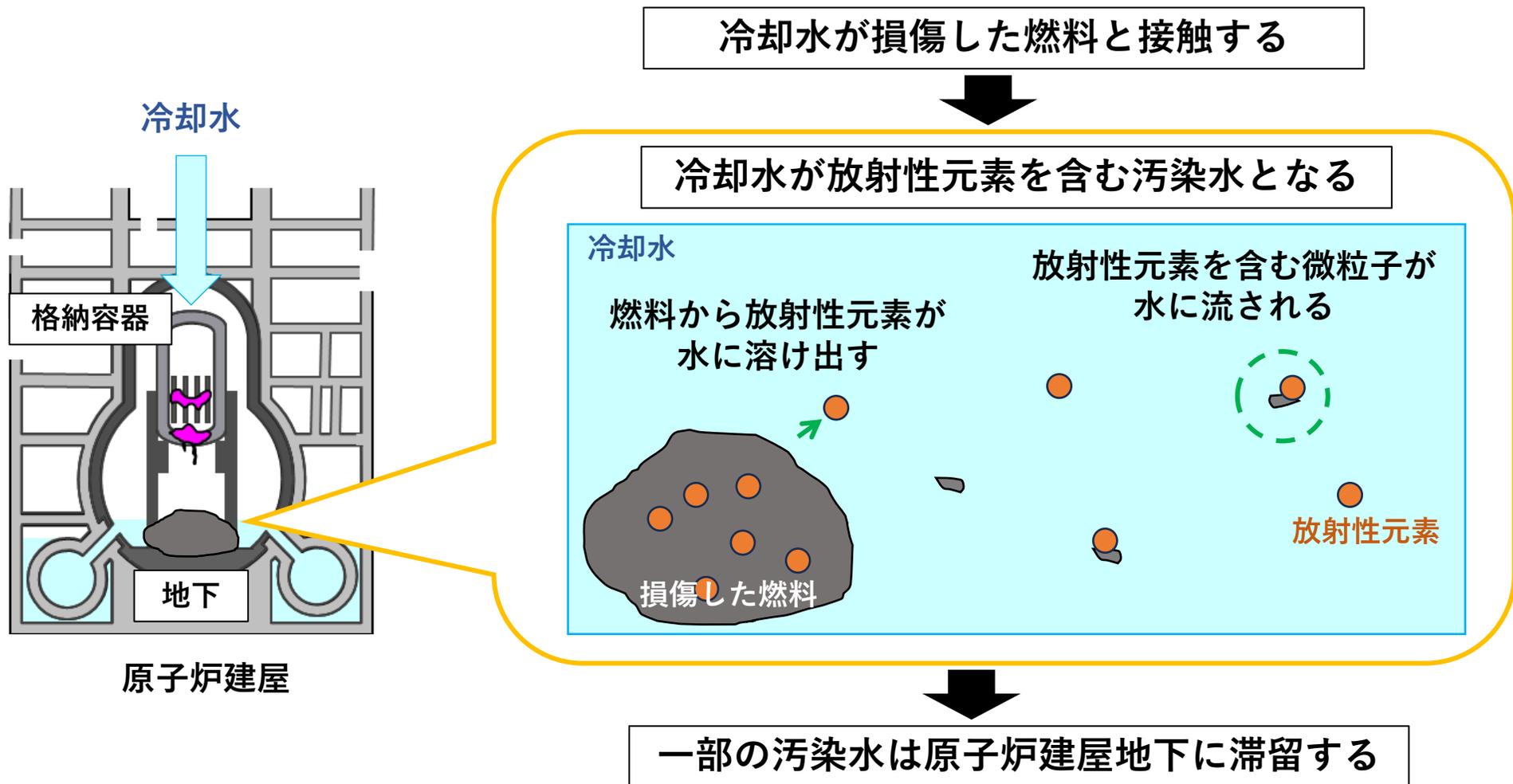


原子炉建屋に滞留する汚染水中の 放射性物質を明らかにする

二田 郁子

