

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

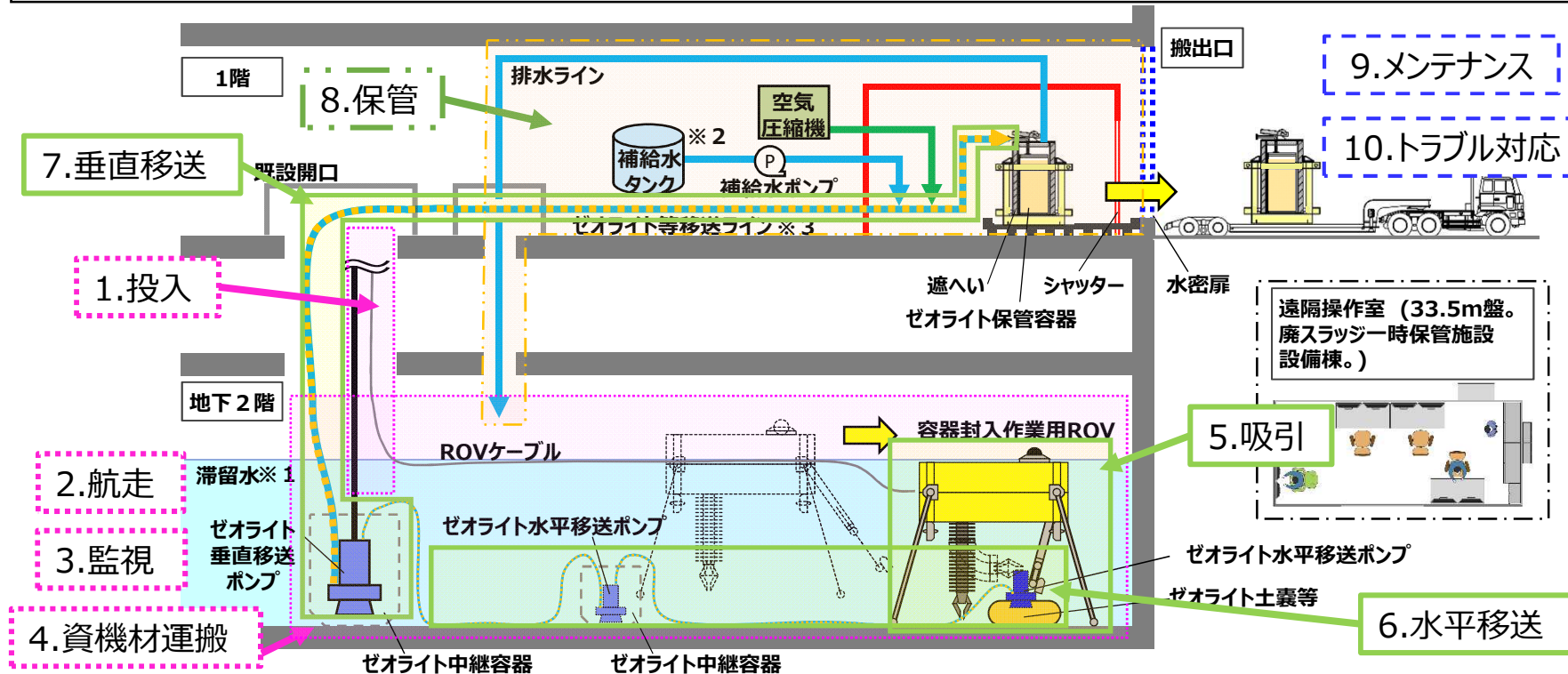
2023年11月2日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

【リマインド】 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、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。

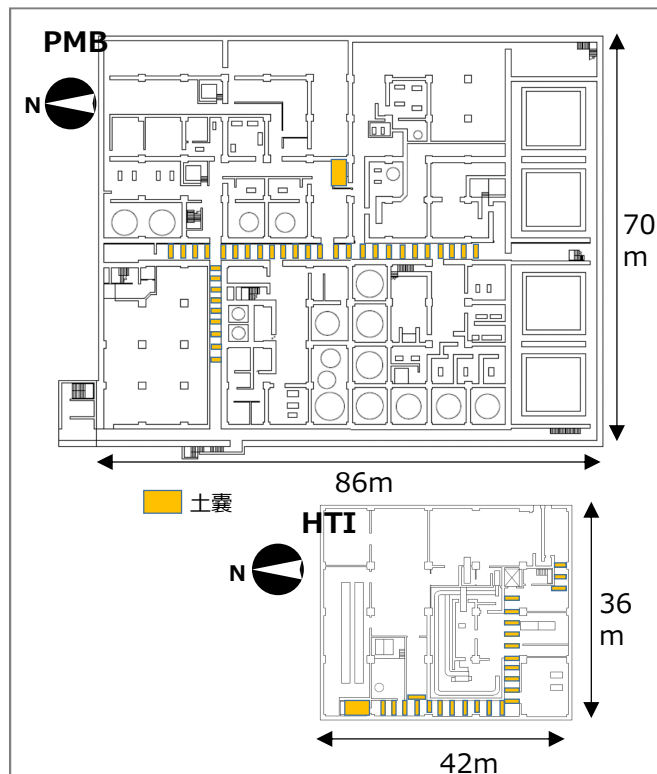


- ※1 建屋水位は、建屋最下階（地下2階）における作業性を踏まえ、水位1.5m程度に維持する計画。そのため作業中の建屋は基本的に建屋滞留水の受入、移送を停止し、他方の建屋において建屋滞留水の受入、移送を実施する。
- ※2 補給水タンク水として、RO処理水（ ^{137}Cs : 10^1 Bq/Lオーダー）もしくはろ過水の使用を計画する。
- ※3 ゼオライト等を移送するポンプにはストレーナがついており、異物が詰まった場合等に備え、逆洗が可能な設備構成とする。

