

燃料デブリの分析について

TEPCO

2024年10月24日

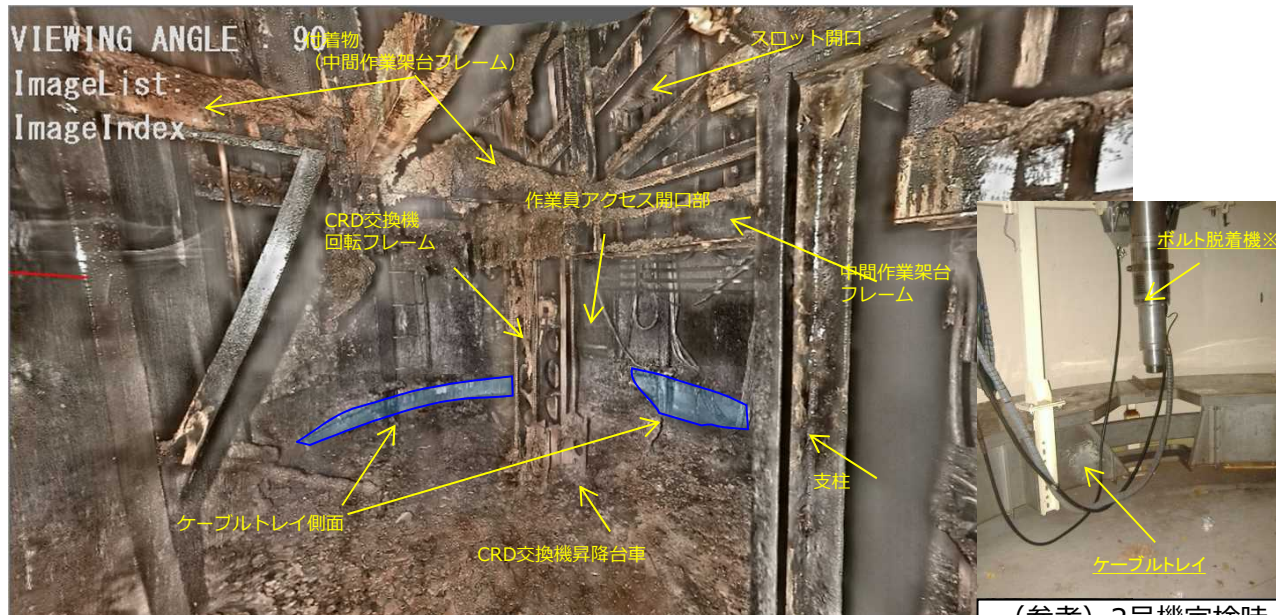
東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

- 2号機ではテレスコ式調査装置による試験的取り出し作業を進めており、ペDESTAL床面から少量の燃料デブリを取り出す予定である。
- 格納容器内部調査等の結果から、ペDESTAL床面には燃料成分を含む溶融物が固化したものが堆積していると推定。金属（構造材成分）を多く含む可能性がある。
- 取得箇所が限定的で、少量であることを踏まえ、以下3点に着目し分析項目を設定。
 - 分析結果から直接的に採取箇所の燃料デブリ性状を把握する。
 - 採取した燃料デブリがどのように生成（由来、温度、雰囲気等）したかを検討することにより、採取箇所近傍や通過した経路等に関する情報を推定する。
 - 分析の取り組みを継続し、更に広範囲の性状を理解し、効率的に炉内全体の状況を把握する。
- 試験的取り出しでは主に燃料デブリの組成に着目した分析を実施し、後段の取り出し工程の安全評価等に活用する。
- 燃料デブリは構外分析施設（日本原子力研究開発機構(JAEA)大洗研究所、原子力科学研究所、日本核燃料開発株式会社(NFD)、MHI原子力研究開発株式会社(NDC))で分析を行う計画としている。
- JAEA大洗における全体分析の結果（燃料デブリ表面の元素分布等）について数か月程度、その他施設の分析項目も含めた結果については約1年程度で取りまとめる予定。分析期間については、作業状況・分析結果によって変わり得る。
- なお、福島第一原子力発電所構内のグローブボックスにおいて、燃料デブリ輸送時の安全を確認する目的として重量測定、水素発生量測定を実施する。

