

「燃料デブリの分析に向けたJAEAの取り組み」

2024年8月29日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
福島廃炉安全工学研究所

(1) 燃料デブリを分析する目的

- ▶ 燃料デブリの性状については様々な推定がなされているが、取り出し規模の拡大に向けて必要となる実物の性状は分かっていない。
- ▶ 取り出された燃料デブリをJAEAにて分析し、物理的・化学的性状を把握することで、東京電力福島第一原子力発電所廃炉の重要な情報が得られる。

少量の燃料デブリの分析・評価

数グラムの燃料デブリ試料でも事故時の炉内状況の履歴を保持しているので分析結果から様々な情報が分かる。

＜実際の燃料デブリを分析することにより、以下の情報が推定可能＞

- 金属組成 ⇒ もとになった部材、臨界の可能性
- 結晶構造 ⇒ 溶融温度、冷却速度
- 酸化状態 ⇒ 生成時の雰囲気、硬さ

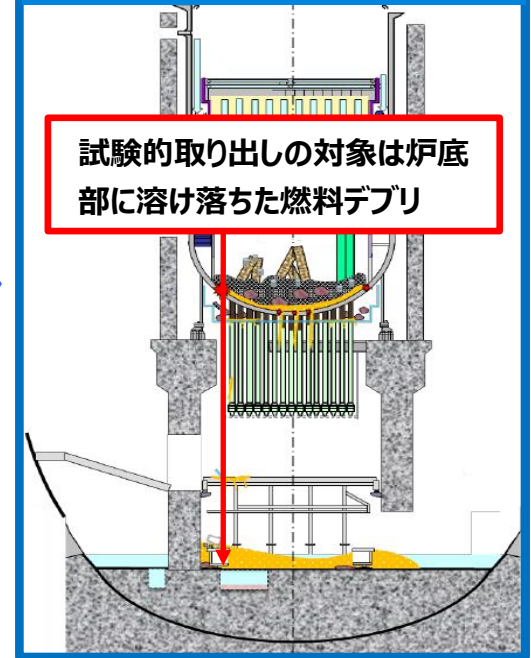
燃料デブリ取り出しの具体的な方策検討への貢献

“炉内状況推定”の「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 → 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

より現実に近い炉内状況の推定

試験的取り出しの対象は炉底部に溶け落ちた燃料デブリ



2号機炉内状況推定図

- 炉内構造物の損傷状況、燃料デブリの性状及び分布を推定したもの。
- 事故時プラントデータ、事故進展解析、模擬試験、炉内調査結果等の科学的根拠に基づき作成。
- 燃料デブリの分析・評価結果を反映させることにより、推定の信頼性が向上する。

(2) 燃料デブリの分析体制

- ▶ 試験的に取り出された燃料デブリをJAEA茨城地区の施設で受入れ、分析する体制を整備。
- ▶ 分析結果の確認の観点から、複数の施設で特徴を活かした様々な分析を実施し、分析結果の信頼性を補完。

▶東京電力福島第一原子力発電所の廃炉における燃料デブリ取り出し検討へ貢献

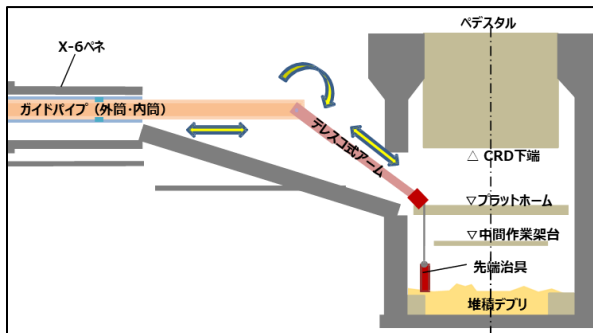
◆ JAEA大洗研・原科研は燃料デブリ分析に最適な施設を有する

東京電力
福島第一原子力発電所
(2号機)



燃料デブリ取り出し後、速やかに輸送予定。
(数グラム)

テレスコピック式試験的取り出し装置イメージ



- ①ガイドパイプで貫通孔 (X-6ペネ) から挿入
- ②ベDESTAL手前でテレスコ式アームを下降
- ③先端治具をベDESTAL底部まで釣り下ろして、デブリを採取

出展：東京電力HD

JAEA 大洗研究所

照射燃料集合体試験施設 (FMF)

◆ サンプル輸送のハブ機能

・非破壊分析 ・主に固体分析

- UやPu等の燃料由来の成分を中心に組成を分析
- サンプルに応じてX線CT等の非破壊分析、U粒子等の結晶状態等の固体分析を実施



照射燃料試験施設 (AGF)

・化学分析 (核種)

JAEA 原子力科学研究所

バックエンド研究施設 (BECKY)

・化学分析 (核種、元素)

- 主要構成元素の組成を分析






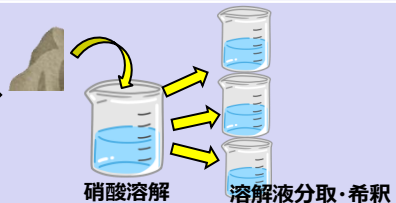
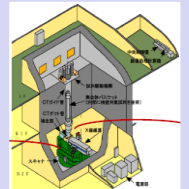




