

福島第一原子力発電所 1号機原子炉格納容器水位低下に向けた 圧力抑制室内包水サンプリング作業について

< 参 考 資 料 >
2023年10月23日
東京電力ホールディングス株式会社
福島第一廃炉推進カンパニー

- 1号機 原子炉格納容器（PCV）水位低下のため、既設原子炉冷却材浄化系（CUW）配管を活用した取水設備の設置を検討しています。当該設備の設計検討にあたり、圧力抑制室（S/C）内包水の水質確認のため、取水口となるCUW配管から、S/C内包水のサンプリング作業（S/C内部の目視確認含む）を計画しています。
- 準備作業として、CUWの逆止弁開放前に弁・配管内部のガス滞留を確認するため、弁蓋の穿孔が必要です（逆止弁の上流側と下流側の2箇所）。1号機RCWで高濃度の水素ガス滞留を確認したことから、CUW配管における同様なガス滞留の可能性を考慮し、サンプリングの準備作業（CUW逆止弁の開放）においても慎重な対応が必要と判断し、窒素環境下にて、ドリルで薄肉化（数mm程度）した後、油圧による押し抜き（貫通）を行うことで、火花が発生しないよう実施しました。
- 穿孔後、滞留ガスサンプリング、CUW配管内の窒素パージの滞留ガス対策を実施した上で、逆止弁弁蓋を開放することを計画していました。
- 逆止弁蓋の開放作業に向けて、逆止弁上流側配管の水素濃度が可燃性限界を下回っていること(0%)を確認するため、9月12日に準備作業として窒素封入作業を実施しましたが、想定よりも圧力上昇が早いことが確認された状況から、封入した窒素は穿孔や窒素封入に使用した治具内に留まっており、孔が空いていないと判断しました。
＜9月15日までにお知らせ済み＞

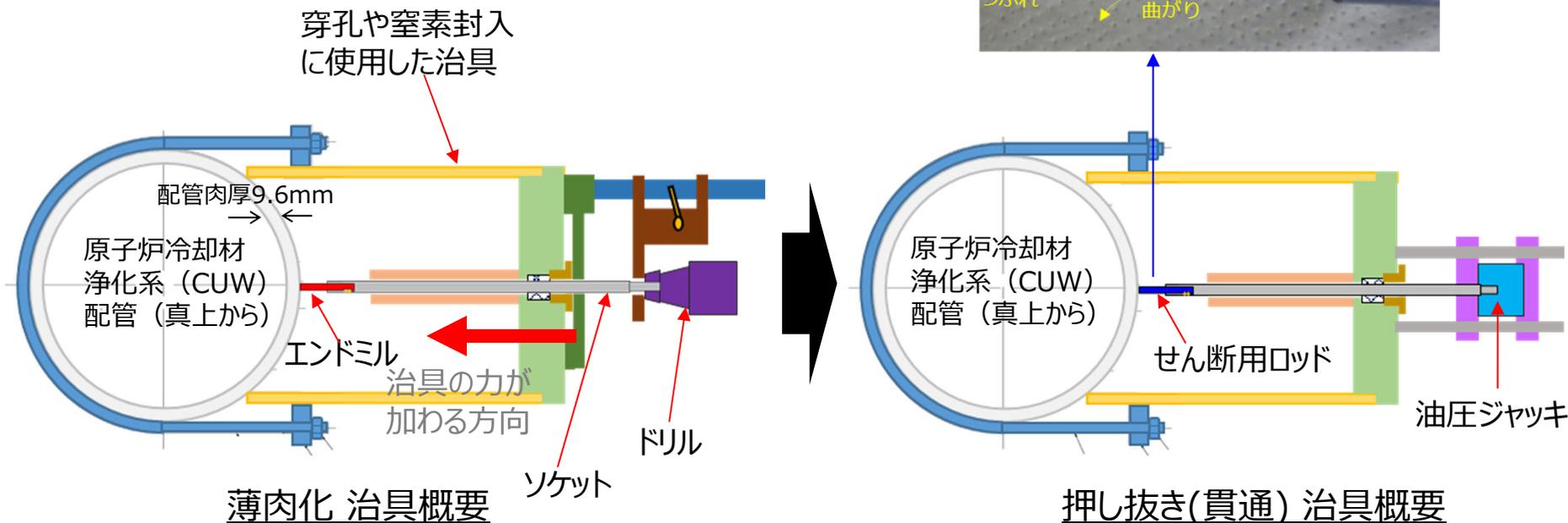
- 9月20日に上流側配管に取り付けてあった治具を取り外し、孔が空いていないことを目視で確認するとともに、その後、孔が空かなかった原因と再穿孔に向けた対策について検討を進めて参りました。
- この度、原因と対策が取り纏まり、準備が整ったことから、10月24日から逆止弁上流側配管の穿孔作業を行います。
- 引き続き安全を最優先に作業を継続して実施して参ります。

