

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

アブレシブウォータージェット作業について

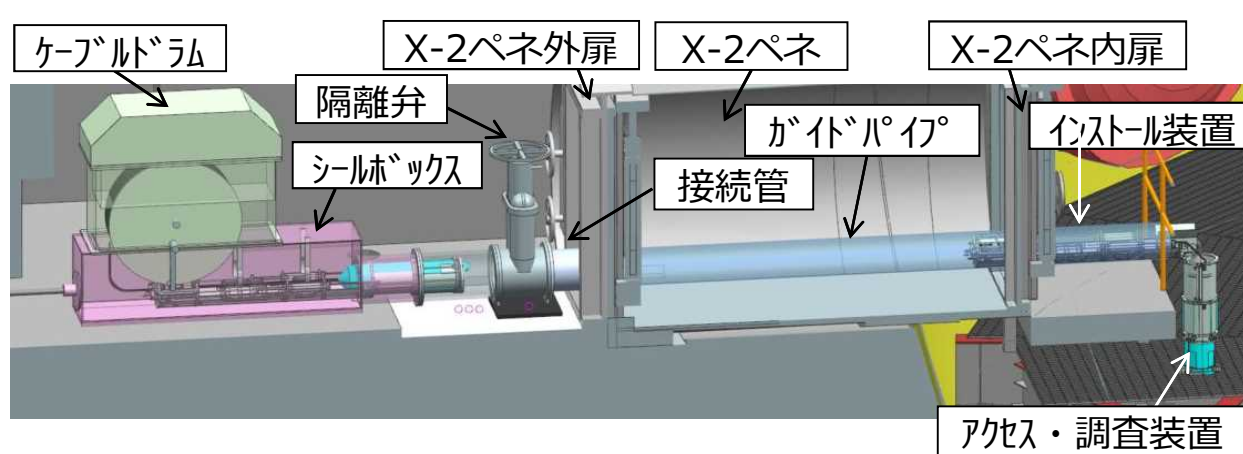
2019年4月25日



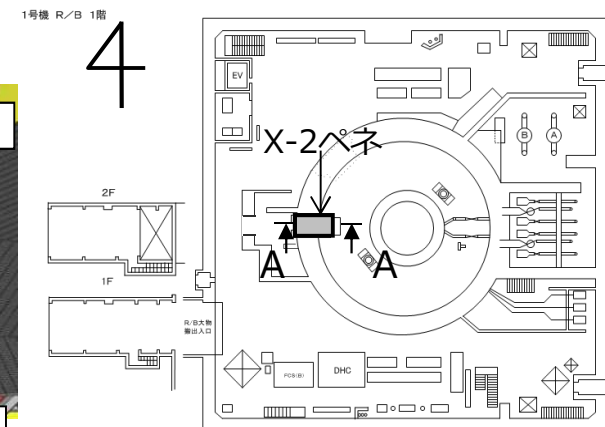
東京電力ホールディングス株式会社

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

- 1号機の原子炉格納容器内部調査は、X-2ペネトレーション（以下、ペネという）から実施する計画。
- X-2ペネは所員用エアロックのため、アクセスルートを構築する際に、外扉と内扉の穿孔が必要であり、孔あけ加工機の設置状況確認やアクセス・調査装置を原子炉格納容器（以下、PCVという）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PCV 内に投入するため、既設構造物（グレーチングや電線管等）も切断する。
- 2019年1月にアクセスルート構築作業の概要、2月にPCV減圧の概要について報告済みであるが、アクセスルート構築作業のうちアブレシブウォータージェット（以下、AWJという）の実施が近づいたため、改めて報告する。



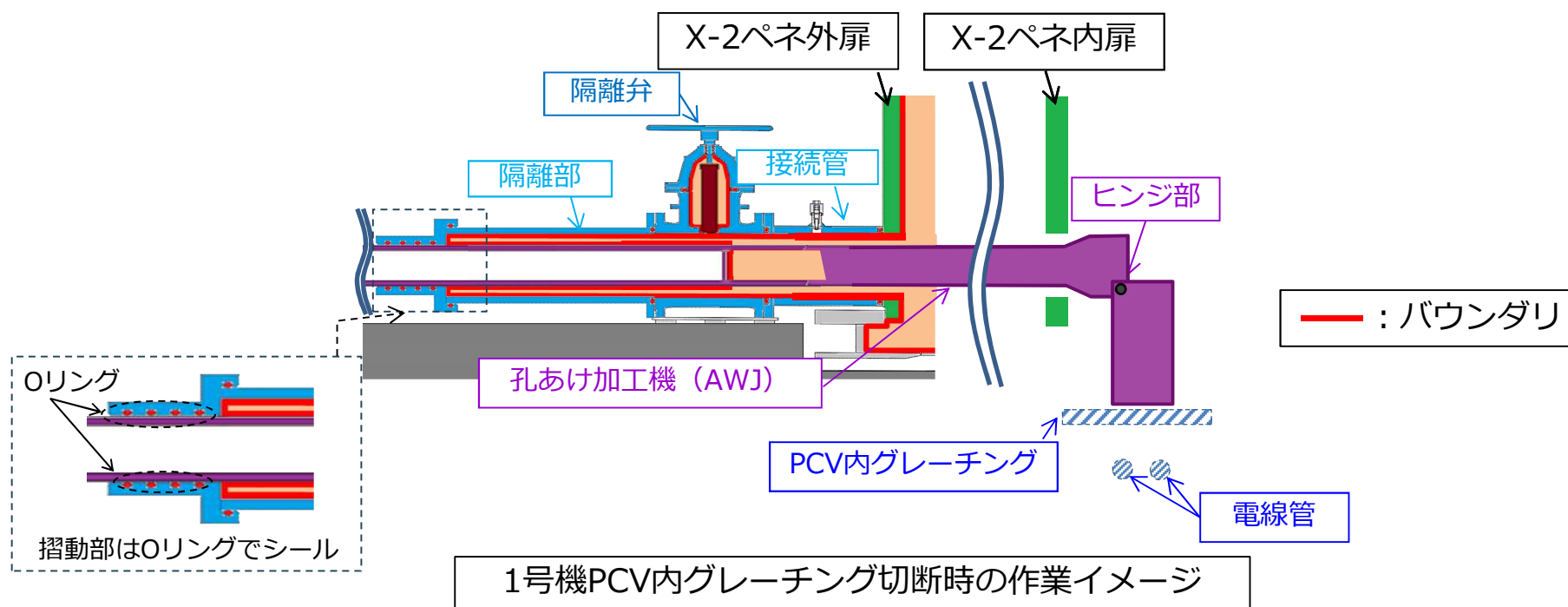
アクセスルート構築後の内部調査時のイメージ図 (A-A矢視)



1号機原子炉建屋1階における
X-2ペネの位置

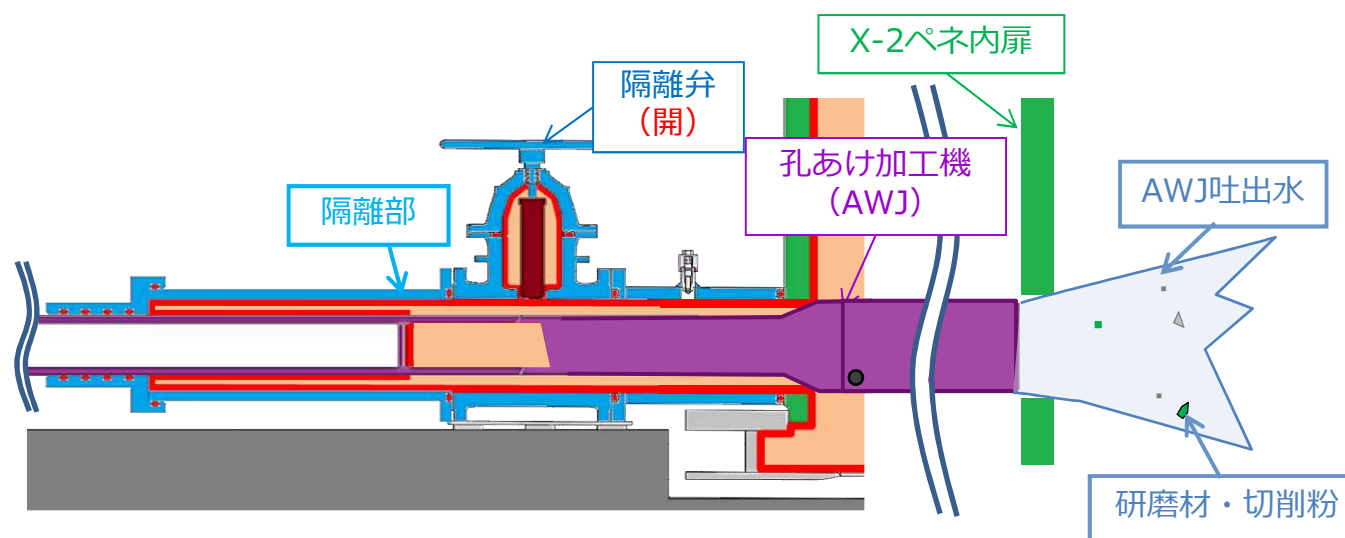
2. アクセスルート構築作業（AWJによる孔あけ）

- 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AWJ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）を実施しているところ。



