

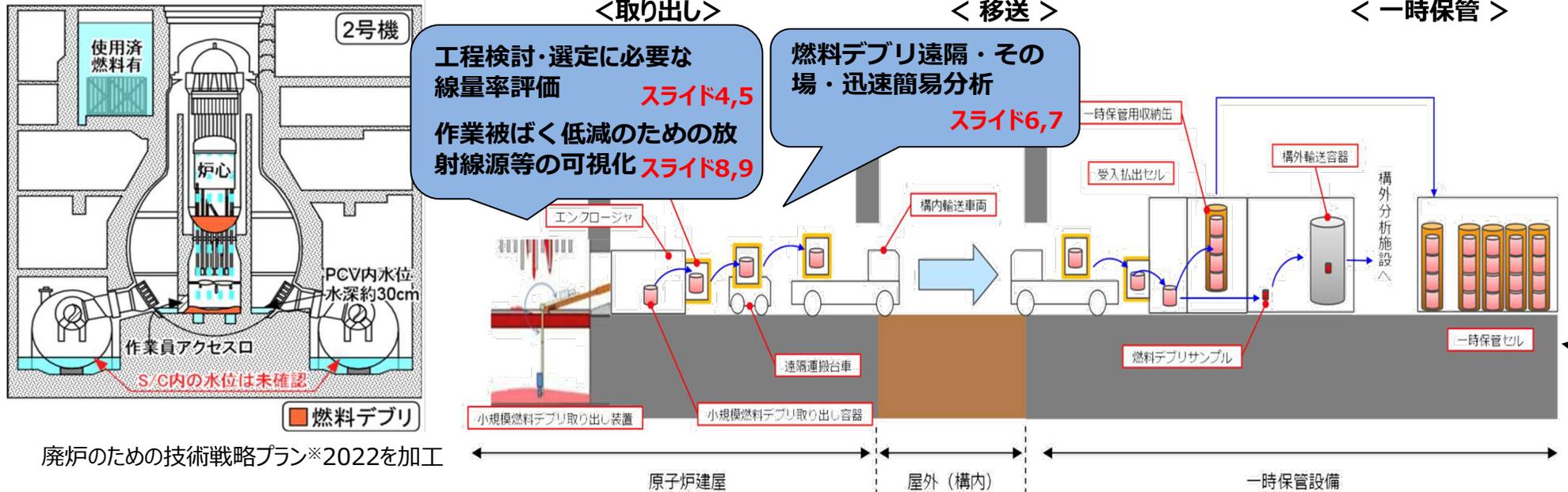
燃料デブリ取り出し工程の検討に向けた 線量測定・評価に関する最近の成果

2022年12月22日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
福島研究開発部門

- **燃料デブリの取り出し工法の検討**や取り出し装置の設置の検討においては、作業現場における**被ばくの低減**、装置類の放射線対策、放射線測定機器の選定などのため、原子炉の内外、原子炉建屋の内外の**様々な箇所の放射線を測定・評価できる技術・装置**が必要となる。
- また、**燃料デブリの取り出し作業**においては、燃料デブリ中に含まれる**ウラン等の核燃料物質の濃度**の幅が広く、合理的な取り出し作業や保管管理等の取り扱いを実現するためには、その濃度を**測定・評価できる技術・装置**が必要となる。
- このため、JAEAでは、最先端の技術・知見を駆使し、「**工法検討・選定に必要な線量率評価**」、「**燃料デブリ遠隔・その場・迅速簡易分析**」、「**作業被ばく低減のための放射線源等の可視化**」に向けた研究開発を実施してきたところ。
- ここでは、**2030年頃に期待される状況と成果の適用先**を号機毎に触れた上で、**研究成果の1F廃炉現場への適用状況や最近の成果等**について報告する。

