

# セッション2 燃料デブリ

**小山 真一**

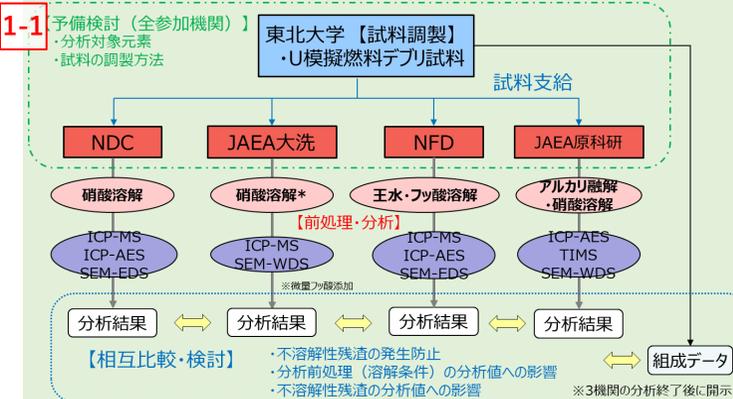
廃炉環境国際共同研究センター (CLADS)

副センター長

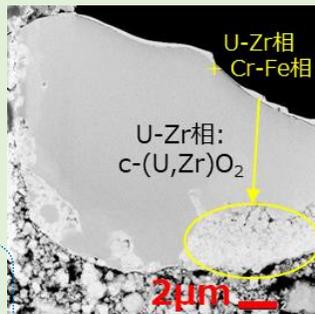
燃料デブリ取出しに向けた燃料デブリ、構造物等の炉内状況の推定、分析情報の提供、取り出し規模の拡大へ対応可能な分析技術の開発、人材・体制の整備、燃料デブリ取り出しや保管の方法・計画に応じた、安全評価を可能とする基盤データの取得を進めてきた。これらの得られた知見をデータベース化し、利用促進を図ってきた。

## ・ 非破壊測定を含む取り出された燃料デブリの分析技術、評価手法の確立

## ・ 廃棄物と燃料デブリの仕分けのための非破壊計測技術開発



X-6ペネ調査装置付着物 (2021年度分析)



- 一つの粒子中にU-Zr相とFe-Cr相が混在
- ⇒事故進展時に、燃料成分 (U, Zrを含む) と構造物成分 (Fe, Crを含む) の混合過程が存在
- ・構成相と各相の元素組成から、粒子生成時の到達温度、雰囲気条件を類推可能

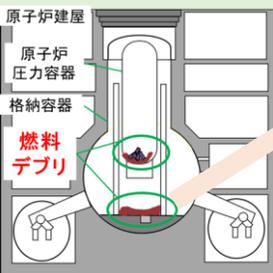


原子力科学研究所/NUCEF/BECKYにあるアクティブ中性子装置(JAWAS-T) 非破壊計測技術開発

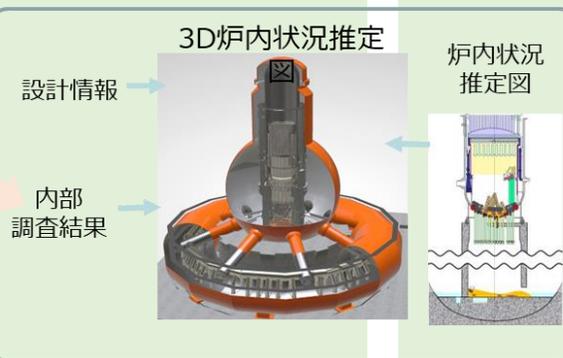
国内の主要な機関が参加し、共通試料を用いて「核種・元素量」に対する分析手法の共通認識化を図り、体制を整備

TEM分析によるU-Zr粒子の詳細観察  
ウラン含有粒子を含む1F汚染物サンプルの分析を通じた燃料デブリの生成メカニズム解明

## ・ 燃料デブリの分析と事故事象の解析・評価による炉内状況の推定 ↔ ・ 得られた知見を結集し、原子力安全に寄与



堆積物の分析を茨城地区で実施中  
固体分析 (光学顕微鏡、SEM-EDX等) の結果、Feが広く分布している等、1号機PCV内の過去サンプルと類似の傾向を示唆  
PCV内部の状況把握から燃料デブリ取出し工程の検討へ寄与



