

α核種除去に向けた検討状況のご報告

2021.1.28

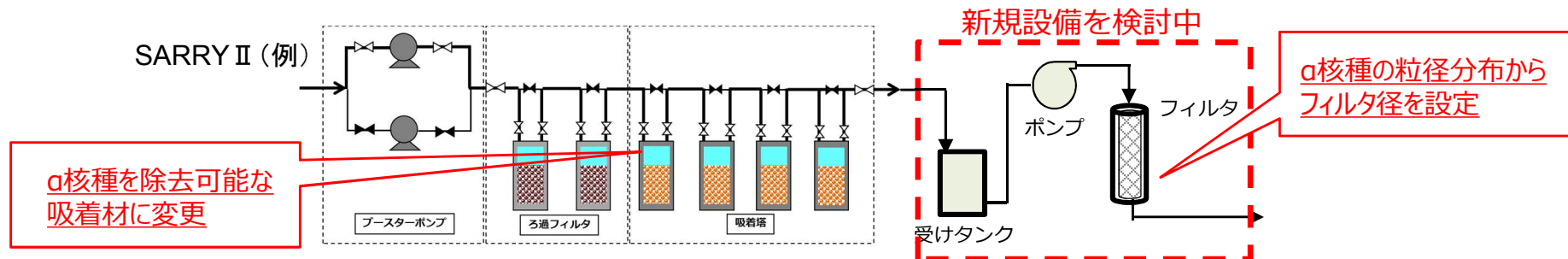


東京電力ホールディングス株式会社

1.α核種の性状確認状況および今後の対策

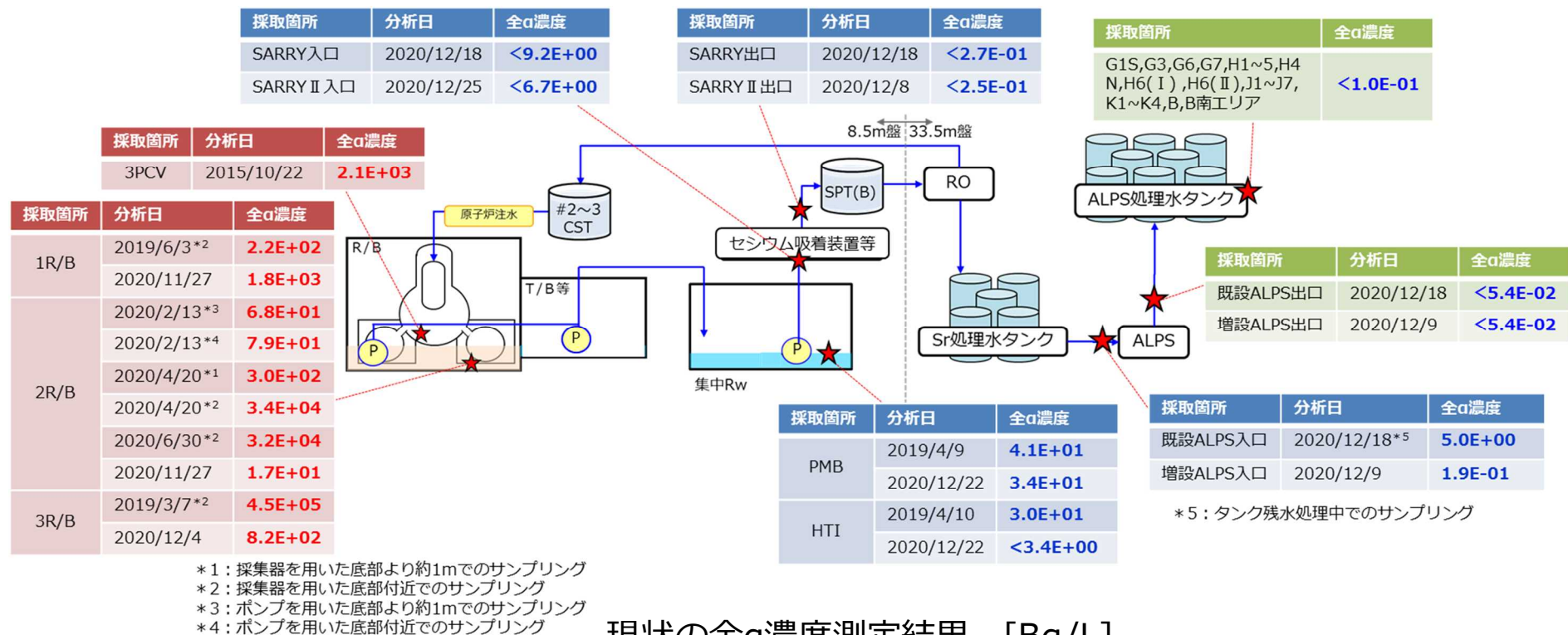
- 2,3号機R/Bで比較的高濃度のα核種が確認された滞留水について、0.1μmのフィルタでのろ過試験を実施。大部分のα核種はフィルタで除去できるが一部は滞留水中に残ることを確認。
 - 一部のα核種については0.1μm以下の粒子状、またはイオン状にて存在していると想定。
- α核種対策として現在、2号機R/Bの滞留水を用いて以下の分析・試験を実施中。
 - α核種の核種分析および粒径分布の分析 ➡ **進捗状況ご報告**
 - イオン状α核種の除去能力確認のための吸着材試験 ➡ 現在使用しているSARRY吸着材等で浸漬試験を実施し、α核種の低減を確認
通水試験の準備中
- 上記結果を踏まえ、既存水処理設備に対し、粒子・イオン双方に対する設備の改造を検討。
 - 粒子：α核種の粒径にあったフィルタの導入
 - イオン：α核種除去能力のある吸着材の導入

