

柏崎刈羽原子力発電所 5 号機

定期検査中における制御棒 1 本の予期せぬ動作について

平成 2 8 年 4 月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

| | |
|-------------------|-----|
| 1. 件名 | 1 |
| 2. 事象発生の日時 | 1 |
| 3. 事象発生が発電用原子炉施設名 | 1 |
| 4. 事象発生時の運転状況 | 1 |
| 5. 事象の概要 | 1 |
| 6. 事象発生時の状況等 | 2 |
| 7. 原因調査結果 | 3 |
| 8. 調査結果に基づく推定原因 | 1 1 |
| 9. 事象発生メカニズムの推定 | 1 2 |
| 10. 再発防止対策 | 1 3 |
| 添付資料 | 1 4 |

1. 件名

柏崎刈羽原子力発電所 5号機
定期検査中における制御棒1本の予期せぬ動作について

2. 事象発生の日時

平成28年3月8日 15時23分
(操作していない制御棒の挿入動作と判断)

3. 事象発生の発電用原子炉施設名

計測制御系統設備 制御材駆動装置 制御棒駆動機構

4. 事象発生時の運転状況

第13回定期検査中

5. 事象の概要

柏崎刈羽原子力発電所5号機は第13回定期検査中のところ、平成28年3月8日14時08分、制御棒駆動水圧系水圧制御ユニット(以下、「HCU」という。)の復旧作業中に中央制御室において「制御棒ドリフト」警報が発生した。

中央制御室運転員は、炉内に全燃料が装荷されている状態であったため、直ちに中性子源領域モニタ(SRM)の指示に変動がないことを確認するとともに、「全挿入・全引抜・ドリフト表示」を確認したところ、185本ある制御棒のうちの1本(30-55)に「全挿入」及び「ドリフト」ランプが点灯していること、制御棒位置表示器の指示が直前の定時確認時の状態である全挿入位置「00」ポジションであることを確認した。

また、警報発生時に現場運転員が当該制御棒(30-55)のHCU復旧操作中であったことから、運転管理部長は、HCU復旧操作に伴い当該制御棒が実際に全挿入位置「00」ポジションより更に挿入側に動作したものと判断し、同日15時23分に、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第134条第13号の「全挿入位置にある制御棒であって挿入若しくは引抜きの操作を現に行っていないものが全挿入位置を超えて更に挿入される方向に動作したとき。ただし、燃料体が炉心に装荷されていないときを除く。」に該当すると判断した。

なお、制御棒が引抜けるためには、制御棒駆動水圧系の引抜き側に駆動水圧力(0.59MPa)がかかり、制御棒の位置を保持するラッチが開放される必要があるが、当該圧力への到達を防止するため、事象発生時、制御棒駆動水圧系リターン運転[※]を実施するとともに、駆動水差圧調整弁を全開状態としており、制御棒が予期せず引き抜ける可能性はなかった。

また、本事象による外部への放射能の影響はなかった。

※リターン運転：原子炉停止時に全てのHCUを隔離する場合、隔離操作に先立ち、HCUを通さずに制御棒駆動水を原子炉へ流す運転。これにより、HCUの挿入及び引抜き配管への過剰な圧力上昇を防止している。

(添付資料－1～5)

6. 事象発生時の状況等

原因調査に先立ち、事象発生までの作業状況、事象発生時の作業状況、事象発生時の制御棒駆動水圧系の状態を確認した結果、以下のとおりであった。

6-1. 事象発生までの作業状況

- (1) 平成28年2月15日から2月19日、保全部員はHCUのN₂圧力計の点検が終了したためHCUアキュムレータにN₂ガスを封入した。
- (2) 2月22日、現場運転員はアキュムレータに充填水の水張りを実施した。
- (3) 2月22日から2月24日、中央制御室運転員及び現場運転員は制御棒駆動水圧系の全てのHCU（全185体）について蓄圧開放操作を実施した。
- (4) 2月24日、現場運転員が蓄圧開放操作中に、HCU（18-35）のスクラム入口弁〔126弁〕ボンネットフランジ部からの水の漏えいを発見した。
- (5) 2月29日、現場運転員はHCU（18-35）スクラム入口弁〔126弁〕ボンネットフランジ部からのリーク発生に伴う不適合対応の水平展開の対象であったHCU（30-55）について、ボンネットフランジ部の面間測定及び規定トルクでの締め付けを実施するために充填水入口弁〔113弁〕を「全開」から「全閉」とした。
- (6) 3月7日、保全部員はHCU（30-55）スクラム入口弁〔126弁〕ボンネットフランジ部の面間測定及び規定トルクでの締め付けを実施した。
- (7) 3月7日、現場運転員は185体中95体のHCU復旧操作を実施した。

(添付資料－1)

6-2. 事象発生時の作業状況

- (1) 3月8日、現場運転員は、3月7日に復旧操作した残り185体中90体のHCUの復旧作業として、同日14時07分、HCU（30-55）の復旧操作を開始した。
- (2) 同日14時08分、中央制御室に「制御棒ドリフト」警報が発生した。中央制御室運転員は、炉内に全燃料が装荷されている状態であったため、直ちに中央制御室制御盤の中性子源領域モニタ（SRM）の指示に変化がないことを確認するとともに、「全挿入・全引抜・ドリフト表示」を確認し、185本ある制御棒のうちの1本（30-55）に「全挿入」及び「ドリフト」ランプが点灯していることを確認した。

また、他の制御棒184本については「全挿入」ランプのみ点灯していることを確認した。

(3) 14時09分、中央制御室運転員は、制御棒(30-55)の位置確認のためドリフトリセット操作を行い、中央制御室制御盤の「ドリフト」ランプが消灯すること、及び「制御棒ドリフト」警報の復帰を確認した。その後、制御棒位置表示器が直前の定時確認時の状態である全挿入位置「00」ポジションであることを確認した。

(4) 原子炉手動操作系(RMCS)、制御棒位置指示系(RPIS)の故障を示す警報は発生していないこと、RMCS/RPIS盤の故障で特定の制御棒のみドリフトを発生させる不具合は考え難いこと、警報発生時に現場運転員が当該制御棒のHCU復旧操作中であったことから、運転管理部長は、「制御棒ドリフト」警報が発生した原因は、HCU復旧操作に伴い当該制御棒が実際に全挿入位置「00」ポジションより更に挿入側に動作したためと判断した。

(添付資料-1)

6-3. 事象発生時の制御棒駆動水圧系の状態

事象発生時の制御棒駆動水圧系の状態は以下のとおりであった。

・制御棒駆動水圧系リターン運転中

・原子炉水頭圧 : 0.2 MPa
(原子炉水位とHCU間での水頭差圧)

・制御棒充填水ヘッド圧力 : 13.1 MPa

・原子炉・制御棒駆動水ヘッド間差圧 : 0.2 MPa

・原子炉・制御棒冷却水ヘッド間差圧 : 0.02 MPa

・排水ヘッド圧力 : 0.02 MPa
(排水ヘッドは、冷却水ヘッドに接続されているため、原子炉・制御棒冷却水ヘッド間差圧と同じ)

(添付資料-5)

7. 原因調査結果

事象発生まで及び発生時の状況を踏まえ、要因分析表をもとに今回の事象の原因となりうる加圧源の調査及びエア混入の可能性について、「HCU構成機器の異常」「制御棒駆動機構(以下、「CRD」という。)系統の異常」「HCU復旧操作の誤り」の観点から以下のとおり調査を実施した。

その結果、CRD系統の異常及びHCU復旧操作の誤りは、今回の要因ではなく、スクラム入口弁[126弁]がシートリークしていた可能性があったこと、HCUの構造上、駆動水挿入配管隔離弁[101弁]垂直配管内にエアが残留すること、スクラム入口弁[126弁]がシートリークしていた場合は、駆動水挿入配管隔離弁[101弁]前に残留したエアが蓄圧される可能性があり、現状のHCU蓄圧開放手順では、一度蓄圧を開放した後においても、時間が経過すると再度蓄圧される可能性があることがわかった。

7-1. HCU構成機器の異常

(1) スクラム弁の異常

スクラム弁 [126弁、127弁] の異常により制御棒が挿入動作する可能性について、以下のとおり調査した結果、スクラム入口弁 [126弁] がシートリークしていた場合、制御棒駆動水圧系の挿入側配管のうち、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] 前まで蓄圧されることで制御棒が挿入動作する可能性があることがわかった。

a. スクラム入口弁 [126弁] 異常

【推定要因】

アキュムレータが充填された状態でスクラム入口弁 [126弁] がシートリークしていた場合、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] の開操作により充填水圧力が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

平成28年3月14日にスクラム入口弁 [126弁] (30-55) の漏えい確認を行った結果、シートリークは確認されなかった。

一方、2月24日に発見されたスクラム入口弁 [126弁] (18-35) のボンネットフランジ部からのリークの原因が、ボンネットフランジの片締めだったことを踏まえると、ボンネットフランジの片締めが大きかったスクラム入口弁 [126弁] (30-55) もシートリークする可能性があることがわかった。

スクラム入口弁 [126弁] (30-55) の点検後に実施した弁の開閉（平成25年2月5日以降）によりシート状態が変化したためシートリークが発生したが、3月7日に実施したボンネットフランジの増し締めによりシート状態が改善されたため、漏えい確認を行った際にはシートリークが確認されなかったものと推定される。

また、3月18日にスクラム入口弁 [126弁] の分解点検を実施したところ明らかな漏えいの痕跡は確認されなかったが、ボンネットフランジ部の片締めによる面間寸法の開きが大きい方向（約200°方向）に水滴及び変色が認められたため、漏えいの可能性は否定できないと考える。

(添付資料-6 添付-1-1~3)

b. スクラム出口弁 [127弁] 異常

【推定要因】

スクラム出口弁 [127弁] がシートリークしており、駆動水引抜配管隔離弁 [102弁] が開状態の場合、CRDピストン上部が減圧されCRDピストン下部に原子炉の水頭圧が加わることで制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

事象発生時の原子炉の水頭差圧は0.2 MPaであり、制御棒の押し上げに必要な差圧（約0.4 MPa）を下回ることから、今回の事象の要因とはならない。

（添付資料－6 添付－2 図1）

c. アクムレータ異常

【推定要因】

アクムレータのピストンリングからN₂が充填水側にシートリークし、さらにスクラム入口弁〔126弁〕がシートリークしていた場合、駆動水挿入配管隔離弁〔101弁〕の開操作により充填水圧力が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

アクムレータのピストンリングからのN₂漏えい対策として、アクムレータに充填水をチャージする直前までHCUシリンダドレン弁〔107弁〕を開の状態に保持し、充填水ライン（スクラム入口弁〔126弁〕～HCUシリンダドレン弁〔107弁〕間）を大気開放とする手順としていたことから、万一N₂がリークしても配管内に滞留しないため、今回の事象の要因とはならない。

（添付資料－6）

d. アクムレータ圧力計異常

【推定要因】

アクムレータ圧力計の不具合により指示している圧力値よりも高い圧力でN₂チャージしたことにより、アクムレータのピストンリングからN₂が充填水側にシートリークし、さらにスクラム入口弁〔126弁〕がシートリークしていた場合、駆動水挿入配管隔離弁〔101弁〕の開操作により、充填水が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

アクムレータ圧力計の点検記録（平成27年10月13日実施）を確認したところ、計器精度内であり健全であることが確認されたことから、今回の事象の要因とはならない。

（添付資料－6 添付－3）

(2) 方向制御弁の異常

方向制御弁の異常により制御棒が挿入動作する可能性について、以下のとおり調査した結果、方向制御弁のシートリークや不動作等により制御棒が挿入動作する可能性は確認されなかった。したがって、方向制御弁の異常は、今回の

事象の要因とはならない。

a. 引抜側方向制御弁 [120弁] 異常

【推定要因】

駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] と排水隔離弁 [105弁] が開状態で引抜側方向制御弁 [120弁] がシートリークし、さらにオリフィス付逆止弁を経由して冷却水が逆流した場合、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

また、蓄圧開放操作時、引抜側方向制御弁 [120弁] が開動作せず、圧力が開放されない場合、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] の開操作により制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

仮に上記の状況であっても事象発生時の冷却水差圧は0.02MPaであり、制御棒の押し上げに必要な差圧（約0.4MPa）を下回ることから、今回の事象の要因とはならない。

また、引抜側方向制御弁 [120弁] の動作確認を行った結果、正常に動作することが確認できたことから、今回の事象の要因とはならない。

（添付資料－6 添付－1－4、添付－2 図2）

b. 挿入側方向制御弁 [121弁] 異常

【推定要因】

駆動水引抜配管隔離弁 [102弁] と排水隔離弁 [105弁] が開状態で挿入側方向制御弁 [121弁] がシートリークし、排水ヘッダ圧力が原子炉圧力より低い場合、CRDピストン上部が減圧されCRDピストン下部に原子炉の水頭圧が加わることで制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

仮に上記の状況であっても事象発生時の原子炉の水頭圧は0.2MPaであり、制御棒の押し上げに必要な差圧（約0.4MPa）を下回ることから、今回の事象の要因とはならない。

（添付資料－6 添付－2 図3）

c. 引抜側方向制御弁 [122弁] 異常

駆動水引抜配管隔離弁 [102弁] と駆動水隔離弁 [103弁] が開状態で引抜側方向制御弁 [122弁] がシートリークしていた場合、駆動水差圧が制御棒を下げる方向（引抜側）に作用するが、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用しないことから、今回の事象の要因とはならない。

（添付資料－6）

d. 挿入側方向制御弁 [1 2 3 弁] 異常

【推定要因】

駆動水挿入配管隔離弁 [1 0 1 弁] と駆動水隔離弁 [1 0 3 弁] が開状態で挿入側方向制御弁 [1 2 3 弁] がシートリークしていた場合、駆動水差圧が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

仮に上記の状況であっても事象発生時、駆動水差圧は0. 2 MP a 程度に調整されており、制御棒の押し上げに必要な差圧（約0. 4 MP a）を下回ることから、今回の事象の要因とはならない。

（添付資料－6 添付－2 図4）

(3) HCU配管内の異常

HCU配管内の蓄圧により制御棒が挿入動作する可能性について、以下のとおり調査した結果、HCUの構造上、駆動水挿入配管隔離弁 [1 0 1 弁] 垂直配管内にエアが残留すること、スクラム入口弁 [1 2 6 弁] がシートリークしていた場合は、残留エアが蓄圧され、その蓄圧された残留エアにより制御棒が挿入動作する可能性があることを確認した。

【推定要因】

HCU内部配管（挿入側配管）にエア等が存在し、圧縮された状態で隔離されていた場合、駆動水挿入配管隔離弁 [1 0 1 弁] の開操作によりエア等の蓄圧が開放されることで、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

HCU配管内のエアについてはHCUの設備点検に伴う復旧操作の過程で、配管内のエアを排出ヘッダ側へ押し出すことで水張りを行っているが、HCU内の駆動水挿入配管隔離弁 [1 0 1 弁] 垂直配管内のエアは押し出すことができない構造となっているためエアが残留していた。

また、今定期検査期間中においては、HCUの設備点検後に駆動水挿入配管隔離弁 [1 0 1 弁] を開操作した実績はなかった。

なお、スクラム入口弁 [1 2 6 弁] にシートリークが発生していた場合は、残留エアが蓄圧され、その蓄圧された残留エアが制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用する可能性があることがわかった。

（添付資料－6 添付－4）

(4) スクラムパイロット弁の異常

スクラムパイロット弁 [1 3 9 弁] の異常により制御棒が挿入動作する可能性について、以下のとおり調査した結果、制御棒が挿入動作する可能性は確認されなかった。したがって、スクラムパイロット弁の異常は、今回の事象の要

因とはならない。

【推定要因】

スクラムパイロット弁 [139弁] が開し、スクラム出入口弁 [126弁、127弁] が開状態となった場合、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] の開操作によりアキュムレータの圧力がスクラム入口弁 [126弁] を経由して制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

事象発生後、スクラム出入口弁 [126弁、127弁] は閉であったことを中央制御室運転員が全制御棒炉心表示ユニットにて確認していることから、今回の事象の要因とはならない。

(添付資料－6)

(5) スクラムパイロット弁駆動用空気配管等の異常

スクラムパイロット弁駆動用空気配管等の異常により制御棒が挿入動作する可能性について、以下のとおり調査した結果、制御棒が挿入動作する可能性は確認されなかった。したがって、スクラムパイロット弁駆動用空気配管等の異常は、今回の事象の要因とはならない。

【推定要因】

スクラムパイロット弁 [139弁] 駆動用の空気配管継手部やダイヤフラム弁から駆動用空気が漏れ、当該弁が開方向に動作し、スクラム出入口弁 [126弁、127弁] が開状態となった場合、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] の開操作によりアキュムレータの圧力がスクラム入口弁 [126弁] を経由して制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

事象発生後、スクラム出入口弁 [126弁、127弁] は閉であったことを中央制御室運転員が全制御棒炉心表示ユニットにて確認していることから、今回の事象の要因とはならない。

(添付資料－6)

(6) ベント弁の異常

ベント弁の異常により制御棒が挿入動作する可能性について、以下のとおり調査した結果、挿入配管ベント弁、引抜配管ベント弁のいずれについても制御棒が挿入動作する可能性は確認されなかった。したがって、ベント弁の異常は、今回の事象の要因とはならない。

a. 挿入配管ベント弁 [F101弁] 異常

挿入配管ベント弁 [F101弁] がシートリークしていた場合、CRDピ

ストン下部圧力は減圧されるため原子炉の水頭圧が制御棒を下げる方向（引抜側）に作用するが、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用する可能性はないため今回の事象は発生しない。

（添付資料－6）

b. 引抜配管ベント弁 [F 1 0 2 弁] 異常

【推定要因】

引抜配管ベント弁 [F 1 0 2 弁] がシートリークしていた場合、CRDピストン上部圧力が減圧され原子炉の水頭圧が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

事象発生時の原子炉の水頭圧は0. 2 MP a 程度であり、制御棒の押し上げに必要な差圧（約0. 4 MP a）を下回ることから、今回の事象の要因とはならない。

（添付資料－6 添付－2 図5）

(7) 冷却水隔離弁 [1 0 4 弁] の異常

冷却水隔離弁の異常により制御棒が挿入動作する可能性について、以下のとおり調査した結果、制御棒が挿入動作する可能性は確認されなかった。したがって、冷却水隔離弁の異常は、今回の事象の要因とはならない。

【推定要因】

冷却水隔離弁 [1 0 4 弁] がシートリークしていた場合、駆動水挿入配管隔離弁 [1 0 1 弁] 開操作により冷却水差圧が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

仮に上記の状況であっても事象発生時の冷却水差圧は0. 0 2 MP a であり、制御棒の押し上げに必要な差圧（約0. 4 MP a）を下回ることから、今回の事象の要因とはならない。

（添付資料－6 添付－2 図6）

7－2. CRD系統の異常

(1) CRD駆動水差圧変動（上昇）

CRD駆動水差圧の上昇により制御棒が挿入動作する可能性について、以下のとおり調査した結果、制御棒が挿入動作する可能性は確認されなかった。したがって、CRD駆動水差圧の上昇は、今回の事象の要因とはならない。

【推定要因】

挿入側方向制御弁 [1 2 3 弁] がシートリークしていた場合、駆動水差圧の変動（上昇）により、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

事象発生時の駆動水差圧は0.2 MPa程度に調整されており制御棒の押し上げに必要な差圧（約0.4 MPa）を下回ることから、今回の事象の要因とはならない。

（添付資料－6 添付－2 図4）

(2) CRD冷却水差圧変動（上昇）

CRD冷却水差圧の上昇により制御棒が挿入動作する可能性について、以下のとおり調査した結果、制御棒が挿入動作する可能性は確認されなかった。したがって、CRD冷却水差圧の上昇は、今回の事象の要因とはならない。

【推定要因】

冷却水差圧の変動（上昇）により、駆動水挿入配管隔離弁〔101弁〕を開操作した場合、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

事象発生時には冷却水差圧の変動は確認されておらず、冷却水差圧低警報（設定値：0.10 MPa）が継続して発生していたことから、今回の事象の要因とはならない。

（添付資料－6）

(3) 制御棒駆動水圧系リターン運転の構成不備による冷却水差圧上昇

制御棒駆動水圧系リターン運転の構成不備による冷却水差圧の上昇により制御棒が挿入動作する可能性について、以下のとおり調査した結果、制御棒が挿入動作する可能性は確認されなかった。したがって、制御棒駆動水圧系リターン運転の構成不備による冷却水差圧の上昇は、今回の事象の要因とはならない。

【推定要因】

制御棒駆動水圧系リターン運転の構成不備により冷却水差圧が上昇した場合、駆動水挿入配管隔離弁〔101弁〕の開操作により、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

事象発生時には制御棒駆動水圧系リターン運転が正しく系統構成されており冷却水差圧が上昇する可能性はない。また、冷却水差圧低警報（設定値：0.10 MPa）が継続して発生していたことから、今回の事象の要因とはならない。

（添付資料－6）

7-3. HCU復旧操作の誤り

(1) 手順書の妥当性

HCU復旧手順の不備により制御棒が挿入動作する可能性について、以下の

とおり調査した結果、スクラム入口弁 [126弁] がシートリークしていた場合、蓄圧開放後にHCU挿入配管内に残留したエアが再度蓄圧されることで制御棒が挿入動作する可能性があることがわかった。

【推定要因】

HCU復旧手順に不備がある場合、誤った手順に従って操作することによって、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

HCU復旧手順を確認した結果、HCU駆動水配管内への蓄圧対策として定めたHCU蓄圧開放手順及びHCU復旧操作手順となっていることが確認された。

ただし、このHCU蓄圧開放手順では、スクラム入口弁 [126弁] にシートリークがある場合、蓄圧開放後にHCU挿入配管内に残留したエアが、充填水により再度蓄圧される可能性までは考慮していなかった。

今回は、HCU蓄圧開放からHCU復旧まで約2週間の期間が空いていたことから、スクラム入口弁 [126弁] シートリークに伴い、蓄圧開放後にHCU挿入配管内に残留したエアが再度蓄圧された可能性がある。

(添付資料－6 添付－5)

(2) 弁操作順序の間違い

弁操作順序の間違いにより制御棒が挿入動作する可能性について、以下のとおり調査した結果、制御棒が挿入動作する可能性は確認されなかった。したがって、弁操作順序の間違いは、今回の事象の要因とはならない。

【推定要因】

弁操作順序に間違いがある場合、誤った順序で操作することによって、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。

【調査結果】

運転員への聞き取り調査の結果、HCU復旧操作及びHCU蓄圧開放操作については定められた手順書を使用し、かつ現場操作に当たっては2名1組で手順書及びチェックシートを確認しており、操作の際の確認行為についても手順書で既に終了しているステップ、又は適用できないステップについて識別を記録しながら操作していたことを確認した。

したがって、操作順序及び操作対象弁の間違いはなく、今回の事象の要因とはならない。

(添付資料－6 添付－5)

8. 調査結果に基づく推定原因

本事象は、スクラム入口弁 [126弁] ボンネットフランジ部の面間に開きが有

ったため、シート漏えい試験後のスクラム入口弁 [126弁] の動作試験によりシート状態が変化し充填水のシートリークが発生したこと、このシートリークにより駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] 前の垂直配管内のエアが蓄圧したことが原因であると推定した。

9. 事象発生メカニズムの推定

原因調査結果等から、当該制御棒の挿入事象発生メカニズムは以下のとおりであると推定される。

- (1) スクラム入口弁 [126弁] のボンネットフランジ部の片締めに加え、弁の動作試験を実施したことで、シート状態が変化した。

(平成25年2月5日以降)

- (2) 方向制御弁 [120弁、121弁、122弁、123弁] 点検に伴うHCU配管内の水抜き・水張りにより、HCU内の駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] 前の垂直配管内にエアが残留した。

(平成26年3月10日)

- (3) HCUの点検が完了したため、アキュムレータに充填水の水張りを実施。スクラム入口弁 [126弁] のシート状態が変化していたため、シートリークが発生した。

(平成28年2月22日)

- (4) 蓄圧箇所の圧抜きを実施したが、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] 前の垂直配管内のエアは、残留したままとなった。

(平成28年2月22日)

- (5) 蓄圧箇所の圧抜き後、スクラム入口弁 [126弁] からシートリークした充填水により、残留エアを加圧した。

(平成28年2月22日～3月7日)

- (6) 残留エアの加圧後に規定トルクでの締め付け確認のためスクラム入口弁 [126弁] ボンネットフランジ部の増し締めを実施したことにより、シート状態が変化しシートリークが止まった。

(平成28年3月7日)

