

# 放射性物質分析・研究施設第2棟の分析項目について

2020年7月14日

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



# 目次

---

---

1. 第2棟設置の経緯と目的
2. 第2棟における分析項目の選定について
  - 2.1. 分析項目選定プロセスの概要
  - 2.2. IRID<sup>※1</sup>/東電<sup>※2</sup>による燃料デブリ分析ニーズ整理
  - 2.3. JAEA<sup>※3</sup>主催検討会による分析項目・分析装置の選定
  - 2.4. 検討結果の施設設計への反映

## 参考資料

※1) IRID：技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

※2) 東電：東京電力ホールディングス株式会社

※3) JAEA：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

## 1. 第2棟設置の経緯と目的

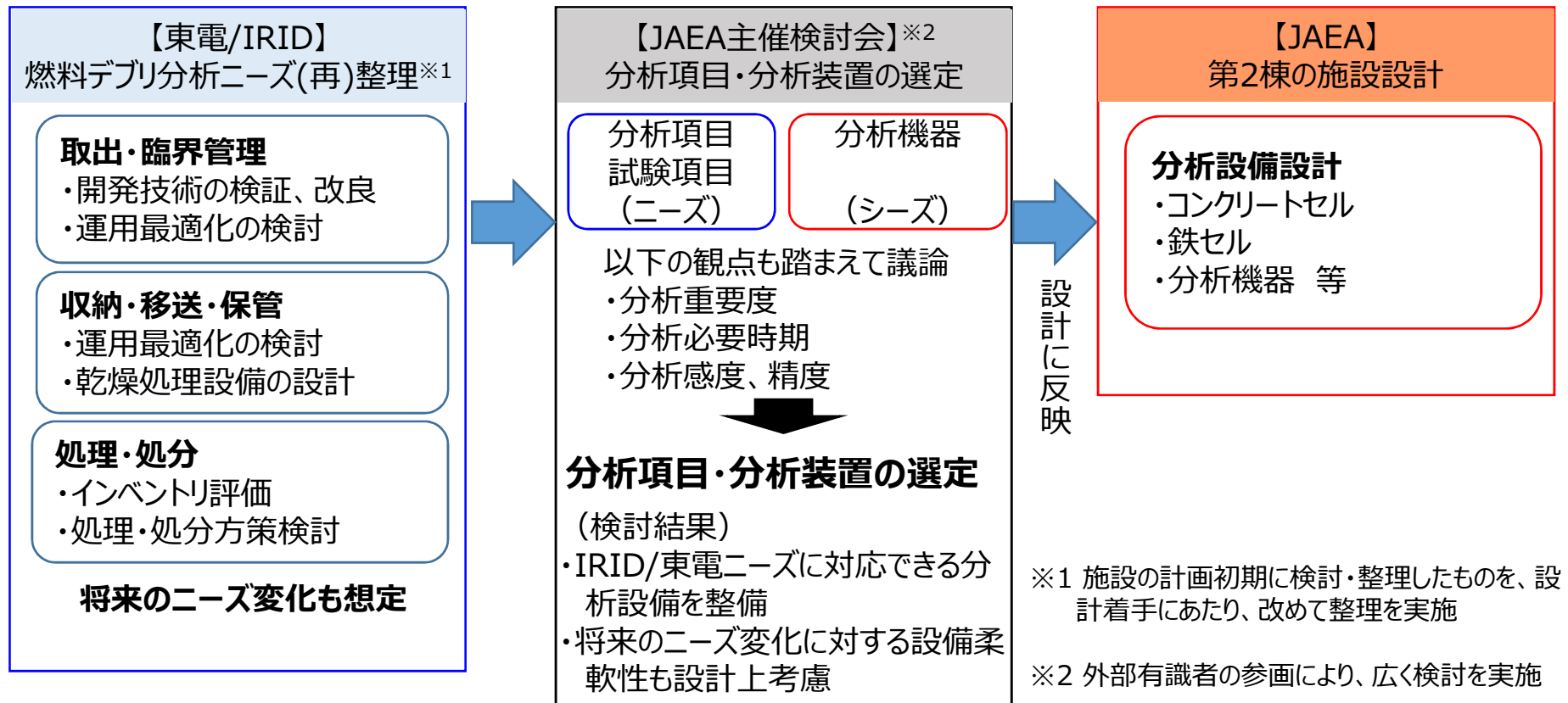
- 2011年度末より、「中長期ロードマップの着実な実施に必要な施設を中核とした研究拠点構想」が議論され※1、経済産業省が2012年度補正予算にて、技術基盤整備を目的にJAEAに出資
- JAEAは、廃炉に関する技術基盤の確立のため、①遠隔操作機器・装置の開発実証施設（モックアップ試験施設：楢葉遠隔技術開発センター）、②**放射性物質分析・研究施設の整備を計画**
- 放射性物質分析・研究施設は、「燃料デブリや放射性廃棄物などに含まれる難測定核種分析手法等の開発、燃料デブリや汚染水処理後の二次廃棄物等の性状把握、処理・処分技術等の開発等を行う」※2とし、以下施設で構成
  - 施設管理棟 : 遠隔操作装置の操作訓練等
  - 第1棟 : 低・中線量のガレキ類等の分析
  - **第2棟 : 燃料デブリ等の分析**
  - サテライトオフィス(仮称) : 情報発信等
- 第2棟の目的  
東電福島第一原子力発電所（以下「1F」）の燃料デブリの取り出しの各工程（取り出し、収納・移送・保管等）の検討を進めるためには、**燃料デブリ等の分析により、その性状を把握することが重要**
  - 1F構内に準備する第2棟では、燃料デブリ取り出しの各工程の諸検討にかかる技術開発に必要な**燃料デブリ等の分析**を行う

