

# 建屋滞留水処理等の進捗状況について

2023年6月14日

---

**TEPCO**

東京電力ホールディングス株式会社

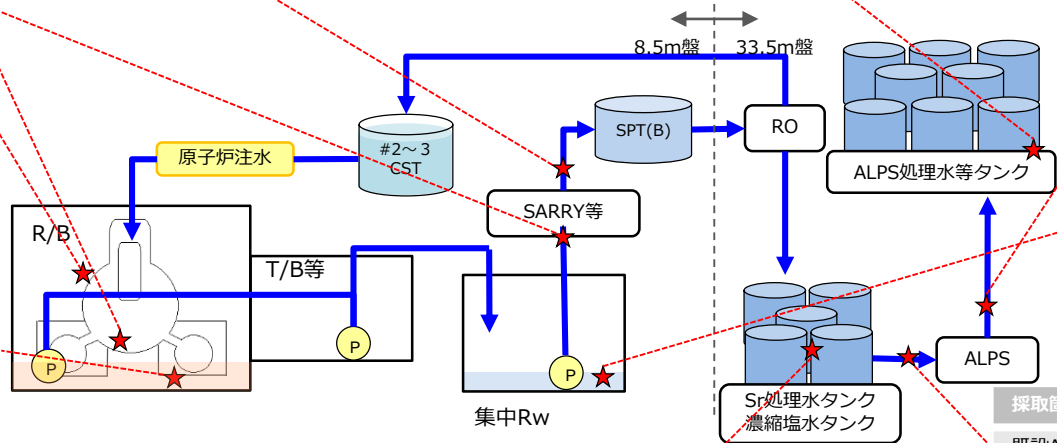
# 1. 建屋滞留水処理等の進捗状況について

- 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※1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。
- 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 PMBはT.P.-1200程度、HTIはT.P.-800程度（水深1.5m程度）で水位を管理。なお、大雨等による一時的な水位変動の可能性あり。

採取箇所	分析日	全α核種濃度	採取箇所	分析日	全α核種濃度	採取箇所	全α核種濃度	採取箇所	分析日	全α核種濃度
SARRY入口	2023/5/12	3.9E+01	SARRY出口	2023/5/12	4.4E+00	G1S,G3,G6,G7,H1~5,H4 N,H6(I),H6(II),J1~J7, K1~K4,B,B南工リア	<1.0E-01	既設ALPS出口	2023/5/15	<7.5E-02
SARRYⅡ入口	2023/5/12	2.9E+01	SARRYⅡ出口	2023/5/12	3.5E-01			増設ALPS出口	2023/5/2	<5.9E-02

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



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

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

\*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

## 現状の全α核種濃度測定結果 [Bq/L]

- 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

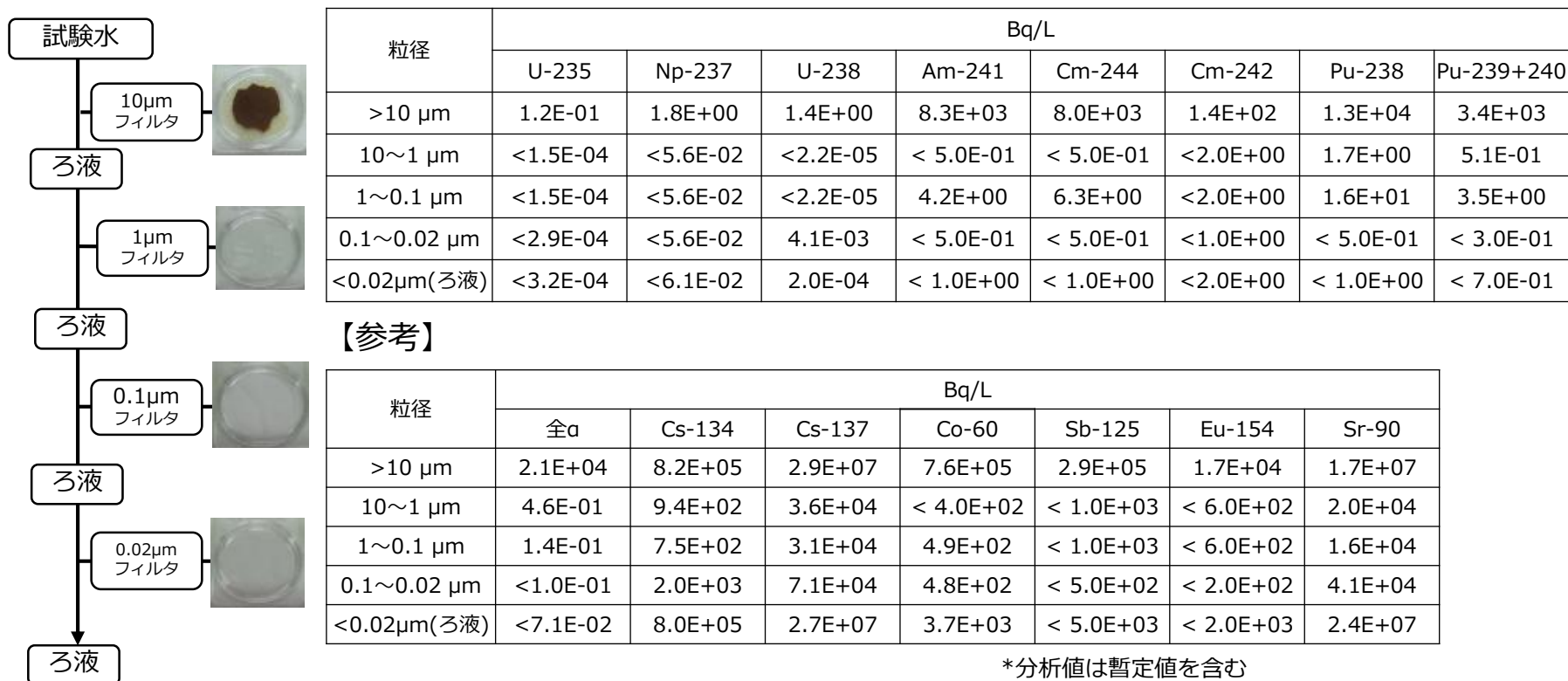
種類	分析日	全α核種濃度	Cs-137	Cs-134	全β核種濃度	Sr-90	H-3
1号機R/B滞留水	2022/4/19	2.2E+04	3.3E+07	8.9E+05	1.0E+08	2.0E+07	2.9E+05
2号機R/B滞留水 <sup>*1</sup>	2020/6/30	3.2E+04	1.4E+09	—	1.5E+09	—	—
3号機MSIV室 <sup>*2</sup>	2021/7/8	1.7E+06	5.8E+06	1.8E+05	4.9E+07	9.5E+06	2.6E+05
3号機R/B滞留水 <sup>*2</sup>	2021/7/13	5.4E+05	2.2E+07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