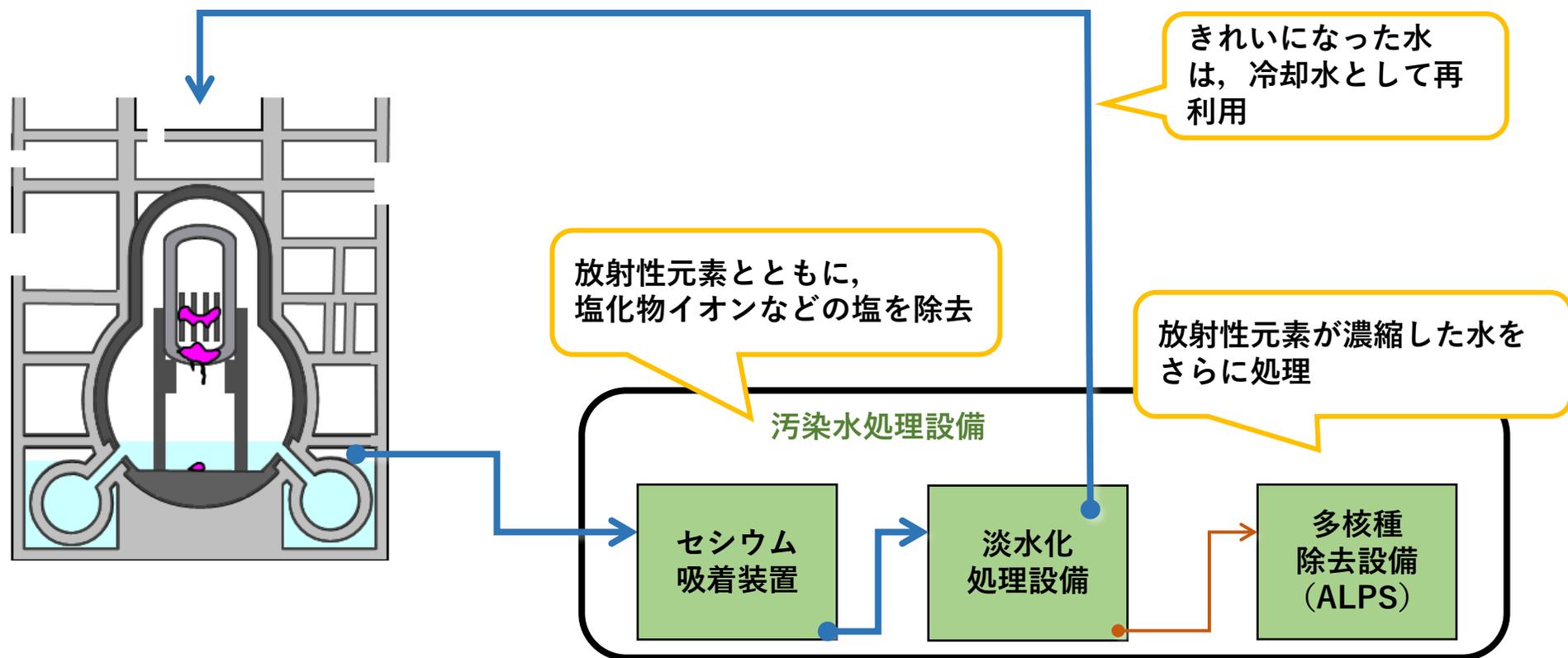
廃炉環境国際共同研究センター(CLADS)
放射性物質マネジメントディビジョン廃棄物管理研究グループ