3. AWJ作業の概要

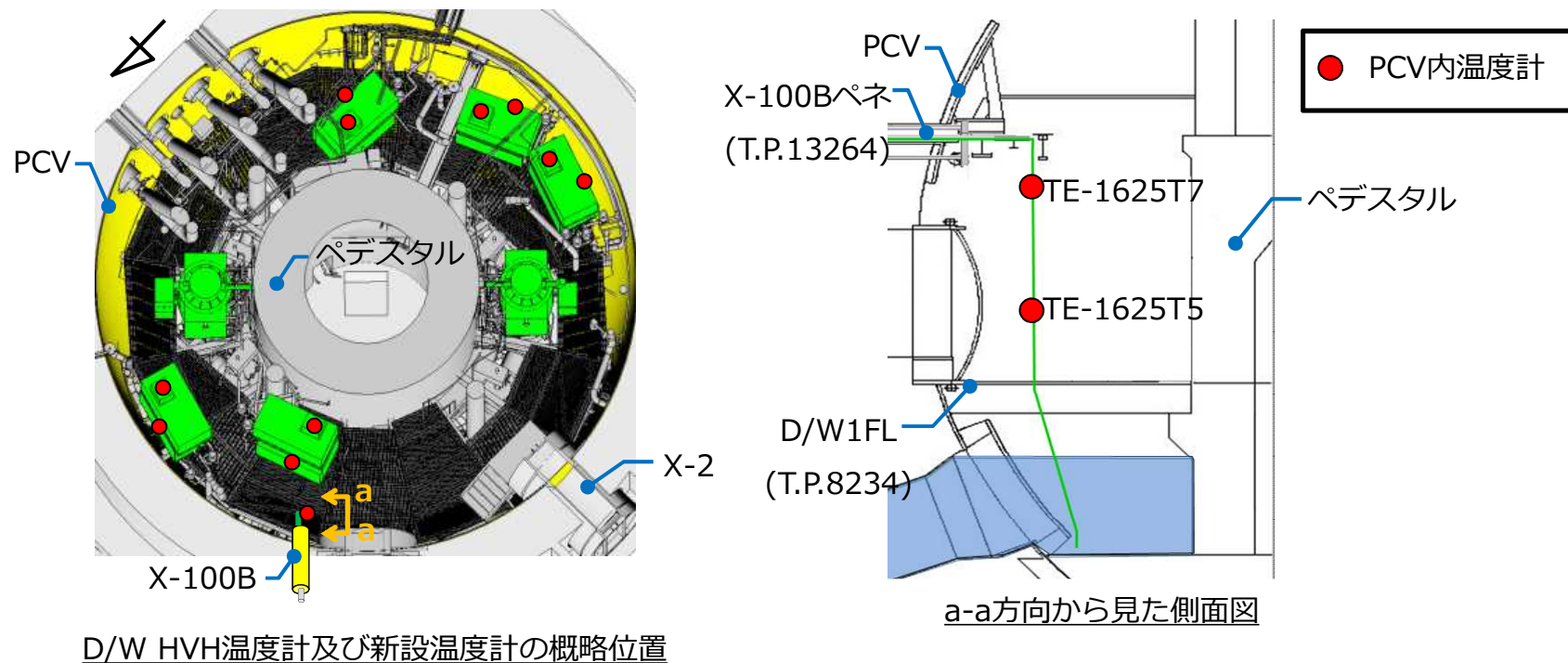
- AWJは、ウォータージェットによる切断加工能力を高めるため、水に研磨材（アブレシブ）を混入させて高圧で噴射させ、ノズルを回転させることで、金属などの切断加工を行う加工方法。
- AWJ作業により、PCV内温度計指示値の上昇、PCV内圧力・酸素濃度の上昇、ダスト濃度の上昇する可能性があるが、燃料デブリの冷却や周辺監視区域及び周辺作業環境に影響が出ないように適切に監視を行いながら、作業を実施する。
- 研磨材は熱的・化学的に安定した鉱物を使用するため、PCV内の既設構造物、堆積物と反応することはない。また、研磨材はAWJ使用箇所周辺に沈降することをモックアップ結果より確認しており、PCV外に流出し水処理設備に影響することはないと評価している。



AWJ穿孔作業のイメージ

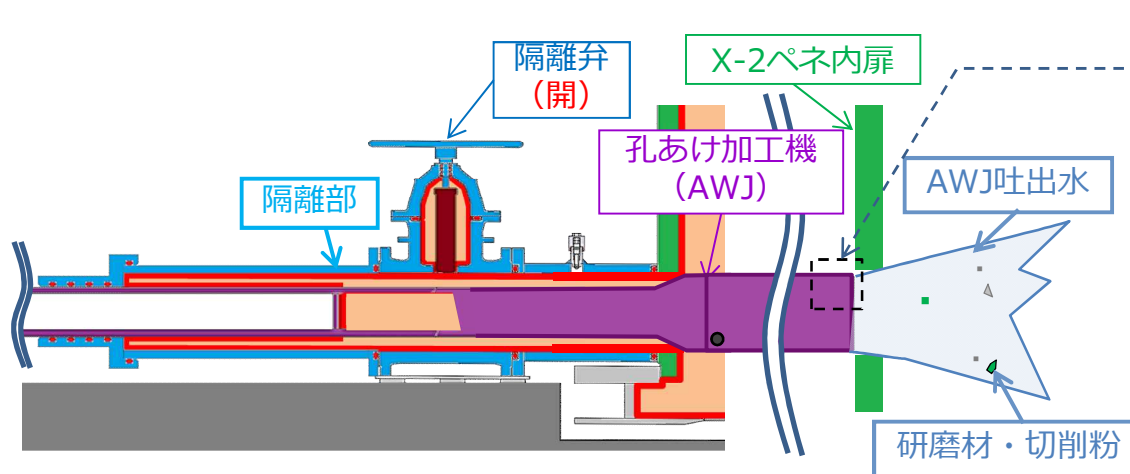
4. AWJ作業時のPCV温度指示値上昇について

- AWJ作業時の吐出水は研磨剤が構造物を切断する際の摩擦熱により約30～40℃まで昇温されるため、AWJ作業中はPCV温度指示値が上昇する可能性がある。
- 原子炉注水系の注水量の変化が無ければ、燃料デブリの冷却状態に問題はないと考えているものの、作業中はPCV温度を監視し、全体的なPCV温度上昇が確認された場合には作業を中断し、温度変化傾向の評価を行った後に作業を再開する。

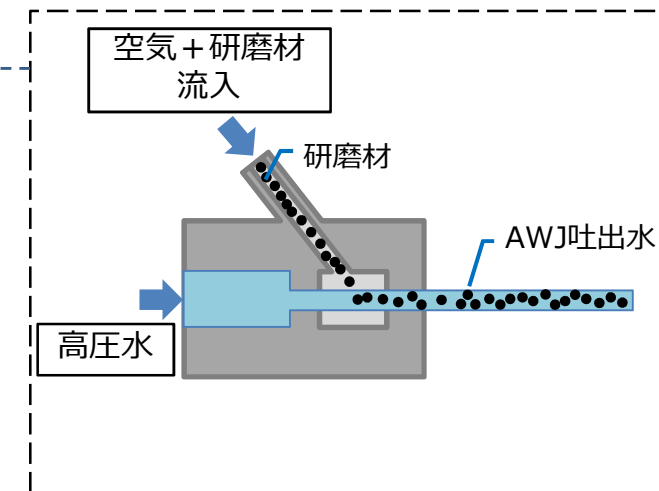


5. AWJ作業時のPCV内への空気流入

- AWJは、ノズル先端で高圧水に研磨材を混入させ、対象を切削する加工工法
- 研磨材は大気開放されている容器から供給されることから、AWJによる切削中は空気がPCV内へ流入される。
- PCV圧力及び酸素濃度の上昇量は1kPa以下、0.2%以下の上昇と評価しており、影響は限定的と考えているが、PCV圧力及び酸素濃度を監視しながら、作業を実施する。