- (7) HCU復旧に伴い駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] を開操作した際に、垂直配管内に蓄圧された残留エアが開放され、体積が膨張した。

(平成28年3月8日)

- (8) これに伴い、CRDピストン下部に一時的に圧力が加わることでCRDを挿入側に動作させ、「制御棒ドリフト」警報を発生させた。

(平成28年3月8日)

- (9) CRDピストン下部に流入したエアはCRD内を通じて原子炉へ流れることで減圧されたため、過挿入した制御棒は自重により全挿入位置まで戻った。

(平成28年3月8日)

(添付資料-7)

10. 再発防止対策

以上の調査結果をふまえ、以下のとおり、現在実施中であるスクラム入口弁のシートリークを防止する対策を継続していくが、万一、HCUの弁のシートリークが発生した場合においても操作していない制御棒の挿入動作を確実に防止するため、駆動水挿入配管の残留エアをアキュムレータ加圧前に抜く対策についても合わせて実施することとする。

10-1. スクラム入口弁 [126弁] シートリーク（加圧源除去）に関する対策

スクラム入口弁 [126弁] 点検後の復旧の際は、面間測定を実施するとともに、均一にトルク管理を実施しシートの当たりを適切に管理する。

なお、HCUを長期間隔離している場合は、HCU復旧前にHCU全数のスクラム入口弁 [126弁] シートリーク確認を実施する。

10-2. 残留エアに対する対策

(1) HCU点検後の最初のHCU復旧時には、制御棒を動作させる原因となるエアを抜くために、以下の操作を実施する。

- a. 加圧源となる充填水をチャージする前に、蓄圧開放操作として排水隔離弁 [105弁] を全開操作し、対象制御棒「引抜」ボタンを押下して引抜側方向制御弁 [120弁、122弁] を開動作させ、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] からスクラム入口弁 [126弁] 間の圧力を抜く。
- b. 駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] を全開し、原子炉側へエアを押し出す。
- c. 確実なエア排出のため、冷却水隔離弁 [104弁] 全開し、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] からスクラム入口弁 [126弁] の挿入配管エア抜きを行う。

上記対策を実施することによりアキュムレータ充填後に、万一、スクラム入口弁 [126弁] を含むHCUの弁のシートリークが発生した場合でも、HCU内に蓄圧されるエアが存在しないことから、制御棒を動作させることはない。

(添付資料-8)

(2) 上記の対策を行うためのHCU蓄圧開放後にHCU内エア抜きを行う手順を次回HCU復旧操作前までに運転操作マニュアルに反映する。

以 上

添付資料

| | |
|--------|--|
| 添付資料－１ | 時系列 |
| 添付－１ | 全挿入・全引抜・ドリフト表示、制御棒位置表示器 |
| 添付－２ | HCU操作実績 |
| 添付－３ | スクラム入口弁〔１２６弁〕（１８－３５）ボンネットフランジ部からのリークについて |
| 添付資料－２ | 制御棒・燃料配置図 |
| 添付資料－３ | アラームタイプ印字記録（事象発生時） |
| 添付資料－４ | 制御棒駆動水圧系水圧制御ユニット構造図 |
| 添付資料－５ | 事象発生時の制御棒駆動水圧系状態概略図 |
| 添付資料－６ | 制御棒（３０－５５）の予期せぬ動作の要因分析表 |
| 添付－１－１ | スクラム入口弁〔１２６弁〕（３０－５５）の漏えい確認結果 |
| 添付－１－２ | スクラム入口弁〔１２６弁〕（３０－５５）の分解点検結果 |
| 添付－１－３ | スクラム入口弁〔１２６弁〕（３０－５５）のシートリークの可能性について |
| 添付－１－４ | 引抜側方向制御弁〔１２０弁〕（３０－５５）の動作確認結果 |
| 添付－２ | 事象発生時の系統状態における制御棒押し上げの可能性評価 |
| 添付－３ | アキュムレータ圧力計の健全性確認 |
| 添付－４ | HCU内部配管の蓄圧による制御棒押し上げの可能性評価 |
| 添付－４－１ | 制御棒の押し上げに必要なエア体積評価 |
| 添付－４－２ | 方向制御弁点検時における駆動水挿入配管のエア残留メカニズム |
| 添付－５ | HCU蓄圧開放及び復旧操作時の操作内容 |
| 添付－５－１ | 設備別操作手順書（制御棒駆動水圧装置アキュムレータチャージ及び蓄圧開放） |
| 添付－５－２ | 設備別操作手順書（制御棒駆動水圧装置全数完全隔離からの復旧） |
| 添付資料－７ | 事象発生の推定メカニズム |
| 添付資料－８ | 再発防止対策の手順 |

時系列

平成28年2月15日～2月19日

保全部員にてHCUアキュムレータN₂封入

平成28年2月22日～2月24日

運転員にてHCUアキュムレータ水張り及び蓄圧開放操作

〈手順は以下のとおり〉

アキュムレータ水張り

- ・HCUシリンダドレン弁 [107弁] 「全閉」
- ・充填水入口弁 [113弁] 「全開」にて満水
- ・HCUシリンダドレン弁 [107弁] エアベント操作

蓄圧開放操作

- ・排水隔離弁 [105弁] 「全開」
- ・中央制御室にて対象CRを選択し「引抜」PBを1回「ON」
駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] 前までのHCU配管の蓄圧を開放
- ・排水隔離弁 [105弁] 「全閉」

平成28年2月29日

SR不適合対応 (「K5 HCU18-35 入口スクラム弁 (C-12-126) ボンネットフランジ部リーク保全作業依頼」)

- ・HCUスクラム弁ボンネットフランジの面間測定及び規定トルクでの締め付けのため
充填水入口弁 [113弁] 「全開」 → 「全閉」

平成28年3月7日

SR不適合対応 〈継続作業〉

- ・保全部にてスクラム弁ボンネットフランジの面間測定及び規定トルクでの締め付け実施

平成28年3月7日

運転員にてHCU復旧操作を実施

HCU復旧操作を実施 対象95体 (当該CR30-55は含まれず)

HCU復旧作業開始 〈手順は以下のとおり〉

- ・充填水入口弁 [113弁] 「全閉」 → 「全開」
- ※スクラム弁ボンネットフランジの面間測定及び規定トルクでの締め付けは対象CRのみ
- ・スクラム排水隔離弁 [112弁] 全開確認
- ・駆動水引抜配管隔離弁 [102弁] 「全閉」 → 「全開」
- ・駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] 「全閉」 → 「全開」
- ・駆動水隔離弁 [103弁] 「全閉」 → 「全開」
- ・冷却水隔離弁 [104弁] 「全閉」 → 「全開」
- ・排水隔離弁 [105弁] 「全閉」 → 「全開」

平成28年3月8日

14:07～

HCU復旧操作を実施 対象90体（当該CR30-55含む）
HCU復旧作業開始 〈手順は、前日同様〉

14:08

本日1体目のHCU（30-55）の復旧操作〈手順は以下のとおり〉

- ・ 充填水入口弁 [113弁] 「全閉」 → 「全開」
※スクラム弁ボンネットフランジの面間測定及び規定トルクでの締め付けは対象CRのみ
- ・ スクラム排水隔離弁 [112弁] 全開確認
- ・ 駆動水引抜配管隔離弁 [102弁] 「全閉」 → 「全開」
- ・ 駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] 「全閉」 → 「全開」
- ・ 駆動水隔離弁 [103弁] 「全閉」 → 「全開」
- ・ 冷却水隔離弁 [104弁] 「全閉」 → 「全開」
- ・ 排水隔離弁 [105弁] 「全閉」 → 「全開」

警報「制御棒ドリフト」発生

- ・ SRM指示変化なし確認
- ・ 全制御棒全挿入ランプ点灯確認
- ・ 「全挿入・全引抜・ドリフト表示」 緑（全挿入）と黄色（ドリフト）点灯確認
※警報「制御棒ドリフト」発生時、中央制御室から現場へ連絡した際には、
HCU（30-55）の弁状態は、既に完全復旧状態

14:09

「制御棒ドリフト」警報リセット操作
警報「制御棒ドリフト」クリア
「全挿入・全引抜・ドリフト表示」黄色（ドリフト）消灯確認

14:10

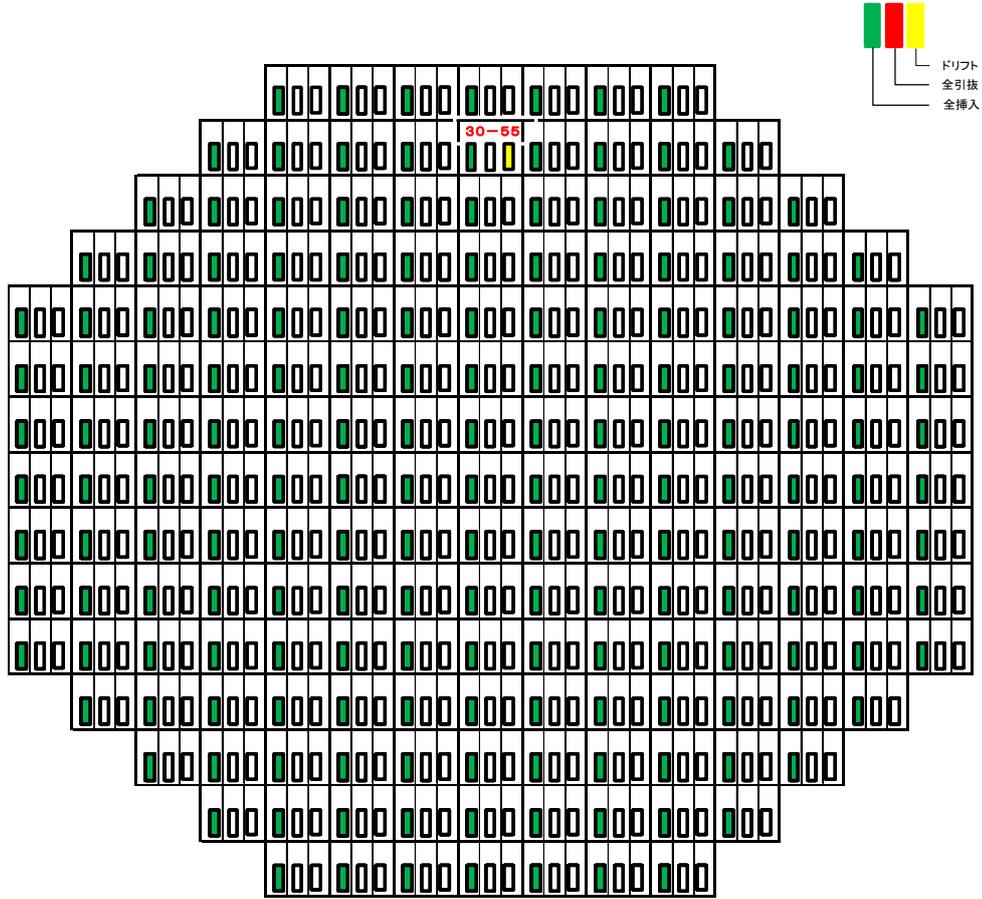
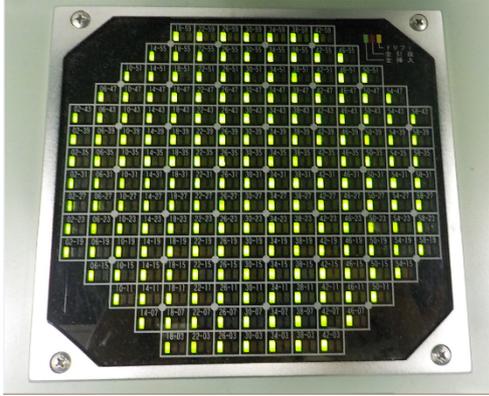
制御棒選択非許可→選択許可 CR（30-55）選択しポジション確認
「制御棒位置表示器」00確認

14:11

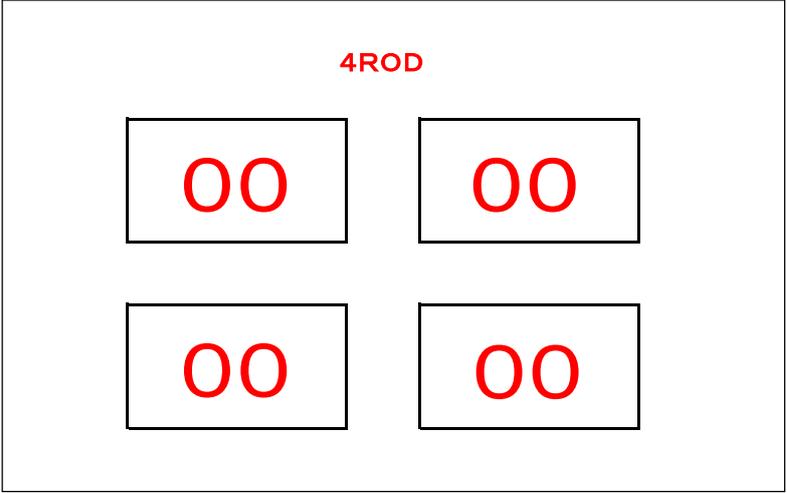
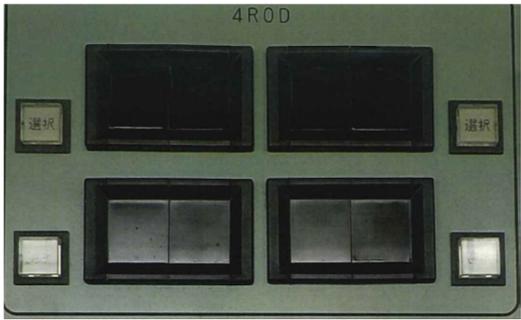
HCU復旧作業中断指示
※当該CR（30-55）の弁状態は現状（完全復旧状態）保持

以上

全挿入・全引抜・ドリフト表示



制御棒位置表示器



4 ROD表示ユニット：
 4本の制御棒（選択した制御棒及びその周辺の制御棒）の位置を表示する装置
 ※00は制御棒全挿入位置を示す

HCU操作実績

| HCU 南側 | | | | | | | | HCU 北側 | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 18-59 | 22-59 | 26-59 | 30-59 | 18-55 | 22-55 | 26-55 | | 30-55 | 34-55 | 38-55 | 42-55 | 34-59 | 38-59 | 42-59 | |
| 14-55 | 10-51 | 14-51 | 18-51 | 22-51 | 26-51 | 30-51 | | 34-51 | 38-51 | 42-51 | 46-51 | 50-51 | 46-55 | | |
| | 06-47 | 10-47 | 14-47 | 18-47 | 22-47 | 26-47 | | 30-47 | 34-47 | 38-47 | 42-47 | 46-47 | 50-47 | 54-47 | |
| 02-43 | 06-43 | 10-43 | 14-43 | 18-43 | 22-43 | 26-43 | 30-43 | 34-43 | 38-43 | 42-43 | 46-43 | 50-43 | 54-43 | 58-43 | |
| | 02-39 | 06-39 | 10-39 | 14-39 | 18-39 | 22-39 | 26-39 | 30-39 | 34-39 | 38-39 | 42-39 | 46-39 | 50-39 | 54-39 | 58-39 |
| 02-35 | 06-35 | 10-35 | 14-35 | 18-35 | 22-35 | 26-35 | 30-35 | 34-35 | 38-35 | 42-35 | 46-35 | 50-35 | 54-35 | 58-35 | |
| 14-31 | 18-31 | 22-31 | 26-31 | | | | | 30-31 | 34-31 | 38-31 | 42-31 | | | | |
| | 02-31 | 06-31 | 10-31 | | | | | 46-31 | 50-31 | 54-31 | 58-31 | | | | |
| 02-27 | 06-27 | 10-27 | 14-27 | 18-27 | 22-27 | 26-27 | 30-27 | 34-27 | 38-27 | 42-27 | 46-27 | 50-27 | 54-27 | 58-27 | |
| | 02-23 | 06-23 | 10-23 | 14-23 | 18-23 | 22-23 | 26-23 | 30-23 | 34-23 | 38-23 | 42-23 | 46-23 | 50-23 | 54-23 | 58-23 |
| 02-19 | 06-19 | 10-19 | 14-19 | 18-19 | 22-19 | 26-19 | 30-19 | 34-19 | 38-19 | 42-19 | 46-19 | 50-19 | 54-19 | 58-19 | |
| | 06-15 | 10-15 | 14-15 | 18-15 | 22-15 | 26-15 | | 30-15 | 34-15 | 38-15 | 42-15 | 46-15 | 50-15 | 54-15 | |
| 14-07 | 10-11 | 14-11 | 18-11 | 22-11 | 26-11 | 30-11 | | 34-11 | 38-11 | 42-11 | 46-11 | 50-11 | 46-07 | | |
| 18-03 | 22-03 | 26-03 | 30-03 | 18-07 | 22-07 | 26-07 | | 30-07 | 34-07 | 38-07 | 42-07 | 34-03 | 38-03 | 42-03 | |

: 3/7 HCU復旧作業完了分 (95体)

: スクラム入口弁 [126弁] 規定トルクでの締め付け分 (106体)

: 3/8 HCU復旧作業1体目

スクラム入口弁〔126弁〕（18－35） ボンネットフランジ部からのリークについて

1. 事象の概要

平成28年2月24日にHCU復旧作業の一環として、制御棒駆動水圧系水圧制御ユニット（18－35）のアクムレータに充填水をチャージするため、充填水入口弁〔113弁〕を開操作したところ、閉状態であるスクラム入口弁〔126弁〕のボンネットフランジ部よりリークが確認された。

【原因調査の結果】

ボンネットフランジ部の面間測定を実施したところボンネットとボデーの面間寸法の差が最大と最小で0.30mmであることが確認された。

【推定原因】

ボンネットフランジ部の面間寸法の差が大きい場合、片締めとなりボンネット部に傾きが生じることによりシートリングが傾き、シートリングとボデーにギャップが生じ、ガスケットが均一に圧縮されないため、面圧が低下しボンネットフランジ部からリークが発生したものと推定した。

【過去の不適合の水平展開】

スクラム入口弁〔126弁〕の締め付け管理については、平成15年2月に発生した柏崎刈羽原子力発電所4号機HCUスクラム弁シートずれ事象^{*}の水平展開として、5号機第10回定検以降、分解点検を実施したスクラム入口弁〔126弁〕については従来のトルク確認に加え、面間測定を行い面間寸法の差が0.2mm以下になるよう締め付け管理を実施している。

スクラム入口弁〔126弁〕（18－35）についても、上記の水平展開と同様な対策（面間測定及び規定トルクでの締め付け）を実施したが、ボンネットとボデーの面間寸法の差は0.25mmであったことから、スクラム入口弁〔126弁〕（18－35）については、今後分解点検を実施する。

なお、締め付け後、充填水圧力にてボンネットフランジ部及び弁シート漏えい確認を実施し、漏えいのないことを確認した。

※スクラム入口弁〔126弁〕ボンネット組み立て時の位置調整を行った際、シートがずれたことによりボンネットが傾きシートリークが発生した事象を受け、以下の対策を実施することとした。

- ①ボンネット用ボルト締め付け前にボデーとボンネットのフランジ面間寸法を4箇所確認し水平であることを確認する。
- ②規定トルクにて均等に締め付ける。
- ③締め付け後、再度ボンネットとフランジ（ボデー）の面間を測定し面間寸法の差が0.2mm以下であることを確認する。

2. 5号機における対応状況

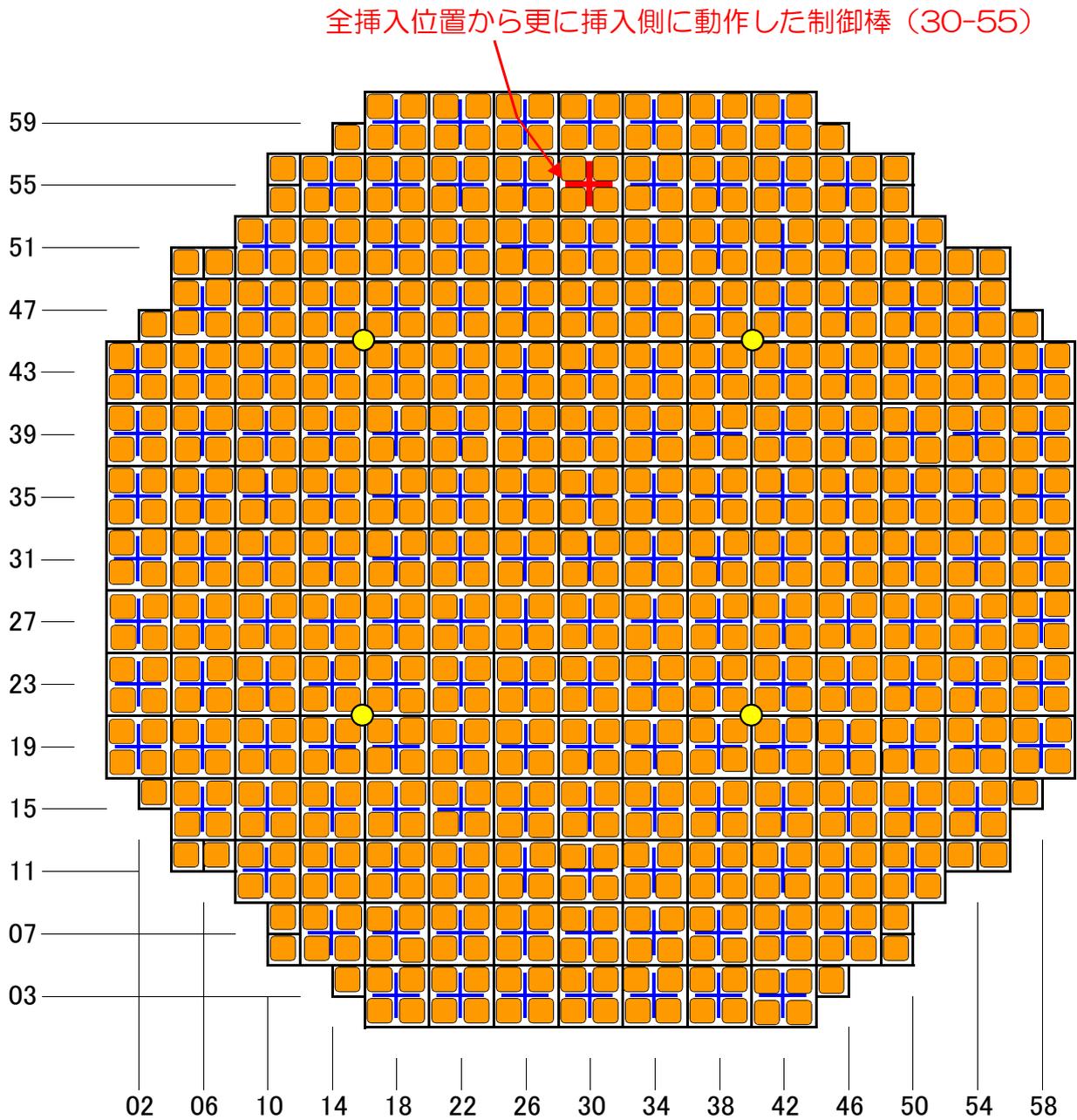
制御棒駆動水圧系水圧制御ユニット（18-35）以外の全数についてボンネットフランジ部からリークがないことを確認した。

本事象を受け、スクラム入口弁〔126弁〕（18-35）と同様に隙間管理を実施していない第9回定検以前に点検した105台のスクラム入口弁〔126弁〕についても、面間測定及び規定トルクでの締め付けを実施した。