- 事故により，福島第一原子力発電所 1号機から3号機の原子炉建屋では燃料が損傷
- 損傷した燃料を安定に維持するために，冷却水を継続して注入



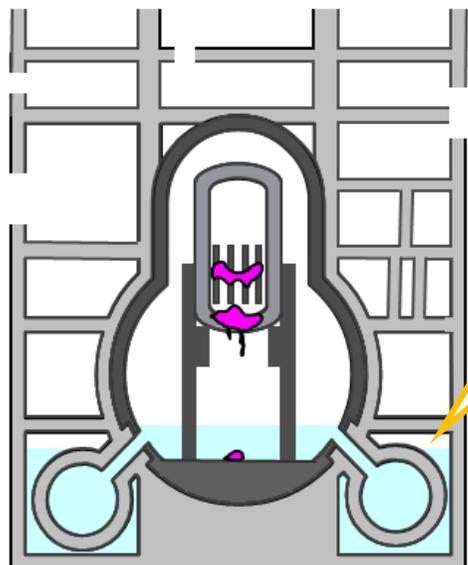
- 汚染水は放射性セシウムや放射性ストロンチウムを含む
- 汚染水の量を最小限にとどめるよう、汚染水処理設備へ移送して処理

汚染水の水位を徐々に低減する取り組みがなされている



- 汚染水はプルトニウム (Pu) やアメリシウム (Am) などの α 核種も含む
- α 核種が体内に取り込まれると，放出する α 線により内部被ばくする
- 何百年にもわたって α 線を放出する α 核種もあり，適切に管理する必要がある

- 汚染水の底部には沈殿物（スラッジ）が堆積している
- 東京電力の調査から，スラッジ中に多くの α 核種が含まれる^[1]



2号機原子炉建屋地下で
スラッジとともに採取された汚染水^[1]

採取された汚染水の
 α 核種の量
261 Bq/mL



ろ過をした後の
 α 核種の量
0.95 Bq/mL

スラッジを除去すると
約0.3%まで減少

今後，汚染水の水位をさらに低減したときに，底部の α 核種を含むスラッジも汚染水処理設備に移送されることについて配慮が必要。

[1] 東京電力HD，「建屋滞留水中の α 核種分析結果について」，廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議（第67回），2019年6月27日。

➤ 東京電力では、α核種の拡散を最小限にするため、汚染水処理設備で回収する検討をしている^[1]。

α核種を回収するには、α核種がどのような状態で存在するかを知ることが重要

知りたいこと① α核種がスラッジにどれくらい存在するのか？
水にどれくらい存在するのか？

知りたいこと② スラッジ中のα核種はどのような元素と一緒に存在するのか？

知りたいこと③ 水の中のα核種はどのような性質か？



α核種の存在状態を知るため、1号機から3号機の原子炉建屋の地下から採取されたスラッジを含む汚染水試料について分析

号機	採取日	α核種の濃度
1号機	2022年4月19日	22 Bq/mL
2号機	2020年4月20日	34 Bq/mL
3号機	2021年7月13日	540 Bq/mL



1号機



2号機



3号機

[1] 東京電力HD, 「建屋滞留水処理等の進捗状況について」 特定原子力施設監視・評価検討会 (第110回), 2023年12月18日.