1. 現場調査結果

- 9月20日、穿孔や窒素封入に使用した治具を取り外し、穿孔した孔の深さを確認した結果、計画していた薄肉化での穿孔量8.6mmに対し、5.6mmしか薄肉化できていないことを確認しました。
- また、押し抜き（貫通）用の先端治具（以下、せん断用ロッド）に、若干の曲がりや先端がつぶれていることを確認しました。

薄肉化と押し抜きは、基本的に共用の治具で構成しており、必要な箇所のみ交換することとしている

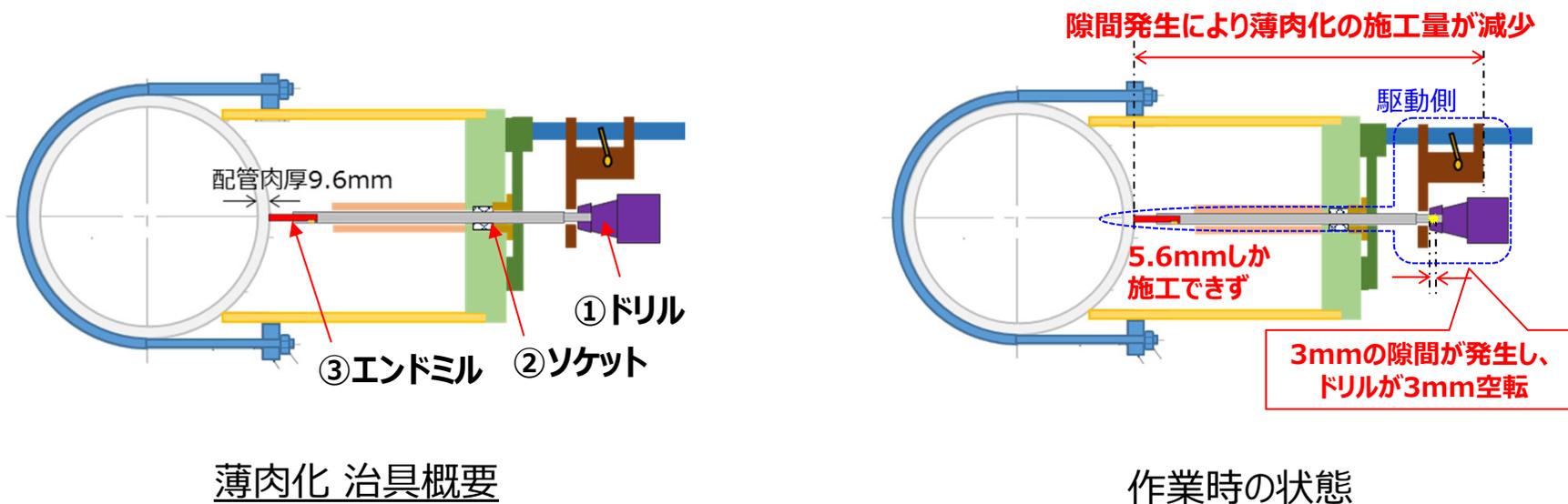
- ・エンドミル→せん断用ロッド
- ・ドリル治具一式→油圧ジャッキ治具一式



穿孔作業方法（薄肉化→押し抜き）

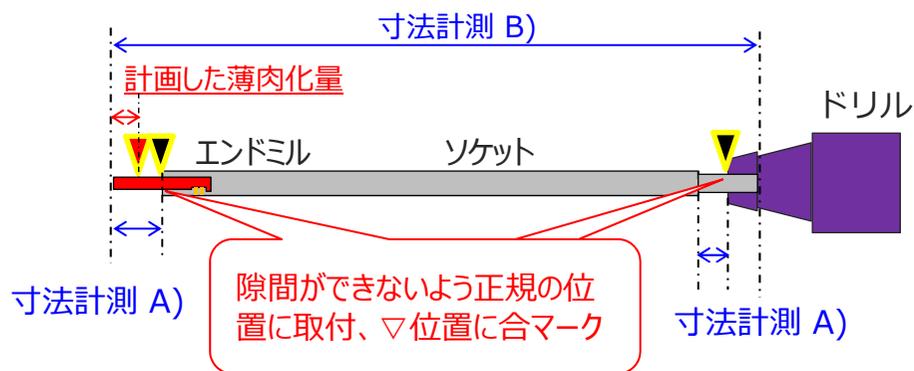
2. 孔が空かなかった原因

- 現場調査結果から、原因は配管の薄肉化が計画通りの深さ（計画8.6mmに対して実績5.6mm）に施工できなかったことに起因し、油圧による押し抜き（貫通）にも至らなかったことと推定しました。
- 薄肉化が計画通りの深さに施工できなかった推定原因としては、①ドリルと②ソケットの取付部で、初期の取付け位置からねじこみにより締め付ける過程で隙間ができた可能性があったと考えています。（作業時にドリルが空転したような感覚があったことも確認しています）
