

# 福島第一原子力発電所（1F）の廃炉に向けた 研究開発の現況と課題・展望について

2024年2月13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 福島研究開発拠点  
所長 宮本 泰明

# 報告内容

- 1. 福島復興に向けた活動とこれまでの歩み**
2. 1F廃炉に向けた研究開発基盤の整備・運用の状況
3. 研究開発の主要な課題
4. 最近の研究開発成果（トピックス）

JAEAは、我が国で唯一の原子力に関する総合的な研究開発機関として、福島の環境回復・1Fの廃炉等に向けた研究開発と、これを担う持続的な人材育成の基盤整備に総力を挙げて取り組んでいる。

## 福島の環境回復に関する研究開発

- 福島復興再生基本方針に基づく研究開発
  - 福島県環境創造センターの枠組みでの研究開発
  - 環境動態等に係る研究（F-REIと連携）
  - 環境モニタリング・マッピングに関する技術開発

## 1F廃炉に関する研究開発

- 中長期ロードマップに基づく研究開発
- 現場ニーズを踏まえた基礎基盤研究開発
  - 燃料デブリの取扱い
  - 放射性廃棄物の処理処分
  - 事故進展シナリオ解析
  - 遠隔操作技術 等



## 人材・技術等の研究開発基盤の整備

- 楢葉遠隔技術開発センター
- CLADS 国際共同研究棟
- 大熊分析・研究センター
- 国内外の大学、研究機関、産業界等の人材が交流できるネットワークの形成

## 福島の復興への貢献

- 地元の関係機関とのコミュニケーション
- 地元企業との連携
- 人材育成



## 政府

- 事業予算の交付

廃炉・汚染水・処理水対策事業（経済産業省）

英知を結集した原子力科学技術・  
人材育成推進事業（文部科学省）

運営費交付金、  
補助金

### 廃炉研究開発連携会議

- 基礎から応用まで一元的に  
マネージメント

研究開発  
計画提案

### 廃炉基礎研究プラットフォーム

- 基礎・基盤研究の推進協議体
- 研究者・研究機関が連携、成果を廃炉現場へ実装

### 原子力損害賠償・廃炉等支援機構

- 研究開発の企画と進捗管理

廃炉研究開発連携会議

技術戦略プラン

技術開発情報の  
共有・計画策定



### 東京電力ホールディングス株式会社

- 汚染水対策、処理水対策、プール燃料取り出し、燃料デブリ取り出し、廃棄物対策等

廃炉中長期実行プラン



## JAEA

- 研究開発の実施
- 研究開発基盤の整備
- 廃炉基礎研究プラットフォームを通じた、  
研究ニーズとシーズの橋渡し

廃炉基礎研究プラットフォーム

基礎・基盤研究の全体マップ

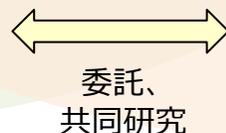


委託、  
共同研究



### 国内外の研究機関、メーカー、大学等

- 研究開発の実施



福島研究開発部門  
所属本務人数(直接雇用者)

約 **300** 名  
他、派遣労働者等 約220名

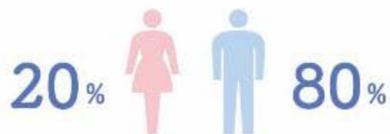


各センター等の人数

- CLADS ..... 約 **140** 名
- NARREC ..... 約 **20** 名
- 大熊分析・研究センター ..... 約 **90** 名
- 管理・支援組織 ..... 約 **50** 名

※概算のため合計値と差異があります

男女比率



平均年齢  
**44.0** 歳

活躍する外国籍研究者・技術者

**13** 名

論文等発表件数  
(2015~2023年12月)

**593** 報



口頭発表件数  
(2015~2023年12月)

**1,548** 件

NARRECに訪れた  
見学者数  
(2015~2023年12月)

**27,674** 人

NARRECの  
施設利用実績  
(2016~2023年12月)