	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度以降
原子炉建屋 建屋滞留水水位低下	既存吸着塔でもα核種を除去できることを確認			α核種除去能力のある最も最適な吸着材を選定
α核種粒径分析	継続して適宜実施予定			
α核種吸着材試験 (浸漬試験)				
α核種吸着材カラム試験				
既存設備改造				α核種の粒径にあったフィルタの導入 →今後の廃炉作業に伴う滞留水水质変化にも対応
建屋滞留水処理				PMB,HTI建屋水位低下



2. 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濃度（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。
- 今後、R/Bの滞留水水位をより低下させていくにあたり、全α濃度が上昇する可能性もあることから、PMB、HTIの代替タンクの設置や、汚染水処理装置の改良も踏まえた、α核種拡大防止対策を検討中。



各建屋滞留水の全αの放射性物質質量評価 [Bq] ※1

1号機R/B	2号機R/B	3号機R/B	PMB	HTI	合計
1.1 E+09	2.7 E+07	6.6 E+08	7.6 E+07	-※2	1.9 E+09

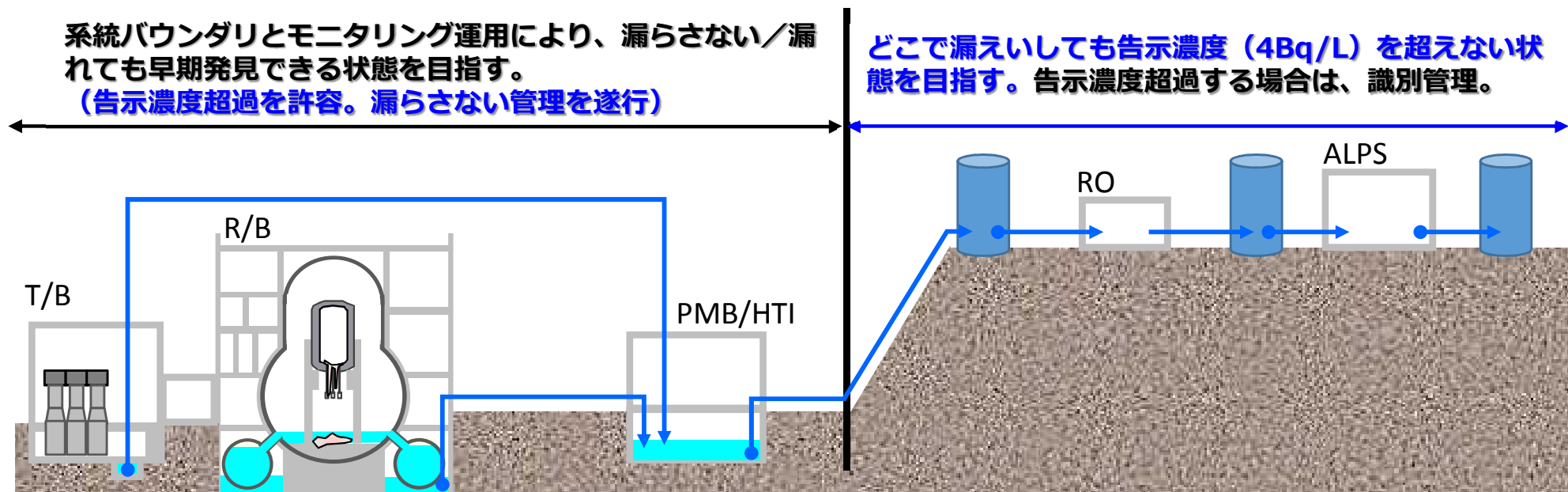
- ※1 最新の分析データにて評価をしているが、今後の全αの分析結果によって、変動する可能性有り。
- ※2 検出下限値以下。

➤ **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



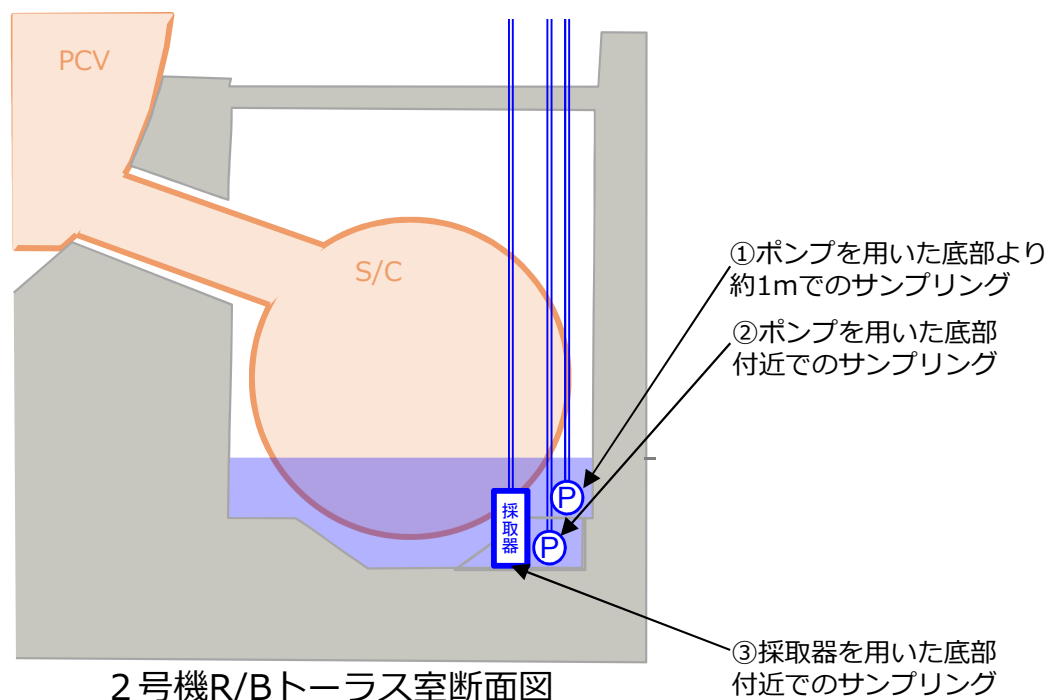
8.5m盤内でα核種を管理するためSARRY、SARRY IIでα核種を除去できる状態を目指す。

