

2022年8月29日

第6回福島第一廃炉国際フォーラム (DAY 2)

いわき市芸術文化交流館「アリオス」

# わが国の分析の力量と大学の取組み

---

原子力損害賠償・廃炉等支援機構

湊 和生

- 分析する対象の特徴、目的
  - 分析対象はどのようなものか？
  - 何のために分析するのか？
  - 分析するには何が必要なのか？
- 既存の分析施設・方法・人材
- 1F廃炉に向けた分析に係る課題
- 課題解決に向けた取組み方策
- 大学の新たな取組み
- まとめ

## ■ デブリ、事故由来廃棄物

- 世界初の沸騰水型原子炉の炉心溶融事故
- 事故時の停電により多くのプラントパラメータの記録がない
- 安全機器の作動状況が不明瞭
- 事故収束のために海水注入
- 炉内状況、デブリの状態、核分裂生成物の放出経路等に多くの不確かさ
  - 通常の廃止措置では、見られないもの
  - 性状が未確認のもの
  - 高線量のものが多い
  - 多種多様なものがある
  - 難測定核種がある
  - 高い適時性が求められる
  - 分析量が膨大
  - サンプル量が限定



1 Fの2号機のペDESTAL底部の小石状の堆積物  
(資料提供：東京電力)

## ■ 基礎的な物性を迅速に把握

- 核種インベントリ、化学組成、化学形態、密度、・・・等

## ■ 分析結果は、重要な基礎情報で、多くの反映先

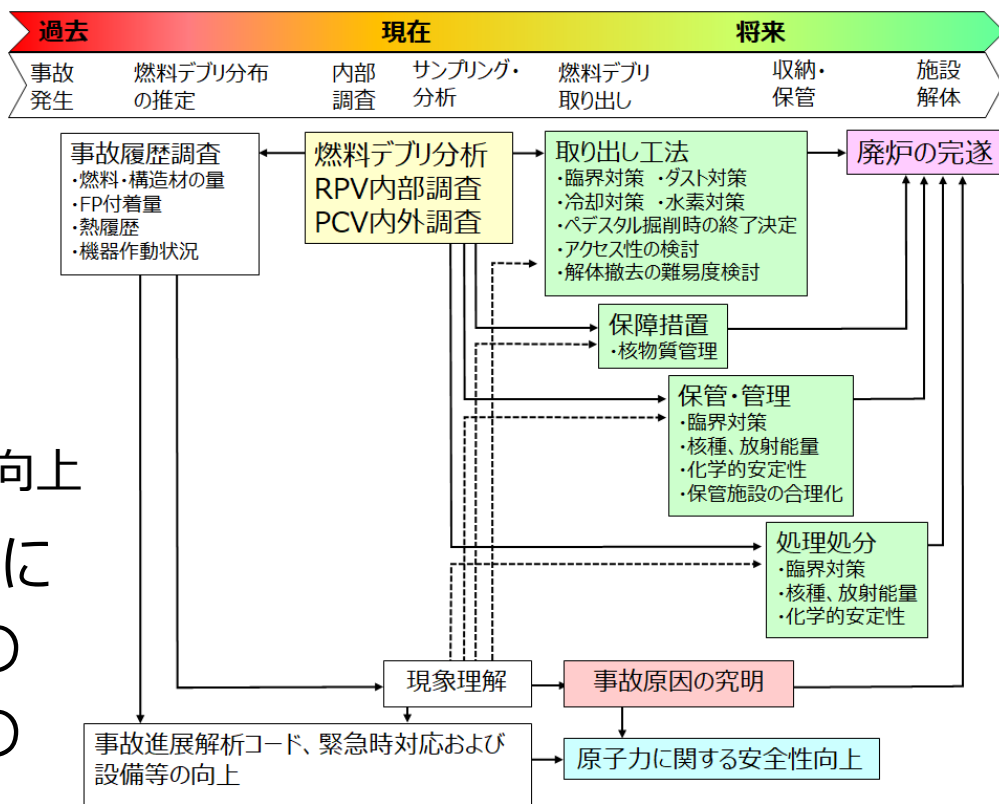
### ➤ 廃炉作業

- 取り出し工法
- 保管・管理
- 処理処分

### ➤ 事故原因の究明

- 現象の理解
- 原子力に関する安全性向上

## ■ 分析結果は、廃炉を円滑に進めるにあたり、不確かさの幅を小さくするための一つの重要な要素



分析・調査結果の反映先とその関係 (出典：技術戦略プラン2021)

## ■ 分析する施設

- デブリ、事故由来廃棄物を取り扱える施設・設備

## ■ 分析する方法

- デブリ、事故由来廃棄物に適用できる方法・技術・装置
- デブリ、事故由来廃棄物のために新たに必要となる方法・技術・装置

## ■ 分析する人材

- 分析の実務を行う人
- 分析結果を評価し解釈する人
- 新たな分析の方法・技術・装置の開発を行う人



(資料提供：JAEA原科研)