\*1第86回廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議にて公表

\*2第106回廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合／事務局会議にて公表

## 2.2 1号機R/B滞留水の性状分析

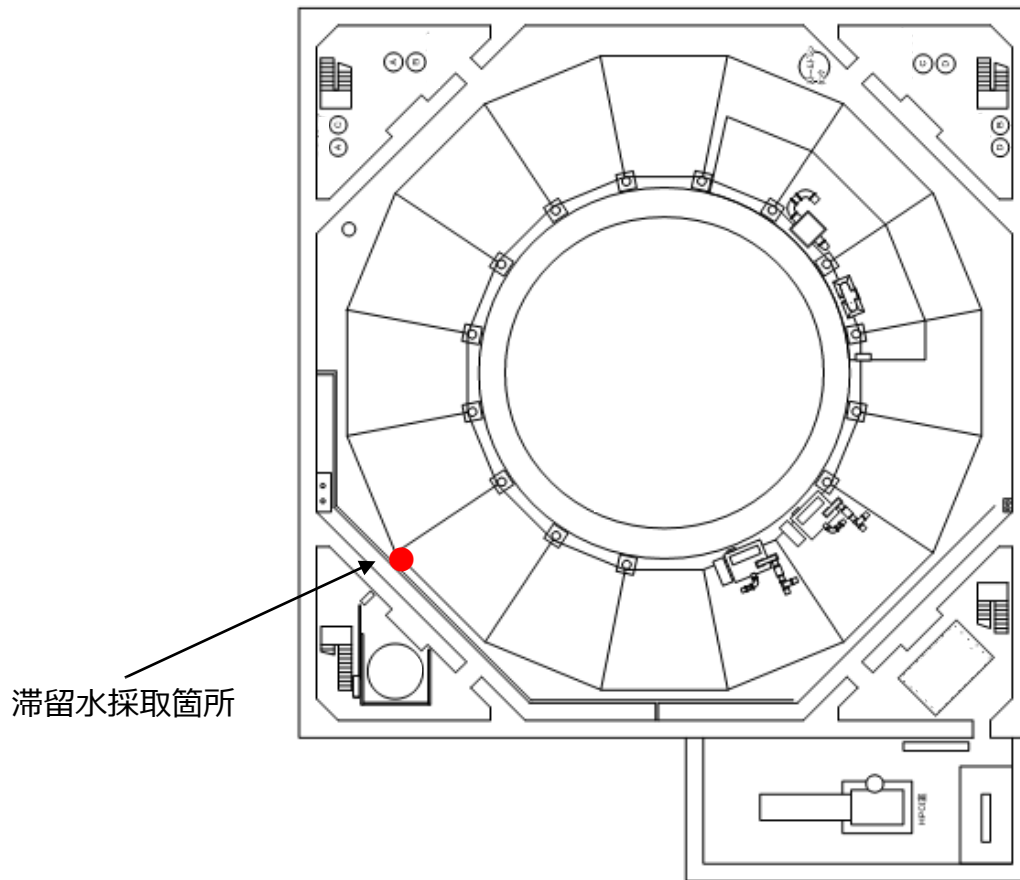
- 1号機R/B滞留水の性状分析について、試験水に対し、段階的なフィルタを設け、各フィルタでの回収物とろ液に対し分析を実施。
- 10 $\mu$ mフィルタにてほぼ捕捉され、0.02 $\mu$ mフィルタまで通水すると、全 $\alpha$ 核種濃度は検出限界以下になることを確認。
- なお、 $\alpha$ 核種除去設備のフィルタ径については、建屋内滞留水の分析結果から、 $\alpha$ 粒子は数 $\mu$ m程度であることから、それより小さい0.01 $\mu$ mフィルタと0.1 $\mu$ mフィルタを選定。



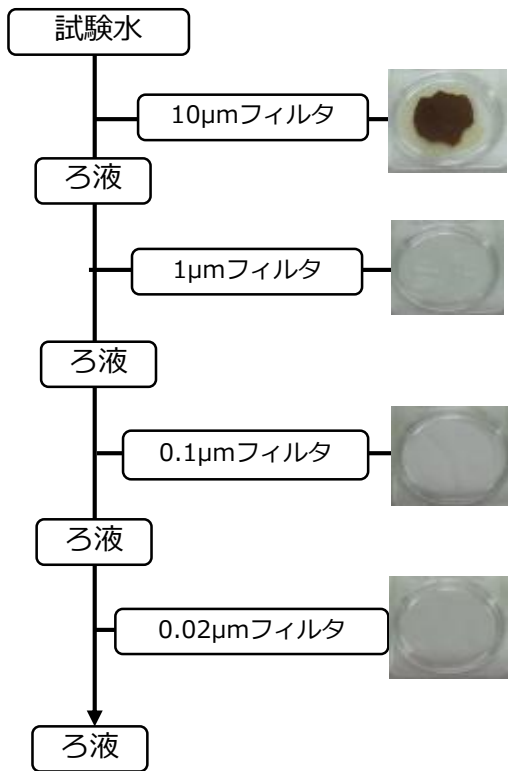
\*分析値は暫定値を含む

\*試料採取日(2022年4月19日)減衰補正した値

本資料の内容においては、廃炉・汚染水・処理水対策事業による成果の一部を含みます。



1号機R/B地下階



粒径	Bq/L						
	U-235	U-238	Am-241	Cm-244	Cm-242	Pu-238	Pu-239+240
> 10 μm	7.2E-01	5.7E+00	1.7E+04	1.3E+04	5.6E+01	5.2E+03	1.8E+03
10~1 μm	<6.0E-04	1.3E-03	<2.0E+00	<2.0E+00	<2.0E+00	<6.0E-01	<6.0E-01
1~0.1 μm	<6.0E-04	1.7E-03	<2.0E+00	<2.0E+00	<2.0E+00	<5.0E-01	<6.0E-01
0.1~0.02 μm	3.0E-03	2.4E-02	<1.0E+00	<2.0E+00	<2.0E+00	<6.0E-01	<9.0E-01
< 0.02 μm (ろ液)	<9.0E-04	1.9E-03	7.7E-01	<5.0E-01	<6.0E-01	1.4E+00	<5.0E-01