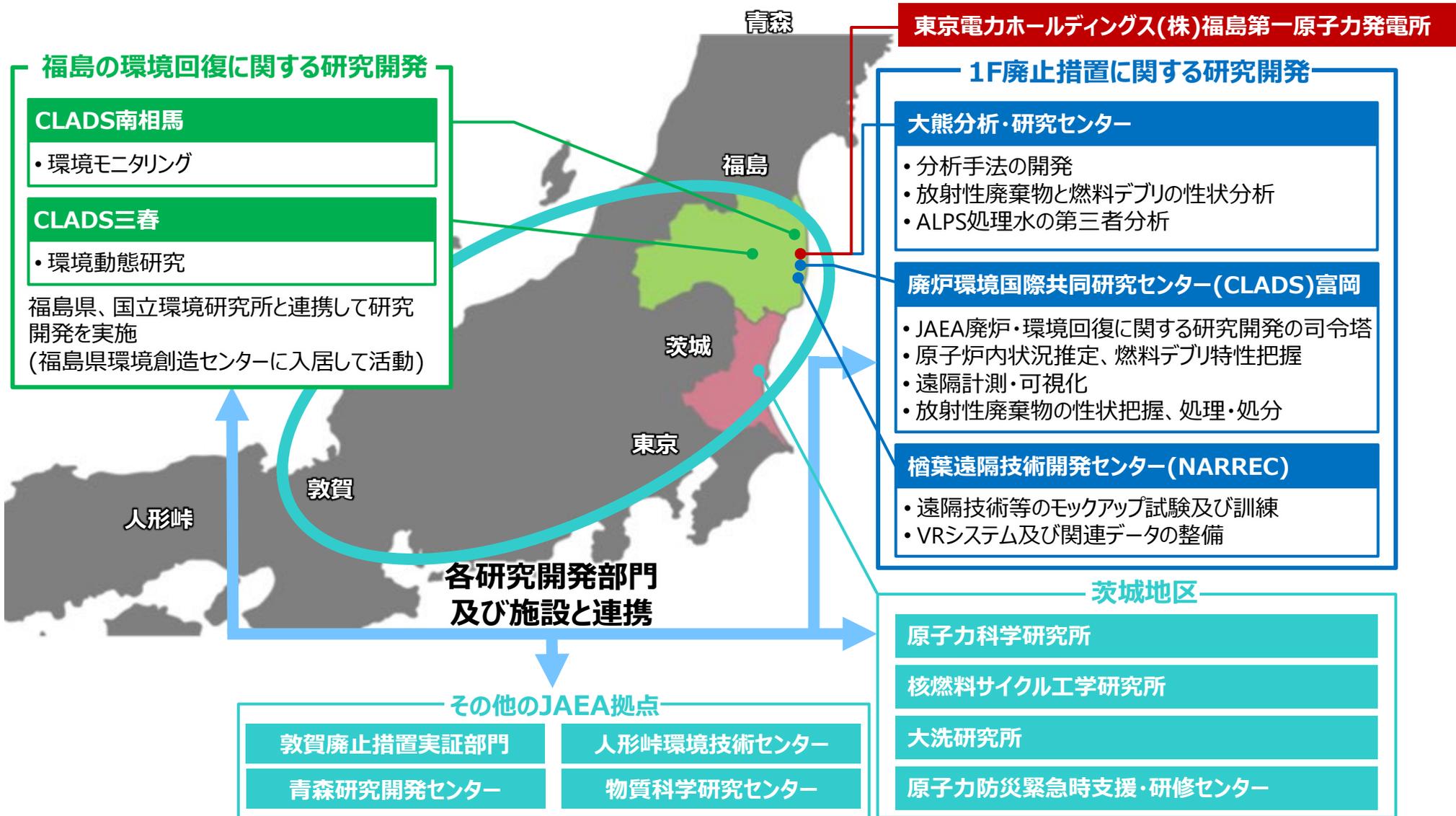
**571** 件

CLADSに訪れた  
見学者数  
(2017~2023年12月)

**4,047** 人

アウトリーチ活動の回数  
(イベント出展、出張授業等)  
(2015~2023年12月)

**318** 回



# 報告内容

1. 福島復興に向けた活動とこれまでの歩み
- 2. 1F廃炉に向けた研究開発基盤の整備・運用の状況**
3. 研究開発の主要な課題
4. 最近の研究開発成果（トピックス）

NARRECでは、燃料デブリ取出しを安全に進めるための技術開発を支援する場の提供や研究開発を進めている。



試験棟

幅60m×奥行80m×高さ40m

研究管理棟

幅35m×奥行25m×高さ20m

累計施設利用件数：571件（利用継続中含む）  
累計視察・見学者数：2,019件、27,674人  
（2016年4月～2023年12月末）

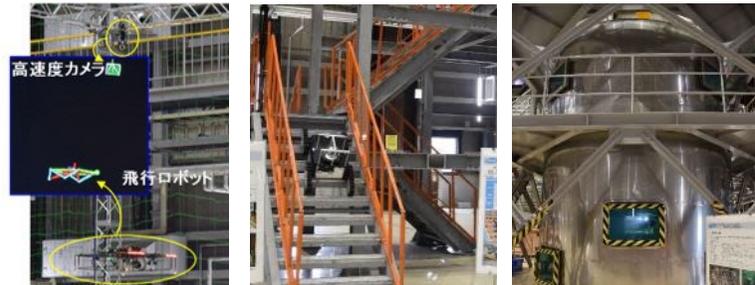
## VRシステム

1F 原子炉建屋内の環境を再現し、あたかも現場にいるような感覚で作業内容の確認や訓練を行える設備を整備  
作業時間短縮による作業時の被ばく低減に寄与



## 要素試験（模擬環境下での実証試験）

1F 原子炉建屋内の作業環境を模擬できる設備を整備し、遠隔操作機器（ロボット等）の実証試験や操作訓練等に使用



モーションキャプチャ

モックアップ階段

ロボット試験用水槽

## 燃料デブリ取出しの実規模試験

国際廃炉研究開発機構（IRID）が実施する、ロボットアームを用いた燃料デブリ取出しの実規模試験のための場を提供



出典：資源エネルギー庁ウェブサイト  
([https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/debris\\_3.html](https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/debris_3.html))

