

ゼオライト土嚢等の処理に係る指摘事項の回答

2025年 4月30日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

- ゼオライト土嚢等の処理に係る指摘事項について、これまでも監視・評価検討会（第103回等）にて、一部は回答しているものの、詳細については、下記に示す通り、技術会合にて回答している。

No.	分類	指摘事項	回答概要	技術会合資料 該当頁
1	ゼオライト土嚢 等の処理	ゼオライト取り出し時の遮へい設計、閉じ込め設計などの安全設計について示すとともに、設計諸元の設定など設計から製作などのプロセスにおいて重要な事項を決めるタイミングを整理して全体スケジュールとして示すこと。 (第 98, 99 回)	遮へい設計や閉じ込め設計等について、使用施設等の位置、構造及び設備の基準に関する規則に準じた段階的な気圧管理、汚染レベルに応じた区域管理は困難であるものの、下記のゼオライトの性状、現場の環境を考慮した放射性物質の拡大防止対策を講じる設計とする。 ・ゼオライトは砂状の粒子であり、回収作業時は湿潤状態であることから、ダスト飛散のリスクが小さいこと ・機器を設置する環境（プロセス主建屋、高温焼却炉建屋の1階）は既に汚染された空間であること 上記について、技術会合（第19回、第21回）にて回答済み。 スケジュールについて、設計は概ね確定した状況であり、今後は実施計画変更申請の補正を行いつつ、機器製作を行っていく（一部、長納期品は既に手配済み）。	第19回 P.4~13、 P.28~35、 P.37 第21回 P.2~5
2		回収機器の信頼性向上、不調時の代替機確保、実証実験により明らかとなる課題の解決などの実現方策を具体化すること。 (第 98 回)	実証実験により明らかとなった主な課題と対応方針については以下の通り。 ・濁りによる視認性の悪化 → ソナー等の検討 ・ツール（爪）へのゼオライト粒子の噛み込み → 噛み込みが発生しにくい構造への見直し 上記について、技術会合（第14回）にて回答済み。	第14回 P.14~16
3		核燃料施設等の閉じ込め機能に係る基準要求のうち出来ないもの及びその理由を示すとともに、設備設計に際しては、どのような不具合が発生しうるのか、不具合が発生した場合にどう対応するのかについても網羅的に評価すること。（第 99 回）	核燃料施設等の閉じ込め機能に係る基準要求（使用施設等の位置、構造及び設備の基準に関する規則）の適合性については、整理表を作成。 また、漏えい等の不具合が発生した場合も地下階へ漏えい水を導水する設計にする等の対策を講じている。 上記について、技術会合（第19回、第21回）にて回答済み。	第19回 P.4~13、 P.28~35 第21回 P.6

No.	分類	指摘事項	回答概要	技術会合資料 該当頁
4	ゼオライト土囊 等の処理	脱水等の運用方法や実現性、保管年数、再取り出し等を十分に考慮した上で、保管容器の具体的な設計を検討すること。 (第 99 回)	ゼオライト保管容器の設計や運用方法については下記の通り。 ・ゼオライトは滞留水と共にゼオライト保管容器に移送し、フィルタにてゼオライト粒子を濾し取る設計とする（回収作業時は基本的に開放部を設けない設計） ・充填後のホース取り外しの際、事前に弁を締め、万が一ダスト等が発生した場合も飛散し難い設計とする。 ・耐腐食性の材料（SUS316L）を採用 ・遮へいは表面線量が1mSv/hとなるように設計 等 上記について、技術会合（第19回、第21回）にて回答済み。	第19回 P.10~15、 P.26 第21回 P.9、P.16
5		実施計画申請の際には、核燃料施設等に対する規制基準 に対して整理して説明すること、また、要素試験やモックアップのスケジュールと申請内容との関係、PMB と HTI で使用される設備の特性、搬出等運用面を含めた作業工程を示すこと（第103回）	核燃料施設等の閉じ込め機能に係る基準要求（使用施設等の位置、構造及び設備の基準に関する規則）の適合性については、整理表を作成。 作業工程、スケジュールについては、技術会合（第19回）にて提示。 上記について、技術会合（第19回）にて回答済み。	第19回 P.28~35 P.37
6		ストロンチウムが含まれる場合遮蔽設計に制動放射の影響を考慮すること、また約100 基発生するとしている保管容器の保管施設についても適切な遮蔽設計を行うこと（第 103 回）	ゼオライト土囊等にはストロンチウム90も含まれていることから、制動放射の影響も含めて、遮へい設計を行っている。 なお、ゼオライト保管容器の発生基数については、容量を含めた設計の見直しを行っており、現状は35基程度と想定。 上記について、技術会合（第19回、第21回）にて回答済み。	第19回 P.26 第21回 P.9

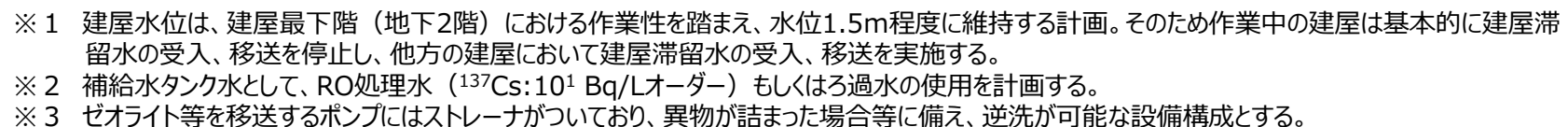
ゼオライト土嚢等処理設備における 実規模モックアップについて

2023年11月2日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

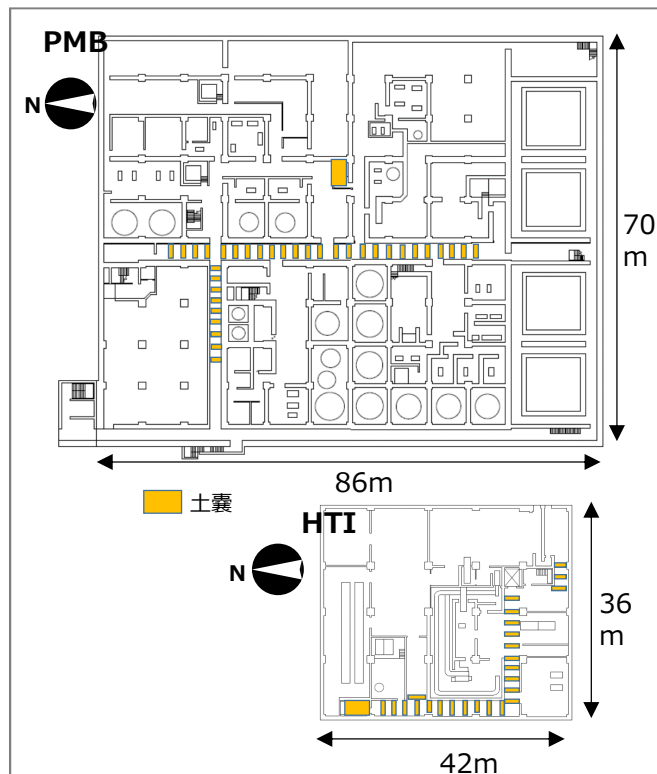
- プロセス主建屋（以下、PMB）、高温焼却炉建屋（以下、HTI）の最下階に敷設しているゼオライト土嚢・活性炭土嚢（以下、ゼオライト土嚢等）について、地下階に容器封入作業用ROVを投入し、ゼオライト水平移送ポンプ及びゼオライト垂直移送ポンプでゼオライト等を地上階のゼオライト保管容器に回収し、33.5m盤の一時保管施設まで搬出する。
- ゼオライト保管容器内部にはフィルタが装備されており、補給水及び空気圧縮機を用いゼオライト等の脱塩（建屋滞留水に含まれる塩分の除去）、脱水を実施する。また、ゼオライト等の移送作業後、ゼオライト等移送ラインはフラッシングを実施する。



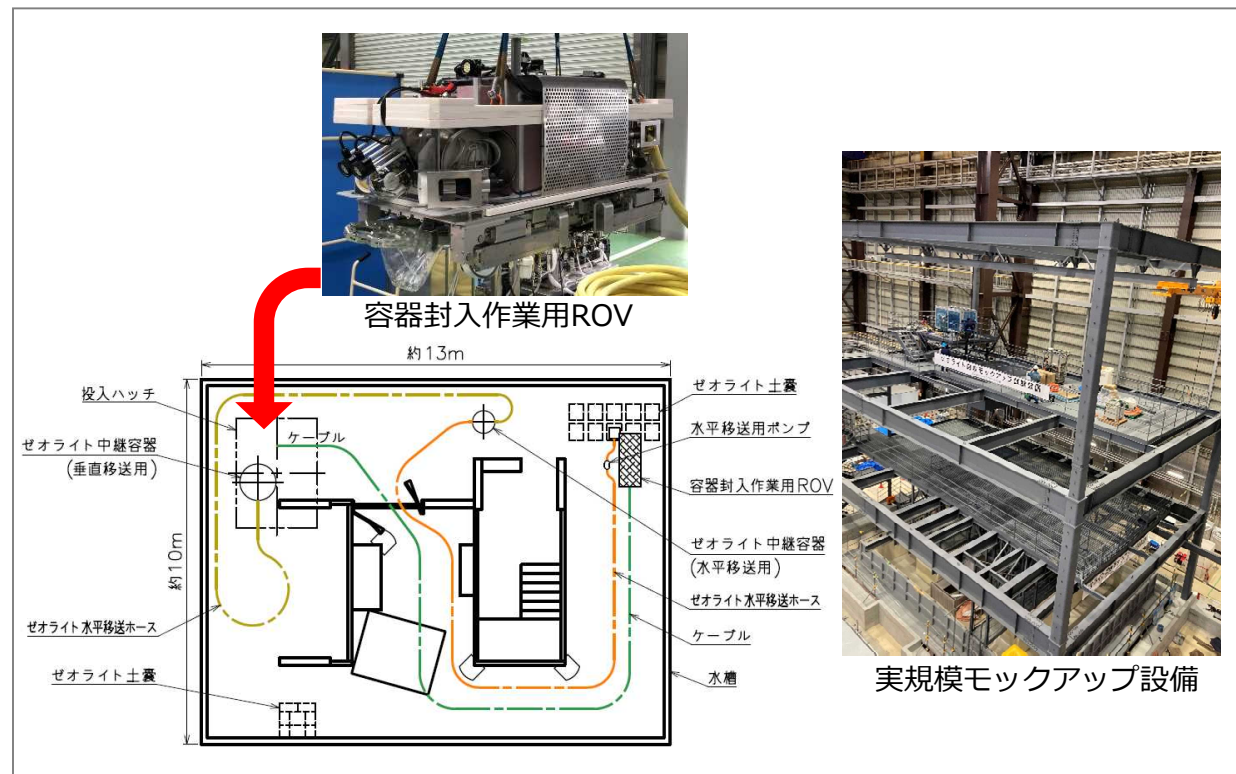
【リマインド】 容器封入作業の実規模モックアップ試験概要

TEPCO

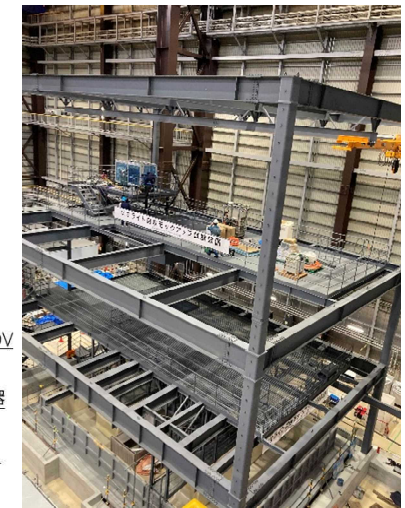
- ゼオライト土嚢等処理設備（容器封入作業）に関するROVのモックアップについて、日本原子力研究開発機構(JAEA)楢葉遠隔技術開発センターにて2023年9月に実施する。なお、集積作業に関するROVのモックアップも当該施設で実施している。
 - 上階(地下1階、地上1階)を模擬した架台を設置(高さは実スケール)
 - 現場調査で確認された干渉物、劣化した土嚢袋等を再現し、現場環境を模擬。
- 実規模モックアップで確認された課題や修正点については、フィードバックを実施した上で、現場作業の安全性と確実性を高めるため、引き続きモックアップを実施する。



1 F 現場（実際の土嚢配置）



実規模モックアップ



実規模モックアップ設備

1. モックアップにおける確認項目（1／2）



- 今回実施する実規模モックアップにおいては、下記に示す性能確認を実施。
- 今回の実規模モックアップで確認できなかった項目、今回の実規模モックアップで確認された課題の対応策等については、引き続き実施するモックアップ試験の中で確認していく。

項目(目的)		確認項目(実施事項)	確認内容(結果)	備考
1. 投入	ケーブル投入 ケーブル引上げ	ROVの地下階投入 ROVの引き上げ ケーブルの引っ張りにより ROV回収	ケーブル処理装置を介してROVの投入、回収確認を実施し、ROVの動作に合わせ、ケーブル送り、巻き上げ機能を確認した。	6頁 補足
2. 航走	航走確認 曲がり角通過	ケーブル等を牽引しての航走 機能 角部でのケーブル挙動	ROVの航走を実施し、ケーブルを牽引しての前進、後退、横行、旋回等ができることを確認した。ROVが航走して、問題なく5回曲がりが可能であること、ケーブルが躯体の角部に引っ掛かることが無いことを確認した。狭隘な箇所(障害物付近、階段室のステップ部分 等)へアクセスが可能であることを確認した。	7頁 補足
	ケーブル遊泳	ケーブル処理時のケーブル 挙動 ケーブルの取り回し		
3. 監視	相互監視 濁水中の監視	ROVの相互監視 濁水の発生時にゼオライト土 嚢の吸引後の状況を確認	ROVによるケーブル余長の牽引補助をしながらの遊泳ができることを確認した。 作業の影響で濁水が発生し視認性が悪化した。ソナーを用い、前方の壁や干渉物は確認ができたが、土嚢袋の判別は困難であったため、より適したソナー等を選定する方針。耐放射線性を考慮の上、ソナー等、カメラ以外の確認方法についても検討を進める。また、濁水の低減方法についても、引き続き検討を進める。	7,9,14 頁補足
4. 資機材運搬	水中資機材運 搬・設置	水中の資機材をROVで把持、 移動、設置	開口から吊り下ろした資機材(ゼオライト水平移送用ホース、ケーブルガイド)について、開口下でROVが把持、運搬、設置できることを確認した。	8頁 補足

1. モックアップにおける確認項目（2 / 2）



項目(目的)		確認項目(実施事項)	確認内容(結果)	備考
5. 吸引	切断・吸引	土のう袋を切断 ゼオライト吸引	ゼオライト回収ツールの位置合わせ、ゼオライト土嚢袋切断、水平移送ポンプでのゼオライト回収・移送、ROV浮上/航走が可能であることを確認した。ただし、回収ツールの爪にゼオライトが噛みこみノズルの上昇を妨げた事象が確認されたため、回収ツール構造の見直しについて検討を進めていく。	9,16頁 補足
6. 水平移送 7. 垂直移送	水平移送 中継容器 垂直移送	ゼオライトの水平移送 中継容器にてゼオライトの移送濃度を低減 地上階への垂直移送	移送時の流量、圧力に大きな変動はなく、配管閉塞なく移送できていることを確認した。	10頁 補足
8. 保管	保管容器 脱水	保管容器内へゼオライト回収 満充填時のレベル計検知 ゼオライト脱水	フィルタ差圧値に異常なく、回収することが可能であり、想定される充填量の範囲でレベル計が検知すること、脱水を実施し、水が滴らない程度に脱水されていることを確認した。 ゼオライトを保管容器へ充填する際、レベル計の検知ランプが点灯した後、消灯する事象が確認した。移送時にゼオライト界面が波打ち、ゼオライトが検知プローブと接触するものの、凸部が入口からの水流により崩れ、ゼオライトと検知プローブが接触していない状態が繰り返されたものと推定される。本事象を考慮したレベル計の設置位置とすること等の対策について検討を進めていく。	11,15頁 補足
9. メンテナンス	メンテナンス 洗浄	水平移送ホース閉塞時や流量低下時を想定し、ROVでホースを揺らす等の対応	水平移送ホース閉塞時や流量低下時を想定し、濁水中でプール底部にある移送ホースをカメラで確認し、ROVのアームで把持し、上下/左右に揺らす(移動)ことが可能であることを確認した。	12頁 補足
10. トラブル対応	ROV故障 配管閉塞	ROVの故障を想定し、装置が壊れない範囲で強制引き戻し、ROVによる救援	ROVの故障を想定し、ROVのケーブル引き戻しによる強制引き戻し(作業用ROVを水面に浮かべた状態にて監視用ROVのマニピュレータで作業用ROVを把持して牽引回収)ができることを確認した。	13頁 補足

2. 容器封入作業の実規模モックアップ試験実施に当たって



- 2023年7月11日第12回1F技術会合にて原子力規制庁より示された、ゼオライト土嚢等処理設備のモックアップ試験の実施に当たって考慮すべき事項についての回答は下記の通り。

No.	項目	考慮すべき事項	回答	確認時期	備考
(1) ①	ゼオライト土嚢の長期劣化等	ゼオライト土嚢の長期劣化等を考慮した試験とすること	実機のゼオライト土嚢等と同様の放射線を照射し、実機同等の放射線劣化を模擬した土嚢袋を用いた試験を実施し、土嚢袋の切断、ポンプによる吸引について影響を及ぼさないことを確認した。	2023/9 実施	9,17頁 補足
(1) ②	保管容器設置高さ	保管容器の設置高さが実機と異なるため、当該圧力損失分(水頭差)を考慮した試験とすること	弁による調整により実機と同じ系統圧力損失を模擬した試験を実施した。	2023/9 実施	18頁 補足
(1) ③	ゼオライト保管	保管容器が充填されるまで、連続運転させること	保管容器を満充填するまでの運転試験を実施した。	2023/9 実施	11頁 補足
(1) ④	配管フラッシング	フラッシングの成立性を確認すること	今後、フラッシング及び逆洗時における実機を想定した試験構成及び通水条件にて成立性を確認する。	今後 実施予定	—
(1) ⑤	保管容器の取り外し機構	保管容器の取り外し機構(自動閉止)を模擬し、取り外し時の液体等の飛散状況を確認すること	取り外し時の液体等の飛散状況の検証及び対策検討については、今後試験にて確認する。	今後 実施予定	—
(1) ⑥	吸い込み口の閉塞	吸い込み口の閉塞を考慮し、逆洗について成立性を確認すること	逆洗の成立性確認は実機を想定した試験構成及び通水条件として、今後試験にて確認する。	今後 実施予定	—
(1) ⑦	トラブル対応	試験において閉塞等のトラブルが発生した場合は、実環境を考慮した対応策を検討すること	ROV故障時の対応方針について対応策を確認した。 試験において新たに確認されたトラブルについては、実環境を考慮した対応策を検討の上、今後試験にて確認する。 移送系統の閉塞時対応については、今後の試験にて確認する。	2023/9 一部実施 今後引き続き 実施予定	13頁 補足
(2) ①	移送濃度低減機能	移送濃度低減機能について、固液比の目安が設計通りになっているか確認すること	ゼオライト等の移送濃度(固液比)について、濃度低減が成されていることを確認。水平移送についても実規模で確認する等、今後も継続して確認していく予定。	2023/9 実施	10頁 補足
(2) ②	保管容器レベル計	回収容器が充填されたことを検知するレベル計が誤差範囲内で検知できることを確認すること 容器の表面線量との関係を整理すること	容器へのゼオライト充填時の検知機能について確認。検知誤差については、今後試験にて確認する。容器の表面線量と、ゼオライトの充填率との関係については、今後線量評価結果を説明を予定。	2023/9 一部実施 今後引き続き 実施予定	15頁 補足
(2) ③	ゼオライトの脱水	ゼオライトの脱水について、脱水率の目安が設計通りになっているか確認すること	圧縮空気通気後のゼオライトについて水が滴らない程度(含水率30wt%程度)まで脱水可能なことを確認した。	2023/9 実施	11頁 補足

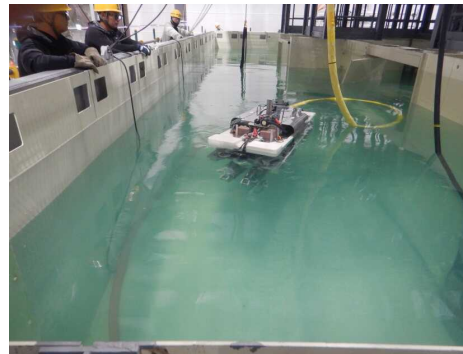
(参考) 【試験結果 1】 ROV投入

1. 投入

目的	投入（ケーブル投入・ケーブル引き上げ）について確認すること
実施事項	ROVの地下階投入、ROVの引き上げ ケーブルの送り出し回収
確認結果	ケーブル処理装置を介してROVの投入、回収確認を実施し、ROVの動作に合わせ、ケーブル送り、巻き上げ機能を確認した。



ROV投入時



ROV着水時



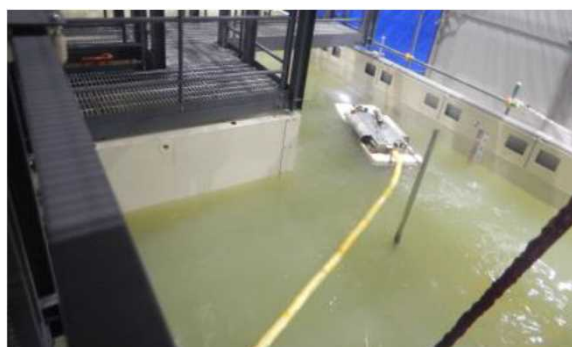
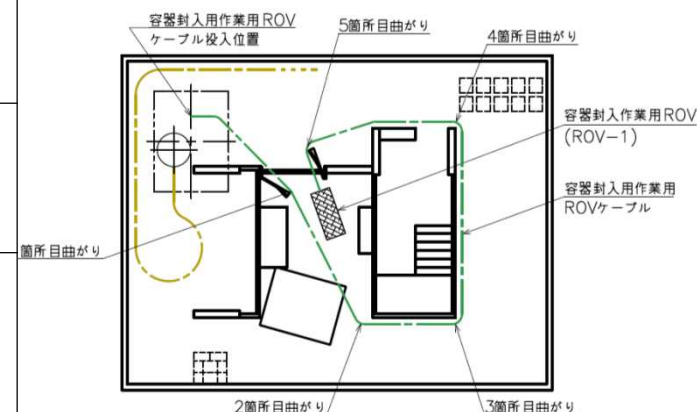
ケーブル収納時

(参考) 【試験結果 2】 ROV航走、相互監視

2. 航走

3. 監視

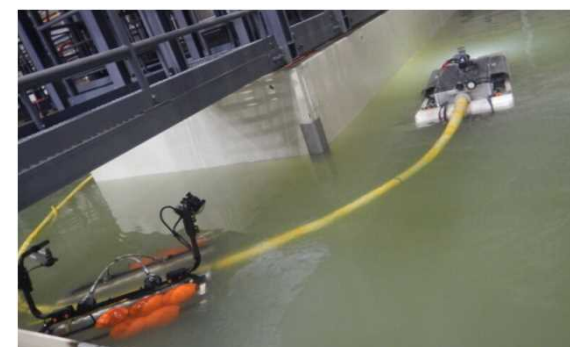
目的	航走（航走確認・曲がり角通過・ケーブル遊泳）、監視（相互監視・濁水中の監視）について確認すること
実施事項	ケーブル等を牽引しての航走機能 角部でのケーブル挙動 ROVの相互監視
確認結果	- ROVの航走を実施し、ケーブルを牽引しての前進、後退、横行、旋回等ができることを確認した。 - ROVが航走して問題なく5回曲がりが可能であること、ケーブルが躯体の角部に引っ掛かることが無いことを確認した。 - ROV 2 台が相互監視しながら、連携遊泳を実施し、ROVによるケーブル余長の牽引補助をしながらの遊泳ができることを確認した。 - 狭隘な箇所（障害物付近、階段室のステップ部分 等）へアクセスが可能であることを確認した。



1回曲がり時のケーブル挙動



5回曲がり時のケーブル挙動

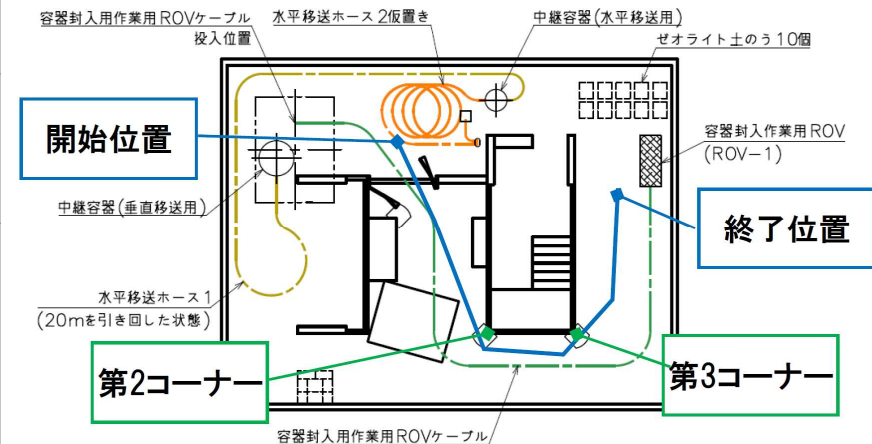


監視ROVによるケーブル牽引補助

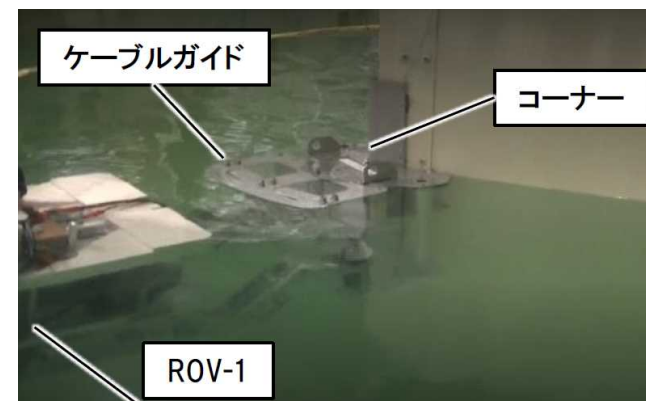
(参考) 【試験結果 3】 水中資機材の運搬

4. 資機材運搬

目的	水中資機材運搬・設置（水中の資機材をROVで把持、移動、設置）について確認すること
実施事項	ROVを用い、水中の資機材（ゼオライト水平移送用ホース、ケーブルガイド）を把持、移動、設置可能なことを確認
結果	- 開口から吊り下ろした資機材を、開口下でROVが把持、運搬、設置できることを確認した。 - ゼオライト水平移送用ホースのような長尺な物についても運搬が可能であることを確認した。



ゼオライト水平移送用ホースの運搬



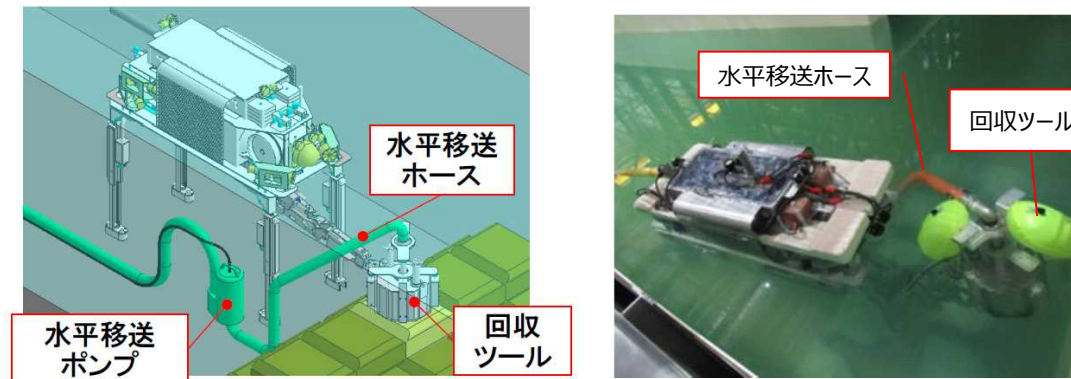
ケーブルガイドの運搬

(参考) 【試験結果 4】ゼオライト吸引

5. 吸引

3. 監視

目的	吸引（切断・吸引）、監視（濁水中の監視）について確認すること
実施事項	ゼオライト回収（作業状態の監視、回収ツールをROVで把持、移動、設置、濁水の発生時にゼオライト土嚢の吸引後の状況を確認）
結果	濁水中においてもゼオライト回収ツールの位置合わせ、ゼオライト土嚢袋切断、水平移送ポンプによるゼオライト回収・移送、ROV浮上/航走が可能であることを確認した。 ROVにて土嚢袋を切開し、配管が閉塞することなく劣化した土嚢袋内のゼオライトを吸引、移送可能であることを確認した。



ゼオライト回収時の作業概要



劣化土嚢袋（吸引前）の状況

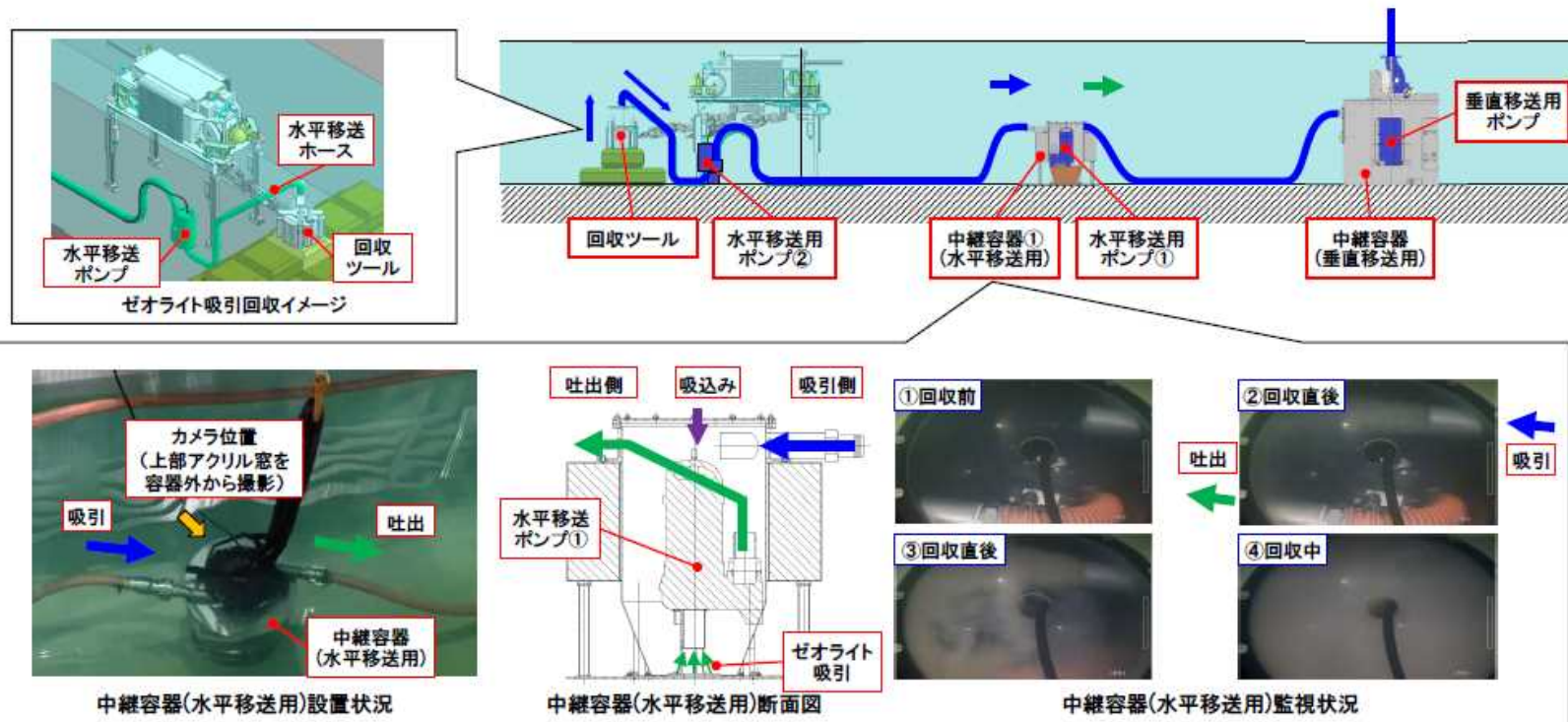
劣化土嚢袋（吸引中）の状況

(参考) 【試験結果 5】ゼオライト移送

6. 水平移送

7. 垂直移送

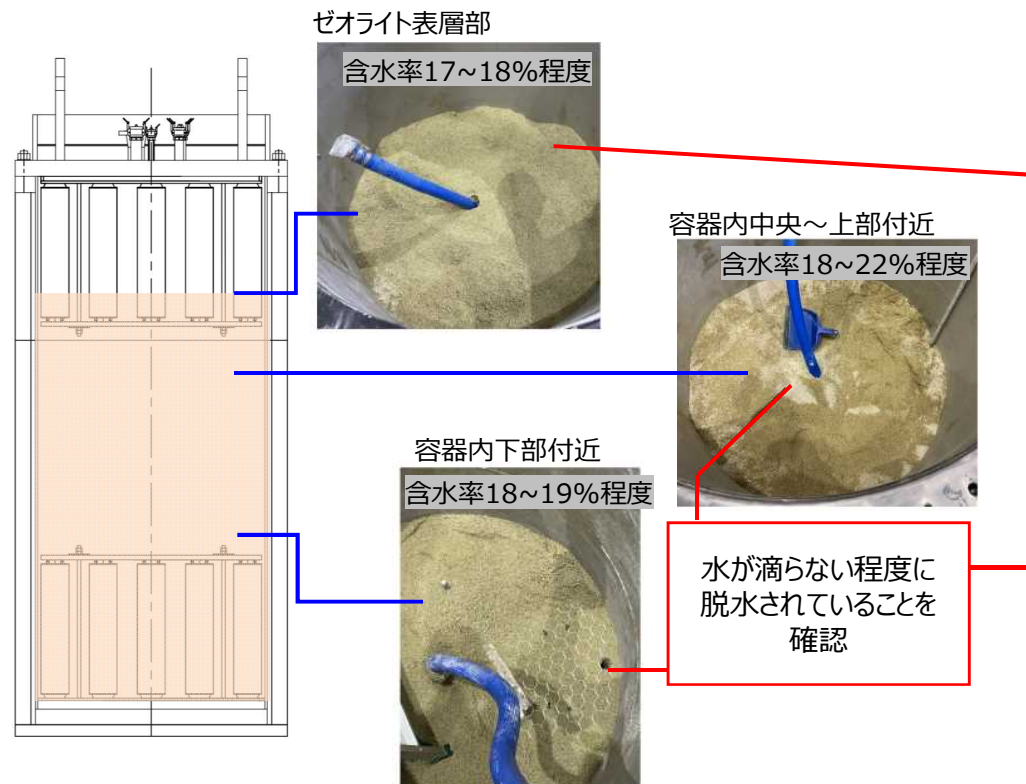
目的	水平移送・垂直移送（水平移送・中継容器・垂直移送）について確認すること
実施事項	ゼオライトの水平移送 中継容器でのゼオライトの移送濃度の低減 地上階への垂直移送
結果	移送時の流量、圧力に大きな変動はなく、配管閉塞なく移送できていることを確認した。 地上階ゼオライト移送ラインにおいても、閉塞せずに移送できていることを確認した。