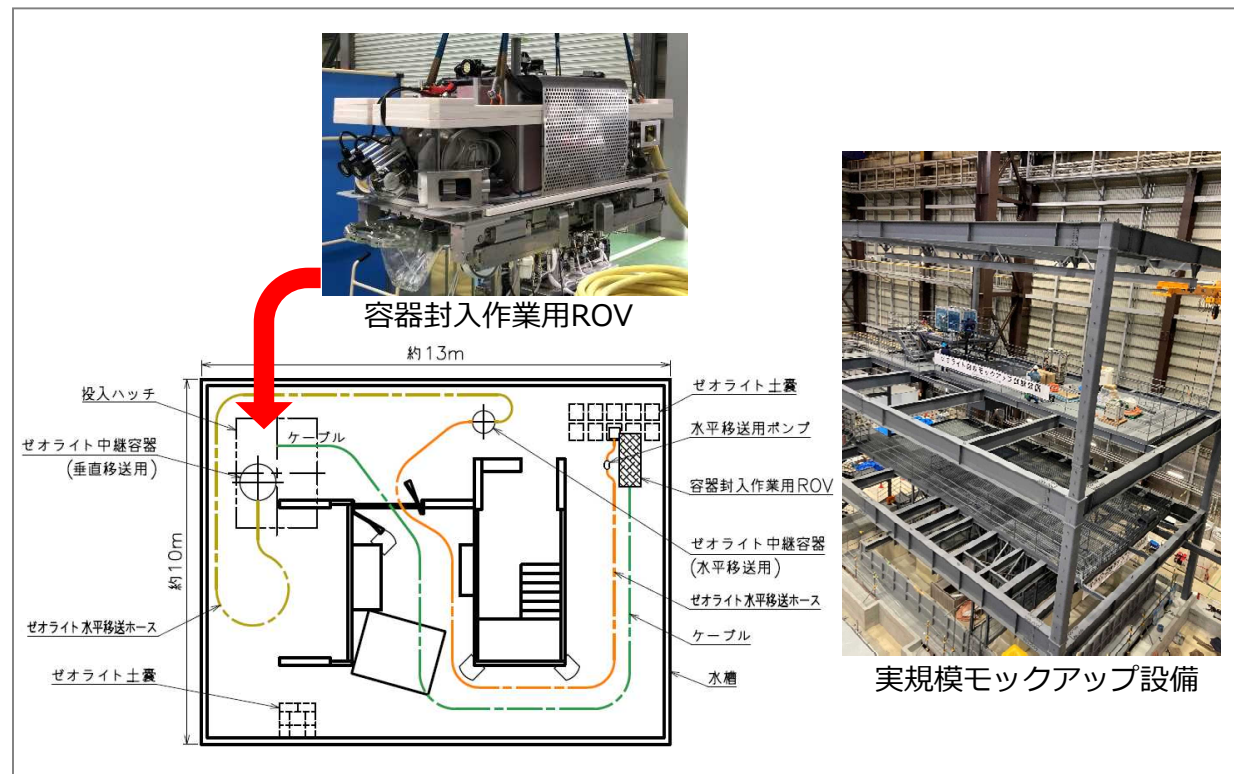
【リマインド】 容器封入作業の実規模モックアップ試験概要



- 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

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

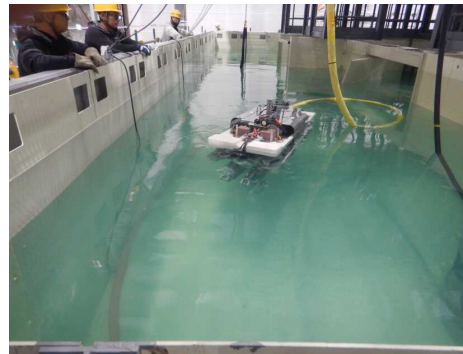
(参考) 【試験結果 1】 ROV投入

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



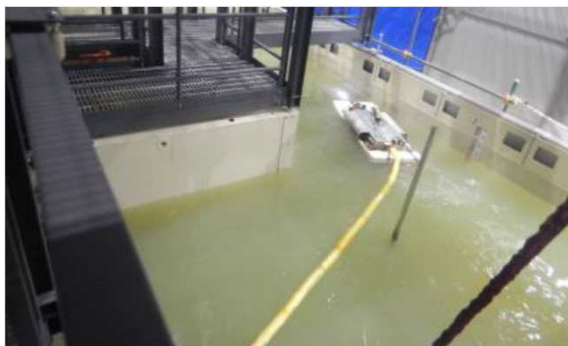
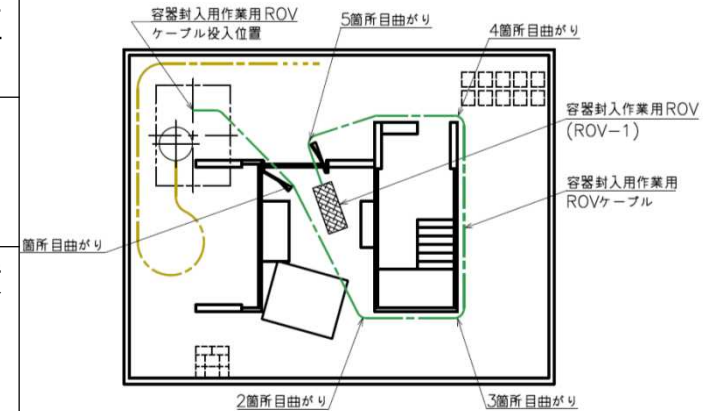
ケーブル収納時

(参考) 【試験結果 2】 ROV航走、相互監視

2. 航走

3. 監視

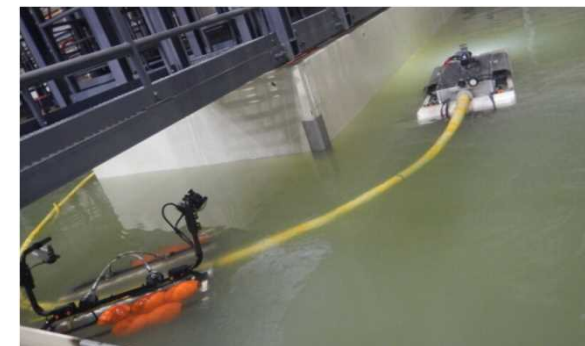
目的	航走（航走確認・曲がり角通過・ケーブル遊泳）、監視（相互監視・濁水中の監視）について確認すること
実施事項	ケーブル等を牽引しての航走機能 角部でのケーブル挙動 ROVの相互監視