➤ α核種の分析方法，試料の取り扱いなど，様々な観点で工夫が必要

□ α核種の量を知ることの難しさ

- PuやAmの量はα線を測ることで求める
- α線は物質を透過しにくく，水やスラッジによって遮蔽される
- 試料そのままの状態では測定ができない

- 固体（スラッジ）を液体状態にするため，使用する試薬など溶かす方法を検討
- 液の状態から，α核種（PuやAm）を他の元素から化学的に分離する方法を検討

□ α核種の状態を調べることの難しさ

- α核種の量は非常に少ない
- 直接観察して状態を調べることは難しい

- α核種と一緒に存在する元素を測り，親和性のある元素を調査
- 化学な相互作用を調べ，水に溶けているα核種の状態を推定

□ 放射性元素を含む試料を取り扱うことの難しさ

- 試料に含まれる放射性元素から，透過力のあるγ線やβ線が放出される
- 分析を行う作業者の外部被ばくの要因となる

- 遮へい効果のある材質の容器を使用
- ピンセットで操作するなど，試料との距離を確保
- 簡単に操作できるように器具を加工し，作業時間を短縮

知りたいこと①

**α核種がスラッジにどれくらい存在するのか？
水にどれくらい存在するのか？**

- 目開き0.02～10 μmのフィルタで順にろ過し、水とスラッジに分離
- 各フィルタで回収したスラッジ（スラッジ溶液）と水（ろ液）のそれぞれについて、α線を測定