(参考) 【試験結果 6】 保管容器内のゼオライト脱水

8. 保管

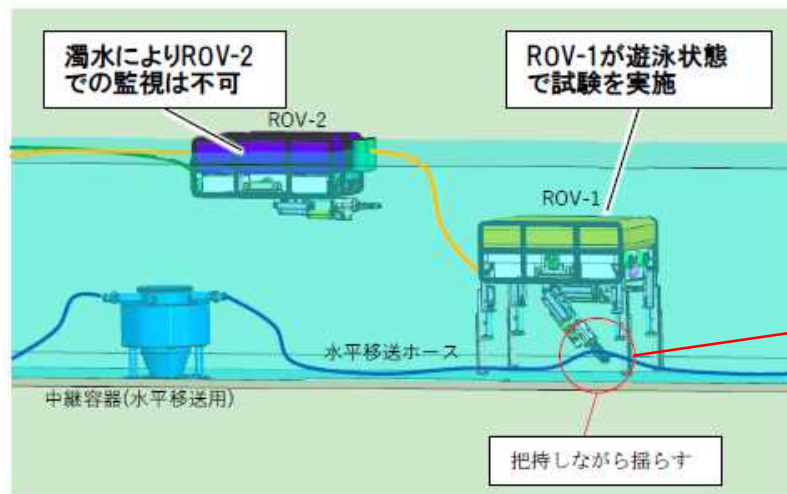
目的	保管（保管容器・脱水）について確認すること
実施事項	ゼオライト保管容器内へのゼオライト回収・脱水が可能であることを確認
結果	フィルタ差圧値に異常なく、回収することが可能であり、保管容器出口水を回収し、ゼオライト粒子が通過していないことを確認した。 ゼオライトの舞い上がり等でゼオライト回収中に常時検知のオンオフを繰り返すなどの誤検知は発生せず、想定される充填量の範囲でレベル計が検知することを確認した。 保管容器内で脱水を実施し、水が滴らない程度（含水率30wt%程度）まで脱水可能なことを確認した。



(参考) 【試験結果 7】 水平移送ホースの閉塞対策

9. メンテナンス

目的	メンテナンスについて確認すること
試験	地下階の移送系統の閉塞時に初期対応が可能なことを確認
結果	濁水中でプール底部にある移送ホースをカメラで確認し、ROVのアームで把持し、上下/左右に揺らす（移動）ことが可能であることを確認した。



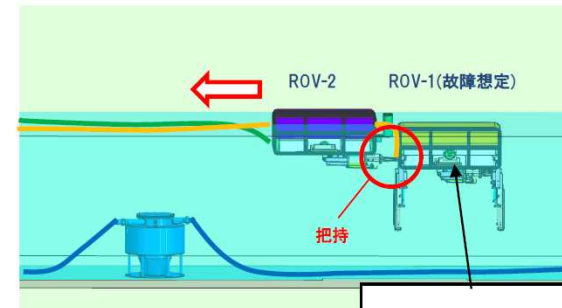
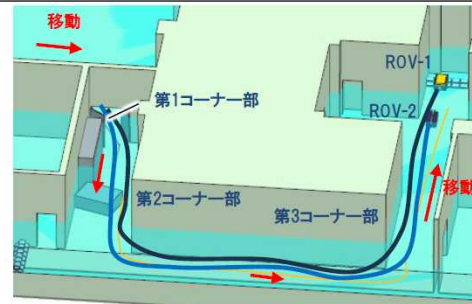
非常回収イメージ図



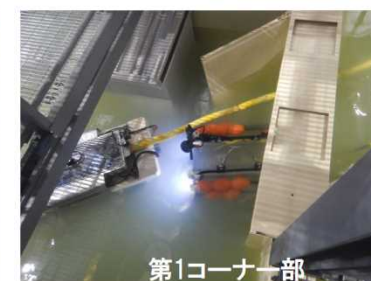
(参考) 【試験結果 8】 ROVの強制引き戻し、ROVによる救援

10. トラブル対応

目的	トラブル対応（ROV故障）について確認する
試験	ROVの故障を想定し、強制引き戻し、及びROVによる救援が可能なことを確認
結果	ROVの故障を想定し、ROVのケーブル引き戻しによる強制引き戻しが可能である事を確認した。 作業用ROVを水面に浮かべた状態にて監視用ROVのマニピュレータで作業用ROVを把持して牽引回収できることを確認した。



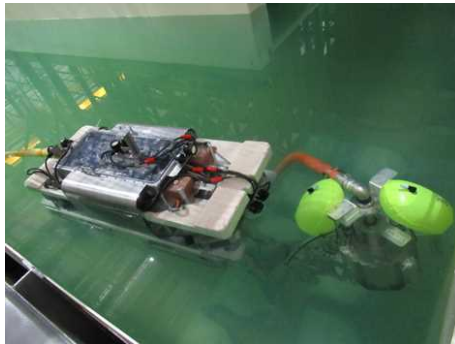
スラスタ故障想定
脚部折りたたみ



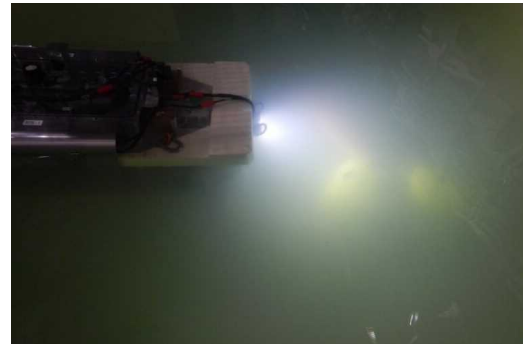
(参考) 【確認事象 1】 濁水中の監視

3. 監視

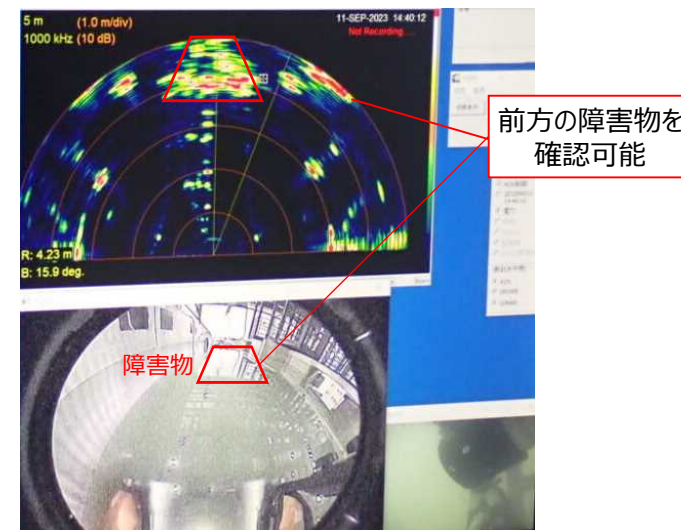
事象	- 作業の影響で濁水が発生した。 - 濁水環境内では100mm程度まで近づかないと視認できなかったものの、気中カメラで相互監視をしながら作業を実施した。
原因	濁水が発生しにくいように、部分的に土嚢袋を切断しゼオライト吸引を進める手法にて検討を進めているものの、繰り返し作業においては濁水が発生を抑制することが困難であったと推定される。
対応方針	- 濁水の発生を考慮して、耐放射線性を考慮の上、ソナー等、カメラ以外の確認方法についても検討を進めていく。なお、モックアップにおいては、ソナーを用い、前方の壁や干渉物については確認が容易であったが、土嚢袋の判別は困難であったため、より適したソナー等を選定する方針。 - 濁水の低減・拡散防止方法等について検討を進めていく。



ゼオライト回収作業前



ゼオライト回収作業後（濁度上昇）



ソナーの確認結果

TEPCO

事象	ゼオライトの保管容器への充填時に、レベル計の検知ランプが点灯した後、消灯したことを確認した。なお、移送を続けると再度点灯することを確認した。
原因	- 充填後にファイバースコープによる内部確認を実施したところ、ゼオライト界面が波打っているような状況であることを確認した。 - ゼオライト界面の凸部が検知プローブに触れて一度は検知するものの、入口からの水流により凸部が崩れ、検知プローブとゼオライトが接触していない状態となったと推定される。
対応方針	本事象は界面がレベル計に近づいたときに発生するものと考えられるため、この事象を考慮したレベル計の設置位置とすること等の対策の検討を進めていく。

確認

①

レベル計

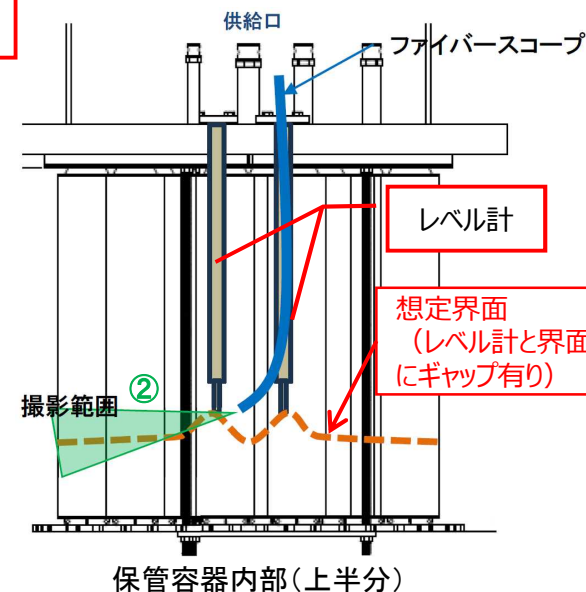
手前から奥に向かって傾斜になっている

②

SCF壁面

ゼオライト

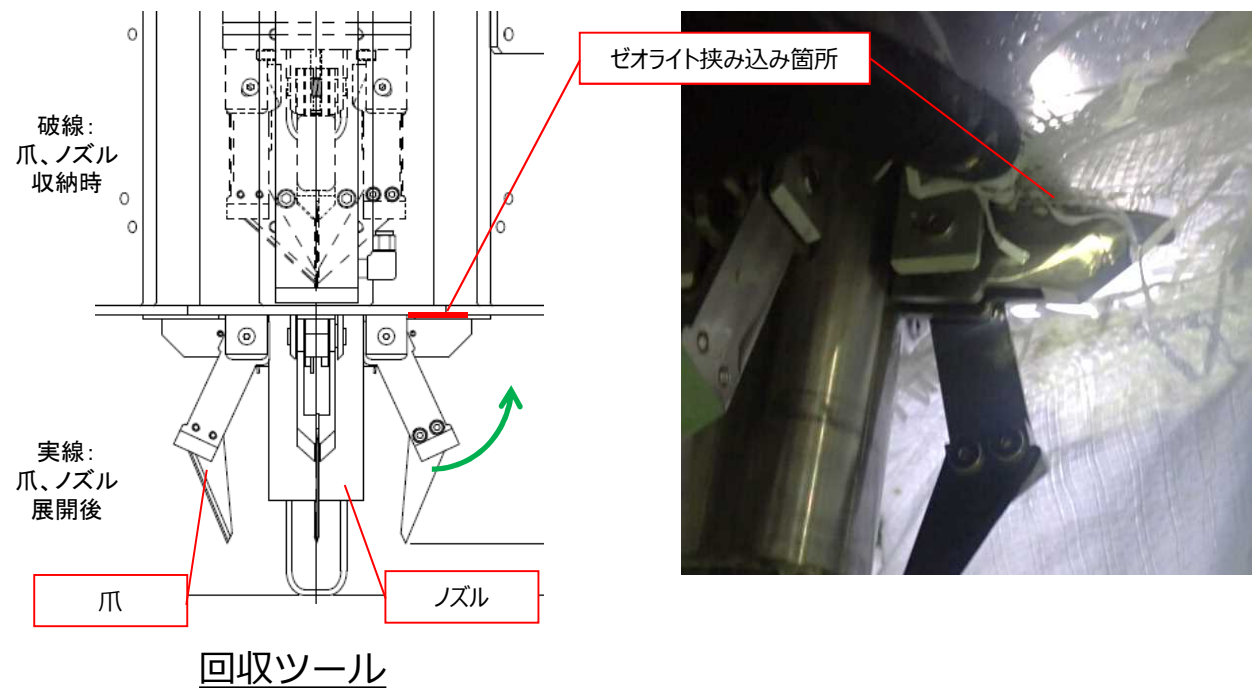
ゼオライト界面



(参考) 【確認事象3】ゼオライト噛み込み

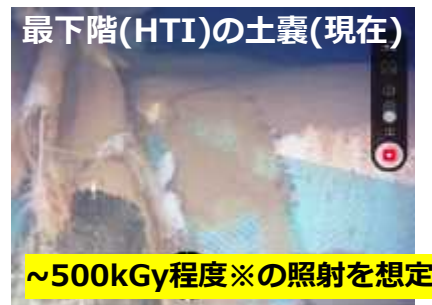
5. 吸引

事象	・ ゼオライト回収後、回収ツールのノズルを上昇しようとしたところ、上昇しないことが確認された。
原因	・ 回収ツールの爪にゼオライトが噛みこんでおり、ノズルの上昇を妨げたことと推定される。
対応方針	・ 回収ツール構造の見直しについて検討を進めていく。

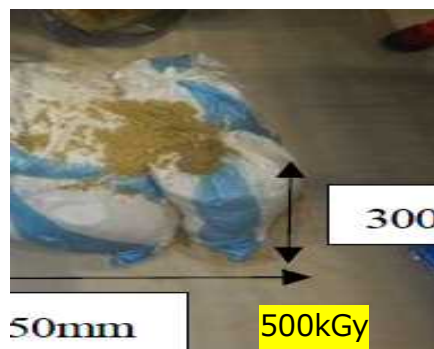


(参考) ゼオライト土嚢の長期劣化等

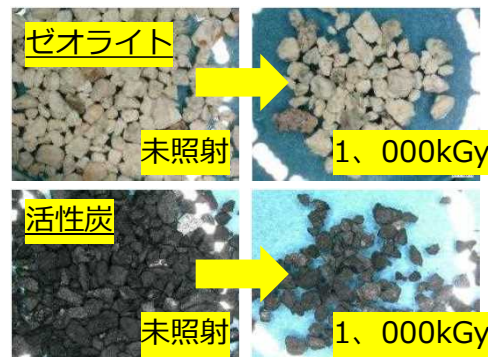
- ゼオライト土嚢等の現地調査を実施し、土嚢袋は概ね原形を保っているが、劣化傾向があり、一部の袋に破損がみられる状況。実規模モックアップにおいては、現場調査で確認された劣化した土嚢袋等を再現し現場環境を模擬する。
- なお、ゼオライトと活性炭のγ線照射試験を最大積算線量1、000kGyまで実施したところ、ゼオライトも活性炭も照射による顕著な変化は認められなかった。



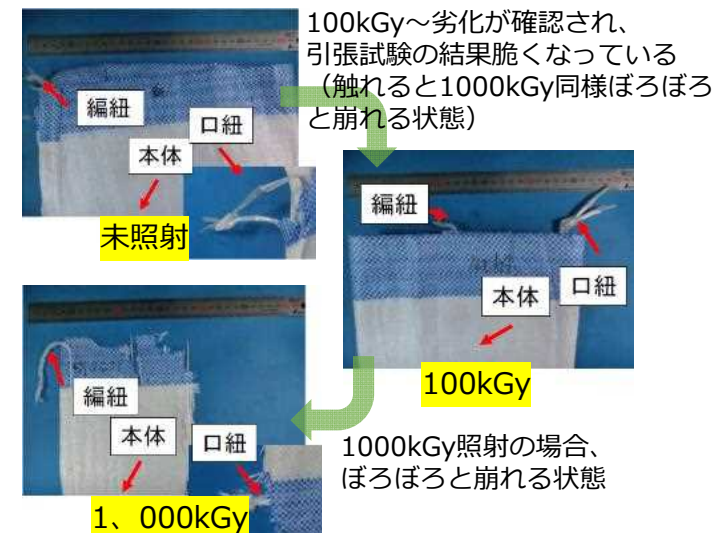
ゼオライト土嚢袋の現場状況



実規模モックアップで再現した劣化した土嚢袋



ゼオライト・活性炭の照射試験結果



土嚢袋の照射試験結果



移送後の土嚢袋の状況

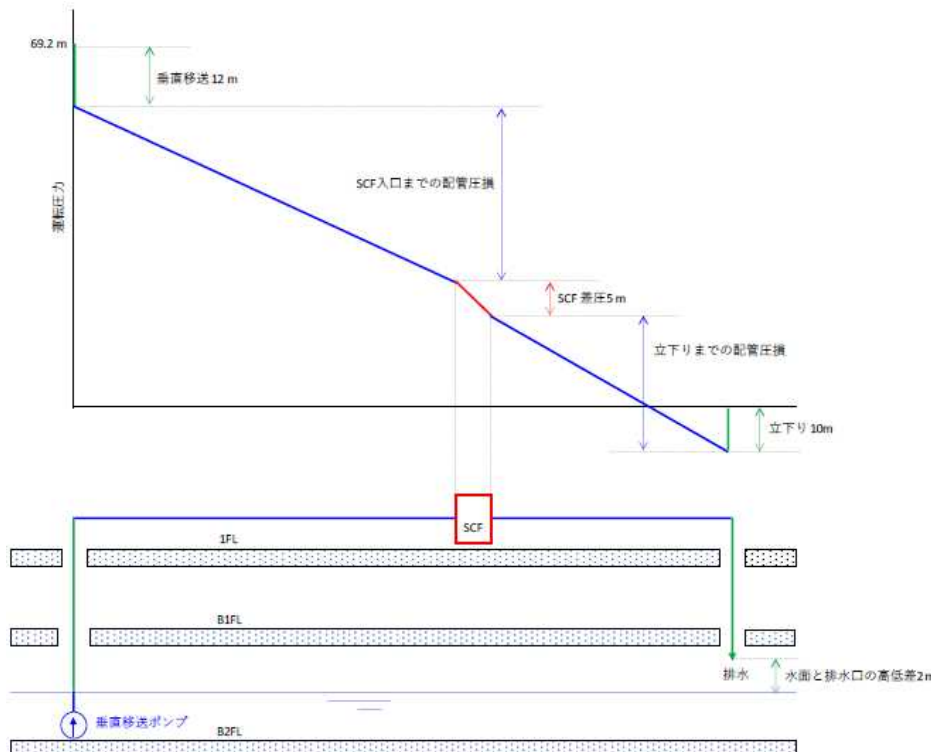
※ 確認されたゼオライト土嚢の表面線量率と現在までの照射時間から評価

(参考) 保管容器設置高さの違いについて

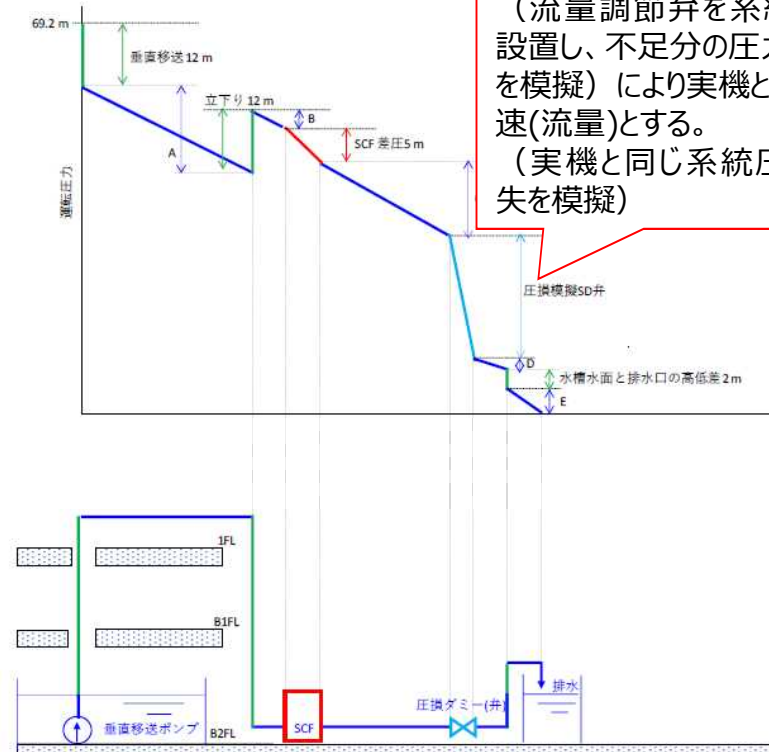
- 保管容器の設置高さが実規模モックアップと実際の設備で異なる※1ため、モックアップ時に保管容器内の運転圧力は実機よりも高くなるが、保管容器内部のフィルタ性能に影響を与える因子はフィルタ差圧であり、運転圧力が異なっても差圧は変化しないため、実際の設備と同じ通水条件となる。
- また、差圧は流速依存が高いが、実機と同じ流速（流量）となるよう、背圧弁（圧損模擬弁）にて調整を行う。

※1 実規模モックアップにおいては保管容器は重量物であり、実際の設備の地上1階相当の高さを模擬した架台上に設置出来ない

実際の設備※2



実規模モックアップ



圧力損失分を弁による調整（流量調節弁を系統内に設置し、不足分の圧力損失を模擬）により実機と同じ流速(流量)とする。
（実機と同じ系統圧力損失を模擬）

※2 PMBとHTIでは、系統構成は同じだが配管長が異なり、系統圧損が大きいPMBでの評価を前提とする。

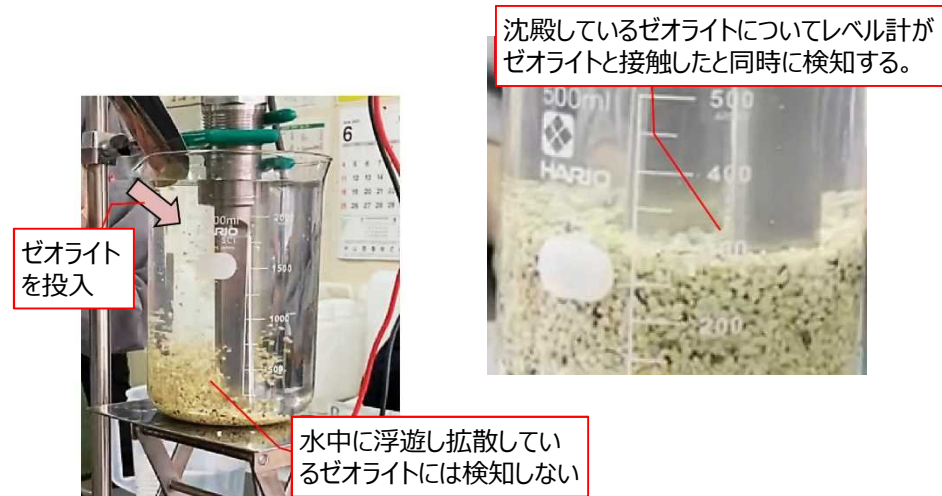
(参考) ゼオライト保管容器への充填について

TEPCO

- ゼオライト保管容器は規定量のゼオライトが回収された際に、レベル計が検知し、ゼオライトの移送を停止する。
- レベル計については、固液二相系で固体界面を検知可能であることを試験で確認している。今後、実規模モックアップにてレベル計の機能確認を進めていく。

レベル計機能	センサー部である振動ロッドを微振動させ、その振動ロッドが液中に沈殿した堆積物に触れると振動が変化することで、液中の沈殿物を検出する。	
候補	音叉式	振動式
概要図		

ゼオライト保管容器のレベル計（概要）

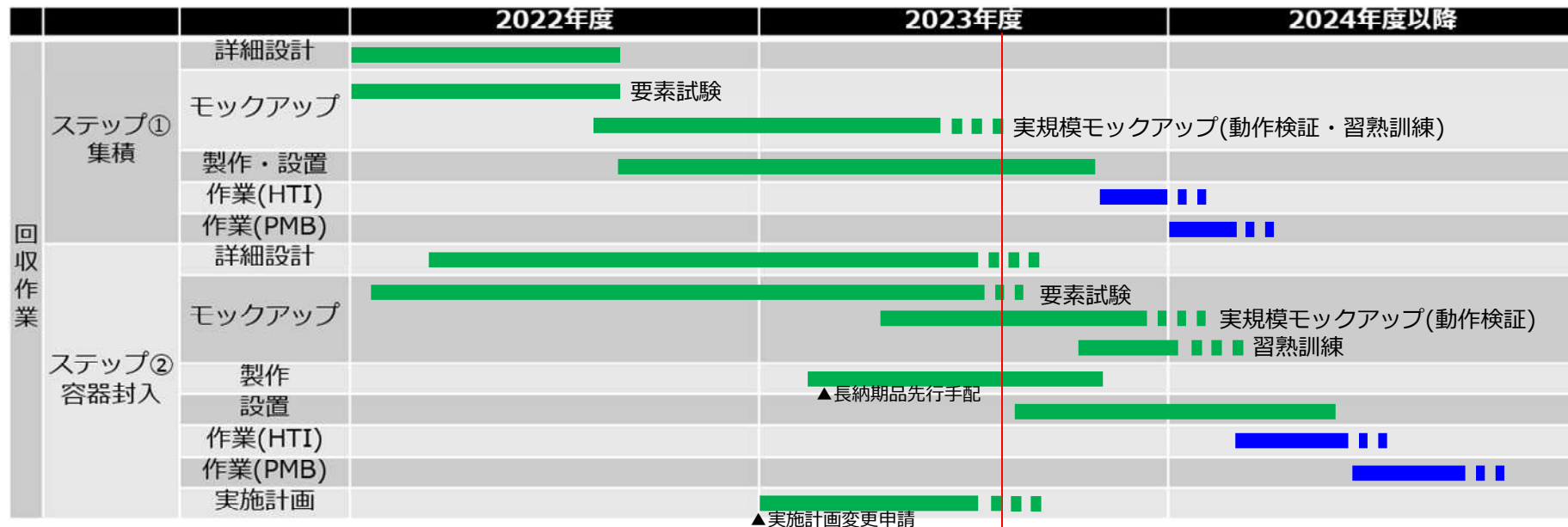


レベル計の要素試験結果

【参考】スケジュール



- ゼオライト土嚢等処理は以下に留意し、HTI、PMBの順番で作業を実施する計画
 - 大雨等の緊急時、PMBまたはHTIを滞留水貯槽として使用する可能性を否定できないため、ゼオライト土嚢等処理は片方ずつ実施（PMBとHTIを同時に作業しない）
 - 地下1階に作業員が立ち入ることができ、土嚢等の敷設面積も小さいことから比較的作業が容易と想定されるHTIから作業を開始し、次にPMBでの作業を実施する。
- 集積作業は、実規模モックアップ試験にて得られた知見から改良を重ねており、2023年度から開始予定。
- 容器封入作業については、2023年9月に実施予定の実規模モックアップ試験の中で得られた知見、今後の現場調査で得られた知見や、2023年度から開始する集積作業によって得られた知見等を反映し、現場作業の安全性と確実性を高めて作業を実施する。2024年度以降となる見込みであるが、可能な限り早期に実施していく。



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5月27日

TEPCO

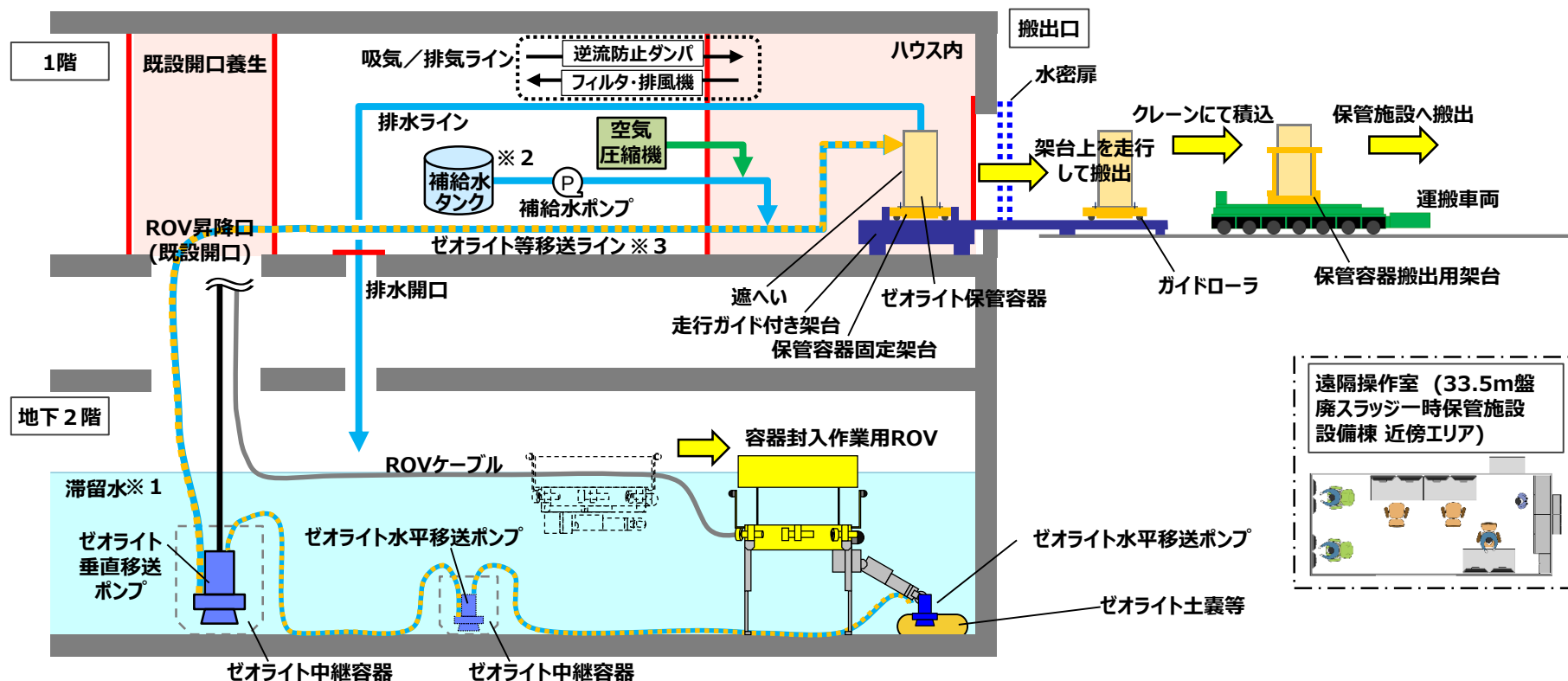
東京電力ホールディングス株式会社

No.	実施回	指摘事項	回答	頁
1	第5回 (2023.2.1)	【閉じ込め機能】 保管容器と耐圧ホースの接続方法を詳細に示すとともに、当該部分をダスト取扱エリアにしない理由及び当該部分におけるダスト飛散防止対策を示すこと。	接続部は、自動閉止機構から手動閉止機構へ変更。保管容器から配管取り外し時に一時的に発生する開口部については、速やかに養生またはキャップをすることで放射性物質を漏えいさせない設計とすることを示す。	P.10
2	第5回 (2023.2.1)	【閉じ込め機能】 換気空調設備について、地下階と地上階、地上階のハウス内とハウス外の空気の流れを整理した上で、その設計の妥当性を示すこと。また、換気空調設備や圧縮空気設備・淡水設備等における逆流防止策（汚染拡大防止策）を示すこと。	換気空調設備について、空気の流れを整理した上で妥当性を示す。換気空調設備及び移送設備における逆流防止対策について示す。	P.4～13, P.28～35
3	第5回 (2023.2.1)	【閉じ込め機能】 活性炭土嚢を地下階に移動させる方法及びその際のダスト飛散防止対策等について示すこと。	第17回技術会合にて回答済み	
4	第5回 (2023.2.1)	【水素対策】 保管容器の水素対策に関して、ベント口の詳細な構造や容量の十分性等について示すこと。	水素対策の妥当性及びベント口の構造について示す。	P.15
5	第5回 (2023.2.1)	【モックアップ試験】 容器封入作業の実現性、保管容器での脱水・脱塩作業の実現性に関し、具体的に実施するモックアップ試験の内容（試験目的・試験項目・試験方法・評価方法・スケジュールなど）を示すこと。また、モックアップ試験をしても不具合が起きた過去の事例（SGTS配管切断等）の知見をどのように反映するか示すこと。	第13回技術会合にて、規制庁からのコメントを反映した実規模モックアップ試験の内容及び、過去の不具合事例に対する本設計への反映内容を示した。配管閉塞時の対応については、今回、No.10にて回答。	P.23～25, 参考資料
6	第9回 (2023.4.25)	【実施体制】 ゼオライト土嚢等の回収作業に関係する部署とその役割を網羅的に整理した上で、業務内容の追加範囲（申請範囲）が妥当であることを示すこと。	今回、ゼオライト土嚢等処理設備において関係する部署とその役割を網羅的に示す。	P.16
7	第9回 (2023.4.25)	【線源強度】 保管容器の線源としてCs134及び137で代表できる根拠を示すこと。また、その際にサンプリング等による不確実さに対する保守性の考え方も示すこと。	分析により検出された他の核種の量と比較して、Cs134、Cs137、Sr90が数桁多いため、線源としては、ゼオライトにおけるCs134、Cs137、Sr90にて代表して評価を行うことが妥当である事を示す。ゼオライトの放射線濃度についても、建屋地下階で滞留水に浸漬された状態であるため、放射能濃度のバラつきは小さいと考えられるが、念のため、回収時におけるサンプル採取・分析について計画を進めている。	P.17～19
8	第9回 (2023.4.25)	【耐震設計】 ゼオライト土嚢等の回収作業に使用する機器を網羅的に抽出した上で、主要機器として記載する範囲や耐震・強度計算を行う機器の範囲を整理すること。また、耐震計算に当たっては、上記の整理や荷重の伝達経路を踏まえ、対象とする機器や評価部位、評価すべき応力分類を適切に抽出すること。	ゼオライト土嚢等の回収作業に使用する機器を網羅的に抽出した上で、主要機器として記載する範囲や耐震・強度計算を行う機器の範囲、及び耐震評価における評価部位を示す。	P.20～22
9	第5回 (2023.2.1)	【その他】 ゼオライト移送後の移送ラインのフラッシングについて、具体的な方法及びその実現性を示すこと。	ゼオライト移送後の移送ラインのフラッシング手法及び要素試験による実現性確認結果について示す。	P.23

No.	実施回	指摘事項	回答	頁
10	第5回 (2023.2.1)	【その他】 移送中のゼオライトの詰まりなど、容器封入作業中に想定されるトラブル及びその対策（作業者の被ばく管理含む）について示すこと。	保守的に実機に比べ厳しい試験においてもゼオライト閉塞は確認されていないが、万が一配管閉塞した場合の対策について示す。	P.24, 25
11	第9回 (2023.4.25)	【その他】 保管容器に許容量が充填されたことを検知する方法を示すこと。	2023.9.11 第13回技術会合にて音叉式又は振動式の検出器を用いることを示した。今回、振動式の検出器を採用したことについて示す。検知性については問題ないことをモックアップの中で確認している。	P.14
12	第9回 (2023.4.25)	【その他】 保管容器を第一施設に一時保管する期間について示すこと	保管容器を第一施設に一時保管する期間について示す。	P.26
13	第5回 (2023.2.1)	【閉じ込め機能】 核燃料施設等の閉じ込め機能に係る基準要求を満足できないものはその理由を明確に示すこと。	使用施設等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈の適合性について整理した。	P.28 ～35
14	第5回 (2023.2.1)	【線源強度】 敷地境界等の線量評価及び従事者の被ばく線量との関係から、取り扱うゼオライト等、汚染水の放射線量等の許容値の有無、許容値を設ける場合にはその値を超えた場合の措置について資料に示して説明すること。	保守的に1.3倍の濃度で各種評価を実施して尤度を持った評価としている。また、万一、回収するゼオライトの線量が想定より高く、保管容器の表面線量が1mSv/hより上昇する可能性がある場合、常時計測している容器表面線量によりその傾向を把握し、1mSv/hを超える前に移送を停止する。	P.13, 17,47 ～55
15	第9回 (2023.4.25)	【閉じ込め機能】 保管容器搬出時におけるハウスの開閉基準（ダスト管理方法を含む）及び搬出方法について示すこと。	開放前にハウス内のダスト濃度を確認し、水密扉を開放しても問題がないことを確認する。また、保管容器を建屋外に搬出する際は、事前に容器の表面汚染密度を確認し、問題がないことを確認する。	P.6
16	第9回 (2023.4.25)	【線源強度】 保管容器の遮へい設計について、評価上用いる放射能の数値及び裕度の考え方を説明すること。	ゼオライトはPMB/HTIの建屋滞留水に浸漬された状態であるため、放射能濃度のバラつきは小さく、各建屋のゼオライト、活性炭は一律の濃度であるものと想定されるが、保守的に1.3倍の濃度で各種評価を実施。	P.17
17	第9回 (2023.4.25)	【その他】 スラリー落下時の飛散率やスラリー静置時の飛散率を用いた評価については、ゼオライトの保管状態を踏まえた妥当性を説明すること。	DOE HANDBOOKの、液体又はスラリー落下時、及び液体静置時の飛散率を設定する。今後、ゼオライトにおける飛散率の確認試験を実施し、上記設定値の保守性について確認する。なお、ゼオライトは湿潤状態で保管されており、また化学的に安定し強度も強いことから、ゼオライトが微粉末になり飛散する可能性は低いと考えられる。	P.27
18	第9回 (2023.4.25)	【その他】 保管容器の最終的な安定保管に向けた検討を行い、回答できる範囲で示すこと。	ゼオライト保管容器は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設）に移送し、今後は大型廃棄物保管庫第二棟が完成次第、順次移設・保管を行うことを計画する。その後の保管計画は今後検討していく。	P.13, 26