確認結果	<ul style="list-style-type: none"> ROVの航走を実施し、ケーブルを牽引しての前進、後退、横行、旋回等ができることを確認した。 ROVが航走して問題なく5回曲がりが可能であること、ケーブルが躯体の角部に引っ掛かることが無いことを確認した。 ROV 2 台が相互監視しながら、連携遊泳を実施し、ROVによるケーブル余長の牽引補助をしながらの遊泳ができることを確認した。 狭隘な箇所（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

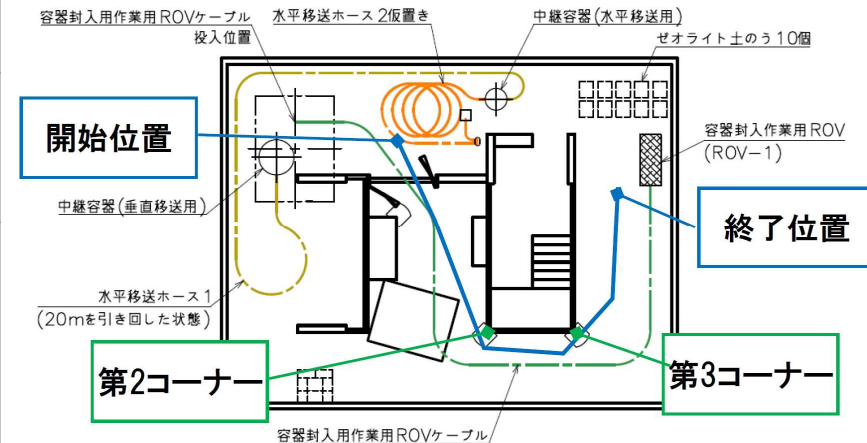


監視ROVによるケーブル牽引補助

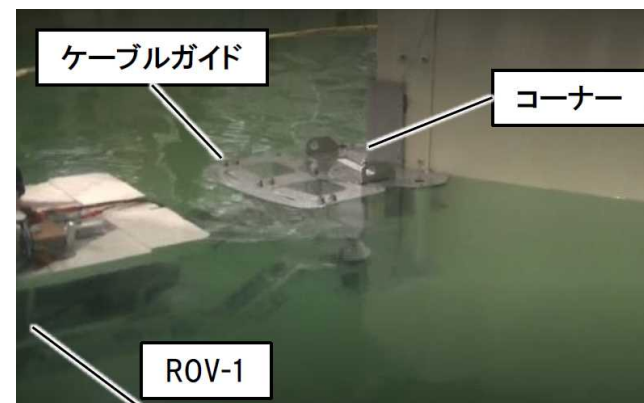
(参考) 【試験結果3】水中資機材の運搬

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	<ul style="list-style-type: none"> 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



