

2号機 PCV内部調査・試験的取り出しについて

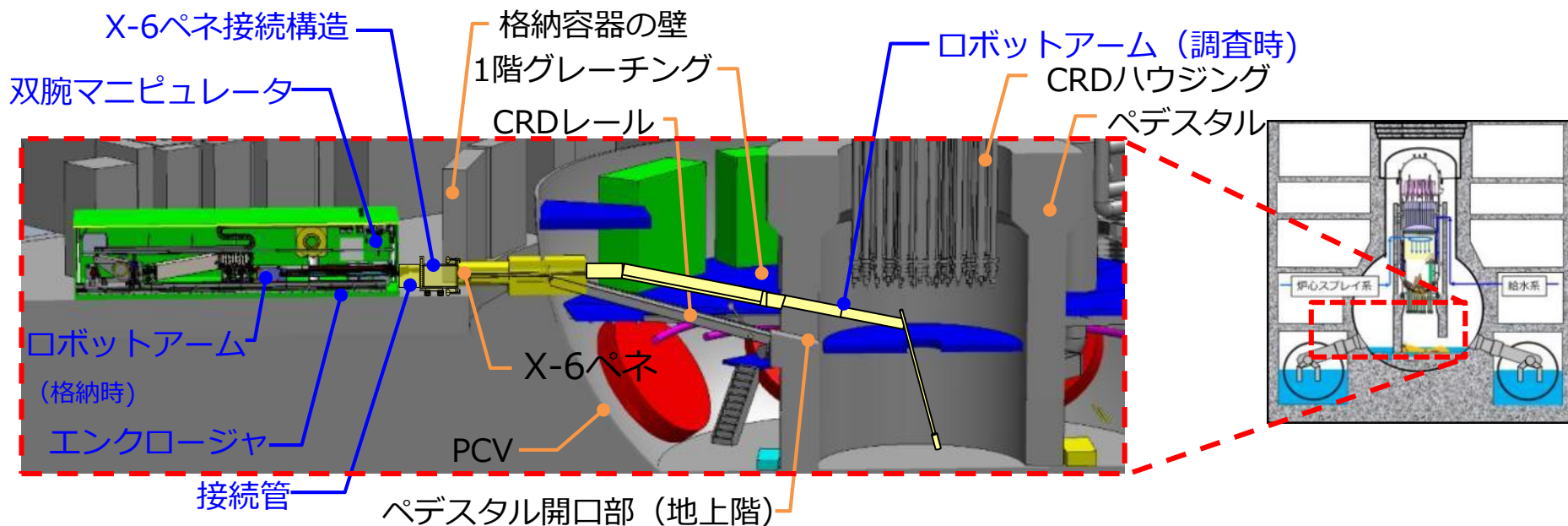
2025年6月4日



技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
東京電力ホールディングス株式会社

1. PCV内部調査及び試験的取り出しの計画概要

- 2号機においては、PCV内部調査及び試験的取り出し作業の準備段階として、作業上の安全対策及び汚染拡大防止を目的として、今回使用する格納容器貫通孔（以下、X-6ペネ）に下記設備を設置する計画
 - PCV内側と外側を隔離する機能を持つ X-6ペネ接続構造
 - 遮へい機能を持つ接続管
 - テレスコ式装置、ロボットアームを内蔵する金属製の箱（以下、エンクロージャ）
- 上記設備を設置した後、アーム型装置をX-6ペネからPCV内に進入させ、PCV内障害物の除去作業を行いつつ、内部調査や試験的取り出しを進める計画



2号機 内部調査・試験的取り出しの計画概要

2-1. 現地準備作業状況

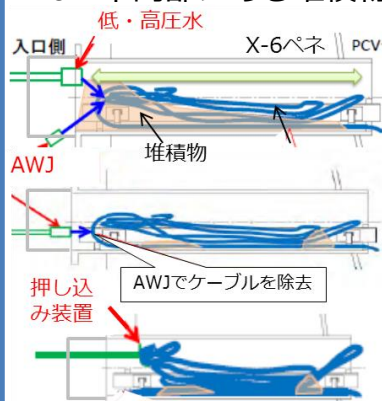
試験的取り出し作業（内部調査・デブリ採取）の主なステップ

1. 隔離部屋設置

2. X-6ペネハッチ開放

3. X-6ペネ内堆積物除去

X-6ペネ内部にある堆積物・ケーブル類を除去する

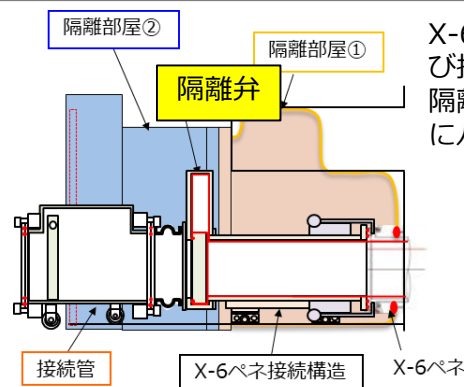


- 【低・高圧水】で堆積物の押し込み

- 【AWJ】でケーブル除去

- 【押し込み装置】でケーブルを押し込み

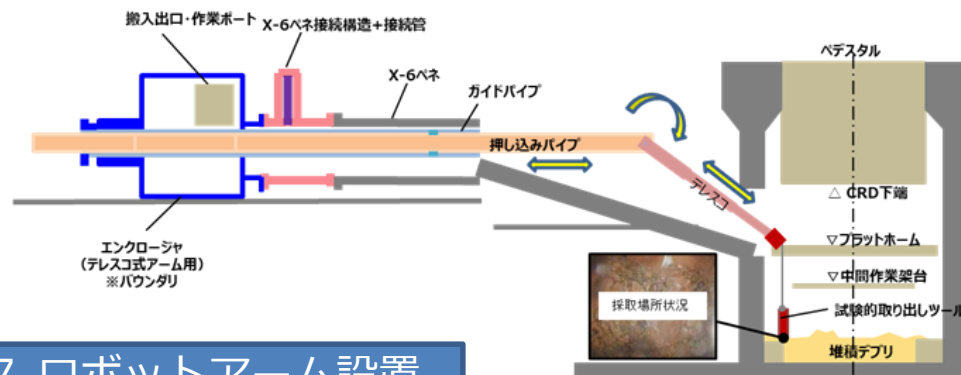
4. X-6ペネ接続構造及び接続管設置



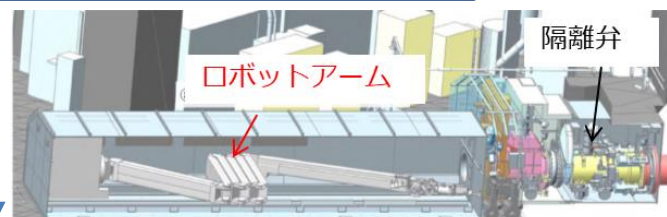
X-6ペネに接続構造及び接続管を取り付け、隔離部屋から接続構造にバウンダリを変更

5. テレスコ式装置設置

6. 試験的取り出し作業（テレスコ式装置によるデブリ採取）



7. ロボットアーム設置



8. ロボットアームによる内部調査・デブリ採取

①内部調査



（注記）

- ・ 隔離弁：PCV内/外を仕切るために設置した弁
- ・ AWJ（アブレシブウォータージェット）：高圧水に研磨材（アブレシブ）を混合し、切削性を向上させた加工機

②ロボットアームによるデブリ採取

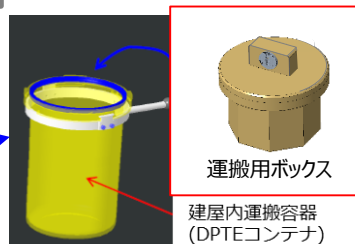
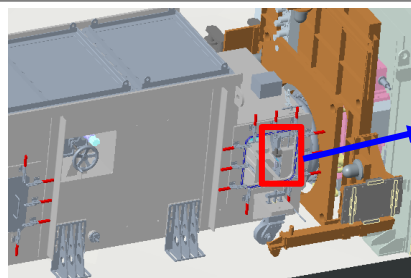


