

# 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 8月 30日

---

**TEPCO**

東京電力ホールディングス株式会社

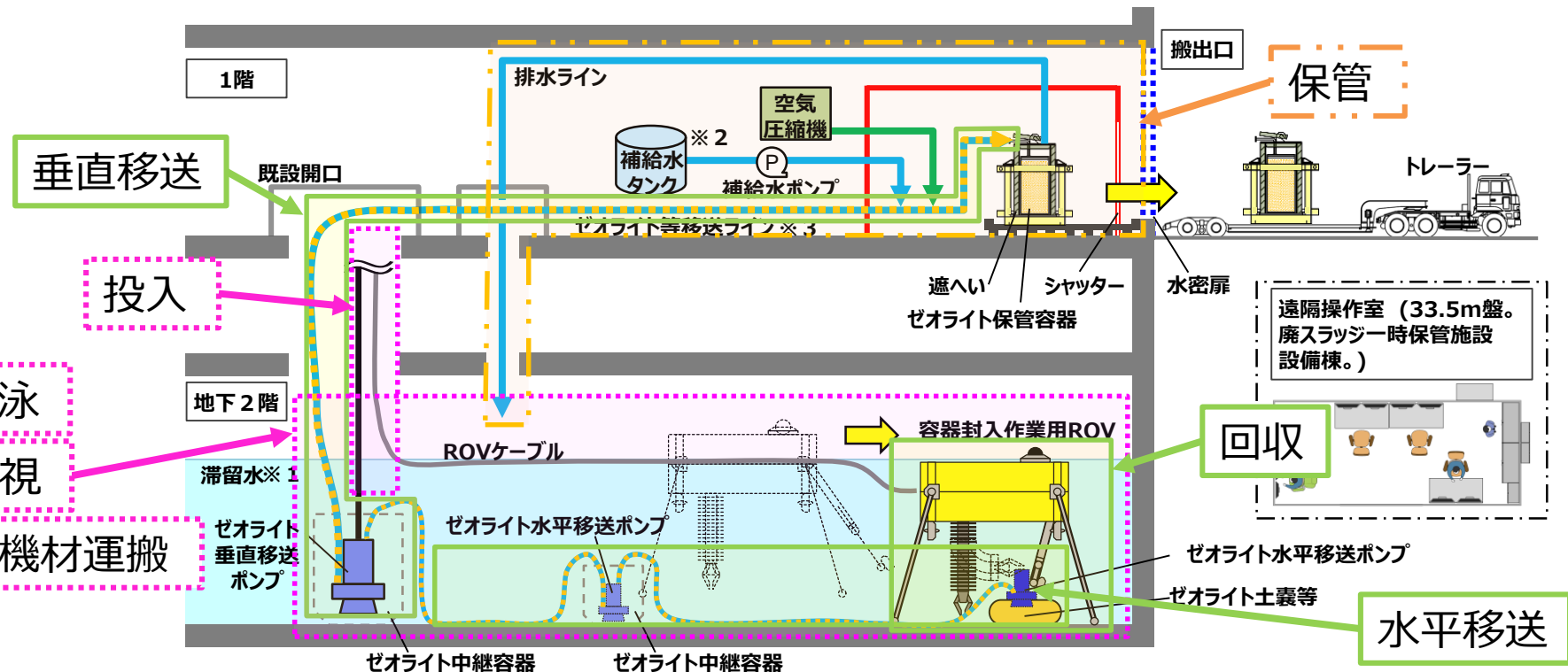
## 1-1. ゼオライト土嚢等処理設備における実規模モックアップ試験実施に当たって

- 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を2023/9に実施する。
- 2023/7/11に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、考え方は下記の通り。

No	項目	実際の設備・手順との相違	考え方	確認時期
(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か確認する。	2023/9に実施予定
(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する。	2023/9に実施予定
(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	今後、保管容器を満充填するまで、連続運転する試験を実施する。	2023/9に実施予定
(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、今後試験にて確認致します。	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、今後試験にて確認致します。	2023/9に一部実施予定 今後引き続き実施予定
(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	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。また、地下階の移送系統の閉塞時対応として設備交換等の対応についても、今後試験にて確認する。	2023/9に一部実施予定 今後引き続き実施予定
(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	ゼオライト等を安定した固液比にて移送を継続できることについては、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。	2023/9に一部実施予定 今後引き続き実施予定
(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	容器への充填時の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ご呈示させていただく。	2023/9に一部実施予定 今後引き続き実施予定
(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する。	2023/9に実施予定

## 1-2.作業概要（容器封入作業の全体概要）

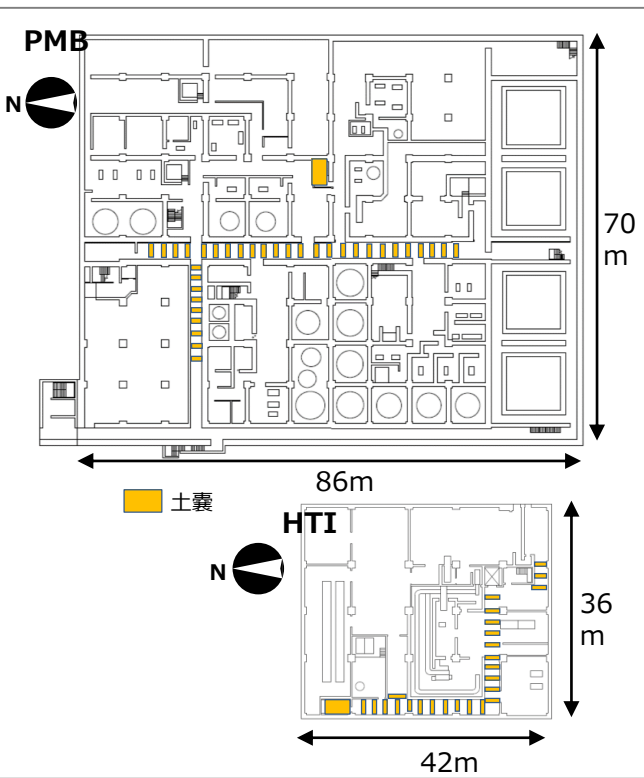
- プロセス主建屋（以下、PMB）、高温焼却炉建屋（以下、HTI）の最下階に敷設しているゼオライト土囊・活性炭土囊（以下、ゼオライト土囊等）について、地下階に容器封入作業用ROVを投入し、ゼオライト水平移送ポンプ及びゼオライト垂直移送ポンプでゼオライト等を地上階のゼオライト保管容器に回収し、33.5m盤の一時保管施設まで搬出する。
- ゼオライト保管容器内部にはフィルタが装備されており、補給水及び空気圧縮機を用いゼオライト等の脱塩（建屋滞留水に含まれる塩分の除去）、脱水を実施する。また、ゼオライト等の移送作業後、ゼオライト等移送ラインはフラッシングを実施する。



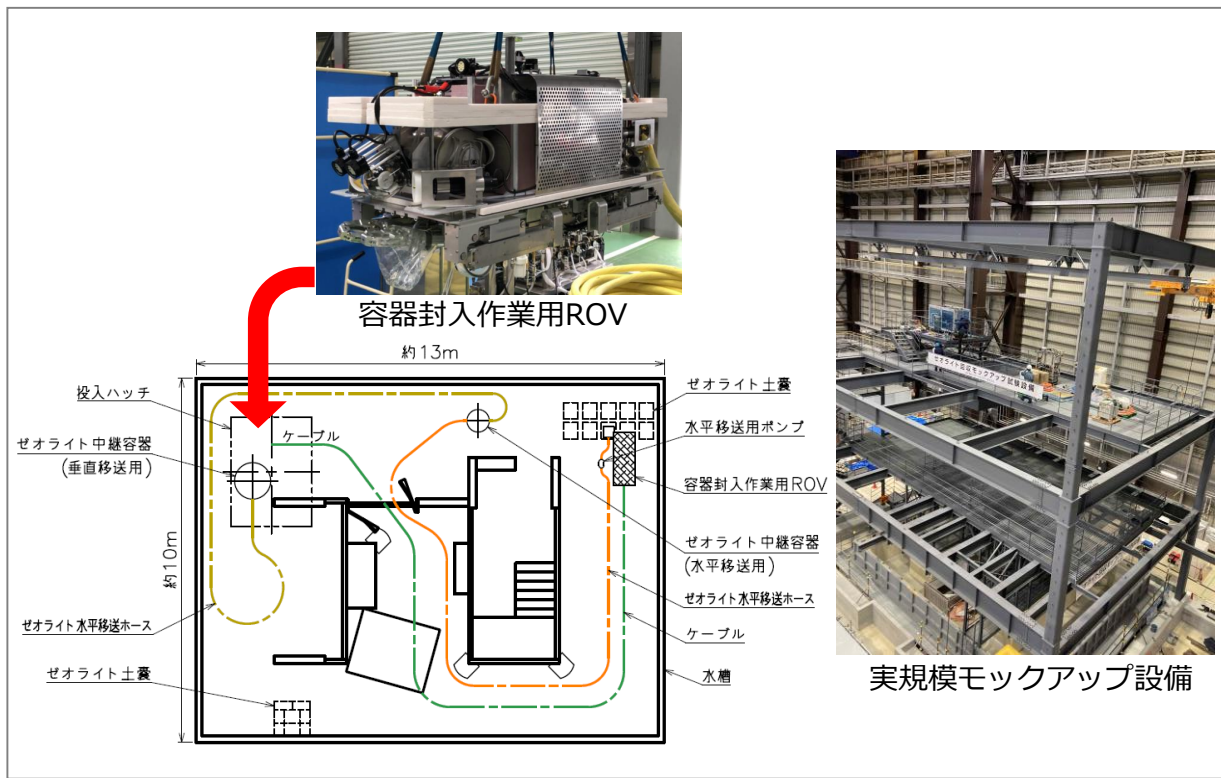
- ※1 建屋水位は、建屋最下階（地下2階）における作業性を踏まえ、水位1.5m程度に維持する計画。そのため作業中の建屋は基本的に建屋滞留水の受入、移送を停止し、他方の建屋において建屋滞留水の受入、移送を実施する。
- ※2 補給水タンク水として、RO処理水（ $^{137}\text{Cs}$ :  $10^1$  Bq/Lオーダー）もしくはろ過水の使用を計画する。
- ※3 ゼオライト等を移送するポンプにはストレーナがついており、異物が詰まった場合等に備え、逆洗が可能な設備構成とする。