2号機のデブリ分布-RPV・PCV状態の推定図

debrisWiki

1-2

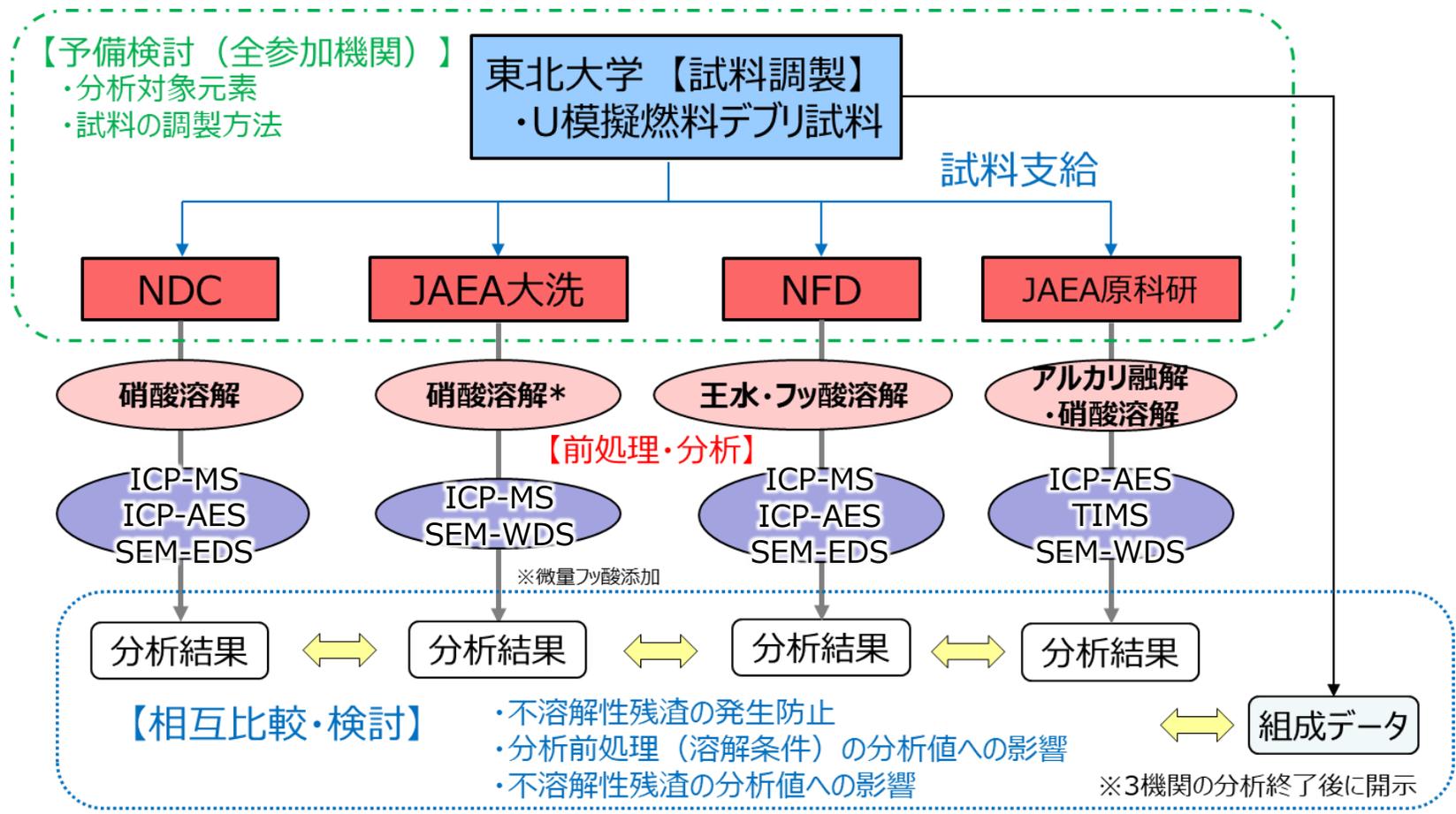
広く知られている Wikipedia と同じ構成



debrisWikiに記載される情報を視覚的に分かりやすく把握できるようにWeb3Dを作成、得られた内部調査結果等を反映し更新

デブリ分布図 (2号機の例)