なお、隙間管理値に収まらなかったスクラム入口弁〔126弁〕については、今後分解点検を実施する。

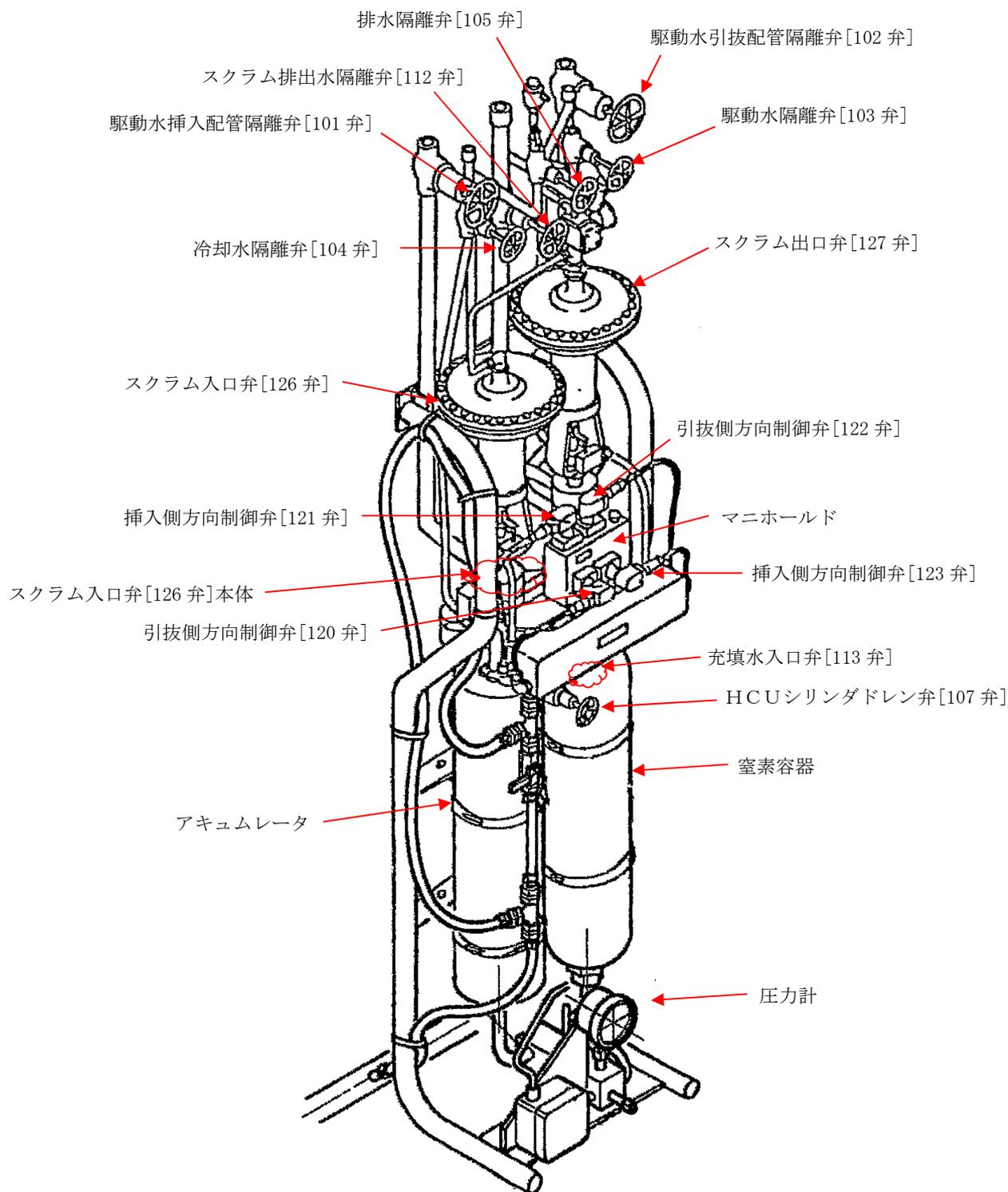
締め付け後、充填水圧力にてボンネットフランジ部の漏えい確認を実施し、漏えいのないことを確認した。

以上

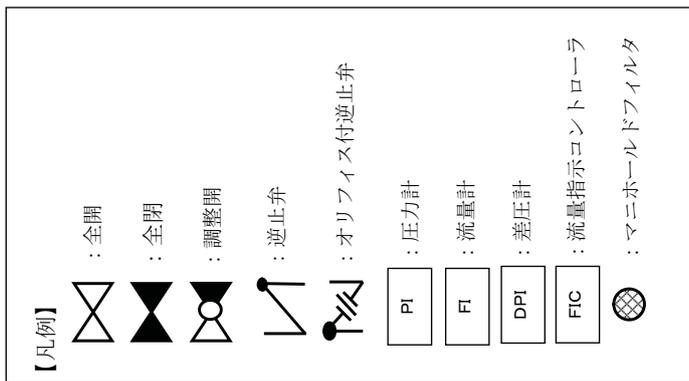


- + : 全挿入位置の制御棒
- : 中性子源領域モニタ検出器
- : 事象発生時装荷されていた燃料集合体

制御棒・燃料配置図



制御棒駆動水圧系水圧制御ユニット構造図

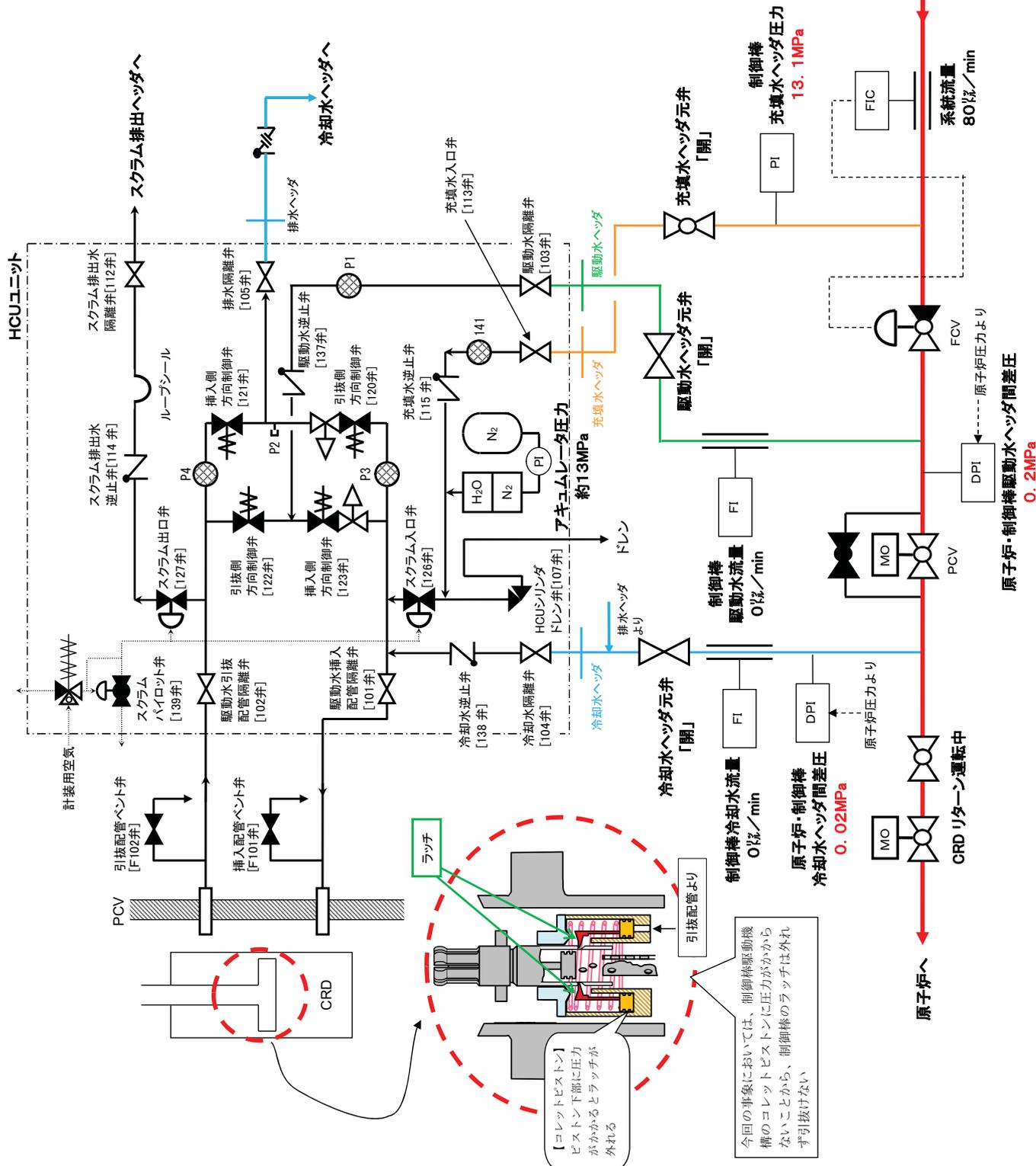


制御棒駆動水圧系については、事象発生当時各系統水の圧力の調整等が実施されており、HCUに対し駆動水圧力が発生しないよう処置が実施されていた。

冷却水系：CRDリターン運転を実施し、冷却水系と原子炉間の圧力差を0.02MPaに抑制

駆動水系：駆動水圧力調整弁を全開とし、駆動水と原子炉間の圧力差を0.2MPaに抑制

充填水圧力：スクラム入口弁が全開となっており、流路が絶たれた状態となっている。仮にスクラム入口弁がシートリークしても、方向制御弁が閉であるため引抜き側に圧力が到達しない。



事象発生時の制御棒駆動水圧系状態概略図

制御棒(30-55)の予期せぬ動作の要因分析表

| 発生事象 | 発生要因 | 調査項目 | 調査結果 | | | | | | |
|----------|---------------------------|--|--|---|---|---|--|----------------------------|--|
| | | | ○:可能性が高い △:可能性がある ×:可能性は無い | 添付 | | | | | |
| 当該制御棒の動作 | 7-1. HCU構成の機器異常 | (1) スクラム弁の異常 | a. スクラム入口弁 [126弁] 異常 | アクキュレータが充填された状態でスクラム入口弁 [126弁] がシートリークしていた場合、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] の開操作により充填水圧力が制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。 | 126弁の漏えい確認 126弁の分解点検 | △ | 126弁の漏えい確認の結果、シートリークは確認されなかった。 126弁の分解点検の結果、明らかな漏えいの痕跡は確認されなかったが、ボンネットフランジ部の片締めによる面間寸法の開きが大きい方向 (約20°方向) に水滴及び変色が認められたため、漏えいの可能性は否定できない。 126弁の漏えい確認を実施した際には、漏えいが確認されなかったが、126弁点検後に実施した弁の動作試験によりシート状態が変化し漏えいが発生、その後実施したボンネットフランジの増し締めにより、シートが改善されたためと推定される。 | 添付-1-1 添付-1-2 添付-1-3 | |
| | | | b. スクラム出口弁 [127弁] 異常 | スクラム出口弁 [127弁] がシートリークしており、駆動水引抜配管隔離弁 [102弁] が開状態の場合、CRDピストン上部が減圧されCRDピストン下部に原子炉の水頭圧が加わることにより制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。 | 原子炉の水頭圧による制御棒押し上げの可能性評価 | × | 事象発生時の原子炉の水頭差圧は0.2MPaであり、制御棒の押し上げに必要な差圧 (約0.4MPa) を下回っていたことから、今回の事象の要因とはならない。 | 添付-2 図1 | |
| | | | c. アクキュレータ異常 | アクキュレータのピストンリングからN ₂ が充填水側にシートリークし、さらにスクラム入口弁 [126弁] がシートリークしていた場合、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] の開操作により充填水圧力が制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性があるが、当所3号機で発生した予期せぬ制御棒動作事象の水平展開として、万一N ₂ がリークしても配管内に滞留しないようアクキュレータに充填水をチャージする直前までHCUシリンダドレン弁 [107弁] を開の状態を維持し、充填水ライン (スクラム入口弁 [126弁] ~HCUシリンダドレン弁 [107弁] 間) を大気開放とする手順としていたことから、スクラム入口弁 [126弁] にN ₂ は作用しないため、今回の事象の要因とはならない。 | アクキュレータ圧力健全性確認 | × | 校正記録 (平成27年10月13日) によりアクキュレータ圧力計は適切に校正されており、健全性が確認されたことから、N ₂ 充填時に充填圧力が過大に充填されたことはないため、今回の事象の要因とはならない。 | 添付-3 | |
| | | | d. アクキュレータ圧力計異常 | アクキュレータ圧力計の不具合により指示している圧力値よりも高い圧力でN ₂ チャージしたことにより、アクキュレータのピストンリングからN ₂ が充填水側にシートリークし、さらにスクラム入口弁 [126弁] がシートリークしていた場合、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] の開操作により、充填水が制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。 | | | | | |
| | | (2) 方向制御弁の異常 | a. 引抜側方向制御弁 [120弁] 異常 | 駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] と排水隔離弁 [105弁] が開状態で引抜側方向制御弁 [120弁] がシートリークし、さらにオフィス付逆止弁を經由して冷却水が逆流した場合、制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。また、蓄圧開放操作時、引抜側方向制御弁 [120弁] が開操作せず、圧力が開放されない場合、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] の開操作により制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。 | 冷却水ヘッダ圧力による制御棒押し上げの可能性評価 | × | 事象発生時、105弁は全開状態であり、仮に120弁がシートリークし、さらにオフィス付逆止弁を經由して冷却水が逆流していたとしても、事象発生時の冷却水差圧は0.02MPaであり、制御棒の押し上げに必要な差圧 (約0.4MPa) を下回っていたことから、今回の事象の要因とはならない。 | 添付-2 図2 | |
| | | | b. 挿入側方向制御弁 [121弁] 異常 | 駆動水引抜配管隔離弁 [102弁] と排水隔離弁 [105弁] が開状態で挿入側方向制御弁 [121弁] がシートリークし、排水ヘッダ圧力が原子炉圧力より低い場合、CRDピストン上部が減圧されCRDピストン下部に原子炉の水頭圧が加わることにより制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。 | 原子炉の水頭圧による制御棒押し上げの可能性評価 | × | 事象発生時、105弁は全開状態であり、仮に121弁がシートリークしていたとしても、事象発生時の原子炉の水頭圧は0.2MPaであり、制御棒の押し上げに必要な差圧 (約0.4MPa) を下回っていたことから、今回の事象の要因とはならない。 | 添付-2 図3 | |
| | | | c. 引抜側方向制御弁 [122弁] 異常 | 駆動水引抜配管隔離弁 [102弁] と駆動水隔離弁 [103弁] が開状態で引抜側方向制御弁 [122弁] がシートリークしていた場合、駆動水差圧が制御棒を下げる方向 (引抜側) に作用するが、制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用しないことから、今回の事象の要因とはならない。 | | | | | |
| | | | d. 挿入側方向制御弁 [123弁] 異常 | 駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] と駆動水隔離弁 [103弁] が開状態で挿入側方向制御弁 [123弁] がシートリークしていた場合、駆動水差圧が制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。 | 駆動水圧力による制御棒押し上げの可能性評価 | × | 事象発生時、103弁は全開状態であり、仮に123弁がシートリークしていたとしても、事象発生時はCRDリターンライン運転中であったこと及び駆動水差圧は0.2MPa程度に調整されており、制御棒の押し上げに必要な差圧 (約0.4MPa) を下回っていたことから、今回の事象の要因とはならない。 | 添付-2 図4 | |
| | | (3) HCU配管内の異常 | HCU内部配管 (挿入側配管) にエア等が存在し、圧縮された状態で隔離され、スクラム入口弁 [126弁] がシートリークしていた場合、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] の開操作によりエア等の蓄圧が開放されることで、制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。 | 101弁開操作時の状況加圧源の調査 | △ | HCU配管内のエアについてはHCUの設備点検に伴う復旧作業の過程で、配管内のエアを排出ヘッダ側へ押し出すことで水張りを行っているが、HCU内の駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] 垂直配管内のエアは押し出すことができない構造となっているためエアが残留していた。 また、今定期検査期間中においては、HCUの設備点検後に駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] を開操作した実績はなかった。なお、スクラム入口弁 [126弁] にシートリークが発生していた場合は、残留エアが蓄圧される可能性があることがわかった。 | 添付-4 | | |
| | | (4) スクラムパイロット弁の異常 | スクラムパイロット弁 [139弁] が閉し、スクラム出入口弁 [126弁、127弁] が開状態となった場合、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] の開操作によりアクキュレータの圧力がスクラム入口弁 [126弁] を經由して制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。 | 事象発生時の系統状態の確認 | × | 事象発生後、126弁、127弁が閉であったことを中央制御室運転員が全制御棒炉心表示ユニットにて確認していることから、今回の事象の要因とはならない。 | | | |
| | (5) スクラムパイロット弁駆動用空気配管等の異常 | スクラムパイロット弁 [139弁] 駆動用の空気配管継手部やダイヤフラム弁から駆動用空気が漏れ、当該弁が開方向に動作し、スクラム出入口弁 [126弁、127弁] が開状態となった場合、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] の開操作によりアクキュレータの圧力がスクラム入口弁 [126弁] を經由して制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。 | 事象発生時の系統状態の確認 | × | 事象発生後、126弁、127弁が閉であったことを中央制御室運転員が全制御棒炉心表示ユニットにて確認していることから、今回の事象の要因とはならない。 | | | | |
| | (6) ベント弁の異常 | a. 挿入配管ベント弁 [F101弁] 異常 | 挿入配管ベント弁 [F101弁] がシートリークしていた場合、CRDピストン下部圧力は減圧されるため原子炉の水頭圧が制御棒を下げる方向 (引抜側) に作用するが、制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用する可能性はないため今回の事象は発生しない。 | | | | | | |
| | | b. 引抜配管ベント弁 [F102弁] 異常 | 引抜配管ベント弁 [F102弁] がシートリークしていた場合、CRDピストン上部圧力が減圧され原子炉の水頭圧が制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。 | 原子炉の水頭圧による制御棒押し上げの可能性評価 | × | 事象発生時に原子炉の水頭圧は0.2MPa程度であり、制御棒の押し上げに必要な差圧 (約0.4MPa) を下回ることから、今回の事象の要因とはならない。 | 添付-2 図5 | | |
| | (7) 冷却水隔離弁 [104弁] の異常 | 冷却水隔離弁 [104弁] がシートリークしていた場合、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] の開操作により冷却水差圧が制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。 | 冷却水圧力による制御棒押し上げの可能性評価 | × | 事象発生時、CRDリターンライン運転中であったこと及び冷却水差圧は0.02MPaであり、制御棒の押し上げに必要な差圧 (約0.4MPa) を下回ることから、今回の事象の要因とはならない。 | 添付-2 図6 | | | |
| | 7-2. CRD系統の異常 | (1) CRD駆動水差圧変動 (上昇) | 挿入側方向制御弁 [123弁] がシートリークしていた場合、駆動水差圧の変動 (上昇) により、制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。 | 駆動水圧力による制御棒押し上げの可能性評価 | × | 事象発生時の駆動水差圧は0.2MPa程度に調整されており制御棒の押し上げに必要な差圧 (約0.4MPa) を下回ることから、今回の事象の要因とはならない。 | 添付-2 図4 | | |
| | | (2) CRD冷却水差圧変動 (上昇) | 冷却水差圧の変動 (上昇) により、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] を開操作した場合、制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。 | 事象発生時の系統状態の確認 警報発生状態の確認 | × | 事象発生時には、冷却水差圧の変動は確認されておらず、冷却水差圧低警報 (設定値: 0.10MPa) が継続して発生していたことから、今回の事象の要因とはならない。 | | | |
| | | (3) 制御棒駆動水圧系リターン運転の構成不備による冷却水差圧上昇 | 制御棒駆動水圧系リターン運転の構成不備により冷却水差圧が上昇した場合、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] の開操作により、制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。 | 事象発生時の系統状態の確認 警報発生状態の確認 | × | 事象発生時には、CRDリターン運転が正しく系統構成されており、冷却水差圧が上昇する可能性はない。また、冷却水差圧低警報 (設定値: 0.10MPa) が継続して発生していたことから、今回の事象の要因とはならない。 | | | |
| | 7-3. HCU復旧操作の誤り | (1) 手順書の妥当性 | HCU復旧手順に不備がある場合、誤った手順に従って操作することによって、制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。 | HCU復旧手順の弁操作ステップの評価 | △ | HCU復旧手順を確認した結果、HCU駆動水配管内への蓄圧対策として定めたHCU蓄圧開放手順及びHCU復旧作業手順となっていることが確認された。 ただし、このHCU蓄圧開放手順では、スクラム入口弁 [126弁] にシートリークがある場合、蓄圧開放後にHCU挿入配管内に残留したエアが充填水により再度蓄圧される可能性までは考慮していなかった。 今回は、HCU蓄圧開放からHCU復旧まで約2週間の期間が空いていたことから、スクラム入口弁 [126弁] シートリークに伴い、蓄圧開放後にHCU挿入配管内に残留したエアが再度蓄圧された可能性がある。 | 添付-5 | | |
| | | (2) 弁操作順序の間違い | 手順とおりにHCU復旧操作を行わない場合、制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性がある。 | HCU復旧操作を行った運転員への聞き取り調査 | × | 運転員への聞き取り調査の結果、HCU復旧操作及びHCU蓄圧開放操作については定められた手順書を使用し、かつ現場操作に当たっては2名1組で手順書及びチェックシートを確認しており、操作の際の確認行為についても手順書で既に終了しているステップ、又は適用できないステップについて識別しながら操作していたことと確認された。 したがって、操作順序及び操作対象弁の間違いはなく、今回の事象の要因とはならない。 | 添付-5 | | |

スクラム入口弁 [126弁] (30-55) の漏えい確認結果

1. 目的

アキュムレータが充填された状態でスクラム入口弁 [126弁] がシートリークし、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] の開操作により充填水圧力が制御棒を押し上げる方向 (挿入側) に作用し、今回の事象が発生する可能性があることから、当該弁の漏えい確認を行う。

2. 確認方法

- ① 駆動水挿入配管隔離弁 [101弁]、駆動水引抜配管隔離弁 [102弁]、冷却水隔離弁 [104弁]、充填水入口弁 [113弁]、スクラム入口弁 [126弁]、HCUシリンダドレン弁 [107弁] の全閉を確認する。
- ② P3プラグを開放し、充填水入口弁 [113弁] を全開操作し、スクラム入口弁 [126弁] シート面に充填水圧力をかけ、P3プラグからの漏えい量を1分間測定する。(図. 参照)

3. 確認結果

1分間の測定において漏えいは0cc/minであり、スクラム入口弁 [126弁] のシートリークがないことを確認した。

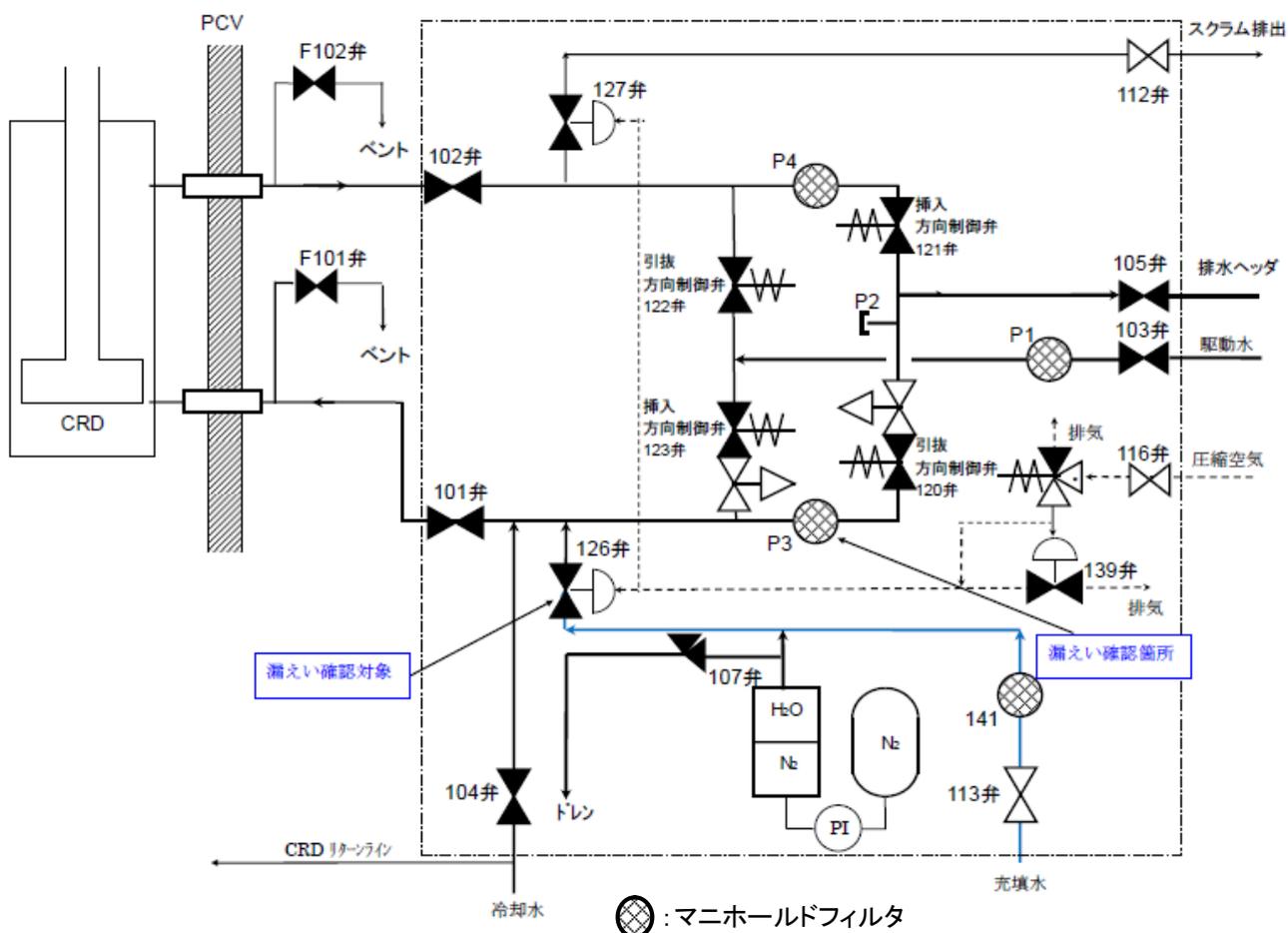


図. スクラム入口弁 [126弁] の漏えい量確認時における系統図

スクラム入口弁 [126弁] (30-55) の分解点検結果

1. 目的

スクラム入口弁 [126弁] の漏えい確認の結果、シートリークは確認されなかったが、事象発生時アキュムレータが充填された状態でスクラム入口弁 [126弁] がシートリークし、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] の開操作により充填水圧力が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があることから、当該弁の分解点検を行う。