1. 容器封入作業の現場作業概要

- プロセス主建屋（以下、PMB）、高温焼却炉建屋（以下、HTI）の最下階に敷設しているゼオライト土嚢・活性炭土嚢（以下、ゼオライト土嚢等）については、地下階に容器封入作業用ROVを投入して回収作業を行う。ゼオライト等はゼオライト水平移送ポンプ及びゼオライト垂直移送ポンプで地上階のゼオライト保管容器まで移送し、充填後は33.5m盤の一時保管施設へ搬出する。
- ゼオライト保管容器内部にはフィルタが装備されており、ゼオライト等の充填後は補給水及び圧縮空気を用いて、脱塩（建屋滞留水に含まれる塩分の除去）、脱水をする。また、ゼオライト等の保管容器への移送作業後、移送ラインはフラッシングを実施する。



ゼオライト土嚢等処理設備の概要図

※1 建屋水位は、建屋最下階（地下2階）における作業性を踏まえ、水位1.5m程度に維持する計画。そのため作業中の建屋は基本的に建屋滞留水の受入、移送を停止し、他方の建屋において建屋滞留水の受入、移送を実施する。

※2 補給水タンク水として、RO処理水（ ^{137}Cs : 10^1 Bq/Lオーダー）もしくはろ過水の使用を計画する。

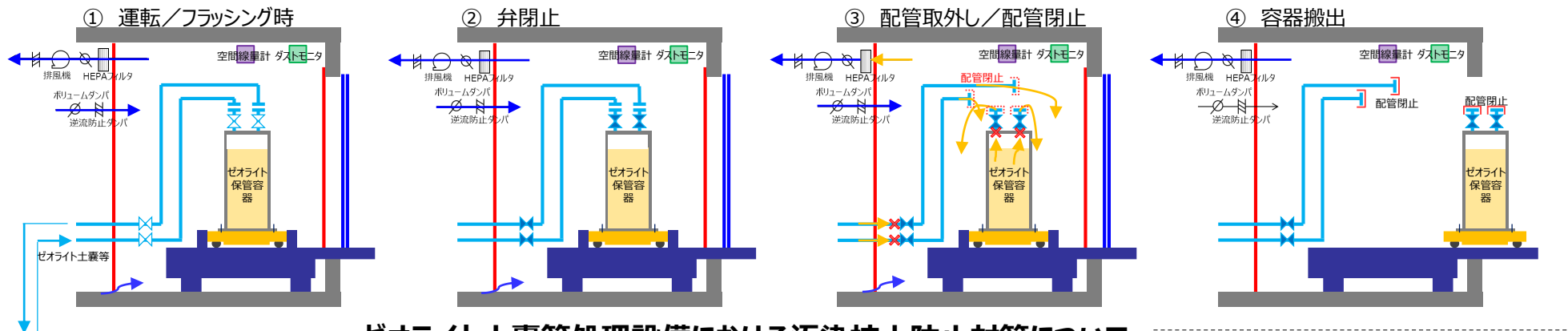
※3 ゼオライト等を移送するポンプにはストレーナがついており、異物が詰まった場合等に備え、逆洗が可能な設備構成とする。

- 使用施設等の位置，構造及び設備の基準への適合性については下記の通り。
 - ゼオライトは砂状の粒子であり，回収作業時は基本的に湿潤状態にあること，また，ゼオライトの移送は系統内で行い，容器からホースを取り外す際もフラッシングを行ったうえで行うことから，ダスト飛散のリスクは小さいと考えられる。
 - また，機器を設置する環境（PMB・HTIの地上1階）については既に汚染された空間であること，地下階には建屋滞留水が存在していることから，使用施設の基準に準じた段階的な気圧管理，並びに汚染レベルに応じた区域管理は困難な環境。
- ⇒ ゼオライトの性状，現在の現場環境を考慮した，放射性物質の拡大防止対策を講じる。

（参考資料）使用施設等の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈の適合性について

指摘事項リスト No.2

- ✓ 換気空調設備について、地下階と地上階、地上階のハウス内とハウス外の空気の流れを整理した上で、その設計の妥当性を示すこと。換気空調設備における逆流防止策（汚染拡大防止策）を示すこと。
- 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）を取り外すが、その前にフラッシングを行い（下図①）、弁を閉止し系統を隔離する（下図②）。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。ハウス内のダスト濃度を監視し、設定した管理値（マスク着用限度を基準に設定予定）を超えた場合は作業を中断する。
 - 保管容器を建屋外に搬出する際は、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し、問題がないことを確認した後、搬出する（下図④）。



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

■ ゼオライト土壌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 容器封入作業

- ハウス内外におけるダスト濃度等を監視し、設定した管理値（マスク着用限度を基準に設定予定）を超えた場合は作業を中断する。

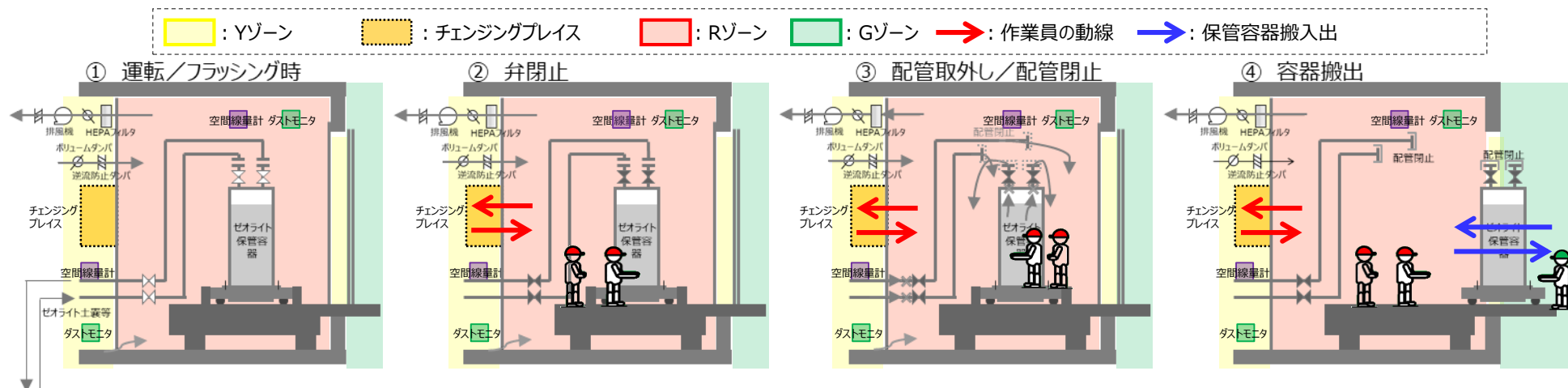
②③ ハウス内作業（耐圧ホースの取り外し）

- ハウス内に作業員が立ち入り、作業を行う前には、ハウス内のダスト濃度を確認し、作業可能なダスト濃度（マスク着用限度を基準に設定）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。ハウスの出入口にはチェンジングプレイスを設ける。
- ハウス内外のダスト濃度を監視し、ダスト濃度の管理値（マスク着用限度を基準に設定）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 保管容器の搬入出作業

- 保管容器の搬入出前にハウス及び水密扉を開放する。開放前にハウス内のダスト濃度を確認し、水密扉を開放しても問題がないことを確認※する。また、保管容器を建屋外に搬出する際は、事前に容器の表面汚染密度を確認し、問題がないことを確認する。

※ 建屋外がマスク着用基準未滿を維持できるよう、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。また、建屋外のダスト濃度も監視し、万が一マスク着用基準を超えた場合は速やかに水密扉を閉止する。



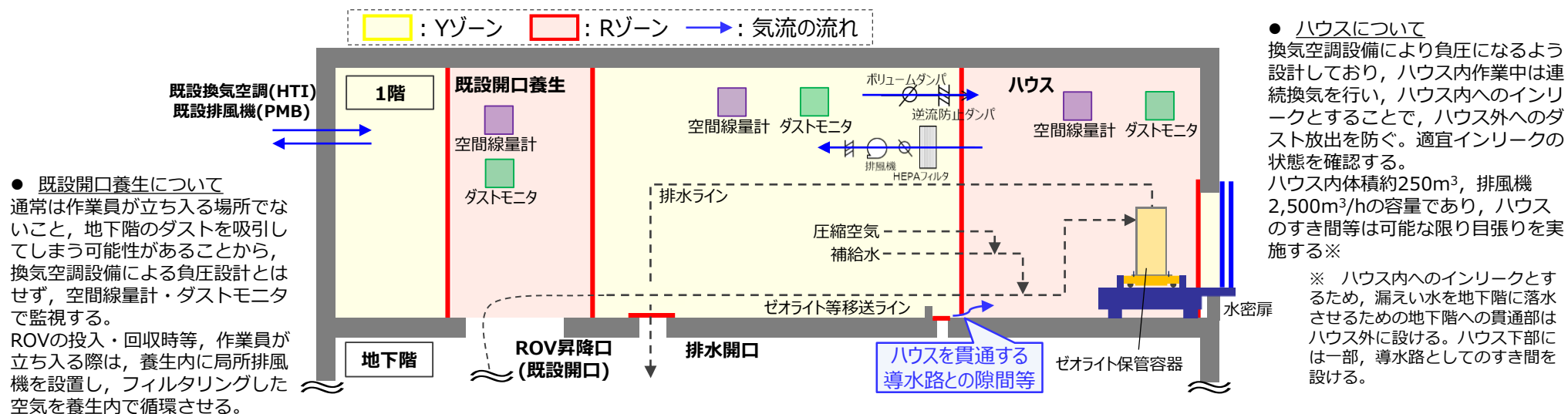
ダスト濃度等の監視状況と作業員の動線について

ハウス内外の気流の流れ

- 保管容器はハウス内（Rゾーン管理）に設置し、ハウス内は換気空調設備により負圧になるよう設計を行う。万が一放射性物質が漏えいした場合においても、換気空調設備により放射性物質をハウス内に閉じ込める設計とする。
 - ハウス内作業中は連続換気を行い、隙間からはハウス内へ気流が流れることで、ハウス外へのダスト放出を防ぐ。可能な限り隙間部の目張り等を行い、ハウス内へ気流が生じることを確認する。
 - ハウス内に作業員が立ち入り、作業を行う前には、ダスト濃度を確認し、作業可能なダスト濃度（全面マスクの着用基準である $2.0 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$ 未満）、および線量であることを確認する。また、保管容器の搬出にあたり、ハウスを開放する際は、ハウス内のダスト濃度を確認し、バックグラウンド（建屋内）と同程度であることを確認する。

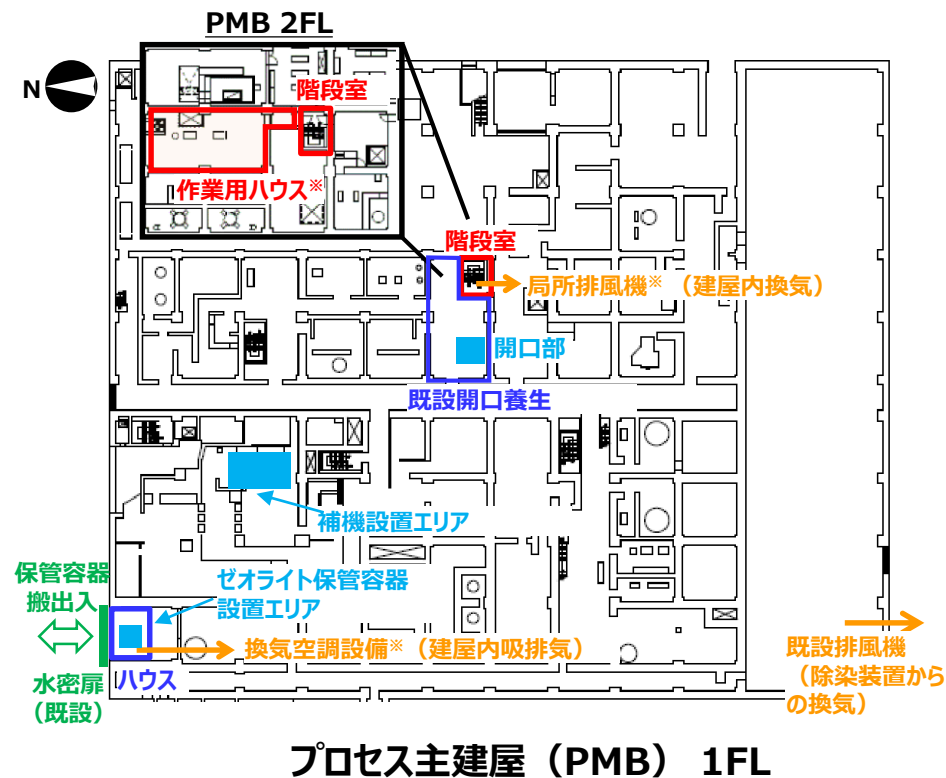
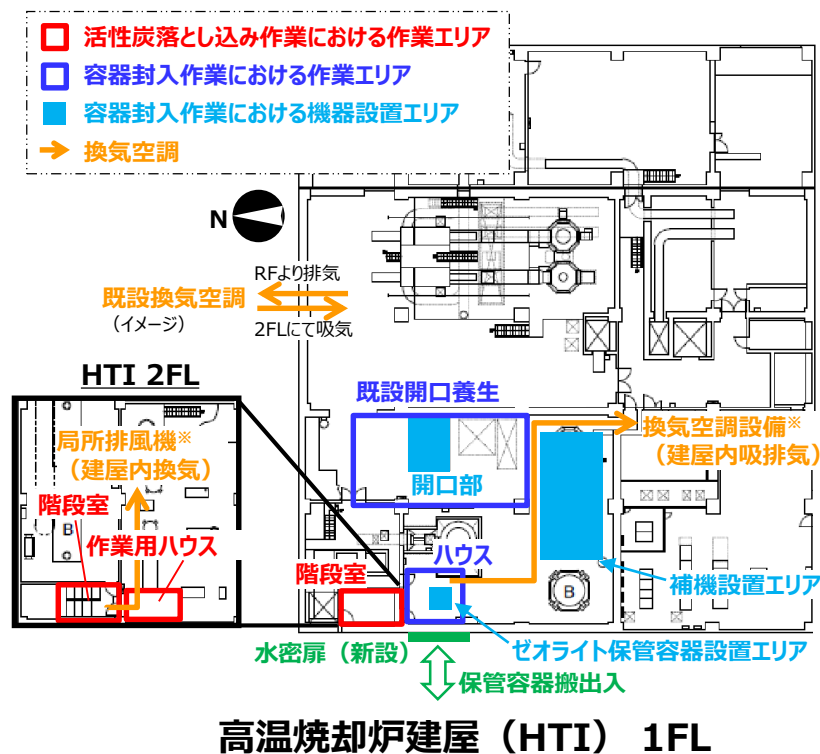
地下階と地上階に気流の流れ（既設開口養生）

- ゼオライト土嚢等の容器封入作業中、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)及び排水開口部はシート等で養生（Rゾーン管理）し、地上階におけるダスト拡大防止対策を講じる。
 - ゼオライト等の脱水時に発生する排水、排気については、ゼオライト保管容器内部、フィルタ及びゼオライト排水配管を通り、滞留水と同様の戻りライン（排水ライン）から地下階へ排出される。地下階及び地上階についてはダストモニタで監視し、地上階への影響がないことを確認する。



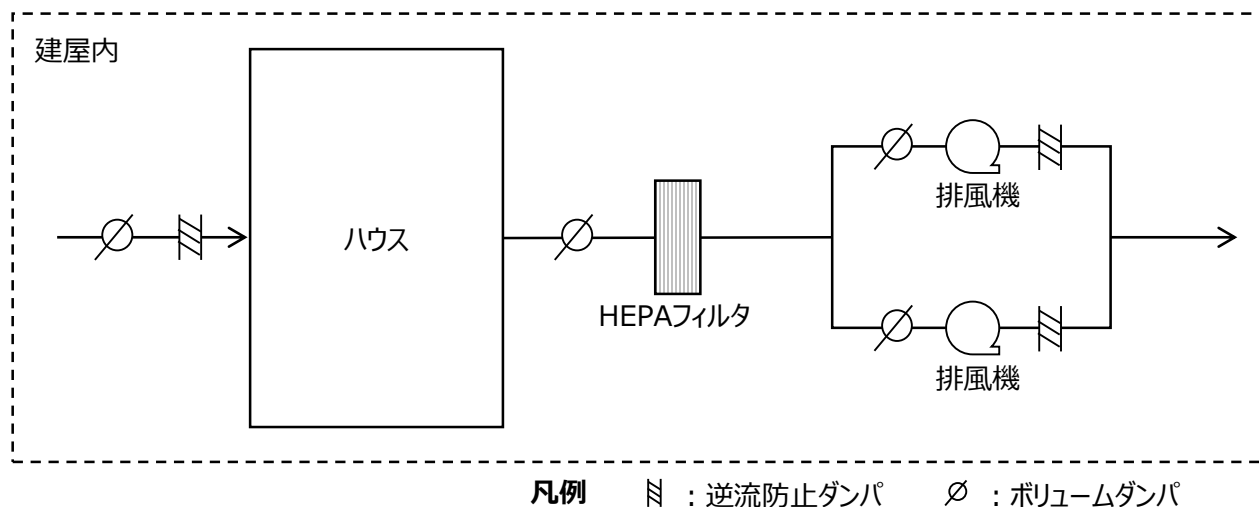
ゼオライト土嚢等処理設備における汚染拡大防止対策について

- 建屋内空調については、HTI/PMBについて、それぞれ既設の空調設備がある。容器封入作業における換気空調設備は吸気と排気をそれぞれ建屋内としており、既設空調設備との干渉はない。
- また、同一建屋内にて活性炭土嚢落とし込み作業を実施予定であるが、作業エリア並びに換気エリアは別となるように計画しているため、ゼオライト土嚢等の容器封入作業の換気空調設備との干渉はない。



※ 具体的なエリア（排気先含む）については今後の検討に応じて適宜見直しを図る。

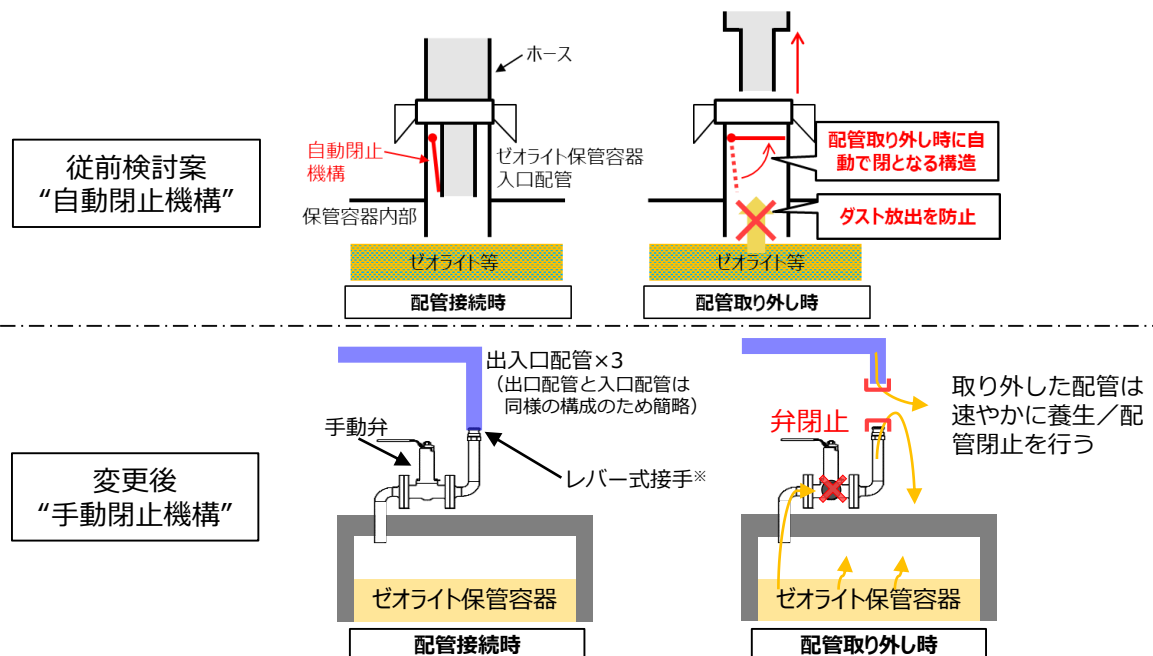
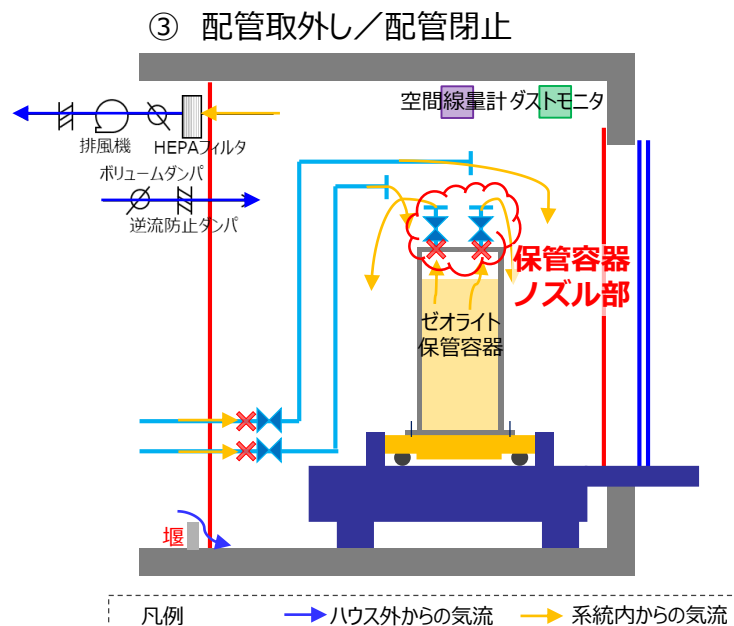
- 汚染拡大防止対策として、ハウス内で放射性物質が漏えいした場合においても、換気空調設備により放射性物質をハウス内に閉じ込める設計とする。
- ハウス内作業中は連続換気を行い、ハウス内へのインリークとすることで、ハウス外へのダスト放出を防ぐ。また、排気はフィルタでろ過し、建屋内に排気する。
- 換気空調設備における非常停止時等の逆流防止策として、吸気ラインに逆流防止ダンパ（グラビティダンパ）を取り付ける。



換気空調設備概要

指摘事項リスト No.1

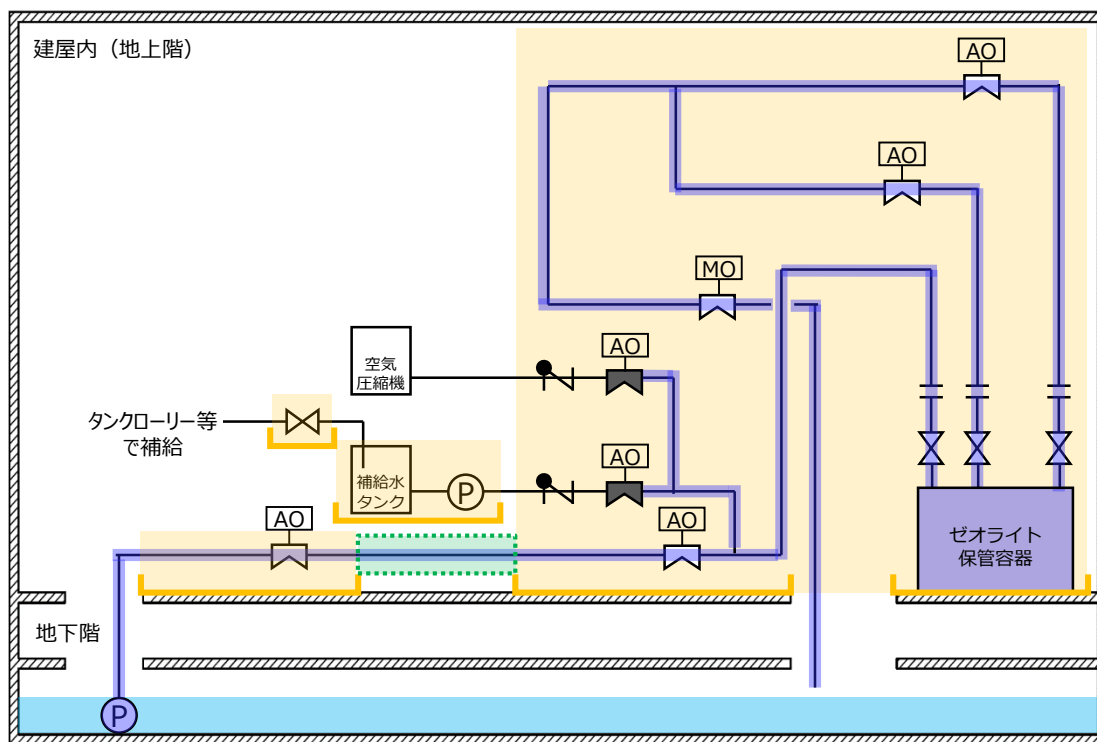
- ✓ 保管容器と耐圧ホースの接続方法を詳細に示すとともに、当該部分をダスト取扱エリアにしない理由及び当該部分におけるダスト飛散防止対策を示すこと。
- 配管取り外し時に、保管容器内部からの汚染を拡大させない対策として、保管容器ノズル部に“自動閉止機構”を取り付ける検討を進めていたが、構造上圧損が高くなることが想定され、ゼオライト等の閉塞リスクが高くなることから、設計を見直すこととした。
- 保管容器ノズル部に弁を設置し、閉操作後に配管を取り外す設計とする。
 - 移送ラインのフラッシング・脱水処理が完了後に、弁にて移送ラインを閉止し、配管取り外し作業を行う。配管取り外し後、速やかに配管開放部は養生、若しくはキャップ等で閉止を行う。なお、万が一、配管内部から残水が零れたとしても、拭き取りに問題はないと想定。
 - 万が一液体が大漏えいした場合においても堰が漏えい拡大を防止し、放射性物質を含む気体が発生した場合においてもハウスと換気空調設備が放射性物質を閉じ込める設計とする。



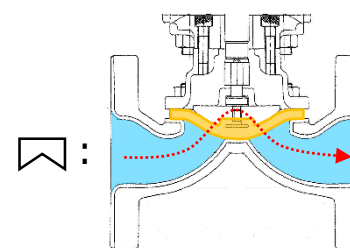
※ レバー式接手については、コネクタロック部の固定機構を有するものを採用する等の耐圧ホース抜け防止対策を講じる。10

指摘事項リスト No.2

- ✓ 圧縮空気設備・淡水設備等における逆流防止策（汚染拡大防止策）を示すこと。
- ゼオライト等の脱塩（建屋滞留水に含まれる塩分の除去）、脱水を実施するにあたり、ゼオライト等移送ラインを用いて圧縮空気及び補給水をゼオライト保管容器へ移送する。それぞれの移送ラインについては逆流を防止する対策として、隔離弁及び逆止弁を設置する。
- 放射性液体の漏えいが発生した場合に備え、移送系統は堰又はトラフ内に設置し、漏えいした放射性液体を地下階へ戻す等の漏えい拡大防止措置を講ずる。

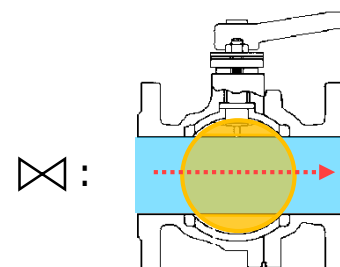


移送系統に用いる隔離弁及び選定理由は下記の通り



ダイヤフラム弁

ゼオライト等移送配管に用いる。圧力損失が極めて小さい構造であり、流路に摺動部がないため、弁開閉に伴うゼオライト等の噛み込みが発生する可能性が極めて小さい。シート材はゴム素材の中で比較的耐放射線性を有するEPDM（エチレンプロピレンゴム）を用いる。運転モードに応じた開閉操作が必要のため、遠隔操作可としている。



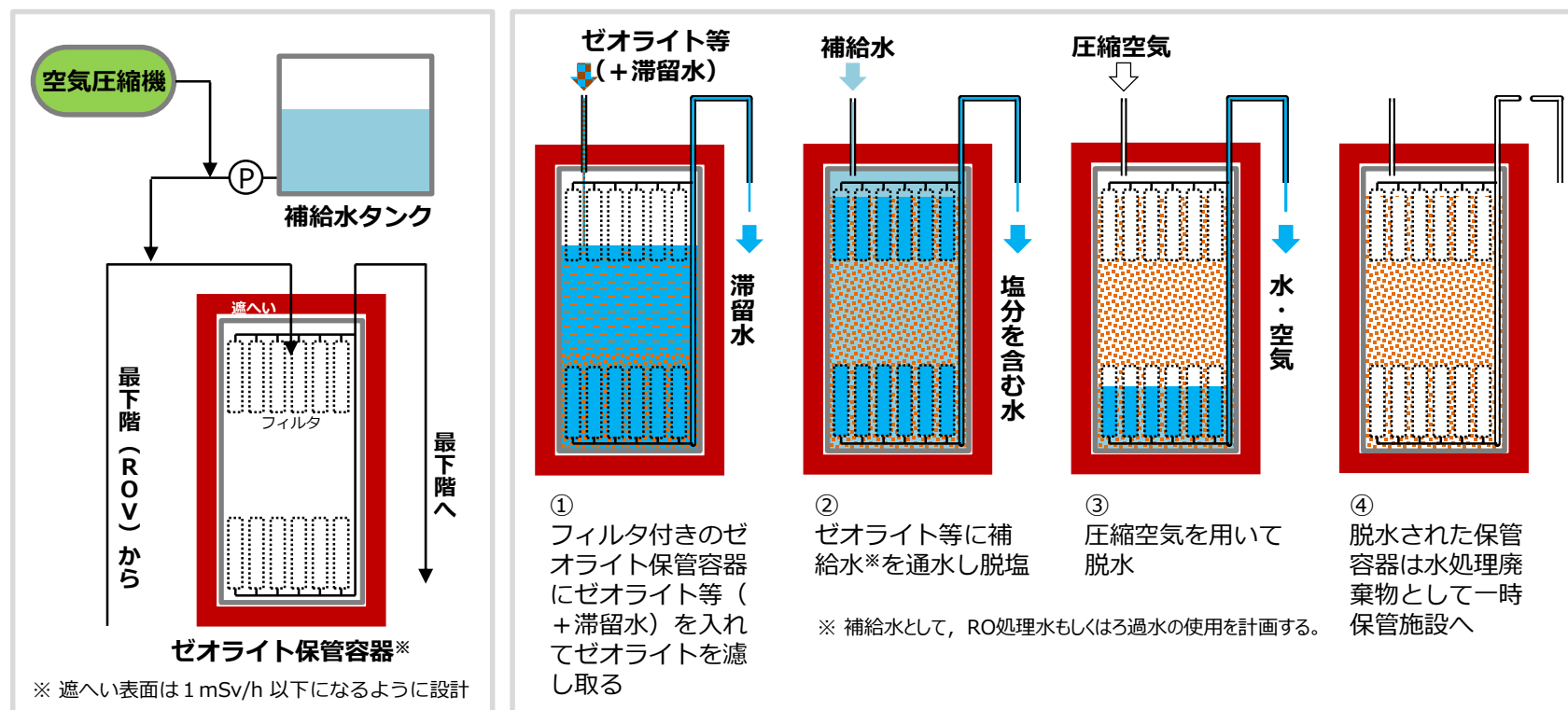
ボール弁

ゼオライト保管容器のノズル（入口／出口／ベント等）に用いる。圧力損失が極めて小さい構造であり、流路部が配管と同様であるため、フラッシング後に弁内部にゼオライト等が残留する可能性が極めて小さい。保管容器については長期間の保管を想定し、弁体が鋼材であるボール弁を用いる。

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
 ■: 漏えい拡大防止堰 又は 受けパン 内の機器等 ■: 配管トラフ 又は漏えい拡大防止堰 内の機器等

運転時の移送系統概要

- ゼオライト等は滞留水と共に地上階へ移送され、フィルタが装備されている遮へい付のゼオライト保管容器に入れて脱水し、ゼオライト等のみが封入された状態とする。
- ゼオライト保管容器に封入した後は補給水を通水して塩分を除去し、圧縮空気等を利用して脱水する。
- 脱塩、脱水後のゼオライト保管容器は建屋外へ搬出し、33.5m盤の第一施設へ輸送する。
- 発生数は35基程度、1本あたり約4.2E14Bq程度の放射性物質質量となる見込み。



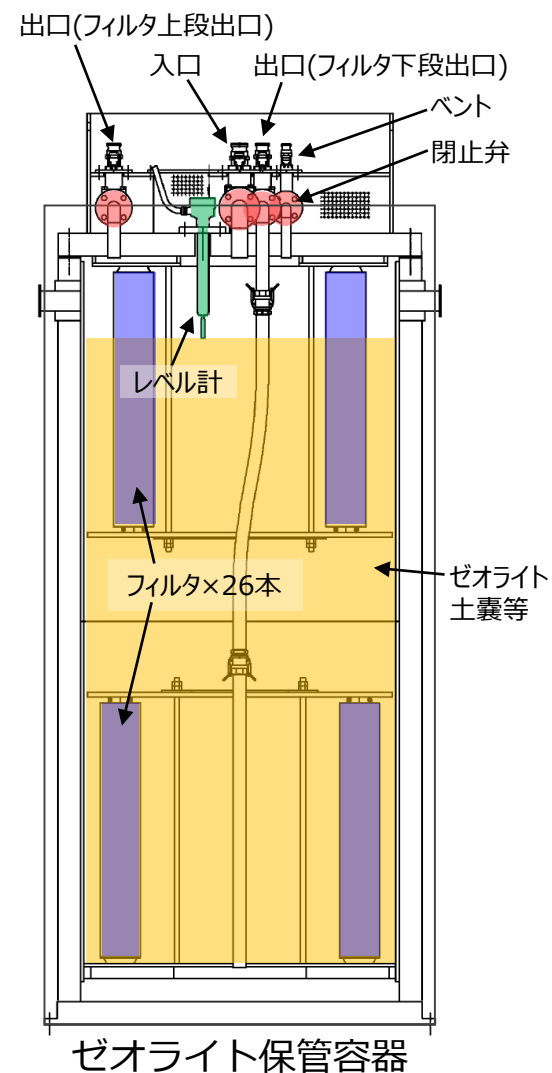
容器封入ユニットの概略系統構成

ゼオライト保管容器の処理工程 (概念図)

■ ゼオライト保管容器の仕様は下記の通り

仕様			
構造	縦置き円筒形	高さ	約2.9m
材質	SUS316L相当 + 鉛遮蔽	直径	約1.4m (鉛胴遮へい65mm厚含む)
重量	約22t (充填時)	容量	約2.2m ³
機能	安全機能	● ゼオライト保管容器内で脱塩・脱水を実施できること ● 漏えい発生防止対策を講じること ✓ 耐腐食性の材料で構成する ✓ 転倒・落下による内容物の漏出を防ぐこと ● ゼオライト保管容器の表面線量率は、作業員の被ばく低減を考慮し、1 mSv/h以下となるように遮へいを設置すること（上面も含めて遮へいを設置し、遮へいの上から操作を実施することで、作業における被ばくの低減が可能とする）※ ● 崩壊熱による過熱を防ぐこと ● 保管時は水素ベントできる構造とし、可燃性ガスの滞留を防ぐこと	
	取り合い	● ボックスカルバート1つに2本収まること ● 既存の水処理二次廃棄物と同一の吊具で扱えること ✓ 内容物を含む容器質量が29.98t以下であること ✓ 既存の水処理二次廃棄物と同様のマテリアルハンドリングを有すること ● 後工程を考慮すること ✓ 既存の水処理二次廃棄物と同一の架台に収納可能であり、大型保管施設第二棟に格納可能であること ✓ バックエンドを考慮し、再度の取り出しが可能であること	

※ 万一、回収するゼオライトの線量が想定より高く、表面線量が1mSv/hより上昇する可能性がある場合、常時計測している容器表面線量によりその傾向を把握し、1mSv/hを超える前に移送を停止する。