知りたいこと②

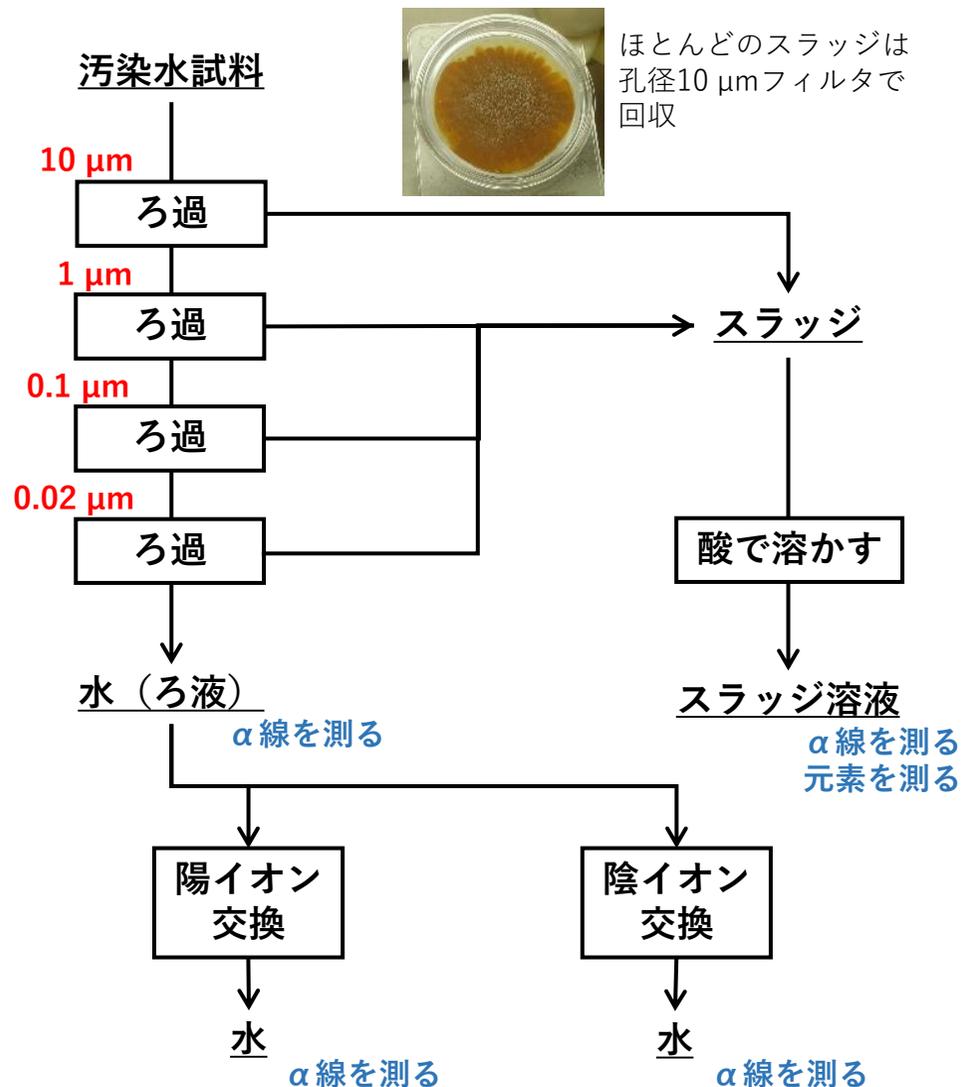
スラッジ中のα核種はどのような元素と一緒に存在するのか？

- スラッジ溶液について元素の種類と量を測定。

知りたいこと③

水の中のα核種はどのような性質か？

- 水（ろ液）をイオン交換樹脂と接触
- 接触前後の水のα線を測定



*陽イオン交換樹脂は+，陰イオン交換樹脂は-の電気を帯びたイオンなどを吸着する。

知りたいこと①

α 核種がスラッジにどれくらい存在するのか？水にどれくらい存在するのか？

知りたいこと②

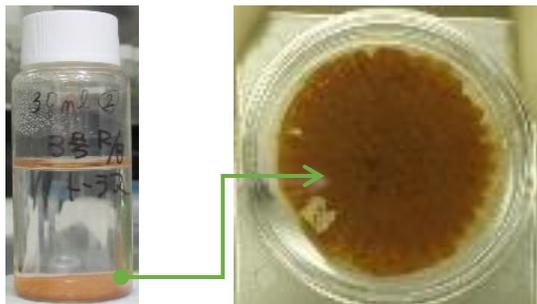
スラッジ中の α 核種はどのような元素と一緒に存在するのか？

知りたいこと③

わずかに水に溶けている α 核種（Pu, Am）は、陽イオン交換樹脂に吸着する。

知りたいこと①

α核種のほとんどがスラッジ中に存在。さらにその99 %以上が10 μmのフィルタで回収できる。



α核種のほとんどを検出
(7000 Bq/36 mg^{*1})

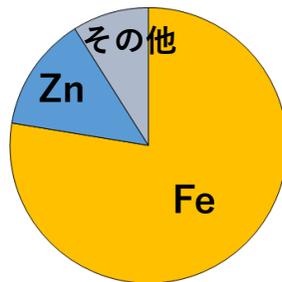
*1: Pu-238の値
*2: 3号機の結果

フィルタで回収されたα核種の分配^{*2}

代表的なα核種	Pu-238	Am-241	Cm-244
10 μmフィルタ	99.97 %	99.97 %	99.97 %
1 μmフィルタ	0.026 %	0.022 %	0.027 %
0.1 μmフィルタ	0.005 %	0.004 %	0.005 %
0.02 μmフィルタ	< 0.001 %	< 0.001 %	< 0.002 %

知りたいこと②

スラッジの主な成分はFe。
α核種はFeとともに存在。



スラッジを構成する元素の割合^{*3,4}

Fe	Zn	その他 (Al, Mgなど)
77.6 %	13.5 %	それぞれ5 %未満

*3: 10 μmフィルタで回収したスラッジの溶液についてICP-AESで測定し、検出した元素の全量を100 %としている。
*4: 3号機の結果

知りたいこと③

わずかに水に溶けているα核種 (Pu, Am) は、陽イオン交換樹脂に吸着する。

イオン交換前後のα核種濃度の変化^{*5}

代表的なα核種	Pu-238	Am-241
水 (イオン交換前)	1.5 Bq/mL	0.0056 Bq/mL
陽イオン交換後	0.003 Bq/mL	不検出
陰イオン交換後	1.6 Bq/mL	0.0077 Bq/mL

*5: 3号機の結果

PuもAmも、陽イオン交換との接触により濃度が大きく低下
= 吸着される (+の電気を帯びている)

