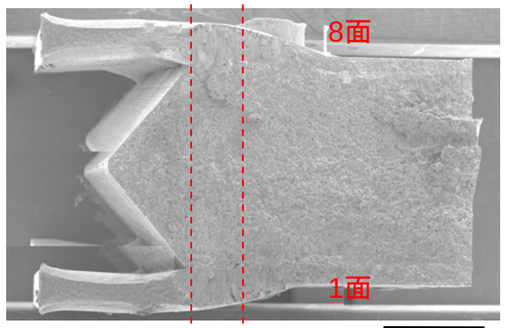
図3-6-5 シース／タイロッド境界部 硬さ分布

ー タイロッド母材や溶接金属の硬さは約380HV程度であり、明瞭に中性子照射による照射硬化が認められる。（図3-6-2～5）
ー 溶接接合部の溶融線近傍や、シースータイロッド間の隙間部表層に硬さの上昇は観察されない。（図3-6-4, 5）

EDX分析



観察サンプル



観察サンプル切断位置
（破面上部サンプル）

3mm

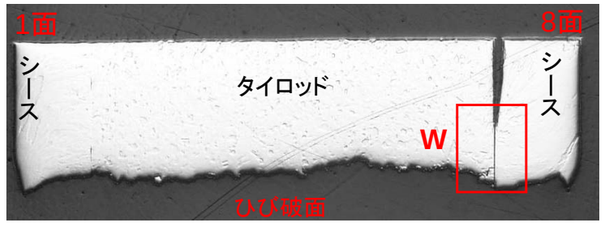


図3-7-1 サンプル全体、研磨面
（観察倍率10倍）

1mm

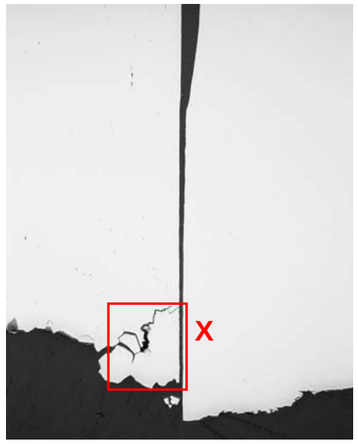


図3-7-2 位置W、
研磨面 （観察倍率100倍）

0.2mm

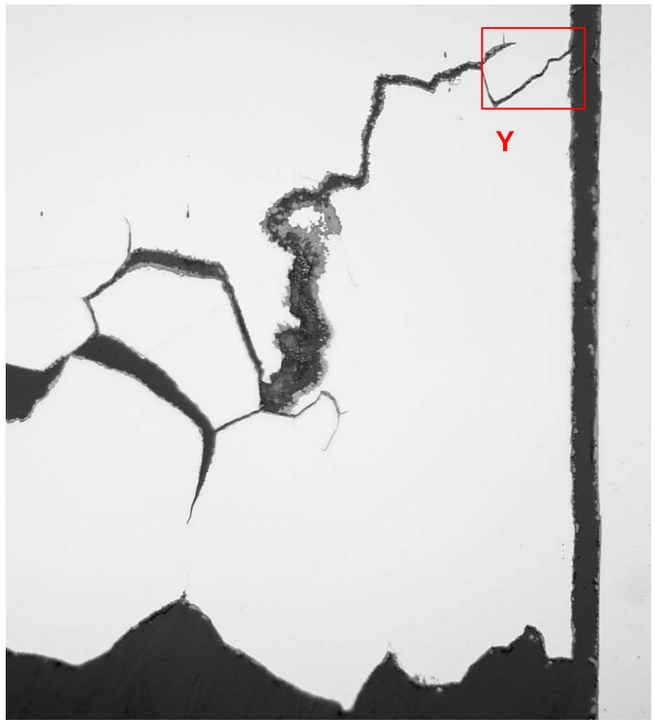


図3-7-3 位置X、研磨面
（観察倍率400倍）

0.025mm

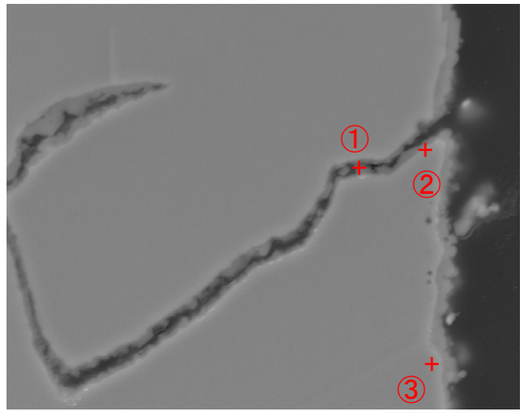


図3-7-4 位置Y
（観察倍率2000倍）

0.01mm

元素 (at%)	位置①	位置②	位置③
O	7.12	2.67	3.93
Si	0.42	0.95	0.89
P	0.95	1.17	1.09
Mo	0.97	3.50	2.49
S	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00
Sn	0.08	0.06	0.00
Cr	11.56	15.24	14.46
Fe	60.68	63.47	63.91
Ni	17.77	12.07	12.14
Cu	0.44	0.62	0.72
Zn	0.00	0.25	0.36

表3-7-1 点測定結果（位置①～③）

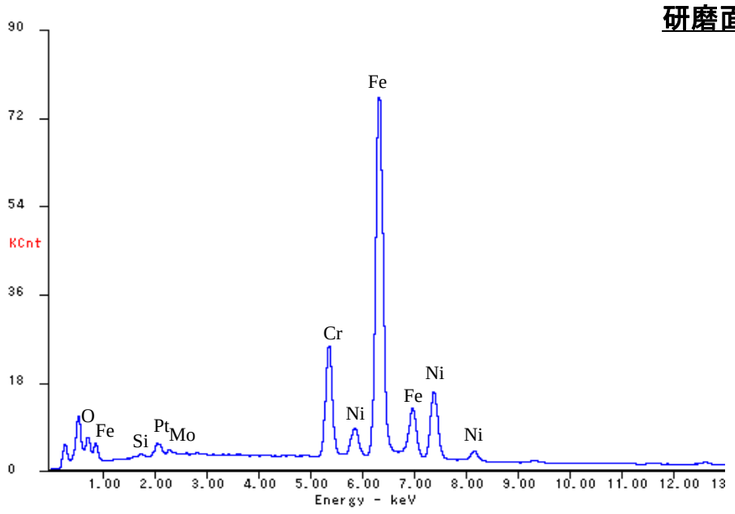


図3-7-5 位置①

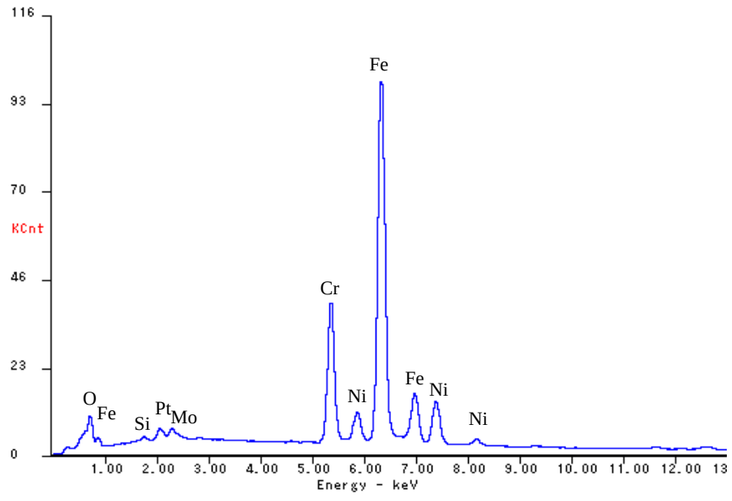


図3-7-6 位置②

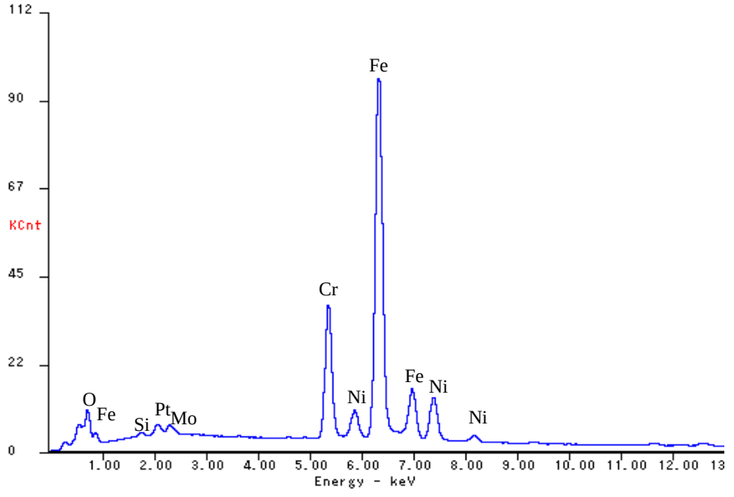
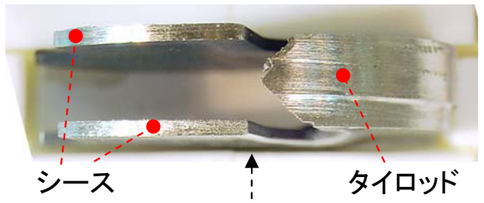


図3-7-7 位置③

－ ひび起点の8面側隙間部で粒界割れ発生部のEDX分析を行った結果、低融点金属割れの原因となるPb, Sn, Cu, Zn は検出されなかった。

サンプル4　詳細

制御棒 No.049
プレーナ加工＋レーザ溶接
高速中性子照射量
約3.8x10^{25}n/m^2



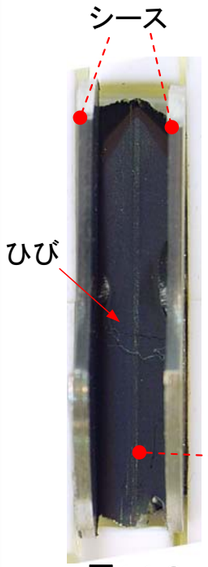


図4-1-3
翼端側 外観

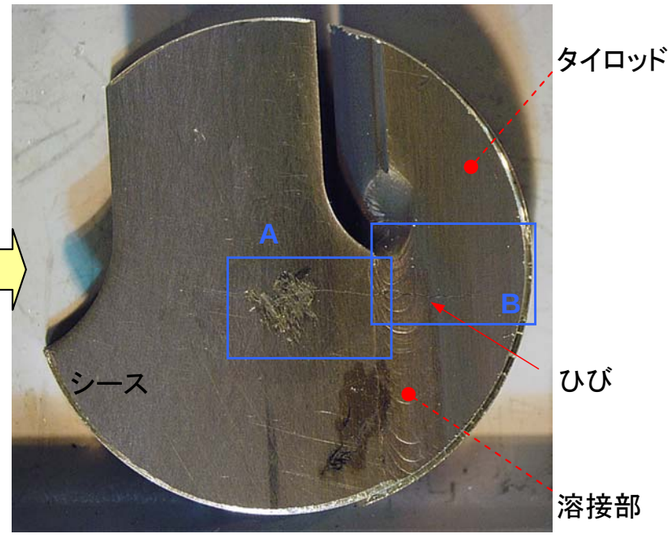


図4-1-1　8面側 外観

10mm

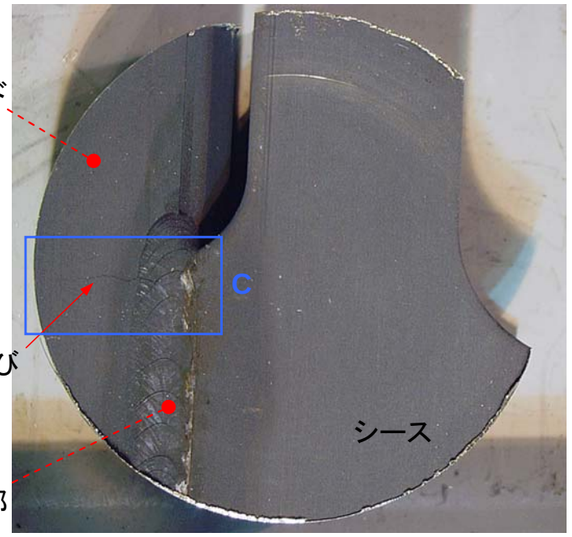


図4-1-2　1面側 外観

10mm

ー 1面側と8面側にひびを観察。両者は繋がっており一つのひびと同定（図4-1-1～3）
ー 8面側に応力腐食割れの特徴とされるひびの枝分かれを観察（図4-2-2）

表面観察

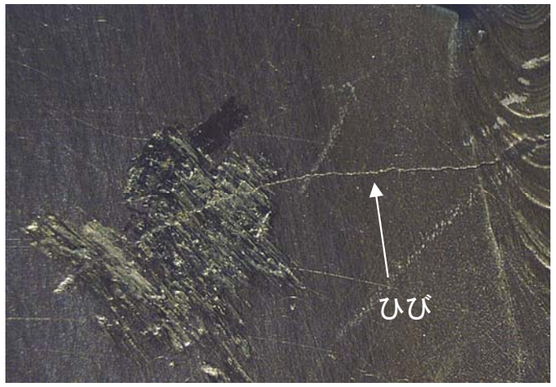


図4-2-1 位置A 拡大

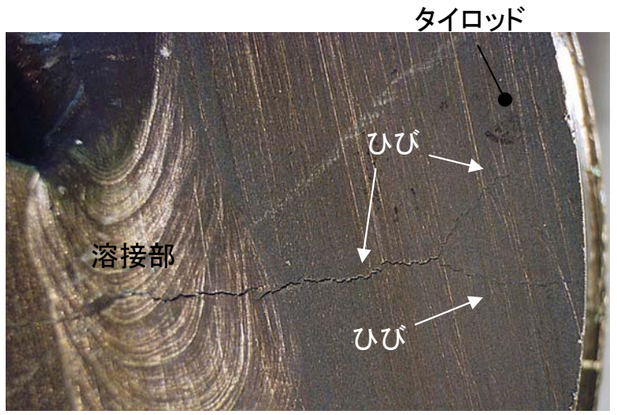


図4-2-2 位置B 拡大

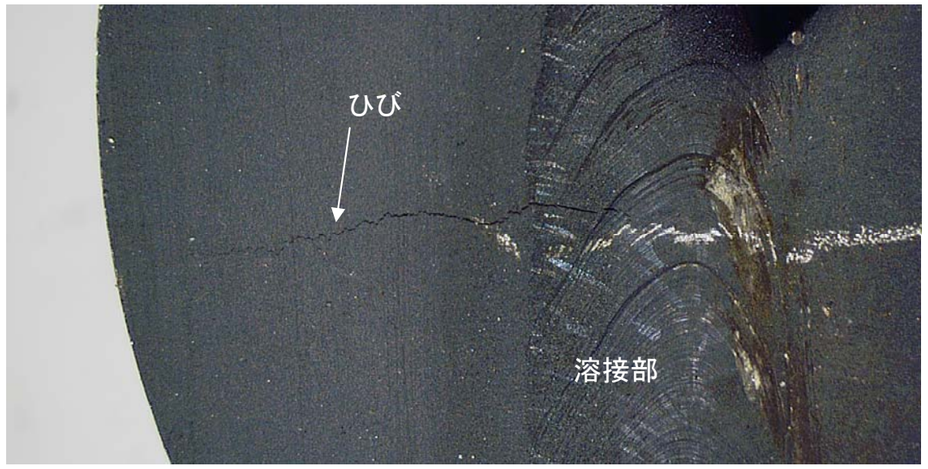
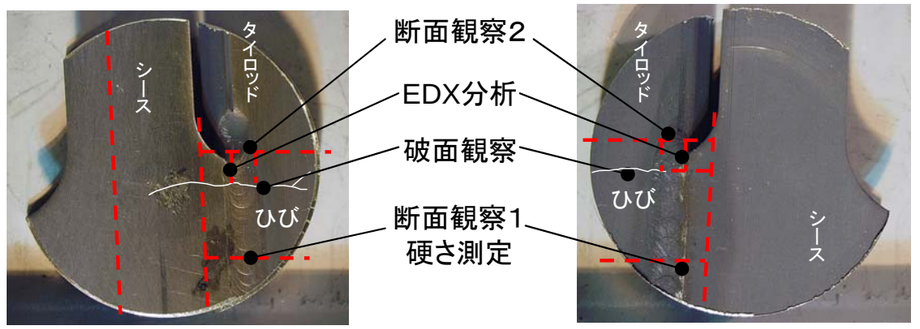


図4-2-3 位置C 拡大

サンプル調査項目



8面側 外観

1面側 外観

図4-3　調査項目

表面SEM観察結果

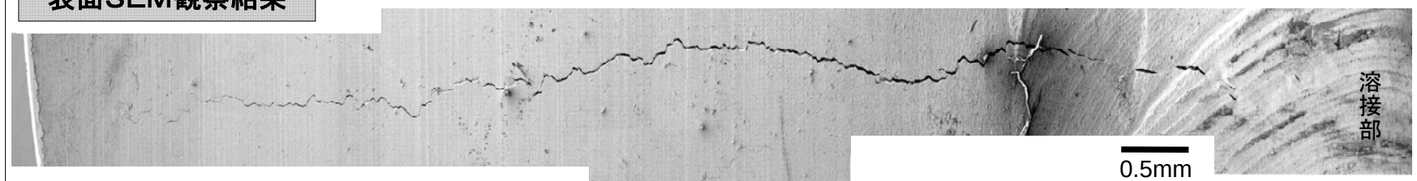


図4-4-3 位置D
（観察倍率100倍）

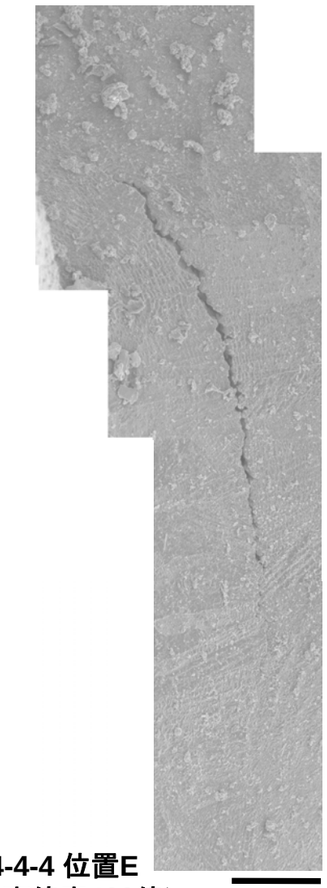


図4-4-4 位置E
（観察倍率400倍）

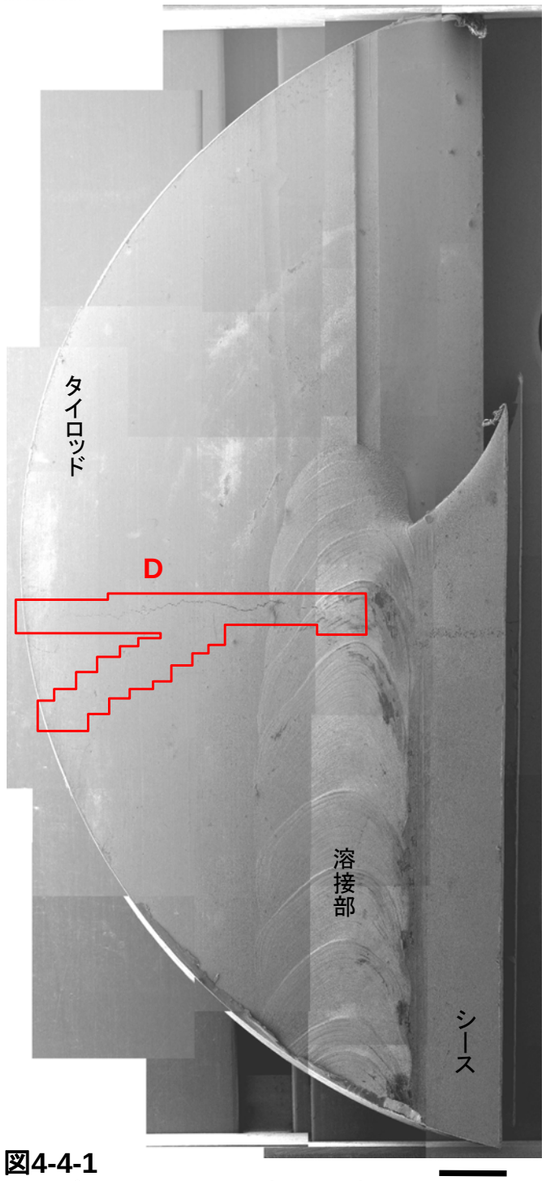


図4-4-1
サンプル1面側（観察倍率20倍）

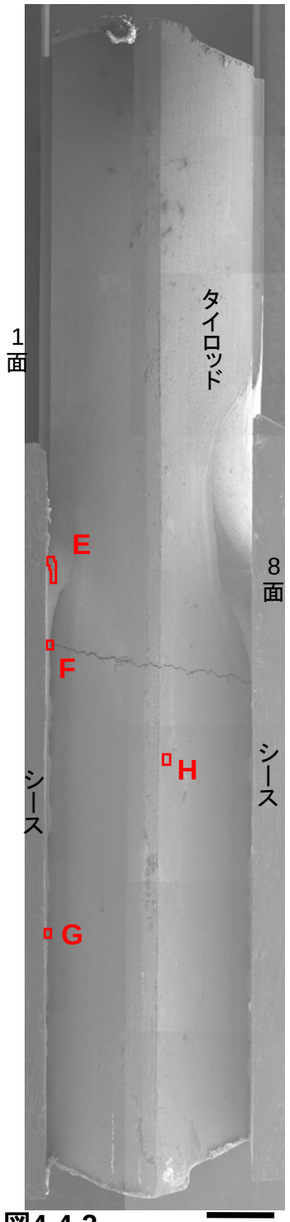


図4-4-2
タイロッド翼端側
（観察倍率20倍）

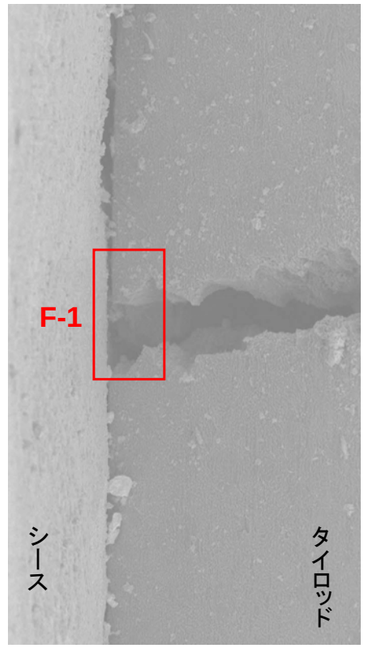


図4-4-5 位置F
（観察倍率400倍）

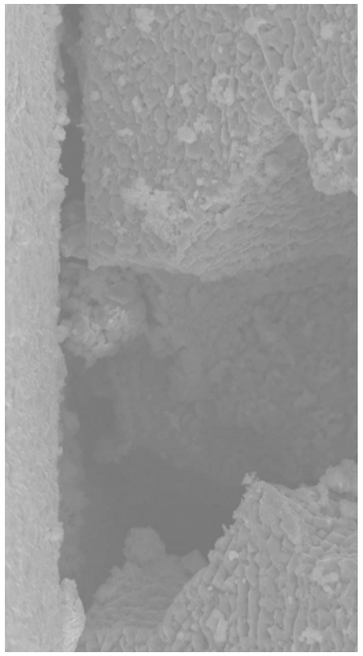


図4-4-6 位置F-1
（観察倍率2000倍）

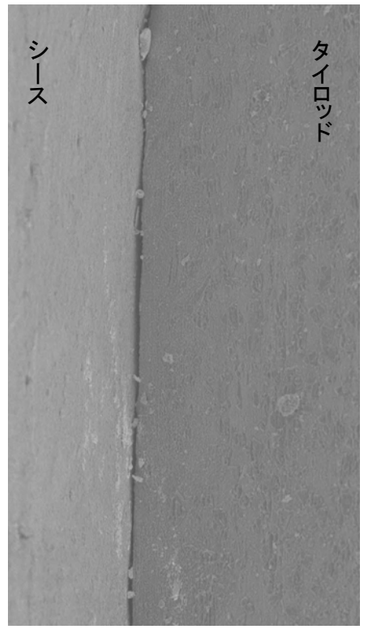


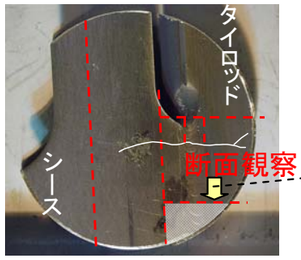
図4-4-7 位置G
（観察倍率400倍）



図4-4-8 位置H
（観察倍率400倍）

- 1面側のひびに枝分かれを観察（図4-4-3）
- 1面側にシースとタイロッド間に隙間を観察（図4-4-5, 6, 7）
- レーザ溶接始端部の溶接金属部内に長さ約0.5mmの小さなひびを観察。なお、当該ひびはその位置等から今回の事象との関連は薄いと評価（図4-4-4）

断面観察1



サンプル位置
8面側 外観

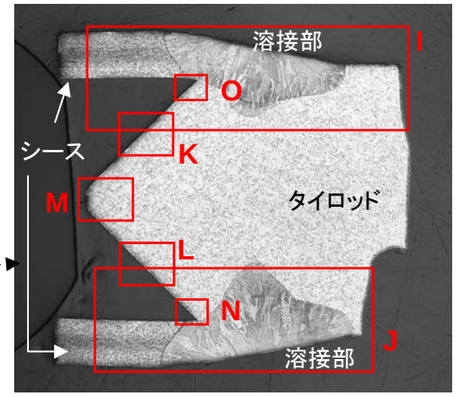


図4-5-1　サンプル全体
（観察倍率10倍）

2mm



図4-5-2　位置I（観察倍率30倍）

0.5mm

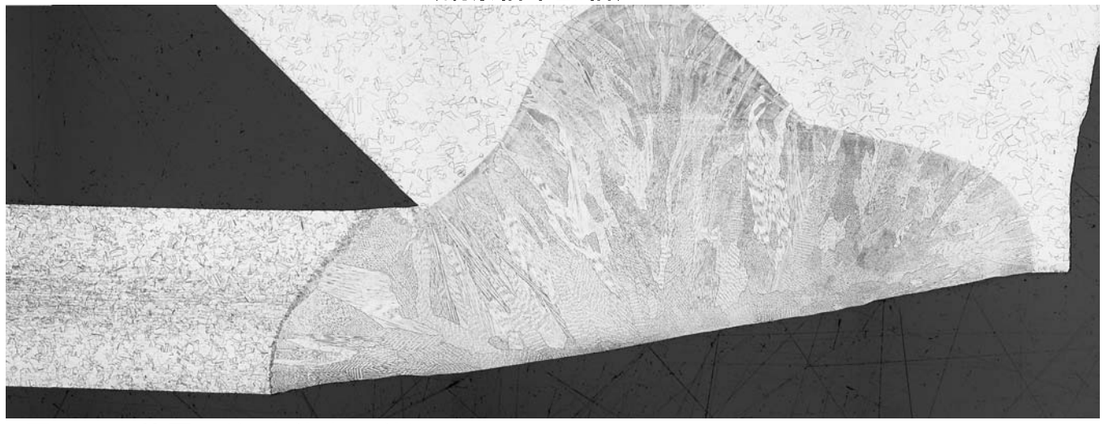


図4-5-3　位置J（観察倍率30倍）

0.5mm



図4-5-4　位置K
（観察倍率100倍）

0.2mm

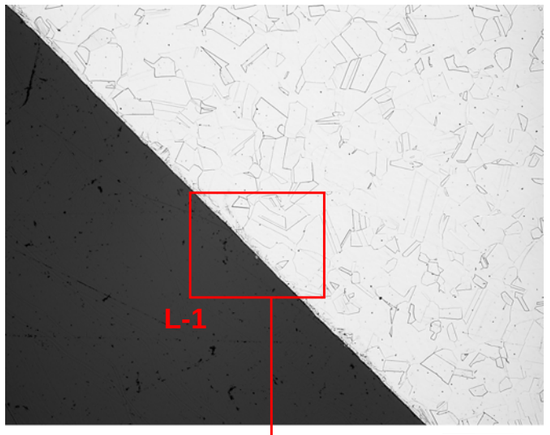


図4-5-5　位置L
（観察倍率100倍）

0.2mm

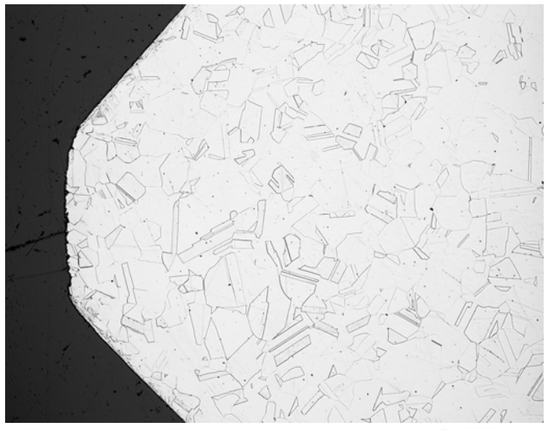


図4-5-7　位置M
（観察倍率100倍）

0.2mm

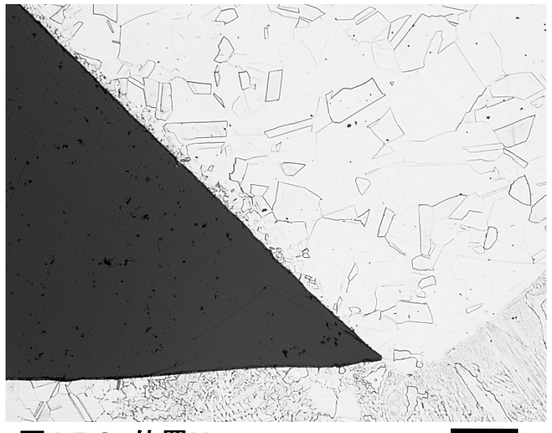


図4-5-8　位置N
（観察倍率100倍）

0.1mm

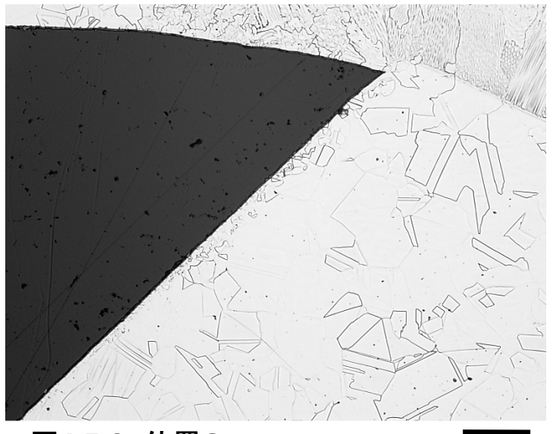


図4-5-9　位置O
（観察倍率100倍）

0.1mm

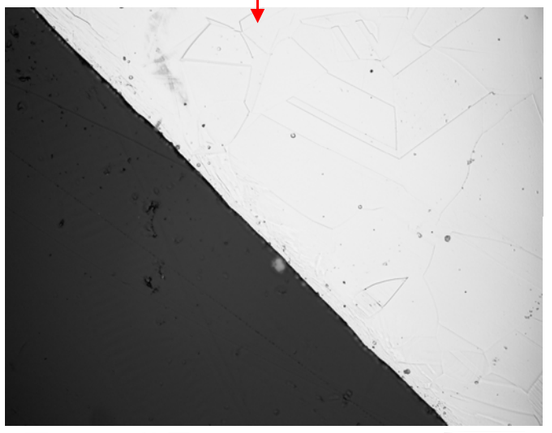


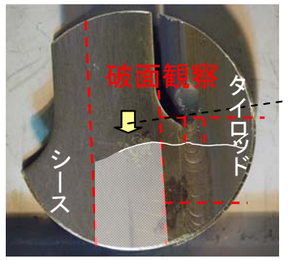
図4-5-6　位置L-1
（観察倍率400倍）

0.05mm

ー レーザ溶接の溶け込みはTig溶接と比較して深く、幅は比較的狭い（図4-5-2, 3）
ー 本観察位置では、シースとタイロッド間に溶け込み不足等による隙間は認められず、粒界割れ等は観察されない。（図4-5-1, 2, 3, 8, 9）

ー サンプル3（プレーナ加工＋Tig溶接（パルス電流））と同様に、
（1）プレーナ加工による加工組織がタイロッド翼端側の極表層で観察（図4-5-4, 5, 6）
（2）タイロッド翼端先端部はその金属組織からプレーナ加工は施されていないと評価（図4-5-7）

破面観察
（シース部）



サンプル位置
8面側 外観

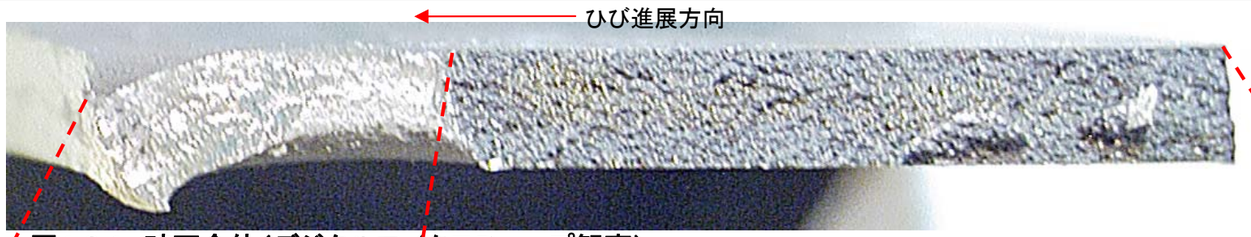


図4-6-1　破面全体（デジタルマイクロスコープ観察）

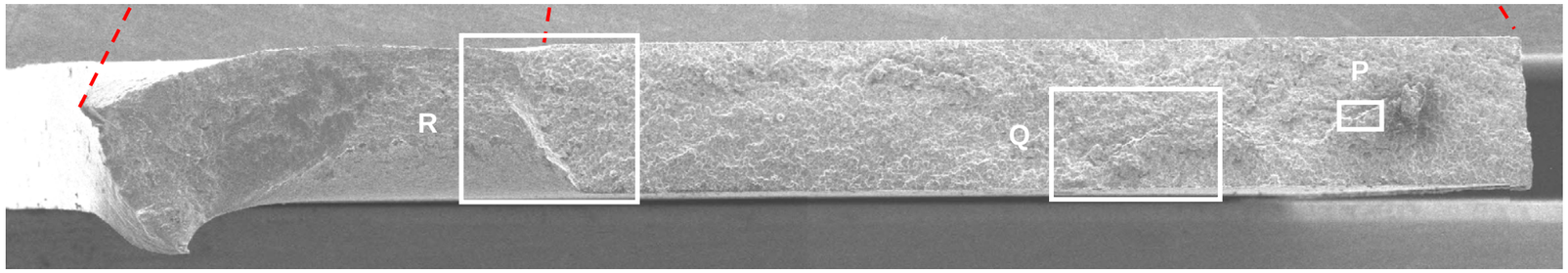


図4-6-2　破面全体（観察倍率20倍）

1mm

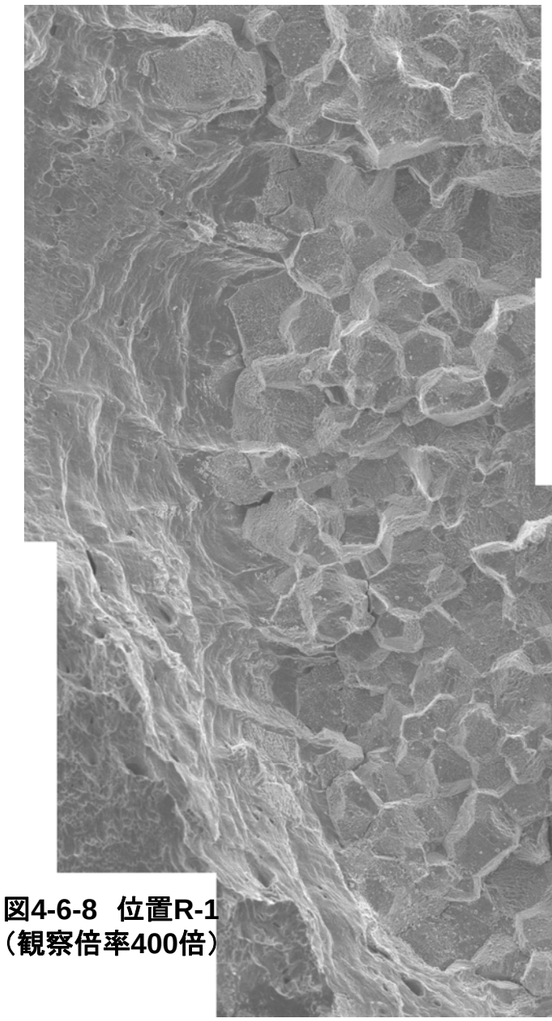


図4-6-8　位置R-1
（観察倍率400倍）

0.05mm

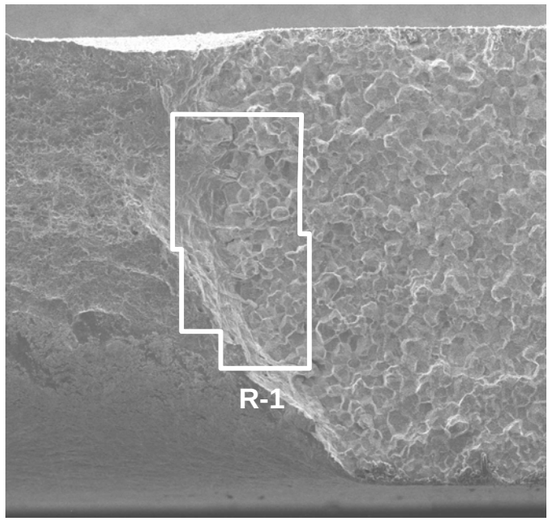


図4-6-7　位置R
（観察倍率100倍）

0.2mm

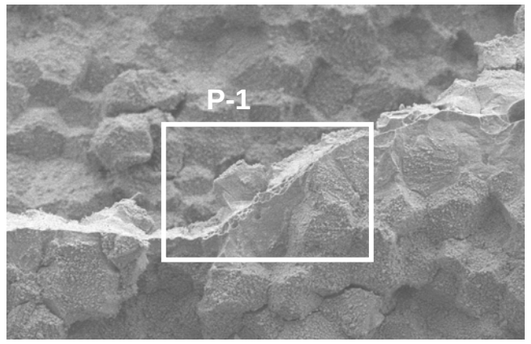


図4-6-3　位置P
（観察倍率400倍）

0.05mm

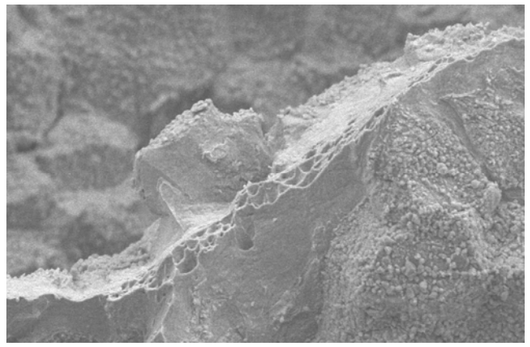


図4-6-4　位置P-1
（観察倍率1000倍）

0.02mm

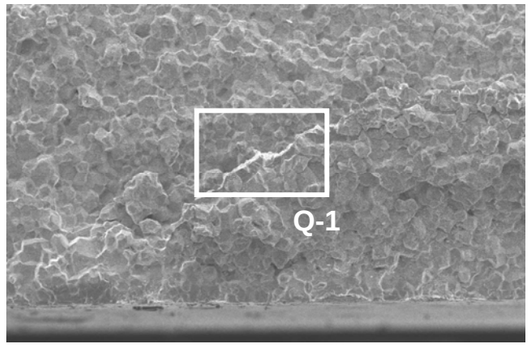


図4-6-5　位置Q
（観察倍率100倍）

0.2mm

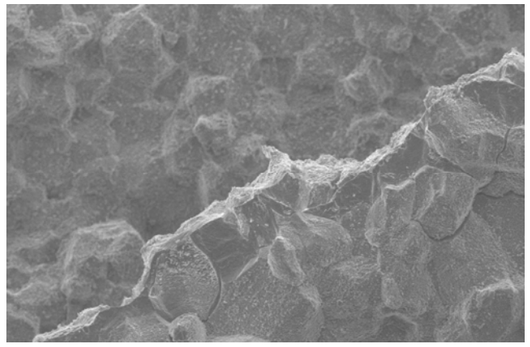
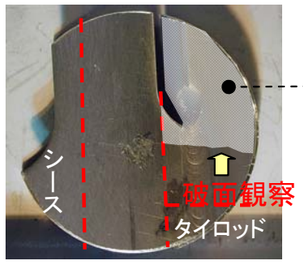


図4-6-6　位置Q-1
（観察倍率400倍）

0.05mm

－ 破面はひび先端部まで粒界破面（ロックキャンディ）（図4-6-1～8）
－ 照射後試験施設での破面割りの際に生じた破面（デジタルマイクロスコープで金属光沢を示している部位）ではディンプル等の延性破面を観察（図4-6-1～8、位置P, Q, R）

破面観察
（タイロッド部）
上側サンプルP1



サンプル位置



図4-7-1　サンプル全体
デジタルマイクロスコープ

8面側 外観

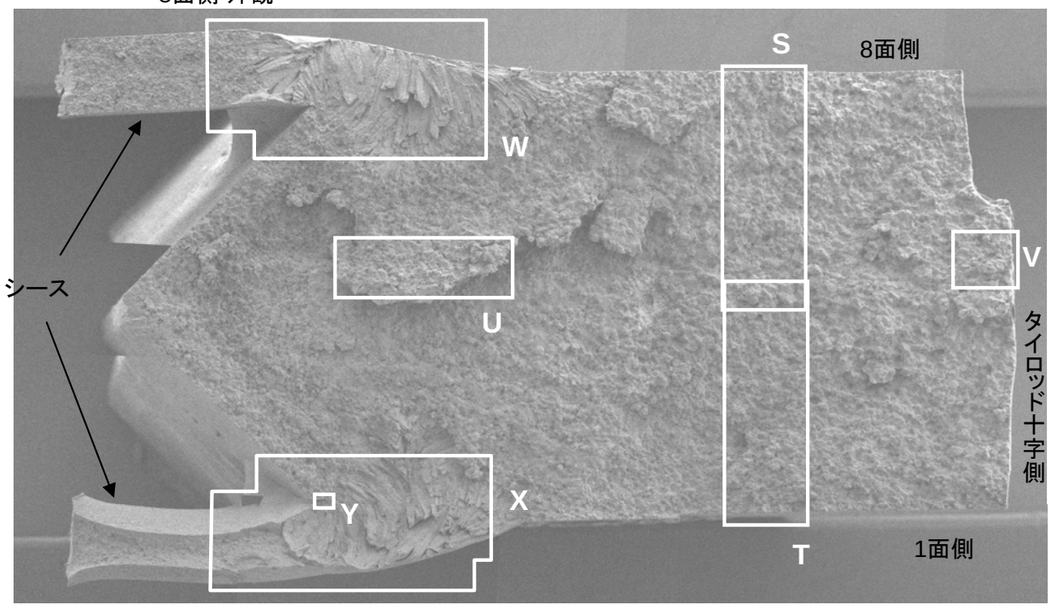


図4-7-2　サンプル全体（観察倍率20倍）

1mm

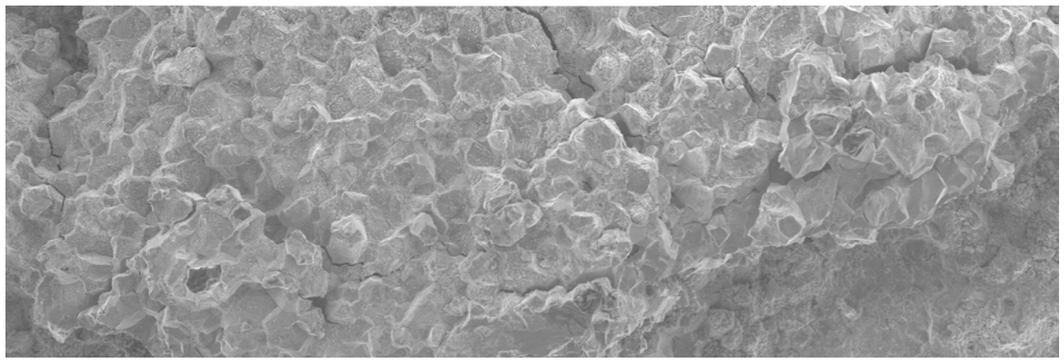


図4-7-5　位置U　（観察倍率100倍）

0.2mm

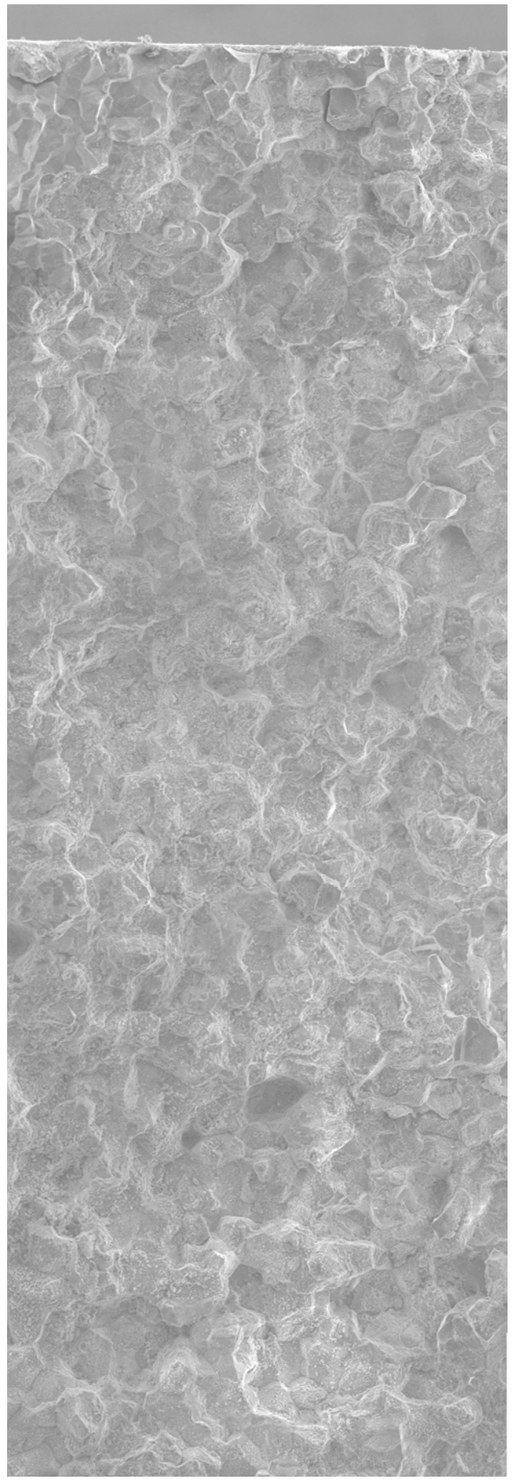


図4-7-3　位置S
（観察倍率100倍）

0.2mm

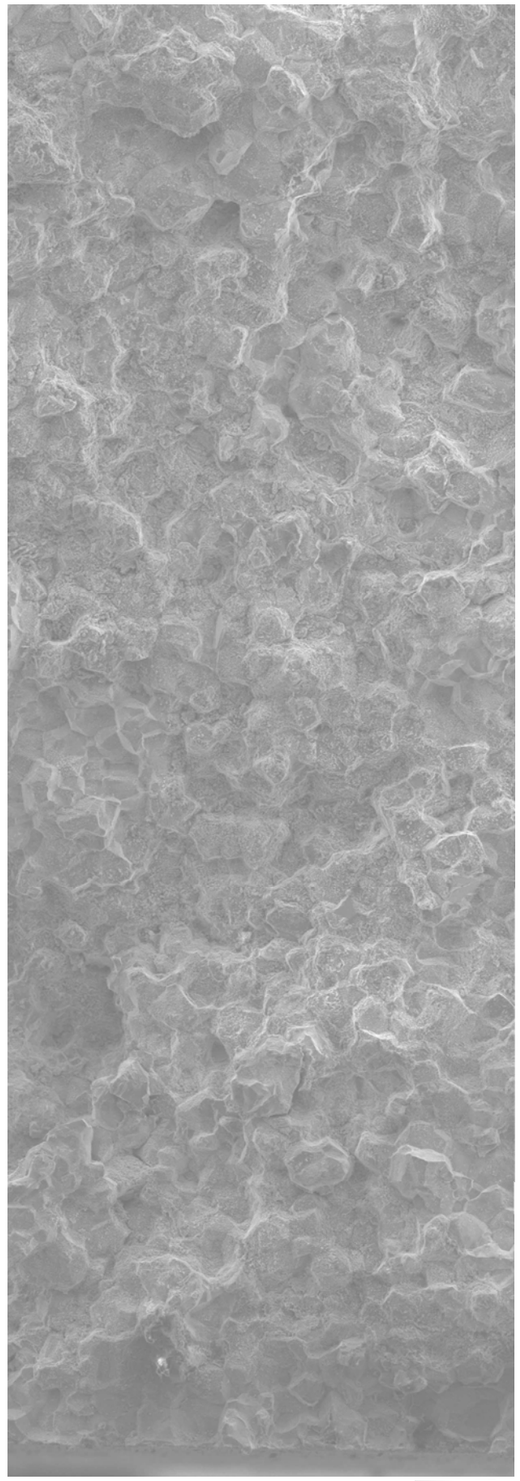


図4-7-4　位置T
（観察倍率100倍）

0.2mm

破面観察
（タイロッド部）
上側サンプルP2

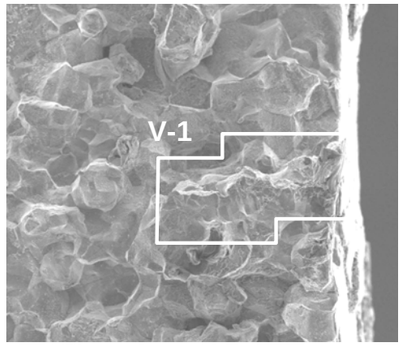


図4-7-6　位置V
（観察倍率100倍）

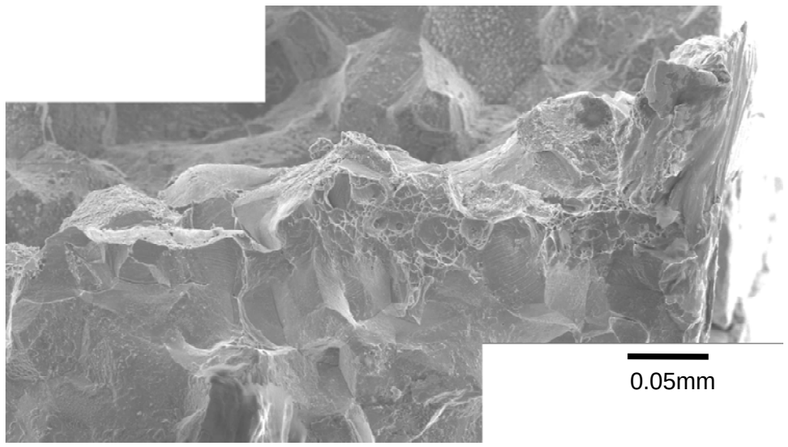


図4-7-7　位置V-1（観察倍率400倍）

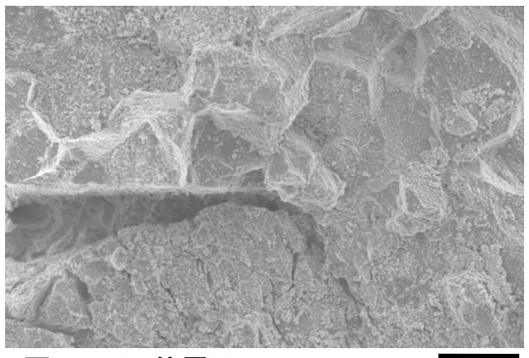


図4-7-10　位置Y
（観察倍率400倍）

- ひび先端部まで粒界破面（溶接金属部は柱状晶破面）（図4-7-1～9）
- ひび先端は、1面側溶接金属部とタイロッドの十字側肉厚中央部に存在（図4-7-7, 9）
- 1面側にシースとタイロッド間に隙間を観察（図4-7-9, 10）

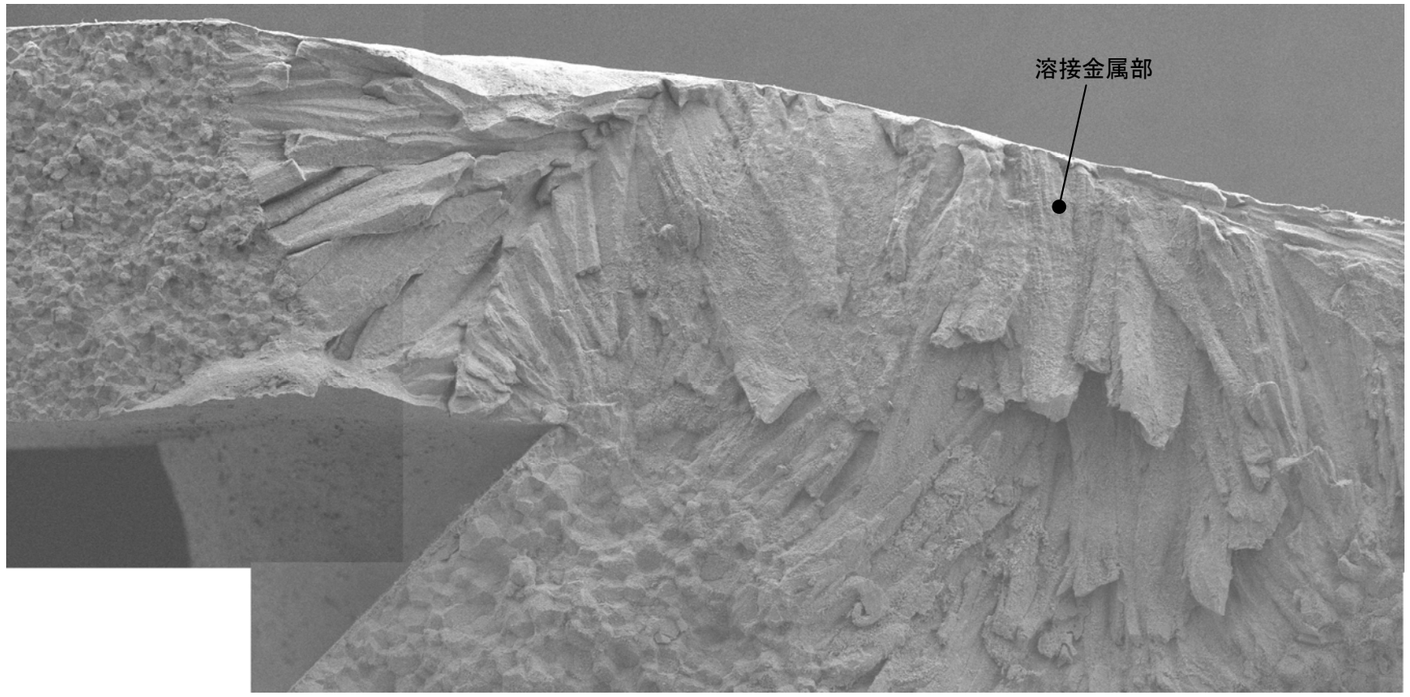


図4-7-8　位置W　（観察倍率100倍）

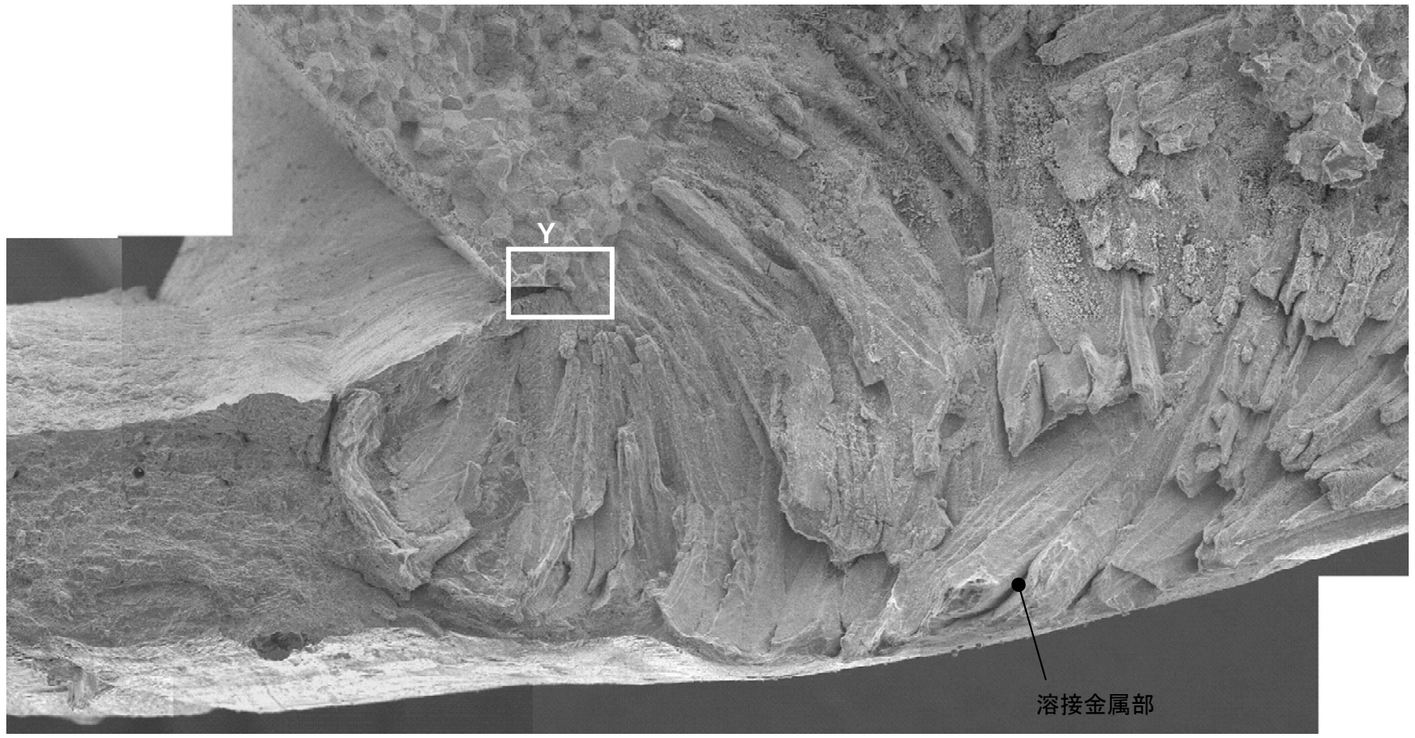
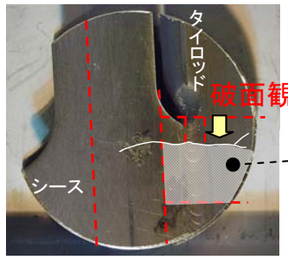


図4-7-9　位置X　（観察倍率100倍）

破面観察（タイロッド部）
下側サンプル



サンプル位置
8面側 外観



図4-8-1　サンプル全体
デジタルマイクロスコープ

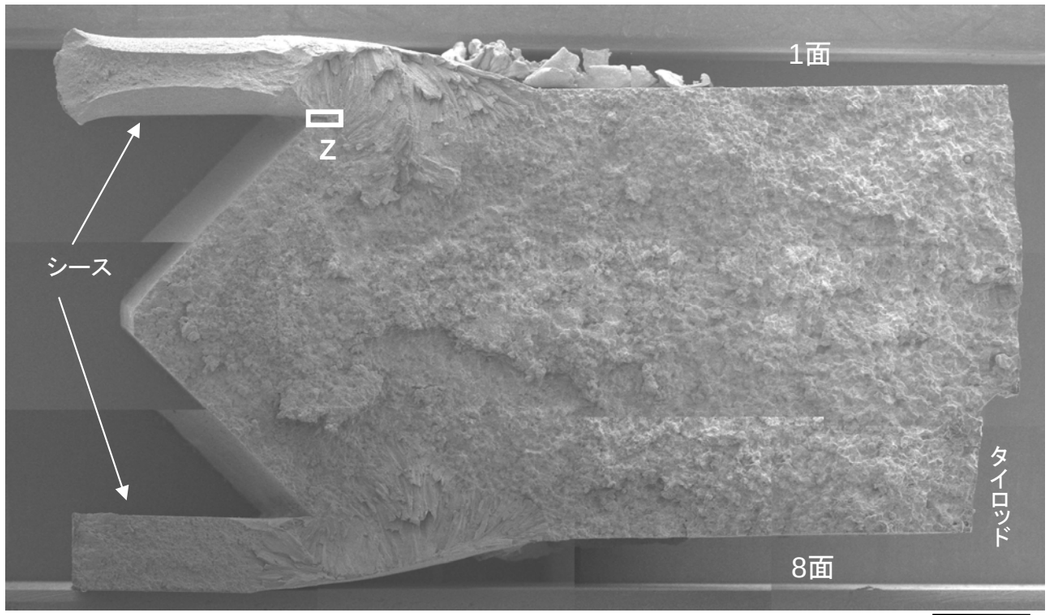


図4-8-2　サンプル全体（観察倍率20倍）

1mm

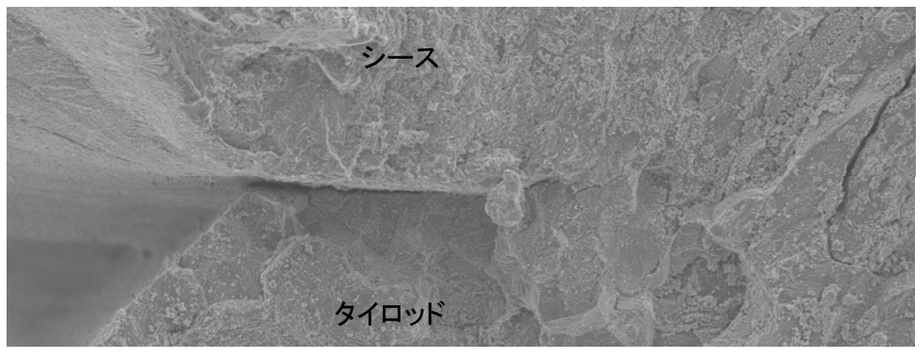
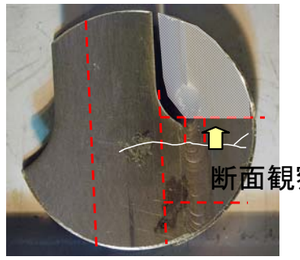


図4-8-3　位置Z　（観察倍率400倍）

0.05mm

ー シースとタイロッド間にタイトな隙間と両者のひび破面の段差を観察（図4-8-3）

断面観察2



サンプル位置
8面側 外観

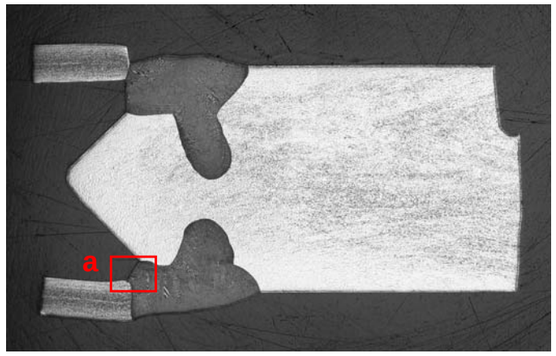


図4-9-1　サンプル全体
（観察倍率10倍）

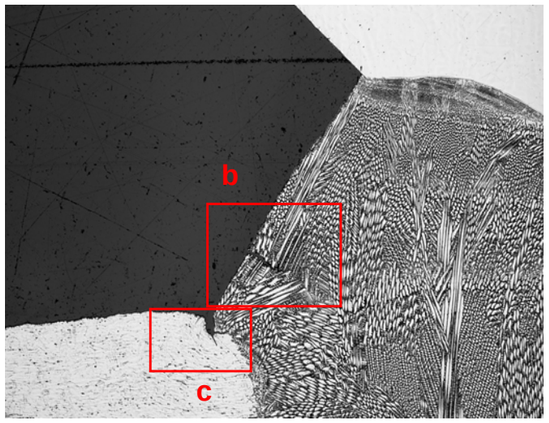


図4-9-2　位置a
（観察倍率100倍）

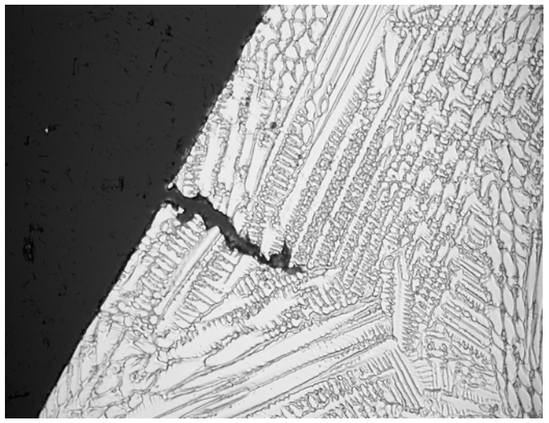


図4-9-3　位置b
（観察倍率400倍）

0.05mm

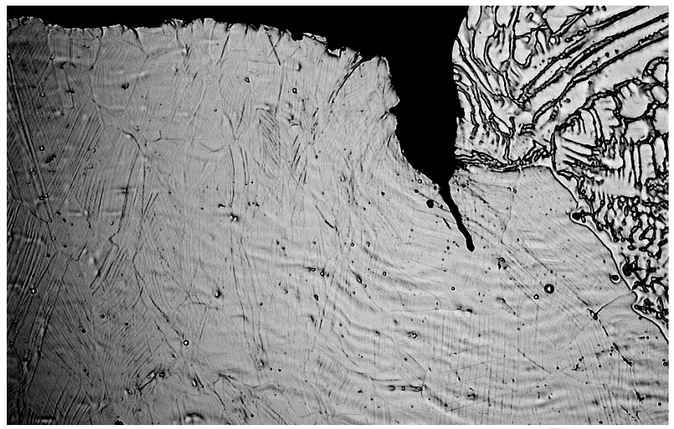


図4-9-4　位置c
（観察倍率400倍）

0.03mm

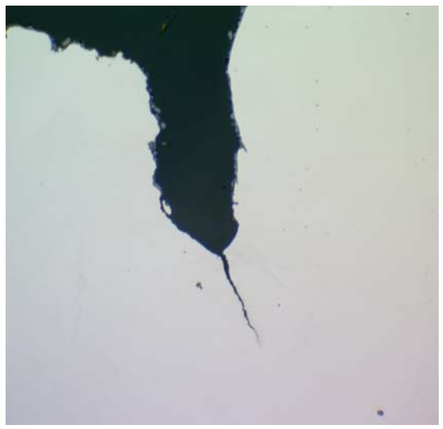
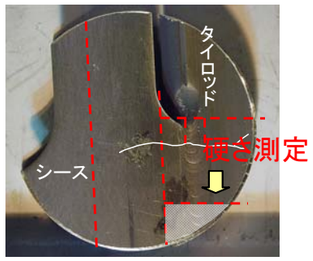


図4-9-5　位置c,研磨面
（観察倍率1000倍）

0.02mm

ー ひびは柱状晶境界割れ。位置（溶接始端部）等から溶接割れの可能性が高いと推定（図4-9-3 ）
ー 上記のひび近傍のシースと溶接金属境界の切り欠き形状部に小さな割れを観察。金属組織（高い密度のすべり線）と位置等から、照射後試験施設での破面割りの際に生じたものと評価（図4-9-4, 5）

硬さ測定



サンプル位置
8面側 外観

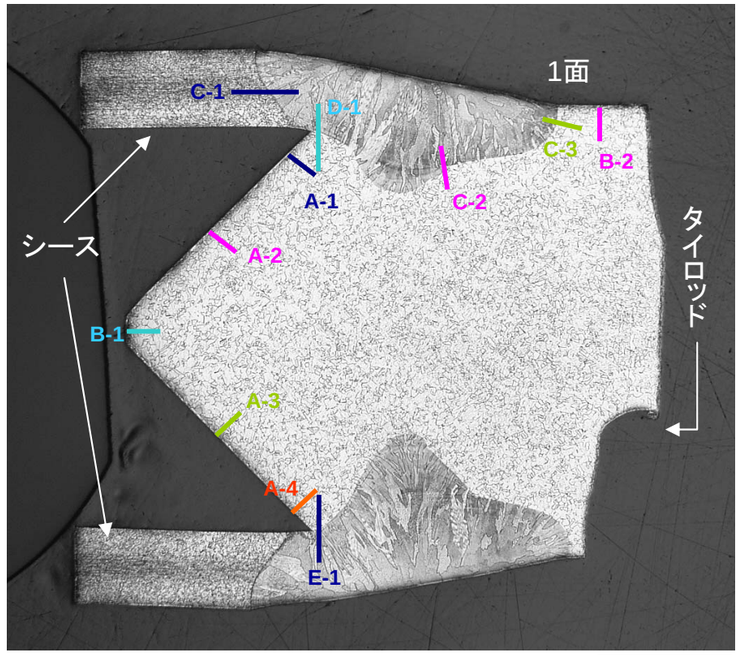


図4-10-1 硬さ測定位置

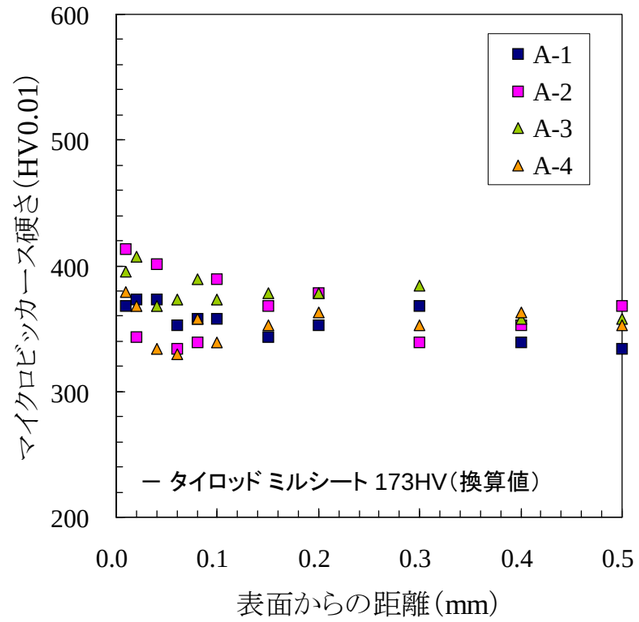


図4-10-2 プレーナ加工部 硬さ分布

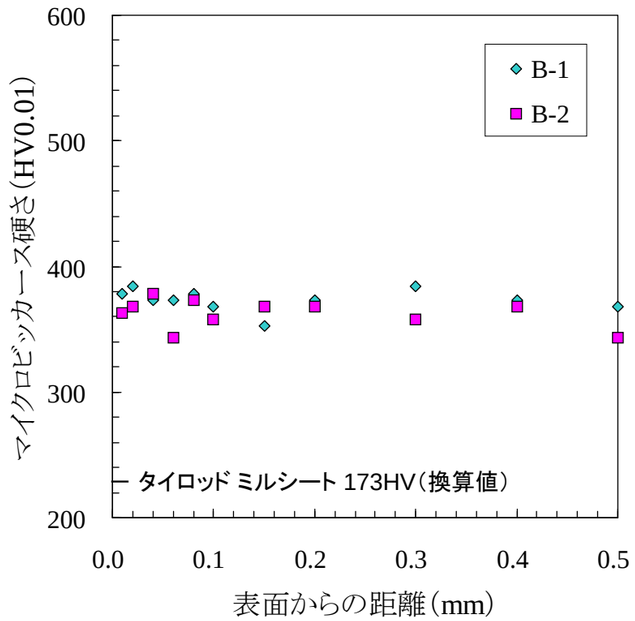


図4-10-3 タイロッド母材 硬さ分布

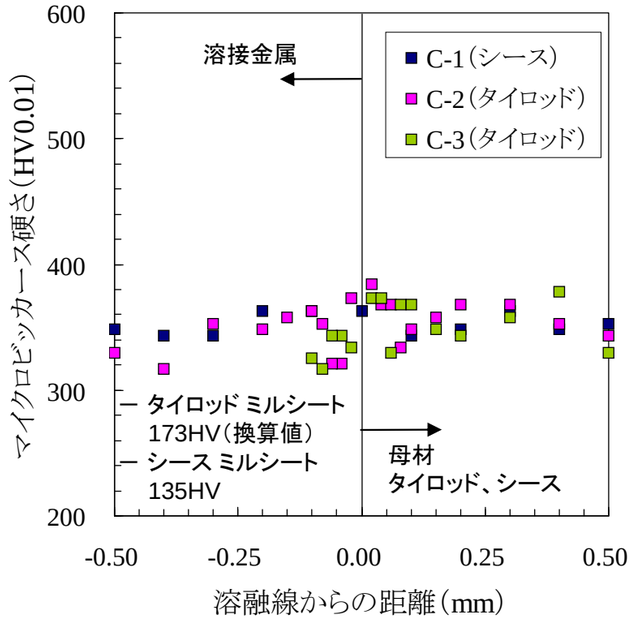


図4-10-4 溶接接合部溶融線近傍の硬さ分布

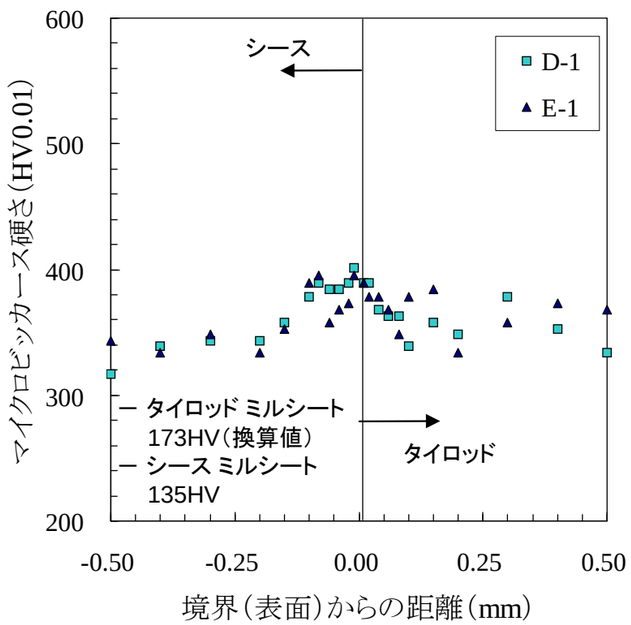
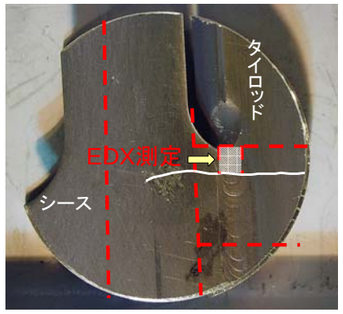


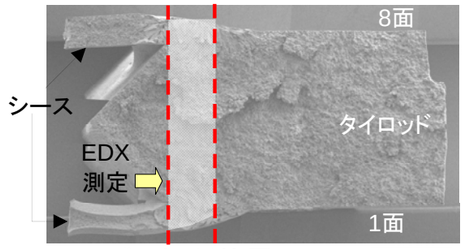
図4-10-5 シース／タイロッド境界部 硬さ分布

ー タイロッド母材や溶接金属の硬さは約350～400HVであり、明瞭に中性子照射による照射硬化が認められる。（図4-10-2～5）
ー シースに溶接歪みに起因する若干の硬さの上昇が認められた他は、溶接部の溶融線近傍での硬さの上昇は観察されない。（図4-10-4, 5）

EDX分析



サンプル位置
8面側 外観



サンプル切断位置
（破面上部サンプル）

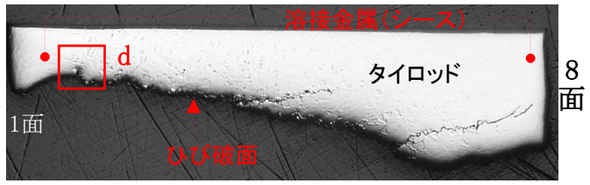


図4-11-1 サンプル全体、研磨面
（観察倍率10倍）

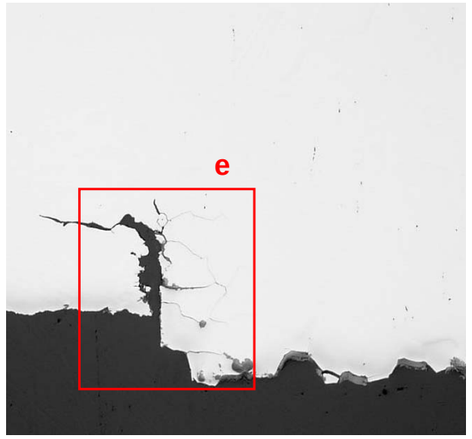


図4-11-2　位置d、研磨面
（観察倍率100倍）



図4-11-3　位置e, 研磨面（観察倍率400倍）
0.025mm

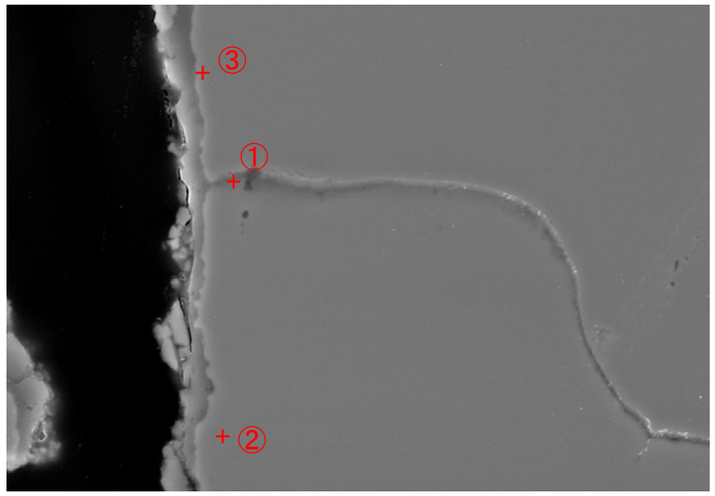


図4-11-4　位置f（観察倍率2000倍）

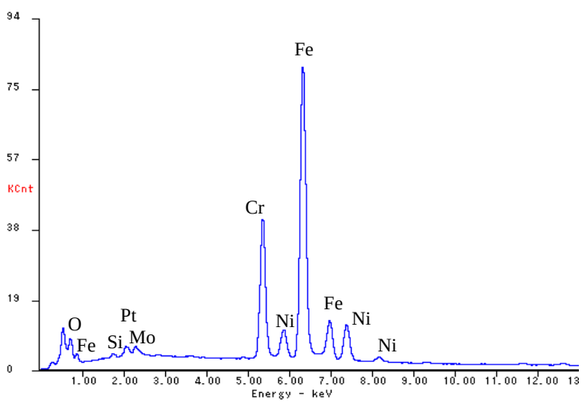


図4-11-5 位置①

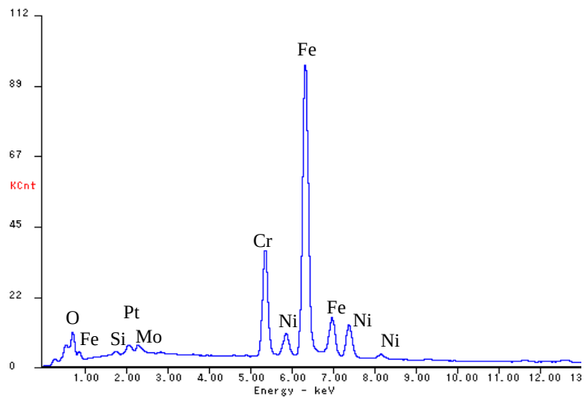


図4-11-6 位置②

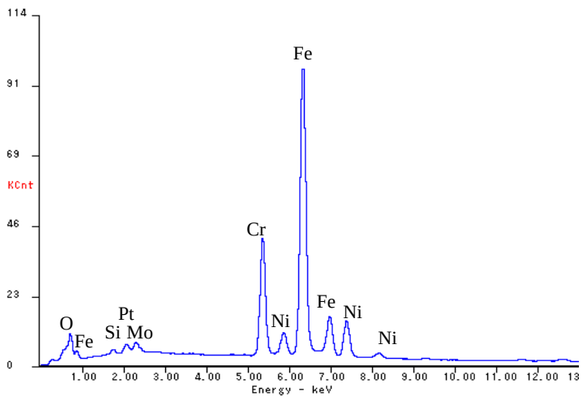


図4-11-7 位置③

元素 (at%)	位置①	位置②	位置③
O	6.68	3.78	2.85
Si	0.73	0.53	1.18
P	1.02	0.89	1.15
Mo	2.29	2.17	3.89
S	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00
Sn	0.00	0.00	0.00
Cr	17.67	14.74	15.61
Fe	59.20	64.96	62.15
Ni	11.70	11.86	12.14
Cu	0.54	0.72	0.72
Zn	0.16	0.35	0.32

表4-11-1 点測定結果（位置①～③）

－ ひび起点の1面側隙間部で粒界割れ発生部のEDX分析を行った結果、低融点金属割れの原因となるPb, Sn, Cu, Zn は検出されなかった。

新潟県中越沖地震の影響に係る評価について

１．延性破壊

健全な制御棒に対し、新潟県中越沖地震により発生する応力を評価したところ、一次応力は基準値を下回っていることを確認した。　（添付－１）

２．疲労破壊

健全な制御棒に対し、新潟県中越沖地震による疲労累積係数を評価したところ、疲労累積係数は基準値を下回っていることを確認した。　（添付－２）

３．脆性破壊

新潟県中越沖地震による応力拡大係数を評価したところ、応力拡大係数は基準値を下回っていることを確認した。　（添付－３）

添付書類

添付－１：新潟県中越沖地震時の延性破壊評価
添付－２：新潟県中越沖地震時の疲労破壊評価
添付－３：新潟県中越沖地震時の脆性破壊評価

新潟県中越沖地震時の延性破壊評価

新潟県中越沖地震（以下、「本地震」という。）時に柏崎刈羽原子力発電所７号機の原子炉内で使用していたハフニウムフラットチューブ型制御棒（以下、「制御棒」という。）および使用済燃料貯蔵プール（以下、「燃料プール」という。）に保管中であった制御棒について、本地震に対する構造健全性評価を行うことにより、本地震による延性破壊が発生しなかったことを確認する。

１．概要

本地震時に原子炉内で使用していた制御棒について、本地震時にスクラムした際の応力評価を実施し、構造健全性に問題がなかったこと、これにより本地震による延性破壊は発生しなかったことを確認した。

また、本地震時に燃料プールに保管中であった制御棒については、原子炉内で使用していた制御棒と異なり、スクラムによる荷重を受けていないこと、また、地震による入力加速度が、原子炉内で使用していた制御棒への入力加速度よりも小さかったことから、構造健全性に問題がなかったことを確認した。

本評価にあたっては、発電用原子力設備規格（設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）における「炉心支持構造物」の規定を準用し、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編ＪＥＡＧ４６０１－1984及びＪＥＡＧ４６０１－1987）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月及び昭和 62 年 8 月）における「制御棒」の規定を適用して応力評価を実施した（※１）。

※１：設計においても同民間規格に基づいている。

２．評価内容

本地震時のスクラムにおいて、以下を評価する。

（１）シースに過大な変形が生じなかったことを確認するために、本地震発生時のスクラムにおいて、シースに発生する応力（一次一般膜応力＋一次曲げ応力）が評価基準値を満足することを確認する。

（２）シース／タイロッド溶接部が破断しなかったことを確認するために、本地震発生時のスクラムにおいて、シース／タイロッド溶接部に発生する応力（せん断応力）が評価基準値を満足することを確認する。

（３）シース／コネクタ溶接部が破断しなかったことを確認するために、本地震発生時のスクラムにおいて、シース／コネクタ溶接部に発生する応力（一次一般膜応力＋一次曲げ応力）が評価基準値を満足することを合わせて確認する。

３．評価結果

本地震時に原子炉内で使用していた制御棒について、シースに発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力、シース／タイロッド溶接部に発生するせん断応力及びシース／コネクタ溶接部に発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力を評価し、それぞれ評価基準値との比較を実施した結果、評価基準値を満足していることを確認した。

また、本地震時に燃料プールに保管中であった制御棒については、スクラム荷重を受けていないこと、地震による入力加速度は、原子炉内で使用していた制御棒への入力加速度よりも小さいことから、シースに発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力、シース／タイロッド溶接部に発生するせん断応力及びシース／コネクタ溶接部に発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力について、評価基準値を満足することは明らかである。

３．１　評価条件

(1)評価ケース

・健全な制御棒のモデルを用いて評価する（図１）。

(2)評価条件

・本地震とスクラム事象の同時発生を考慮する。
・スクラム荷重については、スクラム終端での加速度を設計時に想定した 100G として算定する。100G は、共同研究報告書「新型制御棒駆動機構の開発（昭和 62 年 9 月）」の試験にて確認されたスクラム終端加速度約 70G に対して余裕のある値である。なお、本地震の鉛直方向地震加速度は 0.48G であり、設計時のスクラム時加速度（100G）が持つ余裕として十分含まれている。

(3)解析モデル

・応力評価には、有限要素法解析コード「ABAQUS」（※２）を使用した。なお、計算のためのモデルを図２に示す。

※２：ABAQUS 社作成の有限要素法による汎用解析計算機コードで、原子炉設備の温度分布解析及び応力解析等で使用されている。

・上部ローラから下部ローラの間の範囲をモデル化し、境界条件を上部ローラ及び下部ローラでピン支持とする。

(4)荷重条件

・水平方向荷重については、燃料からの反力及び制御棒に作用する本地震による地震荷重を考慮する。
・制御棒と燃料（チャンネルボックス）との接触状態を、有限要素法を用いて解析した結果、燃料からの反力による荷重は、制御棒中央付近にありたわみが最大となる第 13 タブ及び第 14 タブにおいて燃料とシースとの接触面からシース／タイロッド溶接

部を介してタイロッドに伝達されることを確認した。（図３）
・燃料からの反力は、燃料とシースとの接触面からシース／タイロッド溶接部を介してタイロッドに伝達されるため、第13タブ及び第14タブの２つの溶接部に負荷する（図４）。
・制御棒に作用する地震荷重については、等分布荷重とする。（図４）

(5)解析条件
・水平方向荷重に対する解析（有限要素法）で用いる縦弾性係数については、シース冷却孔により、制御棒全体の曲げ剛性（縦弾性係数×断面二次モーメント）が低下することを考慮した値（等価縦弾性係数）を用いる。

・シースの一次曲げ応力を算出する際は、有限要素法により得られた応力値（シースの最大ひずみ×等価縦弾性係数）を、シース材であるSUS316Lの縦弾性係数と等価縦弾性係数の比0.924（※３）で除することにより、冷却孔による縦弾性係数の低減分を割り増しする。

※３：冷却孔を考慮したモデルと考慮しないモデルの各々に対して単位荷重を負荷し、変形量を解析することにより求めた曲げ剛性の比

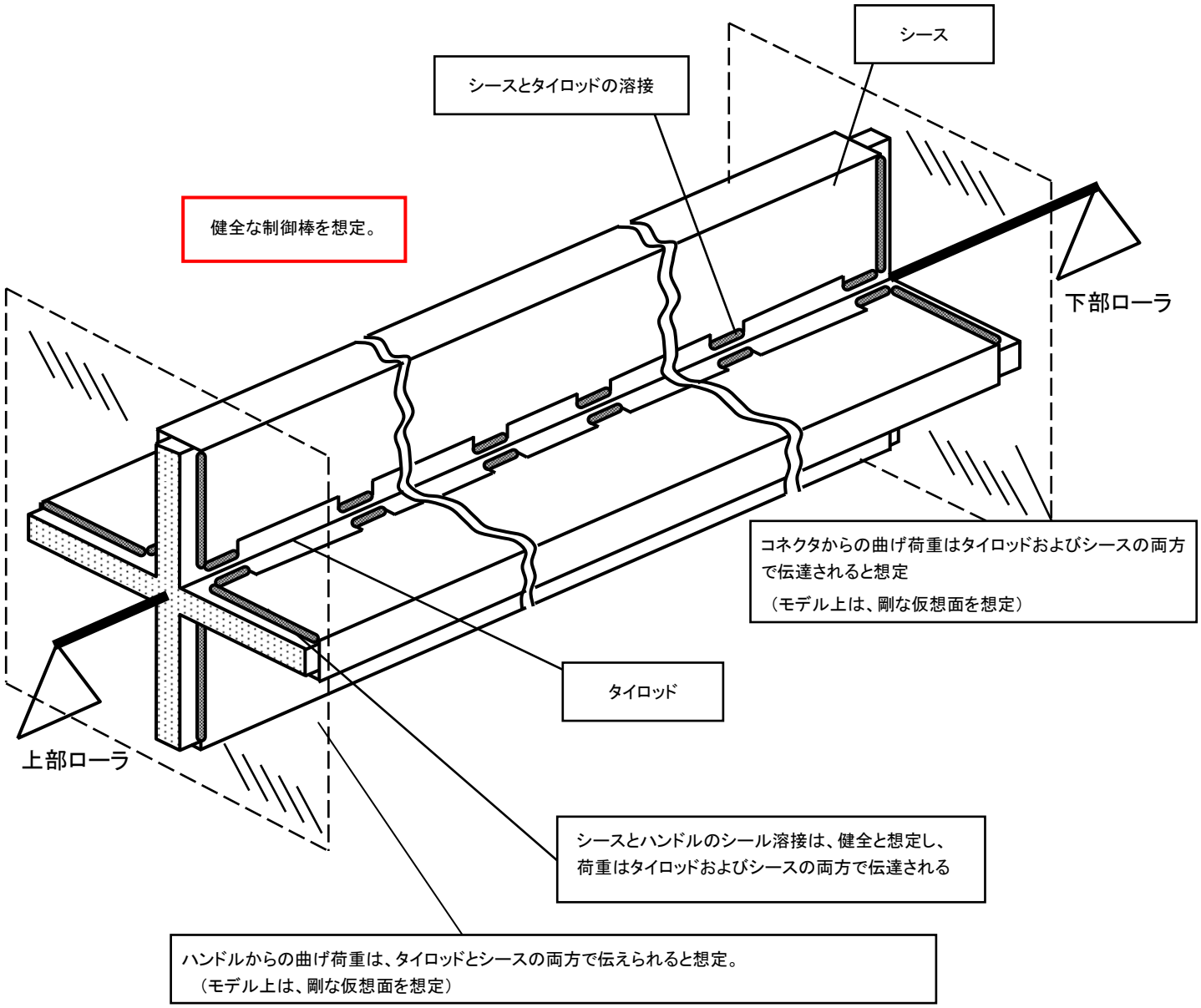

シース
シースとタイロッドの溶接
健全な制御棒を想定。
下部ローラ
コネクタからの曲げ荷重はタイロッドおよびシースの両方で伝達されると想定
（モデル上は、剛な仮想面を想定）
タイロッド
上部ローラ
シースとハンドルのシール溶接は、健全と想定し、
荷重はタイロッドおよびシースの両方で伝達される
ハンドルからの曲げ荷重は、タイロッドとシースの両方で伝えられると想定。
（モデル上は、剛な仮想面を想定）

図１　計算モデルの概要

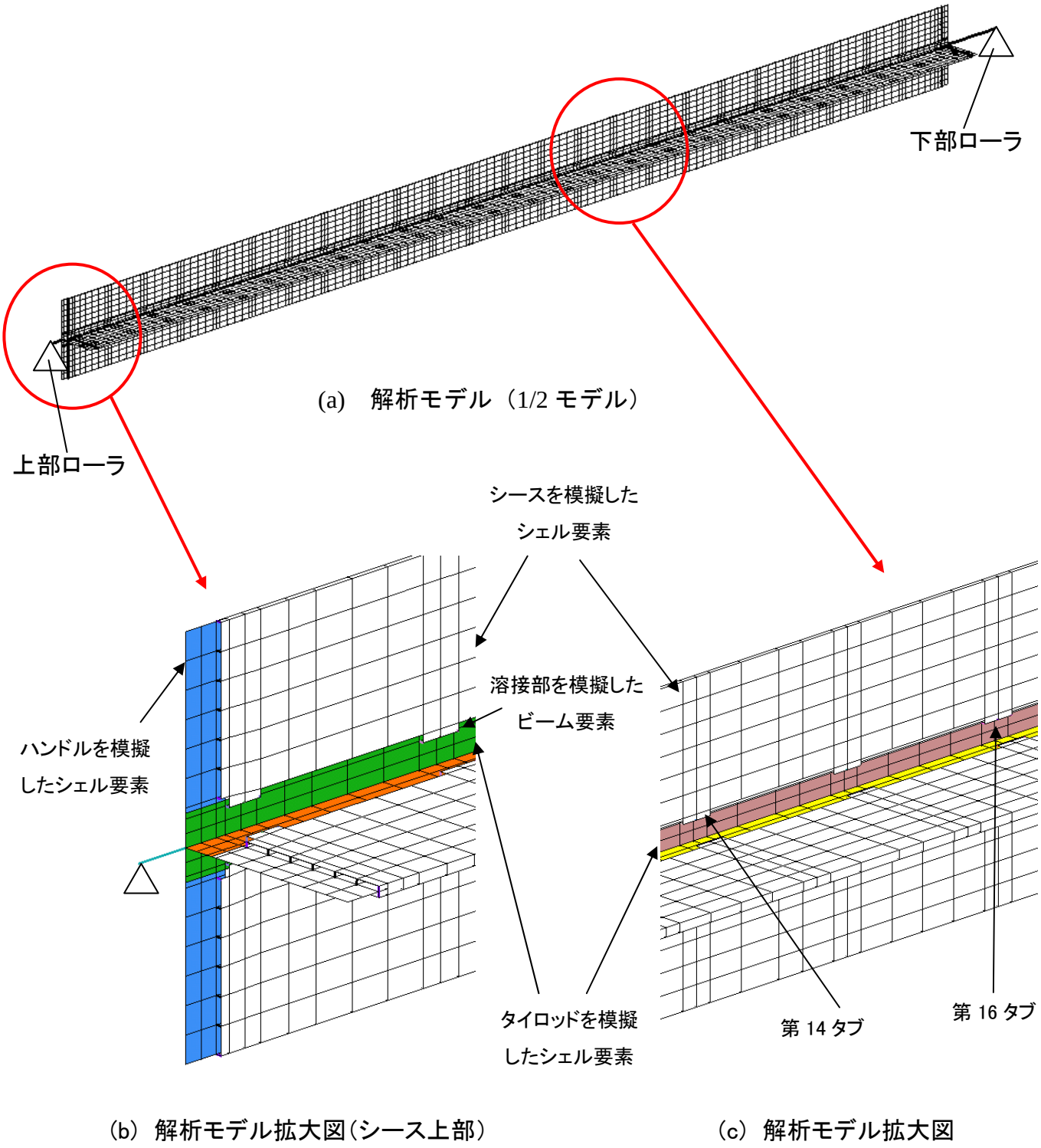
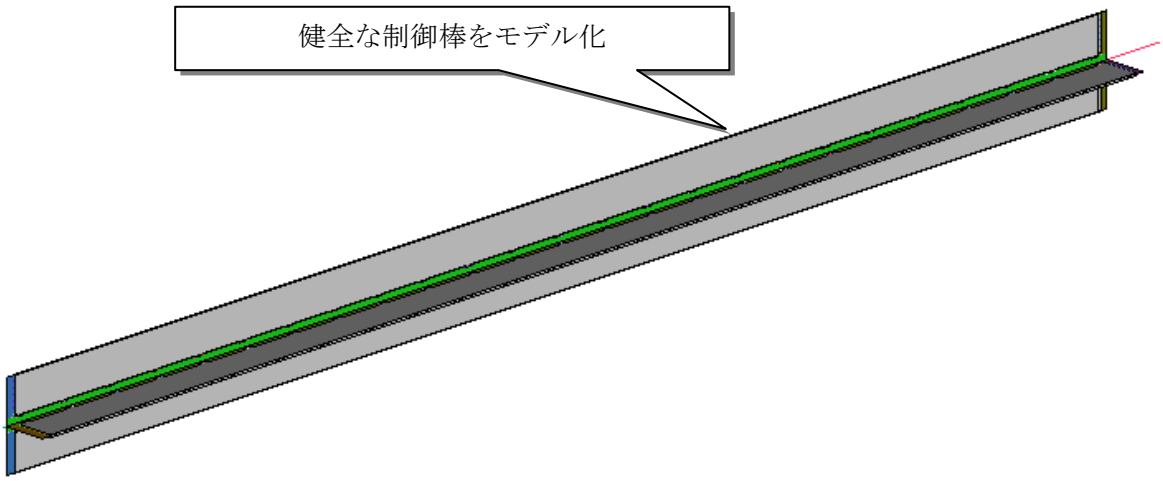
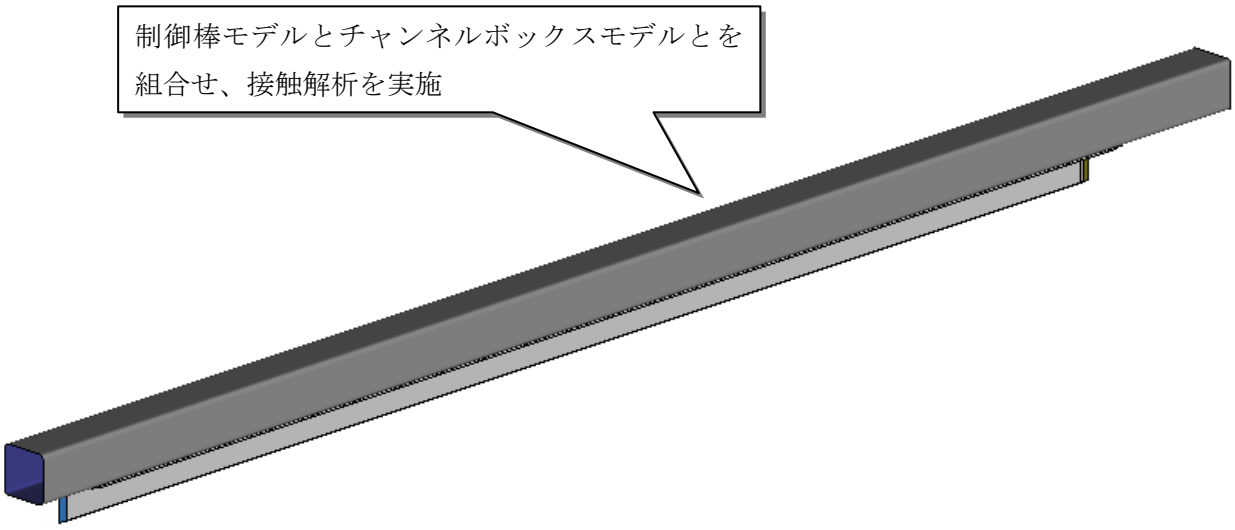

下部ローラ
(a)　解析モデル（1/2 モデル）
上部ローラ
シースを模擬した
シェル要素
溶接部を模擬した
ビーム要素
ハンドルを模擬
したシェル要素
タイロッドを模擬
したシェル要素
第 14 タブ
第 16 タブ
(b)　解析モデル拡大図（シース上部）
(c)　解析モデル拡大図

図２　解析モデルの詳細

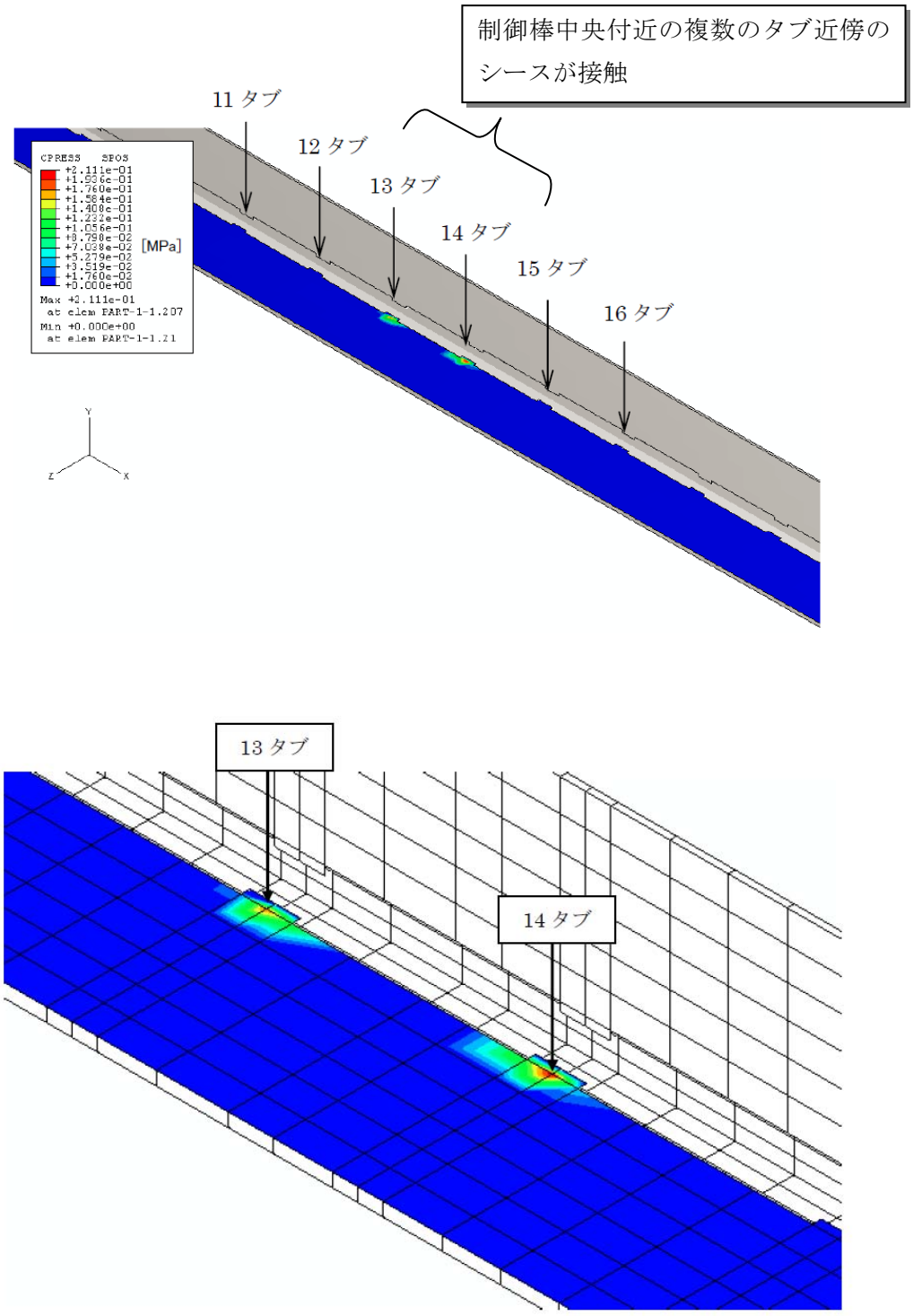


(a) 制御棒単独モデル



(b) 組合せモデル（制御棒＋チャンネルボックス）

図３　制御棒と燃料との接触解析(1/2)



(c) 解析結果

図３　制御棒と燃料との接触解析（2/2）

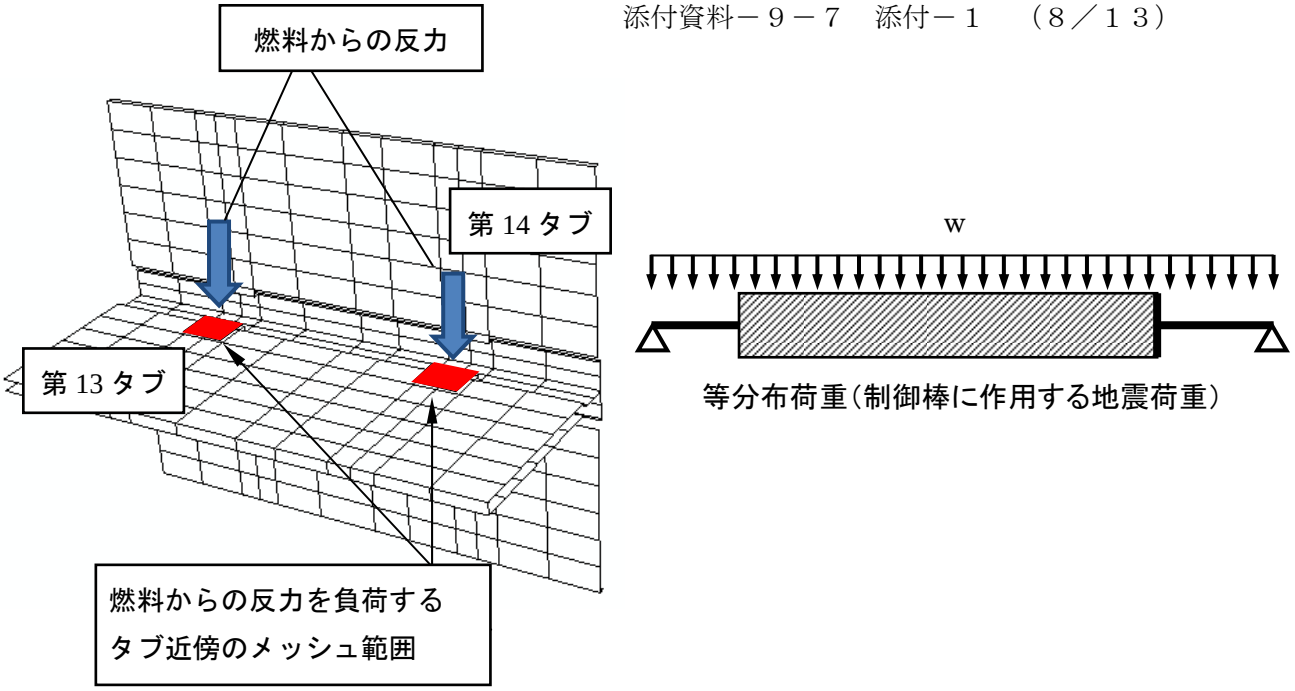


図４　荷重条件

３．２　評価結果

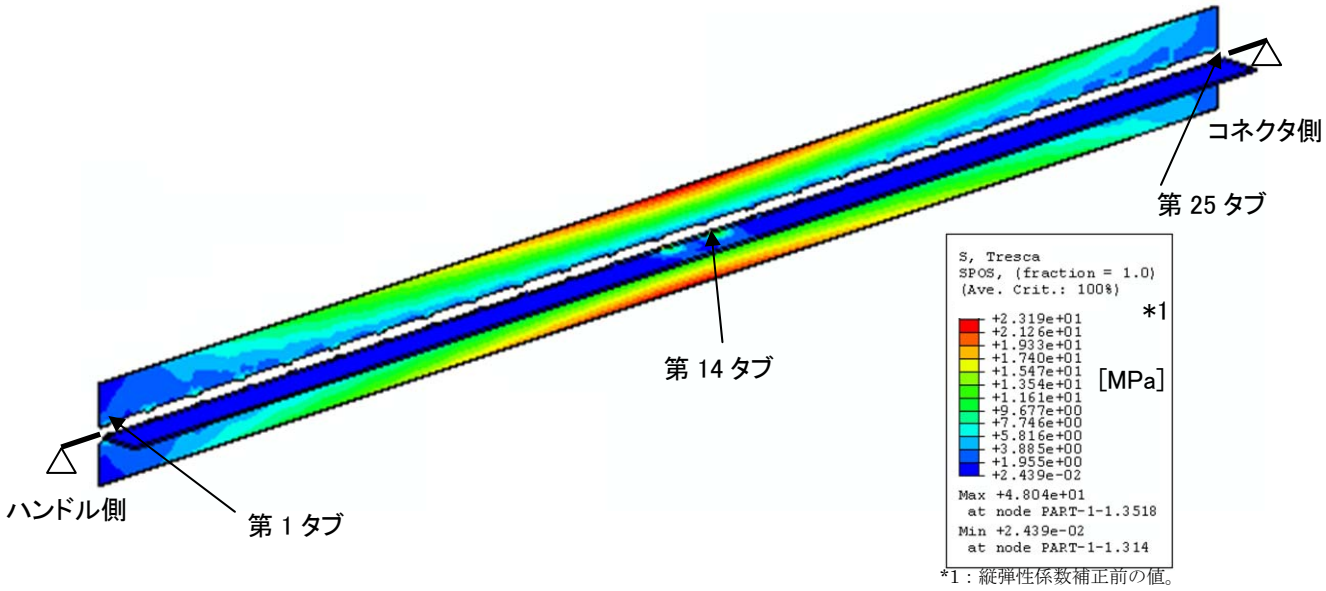
表１～３に示すとおり、本地震とスクラム事象が同時に発生した場合に、シースに発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力、シース／タイロッド溶接部に発生するせん断応力、及びシース／コネクタ溶接部に発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力はそれぞれ評価基準値以下である。なお、地震荷重による応力の解析結果（トレスカ応力図）を図５に示す。

表１　地震時スクラムにおけるシースに発生する
一次一般膜応力＋一次曲げ応力評価結果

評価項目	最大応力 発生箇所	発生応力 (MPa)	評価基準値※4 (MPa)
中越沖地震条件 ＋スクラム	第 17 タブ	76	341 ※5

※４：発電用原子力設備規格　設計・建設規格（ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）における「炉心支持構造物」の規定を準用し、原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編（ＪＥＡＧ４６０１－1984 及びＪＥＡＧ４６０１－1987）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月及び昭和 62 年 8 月）における「制御棒」の規定を適用。

※５：SUS316L、最高使用温度（302℃）、運転状態Ⅰ、Ⅱ＋S_sにおける一次一般膜＋一次曲げ応力の許容応力。（$3.6S_m$とS_uのうちのいずれか小さい方の値）



*1：縦弾性係数補正前の値。

注：本図には、軸方向のスクラム荷重は入っていない。

図５　解析結果（トレスカ応力図）

表２　地震時スクラムにおけるシース／タイロッド溶接部のせん断応力評価結果

評価項目	最大応力 発生箇所	発生応力 (MPa)	評価基準値※6 (MPa)
中越沖地震条件 ＋スクラム	第３タブ	6	113 ※7

※６：発電用原子力設備規格　設計・建設規格（ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）における「炉心支持構造物」の規定を準用し、原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編（ＪＥＡＧ４６０１－1984 およびＪＥＡＧ４６０１－1987）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月および昭和 62 年 8 月）における「制御棒」の規定を適用。

※７：SUS316L、最高使用温度（302℃）、運転状態Ⅰ，Ⅱ＋S_sにおける特別な応力限界の値（1.2Sm）。

表３　地震時スクラムにおけるシース／コネクタ溶接部の
一次一般膜応力＋一次曲げ応力評価結果

評価項目	発生応力 (MPa)	評価基準値※8 (MPa)
中越沖地震条件 ＋スクラム	72	341 ※9

※８：発電用原子力設備規格　設計・建設規格（ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）における「炉心支持構造物」の規定を準用し、原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編（ＪＥＡＧ４６０１－1984 およびＪＥＡＧ４６０１－1987）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月および昭和 62 年 8 月）における「制御棒」の規定を適用。

※９：SUS316L、最高使用温度（302℃）、運転状態Ⅰ、Ⅱ＋S_sにおける一次一般膜＋一次曲げ応力の許容応力。(3.6Sm と Su のうちのいずれか小さい方の値)

４．まとめ

本地震時に原子炉内で使用していた制御棒について、本地震によりシースに発生する応力（一次一般膜応力＋一次曲げ応力）、シース／タイロッド溶接部に発生する応力（せん断応力）、及びシース／コネクタ溶接部に発生する応力（一次一般膜応力＋一次曲げ応力）を評価した結果、それぞれの応力は評価基準値以下であることを確認した（表１～表３、図５）。

また、本地震時に燃料プールで保管中であった制御棒については、

・原子炉内で使用していた制御棒と異なり、スクラム荷重を受けていないこと
・地震による制御棒への入力加速度が、原子炉内で使用していた制御棒への地震による入力加速度よりも小さかったこと

から、シースに発生する応力（一次一般膜応力＋一次曲げ応力）、シース／タイロッド溶接部に発生する応力（せん断応力）、及びシース／コネクタ溶接部に発生する応力（一次一般膜応力＋一次曲げ応力）は評価基準値以下となる。

なお、本評価における評価基準値は、民間規格で定められている使用材料（SUS316L）の材料規格値を用いているが、当該制御棒に使用されている実材料は２割程度強度の高いSUS316相当の耐力を有していること、またスクラム荷重100Gについては、共同研究報告書「新型制御棒駆動機構の開発（昭和62年9月）」の試験にて確認されたスクラム終端加速度約70Gに対して余裕のある値であることから、評価結果は、評価基準値に対してさらに余裕があるものとなっている。

以　上

（　参　　考　）

表４　シースに発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力の評価結果

最大応力発生箇所	発生応力			評価基準値 (MPa)
	スクラム (MPa)	地震 (MPa)	スクラム＋地震 (MPa)	
第 17 タブ	54	22	76	341

表５　シース／タイロッド溶接部のせん断応力の評価結果

最大応力発生箇所	発生応力			評価基準値 (MPa)
	スクラム (MPa)	地震 (MPa)	スクラム＋地震 (MPa)	
第 3 タブ	0	6	6	113

表６　シース／コネクタ溶接部の一次一般膜応力＋一次曲げ応力の評価結果

発生応力			評価基準値 (MPa)
スクラム (MPa)	地震 (MPa)	スクラム＋地震 (MPa)	
67	5	72	341

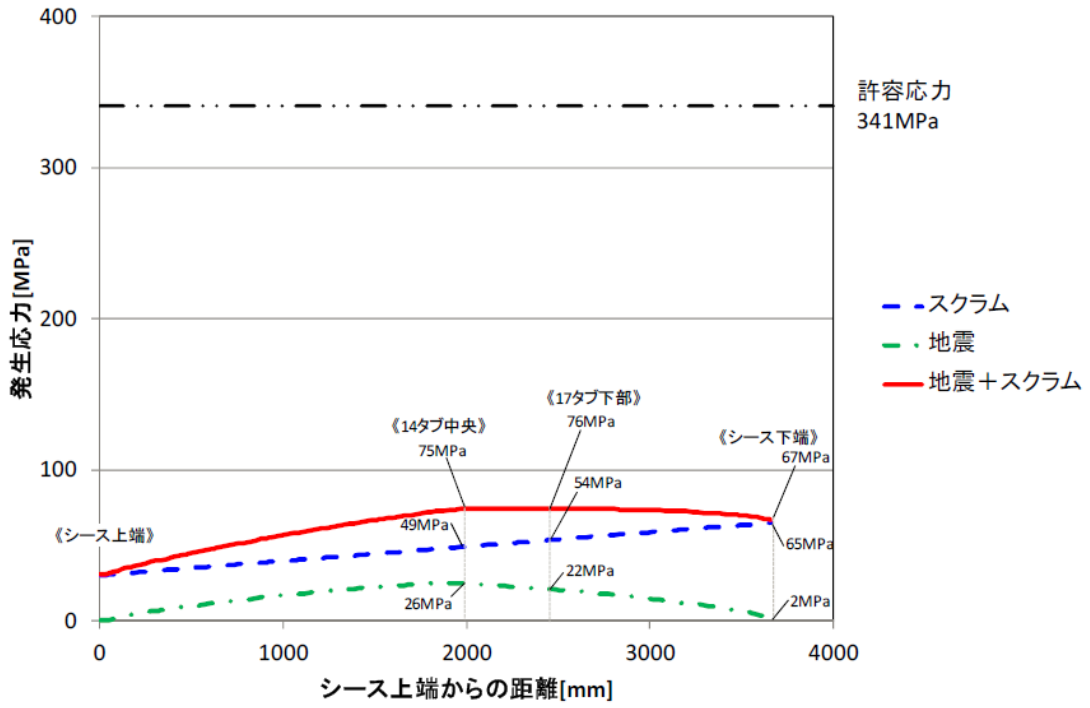


図６　シースに発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力の分布

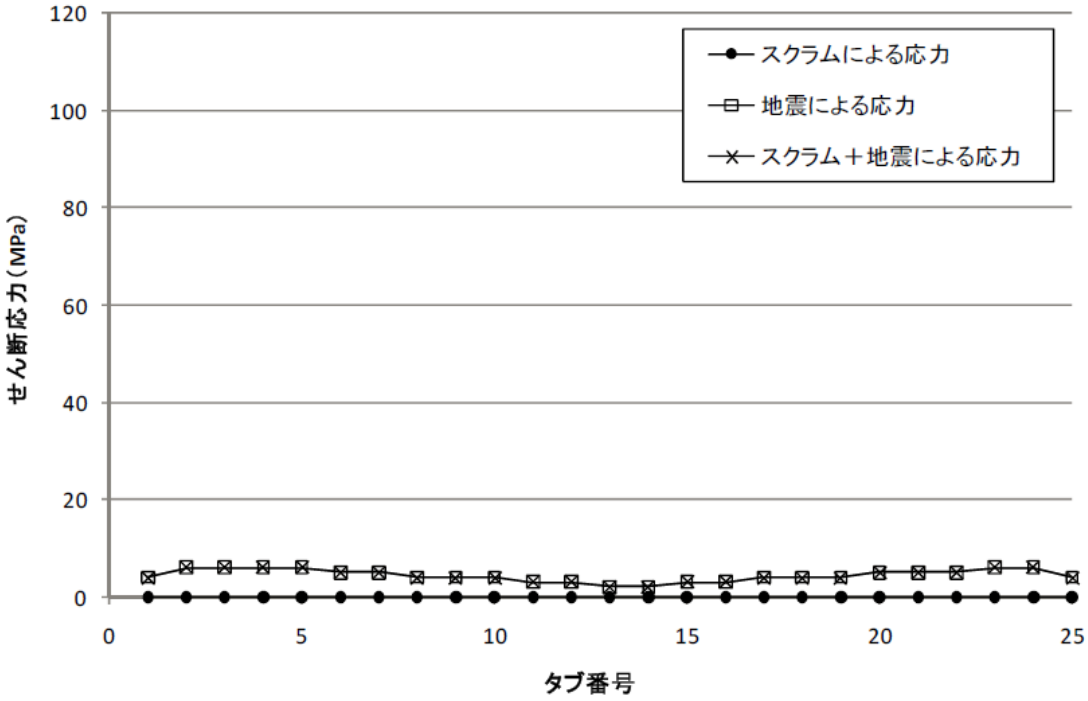


図７　シース／タイロッド溶接部のせん断応力の分布

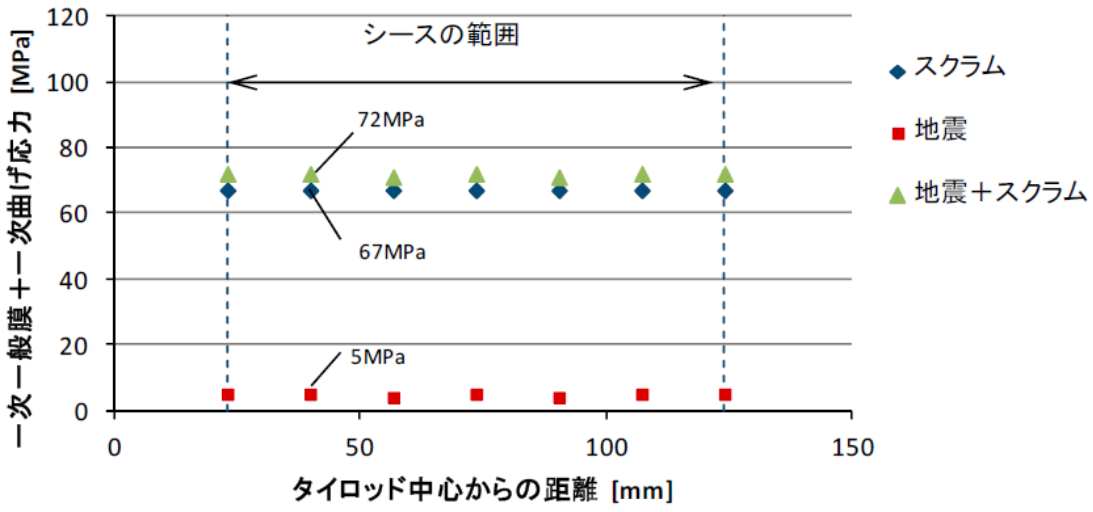


図８　シース／コネクタ溶接部の一次一般膜応力＋一次曲げ応力の分布

新潟県中越沖地震時の疲労破壊評価

１．概要

新潟県中越沖地震（以下、「本地震」という。）発生時、原子炉内で使用または使用済燃料貯蔵プール（以下、「燃料プール」という。）にて保管されており、後の点検でひびが確認された使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒（以下、「制御棒」という。）について、通常運転時のスクラム荷重による疲労と、本地震時の繰り返し荷重による疲労の累積を評価し、疲労によるひびの発生の可能性について評価した。

本評価にあたっては、発電用原子力設備規格（設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）における「炉心支持構造物」の規定を準用して、疲労累積係数Ｕｆを評価することにより、疲労評価を実施した。

２．評価内容

通常運転時および本地震時に負荷された繰り返し荷重（通常運転時においてはスクラム荷重、本地震時においてはスクラム荷重と地震荷重）から繰返しピーク応力強さを算出し、設計疲労線図を用いて許容繰返し回数 Na を評価する。

また、通常運転時のスクラム荷重および本地震時のスクラム荷重と地震荷重による、繰返し回数 Nc を評価する。

以上により求めた許容繰返し回数および実際の繰返し回数を、下式に適用することによってＵｆを評価する。

$$Uf = \sum_{i=1}^{k} \frac{Nc(i)}{Na(i)} \leqq 1.0$$

Nc(i)：通常運転時のスクラム荷重による繰返し回数または本地震時のスクラム荷重と地震荷重による繰返し回数

Na(i)：許容繰返し回数

i：応力サイクルの種類（通常運転時（スクラム荷重）の応力サイクルまたは本地震時（スクラム荷重と地震荷重）の応力サイクル）

k：応力サイクルの種類の総数（本評価においては k=2）

３．１　評価条件

(1) 評価ケース

・制御棒に確認されたひびの発生要因が、本地震による地震荷重が作用したことではないことを確認するため、ひびのない制御棒のモデルを用いて評価を行う。

・地震＋スクラム時の発生応力が最大となる第 17 タブ溶接部を疲労評価の対象とする。

・許容繰返し回数を算出するために必要となる、通常運転時および地震時のピーク応力を算出するにあたっては、タブ溶接構造を構造不連続部と考え、発電用原子力設備規格設計・建設規格（ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）

における「炉心支持構造物」の規定を準用して応力集中係数「５」を用いることとし、これを発生する一様応力に乗じて繰返し応力強さを算出する。その後、発電用原子力設備規格設計・建設規格（ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007年９月）添付 4-2 の設計疲労線図に基づき、繰返し応力強さに（1.95×10^5／Ｅ）を乗じて繰返しピーク応力強さを算出する。（ここで、Ｅは使用温度における縦弾性係数）

・発生する一様応力として、通常運転時のスクラム荷重による一次一般膜応力σｍ、本地震時の地震荷重による一次曲げ応力σｂ とスクラム荷重による一次一般膜応力σｍの和を考慮する。なお、本地震時における地震荷重による一次曲げ応力を算出するにあたり、添付資料－９－７　添付－１に示した有限要素法解析モデルを用いた。

・通常運転時のスクラム荷重による繰返し回数は、本地震時に炉内に装荷されていた制御棒のうち、最も長い炉内装荷期間が９サイクルであったことから、下式により 128 回とする。

FMCRD の設計スクラム回数（509 回／40 年）×評価対象制御棒の
炉内装荷期間（９サイクル≒10 年）≒128 回

・本地震による繰返し回数は、「柏崎刈羽原子力発電所７号機　新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価報告書」と同様に、本震および余震を考慮して 22 回とする。

３．２　評価結果

通常運転時および本地震時にスクラムした場合に発生する一様応力と、それにもとづくピーク応力強さを算出した結果を表１に示す。

表１　制御棒に発生する一様応力およびピーク応力の評価結果

評価項目	最大応力 発生箇所	発生応力 (MPa)	ピーク応力※1 (MPa)	許容繰返し 回数※2
通常運転時 スクラム	第 17 タブ	54	300	6.99×10^4
本地震＋ スクラム	第 17 タブ	54 ＋ 22	421	1.25×10^4

※１：発電用原子力設備規格　設計・建設規格（ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）における「炉心支持構造物」の規定を準用し、添付 4-2 の設計疲労線図に基づいて評価した繰返しピーク応力強さ

※２：発電用原子力設備規格　設計・建設規格（ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）添付 4-2-2(1)に示される設計疲労線図より求めた許容繰返し回数

表１より、最も長い期間（９サイクル）炉内に装荷されていた制御棒を想定した場合の疲労累積係数Ｕｆは、式（１）から次のように算出される。

$$Uf = \frac{128}{6.99\times10^{4}} + \frac{22}{1.25\times10^{4}} = 3.60\times10^{-3} \ll 1.0$$

（本来地震時のスクラム荷重は１回のみ負荷され、その後は地震荷重のみが負荷されるが、ここでは保守的にスクラム荷重による応力＋地震荷重による応力から評価した許容繰返し回数を、地震の繰返し回数 22 回すべてに適用して評価した。）

４．まとめ

以上より、柏崎刈羽原子力発電所７号機において、本地震時に原子炉内で使用されていた制御棒のうち、最も長い期間（9 サイクル）炉内に装荷されていた制御棒を対象とした場合においても、疲労累積係数は 1.0 より十分に小さいことを確認した。

また、燃料プールに保管されていた制御棒については、地震による入力加速度が原子炉内で使用されていた制御棒への入力加速度よりも小さいことから、原子炉内で使用されていた制御棒に比べて、地震時の応力は小さくなる。したがって、燃料プールに保管されていた制御棒についても、疲労累積係数が 1.0 より十分に小さいことは明らかである。

以上

新潟県中越沖地震時の脆性破壊評価

１．概要

新潟県中越沖地震（以下、「本地震」という。）発生時に、原子炉内で使用または使用済み燃料プール（以下、「燃料プール」という。）にて保管されていたハフニウムフラットチューブ型制御棒（以下、「制御棒」という）を対象として，本地震に伴う荷重を想定した脆性破壊評価を行った。評価条件は，原則として内規[*1]（内規が指定する民間規格の規程も含む）に則り設定した。評価の結果，制御棒に脆性破壊が生じなかったことを確認した。

＊1
経済産業省
平成 21・11・18 原院第１号
平成２１年１２月２５日
発電用原子力設備における破壊を引き起こすき裂その他の欠陥の解釈について（内規）の制定について
経済産業省原子力安全・保安院
NISA-325c-09-4
NISA-163c-09-4

２．原子炉内にあった制御棒の破壊評価

内規（本文）は，下記の構造に対して評価法を規定している。

1）機器及び構造物一般の場合

2）シュラウド等の場合

3）炉心そうの場合

本評価は，高い中性子照射の影響を受けている制御棒の評価であることから，シュラウドの評価を準用した。ただし，シュラウド（円筒）と制御棒の形状の違い等により，厳密に従うことができないものについては，内規の考え方を踏まえて設定した。

2-1. 評価条件

2-1-1. 評価に用いるひび長さの設定

目視検査（外観点検）で同定されたシース（厚さ 1.14mm）の最大ひび 30mm を２倍し，これにタイロッド幅 33mm を和した 93mm と設定した（図１）。

2-1-2. 制御棒のひびのモデル化

内規により，シュラウド等のひびは，シュラウド等を簡易形状（平板または円筒）に置き換えてモデル化した上で，内部き裂，表面き裂または円筒方向貫通き裂の応力拡大係数

を用いるよう規定されている。この考え方を踏まえて，本評価においては，制御棒を平板に置換えてモデル化し，平板中の板厚方向に貫通したき裂に対する応力拡大係数を用いた。シュラウド等の簡易形状への置換え規定の事例を図２に，また，本評価で用いた制御棒を平板に置換えたモデルを図３と図４に示す。

2-1-3. 制御棒に作用する負荷条件

制御棒に作用する負荷条件はスクラム荷重と地震荷重を組み合わせた。鉛直方向荷重として，鉛直方向の加速度 100Ｇ*2 を与えた。水平方向荷重として，本地震による荷重である分布荷重（w=0.18N/mm）及び燃料集合体からの接触荷重（N=252N）を与えた（図５）。

＊2 地震時にスクラムした場合，シース断面には，スクラム終端の加速度に鉛直方向の地震応答加速度を加えた加速度が作用する。鉛直方向地震応答加速度が0.48G であるが，加速度100G は，試験で確認されたスクラム終端加速度約70G*3 に余裕を考慮した値なので，0.48G はこの余裕量に十分含まれる。
＊3 共同研究報告書「新型制御棒駆動機構の開発（昭和 62 年 9 月）」

2-2. 許容値

破壊評価の許容値は，中性子照射量が 8×10^{24} ｎ/m^2 以上であるオーステナイト系ステンレス鋼の破壊靭性値である下記とした。

K_{IC}=43.2MPa$\sqrt{m}$

2-3. 評価結果

第１タブ～第 25 タブにおける応力拡大係数を図６に示す。いずれも許容値を下回っていることから，炉内にあった制御棒は脆性破壊しなかったと考えられる。

なお，燃料プールに保管されていた制御棒については，地震による入力加速度が原子炉内で使用されていた制御棒への入力加速度よりも小さいことから，原子炉内で使用されていた制御棒に比べて，地震時の応力は小さくなる。したがって，燃料プールに保管されていた制御棒についても，応力拡大係数が許容値を下回ることは明らかである。

以上

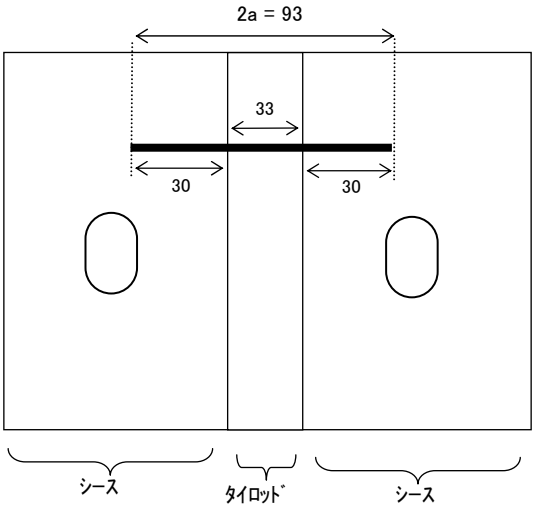


図１ 想定したき裂長さ（単位：mm）

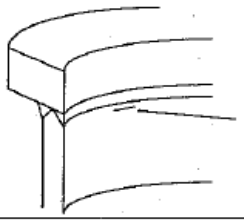
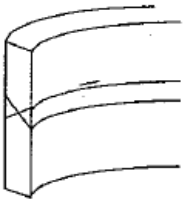
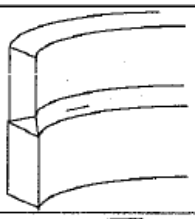
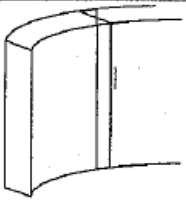
機器	継手名称	継手形状（模式図）	簡易モデル化形状
シュラウド	(1) H1～H3, H6a/b 溶接部（熱影響部）	 想定する欠陥の例（欠陥の向き/位置については，機器毎に検討）	平板形状
	(2) H4 溶接部（熱影響部）		平板形状
	(3) H7 溶接部（熱影響部，溶接金属）	 （溶接金属の例）	平板形状
	(4) 縦溶接部（熱影響部）		平板形状

図２ 破壊評価用に実構造形状 を簡易形状化する例（維持規格）

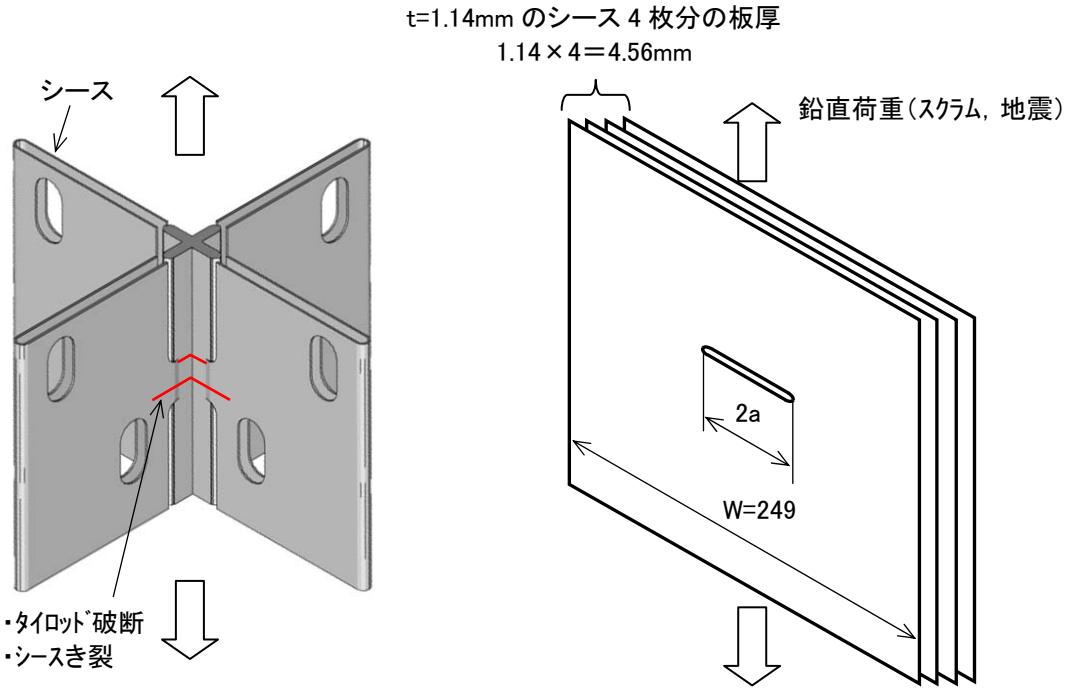


図３　鉛直荷重を評価するための制御棒のモデル化（１タブ分を表示）

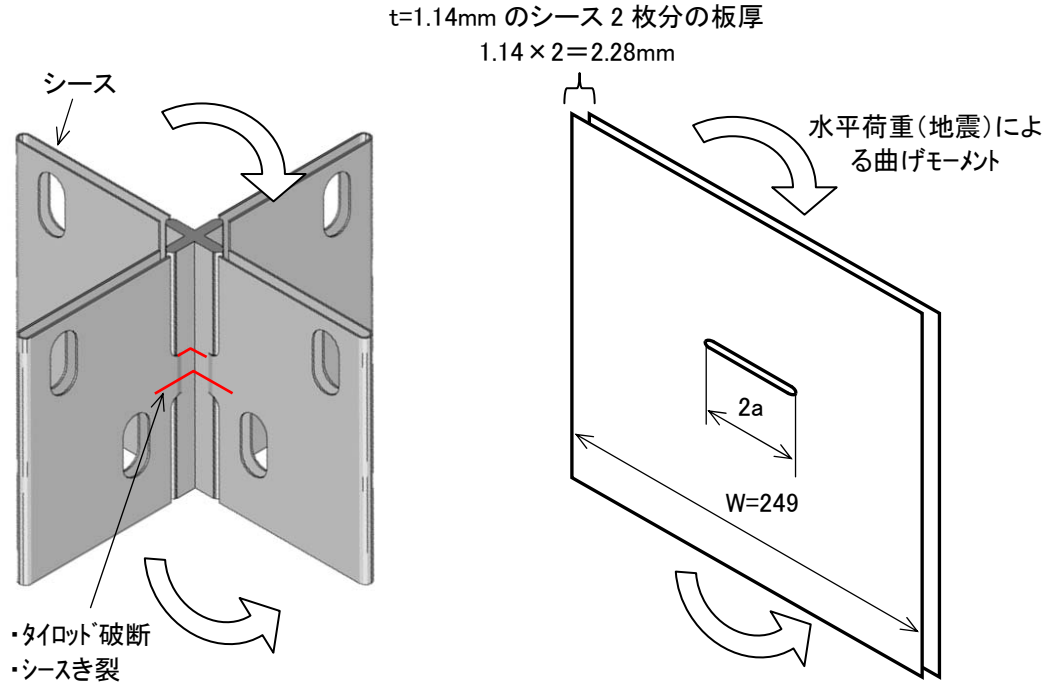


図４　水平荷重を評価するための制御棒のモデル化（１タブ分を表示）

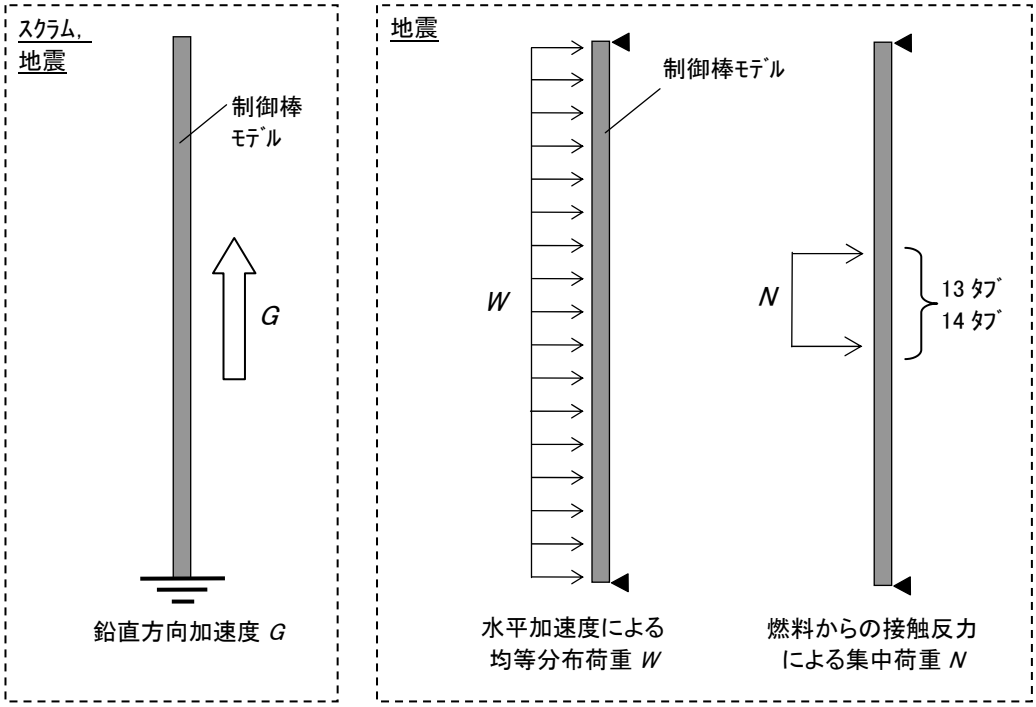


図５　制御棒に作用する荷重

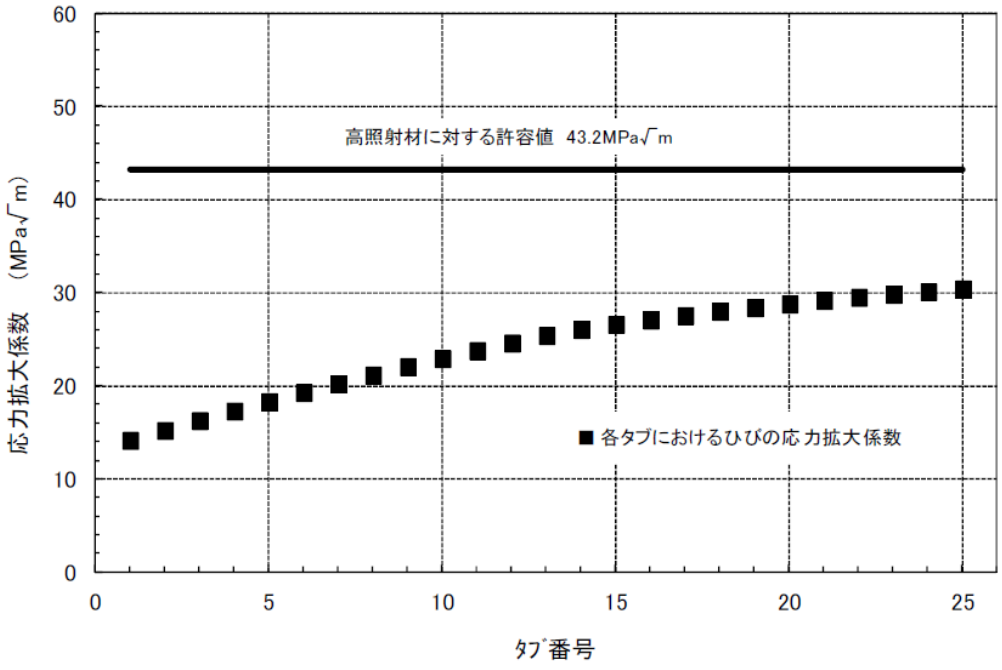


図６　原子炉内にあった制御棒の破壊評価結果

溶け込み不足の発生要因について

１．調査内容

照射後試験施設における調査によって、シース／タイロッド溶接部における溶接溶け込み不足による隙間を確認した。当該溶接方法の管理状況について調査し、溶け込み不足発生の要因を分析した。（添付－１）

なお、レーザ溶接導入に関する情報はメーカから当社へ連絡があったが、TIG 溶接の一定電流からパルス電流への変更に関する情報については連絡がなかった。

２．調査結果

（１）パルス電流による TIG 溶接及びレーザ溶接導入の経緯

一定電流による初期の TIG 溶接方法に対し、制御棒完成体の変形を抑制することを目的に、入熱量を低減し、溶け込み量の確保が可能なパルス電流による TIG 溶接方法を導入した。また、更に制御棒完成体の変形を抑制することができるレーザ溶接を導入した。

（２）溶接施工条件の確認

シース／タイロッド溶接における施工条件を策定するに当たり、部分要素試験片を用いた基礎試験による最適条件範囲の確認を経た後、全長試験体*1 を試作し、寸法確認、溶接部断面金相確認、外観確認等を実施し、溶接条件の適切性を確認している。

（３）作業指示書への反映

製品用の制御棒を製造する際の作業指示書について確認した結果、下記の項目について、レーザ溶接では作業指示書において明確に指示されていたものの、TIG 溶接では明確に指示されていなかったことを確認した。（添付－２）

ａ．シース／タイロッドの開先合わせ確認

ｂ．溶接ねらい位置

（４）推定原因

TIG 溶接は手動で行うため、溶け込み不足の発生を防止する観点から溶接位置を明確に規定する必要があったにもかかわらず、溶接ねらい位置を作業指示書で明確に指示していなかった。このため、溶接士が溶接ねらい位置をタイロッド中心側に偏らせた*2 ことにより、シース／タイロッドの開先合わせ位置における溶け込み不足が生じたものと考えられる。なお、照射後試験施設における調査結果においてもその状況が見られている。

また、レーザ溶接については、溶接ねらい位置を作業指示書で明確に指示していたものの、位置合わせを手動で行っており、溶接ねらい位置がずれた場合に溶け込み不足が生じる可能性があると考えられる。

*1　ハンドル、コネクタの溶接を行わないシース／タイロッド部の全長を模擬した試験体

*2　タイロッドとシースの溶接は、薄板を厚板に溶接する特殊な溶接のため、シースの溶け落ちを防止し変形を抑制する観点から溶接士は溶接ねらい位置をタイロッド中心側に偏らせる傾向がある。

以上

シース／タイロッド溶接部の溶け込み不足発生の要因分析表

○：要因の可能性あり　△：やや要因の可能性あり　×：要因の可能性なし

事象	管理項目			調査方法	調査結果	該当溶接方法	判定
溶け込み不足発生	材料	母材	材質	材料記録確認	材料記録によりシースおよびタイロッドの材質がSUS316Lの化学成分を満足していることを確認した。	共通	×
		溶加材	材質	材料記録確認 溶接作業記録票確認	溶接作業記録票により溶加材[redacted]を使用していることを確認した。	TIG溶接（一定電流）	×
					材料記録により溶加材の材質[redacted]の化学成分を満足していることを確認した。 また、使用時に溶接作業記録票にロットNo.（ヒートNo.）が記録されていることを確認した。	TIG溶接（パルス電流）	×
					材料記録により溶加材の材質[redacted]の化学成分を満足していることを確認した。 また、使用時に溶接作業記録票にロットNo.（ヒートNo.）が記録されていることを確認した。	レーザ溶接	×
	開先 （タイロッドおよびシース）	開先面状態	表面状態	生産管理票確認	生産管理票により、タイロッド及びシースを洗浄し、外観検査を実施していることを確認した。	共通	×
		開先形状	寸法	生産管理票確認	生産管理票により、タイロッド及びシースの外観・寸法検査を実施していることを確認した。	共通	×
	開先合せ （タイロッド/シース位置合わせ）	開先合せ位置	シース重なり代	作業指導書確認	シース重なり代について明確に指示している文書はなかったが、重なり代の確認を実施していたことをヒアリングにより確認した。	TIG溶接	○
					作業指導書にて重なり代を明確に指示していることを確認した。	レーザ溶接	×
			シース浮き上がり	作業指導書確認	シースの浮き上がりについて明確に指示している文書はなかったが、シースの浮き上がりがないことの確認を実施していたことをヒアリングにより確認した。	TIG溶接	○
					作業指導書にて浮き上がり確認を明確に指示していることを確認した。	レーザ溶接	×
		固定治具	シースの位置	作業指導書確認	治具による固定について明確に指示している文書はなかったが、固定方法の指導をしていたことをヒアリングで確認した。	TIG溶接（パルス電流）	×
		仮付け溶接		作業指導書確認	仮付け溶接について明確に指示している文書はなかったが、仮付け溶接の指導をしていたことをヒアリングにより確認した。	TIG溶接（一定電流）	×
					作業指導書にて仮付け溶接を明確に指示していることを確認した。	レーザ溶接	×
	溶接	電流		溶接施工法データシート確認 溶接作業記録票確認	溶接作業記録票により、電流が溶接施工法データシートと一致していることを確認した。（レーザ溶接はレーザ出力にて管理）	共通	×
		電圧		溶接施工法データシート確認 溶接作業記録票確認	溶接作業記録票により、電圧が溶接施工法データシートと一致していることを確認した。（レーザ溶接はレーザ出力にて管理）	共通	×
		溶接速度		溶接施工法データシート確認 溶接作業記録票確認	溶接作業記録票により、速度が溶接施工法データシートと一致していることを確認した。	共通	×
		シールドガス流量		溶接施工法データシート確認 溶接作業記録票確認	溶接作業記録票により、シールドガス流量が溶接施工法データシートと一致していることを確認した。	共通	×
		バックパージガス流量		溶接施工法データシート確認 溶接作業記録票確認	溶接作業記録票により、バックパージガス流量が溶接施工法データシートと一致していることを確認した。	共通	×
		姿勢		溶接施工法データシート確認 溶接作業記録票確認	溶接作業記録票により、溶接データシートに定められた姿勢で溶接したことを確認した。	共通	×
		ねらい位置		溶接施工法データシート確認 溶接作業記録票確認	溶接施工法データシートにねらい位置の規定はなかった。	TIG溶接	○
					溶接作業記録票により、ねらい位置（照射位置）が溶接施工法データシートと一致していることを確認した。 ねらい位置（照射位置）の位置合わせを手動で行っていたことを確認した。	レーザ溶接	△

シース／タイロッド溶接部施工条件の管理の変遷

○：指示あり、　×：指示なし

溶接方法	指示内容		
	開先合せ （重なり代）	開先合せ （隙間）	ねらい位置
TIG溶接（一定電流）	×	×	×
TIG溶接（パルス電流）	×	×	×
レーザ溶接（外注）	○ （ギャップ0.2㎜以下）	○ （浮き上がりがないことを確認）	○ （開先中央からシース側に0.3㎜（手動設定））
レーザ溶接（内作）	○ （ギャップ0.2㎜以下）	○ （浮き上がりがないことを確認）	○ （開先中央からシース側に0.7㎜（手動設定※））

※2009年からは画像処理により自動でねらい位置を定めている。

制御棒に関する技術基準の要求事項

発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令		安全上重要な機器を定める告示（告示327号）における要求機能
（耐震性） 第5条 第1項	「原子炉施設並びに一次冷却材又は二次冷却材により駆動される蒸気タービン及びその附属設備は、これらに作用する地震力による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないように施設しなければならない。」	（四）原子炉の緊急停止機能
（原子炉施設） 第8条 第1項	「原子炉施設は、通常運転時において原子炉の反応度を安全かつ安定に制御でき、かつ、運転時の異常な過渡変化時においても原子炉固有の出力抑制特性を有するとともに原子炉の反応度を制御することにより核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有するものでなければならない。」	（二）過剰反応度の印加防止機能 （四）原子炉の緊急停止機能 （五）未臨界維持機能
（安全設備） 第8条の2 第2項	「安全設備は、想定されているすべての環境条件においてその機能が発揮できるように施設しなければならない。」	（二）過剰反応度の印加防止機能 （四）原子炉の緊急停止機能 （五）未臨界維持機能
（反応度制御系統及び原子炉停止系統） 第23条 第2項	「反応度制御系統は、計画的な出力変化に伴う反応度変化を燃料許容損傷限界を超えることなく制御できる能力を有するものでなければならない。」	（二）過剰反応度の印加防止機能
（反応度制御系統及び原子炉停止系統） 第23条 第3項第1号	「通常運転時の高温状態において、二つ以上の独立した系統がそれぞれ原子炉を未臨界に移行し未臨界を維持できるものであり、かつ、運転時の異常な過渡変化時の高温状態においても原子炉停止系統のうち少なくとも一つは、燃料許容損傷限界を超えることなく原子炉を未臨界に移行し未臨界を維持できること。この場合において，非常用炉心冷却設備等の作動に伴って注入される液体制御材による反応度価値を加えることができる。」	（二）過剰反応度の印加防止機能 （四）原子炉の緊急停止機能 （五）未臨界維持機能
（反応度制御系統及び原子炉停止系統） 第23条 第3項 第2号	「通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時における低温状態において、少なくとも一つは，原子炉を未臨界に移行し未臨界を維持できること。」	（五）未臨界維持機能
（反応度制御系統及び原子炉停止系統） 第23条 第3項 第3号	「一次冷却材喪失等の事故時において、少なくとも一つは、原子炉を未臨界へ移行することができ、少なくとも一つは，原子炉を未臨界に維持できること。この場合において，非常用炉心冷却設備等の作動に伴って注入される液体制御材による反応度価値を加えることができる。」	（五）未臨界維持機能
（反応度制御系統及び原子炉停止系統） 第23条 第3項 第4号	「制御棒を用いる場合にあっては，反応度価値の最も大きな制御棒一本が固着した場合においても第1号から第3号までの規定に適合すること。」	（二）過剰反応度の印加防止機能 （四）原子炉の緊急停止機能 （五）未臨界維持機能
（反応度制御系統及び原子炉停止系統） 第23条 第4項	「制御棒の最大反応度価値及び反応度添加率は、想定される反応度投入事象（原子炉に反応度が異常に投入される事象をいう。）に対して原子炉冷却材圧力バウンダリを破損せず、かつ、炉心冷却を損なうような炉心等の損壊を起こさないものでなければならない。」	（二）過剰反応度の印加防止機能
（反応度制御系統及び原子炉停止系統） 第23条 第5項	「制御棒，液体制御材等は，通常運転時における圧力，温度及び放射線によって起こる最も厳しい条件において，必要な物理的及び化学的性質を保持するものでなければならない。」	（二）過剰反応度の印加防止機能 （四）原子炉の緊急停止機能 （五）未臨界維持機能

制御棒の構造健全性評価

タブ溶接部上部におけるタイロッドのひび、タブ溶接部におけるタイロッド及びシースのひびが複数個所において確認された使用済みハフニウムフラットチューブ型制御棒と同型の制御棒を定期検査前に柏崎刈羽原子力発電所７号機の炉内で使用していたことから、その制御棒についての運転中の健全性を以下に示す。

１．概要

定期検査前に炉内で使用されていたハフニウムフラットチューブ型制御棒について、複数個所のタイロッド破断及びシースひびを仮定した場合における、Ｓｓ地震スクラム時の応力評価を実施し、健全性に問題がないことを確認した。

なお、この評価によりシース／タイロッド溶接部近傍のひびの確認された使用済みの同型制御棒が運転中に健全性を維持できていたことを確認した。

本評価にあたっては、発電用原子力設備規格（設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）における「炉心支持構造物」の規定を準用し、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編ＪＥＡＧ４６０１－1984及びＪＥＡＧ４６０１－1987）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月及び昭和 62 年 8 月）における「制御棒」の規定を適用して応力評価を実施した（※１）。

※１：設計においても同民間規格に基づいている。

２．評価内容

地震時のスクラムにおいて、制御棒が中性子吸収材を保持し、原子炉を停止できる必要があり、制御棒の全長に亘る範囲にタイロッド破断及びシースひびの発生を仮定した場合（以下、「ケースＡ」という。）、制御棒全長の半分程度に亘る範囲にタイロッド破断及びシースひびの発生を仮定した場合（以下、「ケースＢ」という。）、制御棒の長さ方向中央付近にタイロッド破断及びシースひびの発生を仮定した場合（以下、「ケースＣ、Ｄ」という。）の各ケースに対して、以下を評価する。

（１）シースに過大な変形が生じないことを確認するために、Ｓｓ地震発生時のスクラムにおいて、シースに発生する応力（一次一般膜応力＋一次曲げ応力）が評価基準値を満足することを確認する。

（２）シース／タイロッド溶接部が破断しないことを確認するために、Ｓｓ地震発生時のスクラムにおいて、シース／タイロッド溶接部に発生する応力（せん断応力）が評価基準値を満足することを確認する。

なお、シース／コネクタ溶接部に対する条件としては、ケースＡの条件がケースＢ、Ｃ及びケースＤの条件よりも厳しいことから、ケースＡについては、Ｓｓ地震発生時のスクラムにおいて、シース／コネクタ溶接部に発生する応力（一次一般膜応力＋一次曲

げ応力）が評価基準値を満足することを合わせて確認する。

３．評価結果

シースに発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力、シース／タイロッド溶接部に発生するせん断応力及びシース／コネクタ溶接部に発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力を評価し、それぞれ評価基準値との比較を実施した結果、評価基準値を満足していることを確認した。

３．１　評価条件

(1)評価ケース

・以下の４ケースを仮定する。

- ケースＡ（25 箇所破断）
  第 1 タブから第 25 タブまでの全てのタブについて、タブ溶接部上部にタイロッド破断を、タブ溶接部にタイロッド破断及びシースひびを仮定する（図 1)。
- ケースＢ（16 箇所破断）
  第 1 タブから第 16 タブまでの全てのタブについて、タブ溶接部上部にタイロッド破断を、タブ溶接部にタイロッド破断及びシースひびを仮定する（図 2)。
- ケースＣ（3 箇所破断）
  第 12 タブから第 14 タブまでの全てのタブについて、タブ溶接部上部にタイロッド破断を、タブ溶接部にタイロッド破断及びシースひびを仮定する（図 3)。
- ケースＤ（1 箇所破断）
  第 14 タブについて、タブ溶接部上部にタイロッド破断を、タブ溶接部にタイロッド破断及びシースひびを仮定する（図 4)。

・シースひびについては、厳しい条件として、タイロッド側から進展したひびがタイロッド側冷却孔に至ることを想定し、タイロッド側冷却孔の外端部までの長さを仮定し、タイロッド破断と合わせたひびの長さを 110㎜ と仮定する（図 5)。

(2)評価条件

・基準地震動Ｓｓとスクラム事象が同時に発生した場合を想定する。

・スクラム荷重については、スクラム終端での加速度を設計時に想定した 100G として算定する。100G は、共同研究報告書「新型制御棒駆動機構の開発（昭和 62 年 9 月)」の試験にて確認されたスクラム終端加速度約 70G に対して余裕のある値である。なお、S_s地震動を考慮した鉛直方向地震加速度は 0.94G であり、設計時のスクラム時加速度（100G）が持つ余裕として十分含まれている。

(3)解析モデル

・応力評価には、有限要素法解析コード「ABAQUS」（※２）を使用した。なお、計算のためのモデルを図 6、図 7、図 8、及び図 9 に示す。

※２：ABAQUS 社作成の有限要素法による汎用解析計算機コードで、原子炉設備の温度分布解析及び応力解析等で使用されている。

・上部ローラから下部ローラの間の範囲をモデル化し、境界条件を上部ローラ及び下部ローラでピン支持とする。

(4)荷重条件

・水平方向荷重については、燃料からの反力及び制御棒に作用する地震荷重を考慮する。

・燃料からの反力は、タイロッド破断及びシースひびを考慮した荷重とする。

・制御棒と燃料（チャンネルボックス）との接触状態を、有限要素法を用いて解析した結果、燃料からの反力による荷重は、制御棒中央付近にありたわみが最大となる第 13 タブ及び第 14 タブを中心とする複数のタブ周辺において燃料とシースとの接触面からシース／タイロッド溶接部を介してタイロッドに伝達されることを確認した。（図 10）

・燃料からの反力は、燃料とシースとの接触面からシース／タイロッド溶接部を介してタイロッドに伝達されるため、たわみが最大となる第 13 タブ及び第 14 タブの溶接部に一様に負荷する（図 11）。

・制御棒に作用する地震荷重については、等分布荷重とする。（図 11）

(5)解析条件

・水平方向荷重に対する解析（有限要素法）で用いる縦弾性係数については、シース冷却孔により、制御棒全体の曲げ剛性（縦弾性係数×断面二次モーメント）が低下することを考慮した値（等価縦弾性係数）を用いる。

・シースの一次曲げ応力を算出する際は、有限要素法により得られた応力値（シースの最大ひずみ×等価縦弾性係数）を、シース材である SUS316L の縦弾性係数と等価縦弾性係数の比 0.924（※３）で除することにより、冷却孔による縦弾性係数の低減分を割り増しする。

