

1号機X-2ペネトレーションからの 原子炉格納容器内部調査

原子炉格納容器の減圧について

2019年2月28日

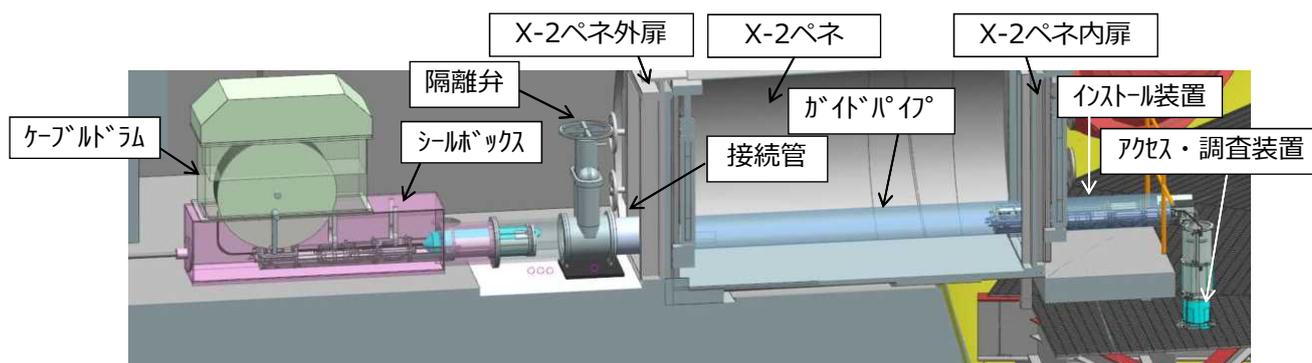
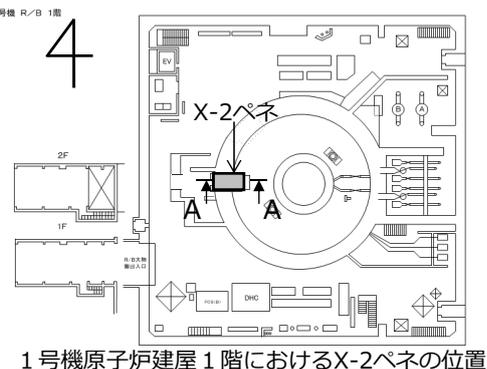
TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. X-2ペネからのPCV内部調査のためのアクセスルート構築

TEPCO

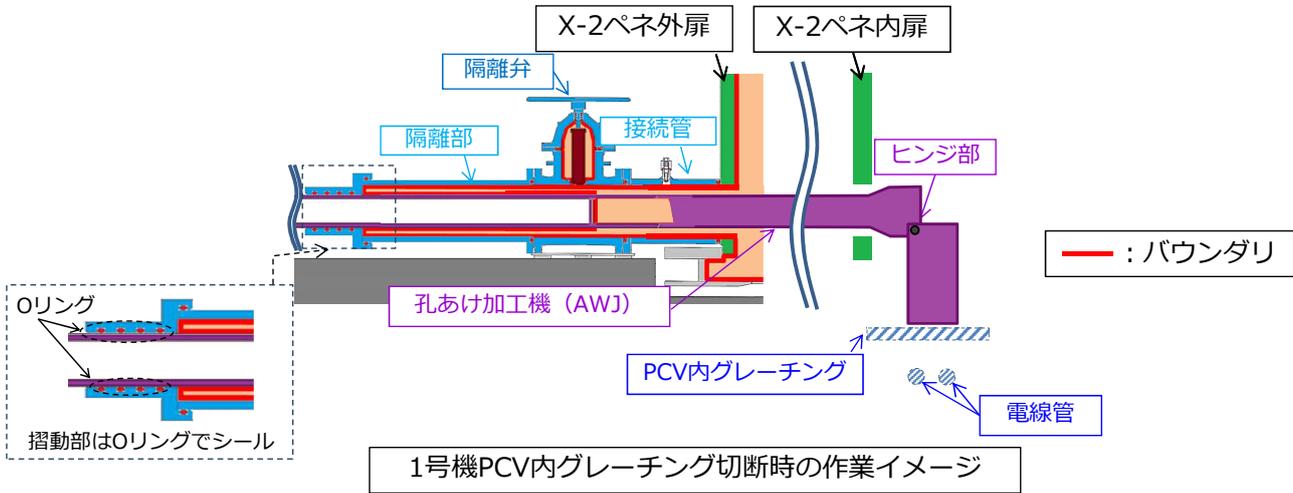
- 1号機のPCV内部調査については、X-2ペネトレーション^{1号機 R/B 1階}（以下、「ペネ」）から実施する計画である。
- X-2ペネは所員用エアロックであり、アクセスルートを構築する際には、外扉と内扉の穿孔が必要である。
- 孔あけ加工機の設置状況確認やアクセス・調査装置をPCV内へ投入する際の監視等のため、孔は3箇所設置する。
- またアクセス・調査装置を原子炉格納容器（PCV）内に投入するためには、既設構造物（グレーチングや電線管等）が存在することから、それらも切断する必要がある。



アクセスルート構築後の内部調査時のイメージ図 (A-A矢視)

2. アクセスルート構築作業（AWJによる孔あけ）

- アクセスルート構築作業のうち、X-2ペネ内扉の孔あけはアブレイシブウォータージェット（以下、AWJという）にて実施し、内扉孔あけ後に同加工機によりPCV内干渉物（グレーチング、電線管等）を切断する。
- AWJによる孔あけ作業における放射性物質の放出リスクの更なる低減のため、PCV圧力の減圧（均圧化）について実施を検討。