2-2. 現地準備作業状況

試験的取り出し作業（内部調査・デブリ採取）の主なステップ

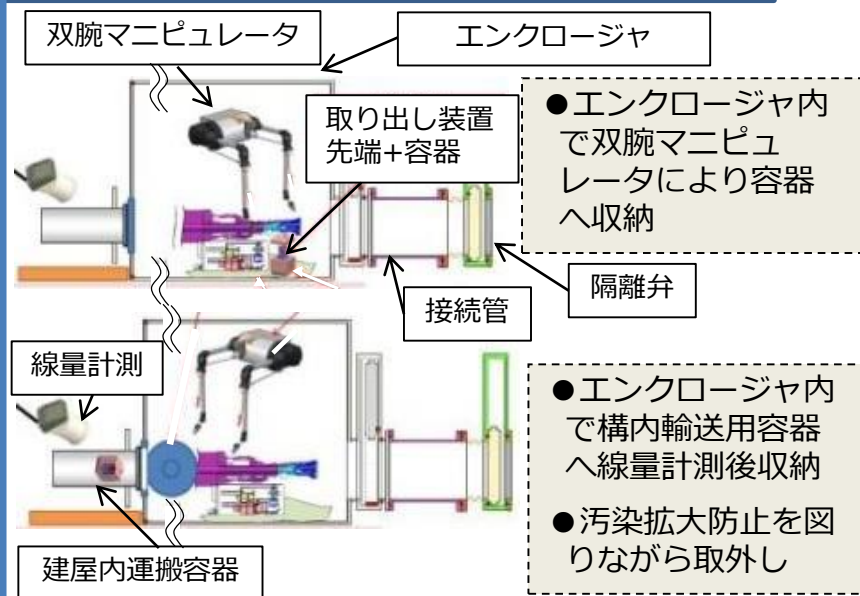
↓（前スライド ステップ6より）

9-1. 燃料デブリの収納

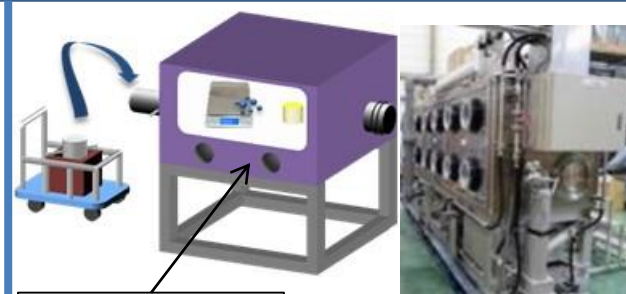


↓（前スライド ステップ8より）

9-2. 燃料デブリ回収装置先端部の収納 構内輸送用容器へ収納・線量計測



10. グローブボックス受入・計量

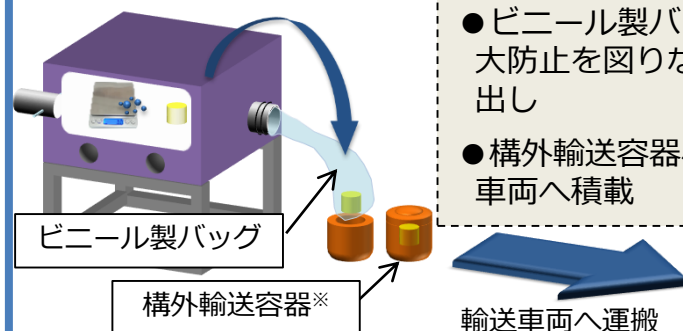


グローブボックス

<グローブボックス外観>

- 内部を負圧に
したグローブ
ボックスに受入
- グローブボッ
クス内で計量、
容器への収納を
実施

11. 容器の取出し・輸送容器へ収納・搬出



※:輸送前に、輸送物の表面線量・汚染密度等を
測定し、法令基準以下であること確認

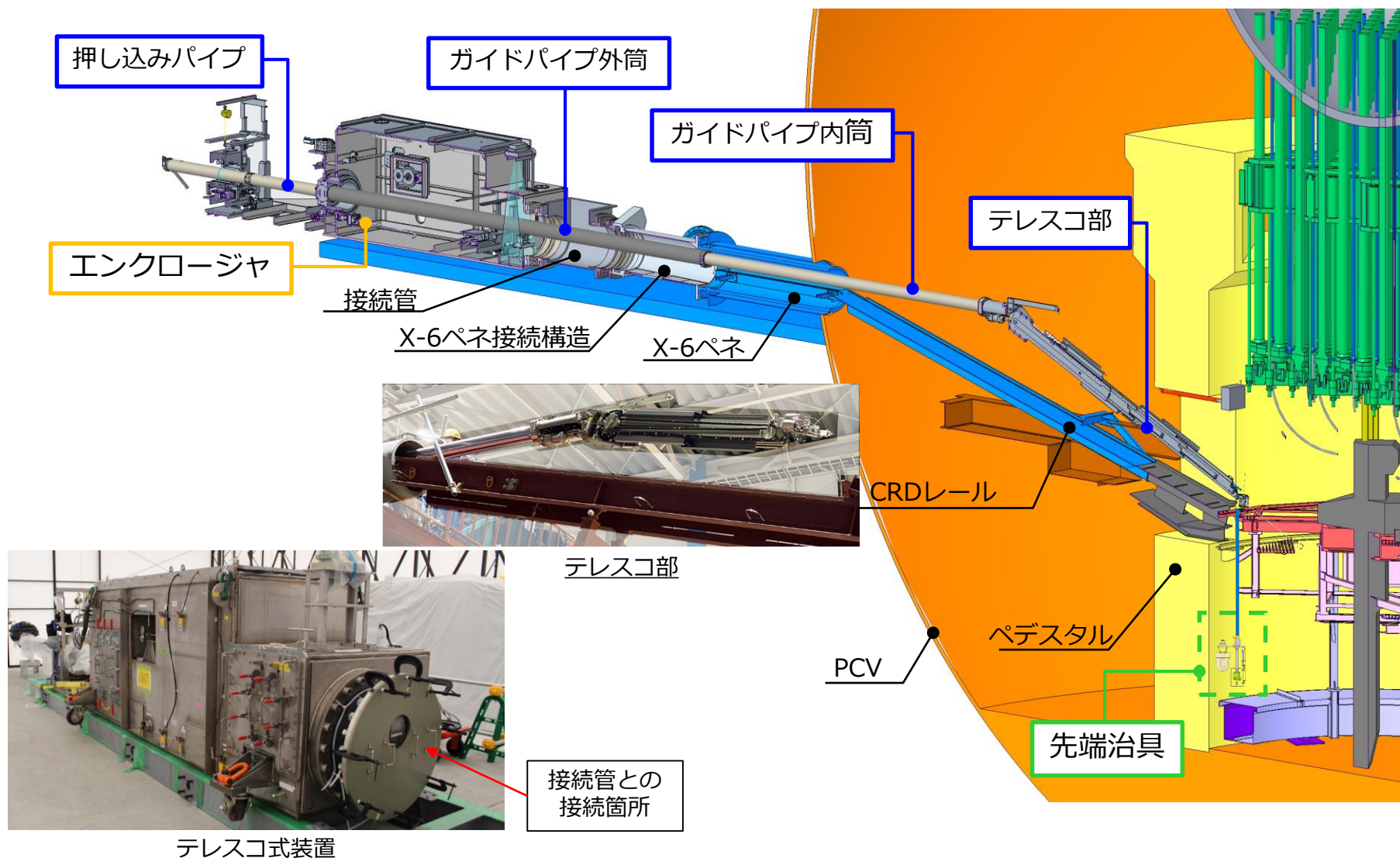
12. 構外輸送及び構外分析

（注記）

- ・ DPTEコンテナ：Double Porte pour Transfert Etancheの略
コンテナの蓋とグローブボックスのダブルドアが一体となって開閉することで、
密閉を維持しながら物を移送することが可能なコンテナ

3-1. テレスコ式装置による2回目の燃料デブリ取り出し

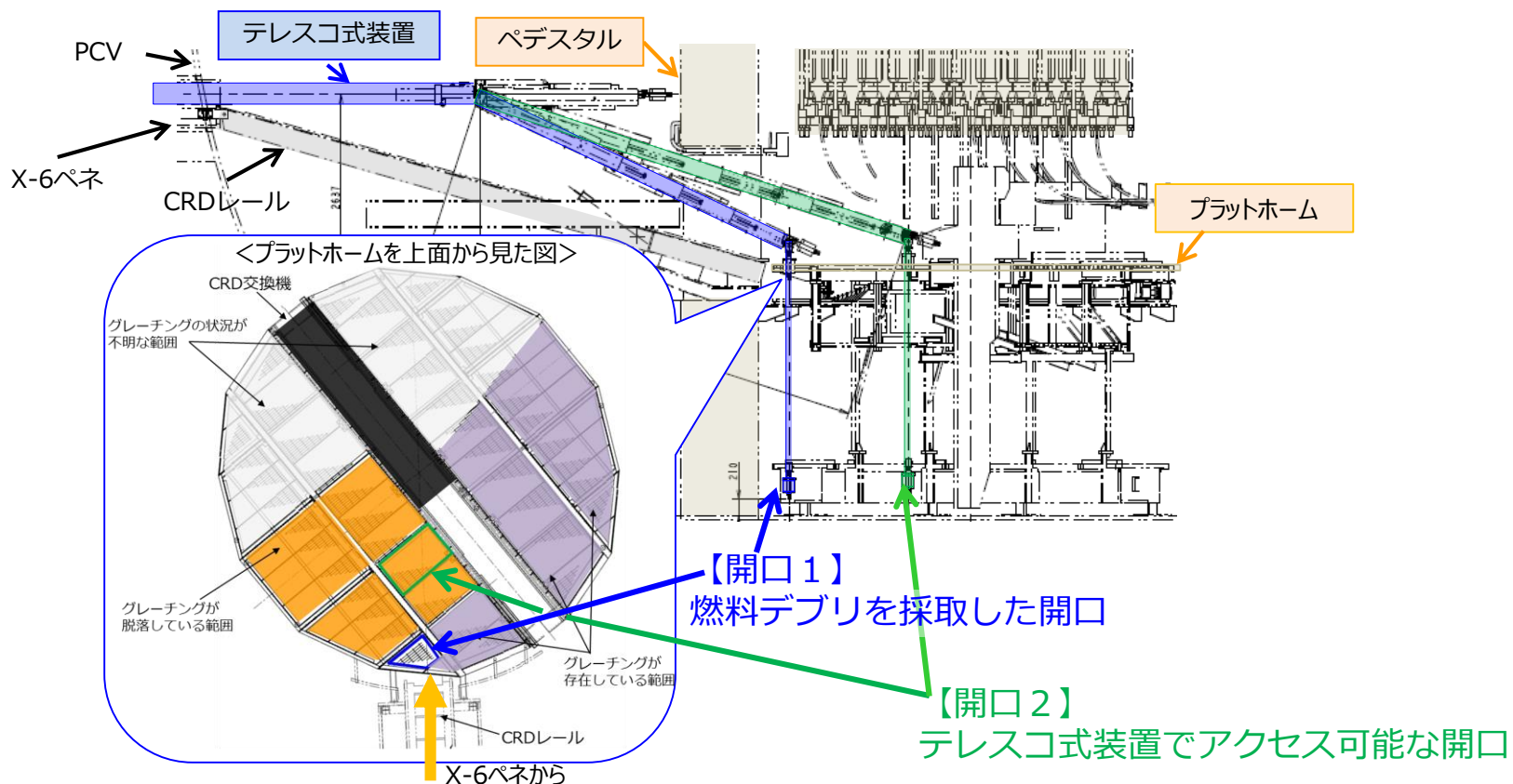
- 燃料デブリは多様な性状や分布が想定され、サンプル数を増やし知見を拡充するため、追加の燃料デブリ採取作業については採取実績があり、現在現場に設置しており使用できる環境にあるテレスコ式装置を使用



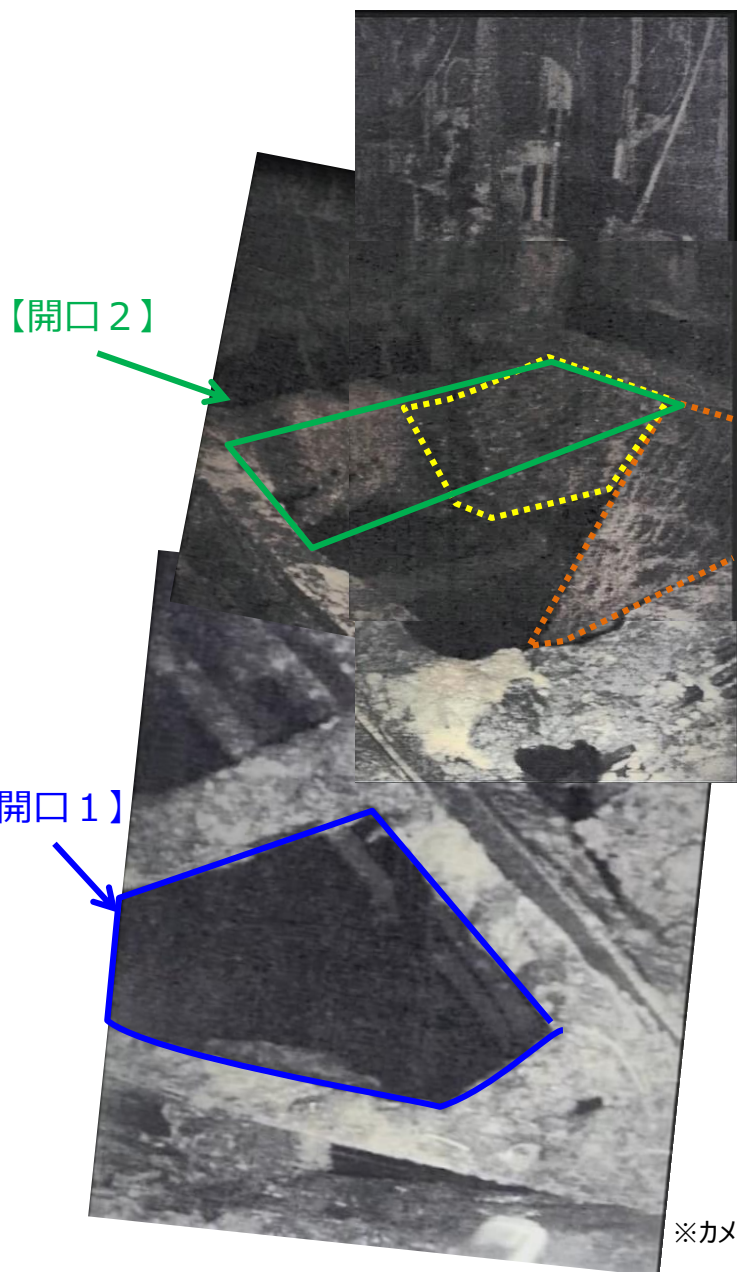
3-2. テレスコ式装置による2回目の取り出し作業の作業計画

- テレスコ式装置でペDESTAL底部へのアクセスが可能なプラットフォームの開口は2箇所（下図の開口1，2）
- 2024年10月の作業時は、ペDESTAL内（CRDレール側）の一番手前の開口1より先端治具を吊り降ろし、燃料デブリを採取
- さらに奥側の開口2については、過去の調査においても詳細は確認できていない状況
- ペDESTAL内の状況の把握及び初回の採取位置とは異なる位置から採取という観点で2回目の取り出し作業を計画

- ① プラットホーム上の開口2の状況を調査
- ② 開口2から燃料デブリの採取を計画。ただし、開口2は過去の調査からプラットフォーム上のグレーチングの残存を把握しているため、取り出し作業当日に開口2の状況を確認し、開口2からペDESTAL底部へのアクセス可否を判断
- ③ 開口2からペDESTAL底部へのアクセスが困難な場合は、前回と同様に開口1に先端治具を吊り降ろし、ペDESTAL底部からデブリを採取



3-3. テレスコ式装置による2回目の取り出し作業の作業計画 (PCV内プラットホームの開口2の状況)