※３：冷却孔を考慮したモデルと考慮しないモデルの各々に対して単位荷重を負荷し、変形量を解析することにより求めた曲げ剛性の比

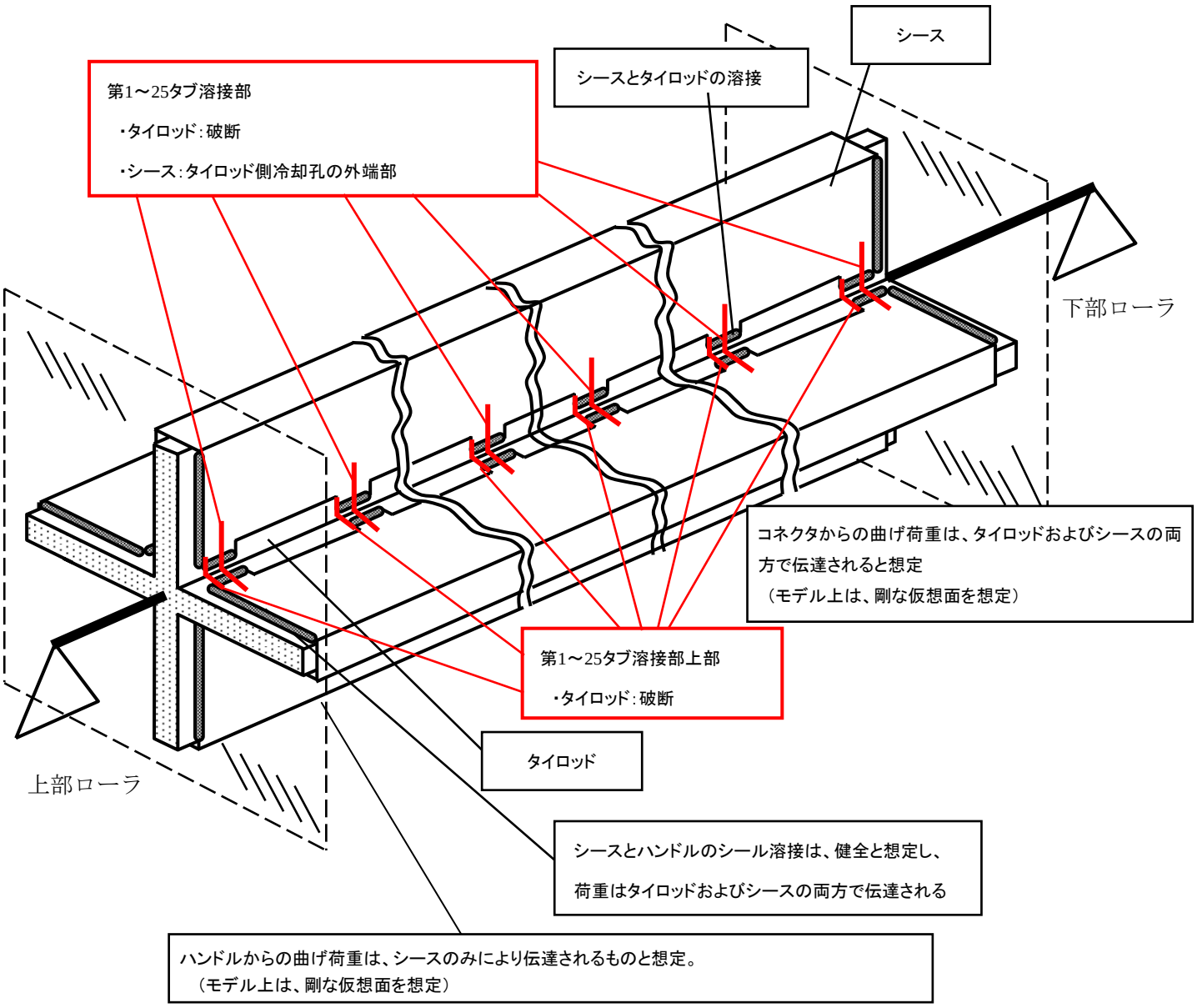


図１　計算モデルの概要（ケースＡ）

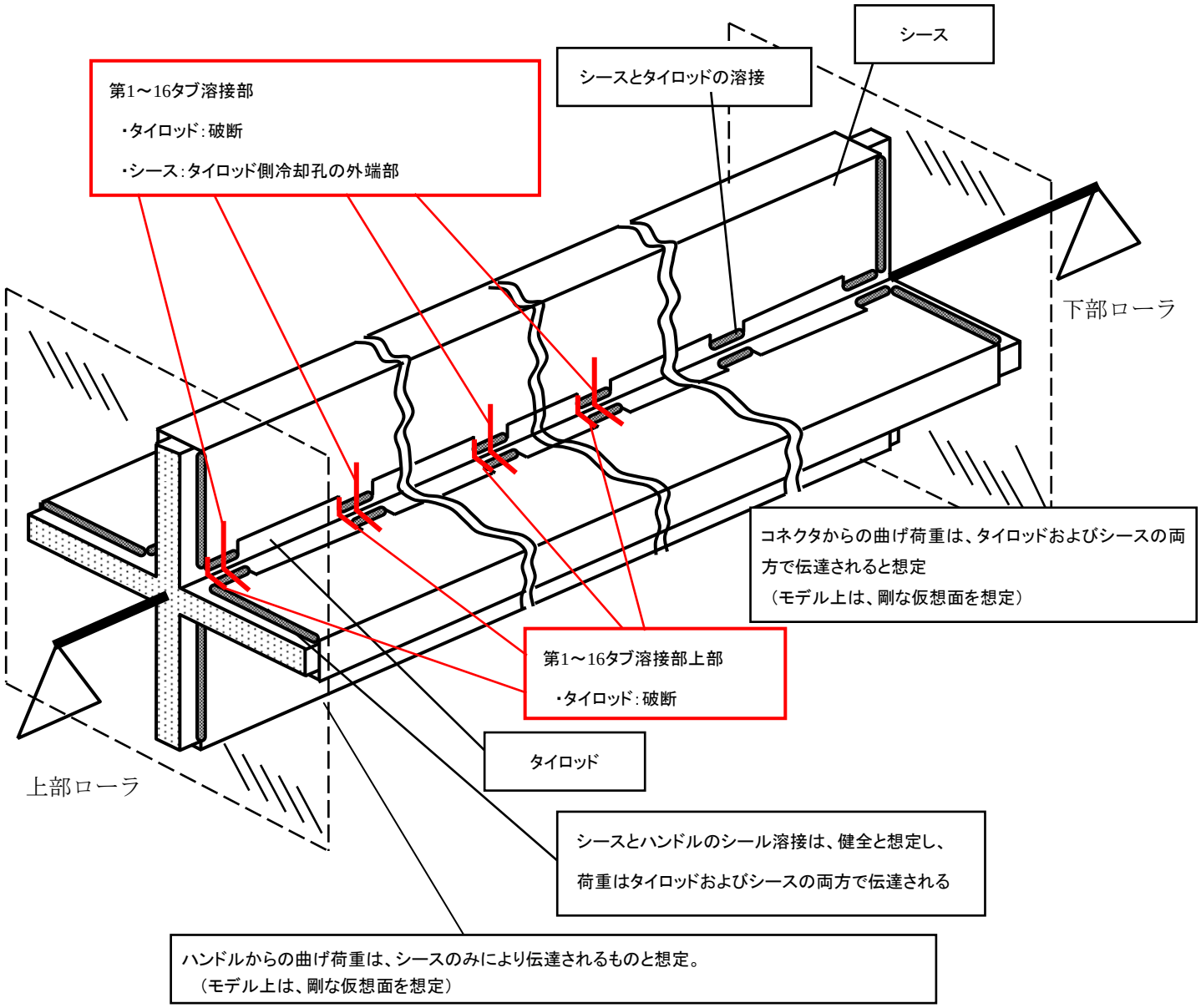


図２　計算モデルの概要（ケースＢ）

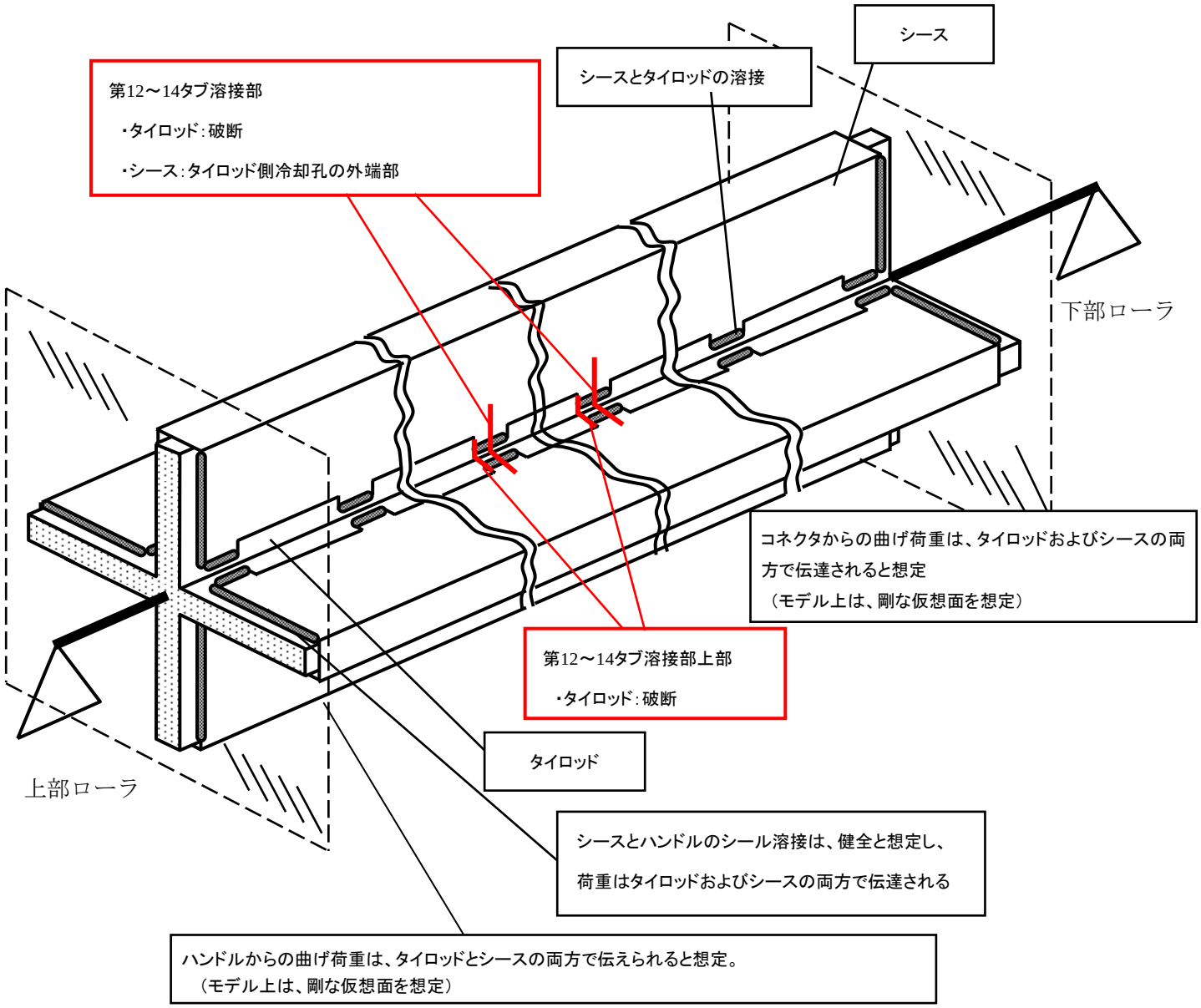


図３　計算モデルの概要（ケースＣ）

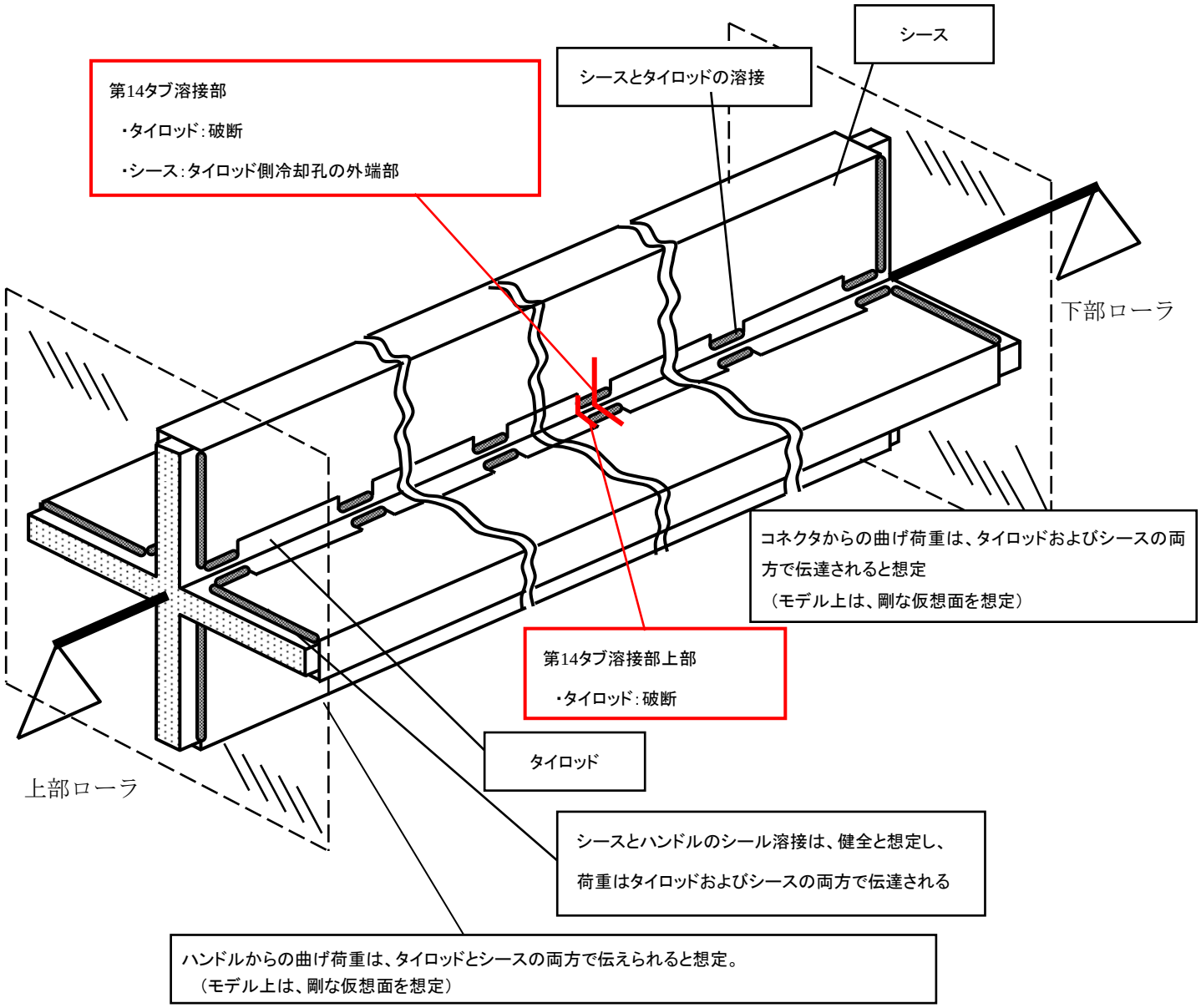


図４　計算モデルの概要（ケースＤ）

タブ溶接部上部：タイロッド破断

タブ溶接部：タイロッド破断及びシースひび

（想定箇所）
【ケースＡ】第 1～25 タブ
【ケースＢ】第 1～16 タブ
【ケースＣ】第 12～14 タブ
【ケースＤ】第 14 タブ

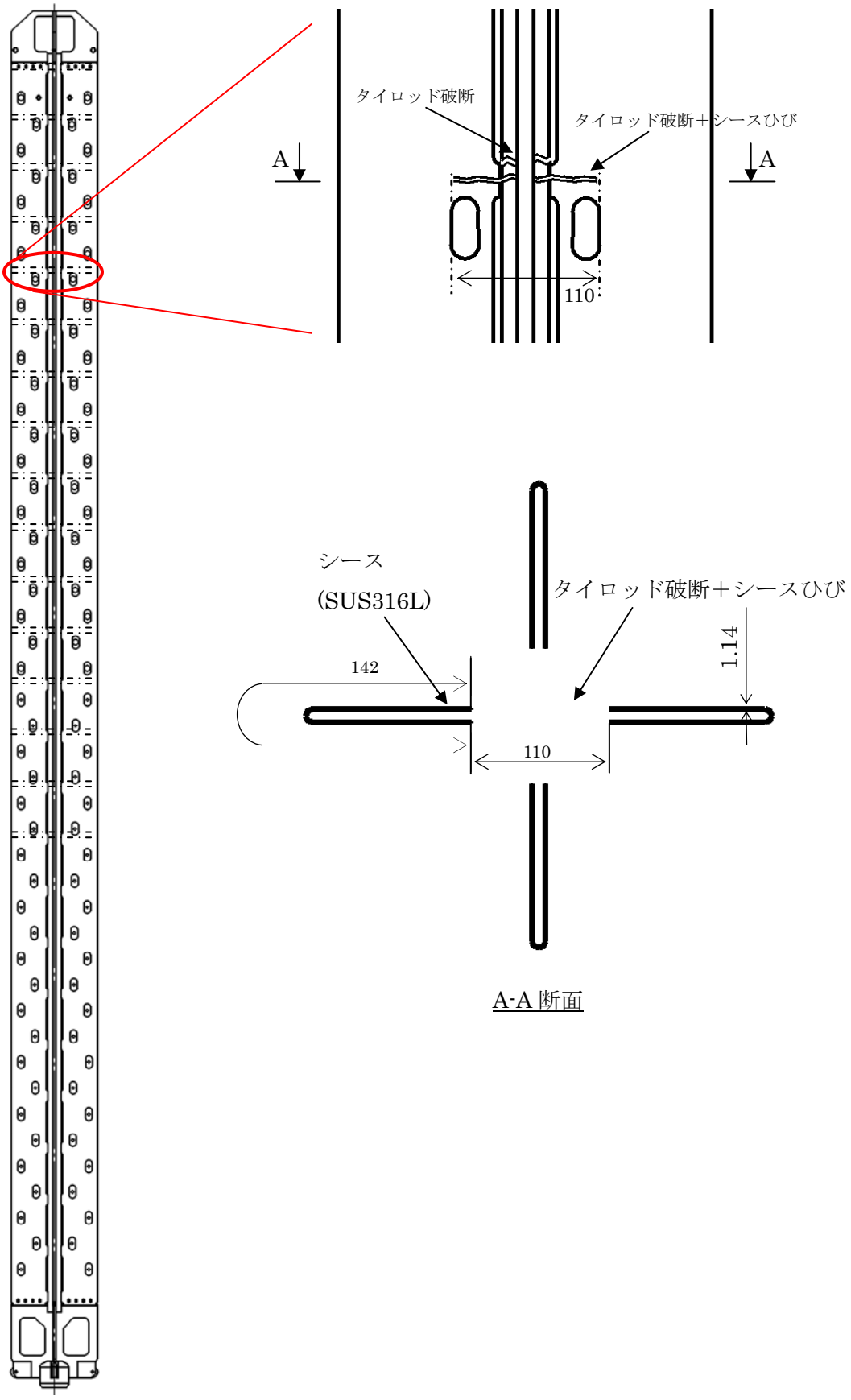


図５　タイロッド破断及びシースひびの設定

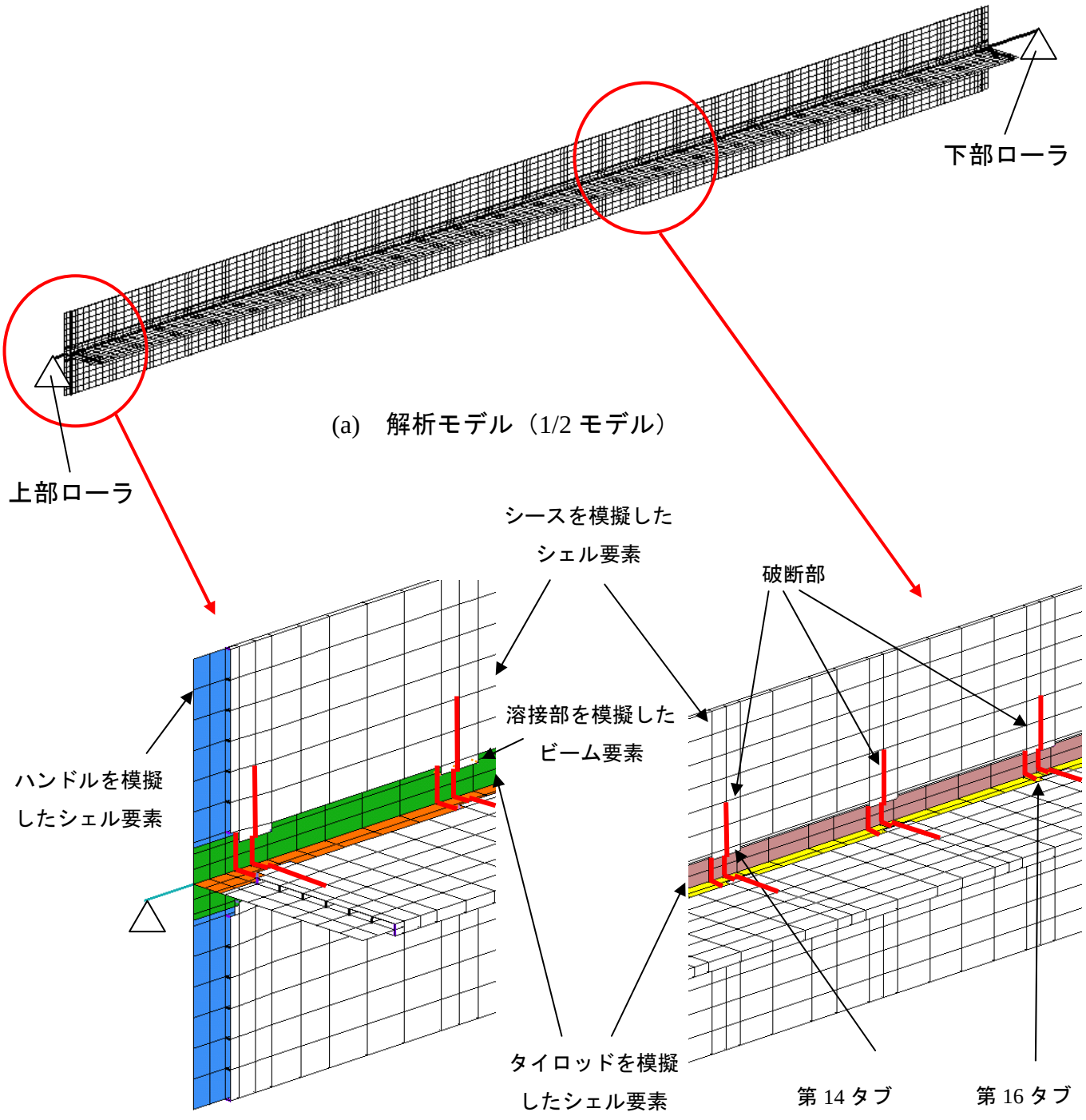


図 6　解析モデルの詳細（ケースＡ）

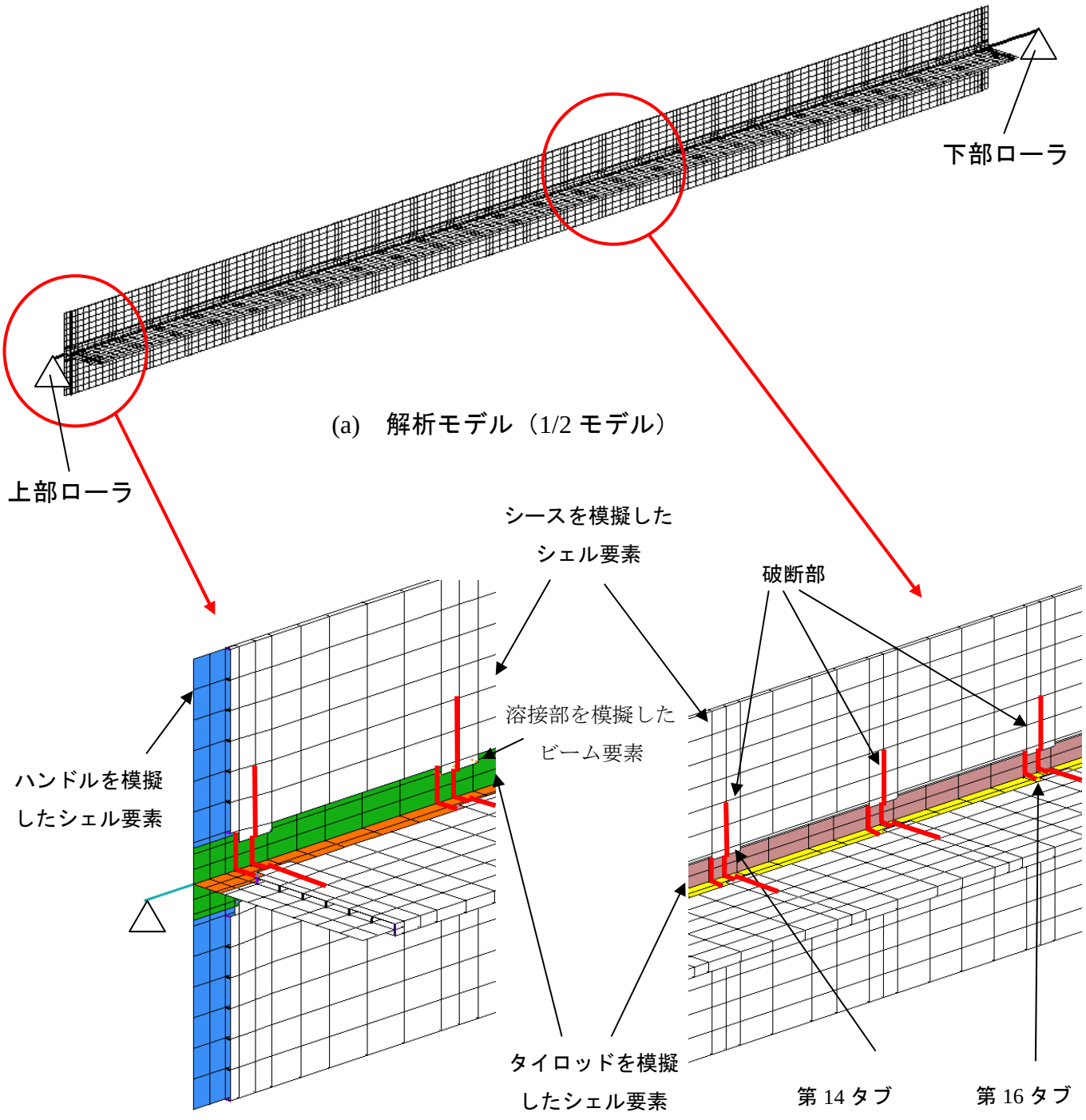


図 7　解析モデルの詳細（ケースＢ）

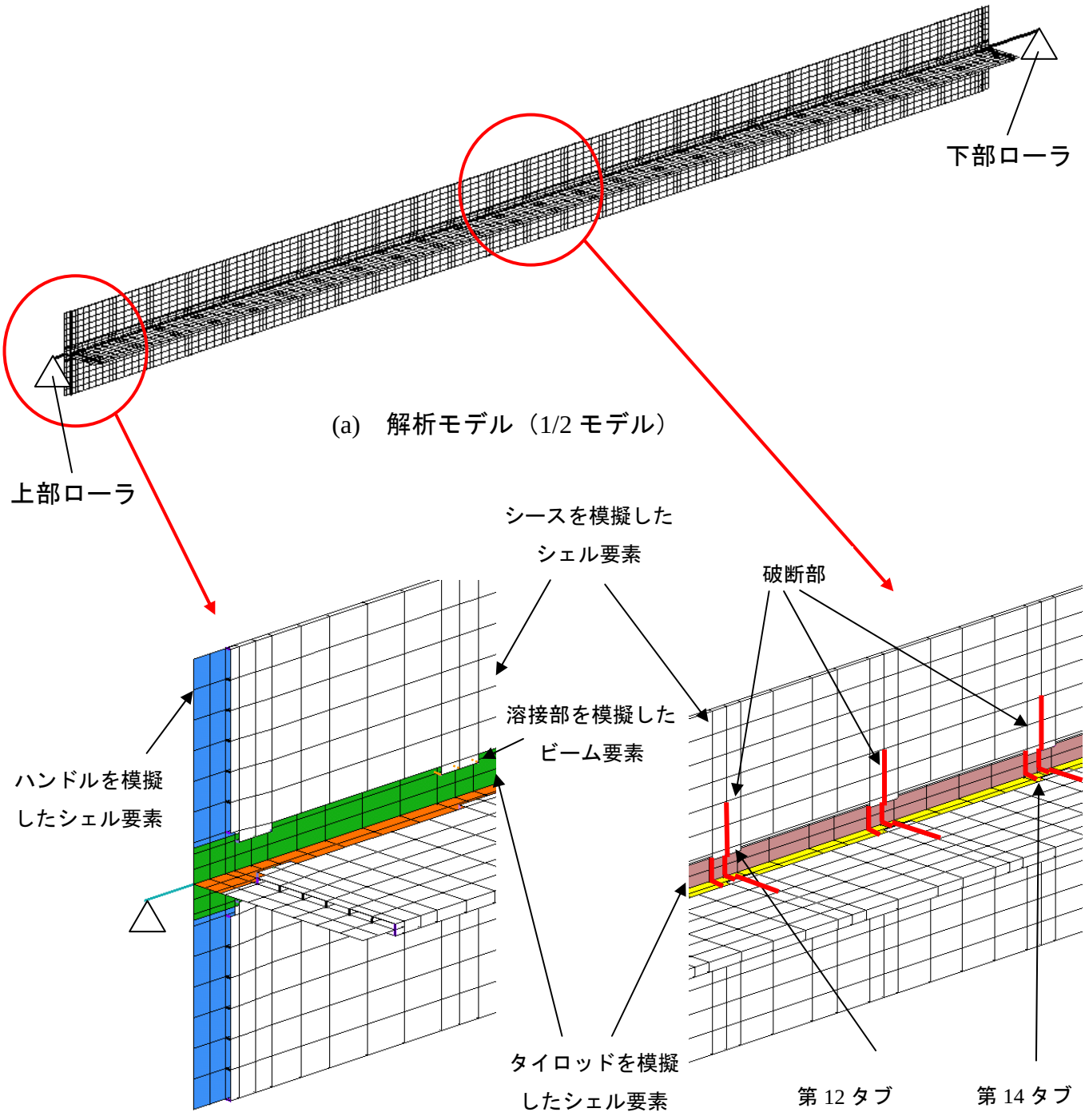


図 8　解析モデルの詳細（ケースＣ）

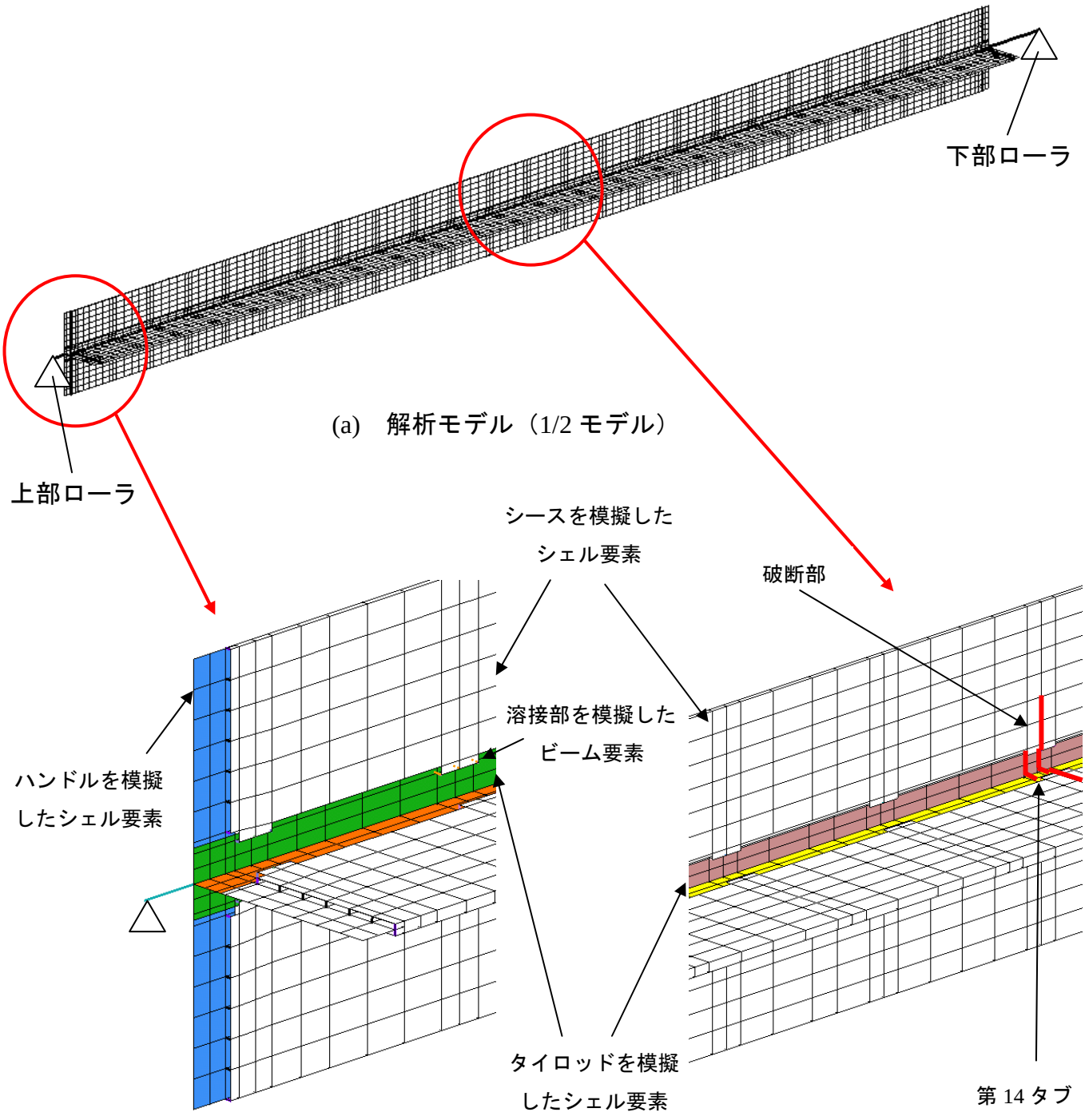
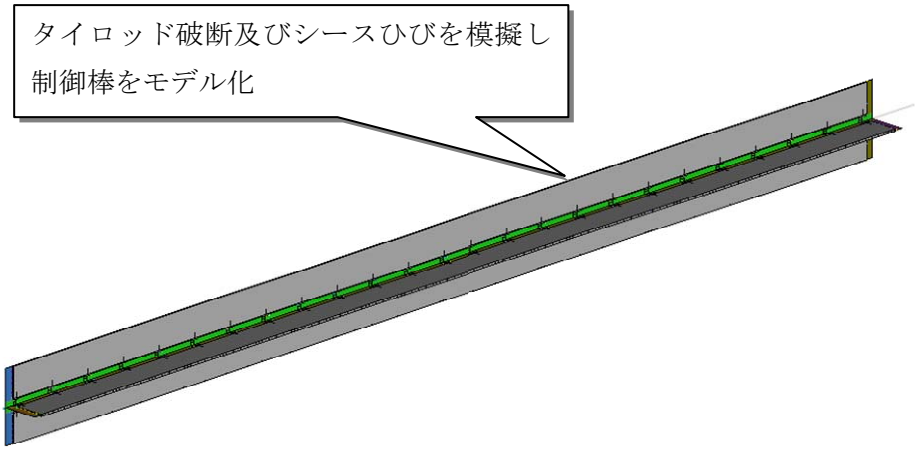
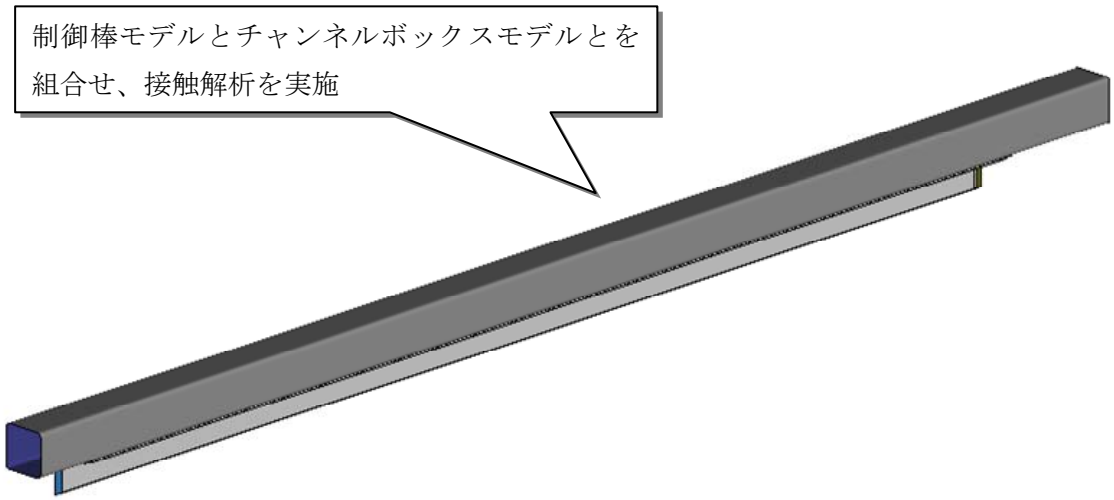


図 9　解析モデルの詳細（ケースＤ）

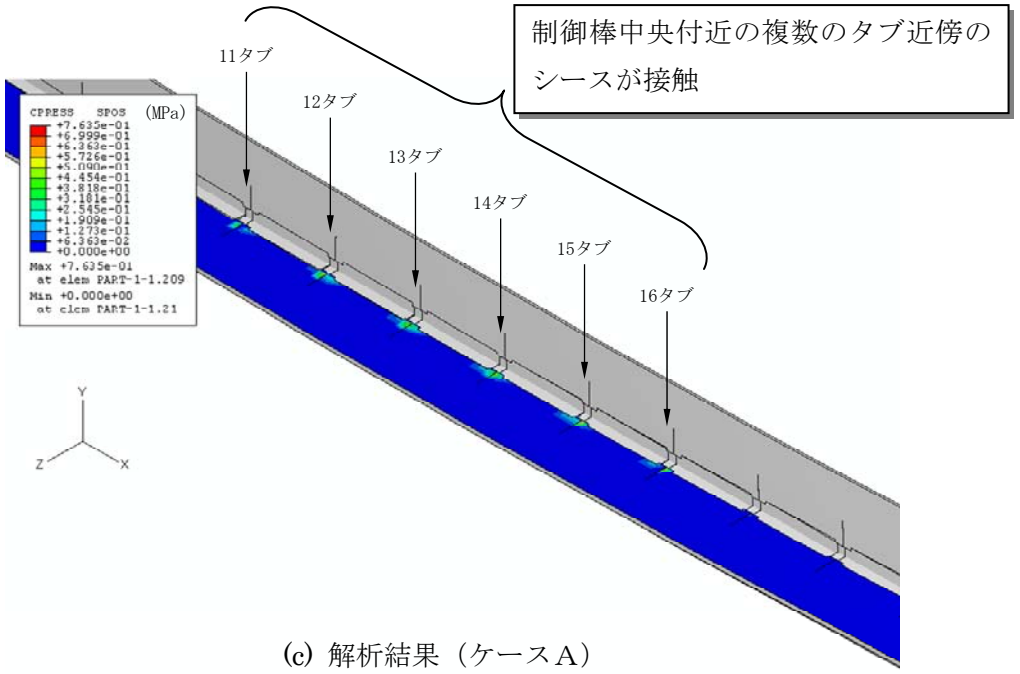


(a) 制御棒単独モデル（ケースＡの例）

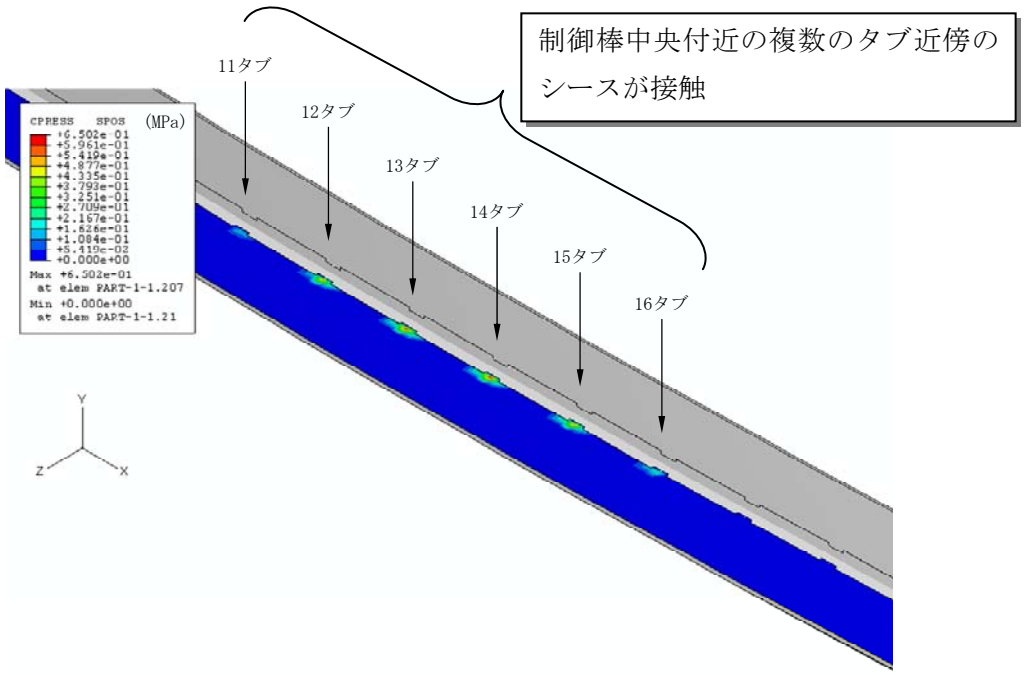


(b) 組合せモデル（制御棒＋チャンネルボックス）

図 10　制御棒と燃料との接触解析(1/2)



(c) 解析結果（ケースA）



(d) 解析結果（制御棒が健全である場合）

図 10　制御棒と燃料との接触解析（2/2）

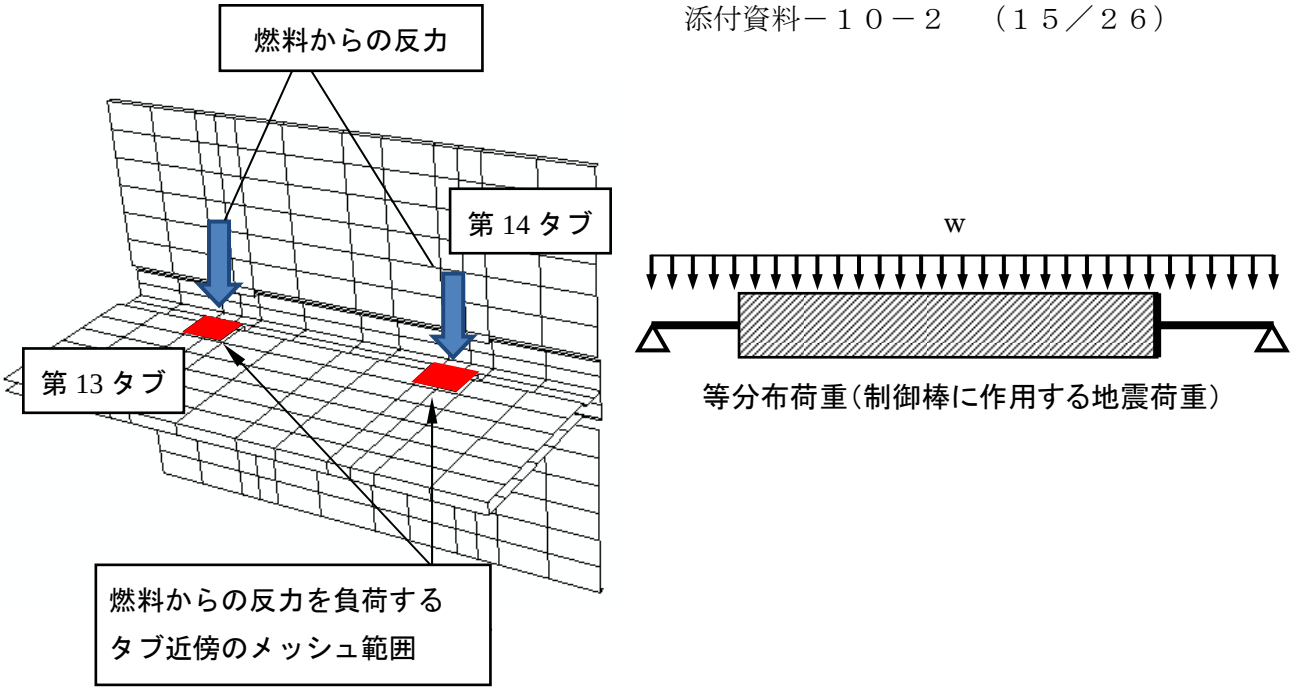


図 11　荷重条件

３．２　評価結果

表 1、2、3 に示すとおり、地震とスクラム事象が同時に発生した場合に、シースに発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力、シース／タイロッド溶接部に発生するせん断応力、及びシース／コネクタ溶接部に発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力はそれぞれ評価基準値以下である。なお、地震荷重による応力の解析結果（トレスカ応力図）を図 12、図 13、図 14、及び図 15 に示す。

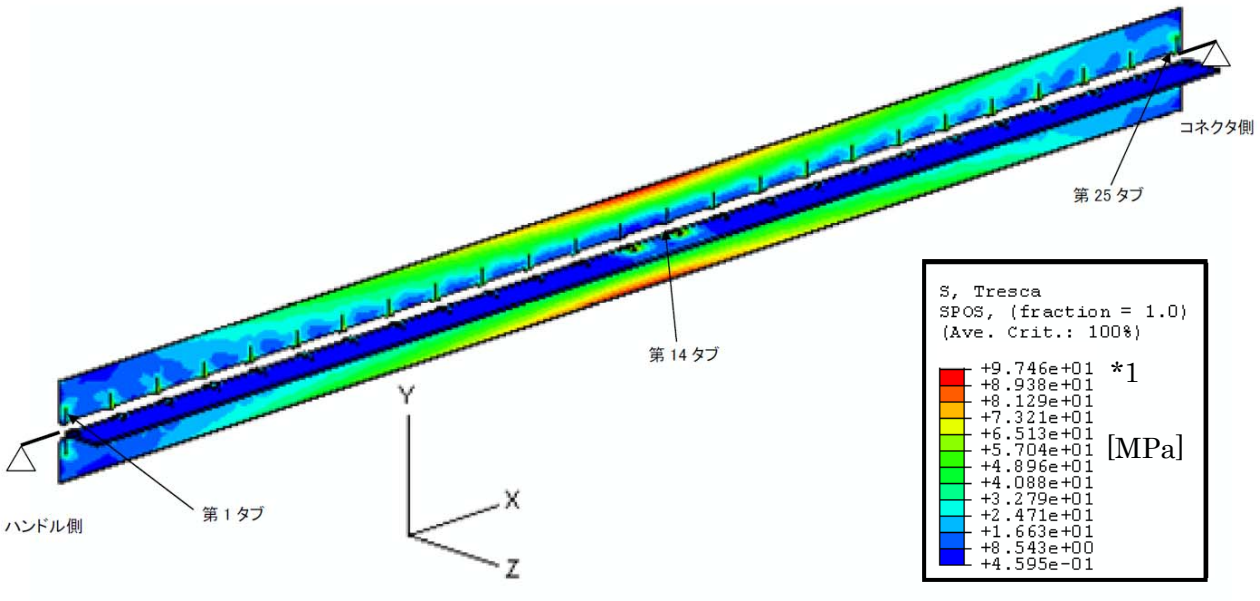
表１　地震時スクラムにおけるシースに発生する
一次一般膜応力＋一次曲げ応力評価結果

評価項目	ケース		最大応力 発生箇所	発生応力 (MPa)	評価基準値※5 (MPa)
基準地震動 S_S ＋スクラム	A	25 箇所破断※4	シース翼端部 （第 14 タブ）	201	341 ※6
	B	16 箇所破断※4	シース翼端部 （第 14 タブ）	203	
	C	3 箇所破断※4	シース翼端部 （第 13 タブ）	199	
	D	1 箇所破断※4	シース翼端部 （第 14 タブ）	193	

※４：タブ溶接部上部にタイロッド破断を、タブ溶接部にタイロッド破断及びシースひびを仮定。

※５：発電用原子力設備規格設計・建設規格（ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）における「炉心支持構造物」の規定を準用し、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１－1984 及びＪＥＡＧ４６０１－1987）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月及び昭和 62 年 8 月）における「制御棒」の規定を適用。

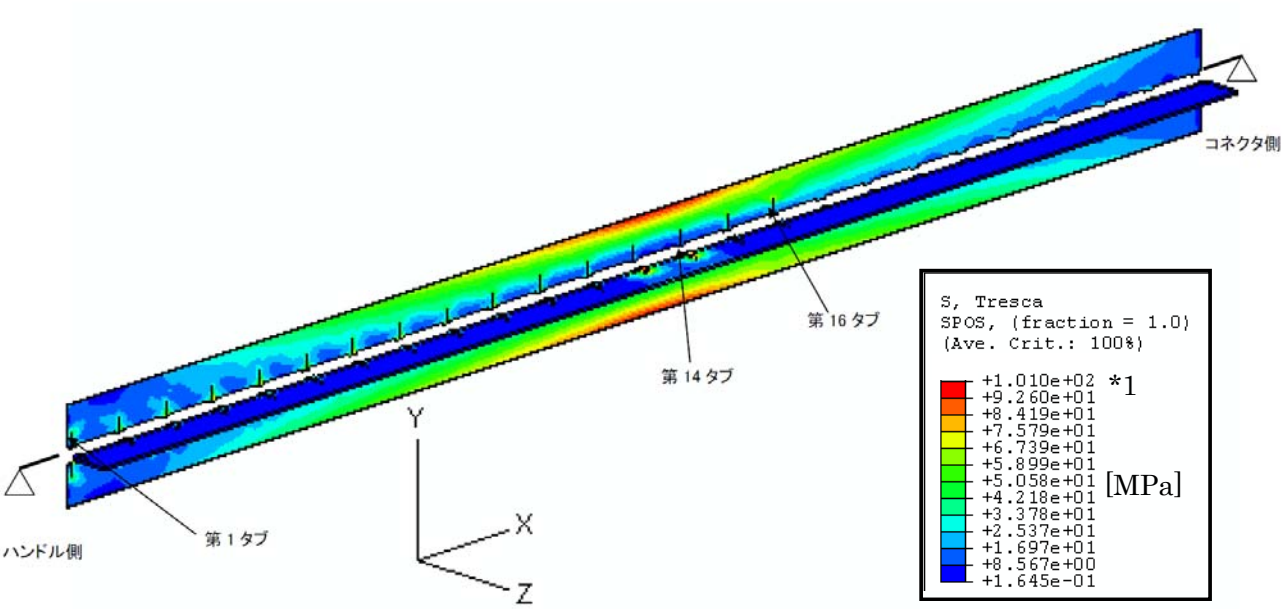
※６：SUS316L、最高使用温度（302℃）、運転状態Ⅰ、Ⅱ＋S_Sにおける一次一般膜＋一次曲げ応力の許容応力。（$3.6S_m$とS_uのうちのいずれか小さい方の値）



*1：縦弾性係数補正前の値。

注：本図には、軸方向のスクラム荷重は入っていない。

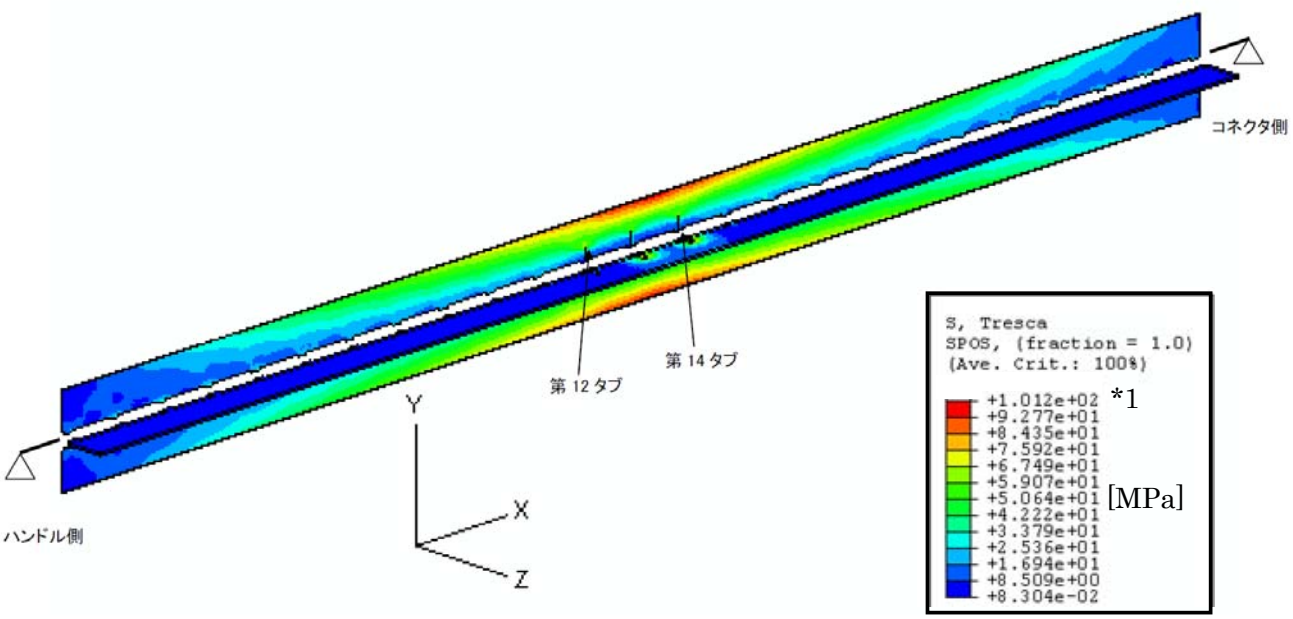
図 12　解析結果（トレスカ応力図、ケースＡ）



*1：縦弾性係数補正前の値。

注：本図には、軸方向のスクラム荷重は入っていない。

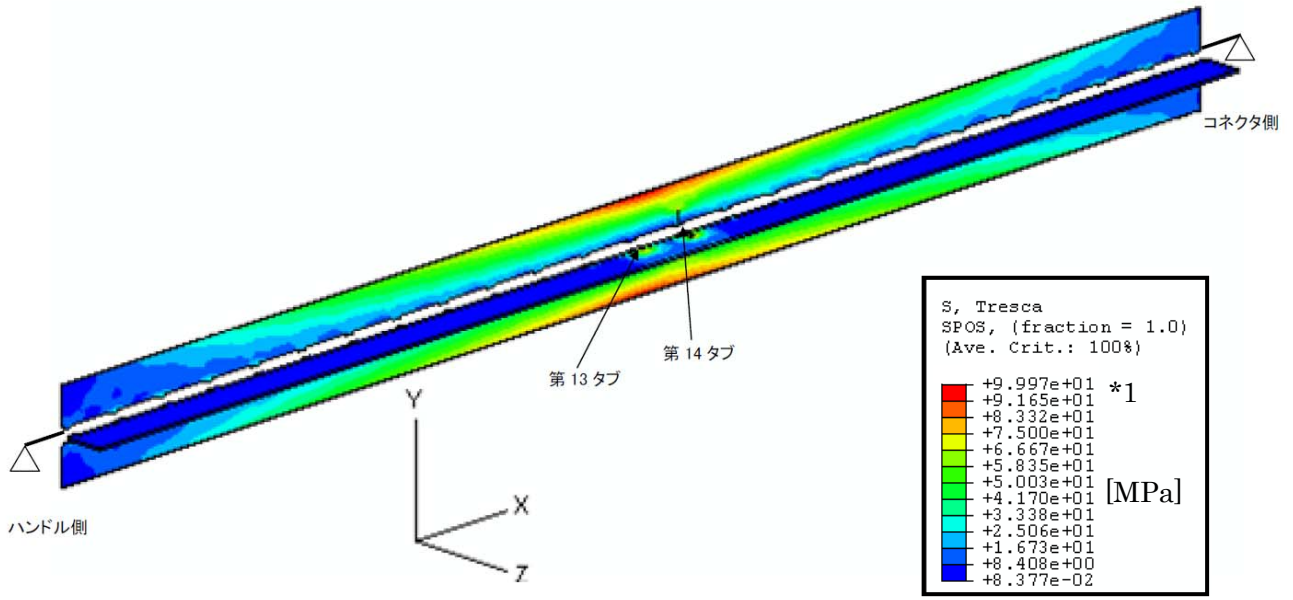
図 13　解析結果（トレスカ応力図、ケースＢ）



*1：縦弾性係数補正前の値。

注：本図には、軸方向のスクラム荷重は入っていない。

図 14　解析結果（トレスカ応力図、ケースＣ）



*1：縦弾性係数補正前の値。

注：本図には、軸方向のスクラム荷重は入っていない。

図 15　解析結果（トレスカ応力図、ケースＤ）

表２　地震時スクラムにおけるシース／タイロッド溶接部のせん断応力評価結果

評価項目	ケース		最大応力発生箇所	発生応力 (MPa)	評価基準値※8 (MPa)
基準地震動 S_S ＋スクラム	A	25 箇所破断※7	第 25 タブ	81	113 ※9
	B	16 箇所破断※7	第 23 タブ	50	
	C	3 箇所破断※7	第 23 タブ	45	
	D	1 箇所破断※7	第 23 タブ	45	

※７：タブ溶接部上部にタイロッド破断を、タブ溶接部にタイロッド破断及びシースひびを仮定。

※８：発電用原子力設備規格設計・建設規格（ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）における「炉心支持構造物」の規定を準用し、原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編（ＪＥＡＧ４６０１－1984 およびＪＥＡＧ４６０１－1987）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月および昭和 62 年 8 月）における「制御棒」の規定を適用。

※９：SUS316L、最高使用温度（302℃）、運転状態Ⅰ，Ⅱ＋S_Sにおける特別な応力限界の値（1.2Sm）。

表３　地震時スクラムにおけるシース／コネクタ溶接部の
一次一般膜応力＋一次曲げ応力評価結果

評価項目	ケース		発生応力 (MPa)	評価基準値※11 (MPa)
基準地震動 S_S ＋スクラム	A	25 箇所破断※10	124	341 ※12

※１０：タブ溶接部上部にタイロッド破断を、タブ溶接部にタイロッド破断及びシースひびを仮定。

※１１：発電用原子力設備規格設計・建設規格（ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）における「炉心支持構造物」の規定を準用し、原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編（ＪＥＡＧ４６０１－1984 およびＪＥＡＧ４６０１－1987）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月および昭和 62 年 8 月）における「制御棒」の規定を適用。

※１２：SUS316L、最高使用温度（302℃）、運転状態Ⅰ、Ⅱ＋S_Sにおける一次一

般膜＋一次曲げ応力の許容応力。(3.6Sm と Su のうちのいずれか小さい方の値)

４．まとめ

制御棒のタイロッド破断及びシースひびについて厳しい条件を想定し、シースに発生する応力（一次一般膜応力＋一次曲げ応力)、シース／タイロッド溶接部に発生する応力（せん断応力)、及びシース／コネクタ溶接部に発生する応力（一次一般膜応力＋一次曲げ応力）を評価した結果、それぞれの応力は評価基準値以下であることを確認した（表 4～表 6、図 16～図 24)。

シースに発生する応力（一次一般膜応力＋一次曲げ応力）は、いずれの条件においても約 200MPa と算出されたことから、想定した４つの条件で想定したタイロッド破断及びシースひびの違いによる影響は小さいと考える。また、算出された応力の最大値（203MPa）は評価基準値（341MPa）の約６割であり、シースに発生する応力（一次一般膜応力＋一次曲げ応力）は評価基準値に対して大きな余裕をもっているといえる。

シース／タイロッド溶接部に発生する応力（せん断応力）は、想定するタイロッド破断及びシースひびの条件により算出される応力がそれぞれ異なるものの、算出された応力の最大値（81MPa）は評価基準値（113MPa）の約 7 割であり、シース／タイロッド溶接部に発生する応力は評価基準値に対して大きな余裕をもっているといえる。

シース／コネクタ溶接部に発生する応力（一次一般膜応力＋一次曲げ応力）は、シースに発生する応力の最大値よりも小さいことから、シースよりもさらに評価基準値に対する余裕は大きいといえる。

なお、本評価における評価基準値は、民間規格で定められている使用材料（SUS316L）の材料規格値を用いているが、当該制御棒に使用されている実材料は２割程度強度の高い SUS316 相当の耐力を有していること、またスクラム荷重 100G については、共同研究報告書「新型制御棒駆動機構の開発（昭和 62 年 9 月)」の試験にて確認されたスクラム終端加速度約 70G に対して余裕のある値であることから、評価結果は、評価基準値に対してさらに余裕があるものとなっている。

以　上

表 4　シースに発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力の評価結果

ケース		最大応力発生箇所	発生応力			評価基準値 (MPa)
			スクラム (MPa)	地震 (MPa)	スクラム＋地震 (MPa)	
A	25 箇所破断	第 14 タブ	96	105	201	341
B	16 箇所破断	第 14 タブ	96	107	203	
C	3 箇所破断	第 13 タブ	93	106	199	
D	1 箇所破断	第 14 タブ	95	98	193	

表 5　シース／タイロッド溶接部のせん断応力の評価結果

ケース		最大応力発生箇所	発生応力			評価基準値 (MPa)
			スクラム (MPa)	地震 (MPa)	スクラム＋地震 (MPa)	
A	25 箇所破断	第 25 タブ	80	1	81	113
B	16 箇所破断	第 23 タブ	32	18	50	
C	3 箇所破断	第 23 タブ	26	19	45	
D	1 箇所破断	第 23 タブ	26	19	45	

表 6　シース／コネクタ溶接部の一次一般膜応力＋一次曲げ応力の評価結果

ケース		発生応力			評価基準値 (MPa)
		スクラム (MPa)	地震 (MPa)	スクラム＋地震 (MPa)	
A	25 箇所破断	67	57	124	341

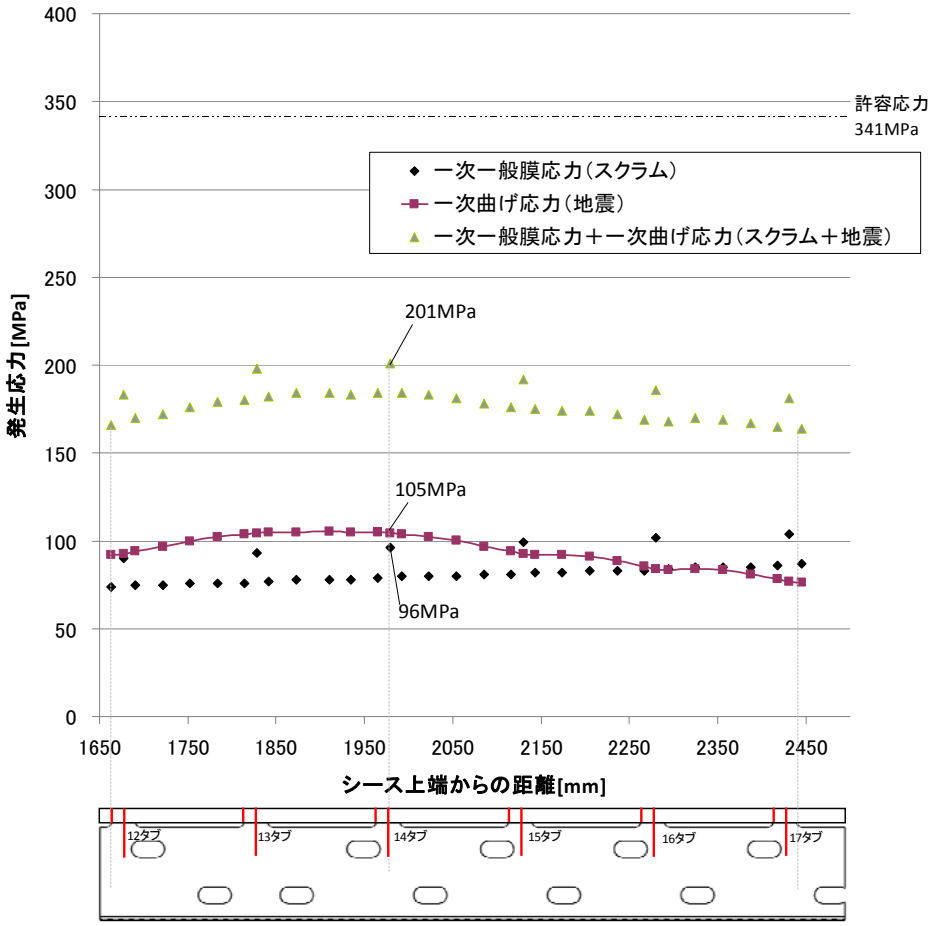


図 16　シースに発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力の分布（ケースＡ）

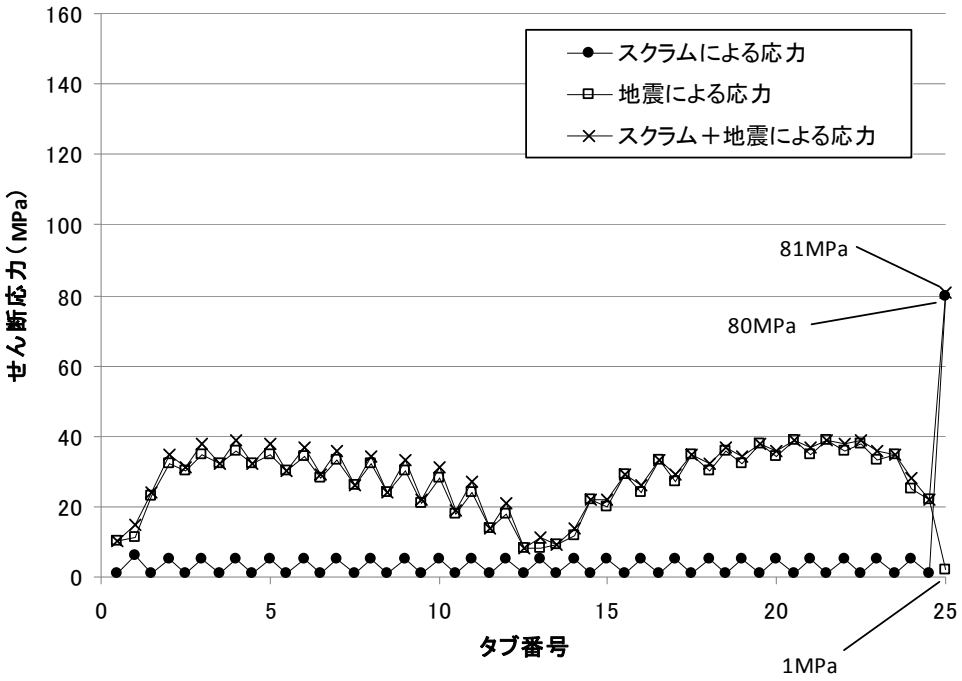


図 17　シース／タイロッド溶接部のせん断応力の分布（ケースＡ）

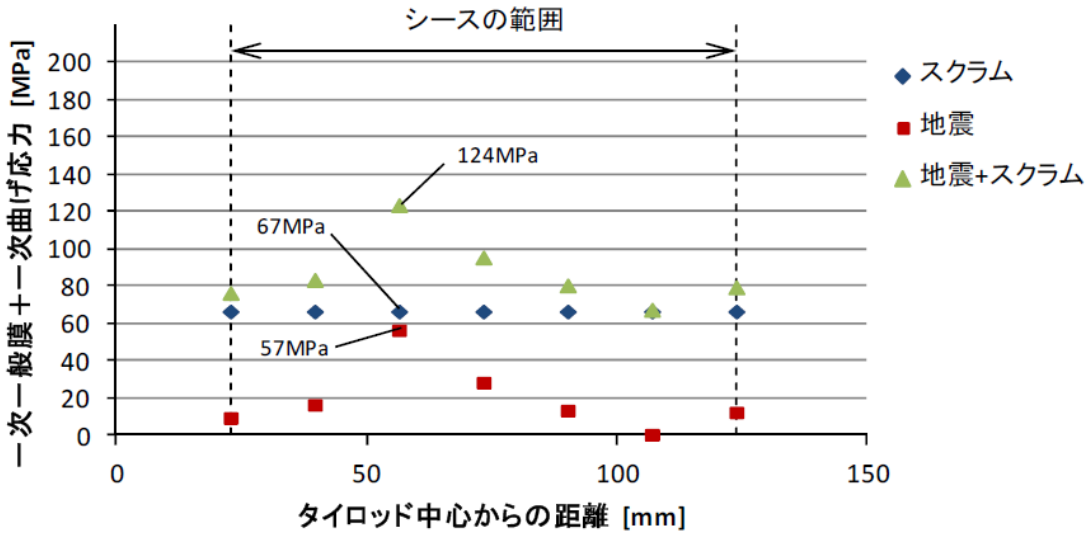


図 18　シース／コネクタ溶接部の一次一般膜応力＋一次曲げ応力の分布（ケースＡ）

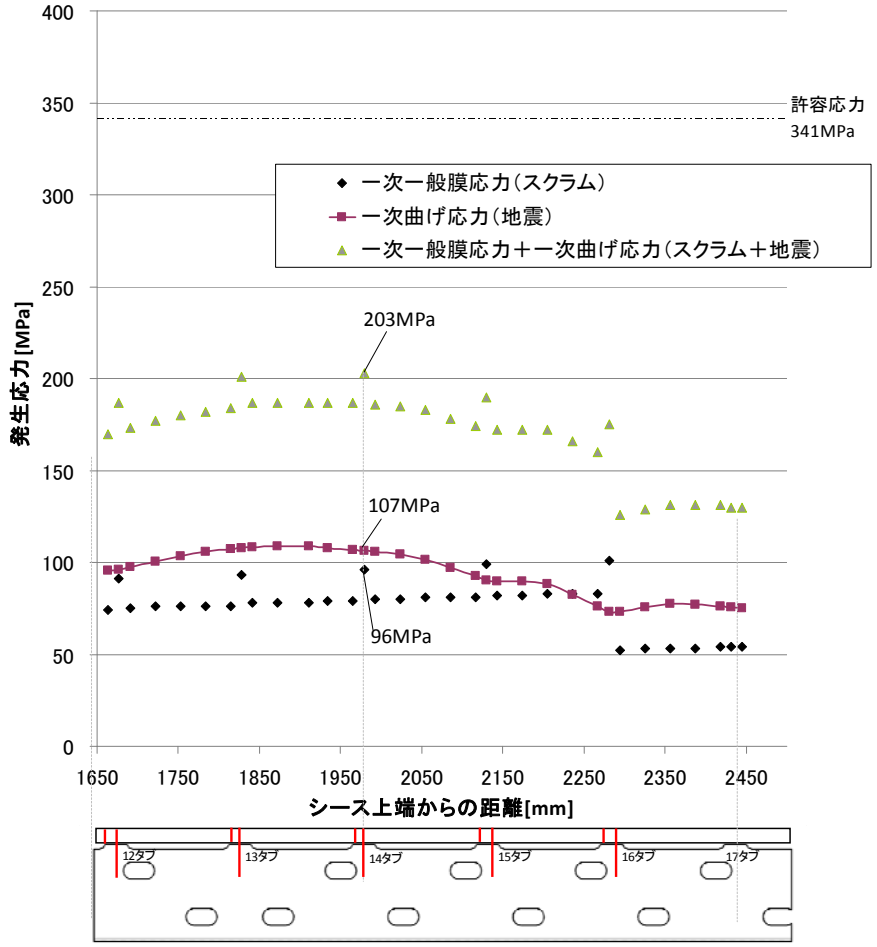


図 19　シースに発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力の分布（ケースＢ）

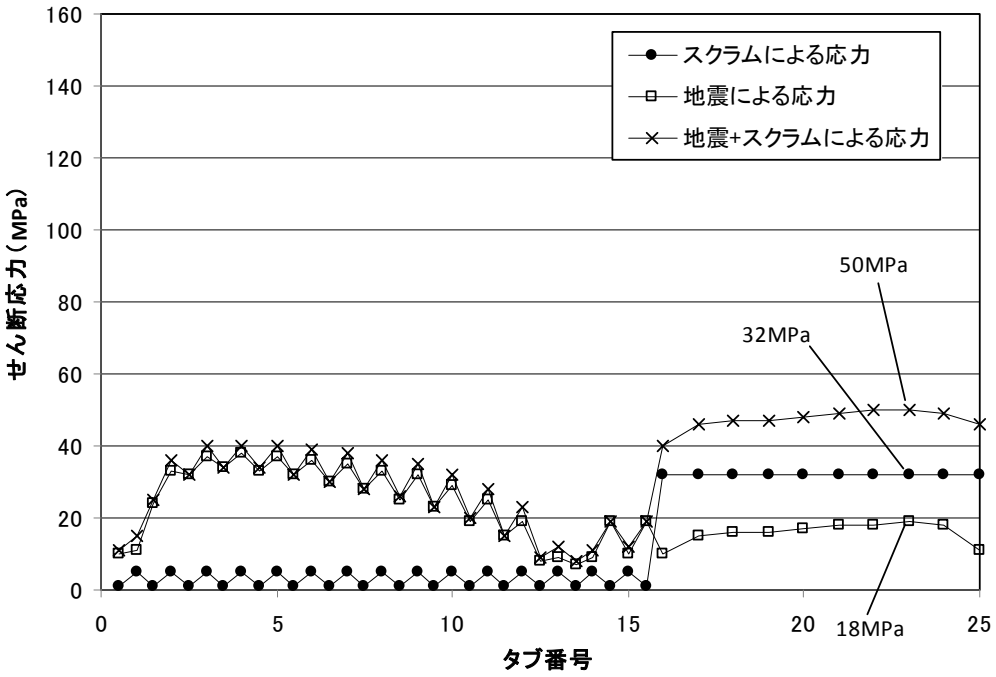


図 20　シース／タイロッド溶接部のせん断応力の分布（ケースＢ）

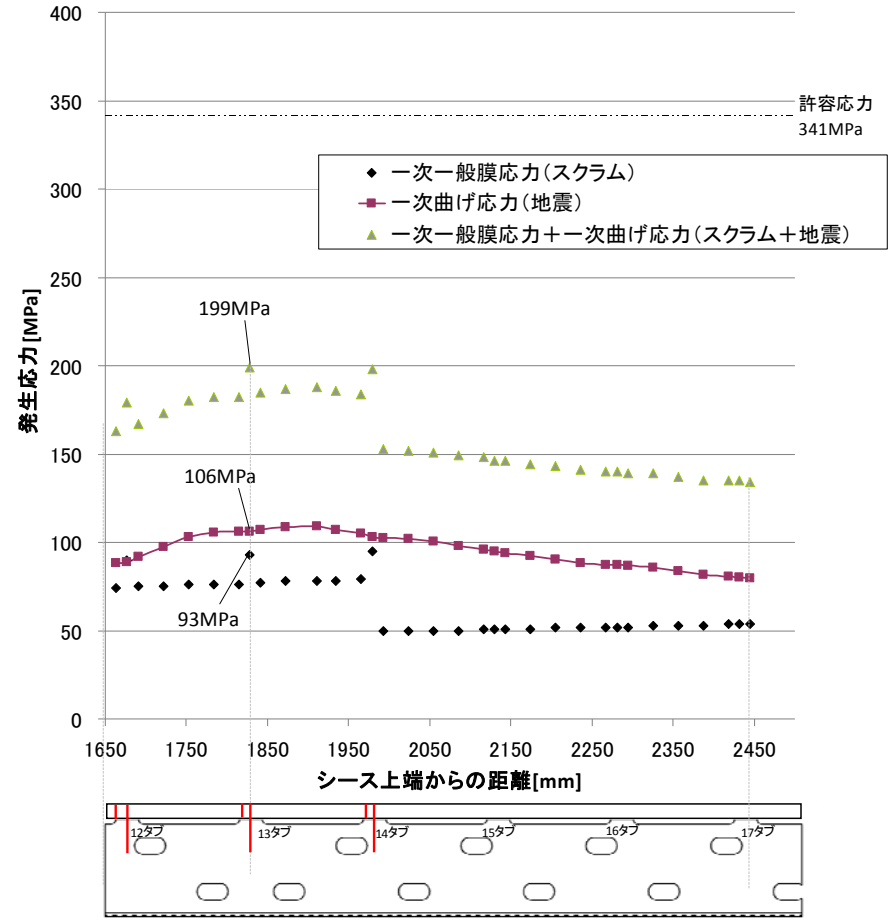


図 21　シースに発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力の分布（ケースＣ）

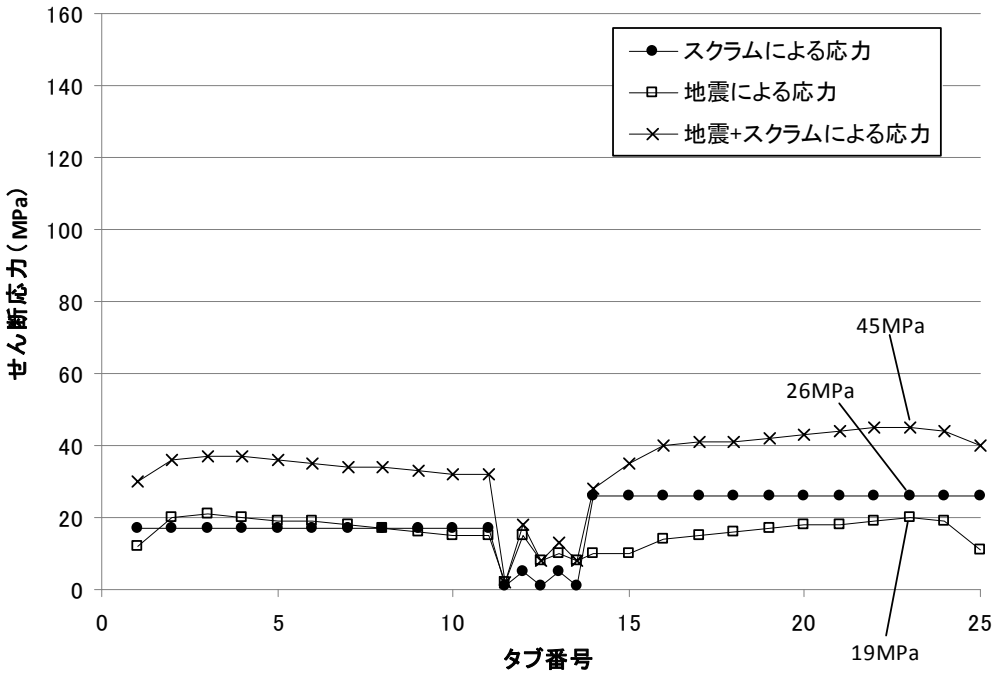


図 22　シース／タイロッド溶接部のせん断応力の分布（ケースＣ）

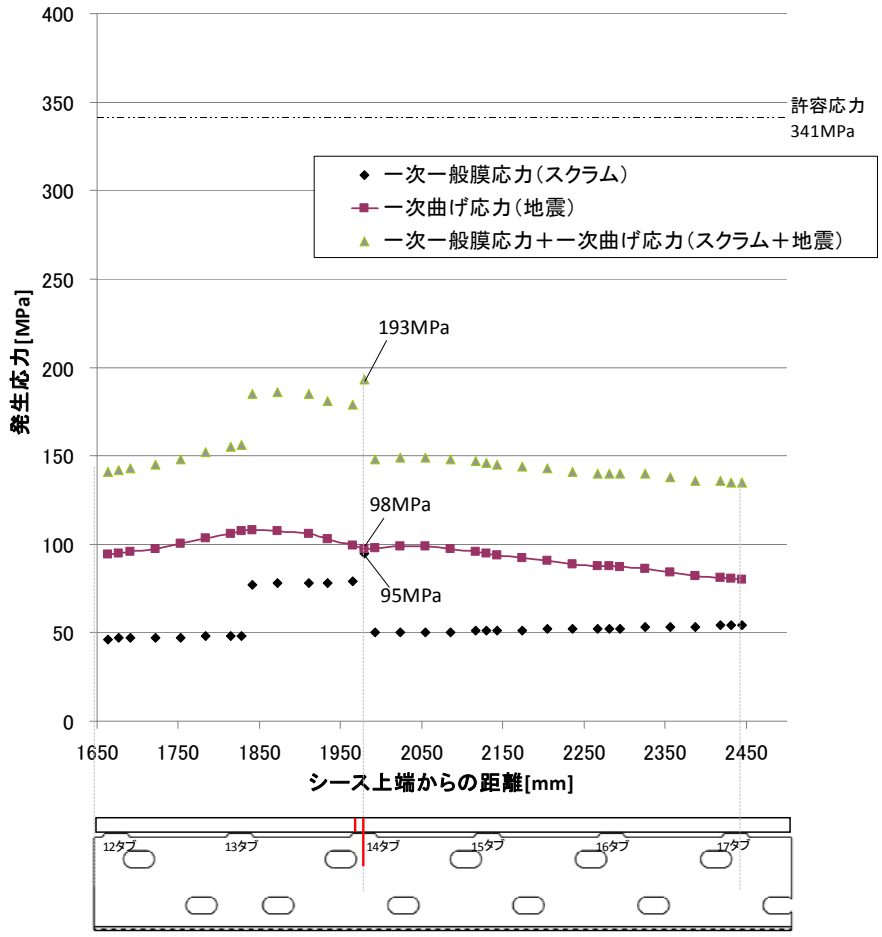


図 23　シースに発生する一次一般膜応力＋一次曲げ応力の分布（ケースＤ）

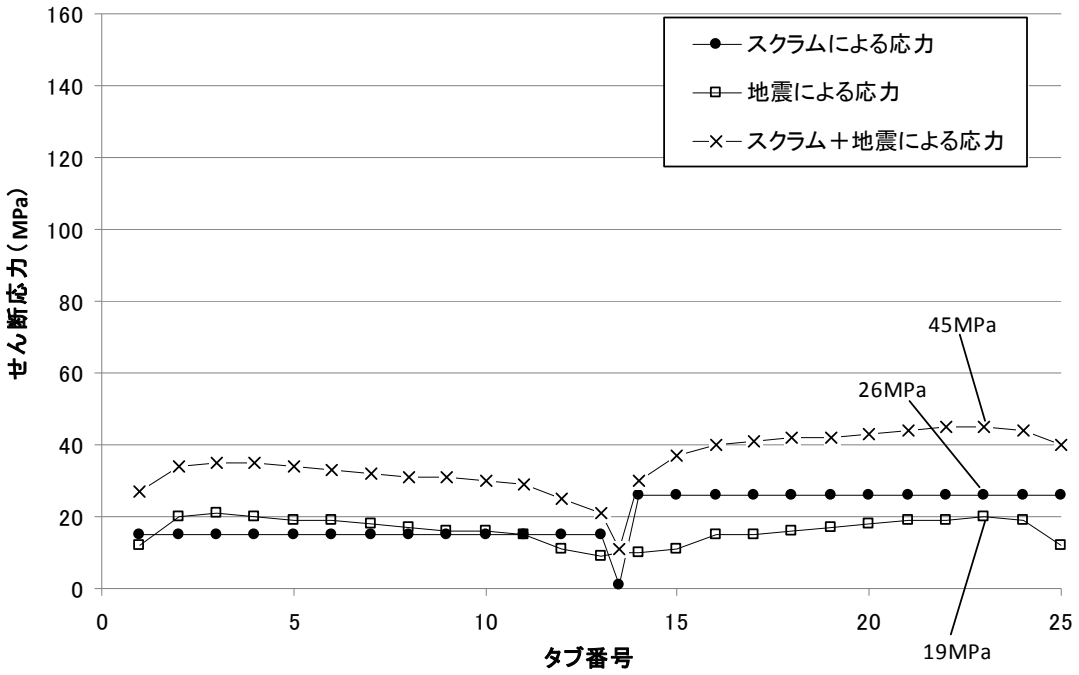


図 24　シース／タイロッド溶接部のせん断応力の分布（ケースＤ）

制御棒の挿入性評価

１．概要

添付資料－１０－２において、制御棒の健全性について評価を実施し、健全性を維持できることを確認した。ここでは、添付資料－１０－２で仮定した第１～２５溶接タブ位置のタイロッド及びシースにひびが存在する場合においても、地震時の制御棒挿入性を維持できること（制御棒の挿入時間が規定値を満足すること）を確認する。

２．評価内容

タイロッド及びシースへのひびの発生により制御棒の剛性が変化することが考えられることから、タイロッド及びシースへのひびが存在する場合の制御棒の剛性変化を有限要素解析により求め、剛性変化による地震時の制御棒挿入性への影響を評価する。

３．評価結果

（１）有限要素法解析コードによる評価

有限要素法解析コード「ABAQUS」を用い、健全な場合と、第 1 タブから第 25 タブまでの全てのタブについて、タブ上部にタイロッド破断を、タブ中央部にタイロッド破断及びシースひびを仮定した場合について、単位荷重(1000N)に対する制御棒のたわみを求め、たわみから剛性を評価した。

評価結果を表１に示す。

表１　単位荷重(1000N)に対する制御棒のたわみ及び剛性の評価結果

ケース	たわみ(mm)	剛性の比(*)
タイロッド及びシースが健全な場合	2.456	100%
タイロッド破断及びシースひびを仮定した場合	2.963	82%

(*)タイロッドが健全な場合の剛性を 100%として示す。

（２）制御棒の剛性と挿入時間との関係

地震時に制御棒を挿入した場合、制御棒の剛性が大きいほど燃料から受ける集中荷重が大きく、挿入時の抵抗が大きくなる。タイロッド及びシースが破断した場合には、剛性が小さくなるため、挿入時の抵抗力も小さくなり、挿入時間が遅くなる要因とはならないと考える。

４．まとめ

以上のことから、第 1 タブから第 25 タブまでの全てのタブについて、タブ上部にタ

イロッド破断を、タブ中央部にタイロッド破断及びシースひびを仮定した場合においても、地震時の制御棒挿入性は維持され、プラントの安全性に影響はないと考える。

以　上

構造健全性評価における評価条件の諸元について

１．一次一般膜応力

シースの一次一般膜応力計算の諸元および設計からの変更点を表１に示す。

表１　一次一般膜応力計算の諸元

諸元	各ケースの値(*1)				単位	設計からの変更内容	変更の妥当性
	A	B	C	D			
シースの板厚	1.14				mm	－	－
シースの幅	[redacted]				mm	－	－
シースのコネクタとの溶接部の幅					mm	－	－
シースの冷却孔の幅					mm	－	－
シースの小冷却孔の幅					mm	－	－
ハンドルの質量					kg	－	－
上部ハフニウムフラットチューブの質量					kg	－	別紙１
応力評価断面より上部のシース４翼分の質量					kg	（設計では使用していない）	① 別紙１
シース全長の４翼分の質量 （応力評価位置がシース／コネクタ溶接部の場合）					kg	－	別紙１
応力評価断面より上部のタイロッドの質量					kg	（設計では使用していない）	② 別紙１
タイロッドの質量 （応力評価位置がシース／コネクタ溶接部の場合）					kg	－	③ 別紙１
重力加速度	9.80665				m/s^2	－	－
スクラム終端における加速度	100				G	－	－

＊１：以下のケースで、各タブの上部および中央部でのタイロッド破断と、タブ中央部でのタイロッド破断箇所からシースに延びるひびを想定

ケースＡ：第１タブ～第２５タブ

ケースＢ：第１タブ～第１６タブ

ケースＣ：第１２タブ～第１４タブ

ケースＤ：第１４タブ

① 保守的に冷却孔や凹み部などを考慮しない場合の、シース上端から応力評価断面までの寸法の質量を使用

ケースＡ：応力評価断面が第１４タブ中央のため，第１４タブ中央までの寸法[redacted]

ケースＢ：応力評価断面が第１４タブ中央のため，第１４タブ中央までの寸法[redacted]

ケースＣ：応力評価断面が第１３タブ中央のため，第１３タブ中央までの寸法[redacted]

ケースＤ：応力評価断面が第１４タブ中央のため，第１４タブ中央までの寸法[redacted]

② タイロッド総重量[redacted]に，各ケースにおけるタイロッド上端から応力評価断面までの寸法の、全長[redacted]に対する比を乗じることにより算出

ケースＡ：応力評価断面が第１４タブ中央のため，第１５タブ上部までの寸法[redacted]

ケースＢ：応力評価断面が第１４タブ中央のため，第１５タブ上部までの寸法 [redacted]
ケースＣ：応力評価断面が第１３タブ中央のため，第１４タブ上部までの寸法 [redacted]
ケースＤ：応力評価断面が第１４タブ中央のため，第１４タブ中央部までの寸法 [redacted]

③　タイロッド総重量 [redacted] に，各ケースにおけるタイロッド上端から応力評価断面までの寸法の、全長 [redacted] に対する比を乗じることにより算出
ケースＡ：応力評価断面が第２５タブ下部のため、第２５タブ下部までの寸法 [redacted]

２．一次曲げ応力およびタブ溶接部せん断力

シースの一次曲げ応力およびシースとタイロッドの溶接部（タブ溶接部）のせん断力計算の諸元および設計からの変更点を表２に示す。

表２　一次曲げ応力およびタブ溶接部のせん断力計算の諸元

諸元	各ケースの値				単位	設計からの変更内容	変更の妥当性
	A	B	C	D			
シースの板厚	1.14				mm	－	－
シースの幅	[redacted]				mm	－	－
シースのコネクタとの溶接部の幅					mm	－	－
シースとタイロッドの溶接部（タブ溶接部）の幅（第２タブ～第２４タブ）					mm	－	－
シースとタイロッドの溶接部（タブ溶接部）の幅（第１タブおよび第２５タブ）					mm	－	－
ブレードの幅	249				mm	－	－
ブレードの厚さ	8.3				mm	－	－
シースの長さ	[redacted]				mm	－	－
タイロッドの長さ					mm	－	－
燃料集合体から制御棒に負荷される総合荷重	1509	1603	1734	1750	N	耐震バックチェック条件(Ss)からシース冷却孔とタイロッド及びシースのひびを考慮した値に変更	④⑤
制御棒に作用する等分布荷重	0.37				N/mm	耐震バックチェック条件(Ss)	－
水平方向の応答加速度によって燃料集合体がたわむ量	15.9				mm	－	－
燃料集合体と制御棒のギャップ	4.73				mm	－	－
燃料集合体の振動の等価長さ	4272				mm	－	－
燃料集合体の曲げ剛性	3.104×10^{11}				$N\cdot mm^2$	－	－
上下ローラ間の距離	3892				mm	－	－
302℃でのオーステナイト系ステンレスのヤング率	163000				MPa	物性値の 176000 を曲げ剛性低下の模擬のため変更	④
制御棒の断面二次モーメント	[redacted]				mm^4	－	－
水平方向の応答加速度	1.43				－	－	－

制御棒の質量	100	kg	－	－
シース全長の４翼分の質量	[redacted]	kg	－	別紙１
破断位置より上部のタイロッドの質量	[redacted]	kg	（設計では使用していない）	⑥ 別紙１

④　シースの冷却孔を考慮した場合、冷却孔を考慮しない場合に比べて、制御棒剛性が約92.4%に低下する。本解析では,冷却孔をモデル化することに代わって,ヤング率を 92.4%に低下させることで，冷却孔を考慮することによる剛性低下を模擬している。

⑤　制御棒にひびを想定することにより曲げ剛性が低下するため，制御棒が燃料集合体から受ける荷重は低下する。したがって、解析の入力条件としての、燃料集合体から受ける荷重を算出する際には、冷却孔考慮による剛性低下に加えて、タイロッド及びシースのひびの想定による剛性低下も考慮する。ひびを考慮した場合の剛性低下割合は、各ケースによって異なるため、各ケースに応じた値で考慮する。

ケースＡ：ひびを考慮した制御棒剛性は 82.8%に低下するため，曲げ剛性を約 76.5%（≒0.9237×0.8280）に低下させて荷重を算出する。

ケースＢ：ひびを考慮した制御棒剛性は 88.9%に低下するため，曲げ剛性を約 82.1%（≒0.9237×0.8894）に低下させて荷重を算出する。

ケースＣ：ひびを考慮した制御棒剛性は 98.5%に低下するため，曲げ剛性を約 91.0%（≒0.9237×0.9853）に低下させて荷重を算出する。

ケースＤ：ひびを考慮した制御棒剛性は 99.5%に低下するため，曲げ剛性を約 91.9%（≒0.9237×0.9951）に低下させて荷重を算出する。

⑥　タイロッド総重量 [redacted] に，各ケースにおけるタイロッド上端から応力評価位置までの寸法の全長 [redacted] に対する比を乗じることにより算出。

ケースＡ：最も下の破断位置（第２５タブ中央）よりせん断応力評価位置（第２５タブ下側）が下にあるため，第２５タブ中央までの寸法 [redacted]

ケースＢ：最も下の破断位置（第１６タブ中央）よりせん断応力評価位置（第２３タブ）が下にあるため，第１６タブ中央部までの寸法 [redacted]

ケースＣ：最も下の破断位置（第１４タブ中央）よりせん断応力評価位置（第２３タブ）が下にあるため，第１４タブ中央までの寸法 [redacted]

ケースＤ：最も下の破断位置（第１４タブ中央）よりせん断応力評価位置（第２３タブ）が下にあるため，第１４タブ中央までの寸法 [redacted]

別紙１

表１　諸元の算出根拠

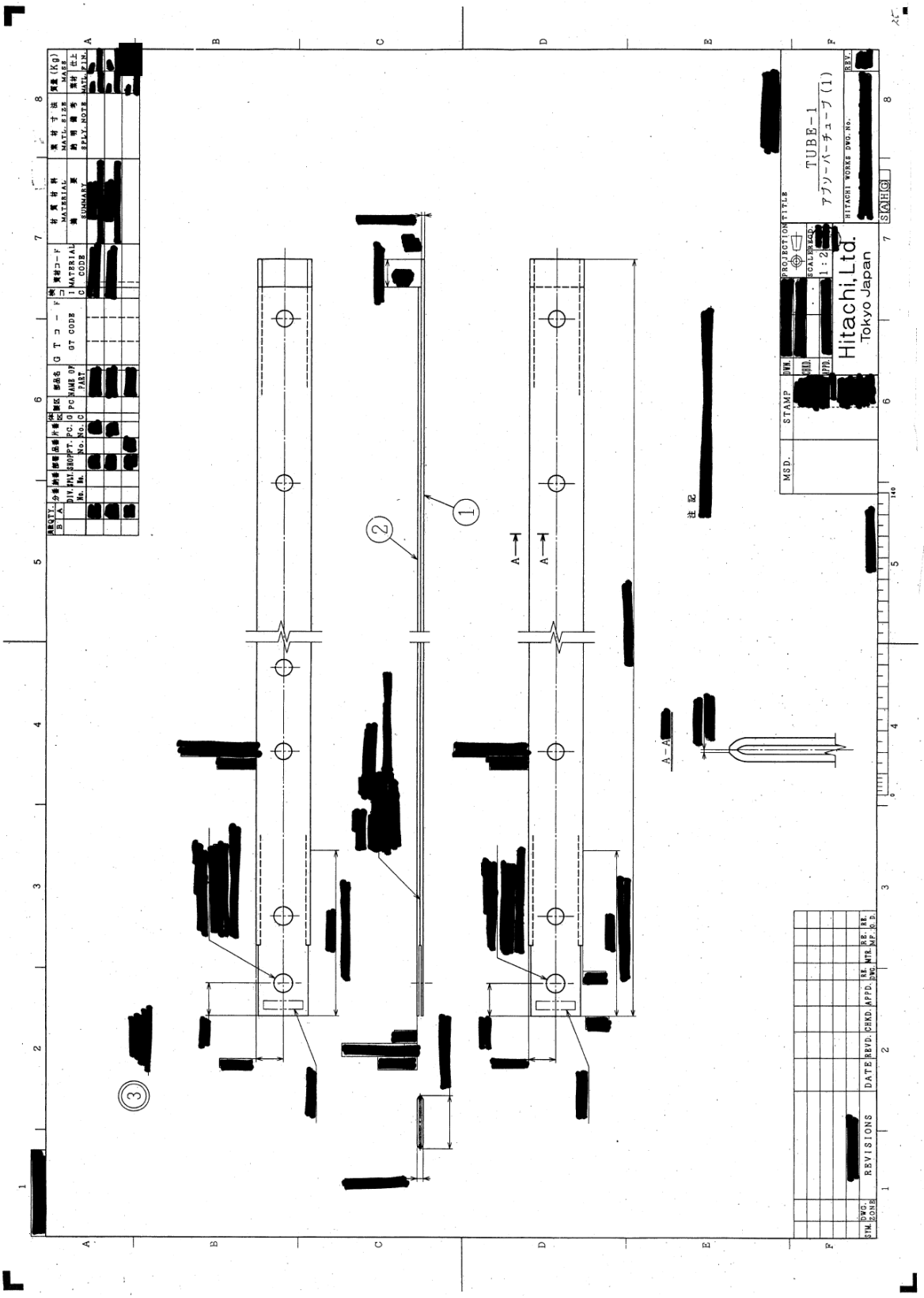
諸元	算出根拠	添付
上部ハフニウムフラットチューブの質量		(1) 設計図
応力評価断面より上部のシース４翼分の質量 ・第１２～第１４タブ破断の場合において，一次一般膜応力評価断面が第１３タブ中央のため，第１３タブ中央より上部の質量 【ケースＣ：一次一般膜応力】		(2) 設計図
応力評価断面より上部のシース４翼分の質量 ・第１２～第１４タブ破断の場合を除く各破断条件において，一次一般膜応力評価断面が第１４タブの中央のため，第１４タブ中央より上部の質量 【ケースＡ、Ｂ、Ｄ：一次一般膜応力】		(2) 設計図
シース全長４翼分の質量 ・各破断条件において，応力評価位置がシース／コネクタ溶接部の場合 【ケースＡ～Ｄ：シース／コネクタ溶接部の一次一般膜応力】 ・各破断条件でのせん断応力評価の場合 【ケースＡ～Ｄ：せん断応力】		(2) 設計図
応力評価断面より上部のタイロッドの質量 ・第１２～第１４タブ破断の場合において，一次一般膜応力評価断面が第１３タブ中央のため，第１４タブ上部より上部の質量 【ケースＣおよびＤ：一次一般膜応力】		(3) 設計図
応力評価断面より上部のタイロッドの質量 ・第１４タブ破断の場合において，一次一般膜応力評価断面が第１４タブ中央のため，第１４タブ中央より上部の質量 【ケースＣおよびＤ：一次一般膜応力】 ・第１４タブ破断、第１２～第１４タブ破断の場合において，せん断応力評価位置（第２３タブ）が最も下の破断位置（第１４タブ中央）より下のため，第１４タブ中央より上部の質量 【ケースＣおよびＤ：せん断応力】		(3) 設計図
応力評価断面より上部のタイロッドの質量 ・第１タブ～第１６タブ破断および第１タブ～第２５タブ破断の場合において，一次一般膜応力評価断面が第１４タブ中央のため，第１５タブ上部より上側の質量 【ケースＡおよびＢ：一次一般膜応力】		(3) 設計図

別紙１

応力評価断面より上部のタイロッドの質量 ・第１タブ～第１６タブ破断の場合において，せん断応力評価位置（第２３タブ）が最も下の破断位置（第１６タブ中央）より下のため，第１６タブ中央より上部の質量 【ケースＢ：せん断応力】	[redacted]	(3) 設計図
応力評価断面より上部のタイロッドの質量 ・第１タブ～第２５タブ破断の場合において，せん断応力評価位置（第２５タブ下側）が最も下の破断位置（第２５タブ中央）より下のため，第２５タブ中央より上部の質量 【ケースＡ：せん断応力】		(3) 設計図
応力評価断面より上部のタイロッドの質量 ・第１タブ～第２５タブ破断の場合において，シース／コネクタ溶接部の一次一般膜応力評価断面が第２５タブ下部のため，第２５タブ下部より上側の質量 【ケースＡ：シース／コネクタ溶接部の一次一般膜応力】		(3) 設計図
タイロッド全長の質量 ・第１タブ～第２５タブ破断の場合を除く各破断条件において，応力評価位置がシース／コネクタ溶接部の場合 【ケースＢ～Ｄ：シース／コネクタ溶接部の一次一般膜応力】		(3) 設計図

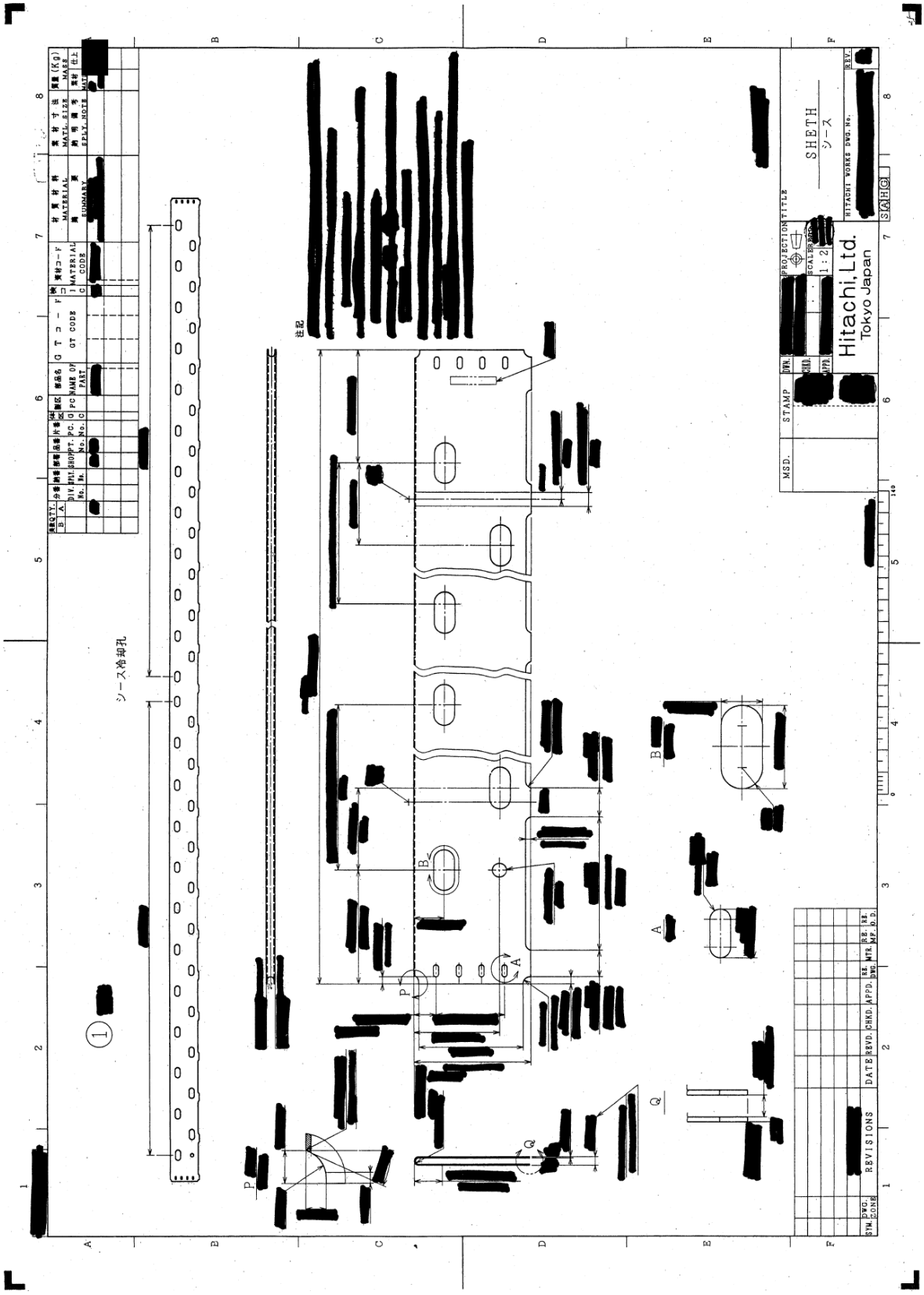
添付(1)

上部ハフニウムフラットチューブ　設計図



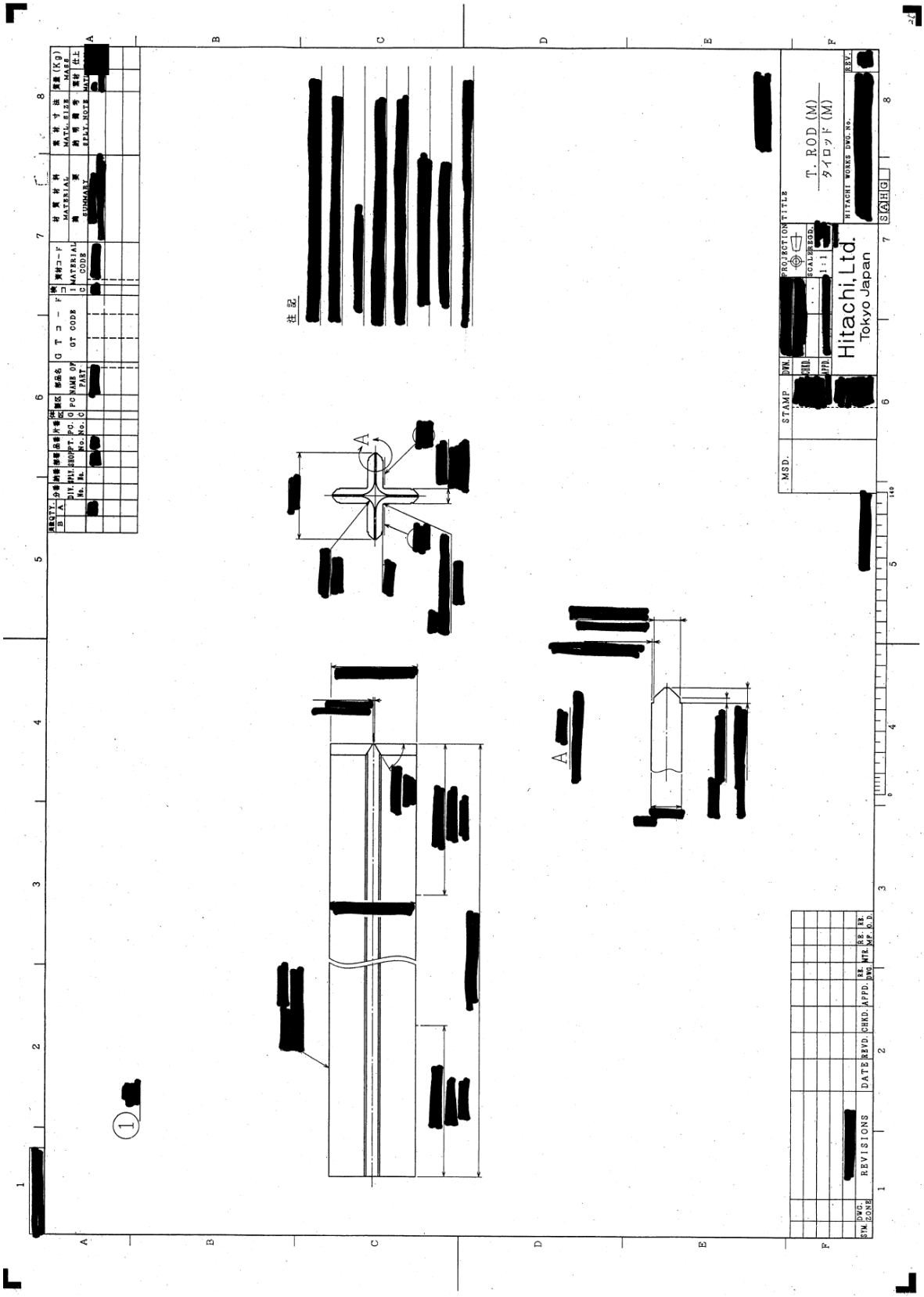
添付(2)

シース　設計図


シース冷却孔
注記
SHETH
シース
Hitachi,Ltd.
Tokyo Japan
PROJECTION
SCALE
1:2
STAMP
MSD.
REVISIONS

添付(3)

タイロッド　設計図



当社プラントにおけるハフニウムフラットチューブ型制御棒の使用の経緯について

ハフニウムフラットチューブ型制御棒は、ＡＢＷＲプラント用に東芝・日立・ＧＥの共同設計として開発され、その後ＢＷＲプラント用に設計のバックフィットを行い、代表プラントでの先行照射を経て順次導入を進めていた。

柏崎刈羽原子力発電所７号機では初装荷以降、以下のような経緯を経つつ継続使用を行っていた。

１．ハフニウム板型制御棒のひび事象を受けての対応

平成１８年１月の福島第一３・６号ハフニウム板型制御棒のひび事象に鑑みて実施した、柏崎刈羽原子力発電所７号機のハフニウムフラットチューブ型制御棒の外観調査において、ハンドルースシース溶接部近傍のシース上部にひびが確認された。ただし、制御棒の健全性に影響のある不具合は認められなかった。これらに鑑みて当社プラントにおける照射健全性の確認状況を下表の通り整理し、

	装荷、点検状況	健全性確認状況	備　　考
1F-1～5(D 格子) 1F-6（C 格子） C/F 部分通水 （グループＡ）	取出制御棒点検数：0 本 （最大 1.2×10^{25}n/m^2） （1F-1：9 本,1F-4：8 本装荷中）	確認中	設計バックフィット時の健全性確認プラント：1F1 及び 1F4
2F-1,2（C 格子） 2F-3,4 及び KK-1～5（S 格子） C/F 全量通水 （グループＢ）	取出制御棒点検数：0 本 （最大 2.6×10^{25}n/m^2） （2F-2 ： 4 本,KK-4 ： 4 本,KK-5：4 本装荷中）	確認中	設計バックフィット時の健全性確認プラント：2F2 及び KK5
KK-6,7（N 格子） C/F 全量通水 （グループＣ）	取出制御棒点検数：21 本 （最大 5.6×10^{25}n/m^2） （KK-7：25 本装荷中）	確認完了済み	

- 上記グループＡの新規装荷を行わないこととした。*1
- 上記グループＢの装荷プラントを健全性確認用に選定した BWR プラント（2F2、K5）に絞ることとした。（KK-4 の新規装荷を行わない）
- 上記グループＣについては、健全性確認が完了済みであることから、装荷を継続することとした。
- 装荷を継続するグループＢについては、ハフニウム板型制御棒のひびの事象を考慮して取替基準を 6×10^{25}n/m^2 から 4×10^{25}n/m^2 とした。なお、グループＣについては健全性確認が完了しており、確認されたひびが健全性上問題のないものと評価されていることから旧取替基準（6×10^{25}n/m^2）での運用が可能と考えられるが、ひび発生の潜在的なリスクを考慮してグループＢに合わせて取替基準を見直すこととした。*2

等の対応を行った。

２．東海第二発電所のひび発生を受けての対応

平成１８年１２月、日本原子力発電株式会社東海第二発電所におけるハフニウムフラットチューブ型制御棒の外観調査において、照射量 $3.2\times10^{25}n/m^2$ の制御棒のシース部に柏崎刈羽原子力発電所７号機で確認されたひびに類似しているものの異なる特徴を持つひびが確認された。このため、当社では原因及び健全性についての結論が出されるまでの間、全プラントのハフニウムフラットチューブ型制御棒の新規装荷を見送ることとした。

３．東海第二発電所のひび発生原因及び健全性評価結果を受けての対応

東海第二発電所ではひびの発生後、平成１９年２月に原因が照射誘起応力腐食割れ（ＩＡＳＣＣ）によるものであること、ひびが健全性に影響を与えるものではないことを公表した。

当社は、ＢＷＲプラントでは平成１８年１２月の指示文書により健全性確認が完了する前段階で装荷が中断されており、装荷再開に当たってはメーカの設計改良を待って動くものと考えていた。

一方、柏崎刈羽原子力発電所７号機では上述の通り健全性確認が既に完了していると判断していたことから、

- 東海第二発電所（C 格子）と格子形状が異なり（柏崎刈羽 7 号は N 格子)、シース隙間構造のギャップが大きいことから隙間腐食が相対的に生じにくいと考えられること。
- 柏崎刈羽原子力発電所７号機のひびの確認された制御棒の照射量実績（4.3～$5.2\times10^{25}n/m^2$）に基づき取替基準を $4\times10^{25}n/m^2$ としており、使用実績から問題ないと考えられたこと（別表参照)。*2

により、継続使用を再開していた。

*1　ハフニウム棒型制御棒の健全性評価が１３本完了しており、健全に使用できる可能性が高かったこと及び水質の観点でハフニウム板型制御棒と同じハフニウムとシースの隙間構造を有するハフニウムフラットチューブ型制御棒が沸騰濃縮等に起因する腐食生成物の生成によるひびの発生リスクを有することによる。

*2　当該のひびは健全性に影響のないものであることから、運転中のプラントで照射量の抑制が困難な場合並びに取替基準の変更に伴う追加手配が困難な場合については暫定的に旧取替基準を適用可能なこととした。

別表　柏崎刈羽７号機　ハフニウムフラットチューブ型制御棒点検実績【平成 18 年まで】

NO.	取出定検	製造番号	炉心座標	熱中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	装荷時期	点検日・結果
1	第4回定検時取出分	HH-46-023	34-51	5.3	初装荷	第4回定検実施 ○
2		HH-46-010	26-27	5.6		第4回定検実施 ○
3		HH-46-004	26-11	5.1		第4回定検実施 ○
4		HH-46-021	42-59	5.0		第4回定検実施 ○
5		HH-46-011	18-35	5.3		H18.4.23実施 ○
6		HH-46-005	34-19	5.2		H18.4.23,25実施 ×
7		HH-46-013	50-35	5.2		H18.4.23,25実施 ×
8		HH-46-018	26-43	5.1		H18.4.24,25実施 ×
9		HH-46-009	42-27	5.5		H18.4.22実施 ○
10		HH-46-020	42-43	5.5		H18.4.23実施 ○
11		HH-46-024	18-51	5.0		H18.4.24実施 ○
12		HH-46-022	50-51	5.3		H18.4.23実施 ○
13		HH-46-003	18-19	5.4		H18.4.23実施 ○
14		HH-46-001	50-19	5.3		H18.4.23実施 ○
15		HH-46-012	34-35	3.5		H18.4.24実施 ○
16		HH-46-019	10-43	4.9		H18.4.24実施 ○
17		HH-46-002	42-11	5.1		H18.4.23実施 ○
18		HH-46-025	26-59	5.1		H18.4.24実施 ○
19		HH-46-006	10-27	5.0		H18.4.24実施 ○
20		HH-46-007	58-27	5.1		H18.4.23実施 ○
21		HH-46-017	58-43	5.1		H18.4.24実施 ○
22	第7回定検時取出分	HH-46-035	18-19	4.3	第4回定検	H18.10.16実施 ○
23		HH-46-049	18-51	4.3		H18.10.16,20実施 ×

○：ひびなし

×：ひびあり

以　上

延性破面、疲労破面、脆性破面について

延性破面、疲労破面、脆性破面の代表例について、図１～図３に示す。
（出典：技術資料 機械・構造物の破損事例と解析技術　日本機械学会）

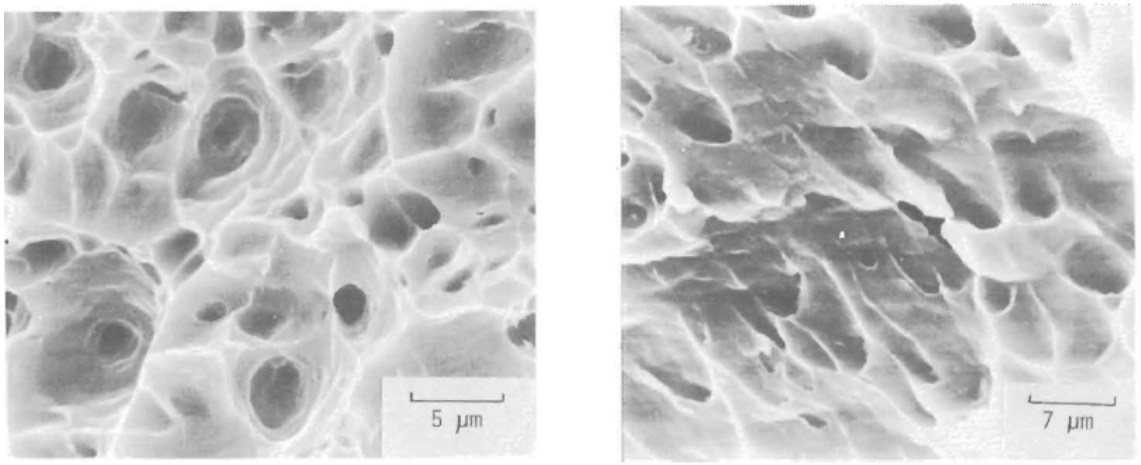
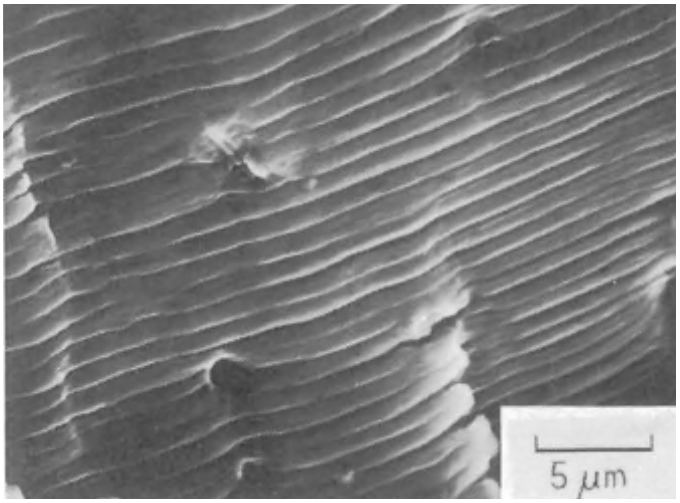


図１　延性破面代表例（ディンプル）



ビーチマーク



ストライエーション

図２　疲労破面代表例（ビーチマーク、ストライエーション）

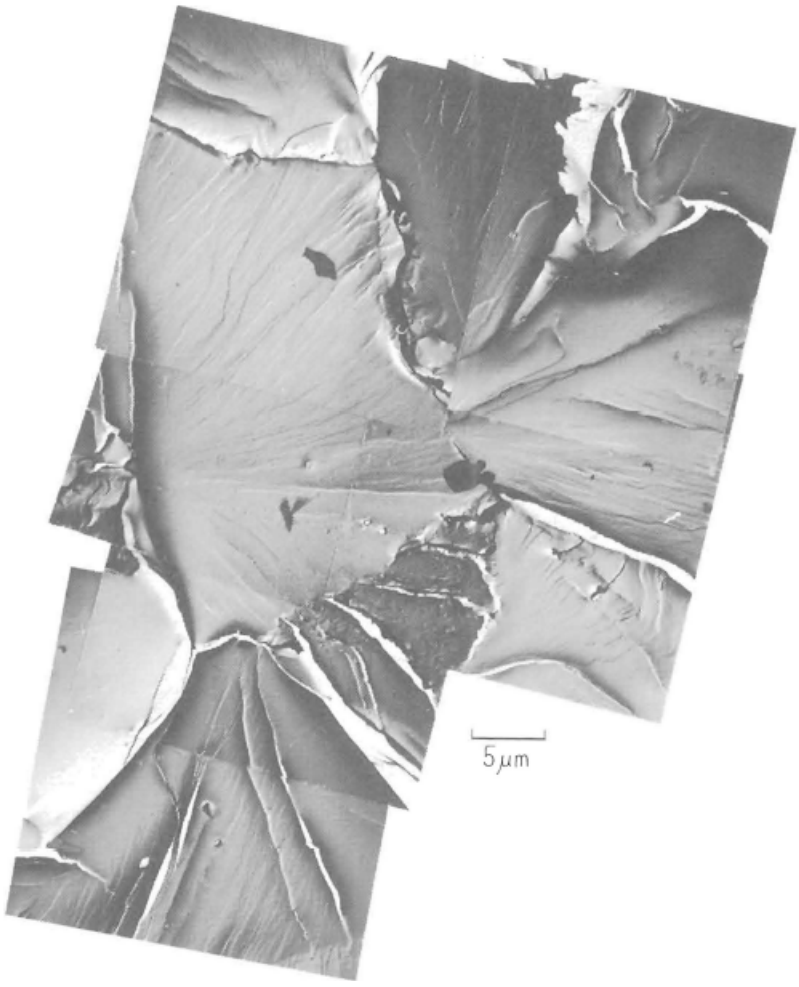


図３　脆性破面代表例（リバーパターン）

ハフニウムフラットチューブ型制御棒のひびに関する考察

１．シース／タイロッド溶接部近傍のひびの軸方向依存性について

タブ位置毎のひびの発生数と残留応力及び中性子照射量の関係の模式図※を図 1 に示す。溶接残留応力の影響と中性子照射量の影響の重ね合わせにより、第２タブから第１６タブにひびが確認され、第２タブ、第３タブは溶接残留応力の低下に従い、第１３から第１６タブは中性子照射量の低下に従い、ひびを確認した制御棒本数が減少しているものと考えられる。

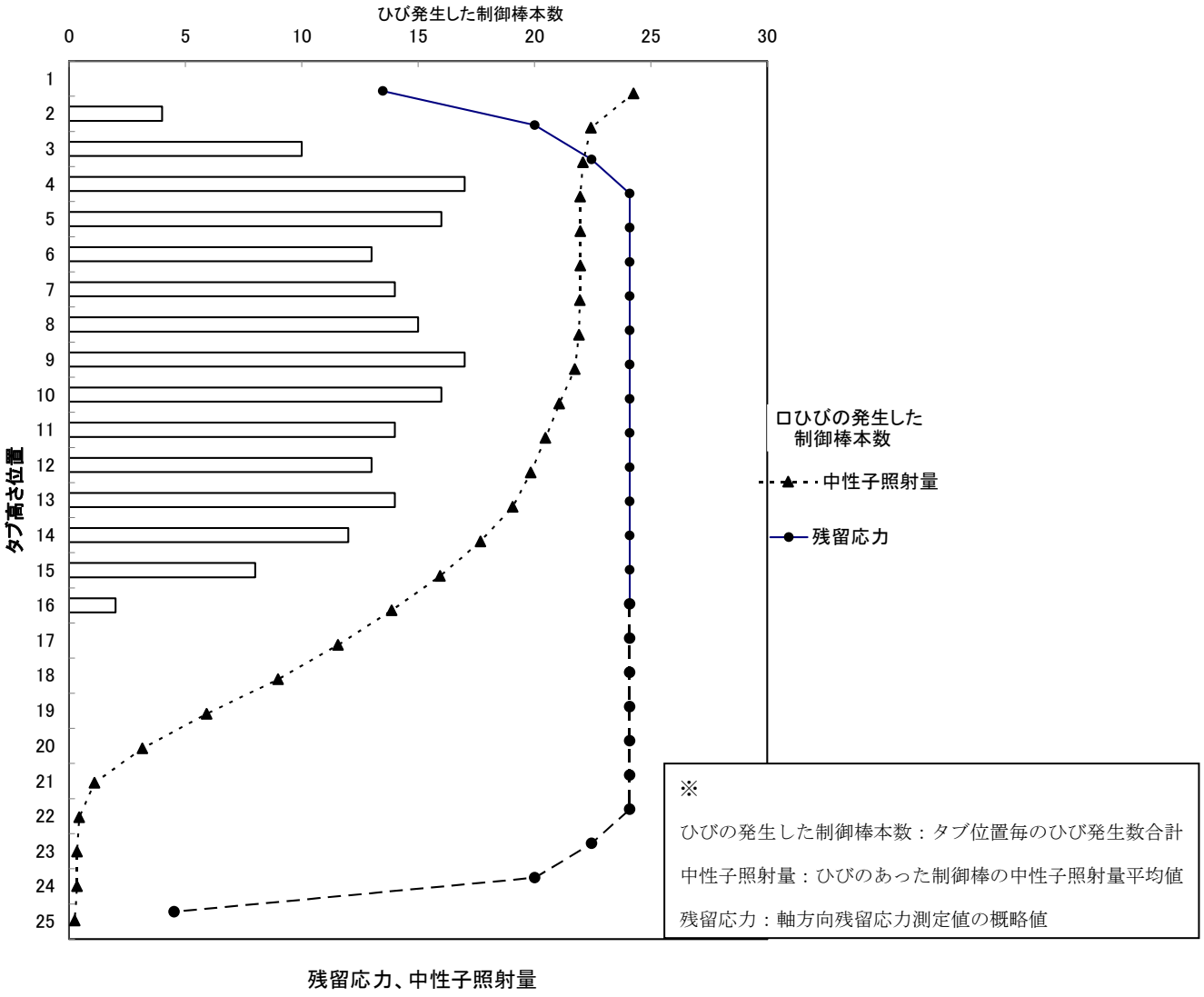
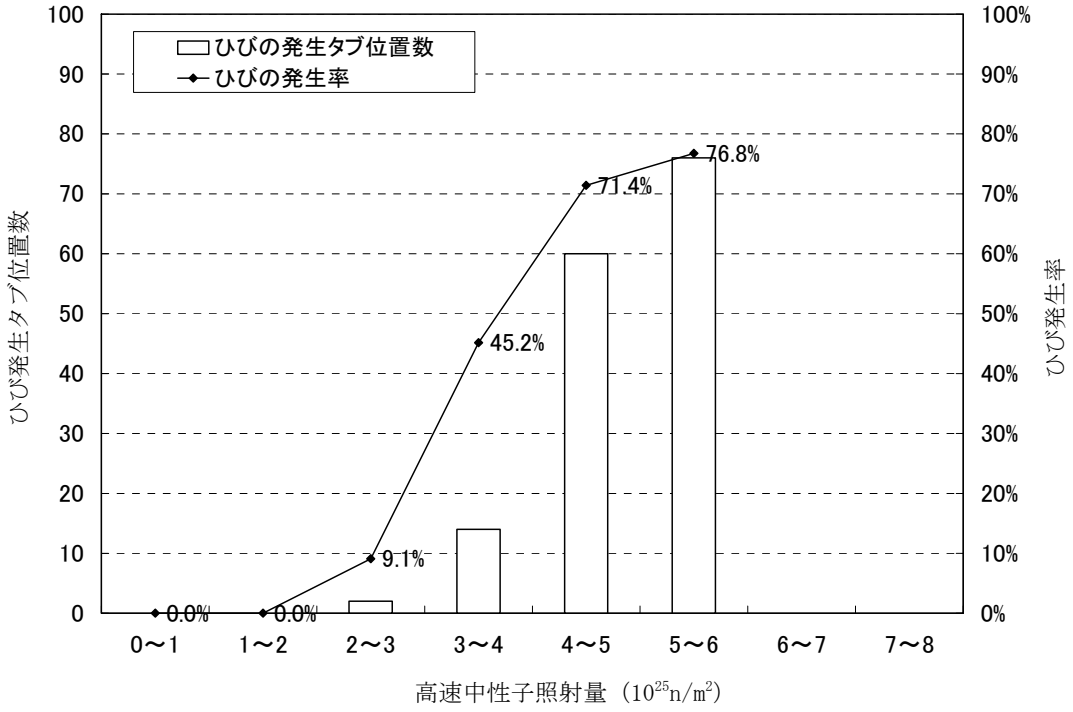


図１　ひびの軸方向依存性

２．シース／タイロッド溶接部近傍のひびの照射量依存性について

ひびが多く確認されたプレーナ加工＋TIG 溶接（パルス電流）のうち、残留応力がほぼ一定となる 4 タブ～22 タブにおける、ひびの発生数（タブ位置毎）と高速中性子照射量の関係を図２に示す。中性子照射量が上昇するに従いひび発生率は増加し中性子照射量依存性が認められた。



高速中性子照射量（10^{25}n/m^2）	0～1	1～2	2～3	3～4	4～5	5～6
ひび発生タブ位置数	0	0	2	14	60	76
タブ位置総数	58	29	22	31	84	99
ひび発生率（%）	0.0	0.0	9.1	45.2	71.4	76.8

図２　ひびの照射量依存性

地震被災とひび発生制御棒本数について

新潟県中越沖地震が発生した際に原子炉内に装荷されていたハフニウムフラットチューブ型制御棒25本の中で18本にシース／タイロッド溶接部近傍のひびを確認し、また使用済燃料プール内に保管されていた同型の使用済制御棒25本の中で10本に同様のひびを確認している。

本文５．７に示すとおり、シース／タイロッド溶接部近傍に確認されたひびは地震荷重を原因とするものではないと考えるが、ここでは新潟県中越沖地震時に原子炉内及び使用済燃料プール内に存在したそれぞれのひび発生制御棒本数について、製造方法の異なるタイプ毎に以下の通り考察を示す。

（１）製造方法の異なるタイプ毎の考察

①エンドミル加工及びTIG溶接（一定電流）

エンドミル加工及びTIG溶接（一定電流）の制御棒については、原子炉内に装荷されていた４本中４本全てにひびを確認し、使用済燃料プール内に保管されていた21本中６本にひびを確認している。

ハフニウムフラットチューブ型制御棒のシース／タイロッド溶接部近傍のひびの推定原因は、機械加工部における表面硬化層及び隙間部における隙間腐食による初期き裂が照射誘起応力腐食割れ（ＩＡＳＣＣ）により進展したものと考えており、ＩＡＳＣＣへの感受性の観点で中性子照射量、ひびの進展する期間という観点で腐食環境下に存在した期間として炉内滞在期間について両者の比較を行うと以下の通りとなる。

(a) 地震時に原子炉内に装荷されていた制御棒、使用済燃料プール内に保管されていた制御棒いずれもＩＡＳＣＣの感受性が高まる中性子照射量以上の照射を受けている。

(b) 地震時に原子炉内に装荷されていた制御棒は、使用済燃料プール内に保管されていた制御棒に比較して約２倍の期間炉内に滞在していた。＊1

以上から、エンドミル加工及びTIG溶接（一定電流）の制御棒のうち原子炉内に装荷されていた制御棒に多くひびが発生しているように見えるのは、使用済燃料プール内に保管されていた制御棒よりも炉内滞在期間が長いためと考える。

＊１　原子炉内に装荷されていた制御棒の炉内滞在期間：3,214日
使用済燃料プール内に保管されていた制御棒の炉内滞在期間：1,544日

②機械加工なし及びTIG溶接（一定電流）

機械加工なし及びTIG溶接（一定電流）の制御棒については、原子炉内に装荷されていた４本全てにひびは確認されていない。すなわち、地震時に原子炉内に装荷されていた制御棒について、特にひびの発生率が高いという状況は見られていない。

中性子照射量と炉内滞在期間の観点で、エンドミル加工及びTIG溶接（一定電流）と比較を行うと以下の通りとなる。

(a)中性子の照射量は、ＩＡＳＣＣの感受性が高まる中性子照射量以上の照射を受けている。

(b)エンドミル加工及びTIG溶接（一定電流）に比較して中性子照射量が低い。

(c)エンドミル加工及びTIG溶接（一定電流）に比較して炉内滞在期間も短い。

以上のことから、この製造方法による制御棒にてひびが確認されなかったのは中性子照射量が低いこと及び炉内滞在期間が短いことによるものと考える。

なお、この製造方法により製造された制御棒は使用済燃料プールには保管されていなかった。

③プレーナ加工及びTIG溶接（パルス電流）

プレーナ加工及びTIG溶接（パルス電流）の制御棒については、原子炉内に装荷されていた14本中14本全てにひびを確認し、使用済燃料プール内に保管されていた３本中３本全てにひびを確認している。すなわち、原子炉内及び使用済燃料プール内いずれの制御棒もひびの発生率は100％であり差異は認められない。

中性子照射量と炉内滞在期間の観点で、エンドミル加工及びTIG溶接(一定電流)のうち当該ひびの確認された制御棒と比較を行うと以下の通りとなる。

(a)地震時に原子炉内に装荷されていた制御棒、使用済燃料プール内に保管されていた制御棒いずれもＩＡＳＣＣの感受性が高まる中性子照射量以上の照射を受けている。

(b)エンドミル加工及びTIG溶接（一定電流）で当該ひびの確認された制御棒に比較して中性子照射量は同等もしくはそれ以下である。

(c)エンドミル加工及びTIG溶接（一定電流）で当該ひびの確認された制御棒に比較して炉内滞在期間も同等もしくはそれ以下である。

(b)、(c)からプレーナ加工及びTIG溶接（パルス電流）により製造された制御棒の当該ひびの発生率は、エンドミル加工及びTIG溶接（一定電流）により製造された制御棒と同程度以下と期待されるものが、実際には地震時の状況にかかわらず100%の発生率を示している。

この製造方法において、地震時の状況にかかわらず、当該ひびの発生率が高いことは、この製造方法が固有のひび発生要因を有しているものと考えられる。この要因は、これまでの調査結果から本文５．２．２に示すパルス電流採用による入熱量の低減と本文５．９に示す製造にあたっての溶接ねらい位置の指示不足が重畳したものと類推される。

以上のことから、プレーナ加工及びTIG溶接（パルス電流）において、地震時に原子炉内に装荷されていた制御棒のひび発生率が使用済燃料プールに保管されていた制御棒のひびの発生率より高い傾向はなく（当該ひびの発生率は同等）、他の製造方法に比べて当該ひびの発生率の高いプレーナ加工及びTIG溶接（パルス電流）によって製造された制御棒が地震時に原子炉内に多く装荷されていたことが、地震時に炉内に装荷されていた制御棒にひびが多く確認されているという状況を生んでいるものと考える。

④プレーナ加工及びレーザ溶接

プレーナ加工及びレーザ溶接の制御棒については、原子炉内に装荷されていた３本にひびは確認されておらず、使用済燃料プール内に保管されていた１本にひびを確認している。すなわち、原子炉内に装荷されていた制御棒について、特にひびの発生率が高いという状況は見られていない。

中性子照射量と炉内滞在期間の観点で、両者の比較を行うと以下の通りとなる。

(a) 地震時に原子炉内に装荷されていた制御棒、使用済燃料プール内に保管されていた制御棒いずれもＩＡＳＣＣの感受性が高まる中性子の照射を受けている。

(b) 地震時に原子炉内に装荷されていた制御棒の中性子照射量は、使用済燃料プール内に保管されていた制御棒に比較して同等以上の照射量である。

(c) 地震時に原子炉内に装荷されていた制御棒の炉内滞在期間は、使用済燃料プール内に保管されていた制御棒に比較して長い期間である。

当該のひびが確認された使用済燃料プール内に保管されていた制御棒は、ひびの確認されなかった原子炉内に装荷されていた制御棒と比較して中性子照射量が低く、炉内滞在期間も短い。これは、ＩＡＳＣＣが確率的に発生する事象であることから対象となる製造方法の制御棒が少ないことによるものと考える。

なお、プレーナ加工及びレーザ溶接においては、地震時原子炉内に装荷されていた制御棒に多くひびが確認されたという事実はない。

（２）まとめ

以上のとおり、新潟県中越沖地震時に原子炉内に装荷されていた制御棒にシース／タイロッド溶接部近傍のひびが多く確認されているような傾向が見られているが、その理由は、

・エンドミル加工及びTIG溶接（一定電流）の制御棒については、原子炉内に装荷されていた制御棒の炉内滞在期間が長いこと。

・プレーナ加工及びTIG溶接（パルス電流）の制御棒については、隙間腐食の発生しやすい製造要因をもった制御棒であり、地震時にはこの製造方法により製造された制御棒が多く原子炉内に装荷されていたこと。

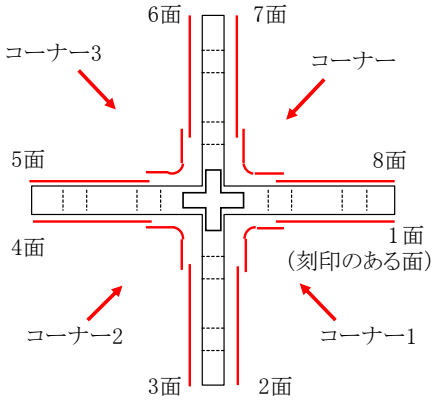
の両者によるもので、本文５．７に記すように、地震荷重の影響によって、地震時に原子炉内に装荷されていた制御棒のひびの発生率が有意に高いのではないと考える。

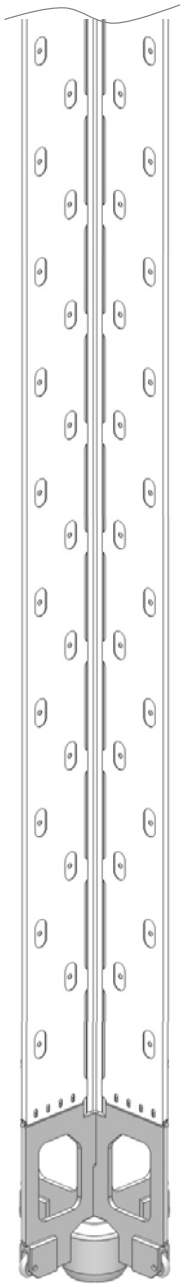
以　上

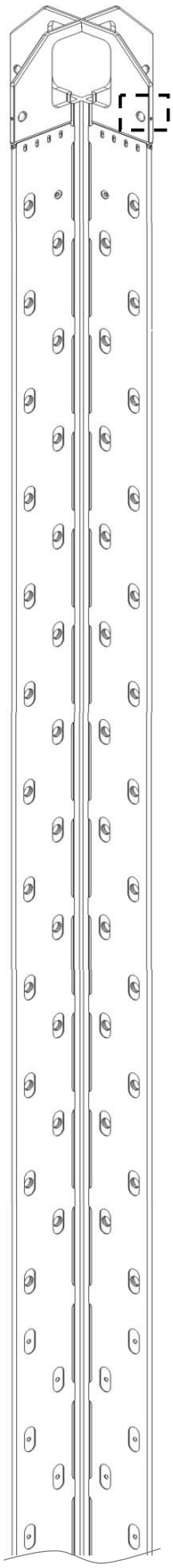
表　新潟県中越沖地震時の状態と加工、溶接方法の観点で整理した当該ひびの発生状況

加工及び溶接方法	新潟県中越沖地震被災時の状態	当該ひびの確認の有無（本）		照射状況		備考
エンドミル加工＋TIG溶接（一定電流）	中越沖地震時に炉内に装荷されていた制御棒	ひびの確認された制御棒	4	中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	4.1～4.6	
				炉内滞在期間（日）	3214	
		ひびの確認されていない制御棒	0	中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	―	
				炉内滞在期間（日）	―	
	中越沖地震時に使用済燃料プールに保管されていた制御棒	ひびの確認された制御棒	6	中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	5.0～5.3	
				炉内滞在期間（日）	1544	
		ひびの確認されていない制御棒	15	中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	3.5～5.6	
				炉内滞在期間（日）	1544	
加工なし＋TIG溶接（一定電流）	中越沖地震時に炉内に装荷されていた制御棒	ひびの確認された制御棒	0	中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	―	
				炉内滞在期間（日）	―	
		ひびの確認されていない制御棒	4	中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	2.8～3.1	
				炉内滞在期間（日）	930	
	中越沖地震時に使用済燃料プールに保管されていた制御棒	ひびの確認された制御棒	0	中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	―	
				炉内滞在期間（日）	―	
		ひびの確認されていない制御棒	0	中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	―	
				炉内滞在期間（日）	―	
プレーナ加工＋TIG溶接（パルス電流）	中越沖地震時に炉内に装荷されていた制御棒	ひびの確認された制御棒	14	中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	4.3～4.9	
				炉内滞在期間（日）	1669	
		ひびの確認されていない制御棒	0	中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	―	
				炉内滞在期間（日）	―	
	中越沖地震時に使用済燃料プールに保管されていた制御棒	ひびの確認された制御棒	3	中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	4.1～4.3	
				炉内滞在期間（日）	1160	
		ひびの確認されていない制御棒	0	中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	―	
				炉内滞在期間（日）	―	
プレーナ加工＋レーザ溶接	中越沖地震時に炉内に装荷されていた制御棒	ひびの確認された制御棒	0	中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	―	
				炉内滞在期間（日）	―	
		ひびの確認されていない制御棒	3	中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	4.3～4.9	
				炉内滞在期間（日）	1669	
	中越沖地震時に使用済燃料プールに保管されていた制御棒	ひびの確認された制御棒	1	中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	4.3	
				炉内滞在期間（日）	1160	
		ひびの確認されていない制御棒	0	中性子照射量（×10^{25}n/m^2）	―	
				炉内滞在期間（日）	―	

ひびの状況（柏崎刈羽原子力発電所７号機）
使用済制御棒





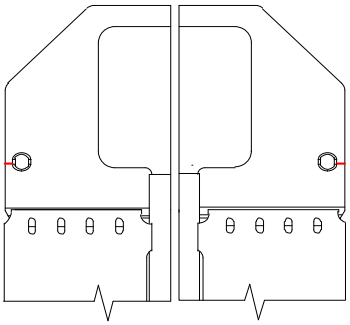


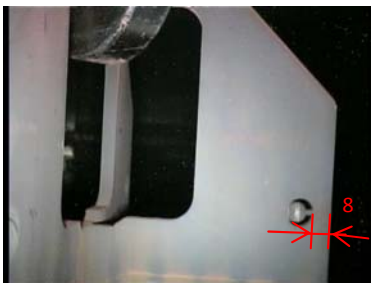
ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－001）（1／2）



２面

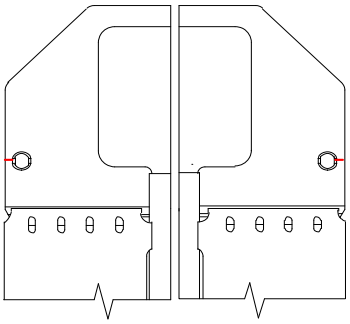


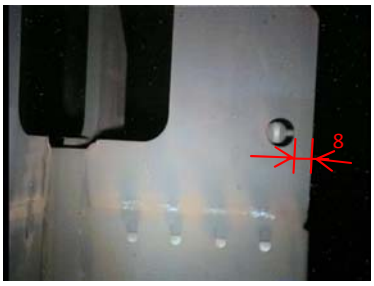


１面



４面

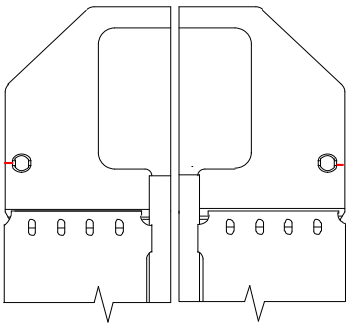




３面

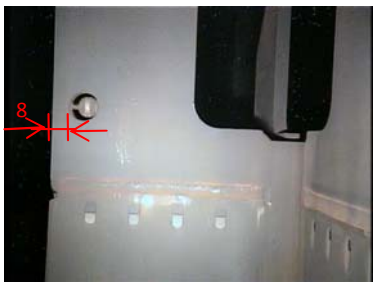


６面

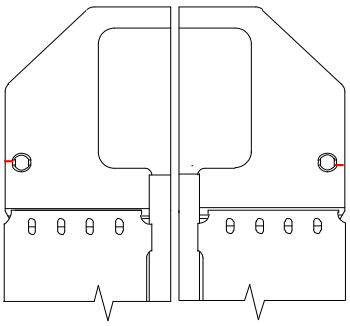




５面



８面

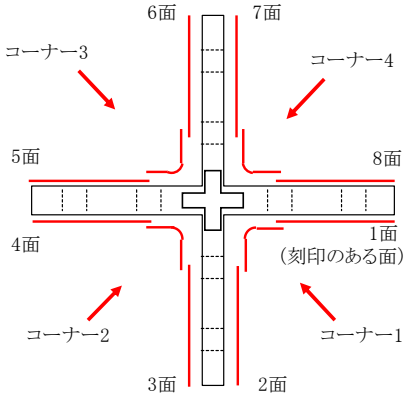


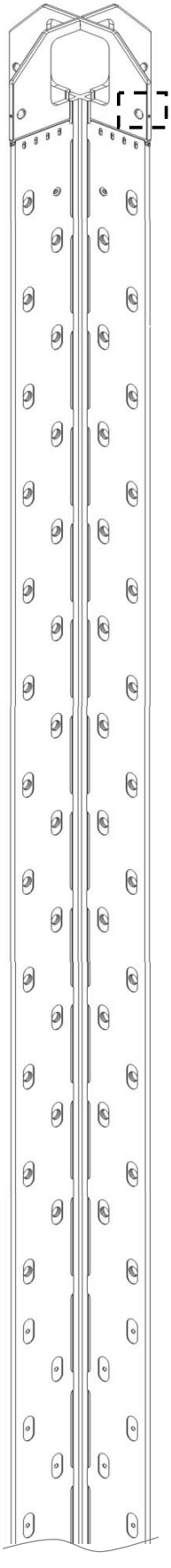


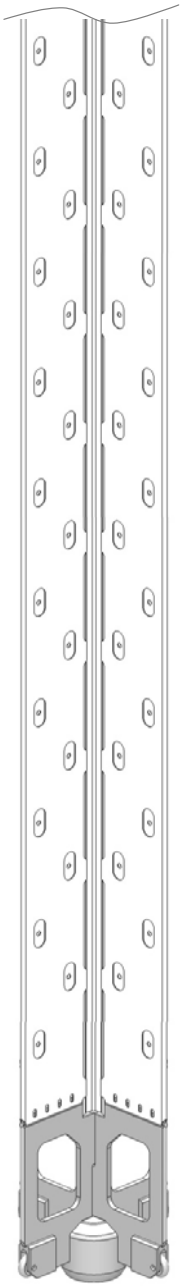
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－001）（2／2）





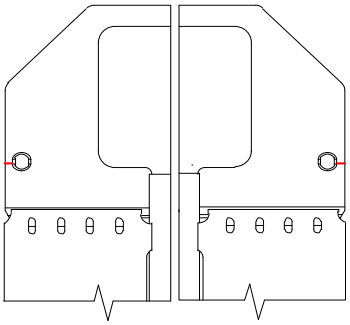


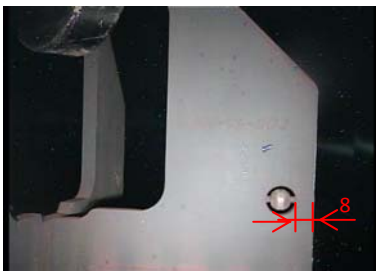
ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－002）（1／2）



２面

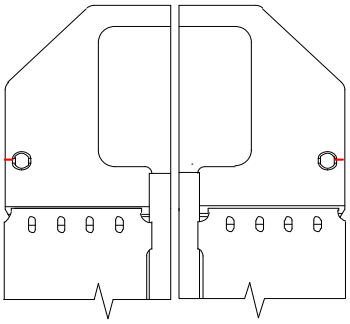




１面



４面

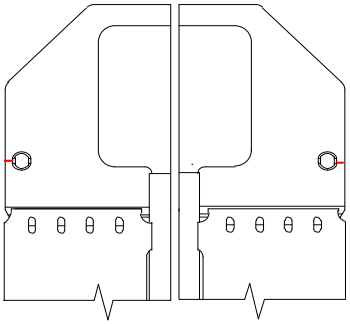




３面



６面

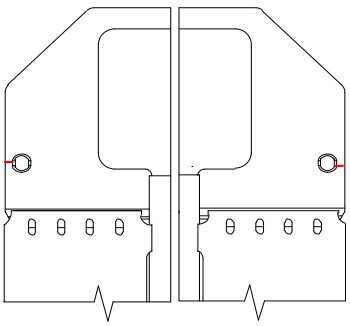




５面



８面

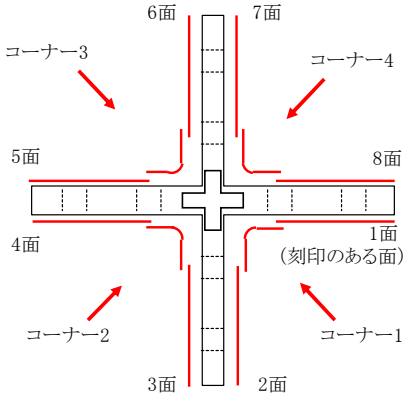


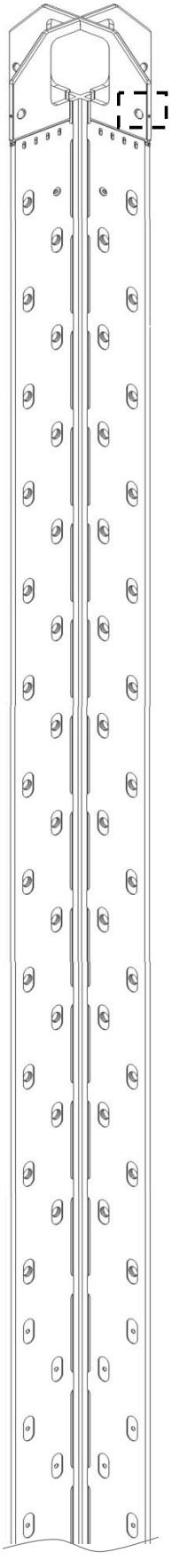


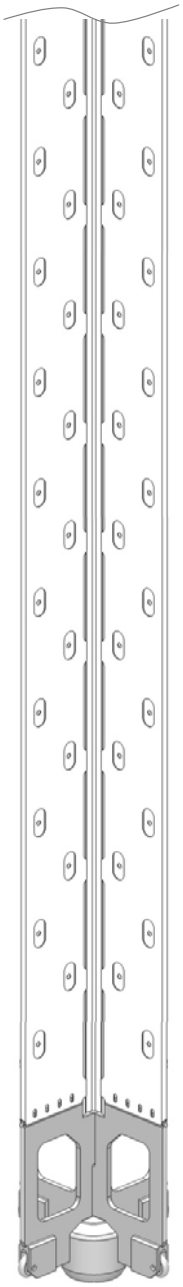
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－002）（2／2）

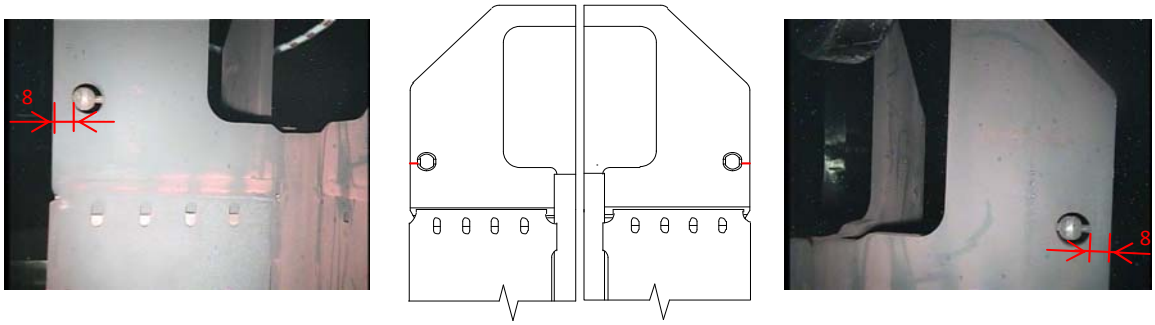




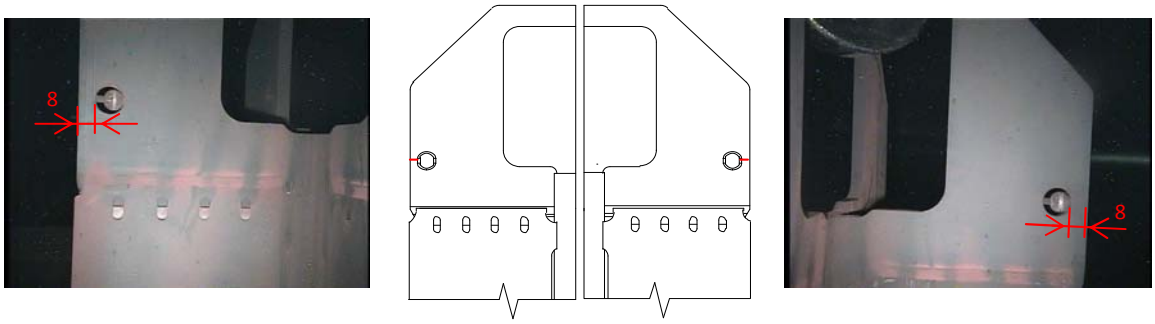


ひび有り位置

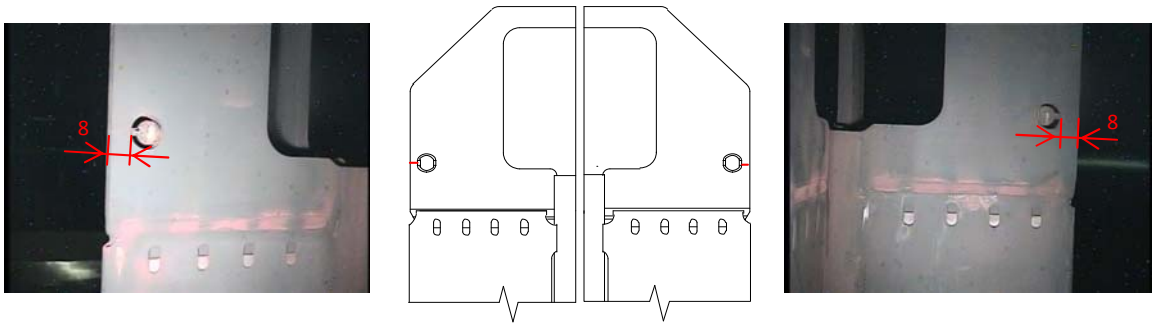
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－003）（1／2）



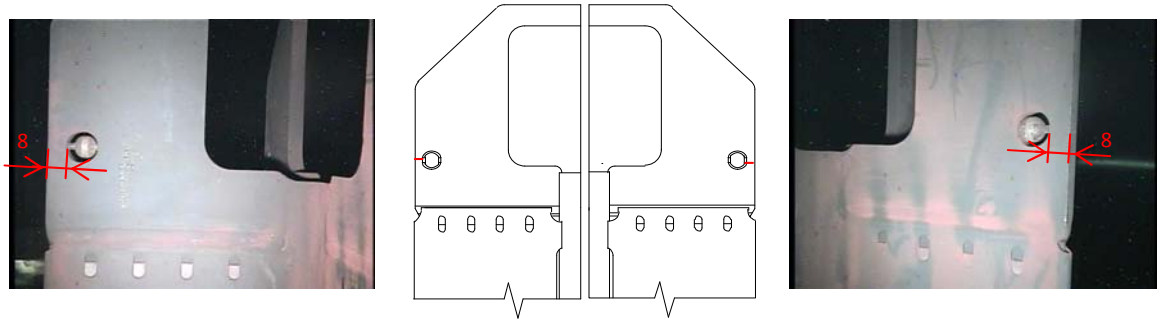
２面　　１面



４面　　３面



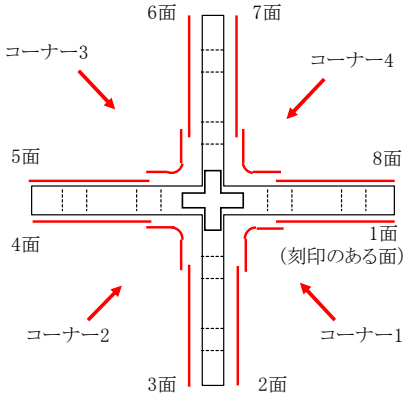
６面　　５面

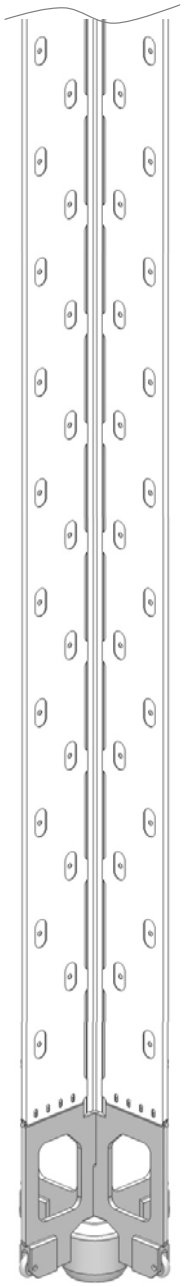


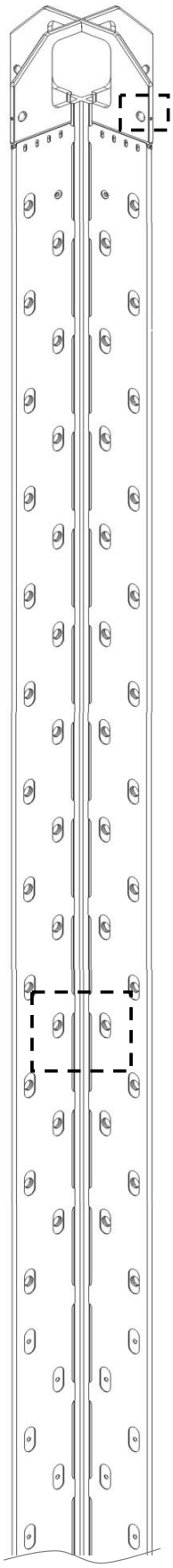
８面　　７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－003）（2／2）

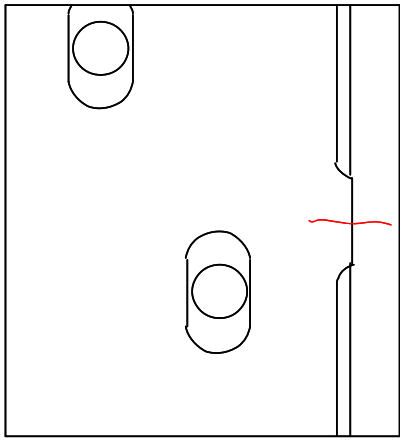


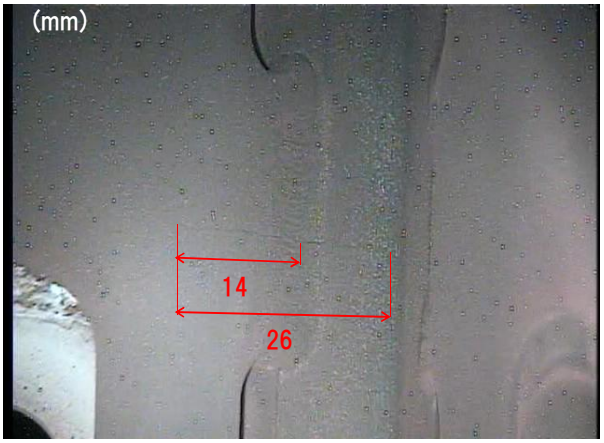




ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－004）（1／3）



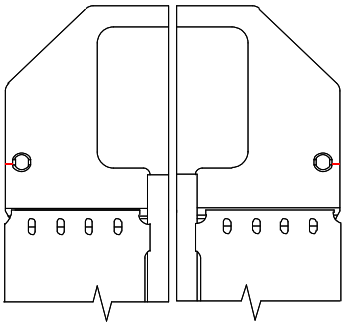


コーナー２　４面　１０タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－004）（2／3）



２面

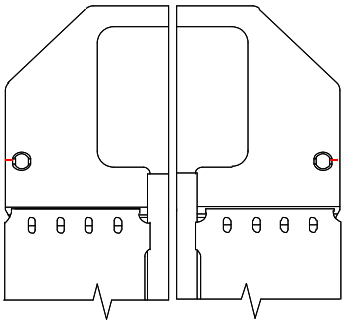




１面



４面

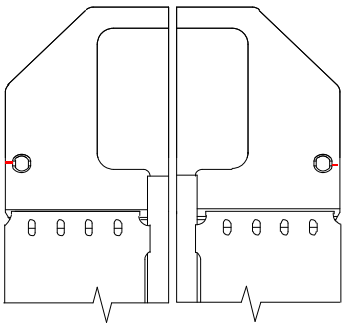


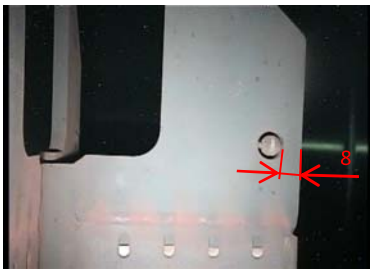


３面

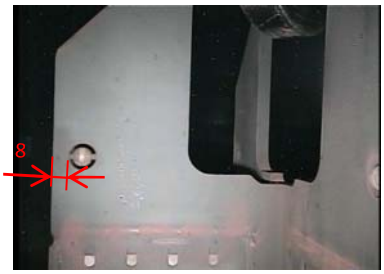


６面

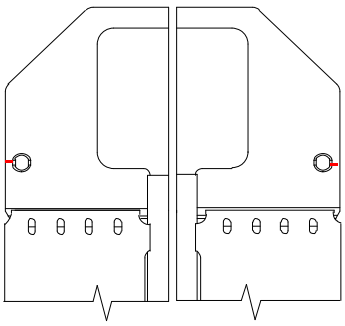




５面



８面

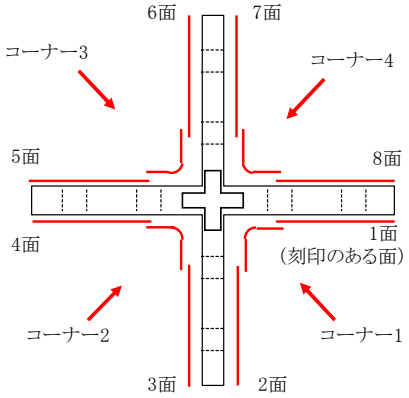


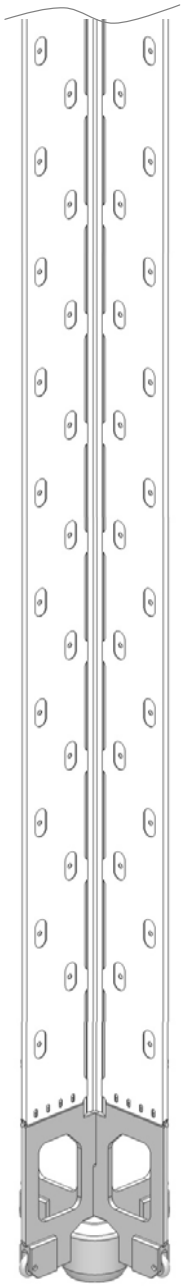


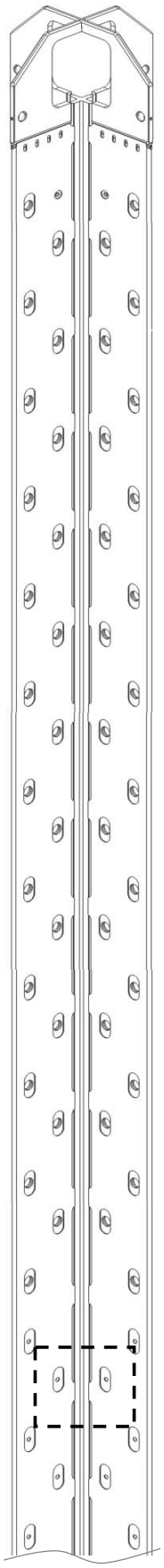
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－004）（3／3）



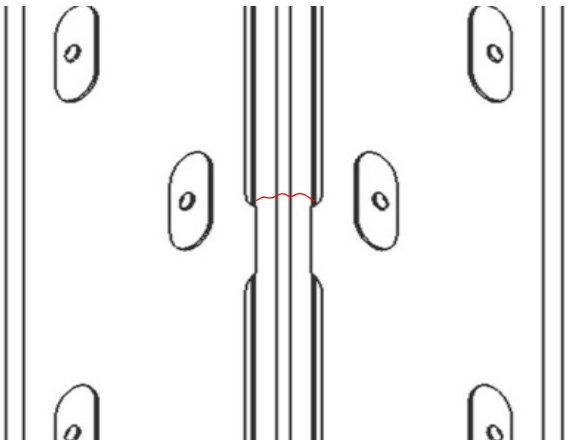


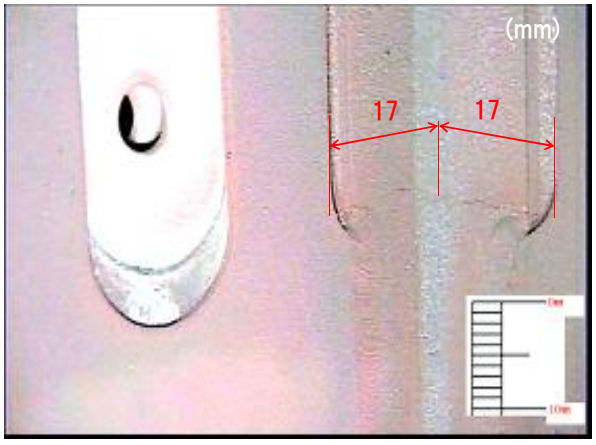


14タブ

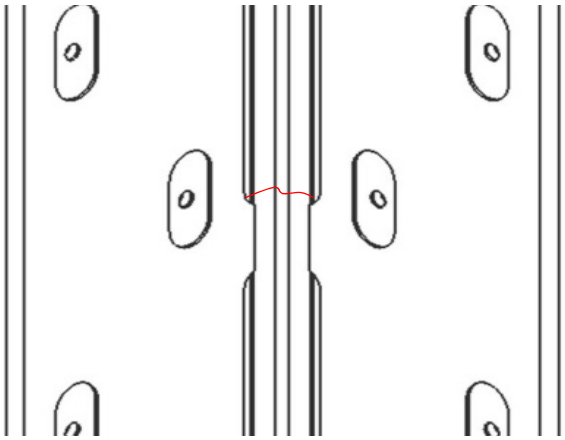
ひび有り位置

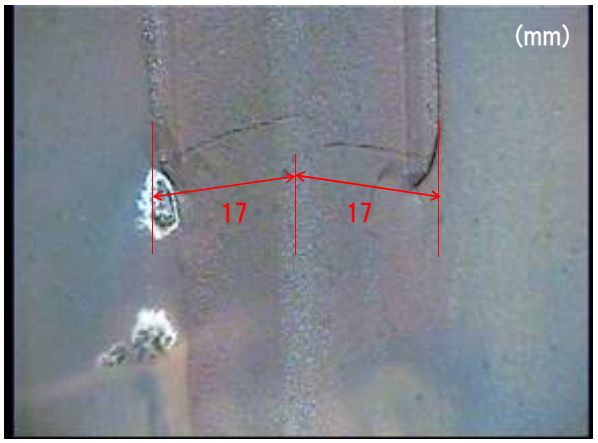
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－005）（1／3）



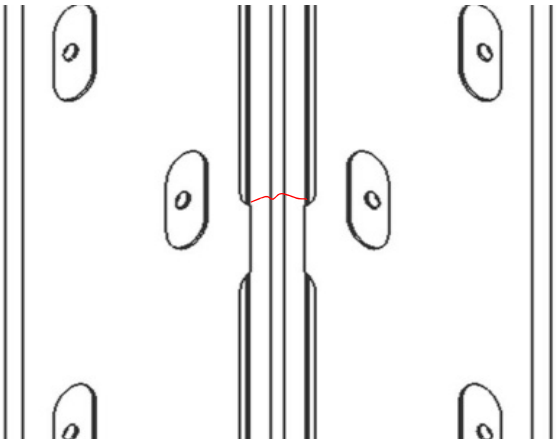


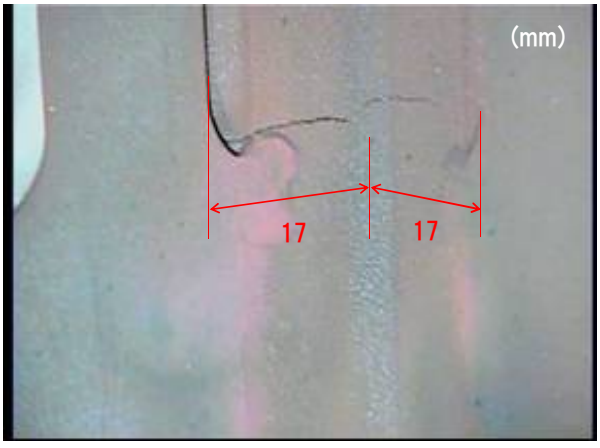
コーナー　1　　14　タブ





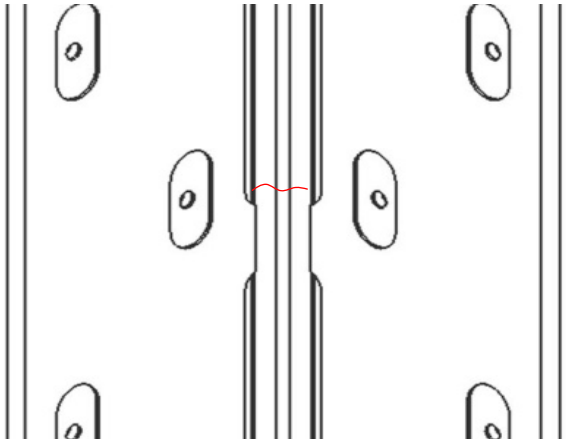
コーナー　2　　14　タブ

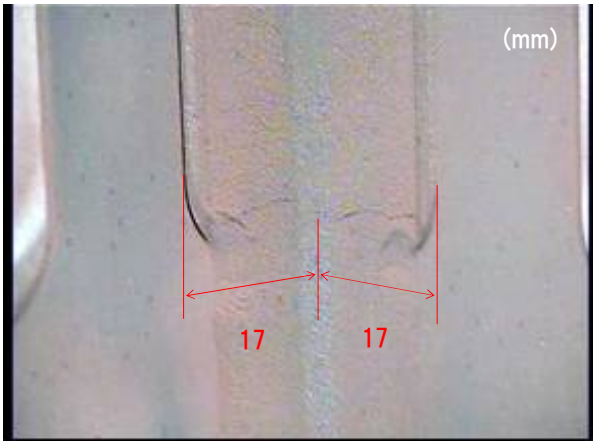




コーナー　3　　14　タブ

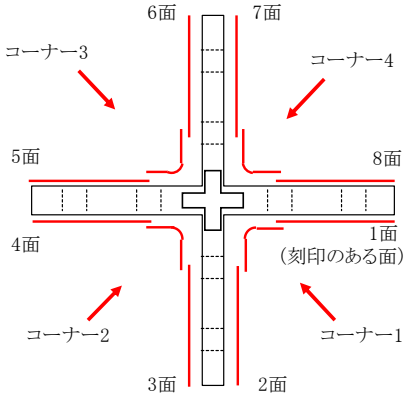
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－005）（2／3）

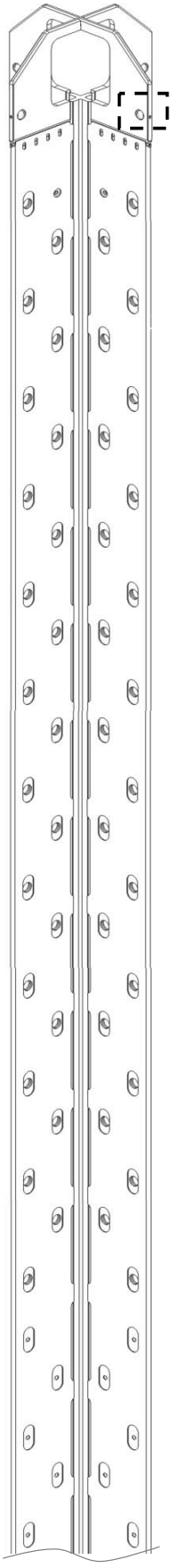


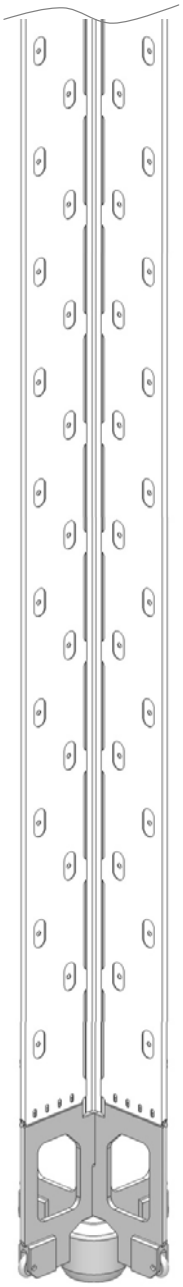


コーナー　4　　14　タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－005）（3／3）

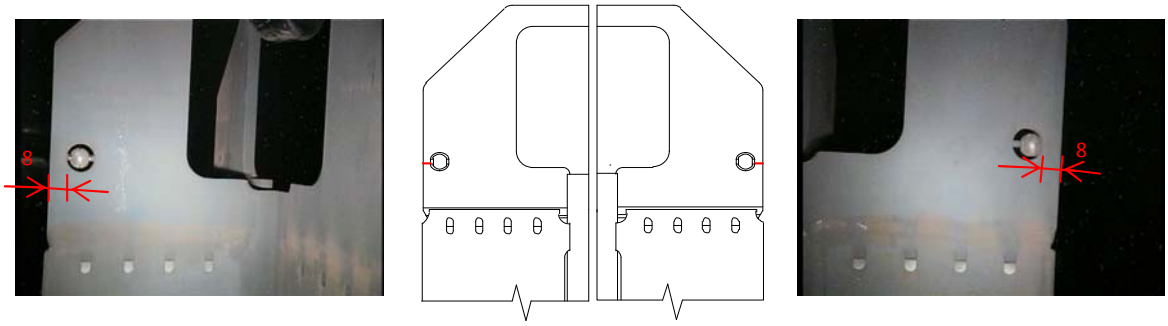




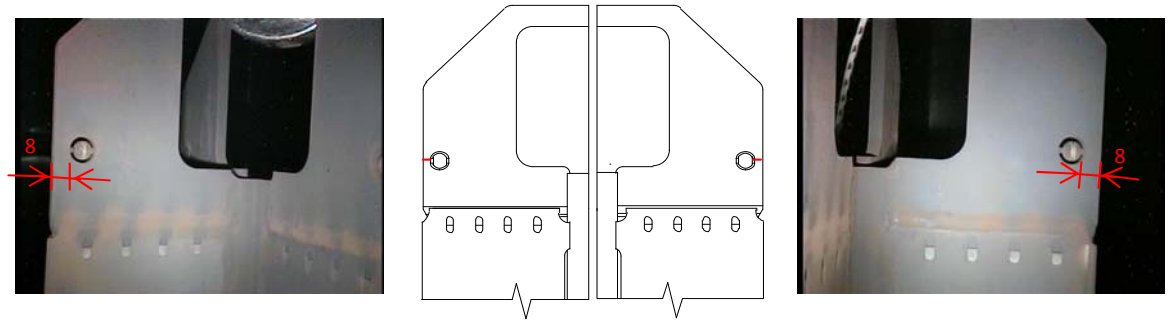


ひび有り位置

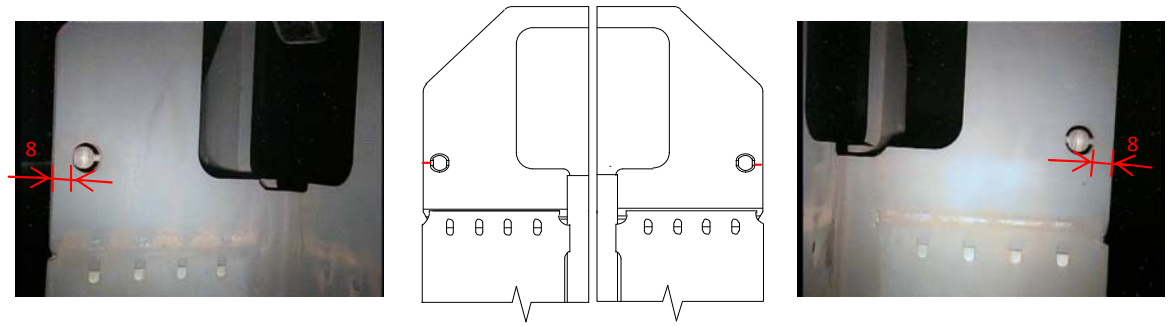
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－006）（1／2）



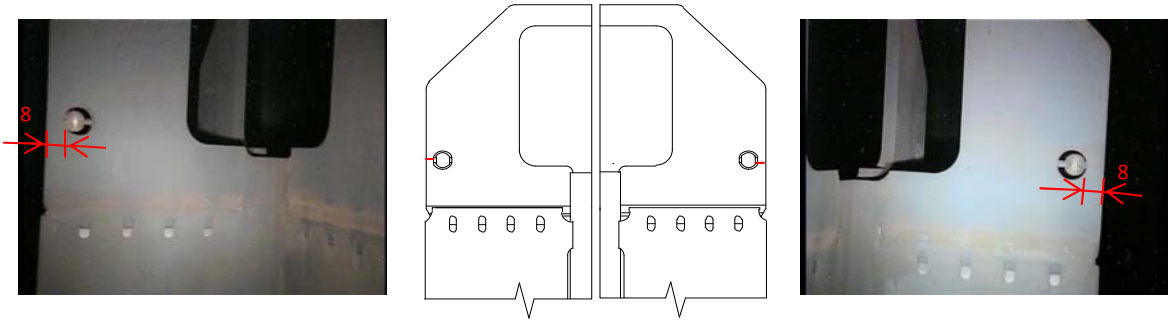
２面　　１面



４面　　３面



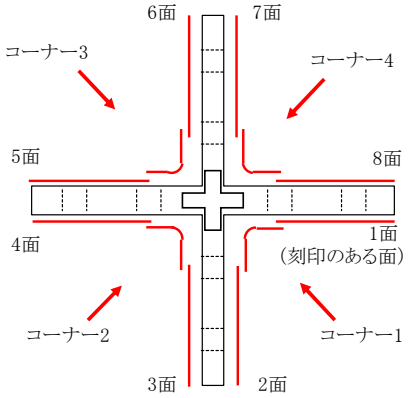
６面　　５面

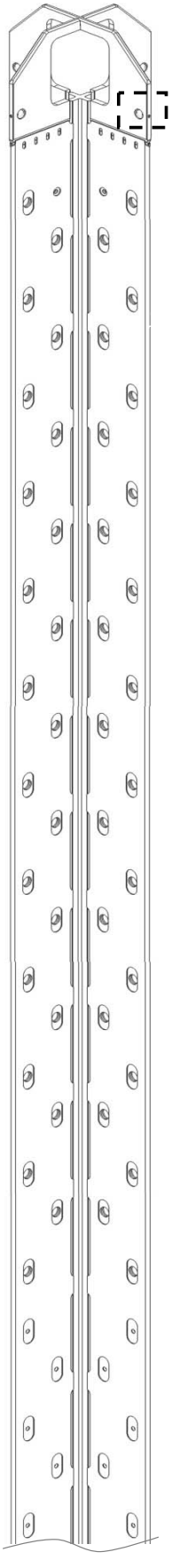


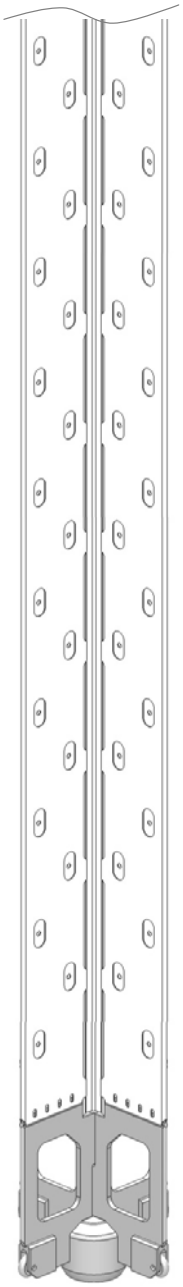
８面　　７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－006）（2／2）

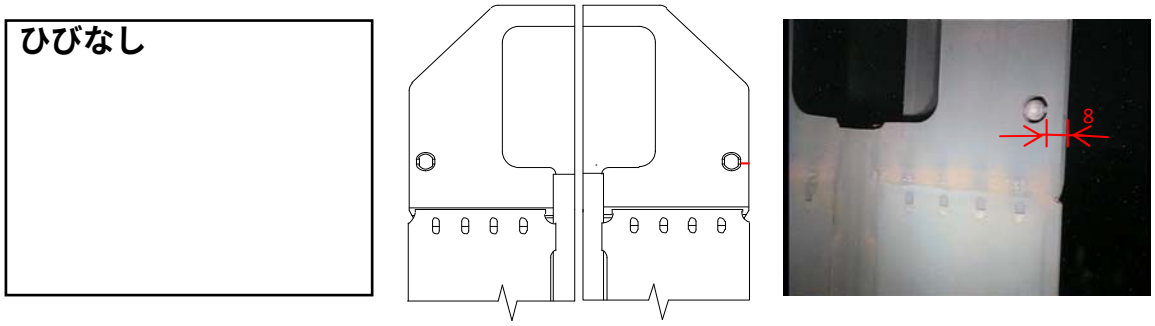






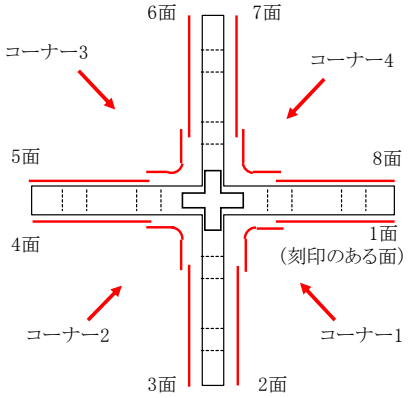
ひび有り位置

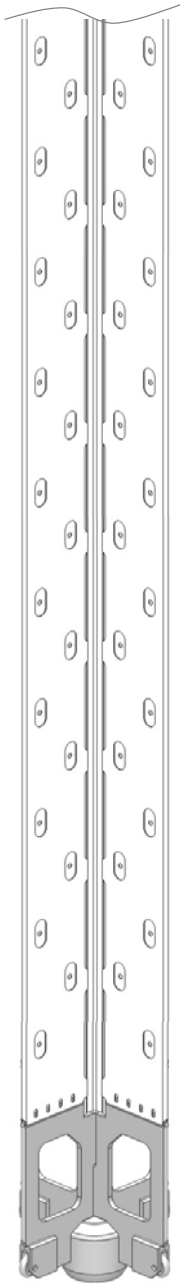
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－007）（1／2）

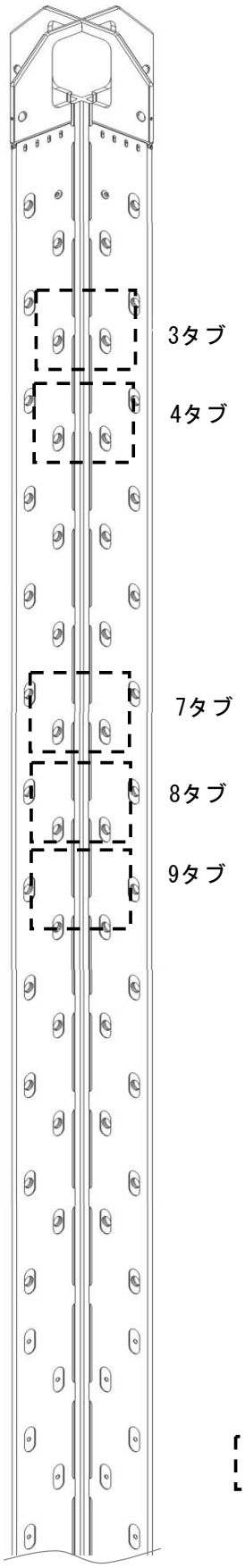


単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－007）（2／2）

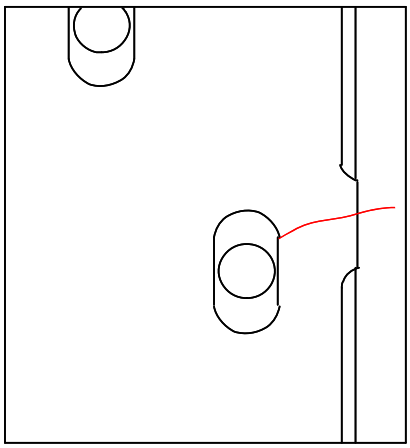


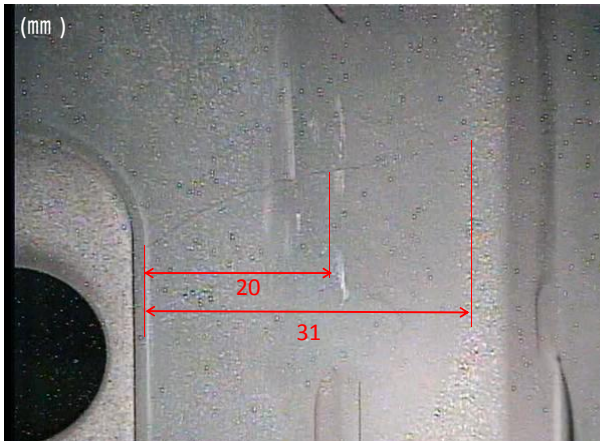




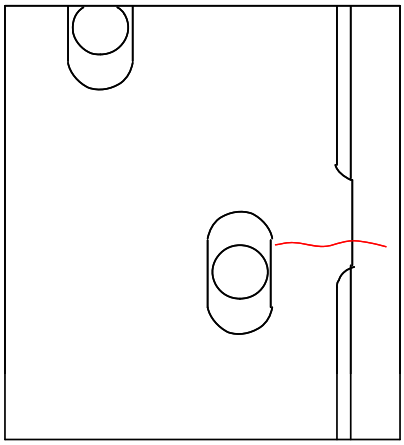
ひび有り位置

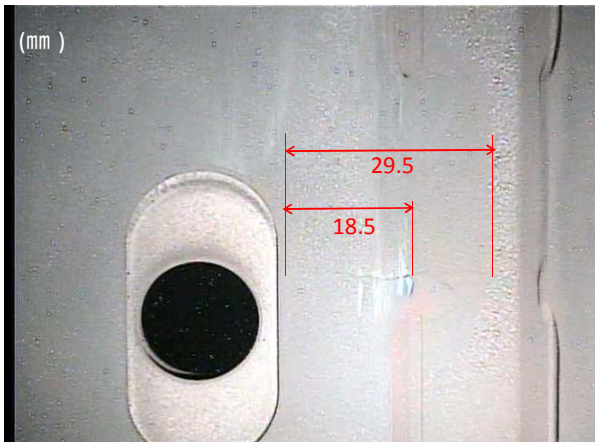
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－008）（1／4）