- α核種対策として現在、2号機R/Bトーラス室の滞留水を用いて以下の分析・試験を実施している。今回は採取器を用いた底部付近でのサンプリングを実施し、ポンプで採取した水よりもα核種濃度が濃い水で核種分析を実施した。

2号機R/Bトーラス室の滞留水採取

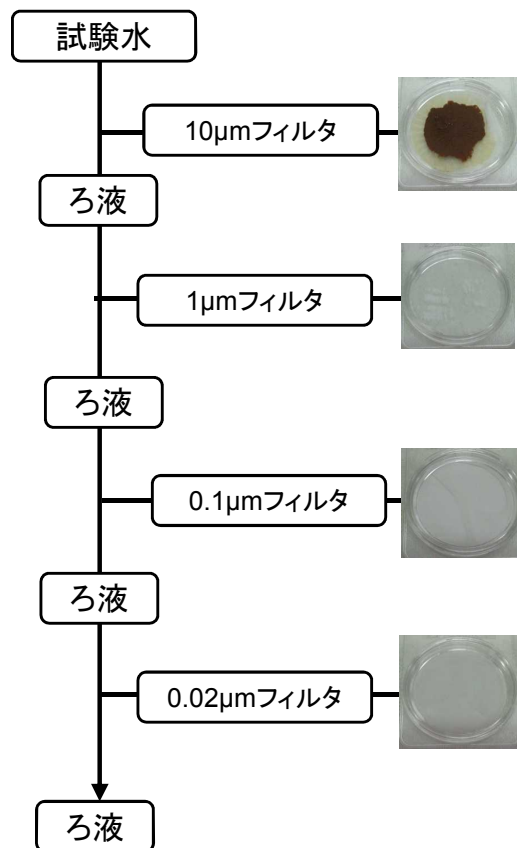
番号	種類	全α濃度(Bq/L)	Cs-137(Bq/L)	塩化物イオン濃度(ppm)	全β(Bq/L)	採取方法
①	ポンプで採取した水 (2020.2.13採取)	6.8E+01	1.3E+09	13,875ppm	1.5E+09	ポンプを用いた底部より約1mでのサンプリング
②		7.9E+01	1.3E+09	13,875ppm	1.6E+09	ポンプを用いた底部付近でのサンプリング
③	採取器で採取した水 (2020.6.30採取)	3.2E+04	1.4E+09	20,200ppm	1.5E+09	採取器を用いた底部付近でのサンプリング

- ご報告内容
 - ①α核種分析
 - ②α核種元素分析



4-① α核種分析

- 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。
- フィルタ径の選定にあたっては、ALPSで使用しているクロスフローフィルタが $0.02\mu\text{m}$ であることから本試験でも $0.02\mu\text{m}$ までを採用することとした。



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

Uを除くデータは廃炉・汚染水対策事業による成果

α核種の粒径として、概ね数 μm 以上のものと推測され、同程度のフィルタを設置することにより、告示濃度(4Bq/L)を満足できると考える。



フィルタ設備のメッシュ径の設計に反映

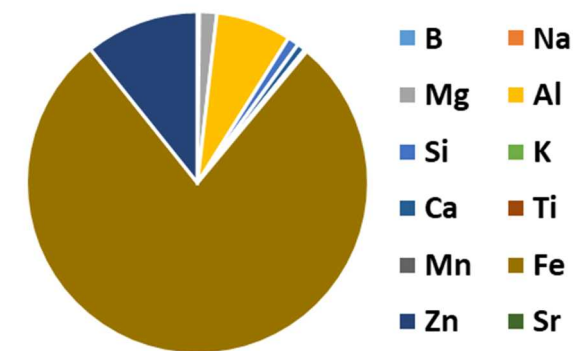
- 孔径10μmフィルタ回収物について硝酸溶液で溶解し、元素濃度を分析した。
- 主に鉄成分に海水由来の元素が確認されている。

フィルタ回収物の元素濃度^{*2} [単位：mg/mL]