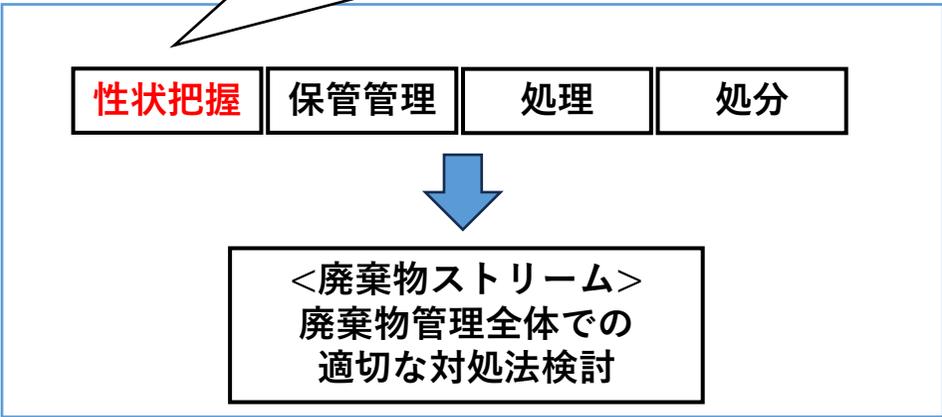
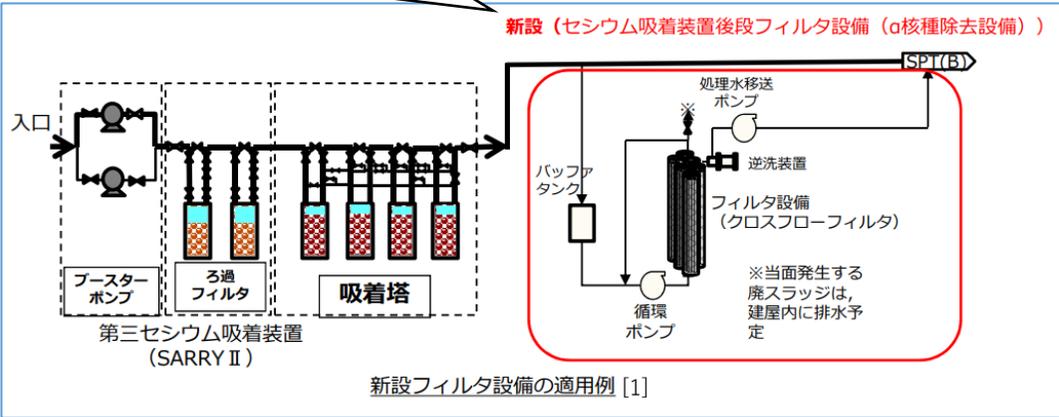
分析結果から明らかになった、原子炉建屋に滞留する α 核種の存在状態

**α 核種を効率的に回収する
新規設備の設計に反映**

**廃止措置が進み原子炉建屋を解体する際に
解体の計画や廃棄物の処分方法の検討に反映**

分析結果をもとにセシウム吸着装置に新設する α 核種除去のためのフィルタを設計 [1]

性状把握を進めつつ、処理・処分方策の選択肢の創出とその比較・評価を行う [2]



[1] 東京電力HD, 「建屋滞留水処理等の進捗状況について」 特定原子力施設監視・評価検討会 (第110回), 2023年12月18日.
 [2] 原子力損害賠償・廃炉等支援機構, 「東京電力ディンクス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2022」 2022年10月11日.

【魅力】

- ◆ 知りたいことや試料の状態に適した分析方法を考案し，得られた分析結果を考察することで，**未知の汚染状況を明らかにすることができる。**
- ◆ 放射性核種の**科学的な新しい知見**を得ることができる。

【やりがい】

- ◆ 分析結果が，実際に導入される設備設計に反映され，また，将来の処理・処分方法の検討へ戦略的に反映されるなど，**1Fの廃炉を安全かつ着実に進めること**に貢献できる。

【今後の目標】

- ◆ 今後の処理・処分の検討のため，蓄積した分析結果に基づいて，**放射性核種によってどのように汚染が生じているのか，メカニズムを解明し，汚染水による原子炉建屋等の地下の汚染状況をより詳しく推定する。**