## ■ 分析施設、分析方法はあるのか？人材は？

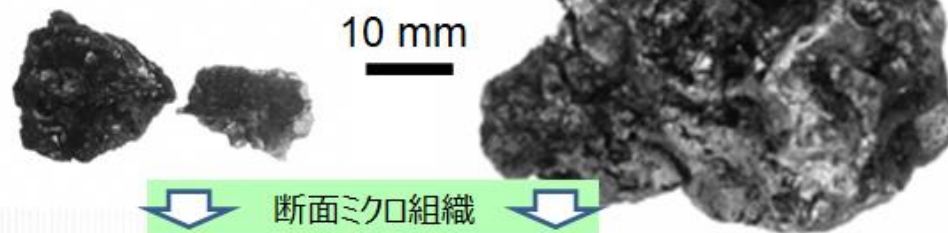
- デブリ、事故由来廃棄物の取扱い
  - 照射済み燃料・材料／放射性廃棄物と同等の取り扱いが必要
    - 放射線管理区域（核燃料取り扱い、放射性同位元素取り扱い）
    - ホットセル、グローブボックス、フード
- 既存の燃料・材料の照射後試験施設／放射性廃棄物取扱いの施設、分析方法、人材の利用が可能
  - 日本原子力研究開発機構・原子力科学研究所（JAEA原科研）
  - 日本原子力研究開発機構・大洗研究所（JAEA大洗研）
  - 日本原子力研究開発機構・核燃料サイクル工学研究所（JAEA核サ研）
  - 日本核燃料開発株式会社（NFD）
  - MHI原子力研究開発株式会社（NDC）
  - （大学の施設・設備）

## ■ 事故直後から、これらの施設・方法・人材で1F試料の分析実施

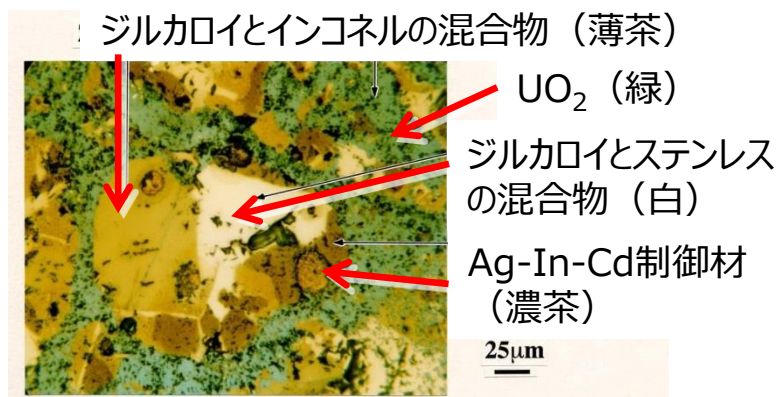
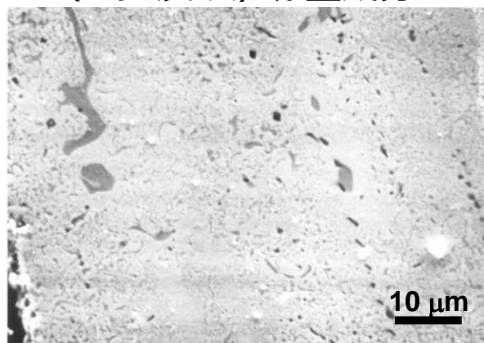


## ■ JAEA原科研

- 米国TMI-2（スリーマイル島2号機）のデブリ分析
  - OECD/NEA国際共同研究の一環
  - 約60個のデブリを1991年に日本に輸送
  - 成果は、事故進展の解明などに貢献



ウランとジルコニウムの酸化物  
(セラミックス) が主成分



JAEA原科研における米国TMIのデブリ分析例

(資料提供：JAEA原科研)