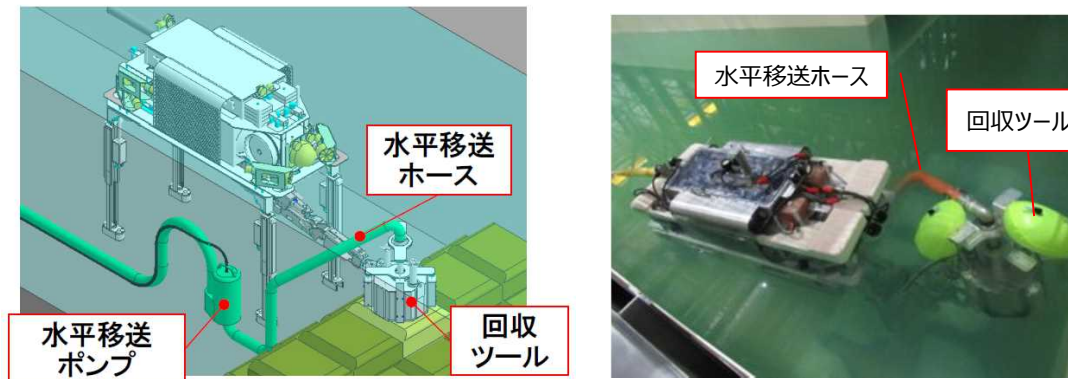
ケーブルガイドの運搬

(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



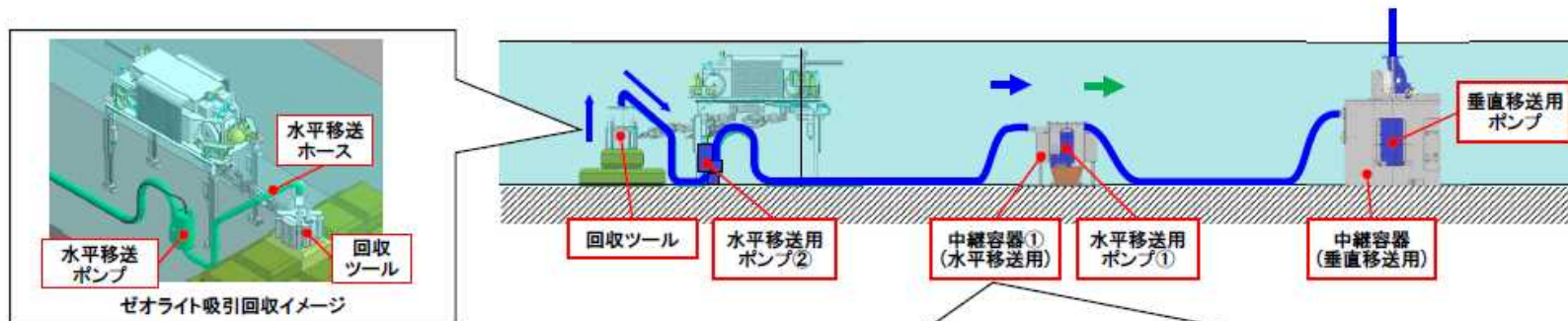
劣化土嚢袋（吸引中）の状況

(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。



中継容器(水平移送用)設置状況

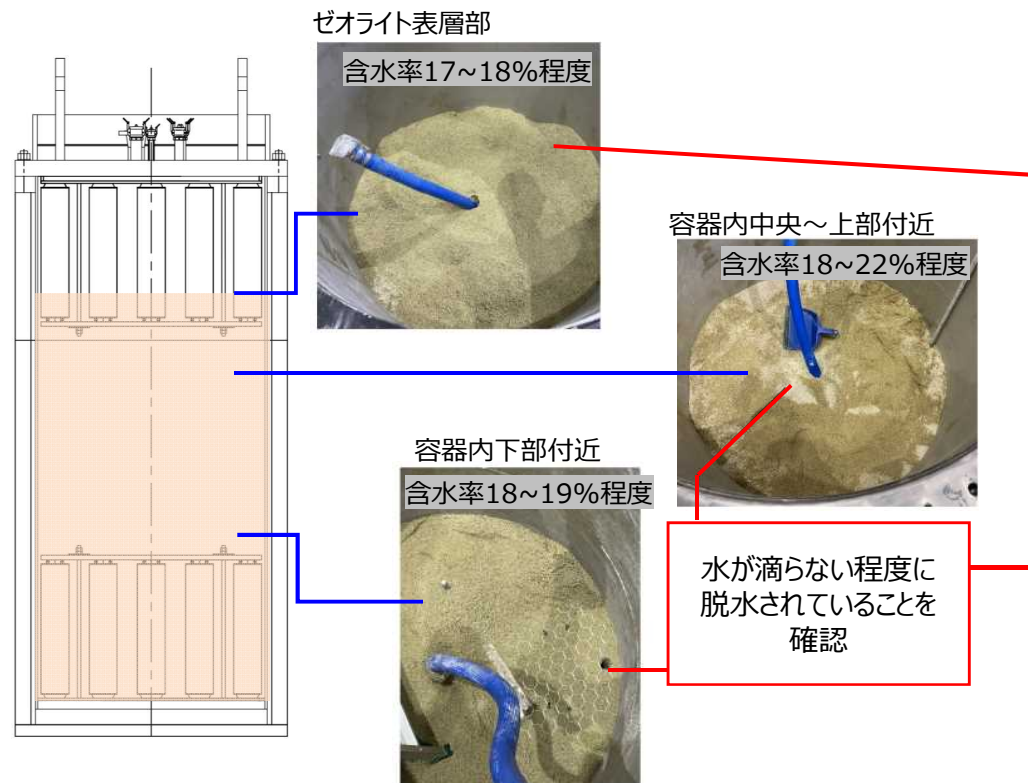
中継容器(水平移送用)断面図

中継容器(水平移送用)監視状況

(参考) 【試験結果6】 保管容器内のゼオライト脱水

8. 保管

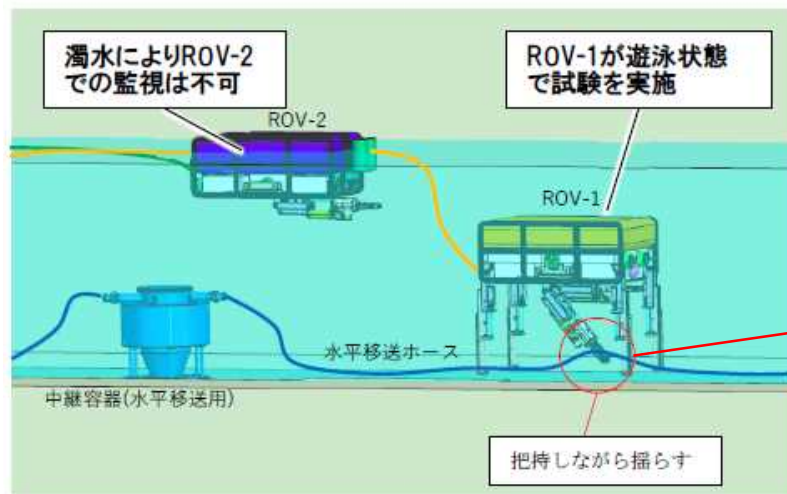
目的	保管（保管容器・脱水）について確認すること
実施事項	ゼオライト保管容器内へのゼオライト回収・脱水が可能であることを確認
結果	フィルタ差圧値に異常なく、回収することが可能であり、保管容器出口水を回収し、ゼオライト粒子が通過していないことを確認した。 ゼオライトの舞い上がり等でゼオライト回収中に常時検知のオンオフを繰り返すなどの誤検知は発生せず、想定される充填量の範囲でレベル計が検知することを確認した。 保管容器内で脱水を実施し、水が滴らない程度（含水率30wt%程度）まで脱水可能なことを確認した。