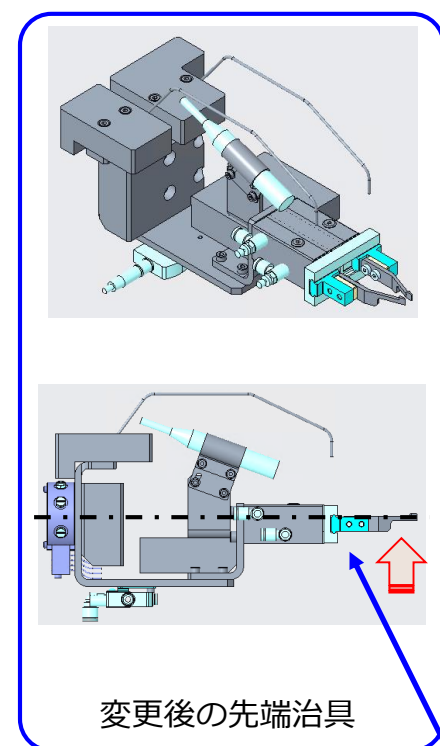
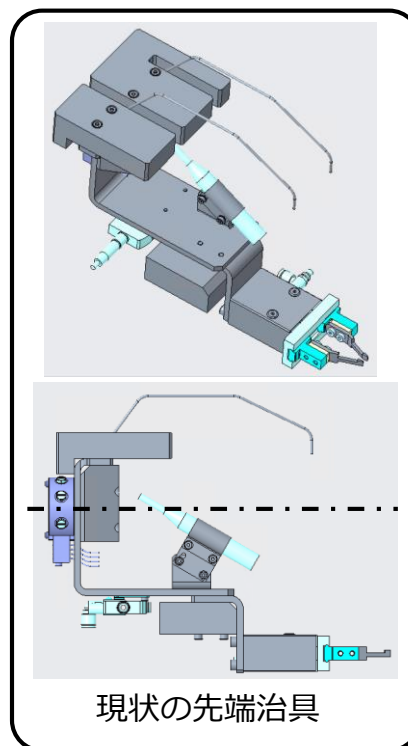
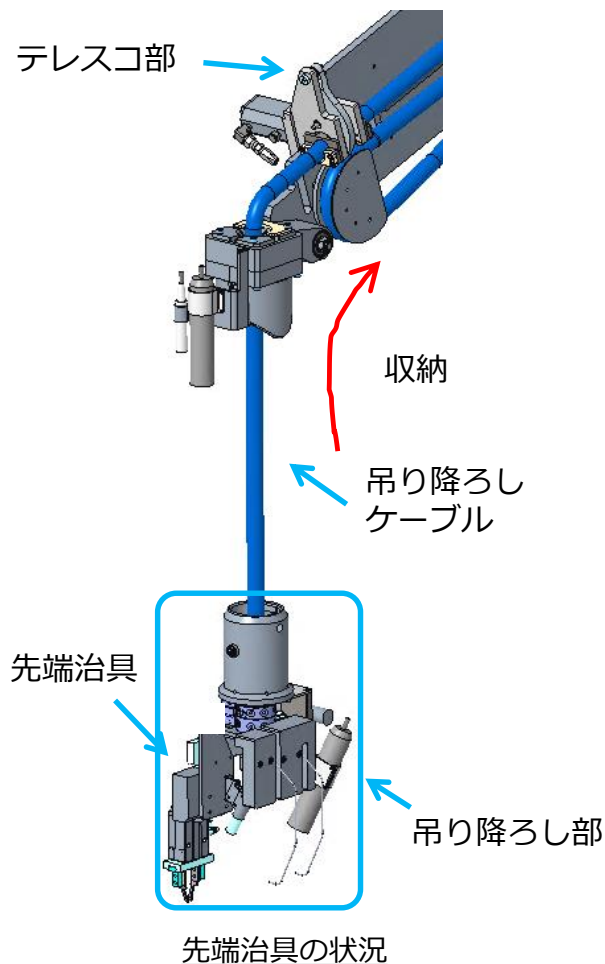


- 2024年9月作業時のテレスコ式装置のカメラ映像から遠目での開口2（左記緑枠）の状況を確認
- 開口2において、左記黄色点線部にグレーチングが残存していることを確認
- ただし、グレーチングの先端部の境界は非常に見えづらく、光が当たっても反射しない範囲にうっすらと線状のものを映像から確認
- 左記黄色点線部にグレーチングが残存していたとした場合、開口2の半分程度はグレーチングが干渉するものと推定
- 開口2の手前側には、左記橙色点線部にグレーチングが残存していることを確認

※カメラ映像の貼り合わせによる合成図

3-4. テレスコ式装置による2回目の燃料デブリ取り出し

- 初回の燃料デブリ採取の際に、先端治具の動作時に吊り降ろし部が安定せず、先端治具の操作に時間を要したことから、追加の燃料デブリ採取時には先端治具を改良

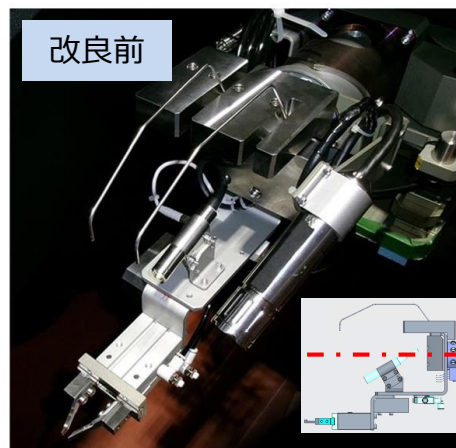


グリッパ把持部の設置位置を
先端治具の巡回中心位置に変更し、
安定性向上

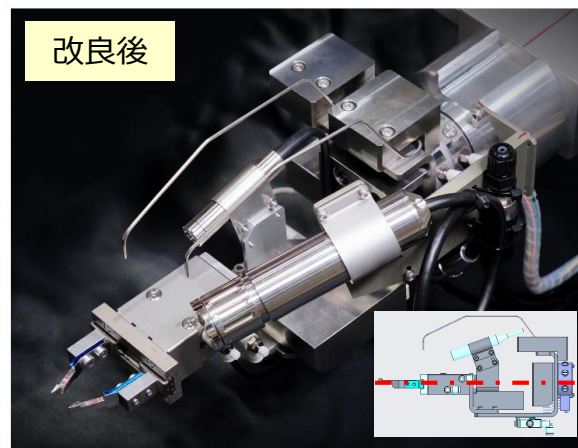
先端治具改良のイメージ図

3-5. テレスコ式装置による取り出し作業の状況

- ・ メーカー工場にて先端治具の改良及び工場での検証が完了し、模擬環境による先端治具監視カメラ及びアーム先端部カメラの交換、改良先端治具の交換の作業訓練を実施
- ・ また、押し込みパイプの模擬体を使用し、模擬環境でのパイプ取り付け及び取り外しの作業訓練を実施



改良前



改良後

改良先端治具

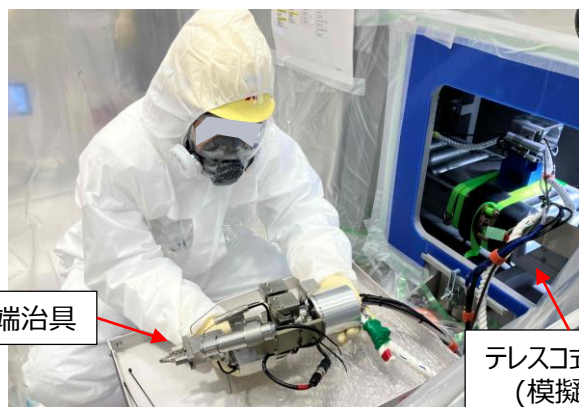
(グリッパ把持部を先端治具の旋回中心位置に変更することで安定性向上)



押し込みパイプ
(模擬体)

テレスコ式装置
(模擬体)

押し込みパイプの訓練状況



改良先端治具

テレスコ式装置
(模擬体)

先端治具交換の訓練状況



アーム先端部
(模擬体)

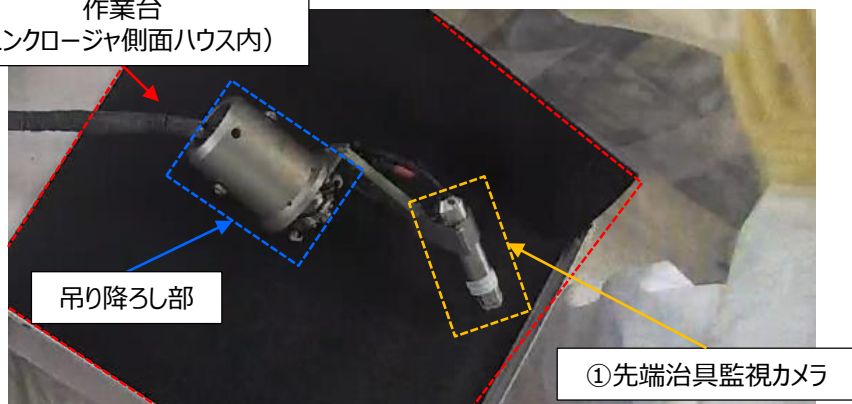
カメラ交換の訓練状況

※撮影のため反対側のハッチを開放

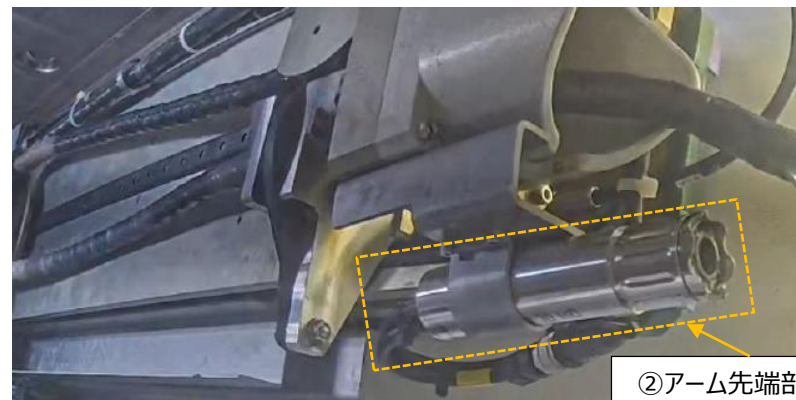
3-6. テレスコ式装置による取り出し作業の状況（カメラ及び先端治具交換） **TEPCO**

- テレスコ式装置押し込みパイプ等の実機を用いた作業員の現場確認及び作業訓練を実施
- テレスコ式装置本体のカメラ（①先端治具監視カメラ、②アーム先端部カメラ）および改良した先端治具への交換作業を行い、正常に動作することを確認。
- その後、テレスコ式装置全体の動作確認やカメラ等の交換作業用ハウスの撤去作業を実施

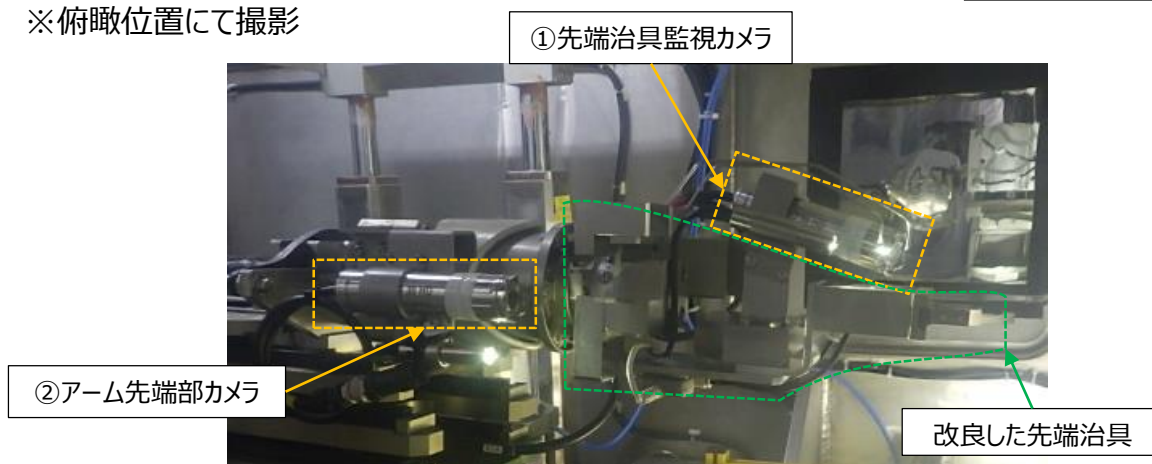
作業台
(エンクロージャ側面ハウス内)



