

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

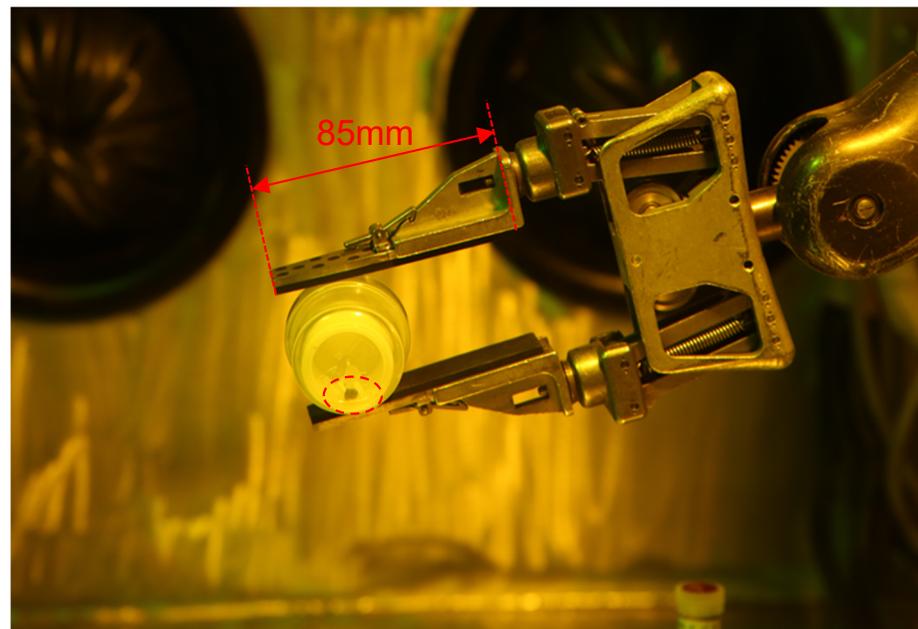
東京電力ホールディングス株式会社

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。

大洗研：大洗原子力工学研究所
原科研：原子力科学研究所
NDC：MHI原子力研究株式会社
NFD：日本核燃料開発株式会社

非破壊分析※1

【JAEA播磨】 (SPring-8)

固体分析※1
(機械分析)

μ-XAFS
μ-XRF
μ-XRD

溶液分析※1
(化学分析)