国内の主要な機関が参加し、共通試料を用いて「核種・元素量」に対する分析手法の共通認識化を図り、体制を整備



## 2号機のデブリ分布・RPV・PCV状態の推定図

- 水素発生によるPCV圧力上昇からエネルギー量を想定し、大部分の燃料が損傷・崩壊したと推定。(実測・解析)
- CS注水時に温度低下が確認されたことから、低流量のCS注水で水がかかる炉心外周位置に燃料と推定(燃料支持金具、CRGTに溶融燃料が落ち込み固化した場合でも熱源として同等な挙動を示すため、詳細なデブリ位置は推定不可能)。(実測)
- ミュオン測定の結果から、炉心外周部に燃料が存在している可能性。(実測)
- 燃料棒があるとしても外周部に一部。(一般的な推定)
- 溶融燃料が固化した一般的な酸化物デブリと推定。(一般的な推定)

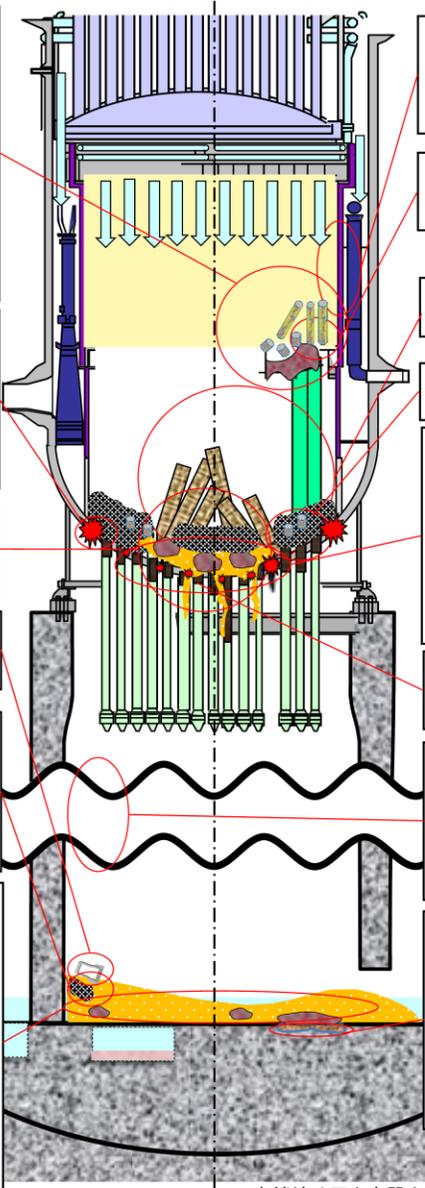
- 上部タイプレートがベデスタル外周部に落下していることを踏まえ外周部に圧力容器の破損口がある可能性。(実測に基づく推定)
- 少なくとも、上部タイプレートが落下する程度の大きさの穴が開いたものと推定。(実測)
- 外周部のCRGT及びCRDの一部は圧力容器底部に堆積した燃料デブリにより溶融・倒壊している可能性。(実測に基づく推定)

- ミュオン測定にて、圧力容器底部に燃料デブリと思われる高密度物質の影を確認。下部プレナムに落下した燃料がRPV底部に残存している可能性。(実測)

- 上部タイプレート等がベデスタル床に落下しており、同じRPVの穴を通して落下したと考えられるその周辺にある堆積物は燃料デブリと推定。(実測)

- ベデスタル床には小石状や岩状の堆積物などが確認されたが、岩状の堆積物まわりには水が溜まっている様子が確認できることから、岩上の堆積物は透水性がない可能性。また、小石状の堆積物の周囲にもところどころ水の溜まっている箇所が確認されており、小石状の堆積物の下には岩上の堆積物が広がっている可能性。(実測)