交換した①先端治具監視カメラ
※俯瞰位置にて撮影



交換した②アーム先端部カメラ



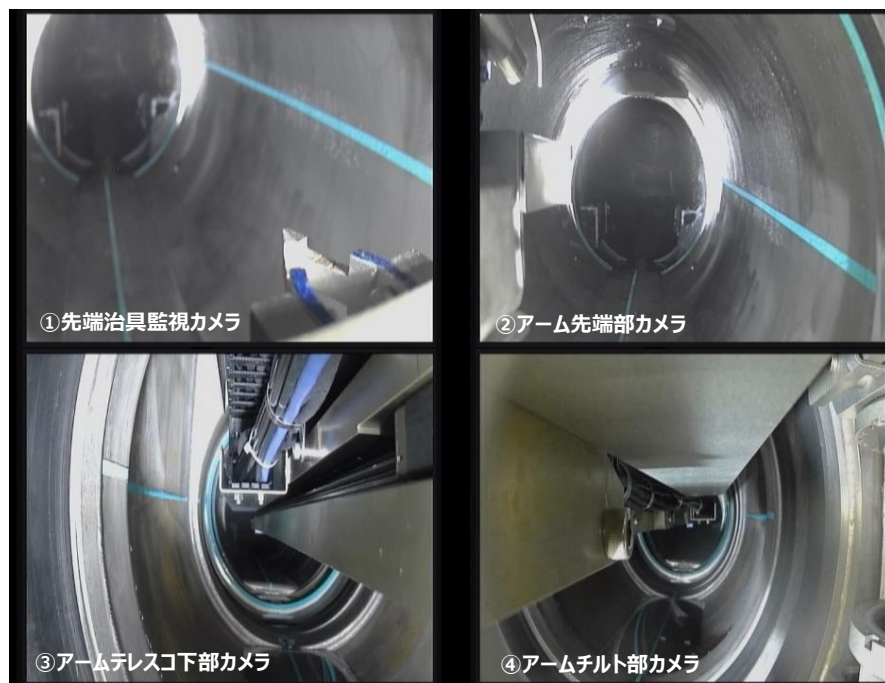
交換したカメラ①②・改良した先端治具

3-7. テレスコ式装置による取り出し作業の状況（取り出し作業着手）

- ・ エンクロージャの漏えい確認や取り出し作業に向けた事前検討や手順書の最終確認を実施
- ・ 4月15日から2回目の燃料デブリの取り出し作業に着手。X-6ペネ接続構造の隔離弁の開操作を行い、ガイドパイプの挿入作業を実施



遠隔操作室の状況



先端治具が隔離弁を通過する状況



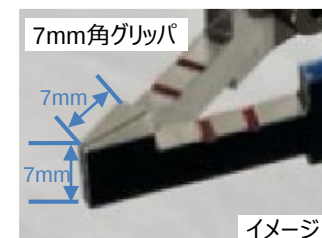
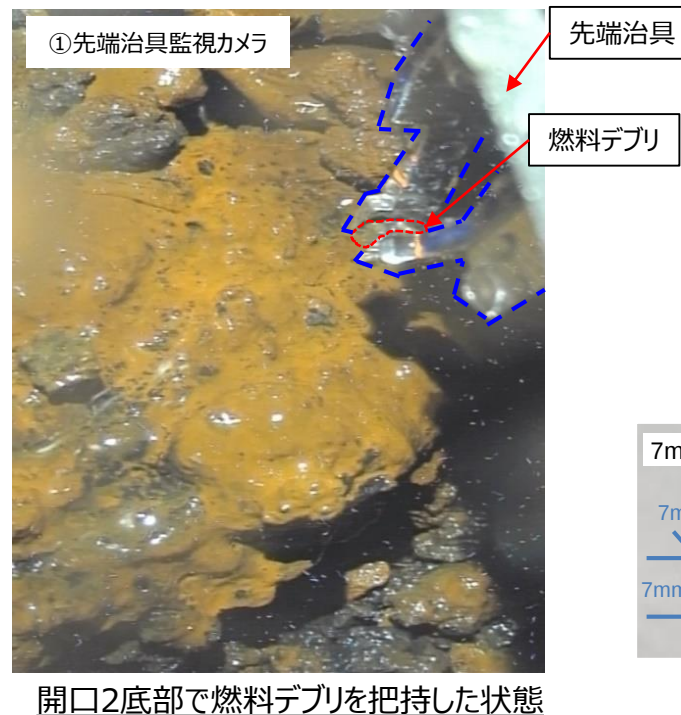
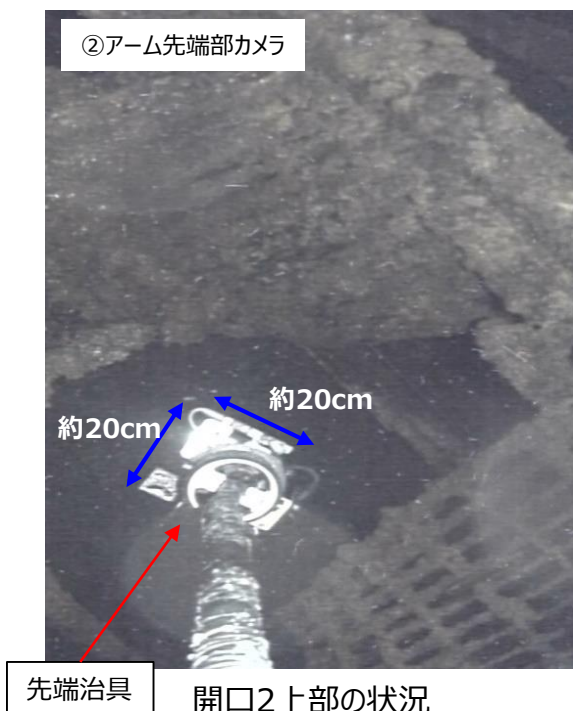
ペDESTAL壁面付近まで挿入した状況

3-8. テレスコ式装置による取り出し作業の状況（燃料デブリ把持）

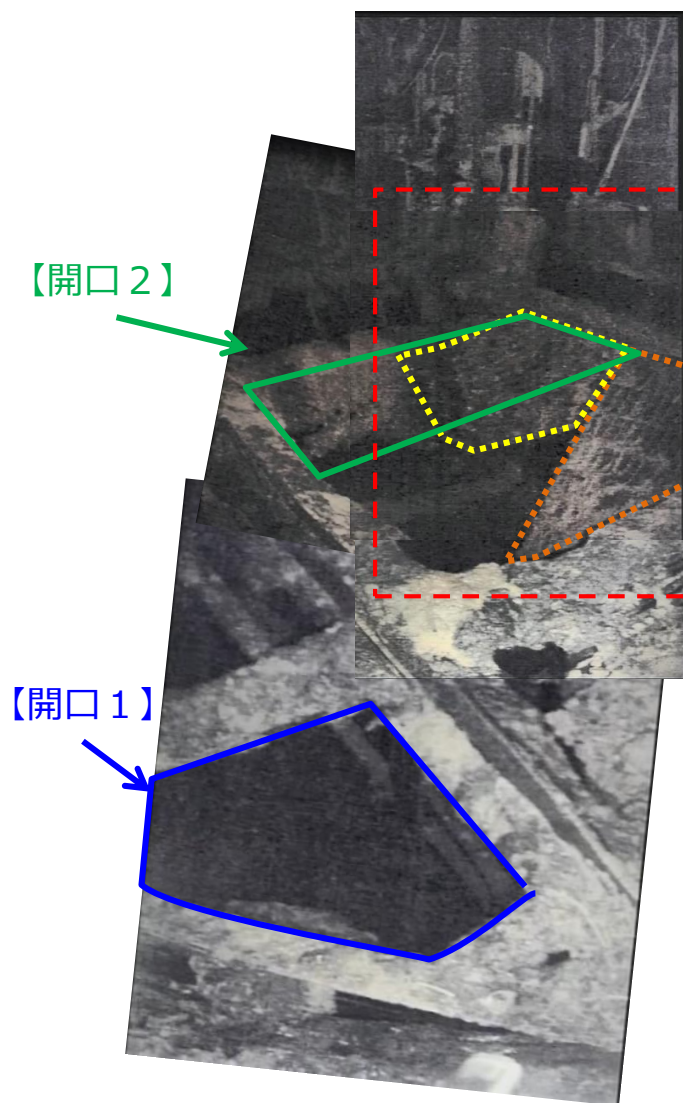
- 4月17日にペデスタル内のプラットホーム開口2の状況からアクセスできると判断し、開口2からペデスタル底部へ先端治具の吊り降ろしを行い、燃料デブリの把持を実施
- その後、テレスコ式装置が燃料デブリを把持した状態でペデスタル外まで（把持作業開始前）の位置に戻す操作を実施



遠隔操作室の状況



➤ 2024年9月のカメラ映像



※カメラ映像の貼り合わせによる合成図

➤ 2025年4月のカメラ映像



※カメラ映像の貼り合わせによる合成図

- テレスコ式装置のアーム先端部カメラにより開口2周囲の映像撮影に成功
- 開口2にグレーチングが残存していたものの、先端治具を吊り降ろせる開口があることを確認

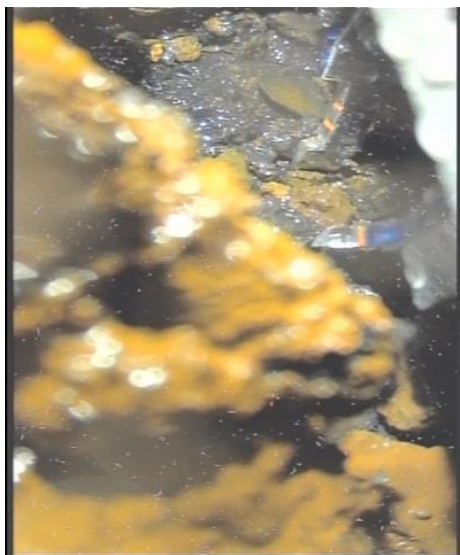
黄色点線部のグレーチング

橙色点線部のグレーチング

- ペデスタル底部での燃料デブリ採取の状況は以下の通り



①ペデスタル底部の状況



②デブリの把持前



③把持したデブリの持ち上げ



④先端治具の移動



⑤先端治具吊上げ

•開口2 底部の映像取得及び
デブリ採取に成功。

3-9. テレスコ式装置による取り出し作業の状況（運搬用ボックスへの収納） **TEPCO**

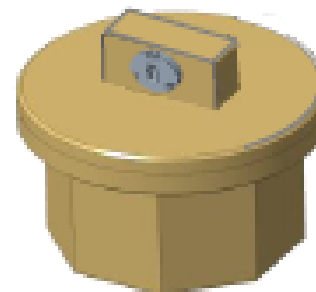
- 燃料デブリの線量率計測を行い、回収可否の判断基準「線量率24mSv/h（20cm位置）以下」であることを確認
- 把持した燃料デブリを運搬用ボックスに回収



採取した燃料デブリを運搬用ボックス（底部）へ収納した状況（4月22日）



先端治具が燃料デブリを把持している状況
（4月22日エンクロージャ上部から撮影）



運搬用ボックス
（イメージ）

3-10. テレスコ式装置による取り出し作業の状況（取り出し作業完了）

- ・ エンクロージャ側面ハッチを開放後、エンクロージャ外へ運搬用ボックスを取り出し、建屋内運搬容器へ収納
（「燃料デブリを建屋内運搬容器へ回収」＝「試験的取り出し作業の完了」）
- ・ グローブボックスに搬入し重量測定等を実施

【測定結果】 重量：約0.2 g, γ スペクトル分析： ^{154}Eu 検出あり, 線量率(@20cm) γ ：0.1mSv/h, β ：4.5mSv/h
※BG：0.1mSv/h



