

建屋滞留水処理等の進捗状況について

2023年7月24日

TEPCO

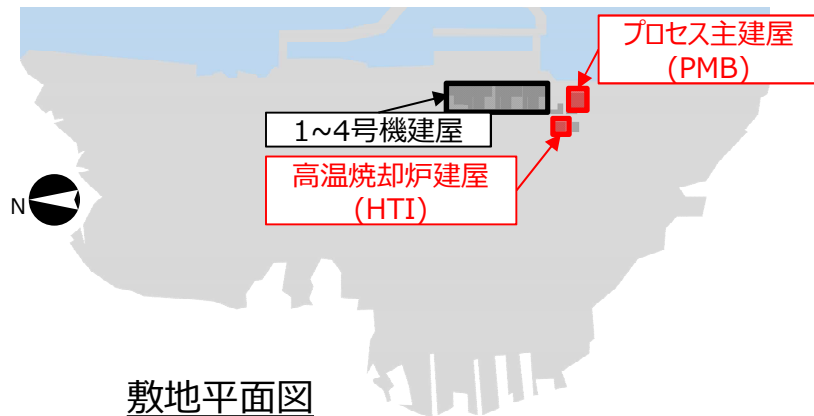
東京電力ホールディングス株式会社

1-1. 概要

- 福島第一における液体状の放射性物質に関するリスク低減を目的として、循環注水を行っている1～3号機原子炉建屋（R/B）については、2023年3月に中長期ロードマップのマイルストーン『原子炉建屋滞留水を2020年末の半分程度に低減』を達成。
- 今後、プロセス主建屋（PMB）と高温焼却炉建屋（HTI）について、極力低い水位を維持しつつ、ゼオライト土嚢等の回収作業の完了以降、建屋滞留水の処理を進めていく。
- 1～4号機建屋滞留水を一時貯留しているPMBとHTIの床面露出に向けて、その機能を引き継ぎ、滞留水を一時貯留する設備の設置に向けて設計中。
- 現在、全 α 核種濃度については十分管理されている状態であるが、今後、更に安全に廃炉作業を進めていくにあたり、 α 核種汚染拡大リスクの最小化を図るため、滞留水の性状分析や汚染水処理装置の改良も踏まえた対策を検討中。

1-2. PMB/HTIにおける滞留水処理の進め方

- PMB/HTIについては、地下階に高線量のゼオライト土嚢等(最大4,400mSv/h)が確認されている。
- PMB/HTIの滞留水については、今後、床サンプルへの滞留水移送装置を設置し、処理を進めるが、ゼオライト土嚢の対策、1-4号機建屋滞留水を一時貯留する設備の設置、α核種除去設備の設置後に床面露出状態を維持させる。



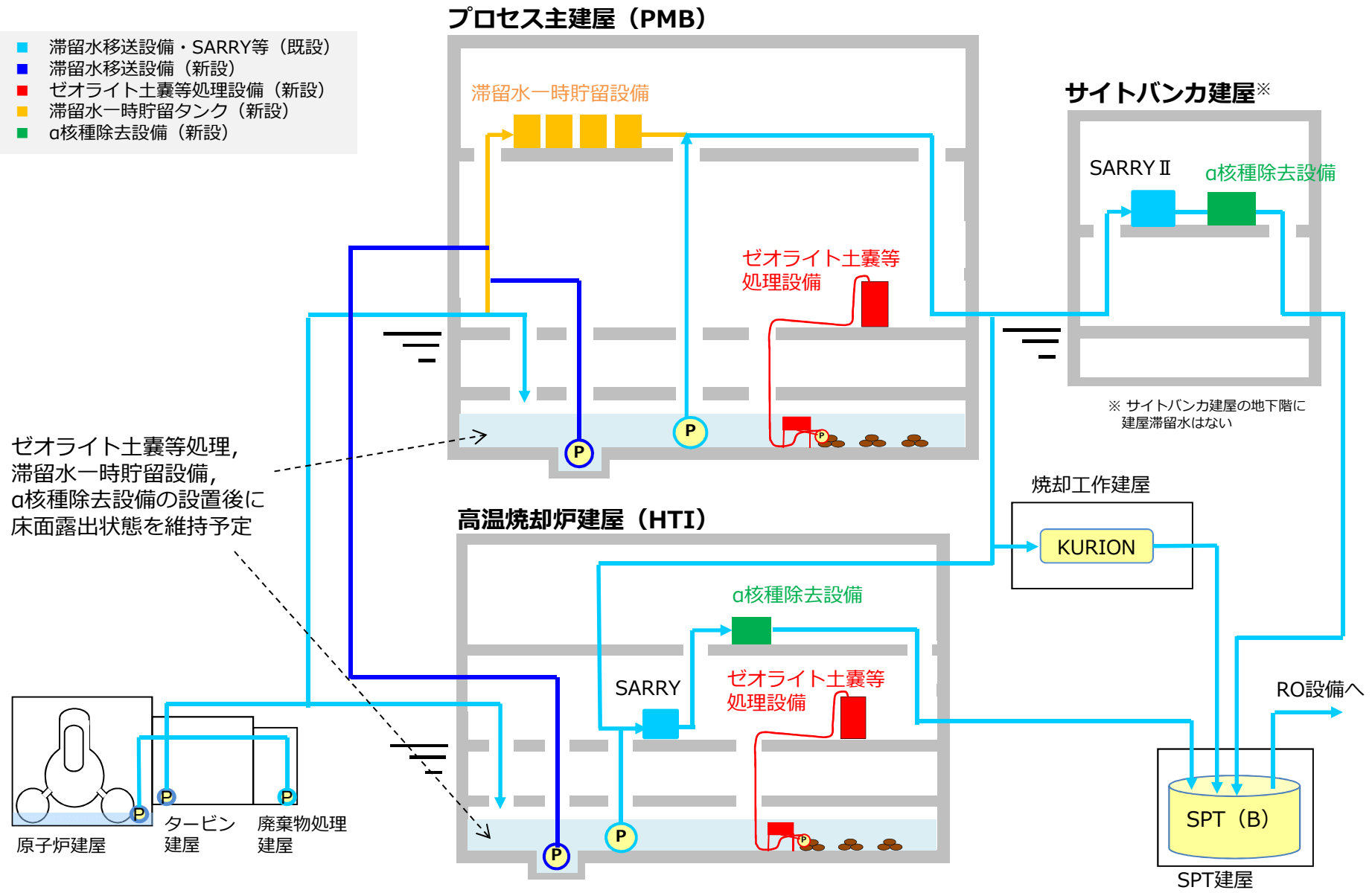
懸念事項	対応策(案)	現在の対応状況
ゼオライト露出による線量上昇	<ul style="list-style-type: none"> ● ゼオライト等の処理 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 水中で回収 	<ul style="list-style-type: none"> ● 処理設備の設計実施中
PMB/HTIに代わる建屋滞留水の受入機能等の確保	<ul style="list-style-type: none"> ● 建屋滞留水一時貯留設備の設置 <ul style="list-style-type: none"> ➢ スラッジ類沈砂等による分離 ➢ 1~4号機各建屋滞留水の濃度均質化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 建屋滞留水一時貯留設備の設計を実施中
α核種の拡大 (水処理装置の安定運転への影響)	<ul style="list-style-type: none"> ● α核種除去設備設置 	<ul style="list-style-type: none"> ● α核種除去設備の除去方法を確立し、設備の設計を実施中

		2022年度	2023年度	2024年度以降	2031年
ゼオライト土嚢等の対策	処理		2023年度内 集積作業開始	2024年度以降 容器封入作業開始	
PMB/HTIに代わる設備の構築	建屋滞留水一時貯留設備設置				
α核種対策 (水処理装置の安定運転)	α核種除去設備設置				
建屋滞留水 (PMB/HTI) 処理					床面露出に向けた水位低下