※1) H24.3.28 政府・東京電力中長期対策会議研究開発推進本部（第4回会合）「東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップの着実な実施に必要な施設を中核とした研究拠点構想」

※2) H25.11.14 廃炉対策推進会議「放射性物質の分析・研究施設の基本的な考え方及び立地場所に関する技術的要件」

## 2.1. 分析項目の選定プロセス概要

- ① 廃炉に直接貢献する分析の観点で、IRID、東電にて**燃料デブリ取り出しの各工程**※1において、**分析ニーズ**※2を整理  
 ※1 燃料デブリ取り出し、収納・移送・保管、処理・処分 ※2 分析項目と対応する装置
- ② 上記を踏まえ、JAEA主催の検討会で**分析項目と対応する装置**や各分析項目の**重要性と優先度**について関係機関を含む有識者を交えて整理
- ③ 施設設計の段階で JAEAと原子力損害賠償・廃炉等支援機構、東電間で協議のうえ、**改めて廃炉作業上の必要性や構外の既存分析施設の利用**も考慮して導入する設備を検討



## 2.2. IRID/東京電力による燃料デブリ分析ニーズ整理 ～ 分析ニーズの整理 ～

- IRID、東電では、廃炉に直接貢献する分析を実施する観点で、**廃止措置に係る4分野**を主眼に、それらの実務を実施する際に求められるモニタリング等に資する燃料デブリの分析項目を検討
- 分野毎に目的/分析項目、分析の詳細とそれらの優先度設定を行い、さらに装置選定にいたるまで検討
- 研究開発の進捗および燃料デブリ取り出し工程の具体化等に伴って、**ニーズは変動しうることを前提**とし整理

### 廃止措置に係る4分野とそれらの実務に際して必要となる分析の目的(概要)

取り出し	収納・移送・保管	臨界管理	廃棄物処理・処分
<p><b>目的①【運用改善】</b> 概要: 取出工法の検討や取出装置の設計に用いた設計条件との差異を確認し、フィードバックが必要な場合は、装置改良等を行う</p> <p><b>目的②【トラブル対応】</b> 概要: 燃料デブリ取出が困難になった場合、あるいはトラブル発生時において、装置改造等を行う</p>	<p><b>目的①【運用改善】</b> 概要: 収納・一時保管方法の妥当性を確認し、また必要に応じ設計・管理方法に反映する</p> <p><b>目的②【長期保管】</b> 概要: 長期保管方法の妥当性/方法検討/改良に反映する</p>	<p><b>目的①【臨界管理】</b> 概要: 臨界管理の検討に用いた設計条件との差異を確認、フィードバックが必要な場合は、臨界管理を変更する</p> <p><b>目的②【規制対応】</b> 概要: 推定データをもとに許認可を取得する臨界管理関連装置等について、規制当局から使用前の実データによる確認を求められた際のエビデンスに活用する</p>	<p><b>目的①【インベントリ評価】</b> 概要: 燃料デブリに含まれる各核種のインベントリ評価精度向上に資する</p> <p><b>目的②【処理・処分方策検討】</b> 概要: 長期的取扱方法のオプションの1つとしての処理処分方策の検討に資する</p>