	B	Na	Mg	Al	Si	K
採取器で採取した水 (2020.6.30採取)	4.6×10^{-3}	ND	4.2×10^{-2}	1.8×10^{-1}	2.7×10^{-2}	ND
ポンプで採取した水 ^{*1} (2020.2.13採取)	ND	1.3×10^{-1}	1.1×10^{-2}	ND	ND	ND
	Ca	Ti	Mn	Fe	Zn	Sr
採取器で採取した水 (2020.6.30採取)	2.0×10^{-2}	ND	6.4×10^{-3}	2.0×10^0	2.8×10^{-1}	ND
ポンプで採取した水 ^{*1} (2020.2.13採取)	5.4×10^{-3}	ND	ND	1.3×10^{-3}	ND	ND

フィルター回収物の元素組成^{*2 *3} [単位：％]

	B	Na	Mg	Al	Si	K
採取器で採取した水 (2020.6.30採取)	0.18	ND	1.6	7.1	1.1	ND
ポンプで採取した水 ^{*1} (2020.2.13採取)	ND	88.2	7.3	ND	ND	ND
	Ca	Ti	Mn	Fe	Zn	Sr
採取器で採取した水 (2020.6.30採取)	0.79	ND	0.25	78.2	10.7	ND
ポンプで採取した水 ^{*1} (2020.2.13採取)	3.6	ND	ND	0.8	ND	ND



^{*1} 孔径1及び10 μmフィルタ回収物の合計値。ろ過後に洗浄していないため、海水成分による影響の可能性がある。

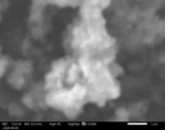
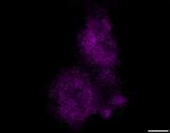
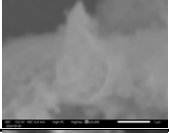
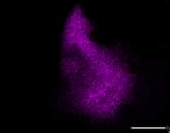
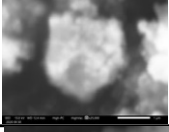
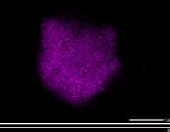
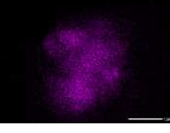
^{*2} 「ND」は不検出。

^{*3} 検出された元素の合計を100 %としている。

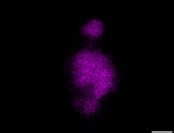
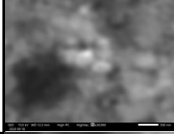
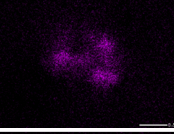
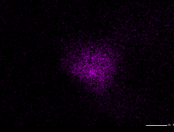
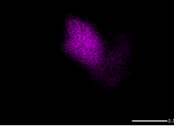
4-② α核種元素分析(1)

SEM-EDXによるU含有微粒子を検出し、α核種の形状元素分析を実施した。以下に検出された粒子の代表を示す。

(1) 粒径10μm以上の分析結果

粒子番号	粒径/μm	U, Zr 存在 量比 */ %	SEM像	U マッピング 像
P1	4.4	71.9		
P2	2.8	94.2		
P3	2.6	84.4		
P4	2.4	69.4		

(2) 粒径0.2~10μmの分析結果

粒子番号	粒径/μm	U, Zr 存在 量比 */ %	SEM像	U マッピング 像
Q1	4.0	70.4		
Q2	1.1	72.1		
Q3	0.9	31.0		
Q4	0.6	86.6		