# 1-3.実規模モックアップ実施概要

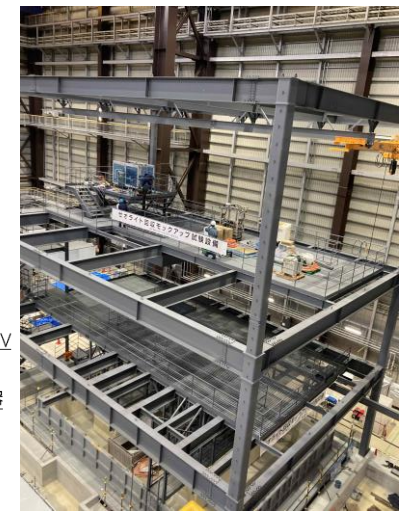
- ゼオライト土嚢等処理設備（容器封入作業）に関するROVのモックアップについて、日本原子力研究開発機構(JAEA)楢葉遠隔技術開発センターにて2023/9に実施する。なお、集積作業に関するROVのモックアップも当該施設で実施している。
  - 上階(地下1階, 地上1階)を模擬した架台を設置(高さは実スケール)
  - 現場調査で確認された干渉物, 劣化した土嚢袋等を再現し, 現場環境を模擬。
- 実規模モックアップで確認された課題や修正点については、フィードバックを実施した上で、現場作業の安全性と確実性を高めるため、引き続きモックアップを実施する。



実機（実際の土嚢配置）



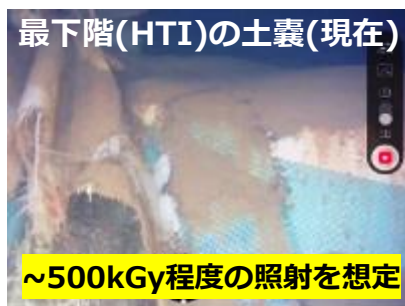
実規模モックアップ



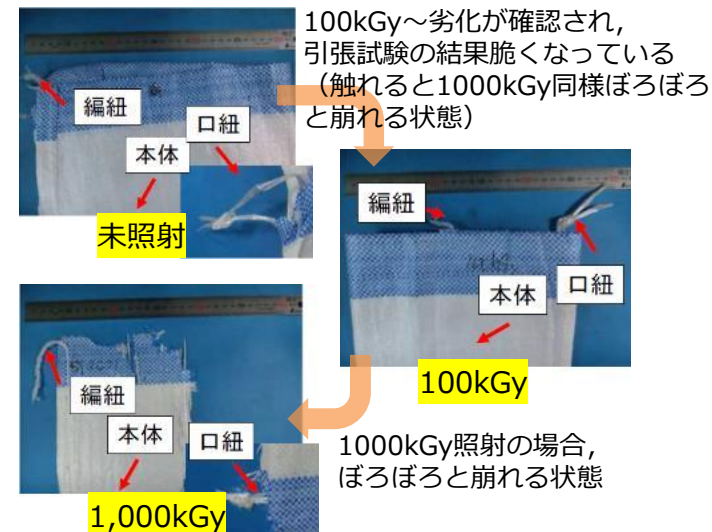
実規模モックアップ設備

## 2-1.ゼオライト土嚢の長期劣化等 ((1)①)

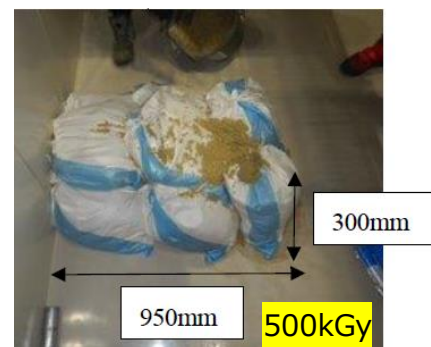
- ゼオライト土嚢等の現地調査を実施し、土嚢袋は概ね原形を保っているが、劣化傾向があり、一部の袋に破損がみられる状況。実規模モックアップにおいては、現場調査で確認された劣化した土嚢袋等を再現し現場環境を模擬する。
- なお、ゼオライトと活性炭のγ線照射試験を最大積算線量1,000kGyまで実施したところ、ゼオライトも活性炭も照射による顕著な変化は認められなかった。



