

2号機テレスコピック式試験的取り出し装置に係る 審査上の主な論点への回答について



2024年3月21日
東京電力ホールディングス株式会社

1. デブリ採取量（スライド2～9）

先端治具（金ブラシ方式，グリッパ方式）により採取可能な燃料デブリの量は，エンクロージャの設計や作業員の被ばく評価等の基となる値であることから，採取可能な最大量を根拠も含め示すこと。

2. エンクロージャの閉じ込め機能（スライド10～15）

エンクロージャにはガイドパイプ（外筒・内筒）が貫通しており，燃料デブリ取り出し時にはそれらが摺動することから，当該部分の構造及びシール機能の信頼性を整理した上で，エンクロージャによる閉じ込め機能（バウンダリ機能）の確実性について示すこと。

3. エンクロージャ開放時の手順（スライド16～25）

原子炉格納容器から取り出した燃料デブリは，エンクロージャの側面ハッチを開放して取り出すことから，汚染拡大防止対策，具体的にはエンクロージャ内の放射性物質がエンクロージャの外側に出来る限り飛散しない対策を講じているかという観点から，側面ハッチの開放手順の詳細について示すこと。また，同様に，エンクロージャ後方のハウスに関する汚染拡大防止対策も示すこと。

4. 作業員の被ばく量（スライド26～37）

テレスコピック式試験的取り出し装置を用いた燃料デブリの取り出し作業は，既認可のロボットアームを用いた取り出し作業と比較し人力による作業が多いことなどから，本申請における一連の作業において想定される作業員の被ばく量を示すこと。その際，必要に応じて，想定される皮膚等の等価線量も示すこと。また，エンクロージャの側面ハッチ開放状態での作業やエンクロージャ後方のハウス内での作業に関して，一定程度汚染のおそれがあることを前提に，具体的な汚染管理の方法（防護具やエリア設定・入退時の管理など）を示すこと。

【審査上の論点1】 デブリ採取量

先端治具（金ブラシ方式，グリッパ方式）により採取可能な燃料デブリの量は，エンクロージャの設計や作業員の被ばく評価等の基となる値であることから，採取可能な最大量を根拠も含め示すこと。

- 先端治具により採取可能な燃料デブリの量は3g以下となるように設計しており，先端治具の要素試験により確認している。
- 金ブラシ方式の要素試験の条件は以下の通り。
- なお，金ブラシ方式は，アーム型のアクセス・調査装置と同一のものを使用する。そのため，試験条件及び結果についてもアーム型のアクセス・調査装置と同一である。

【試験条件（金ブラシ方式）】

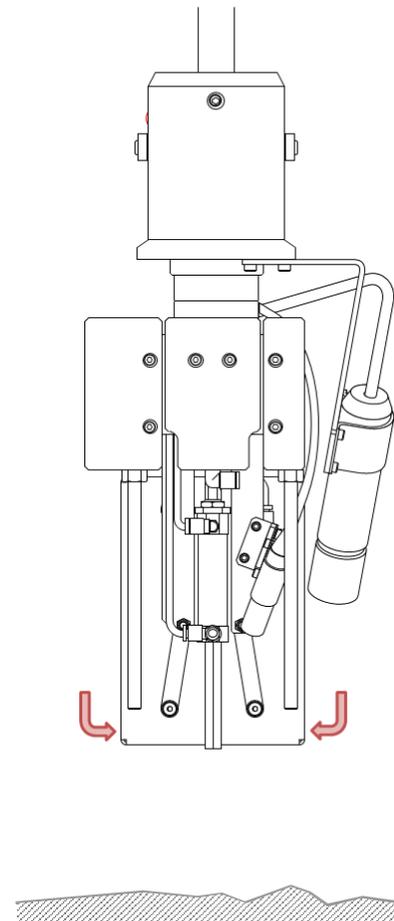
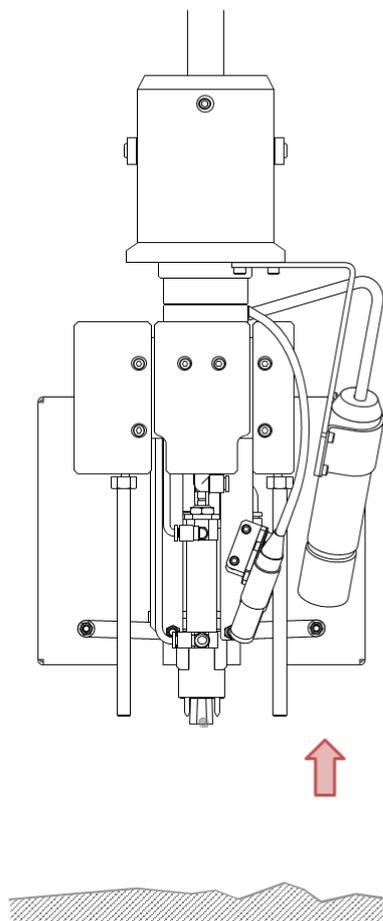
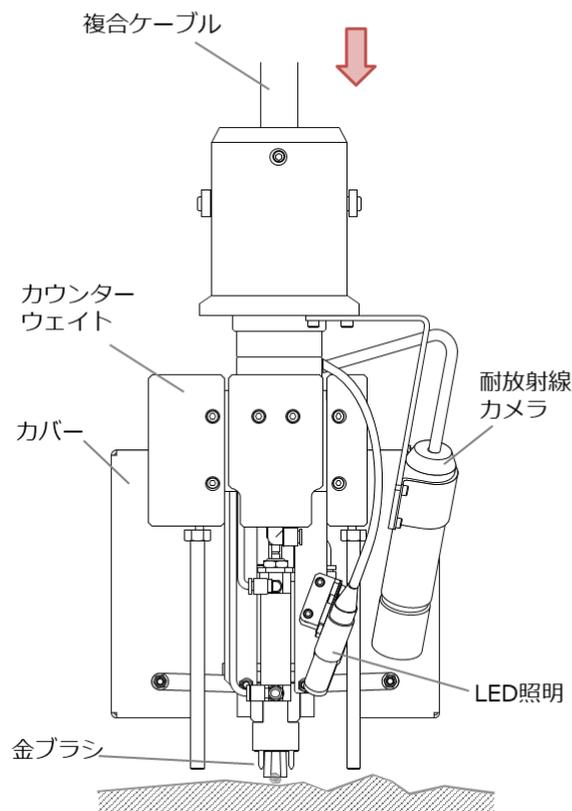
- ✓ 装置は実機相当の試験機を使用。
- ✓ 底面はペDESTAL底部の調査結果より平らな状態と凸凹した状態，および水没した状態と湿潤状態を模擬。
- ✓ 模擬燃料デブリは，小石・砂状の燃料デブリの採取を想定し比重が UO_2 に近く入手性が良い鉛玉（粒径： $\phi 0.35\text{mm}$ ， $\phi 1\text{mm}$ ， $\phi 2\text{mm}$ ）を使用。
- ✓ 単粒径（ $\phi 0.35\sim\phi 2\text{mm}$ ）と混合（ $\phi 0.35\sim\phi 2\text{mm}$ ）したケースにて試験を実施。

➤ 先端の金ブラシにて、PCV内の小石・粒状の燃料デブリを絡めとり、採取する。

- 耐放射線カメラで燃料デブリの大きさを確認
- 先端治具を燃料デブリに向け吊り降ろす

- 燃料デブリを採取

- 落下防止のため、カバーで覆う



※ カバーの形状や機器配置については、今後の検討により変更の可能性がある

【試験結果（金ブラシ方式）】

- 鉛粒径φ2.0mmの時に最大1.57g，試験全体の平均値は0.38gとなることから，最大3gを超えることはないことを確認している。

鉛粒径 (mm)		φ0.35	φ1.0	φ2.0	粒径 混合
金ブラシ方式	最大値	0.15g	0.56g	1.57g	0.65g
	試験回数	14	14	14	3
	平均値	0.09g	0.33g	0.68g	0.61g
	最大値：1.57g 試験回数45回 平均値：0.38g				



金ブラシ式の試験状況

鉛玉径φ0.35, 1, 2、表面状態=ウエット、設置面=フラット

金ブラシ方式の要素試験の状況

【審査上の論点1】 デブリ採取量

先端治具（金ブラシ方式，グリッパ方式）により採取可能な燃料デブリの量は，エンクロージャの設計や作業員の被ばく評価等の基となる値であることから，採取可能な最大量を根拠も含め示すこと。

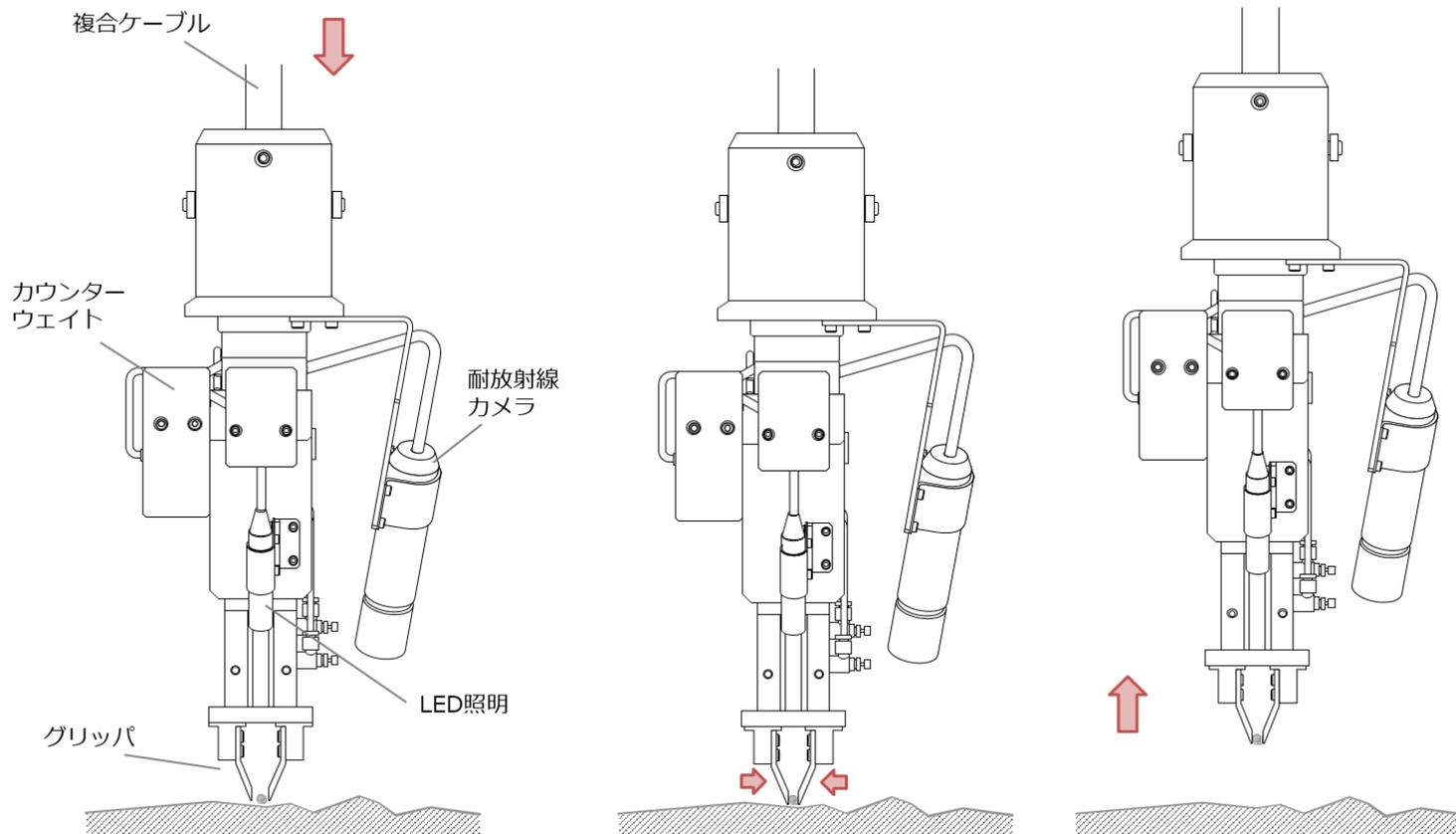
- 先端治具により採取可能な燃料デブリの量は3g以下となるように設計しており，先端治具の要素試験により確認している。
- グリッパ方式の要素試験の条件は以下の通り。