## 2.2. IRID/東京電力による燃料デブリ分析ニーズ整理 ～ 分析項目の検討例 ～

### 【実施した検討の詳細(例)】

- 分析目的の検討例
  - 取出しに係る目的：運用改善
    - ✓ (概要) 取出し工法の検討や装置の設計に用いた**設計条件の妥当性**を確認。そのうえでフィードバックが必要な場合には、**装置改良等**を実施。
    - 具体例：
      - フィルタを用いた粒子状燃料デブリの回収時に、分析により粒径等を把握。そのデータを用いて、フィルタ種類の**妥当性確認や改良可能性の検討**を行う。
      - 特にウラン含有率を把握し、対象が燃料主体か構造材主体かを判別する。その情報は、**工具・容器の選定**等に役立てる。
      - …
- 分析項目詳細の検討例

大項目	小項目	分析技術/装置	取得する分析データの内容	取出	臨界	保管	処理・処分	必要分析点数の考え方
I.基礎特性	02.寸法(粒径)	ふるい分け装置	粉体の粒度分布	△	△	△	×	サンプル毎
	⋮							
II.機械的特性	01.硬さ	マイクロビッカース	燃料デブリの硬度の測定	○	×	×	×	サンプルに含まれるマクロな構造毎、各層毎適宜
	⋮							

## 2.3. JAEA主催検討会による分析項目・分析装置の選定 ～ 体制と実施内容 ～

- 国内外の知見並びに東電およびIRIDの分析ニーズを踏まえつつ、廃止措置の各分野に必要な燃料デブリ等の分析・試験項目等の検討を実施するため、JAEAは検討会を設置
- 検討会メンバーは、外部有識者として燃料デブリや分析についての**大学や民間の有識者**、民間の**ホットラボ（照射済燃料等の試験施設）関係者**に参加頂き、さらに、東電、IRID、それにJAEAにおける**TMI-2燃料デブリ分析に係る経験者**等で構成
- 以下について5回にわたる議論を実施：重要度・タイミングで整理
  - 燃料デブリ分析に関するこれまでの検討状況や知見を整理し、東電およびIRIDから提案された分析ニーズに基づき、燃料デブリ取り出し、保管、長期的な取り扱いのために必要な分析、試験項目について議論
  - 分析ニーズ(データの反映先)と分析・試験項目を整理
  - 評価基準を設けて各分析項目の重要度を分類
  - 廃止措置の観点からの各々の分析項目の重要性は、燃料デブリ取り出し、臨界といった、分析した結果を**早期にフィードバックする必要がある分析項目を最重要項目**に設定
  - **収納保管・輸送・廃棄物処理等に関するものを重要項目**、それ以外のものをやや重要な項目に分類
  - 運用初期の段階に実施する分析項目は、「分析が必要となる時期が初期」かつ「最重要項目及び重要項目」と整理

## 2.3. JAEA主催検討会による分析項目・分析装置の選定 ～ 分析項目の格付け ～

○時間的な緊急性や優先度などを踏まえ、以下の評価基準を設定

	分類		分類の評価基準
(1)	最重要項目	A	IRIDの各PJについて、取出し、取出し時の臨界評価の工程に必要な分析項目
(2)	重要項目	B	収納・移送・保管のほか、処理・処分を含む全工程を考慮し、最重要項目に次ぐもの
(3)	やや重要な項目	C	全工程を通じて、優先度の分類でA、B以外に整理される項目

○東電/IRIDがとりまとめた分析ニーズについて、上記の評価基準に基づき、各分析項目の重要度を整理

	分類		分析項目
(1)	最重要項目	A	形状(粉/粒/塊)、化学形態、表面状態 寸法(粒径) 組成-U/Pu含有率 組成-Fe,Cr,Ni等含有率(SUS等由来) 組成-ホウ素含有率(B <sub>4</sub> C等由来) 組成-Gd含有率 組成-U同位体組成 組成-FP,CP,アクチノドの核種毎の含有率 硬さ じん性 線量率
(2)	重要項目	B	密度-真密度 密度-空隙率(気孔率) 組成-塩分濃度 有機物含有量 含水率 水素発生量 熱伝導率(Ⅲ-4 熱拡散率) 熱挙動 発熱量
(3)	やや重要な項目	C	加熱時FP放出挙動