ゼオライト土嚢袋の現場状況



土嚢袋の照射試験結果



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



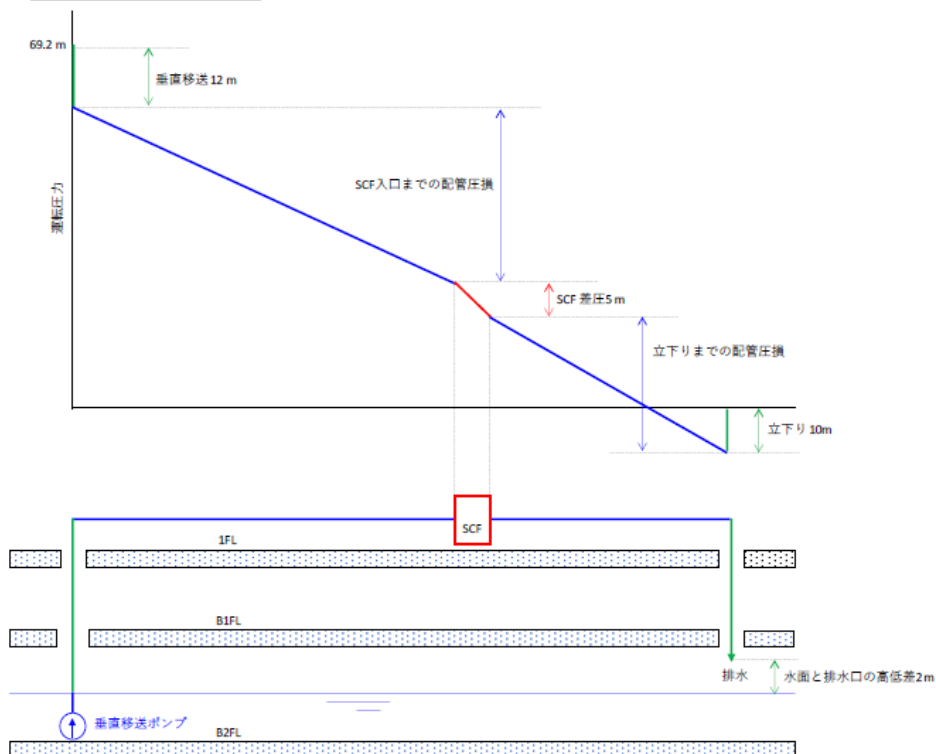
移送後の土嚢袋の状況

## 2-2. 保管容器設置高さの違いについて ((1)②)

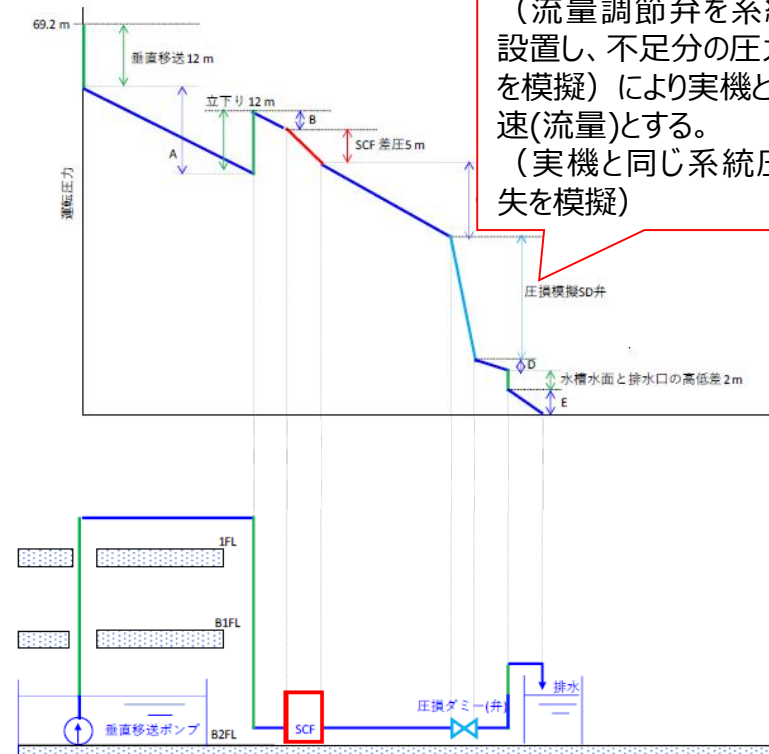
- 保管容器の設置高さが実規模モックアップと実際の設備で異なる※1ため、モックアップ時に保管容器内の運転圧力は実機よりも高くなるが、保管容器内部のフィルタ性能に影響を与える因子はフィルタ差圧であり、運転圧力が異なっても差圧は変化しないため、実際の設備と同じ通水条件となる。
- また、差圧は流速依存が高いが、実機と同じ流速（流量）となるよう、背圧弁（圧損ダミー弁）にて調整を行う。

※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

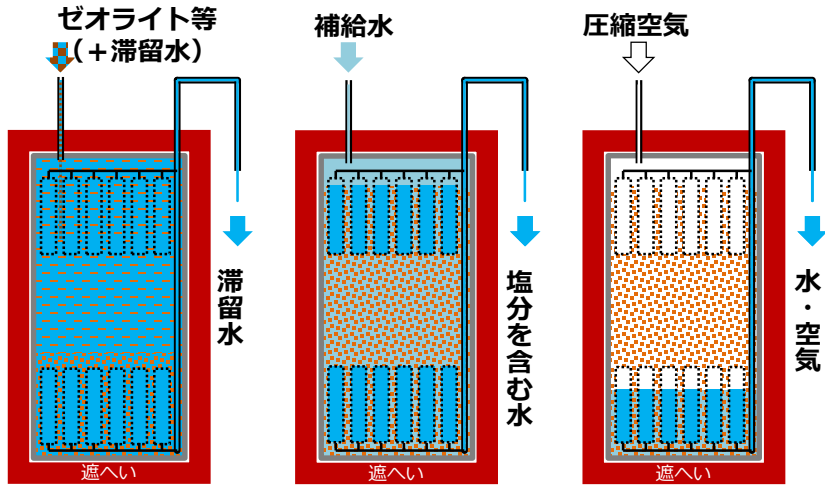


圧力損失分を弁による調整（流量調節弁を系統内に設置し、不足分の圧力損失を模擬）により実機と同じ流速（流量）とする。  
（実機と同じ系統圧力損失を模擬）

※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。

## 2-3.ゼオライト保管容器内のゼオライト脱水について ((1)③) **TEPCO**

- 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ゼオライト等は、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。
  - 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%以下）まで脱水可能なことを確認している。



- ① フィルタ付きのゼオライト保管容器にゼオライト等 (+滞留水) を入れてゼオライトを濾し取る
- ② ゼオライト等に補給水を通水し脱塩
- ③ 圧縮空気を用いて脱水

ゼオライト保管容器の洗浄・脱水工程  
(概念図)




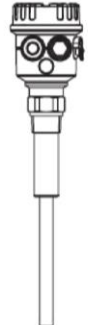

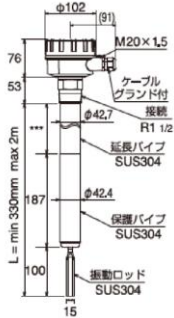
ゼオライト保管容器 外観



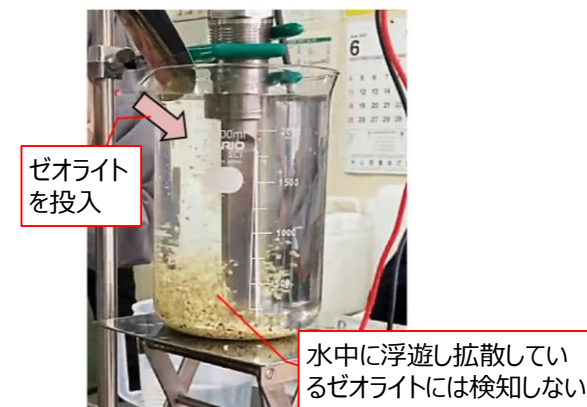
ゼオライト脱水試験結果

## 2-4.ゼオライト保管容器への充填について ((1)③、(2)②)

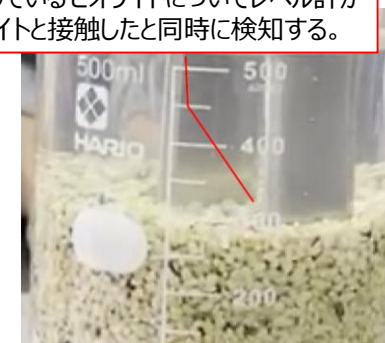
- ゼオライト保管容器は規定量のゼオライトが回収された際に、レベル計が検知し、ゼオライトの移送を停止する。
- レベル計については、固液二相系で固体界面を検知可能であることを試験で確認している。今後、実規模モックアップにてレベル計の機能確認を進めていく。

	候補①	候補②
測定原理	音叉式	振動式
レベルスイッチの原理	振動ロッドは、 piezo素子により、共振周波数まで励振される。この振動ロッドが粉流体で覆われると、その振動振幅が変化する。この振幅の変化を電子回路により電気的にとらえ粉流体に覆われているかどうかの信号を出力する。	液中の沈殿物を検出する。電子回路により固有振動周波数で振動ロッドを微振動させる。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減衰・停止し、リレーが切り替わり出力する。また、振動ロッドが沈殿物から離れると再び振動が開始してリレーが復帰する。
概要図	 	 

ゼオライト保管容器のレベル計（概要）



沈殿しているゼオライトについてレベル計がゼオライトと接触したと同時に検知する。

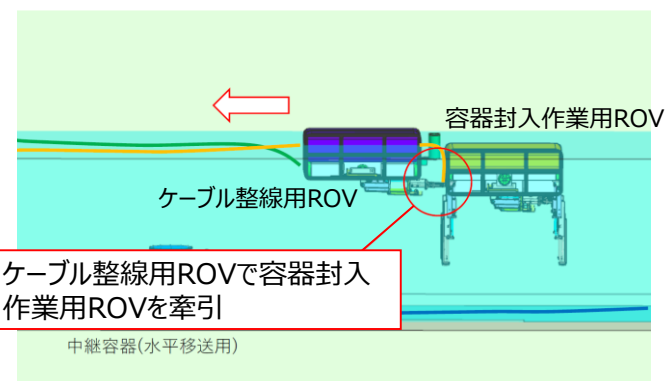
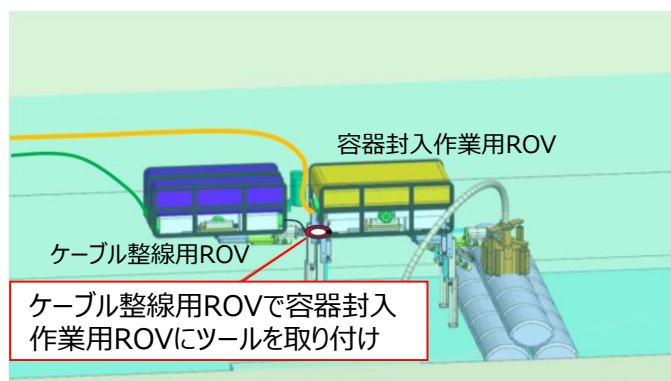


レベル計の要素試験結果



## 2-5.トラブル対応について ((1)⑦)

- 実規模モックアップにおいて、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による救援が可能なことを確認する。
- 今後、ROVの故障モードについて引き続き検討を行い、また試験において新たに確認されたトラブルについても含め、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。



実規模モックアップによるROVによる救援 (例)

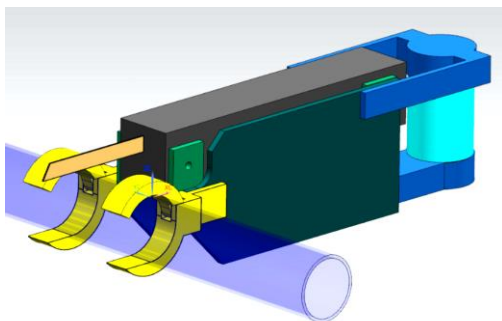
### ■ 地上階の配管部分のトラブル対策は以下を検討中。今後、試験にて確認予定。