【参考】PMB/HTIにおける滞留水処理に関する設備

■ PMB/HTIにおける滞留水処理に関する設備の系統構成は以下の通り。

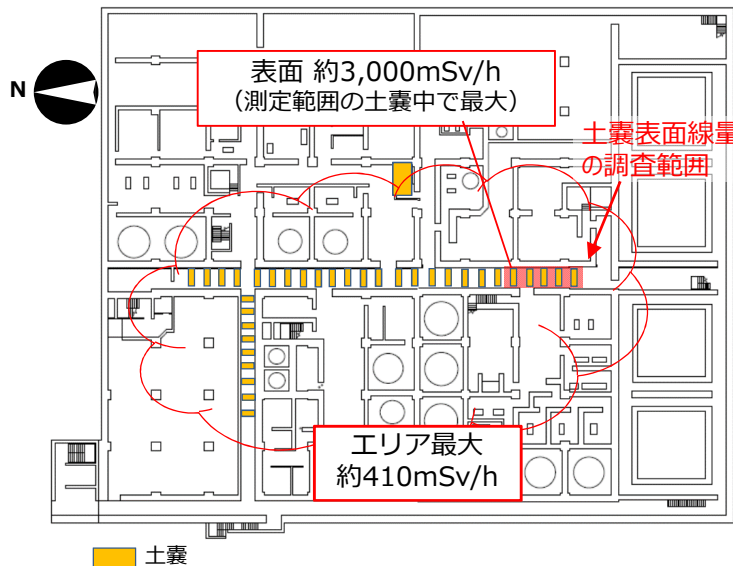
- 滞留水移送設備・SARRY等（既設）
- 滞留水移送設備（新設）
- ゼオライト土嚢等処理設備（新設）
- 滞留水一時貯留タンク（新設）
- α核種除去設備（新設）



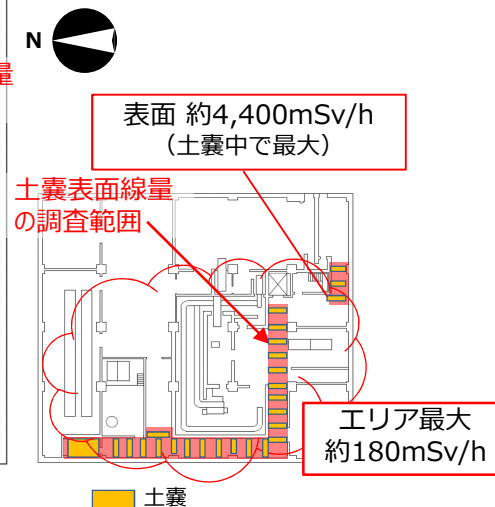
2.ゼオライト土嚢処理の検討状況

2-1. PMB/HTI最下階の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

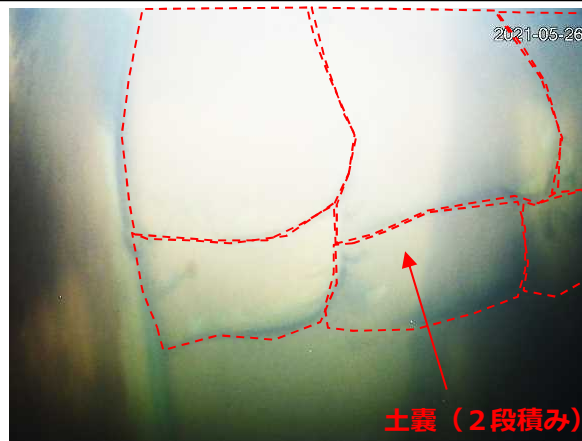
2-2. PMB/HTI最下階の調査

- 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。



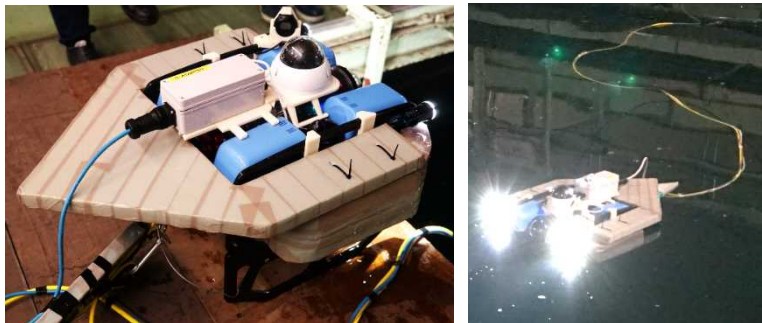
① 最下階の様子 (PMB) (水上)



② 最下階の様子 (HTI) (水中)

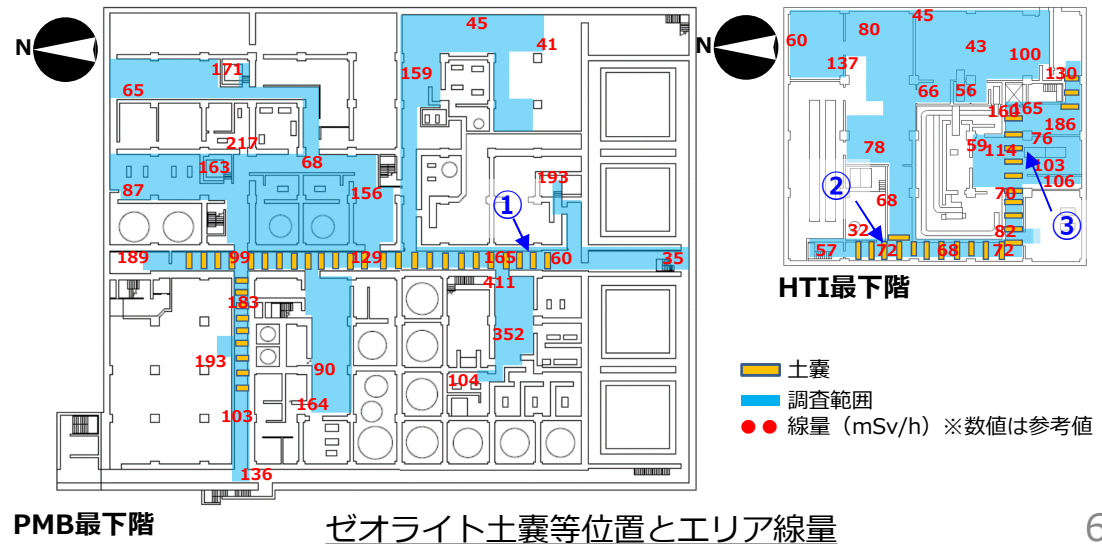


③ 干渉物の例 (HTI)