## ■ JAEA原科研

- 1Fの瓦礫類・汚染水などの分析
- 模擬デブリの分析



グローブボックス



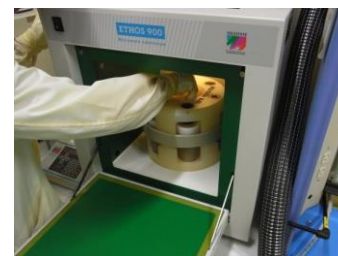
ホットセル



がれきの採取



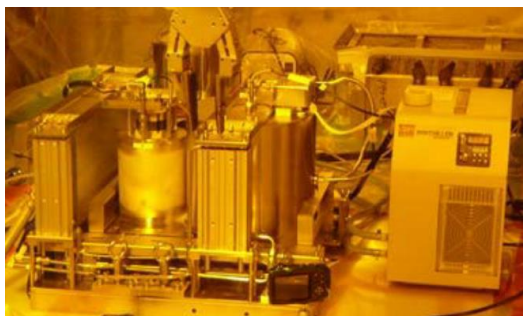
伐採木の採取



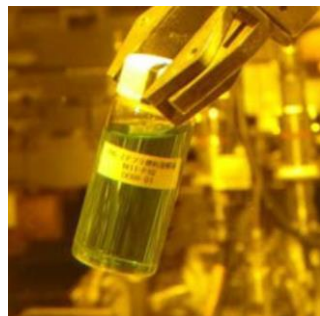
試料前処理



固相抽出剤を用いた分析



ホットセルにおけるデブリの溶解試験



- ◆ 東京電力への放射能分析に関する協力
- ◆ 東電パワーテクノロジーへの技術指導



瓦礫などの分析

(資料提供：JAEA原科研)



## ■ JAEA大洗研

- 1 Fの瓦礫類・汚染水などの分析
- PCV内付着物・スミア試料などの分析
- 模擬デブリの分析



金相セル (鉄セル)



FIB (TEM観察用試料薄片加工)



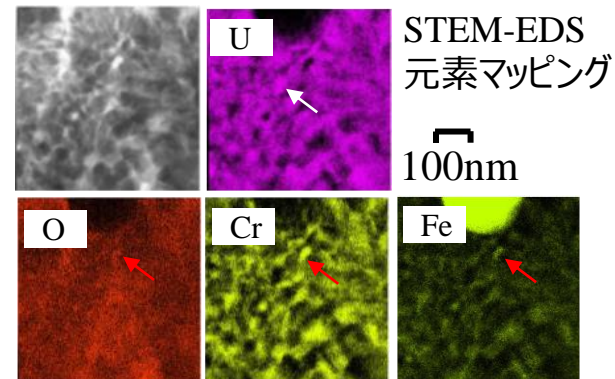
TEM (透過型電子顕微鏡)



試験セル (コンクリートセル)



FE-SEM (電界放出型走査電子顕微鏡)



格納容器内部付着物分析

(資料提供：JAEA大洗研)

