

# ゼオライト土嚢等処理設備の設置に係る 指摘事項に対する回答

2024年7月25日

**TEPCO**

東京電力ホールディングス株式会社

No.	指摘事項	回答	頁
1	<p>「Ⅱ.10 放射性気体廃棄物の処理・管理」(閉じ込め機能) 各エリアの汚染管理のための区分(汚染が避けられない場所, 汚染してはいけない場所, その中間で汚染を食い止める場所)について, それぞれのエリアの役割を整理した上で具体的な区分を示すとともに, それら区分で行うダスト管理及び対策等について明確にすること。 また, トラブル等でハウス内の保管容器が汚染した場合の保管容器の搬出方法(エリアの管理方法を含む)を示すこと。</p>	<p>放射性物質の拡大防止対策として, 各エリアの考え方及び管理対策について示す。 またトラブル等発生時の対処方針について示す。</p>	2~6頁
2	<p>「Ⅱ.12 作業員の被ばく線量の管理等」(作業員の被ばく量) 確定したインベントリに基づき, 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。 また, 当該評価に用いる「保管容器での表面線量率が1mSv/h以下」となる遮へい設計の根拠を示すこと。</p>	<p>運用中に高線量となる移送配管及びゼオライト保管容器における遮へい等の被ばく低減対策の方針について示す。また, 保管容器周辺の線量率評価条件と評価結果(1 mSv/h未満となること)を示す。</p>	7~13頁
3	<p>「Ⅱ.14 ① 準拠規格及び基準」(クラス分類) 圧縮空気供給設備について, 安全機能を有しない設備と分類しているが, 放射性物質を内包するかどうかに関係なく, 本申請における一連の作業において当該設備の脱水機能に期待している場合は安全機能を有する設備として, 機器クラス・耐震クラスを設定すること。 なお, 仮に, 安全機能を有しない設備と分類する場合は, 当該設備の脱水機能に期待しない状態で措置を講ずべき事項の各要求を満たすことを示すこと。</p>	<p>圧縮空気供給設備は脱水作業に使用するものの, 運用上の措置(資機材等を用いるもの)として整理している。当該運用については, 実施計画に記載する。</p>	14~15頁
4	<p>「Ⅱ.14 ⑤ 環境条件に対する設計上の考慮」(水素対策) 保管時における保管容器内の水素濃度評価について, 評価式の適用性や各パラメータの妥当性を示すこと。</p>	<p>水素濃度評価における評価手法については下記の通り。 ・ゼオライトの放射能濃度から水素発生量を計算する。 ・ベント管と排水配管の水素濃度差による気体密度差により生じる差圧および流動抵抗から評価式に基づき自然対流により流入する空気量を計算する。流入量と水素発生量の割合から水素濃度を計算する。 また, 評価に用いたパラメータの保守性について示す。</p>	16頁

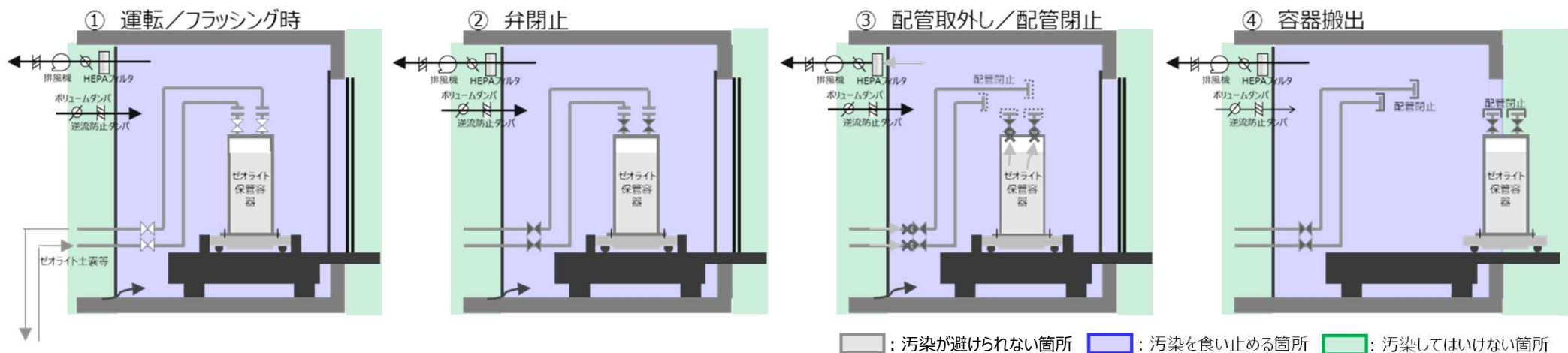
## II.2.10.気体廃棄物(閉じ込め)

- 各エリアの汚染管理のための区分（汚染が避けられない場所，汚染してはいけない場所，その中間で汚染を食い止める場所）について，それぞれのエリアの役割を整理した上で具体的な区分を示すとともに，それら区分で行うダスト管理及び対策等について明確にすること。
- また，トラブル等でハウス内の保管容器が汚染した場合の保管容器の搬出方法（エリアの管理方法を含む）を示すこと。

- 放射性物質の拡大防止対策として，各エリアの考え方及び管理対策については下記の通り。

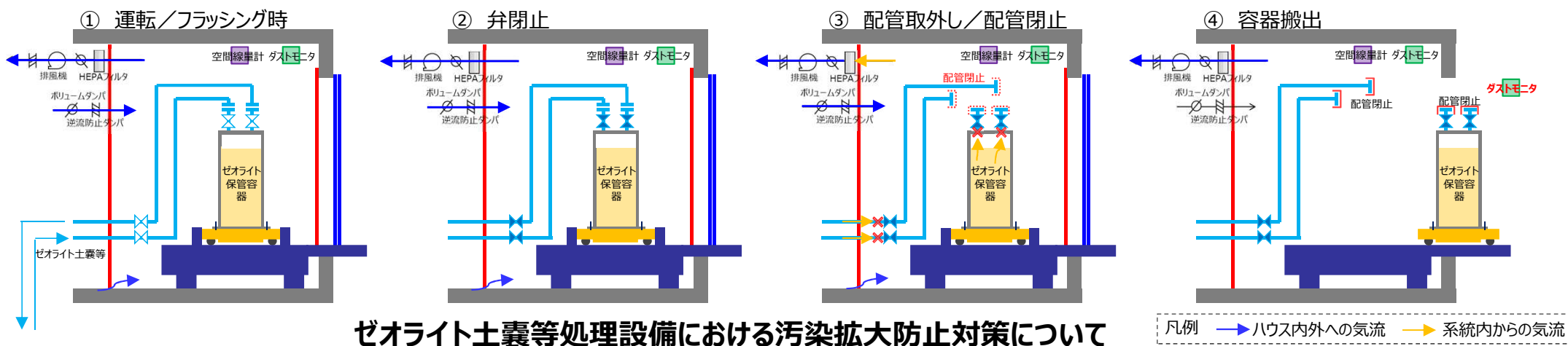
エリア	対象箇所	要求機能	管理対策
汚染が避けられない箇所	ゼオライト土嚢等処理設備系統内	系統内にゼオライト等の放射性物質を閉じこめること	ゼオライト等の移送は閉じられた系統内で取り扱う設計とする。
汚染を食い止める箇所	ハウス内	ハウス内に放射性物質が拡散した場合，ハウス外への放出を防止すること	ハウス内はインリーク管理とし換気を行う。また，ダスト濃度等を監視し，異常があった際は作業を中断し，除染等を行う。※
汚染してはいけない箇所	建屋内（ハウス外），建屋外	系統内，もしくはハウス内からの放射性物質の放出を防止すること	保管容器の搬出時や運転時においてダスト濃度を監視し，設定した管理値を超えた場合は作業を中断する。