- また、ドリルとソケットの取付け状態確認は、モックアップにおいて、当たり前に行っていた行為であり、最終確認者を明確にしていなかったことも背後要因と考えています。
- なお、②ソケットと③エンドミル取付部においては取り付け状態に異常がなかったことを確認しています。

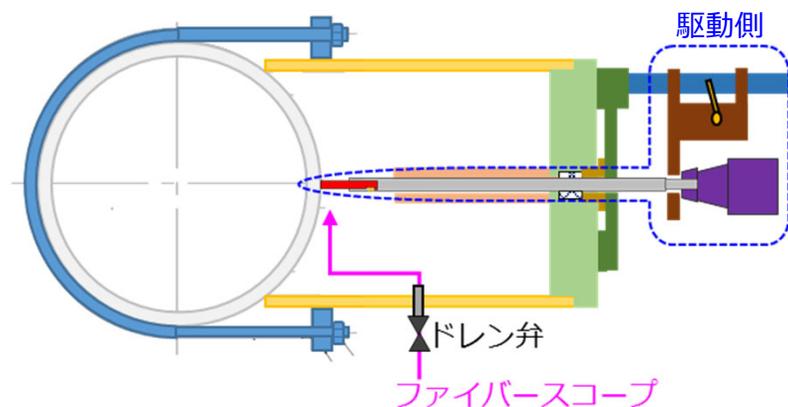


3. 穿孔作業の再開に向けた対策

- 合マークの追加
ドリルとソケットの取付部に“合マーク”を取付、作業前に正規位置に取り付いていることを確認します。エンドミルとソケットの取付部も同様。また、エンドミルの計画した薄肉化量の位置に合マークを追加します。
- 寸法計測追加
A) ドリルとソケットの取付部について、規定の位置に取り付いたことを寸法計測により確認します。エンドミルとソケットの取付け部も同様。
B) エンドミルとソケットを取付け後に全長寸法を計測し、図面寸法と比較確認します。
- 薄肉化開始および終了位置の確認
薄肉化の開始位置となるエンドミル先端が、配管に接触している状態をファイバースコープを用いた目視にて確認します。終了位置についても、計画通りの施工量であることを同様に目視にて確認します。
- 最終確認者の確立
上記対策を追加した箇所について、ダブルチェックを行い、工事担当者が最終確認を行います。工事担当者の最終確認を行うことにより、次工程に移行する前に異常に検知できる管理体制とします。