指摘事項リスト No.11

✓ 保管容器に許容量が充填されたことを検知する方法を示すこと。

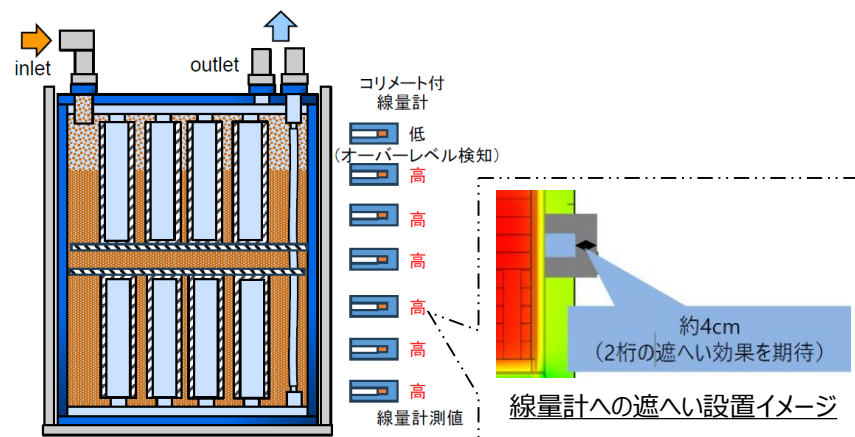
- レベル計は音叉式、振動式を候補としていたが、本作業においては作業性（保管容器取付け時の作業性等）を考慮し、振動式を採用する。
 - ✓ モックアップ試験・要素試験：音叉式、振動式双方ともに問題なく検知できる事を確認している。
 - ✓ 耐放射線性確認試験：双方ともに想定される運転時間（一基当たり一週間程度を想定）中に放射線による故障が発生しないことを確認している。
- レベル計の検知後はゼオライト移送を一定時間後に自動停止し、配管内に残ったゼオライトを保管容器内に移送の上、脱塩・脱水運転に移行する※
- また、補助的な検知手法として、コリメータ付き線量計を併用し、充填途中の状況を確認していく。

※ レベル高警報の発報後、ゼオライト移送の上流から順々に、自動で移送停止するインターロックを設ける。

- ・レベル高警報の発報後、水平移送ポンプによるゼオライト移送は自動停止する。
- ・垂直移送ポンプにより一定時間ゼオライト移送を継続し、系統内に残ったゼオライトを保管容器内に移送した後に、垂直移送ポンプによる移送は自動停止する。

方式	機能	概要図
振動式	センサー部である振動ロッドを微振動させ、その振動ロッドが液中に沈殿した堆積物に触れると振動が変化することで、液中の沈殿物を検出する。	

ゼオライト保管容器のレベル計概要

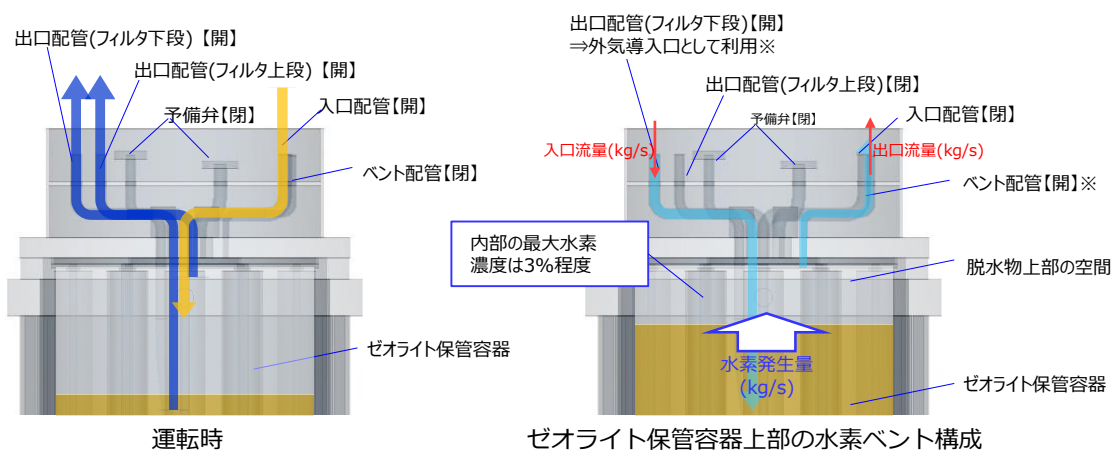


コリメータ付き線量計の概要

指摘事項リスト No.5

✓ 保管容器の水素対策に関して、ベント口の詳細な構造や容量の十分性等について示すこと。

- 脱水物から発生した水素を容器外に排出するための水素ベント流路を設ける。保管時は水素滞留を防止するため、ベント弁および外気導入流路となる弁を開とする。
- 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 H (mol/s)は次式により算出する。なお、水が吸収するエネルギーを算出する際に用いた吸着材に含まれる放射能濃度は、ゼオライト分析結果に保守的に1.3倍の濃度、全放出エネルギーが全て水に吸収されると仮定した評価を実施する。

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

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 : 3.81×10^{18} (100eV/s)

A : アボガドロ数 (6.02×10^{23} 個/mol)

- 容器内の水素濃度(モル分率)は以下で求められる。
水素モル分率(mol%)
= {水素発生量(kg/s)/水素密度(kg/m³)} / [{水素発生量(kg/s)/水素密度(kg/m³)} + {換気流量(kg/s)/空気密度(kg/m³)}]
- 質量保存則より、換気流量は以下で表される。
換気流量(kg/s) = 入口流量(kg/s) = 出口流量(kg/s) - 水素発生量(kg/s)
- エネルギー保存則により、圧力の関係は以下で表される。
出口圧[全圧]P2(Pa) - 入口圧[全圧]P1(Pa) = 単位面積当たりの浮力F(Pa) - 配管圧損 ΔP (Pa)
- これらの式から換気流量を求め、水素濃度を算出する。

指摘事項リスト No.6

- ✓ ゼオライト土嚢等の回収作業に関係する部署とその役割を網羅的に整理した上で、業務内容の追加範囲（申請範囲）が妥当であることを示すこと。

- ゼオライト土嚢等の回収作業に関係する部署とその役割は下記の通りであり、実施計画の変更申請を進めて行く。

役割		部署	業務内容
プロジェクト管理		汚染水対策プログラム部	ゼオライト土嚢等処理設備 のプロジェクトの計画及び管理に関する業務
設計	機械	地下水対策設備グループ	ゼオライト土嚢等処理設備 に係る機械設備の設計に関する業務
	電気	電気技術グループ	電気設備の設計に関する業務
	計装	計装技術グループ	計装設備の設計に関する業務
建設・設置	機械	地下水対策設備グループ	ゼオライト土嚢等処理設備 に係る機械設備の建設・設置に関する業務
	電気	電気設備建設グループ	電気設備の建設・設置に関する業務
	計装	地下水対策設備グループ	計装設備の建設・設置に関する業務
運転管理		地下水対策設備グループ	ゼオライト土嚢等処理設備に係る運転管理に関する業務
保守管理	機械	地下水対策設備グループ	ゼオライト土嚢等処理設備に係る保守管理に関する業務
	一時保管	多核種除去設備グループ	汚染水処理設備等に係る保守管理に関する業務

※ 水処理センター設置に係わる実施計画変更申請を反映。今後、ゼオライト土嚢等処理設備に関し補正申請を計画する。

指摘事項リスト No.7

- ✓ 保管容器の線源としてCs134 及び137 で代表できる根拠を示すこと。また、その際にサンプリング等による不確実さに対する保守性の考え方も示すこと。

- 保管容器の線源としては、ゼオライトにおけるCs-134 , Cs-137 , Sr-90にて代表して評価を行う。
- 耐震クラスについては、Cs-134 , Cs-137, Sr-90で代表した事故時の敷地境界線量影響の評価結果より、耐震クラス分類は、『Bクラス』としている。
 - 通常時の敷地線量影響については、現在補正申請に向けてSr-90を加味した評価を進めているが、線量評価への影響は濃度が高いCs-137の影響が支配的であることから、評価値への影響は少ないと見込んでいる。
 - 保管容器については表面線量率1mSv/hに、移送設備等の機器類については1 m距離の線量当量率が1mSv/h以下になるよう遮へいを設ける。
 - ゼオライト等の分析結果については下記に示す。検出されている核種の中で、Cs-134 , Cs-137, Sr-90の分析結果が数桁以上高いことから、これらを代表核種として評価を行う。また、比較的高エネルギーのγ線を放出するCo-60についてはCs-137に比べ、ゼオライトで6桁小さいオーダーであることから、代表核種を用いて計算した結果にCo-60の影響はほぼ無いと考えられる。^{※1}
 - 活性炭については、濃度のオーダーがゼオライトのCs-137に比べ3桁程度低く、線量評価への影響は小さいため、ゼオライトを代表として、公衆被ばく評価を実施する。
 - ゼオライトはPMB/HTIの建屋滞留水に浸漬された状態であるため、放射能濃度のバラつきは小さく、各建屋のゼオライト、活性炭は一樣の濃度であるものと想定されるが、保守的に1.3倍^{※2}の濃度で各種評価を実施。なお、回収時に保管容器内部等からのサンプル採取・分析を行い、設計条件を超える物でないことを確認していく。

※1 γ線のエネルギーはCo-60 (1.3MeV) はCs-137 (0.66MeV) より大きいものの、実効線量透過率(鉄1cm)の差は約1.1倍程度であることから、エネルギーの違いによる線量上昇分を考慮してもCo-60の線量率はCs-137の5桁以上小さい値になるため、代表核種を用いて計算した結果にCo-60の影響はほぼ無いと考えられる。

※2 サンプリングデータが1点のみであることによる放射能濃度の不確かさ、設置量の不確かさ、天然の鉱物である事による性質のバラツキを考慮して設定

ゼオライト・活性炭の放射性物質の分析結果

試料	放射能濃度[Bq/g]					
	Mn-54	Co-60	Nb-94	Cs-134	Cs-137	Eu-152
ゼオライト	$<7 \times 10^2$	$<3 \times 10^2$	$<3 \times 10^2$	8.5×10^6	1.4×10^8	$<2 \times 10^3$
活性炭	$<5 \times 10^1$	1.0×10^3	$<2 \times 10^1$	3.3×10^4	5.4×10^5	$<3 \times 10^1$
試料	放射能濃度[Bq/g]					
	Sb-125	Sr-90	Pu-238	Pu-239+Pu240	Am-241	Cm-244
ゼオライト	$<4 \times 10^3$	1.1×10^7	$<5 \times 10^{-1}$	$<5 \times 10^{-1}$	2.4×10^{-1}	$<6 \times 10^{-1}$
活性炭	7.9×10^2	5.8×10^5	1.6×10^0	5.2×10^{-1}	5.6×10^0	1.8×10^0

- ゼオライト等の放射性物質質量は、主たる核種のCs-134, Cs-137, Sr-90について、以下の計算式で算出している。
[各建屋の放射性物質質量] = [各建屋の設置量] × [各建屋のゼオライト・活性炭放射能濃度]
- ゼオライトはPMB/HTIの建屋滞留水に浸漬された状態であるため、放射能濃度のバラつきは小さく、各建屋のゼオライト、活性炭は一律の濃度であるものと想定されるが、保守的に1.3倍の濃度で各種評価を実施。なお、回収時に保管容器内部等からのサンプル採取・分析を行い、設計条件を超える物でないことを確認していく。
- 保管容器（容量2.2m³）の発生数については、ゼオライト土嚢等の全量約64m³に、建屋スラッジ等不純物の影響を踏まえ、発生数は35基程度とし、1本あたり最大で約4.2E14Bq程度の放射性物質質量となる見込み。

評価に使用した放射能濃度と放射性物質質量

建屋	種類	放射性物質質量 [Bq] (Cs-134,Cs-137,Sr-90)	設置量 [t] ※ 1	体積 [m ³] ※ 2	評価に使用した放射能濃度(分析結果×1.3)[Bq/g] ※ 3		
					Cs-134	Cs-137	Sr-90
PMB	ゼオライト	3.3E+15	16	18	1.1E+07	1.8E+08	1.4E+07
	活性炭	1.2E+13	8	18	4.3E+04	7.0E+05	7.5E+05
HTI	ゼオライト	2.1E+15	10	11	PMB同等と仮定	PMB同等と仮定	PMB同等と仮定
	活性炭	1.1E+13	7.5	17	PMB同等と仮定	PMB同等と仮定	PMB同等と仮定
合計		5.4E+15	41.5	64	-	-	-

※ 1 設置量は設置時の記録の数値（乾燥状態）としている。

※ 2 比重としてゼオライトは0.89～0.91g/ml、活性炭は0.44～0.56g/mlとしている。

※ 3 分析データは脱水状態の分析結果に保守的に1.3倍としている。

- ゼオライトのインベントリについては、PMB地下階に設置されたゼオライト土嚢・活性炭土嚢についてサンプリングした際の値を用いるものの、サンプリングデータが1点のみであることによる放射能濃度の不確かさ、設置量の不確かさ、天然の鉱物であることによる性質のバラツキを考慮して設定する。

- 放射能濃度の不確かさ

- ✓ PMB/HTIの建屋滞留水に浸漬された状態であるため、放射能濃度のバラつきは小さく、各建屋のゼオライト、活性炭は一律の濃度であるものと想定されるものの、分析結果が1点のみであること
- ✓ 分析結果の放射能濃度に不確かさを有する（主要核種について10%程度）

- 放射能濃度（分析結果）

分析項目	ゼオライト[Bq/g]（採取日:2020/2/12）	活性炭[Bq/g]（採取日:2020/2/27）
Cs-134	$(8.5 \pm 0.1) \times 10^6$	$(3.3 \pm 0.1) \times 10^4$
Cs-137	$(1.4 \pm 0.1) \times 10^8$	$(5.4 \pm 0.1) \times 10^5$
Sr-90	$(1.1 \pm 0.1) \times 10^7$	$(5.8 \pm 0.1) \times 10^5$

- 設置量の不確かさ

- ✓ 震災対応時の設置記録を元に計画していることから、設置量の不確かさを有する

- 天然の鉱物であることによる性質のバラツキ

- ✓ 天然鉱物由来の材質であることから、充填密度については0.89～0.91g/mlとばらつきを有する（数%程度）

- 放射能濃度，設置量，比重にそれぞれ不確かさを有することを踏まえ，保守的に放射能濃度に30%を加算して評価を行う。

指摘事項リスト No.8 (1/2)

- ✓ ゼオライト土嚢等の回収作業に使用する機器を網羅的に抽出した上で、主要機器として記載する範囲や耐震・強度計算を行う機器の範囲を整理すること。
- ゼオライト土嚢等の回収作業に使用する機器については下記の通りであり、耐震重要度分類Bクラス機器及びクラス3機器について、それぞれ耐震評価、強度評価を行う。
 - 耐震重要度分類Bクラス機器について、下位のクラスに属する施設の波及的影響によって安全機能を損なわないように設計する。

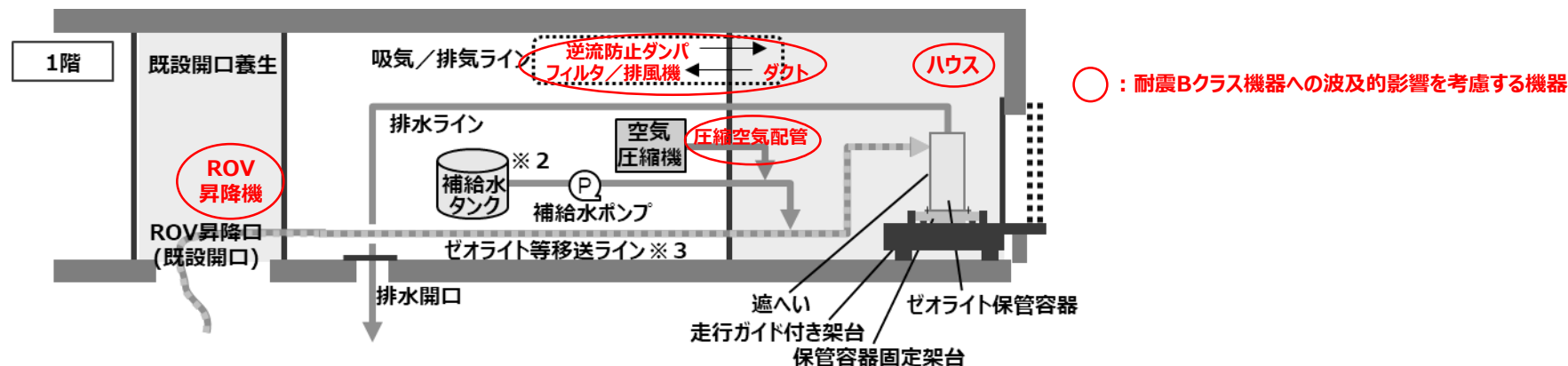
機器	耐震重要度分類	機器クラス
ゼオライト垂直移送ポンプ	B	クラス3相当
ゼオライト保管容器	B	クラス3相当
ゼオライト移送配管（耐圧ホース）	B	—
ゼオライト移送配管（鋼管）	B	クラス3相当
ゼオライト移送配管（ポリエチレン管）	B	—
ゼオライト排水配管（耐圧ホース）	B	—
ゼオライト排水配管（鋼管）	B	クラス3相当
補給水ポンプ	B	クラス3相当
補給水タンク	B	クラス3相当
補給水配管（鋼管）	B	クラス3相当
補給水配管（ポリエチレン管）	B	—
排風機	C	—
フィルタユニット	C	—
ダクト	C	—
ハウス	C	—
電動弁・手動弁・空気作動弁	B	クラス3相当
堰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

※ 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
- ・ 圧縮空気配管
- ・ 空気圧縮機
- ・ ROV昇降機

- 耐震重要度分類Bクラス機器については下位のクラスに属する施設の波及的影響によって安全機能を損なわないよう、下記の通り対応する。

耐震Bクラス機器	波及的影響を考慮する 耐震下位のクラスに属する機器	対応方針
ゼオライト保管容器 ゼオライト排水配管 補給水配管 電動弁・手動弁	ハウス	比較的軽量となるよう不燃シートと鋼管フレームにて構成するため、波及的影響は及ぼさない。
	換気空調設備 (排風機・フィルタユニット・ダクト等)	落下時にBクラス機器類に影響を及ぼさないよう配置を考慮、又はBクラス機器類にカバーを設ける等の対応を講じるため、波及的影響は及ぼさない。
	圧縮空気配管	落下時にBクラス機器類に影響を及ぼさないよう配置を考慮、又はBクラス機器類にカバーを設ける等の対応を講じるため、波及的影響は及ぼさない。Bクラスのゼオライト移送配管と接続しているが、隔離弁まではBクラス配管としており、その外側は下位クラスとして設計している。そのため、下位クラスの圧縮空気配管が破断しても、隔離弁で隔離されるため放射性物質が漏えいすることは無い。
ゼオライト移送配管	ハウス	同上
	換気空調設備	
	圧縮空気配管	
	ROV昇降機	転倒しないようワイヤー等で固定するため、波及的影響は及ぼさない。



ゼオライト土壌等処理設備の概要図

指摘事項リスト No.8 (2/2)

- ✓ 耐震計算に当たっては、上記の整理や荷重の伝達経路を踏まえ、対象とする機器や評価部位、評価すべき応力分類を適切に抽出すること。

- 主要な機器の耐震評価における構造計画は下記の通りであり、胴板、取付ボルト、及び基礎ボルトについて許容応力以下に収まっていることを確認する。

主 要 区 分	計 画 の 概 要		概 略 構 造 図	主要な対象機器	評価部材	評価応力または荷重
	基礎・支持構造	主体構造				
(1) 平底たて置円筒形容器	床面に設けた架台に、底板を取付ボルトで固定する。架台は基礎ボルトにて床に固定する。	下面に底板を有するたて置円筒形容器は、基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで、基礎又は架台については剛となるように設計する。		補給水タンク ゼオライト保管容器	胴板 取付ボルト 基礎ボルト	- 一次一般膜 - 一次応力（膜+曲げ） - 圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価） - 引張り - せん断 - 引張り - せん断
(2) 横軸うず巻ポンプ	床面に設けた架台に、ポンプベースを取付ボルトで固定する。架台は基礎ボルトにて床に固定する。	ポンプベースに固定されたポンプは、基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで、基礎又は架台については剛となるように設計する。		補給水ポンプ	取付ボルト 基礎ボルト	- 引張り - せん断 - 引張り - せん断

指摘事項リスト No.9

- ✓ ゼオライト移送後の移送ラインのフラッシングについて、具体的な方法及びその実現性を示すこと。
- ゼオライト等移送配管については、ゼオライト移送後に適宜、建屋滞留水のみを移送することで配管フラッシングを実施する。ゼオライト保管容器充填後に、保管容器とゼオライト移送配管の接続部の取り外し時に、ゼオライト移送配管内部から放射性物質の流出を防止するため、補給水を用い、移送配管のフラッシングを実施する。なお、モックアップ時に接続部にゼオライト等が残存しないことを確認済。
 - 設備の緊急停止時など実機環境を保守的に想定した条件※でフラッシング可否を確認し、配管内に堆積したゼオライト等の廃棄物をフラッシング可能であることを確認した。



ゼオライト



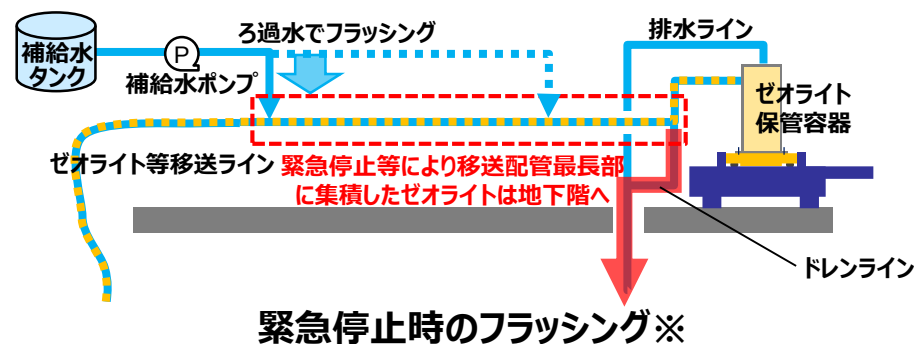
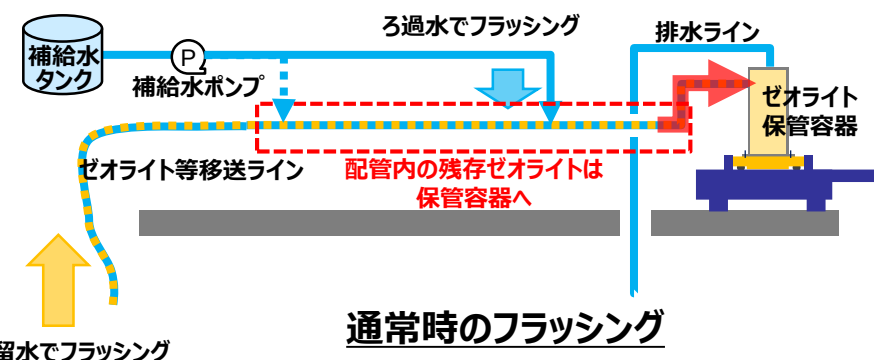
活性炭



ゼオライト+不純物（模擬スラッジ・土壌袋）



フラッシング後



※ ゼオライト移送配管中で最長の75mにゼオライトが沈降し、全てが一箇所に集積された状態から、ドレンラインを用いてフラッシングするケースを想定（8kgゼオライトをフラッシング）。フラッシングに用いる補給水の供給ラインは非常時用のラインを用いる。

指摘事項リスト No.10

- ✓ 移送中のゼオライトの詰まりなど、容器封入作業中に想定されるトラブル及びその対策（作業者の被ばく管理含む）について示すこと。
- 容器封入作業中に想定されるトラブル等に対し、既存の滞留水移送装置または汚染水処理設備等と同様の漏洩防止対策、漏えい拡大防止対策及び被ばく低減対策を講じる。
- 本設備においてはゼオライトと建屋滞留水の固液二相流を系統内で移送することから、想定されるトラブルの内、特に厳しいと考えられる以下のトラブルについて検討を実施した。
 - 配管閉塞時の対応
 - ： 次頁参照
 - 漏えい時に堰及びトラフ内に残置されるゼオライトの対応
 - ： 上記対応におけるゼオライトの地下階までの洗い流し作業と同様の対応方針とする。

指摘事項リスト No.10

- ✓ 移送中のゼオライトの詰まりなど、容器封入作業中に想定されるトラブル及びその対策（作業者の被ばく管理含む）について示すこと。
- ゼオライト等の不純物を含む移送試験において、通常の移送濃度（3wt%程度）において、これまで配管閉塞事象は確認されていない。また、故意にゼオライトの移送濃度を増加（ゼオライト移送ポンプを堆積ゼオライト中に設置し移送：平均移送濃度10wt%程度）させた場合においても、配管閉塞事象は確認されなかった。
- 万が一配管閉塞した場合、遠隔ロボットにて配管を加振する等、閉塞を解消する対策を準備する。それでも閉塞が解消されない場合は、遠隔ロボットを用いてトラフ内で配管を切断、除去する。切除後、遠隔ロボットを用いて洗浄水（ろ過水等）を堰内に移送し、切除に伴い配管から漏えいしたゼオライト土嚢等を堰内の貫通孔より地下2階へ洗い流す。洗い流して以降の作業は、線源が取り除かれた状況であるため、人力で配管交換を実施し復旧することが可能。
- 配管の切断～洗い流しまでのモックアップについては現在計画中。

ゼオライト等移送試験

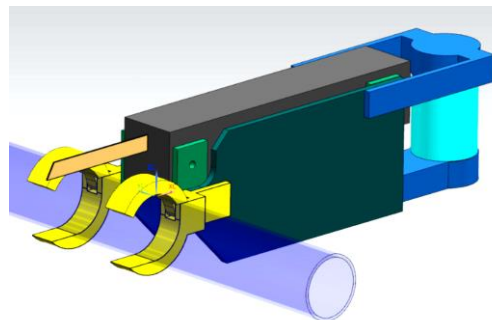


移送試験（平均移送濃度 3 wt%程度）



移送試験（平均移送濃度 10 wt%程度）

ゼオライト等閉塞時の対応方針



閉塞対応配管切断治具



<https://www.flir.jp/>
遠隔対応用ロボット（例）

指摘事項リスト No.12

✓ 保管容器を第一施設に一時保管する期間について示すこと。

- ゼオライト保管容器は、津波による流出リスクを確実に低減するためにも、速やかに高台エリア（T.P.33.5m盤）の使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設）に移送する。
なお、使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設）には、セシウム吸着装置吸着塔等を格納しており、同型のゼオライト保管容器の想定発生基数である35基程度について保管先を確保している。
- 第一施設への保管は一時保管として、**今後は大型廃棄物保管庫第二棟が完成次第、順次移設・保管を行うことを計画**する。一時的な第一施設への保管はゼオライト土嚢等処理設備の設備運転開始から8年以内とする。
 - 大型保管庫第二棟への水処理二次廃棄物の屋内保管移行完了は2033年度までに計画する。大型廃棄物保管庫第二棟の竣工後、保管順序は他施設内に保管されている吸着塔類との優先度を考慮して格納する。
- なお、現在、第一施設は、側面線量率が2 mSv/h以上のセシウム吸着装置吸着塔を満載した状態にて敷地境界線量評価を行い、実施計画の認可を頂いている。ゼオライト保管容器については、表面線量が1 mSv/h程度以下となるように遮へいを実施した上で、第一施設に保管することで、敷地境界線量への影響は生じないようにする。

指摘事項リスト No.17

- ✓ スラリー落下時の飛散率やスラリー静置時の飛散率を用いた評価については、ゼオライトの保管状態を踏まえた妥当性を説明すること。
- 事故時における漏えいしたゼオライトによる被ばく評価を実施するために（事故時の被ばく影響の大きさを把握するために）、「DOE HANDBOOK※¹（以降、DOE HDBK）」の、液体又はスラリー落下時、及び液体静置時の飛散率を設定する※²。
- 今後、ゼオライトにおける飛散率の確認試験を実施し、上記考え方の保守性について確認する。
- なお以下の通り、事故時におけるゼオライトからのダスト飛散リスクは低いと考えられる。
 - ✓ 保管容器転倒時に内部からこぼれるゼオライトは、小石程度（粒径0.5～3mm程度）の大きさであり、また湿潤状態で保管されているため、気中分散性が低いと考えられること。
 - ✓ ゼオライトは化学的に安定し強度も強いことから、ゼオライト自体が微粉末になり飛散する可能性は低いと考えられること。

※ 1 Department of Energy “DOE HANDBOOK AIRBORNE RELEASE FRACTIONS/RATES AND RESPIRABLE FRACTIONS FOR NONREACTOR NUCLEAR FACILITIES Volume I-Analysis of Experimental Data”, DOE-HDBK-3010-94, December, 1994

※ 2 落下時の飛散率：床面衝突時におけるダスト飛散率として液体又はスラリーが3m落下時の飛散率 $5.0\text{E-}05[-]$ （DOE HDBK, Section 3.2.3.2）を設定する。実際の事故時においては、ゼオライトは保管容器転倒後にノズル部より漏えいすることが考えられる。

静置時の飛散率：屋内における堆積物が舞い上がる場合（風速2m/s）のダスト飛散率として、液体静置時の飛散率 $4.0\text{E-}07[1/h]$ （DOE HDBK, Section 3.2.4.5）を設定する。実際の事故時においては、ゼオライトは保管容器からの漏えい後、建屋内に堆積することが考えられる。

- 使用施設等の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈の適合性について示す。

使用施設等の位置，構造及び設備の基準に関する規則及び解釈	対応方針	適合性
使用施設等の位置，構造及び設備の基準に関する規則 第2条(閉じ込めの機能) ・使用施設等は，放射性物質を限定された区域に適切に閉じ込めることができるものでなければならない。 【解釈】 1 第2条に規定する「限定された区域に適切に閉じ込める」とは，放射性物質を系統又は機器に閉じ込めること，又は放射性物質が漏えいした場合においても，フード，セル等若しくは構築物の管理区域内に保持することをいう。上記の「セル等」とは，セル，グローブボックスその他の気密設備のことをいう。	・放射性物質は，系統又は機器に閉じ込める設計としており，ゼオライト土嚢等の移送は建屋内かつ系統内で行う計画であり，開放状態でゼオライト土嚢等を直接扱わない。 ・一時的に保管容器から移送配管（耐圧ホース）を取り外す作業については，汚染拡大防止対策として，ハウス内で作業を行う。事前にフラッシングを行い，砂状の鉱物であるゼオライトを移送配管内部から除去することで，漏えいリスクを低減する。配管取り外し後，速やかに配管開放部は養生，若しくはキャップ等で閉止を行う。放射性物質が漏えいした場合においても，換気空調設備により放射性物質をハウス内に閉じ込める設計とする。保管容器を建屋外に搬出する際におけるハウス開時については，事前にハウス内のダスト濃度をモニタリングにより監視し，有意な変動あるいは設定した値を超えた場合は作業を中断する。	ゼオライト土嚢等 容器封入作業時 ○ ゼオライト保管容器から 移送配管の取外し時 △

使用施設等の位置，構造及び設備の基準に関する規則及び解釈	対応方針	適合性
使用施設等の位置，構造及び設備の基準に関する規則 第2条(閉じ込めの機能) 2 使用施設等について，第2条に規定する「閉じ込めることができるもの」とは，以下の各号に掲げるものをいう。 一 放射性物質を収納する系統又は機器は，放射性物質の漏えいを防止できる設計であること。また，内包する物質の種類に応じて適切な腐食対策が講じられていること。 二 放射性物質が漏えいした場合に，その漏えいを確認することができること。また，漏えいが確認された場合，その拡大を防止することができること。 三 放射性物質を気体又は液体で扱う系統及び機器は，放射性物質の逆流により，放射性物質が拡散しない設計であること。換気設備においても同様とする。	・放射性物質は，配管等の機器類において閉じ込める設計とし，腐食による漏えい発生防止のため，性状，供用期間等に応じて，炭素鋼，ステンレス鋼，ポリエチレン材，耐圧ホース等を採用する。 ・ゼオライト土嚢等を移送する各エリアは空間線量計，漏えい検知器，監視カメラにより漏えいの早期検知，漏えい拡大防止堰による拡大防止を行うことができる設計とする。 ・建屋滞留水を液体状で取り扱う系統および機器には適宜逆止弁を設置する。また，換気空調設備にも適宜逆流防止ダンパを設置することで逆流を防止する設計とする。	○ ○ ○

使用施設等の位置，構造及び設備の基準に関する規則及び解釈	対応方針	適合性
四 セル等の内部を負圧状態に保つ必要がある場合，当該セル等の内部は常時負圧に保たれていること。	・ハウス内について，換気空調設備により負圧になるよう設計を行う。ハウス内作業中は連続換気を行い，ハウス内へのインリークとすることで，ハウス外へのダスト放出を防ぐ。ハウス内の換気設備については，多重化し，常用2系統から受電可能な構成とする。必要に応じ隙間部の目張り等を行い，ハウス内の向きに気流が生じることを確認する。保管容器を建屋外に搬出する際におけるハウス開時については，事前にハウス内のダスト濃度をモニタリングにより監視し，有意な変動あるいは設定した値を超えた場合は作業を中断する。	△
五 フードは，局所排気設備により開口部の風速を維持できるものであること。	・フードを使用した閉じ込めを計画していないため該当しない。	－
六 使用施設の内部の壁，床その他核燃料物質等によって汚染されるおそれのある部分は，平滑であり，突起物，くぼみ及び仕上材の目地等のすきまの少ない構造とすること	・ハウス内における震災前から設置している不要な既設機器等については可能な限り撤去し，内部の壁，床等の汚染されるおそれのある箇所については養生等を行う。	△
七 使用施設の内部の壁，床その他核燃料物質等によって汚染されるおそれのある部分の表面は，気体又は液体が浸透しにくく，かつ，腐食しにくい材料で仕上げること。	・ハウス内における震災前から設置している不要な既設機器等については可能な限り撤去し，内部の壁，床等の汚染されるおそれのある箇所については養生等を行う。	△

使用施設等の位置，構造及び設備の基準に関する規則及び解釈	対応方針	適合性
八 上記一から七までの規定に加え，プルトニウムを含む溶液又は粉末，使用済燃料，高レベル放射性廃棄物及び六ふっ化ウランを取り扱う使用施設においては，以下の各号に掲げる設計上の対策が講じられていること。 ① プルトニウムを含む溶液又は粉末，使用済燃料及び高レベル放射性液体廃棄物を内蔵する系統及び機器は，原則として，セル等に収納されること。また，セル等は，放射性物質の取扱量や使用の方法に応じて，液体状の放射性物質が漏えいした場合に，その漏えいを検知し，漏えいの拡大を防止するとともに，漏えいした放射性物質を安全に回収・処理等を行うことができる設計であること。	・放射性物質は，系統又は機器に閉じ込める設計としており，ゼオライト土嚢等の移送は建屋内かつ系統内で行う計画であり，開放状態でゼオライト土嚢等を直接扱わない。 ・一時的に保管容器から移送配管（耐圧ホース）を取り外す作業については，汚染拡大防止対策として，ハウス内で作業を行う。事前にフラッシングを行い，砂状の鉱物であるゼオライトを移送配管内部から除去することで，漏えいリスクを低減する。配管取り外し後，速やかに配管開放部は養生，若しくはキャップ等で閉止を行う。放射性物質が漏えいした場合においても，換気空調設備により放射性物質をハウス内に閉じ込める設計とする。保管容器を建屋外に搬出する際におけるハウス開時については，事前にハウス内のダスト濃度をモニタリングにより監視し，有意な変動あるいは設定した値を超えた場合は作業を中断する。 ・ゼオライト土嚢等を移送する各エリアは空間線量計，漏えい検知器，監視カメラにより漏えいの早期検知，漏えい拡大防止堰による拡大防止出来る設計とする。また，ゼオライト土嚢等の漏えい時については，仮設ポンプにより地下階に洗い流すことができる設計とする。	ゼオライト土嚢等 容器封入作業時 ○ ゼオライト保管容器から 移送配管の取外し時 △