※ 汚染が発生する可能性があるのは，配管開放時であるが，配管内部はフラッシング及び脱水済であること，短時間で配管を閉止することから汚染が拡散する可能性は低い



各エリアの考え方

- ゼオライト土嚢等処理設備における汚染拡大防止対策については下記の通り。
  - ゼオライト土嚢等処理設備は、同一建屋内（ゼオライト土嚢等があるPMB・HTI）の地上階に設置する。
  - 放射性物質を含むダストに対し、汚染拡大防止の観点で以下の対策を実施する。
    - 地下階のダスト等が地上階に拡散しないよう、ROV昇降口(既設開口)及び排水開口部は養生する。
    - ゼオライト等の保管容器への移送は、系統内で行い、開放状態で扱わない構成を基本とする。
    - 保管容器の搬出作業時、一時的に保管容器から移送配管（耐圧ホース）を取り外す。事前に配管取り外し作業時に液体等が漏洩しないよう、事前に配管フラッシングを行い（下図①）、圧縮空気を用いて配管・保管容器内の脱水を行い、弁を閉止し系統を隔離する（下図②）。配管取り外し後は速やかに開口部を養生する。
    - 移送配管の取り外し作業はハウス内で行い、万が一、ダストを含む気体が発生した場合においても換気空調設備で放射性物質をハウス内に閉じ込める設計とする（下図③）。換気空調設備には逆流防止ダンパを取り付ける。
    - 保管容器を建屋外に搬出する際は、保管容器は弁を閉止し密閉され、ノズル等の開口部は閉止又は養生された状態で、ハウス及び水密扉を開放し、搬出する（下図④）。



## 1-3. ダスト監視等について

### ■ ゼオライト土嚢等処理設備におけるダスト濃度の監視については下記の通り

#### ① 運転／フラッシング時（ハウス内外）

- ハウス内外におけるダスト濃度等を監視し，管理値を超えた場合は作業を中断する。

#### ②③ 弁閉止，配管取外し／配管閉止（ハウス内）

- ハウス内に作業員が立ち入り作業を行う前には，ハウス内が作業可能なダスト濃度であることを確認する。  
なお，ハウス内はインリーク管理とし作業員の退出時にハウス外へのダスト飛散を防止する。
- 配管隔離後，速やかに配管の開放端は閉止／養生し，ハウス内のダスト濃度等が上昇していないことを確認する。
- ハウス内のダスト濃度が管理値を超えた場合は作業を中止し，作業員はハウス内から退避する。

#### ④ 容器搬出（搬入）（ハウス内・建屋外）

- 保管容器を搬入出する際は，事前にハウス内のダスト濃度を確認し，ハウス及び水密扉を開放しても問題がないことを確認する。
- また，保管容器の搬出前は表面汚染密度を確認し，問題がないこと（ $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 未満）を確認する。

ダスト濃度の管理値			ダスト濃度が管理値を超えた場合
ハウス外（建屋内）	ハウス内（建屋内）	建屋外	
マスク着用上限を超過しない値に設定	建屋内と同程度であること※	マスク着用基準を超過しない値に設定	作業を中止し，作業員はハウス内から退避する。 搬入口が開いている場合は，速やかに閉じる等の対策を講じる。

※ 建屋外がマスク着用基準未満を維持できるよう，これまでの作業実績等も考慮して，建屋内ダスト濃度の管理値を決定する。

全面マスク着用上限： $2.0\text{E}-2 \text{ Bq}/\text{cm}^3$   
全面マスク着用基準： $2.0\text{E}-4 \text{ Bq}/\text{cm}^3$



## ■ ゼオライト土嚢等処理設備におけるエリア区分は下記の通り

### ➤ ハウス内

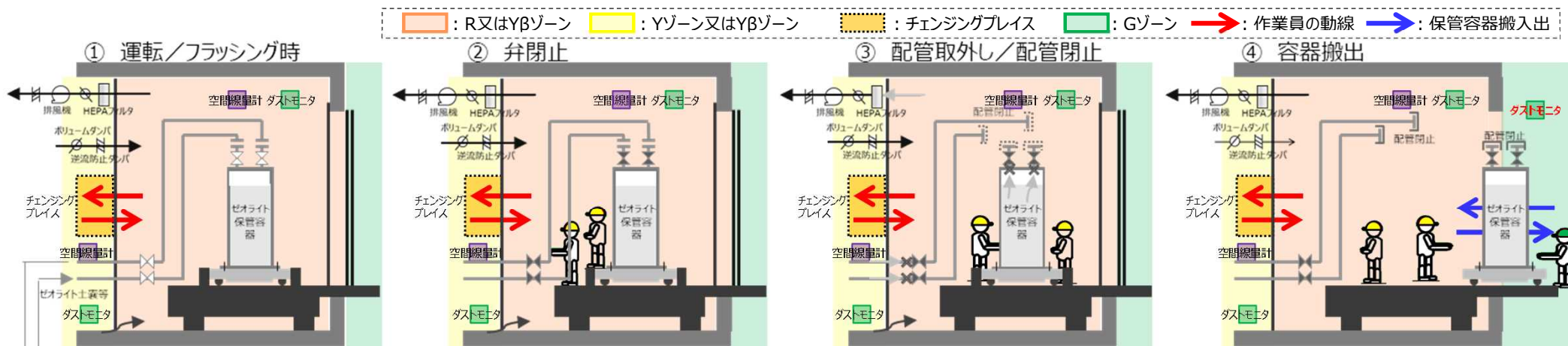
- 耐圧ホース取り外し時、配管内部はフラッシング及び脱水済で、短時間で閉止することから、汚染が拡散する可能性は低いですが、わずかでも滞留水が滴下する可能性ある作業であるため、作業員保護の観点でアノラック着用にて作業を実施する。なお、既実施のモックアップにおいて、滴下は確認されていない。
- ハウス内の区域管理はR又はYβゾーンとして作業を実施し、ハウスの出入口にはチェンジングプレイスを設ける。

### ➤ ハウス外（建屋内）

- 既存の建屋内の区域管理同様、Y又はYβゾーンとして作業を実施する。

### ➤ 建屋外

空气中放射性物質濃度がマスク着用基準を超えるおそれがないエリアであり、Gゾーンとして作業を実施する。



ダスト濃度等の監視状況と作業員の動線について

- Rゾーン (Red zone) : 1～3号機原子炉建屋内、滞留水を保有する原子炉建屋やタービン建屋地下階などのエリアに貯留する滞留水を保有するエリア、滞留水の除染エリア、汚染水を直接取り扱う作業を行うエリア
- Yβゾーン (Yellowβ zone) : 水処理設備を含む建屋内、汚染水/ストロンチウム処理水を内包するタンク内やタンク移送ラインに係る作業等
- Yゾーン (Yellow zone) : 1～4号機周辺建屋内及び建屋周辺の一部、高濃度粉じん作業や汚染水等を取り扱う作業・作業環境に応じ随時設定
- Gゾーン (Green zone) : 空气中放射性物質濃度がマスク着用基準を超えるおそれがないエリア