*U/(U+Zr)により算出

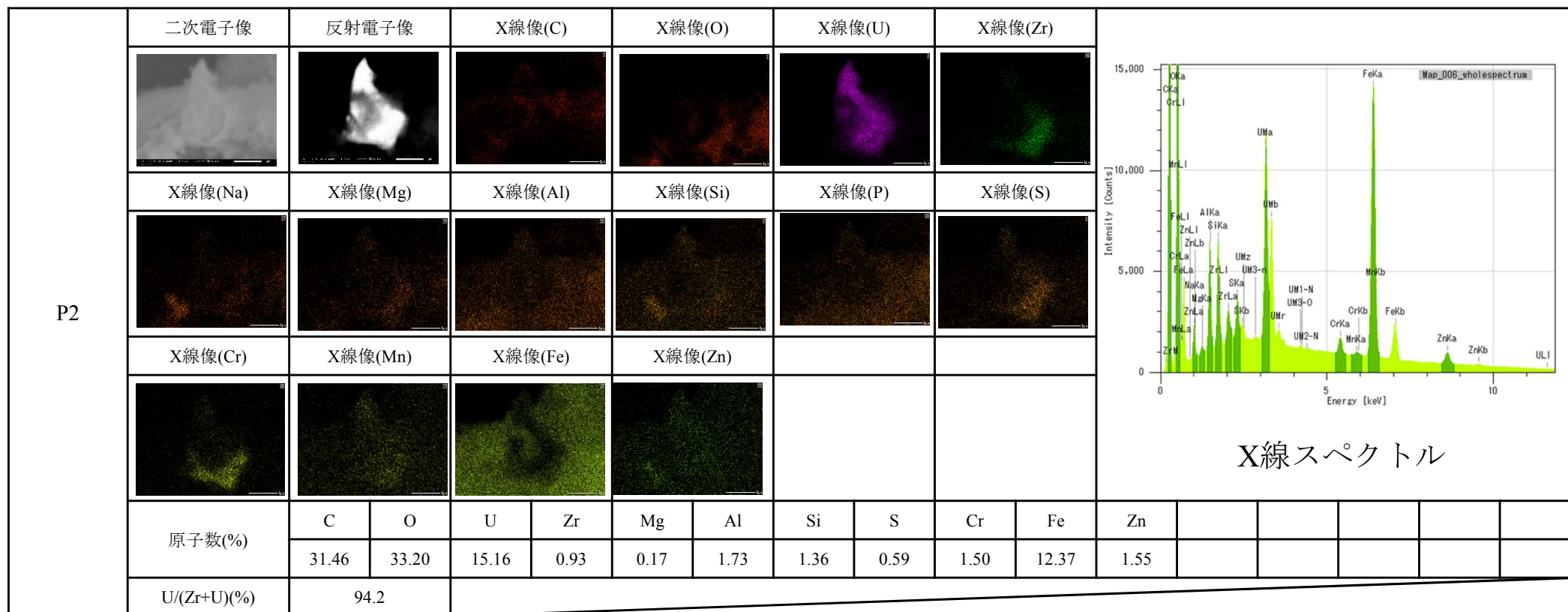
- ・大きなフィルタ孔径にかかわらず、粒径0.5～4.4μm程度のU含有粒子が検出された。
⇒大きな粒子が多いため、ケークろ過となっていると考えられる。
- ・Uの他、Zr, Zn, Ni, Fe, Mn, Cr, S, Si, Al, Mg, Naなどが共存元素として検出された。

- ・粒径0.6～4.0μm程度のU含有粒子が検出された。
- ・浅部と深部を混合した試料の場合と比較しても、粒径に大きな違いはない。
- ・Uの他、Zr, Zn, Fe, Mn, Cr, S, Si, Al, Mg, Naなどが共存元素として検出された。

4-② α核種元素分析(2)

前ページP2の粒子について元素組成を分析した。

SEMの元素分析結果



- ・ Uの他、O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cr, Mn, Fe, Znなどが共存元素として検出された。

α核種元素分析(1)(2)の結果、U粒子を捕捉すると、他の含有元素も捕捉することになるため、これらの元素が保管時に問題ないか検討する。（少量であるがAlが存在する等）

- 今回採取した水は、U、Pu、Am、Cmともに多くは数 μm 以上の粒子として存在している。

なお、廃炉・汚染水対策事業でのTEMの結果ではZr、Fe、Crを含む UO_2 で存在しているものと推定している。

- α 核種の粒径として、概ね数 μm 以上のものと推測され、同程度のフィルタを設置することにより告示濃度(4Bq/L)を満足できるものとする。今後の水質の変化、保守性等を考慮して、ALPSクロスフィルタのメッシュ径である0.02 μm 程度のフィルタを設計上想定していく。
- 今回は2号機R/Bの滞留水を採取し、分析・試験を実施し、今後のフィルタ設計の指標を検討した。今後、1、3号機R/Bの滞留水の採取等を行い、知見を拡げていく。