AWJ穿孔作業のイメージ

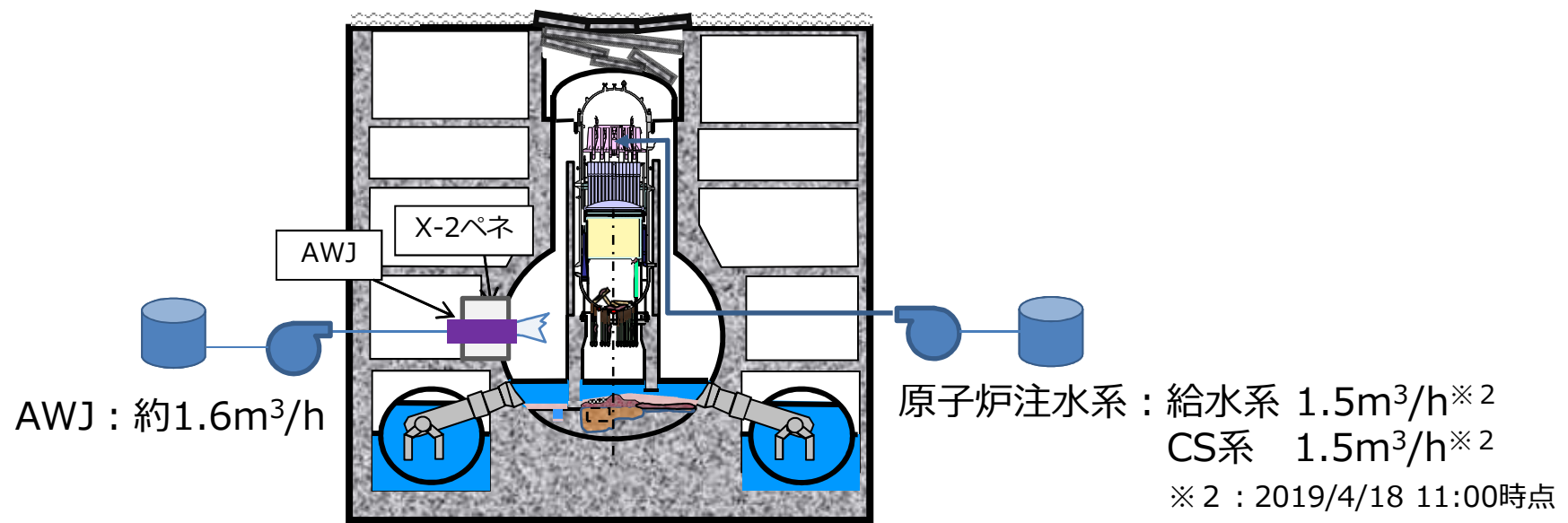


AWJのノズル先端部の構造 (イメージ)

6. AWJ作業時の安全措置について

- AWJ作業に伴い使用する水のPCV内への流入量が一時的に上昇する。
- AWJによりPCV内への流入量が追加されることから、原子炉未臨界維持に必要な安全措置※¹を事前に講じた上で作業を実施する。
 - 希ガスモニタによる未臨界監視
 - ホウ酸水注入準備

※1：AWJは実施計画III章 第1遍 第18条に定める原子炉注水系にあたらないが、任意の24時間あたりの原子炉格納容器内への注水量増加幅が $1.0\text{m}^3/\text{h}$ を超えることから、上記安全措置を実施する。



AWJ作業時のPCVへの水の流入イメージ

7. AWJ作業時のダスト管理値について

- AWJ作業ではPCV内の汚染した構造物を切断するため、PCV内に放射性ダストが追加浮遊する可能性がある。
- AWJ作業で発生する放射性ダストがPCV外へ放出された場合においても周辺監視区域及び周辺作業環境に影響が出ないようにダスト管理を行うため、以下の通り、管理基準を設定した。

	オペフロ上 ダストモニタ	PCVガス管理設備 ダストモニタ	作業エリア (X-2ペネ前)
管理基準	$1.0 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^3$	420 cps	$5 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^3$
管理基準の考え方	周辺監視区域外の空气中濃度限度※ ¹ 、及びマスクの着用基準※ ² （周辺環境：G zone）に影響しないよう設定	ダストモニタ警報設定値※ ³	周辺監視区域外及び周辺環境のほか、当該の作業エリアで働く作業員の放射線防護も踏まえて設定
発報後の対応	作業中断 原因特定・対策を行い、再開する	作業中断 原因特定・対策を行い、再開する	作業中断。 原因特定・対策を行い、再開する

※ 1 : $2 \times 10^{-5} \text{ [Bq/cm}^3\text{]}$ （法令[告示]）

※ 2 : $2 \times 10^{-4} \text{ [Bq/cm}^3\text{]}$ （社内基準）

※ 3 : バックグラウンドの10倍に設定（この値であっても、PCVガス管理設備からの放出量は放出管理目標値の1000分の1以下であることを確認）

8. AWJ作業期間中の監視パラメータ（1 / 2）

- アクセスルート構築作業全体を通して以下の項目を監視する。

監視 パラメータ	監視頻度 (作業中)	判断基準	逸脱時の対応
・作業エリア ダスト濃度	常時	$5 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^3$	作業中断。原因特定・対策を行い，再開する
・PCV圧力※	毎時	異常な圧力変動がないこと (気圧変動に伴う圧力変化以外)	バウンダリの確保を実施し，作業中断
・作業エリア線量	常時	雰囲気線量 10mSv/h以下	作業中断。原因特定・対策を行い，再開する

※PCVバウンダリへの影響がある外扉貫通穿孔以降の作業ステップに適用

8. 監視パラメータ（2 / 2）

■ AWJ作業中は前頁項目に追加し、以下の項目を監視する。

監視 パラメータ	監視頻度		判断基準	逸脱時の対応
	作業中及び 作業後24時間	作業後 24時間以降		
・ 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）	・ AWJ作業の中断 ・ AWJ作業での温度上昇かそれ以外かを判断するため、作業ステップごとにホールドポイントを設け、温度変化傾向の評価を行った後に次ステップに移行する。
・ 酸素濃度	毎時	6時間	・ AWJ作業中及び作業後24時間：1.2% 以下であること ・ AWJ作業後24時間以降：1%以下であること	・ AWJ作業を中断し、排気流量を減少させ、空気インリークを制御
・ ダスト濃度	毎時	6時間	・ オペフロ： 1×10^{-3} Bq/cm ³ 以下であること	・ AWJ作業の中断 ・ AWJ作業量と放出ダストの関係を推定し、適切な作業量を設定する。判断基準に対し作業量が多い場合は次AWJ作業量を制限する。
	毎時	6時間	・ PCVガス管理設備：420cps 以下であること	
・ Xe濃度	毎時	1時間	・ 有意な上昇傾向がないこと（2系同時）	・ AWJ作業を中断し、ホウ酸水を注入する。
・ ガス管理 設備フィルタ 差圧	毎時	6時間	・ 0.85 kPa 以下であること	・ 差圧上昇原因を調査し、必要によりフィルタの交換を実施
・ ガス管理 設備フィルタ 線量	毎時	6時間	・ 1×10^{-3} mSv/h 以下であること	・ 線量上昇傾向を調査し、必要によりフィルタ交換を実施

9. 工程案

- PCV減圧操作(4/4~)を実施し, X-2ペネ外扉孔あけ(4/8~)を実施しているところ。
- X-2ペネ内扉孔あけ(AWJ作業)は外扉孔あけ, 準備が整い次第, 実施する予定。
- なお, AWJ作業完了後にPCV圧力を復帰する予定



(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

■ PCV減圧に関する参考資料

以下余白

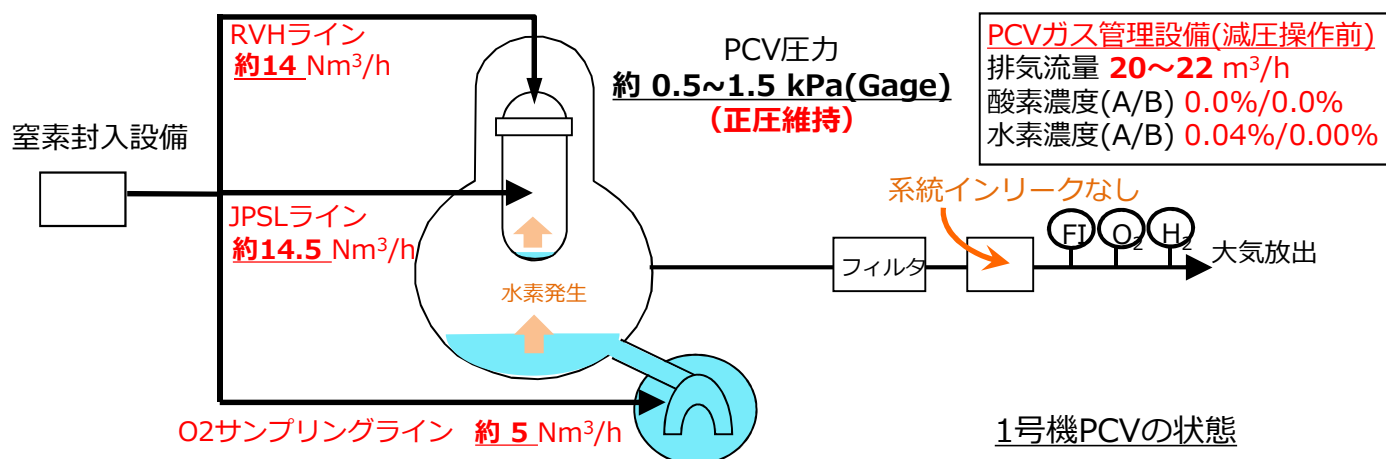
(参考) PCV減圧の実施状況 (1 / 2)

■ 目的

アクセスルート構築に際して実施する孔あけ加工機（アブレシブウォータージェット：AWJ）による作業中のダスト放出リスクをさらに低減することを目的とし、念のため1号機のPCV圧力を大気圧と同等程度を目標に減圧する操作を実施した。