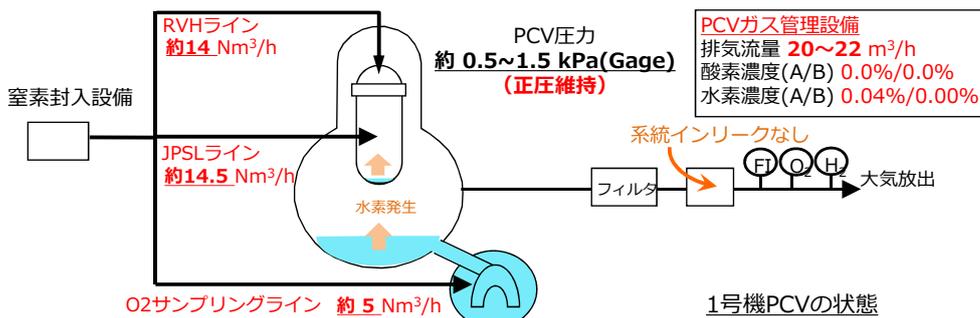


2

資料提供：国際廃炉研究開発機構（IRID）

3. PCV減圧の基本方針

- 現状、1号機は窒素封入量（RPVに約 $28.5\text{Nm}^3/\text{h}$ 、S/Cに約 $5\text{Nm}^3/\text{h}$ ）に比べ、ガス管理設備の排気流量（ $20\sim 22\text{m}^3/\text{h}$ ）は少ない状況であり、PCV圧力は $0.5\sim 1.5\text{kPa(gage)}$ 程度となっている。
- 1号機においては、窒素封入量を減少させると一部のPCV温度が上昇する事象が過去に確認されていることから、ガス管理設備の排気流量を窒素封入量と同程度まで増加することにより、AWJ作業期間中のPCV圧力を大気圧と同程度まで減圧する。（AWJ作業終了後は元の状態に戻す）
- ガス管理設備の排気流量、窒素封入量の流量計指示単位の違いや、流量計誤差などによる流量管理の不確かさをふまえ、PCV圧力や酸素濃度も監視しながら減圧操作を実施する。

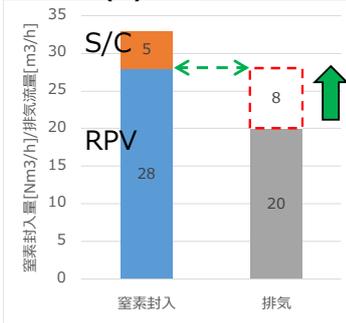


3

4. PCV圧力の減圧手順

- ガス管理設備の排気流量を窒素封入量と同程度まで増加することにより、PCV圧力を大気圧と同程度まで減圧する。（一時的な負圧を許容する）

<手順(1)> ガス管理設備排気流量をRPV窒素封入量※と同程度まで増加させる



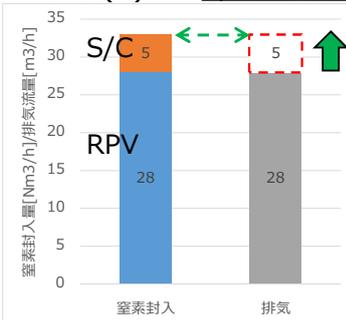
- 1回の操作あたり5m³/h以内を目安に、2回程度に分割して操作
- 操作後2日程度の監視により、監視パラメータに異常がないことを確認し、次の操作を実施する。

（操作例）

20 m³/h ⇒ 25 m³/h ⇒ 28 m³/h

※ S/Cに封入した窒素は、真空破壊ラインからD/Wに流れていると想定しているが、真空破壊ラインペロースの損傷により、全量がD/Wに流れていない可能性もあり

<手順(2)> S/C窒素封入量を考慮してガス管理設備排気流量を増加させる



- 手順1完了後、PCV圧力が陽圧であり、かつ酸素濃度に有意な上昇がない場合、S/Cへの窒素封入分を考慮して排気流量を増加させる。
- 1回の操作あたり3m³/h以内を目安に、2回程度に分割して操作
- 操作後2日程度の監視により、監視パラメータに異常がないことを確認し、次の操作を実施する。

（操作例）

28 m³/h ⇒ 31 m³/h ⇒ 33 m³/h

参考：ガス管理設備最大流量 35m³/h

4

5. PCV減圧時の監視パラメータ

監視パラメータ	監視頻度		判断基準
	操作後※ ¹ 24時間	24時間以降 (通常の頻度※ ³)	
・ 窒素封入量	毎時	6時間	・ 通常の変動範囲 (1Nm ³ /h)であること (封入量の異常検知)
・ 排気流量	毎時	6時間	・ 通常の変動範囲 (±2Nm ³ /h程度) (排気流量の異常検知)
・ PCV圧力	毎時	6時間	・ -1 kPa(gage)以上であること
・ 水素濃度	毎時	6時間	・ 警報設定値 (1.5%) 以下※ ²
・ 酸素濃度	毎時	6時間	・ 1%以下であること
・ ダスト濃度	6時間 (通常の頻度)		・ 減圧前データと比較し有意な上昇がないこと (念のため)
・ 大気圧	毎時	毎時	判定基準なし。 (PCV圧力運用範囲を設定する上で参照するデータ)
・ PCV内温度	毎時	6時間	・ 全体的に温度上昇傾向がないこと (気温や注水温度の変化による影響を除く)

※ 1：設定流量維持のための微調整を除く

※ 2：実施計画に定める運転上の制限(第25条)：「格納容器内水素濃度2.5%以下」

※ 3：ただし、酸素濃度、大気圧は通常は監視していない。

6. PCV減圧によるリスクと影響評価

想定事象	リスク	影響の大きさ	安全措置（影響緩和策）
PCV温度上昇	一部のHVH等のPCV温度が急上昇	<ul style="list-style-type: none"> 過去実績最大約2℃/h（LCO逸脱まで10時間以上） 	<ul style="list-style-type: none"> 減圧手順はガス管理設備の排気流量を増加させる手順とする 温度上昇に備え、PCV温度を監視 異常な温度上昇を確認した場合、排気流量を減少させる措置を実施
酸素濃度上昇	水素の可燃限界※1を超過	<ul style="list-style-type: none"> 大気圧変化による酸素濃度上昇は限定的(0.2%以下) 排気流量操作による酸素濃度の上昇は1m³/hあたり、0.011%/h程度と評価 	<ul style="list-style-type: none"> 酸素濃度を監視し、異常な上昇時には排気流量を減少させる措置を実施
	構造物の酸化（腐食）	<ul style="list-style-type: none"> PCVバウンダリを構成する炭素鋼の全面腐食の進展は、大気開放した海水中で0.1mm/年程度。（PCVの最小胴板厚は15mm程度） 	<ul style="list-style-type: none"> 減圧期間（約4ヶ月）をなるべく短くし、AWJ作業開始前に減圧し、作業終了後はPCV圧力を元の状態に戻す PCV減圧を均圧までとすることで、大気圧変化等による酸素濃度上昇を極力抑制する
水素濃度上昇	水素の可燃限界※1超過	<ul style="list-style-type: none"> PCV内接続配管に事故初期の水素が滞留している可能性は完全には払拭できないものの、影響は限定的と考えられる 	<ul style="list-style-type: none"> 水素濃度を監視し、異常な上昇時には排気流量を減少させるとともに、窒素封入量を増加する措置※2を実施 酸素濃度を可燃限界以下に管理

