

資料 1 - 3 燃料デブリ取り出しに関わる対応状況について

資料 1 - 3 - 1

原子炉格納容器内部調査, サンプリング及び分析の検討状況について

2018年8月23日

IRID **TEPCO**

東京電力ホールディングス株式会社

● 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議(第56回)公表資料

- 燃料デブリ取り出しは、現状得られていない内部状況，デブリ性状，取り出し時の影響等の知見を拡充することが重要。そのため，「原子炉格納容器（以下，PCV）内部調査（サンプリングを含む）」→「小規模なデブリ取り出し」→「大規模なデブリ取り出し」と規模を段階的に拡大していく作業の流れを想定。
- 燃料デブリ取り出しに向け，各号機において新たな知見を得るため，更なる調査を検討中。

【1号機】

- X-2ペネから潜水機能付ボート型アクセス・調査装置を用いたPCV内部調査（2019年度上期予定）

【2号機】

- X-6ペネから2018年1月の調査に使用したガイドパイプを用いたPCV内部調査（2018年度下期予定）
- X-6ペネからアーム型アクセス・調査装置を用いたPCV内部調査（2019年度下期予定）

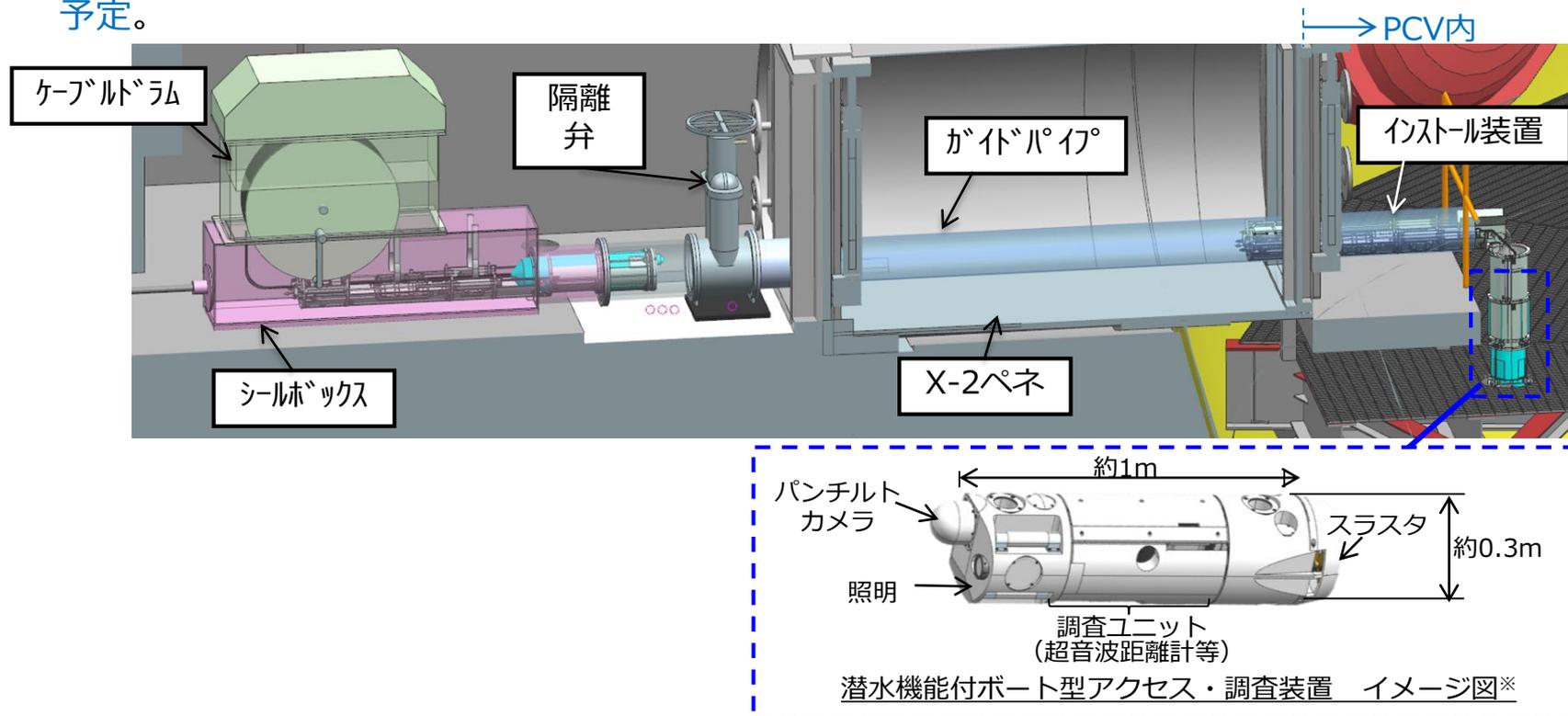
【3号機】

- 燃料デブリ取り出しに向けた検討の中で，PCV水位低下方策を検討中。これと並行して，前回調査で使用した水中遊泳式調査装置を活用した更なる調査の必要性を検討中。

- また2019年度予定の1，2号機それぞれのPCV内部調査において，PCV底部の堆積物を少量サンプリングする計画。
- 採取したサンプルは，1F事故由来のサンプルの取り扱い経験を有する茨城県内の機関へと輸送し，分析を依頼することを検討中。なお，2号機から採取した堆積物のサンプルは，ウランやプルトニウムを多く含む可能性があることから，燃料デブリを取り扱うための使用許可を取得した施設に分析を依頼する。
- 2020年度には2019年度よりも取得量を増やしたサンプリングを検討しており，必要な輸送準備を進める。

1. 1号機X-2ペネからのPCV内部調査(2019年度上期予定) (1/2)

- 1号機PCV内部調査においては、主にペDESTAL外における構造物や堆積物の分布等を把握するためのアクセス・調査装置を開発中。
- 2017年3月の調査で確認された堆積物は水中にあるため、アクセス・調査装置は潜水機能付ボートを開発中。X-2ペネを穿孔して構築したアクセスルートから、調査を実施する計画。
- 従来のPCV内部調査と同様に、PCV内の気体が外部に漏れ出て周辺環境へ影響を与えていないことを確認するため、作業中はダストモニタによるダスト測定を行い、作業中のダスト濃度を監視する予定。

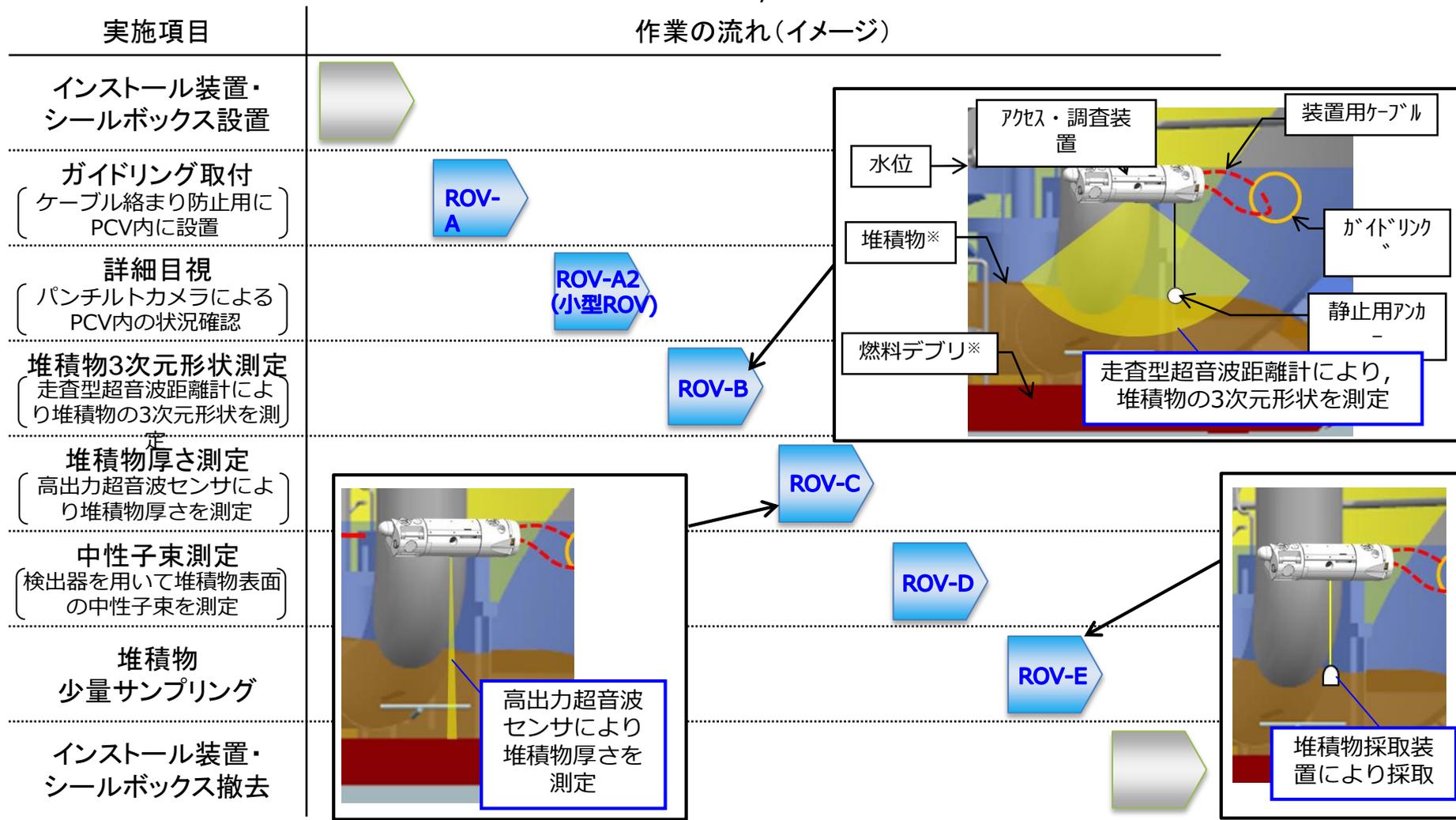


1号機X-2ペネからのPCV内部調査のイメージ図

※今後の設計進捗により変わる可能性あり

1. 1号機X-2ペネからのPCV内部調査(2019年度上期予定) (2/2)