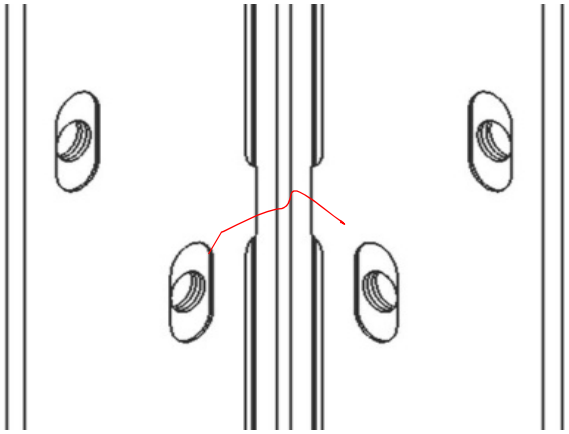


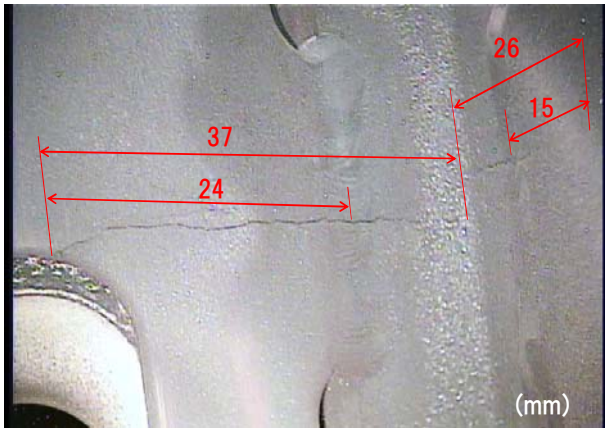
コーナー４　８面　３タブ





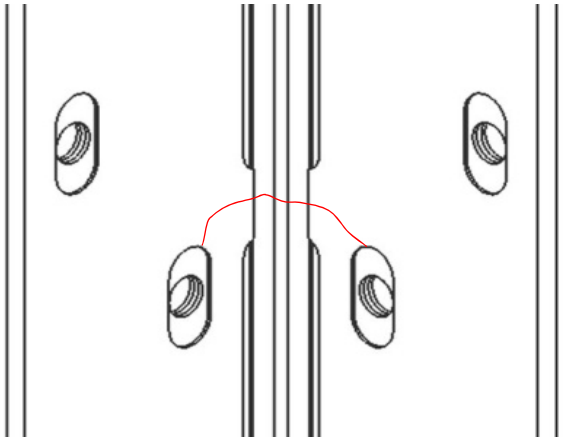
コーナー４　８面　４タブ

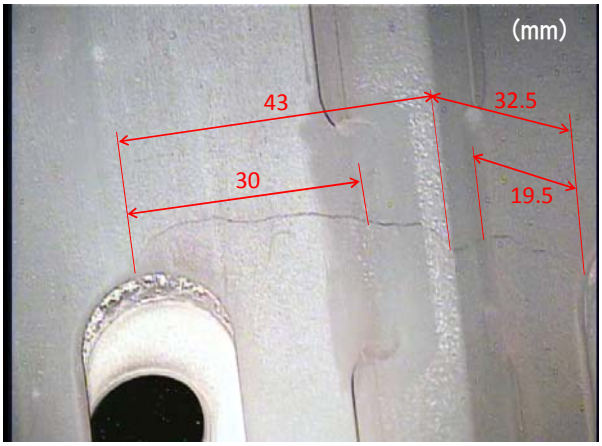




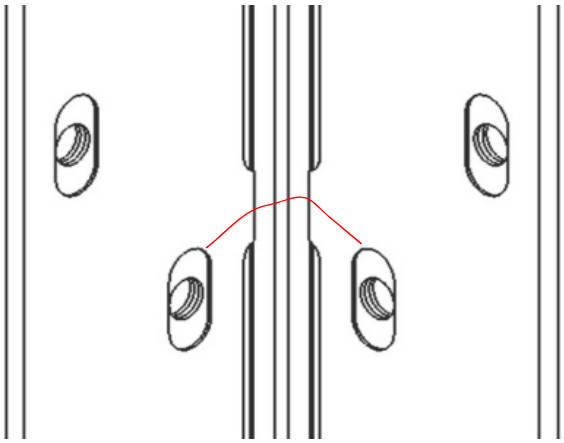
コーナー1　　7タブ

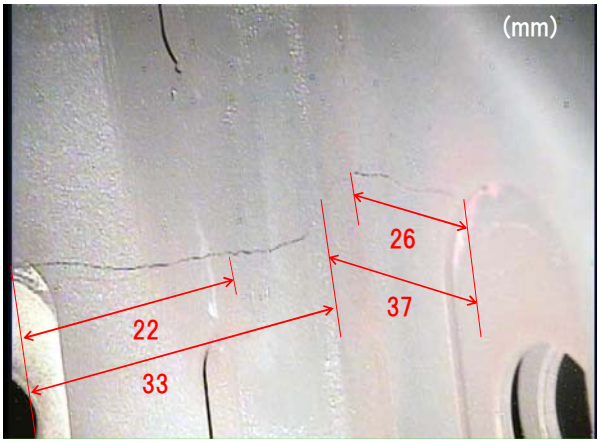
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－008）（2／4）



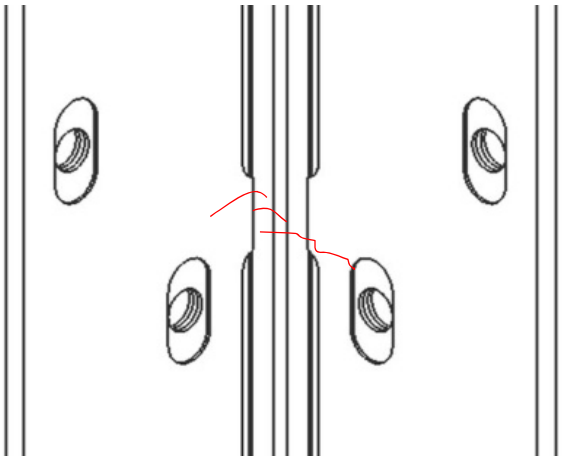


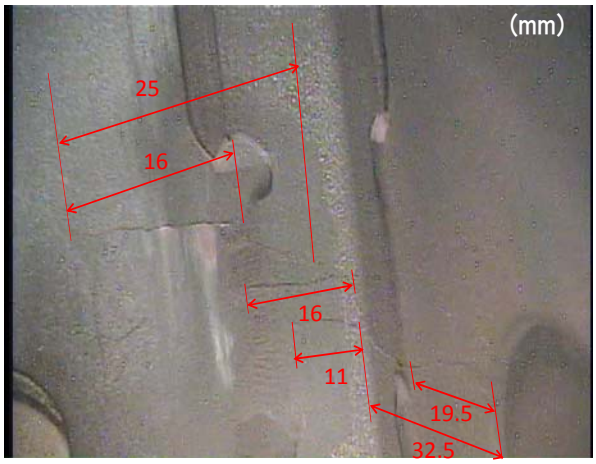
コーナー2　7タブ





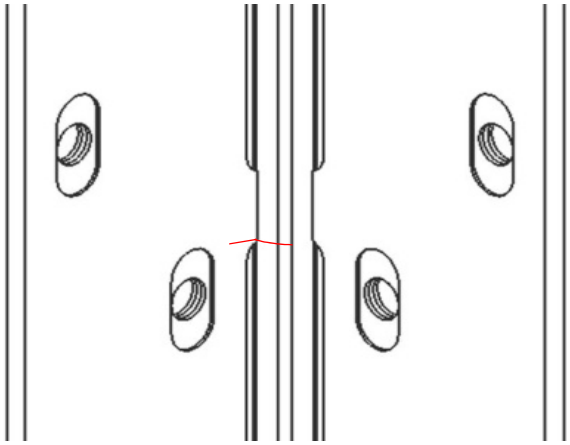
コーナー3　7タブ

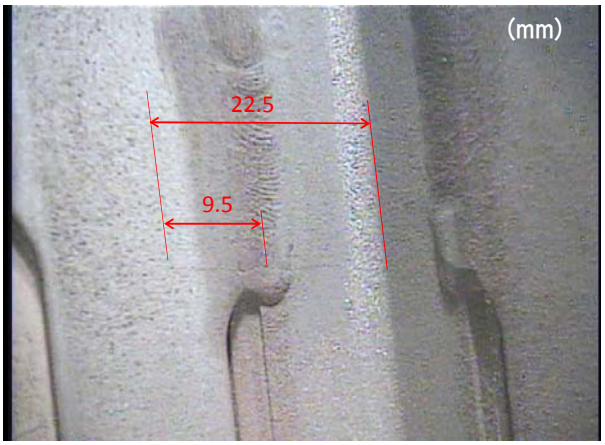




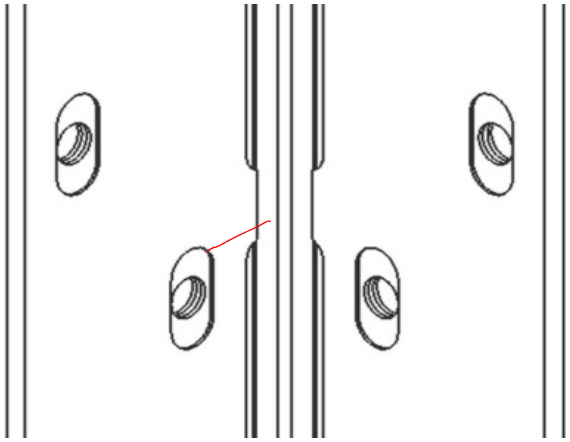
コーナー4　7タブ

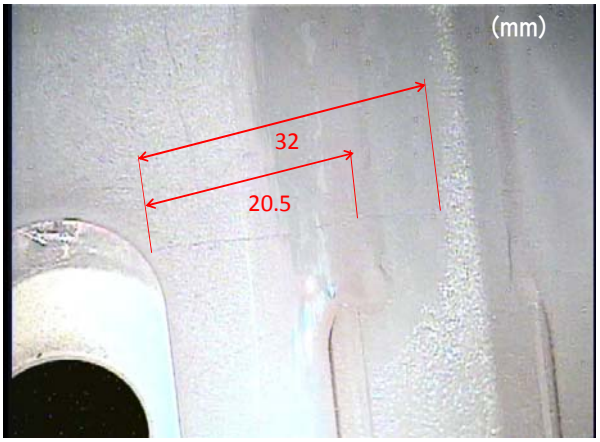
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－008）（3／4）





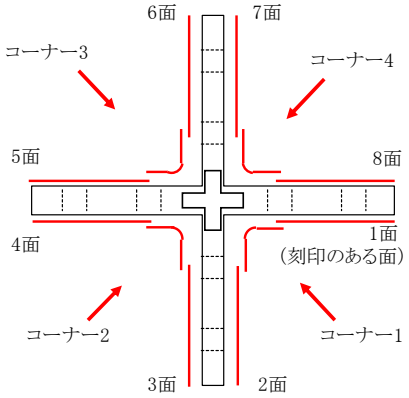
コーナー2　　8タブ

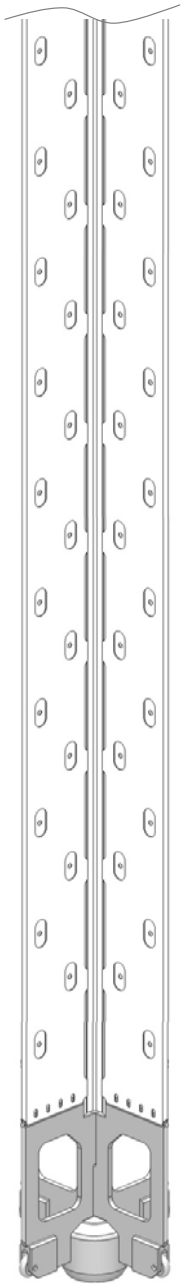


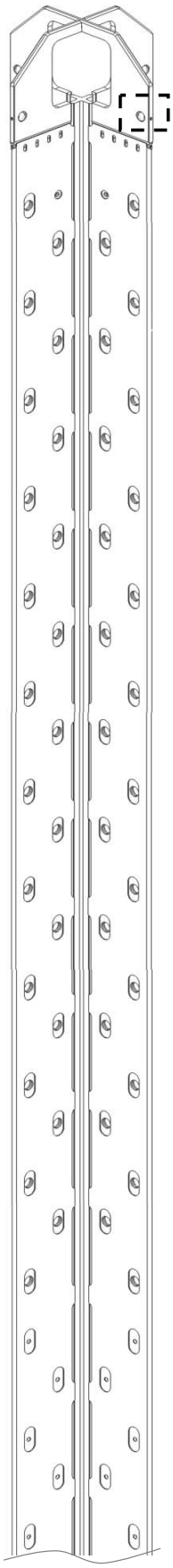


コーナー4　　9タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－008）（4／4）





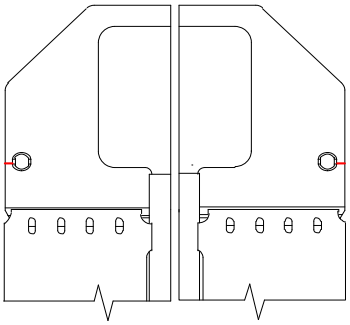


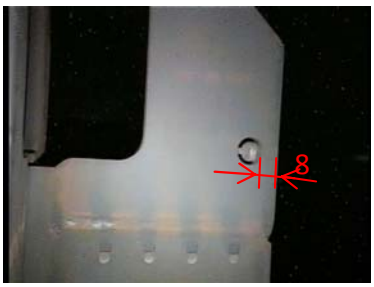
ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－009）（1／2）



２面

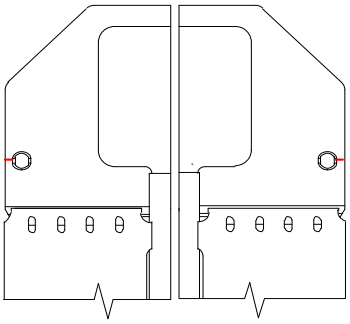




１面

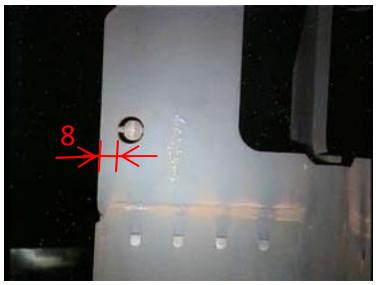


４面

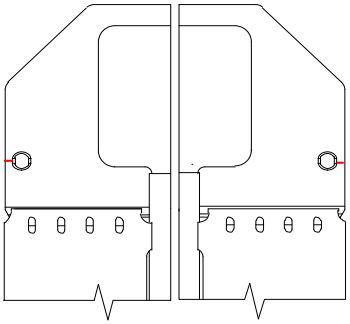


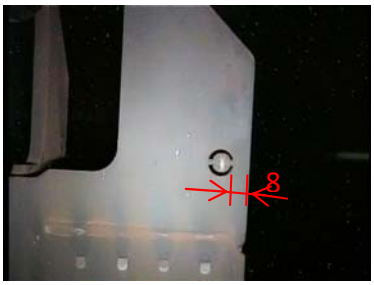


３面

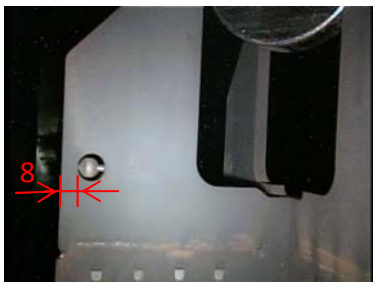


６面

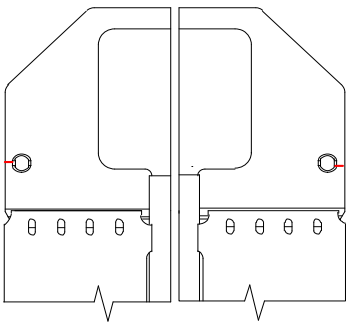


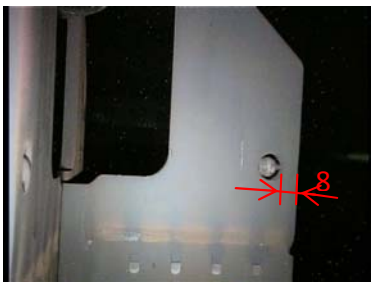


５面



８面

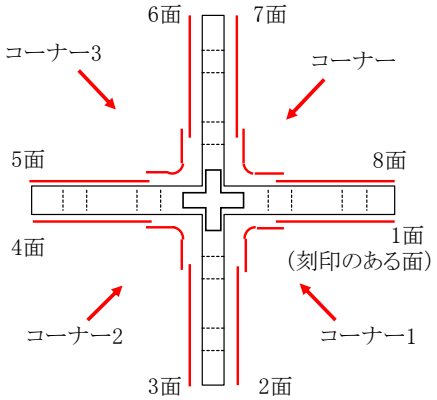


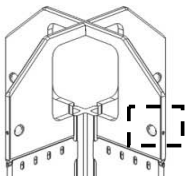


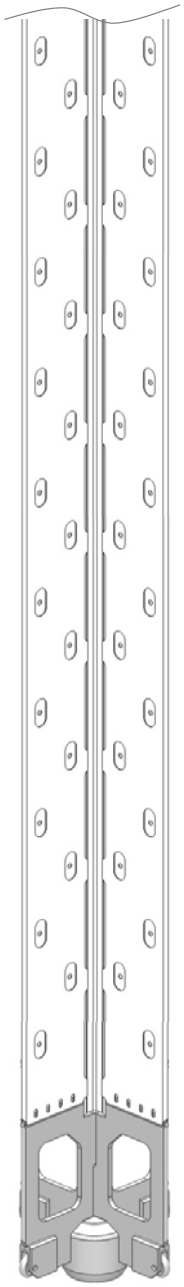
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－009）（2／2）





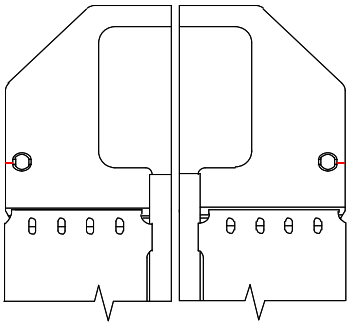


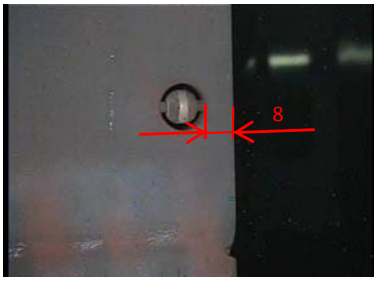


柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－010）（1／2）

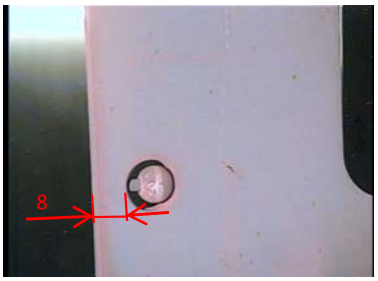


２面

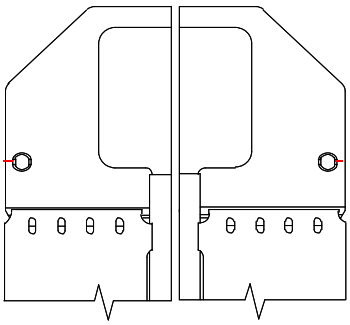


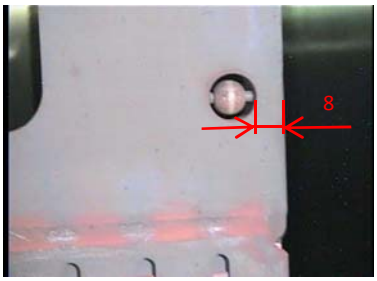


１面

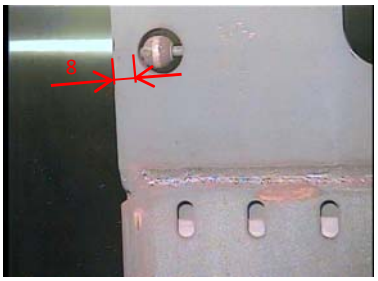


４面

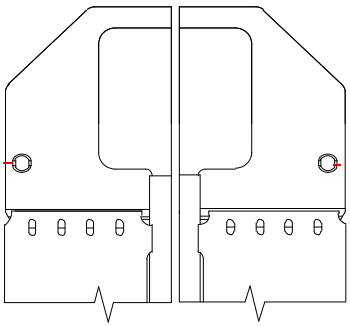


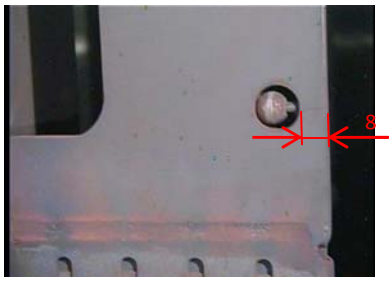


３面

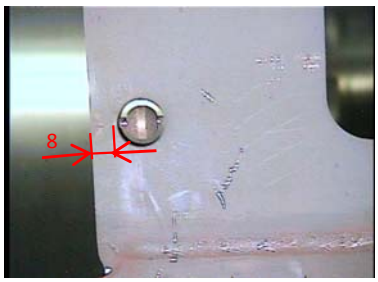


６面

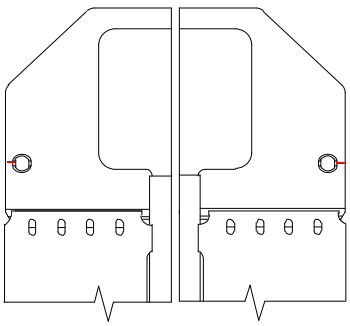


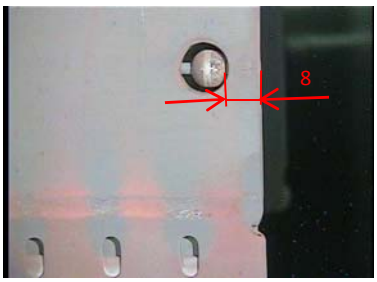


５面



８面

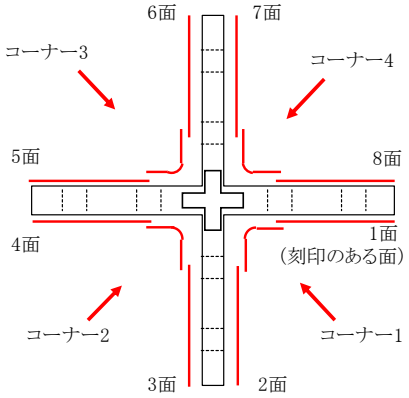


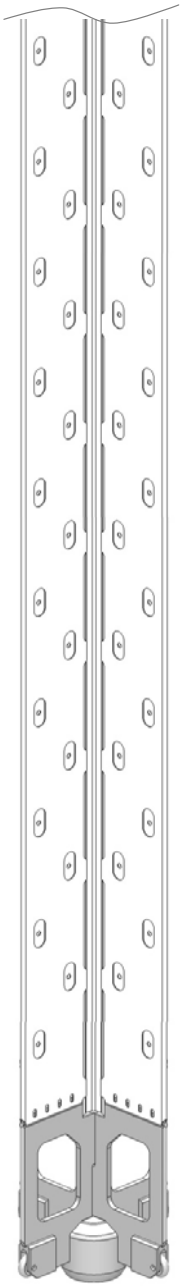


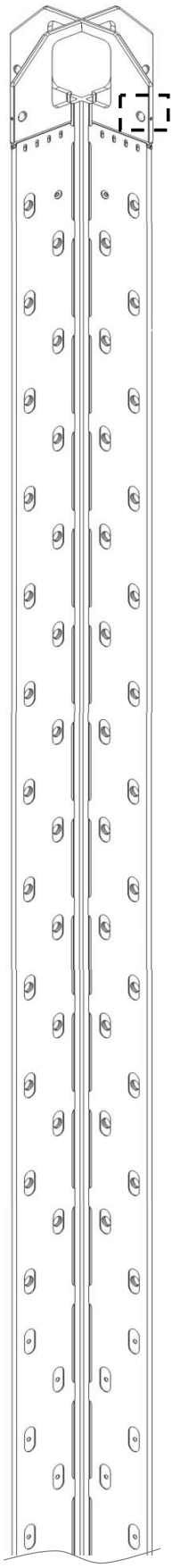
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－010）（2／2）

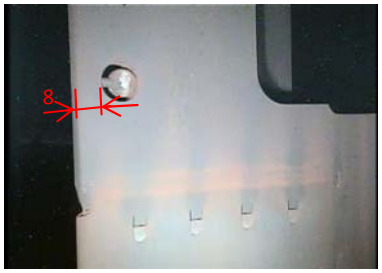




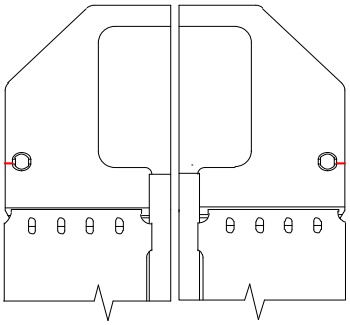


ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－011）（1／2）

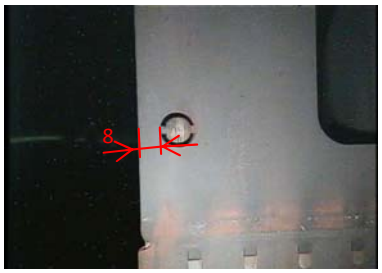


２面

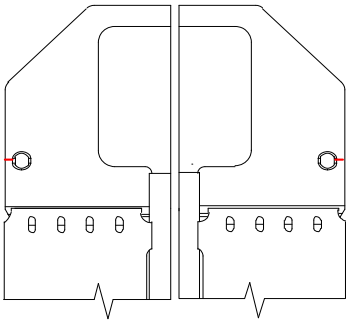


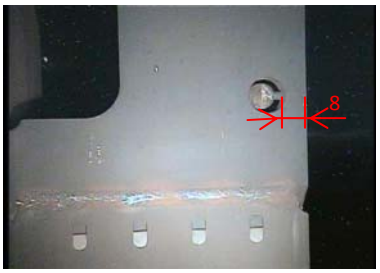


１面



４面

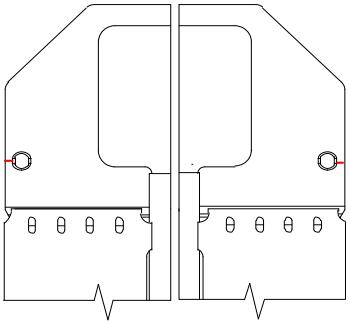


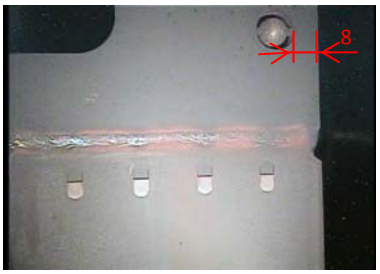


３面



６面

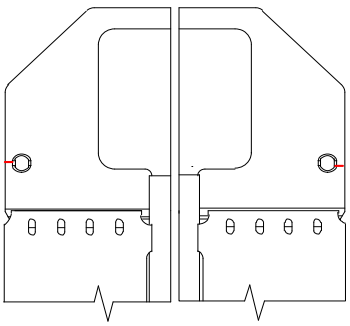


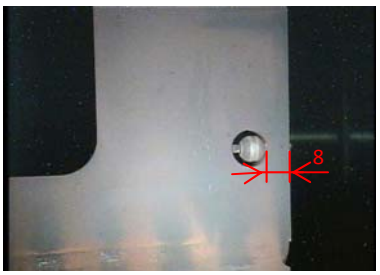


５面



８面

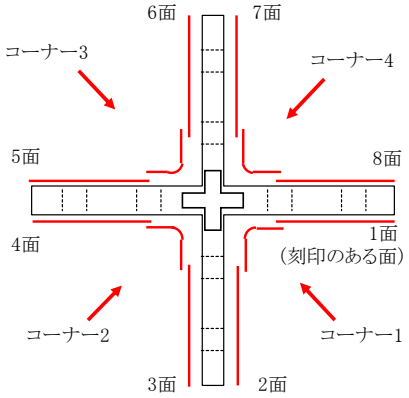


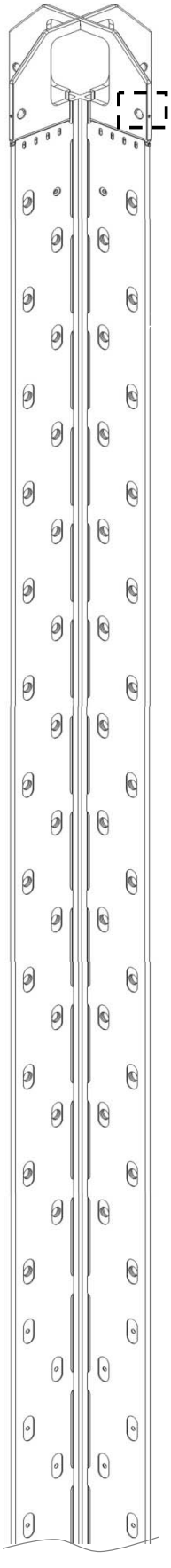


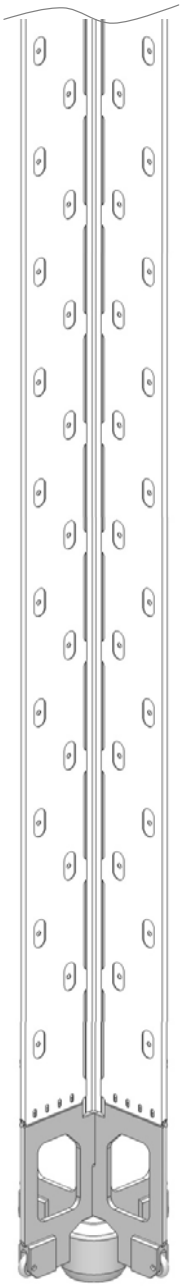
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－011）（2／2）





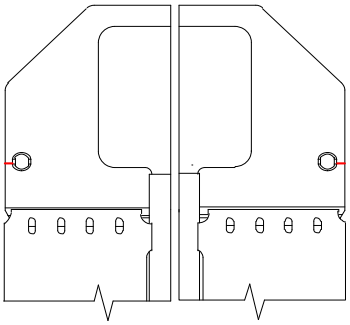


ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－012）（1／2）



２面

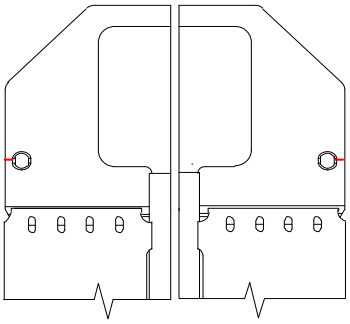




１面



４面

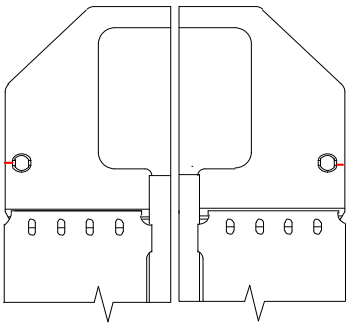




３面

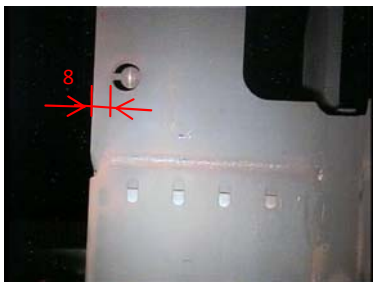


６面

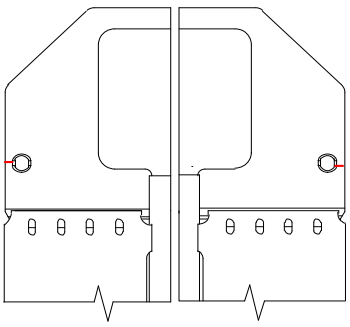




５面



８面

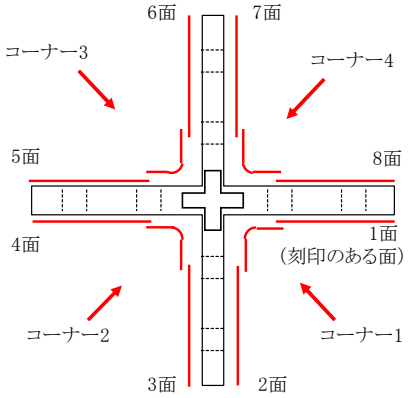


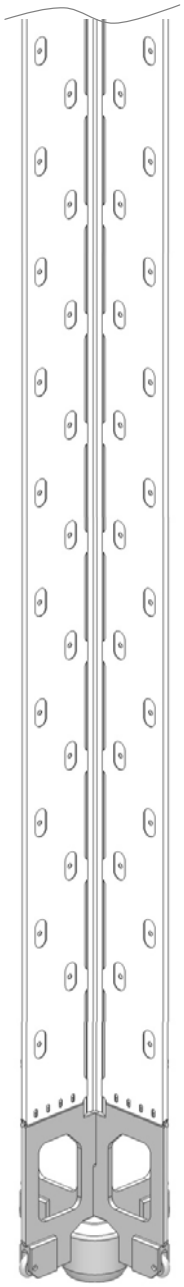


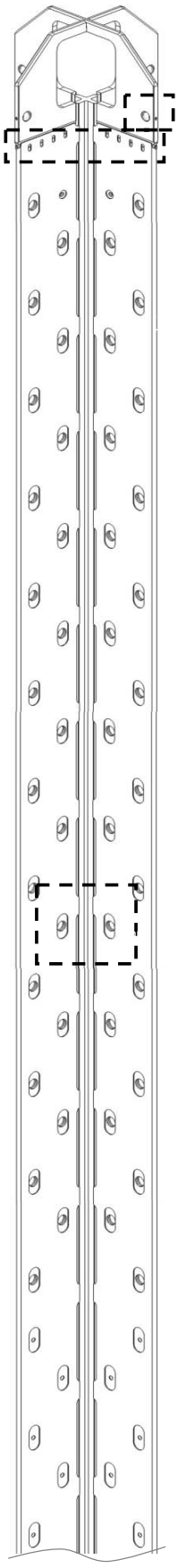
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－012）（2／2）

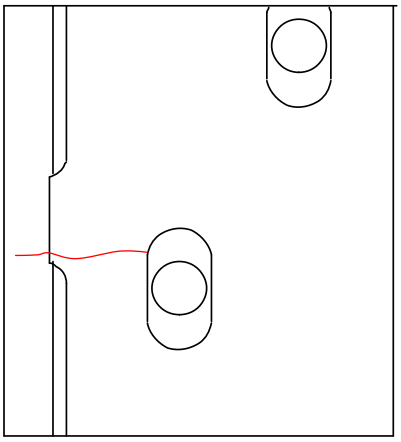


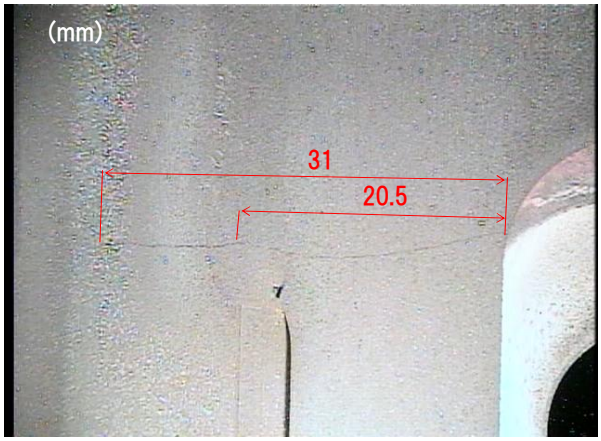




ひび有り位置

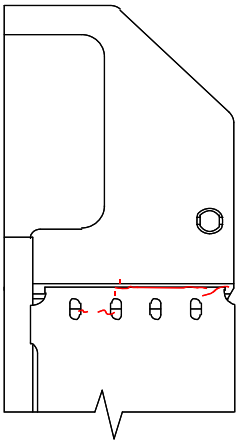
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－014）（1／4）

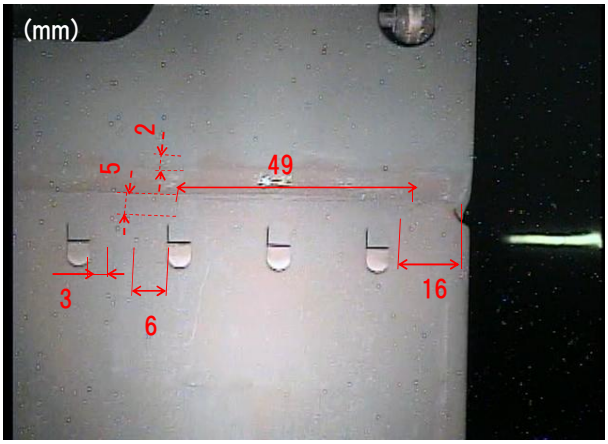




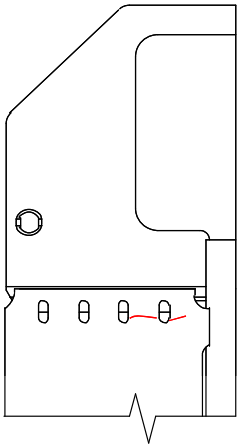
コーナー４　７面　９タブ

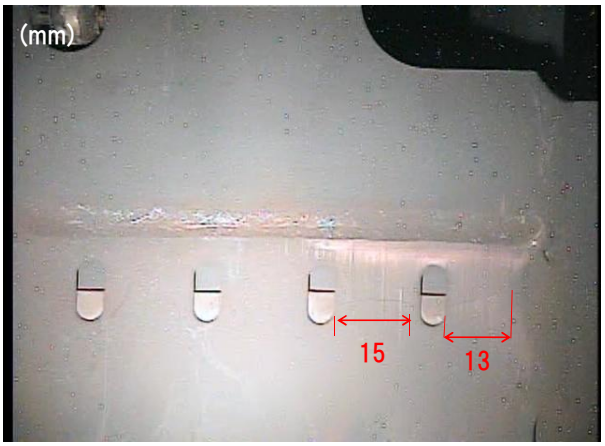
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－014）（2／4）



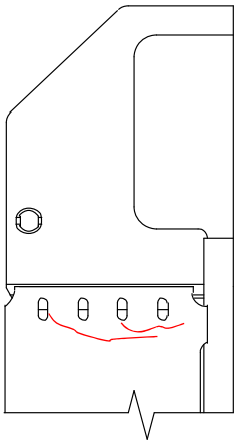


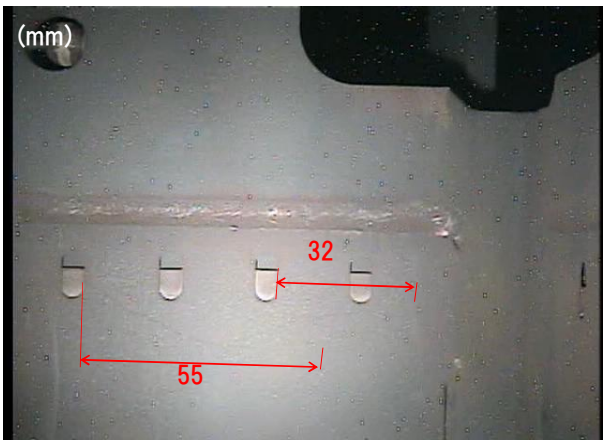
1面





2面



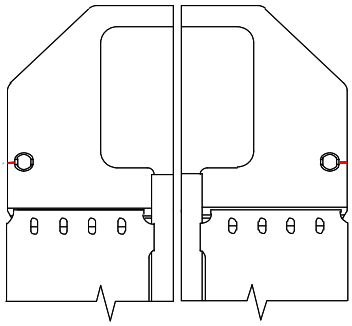


4面

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－014）（3／4）

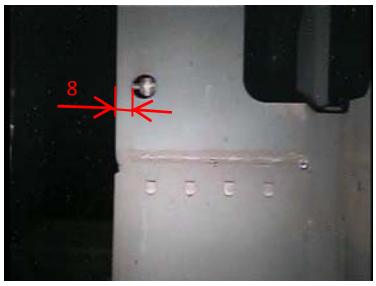


２面

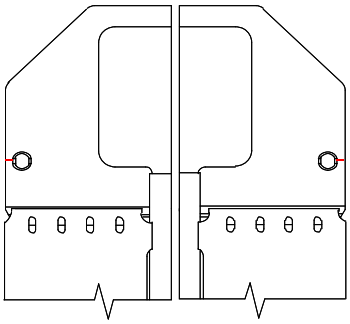




１面



４面

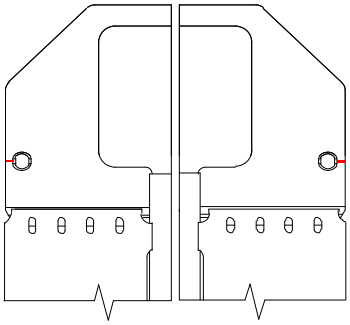




３面



６面

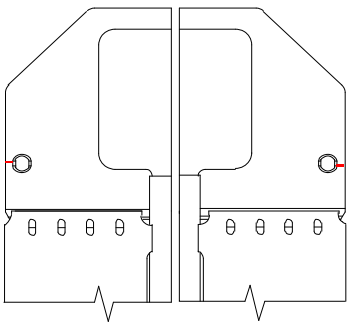


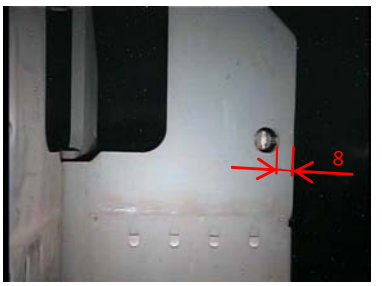


５面



８面

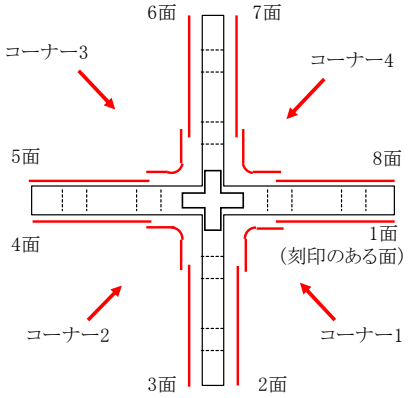


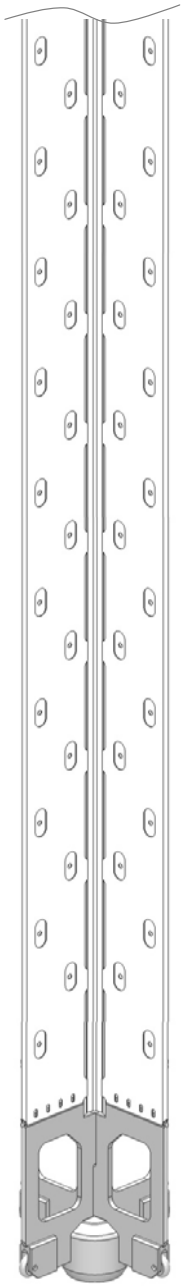


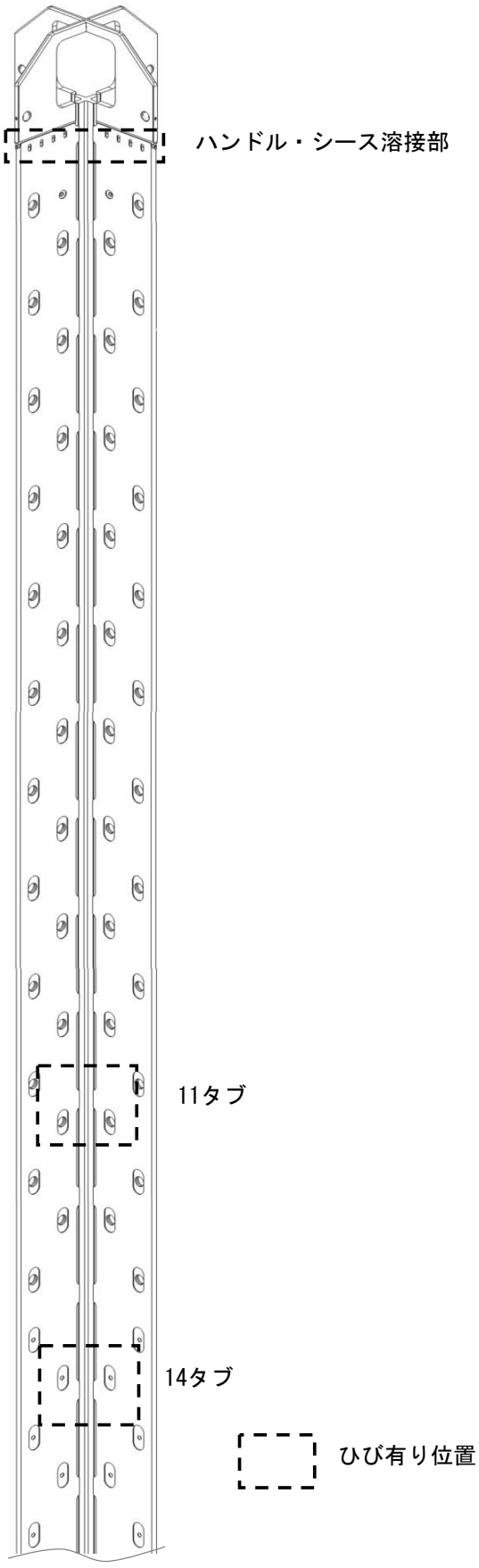
７面

単位：mm

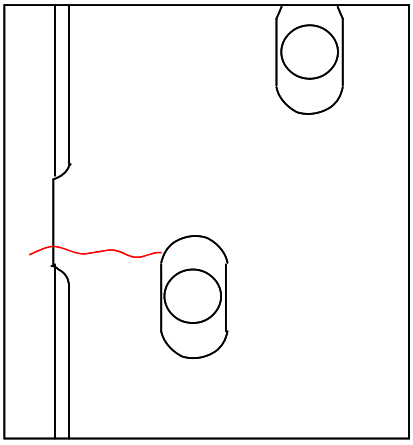
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－014）（4／4）

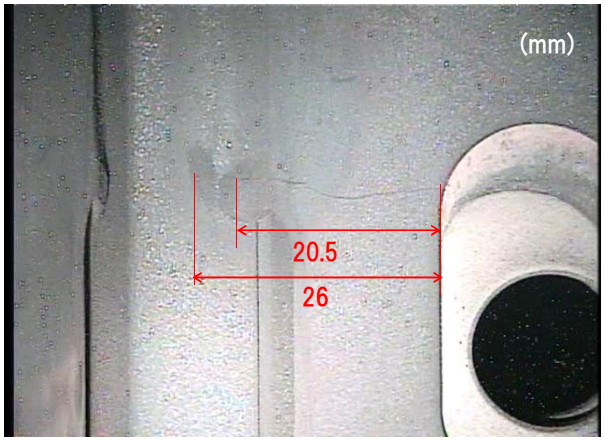




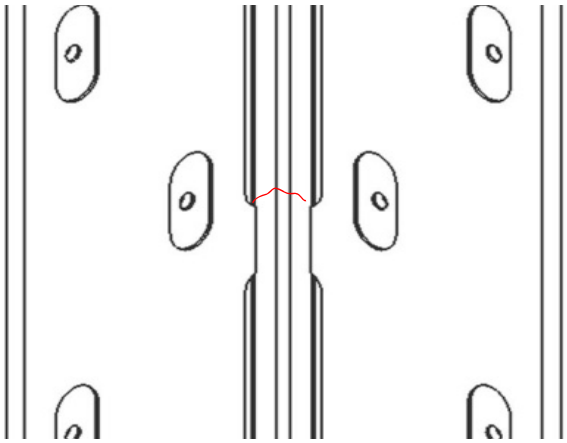


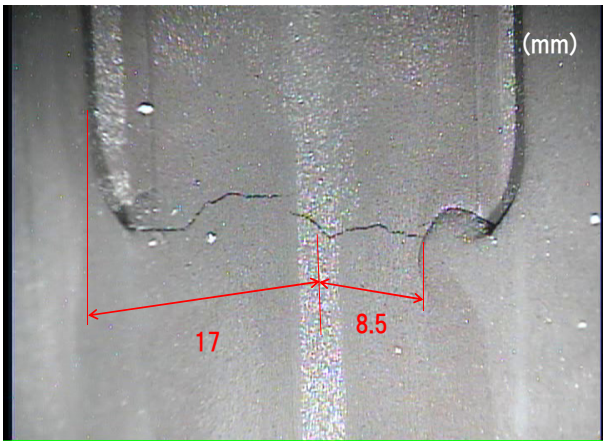
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－015）（1／4）



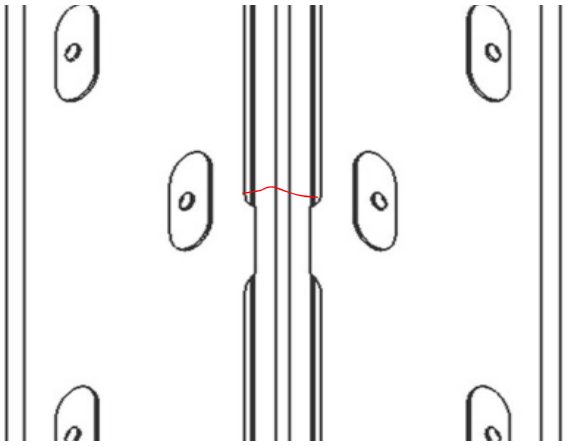


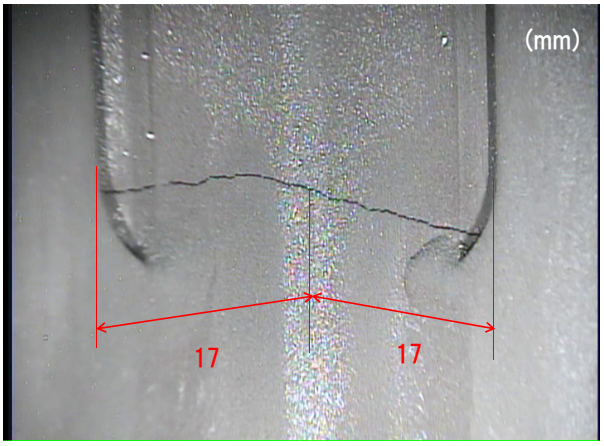
コーナー３　５面　１１タブ





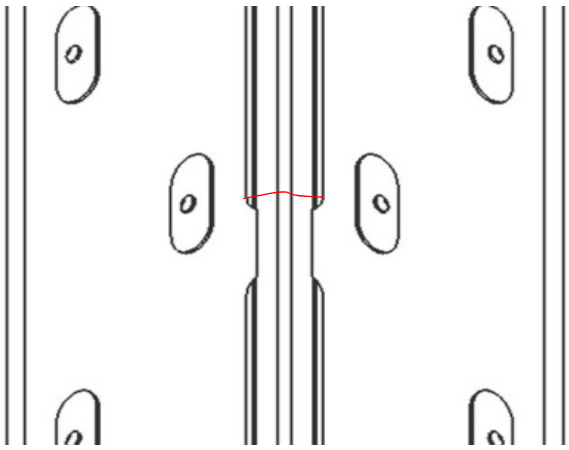
コーナー1　　14タブ

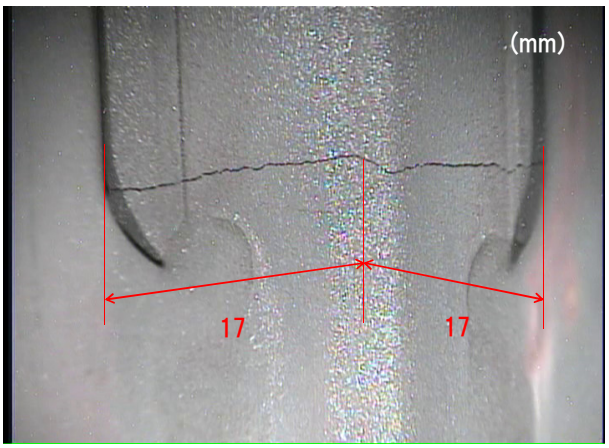




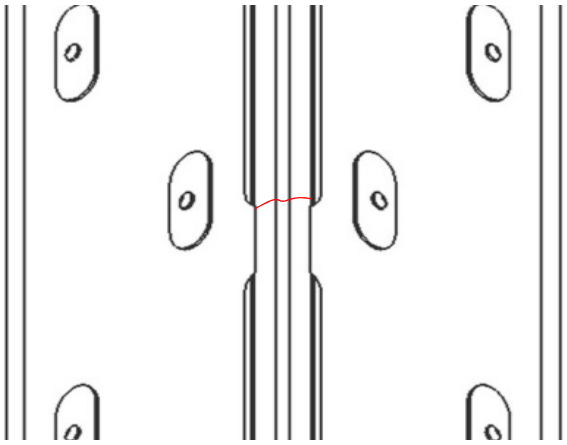
コーナー2　　14タブ

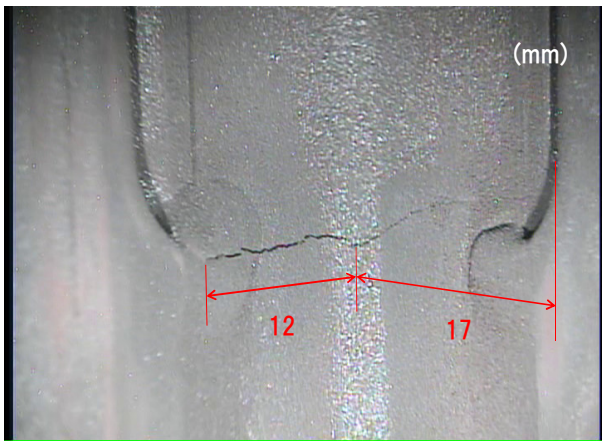
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－015）（2／4）





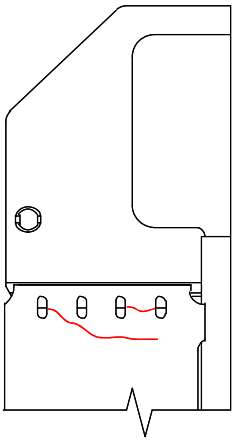
コーナー3　　14タブ

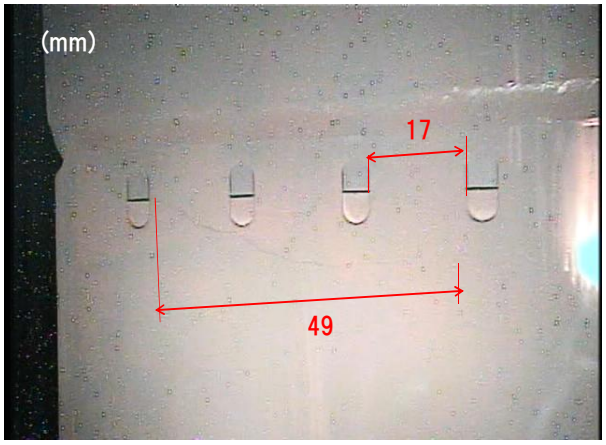




コーナー4　　14タブ

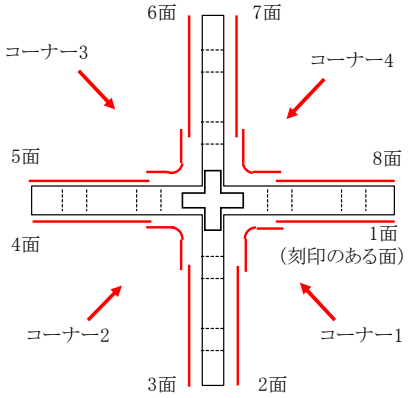
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－015）（3／4）

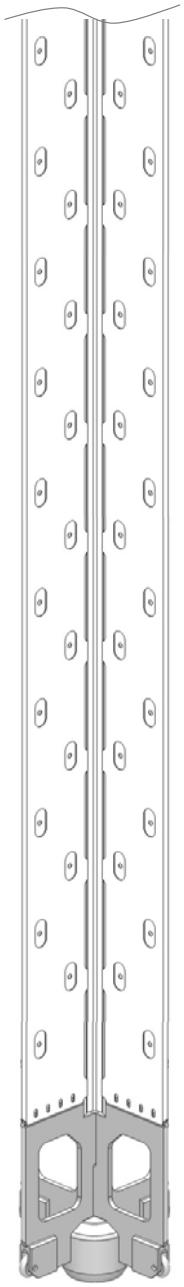


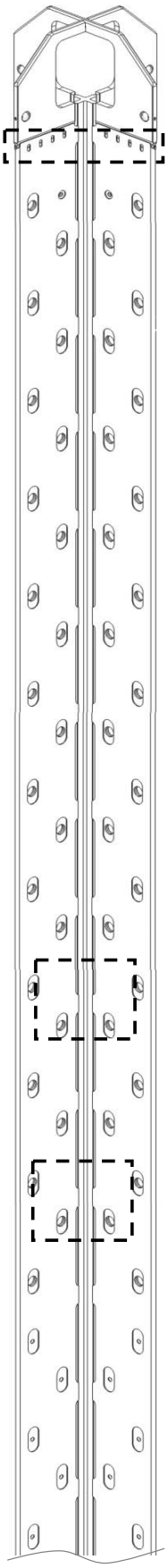


4面

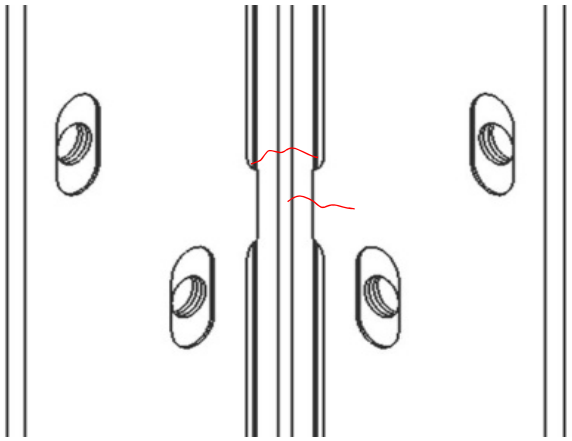
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－015）（4／4）

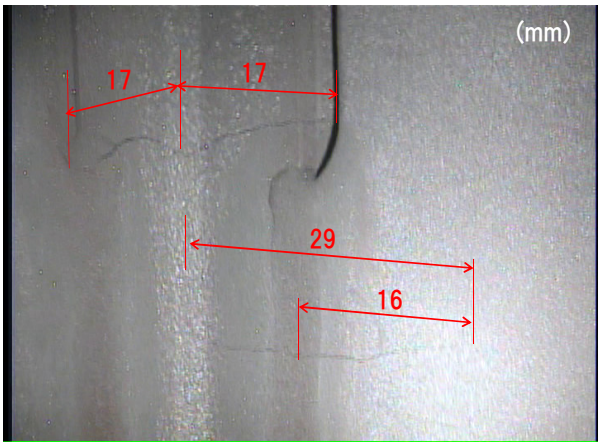




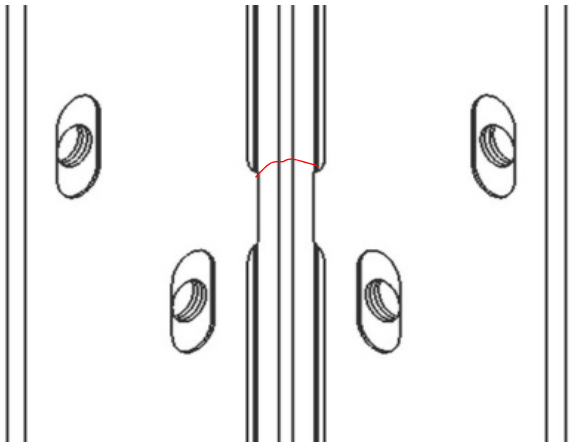


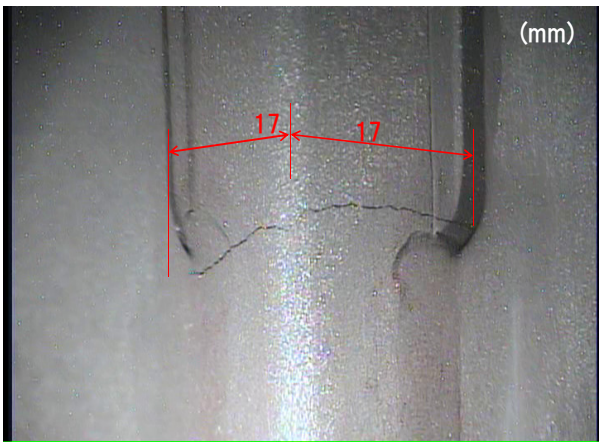
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－016）（1／5）



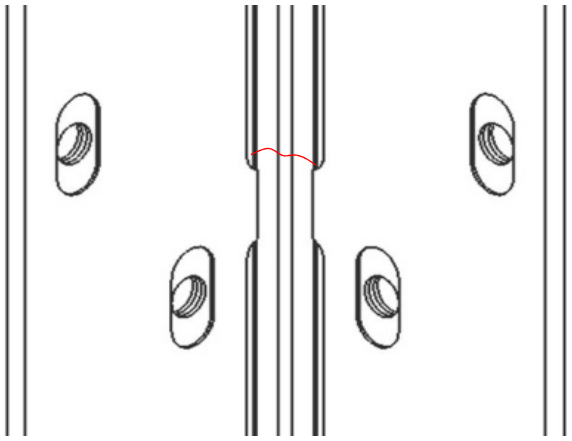


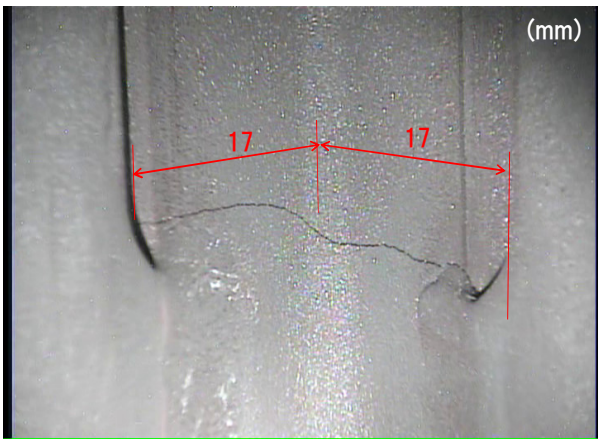
コーナー1　10タブ





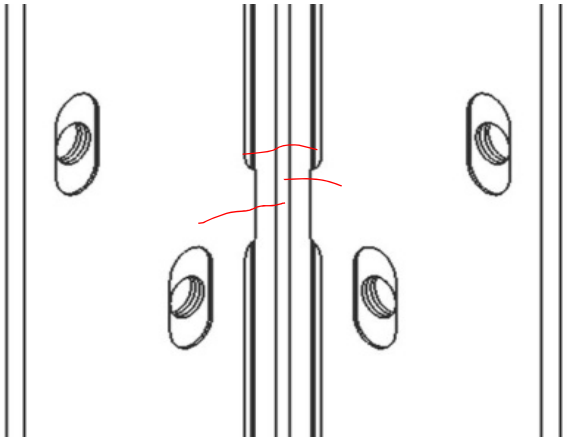
コーナー2　10タブ

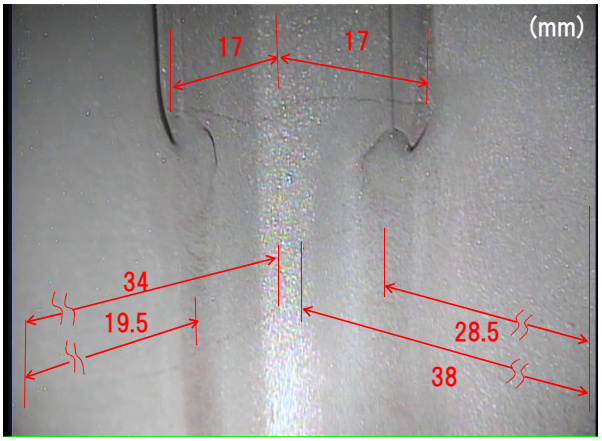




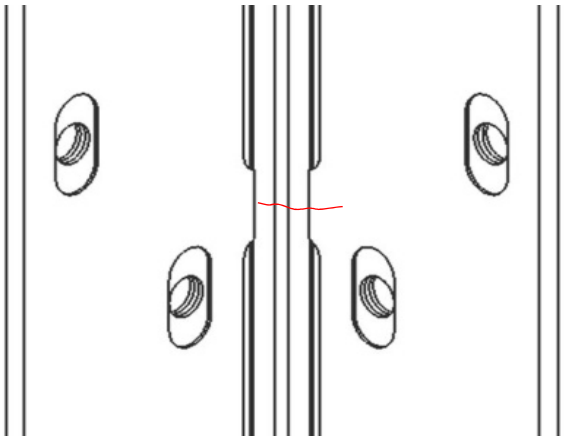
コーナー3　10タブ

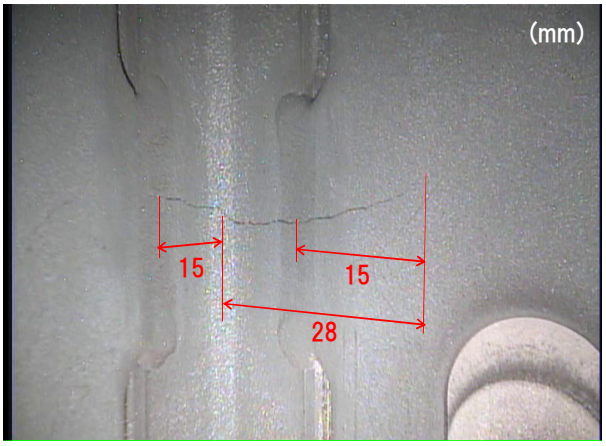
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－016）（2／5）



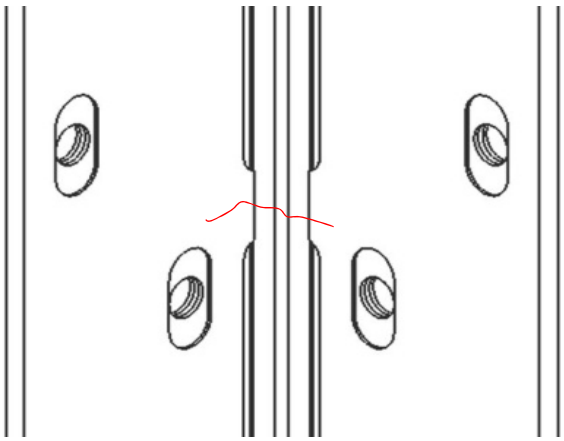


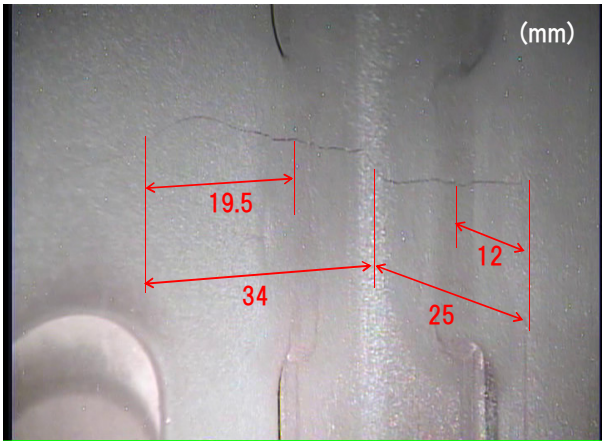
コーナー4　　10タブ





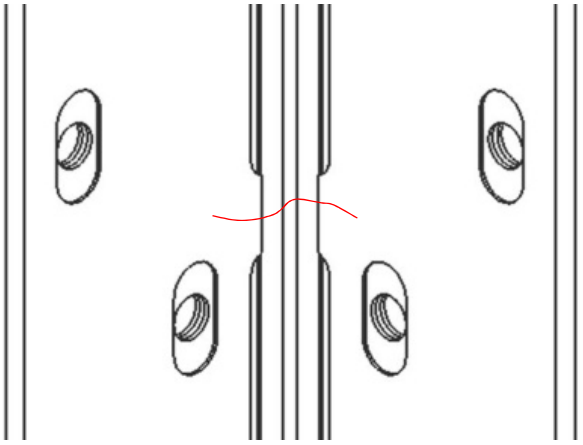
コーナー1　　12タブ

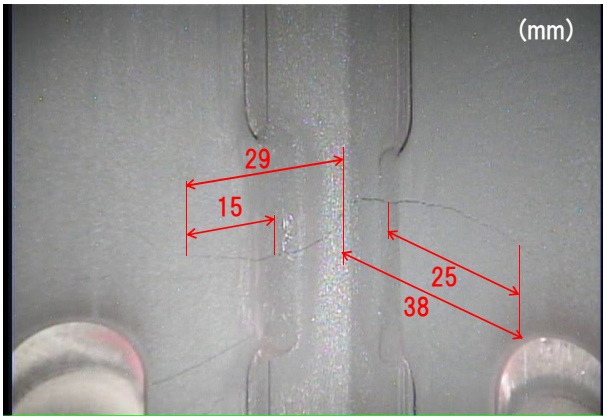




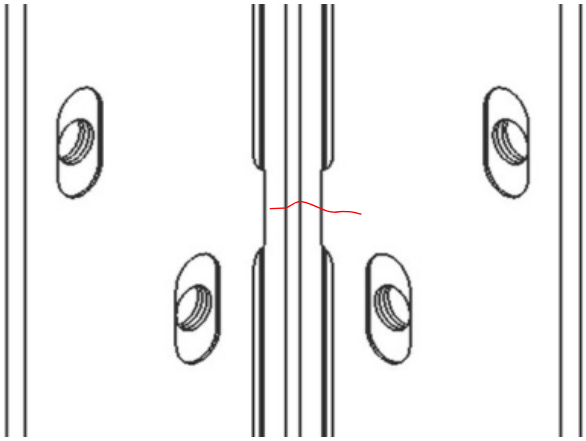
コーナー2　　12タブ

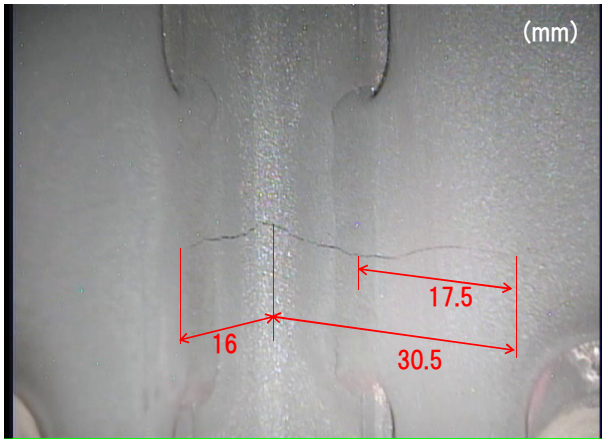
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－016）（3／5）





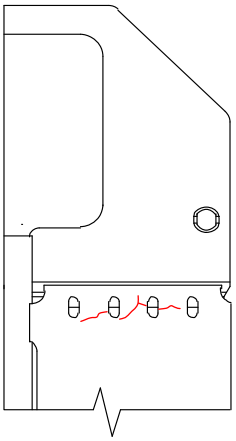
コーナー3　　12タブ

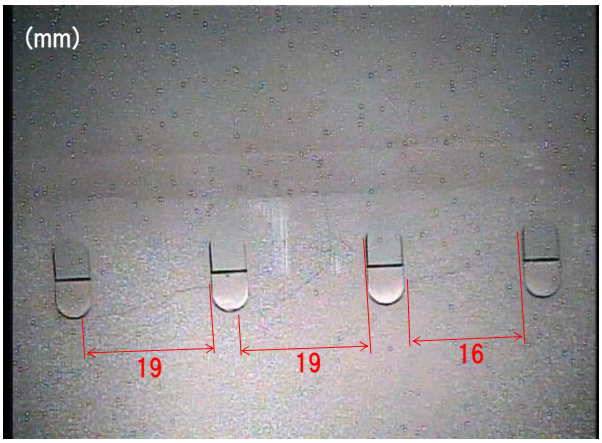




コーナー4　　12タブ

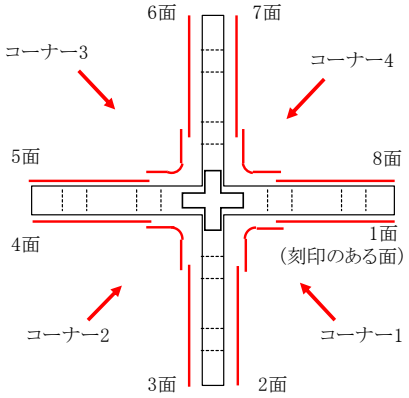
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－016）（4／5）

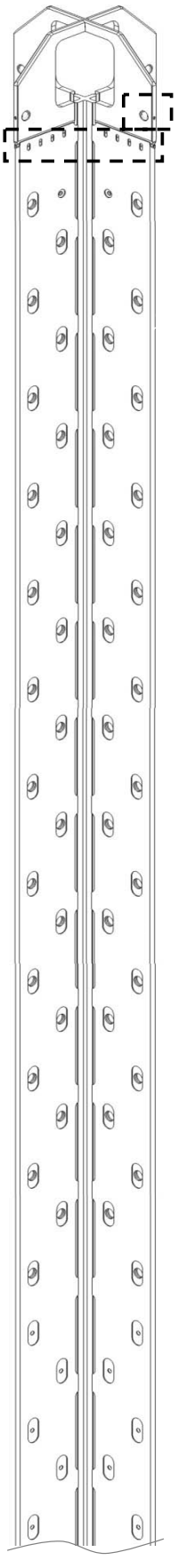


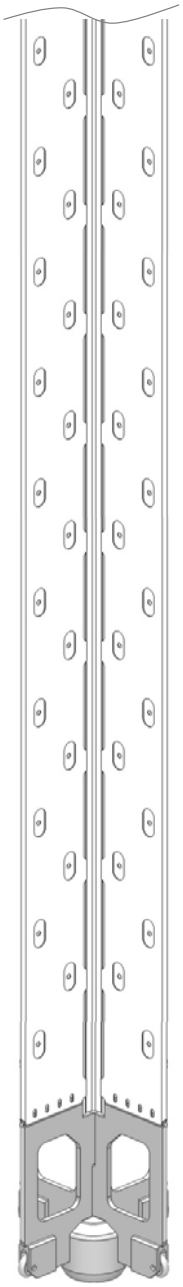


５面

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－016）（5／5）

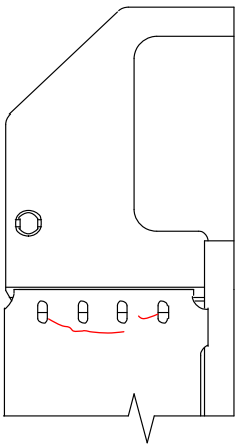


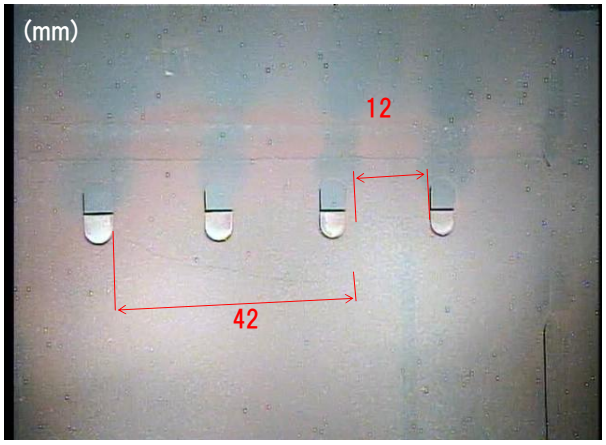




ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－017）（1／3）



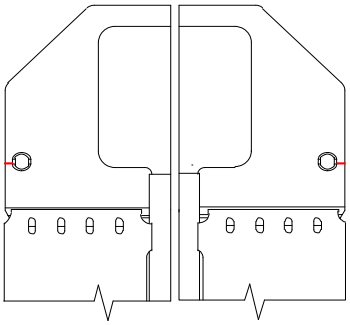


8面

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－017）（2／3）



２面

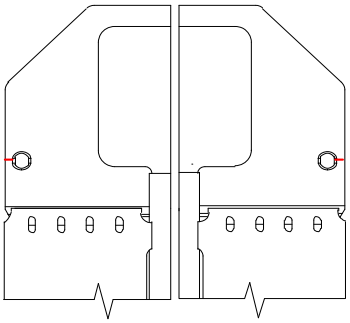


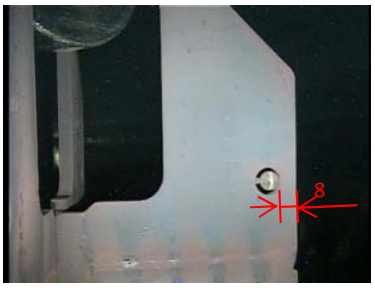


１面

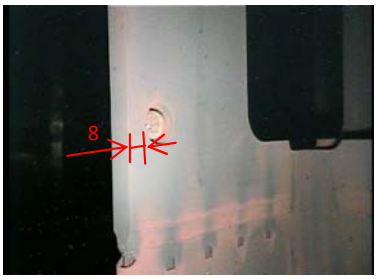


４面

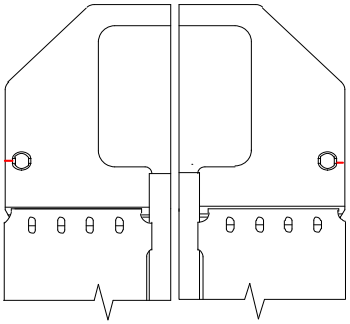


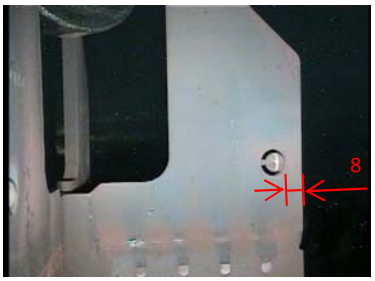


３面

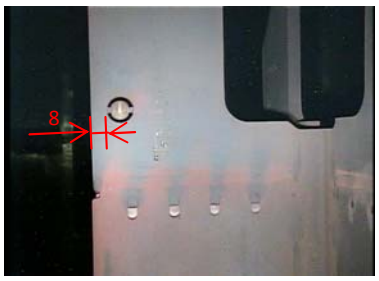


６面

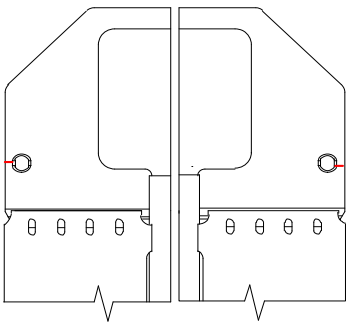


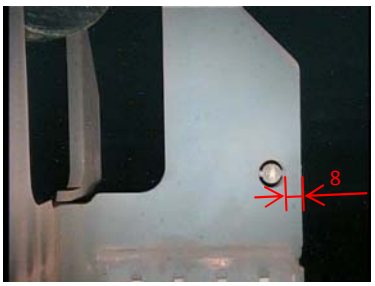


５面



８面

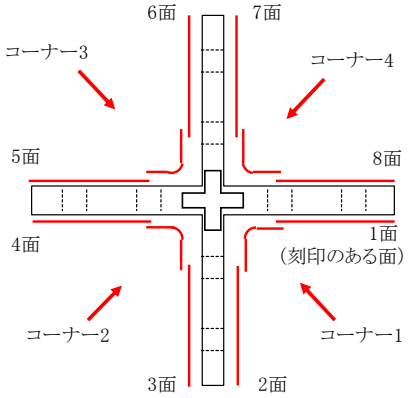


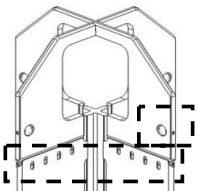


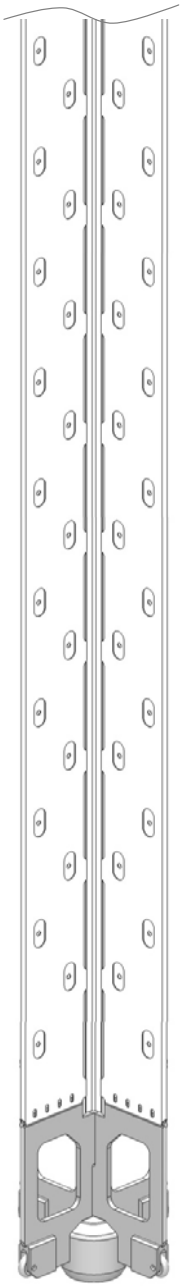
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－017）（3／3）

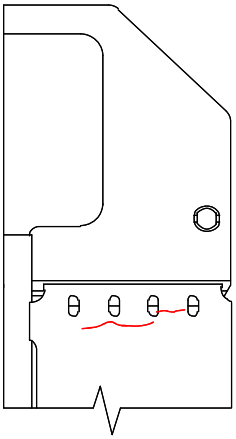


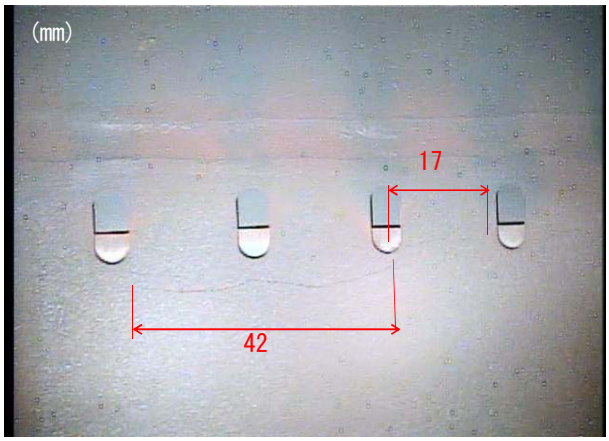




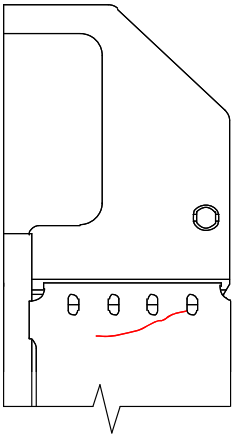


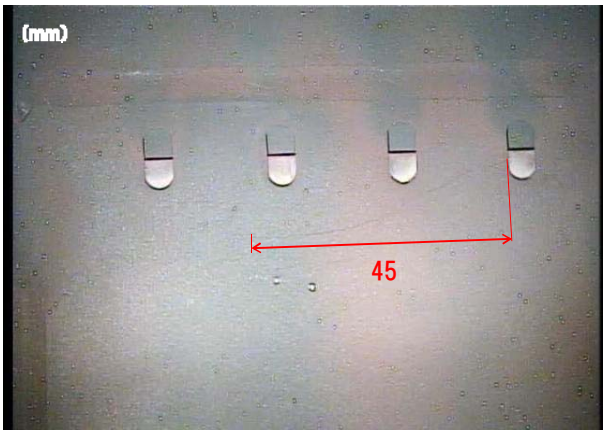
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－019）（1／3）



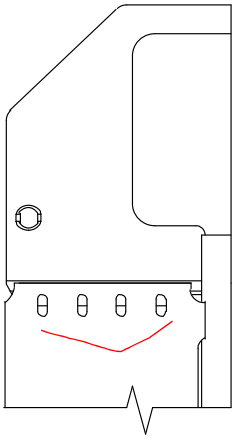


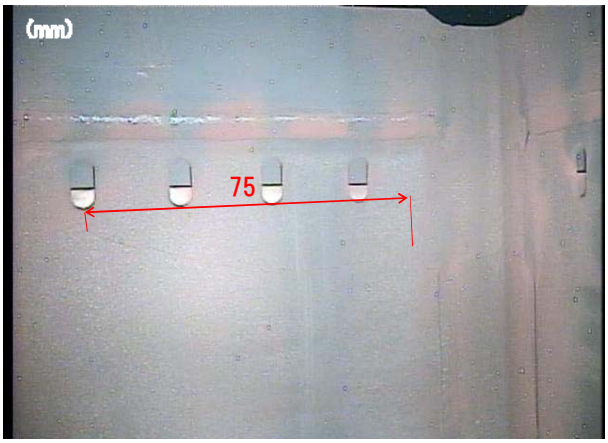
5面





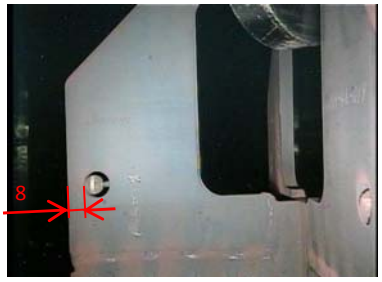
7面



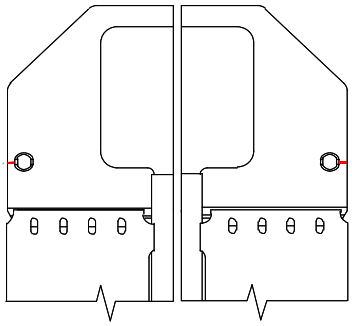


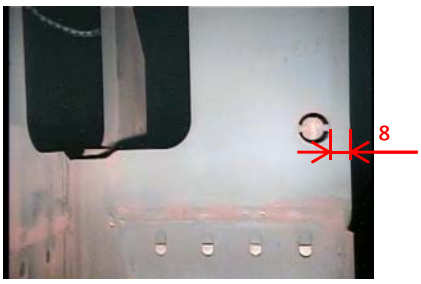
8面

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－019）（2／3）

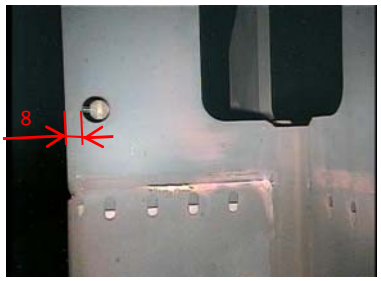


２面

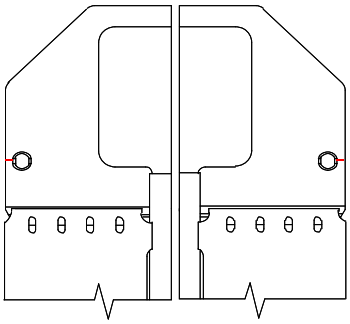


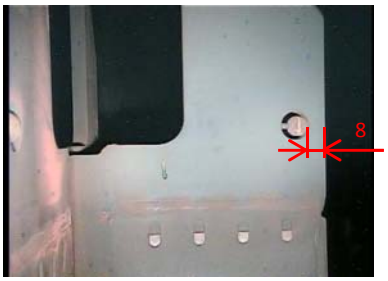


１面



４面

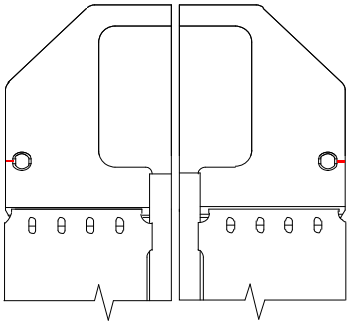


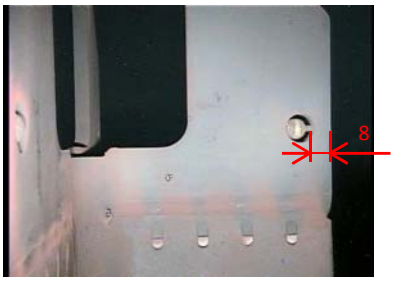


３面

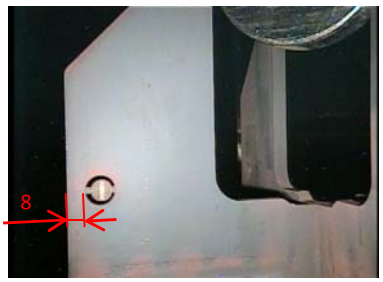


６面

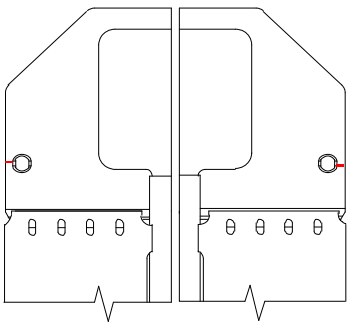


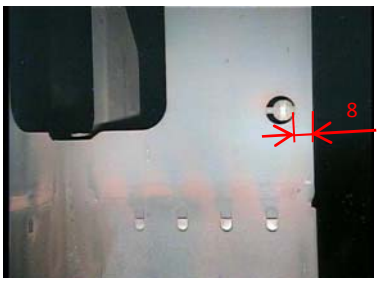


５面



８面

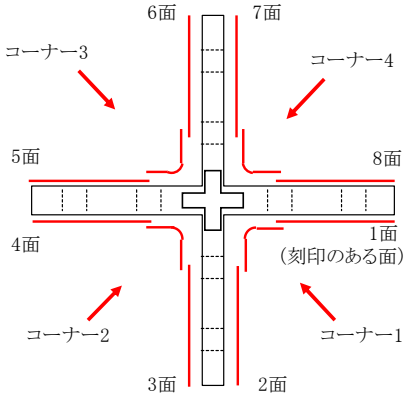


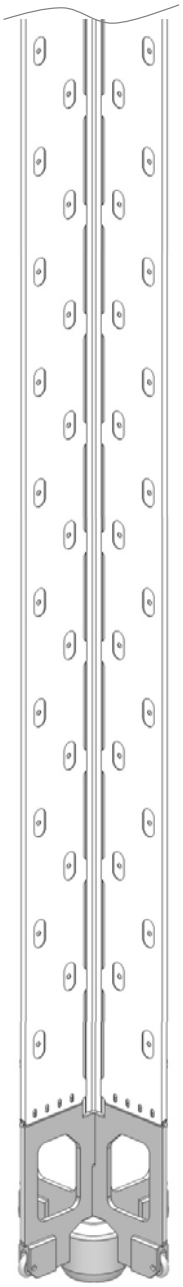


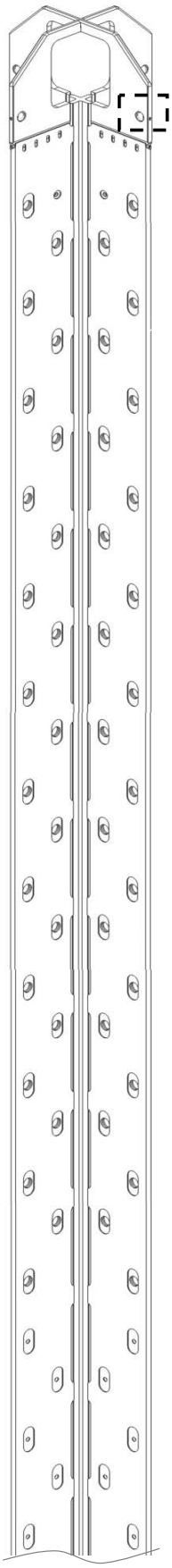
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－019）（3／3）

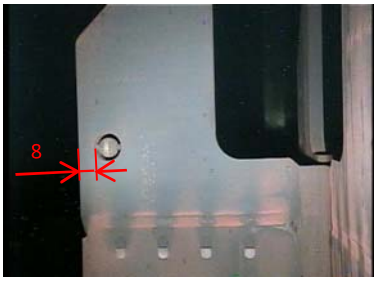




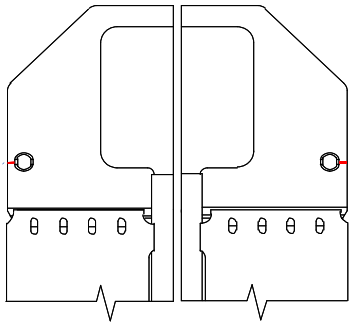




柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－020）（1／2）

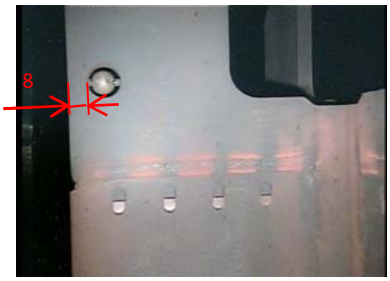


２面

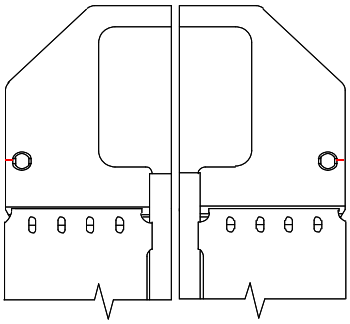


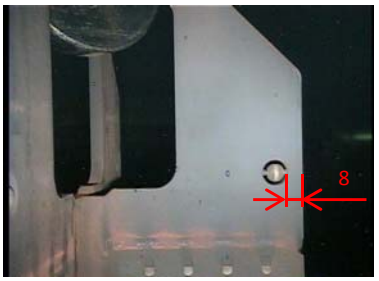


１面

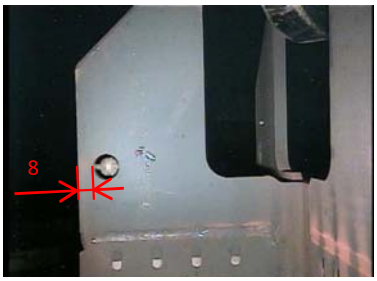


４面

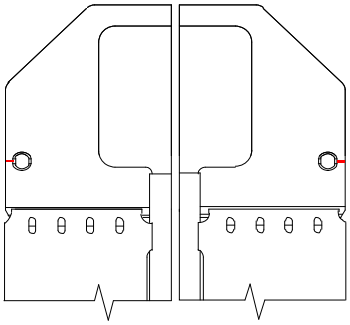


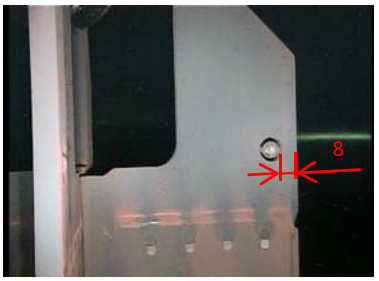


３面



６面

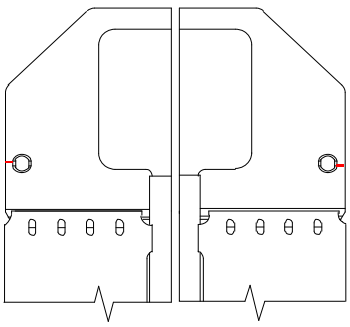


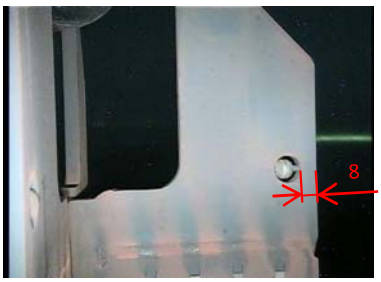


５面



８面

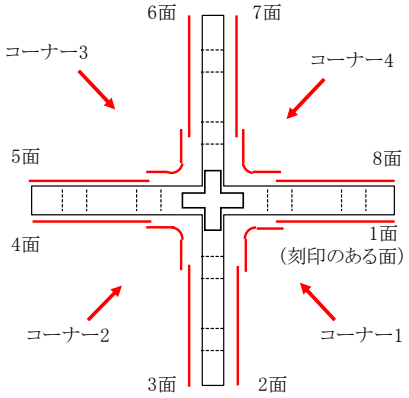


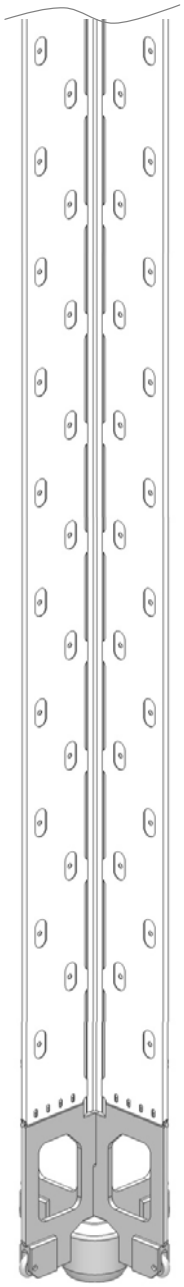


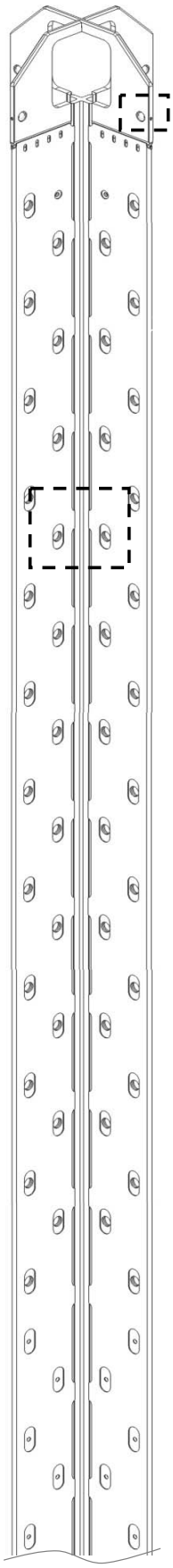
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－020）（2／2）

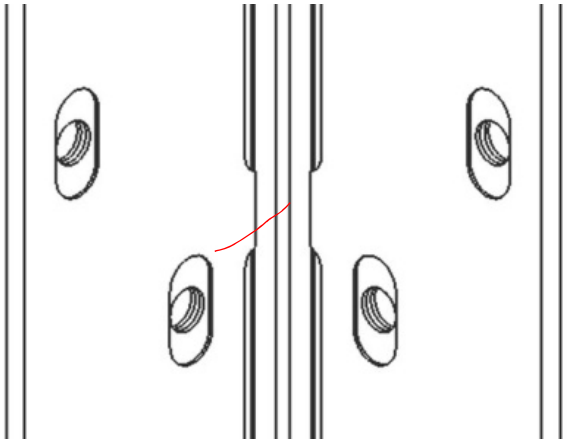




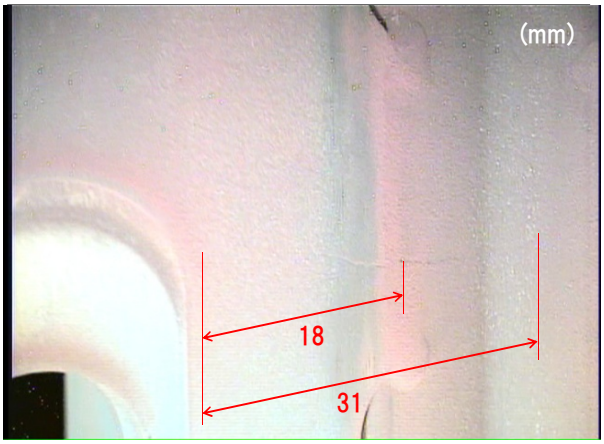


ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－021）（1／3）



コーナー2

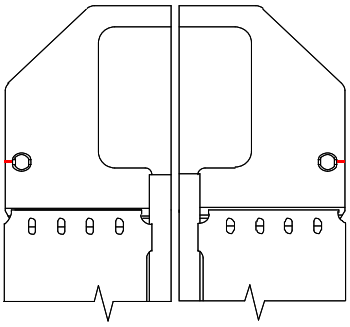


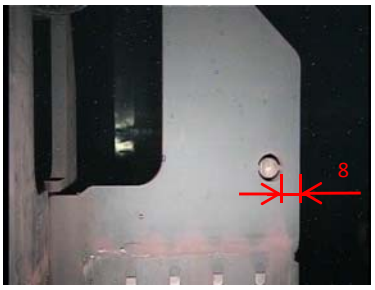
5タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－021）（2／3）

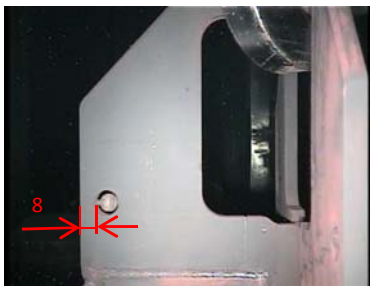


２面

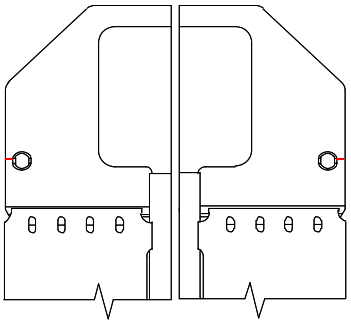




１面

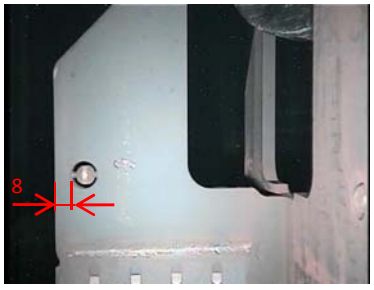


４面

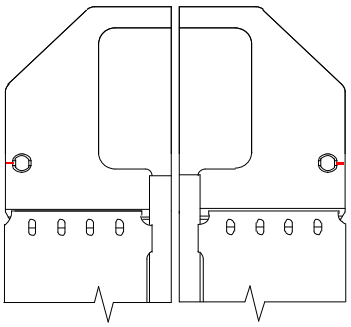


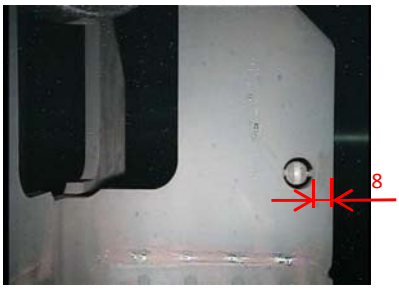


３面



６面

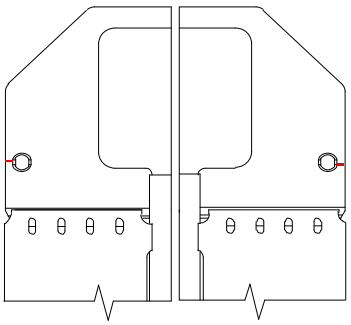


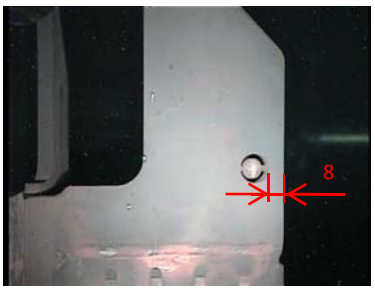


５面



８面

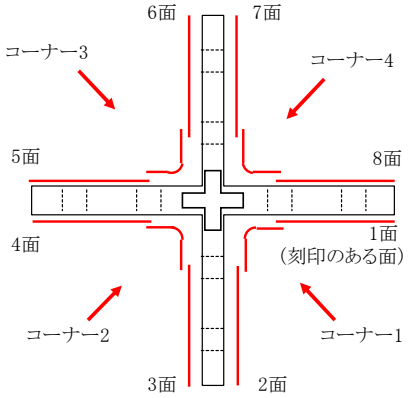


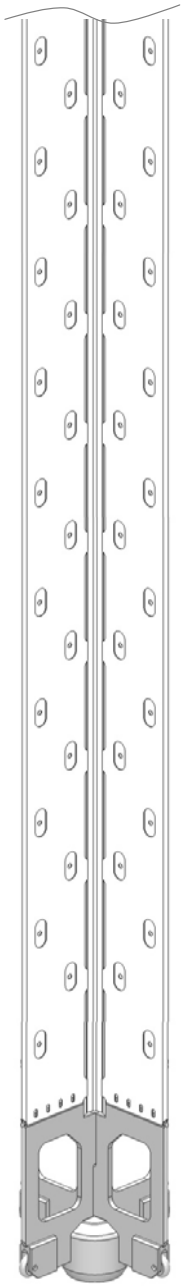


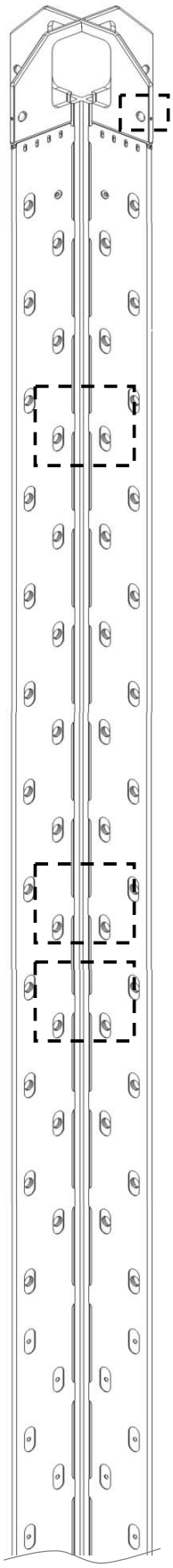
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－021）（3／3）

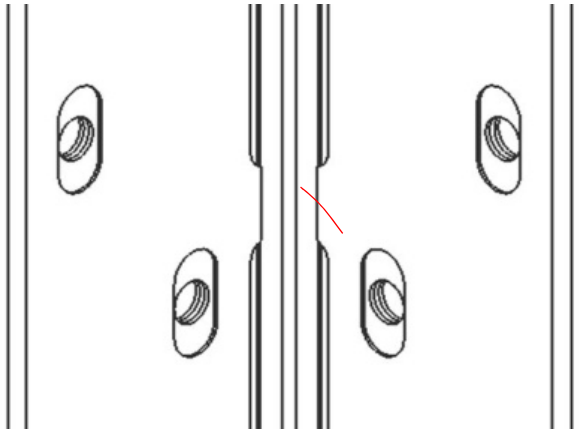


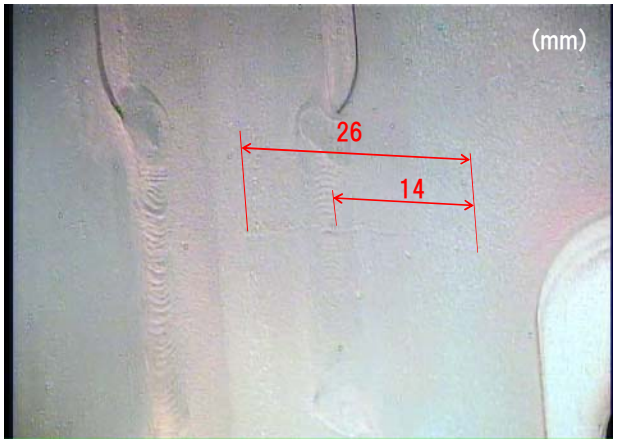




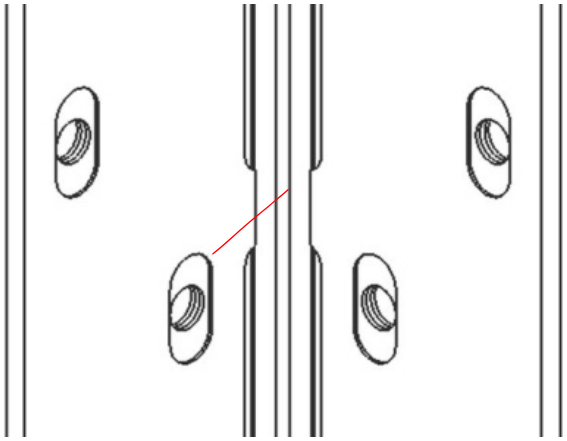
ひび有り位置

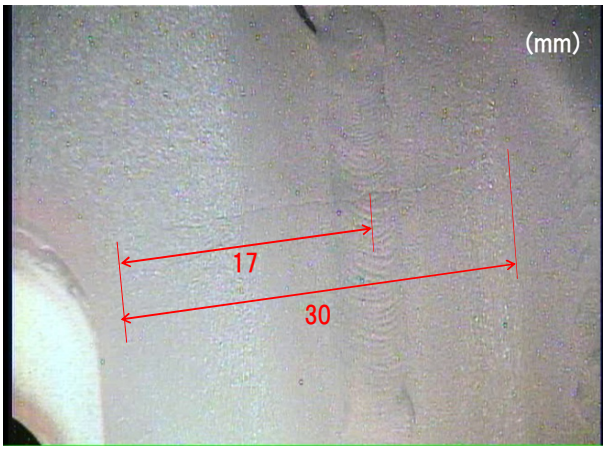
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－022）（1／4）



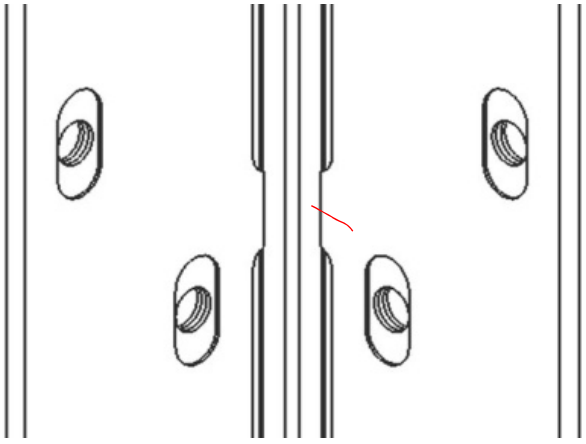


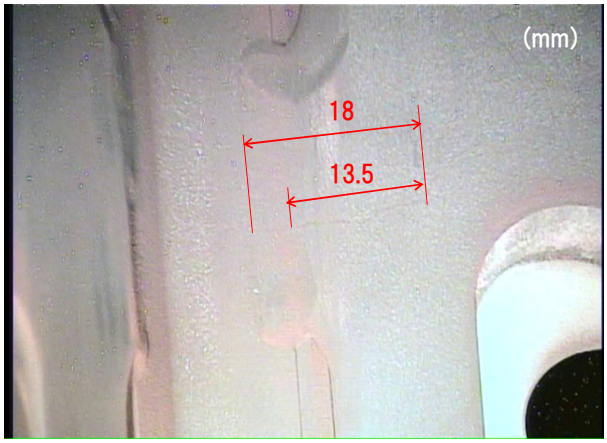
コーナー1　タブ4





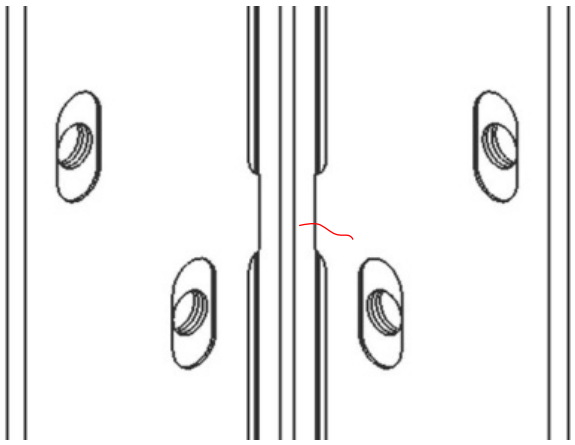
コーナー4　タブ4





コーナー1　タブ9

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－022）（2／4）



コーナー1

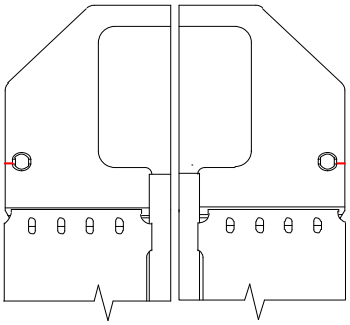


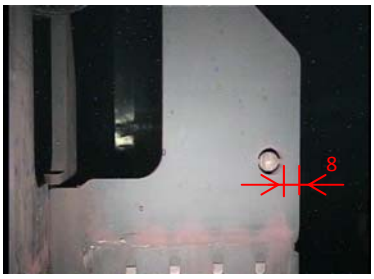
タブ10

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－022）（3／4）

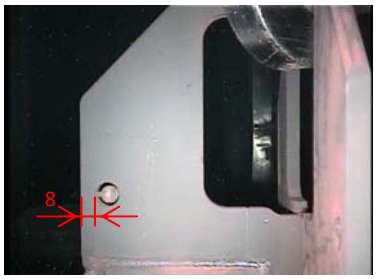


２面

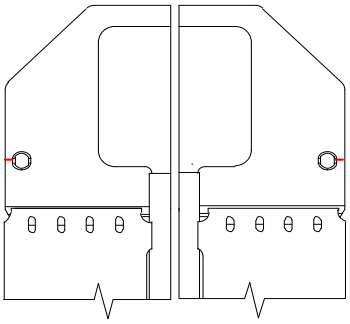


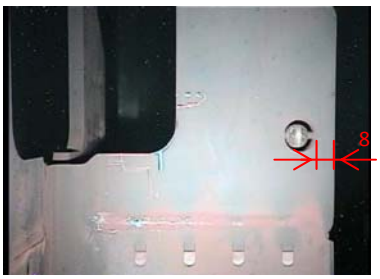


１面

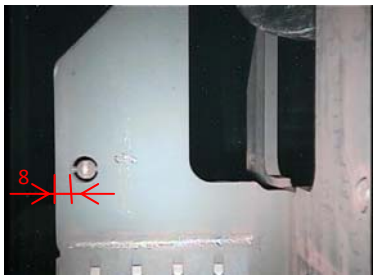


４面

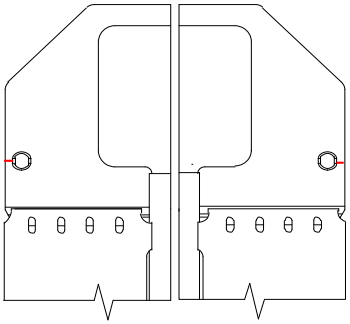


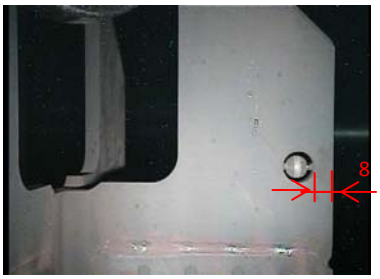


３面

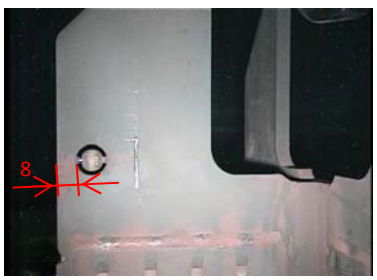


６面

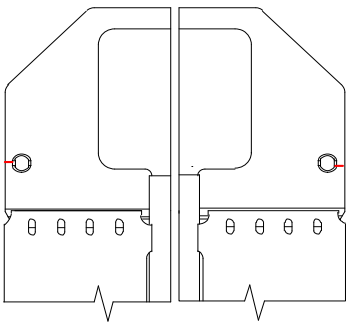


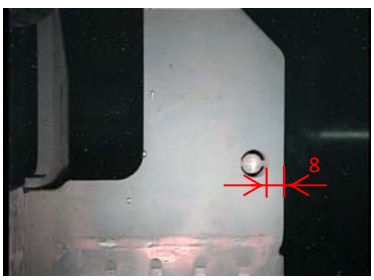


５面



８面

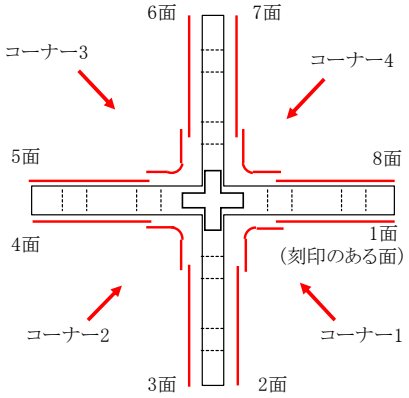


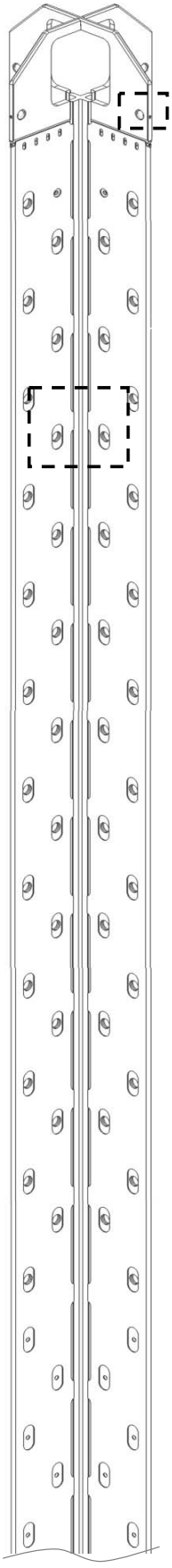


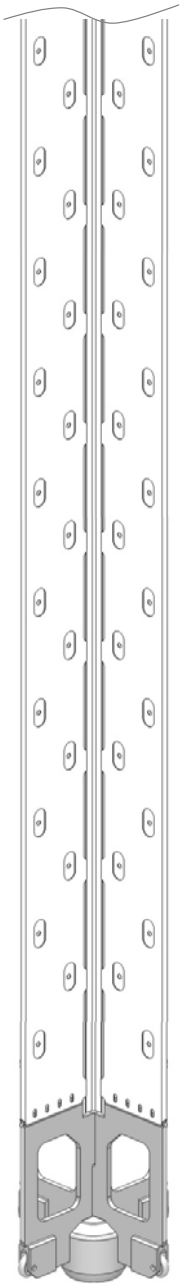
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－022）（4／4）

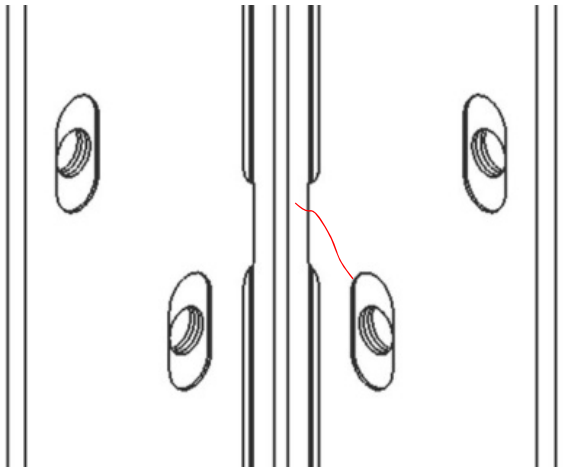




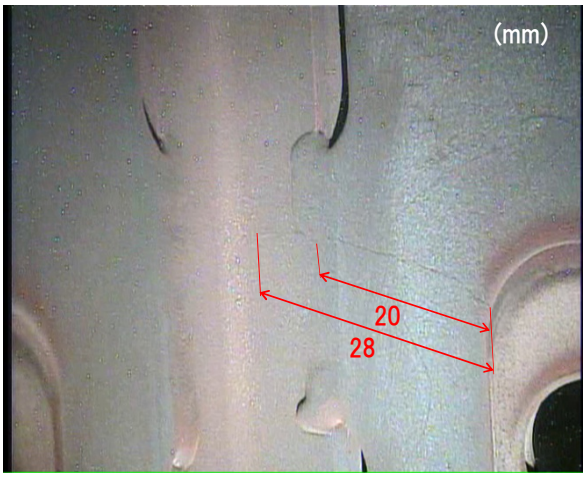


ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－023）（1／3）

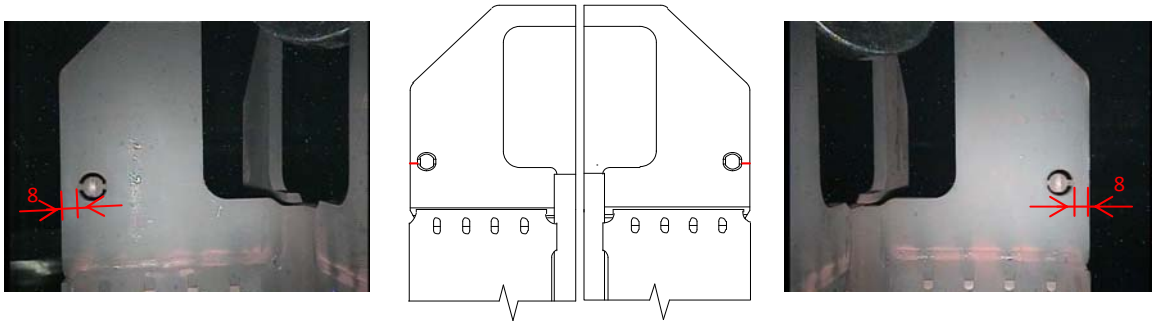


コーナー1

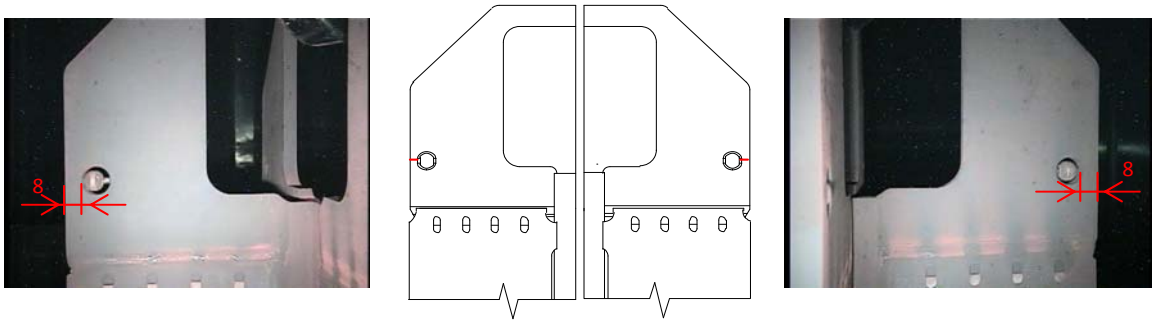


4タブ

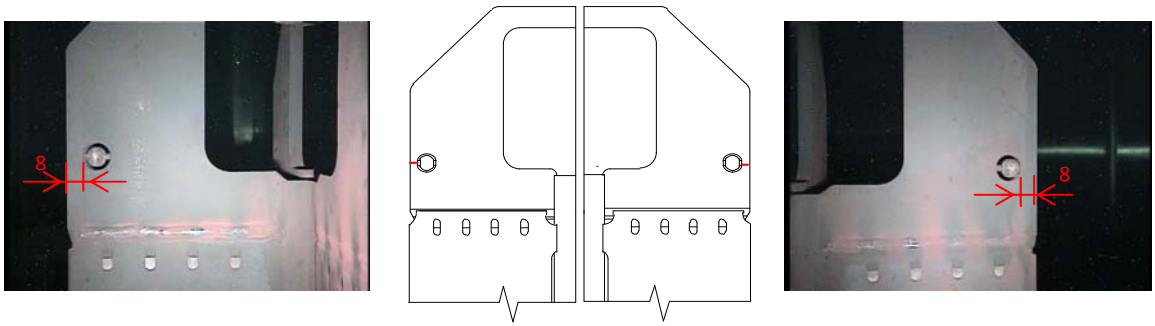
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－023）（2／3）



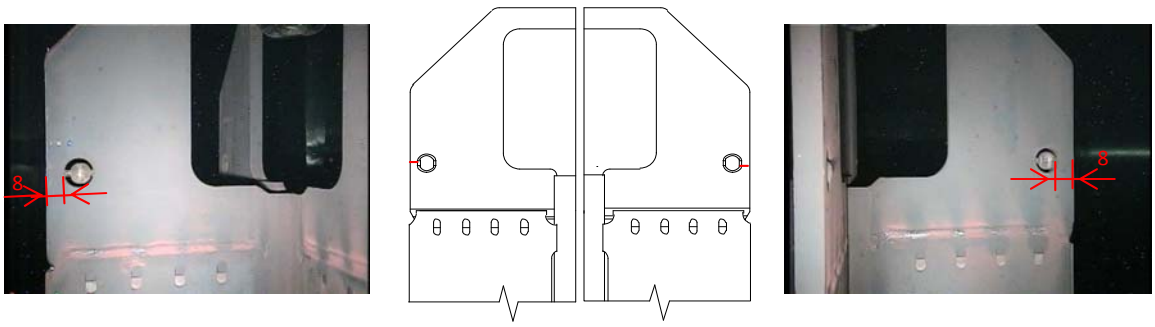
２面　　１面



４面　　３面



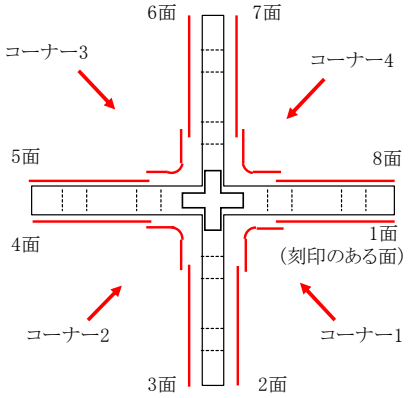
６面　　５面

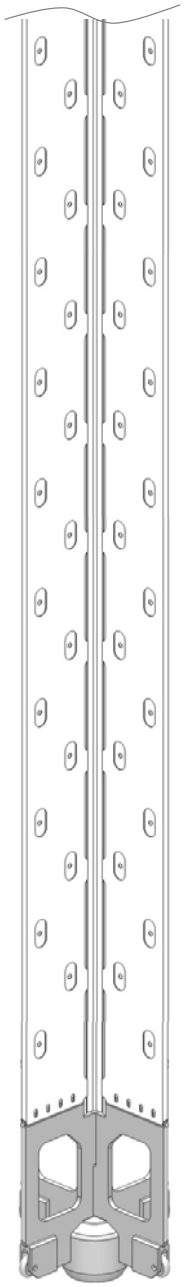


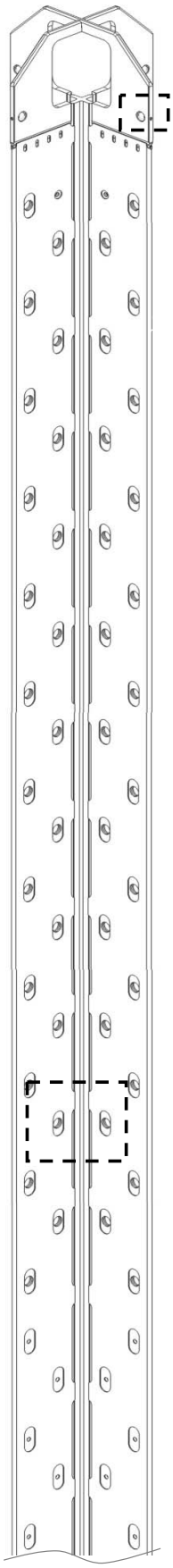
８面　　７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－023）（3／3）

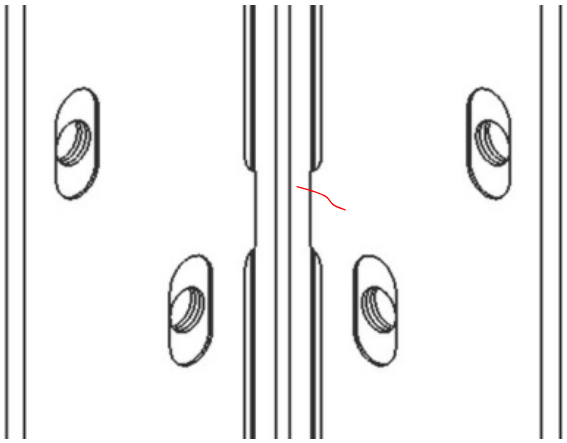




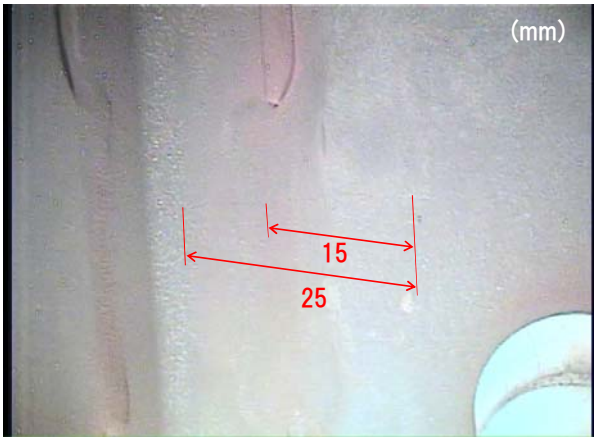


ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－024）（1／3）

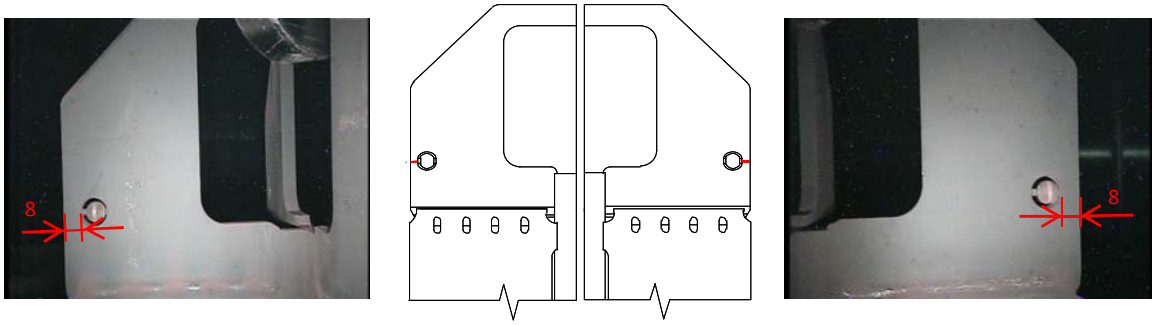


コーナー3

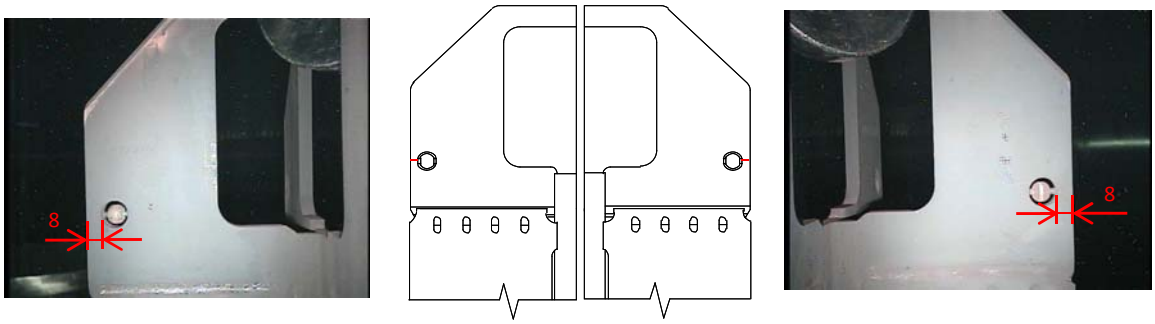


11タブ

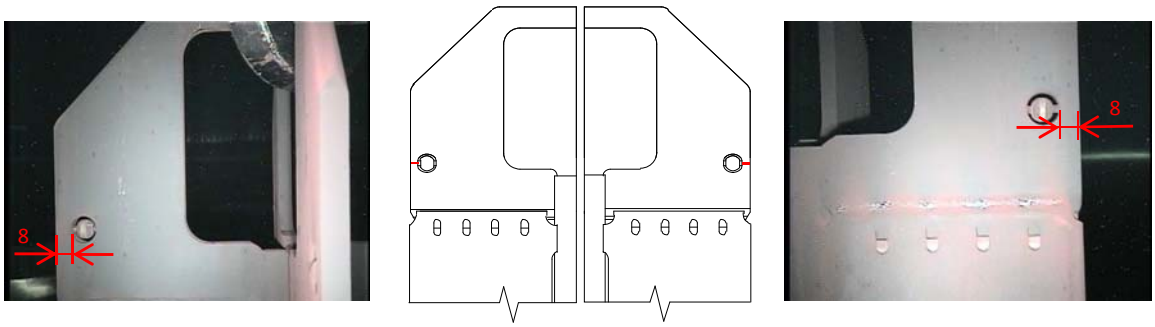
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－024）（2／3）



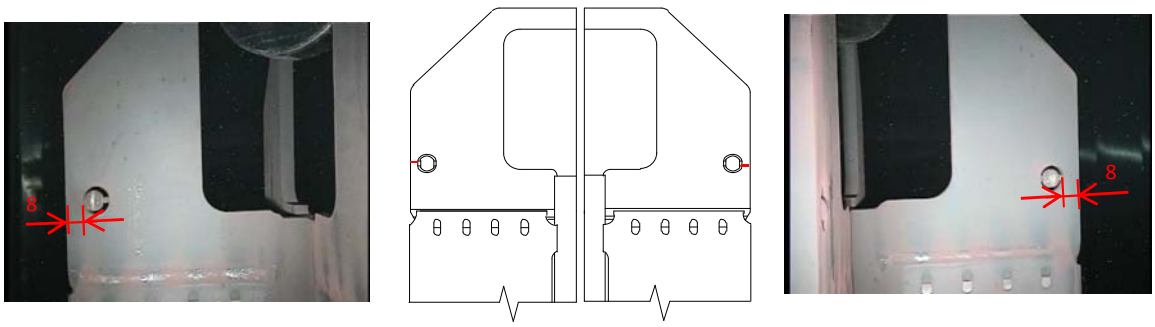
２面　　１面



４面　　３面



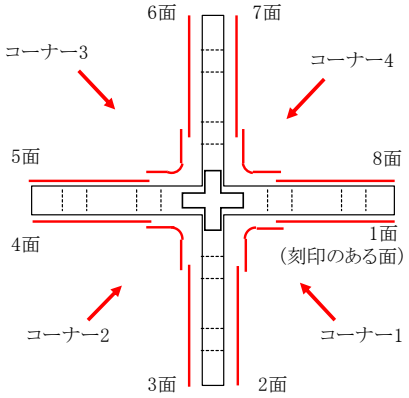
６面　　５面

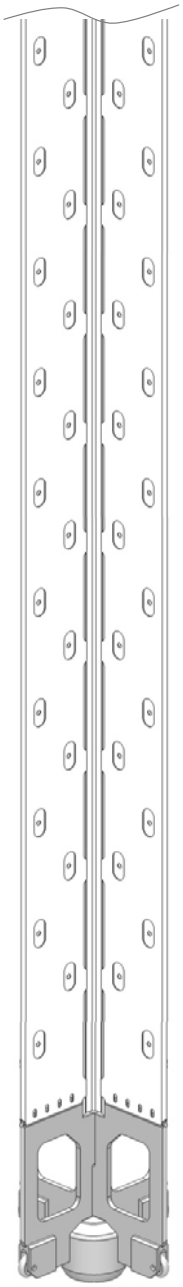


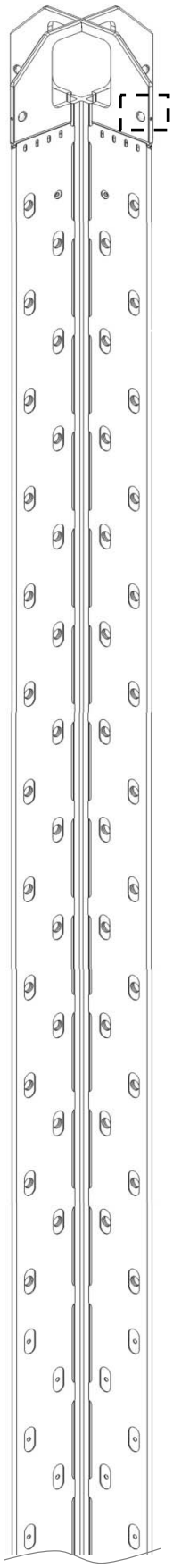
８面　　７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－024）（3／3）

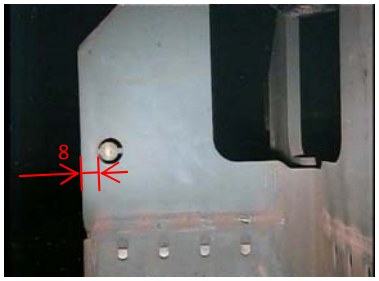




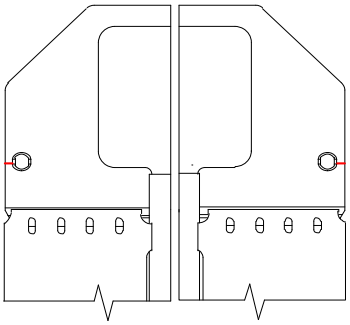


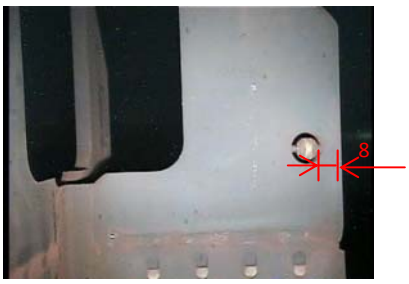
ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－025）（1／2）



２面

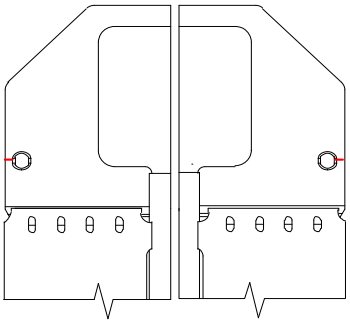


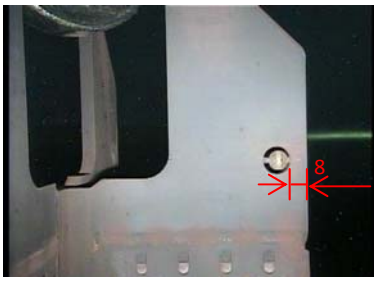


１面

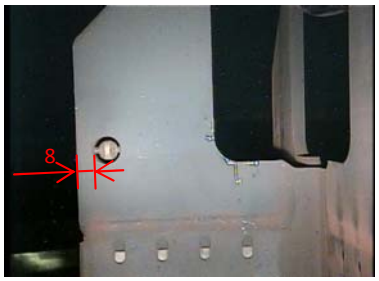


４面

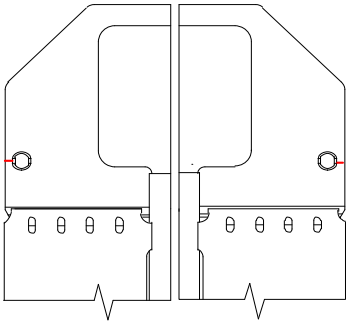


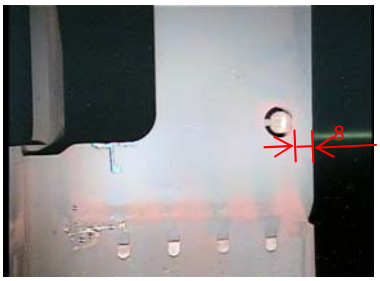


３面

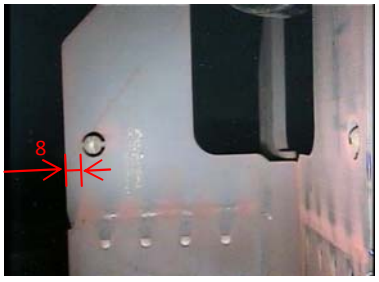


６面

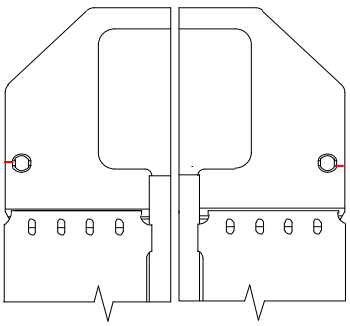


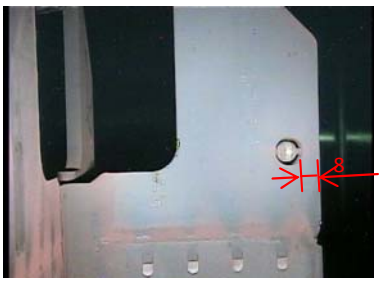


５面



８面

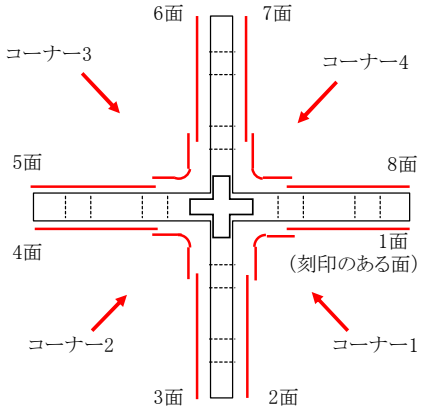


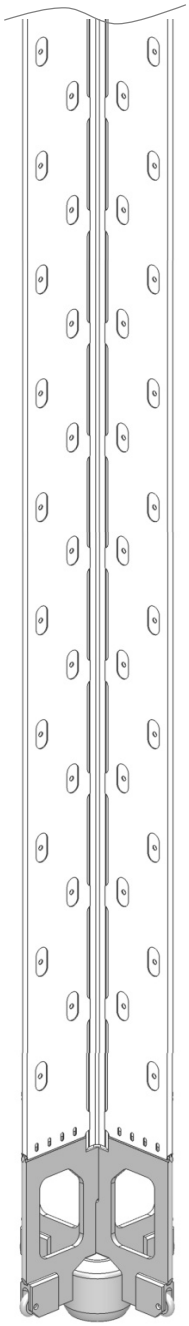


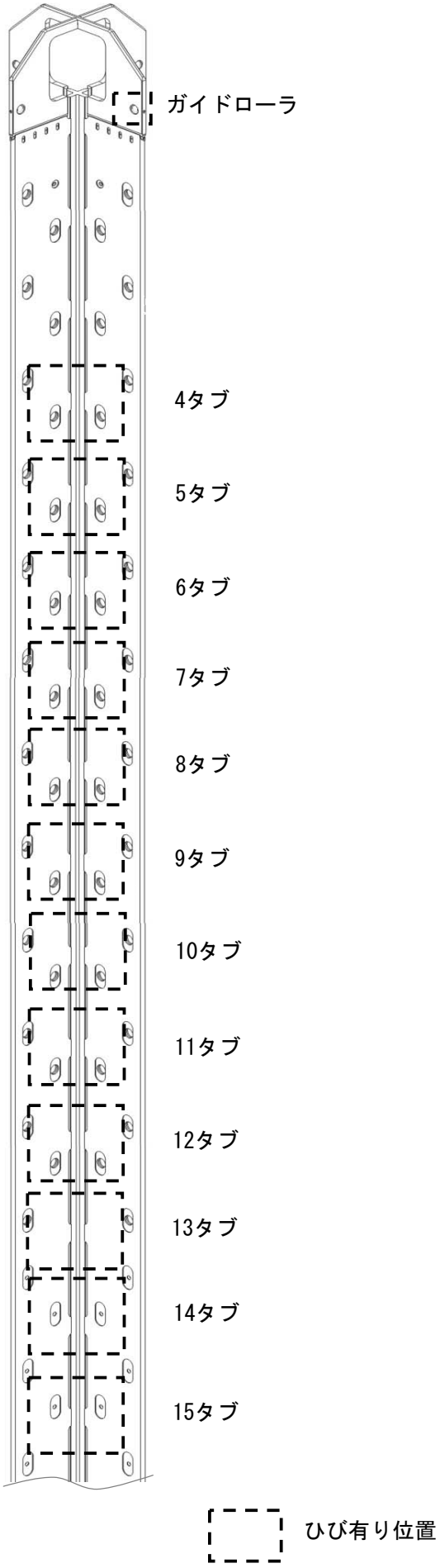
７面

単位：mm

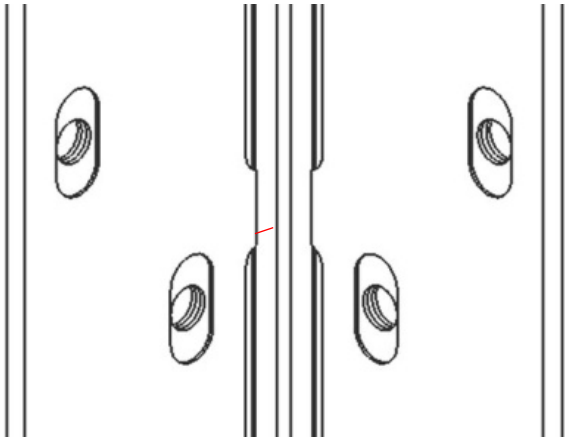
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－025）（2／2）

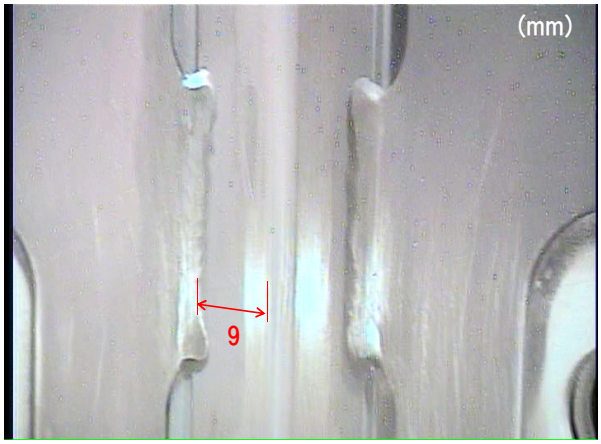




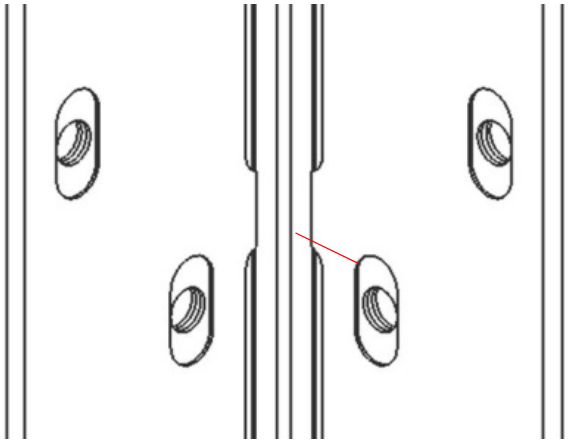


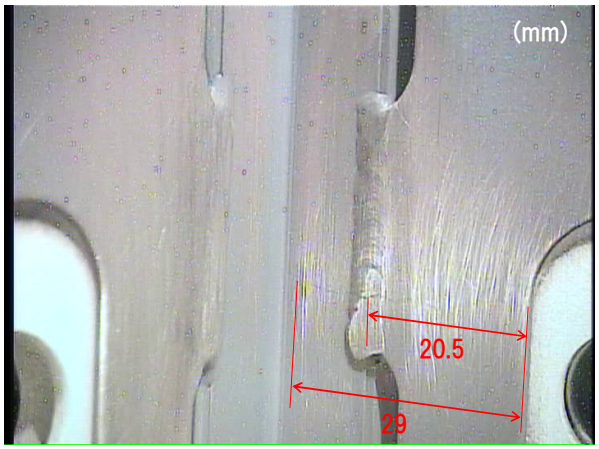
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（1／15）



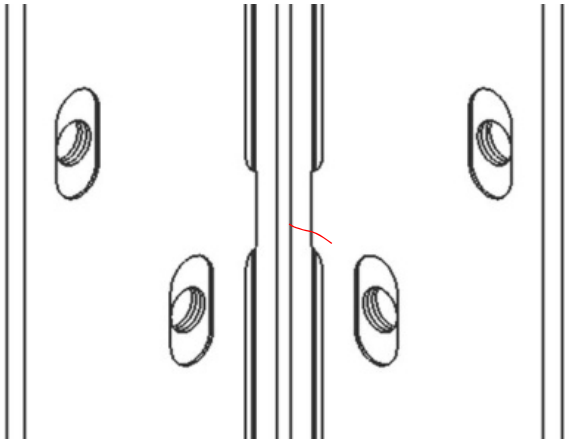


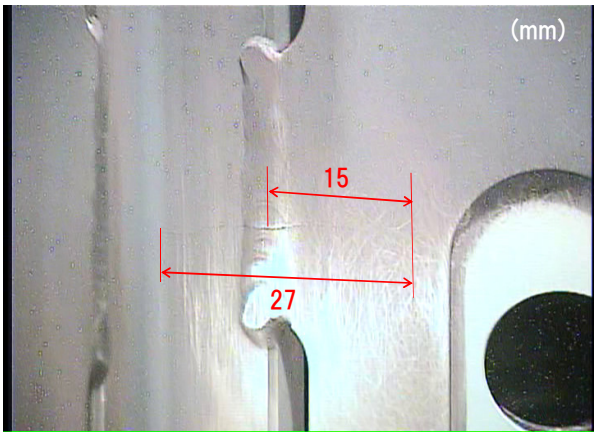
コーナー2　4タブ





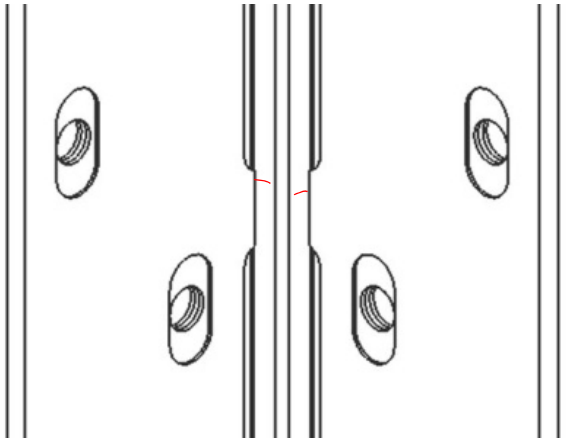
コーナー3　4タブ

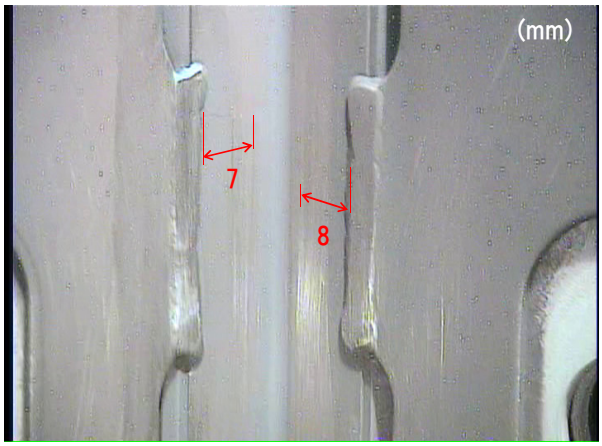




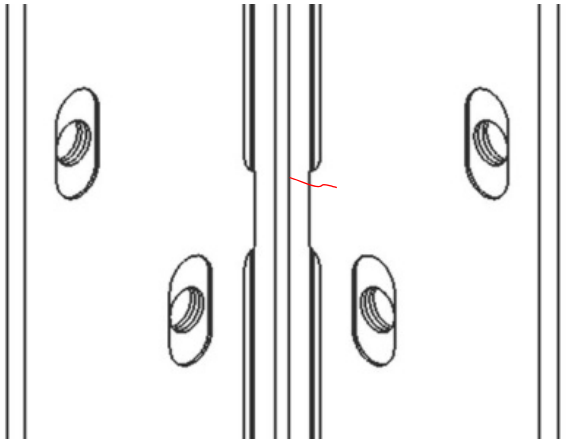
コーナー1　5タブ

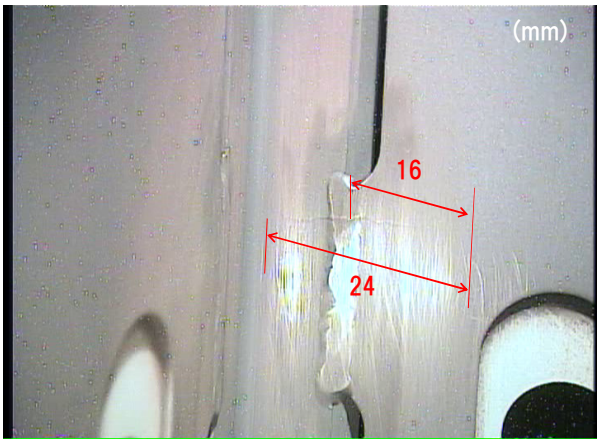
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（2／15）



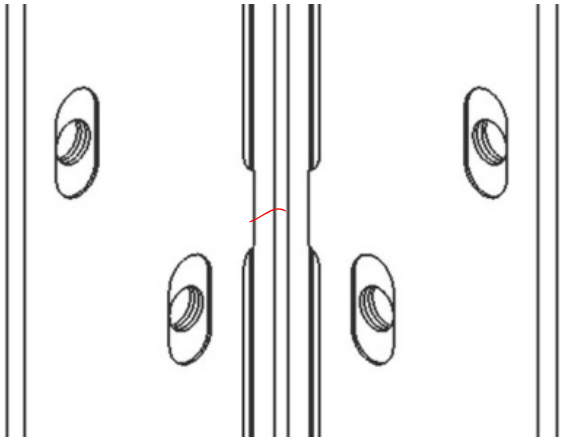


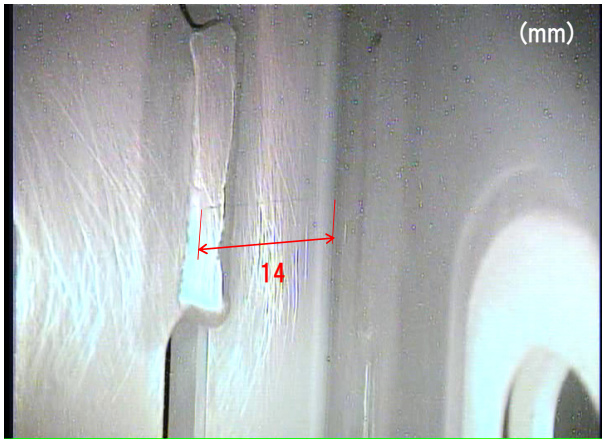
コーナー2　5タブ





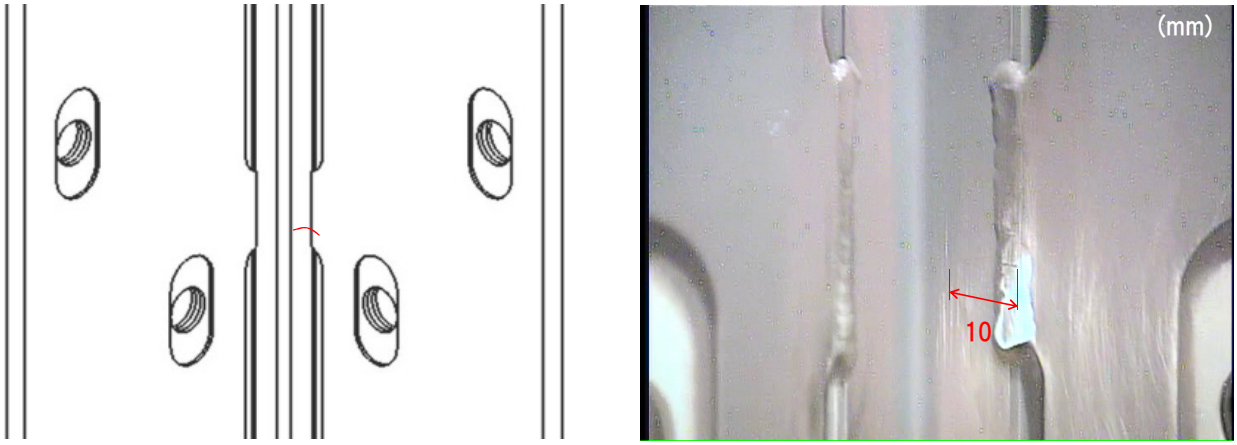
コーナー3　5タブ



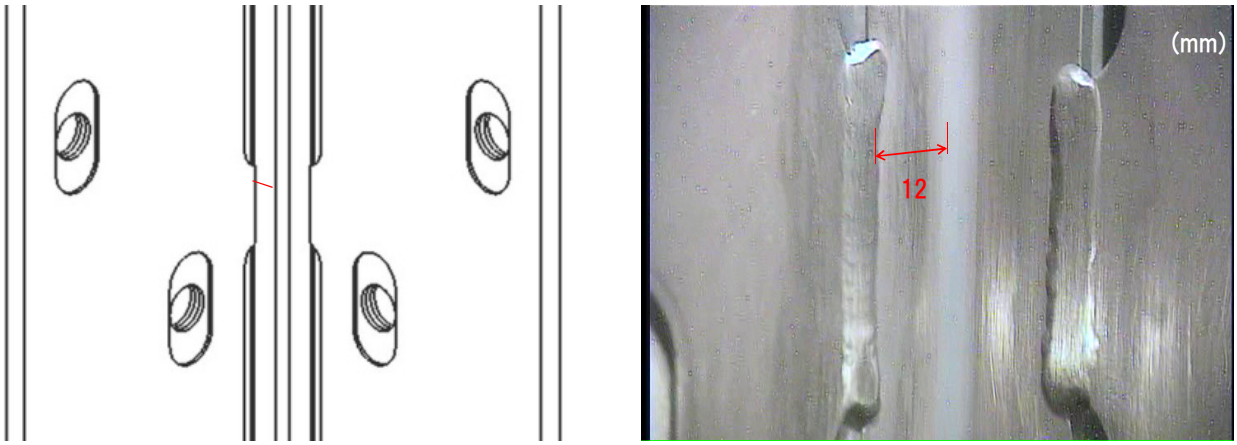


コーナー4　タブ５

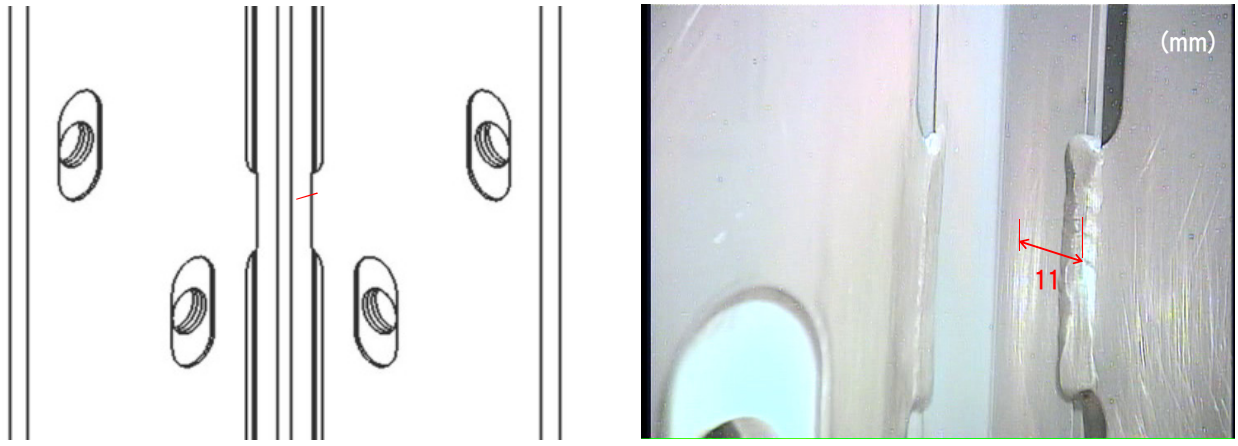
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（3／15）



コーナー1　6タブ

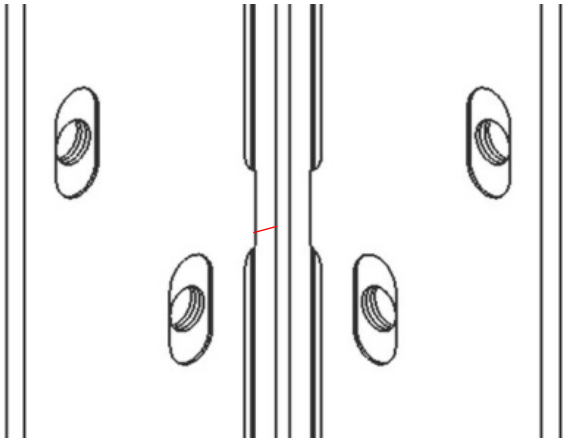


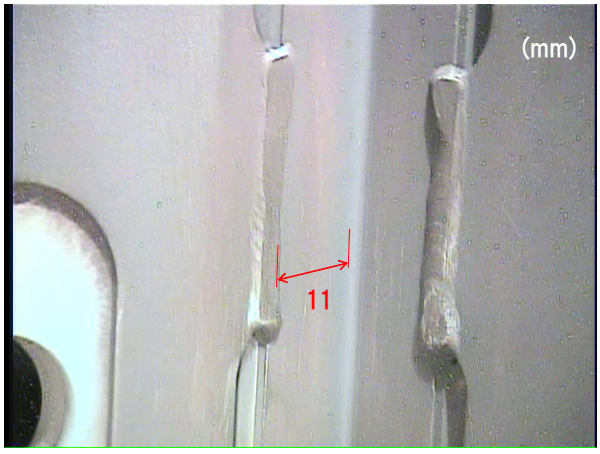
コーナー2　6タブ



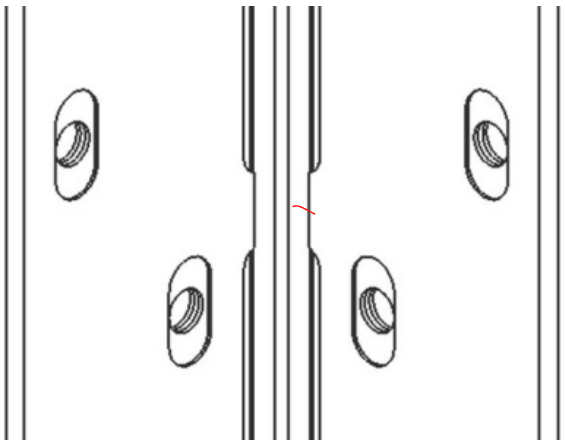
コーナー　3　　6タブ

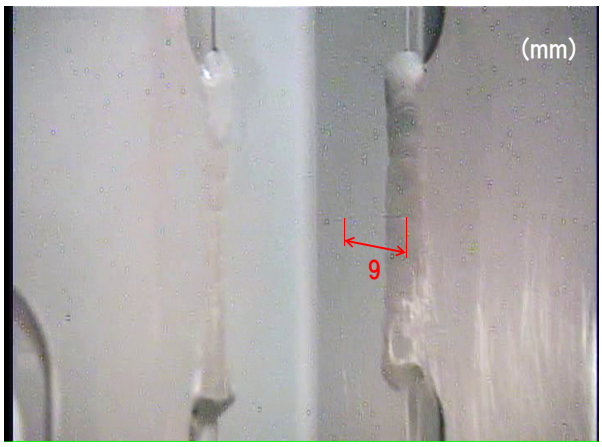
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（4／15）



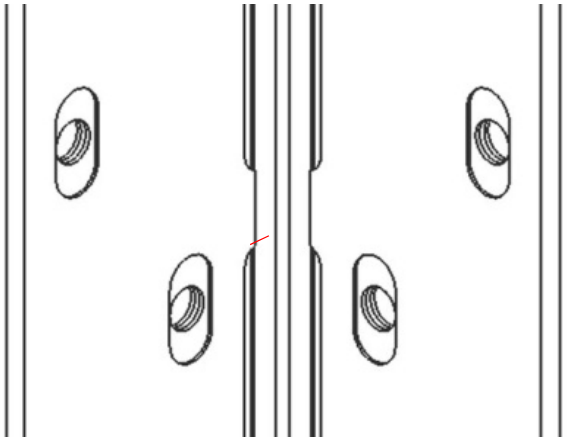


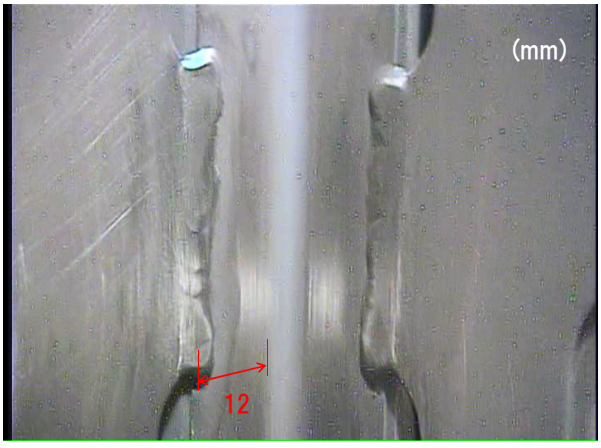
コーナー4　6タブ





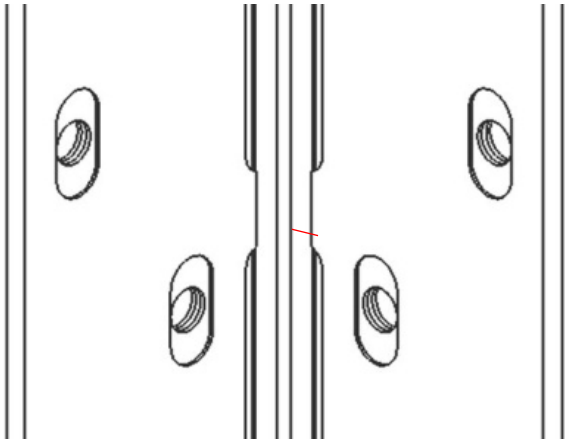
コーナー1　7タブ





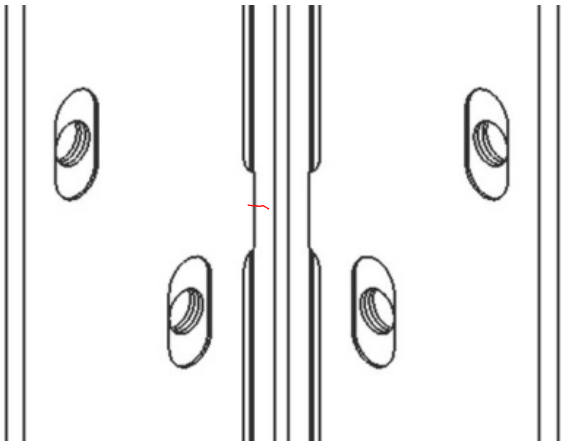
コーナー2　7タブ

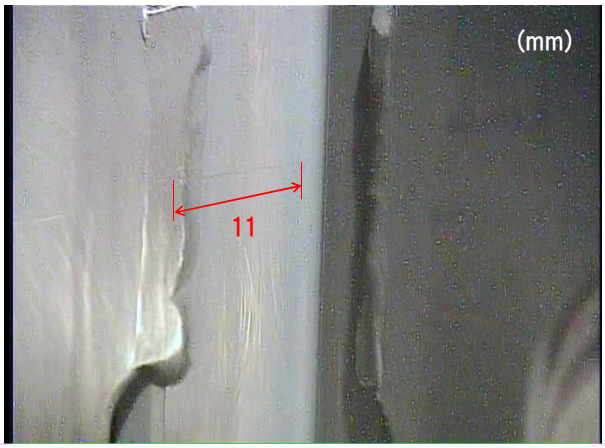
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（5／15）



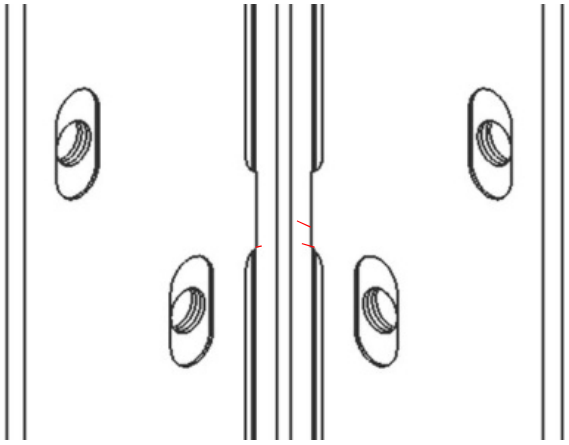


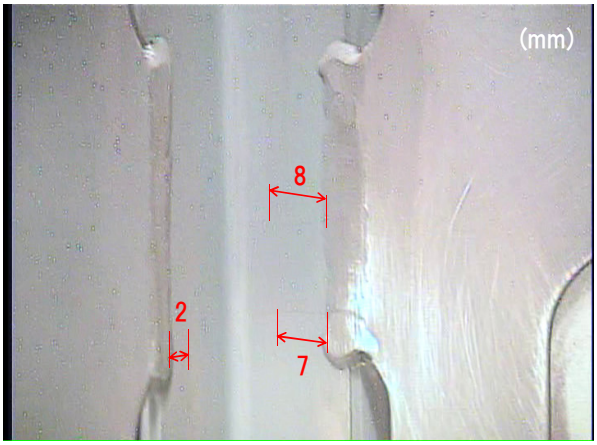
コーナー3　7タブ





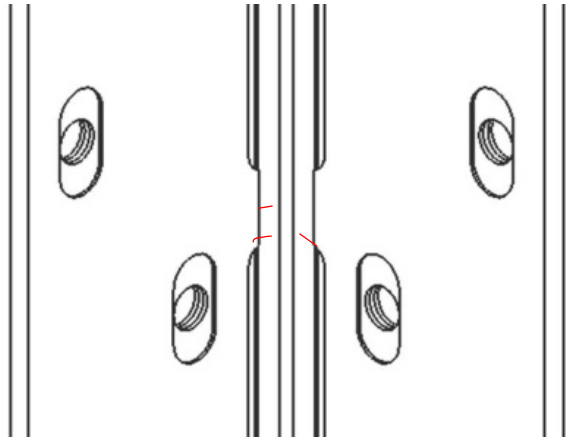
コーナー4　7タブ

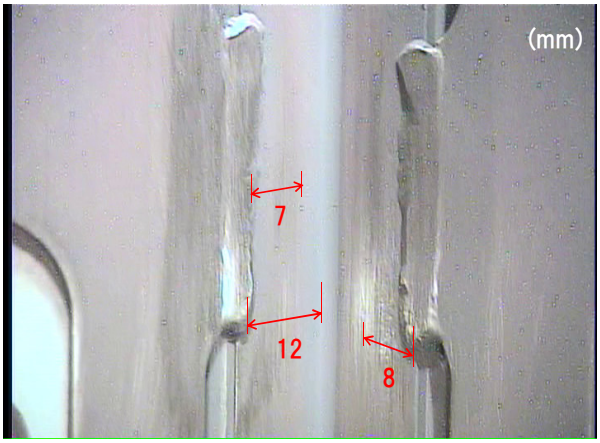




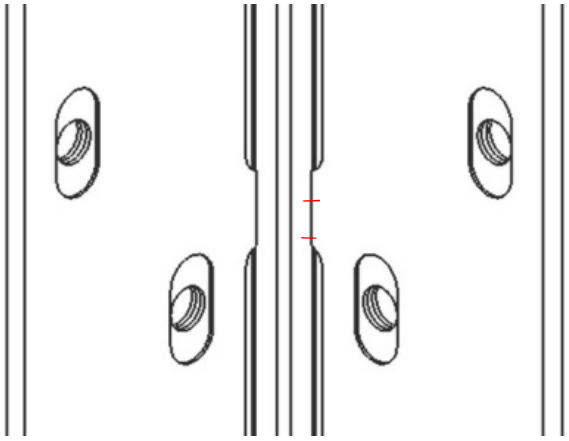
コーナー1　8タブ

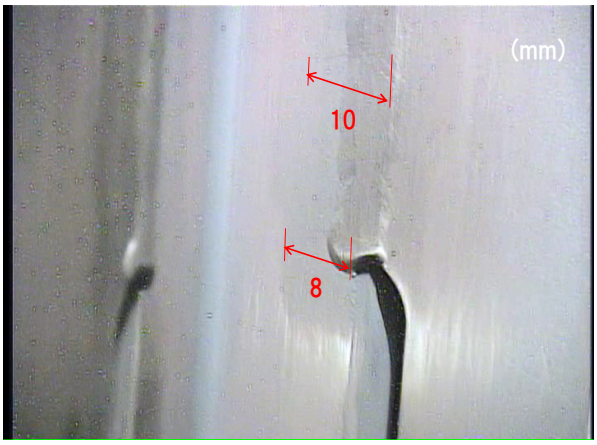
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（6／15）



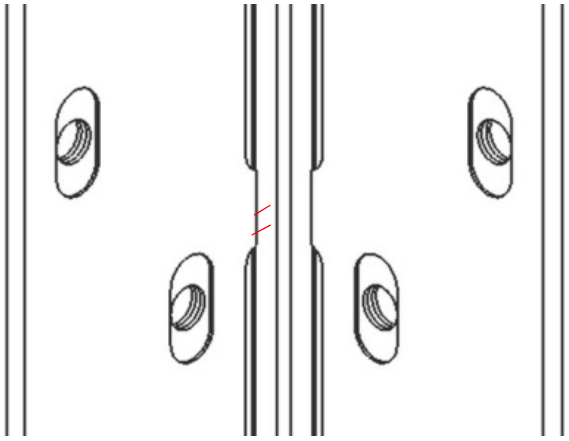


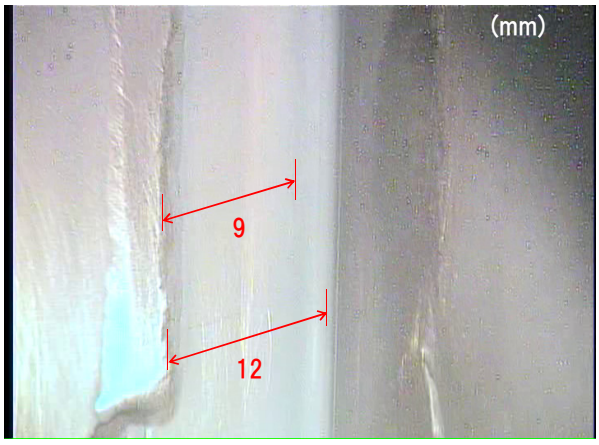
コーナー2　8タブ





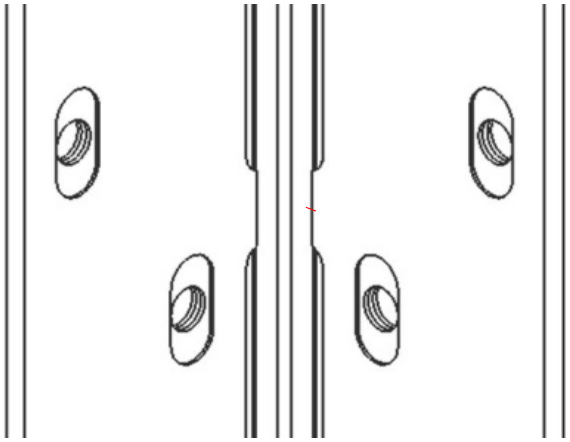
コーナー3　8タブ

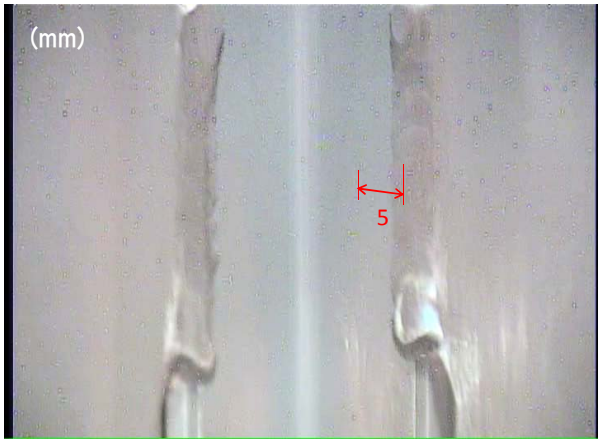




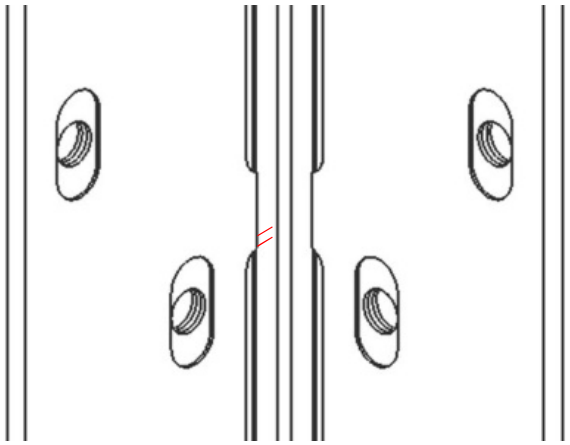
コーナー4　8タブ

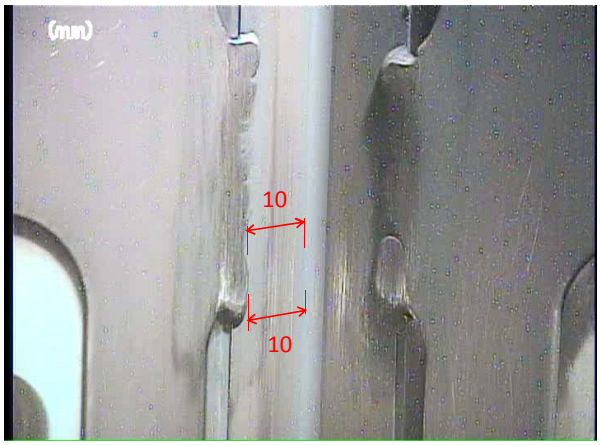
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（7／15）