**【参考】**

粒径	Bq/L			
	全α	Cs-134	Cs-137	Co-60
> 10 μm	3.7E+04	1.7E+06	3.2E+07	1.7E+06
10~1 μm	<2.0E+00	2.2E+04	4.4E+05	<8.0E+02
1~0.1 μm	<2.0E+00	<7.0E+02	3.2E+03	<5.0E+02
0.1~0.02 μm	<2.0E+00	5.9E+03	1.1E+05	5.6E+02
< 0.02 μm (ろ液)	2.2E+00	7.0E+07	1.4E+09	5.5E+04

本資料の内容においては、技術研究組合国際廃炉研究開発機構（IRID）の成果の一部を活用しております。

# (参考) 3号機R/B滞留水の性状分析

第100回廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合／事務局会議 一部抜粋

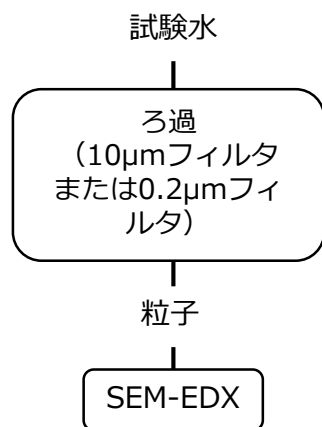


## 2.3 1号機滞留水におけるα核種の状態確認

- 1号機R/B滞留水について、10 $\mu$ mフィルタで捕捉された粒子をSEM-EDXにて観察した結果、U含有微粒子を確認。なお、過去に実施した2号機及び3号機においても同様であった。
- なお、0.2 $\mu$ mフィルタではU含有粒子は捕捉されなかったが、今回は少量の1サンプルであり、過去に実施した2号機及び3号機においてはU含有微粒子は確認されていることから、存在は否定できない。
- 今後はTEMによる化学状態の分析、イオン状態の確認、 $\alpha$ 溶出確認について8月頃完了する予定である。

1号機R/B滞留水(10 $\mu$ mフィルタ)

1号機R/B滞留水(0.2 $\mu$ mフィルタ)



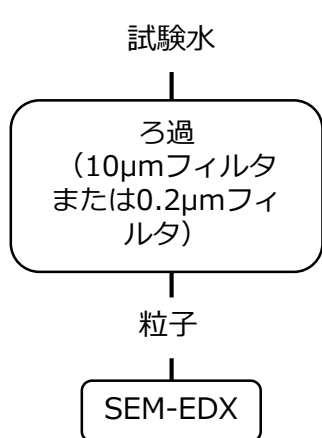
粒子番号	粒径/ $\mu$ m	SEM像	Uマッピング像
P1	2.8		
P2	1.9		
P3	1.8		
P4	1.6		

粒子番号	粒径/ $\mu$ m	SEM像	Uマッピング像
捕捉されず			



## (参考) 2号機, 3号機滞留水におけるα核種の状態確認

2号機R/B滞留水(10μmフィルタ)\*1 3号機R/B滞留水(10μmフィルタ)\*2



粒子番号	粒径/μm	SEM像	Uマッピング像
P1	4.4		
P2	2.8		
P3	2.6		
P4	2.4		

粒子番号	粒径/μm	SEM像	Uマッピング像
P1	6.2		
P2	4.2		
P3	4.1		
P4	3.4		

2号機R/B滞留水(0.2μmフィルタ)\*1 3号機R/B滞留水(0.2μmフィルタ)\*2

粒子番号	粒径/μm	SEM像	Uマッピング像
P1	4.0		
P2	1.1		
P3	0.9		
P4	0.6		

粒子番号	粒径/μm	SEM像	Uマッピング像
P1	6.2		
P2	4.4		
P3	4.3		
P4	4.3		

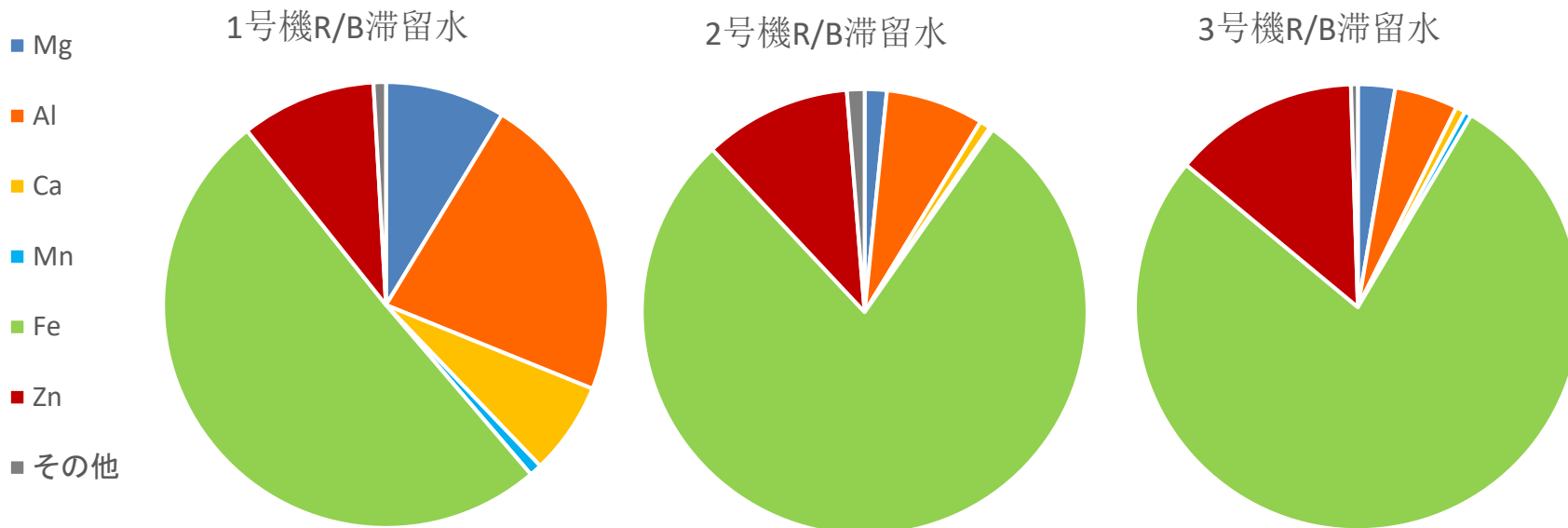
\*1第86回廃炉・汚染水対策チーム  
会合/事務局会議にて公表

\*2第106回廃炉・汚染水・処理水対  
策チーム会合/事務局会議にて公表

■ 1号機R/B滞留水について、10 $\mu$ mフィルタで捕捉されたスラッジの元素組成は、Feを主成分として、他にAl, Mg, Ca等からなることが確認され、他号機と同様な傾向が見られた。