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

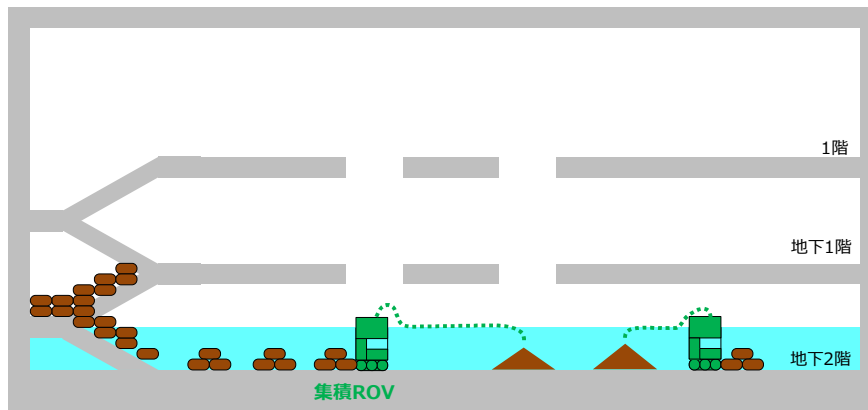


2-3. ゼオライト土嚢等の処理方法の検討概要

- 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。

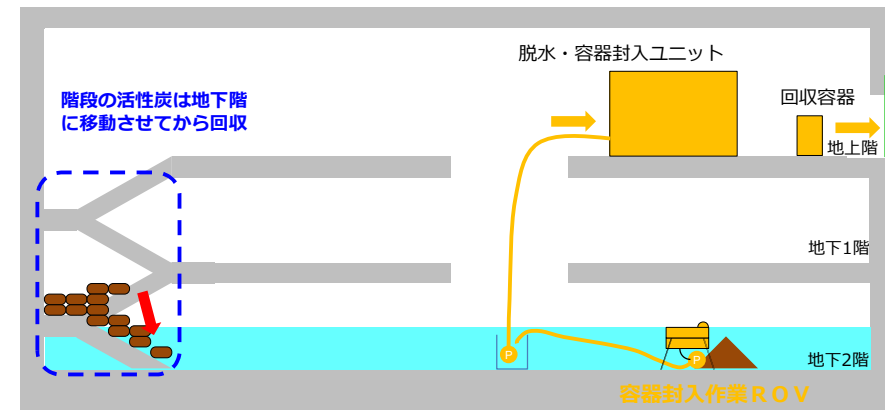
ステップ① 集積作業

- ✓ 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。



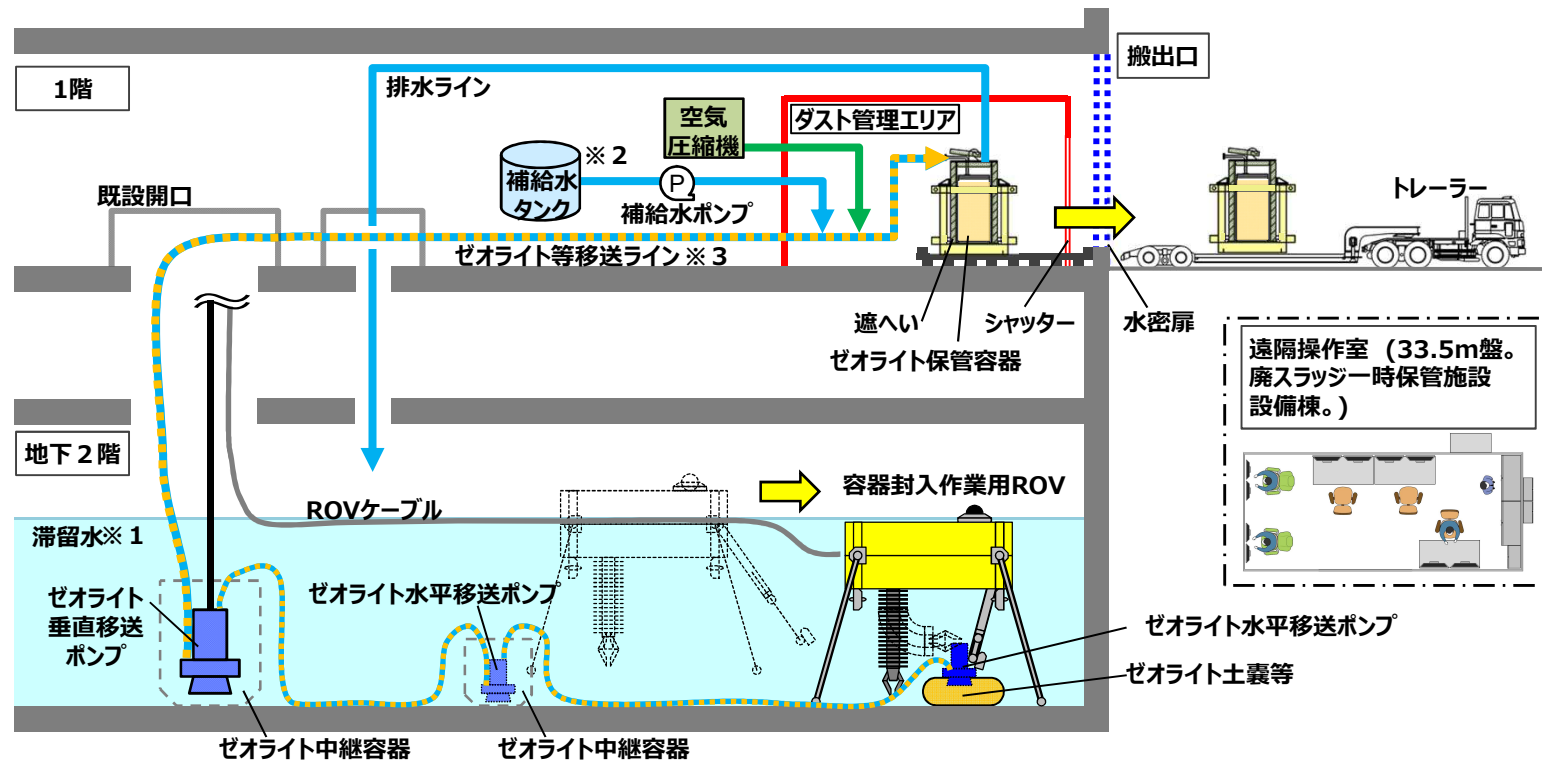
ステップ② 容器封入作業

- ✓ 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、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。



2-4. ゼオライト土嚢等の処理方法の作業概要

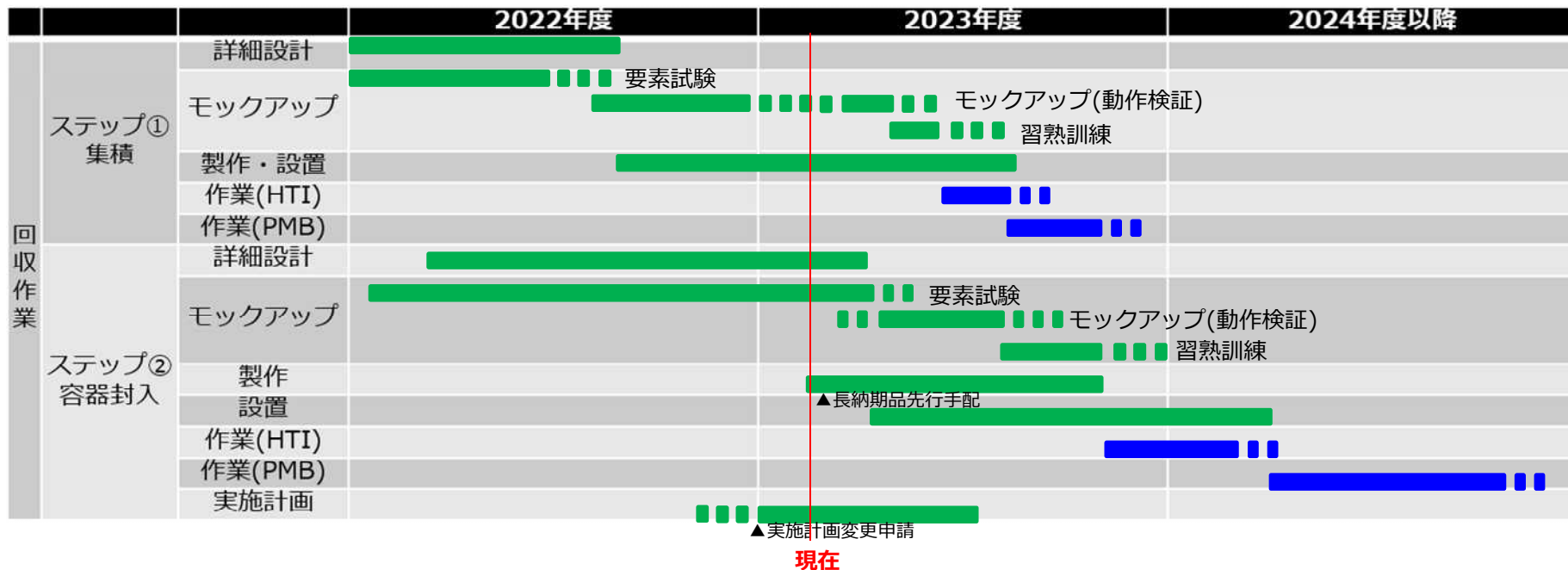
- プロセス主建屋（以下、PMB）、高温焼却炉建屋（以下、HTI）の最下階に敷設しているゼオライト土嚢・活性炭土嚢（以下、ゼオライト土嚢等）について、地下階に容器封入作業用ROVを投入し、ゼオライト水平移送ポンプ及びゼオライト垂直移送ポンプでゼオライト等を地上階のゼオライト保管容器に回収し、33.5m盤の一時保管施設まで搬出する。
- ゼオライト保管容器内部にはフィルタが装備されており、補給水及び空気圧縮機を用いゼオライト等の脱塩（建屋滞留水に含まれる塩分の除去）、脱水を実施する。また、ゼオライト等の移送作業後、ゼオライト等移送ラインはフラッシングを実施する。



- ※ 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 :10¹ 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。

2-5. ゼオライト土嚢等の処理のスケジュール

- 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、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。