- トラブル等による対処法については、下記の通り
  1. トラブル等により、現場における線量率やダスト濃度の上昇が懸念される場合、現場作業員は退避する。
  2. 現場サーベイ等を行い、状況（線量率やダスト濃度）に応じた適切なエリア管理を行う。
  3. 現場環境が汚染されている場合については、除染を行う。
  4. 保管容器搬出のためにハウスを開放する場合は、事前にハウス内のダスト濃度や容器の表面汚染密度を確認する。問題がないことを確認した後、ハウスを開放し保管容器を搬出する。

### II.2.12.作業員の被ばく量

- 確定したインベントリに基づき、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。
- また、当該評価に用いる「保管容器での表面線量率が1mSv/h以下」となる遮へい設計の根拠を示すこと。
  - ゼオライト土嚢等処理設備の運用における想定被ばく量は下記の通り。
  - APD, ガラスバッジの装着により線量管理を適切に行う。個人の被ばく線量について、1mSv/日の計画線量限度を超えないよう、裕度を持って、必要な班・人員体制を確保して作業する。また18mSv/年（個人線量目標値）を超えないように管理値を定めて管理する。

#### 容器封入作業

No	作業内容	作業場所	雰囲気線量(mSv/h)	作業時間(h)	必要作業人工	被ばく線量 (mSv・人)
1	保管容器の搬入	建屋外	0.015	2	8	0.24
		ハウス内	0.3	2	3	1.8
		保管容器近傍	0.3	7	8	16.8
		遠隔操作室	0.001	7	2	0.014
2	保管容器へゼオライト等の移送, 排水	遠隔操作室	0.001	50	5	0.25
3	保管容器への回収完了, 配管フラッシング	遠隔操作室	0.001	2	5	0.01
4	ゼオライト等の脱塩洗浄	補給水タンク近傍	0.015	10	3	0.45
		遠隔操作室	0.001	4	5	0.02
5	ゼオライト等の脱水	遠隔操作室	0.001	20	5	0.1
6	保管容器の搬出	建屋外	0.015	2	8	0.24
		ハウス内	0.3	2	19	11.4
		保管容器近傍	1.0	0.5	4	2
		遠隔操作室	0.001	7	2	0.014
7	以降, 手順1~6を繰り返し					1基当たり約33mSv・人×35基程度

#### ROV投入作業

No	作業内容	作業場所	雰囲気線量(mSv/h)	作業時間(h)	想定作業人工	被ばく線量 (mSv・人)
1-1	容器封入作業用ROVの投入	既設開口養生エリア	1	1	11	11
		遠隔操作室	0.001	1	13	0.013
1-2	容器封入作業用ROVの回収	既設開口養生エリア	1	1.5	11	16.5
		遠隔操作室	0.001	1.5	13	0.0195
2	容器封入作業用ROVの洗浄/メンテナンス	既設開口養生エリア	1	1.5	11	16.5
		遠隔操作室	0.001	1.5	13	0.0195
3	必要に応じ, 手順1, 2を実施					1回当たり約45mSv・人

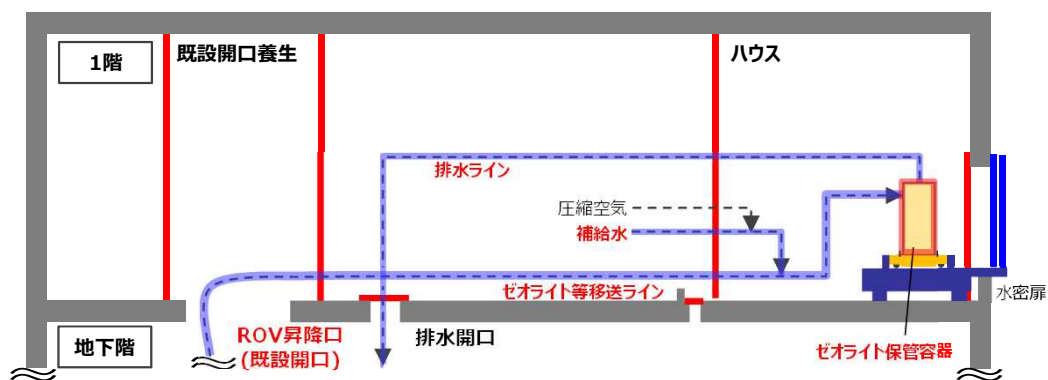
※ 2024年7月時点の計画であり、今後の検討に応じて適宜見直しを図る。



## 2-2. 被ばく低減措置について

### ■ ゼオライト土嚢等処理設備の運用中に高線量となる設備及び被ばく低減対策については下記の通り

高線量となる箇所		想定線量率	被ばく低減対策（設計上の考慮）	被ばく低減対策（運用上の考慮）
配管 - ゼオライト等移送ライン - 排水ライン - 補給水ライン	ゼオライト土嚢等について3wt%程度にて移送するため、配管近傍の線量率が上昇する。	移送運転中に配管から1m距離において1mSv/h程度の線量率となるよう遮へいする。	<ul style="list-style-type: none"> <li>ゼオライト移送運転（運転操作、ラインナップ構築等）については、遠隔操作にて実施する。</li> <li>移送運転終了後、配管フラッシングを行い、配管内のゼオライト土嚢等を洗い流し線量率を低減する。</li> <li>被ばく低減対策のため、鉛毛マット等の仮設遮へいを設置する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>移送運転中は配管近傍への立ち入りを制限する。</li> <li>配換近傍での作業（保管容器からの耐圧ホース取り外し作業）については、速やかに実施し被ばく線量を低減する。</li> <li>また作業前に、配管フラッシング及び遮へいにより線量率が十分に低減されていることを確認する。</li> </ul>
ゼオライト保管容器	ゼオライト土嚢等について保管容器に充填するため、保管容器近傍の線量率が上昇する。	ゼオライト満充填時に、保管容器表面において1mSv/h以下となるよう遮へいする。	<ul style="list-style-type: none"> <li>ゼオライトを満充填した後、保管容器近傍にて移送ライン（耐圧ホース）の隔離等の作業を行うことから、保管容器周辺に鉛遮へい（遮へい厚65mm）を設ける。</li> <li>移送ライン（耐圧ホース）の隔離等の作業を速やかに実施可能なよう、接続部はレバー式継手を採用する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>保管容器近傍での作業（保管容器からの耐圧ホース取り外し作業）については、速やかに実施し被ばく線量を低減する。</li> <li>また作業前に、現場線量率を事前に確認の上、遮へいにより線量率が十分に低減されていることを確認する。</li> </ul>
ROV昇降口	ROVは既設開口部より投入するため、開口部近傍での線量率が比較的高いエリアでの作業が必要となる。	作業環境について、1mSv/h程度の線量率となるよう遮へいする。	<ul style="list-style-type: none"> <li>ROV洗浄については遠隔で実施し、線量率を低減する。</li> <li>被ばく低減対策のため、鉛毛マット等の仮設遮へいを設置する。</li> <li>ROV昇降に係わる主要な作業は遠隔で実施可能な機器構成（ROV昇降装置の遠隔化等）とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>開口部近傍での作業は補助的な作業（ROV養生等）に限る等、被ばく低減に努める。</li> </ul>