状況：2号機の燃料デブリの取り出しが進み、燃料デブリ取扱の安全・リスク評価手法が確立されている。



工程検討・選定に必要な線量率評価 **スライド4,5**
作業被ばく低減のための放射線源等の可視化 **スライド8,9**

燃料デブリ遠隔・その場・迅速簡易分析 **スライド6,7**

廃炉のための技術戦略プラン※2022を加工

安全・リスク評価上の主な課題

- 対象物質の性状や成分が未解明な状況
- 安全評価に必要なパラメータや反応特性が同定できてない状況

状況：非破壊測定技術を含む分析・評価手法が確立されている。

研究開発の主要な優先課題

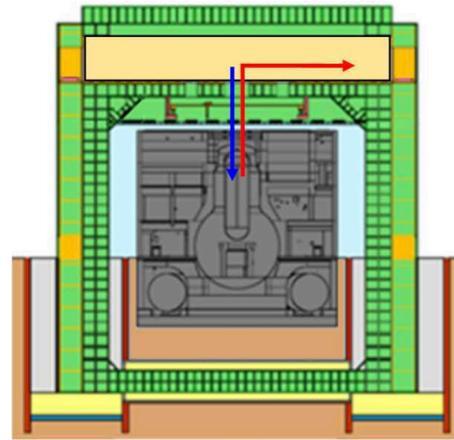
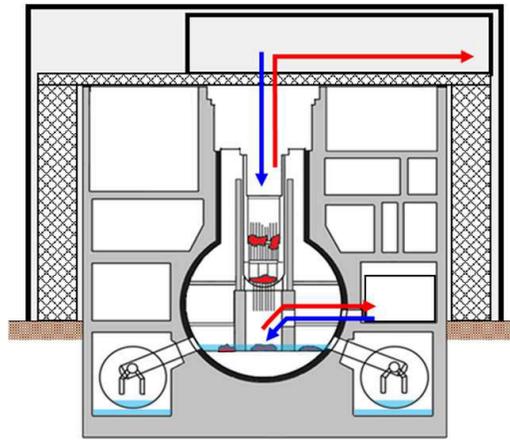
- **PCV内部状態の推定**と燃料デブリの特性評価
- **取り出し・保管時の安全・リスク評価の手法の確立**
- **分析能力の向上と手法の標準化**
 - ✓ 分析設備の整備・アップグレード
 - ✓ **1F現場での迅速その場分析・非破壊測定技術の開発**



大熊分析・研究センター 第2棟 (建設準備中)

※廃炉のための技術戦略プラン：東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン

状況：取り出し規模の更なる拡大（3号機）の戦略・工法の検討・選択が進んでいる。



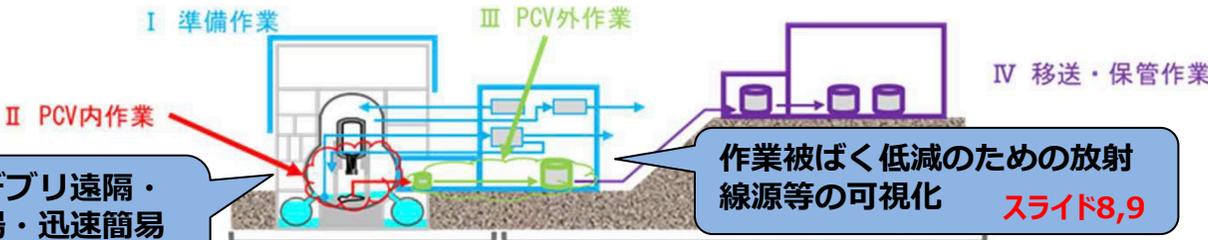
工程検討・選定に必要な
線量率評価 **スライド4,5**

気中工法の一例
(上アクセスと横アクセスの組合せのイメージ図)

冠水工法の一例
(船殻工法のイメージ図)

- 安全・リスク評価上の主な課題
- 安全評価に必要なパラメータや反応特性が同定できてない状況
 - 特殊な装置の性能や耐久性に関して、実際の過酷条件場での実証経験が少ないこと