【試験条件（グリッパ方式）】

- ✓ 装置は実機相当の試験機を使用。
- ✓ 底面はペDESTAL底部の調査結果より，大きさを変えた模擬燃料デブリ粒が混在する状態を模擬し，湿潤状態にて実施。
- ✓ 模擬燃料デブリは，小石・砂状の燃料デブリの採取を想定し，比重が UO_2 に近く入手性が良い鉛玉（粒径： $\phi 4\text{mm}\sim\phi 6\text{mm}$ ），および形状が単一でない砂利（粒長：4～6mm（目標採取サイズ），7mm～11mm（計画量を超えるサイズ））を使用。
- ✓ 鉛玉および砂利のそれぞれについて，混合粒径の模擬燃料デブリ粒を密集させ，試験環境下に置いた状態で試験を実施し，目標採取サイズが採取できること及び把持後にサイズが確認出来ることを確認する。

➤ 金属製の爪（グリッパ）にて、PCV内の小石・粒状の燃料デブリを把持し、採取する。

- 耐放射線カメラで燃料デブリの大きさを確認
- 先端治具を燃料デブリに向け吊り降ろす
- グリッパにより、燃料デブリを把持
- 把持した燃料デブリの大きさを耐放射線カメラにより確認
- エンクロージャ内へ帰還後、エンクロージャ内のカメラにて確認



※ グリッパの形状や機器配置については、今後の検討により変更の可能性がある

【試験結果（グリッパ方式）】

- 鉛玉，砂利共に，すべての改良後のグリッパにて混合粒径の中から，目標採取サイズの模擬燃料デブリを1粒把持可能であることを確認した。
- グリッパの把持状態から，燃料デブリのサイズが目標最大サイズを超えない大きさであることが判別できることを確認した。

【試験結果を踏まえた採取方法（グリッパ方式）】

- 燃料デブリが全量燃料成分と仮定した場合，直径8mm未満の球（1辺6mmの立方体相当）であれば3g未満となることから，本方式においては燃料デブリ採取時に把持した対象の大きさを先端治具のカメラにて確認し，直径8mm未満の球相当であることを確認することにより，最大3gを超えずに採取する計画としている。
- エンクロージャ内まで燃料デブリを取り出した後，エンクロージャ内のカメラにて大きさを最終確認した上で，運搬用ボックスに燃料デブリを収納する。
- 先端治具およびエンクロージャ内に据え付けるカメラは，それぞれPCV内および原子炉建屋北西エリアの放射線環境および湿潤環境に対し必要な耐性を有するものを使用する。
- 本方式での採取時に，計画量を超える燃料デブリを把持していることが確認された場合，当該燃料デブリを採取箇所近傍に戻し，再度採取を試みる計画である。

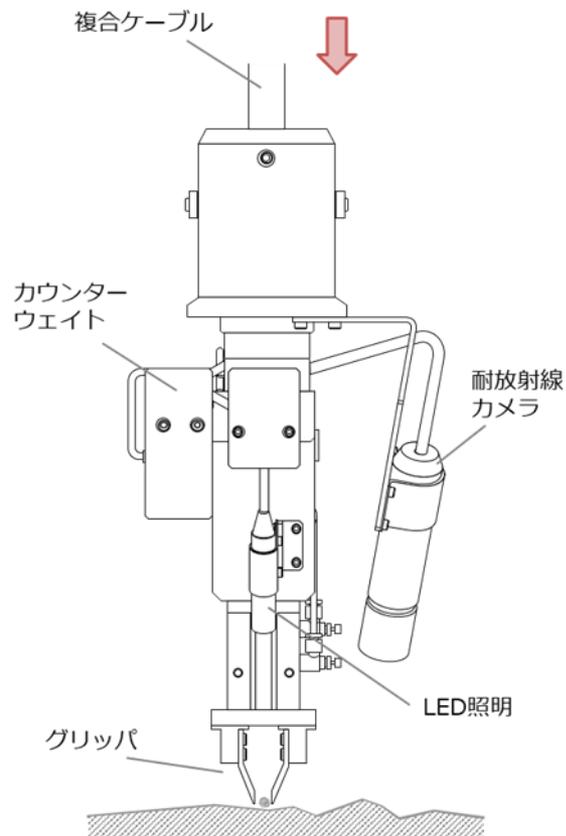
【試験結果 (グリッパ方式)】



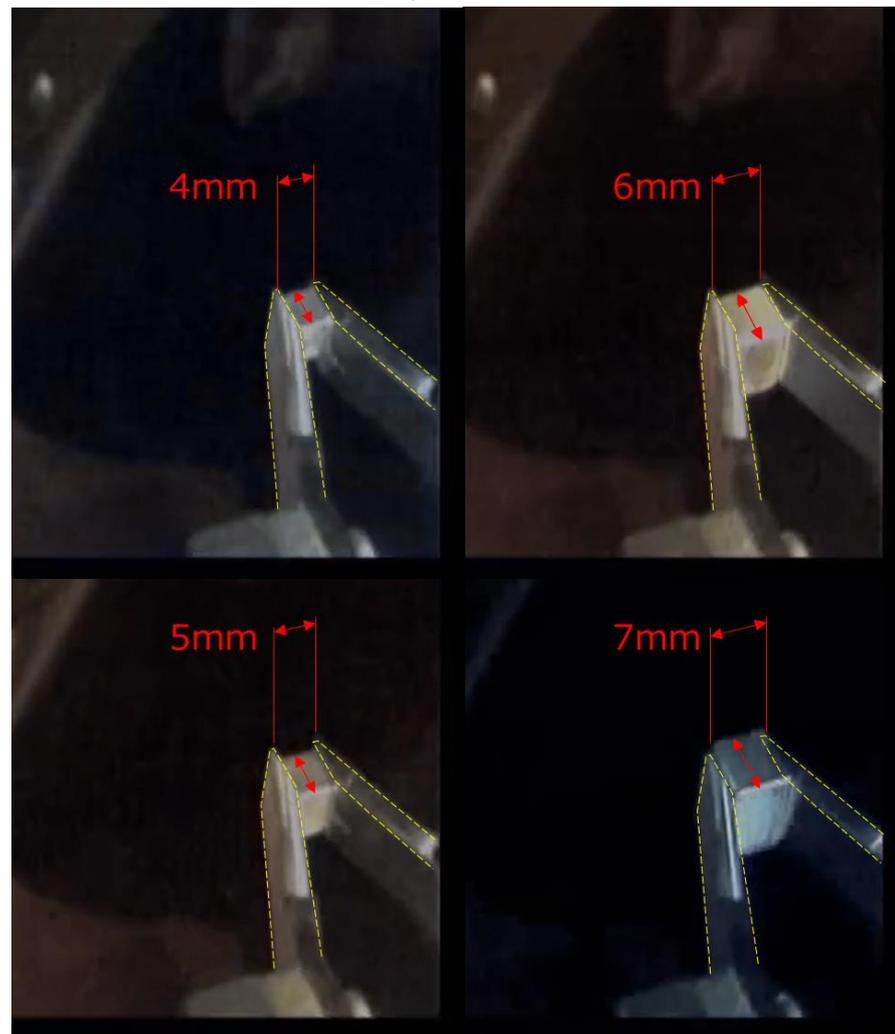
グリッパ改良後の先端治具要素試験の状況

【グリッパ方式における把持対象物の大きさ判定方法】

- モックアップ時点で把持した対象の大きさを判別できる映像を取得し、その映像を用いて大きさを判定



グリッパ先端とカメラの位置



グリッパ方式における大きさ判別用の映像取得試験の状況

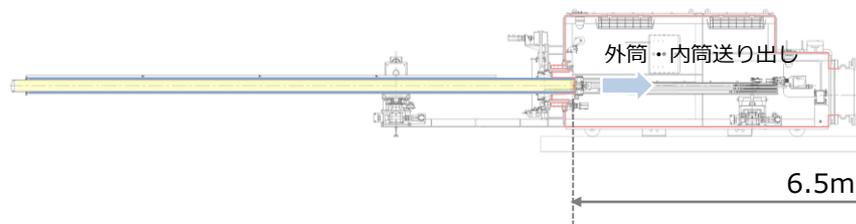
【審査上の論点2】 エンクロージャの閉じ込め機能

エンクロージャにはガイドパイプ（外筒・内筒）が貫通しており、燃料デブリ取り出し時にはそれらが摺動することから、当該部分の構造及びシール機能の信頼性を整理した上で、エンクロージャによる閉じ込め機能（バウンダリ機能）の確実性について示すこと。

- テレスコ式試験的取り出し装置におけるバウンダリのうち、摺動部は「エンクロージャ～ガイドパイプ外筒間」、「ガイドパイプ外筒～内筒間」の2か所であり、それぞれ、NBR※¹製のXシール※²にて二重にシールされている。
※1 ニトリルブチレンゴム
 ※2 往復運動等のシールを目的に、シール材の断面をX形状にしたもの（スライド11参照）
- NBR製のXシールは、PCV内部で想定される放射線及び圧力・温度環境において、想定使用期間内で必要な耐性を有することを確認している。
- 但し、摺動時には、摺動部からの漏えいは否定できないため、摺動する前にエンクロージャの後方に汚染拡大防止用ハウス（以下、後方ハウス）を設置するとともに、摺動部付近に局所排風機の吸気口を配置し、汚染拡大防止策を講じる。
- エンクロージャは現地据え付け後、使用前に漏えい試験を行い、閉じ込め機能について確認する。