被ばく低減対策について

### ■ 保管容器表面における線量率評価の主要な解析条件※<sup>1</sup> 及び結果については下記の通り

※<sup>1</sup> 線量評価における主要な解析条件として、線源、遮へい、評価位置における各条件について記載する。

#### 解析条件

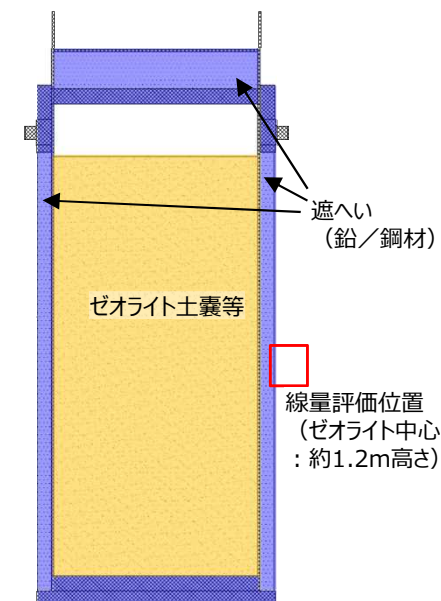
- 計算コード：MCNP5
- 線源：ゼオライト約2.7m<sup>3</sup>（保管容器1基容量2.2m<sup>3</sup>に保守的にフィルタ体積を加えた量）
- 比重：ゼオライト比重は0.89～0.91g/cm<sup>3</sup>の範囲で分布している。保守的評価の観点で、ゼオライトの核種濃度を算出時においては0.91g/cm<sup>3</sup>を、線量解析時には光子の自己吸収が小さくなるように0.89g/cm<sup>3</sup>を適用する。
- 遮へい条件：
  - ✓ 鉛（保管容器 胴周り65mm厚の鉛遮へい、蓋 230mm厚の鉛ビーズ遮へい等）
  - ✓ 鋼材※<sup>2</sup>（保管容器 胴内径1193.8mm，胴板厚さ12.7mm，上部平板厚さ88.9mm，下部平板厚さ88.9mm，高さ2933.7mm）
- 評価位置：ゼオライト中心高さ※<sup>3</sup>における遮へい体表面及び表面から2.5m距離までの線量率

- 放射能濃度：ゼオライト

核種	濃度※ <sup>4</sup>
Cs-137	1.8E+8 Bq/g
Cs-134	1.1E+7 Bq/g
Sr-90	1.4E+7 Bq/g

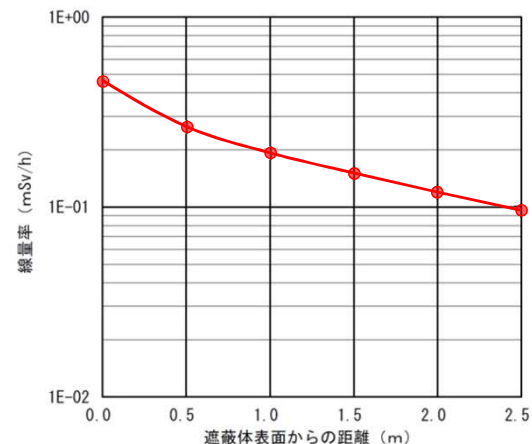
- ※<sup>2</sup> ゼオライト保管容器については、ASME SA240 Type 316Lにて製作するものの、線量評価上は比重の小さいFeにて保守的に評価する。
- ※<sup>3</sup> 作業は保管容器上面が主となるが、最も線量率が高い箇所として、ゼオライト中心高さにおける線量率を評価する。
- ※<sup>4</sup> 放射能濃度は分析結果に不確かさを有することを踏まえ30%の安全率を見込む（分析結果×1.3）。またCs-137及びSr-90の娘核種Ba-137m，Y-90を同一濃度で見込む。