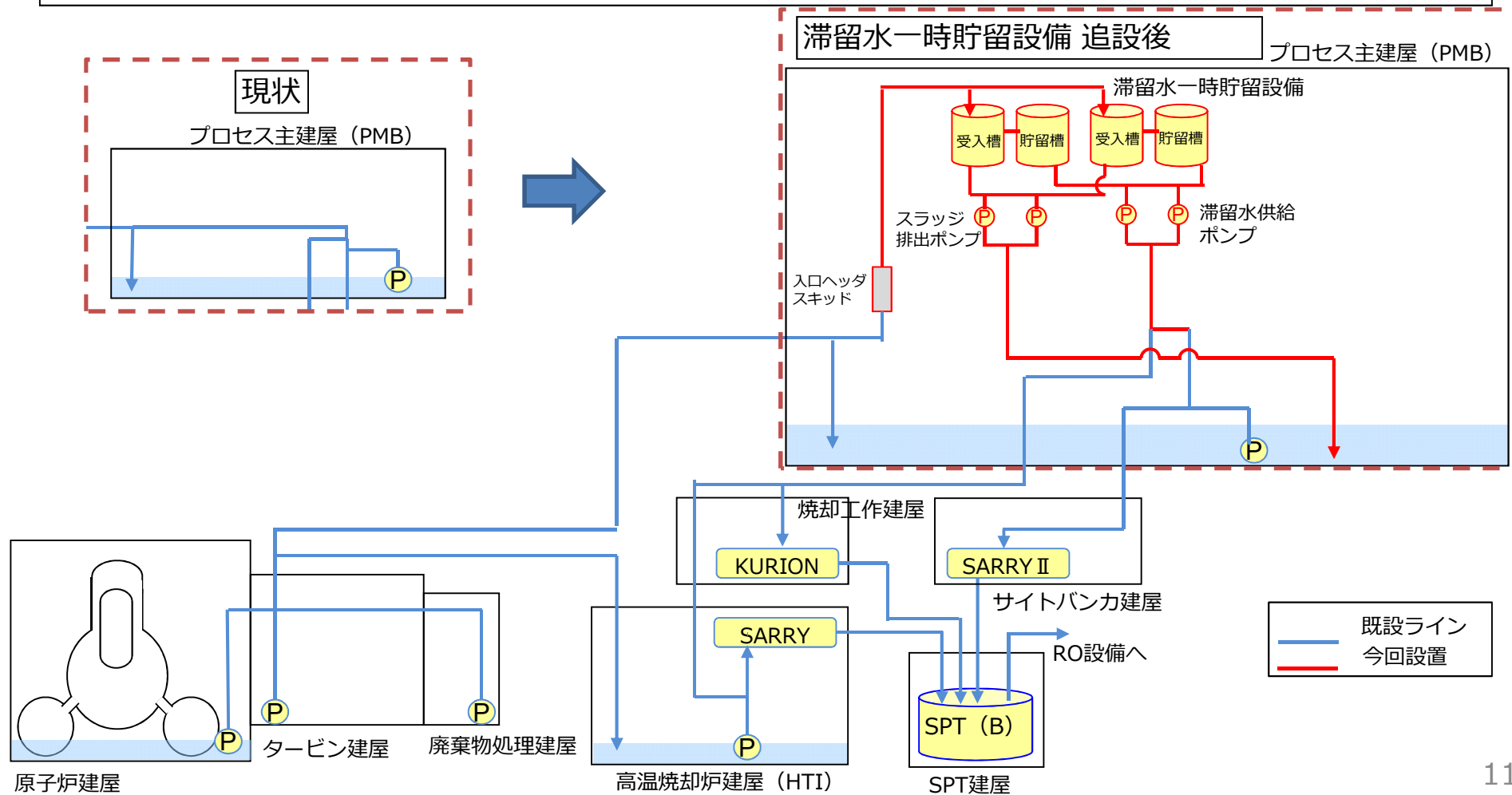


3.建屋滞留水一時貯留設備の検討状況

3-1. 滞留水一時貯留設備の概要

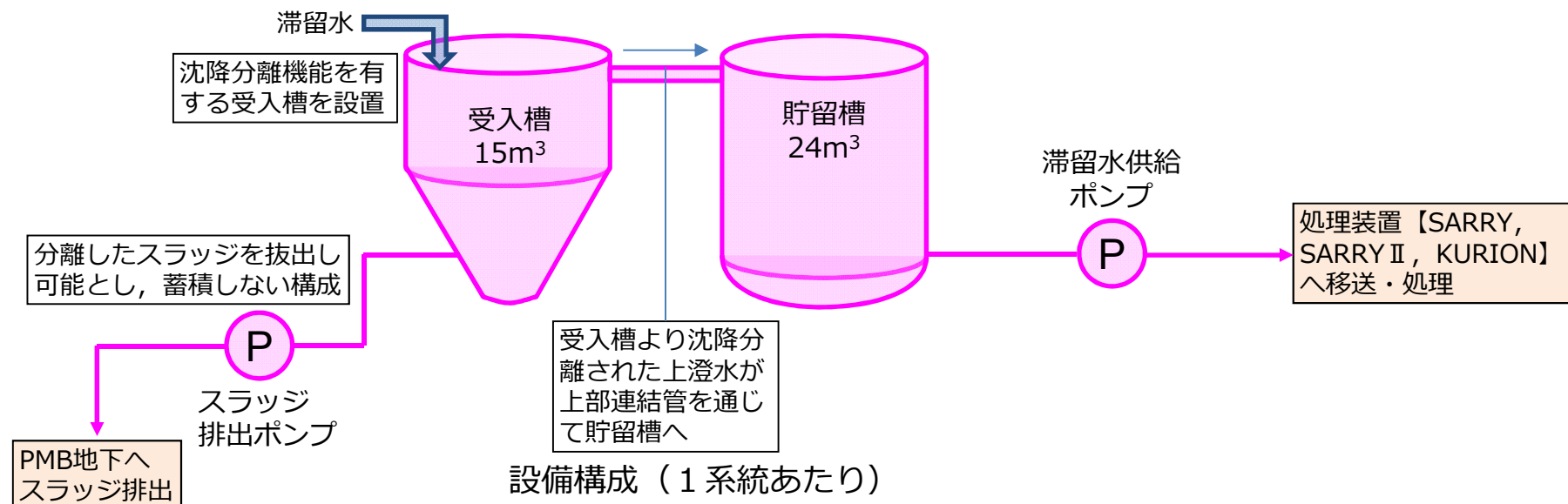
■ 滞留水一時貯留設備は、PMB/HTIの下記の機能を引き継ぐよう、設計を進めている。

- 建屋滞留水の受入
- 処理装置(KURION,SARRY,SARRY II)を安定稼働させるための滞留水のバッファ
- 各建屋滞留水の濃度均質化
- スラッジ類の沈砂



3-2. 滞留水一時貯留設備の設計検討状況

- 滞留水中に含まれるスラッジの沈降分離機能を有する受入槽，貯留機能を有する貯留槽をそれぞれ1基ずつ設置する設備構成とする。
 - 設置場所：プロセス主建屋(PMB) 4階
 - 容量：【受入槽: 15m^3 + 貯留槽: 24m^3 】 × 2 系統
(大雨等に伴う1~4号機建屋への流入量増大などの緊急時にはPMBまたはHTIへ一時貯留する)
- 受入した滞留水は貯留槽から処理装置【SARRY, SARRY II, KURION】へ滞留水供給ポンプにて移送して処理を実施する。これに伴い滞留水供給ポンプの設置および移送ラインの設置（既設配管改造含む）をする。
- 受入槽に蓄積するスラッジ等はPMB地下に当面の間，排出することとする。これに伴い，スラッジ排出ポンプおよび受入槽からPMB地下への移送ラインを設置する。



3-3. スケジュール

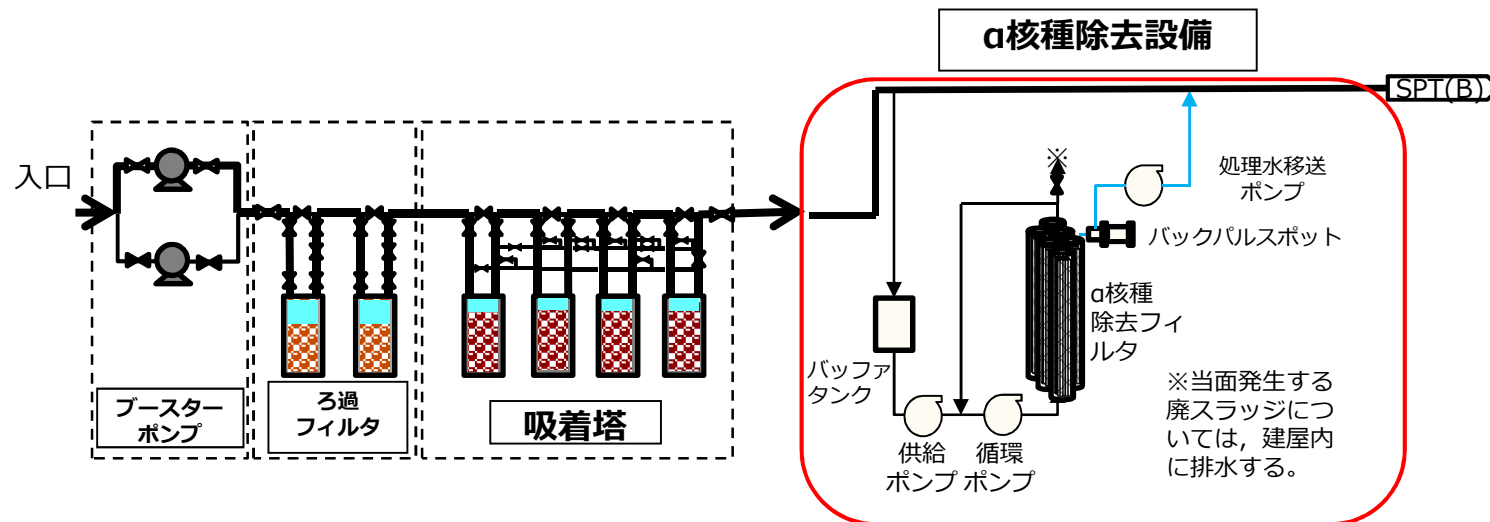
- 滞留水一時貯留設備については、現在、詳細設計検討中で、PMB/HTIの床面露出に向けて、2024年度目途で設備設置を進めている。