## 2.3. JAEA主催検討会による分析項目・分析装置の選定 ～ 分析項目毎の検討例 ～

### 基礎特性：形状(粉/粒/塊),化学形態,表面状態/試料表面の観察,元素の定性分析

#### > 当初案：東電/IRID提示案に基づくJAEA選定案

- 試料表面の観察、元素分析については、EPMAやSEMがあげられる
- EPMAは、分析感度が高く、定量分析には有効であり、特に軽元素の分析を優先する場合に有効
- SEM/EDSの機能は、EPMAで代替を検討している

#### > JAEA検討会での論点および各委員コメント

##### (a) 分析時期

- 初回取り出し以降から実施する必要があるため、実施時期は初期

##### (b) 重要度

- 試料表面の状態、元素の定性的な情報は、取出、臨界、保管の前提条件の確認のため必要な情報  
SEM/EDSは分析装置として有用である
- 組織構造の観察：試料表面の外観・気泡、クラックの状態を観察し、燃料デブリ試料の構造情報の一部を取得する
- 元素分析：元素分析（マッピング）により、主要元素成分の同定を行い、燃料成分の有無や、FP核種、構造物の存在が推定する。また、構成元素比から金属相、酸化物相、化合物の推定が可能となる

⇒ 優先度「高」から、重要度「A」、分析時期「初期」（SEM/EDSは遮へい性などの検討が必要なため「中期」）

#### > 最終案での変更点

- 施設設計の関連で優先度を考慮しなければならない場合には、EPMAを優先とする
- EPMAにEDSを追加することで、元素の迅速なスクリーニングを可能とし、WDSを補完する

- ⇒
- ・分析対象元素は、軽元素のホウ素からアクチノイド核種であるCm程度までを想定
  - ・精度は、1%程度
  - ・優先度が高いため、重要度「A」、分析時期「初期」と設定

## 2.3. JAEA主催検討会による分析項目・分析装置の選定 ～ ニーズに基づく分析項目の設定 ～

	分析ニーズ（分析データの反映先）	分析・試験項目
初期：燃料デブリの 取出開始から 10年程度	<b>燃料デブリを構成する物質の由来等の推定への反映等</b>	組成-U/Pu含有率 組成-Zr,Fe,Cr,Ni等含有率（SUS等由来） 組成-U同位体組成 組成-FP、CP、アクチノイドの核種毎の含有率
	<b>取出等の技術開発に当り想定した条件の妥当性の確認、インベントリ管理への反映等</b>	線量率
	<b>取出等の技術開発に当り想定した条件の妥当性の確認等</b>	形状（粉/粒/塊）、化学形態、表面状態
	<b>燃料デブリの取出し工程への反映等</b>	硬さ、じん性
	<b>粒子状の燃料デブリの取出し工程への反映等</b>	寸法（粒径）
	<b>臨界管理への反映等</b>	組成-B含有率（B <sub>4</sub> C等由来） 組成-Gd含有率
	<b>粒子状の燃料デブリの取出し工程への反映、重量評価への反映等</b>	密度-空隙率（気孔率）
	<b>保管における腐食に係る評価への反映等</b>	組成-塩分濃度等
	<b>保管に係る燃料デブリの物質同定への反映等</b>	密度-真密度
	<b>保管時における水素発生量評価への反映等</b>	含水率
中期：燃料デブリの 取出開始後5 ～20年程度、当 初計画範囲	<b>水素発生源としての有機物量の考慮への反映等</b>	有機物含有率
	<b>保管における安全評価への反映等</b>	水素発生量
	<b>保管における燃料デブリの安定性評価への反映等</b>	熱挙動
後期：燃料デブリの 取出開始後10 年～	<b>処理・処分の検討における安全評価への反映等</b>	発熱量
	<b>処理・処分の検討における安全評価への反映等</b>	熱伝導率
	<b>保管における安全評価への反映等</b>	加熱時FP放出挙動

赤字：最重要項目、青字：重要項目、緑字：やや重要な項目

## 2.4. 検討結果の施設設計への反映 ～ 施設設計にあたっての考慮事項 ～

- 検討会の検討結果を受け、JAEAとNDF、東電間で更に協議のうえ、改めて**廃炉作業上の必要性**や**構外の既存分析施設の利用**を考慮し、**全体最適化**の観点で導入する設備を選定し、設計に反映