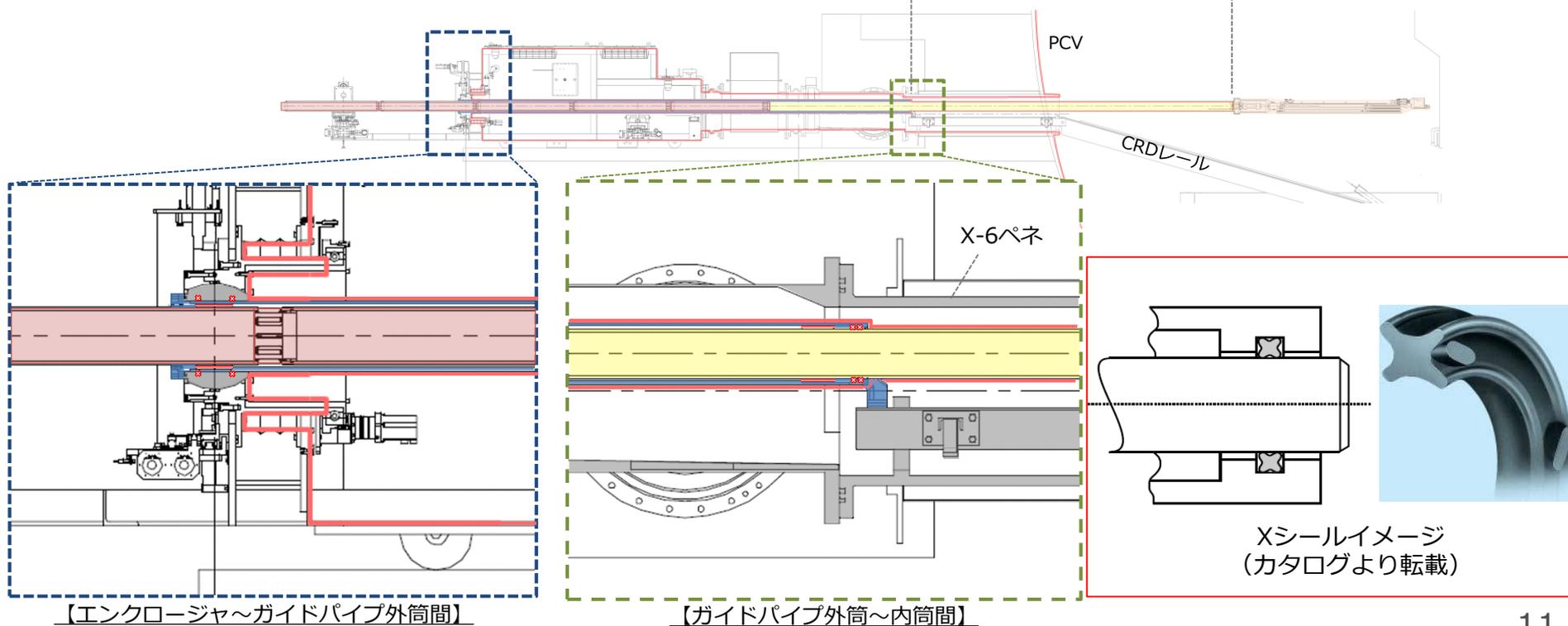
【Xシール使用箇所】

【初期設置状態】



- : ガイドパイプ外筒
- : ガイドパイプ内筒
- : 押し込みパイプ
- ✕ : シール部
- : バウンダリ
- : ブッシュ

【ガイドパイプ外筒・内筒 挿入完了】



【エンクロージャ～ガイドパイプ外筒間】

【ガイドパイプ外筒～内筒間】

【放射線環境条件】

- テレスコピック式試験的取り出し装置の摺動部のうち、最もPCV内に近づく箇所はガイドパイプ外筒・内筒間のシール部であり、X-6ペネ内まで進入する。
- 堆積物除去作業における計測結果から、X-6ペネ内に進入するシール部近傍は6Gy/h程度であり、試験的取り出し装置の使用期間を30日とすると、材料・機器の受ける積算線量は4,320Gyとなる。
- NBRは100,000Gy程度※の耐放射線性であることから、必要な耐放射線性を有している。

※工業材料 32(6)(383) 耐放射線性高分子材料の最近の動向

【圧力環境条件】

- PCV内は窒素封入により陽圧状態にあり、4kPa（ゲージ圧）程度以下を維持している。
- Xシールの使用圧力範囲は5MPa以下であり、圧力環境は使用圧力範囲内である。

【温度環境条件】

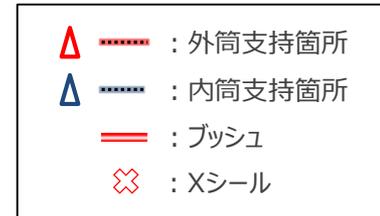
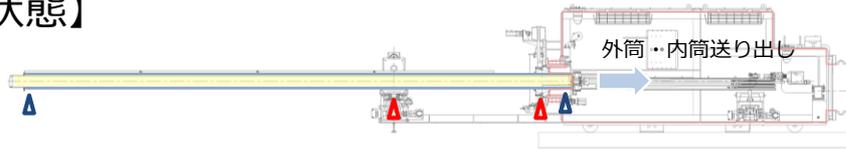
- PCV気相部温度は、注水冷却の継続により年間を通して約40℃以下で推移している。
- NBRの使用温度範囲は-30℃～100℃であり、温度環境は使用温度範囲内である。

【その他条件】

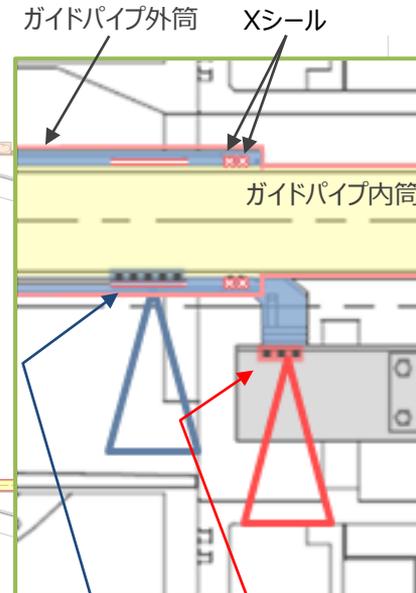
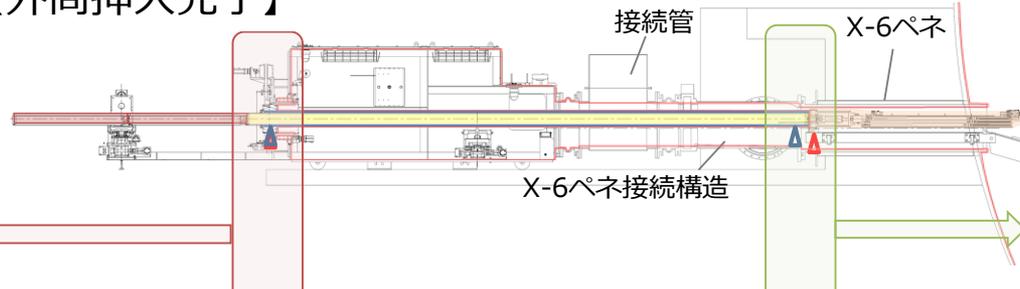
- 両摺動部共、それぞれ球面軸受け及びブッシュで荷重を受け持つため、シール部に荷重は掛からない構造である。
- モックアップ試験において想定最大取り出し回数分以上摺動させた後の漏えい確認の結果、使用前後で有意な変動は確認されず、使用後においても閉じ込め機能が維持できることを確認している。

- 外筒は球面軸受けおよびX-6ペネ内に据える支持脚にて荷重を受け持つ。
- 内筒および押し込みパイプは、外筒内両端に配置するブッシュにて荷重を受け持つ。
- そのため、シール部で荷重を受け持つことによるXシールへの過度な摩擦・摩耗は生じない。

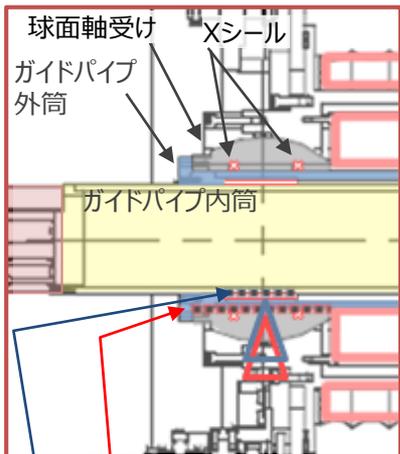
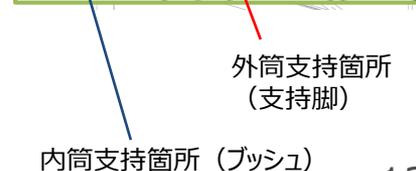
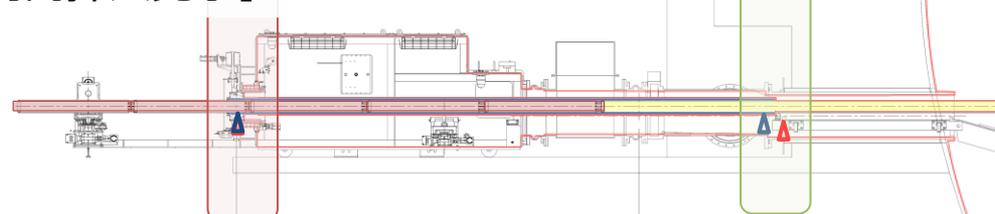
【初期状態】



【外筒挿入完了】

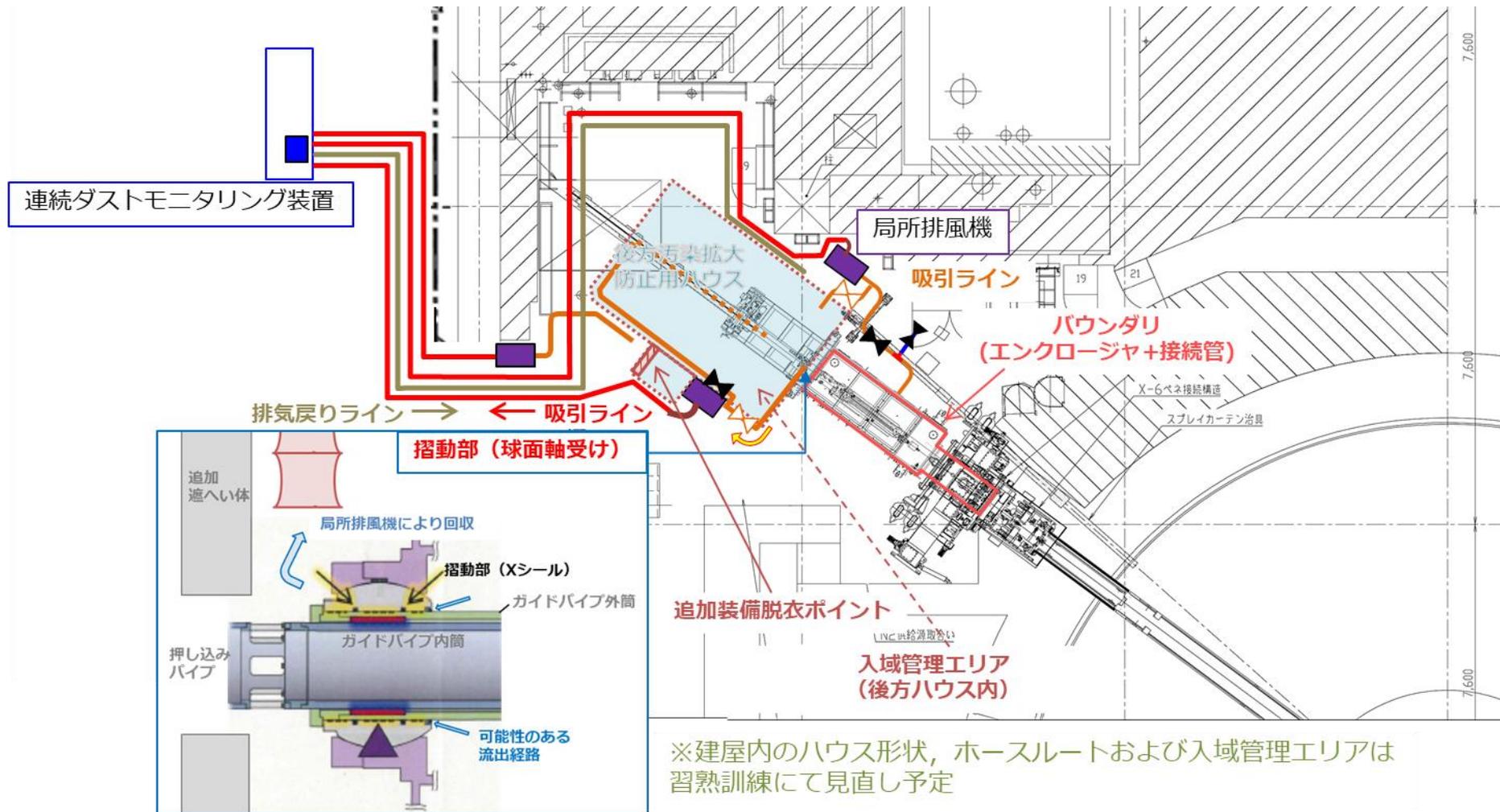


【内筒挿入完了】



外筒支持箇所 (球面軸受け)
内筒・押し込みパイプ支持箇所 (ブッシュ)