	2023年度	2024年度	2025年度
設計			
設置工事			
実施計画変更			

4 .a核種除去設備の検討状況

4-1. α核種除去設備の概要

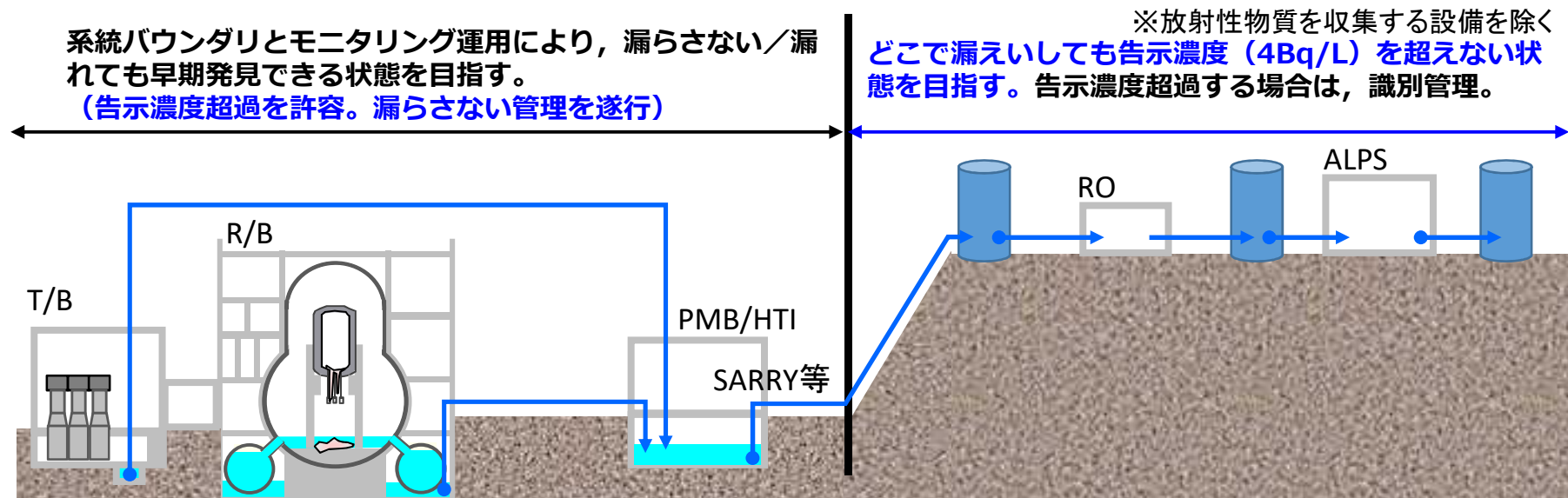
- 原子炉建屋(R/B)内滞留水（全α核種濃度：2～5乗Bq/Lオーダー）について、分析や特性試験を実施し、α核種を低減する設備の設計を進めている。なお、α核種除去設備（フィルタによる除去）は、吸着塔での放射性核種除去により設備の線量上昇を抑えるとともに、フィルタ閉塞を軽減できるよう、処理装置（SARRY他）の後段に設置することで検討している。
 - 建屋内滞留水の分析や試験を実施し、滞留水に含まれるイオン状のα核種については吸着材で捕捉できること、粒子状のα核種はフィルタで捕捉できることを確認し、α核種除去設備の設計を進めている。なお、フィルタについては、多核種除去設備で実績があるクロスフローフィルタ（CFF）方式を採用し、建屋内滞留水の分析結果を踏まえて、フィルタ径を設定。
 - 現在、設備の詳細設計を進めつつ、SARRY後段でのフィルタ連続通水によるフィルタ特性確認を実施中。



SARRY II におけるα核種除去設備の適用例

(参考) α核種管理の目指すべき状態

- ① **8.5m盤：α汚染拡大リスクの最小化が図れた状態**
 - 漏らさない系統構成と早期発見を目指した状態監視（βγ汚染と同じ）
 - 各建屋滞留水の定期モニタリングによるα放射能濃度の把握
 - 8.5m盤から33.5m盤へのα汚染移行抑制措置。水処理設備の最下流(SARRY)の系統内濃度を告示濃度(4Bq/L)未満とする。
- ② **33.5m盤：α汚染管理が要らない状態***
 - 目標値を超過して保管する場合は、系統/設備を識別管理する。

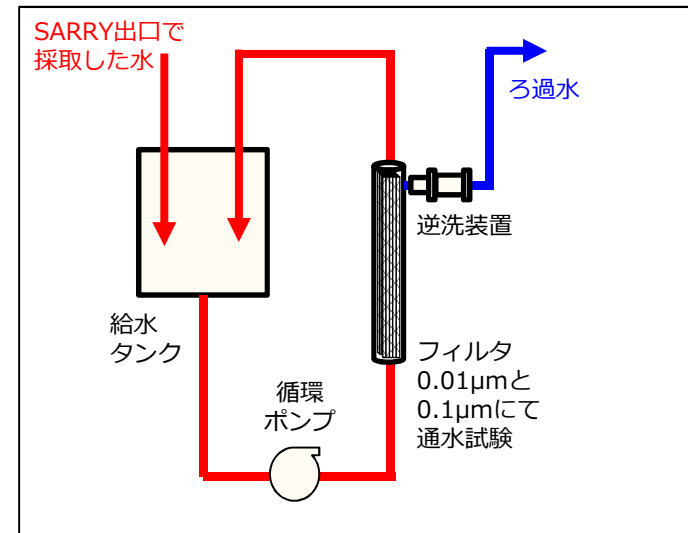


4-2. フィルタ通水試験概要

- 現在設計中の設備構成を踏まえて、 $0.01\mu\text{m}$ 及び $0.1\mu\text{m}$ フィルタで運転した際のフィルタ透過流量（フィルタ閉塞）を確認するため、SARRY出口で採取した水をフィルタ通水試験装置に流し試験を実施。なお、フィルタ径については、建屋内滞留水の分析結果から、 α 粒子は数 μm 程度であることから、それより小さい $0.01\mu\text{m}$ フィルタと $0.1\mu\text{m}$ フィルタを選定。
- フィルタ通水試験装置は、現在設計中の α 核種除去設備の設備構成を踏まえ、給水タンク、循環ポンプ、フィルタで構成され、クロスフローフィルタ方式にてろ過を実施。