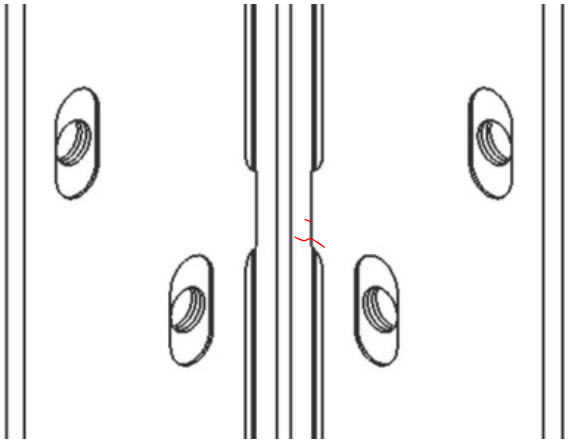


コーナー1　9タブ





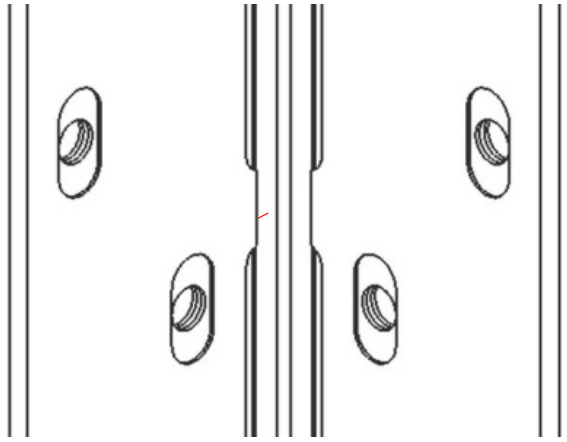
コーナー2　9タブ

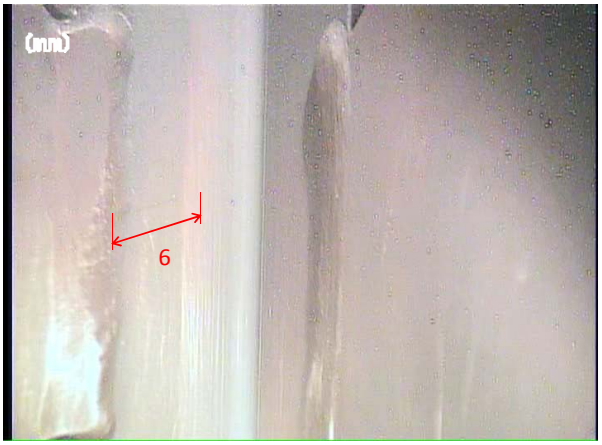




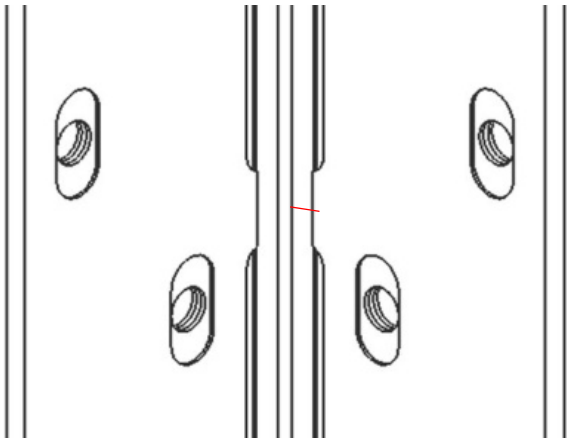
コーナー3　9タブ

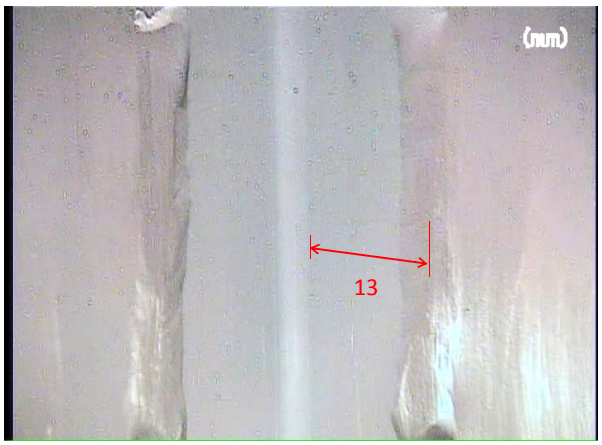
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（8／15）



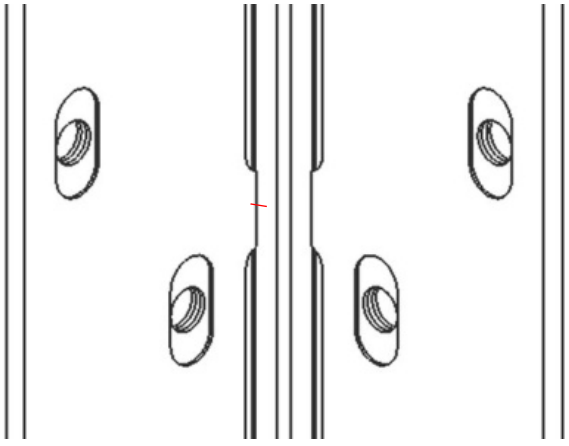


コーナー4　9タブ





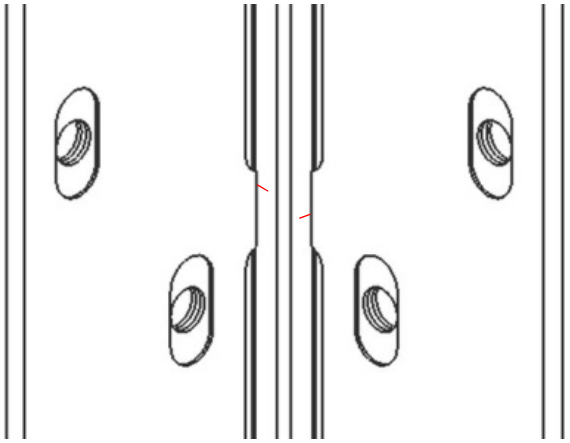
コーナー1　10タブ

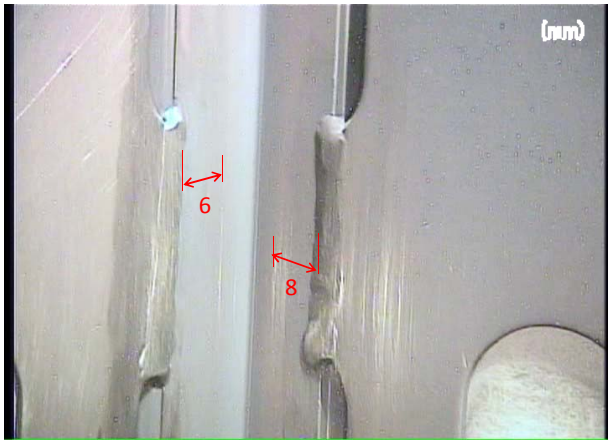




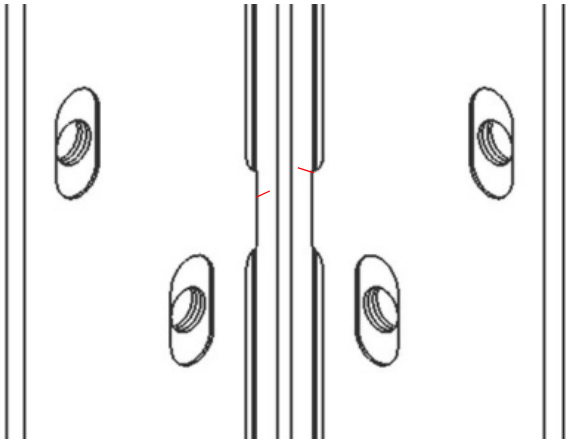
コーナー2　10タブ

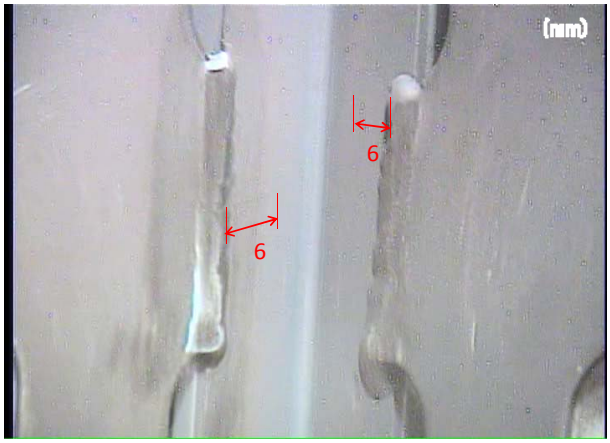
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（9／15）



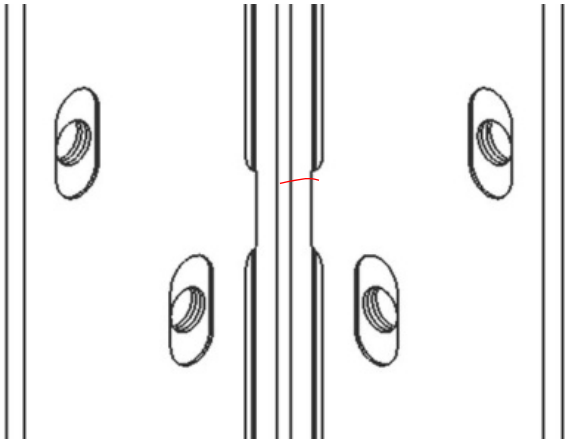


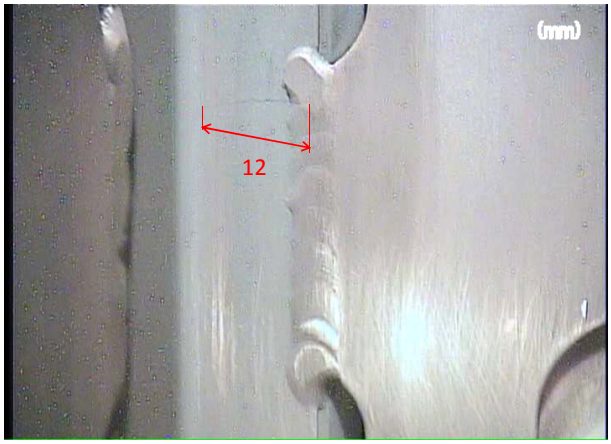
コーナー3　10タブ





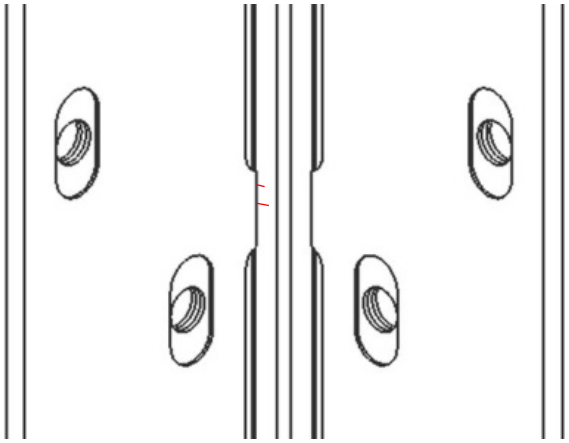
コーナー4　10タブ





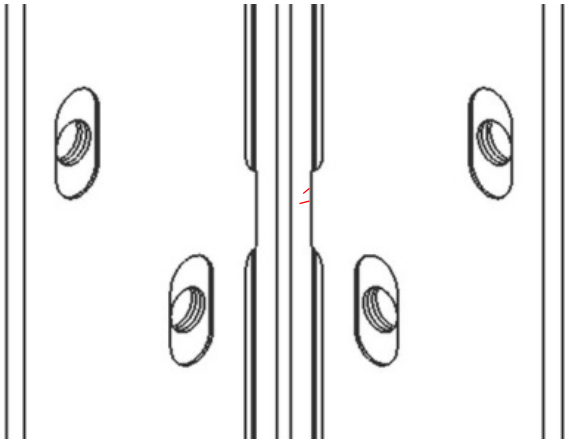
コーナー1　11タブ

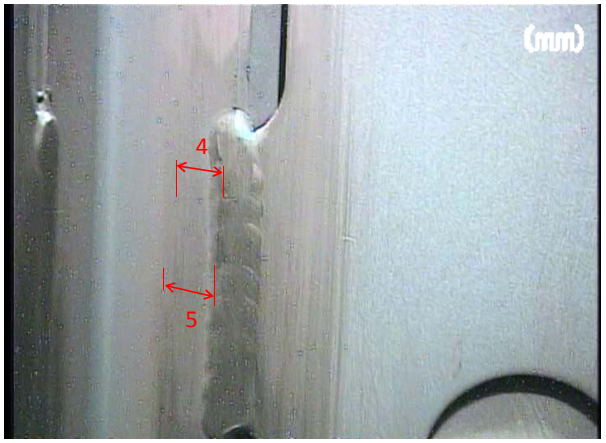
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（10／15）



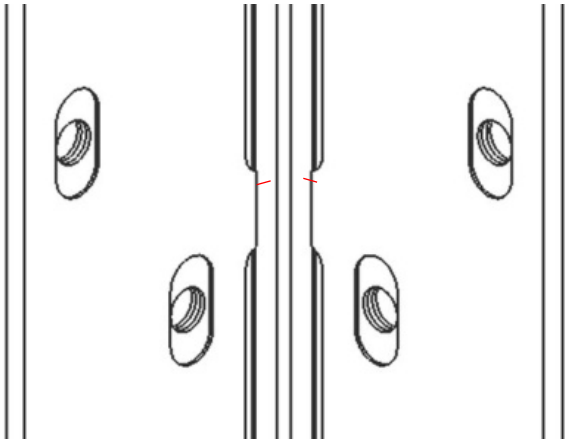


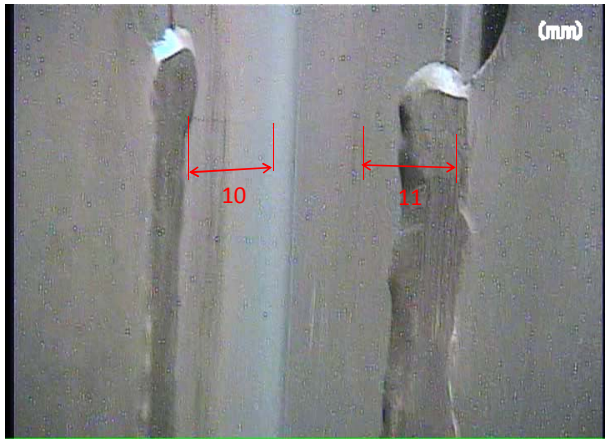
コーナー2　11タブ





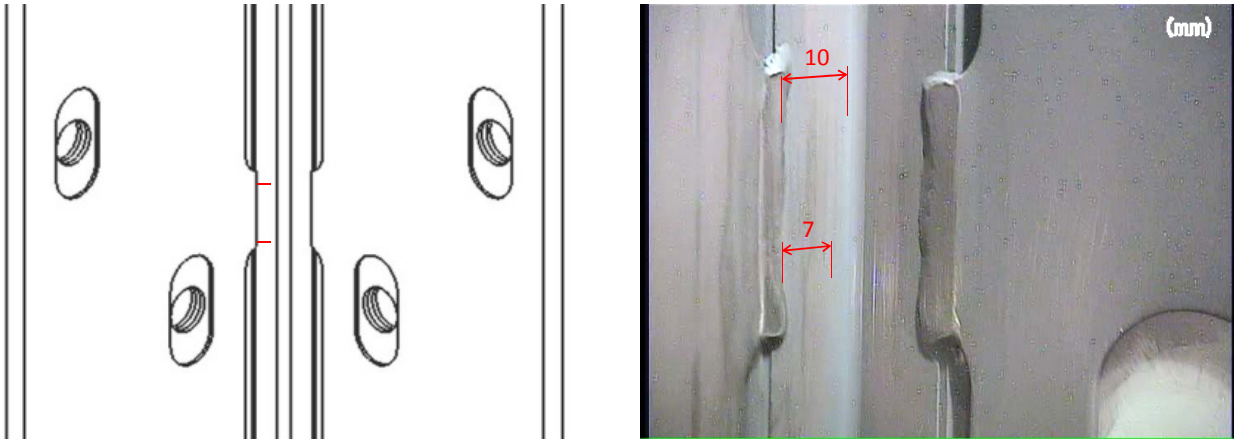
コーナー3　11タブ



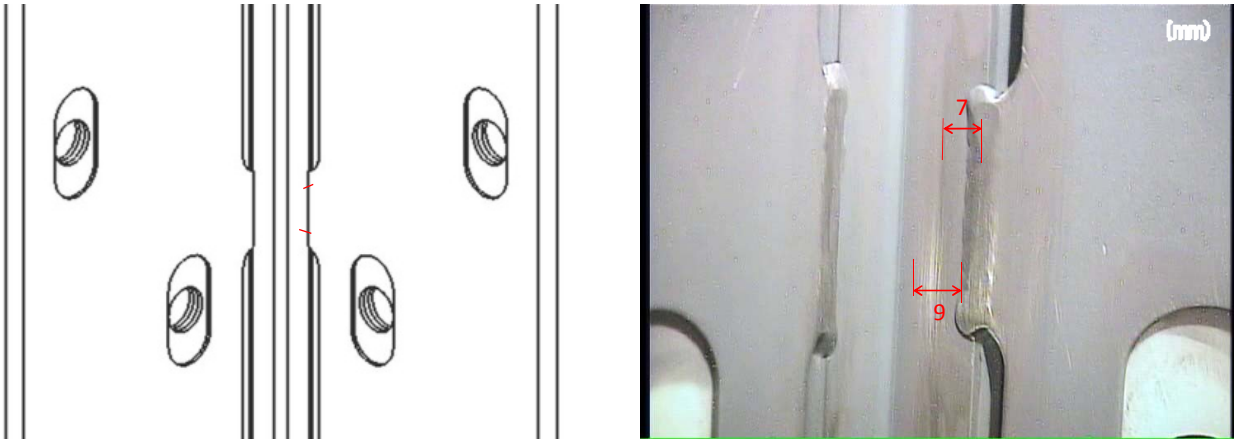


コーナー4　11 タブ

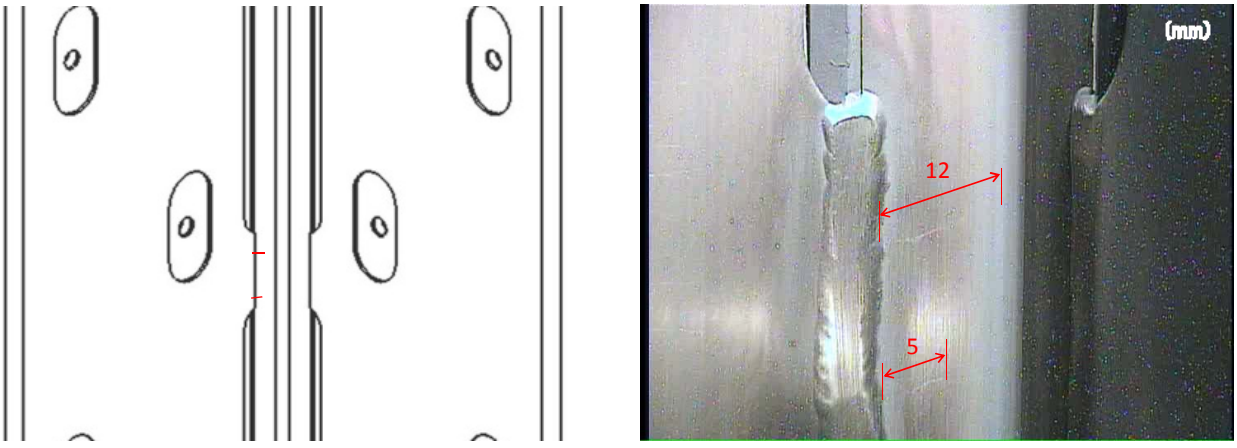
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（11／15）



コーナー2　12タブ

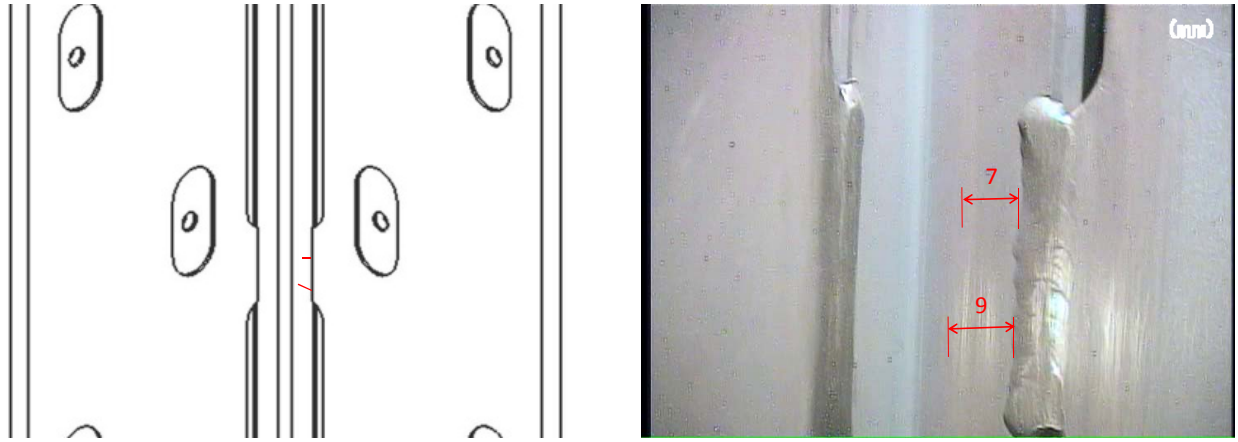


コーナー3　12タブ

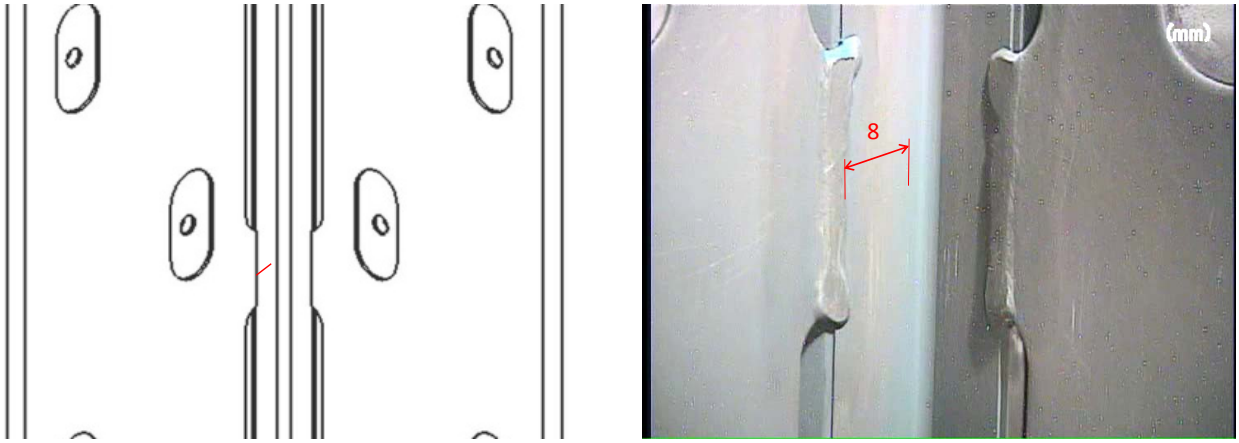


コーナー2　13タブ

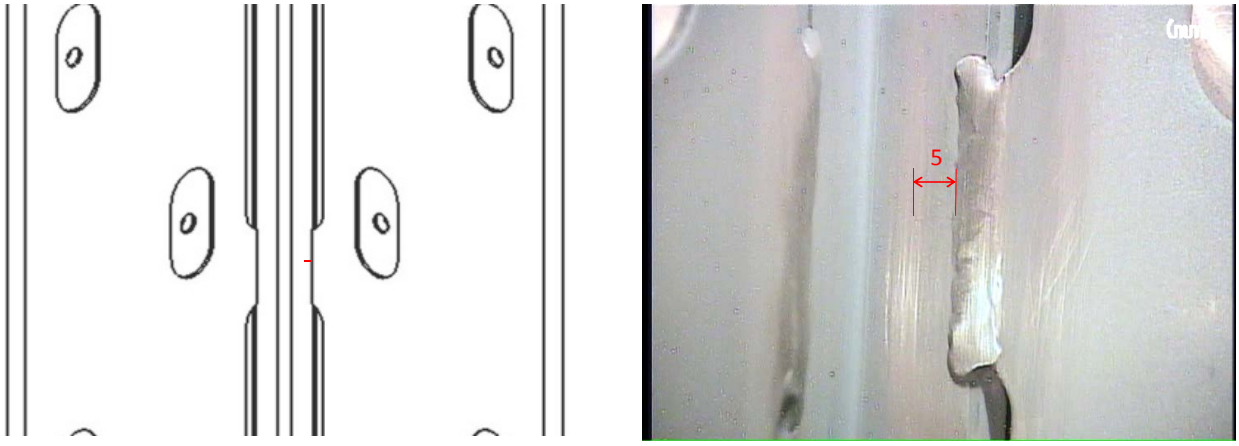
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（12／15）



コーナー3　13タブ

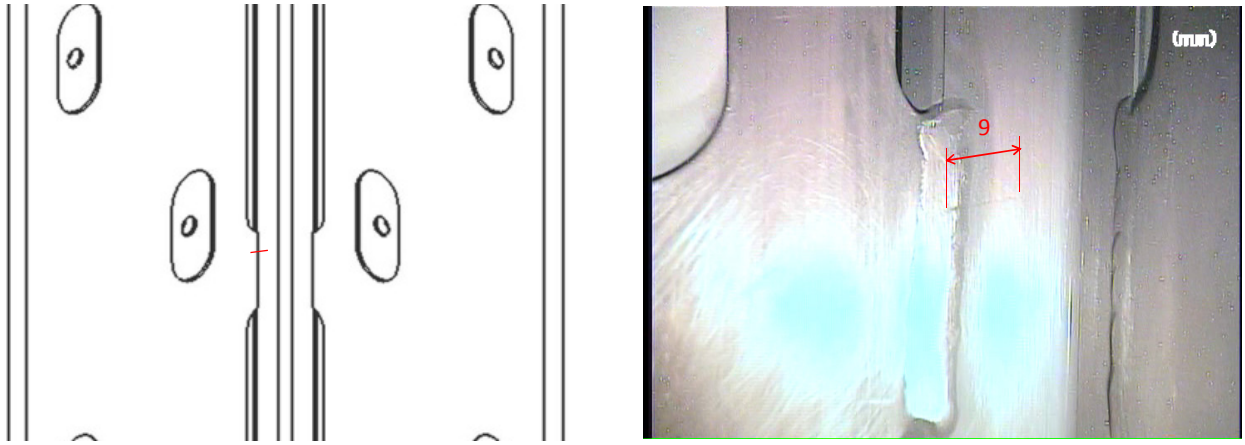


コーナー 2　14 タブ

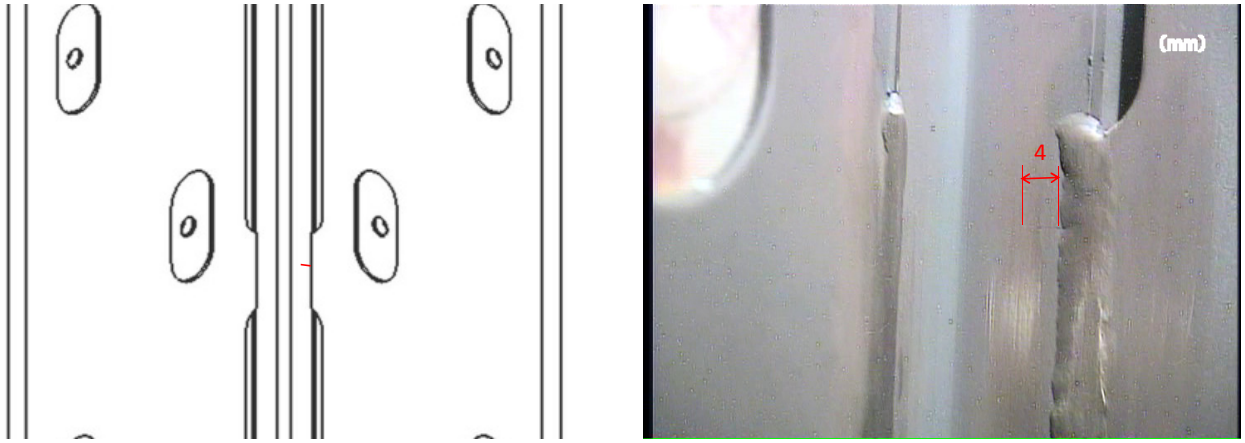


コーナー3　14タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（13／15）

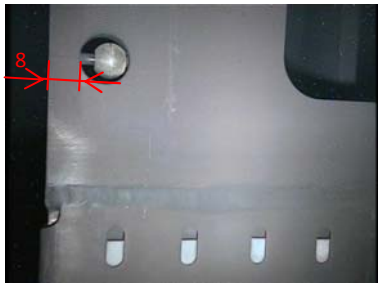


コーナー2　15タブ

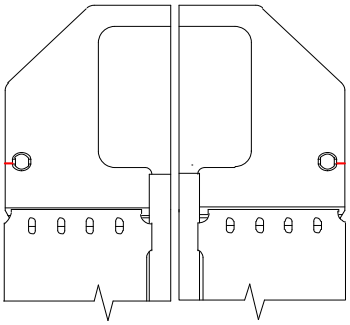


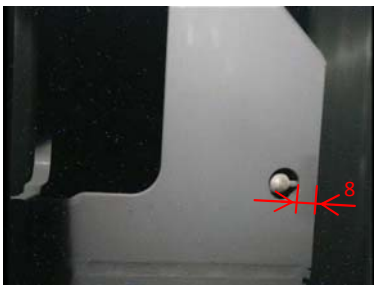
コーナー3　15タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－031）（14／15）



２面

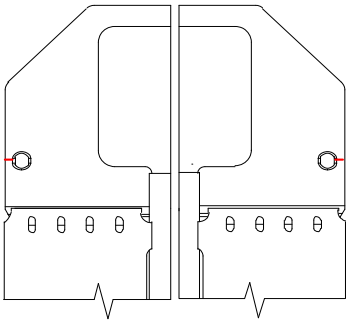




１面



４面

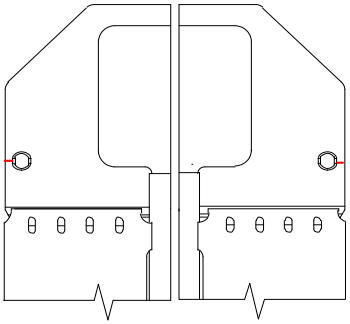


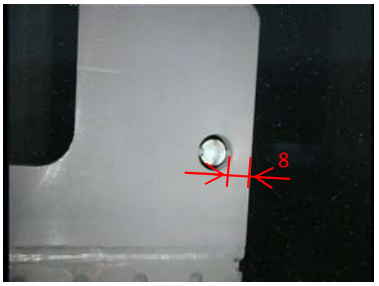


３面



６面

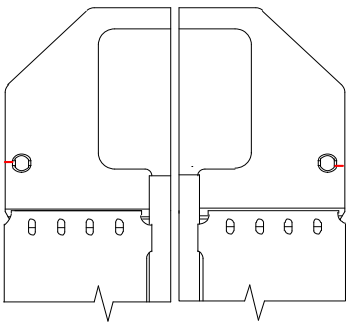




５面



８面

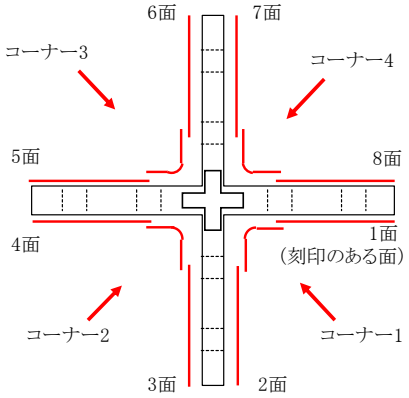


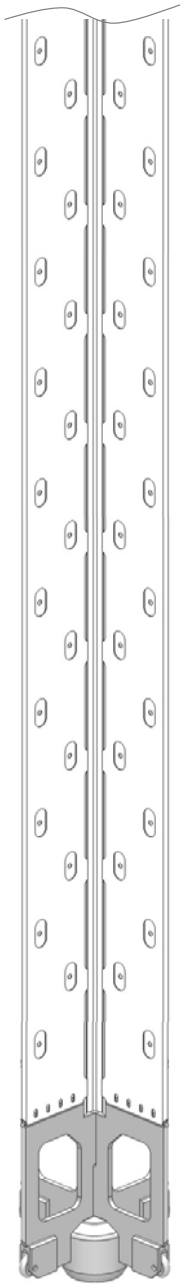


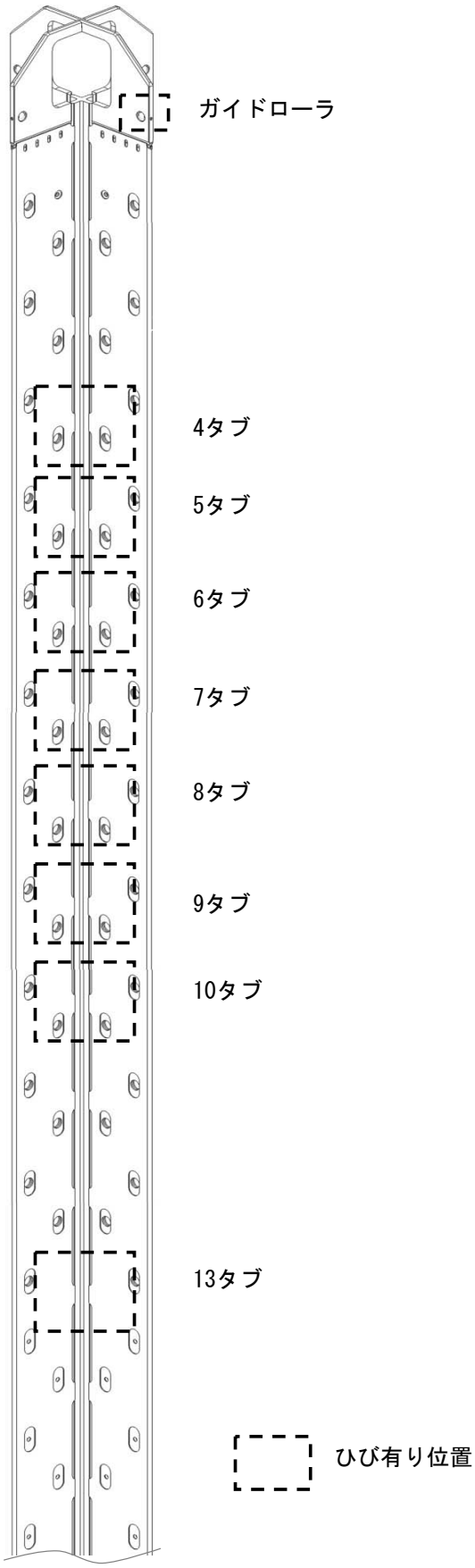
７面

単位：mm

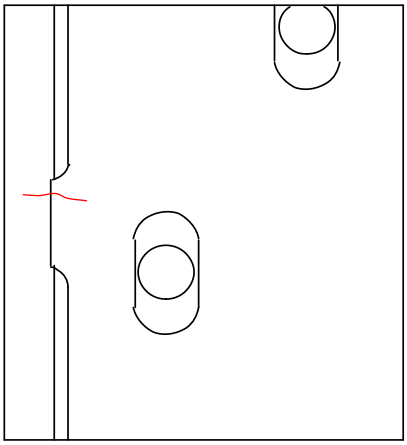
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－031）（15/15）

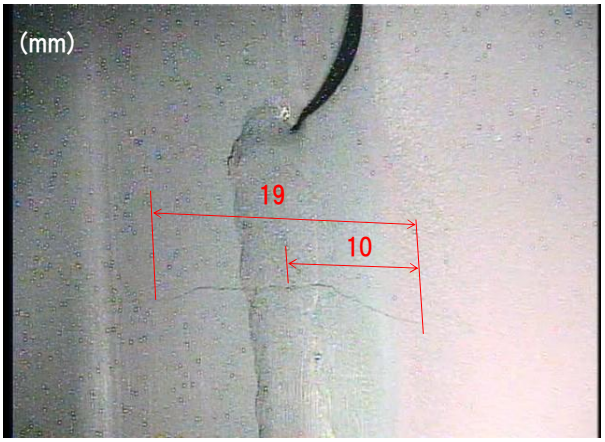




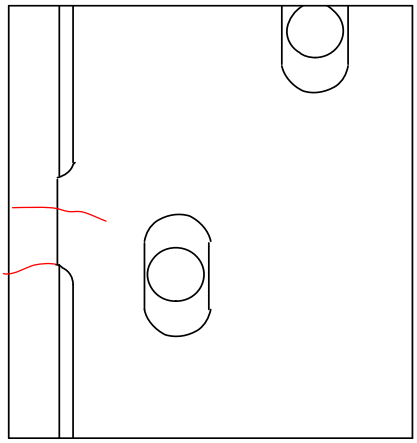


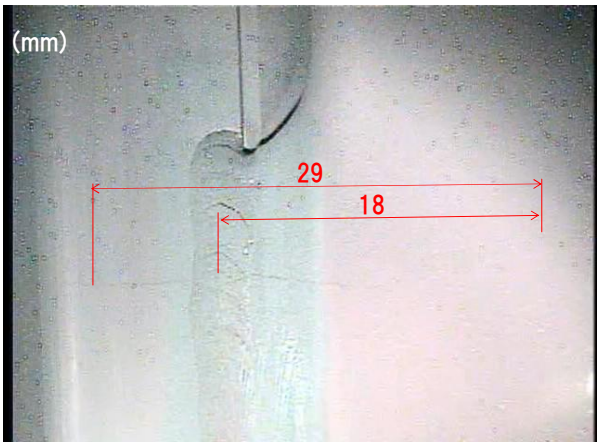
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－032）（1／7）

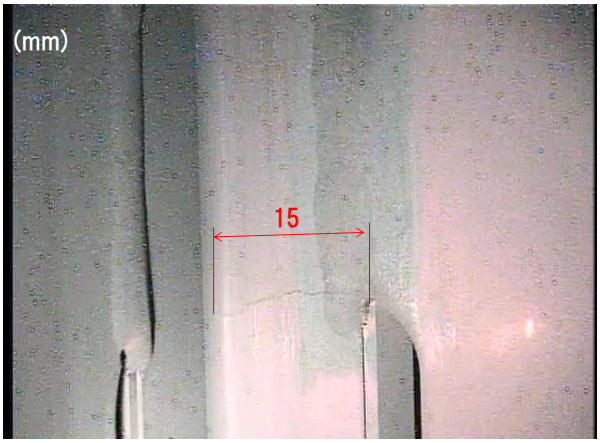




コーナー1　1面　4タブ

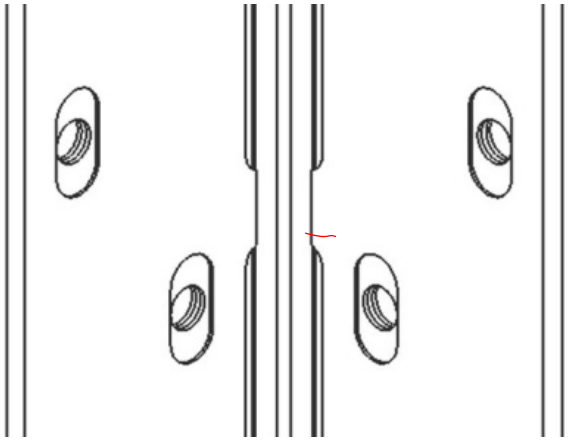






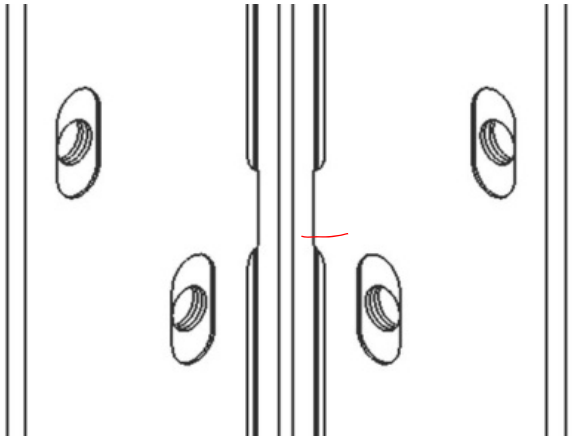
コーナー1　1面　5タブ

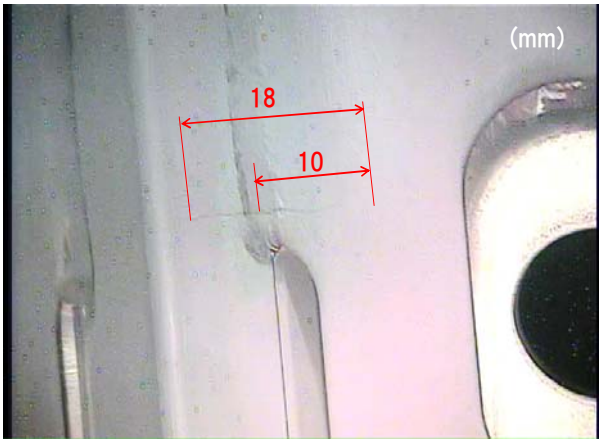
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－032）（2／7）



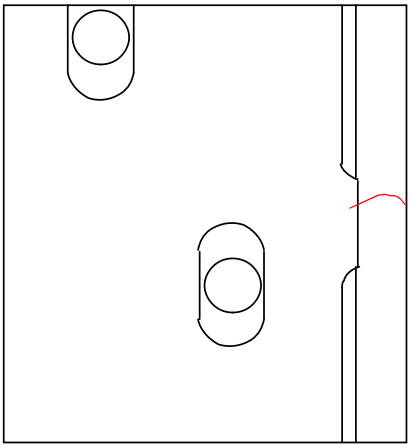


コーナー1　6タブ





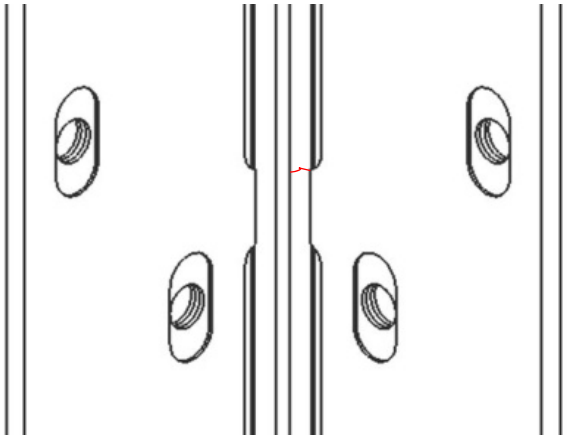
コーナー1　7タブ

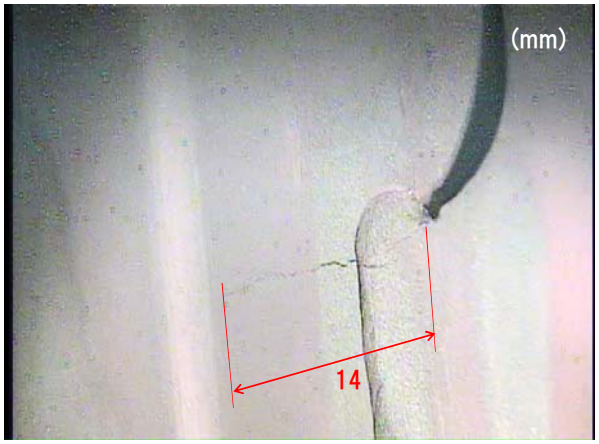




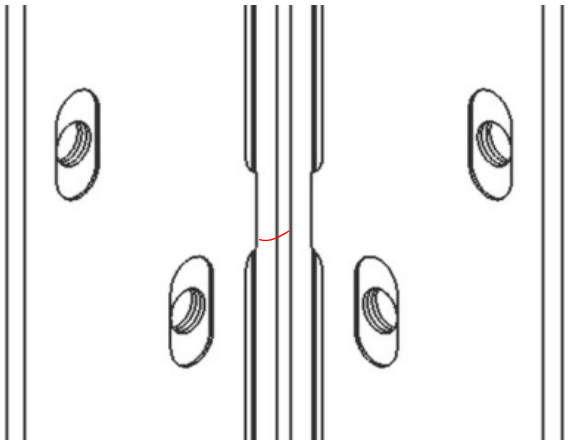
コーナー2　4面　7タブ

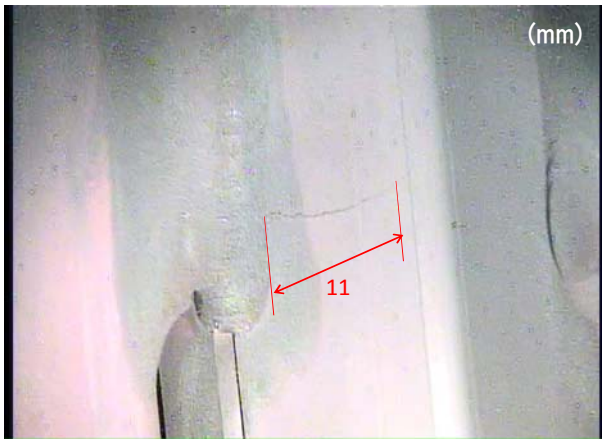
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－032）（3／7）



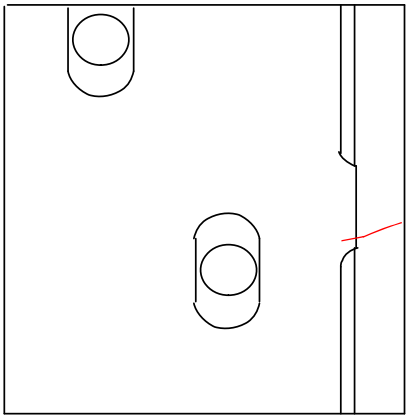


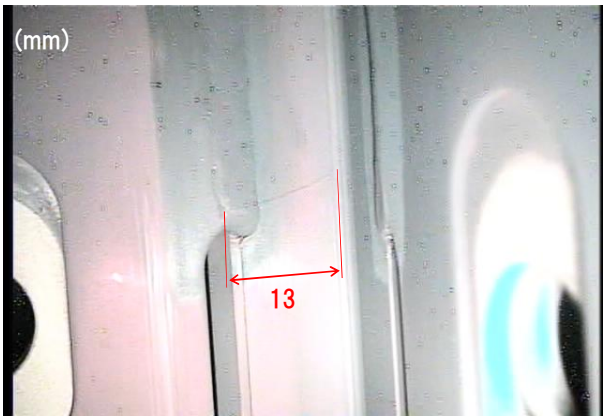
コーナー3　7タブ





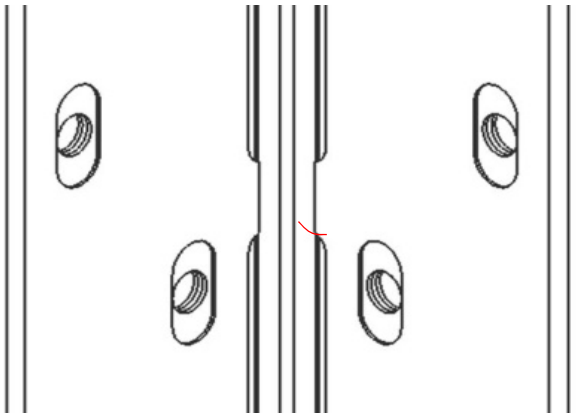
コーナー4　7タブ

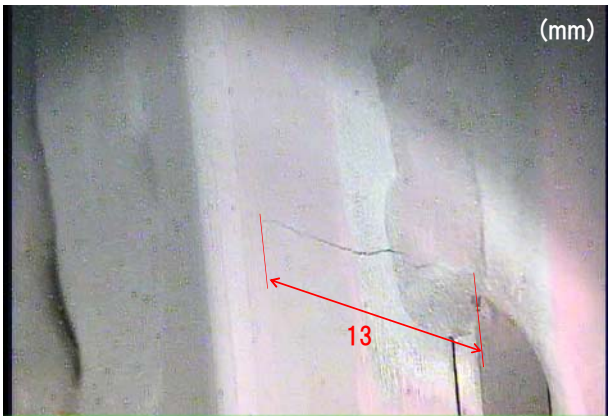




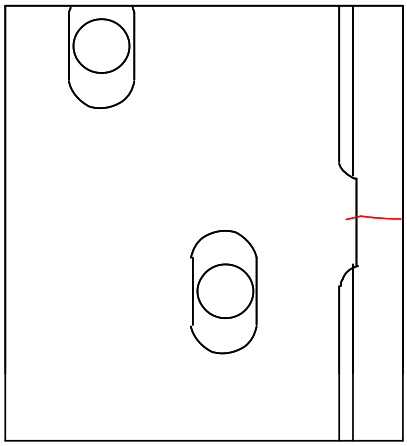
コーナー2　4面　8タブ

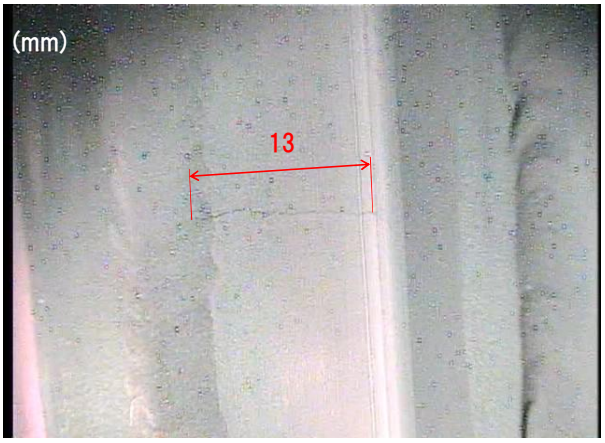
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－032）（4／7）



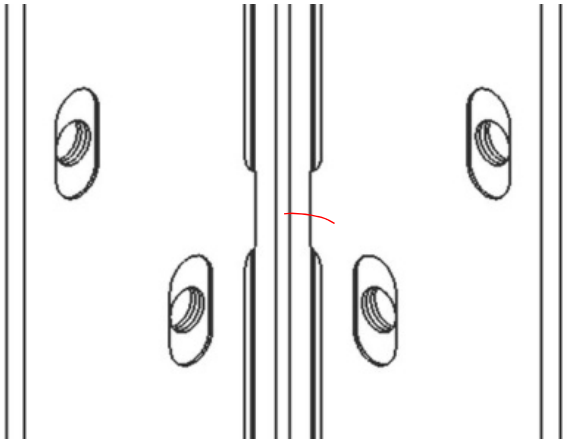


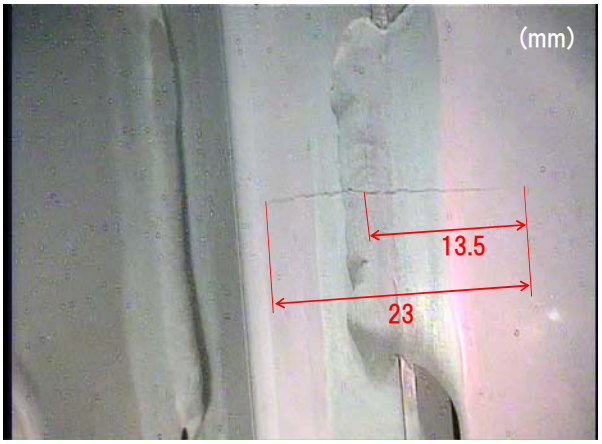
コーナー3　8タブ





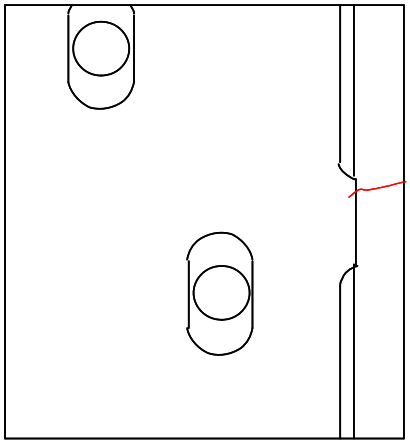
コーナー2　4面　9タブ

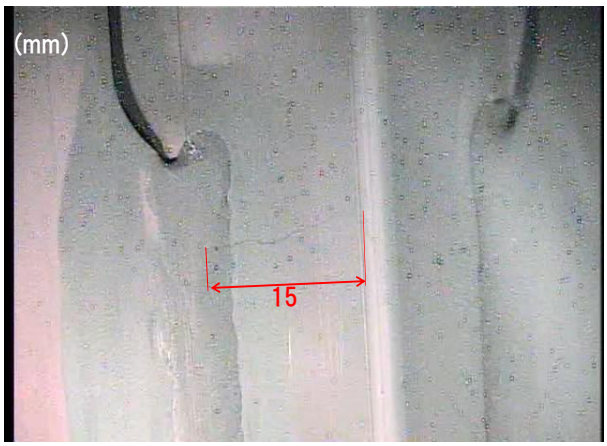




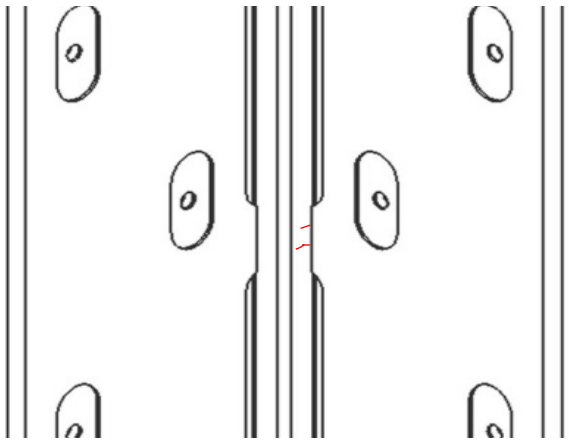
コーナー3　9タブ

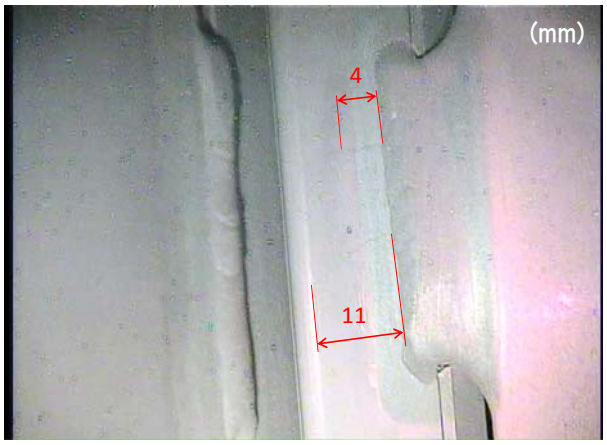
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－032）（5／7）





コーナー2　4面　10タブ



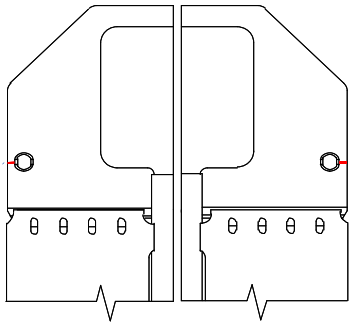


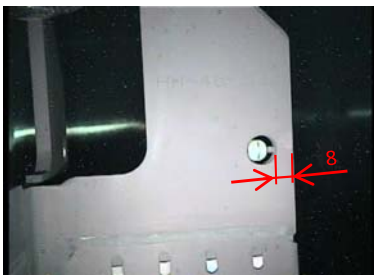
コーナー3　13タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－032）（6／7）



２面

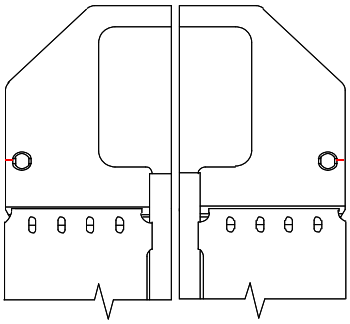




１面

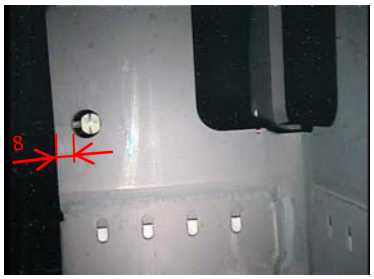


４面

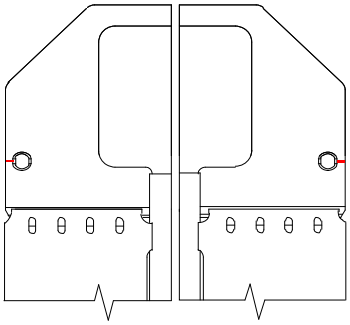




３面



６面

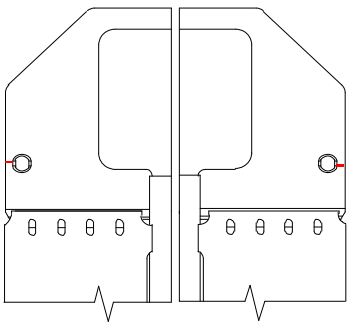




５面



８面

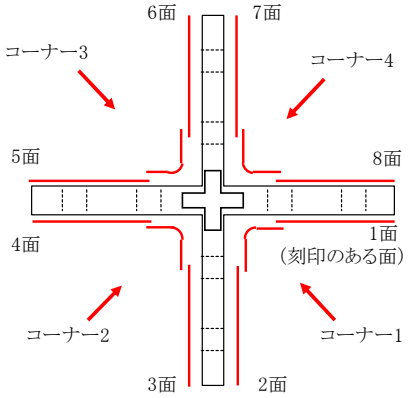


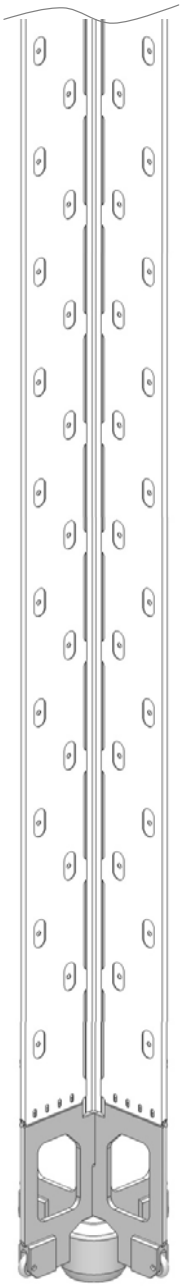


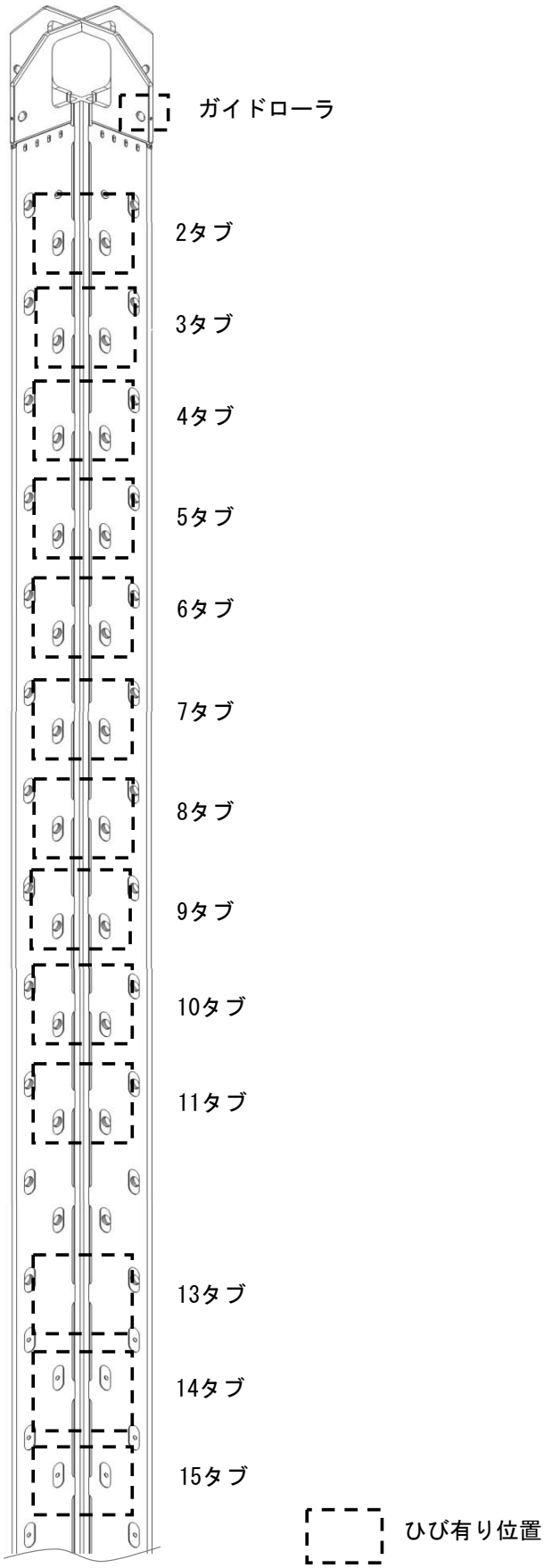
７面

単位：mm

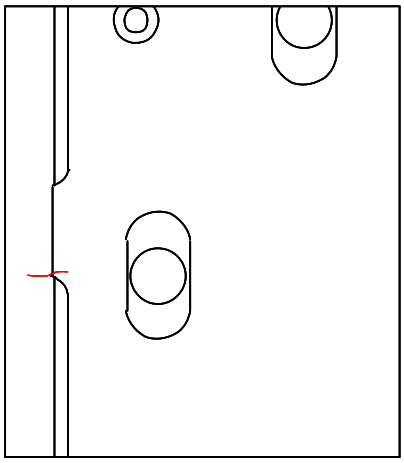
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－032）（7／7）





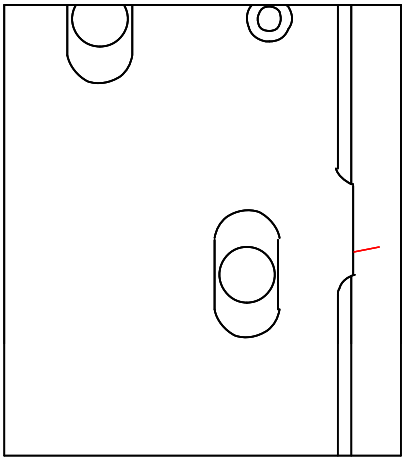


柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（1／10）



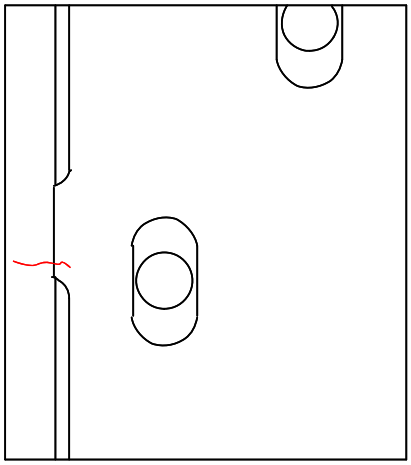


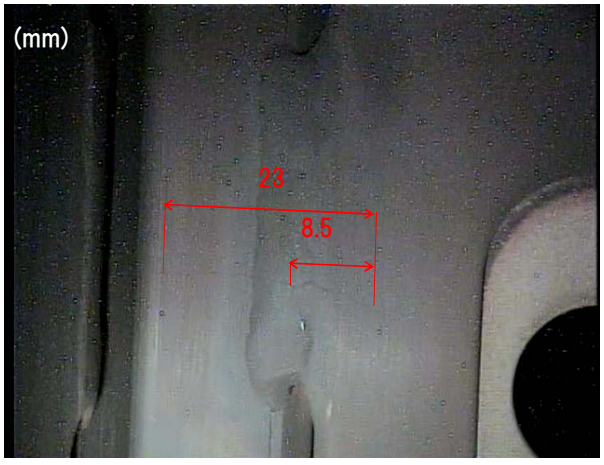
コーナー1　1面　2タブ





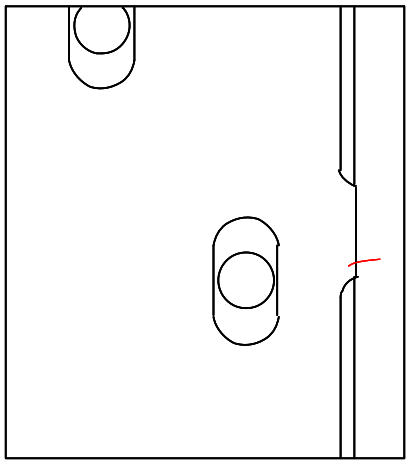
コーナー4　8面　2タブ





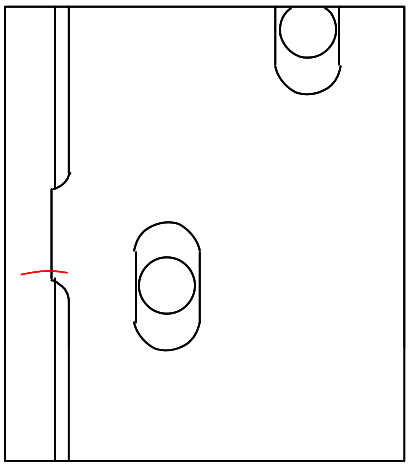
コーナー1　1面　3タブ

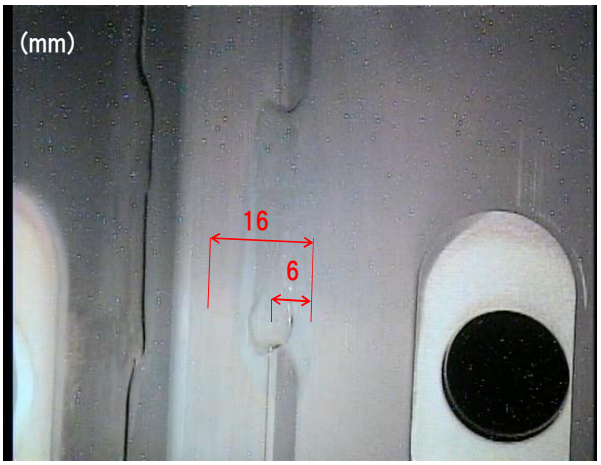
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（2／10）



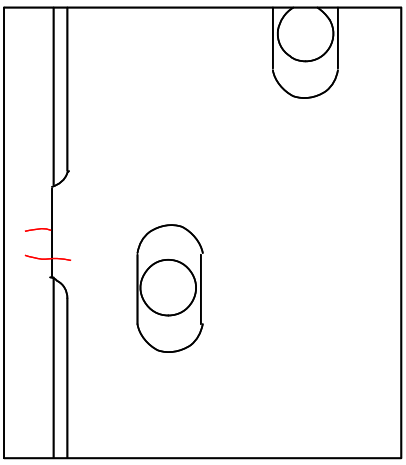


コーナー4　8面　3タブ





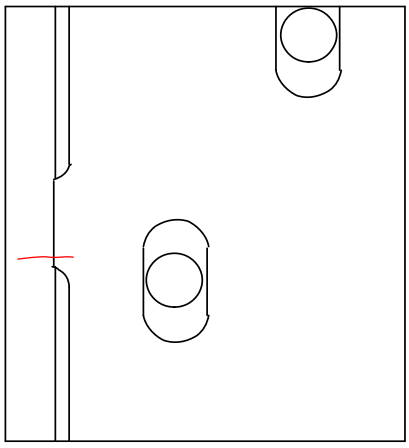
コーナー1　1面　4タブ

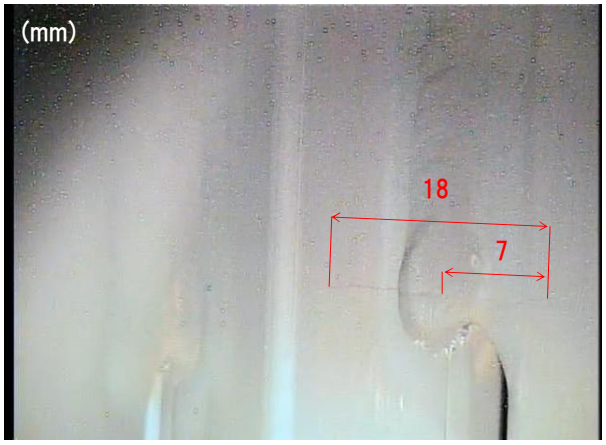




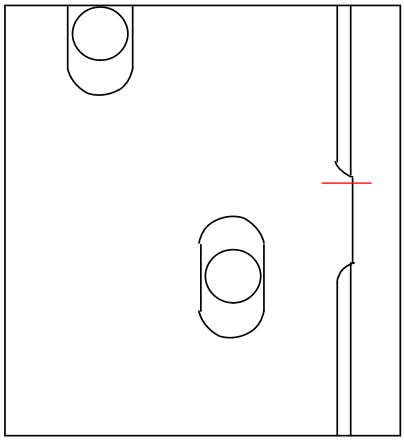
コーナー1　1面　5タブ

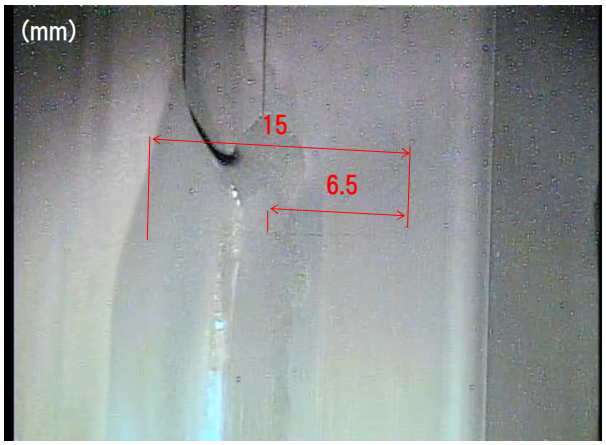
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（3／10）



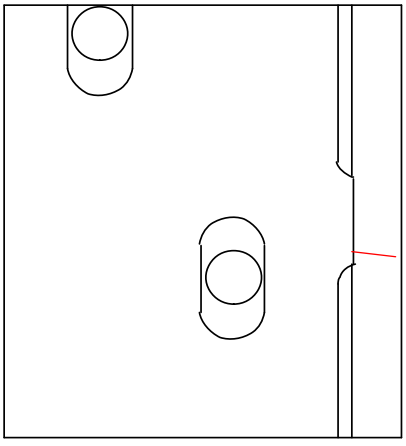


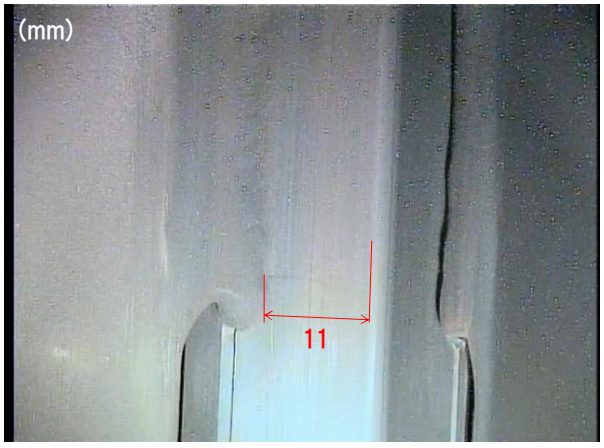
コーナー1　1面　6タブ





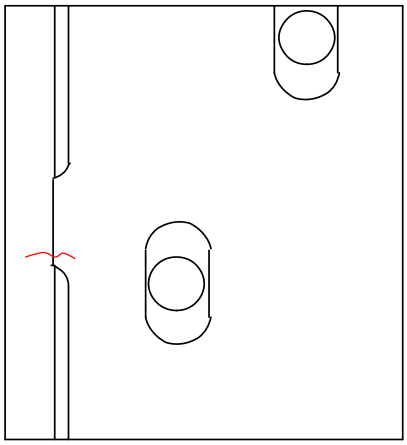
コーナー2　4面　6タブ

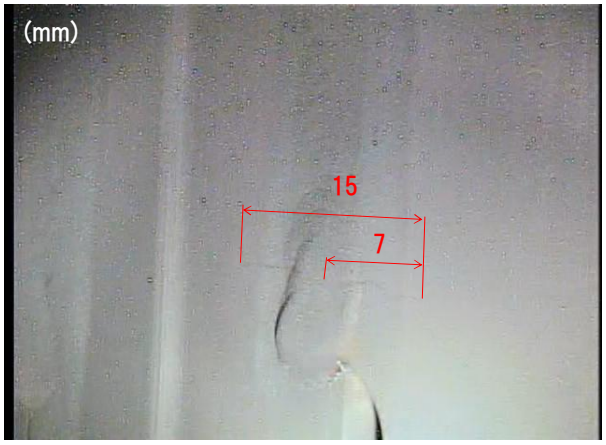




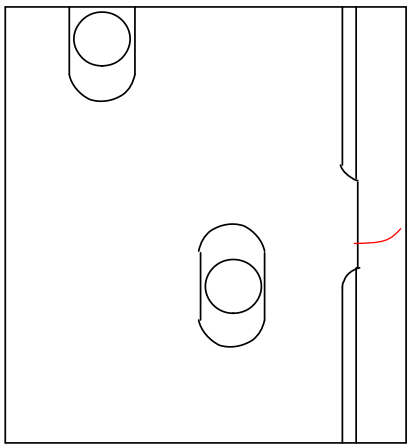
コーナー4　8面　6タブ

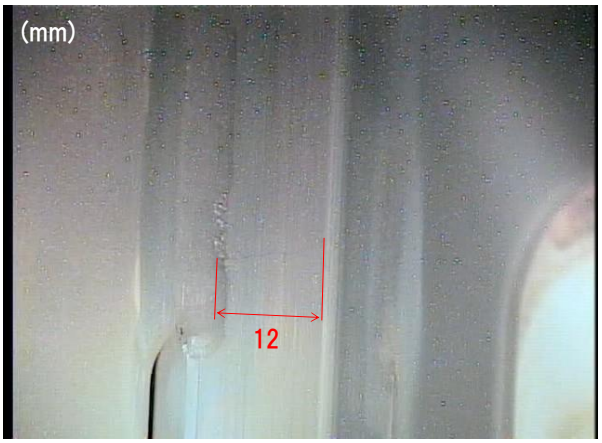
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（4／10）



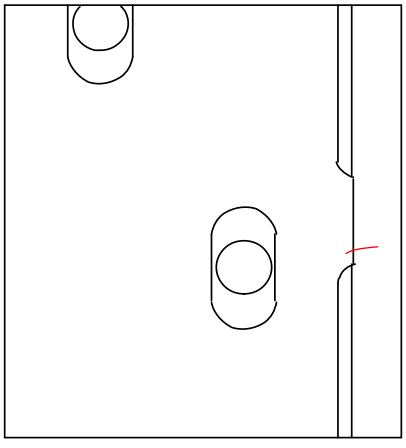


コーナー1　１面　７タブ





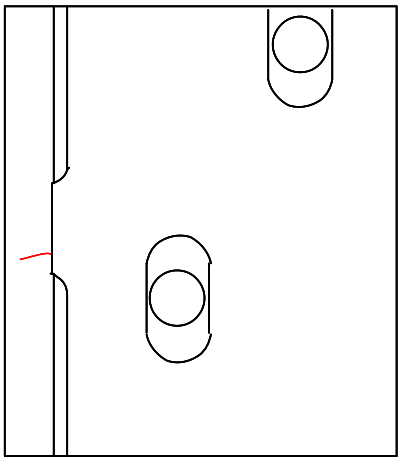
コーナー4　８面　７タブ





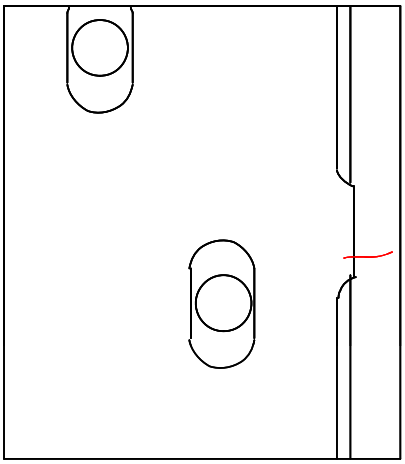
コーナー2　４面　８タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（5／10）



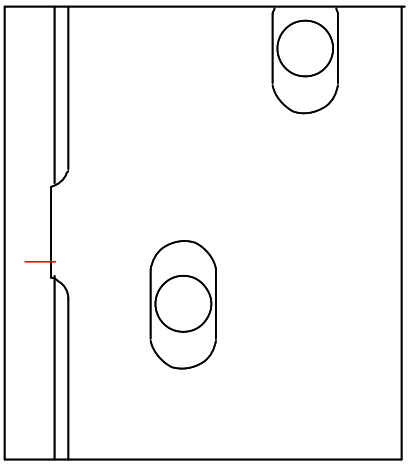


コーナー3　5面　8タブ





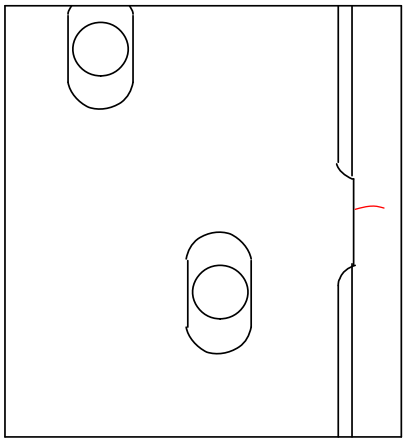
コーナー2　4面　9タブ

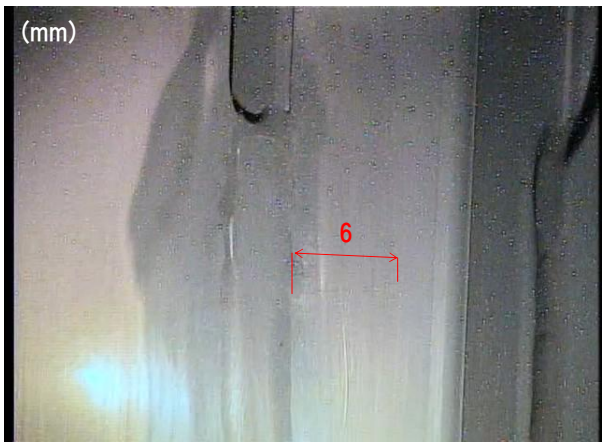




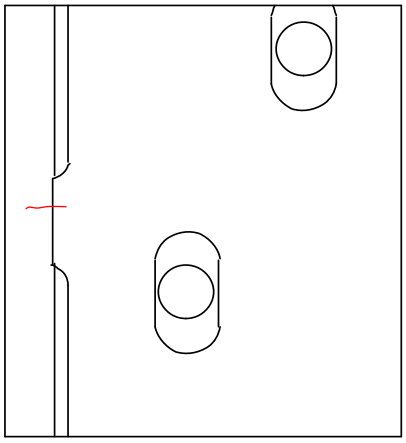
コーナー3　5面　9タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（6／10）



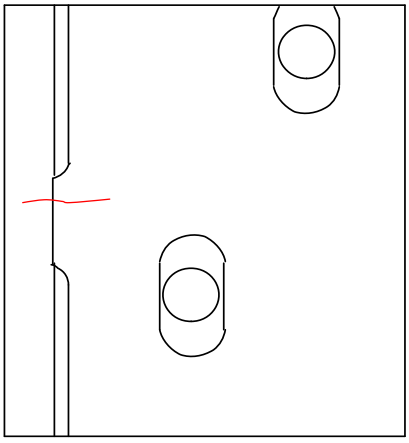


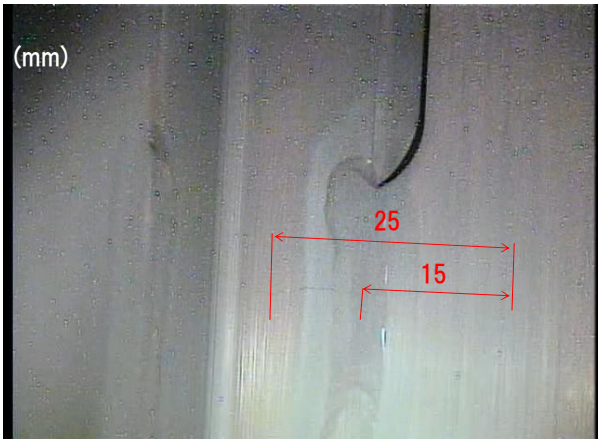
コーナー2　4面　10タブ





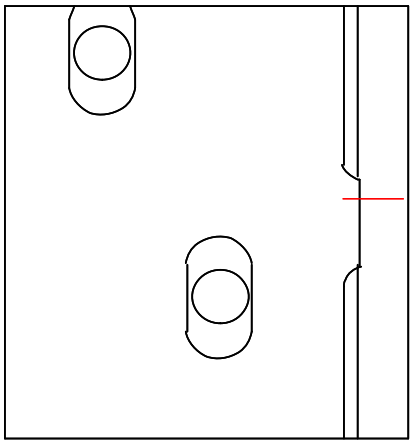
コーナー3　5面　10タブ





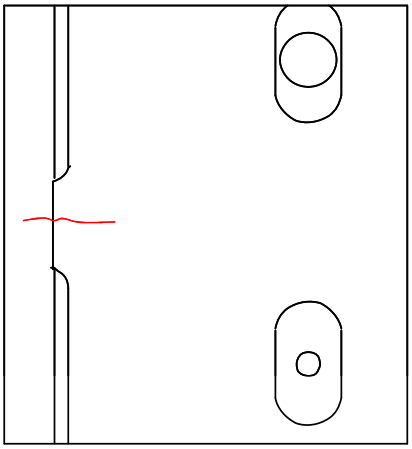
コーナー1　1面　11タブ

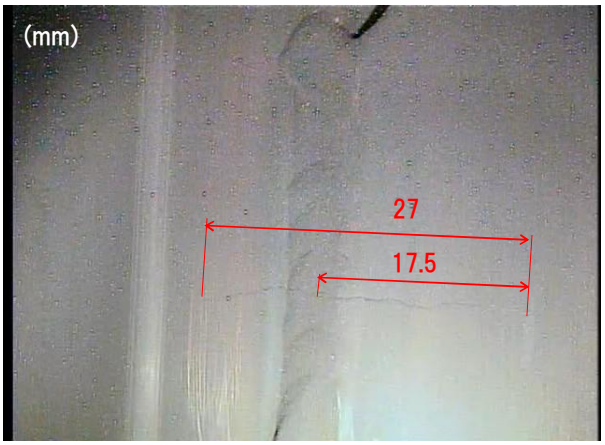
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（7／10）



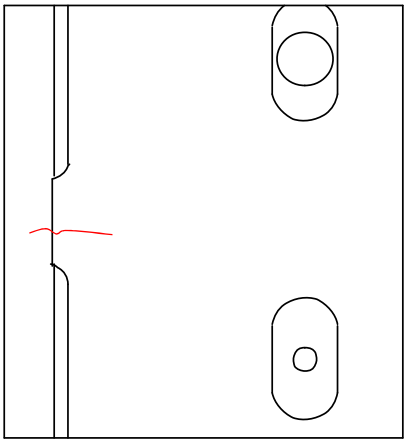


コーナー4　8面　11タブ





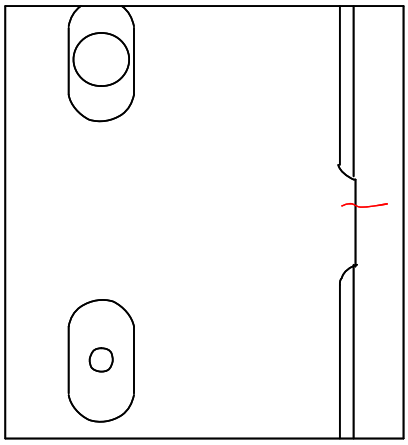
コーナー1　1面　13タブ





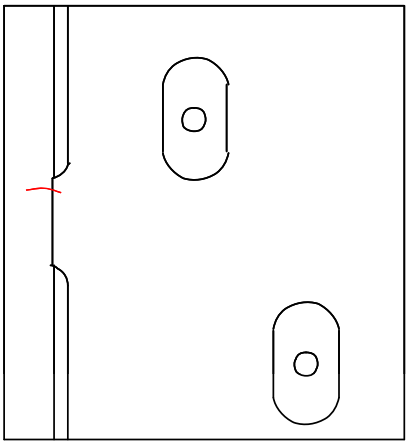
コーナー3　5面　13タブ

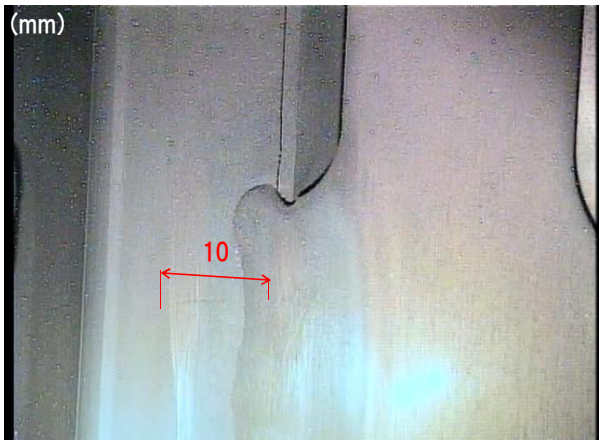
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（8／10）



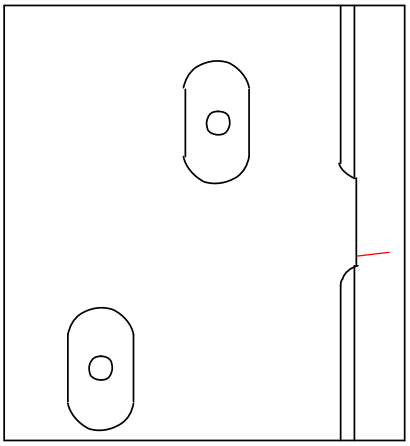


コーナー4　8面　13タブ





コーナー3　5面　14タブ



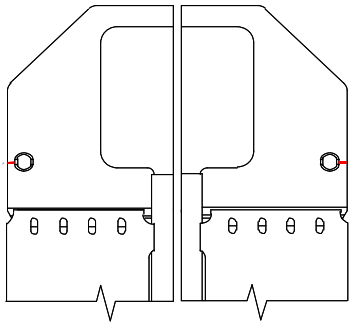


コーナー2　4面　15タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（9／10）



２面

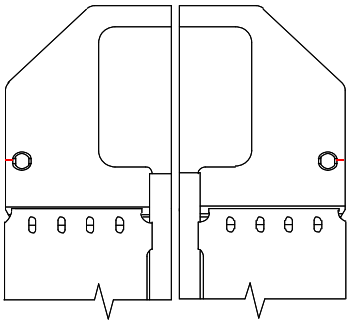




１面

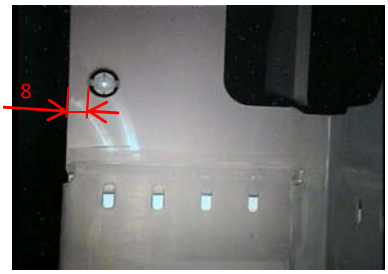


４面

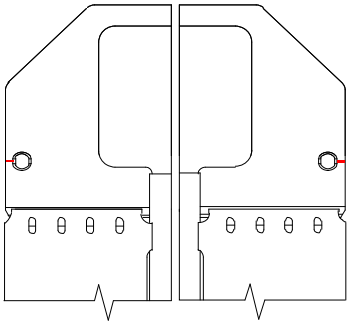


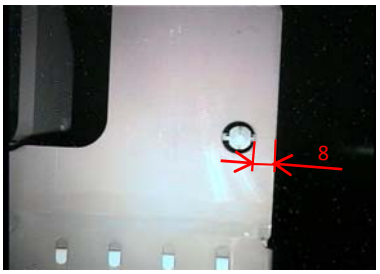


３面



６面

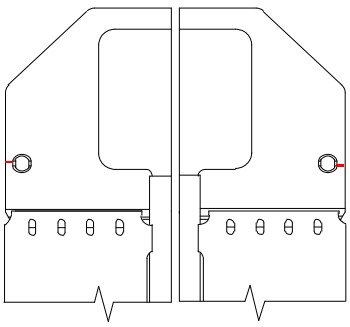


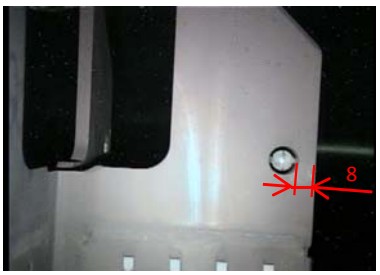


５面



８面

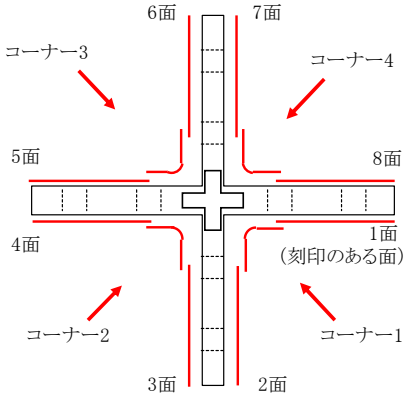


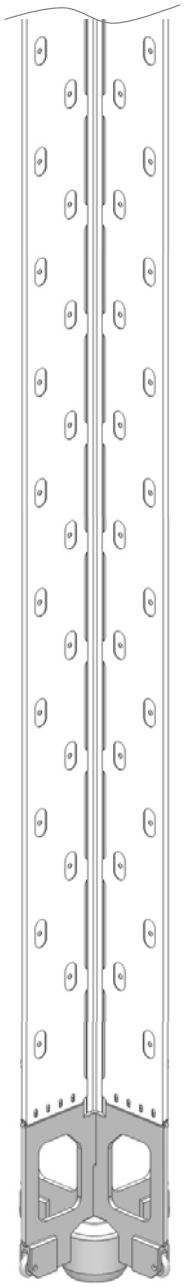


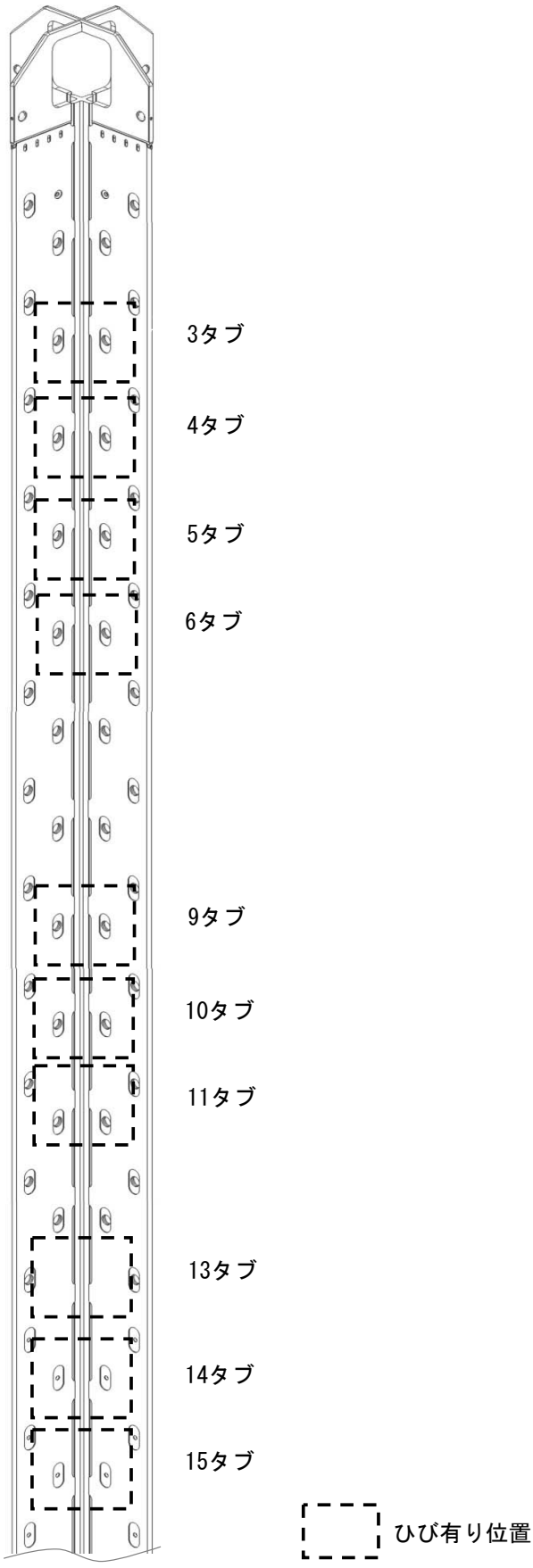
７面

単位：mm

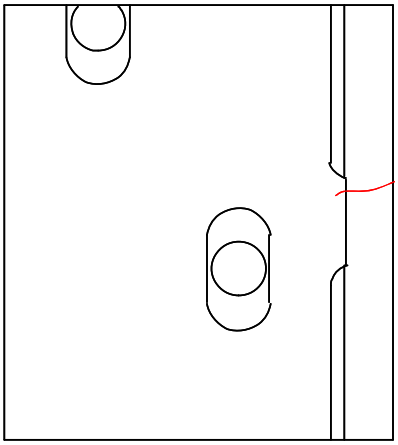
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－033）（10／10）

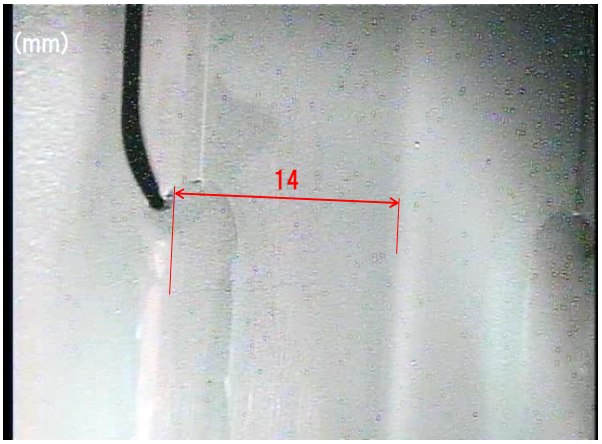




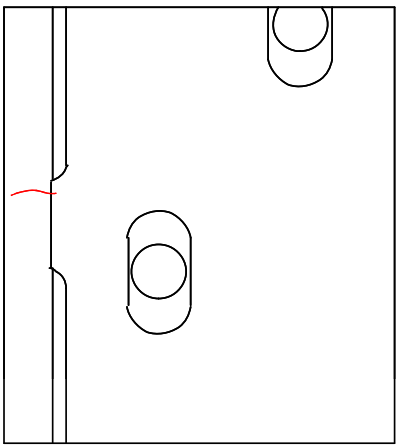


柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－034）（1／9）



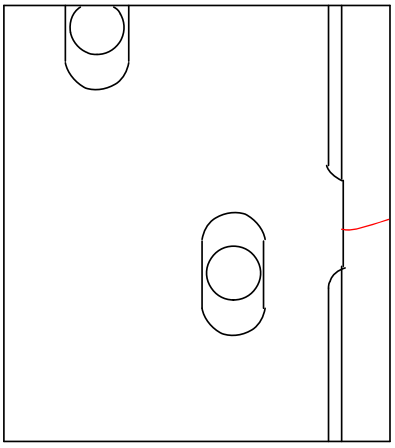


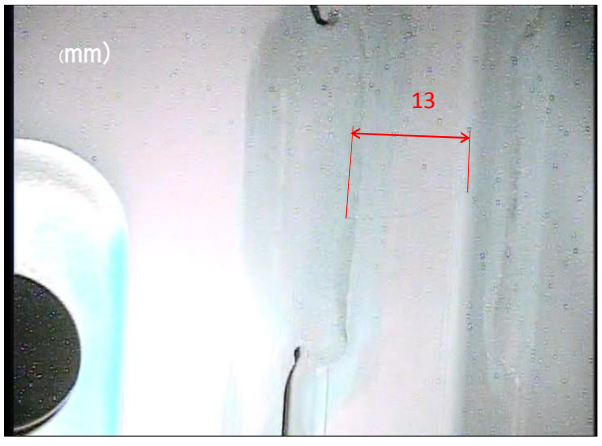
コーナー2　4面　3タブ





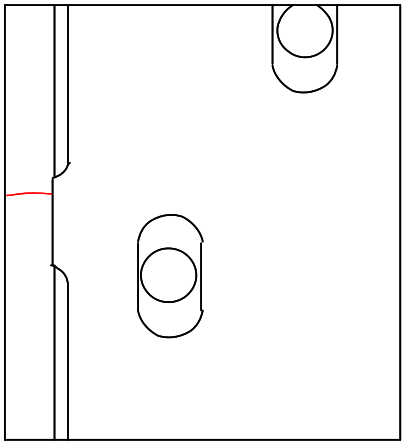
コーナー3　5面　3タブ

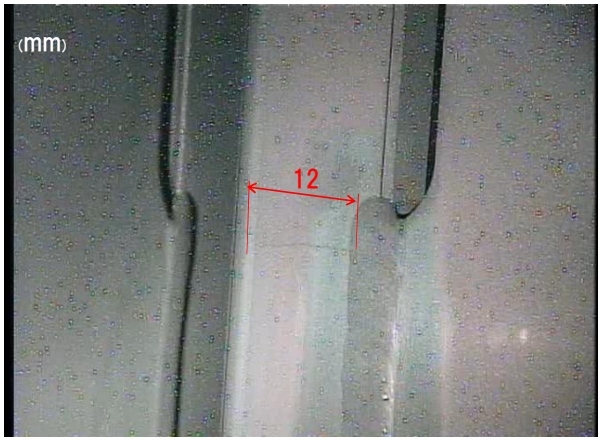




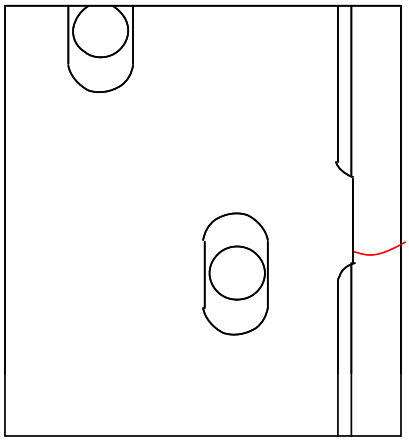
コーナー４　８面　４タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－034）（2／9）



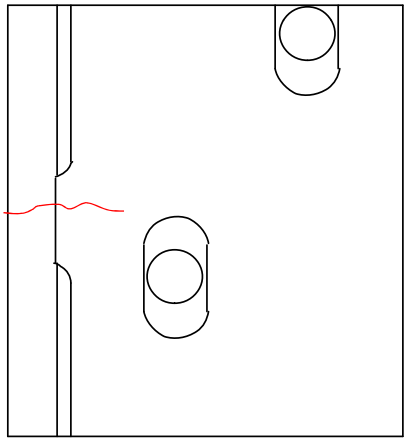


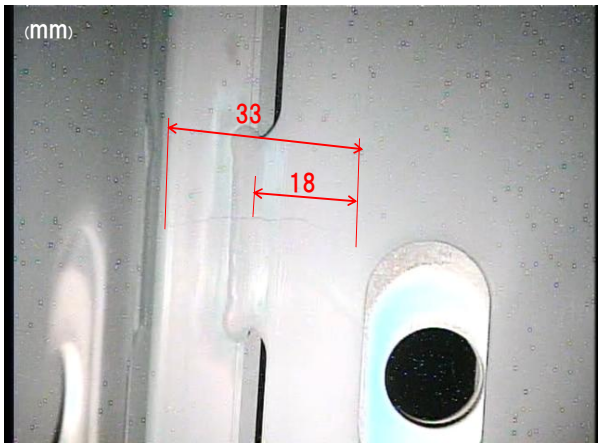
コーナー３　５面　５タブ





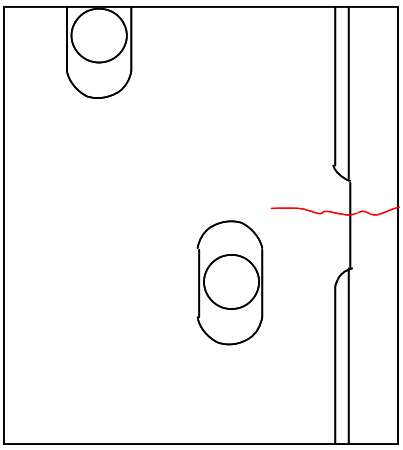
コーナー４　８面　５タブ

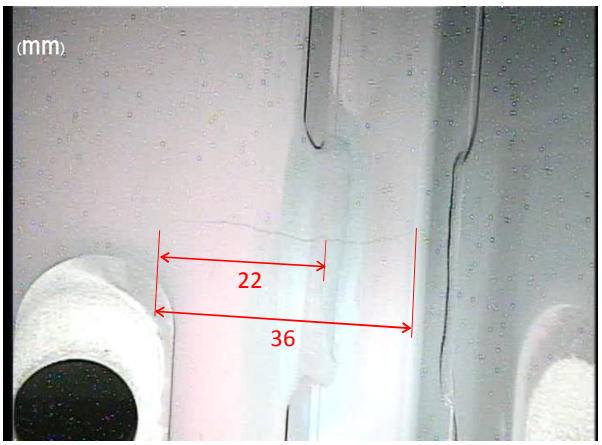




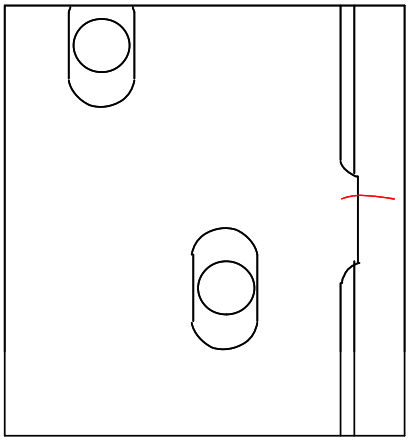
コーナー１　１面　６タブ

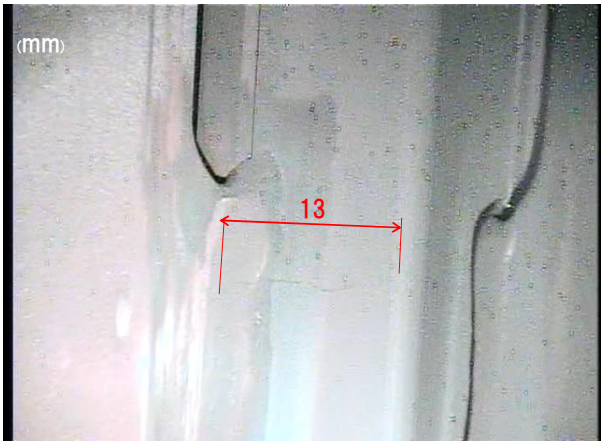
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－034）（3／9）



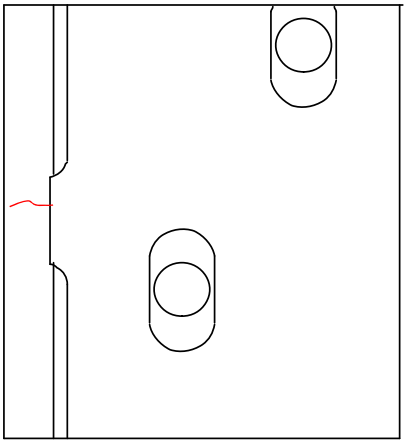


コーナー４　８面　６タブ





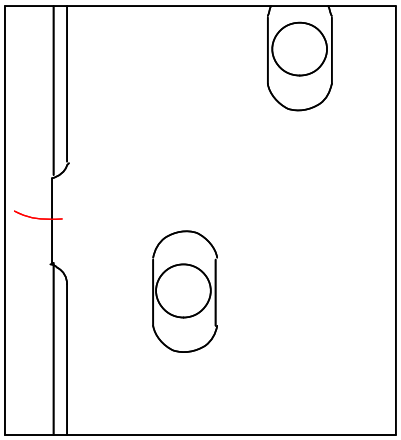
コーナー２　４面　９タブ

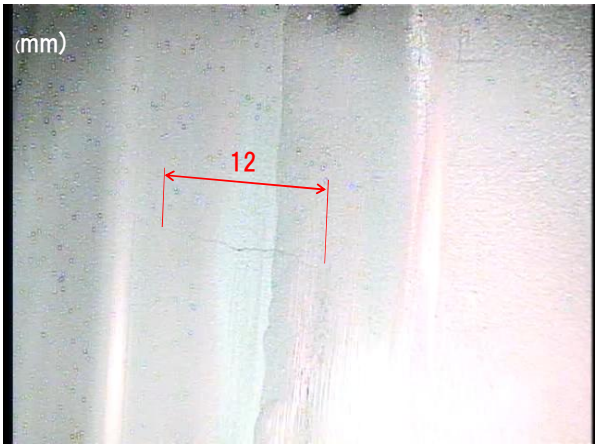




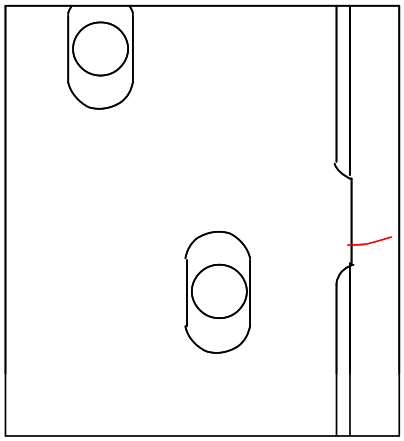
コーナー３　５面　９タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－034）（4／9）



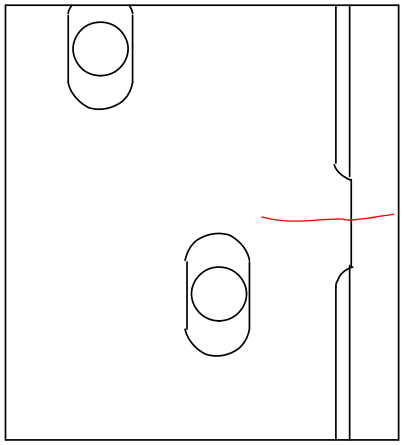


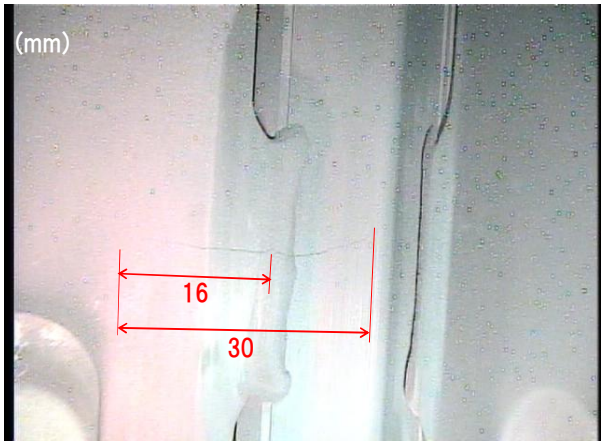
コーナー１　１面　１０タブ





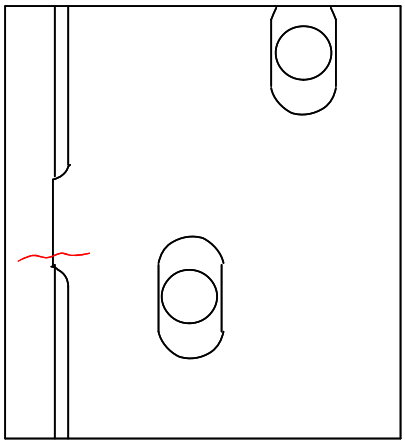
コーナー２　４面　１０タブ

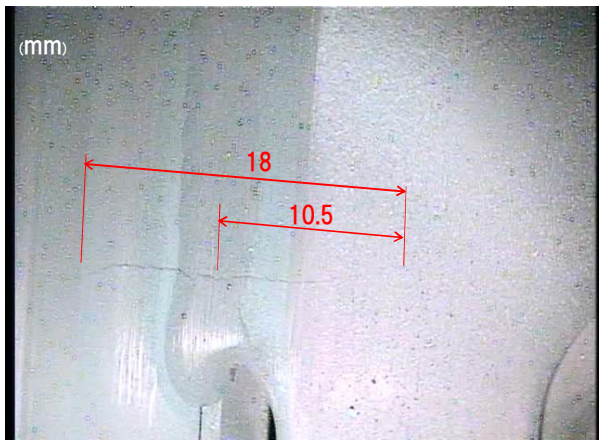




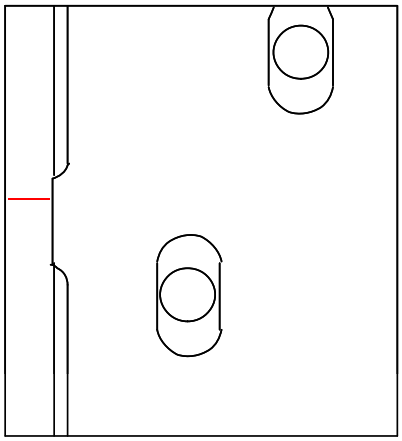
コーナー４　８面　１０タブ

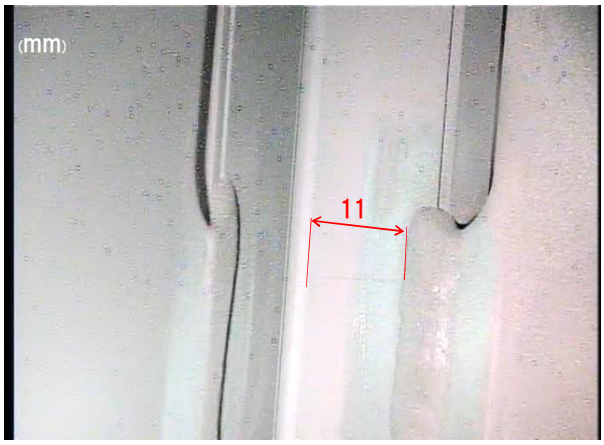
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況（製造番号:HH－46－034）（5／9）



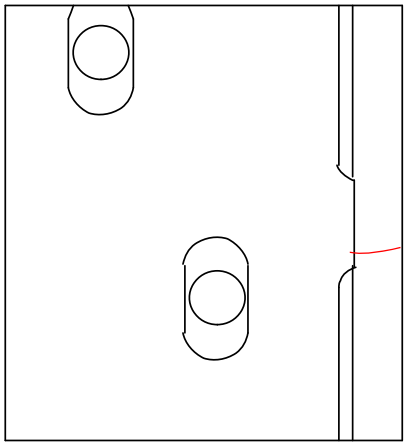


コーナー１　１面　１１タブ





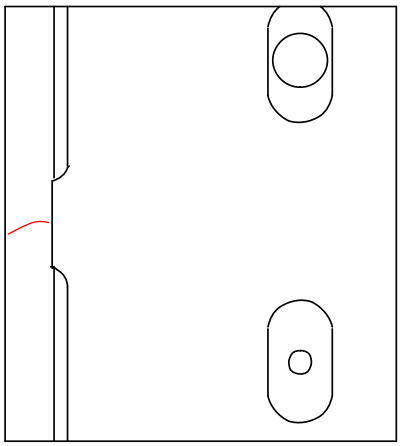
コーナー３　５面　１１タブ

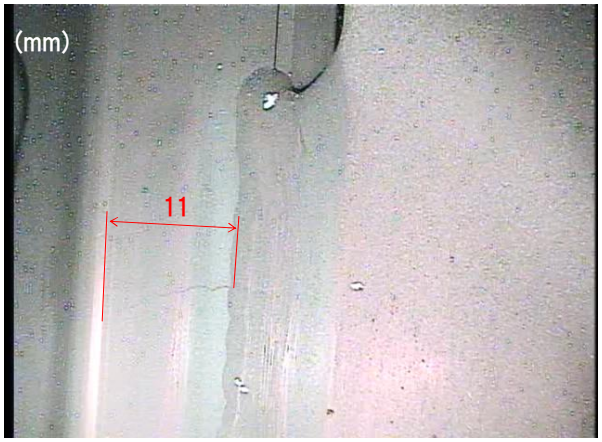




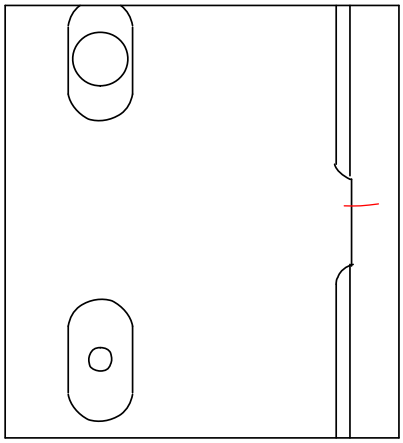
コーナー４　８面　１１タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－034）（6／9）



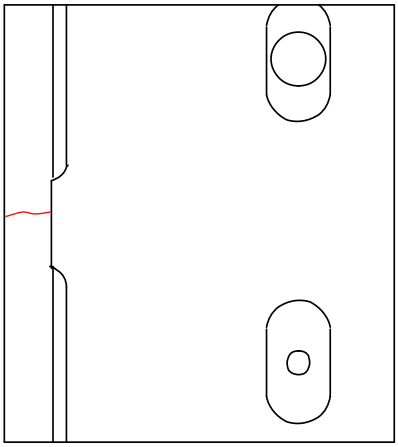


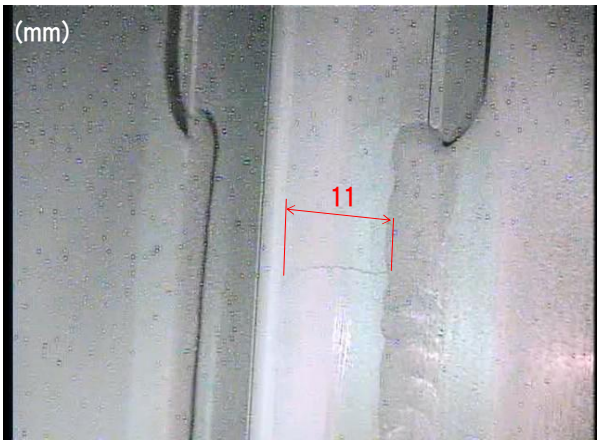
コーナー１　１面　１３タブ





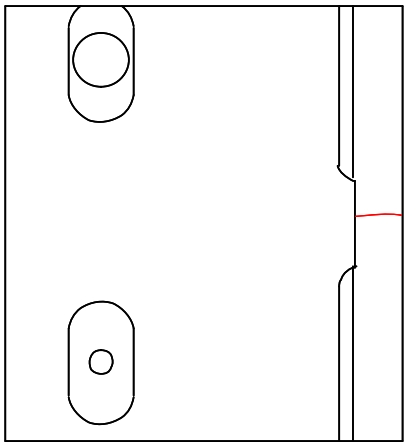
コーナー２　４面　１３タブ

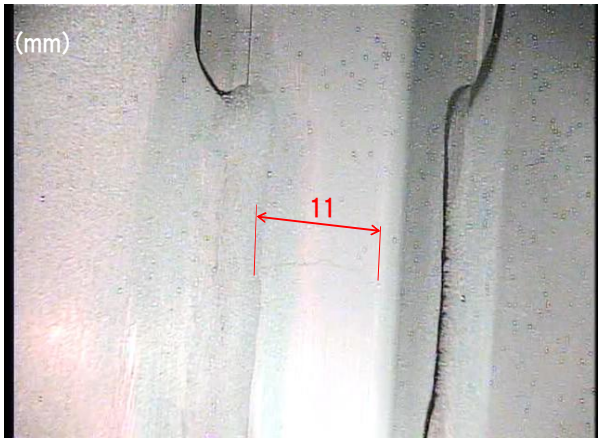




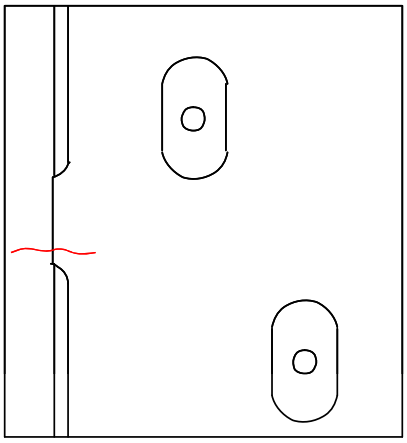
コーナー３　５面　１３タブ

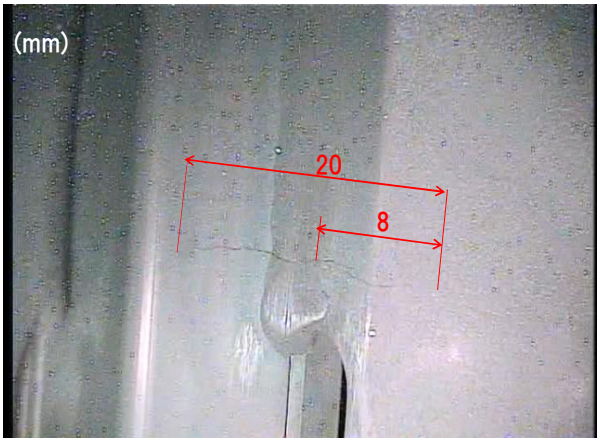
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－034）（7／9）



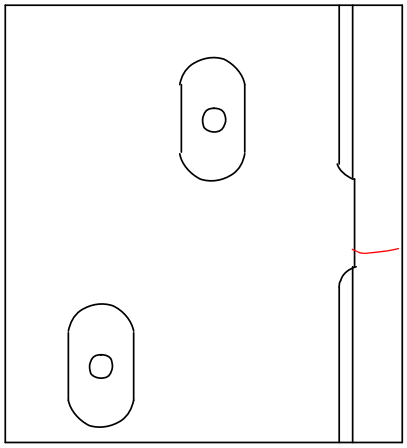


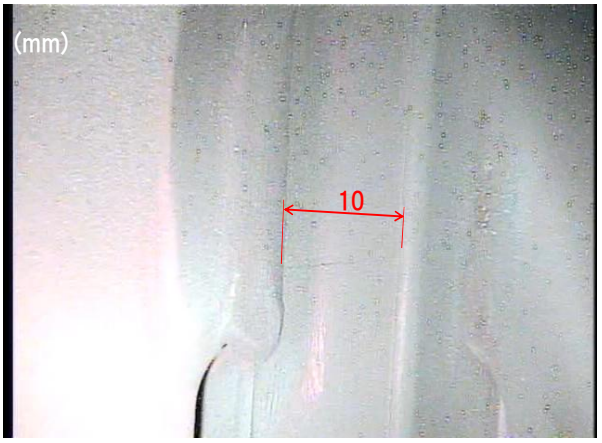
コーナー４　８面　１３タブ





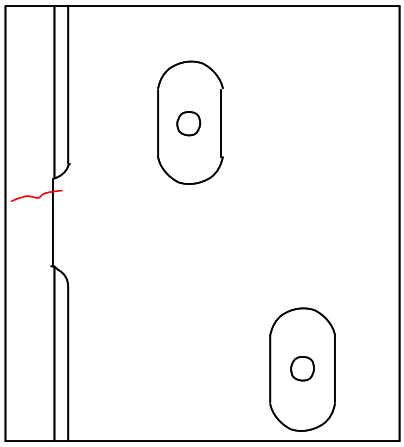
コーナー１　１面　１４タブ

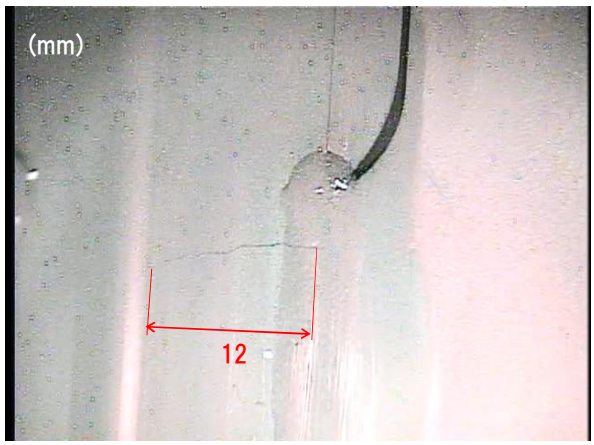




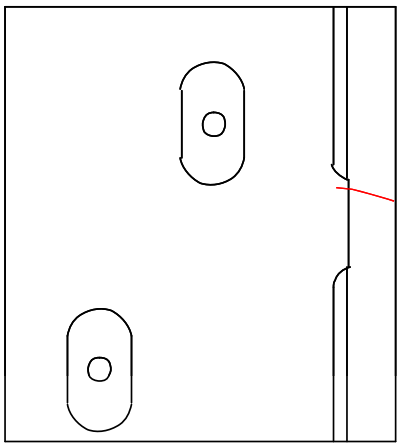
コーナー４　８面　１４タブ

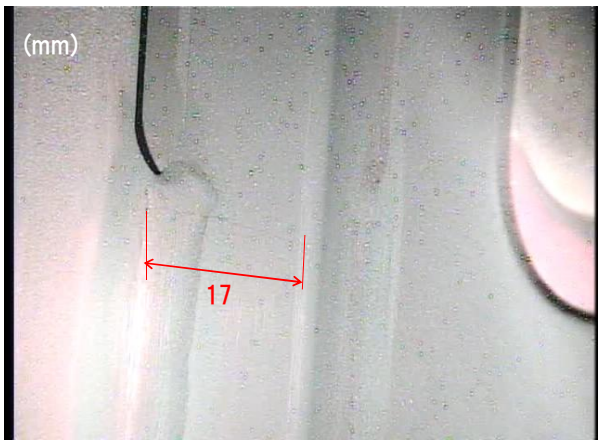
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－034）（8／9）





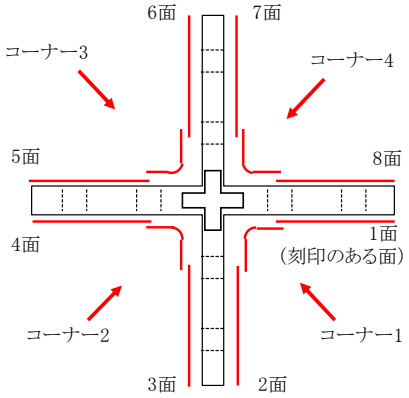
コーナー１　１面　１５タブ

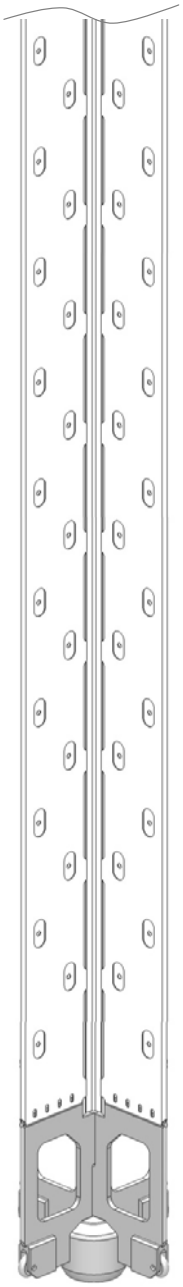


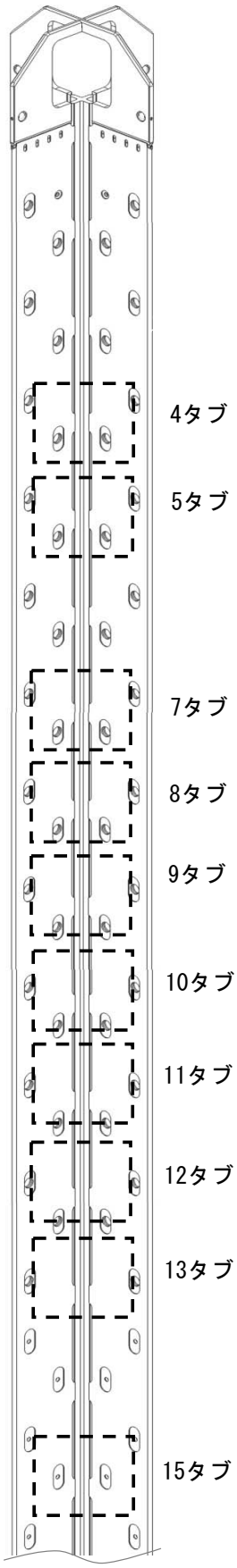


コーナー４　８面　１５タブ

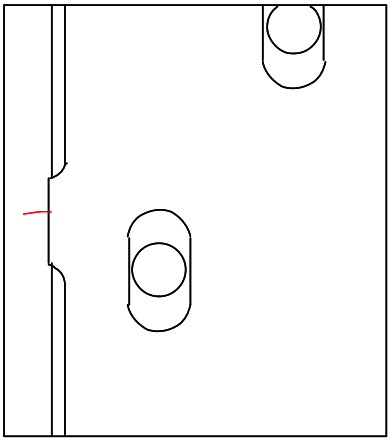
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－034）（9／9）

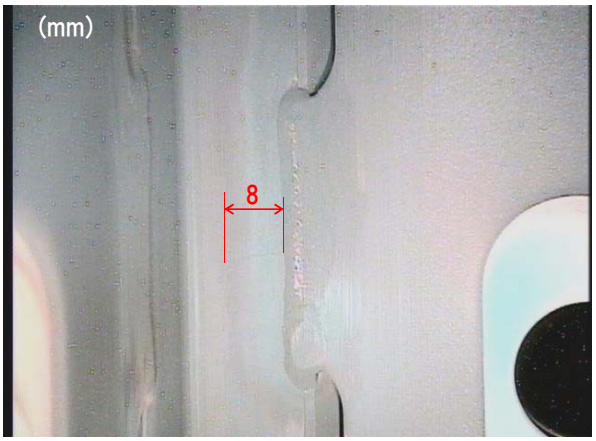




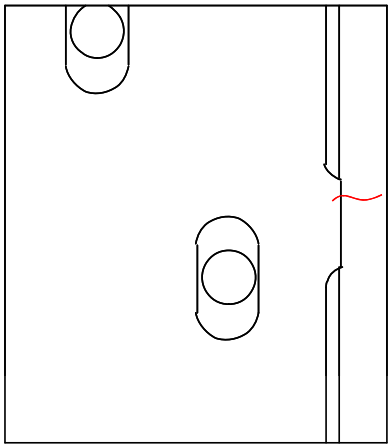


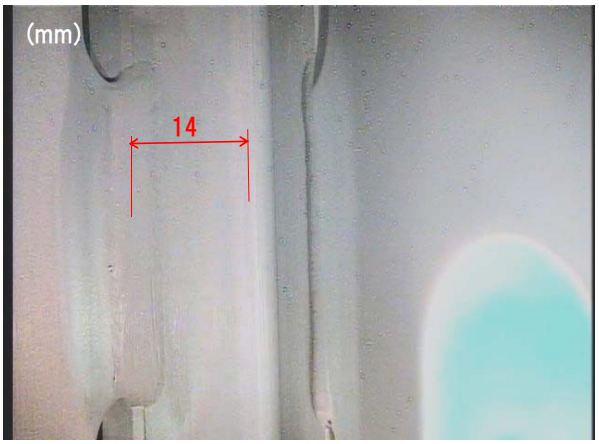
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－035）（1／8）



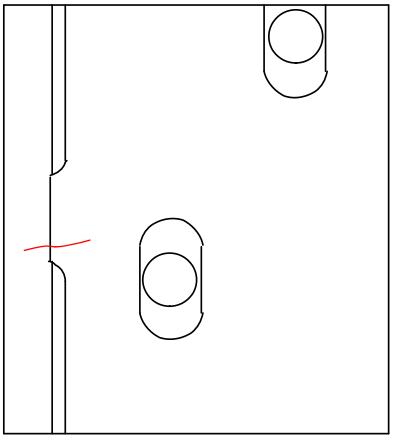


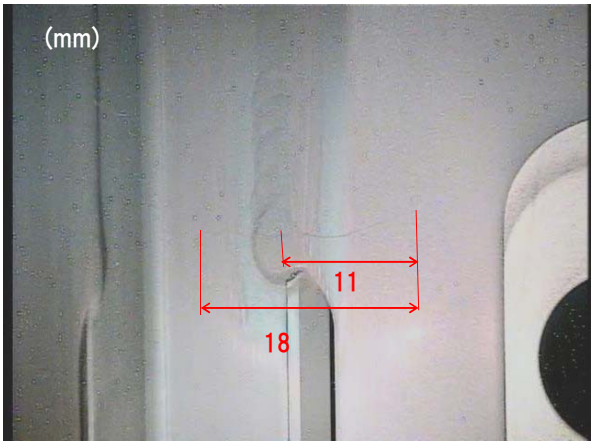
コーナー３　５面　４タブ





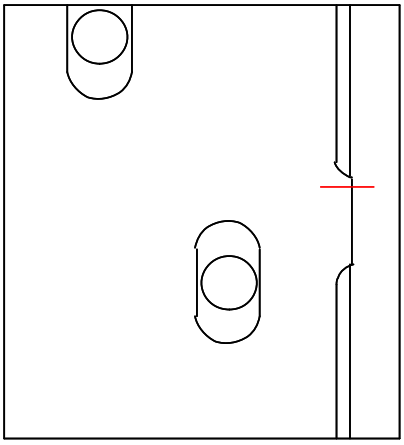
コーナー４　８面　５タブ

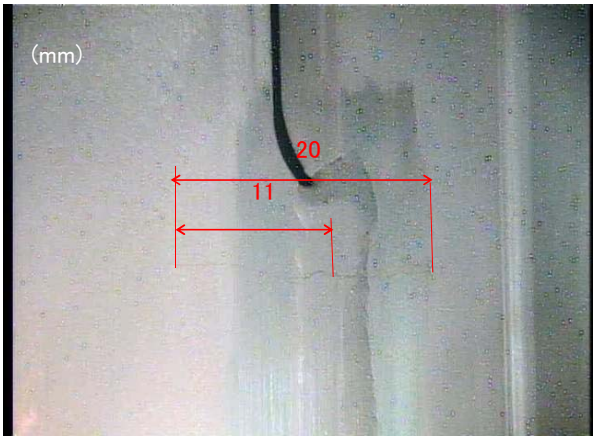




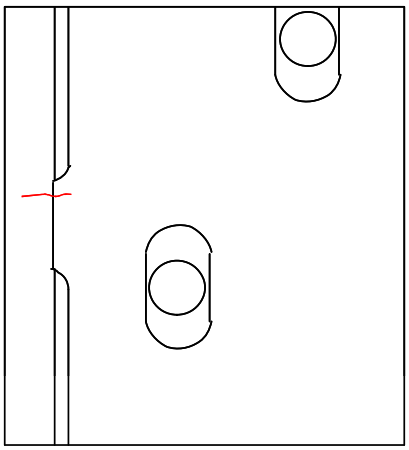
コーナー1　1面　7タブ

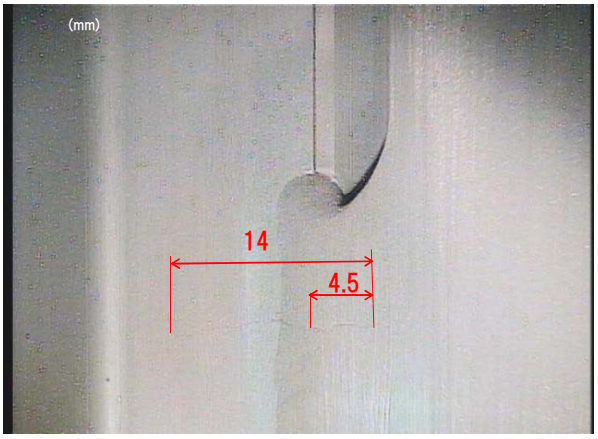
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－035）（2／8）



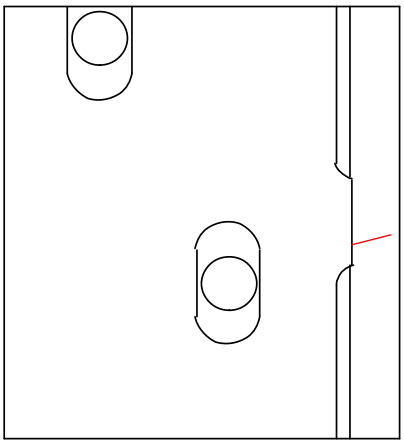


コーナー2　4面　7タブ





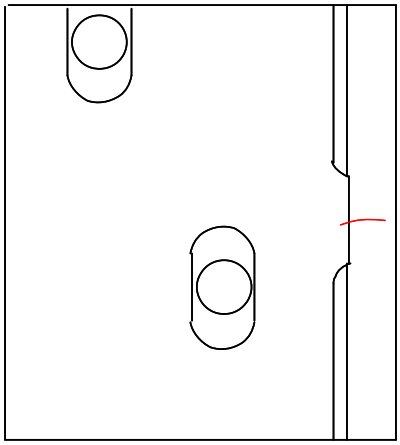
コーナー3　5面　7タブ





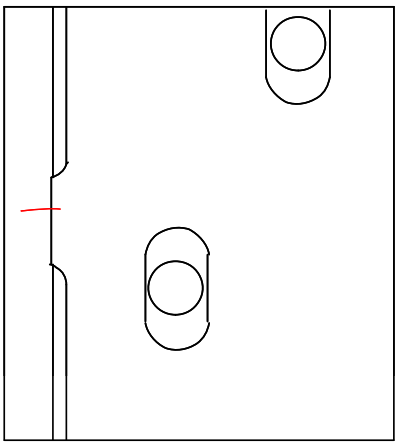
コーナー4　8面　7タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－035）（3／8）



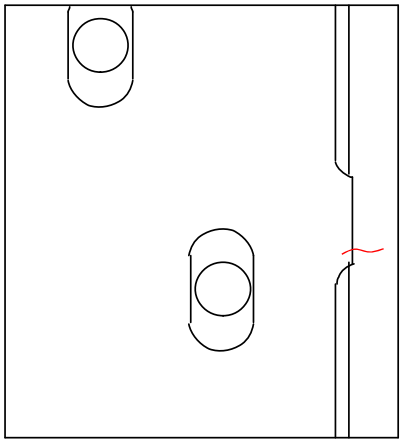


コーナー2　4面　8タブ





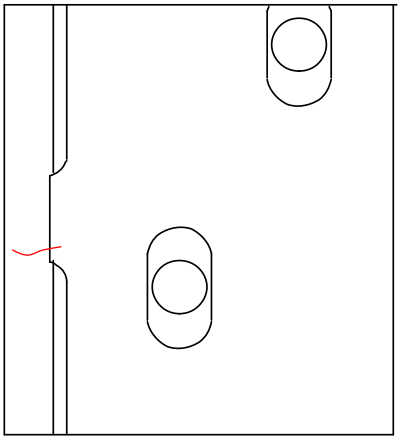
コーナー3　5面　8タブ

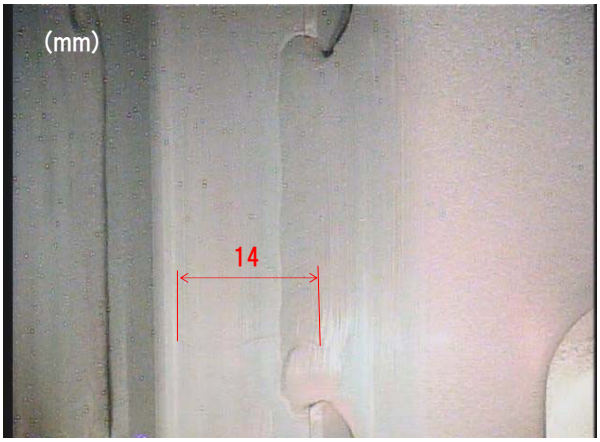




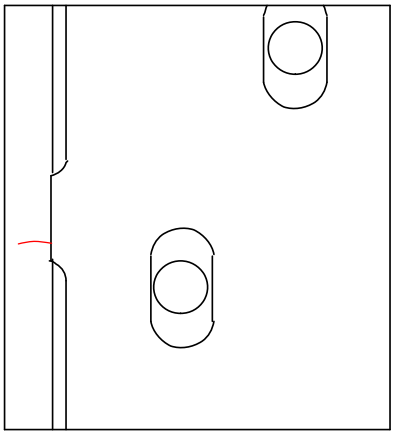
コーナー2　4面　9タブ

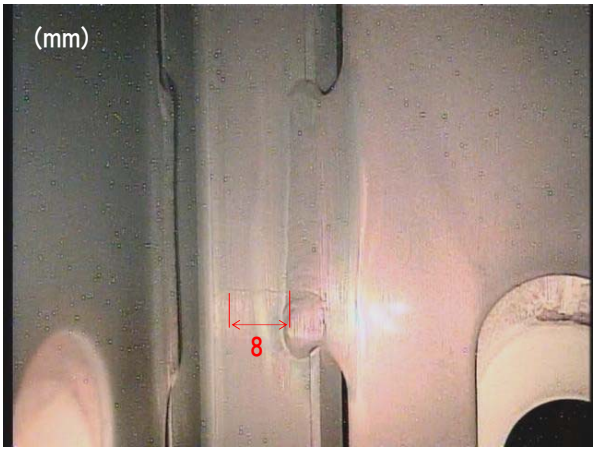
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－035）（4／8）



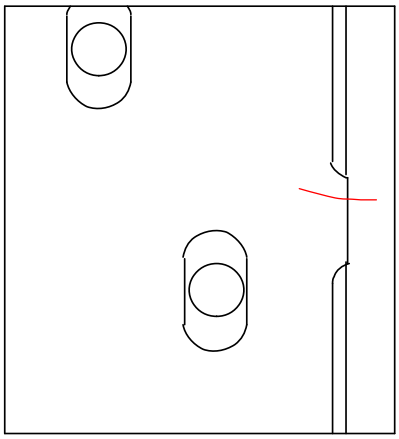


コーナー3　5面　9タブ





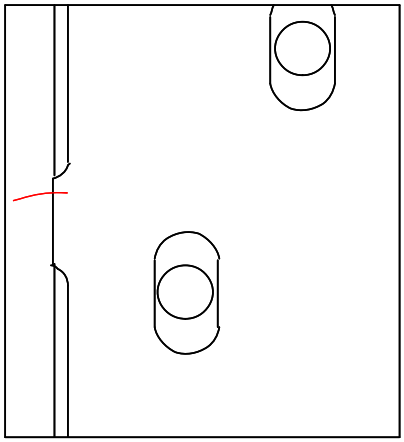
コーナー1　1面　10タブ





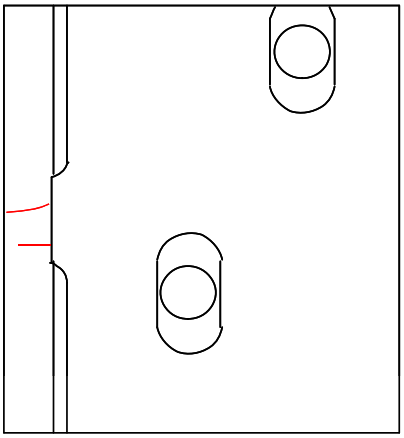
コーナー2　4面　10タブ

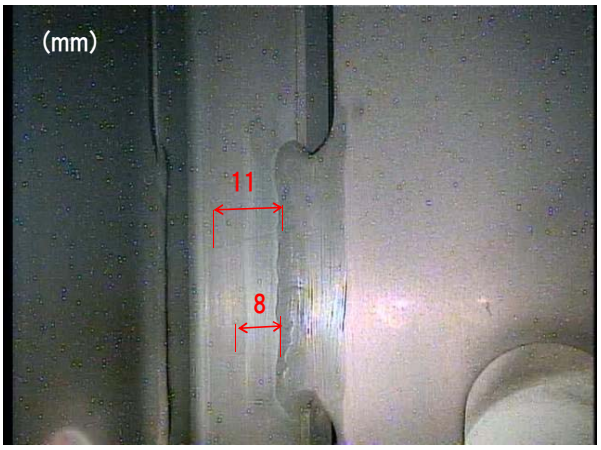
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－035）（5／8）



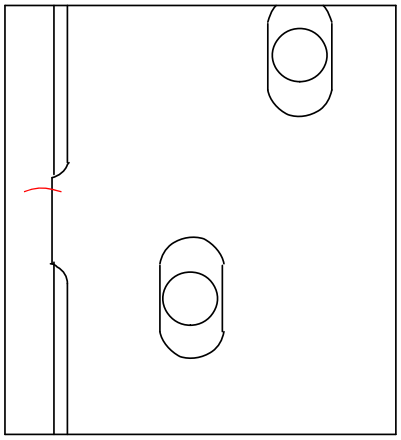


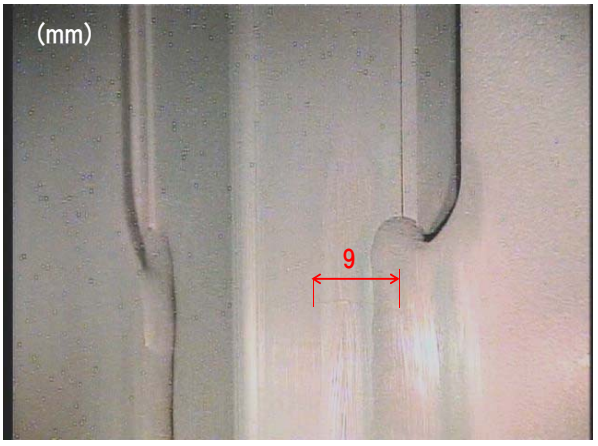
コーナー3　5面　10タブ





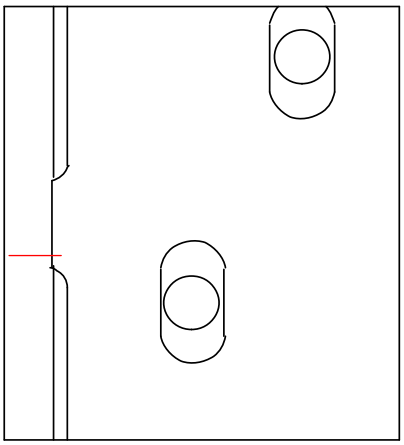
コーナー1　1面　11タブ

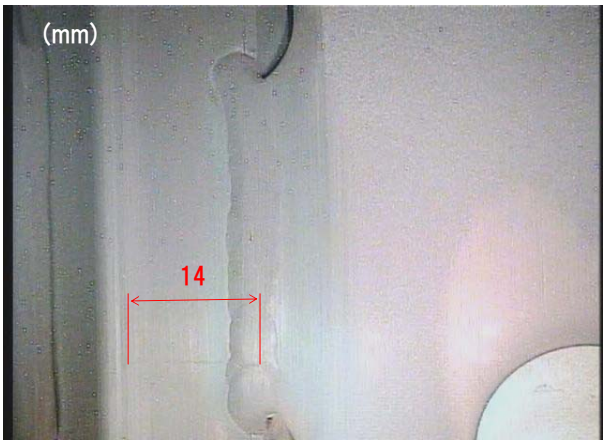




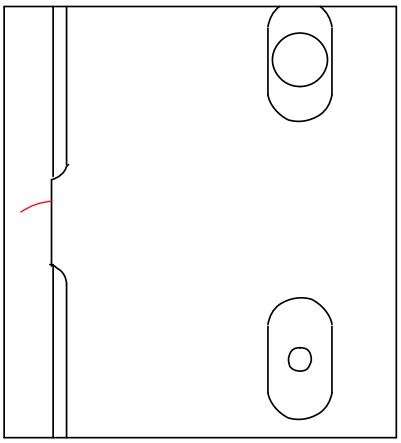
コーナー1　1面　12タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－035）（6／8）



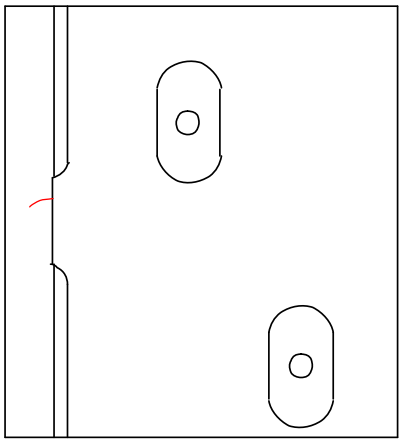


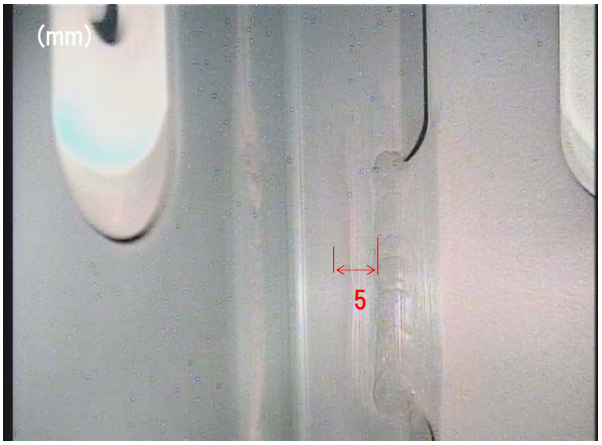
コーナー3　5面　12タブ





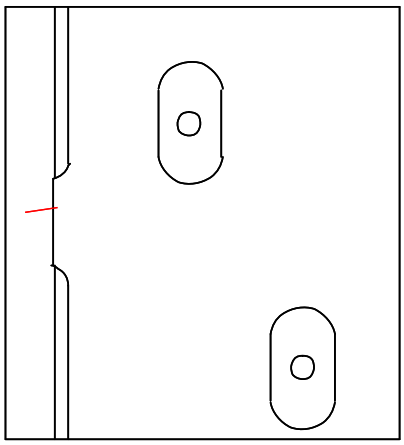
コーナー3　5面　13タブ

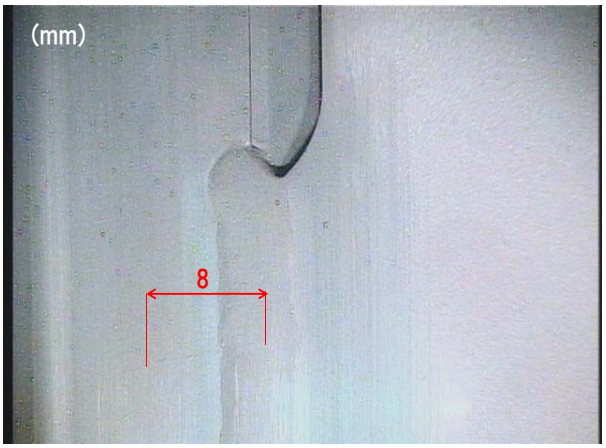




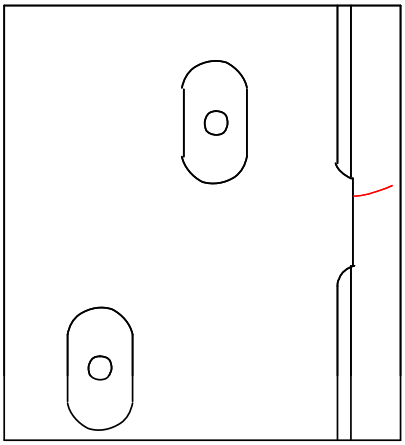
コーナー1　1面　15タブ

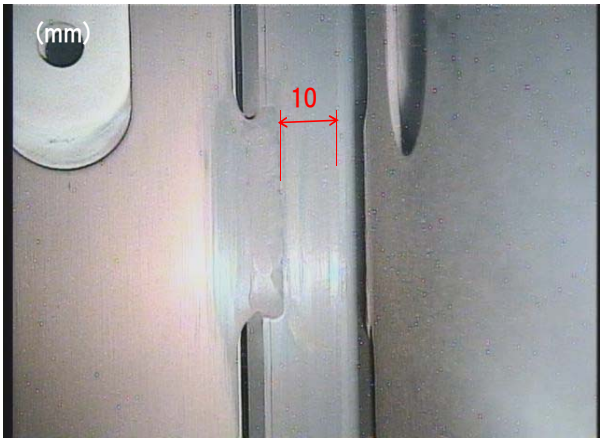
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－035）（7／8）





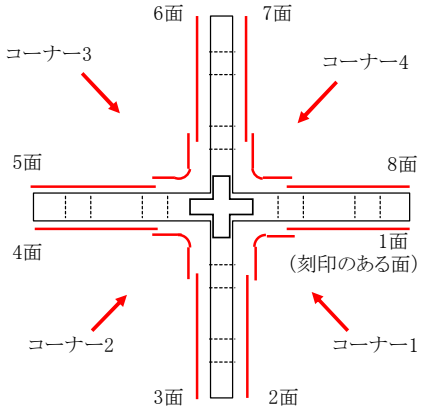
コーナー3　5面　15タブ

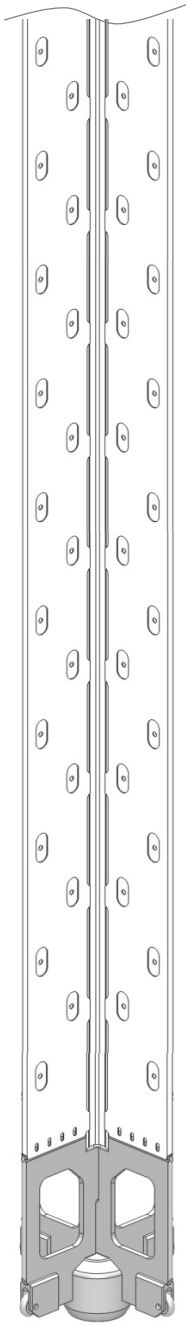


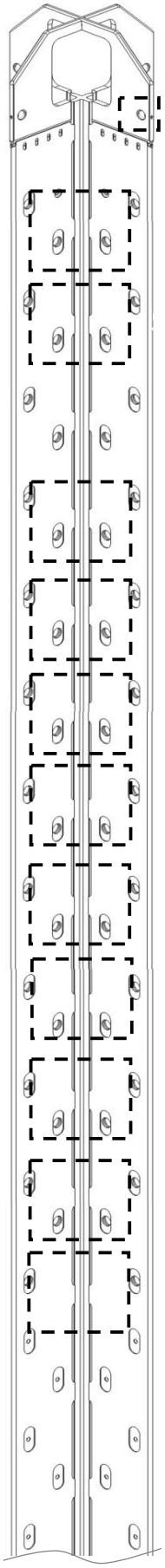


コーナー4　8面　15タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－035）（8／8）

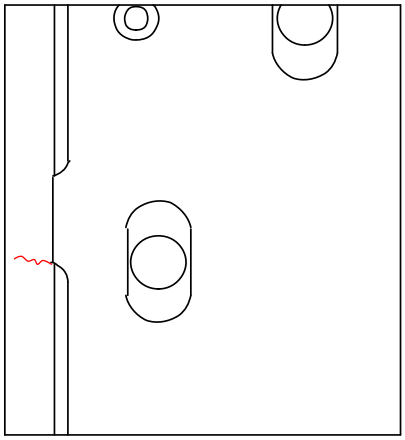


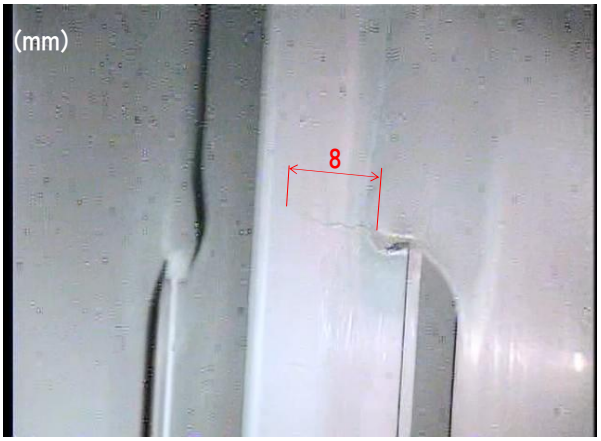




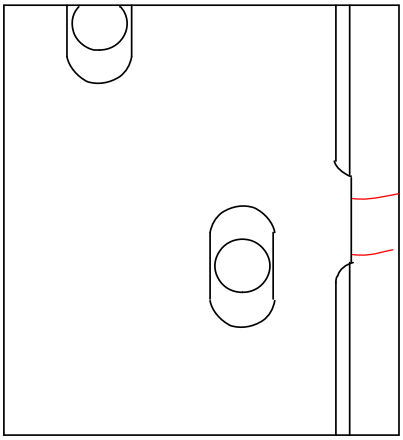
ひび有り位置

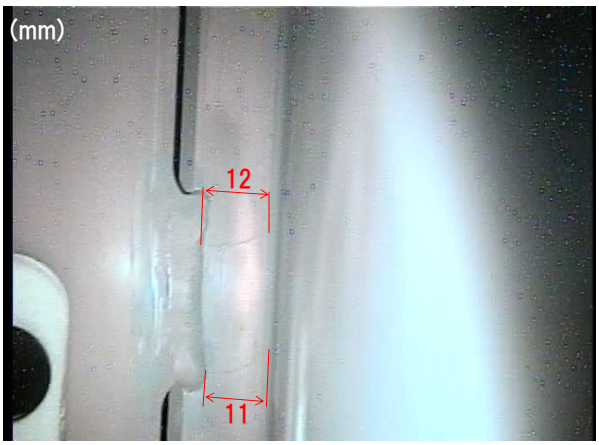
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－036）（1／12）



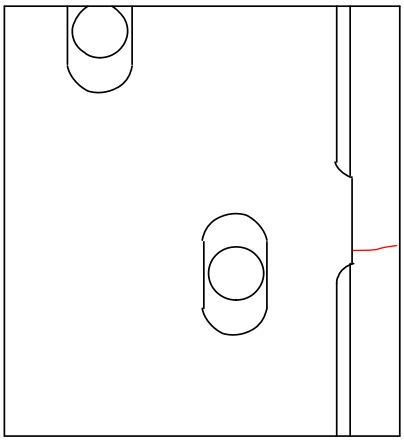


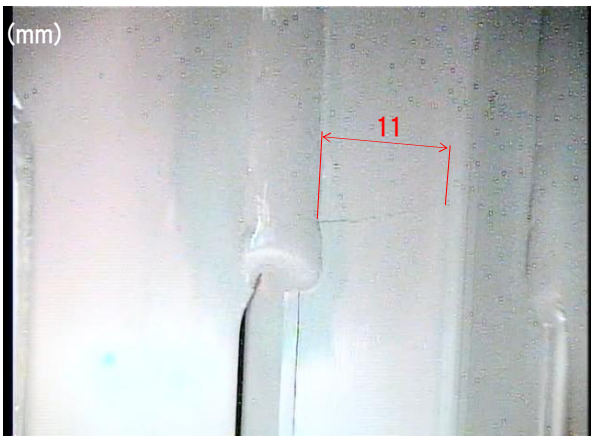
コーナー1　1面　　2タブ





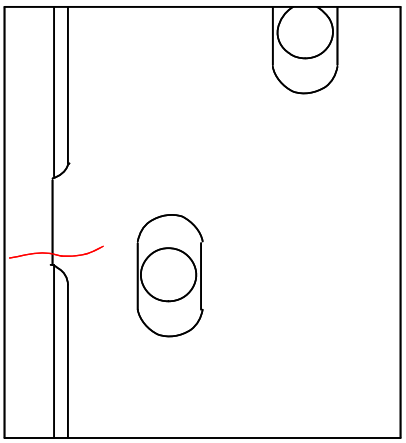
コーナー2　4面　　3タブ

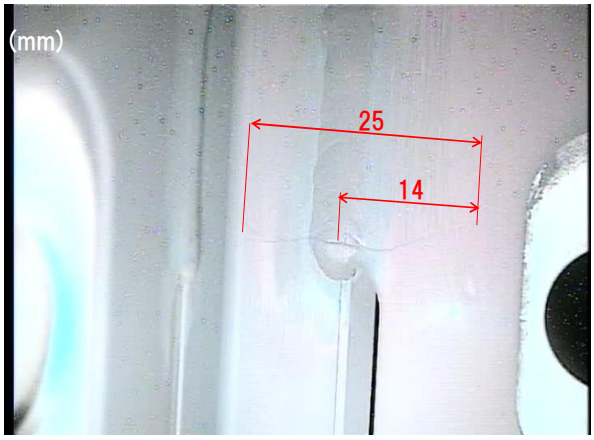




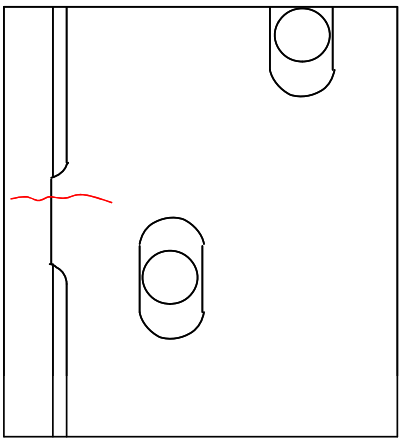
コーナー2　4面　　5タブ

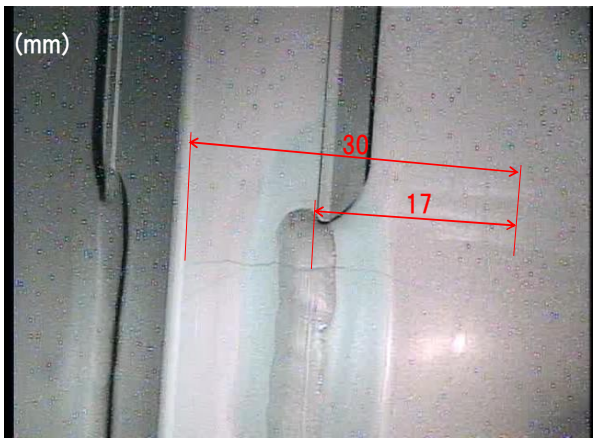
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－036）（2／12）



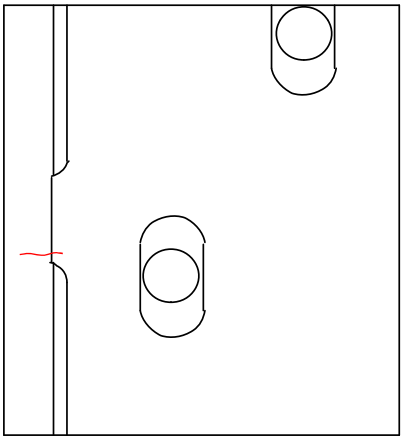


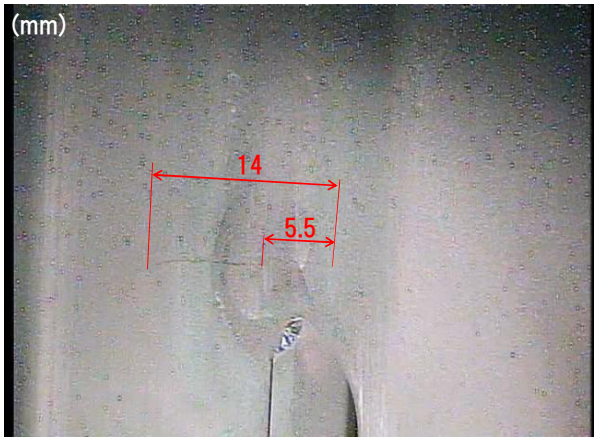
コーナー3　5面　　5タブ





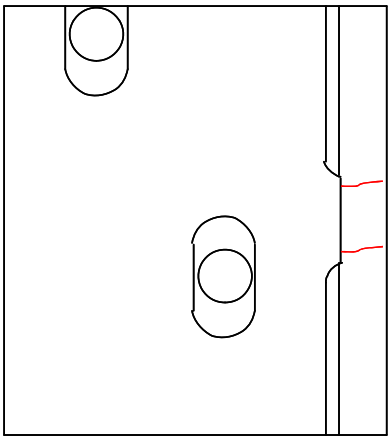
コーナー1　1面　　6タブ





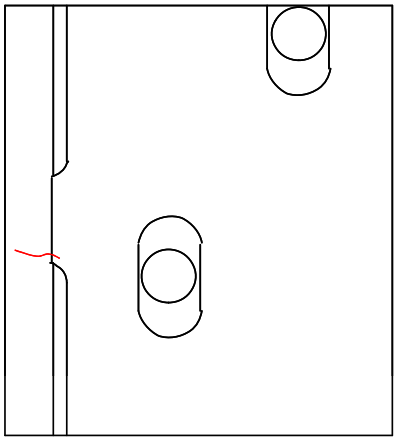
コーナー2　3面　　6タブ

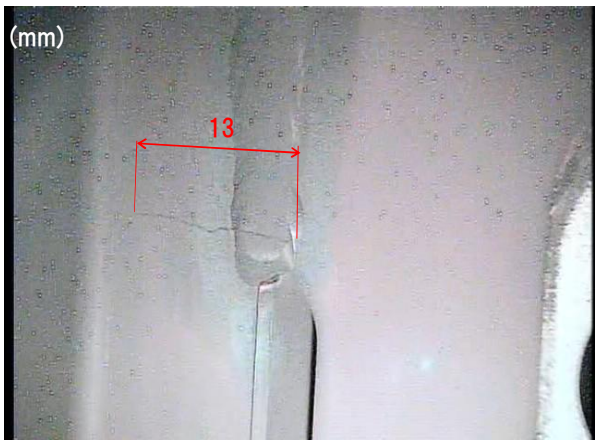
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－036）（3／12）



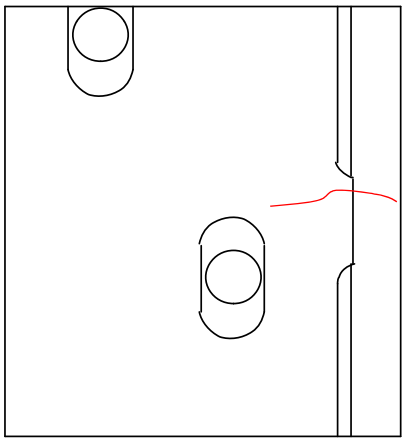


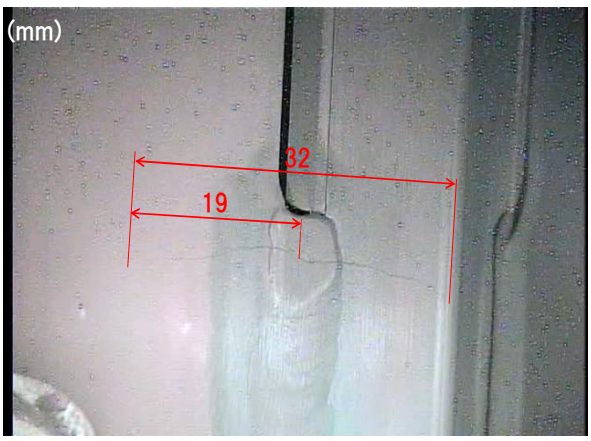
コーナー2　4面　　6タブ





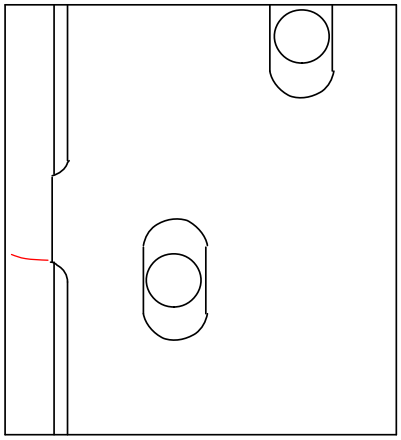
コーナー3　5面　　6タブ

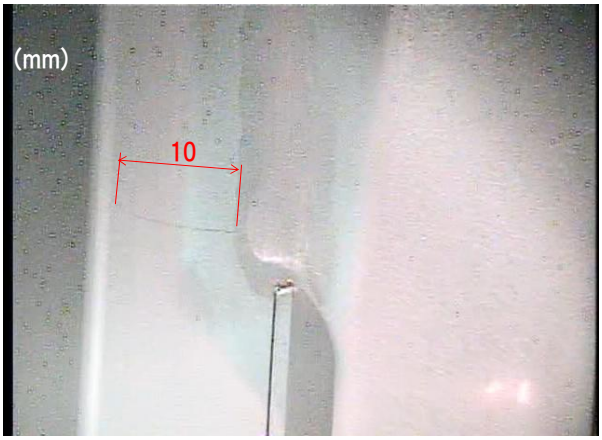




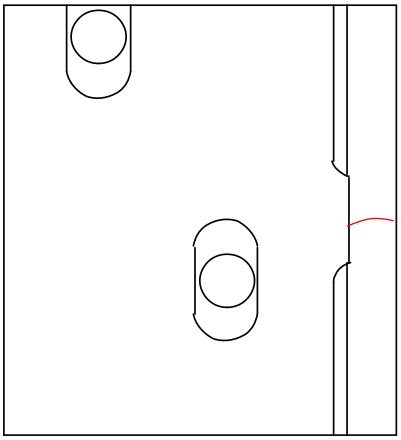
コーナー4　8面　　6タブ

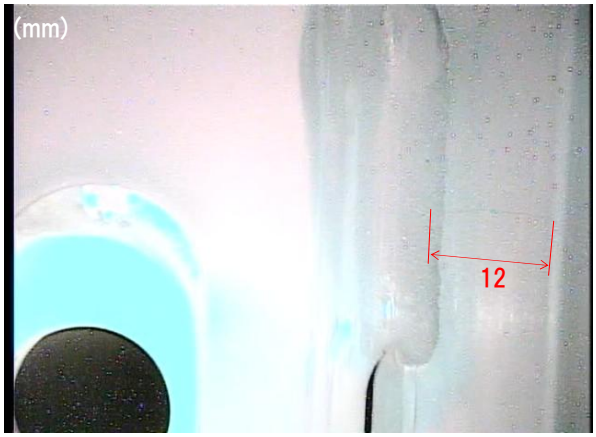
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－036）（4／12）



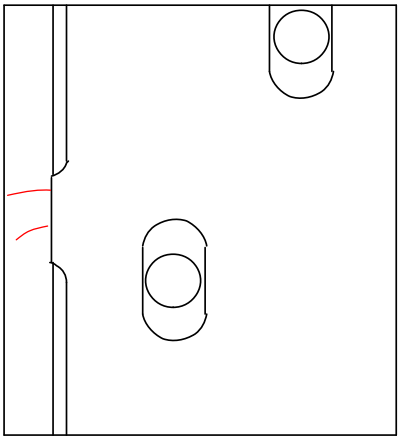


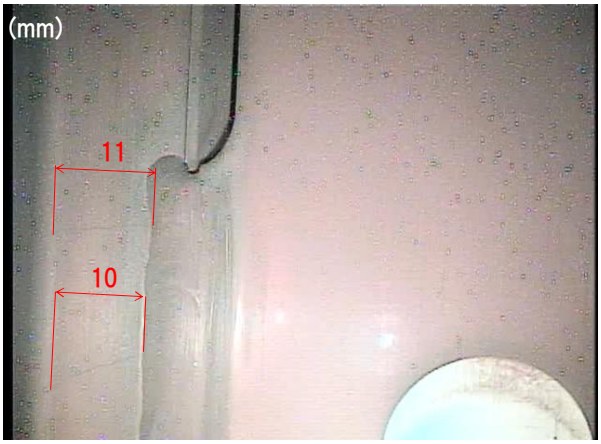
コーナー1　1面　7タブ





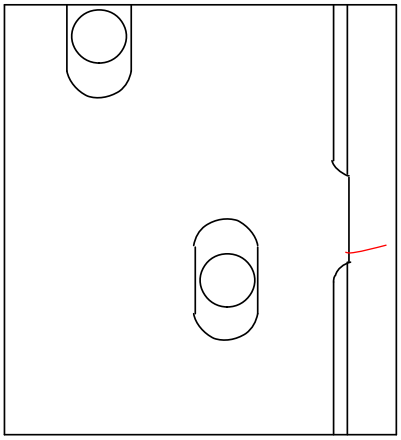
コーナー2　4面　7タブ

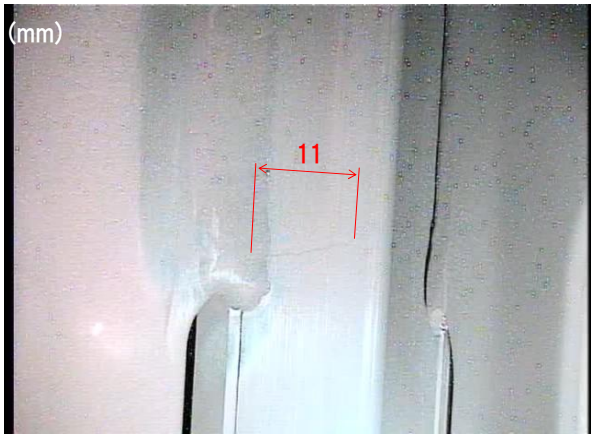




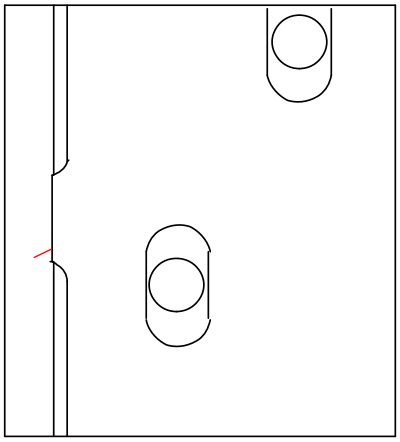
コーナー3　5面　7タブ

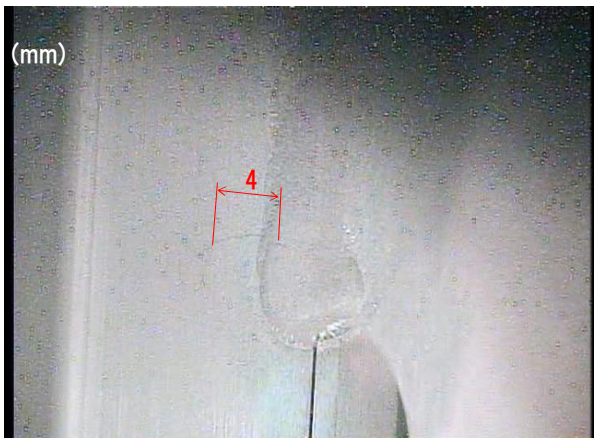
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－036）（5／12）