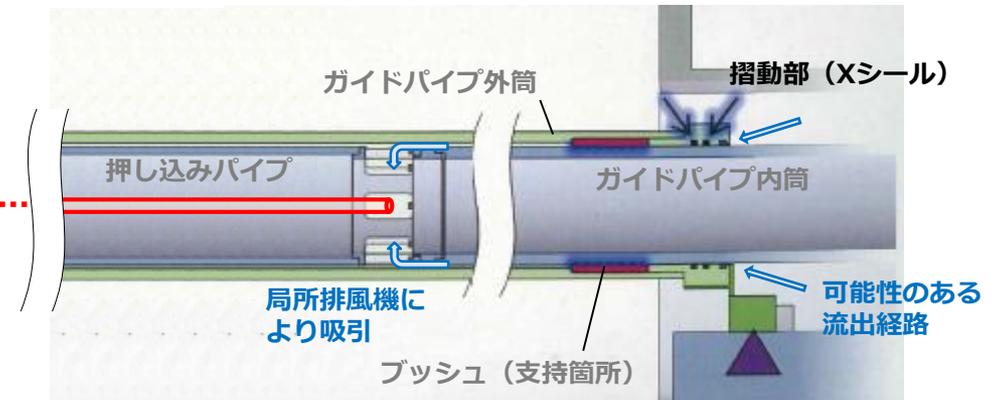
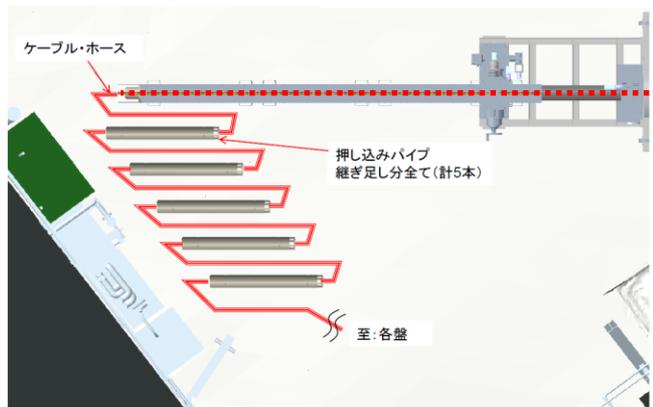
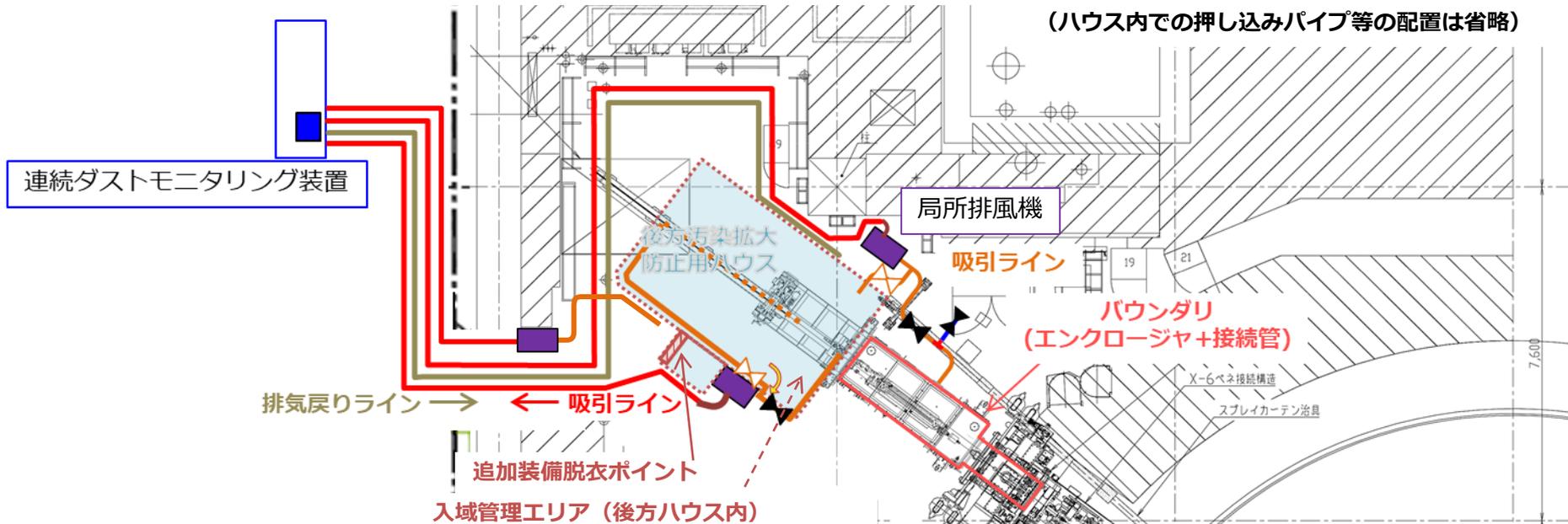
- ガイドパイプ外筒摺動時には、球面軸受け背面に局所排風機の吸気口を配置することで、外筒～球面軸受け間から漏出した気体を回収する。



- ガイドパイプ内筒摺動時には、押し込みパイプ内に局所排風機の吸気口を配置することで、外筒～内筒間の気体を回収する。

※建屋内のハウス形状，ホースルートおよび入域管理エリアは習熟訓練にて見直し予定

(ハウス内での押し込みパイプ等の配置は省略)



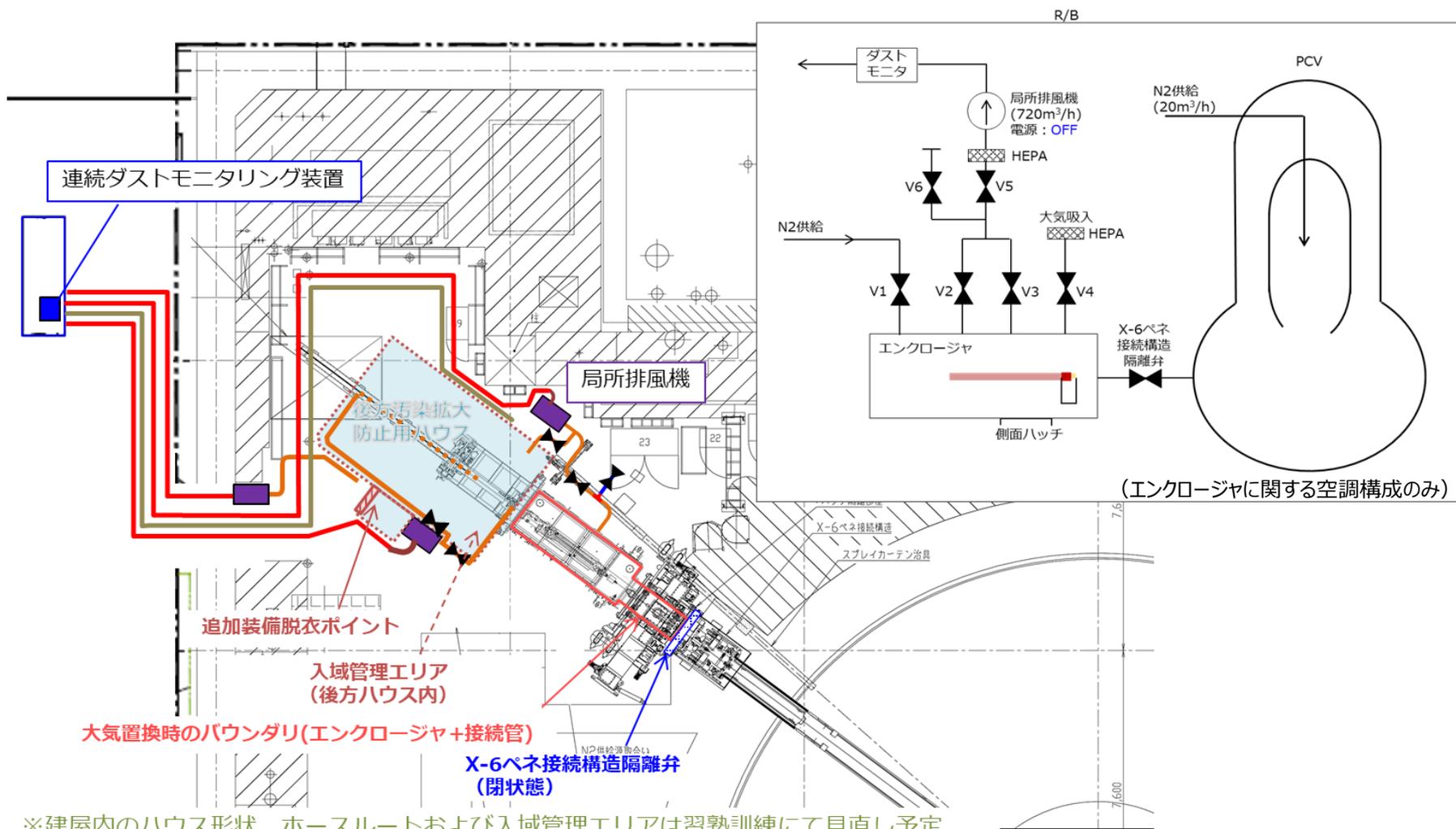
【審査上の論点3】 エンクロージャ開放時の手順

原子炉格納容器から取り出した燃料デブリは、エンクロージャの側面ハッチを開放して取り出すことから、汚染拡大防止対策、具体的にはエンクロージャ内の放射性物質がエンクロージャの外側に出来る限り飛散しない対策を講じているかという観点から、側面ハッチの開放手順の詳細について示すこと。また、同様に、エンクロージャ後方のハウスに関する汚染拡大防止対策も示すこと。

- 側面ハッチを開放して、燃料デブリを回収する際は、作業員のα汚染を防止すべく、以下のステップで作業を行う。（詳細は次スライドより説明）
 - ① 燃料デブリを採取した先端治具をエンクロージャ内に回収後、X-6ペネ接続構造隔離弁を閉じる。
 - ② 燃料デブリを運搬用ボックスに収納後、エンクロージャ内を降圧し、局所排風機により吸気することで大気置換を行い、エンクロージャ内の浮遊ダストをHEPAフィルタで回収しつつ、ダストモニタで監視しながら建屋内へ排気。
 - ③ 燃料デブリを収納した運搬用ボックスの蓋を閉じる。
 - ④ 局所排風機を停止し、連続ダストモニタによりエンクロージャ内ダスト濃度を計測することで、側面ハッチを開放して作業が可能かを確認する※。
 - ⑤ エンクロージャ内を局所排風機で吸気した状態にする。（側面ハッチ開放時に、エンクロージャ外側から内側への流れを生成）
 - ⑥ 側面ハッチにハウス（以下、側面ハウス）を設置した後、側面ハッチを開放し、燃料デブリを収めた運搬用ボックスを、側面ハウスからバグアウトし、取り出す。
- 側面ハッチ開放中にダスト濃度が管理値※を超えた場合は、直ちに作業を中止し、管理値以下に低下するまで局所排風機にてダストを回収する。
- 側面ハウス外のダスト濃度が管理値※を超えた場合も同様に、直ちに作業を中止し、管理値以下に低下するまで局所排風機にてダストを回収する。