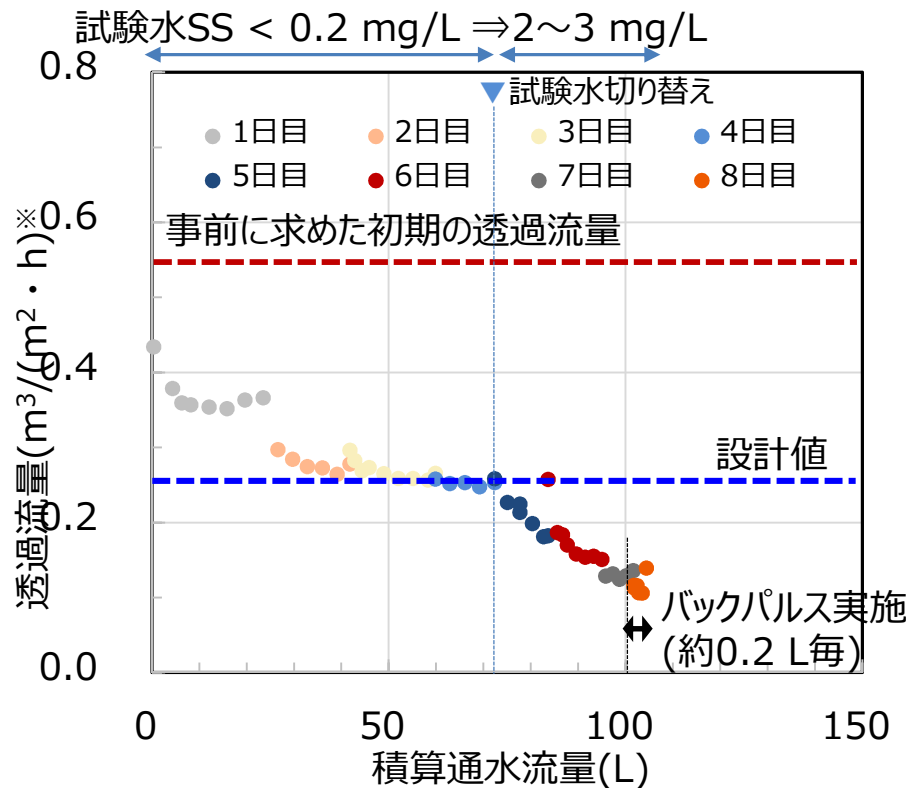
フィルタ通水試験装置写真



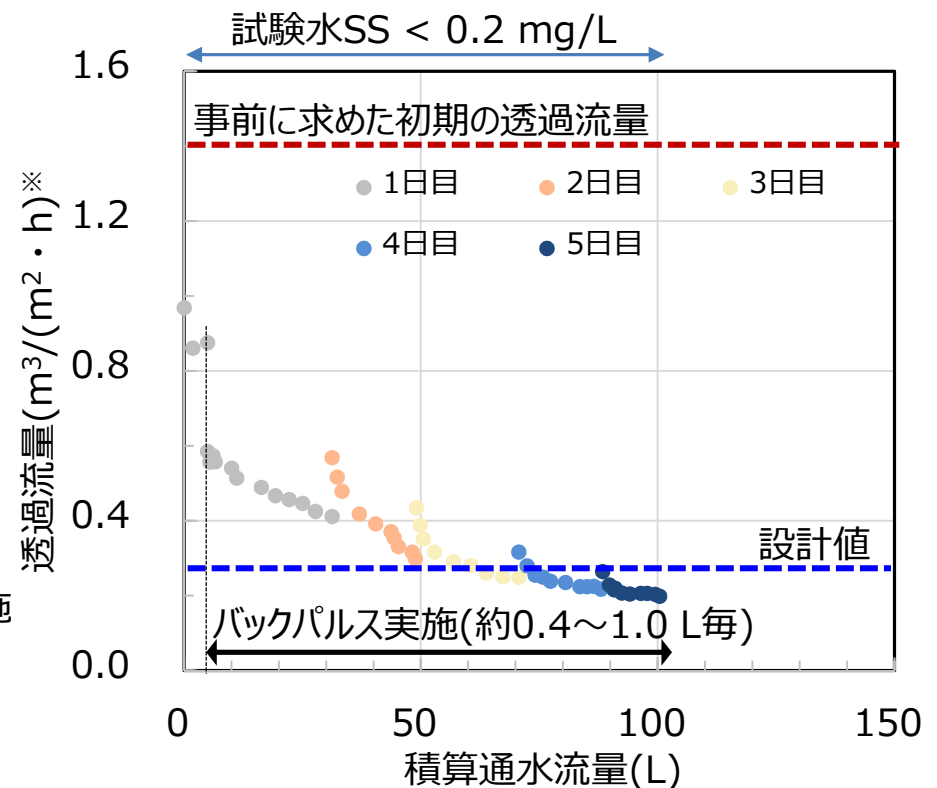
フィルタ通水試験装置概要図

4-3. フィルタ通水試験結果

- 透過流量(ろ過処理済水量)はほとんど変化しないとの想定に対して、通水開始直後から低下。0.01及び0.1 μm の両フィルタとも設計流量を満足しなくなり、実機換算で約0.5日で試験終了。
- 調整運転を実施後、通水試験を開始したが、事前に求めた初期の透過流量よりも低下しており、調整運転時から閉塞していた可能性がある。また、逆洗(バックパルス)を実施しても透過流量は回復しなかった。



孔径 (0.01 μm) における透過流量の推移



孔径 (0.1 μm) における透過流量の推移

※標準透過流量：水温25 $^{\circ}\text{C}$ 、入口圧力0.2MPaに規格化した透過水量

4-4. フィルタ閉塞に関する要因分析調査

要因1	要因2	調査内容	結果	今後の対応
装置不具合	機器・計器の不調	ポンプの不調あるいは計器の指示間違いの可能性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 流路差圧と循環流量の関係からポンプ不調はなかった。 ・ 膜入口圧を変えたときの循環流量の関係の確認, 流量計指示値とろ過水量実測値の比較から, 流量計・圧力計の指示間違いはない。 	-
	膜の不良	通水試験初期の透過流量	初期は膜仕様の透過流量が得られていた。 0.01μm膜 : 0.53 m ³ /(m ² ・h) 0.1μm膜 : 1.4 m ³ /(m ² ・h)	-
操作ミス	弁の開度不足	試料水の循環およびろ過水量	計器指示値は実測したろ過水量と一致。	-
水質	微粒子による閉塞	試験水の履歴, 水質の確認 透過流量の変化を微粒子閉塞モデルで試評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ SARRY吸着塔交換直後に採取した試験水を通水した時期があり, そのSS濃度は2~3mg/Lと高い。この通水時に透過流量が不連続に低下。 	①フィルタ閉塞物の確認(SEM-EDX分析) ②SARRY等出口水の水質確認 ③吸着材を起因とする閉塞物の影響確認
	有機物による閉塞	試験水質の確認	試験水質の全有機炭素(TOC)濃度は1ppm以下と低かったが, 低TOCでも閉塞は起こる可能性がある。	①フィルタ閉塞物の確認(SEM-EDX分析) ②SARRY等出口水の水質確認

4- 5. 要因分析調査

- 以下の要因分析を実施し，要因を特定し，対策を検討していく。
 - ① **フィルタ膜閉塞物の確認**
 - ・ フィルタ通水試験にて使用したセラミックフィルタ内部の閉塞状況について，SEM-EDXによる観察を行い，膜閉塞物を確認する。
 - ② **SARRY等入口・出口水の水質確認**
 - ・ SARRY等の入口・出口水に対し，数種類の膜孔径のフィルタを用いたろ過速度評価を行い，フィルタ孔径に対する閉塞物の影響を確認し，SEM-EDXによりフィルタ閉塞状態を確認する。
 - ③ **吸着材を起因とする閉塞物の影響確認**
 - ・ SARRY等で使用中の吸着材を用いて模擬液を作成し，フィルタ通水試験装置にて通水試験を実施する。