状況：取り出し・移送・保管中の燃料デブリの安全・リスク評価手法が確立されている。



燃料デブリ遠隔・その場・迅速簡易分析 **スライド6,7**

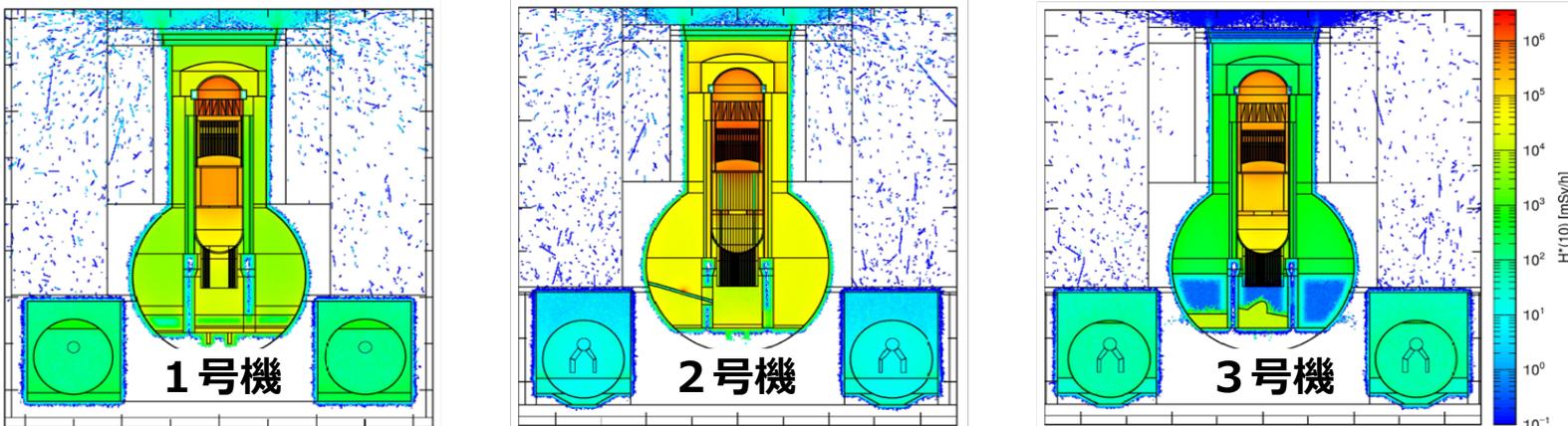
作業被ばく低減のための放射線源等の可視化 **スライド8,9**

- 研究開発の主要な優先課題
- ❑ **PCV内部状態の推定**と燃料デブリの特性評価
 - ❑ 燃料デブリ取り出しにおける安全・リスク評価手法の確立
 - ✓ **PCV内へのアクセス**
 - ✓ **線量率・被ばく線量の低減**

各作業フェーズのイメージ（プロセスの分割）

(これまでの成果)

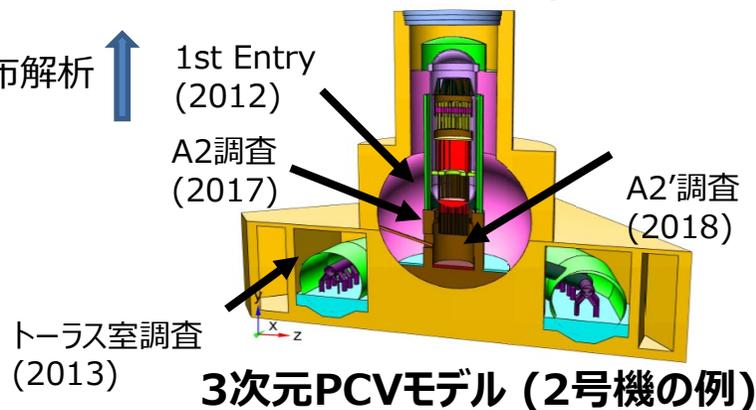
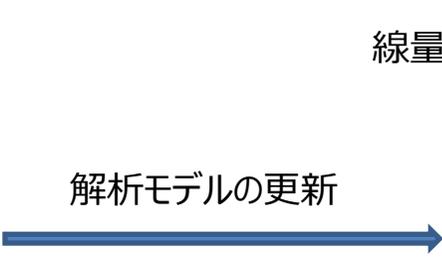
- 燃料デブリ取り出し工法や事前調査のアクセス検討に資するため、東京電力HDなどによる内部調査結果や事故進展解析等の断片的情報を基に、**原子炉格納容器内の線量率分布を評価、可視化。**
- 3号機について、今後の段階的な**水位の変更**に対応した**線量率分布の変化予測**も可能とした。
- 任意の場所の線量率を的確に把握**できるツールとして活用できるようにした。