合マーク及び寸法計測の追加



開始終了位置の確認

4. 押し抜き作業への対策（貫通判断）

- 押し抜き後に治具内を窒素で加圧し、圧力が瞬時に上がらないこと等を確認できた場合、配管内に窒素が流入しているとして、貫通したと判断します。

なお、これまで貫通判断の項目としていた①ソケットの移動量、②油圧ジャッキの圧力変動、③治具内の窒素圧力の低下は一部内容を見直した上で、作業中の参考値へと見直します。

①ソケットの移動量 <押し抜き開始位置から約10[mm]程度>

治具側の変形による移動量と誤った判断をしないように、施工完了位置を設定します。

②油圧ジャッキの圧力変動

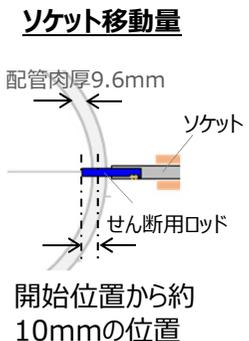
油圧低下が確認された場合でも、施工完了位置まで更にソケットを押し込み、油圧の再上昇が無いことを確認します。

※ 作業中に微小な圧力低下があっても、更にソケットを押し込む際に、配管が貫通していなければ、再度油圧は上昇します

③押し抜き作業時の治具内窒素圧力の低下

検証を行った際、押し抜きによる油圧を付加し続けると、配管と治具の間に隙間が発生し、治具内から外部への窒素の漏えいすることを確認したため、押し抜き作業時の治具内窒素圧力の低下は参考値とします。なお、押し抜き時は0.01[MPa]以上(大気圧除く)※維持していることを確認します。

※ 治具内の窒素加圧の目的は、治具内の酸素濃度低減であるため、外部の気体を治具内に吸引しなければ問題なく、治具内の窒素圧力が0.01[Mpa]以上を維持していれば、外部の気体を治具内に吸引することはない。



(参考) 初回の押し抜き (貫通) 作業時に貫通と判断した状況

- 初回の穿孔の押し抜き作業において、①ソケットの移動量、②油圧ジャッキの圧力変動、③治具内の窒素圧力の低下、の3点から貫通したと判断しました。
- 薄肉化できていない配管で再現性の検証を行い、その結果から、初回の穿孔時に貫通と判断した状況を特定しました。

①ソケットの移動量：最大4[mm]

検証では、現場状況と同様にせん断用ロッド先端がつぶれ、曲がりが発生。このことから、ロッドの変形を移動量として貫通判断していた一つの状況であることを特定しました。

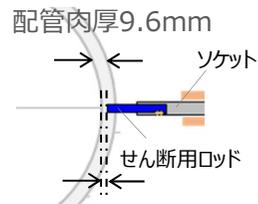
②油圧ジャッキの圧力変動：10→9.5[MPa]

検証では、油圧ポンプにより10[MPa]に昇圧した際、加圧状態を継続しないと徐々に油圧が低下することを確認しました。作業開始前に実施していたモックアップにおいても、同程度の油圧低下で貫通に達することを確認していたため、誤った判断に至ったものと推定しています。

③治具内窒素圧力の低下：0.1→0.04[MPa]

検証では、薄肉化されていない配管に約4[MPa]以上の油圧を付加し続けることで、配管と治具の間に隙間が発生し、治具内から外部への窒素漏えいが発生しました。この際の圧力低下を、貫通に達した際の圧力低下と誤って判断していたと特定しました。なお、油圧の付加をやめると、配管と治具間の隙間が元に戻り、圧力は維持されることを確認しています。