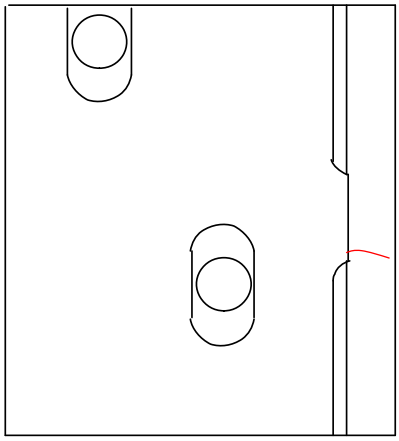


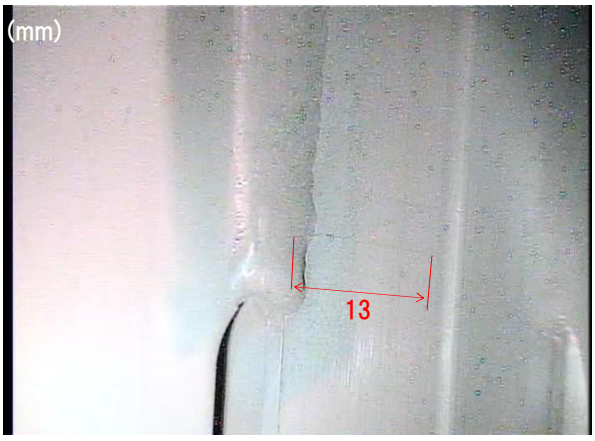
コーナー4　８面　　7タブ





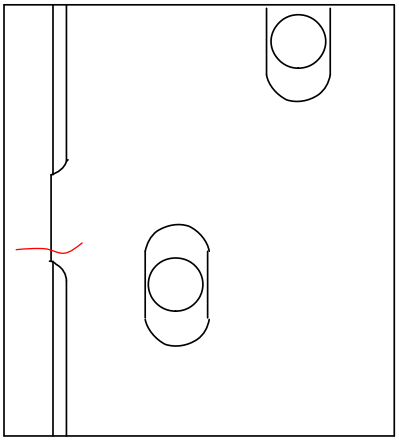
コーナー2　３面　　8タブ

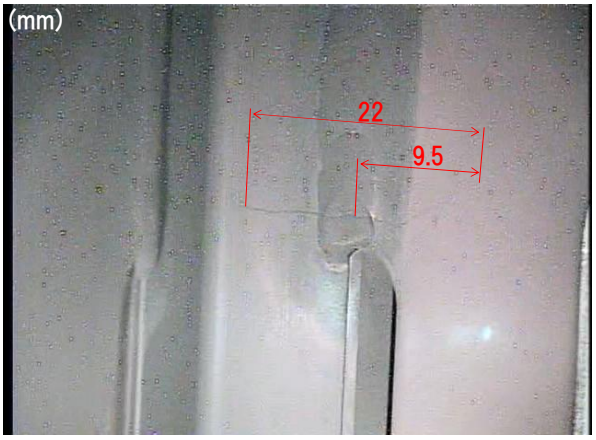




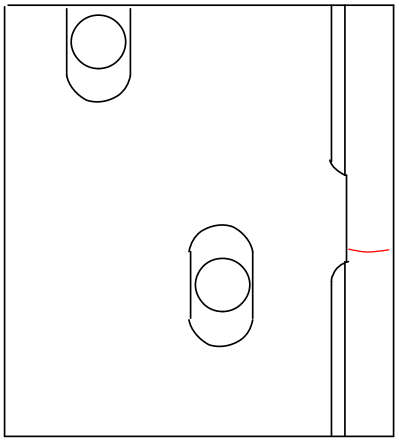
コーナー2　４面　　8タブ

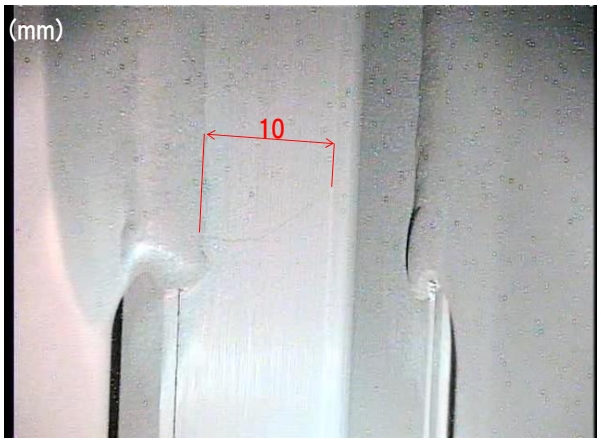
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－036）（6／12）



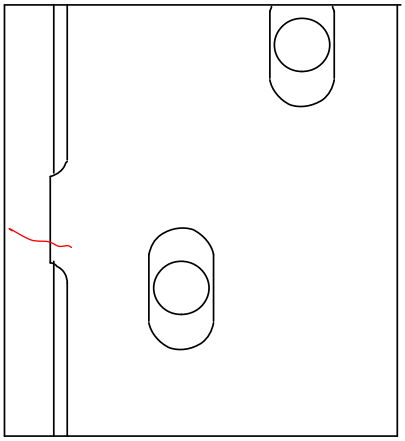


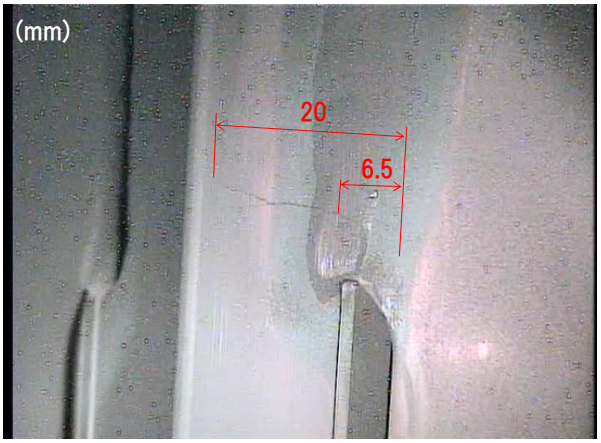
コーナー3　5面　　8タブ





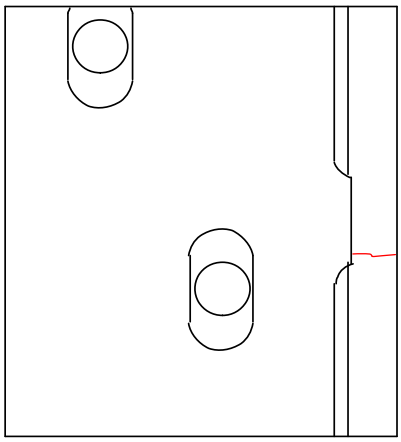
コーナー4　8面　　8タブ





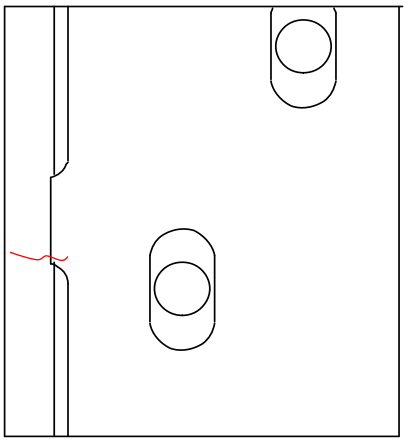
コーナー1　1面　　9タブ

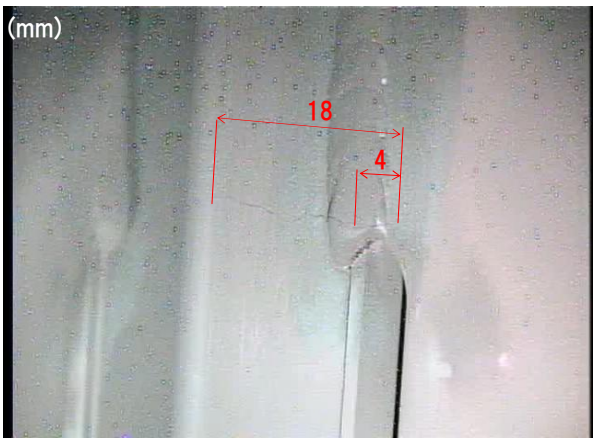
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－036）（7／12）



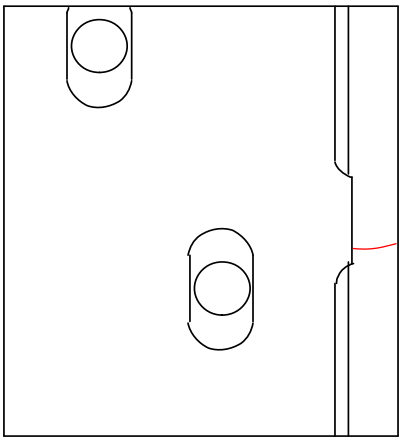


コーナー2　4面　9タブ





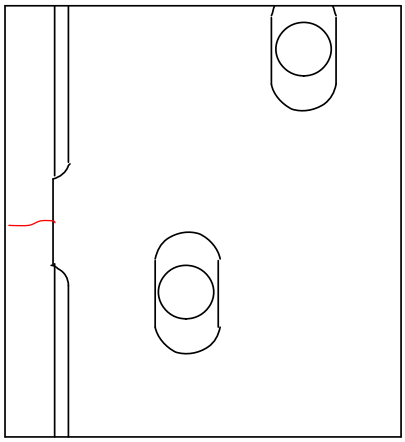
コーナー3　5面　9タブ

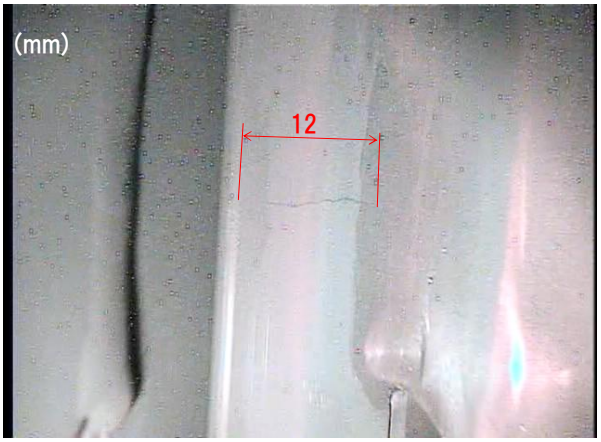




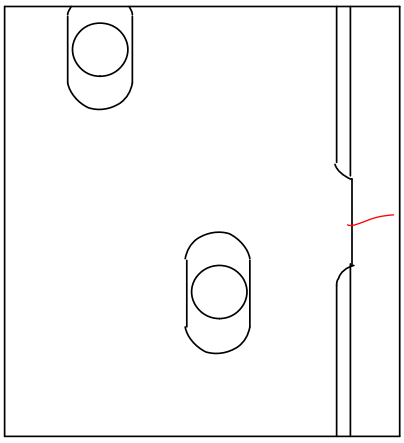
コーナー4　8面　9タブ

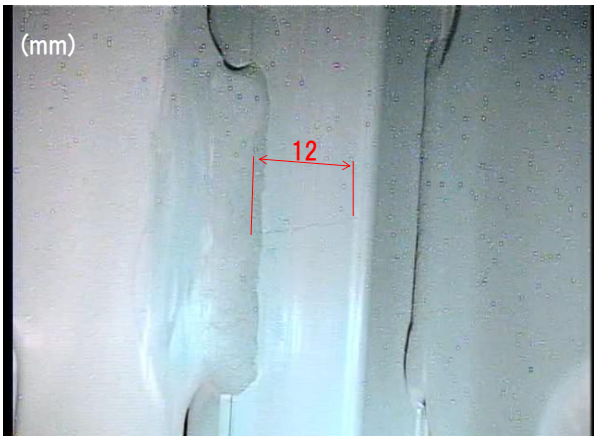
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－036）（8／12）



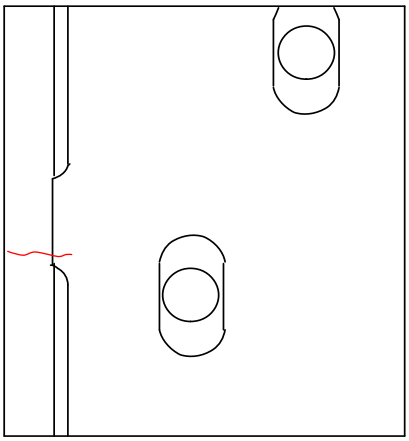


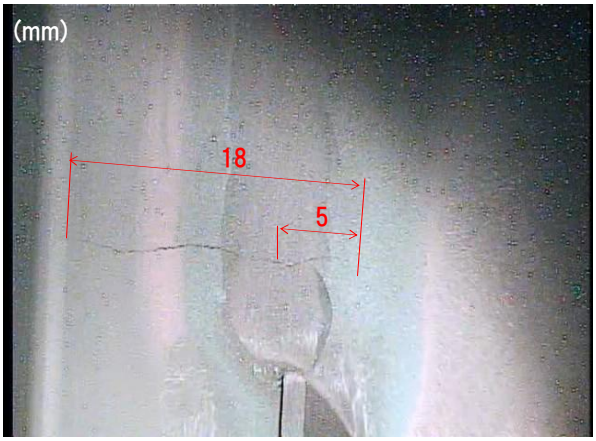
コーナー1　1面　10タブ





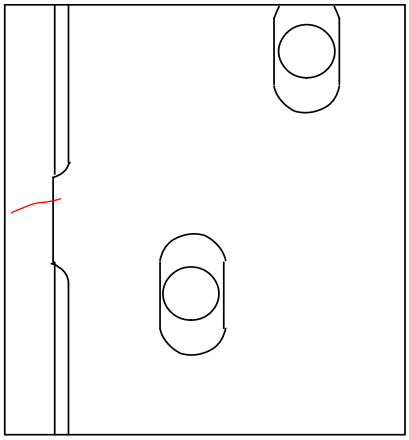
コーナー4　8面　10タブ





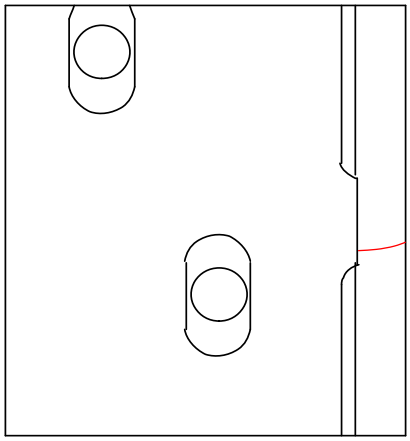
コーナー1　1面　11タブ

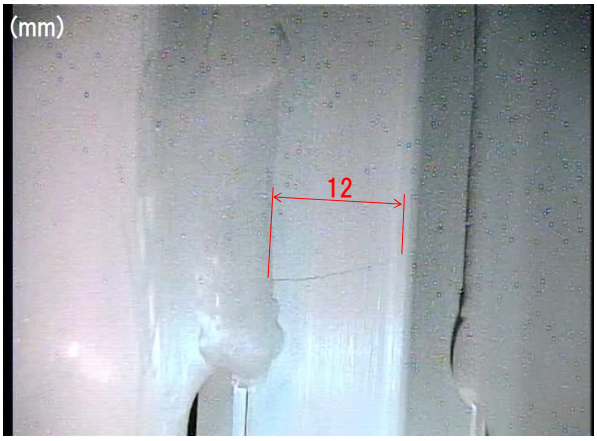
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－036）（9／12）



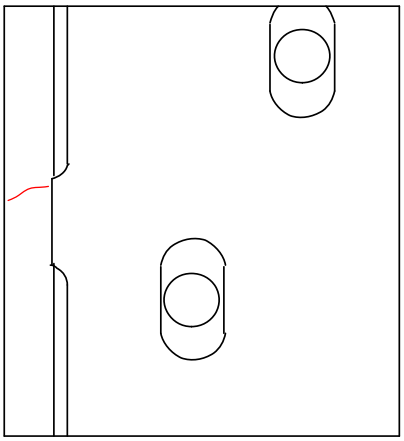


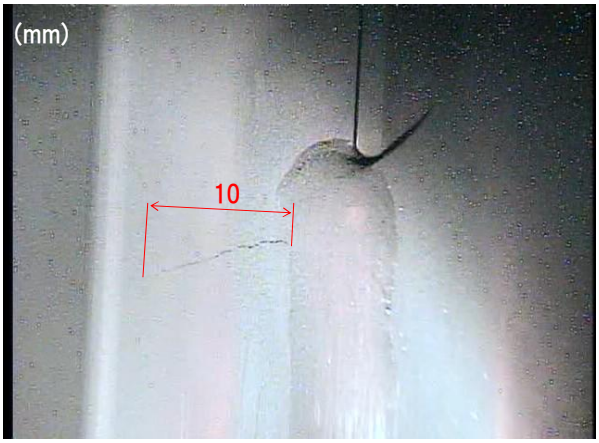
コーナー3　5面　　11タブ





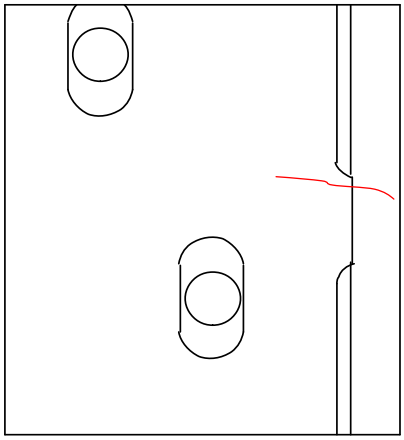
コーナー4　8面　　11タブ

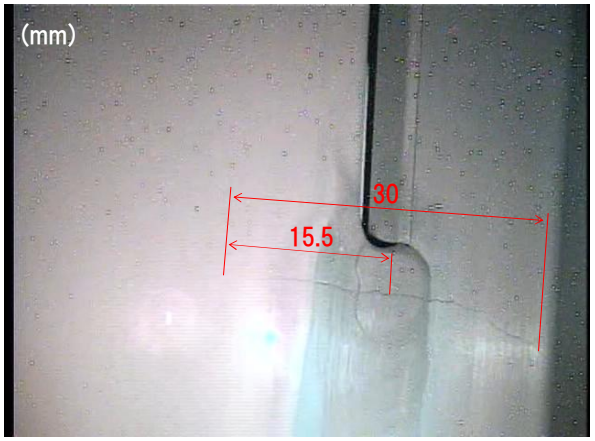




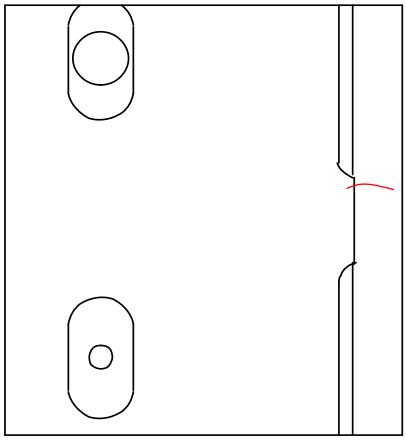
コーナー1　1面　　12タブ

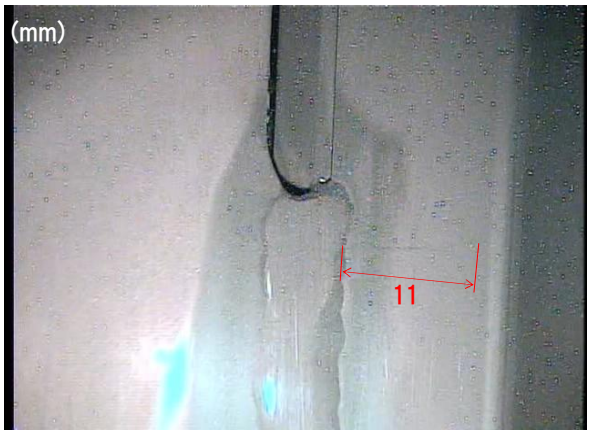
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－036）（10／12）





コーナー4　8面　12タブ



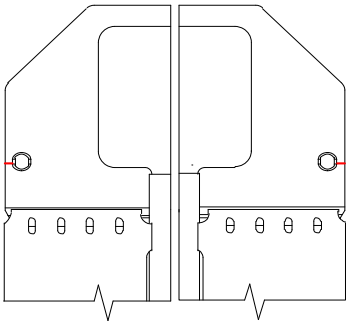


コーナー2　4面　13タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－036）（11／12）

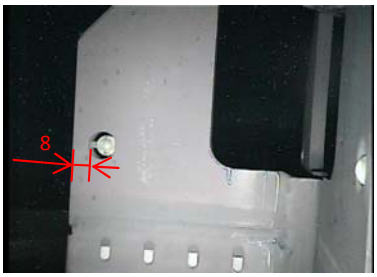


２面

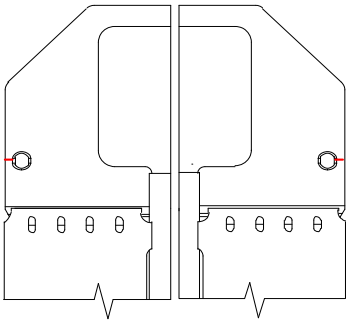




１面



４面

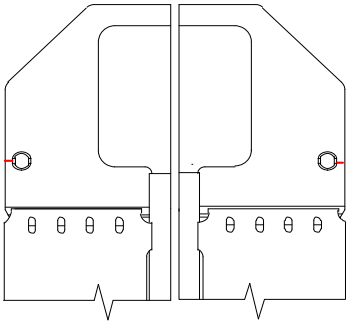




３面



６面

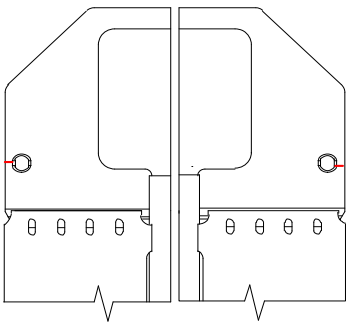




５面



８面

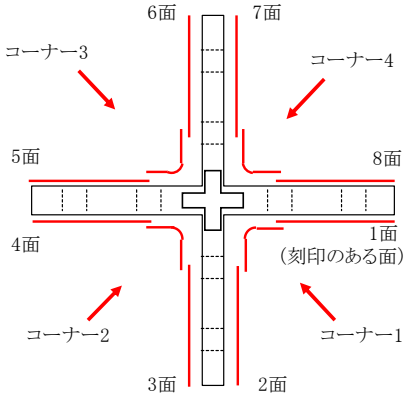


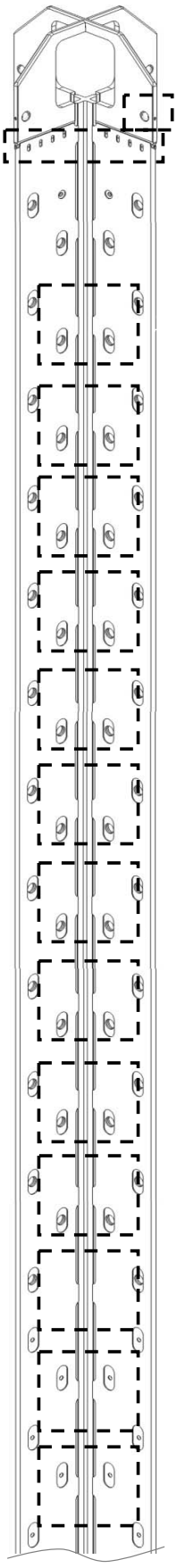


７面

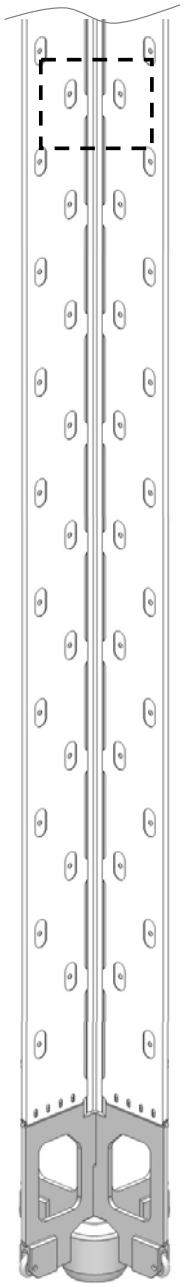
単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－036）（12／12）



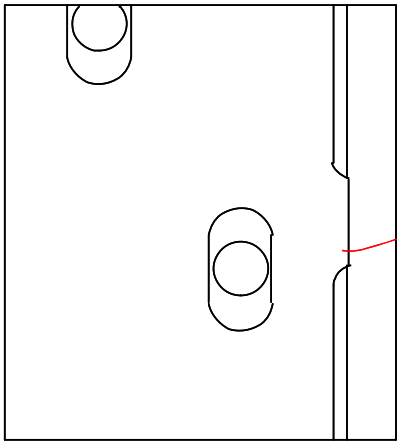


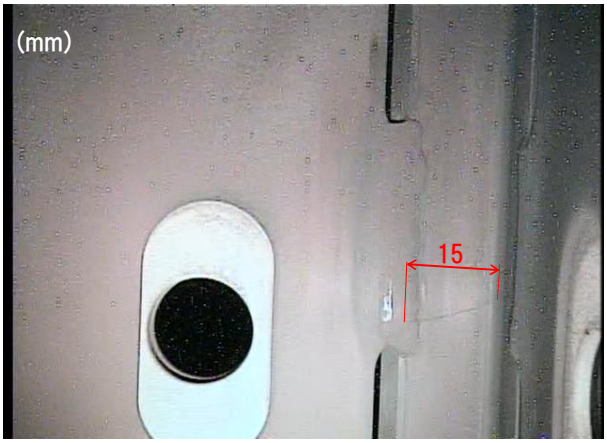
16タブ



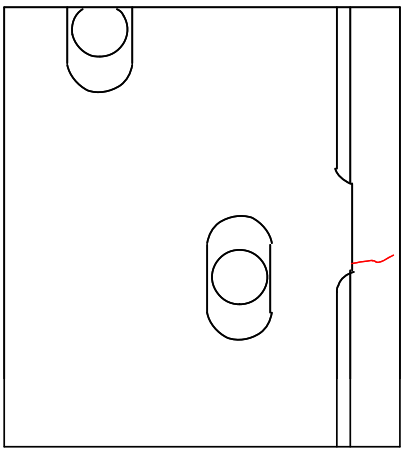
ひび有り位置

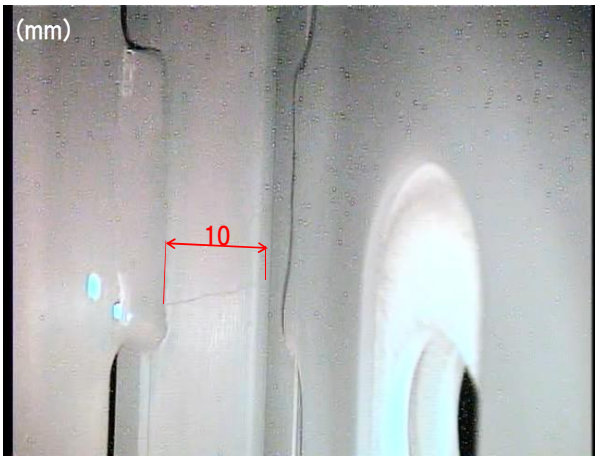
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（1／19）



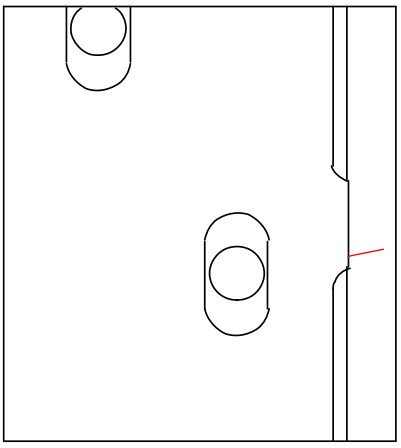


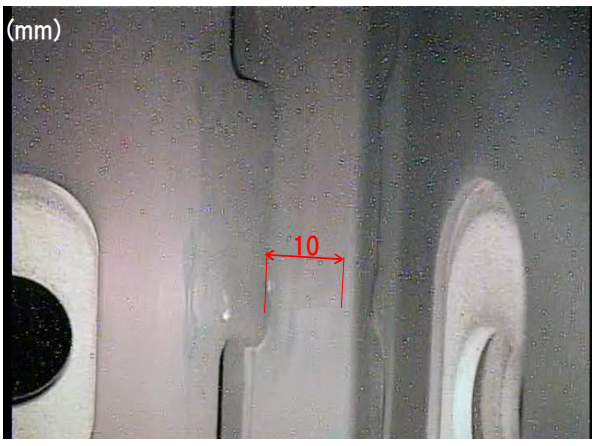
コーナー2　4面　3タブ





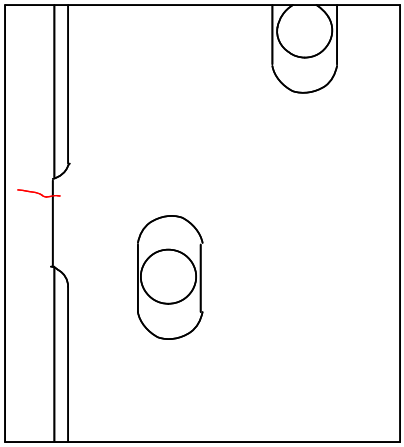
コーナー2　4面　4タブ





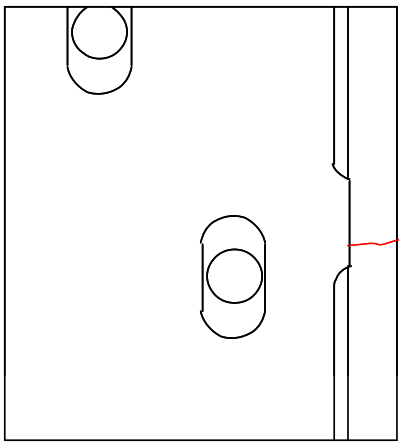
コーナー4　8面　4タブ

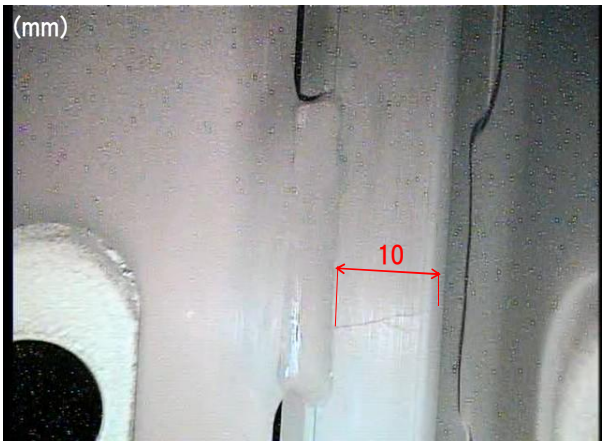
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（2／19）



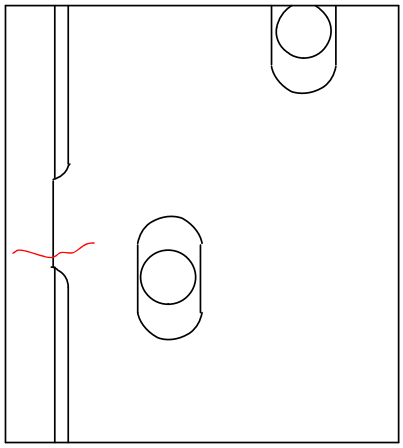


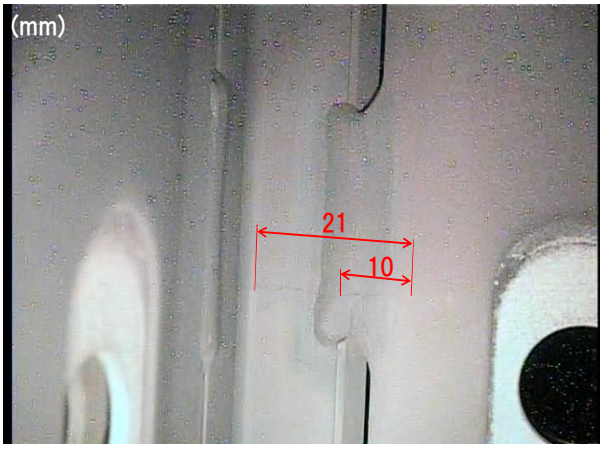
コーナー1　１面　５タブ





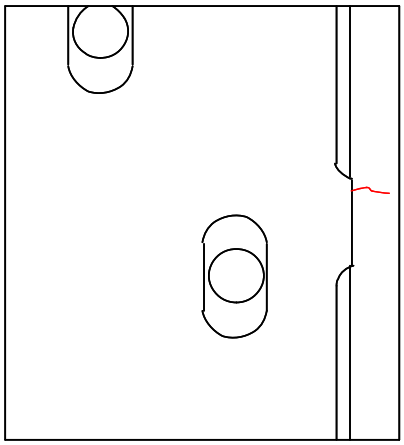
コーナー2　４面　５タブ





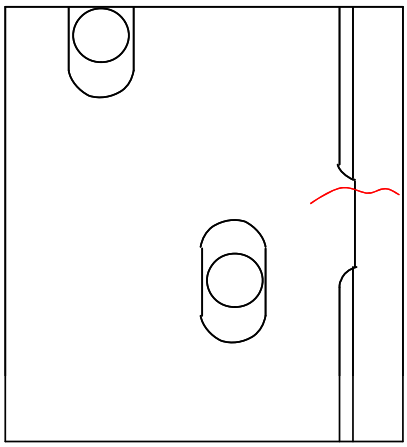
コーナー3　５面　５タブ

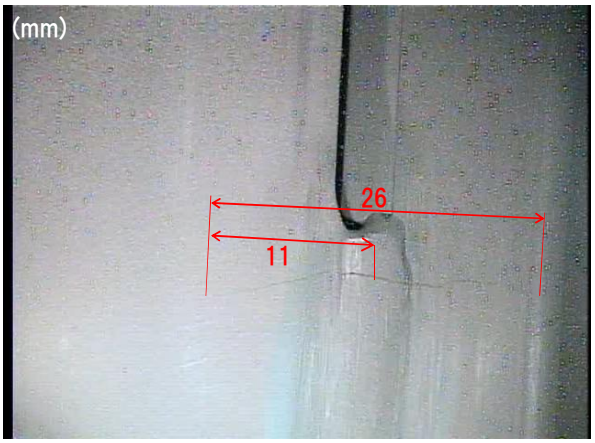
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－037）（3／19）



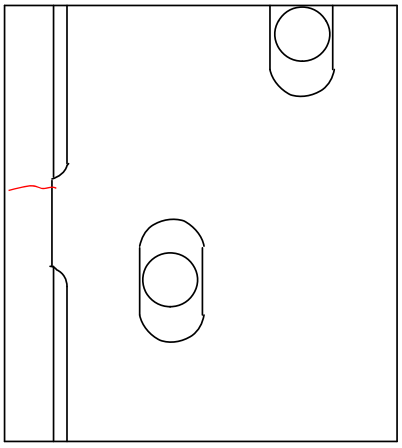


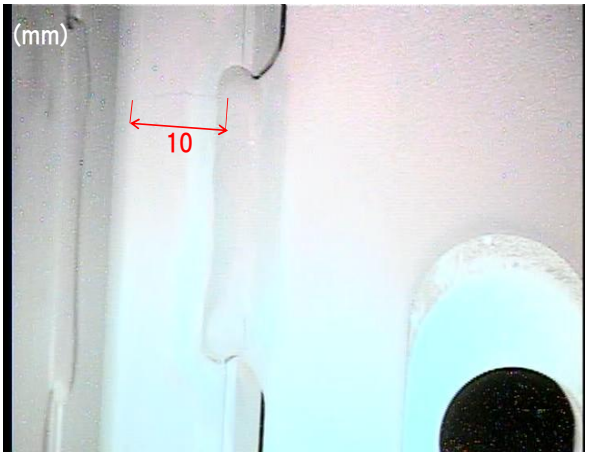
コーナー4　8面　5タブ





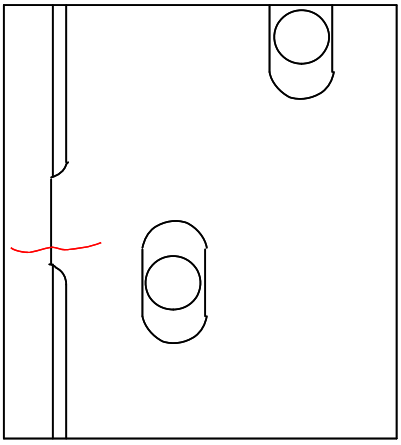
コーナー2　4面　6タブ

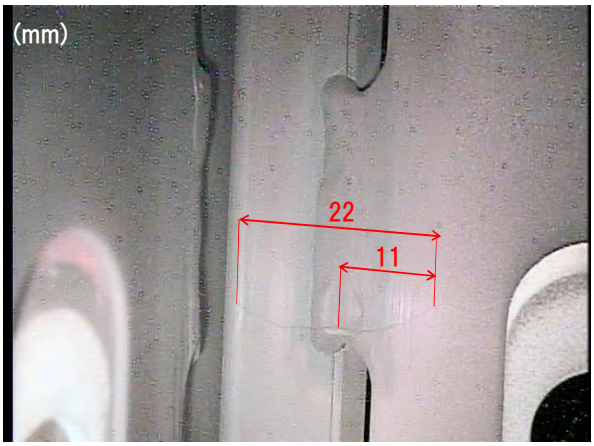




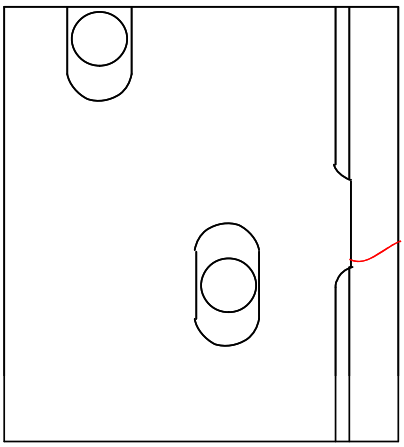
コーナー3　5面　6タブ

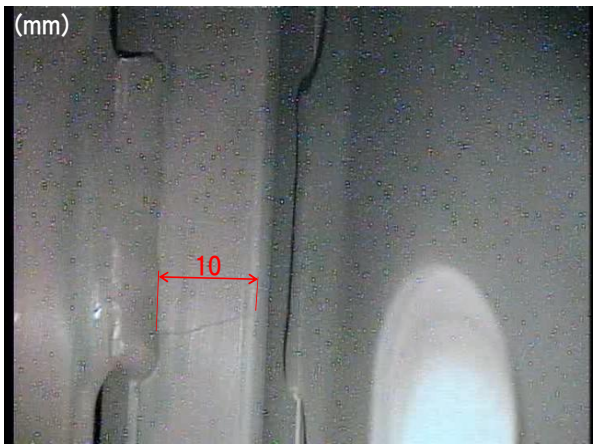
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（4／19）



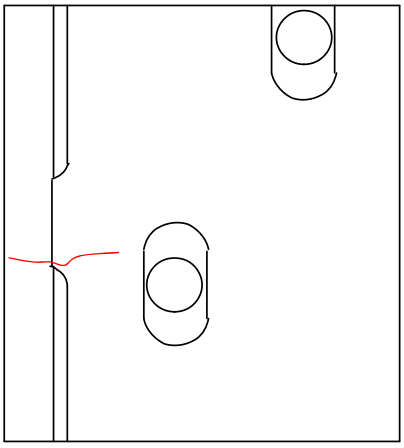


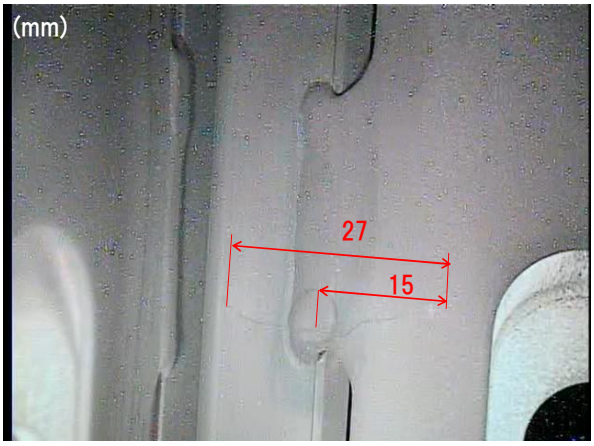
コーナー1　1面　7タブ





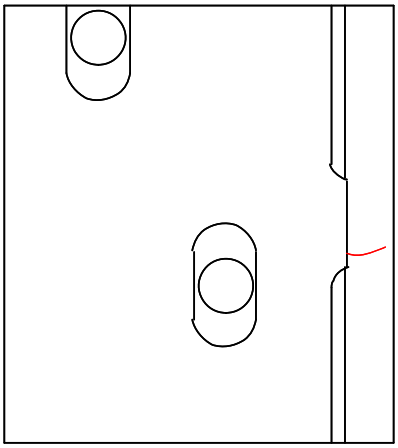
コーナー2　4面　7タブ

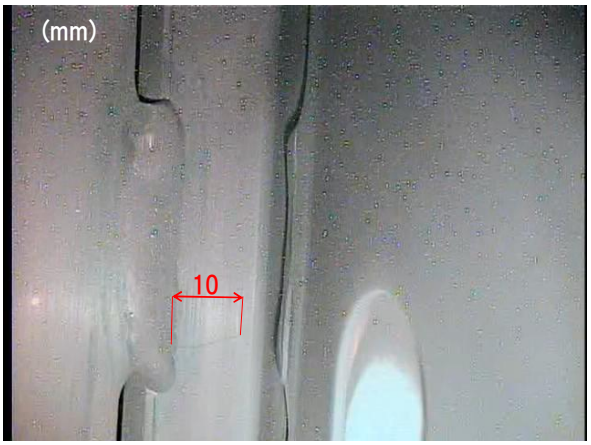




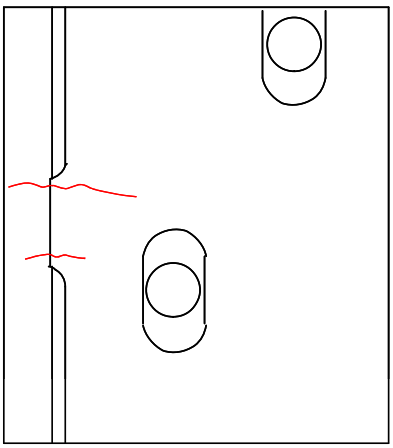
コーナー3　5面　7タブ

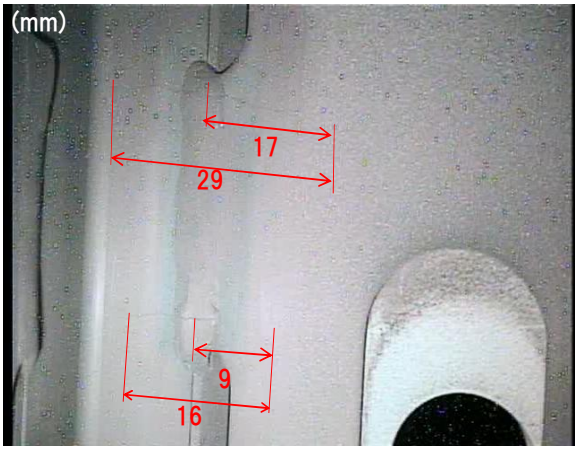
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（5／19）



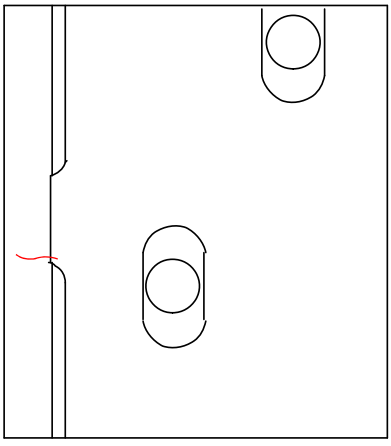


コーナー4　8面　7タブ





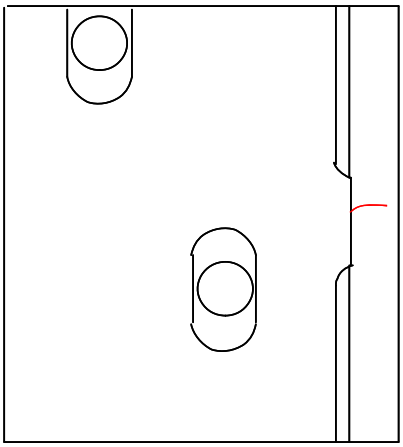
コーナー1　1面　8タブ

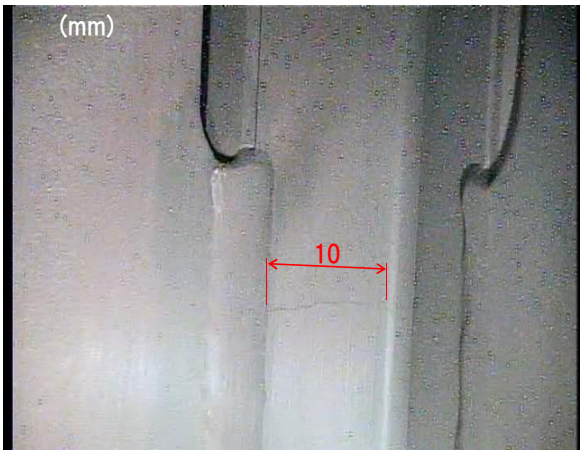




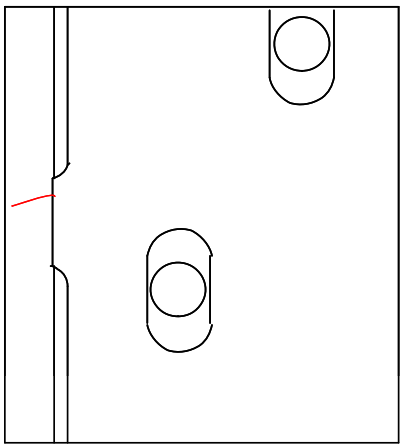
コーナー2　3面　8タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（6／19）



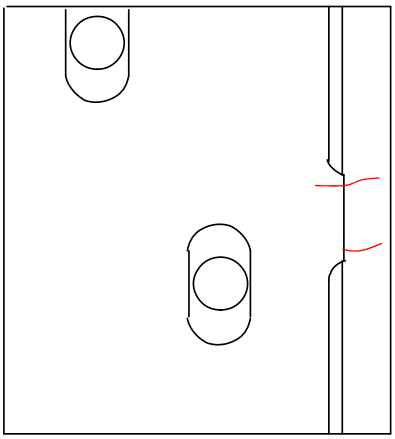


コーナー2　4面　8タブ





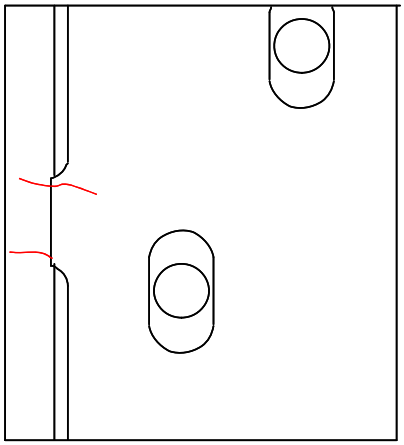
コーナー3　5面　8タブ

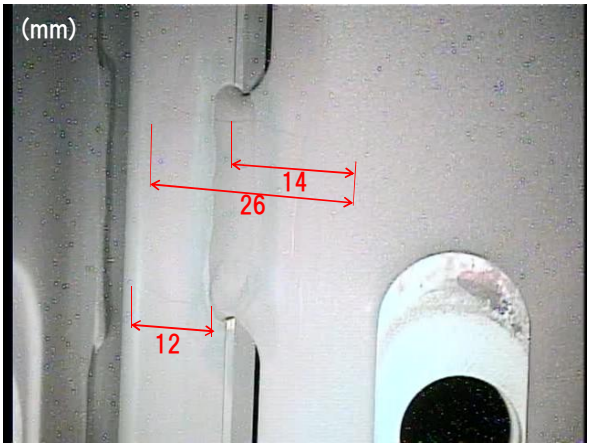




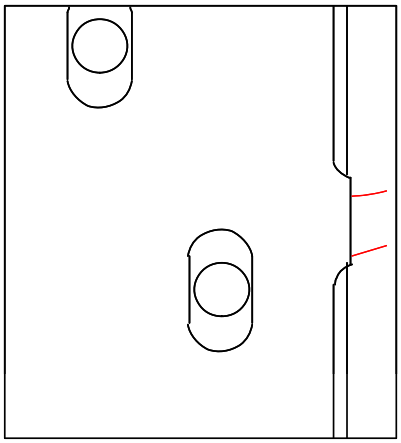
コーナー4　8面　8タブ

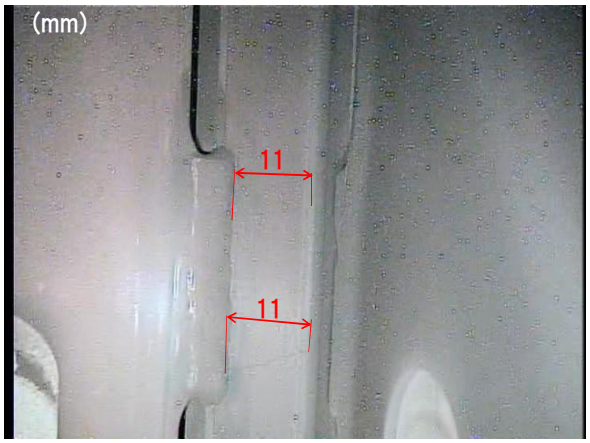
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（7／19）



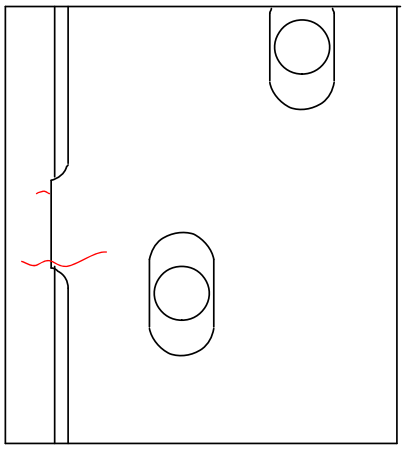


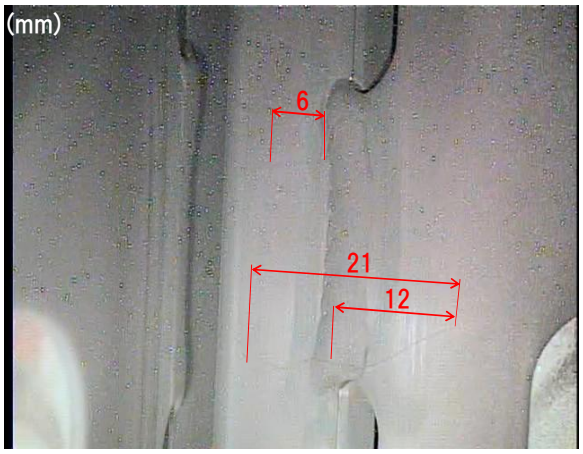
コーナー1　1面　9タブ





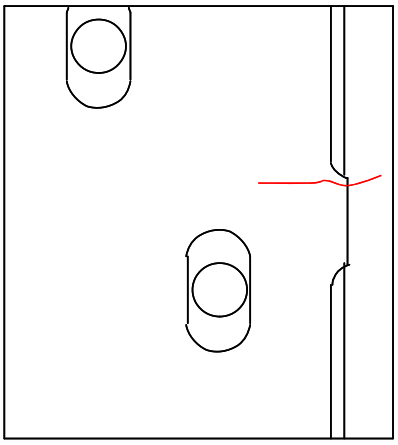
コーナー2　4面　9タブ

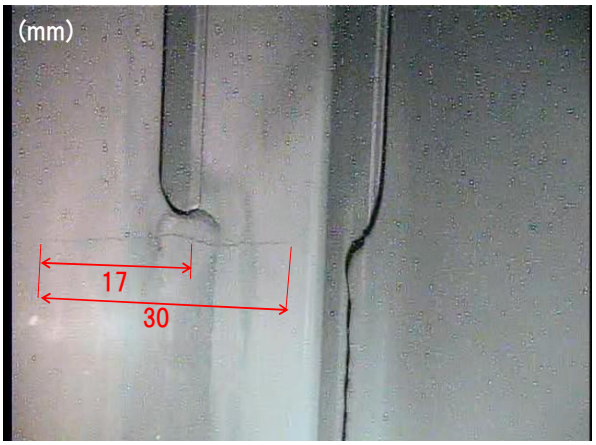




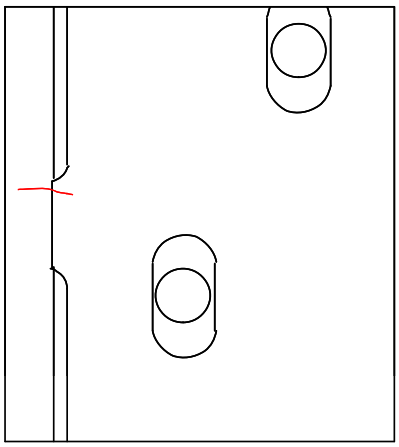
コーナー3　5面　9タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（8／19）



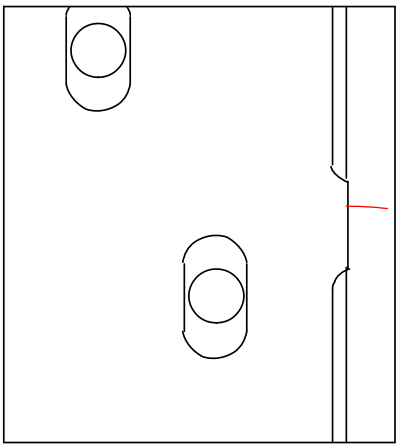


コーナー4　8面　9タブ





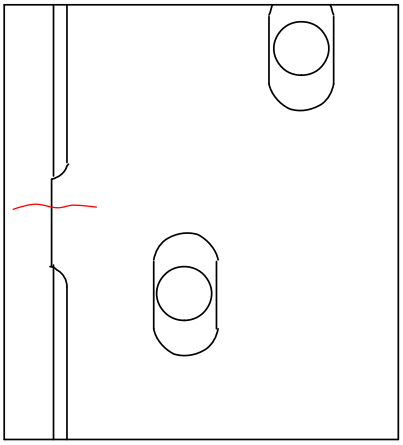
コーナー1　1面　10タブ

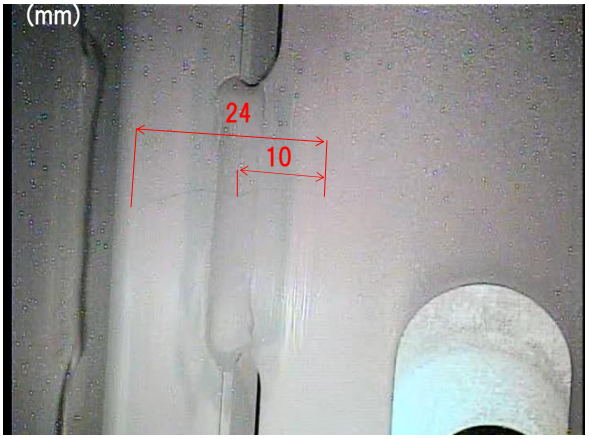




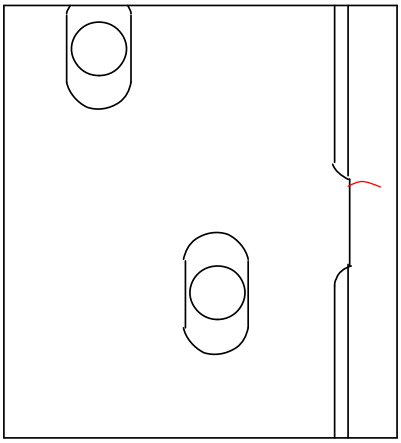
コーナー2　4面　10タブ

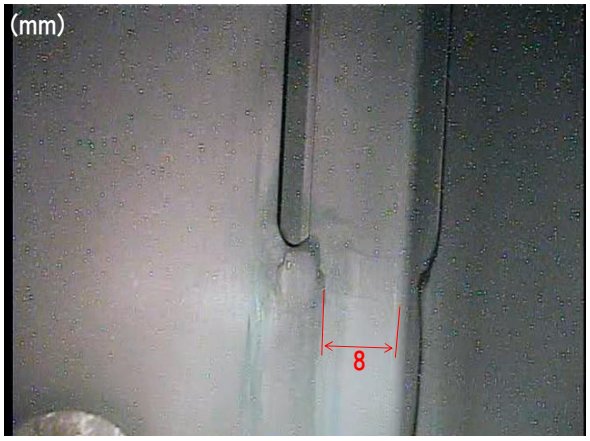
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（9／19）



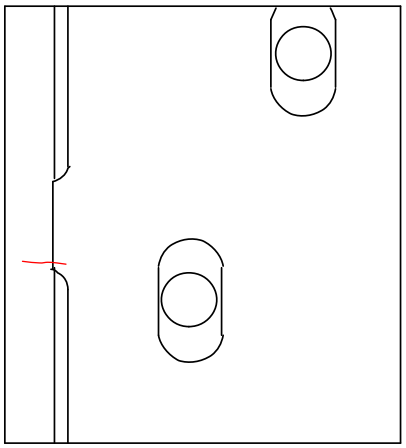


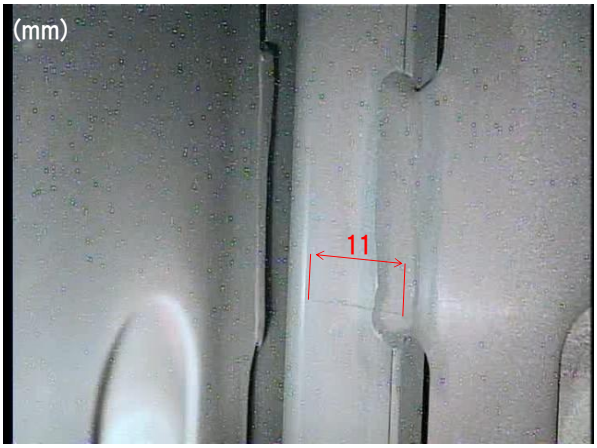
コーナー3　5面　10タブ





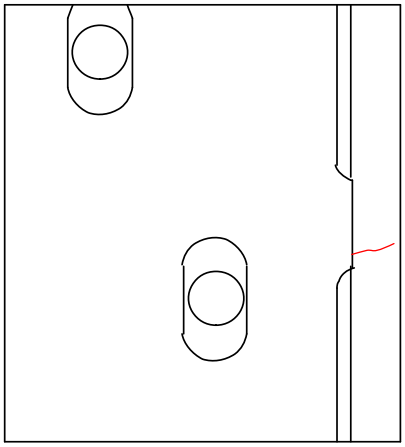
コーナー4　8面　10タブ





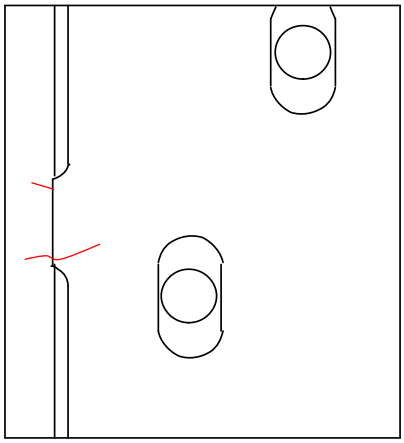
コーナー1　1面　11タブ

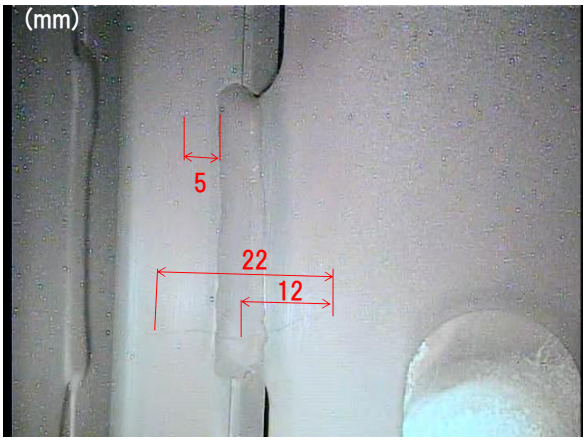
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－037）（10／19）



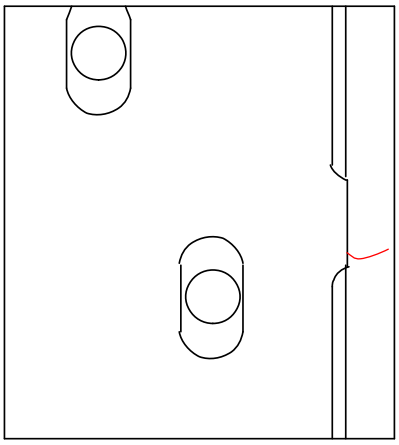


コーナー2　4面　11タブ





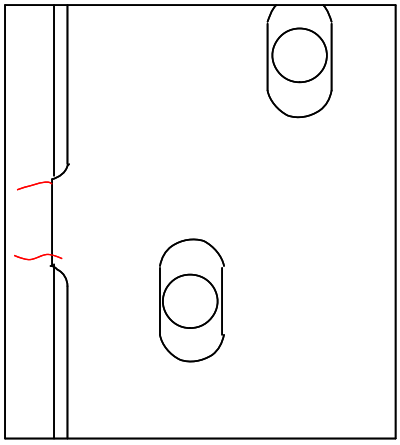
コーナー3　5面　11タブ

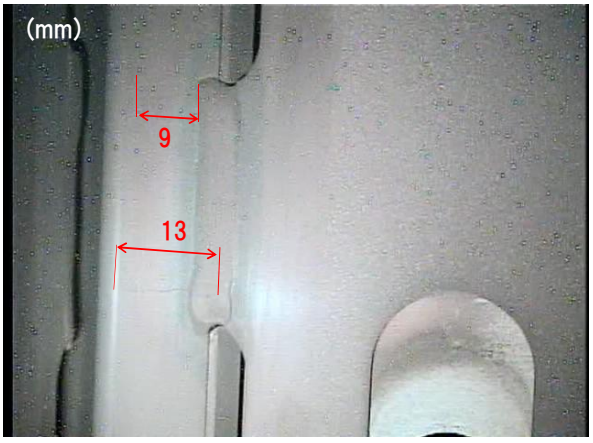




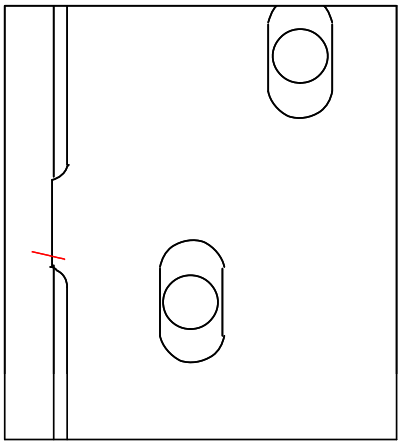
コーナー4　8面　11タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－037）（11／19）



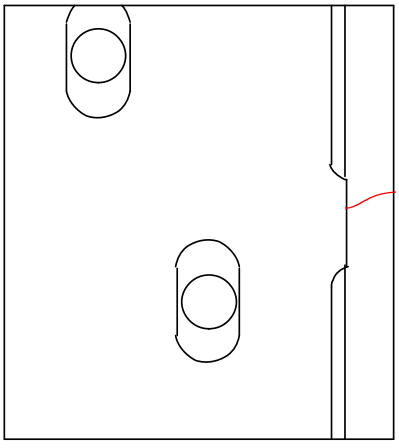


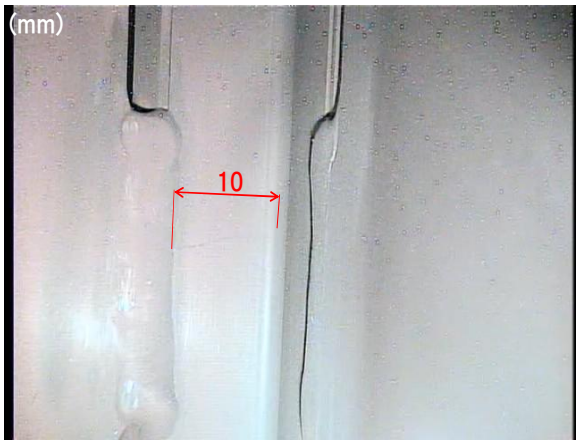
コーナー1　1面　12タブ





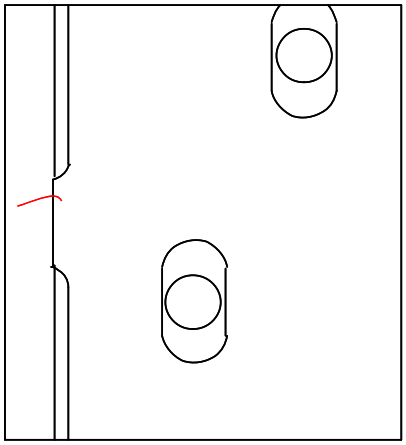
コーナー2　3面　12タブ

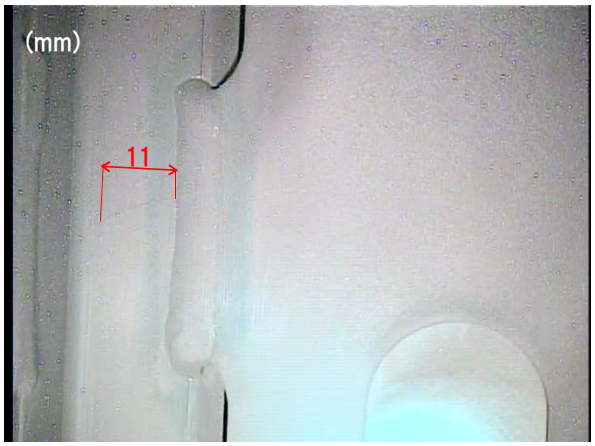




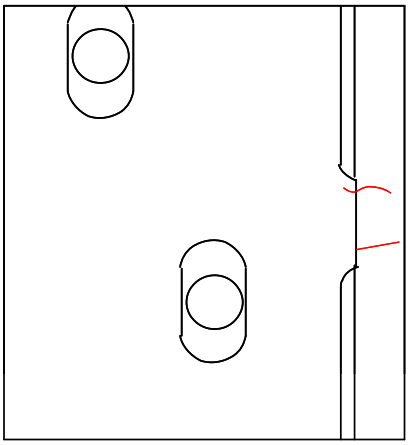
コーナー2　4面　12タブ

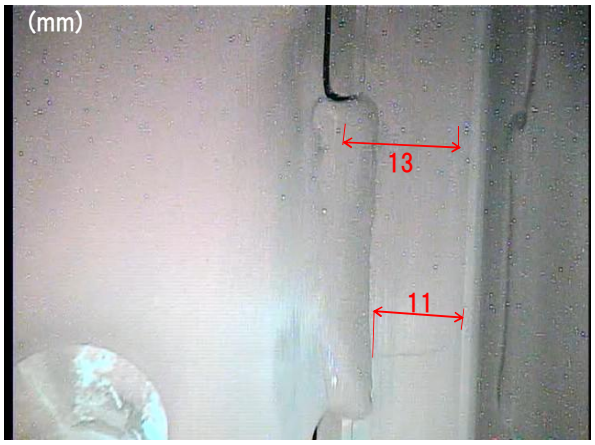
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－037）（12／19）



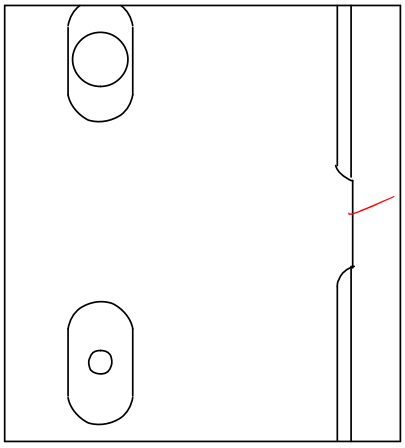


コーナー3　5面　12タブ





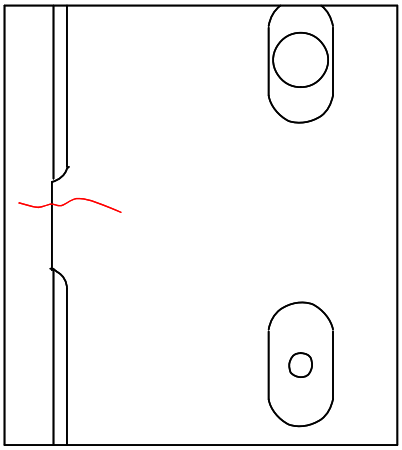
コーナー4　8面　12タブ

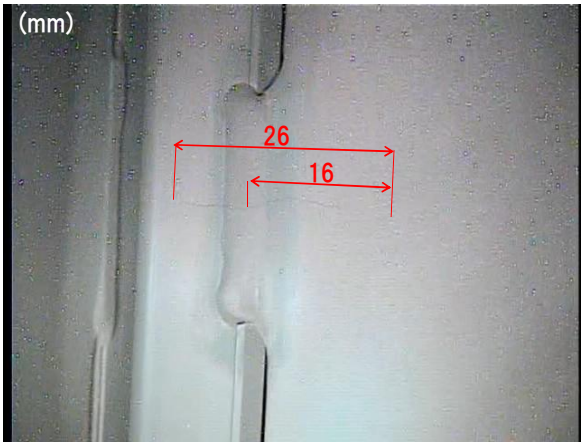




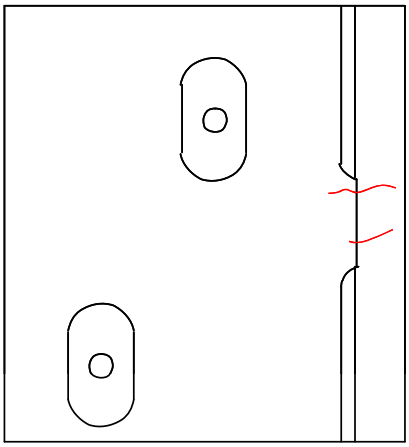
コーナー2　4面　13タブ

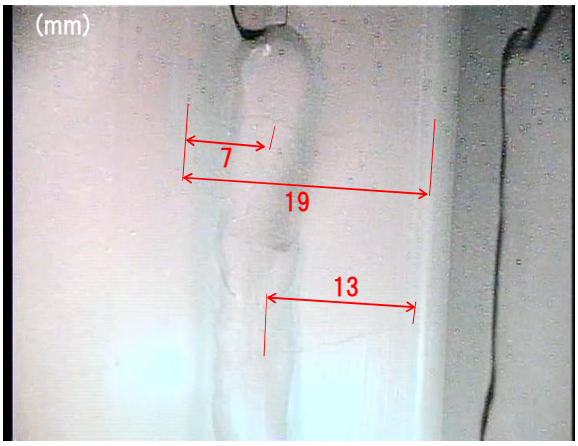
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－037）（13／19）



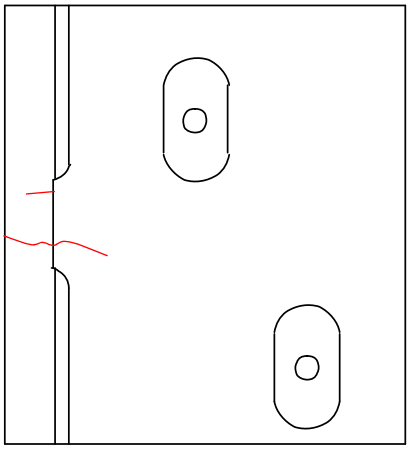


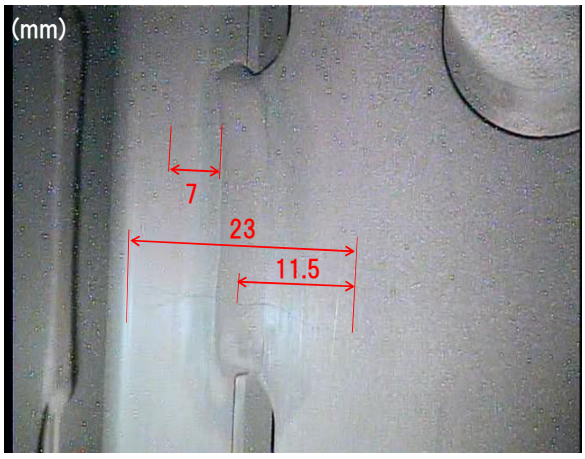
コーナー3　5面　13タブ





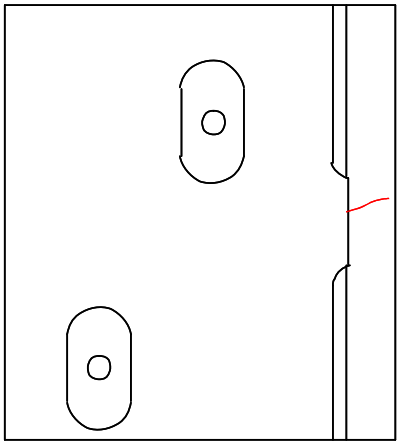
コーナー2　4面　14タブ

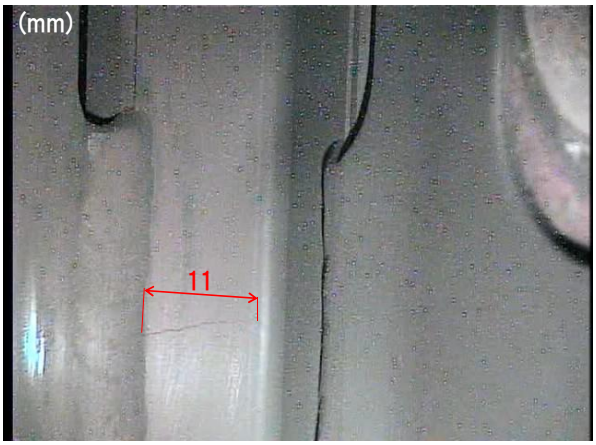




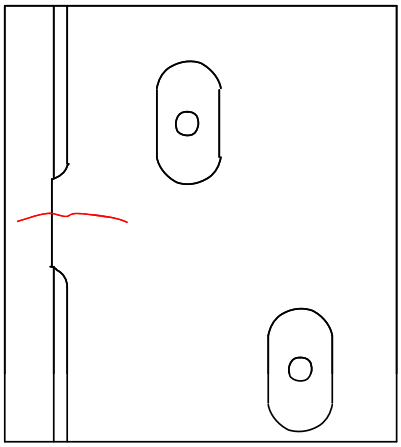
コーナー3　5面　14タブ

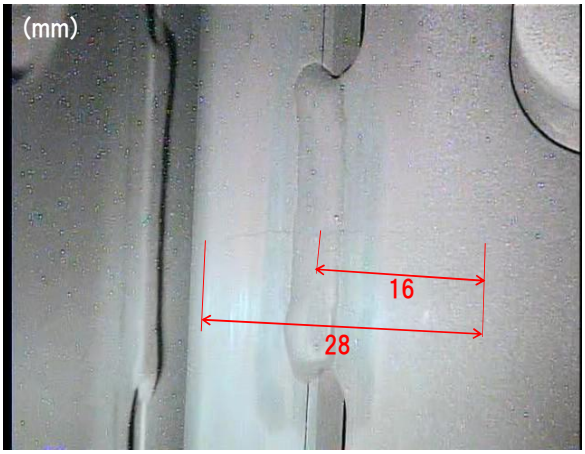
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－037）（14／19）



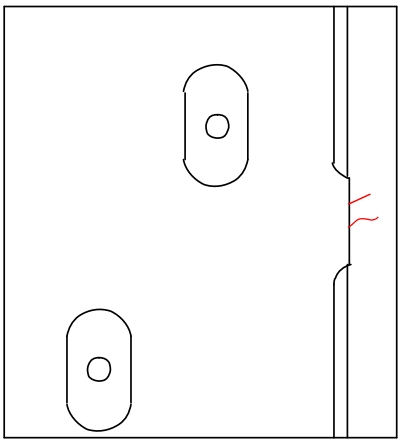


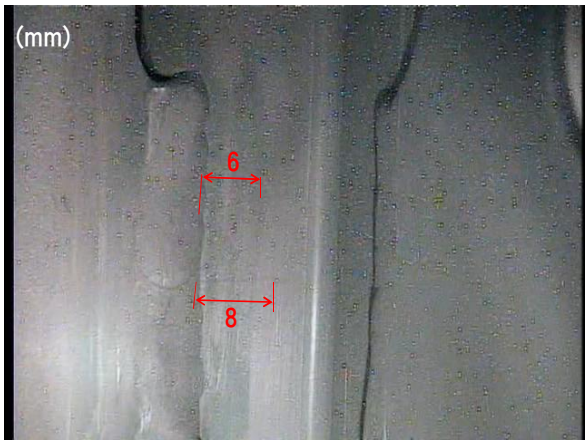
コーナー2　4面　15タブ





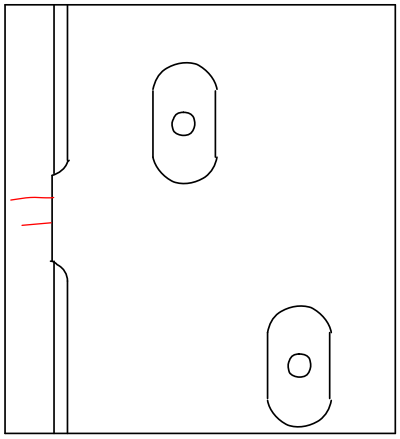
コーナー3　5面　15タブ

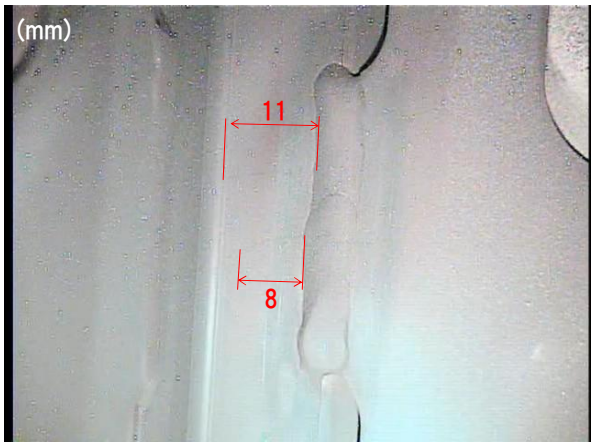




コーナー2　4面　16タブ

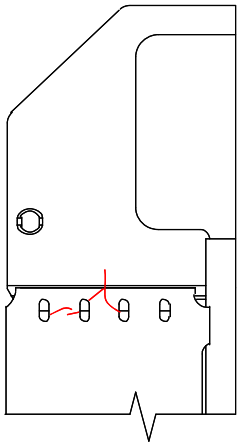
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－037）（15／19）

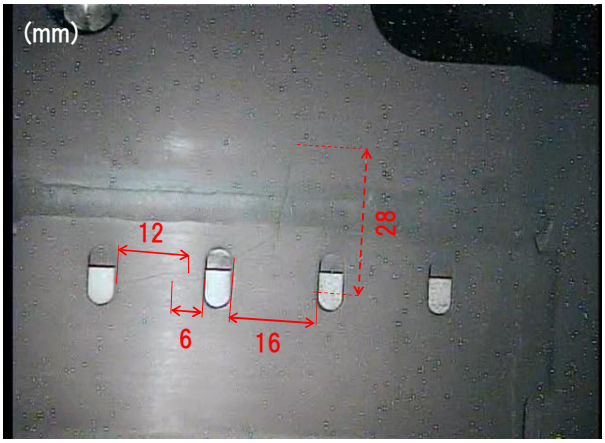




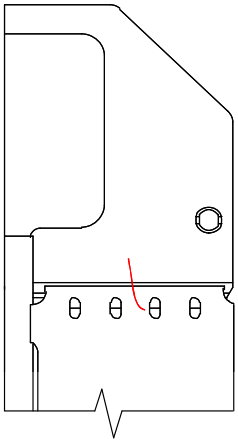
コーナー3　5面　16タブ

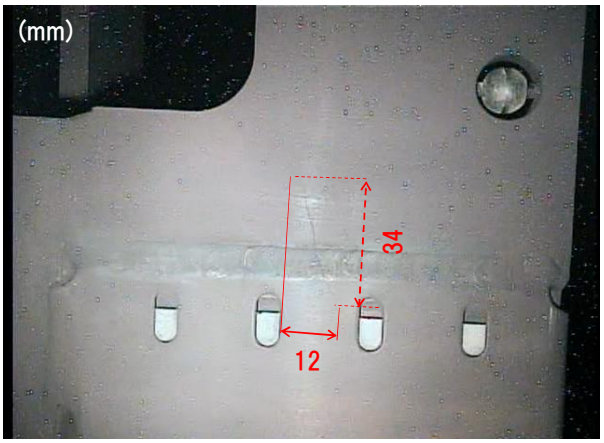
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（16／19）



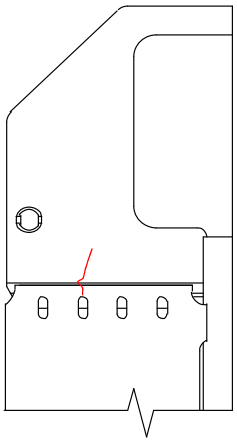


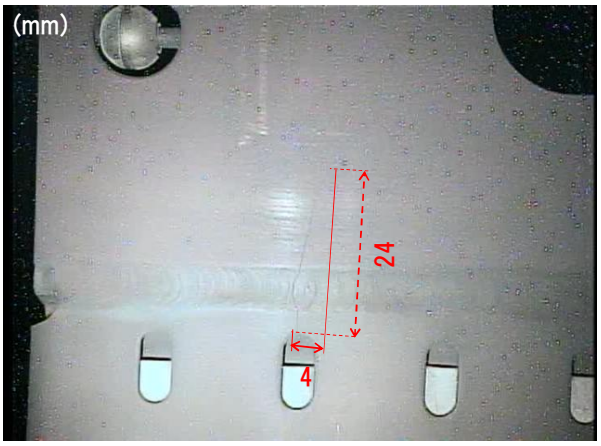
2面





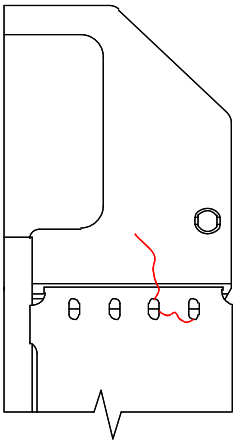
3面

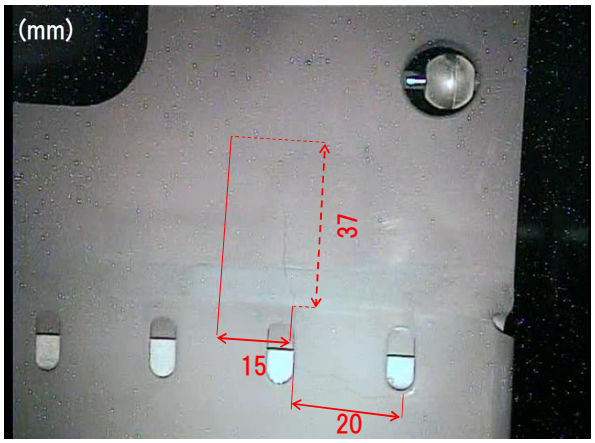




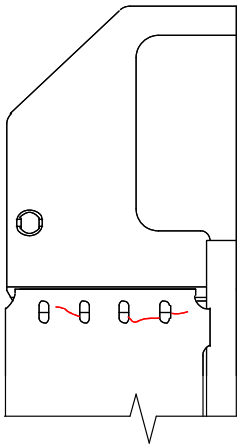
4面

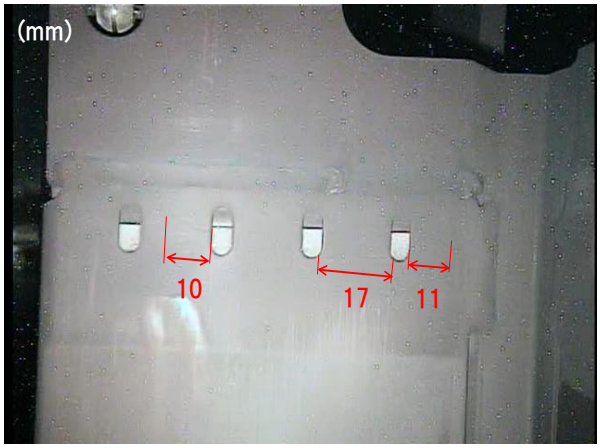
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（17／19）





5面



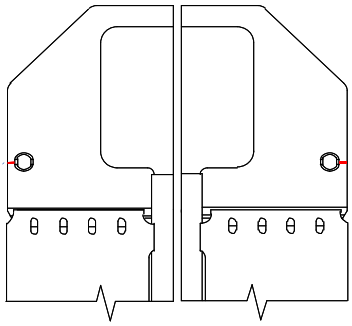


8面

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－037）（18／19）



２面

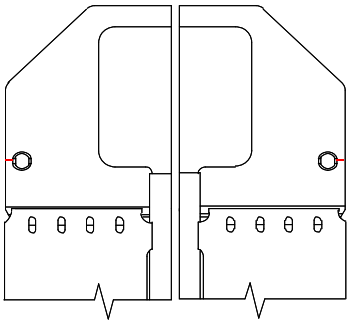




１面



４面

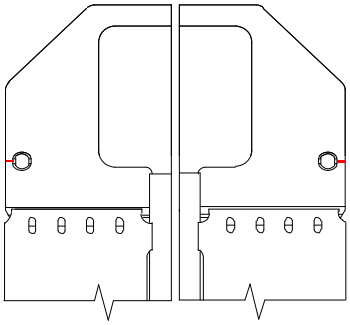




３面



６面

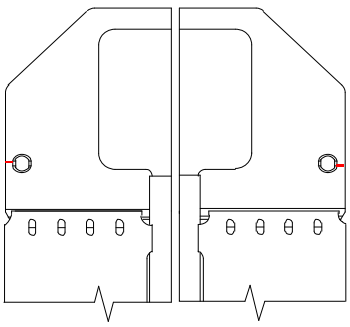


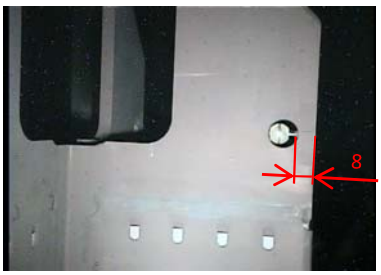


５面



８面

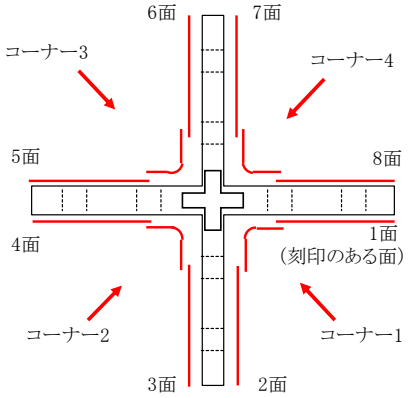


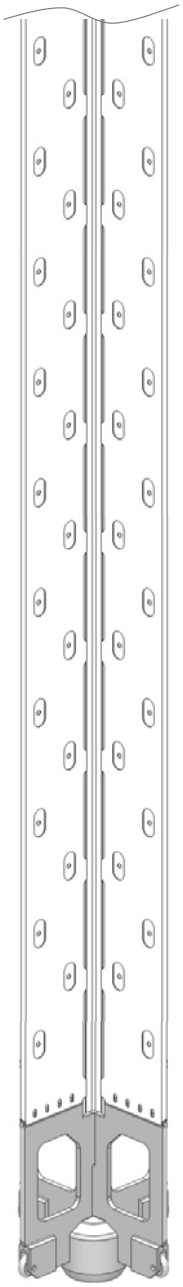


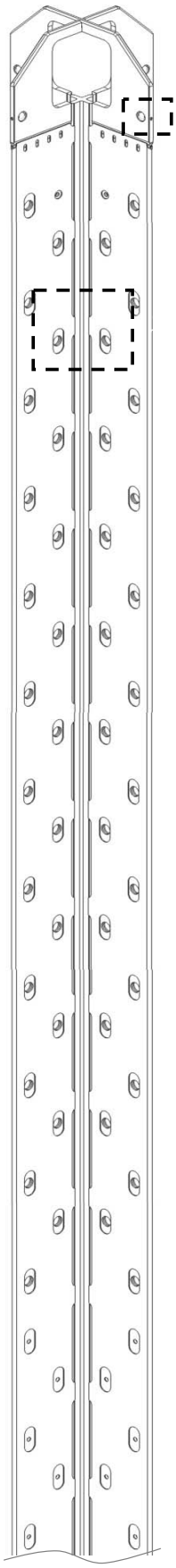
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－037）（19／19）

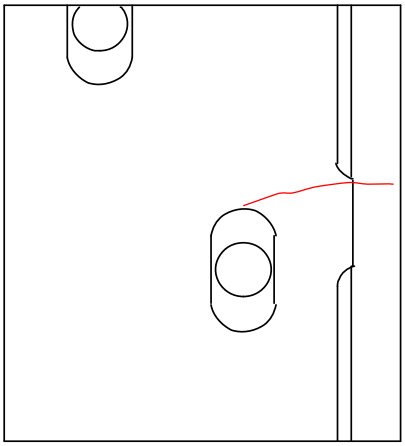


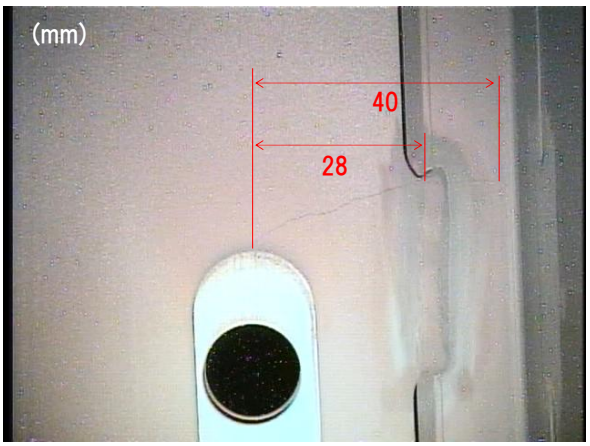




ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－038）（1／3）



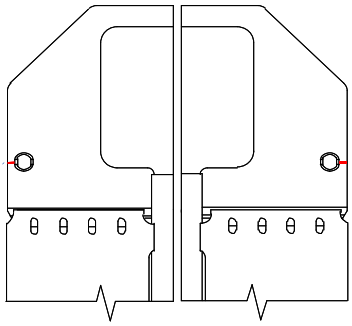


コーナー4　8面　タブ3

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－038）（2／3）



２面

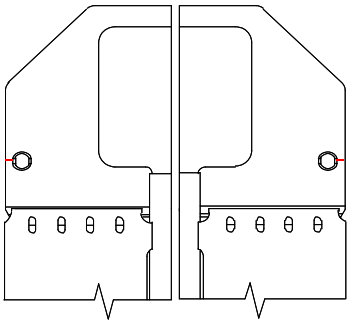


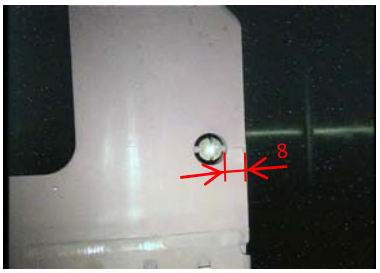


１面

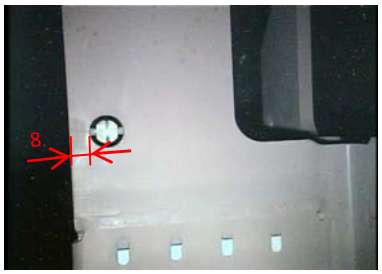


４面

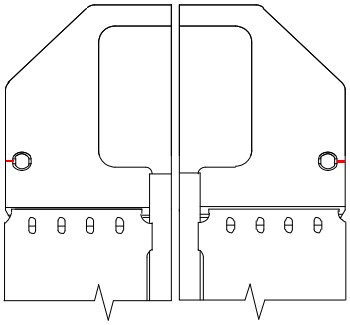


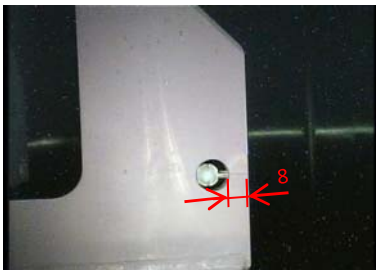


３面



６面

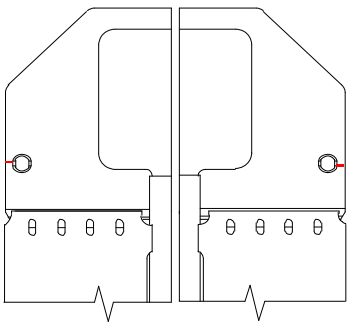




５面



８面

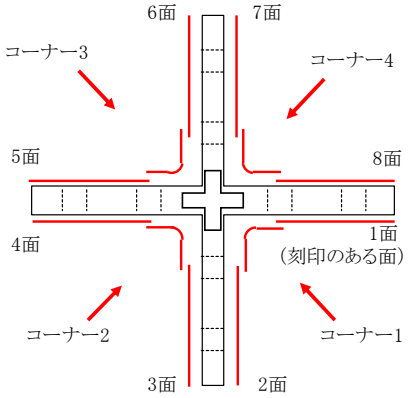


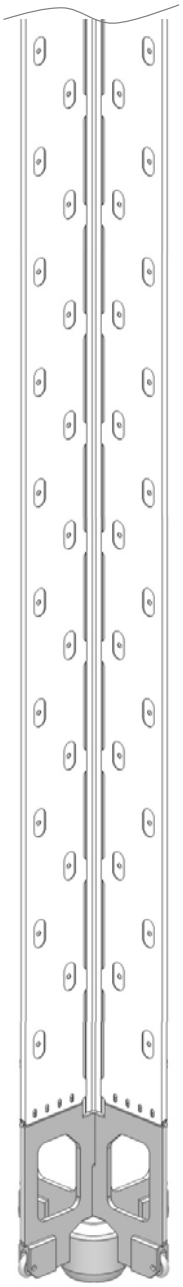


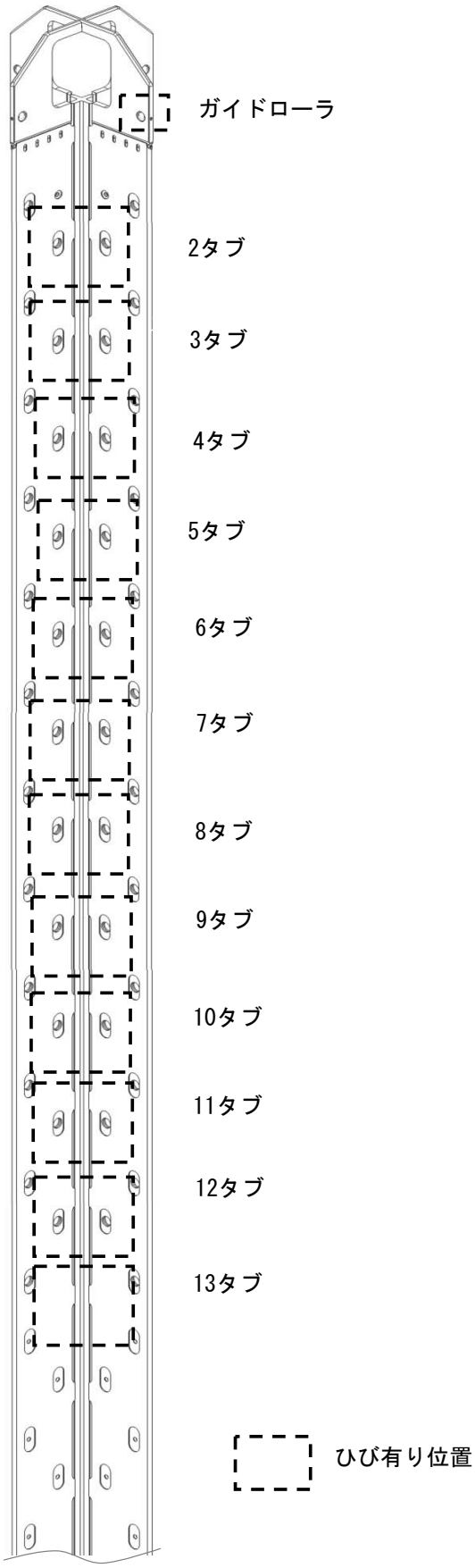
７面

単位：mm

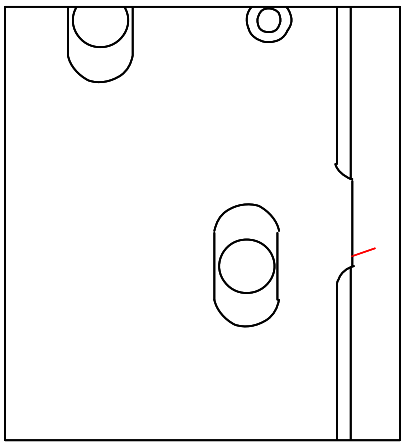
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－038）（3／3）

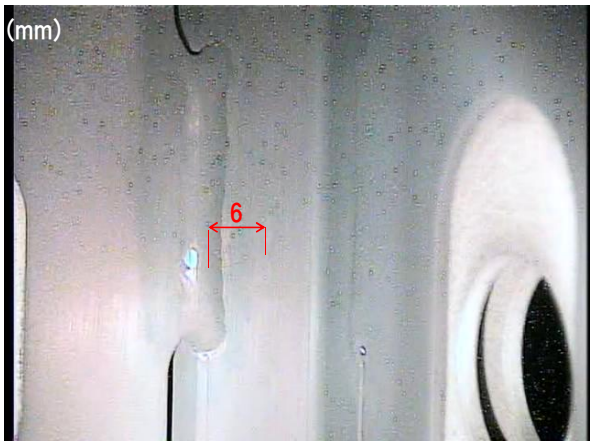




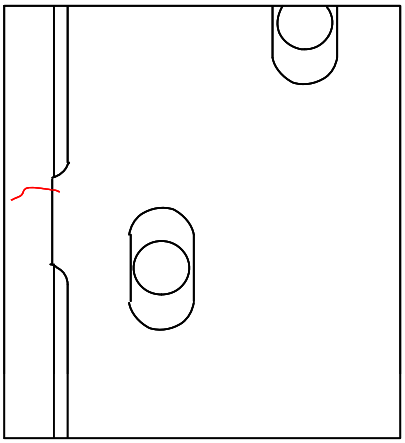


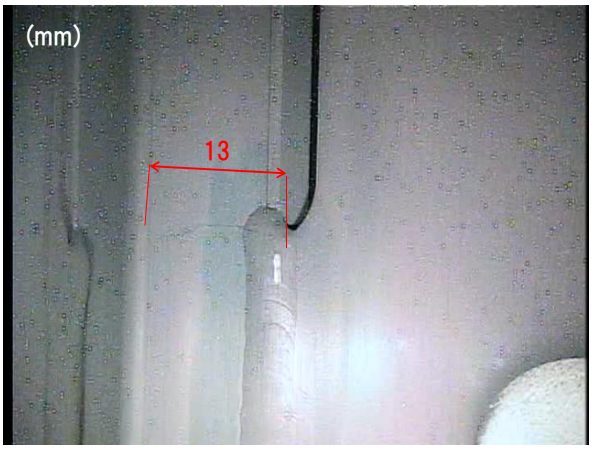
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－039）（1／13）



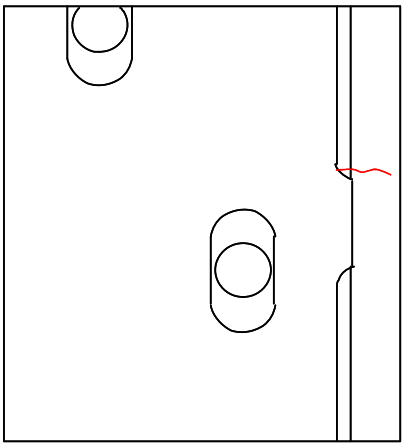


コーナー４　８面　２タブ





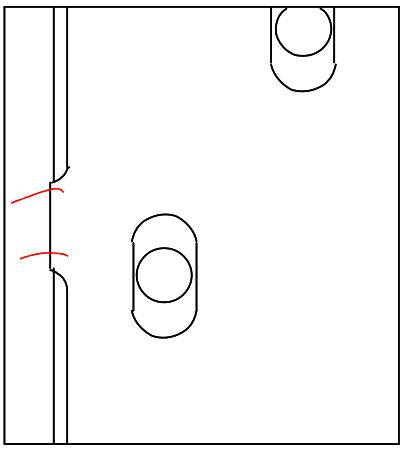
コーナー１　１面　３タブ

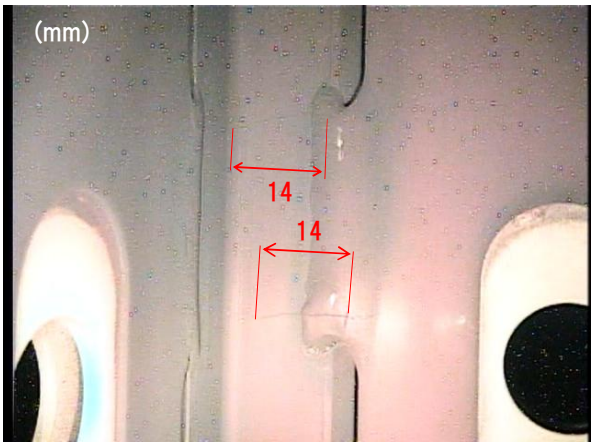




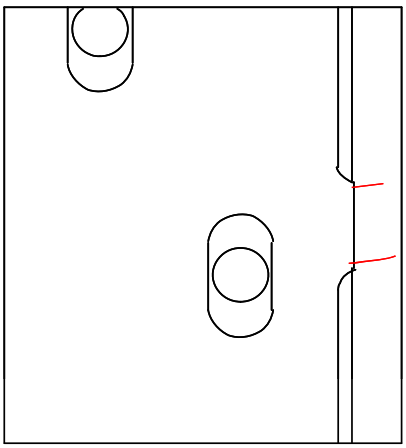
コーナー４　８面　３タブ

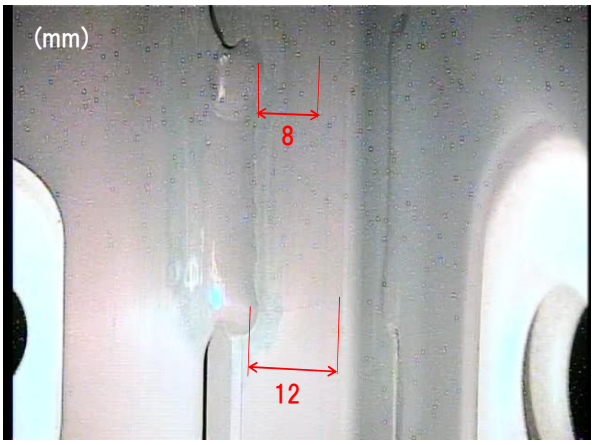
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－039）（2／13）



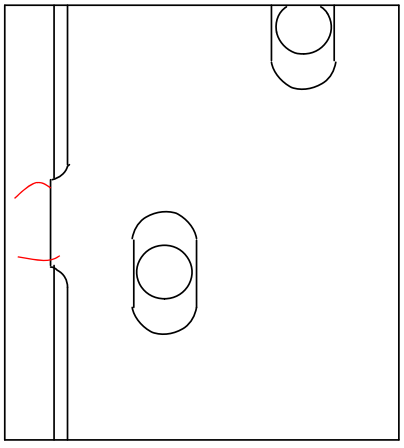


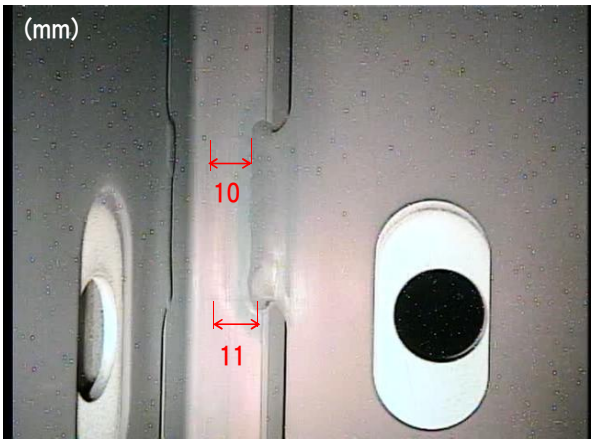
コーナー１　１面　４タブ





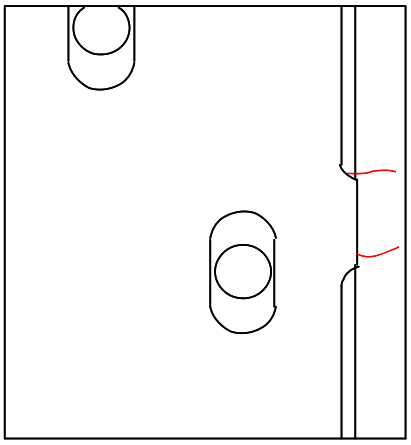
コーナー２　４面　４タブ

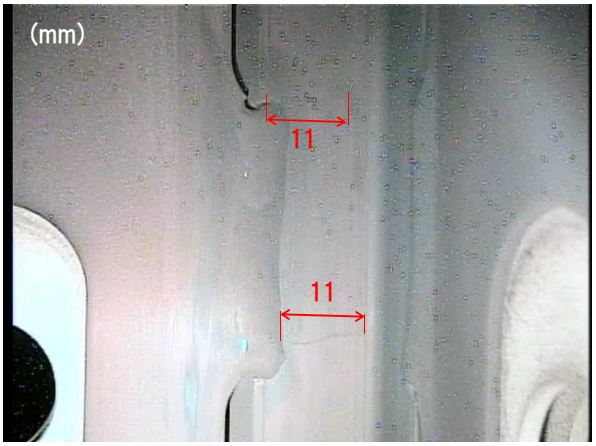




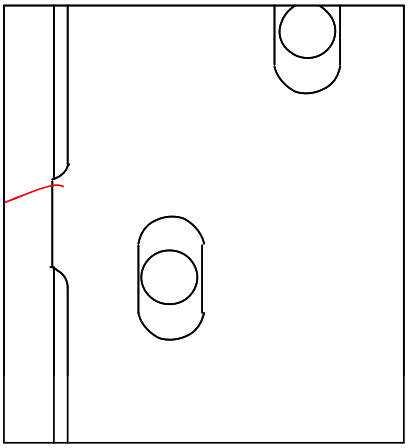
コーナー３　５面　４タブ

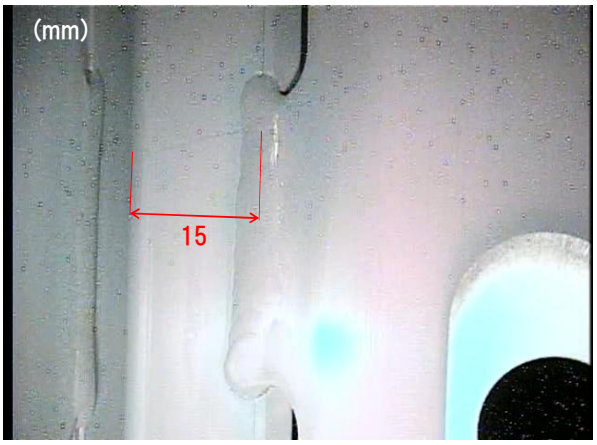
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－039）（3／13）



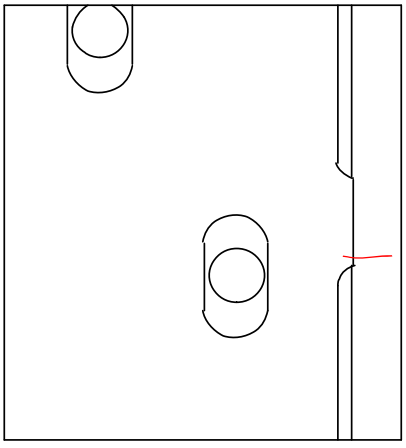


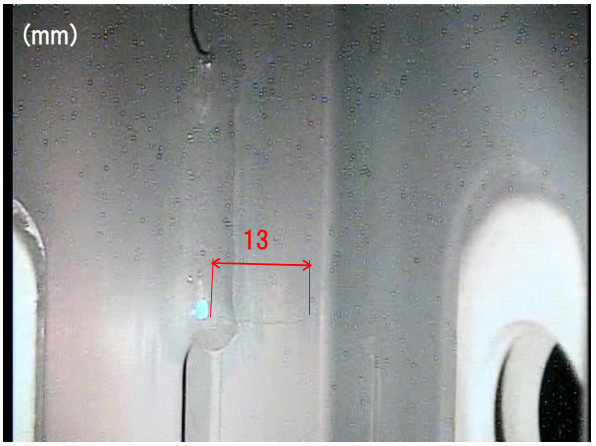
コーナー４　８面　４タブ





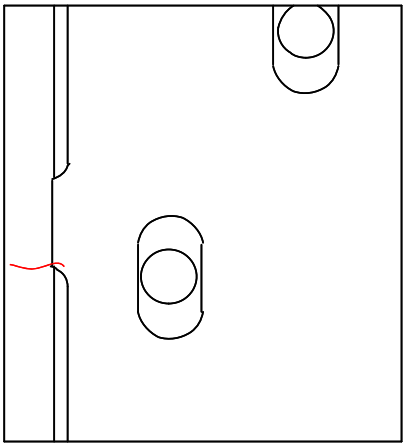
コーナー１　１面　５タブ





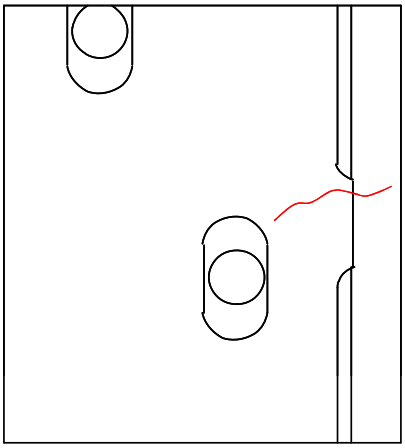
コーナー２　４面　５タブ

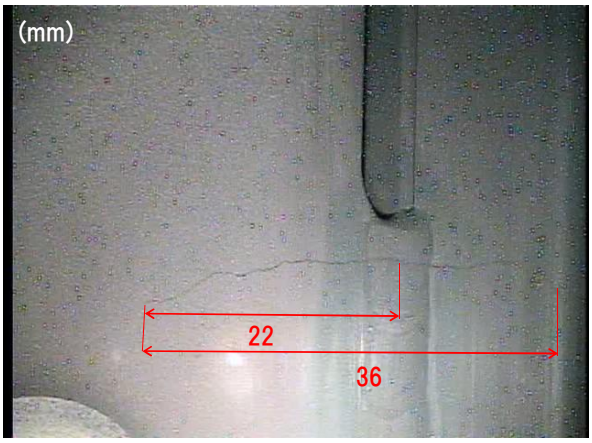
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－039）（4／13）



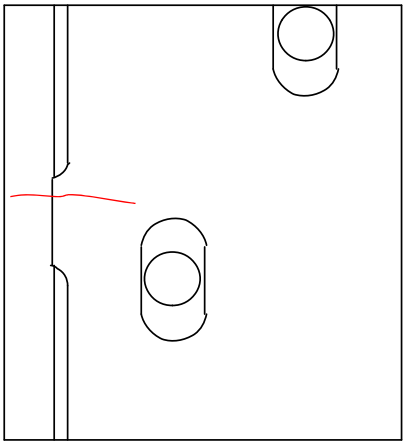


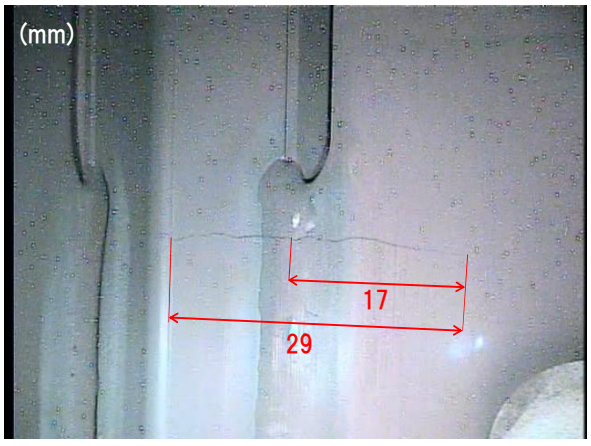
コーナー３　５面　５タブ





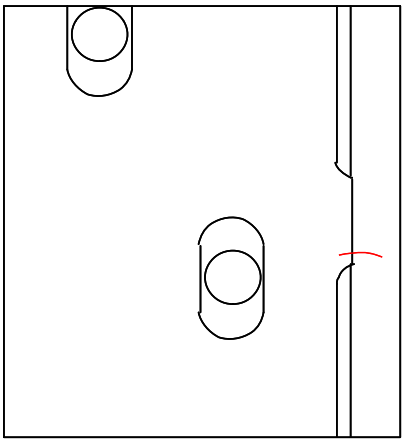
コーナー４　８面　５タブ

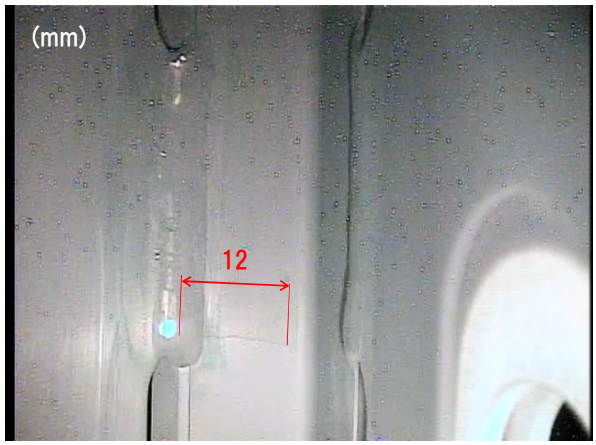




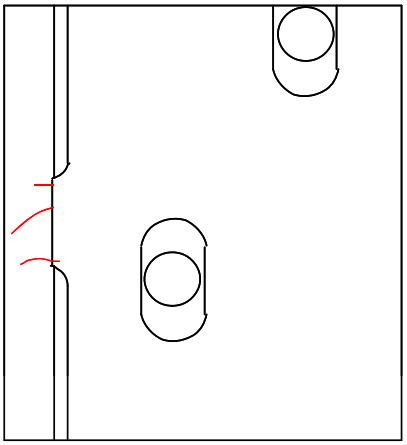
コーナー１　１面　６タブ

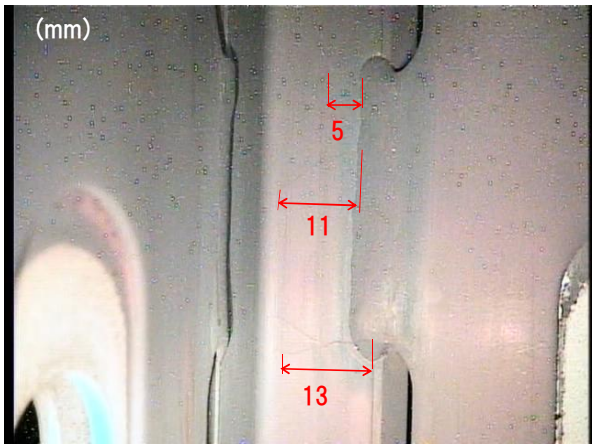
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－039）（5／13）



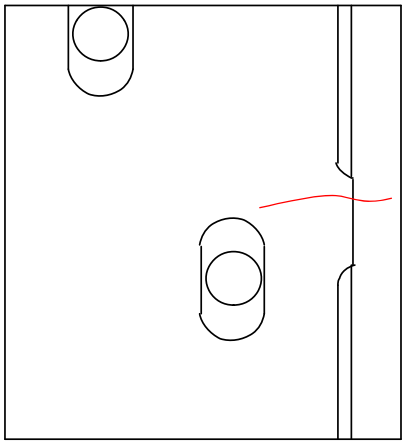


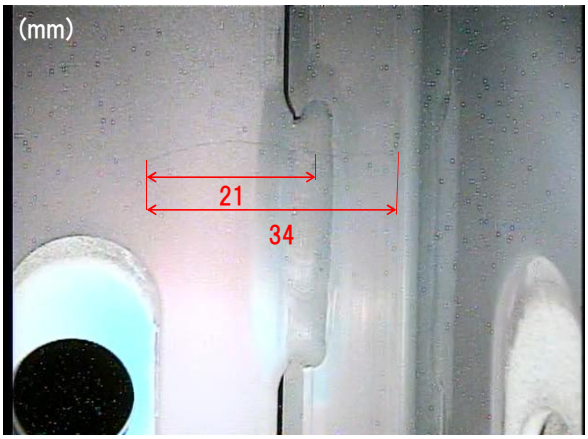
コーナー２　４面　６タブ





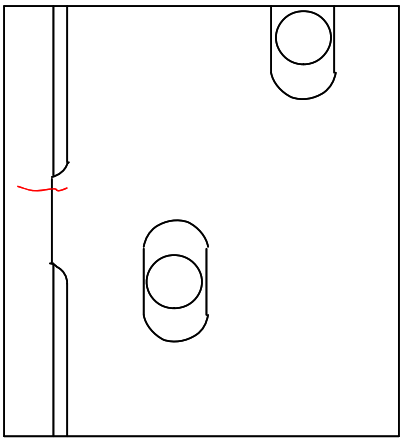
コーナー３　５面　６タブ

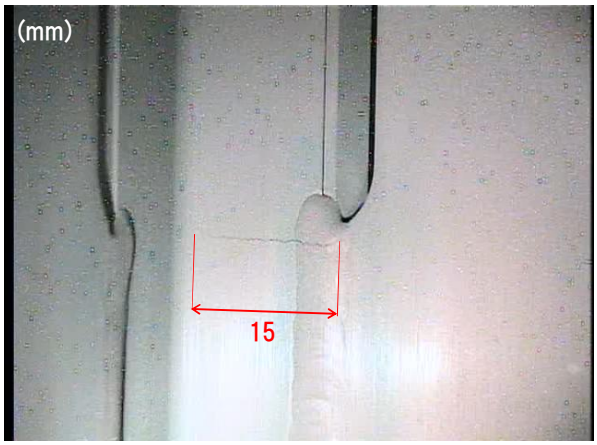




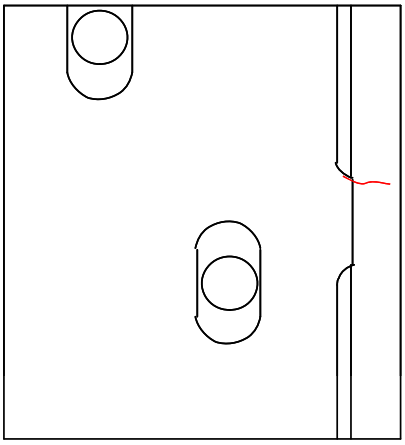
コーナー４　８面　６タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－039）（6／13）



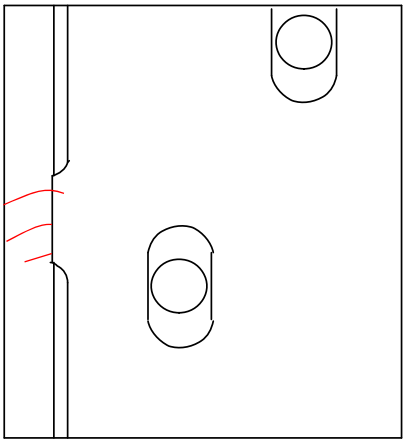


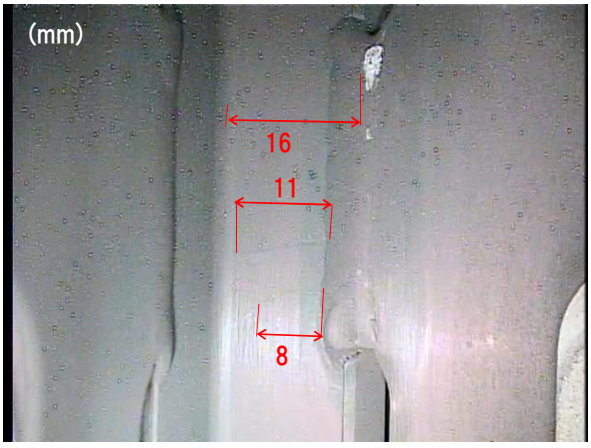
コーナー１　１面　７タブ





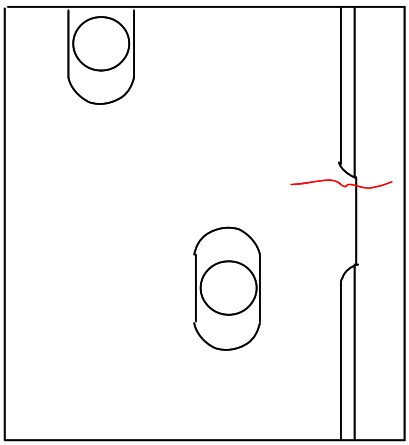
コーナー４　８面　７タブ

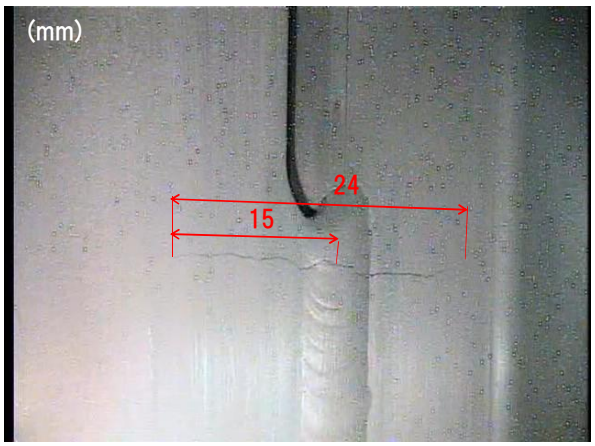




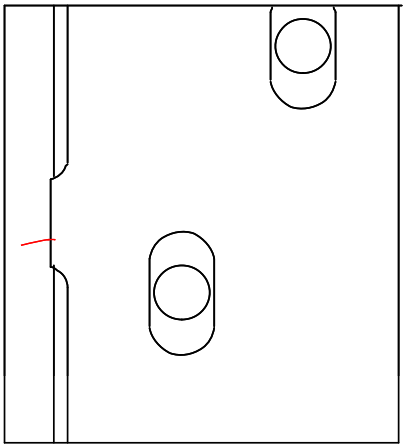
コーナー１　１面　８タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－039）（7／13）



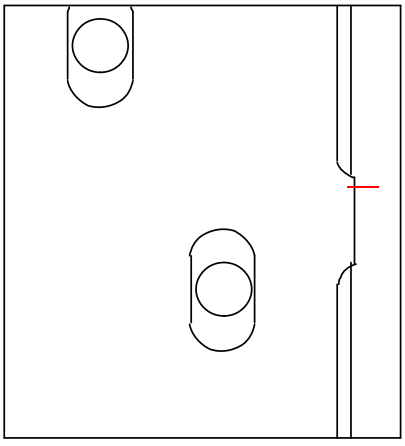


コーナー４　８面　８タブ





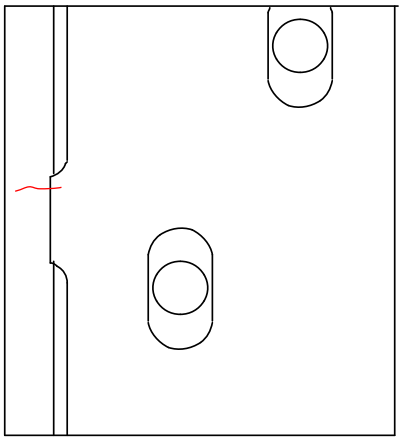
コーナー１　１面　９タブ

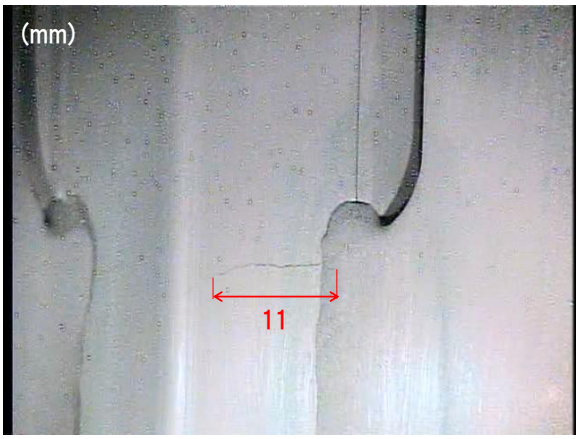




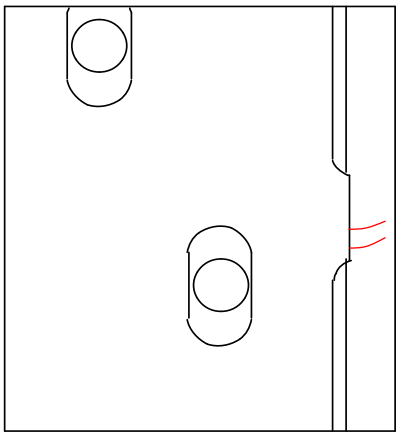
コーナー２　４面　９タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－039）（8／13）



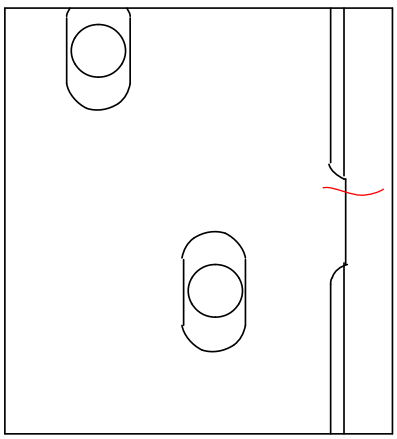


コーナー３　５面　９タブ





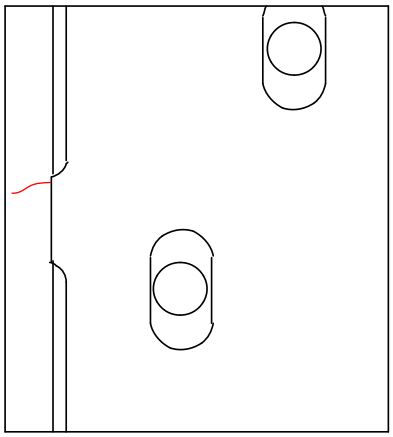
コーナー４　８面　９タブ

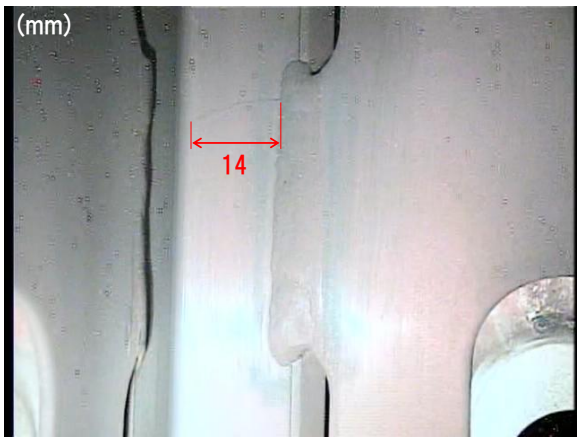




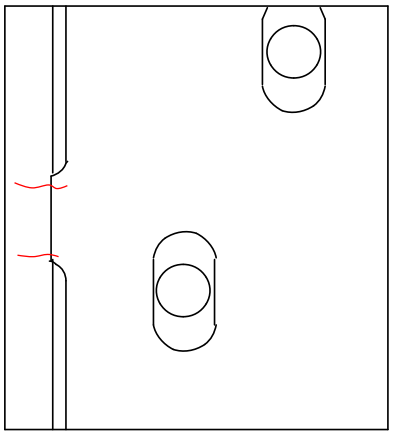
コーナー２　４面　１０タブ

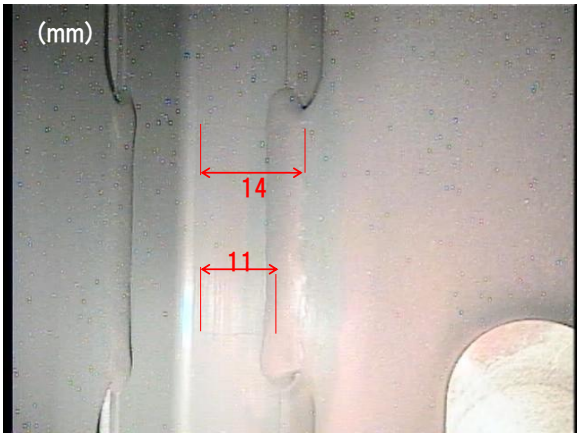
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－039）（9／13）



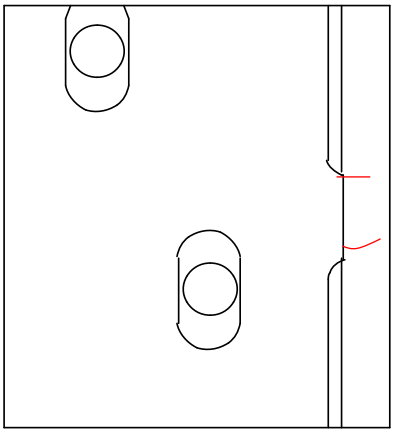


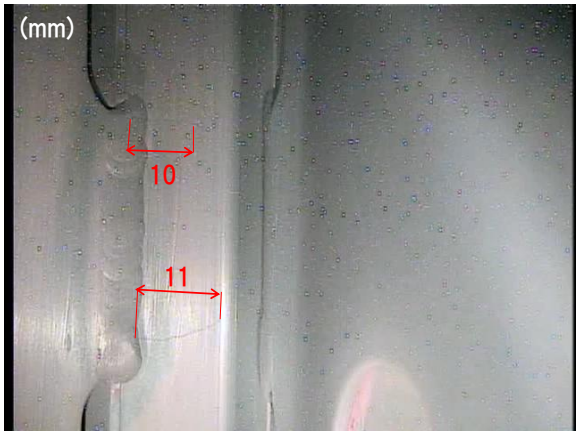
コーナー３　５面　１０タブ





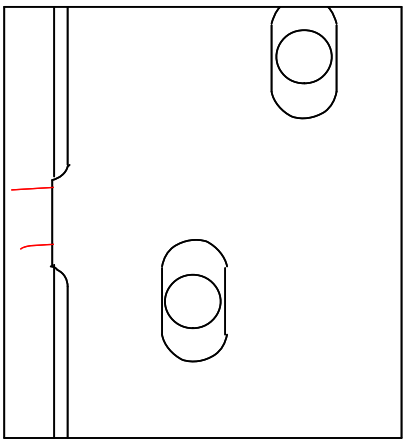
コーナー１　１面　１１タブ

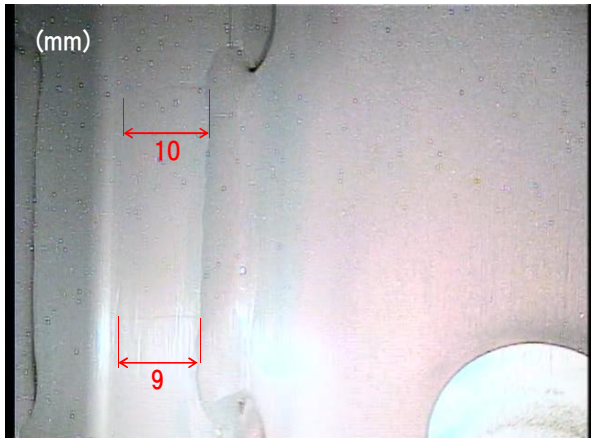




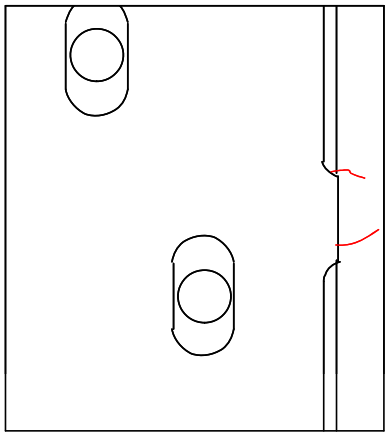
コーナー４　８面　１１タブ

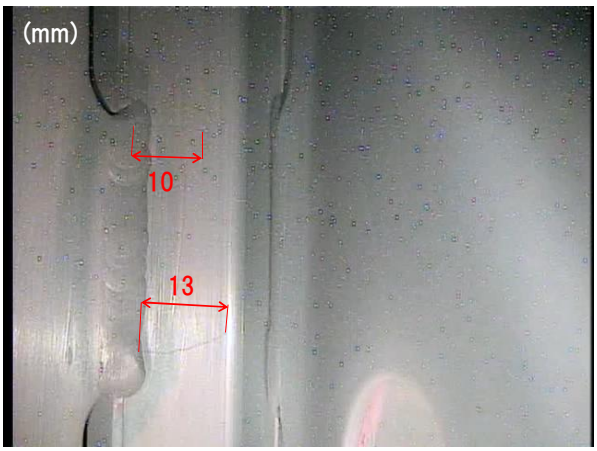
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－039）（10／13）



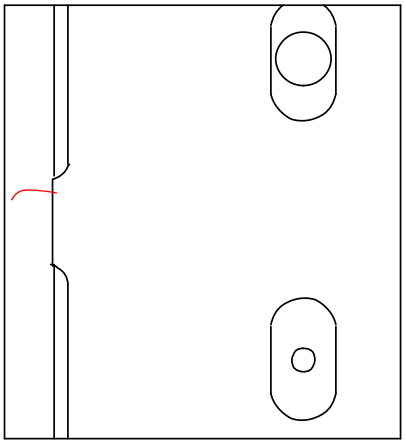


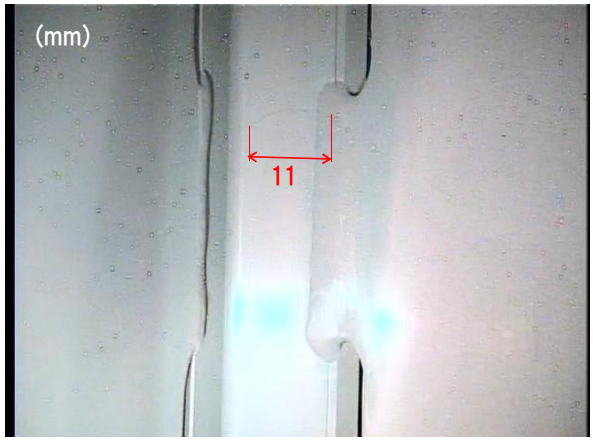
コーナー１　１面　１２タブ





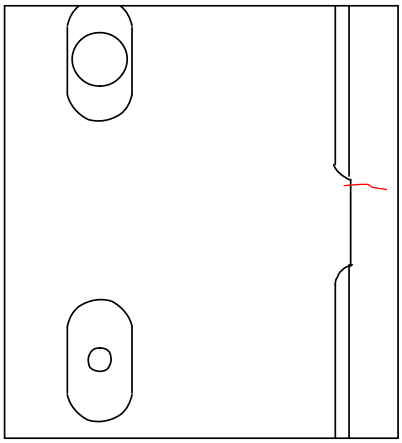
コーナー４　８面　１２タブ





コーナー１　１面　１３タブ

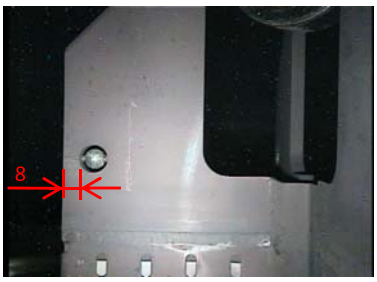
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－039）（11／13）



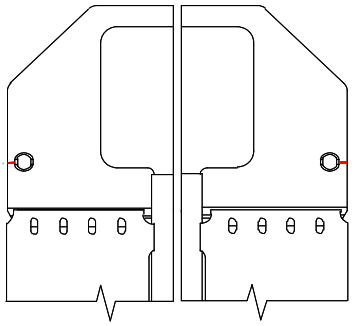


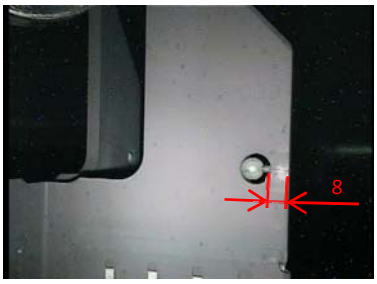
コーナー４　８面　１３タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－039）（12／13）



２面

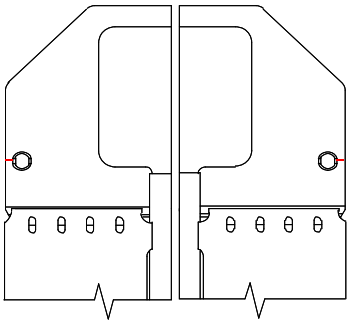


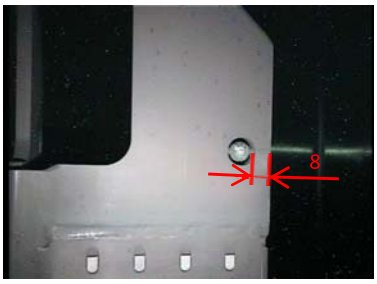


１面

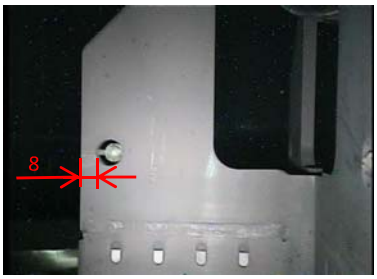


４面

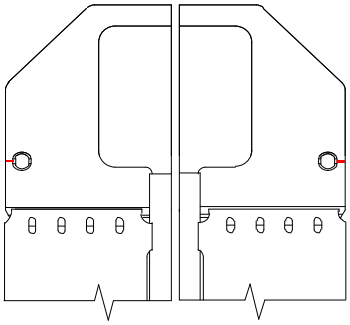




３面

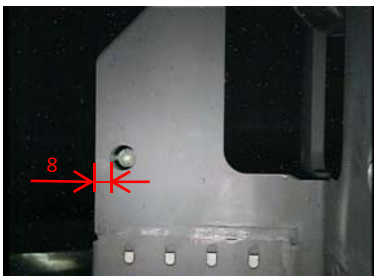


６面

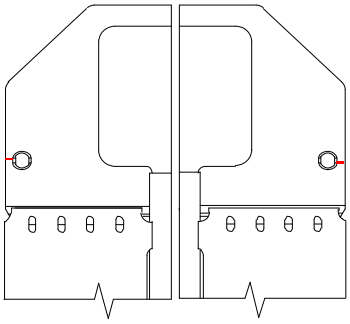




５面



８面

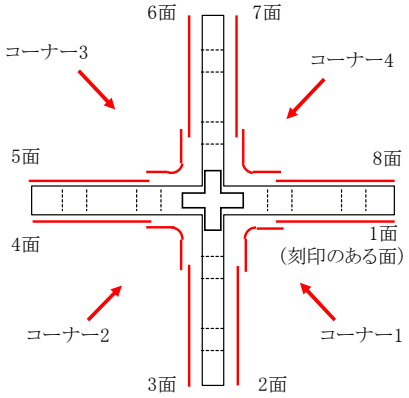


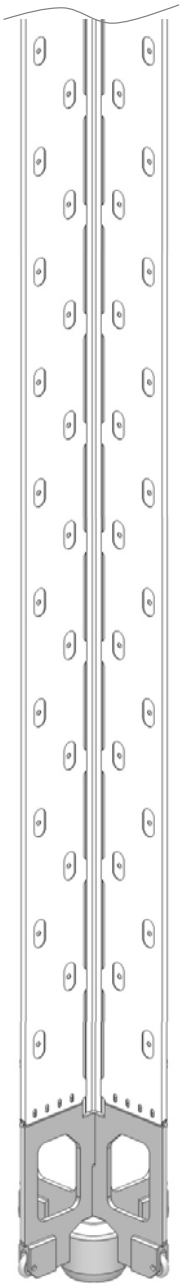


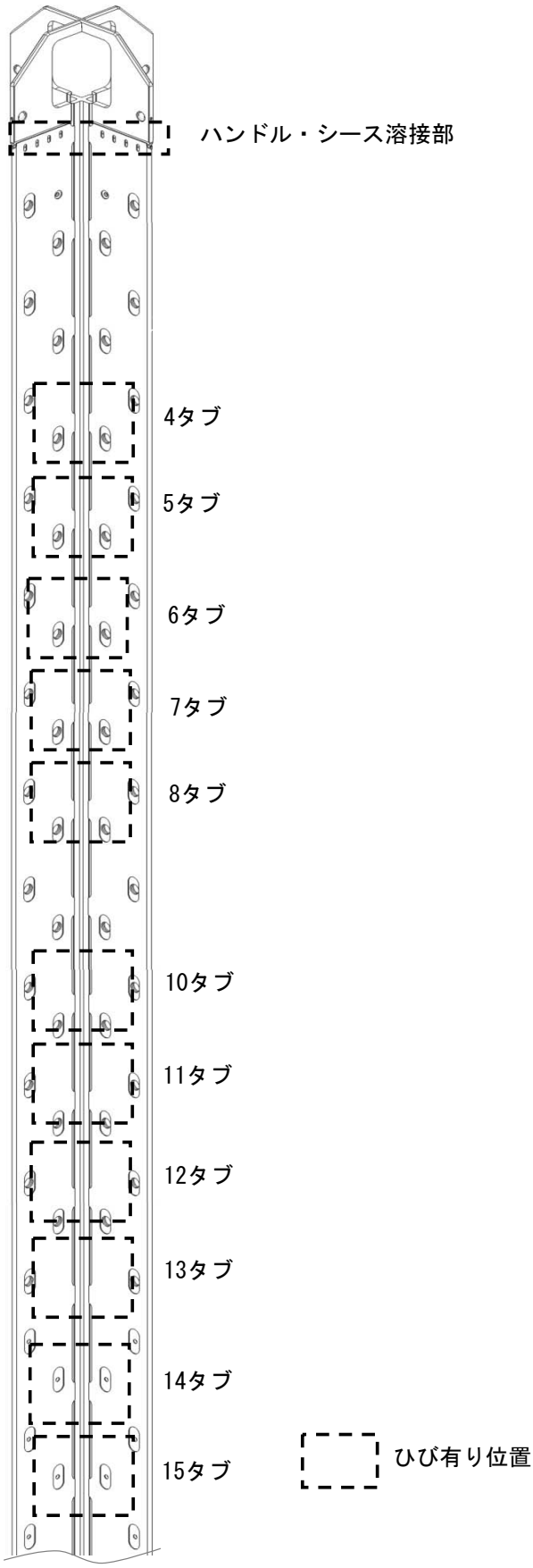
７面

単位：mm

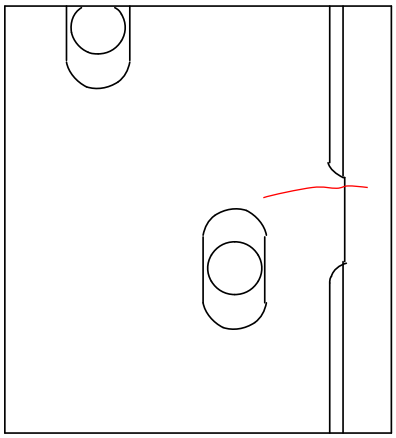
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－039）（13／13）

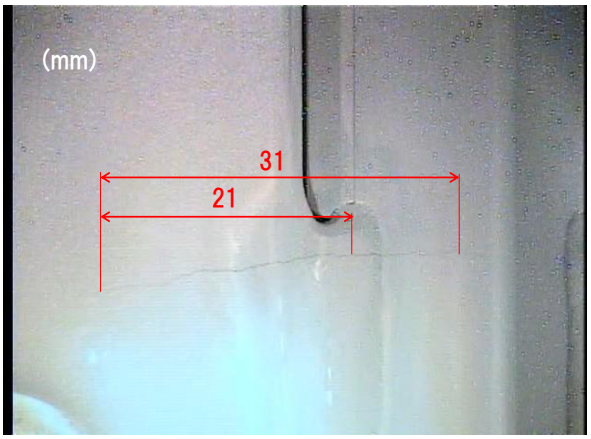




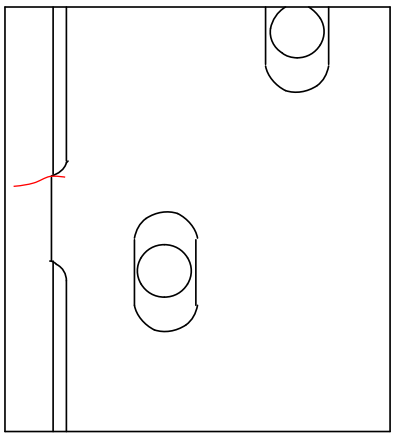


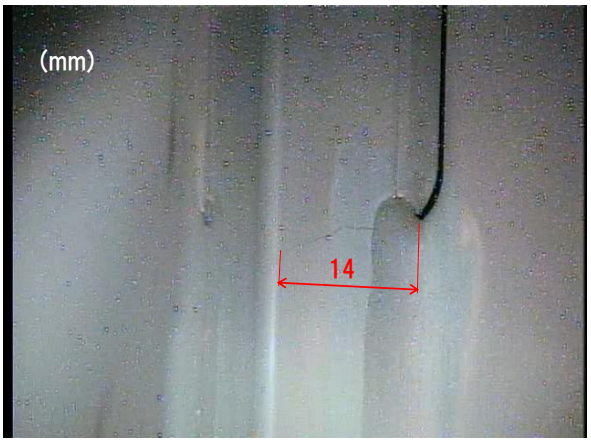
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－040）（1／12）



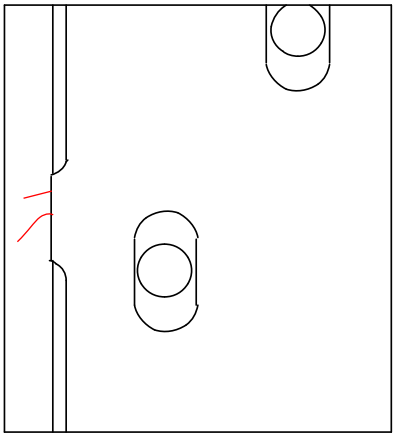


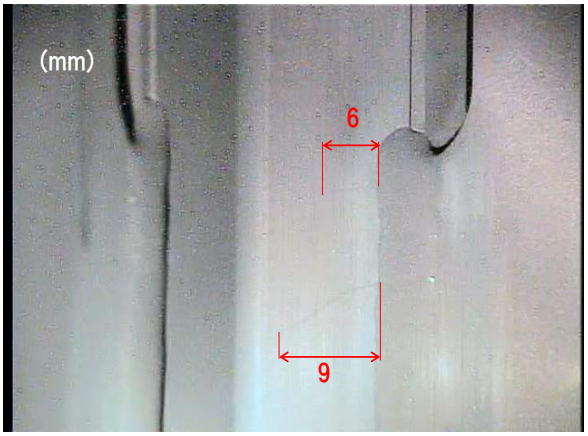
コーナー２　４面　４タブ





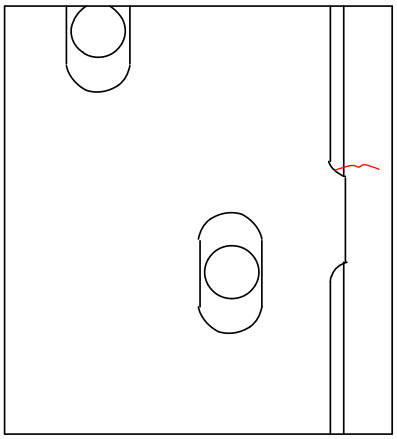
コーナー１　１面　５タブ

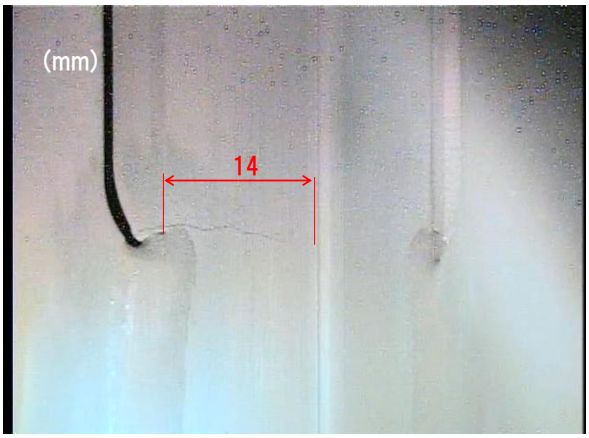




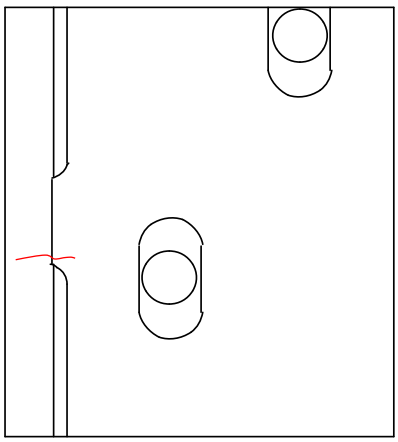
コーナー3　5面　5タブ

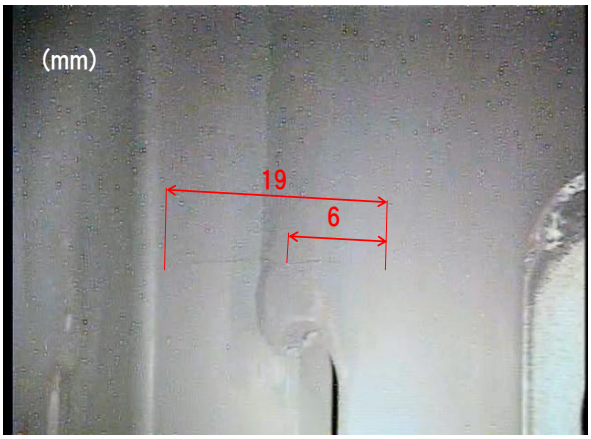
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－040）（2／12）



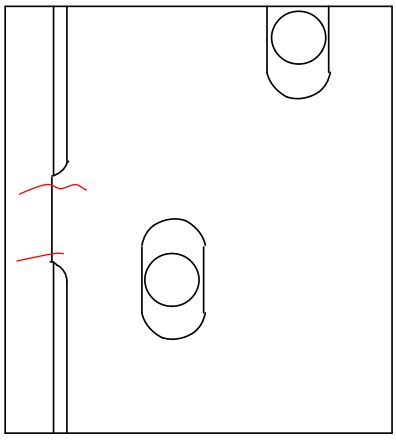


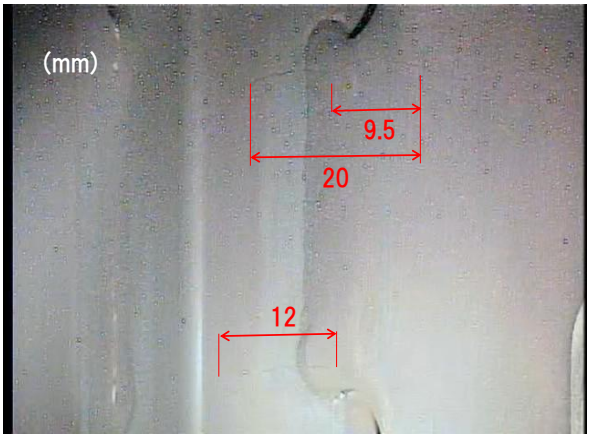
コーナー4　8面　5タブ





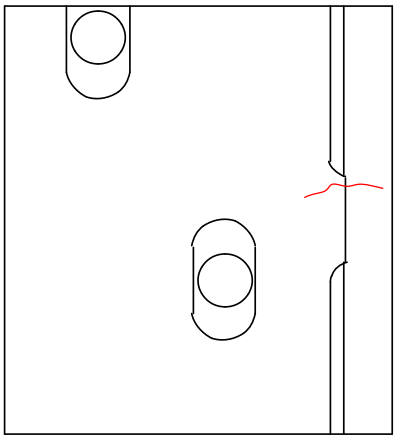
コーナー1　1面　6タブ

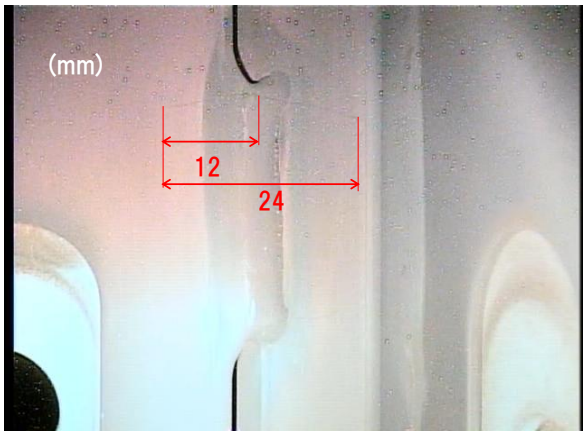




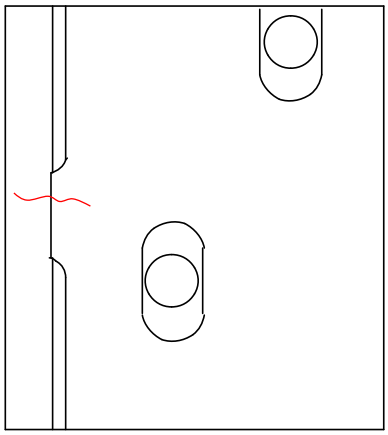
コーナー1　1面　7タブ

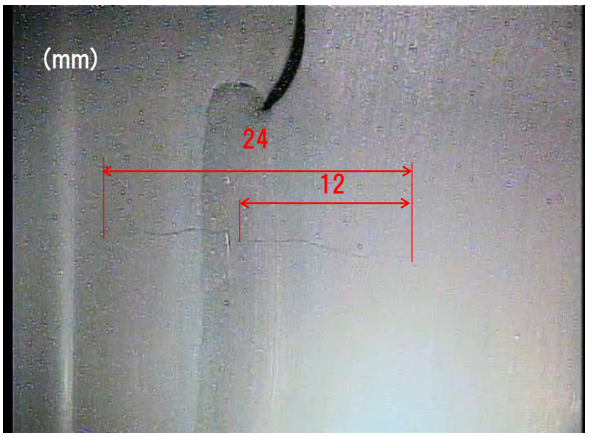
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－040）（3／12）



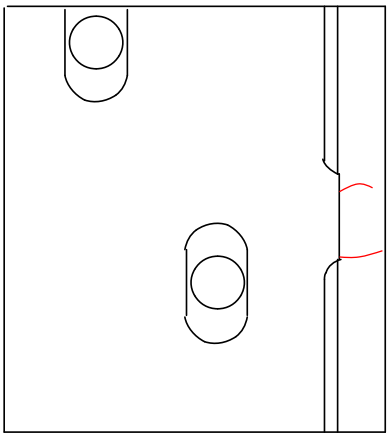


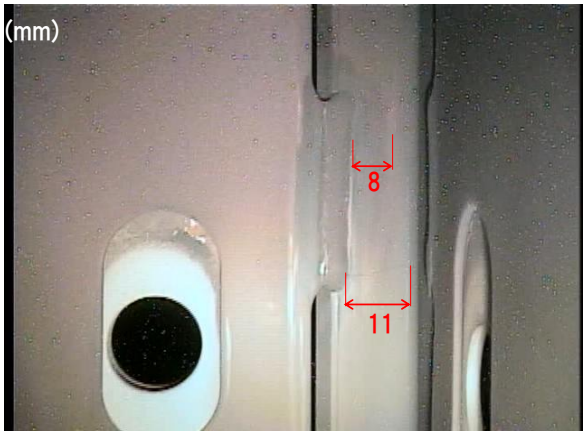
コーナー4　8面　7タブ





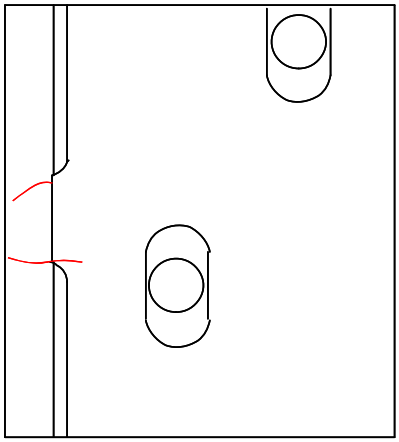
コーナー1　1面　8タブ

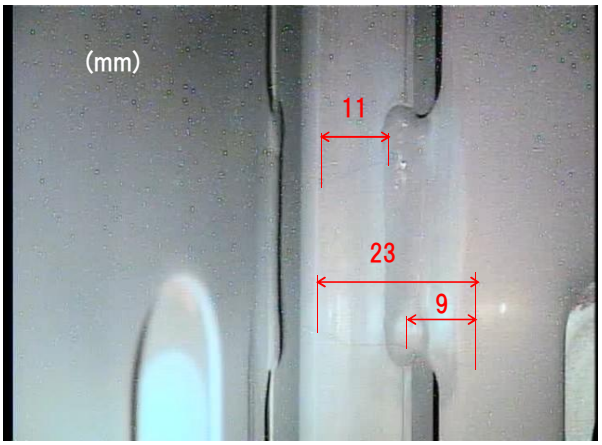




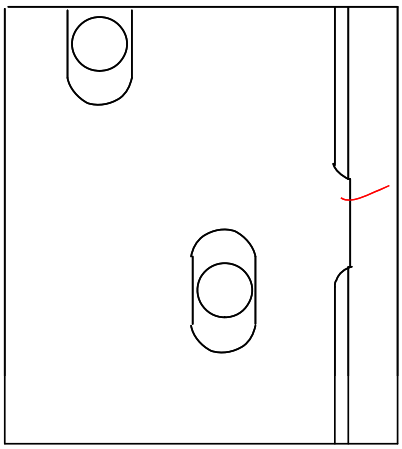
コーナー2　4面　8タブ

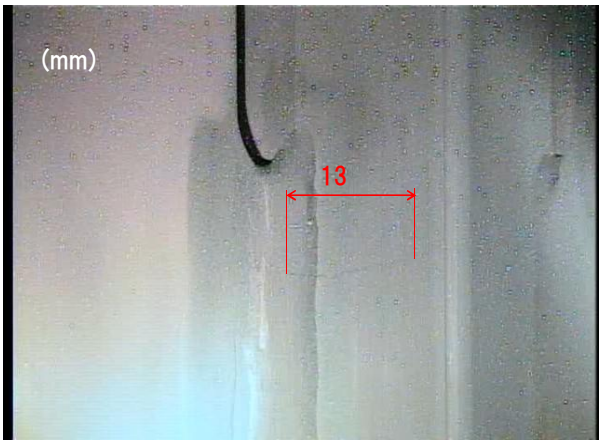
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－040）（4／12）



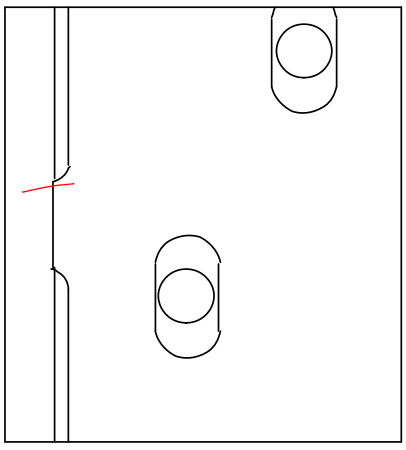


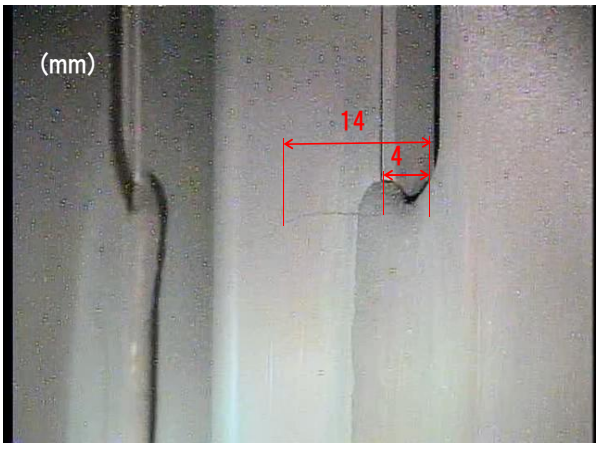
コーナー3　5面　8タブ





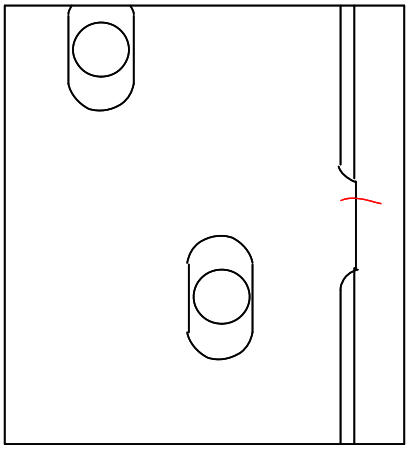
コーナー4　8面　8タブ

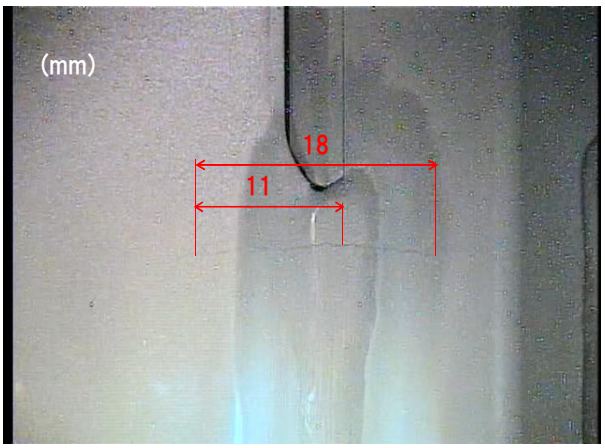




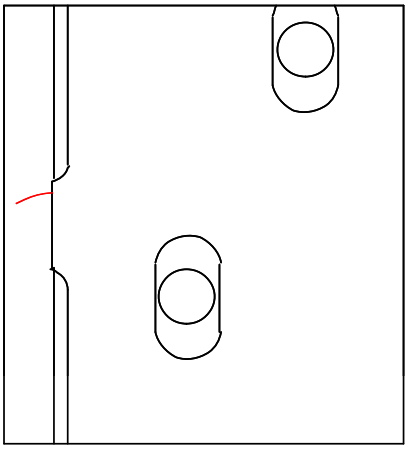
コーナー1　1面　10タブ

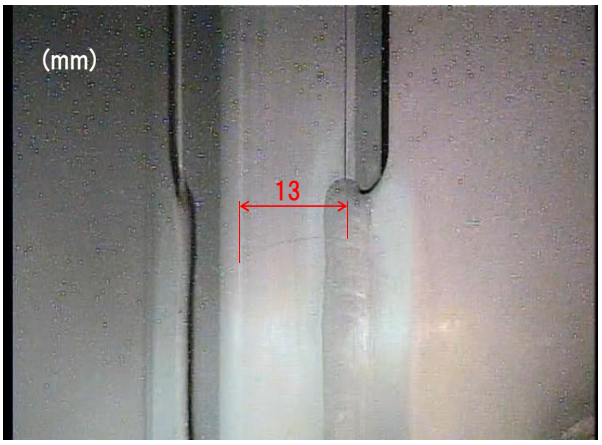
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－040）（5／12）



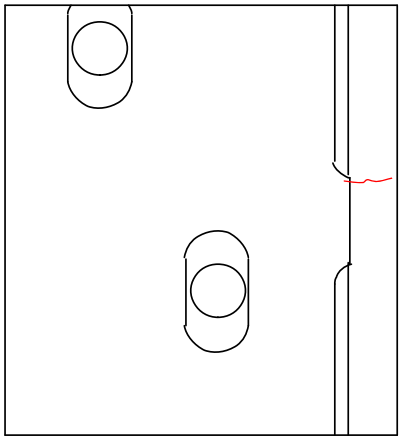


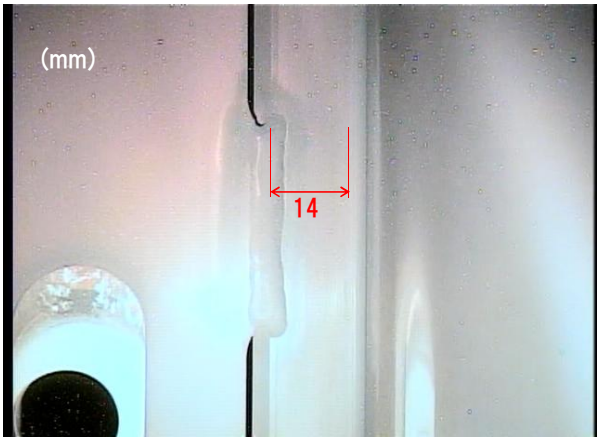
コーナー2　4面　10タブ





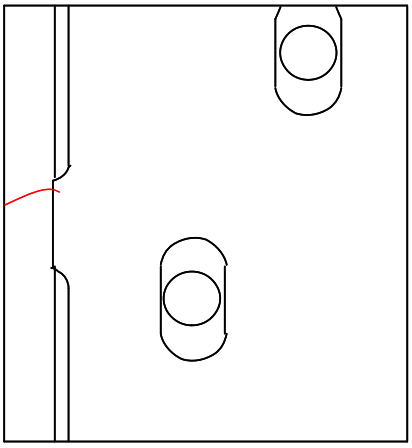
コーナー3　5面　10タブ





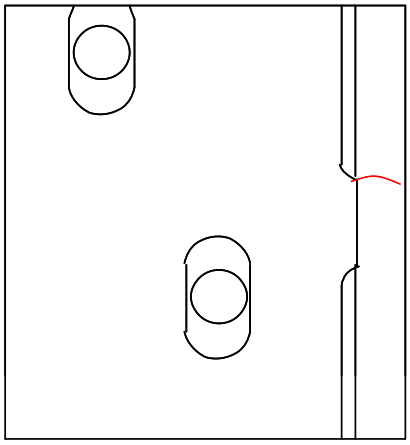
コーナー4　8面　10タブ

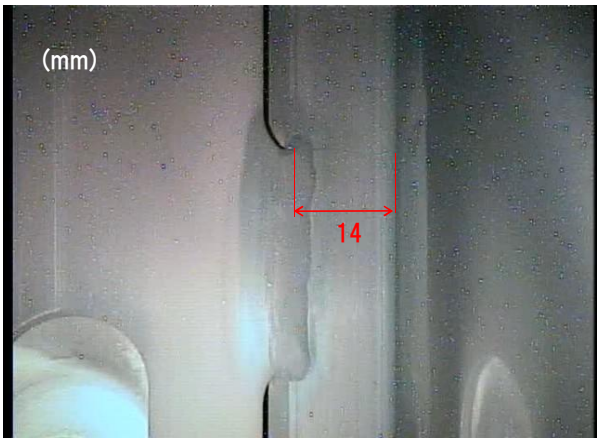
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－040）（6／12）



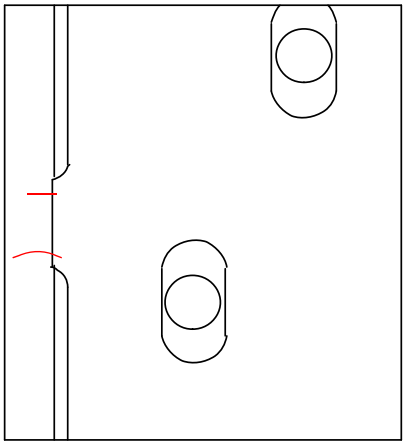


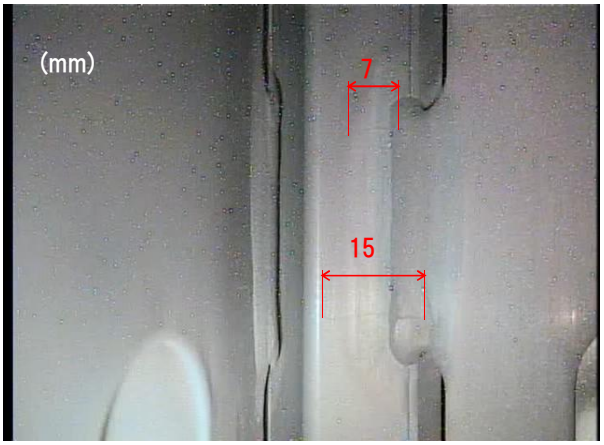
コーナー1　1面　11タブ





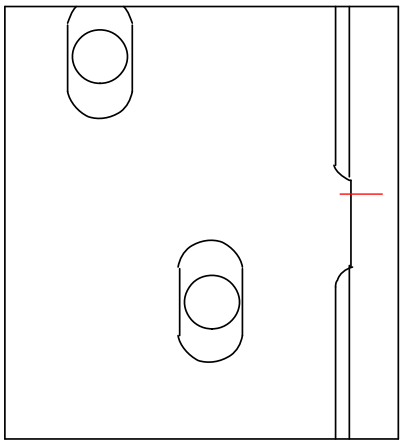
コーナー4　8面　11タブ

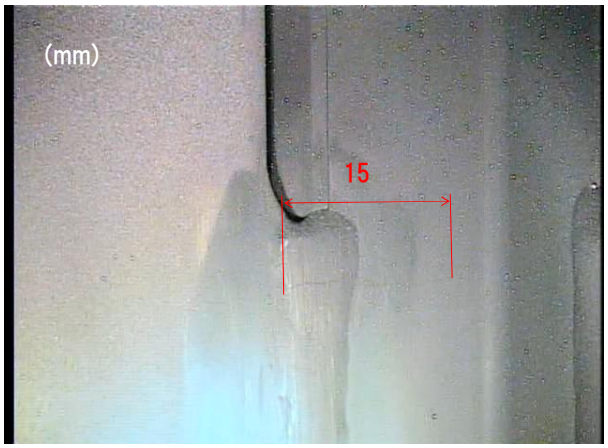




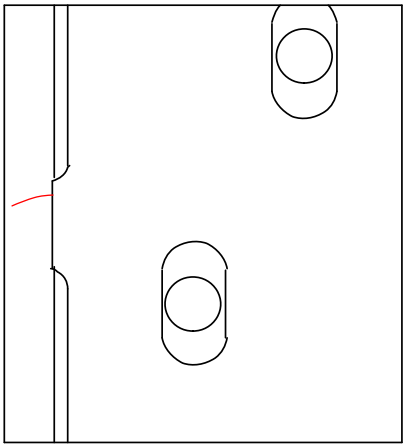
コーナー1　1面　12タブ

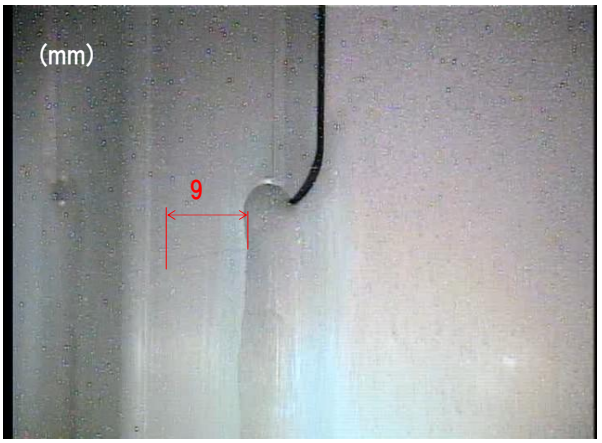
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－040）（7／12）



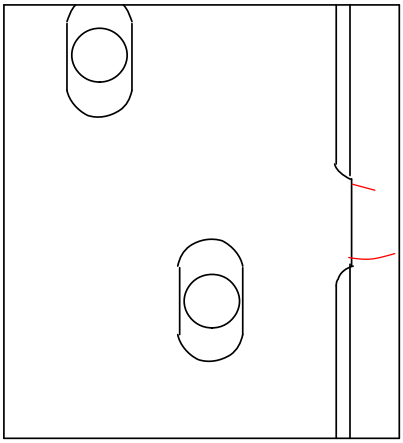


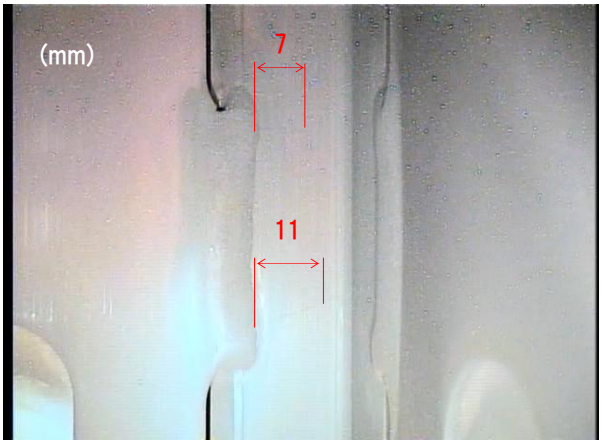
コーナー2　4面　12タブ





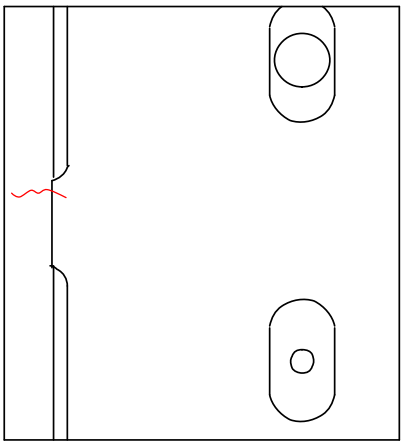
コーナー3　5面　12タブ

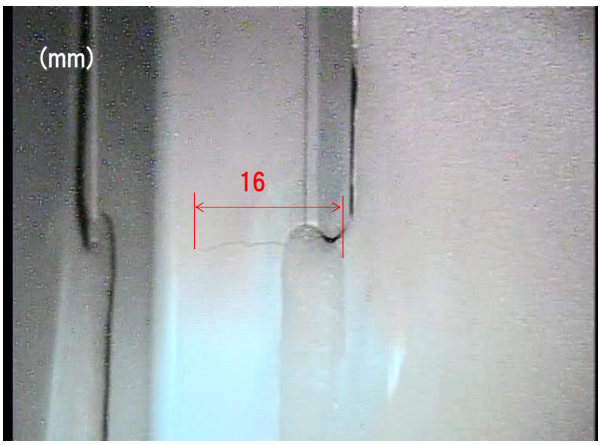




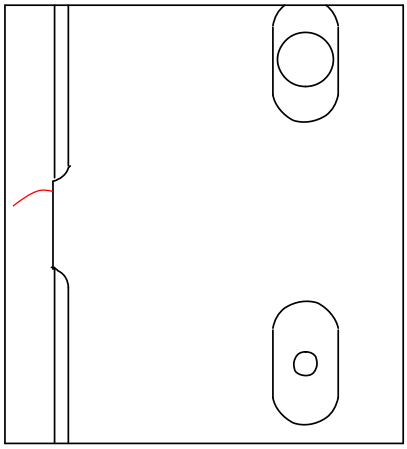
コーナー4　8面　12タブ

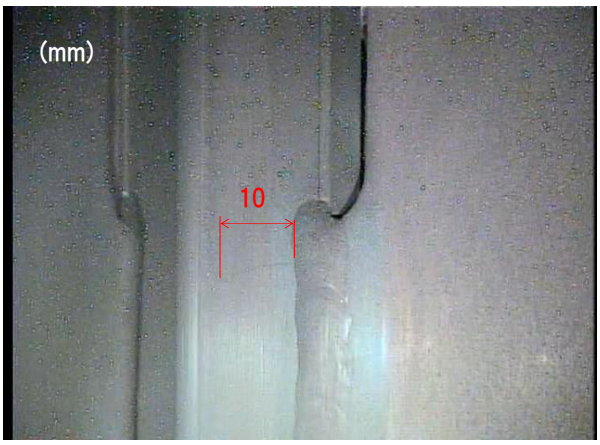
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－040）（8／12）