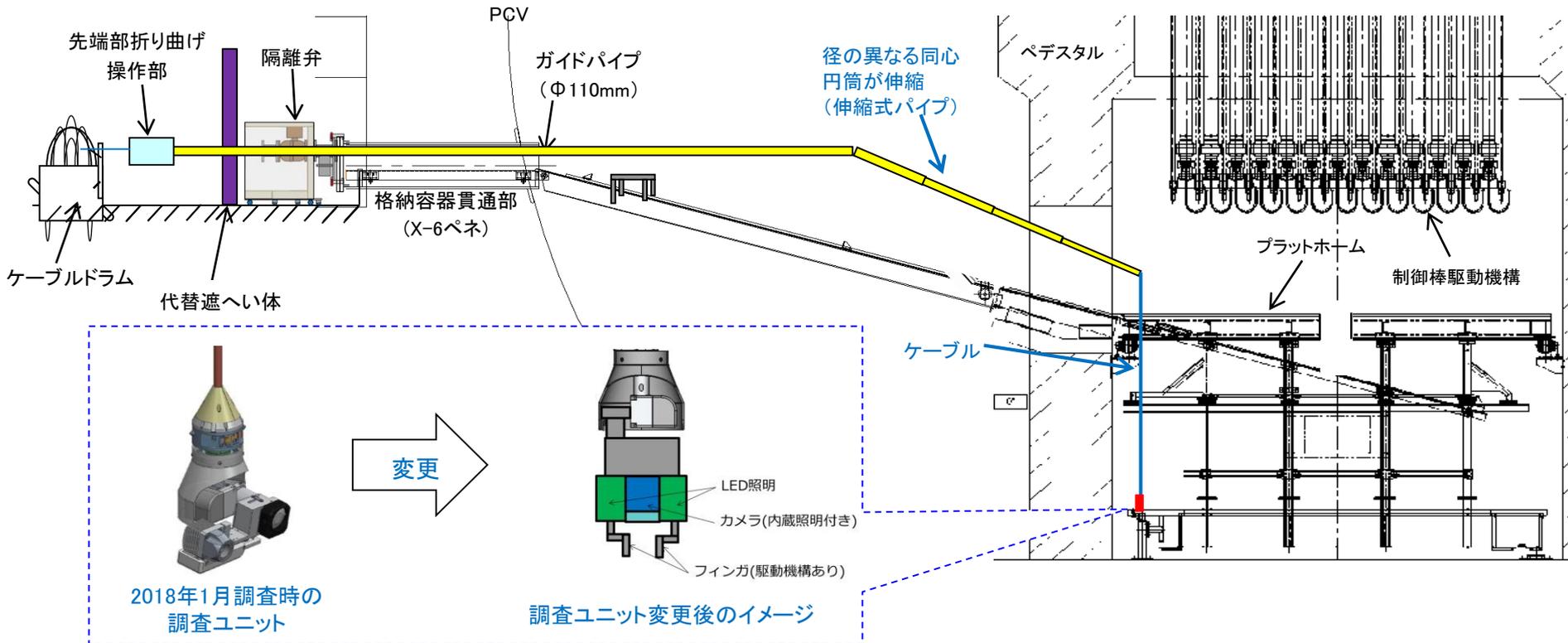
- 潜水機能付ボート型アクセス・調査装置については、機能毎に6種類準備する予定。



※：堆積物の厚さや燃料デブリの有無及び厚さは未知だが、説明のためイメージとして記載

2. 2号機ガイドパイプを用いたPCV内部調査（2018年度下期予定）

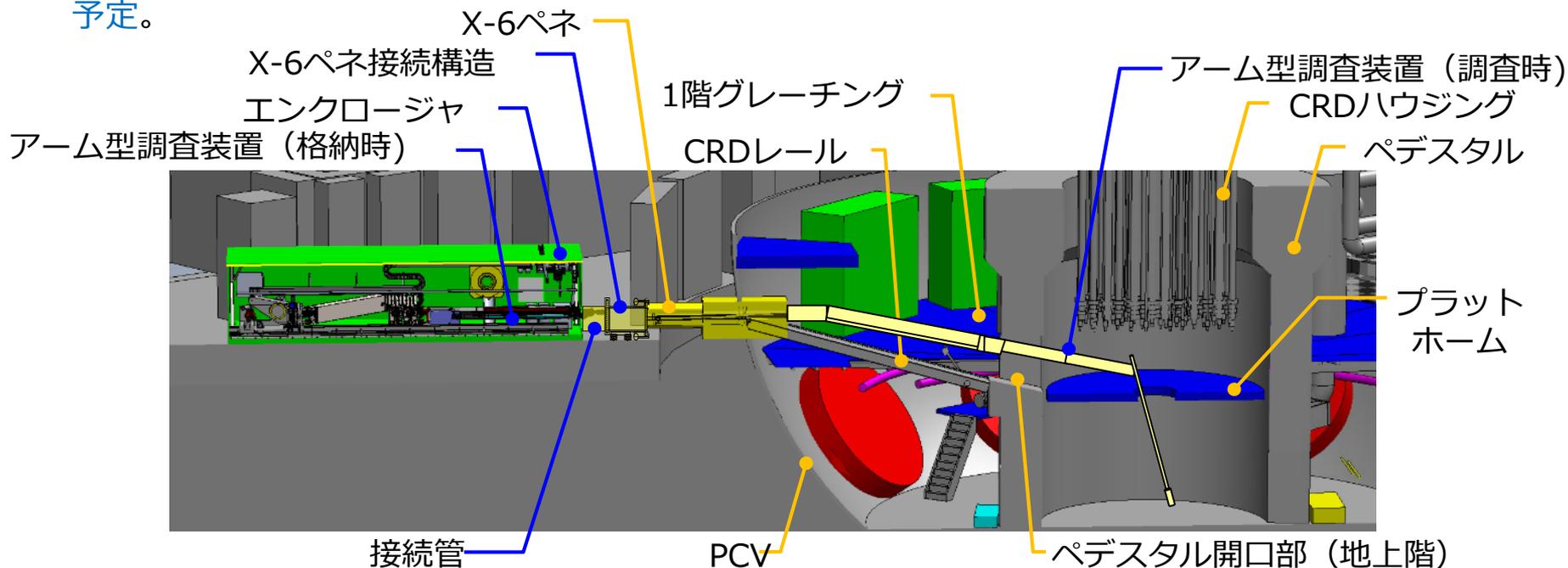
- 2号機ペDESTAL底部に確認された堆積物の性状（硬さや脆さなど）は未知であるため、事前に可動性を把握することが重要。
- 2018年1月に使用した調査装置の先端を変更し、**堆積物に機械的な力に加え、その際の挙動を確認**することを検討中。
- 従来のPCV内部調査と同様に、PCV内の気体が外部に漏れ出て周辺環境へ影響を与えていないことを確認するため、**作業中はダストモニタによるダスト測定を行い、作業中のダスト濃度を監視する予定**。



2号機ガイドパイプを用いたPCV内部調査のイメージ図

3. 2号機X-6ペネからのPCV内部調査(2019年度下期予定) (1/2)

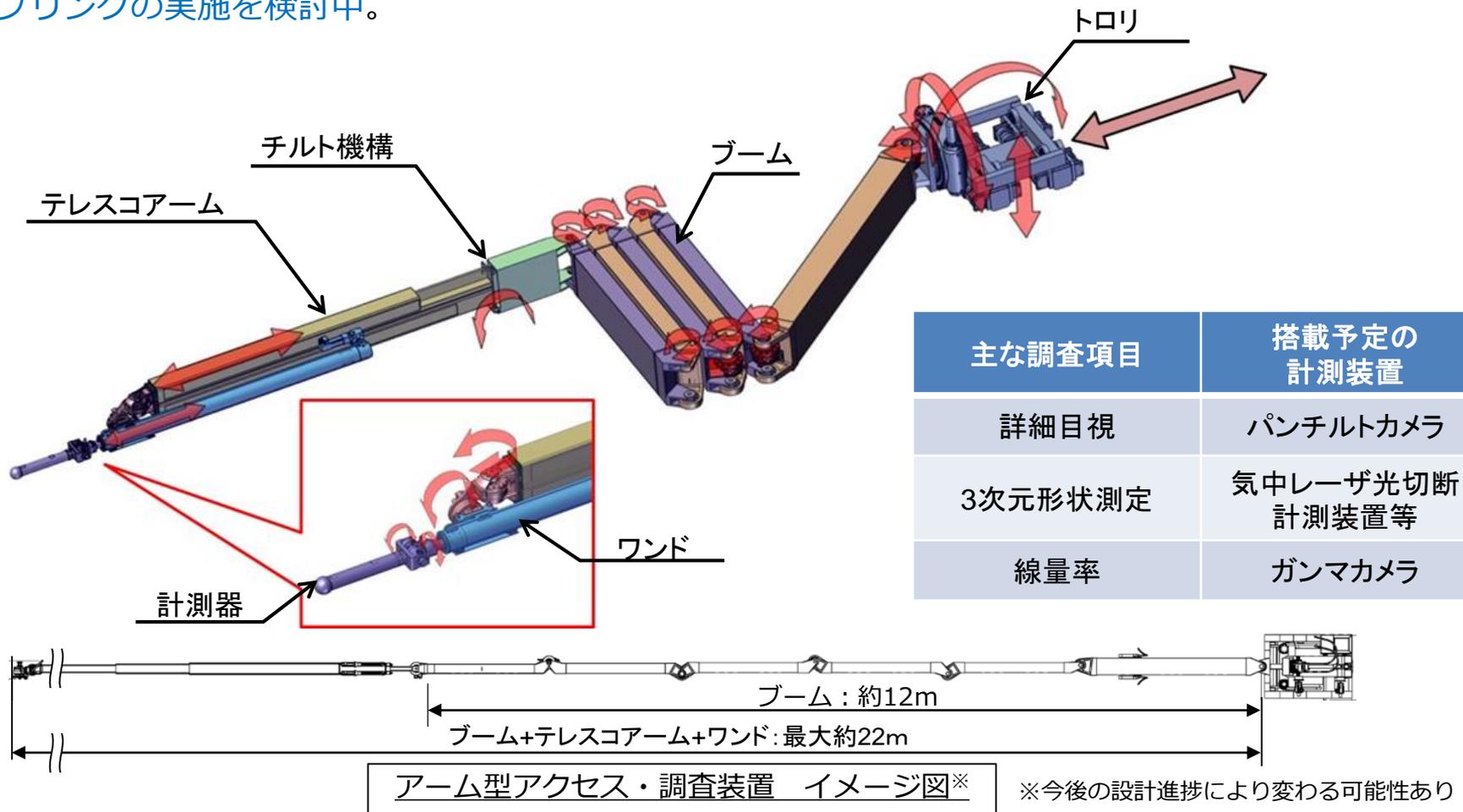
- 2号機PCV内部調査においては、主にペDESTAL内における構造物や堆積物の分布等を把握するためのアクセス・調査装置を開発中。
- 2号機PCV内は水位が低く、またX-6ペネが使用できる状況であることから、アクセス性の向上、ペイロード増加を考慮し、アーム型のアクセス・調査装置を開発中。X-6ペネを開放して構築したアクセスルートから、調査を実施する計画。
- 従来のPCV内部調査と同様に、PCV内の気体が外部に漏れ出て周辺環境へ影響を与えていないことを確認するため、作業中はダストモニタによるダスト測定を行い、作業中のダスト濃度を監視する予定。