(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。



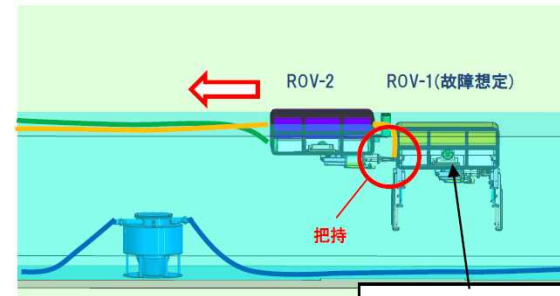
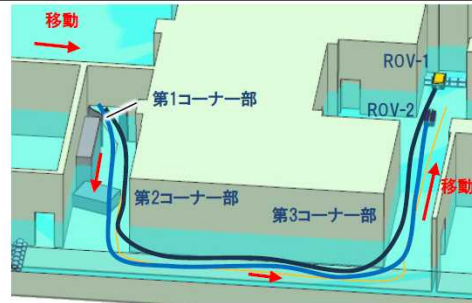
非常回収イメージ図



(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による救援が可能であることを確認
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ことを確認した。 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。

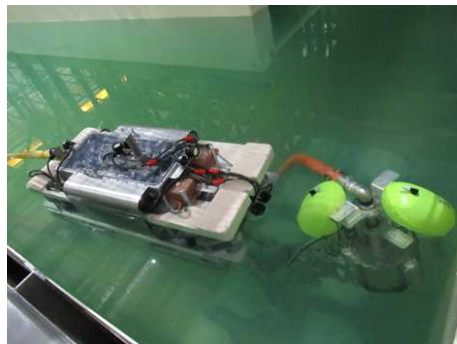


スラスト故障想定
脚部折りたたみ



3. 監視

事象	<ul style="list-style-type: none">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	<ul style="list-style-type: none">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	<ul style="list-style-type: none">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）