- プラットフォームからベデスタル底部にかけて計測された線量と温度について、線量は底部に近づくときやや高くなる傾向であり、一方、温度は単調変化ではないものの若干の低下傾向が確認されているが、総じて大きな変化ではない。加えて、ベデスタル下部構造物に目立った損傷が見られないことから、ベデスタル床上の燃料デブリは線量や崩壊熱が比較的小さいと考えられ、金属を多く含む可能性。(実測に基づく推定)
- ベデスタル底部全体に燃料デブリを含む堆積物が広がっているものと推定。(実測)
- PCV床に水が溜まっていた場合、粒子状デブリが形成される。(一般的な推定)
- 粒子状デブリがある場合、淀み部にたまる可能性。(一般的な推定)



- FDW流量増加時にPLR系圧力上昇したことから、シュラウド外に水位が形成されている可能性。(実測)
- CS注水による温度低下、注水量増加時のシュラウド外水位上昇から、シュラウドの大規模損傷はないと推定。(実測)

- 外周部における燃料の温度上昇はそれほど高い可能性のあることから、燃料棒残骸およびペレットが外周部に残っている可能性。(一般的な推定・試験・解析)

- 高温の燃料デブリからの熱移動が小さい場合、CRGTは溶けずに残る。(一般的な推定)

- 粒子状デブリ・ペレットがある場合、淀み部にたまる可能性。(一般的な推定)

- PCV内部調査時に外周部のCRDが確認できており、またグレーチング欠損の状況から、RPVの穴は中央部およびその周辺部と推定(大きくない)。(実測に基づく推定)
- 場所によって強弱はあるもののベデスタル床一面に水滴が落下している様子が観測できていることから、圧力容器底部のCRDハウジング付近には小さい破損口が複数ある可能性。(実測に基づく推定)
- 穴から落ちたデブリの一部はCRDハウジングなどにへばり付くと推定。(一般的な推定)

- CRGTやCRDハウジングの破損に伴いCRDハウジング内部に燃料デブリや溶融した金属が若干侵入している可能性。(一般的な推定・試験)

- 鮮明化した映像から、CRD交換レールからみてプラットフォームの左側で水滴が多く落下する様子が確認されており、その辺りではPPケーブル等の位置が特定できず、またプラットフォームのグレーチングが欠損している。したがって、直上にはRPV破損口があり、破損口から原子炉へ注水した水が滴下している様子をとらえた可能性(実測)

- PCVシェルの破損の傾向は無い(サンドクッションドレンパイプからの漏えいなし)ため、MCCIは限定的と推定。(実測)
- ベデスタル壁、ケーブルトレイ、CRD交換機の柱など溶融することなく存在しており、MCCIは限定的であった可能性。(実測・一般的な推定)
- 燃料デブリはほとんどMCCIを起こさず固化した可能性。(実測に基づく推定・解析)
- MCCIを起こした燃料デブリはコンクリートと混合していると推定。(一般的な推定)

凡例 Rev.15 (2019.3.29)

	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
	破損したシュラウド※
	ペレット
	RPV破損口
	上部タイプレート
	堆積物(材質不明)
	バルーニング燃料※
	酸化物デブリ※
	重金属デブリ※
	粉状ペレット※
	被覆管残渣※
	溶融炉内構造物※
	固化B4C※
	制御棒混合溶融物※