2. 格納容器内部調査結果によるペDESTAL床面堆積物に関する推定 **TEPCO**

- ペDESTAL床面に小石状・粘土状に見える堆積物が存在している。
- CRD交換機のフレーム、ケーブルトレイ等の構造物に大きな変形や損傷が無い。
 - 堆積物は溶融後に固化したのに見えるが、ステンレス鋼製のケーブルトレイには変形が確認されず、熱変形を生じさせる温度ではなかったと考えられることから、燃料デブリは金属成分（構造材成分）を多く含むと推定している。
- 燃料集合体の一部（上部タイププレート）が格納容器床面で確認された。
 - 原子炉圧力容器底部に、上部タイププレートが落下可能な穴が空いたと考えられ、落下位置周辺をはじめ、ペDESTAL床面の堆積物は燃料成分を含むものと推定している。



上部タイププレート
(2018年1月)

ペDESTALの状況 (2018年1月)

(参考) 2号機定検時

※運転時には上記構造物は
PCV内より撤去

3. 燃料デブリの取り出しにおいて段階的に取得する情報

- 燃料デブリ取り出しは、内部調査をベースに段階的に進める計画
- 既設の安全設備を活用し、安全性が確保されていることを確認しながらステップ・バイ・ステップの観点で徐々に規模を拡大していく
- 各ステップで情報を取得しながら、後段のステップへ反映して新たな情報を取得する
- 試験的取り出しにおいては主に燃料デブリの組成を取得する
- また、燃料デブリ分析の経験を蓄積し、分析・評価の精度向上を図る

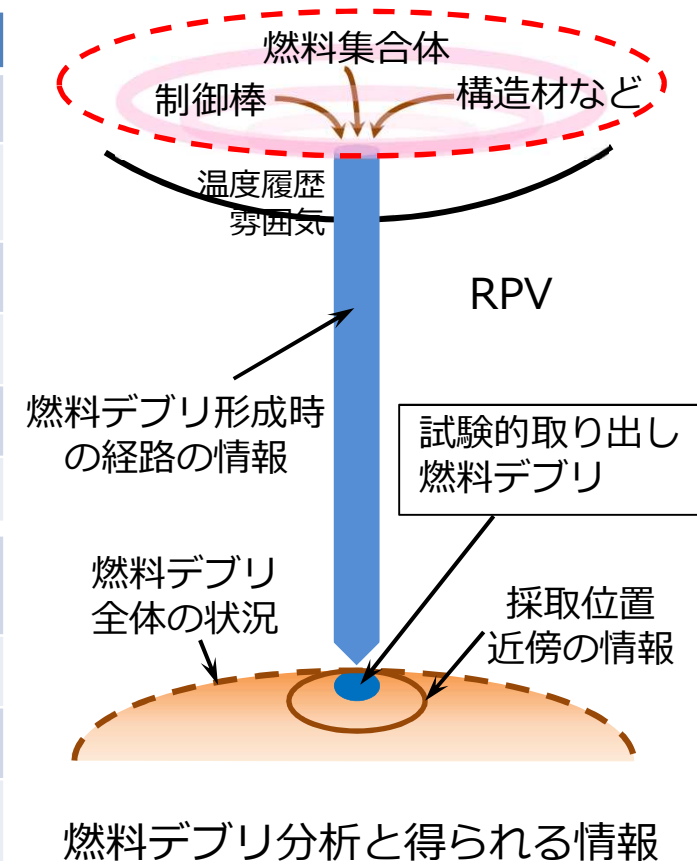
規模		採取量	概要	保管	後段ステップに活用する情報
ステップ	接触調査	—	動かせるかどうかを確認 回収は行わない	—	可動性
	試験的取り出し	少	燃料デブリを採取 組成を分析し未臨界性を確認	※分析後は 将来 1 Fにて保管	未臨界性・被ばく (組成)
↓	段階的 規模の拡大 (小規模)	把持 ・吸引	 収納・移送・保管までの一連の成 立性を確認	第一保管施設	未臨界性・被ばく (組成、サンプル数増加) 切削工法 (機械的特性)
		切削			切削による採取、定常的な切削が 可能か確認 段階的に取り出し量の拡大、大規 模取り出しが可能か確認