前方の障害物を
確認可能

障害物

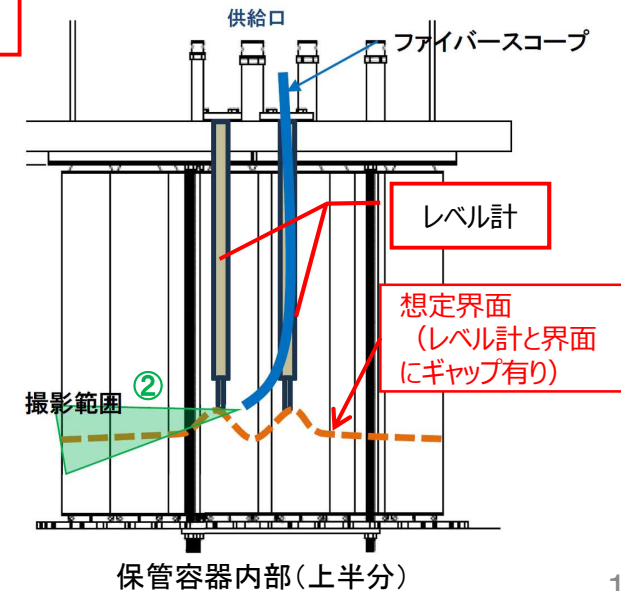
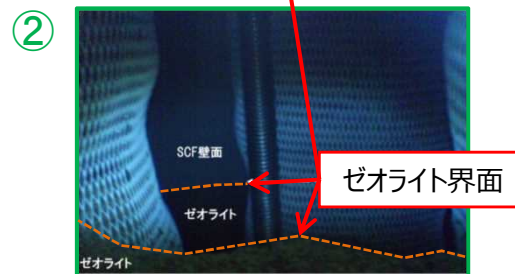
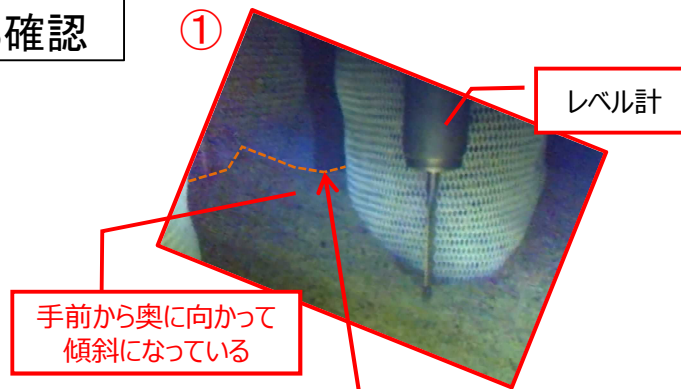
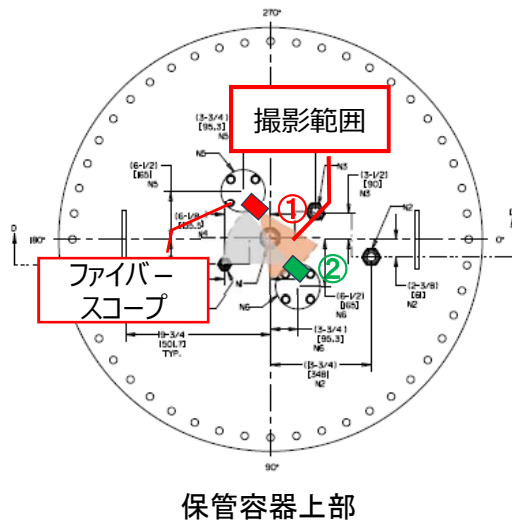
ソナーの確認結果

(参考) 【確認事象2】 レベル計検知

7. 保管

事象	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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。