孔径10 $\mu$ mフィルタ回収物の元素組成 [単位:w%]

試料	Mg	Al	Ca	Mn	Fe	Zn	その他
1号機R/B滞留水	8.7	22.4	6.7	0.9	50.5	9.8	0.9
2号機R/B滞留水*1	1.6	7.1	0.79	0.25	78.2	10.7	1.28
3号機R/B滞留水*2	2.7	4.6	0.7	0.5	77.6	13.5	0.5



\*1第86回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議にて公表

\*2第100回廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議にて公表



## (参考) HTI滞留水の性状分析

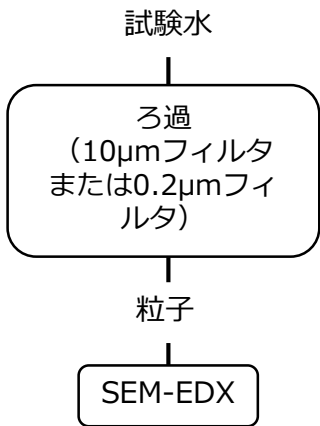



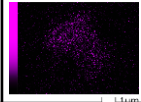
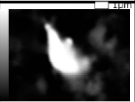
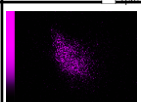
本資料の内容においては、廃炉・汚染水・処理水対策事業による成果の一部を含みます。

■ PMB及びHTI滞留水について、1号機滞留水と同様に、10 $\mu$ mフィルタ、0.2 $\mu$ mフィルタで捕捉された粒子をSEM-EDXにて観察した結果、U含有微粒子を検出。なお、PMB滞留水における0.2 $\mu$ mフィルタで捕捉された粒子には捕捉されなかったが、今回は少量の1サンプルであったため、U含有微粒子の存在を否定できない。

PMB滞留水 (10 $\mu$ mフィルタ)

PMB滞留水(0.2 $\mu$ mフィルタ)

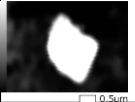
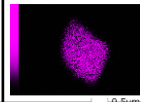


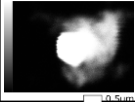
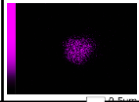
粒子番号	粒径/ $\mu$ m	SEM像	Uマッピング像
P1	3.6		
P2	1.4		



HTI滞留水(10 $\mu$ mフィルタ)

HTI滞留水(0.2 $\mu$ mフィルタ)