運搬用ボックス

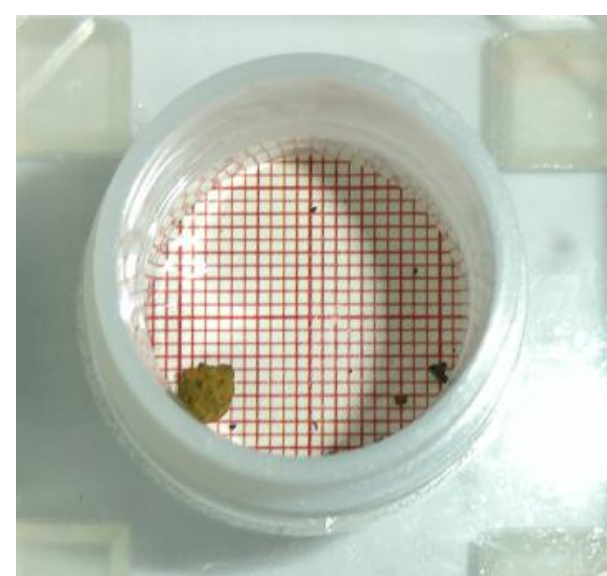
エンクロージャ側面ハッチから運搬用ボックスを取り出す様子



建屋内運搬容器

運搬用ボックス

運搬用ボックスを建屋内運搬容器へ
収納する様子



グローブボックス内で試料容器に
収納した状況

<総被ばく線量まとめ>

【人・mSv】

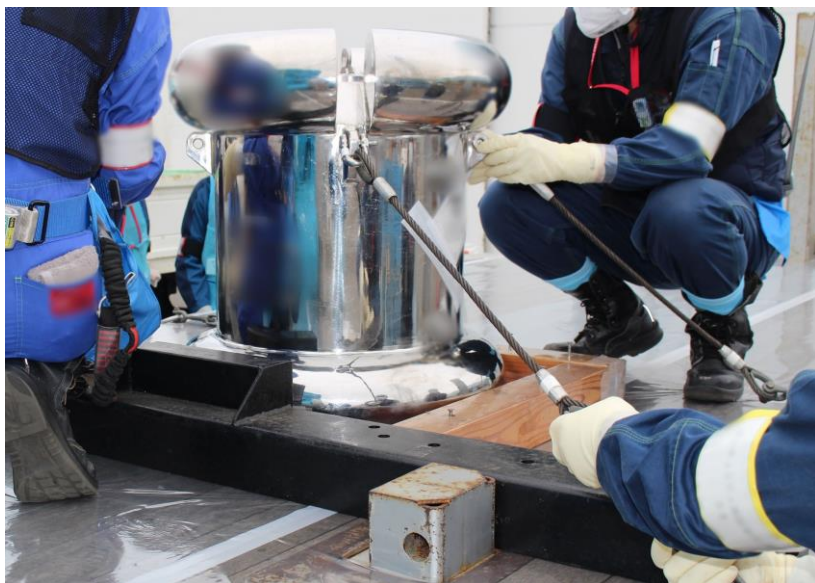
	計画	実績
初回	約710※1	約620
2回目	約190※2	約140

◆ 2回目の試験的取り出し作業における
個人最大被ばく線量は、約6mSv

※1 テレスコ式装置据付作業+燃料デブリ取り出し作業

※2 燃料デブリ取り出し作業

- グローブボックスから燃料デブリを搬出し、構外輸送容器に収納
- 構外輸送容器を構外輸送車両に積載し、日本原子力研究開発機構(JAEA)大洗原子力工学研究所へ輸送
- 輸送した燃料デブリは、1年から1年半程度をかけてJAEA等の分析施設で分析し、今後実施予定の燃料デブリ取り出し工法および安全対策や保管方法の検討等に活用



構外輸送車両に構外輸送容器を積載する状況



福島第一出発前の構外輸送車両の状況



（表側：前頁と同じ面の約45度の角度から撮影）



（裏側：斜め約45度の角度から撮影）

燃料デブリサンプルの外観・拡大写真

<外観>

- 受け入れた燃料デブリサンプルは、不均一なサンプルであった。
- 全体的に茶色に近い褐色（1回目よりも明るい色合い*）であり、表面に黒色の領域や空孔が認められた。*肉眼で見た印象
- スケールにより測定した結果、最も大きいサンプルの大きさは約5mm×約4mmであった。

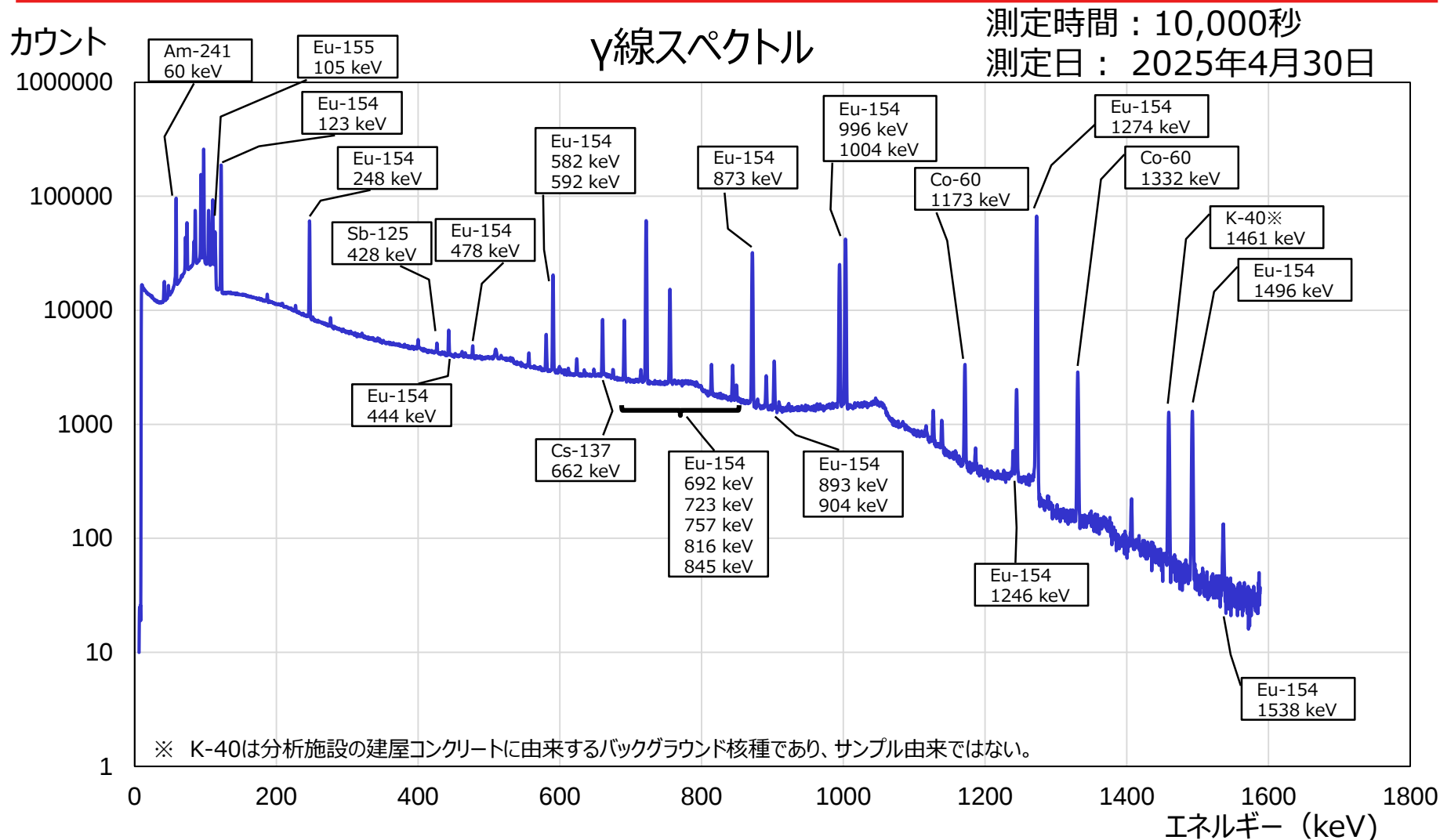
<重量> 0.187g（サンプルの総重量）

<線量率> 約0.3mSv/h

（γ線：電離箱を使用し、試料をポリプロピレン製の容器に収納した状態で測定（試料から1～2cmの距離））

* なお、IP像（線量分布）は、線量が高く、試料も小さいため、分布を正確にとらえることはできなかった。

3-13. γ 線スペクトロメトリ測定結果（JAEA大洗原子力工学研究所）



- Eu-154の他、核燃料中のU-238の中性子捕獲反応等で生じるAm-241が検出されていることから、核燃料成分が含まれている。
- 検出された核種は1回目取出しの燃料デブリサンプルと同様であることが確認された。

3-14. 燃料デブリサンプルの分析全体フロー

- 非破壊分析のうち、外観、重量、線量率及びγ線スペクトルメトリの分析が終了。
- 今後も非破壊分析を継続し、夏頃を目途に非破壊分析結果を取りまとめ、速報する。
- 詳細分析（固体分析及び溶液分析）については、分析施設受け入れから1年～1年半程度かけて分析を行い、結果の取りまとめを行う予定。

【福島第一原子力発電所 2号機】

↓ 燃料デブリ輸送(4/25)

【JAEA大洗研】

γ線スペクトロメトリ
外観、重量、線量率、IP

X線CT
SEM-WDX

- 燃料デブリに含まれる主要な結晶相の種類、存在割合を評価するために、NDCにおけるXRDを用いた結晶構造の分析を追加予定。
- 分析対象核種を追加するために、NDCに放射能分析を追加予定。

非破壊分析※1

【JAEA播磨】 (SPring-8)

固体分析※1 (機械分析)

溶液分析※1 (化学分析)

μ-XAFS
μ-XRF
μ-XRD

SEM-WDX
TEM-EDX
SIMS

ICP-MS
放射能分析

【JAEA原科研】

ICP-AES
TIMS
放射能分析

【NDC】

XRD

ICP-MS
ICP-AES
放射能分析

【NFD】

SEM-EDX
TEM-EDX
ラマン分光

主要な 分析結果

微小結晶
構造
U等の価数

燃料成分元素組成
U同位体比
元素、化合物分布
放射能濃度

主要元素組成
U同位体比
放射能濃度

元素組成
U同位体比
放射能濃度
結晶構造

U結晶構造、
組成、
元素分布

※1 各分析の概要及び目的を参考資料に記載

4-1. ロボットアームの試験状況（性能確認試験項目）

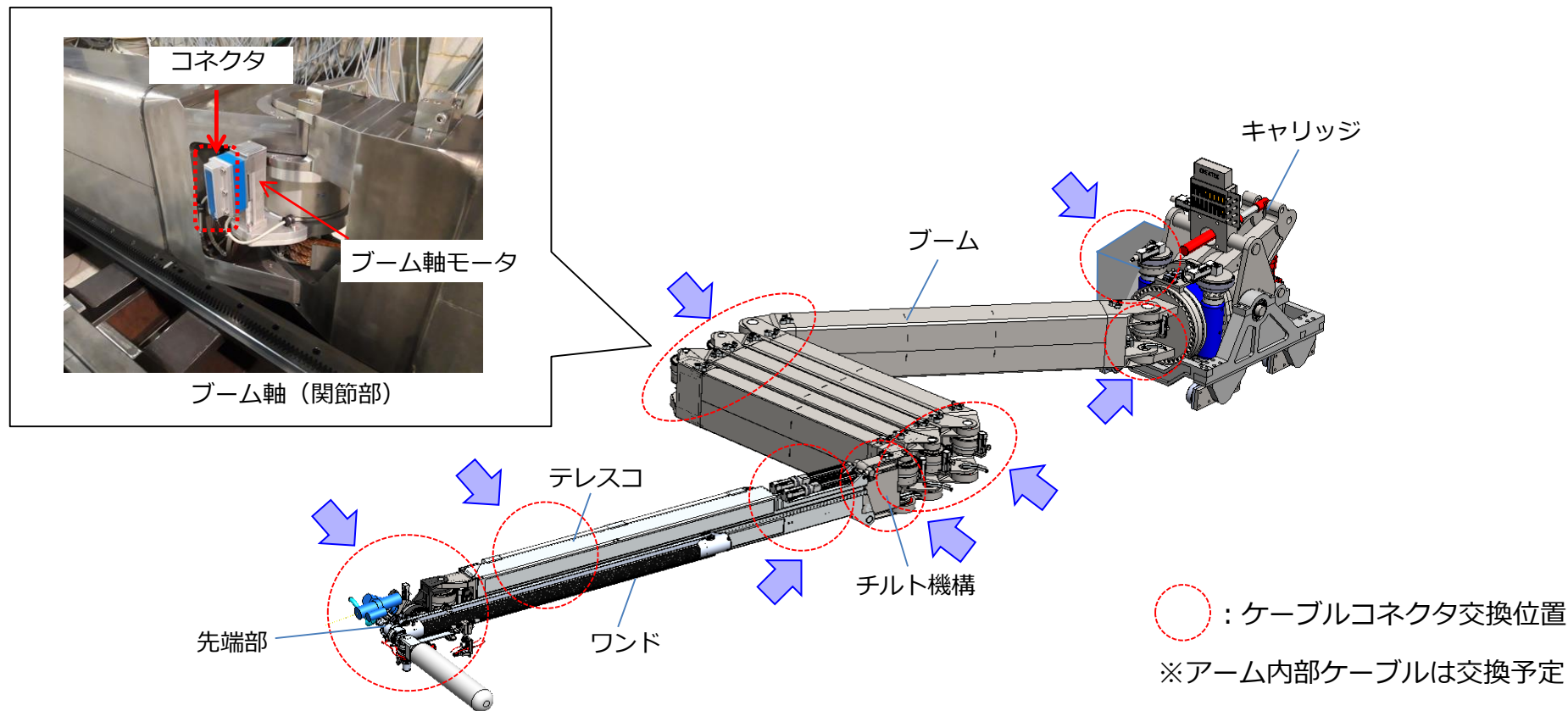
- ・ 桤葉モックアップ施設を用いて、福島第一の現場を模擬したモックアップ試験（組合せワンスルー試験）が完了
- ・ 遠隔操作でアームに搭載したAWJツールによる障害物を除去しアクセスルートの構築が可能なことやアームにセンサや取り出し装置を搭載しペDESTAL内でのデータ取得や模擬デブリの採取、双腕マニピュレータによるセンサやツール等の取外／取付作業が実施でき、作業の成立性を確認
- ・ ただし、作業に万全を期するため、試験中に確認された経年劣化箇所を踏まえ、類似箇所の部品交換等を含めて、ロボットアームの全体点検を実施中
- ・ また、ロボットアームの開発に加えて、実作業を模擬した手順、オペレータの操作性、装置の信頼性を踏まえて、実際の現場適用性について確認していく