2. 確認方法

- ① 駆動水挿入配管隔離弁 [101弁]、駆動水引抜配管隔離弁 [102弁]、冷却水隔離弁 [104弁]、充填水入口弁 [113弁]、駆動水隔離弁 [103弁] の全閉を確認する。
- ② スクラム入口弁 [126弁]、HCUシリンダドレン弁 [107弁] の全開を確認し、充填水の水抜きが完了していることを確認する。
- ③ スクラム入口弁 [126弁] の分解を行い、弁シート部に漏えいの痕跡がないか確認する。

3. 確認結果

弁シート部に明らかな漏えいの痕跡は確認されなかった。

なお、弁分解直後、弁シート部の約200°方向に水滴及び変色を確認したが、時間の経過と共に表面が乾き変色は消失した。(図. 参照)

4. 考察

スクラム入口弁 [126弁] の分解点検の結果、明らかな漏えいの痕跡は確認されなかったが、ボンネットフランジ部の片締めによる面間寸法の開きが大きい方向（約200°方向）に水滴及び変色が認められたため、漏えいの可能性は否定できないと考える。

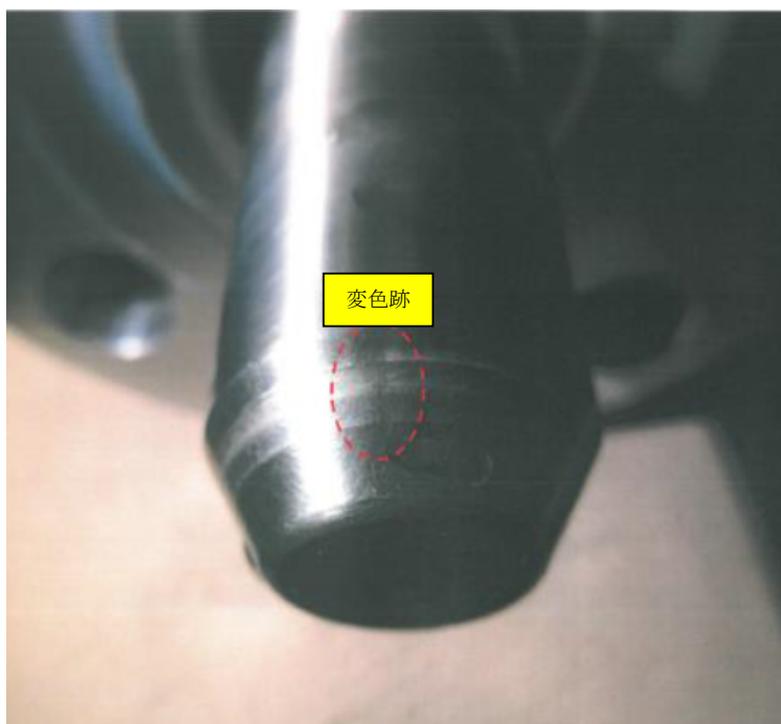
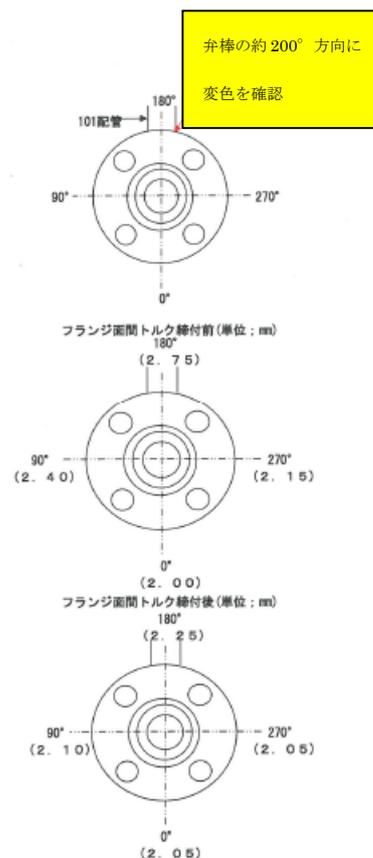


図. スクラム入口弁 [126弁] の弁シート部状態図



スクラム入口弁 [1 2 6 弁] (3 0－5 5) のシートリークの可能性について

1. 目的

スクラム入口弁 [1 2 6 弁] の分解点検を行った結果、明らかな漏えい痕は確認されなかったが、弁シート面の一部に水滴及び変色が見られた。確認された変色では、漏えいを裏付ける根拠には至らなかったこと、それ以前にフランジ部の増し締めを行っていたことから、スクラム入口弁 [1 2 6 弁] (3 0－5 5) のシートに影響があるかの調査を行う。

2. 調査結果

平成28年2月24日に発生したスクラム入口弁 [1 2 6 弁] (1 8－3 5) ボンネットフランジ部からのリークに伴う水平展開として、平成28年3月7日に当該スクラム入口弁 [1 2 6 弁] (3 0－5 5) のボンネットフランジ部の面間測定及び規定トルクでの締め付け確認を実施した。

面間測定の結果、ボデーとボンネット間の隙間の最大と最小の差は約0.75mmであり、ボンネットフランジ部からリークのあったスクラム入口弁 [1 2 6 弁] (1 8－3 5) に比べ片締めの程度が大きい状況であることが確認された。

上記を踏まえ、ボンネットフランジ部の片締めによるシートリークの可能性について調査したところ、片締めが大きい場合、ボンネット部に傾きが生じることにより、ボデー内部のシール部品（ケージ、シートリング、ディスク）が傾きシール面が均一に圧縮されないため、面圧が低下しシートリークする可能性があることが確認された。

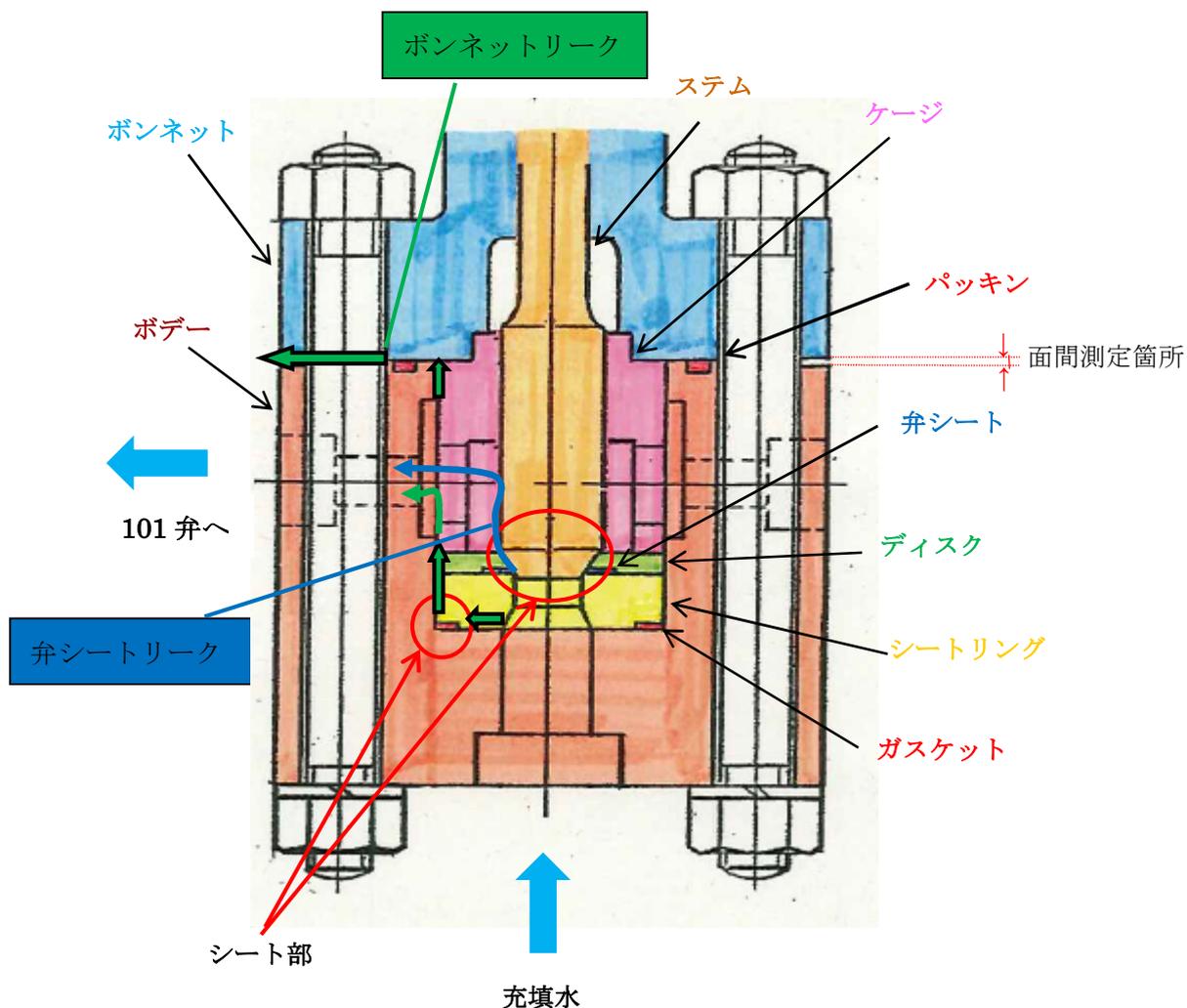
また、スクラム入口弁「1 2 6 弁」(3 0－5 5) 点検後に、ボンネットフランジ部が片締め状態で弁の動作試験を実施しており、この開閉によりシート状態が変化した可能性が考えられる。

3. 考察

調査結果から、スクラム入口弁 [1 2 6 弁] (3 0－5 5) はトルク確認前、スクラム入口弁 [1 2 6 弁] 点検後に実施した弁の開閉によりシート状態が変化しシートリークが発生し、その後、ボンネットフランジ部の規定トルクでの締め付けを行ったことにより、ボデー内部の片締めも解消されシートリークが改善したと推定した。

なお、水滴及び変色については、ボンネットフランジ部の片締めによる面間寸法の開きが大きい方向（約200°方向）で認められたため、漏えいの可能性は否定できないと考える。

以 上

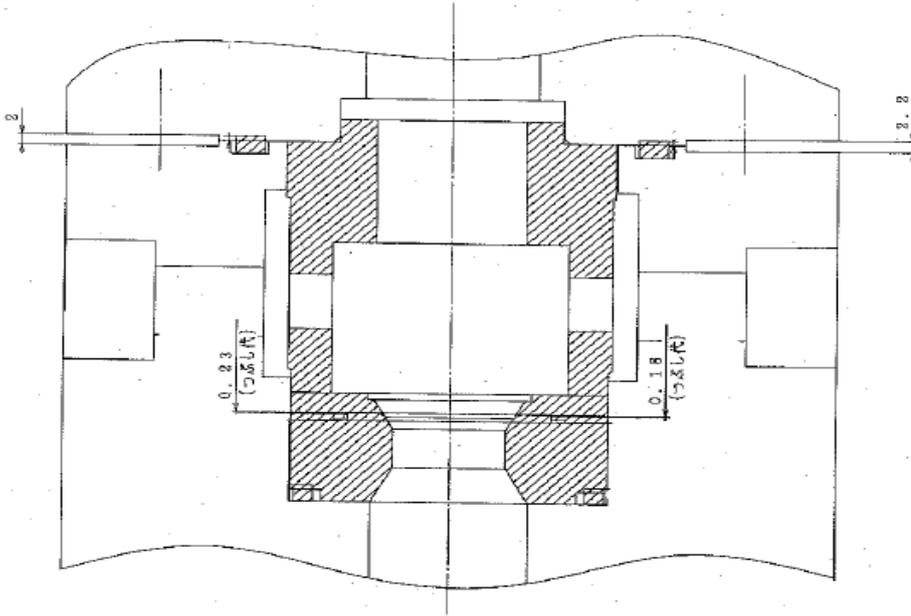


【シートリーク要因】

ボンネットフランジ部の面間寸法の差が大きい場合、ボンネット部に傾きが生じることにより、ボデー内部のシール部品（ケージ・シートリング・ディスク）が傾き、シール面（ガスケット、弁シート）が均一に圧縮されず面圧が低下するため、シートリークが発生し、充填水が駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] 方向へ流れ込む。その後、増し締めによって、均一な締め付け状態となりシール面を再度押しつぶすことでシール性が改善する。

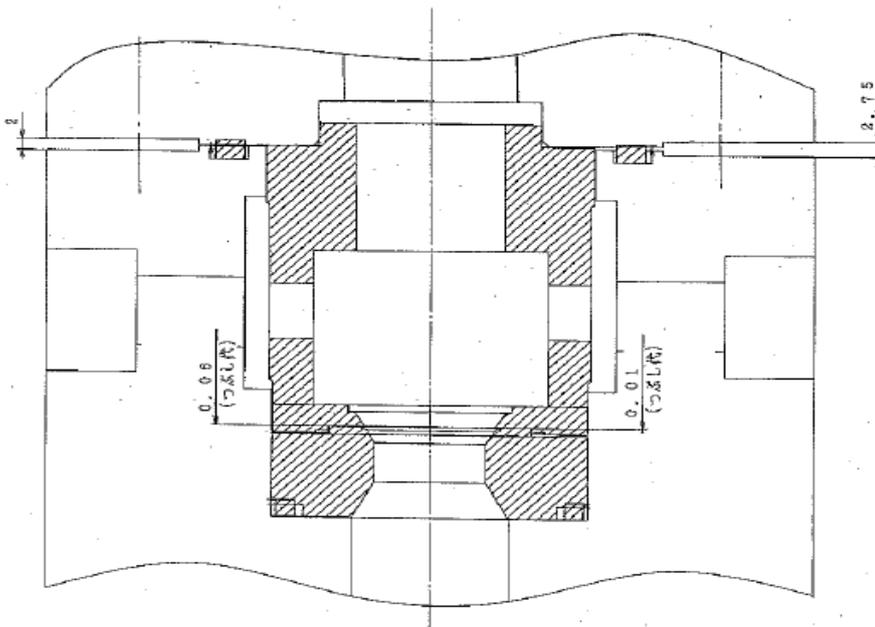
図. スクラム入口弁 [126弁] 構造図

0. 2 mmで隙間管理され、シート面圧が確保されている状態



ボデー・ボンネット面間寸法(0.2mm)の状態図

0. 75 mmの隙間があるため、シート面圧が低下している状態



ボデー・ボンネット面間寸法(0.75mm)の状態図

引抜側方向制御弁 [120弁] (30-55) の動作確認結果

1. 目的

蓄圧開放操作時、引抜側方向制御弁 [120弁] が不動作により圧力開放されない場合、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] の開操作により、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があることから、当該弁の動作確認を行う。

2. 確認方法

- ① 30-55以外のHCUが全て除外（弁閉による隔離）されていることを確認する。
- ② 駆動水挿入配管隔離弁 [101弁]、駆動水引抜配管隔離弁 [102弁]、冷却水隔離弁 [104弁]、排水隔離弁 [105弁]、スクラム入口弁 [126弁] の全閉を確認する。
- ③ P2プラグを開放し水抜き後、冷却水隔離弁 [104弁] を全開とし、中央制御室からのCR引抜きPB操作により引抜側方向制御弁 [120弁] を開閉し、動作状態及びP2プラグからの排水状況を確認する。

3. 確認結果

動作状態の確認において引抜側方向制御弁 [120弁] が正常に作動し、P2プラグから排水があることを確認した。

4. 考察

引抜側方向制御弁 [120弁] の動作確認の結果、正常に作動していることから、今回の事象の要因とはならない。

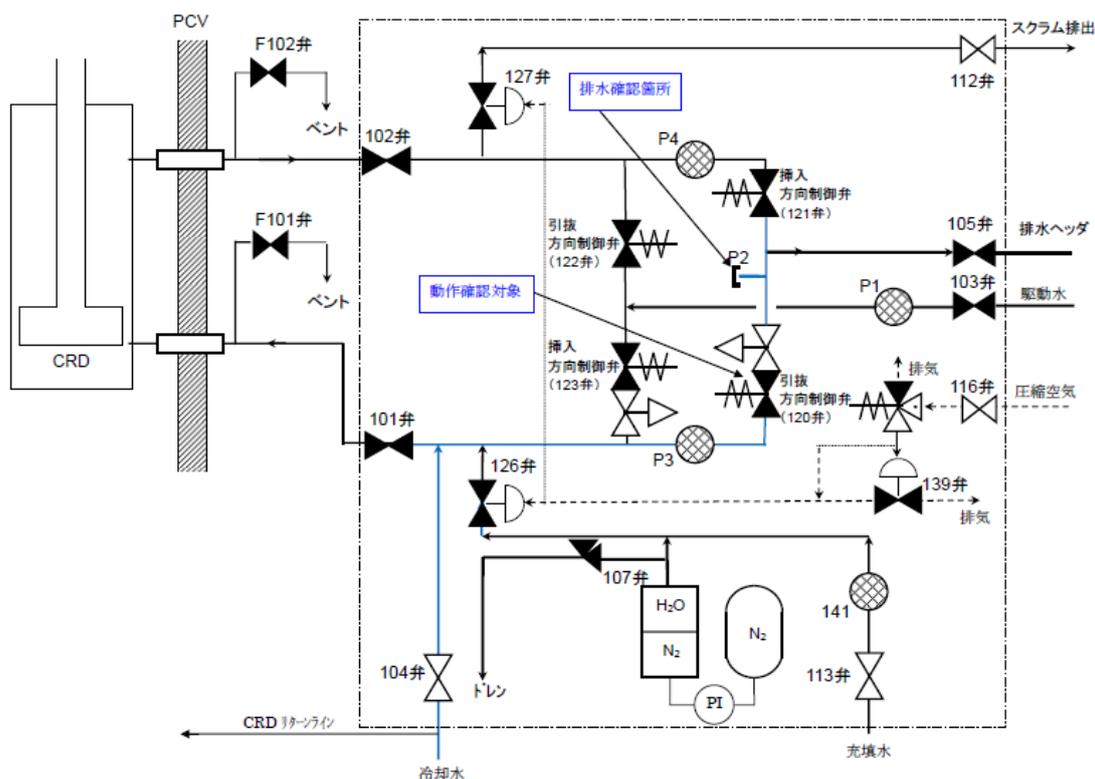


図. 引抜側方向制御弁 [120弁] の動作確認時における系統図

事象発生時の系統状態における制御棒押し上げの可能性評価

1. 目的

事象発生時の系統状態を確認し、制御棒の押し上げ方向（挿入側）への作動に必要な圧力を算定する。また、事象発生時に制御棒に作用した可能性のある圧力について、制御棒を押し上げる可能性を評価する。

2. 事象発生時の系統構成

事象発生時の当該系統の状態及び関連パラメータについては、添付資料－5参照。
 なお、事象発生時の系統構成は、全HCU隔離による冷却水圧力上昇（系統加圧）防止の観点から、原子炉への戻りライン（CRDリターンライン）をインサービスしている。

3. 制御棒押し上げに必要な圧力の算定

制御棒の押し上げ方向（挿入側）のみが加圧された状態において、制御棒が押し上げられる圧力を以下に示す。

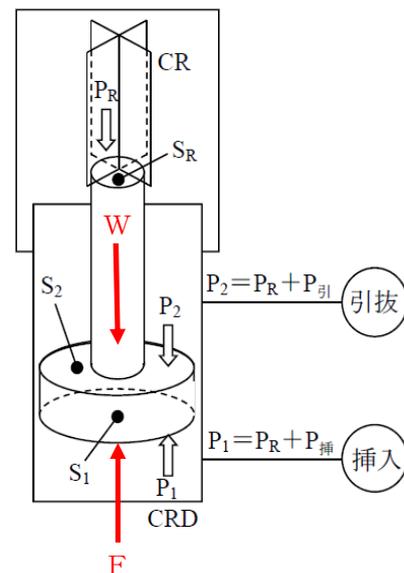
（1）算出条件

- a. 保守側の評価とするため、駆動時の摩擦抵抗は考慮しない。
- b. 炉水温度は、常温とする。
- c. 駆動部質量及びCR質量は公称値とする。

（2）算出方法

挿入側と引抜側の駆動水圧力が同圧の条件で、押し上げ方向のドリフトが発生する炉圧との差圧を算出する。

- F = 駆動力（挿入方向をプラス）
- $P_{\text{挿}} = \text{炉圧と挿入側圧力の差圧}$
- $P_{\text{引}} = \text{炉圧と引抜側圧力の差圧}$
- $P_R = \text{炉圧}$
- $P_1 = P_R + P_{\text{挿}} = \text{CRDピストン下部圧力}$
- $P_2 = P_R + P_{\text{引}} = \text{CRDピストン上部圧力}$
- $S_1 = \text{CRDピストン下部受圧面積}$
- $S_2 = \text{CRDピストン上部受圧面積}$
- $S_R = S_1 - S_2 = \text{炉圧受圧面積}$
- $W = \text{CR及びCRDピストン質量}$
- $g = \text{重力加速度}$



$$F = S_1 \cdot P_1 - S_2 \cdot P_2 - S_R \cdot P_R - W \cdot g \quad \dots \textcircled{1}$$

$$= S_1 (P_R + P_{\text{挿}}) - S_2 (P_R + P_{\text{引}}) - (S_1 - S_2) P_R - W \cdot g \quad \dots \textcircled{2}$$

$$= S_1 \cdot P_{\text{挿}} - S_2 \cdot P_{\text{引}} - W \cdot g \quad \dots \textcircled{3}$$

$P_2 = P_R$ となるため、①式は下記となる。

$$F = S_1 \cdot P_1 - S_2 \cdot P_R - S_R \cdot P_R - W \cdot g \quad \dots \textcircled{3}$$

$$= S_1 (P_R + P_{\text{挿}}) - (S_2 + S_R) P_R - W \cdot g$$

$$= S_1 \cdot P_R + S_1 \cdot P_{\text{挿}} - (S_2 + S_R) P_R - W \cdot g$$

ここで、 $S_1 = S_2 + S_R$ であるため、

$$F = S_1 \cdot P_{\text{挿}} - W \cdot g \quad \dots \textcircled{4}$$

この場合の挿入ドリフトが発生する $P_{\text{挿}}$ は下記となる。

$$P_{\text{挿}} = W \cdot g / S_1 \quad \dots \textcircled{5}$$

| | | |
|---|------------------------|------|
| 質量 (kg) | CR及びCRD駆動部「W」 | 117 |
| 受圧面積 (cm^2) | ピストン下部室「 S_1 」 (挿入側) | 26.3 |
| | ピストン上部室「 S_2 」 (引抜側) | 7.8 |
| 挿入側ドリフトが生じる炉圧との差圧「 $P_{\text{挿}}$ 」 (MPa) | | 0.44 |

以上より、挿入側に約0.4MPaが加わることで制御棒が押し上げられる可能性がある。

4. 今回の事象発生可能性の評価 (図1～6参照)

事象発生時の制御棒駆動系の状態 (添付資料-6参照) を考慮すると、充填水圧力が作用しない限り、制御棒が押し上げられる (挿入側に動作する) 可能性はないものと評価される。

<事象発生時の制御棒駆動系の状態>

- ・制御棒駆動水圧系リターン運転中
- ・原子炉水頭圧 : 0.2MPa
(原子炉水位とHCU間での水頭差圧)
- ・充填水圧力 : 13.1MPa
- ・原子炉・制御棒駆動水ヘッダ間差圧 : 0.2MPa
- ・原子炉・制御棒冷却水ヘッダ間差圧 : 0.02MPa
- ・排水ヘッダ圧力 : (排水ヘッダは、冷却水ヘッダに接続されているため、原子炉・制御棒冷却水ヘッダ間差圧と同じ)