- 解析条件（モデル）



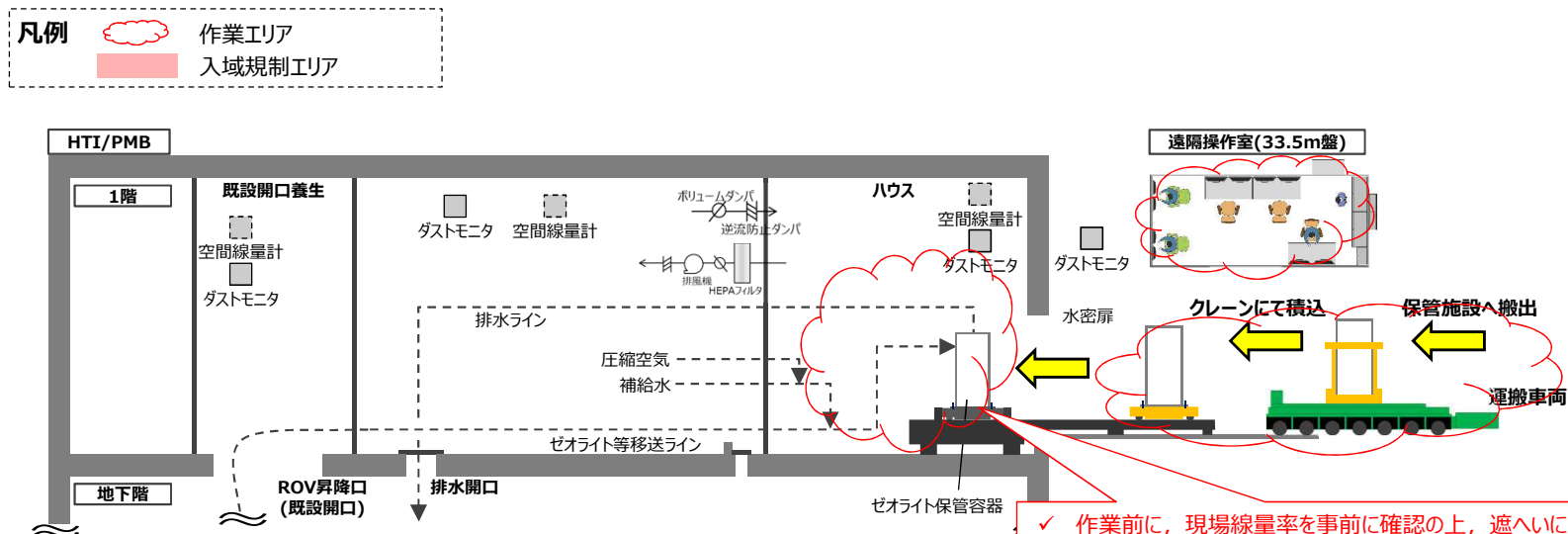
#### 解析結果

- 保管容器の遮へい表面において、1mSv/h以下に遮へい可能であることを確認した。



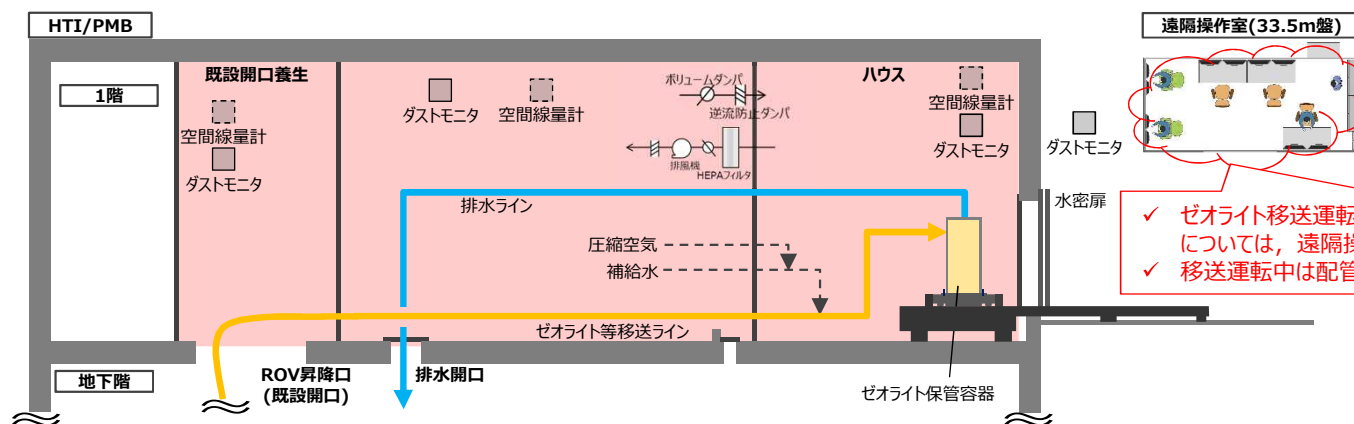
## 容器封入作業手順

### 1. ゼオライト保管容器の搬入



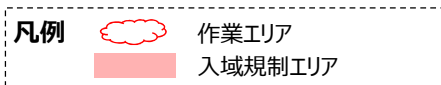
- ✓ 作業前に、現場線量率を事前に確認の上、遮へいにより線量率が十分に低減されていることを確認する。
- ✓ 移送ライン（耐圧ホース）の接続作業を速やかに実施可能なよう、接続部はレバー式継手を採用する。