#### ✓ 配管からの漏えい

2重ホースを使用する等、漏えいを防止する構造したうえで、遮へい付きのトラフ内に設置する方針。万一漏えいした場合は、トラフ内に留まる構造とし、漏えいの拡大を防ぐ。回収対応については、高線量が予想されることから、ロボットにて遠隔で実施する。

#### ✓ 配管の詰まりによる閉塞

ゼオライトで配管閉塞しないよう、固液比を制御して移送する計画。なお、これまでの要素試験では配管閉塞は確認されていないが、万が一、閉塞した場合は、逆洗が可能な設備構成とする、ロボットにて遠隔で加振を加える等、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配管を切断、除去する。



閉塞対応配管切断治具



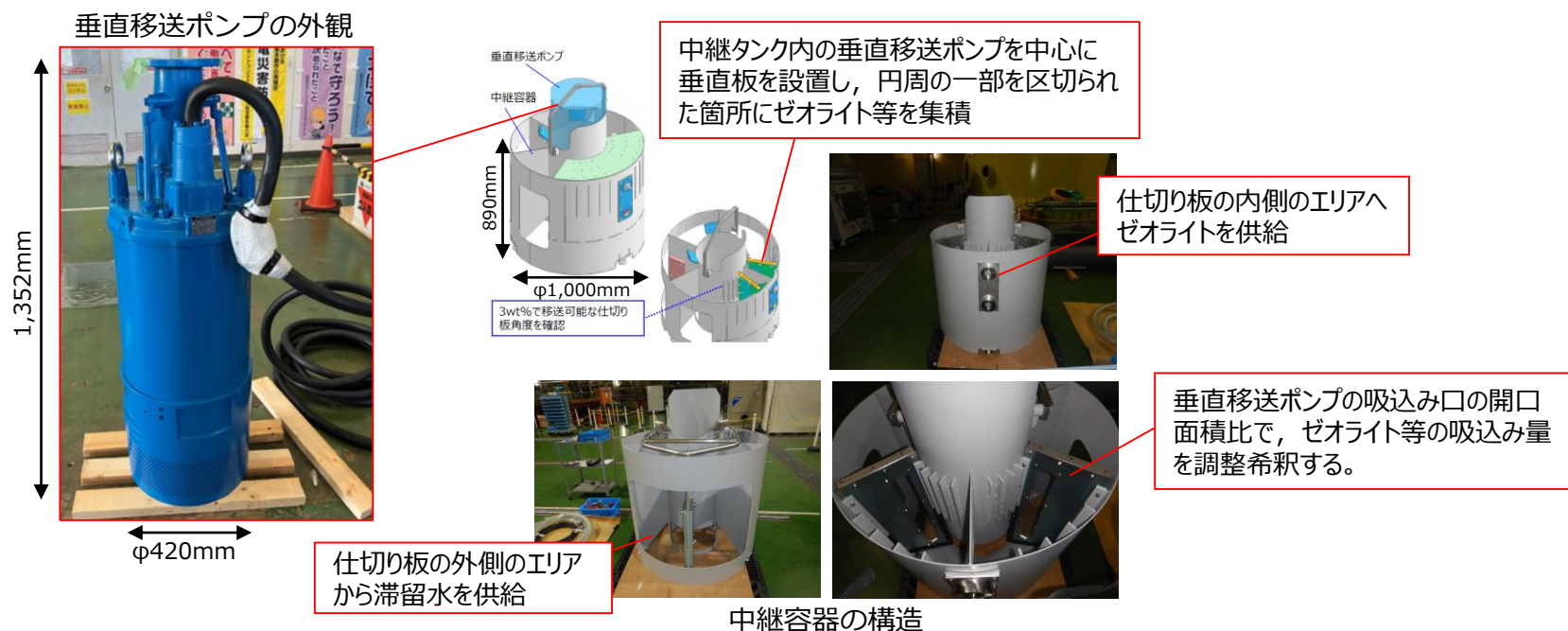
<https://www.flir.jp/>

遠隔対応用ロボット（例）

## 2-6.固液濃度調整機構について ((2)①)

- 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3wt%程度※まで希釈されることを確認している。今後、実規模モックアップにて固液濃度調整機構の機能確認を進めていく。

※ これまでの試験では、ポンプ周囲にゼオライト土嚢が集積された状態でゼオライトを移送した場合についても、ゼオライトが移送中に閉塞することはなかったものの、今回ゼオライト土嚢3wt%程度まで希釈して移送可能であることを確認する。



### 3-1.実規模モックアップ実施での確認事項（まとめ）

- 2023/9に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する。
- 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		実規模モックアップ確認内容
ROV遊泳	遊泳確認 曲がり角	ケーブル等を牽引しての遊泳機能 角部でのケーブル挙動
ケーブル処理	ケーブル遊泳	ケーブル処理時のケーブル挙動 ROVによるケーブルの取り回し
地下階投入・回収	ケーブル投入 ケーブル引き上げ	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
資機材運搬	水中資機材	水中の資機材をROVで把持、移動、設置
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回収後の状況を確認
ゼオライト回収	切断・吸引	土のう袋を切断、ゼオライト吸引
ゼオライト移送	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
ゼオライト保管	保管容器 脱水	保管容器内へのゼオライト回収、満充填時のレベル計検知、 ゼオライト脱水
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
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

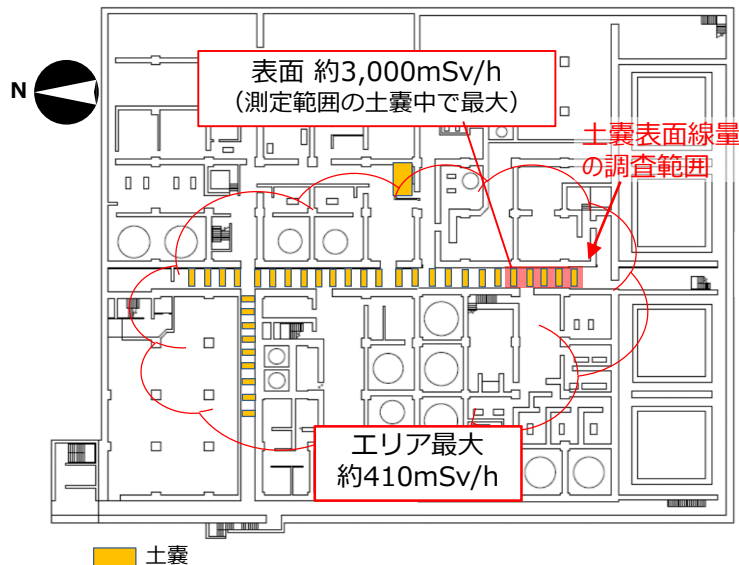
以下 参考資料

# 【参考】 監視評価検討会・技術会合で頂いたコメント

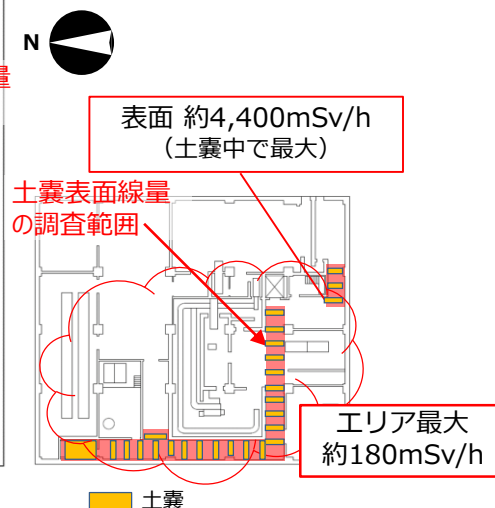
No	分野	資料名	コメント	会議（開催日）	回答
1		【資料2-2】ゼオライト土嚢等処理の検討状況について	今後予定している実機規模のモックアップ試験に関して、他の例（排気筒切断、SGTS 配管切断）ではモックアップ後の実作業で不具合が散見されている状況下、本件ではそれらの知見をどのように反映し、どのような点に注意をはらい実施するのか、実機と違う点は何か、その対応・対策はどう考えているか、また要素試験はどのような内容か、実物の性状はどのように把握しているか等について具体的に資料に示して説明すること。	第5回1F技術会合 (2023/2/1)	
2	汚染水対策分野	【資料2-2】ゼオライト土嚢等処理の検討状況について	回収作業の実現性、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）を資料に示して説明すること。	第5回1F技術会合 (2023/2/1)	今回説明、モックアップにて実物を確認
3		【資料1-1】廃スラッジ回収設備のダスト閉じ込め対策および負圧維持方針について	ゼオライト土嚢等は設置から10年以上経っているので、現在の状態ある程度模擬し、作業で注意すべきことをモックアップで確認する必要があるため、モックアップの内容はしっかり検討すること。	第9回1F技術会合 (2023/4/24)	
4		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	次回技術会合にて、モックアップ試験の実施状況を説明すること。	第10回1F技術会合 (2023/7/11)	