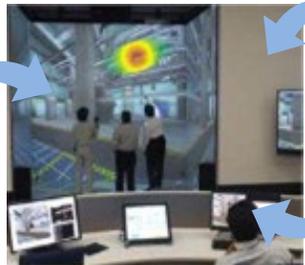
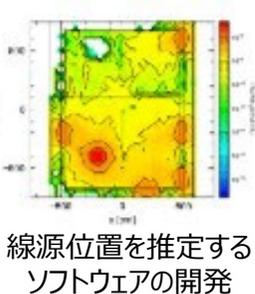
## ゼオライト土嚢回収ロボットモックアップ試験

東京電力ホールディングスが実施する、ゼオライト土嚢回収模擬試験のための場を提供



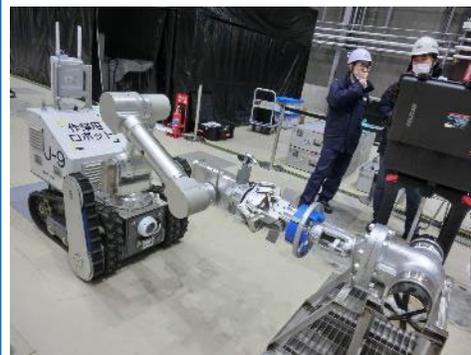
## 廃炉作業環境の改善に向けた研究開発

1F廃炉作業環境での線源位置の推定・可視化と作業に伴う空間線量率の変化を推定するシステムを構築することで、作業員の被ばく低減に貢献



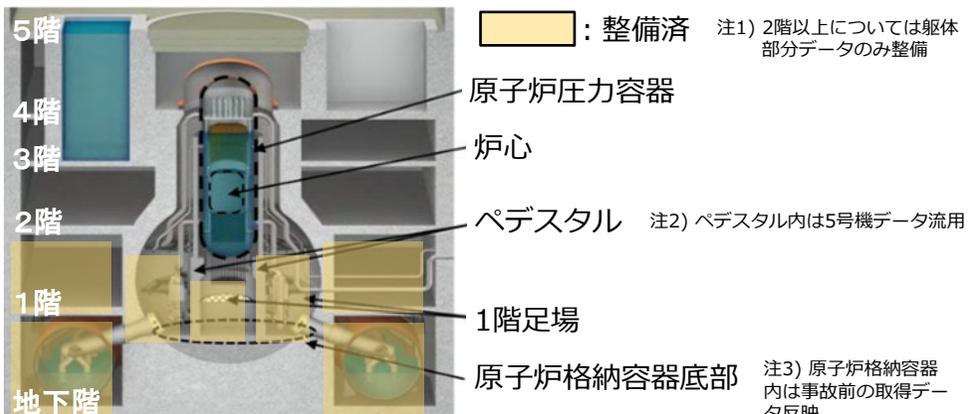
## 原子力緊急事態のための遠隔機材の整備及び操作訓練

JAEA原子力施設の緊急事態に備え、遠隔機材の整備・運用を担う機能を保持



## 1F環境データ整備及びVRシステムによるデータ活用

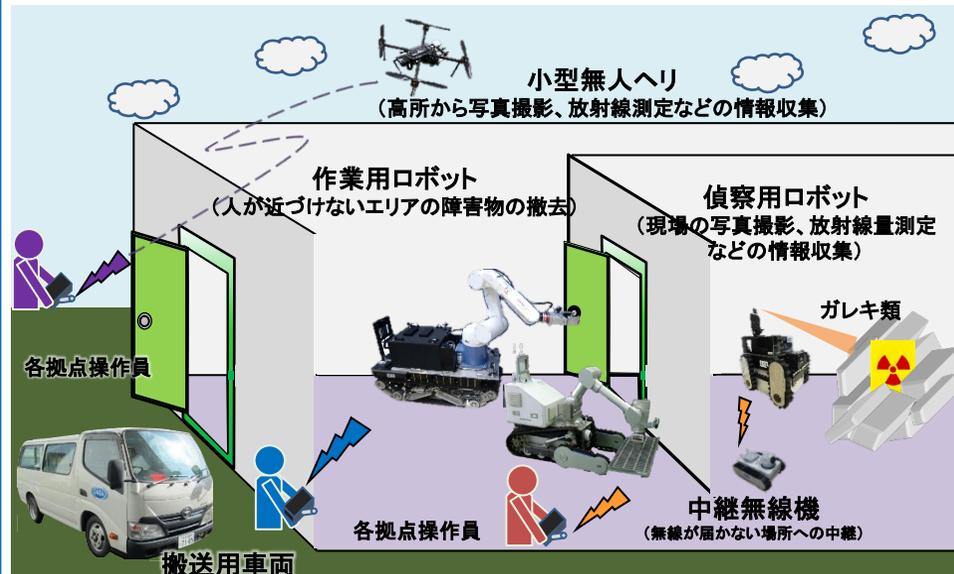
廃炉計画の検討や訓練に活用するため、建屋・格納容器内のデジタルデータを整備し、VRとしての利用及び1F廃炉関連メーカー等へのデータ貸出を実施