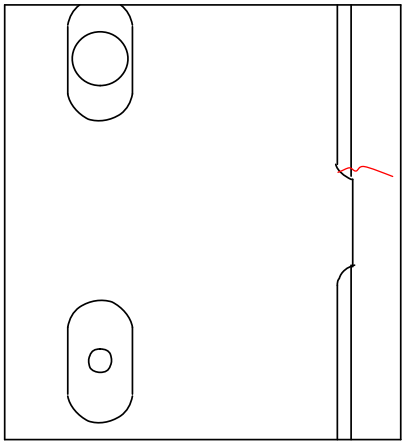


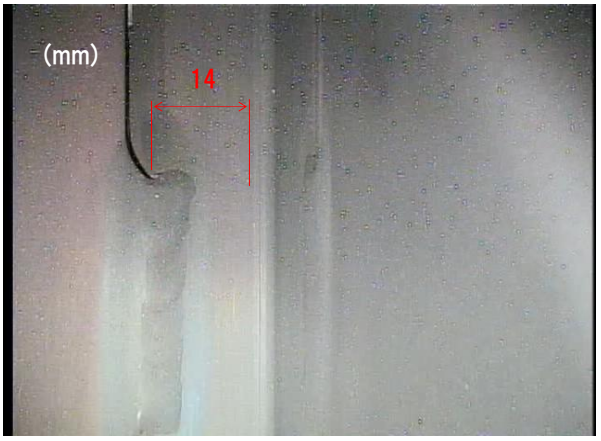
コーナー1　1面　13タブ





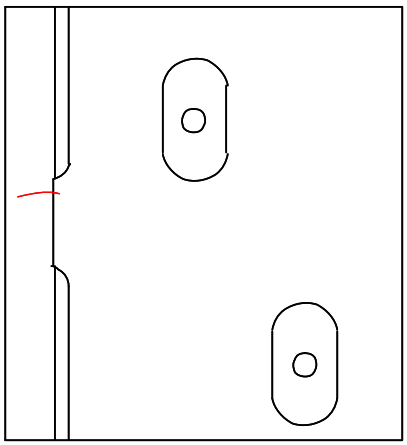
コーナー3　5面　13タブ

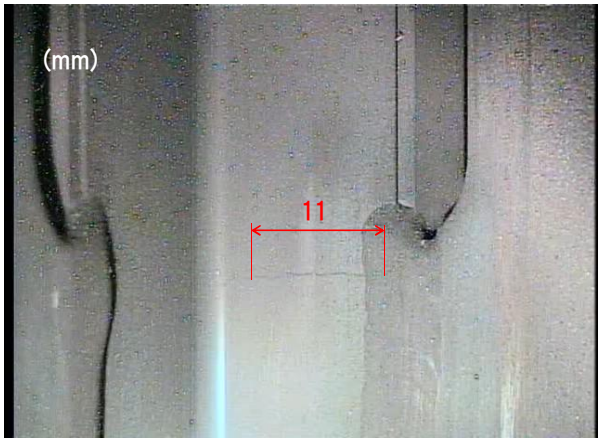




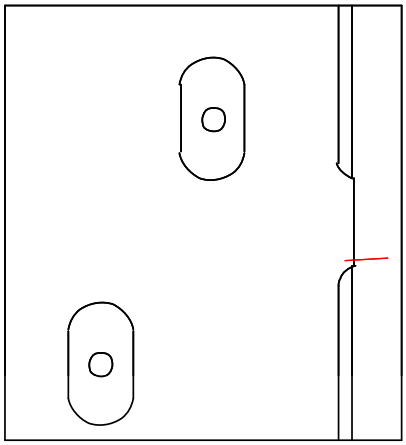
コーナー4　8面　13タブ

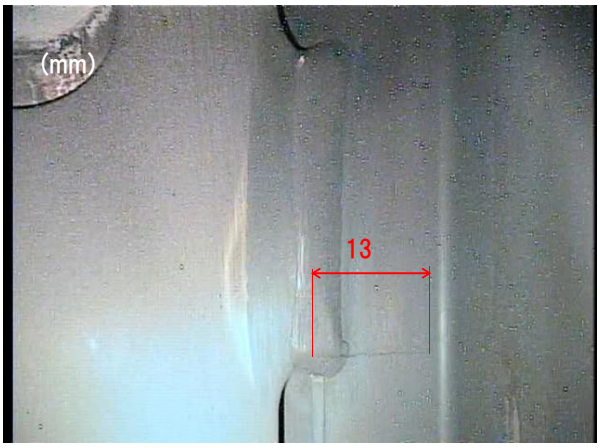
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－040）（9／12）



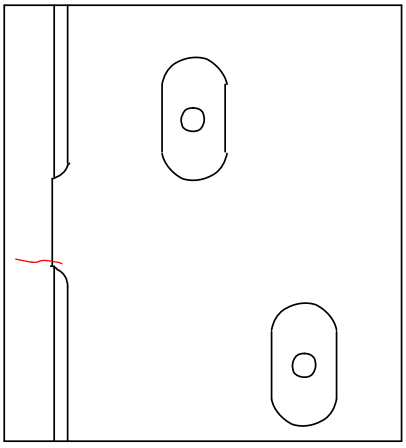


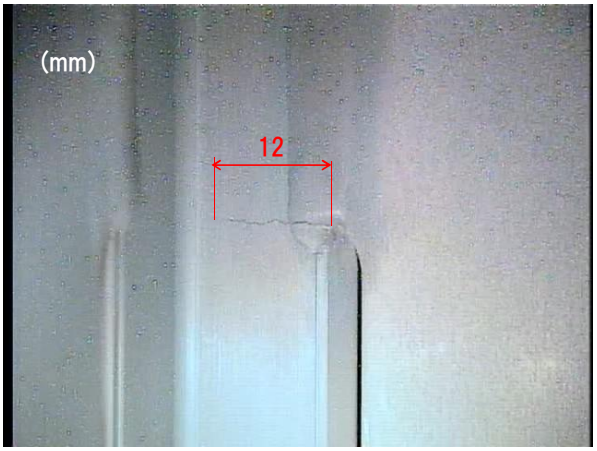
コーナー1　1面　14タブ





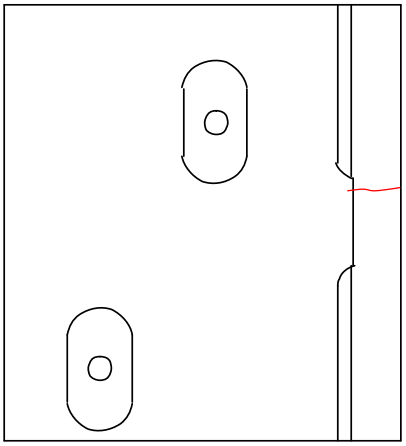
コーナー2　4面　14タブ

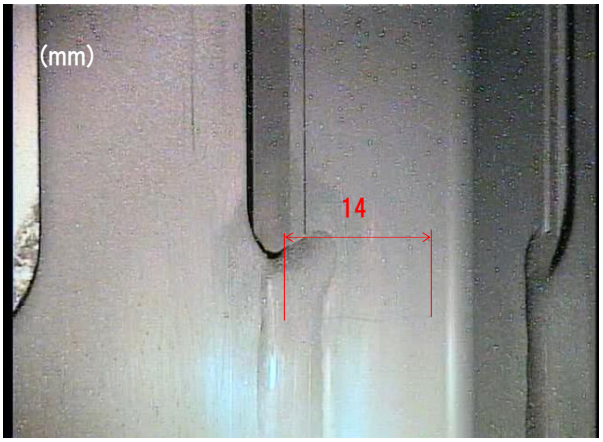




コーナー3　5面　14タブ

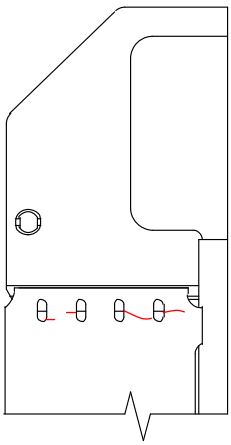
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－040）（10／12）

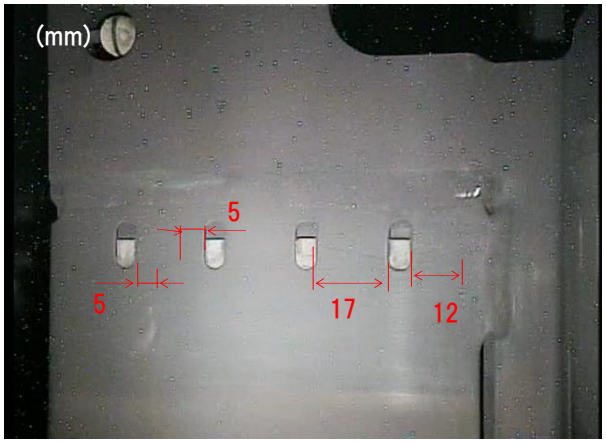




コーナー2　4面　15タブ

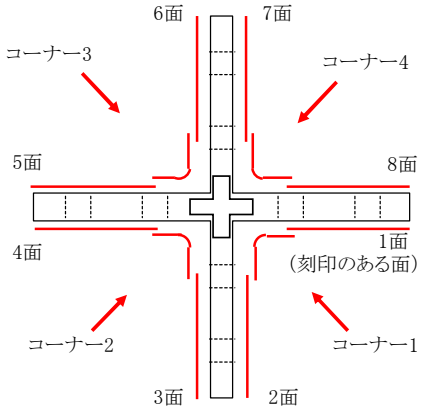
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－040）（11／12）

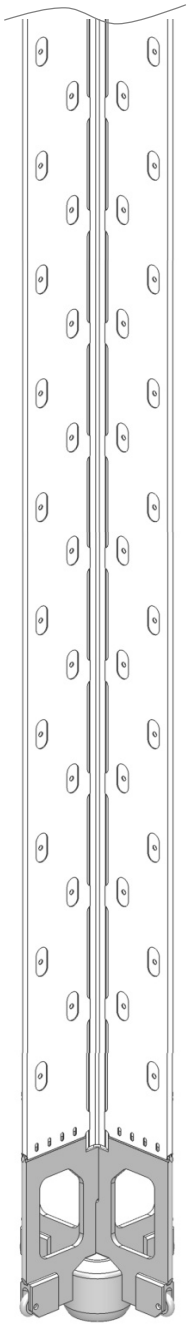


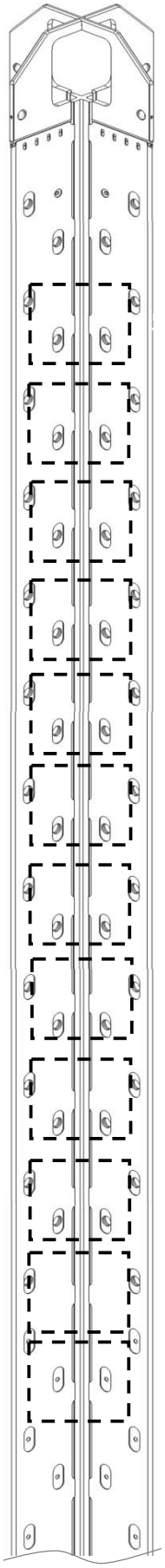


２面

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－040）（12／12）

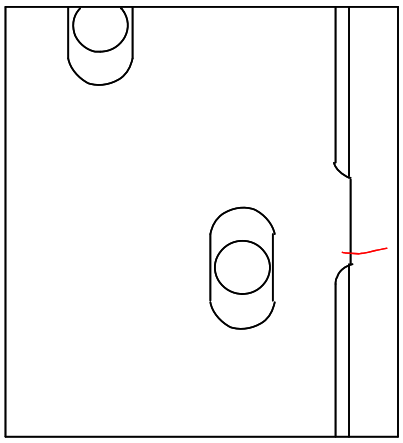






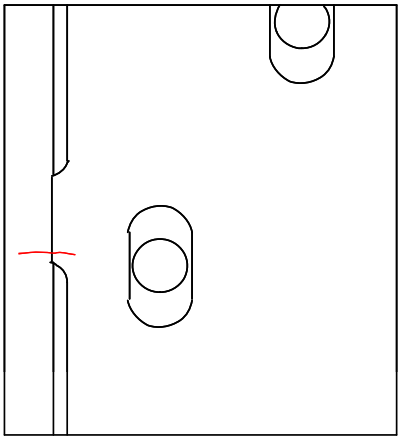
ひび有り位置

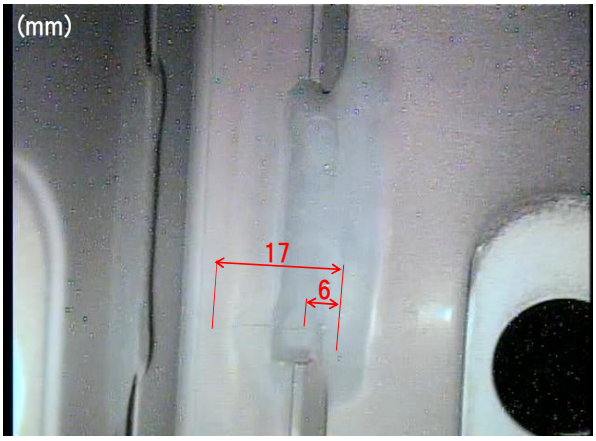
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－041）（1／12）



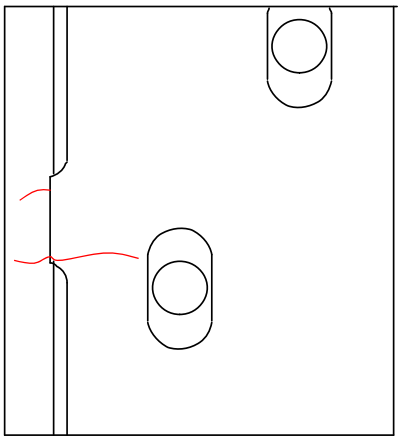


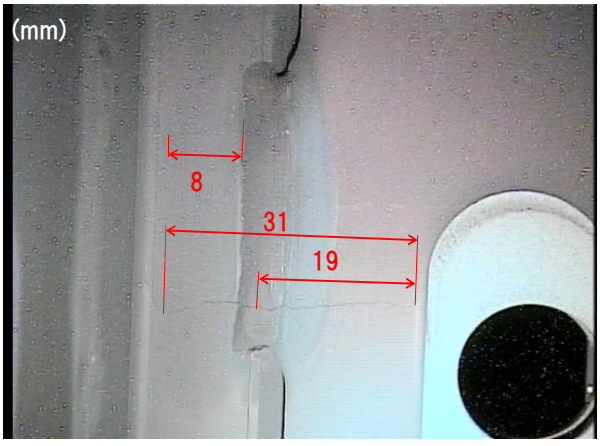
コーナー2　4面　　3タブ





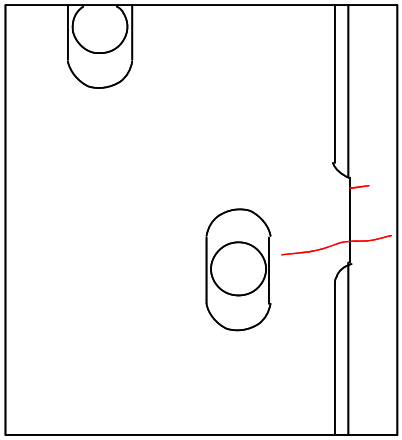
コーナー3　5面　　3タブ

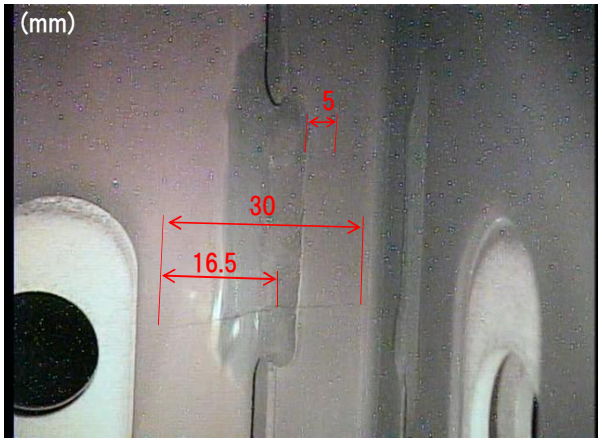




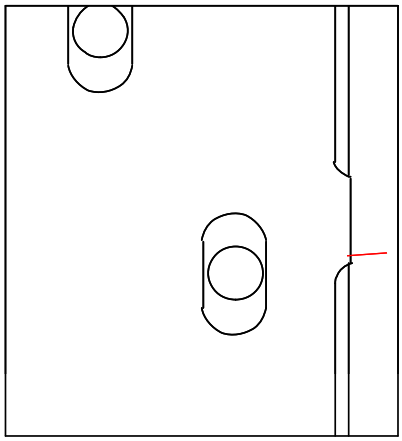
コーナー1　1面　　4タブ

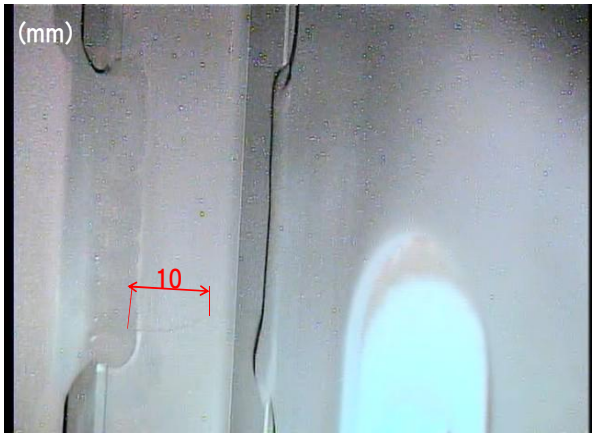
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－041）（2／12）



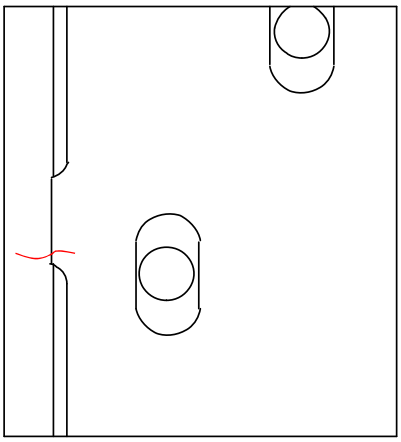


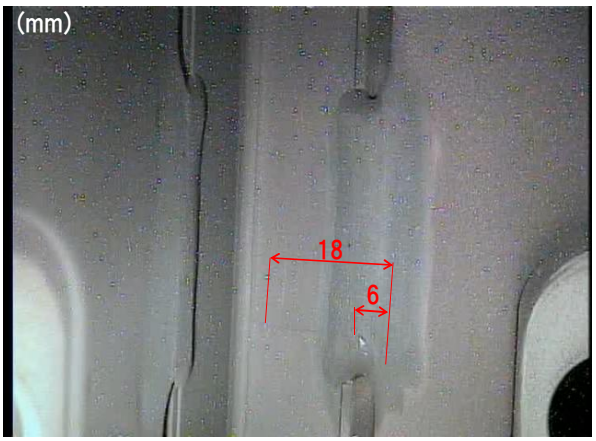
コーナー4　8面　　4タブ





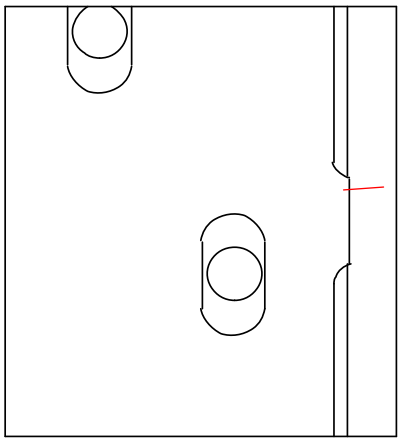
コーナー2　4面　　5タブ





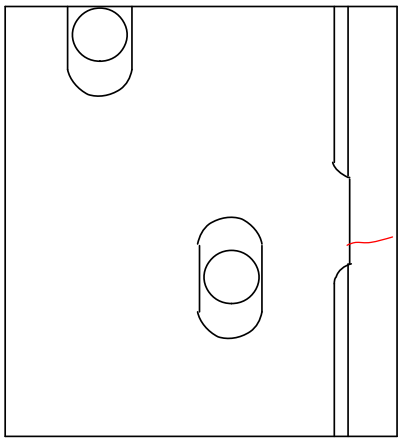
コーナー3　5面　　5タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－041）（3／12）



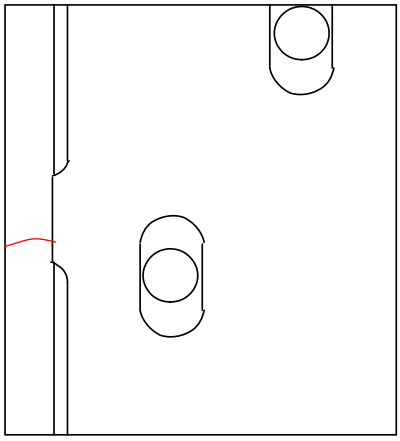


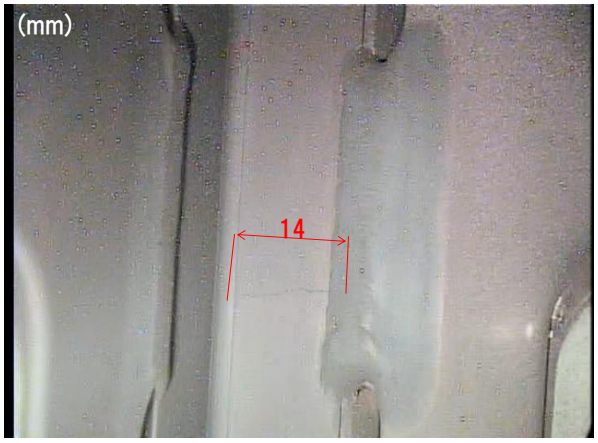
コーナー4　8面　　5タブ





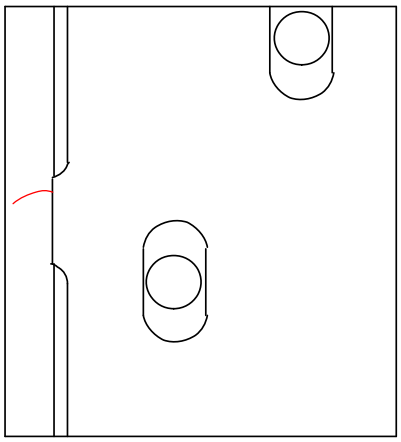
コーナー2　4面　　6タブ





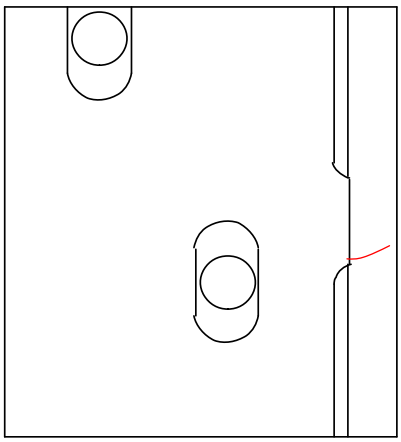
コーナー3　5面　　6タブ

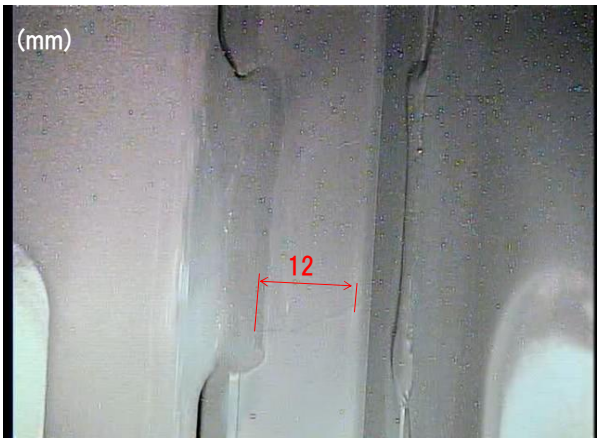
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－041）（4／12）



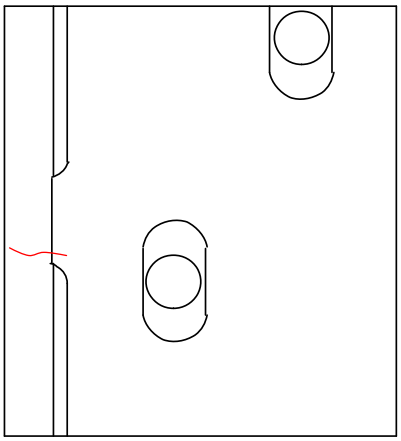


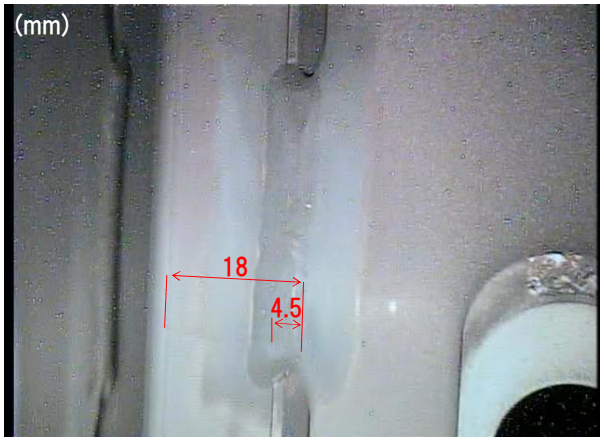
コーナー1　1面　7タブ





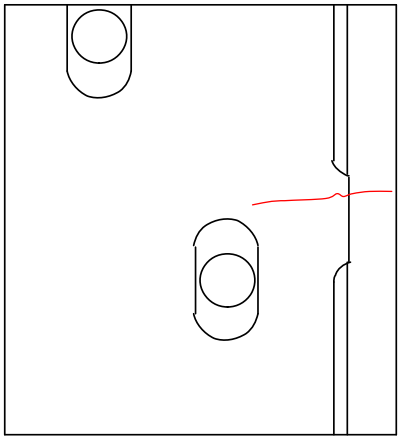
コーナー2　4面　7タブ

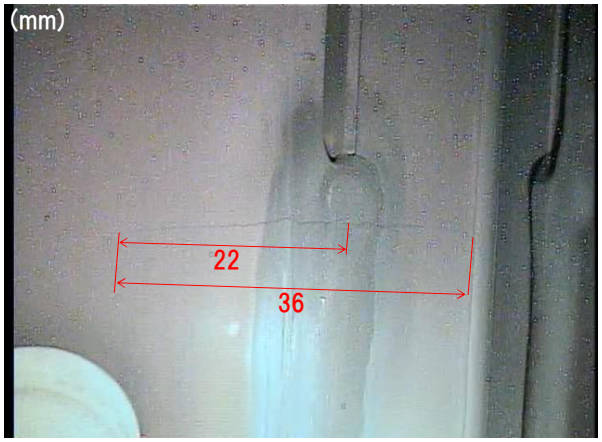




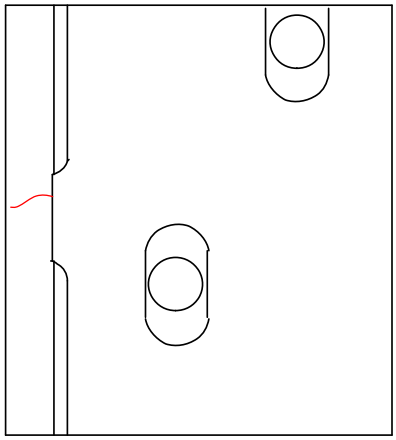
コーナー3　5面　7タブ

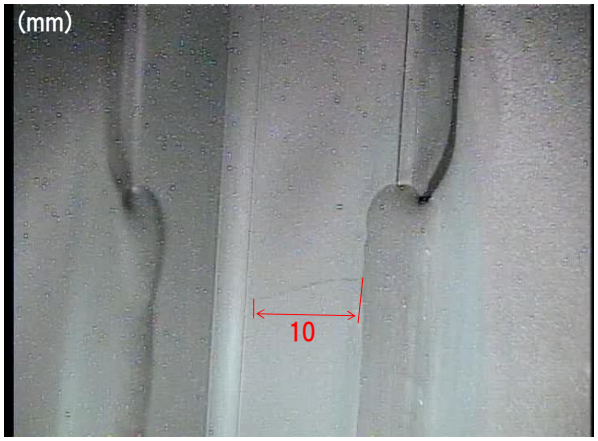
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－041）（5／12）



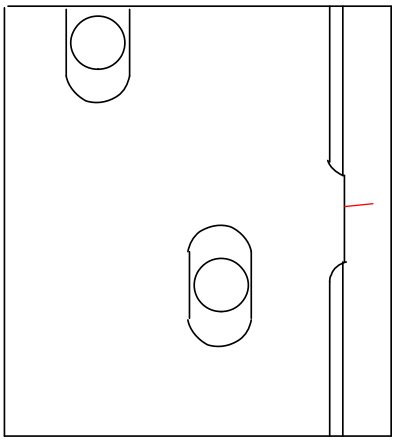


コーナー4　8面　　7タブ





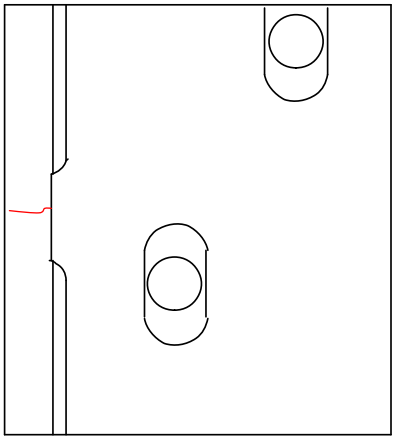
コーナー1　1面　　8タブ





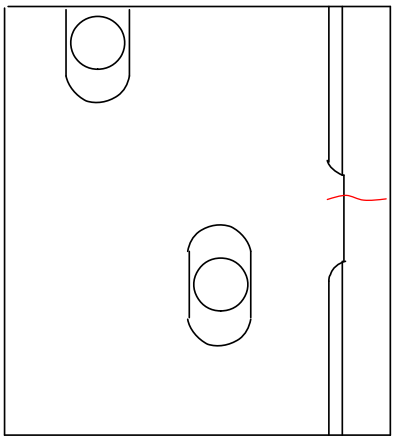
コーナー2　4面　　8タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－041）（6／12）



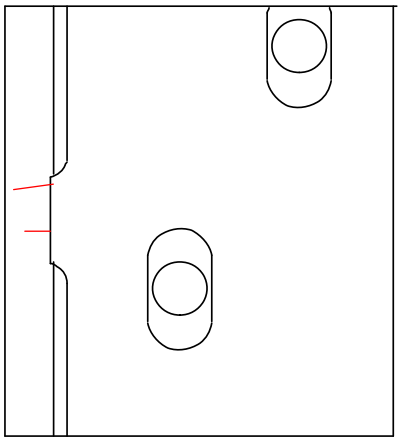


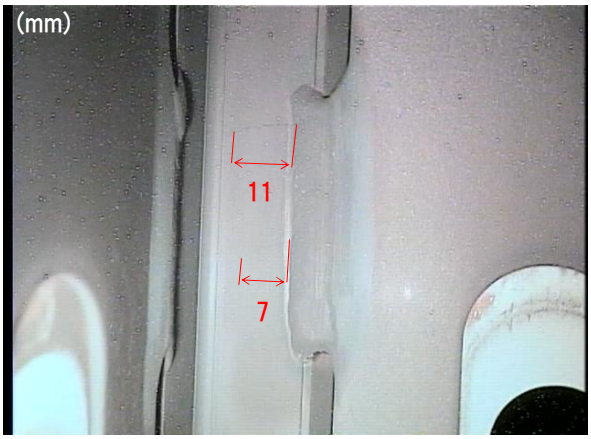
コーナー3　5面　　8タブ





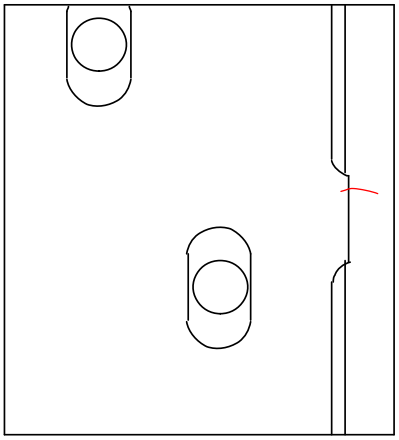
コーナー4　8面　　8タブ

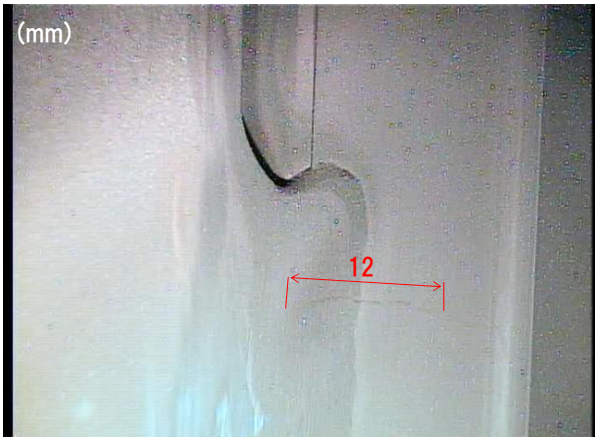




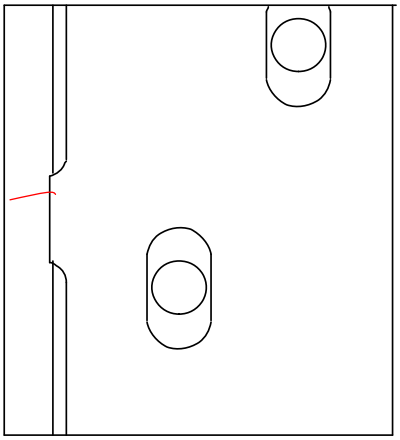
コーナー1　1面　　9タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－041）（7／12）



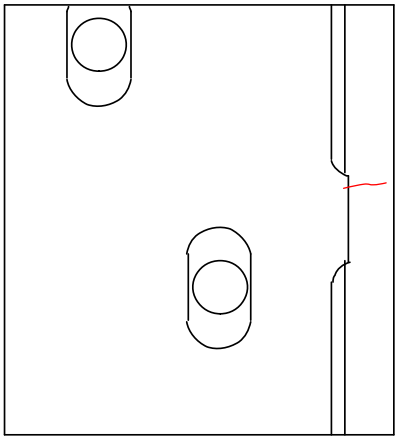


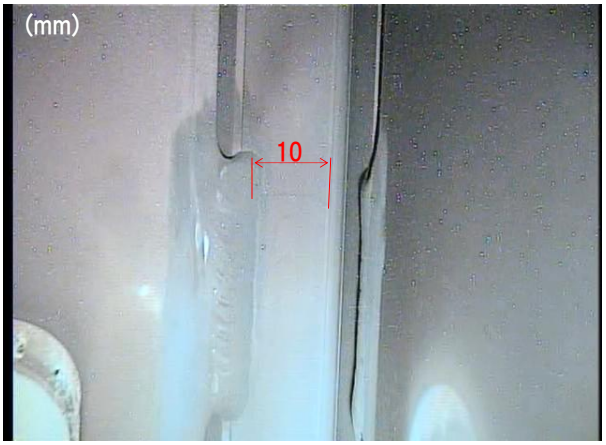
コーナー2　4面　　9タブ





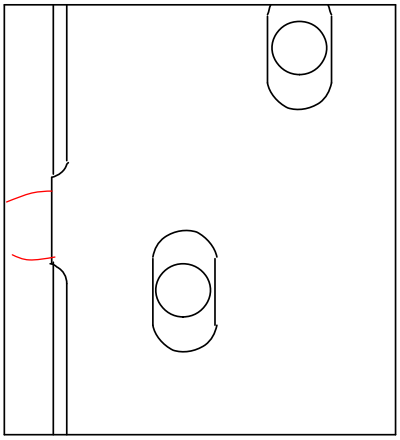
コーナー3　5面　　9タブ

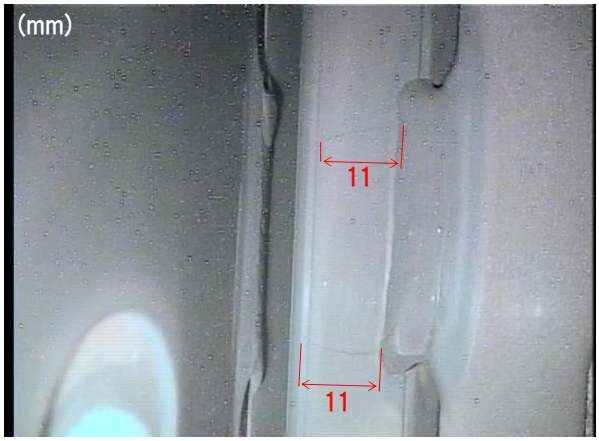




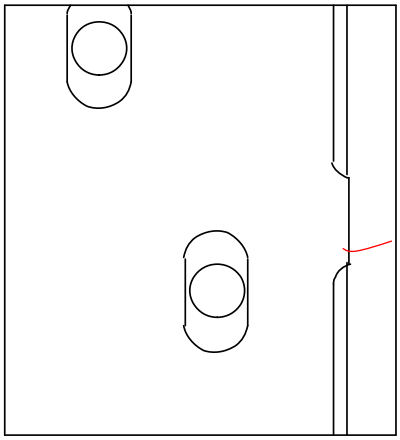
コーナー4　8面　　9タブ

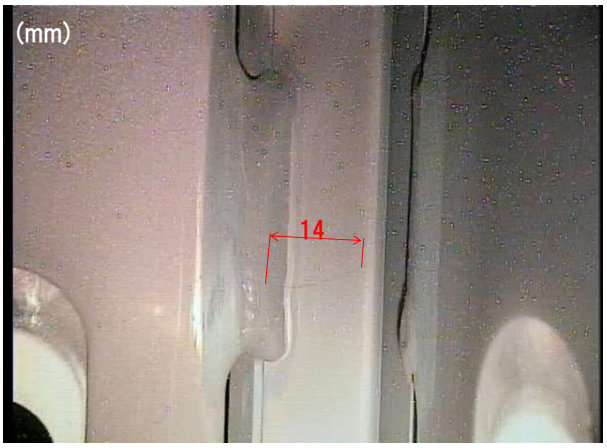
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－041）（8／12）



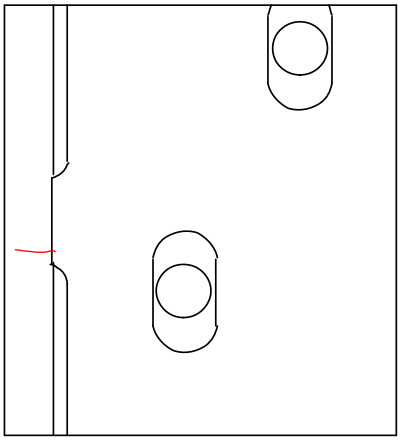


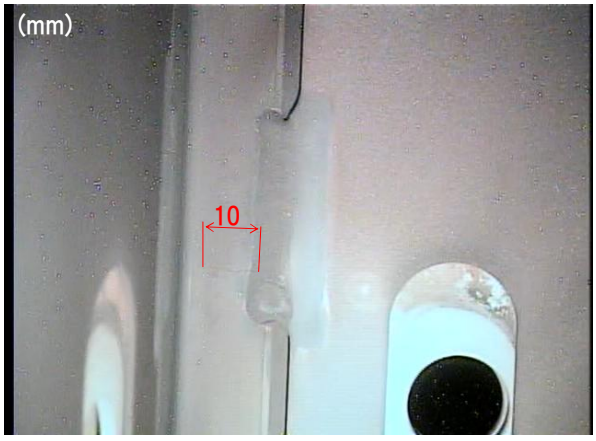
コーナー1　1面　10タブ





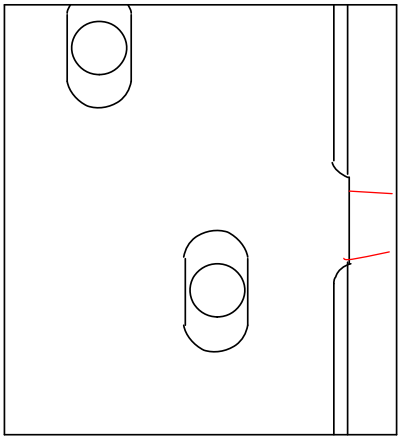
コーナー2　4面　10タブ

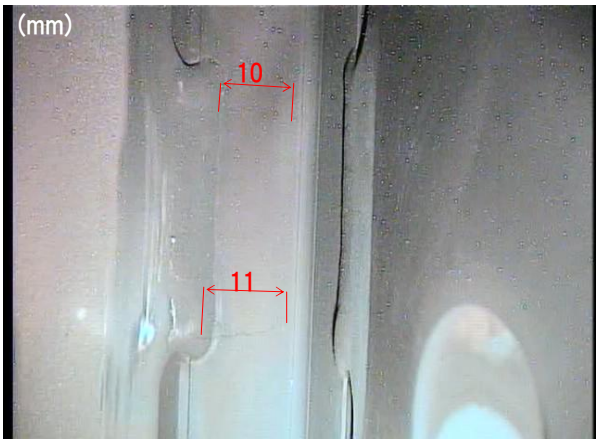




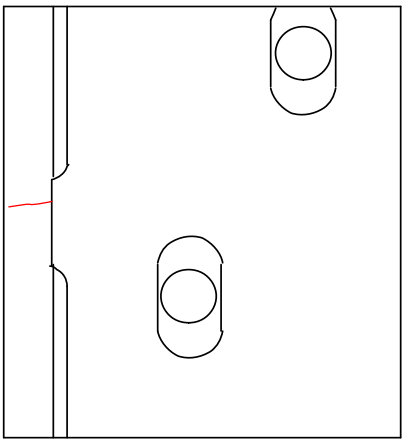
コーナー3　5面　10タブ

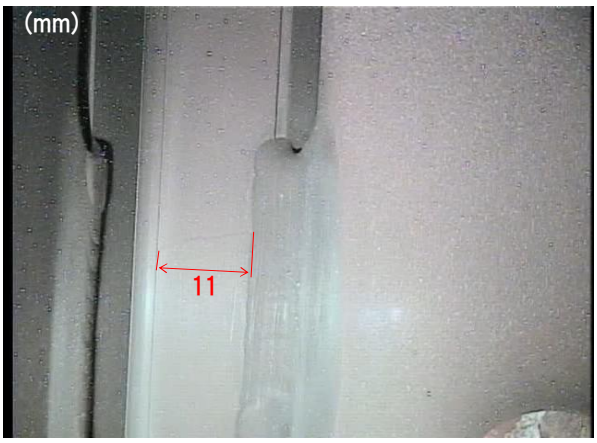
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－041）（9／12）



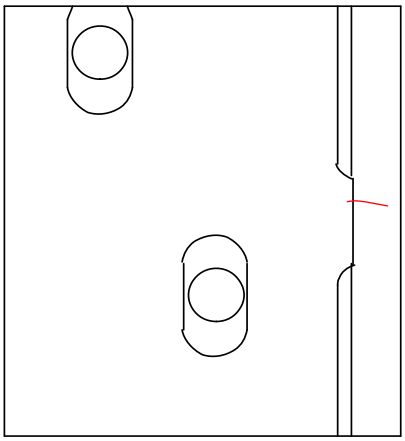


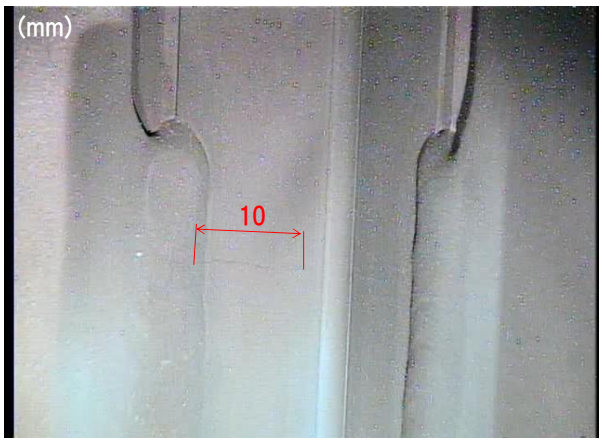
コーナー4　8面　　10タブ





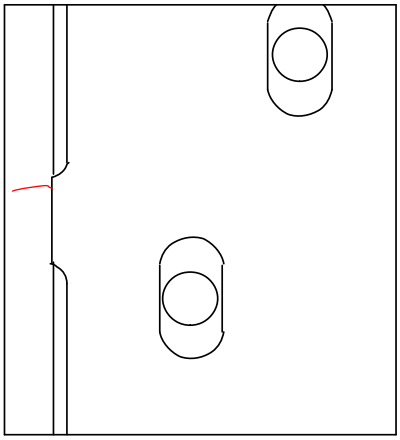
コーナー1　1面　　11タブ

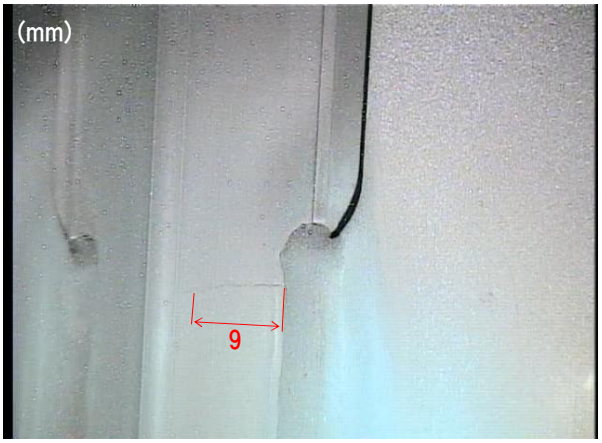




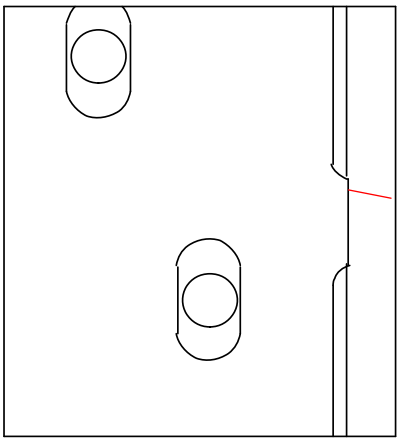
コーナー4　8面　　11タブ

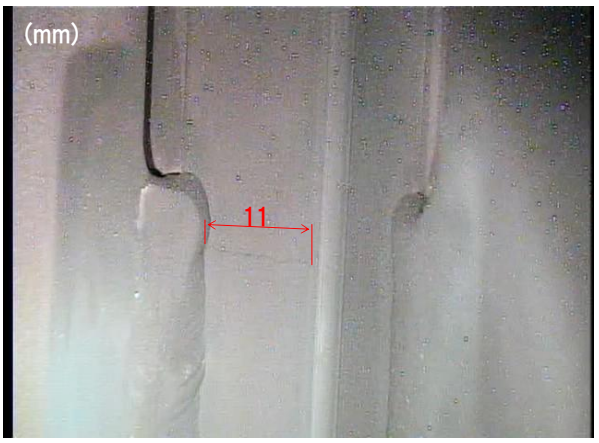
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－041）（10／12）



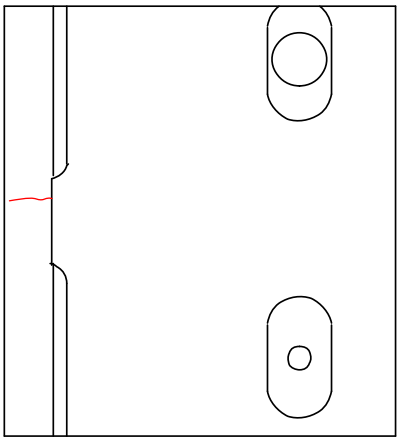


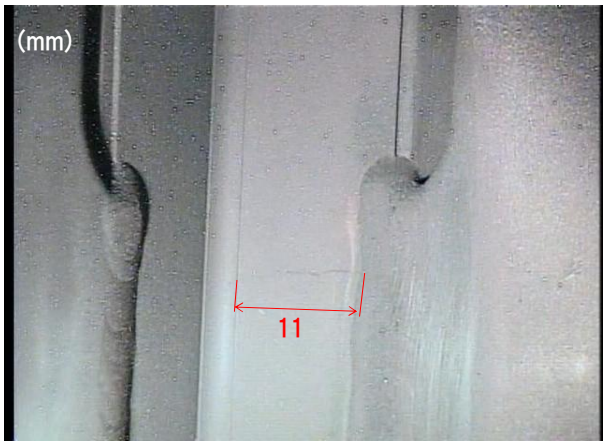
コーナー1　1面　12タブ





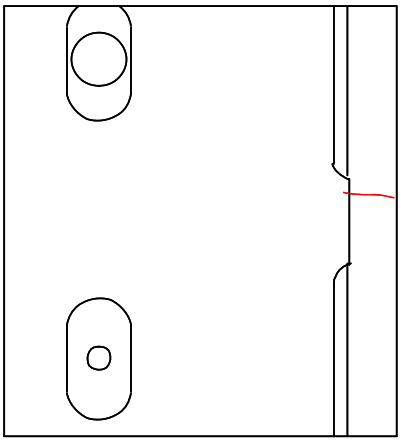
コーナー4　8面　12タブ





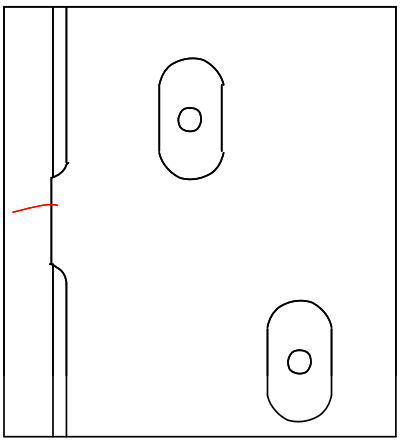
コーナー1　1面　13タブ

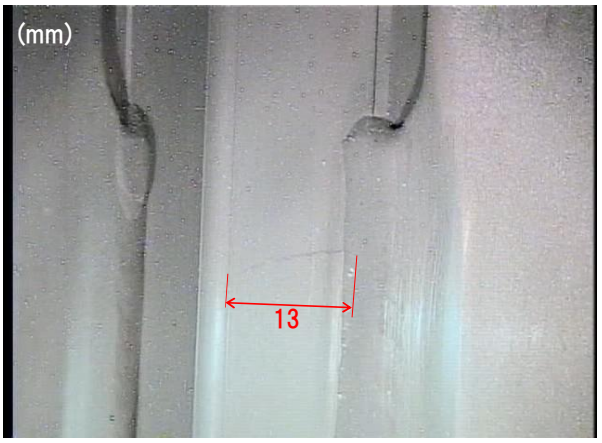
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－041）（11／12）



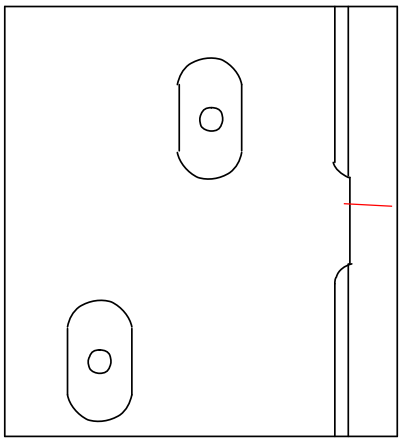


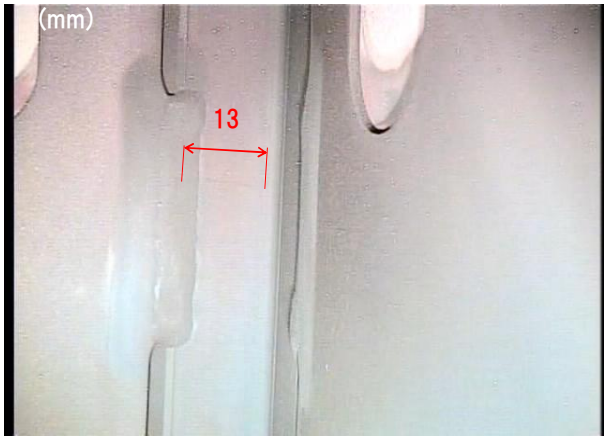
コーナー4　8面　　13タブ





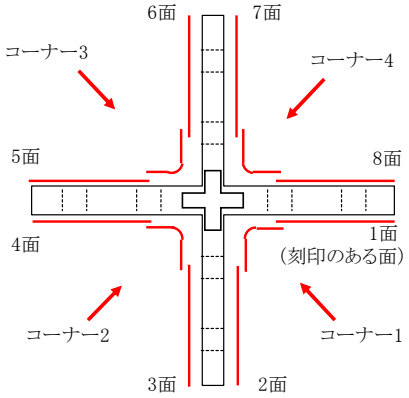
コーナー1　1面　　14タブ

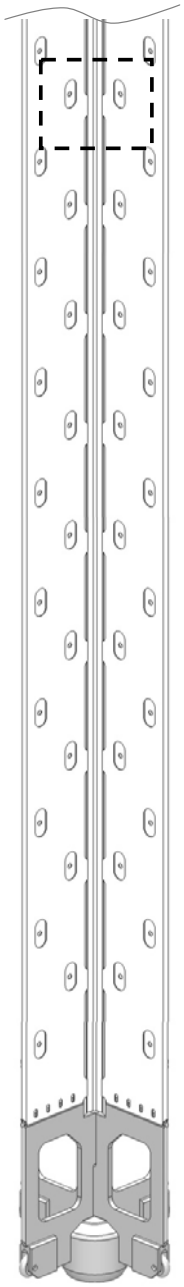




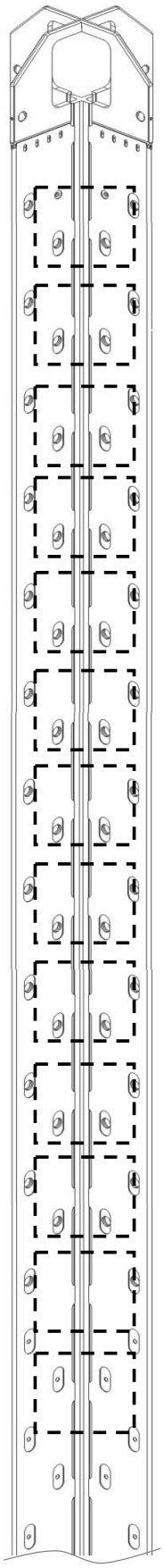
コーナー4　8面　　14タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－041）（12／12）





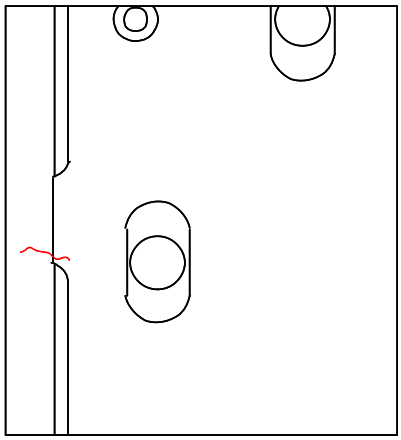
16タブ

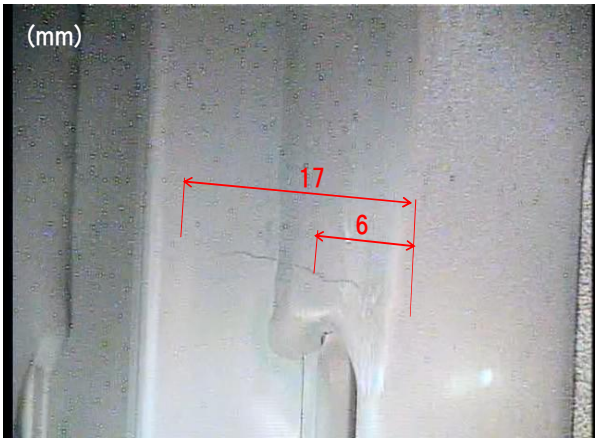


2タブ
3タブ
4タブ
5タブ
6タブ
7タブ
8タブ
9タブ
10タブ
11タブ
12タブ
13タブ
14タブ

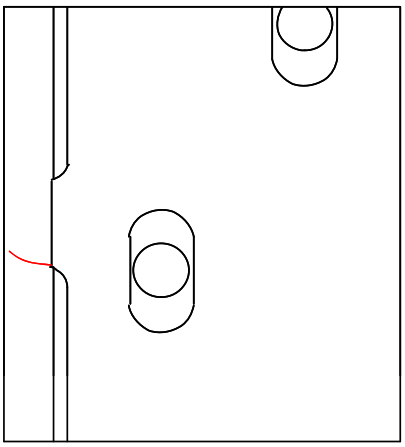
ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（1／19）



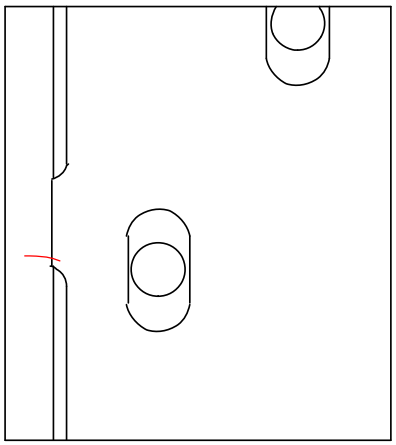


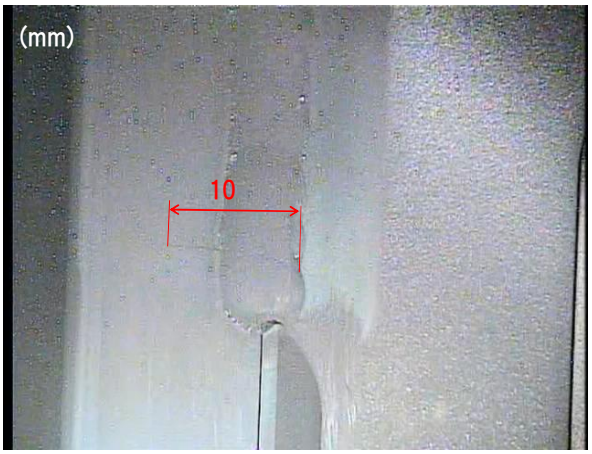
コーナー1　1面　　2タブ





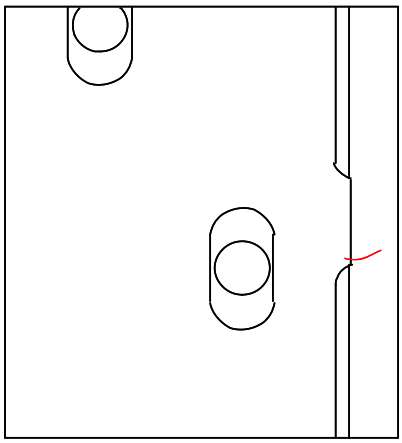
コーナー1　1面　　3タブ

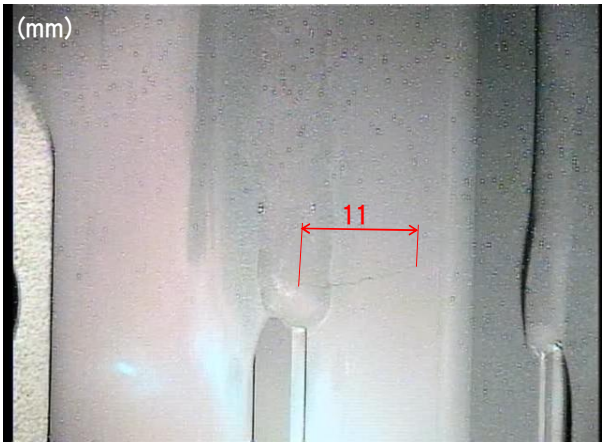




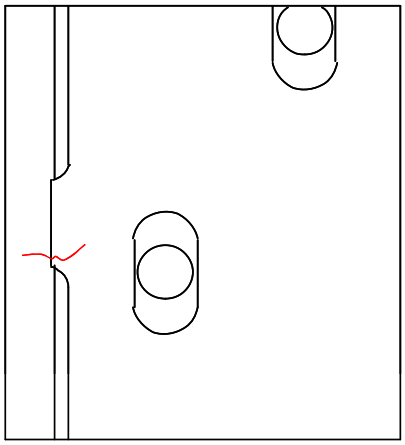
コーナー3　5面　　3タブ

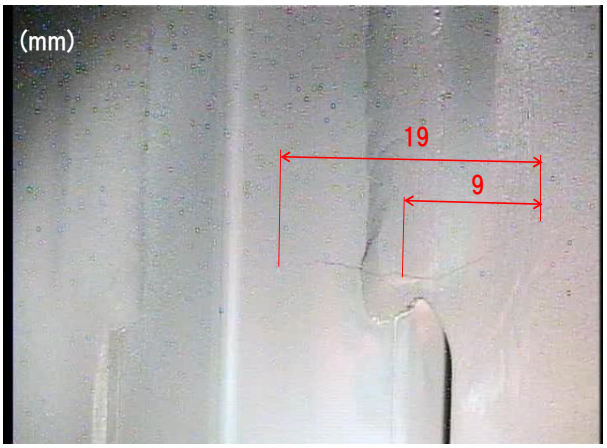
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（2／19）



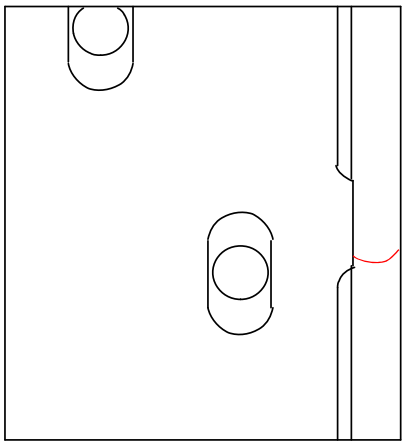


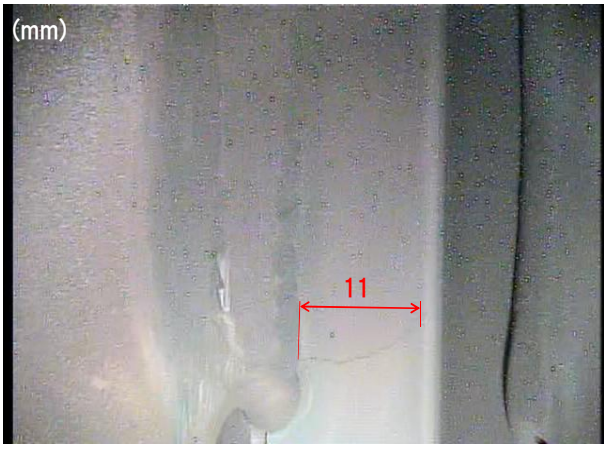
コーナー4　8面　　3タブ





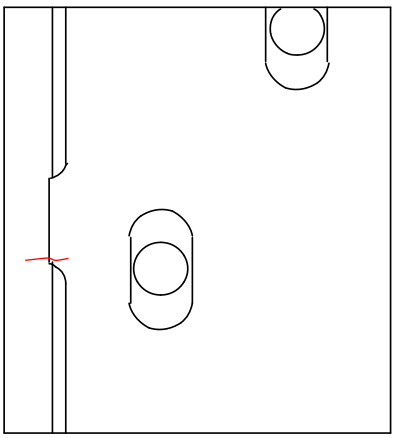
コーナー1　1面　　4タブ

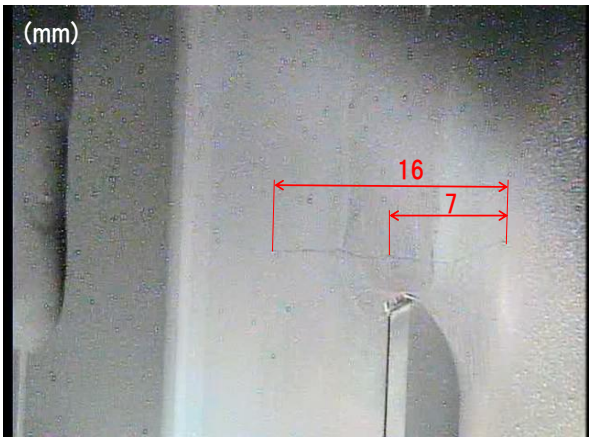




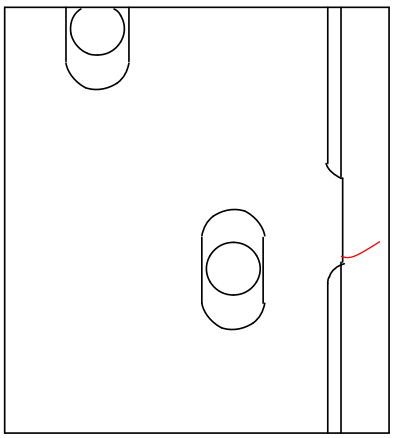
コーナー2　4面　　4タブ

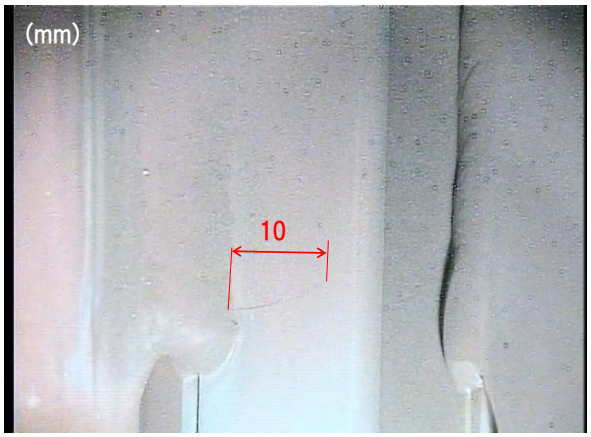
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（3／19）



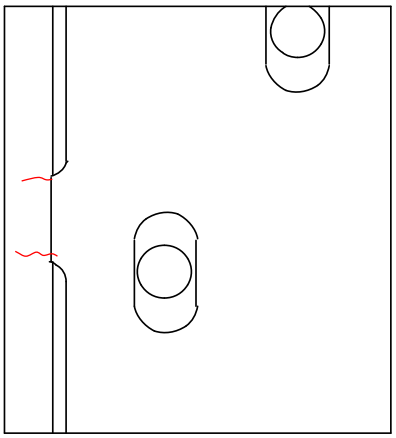


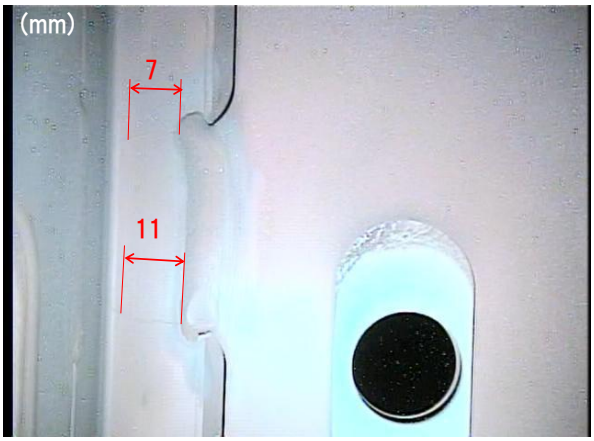
コーナー3　5面　　4タブ





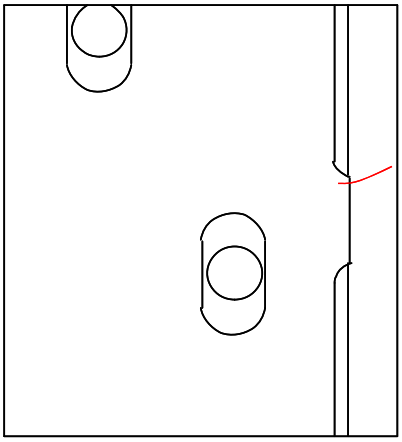
コーナー4　8面　　4タブ

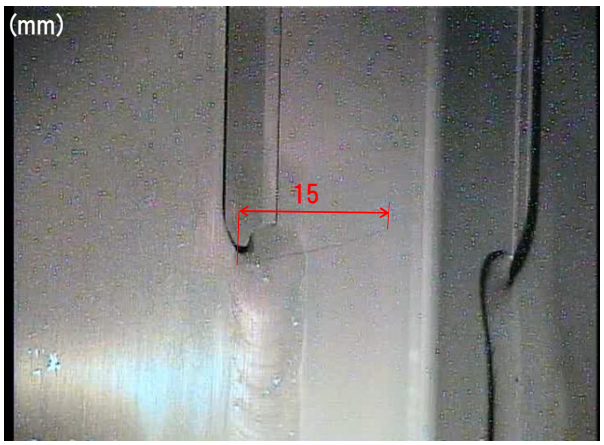




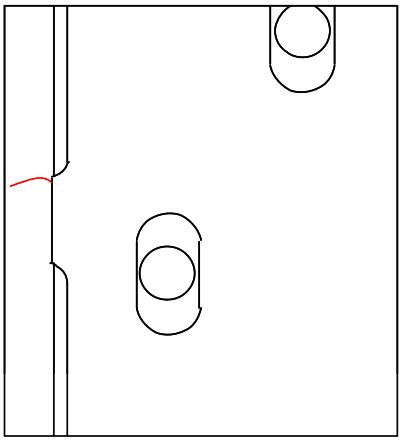
コーナー1　1面　　5タブ

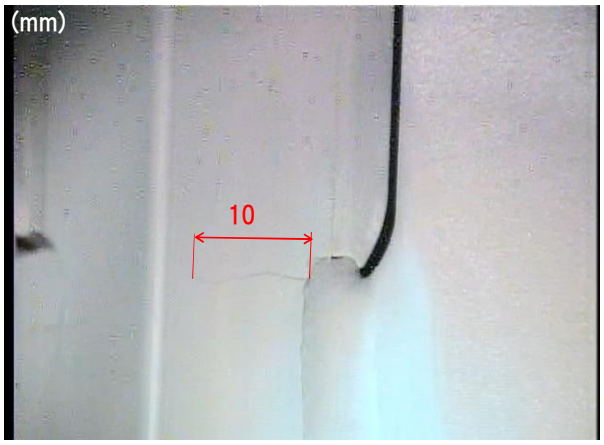
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（4／19）



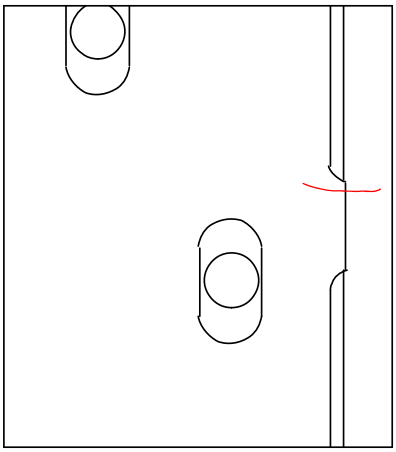


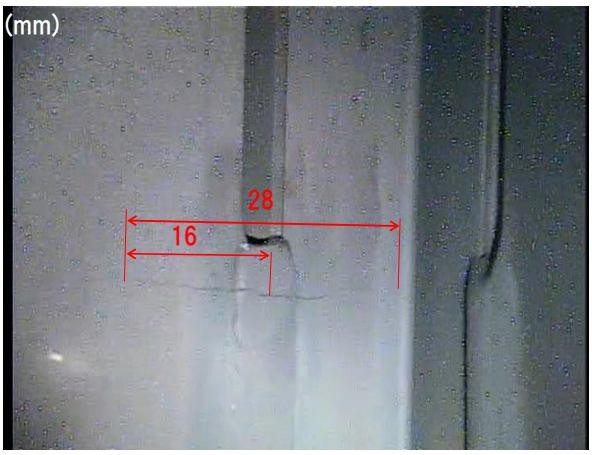
コーナー1　2面　　5タブ





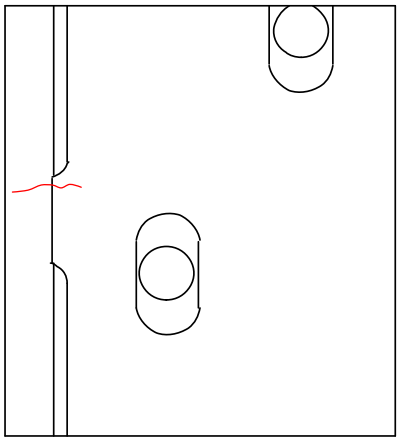
コーナー2　3面　　5タブ

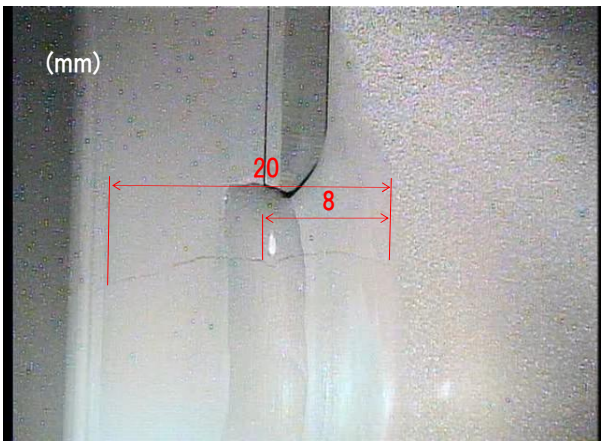




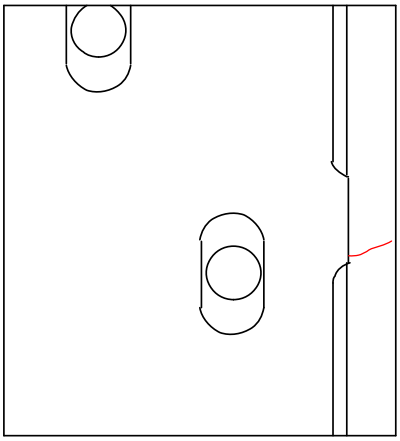
コーナー2　4面　　5タブ

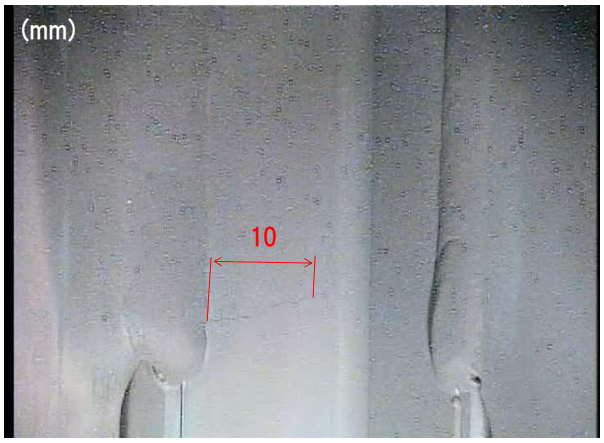
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（5／19）



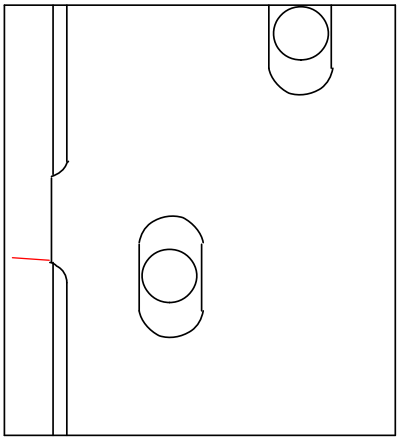


コーナー3　5面　　5タブ





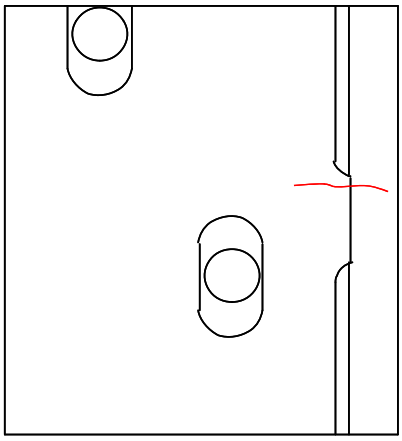
コーナー4　8面　　5タブ

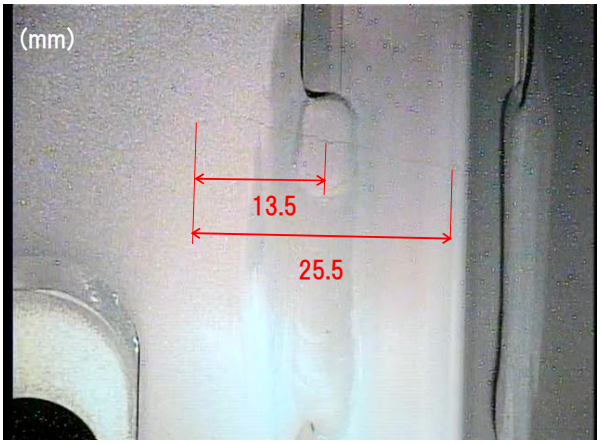




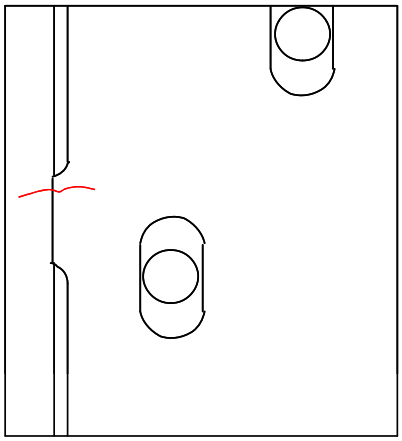
コーナー1　1面　　6タブ

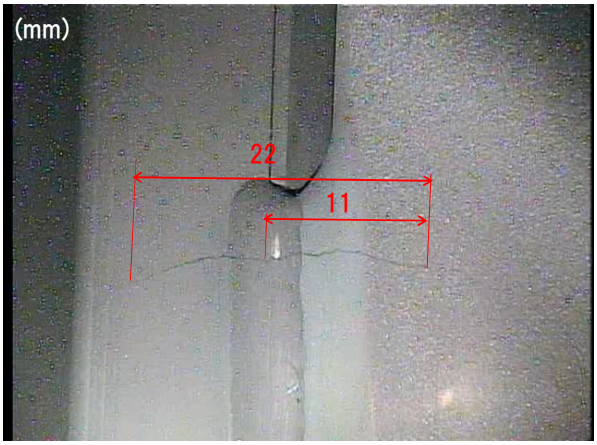
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（6／19）



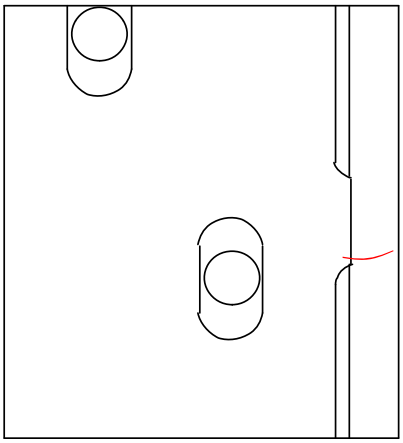


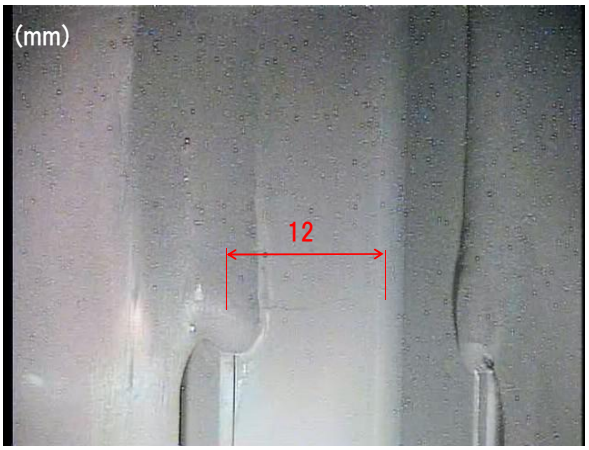
コーナー2　4面　6タブ





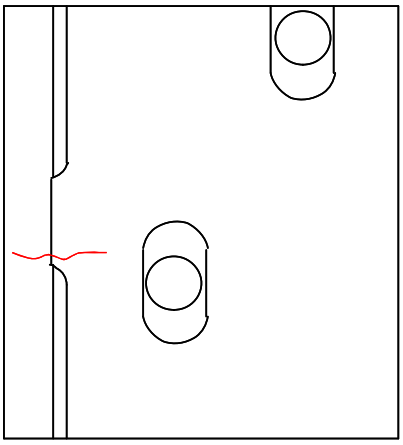
コーナー3　5面　6タブ

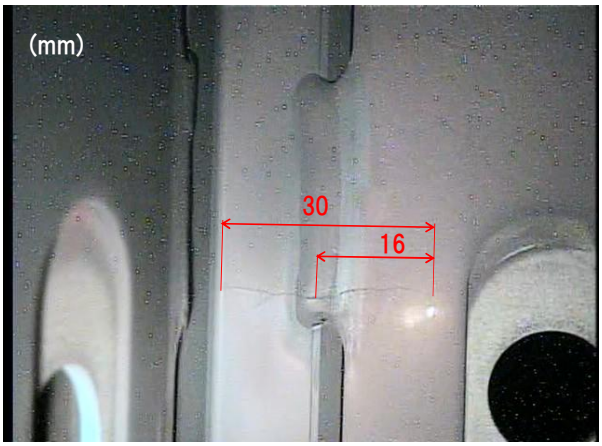




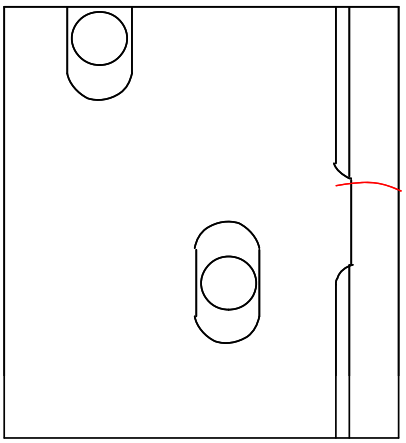
コーナー4　8面　6タブ

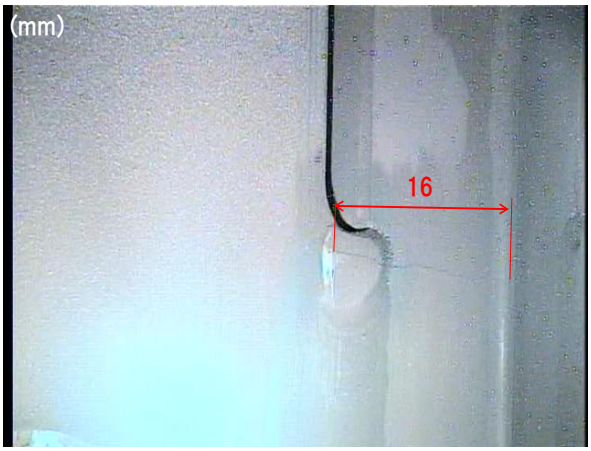
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（7／19）



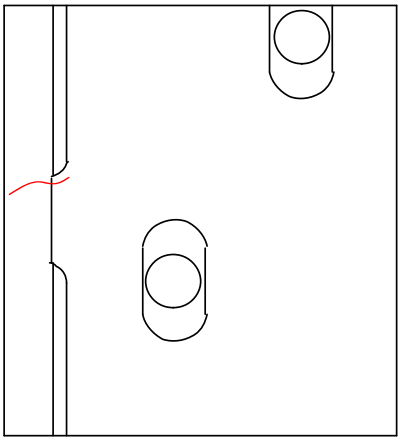


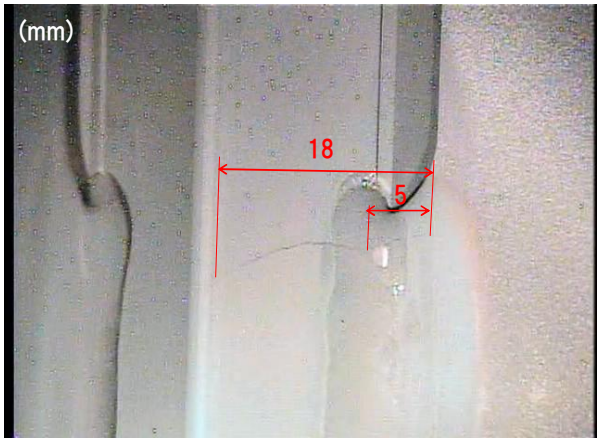
コーナー1　1面　7タブ





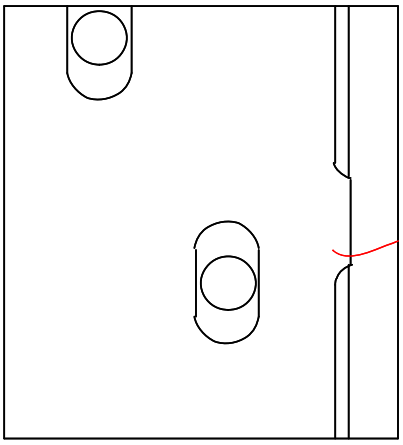
コーナー2　4面　7タブ

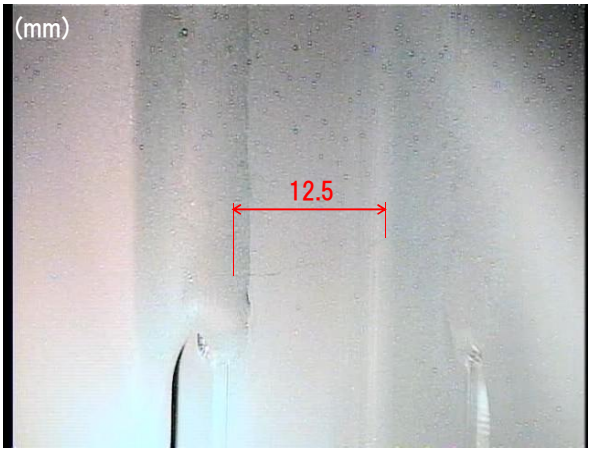




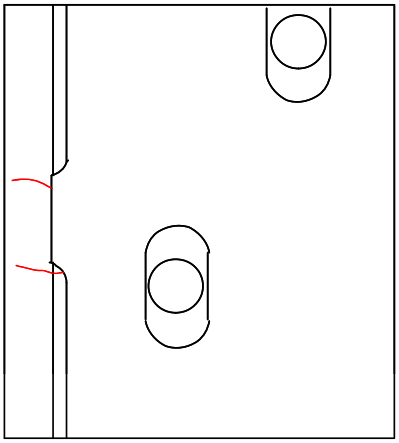
コーナー3　5面　7タブ

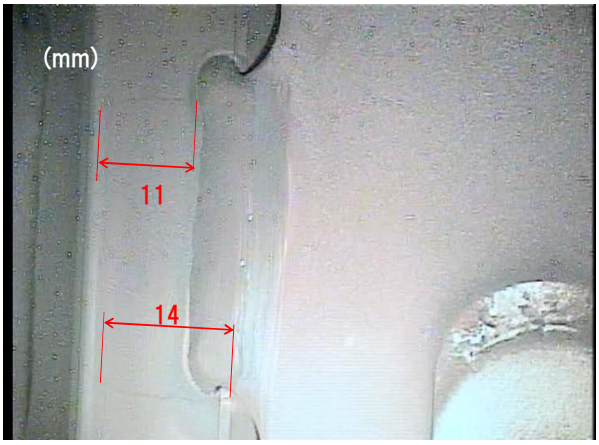
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（8／19）



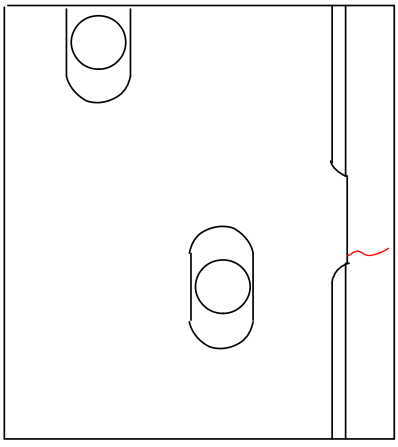


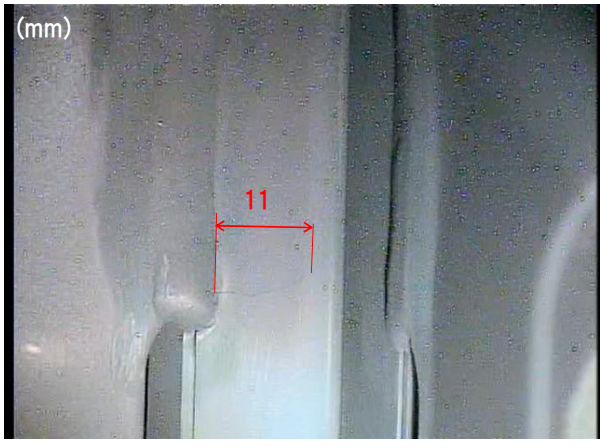
コーナー4　8面　　7タブ





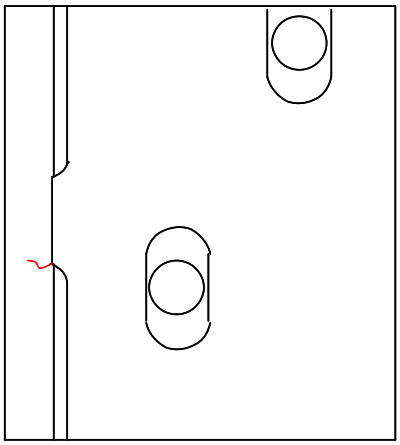
コーナー1　1面　　8タブ





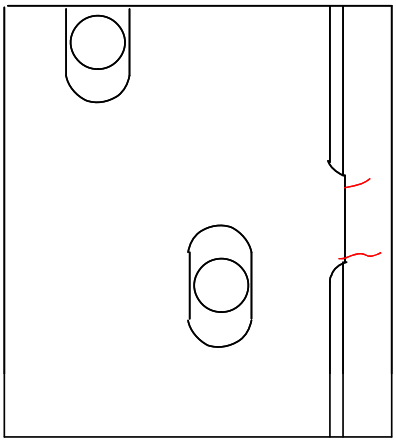
コーナー2　4面　　8タブ

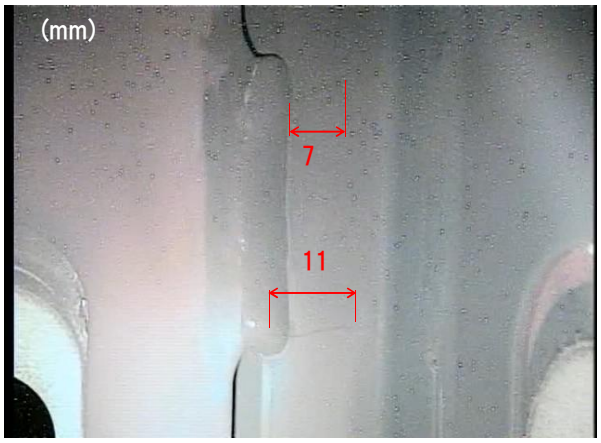
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（9／19）



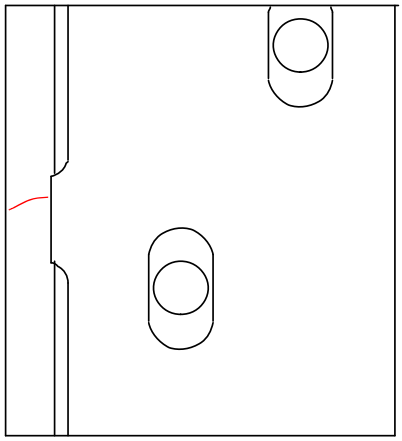


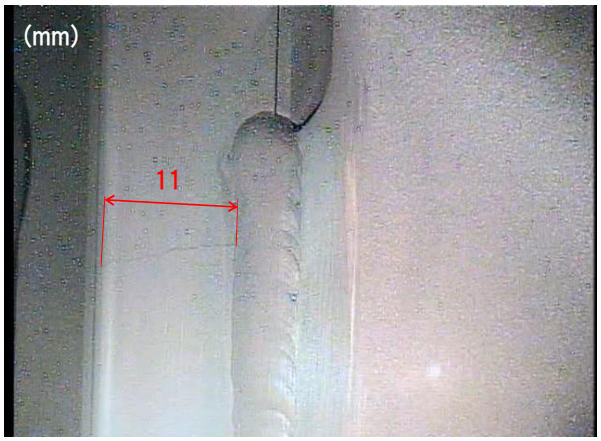
コーナー3　5面　8タブ





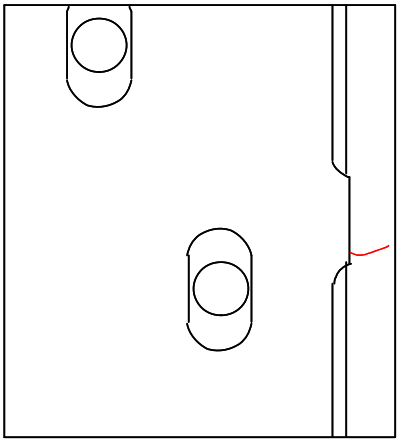
コーナー4　8面　8タブ

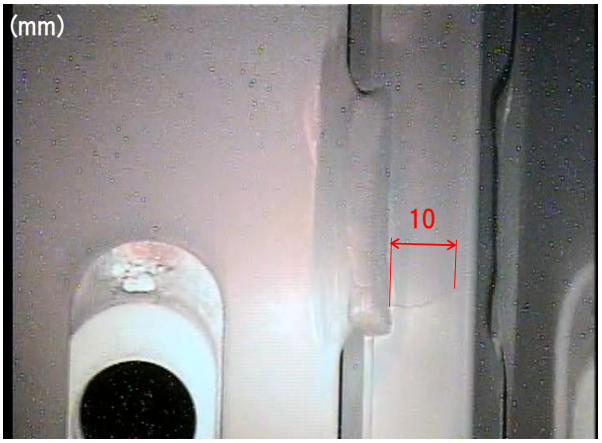




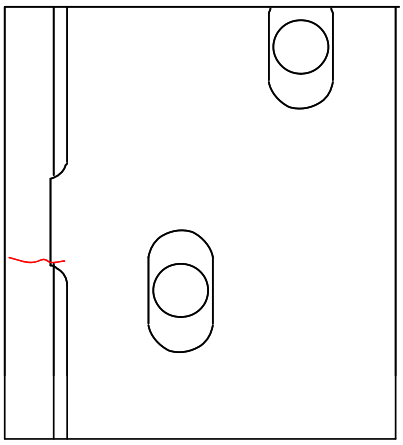
コーナー1　1面　9タブ

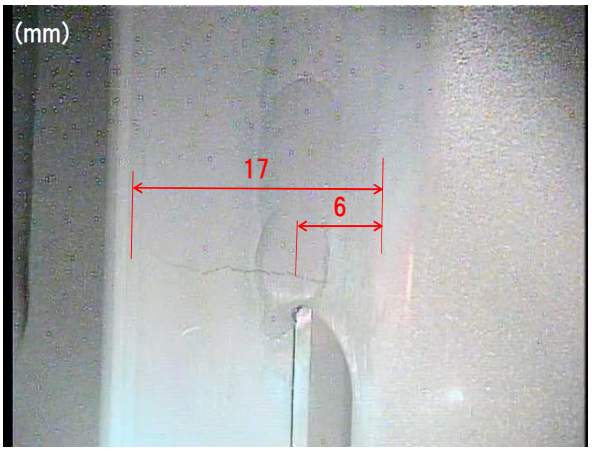
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－042）（10／19）



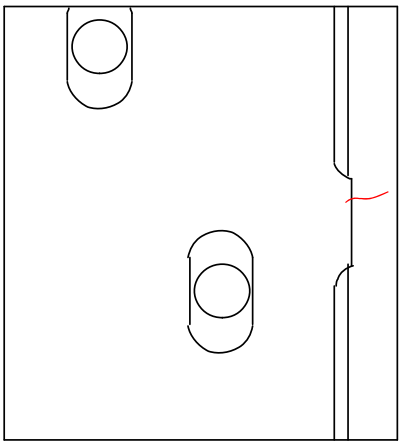


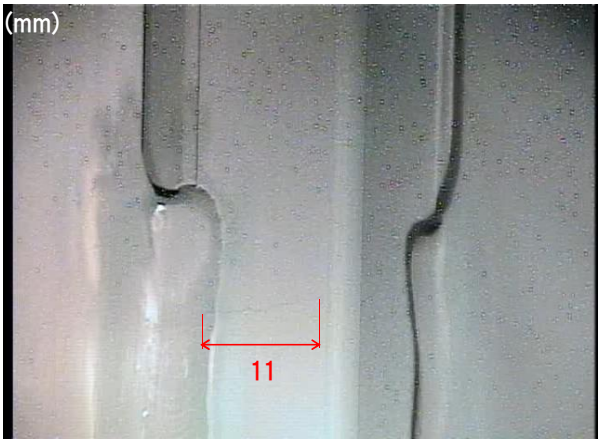
コーナー2　4面　　9タブ





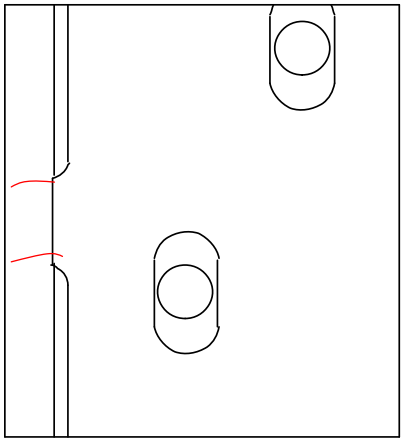
コーナー3　5面　　9タブ

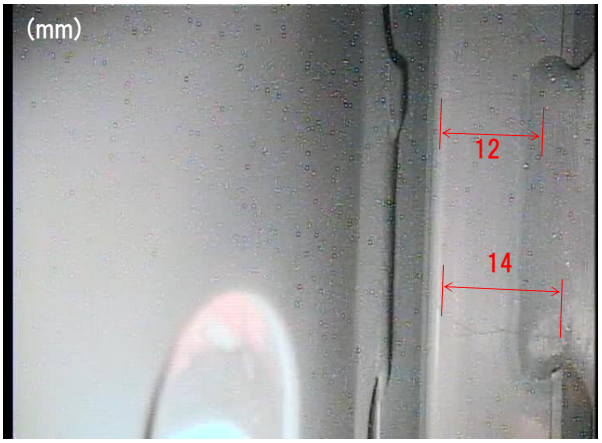




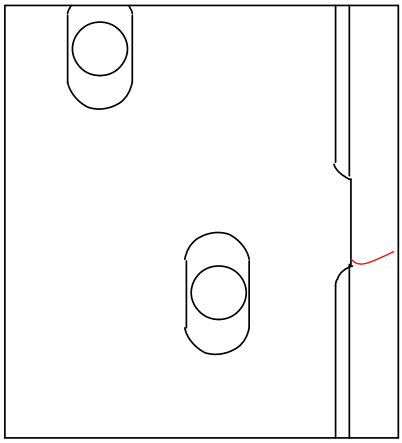
コーナー4　8面　　9タブ

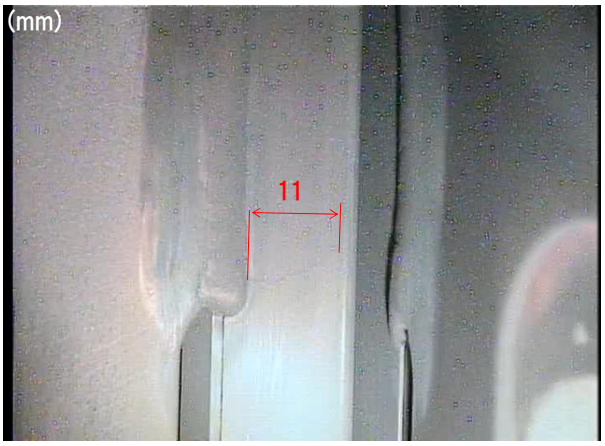
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－042）（11／19）



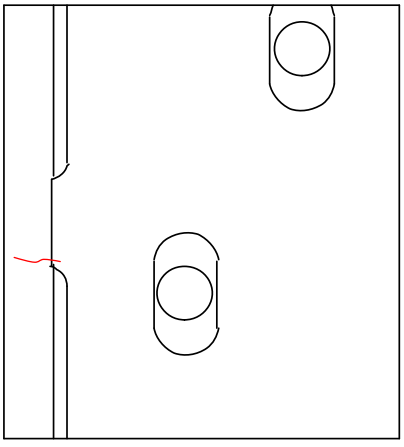


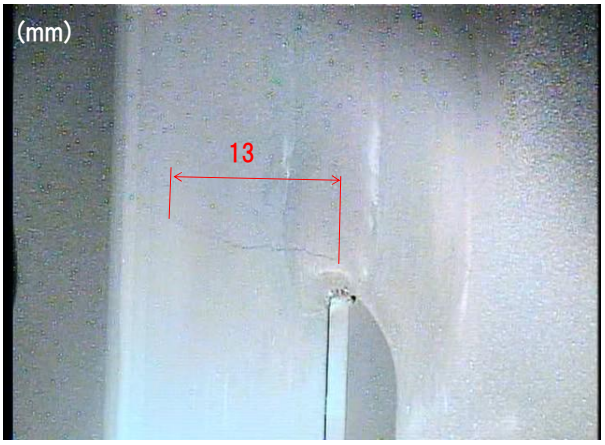
コーナー1　1面　　10タブ





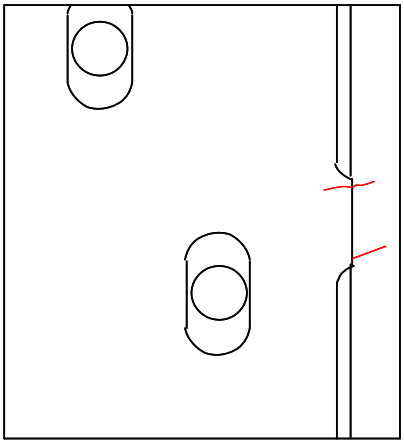
コーナー2　4面　　10タブ

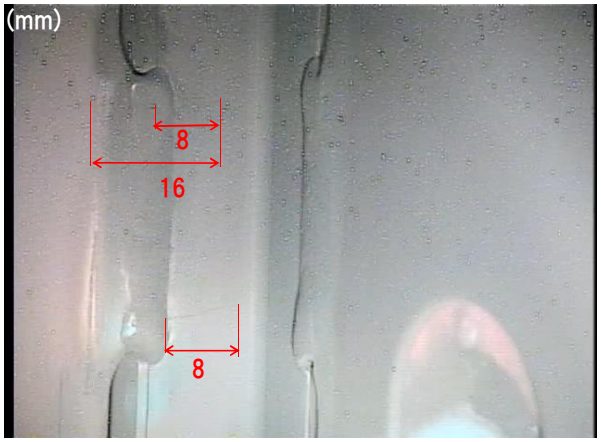




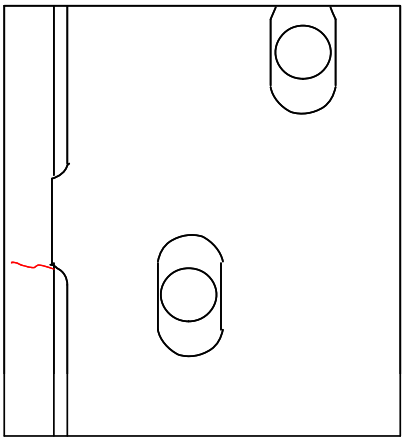
コーナー3　5面　　10タブ

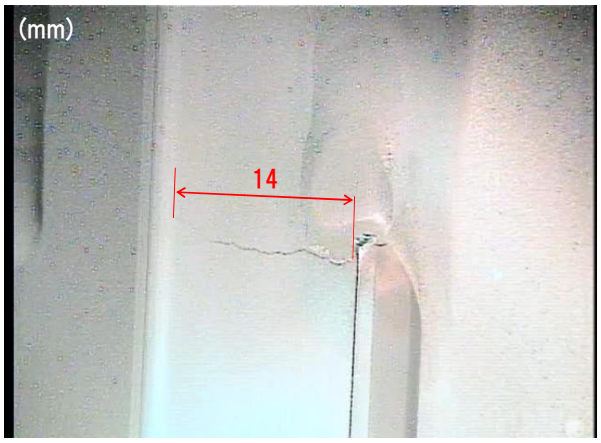
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（12／19）



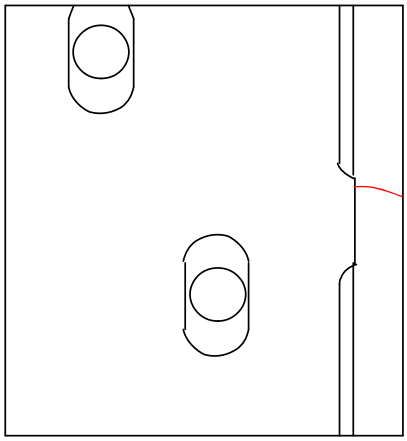


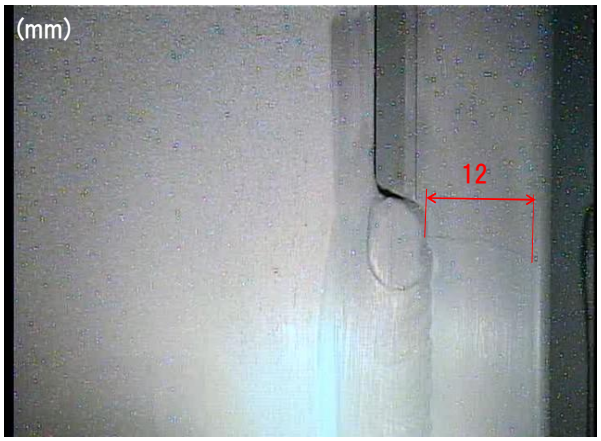
コーナー4　8面　　10タブ





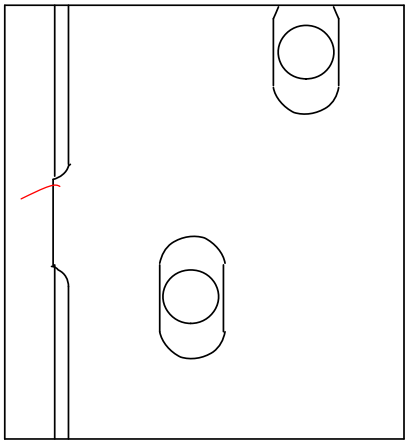
コーナー1　1面　　11タブ

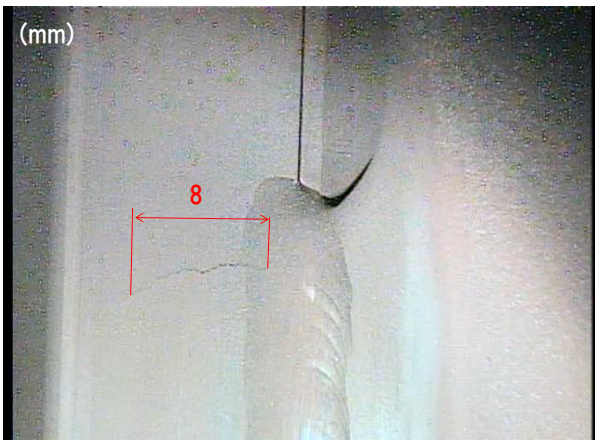




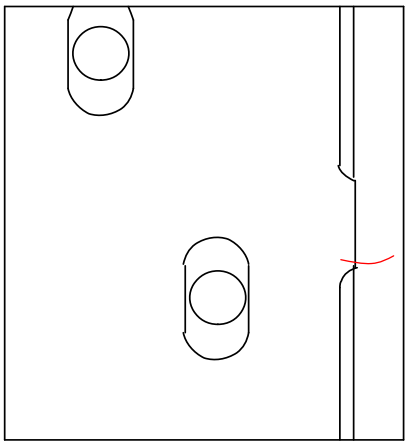
コーナー2　4面　　11タブ

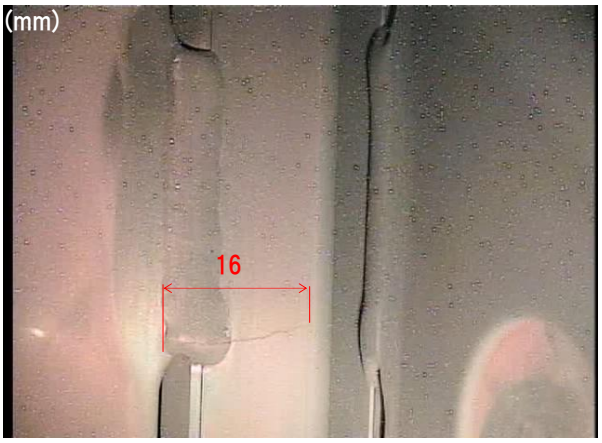
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－042）（13／19）



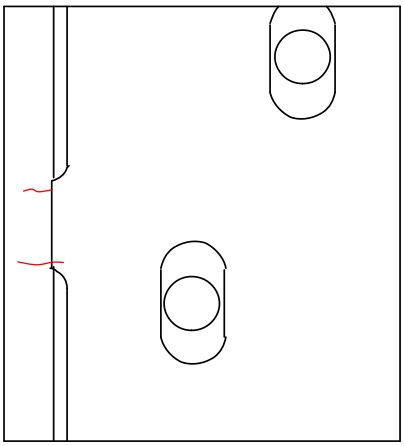


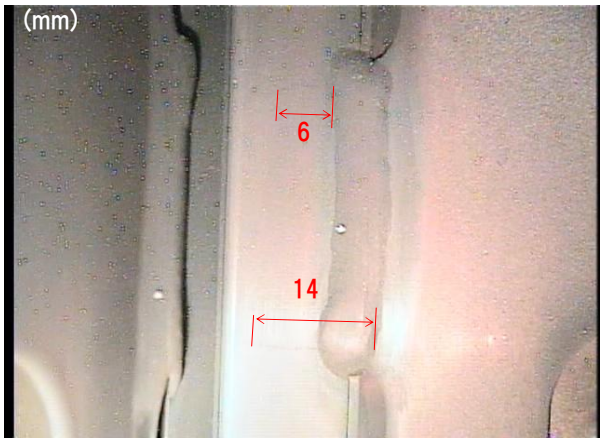
コーナー3　5面　　11タブ





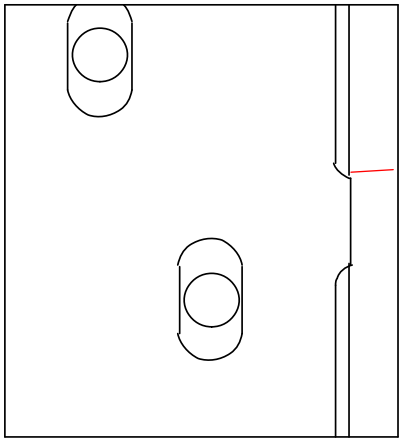
コーナー4　8面　　11タブ

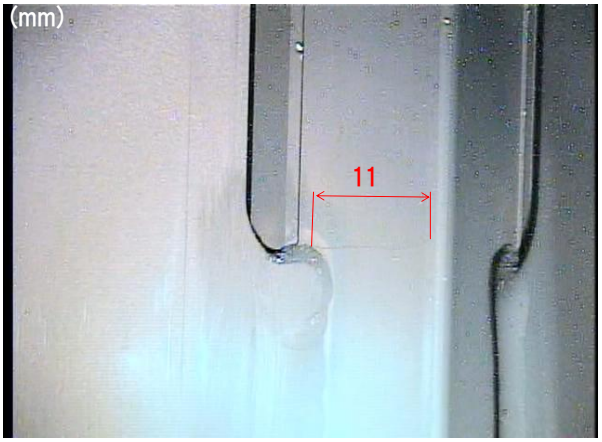




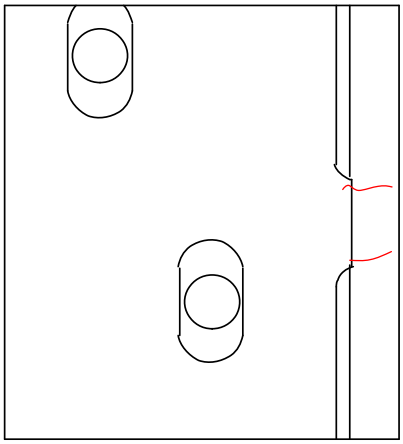
コーナー1　1面　　12タブ

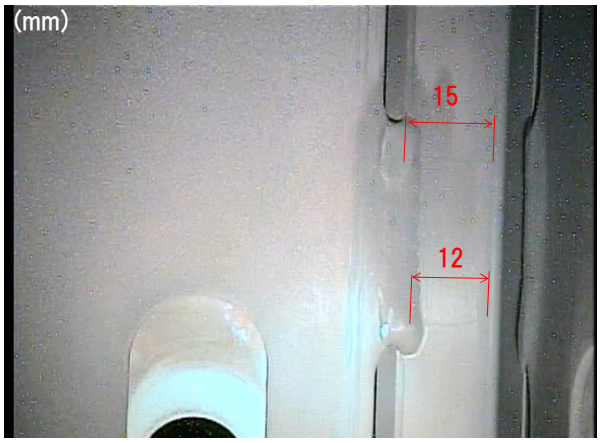
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（14／19）



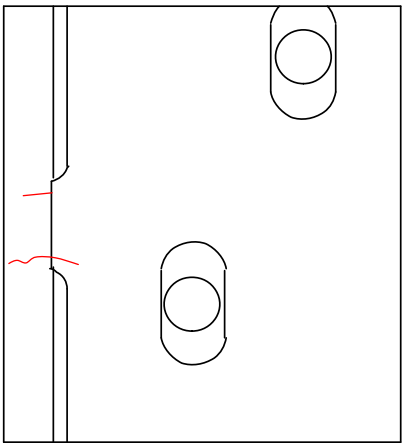


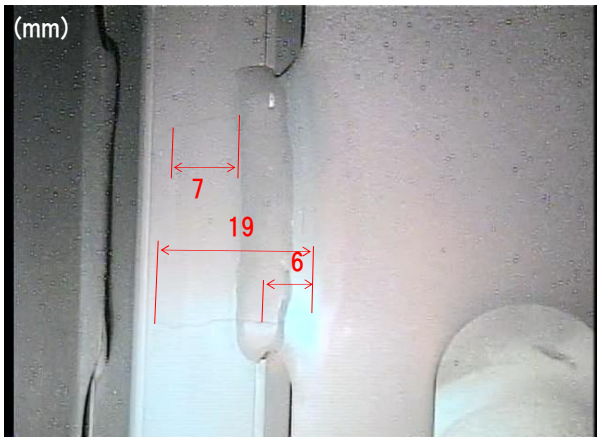
コーナー1　2面　　12タブ





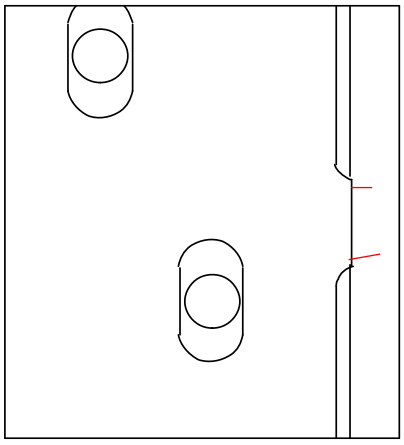
コーナー2　4面　　12タブ

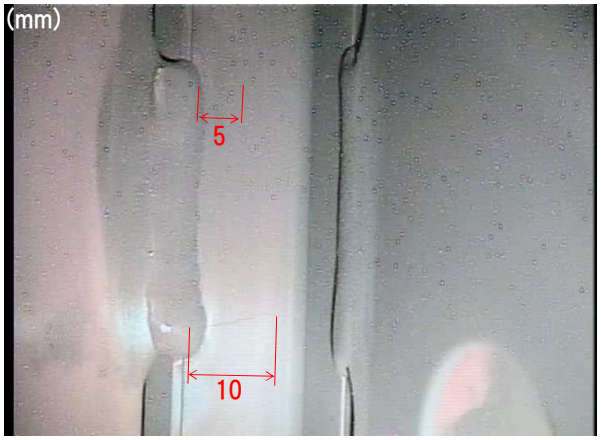




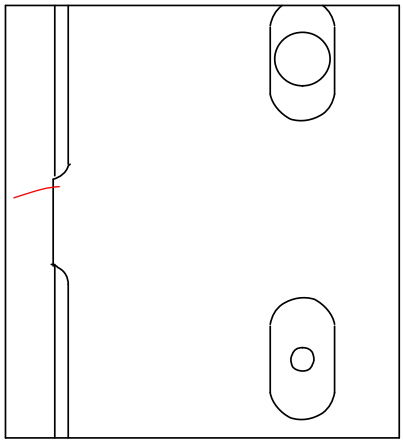
コーナー3　5面　　12タブ

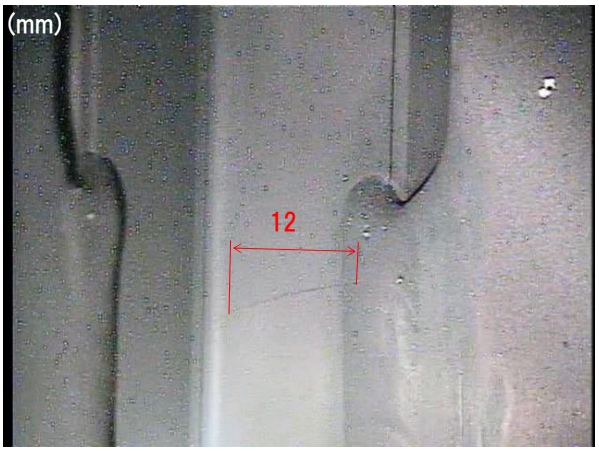
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（15／19）



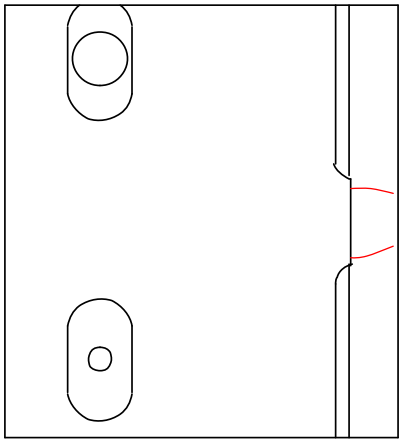


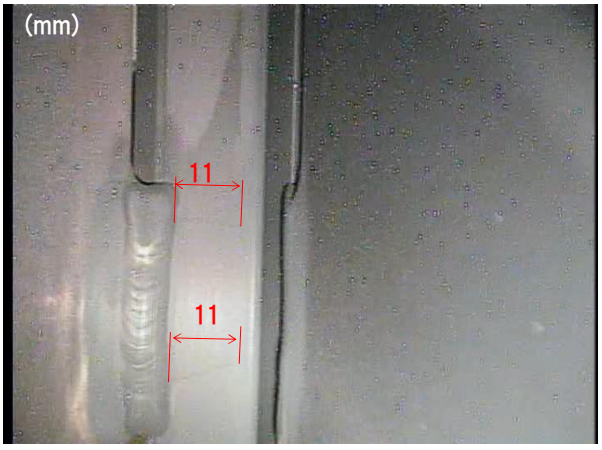
コーナー4　8面　　12タブ





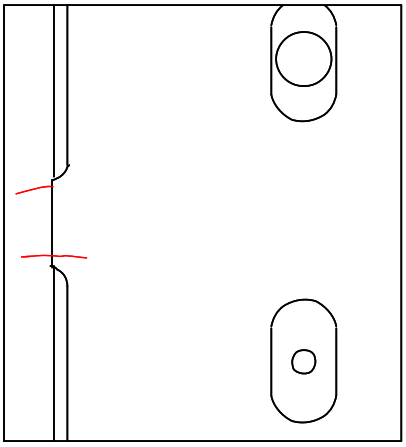
コーナー1　1面　　13タブ

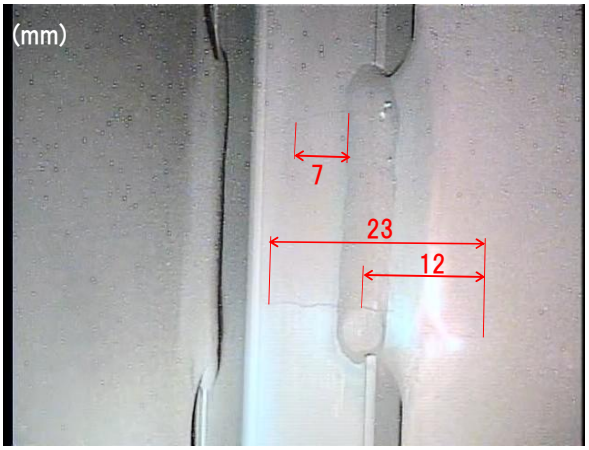




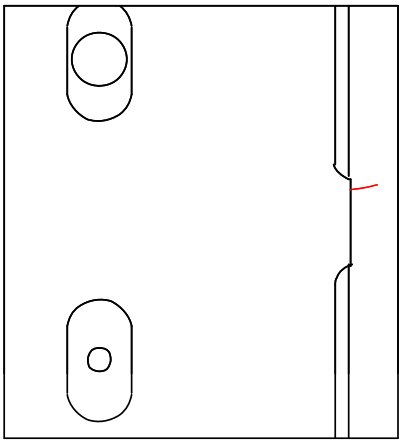
コーナー2　4面　　13タブ

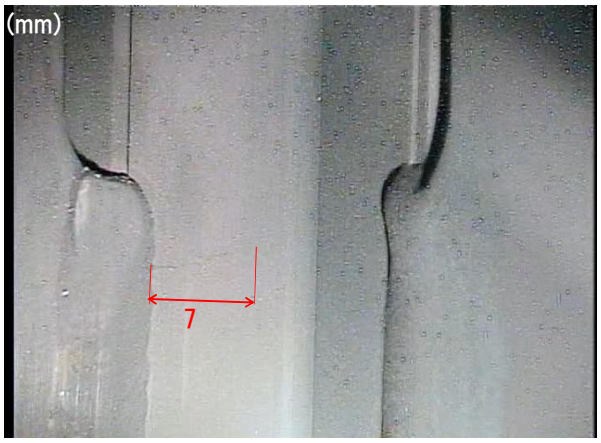
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（16／19）



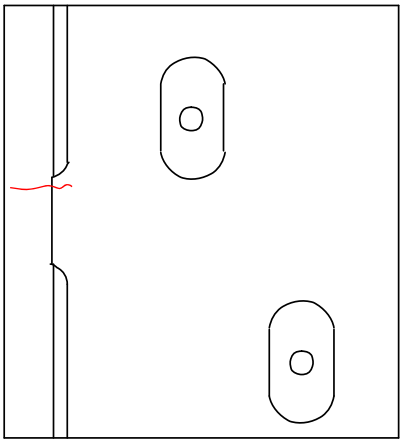


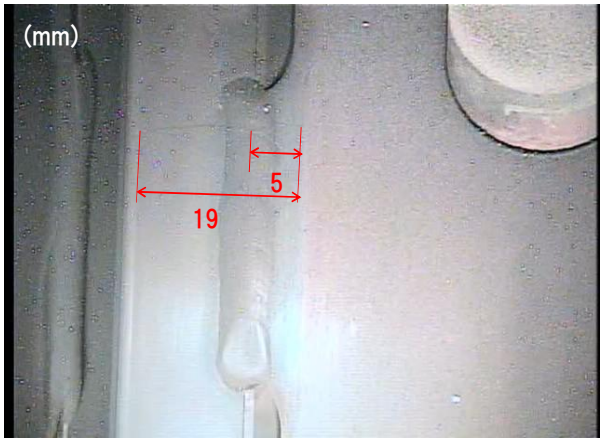
コーナー3　5面　　13タブ





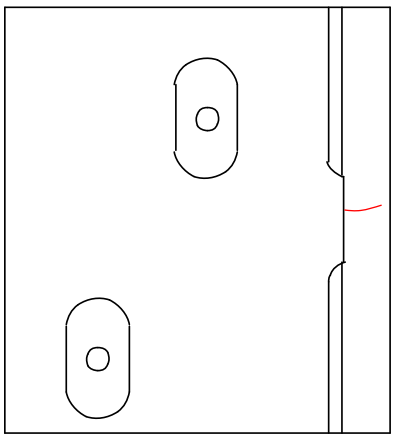
コーナー4　8面　　13タブ

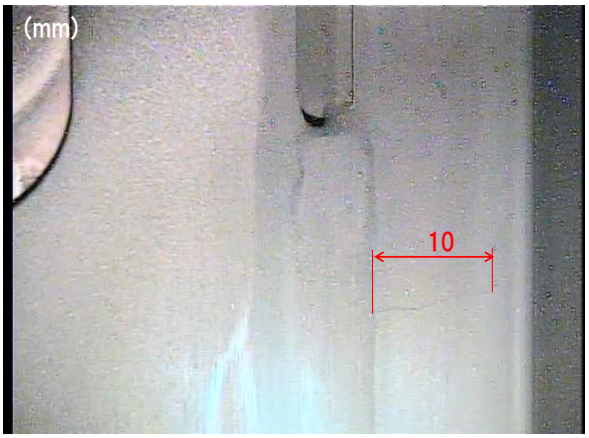




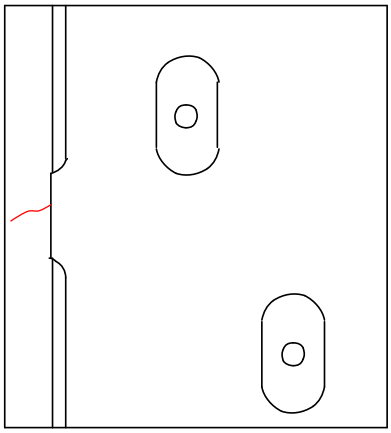
コーナー1　1面　　14タブ

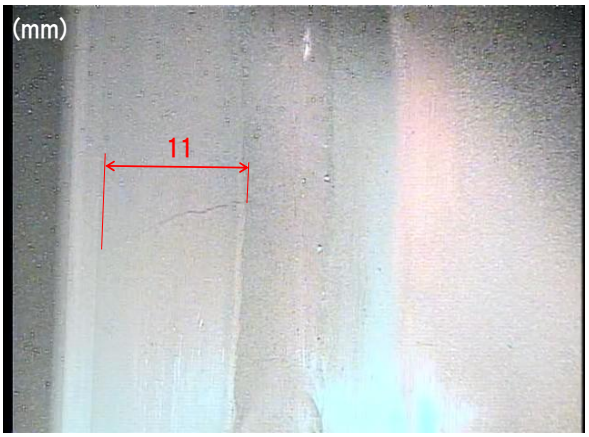
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－042）（17／19）



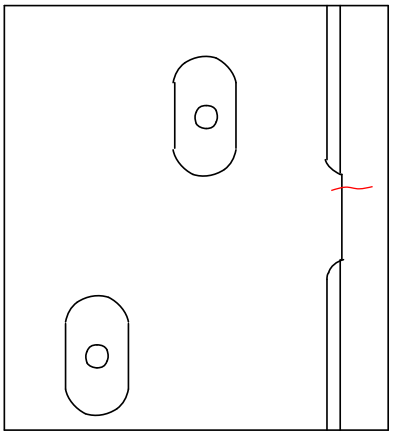


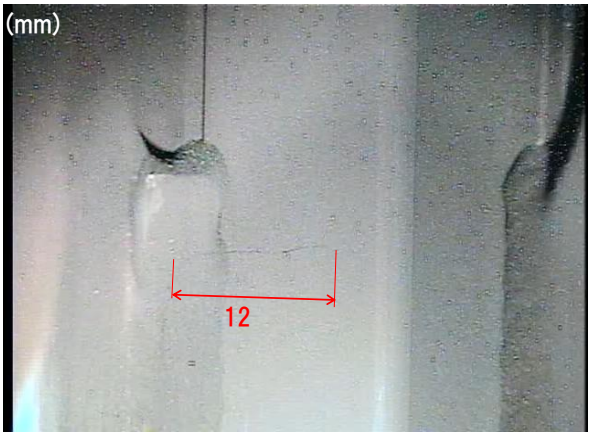
コーナー2　4面　　14タブ





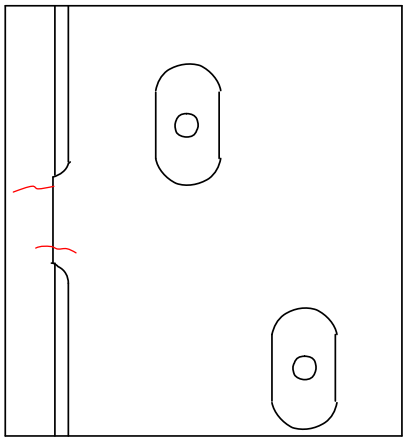
コーナー3　5面　　14タブ

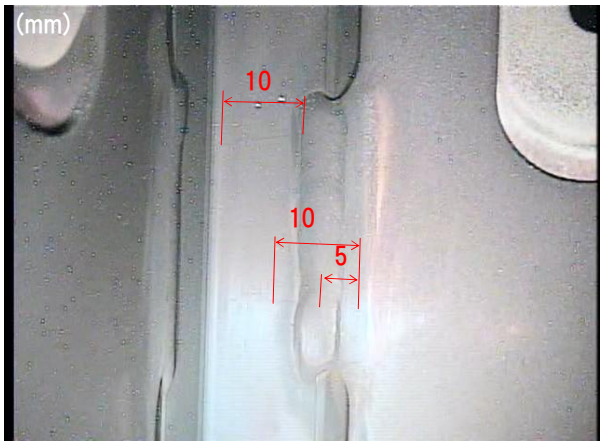




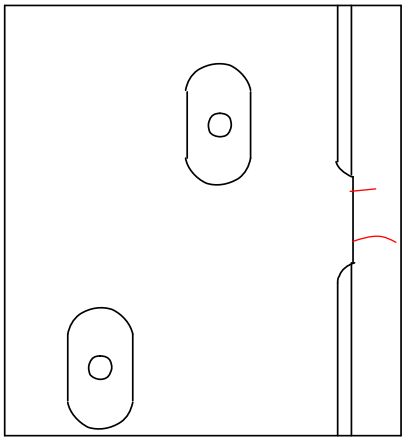
コーナー4　8面　　14タブ

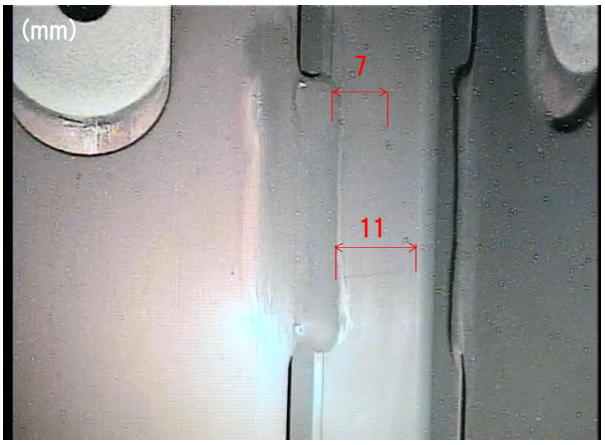
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（18／19）





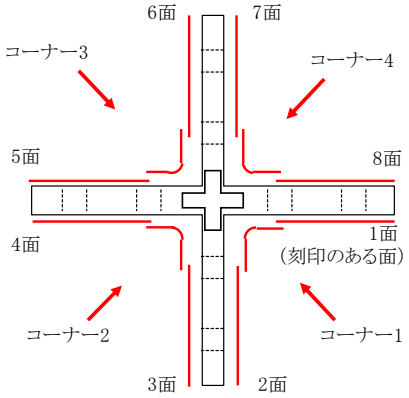
コーナー1　1面　　16タブ

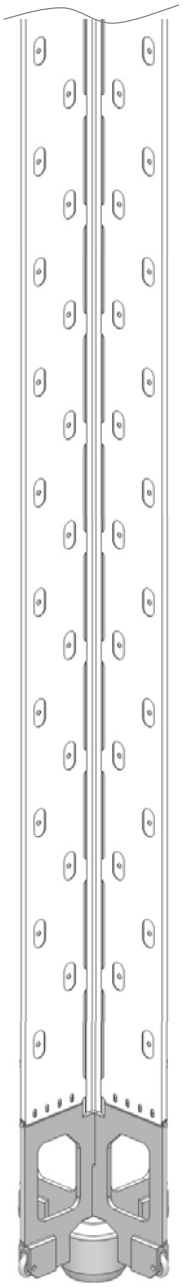


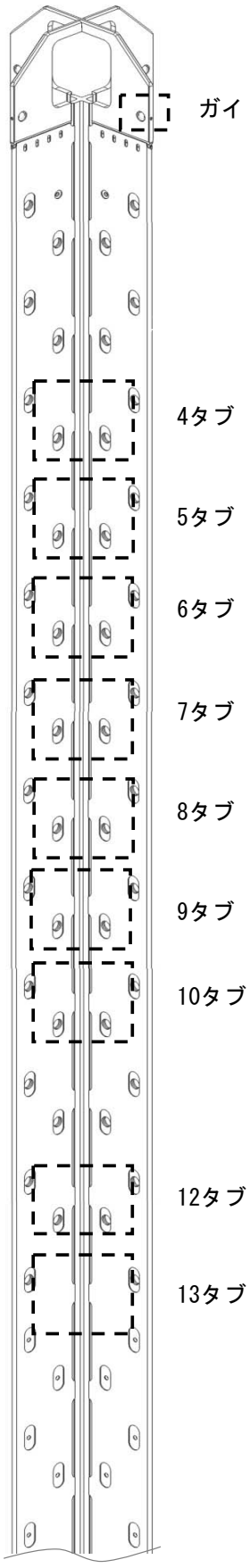


コーナー4　8面　　16タブ

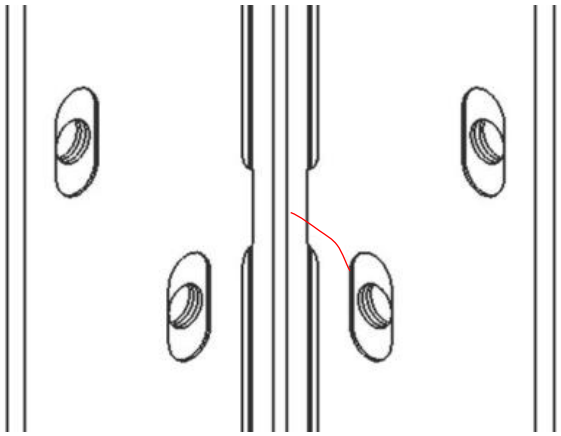
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－042）（19／19）

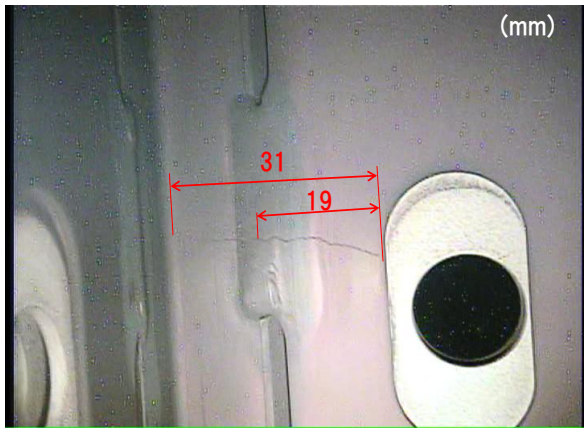




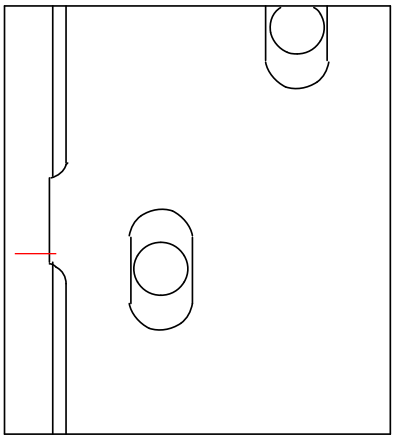


柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－043）（1／8）



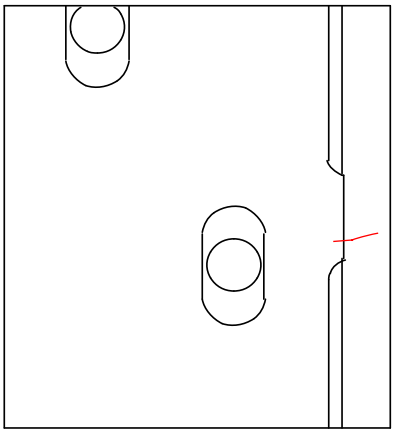


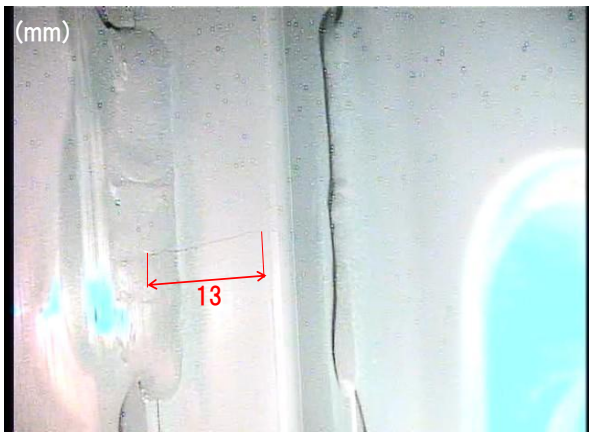
コーナー1　　4タブ





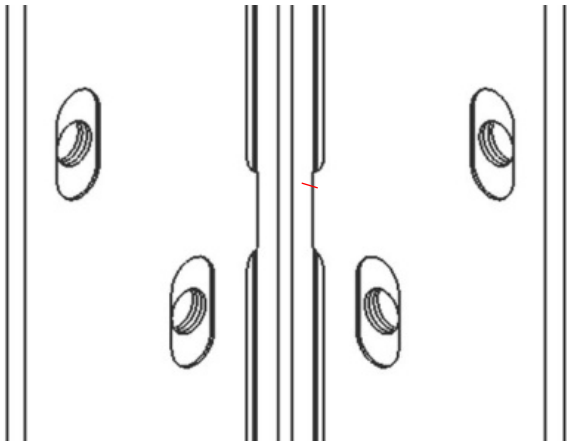
コーナー3　5面　4タブ

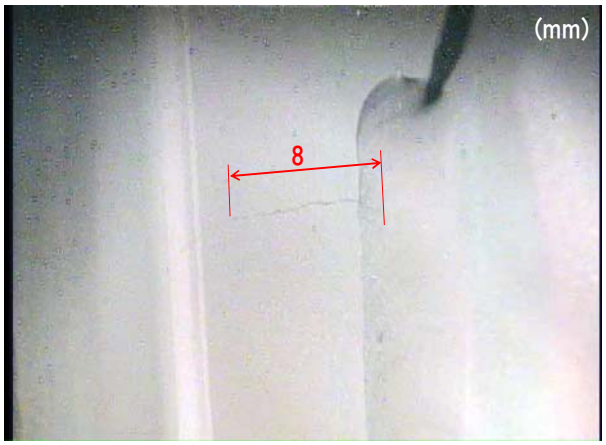




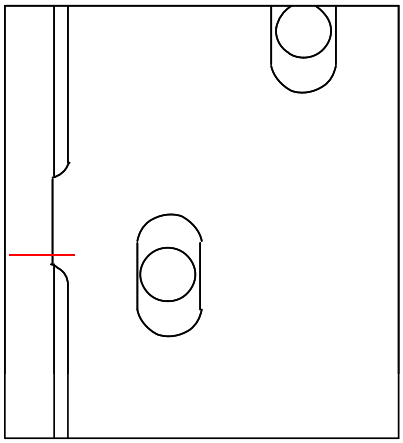
コーナー4　8面　4タブ

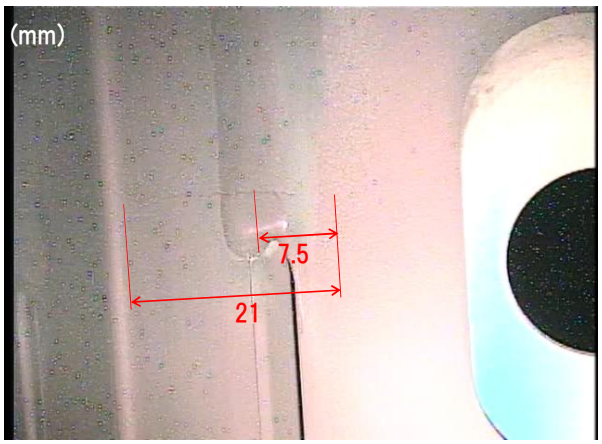
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－043）（2／8）



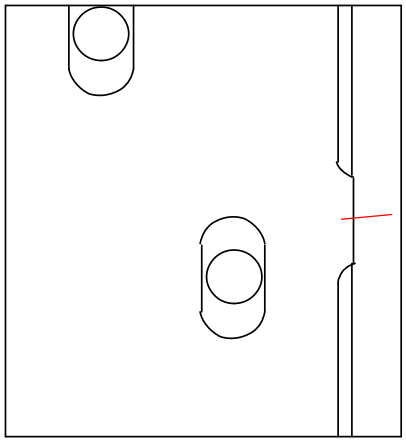


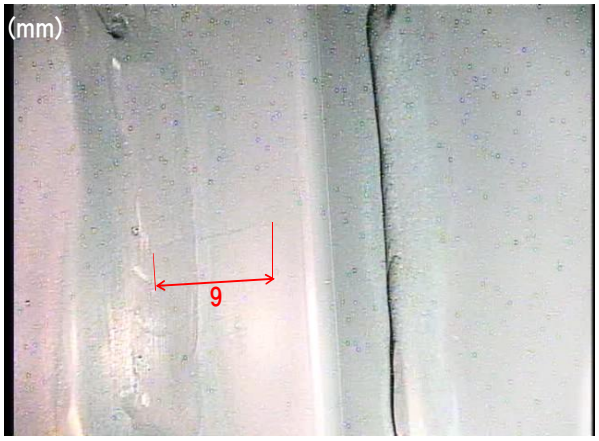
コーナー1　　5タブ





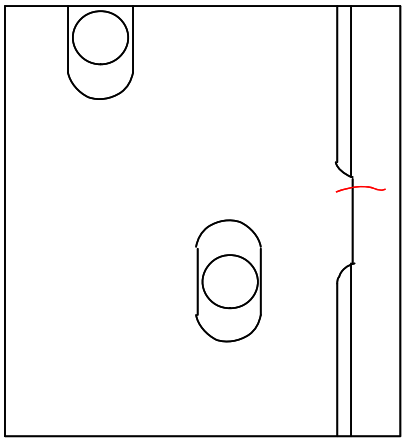
コーナー3　5面　　5タブ





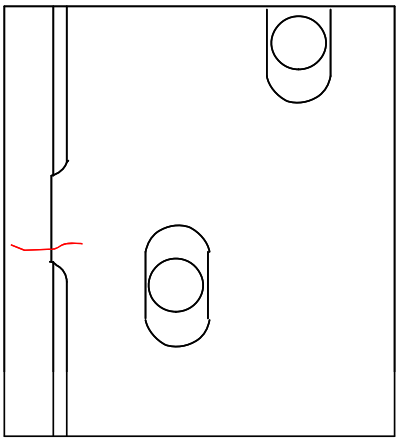
コーナー4　8面　6タブ

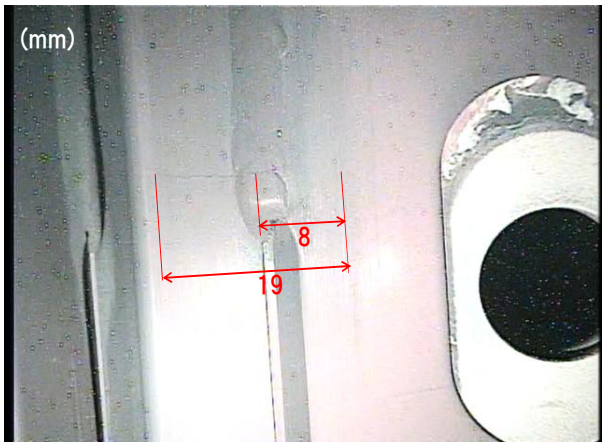
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－043）（3／8）



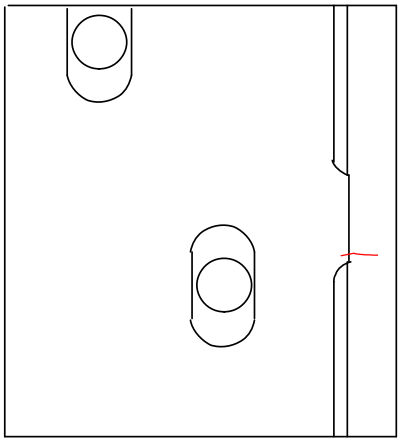


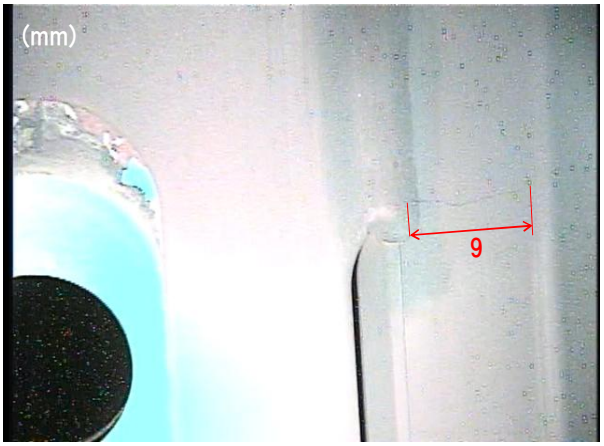
コーナー4　8面　7タブ





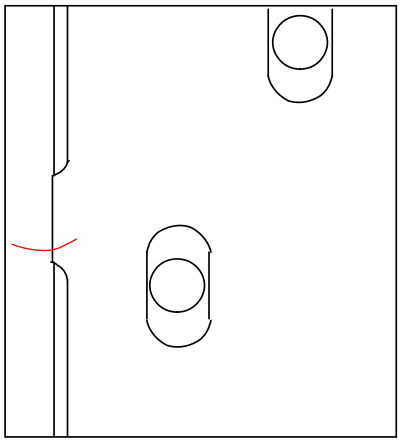
コーナー1　1面　8タブ





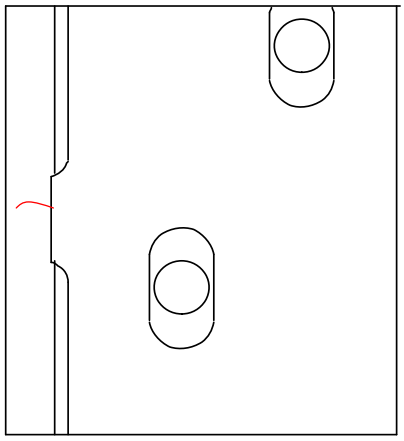
コーナー2　4面　8タブ

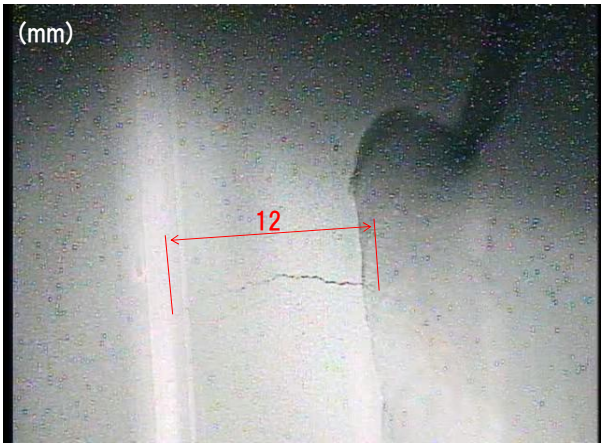
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－043）（4／8）



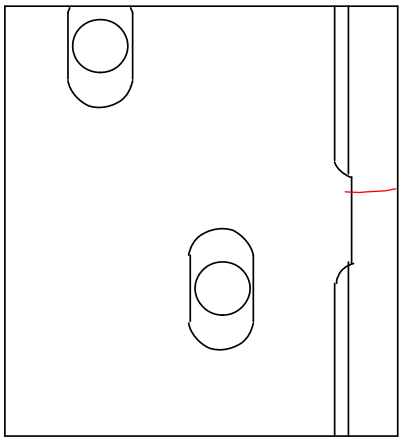


コーナー3　5面　8タブ





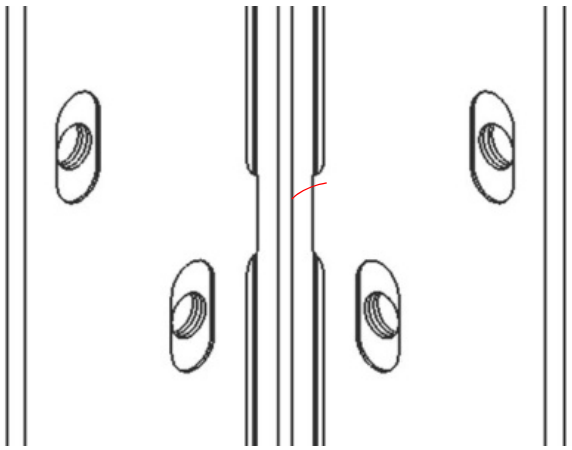
コーナー1　1面　9タブ

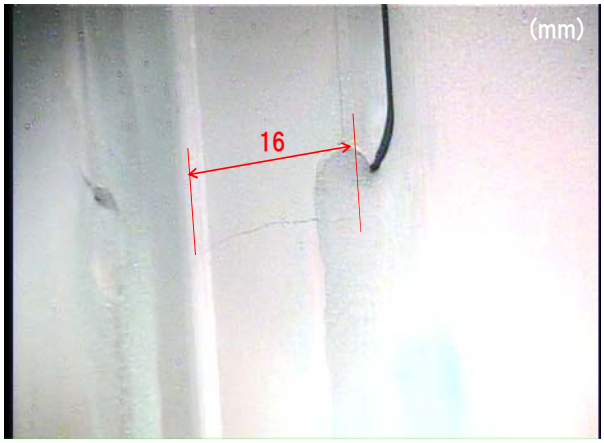




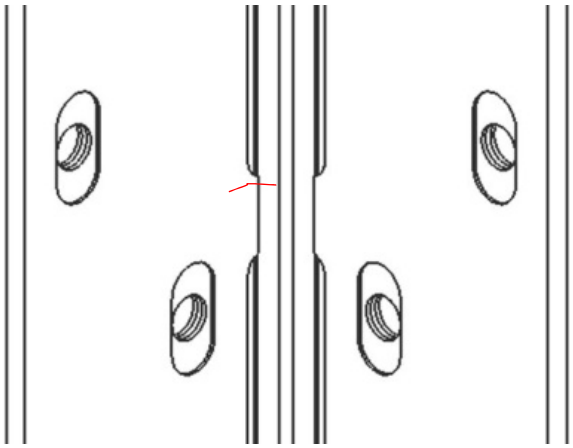
コーナー4　8面　9タブ

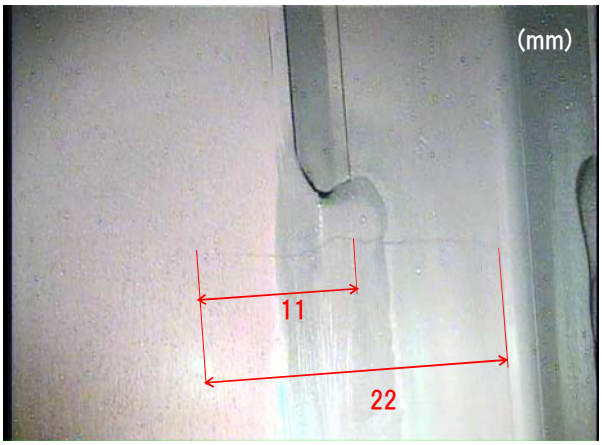
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－043）（5／8）



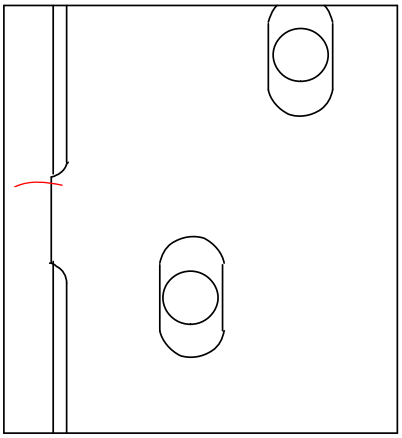


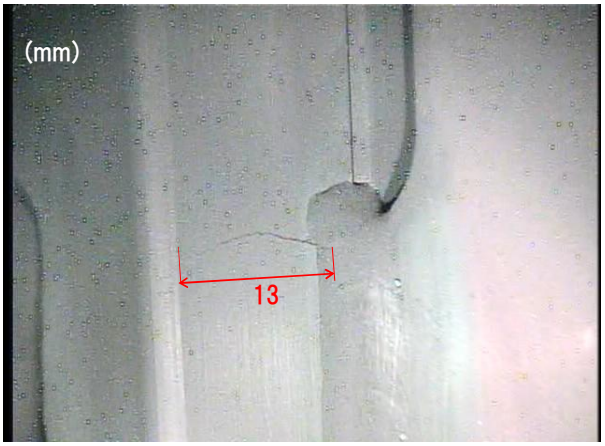
コーナー1　　10タブ





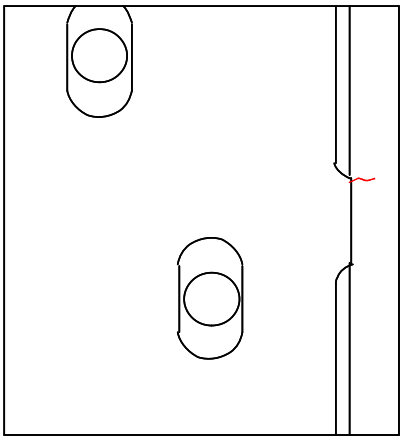
コーナー4　　10タブ





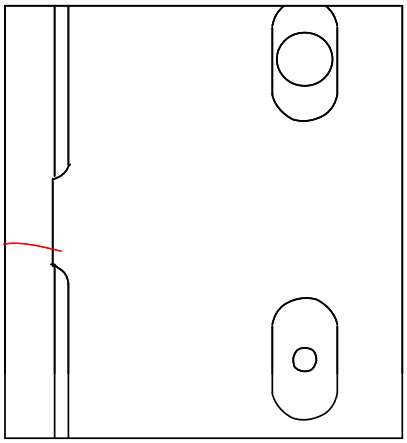
コーナー1　1面　12タブ

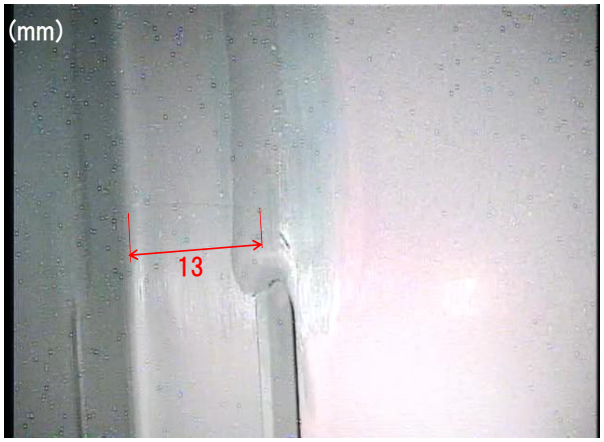
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－043）（6／8）





コーナー4　8面　12タブ



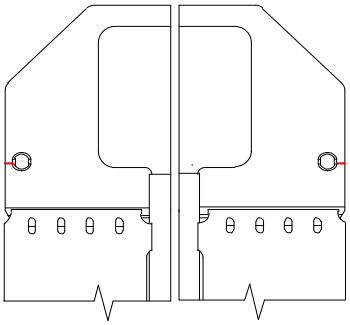


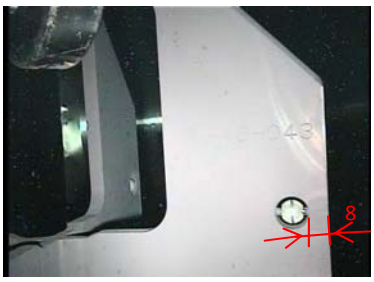
コーナー3　5面　13タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－043）（7／8）



２面

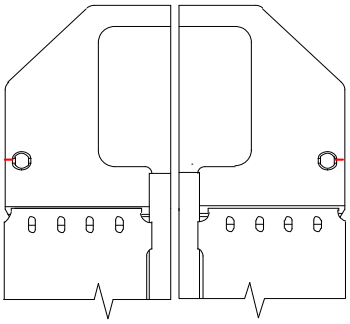




１面



４面

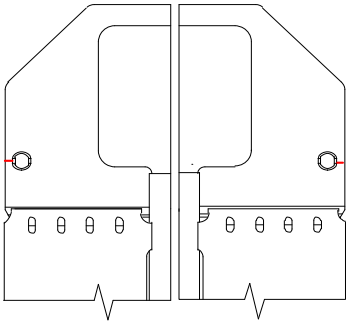




３面

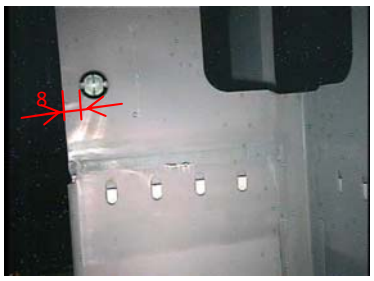


６面

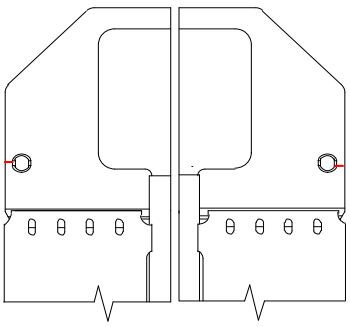


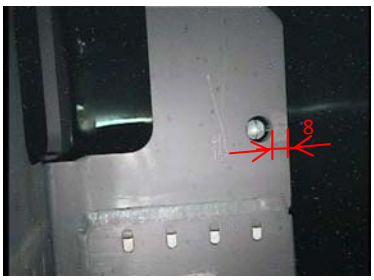


５面



８面

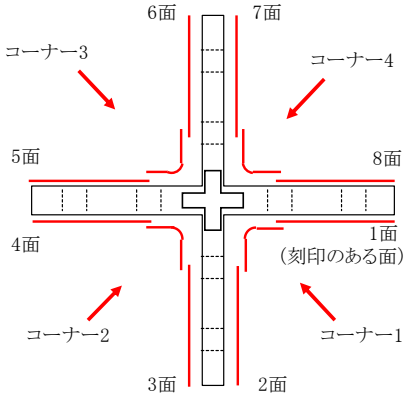


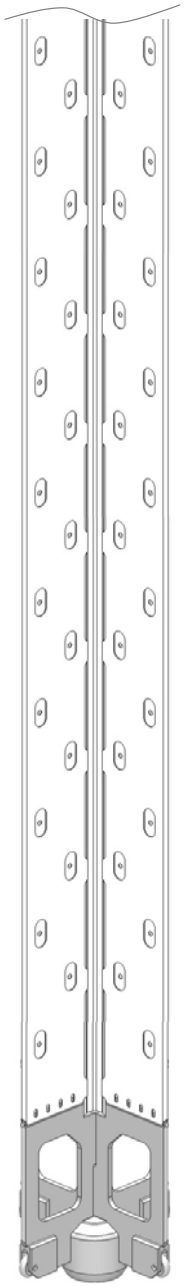


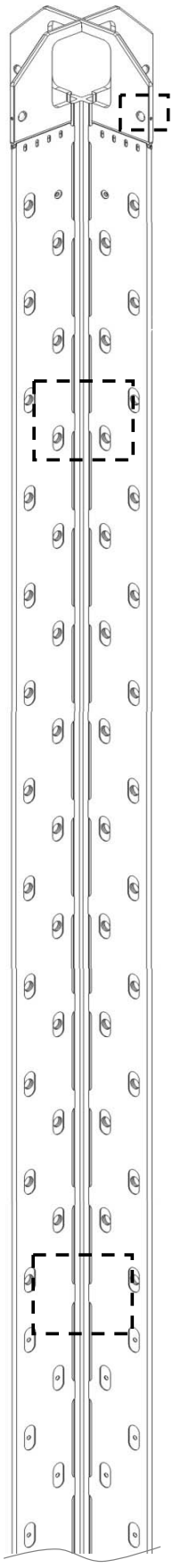
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－043）（8／8）

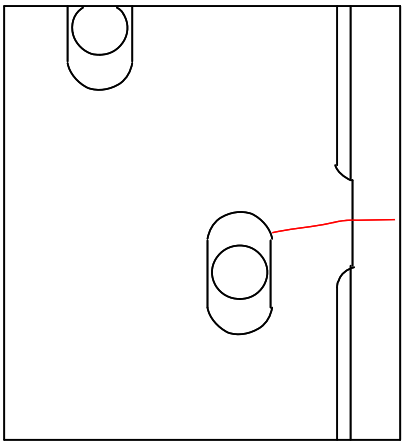


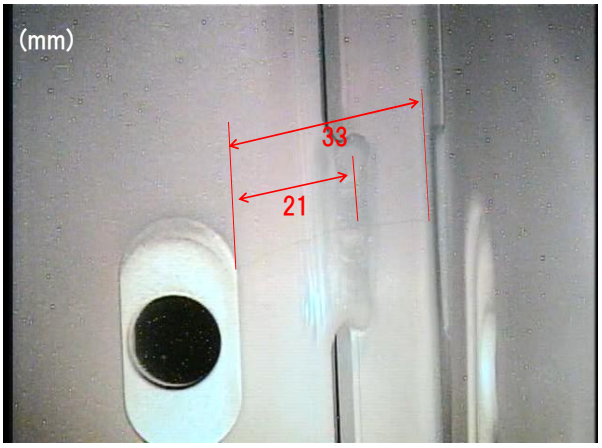




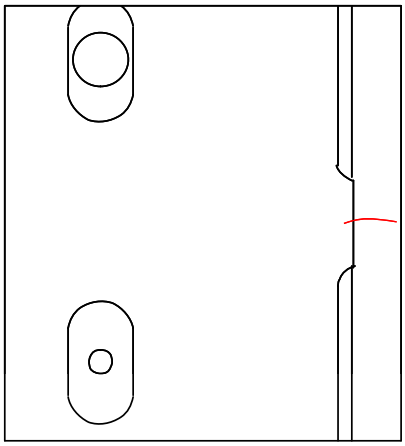
ひび有り位置

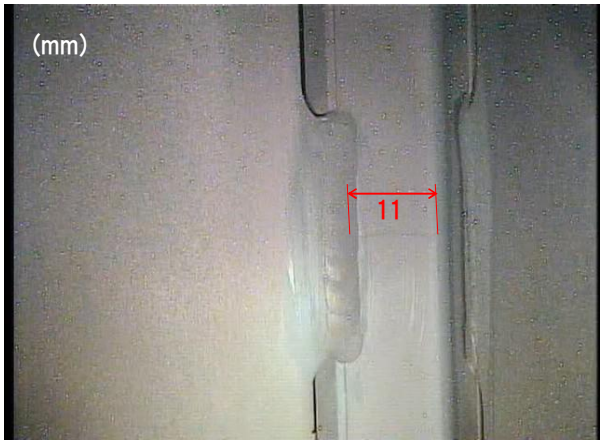
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－044）（1／3）





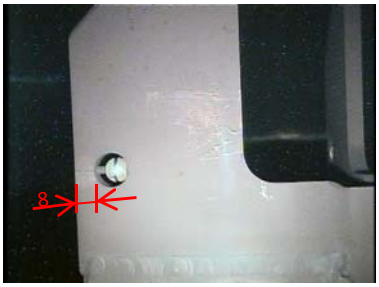
コーナー2　4面　4タブ



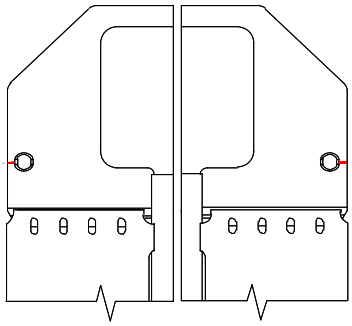


コーナー2　4面　13タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－044）（2／3）



２面

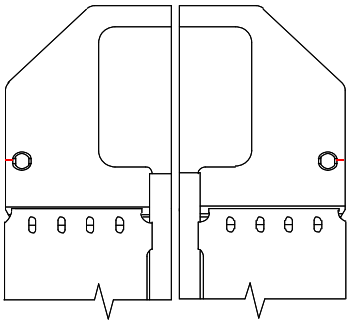


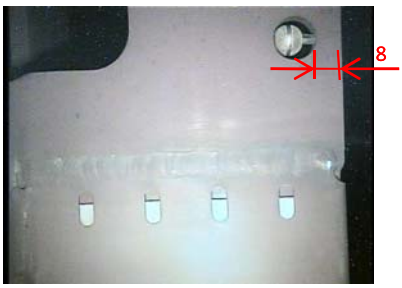


１面



４面

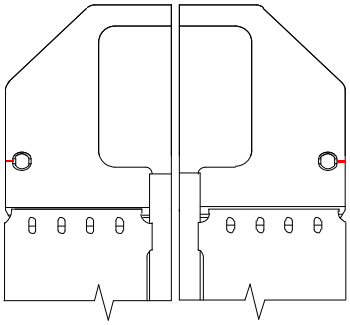




３面

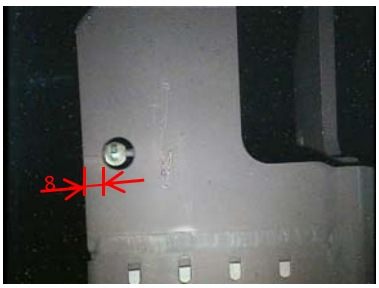


６面

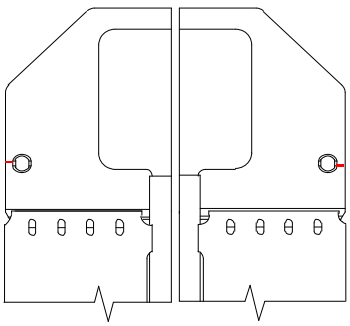




５面



８面

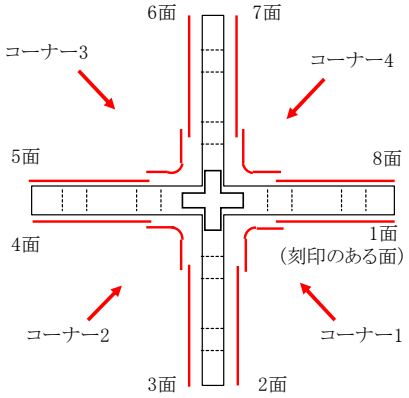


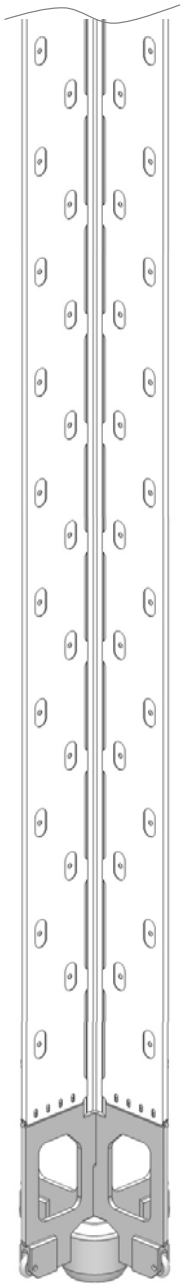


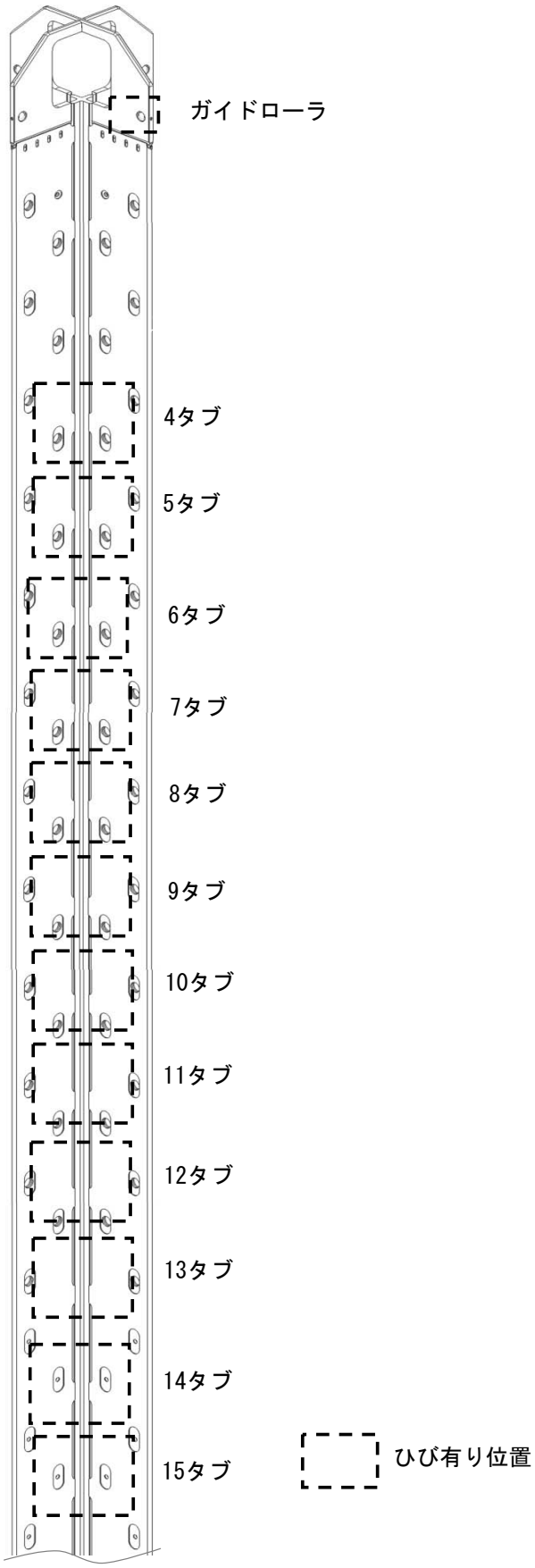
７面

単位：mm

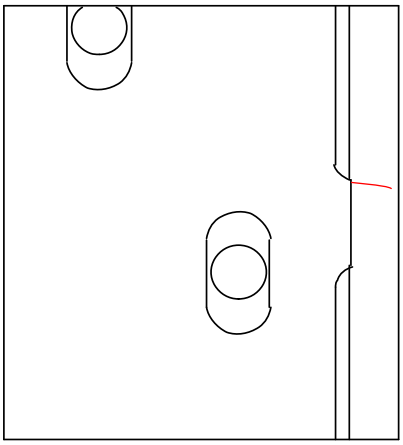
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－044）（3／3）

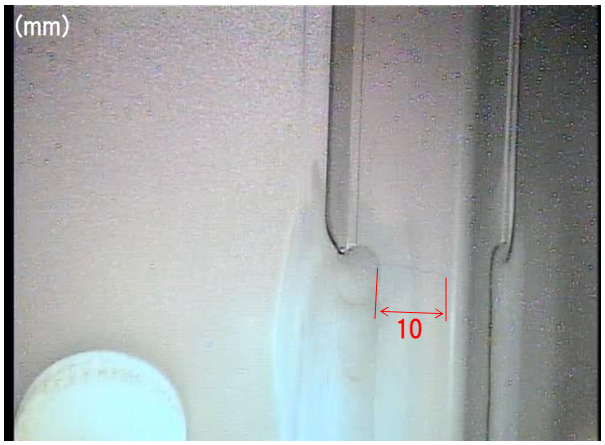




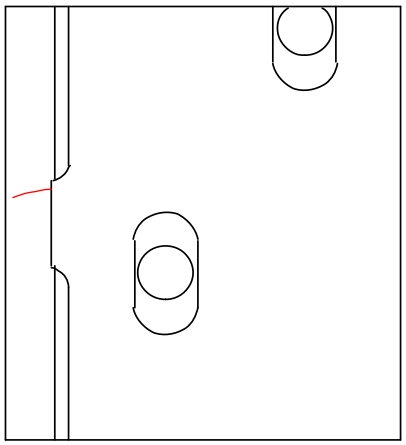


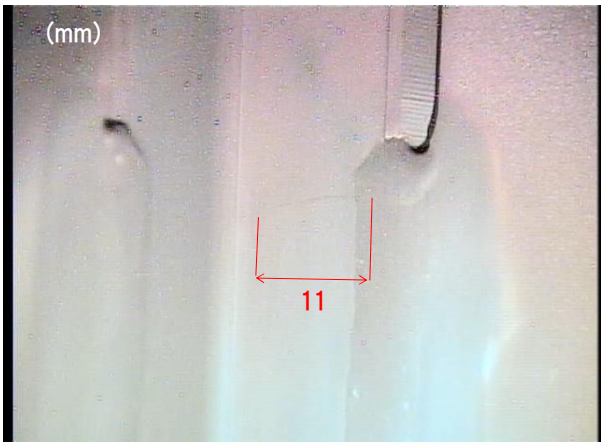
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－045）（1／10）