なお、排気流量増加は未臨界監視に対して有意な影響を与えることはない

※1：水素濃度4%かつ酸素濃度5%

※2：水素濃度の上昇が急激な場合、運転上の制限(水素濃度2.5%)を超えないよう、RPVへの窒素封入を増加

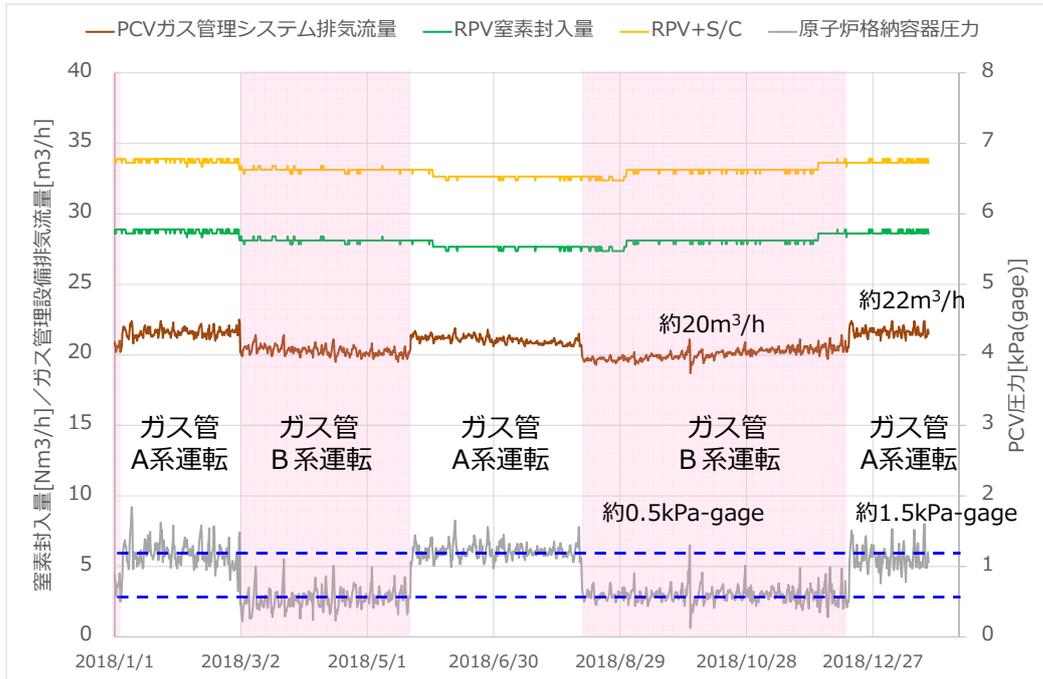
7. 工程案

- PCV減圧については、準備が整い次第、早ければ年度初め頃に開始する予定
- ペネ内扉穴あけ及び干渉物切断の開始時期については、PCV減圧操作後に実施し、AWJ作業完了後にPCV圧力を復帰する