事象発生時の原子炉の水頭圧力は 0.2MPa (原子炉水位とHCU間での水頭差圧) であり、制御棒の押し上げに必要な差圧約 0.4MPa に満たない (「参考」参照)

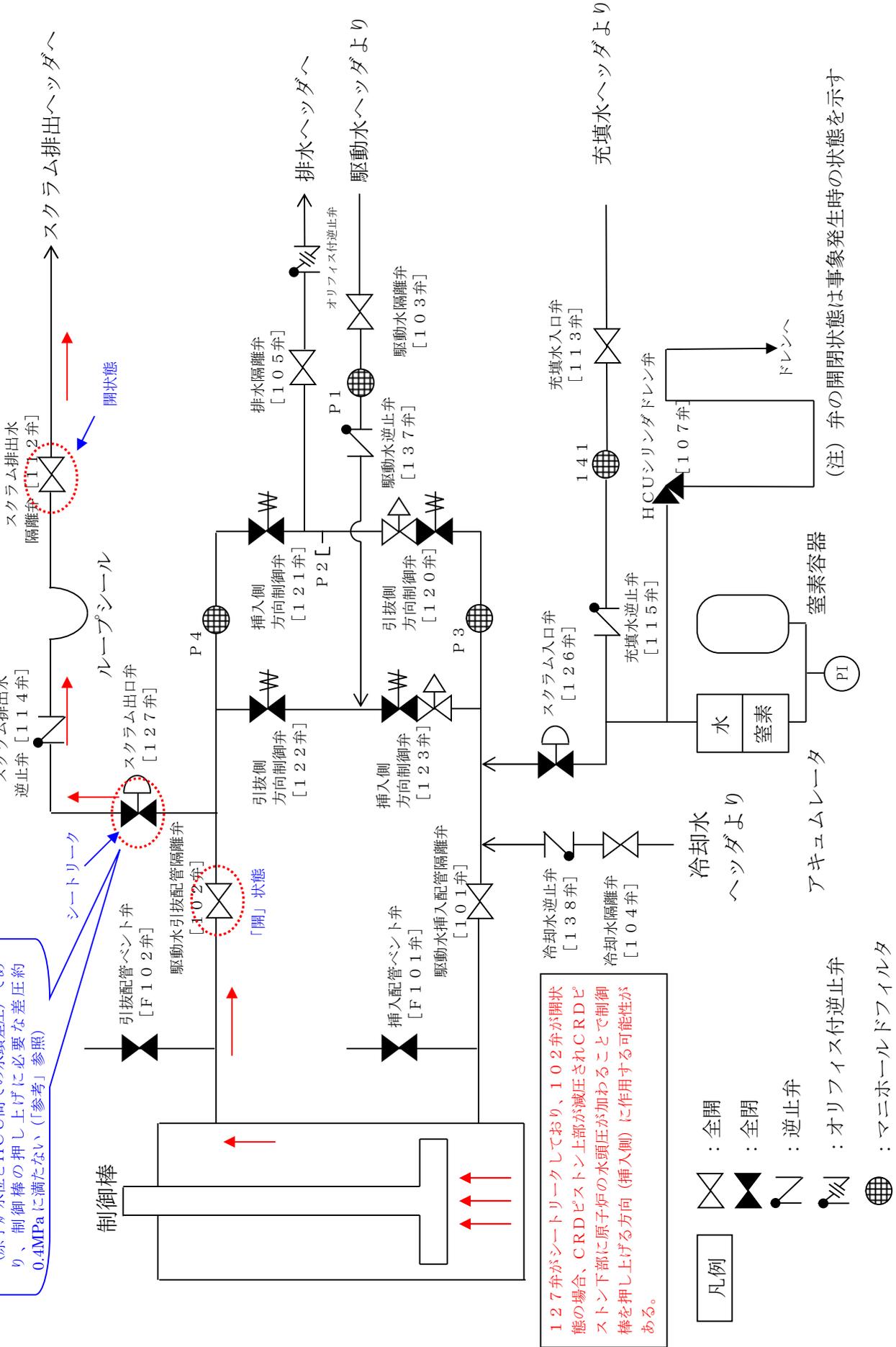


図1 制御棒駆動水圧系系統概略図

(スクラム出口弁 [127弁] のシートルイクにより原子炉の水頭圧が制御棒挿入に作用する可能性について)

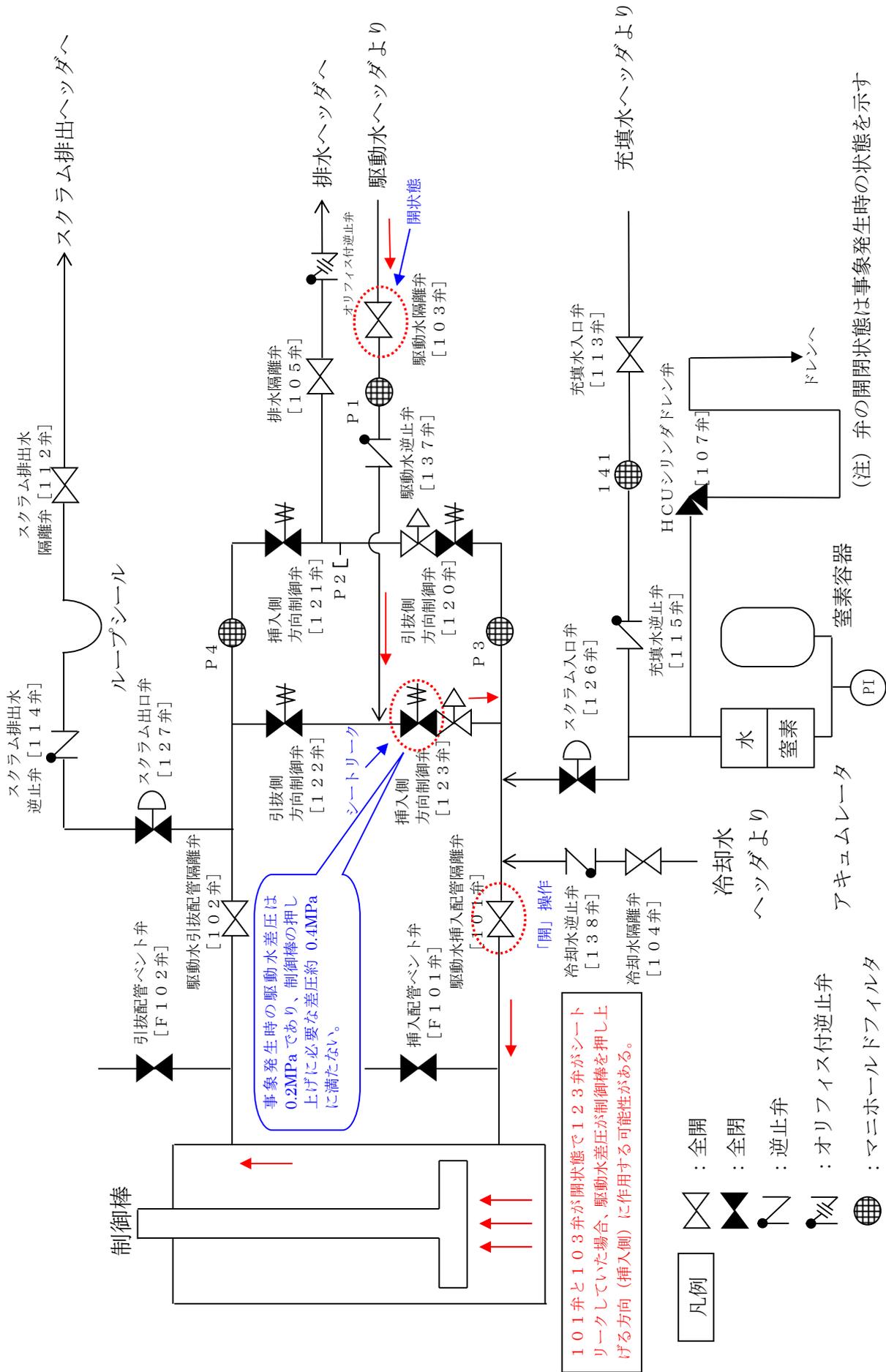


図4 制御棒駆動水圧系系統概略図

(挿入側方向制御弁 [123弁] のシートリークにより駆動水が制御棒挿入に作用する可能性について)

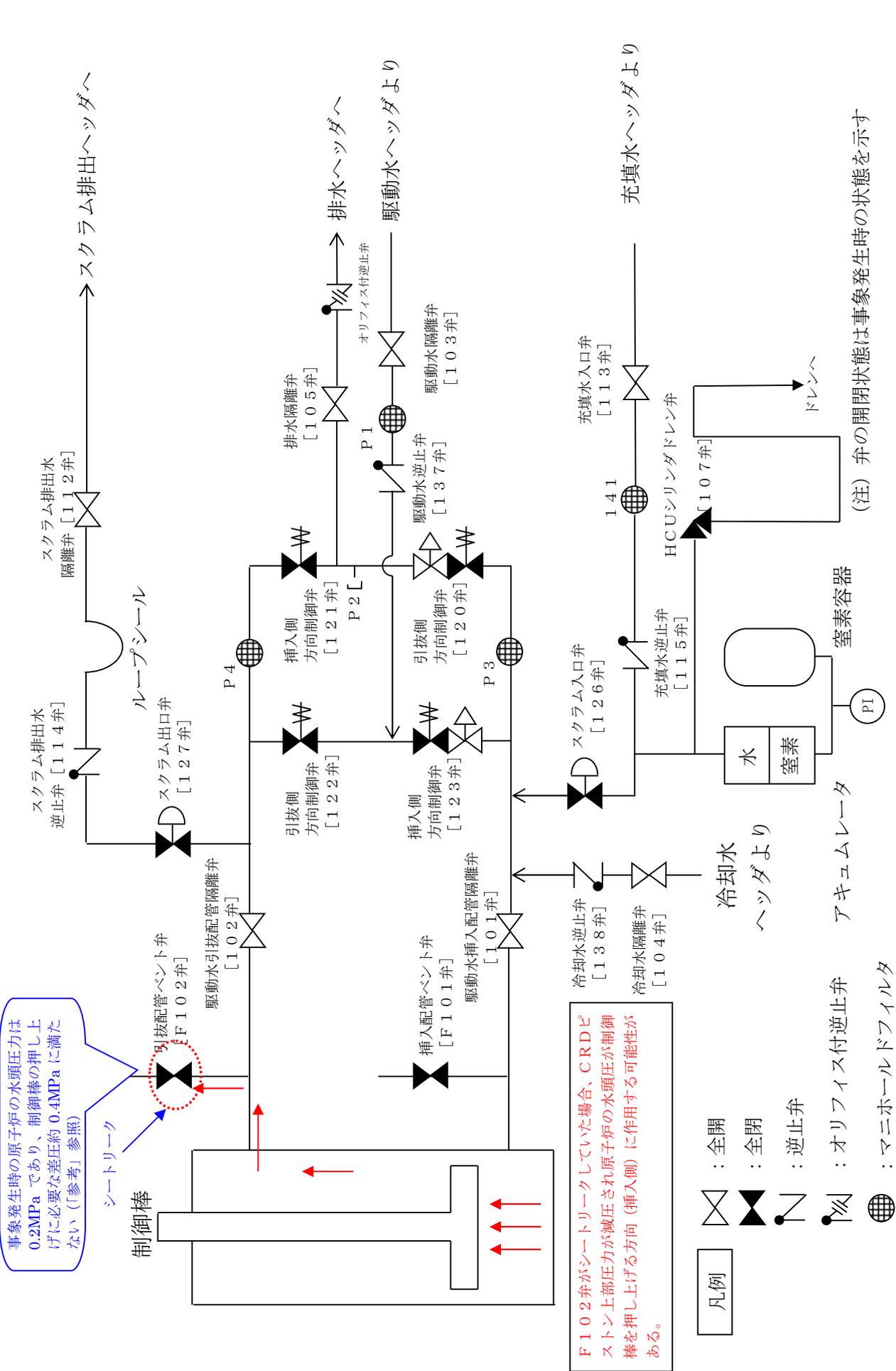
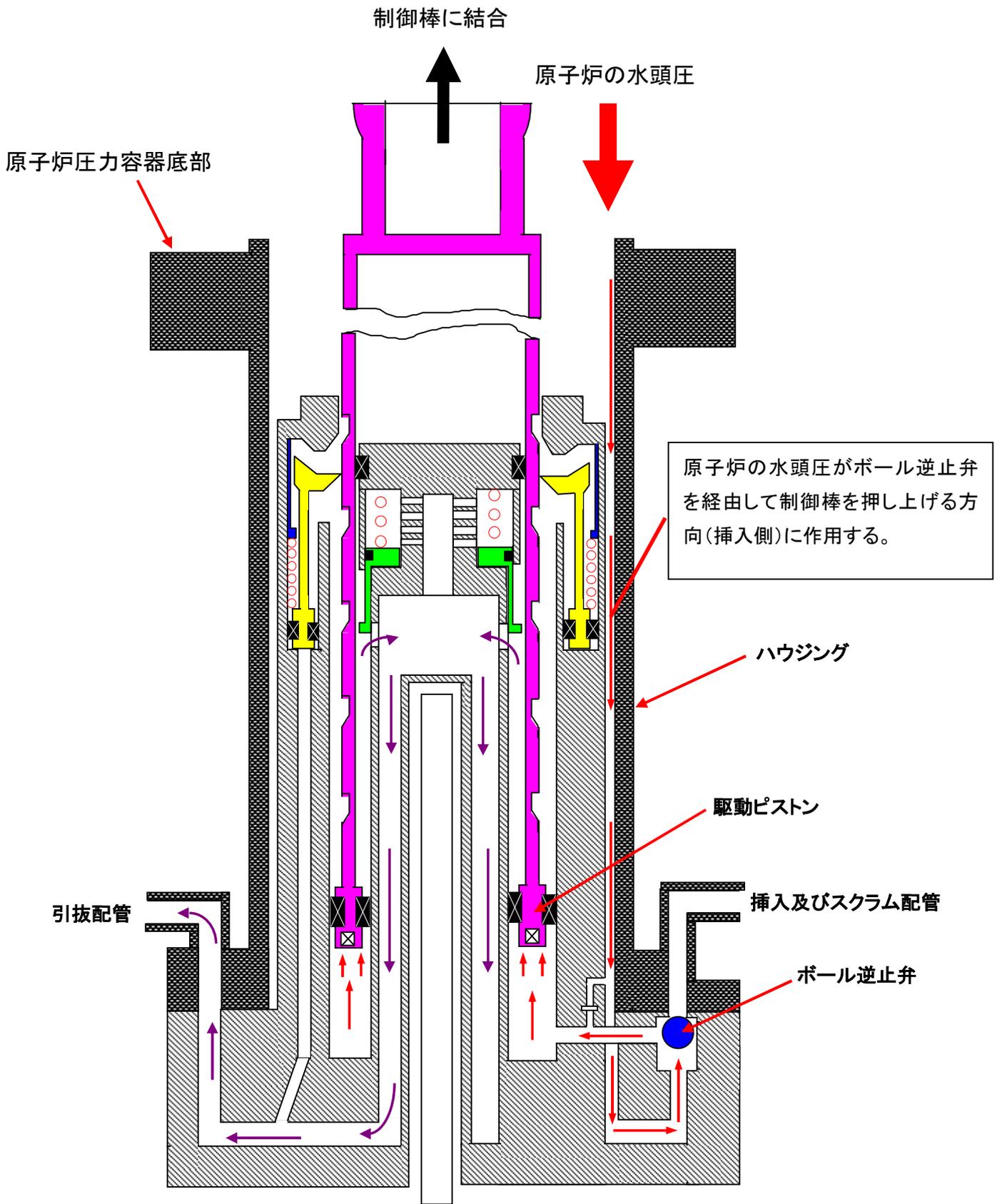


図 5 制御棒駆動水圧系系統概略図

(引抜配管ベント弁 [F102 弁] のシートリークにより原子炉の水頭圧が制御棒挿入に作用する可能性について)



原子炉の水頭圧による
制御棒挿入の概要

アキュムレータ圧力計の健全性確認

1. 目的

アキュムレータ圧力計の不具合により指示している圧力値よりも高い圧力で N_2 チャージしたことにより、アキュムレータのピストンリングから N_2 が充填水側にシートリークし、さらにスクラム入口弁〔126弁〕がシートリークしていた場合、駆動水挿入配管隔離弁〔101弁〕の開操作により、充填水が制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があることから、アキュムレータ圧力計の健全性確認を行う。

2. 調査方法

アキュムレータ圧力計〔PI-131〕（30-55）の点検記録を確認する。

3. 調査結果

アキュムレータ圧力計〔PI-131〕（30-55）は今回の定期検査において点検を実施しており、点検記録を確認した結果、適切に校正されていることが確認された。

4. 考察

アキュムレータ圧力計は適切に校正されており、健全性が確認されたことから、 N_2 充填時に充填圧力が過大に充填されたことはないため、今回の事象の要因とはならない。

| 第5号機 KK-5M 一般計測設備点検修理工事 | | | | | | 定検回数 | メンバー | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------|------------|-----------|----------------------|-------------|------------|-----------|---------------|------|----|------|----|
| 計器番号 | C12-PI-131(30-55) | | | | | Rev | 02 | | | | | | |
| 系統名称 | 制御棒駆動系 | | | | | 会社名 | [Redacted] | | | | | | |
| サービス名 | HCUアキュムレータ圧力(30-55) | | | | | 承認者 | [Redacted] | | | | | | |
| 入力レンジ | 0.00 MPa ~ 20.00 MPa | | 出力レンジ | | 0.00 MPa ~ 20.00 MPa | | 入出力特性 | | | | | | |
| 精指示 | | -0.5 ~ +0.5 %FS | | ヘッド | | 補正值 | | 試験日 | 2015年10月13日 | 総合判定 | 良 | | |
| 設定 | | ~ | | 比重 | | P & I D | | 交換年 | 2006年 | | | | |
| 関連計器 | | 製造番号 | | 製造者 | | 型式 | | 工種番号 | MI-102-01 | 点検分類 | 件名 | 点検内容 | 本格 |
| ECWD(1) | | 製造番号 | | 製造者 | | 型式 | | 設置場所 | R/B IFL HCU北側 | | | | |
| ECWD(2) | | 製造番号 | | 製造者 | | 型式 | | BU3/8×100 | | | | | |
| 校正点 | 入力基準値 | 入力補正值 | 出力基準値 | 校正前出力 | 誤差 | 校正後出力 | 誤差 | | | | | | |
| (%) | (MPa) | (MPa) | (MPa) | (MPa) | (%FS) | (MPa) | (%FS) | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | | | | | | |
| 25.00 | 5.00 | | 5.00 | 5.00 | 0.00 | | 0.00 | | | | | | |
| 50.00 | 10.00 | | 10.00 | 10.00 | 0.00 | | 0.00 | | | | | | |
| 75.00 | 15.00 | | 15.00 | 15.00 | 0.00 | | 0.00 | | | | | | |
| 50.00 | 10.00 | | 10.00 | 10.00 | 0.00 | | 0.00 | | | | | | |
| 25.00 | 5.00 | | 5.00 | 5.00 | 0.00 | | 0.00 | | | | | | |
| 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | | | | | | |
| 最大誤差 | 試験日 | 今回値 | 試験日 | 前回値 | 試験日 | 前々回値 | | | | | | | |
| 出力1 | 2015/10/13 | 0.00 %FS | 2014/01/16 | -0.10 %FS | 2012/02/20 | 0.00 %FS | | | | | | | |
| 測定器名称 | | | 管理番号 | | | 備考 | | | | | | | |
| デジタルマノメータ | | | SC-B01-016 | | | | | | | | | | |
| 点検項目 | | 完了日 | | 結果 | | 点検項目 | | 完了日 | | 結果 | | | |
| 1 | 圧力指示計内/外部清掃を行う | 10/13 | 良 | 2 | 基準入力にて指示, 出力校正を行う | 10/13 | 良 | | | | | | |
| 3 | 検出配管のバージ及び導通確認を行う | 10/13 | 良 | 4 | 検出元弁以後の検出ラインの点検を行う | 10/13 | 良 | | | | | | |
| 5 | システムサービス後/エア抜き/リフレッシュを行う | 03/07 | 良 | 6 | インタービス後の指示値確認を行う | 03/07 | 良 | | | | | | |
| 7 | 最終確認(ロックアウト) | / | / | 8 | 最終確認(校正証) | 10/13 | 良 | | | | | | |
| 9 | 最終確認(閉止プラグ) | 03/07 | 良 | 10 | 最終確認(電源復旧) | / | / | | | | | | |
| 11 | 最終確認(弁復旧) | 03/07 | 良 | | | | | | | | | | |
| 出力No. | 点検前出力 | | | | | 点検後出力 | | | | | | | |
| 出力1 | 0.00 ~ MPa | | | | | 12.76 ~ MPa | | | | | | | |
| IDS備考 第12回定検 計器S I単位化のためRev.up(01) 第12回定検(地震/劣化修理工事) 校正点見直しの為Rev.Up(02) Oリング: 3P5220-16.21 校正データ備考 検査対象計器 | | | | | | | | | | | | | |

圧力計器

東京電力株式会社 柏崎刈羽原子力発電所

HCU内部配管の蓄圧による制御棒押し上げの可能性評価

1. 目的

HCU内部配管（挿入側配管）にエア等が存在し、圧縮された状態で隔離されていた場合、駆動水挿入配管隔離弁〔101弁〕の開操作によりエア等の蓄圧が開放されることで、制御棒を押し上げる方向（挿入側）に作用し、今回の事象が発生する可能性があるため、評価を行う。

2. HCU内部配管へのエア混入源の調査

HCU内部配管においては、方向制御弁〔120弁、121弁、122弁、123弁〕の点検の際に水が抜かれ、点検終了後のHCU復旧操作の過程で、配管内のエアを排出ヘッダ側へ押し出すことで水張りをを行う運用としていたが、HCU内の駆動水挿入配管隔離弁〔101弁〕垂直配管内のエアは押し出せない構造となっていたため、エアは残留している。

3. HCU内部配管蓄圧による挿入可能性評価

方向制御弁〔120弁、121弁、122弁、123弁〕の点検時にHCU内の駆動水挿入配管隔離弁〔101弁〕垂直配管内に残留したエアが、スクラム入口弁〔126弁〕のシートリークによって充填水により加圧されることで蓄圧された状態となり、この残留エアが駆動水挿入配管隔離弁〔101弁〕開操作時に制御棒を押し上げるために必要な差圧（約0.4MPa）まで体積膨張し、制御棒を押し上げた可能性がある。

以 上

制御棒の押し上げに必要なエア体積評価

1. 目的

スクラム入口弁 [126弁] (30-55) のシートリークによって、充填水圧力 13.1MPa により、制御棒の押し上げに必要なエア体積を算定する。

2. 制御棒の押し上げに必要なエア体積の算定

【制御棒ドリフト警報を発生するために必要な水容量： V_{CRD} 】

CRDピストン下部受圧面積： 26.32cm^2

制御棒ドリフト警報発生位置：20mm 以上

$$V_{CRD} = 26.32\text{cm}^2 \times 2\text{cm} (20\text{mm}) = 52.6\text{cc} (\text{cm}^3)$$