■ 操作実績

- ・ 操作日時：2019年4月4日(木), 11日(木)
- ・ 対象号機：1号機
- ・ PCVガス管理設備排気流量：4月 4日 約20m³/h → 約24m³/h
4月11日 約23m³/h → 約26m³/h
- ・ PCV圧力 操作前：約0.7kPa → 4月15日現在：約0.0kPa

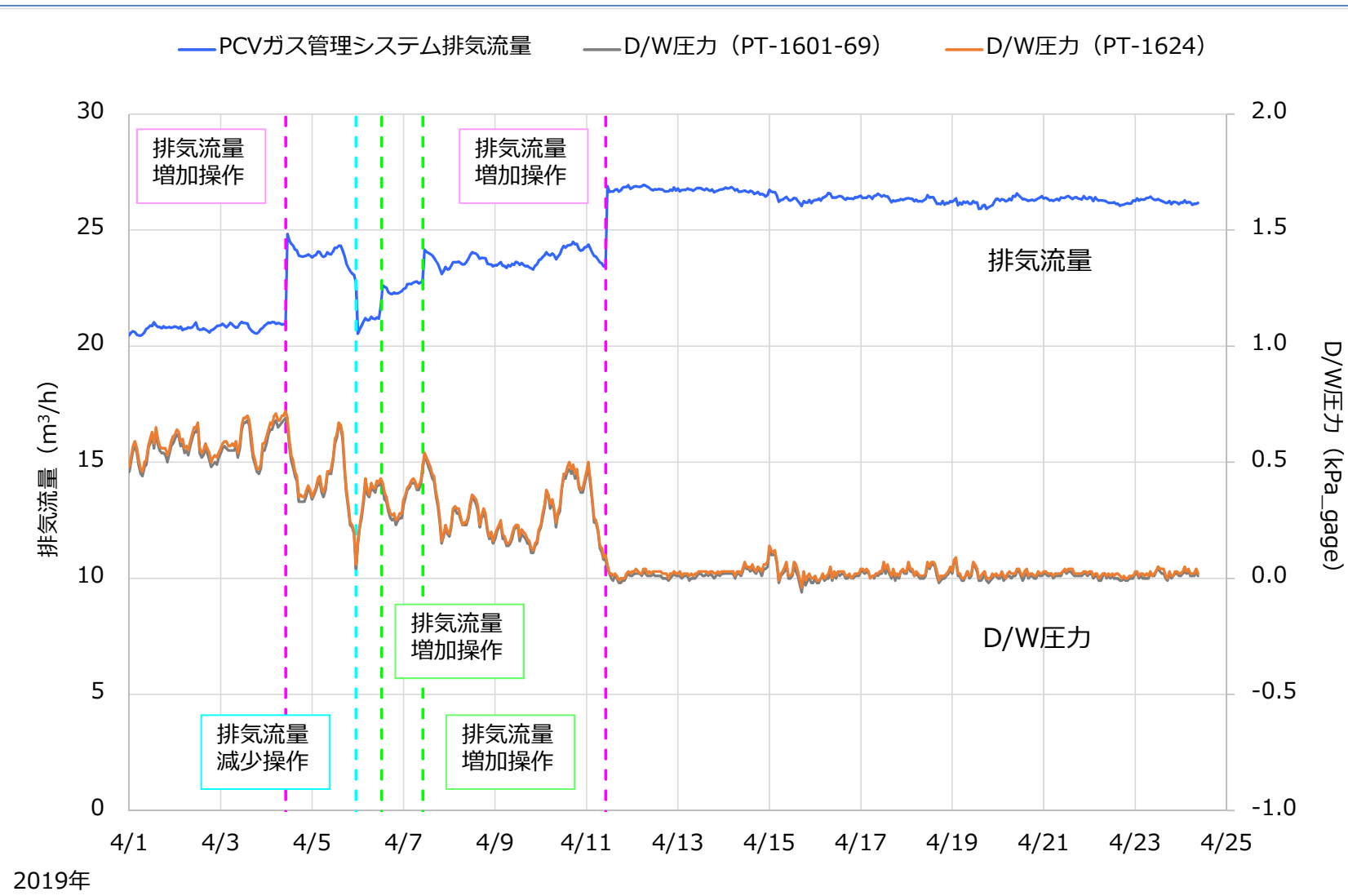


(参考) PCV減圧の実施状況 (2 / 2)

- 4月4,11日, 1号機PCVガス管理設備排気流量を増加させることにより, 1号機PCVの減圧を実施した結果, 大気圧と同等程度までPCV圧力を減圧 (約0.0-約0.1kPa) できることを確認した (減圧操作後, 監視パラメータである酸素濃度・水素濃度に異常なし)
- 一方, 4月11日の操作以降, 複数のPCV内温度計で大気圧の上昇に応じた温度上昇を確認 (約0.1-約0.3℃/hで上昇が確認されたものが1本。その他は0.1℃/h未満の微小な上昇)
- 過去にも類似事象は確認されているが, その際の温度上昇率 (約0.6-約2.0℃/h) に比べ, 今回の上昇率は小さい
- 減圧操作の手順は「PCV内温度が全体的に上昇傾向が継続する場合は, 排気流量を減少させる」としていたが, 大気圧の変動に対する温度計指示の上昇が落ち着く傾向が見られることから, 当面は現状の減圧状態を維持し, 温度の監視を継続することとする。
- 但し, 念のため下記の判断基準を追加し, そのいずれかを逸脱した場合は, ガス管理設備の排気流量をPCV温度の上昇が確認されなかった4月11日の操作前 (約23-約24m³/h) を目安に減少させる等の対応をとる
 - 温度計指示値 50℃以下
 - 温度上昇率 1.0℃/h以下
- なお, 排気流量を減少させる場合には, 今回得られた減圧操作に関する知見を踏まえ, PCV温度の監視を行った上で, 圧力の調整を検討する

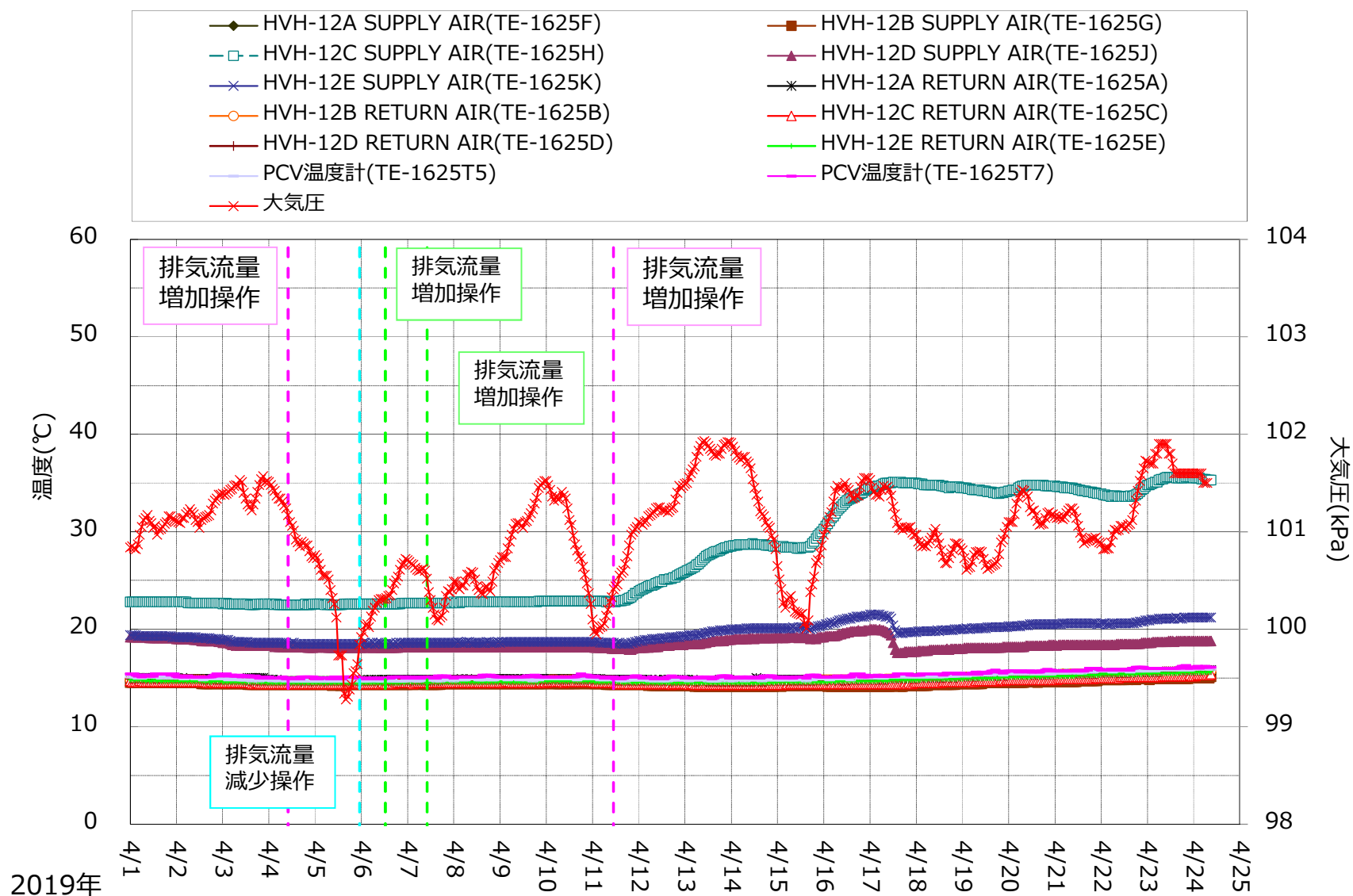
(参考) ガス管理設備の排気流量増加に伴うPCV減圧について **TEPCO**