## 【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

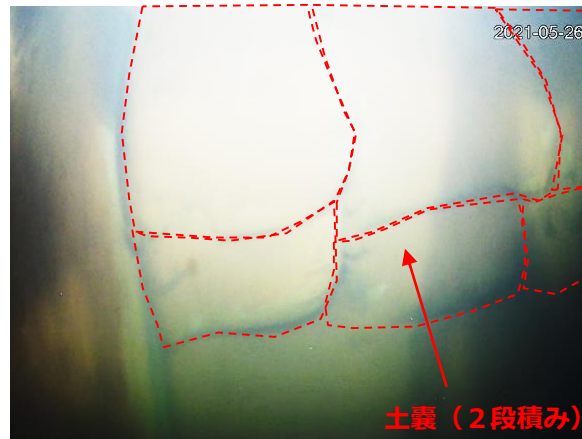


- ゼオライト土嚢等の敷設位置と作業に干渉する物の有無等を詳細に確認するため、ボート型ROVにて調査を実施（2021年5月～8月）。

➡ 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)

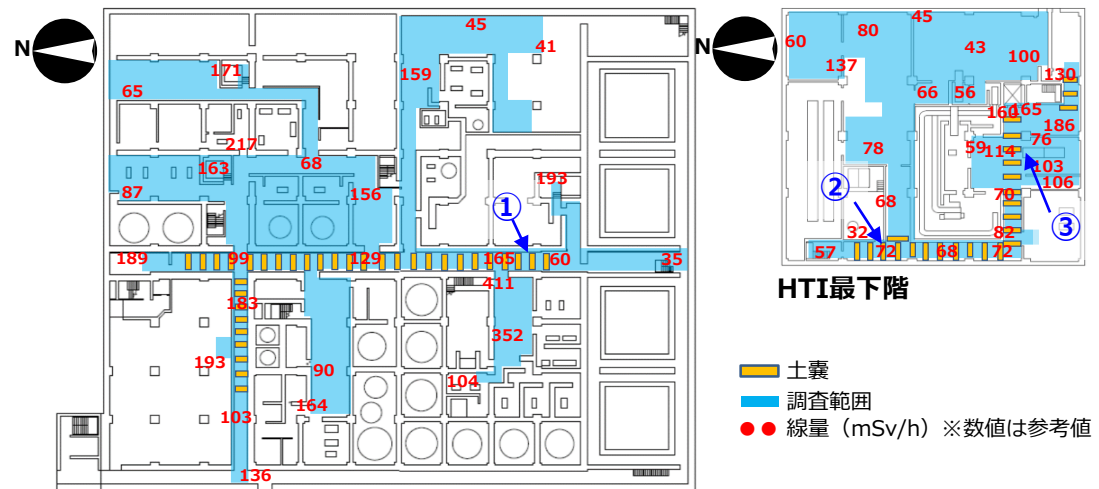


③ 干渉物の例 (HTI)



## 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

ゼオライト土嚢等位置とエリア線量

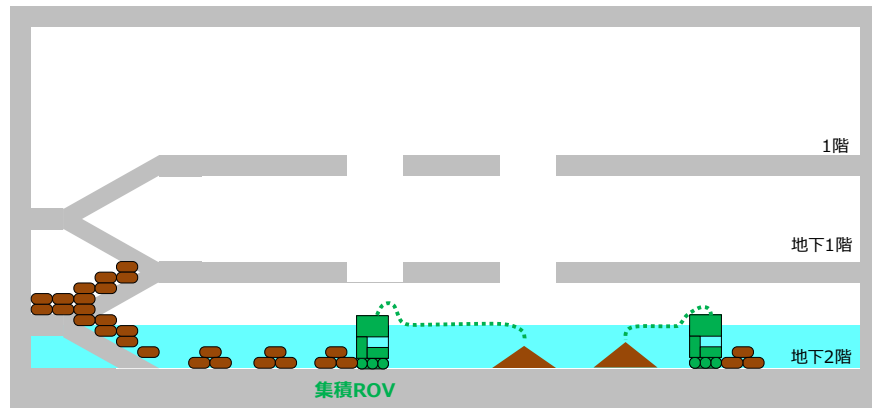


## 【参考】処理方法の概要

- 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。

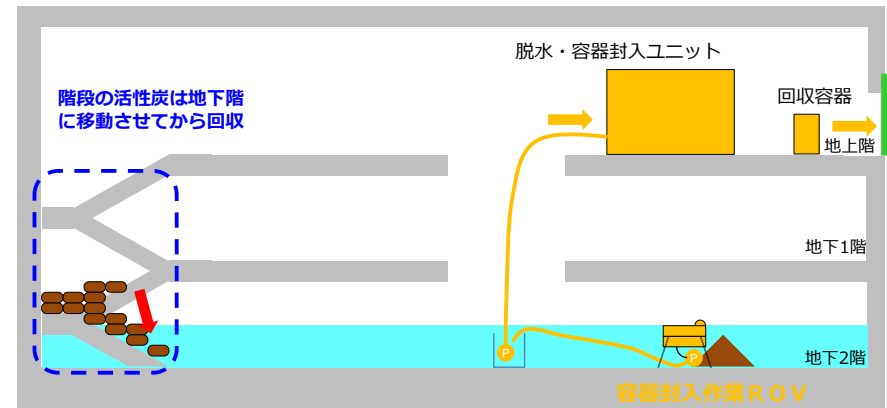
### ステップ① 集積作業

- ✓ 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。

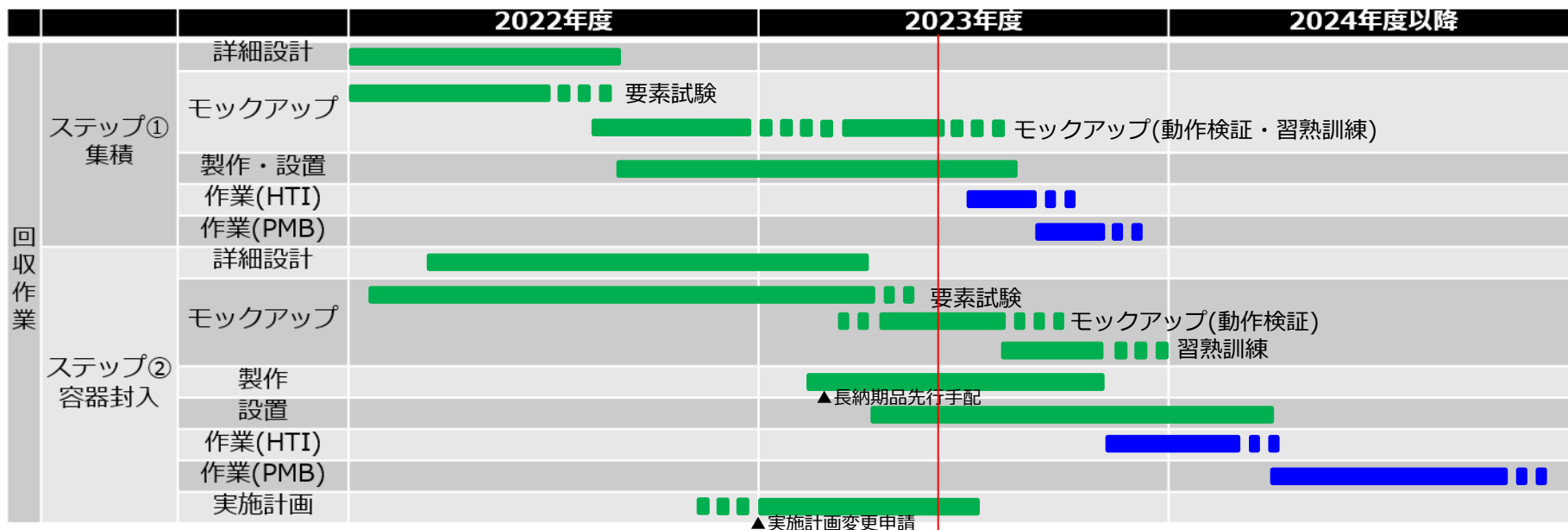


### ステップ② 容器封入作業

- ✓ 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。



- 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、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。