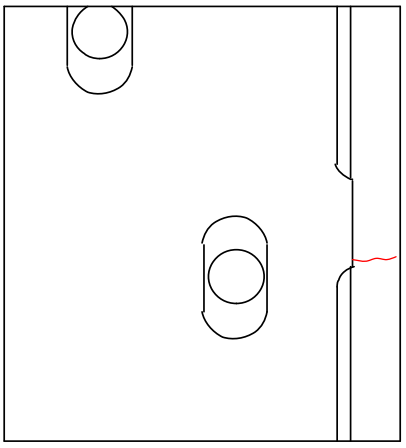


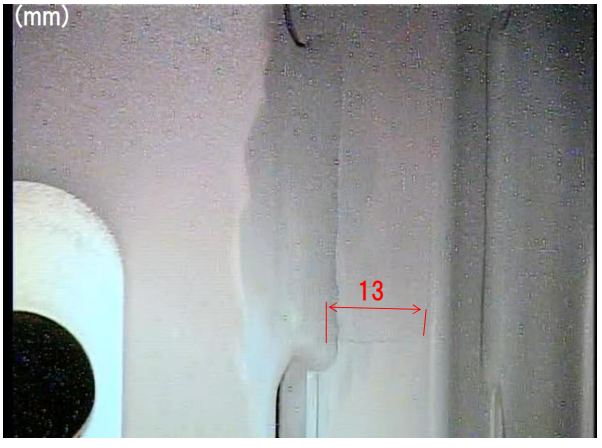
コーナ２　４面　４タブ





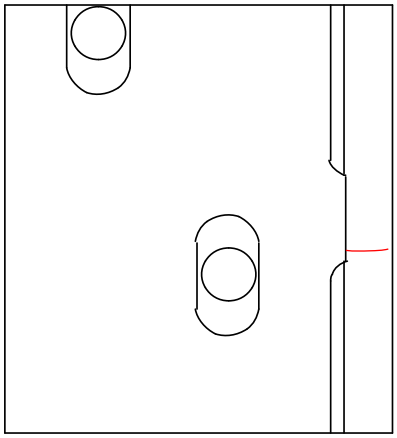
コーナー３　５面　４タブ

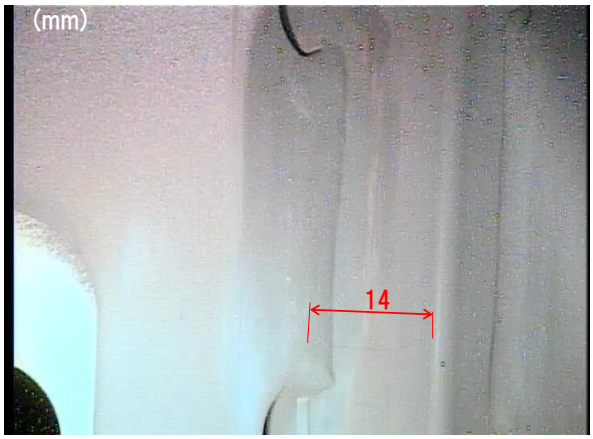




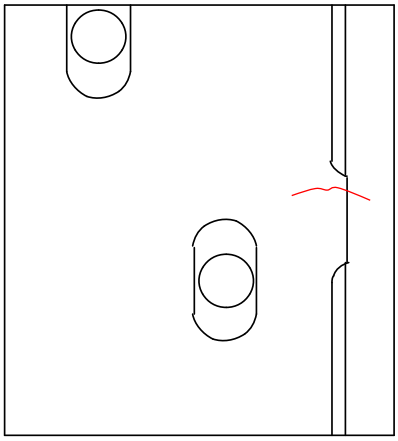
コーナー2　4面　5タブ

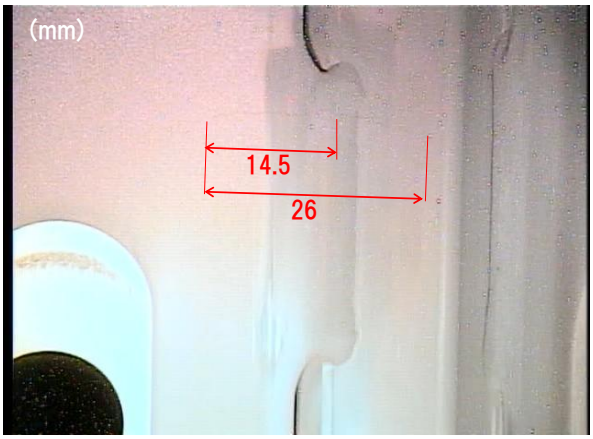
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－045）（2／10）



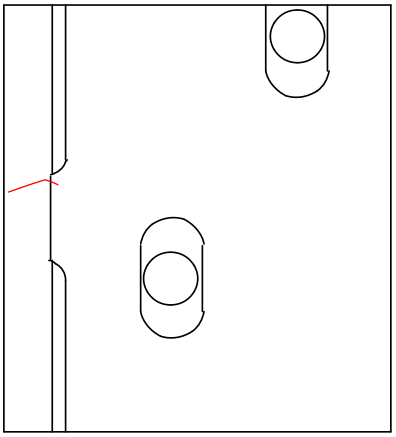


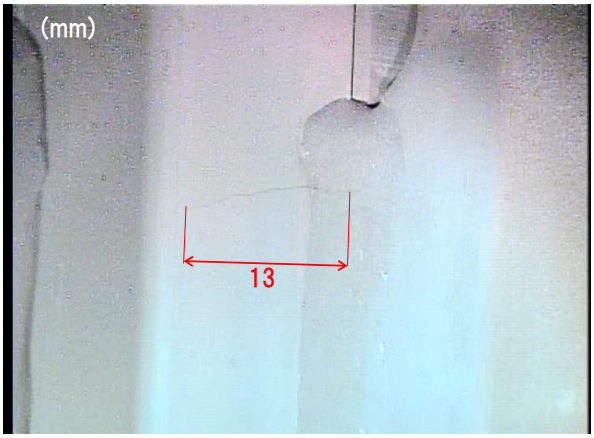
コーナー2　4面　6タブ





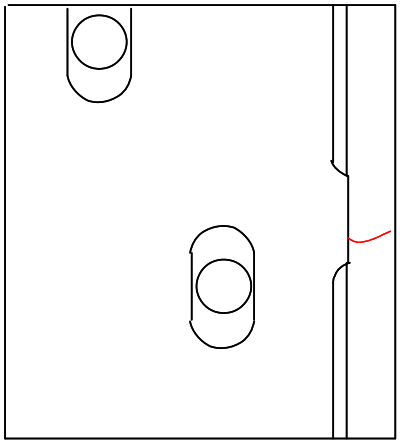
コーナー2　4面　7タブ

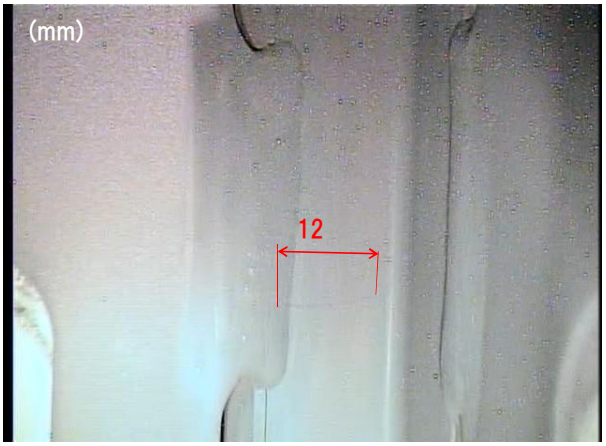




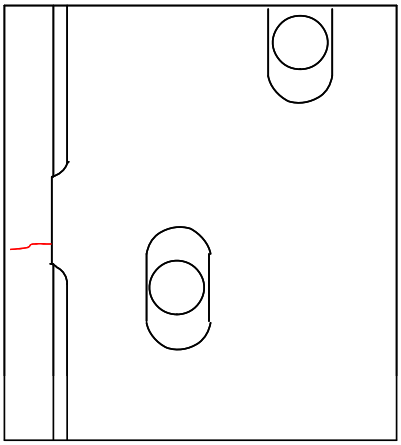
コーナー3　5面　7タブ

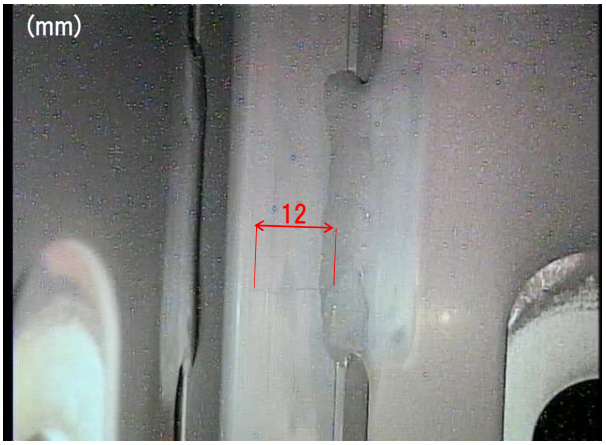
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－045）（3／10）



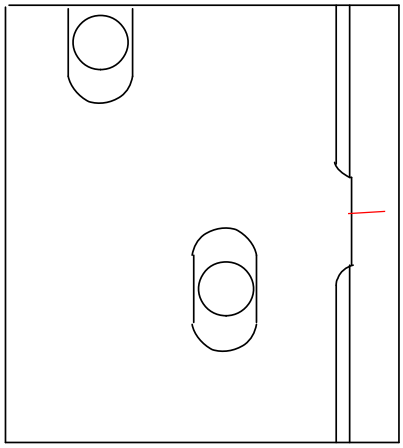


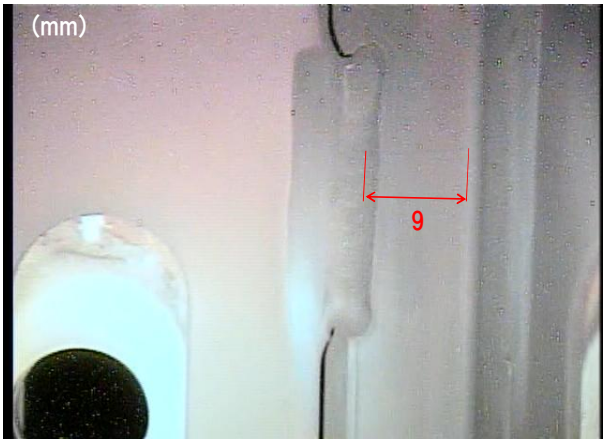
コーナー2　4面　8タブ





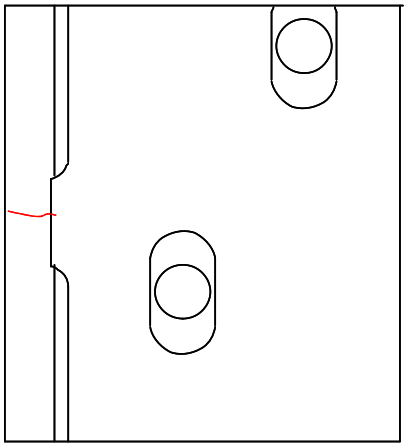
コーナー3　5面　8タブ

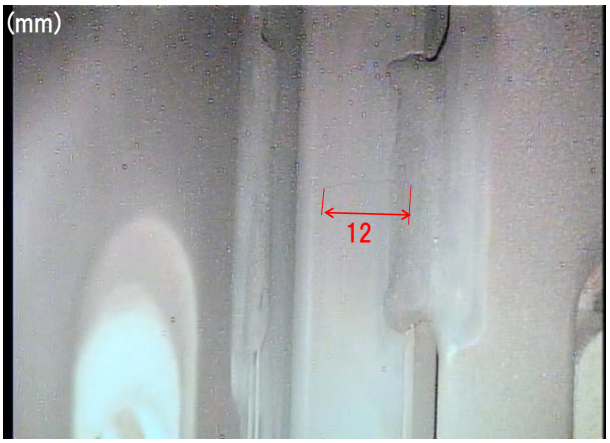




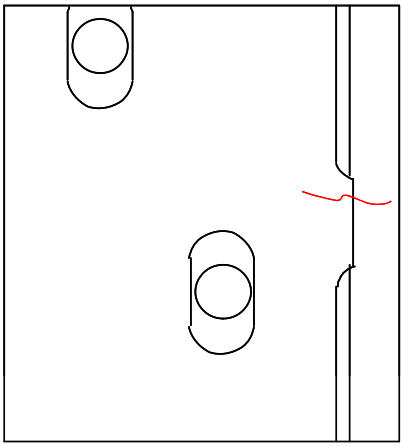
コーナー4　8面　8タブ

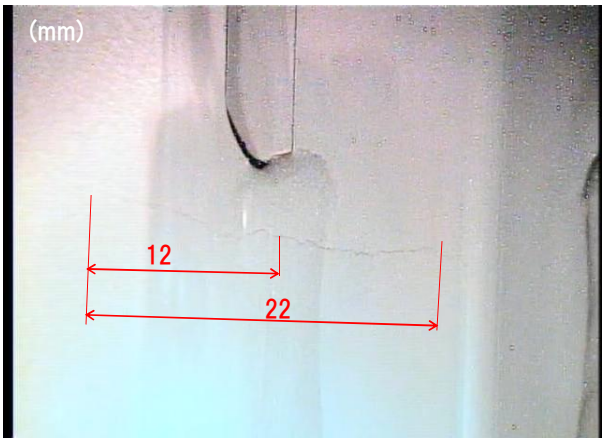
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－045）（4／10）



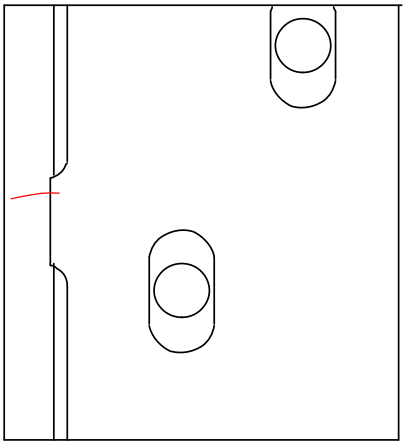


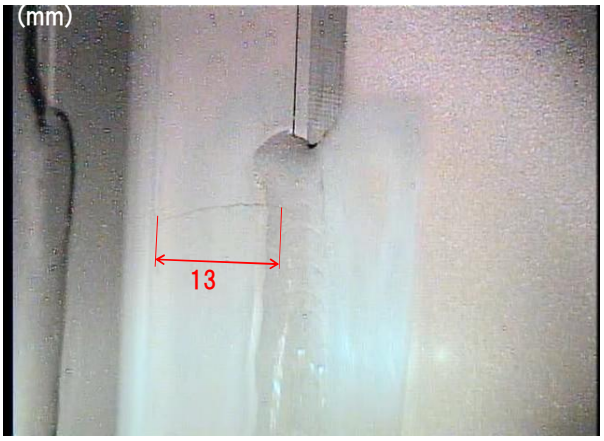
コーナー1　1面　9タブ





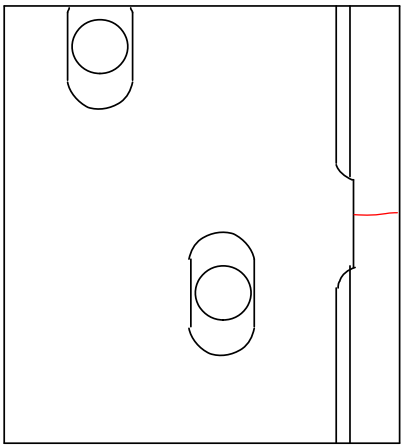
コーナー2　4面　9タブ

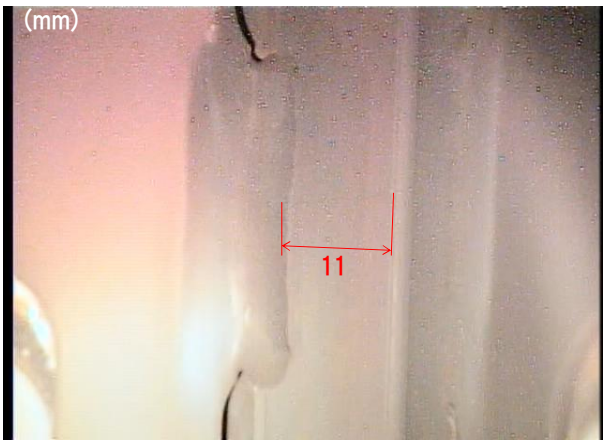




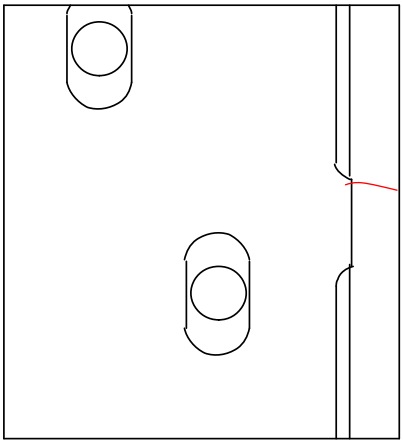
コーナー3　5面　9タブ

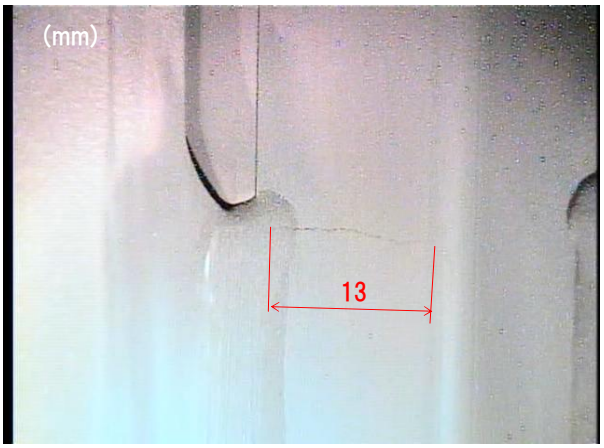
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－045）（5／10）



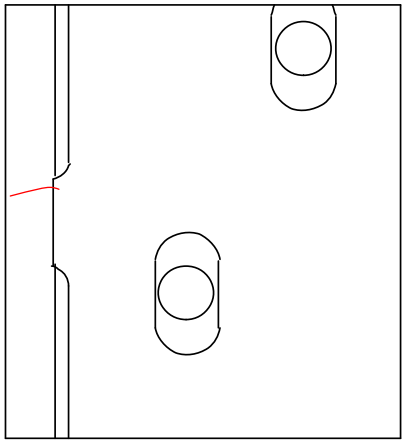


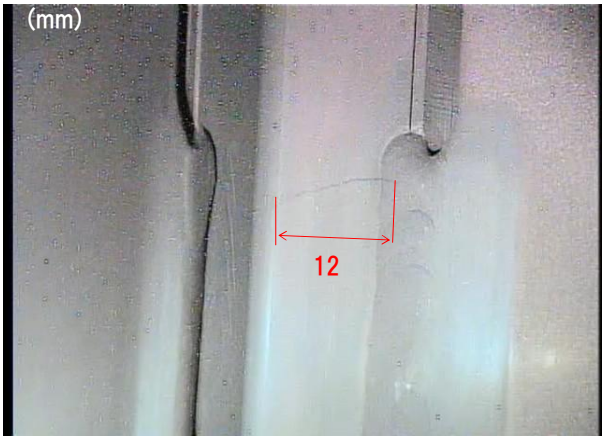
コーナー4　8面　9タブ





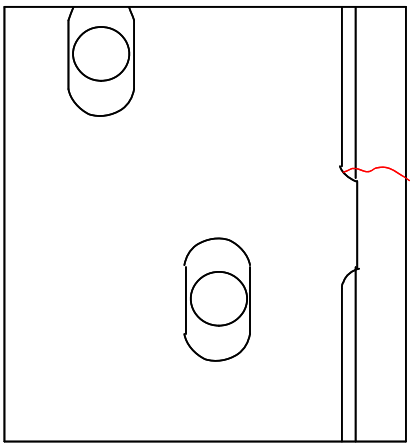
コーナー2　4面　10タブ

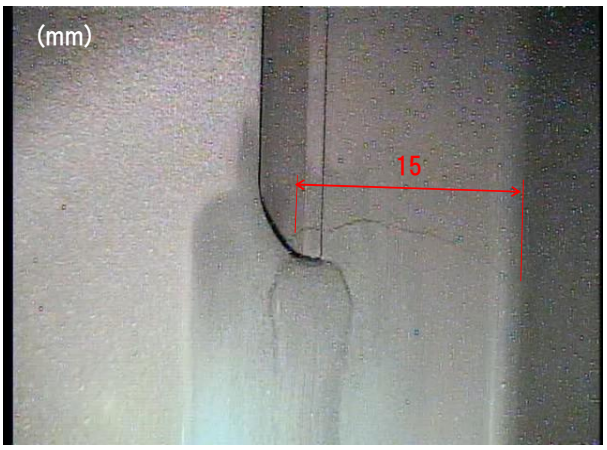




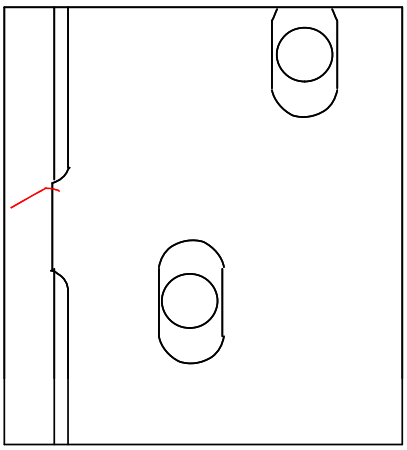
コーナー3　5面　10タブ

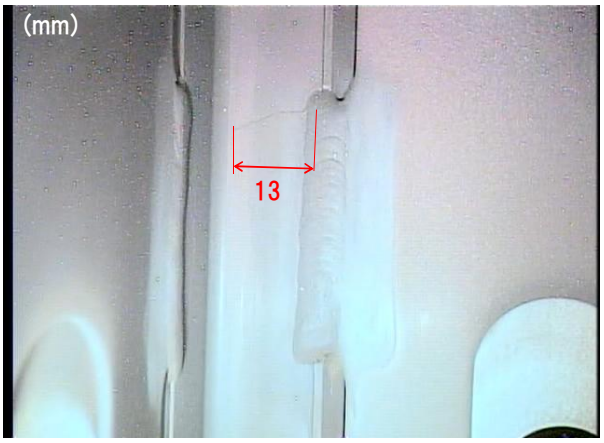
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－045）（6／10）



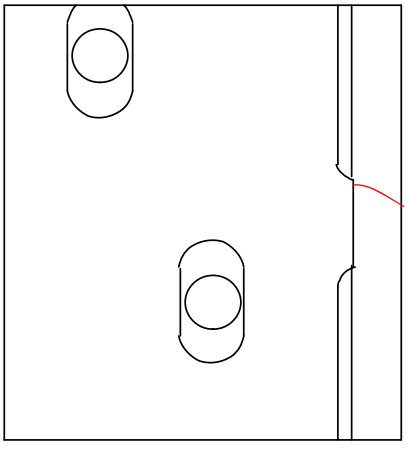


コーナー2　4面　11タブ





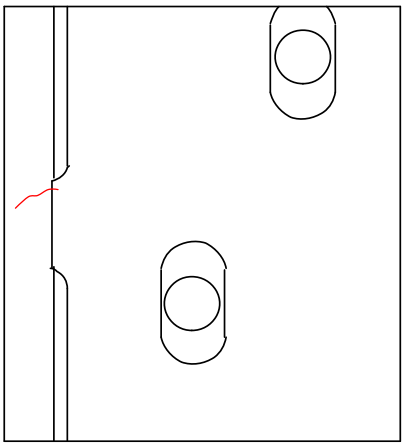
コーナー3　5面　11タブ

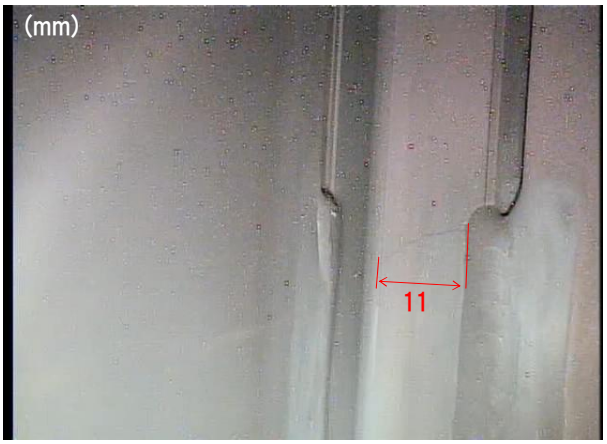




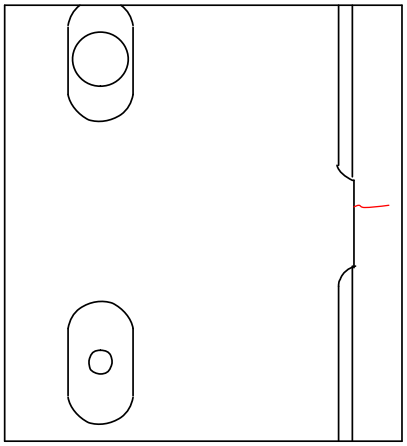
コーナー2　4面　12タブ

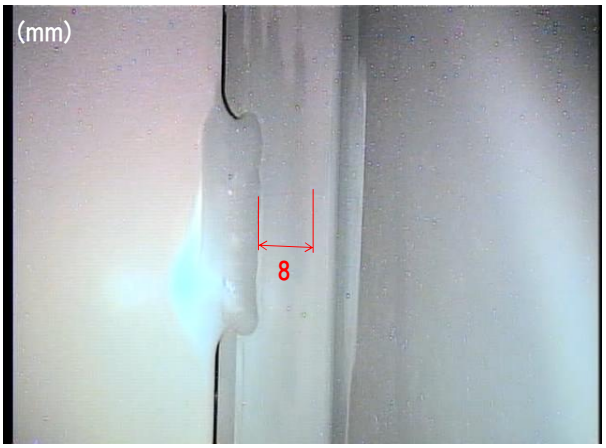
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－045）（7／10）



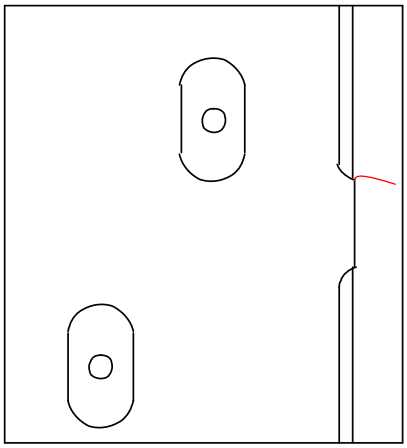


コーナー3　5面　12タブ





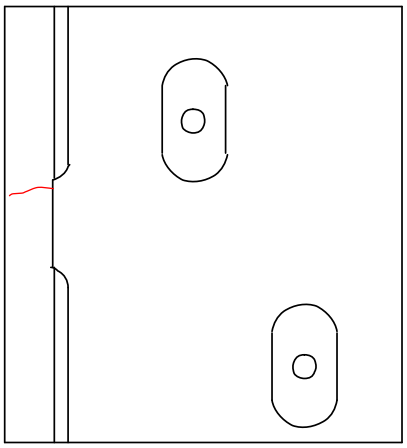
コーナー4　8面　13タブ

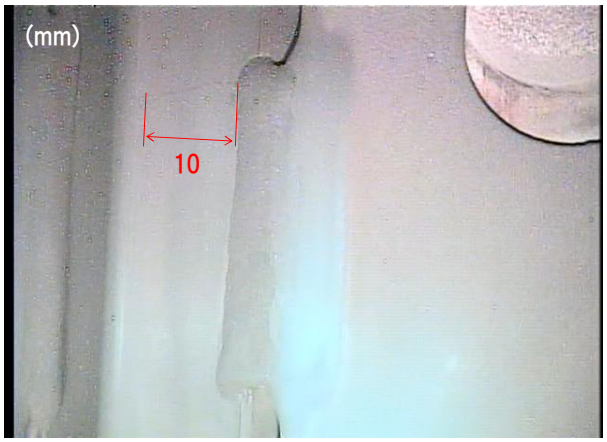




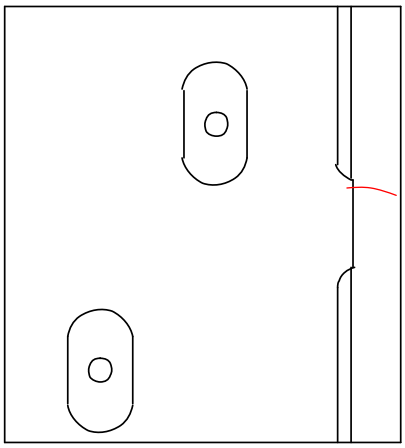
コーナー2　4面　14タブ

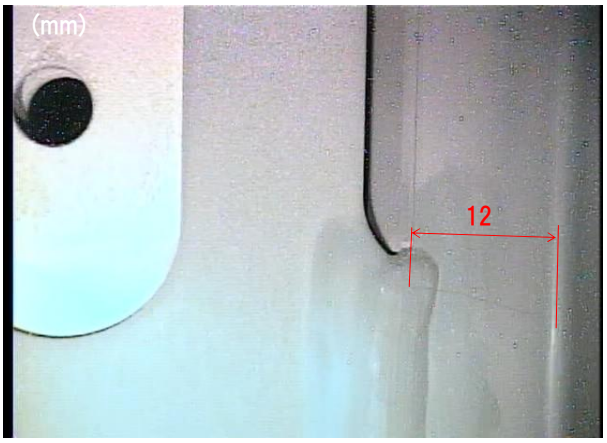
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－045）（8／10）



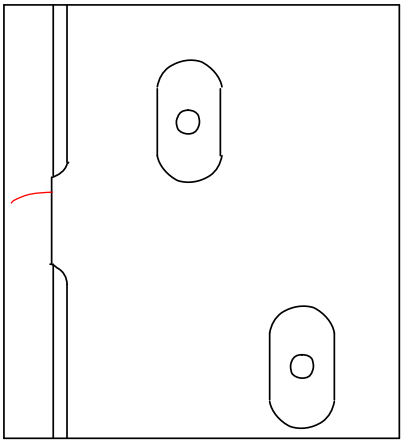


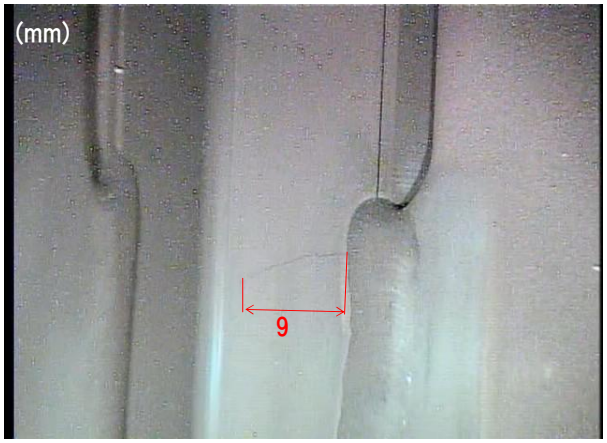
コーナー3　5面　14タブ





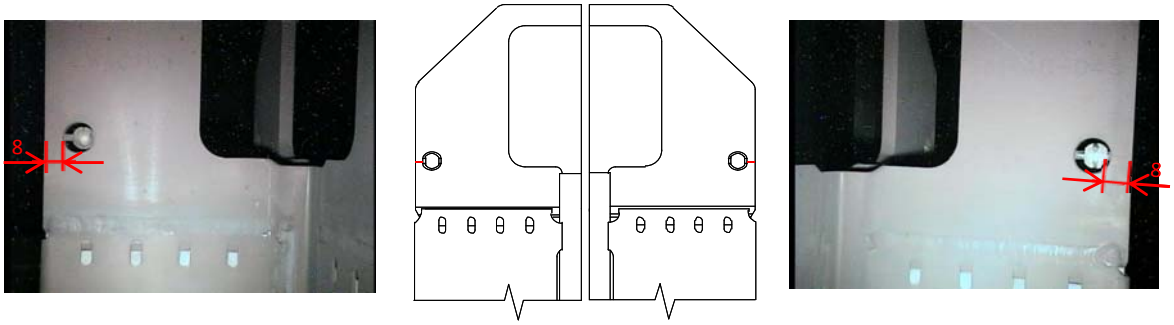
コーナー2　4面　15タブ



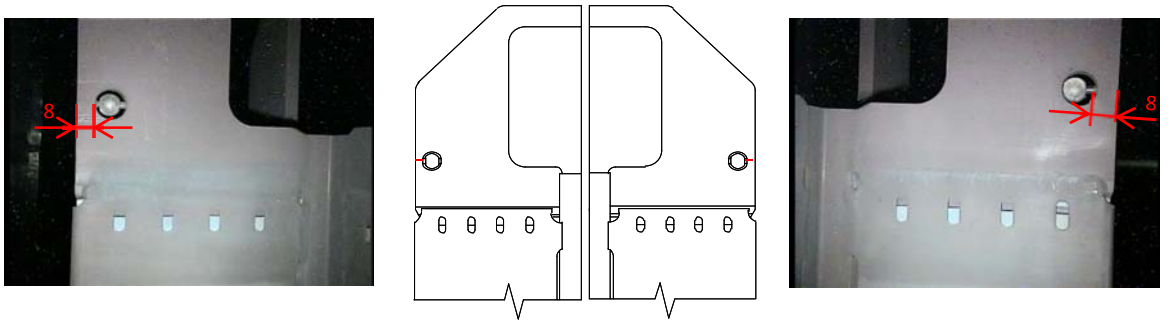


コーナー3　5面　15タブ

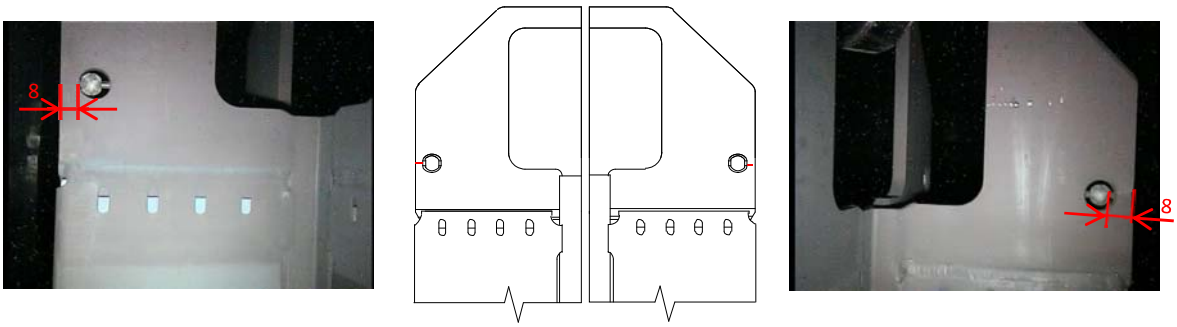
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－045）（9／10）



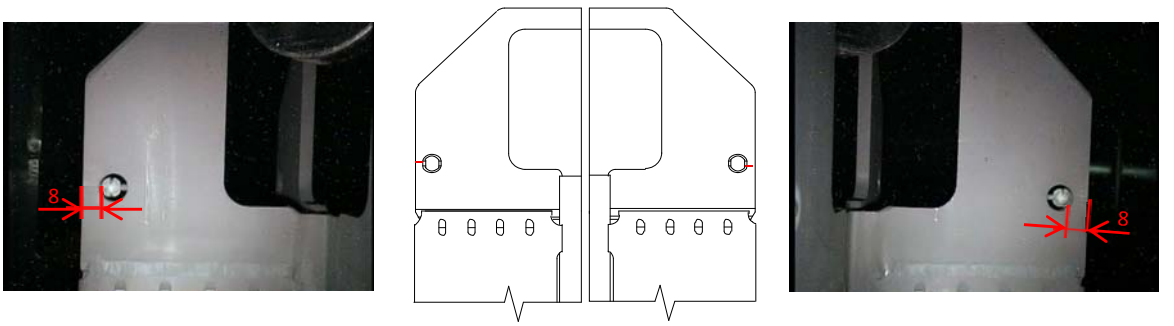
２面　　１面



４面　　３面



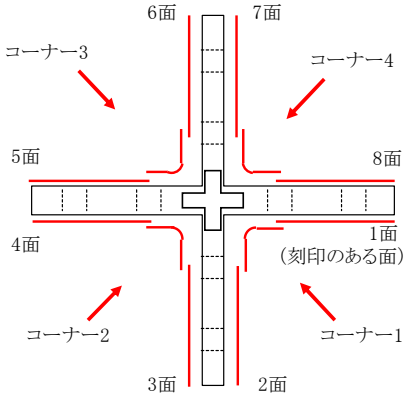
６面　　５面

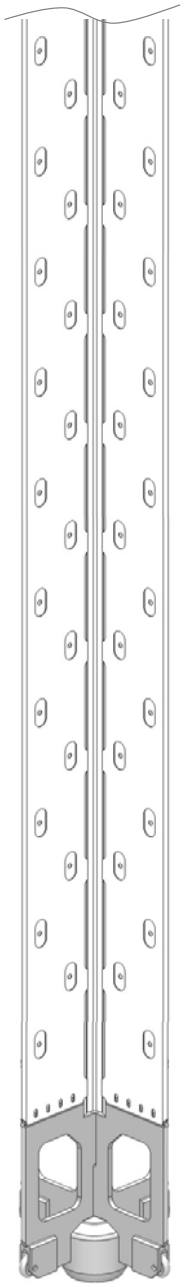


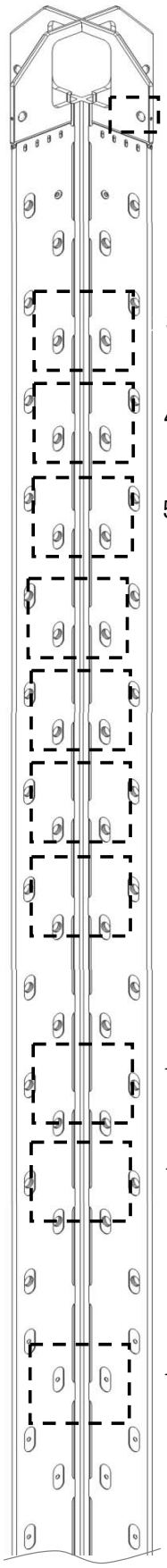
８面　　７面

単位：mm

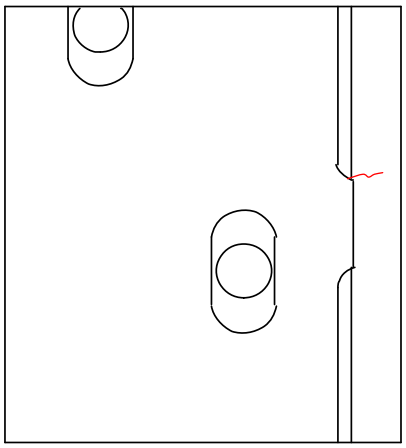
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－045）（10／10）





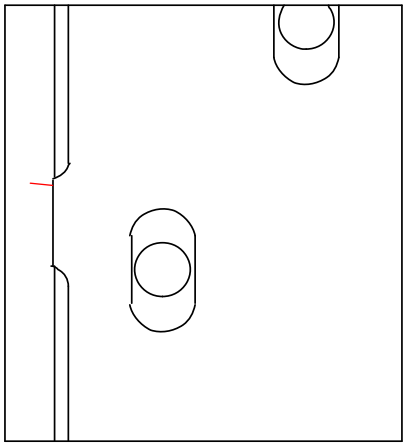


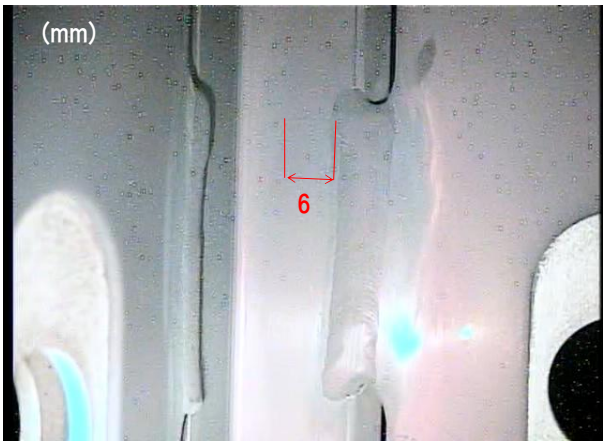
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－046）（1／10）



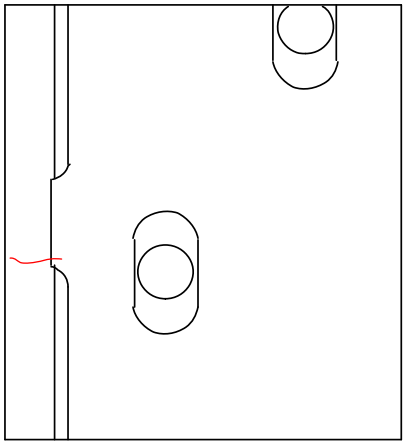


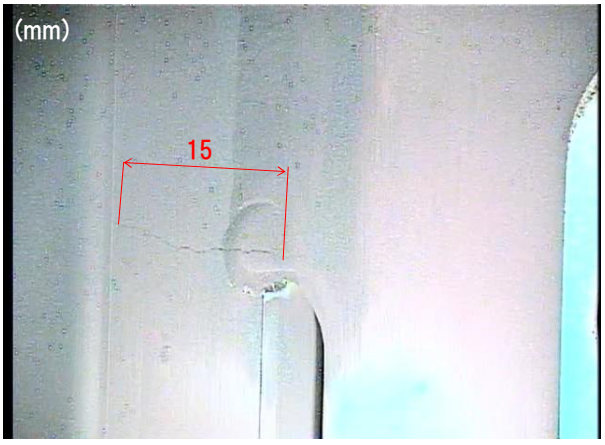
コーナ２　４面　３タブ





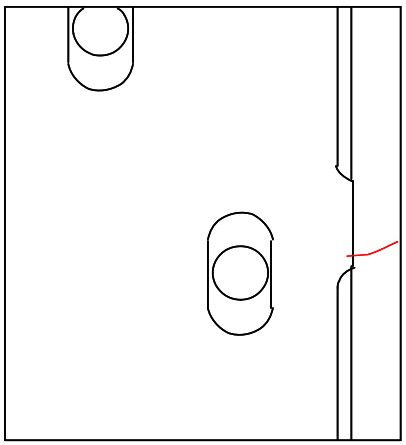
コーナー３　５面　３タブ

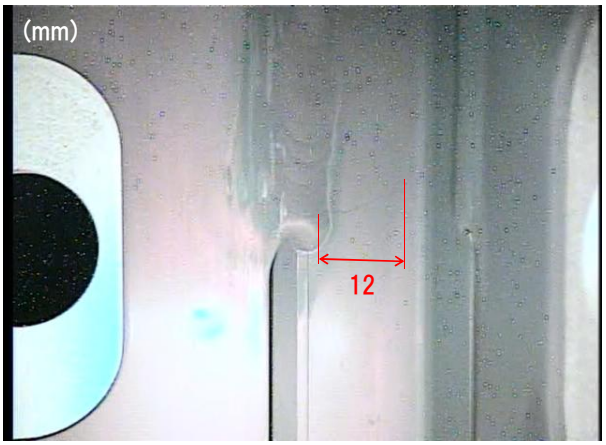




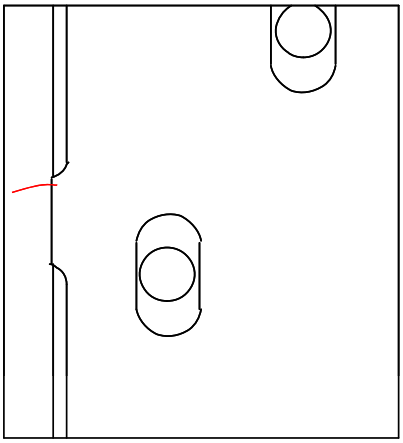
コーナー1　1面　4タブ

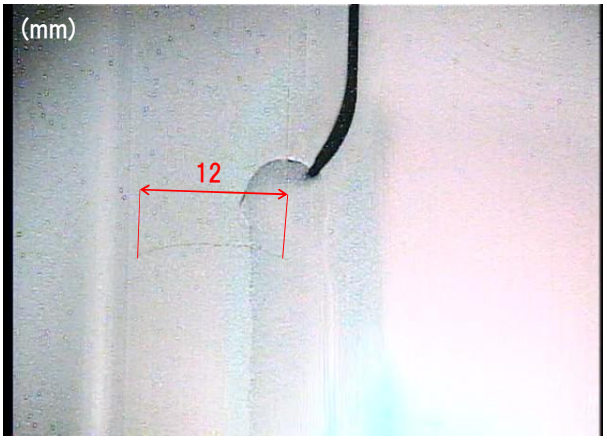
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－046）（2／10）



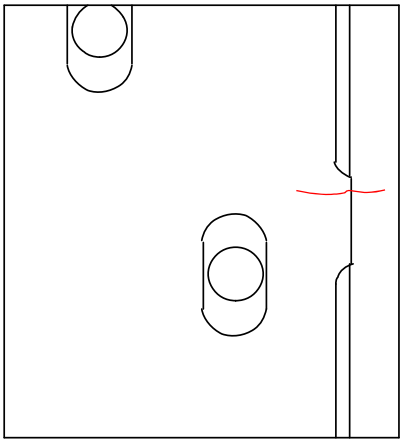


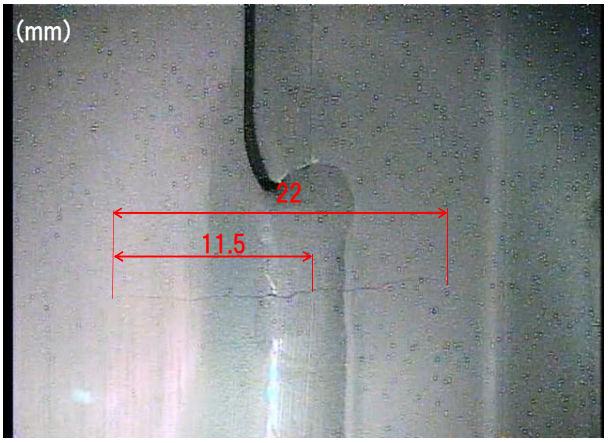
コーナー4　8面　4タブ





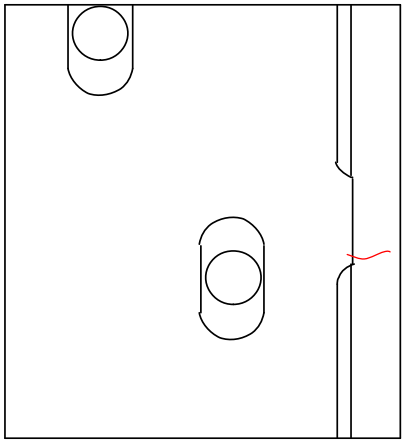
コーナー1　1面　5タブ

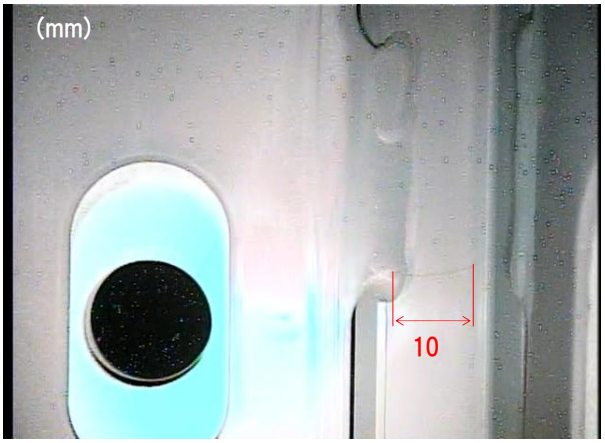




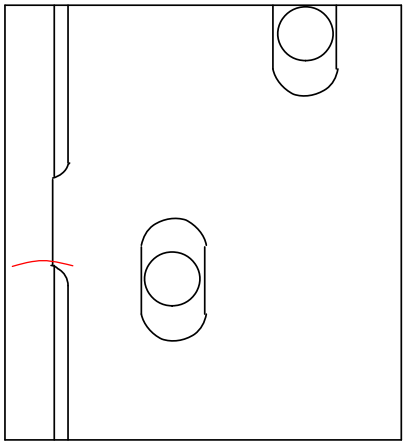
コーナー4　8面　5タブ

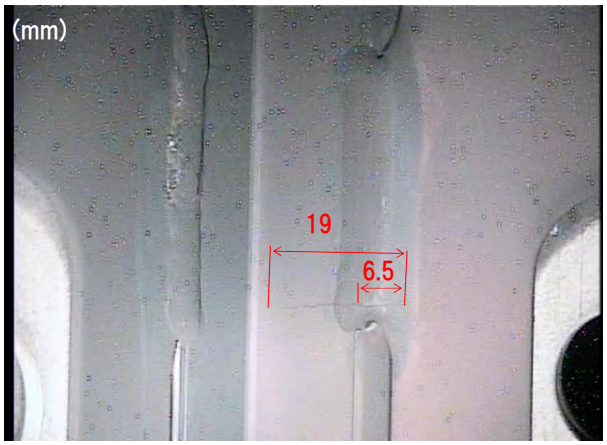
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－046）（3／10）



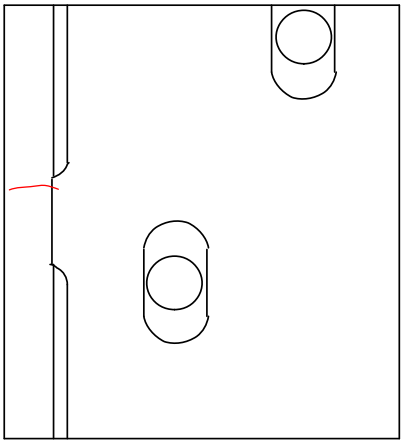


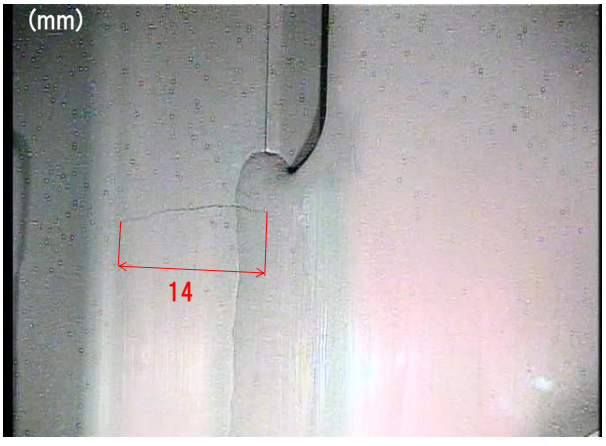
コーナー2　4面　6タブ





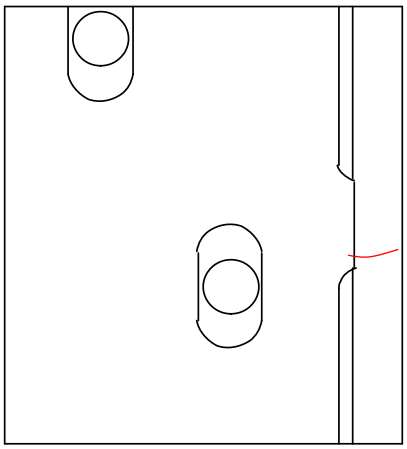
コーナー3　5面　6タブ

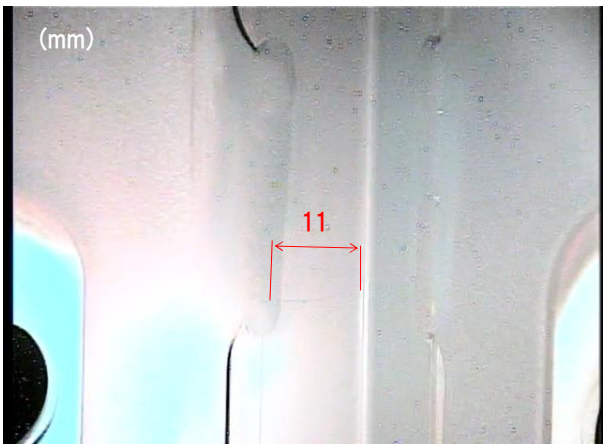




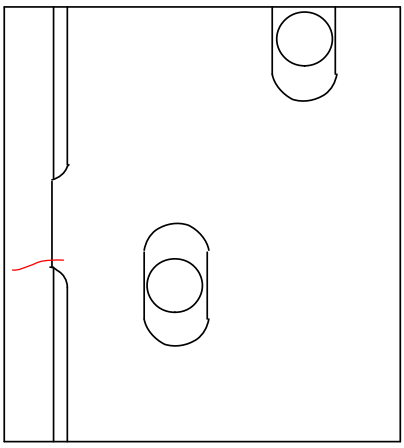
コーナー1　1面　7タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－046）（4／10）



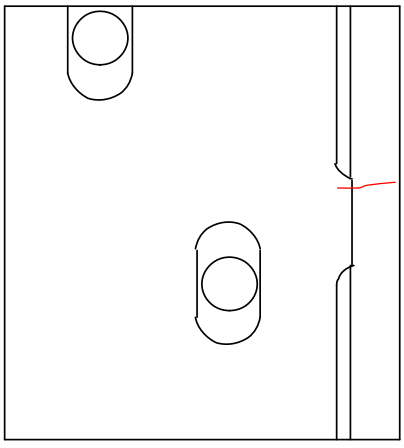


コーナー2　4面　7タブ





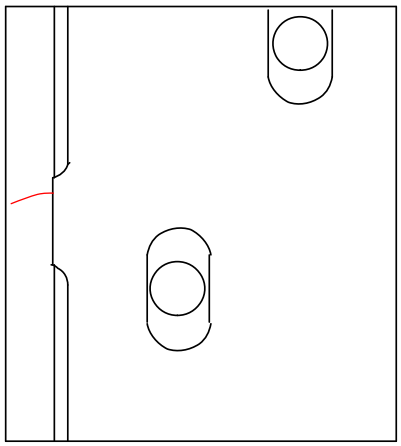
コーナー3　5面　7タブ





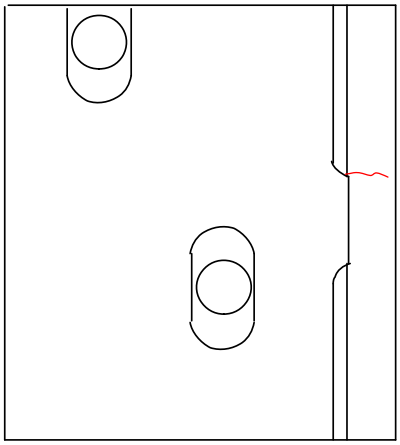
コーナー4　8面　7タブ

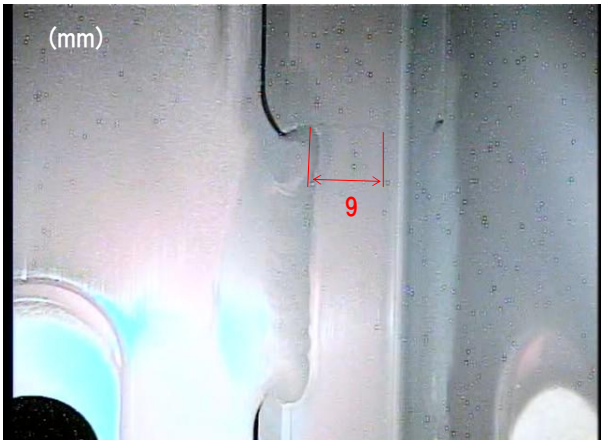
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－046）（5／10）



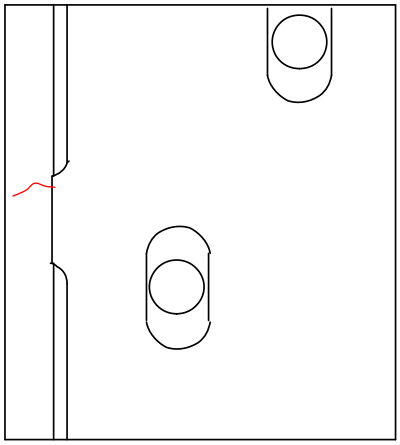


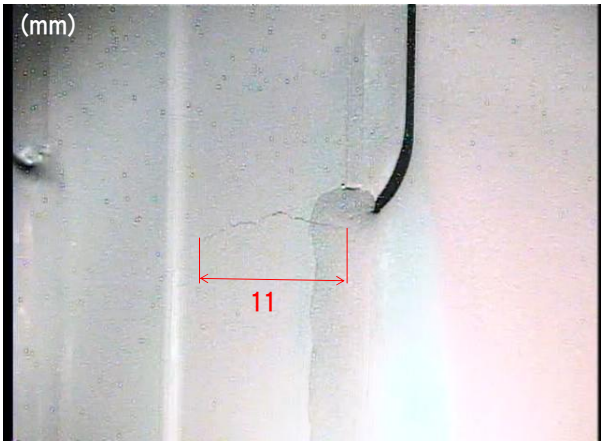
コーナー1　1面　8タブ





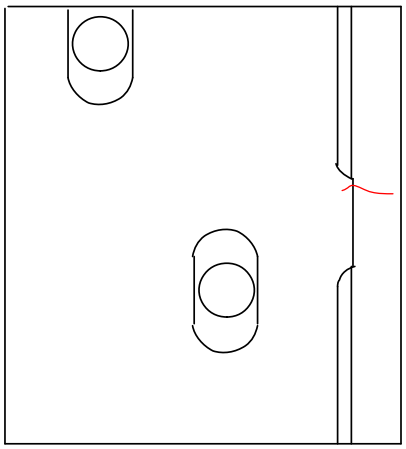
コーナー2　4面　8タブ

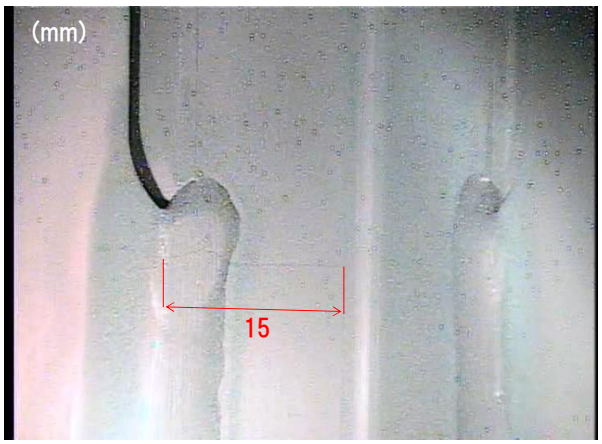




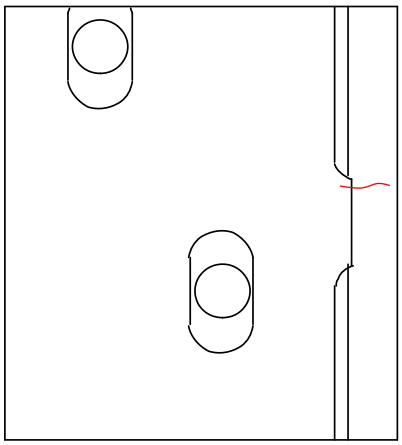
コーナー3　5面　8タブ

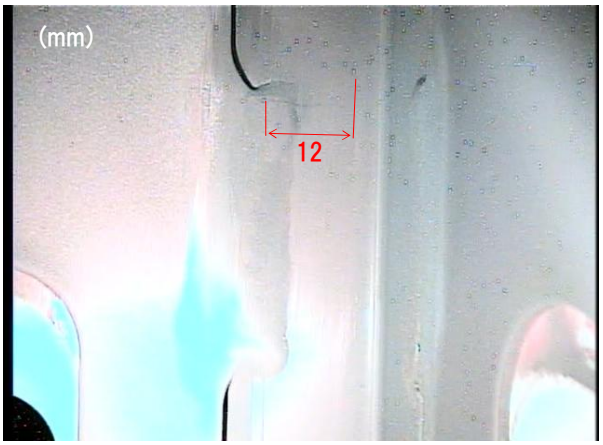
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－046）（6／10）



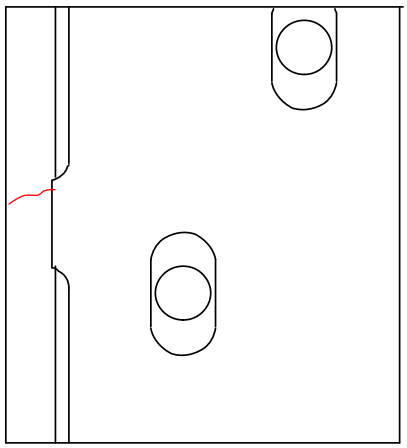


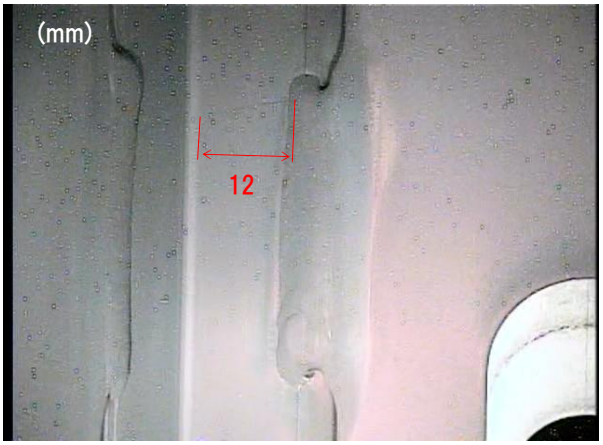
コーナー4　8面　8タブ





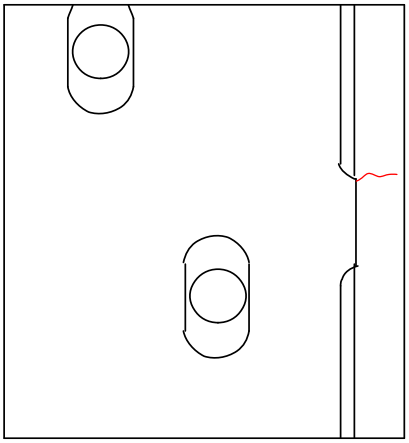
コーナー2　4面　9タブ

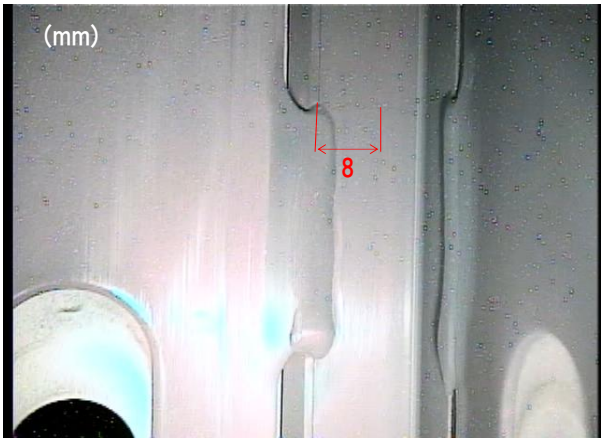




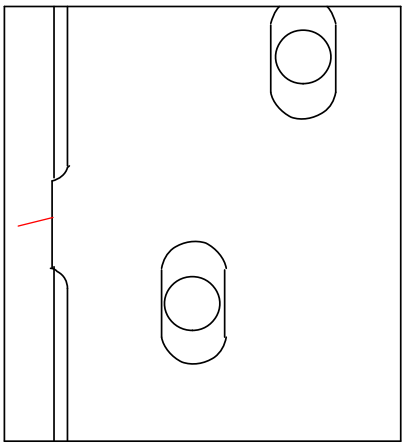
コーナー3　5面　9タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－046）（7／10）



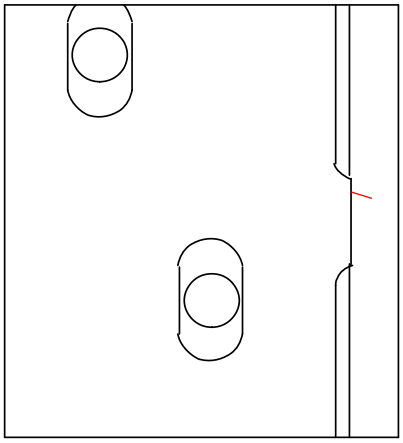


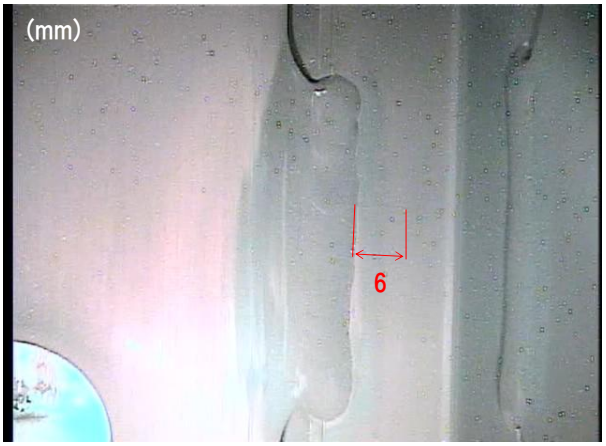
コーナー2　4面　11タブ





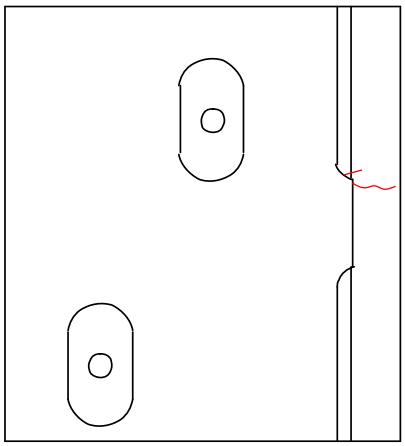
コーナー1　1面　12タブ

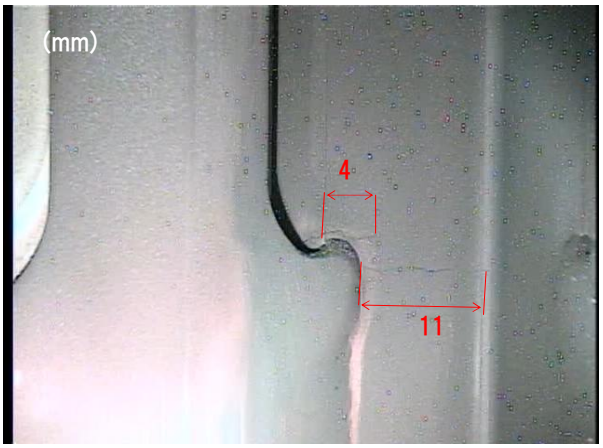




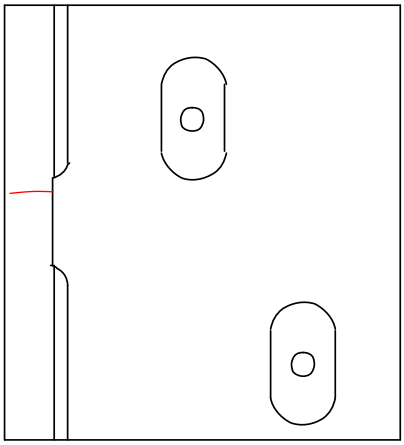
コーナー4　8面　12タブ

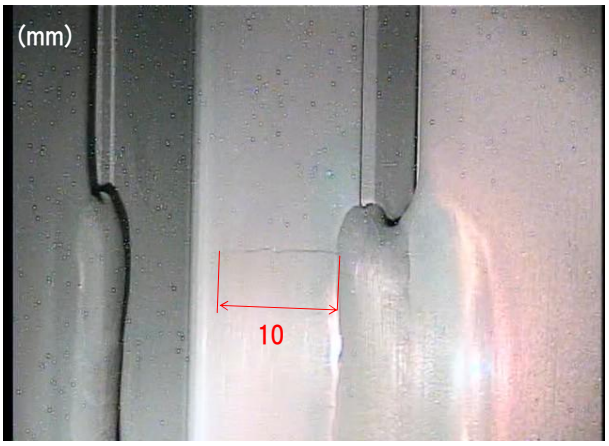
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－046）（8／10）





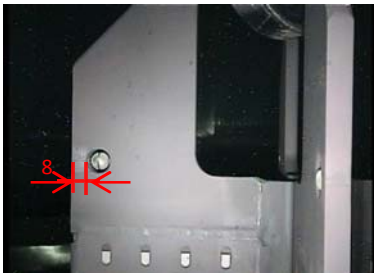
コーナー2　4面　14タブ



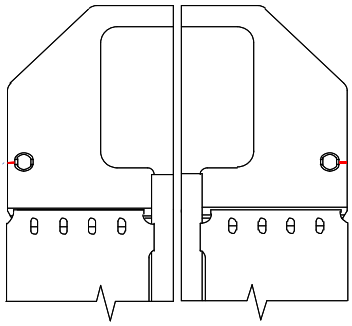


コーナー3　5面　14タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－046）（9／10）



２面

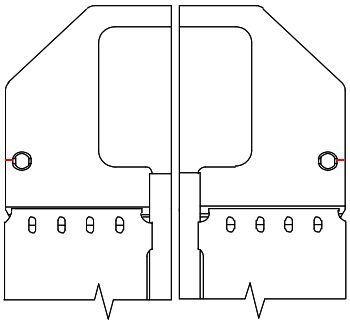


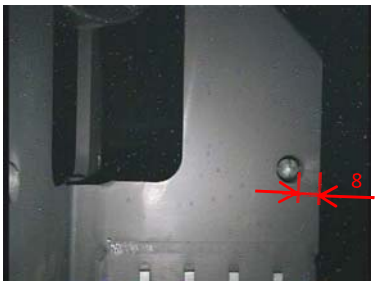


１面



４面

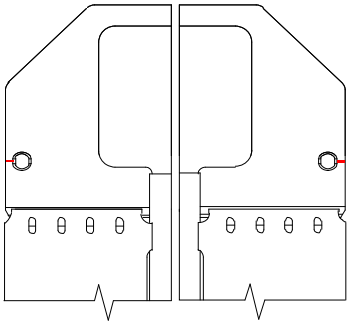




３面



６面

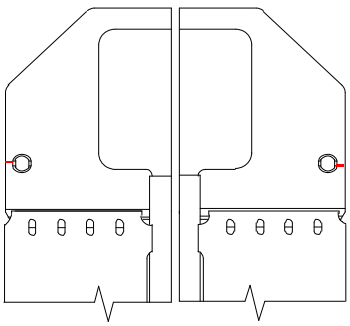


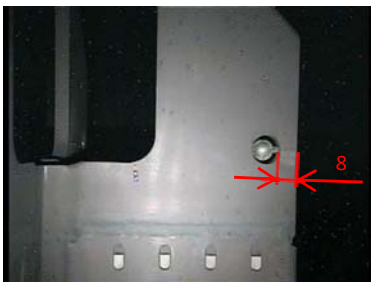


５面



８面

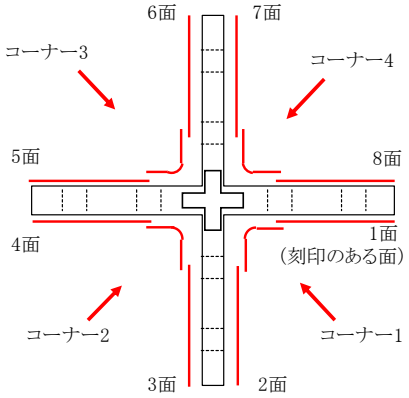


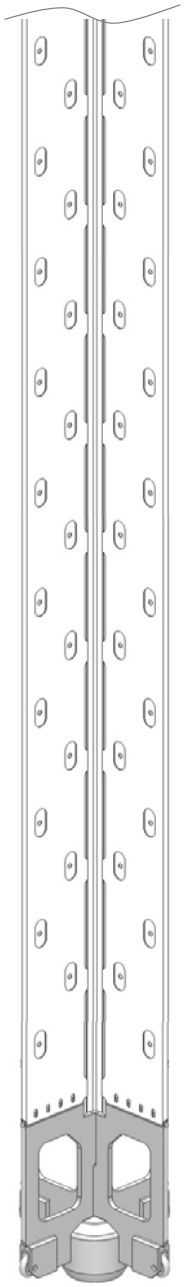


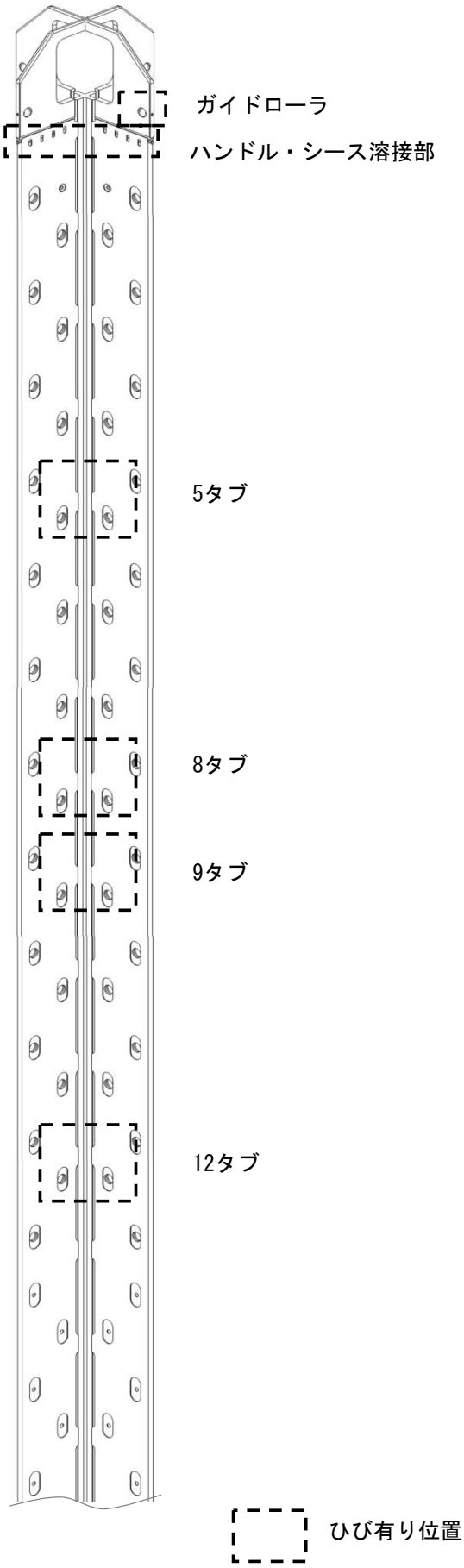
７面

単位：mm

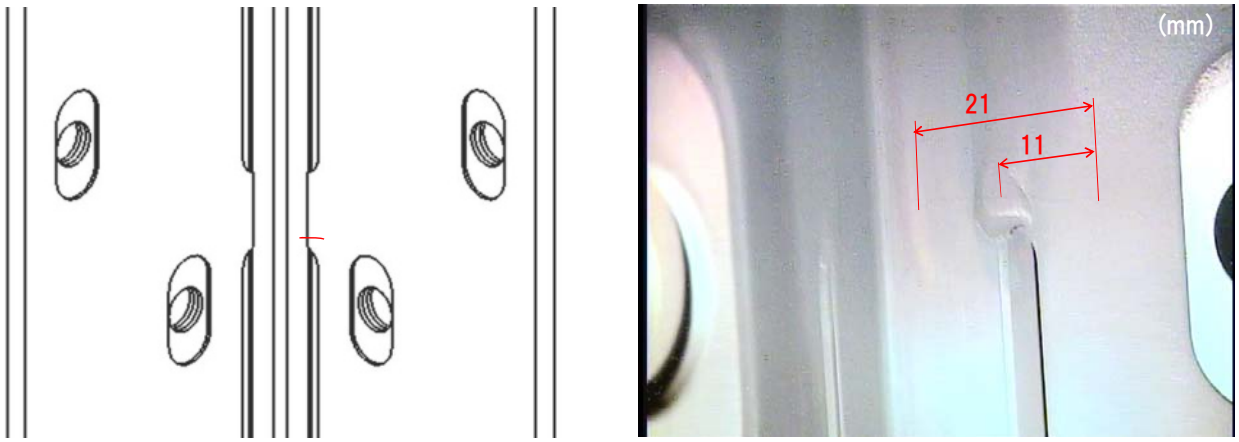
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－046）（10／10）



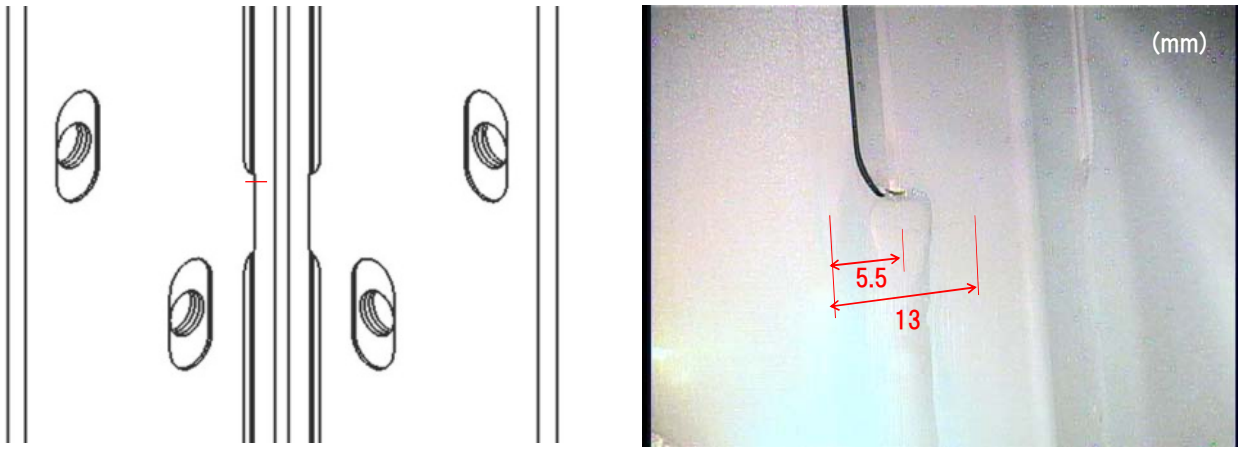




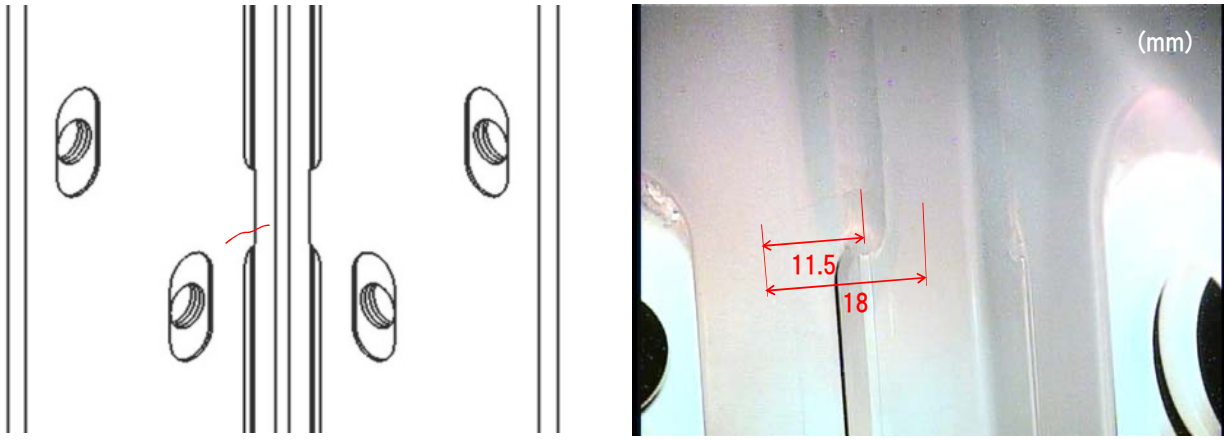
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－047）（1／5）



コーナー3　　5タブ

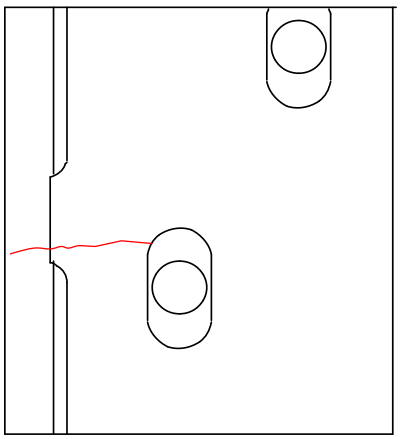


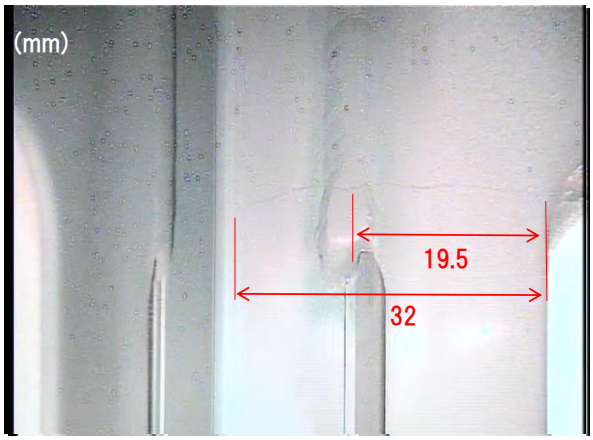
コーナー2　　8タブ



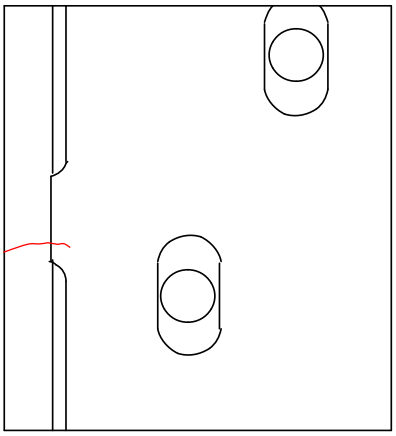
コーナー2　　9タブ

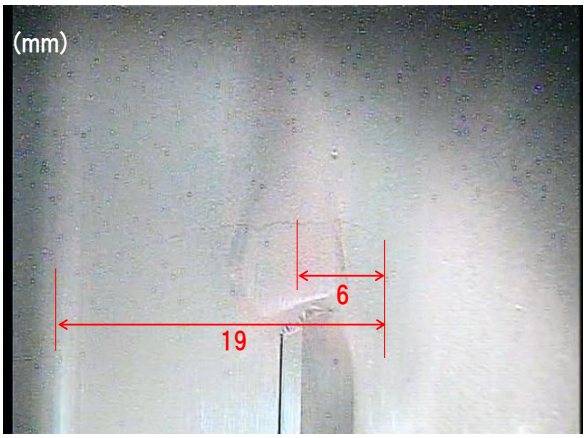
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－047）（2／5）



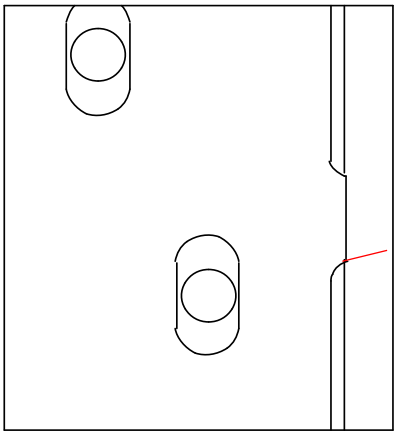


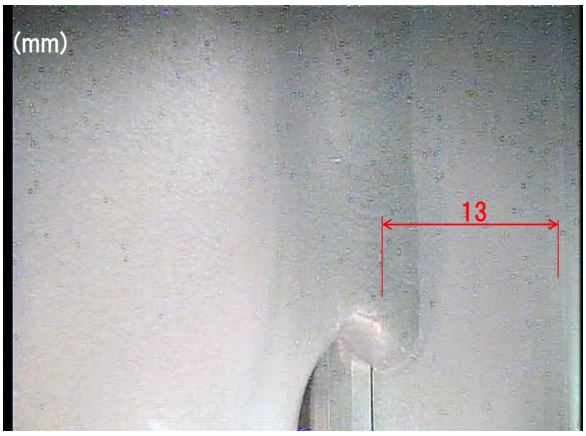
コーナー3　5面　　9タブ





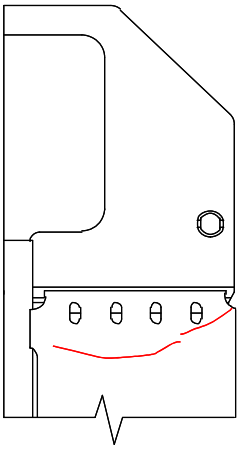
コーナー1　1面　　12タブ

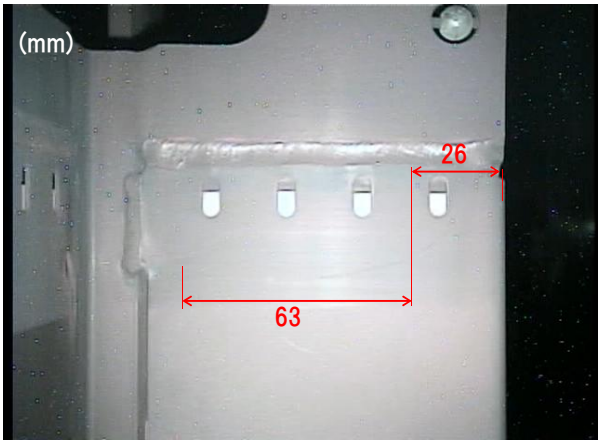




コーナー4　8面　　12タブ

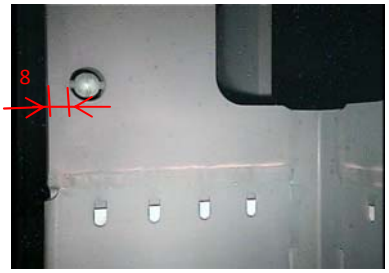
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－047）（3／5）



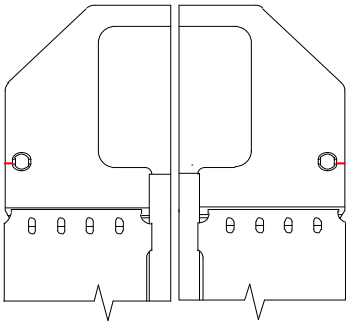


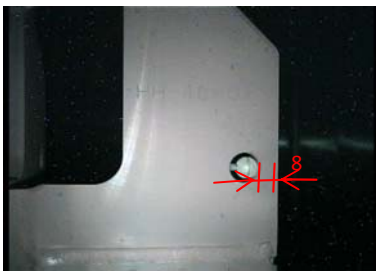
7面

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－047）（4／5）



２面

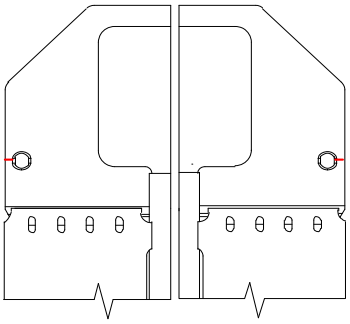




１面



４面

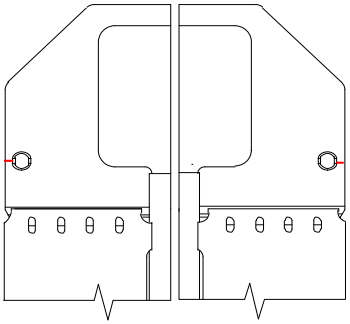




３面

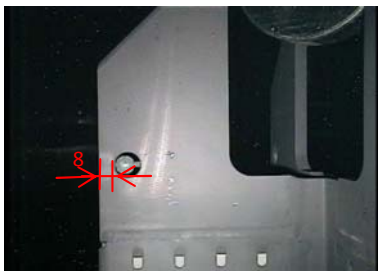


６面

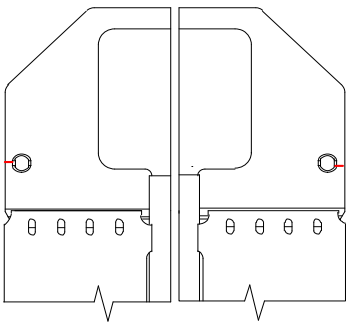




５面



８面

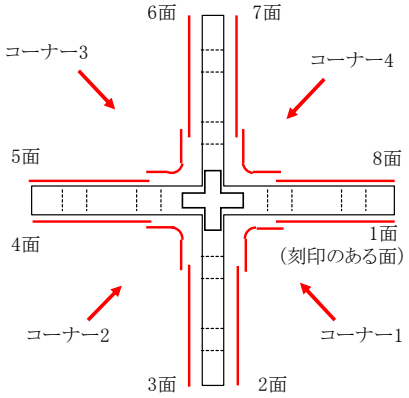


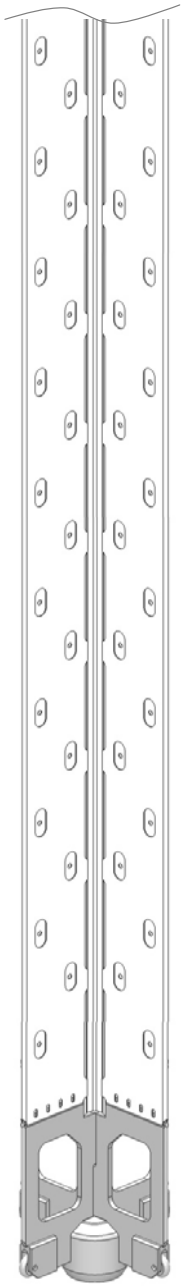


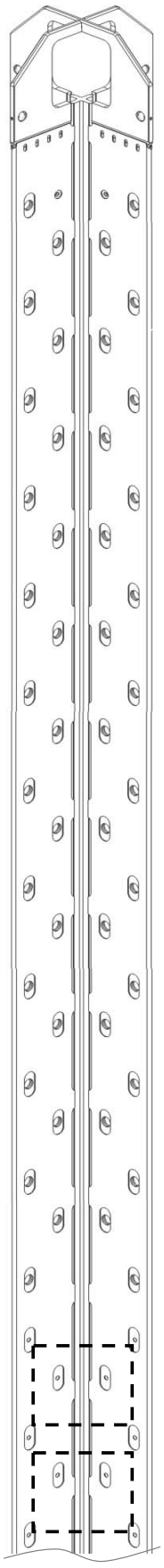
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－047）（5／5）

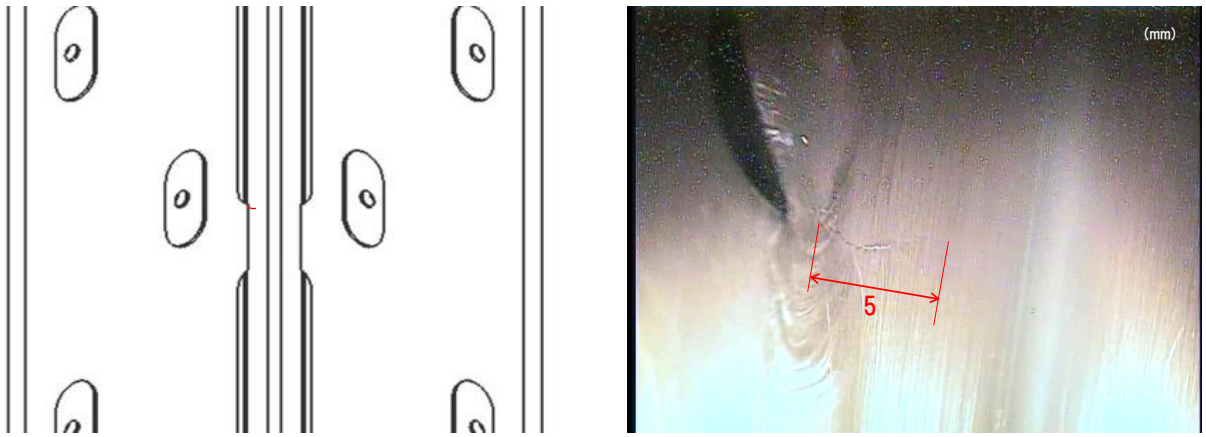






ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－049）（1／2）

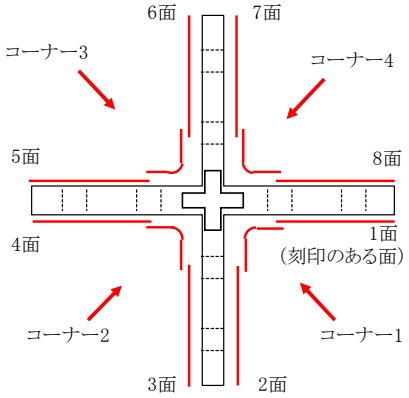


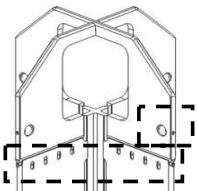
コーナー2　14タブ

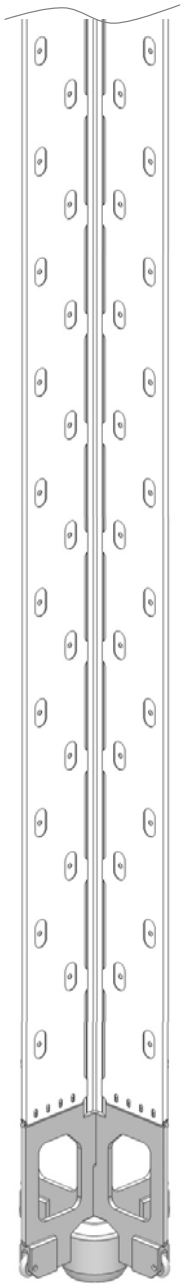


コーナー4　15タブ

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－049）（2／2）

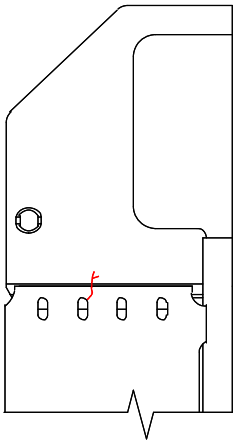


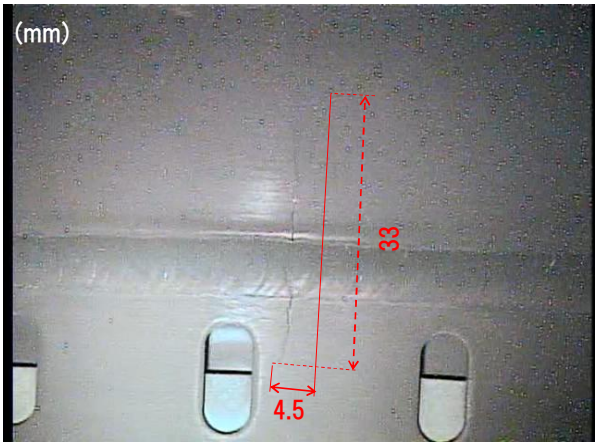




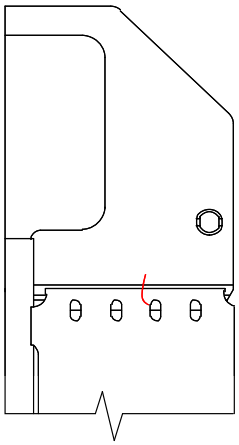


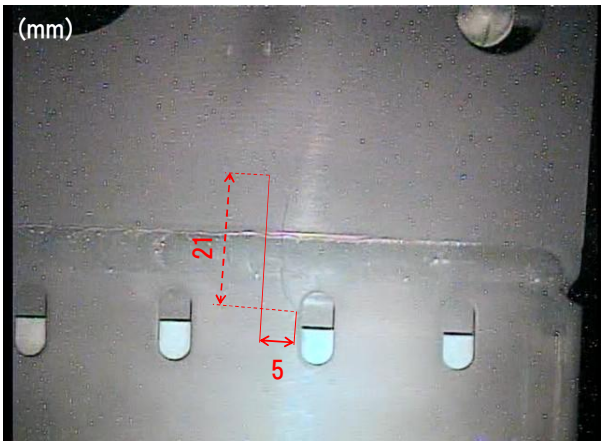
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－050）（1／3）





4面



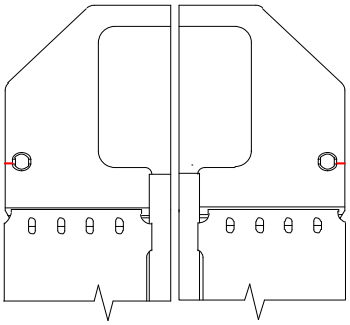


5面

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－050）（2／3）



２面

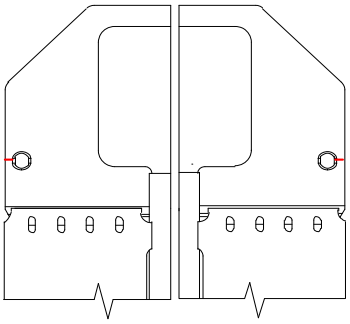


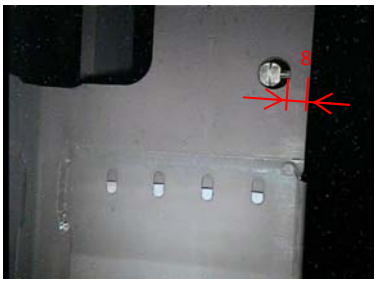


１面

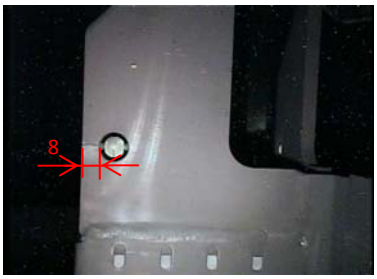


４面

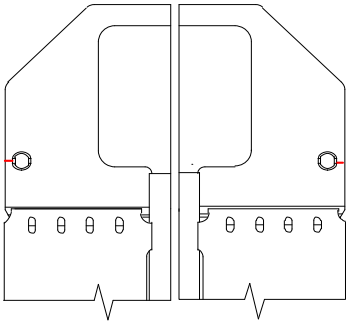


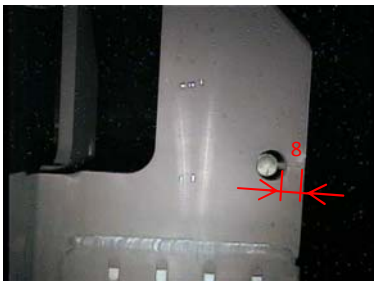


３面



６面

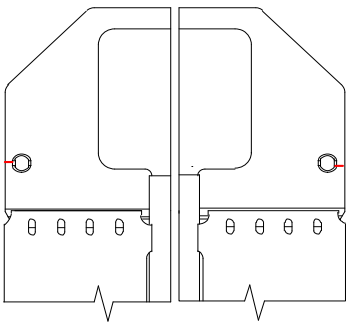


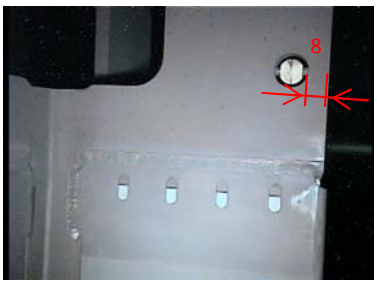


５面



８面

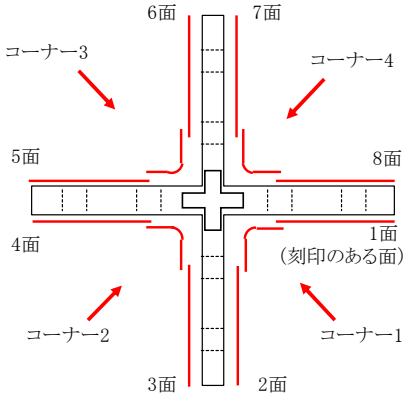


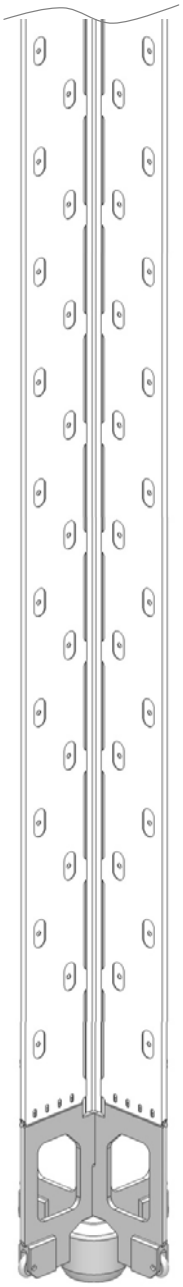


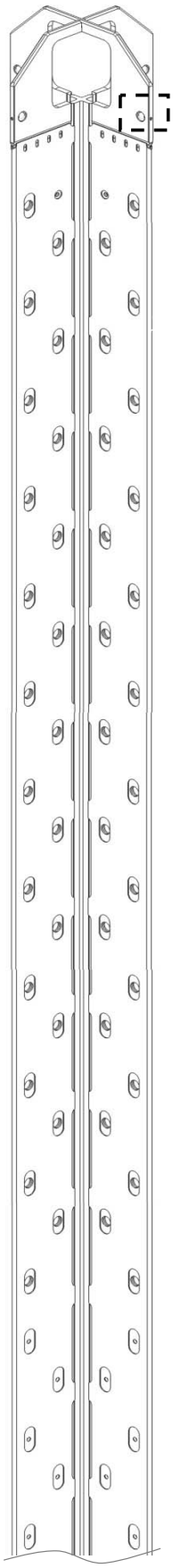
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－050）（3／3）

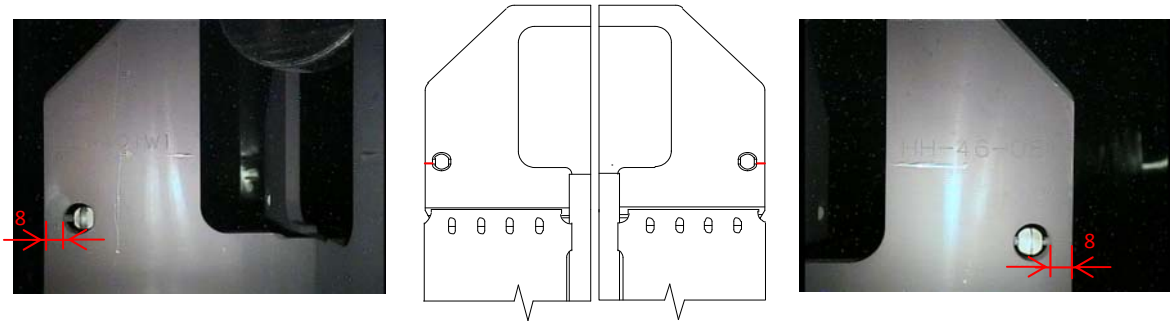




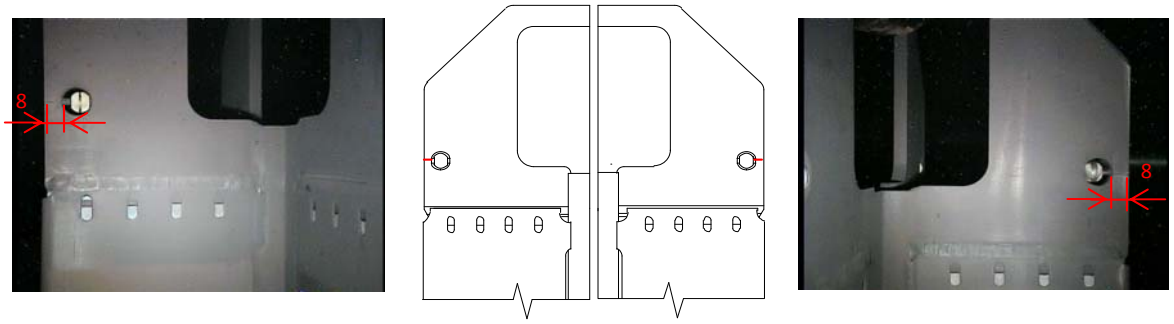


ひび有り位置

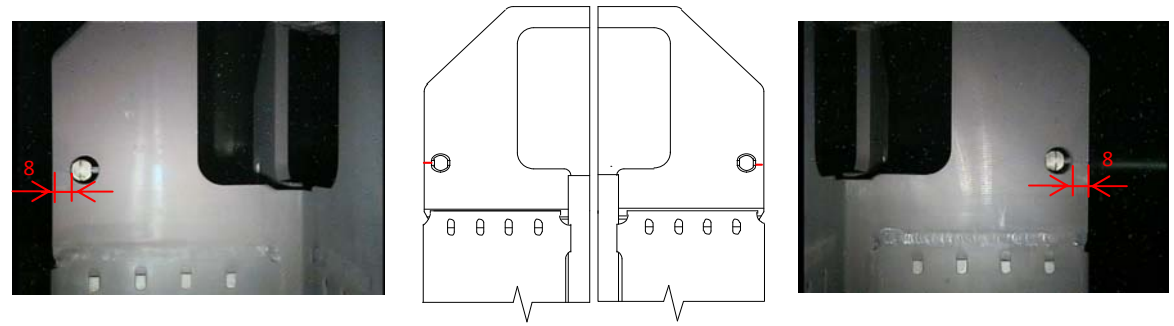
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－051）（1／2）



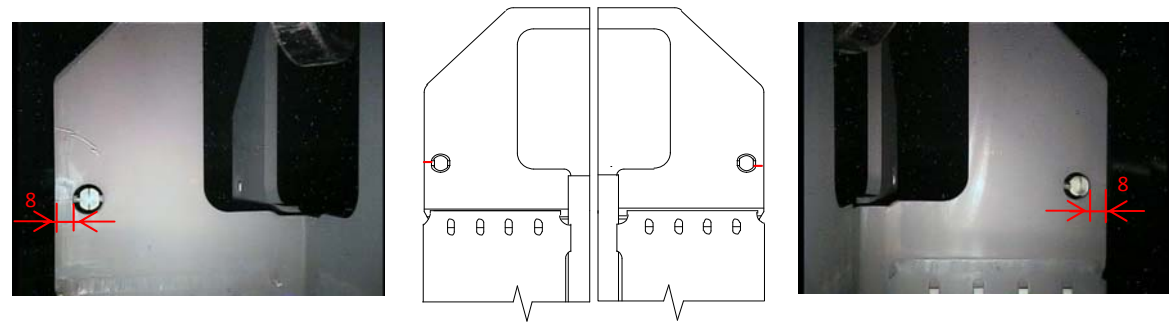
２面　　１面



４面　　３面



６面　　５面



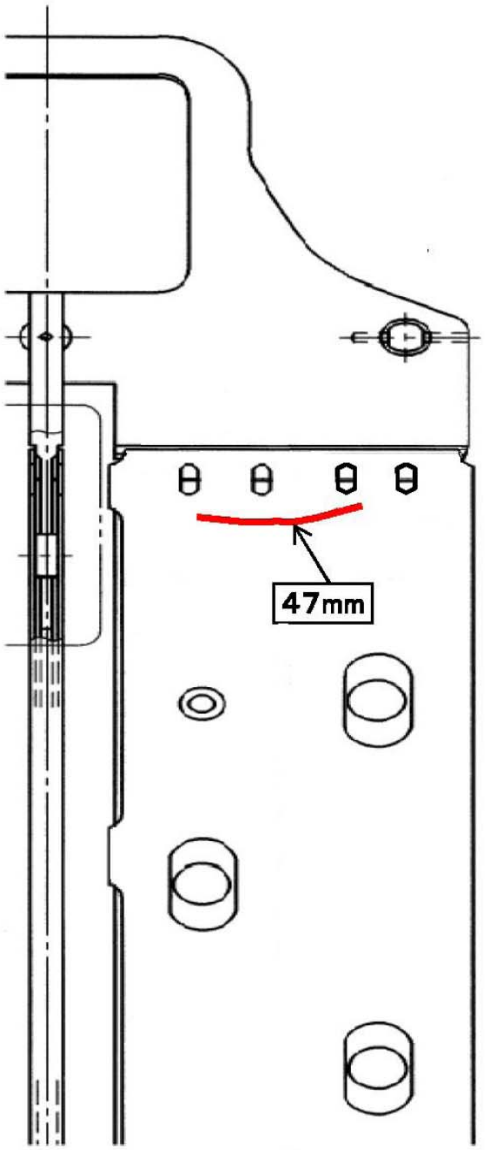
８面　　７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－051）（2／2）

ひびの状況（福島第一原子力発電所４号機）

３面

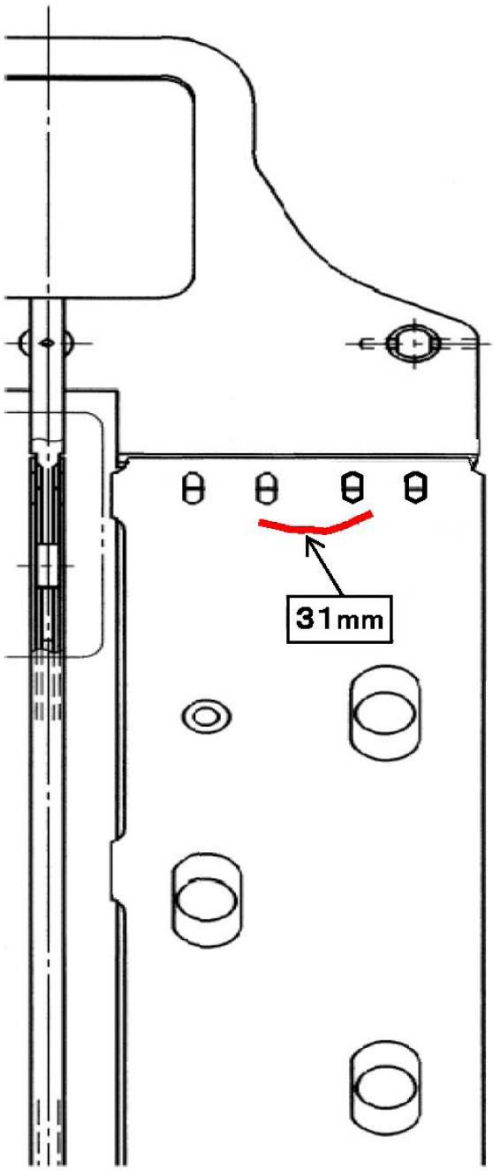




※　図に示したひびの長さは、水平方向の長さを示す。

福島第一原子力発電所４号機使用済ハフニウムフラットチューブ型
制御棒シースひび状況（製造番号：HF-11-001）

５面

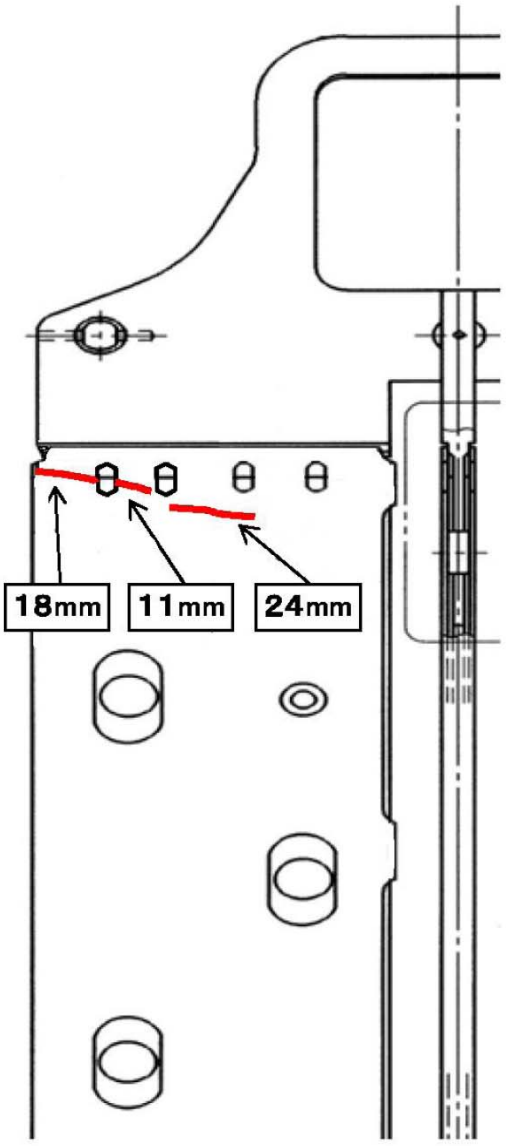


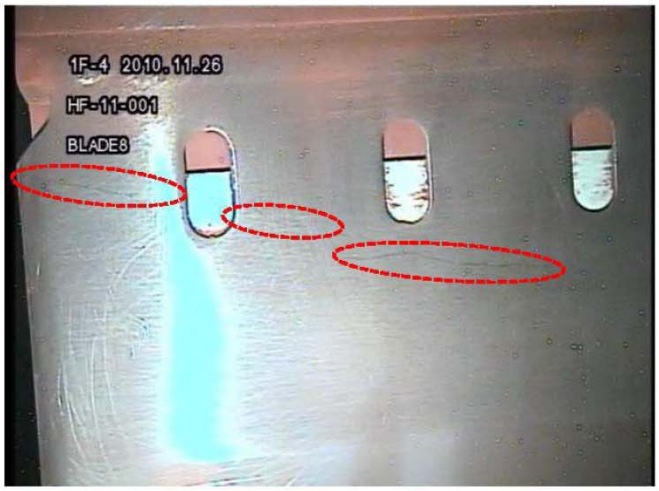


※　図に示したひびの長さは、水平方向の長さを示す。

福島第一原子力発電所４号機使用済ハフニウムフラットチューブ型
制御棒シースひび状況（製造番号：HF-11-001）

８面

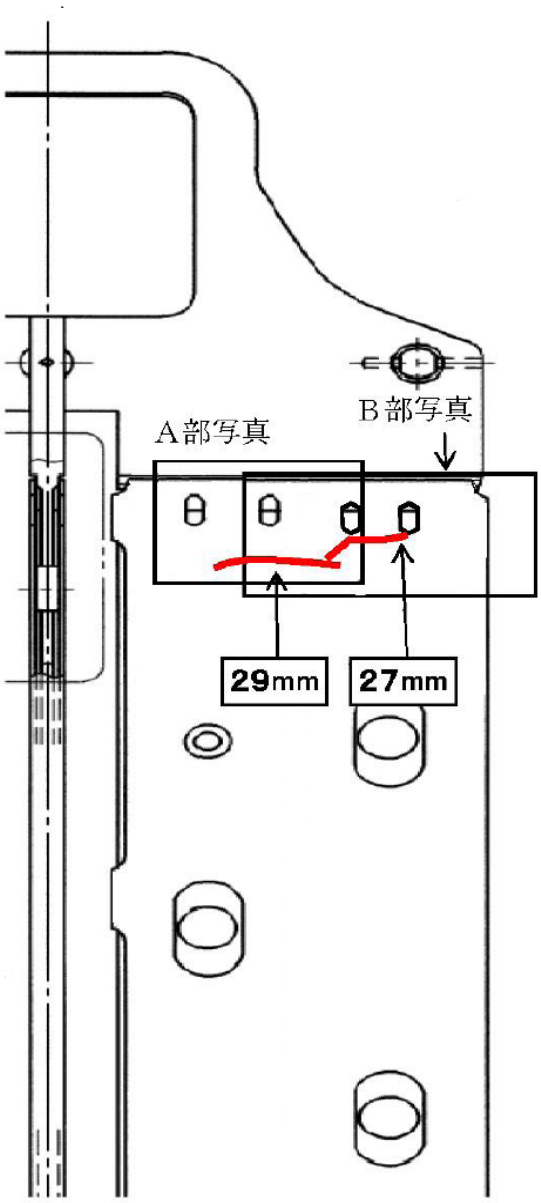




※　図に示したひびの長さは、水平方向の長さを示す。

福島第一原子力発電所４号機使用済ハフニウムフラットチューブ型
制御棒シースひび状況（製造番号：HF-11-001）

５面





A部写真

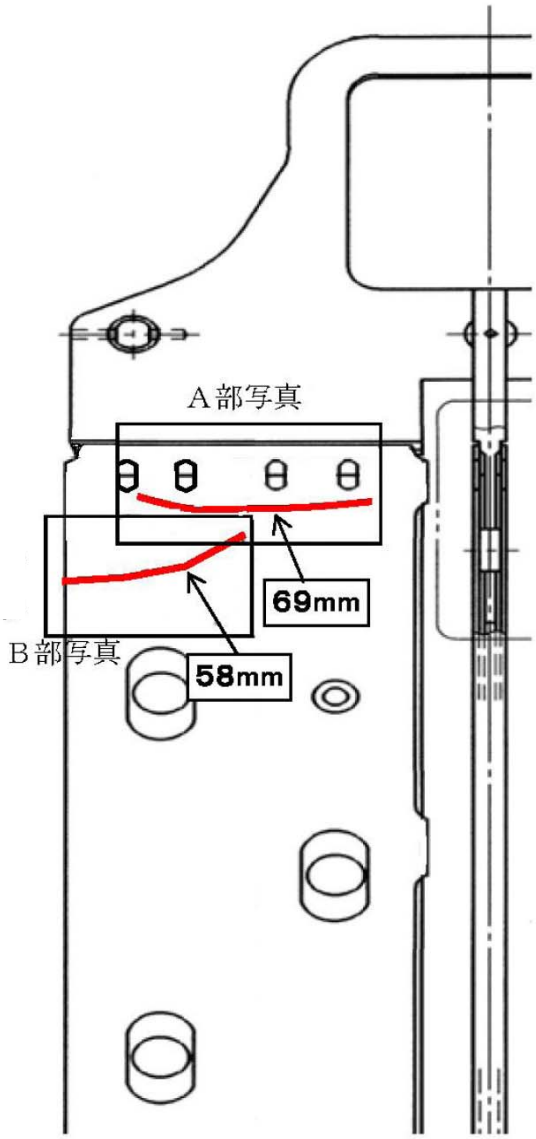


B部写真

※　図に示したひびの長さは、水平方向の長さを示す。

福島第一原子力発電所４号機使用済ハフニウムフラットチューブ型
制御棒シースひび状況（製造番号：HF-11-004）

８面





A部写真

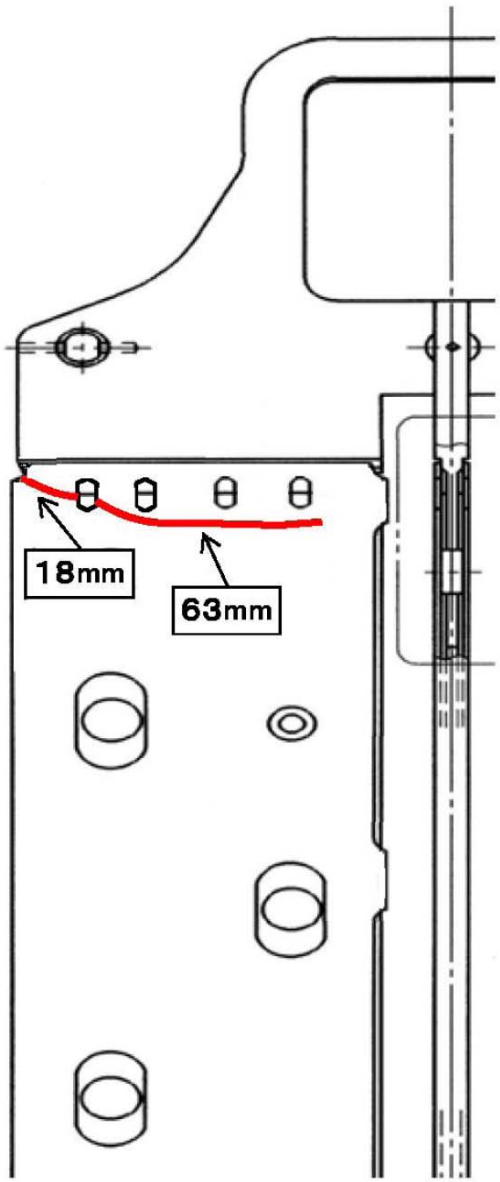


B部写真

※　図に示したひびの長さは、水平方向の長さを示す。

福島第一原子力発電所４号機使用済ハフニウムフラットチューブ型
制御棒シースひび状況（製造番号：HF-11-004）

２面

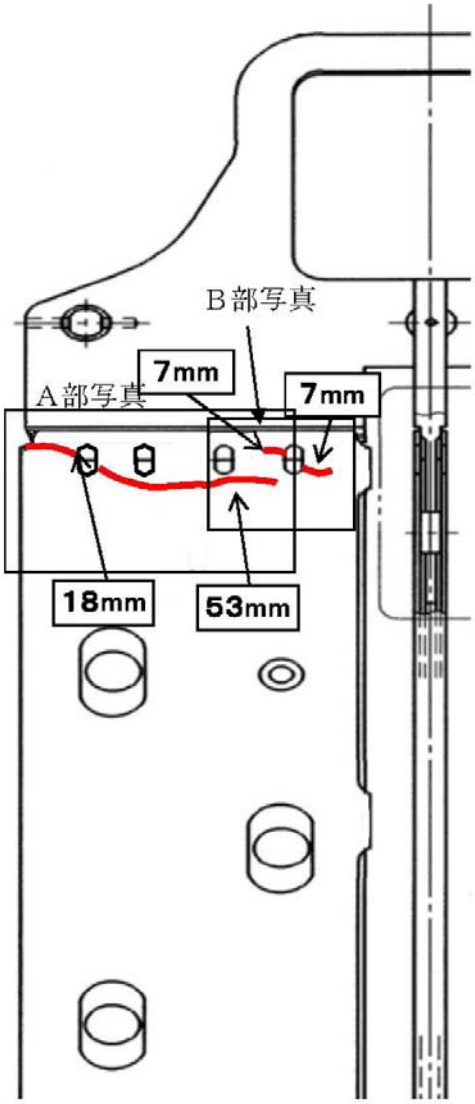




※　図に示したひびの長さは、水平方向の長さを示す。

福島第一原子力発電所４号機使用済ハフニウムフラットチューブ型
制御棒シースひび状況（製造番号：HF-11-005）

４面





A部写真

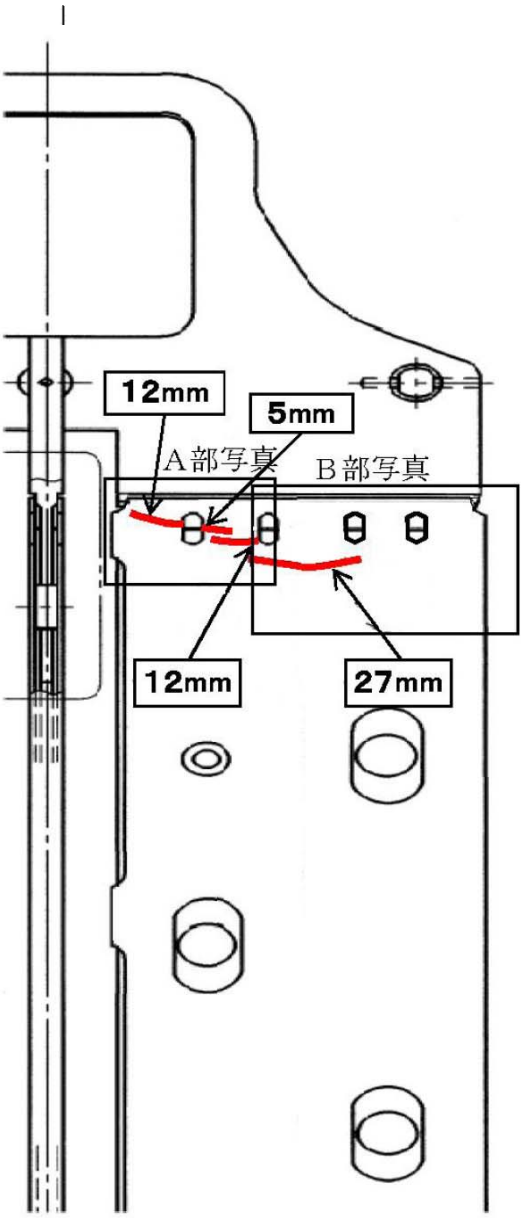


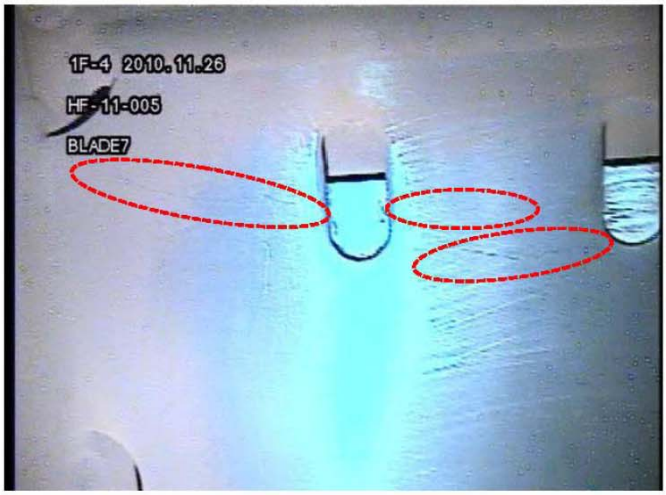
B部写真

※　図に示したひびの長さは、水平方向の長さを示す。

福島第一原子力発電所４号機使用済ハフニウムフラットチューブ型
制御棒シースひび状況（製造番号：HF-11-005）

７面





A部写真

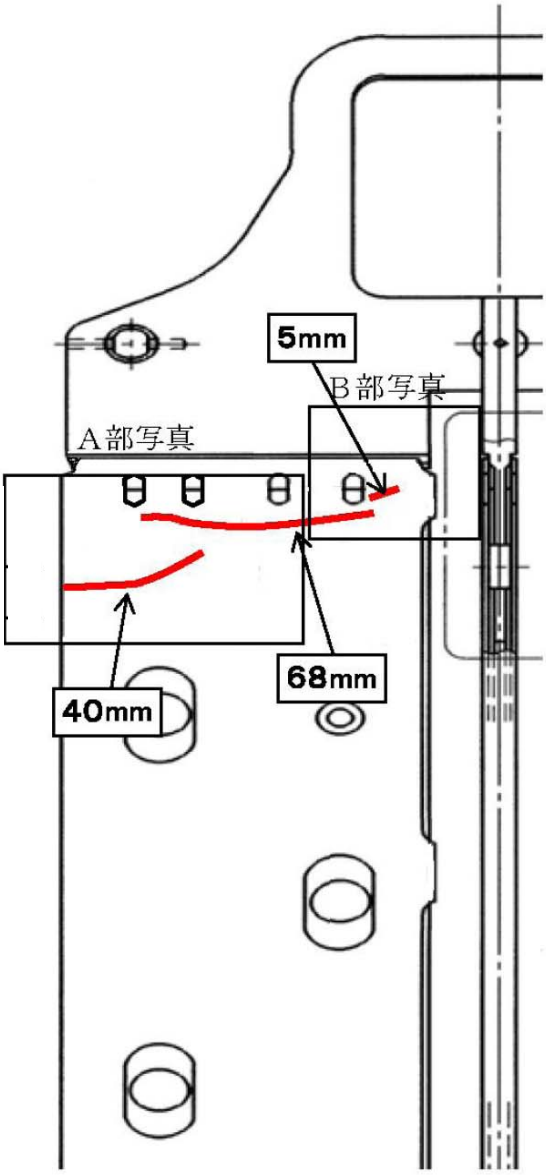


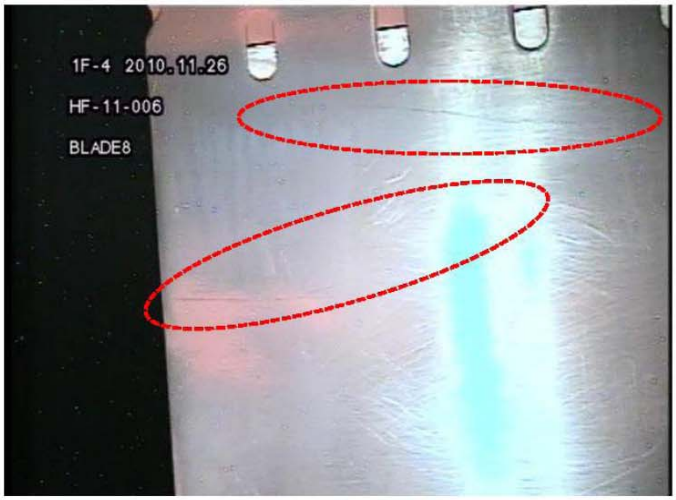
B部写真

※　図に示したひびの長さは、水平方向の長さを示す。

福島第一原子力発電所４号機使用済ハフニウムフラットチューブ型
制御棒シースひび状況（製造番号：HF-11-005）

８面





A部写真

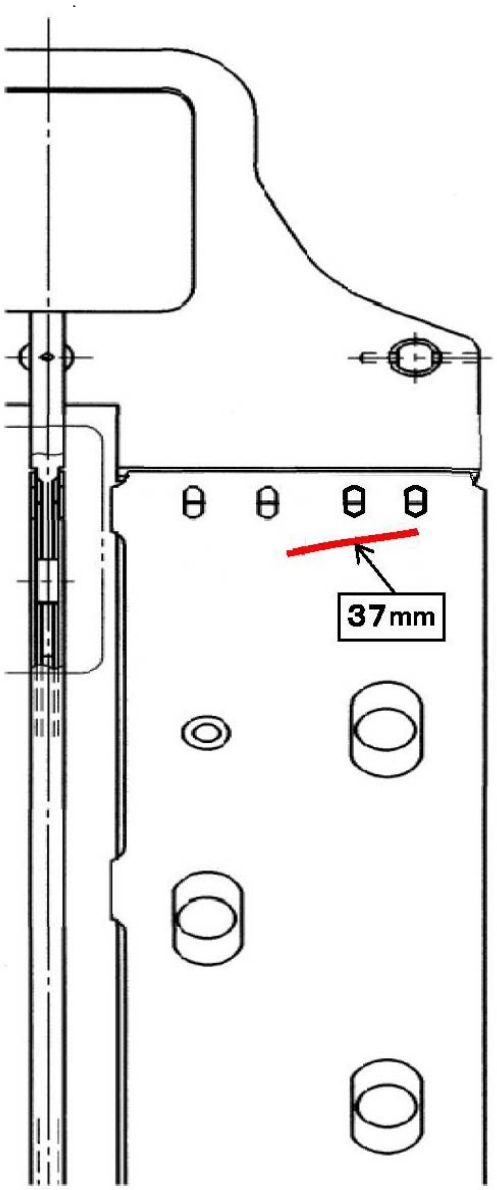


B部写真

※　図に示したひびの長さは、水平方向の長さを示す。

福島第一原子力発電所４号機使用済ハフニウムフラットチューブ型
制御棒シースひび状況（製造番号：HF-11-006）

３面

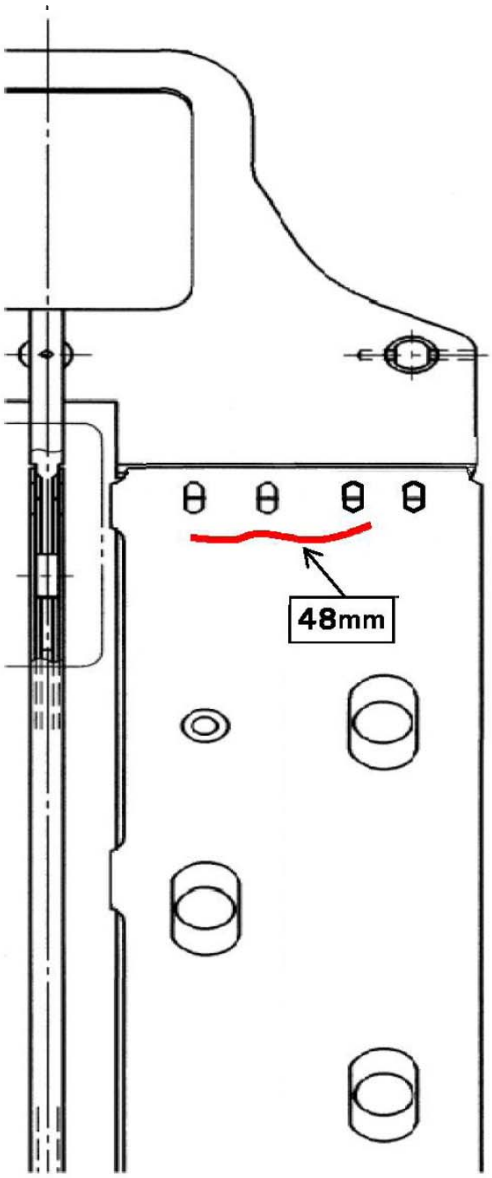




※　図に示したひびの長さは、水平方向の長さを示す。

福島第一原子力発電所４号機使用済ハフニウムフラットチューブ型
制御棒シースひび状況（製造番号：HF-11-007）

５面

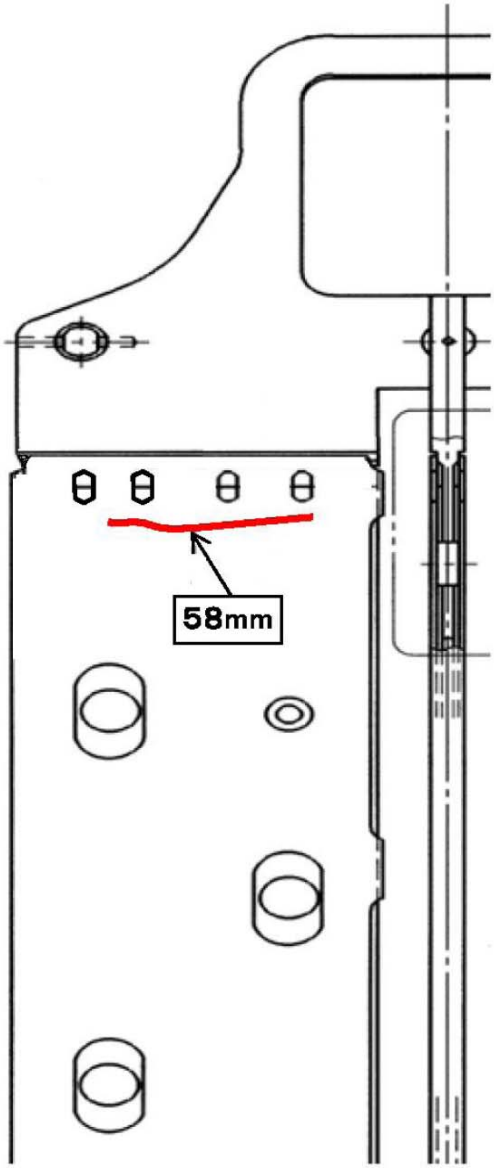




※　図に示したひびの長さは、水平方向の長さを示す。

福島第一原子力発電所４号機使用済ハフニウムフラットチューブ型
制御棒シースひび状況（製造番号：HF-11-007）

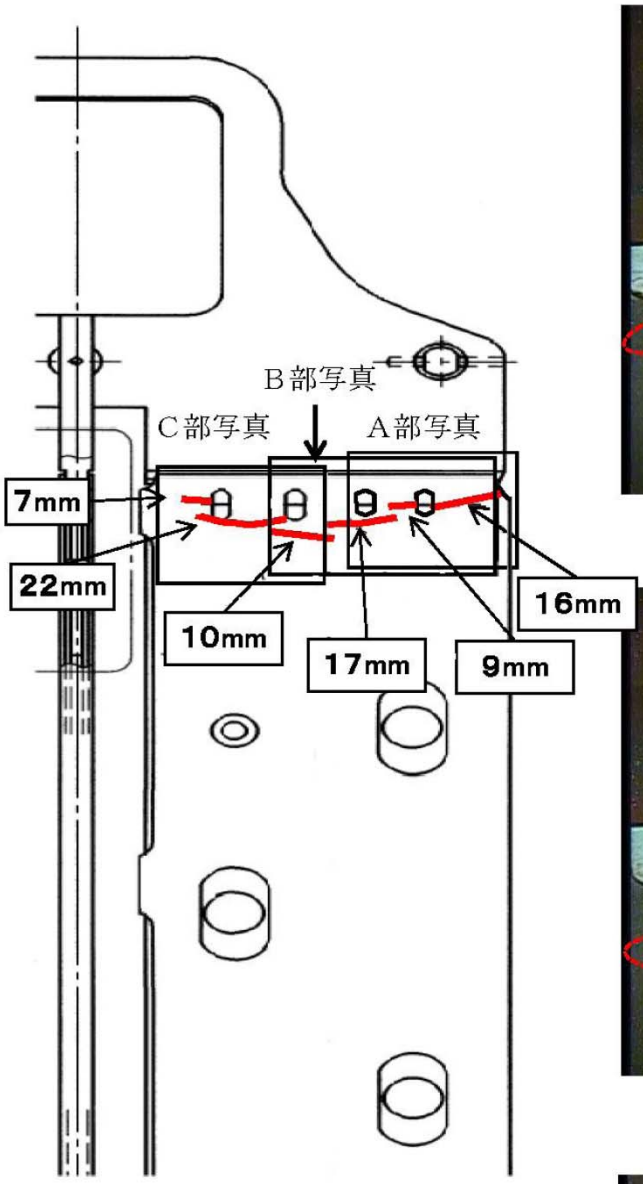
８面





※　図に示したひびの長さは、水平方向の長さを示す。

福島第一原子力発電所４号機使用済ハフニウムフラットチューブ型
制御棒シースひび状況（製造番号：HF-11-007）





A部写真



B部写真

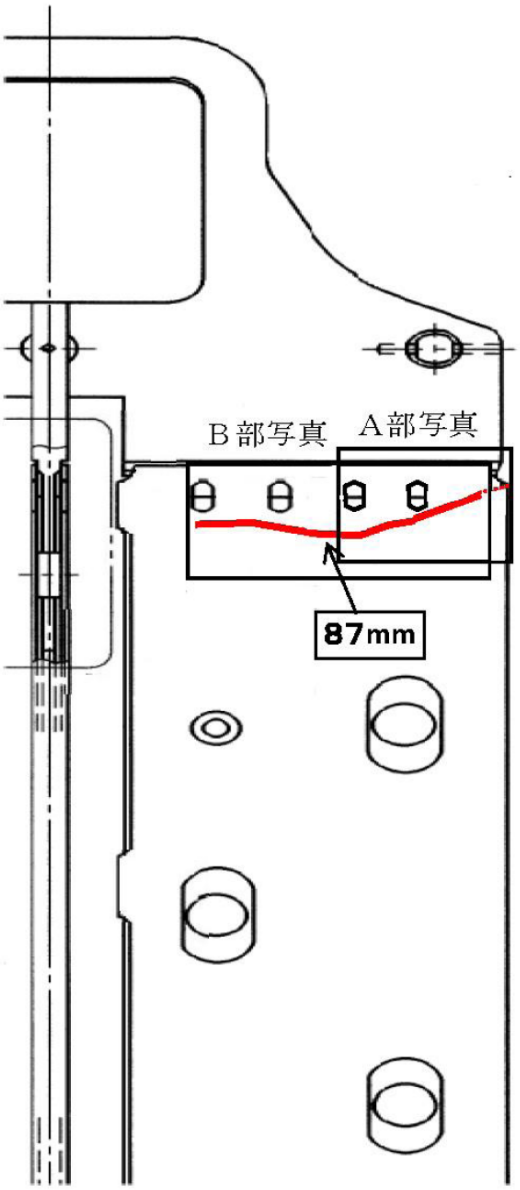


C部写真

※　図に示したひびの長さは、水平方向の長さを示す。

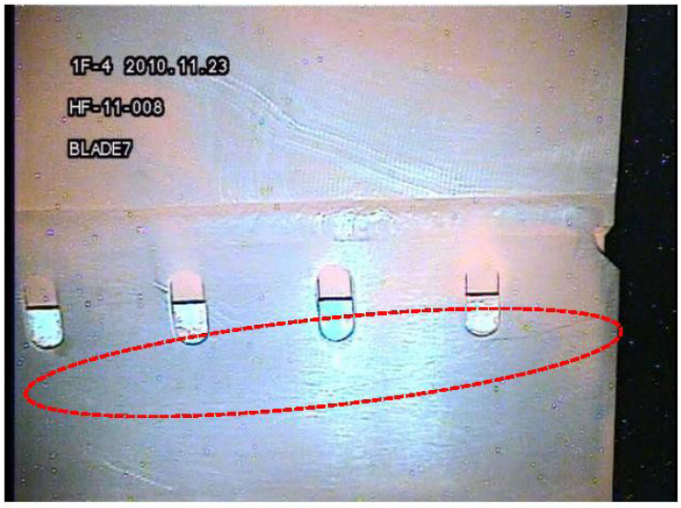
福島第一原子力発電所４号機使用済ハフニウムフラットチューブ型
制御棒シースひび状況（製造番号：HF-11-008）

７面





A部写真

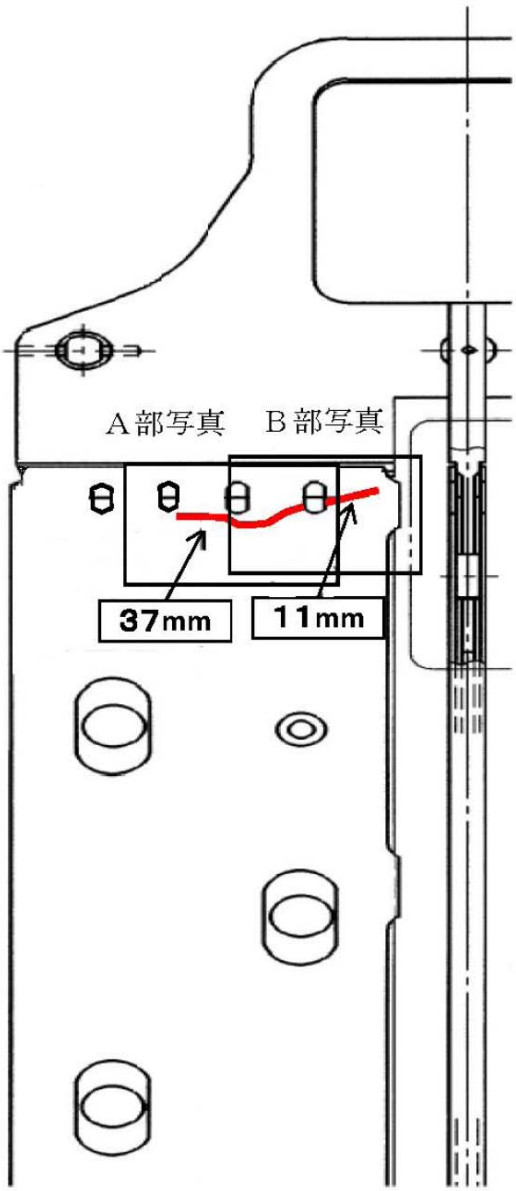


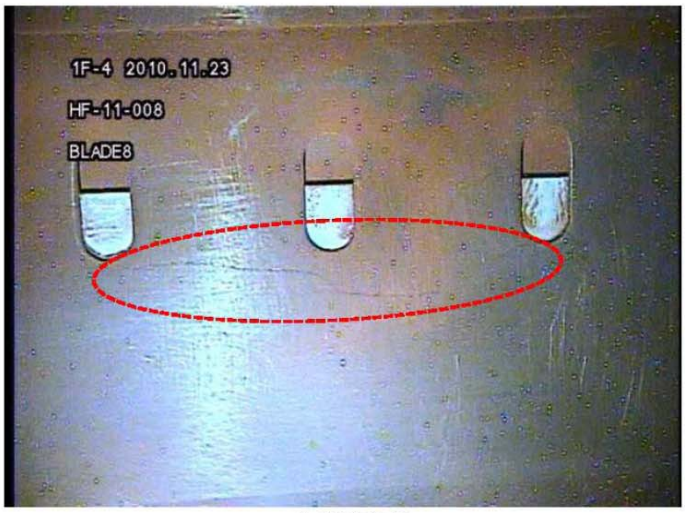
B部写真

※　図に示したひびの長さは、水平方向の長さを示す。

福島第一原子力発電所４号機使用済ハフニウムフラットチューブ型
制御棒シースひび状況（製造番号：HF-11-008）

８面





Ａ部写真

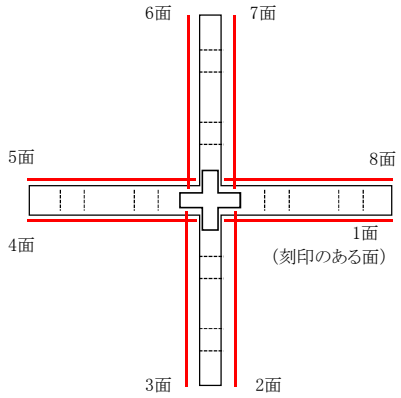


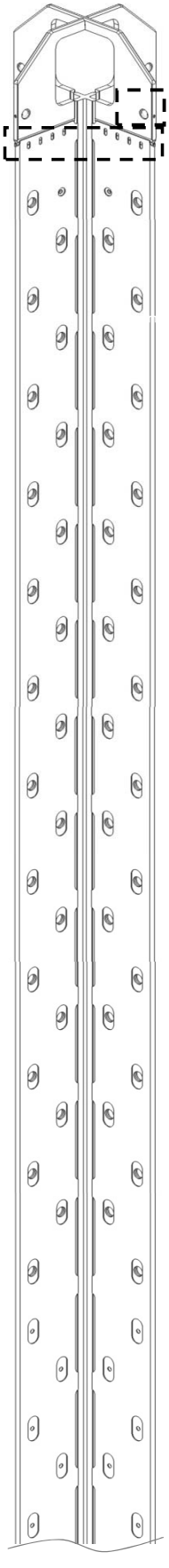
Ｂ部写真

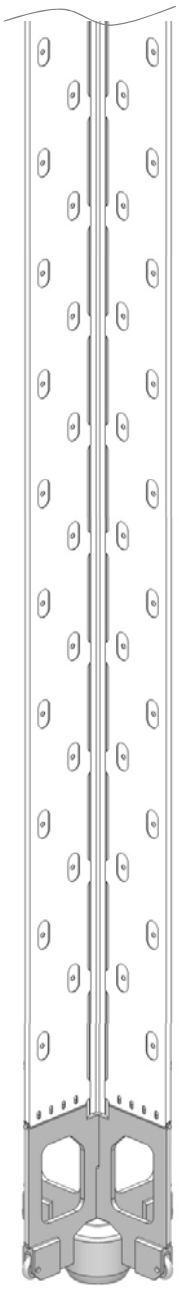
※　図に示したひびの長さは、水平方向の長さを示す。

福島第一原子力発電所４号機使用済ハフニウムフラットチューブ型
制御棒シースひび状況（製造番号：HF-11-008）

ひびの状況（柏崎刈羽原子力発電所７号機）
定期検査前に炉内に装荷されていた制御棒

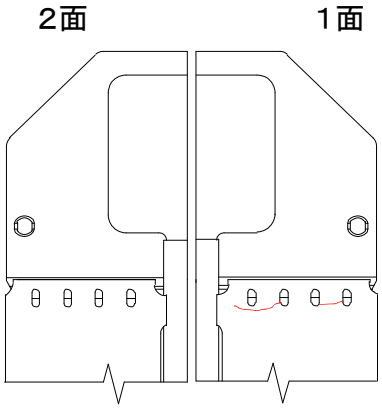


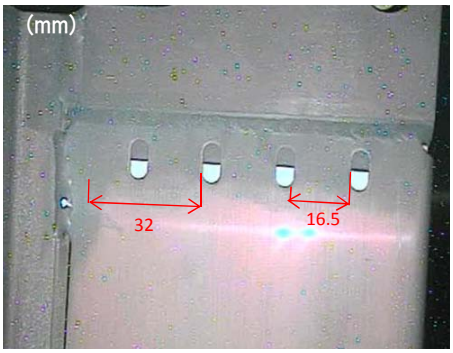




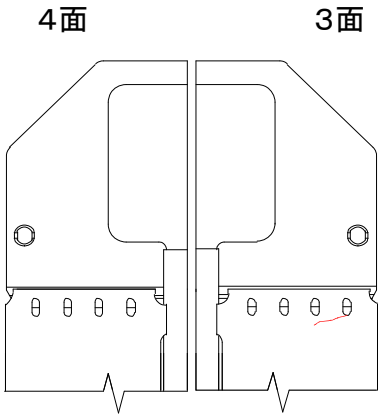
ひび有り位置

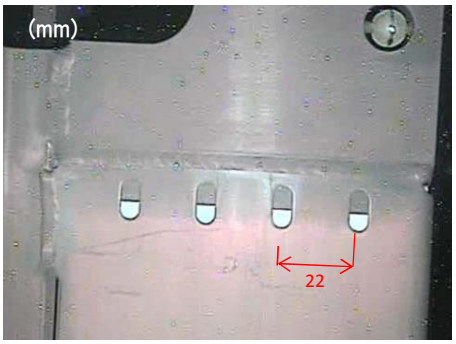
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－027）（1／4）





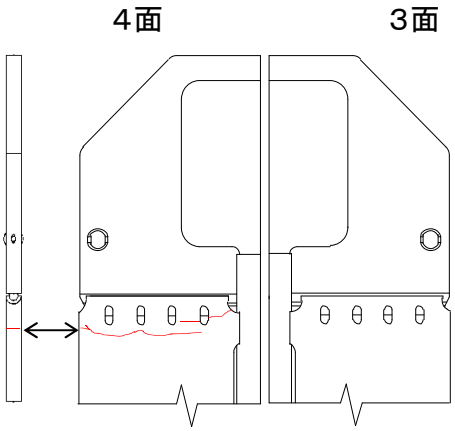
１面

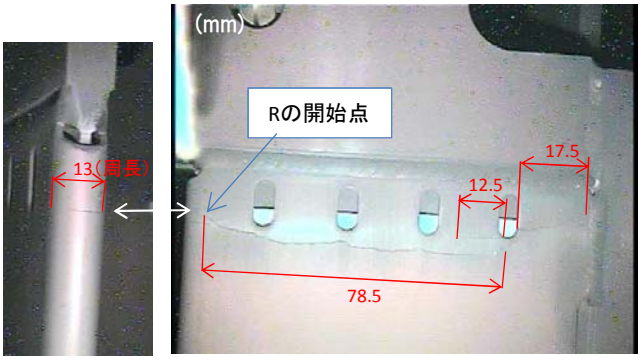




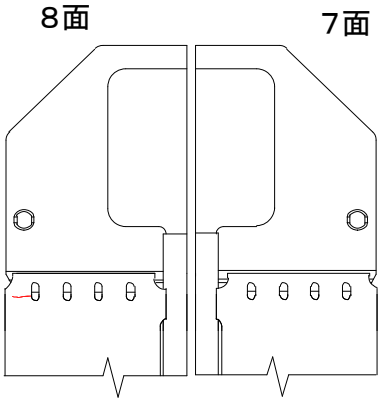
３面

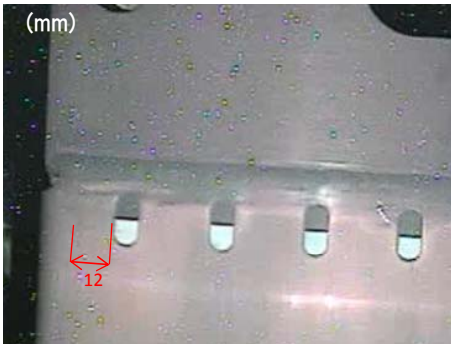
柏崎刈羽原子力発電所７号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：ＨＨ－４６－０２７）（２／４）





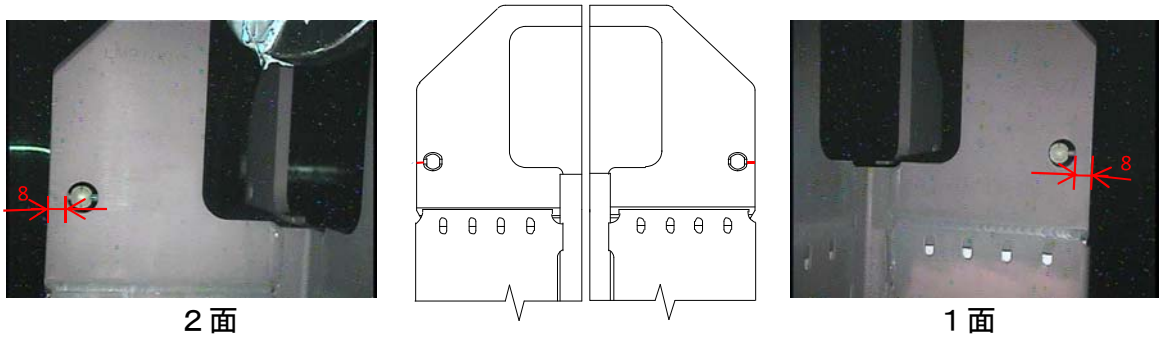
４面



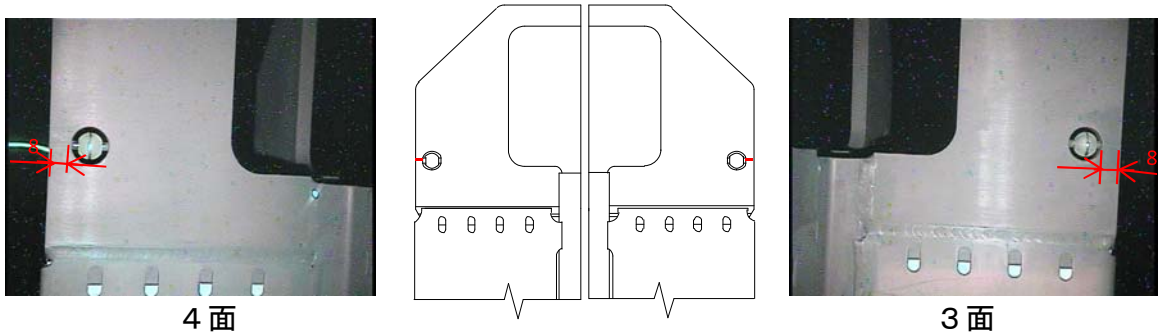


８面

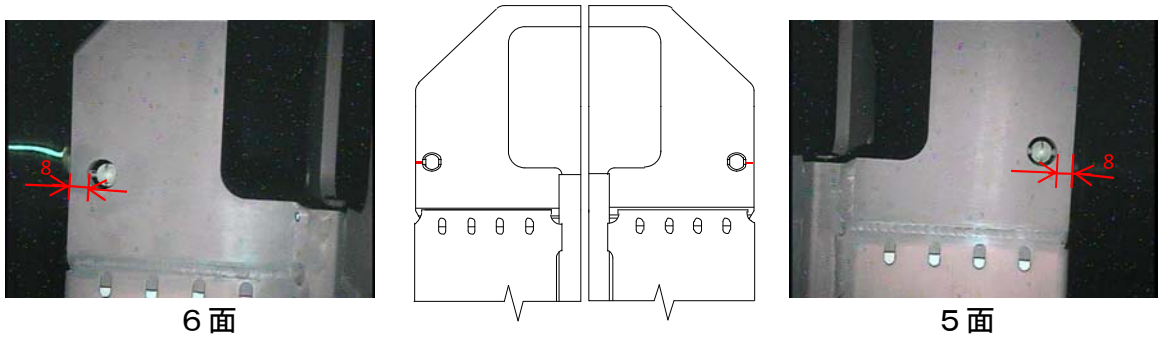
柏崎刈羽原子力発電所７号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況（製造番号：ＨＨ－４６－０２７）（３／４）



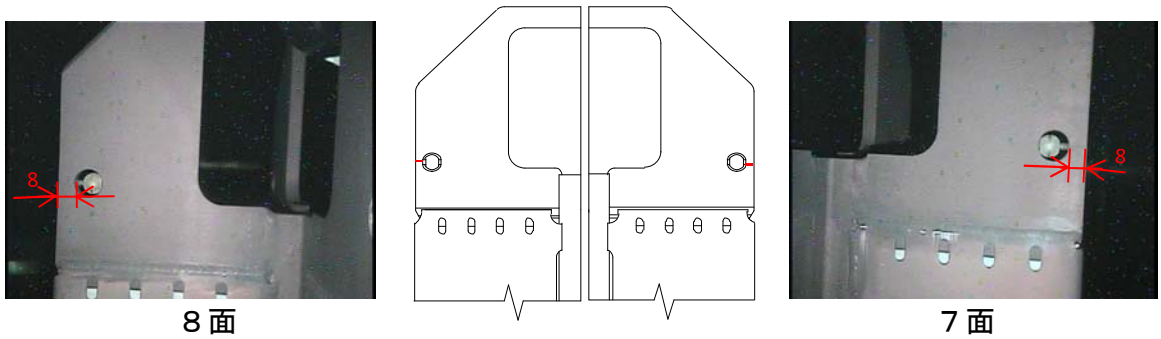
２面　　１面



４面　　３面



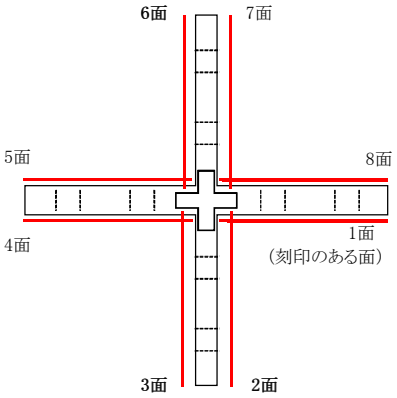
６面　　５面

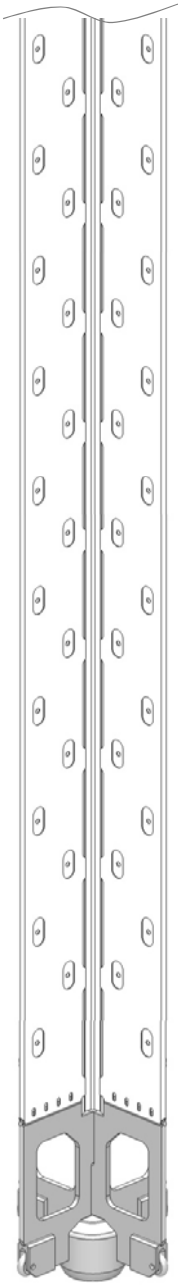


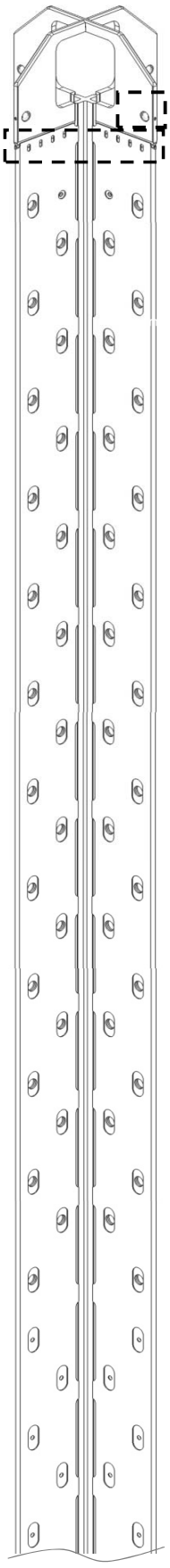
８面　　７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－027）（4／4）



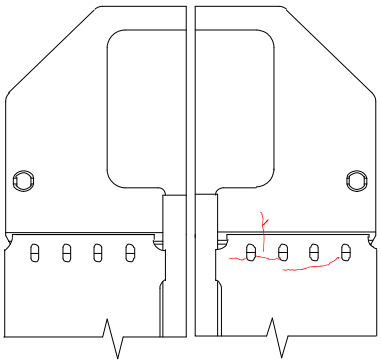


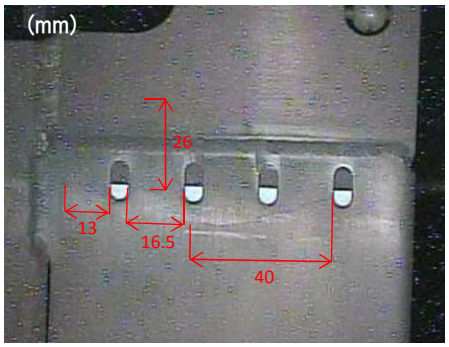


ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－028）（1／3）

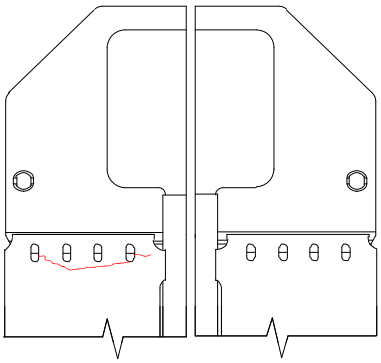
２面　　１面

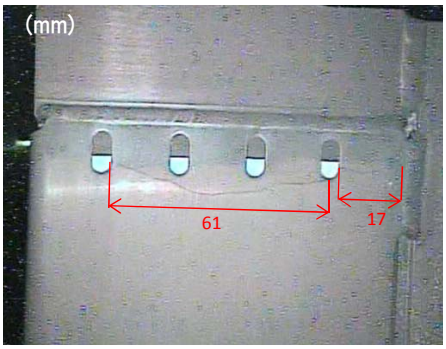




１面

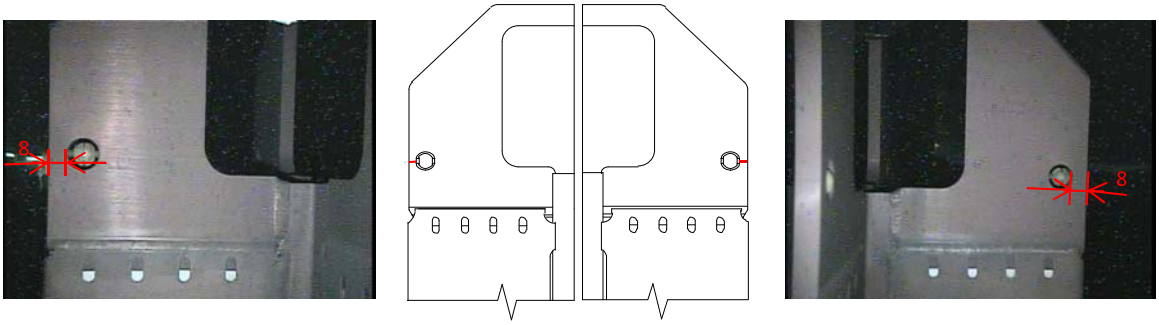
２面　　１面



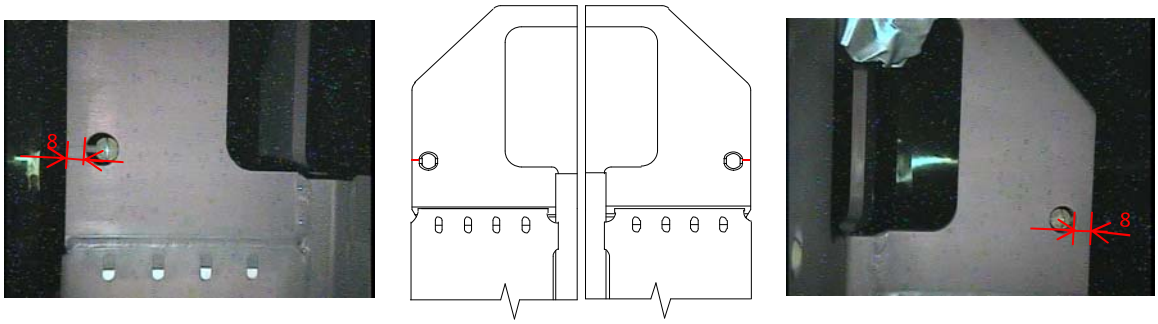


２面

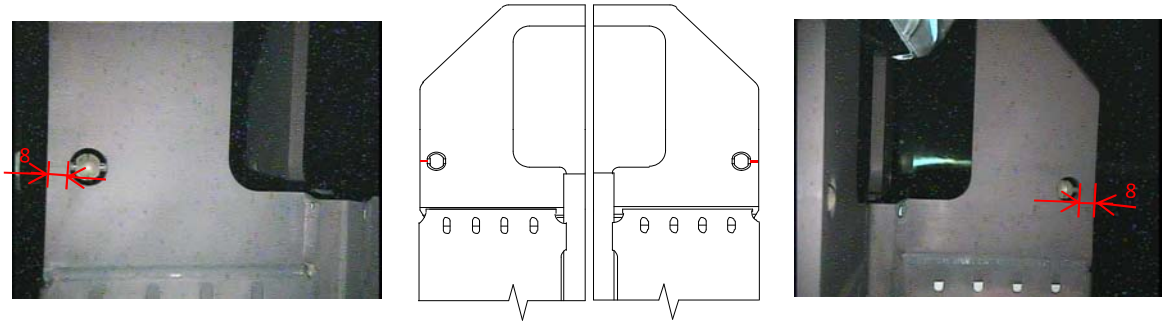
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－028）（2／3）



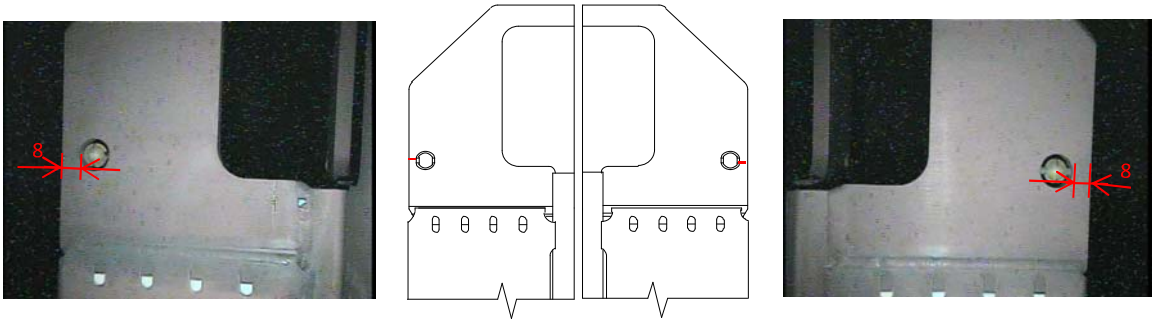
２面　　１面



４面　　３面



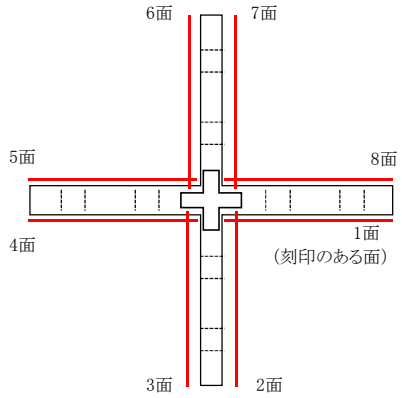
６面　　５面

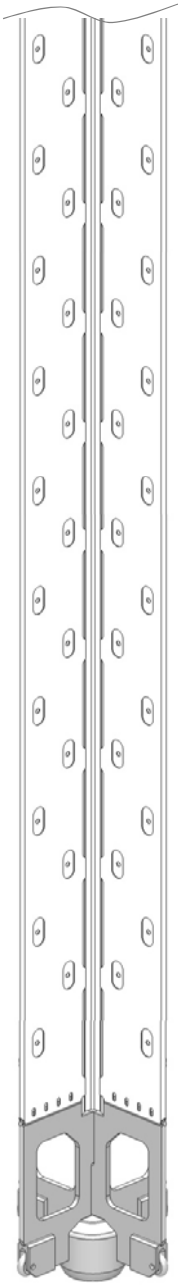


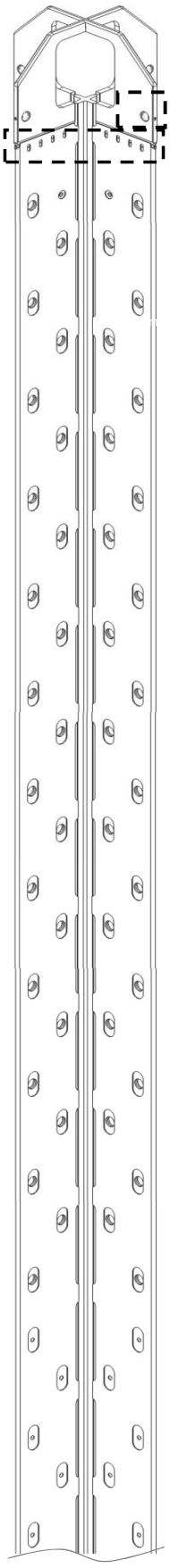
８面　　７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号:HH－46－028）（3／3）