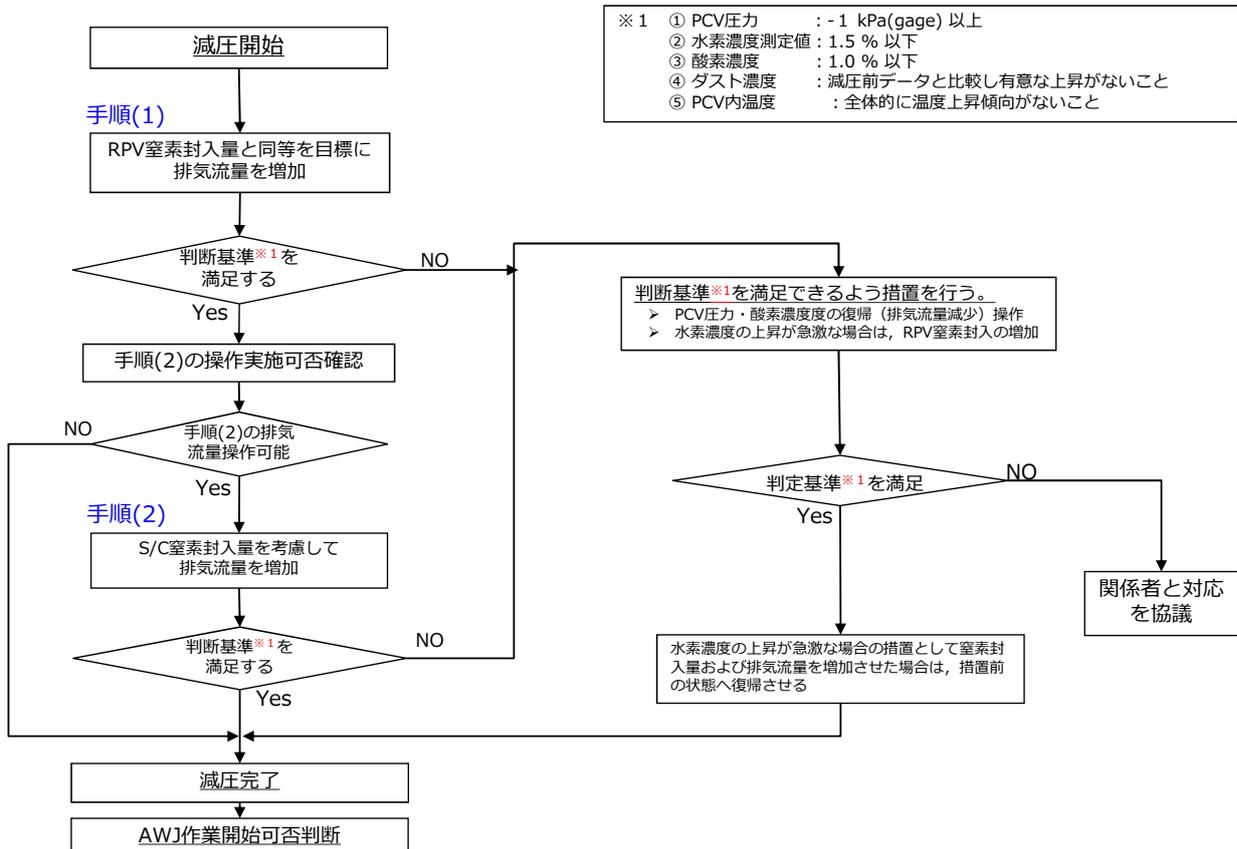


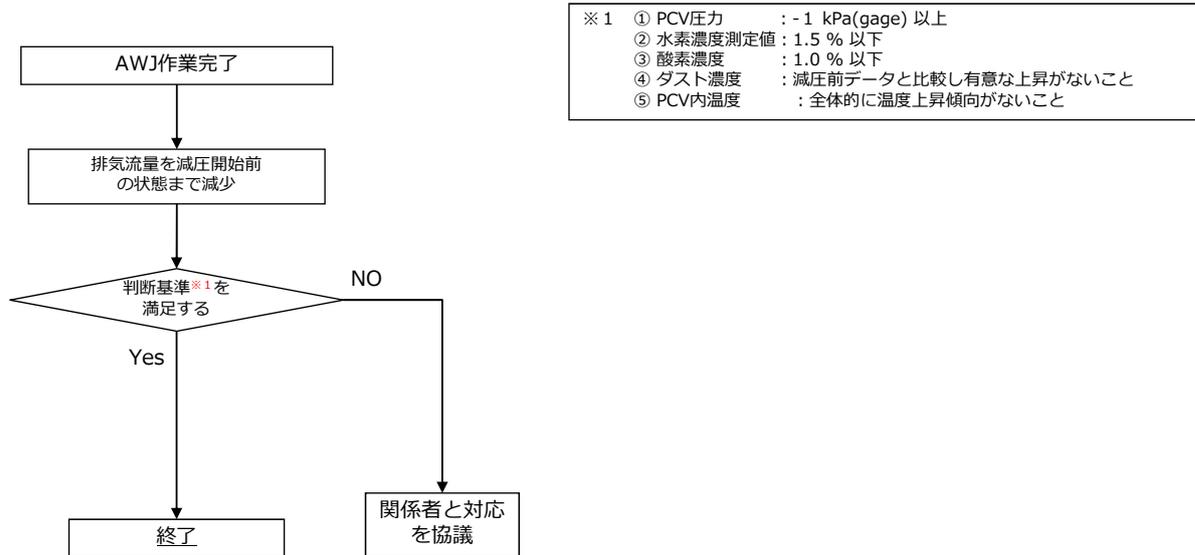
(注) 各作業の実施時期については計画であり、現場作業の進捗状況によって時期は変更の可能性あり

- ガス管理設備B系運転中のPCV圧力は約0.5kPa(gage)であり、A系運転中よりも低め傾向
 ⇒ PCV圧力の減圧中はガス管理設備をB系運転を基本とすることにより、設備トラブル等でB系からA系に切替が発生した場合でも、PCV圧力が下がりすぎることを防止する。