一点鎖線は圧力容器内・ベデスタル内の状態が非対称であることを表現

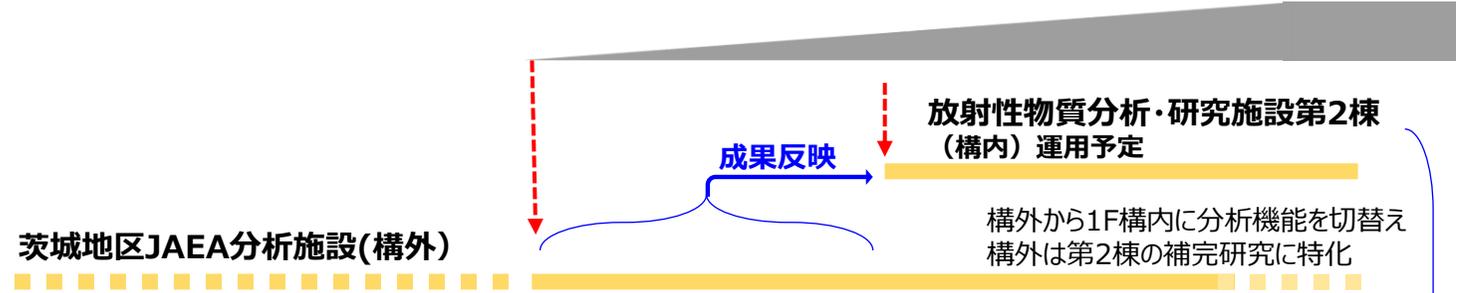
※2号機の推定図中では使用していない

■ 中長期ロードマップ

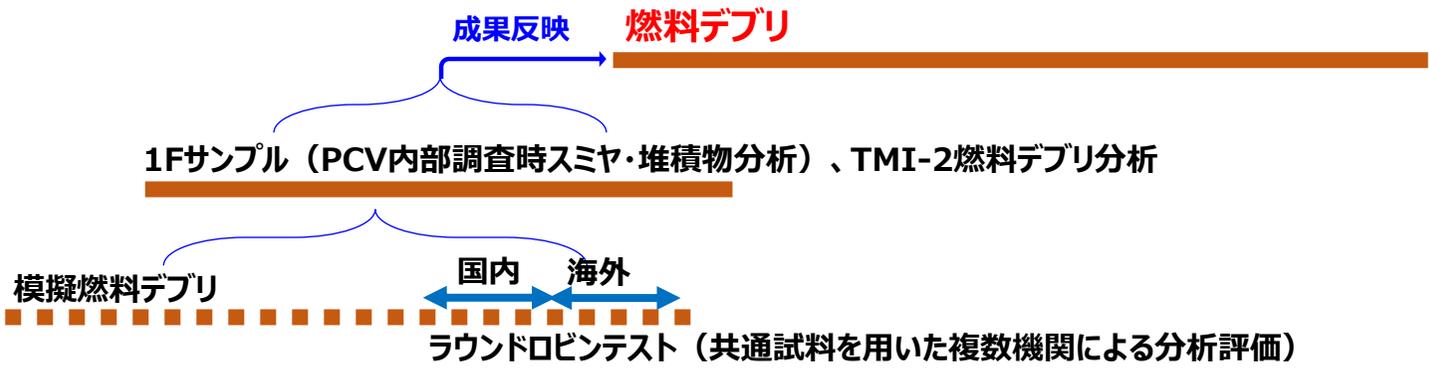


燃料デブリ 試験的取出し      燃料デブリの 段階的取出し規模の拡大      燃料デブリ分析が 軌道に乗った頃

施設



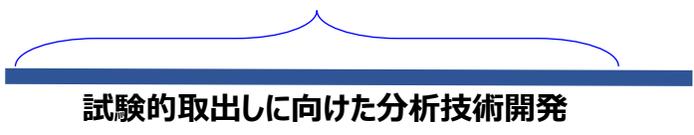
サンプル



人材体制

研究開発 への参画、 OJTなど

研究 開発



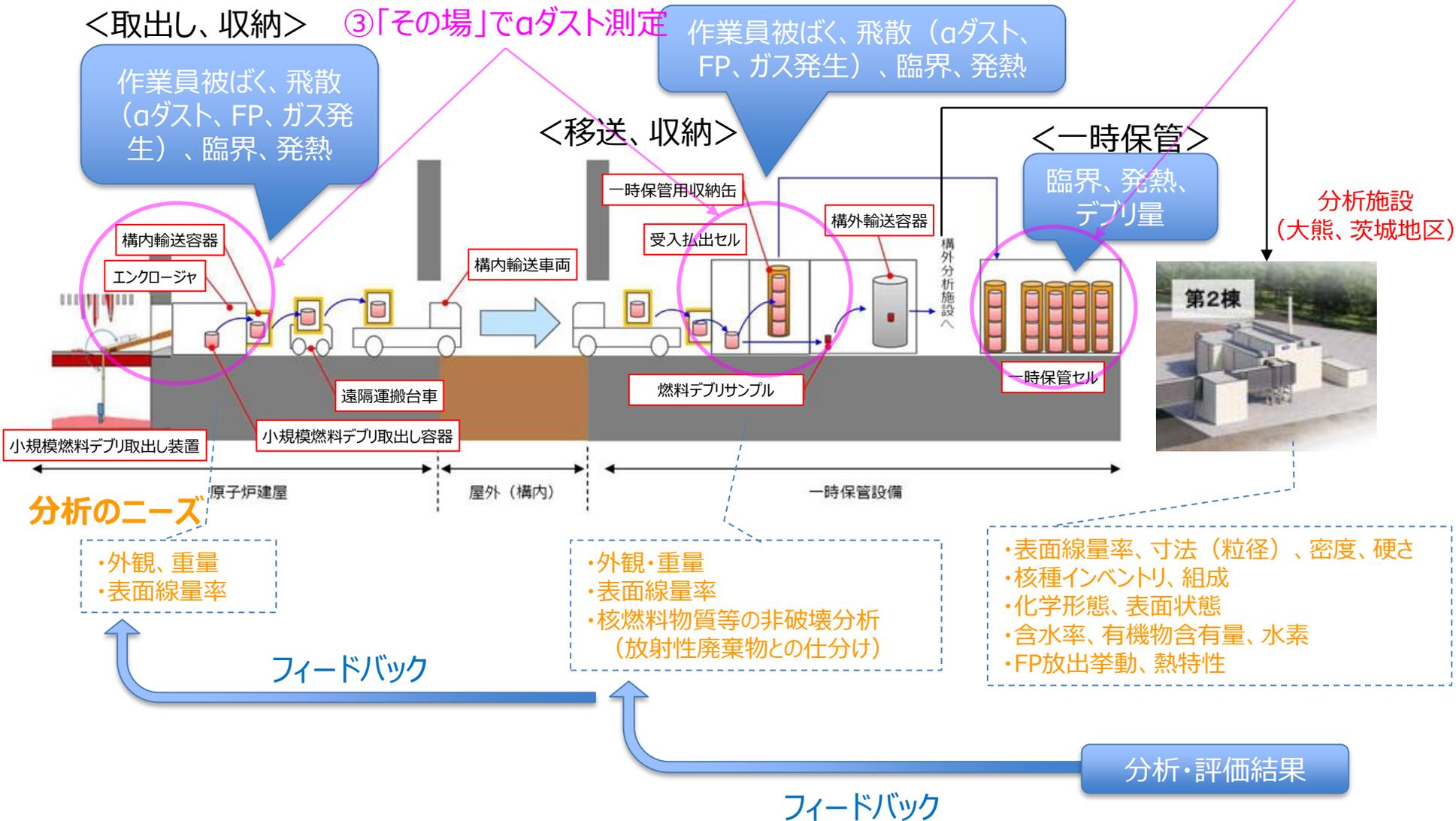
知見

照射済燃料・TMI-2燃料デブリ分析の知見  