- PCVガス管理設備の排気流量増加することにより、PCV圧力について、大気圧と同等まで減圧できることが分かった



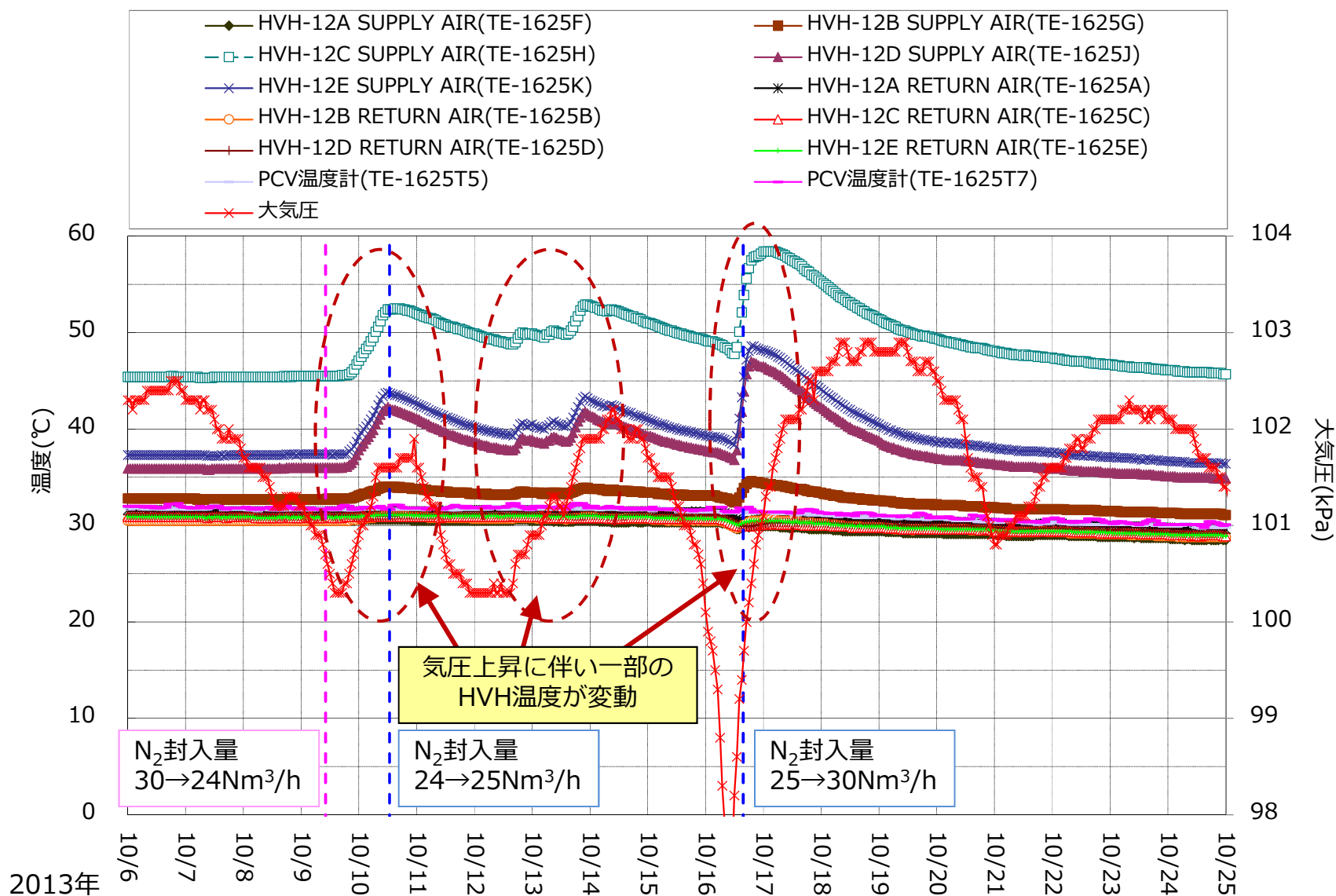
(参考) 一部のPCV内温度の上昇事象

■ 4月11日の排気流量増加操作後，複数のPCV内温度計で指示の上昇を確認

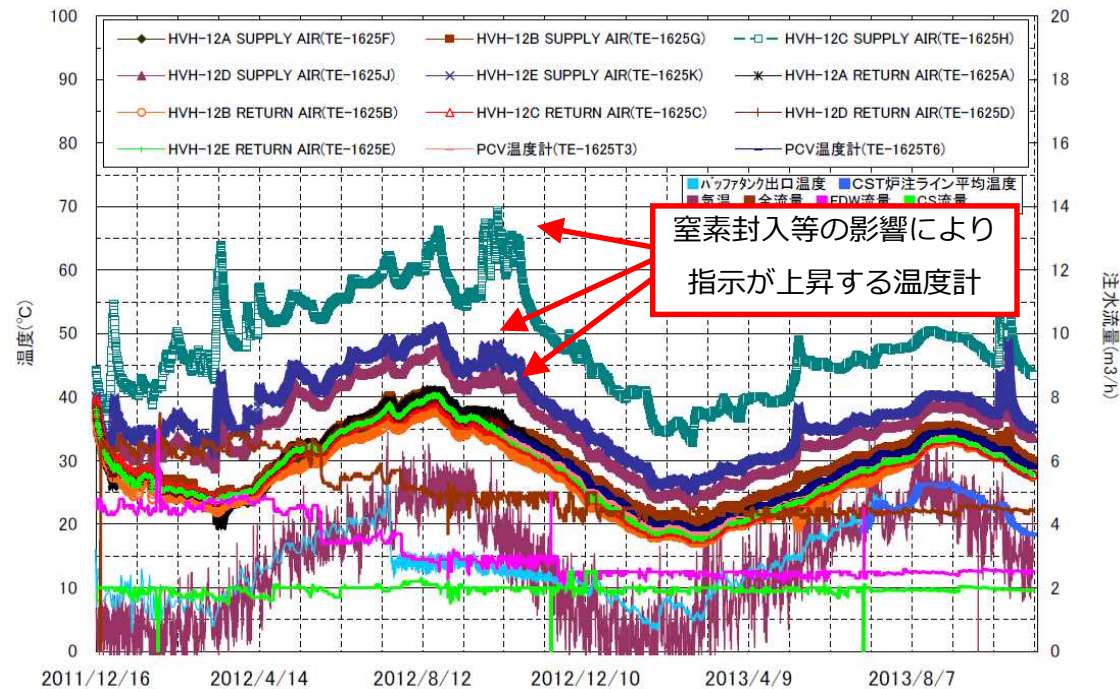


(参考) 過去の一部のPCV内温度の上昇事象 (1 / 2)

■ (2013年10月)N2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



(参考) 過去の一部のPCV内温度の上昇事象 (2 / 2)



- 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。これはペデスタル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)

(参考) 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 (±2m 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。

今回のPCV減圧操作に際して予め定めた手順

■ PCV内温度に関する判断基準

- 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)

■ 判断基準逸脱時の対応

- PCV内温度が全体的に上昇傾向を確認した場合、次の排気流量増加を実施しない
- PCV内温度が全体的に上昇傾向が継続する場合は、排気流量を減少させる
(気温や注水温度の変化による影響を除く)