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

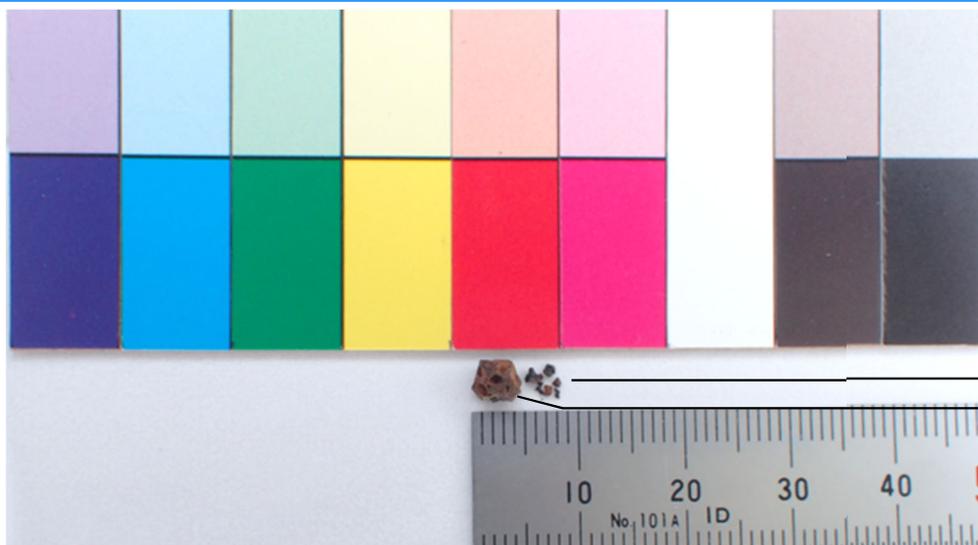
燃料成分元素組成
U同位体比
元素,化合物分布
放射能濃度

主要元素組成
U同位体比
放射能濃度

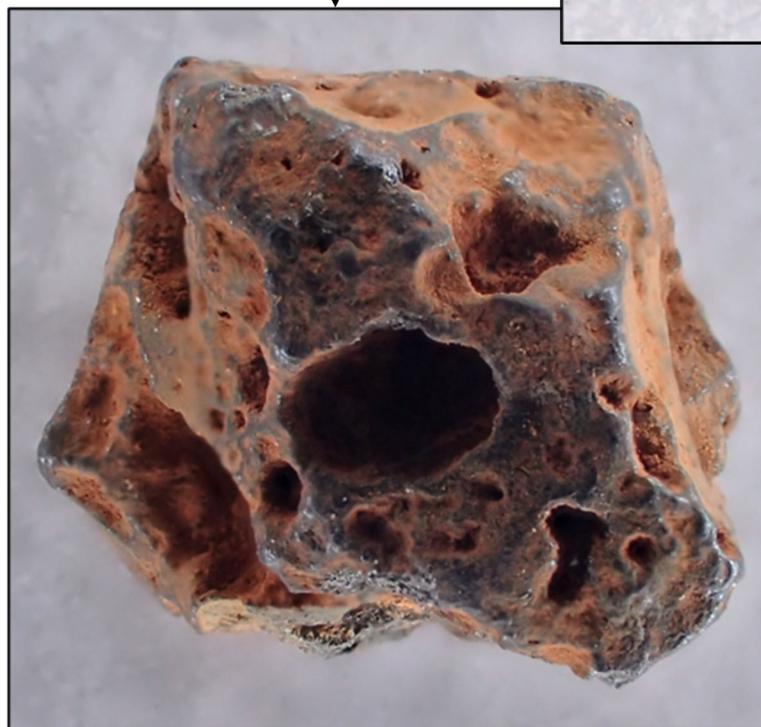
元素組成
U同位体比
放射能濃度
結晶構造

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



燃料デブリサンプルの外観
(色見本 (カラーセパレーションガイド)、
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>

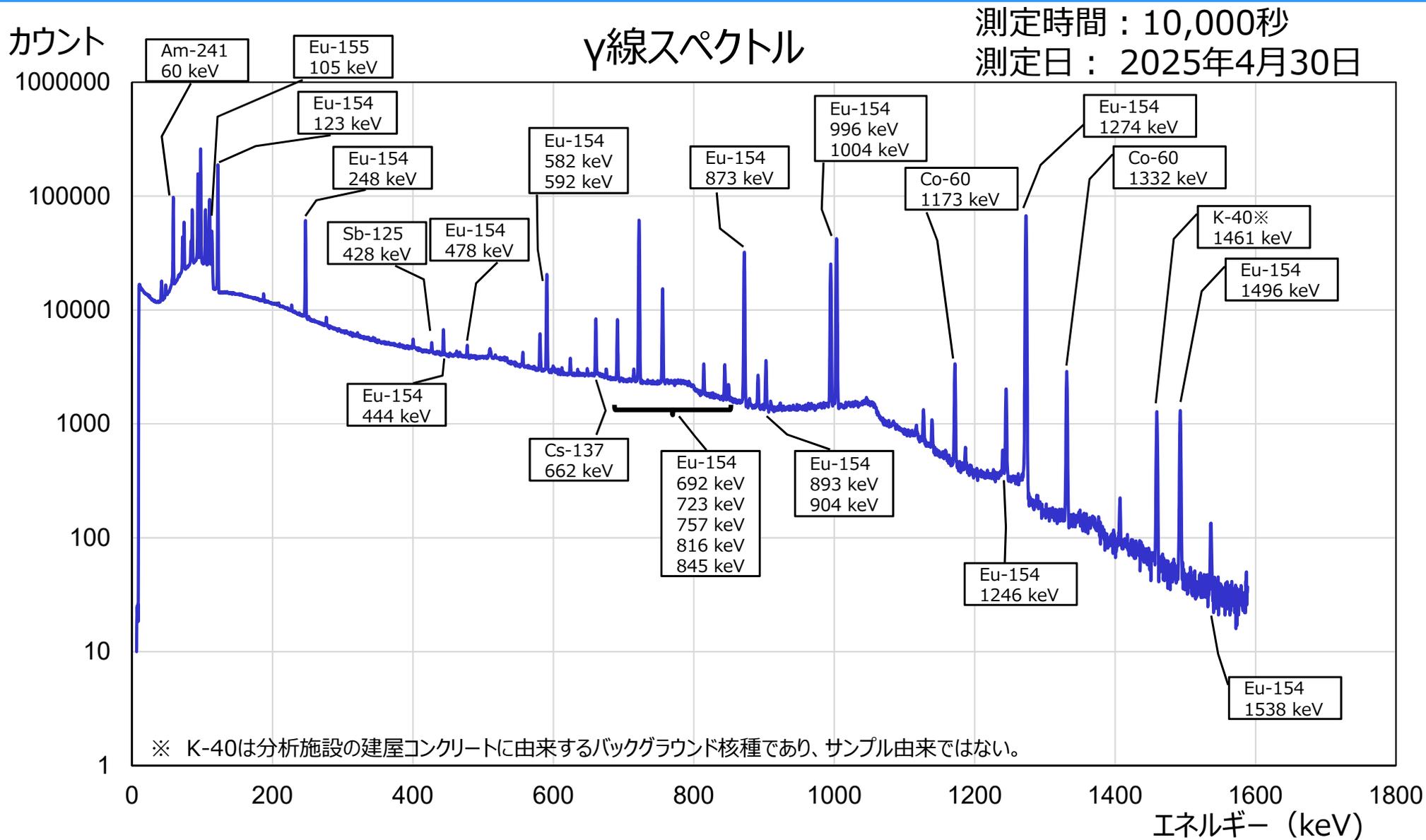
- 受け入れた燃料デブリサンプルは、不均一なサンプルであった。
- 全体的に茶色に近い褐色（1回目よりも明るい色合い*）であり、表面に黒色の領域や空孔が認められた。*肉眼で見た印象
- スケールにより測定した結果、最も大きいサンプルの大きさは約5mm×約4mmであった。