## ■ JAEA核サ研

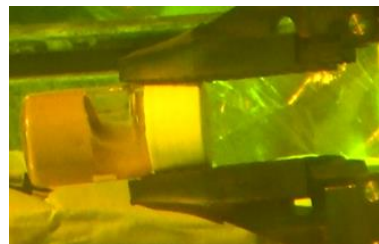
➤ 1Fの瓦礫類・汚染水などの分析



ホットセル



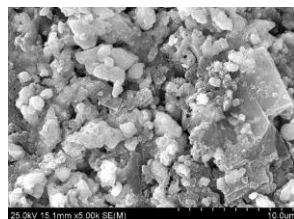
外観



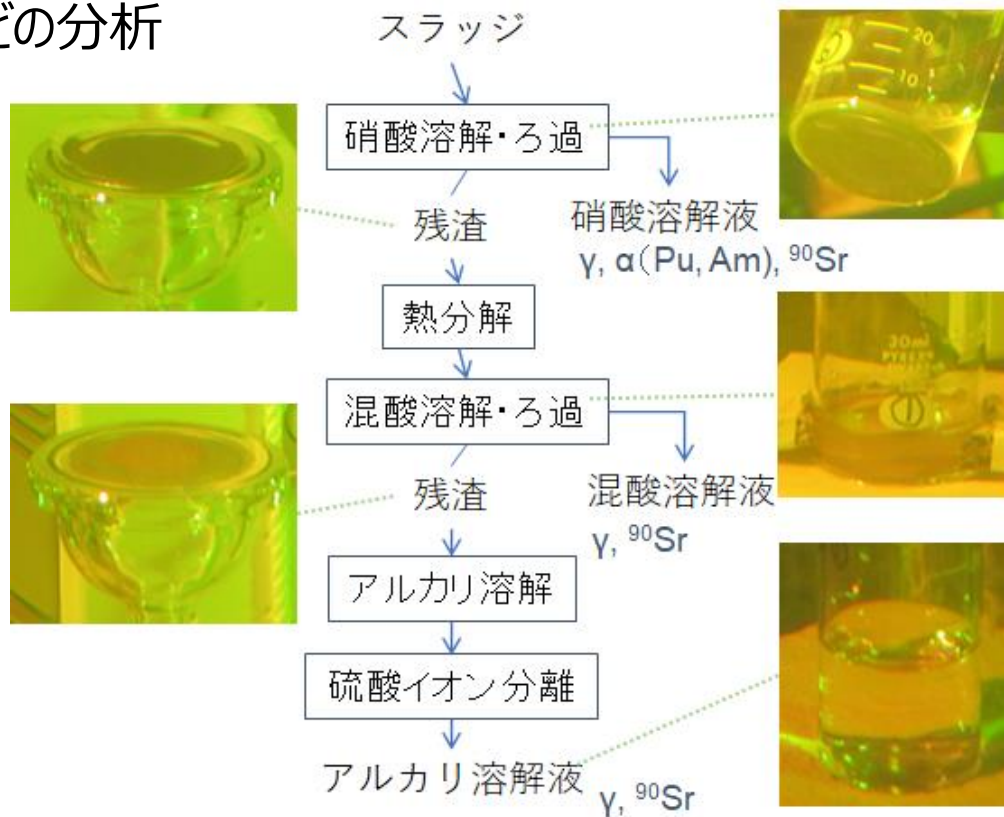
ホットセル内での性状観察



光学顕微観察



SEM-EDX分析



開発した除染装置スラッジの分析（前処理）法

水処理二次廃棄物（除染装置スラッジ試料）分析

（資料提供：JAEA核サ研）



## ■ NFD

- 1Fの瓦礫類・汚染水などの分析
- PCV内付着物・スミア試料などの分析
- 模擬デブリの分析



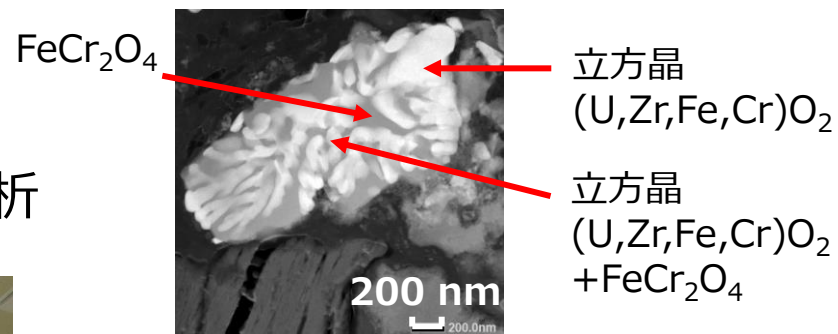
ホットセル



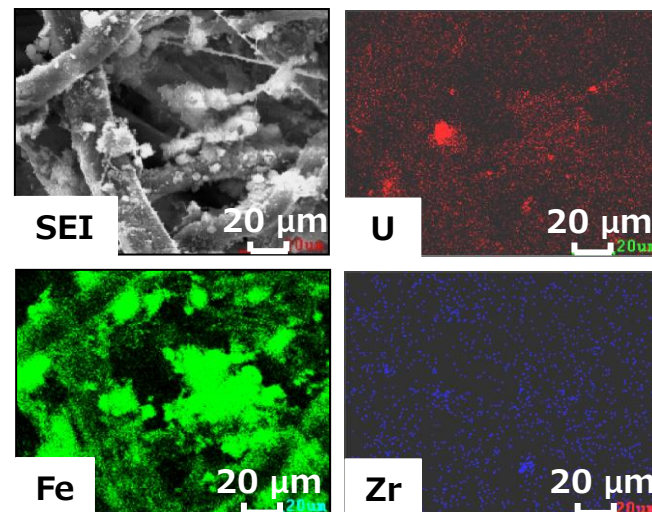
TEM (透過型電子顕微鏡)



SEM (走査型電子顕微鏡) 試料の採取



2号機原子炉建屋ハレーティングドア養生シート上のU含有粒子の詳細構造 (STEM-HAADF像)



3号機PCV調査装置付着物スミア上で観察されたU含有粒子 (SEM-EDS)

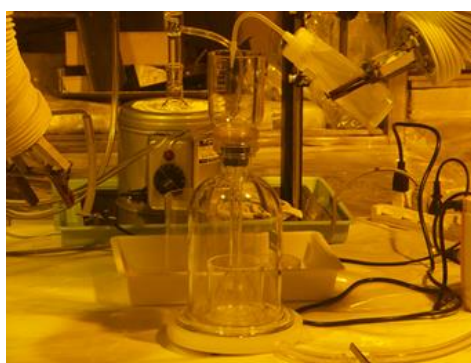
(資料提供 : NFD)