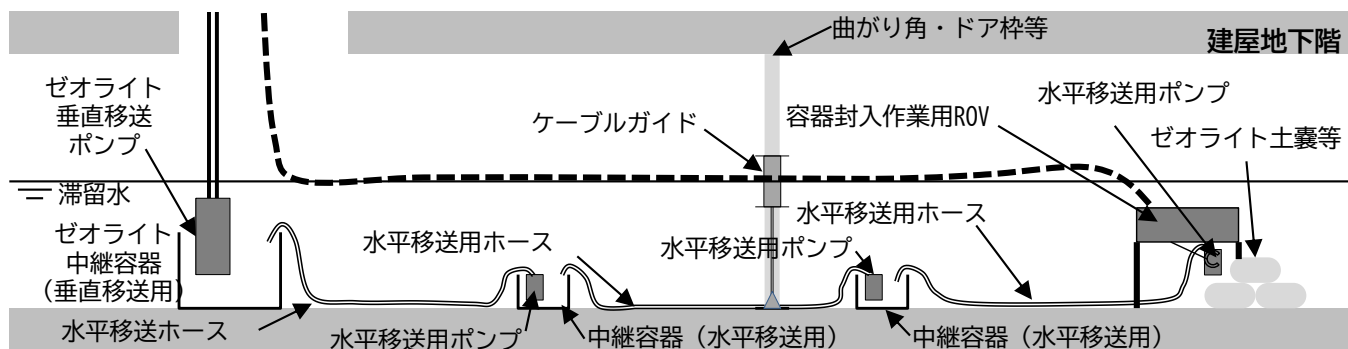


現在

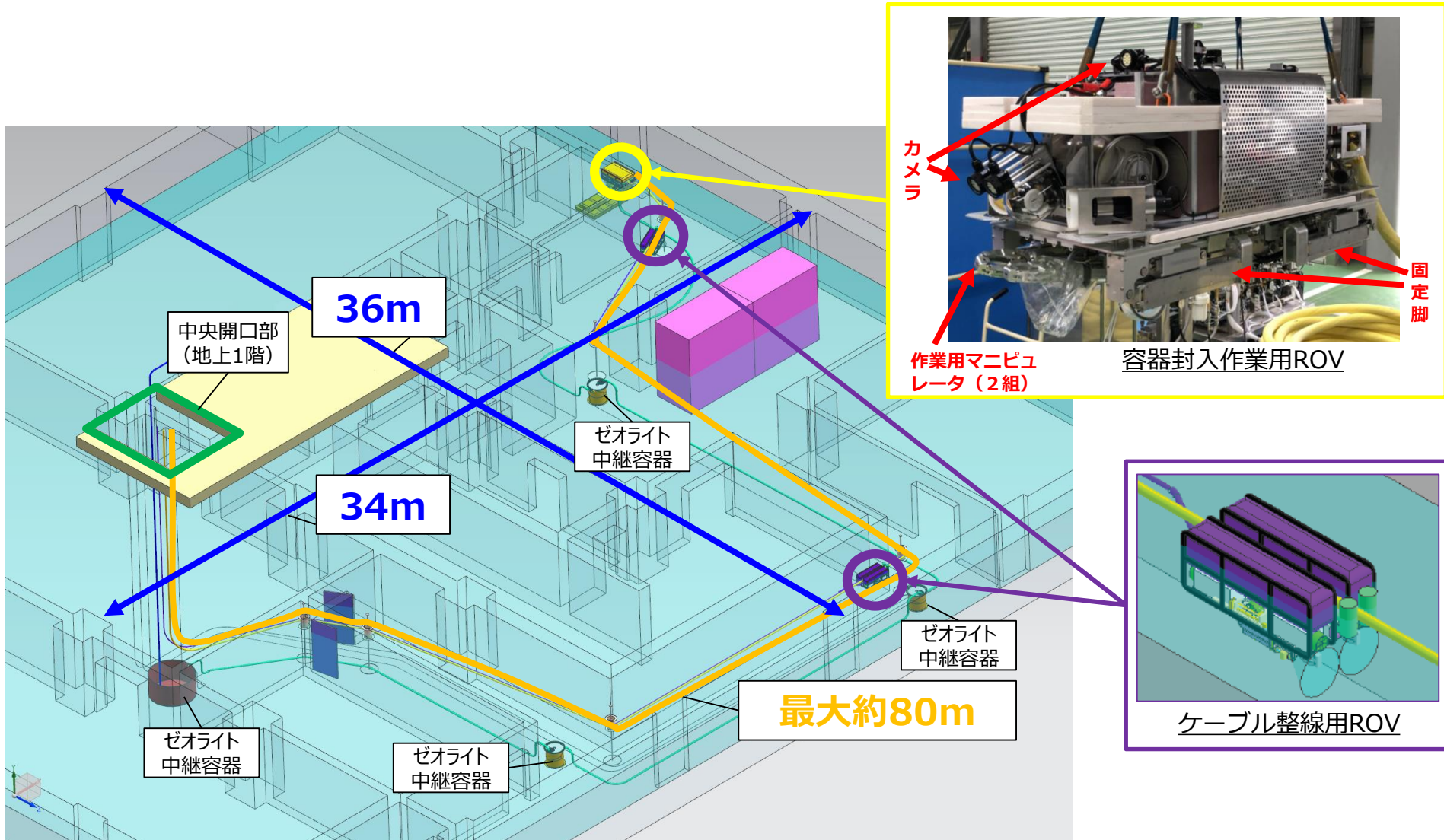
# 【参考】作業概要（地下階作業）

- 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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラによる周囲の監視機能</li> <li>・遊泳して移動する機能</li> <li>・アームで作業をする機能</li> <li>・脚を展開して潜水して自身を固定する機能</li> </ul>
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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラによる周囲の監視機能</li> <li>・遊泳して移動する機能</li> <li>・アームで作業をする機能</li> <li>・ローラーでケーブルを送出する機能</li> </ul>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ゼオライト土嚢等を一時的に貯留する機能</li> <li>・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</li> </ul>
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】 地下階での作業状況