放射線量分布の推定図 (原子炉容器内は100~1000Sv/h, 上側にセシウムが大量に存在)

フィードバック ↓

- ・事故進展解析
- ・燃烧・放射化計算
- ・燃料デブリ性状把握
- ・ミュオン測定
- ・カメラ映像
- ・放射線量率測定

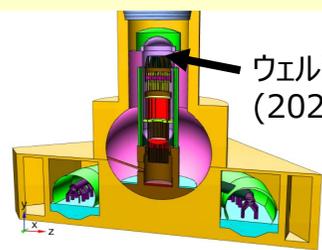
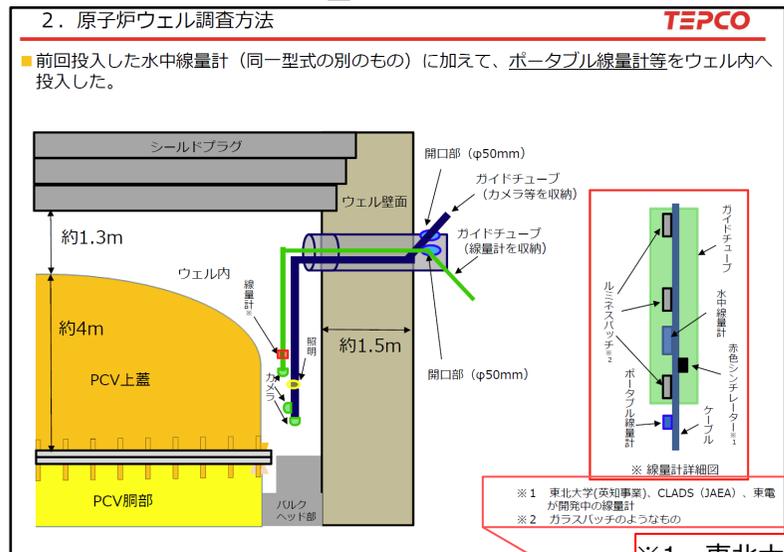


(課題) 上アクセス工法に係る原子炉上部の**線量率分布の評価結果には不確かさが残る。**

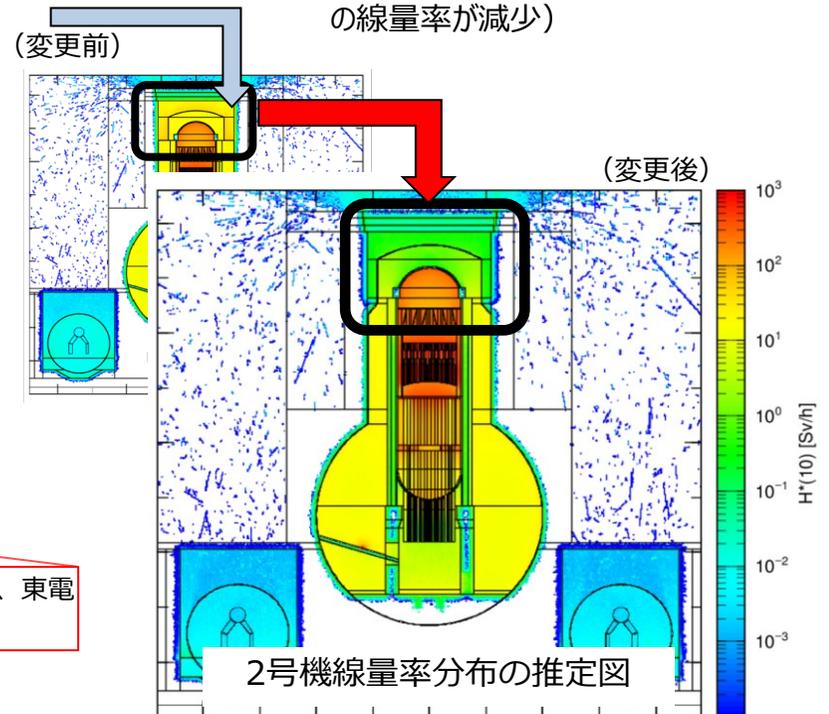
(最近の成果)