### 2. ゼオライト保管容器へゼオライト等と建屋滞留水の移送、及び建屋滞留水の排水

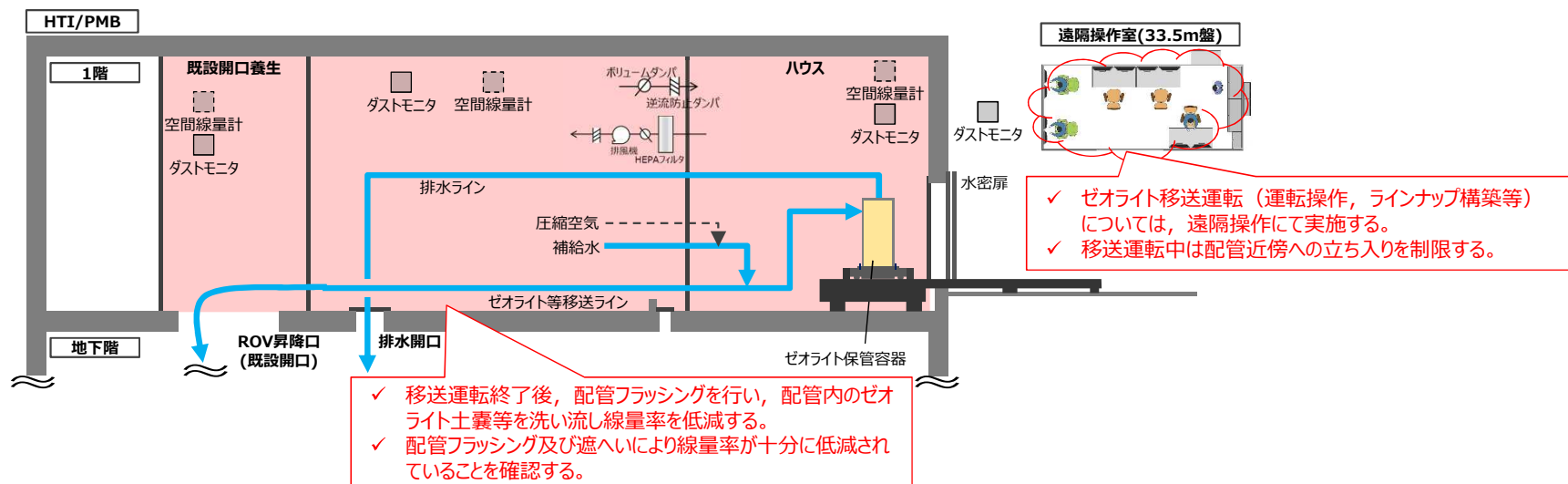


- ✓ ゼオライト移送運転（運転操作、ラインナップ構築等）については、遠隔操作にて実施する。
- ✓ 移送運転中は配管近傍への立ち入りを制限する。

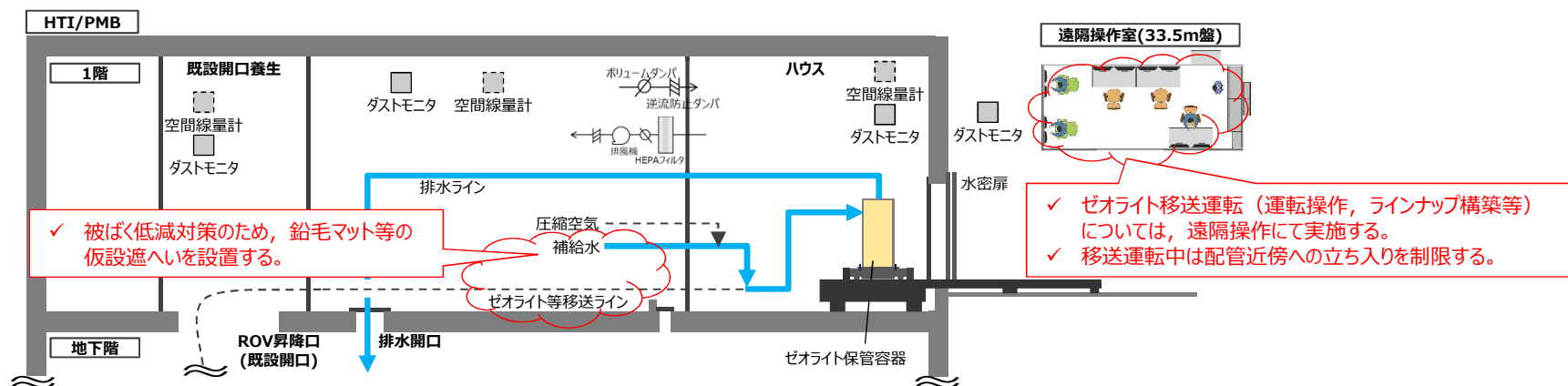
## 容器封入作業手順



3. ゼオライト保管容器への回収完了及び補給水による配管フラッシング

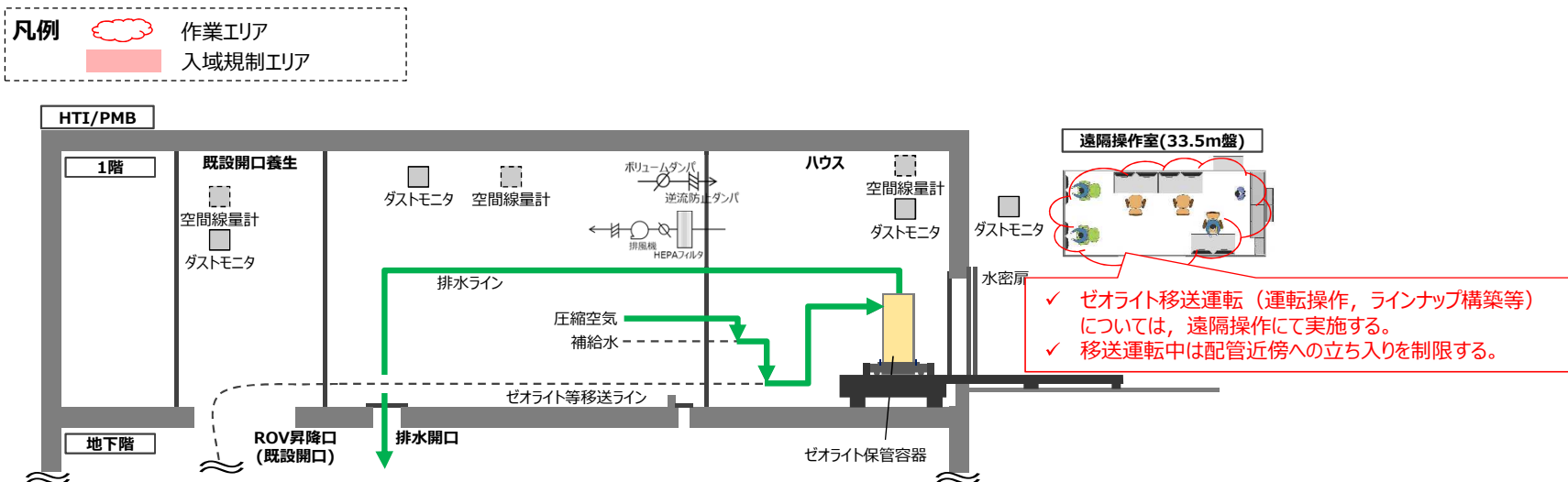


4. ゼオライト等の脱塩(補給水によるゼオライト等の洗浄)