性能確認試験項目

試験分類	試験項目	JAEA桤葉
アーム関連	X-6ペネの通過性	完了
	AWJによるX-6ペネ出口の障害物撤去	完了（作業効率化検討中）
	各種動作確認（たわみ測定等）	完了
	PCV内部へのアクセス性（ペDESTAL上部および下部へのアクセス）	完了
	PCV内部障害物の撤去（X-6ペネ通過後のPCV内障害物の切断）	完了（作業効率化検討中）
双腕マニピュレータ関連	センサ・ツールとアームの接続	完了
	外部ケーブルのアームへの取付/取外し	完了
	センサ・ツールの搬入出	完了
	アーム固定治具の取外し	完了
	アームカメラ/照明の交換	完了
	エンクロージャのカメラの位置変更	完了
	アームの強制引き抜き	完了
組合せワンスルー試験 （アーム+双腕マニピュレータ）	センサ/外部ケーブル、ツール/外部ケーブルのアームへの取付等	完了
	ペDESTAL上部調査（センサ、ワンド搭載）	完了
	ペDESTAL下部調査（センサ、ワンド搭載）、燃料デブリ採取	完了
	アクセスルート構築（AWJツール搭載し、障害物撤去）	完了
全体点検	全体点検（メンテナンス）	実施中
組合せ検証試験	全体点検（メンテナンス）後の動作確認	今後実施予定

4-2. ロボットアームの試験状況（メンテナンス）

- ロボットアームの動作試験において、モータケーブルの経年劣化による断線を確認したことから、ケーブル及びコネクタを交換し試験を実施
- 試験中に確認された経年劣化箇所を踏まえ、類似箇所の部品交換等を含めて全体点検を実施中
- なお、テレスコ式装置カメラの不具合事案を受けて、対応について水平展開すべく検討を進めているところ



ロボットアーム概要図

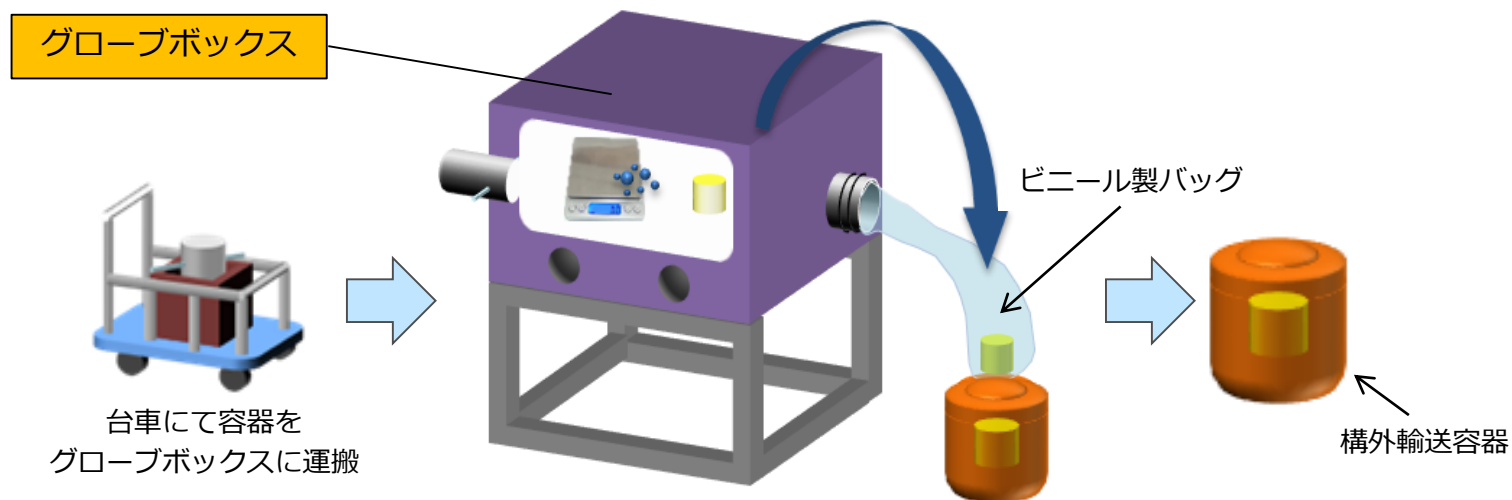
5. 工程

- ・ テレスコ式装置による追加の燃料デブリ採取に向けて、先端治具の吊り降ろしを安定させるための改良及び工場での検証を実施。また、前回の作業実績を踏まえた作業員の習熟訓練を実施。
- ・ 福島第一の現場にてテレスコ式装置の実機を用いた現場確認及びテレスコ式装置本体のカメラ（先端の2台）及び先端治具の交換作業を実施。
- ・ 4月15日より2回目の取り出し作業に着手し、4月17日に開口2からペDESTAL底部にアクセスし燃料デブリを把持、4月23日に建屋内運搬容器に収納し2回目の取り出し作業が完了。また、4月25日に構外輸送が完了。
- ・ ロボットアームについては、試験中に確認された経年劣化箇所を踏まえ、類似箇所の部品交換等を含めて全体点検を実施中。なお、テレスコ式装置カメラの不具合事案を受けて、対応について水平展開すべく検討を進めているところ。
- ・ テレスコ式装置での燃料デブリの追加採取及びロボットアームの試験状況を踏まえ、安全かつ慎重に試験的取り出しを進めるべく、今後の工程等の詳細について精査していく。

		2024年度	2025年度			
		第4Q	第1Q	第2Q	第3Q	第4Q
テレスコ式装置	堆積物除去作業 装置製作・設置準備等	2回目準備				
	デブリ採取		2回目			
ロボットアーム	ワンスルー試験・試験結果に応じた 必要な追加開発や点検・保守等					
	設置準備等・アクセスルート構築					
	内部調査・デブリ採取					

：これまでの実績 ：開始時期と終了時期は精査中

- 採取した燃料デブリは、テレスコ式装置またはロボットアームのエンクロージャから搬出する際に線量測定を行い、原子炉建屋内に設置するグローブボックスまで運搬し、グローブボックス内で各種測定を行う。測定後、汚染拡大防止措置を実施し、構外運搬を行う。



- 内部を負圧にしたグローブボックスに受入
- グローブボックス内で各種測定、容器への収納を実施
- ビニール製バッグにて汚染拡大防止を図りながら容器を取り出し
- 構外輸送容器へ収納し、輸送車両へ積載

- 試験的取り出しで採取した燃料デブリは、構外分析施設（JAEA大洗）に輸送。
- 法令上の各種試験条件に置かれた場合に、輸送容器の密封性能が失われないことを確認。
- 試料容器（ポリエチレン製）収納された燃料デブリは、つぼ型容器（ポリプロピレン、鉛製）に収納された状態でポリ塩化ビニール樹脂製の袋に密封した上で輸送容器に収納する。
- また、輸送前に燃料デブリを収納した状態で表面線量率及び表面汚染密度が基準値を下回ることを確認。
- 事故等が発生した場合においても、放射性物質が漏えいしないよう対策を講じている。
- 万が一漏えいした場合には、放射線測定を行い、ロープや標識で区画し立ち入りを制限し、除染することで、公衆への被ばくを抑制する。また、関係機関へ速やかに連絡する。
- 輸送に従事する者に教育及び訓練を実施。

法令上の技術基準

項目	内容
放射エネルギー	A2値比の総和が1以下（約 3.7×10^{10} Bq）
線量当量率	輸送物表面 : 2mSv/h以下 輸送物表面から1m : 100μSv/h
表面汚染密度	アルファ核種 : 0.4Bq/cm ² それ以外 : 4Bq/cm ²
輸送容器の試験条件	自由落下試験、圧縮試験、貫通試験等



＜仕様＞
直径：約60cm
高さ：約70cm
重量：約1,000kg

A型輸送容器

燃料デブリサンプル（２回目）の 非破壊分析結果について（速報）

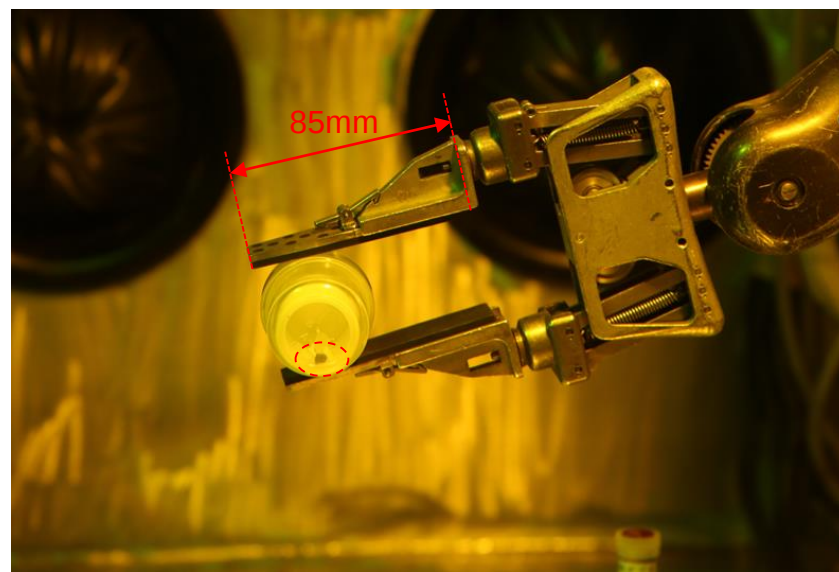
2025年 5月 29日
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
東京電力ホールディングス株式会社

本報告は、令和7年度開始 廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金に係る補助事業（燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発）の成果に関するものである。

- 試験的取り出し作業（2回目）により、2号機ペDESTAL内床面から燃料デブリサンプルが採取された。
- 4月25日に、JAEA大洗原子力工学研究所照射燃料集合体試験施設（FMF）に燃料デブリサンプルを受入れ、4月28日から非破壊分析を開始した。



燃料デブリを収納したキャスク



試料容器内の燃料デブリサンプルの様子

- 非破壊分析のうち、外観、重量、線量率及びγ線スペクトルメトリの分析が終了したため、その結果を速報する。

【福島第一原子力発電所 2 号機】

↓燃料デブリ輸送(4/25)

【JAEA大洗研】

γ線スペクトロメトリ
外観、重量、線量率、IP

X線CT
SEM-WDX

- 燃料デブリに含まれる主要な結晶相の種類、存在割合を評価するために、NDCにおけるXRDを用いた結晶構造の分析を追加予定。
- 分析対象核種を追加するために、NDCに放射能分析を追加予定。

非破壊分析

【JAEA播磨】 (SPring-8)

μ-XAFS
μ-XRF
μ-XRD

SEM-WDX
TEM-EDX
SIMS

ICP-MS
放射能分析

【JAEA原科研】

ICP-AES
TIMS
放射能分析

【NDC】

XRD

ICP-MS
ICP-AES
放射能分析

【NFD】

SEM-EDX
TEM-EDX
ラマン分光

固体分析
(機械分析)

溶液分析
(化学分析)