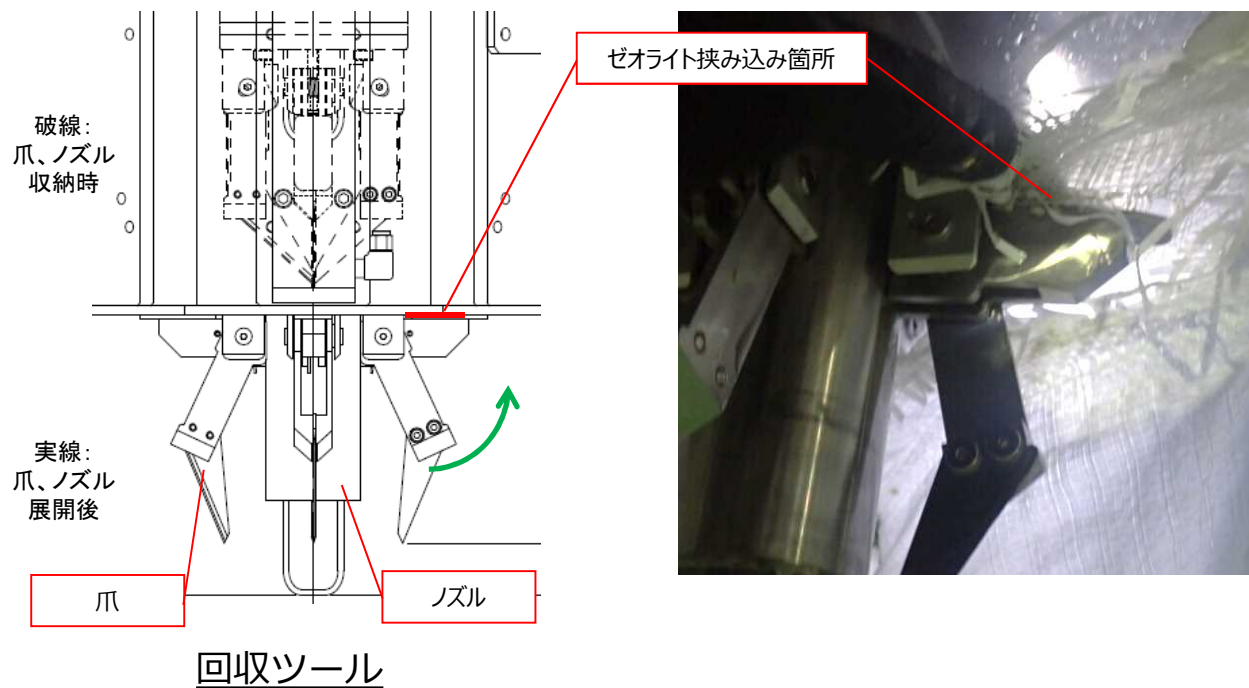
ファイバースコープでの内部確認



(参考) 【確認事象3】ゼオライト噛み込み

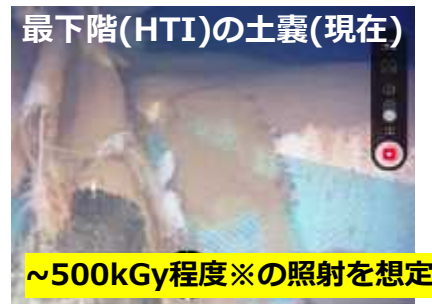
5. 吸引

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。

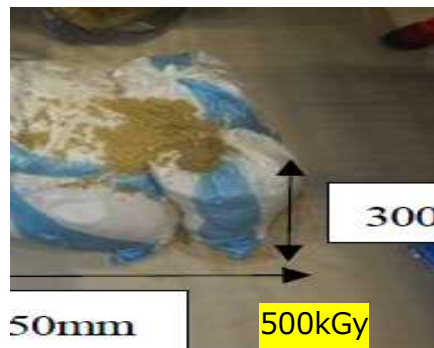


(参考) ゼオライト土嚢の長期劣化等

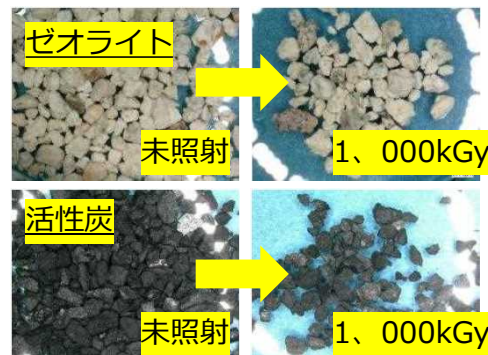
- ゼオライト土嚢等の現地調査を実施し、土嚢袋は概ね原形を保っているが、劣化傾向があり、一部の袋に破損がみられる状況。実規模モックアップにおいては、現場調査で確認された劣化した土嚢袋等を再現し現場環境を模擬する。
- なお、ゼオライトと活性炭のγ線照射試験を最大積算線量1、000kGyまで実施したところ、ゼオライトも活性炭も照射による顕著な変化は認められなかった。