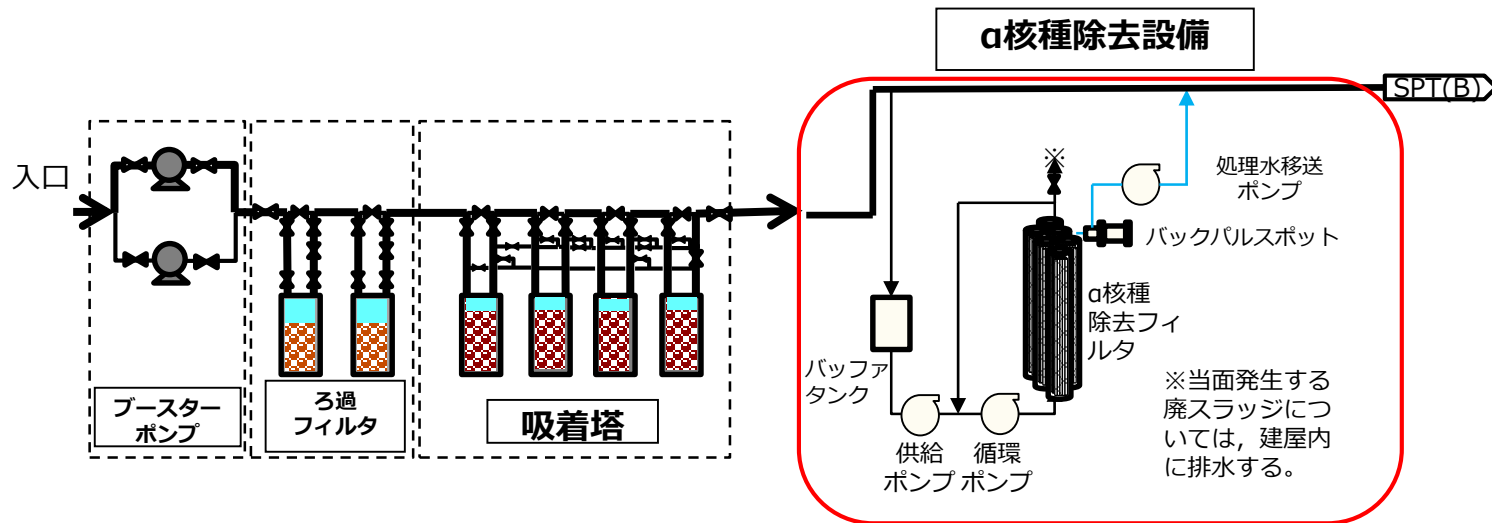
粒子番号	粒径/ $\mu$ m	SEM像	Uマッピング像
P1	1.9		

粒子番号	粒径/ $\mu$ m	SEM像	Uマッピング像
P1	1.0		

## α核種除去設備の設計状況

### 3. 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。



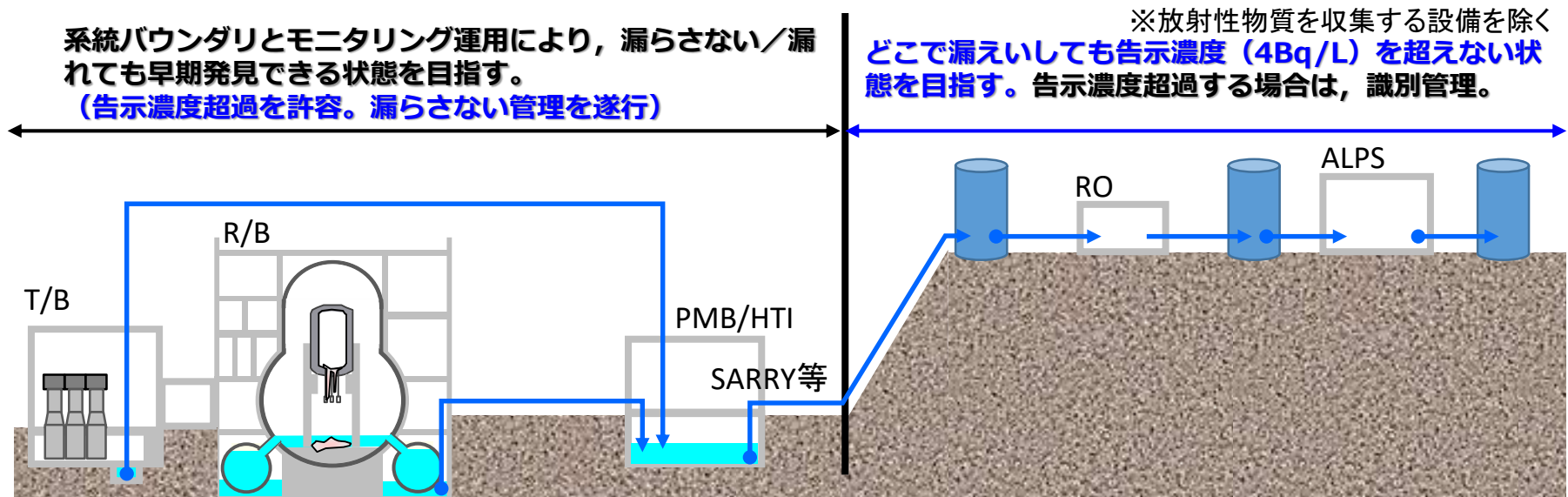
SARRY II におけるα核種除去設備の適用例

➤ **①8.5m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。

➤ **②33.5m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。



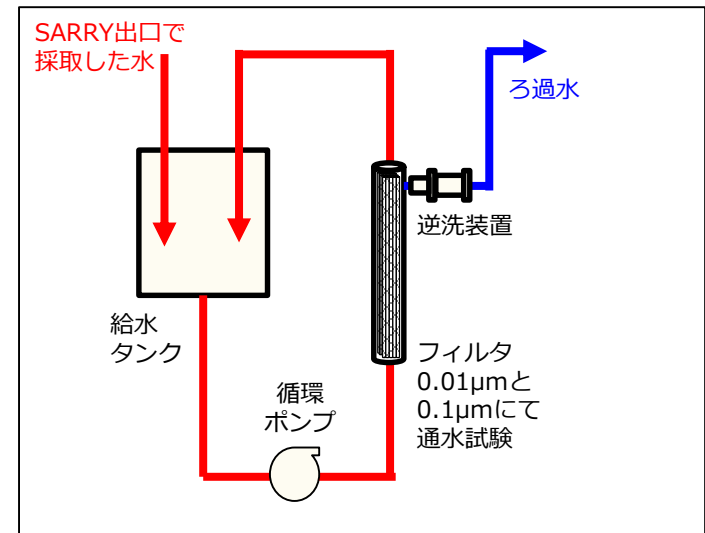


## 4.1 フィルタ通水試験概要

- 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、 $\alpha$ 粒子は数 $\mu\text{m}$ 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 $\alpha$ 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。