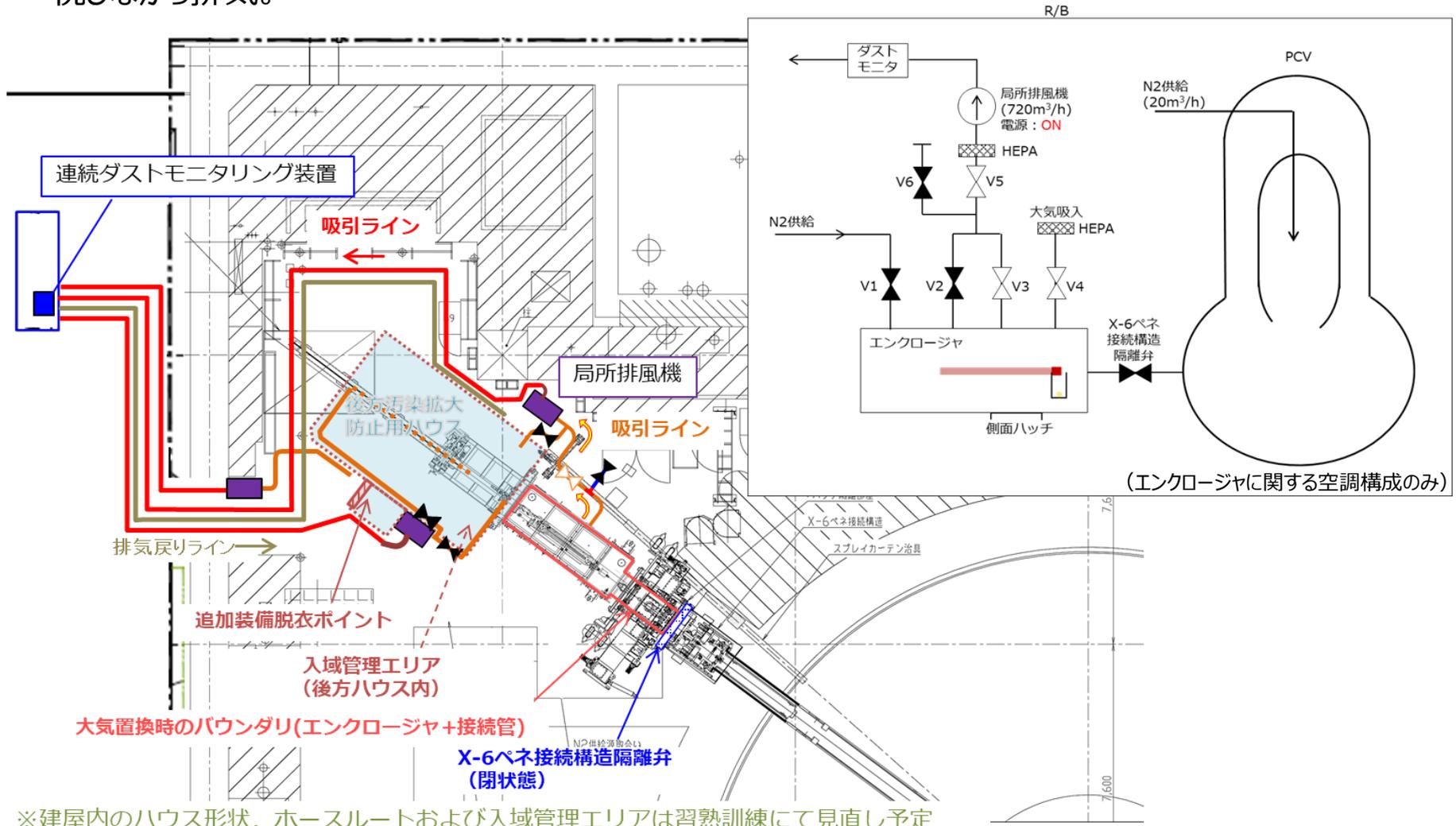
※ 側面ハッチ開放作業時には、連続ダストモニタによりエンクロージャ内のダスト濃度が、下記管理値以下であることを確認する。
 β核種基準：1.0E-03Bq/cm³ ： 全面マスク着用時における作業場所のダスト濃度上限値2.0E-02Bq/cm³を基に設定
 α核種基準：1.0E-05Bq/cm³ ： バックグラウンドを基に設定

- ① 燃料デブリを採取した先端治具をエンクロージャ内に回収後，X-6ペネ接続構造隔離弁を閉じる。



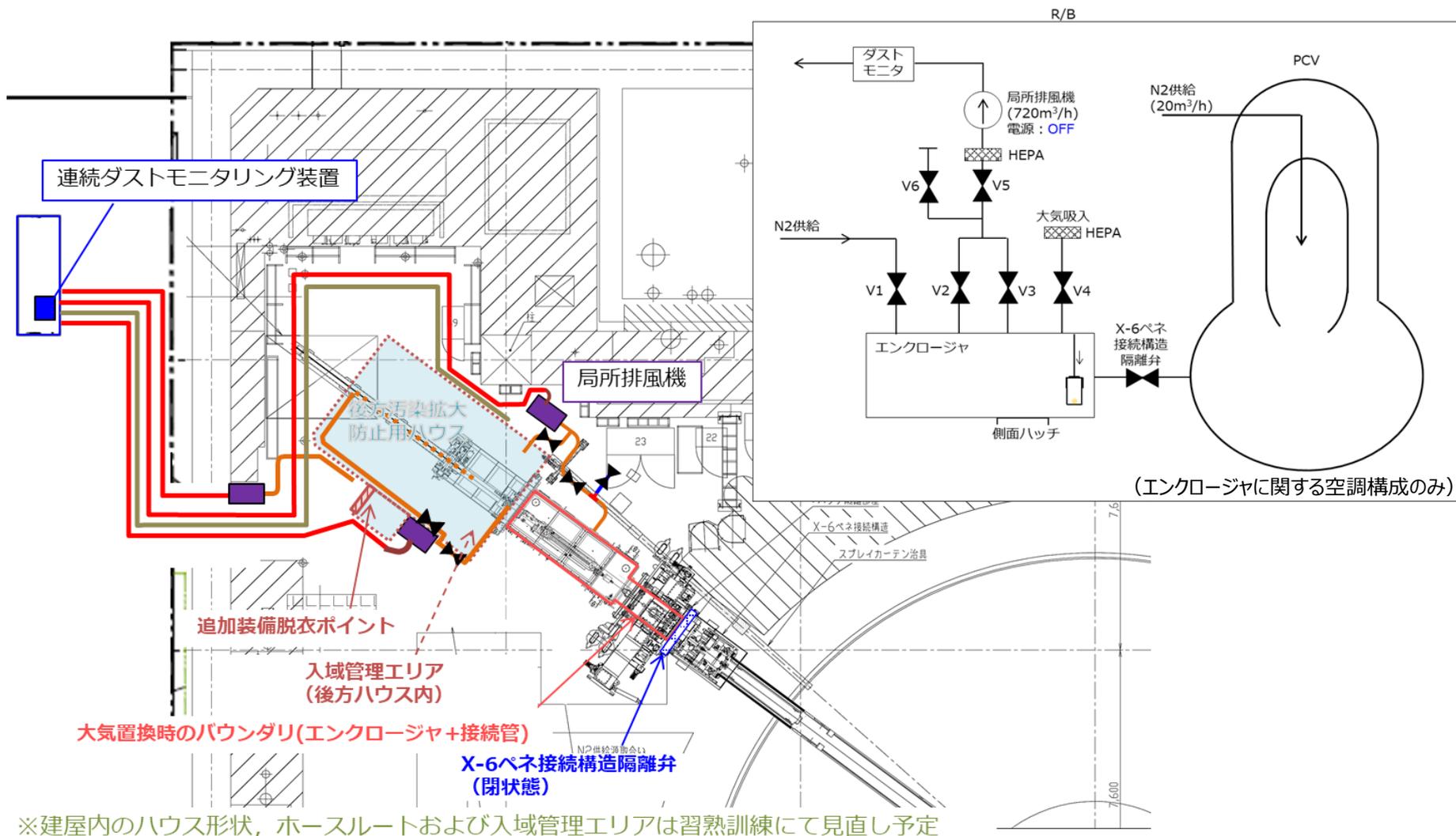
※建屋内のハウス形状，ホースルートおよび入域管理エリアは習熟訓練にて見直し予定

- ② 燃料デブリを運搬用ボックスに収納後、エンクロージャ内を降圧し、局所排風機により吸気することで大気置換を行い、エンクロージャ内の浮遊ダストをHEPAフィルタで回収しつつ、建屋内へダストモニタで監視しながら排気。