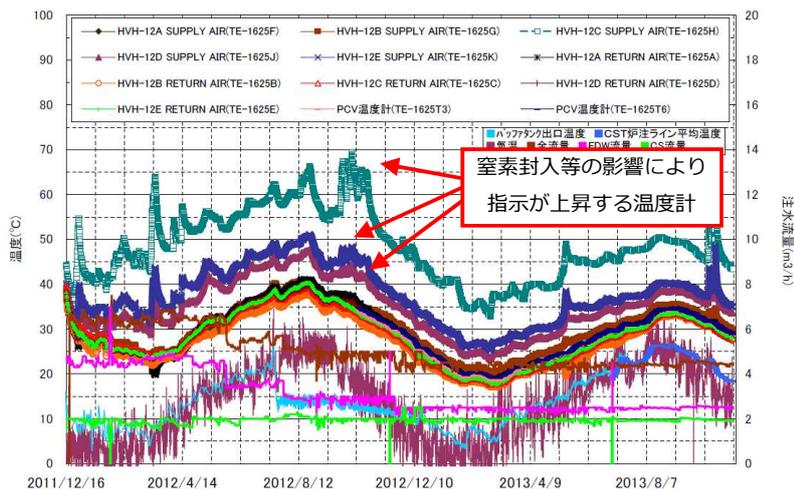


(参考) 1号機PCV圧力の減圧フロー





(参考) 1号機における一部のPCV内温度の上昇事象 (1 / 2) **TEPCO**

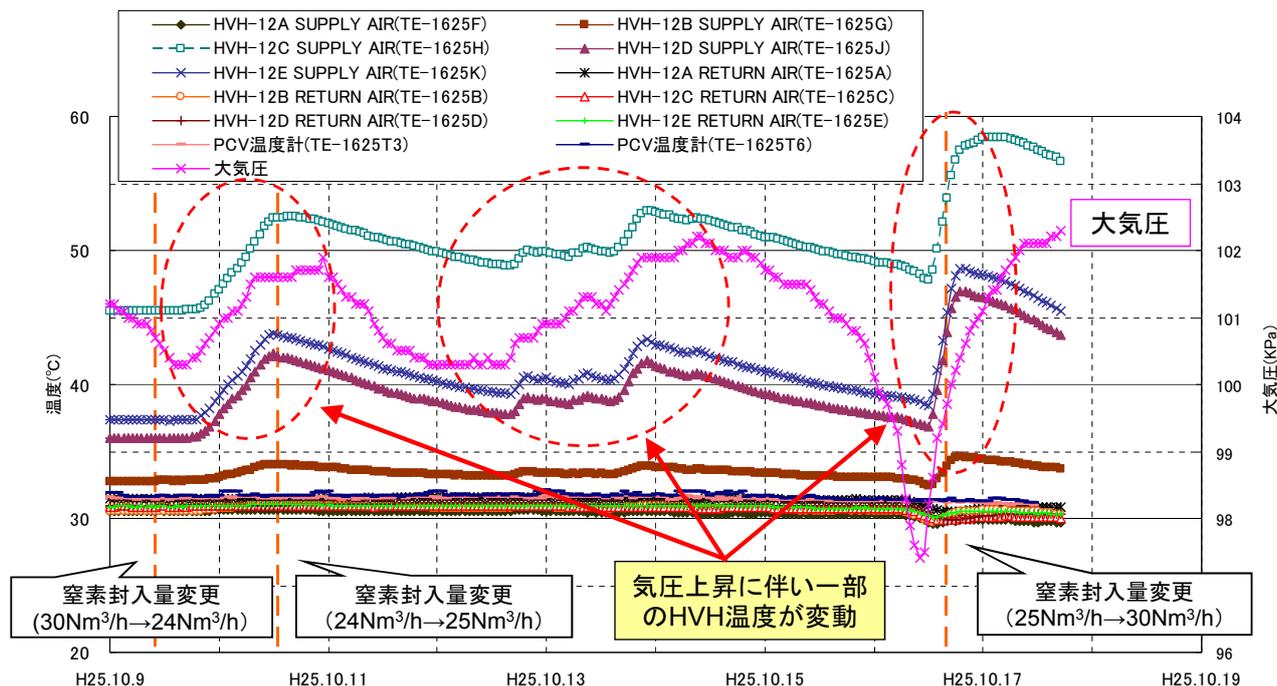


■ 1号機では注水によらず、窒素封入等の影響によって、一部のPCV温度計の指示の上昇が観測されている。これはペDESTAL内の熱源に起因していると推定。

1号機温度上昇実績	2011年12月	2012年3月	2012年9月	2013年10月
PCV温度 温度上昇率[°C/h]	0.6 (最大約55°C)	0.6 (最大約65°C)	1.1 (最大約70°C)	2.0 (最大58°C)
崩壊熱[kW]	430	360	250	160
注水流量[m³/h]	6.5 (FDW 4.5,CS2.0)	6.5 (FDW 4.5,CS2.0)	5.5 (FDW 3.5,CS2.0)	4.5 (FDW 2.5,CS2.0)

(2013年10月)

■ 窒素封入量を減少させた後、大気圧の変動に伴いHVH温度が上昇。



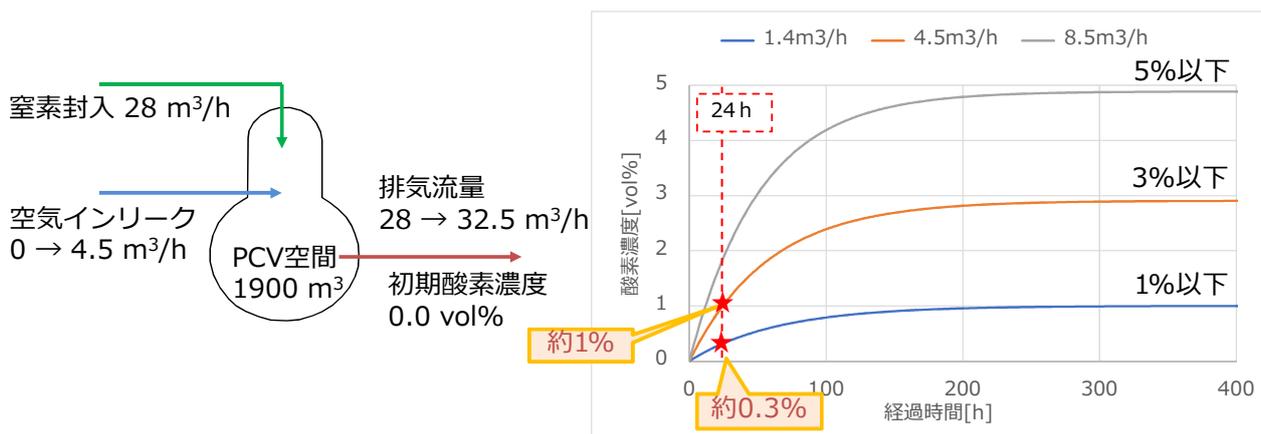
12

(参考) 排気流量操作によるPCV内の酸素濃度上昇

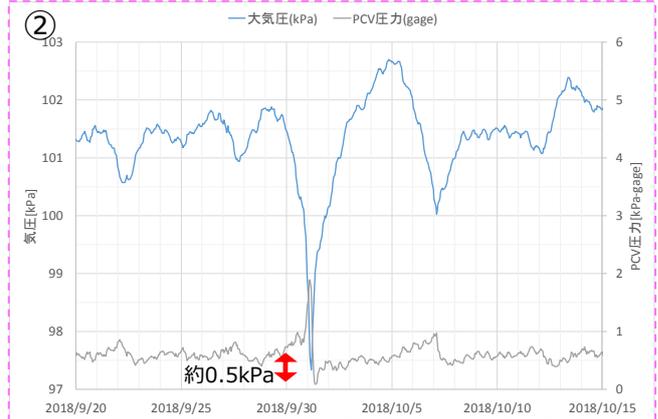
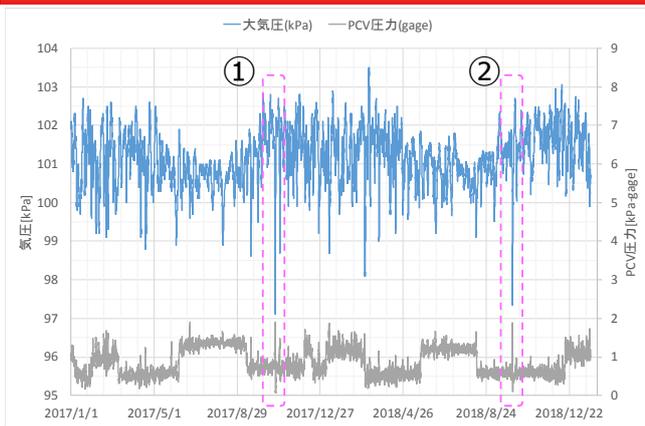
■ ガス管理設備の流量操作の結果、排気流量が窒素封入量を上回った場合、空気インリークが増加し、PCV内の酸素濃度が上昇する可能性がある。

■ 無酸素状態を起点とした場合、**操作後24時間の酸素濃度が1%を超えて上昇傾向にある場合、酸素濃度は3%以上となる可能性**がある。

- 排気流量操作を8m³/h以下とすることで、酸素濃度が可燃限界（5%）を超えることはない。
- 1m³/h程度の空気インリークがある場合、操作24時間後の酸素濃度は約0.3%程度と評価。酸素濃度監視で検知可能。