- 2号機の原子炉ウェル*1内調査（2021年5月）に先立ち、測定点の線量率をJAEAが開発した手法により評価し、線量率計（JAEA及び英知事業*2）の選定など、**作業計画立案に活用された。**
- 測定結果を基に線量率分布の推定図を更新し、**より精度が高い情報として活用できるようにした。**

解析モデルに反映



*1 原子炉上部にある原子炉格納容器とシールドプラグの間の空間
*2 「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」
評価結果を更新（当初の評価よりも原子炉ウェル内の線量率が減少）



2号機原子炉ウェル内調査*3

※1 東北大学(英知事業)、CLADS(JAEA)、東電が開発中の線量計

*3 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第91回）（令和3年6月24日）

(今後の取り組み)

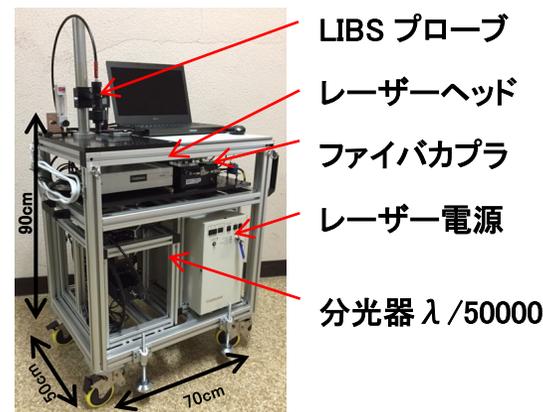
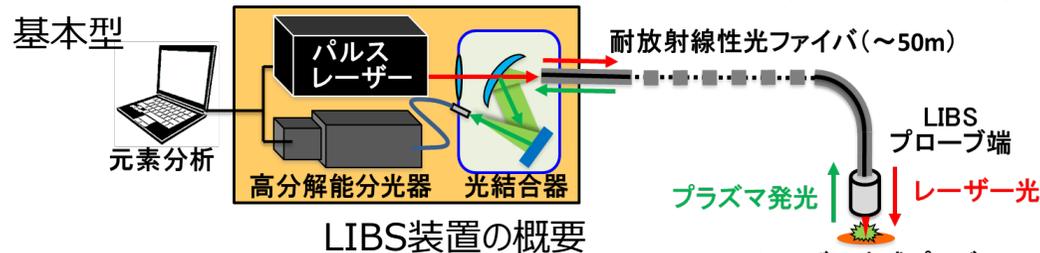
燃料デブリの**取り出し規模の拡大**に向け、内部調査等の事前検討や検証に活用すべく東電HDやIRID等と情報交換を随時行っている。また、試験的取り出し試料の分析結果を反映し、**線量率分布の予測精度の更なる向上**を図る。

(これまでの成果)

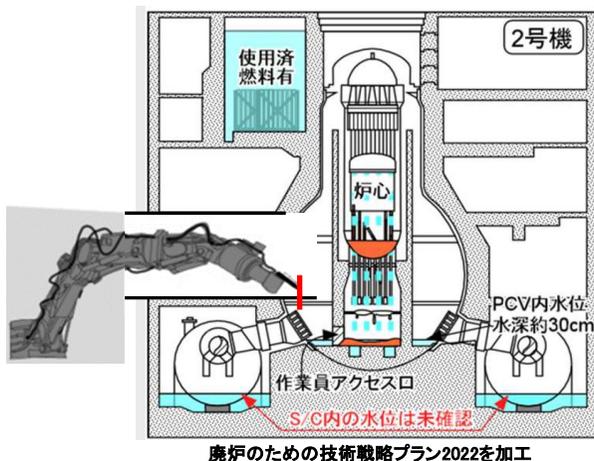
- 燃料デブリの取り出し、移送にあたってウランの有無を素早く把握するため、炉内あるいは比較的近い場所での「遠隔・その場・迅速簡易分析」に向け、レーザー誘起発光分析 (LIBS) 装置を開発した。
- 様々な燃料デブリ取り出し工法に対応できるように、可搬性、耐放射線性を有する。

原子炉内部に光ファイバーでレーザー光を導入し、LIBS手法によって遠隔で燃料デブリを探索

(例えると、胃カメラの先に分析機が付いていてその場で情報がわかる手法)