### 改めて考慮した事項

- 第2棟と構外の既存分析施設で廃炉作業に必要な分析項目を実施できる体制を構築
- 事故進展の研究**に必要な分析項目も、概ね網羅されていることを確認
- 評価が難しい**燃焼度**等についても、ICP-MSによるNd-148の分析可否等の検討を進める
- 設計・建設・運用中にも**分析ニーズは変わりうる**との認識のもと、柔軟な対応を目指す  
⇒ 将来新たに発生する分析ニーズに対応できるよう、運用開始後であっても必要に応じて**鉄セル**や**グローブボックス**を追設可能なスペースを確保する

## 2.4. 検討結果の施設設計への反映 ～ 第2棟への導入装置一覧 ～

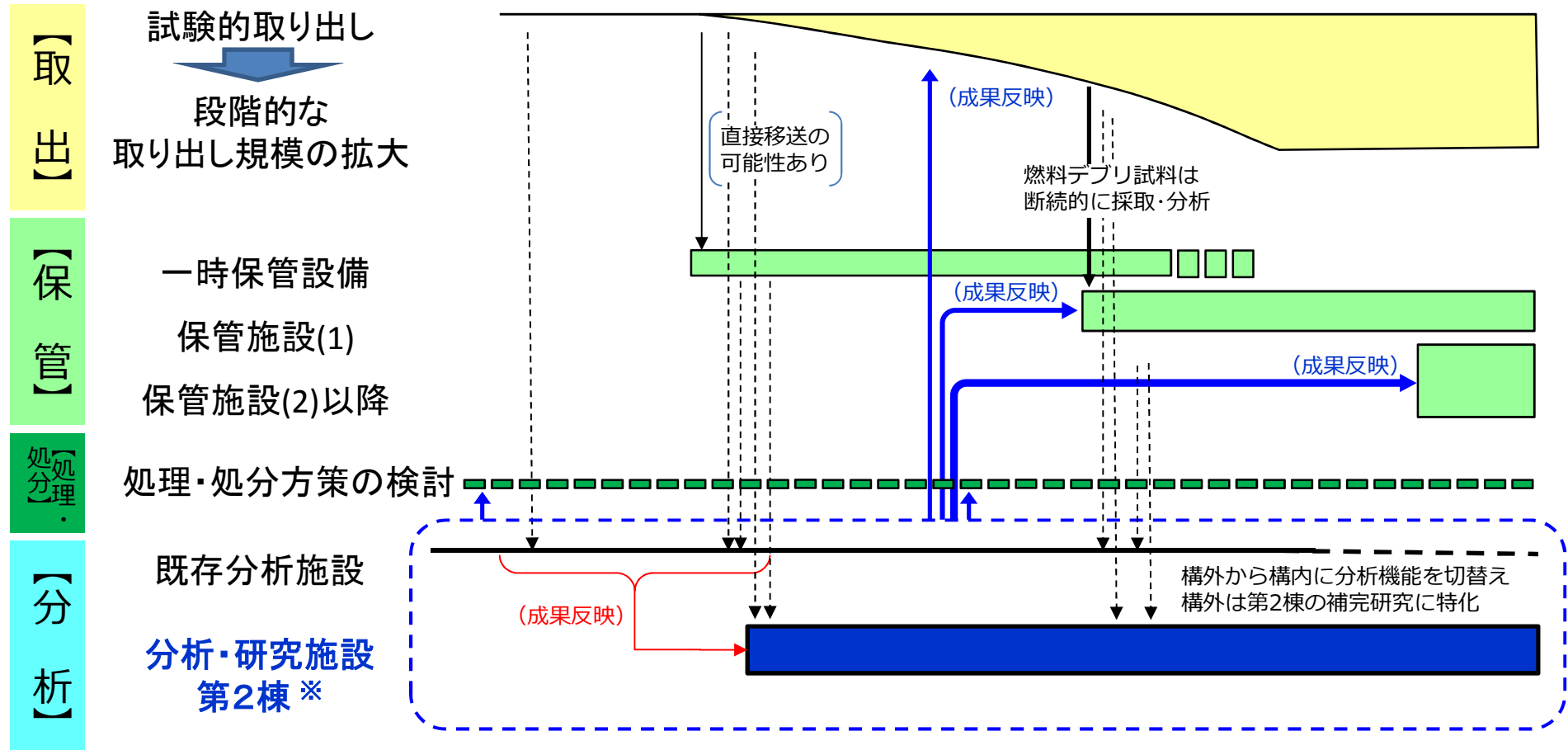
【成果の反映先】	⑤	④	③	②	①
① 取出し時の臨界安全の確認					
② 取出し作業時の線量、ガス挙動の把握					
③ 取出し工法へのフィードバック					
④ 収納・移送・保管にあたっての安全確認・評価					
⑤ 処理・処分方策の検討					
【第2棟の分析項目※】					
線量率／線量計			○	○	
核種インベントリ、組成／α線スペクトロメータ、ガスフローカウンタ、ガンマ線スペクトロメータ、ICP-MS、ICP-AES	○	○		○	○
形状、化学形態、表面状態／EPMA			○		
寸法（粒径）／ふるい分け装置			○		
密度（空隙率）		○			
硬さ、じん性／マイクロビッカース			○		
熱伝導率、熱拡散率	○				
組成（塩分濃度、SUS等含有率）／イオンクロマトグラフ、XRF	○	○	○		
有機物含有量／TOC	○	○			
含水率／水分測定装置		○			○
水素発生量／ガスクロマトグラフ		○			
加熱時FP放出挙動	○	○		○	