13

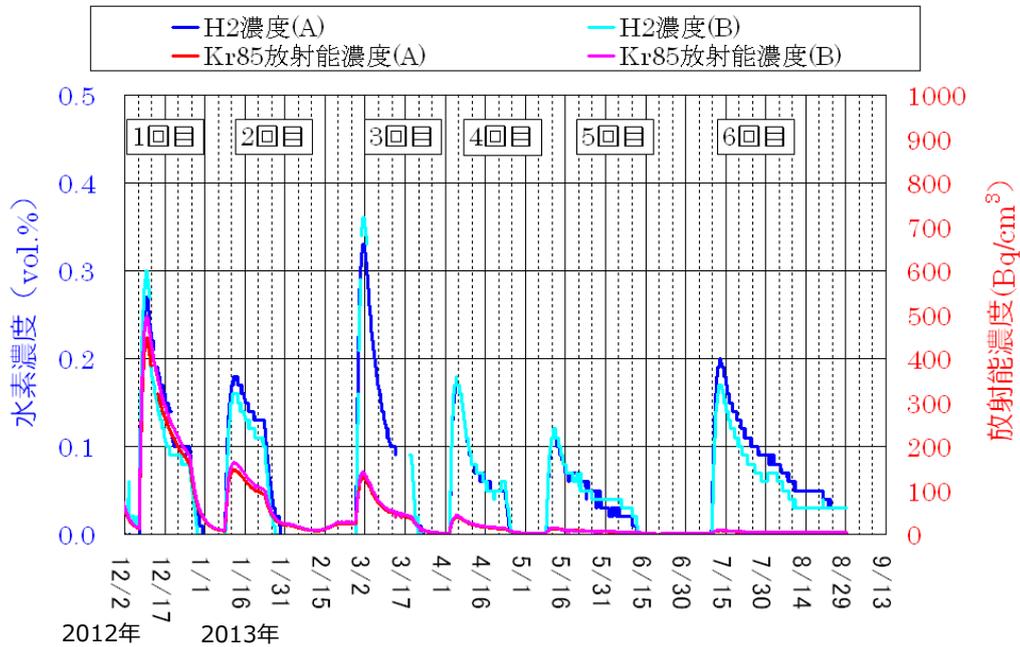


- PCV圧力の挙動は大気圧変動の影響を受けているものの、変化幅は大気圧変動幅に比べて大きくない。
- 急な大気圧変動の直後は、PCV圧力が一時的に低下（0.5～0.6kPa程度）
- 仮に、PCV圧力が一時的に-1.0kPaの負圧となり、空気のインリークで負圧解消する場合、酸素濃度はおよそ0.2%上昇と評価（標準気圧101.3kPaを基準）

➤ 水素の供給源と水素濃度上昇のリスクを整理した結果、減圧時の水素濃度は、実施計画制限2.5%に至るおそれはないと考えられる。

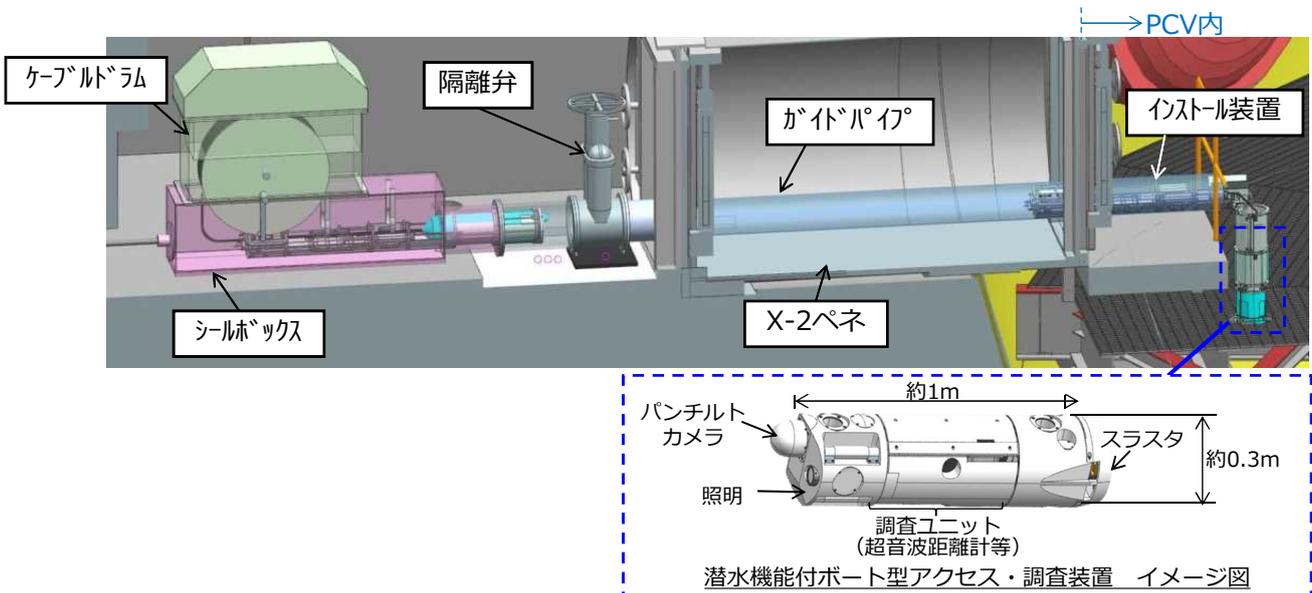
供給源	現状の状態	減圧時の水素濃度上昇のリスク
燃料デブリ (水の放射性分解)	窒素封入により、日常的に拡散を実施 水素濃度は十分低い状態を維持	無し
PCV内接続配管 (事故初期水素が滞留)	滞留水素の可能性は、払拭できない	有り 1号はこれまで窒素封入量低減などの減圧実績 があまりないが、過去に確認されたS/C水素の 影響を超えることはないと推定（0.4%以下）
S/C (事故初期水素が滞留)	S/Cへ窒素封入を実施中。 滞留水素が無いことを確認済	無し (過去のPCV圧力低下やS/C窒素封入時に、 S/C気相部に滞留していた水素がD/Wに放出さ れた際の水素濃度は0.4%以下)

- 1号機では、過去にS/Cに滞留していた水素がPCV圧力低下やS/Cへの窒素封入と共に一定期間水素濃度の上昇・下降がみられた。(2012年～2013年の実績：水素濃度上昇0.4%以下)
- 現在はS/Cへの窒素封入を継続しており、D/Wの水素濃度はほぼ0%を維持している。