炉内その場分析への適用



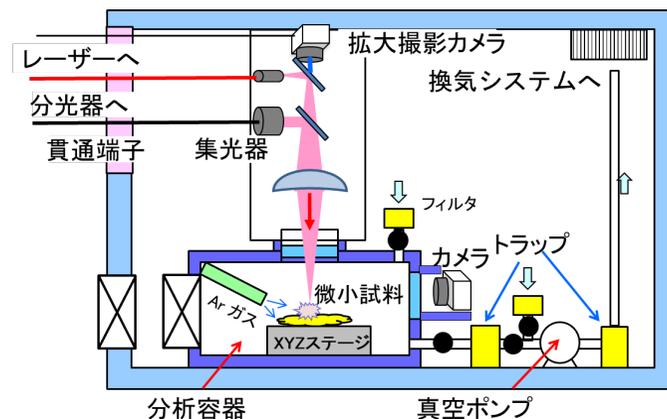
レーザー生成プラズマ

Φ 18 × L90



基本型の活用

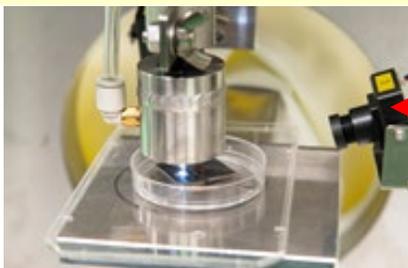
ホットセル内その場分析への適用



(課題) 測定試料へのレーザー照射による汚染の拡散など、現場での適用性に課題。

(最近の成果)

- 燃料デブリの遠隔・その場・迅速簡易分析に先立ち現場適用性を確認するため、2号機原子炉ウェル内調査で採取された放射性物質試料（換気ダクト片）を分析した。
- レーザーの照射により発生した微粒子（ヒューム）による**汚染拡散がないことを確認するとともに、廃炉現場に持ち込み簡便に使用できることが確認できた。**