主要な
分析結果

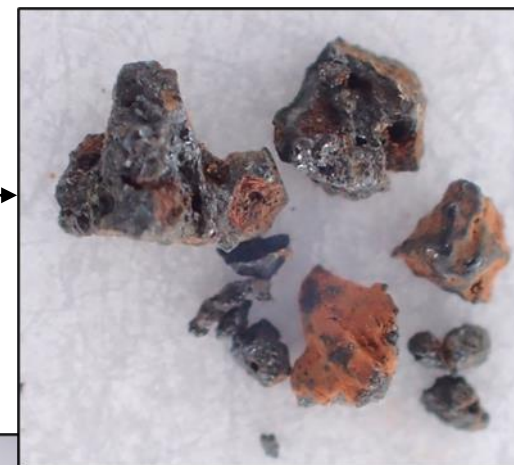
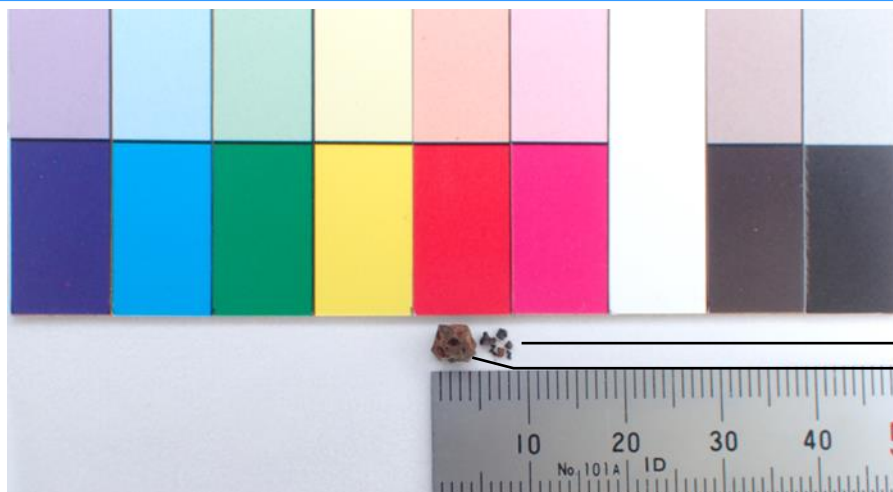
微小結晶
構造
U等の価数

燃料成分元素組成
U同位体比
元素、化合物分布
放射能濃度

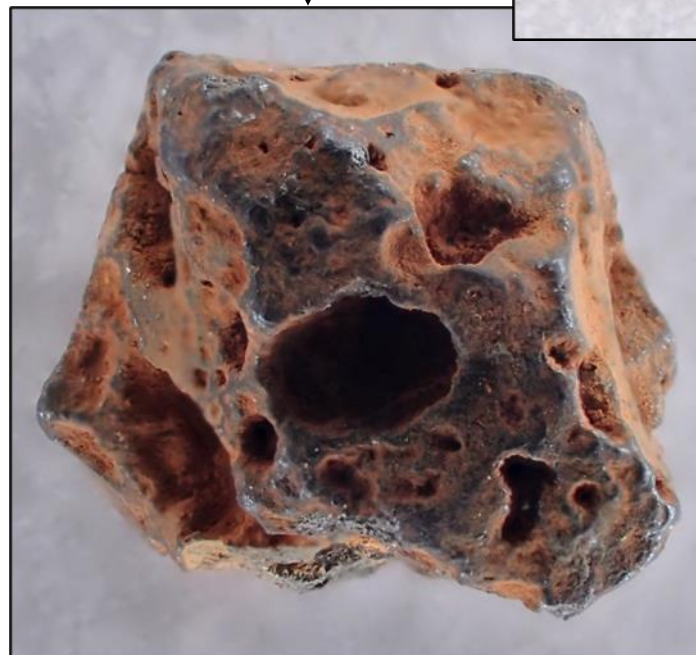
主要元素組成
U同位体比
放射能濃度

元素組成
U同位体比
放射能濃度
結晶構造

U結晶構造、
組成、
元素分布



燃料デブリサンプルの外観
(色見本、スケール付)



燃料デブリサンプルの外観・拡大写真
(真上から撮影)



（表側：前頁と同じ面の約45度の角度から撮影）



（裏側：斜め約45度の角度から撮影）

燃料デブリサンプルの外観・拡大写真

<外観>

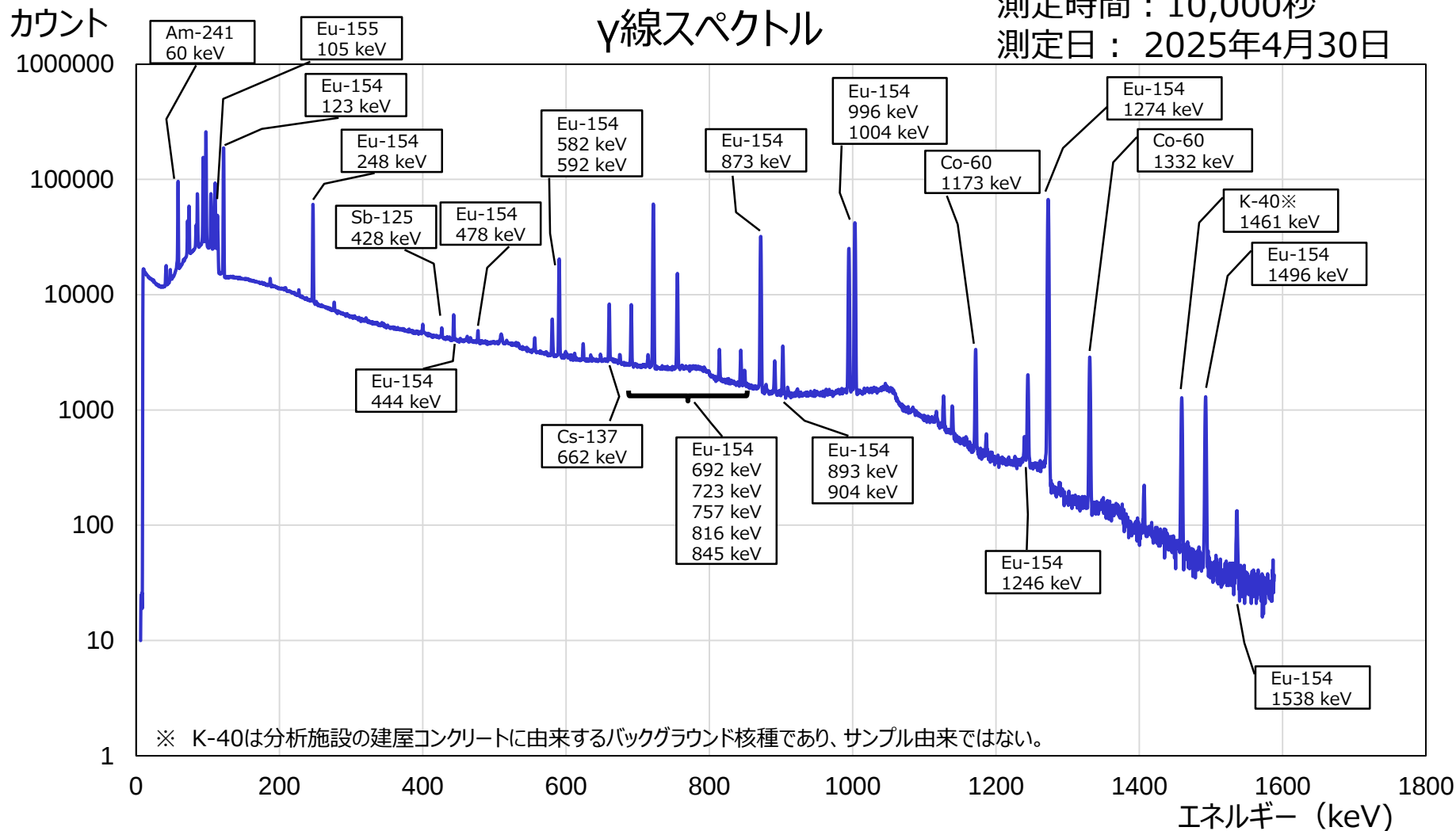
- 受け入れた燃料デブリサンプルは、不均一なサンプルであった。
- 全体的に赤褐色（1回目よりも明るい）であり、表面の一部に黒色の部分が認められた。
- スケールにより測定した結果、最も大きいサンプルの大きさは約5mm×約4mmであった。

<重量> 0.187g（サンプルの総重量）

<線量率> 約0.3mSv/h

（γ線：電離箱を使用し、試料をポリプロピレン製の容器に収納した状態で測定（試料から1～2cmの距離））

* なお、線量率が高く、IP像（線量分布）は・・・（現在取得中）



- Eu-154の他、核燃料中のU-238の中性子捕獲反応等で生じるAm-241が検出されていることから、核燃料成分が含まれている。
- 検出された核種は1回目取出しの燃料デブリサンプルと同様であることが確認された。

【まとめ】

- 受け入れた燃料デブリサンプルは、不均一で全体的に赤褐色（1回目よりも明るい）であり、表面の一部に黒色の領域が認められた。
- 大きさは一番大きいサンプルで約5mm×約4mm、重量は0.187g、線量率（ γ 線）は約0.3mSv/hのサンプルであった。
- γ 線スペクトロメトリの結果、Am-241が検出され、燃料成分が含まれることがわかった。

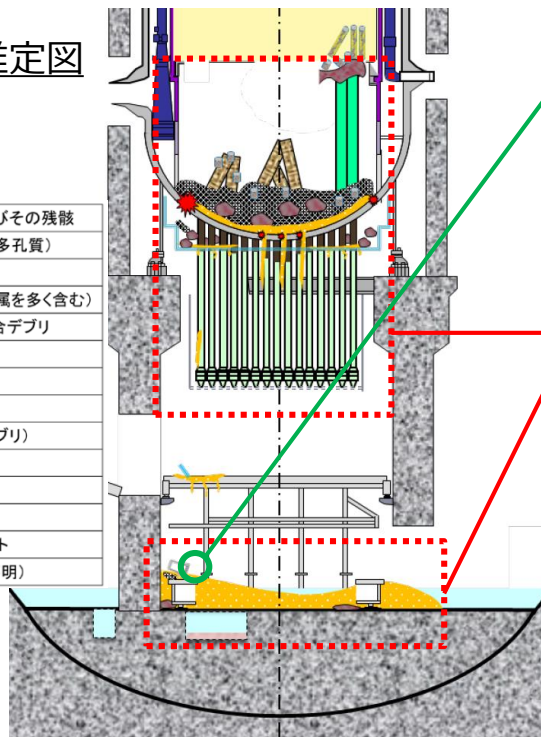
【2回目サンプル分析の今後の予定】

- 非破壊分析を継続し、夏頃を目途に非破壊分析結果を取りまとめ、速報する。
- 詳細分析（固体分析及び溶液分析）については、非破壊分析後1年程度かけて実施し、取りまとめる予定。

- 得られたサンプルの分析を通じて、サンプル取得箇所の状況を把握するとともに、燃料デブリの生成過程を推定する。
- ⇒ 炉内状況の推定をより精緻にすることで、燃料デブリを安全に回収し十分に管理された安定保管の実現に向けて、燃料デブリ取り出し本格化に向けた検討の基礎とする。
- ＜「炉内状況の推定」から「燃料デブリ取り出し方策検討」への反映例＞
 - 燃料デブリの硬さの推定→取り出し工法・工具の選定
 - 燃料デブリの臨界の可能性→安全対策、保管方法の検討

炉内状況推定図
2号機^[2]

	残留燃料棒及びその残骸
	酸化物デブリ(多孔質)
	粒子状デブリ
	燃料デブリ(金属を多く含む)
	コンクリート混合デブリ
	CRGT
	破損したCRGT
	CRD
	CRD(内部にデブリ)
	シュラウド
	ペレット
	RPV破損口
	上部タイプレート
	堆積物(材質不明)



1. サンプル取得箇所の状況の把握

● 廃炉ニーズに即した情報の取得

- ✓ サンプル中の主要構成成分（核種・元素）の種類・濃度等を把握し、各成分の由来を検討
- ✓ サンプル中の燃料成分の含有率・分布を把握

2. 燃料デブリ生成過程の推定

● 事故時の炉内環境の検討を通じた、燃料デブリ性状の推定

- ✓ サンプル中でUを含む相の微細構造、構成相の組成や結晶構造等から、サンプルの生成条件を推定
- ✓ 既存の事故シナリオや内部調査結果との比較から、サンプル取得箇所の周辺を評価（今後採取される複数のサンプル分析結果を踏まえて評価）