2号機X-6ペネからのPCV内部調査のイメージ図

4. 2号機X-6ペネからのPCV内部調査(2019年度下期予定) (2/2)

- アクセス・調査装置の先端には計測器等を取り付けるワンドを設けており、調査内容に応じて、必要な計器等を付け替える予定。
- またワンドに少量サンプリング用の工具を取り付けることにより、ペデスタル内の堆積物を少量サンプリングの実施を検討中。



5. 採取したサンプルの分析

- 分析・研究施設としては、中長期ロードマップを踏まえ、福島第一に隣接した研究開発拠点として放射性物質分析・研究施設（施設管理棟、第1棟、第2棟）の整備がJAEAにより進められており、燃料デブリの分析はその第2棟（現在詳細設計中）での実施が予定されている。
- 第2棟運用開始前にも、2019年度から少量サンプリングを検討しており、取得したサンプルについては構外輸送した上で、1F事故由来のサンプルの取り扱い経験を有する茨城県内の機関において分析を進めることを検討している。
- 構外分析については、燃料デブリを取り扱うための使用許可を取得した施設の中から、サンプルや分析目的に適した施設に依頼する。

(※) 参考：

現在検討中のPCV内部調査を実施した際に装置の付着物が取得できる可能性がある。なお、2019年度上期に1号機PCV内部調査の一環として堆積物表層の少量サンプリングの実施を検討しているが、前回調査（2017年3月）の結果から堆積物表層はウランやプルトニウムを多く含むものではないと考えており、従来同様、1F汚染物として構外輸送、分析することを検討している。

6. 採取したサンプルの輸送

- 輸送については、法令に従いサンプルの放射エネルギーに応じた方法で輸送する。今後1～2年の輸送については、サンプル量も少量に限られることからA型輸送レベル（数g以下程度）と考えており、A型輸送の準備を進めていく。
- その後のサンプリングにおいては、B型輸送レベル（数十～数百g程度）まで取得量が増加する可能性があるため、容器や取り扱い環境を整備し、B型輸送の準備を進めていく。



A型輸送容器
(遮へい無し)の例



A型輸送容器
(遮へい有り)の例



B型輸送容器の例

小

放射エネルギー, 線量

大

7. 今後のスケジュール

- 今後進めていくPCV内部調査，サンプリング，分析の概略スケジュールは以下の通り。機器開発やモックアップ等の工程も含め，詳細が決まり次第，順次お伝えしていく。

	2018年度	2019年度	2020年度
1号機X-2ペネからの潜水機能付ポート型アクセス・調査装置を用いたPCV内部調査		アクセスルート構築 内部調査	少量サンプリング
A型輸送			輸送
2号機X-6ペネからのガイドパイプを用いたPCV内部調査		内部調査※	
2号機X-6ペネからのアーム型アクセス・調査装置を用いたPCV内部調査		アクセスルート構築	少量サンプリング 内部調査
燃料デブリの分析が可能な施設へのA型輸送	輸送準備		輸送
サンプリング			2号機を対象に実施を検討中
B型輸送	輸送準備		輸送

※調査にて装置に付着物があった場合，これまでと同様に回収し，輸送及び分析することを検討中。

※※3号機については，燃料デブリ取り出しに向けた検討の中で，PCV水位低下方策を検討中。これと並行して，前回調査で使用した水中遊泳式調査装置を活用した更なる調査の必要性を検討中。

【参考】サンプル分析の目的

- サンプル分析で得られる情報は、取得したサンプルの性状や核分裂生成物（FP）の分布の推定に活用し、燃料デブリ取り出し装置の設計、燃料デブリの収納・保管設備の設計、燃料デブリの未臨界管理等の廃炉作業計画、工法選択等へ活用する。

評価項目例	分析項目と分析手法の例	分析結果の活用例
性状 1)燃料を主成分とするもの ・(U, Zr)O ₂ の組成 ・Gd含有率 2)構造材を主成分とするもの ・(Feの酸化状態, B含有率)	組成: SEM-EDS, TEM-EDS, ICP-MS 微細構造: TEM-EDS, 電子回折	・微細構造の情報から生成メカニズムを推定し燃料デブリ取り出しに活用 ⇒燃料デブリ取り出し, 収納・保管設備等の設計へ活用 ・Gd, Bの含有率は未臨界管理の観点で重要
FP分布 (Cs, Sr濃度等)	FP組成: 放射線分析, ICP-MS等 燃焼度: TIMS(Nd148定量)	・燃焼度からFPの初期生成量を推定し, FPの残存率を評価 ⇒収納・保管設備の設計に活用
線量率	放射線分析	・燃料デブリ取り扱い時の被ばく低減等に活用
切削性	ビッカース硬さ等	・切削治具の設計等に反映

- SEM: Scanning Electron Microscope (走査型電子顕微鏡), EDS: Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (エネルギー分散型X線分光法), TEM: Transmission Electron Microscope (透過型電子顕微鏡), ICP-MS: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (誘導結合プラズマ質量分析), TIMS: Thermal Ionization Mass Spectrometry (表面電離型質量分析装置)

【参考】 輸送物の法令基準について

	A型輸送物 ※放射エネルギーを一定量に制限するとともに、 通常予想される事象に対する強度を持たせて 安全 性を確保する輸送物	B型輸送物 ※一定量を超える放射エネルギーを内包するが、 大事故にも十分耐えられるよう 強固な容器を用い安全性を確保する輸送物
放射エネルギー	A2値比の総和が1以下	A2値比の総和が1を超える
線量当量率	輸送物表面の線量当量率 ⇒ <u>2mSv/h以下</u> 輸送物表面から1mの位置の線量当量率 ⇒ <u>100μSv/h以下</u>	
表面汚染密度	輸送物の表面汚染密度 ⇒ <u>α : 0.4Bq/cm²以下</u> ⇒ α以外: <u>4Bq/cm²以下</u>	

※A2値, A2値比とは

A2値 : 法令で核種毎に定められた放射能収納限度。仮に容器が破損し内部が漏洩した場合等にも, 大量な被ばくが生じないように考慮された値

(例) ¹³⁷Cs=0.6[TBq], ²³⁸Pu=0.001[TBq]

A2値比: 輸送物の放射エネルギーと核種毎の制限値(A2値)の比

核種が複数含まれる場合は, それぞれの核種毎に算出したA2値比を合計し1未満であることを確認する

資料 1 - 3 燃料デブリ取り出しに関わる対応状況について

資料 1 - 3 - 2

1～3号機原子炉格納容器内部調査関連サンプル等の分析結果

2018年8月23日



東京電力ホールディングス株式会社

概 要

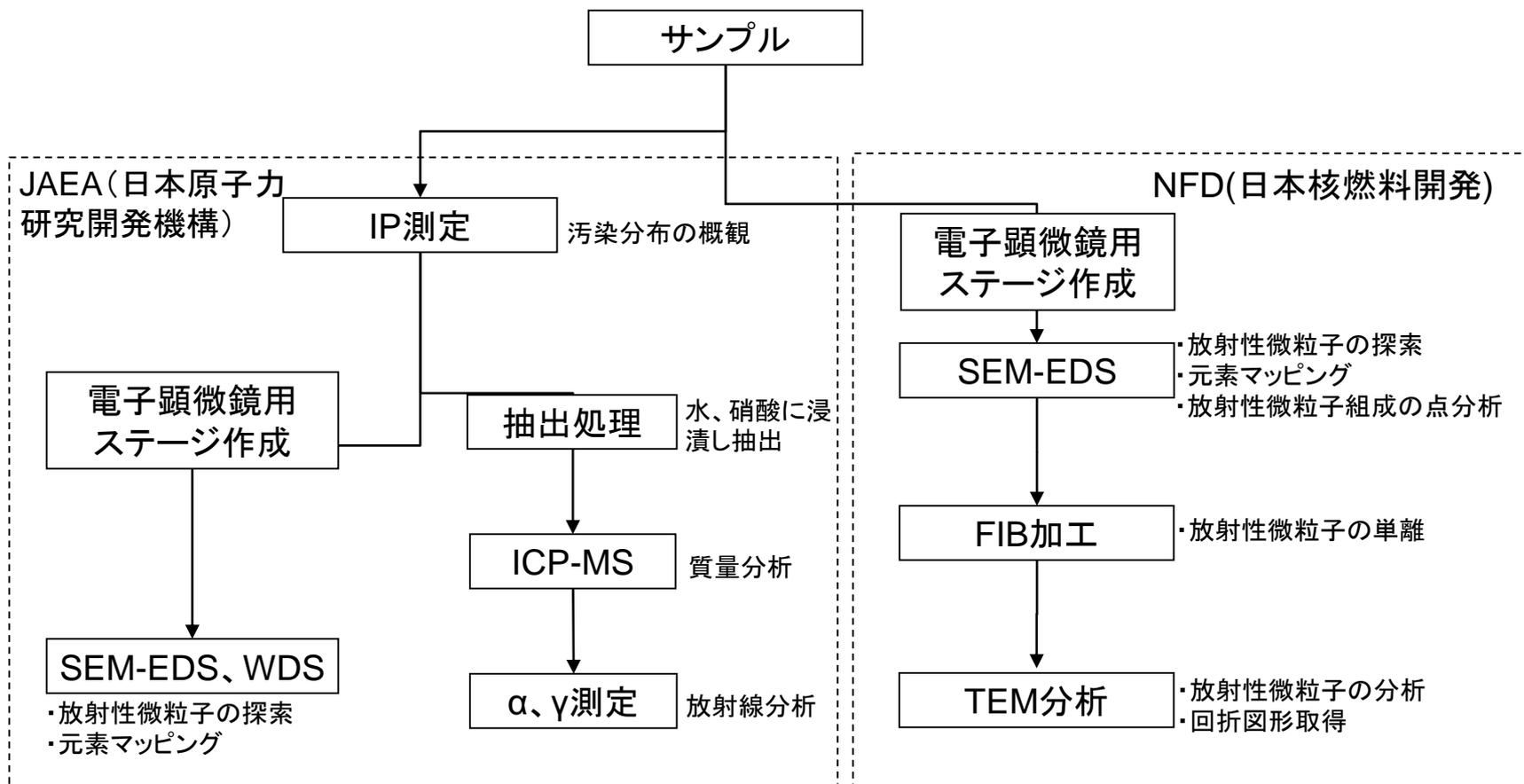
- **廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議(第56回)公表資料**
- 福島第一原子力発電所では廃炉作業の進捗とともに、これまで高線量環境などの課題から得られていなかった、1～3号機格納容器内の固体試料のようなサンプルについても取得されるようになってきている。
- これらのサンプルを詳細に分析することで得られる情報は、核分裂生成物の化学的特性や、デブリ分布に関する検討など廃炉に役立つ知見となると考えられるため、東京電力HDは、廃炉・汚染水対策事業「総合的な炉内状況把握の高度化」と協働し、福島第一原子力発電所事故後の原子炉及び格納容器内の状態推定に活用すべく、サンプル分析を実施した。