レーザー照射部（微粒子吸引ノズル付き）

可搬・遠隔操作型分析容器（浜通り企業製）

放射性試料遠隔取扱い室

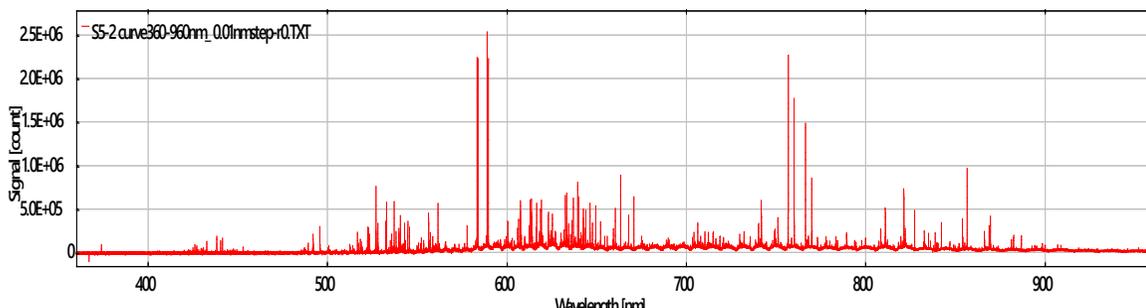
1 F現場に搬入



可搬型LIBSによる試料の測定風景



サンプルを分析



LIBS による放射性物質試料の測定結果（～20mSv/h）
（鉄を主成分として、Na, Ka, Li, Cs, などが観察された。）

3-1. 原子炉キャビティ差圧調整ライン（西側）調査（サンプル採取） **TEPCO**



2号機原子炉ウェル内調査*

* 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合／事務局会議（第90回）

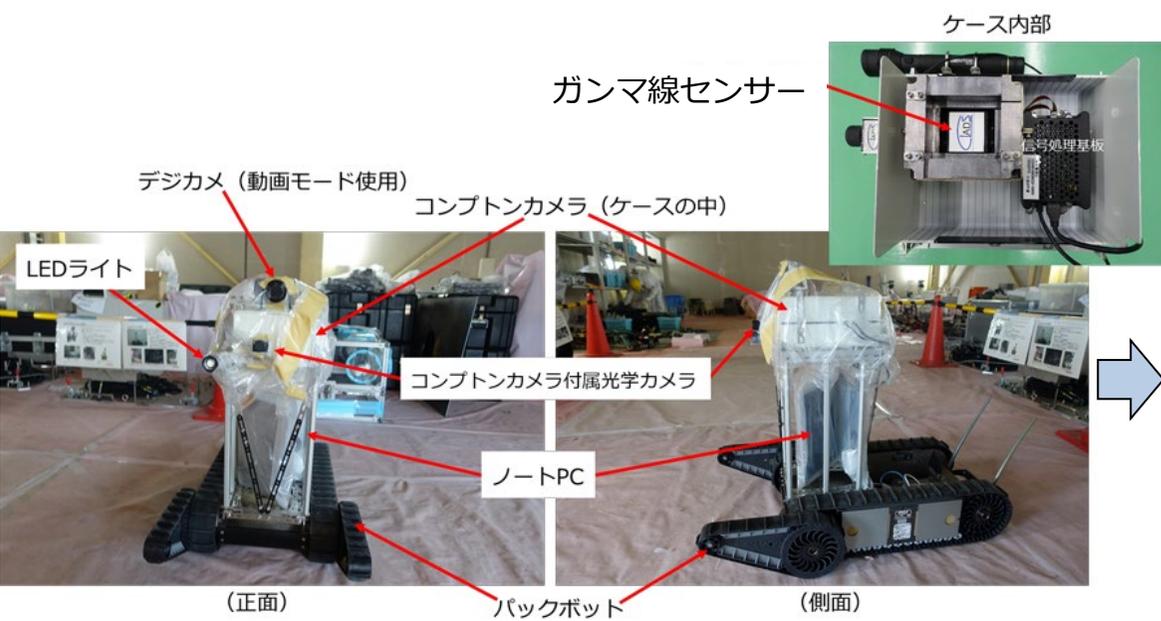
(今後の取り組み)

引き続き、燃料デブリの**取り出し規模の拡大**に向け、**耐放射線性、小型軽量化**などの操作性、信頼性の向上（燃料デブリと廃棄物との分別など）を図る。

（令和3年度開始廃炉・汚染水対策事業において、1 F現場での適用に向けた機器開発、試験を実施中）

(これまでの成果)

- 燃料デブリ取り出し工法の検討や装置の設置における**現場の放射線状況の把握**に向け、「**統合型放射線イメージングシステム (iRIS、アイリス)**」を開発した。
- コンプトンカメラ (放射線可視化カメラの一種)、3D-LiDAR (レーザー光を用いた距離測定センサ) 及びサーベイメータを組み合わせることにより、**放射線情報を可視化した3次元環境マップ**を描画する。