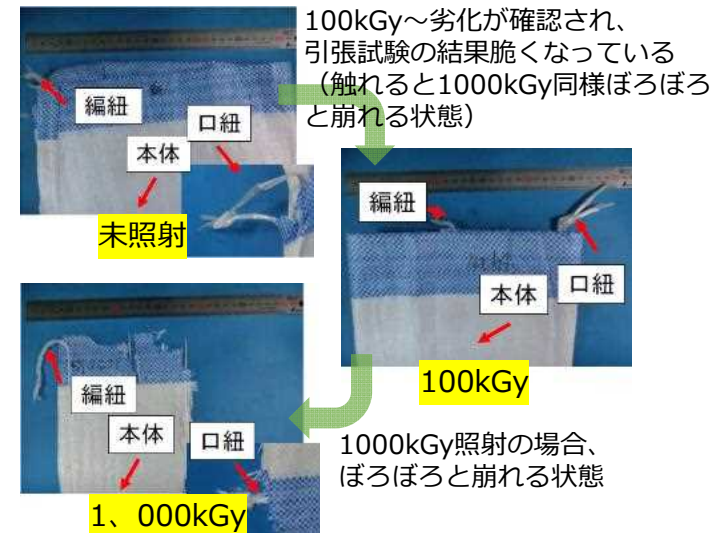
ゼオライト土嚢袋の現場状況



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

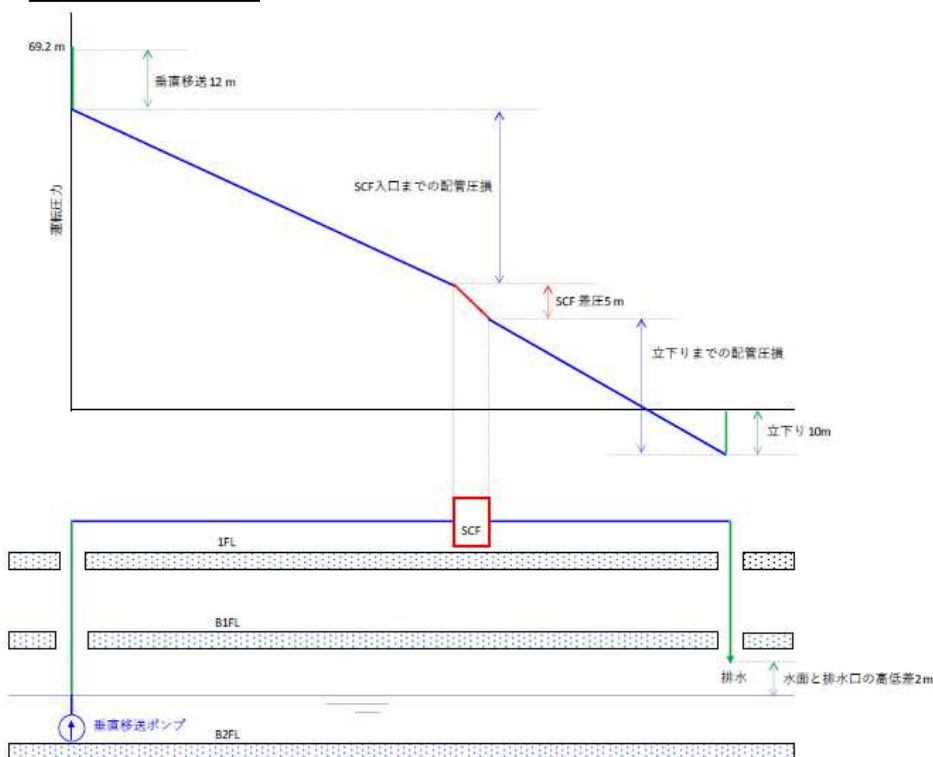
※ 確認されたゼオライト土嚢の表面線量率と現在までの照射時間から評価

(参考) 保管容器設置高さの違いについて

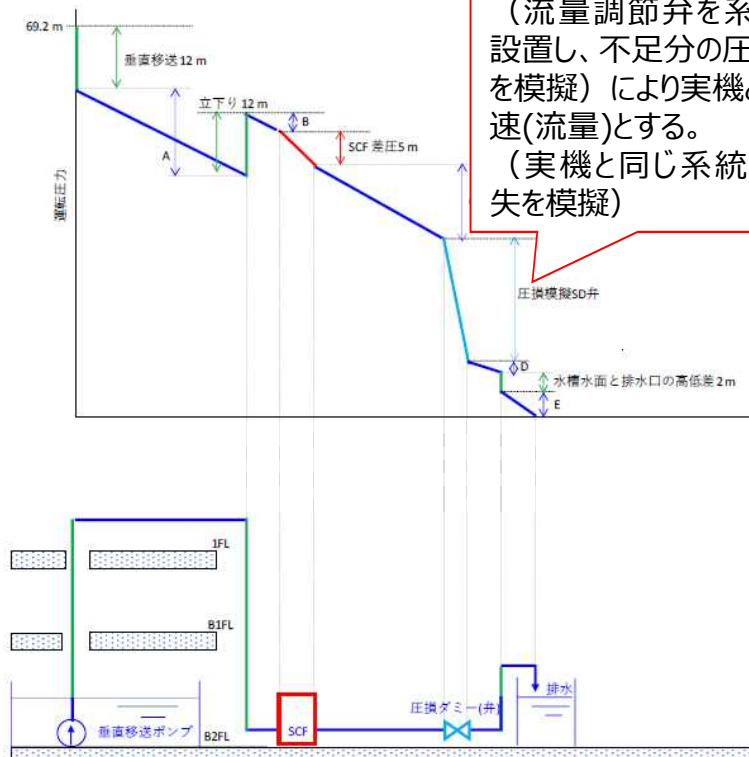
- 保管容器の設置高さが実規模モックアップと実際の設備で異なる※1ため、モックアップ時に保管容器内の運転圧力は実機よりも高くなるが、保管容器内部のフィルタ性能に影響を与える因子はフィルタ差圧であり、運転圧力が異なっても差圧は変化しないため、実際の設備と同じ通水条件となる。
- また、差圧は流速依存が高いが、実機と同じ流速（流量）となるよう、背圧弁（圧損模擬弁）にて調整を行う。

※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。

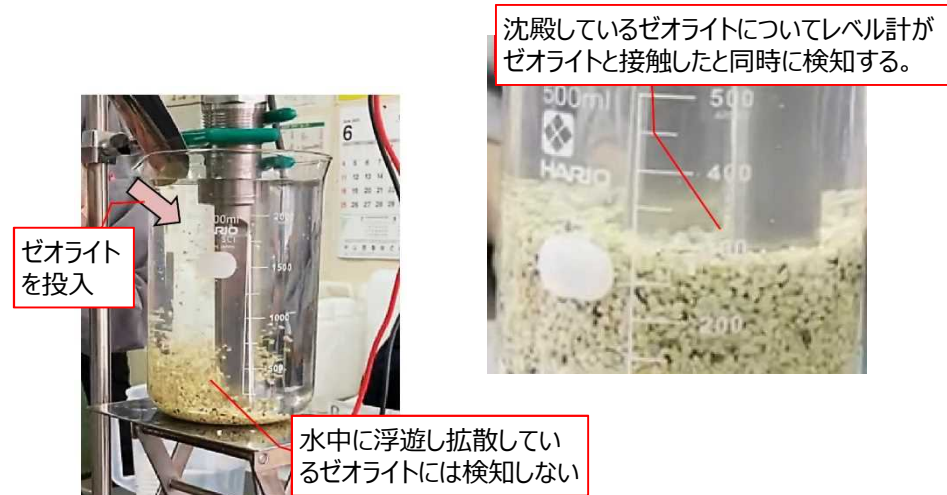
(参考) ゼオライト保管容器への充填について

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。