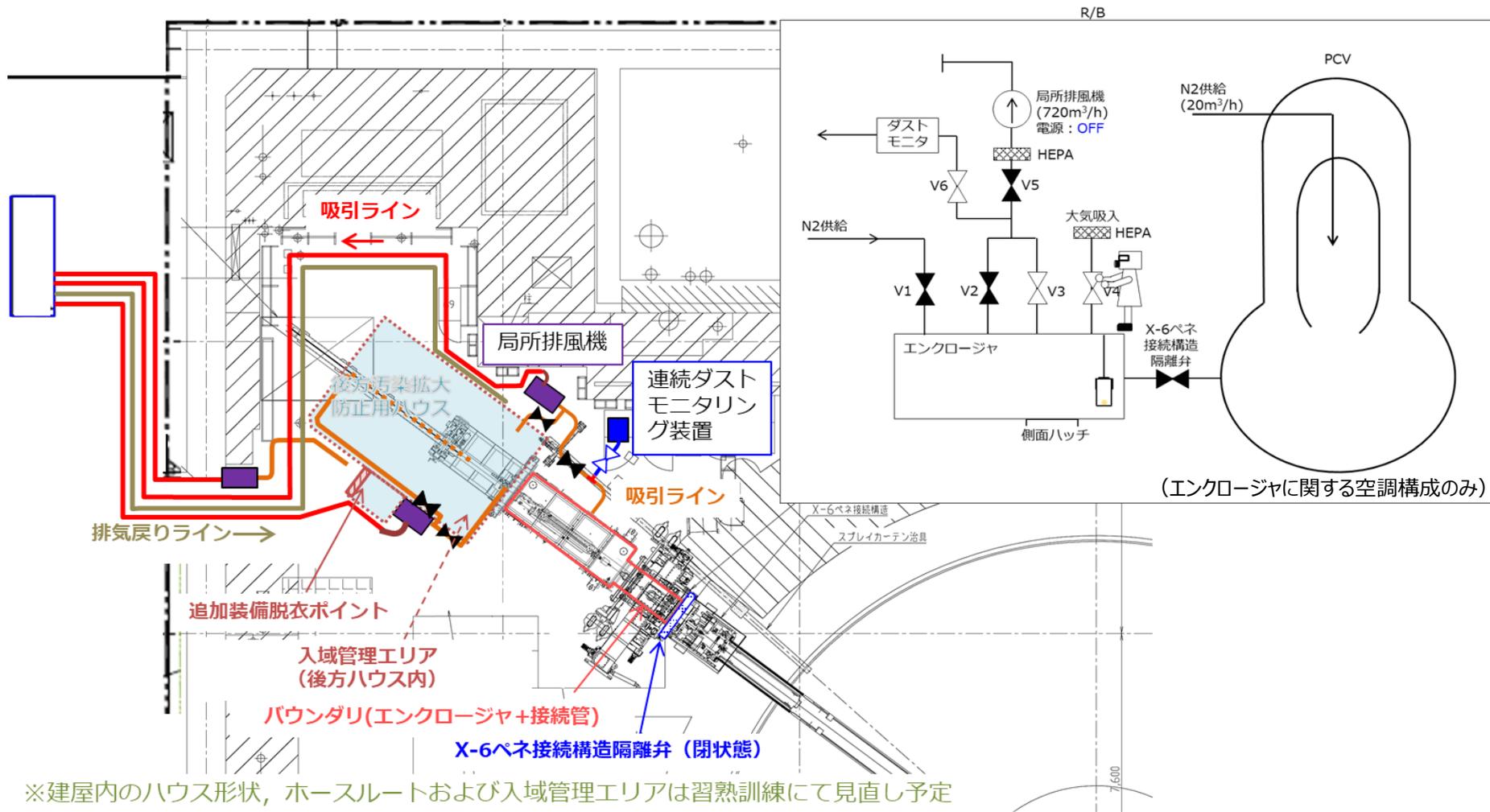


※建屋内のハウス形状、ホースルートおよび入域管理エリアは習熟訓練にて見直し予定

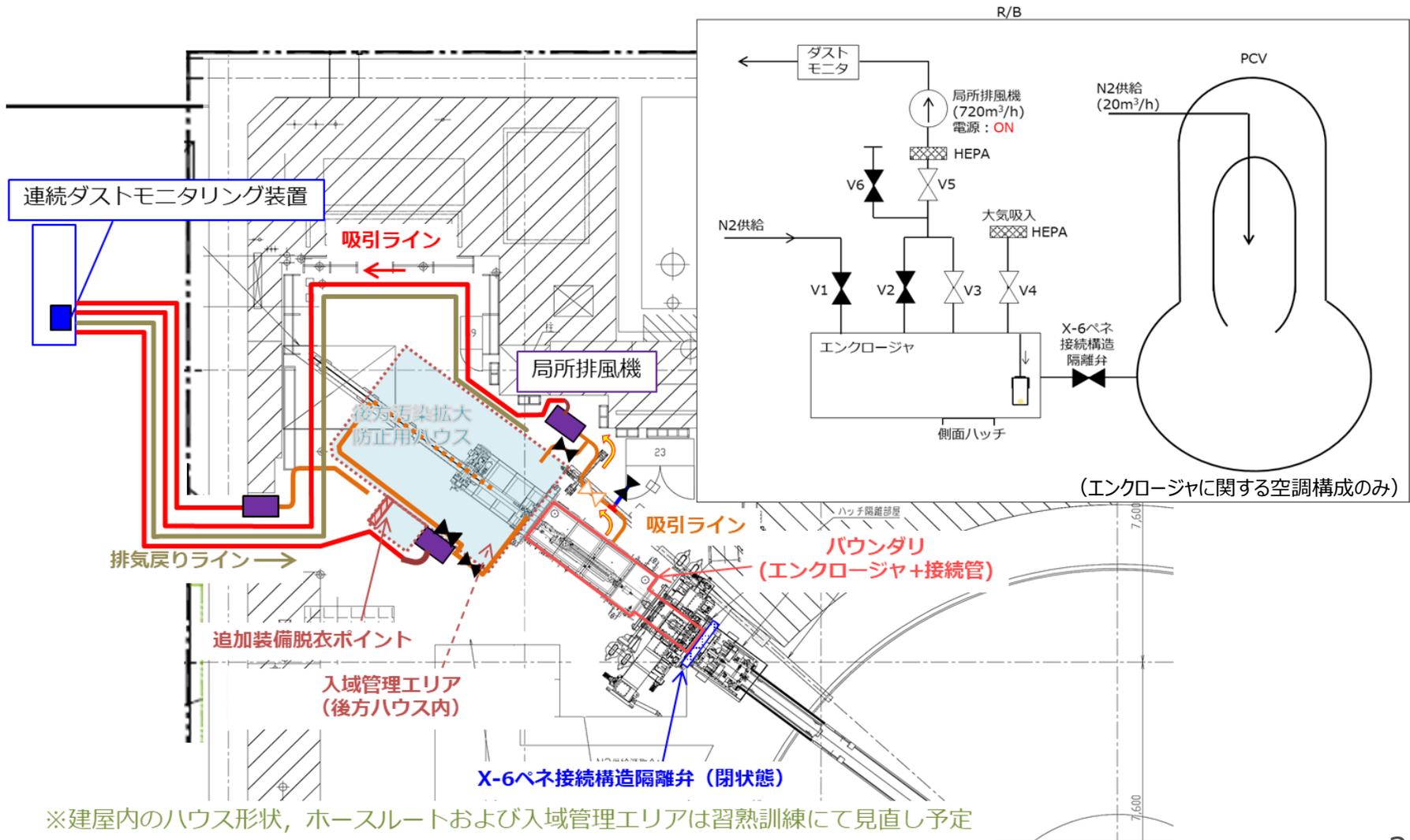
③ 燃料デブリを収納した運搬用ボックスの蓋を閉じる。



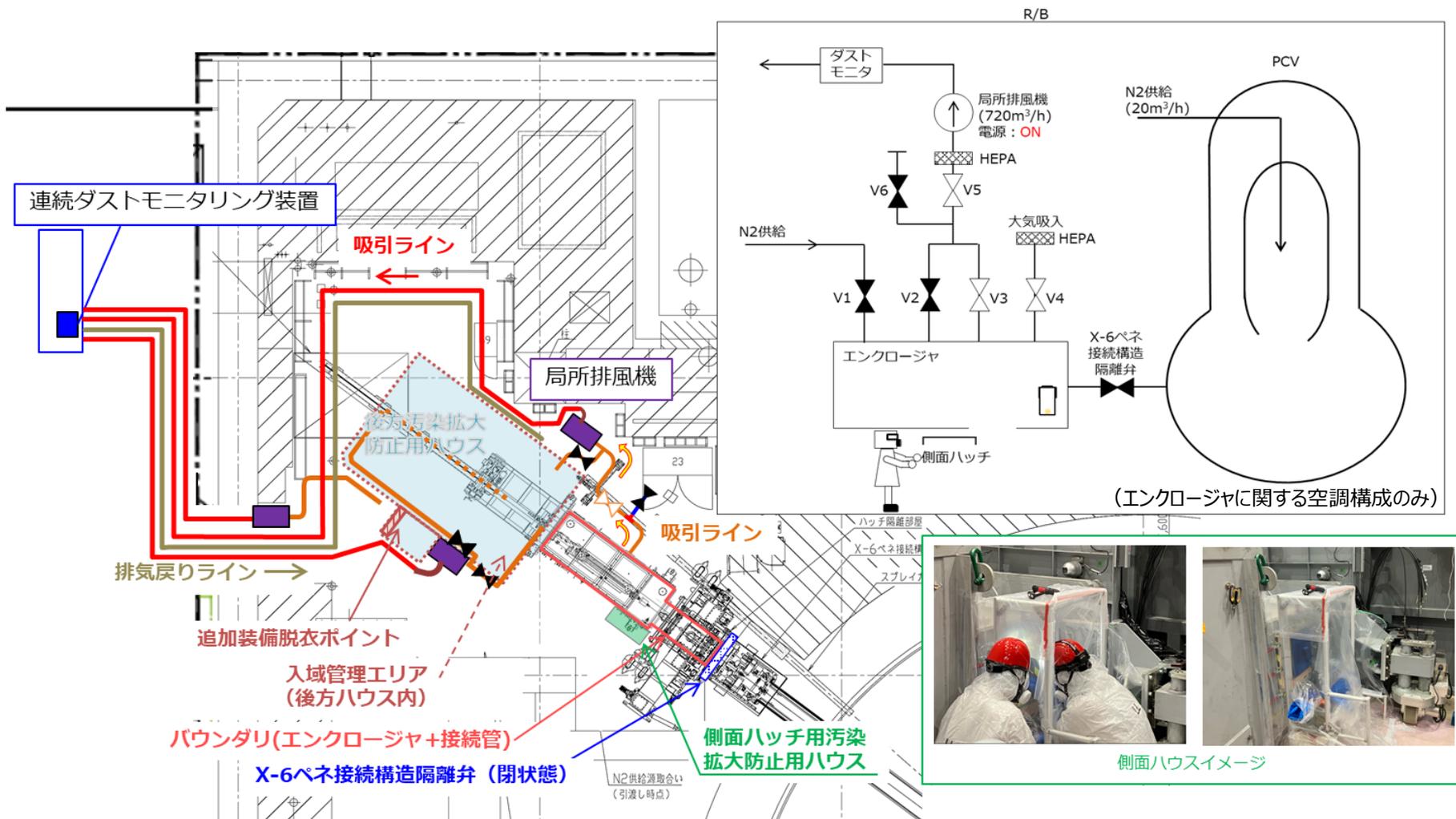
- ④ 局所排風機を停止し，ダストモニタによりエンクロージャ内ダスト濃度を計測することで，側面ハッチを開放して作業が可能かを確認する。



- ⑤ エンクロージャ内を局所排風機で吸気した状態にする。(側面ハッチ開放時に、エンクロージャ外側から内側への流れを生成)



- ⑥ 側面ハッチに側面ハウスを設置した後、側面ハッチを開放し、燃料デブリを収めた運搬用ボックスをバグアウトし、取り出す。



※建屋内のハウス形状，ホースルートおよび入域管理エリアは習熟訓練にて見直し予定



側面ハウス設置



側面ハッチ開放



運搬用ボックス取り出し



運搬用ボックスを袋に入れる



2か所固縛し、間を切断



バグアウト完了

【審査上の論点3】 エンクロージャ開放時の手順

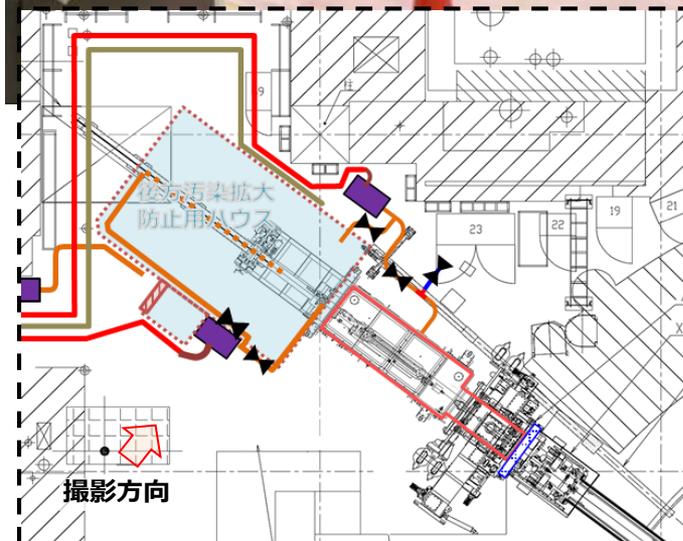
原子炉格納容器から取り出した燃料デブリは、エンクロージャの側面ハッチを開放して取り出すことから、汚染拡大防止対策、具体的にはエンクロージャ内の放射性物質がエンクロージャの外側に出来る限り飛散しない対策を講じているかという観点から、側面ハッチの開放手順の詳細について示すこと。また、同様に、エンクロージャ後方のハウスに関する汚染拡大防止対策も示すこと。

- 後方ハウスにおける汚染拡大防止として、以下対策を講じる。
 - ✓ 後方ハウス内への入域前及び入域中は、局所排風機にて後方ハウス内の気体を吸引。
 - ✓ 後方ハウス内への入域前には、連続ダストモニタにて後方ハウス内のダスト濃度を確認し、ダスト濃度が管理値※を超えた場合は、管理値以下に低下するまで局所排風機にてダストを回収する。
 - ✓ 後方ハウス入域中にダスト濃度が管理値※を超えた場合は、直ちに作業を中止し、後方ハウスから退域するとともに、管理値以下に低下するまで局所排風機にてダストを回収する。
 - ✓ 摺動時には、摺動部からの漏えいは否定できないため、摺動する前にエンクロージャの後方に後方ハウスを設置するとともに、摺動部付近に局所排風機の吸気口を配置し、汚染拡大防止策を講じる。(スライド14, 15を参照)
 - ✓ ダスト濃度は、遠隔操作作業中はコントロールルームに、現場作業中は現場作業員が待機する現場本部に、ダスト等のパラメータ監視員を配置し、作業中は常時監視を行う。
- 後方ハウス外のダスト濃度が管理値※を超えた場合は、直ちに作業を中止し、管理値以下に低下するまで局所排風機にてダストを回収する。