4. 燃料デブリの特性の測定とその成立ちに関わる特性の測定

- 取得した燃料デブリ自体の特性により、採取場所における情報を代表
- 取得した燃料デブリの成立ちに関わる特性により、燃料デブリ形成時の経路における炉内状況の情報（由来、温度、雰囲気等）を推定し、採取位置近傍や関連場所の情報を推定
- 分析の取り組みを継続し、更に広範囲の性状を理解し、効率的に燃料デブリ全体の状況を把握

主な分析項目

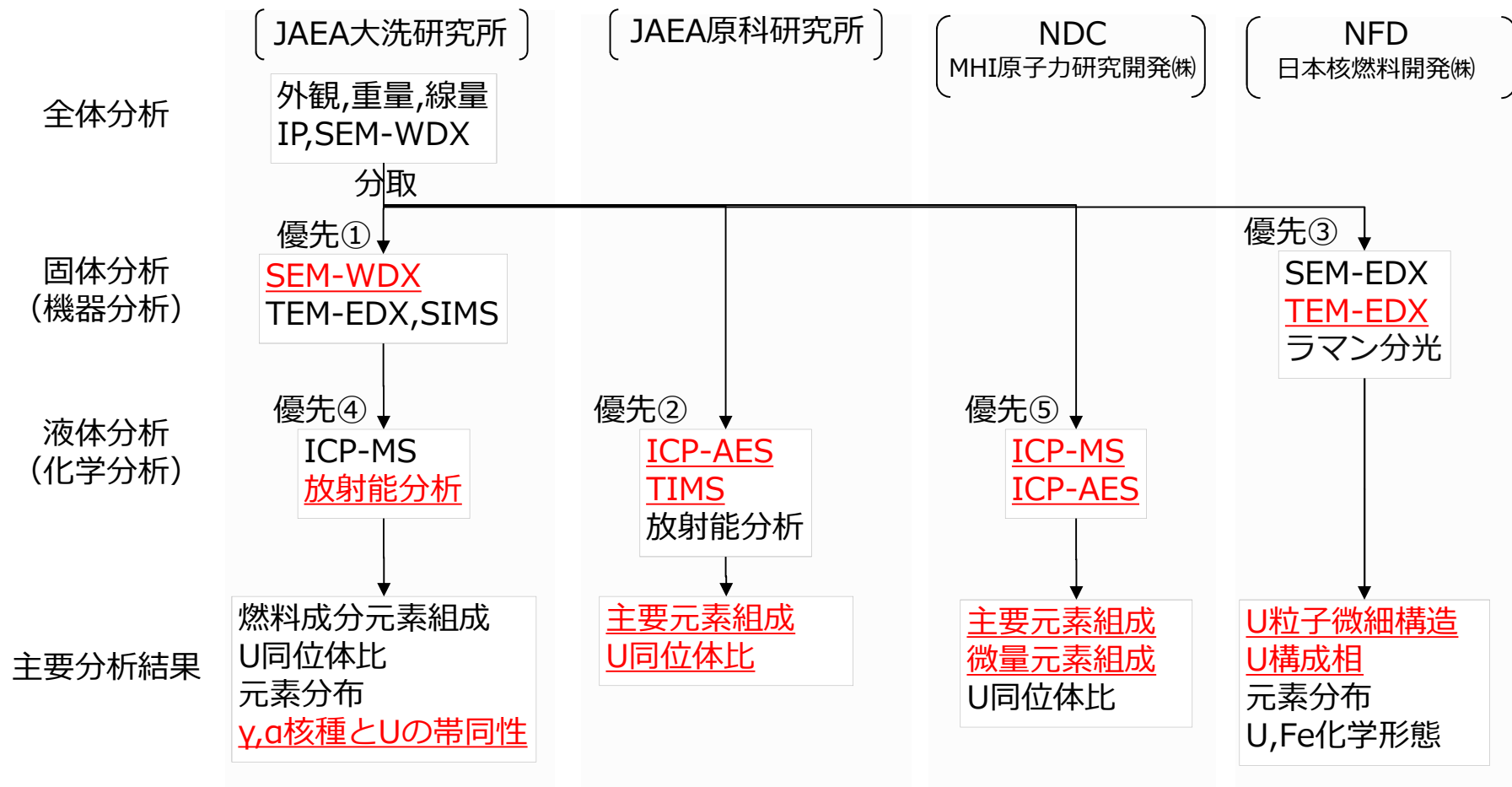
	分析項目	分析方法（例）
試料自体の特性	外観・寸法・重量	外観/金相、重量測定
	組成・同位体比	ICP-AES、ICP-MS、TIMS
	放射能濃度	α、γ線スペクトロメトリ
	相(密度)分布	X線CT
	元素分布	SEM/EDX、SEM/WDX
	化学形態	SEM/EDX+TEM/EDX
成立ちに関わる特性	局所組織	SEM/EDX、SEM/WDX、TEM/EDX
	局所組成・元素分布	TEM/EDX
	局所同位体比	SIMS
	局所結晶構造	TEM/EDX/電子線回折、ラマン分光