## ■ NDC

- 1 Fの瓦礫類・汚染水などの分析
- 模擬デブリの分析



ホットセル



模擬燃料デブリホットセル硝酸溶解



放射性核種分析前処理設備



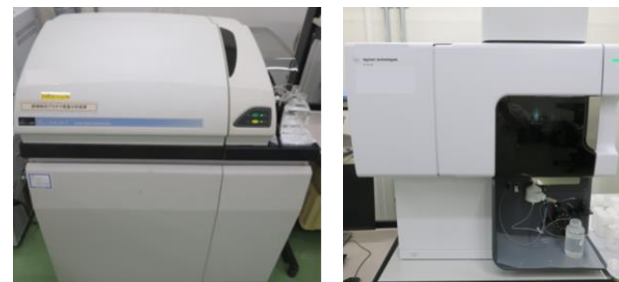
溶解前

硝酸添加後

溶解後

固液分離後

模擬燃料デブリのホットセル内での硝酸溶解操作



化学分析装置  
(左：ICP-MS 右；ICP-AES)

放射性核種分析

(資料提供：NDC)

## ■ 既存の施設だけで 1F 廃炉に対応できるのか？

- 他のタスクもあり、1F 廃炉のための分析に専念できない
- 1F から離れた茨城地区にあり、適時性に劣る
- 1F 廃炉で要求される分析量に対して容量不足

## ■ 新たな施設が 1F 隣接地/敷地内に建設・計画中

- 放射性物質分析・研究施設第 1 棟 (竣工済、管理区域設定準備中)
- 放射性物質分析・研究施設第 2 棟 (建設準備中)
- 東京電力総合分析施設 (計画中)



放射性物質分析・研究施設 完成イメージ図 (資料提供：JAEA福島部門)





## ■ 既存の分析の方法だけで 1 F 廃炉に対応できるのか？

- 1 F廃炉で求められること
  - 多くの試料に対応すること
  - 廃炉作業を効率的に進める分析をすること
  - 現場の目的に合わせた分析をすること
  - 事故原因の究明につながる分析をすること
  - 限られた分析人材を有効活用すること
  - 分析作業への負荷を軽減すること

## ■ 新たな分析の方法・技術・装置の開発が必要

- 分析の迅速化、自動化
- 分析の簡素化、効率化
- 分析の精度向上、高度化
- 1 F 廃炉の工程における特化した項目の分析技術
- 少ないサンプル量の分析結果から全体を推定する統計論的アプローチ

## ■ 分析する人材はいるのか？

- 既存の施設で分析に携わっている人は、既存の施設で必要
- 新たな施設では、新たに分析に携わる人が必要

## ■ 分析に係る人材の新たな育成、確保、維持が必要

- 多岐にわたる知見・技術を持った人材が必要
  - 一般的な化学分析や機器分析
  - 放射線の特性と測定、放射性同位元素の物理・化学・生物学的特性
  - 放射線防護、原子力・放射線の関係法令
  - 燃料・材料の化学反応性、など

## ■ JAEA等においては、 $\alpha$ 核種の取扱い、燃料の分析技術に関して十分な知識と経験が蓄積

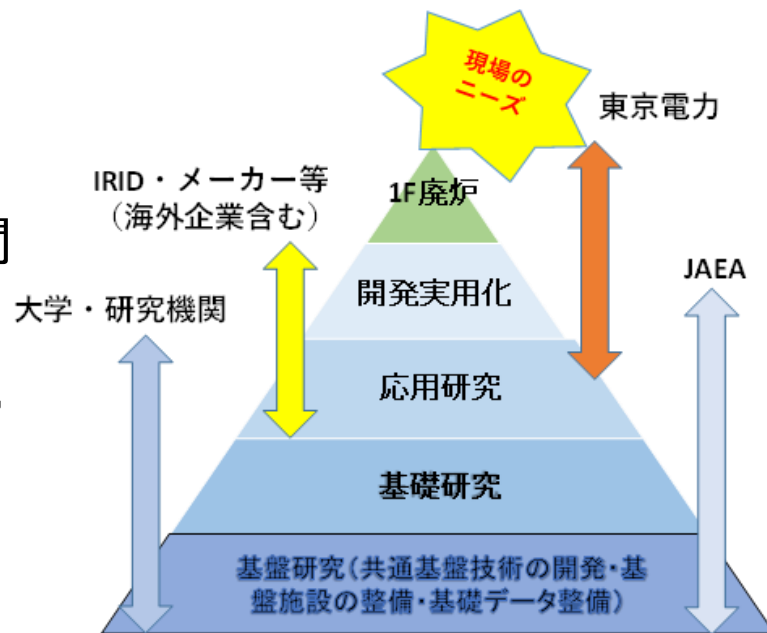
- 東京電力とJAEA等における人材交流は重要
- 分析評価する人は希少であり、これを増やすことに取り組むことも重要

## ■ 政府による支援

- 廃炉・汚染水・処理水対策事業（国プロ）
  - 応用研究、実用化研究及び現場実証のうち難度の高いものを対象
- 英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業（英知事業）
  - 国内外の大学、研究機関等の基礎的・基盤的研究及び人材育成の取組みを推進するものを対象