PCV温度に関する運転上の制限

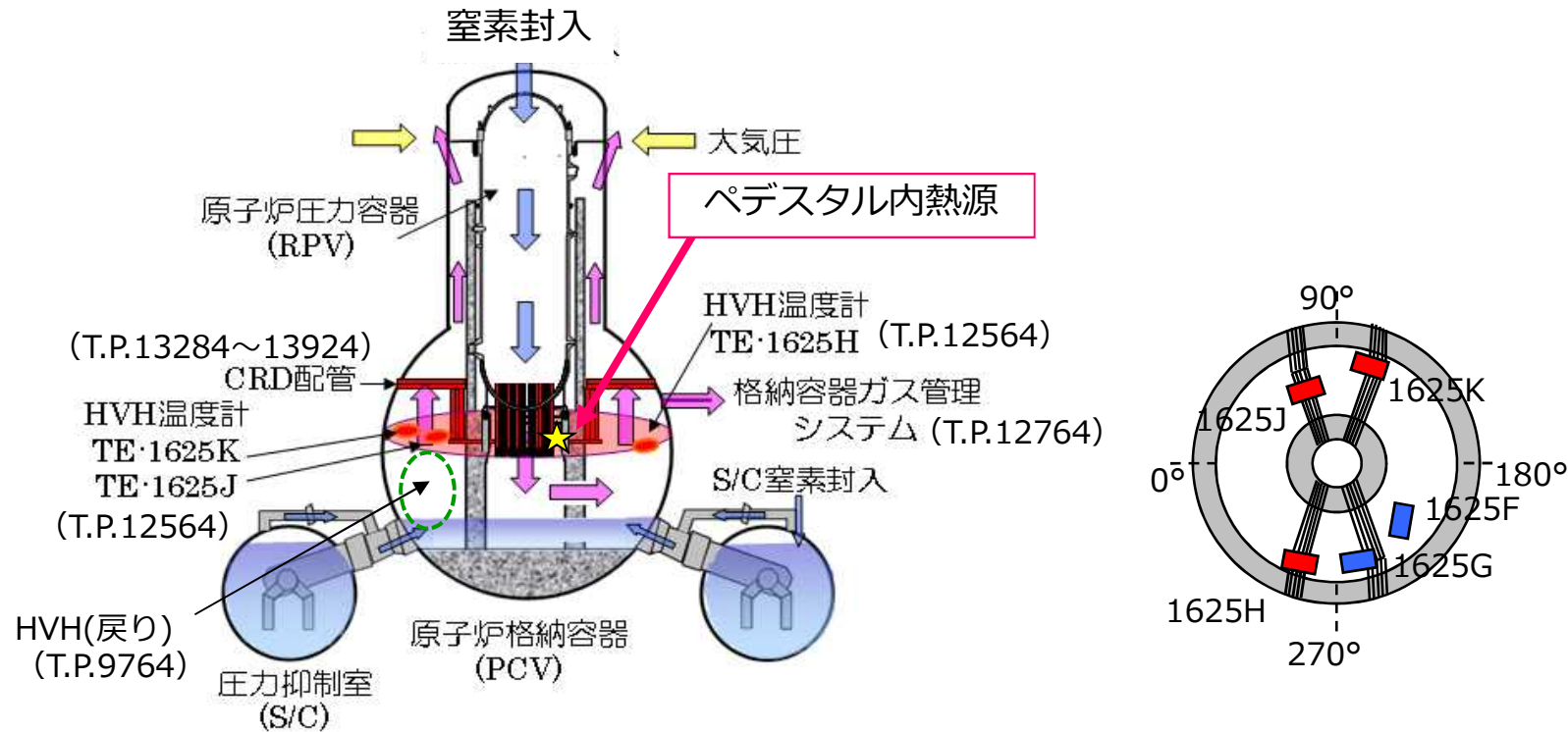
■ 実施計画Ⅲ第1編第3章第18条：

- 格納容器内温度 全体的に著しい温度上昇傾向がないこと

→6時間当たりの上昇率から計算された100℃到達までの時間が24時間以下

→PCV温度計の温度が50℃の場合、約2℃/h以下

(参考) 温度計の設置位置関係と推定メカニズム



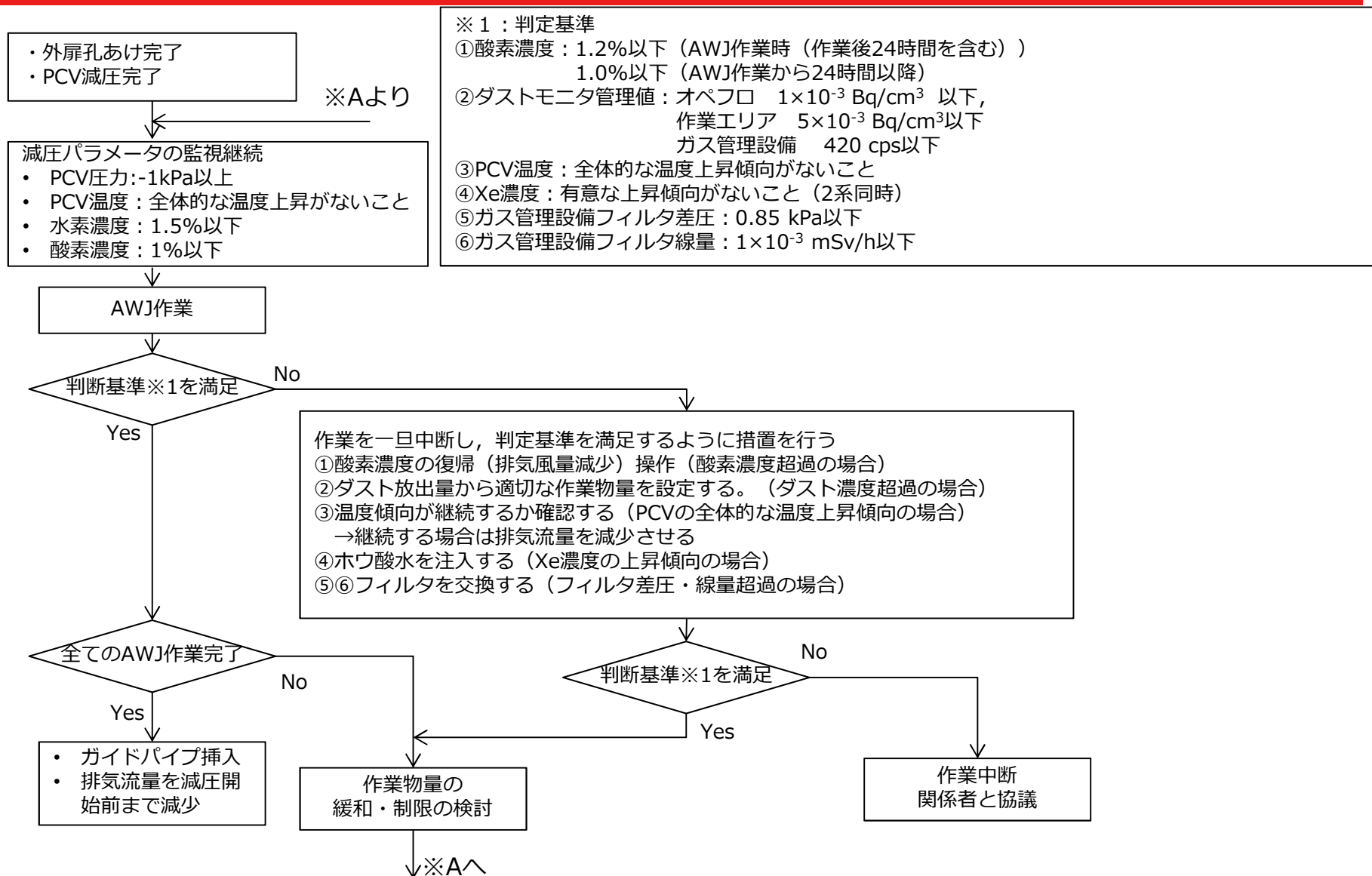
- ペデスタル内のCRD配管近傍に熱源が存在し、熱伝達、熱伝導によりCRD配管周辺が加熱と推定。
- 大気圧の上昇時にPCVからのアウトリークが減少することから、ペデスタル外のCRD配管周辺の流れが滞りHVH温度計指示値が上昇すると推定。
- ペデスタル外のCRD配管周辺の流れが増加・安定すると、温度が高い領域が小さくなり、HVH温度計の指示値が安定すると推定。