1. 分析サンプルの一覧

	サンプル	概要	採取時期
①	1号機 格納容器底部堆積物	格納容器底部の堆積物(浮遊物)を吸引し採取	2017年4月
②	2号機 格納容器内部調査装置付着物	格納容器内部調査装置の付着物を拭き取り採取 ロボットが通過した、CRDレール上堆積物が付着している可能性	2017年2月
③	2号機 原子炉建屋 オペレーティングフロア養生シート	建屋最上階の床面に敷かれていた養生シートを採取	2014年3月
④	2号機 TIP配管内閉塞物	原子炉圧力容器に直接繋がっている配管の閉塞物を採取 炉心過熱後ごく初期の物質が流入している可能性	2013年7月
⑤	3号機 格納容器内部調査装置付着物	2017年7月に実施の3号機格納容器内部調査装置(水中ロボット)の表面を拭き取り採取	2017年7月

※ CRD：制御棒駆動機構、TIP：移動式炉心内計装系

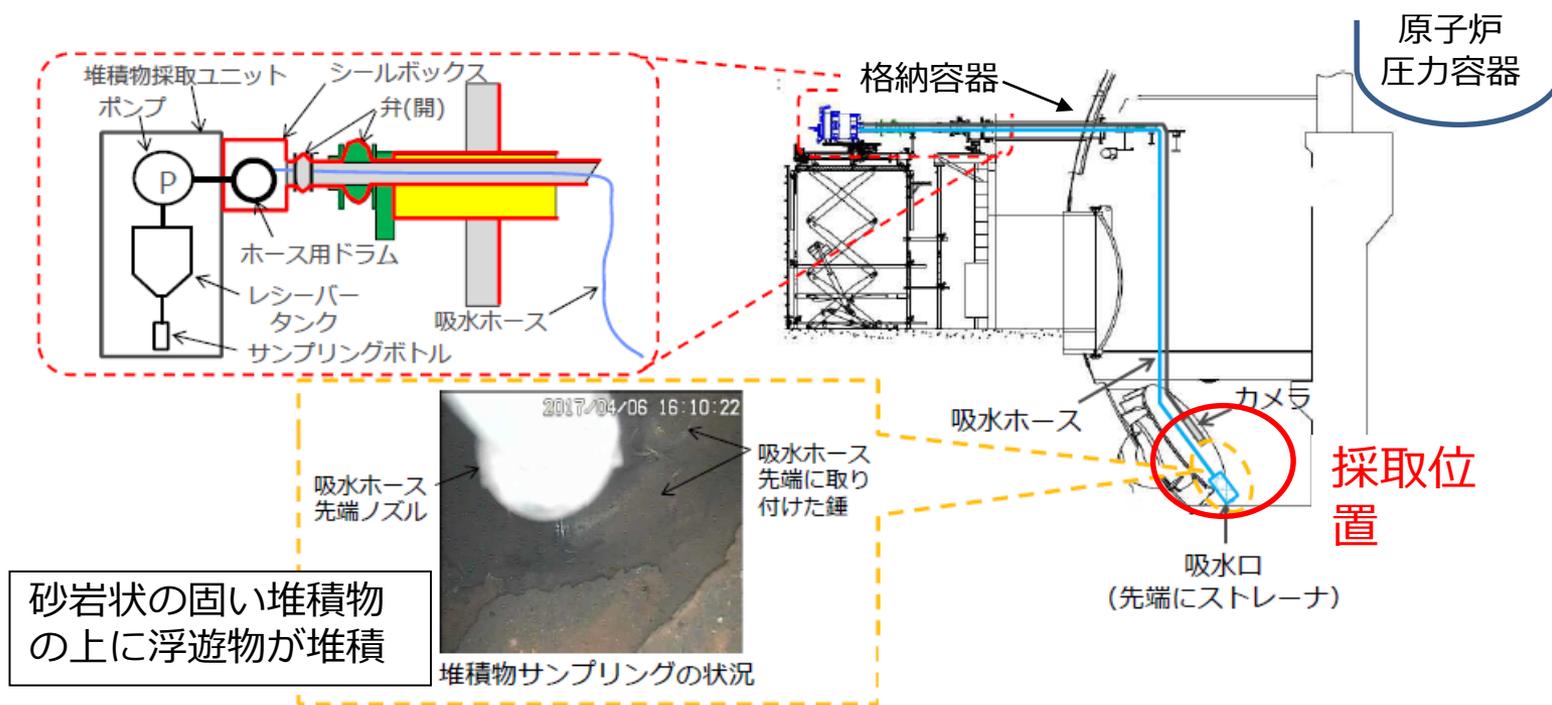
2. 分析フロー



※ IP: Imaging Plate(イメージングプレート)、SEM: Scanning Electron Microscope (走査型電子顕微鏡)、EDS: Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (エネルギー分散型X線分光法)、WDS: Wavelength Dispersive X-ray Spectroscopy (波長分散型X線分光法)、TEM: Transmission Electron Microscope (透過型電子顕微鏡)、ICP-MS: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (誘導結合プラズマ質量分析)、FIB: Focused Ion Beam (集束イオンビーム)

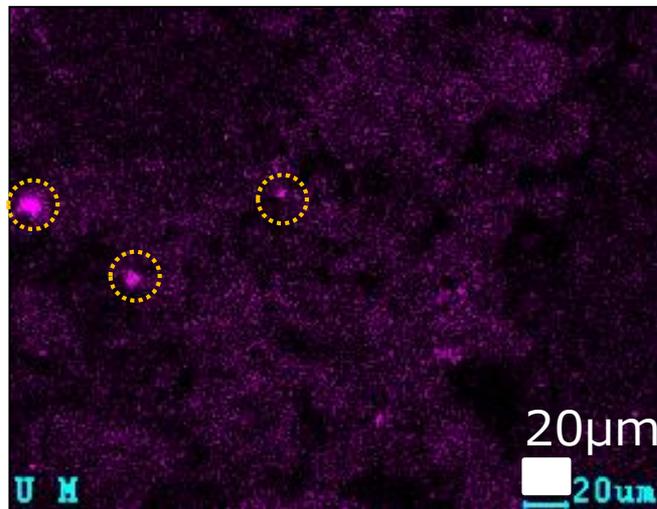
3-1. ①1号機PCV底部堆積物（サンプル採取状況）

- 1号機格納容器内部調査の一環として、原子炉格納容器底部の堆積物（浮遊物）を採取したもの（2017年4月採取）。サンプリング時の映像から、堆積物は固い層の上に浮遊物があることを確認。主に浮遊物の部分が回収されていると考えられる。
- 発電所内で簡易蛍光X線分析とγ核種分析を実施。
- 簡易蛍光X線分析では、構造材料等のほかにUを検出、Puは確認されていない。
- ガンマ核種分析では、Cs-134、Cs-137、Co-60、Sb-125を確認。

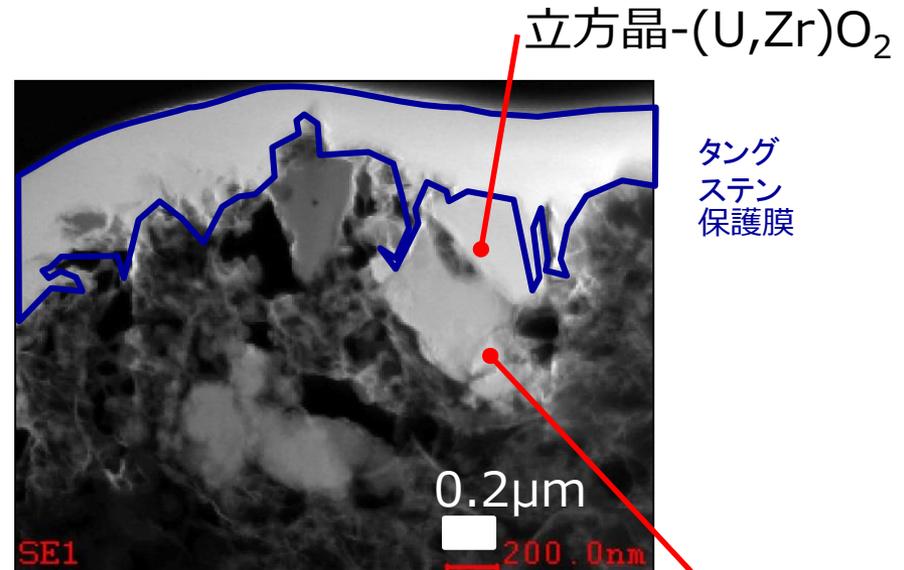


3-1. ①1号機PCV底部堆積物（分析結果概要）

- サンプル全体の観察結果
 - SEM-EDS分析では、鉄さび上にU含有粒子が混在していることが確認された。
 - 300 μm ×200 μm 程度領域の観察でU含有粒子を確認。（左下図黄色丸）
ただし、領域平均で見るとU濃度は低く検出されない程度。
 - ICP-MSの分析結果では、Feが多く次いでAl、Cu、Zn、Pb、Uなどを確認。
- U含有粒子の観察結果
 - U含有粒子はUリッチな立方晶(U,Zr)O₂、Zrリッチな正方晶(Zr,U)O₂



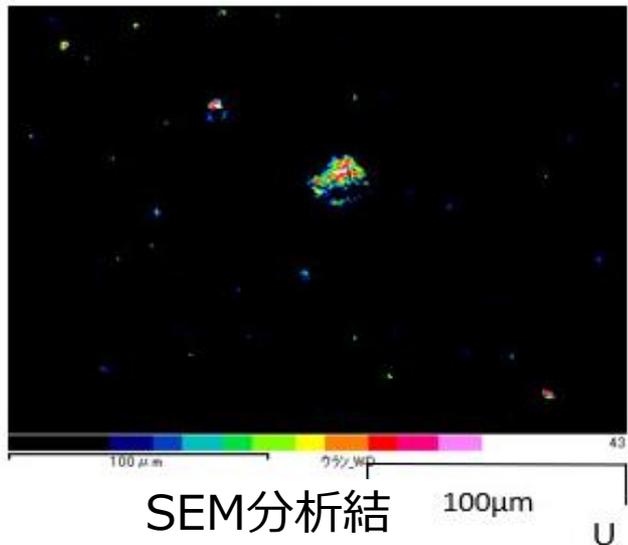
SEM分析結果
(U分布)