使用施設等の位置，構造及び設備の基準に関する規則及び解釈	対応方針	適合性
② プルトニウムを含む溶液又は粉末，使用済燃料及び高レベル放射性液体廃棄物を内蔵する系統及び機器，核燃料物質を非密封で大量に取り扱う系統及び機器，セル等並びにこれらを収納する構築物は，以下の事項を満足する排気系統を有すること。 a) 排気系統は，放射性物質の漏えいを防止できる設計であり，かつ，逆流を防止できる設計であること。 b) プルトニウムを含む溶液又は粉末，使用済燃料及び高レベル放射性液体廃棄物を内蔵する系統及び機器，核燃料物質を非密封で大量に取り扱う系統及び機器，セル等並びにこれらを収納する構築物は，原則として，換気機能により常時負圧に保たれていること。また，それぞれの気圧は，原則として，構築物，セル等，系統及び機器の順に低くすること。 c) 排気系統には，フィルタ，洗浄塔等の放射性物質を除去するための系統及び機器が適切に設けられていること。	・ 排気系統には逆流防止ダンパを設置し，隔離することで漏えいおよび逆流を防止する設計とする。 ・ ハウス内について，換気空調設備により負圧になるよう設計を行う。ハウス内作業中は連続換気を行い，ハウス内へのインリークとすることで，ハウス外へのダスト放出を防ぐ。ハウス内の換気設備については，多重化し，常用2系統から受電可能な構成とする。必要に応じ隙間部の目張り等を行い，ハウス内の向きに気流が生じることを確認する。保管容器を建屋外に搬出する際におけるハウス開時については，事前にハウス内のダスト濃度をモニタリングにより監視し，有意な変動あるいは設定した値を超えた場合は作業を中断する。 ・ 排気系統にはHEPAフィルタを設置し，放射性物質を除去する。	○ △ ○

33

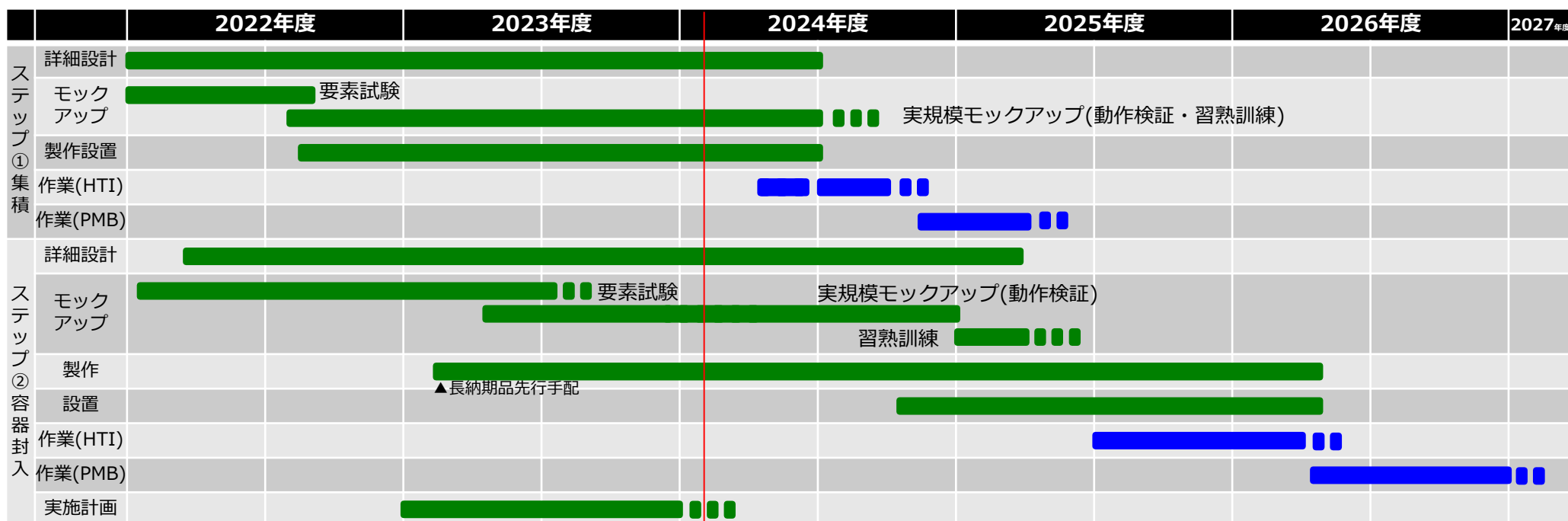
使用施設等の位置，構造及び設備の基準に関する規則及び解釈	対応方針	適合性
4 廃棄施設（保管廃棄施設を除く。）について，第2条に規定する「閉じ込めることができるもの」とは，上記2のうち，当該廃棄施設に該当するものに加えて，以下の各号に掲げるものをいう。 一 使用施設に設けるフード，セル等の核燃料物質等の広がりを防止する装置は，排気設備に連結すること。 二 焼却炉を設ける場合には，次の要件を満たすこと。 ① 焼却炉は，気体が漏れにくく，かつ，灰が飛散しにくい構造とすること。 ② 焼却炉は，排気設備に連結された構造とすること。 三 粉碎装置，圧縮装置，混合装置，詰込装置等放射性物質をコンクリートその他の固型化材料により固型化する設備（以下「固型化設備」という。）を設ける場合には，次の要件を満たすこと。 ① 固型化設備は，放射性物質が漏れ又はこぼれにくく，かつ，粉じんが飛散しにくい構造とすること。 ② 固型化設備は，液体が浸透しにくく，かつ，腐食しにくい材料を用いること。	・排気はHEPAフィルタを設置した排気設備にて排気する。 ・焼却炉は設置しない。 ・左記の設備は設置しない。	○ － －

使用施設等の位置，構造及び設備の基準に関する規則及び解釈	対応方針	適合性
5 保管廃棄施設について，第2条に規定する「閉じ込めることができるもの」とは，上記2のうち，当該保管廃棄施設に該当するものに加えて，以下の各号に掲げるものをいう。 一 保管廃棄施設において，容器の外における空気を汚染するおそれのある核燃料物質等を入れる容器は，気密な構造とすること。 二 液体状の核燃料物質等を入れる容器は，液体が漏れ又はこぼれにくい構造とし，かつ，液体が浸透しにくい材料を用いること。 三 液体状又は固体状の核燃料物質等を入れる容器で，き裂，破損等の事故の生ずるおそれのあるものには，受皿，吸収材その他核燃料物質等による汚染の広がりを防止するための器具を設けること。 6 第2条について，使用施設等は，設計評価事故時においても可能な限り前述の負圧維持，漏えい防止，逆流防止等の必要な機能が確保されるよう設計されており，設計評価事故時において，公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えないよう，事故に起因して環境に放出される放射性物質の量を低減させる機能を有する設計であること。	・保管容器は鋼板製の密閉構造とするものの，水素換気をおこなう必要があるため気密な構造ではない。ただし，密度差による自然流動のみで換気されることからダストが同伴することはない。 ・保管容器は鋼板製の密閉構造とする。 ・保管容器は鋼板製であり，き裂，破損等の事故の生ずるおそれはない。なお，保管容器内のゼオライト土嚢等は脱水して保管しており，漏えい時の汚染拡大リスクは小さい。 ・設計評価事故時において，公衆に著しい放射線被ばくのリスクを与えない設備である（耐震Bクラス設備）。	△ ○ △ —

以下参考資料

過去資料再掲・一部変更

- ゼオライト土嚢等の回収作業は、『集積作業』と『容器封入作業』の2ステップで行う計画。なお、今後のモックアップの実施状況や現場作業等で得られた知見によって、変更となる可能性もあるが、安全性、信頼性を優先して進めていく。
- ステップ①：集積作業は、2024年度上期からHTIの一部のゼオライト土嚢集積作業から着手予定。汚染水や高線量のゼオライトを扱う作業であることから、現場の安全対策を強化して進めていく。作業開始後は現場作業の知見を積み重ね、得られた知見を元に継続的な集積作業を実施し、1年程度の作業期間で、2025年度容器封入作業の着手まで作業を実施する予定。
- ステップ②：容器封入作業は、モックアップで得られた知見の反映を踏まえた設計検討の実施、先行する集積作業で得られた知見を反映する等、安全性・信頼性を高めたうえで、2025年度から着手予定とする。1年程度の作業期間を想定しており、2026年度～2027年度で作業を完了する予定。



現在

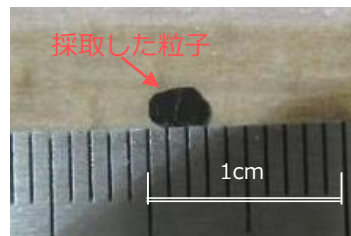
【参考】ゼオライト等の分析結果

- PMB地下階に設置されたゼオライト土嚢・活性炭土嚢について、詳細なサンプリングと分析を実施。分析の結果、Cs-137の放射能濃度[Bq/g]は8乗オーダーあることを確認。

分析項目	放射能濃度[Bq/g]*		【参考】建屋滞留水放射能濃度[Bq/cc] (採取日:2020/2/25)
	ゼオライト (採取日:2020/2/12)	活性炭 (採取日:2020/2/27)	
Cs-134	(8.5±0.1)E+06	(3.3±0.1)E+04	1.7E+03
Cs-137	(1.4±0.1)E+08	(5.4±0.1)E+05	2.8E+04
Sr-90	(1.1±0.1)E+07	(5.8±0.1)E+05	5.4E+03
Pu-238	ND	(1.6±0.1)E+00	-
Pu-239 + Pu240	ND	(5.2±0.3)E-01	-
Am-241	(2.4±0.6)E-01	(5.6±0.1)E+00	-
Cm-244	ND	(1.8±0.1)E+00	-



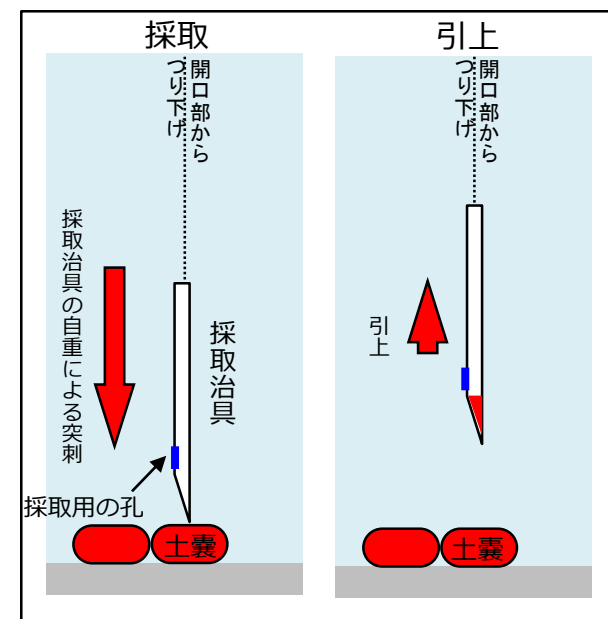
ゼオライト土嚢から採取した粒子
(拡大) (2020/2/12)



活性炭土嚢から採取した粒子
(拡大) (2020/2/27)

	採取した粒子の表面線量率	
	ゼオライト	活性炭
γ+β	1.3 mSv/h程度	0.025 mSv/h程度

* 廃棄物試料の分析結果（土嚢活性炭）（廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合／事務局会議（第91回）より）本データは廃炉・汚染水対策事業による成果



ゼオライトサンプリングの採取方法

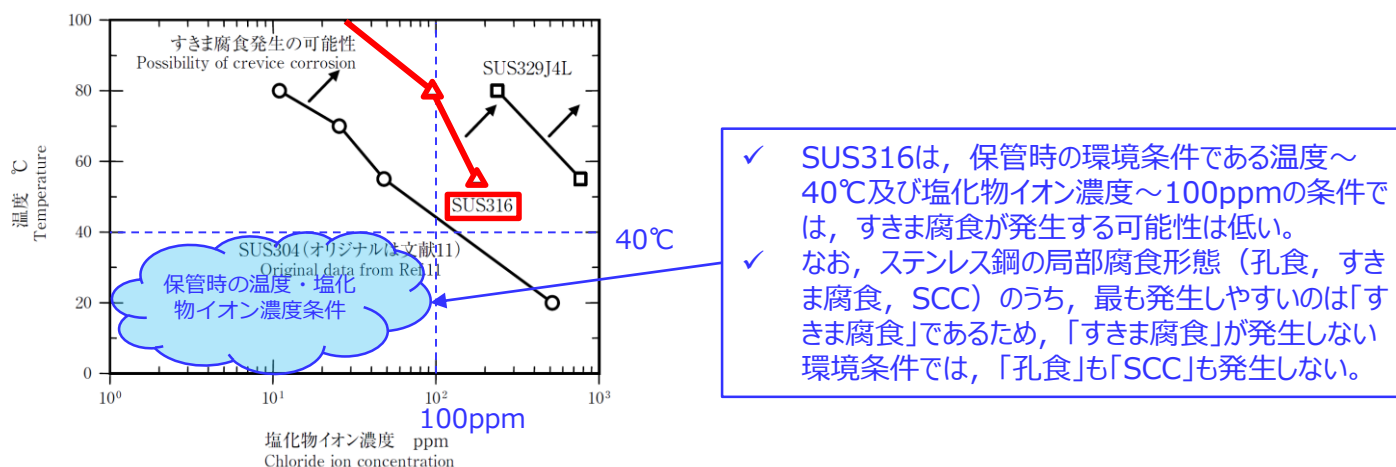


PMB最下階平面図

■ 耐腐食性の検討

- ゼオライト保管容器に回収したゼオライト等については、表面に建屋滞留水が付着しているため、補給水（RO処理水又はろ過水）を容器内に通水して表面を洗い流して脱塩して保管する。
- 活性炭の腐食促進作用により、SUS316Lを使用したとしても、滞留水のCl⁻濃度約100ppm下では腐食発生リスクを否定できない可能性がある。腐食対策として、脱塩で使用する淡水にNO₃⁻を添加することにより、脱水後の残水中に必要濃度のNO₃⁻を共存させ、保管容器の腐食を抑制する。

	温度	湿度	酸素濃度	塩化物イオン濃度	内容物
保管時の環境条件	～40℃	～100%	大気同等	～100ppm	ゼオライト/活性炭

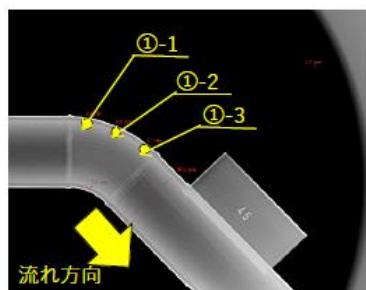


耐すきま腐食可使用限界温度及び塩化物イオン濃度条件(SUS316の例)*

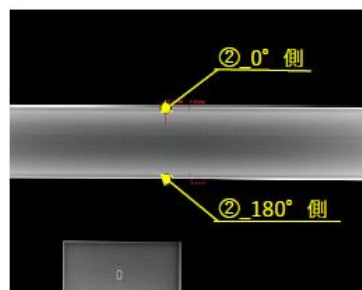
*宮坂 松甫「腐食防食講座－海水ポンプの腐食と対策技術－」第5報：ステンレス鋼及びニレジスト鉄の腐食と対策技術

■ エロージョンに対する影響評価

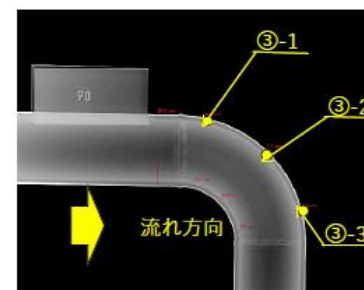
- 移送する流体は粒状のゼオライト等を含み、PE管・鋼管等を通過する際にエロージョンによる摩耗が懸念される。
- 実機同様の配管径、流量における配管移送試験を実施し、配管内面の摩耗量を確認した。
- 摩耗量はいずれの測定箇所も0mmであり、有意なエロージョン影響はないと評価される。



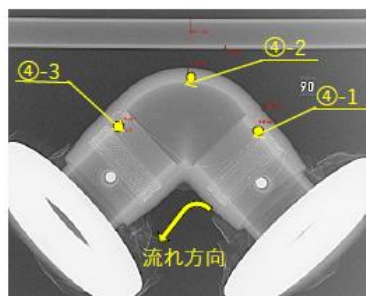
(a) 鋼管_45度エルボ



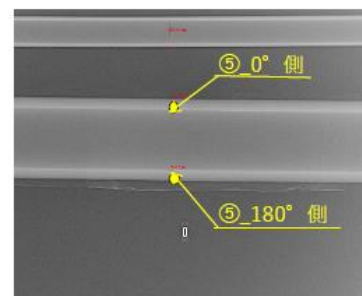
(b) 鋼管_直管



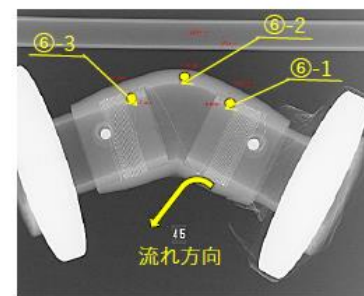
(c) 鋼管_90度エルボ



(d) PE管_90度エルボ



(e) PE管_直管



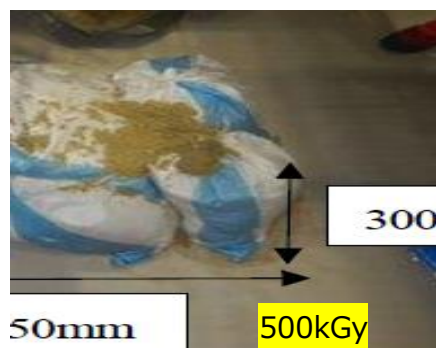
(f) PE管_45度エルボ

摩耗量測定ポイントとX線撮影画像

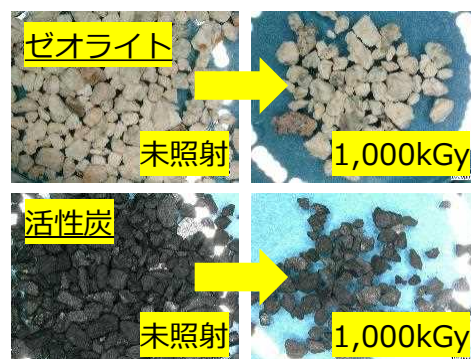
- ゼオライト土嚢等の現地調査を実施し、土嚢袋は概ね原形を保っているが、劣化傾向があり、一部の袋に破損がみられる状況。実規模モックアップにおいては、現場調査で確認された劣化した土嚢袋等を再現し現場環境を模擬する。
- なお、ゼオライトと活性炭のγ線照射試験を最大積算線量1,000kGyまで実施したところ、ゼオライトも活性炭も照射による顕著な変化は認められなかった。



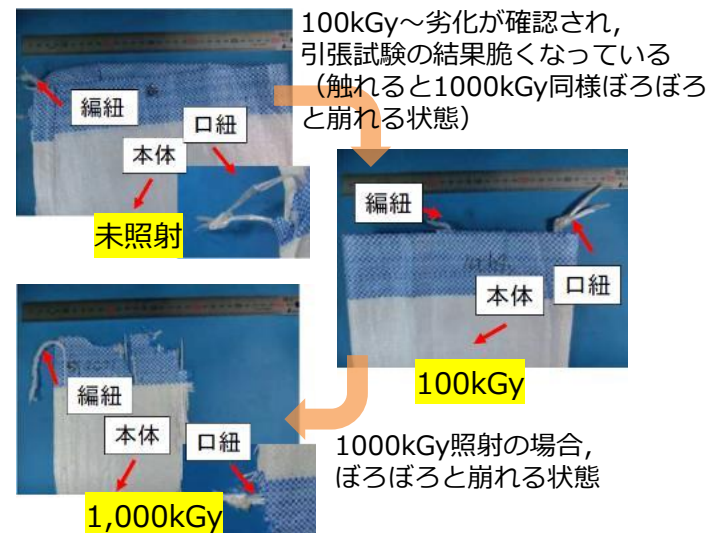
ゼオライト土嚢袋の現場状況



実規模モックアップで再現した劣化した土嚢袋



ゼオライト・活性炭の照射試験結果

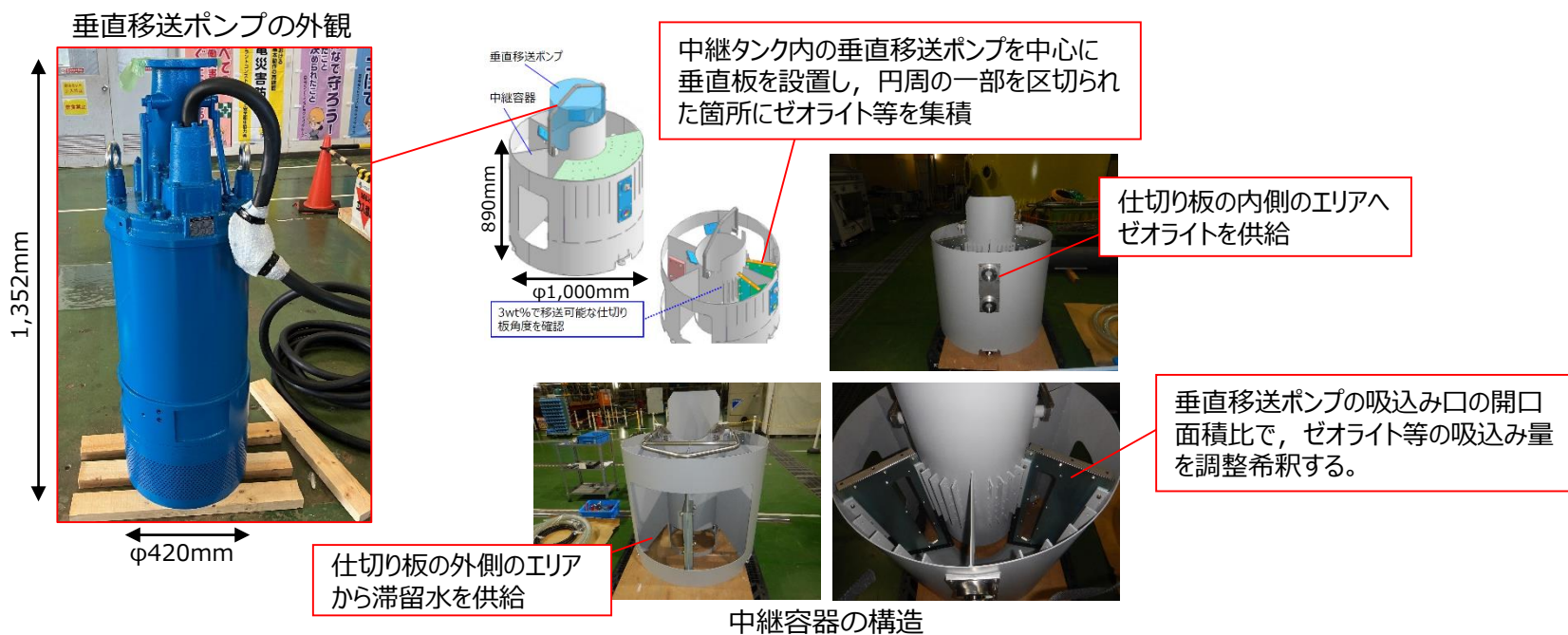


土嚢袋の照射試験結果



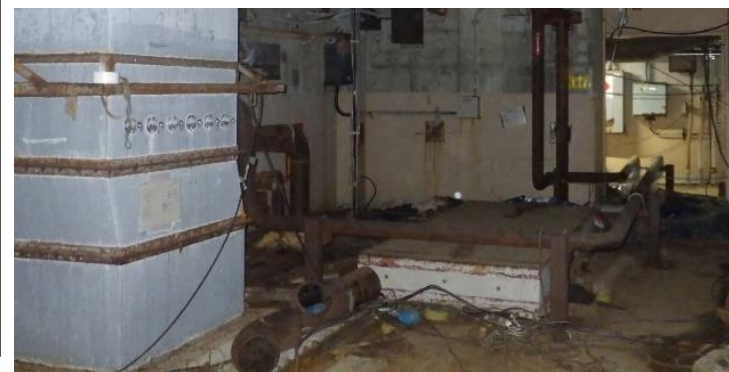
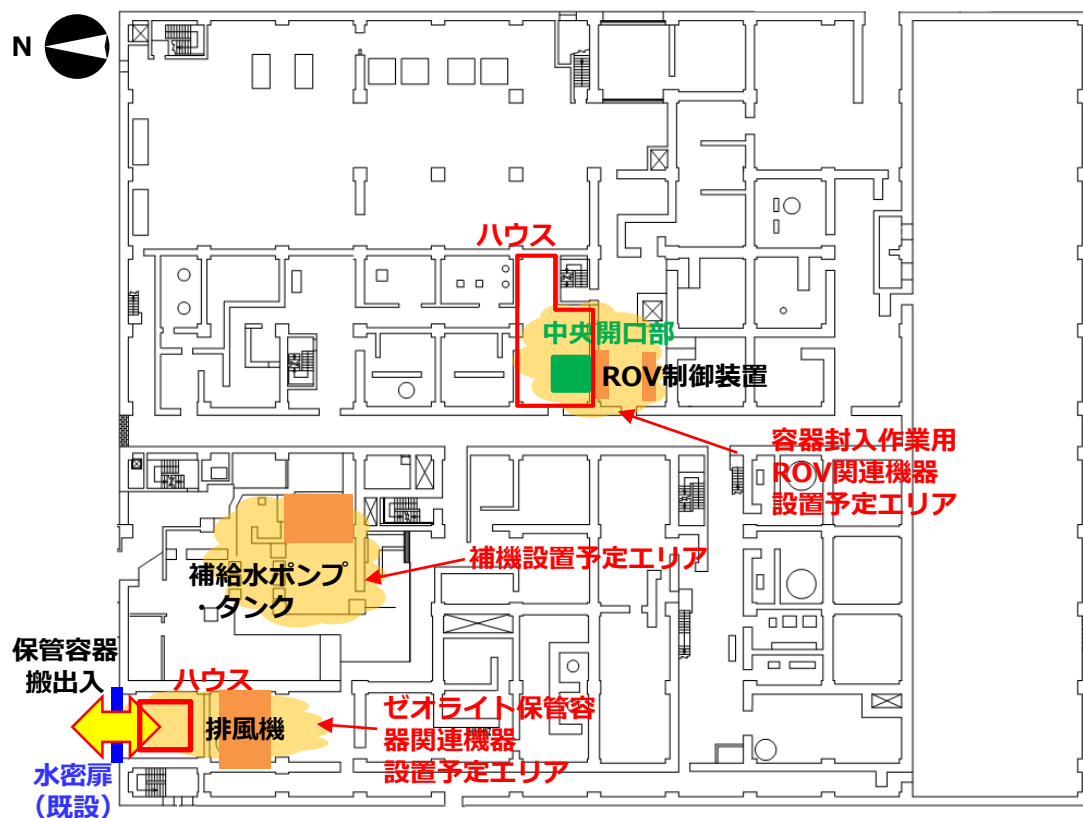
移送後の土嚢袋の状況

- 地下 2 階の水中ポンプ（垂直移送ポンプ）での吸上げ時，地上 1 階の移送設備での閉塞リスクを低減するため，地下 2 階の中継容器を用い，ゼオライト等の濃度を調整する。
 - 設置する垂直移送ポンプの吸込み口の周囲を，中継容器内部で区分けすることにより，ゼオライト等が集積されたエリアから高濃度でゼオライトを吸引したとしても，仕切り板の外側のエリアから滞留水が供給されるため，ポンプ内で希釈する。
- ゼオライト等が集積されたエリアからゼオライトを吸引し，仕切り板のエリアを $1/5$ （ 72° ）に調整することで，ポンプ内部で $3\text{wt}\%$ 程度まで希釈されることを確認している。



【参考】PMBの設置計画

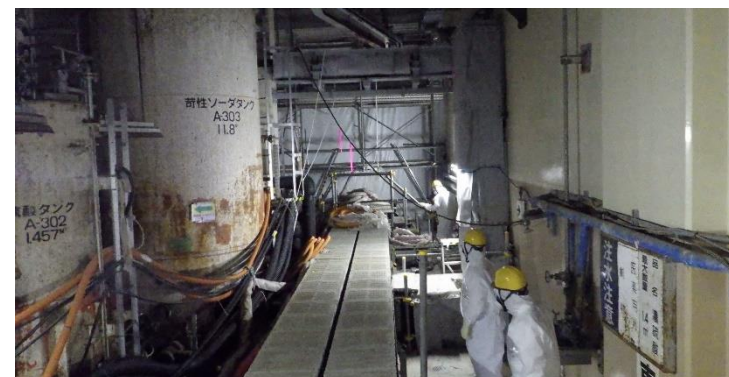
- 機器はPMB中央の開口部周辺と北西部に分けて設置する
- 容器封入作業用ROVは中央の開口部から投入。
なお、滞留水移送ポンプ等は設置されていない。
- ゼオライト保管容器の搬出入は、建屋北西の既設の水密扉から実施。



中央開口部付近（容器封入作業用ROV投入箇所）



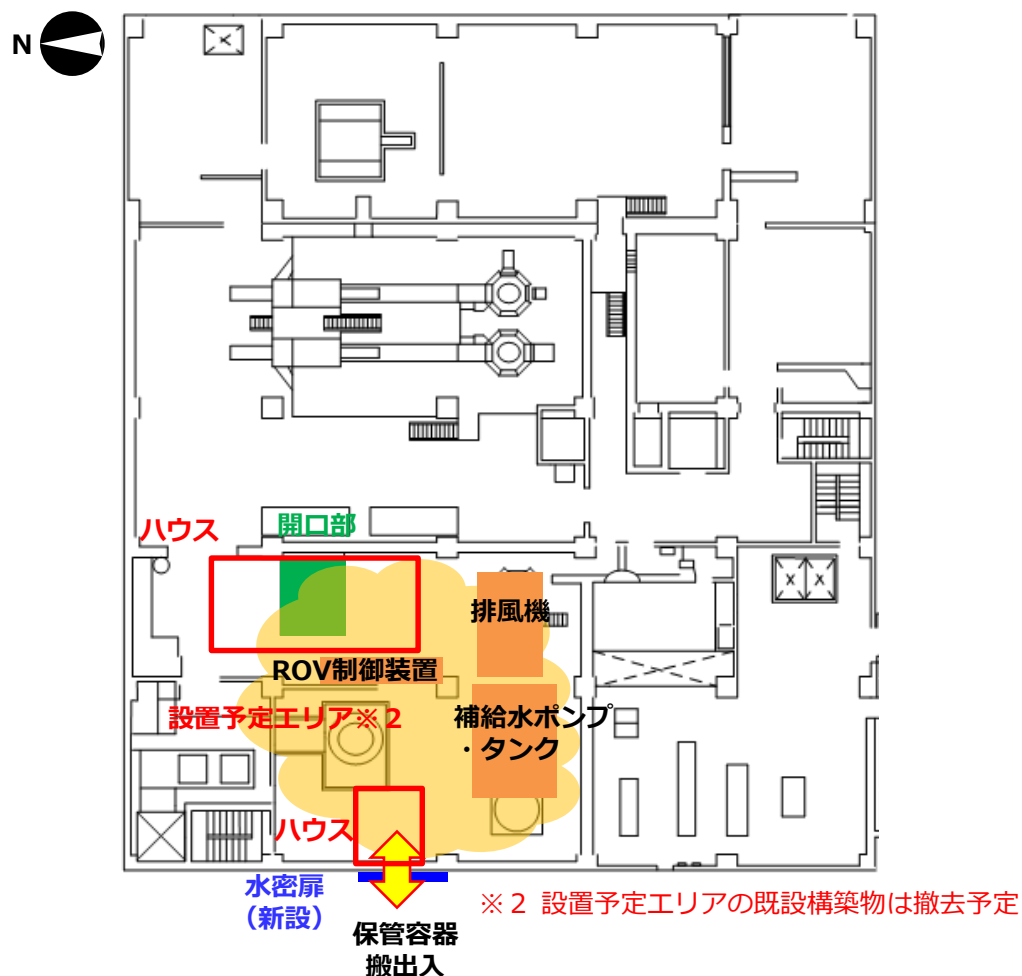
補機設置予定エリア付近



建屋北西付近（ゼオライト保管容器搬出入箇所）

■ 機器は建屋西側に設置する

- 容器封入作業用ROVの投入は北西の開口部から実施。当該開口部は建屋唯一の開口部であり、滞留水移送ポンプも設置されているが、干渉を回避しながら、作業実施予定。
- ゼオライト保管容器の搬出入は、建屋西側の水密扉（新設）から実施予定。



開口部付近（容器封入作業用ROV投入箇所）



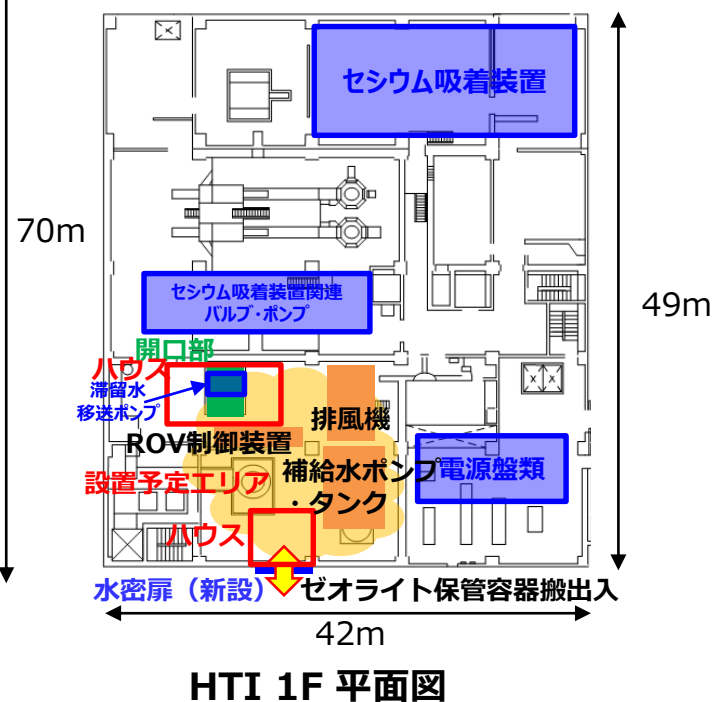
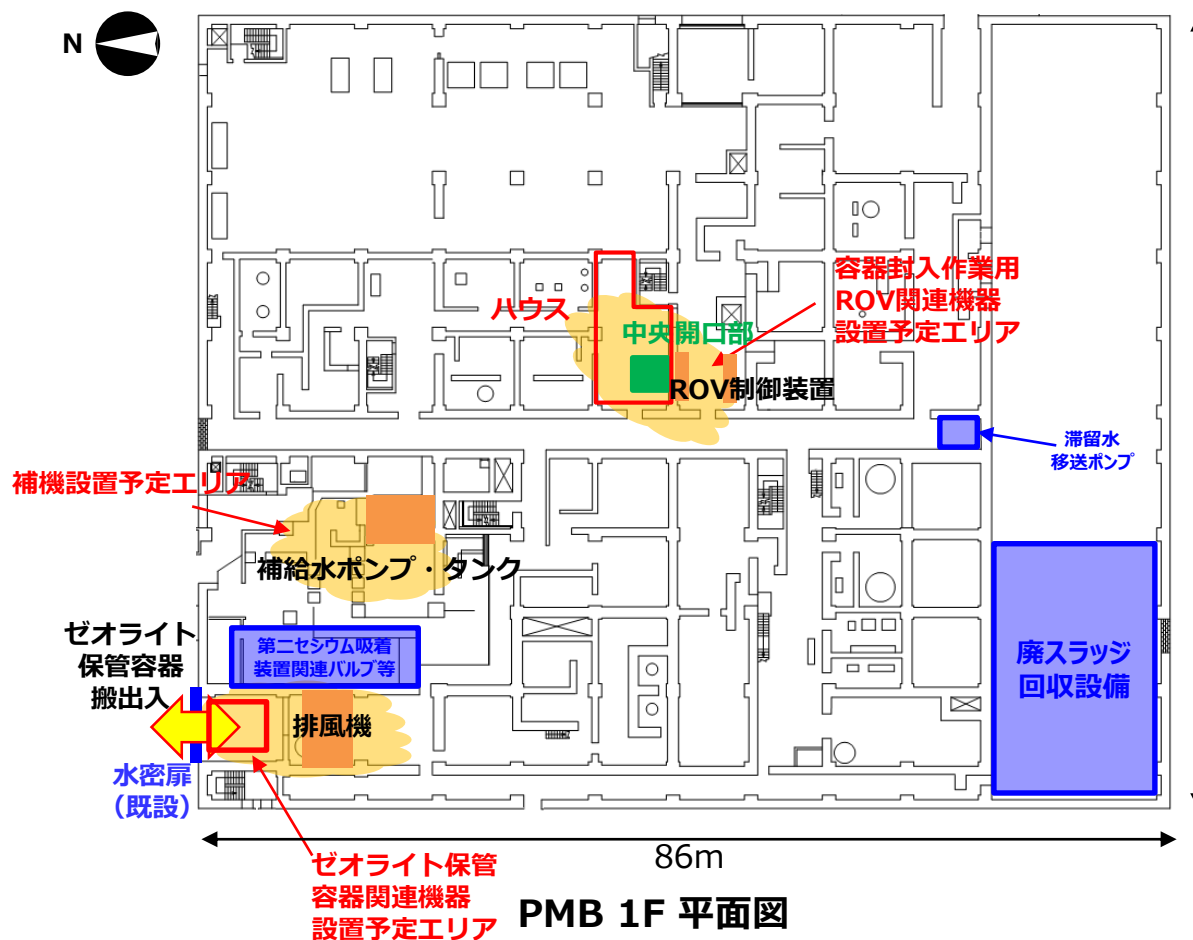
建屋西側付近（ゼオライト保管容器搬出入箇所）