## ■ 産学官の多様な機関による取組み

- 国内外の大学や JAEA 等の研究機関による基礎・基盤研究及び応用研究
- IRID、海外企業を含むメーカ、東京電力等による実用化研究、現場実証等



廃炉研究開発の研究範囲と実施機関

(出典：技術戦略プラン2021)

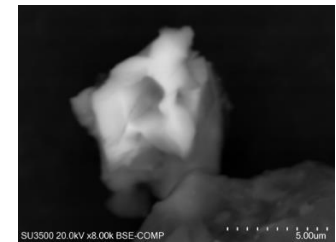
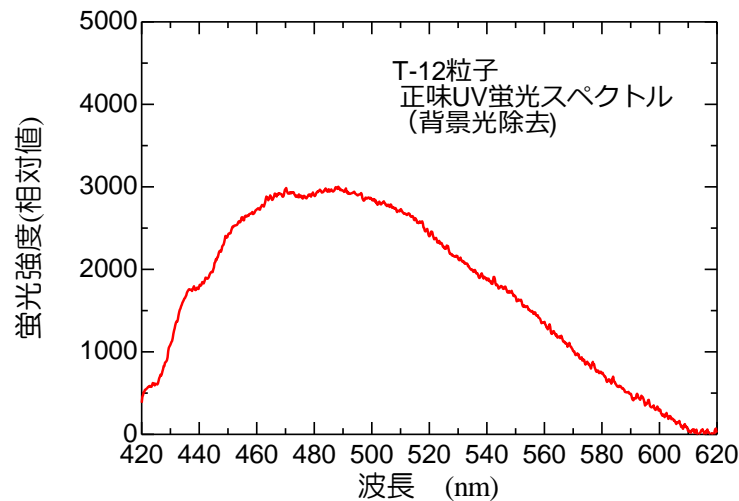
## ■ 放射性微粒子の基礎物性解明 (英知事業)

(京都大学・五十嵐教授 (当時茨城大学) を中心としたグループの成果)

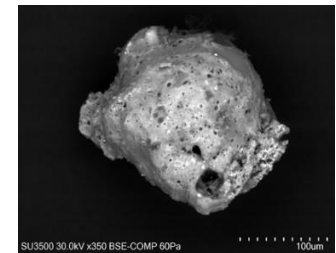
- 環境に放出された不溶性放射性微粒子を見出し、先見的に研究開始
  - 種々の分析方法で基礎的な物性を解明
- 誘導蛍光の発見
  - Cs 含有ガラス状物質の蛍光による検知可能性
- 安全確保および事故進展シナリオ深化への寄与



UV光照射により蛍光を発するタイプ B 粒子



数 μm の微小な  
粒子で高 Cs 濃度  
(タイプ A ; 2号機由来)



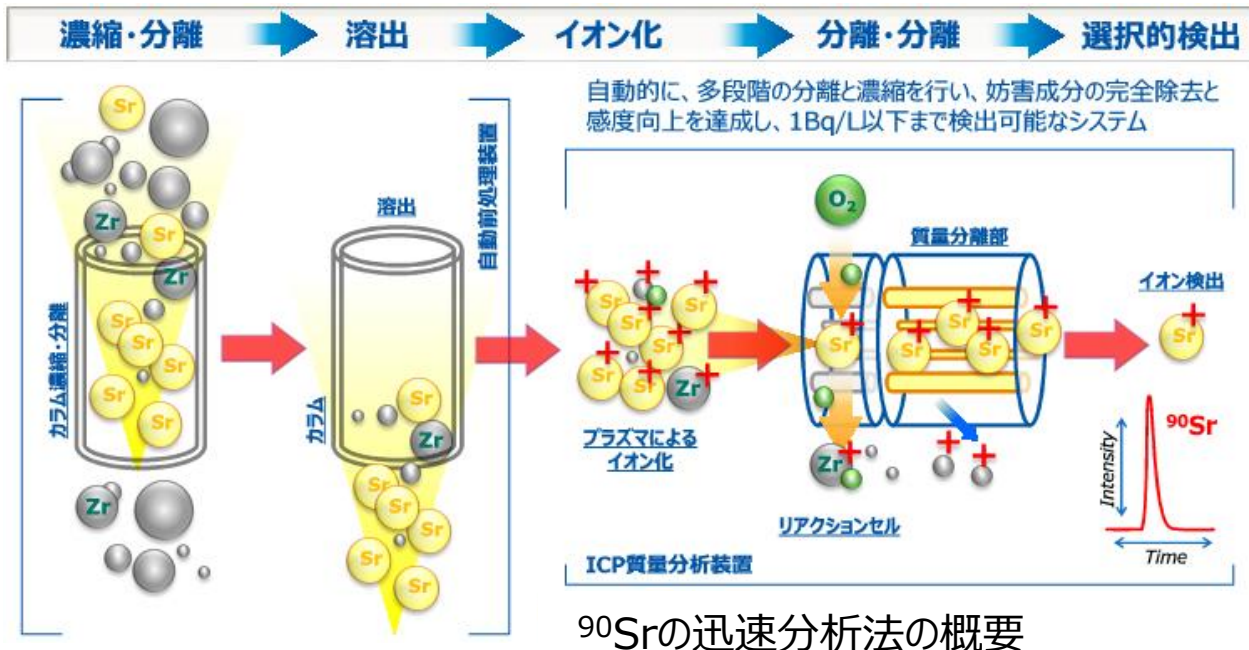
数十～数百 μm と粗大な  
粒子で低 Cs 濃度  
(タイプ B ; 1号機由来)