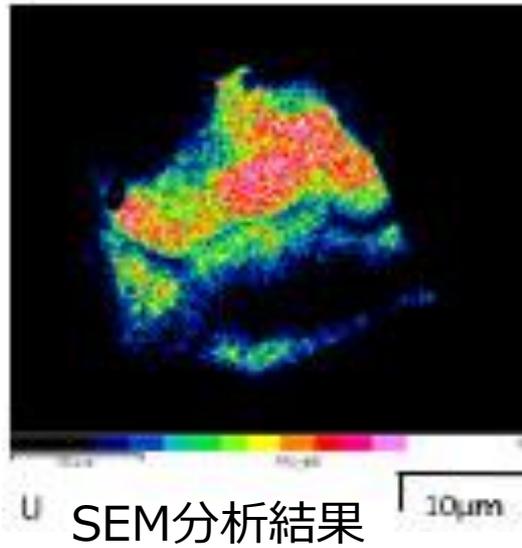
TEM分析結果
立方晶-(U,Zr)O₂
タンゲステン保護膜
正方晶-(Zr,U)O₂

3-2. ②2号機PCV内部調査装置付着物（分析結果概要）

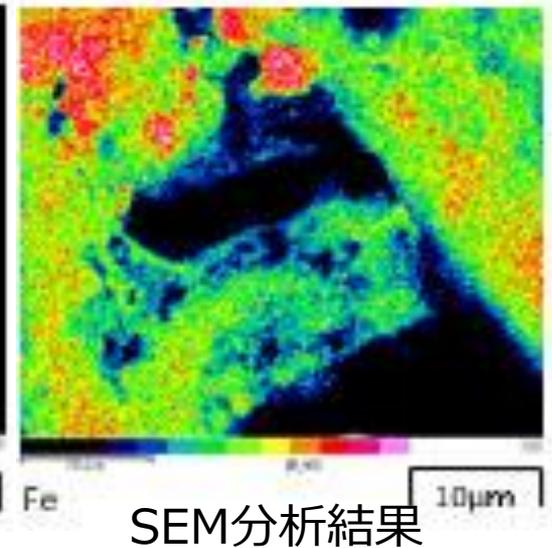
- 2017年2月に実施の2号機格納容器内部調査の際、使用した堆積物除去装置が通過した配管（ガイドパイプ）内下部から採取したサンプル。
- サンプル全体の観察結果
 - SEM-EDS分析の結果、鉄さび上にU含有粒子が混在していることが確認された。
 - 約300 μ m×約200 μ mの領域平均で見るとU濃度は低く検出されない程度。
- U含有粒子の観察結果
 - Uと同位置にZr、近傍にはFe、Cr、Niなどが見られた。



SEM分析結果
(U分布)



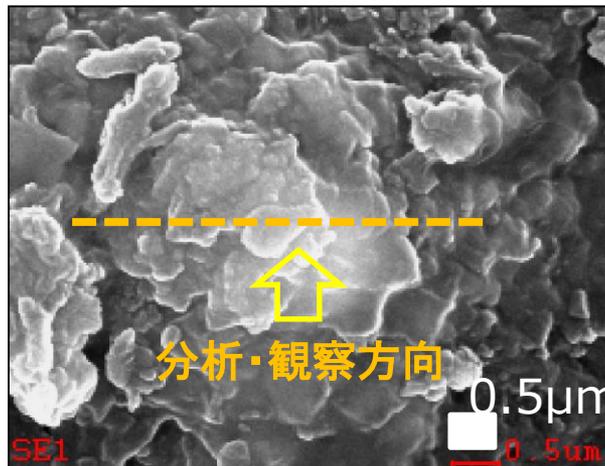
SEM分析結果
(U分布、拡大)



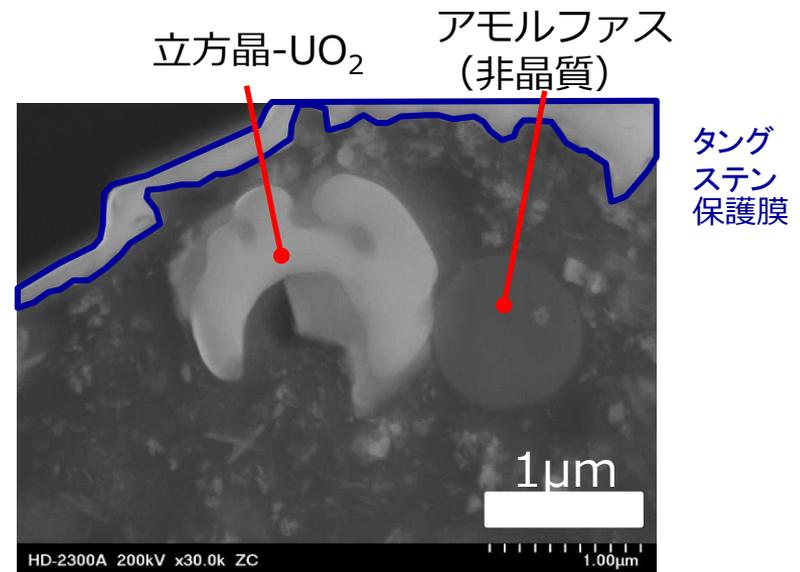
SEM分析結果
(Fe分布、拡大)

3-3. ③2号機オペフロ養生シート（分析結果概要）

- 2014年3月に2号機建屋最上階の床面に敷かれていた養生シートを採取
- サンプル全体の観察結果
 - SEM-EDSで養生シートに埋没したU含有粒子を確認。単離しTEM分析を実施。
 - ICP-MSの結果、海水成分（Na、Mg）の他、Fe、Alが多く検出された。
- U含有粒子の観察結果
 - U含有粒子はUリッチな立方晶(U,Zr)O₂、立方晶UO₂を確認。
 - U含有粒子の近傍に、養生シートに埋没した、ガラス質のSiO₂を主成分とした微粒子を確認。



SEM分析結果
(点線の断面をTEM分析)

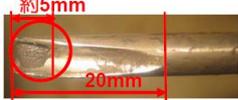


TEM分析結果
(Zコントラスト(原子番号コントラスト))

3-4. ④2号機TIP配管内閉塞物（分析結果概要）

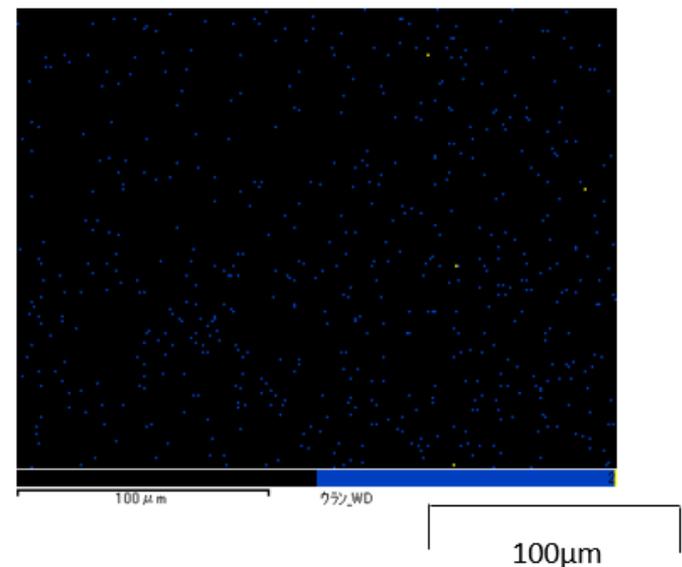
- 2013年に原子炉温度計設置のため原子炉の炉心部に直接繋がっている配管であるTIP配管内をファイバースコープで観察し、配管に閉塞があることを確認した。追加調査で、ダミーケーブルを用い閉塞を貫通・除去することを試みた際に、その先端に付着したものを回収。輸送時の分析では、 γ 線がCo-60支配であることを確認。
- 発電所内で簡易蛍光X線分析を実施し、構造材料等のほかにMo、Cl等を検出。
- サンプル全体の観察結果
 - SEM-EDS分析の結果、U粒子は確認されていない。

【参考①】ダミーTIPケーブル先端の付着物の状況 8

対象	写真	状況
Bライン (7/8)		ダミーTIPケーブル先端部に付着物を確認。ダミーTIPケーブル先端部が広範囲に汚れていた。 γ 線: 5mSv/h、 $\gamma + \beta$ 線: 200mSv/h
Dライン (7/9)		ダミーTIPケーブル先端部に付着物を確認。ダミーTIPケーブル先端部が一部だけ汚れていた。 γ 線: 14mSv/h、 $\gamma + \beta$ 線: 30mSv/h
Cライン (7/10)		ダミーTIPケーブル先端部に付着物を確認。ダミーTIPケーブル先端部が広範囲に汚れていた。 γ 線: 50mSv/h、 $\gamma + \beta$ 線: 200mSv/h
Aライン (7/11)		ダミーTIPケーブル先端部に付着物を確認。ダミーTIPケーブル先端部が一部だけ汚れていた。 γ 線: 17mSv/h、 $\gamma + \beta$ 線: 45mSv/h
Dライン (7/19) 追加作業		ダミーTIPケーブルを引き抜き後、全体的に付着物を確認。 γ 線: 95.0mSv/h、 $\gamma + \beta$ 線: 120.0mSv/h

 東京電力 無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

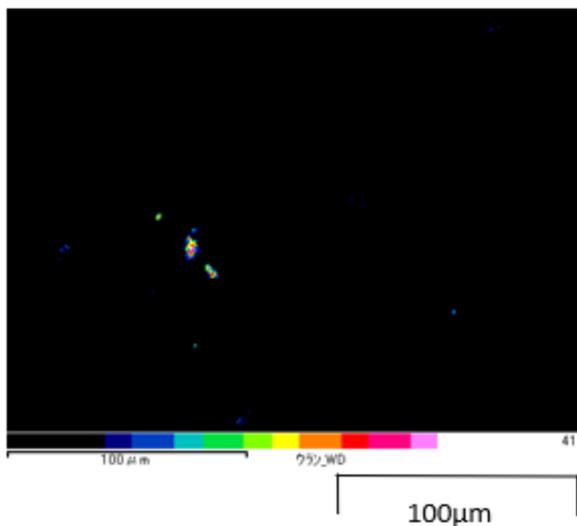
付着物採取時の状況



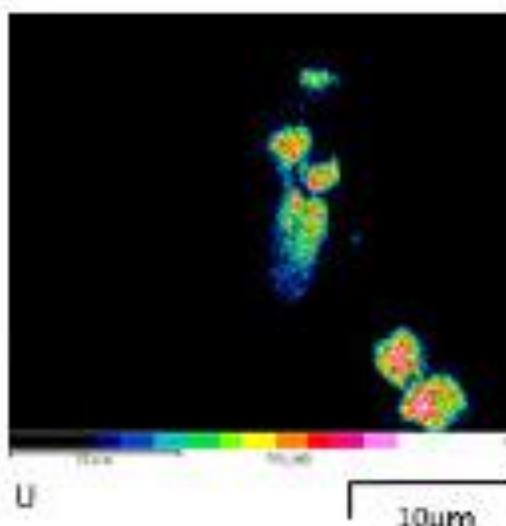
SEM分析結果
(U分布)