【圧縮されたエア溜まり体積： V_1 】

V_{CRD} ： 52.6cc

スクラム弁シートリークによる充填水圧力： 13.1MPa

押し上げに必要な差圧： 0.4MPa

炉圧： 0.2MPa

$$V_1 \times (13.1 + 0.1013) = (V_1 + V_{CRD}) \times (0.6 + 0.1013)$$

$$V_1 = V_{CRD} \frac{(0.6 + 0.1013)}{(13.1 - 0.6)}$$

$$V_1 = 52.6 \times \frac{(0.6 + 0.1013)}{(13.1 - 0.6)} \doteq 2.95\text{cc}$$

【HCU内部配管内のエア溜まりの体積： V_0 】

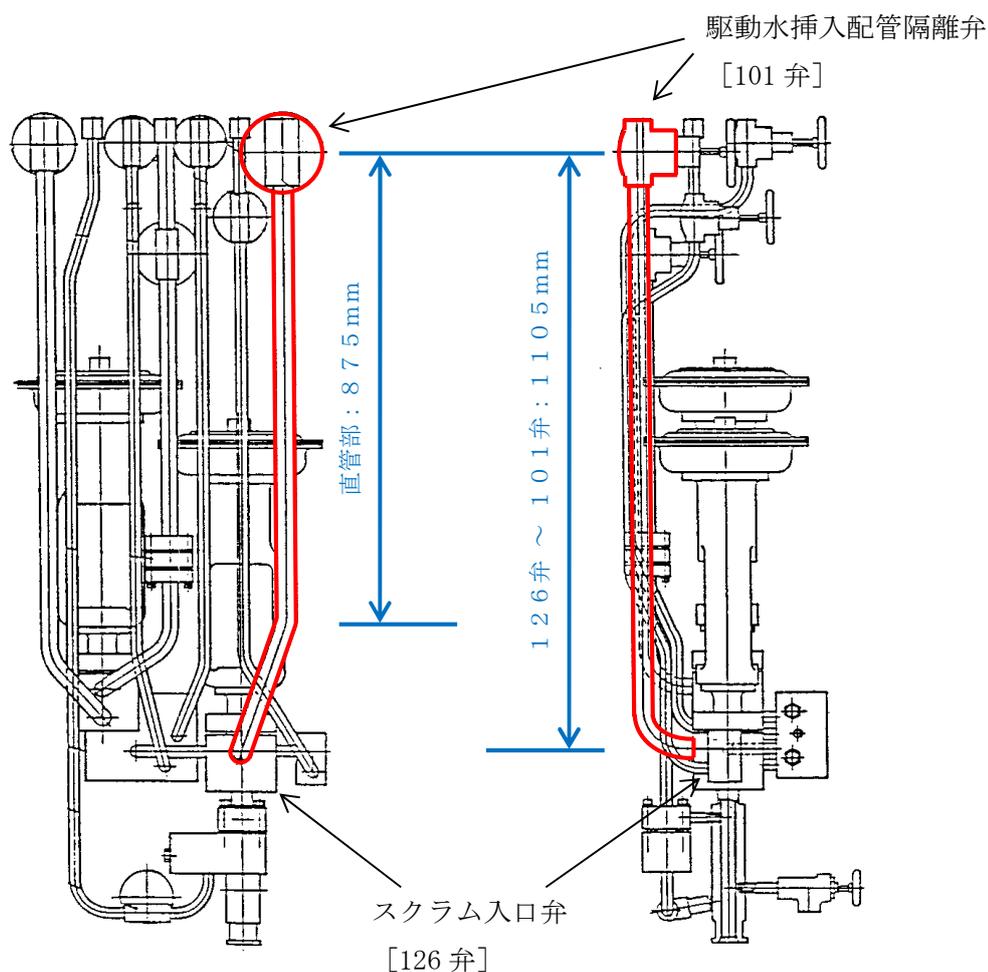
$$V_0 \times 0.1013 = (V_1) \times (13.1 + 0.1013)$$

$$V_0 = V_1 \frac{(13.1 + 0.1013)}{0.1013}$$

$$V_0 = 2.95 \times \frac{(13.1 + 0.1013)}{0.1013} \doteq 384\text{cc}$$

3. 今回の事象発生の可能性評価

スクラム入口弁 [126弁] からシートリークが生じ、約384cc以上のエアが残留し圧縮された場合、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] 開操作時に制御棒を押し上げるために必要な差圧 (約0.4MPa) まで体積膨張する。今回の調査結果から、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] 垂直配管内に約430ccのエアが残留することから、制御棒の押し上げに至る可能性があるとして評価した。



①駆動水挿入配管 (126弁～101弁間) の内径

$$34.0\text{ mm (外径)} - 2 \times 4.50\text{ (厚さ)} = 25.0\text{ mm}$$

②駆動水挿入配管の断面積

$$\pi \times (25.0\text{ mm (内径①)} \div 2)^2 \div 4 \approx 491\text{ mm}^2$$

③駆動水挿入配管立ち上がり部 (直管部) の体積

$$491\text{ mm}^2\text{ (断面積②)} \times 875\text{ mm (配管長さ)} \approx 430\text{ cc}$$

方向制御弁点検時における駆動水挿入配管のエア残留メカニズム

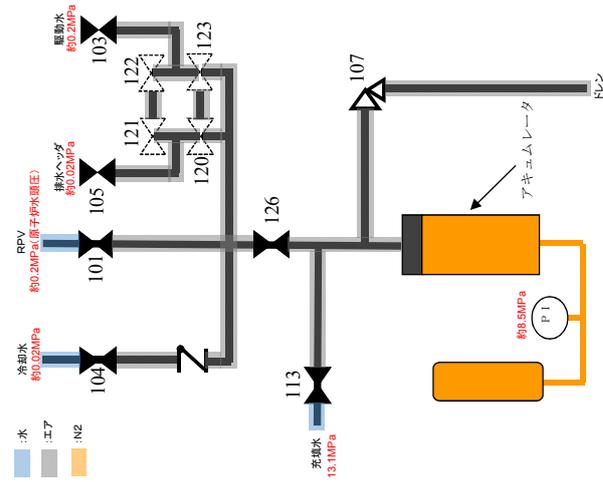


図 1：方向制御弁点検

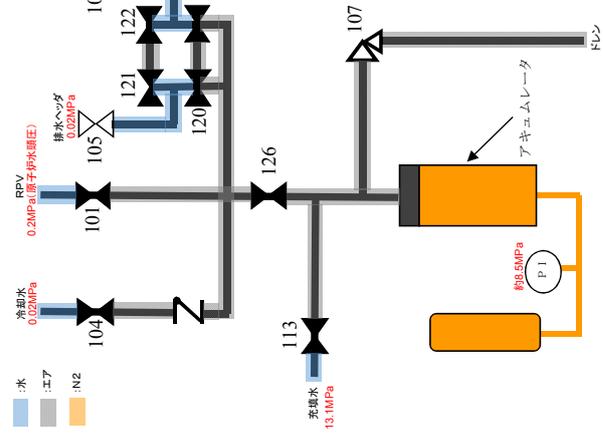


図 2：方向制御弁漏えい確認

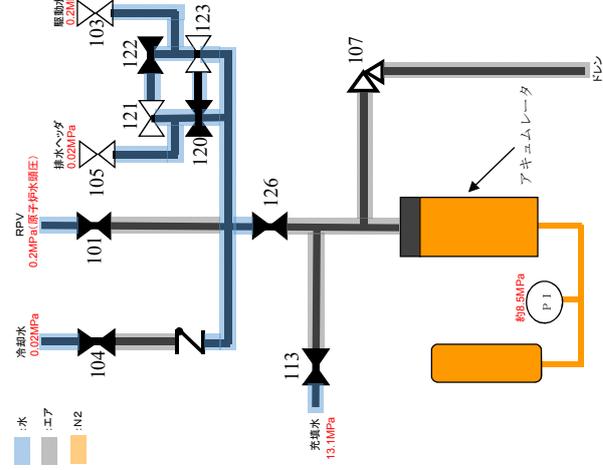


図 3：方向制御弁動作確認（挿入側）

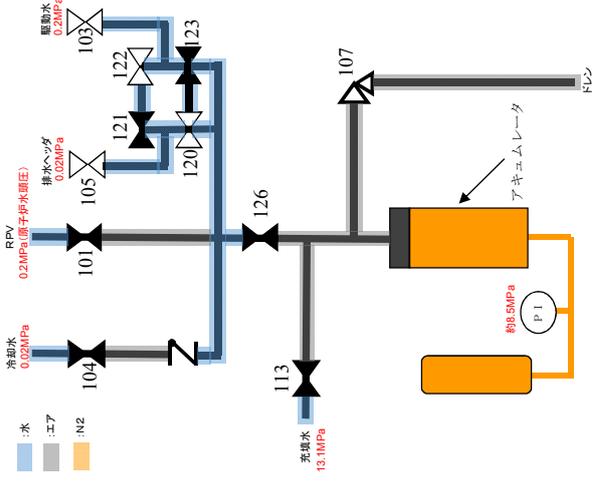


図 4：方向制御弁動作確認（引抜側）

①方向制御弁点検のため、マニホールド部から方向制御弁[120弁、121弁、122弁、123弁]を取り外す際にエアが混入する。

②方向制御弁[120弁、121弁、122弁、123弁]漏えい確認時、駆動水隔離弁[103弁]及び排水隔離弁[105弁]を開操作する事で、図2の範囲に水が張られる。

③挿入側方向制御弁[121弁、123弁]の動作確認時、[121弁]と[123弁]を開操作することで図3の範囲に水が張られる。

④引抜側方向制御弁[120弁、122弁]の動作確認時、[120弁]と[122弁]を開操作することで図4の範囲(図3と同様)に水が張られるが駆動水挿入配管隔離弁[101弁]の垂直配管内は配管配置上、エアポケットとなるためエアが残留する。

平成24年1月から平成28年3月までのHCUに係わる作業を作業予定及び運転員引継ぎ日誌から確認した。その結果、平成25年4月10日に全てのHCUを隔離した後、平成28年3月まで駆動水挿入配管隔離弁[101弁]を開けた実績は確認されなかった。このことから、平成26年3月に方向制御弁を点検する際に、駆動水挿入配管隔離弁[101弁]より前側の垂直配管内から水が抜け、方向制御弁点検終了後に駆動水挿入配管隔離弁[101弁]を開けていないことから駆動水挿入配管隔離弁[101弁]より前側の垂直配管にはエアが存在していた。

制御棒駆動水圧装置（HCU）蓄圧開放及び復旧操作時の操作内容

1. 体制

(1) HCU蓄圧開放時

中央制御室：HCU蓄圧開放指示者（作業管理G副長）、CR操作者（主機操作員）

現場：現場操作ピアチェック者（当直副主任）、現場操作者（補機操作員）

(2) HCU復旧時

中央制御室：HCU復旧指示者（作業管理G副長）、制御盤監視者（当直主任）

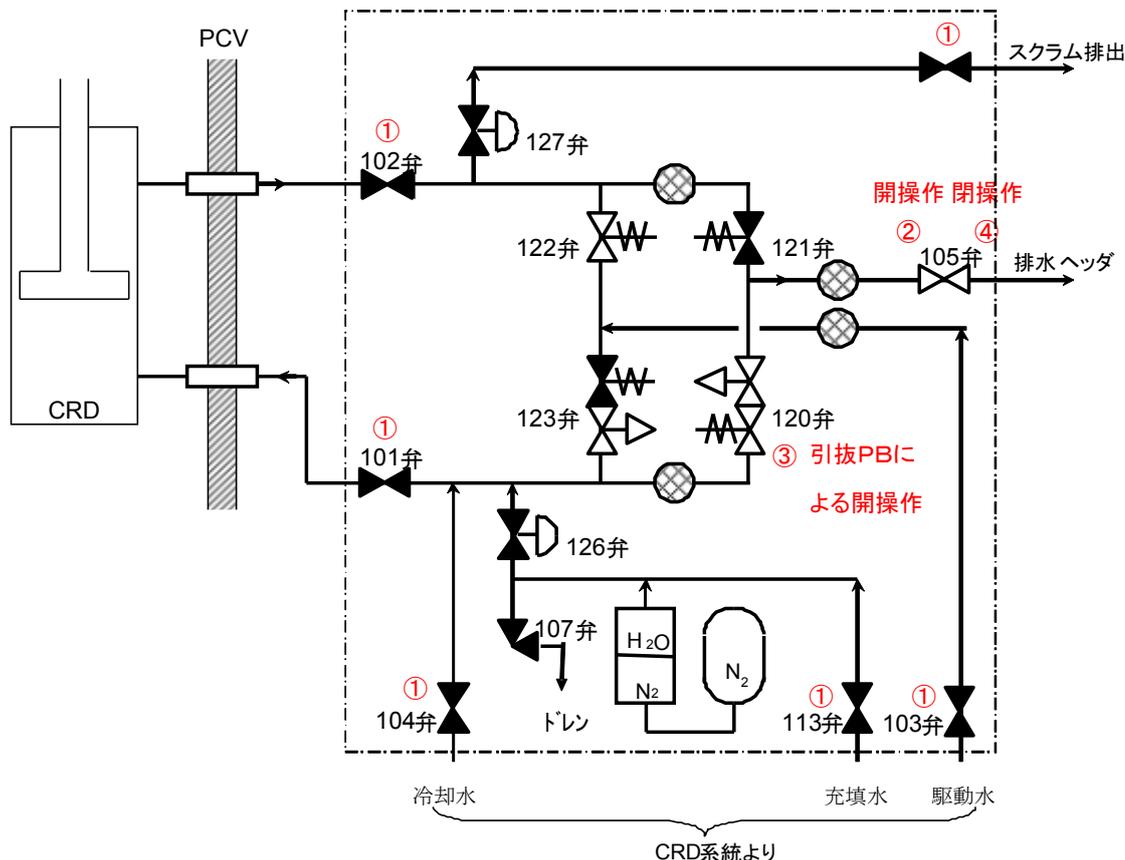
現場：現場操作ピアチェック者（当直副主任）、現場操作者（当直主任）

2. 操作手順

(1) HCU蓄圧開放手順

5号機設備別操作手順書（制御棒駆動水圧装置アキュムレータチャージ及び蓄圧開放）に従い、操作前の確認項目を確認した後、中央制御室運転員及び現場運転員は以下の手順によりアキュムレータチャージ後に蓄圧開放操作をした。

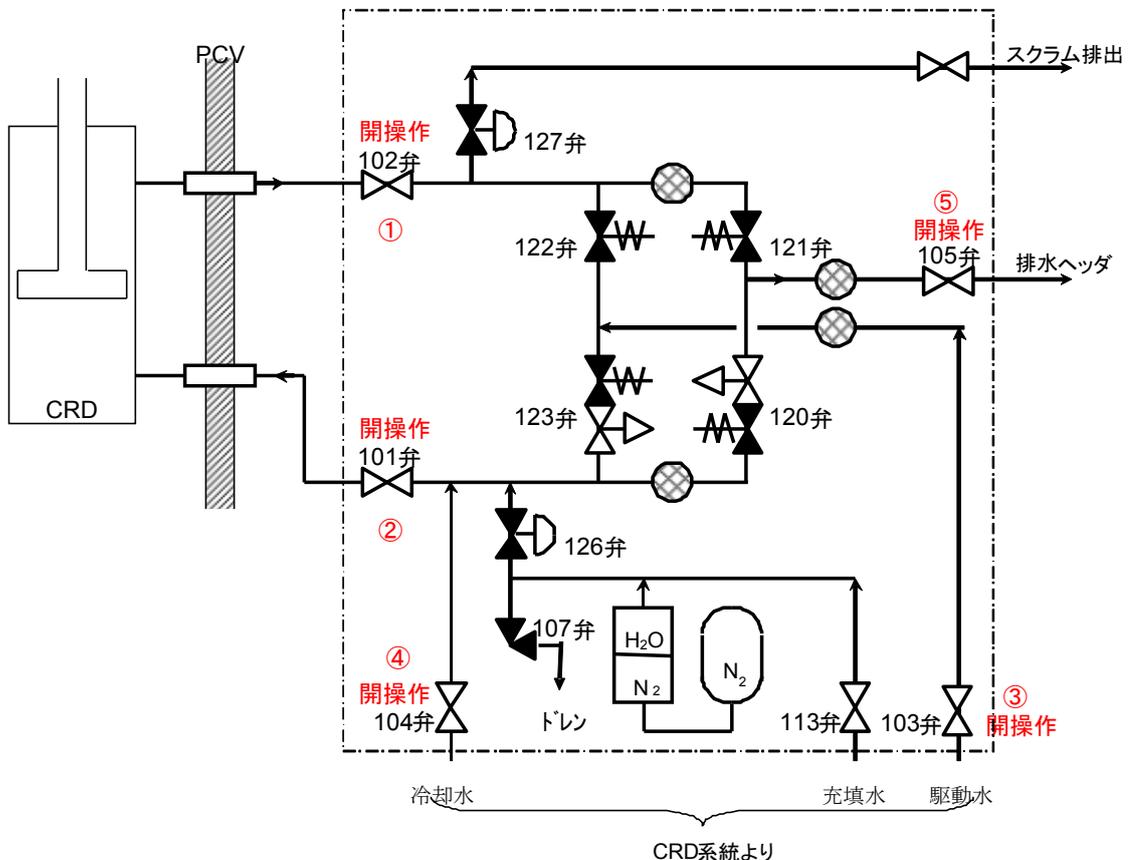
- ① HCU隔離状態を確認する。
- ② 排水隔離弁 [105弁] を全開する。
- ③ 中央制御室にて対象CRを選択し「引抜」PBを1回「ON」操作することで、引抜側方向制御弁 [120弁] を開閉し、駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] 前までの蓄圧を開放する。
- ④ 排水隔離弁 [105弁] を全閉し、HCUを隔離状態に戻す。



(2) HCU復旧操作手順

5号機設備別操作手順書（制御棒駆動水圧装置全数完全隔離からの復旧）に従い、操作前の確認項目を確認した後、現場運転員は以下の手順によりHCU（30-55）の復旧操作を開始した。

- ① 駆動水引抜配管隔離弁 [102弁] 全閉より全開。
- ② 駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] 全閉より全開。
- ③ 駆動水隔離弁 [103弁] 全閉より全開。
- ④ 冷却水隔離弁 [104弁] 全閉より全開。
- ⑤ 排水隔離弁 [105弁] 全閉より全開。



3. 操作状況

2名の現場操作員は、中央制御室指示者からの指示を受け手順書及びチェックシートに従いHCU復旧の弁操作を開始した。

現場運転員は2人1組で操作を実施し、操作手順書及びチェックシートに従い、1名が弁操作、もう1名がピアチェックを行った。

本事象発生時のHCU復旧対象は90体予定されており、HCU（30-55）の復旧は1体目の復旧操作であった。

なお、前日3月7日に実施した95体のHCU復旧操作時も同一の運転員が実施しており、制御棒ドリフト警報は発生していない。

4. 聞き取り調査結果

(1) 現場運転員は操作手順を確認後、弁操作順序に従い当該HCU復旧のための弁操作を行った。

弁操作順序(①102弁(閉→開)→②101弁(閉→開)→③103弁(閉→開)→④104弁(閉→開)→⑤105弁(閉→開))は間違いなく行われていた。

なお、操作手順の確認の際には、確認者と操作者間で3WAYコミュニケーションによる相互確認を実施していた。

弁操作の際には、指差呼称を実践しながら操作を行った。

(2) 当該HCU「制御棒ドリフト」警報発生について、中央制御室から連絡を受けたが、連絡を受けた際には当該HCUの弁操作は全て完了していた。

(3) 102弁→101弁→103弁→104弁→105弁の操作について、同時操作は行っておらず、各々約10秒間隔で操作を行っていた。

5. 考察(操作の妥当性評価)

操作手順書及びチェックシートの確認、ならびに運転員からの聞き取り結果を評価すると、今回のHCU蓄圧開放及びHCU復旧操作に関して問題になる行為は確認されなかった。

また、併せて手順書の内容を検証した結果、HCU駆動水配管内への蓄圧対策として定めたHCU蓄圧開放手順書及びHCU復旧手順書となっていることが確認できた。

以上のことから、本事象における操作については妥当なものと評価される。

ただし、今回使用した手順では、スクラム入口弁[126弁]にシートリークがある場合、HCU蓄圧開放後にHCU挿入配管内に残留したエアが充填水により再度蓄圧される可能性までは考慮していないことがわかった。

NM-51-5・KK-H1-540、5号機 設備別操作手順書 第1編
2013年12月29日(247)

4-6項 制御棒駆動水圧装置アキュムレータチャージ及び蓄圧開放

| | |
|----|--|
| 目的 | 制御棒駆動水圧装置 (HCU) を隔離状態から通常状態へ復帰するに先立ち、アキュムレータをチャージする。 その後、蓄圧開放操作を行い、蓄圧によるHCU復旧時のCRドリフト動作を予防する。 |
|----|--|

[参考事項]

- (1) CRD充てん水圧力高/低 警報設定値
[C12-PS-609] H: 13.7Mpa L: 11.4MPa
 - (2) CRDアキュムレータ圧力低/水位高 警報設定値
[C12-PS-130] 10.64MPa [C12-LS-129] 45cc
 - (3) CRD冷却水/RPV差圧低 警報設定値
[C12-DPS-607A-2] L: 0.10MPa
 - (4) CRD冷却水/RPV差圧高 警報設定値
[C12-DPS-607A-2] H: 0.36MPa
 - (5) CRD冷却水/RPV差圧高高 警報設定値
[C12-DPS-607A-1,B,C] HH: 0.51MPa
- CR引抜け防止インターロック「許可」位置でCRDポンプトリップ

2016.2.22 実施



| | |
|------|--|
| 操作概要 | <ol style="list-style-type: none"> ① 原子炉スクラムがリセットされていることを確認する。 ② 原子炉の状態に応じたスクラム要素が動作可能であることを確認する。 ③ CRD系がリターンラインにて運転中であることを確認する。 ④ 復旧する対象のHCUであることを確認する。 ⑤ CRD充填水ヘッダ隔離中は、全HCUの充填水入口弁 [113] 「全閉」確認後、CRD充填水ヘッダの満水確認をしてインサービスする。 ⑥ アキュムレータの充填をする。 <ol style="list-style-type: none"> ① 蓄圧防止のために「全開」していたアキュムレータドレン弁[107]を一旦「全閉」する。 ② スクラム弁空気ヘッダボール弁[116]の「全開」操作または「全開確認」する。 ③ 充填水入口弁 [113] を開操作して、アキュムレータを満水とする。 ④ アキュムレータUシールドドレン弁の「全閉」を確認する。 ⑤ HCUシリンダドレン弁[107]にてエアイベントを実施し、アキュムレータ圧力が規定圧力(約 10.5MPa)以上にあることを確認する。 ⑥ アキュムレータUシールドドレン弁を「全開」にする。 ⑦ 制御棒の予期せぬ動作再発防止策 (アキュムレータ充填後蓄圧開放操作) を実施する。 <ol style="list-style-type: none"> ① HCU隔離状態を確認する。 ② 排水隔離弁[105]を一旦「全開」する。 ③ 中操にて対象CRを選択し、「引抜」PBを1回「ON」とし駆動水挿入配管隔離弁[101]上流の蓄圧を開放する。 ④ 排水隔離弁[105]を「全閉」しHCU隔離状態に戻す。 |
|------|--|

1A-4-6-1

知的財産 取扱注意 社内関係者限り 第二運転管理部

| | |
|------------------|--|
| 注 意 事 項 | <ul style="list-style-type: none">・操作手順4「CRD充填水ヘッダのインサービス」操作については、HCUの全数隔離状態において、充填水入口弁 [113] シートバス発生等により充填水ヘッダを隔離している場合のみ実施する。 操作不要な場合は一括斜線抹消し次手順へ移行すること。・操作前のアキュムレータ圧力が 8.1MPa～8.3MPa (周囲温度 20℃) の範囲内にあることを確認する。(N₂プレチャージ圧力)・HCU隔離中にスクラム弁リークテスト等で充填水側を加圧し、圧抜きが実施されない状態 (ACCのピストンが下端にある) で復帰操作のためアキュムレータを充填した場合、圧力を上昇させることができないことがある。この場合は充填水側のブローを行った後、N₂の再充填、充填水による再加圧を試みること。 ・制御棒の予期せぬ動作再発防止策 (アキュムレータ充填後蓄圧開放操作) について (K-3 CR38-59 ドリフト関連 A/R No85490 の対策)・HCU隔離状態にて、蓄圧開放操作を実施する際、万が一のシートバスを考慮しCRD系統の運転状態は最低流量で駆動水差圧も十分低い値であることを確認した上で実施すること。 なお、本操作に伴うCR「1 ノッチ引抜操作」する行為について、HCUは隔離状態 (※) であるため、保安規定67条には該当しない。 ※[105]は「全開」となっているが、[101]及び[102]は「全閉」(制御棒駆動機構除外中) であるため。【蓄圧開放操作とは】 アキュムレータブロー状態が続くと、下記気体が『アキュムレータへスクラム入口弁[126]』間に混入する。 ①アキュムレータのピストンシール部からリークしたN₂。 ②アキュムレータブロー時に外部から混入したエア この時、HCUシリンダドレン弁[107]が「全閉」となっていると、圧力の逃げ先が無いことから、上記気体が『蓄圧された』状態となる。この状態でスクラム入口弁[126]のシートリークがある場合、あるいはスクラム入口弁[126]開閉した場合、蓄圧された気体が『駆動水挿入配管隔離弁[101]へスクラム入口弁[126]』間へ移動する。 この状態で、HCUインサービスのために駆動水挿入配管隔離弁[101]を「開」操作すると、蓄圧した気体が膨張してCRDピストン下部に掛かり、CRを持ち上げる (ドリフトさせる) 原因となる。 この蓄圧対策として、HCU全隔離の状態から排水隔離弁[105]のみ「全開」にて「1 ノッチ引抜操作」を行い、蓄積した圧力を開放しCRドリフトを予防することを『蓄圧開放操作』という。 但し、アキュムレータブローを行わない場合は、蓄圧源となる気体が混入しないことから蓄圧開放操作は不要とする。 (蓄圧防止対策として、アキュムレータブロー時はHCUシリンダドレン弁[107]を「全開」運用としているが、万が一に備え蓄圧開放操作を行う)・個々のHCU操作にあたっては、「HCU隔離・復旧操作時チェックシート」を手順書に代えて使用できるものとし、必要事項を記入する。・HCU隔離操作後に、「HCUタグ」(NM-51-8 作業管理マニュアルによる) を使用して弁状態を再確認し必要事項を記入する。 (K-1「HCU50-27 チェックシート記載漏れ」不適合、及び2F-3「HCU再隔離忘れによるLCO逸脱」事例の対策)・制御棒駆動水圧装置の弁操作の際は、弁シート保護のため、基本的にウイスキーによる締付操作は禁止する。・アキュムレータUシールドレン弁は通常開運用とし、アキュムレータ内への空気混入防止のため、HCUドレン操作前に閉とすること。 |
|------------------|--|