(資料提供 : 京大・五十嵐教授)

## ■ ストロンチウム-90の迅速分析手法の開発 (英知事業、東電との協力)

(福島大学・高貝教授を中心としたグループの成果)

- 高周波誘導結合プラズマ-質量分析装置 (ICP-MS) を基軸とした分析手法
  - 複雑な分析作業と熟練の技術 ⇒ 自動前処理、自動制御・計測システム
  - 長時間 (2週間～1か月) ⇒ 測定時間 23分、検出下限値 0.3 Bq/L
- 1 Fの現場で運用開始 (2014年12月1日から)



大学が開発した  
技術の初の  
1 F現場適用

$^{90}\text{Sr}$ の迅速分析法の概要

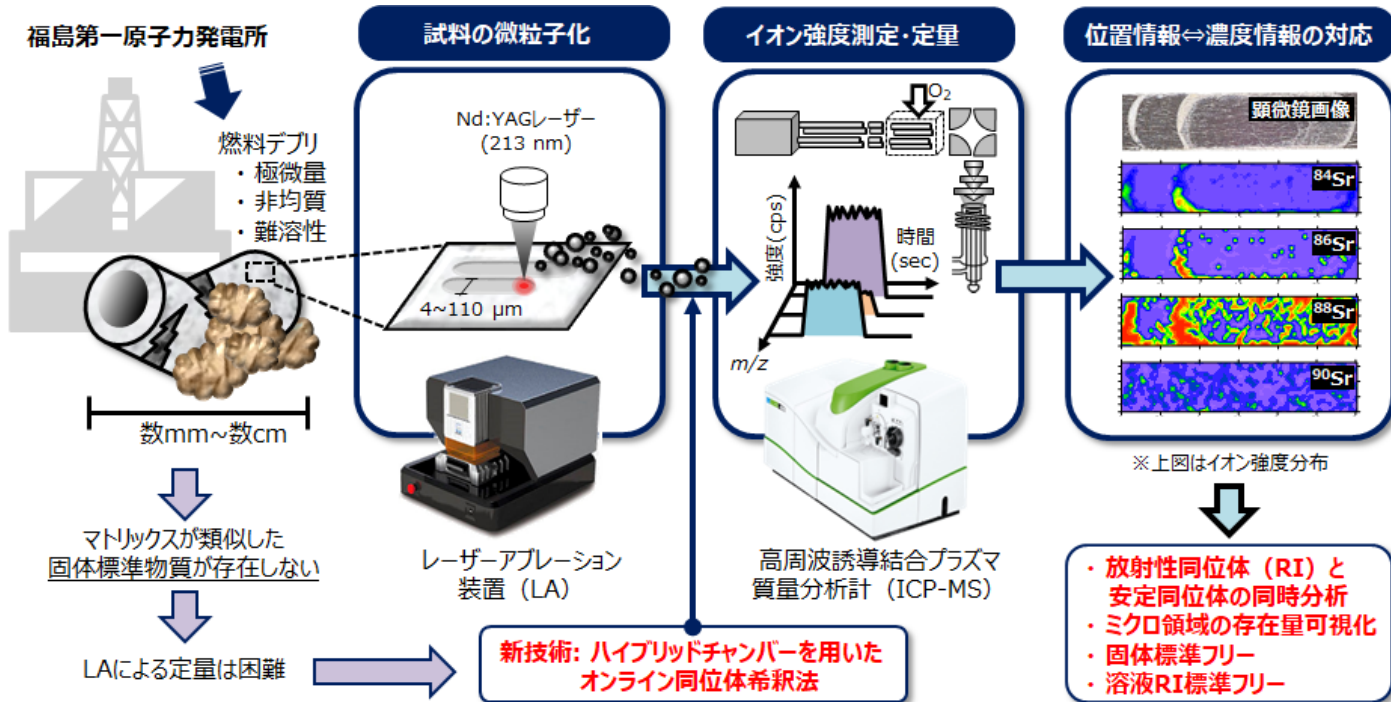
(資料提供: 福島大学・高貝教授)