3-5. ⑤3号機PCV内部調査装置付着物（分析結果概要）

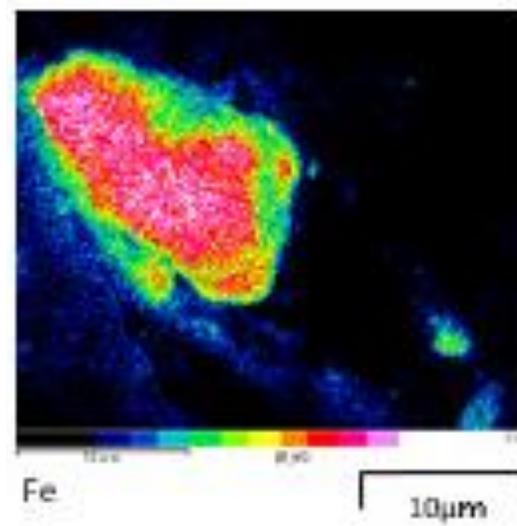
- 2017年7月に実施した3号機格納容器内部調査に使用した水中ロボットの表面を拭き取ったもの。調査中にロボットのスラスターの水流の影響で舞い上がった、ペデスタル下方の堆積物等が付着。
- サンプル全体の観察結果
 - SEM-EDS分析の結果、鉄さび上にU粒子が混在していることが確認された。
 - 約300 μ m \times 約200 μ mの領域平均で見るとU濃度は低く検出されない程度。
- U含有粒子の観察結果
 - U含有粒子近傍にはFeなどが見られた。



SEM分析結果
(U分布)



SEM分析結果
(U分布、拡大)



SEM分析結果
(Fe分布、拡大)

4. まとめ

- 東京電力HDでは、廃炉・汚染水対策事業「総合的な炉内状況把握の高度化」と協働して福島第一原子力発電所のサンプル分析を実施した。
- SEM-EDS分析の結果、TIP配管内閉塞物を除く各サンプル（①、②、③、⑤）から、U含有粒子が確認された。ただし、サンプルの平均的な濃度としては低いものであった。
- 1号機格納容器底部堆積物（①）、2号機オペレーティングフロア養生シート（②）について、TEM-EDS分析でU含有粒子の近傍を観察したところ、組成や結晶構造から熔融燃料のUリッチ相(U,Zr)O₂、Zrリッチ相(Zr,U)O₂を多く含んでいることがわかった。これらはスリーマイルアイランド2号機（TMI-2）の経験や、U-Zr系の状態図の知見から、存在が推定されていたもの。
- 2号機原子炉建屋西側壁開口後のオペレーティングフロア調査では、床面にα線放射核種による汚染が確認されている。α汚染源は、2号機オペレーティングフロア養生シート（②）で確認されたU含有粒子と同様な形状や性状を持った粒子である可能性がある。

(参考1) 放射線測定結果

(単位: μg)

測定試料	前処理	γ 分析核種							α 分析核種	
		K-40	Co-60	Sb-125	Cs-134	Cs-137	Eu-154	Am-241	Pu-239	Cm-244
1号機 PCV底部堆積物	イオン交換水†	1.7 × 10 ⁴	1.0 × 10 ⁻⁵	<LOD	8.8 × 10 ⁻⁴	1.4 × 10 ⁻¹	<LOD	1.3 × 10 ⁻¹	6.6 × 10 ⁻¹	<LOD
	硝酸溶液†	2.7 × 10 ⁴	1.8 × 10 ⁻⁴	1.2 × 10 ⁻³	2.7 × 10 ⁻³	4.2 × 10 ⁻¹	2.5 × 10 ⁻⁴	5.8 × 10 ⁻¹	4.9 × 10 ⁻¹	2.0 × 10 ⁻⁴
	硝酸溶液 浸漬後試料 * ** †	<LOD	1.6 × 10 ⁻⁷	2.1 × 10 ⁻⁴	4.5 × 10 ⁻⁴	6.0 × 10 ⁻²	3.5 × 10 ⁻⁶	<LOD	—	—
2号機 原子炉建屋 オペレーティングフロ ア養生シート(a)	イオン交換水(1) †	<LOD	<LOD	<LOD	8.9 × 10 ⁻³	1.1	<LOD	3.2 × 10 ⁻¹	<LOD	<LOD
	イオン交換水(2) †	<LOD	<LOD	<LOD	9.4 × 10 ⁻³	1.2	<LOD	3.0 × 10 ⁻¹	<LOD	<LOD
	硝酸溶液(1) †	<LOD	<LOD	<LOD	3.3 × 10 ⁻³	3.9 × 10 ⁻¹	<LOD	2.9 × 10 ⁻¹	1.7	<LOD
	硝酸溶液(2) †	<LOD	<LOD	<LOD	3.7 × 10 ⁻³	4.8 × 10 ⁻¹	<LOD	3.4 × 10 ⁻¹	4.8 × 10 ⁻¹	<LOD
	硝酸溶液 浸漬後試料* †	<LOD	4.0 × 10 ⁻⁸	8.0 × 10 ⁻⁴	2.6 × 10 ⁻⁴	3.9 × 10 ⁻²	<LOD	<LOD	—	—
2号機 原子炉建屋 オペレーティングフロ ア養生シート(b)	イオン交換水(1) †	<LOD	<LOD	<LOD	6.2 × 10 ⁻³	7.9 × 10 ⁻¹	<LOD	2.7 × 10 ⁻²	<LOD	<LOD
	イオン交換水(2) †	<LOD	<LOD	<LOD	5.0 × 10 ⁻³	6.2 × 10 ⁻¹	<LOD	2.0	<LOD	<LOD
	硝酸溶液(1) †	<LOD	<LOD	<LOD	2.3 × 10 ⁻³	2.9 × 10 ⁻¹	<LOD	6.4 × 10 ⁻¹	<LOD	<LOD
	硝酸溶液(2) †	<LOD	<LOD	3.9 × 10 ⁻⁴	2.5 × 10 ⁻³	3.0 × 10 ⁻¹	<LOD	3.9 × 10 ⁻¹	<LOD	<LOD
	硝酸溶液 浸漬後試料* †	<LOD	8.7 × 10 ⁻⁷	7.1 × 10 ⁻⁴	3.7 × 10 ⁻⁴	3.9 × 10 ⁻²	<LOD	<LOD	—	—
2号機 原子炉建屋 オペレーティングフロ ア養生シート(c)	イオン交換水(1) †	<LOD	<LOD	<LOD	1.6 × 10 ⁻³	2.1 × 10 ⁻¹	<LOD	3.7 × 10 ⁻¹	<LOD	<LOD
	硝酸溶液(1) †	2.6 × 10 ⁴	<LOD	<LOD	4.0 × 10 ⁻⁴	4.9 × 10 ⁻²	<LOD	1.5 × 10 ⁻¹	1.6 × 10 ⁻¹	<LOD
	硝酸溶液 浸漬後試料* †	<LOD	3.9 × 10 ⁻⁸	2.8 × 10 ⁻⁴	1.7 × 10 ⁻⁴	1.9 × 10 ⁻⁴	<LOD	<LOD	—	—

※1 <LOD (Limit of detection): 検出限界未満

※2 試料(1号機PCV堆積物試料は、試料採取に使用した約1cm角のウエスを含む。2号機養生シートは、約1cm角の養生シートを試料とした。)をイオン交換水(又は硝酸)に浸漬後、40mLに希釈したものを測定。測定用試料を2つ調製し、それぞれ測定した場合は、(1)、(2)として、両方の結果を記載した。

※3 α線分析については、試料毎に表面状態が異なるとともに、検出効率も異なると考えられるが、いずれの測定試料も標準試料と検出効率が等しいと仮定し、評価した分析値である。

* 標準試料と測定試料で形状が異なるが、検出効率が等しいと仮定し、評価した分析結果である。

** 1号機格納容器堆積物はウエスに付着した状態で搬入されており、そのままの状態の前処理に供した。硝酸溶液への浸漬の影響によりウエスの形状を維持できなくなったため、ウエスの小片が付着したフィルタを測定に供した。

† γ線分析の測定日: 2018年1月

‡ γ線分析の測定日: 2017年12月

(参考2) ICP-MS分析結果 (質量数 ~67)

(単位: µg)