※ 分析内容は試料量・状態に依存

5. 分析全体フロー

- 複数分析機関の特徴（赤字）を活用した分担体制
- 重複する分析項目は分取した燃料デブリの等価性の検討に活用
- 主要な分析は約0.2g程度必要。採取できた燃料デブリの量に応じて分析の優先順位を設定



※赤字下線部は分析機関の特徴を示す

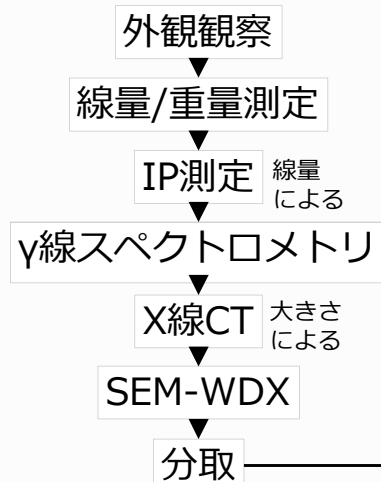
(参考) 分析方法略称と分析方法概要

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。

(参考) JAEA施設の分析フロー

〔大洗研究所〕

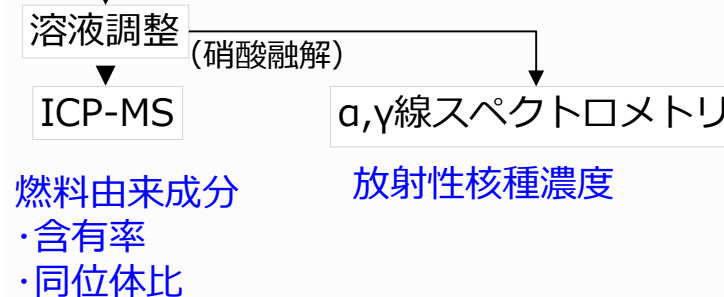
【全体の分析】



【機器分析】



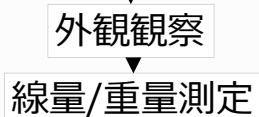
【化学分析】



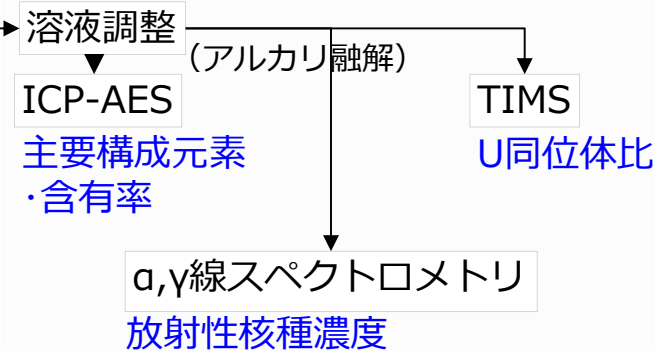
〔原科研究所〕

〔NFD,NDCへ〕

【全体の分析】



【化学分析】



(参考) NFD及びNDCの分析フロー

〔NFD(日本核燃料開発(株))〕

【全体の分析】

〔JAEAより〕

外観観察

線量/重量測定

【機器分析】

SEM-EDX

U粒子の探索・分類
観察候補選定

TEM/STEM-EDX
(電子線回折),
ラマン分光

U粒子微細構造・構成相
・元素分布
・結晶構造
・U,Fe化学形態

〔NDC(MHI原子力研究開発(株))〕

【全体の分析】

〔JAEAより〕

外観観察

線量/重量測定

【化学分析】

溶液調整

(混酸・加圧溶解)

ICP-AES, ICP-MS

主要構成元素
・含有率

SEM-EDX

元素含有率
・残渣含有元素