※）一部は将来設置を想定

## 以下参考資料

---

# (参考) 廃炉スケジュールと分析結果の反映



- ・既存分析施設で検証された分析手法等は、分析・研究施設第2棟の設計等にその成果を反映
- ・取り出し規模の拡大以降の分析成果は、取り出し設備の見直しや燃料デブリ保管施設の設計に反映
- ・また、これら分析成果は将来の処理・処分方策の検討に供する

-----> 燃料デブリ試料  
 ———> 燃料デブリ

※ 取り出し規模の拡大と第2棟の運用開始時期は逆転の可能性あり

## (参考) 既存分析施設における分析と第2棟への反映スケジュール

- 2021年内に燃料デブリ取り出しが開始された後は、まずは**構外の既存分析施設で分析に着手**
- 第2棟の設計には、既にこれまでのIRID/JAEAによる燃料デブリ分析方法の検討を反映しているが、更に今後実施予定の**構外の既存分析施設での分析経験を第2棟の分析方法等に反映**のうえ運用を開始する予定

(年度)	2020	2021	2022	2023	2024
第2棟					
詳細設計(2018/4～)	■				
実施計画変更認可審査(希望期間)	■				
現地建設工事(主要工程)					
準備工事(掘削等～地盤改良)		▼着工			
建設工事(基礎配筋～)		■	■	■	
単体作動試験、総合機能試験				■	
運用					■
茨城県内の既存施設					
各施設における分析準備	■	■	■	■	■
各施設の使用許可変更手続等		■	■	■	■
燃料デブリ等の分析			■	■	■

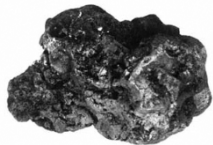
※工程は今後の精査により変更可能性がある。

## (参考) 既存施設における成果の第2棟への反映(1/2) 燃料デブリの分析に係る課題例について

- 過去の知見から、燃料デブリの分析においては、その前処理として必須の操作である**溶解が難しい**（燃料デブリは非常に溶けにくい）という課題がある
  - IRID/JAEAにおける模擬物質等を用いた研究により、**アルカリ融解技術<sup>※1</sup>の適用で解決**できそうな見通しが得られているが、1F事故の特殊性を考慮すると、不確実性が残る
  - 少量の試験取り出しの準備が進んでいるほか、**既存施設においては、アルカリ融解技術についても試験装置の準備の見通し**が得られた
- ↓
- **先行して既存施設にて実施**する燃料デブリ試料の分析において溶解試験を行い、残渣の発生その他の課題が見いだされた場合、その**対応策を検討のうえ第2棟の分析方法等に反映**

### TMI-2における溶解に係る知見

- 燃料デブリは、Zr (被覆管等の材料)と反応したこと等により、硝酸或いは硝酸+フッ酸等に**溶けにくい**

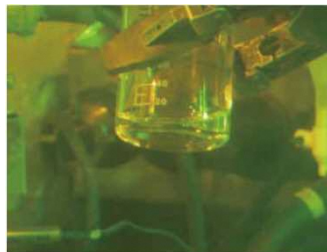


TMI-2デブリの例

### これまでの研究結果

- TMI-2デブリ(の一部)や1Fの特殊性を考慮した模擬デブリを用いた試験により、**アルカリ融解法が有効**であることを確認

模擬デブリを用いたホットセルでのアルカリ融解試験で溶解した例



### 1Fデブリの溶解試験

- 内部調査により堆積物の状況を確認
- 少量を試験的に取り出す技術開発を**実施中**



少量回収装置の例(極細線金ブラシ方式)