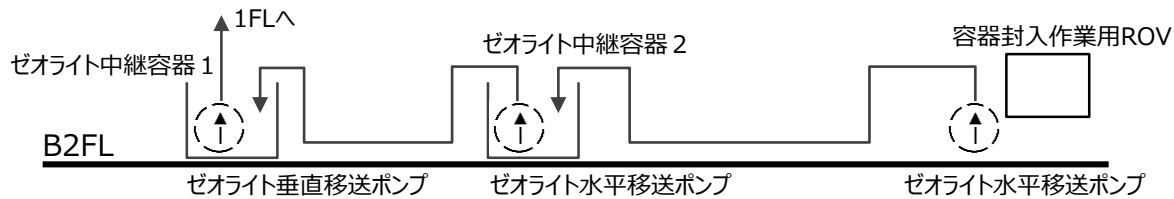


HTI最下階(地下2階)の例

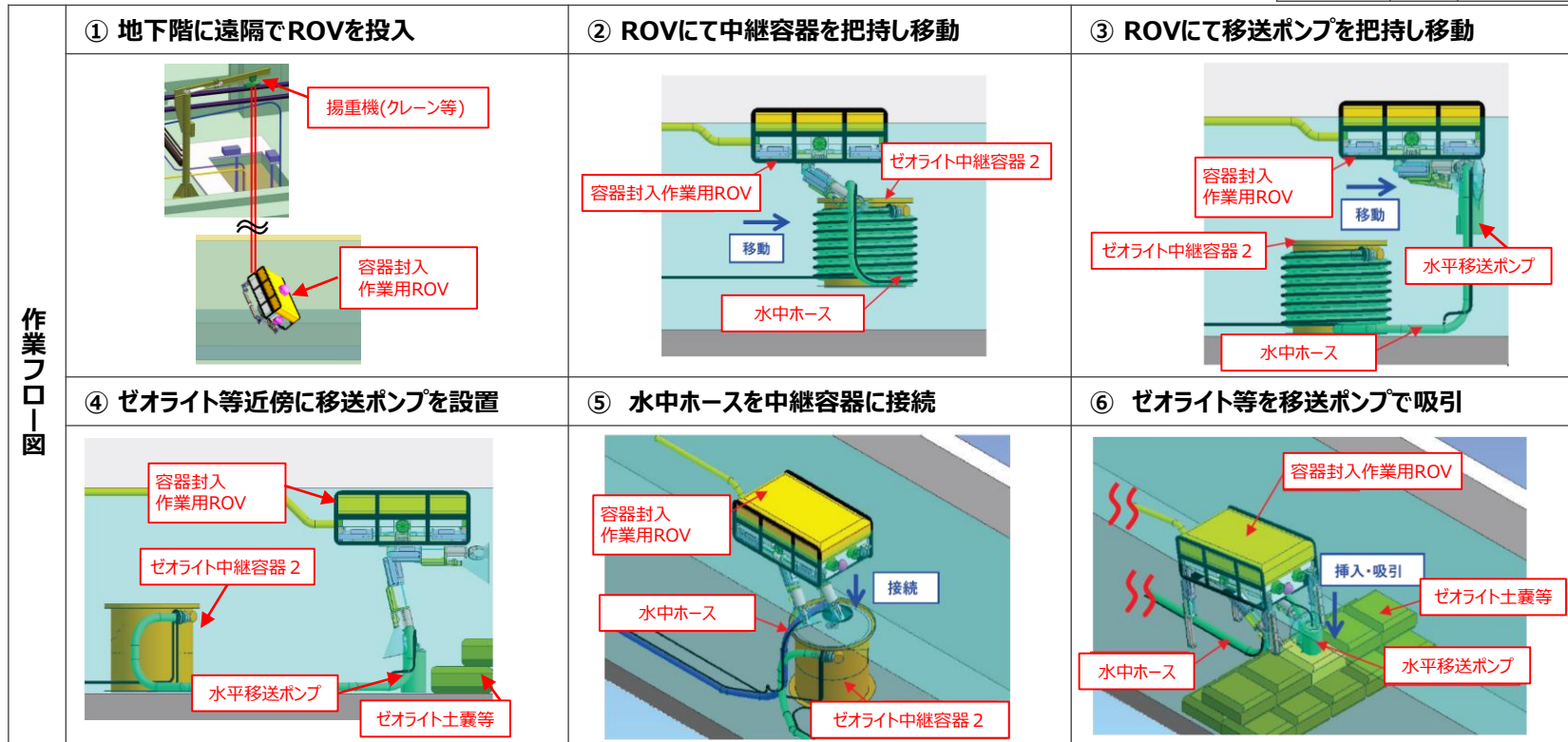
## 【参考】 地下階での作業状況（ゼオライト等移送方法）

- 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

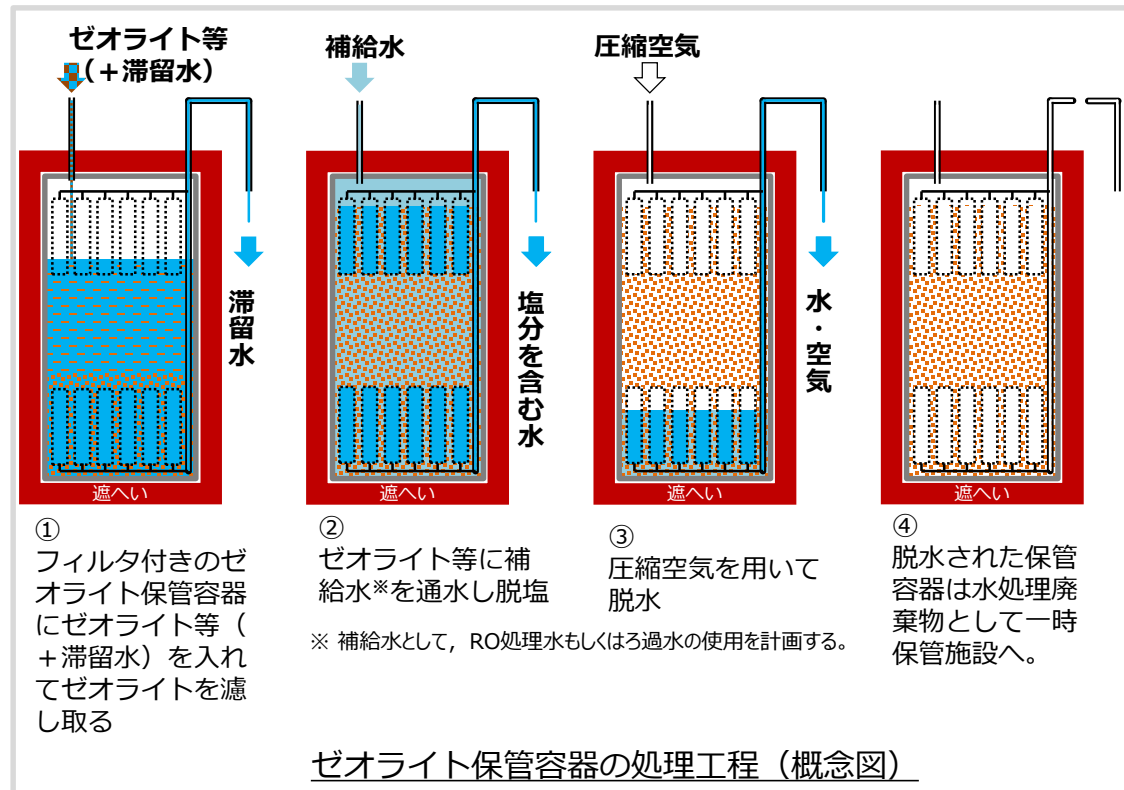
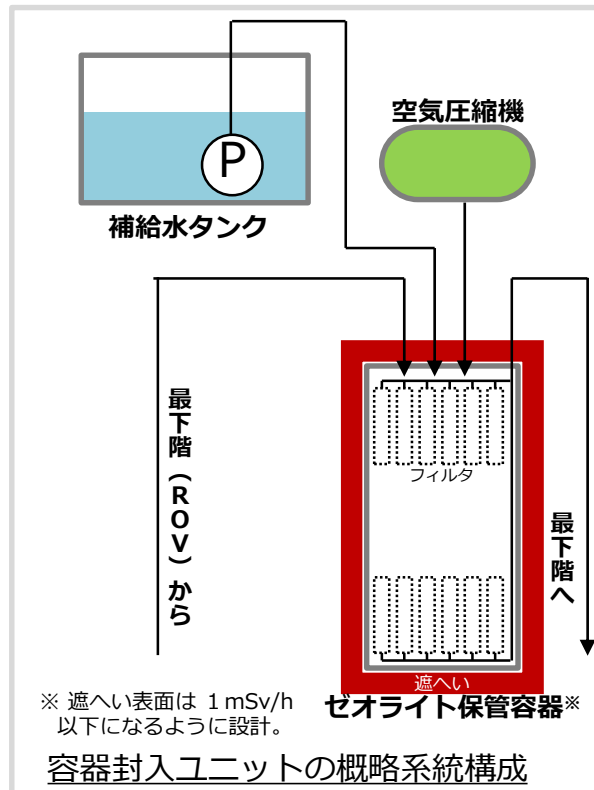


名称	仕様	
ゼオライト中継容器	個数	1個以上
	容量	100L~1m <sup>3</sup>
	材料	SUS
ゼオライト水平移送ポンプ	個数	1台以上
	容量	~5m <sup>3</sup> /h
	揚程	~10m



## 【参考】作業概要（地上階作業）

- 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盤の一時保管施設（第一 or 第四施設）へ輸送する。
- 発生数は40基程度、1本あたり約 $8E14Bq$ 程度の放射性物質質量となる見込み。



# 【参考】実規模モックアップ実施での確認事項（1 / 2）

分類	確認項目	実規模モックアップ確認内容（2023/9）	判定基準
ROV遊泳	ROVの前進、後退、横行、旋回、停止、潜水、着底	ケーブル等を牽引しての遊泳機能（ROVの前進、後退、横行、旋回、停止、潜水、着底）及び停止位置決め精度を確認	ケーブルの牽引が可能であり、所定の位置まで移動できること 扉部分や干渉物と壁の間を通過できること（幅約 2 m）
	時間経過による環境の変化確認	同方向の曲がり角部を複数模擬することで角部でのケーブル挙動を確認	最大 5 箇所の曲がり角部を通過できること
ケーブル処理	ケーブル処理（地上階）	ROVのケーブル送り及び収納の際のケーブル挙動を確認 開口部におけるROVケーブル挙動を確認	ROVの地下階投入及び回収時のケーブル処理が円滑に実施可能なこと（ROV の引上げに伴うケーブル処理及び、資機材引き上げが可能であることを確認すること） ROVの動作に併せて、ケーブル送り及びケーブル収納が可能なこと
	ケーブル処理（地下階）	開口下のケーブルを牽引することが可能なことを確認 ROVでケーブルを把持して引張り、コーナー部等にて余長を持たせることが可能なことを確認	開口下のケーブルを牽引することが可能なこと ROVでケーブルを把持して引張り、コーナー部等にて余長を持たせることが可能なこと
地下階投入・回収	ROVの地下階投入・回収	クレーンを用いたROVの地下階投入、ROVの引き上げが可能なことを確認 ケーブルの引っ張りによりROVが回収出来ることを確認	遠隔操作にて、クレーンを用いたROVの地下階投入、回収が可能であること ケーブルの引っ張りによりROVが回収出来ること
資機材運搬	資機材の受取り	水中の資機材をROVアームで把持可能なことを確認	水中の資機材をROVアームで把持可能なこと
	資機材の移動	水中の資機材をROVで把持したまま遊泳し、所定の場所に設置することを確認	水中の資機材をROVで運搬、設置が可能なこと
	移送ホースの展開	ROVで中継容器に接続されたポンプ・ホースを回収場所まで移動できるかを確認	ROVによりホースとポンプを遠隔設置、水平ポンプのケーブル・ホースの処理、遠隔接続が可能なることを確認する
監視	カメラ配置等	ROVカメラでROVの相互監視ができるか確認 ROV-1移動時において、ROV-2にて俯瞰監視が可能なことを確認	ROVカメラでROVの相互監視ができること ROV-1移動時において、ROV-2にて俯瞰監視が可能なこと
	回収後の状況確認	ゼオライト土嚢の回収後の状況を確認できることを確認 回収作業によって生じる濁水の発生時に、状況を水袋等押し当てての監視ができるか確認	ゼオライト土嚢の回収後の状況を確認できること 濁水の発生時に監視ができること
ゼオライト回収	土のう袋切断	土のう袋を切断、開放してROVでの開放作業を確認 劣化した土嚢袋を切断、開放してROVでの開放作業を確認	ROVにて反力を受けながら土のう袋の切開が可能なこと
	ポンプによる吸引	開放した土のう袋から吸引可能なことを確認 劣化した土嚢袋を含むゼオライトについて吸引可能なことを確認 残留ゼオライトの追加吸引可能なことを確認	開放した土のう袋から吸引可能なこと 劣化した土嚢袋を含むゼオライトについて吸引可能なこと 残留ゼオライトの追加吸引可能なこと