- 福島第一原子力発電所で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対しα核種吸着試験（浸漬試験）を実施。
- 測定結果として、すべての吸着材でα核種の低減が確認できた。
- SARRYの流速を考慮し、通水試験の準備を進めているところである。

		全α(Bq/L)
吸着材	2R/B試験水（原水）	3.2E+04
	2R/B試験水（0.1μmろ過）	2.0E+02
	A（0.1μmろ過）	<3.0E+00
	B（0.1μmろ過）	<2.4E+00
	C（0.1μmろ過）	<3.8E+00
	D（0.1μmろ過）	<3.8E+00
	E（0.1μmろ過）	<2.8E+00
	F（0.1μmろ過）	<2.8E+00
	G（0.1μmろ過）	<2.8E+00
	H（0.1μmろ過）	<2.0E+00
	I（0.1μmろ過）	<3.0E+00
	J（0.1μmろ過）	<3.0E+00
	K（0.1μmろ過）	<3.0E+00
	L（0.1μmろ過）	<3.0E+00

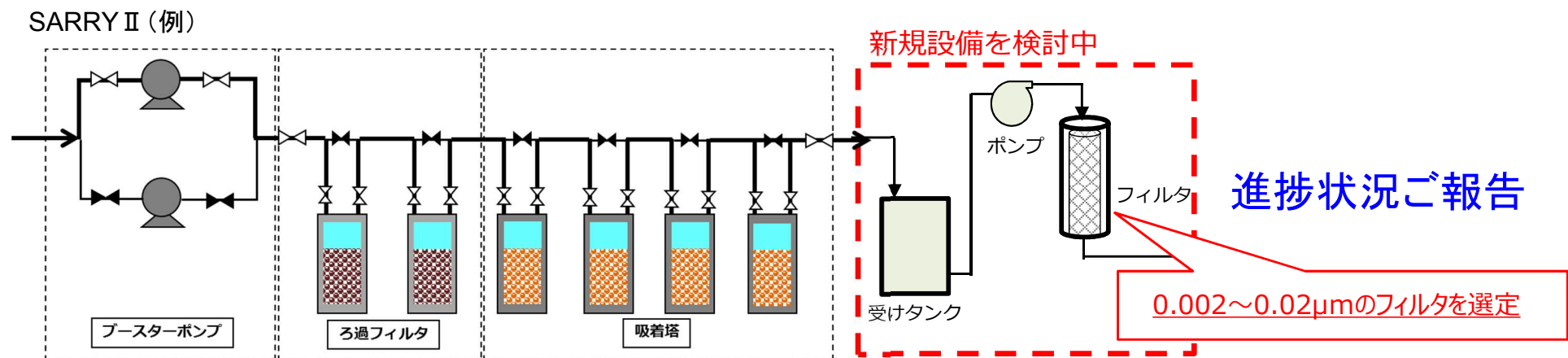


現在SARRYで使用中の吸着材。