## ■ 固体試料のマイクロ領域定量イメージングの技術開発 (英知事業)

(福島大学・高貝教授を中心としたグループの成果)

- レーザーアブレーション-高周波誘導結合プラズマ質量分析法 (LA-ICP-MS)
  - 固体標準物質を使用せずに、安定同位体と放射性同位体の同時定量法を開発し、マッピング化への展開する



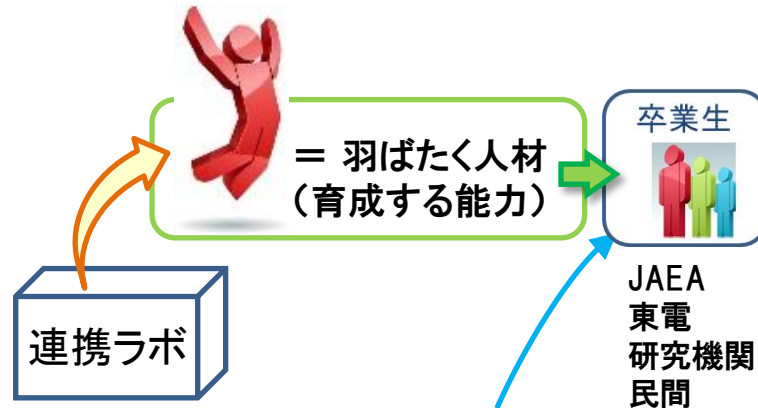
(資料提供: 福島大学・高貝教授)

## ■ タイアップ型人材育成 (英知事業)

(福島大学・高貝教授を中心としたグループの取組み)

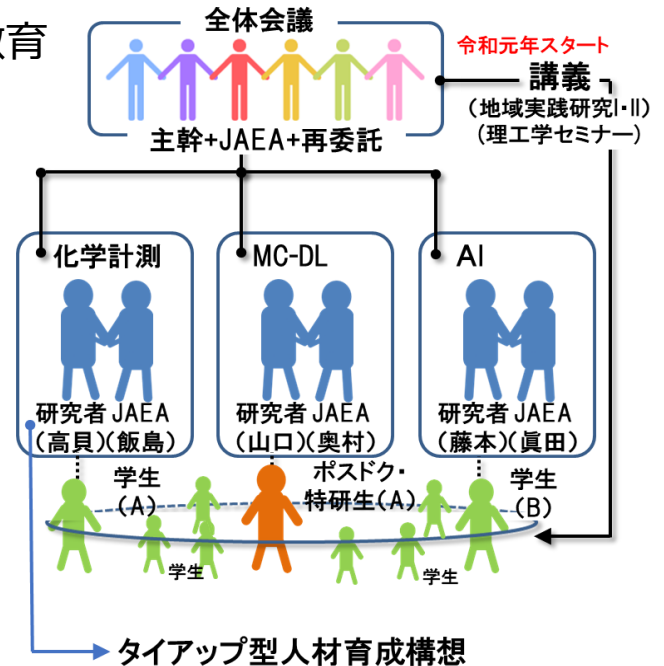
### ➤ 福島大学とJAEA研究者とのタイアップ

- JAEA(三春)に 博士課程, 博士後期, ポスドク, クロアポ教員が常駐して研究実施
- JAEA研究者による講義・実習@三春を履修単位として認定
- 研究推進および教育の双方で東京電力と連携学生への講義
- 民間企業・官公庁・東電と連携したボランティア教育



- 化学分析-物理分析の両面から解析できる分析技術者
- 物理・化学の素養を有するシミュレーター
- ビックデータを取り扱う分析技術者
- AIを取り扱うことのできる物理・化学技術者

この事業で育成する人材像



(資料提供: 福島大学・高貝教授)

- デブリや事故由来廃棄物の分析は、1 F廃炉を円滑に進めるにあたり、不確かさの幅を小さくするために重要
  - デブリや事故由来廃棄物は、通常の廃止措置では見られないもの
  - 基礎的な物性を迅速に把握し、廃炉作業、事故原因究明に反映
- 既存の分析施設・分析方法・人材だけでは、1 Fの廃炉に必要な種々の多量な分析に、適時に対応できない
  - 1 F廃炉のための新たな分析施設が必要
  - 既存の施設と新施設の特徴を活かし、役割分担した分析体制の構築が必要
  - 分析の目的に合わせた分析の簡素化、効率化、精度向上、高度化等が必要
  - 分析に係る人材の新たな育成、確保、維持が必要
- 今後、数十年にわたる1 F廃炉に若い人たちの参画を待望
  - 人材の供給源となり得る大学における活動を支援することが必要