iRISをロボットに搭載し、1F建屋内を遠隔で測定



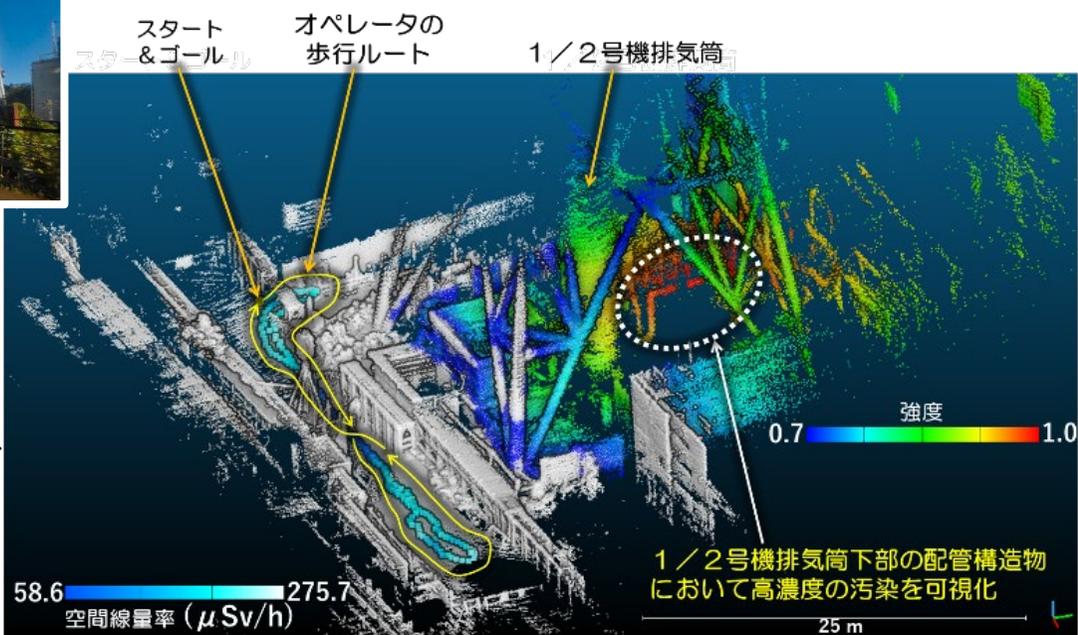
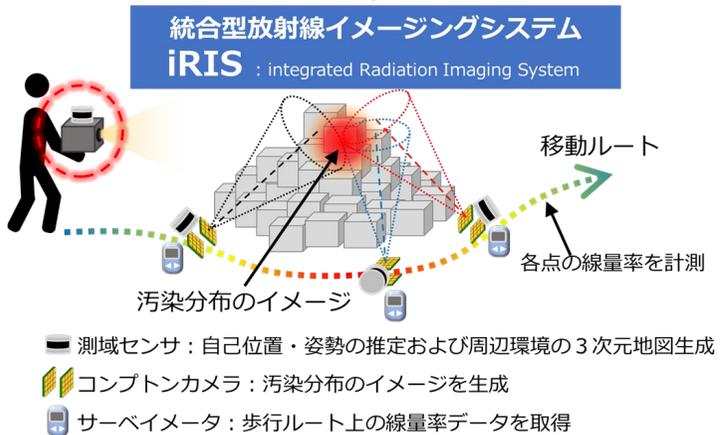
測定結果 (2018年3月)

1号機原子炉建屋入口付近を3次元モデル化し、**高線量率箇所を可視化**した。

(課題) 空間モデルは3次元化されていたが、**線源情報は平面 (疑似3次元)**にとどまっていた。

(最近の成果)

- 高濃度汚染箇所へ近づくことなく、**移動しながら短時間（5分未満）**に、1/2号機排気筒下部の**放射線源**や歩行ルート上の**線量率分布**を3次元に可視化した。
- 建屋内外で放射線情報を可視化し、**除染・線量低減**や**廃炉戦略**を検討・策定するための有用な**データ・情報を整備**していくことが可能とわかった。



1/2号機排気筒付近の測定結果（2021年）

(今後の取り組み)

燃料デブリの**取り出し規模の拡大**に向け、建屋内外の様々な箇所において遠隔にて放射線源の分布測定を可能とするため、東電HDとの共同研究のもと、**高放射線線量率場での利用**ならびに**ロボットへの搭載性能**など現場での適用性向上とともに、**ガンマ線以外の放射線の可視化**を目指している。

- 「**工法検討・選定に必要な線量率評価**」については、2号機の原子炉ウェル内調査の**作業計画立案**に活用された。その結果、**より精度高く評価**できるようになった。
- 「**燃料デブリ遠隔・その場・迅速簡易分析**」については、レーザーの照射による**汚染拡散がなく、現場で使用**できた。その結果、**燃料デブリの迅速簡易分析の実現**に向け**見通し**を得ることができた。
- 「**作業被ばく低減のための放射線源等の可視化**」については、移動しながら**短時間**に**線量率分布や高濃度汚染箇所を3次元に可視化**した。その結果、**線量低減や廃炉戦略検討**に**有用なデータ・情報を整備**していくことが可能とわかった。
- 今後も、1F廃炉を安全に、かつ、確実に実現するため、**2号機から取り出される燃料デブリの分析**や、**3号機の工法検討・選択**など、**新たなニーズに柔軟に対応**した研究開発を行い、**放射線源等の可視化の高度化**により被ばく量の低減など**リスク低減に貢献**するとともに、**分析技術の高度化**により、**迅速性、合理性の向上**に貢献する。