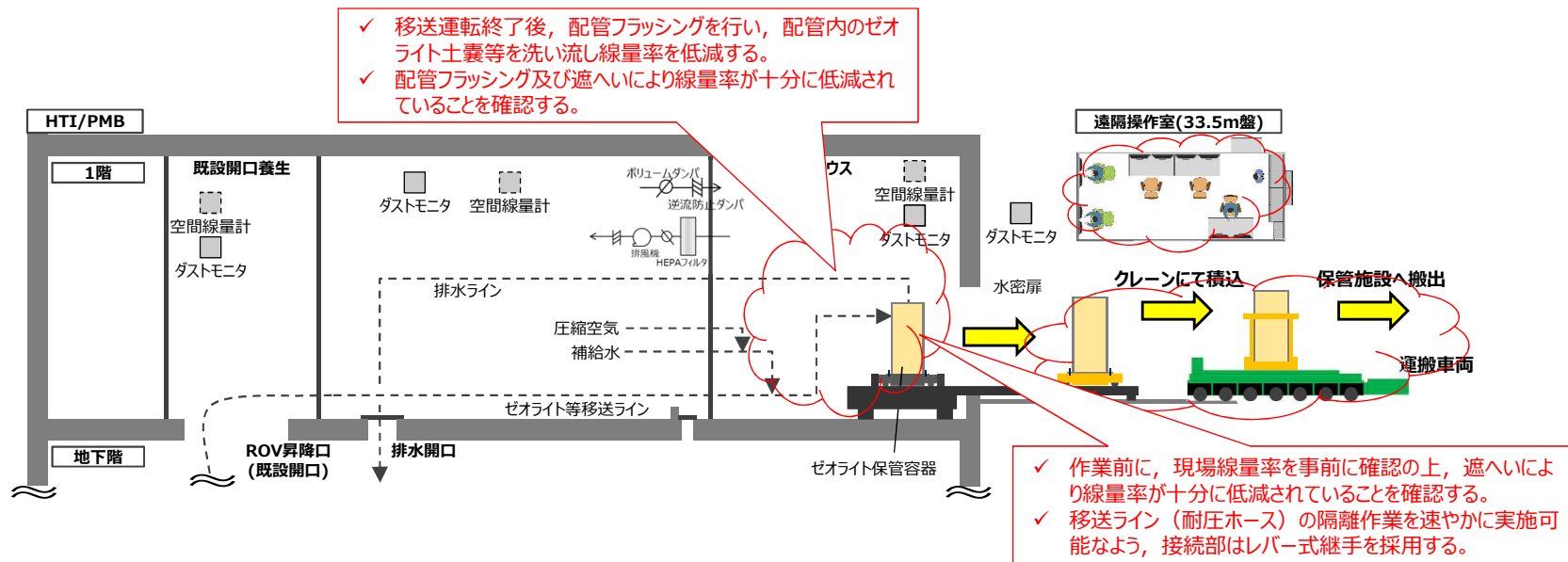


## 容器封入作業手順

5. ゼオライト等の脱水（圧縮空気によるゼオライト等の脱水）

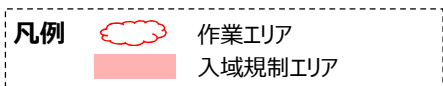


6. ゼオライト保管容器の搬出



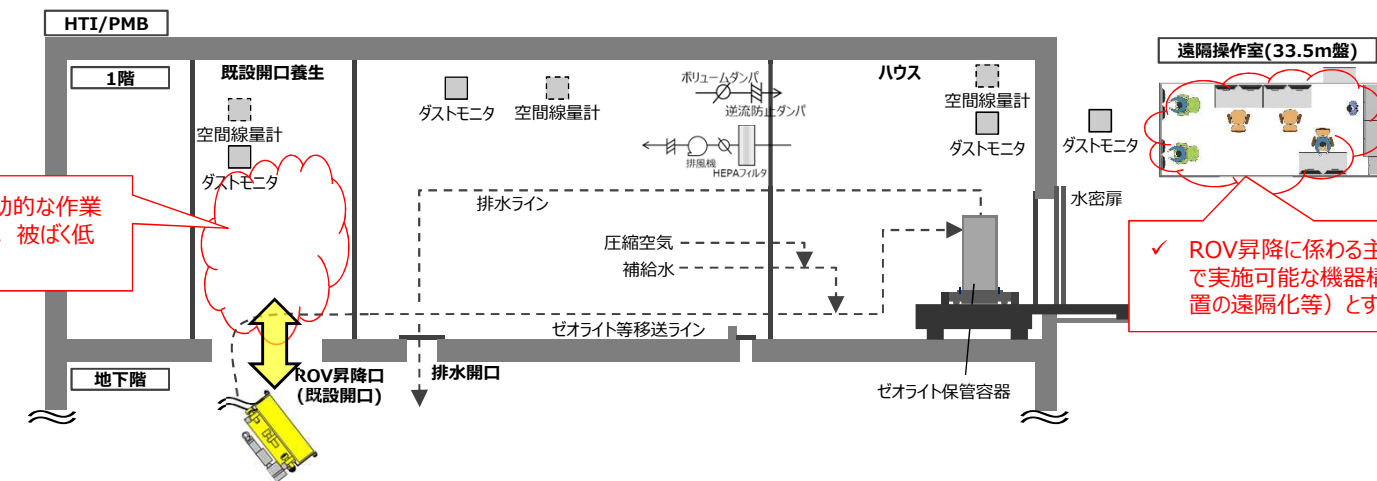
7. 以降，手順1～6を繰り返す

## ROV投入作業手順※



### 1. 容器封入作業用 ROVの投入/回収

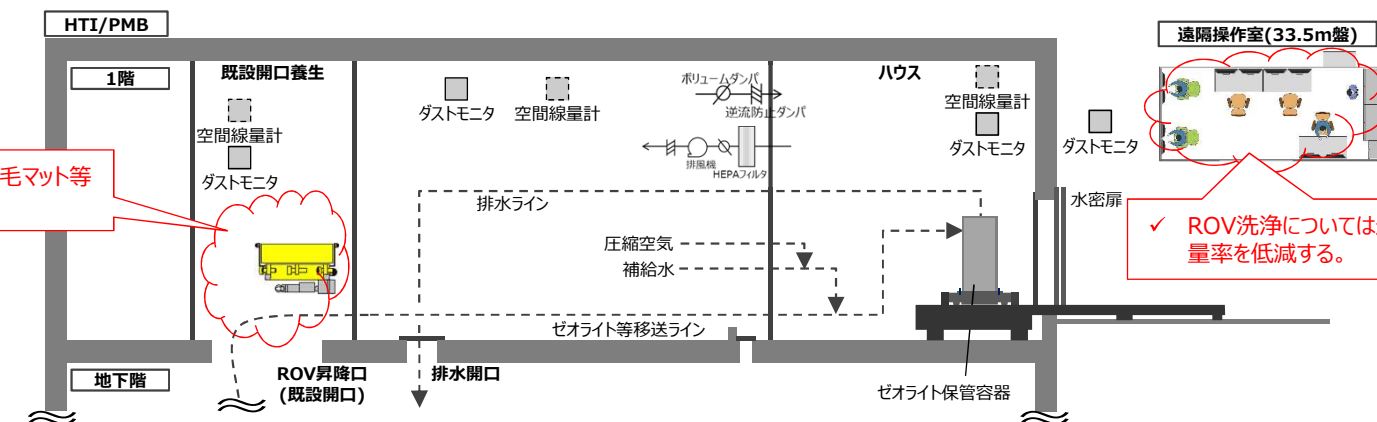
✓ 開口部近傍での作業は補助的な作業 (ROV養生等) に限る等、被ばく低減に努める。



✓ ROV昇降に係わる主要な作業は遠隔で実施可能な機器構成 (ROV昇降装置の遠隔化等) とする。

### 2. 容器封入作業用ROVの洗浄/メンテナンス

✓ 被ばく低減対策のため、鉛毛マット等の仮設遮へいを設置する。



✓ ROV洗浄については遠隔で実施し、線量率を低減する。

### 3. 必要に応じ、手順1, 2を実施

※ ROV投入作業については、配管フラッシング (容器封入作業手順3) し、作業エリアの線量率低下後 (既設開口養生エリアの入域規制を解除した後) に実施する。



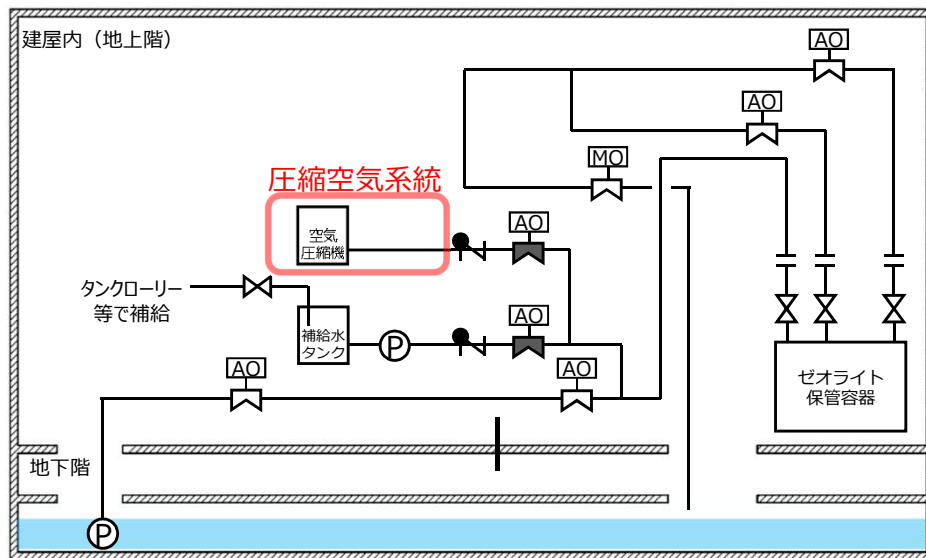
### 3. 圧縮空気系統における安全機能の整理について

#### 「Ⅱ.14 ① 準拠規格及び基準」(クラス分類)

- 圧縮空気供給設備について、安全機能を有しない設備と分類しているが、放射性物質を内包するかどうかに関係なく、本申請における一連の作業において当該設備の脱水機能に期待している場合は安全機能を有する設備として、機器クラス・耐震クラスを設定すること。
- なお、仮に、安全機能を有しない設備と分類する場合は、当該設備の脱水機能に期待しない状態で措置を講ずべき事項の各要求を満たすことを示すこと。

■ 圧縮空気供給系統は脱水作業に使用するものの、運用上の措置（資機材等を用いるもの）として整理している。当該運用については、実施計画に記載する。

- ① ゼオライト保管容器は内部が満水状態で問題無いよう設計されていること。仮に圧縮空気供給系統が破損等した場合においても、弁（ダイヤフラム弁及びゼオライト移送配管については耐震Bクラス）で隔離されており、ゼオライト等の放射性物質が漏洩することはないこと。
- ② 一時保管施設における液体放射性物質の漏えいリスク低減の観点で、保管前にゼオライト保管容器は脱水する。圧縮空気供給系統を用い脱水作業を行うものの、その喪失等により漏えいリスクは増加しないこと。
  - 仮に圧縮空気系統が破損等した場合においても、空気圧縮機等については一般産業品で構成されており、予備品等を確保する等にて、早期に復旧可能なよう準備する。復旧後にゼオライト保管容器内部を脱水し、一時保管施設へ搬出する運用とする。また、仮設の代替機器（仮設空気圧縮機等）を用いた脱水も可能である。



凡例 □: ダイヤフラム弁    ⊗: ボール弁    ●: 逆止弁  
 [AO]: AO(空気駆動)弁    [MO]: MO(電動機駆動)弁 ※開度調整用

(参考) 実用炉設置許可基準規則より抜粋

「安全機能」とは、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能であって、次に掲げるものをいう。

- イ その機能の喪失により、発電用原子炉施設に運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、これにより公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがある機能
- ロ 発電用原子炉施設の運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の拡大を防止し、又は速やかにその事故を収束させることにより、公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止し及び放射性物質が発電用原子炉を設置する工場又は事業所外へ放出されることを抑制し、又は防止する機能

## ■ ゼオライト土嚢等処理設備の耐震重要度と機器クラスについて下記の通り

表：ゼオライト土嚢等処理設備の耐震重要度と機器クラス

機器	耐震重要度分類	機器クラス
ゼオライト垂直移送ポンプ	B	クラス3相当※1
ゼオライト保管容器	B	クラス3相当
ゼオライト移送配管（耐圧ホース）	B	クラス3相当※2
ゼオライト移送配管（鋼管）	B	クラス3相当
ゼオライト移送配管（ポリエチレン管）	B	クラス3相当※2
ゼオライト排水配管（耐圧ホース）	B	クラス3相当※2
ゼオライト排水配管（鋼管）	B	クラス3相当
補給水ポンプ	B	クラス3相当※1
補給水タンク	B	クラス3相当
補給水配管（鋼管）	B	クラス3相当
補給水配管（ポリエチレン管）	B	クラス3相当※2
排風機	C	※3
フィルタユニット	C	※3
ダクト	C	※4
ハウス	C	※5
電動弁・手動弁・空気作動弁	B	クラス3相当※6
堰	C	—
漏えい検知器	C	※7
圧縮空気配管	C	※8
空気圧縮機	C	※8