ソケット移動量



配管肉厚9.6mm
→ ← ソケット
せん断用ロッド
計画残肉厚1mmのため、
4mmの移動量で貫通
したと判断

窒素圧力の低下



模擬配管にて、油圧約4[MPa]を
付加し続けることで、漏えいが発生
することを確認

○：漏えい箇所

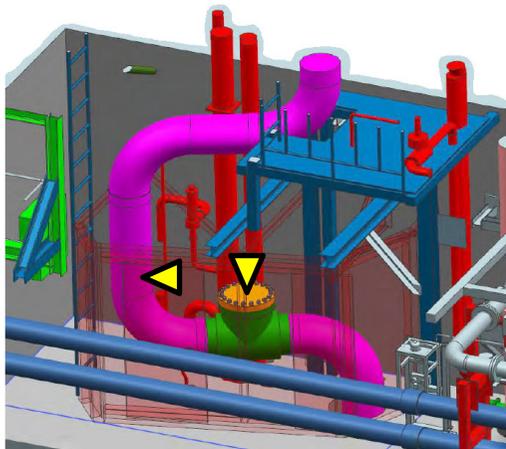
(参考) CUW逆止弁の開放作業について

- CUW逆止弁については、弁下流側の配管がS/Cに接続され、配管端部はS/C内で開放。S/C内は水没している状態であることから、事故時のガスが滞留している可能性あり。
- 滞留ガスのサンプリングならびに滞留ガスへの対策を目的とし、逆止弁弁蓋を開放する前に、逆止弁弁蓋(S/C側)及び逆止弁上流側配管の2箇所について穿孔※1を実施。
- 穿孔は、**窒素環境下にて、ドリルで薄肉化（数mm程度）した後、油圧による押し抜き（貫通）を行う※2**ことで、火花が発生しないよう実施。穿孔後は、滞留ガスサンプリング、CUW配管内の窒素パージ等の滞留ガス対策を実施した上で、逆止弁弁蓋を開放する計画。

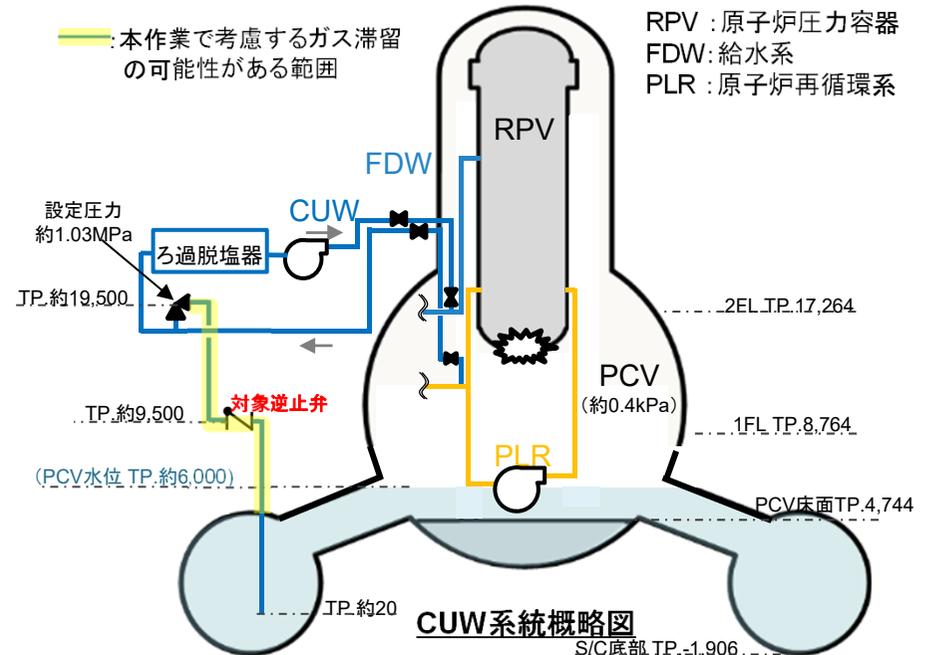
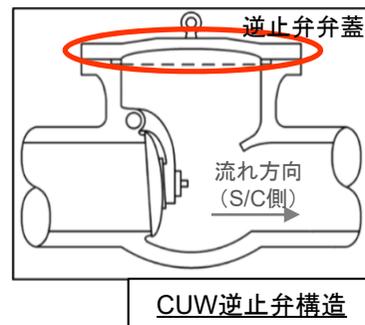
※1 CUW配管内の水位は、PCV水位と同程度（穿孔箇所より下部）と想定するが、穿孔前に当該箇所のUTを実施し、内包水の有無を確認。

※2 1号機RCW対応では、高線量環境下でアクセスが困難であるため、遠隔での装置設置が可能な電解穿孔を用いたが、CUW配管近傍はアクセス可能であることから、作業性を考慮し本工法を採用。なお、いずれの工法でも穿孔時の火花は発生しない。