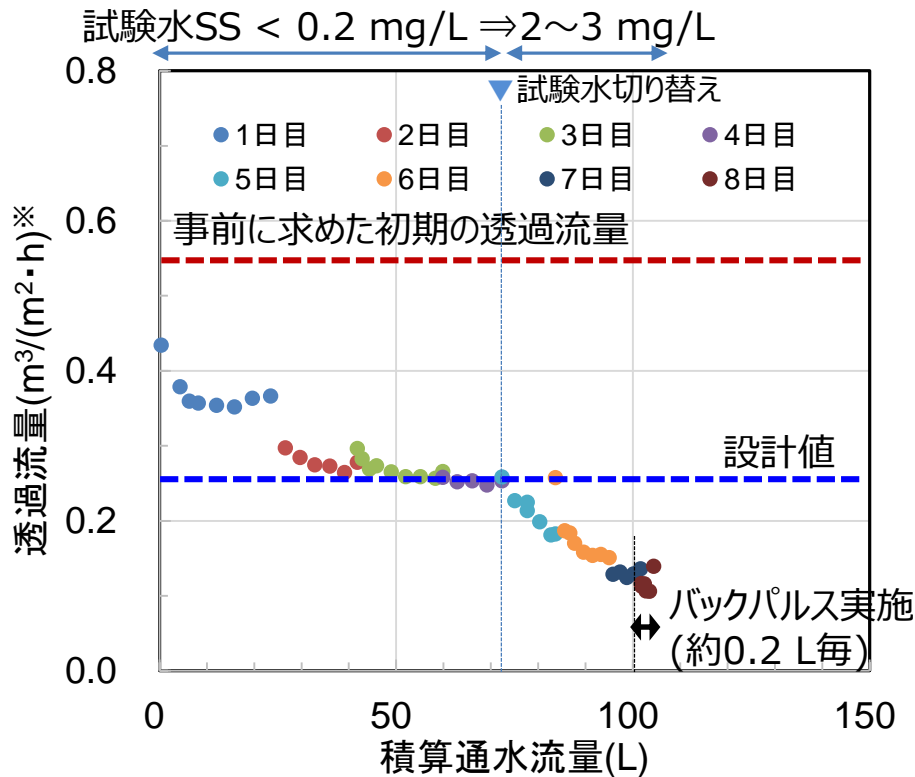
フィルタ通水試験装置写真



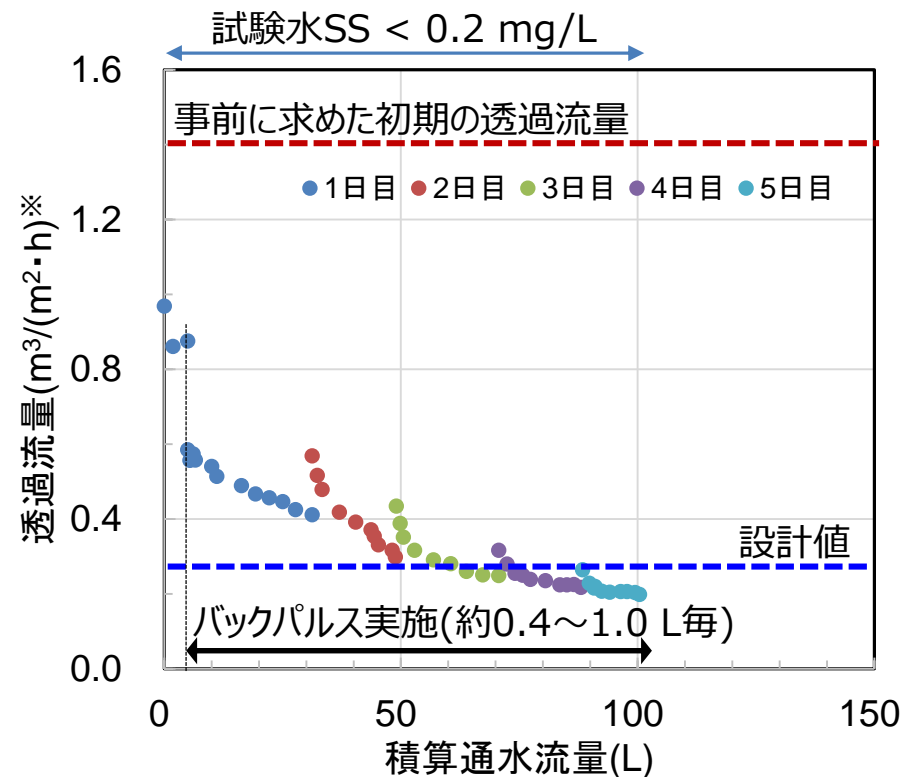
フィルタ通水試験装置概要図

## 4.2 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 $\mu\text{m}$ 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。



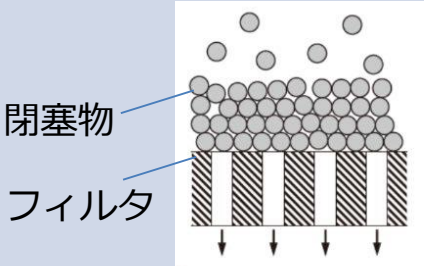
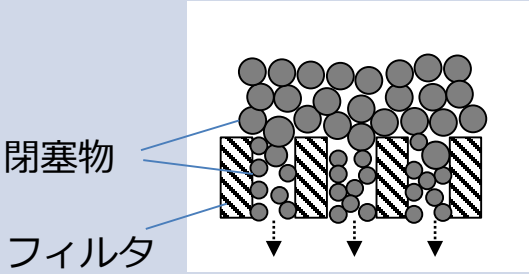
孔径 (0.01 $\mu\text{m}$ ) における透過流量の推移



孔径 (0.1 $\mu\text{m}$ ) 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

## 4.3 フィルタ閉塞に関する考察

	当初想定	通水試験結果	ギャップ考察
通常運転時	現状水質（SS濃度< 0.2～3 mg/L程度）や滞留水の分析結果を踏まえても、透過流量が低下しにくい	低SS濃度(< 0.2mg/L)の試験水でも通水初期から閉塞傾向を確認  SARRY II の吸着塔交換直後のSS濃度が高い試験水(2～3 mg/L)に切り替えると透過流量低下傾向は加速	【推定】 ・SS濃度に検出されないような微細粒子や微粒子等によるフィルタ孔の閉塞
通常運転時における閉塞対応	逆洗（バックパルス）すると透過流量は回復	逆洗（バックパルス）しても透過流量は回復しない	【推定】 一般に逆洗が効きにくいとされる閉塞モードとなっている
閉塞事象のイメージ	ケーキろ過閉塞 	フィルタ孔の部分閉塞や完全閉塞 	

## 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"> <li>・流路差圧と循環流量の関係からポンプ不調はなかった。</li> <li>・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。</li> </ul>	—
	膜の不良	通水試験初期の透過流量	<p>初期は膜仕様の透過流量が得られていた。</p> <p>0.01<math>\mu</math>m膜 : 0.53 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>・h) 0.1<math>\mu</math>m膜 : 1.4 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>・h)</p>	—
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"> <li>・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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・吸着材を起因とする閉塞物の影響確認</li> <li>・フィルタ閉塞物の確認(SEM-EDX分析)</li> <li>・SARRY等出口水の水質確認</li> </ul>
	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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フィルタ閉塞物の確認(SEM-EDX分析)</li> <li>・SARRY等出口水の水質確認</li> </ul>

## 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、フィルタ粒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

- ・ ②での水質分析結果、およびSARRY等で使用中の吸着材を用いて模擬液を作成。
- ・ 当該模擬液に対し、レーザー回析法等を用いた、閉塞物の粒径分布解析を行う。