※ 研究4棟、燃料試験施設 (RFEF) も使用予定

サンプル量が少ない場合は、すべての施設を用いない場合あり。

日本核燃料開発 (株) (NFD)
・U粒子等の結晶状態を詳細に分析

MHI原子力研究開発 (株) (NDC)
・微量元素を含む元素組成及び同位体比を分析

➤ 非破壊・固体・化学分析を一連で実施することで、燃料デブリの素性を物理的・化学的に解明。

	非破壊分析	固体分析	化学分析
	<ol style="list-style-type: none"> 1) 外観観察 2) 重量測定 3) 線量測定 4) X線CTにより主に密度分布を測定 5) 電界放出走査型電子顕微鏡・波長分散型X線分析 (FE-SEM-WDX) によりウランを探索 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 少量サンプルを切断、包埋・研磨 2) 電界放出走査型電子顕微鏡・波長分散型X線分析により構成元素を測定 3) 精密加工、微細加工、加工確認 4) 透過型電子顕微鏡・エネルギー分散型X線分析 (TEM-EDX) により結晶構造を測定 5) 二次イオン質量分析 (SIMS) によりウラン粒子中のウラン同位体比を測定 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 硝酸溶解・定容 2) 溶解液分取・希釈 3) 化学分離 4) 誘導結合プラズマ質量分析 (ICP-MS) により核種・元素量を測定
分析の流れ	<p>数グラム</p>  <p>燃料デブリ</p>	 <p>切断、研磨</p>  <p>微細加工 樹脂包埋</p>	 <p>硝酸溶解 溶解液分取・希釈</p>
	 <p>X線CT装置 (構造図)</p>  <p>FE-SEM-WDX装置</p>	 <p>TEM-EDX装置</p>  <p>SIMS装置</p>	 <p>ICP-MS装置</p>
分析の内容	<ul style="list-style-type: none"> ○外観 ○重量 ○線量 ○表面の元素分布等 <p>※サンプル量により実施出来ない分析項目もある</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ウラン燃料と周辺材料（ジルカロイやステンレス鋼等）との反応生成物（ウラン粒子等）の結晶状態 ○ウラン粒子等の結晶状態 ○放射光分析結果から、微小結晶構造やウラン価数等評価 	<ul style="list-style-type: none"> ○核物質や中性子吸収物質及び発熱性核種の濃度 ○主要構成元素の組成 ○微量元素を含む元素組成及びウラン同位体比
分析の目的	固体分析や化学分析での着目箇所を決定	事故時の炉内状況（熔融温度、冷却速度、デブリ生成時雰囲気等）を推定	デブリの構成材料や臨界の可能性等の基礎データを取得

- 燃料デブリの試験的取り出しで、様々な分析による燃料デブリの生成過程の推定や炉内状況推定の検証が可能。
- 燃料デブリを安全に回収し、十分に管理された安定保管を行うため、燃料デブリ取り出し本格化に向けた検討の基礎となる。

情報集約・提供システム構築

▲廃炉研究基盤データベース“debrisWiki”

●少量の燃料デブリで分かること

数グラムの燃料デブリでも事故時の炉内状況の履歴を保持しているので分析結果から様々な情報が分かる。

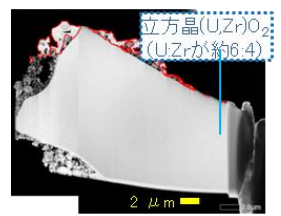
◆ 鉱物学、冶金学等の知見に基づく評価

▲ 燃料デブリ生成過程（炉内の温度変化等）を推定

燃料デブリ生成過程の推定
分析結果の解析

分析（少量サンプル）

- ◆ 非破壊分析
- ◆ 固体分析
- ◆ 化学分析



▲ TEM（透過型電子顕微鏡）により詳細観察したウラン粒子

燃料デブリ性状・炉内分布の推定

◆ 検証試験



▲ 燃料デブリ生成メカニズムの検証

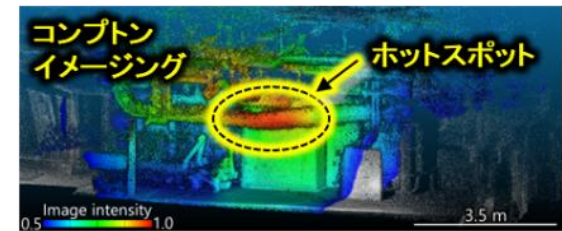
安全着実な燃料デブリ取り出し作業

◆ 分別管理に向けた技術開発

▲ 燃料デブリ仕分けのための非破壊計測技術

・燃料デブリを安全に回収
・十分に管理された安定保管

- ◆ シミュレーション技術開発
- ◆ 放射線計測・可視化技術開発
- ◆ その場分析・測定技術開発



▲ 汚染状況の可視化