<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。



- 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。
- 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。

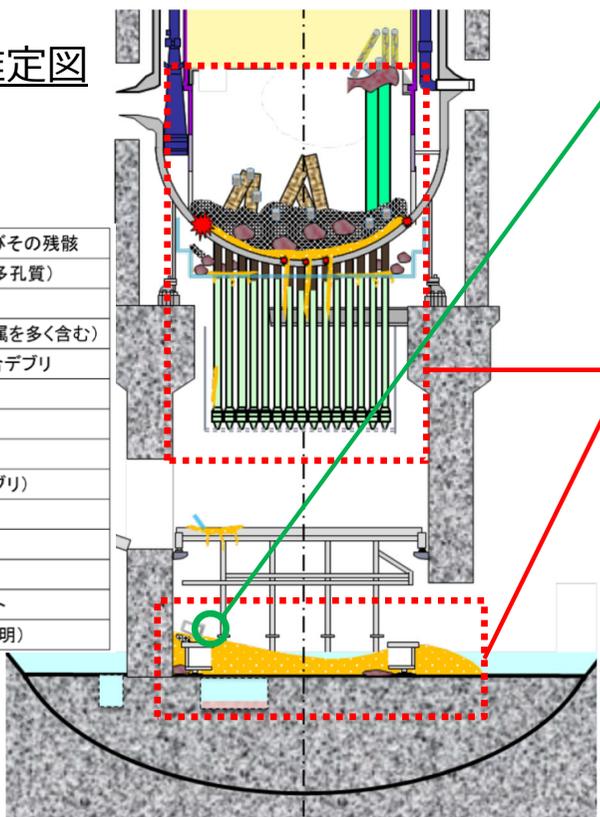
【2回目サンプル分析の今後の予定】

- 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、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。

- 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。

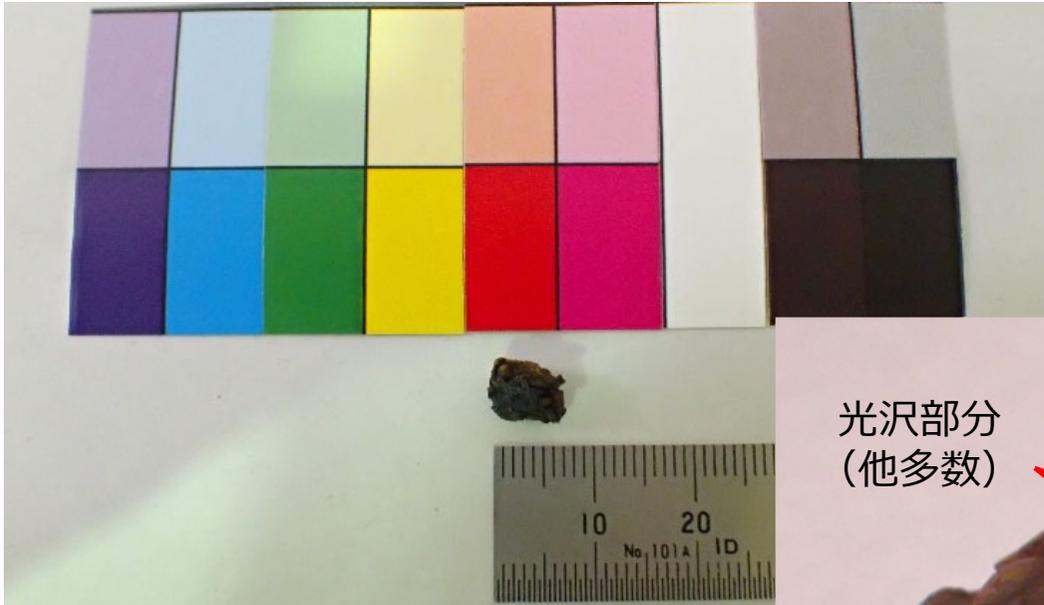
【目的】 ウランの同位体比や放射性核種濃度といった、燃料デブリを安全に取り出す／安定に保管するための工程検討に必要な情報を得る。