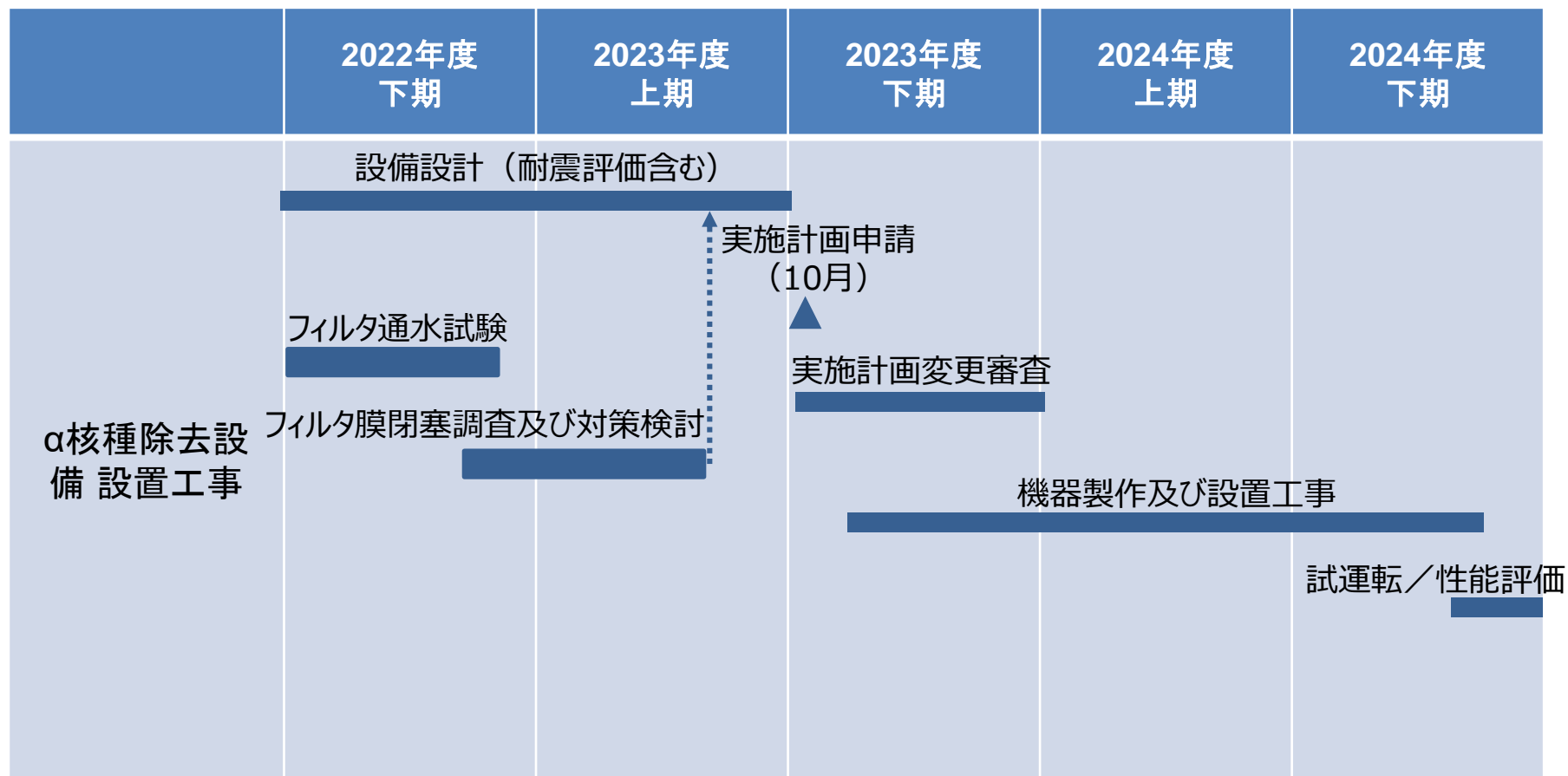
### 要因分析スケジュール

	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

## 5. 今後の対応

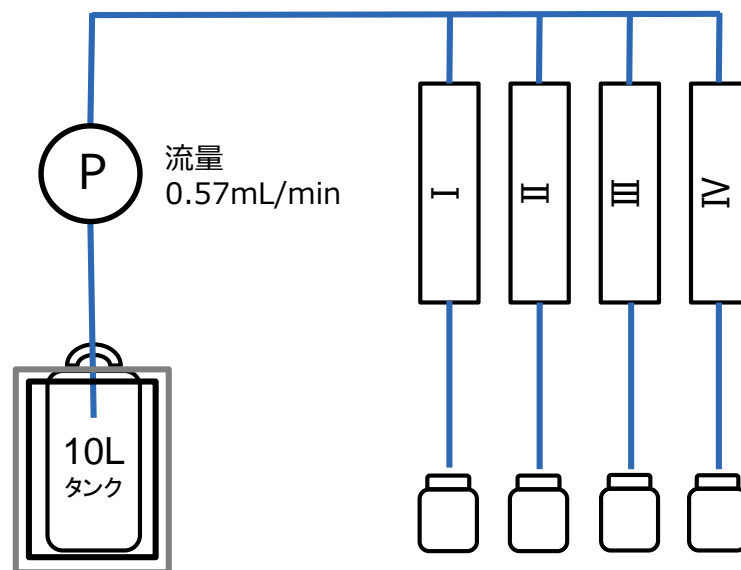
- 1号機R/B, PMBやHTIの滞留水について分析を行い, 知見を拡げていく。
- α核種除去設備の設置に向けて, 詳細設計を進めながら, 実液によるモックアップ試験で得られた結果を踏まえて, 設備設計に必要な応じて反映していく。
- 機器の詳細設計を引き続き進め, 2023年10月頃に実施計画変更申請を実施予定。
- 2024年度運用開始に向けて対応していく。



## (参考) 吸着材通水試験 (1/2)

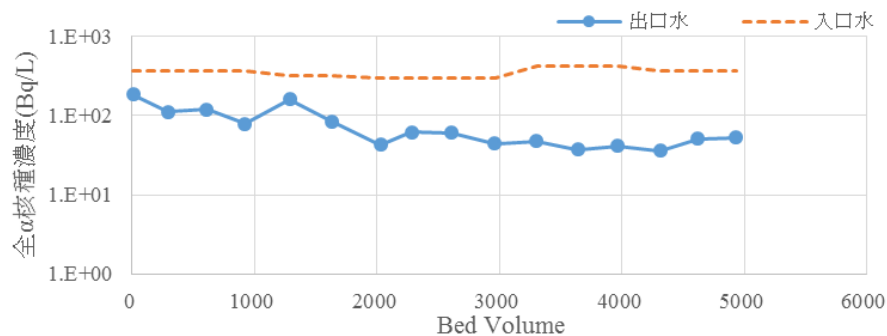
- 前回、浸漬試験を実施し、使用実績のある吸着材、または新規にα核種除去が期待される吸着材について確認し、いずれの吸着材もイオン状α核種の低減を確認できた。
- 今回はSARRYの流速を考慮し、いずれの吸着材もα核種の低減を確認できたことから、使用実績のある吸着材を選定して吸着材通水試験を実施した。