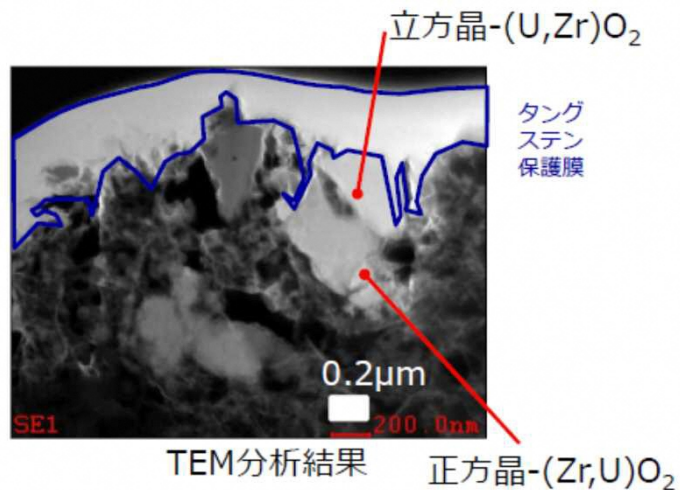
⇒ 既存施設でアルカリ融解試験を含む**各種分析手法の適用性**を確認

※1) 難溶性の物質について、固体のアルカリと混合し加熱することで反応させ、溶けやすい物質にする操作



## (参考) 既存施設における成果の第2棟への反映(2/2) 第2棟運用開始前の燃料デブリ分析について

- これまで、PCV内部調査で採取された堆積物試料について、**構外の既存分析施設に輸送し分析を実施**してきている※1
- この実績を踏まえ、ウランやプルトニウムを多く含む可能性のある堆積物について、既存分析施設に輸送し分析する計画を進めてきており、そのための輸送の方法や、分析項目についても検討が進んでいる※2



1号機PCV底部堆積物のTEM分析結果※1  
(立方晶、正方晶は結晶構造の分類の名称)

評価項目例【分析装置・手段例】	分析結果の活用例
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ウランとジルコニウム混合酸化物の組成</li> <li>・Gd含有率</li> <li>・鉄の酸化状態、ホウ素含有率</li> </ul> 【SEM-EDS、TEM-EDS、ICP-MS】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・微細構造(どのような成分がどのように混ざっているか)の情報から、事故がどのように進展したかの推察ができる。</li> <li>⇒この情報はさらに炉内のデブリの分布(どのようなデブリがどれくらいどの範囲に広がっているか)等の推定に繋がる。</li> <li>⇒取出しの計画の立案や、取り出したデブリの収納・保管設備等の設計に役に立つ。</li> <li>・中性子を吸収するガドリニウムやホウ素の含有率は、未臨界管理上重要な情報になる。</li> </ul>
FP分布(セシウム、ストロンチウム濃度等) 【放射線分析、ICP-MS、TIMS】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一部のFP量等の分析から、その場所の核物質がどの程度核分裂したか(燃焼度)が推定可能。</li> <li>⇒燃焼度からFPの初期生成量を推定し、FPの残存率を評価可能。</li> <li>⇒FP残存率は収納・保管設備等の設計に重要な情報になる。</li> </ul>
線量率 【放射線分析】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料デブリの放射線の強さ等は、取り扱い時の被ばく低減方策の検討に役に立つ。</li> </ul>
切断性(硬さ、じん性) 【ビッカース硬度計】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料デブリの切断性の情報は、切断治具の設計等に反映、活用できる。</li> </ul>

### サンプル分析の目的(※2をベースに解説)

※1)廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議(第56回)資料3-3より「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」 2018/7/26

※2)廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議(第56回)資料3-3より「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」 2018/7/26  
 分析装置略称：TEM:透過型電子顕微鏡、SEM:走査型電子顕微鏡、EDS:エネルギー分散型X線分析、ICP-MS:融合結合プラズマ質量分析計、TIMS:表面電離型質量分析計