【参考】設置する設備と周辺の設備

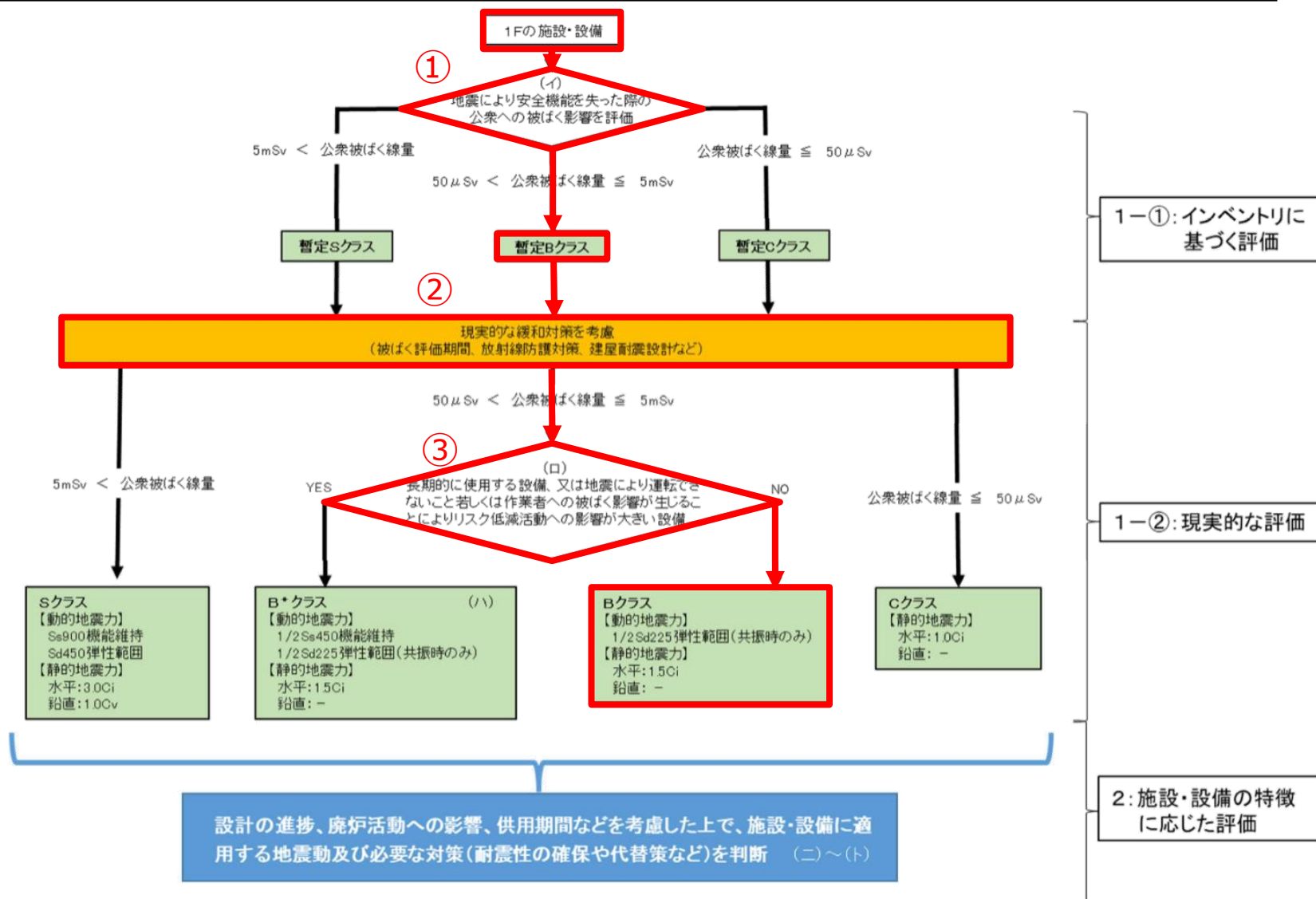
■ 設置する設備の周辺には以下の機器が存在

- PMB：第二セシウム吸着装置関連バルブ等
- HTI：滞留水移送ポンプ・セシウム吸着装置関連バルブ・ポンプ・電源盤類

上記については、通常の運転時は人が立ち入ることは基本的になく、切り替え操作時等のみ操作を行う。



- 「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方」より耐震クラスは「Bクラスと設定」



- ① 放射性物質量に基づく評価（地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響）
- ② 地震により安全機能（遮蔽機能・閉じ込め機能）を失った際の公衆被ばく影響が、1週間（7日間）継続した際の公衆被ばく評価を実施。
 - 直接・スカイシャイン線量：0.55mSv（暫定値）
 - 大気拡散による被ばく線量：0.05mSv（暫定値）
 - 公衆被ばく線量（上記合計）：0.6mSv（暫定値）

⇒ $50\mu\text{Sv} < \text{公衆被ばく線量} \leq 5\text{mSv}$
耐震クラス分類は、『暫定Bクラス』
- ③ 当該設備の供用期間とリスク低減活動への影響
 - 『短期的』（各建屋半年，合計1年程度）に使用することを見込んでいる。
 - 地震により運転できないこと，若しくは，作業員への被ばく影響が生じることによりリスク低減活動への影響は小さく，廃炉作業に大きな影響はない。

 施設・設備の特徴に応じた評価：『Bクラス』

- ゼオライト土嚢等処理設備の安全機能（遮蔽機能・閉じ込め機能）については、前述までの評価で耐震クラス『B』と設定している。その他設備の耐震クラス設定については、その他設備が機能喪失した場合の公衆被ばく線量により設定する。

設備名称	耐震上の安全機能	耐震クラス	当該設備が機能喪失した場合の公衆被ばく線量（7日間）
主要ライン (地上階の配管・ゼオライト保管容器)	・遮蔽機能 ・閉じ込め機能 ・隔離機能	B	□ 直接・スカイシャイン線量：0.55mSv (暫定値) □ 大気拡散による被ばく線量：0.05mSv(暫定値) □ 公衆被ばく線量(上記合計)：0.60mSv(暫定値) 50μSv < 公衆被ばく線量 ≤ 5mSv
ハウス	・なし	C	耐震上の安全機能に関わらない設備。 耐震上の要求以外に、作業時の安全確保の為に備える機能（閉じ込め・隔離機能）の耐震クラス分類は、『C』とする なお、地震により損傷を受けた場合にも主要ラインに影響を及ぼさない設計とする。
換気空調設備 (隔離ダンパ含む)	・なし	C	耐震上の安全機能に関わらない設備。 耐震上の要求以外に、作業時の安全確保の為に備える機能（閉じ込め・隔離機能・放出管理）の耐震クラス分類は、『C』とする。
電源・計装設備	・なし	C	耐震上の安全機能に関わらない設備。 耐震上の要求以外に、作業時の安全確保の為に備える機能（閉じ込め・放出管理）の耐震クラス分類は、『C』とする。
その他、安全機能に関わらない設備 (圧縮空気・ろ過水供給)	・なし	C	安全機能に関わらない設備。 耐震クラス分類は、『C』とする。

■ 評価に用いた放射性物質量

- 地震により安全機能を失った際の条件として，設備全体の最大放射エネルギーとなる以下の状態にて評価を行う。
- ゼオライト土嚢等処理はHTI，PMBの順番で作業を実施し，2建屋同時には実施しないため，1建屋を評価条件とする。（なお暫定評価における2建屋の評価条件は同じ）
 - ・ ゼオライト保管容器：1基全容量分※
 - ・ ゼオライト移送配管：0（ゼオライト移送／脱塩／脱水後フラッシングを行うため）

※建屋には1基のみ設置。全量充填した時点で建屋外に搬出する計画。

核種	濃度	量	放射性物質量
Cs-137	1.8E+8 Bq/g	2.2 m ³ (2.0 t)	3.6E+14 Bq
Cs-134	1.1E+7 Bq/g		2.2E+13 Bq
Sr-90	1.4E+7 Bq/g		2.9E+13 Bq

※ ゼオライトはPMB/HTIの建屋滞留水に浸漬された状態であるため，放射能濃度のバラつきは小さく，各建屋のゼオライト，活性炭は一律の濃度であるものと想定されるが，保守的に1.3倍の濃度で各種評価を実施。

- 公衆被ばく評価は、以下の条件にて評価する。
 - 直接線・スカイシャイン線，大気拡散何れの評価についても，評価値が保守側となるよう適切に評価点・評価条件を設定する。
 - 機器の安全機能（遮蔽機能・閉じ込め機能）が喪失し，放射性物質が漏えいする事故シナリオを想定する。
 - 公衆被ばく評価値は以下の値を合算して算出する。なお，実際には建屋ならびに機器による安全機能（遮蔽機能・閉じ込め機能）が期待できるため，公衆被ばく評価値は低減すると考える。
 - 1．直接線・スカイシャイン線による公衆被ばく評価（MCNP）
 - 2．大気拡散による公衆被ばく評価（WDOSE2_TEPSYS）
 - 2－1．クラウドシャインによる外部被ばく
 - 2－2．グランドシャインによる外部被ばく
 - 2－3．クラウドの吸入による内部被ばく

■ 評価に用いた放射性物質量

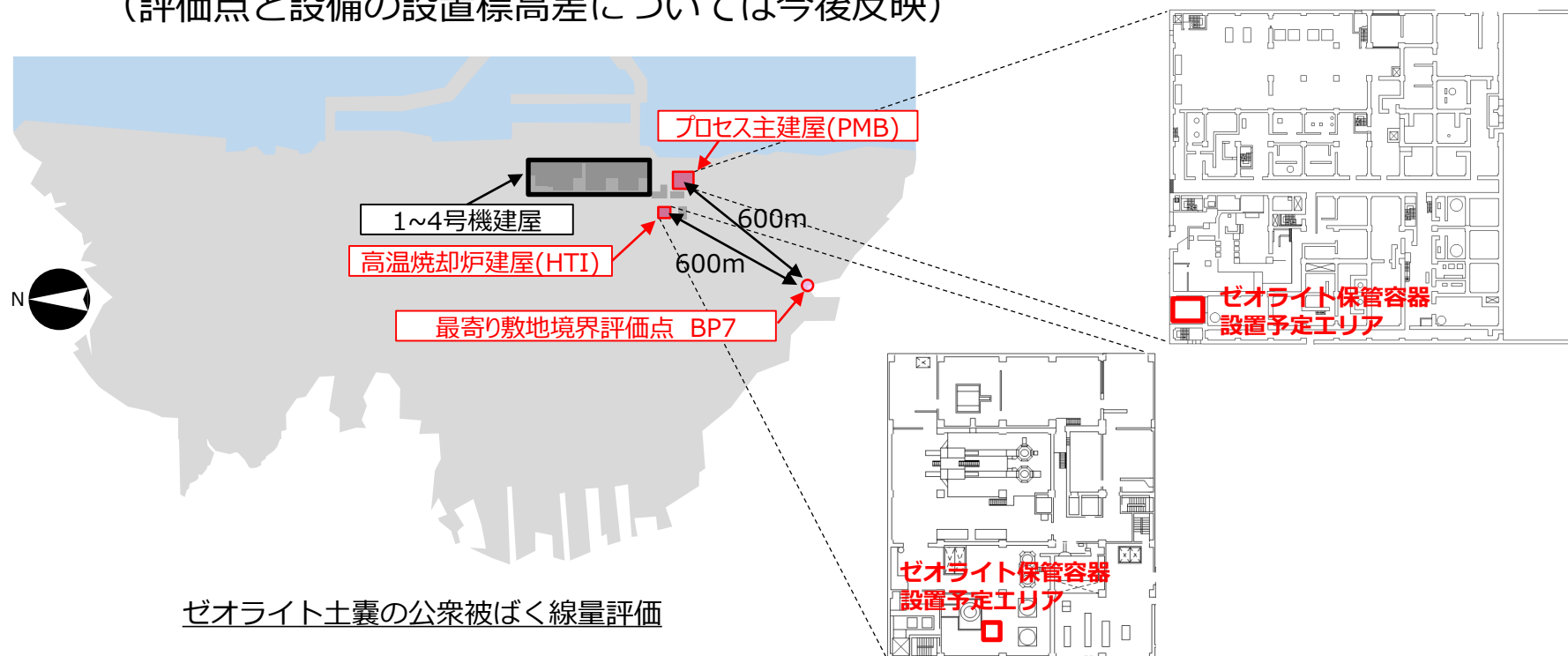
核種	濃度	量	放射性物質量
Cs-137	1.8E+8 Bq/g	2.2 m ³ (2.0 t)	3.6E+14 Bq
Cs-134	1.1E+7 Bq/g		2.2E+13 Bq

※ Sr-90(5.7E+13 Bq)の制動放射の影響については今後評価に反映していく。

※ ゼオライトはPMB/HTIの建屋滞留水に浸漬された状態であるため、放射能濃度のバラつきは小さく、各建屋のゼオライト、活性炭は一律の濃度であるものと想定されるが、保守的に1.3倍の濃度で各種評価を実施。

■ 設備位置、評価点

- 敷地境界での評価点は本設備から最も近いBP7とし、設備からの距離600mとした。
（評価点と設備の設置標高差については今後反映）



■ 被ばく経路

クラウドシャインによる外部被ばく，グランドシャインによる外部被ばく，及びクラウドの吸入による内部被ばくの3経路にて評価を実施した。

- ・クラウドシャインによる外部被ばく： γ 線， β 線
- ・グランドシャインによる外部被ばく： γ 線+ β 線
- ・クラウドの吸入による内部被ばく：－

■ 評価モデル（暫定評価）

- ゼオライト土嚢等処理設備の設置建屋（PMB,HTI）の近傍建屋からダストが放出された評価結果を活用し，暫定的に評価した。

■ 評価点

- 敷地境界での評価点は本設備から最も近いBP7とした。

- 評価点高さ
 - 0mとした。
- 放出核種
 - Sr-90, Cs-137, Cs-134と、放射平衡を形成する娘核種（Cs-137/Ba-137m, Sr-90/Y-90）も評価対象核種とした。
- 建屋巻き込み
 - 被ばく対象が敷地境界（一般公衆）であることから、建屋巻き込みは考慮しない。（建屋巻き込みによる初期広がりを考慮すると、相対濃度と相対線量が小さくなる。安全側の評価となるよう、建屋巻き込みは考慮しない。）
- 実効放出継続時間
 - これまでの許認可申請における異常時の敷地境界線量評価の条件に合わせ2時間※1とした。
- 気象データ
 - 原子炉設置変更許可申請書（6号原子炉施設の変更）添付書類6に記載の気象データである「1979年4月1日～1980年3月31日（1979年度）」の気象データ※2を使用した。

※1 実効放出継続時間＝総放出量／1時間あたりの最大放出量＝（落下時の飛散率＋静置時の飛散率×放出期間）／（落下時の飛散率＋静置時の飛散率×1h）より算出

※2 最新の気象データにおける地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響については評価を進めており、0.20mSv程度の増加となる見込みであり、耐震クラス分類に変更はない。

【参考】公衆被ばく線量評価（大気拡散）

- 大気拡散の評価に用いている放射性物質の放出量は、DOE、NRCにおいても標準的な評価手法（DSA、ISA）として採用されている「五因子法」により評価した。

$$\text{放射性物質放出量} = \text{MAR} \times \text{DR} \times \text{ARF} \times \text{RF} \times \text{LPF}$$

MAR：事象によって影響を受ける可能性のある 放射性物質の総量（インベントリ）(Material At Risk)

DR：事象の影響を受ける割合(Damage Ratio)

ARF：事象の影響を受けたもののうち雰囲気放出され浮遊する割合 (Airborne Release Fraction)

RF：肺に吸入され得る微粒子の割合(Respirable Fraction)

LPF：環境中へ漏えいする割合(Leak Path Factor)

	項目	単位	数値	注記
MAR	設備全体が保有する放射性物質	Cs-137	Bq	3.6E+14
		Cs-134	Bq	2.2E+13
		Sr-90	Bq	2.9E+13
DR		—	1	地震ではインベントリ全体が影響を受けるものとして1を設定
ARF	総放出割合	—	1.17E-04	落下時の飛散率+静置時の飛散率×放出期間
	落下時の飛散率	—	5.0E-05	出典※1より ゼオライトは砂状であるが、保守的にスラリーとして評価。
	静置時の飛散率	1/h	4.0E-07	出典※1より 屋内における均質な堆積物として評価
	放出期間	h	168	放出期間(7day)×24(h)
RF		—	1	微粒子の大きさによる変数であるため1と設定
LPF		—	1	保守的に1と仮定
放射性物質放出量	Cs-137	Bq	4.22E+10	設備全体が保有する核種毎の放射性物質×総放出割合
	Cs-134	Bq	2.58E+09	
	Sr-90	Bq	3.34E+09	

※1：U.S. Department of Energy, AIRBORNE RELEASE FRACTIONS/RATES AND RESPIRABLE FRACTIONS FOR NONREACTOR NUCLEAR FACILITIES, Volume I - Analysis of Experimental Data, DOE-HDBK-3010-94 December 1994

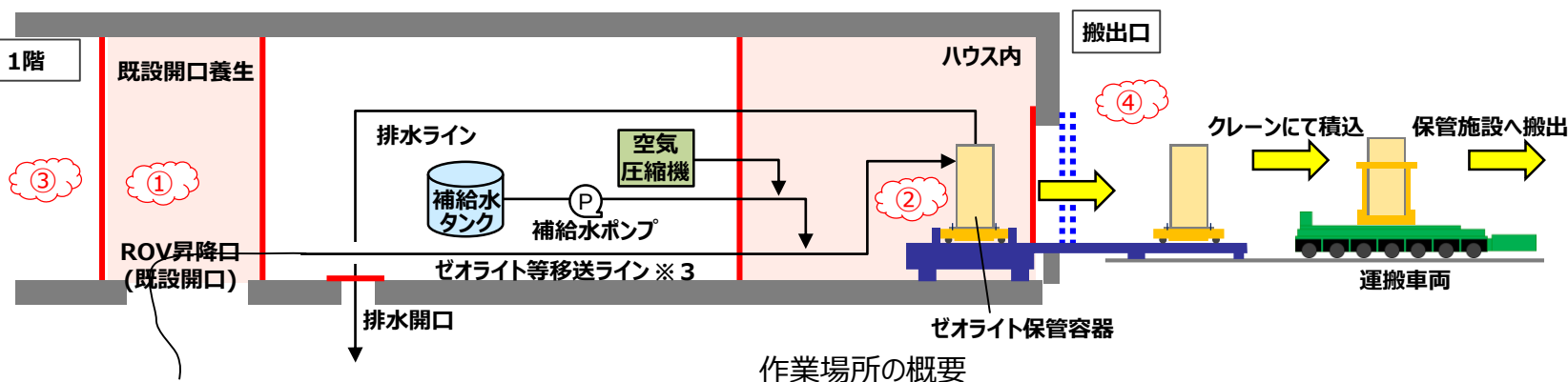
【参考】 想定被ばく線量

■ 作業手順と想定被ばく線量については下記の通り

No	作業手順	作業場所	雰囲気線量率※ 1 mSv/h	作業時間	人数	被ばく線量※ 2 mSv・人
1	容器封入作業用ROVの投入	① ROV投入口近傍	0.5	1	14	7
		⑤ 遠隔操作室	0.001	1	14	0.014
2	ゼオライト保管容器の搬入	② 保管容器近傍	0.1	2	10	2
		③ 建屋内	0.03	0.5	10	0.15
		④ 建屋外	0.015	0.5	10	0.075
3	ゼオライト等と建屋滞留水の移送, 建屋滞留水の排水	① ROV投入口近傍	0.5	2	2	2
		⑤ 遠隔操作室	0.001	11	2	0.022
4	容器への回収完了及び補給水による配管フラッシング	⑤ 遠隔操作室	0.001	3	2	0.006
5	ゼオライト等の脱塩 (補給水によるゼオライト等の洗浄)	⑤ 遠隔操作室	0.001	9	2	0.018
6	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)	⑤ 遠隔操作室	0.001	26	2	0.052
7	容器封入作業用ROVの引き上げ	① ROV投入口近傍	0.5	1.5	14	10.5
		⑤ 遠隔操作室	0.001	1.5	14	0.021
8	ゼオライト保管容器の搬出	② 保管容器近傍	1	2	10	20
		③ 建屋内	0.03	1	10	0.3
		④ 建屋外	1	1	10	10
9	以降, 手順 2 ~ 6, 8 の繰り返し (手順 1, 7 については, ROVメンテナンス等において適宜実施)					

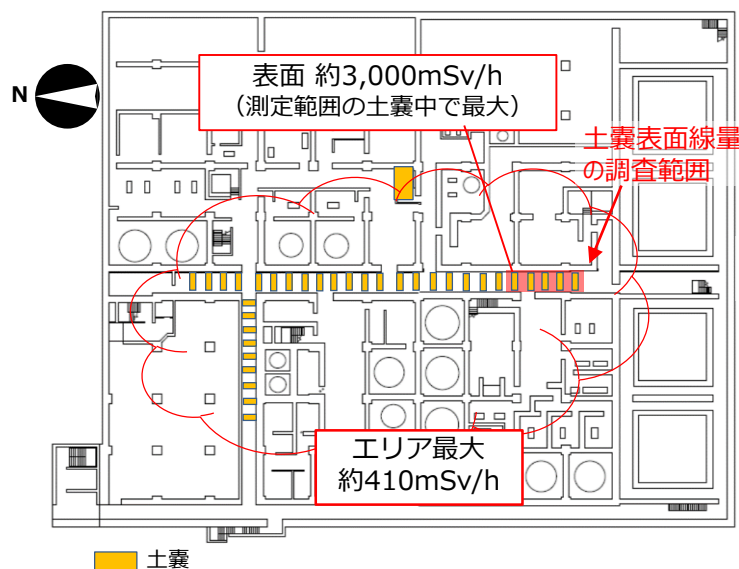
※ 1 建屋内バックグラウンドに機器等 (保管容器, 配管等) による線量率への寄与を踏まえ, 遮へい等の線量低減対策を講じる計画。

※ 2 現時点での想定被ばく線量を示す。今後, 作業検討の進捗に応じ, 見直しを進めていく。

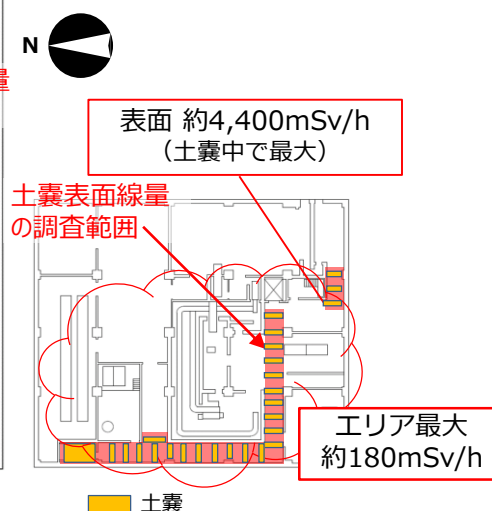


【参考】ゼオライト土嚢等の現状

- プロセス主建屋（PMB）、高温焼却炉建屋（HTI）はゼオライト土嚢・活性炭土嚢（以下、ゼオライト土嚢等）を最下階に敷設した後、建屋滞留水の受け入れを実施しており、現在は高線量化している。
 - これまでの調査により判明した最下階の状況は以下の通り。
 - PMB、HTIの最下階の敷設状況をROVで目視確認済（下図参照）。
 - 土嚢袋は概ね原形を保っているが、劣化傾向があり、一部の袋に破損がみられる状況。
 - 確認された土嚢表面の線量はPMBで最大約3,000mSv/h、HTIで最大約4,400mSv/h。
 - 空間線量は、水深1.5m程度の水面で、PMBは最大約410mSv/h、HTIは最大約180mSv/h。
 - ゼオライト土嚢は主に廊下に敷設され、セシウムを主として吸着しているため表面線量が非常に高い状況。活性炭土嚢は主に階段に敷設されており、多核種を吸着。
- ➡ 水の遮へい効果が期待できる水中回収を軸として、検討を進めている。



PMBにおける土嚢と環境線量



HTIにおける土嚢と環境線量

ゼオライト土嚢等の推定敷設量

建屋	種類	推定敷設量
PMB	ゼオライト	約 16 t
	活性炭	約 8 t
HTI	ゼオライト	約 10 t
	活性炭	約 7.5 t

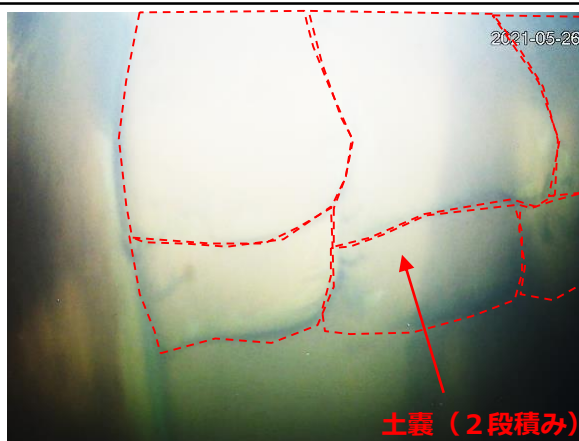
【参考】プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋最下階の調査

- ゼオライト土嚢等の敷設位置と作業に干渉する物の有無等を詳細に確認するため、ボート型ROVにて調査を実施（2021年5月～8月）。

➡ ゼオライト土嚢等を敷設した全域の調査・視認が出来た。一部、土嚢袋は破損しているものの、概ね土嚢の原型は保持していることを確認。一部、干渉物があることも確認。



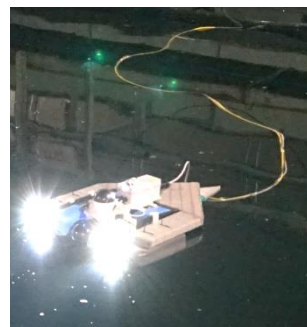
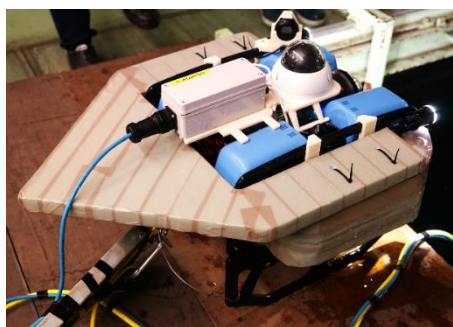
① 最下階の様子（PMB）（水上）



② 最下階の様子（HTI）（水中）

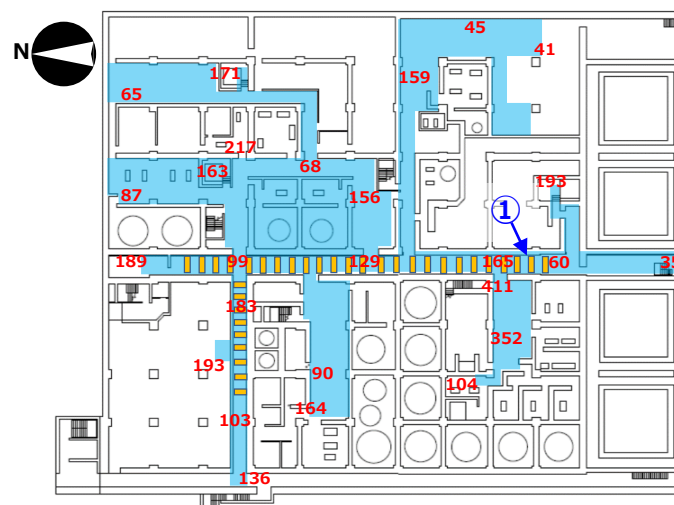


③ 干渉物の例（HTI）

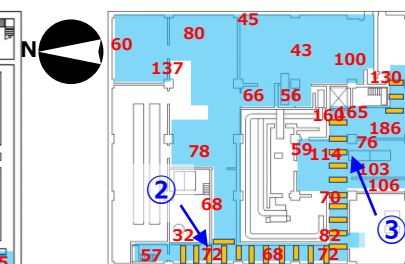


調査に使用したボート型ROV

- ・市販水中ROVをボート化改造（内製化）
- ・カメラと線量計を追設し、水面上と水面下を同時撮影
- ・水面を航走し、水中の濁りを抑制



PMB最下階



HTI最下階

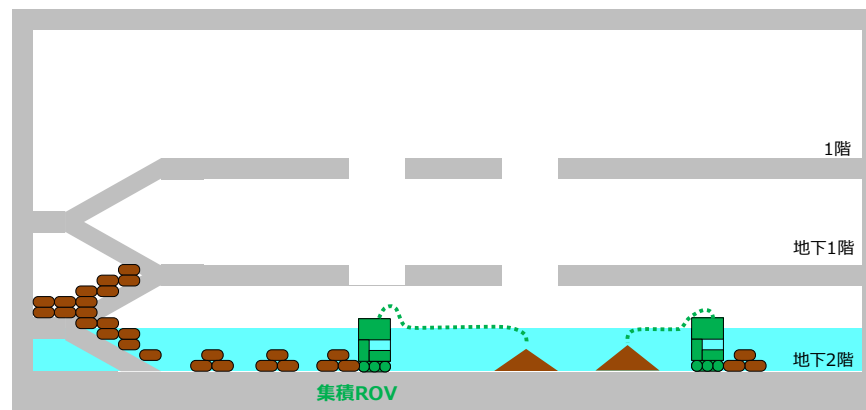
- 土嚢
- 調査範囲
- 線量 (mSv/h) ※数値は参考値

ゼオライト土嚢等位置とエリア線量

- PMB/HTIの最下階のゼオライト土嚢等は回収作業を“集積作業”と“容器封入作業”に分け、作業の効率化を図ることを計画。
- なお、土嚢袋は劣化傾向が確認されており、袋のまま移動できないことから、中身のゼオライト等を滞留水とともにポンプで移送する方式を基本とする。

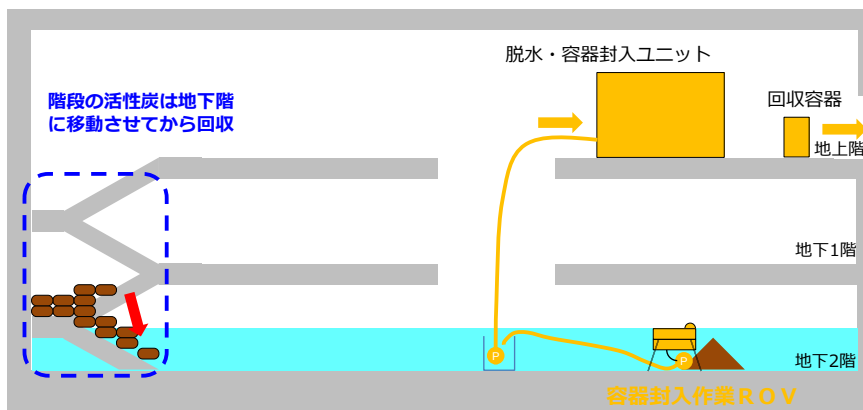
ステップ① 集積作業

- ✓ ゼオライト土嚢等について、作業の効率化による工期の短縮（完了時期の前倒し）を目的に、容器封入作業の前に集積作業を計画。
- ✓ 集積作業用ROVを地下階に投入し、ゼオライトを吸引し、集積場所に移送する。



ステップ② 容器封入作業

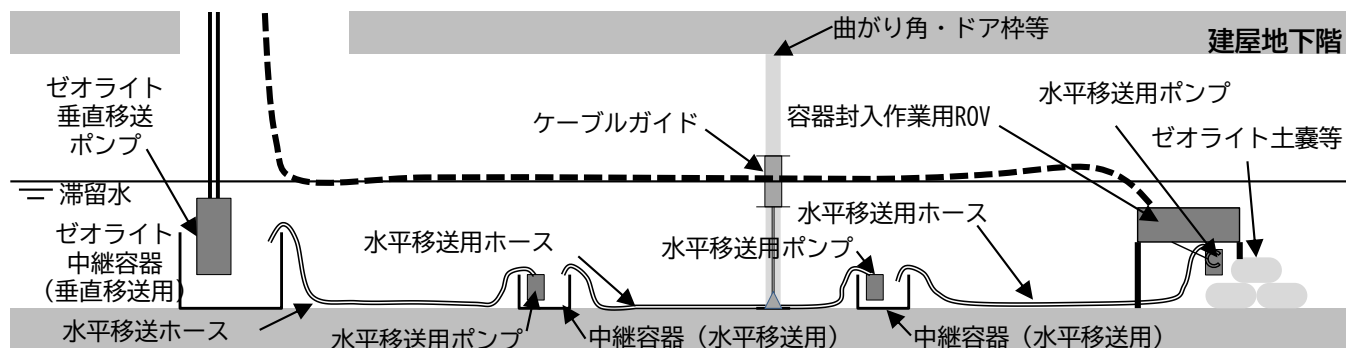
- ✓ 集積されたゼオライトを容器封入作業用ROVで地上階に移送し、建屋内で脱塩、脱水を行ったうえで、金属製の保管容器に封入する。その後は33.5m盤の一時保管施設まで運搬する計画。
- ✓ 階段に敷設されている活性炭土嚢は、地下階に移動させた後、上記と同様に回収する。



【参考】作業概要（地下階作業）

- 地下階でROVを使用してゼオライト土嚢等を充填・脱水設備まで移動させる作業は、2種類のROVを使用して実施し、ROVによる遠隔作業で、地下階にポンプ・ホース・中継容器等を敷設して、ゼオライト土嚢等をゼオライト垂直移送ポンプに集めることにより地上階に抜き出す。

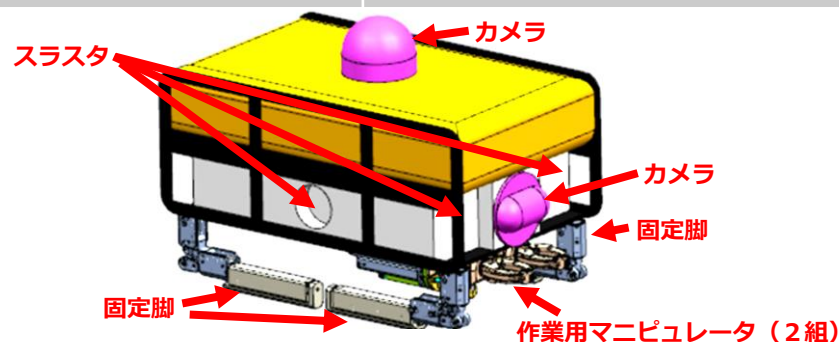
作業に使用する主な機器	概要	基本機能
容器封入作業用ROV（ROV-1）	作業アームを持ち、地下階に移送ホースを敷設し作業用アームで、ゼオライト水平移送ポンプ等を使用して、ゼオライトの移動作業を実施する。	・カメラによる周囲の監視機能 ・航走して移動する機能 ・アームで作業をする機能 ・脚を展開して潜水して自身を固定する機能
ケーブル整線用ROV（ROV-2）	ROV-1の途中のケーブルを整えるとともに送り出すことで、ROV-1を補助する。また、ROV-1の作業補助のため、作業アームを有する。アームを使用して非常時にROVの救援を実施する。	・カメラによる周囲の監視機能 ・航走して移動する機能 ・アームで作業をする機能 ・ローラーでケーブルを送出する機能
ゼオライト中継容器（垂直移送用）	ゼオライト土嚢等をゼオライト垂直移送ポンプに供給するための容器	・ゼオライト土嚢等を一時的に貯留する機能 ・ゼオライト土嚢等を滞留水と混合して垂直移送ポンプに供給する機能
ゼオライト中継容器（水平移送用）	ゼオライト土嚢等を地下階で水平移送する際の小型の中継容器	・ゼオライト土嚢等を一時的に貯留する機能
ゼオライト水平移送ポンプ	ゼオライト土嚢等を地下階で水平移送する際の小型ポンプ	・ゼオライト土嚢等を一時的に貯留する機能
ゼオライト水平移送ホース	ゼオライト土嚢等を地下階で水平移送する際のホース	・ゼオライト土嚢等を水平移送する機能