▼ : 穿孔箇所(ガスのサンプリング位置)

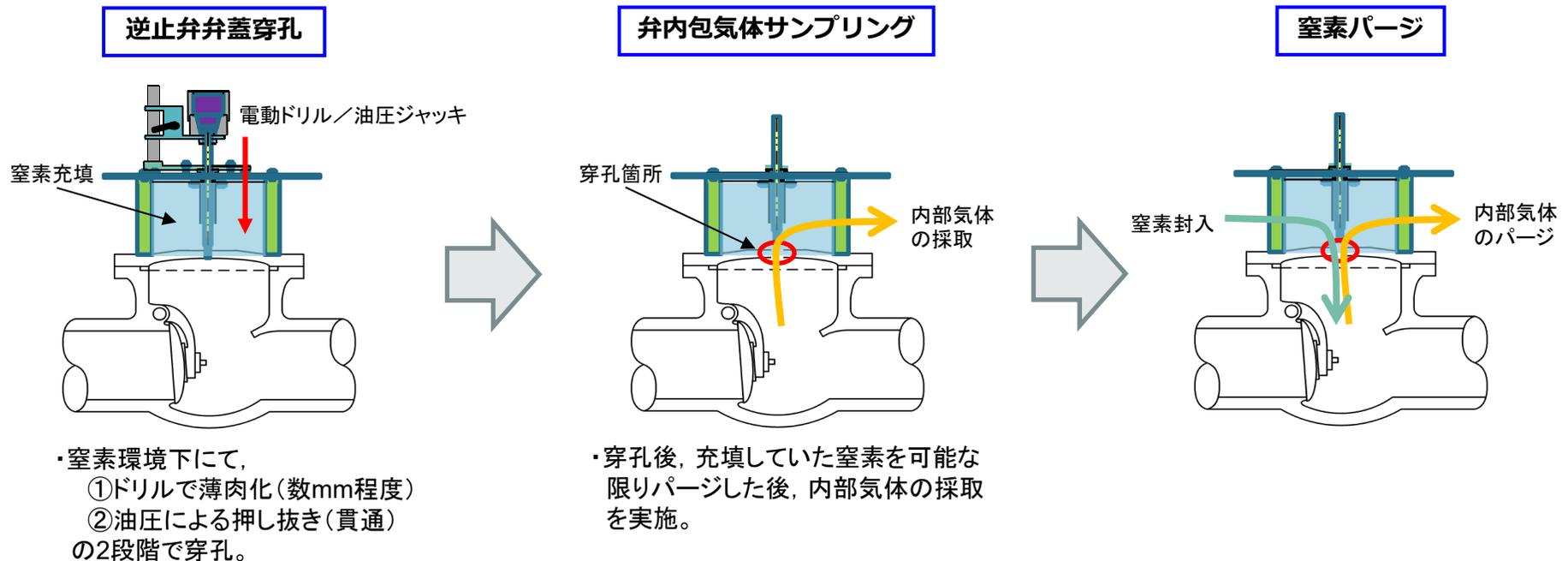


CUW逆止弁配置イメージ



(参考) CUW逆止弁の穿孔手順

- 滞留ガスによる作業リスク低減のため、窒素環境下で火花が生じないように穿孔を実施
- 穿孔後は、穿孔箇所を介しCUW逆止弁（配管）内部の気体を採取
- サンプルング後に穿孔箇所から窒素封入し、水素濃度を測定しながら内部気体のパーージを実施（水素濃度に応じて複数回実施）
- 逆止弁上流側配管も上記同様の手順で実施



(参考) 本作業で採取する試料の分析項目

■ CUW逆止弁・配管内の滞留ガスおよびS/C内包水の分析項目

試料	目的	分析項目
CUW逆止弁・配管内の滞留ガス	<ul style="list-style-type: none"> 逆止弁開放作業の安全確保として可燃性ガス滞留の確認のため。 事故由来のガスであるかの特定のため。 	水素 硫化水素 酸素 Kr-85
S/C内包水	S/Cの内包水は、線量が高いことが想定される。設置を計画している取水設備の仕様検討のため。	Cs-134,137 塩素 H-3 全α 全β 他