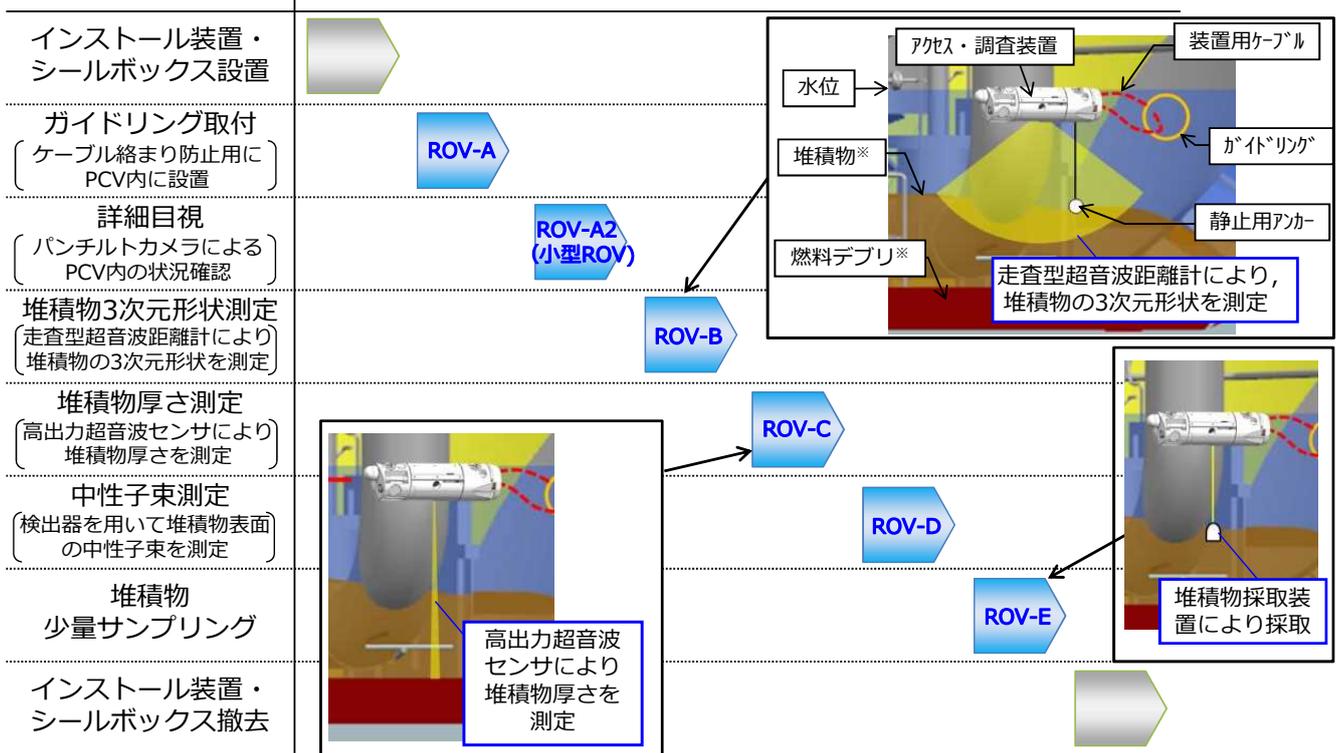
(参考) 1号機PCV内部調査の概要 (1/2)

- 1号機PCV内部調査においては、主にペDESTAL外における構造物や堆積物の分布等を把握するためのアクセス・調査装置を開発中。
- 2017年3月の調査で確認された堆積物は水中にあるため、アクセス・調査装置は潜水機能付ポートを開発中。X-2ペネを穿孔して構築したアクセスルートから、調査を実施する計画。
- 従来のPCV内部調査と同様に、PCV内の気体が外部に漏れ出て周辺環境へ影響を与えていないことを確認するため、作業中はダストモニタによるダスト測定を行い、作業中のダスト濃度を監視する予定。



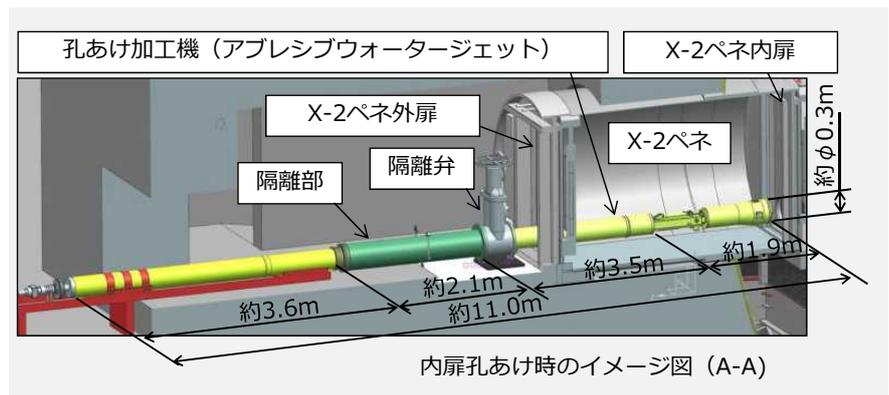
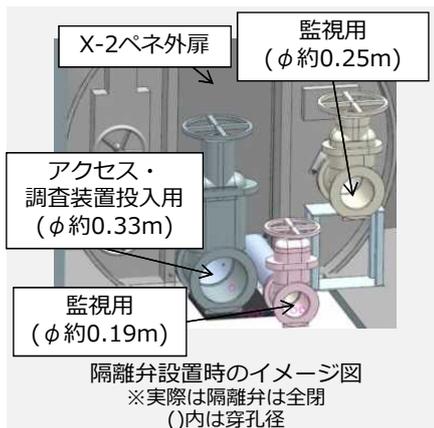
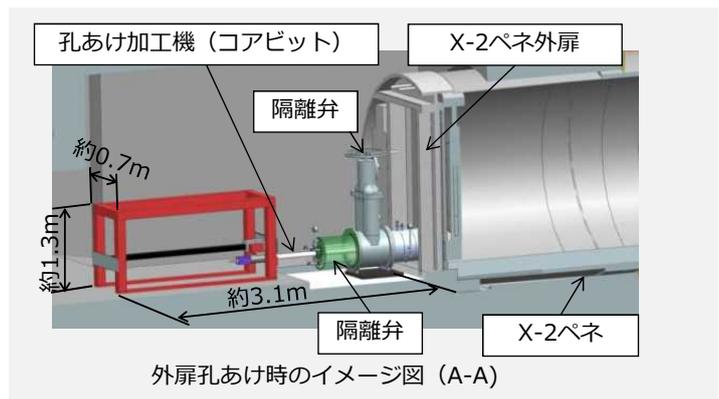
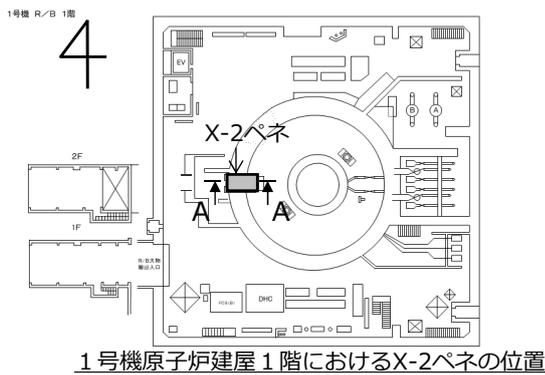
1号機X-2ペネからのPCV内部調査のイメージ図