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

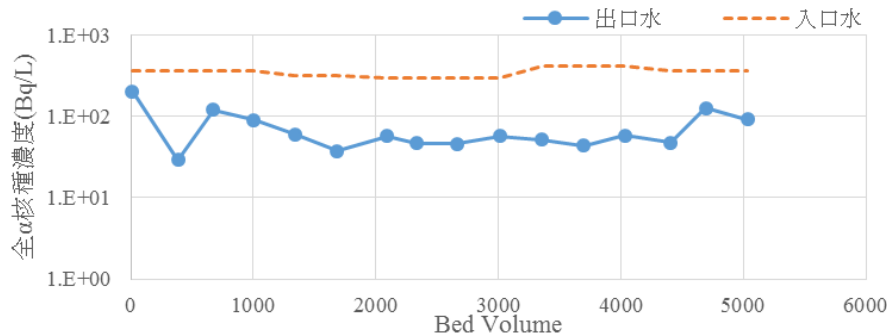


吸着材通水試験概要

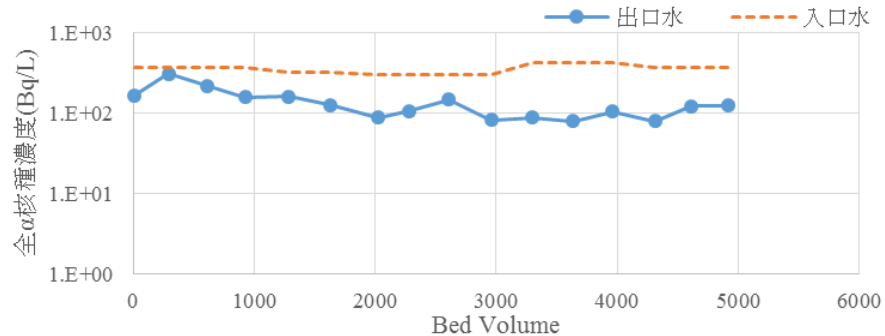
- 通水試験結果より、現在SARRYで使用している吸着材含め選定した吸着材において、イオン状の $\alpha$ 核種を除去している可能性があることが分かった。
- 以上の結果より、現在SARRYで使用している吸着材でイオン状 $\alpha$ 核種を除去できると考えられ、現在の吸着材を使用することで設計を進めていく。なお、粒子状 $\alpha$ 核種などが存在し、除去できないものもあるため、これまで通りフィルタと併合して設計していく。



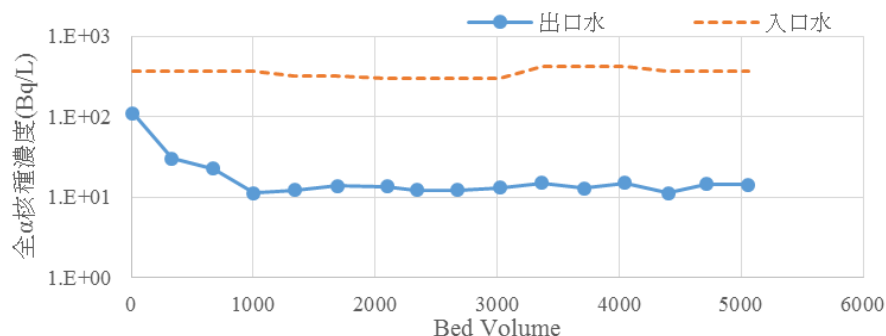
### I (現在SARRYで使用中の吸着材)



### III



### II



### IV



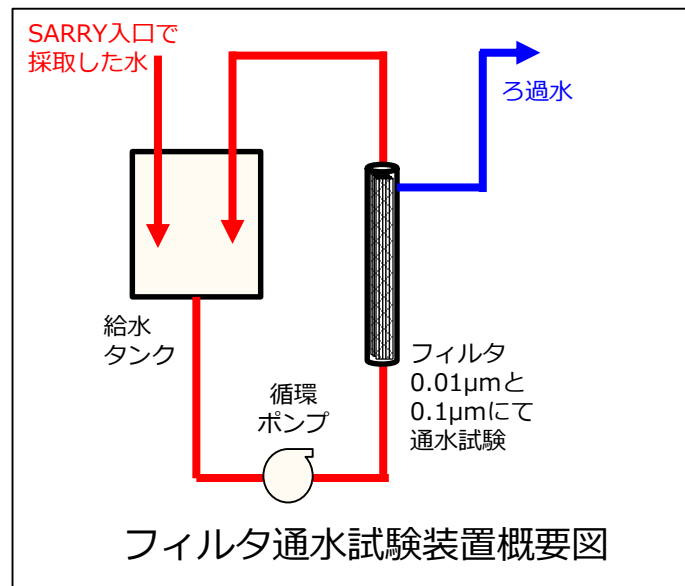
## (参考) フィルタ通水試験 (1/2)

- 粒子状α核種の除去能力を確認するため、これまでに得られた滞留水の分析結果を踏まえて、フィルタ試験装置を用いて、通水試験を実施した。
- フィルタ通水試験装置は、現在設計中のα核種除去設備と同様に、給水タンク、循環ポンプ、フィルタで構成され、クロスフィルター方式にてろ過を実施する。
- 給水タンクにSARRY入口で採取した水を供給し、循環ポンプにてフィルタに通水することでろ過水を抽出し、SARRY入口で採取した水とろ過水との全α核種濃度を比較する。
- フィルタの径は実機で使用を検討している $0.01\mu\text{m}^*$ と、比較のため $0.1\mu\text{m}$ を選定した。

※フィルタ径は $0.02\mu\text{m}$ 程度で検討していたが、今回実機の仕様より $0.01\mu\text{m}$ で通水試験を実施した。



フィルタ通水試験装置写真



- 試験の結果を以下の表に示す。
  - 試験前のSARRY入口で採取した水の全α核種濃度が低いものの、0.01μmフィルタにより除去されることがわかった。なお、0.1μmフィルタでも、今回の試験では明確な効果はないが除去されていた。
  - Cs-134,137については0.01μmおよび0.1μmフィルタで除去されていないが、イオン状態で存在しているので、前段の吸着塔で除去することができる。
  - 今後、現在の設備構成を踏まえて、0.01μmフィルタで運転した際のフィルタ寿命を確認するため、SARRYの下流側にフィルタ通水試験を設置し、通水試験を実施する。

全α核種濃度の比較

分析水	全α核種濃度 [Bq/L]	Cs-134 [Bq/L]	Cs-137 [Bq/L]	SS [mg/L]
SARRY入口で採取した水	4.7E+00	7.1E+05	2.6E+07	<1
0.1μmフィルタで通水したろ過水	4.0E+00	7.0E+05	2.5E+07	<1
0.01μmフィルタで通水したろ過水	<3.0E+00	6.8E+05	2.4E+07	<1