測定試料	1号機PCV底部堆積物		2号機 原子炉建屋 オペレーティングフロア養生シート(a)		2号機 原子炉建屋 オペレーティングフロア養生シート(b)		2号機 原子炉建屋 オペレーティングフロア養生シート(c)	
	イオン交換水	硝酸溶液	イオン交換水	硝酸溶液	イオン交換水	硝酸溶液	イオン交換水	硝酸溶液
Li-6	<LOQ	<LOQ	3.6×10^{-3}	<LOQ	1.7×10^{-3}	1.0×10^{-3}	<LOQ	<LOQ
Li-7	4.8×10^{-3}	2.7×10^{-2}	5.5×10^{-2}	1.9×10^{-2}	3.3×10^{-2}	1.5×10^{-2}	1.1×10^{-2}	6.7×10^{-3}
B-10	4.2×10^{-2}	6.1×10^{-1}	6.6×10^{-2}	2.1×10^{-1}	5.4×10^{-2}	1.3×10^{-1}	4.9×10^{-2}	8.8×10^{-2}
B-11	1.9×10^{-1}	2.4	2.7×10^{-1}	8.3×10^{-1}	2.2×10^{-1}	5.3×10^{-1}	2.0×10^{-1}	3.7×10^{-1}
Na-23	2.6×10^1	1.9×10^1	9.9×10^1	2.1×10^1	5.3×10^1	1.3×10^1	2.3×10^1	1.8×10^1
Mg-24	2.0×10^1	3.5×10^1	1.2×10^1	1.4×10^1	1.2×10^1	1.9×10^1	4.8	1.2×10^1
Mg-25	6.2×10^{-1}	4.3	1.5	1.7	7.0×10^{-1}	7.5×10^{-1}	4.3×10^{-1}	7.0×10^{-1}
Mg-26	7.0×10^{-1}	4.9	<LOQ	2.1	1.7	2.3	4.9×10^{-1}	1.7
Al-27	9.4	8.2×10^1	5.0	1.2×10^1	2.4×10^1	9.9	3.6×10^{-1}	5
Ca-43	1.2×10^{-2}	1.8×10^{-2}	2.7×10^{-2}	3.1×10^{-2}	1.4×10^{-2}	2.5×10^{-2}	6.5×10^{-3}	1.9×10^{-2}
Ca-44	2.1×10^{-1}	3.9×10^{-1}	5.6×10^{-1}	6.3×10^{-1}	3.1×10^{-1}	5.2×10^{-1}	1.2×10^{-1}	3.9×10^{-1}
Sc-45	<LOQ	2.8×10^{-2}	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Ti-47	<LOQ	9.1×10^{-2}	<LOQ	2.6×10^{-2}	<LOQ	1.9×10^{-2}	<LOQ	5.7×10^{-3}
Ti-49	1.3×10^{-3}	6.8×10^{-2}	<LOQ	1.9×10^{-2}	<LOQ	1.2×10^{-2}	<LOQ	4.6×10^{-3}
Cr-52	4.7×10^{-2}	1.4	1.4×10^{-1}	1.2	6.3×10^{-2}	2.9×10^{-1}	6.0×10^{-2}	3.7×10^{-1}
Cr-53	5.0×10^{-3}	2.0×10^{-1}	1.6×10^{-2}	1.4×10^{-1}	7.4×10^{-3}	3.2×10^{-2}	5.5×10^{-3}	4.3×10^{-2}
Mn-55	3.5×10^{-1}	7.9	6.5×10^{-1}	7.5×10^{-1}	3.1×10^{-1}	4.7×10^{-1}	3.6×10^{-2}	2.0×10^{-1}
Fe-56	<LOQ	1.4×10^3	2.4	5.7×10	<LOQ	3.4×10^1	<LOQ	1.4×10
Fe-57	<LOQ	1.5×10^1	7.0×10^{-2}	1.2	<LOQ	1.0	<LOQ	3.7×10^{-1}
Co-59	1.0×10^{-2}	2.3×10^{-1}	6.7×10^{-1}	4.8×10^{-1}	2.6×10^{-1}	2.9×10^{-1}	3.5×10^{-2}	1.0×10^{-1}
Ni-60	1.2×10^{-1}	6.9	1.4×10^{-1}	2.1×10^{-1}	5.2×10^{-2}	1.3×10^{-1}	1.6×10^{-2}	7.9×10^{-2}
Ni-61	5.7×10^{-3}	3.1×10^{-1}	6.1×10^{-3}	9.5×10^{-3}	2.4×10^{-3}	6.9×10^{-3}	9.6×10^{-4}	3.7×10^{-3}
Ni-62	1.6×10^{-2}	1.0	2.1×10^{-2}	2.9×10^{-2}	7.5×10^{-3}	1.8×10^{-2}	2.0×10^{-3}	1.1×10^{-2}
Cu-63	3.3×10^{-1}	3.2×10^{-1}	1.8	2.5	5.7×10^{-1}	1.9	1.6×10^{-1}	5.3×10^{-1}
Cu-65	1.5×10^{-1}	1.3×10^{-1}	5.3×10^{-1}	1.0	2.5×10^{-1}	6.8×10^{-1}	7.0×10^{-2}	2.3×10^{-1}
Zn-66	2.6×10^{-1}	2.1×10^2	4.5	5.1	2.0	3.4	2.0×10^{-1}	9.4×10^{-1}
Zn-67	3.1	2.5×10^1	5.6×10^{-1}	6.5×10^{-1}	2.4×10^{-1}	3.8×10^{-1}	2.8×10^{-2}	1.3×10^{-1}

※1 <LOQ (Limit of quantitation): 定量下限未滿

※2 下線付きの数値は検量線を超え、外挿により評価しているため、参考値とする。

※3 試料(1号機PCV堆積物試料は、試料採取に使用した約1cm角のウエスを含む。2号機養生シートは、約1cm角の養生シートを試料とした。)をイオン交換水(又は硝酸)に浸漬後、40mLに希釈したものを測定。

※4 表に示す質量数以外の多数の質量数においても、有意なカウントが得られたが、分子イオンを検出している可能性が高い、または、複数の元素を検出しているために定量値を示すことができないとの理由により、表中に記載しなかった。

(参考2) ICP-MS分析結果 (質量数 68~130)

(単位: μg)

測定試料	1号機PCV底部堆積物		2号機 原子炉建屋 オペレーティングフロア養生シート(a)		2号機 原子炉建屋 オペレーティングフロア養生シート(b)		2号機 原子炉建屋 オペレーティングフロア養生シート(c)	
	イオン交換水	硝酸溶液	イオン交換水	硝酸溶液	イオン交換水	硝酸溶液	イオン交換水	硝酸溶液
Zn-68	1.6 × 10 ¹	1.3 × 10 ²	3.1	3.3	1.2	2.2	1.2 × 10 ⁻¹	5.7 × 10 ⁻¹
Zn-70	5.5 × 10 ⁻¹	4.9	9.2 × 10 ⁻²	1.1 × 10 ⁻¹	3.5 × 10 ⁻²	6.0 × 10 ⁻²	4.9 × 10 ⁻³	2.0 × 10 ⁻²
Sr-84	<LOQ	2.5 × 10 ⁻³	1.3 × 10 ⁻³	1.9 × 10 ⁻³	1.2 × 10 ⁻³	1.5 × 10 ⁻³	<LOQ	1.1 × 10 ⁻³
Rb-85	4.5 × 10 ⁻³	4.4 × 10 ⁻²	1.4 × 10 ⁻¹	4.3 × 10 ⁻²	8.5 × 10 ⁻²	3.0 × 10 ⁻²	3.2 × 10 ⁻²	1.1 × 10 ⁻²
Sr-86	1.4 × 10 ⁻²	4.3 × 10 ⁻²	2.4 × 10 ⁻²	2.8 × 10 ⁻²	1.6 × 10 ⁻²	2.5 × 10 ⁻²	7.9 × 10 ⁻³	2.0 × 10 ⁻²
Sr-88	1.2 × 10 ⁻¹	3.6 × 10 ⁻¹	2.1 × 10 ⁻¹	2.3 × 10 ⁻¹	1.4 × 10 ⁻¹	2.1 × 10 ⁻¹	7.0 × 10 ⁻²	1.7 × 10 ⁻¹
Y-89	<LOQ	1.9 × 10 ⁻²	<LOQ	5.1 × 10 ⁻³	<LOQ	3.2 × 10 ⁻³	<LOQ	1.8 × 10 ⁻³
Zr-91	<LOQ	9.0 × 10 ⁻²	<LOQ	2.0 × 10 ⁻³	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Zr-93	<LOQ	1.1 × 10 ⁻²	4.0 × 10 ⁻⁴	1.7 × 10 ⁻³	<LOQ	4.9 × 10 ⁻⁴	<LOQ	3.3 × 10 ⁻⁴
Mo-95	<LOQ	7.7 × 10 ⁻¹	5.8 × 10 ⁻¹	2.6	3.3 × 10 ⁻¹	1.7	9.7 × 10 ⁻²	7.0 × 10 ⁻¹
Mo-97	<LOQ	7.4 × 10 ⁻¹	5.4 × 10 ⁻¹	2.4	3.1 × 10 ⁻¹	1.6	9.2 × 10 ⁻²	6.5 × 10 ⁻¹
Mo-98	<LOQ	8.0 × 10 ⁻¹	1.7	3.2	7.3 × 10 ⁻¹	2.0	2.1 × 10 ⁻¹	8.1 × 10 ⁻¹
Mo-100	<LOQ	7.1 × 10 ⁻¹	5.2 × 10 ⁻¹	2.7	3.0 × 10 ⁻¹	1.7	8.8 × 10 ⁻²	6.3 × 10 ⁻¹
Pd-105	<LOQ	7.7 × 10 ⁻²	1.9 × 10 ⁻³	1.1 × 10 ⁻²	<LOQ	7.5 × 10 ⁻³	<LOQ	3.4 × 10 ⁻³
Ag-109	<LOQ	4.0 × 10 ⁻¹	1.1 × 10 ⁻²	4.8 × 10 ⁻²	6.7 × 10 ⁻³	2.8 × 10 ⁻²	<LOQ	1.5 × 10 ⁻²
Cd-111	1.0 × 10 ⁻¹	2.0 × 10 ⁻¹	8.0 × 10 ⁻³	1.2 × 10 ⁻²	3.8 × 10 ⁻³	7.0 × 10 ⁻³	6.5 × 10 ⁻⁴	3.2 × 10 ⁻³
Sn-114	9.0 × 10 ⁻²	2.3 × 10 ⁻¹	8.8 × 10 ⁻³	4.3 × 10 ⁻²	5.0 × 10 ⁻³	3.1 × 10 ⁻²	1.3 × 10 ⁻³	1.3 × 10 ⁻²
Sn-116	3.1 × 10 ⁻²	9.0 × 10 ⁻¹	4.0 × 10 ⁻²	4.5 × 10 ⁻¹	2.6 × 10 ⁻²	3.4 × 10 ⁻¹	1.7 × 10 ⁻²	1.3 × 10 ⁻¹
Sn-117	7.8 × 10 ⁻³	4.7 × 10 ⁻¹	2.0 × 10 ⁻²	2.2 × 10 ⁻¹	1.3 × 10 ⁻²	1.7 × 10 ⁻¹	8.7 × 10 ⁻³	6.6 × 10 ⁻²
Sn-118	2.5 × 10 ⁻²	1.6	6.8 × 10 ⁻²	7.7 × 10 ⁻¹	4.2 × 10 ⁻²	5.8 × 10 ⁻¹	2.9 × 10 ⁻²	2.3 × 10 ⁻¹
Sn-119	9.8 × 10 ⁻³	7.2 × 10 ⁻¹	2.5 × 10 ⁻²	2.9 × 10 ⁻¹	1.5 × 10 ⁻²	2.2 × 10 ⁻¹	1.1 × 10 ⁻¹	8.9 × 10 ⁻²
Sn-120	3.6 × 10 ⁻²	2.2	9.0 × 10 ⁻²	1.0	5.7 × 10 ⁻²	8.0 × 10 ⁻¹	4.2 × 10 ⁻²	3.1 × 10 ⁻¹
Sb-121	5.6 × 10 ⁻³	6.8	6.3 × 10 ⁻²	1.7 × 10 ⁻¹	4.0 × 10 ⁻²	1.5 × 10 ⁻¹	1.1 × 10 ⁻²	4.7 × 10 ⁻²
Sn-122	5.1 × 10 ⁻³	3.1 × 10 ⁻¹	1.3 × 10 ⁻²	1.5 × 10 ⁻¹	8.3 × 10 ⁻³	1.1 × 10 ⁻¹	5.7 × 10 ⁻³	4.3 × 10 ⁻²
Sb-123	4.4 × 10 ⁻³	5.0	4.8 × 10 ⁻²	1.3 × 10 ⁻¹	3.0 × 10 ⁻²	1.2 × 10 ⁻¹	7.9 × 10 ⁻³	3.6 × 10 ⁻²
Te-125	<LOQ	9.2 × 10 ⁻²	<LOQ	1.6 × 10 ⁻²	<LOQ	1.3 × 10 ⁻²	<LOQ	4.9 × 10 ⁻³
Te-128	<LOQ	1.3	5.7 × 10 ⁻³	2.0 × 10 ⁻¹	5.2 × 10 ⁻³	1.7 × 10 ⁻¹	<LOQ	6.6 × 10 ⁻²
Te-130	6.3 × 10 ⁻³	5.2	2.8 × 10 ⁻²	9.0 × 10 ⁻¹	2.7 × 10 ⁻²	7.6 × 10 ⁻¹	<LOQ	3.0 × 10 ⁻¹