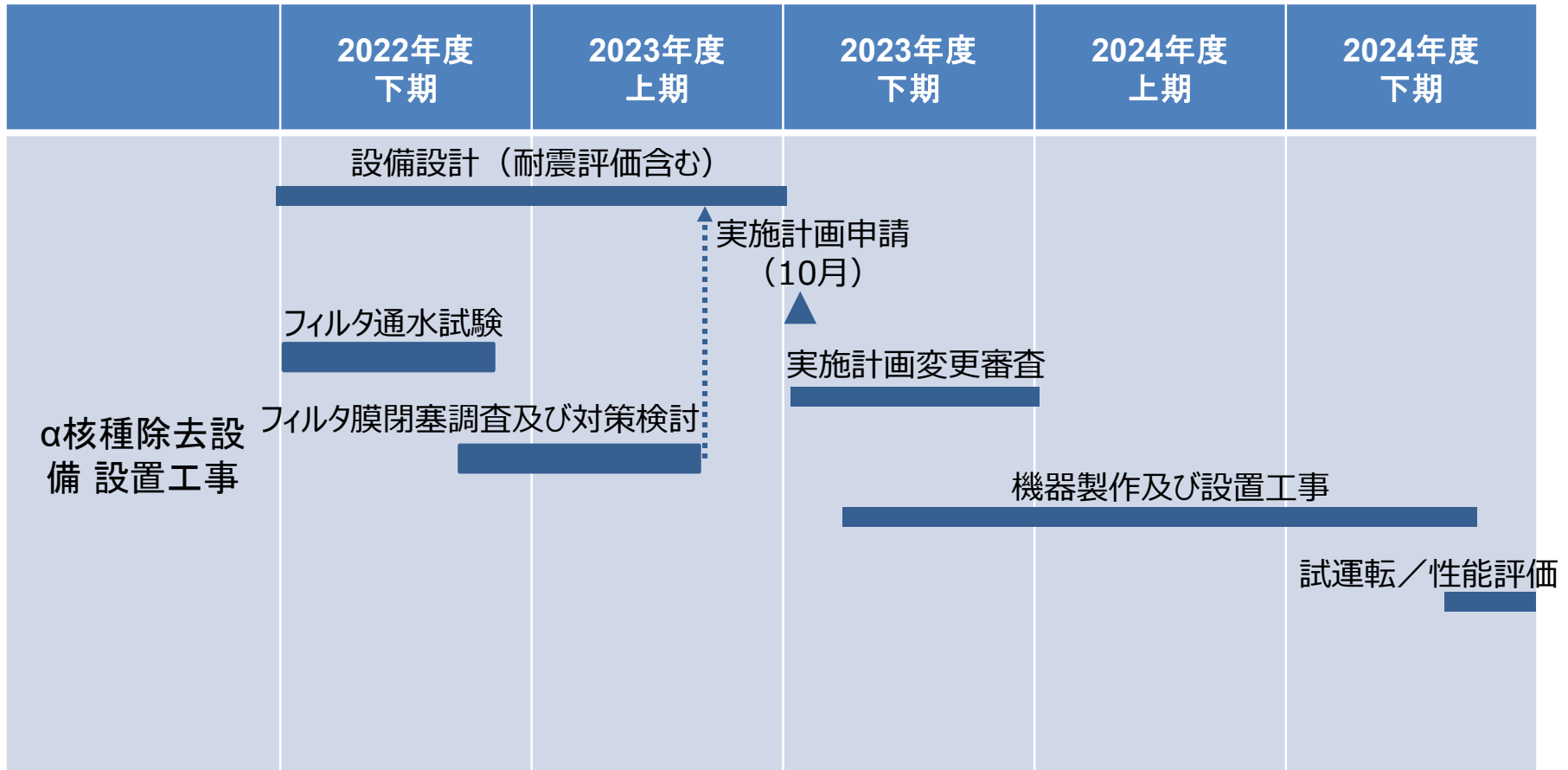
要因分析スケジュール

	2023年5月	2023年6月	2023年7月	2023年8月
フィルタ膜閉塞物の確認		■		
SARRY等出口水の水質確認	■			
吸着材を起因とする閉塞物の影響確認	■			
要因・分析を踏まえた対策・検討		■		

設計に反映

4-6. 今後の対応

- α核種除去設備の設置に向けて、詳細設計を進めながら、実液によるモックアップ試験で得られた結果を踏まえて、設備設計に必要な応じて反映していく。
- 機器の詳細設計を引き続き進め、2023年10月頃に実施計画変更申請を実施予定。
- 2024年度運用開始に向けて対応していく。



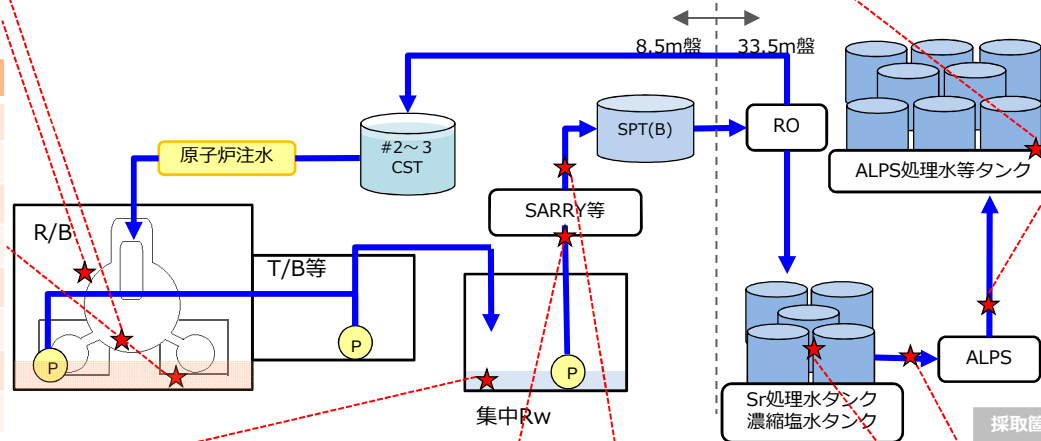
【参考】 建屋滞留水中のα核種の状況

- R/Bの滞留水からは比較的高い全α（2~5乗Bq/Lオーダー）が検出されているものの、セシウム吸着装置入口では概ね検出下限値程度（1乗Bq/Lオーダー）であることを確認。
- 全α濃度の傾向監視とともに、α核種の性状分析等を進め、α核種の低減メカニズムの解明を進める。

採取箇所	分析日	全α核種濃度
3PCV	2015/10/22	2.1E+03
3MSIV室	2021/7/8	1.7E+06

採取箇所	分析日	全α核種濃度
1R/B	2022/4/19*1	2.2E+04
	2023/1/31	2.7E+03
2R/B	2020/6/30*1	3.2E+04
	2021/11/8*1	2.0E+05
3R/B	2022/11/18	2.2E+01
	2021/7/13*1	5.4E+05
	2021/11/19	4.8E+03
	2023/2/22	1.9E+03

*1：採集器を用いた底部付近でのサンプリング
*2：タンク残水処理中でのサンプリング
*3：タンク解体時の底部残水を集めた水



採取箇所	全α核種濃度	採取箇所	分析日	全α核種濃度
G1S,G3,G6,G7,H1~5,H4 N,H6(I),H6(II),J1~J7, K1~K4,B,B南エリア	<1.0E-01	既設ALPS出口	2023/5/15	<7.5E-02
		増設ALPS出口	2023/5/2	<5.9E-02

採取箇所	分析日	全α核種濃度
SARRY入口	2023/5/12	3.9E+01
SARRY II 入口	2023/5/12	2.9E+01

採取箇所	分析日	全α核種濃度
SARRY出口	2023/5/12	4.4E+00
SARRY II 出口	2023/5/12	3.5E-01

採取箇所	分析日	全α核種濃度
既設ALPS入口	2023/5/15*2	3.7E+00
増設ALPS入口	2023/5/2	1.1E+00

採取箇所	分析日	全α核種濃度
濃縮塩水タンク上澄み	2021/7/21	1.8E+01
濃縮塩水タンク底部*3	2021/7/21	5.3E+03

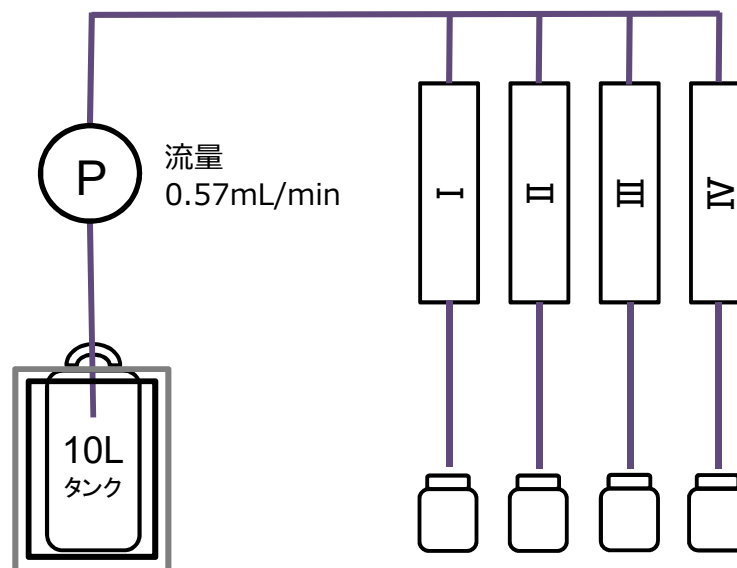
採取箇所	分析日	全α核種濃度
PMB	2022/4/21*1	4.1E+03
	2023/5/23	<3.2E+00
HTI	2022/4/22*1	1.3E+04
	2023/5/23	1.3E+02

現状の全α核種濃度測定結果 [Bq/L]

【参考】 吸着材通水試験

- 浸漬試験を実施し、使用実績のある吸着材、または新規にα核種除去が期待される吸着材について確認し、いずれの吸着材もイオン状α核種の低減を確認できた。
- いずれの吸着材もα核種の低減を確認できたことから、使用実績のある吸着材を選定してSARRYの流速を考慮し、吸着材通水試験を実施した。

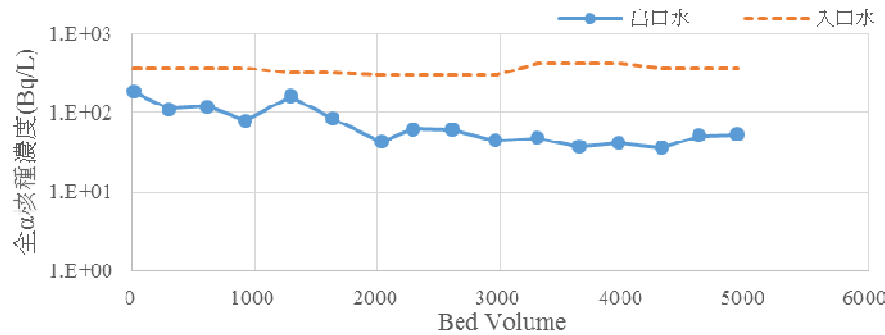
項目	内容
試験水	3号機原子炉建屋滞留水【トーラス室】
吸着材	福島第一原子力発電所で使用実績のある吸着材から選定
吸着材充填量	2.4mL
通水流量	空間速度(SV)14.3/hr(0.57mL/min)
通水期間	Bed Volume 5000(14.6日) Bed Volume=流量/容器容量