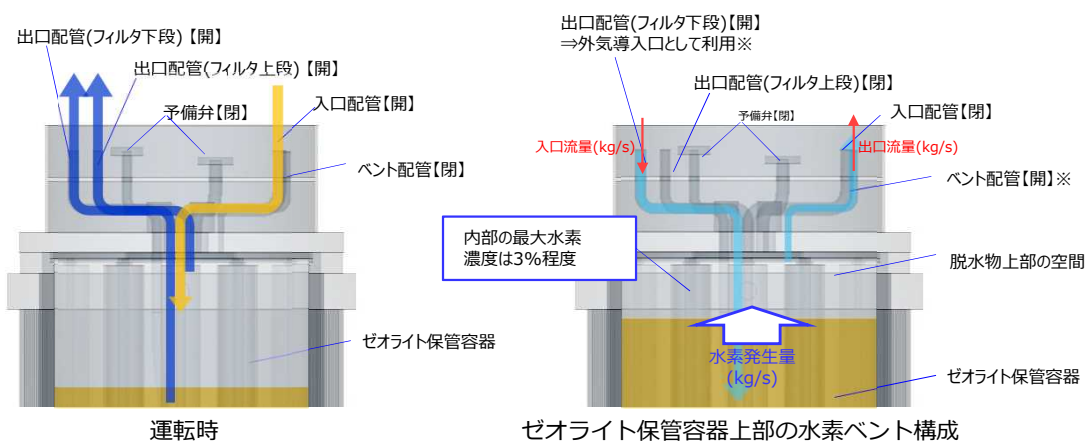
- ※1：「発電用原子炉施設の工事計画に係る手続きガイド」に準じて、クラス3機器に接続するポンプについては「設計・建設規格」又はJISを基にした強度に関する計算等を実施する。
- ※2：クラス3に準じた構造強度評価および検査を実施する。
- ※3：その他支持構造物に準じた構造強度評価を実施する。
- ※4：日本産業規格（JIS A4009）に準拠した設計とする。
- ※5：建築基準法及び同施行令の各構造計算基準に準拠した設計とする。
- ※6：製造メーカー指定の方法で耐圧試験を実施する。
- ※7：各種安全規格（UL508, C22.2 No.14, EN55011, EN61000-6-2他）に準拠した設計とする。
- ※8：圧縮空気系統についてはボイラー及び圧力容器安全規則および日本産業規格（JIS B8341）等に準拠した設計とする。

- 安全機能を有しない構造物，系統及び機器
  - ・ 容器封入作業用ROV
  - ・ ケーブル整線用ROV
  - ・ ゼオライト中継容器（垂直移送用）
  - ・ ゼオライト中継容器（水平移送用）
  - ・ ゼオライト水平移送ポンプ
  - ・ ゼオライト水平移送ホース
  - ・ ROV昇降機

## 「Ⅱ.14 ⑤ 環境条件に対する設計上の考慮」(水素対策)

- 保管時における保管容器内の水素濃度評価について、評価式の適用性や各パラメータの妥当性を示すこと。

- 水素濃度評価における評価手法については下記の通り
  - ✓ ゼオライトの放射能濃度から水素発生量を計算する。
  - ✓ ベント管と排水配管の水素濃度差による気体密度差により生じる差圧および流動抵抗にから評価式に基づき自然対流により流入する空気量を計算する。流入量と水素発生量の割合から水素濃度を計算する。
- また、評価に用いたパラメータの保守性については右記の通り。
- ゼオライト保管容器内部における水素濃度評価を下記の通り実施し、可燃限界以下に水素濃度を抑えることができることを確認している (最大水素濃度3%程度と評価)



※ ベント管及び外気導入流路の先端には異物混入対策として金属メッシュを設ける。また雨水侵入防止対策として雨よけ等を設ける。  
 ゼオライトとCsの吸着は非常に強固であること、保管容器内の対流については、水素発生時の密度差による流動等のみであることから、保管容器内からダストが外部へ同伴することはない。  
 なお、ベント弁等については、保管時に金属フィルタ(0.1mm程度)を取り付ける。

## 水素濃度評価

- 水素は、吸着した核種の崩壊エネルギーが容器内に残留する水に吸収され発生する。水素発生量は次式により算出する。

$$H = G \times \alpha \times E \div A$$

H : 水素発生量 (mol/s) ※

G : 水がエネルギー吸収時に発生する水素分子数 : 0.45 (個/100eV)

α : 含水率 : 1.0

E : 水が吸収するエネルギー :  $3.81 \times 10^{18}$  (100eV/s)

A : アボガド数 ( $6.02 \times 10^{23}$ 個/mol)

※ 水素発生量(kg/s)については、水素のモル質量(2g/mol)を用いて換算する。

- 以上から、水素発生量は  $2.85 \times 10^{-6}$  mol/s となる。なお、水素発生量は保守的に以下の条件で導出している。
  - 放射線エネルギーが全て水の分解に寄与すると仮定
  - 水素発生源となる水が常に存在すると想定
  - 放射線エネルギーについては、ゼオライトの放射能濃度より算出する。放射能濃度は分析結果に不確かさを有することを踏まえ 30% の安全率を見込む (分析結果×1.3)。
- 保管容器内のゼオライト充填領域から発生した水素は、保管容器上部の空間部に排出され、空気との混合気体となる。保管容器は、保管時にベント管と排水配管を開放し、上部空間の混合気体は空気との密度差により上昇しベント管から排出される。また、排出された混合気体の体積に応じて、排水配管から空気が流入する。このときの混合気体の排出と空気の流入量を算出し、保管容器内の水素濃度を評価した。容器内の水素濃度は次式により算出し、2.98 mol%となる。(同温、同圧条件により、モル分率と体積分率は等しい)

$$\begin{aligned} \text{水素濃度 (mol\%)} \\ &= \text{水素濃度 (vol\%)} \end{aligned}$$

$$= \frac{\text{水素発生量 (kg/s)} / \text{水素密度 (kg/m}^3\text{)}}{\{\text{水素発生量 (kg/s)} / \text{水素密度 (kg/m}^3\text{)}\} + \{\text{換気流量 (kg/s)} / \text{空気密度 (kg/m}^3\text{)}\}}$$

- なお、換気流量は質量保存則とエネルギー保存則より算出する。

$$\text{換気流量 (kg/s)} = \text{入口流量 (kg/s)} = \text{出口流量 (kg/s)} - \text{水素発生量 (kg/s)}$$

$$\text{出口圧 [全圧] } P_2 \text{ (Pa)} - \text{入口圧 [全圧] } P_1 \text{ (Pa)} = \text{単位面積当たりの浮力 } F \text{ (Pa)} - \text{配管圧損 } \Delta P \text{ (Pa)}$$

- 換気流量は、駆動力 (出口圧と入口圧の差) と浮力 (保管容器内部の水素と空気の混合気体は外気よりも軽いので保管容器内に浮力が生じる) が、圧力損失 (排水配管からベント管までの圧力損失の合計) と等しくなる時の流量として、 $2.66 \times 10^{-6}$  kg/s となる。