この評価結果より、現時点でも
α核種を捕捉している可能性が
ある。

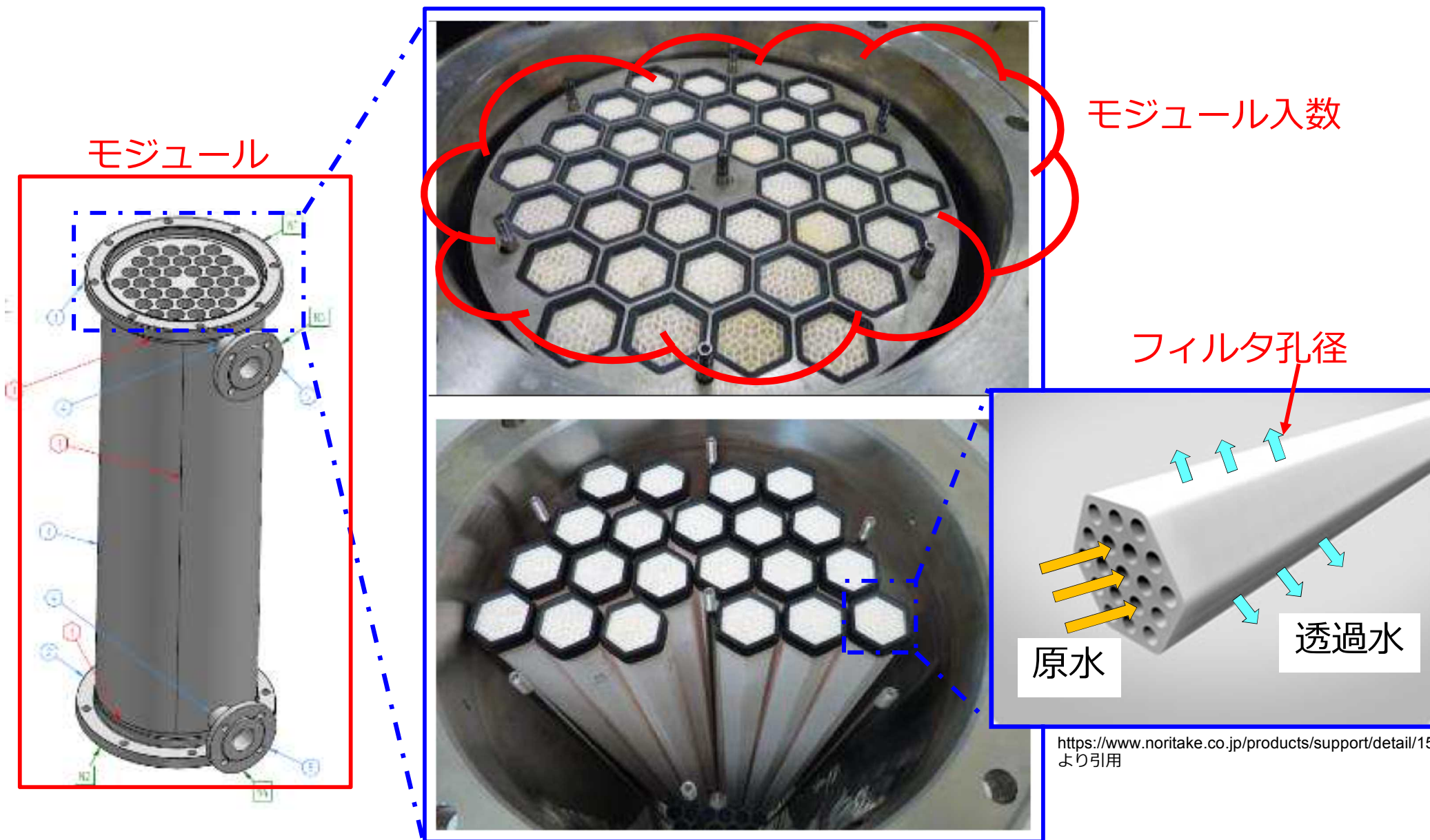
- 本結果より、ALPSクロスフィルタのメッシュ径である $0.02\mu\text{m}$ 程度のフィルタを設計上、検討した。
- SARRY II の処理流量 $25\text{m}^3/\text{h}$ を通水するのに必要なフィルタ孔径とモジュール数の関係は以下のとおりとなる。

フィルタ孔径(μm)	0.002	0.01	0.1
フィルタ本数	3571	205	102
モジュール入数	37	37	37
モジュール数	97	6	3

- 限界までフィルタ孔径を小さくするとモジュール数が97となり、設備規模が膨大となり設置ができない。（ALPSの10倍以上の規模感）
フィルタの除去率と現場設置の実現性を踏まえ、 $0.002\sim 0.02\mu\text{m}$ のフィルタを選定する。



α核種除去に向けた設備改造のイメージ図



■ALPSではフィルタ孔径 $0.02\mu\text{m}$ を採用しており、現在までALPS出口で α 核種は検出されていない。