[2] JAEA, 令和4年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金(燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発(原子炉圧力容器の損傷状況等の推定のための技術発))2022年度最終報告。

1. サンプル取得箇所の状況の把握

青字：追加分析

分析項目	分析方法	評価内容	廃炉への主な活用例
基本情報 ・外観、重量 ・線量率 ・密度分布	・外観、重量、線量率測定 ・イメージングプレート(IP) ・X線CT	基本情報の整理	取り出し検討のための基本情報 (空隙の有無や多さなど)
元素含有率 (元素組成)	・ICP-MS、ICP-AES	燃料成分の含有率 主要成分の由来	臨界評価などの取り出し時の安全対策や、 保管方法の検討のための基本情報
同位体比	・TIMS ・SIMS	U同位体比	
元素、化合物とその分布	・SEM-EDX、SEM-WDX ・TEM-EDX ・XRD	元素、化合物（空隙含む）の分布評価	取り出し工法・工具の検討のための基本情報 (硬さ、じん性の推定など)
放射能濃度	・γ線スペクトロメトリ ・α線スペクトロメトリ ・β線スペクトロメトリ ・液体シンチレーションカウンタ 他	注目核種とUとの帯同性 分析対象核種の放射能量	燃料デブリ取り出し時の非破壊測定技術開発の検討ための情報 処理・処分の検討のための情報

2. 燃料デブリ生成過程の推定

分析項目	分析方法	評価内容	廃炉への主な活用例
Uを含む相等の結晶構造、組成	・SEM-EDX、SEM-WDX ・TEM-EDX ・ラマン分光 ・XRD ・μ-XAFS ・μ-XRF ・μ-XRD	Uを含む相等の生成時の温度、雰囲気等の推定 U等の酸化状態	炉内状況推定図の精緻化による取り出し工法の検討や内部調査の検討

燃料デブリサンプルの分析では、次の3種類の分析を活用して、サンプルの特徴や成り立ちを明らかにする。

● 非破壊分析

【概要】 受け入れたサンプルの状態をなるべく変えずに空隙や高密度物質の分布、含まれる成分などの情報を大雑把に把握する。

【目的】 サンプルの基本情報を取得するとともに、核燃料に由来する成分（ウランや放射性核種など）の有無を早期に確認する。また、後段の固体分析や溶液分析においてどの部位に注目するか、分取後のサンプルの位置情報は取得できているかといった、分析の具体的な進め方を検討する。

【分析方法】 外観、重量、線量率、IP、X線CT、 γ 線スペクトロメトリ、SEM-WDX（表面）

● 固体分析

【概要】 サンプルの一部を分取してその断面を詳細観察することにより、ウランやジルコニウムなど原子炉からきた成分が、サンプル中でどのような状態にあるか（共存元素は何か、事故前の状態を留めているか、酸化されているか、等）を確認する。

【目的】 どの材料が、どのような温度・雰囲気※のもとで反応してサンプル形成に至ったかといった、サンプルの「成り立ち」に関わる情報を得る。

※ 前回報告から新たに追加したSPring-8の放射光分析では、サンプル中の元素の立体的な分布やウランの価数など、従来の電子顕微鏡をベースとした観察手法よりも詳細なデータが得られることから、事故時の温度や雰囲気にについてより精度の高い推定が可能になると考えられる。

【分析方法】 SEM-EDX、SEM-WDX、TEM-EDX、SIMS、ラマン分光、 μ -XAFS、 μ -XRF、 μ -XRD

● 溶液分析

【概要】 サンプルの一部を分取して酸等に溶解させ、得られた溶解液中の元素や核種量を測定する。

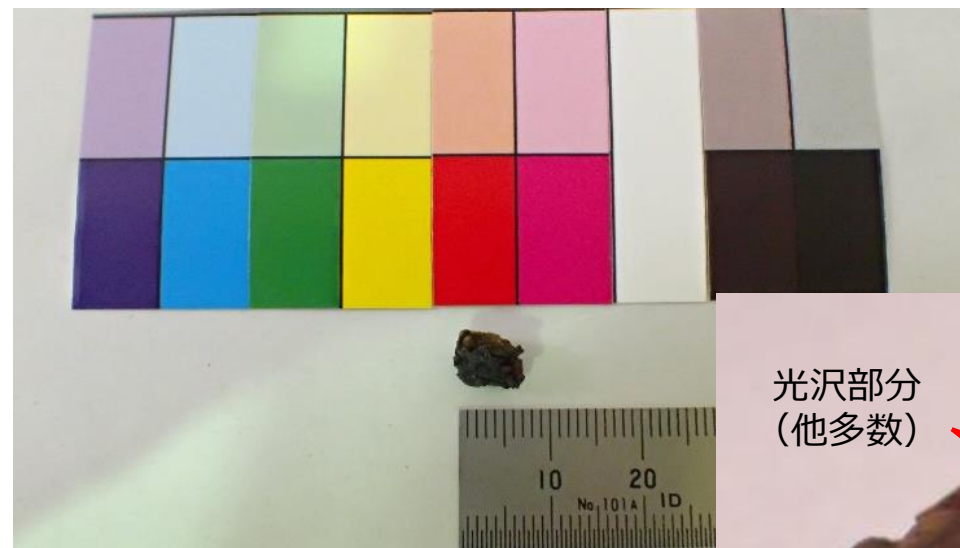
【目的】 ウランの同位体比や放射性核種濃度といった、燃料デブリを安全に取り出す／安定に保管するための工程検討に必要な情報を得る。

【分析方法】 ICP-MS、ICP-AES、TIMS、 γ 線スペクトロメトリ、 α 線スペクトロメトリ

一連の分析の取り組みを継続し、炉内に堆積する燃料デブリの特徴を徐々に明らかにすることで、燃料デブリの取り出しや保管における安全評価・合理化に貢献する。

分析方法略称	分析方法名	分析方法概要
ICP-AES	誘導結合プラズマ 発光分光分析	高温プラズマ中に霧状の試料を導入し、発行する光を分光することにより元素特有のスペクトルを得て、元素の定性、定量分析を行う方法。
ICP-MS	誘導結合プラズマ 質量分析	高温プラズマ中に霧状の試料を導入し、試料中の元素をイオン化し、質量分析によりイオンの質量/電荷比 (m/z) におけるイオン数を測定することにより、元素および、その同位体の濃度を測定する方法。
TIMS	表面電離型質量分析	金属フィラメント上に試料を塗布し、真空下で加熱することにより原子をイオン化し、質量分析によりイオンの質量/電荷比 (m/z) におけるイオン数を測定することにより、元素および、その同位体の濃度を測定する方法。
SEM	走査型電子顕微鏡	試料表面に電子線を照射し、表面を観察する装置で、X線分析装置を付帯させることにより、元素分析を行うこともできる。
EDX	エネルギー分散型 X線分析	電子線照射により発生する特性X線を検出し、特性X線のエネルギーで分類し、元素分析や組成分析を行う方法。
WDX	波長分散型X線分析	電子線照射により発生する特性X線を検出し、特性X線の波長で分光して元素分析や組成分析を行う方法。
TEM	透過型電子顕微鏡	薄片化した試料に電子線を照射し、試料を透過した電子や散乱した電子を結像して高倍率で観察する方法で、X線分析装置を付帯させることにより元素分析を行うこともできる。また、回折像から結晶構造を得ることができる。
SIMS	二次イオン質量分析	試料表面にビーム状のイオンを照射し発生した二次イオンを質量分析計で測定することにより、イオンの質量/電荷比 (m/z) におけるイオン数を測定することにより、元素および、その同位体の濃度を測定する方法。
ラマン分光	顕微ラマン分光分析	試料表面に光を照射し、ラマン散乱光を分光して、分子構造、温度、応力、電気的特性、配向・結晶性等の物性を得る方法。従来の光学顕微鏡とラマン分光法とを組み合わせ、 μm オーダーの微小領域の化学形態に関する情報を得ることができる。
X線CT	X線コンピュータ 断層撮影	試料にX線を照射し、透過してくるX線強度をコンピュータに取り込み、三次元的にスキャンすることにより、試料の内部の密度分布を得る方法。異なる密度の相の分布が得られる。

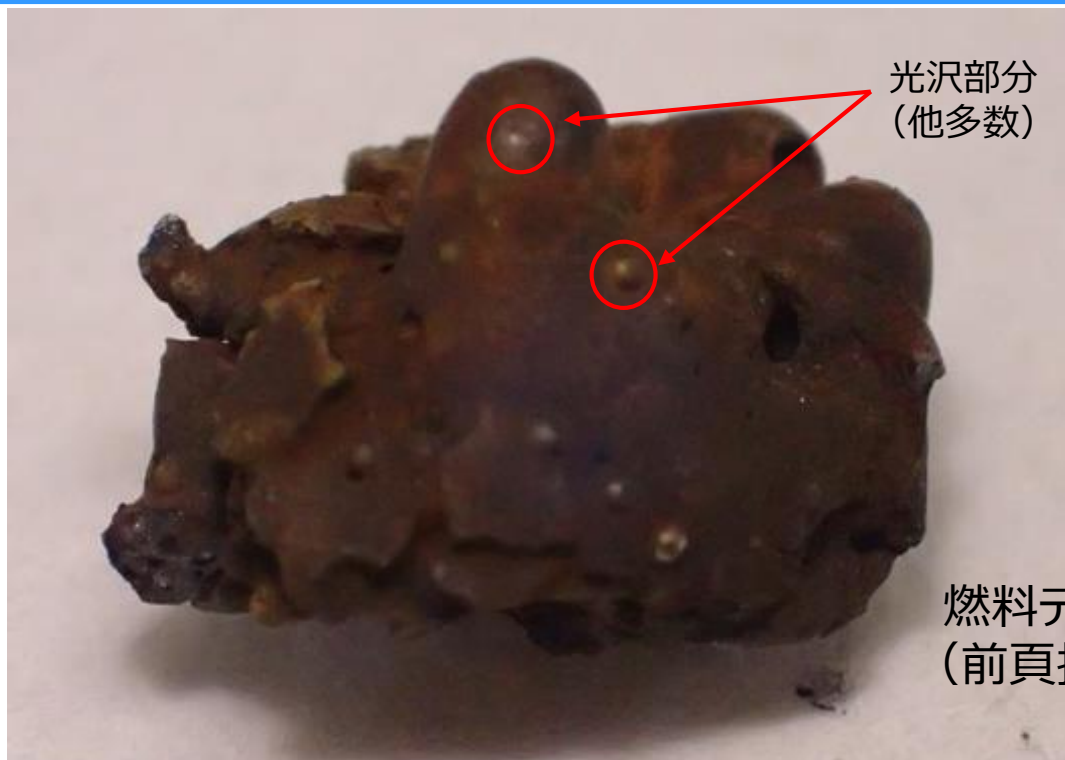
分析方法略称	分析方法名	分析方法概要
XAFS	X線吸収微細構造解析	試料にX線を照射し吸収されるX線のエネルギーを精密に観察し物質の内部構造を分子、原子レベルで分析を行う方法
XRF	蛍光X線分析	試料にX線を照射して発生する、物質に応じて発生するX線（蛍光X線）の波長やエネルギーを測定して構成する元素の含有量を定量分析する方法
XRD	X線回折法	試料にX線を照射して、得られるX線（回折X線）を測定し対象物の結晶構造、結晶方位、結晶格子サイズなどを解析する方法
IP	イメージングプレート	放射線エネルギーを輝尽発光として検出する放射線画像測定器。サンプルの線量分布が取得可能



燃料デブリサンプルの外観
（色見本、スケール付）



燃料デブリサンプルの外観・拡大写真
（斜め約45度の角度から撮影）



燃料デブリサンプルの外観・拡大写真
(前頁拡大写真の裏側：斜め約45度
の角度から撮影)

<外観>

- 受け入れた燃料デブリサンプルは、不均一のサンプルであった。
- 全体的に赤褐色であり、表面の一部に黒色の部分や光沢をもつ部分が認められた。
- スケールにより測定した結果、大きさは約9mm×約7mmであった。

<重量> 0.693g

<線量率> 約8mSv/h

(γ線:電離箱を使用し、試料をポリプロピレン製の容器に収納した状態で測定(試料から1～2cmの距離))

* なお、線量率が高く、IP像(線量分布)は取得できなかった。