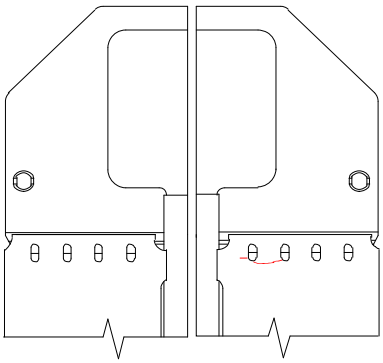


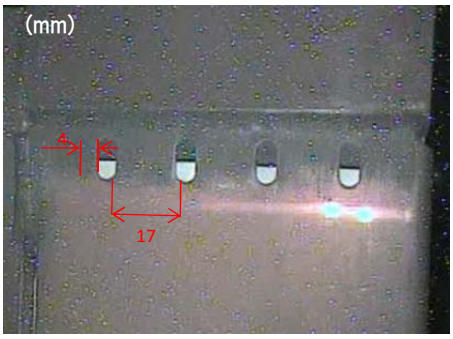


ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－029）（1／3）

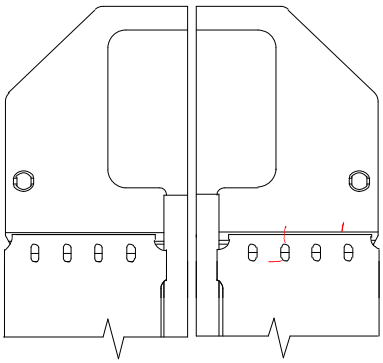
２面　　１面

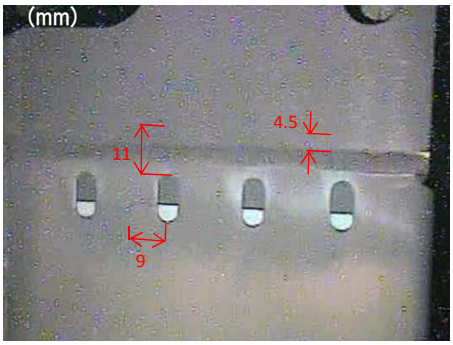




１面

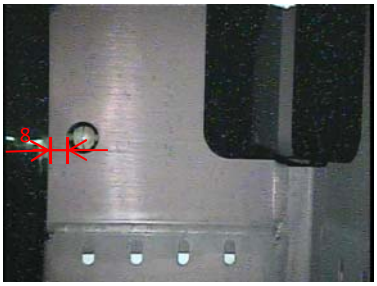
８面　　７面



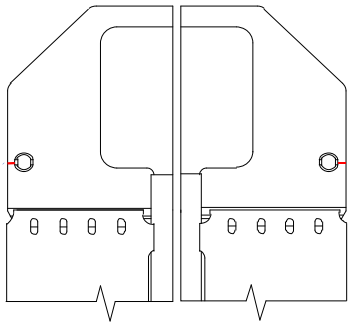


７面

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－029）（2／3）

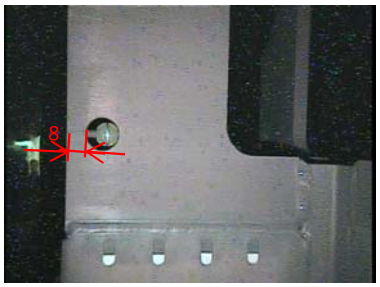


２面

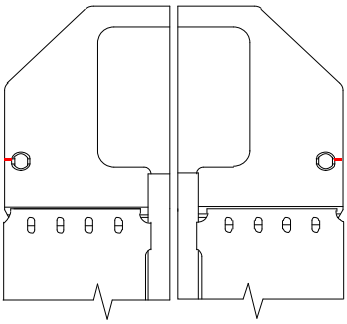


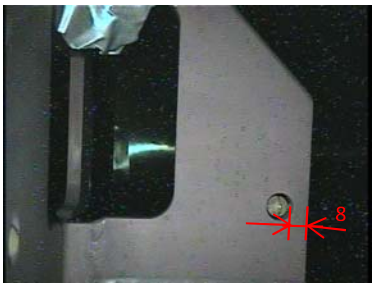


１面



４面

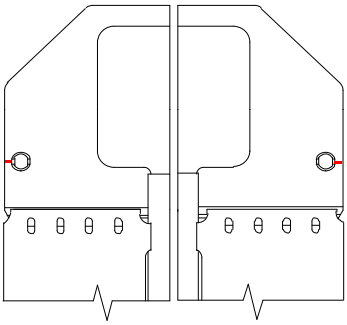


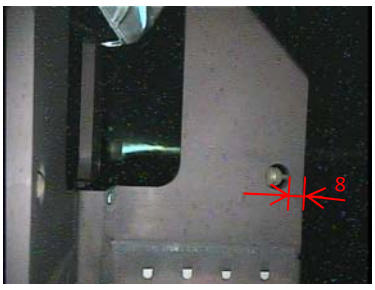


３面

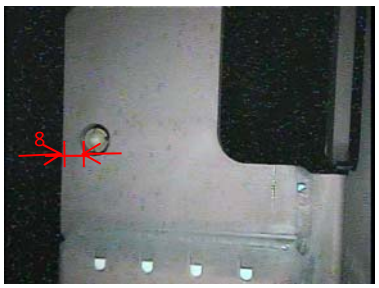


６面

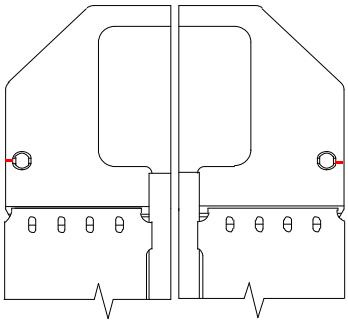




５面



８面

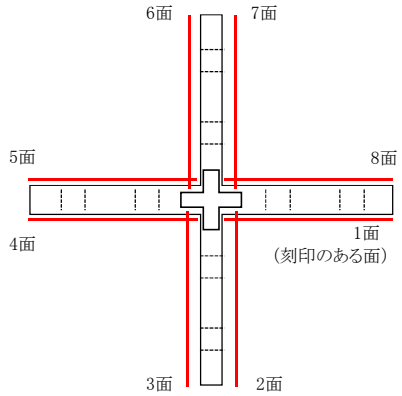


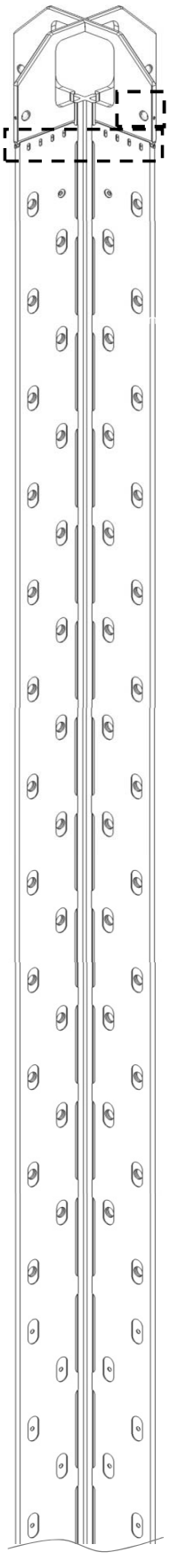


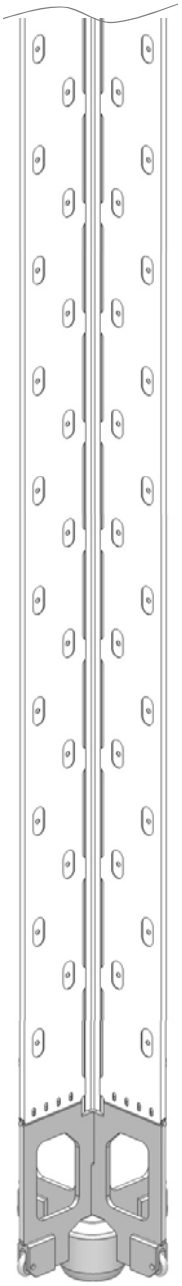
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－029）（3／3）



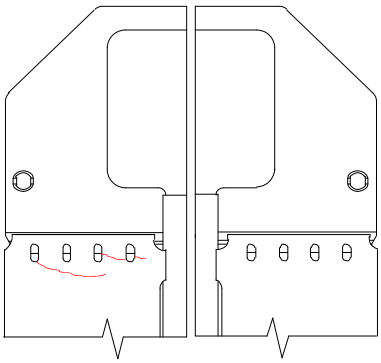


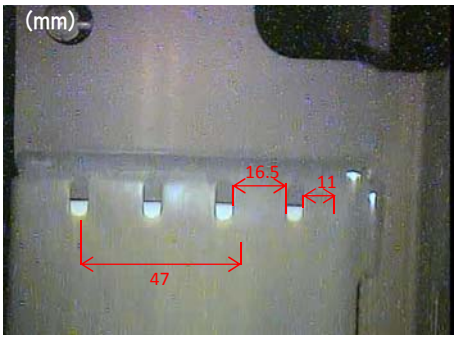




柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－030）（1／3）

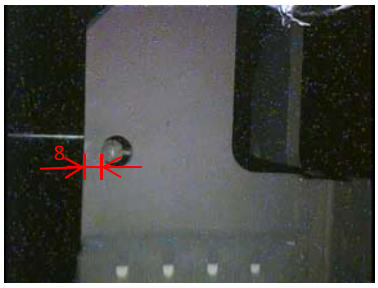
２面　　１面



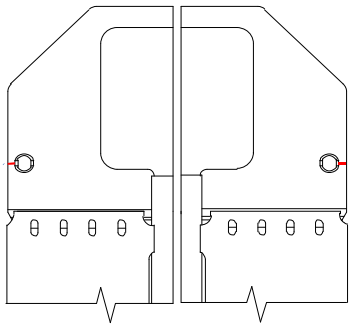


２面

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－030）（2／3）

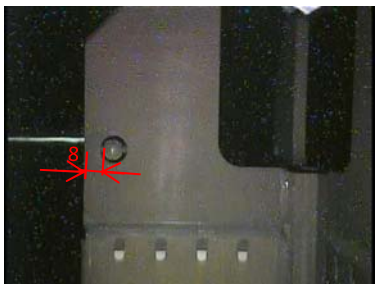


２面

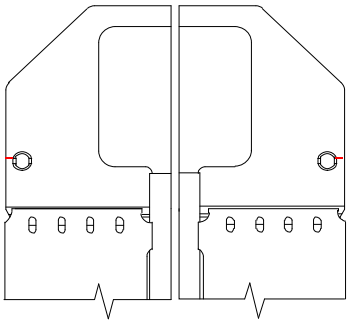




１面

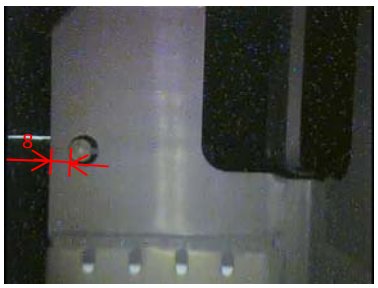


４面

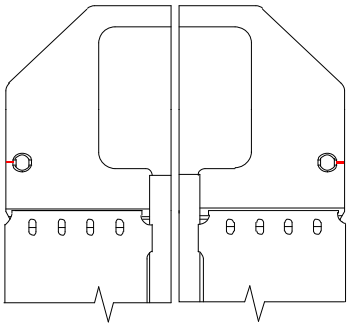


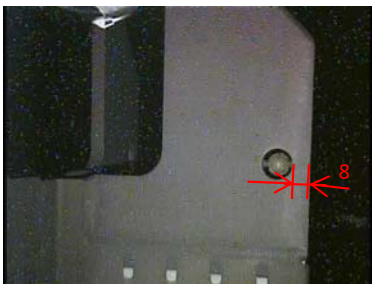


３面



６面

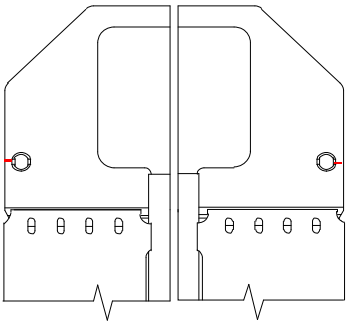




５面



８面

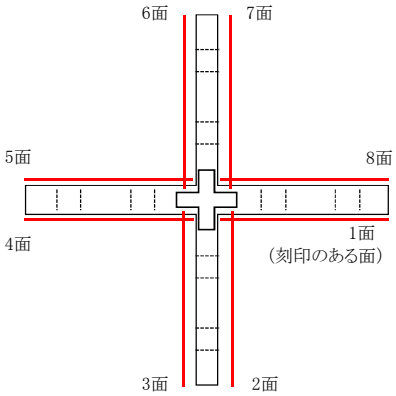


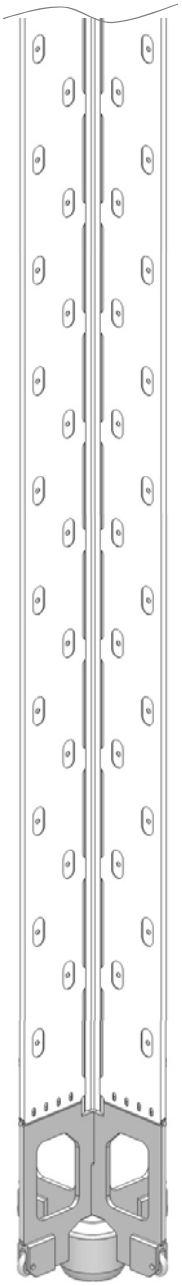


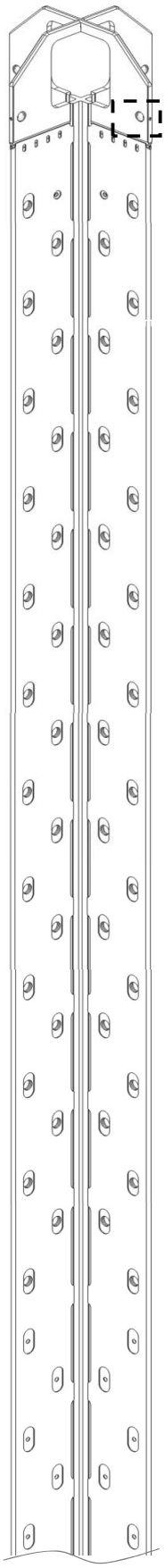
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－030）（3／3）

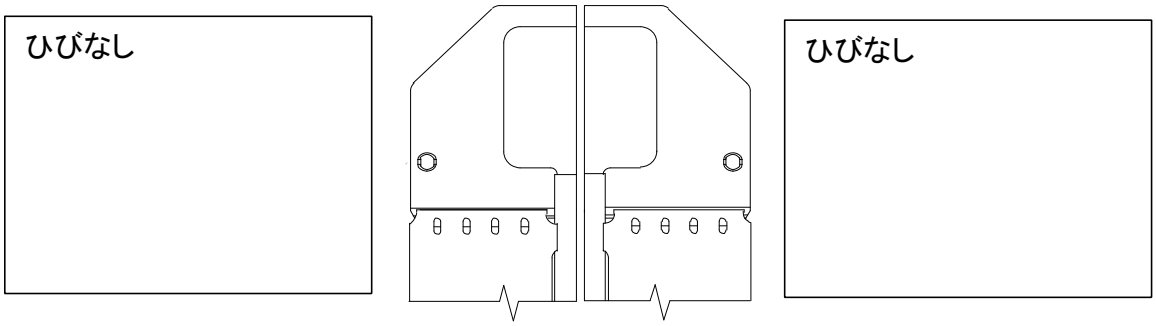






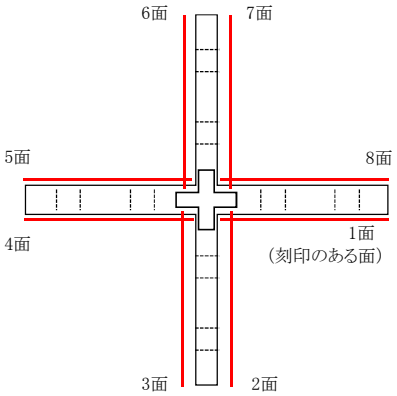
ひび有り位置

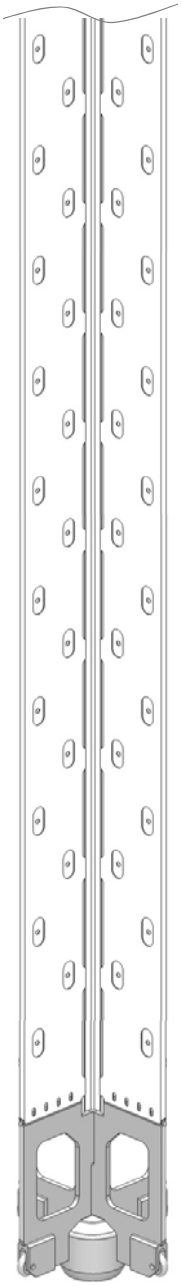
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－057）（1／2）

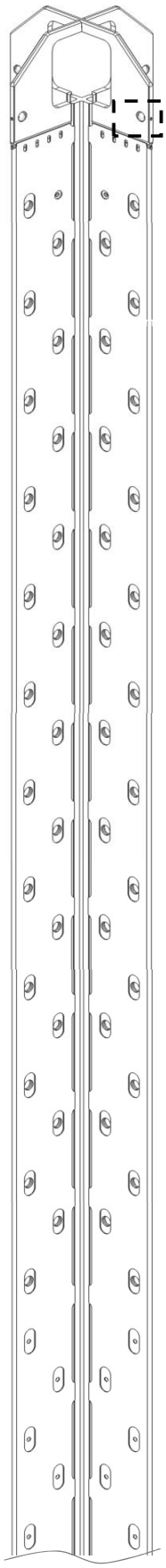


単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－057）（2／2）





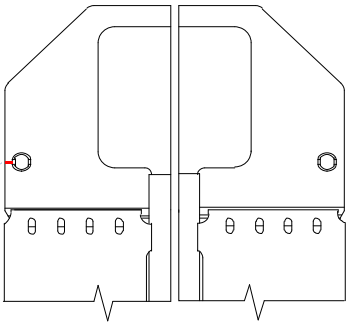


ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－060）（1／2）



２面

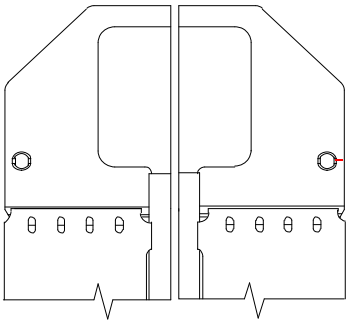


ひびなし

１面

ひびなし

４面

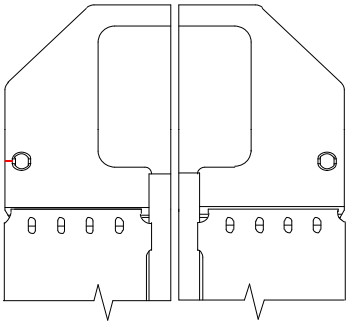




３面



６面

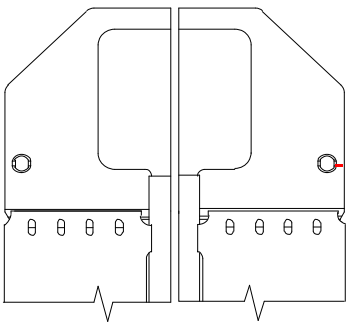


ひびなし

５面

ひびなし

８面

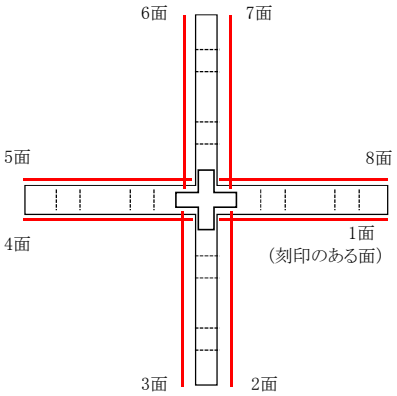


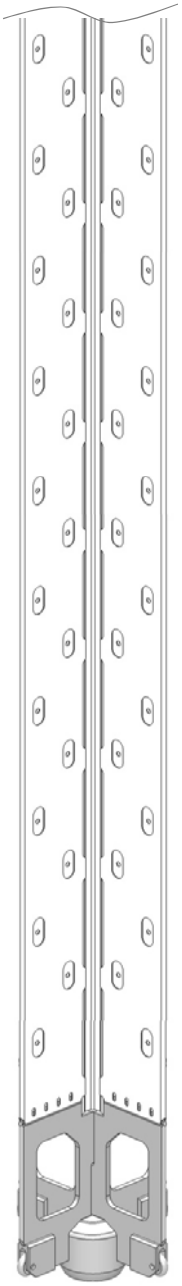


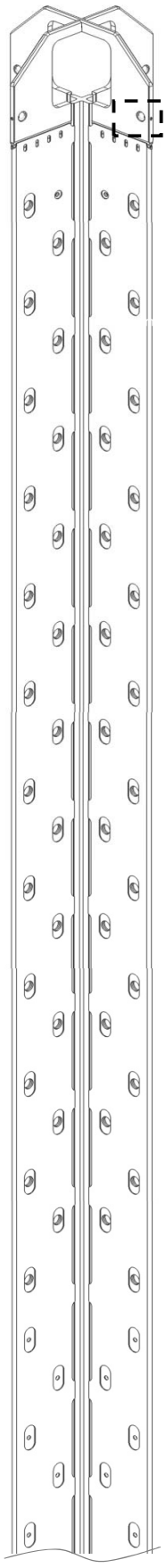
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－060）（2／2）





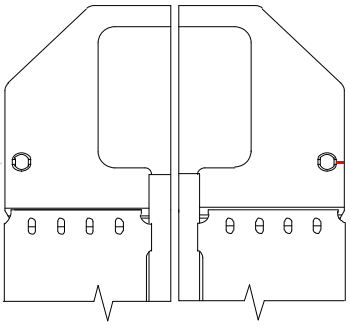


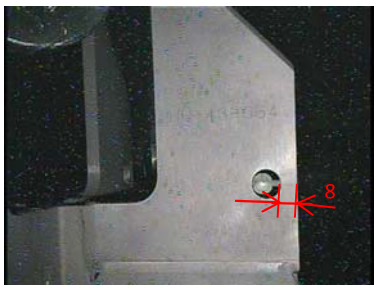
ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－064）（1／2）

ひびなし

２面

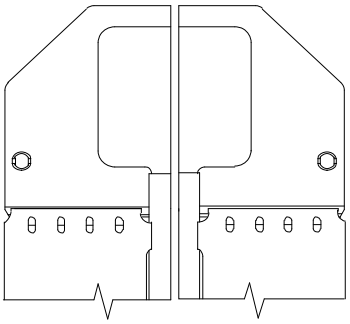




１面

ひびなし

４面

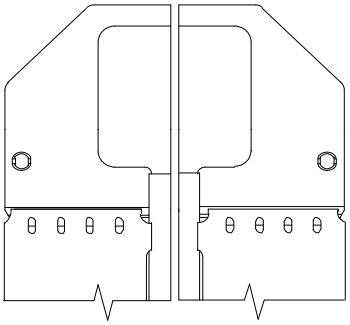


ひびなし

３面

ひびなし

６面

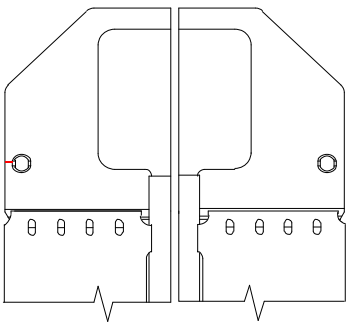


ひびなし

５面



８面

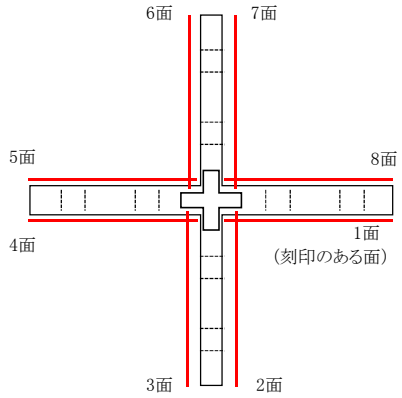


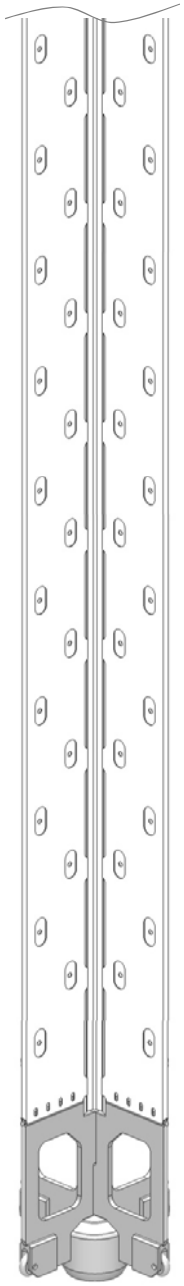
ひびなし

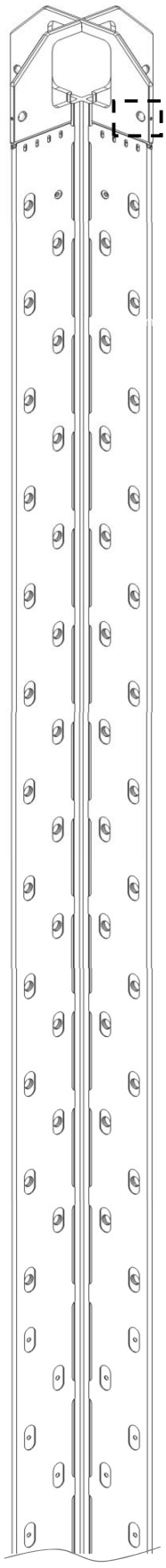
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－064）（2／2）





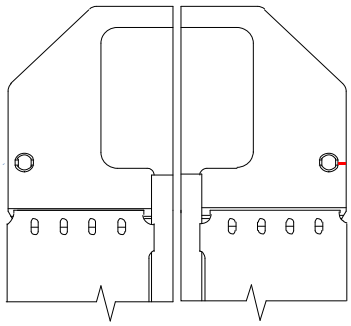


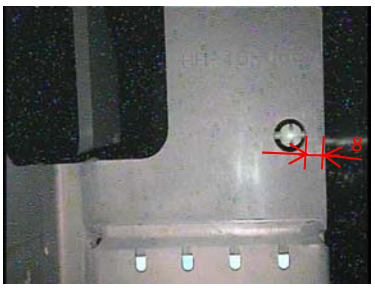
ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－065）（1／2）

ひびなし

２面

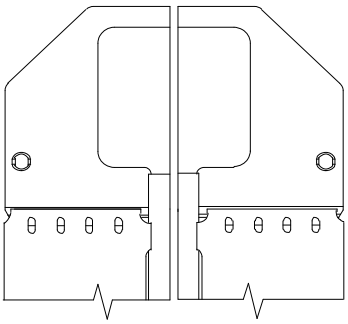




１面

ひびなし

４面

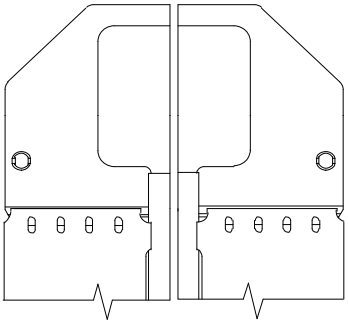


ひびなし

３面

ひびなし

６面

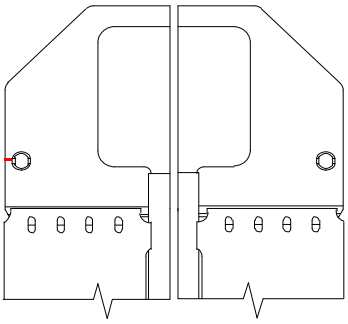


ひびなし

５面



８面

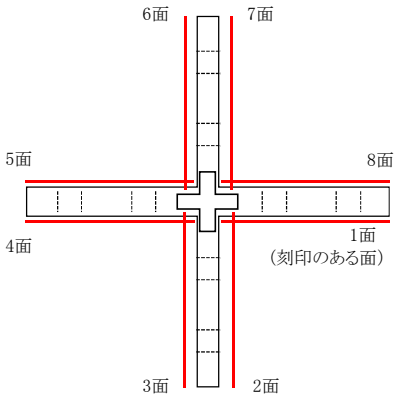


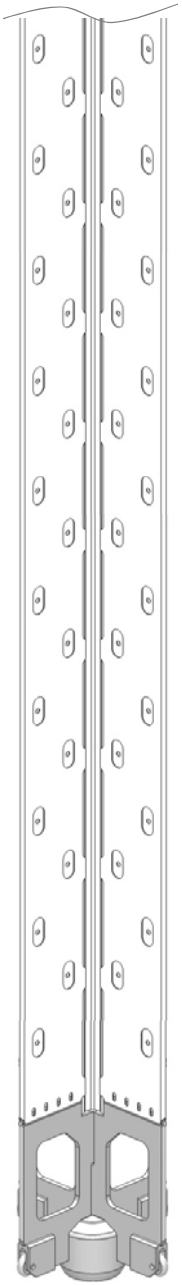
ひびなし

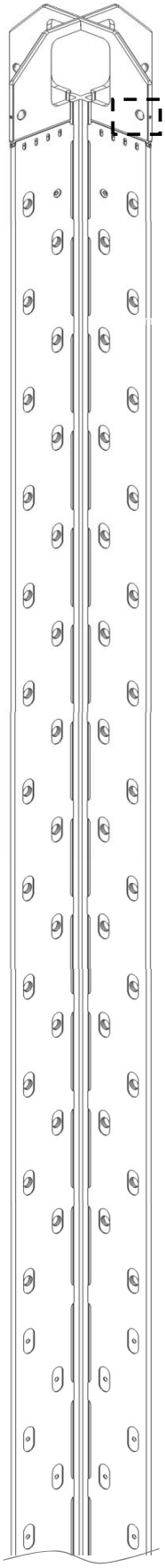
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－065）（2／2）





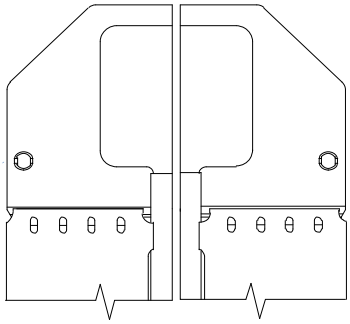


ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－068）（1／2）

ひびなし

２面

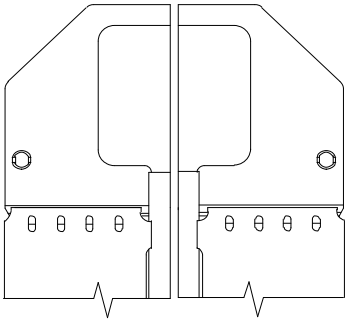


ひびなし

１面

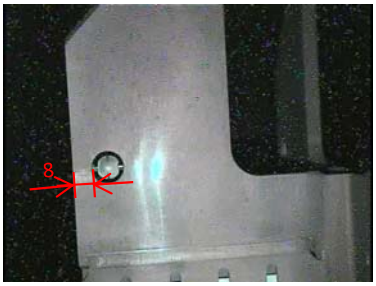
ひびなし

４面

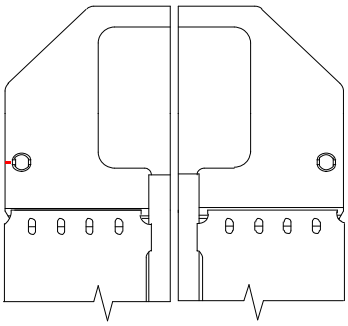


ひびなし

３面



６面

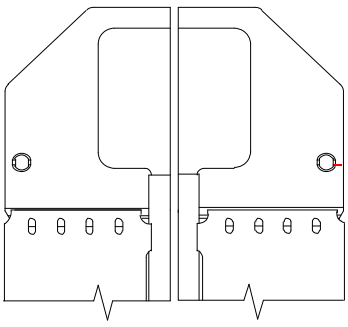


ひびなし

５面

ひびなし

８面

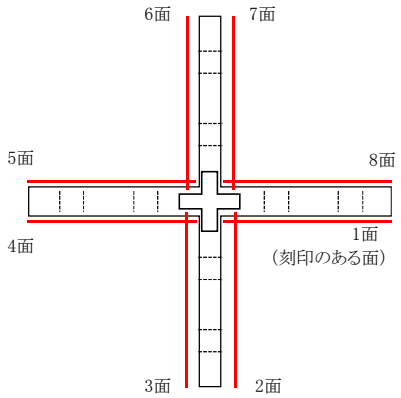


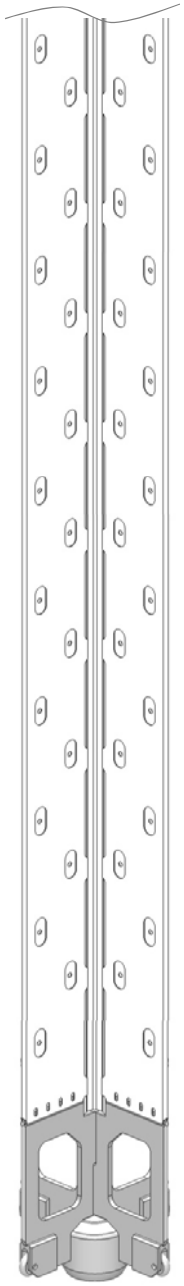


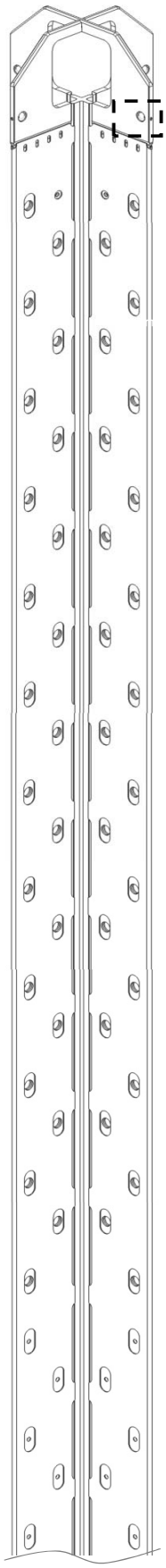
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－068）（2／2）





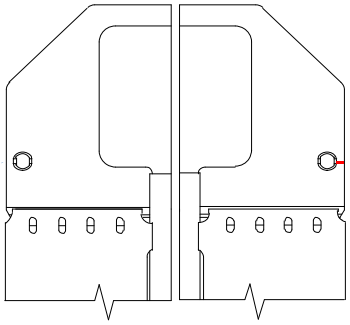


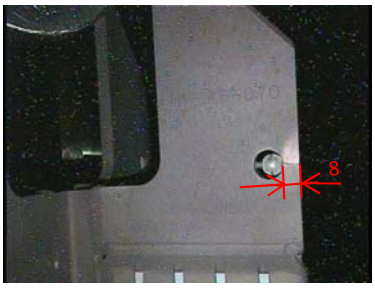
ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－070）（1／2）

ひびなし

２面

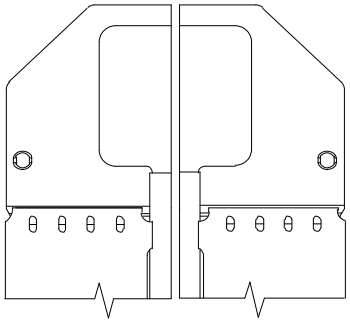




１面

ひびなし

４面

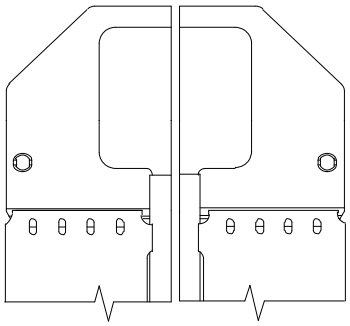


ひびなし

３面

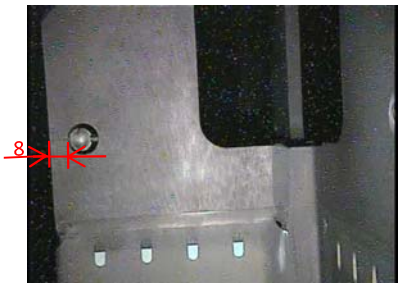
ひびなし

６面

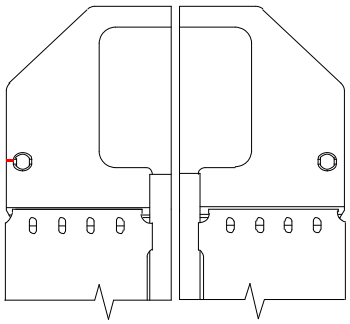


ひびなし

５面



８面

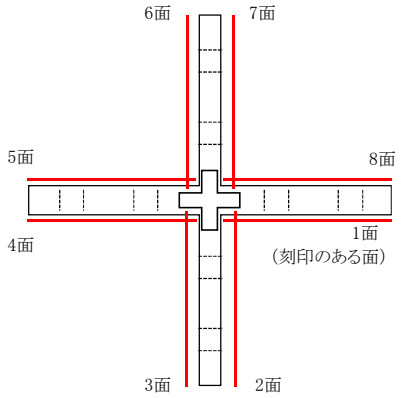


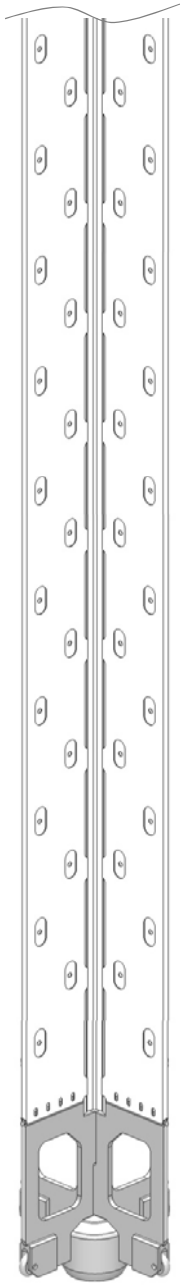
ひびなし

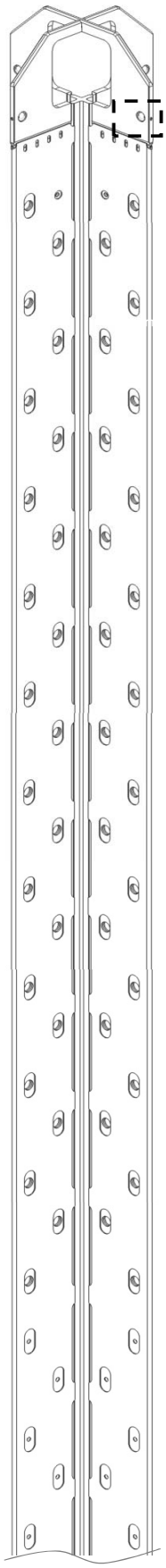
７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－070）（2／2）

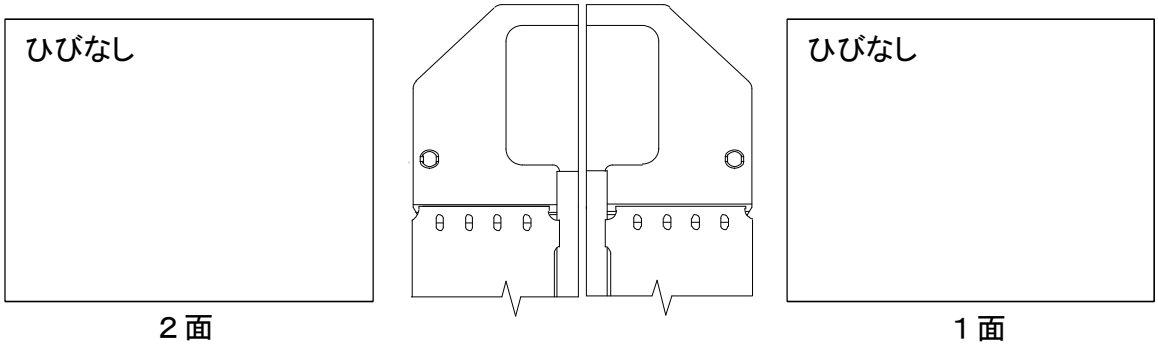




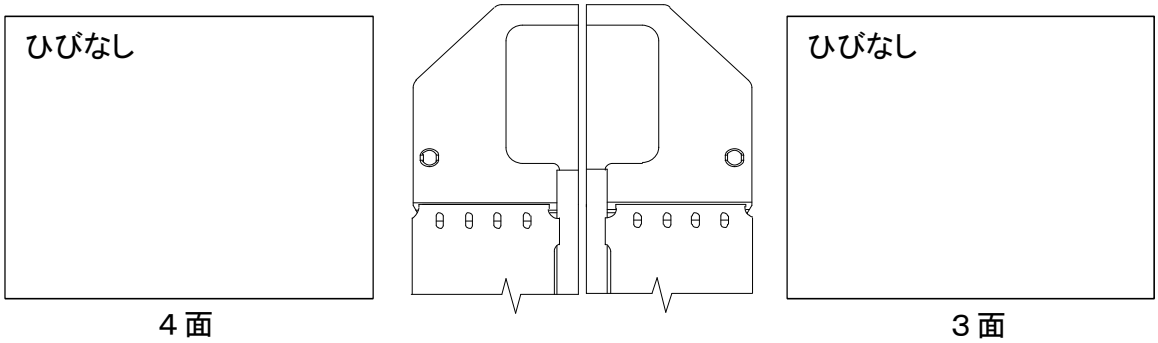


ひび有り位置

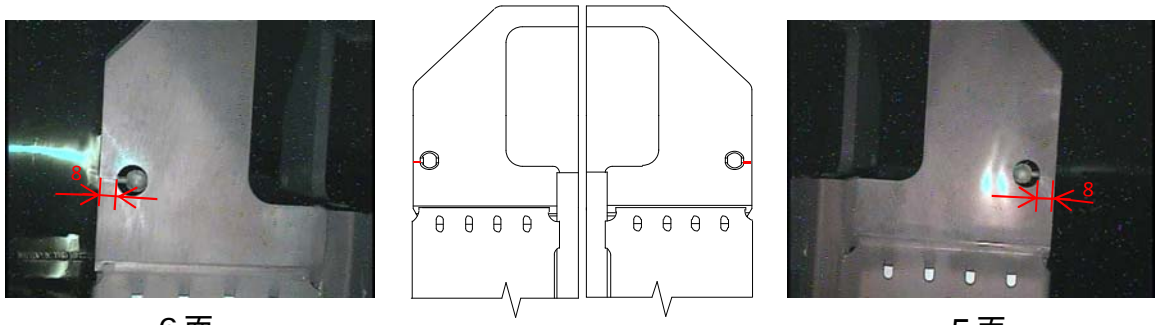
柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－071）（1／2）



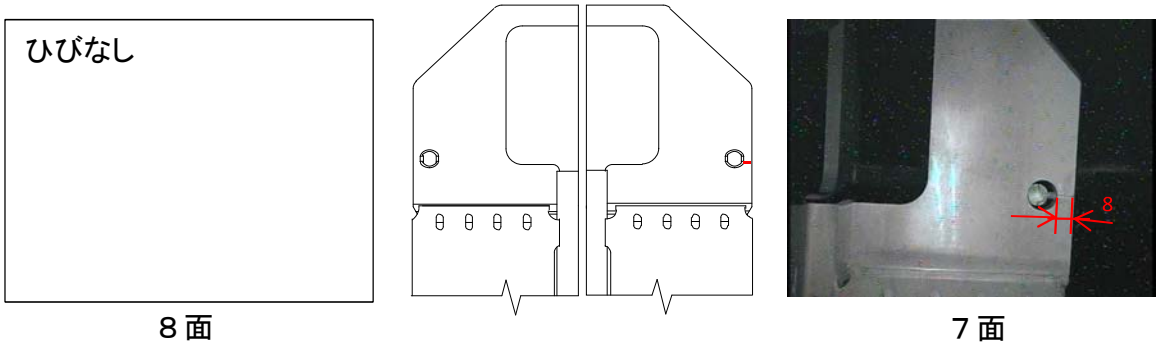
２面　　１面



４面　　３面



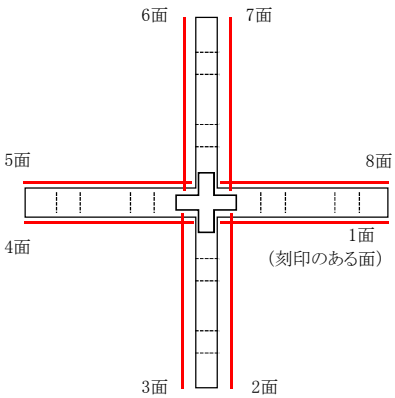
６面　　５面

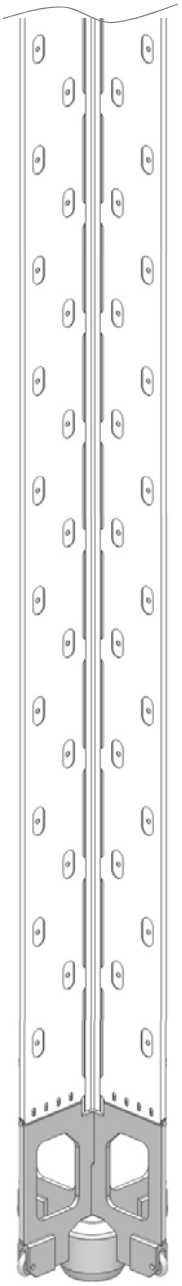


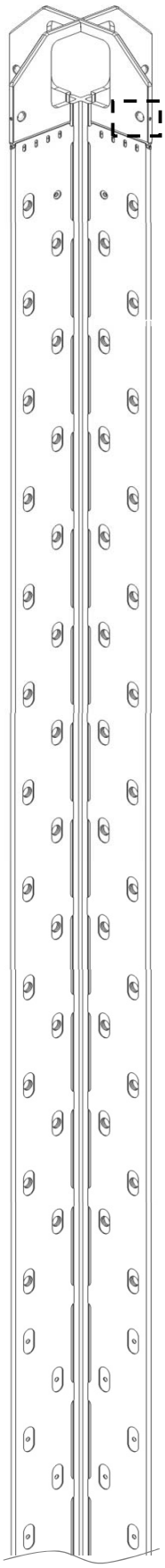
８面　　７面

単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－071）（2／2）

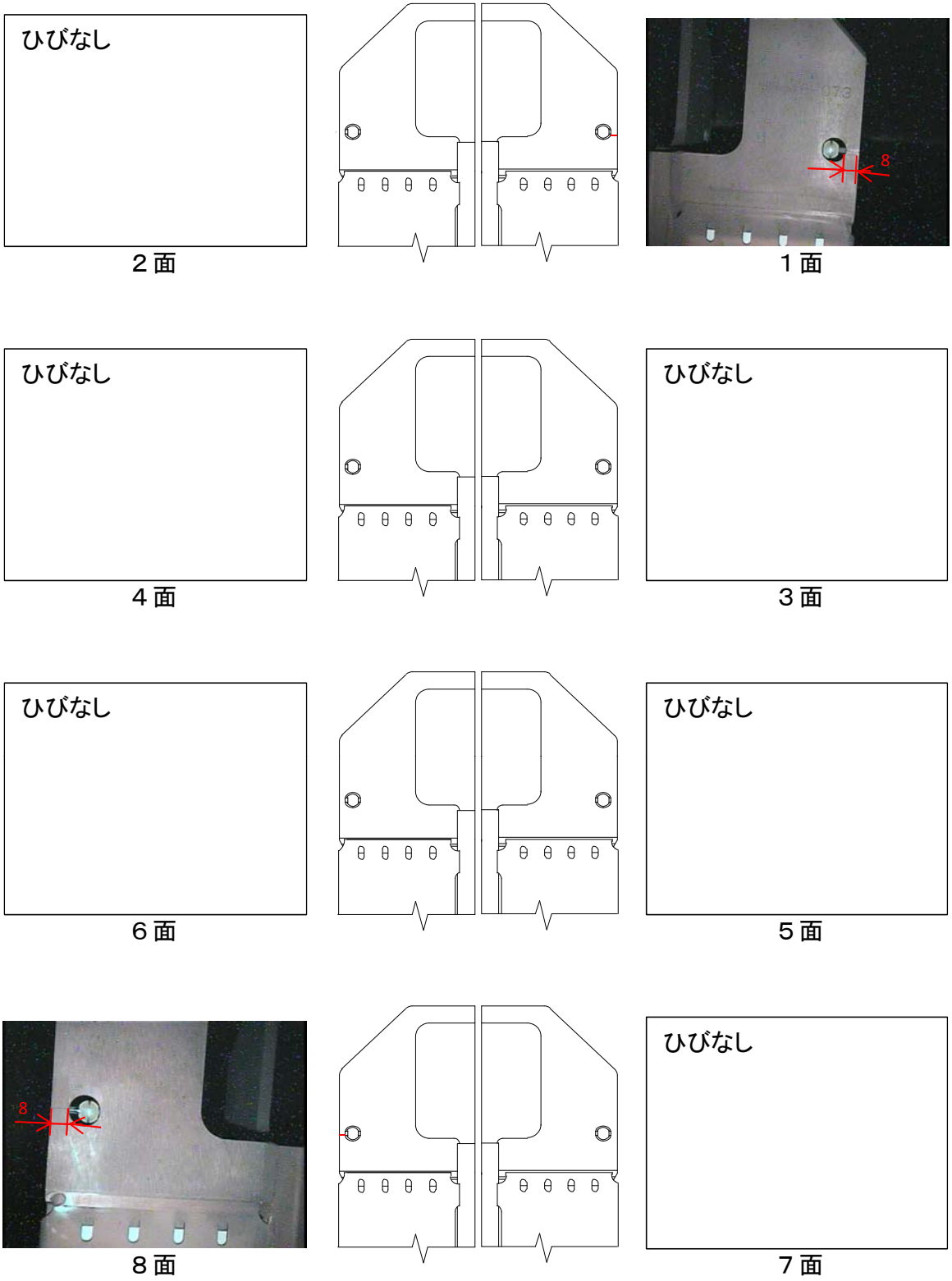






ひび有り位置

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－073）（1／2）



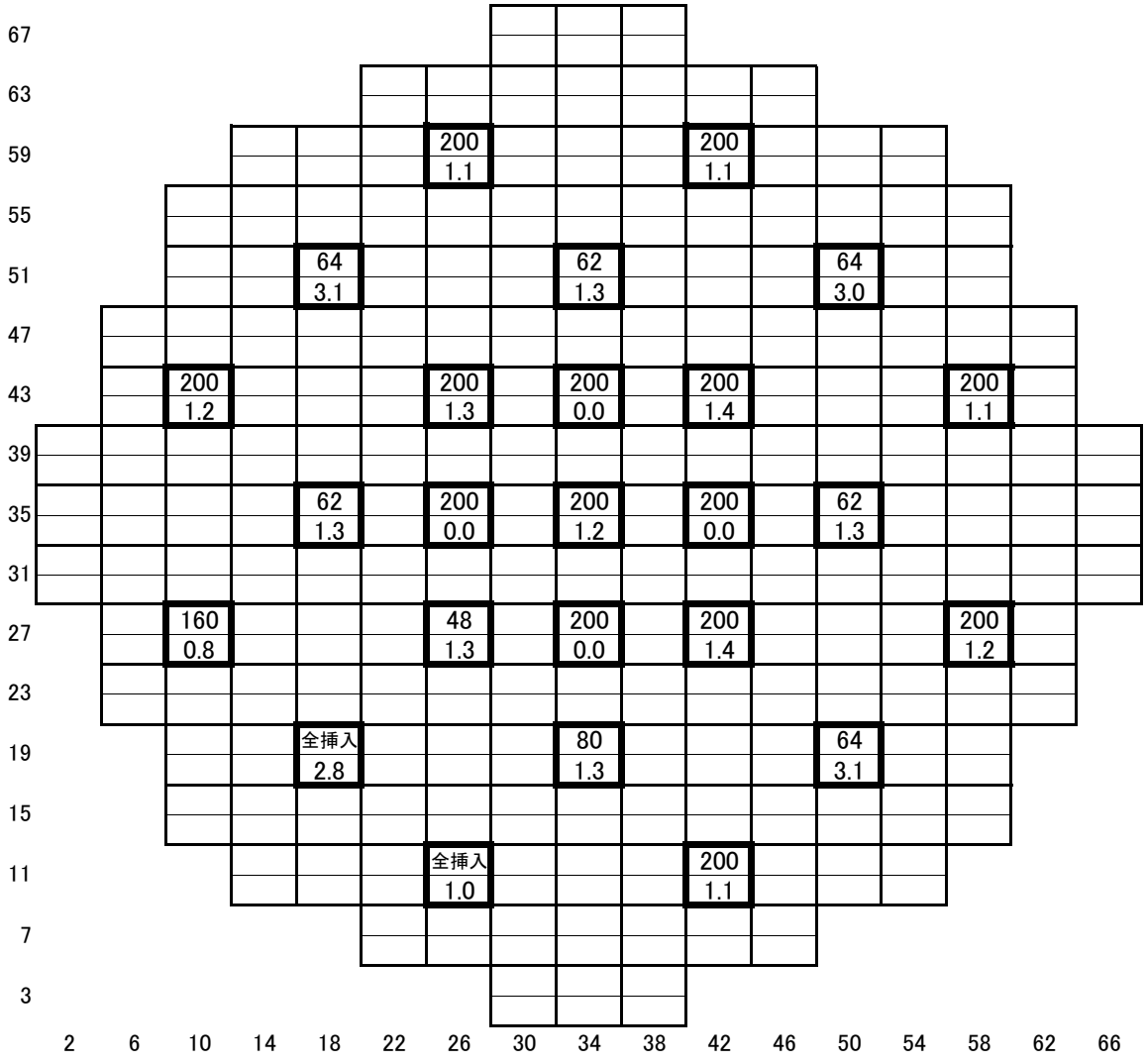
単位：mm

柏崎刈羽原子力発電所7号機使用済ハフニウムフラットチューブ型制御棒ひび状況
（製造番号：HH－46－073）（2／2）

制御棒動作確認結果

柏崎刈羽原子力発電所7号機で定期検査前に
炉内に装荷されていたハフニウムフラットチューブ型制御棒

動作確認実施日：　平成23年8月5,6日



：ハフニウムフラットチューブ型制御棒の装荷位置

（上段：挿入位置（全引抜位置：200）、下段：熱中性子照射量（単位：$\times 10^{25} n/m^2$））

柏崎刈羽原子力発電所7号機ハフニウムフラットチューブ型制御棒動作確認結果

実施日：平成22年11月6日

No.	制御棒座標	初期位置	動作確認結果（良、否） 判定基準：全挿入動作が可能であること	備　考
1	34-35	16	良	
2	26-27	48	良	
3	26-43	24	良	
4	42-27	24	良	
5	42-43	24	良	
6	18-35	24	良	
7	50-35	24	良	
8	34-51	24	良	
9	10-43	36	良	
10	58-27	36	良	
11	58-43	36	良	
12	26-59	36	良	
13	42-11	36	良	
14	42-59	36	良	
15	18-51	36	良	
16	50-19	36	良	
17	50-51	36	良	
18	34-19	80	良	
19	10-27	160	良	
20	26-35	200	良	
21	42-35	200	良	
22	34-27	200	良	
23	34-43	200	良	

注）初期値は、定格出力運転時における各制御棒の挿入位置を示す

柏崎刈羽原子力発電所7号機ハフニウムフラットチューブ型制御棒動作確認結果

実施日：平成22年11月24日

No.	制御棒座標	初期値	動作確認結果（良、否） 判定基準：全挿入動作が可能であること	備　考
1	34-35	16	良	
2	26-27	48	良	
3	26-43	24	良	
4	42-27	24	良	
5	42-43	24	良	
6	18-35	24	良	※1
7	50-35	24	良	※1
8	34-51	24	良	※1
9	10-43	36	良	※1
10	58-27	36	良	※1
11	58-43	36	良	※1
12	26-59	36	良	※1
13	42-11	36	良	※1
14	42-59	36	良	※1
15	18-51	36	良	※2
16	50-19	36	良	※2
17	50-51	36	良	※2
18	34-19	80	良	※1
19	10-27	160	良	※1
20	26-35	200	良	※1
21	42-35	200	良	※1
22	34-27	200	良	※1
23	34-43	200	良	※1

注）初期値は、定格出力運転時における各制御棒の挿入位置を示す

注）H22.11.24の動作確認は、復水器室（管理区域）における水漏れ対応に伴う出力降下時（出力50%状態）に合わせて実施したため、一部の制御棒については定格出力運転状態と異なる挿入位置となることから、以下の動作確認を行い記録とした。

※1；全挿入位置（000ポジション）→初期値→全挿入位置（000ポジション）

※2；出力降下時の制御棒挿入位置（28ポジション）→初期値（36ポジション）→全挿入位置（000ポジション）→初期値（36ポジション）→出力降下時の挿入位置（28ポジション）

なお、上記以外（無印）の動作確認は、初期値→全挿入位置（000ポジション）→初期値である。

柏崎刈羽原子力発電所7号機ハフニウムフラットチューブ型制御棒動作確認結果

実施日：平成22年12月24日

No.	制御棒座標	初期値	動作確認結果（良、否） 判定基準：全挿入動作が可能であること	備　考
1	34-35	16	良	
2	26-27	48	良	
3	26-43	24	良	
4	42-27	24	良	
5	42-43	24	良	
6	18-35	24	良	
7	50-35	24	良	
8	34-51	24	良	
9	10-43	36	良	
10	58-27	36	良	
11	58-43	36	良	
12	26-59	36	良	
13	42-11	36	良	
14	42-59	36	良	
15	18-51	36	良	
16	50-19	36	良	
17	50-51	36	良	
18	34-19	80	良	
19	10-27	160	良	
20	26-35	200	良	
21	42-35	200	良	
22	34-27	200	良	
23	34-43	200	良	

注）初期値は、定格出力運転時における各制御棒の挿入位置を示す

柏崎刈羽原子力発電所7号機ハフニウムフラットチューブ型制御棒動作確認結果

実施日：平成23年1月19日

No.	制御棒座標	初期値	動作確認結果（良、否） 判定基準：全挿入動作が可能であること	備　考
1	34-35	16	良	
2	26-27	48	良	
3	26-43	24	良	
4	42-27	24	良	
5	42-43	24	良	
6	18-35	24	良	
7	50-35	24	良	
8	34-51	24	良	
9	10-43	36	良	
10	58-27	36	良	
11	58-43	36	良	
12	26-59	36	良	
13	42-11	36	良	
14	42-59	36	良	
15	18-51	36	良	
16	50-19	36	良	
17	50-51	36	良	
18	34-19	80	良	
19	10-27	160	良	
20	26-35	200	良	
21	42-35	200	良	
22	34-27	200	良	
23	34-43	200	良	

注）初期値は、定格出力運転時における各制御棒の挿入位置を示す

柏崎刈羽原子力発電所7号機ハフニウムフラットチューブ型制御棒動作確認結果

実施日：平成23年2月19日

No.	制御棒座標	初期値	動作確認結果（良、否） 判定基準：全挿入動作が可能であること	備　考
1	34-35	16	良	
2	26-27	48	良	
3	26-43	24	良	
4	42-27	24	良	
5	42-43	24	良	
6	18-35	24	良	
7	50-35	24	良	
8	34-51	24	良	
9	10-43	36	良	
10	58-27	36	良	
11	58-43	36	良	
12	26-59	36	良	
13	42-11	36	良	
14	42-59	36	良	
15	18-51	36	良	
16	50-19	36	良	
17	50-51	36	良	
18	34-19	80	良	
19	10-27	160	良	
20	26-35	200	良	
21	42-35	200	良	
22	34-27	200	良	
23	34-43	200	良	

注）初期値は、定格出力運転時における各制御棒の挿入位置を示す

柏崎刈羽原子力発電所7号機ハフニウムフラットチューブ型制御棒動作確認結果

実施日：平成23年3月26日

No.	制御棒座標	初期値	動作確認結果（良、否） 判定基準：全挿入動作が可能であること	備　考
1	34-35	16	良	
2	26-27	48	良	
3	26-43	24	良	
4	42-27	24	良	
5	42-43	24	良	
6	18-35	24	良	
7	50-35	24	良	
8	34-51	24	良	
9	10-43	36	良	
10	58-27	36	良	
11	58-43	36	良	
12	26-59	36	良	
13	42-11	36	良	
14	42-59	36	良	
15	18-51	36	良	
16	50-19	36	良	
17	50-51	36	良	
18	34-19	80	良	
19	10-27	160	良	
20	26-35	200	良	
21	42-35	200	良	
22	34-27	200	良	
23	34-43	200	良	

注）初期値は、定格出力運転時における各制御棒の挿入位置を示す

柏崎刈羽原子力発電所7号機ハフニウムフラットチューブ型制御棒動作確認結果

実施日：平成23年4月16日

No.	制御棒座標	初期値	動作確認結果（良、否） 判定基準：全挿入動作が可能であること	備　考
1	34-35	16	良	
2	26-27	48	良	
3	26-43	40	良	
4	42-27	40	良	
5	42-43	40	良	
6	18-35	32	良	
7	50-35	32	良	
8	34-51	32	良	
9	10-43	72	良	
10	58-27	72	良	
11	58-43	72	良	
12	26-59	72	良	
13	42-11	72	良	
14	42-59	72	良	
15	18-51	36	良	
16	50-19	36	良	
17	50-51	36	良	
18	34-19	80	良	
19	10-27	160	良	
20	26-35	200	良	
21	42-35	200	良	
22	34-27	200	良	
23	34-43	200	良	

注）初期値は、制御棒パターン調整後の定格出力到達時における各制御棒の挿入位置を示す

柏崎刈羽原子力発電所7号機ハフニウムフラットチューブ型制御棒動作確認結果

実施日：平成23年5月13,14日

No.	制御棒座標	初期値	動作確認結果（良、否） 判定基準：全挿入動作が可能であること	備　考
1	34-35	16	良	
2	26-27	48	良	
3	26-43	40	良	
4	42-27	40	良	
5	42-43	40	良	
6	18-35	32	良	
7	50-35	32	良	
8	34-51	32	良	
9	10-43	78	良	
10	58-27	78	良	
11	58-43	78	良	
12	26-59	78	良	
13	42-11	78	良	
14	42-59	78	良	
15	18-51	24	良	
16	50-19	24	良	
17	50-51	24	良	
18	34-19	80	良	
19	10-27	160	良	
20	26-35	200	良	
21	42-35	200	良	
22	34-27	200	良	
23	34-43	200	良	

注）初期値は、制御棒パターン調整後の定格出力到達時における各制御棒の挿入位置を示す

柏崎刈羽原子力発電所7号機ハフニウムフラットチューブ型制御棒動作確認結果

実施日：平成23年6月10,11日

No.	制御棒座標	初期値	動作確認結果（良、否） 判定基準：全挿入動作が可能であること	備　考
1	34-35	200	良	
2	26-27	48	良	
3	26-43	40	良	
4	42-27	40	良	
5	42-43	40	良	
6	18-35	44	良	
7	50-35	44	良	
8	34-51	44	良	
9	10-43	92	良	
10	58-27	92	良	
11	58-43	92	良	
12	26-59	92	良	
13	42-11	92	良	
14	42-59	92	良	
15	18-51	40	良	
16	50-19	40	良	
17	50-51	40	良	
18	34-19	80	良	
19	10-27	160	良	
20	26-35	200	良	
21	42-35	200	良	
22	34-27	200	良	
23	34-43	200	良	

注）初期値は、制御棒パターン調整後の定格出力到達時における各制御棒の挿入位置を示す

柏崎刈羽原子力発電所7号機ハフニウムフラットチューブ型制御棒動作確認結果

実施日：平成23年7月8,9日

No.	制御棒座標	初期値	動作確認結果（良、否） 判定基準：全挿入動作が可能であること	備　考
1	34-35	200	良	
2	26-27	48	良	
3	26-43	40	良	
4	42-27	40	良	
5	42-43	40	良	
6	18-35	52	良	
7	50-35	52	良	
8	34-51	52	良	
9	10-43	102	良	
10	58-27	102	良	
11	58-43	102	良	
12	26-59	102	良	
13	42-11	102	良	
14	42-59	102	良	
15	18-51	54	良	
16	50-19	54	良	
17	50-51	54	良	
18	34-19	80	良	
19	10-27	160	良	
20	26-35	200	良	
21	42-35	200	良	
22	34-27	200	良	
23	34-43	200	良	

注）初期値は、制御棒パターン調整後の定格出力到達時における各制御棒の挿入位置を示す

柏崎刈羽原子力発電所7号機ハフニウムフラットチューブ型制御棒動作確認結果

実施日：平成23年8月5,6日

No.	制御棒座標	初期値	動作確認結果（良、否） 判定基準：全挿入動作が可能であること	備　考
1	34-35	200	良	
2	26-27	48	良	
3	26-43	200	良	
4	42-27	200	良	
5	42-43	200	良	
6	18-35	62	良	
7	50-35	62	良	
8	34-51	62	良	
9	10-43	200	良	
10	58-27	200	良	
11	58-43	200	良	
12	26-59	200	良	
13	42-11	200	良	
14	42-59	200	良	
15	18-51	64	良	
16	50-19	64	良	
17	50-51	64	良	
18	34-19	80	良	
19	10-27	160	良	
20	26-35	200	良	
21	42-35	200	良	
22	34-27	200	良	
23	34-43	200	良	

注）初期値は、制御棒パターン調整後の定格出力到達時における各制御棒の挿入位置を示す

タブ位置のひび数と中性子照射量（詳細）

No.	CR　No.	タブ No.	タブ溶接部 上下のひび	タブ溶接部 のひび	熱中性子量 $\times 10^{25}$ n/m^2	高速中性子量 $\times 10^{25}$ n/m^2 ※1
1	HH-46-004	10	－	1	4.0	4.6
2	HH-46-005	14	1※2	－	4.4	5.0
3	HH-46-008	3	－	1	4.1	4.7
		4	－	1	4.0	4.6
		7	－	10	3.9	4.5
		8	－	1	3.9	4.5
		9	－	1	3.9	4.5
4	HH-46-014	9	－	1	3.9	4.4
5	HH-46-015	11	－	1	4.3	4.9
		14	1※2	－	3.9	4.4
6	HH-46-016	10	1※2	3	3.8	4.3
		12	－	8※3	3.6	4.1
7	HH-46-021	5	－	1	4.7	5.5
8	HH-46-022	4	－	2	5.2	6.0
		9	－	1	4.9	5.6
		10	－	1	4.8	5.5
9	HH-46-023	4	－	1	5.0	5.7
10	HH-46-024	11	－	1	4.1	4.7
11	HH-46-031	4	－	2	4.3	5.0
		5	－	5	4.4	5.0
		6	－	4	4.5	5.1
		7	－	4	4.6	5.2
		8	－	10	4.6	5.3
		9	－	6	4.6	5.3
		10	－	6	4.5	5.2
		11	－	7	4.4	5.0
		12	－	4	4.0	4.6
		13	－	4	3.5	4.0
		14	－	2	2.9	3.3
		15	－	2	2.4	2.8

※1　高速中性子は、高速中性子束/熱中性子束＝1.15 を元に換算した概略値
※2　４方向から見て１本のひびに見えるひびとして記載した。
※3　４コーナで見られるひびのすべてがコーナー毎に１本につながって見えるが、他のシースに及ぶひびを面で数えていることから、同様に面で数えて８と記載した。

タブ位置のひび数と中性子照射量（詳細）

No.	CR No.	タブ No.	タブ溶接部上下のひび	タブ溶接部のひび	熱中性子量 $\times 10^{25}$ n/m^2	高速中性子量 $\times 10^{25}$ n/m^2 ※1
12	HH-46-032	4	－	1	4.3	5.0
		5	－	2	4.3	5.0
		6	－	1	4.4	5.1
		7	－	4	4.5	5.2
		8	－	2	4.5	5.2
		9	－	2	4.5	5.2
		10	－	1	4.4	5.1
		13	－	2	3.5	4.0
13	HH-46-033	2	－	2	3.8	4.3
		3	－	2	3.8	4.4
		4	－	1	3.9	4.5
		5	－	2	4.0	4.6
		6	－	3	4.0	4.6
		7	－	2	4.1	4.7
		8	－	2	4.1	4.8
		9	－	2	4.2	4.8
		10	－	2	4.2	4.8
		11	－	2	4.1	4.7
		13	－	3	4.0	4.6
		14	－	1	3.8	4.4
		15	－	1	3.3	3.8
14	HH-46-034	3	－	2	4.5	5.1
		4	－	1	4.5	5.2
		5	－	2	4.6	5.3
		6	－	2	4.7	5.5
		9	－	2	4.9	5.6
		10	－	3	4.9	5.6
		11	－	3	4.8	5.5
		13	－	4	4.7	5.4
		14	－	2	4.5	5.2
		15	－	2	4.1	4.7

※1　高速中性子は、高速中性子束/熱中性子束＝1.15 を元に換算した概略値

タブ位置のひび数と中性子照射量（詳細）

No.	CR No.	タブ No.	タブ溶接部上下のひび	タブ溶接部のひび	熱中性子量 $\times 10^{25}$ n/m^2	高速中性子量 $\times 10^{25}$ n/m^2 ※1
15	HH-46-035	4	－	1	4.0	4.6
		5	－	1	4.1	4.7
		7	－	4	4.2	4.9
		8	－	2	4.3	4.9
		9	－	2	4.3	5.0
		10	－	3	4.3	5.0
		11	－	2	4.2	4.8
		12	－	2	4.2	4.8
		13	－	1	4.1	4.7
		15	－	3	3.2	3.7
16	HH-46-036	2	－	1	4.7	5.4
		3	－	2	4.5	5.2
		5	－	2	4.5	5.1
		6	－	6	4.5	5.1
		7	－	5	4.4	5.1
		8	－	4	4.3	5.0
		9	－	4	4.2	4.8
		10	－	2	3.8	4.3
		11	－	3	3.5	4.0
		12	－	2	3.1	3.6
		13	－	1	2.6	3.0

※1　高速中性子は、高速中性子束/熱中性子束＝1.15 を元に換算した概略値

タブ位置のひび数と中性子照射量（詳細）

No.	CR No.	タブ No.	タブ溶接部上下のひび	タブ溶接部のひび	熱中性子量 $\times 10^{25}$ n/m^2	高速中性子量 $\times 10^{25}$ n/m^2 ※1
17	HH-46-037	3	－	1	4.7	5.4
		4	－	2	4.8	5.5
		5	－	4	4.9	5.6
		6	－	2	4.9	5.6
		7	－	4	5.0	5.7
		8	－	7	5.0	5.7
		9	－	7	4.9	5.6
		10	－	4	4.6	5.3
		11	－	5	4.5	5.1
		12	－	7	4.4	5.1
		13	－	2	4.5	5.1
		14	－	4	4.4	5.0
		15	－	2	4.2	4.8
		16	－	4	3.8	4.3
18	HH-46-038	3	－	1	4.6	5.3
19	HH-46-039	2	－	1	4.6	5.3
		3	1	1	4.5	5.1
		4	1	7	4.4	5.1
		5	－	4	4.4	5.0
		6	－	6	4.4	5.0
		7	－	2	4.4	5.0
		8	－	4	4.3	4.9
		9	－	5	4.2	4.8
		10	－	2	3.7	4.3
		11	－	4	3.5	4.0
		12	－	4	3.1	3.6
		13	－	2	2.6	3.0

※1　高速中性子は、高速中性子束/熱中性子束＝1.15 を元に換算した概略値

タブ位置のひび数と中性子照射量（詳細）

No.	CR No.	タブ No.	タブ溶接部 上下のひび	タブ溶接部 のひび	熱中性子量 $\times 10^{25}$ n/m^2	高速中性子量 $\times 10^{25}$ n/m^2 ※1
20	HH-46-040	4	－	1	4.6	5.3
		5	1	3	4.8	5.5
		6	－	1	4.8	5.6
		7	－	3	4.9	5.6
		8	－	6	5.0	5.7
		10	－	4	5.0	5.7
		11	－	2	4.9	5.6
		12	－	6	4.8	5.6
		13	1	2	4.8	5.5
		14	－	3	4.6	5.2
		15	－	1	4.1	4.7
21	HH-46-041	3	－	2	4.3	4.9
		4	－	4	4.2	4.9
		5	－	3	4.3	5.0
		6	－	2	4.3	5.0
		7	－	4	4.2	4.9
		8	－	4	4.2	4.9
		9	－	5	4.2	4.8
		10	－	6	4.1	4.7
		11	－	2	3.9	4.5
		12	－	2	3.7	4.3
		13	－	2	3.3	3.8
		14	－	2	2.8	3.3

※1　高速中性子は、高速中性子束/熱中性子束＝1.15 を元に換算した概略値

タブ位置のひび数と中性子照射量（詳細）

No.	CR No.	タブ No.	タブ溶接部 上下のひび	タブ溶接部 のひび	熱中性子量 $\times 10^{25}$ n/m^2	高速中性子量 $\times 10^{25}$ n/m^2 ※1
22	HH-46-042	2	－	1	4.5	5.2
		3	－	3	4.5	5.2
		4	－	4	4.6	5.3
		5	－	7	4.7	5.4
		6	－	4	4.8	5.5
		7	－	4	4.9	5.6
		8	1	5	5.0	5.7
		9	－	4	5.0	5.7
		10	－	6	4.9	5.7
		11	1	3	4.9	5.6
		12	－	9	4.8	5.6
		13	－	6	4.8	5.5
		14	－	4	4.6	5.3
		16	－	4	3.5	4.1
23	HH-46-043	4	－	3	4.5	5.2
		5	－	2	4.4	5.1
		6	－	1	4.4	5.1
		7	－	1	4.4	5.1
		8	－	3	4.3	5.0
		9	－	2	4.2	4.8
		10	－	2	3.8	4.4
		12	－	2	3.1	3.6
		13	－	1	2.6	3.0
24	HH-46-044	4	－	1	4.8	5.5
		13	－	1	4.5	5.1

※1　高速中性子は、高速中性子束/熱中性子束＝1.15 を元に換算した概略値

タブ位置のひび数と中性子照射量（詳細）

No.	CR No.	タブ No.	タブ溶接部 上下のひび	タブ溶接部 のひび	熱中性子量 $\times 10^{25}$ n/m^2	高速中性子量 $\times 10^{25}$ n/m^2 ※1
25	HH-46-045	4	－	2	4.7	5.4
		5	－	1	4.8	5.5
		6	－	1	4.8	5.5
		7	－	2	4.9	5.6
		8	－	3	4.9	5.6
		9	－	4	4.8	5.6
		10	－	2	4.5	5.2
		11	1	1	4.4	5.0
		12	－	2	4.4	5.0
		13	－	1	4.4	5.0
		14	－	2	4.3	4.9
		15	－	2	4.1	4.8
26	HH-46-046	3	－	2	4.4	5.1
		4	－	2	4.4	5.0
		5	－	2	4.3	5.0
		6	－	2	4.3	4.9
		7	－	4	4.3	4.9
		8	－	4	4.2	4.8
		9	－	2	4.1	4.7
		11	－	1	3.5	4.0
		12	－	2	3.1	3.6
		14	1	2	2.1	2.4
27	HH-46-047	5	－	1	4.0	4.6
		8	－	1	4.2	4.8
		9	－	2	4.2	4.8
		12	－	2	4.1	4.7
28	HH-46-049	14	－	1	3.9	4.4
		15	－	1	3.3	3.8

※1　高速中性子は、高速中性子束/熱中性子束＝1.15 を元に換算した概略値

残留応力測定結果（詳細）

１．軸方向残留応力測定結果（TIG 溶接１体目）

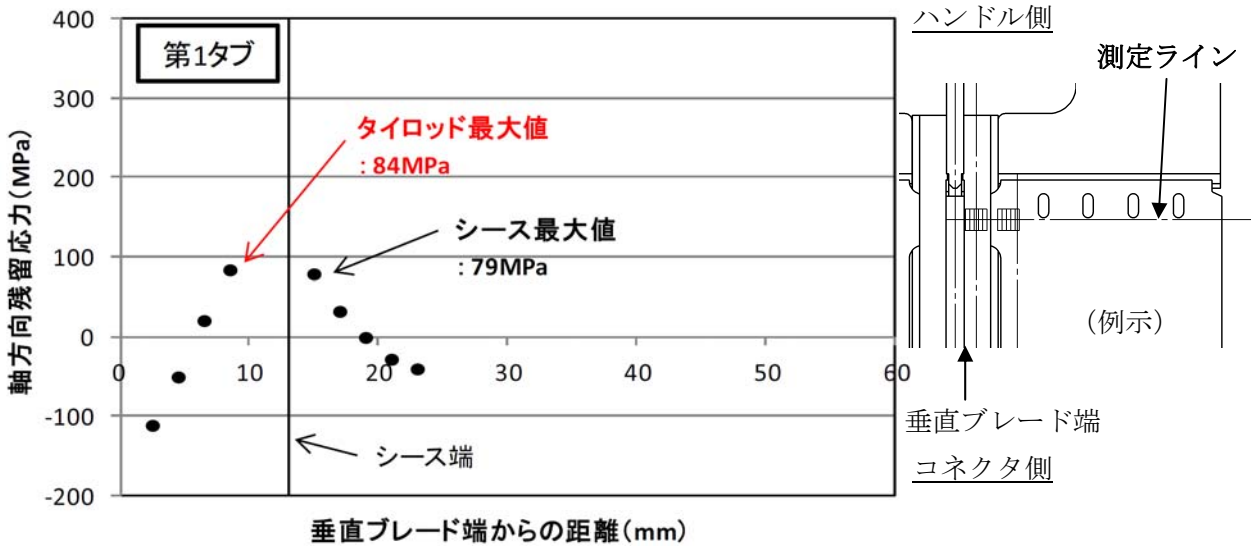


図１－１　タブ溶接部の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接１体目　第１タブ）

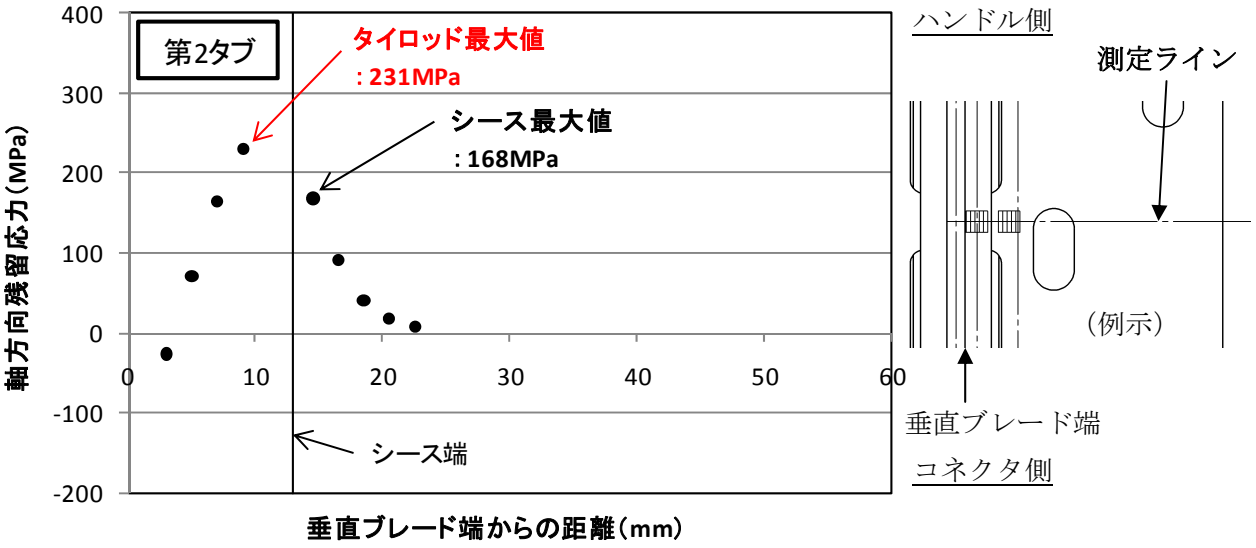


図１－２　タブ溶接部の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接１体目　第２タブ）

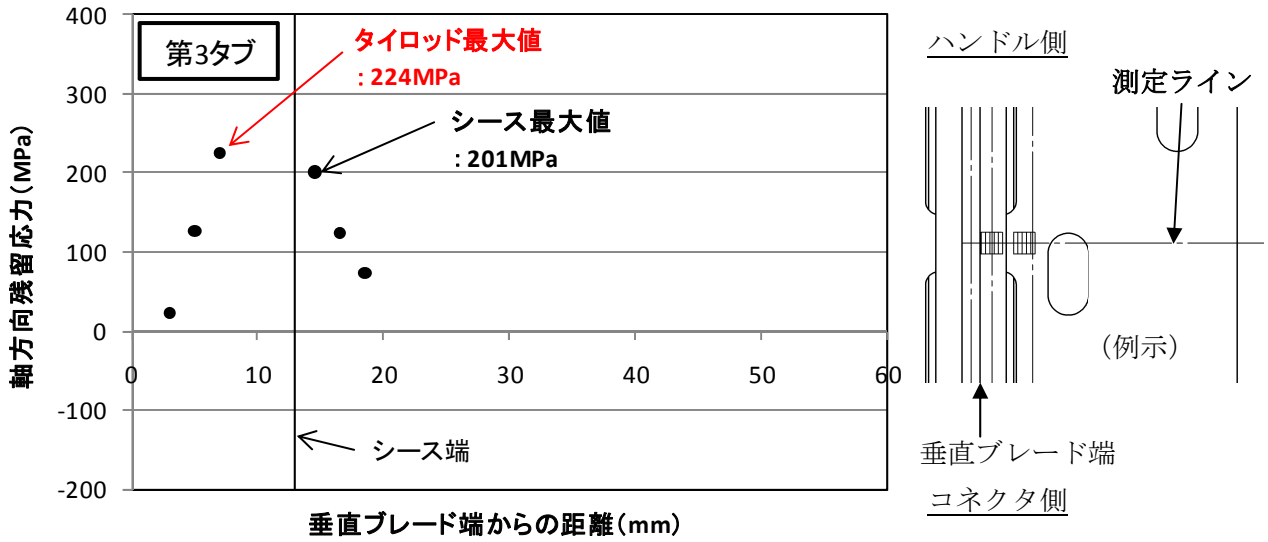


図１－３　タブ溶接部の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接 1 体目　第 3 タブ）

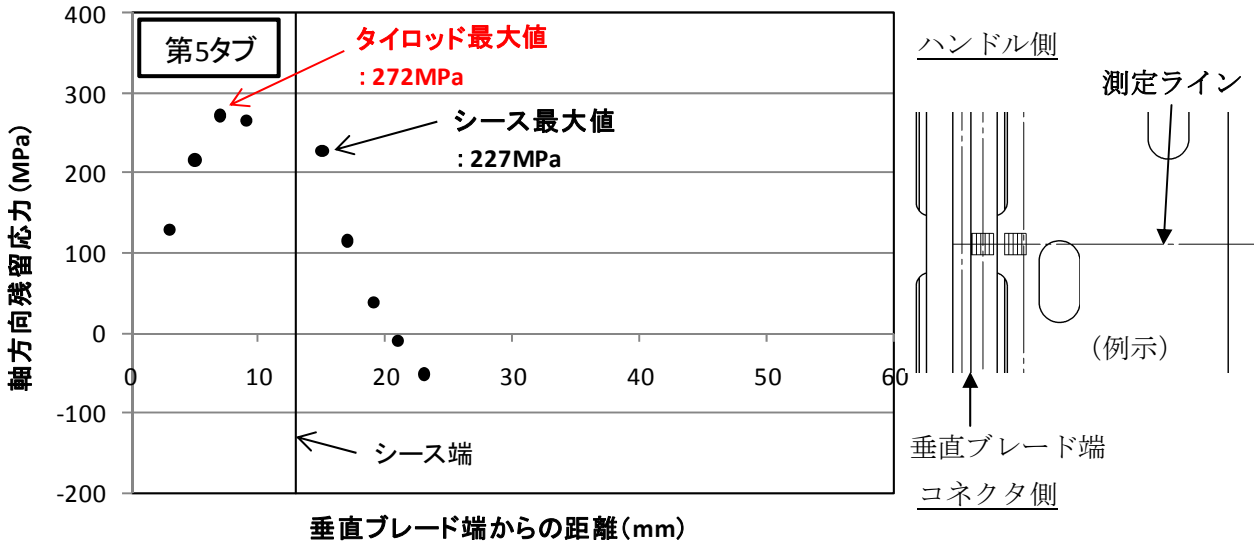


図１－４　タブ溶接部の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接 1 体目　第 5 タブ）

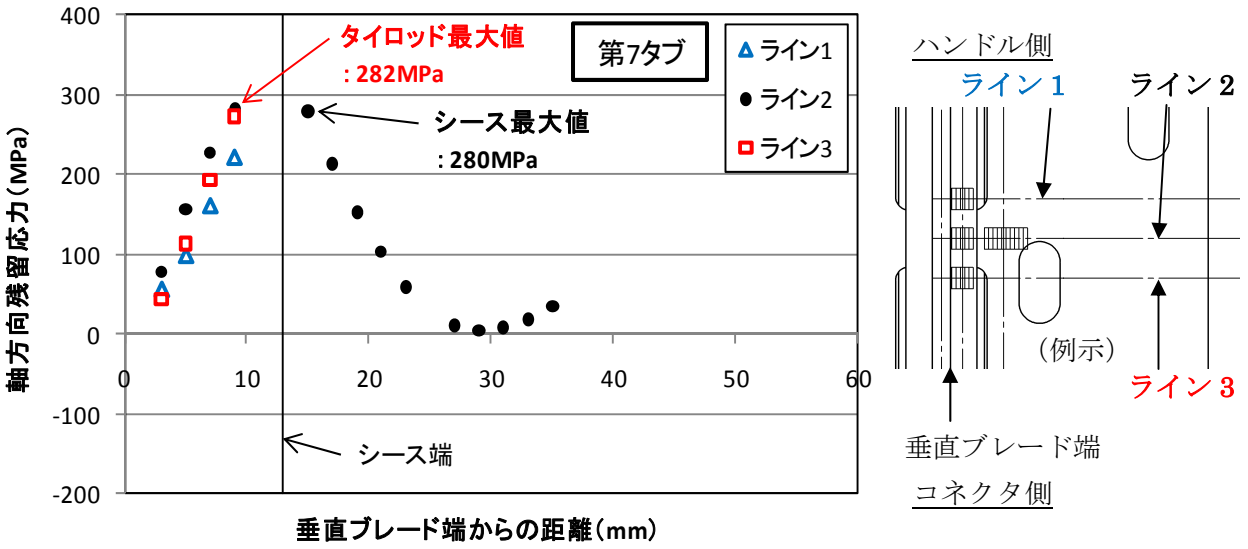


図１－５　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接１体目　第７タブ）

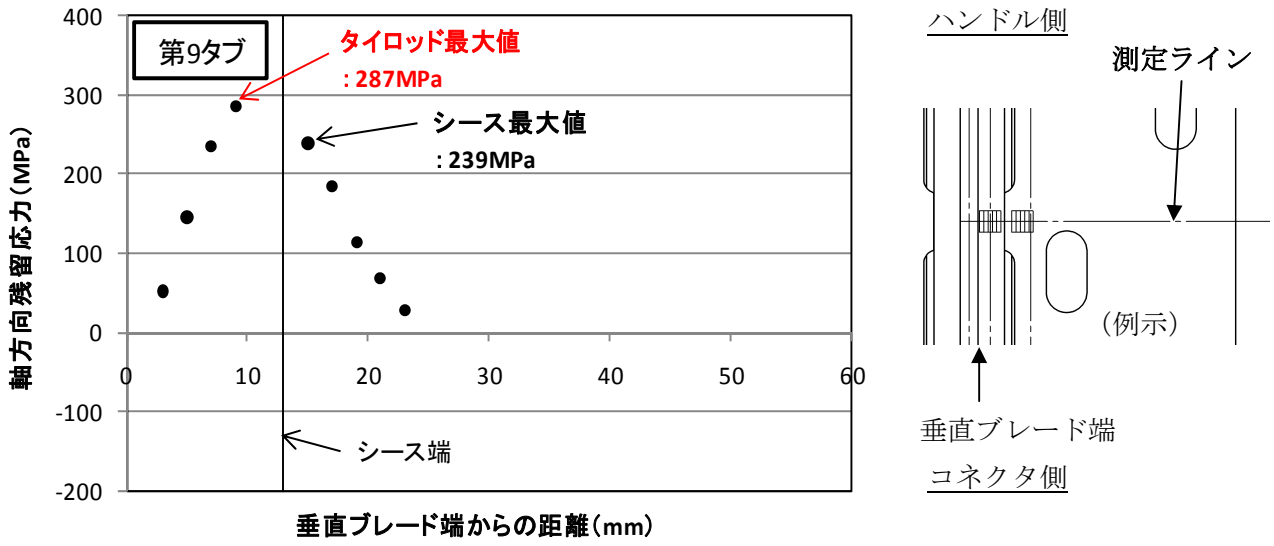


図１－６　タブ溶接部の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接１体目　第９タブ）

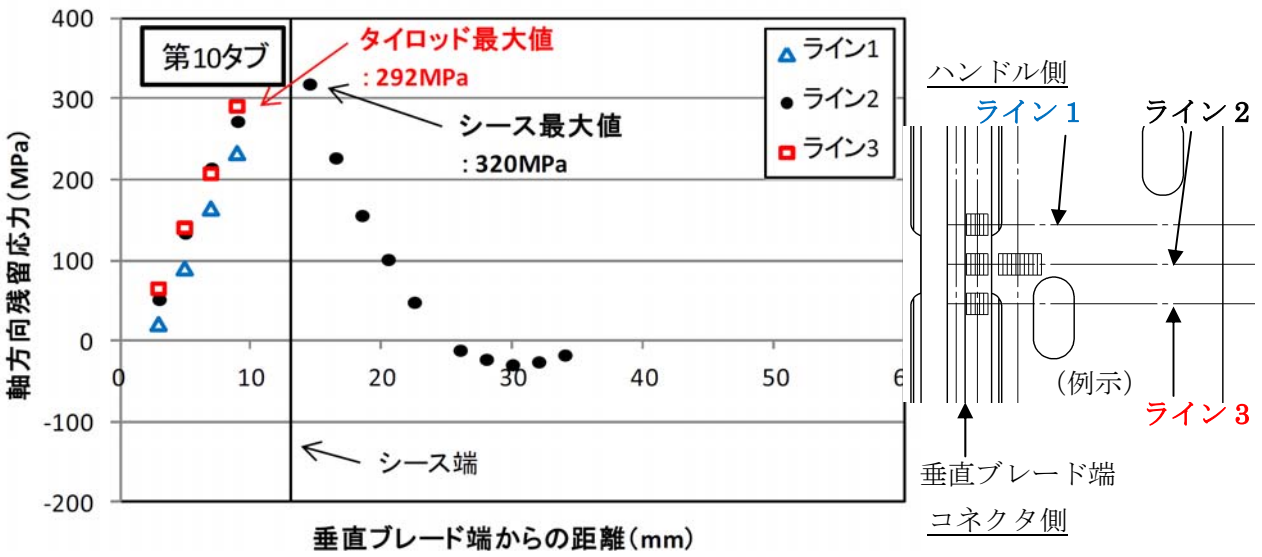


図１－７　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接１体目　第 10 タブ）

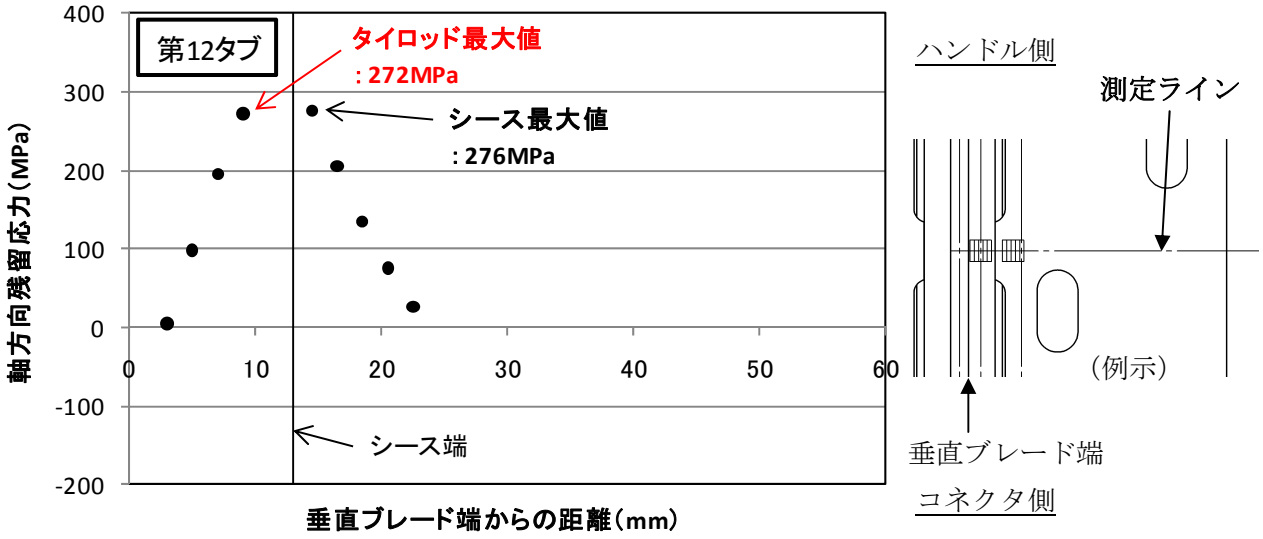


図１－８　タブ溶接部の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接１体目　第 12 タブ）

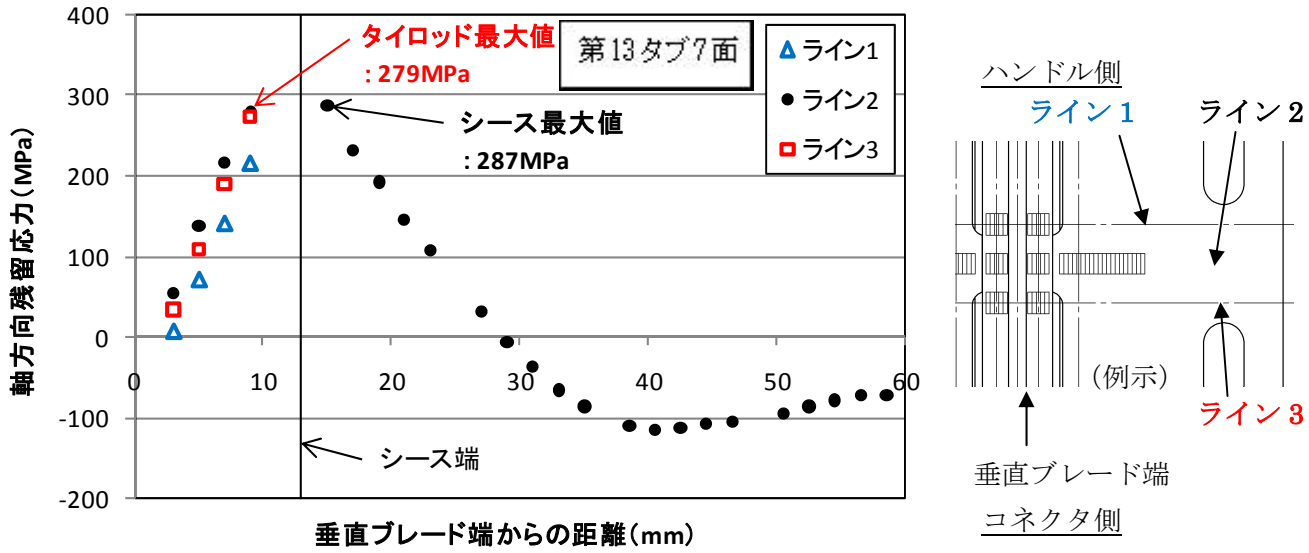


図１－９　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接１体目　第 13 タブ７面（他の測定点と同一面））

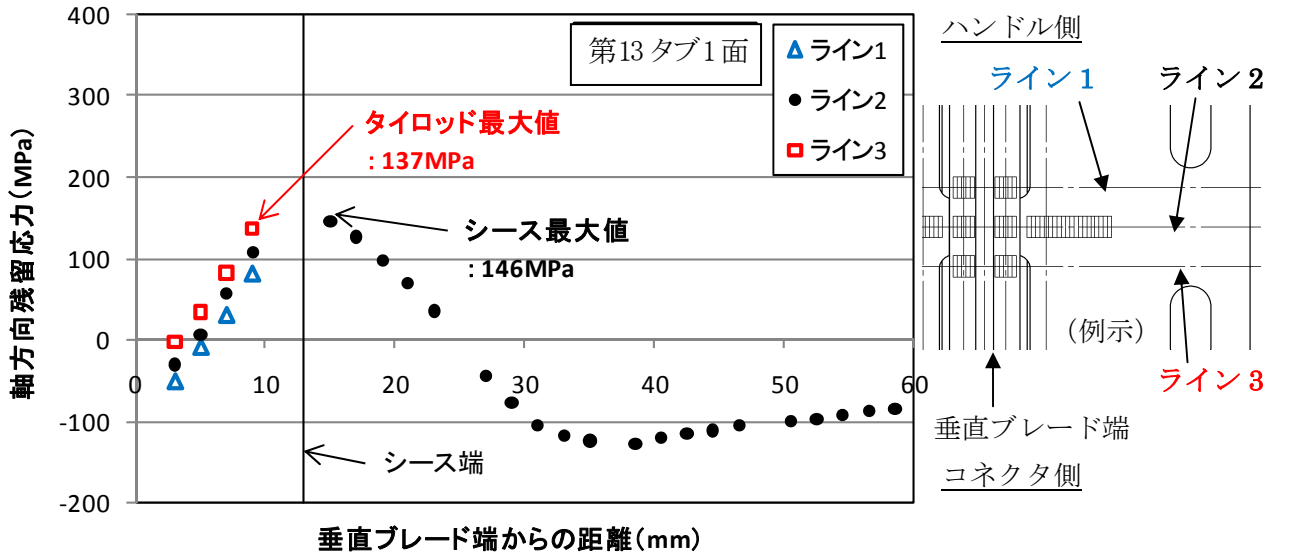


図１－１０　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接１体目　第 13 タブ１面（他の測定点と異なる面））

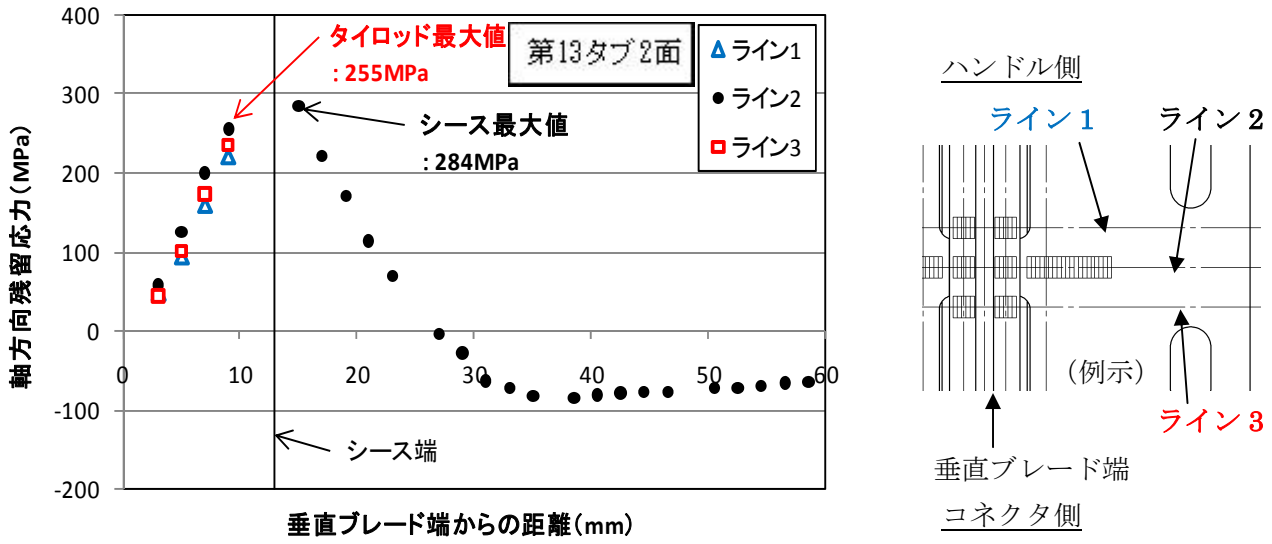


図１－１１　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接１体目　第 13 タブ２面（他の測定点と異なる面））

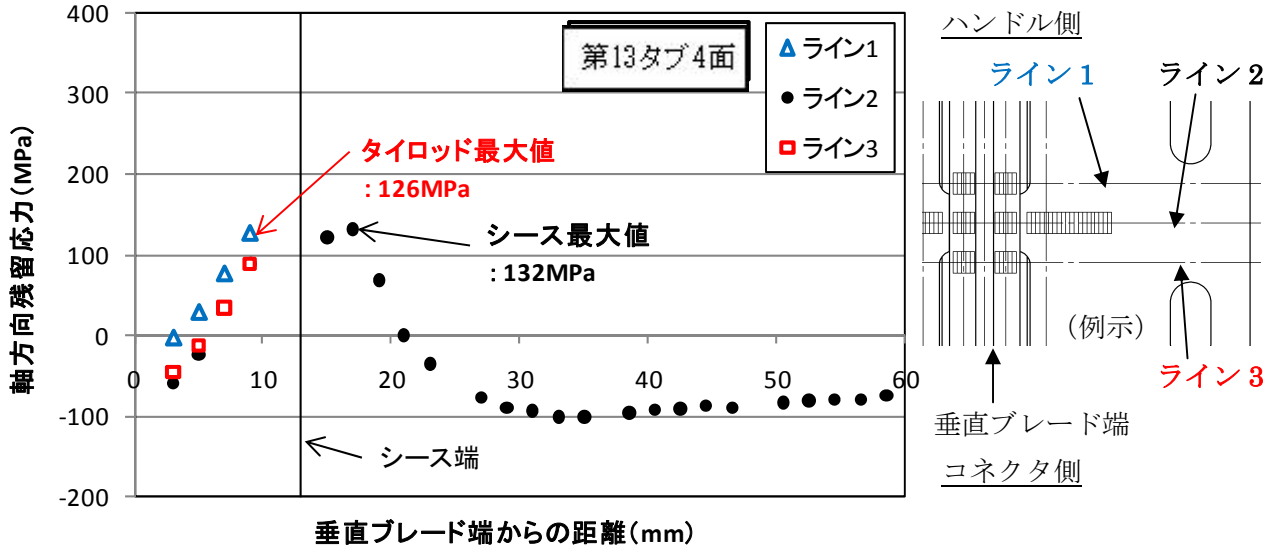


図１－１２　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接１体目　第 13 タブ４面（他の測定点と異なる面））

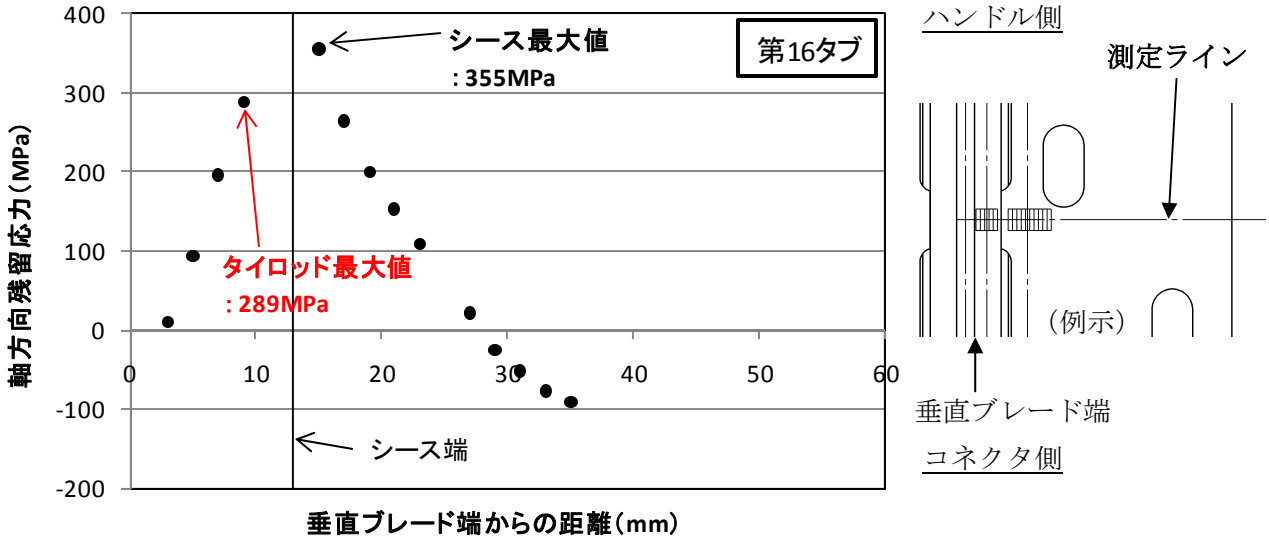


図１－１３　タブ溶接部の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接 1 体目　第 16 タブ）

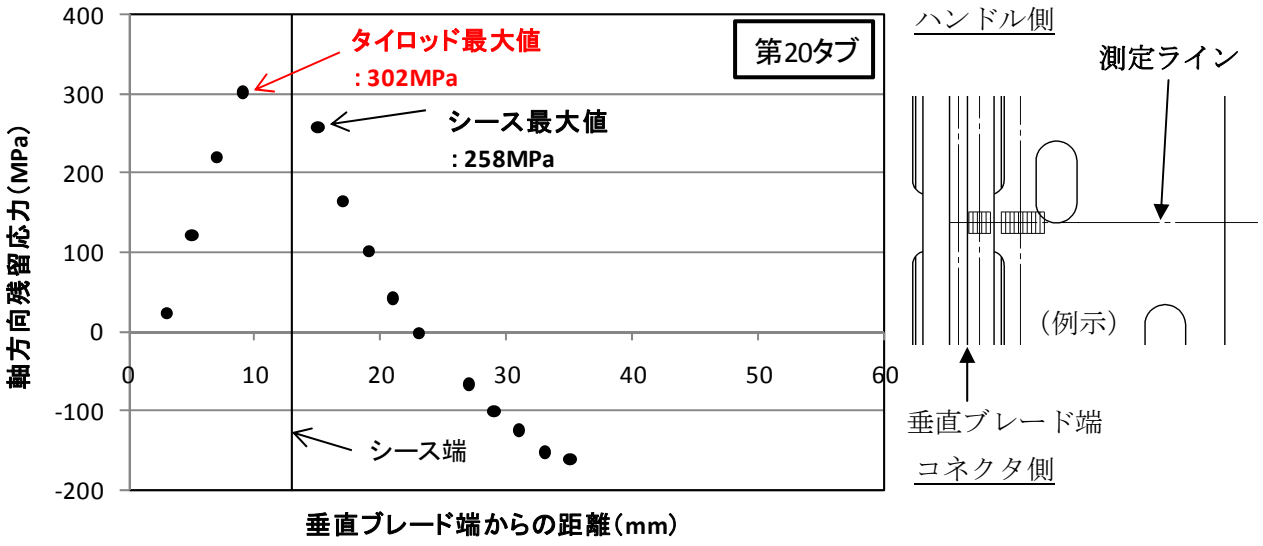


図１－１４　タブ溶接部の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接 1 体目　第 20 タブ）

２．軸方向残留応力測定結果（TIG 溶接２体目）

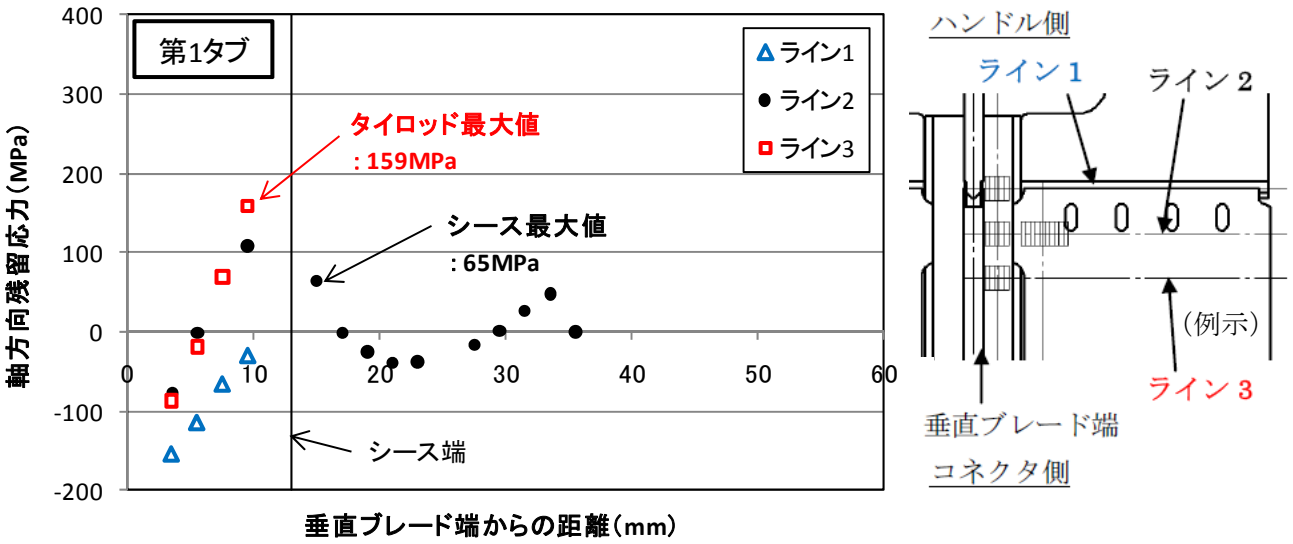


図２－１　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接２体目　第１タブ）

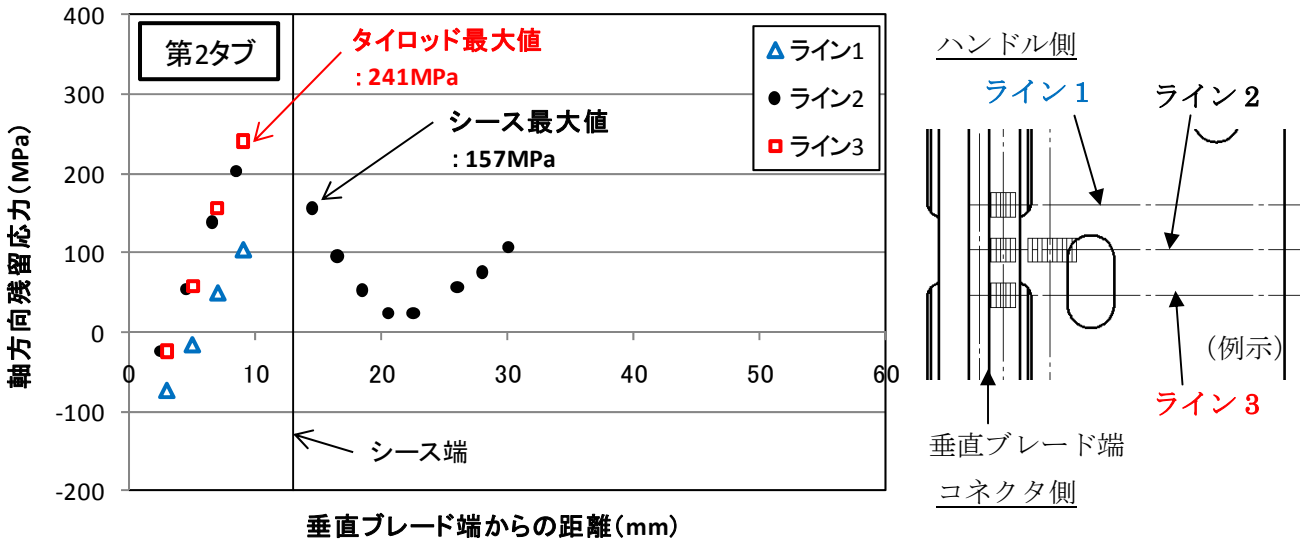


図２－２　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接２体目　第２タブ）

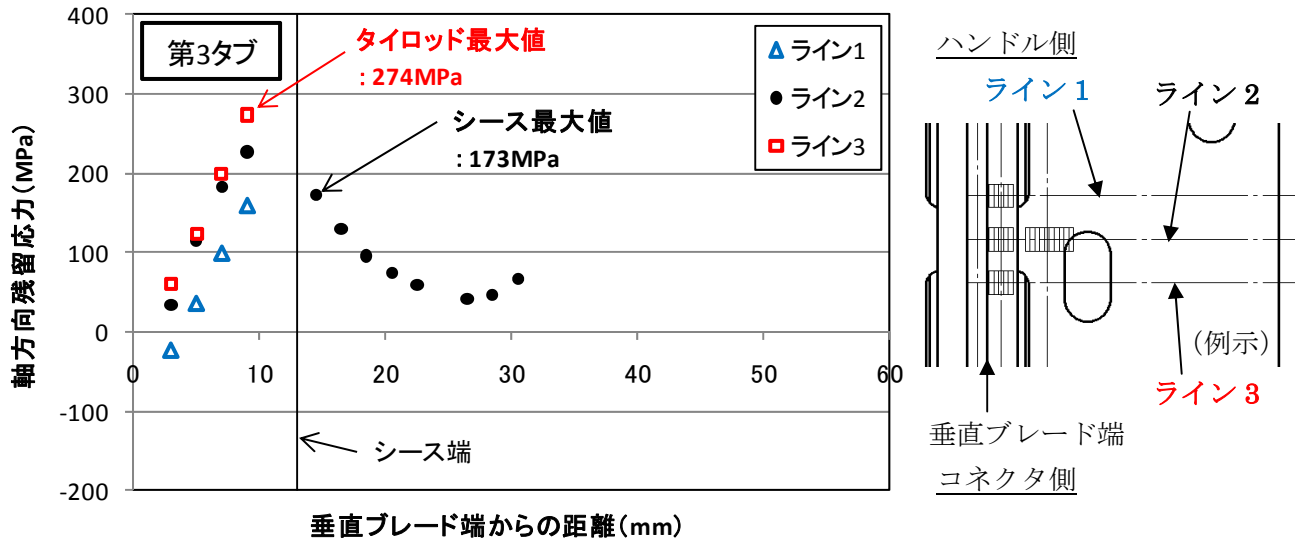


図２－３　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接 2 体目　第 3 タブ）

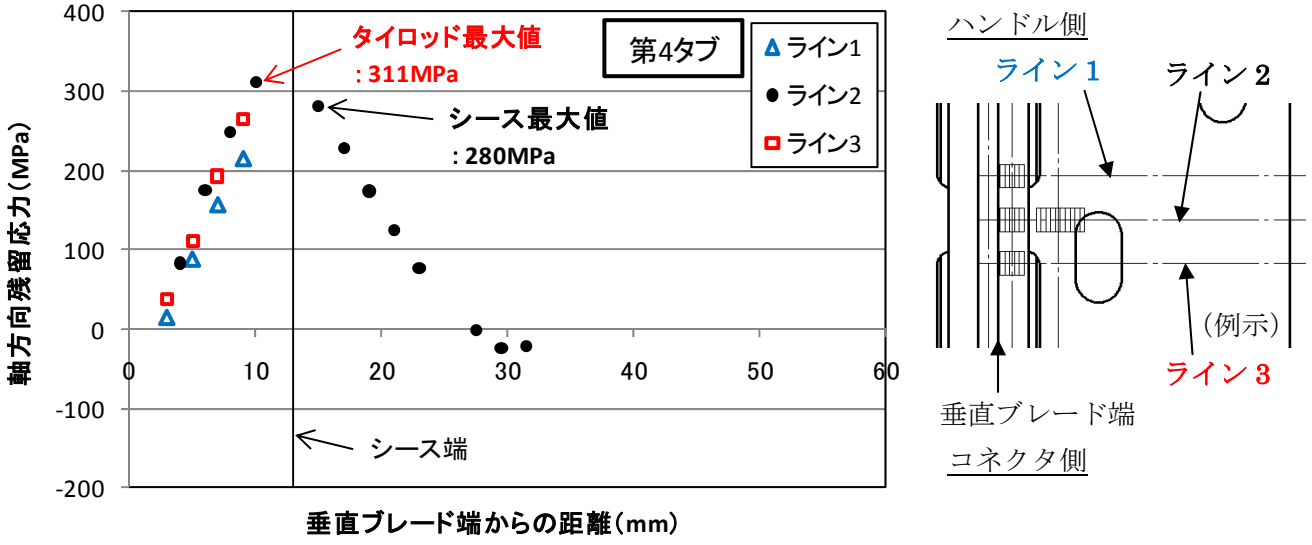


図２－４　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接 2 体目　第 4 タブ）

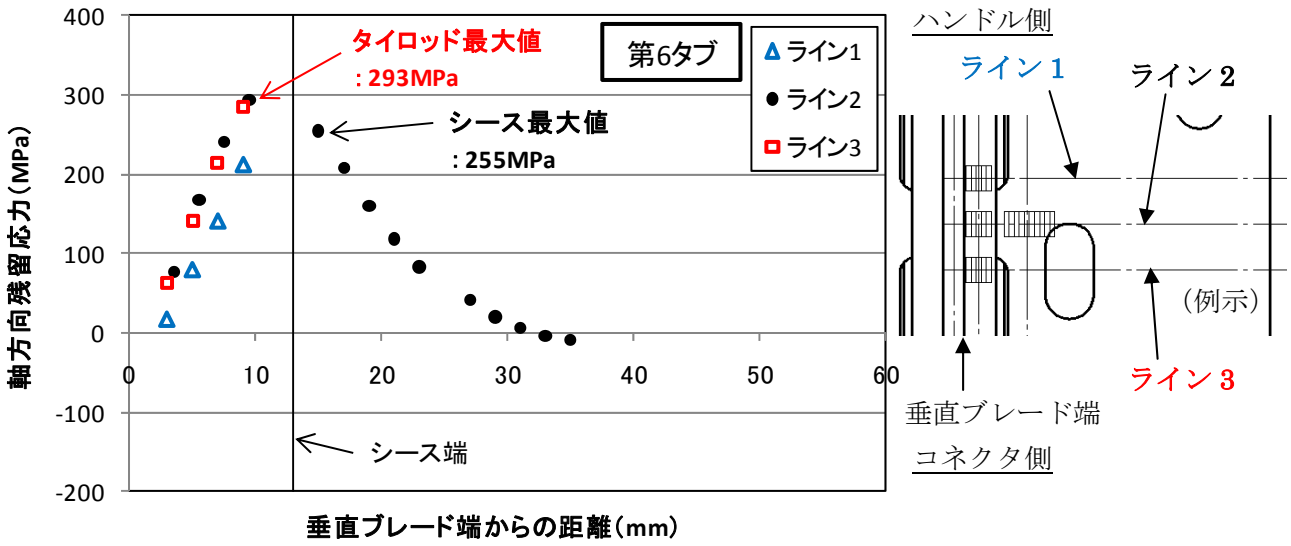


図２－５　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接 2 体目　第 6 タブ）

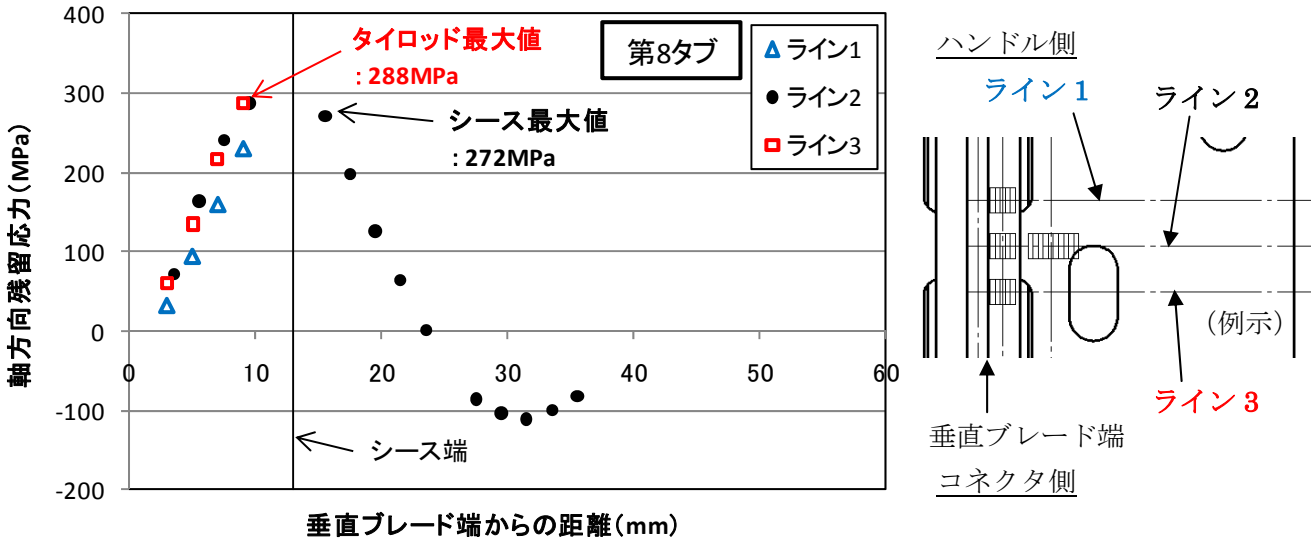


図２－６　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接 2 体目　第 8 タブ）

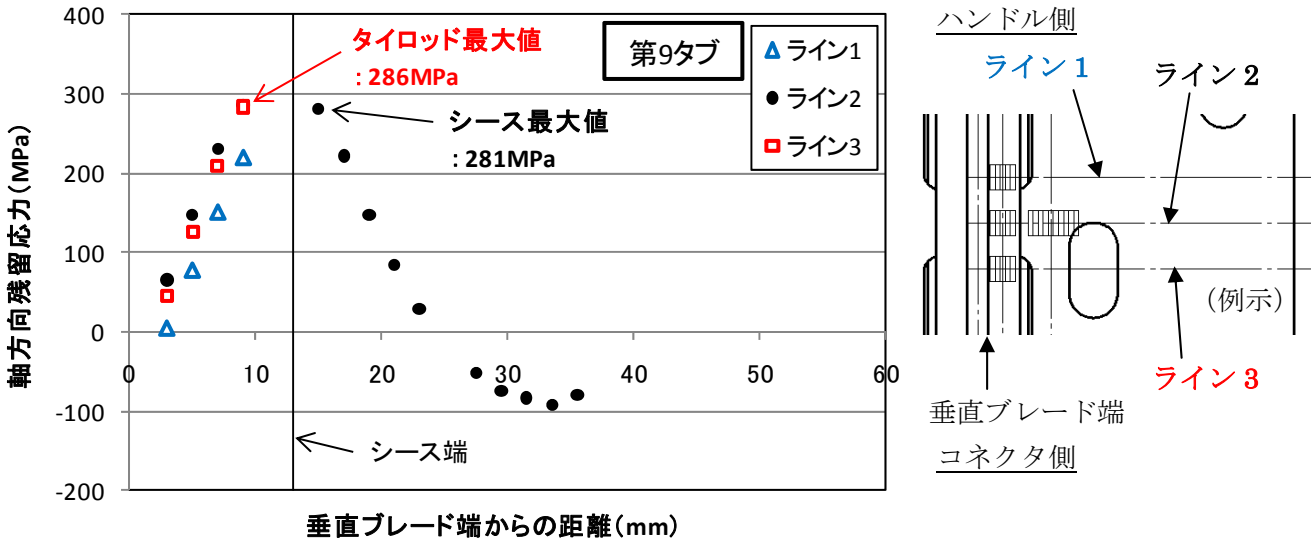


図２－７　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接 2 体目　第 9 タブ）

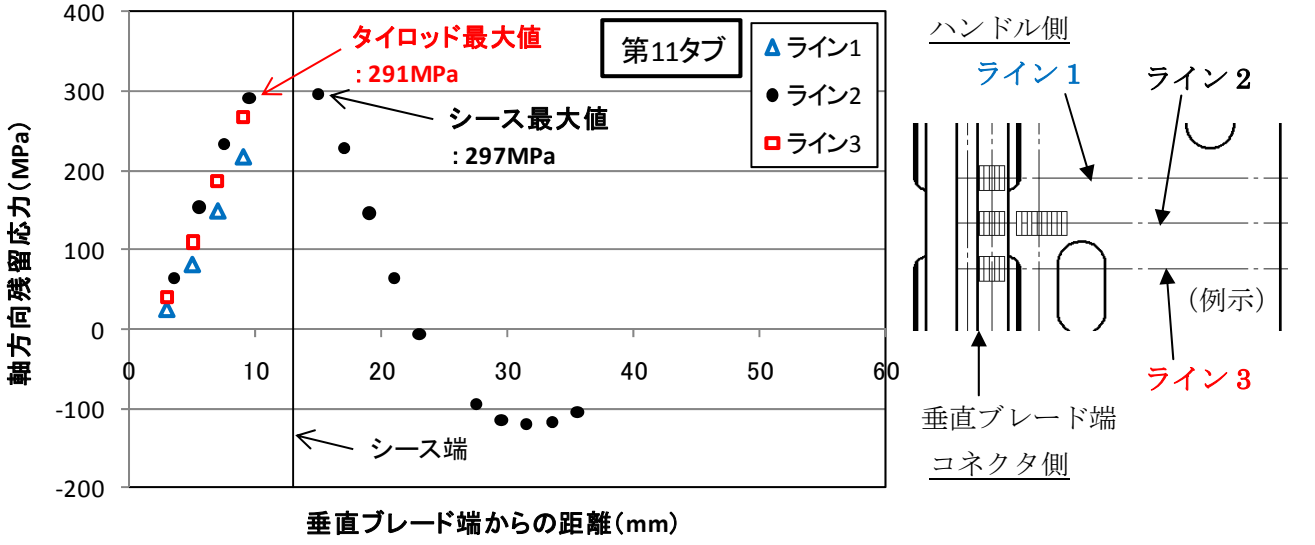


図２－８　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接 2 体目　第 11 タブ）

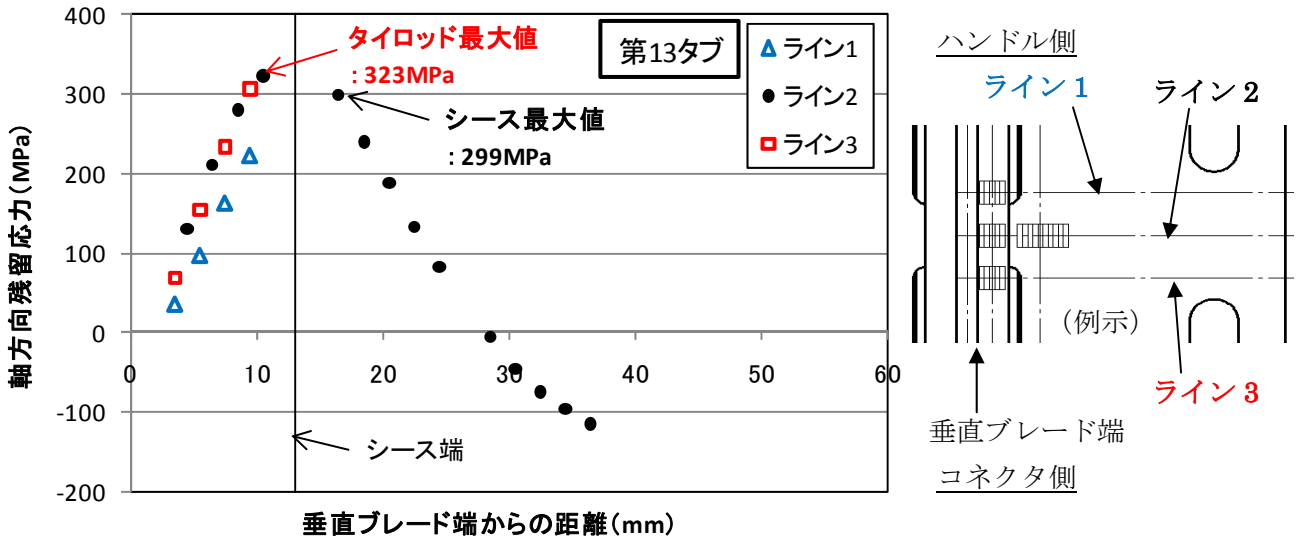


図２－９　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（TIG 溶接 2 体目　第 13 タブ）

３．軸方向残留応力測定結果（レーザ溶接）

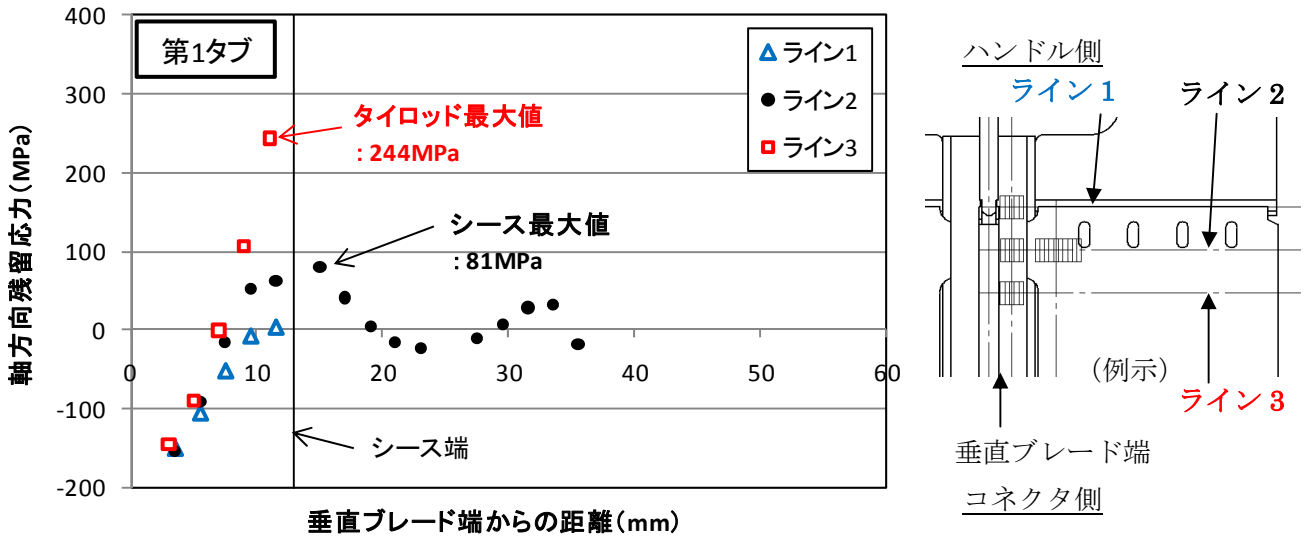


図３－１　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第１タブ）

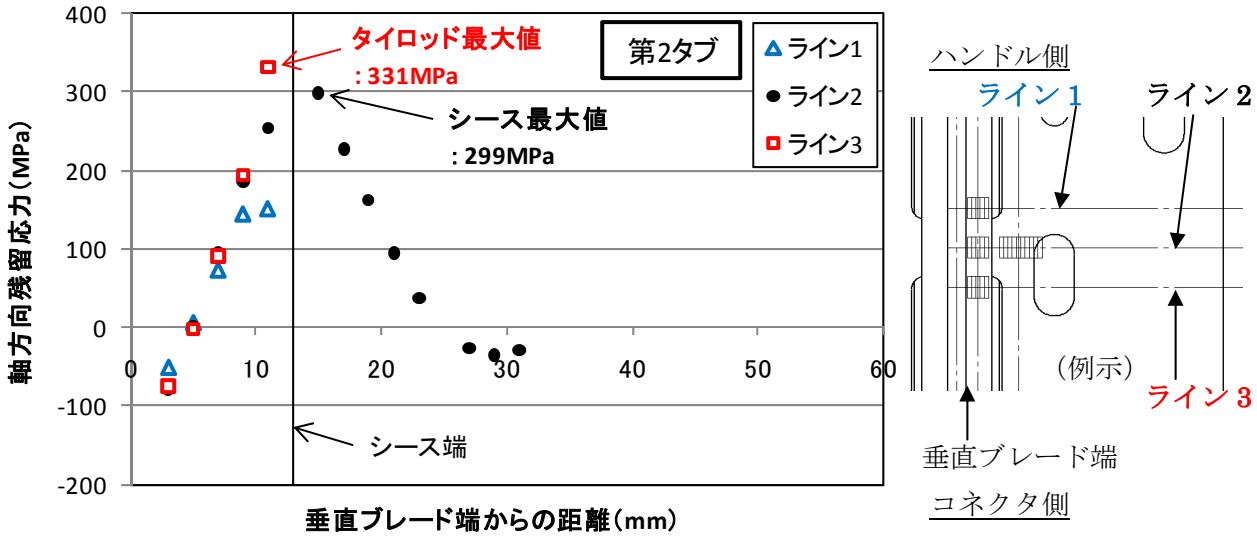


図３－２　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第２タブ）

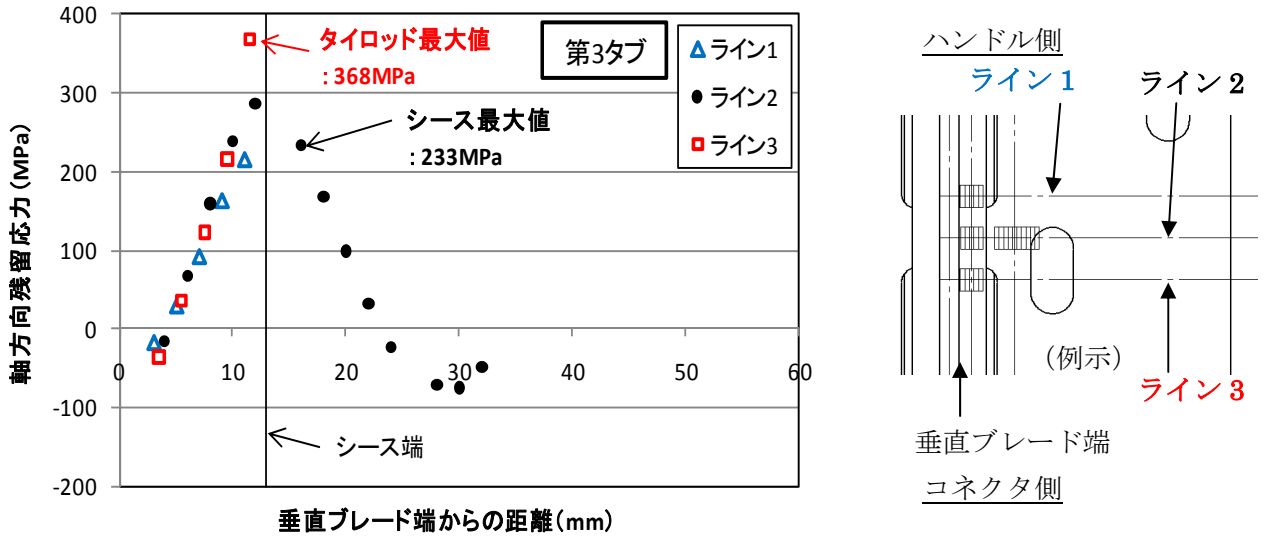


図３－３　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第３タブ）

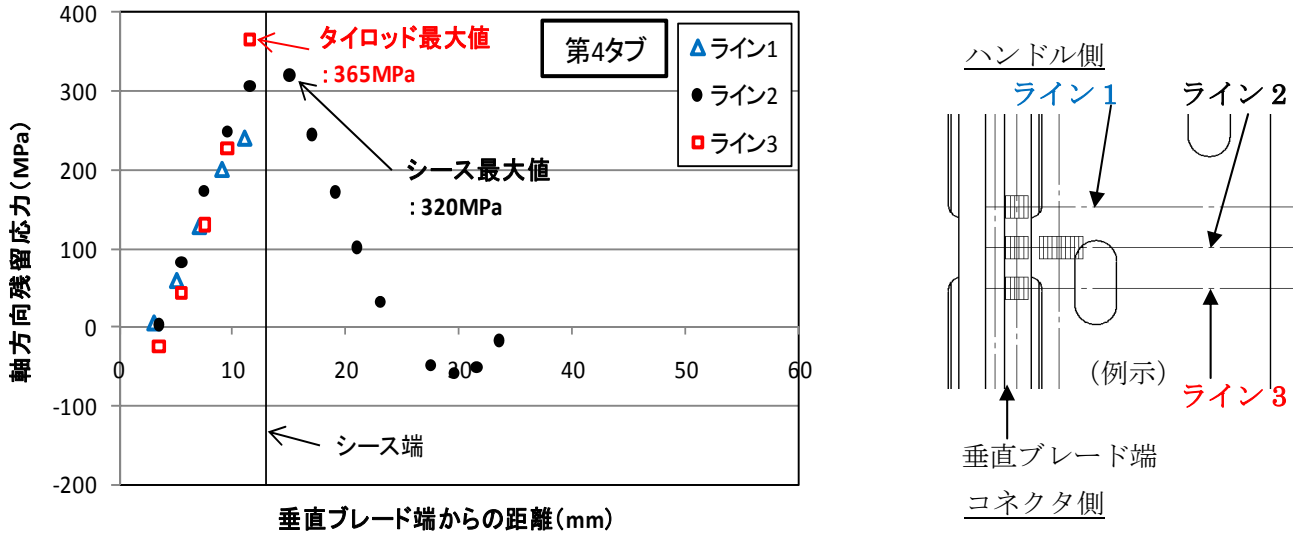


図３－４　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第４タブ）

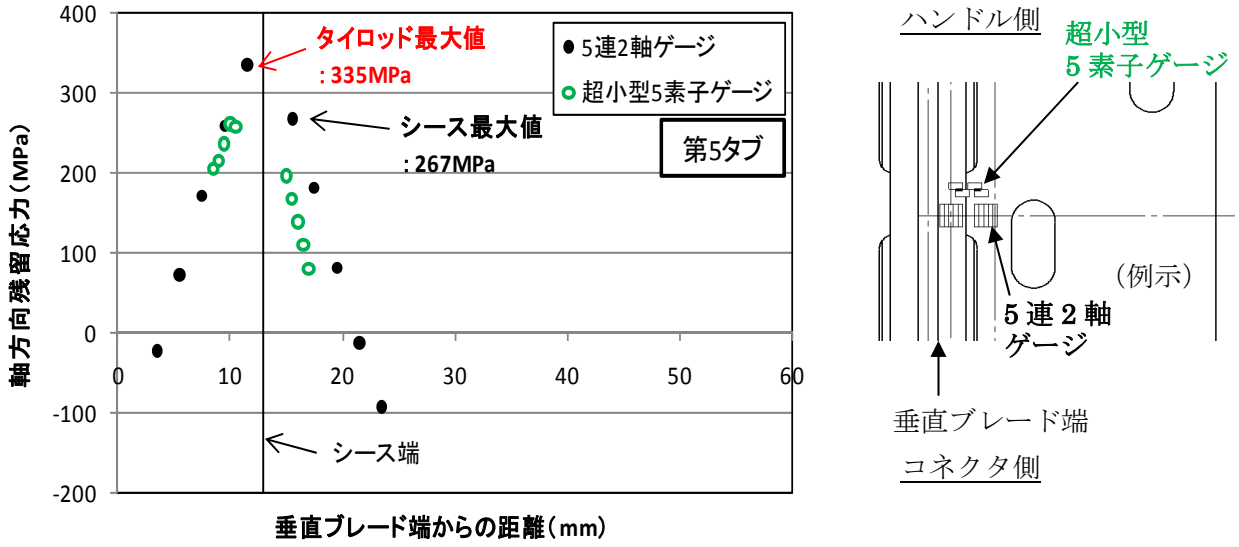


図３－５　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第５タブ　超小型５素子ゲージ）

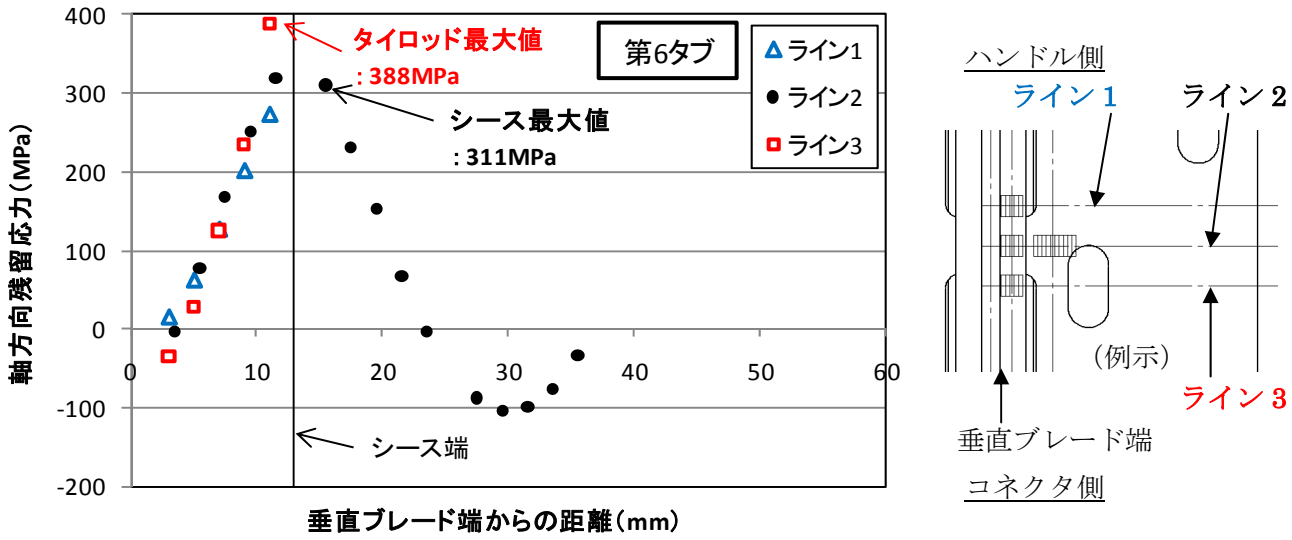


図３－６　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第６タブ）

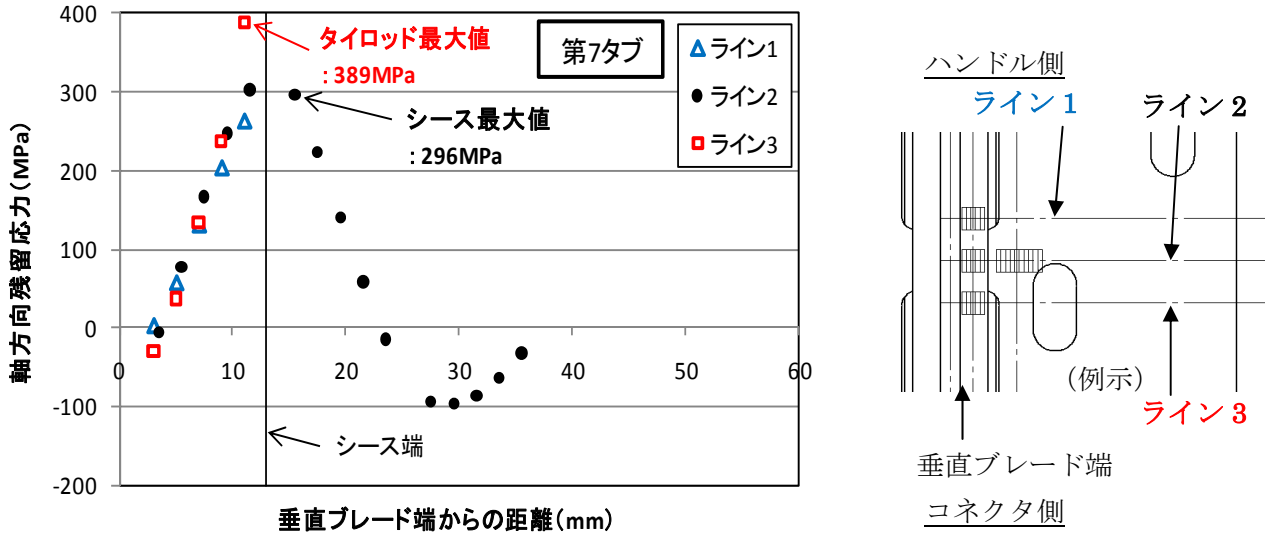


図３－７　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第７タブ）

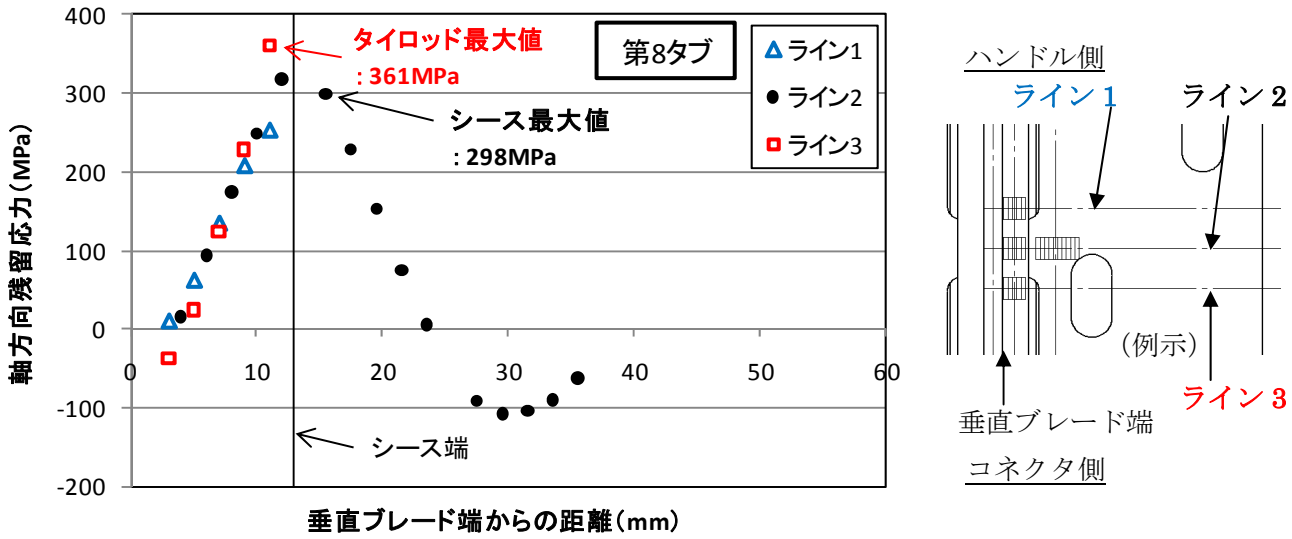


図３－８　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第８タブ）

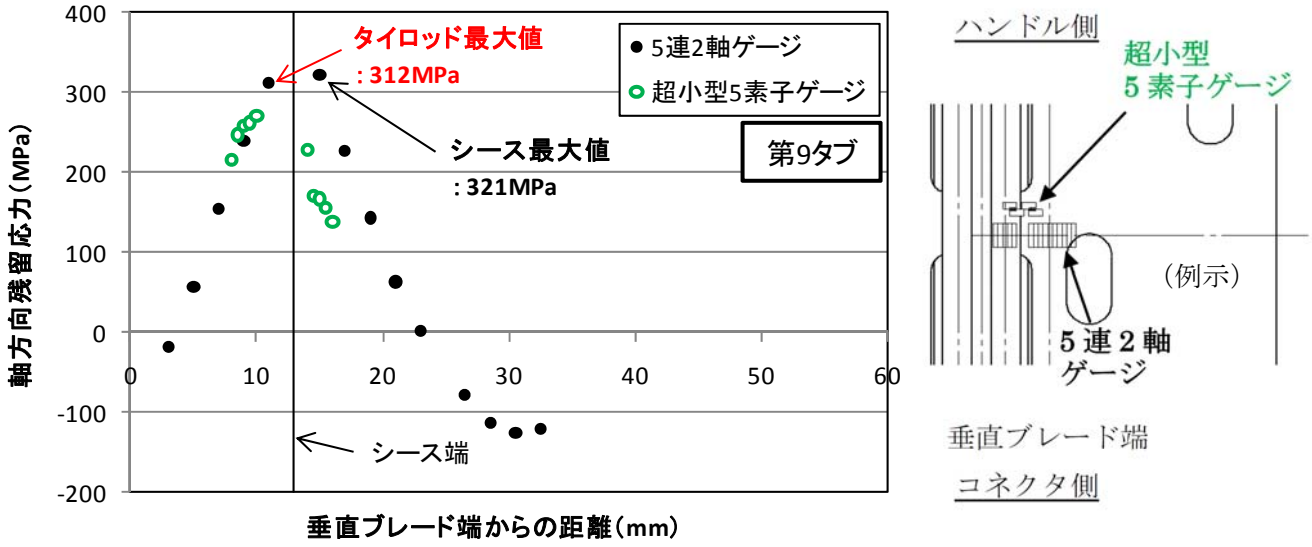


図３－９　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第９タブ　超小型５素子ゲージ）

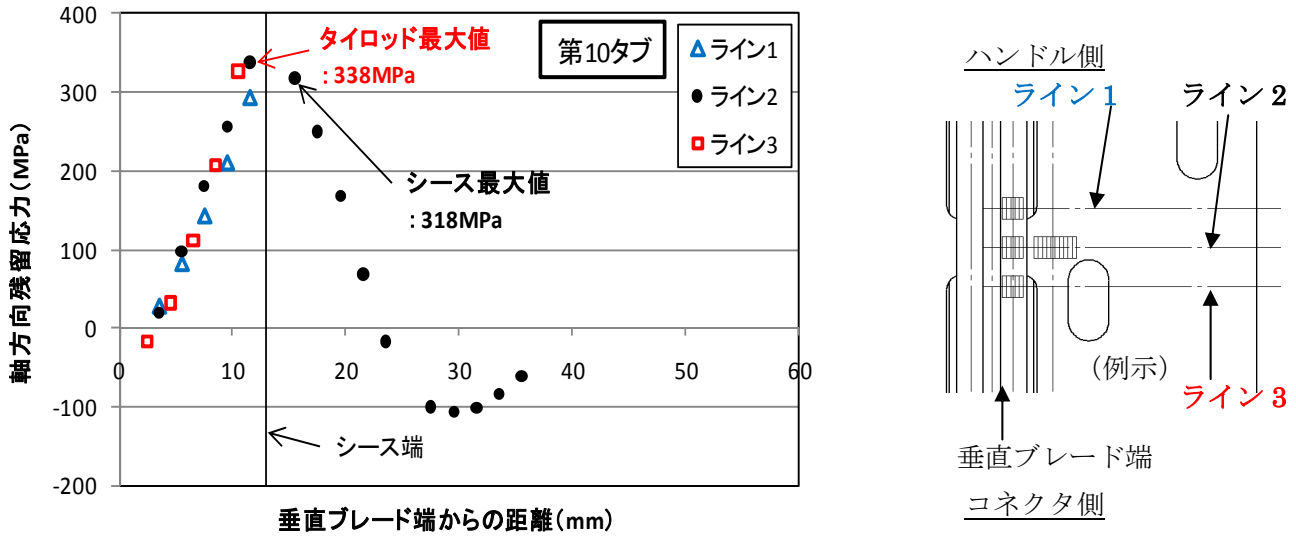


図３－１０　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第 10 タブ）

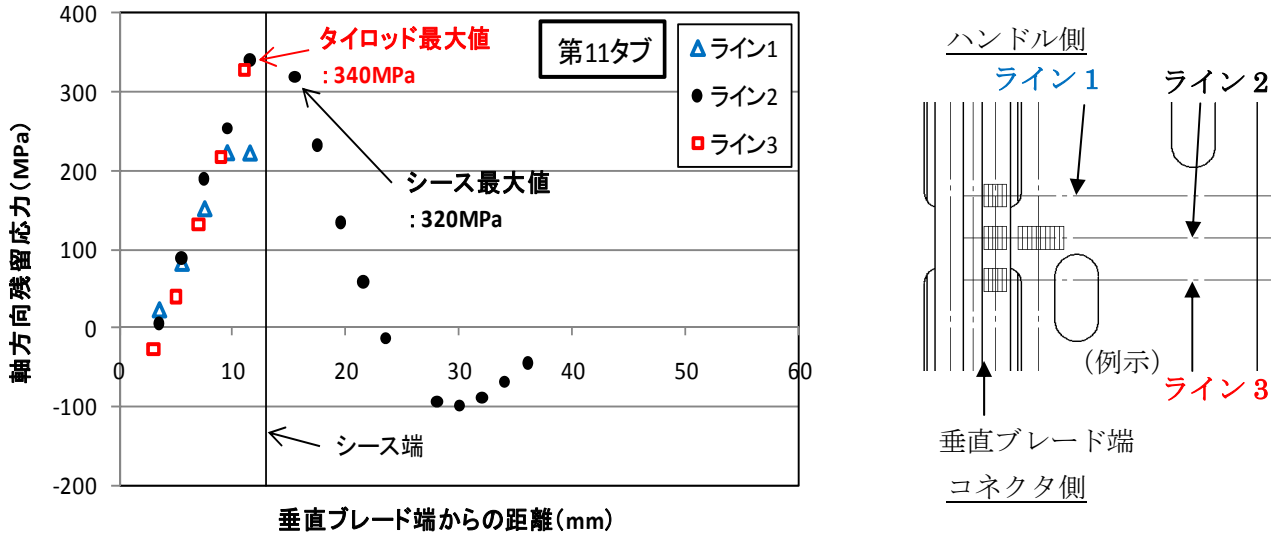


図３－１１　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第 11 タブ）

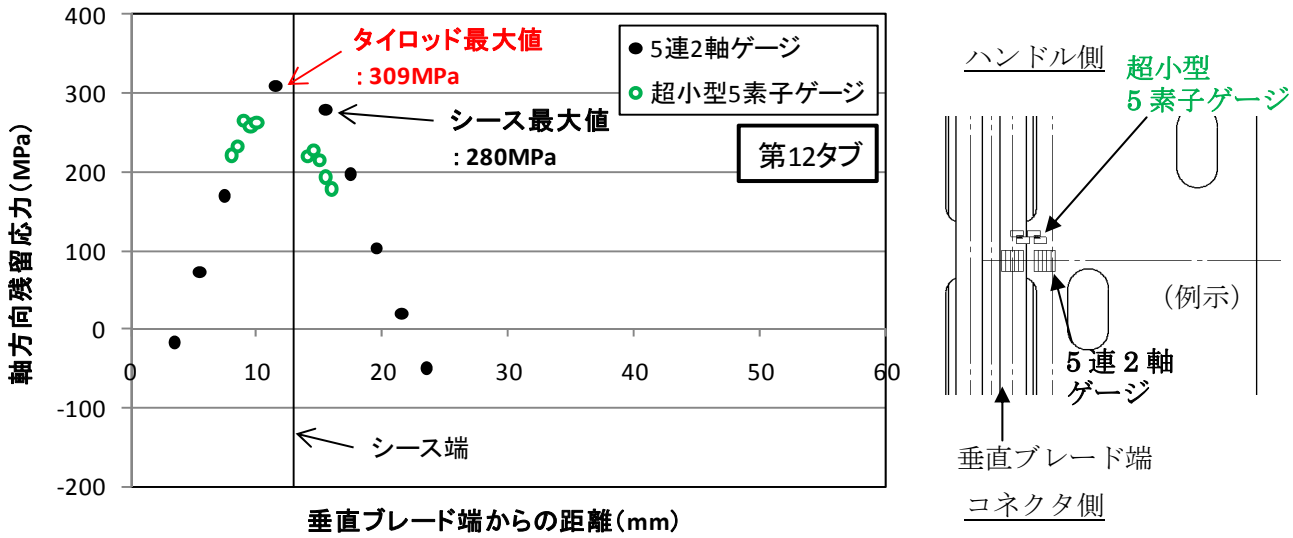


図３－１２　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第 12 タブ　超小型 5 素子ゲージ）

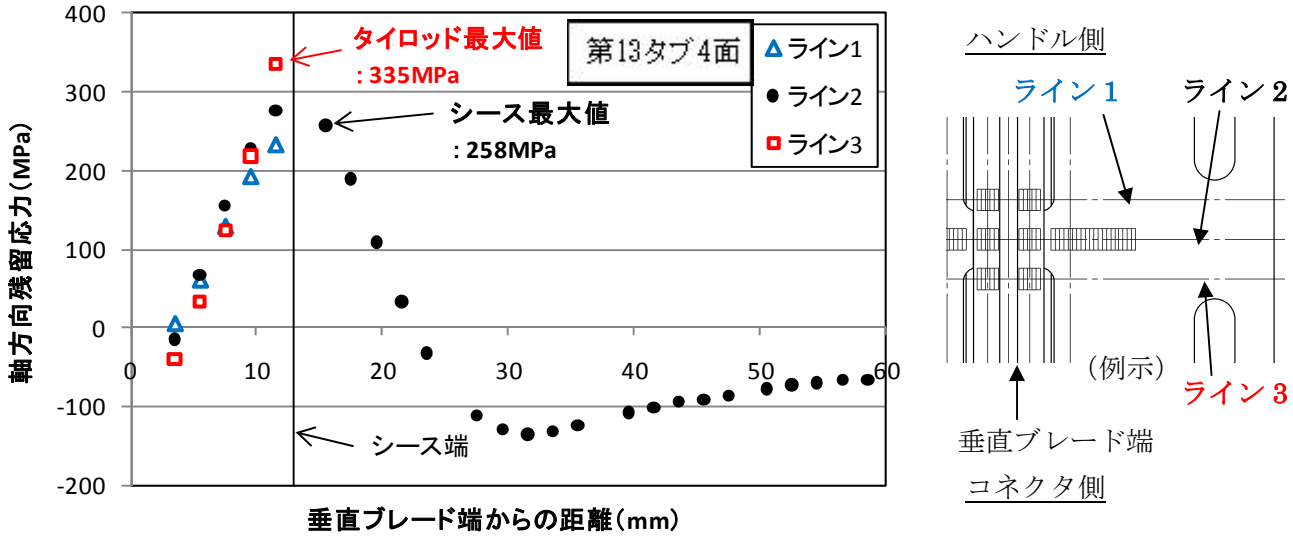


図３－１３　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第 13 タブ 4 面（他の測定点と同一面））

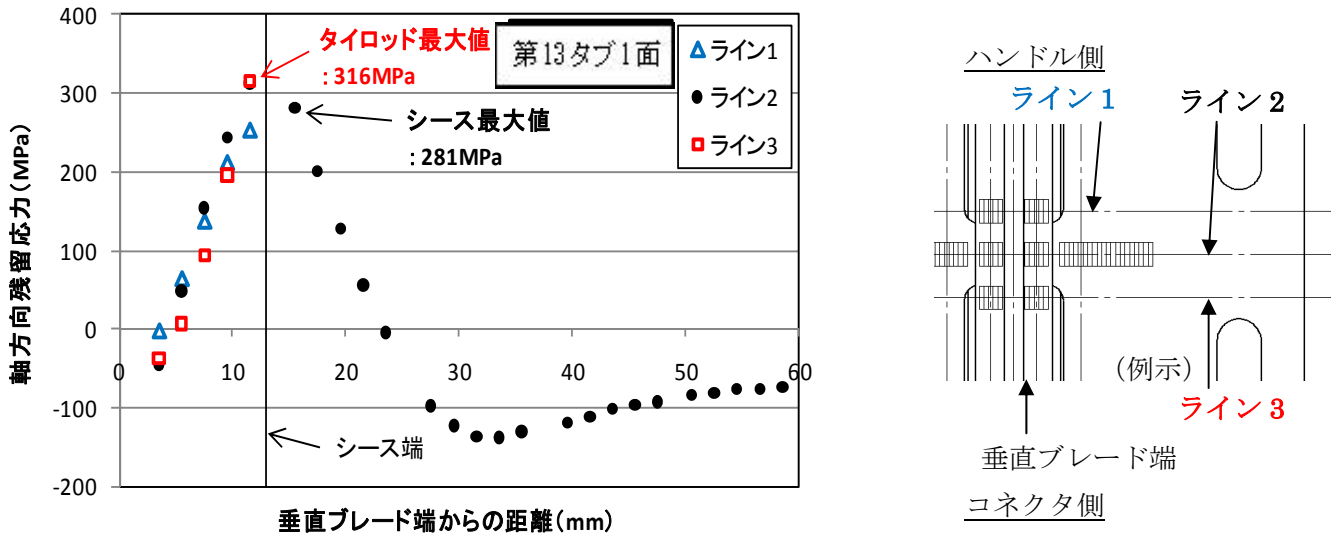


図３－１４　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第 13 タブ 1 面（他の測定点と異なる面））

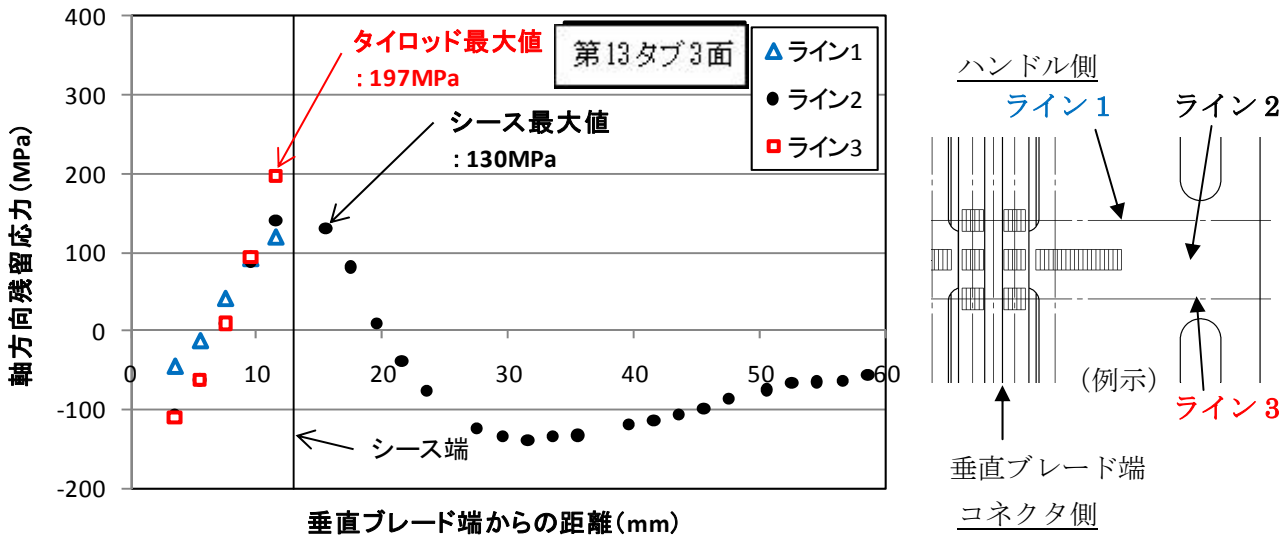


図３－１５　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第 13 タブ 3 面（他の測定点と異なる面））

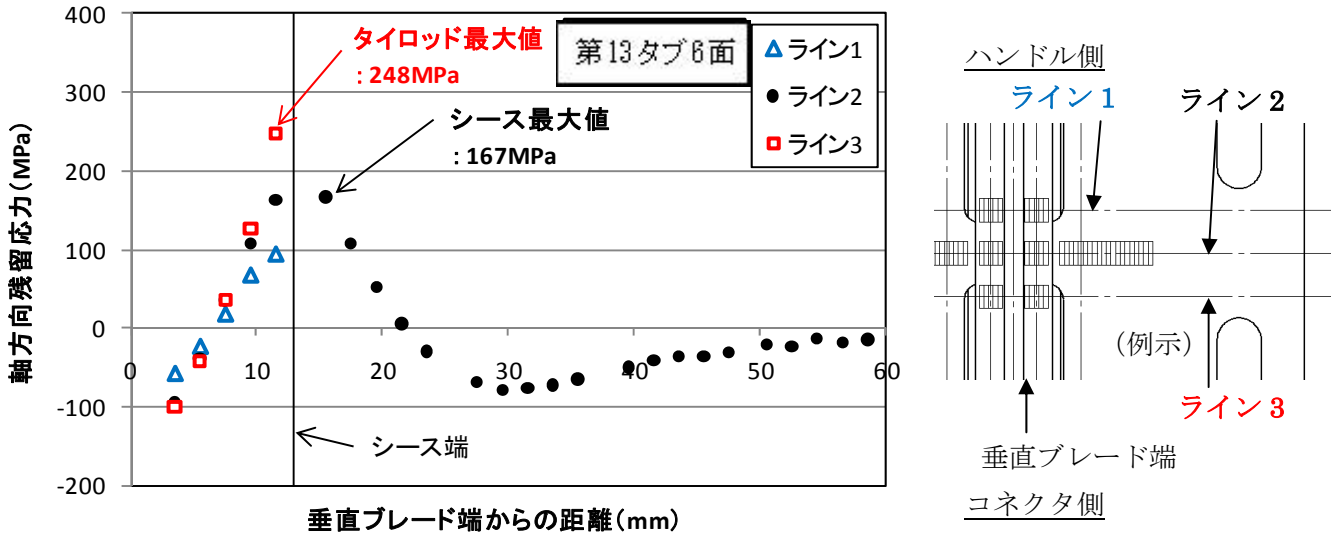


図３－１６　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第 13 タブ 6 面（他の測定点と異なる面））

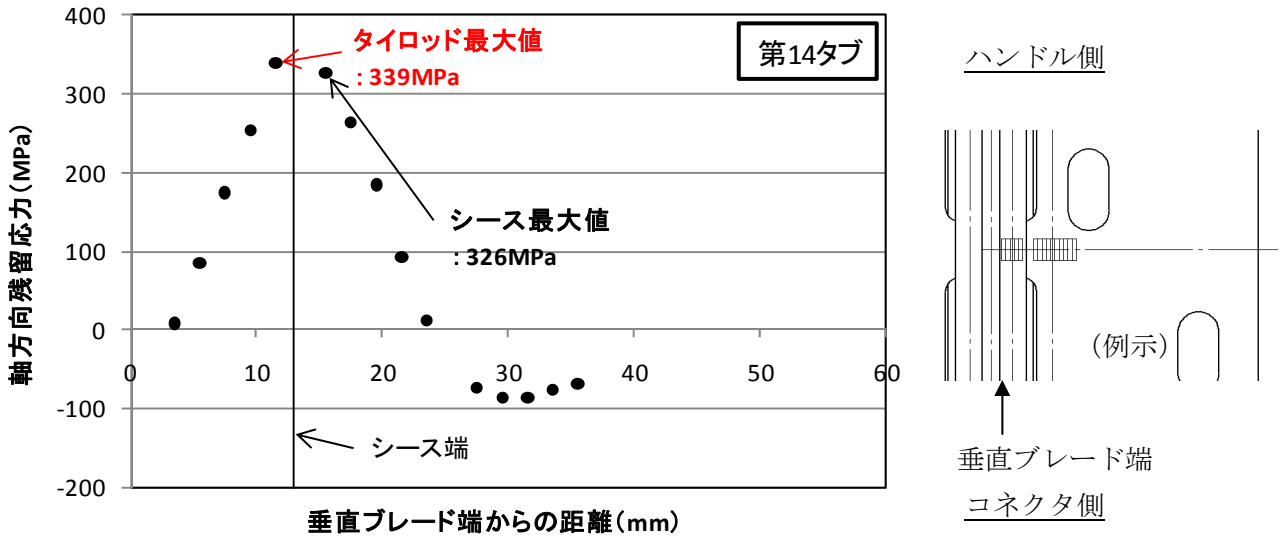


図３－１７　タブ溶接部の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第 14 タブ）

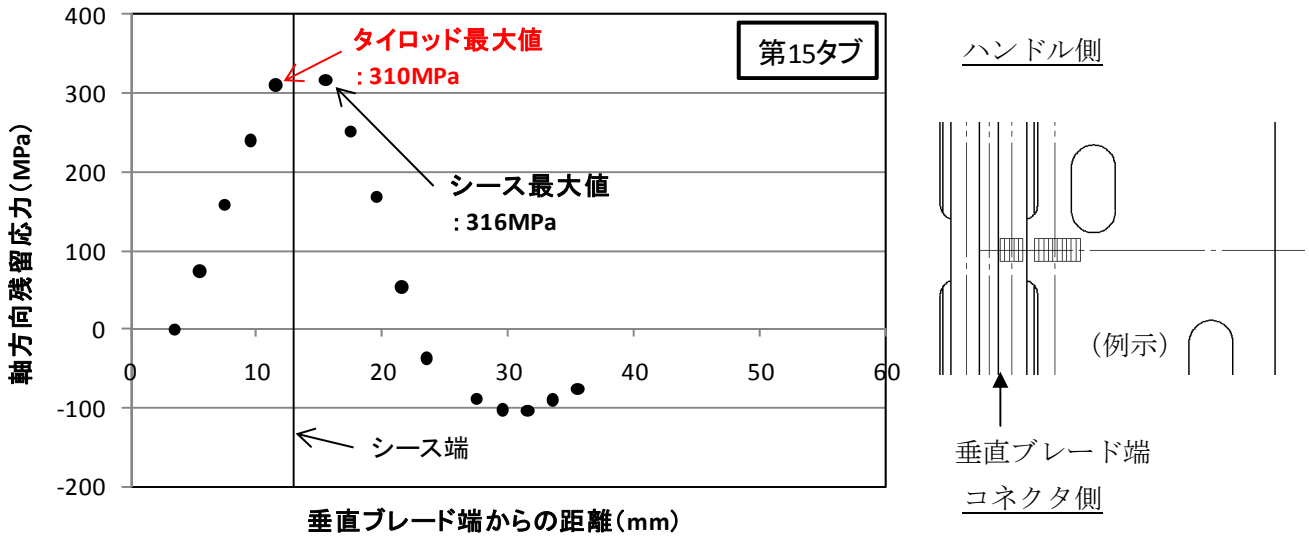


図３－１８　タブ溶接部の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第 15 タブ）

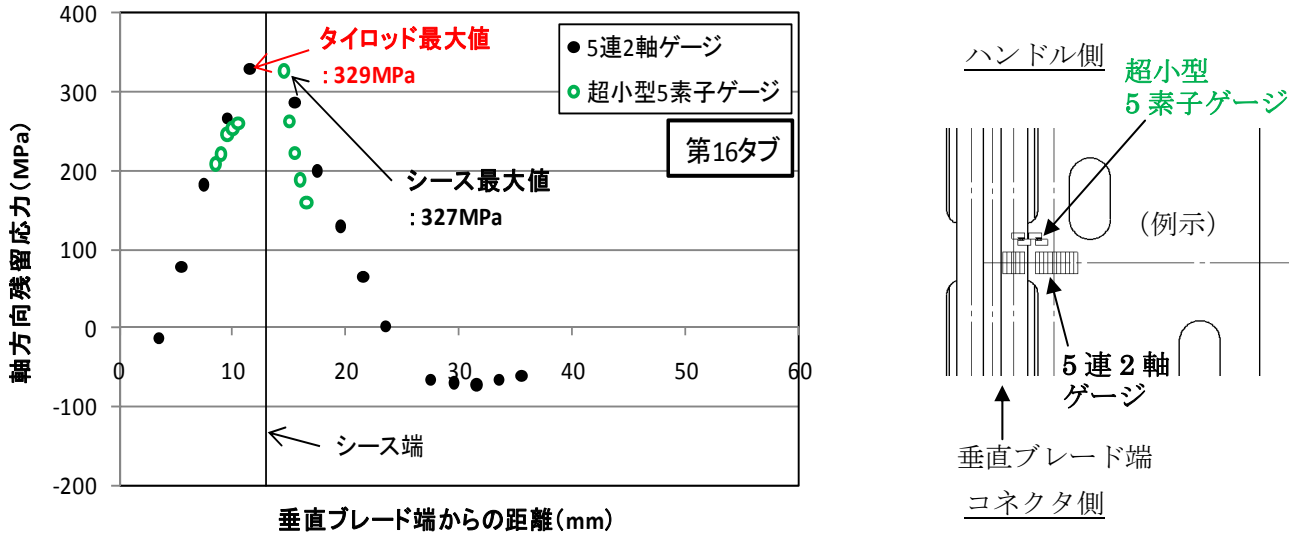


図３－１９　タブ溶接部近傍の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第 16 タブ　超小型 5 素子ゲージ）

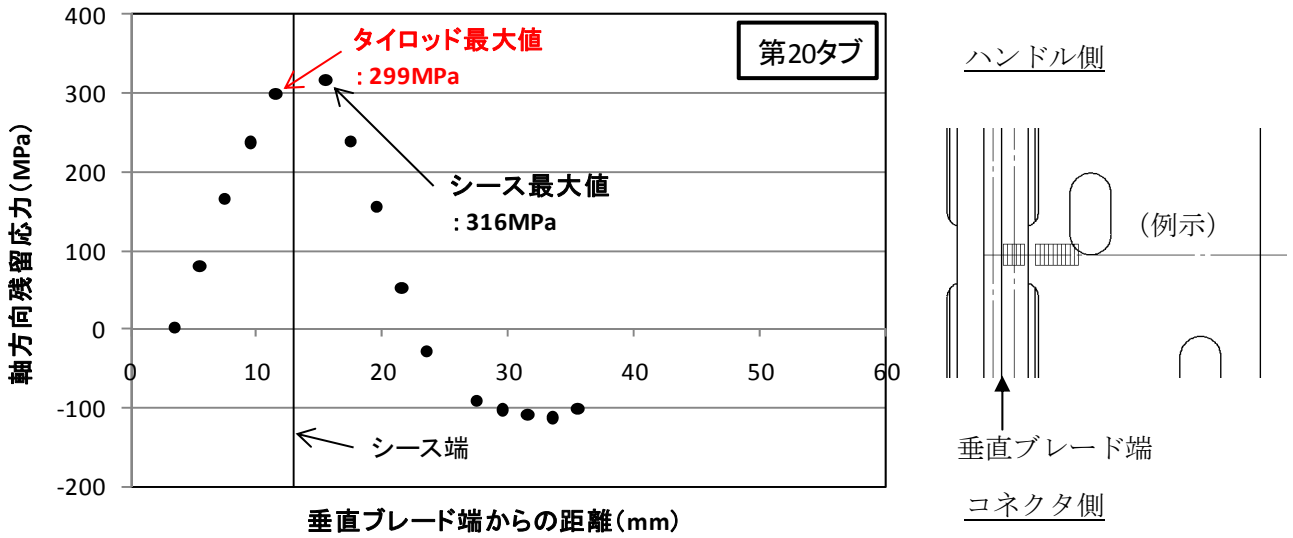


図３－２０　タブ溶接部の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第 20 タブ）

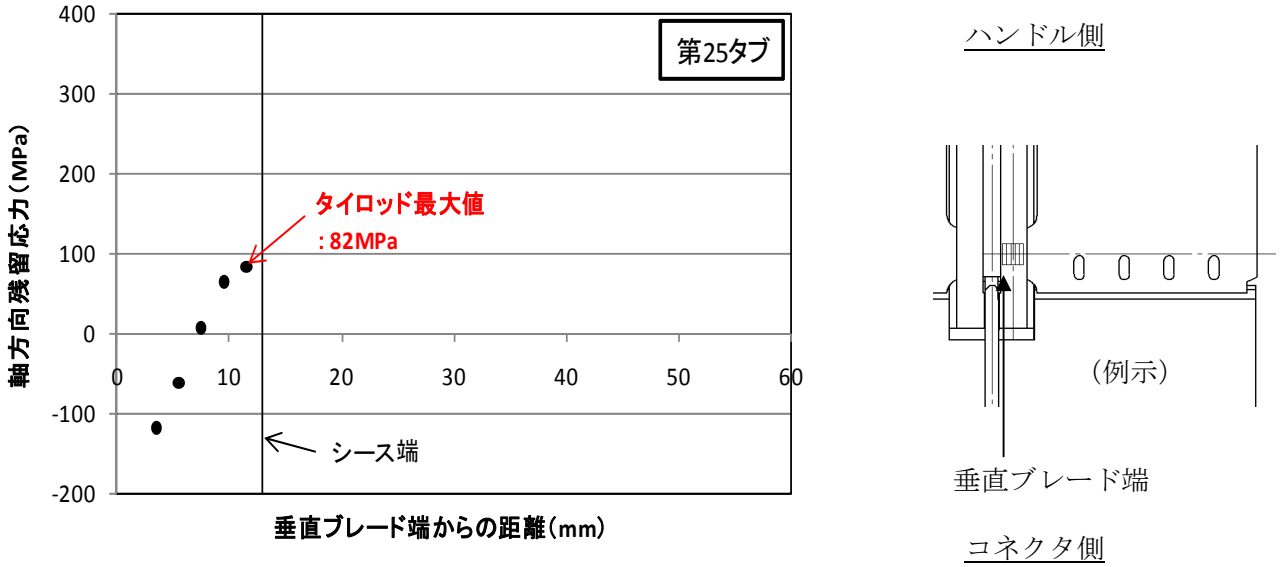


図３－２１　タブ溶接部の軸方向残留応力の制御棒水平方向分布
（レーザ溶接　第 25 タブ）