参考資料 2

■ AWJ作業に関する参考資料

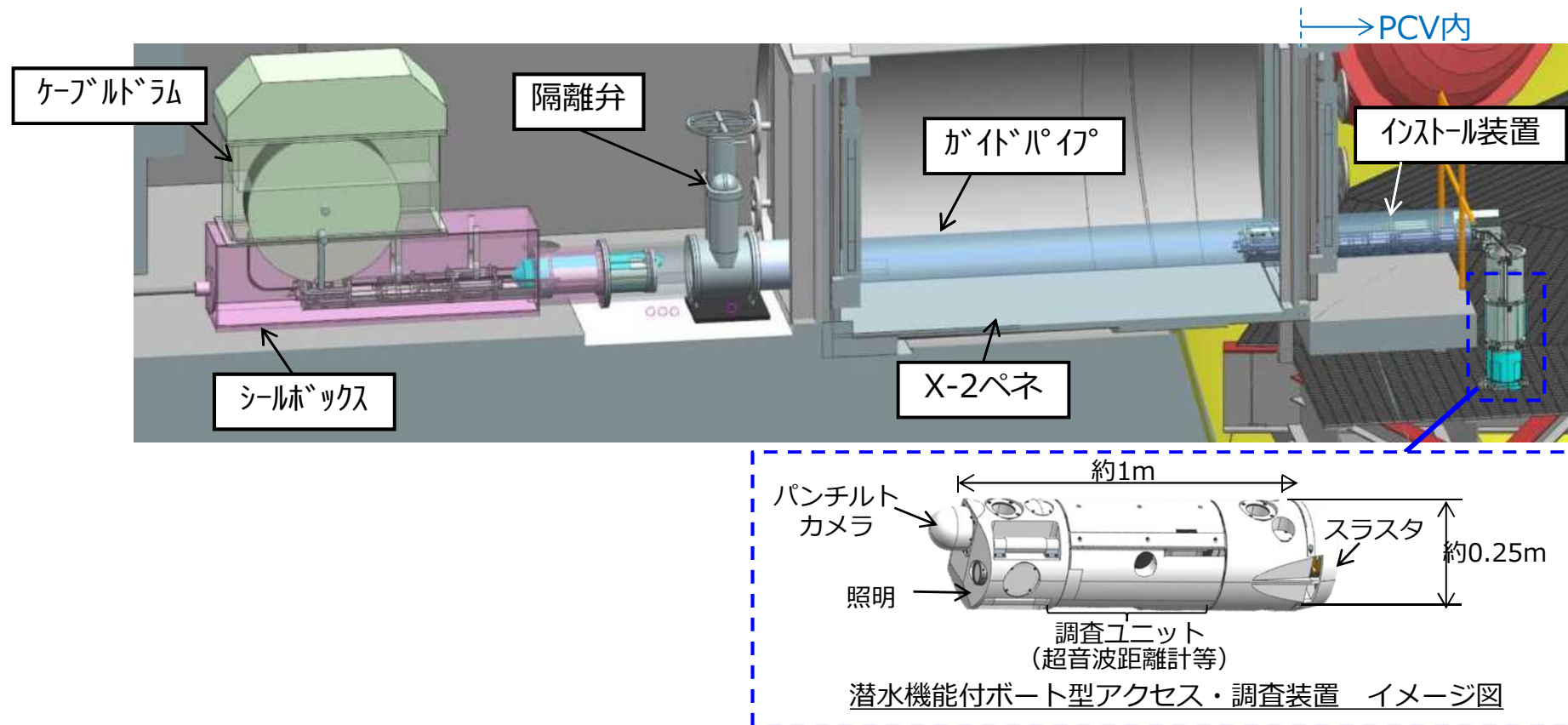
以下余白

(参考) AWJ作業期間中の実施フロー



(参考) 1号機PCV内部調査の概要 (1/2)

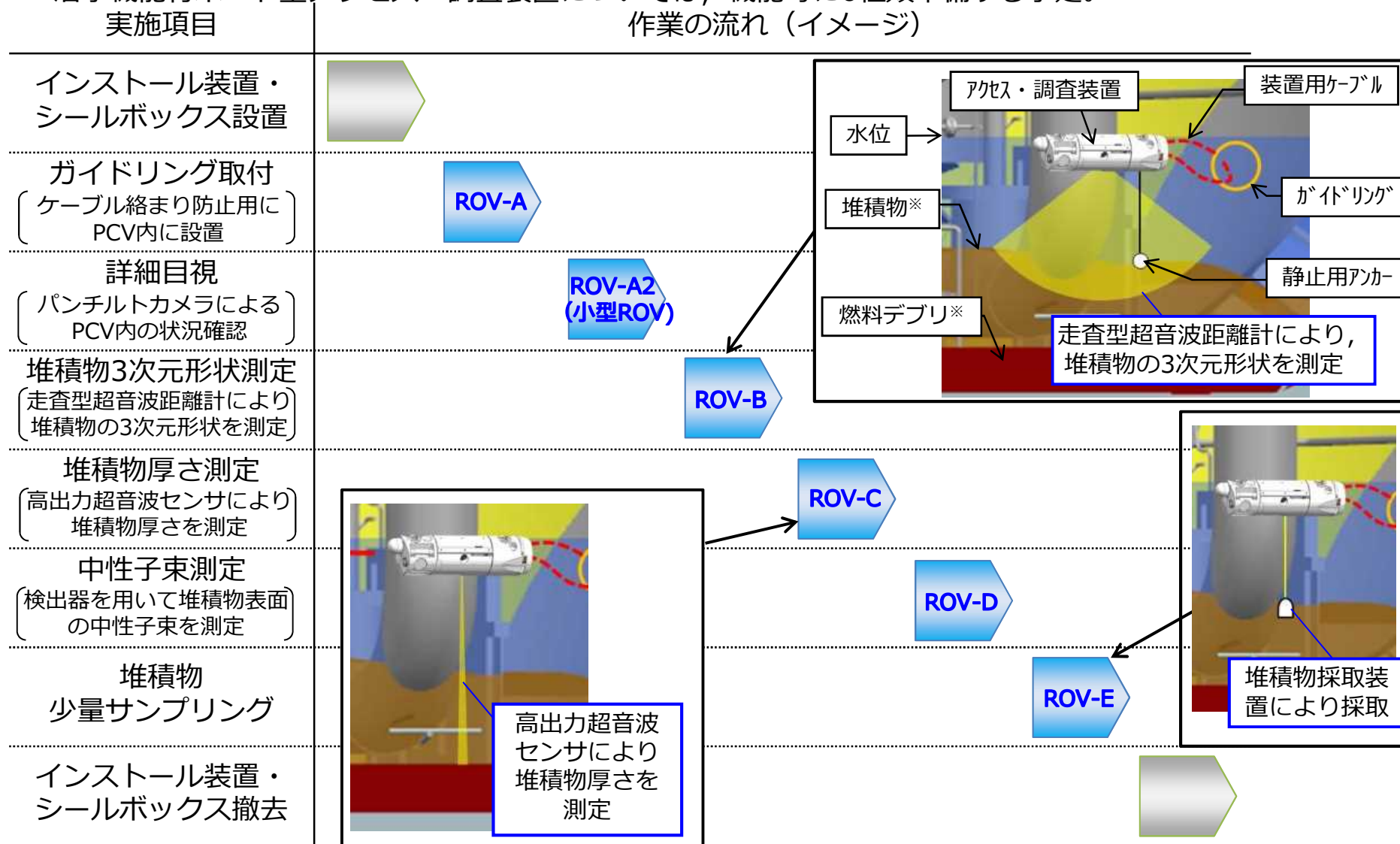
- 1号機PCV内部調査においては、主にペデスタル外における構造物や堆積物の分布等を把握するためのアクセス・調査装置を開発中。
- 2017年3月の調査で確認された堆積物は水中にあるため、アクセス・調査装置は潜水機能付ボートを開発中。X-2ペネを穿孔して構築したアクセスルートから、調査を実施する計画。
- 従来のPCV内部調査と同様に、PCV内の気体が外部に漏れ出て周辺環境へ影響を与えていないことを確認するため、作業中はダストモニタによるダスト測定を行い、作業中のダスト濃度を監視する。



1号機X-2ペネからのPCV内部調査のイメージ図

(参考) 1号機PCV内部調査の概要 (2/2)