4-6項 制御棒駆動水圧装置アキュムレータチャージ及び蓄圧開放

| 操作手順 | 操作内容 | 確認事項 | 操作場所 | 確認日 | 確認者 |
|------|---|---|--------------------------|-----|-----|
| ① | 原子炉スクラムがリセットされていること。 | 下記ANN消灯 「A系原子炉自動スクラム」 「B系原子炉自動スクラム」 「A系原子炉手動スクラム」 「B系原子炉手動スクラム」 | H11-P701 | | |
| ② | CRD系内のIA系の弁状態をバルブチェックリストにより確認する。 | | | | |
| ③ | ① チャージング・PHS等の通信手段により、中操 現場間の連絡が速やかに取れることを事前に確認 する。 | | | | |
| ④ | ② HCU操作員毎 「HCUタグ」を | | | | |
| ⑤ | ③ HCU操作後 「HCUタグ」 | | | | |
| 4 | CRD充填水ヘッダの 手順4についてはHCU 充填水入口弁 [113] シートバス発生等により充填 水ヘッダを隔離している場合のみ実施する。本操作 不要時は一括斜線抹消する。 | | | | |
| | (1) 全てのHCUにおいて、充填水入口弁[113]が、 「全閉」であることを確認する。 | 全HCUが対象 | R/B B1F HCUエリア | | |
| | (2) CRD充填水止め弁[C12-F018]を「微開」にし、 CRD充填水ヘッダのチャージングを開始する。 | | R/B B1F マスターコントロールエリア | | |
| | (3) 下記弁にてエアイベント確認 CRD充填水ライン1次ベント弁及び2次ベント弁 [C12-F501, F502] 「微開でベント」→「ベント完了後全閉」。 | | R/B B1F HCU 北側エリア | | |
| | (4) CRD充填水止め弁を [C12-F018] を「徐々 に全開」にする。 | | R/B B1F マスターコントロールエリア | | |
| ⑤ | 中操へアキュムレータチャージ開始連絡をし、HCU隔 離されていることを「HCUタグ」等により再確認しチ ャージ操作を開始する。 | 13-28-15-26 | R/B 1F HCUエリア | | |

サークルスラッシュ：手順書ステップの脱落又は重複を防止するための重要なH/E防止ツールであり、サークルスラッシュは「進行中」のステップ番号に○を付け、終了ごとに斜線を引く方法。

| 操作 手順 | 操 作 内 容 | 確 認 事 項 | 操 作 場 所 | 確 認 日 | 確 認 者 |
|----------|--|----------------------------------|-------------------|-------------|-------------|
| ⑥ | アキュムレータ圧力が所定の圧力(約8.2MPa程度)であることを確認する。所定の圧力でなければN ₂ ガスを充填する。 | 現在値: 8.2 MPa | R/B 1F HCUエ77 | | |
| ⑦ | 各HCUのアキュムレータ充填水をチャージする。 ・個々のHCU操作にあたっては、「HCU隔離・復旧操作時チェックシート」を手順書に代えて使用できるものとし、必要事項を記入する。 | 各HCUアキュムレータチャージについては同時並行操作してもよい。 | | | |
| ① | HCUシリンダドレン弁[107]を「全閉」とする。 | | R/B B1F HCUエ77 | | |
| ② | スクラム弁 空気ヘッドボール弁 [116] の「全開」操作または「全開」確認をする。 | | R/B B1F HCUエ77 | | |
| ③ | <p>③ 充填水入口弁[113]をゆっくり「全開」する。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>アキュムレータ圧力が上昇しない場合 ・ 充填水入口弁[113]を「全開」する。 ・ HCUシリンダドレン弁[107]を「微開」し アキュムレータ圧力が降下し安定することを 確認した後、[107]を「全閉」する。 ・ アキュムレータをN₂により所定の手順で規 定圧力まで再充填操作を実施する。 ・ 充填水入口弁[113]をゆっくり「全開」し、ア キュムレータ圧力が上昇することを確認する。</p> </div> | アキュムレータ圧力が上昇する。 | R/B 1F HCUエ77 | | |
| ④ | アキュムレータUシールドレン弁の「全閉」確認をする。(HCU内エア混入防止の為) | | R/B 1F HCUエ77 | | |
| ⑤ | HCUシリンダドレン弁[107]を「微開」とする。 | | R/B 1F HCUエ77 | | |
| ⑥ | アキュムレータが満水となり、HCUシリンダドレン弁[107]より充填水が出てくることを確認する。 | | R/B 1F HCUエ77 | | |
| ⑦ | HCUシリンダドレン弁[107]よりエアが出なくなったことを確認する。 | | R/B 1F HCUエ77 | | |
| ⑧ | HCUシリンダドレン弁[107]を「全閉」。 | | R/B 1F HCUエ77 | | |
| ⑨ | アキュムレータUシールドレン弁を「全開」。 | | R/B 1F HCUエ77 | | |

| 操作手順 | 操作内容 | 確認事項 | 操作場所 | 確認日 | 確認者 |
|------|---|----------------------------------|-------------------|-----|-----|
| ⑧ | 弁状態を再確認するとともに「HCUタグ」に必要事項を記入する 異常のない事を確認、チャージ操作完了を中操へ連絡する | | R/B 1F HCU-97 | | |
| ⑨ | ① ANI「CRDアキュムレータ圧力異常」のクリア確認 ② アキュムレータ異常・スクラム表示 | | H11-P700 | | |
| ⑩ | ③ アキュムレータ圧力計[C12-PI-131]指示 | 通常圧力 約12.1MPa 現在値 12.8 MPa | R/B 1F HCU-97 | | |
| ⑩ | 制御棒の予期せぬ動作再発防止策（アキュムレータ充填後蓄圧開放操作）を実施する。 ① HCUの隔離状態を確認する。 | | R/B B1F HCU-97 | | |
| | ② 排水隔離弁[105]の「全閉」確認。 | | | | |
| | ③ 冷却水隔離弁[104]の「全閉」確認。 | | R/B B1F HCU-97 | | |
| | ④ 駆動水隔離弁[103]の「全閉」確認。 | | R/B B1F HCU-97 | | |
| | ⑤ 駆動水挿入配管隔離弁[101]の「全閉」確認。 | | R/B B1F HCU-97 | | |
| | ⑥ 駆動水引抜配管隔離弁[102]の「全閉」確認。 | | R/B B1F HCU-97 | | |
| | ⑦ スクラム排出配管止弁[112]の「全閉確認」または「全開」確認。 シングルロッドスクラム試験実施後の確認時は、全開確認となる。（ロックも確認すること。） | | R/B B1F HCU-97 | | |
| | ⑧ 排水隔離弁[105]を蓄圧開放操作のため、一旦「全開」とする。 19:16 | | R/B B1F HCU-97 | | |

当発電所3号機で発生した制御棒の予期せぬ動作事象に伴い、再発防止対策として反映された蓄圧開放手順。

| 操作 手順 | 操 作 内 容 | 確 認 事 項 | 操 作 場 所 | 確 認 日 | 確 認 者 |
|----------|---|--|----------|-------------|-------------|
| | <p>(3) 蓄圧開放操作 (HCU隔離状態での制御棒引き抜き操作) の準備を行う。</p> <p>① 制御棒値ミニマイザキースイッチを「バイパス」位置にする、又はバイパス位置であることを確認する。</p> | <p>RWM パネル 「手動バイパス」 RWM「プログラム」点灯 「PSP 以下」 「LPAP 以下」 消灯</p> | H11-P701 | | |
| | <p>② 制御棒選択許可キースイッチを「許可」位置とする。</p> | <p>「非許可/無選択」 点灯</p> | H11-P701 | | |
| | <p>③ CRD系統流量[C12-FIC605]が「全閉」最低流量であることを確認。 14-12</p> | | H11-P700 | | |
| | <p>④ 原子炉制御棒駆動水ヘッダ間差圧[C12-DPI606]が低い値であることを確認。 [101] [102] [104] は「全閉」中であるが、シートパス等であっても CR を挿入側に動かす (ラッチを外す) のに必要な圧力 0.4MPa 以下であること。</p> | <p>0.4MPa 以下 約 0.15MPa (実績) 現在 0.09 MPa</p> | H11-P700 | | |
| | <p>(4) 蓄圧開放操作のため CR を選択し、「制御棒引抜き阻止信号」が発生していないことを確認する。</p> | <p>「非許可/無選択」 消灯 「制御棒引抜き阻止」 警報アラーム シフト状態表示 「引抜き阻止」消灯</p> | H11-P701 | | |
| | <p>(5) 下記手順にて、蓄圧開放操作を行う。 操作時、CRの引抜けが無いことを確認する。</p> | <p>本操作については 保安規定 67 条には該 当しない。</p> | | | |
| | <p>① 蓄圧開放対象 CR を「選択」する。</p> | <p>4ROD にて CR 位置確認</p> | H11-P701 | | |
| | <p>② 引抜き PB を 1 回押す。 14-15</p> | <p>CR が動作しないこと を確認</p> | H11-P701 | | |
| | <p>③ 「挿入」→「引抜き」→「セトル」順次点灯後消灯 1 ノッチ引抜き操作にて、「引抜き」および「セトル」時に、制御棒引抜き用電磁弁 (排出用) 「120」が開することにより、[101]～[126]間の蓄圧を開放する。</p> | | H11-P701 | | |

| 操作 手順 | 操 作 内 容 | 確 認 事 項 | 操 作 場 所 | 確 認 日 | 確 認 者 |
|----------|--|--------------|--------------------|-------|-------|
| | ④ 制御棒位置表示4 RODにて、CR位置に変化がないことを確認。 | | H11-P701 | | |
| | ⑤ 残りの蓄圧開放操作対象CRについて、操作①~④を繰り返す。 | | H11-P701 | | |
| | ⑥ 制御棒選択許可キースイッチを「非許可」位置とする。 | 「非許可/無選択」点灯。 | H11-P701 | | |
| | ⑦ 蓄圧開放操作のため、一旦「全開」としていた排水隔離弁[105]を「全開」とする。1476 | | R/B B1F HCU 107 | | |
| | <p>112年開閉</p> <p>CR全開 → 9A, 804/min FLC</p> <p>15:45 フォーグコン 2.8% → 10.8%</p> | | | | |

4-9項 添付資料

実施日 2016年 2月 22日

実施者

(1) HCU隔離・復旧操作時チェックシート

記入はロケーションNo. を記入し、実施した操作完了欄をレ点チェックする。該当しない完了欄は「-」とする。

「O」全開または全開確認、「X」全閉 「Δ」両側閉

※1 スクラム排気配管弁[112]について、シングルロードスクラム試験実施後の隔離時は原則として閉操作しないこと。

| | | | | | | | | | |
|----------------|--|--------|----------|----------|------------------|-----------|---------|-------------|--------|
| 充填水バルブ前 | 113「X」確認(充填水バルブ隔離時のみチェック) | | | | | | | | |
| 隔離手順 | 106「X」→104「X」→103「X」→101「X」→102「X」→112「X/O」(※1) | | | | | | | | |
| ACCブロー手順 | 115「X」→07「X」→107「Δ」→107「O」→(必要により)116「X」 | | | | | | | | |
| 部分復旧手順 | 102「O」→101「O」→103「O」→106「O」 | | | | | | | | |
| 部分復旧状態からの再隔離手順 | 106「X」→103「X」→101「X」→102「X」 | | | | | | | | |
| 蓄圧開放前手順 | 105,104,103,101,102「X」確認,112「X」確認/O確認→105「O」 | | | | | | | | |
| 蓄圧開放後 | 106「X」 | | | | | | | | |
| ACCチャージ手順 | 107「X」→118「O」→113「O」→07「X」→107「Δ」→107「X」→07「X」→07「O」 | | | | | | | | |
| 復旧手順 | 112「O」→102「O」→101「O」→103「O」→104「O」→105「O」 | | | | | | | | |
| ロケーション | 充填水バルブ前完了 | 隔離手順完了 | ACCブロー完了 | 部分復旧手順完了 | 部分復旧状態からの再隔離手順完了 | 蓄圧開放前手順完了 | 蓄圧開放後完了 | ACCチャージ手順完了 | 復旧手順完了 |
| 30-55 | - | - | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | - |
| 34-55 | - | - | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | - |
| 38-55 | - | - | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | - |
| 42-55 | - | - | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | - |
| 34-59 | - | - | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | - |
| 38-59 | - | - | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | - |
| 42-59 | - | - | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | - |
| 34-51 | - | - | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | - |
| 38-51 | - | - | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | - |
| 42-51 | - | - | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | - |
| 46-51 | - | - | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | - |
| 50-51 | - | - | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | - |
| 46-55 | - | - | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | - |
| 54-47 | - | - | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | - |
| 50-47 | - | - | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | - |
| 46-47 | - | - | - | - | - | ✓ | ✓ | ✓ | - |

1A-4-9-I/E

知的財産 取扱注意 社内関係者限り 第二副本管理室

NM-51-5・KK-H1-540、5号機 設備別操作手順書 第1編
2013年12月29日(247)

4-7項 制御棒駆動水圧装置全数完全隔離からの復旧

| | |
|----|--|
| 目的 | 制御棒駆動水圧装置(HCU)を隔離状態から通常状態へ復旧することにより制御棒の挿入、引抜、スクラム動作を可能とする。 |
|----|--|

[参考事項]

- (1) CRD充てん水圧力高/低 警報設定値
[C12-PS-609] H: 13.7MPa L: 11.4MPa
 - (2) CRDアクムレータ圧力低/水位高 警報設定値
[C12-PS-130] 10.64MPa [C12-LS-129] 45cc
 - (3) CRD冷却水/RPV差圧低 警報設定値
[C12-DPS-607A-2] L: 0.10MP
 - (4) CRD冷却水/RPV差圧高 警報設定値
[C12-DPS-607A-2] H: 0.36MPa
 - (5) CRD冷却水/RPV差圧高高 警報設定値
[C12-DPS-607A-1,B,C] HH: 0.51MPa
- CR引抜け防止インターロック「許可」位置でCRDポンプトリップ

2016.3.8実施

| | |
|------|--|
| 操作概要 | <ol style="list-style-type: none"> ① CR引抜け防止インターロック許可・解除キースイッチが「許可」位置であること及びCRD系がリターンラインにて運転中であることを確認する。 ② 復旧する対象のHCUであることを確認する。 ③ スクラム排水隔離弁[112]を「全開」又は「全開確認」する。 ④ 駆動水引抜配管隔離弁[102]を「全開」する。 ⑤ 駆動水挿入配管隔離弁[101]を「全開」する。 ⑥ 駆動水隔離弁[103]を「全開」する。 ⑦ 冷却水隔離弁[104]を「全開」する。 ⑧ 排水隔離弁[105]を「全開」する。 ⑨ HCU復旧完了後、残留エア抜き操作を、原子炉Gへ実施依頼する。(制御棒の予期せぬ動作再発防止策) |
|------|--|

| | |
|------|---|
| 注意事項 | <ul style="list-style-type: none"> ・HCU隔離復旧操作に関して以下の事項を厳守すること。 ※当社における原子炉停止中の制御棒引抜け事象に鑑みた対策(指示事項)※ ① 制御棒駆動水圧装置の隔離を解除するときは、CRD系がリターンラインにて運転中及びCR引抜け防止インターロック「許可」位置であることを確認して実施する。 (CRDポンプの吐出圧力が、直接冷却水ラインより制御棒駆動機構に掛かり、ラッチ外れによるCRのドリフト、もしくは、制御棒駆動機構の損傷が考えられるため、リターンラインを構成して、CRD系の系統圧力が直接制御棒駆動機構に掛かることを防止する。) ② 助勢員が隔離復旧操作を行う場合は、常時、当直員による監視を行うこととし、監視員をHCUエリアに配置すること。 ③ 当直員及び助勢員は、操作前にHCUエリアに掲示している「HCU隔離・復旧時の注意事項」の内容を確認してから操作にあたること。 ④ 隔離復旧操作は1体(ユニット)ずつ実施することとし、操作中のユニットが完了しないうちに次のユニットには着手しないこと。なお、同時に複数人での隔離復旧操作も可とするが、HCU1体ずつ隔離復旧操作を実施すること。 <p style="text-align: right;">(次ページへ続く)</p> |
|------|---|

1A-4-7-1

| | |
|------------------|---|
| 注 意 事 項 | <p>⑤ 隔離復旧操作は、HCU全体を4グループに分割し、1グループ終了毎に中操へ連絡する。中操は、制御棒位置・警報発生・CRD冷却水差圧に異常がないことを確認し、次のグループの隔離復旧指示を出す。</p> <p>⑥ CRD系がノンリターン運転中にHCUの隔離復旧操作を行う必要がある場合は、複数人(チーム)による平行しての隔離復旧操作を禁止する。(1体HCU操作中は残りの184体を操作してはならない。)</p> <p>また、1体の隔離復旧操作が終了する都度、進捗状況の確認を実施すること。</p> <p>⑦ 制御棒駆動水圧装置の弁操作の際は、弁シード保護のため、基本的にウイルキーによる締付操作は禁止する。</p> <p>⑧ スクラム信号の発生による制御棒起動機構の損傷防止のため、駆動水挿入配管隔離弁[101]を開ける時は、必ず駆動水引抜配管隔離弁[102]、スクラム排水隔離弁[112]の排出側が先に全開となっていることを確認する。</p> <p>⑨ 個々のHCU操作にあたっては、「HCU隔離・復旧操作時チェックシート」を手順書に代えて使用できるものとし、必要事項を記入する。</p> <p>⑩ HCU隔離復旧操作後に、「HCUタグ」(NM-51-8 作業管理マニュアルによる)を使用して弁状態を再確認し必要事項を記入する。 (K-1「HCU50-27 チェックシート記載漏れ」不適合、及び2 E-3「HCU再隔離忘れによるLCO逸脱」事例の対策)</p> <p>⑪ HCU隔離復旧操作後、大気圧シングルロッドスクラム試験を予定している場合、112弁を開ロックとする。 (東海第二「原子炉自動停止における制御棒1本の不完全挿入事象」対策)</p> <p>⑫ 制御棒駆動水圧装置全数完全隔離からの復旧は、アキュムレータチャージが完了していることを確認し実施すること。</p> |
|------------------|---|

4-7項 制御棒駆動水圧装置全数完全隔離からの復帰

| 操作手順 | 操 作 内 容 | 確 認 事 項 | 操 作 場 所 | 確 認 日 | 確 認 者 |
|------|--|--|--|-------|-------|
| ① | (1) RD系がリターンラインにて運転中であることを確認する。 a. CR引抜け防止インターロック許可・解除スイッチ「許可」位置確認。 b. CRD原子炉耐圧テスト止め弁(C12-F040)「全開」(LO) 確認 c. CRDリターンライン止め弁[G31-M0-F140]「全開」確認 | 「CR引抜け防止インターロック許可位置」警報発生中 | H11-P700 R/B 1F CRDマスターコントロールエリア | | |
| ② | (2) コーミング・PHS等の通信手段により、中操⇒現場間の連絡が速やかに取れることを事前に確認する。 | | | | |
| ③ | (3) HCU隔離復旧操作中であることを中操操作員に注意喚起するため、「HCU隔離・復旧作業中」の掲示を取り付ける。 | | H11-P701 | | |
| ④ | (4) 隔離復旧作業中に特に注意すべき以下の監視計器識別のため赤マグネット等の掲示を取り付ける。 ④全挿入・全引抜・ドリフト表示 ④原子炉・制御棒駆動水ヘッダ間差圧 (C12-DPI-606) ④原子炉・制御棒冷却水ヘッダ間差圧 (C12-DPI-607) ④SRM指示 (C51-NR-601) | ④点灯、④消灯 B付入 0.2MPa 0.02MPa 6/45/22/35710 | H11-P701 H11-P700 H11-P700 H11-P701 | | |
| ⑤ | (5) 「5号機 HCUグループ分け」シートを準備、確認する。 | | | | |
| ⑥ | (6) HCU操作員毎に「HCU隔離・復旧操作時チェックシート」を準備、確認する。 | 1A-4-9-1/B 準備 | | | |
| ⑦ | (7) HCU操作後弁状態確認のため、全HCUに「HCUタグ」が準備されている事を確認する。 | | | | |
| ⑧ | (8) 4-6項 制御棒駆動水圧装置アキュムレータチャージが完了していること。 | | | | |
| ⑨ | (9) グループ1 隔離復旧開始を中操へ連絡し各HCUを復旧する。 ・個々のHCU操作にあたっては、「HCU隔離・復旧操作時チェックシート」を手順書に代えて使用できるものとし、必要事項を記入する。 各HCU隔離復旧操作中は、原子炉、制御棒冷却水ヘッダ間差圧及びSRM指示を監視すること。 差圧上昇を確認した場合は、HCU隔離復旧操作を中断し、原因を調査する。 | 14:07~ P.L.S. | | | |