【参考】 容器封入作業用ROVの設計

■ 潜水型ROVで、作業用マニピュレータと固定脚を持つ構造

要求機能と仕様		
要求機能	機能	● 建屋滞留水中のゼオライト等へアクセス可能であること。 ● ROV がポンプ等を把持して地下 2 階を移動できること。 ● 作業用マニピュレータで土嚢袋を破き、把持したポンプ等でゼオライト等の吸引作業を実施すること。
	補足	地下階のみで作業するROVであり、万が一トラブルが発生しても地上階等、公衆への被ばく影響には影響しない
仕様	外形寸法	長さ1000mm×幅600mm×高さ551mm（水面移動時）
	装置重量	120kg程度
	可搬重量	水面移動時 10kg
	作業用マニピュレータ仕様	20kg（作業用マニピュレータ1本で10kg×2本）
	ケーブル径	直径60mm
	ケーブル長	約100m
	備考	● 浮上した状態で水面をスラストで移動することで、床面の状態に左右されずに移動できる ● 移送作業時など作業時は、固定脚を展開した上で浮力調整をして沈み、自重で場所を固定する ● 資材運搬、移送配管接続作業、移送作業をマニピュレータを使用して実施する ● 作業用ROVの他、ケーブル整線用のROVを別に用意し、ケーブルの絡まりを防止する ● 非常時は浮上する構造で、ケーブル等で牽引して回収できる

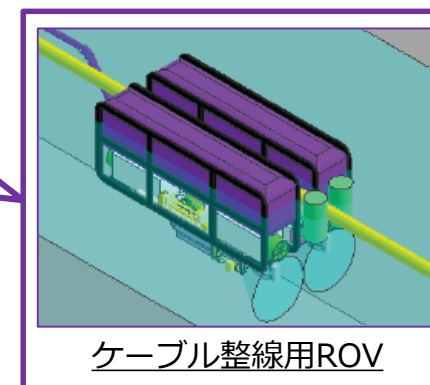
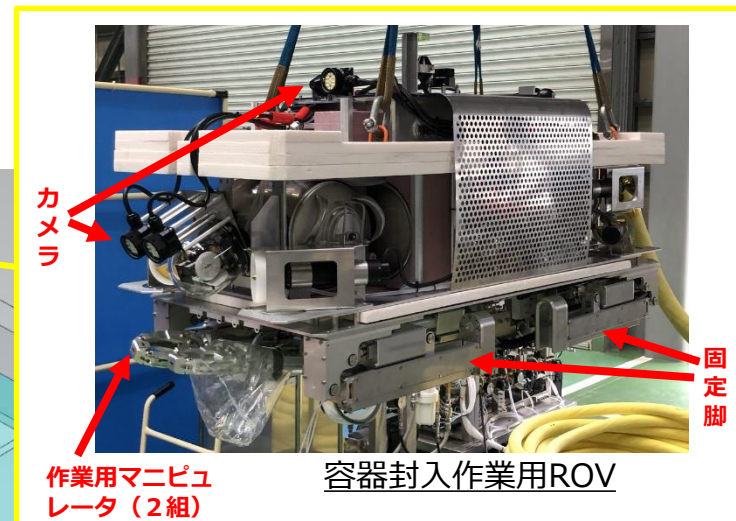
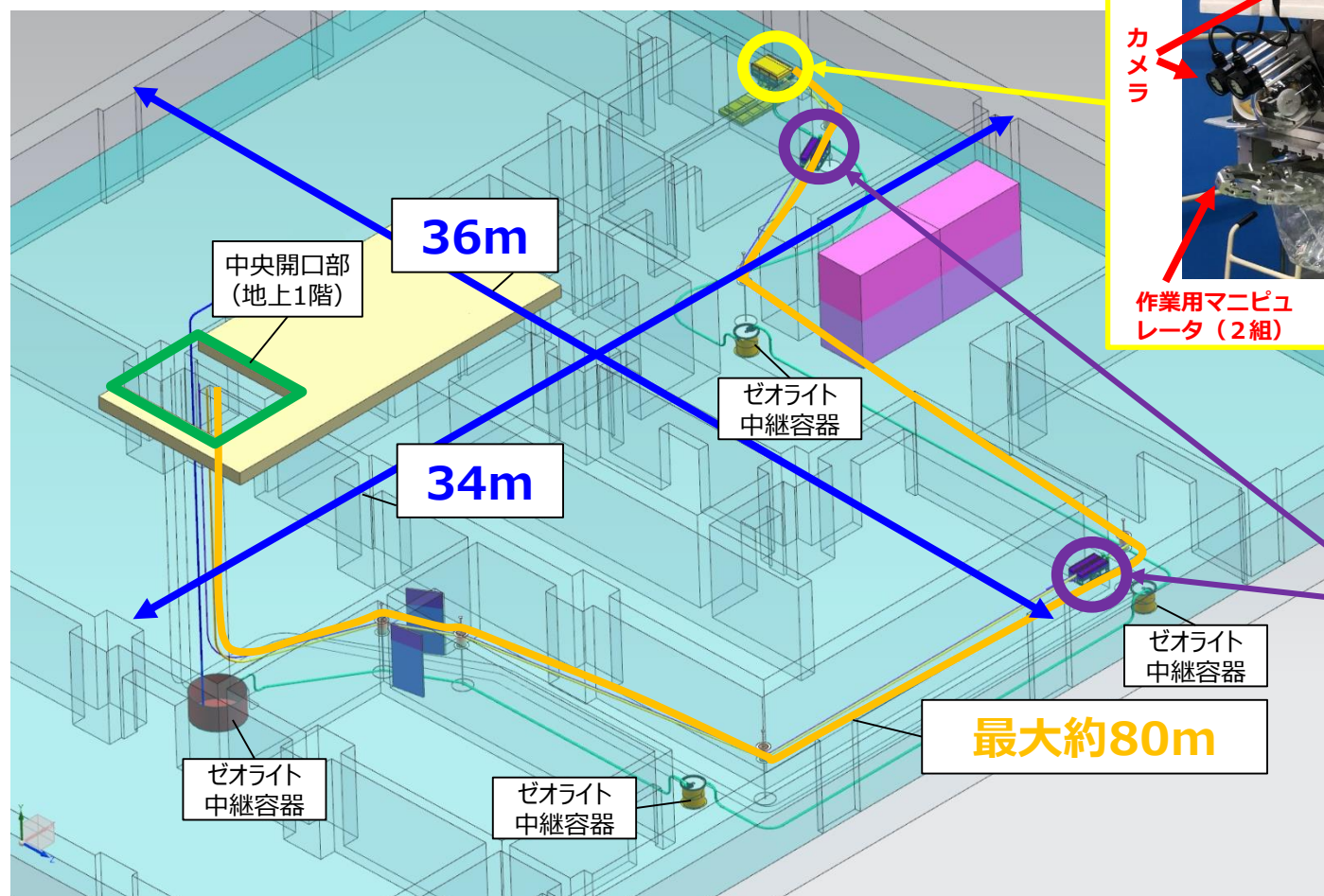


容器封入作業用ROVイメージ



容器封入作業用ROVのケーブルが約100mとなることから、ケーブル整線用ROVでケーブルを整え、送り出す

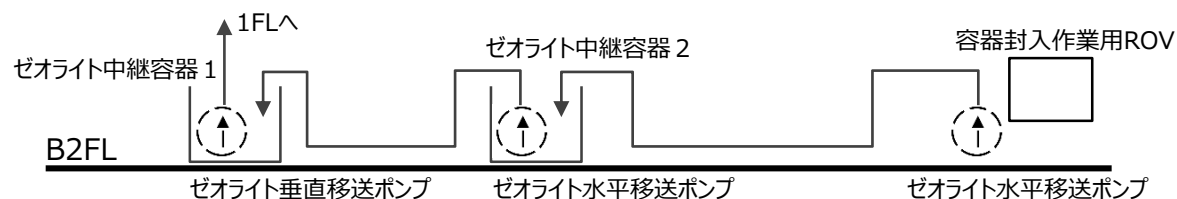
参考) ケーブル整線用ROVイメージ



HTI最下階(地下2階)の例

【参考】地下階での作業状況（ゼオライト等移送方法）

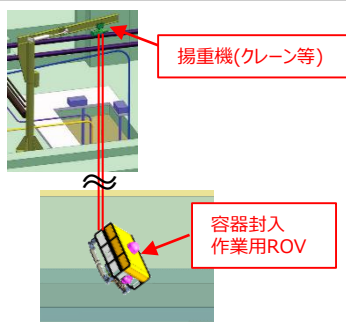
- ゼオライト等をゼオライト水平移送ポンプにてゼオライト中継容器 2 へ移送
 - ゼオライト水平移送ポンプにてゼオライト中継容器 2 のゼオライト等をゼオライト中継容器 1 まで移送
 - ゼオライト垂直移送ポンプにてゼオライト中継容器 1 のゼオライト等を地上階へ移送
- ※ ROV本体のペイロードが小さいことから、資材は小分けにしてROVで運搬する



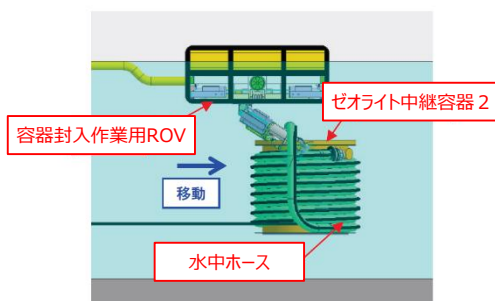
名称	仕様	
ゼオライト中継容器	個数	1 個以上
	容量	100L~1m ³
	材料	SUS
ゼオライト水平移送ポンプ	個数	1 台以上
	容量	~5m ³ /h
	揚程	~10m

作業フロー図

① 地下階に遠隔でROVを投入



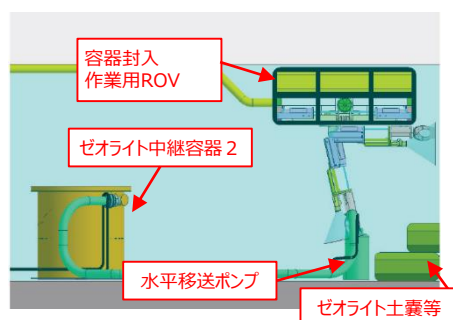
② ROVにて中継容器を把持し移動



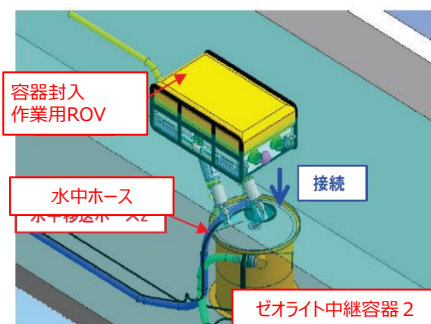
③ ROVにて移送ポンプを把持し移動



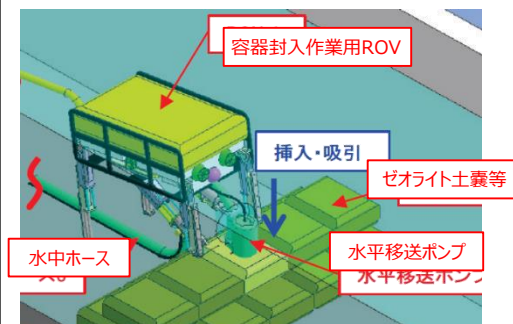
④ ゼオライト等近傍に移送ポンプを設置



⑤ 水中ホースを中継容器に接続



⑥ ゼオライト等を移送ポンプで吸引



【参考】過去の不具合事例に対する本件への反映内容(1/2)

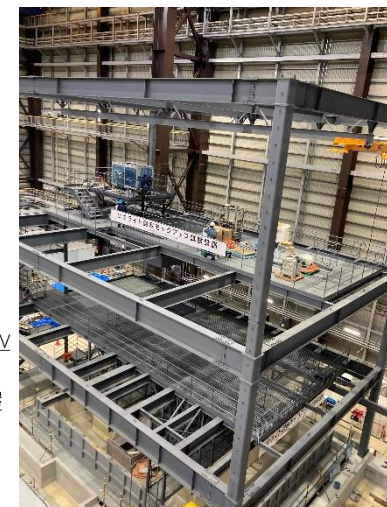
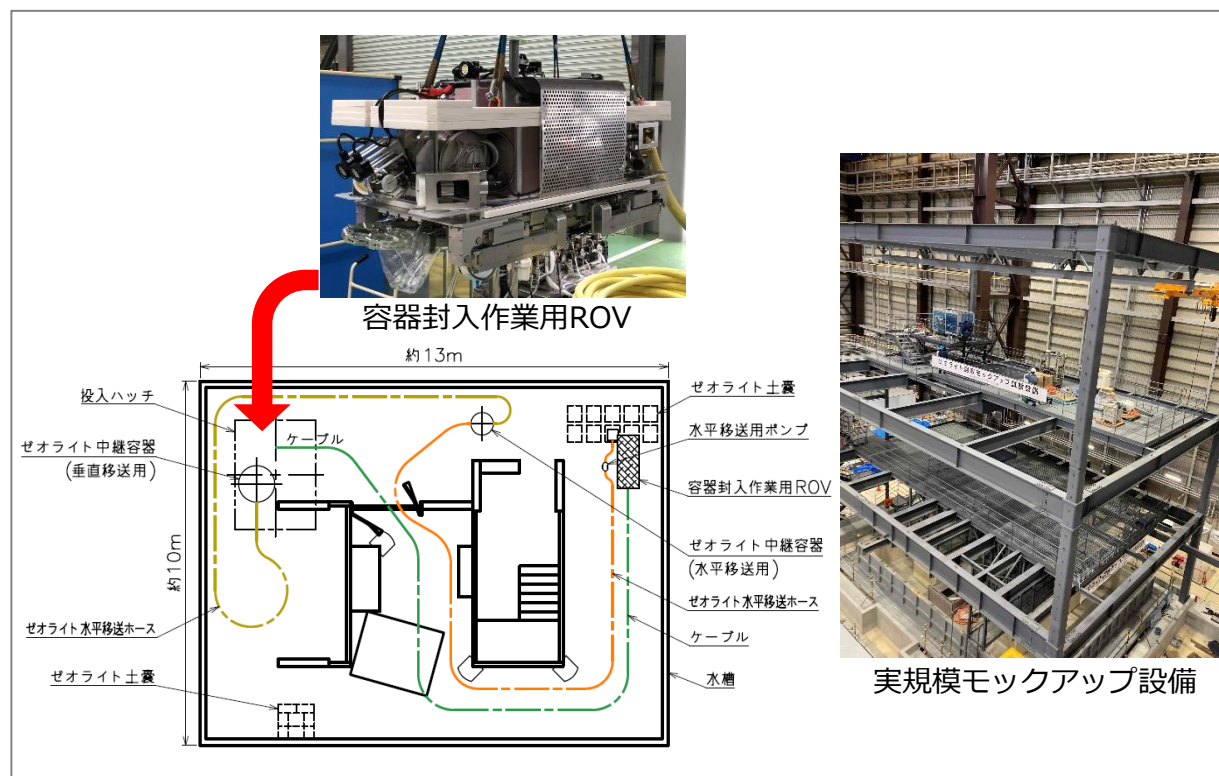
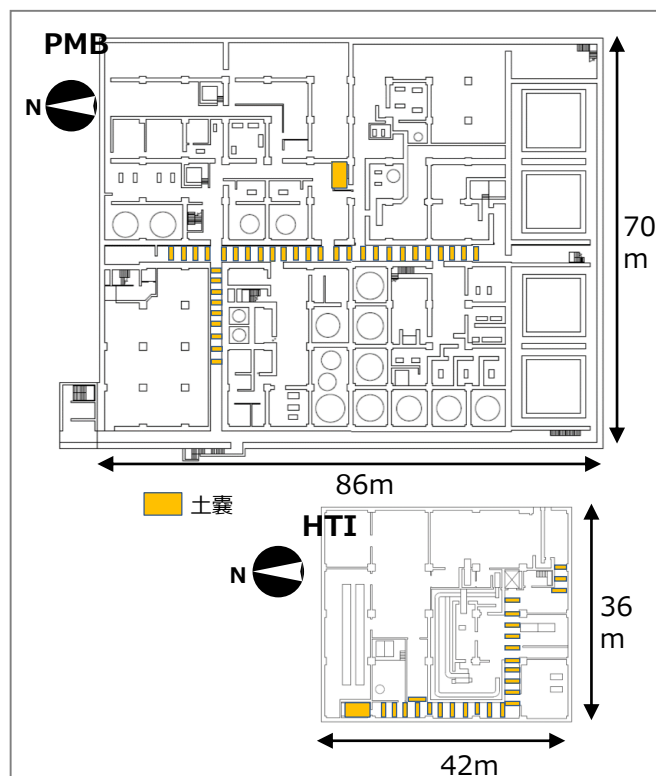
- 遠隔機器を用いるという点で類似点がある，1・2号機SGTS配管撤去，1号機PCV内部調査，3号機燃料取扱機並びに1・2号機排気筒解体で得られた知見を基に，本件への反映内容は以下の通り。

No.	不具合事象	得られた知見	知見の反映内容	本件への反映内容
1	配管把持装置の動作不良	配管把持装置を吊り上げた際の揺れによるケーブルコネクタの接触不良が発生する。	ケーブルの整線を行い，制御盤内にケーブル固定用サポートを設置すること。	ROV内部でケーブルコネクタが外れにくい形で固定する。
2	配管切断中のワイヤーソーの配管噛み込みについて	切断装置のワイヤーソーの刃が配管に噛み込み，動かなくなった。配管の切断面が，切断対象配管の自重や吊り天秤の重心の僅かな偏り等により歪んだ可能性がある。	・噛み込み防止対策 ・噛み込んだ場合の対策	ゼオライト回収作業については，回収を継続することで相手側の状況が変わることも考慮して試験を実施する。
3	モックアップと現場に相違があり切断装置の性能を十分発揮できない	使用するクレーンの大きさの違いから，油圧ホースをジブへ敷設した場合のリスク抽出が十分でなかった。	・現場に近いモックアップを再現 ・現場とモックアップの違いのリストアップ ・タイムスケジュールの確認	現地に近いモックアップ試験を計画した上で行う。実機を模擬できない事項については事前にリスク抽出と対応方針を検討する。
4	2号機SGTS配管の切断後，線量測定を実施し，予想より高い線量を検出	最大 $\beta + \gamma$: 3000mSv/hを確認	—	現場調査結果を基に遠隔で作業可能な工法を検討する。
5	油圧ホースからの油漏れ	油ホースからの油の漏えい	油圧ホースをクレーンジブに這わせることで油圧ホースに負荷がかかっている。	ケーブルへの負荷により水漏れしない構造とする。
6	飛散防止剤噴霧ノズルの詰まりについて	ノズルは毎回清掃しているが，詰まりがみられるため，発生飛散防止剤をタンクに入れる直前にろ過水でラインのフラッシングを行う。	・念入りに清掃 ・ろ過水でフラッシングの実施 ・ホース内のろ過水充填	ゼオライト移送配管については，ゼオライト移送後に適宜，建屋滞留水のみを移送することで配管フラッシングを実施する。また，ゼオライト保管容器充填後に，ろ過水等でフラッシングを実施する。
7	外部放射線の影響を含んだ指示値が出力される。	測定場所で1時間BG測定を実施する必要がある。切断装置の飛散防止材のミストや湿分が高い物を採取し，流量低による，ろ紙送りが発生した可能性がある。ろ紙送りされるとBG測定がリセットされるため，再度BG測定が必要。	ダスト採取口を飛散防止剤の影響を受けない位置に変更。	ROVでの作業ではゼオライトを水と一緒に取り扱うため，外部への影響は限定的であるが，作業ハウスで水とゼオライトが外部に飛散しない状態で作業を実施する。

【参考】過去の不具合事例に対する本件への反映内容(2/2)

No.	不具合事象	得られた知見	知見の反映内容	本件への反映内容
8	通信障害の発生	公共電波との干渉により一時的な通信障害が発生する（他工事でも同様の事象が発生） 装置側アクセスポイント(AP)のハンガアップにより復旧に時間を要している。	- 電波干渉による通信障害が発生した場合の主通信機と予備通信機の切り替え手順を整備 - 遠隔操作にて装置側のAPを再起動できるようにする - 装置を吊上げる前にAPを再起動する手順に見直しする。	有線接続で作業を実施する。
9	ROV内部への水が進入してしまう	ROVのケーブル被覆がピンチローラーでしごかれることによりケーブル被覆にしわが発生	ROVの吊り上げ、吊りおろしの回数を減らす（しわの発生を防止するにはケーブルの被覆を厚くする必要があり、航走機能へ影響が考えられる）	要素試験、MU等でしわの発生しにくい運用方法を確認する。ROVの吊り上げ、吊りおろしの回数を減らす。
10	ROV内部への水が進入してしまう	ケーブル被覆のしわが干渉物に引っ掛かりケーブル被覆が破損	しわが発生した場合は、しわが干渉物に引っかからない運用で作業を継続する	ケーブルと干渉物との接触が無いように、ROVで監視する。地下2階の角部にはケーブルガイドを設置する。
11	線量データが正確に表示されない	ケーブルドラムのノイズが接地の共通箇所を通じて線量計関連機器に回り込み、線量データに影響した	- ドラムコントロールBOXと線量計電装関連機器の設置分離 - HUBと計測系の分離 - 電源アース分離 - ノイズカットトランス取付	- 使用可能なアースと設置の種類について事前に確認の上システム構成を検討する。 - ノイズが入ると問題が生じる機器については、接地、HUB等を別系統にする
12	タイムスタンプが点滅・時刻が止まる	カメラ通信ラインのケーブルにテンションがかかり、導通不良が発生したことでタイプスタンプの表示に影響を及ぼした	外部からの影響によりテンションがかからない様にケーブルの余長を確保する	外部からの影響によりテンションがかからない様にケーブルの余長を確保する
13	部品を供給した海外メーカの組立不良や動作条件の設定誤り	調達先に対する要求仕様の具現化が不十分であったこと、また、製造過程での品質の確認不足があった	海外ベンダーに対する品質管理強化	海外ベンダーのQMSへの改善や調達先の規準等を改善することで、総合的に品質の向上を図る
14	再現性を高めるべき部位についてMUにて再現出来ておらず、課題を洗い出さなかった。	MU特有の条件が、実工事でのどのような形で顕在化・表面化するか、MUを計画する段階で、十分な検討と対策が必要。	MUにおける現場の再現度を高めること、並びMU時の知見を確実に実機に反映すること。ただし、ありとあらゆる事態や現場状況を再現してMUを行うことは現実的ではないため、不測事態への対応方針の検討を実施すること。	MUにおける現場の再現度を高めること、並びMU時の知見を確実に実機に反映すること。不測事態への対応方針の検討を実施すること。
15	再現性を高めるべき部位についてMUにて再現出来ておらず、課題を洗い出さなかった。	気象や環境条件など、MUでは完全に再現出来ないことを前提に、不測事態の対応など、最終的なセーフティネットになる作業のモックアップはきちんと時間を掛けて行っておくこと	MU時に操作習熟度を高めることにより実作業の操作ミスの削減を図る	MU時に操作習熟度を高めることにより実作業の操作ミスの削減を図る

- ゼオライト土嚢等処理設備（容器封入作業）に関するROVのモックアップについて、日本原子力研究開発機構(JAEA)櫛葉遠隔技術開発センターにて2023年9月に実施する。なお、集積作業に関するROVのモックアップも当該施設で実施している。
 - 上階(地下1階，地上1階)を模擬した架台を設置(高さは実スケール)
 - 現場調査で確認された干渉物，劣化した土嚢袋等を再現し，現場環境を模擬。
- 実規模モックアップで確認された課題や修正点については，フィードバックを実施した上で，現場作業の安全性と確実性を高めるため，引き続きモックアップを実施する。

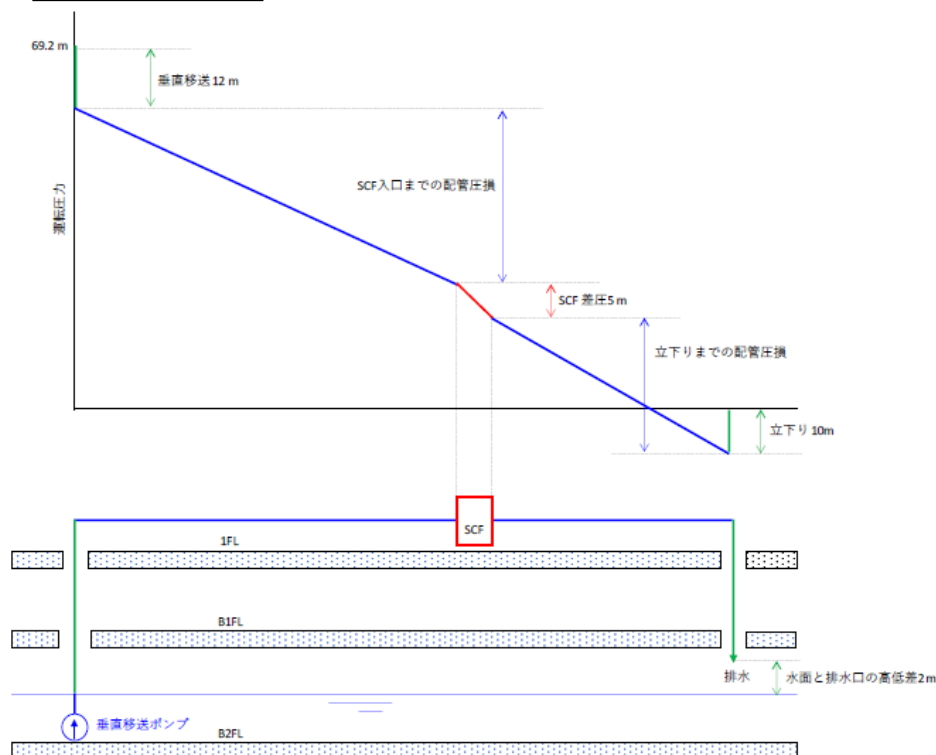


実規模モックアップ設備

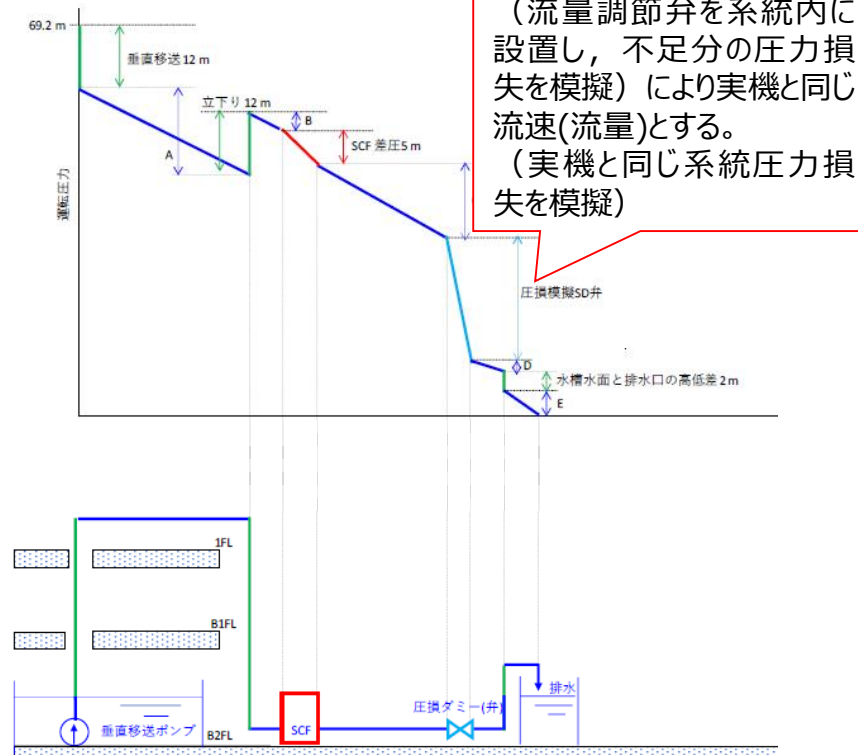
- 保管容器の設置高さが実規模モックアップと実際の設備で異なる※1ため、モックアップ時に保管容器内の運転圧力は実機よりも高くなるが、保管容器内部のフィルタ性能に影響を与える因子はフィルタ差圧であり、運転圧力が異なっても差圧は変化しないため、実際の設備と同じ通水条件となる。
- また、差圧は流速依存が高いが、実機と同じ流速（流量）となるよう、背圧弁（圧損模擬弁）にて調整を行う。

※1 実規模モックアップにおいては保管容器は重量物であり、実際の設備の地上1階相当の高さを模擬した架台上に設置出来ない

実際の設備※2



実規模モックアップ



圧力損失分を弁による調整（流量調節弁を系統内に設置し、不足分の圧力損失を模擬）により実機と同じ流速(流量)とする。
（実機と同じ系統圧力損失を模擬）

※2 PMBとHTIでは、系統構成は同じだが配管長が異なり、系統圧損が大きいPMBでの評価を前提とする。

- ◆ 今回、主にケーブルマネジメント、一連のROVの遠隔動作、想定トラブル対応について、実規模モックアップを実施した。
- ◆ 必要な要素については、一通り確認を実施しており、大きなトラブル等は無く、コンセプトについて問題が無いことを確認した。

1.投入



ROVの動作に合わせ、ケーブル送り、巻き上げ機能を確認

2.航走



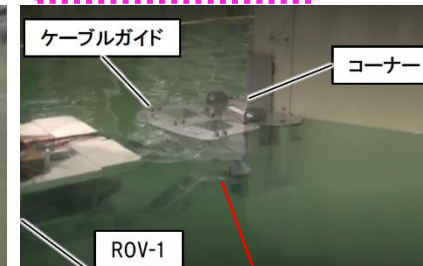
航走し5回曲がりが可能であることを確認

3.監視



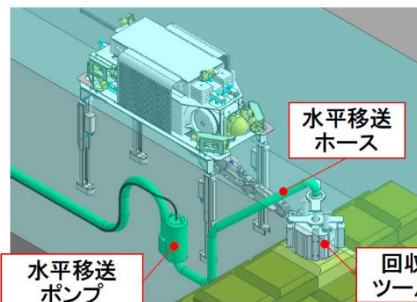
ケーブル余長の牽引補助をしながらの航走ができることを確認

4.資機材運搬

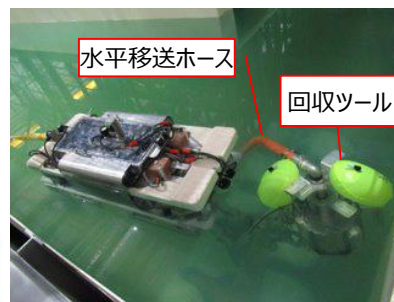


資機材をROVが把持、運搬、設置できることを確認

5.吸引



6.水平移送



7.垂直移送



回収ツール吸引前



回収ツール吸引後

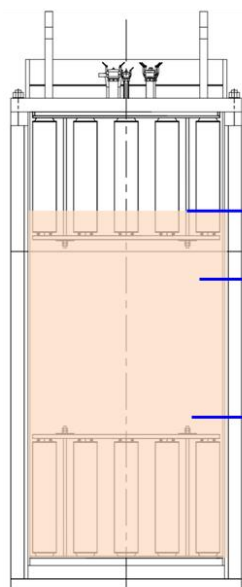
ゼオライト吸引時の作業概要（イメージと試験様子）

土嚢袋を切開し、閉塞することなく劣化土嚢袋内のゼオライトを吸引、移送出来ることを確認

8.保管

- 洗浄により塩分濃度を 1/20 以下（1,000ppm→20ppm程度）まで脱塩できること、及び 25w%程度まで脱水が可能であることを確認した。
- なお、脱水後のフィルタについて、表面を閉塞している様子及び破損等は確認されなかった。

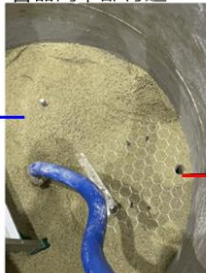
ゼオライト表層部



容器内上部付近



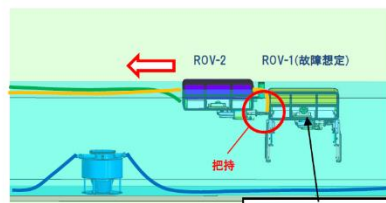
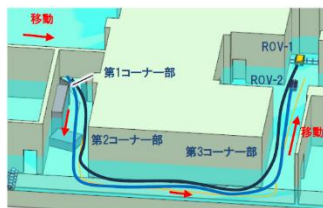
容器内下部付近



水が滴らない程度に十分に脱水されていることを確認

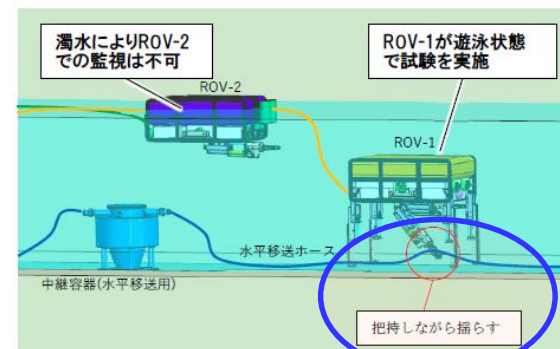
保管容器内のゼオライト脱水

10.トラブル対応



ROVの強制引き戻し

9.メンテナンス



メンテナンス確認試験

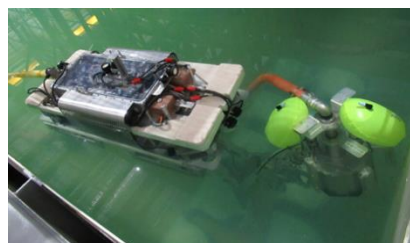


ROVアームにて移送ホースを把持し、上下/左右に揺らすことが可能であることを確認

監視用ROVで作業用ROVを把持して牽引回収できることを確認

◆ 容器封入作業におけるモックアップでの課題

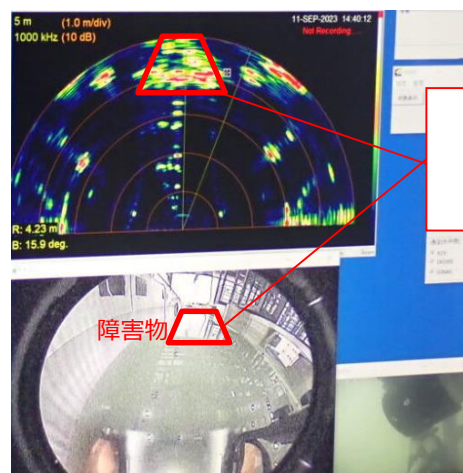
- 作業で濁水が発生することによる視認性の課題
 - ✓ 濁水中の確認はソナーを採用する方針
 - ✓ 濁水の低減・拡散防止等については作業手順を最適させて低減させていく方針。



ゼオライト回収作業前



ゼオライト回収作業後

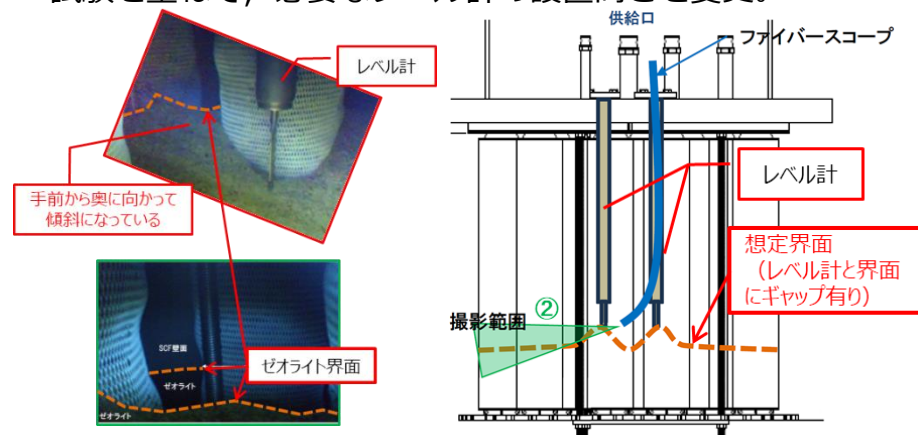


ソナーの確認結果

前方に物体があることが確認可能

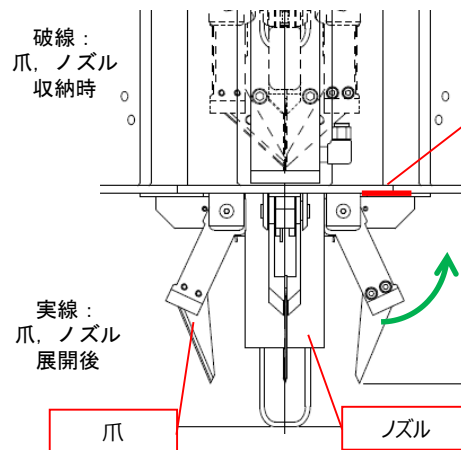
障害物

- ゼオライトの保管容器への充填時に、レベル計の検知ランプが点灯した後消灯し、検知状況が安定しないことを確認
 - ✓ ゼオライト界面の凸部が出来、検知プローブに触れた後に水流で崩れることの繰り返しにより、検知プローブの点灯と消灯を繰り返すと推定。
 - ✓ 試験を重ねて、必要なレベル計の設置高さを変更。