※ 後方ハウス入域の際には、連続ダストモニタにより後方ハウス内ダスト濃度が、下記管理値以下であることを確認する。

β核種基準：1.0E-03Bq/cm³ : 全面マスク着用時における作業場所のダスト濃度上限値2.0E-02Bq/cm³を基に設定

α核種基準：1.0E-05Bq/cm³ : バックグラウンドを基に設定



後方ハウス入り口
(追加装備脱衣ポイント)

後方ハウス現場設置イメージ

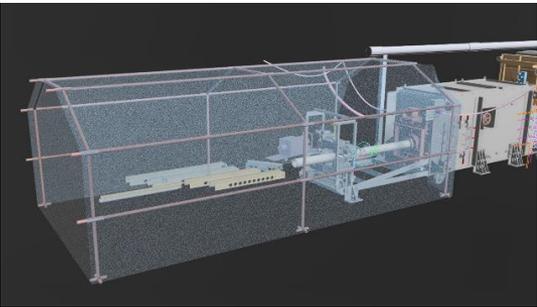
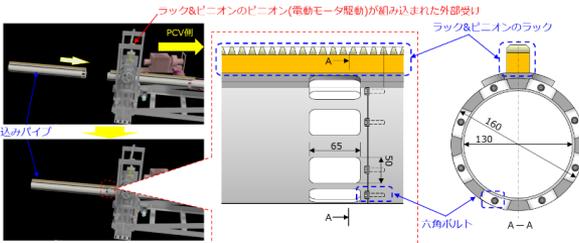
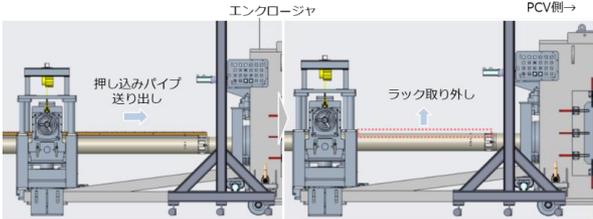
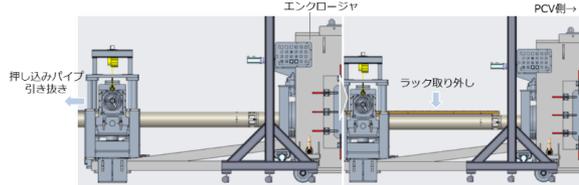
(現場状況に合わせて適切に変更する可能性あり)

【審査上の論点4】 作業員の被ばく量

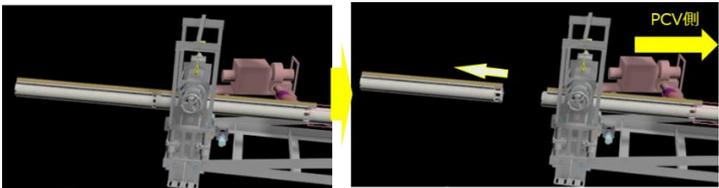
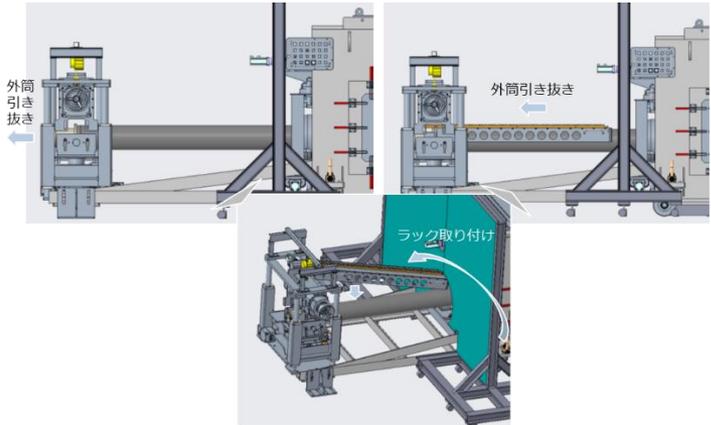
テレスコピック式試験的取り出し装置を用いた燃料デブリの取り出し作業は、既認可のロボットアームを用いた取り出し作業と比較し人力による作業が多いことなどから、**本申請における一連の作業において想定される作業員の被ばく量を示すこと。その際、必要に応じて、想定される皮膚等の等価線量も示すこと。**また、インクロージャの側面ハッチ開放状態での作業やインクロージャ後方のハウス内での作業に関して、一定程度汚染のおそれがあることを前提に、具体的な汚染管理の方法（防護具やエリア設定・入退時の管理など）を示すこと。

- 本申請内の作業（DPTEコンテナ収納まで）は、可能な限り遠隔で行うことで、被ばくの低減を図る。
- インクロージャ設置後の主な人手作業は、ガイドパイプ外筒・内筒及び押し込みパイプの挿入・引き抜きにおける、ラックの取り付け及び取り外しならびに押し込みパイプの継ぎ足し、採取した燃料デブリを収納した運搬用ボックスのインクロージャからの取り出しがある。（次スライド以降で概要をお示し）
- 被ばく評価に当たっては、燃料デブリの線量率を20cm位置にて6mSv/hとし、最も燃料デブリに接近するのは、インクロージャから運搬用ボックスを取り出す間で、運搬用ボックス内のデブリと皮膚との離隔は5cmと設定した。
- 複数回の取り出しは、個人線量12mSv/年を達成できる範囲での実施とする。
- 本申請における人手作業に従事する作業員と、DPTEコンテナ運搬～グローブボックスでの作業に従事する作業員は異なる作業体制であり、兼務することはない。
- なお、本想定は今後の習熟訓練や作業割り当ての見直し、班数追加などにより変更の可能性がある。

【ガイドパイプ挿入・引き抜き①】

No	作業ステップ図	作業内容	No	作業ステップ図	作業内容
1	<p>エンクロージャ後方汚染拡大防止用ハウス設置</p> 	<p>エンクロージャ後方汚染拡大防止用ハウスを設置 (人手)</p>	3	<p>押し込みパイプ継ぎ足し～挿入 (挿入は遠隔)</p> 	<p>外筒の挿入完了後、押し込みパイプを接続 (人手) パイプ送り機構により、押し込みパイプを送り出し (遠隔) 計5回</p>
2	<p>挿入～ガイドパイプ外筒ラック取り外し (挿入は遠隔)</p> 	<p>パイプ送り機構により、外筒を挿入 (遠隔) ラックがエンクロージャに接触する前に、ラックを取り外し (人手) 計3回</p>	4	<p>押し込みパイプラック取り外し</p> 	<p>押し込みパイプのラックがエンクロージャに接触する前に、ラックを取り外し (人手) 計4回</p>
			5	<p>押し込みパイプ引き抜き～ラック取り付け (引き抜きは遠隔)</p> 	<p>燃料デブリを採取後、押し込みパイプをパイプ送り機構で引き抜き (遠隔) 押し込みパイプにラックを取り付け (人手) 計4回</p>

【ガイドパイプ挿入・引き抜き②】

No	作業ステップ図	作業内容
6	<p data-bbox="498 368 811 396">押し込みパイプ取り外し</p> 	<p data-bbox="1248 368 1503 445">押し込みパイプ取り外し（人手）</p> <p data-bbox="1248 461 1335 489">計5回</p>
7	<p data-bbox="498 686 1089 763">ガイドパイプ外筒へラック取り付け～引き抜き （引き抜きは遠隔）</p> 	<p data-bbox="1248 686 1503 858">押し込みパイプ引き抜き後に，外筒へラックを取り付け（人手）</p> <p data-bbox="1248 873 1476 951">外筒引き抜き（遠隔）</p> <p data-bbox="1248 966 1335 995">計3回</p>

- ガイドパイプの挿入・引き抜きに関する作業時間及び想定被ばく量については以下の通りであり、後段作業の成立性についても確認済みである。
- 実際の作業に当たっては、目標線量12mSv/年を超えないよう線量管理を行うとともに、特定の作業班に被ばくが集中しないよう、作業手順を考慮した作業班の割り当ておよび今後実施の習熟訓練を踏まえた最適化を行う。

スライド 27,28との 対応	作業内容 (作業場所)	作業 時間 (分)	雰囲気 線量 (mSv/h)	作業体制 (mSv)					小計 (mSv)		
				作業 責任者	職長	作業者 A	作業者 B	作業者 C		作業者 D	作業者 E
1	エンクロージャ後方汚染拡大防止用ハウス設置	30	5.0	0.88	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	11.38
2	ガイドパイプ外筒ラック取り外し (2号機R/B1階北西エリア) 3セット	60	5.0	1.75	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	22.75
3	押し込みパイプ継ぎ足し (2号機R/B1階北西エリア) 5セット	65	5.0	1.90	3.79	3.79	3.79	3.79	3.79	3.79	24.64
4	押し込みパイプラック取り外し (2号機R/B1階北西エリア) 4セット	20	5.0	0.58	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	7.60
5	押し込みパイプ引き抜き～ラック取り 付け (2号機R/B1階北西エリア) 4セット	140	5.0	4.08	8.17	8.17	8.17	8.17	8.17	8.17	53.10
6	押し込みパイプ取り外し (2号機R/B1階北西エリア) 5セット	90	5.0	2.63	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	34.13
7	ガイドパイプ外筒へラック取り付け (2号機R/B1階北西エリア) 3セット	50	5.0	1.46	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	18.98
想定被ばく量 (mSv)				12.40	24.80	24.80	24.80	24.80	24.80	24.80	161.20
1班あたりの各作業員の想定被ばく量 (mSv)※				3.10	6.20	6.20	6.20	6.20	6.20	6.20	40.30

(作業時間には実際に作業員がアクセスする時間に加え、移動時間や一時退避時間が含まれる)

※ 想定被ばく量を4で除した値（4班体制としたときの、1班当たりの想定被ばく量の目安）

【運搬用ボックスのエンクロージャからの取り出し①】

No	作業ステップ図	作業内容	No	作業ステップ図	作業内容
1	<p>エンクロージャ内に先端治具を回収 (側面ハッチ省略)</p>	<p>燃料デブリを採取した先端治具を、挿入の逆手順でエンクロージャ内まで回収する。</p>	4	<p>運搬用ボックスへ燃料デブリ収納</p>	<p>線量確認後、把持していた燃料デブリを、運搬用ボックス内に収納。 (金ブラシ式は金ブラシごと収納、グリップ式は把持状態を解消)</p>
2	<p>X-6ペネ接続構想隔離弁、接続管遮へい体を閉</p>	<p>接続管の遮へい体およびX-6ペネ接続構造隔離弁を閉。</p>	5	<p>降圧・大気置換、エンクロージャ内放射性ダスト回収</p>	<p>降圧し、局所排風機にて、エンクロージャ内を大気置換。併せて、放射性ダストをHEPAフィルタにて回収。</p>
3	<p>燃料デブリ線量測定</p>	<p>エンクロージャ内にて燃料デブリの線量を測定し、取り扱い可能な線量であることを確認。</p>	6	<p>エンクロージャ内放射性ダスト測定</p>	<p>現場にダストモニタを設置し、エンクロージャ内の放射性ダスト濃度を測定。</p>

【運搬用ボックスのエンクロージャからの取り出し②】

No	作業ステップ図	作業内容
7		<p>運搬用ボックスを側面ハッチ側にスライドし、蓋を取り付けることで、新たにダストが浮遊しない状態とする。(遠隔)</p>
8		<p>側面ハッチ開放前に局所排風機により排気を開始し、側面ハッチ開放時にエンクロージャ側に流れを生じさせることで、汚染拡大を防止する。</p>
9		<p>側面ハッチ前面に汚染拡大防止用ハウスを設置。 内部の酸素濃度を計測。</p>