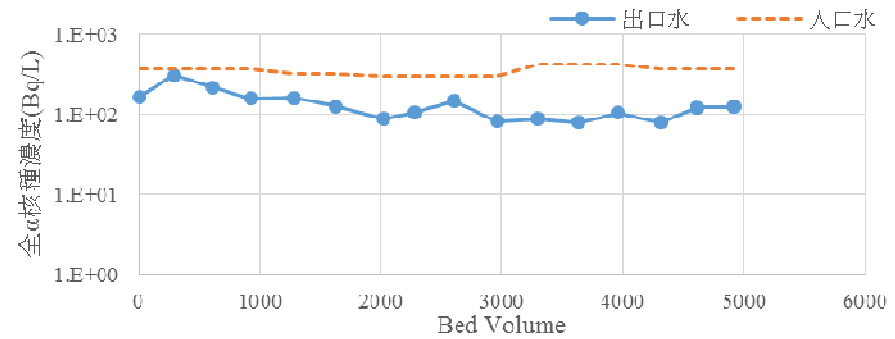
吸着材通水試験概要

【参考】吸着材通水試験

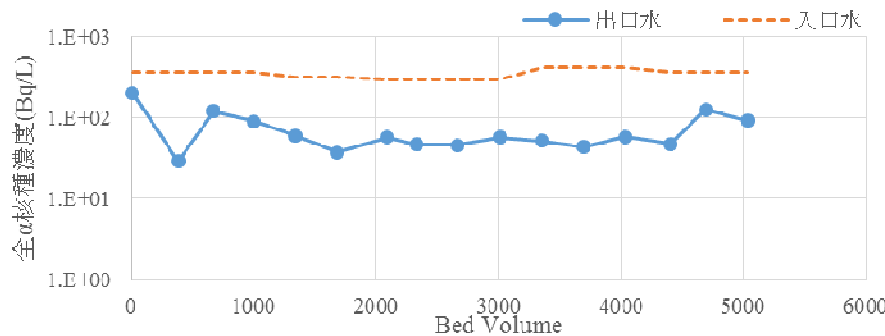
- 通水試験結果より、現在SARRYで使用している吸着材含め選定した吸着材において、イオン状のα核種を除去している可能性があることが分かった。
- 以上の結果より、現在SARRYで使用している吸着材でイオン状α核種を除去できると考えられ、現在の吸着材を使用することで設計を進めていく。なお、粒子状α核種などが存在し、除去できないものもあるため、これまで通りフィルタと併合して設計していく。



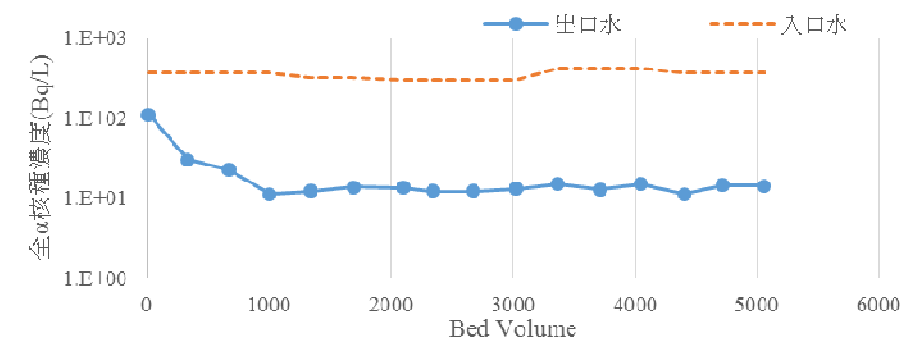
I (現在SARRYで使用中の吸着材)



II



III



IV

【参考】 1号機R/B滞留水の性状分析

- 1号機R/B滞留水の性状分析について、過去に分析した2号機や3号機のR/B滞留水の性状とは大きく異なっておらず、これまでと同様な性状であることを確認。

核種分析結果

単位：Bq/L

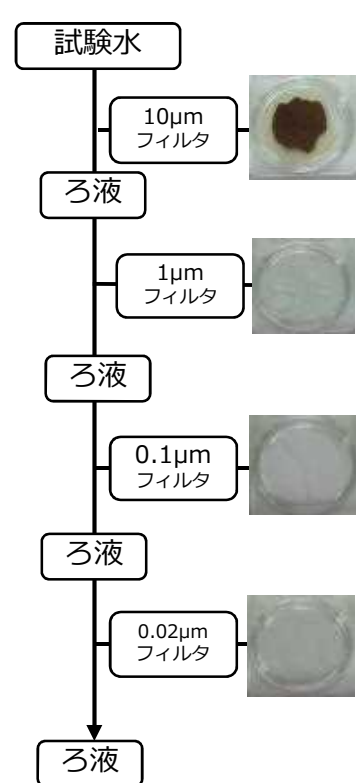
種類	分析日	全α核種濃度	Cs-137	Cs-134	全β核種濃度	Sr-90	H-3
1号機R/B滞留水	2022/4/19	2.2E+04	3.3E+07	8.9E+05	1.0E+08	2.0E+07	2.9E+05
2号機R/B滞留水 ^{*1}	2020/6/30	3.2E+04	1.4E+09	—	1.5E+09	—	—
3号機MSIV室 ^{*2}	2021/7/8	1.7E+06	5.8E+06	1.8E+05	4.9E+07	9.5E+06	2.6E+05
3号機R/B滞留水 ^{*2}	2021/7/13	5.4E+05	2.2E+07	8.5E+05	5.2E+07	1.5E+07	3.2E+05

*1第88回特定原子力施設監視・評価検討会にて公表

*2第98回特定原子力施設監視・評価検討会にて公表

【参考】 1号機R/B滞留水の性状分析

- 1号機R/B滞留水の性状分析について、試験水に対し、段階的なフィルタを設け、各フィルタでの回収物とろ液に対し分析を実施。
- 10 μ mフィルタにてほぼ捕捉され、0.02 μ mフィルタまで通水すると、全 α 核種濃度は検出限界以下になることを確認。
- なお、 α 核種除去設備のフィルタ径については、建屋内滞留水の分析結果から、 α 粒子は数 μ m程度であることから、それより小さい0.01 μ mフィルタと0.1 μ mフィルタを選定。



粒径	Bq/L							
	U-235	Np-237	U-238	Am-241	Cm-244	Cm-242	Pu-238	Pu-239+240
>10 μ m	1.2E-01	1.8E+00	1.4E+00	8.3E+03	8.0E+03	1.4E+02	1.3E+04	3.4E+03
10~1 μ m	<1.5E-04	<5.6E-02	<2.2E-05	< 5.0E-01	< 5.0E-01	<2.0E+00	1.7E+00	5.1E-01
1~0.1 μ m	<1.5E-04	<5.6E-02	<2.2E-05	< 5.0E-01	< 6.0E-01	<3.0E+00	<3.0E-01	<5.0E-01
0.1~0.02 μ m	<2.9E-04	<5.6E-02	4.1E-03	< 5.0E-01	< 5.0E-01	<1.0E+00	< 5.0E-01	< 3.0E-01
<0.02 μ m(ろ液)	<3.2E-04	<6.1E-02	2.0E-04	< 1.0E+00	< 1.0E+00	<2.0E+00	< 1.0E+00	< 7.0E-01

【参考】

粒径	Bq/L						
	全 α	Cs-134	Cs-137	Co-60	Sb-125	Eu-154	Sr-90
>10 μ m	2.1E+04	8.2E+05	2.9E+07	7.6E+05	2.9E+05	1.7E+04	1.7E+07
10~1 μ m	4.6E-01	9.4E+02	3.6E+04	< 4.0E+02	< 1.0E+03	< 6.0E+02	2.0E+04
1~0.1 μ m	1.4E-01	3.5E+02	9.7E+03	<3.0E+02	< 9.0E+02	< 8.0E+02	6.7E+03
0.1~0.02 μ m	<1.0E-01	2.0E+03	7.1E+04	4.8E+02	< 5.0E+02	< 2.0E+02	4.1E+04
<0.02 μ m(ろ液)	<7.1E-02	8.0E+05	2.7E+07	3.7E+03	< 5.0E+03	< 2.0E+03	2.4E+07

*試料採取日(2022年4月19日)減衰補正した値