# 【参考】実規模モックアップ実施での確認事項（2 / 2）

分類	確認項目	実規模モックアップ確認内容（2023/9）	判定基準
ゼオライト移送	地下階の水平移送	閉塞せず水平移送可能であることを確認 水平移送は実機と同等長さのホースを準備し、余長分は床面に展開した状態で確認	閉塞せず移送可能であること
	移送濃度低減機能	中継容器にてゼオライトの移送濃度を低減し、閉塞が無く移送可能であることを確認	
	地下階から地上階までの垂直移送	実機相当の約12mの垂直立ち上がり配管を模擬し、地上階への垂直移送が可能であることを確認	
	地上階での水平移送	配管勾配、エルボ等の閉塞リスクが高い場所について、閉塞が無く移送可能であることを確認	
ゼオライト保管	ゼオライト充填	保管容器内へのゼオライト回収が可能であること、満充填の際に検知可能であることを確認	保管容器内に規定量のゼオライトが回収されていること ゼオライトが充填されたときにレベル計が検知すること
	ゼオライト脱水	保管容器内へ圧縮空気を供給し、ゼオライト脱水が可能であることを確認	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まで脱水可能なこと
メンテナンス	メンテナンス	－	交換が必要な機器類（ROVカメラ、スラスト等）について、交換可能であること
	洗浄	－	メンテナンスに際し、機器類の洗浄が実施可能であること
	地下階移送系統の確認	水平移送ホース閉塞時や流量低下時にROVでホースを揺らす等の対応が可能であることを確認する	地下階の移送系統が閉塞時もしくは流量低下時における対応が可能なこと
	地下階資機材の交換	－	交換が必要な資機材類（水平移送ポンプ、中継容器等）について、ROVを用いて交換可能であること
トラブル対応	ROV非常回収	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による救援が可能であることを確認	ROVの非常回収が可能であること
	移送配管の閉塞	－	移送配管閉塞時の対応が可能であること



## 【参考】 実際の設備と実規模モックアップの差異（1 / 2）

項目	実機との相違点	考え方
ゼオライト土嚢の長期劣化等	相違点なし	実機におけるゼオライト等の土嚢袋については劣化傾向が確認されていることから、健全な土嚢袋に加え、実機同様の放射性劣化を模擬した土嚢袋を試験に用いる。
移送濃度	相違点なし	中継容器（垂直移送用）および垂直移送ポンプは実機同様とし、ゼオライト移送濃度についても実機同様とする。 ゼオライト等を安定した固液比にて移送を継続できることについては、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。
配管長	実機：～181 m M/U試験：110 m程度 となり、実機よりも配管長が短い	配管長や配管構成の違いにより実機よりも配管の圧力損失が小さくなるが、系全体の圧力損失は弁による調整により実機を模擬するため、配管長による影響はない。
配管構成	エルボ数、弁数、勾配、経路は実機と異なる	配管長や配管構成が実機と異なり、配管構成に起因する閉塞の発生有無については同条件での確認とはならないものの、M/U試験では狭い間隔でのエルボ設置、保管容器の入口部分立上り模擬等、保守的な構成とする。
保管容器設置高さ	実機：ポンプから最大 + 12m位置（地上階） M/U試験：ポンプと同レベル となり、実機よりも設置高さが低い	保管容器設置高さが異なることにより、保管容器内の運転圧力が実機よりも高くなる。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るが、運転圧が異なっても差圧は変化しないため、実機と同じ通水条件となる。
運転圧力	配管構成、保管容器設置高さが異なるため、配管や保管容器内の運転圧力は異なる	内部流体は非圧縮性流体である水であり、圧力の差異による体積等の変動はなく、流量や流速に影響を与えない。
系統圧力損失	配管構成が異なり、圧力損失に相違がある	配管長、配管構成が異なるが、弁による調整により実機と同じ系統圧力損失とする。
系統流量	相違点なし	流量調節弁により実機と同じ系統流量とする。
管内流速	相違点なし	系統流量、配管口径を実機と同様とするため、管内流速は実機と同じとなる。
保管容器への流れ方向	相違点なし	水平配管から保管容器入口に向けての配管立ち上がり方を模擬することで保管容器入口部分の流れ方向は実機と同じとなる。
配管フラッシング	配管構成が異なるため、通水条件が異なる	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、今後確認する。

## 【参考】 実際の設備と実規模モックアップの差異（2 / 2）

項目	実機との相違点	考え方
保管容器へのゼオライトの充填	試験では保管容器 1 基を充填する	保管容器の形状、内部構造、レベル計は実機同等とする（なお、容器への充填時の検知誤差については、今後試験にて確認を行う）。 試験にて保管容器 1 基を充填可能であることを確認する。
保管容器でのゼオライトの脱水	相違点なし	保管容器の形状、内部構造は実機同等とし、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%以下）まで脱水可能なことを確認する。
保管容器でのゼオライトの脱塩	淡水を使用するため、塩分濃度は実機建屋滞留水と異なる	要素試験にて脱塩が可能であることを確認済み。
保管容器の交換	試験では保管容器 1 基を充填する	今後、保管容器の耐圧ホース取り外し機構（自動閉止）の成立性、並びに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確認する。
水中の濁水	濁水の程度に相違あり	ゼオライト土嚢に起因する濁水を模擬し試験を実施予定。その他、活性炭や建屋スラッジの影響についても懸念されるため、今後模擬しモックアップを進める計画。
水中の異物	ゴム手や下着、土嚢袋の破片など浮遊している可能性があり、M/Uでは再現されていない	異物として確実に確認されている土嚢袋から確かめていく。そのほかの異物については今後のモックアップで確認する計画。
ケーブル	ケーブル被覆について相違あり。	今回使用するケーブルは本番よりも引っぱりやすいものを使用しており、ケーブルが傷つきやすい箇所は把握できる等、悪さ加減は十分に確かめることができると考えている。実際使用するケーブル被覆は要素試験等で最適なものを選定し、モックアップで確認予定。
ケーブル曲がり回数	相違点なし	実機同様、5回の曲がりを模擬し、ケーブル挙動を確認する予定。
ケーブル曲がり角の間隔	相違あり	ROVケーブルについては、水面に浮遊する仕様であり、基本的に水平距離に応じた抵抗は非常に小さく、影響は少ないと考えている。
ケーブル処理装置	完成品ではなく、1/10程度しか収納することができない	今回のモックアップでは、装置が新設計ということもあり、その機能確認を実施する。モックアップの結果を踏まえ、今後のモックアップ試験で実機性能を確認予定。
ROV-1：アーム	容器封入作業用ROV（ROV-1）のアームについて相違あり	ROV-1の水圧駆動式アームについては、軸構成の合理化を進めており、今回のモックアップでは合理化前のアームを使用予定。今後、モックアップにて合理化後のアームを確認予定。
ROV-2：本体	ケーブル整線用ROV（ROV-2）の本体について相違あり	ROV-2については、既製品を改良したROVを用い、ケーブル処理をする機能があるかモックアップにて検証する。モックアップの結果を踏まえ、今後、実物同様のROV-2を引き続きモックアップにて確認予定。

# 【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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・噛み込み防止対策</li> <li>・噛み込んだ場合の対策</li> </ul>	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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現場に近いモックアップを再現</li> <li>・現場とモックアップの違いのリストアップ</li> <li>・タイムスケジュールの確認</li> </ul>	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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・念入りに清掃</li> <li>・ろ過水でフラッシングの実施</li> <li>・ホース内のろ過水充填</li> </ul>	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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>遠隔操作にて装置側のAPを再起動できるようにする</li> <li>装置を吊上げる前にAPを再起動する手順に見直しする。</li> </ul>	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、遊泳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	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>HUBと計測系の分離</li> <li>電源アース分離</li> <li>ノイズカットトランス取付</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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</li> </ul>
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、課題を洗い出しきれなかった。	MU特有の条件が、実工事で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、課題を洗い出しきれなかった。	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