※1 <LOQ(Limit of quantitation): 定量下限未満

※2 下線付きの数値は検量線を超え、外挿により評価しているため、参考値とする。

※3 試料(1号機PCV堆積物試料は、試料採取に使用した約1cm角のウエスを含む。2号機養生シートは、約1cm角の養生シートを試料とした。)をイオン交換水(又は硝酸)に浸漬後、40mLに希釈したものを測定。

※4 表に示す質量数以外の多数の質量数においても、有意なカウントが得られたが、分子イオンを検出している可能性が高い、または、複数の元素を検出しているために定量値を示すことができないとの理由により、表中に記載しなかった。

(参考2) ICP-MS分析結果 (質量数 132～)

(単位: μg)

測定試料	1号機PCV底部堆積物		2号機 原子炉建屋 オペレーティングフロア養生シート(a)		2号機 原子炉建屋 オペレーティングフロア養生シート(b)		2号機 原子炉建屋 オペレーティングフロア養生シート(c)	
	イオン交換水	硝酸溶液	イオン交換水	硝酸溶液	イオン交換水	硝酸溶液	イオン交換水	硝酸溶液
Ba-132	<LOQ	2.5×10^{-2}	<LOQ	2.5×10^{-3}	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Cs-133	1.1×10^{-1}	3.9×10^{-1}	1.1	3.8×10^{-1}	7.3×10^{-1}	2.9×10^{-1}	2.5×10^{-1}	8.3×10^{-2}
Ba-136	4.0×10^{-2}	1.2	1.7×10^{-2}	9.2×10^{-2}	7.7×10^{-3}	8.1×10^{-2}	2.4×10^{-3}	3.5×10^{-2}
Ba-138	4.1×10^{-1}	1.3×10	1.8×10^{-1}	1.0	8.2×10^{-2}	8.7×10^{-1}	2.5×10^{-2}	3.8×10^{-1}
La-139	7.1×10^{-4}	9.2×10^{-2}	8.1×10^{-4}	6.4×10^{-3}	7.1×10^{-4}	4.2×10^{-3}	6.9×10^{-4}	2.8×10^{-3}
Ce-140	1.5×10^{-3}	1.5×10^{-1}	1.6×10^{-3}	9.6×10^{-3}	1.6×10^{-3}	7.2×10^{-3}	1.4×10^{-3}	4.9×10^{-3}
Pr-141	<LOQ	3.2×10^{-2}	<LOQ	2.5×10^{-3}	<LOQ	1.9×10^{-3}	<LOQ	1.6×10^{-3}
Nd-143	<LOQ	2.2×10^{-2}	<LOQ	6.5×10^{-4}	<LOQ	3.5×10^{-4}	<LOQ	2.1×10^{-4}
Nd-145	<LOQ	1.7×10^{-2}	<LOQ	4.8×10^{-4}	<LOQ	3.7×10^{-4}	<LOQ	2.8×10^{-4}
Nd-146	<LOQ	2.6×10^{-2}	<LOQ	6.9×10^{-4}	<LOQ	4.3×10^{-4}	<LOQ	1.8×10^{-4}
Hf-179	<LOQ	1.9×10^{-4}	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
W-182	<LOQ	1.3×10^{-2}	<LOQ	1.1×10^{-2}	<LOQ	7.8×10^{-3}	<LOQ	<LOQ
W-183	<LOQ	3.0×10^{-2}	<LOQ	2.3×10^{-2}	<LOQ	1.8×10^{-2}	<LOQ	<LOQ
W-184	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1.9×10^{-1}	<LOQ	1.2×10^{-1}	<LOQ	4.7×10^{-2}
W-186	<LOQ	2.5×10^{-2}	<LOQ	2.0×10^{-2}	<LOQ	1.3×10^{-2}	<LOQ	<LOQ
Tl-203	<LOQ	6.5×10^{-3}	<LOQ	1.7×10^{-3}	<LOQ	1.2×10^{-3}	<LOQ	5.3×10^{-4}
Pb-204	<LOQ	4.4	<LOQ	2.0×10^{-1}	<LOQ	1.0×10^{-1}	<LOQ	5.5×10^{-2}
Tl-205	<LOQ	1.5×10^{-2}	<LOQ	4.3×10^{-3}	<LOQ	2.8×10^{-3}	<LOQ	1.5×10^{-3}
Pb-206	2.0×10^{-1}	1.0×10^2	6.1×10^{-2}	4.6	6.6×10^{-2}	2.4	1.6×10^{-1}	1.5
Pb-207	1.9×10^{-1}	9.8×10^1	6.0×10^{-2}	4.4	6.3×10^{-2}	2.3	1.6×10^{-1}	1.4
Pb-208	4.5×10^{-1}	2.3×10^2	1.4×10^{-1}	1.0×10^1	1.5×10^{-1}	5.2	3.6×10^{-1}	3.4
Bi-209	<LOQ	8.9×10^{-2}	<LOQ	8.0×10^{-3}	<LOQ	6.6×10^{-3}	<LOQ	3.0×10^{-3}
U-234	<LOQ	3.4×10^{-3}	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
U-235	2.9×10^{-4}	1.6×10^{-1}	6.1×10^{-4}	9.3×10^{-3}	2.9×10^{-4}	5.8×10^{-3}	<LOQ	2.7×10^{-3}
U-236	<LOQ	4.4×10^{-2}	<LOQ	1.6×10^{-3}	<LOQ	1.0×10^{-3}	<LOQ	4.5×10^{-4}
U-238	7.5×10^{-3}	1.1×10^1	3.4×10^{-2}	5.0×10^{-1}	1.6×10^{-2}	2.9×10^{-1}	<LOQ	1.3×10^{-1}

※1 <LOQ(Limit of quantitation): 定量下限未満

※2 下線付きの数値は検量線を超え、外挿により評価しているため、参考値とする。

※3 試料(1号機PCV堆積物試料は、試料採取に使用した約1cm角のウエスを含む。2号機養生シートは、約1cm角の養生シートを試料とした。)をイオン交換水(又は硝酸)に浸漬後、40mLに希釈したものを測定。

※4 表に示す質量数以外の多数の質量数においても、有意なカウントが得られたが、分子イオンを検出している可能性が高い、または、複数の元素を検出しているために定量値を示すことができないとの理由により、表中に記載しなかった。

(参考3) SEM-EDS元素分析結果 (面分析)

- ・ 詳細観察①～⑥はそれぞれ異なる分析視野を表しており、局所的偏在による差が見られる
- ・ 表中の元素(O～Zr)の存在割合の合計が100%となるように記載している。

1号機PCV底部堆積物

At%

詳細観察	O	Na	Mg	Al	Si	Mo*	Cl	U	K	Sn	Ca
①	49.51	13.10	1.36	3.05	6.13	1.38	0.00	0.00	0.14	0.00	0.07
②	34.16	16.33	0.73	4.09	5.75	1.76	0.07	0.00	0.06	0.00	0.10
③	32.29	12.50	0.83	4.47	12.37	1.76	0.08	0.00	0.10	0.00	0.08
④	67.89	2.70	0.00	0.98	22.79	0.21	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00
⑤	48.41	15.95	0.61	3.21	8.10	1.57	0.11	0.00	0.75	0.03	0.08

詳細観察	Cs	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	Zr	Total
①	0.00	0.52	0.09	0.07	16.11	0.36	0.38	7.74			100.00
②	0.00	1.00	0.06	0.14	23.59	0.52	0.55	11.07			100.00
③	0.00	0.90	0.05	0.15	21.15	0.54	0.63	10.27	0.65	1.17	100.00
④	0.00	2.42	0.14	0.00	1.89	0.11	0.04	0.67	0.04	0.00	100.00
⑤	0.00	0.49	0.06	0.08	12.45	0.28	0.25	7.14	0.41	0.02	100.00

* MoとSのEDS信号は重なっているが、ここではMoとしてカウントした。

* C除く

* 斜線部は未測定を意味する

2号機TIP配管内閉塞物

At%

詳細観察	O	Na	Mg	Al	Si	Mo*	Cl	U	Sn	Ca
①	17.15	18.72	0.00	1.77	2.68	0.27	0.00	0.00	0.00	0.13
②	18.03	17.47	0.00	1.36	2.73	0.20	0.00	0.00	0.00	0.08
③	43.04	8.80	0.00	0.67	3.54	0.01	0.00	0.00	0.01	0.04
④	17.98	13.66	0.00	0.97	16.33	1.17	0.00	0.00	0.00	0.06
⑤	40.50	7.43	0.00	0.69	8.44	3.25	0.00	0.00	0.00	0.08
⑥	39.54	9.54	0.00	1.72	1.81	5.49	0.00	0.00	0.00	0.43

詳細観察	Cs	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	Zr	Total
①	0.00	0.00	17.90	3.83	30.33	2.93	0.01	0.02	0.01	4.26	100.00
②	0.00	0.00	16.77	2.99	33.58	3.46	0.02	0.00	0.00	3.30	100.00
③	0.00	0.00	11.78	1.88	20.14	2.31	0.01	0.01	0.00	7.75	100.00
④	0.01	0.00	10.49	1.05	34.59	3.38	0.00	0.04	0.03	0.23	100.00
⑤	0.00	0.00	8.63	1.22	26.07	2.70	0.03	0.01	0.00	0.95	100.00
⑥	0.00	0.00	1.02	0.49	36.88	2.99	0.00	0.06	0.00	0.02	100.00

* MoとSのEDS信号は重なっているが、ここではMoとしてカウントした。

* C除く