放射性核種の取扱い及び施設運転経験

デブリ取出し以後も  
JAEAの強みを生かた  
取組み成果の反映を継続

## A 燃料デブリの取出しから一時保管まで

- ①炉内に堆積した燃料デブリの性状
- ②燃料デブリ中の微量核種分析法

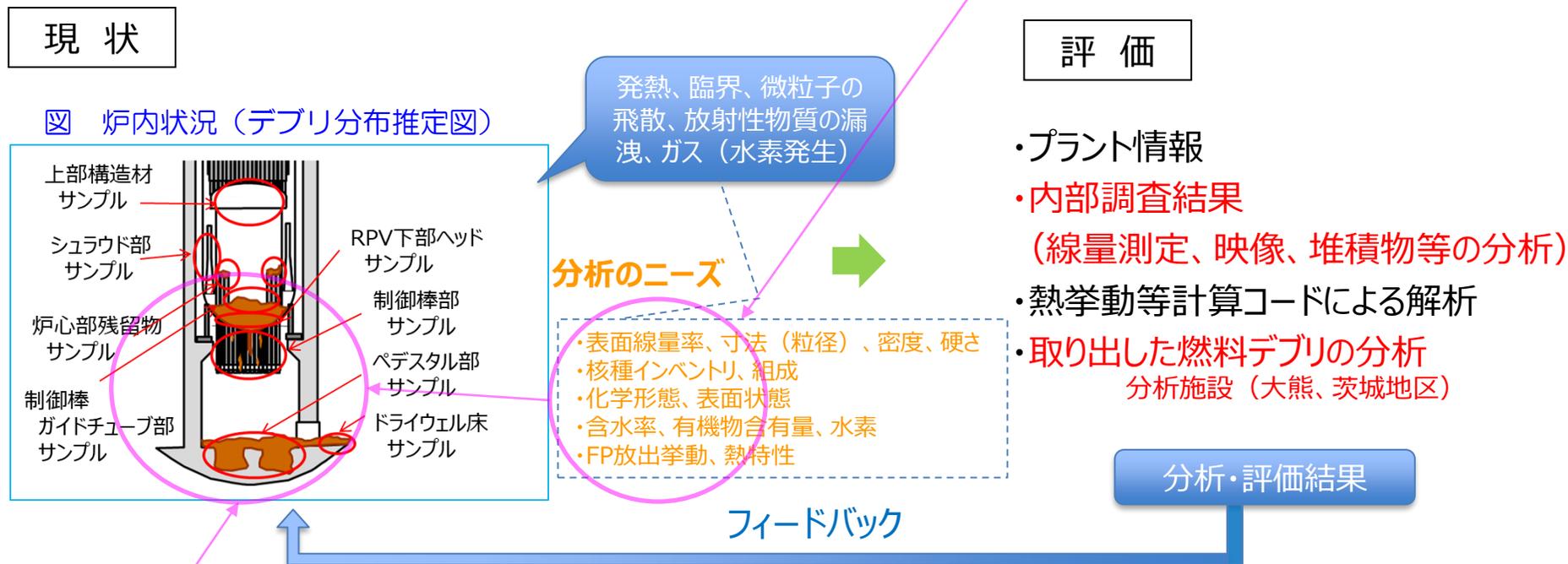


## B 燃料デブリの処理を考えておく

- ・一時保管や、放射性廃棄物と同様の分析が必要  
(核種量：38核種分析等)

- ①炉内に堆積した燃料デブリの性状
- ②燃料デブリ中の微量核種分析法

## C 炉内に残っている燃料デブリの状態はどうなっているか常に把握しておく



④レーザーによる燃料デブリの「その場」分析

## 燃料デブリの分析と事故事象の解析・評価による炉内状況の推定

- 燃料デブリの取り出しに向けて、炉内状況（どこに、どんな燃料デブリがあるのか）を把握する。

### ◆ 炉内に堆積した燃料デブリの性状に迫る

#### 非破壊測定を含む取り出された燃料デブリの分析技術、評価手法の確立

- 燃料デブリの安全な取り出し、処理、保管に向けて、特にU、Pu、Np、Am、Cmといったアクチノイドの量や比を明らかにする。
- 廃炉作業を進めるうえで、作業員の(内部)被ばく評価やダストの飛散評価は不可欠。内部被ばく影響の大きい $\alpha$ ダストを実測する。
- 燃料デブリの安全な取り出しにむけて、炉内にある燃料デブリ等をその場で分析する。

- ◆ 燃料デブリ中の微量核種の効率的な分析を実現
- ◆ 過酷環境の「その場」で $\alpha$ ダストを測定
- ◆ レーザーによる燃料デブリの「その場」分析