● 回収ツールへのゼオライト噛みこみ

- ✓ 回収ツールの構造を見直したほか、使用しない方法も採用。



ゼオライト挟み込み箇所



回収ツール

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	「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。	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。	2～6頁
2	「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。	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。	7～13頁
3	「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。	14～15頁
4	「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。	16頁

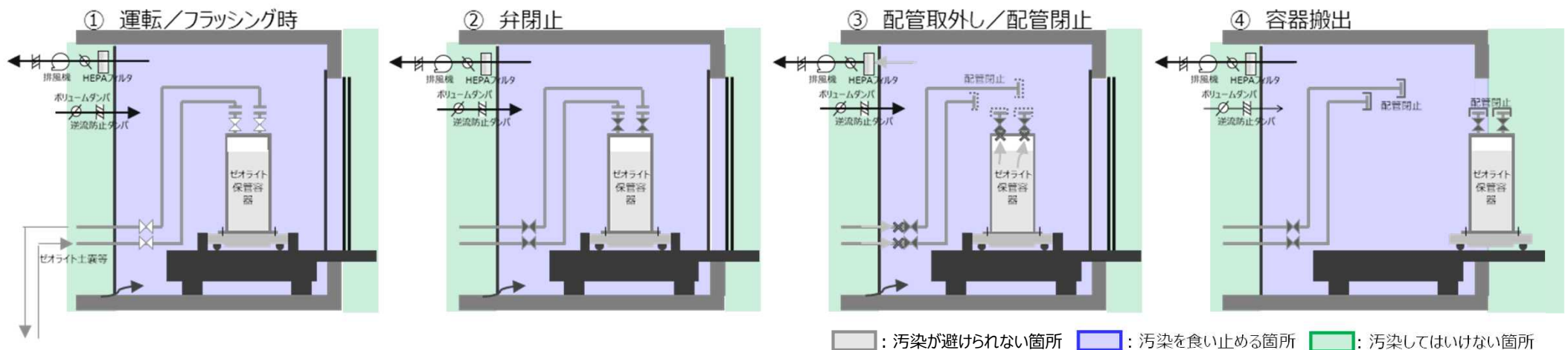
Ⅱ.2.10.気体廃棄物(閉じ込め)

- 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。

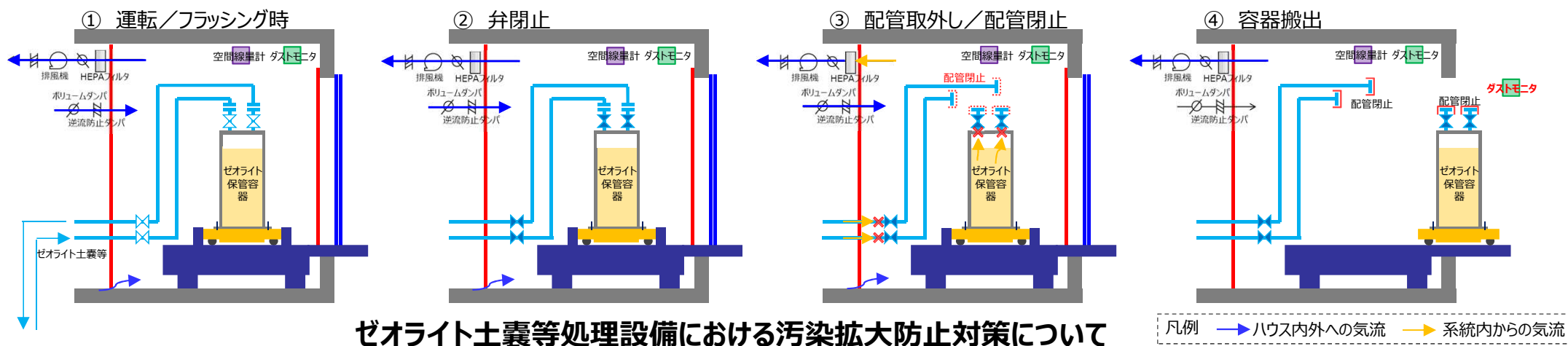
エリア	対象箇所	要求機能	管理対策
汚染が避けられない箇所	ゼオライト土嚢等処理設備系統内	系統内にゼオライト等の放射性物質を閉じこめること	ゼオライト等の移送は閉じられた系統内で取り扱う設計とする。
汚染を食い止める箇所	ハウス内	ハウス内に放射性物質が拡散した場合，ハウス外への放出を防止すること	ハウス内はインリーク管理とし換気を行う。また，ダスト濃度等を監視し，異常があった際は作業を中断し，除染等を行う。※
汚染してはいけない箇所	建屋内（ハウス外），建屋外	系統内，もしくはハウス内からの放射性物質の放出を防止すること	保管容器の搬出時や運転時においてダスト濃度を監視し，設定した管理値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



■ 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（4Bq/cm²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：2.0E-2 Bq/cm³
全面マスク着用基準：2.0E-4 Bq/cm³

■ 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

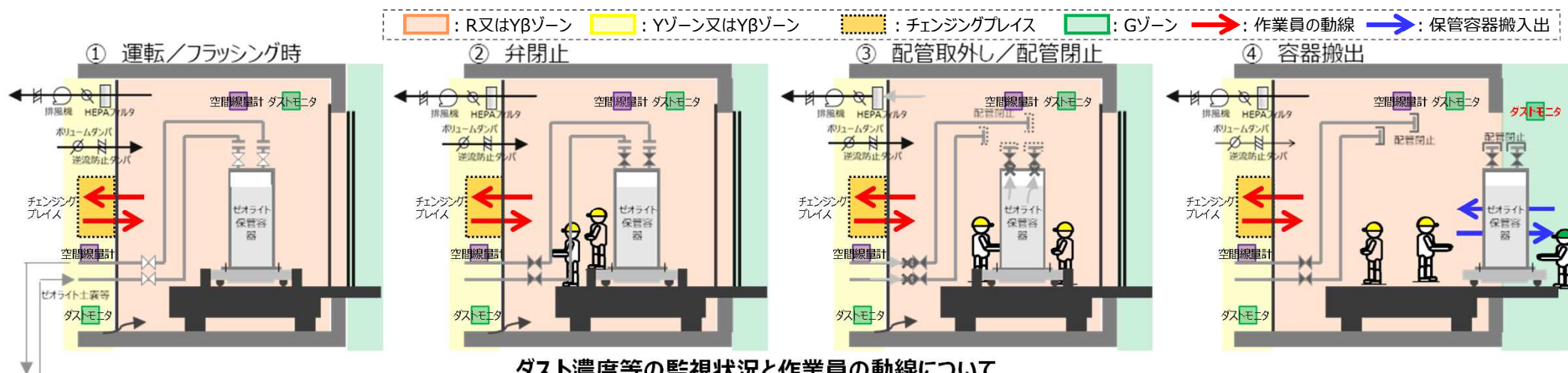
- 耐圧ホース取り外し時、配管内部はフラッシング及び脱水済で、短時間で閉止することから、汚染が拡散する可能性は低いですが、わずかでも滞留水が滴下する可能性ある作業であるため、作業員保護の観点でアノラック着用にて作業を実施する。なお、既実施のモックアップにおいて、滴下は確認されていない。
- ハウス内の区域管理はR又はYβゾーンとして作業を実施し、ハウスの出入口にはチェンジングプレイスを設ける。

➤ 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。

2-1. 作業員の被ばく量について

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

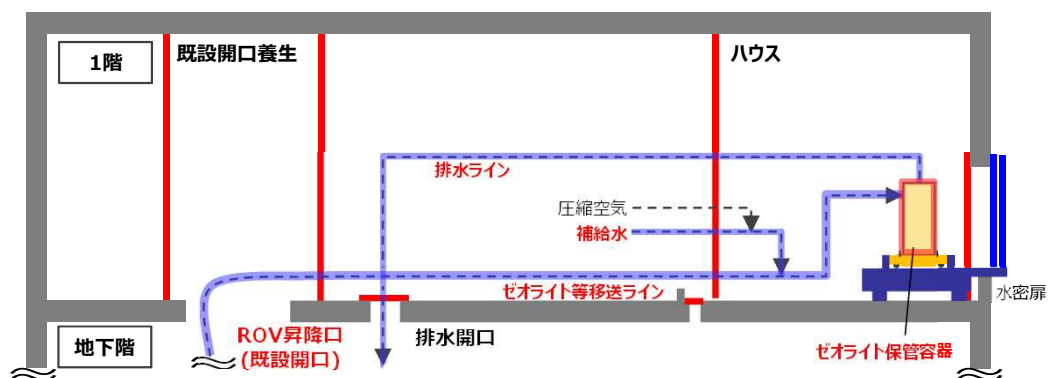
No	作業内容	作業場所	雰囲気線量(mSv/h)	作業時間(h)	想定作業人工	被ばく線量 (mSv・人)
1-1	容器封入作業用ROVの投入	既設開口養生エリア	1	1	11	11
		遠隔操作室	0.001	1	13	0.013
1-2	容器封入作業用ROVの回収	既設開口養生エリア	1	1.5	11	16.5
		遠隔操作室	0.001	1.5	13	0.0195
2	容器封入作業用ROVの洗浄/メンテナンス	既設開口養生エリア	1	1.5	11	16.5
		遠隔操作室	0.001	1.5	13	0.0195
3	必要に応じ、手順1、2を実施					1回当たり約45mSv・人

※ 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。	- 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。 - 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。	- 移送運転中は配管近傍への立ち入りを制限する。 - 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。 - 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。
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。	- 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。 - 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。	- 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。 - 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。
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。	- ROV洗浄については遠隔で実施し、線量率を低減する。 - 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。	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。



被ばく低減対策について

2-3. 線量率評価について

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

※¹ 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2.7m³（保管容器1基容量2.2m³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/cm³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/cm³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/cm³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※²（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※³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

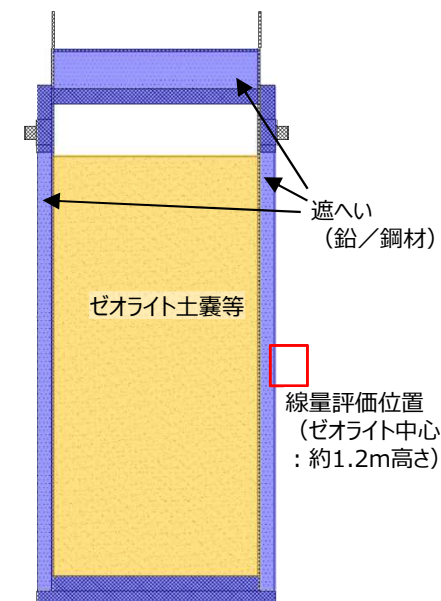
核種	濃度※ ⁴
Cs-137	1.8E+8 Bq/g
Cs-134	1.1E+7 Bq/g
Sr-90	1.4E+7 Bq/g

※² 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。

※³ 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。

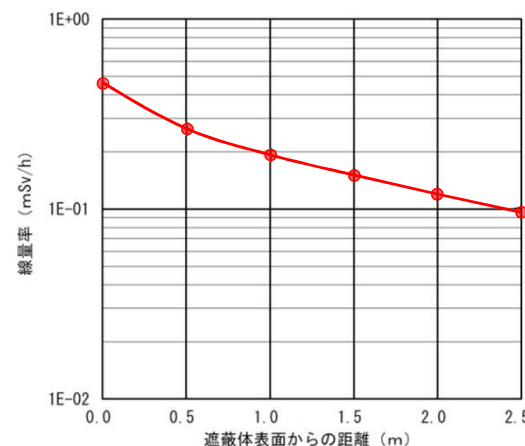
※⁴ 放射能濃度は分析結果に不確かさを有することを踏まえ30%の安全率を見込む（分析結果×1.3）。またCs-137及びSr-90の娘核種Ba-137m、Y-90を同一濃度で見込む。

解析条件（モデル）



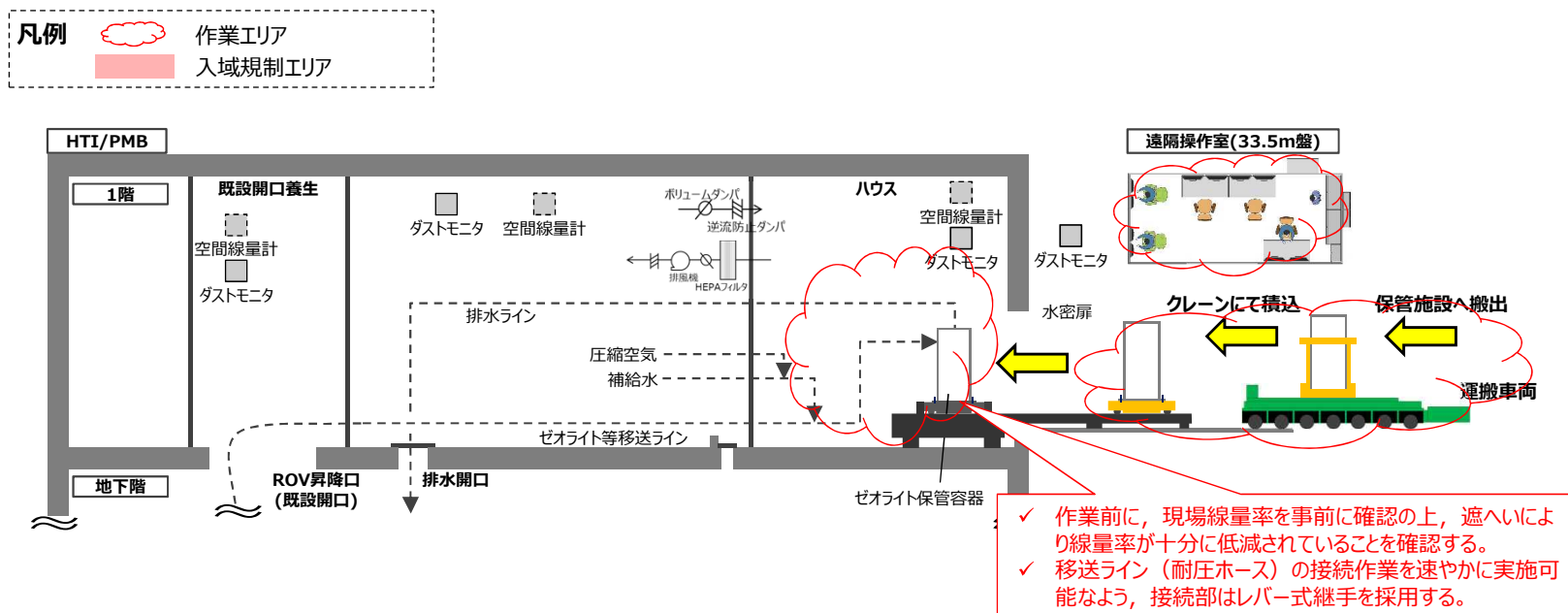
解析結果

- 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。

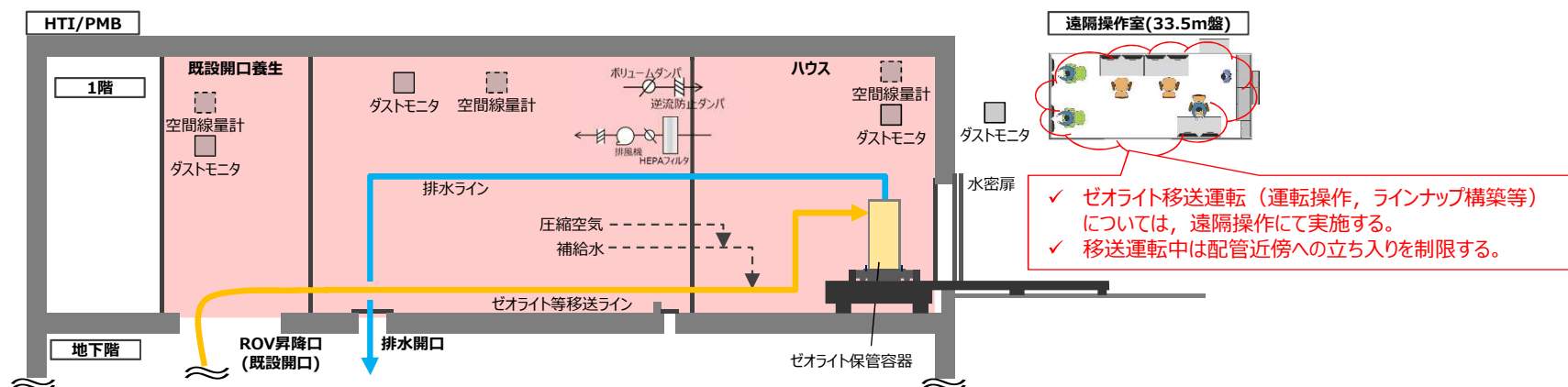


容器封入作業手順

1. ゼオライト保管容器の搬入

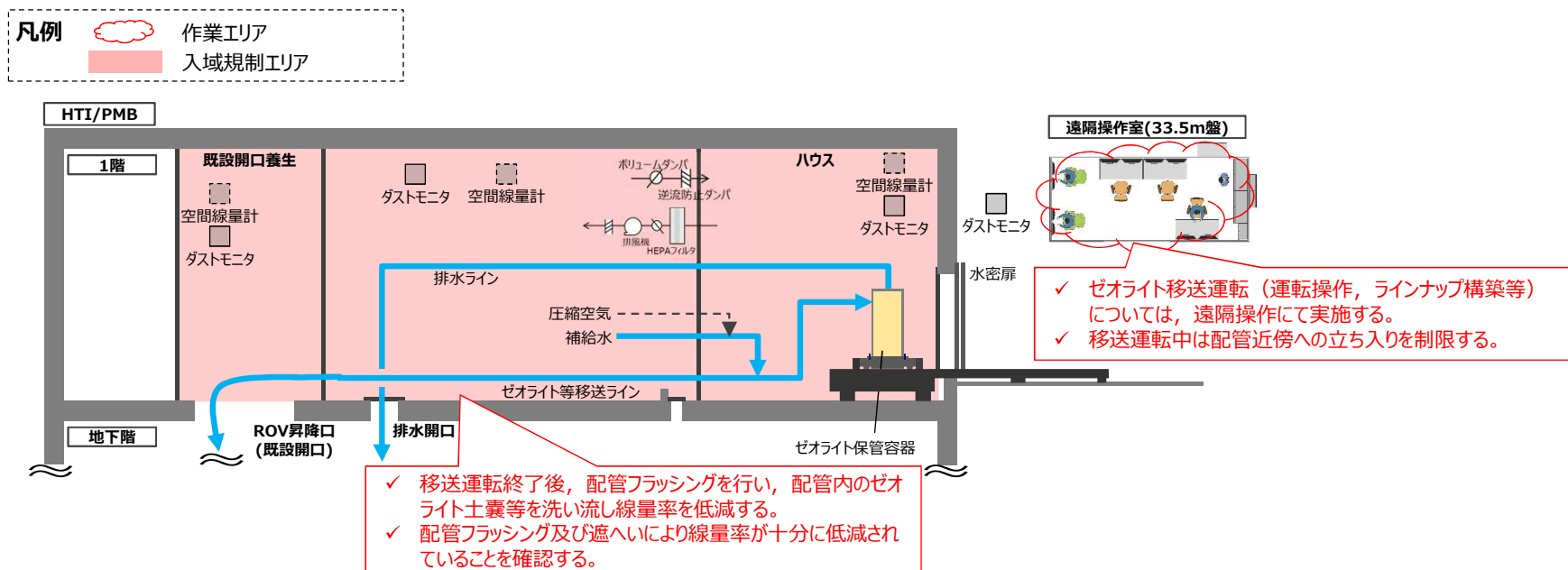


2. ゼオライト保管容器へゼオライト等と建屋滞留水の移送，及び建屋滞留水の排水

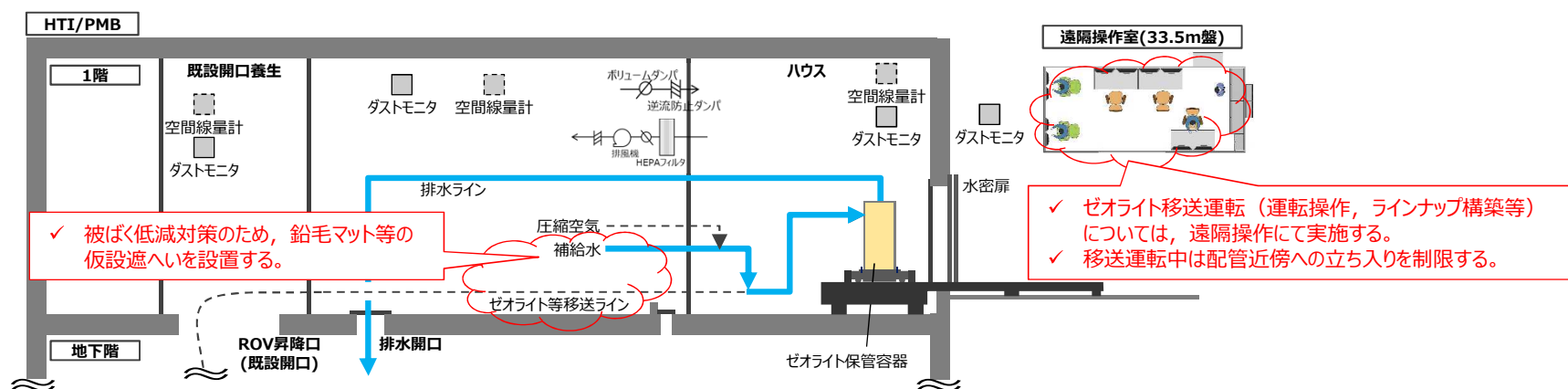


容器封入作業手順

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

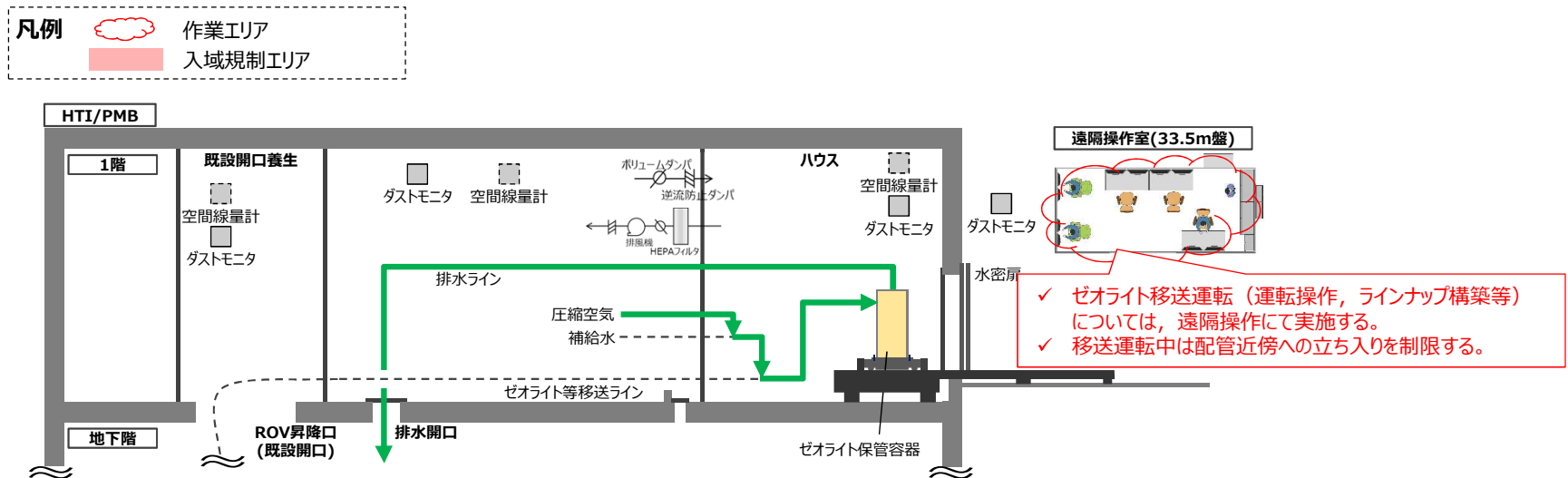


4. ゼオライト等の脱塩（補給水によるゼオライト等の洗浄）

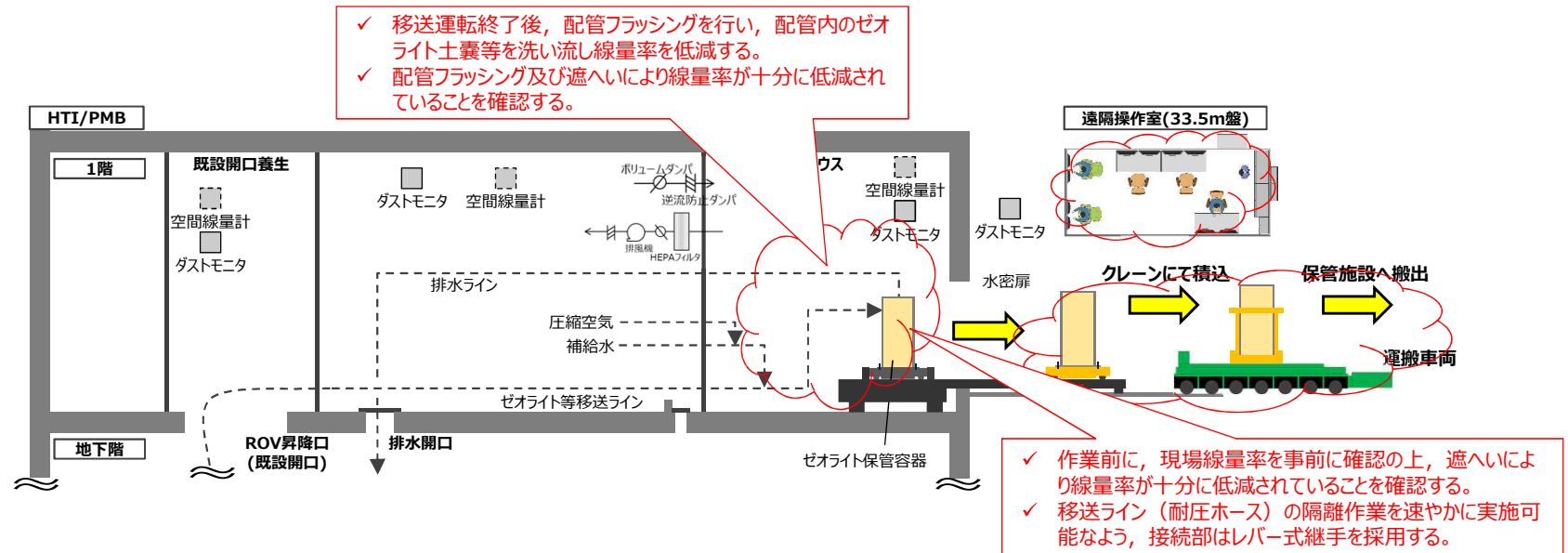


容器封入作業手順

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

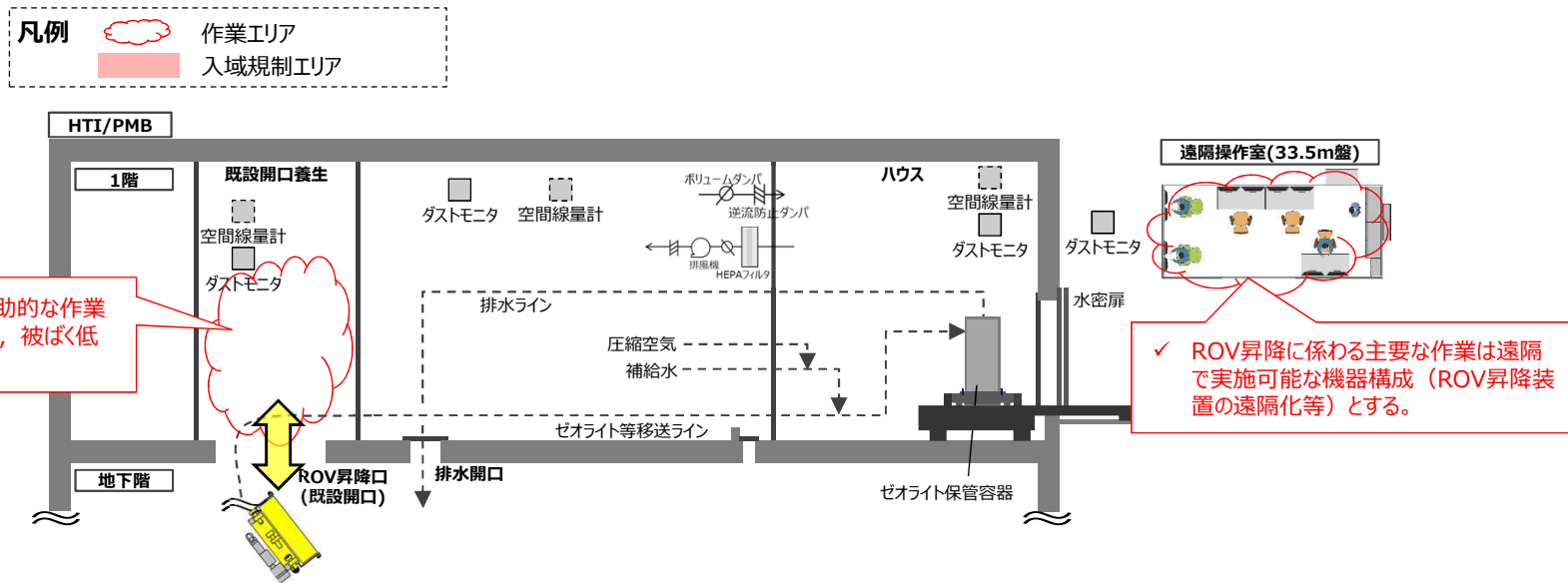


7. 以降，手順1～6を繰り返す

ROV投入作業手順※

1. 容器封入作業用 ROVの投入/回収

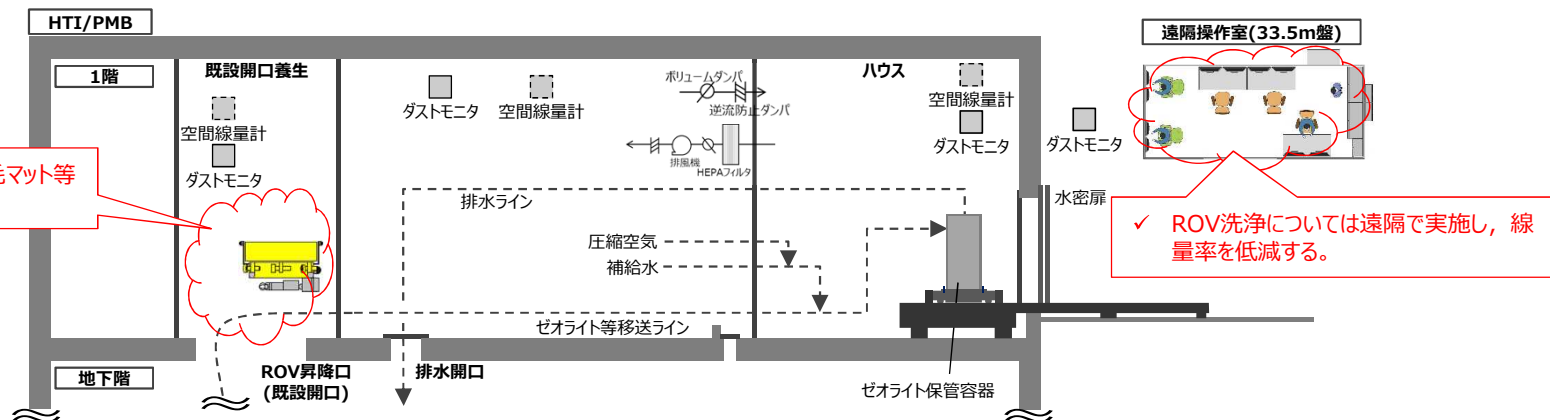
✓ 開口部近傍での作業は補助的な作業（ROV養生等）に限る等、被ばく低減に努める。



✓ 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。

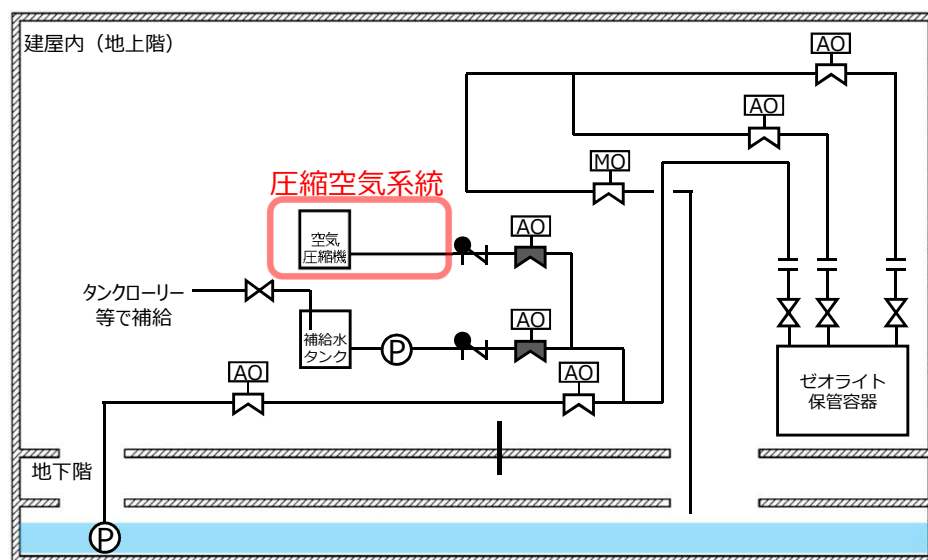
3. 圧縮空気系統における安全機能の整理について

「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

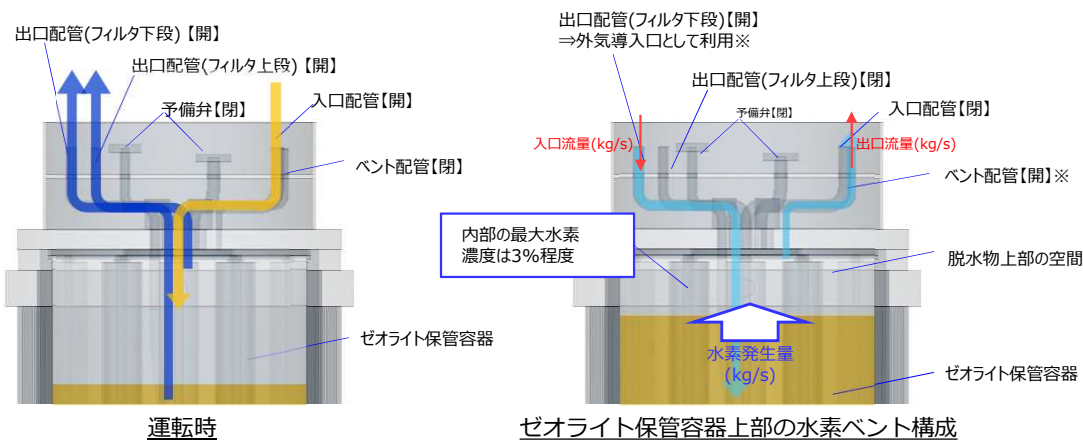
- 容器封入作業用ROV
- ケーブル整線用ROV
- ゼオライト中継容器（垂直移送用）
- ゼオライト中継容器（水平移送用）
- ゼオライト水平移送ポンプ
- ゼオライト水平移送ホース
- ROV昇降機

4. 水素対策について

「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： 3.81×10^{18} (100eV/s)

A：アボガドロ数 (6.02×10^{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 2.85×10^{-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ため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、 2.66×10^{-6} kg/s となる。