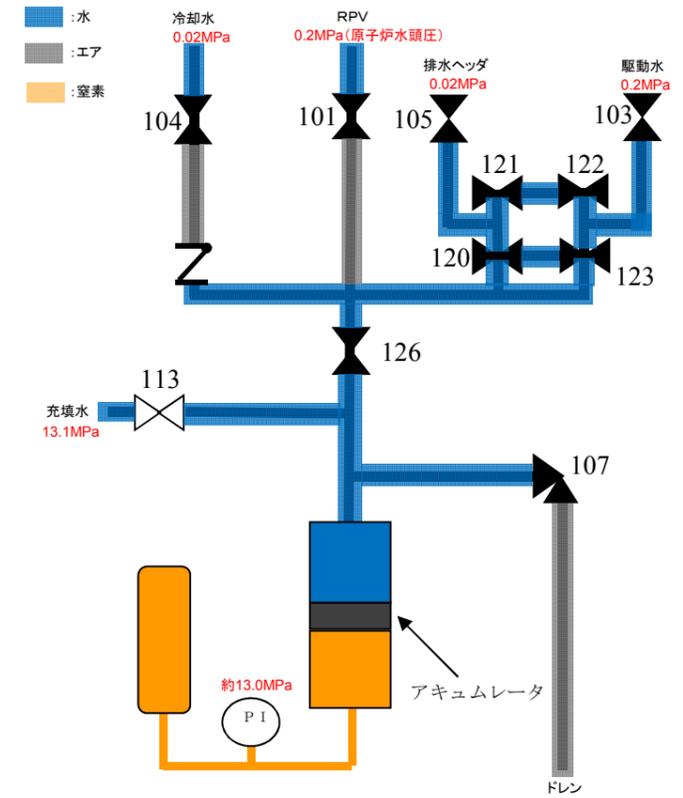
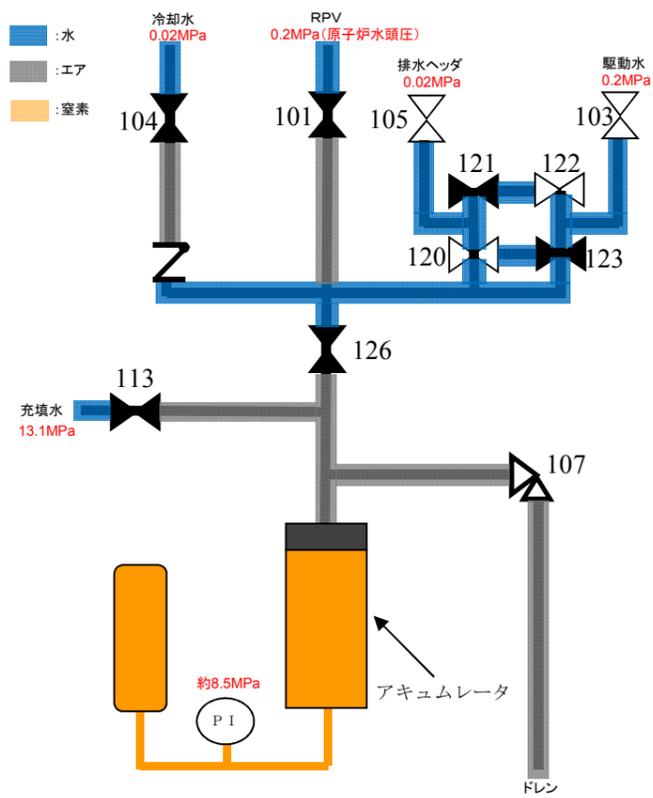
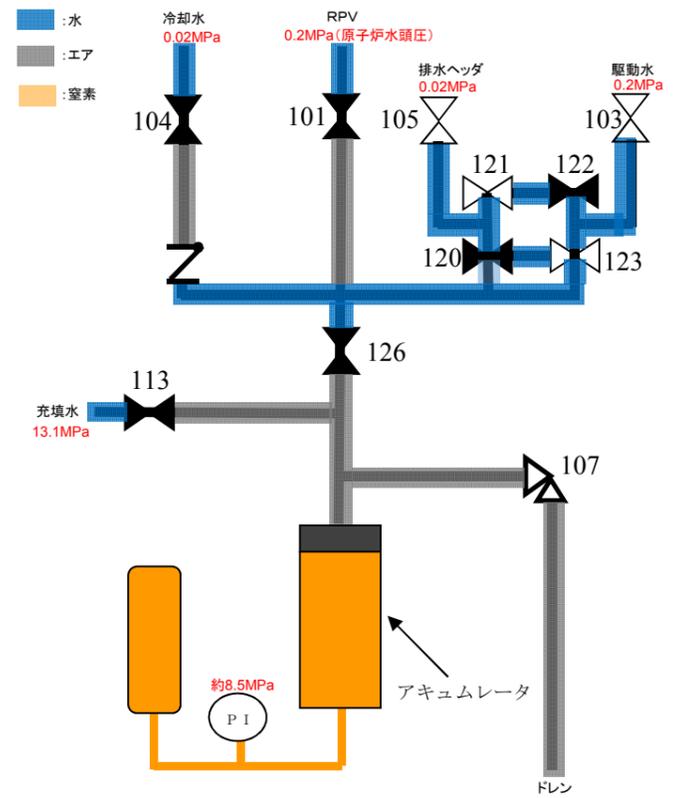
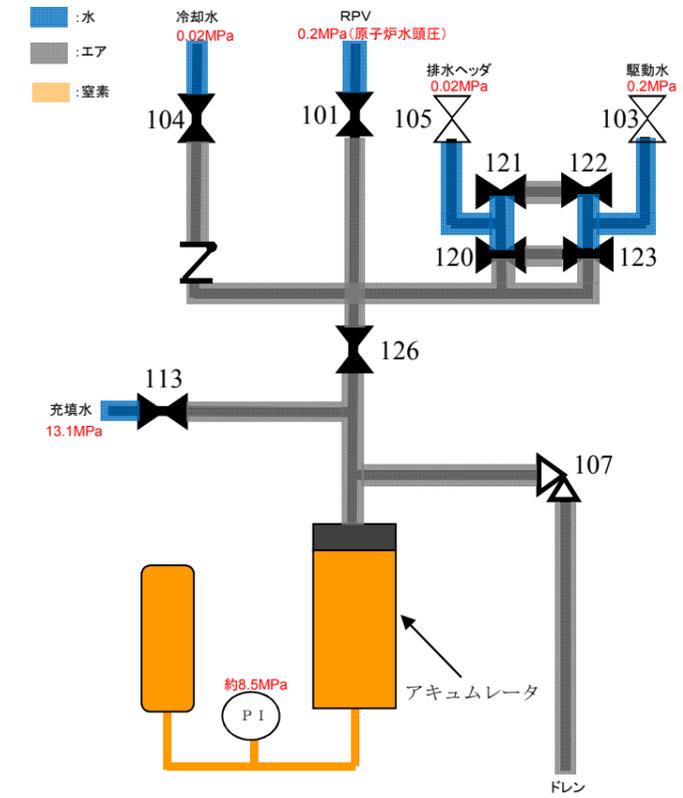
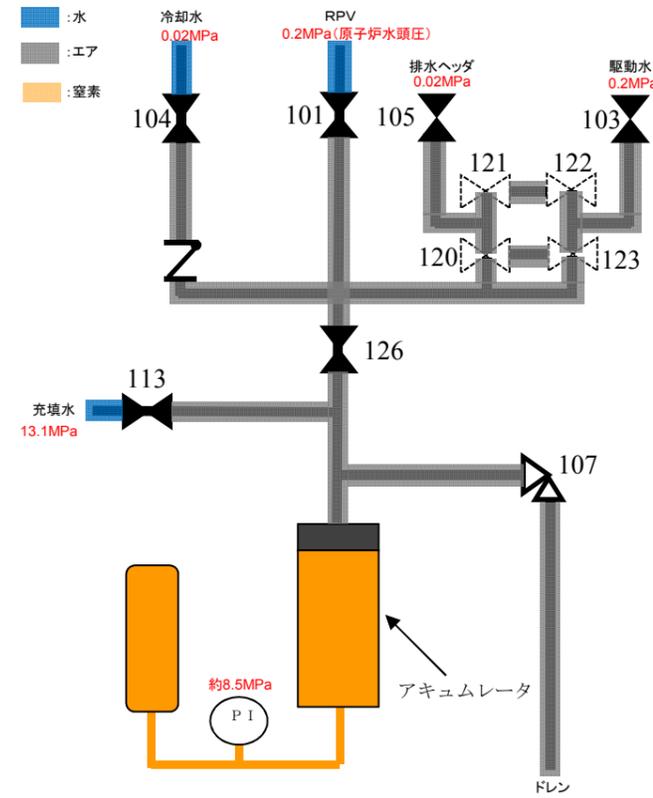
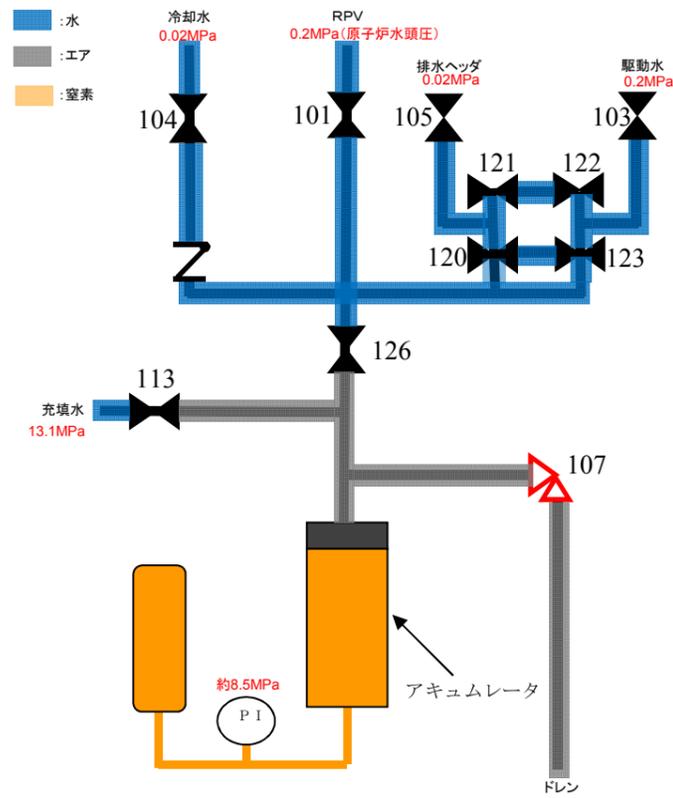
サークルスラッシュ：手順書ステップの脱落又は重複を防止するための重要なH/E防止ツールであり、サークルスラッシュは「進行中」のステップ番号に○を付け、終了ごとに斜線を引く方法。

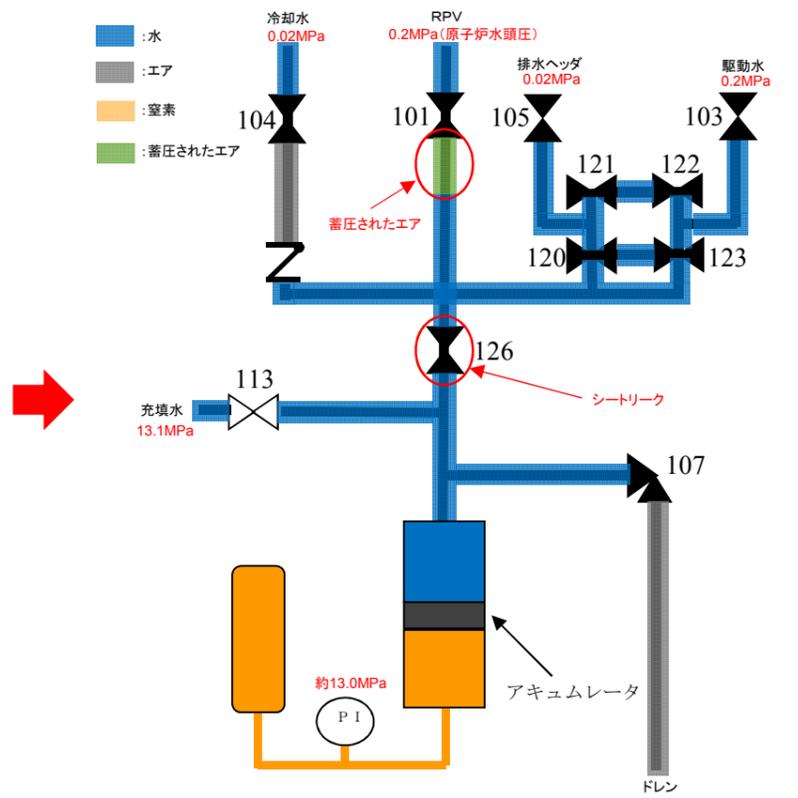
| 操作手順 | 操作内容 | 確認事項 | 操作場所 | 確認日 | 確認者 |
|------|--|------|--|------------|------------|
| 1 | (1) スクラム排水隔離弁[112]を「全開」又は全開確認。 <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">シングルロッドスクラム試験実施後の確認時は、全開確認となる。(開ロックも確認すること。)</div> | | R/B 1F HCUエ77 | [Redacted] | [Redacted] |
| | (2) 駆動水挿入配管隔離弁[102]を「全開」。 | | R/B 1F HCUエ77 | | |
| | (3) 駆動水挿入配管隔離弁[101]を「全開」。 <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">[101]を開操作するときは必ず[102],[112]が先に「全開」となっていること。</div> | | R/B 1F HCUエ77 | | |
| | (4) 駆動水隔離弁[103]を「全開」。 | | R/B 1F HCUエ77 | | |
| | (5) 冷却水隔離弁[104]を「全開」。 | | R/B 1F HCUエ77 | | |
| | (6) 排水隔離弁[105]を「全開」。 | | R/B 1F HCUエ77 | | |
| 3 | グループ1各HCUの隔離復旧操作が完了したら中操へ連絡する。 | | | | |
| 4 | 隔離復旧操作完了後、以下のパラメータを確認する。 ・全挿入・全引抜・ドリフト表示 ・原子炉・制御棒駆動水ヘッダ間差圧 (C12-DPI-606) ・原子炉・制御棒冷却水ヘッダ間差圧 (C12-DPI-607) ・SRM指示 (C51-NR-601) | | H11-P701 H11-P700 H11-P700 H11-P701 | | |
| 5 | 弁状態を再確認するとともに「HCUタグ」に必要な事項を記入し異常のない事を確認、中操へ連絡する。 | | R/B 1F HCUエ77 | | |
| 6 | グループ1隔離復旧操作完了異常のないことを確認しグループ2の隔離復旧操作に移る。 ・手順2～5を繰り返す。 ・グループ3, 4についても同様。 | | | | |
| 7 | HCU隔離復旧操作が完了したら、手順1-(3)(4)で取り付けた掲示を外す。 | | H11-P700 H11-P701 | | |
| | 以降の手順は、HCU復旧操作前に「4-6項 制御棒駆動水圧装置アキュムレータチャージ及び蓄圧開放」を実施したロケーションに対して実施する。(制御棒の予期せぬ動作再発防止対策) ※HCU隔離時に、アキュムレータローを行っていないロケーションは対象外。 | | | | |

以降
中止

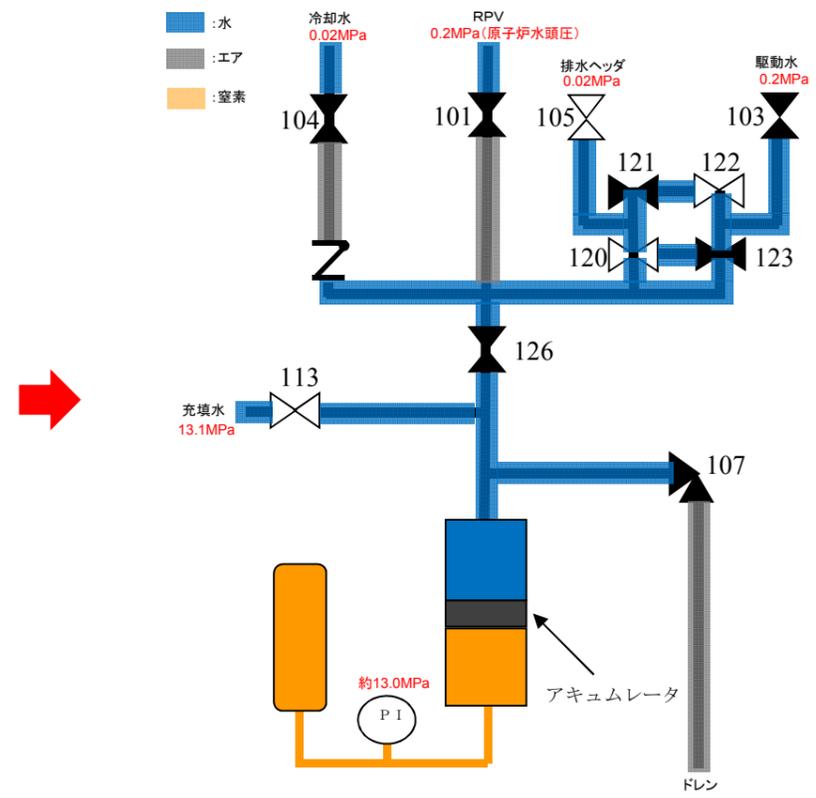
| 操作 手順 | 操 作 内 容 | 確 認 事 項 | 操 作 場 所 | 確 認 日 | 確 認 者 |
|----------|---|---------------------|---------|-------------|-------------|
| 8 | <p>HCU復旧完了後の残留エア抜き操作(※)についてHCU復旧直後の各種検査・試験作業等について実施するよう、原子炉Gへ依頼する。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>※残留エア抜き操作(静圧ベント操作) HCU隔離解除後に、挿入配管ベント弁 [101] にてベント操作を行うことで、挿入配管入口側に残留していた気体を排出させる操作。 (原子炉Gにて、引抜配管ベント弁 [102] のベント操作も行いたい旨連絡があった場合は、合わせて実施する。)</p> </div> | 原子炉Gへ残留エア抜き操作を依頼する。 | | | |
| | | | | | |

事象発生 の 推定メカニズム

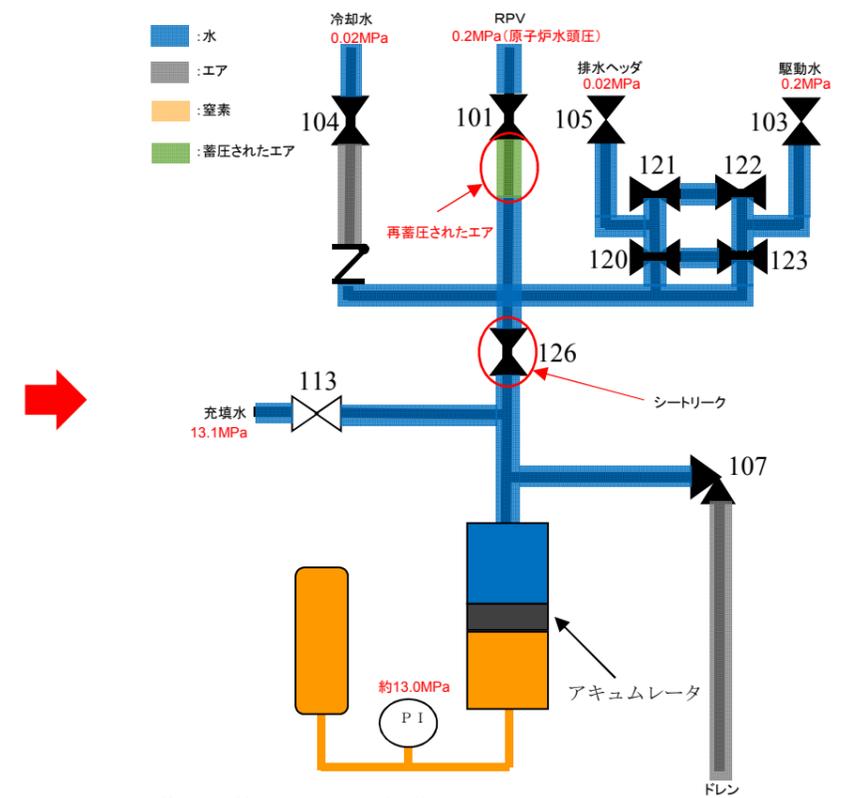




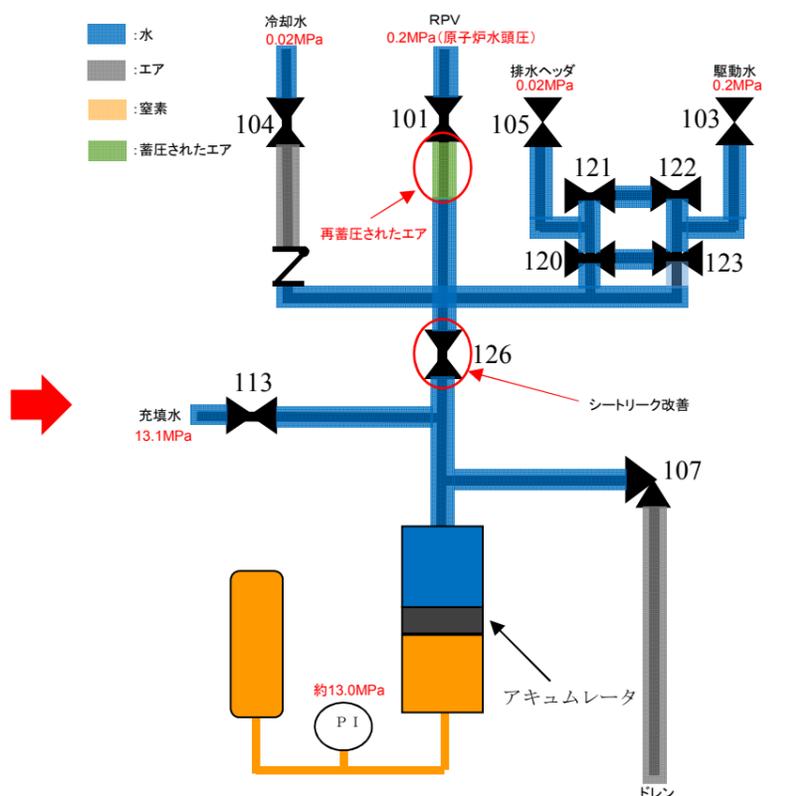
⑦スクラム入口弁 [126弁] シートリークによる蓄圧 (H28.2.22)



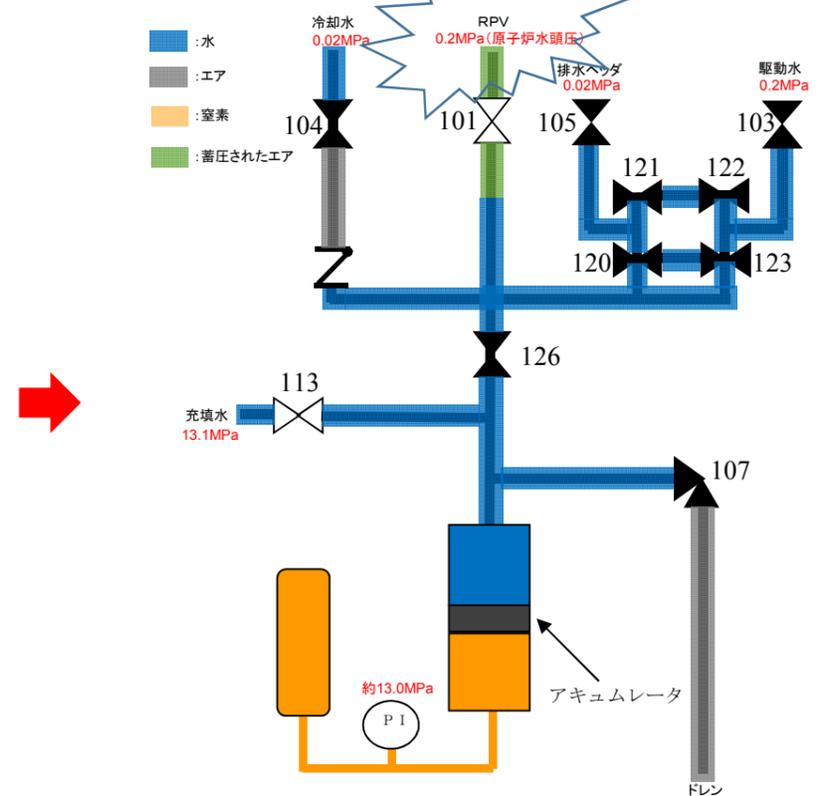
⑧蓄圧箇所の圧抜き操作 (H28.2.22)



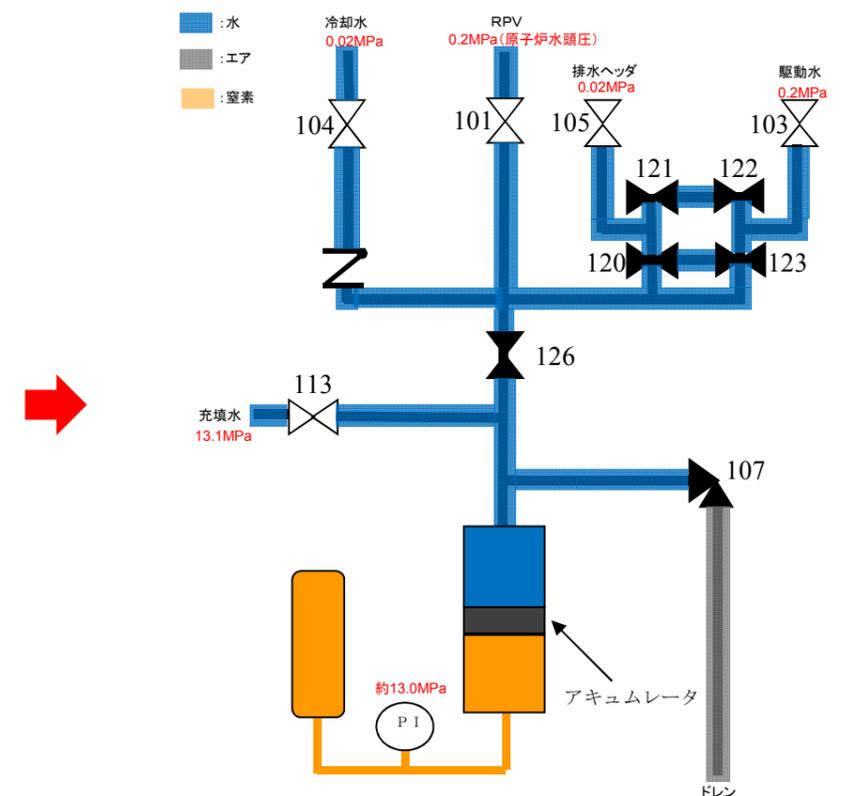
⑨蓄圧箇所の圧抜き操作後、スクラム入口弁 [126弁] シートリークにより再蓄圧 (H28.2.22~H28.3.7)



⑩スクラム入口弁 [126弁] ボンネットフランジ増し締め (H28.3.7)



⑪駆動水挿入配管隔離弁 [101弁] 開操作により制御棒ドリフト警報発生 (H28.3.8)



⑫HCU復旧完了後、制御棒ドリフト警報クリア (H28.3.8)

再発防止対策の手順