- 潜水機能付ポート型アクセス・調査装置については、機能毎に6種類準備する予定。

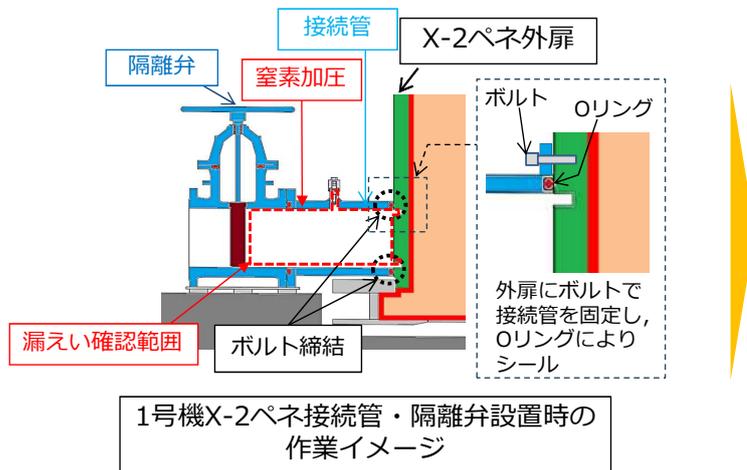


※：堆積物の厚さや燃料デブリの有無及び厚さは未知だが、説明のためイメージとして記載 18

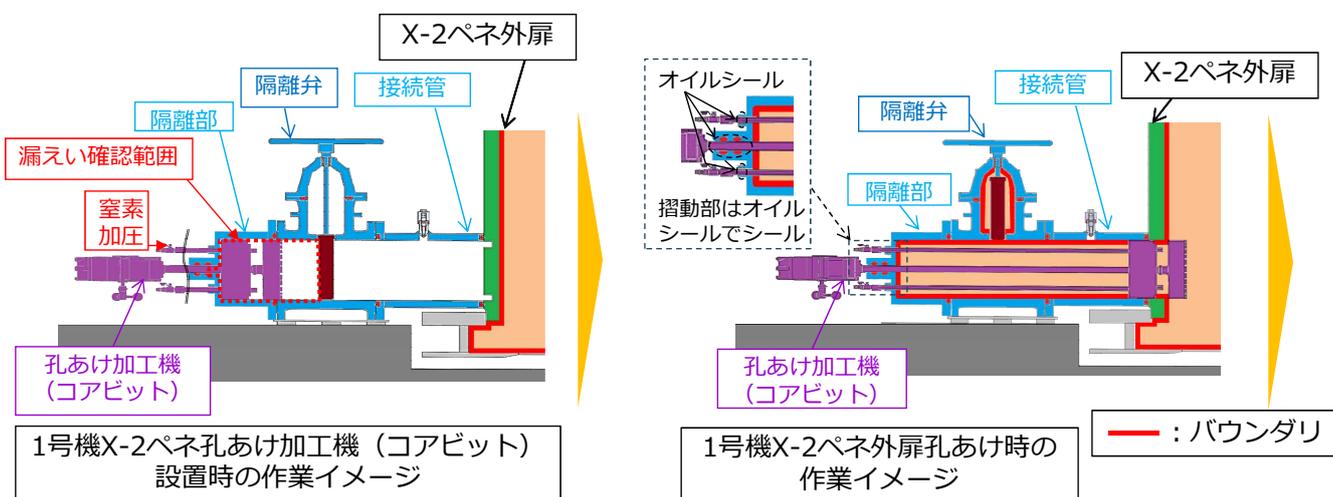
(参考) アクセスルート構築に使用する機器



- 調査前に必要となるX-2ペネからのアクセスルート構築については、従来のPCV内部調査と同様に、PCV内の気体が外部に漏れ出て周辺環境へ影響を与えていないことを確認しながら進める。
- アクセスルート構築は接続管、隔離弁および隔離部でバウンダリを確保しながら作業を実施する。
- アクセスルート構築中およびPCV内部調査中のバウンダリとなる、接続管、隔離弁をX-2ペネ外扉に設置する。設置後に接続管、隔離弁は、窒素加圧による漏えい確認を行う。



- 隔離弁に孔あけ加工機 (コアビット) を設置した後、隔離弁を開ける前に窒素加圧を行い、漏えい確認を行う。
- 隔離弁を開け、孔あけ加工機 (コアビット) にてX-2ペネ外扉の孔あけを実施する。
- 孔あけ加工機 (コアビット) 以降の作業も装置設置した後、隔離弁を開ける前に窒素加圧、漏えい確認を行ってから作業を進める。



- X-2ペネ内扉は孔あけ加工機（アブレシブウォータージェット：AWJ）にて孔あけを実施し、内扉孔あけ後に同加工機によりPCV内干渉物（グレーチング、電線管等）を切断する。なお、AWJでの孔あけ作業における放射性物質の放り出しリスクの更なる低減のため、PCV圧力の減圧（均圧化）を図ることを検討中。
- X-2ペネ内/外扉の孔あけおよびPCV内干渉物切断作業後に、アクセス・調査装置のPCV内投入に必要なガイドパイプを設置する。