【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。

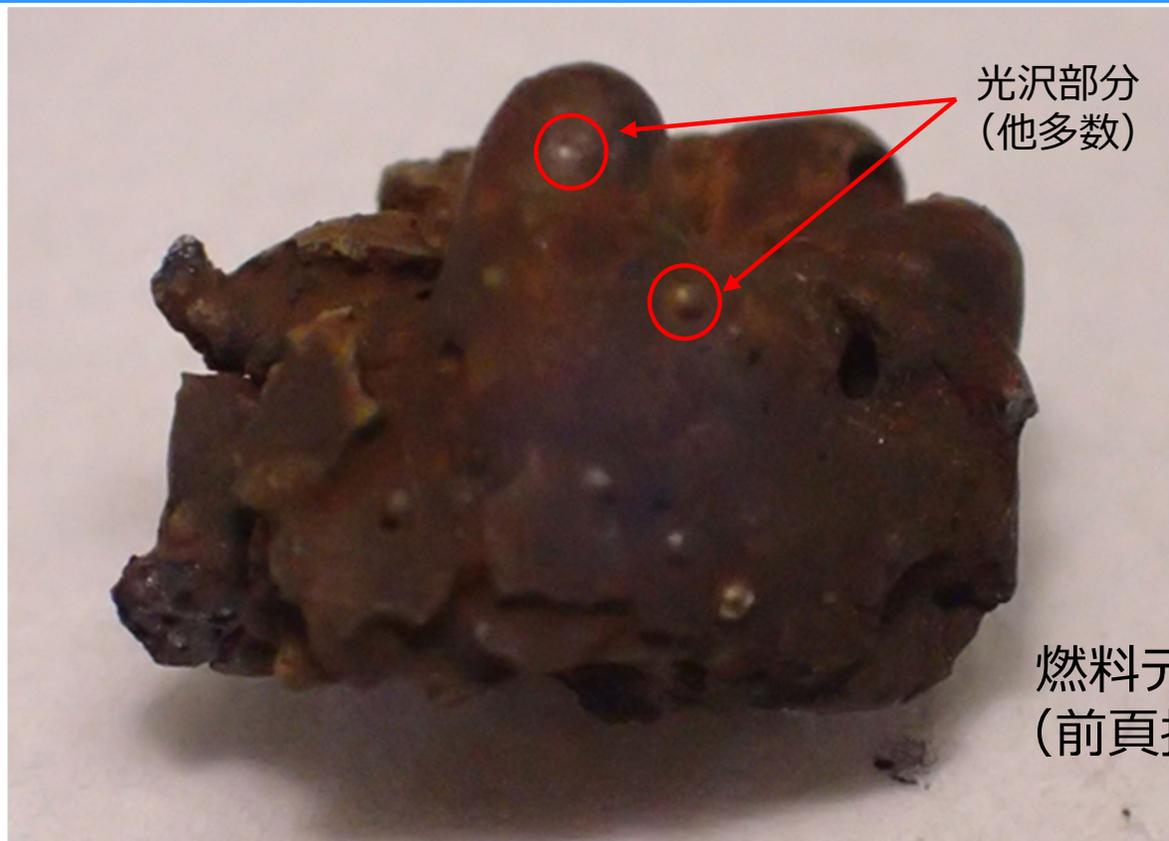
分析方法略称	分析方法名	分析方法概要
XAFS	X線吸収微細構造解析	試料にX線を照射し吸収されるX線のエネルギーを精密に観察し物質の内部構造を分子、原子レベルで分析を行う方法
XRF	蛍光X線分析	試料にX線を照射して発生する、物質に応じて発生するX線（蛍光X線）の波長やエネルギーを測定して構成する元素の含有量を定量分析する方法
XRD	X線回折法	試料にX線を照射して、得られるX線（回折X線）を測定し対象物の結晶構造、結晶方位、結晶格子サイズなどを解析する方法
IP	イメージングプレート	放射線エネルギーを輝尽発光として検出する放射線画像測定器。サンプルの線量分布が取得可能



燃料デブリサンプルの外観
(色見本 (カラーセパレーションガイド)、
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)



光沢部分
(他多数)

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。