No	作業ステップ図	作業内容
10		<p>汚染拡大防止用ハウス越しに、作業員が手でハッチを開放。</p>
11		<p>同様に汚染拡大防止用ハウス越しに、作業員がエンクロージャ内の運搬用ボックスを取り出し。蓋をロックした後にハウス外の DPTE コンテナへ収納、DPTE コンテナ蓋を閉止。</p>
12		<p>汚染拡大防止用ハウス越しに、側面ハッチを閉止。</p>

- エンクロージャからの燃料デブリ取り出しに関する作業時間及び想定被ばく量については以下の通りであり、後段作業の成立性についても確認済みである。
- 実際の作業に当たっては、目標線量12mSv/年を超えないよう線量管理を行うとともに、特定の作業班に被ばくが集中しないよう、作業手順を考慮した作業班の割り当ておよび今後実施の習熟訓練を踏まえた最適化を行う。

スライド 30,31との 対応	作業内容 (作業場所)	作業 時間 (分)	雰囲気 線量 (mSv/h)	作業体制 (mSv)					小計 (mSv)		
				作業 責任者	職長	作業者 A	作業者 B	作業者 C		作業者 D	作業者 E
3	燃料デブリ線量率測定 (2号機R/B1階北西エリア)	30	4.2	0.18	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	2.37	
4	運搬用ボックスへ燃料デブリ収納 (コントロールルーム)	10	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5	大気置換・降圧、エンクロージャ内放射 性ダスト回収	15	4.2	0.09	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	
6	エンクロージャ内放射性ダスト測定 (2号機R/B1階北西エリア)										1.18
7	運搬用ボックスの蓋を閉 (コントロールルーム)	10	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
8	局所排風機により排気	10	4.2	0.06	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	
9	側面ハッチ前面に汚染拡大防止用ハウ スを設置										0.79
10	側面ハッチ開放 (2号機R/B1階北西エリア)										
11	運搬用ボックス取り出し (2号機R/B1階北西エリア)	20	9.9	0.29	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	3.76	
想定被ばく量 (mSv) ^{※1}				0.62	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	8.10
1班あたりの各作業員の想定被ばく量 (mSv) ^{※2}				0.16	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	2.03

(作業時間には実際に作業員がアクセスする時間に加え、移動時間や一時退避時間が含まれる)

燃料デブリに接近する作業における皮膚の等価線量評価は次頁以降にお示し

※1 上表の想定被ばくは、燃料デブリの線量率を6mSv/h@20cmとして評価しており、仮に、採取した燃料デブリが基準線量率24mSv/h@20cmであった場合（上表4回分）を想定しても、目標被ばく量12mSv/年を超えず、後段の作業には影響はない

※2 想定被ばく量を4で除した値（4班体制としたときの、1班当たりの想定被ばく量の目安）

- 皮膚への等価線量評価条件および評価結果については下記の通り。

【評価条件】

- 線源条件

- γ 線源核種Cs-137（ $E = 0.662\text{MeV} : 100\%$ ）
- β 線源核種Sr-90及びその娘核種のY-90（最大エネルギーはY-90の $E = 2.279\text{MeV} : 100\%$ ）
- 点状線源と仮定

- 燃料デブリからの γ 線線量率

- 燃料デブリから20cm位置における γ 線線量率：6mSv/h
- バックグラウンドの γ 線線量率：3.9mSv/h

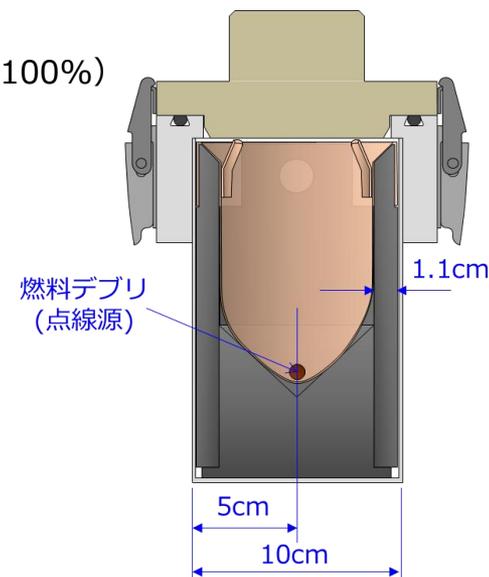
- 末端部等価線量の算出： γ 線， β 線の合算値

- 燃料デブリに接近した作業時間：7分

- 運搬用ボックス取扱時の最短距離：5cm（右図参照）

- 遮へいの考慮有無

- β 線遮へいとして、ゴム板（密度 1.1g/cm^3 ，1.1cm）を運搬用ボックスの内側に設置
- 運搬用ボックスの厚さの γ 線遮へい効果は見込まず



（運搬用ボックスは改良検討中であり，詳細は変更の可能性があるが，運搬用ボックス取り扱い時の最短距離は変更なし）

【評価結果】

- 末端部の等価線量（詳細は次ページ以降）

- 末端部の等価線量は $13.78 [\text{mSv}] (\gamma) + 0 [\text{mSv}] (\beta)$ となり，1回あたり $13.78 [\text{mSv}]$ 。
- 東京電力HDにおける皮膚の等価線量の管理線量は $300 [\text{mSv}/\text{年}]$ であり，リングバッチ等で個別管理を行うとともに，複数回取り出しを行う際においても，管理線量を超えないよう管理を行う。
- 眼の水晶体の等価線量については上記の通り皮膚においても β 線が遮へいされることから，等価線量は十分小さく，全身被ばくと同様に適切に管理する。

➤ 皮膚への等価線量の評価結果詳細について、以下に示す。

【評価結果】

◆ γ線源による被ばく量

- ✓ 燃料デブリからの5cm位置における実効線量率は、距離の逆2乗則より96.00mSv/hであり、これにバックグラウンド線量率3.9mSv/hを加えて99.90mSv/hとなる。

$$5\text{cm位置における実効線量率} : 6 \times (20 / 5)^2 + 3.9 = 99.90 \text{ [mSv/h]}$$

- ✓ 実効線量率から等価線量率への換算係数については、光子フルエンス及び自由空気中空気カーマから方向性線量当量 $H'(0.07,0^*)$ への換算係数 $H'(0.07,0^*) / \Phi$ 及び光子に対する線量換算係数 E/Φ を用いて、以下の通り算出する。

$$99.90 \text{ [mSv/h]} \times \{H'(0.07,0^*)/\Phi\} / \{E/\Phi\} = 99.90 \times 3.44^{*1} / 2.91^{*2} = 118.094 \dots \\ \doteq 118.10 \text{ [mSv/h]}$$

- ✓ 従って、作業時間7分での皮膚への等価線量は13.78mSvとなる。

$$\text{作業時間7分での皮膚への等価線量} : 118.10 \times 7 / 60 = 13.777 \dots \doteq 13.78 \text{ [mSv]}$$

※1 (社)日本アイソトープ協会 「ICRP Publication 74 外部放射線に対する放射線防護に用いるための換算係数」の表A.21のうち、Cs-137のエネルギー0.662MeVに対し、保守的な結果となる0.600MeVにおける換算係数

※2 (社)日本原子力学会 「放射線遮へい計算のための線量換算係数：2010」の解説表5.1aのうち、Cs-137のエネルギー0.662MeVに対し、保守的な結果となる0.600MeVにおける換算係数

◆ β線源による被ばく量

- ✓ β線の物質内の最大飛程 R (g/cm^2) = $0.542E - 0.133$ ($0.8\text{MeV} < E$) ※3より、ゴム板内の飛程 R_r はゴム板の厚み以下となることから、収納した燃料デブリからのβ線による被ばくはないと評価。

$$R = 0.542 \times 2.279 - 0.133 = 1.102 \dots \doteq 1.11 \text{ [g/cm}^2\text{]}$$

$$R_r = 1.11 / 1.1 \doteq 1.001 = 1.01 \text{ [cm]} < 1.1 \text{ [cm]}$$

※3 (公社)日本アイソトープ協会 「アイソトープ手帳（11版）」

【審査上の論点4】 作業員の被ばく量

テレスコピック式試験的取り出し装置を用いた燃料デブリの取り出し作業は、既認可のロボットアームを用いた取り出し作業と比較し人力による作業が多いことなどから、本申請における一連の作業において想定される作業員の被ばく量を示すこと。その際、必要に応じて、想定される皮膚等の等価線量も示すこと。また、**インクロージャの側面ハッチ開放状態での作業やインクロージャ後方のハウス内での作業に関して、一定程度汚染のおそれがあることを前提に、具体的な汚染管理の方法（防護具やエリア設定・入退時の管理など）を示すこと。**

- インクロージャ側面ハッチの開放における一連の作業及び汚染拡大防止策については、論点3への回答にてお示し。
- 運搬用ボックスを取り出す際の汚染養生として、側面ハウスからビニール養生した状態で取り出すことで、運搬用ボックスが外部に露出せず、作業員が運搬用ボックスに直接触れないよう作業する計画としている。
- 防護装備としては、Rゾーン装備（全面マスク、カバーオール、アノラック上下）にて作業とする。加えて、燃料デブリに接近して作業する作業員はリングバッチを装着することで皮膚の等価線量を管理する。

【審査上の論点4】 作業員の被ばく量

テレスコピック式試験的取り出し装置を用いた燃料デブリの取り出し作業は、既認可のロボットアームを用いた取り出し作業と比較し人力による作業が多いことなどから、本申請における一連の作業において想定される作業員の被ばく量を示すこと。その際、必要に応じて、想定される皮膚等の等価線量も示すこと。また、**エンクローージャの側面ハッチ開放状態での作業やエンクローージャ後方のハウス内での作業に関して、一定程度汚染のおそれがあることを前提に、具体的な汚染管理の方法（防護具やエリア設定・入退時の管理など）を示すこと。**

- エンクローージャの後方ハウスでは局所排風機によりダストを回収することで汚染拡大防止策を行うものの、バウンダリ内部に挿入されたガイドパイプによる汚染の恐れがあるため、ハウス内入域の簡易的な管理及び防護具について、以下の通り進める計画。
- 防護装備としては、Rゾーン装備（全面マスク、カバーオール、アノラック上下）にて作業とする。ただし、ハウス内への入域時にはアノラックの上から防水カバー及び靴カバーを行った上で入域し、退域時には防水カバー及び靴カバーを脱衣し、ゴム手袋を交換後に退域することで、汚染拡大防止を図る。

※現場状況に応じて汚染管理方法については、計画を適切に変更する可能性がある。

- 後方ハウス内は、Rゾーンでの装備に加えて、装備の追加等の汚染拡大防止を図る。
- Rゾーンから退域時のアノラック脱衣は、脱衣前に除染・汚染検査を実施し、着脱補助員が脱衣助勢することで、身体汚染防止を図る。

入域管理エリア（後方ハウス内）
Rゾーン装備+防水カバー+靴カバー

【後方ハウス】追加装備脱衣ポイント

【後方ハウス】

後方ハウス内は、局所排風機によりダストを回収することで汚染拡大防止策を行うものの、バウンダリ内部に挿入されたガイドパイプによる汚染の恐れがあるため、ハウス内入域の簡易的な管理及び防護具により、汚染拡大防止を図る。

○ 装備

Rゾーン装備（全面マスク、カバーオール、アノラック上下）に加え、入域時にアノラックの上から防水カバー及び靴カバーを装着し、退域時には防水カバー及び靴カバーの脱衣及びゴム手袋の交換を行う。