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

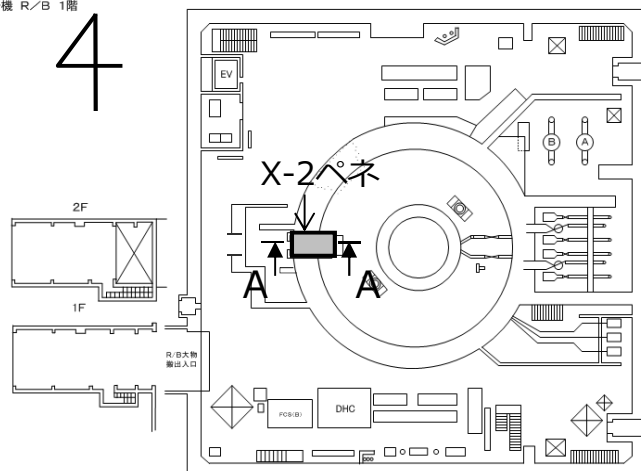


※：堆積物の厚さや燃料デブリの有無及び厚さは未知だが、説明のためイメージとして記載

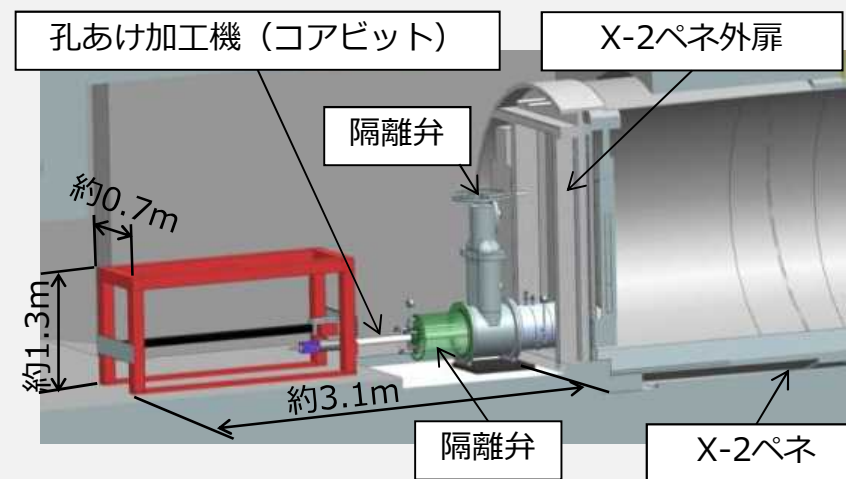
(参考) アクセスルート構築に使用する機器

1号機 R/B 1階

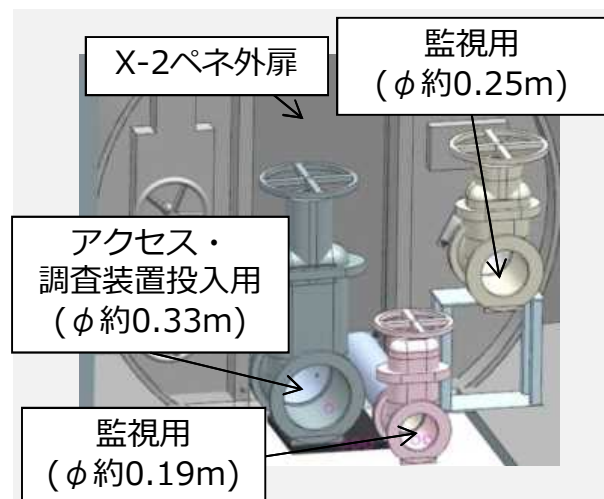
4



1号機原子炉建屋1階におけるX-2ペネの位置



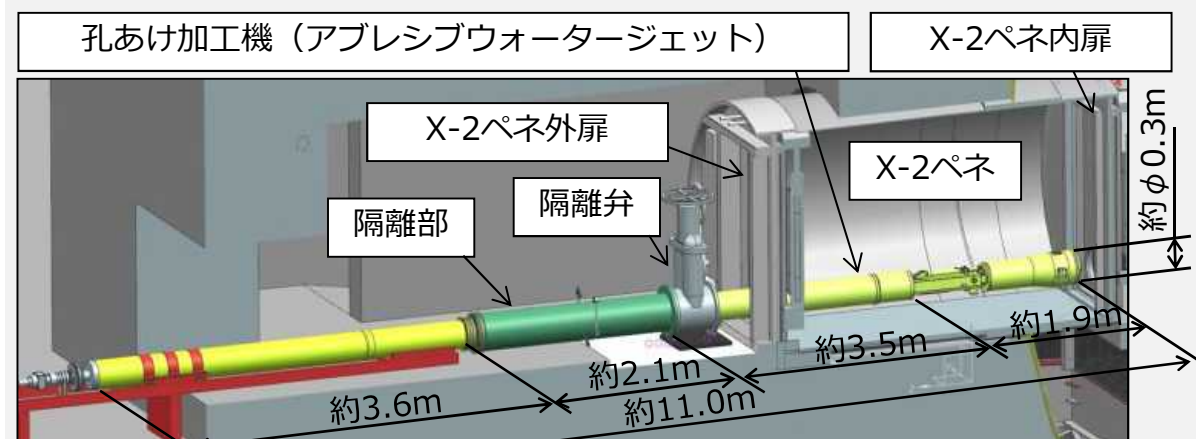
外扉孔あけ時のイメージ図 (A-A)



隔離弁設置時のイメージ図

※実際は隔離弁は全閉

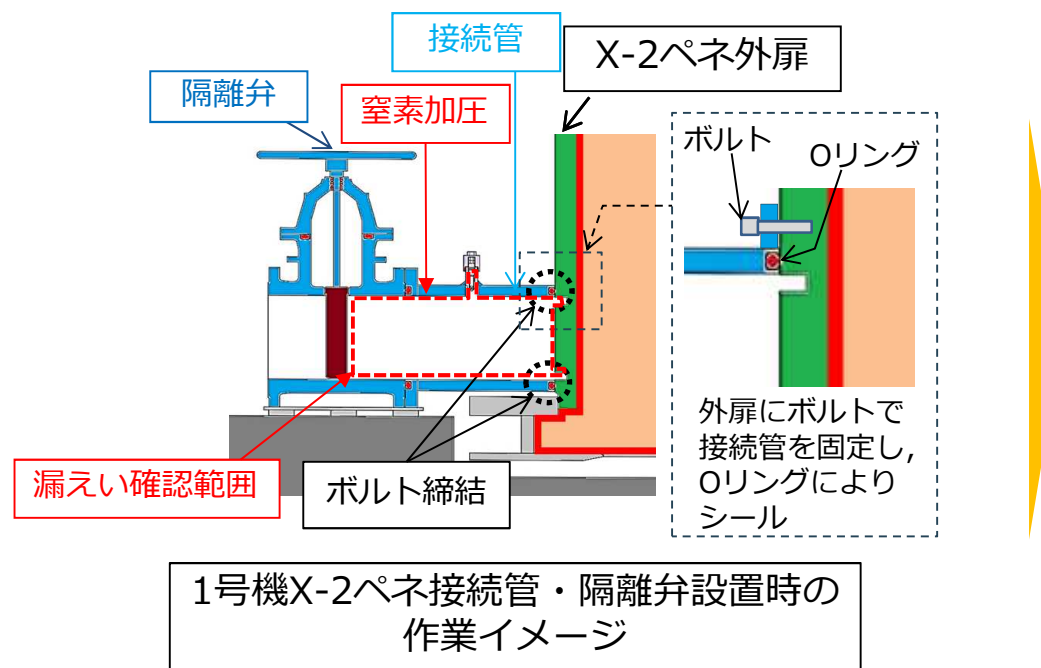
()内は穿孔径



内扉孔あけ時のイメージ図 (A-A)

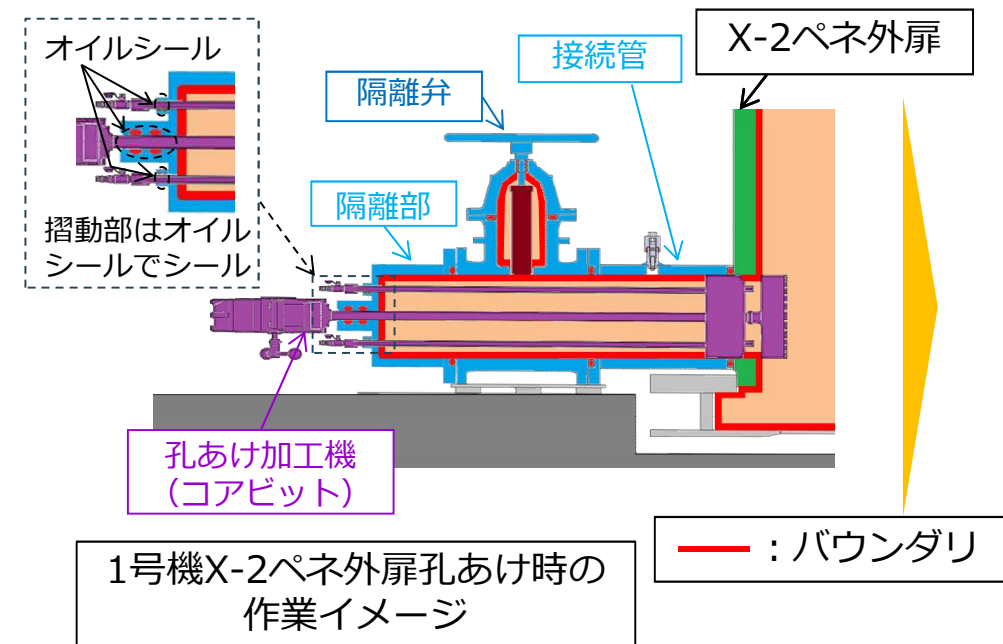
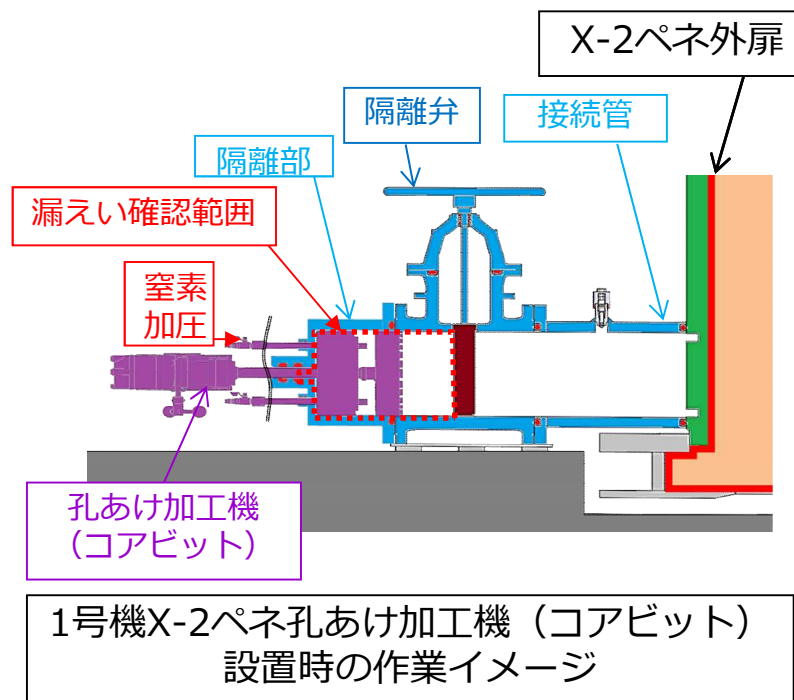
(参考) アクセスルート構築作業 (1/3)

- 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。



(参考) アクセスルート構築作業 (2/3)

- 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。



(参考) アクセスルート構築作業 (3/3)

- 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。
- 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。