データ整備状況例 (2号機)

(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2019html/1-1-1.html>)

出典：資源エネルギー庁ウェブサイト



遠隔機材による緊急事態の現場対応イメージ

大熊分析・研究センターでは、放射性物質の分析・研究を行う施設の整備・運用を進めている。

## 施設概要



施設管理棟: 分析・研究施設の設計及び運転、分析技術者の育成拠点として活用

第1棟: ガレキ、伐採木、焼却灰、汚染水処理に伴い発生する二次廃棄物等の低・中線量試料の分析等を行う施設  
ALPS処理水の海洋放出前の第三者分析を実施  
(<https://fukushimajaea.go.jp/okuma/alps/dai3/analysis-result.html>)



鉄セル

グローブボックス

ヒュームフード

第2棟: 燃料デブリ等の分析を行う施設で、許認可手続・建設準備中

## 1F隣接地に立地



1F隣接地に建設することで、迅速かつ円滑な試料搬入が可能

CLADSでは、福島の実地環境回復、燃料デブリ取出しなどの安全かつ確実な1F廃止措置等に向けて、国内外の英知を結集した研究開発を進めている。

### 環境モニタリング・環境動態研究

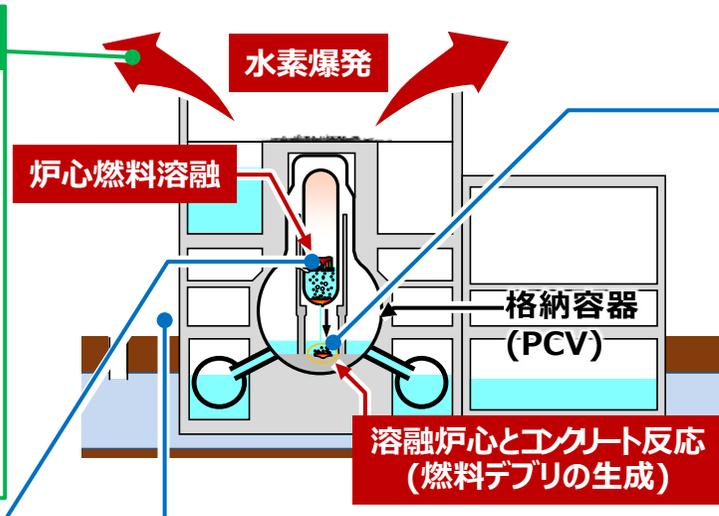
空間線量率マップ (1Fから約80km圏内)  
本成果は原子力規制庁委託事業によるものです。

土砂移動  
河川水流による移動  
海流による移動

環境中での放射性物質の移行モデル

2020年10月

無人機を用いた広範囲の環境モニタリングでの汚染状況の可視化や環境中の放射性物質移行メカニズムに関する研究を実施



### 燃料デブリ特性把握

仏CEAとの共同研究

上部クラスト  
側部境界  
金属質

上部酸化物層  
下部酸化物層

模擬燃料デブリのイメージ

酸化物層  
10 mm  
U Zr Si Al O

金属質  
5 mm  
U Zr Si Ni Fe O

元素分析結果

燃料デブリ取出しに向けて重要となる物性データを取得

### 原子炉内状況把握

40:25 50:39

制御棒ブレード破損試験装置 (LEISAN : レイサン)

試験結果

1F事故時の状態を再現し、金属の溶融挙動を観測

- 制御棒が先行して溶融
- 燃料デブリには未溶融の燃料が相当含まれる可能性を確認

### 遠隔可視化・分析

スタート&ゴール オペレータ歩行ルート 1/2号機排気筒

強度 0.7 1.0

58.6 275.7 空間線量率 (μSv/h)

1/2号機排気筒下部の配管構造物において高濃度の汚染を可視化

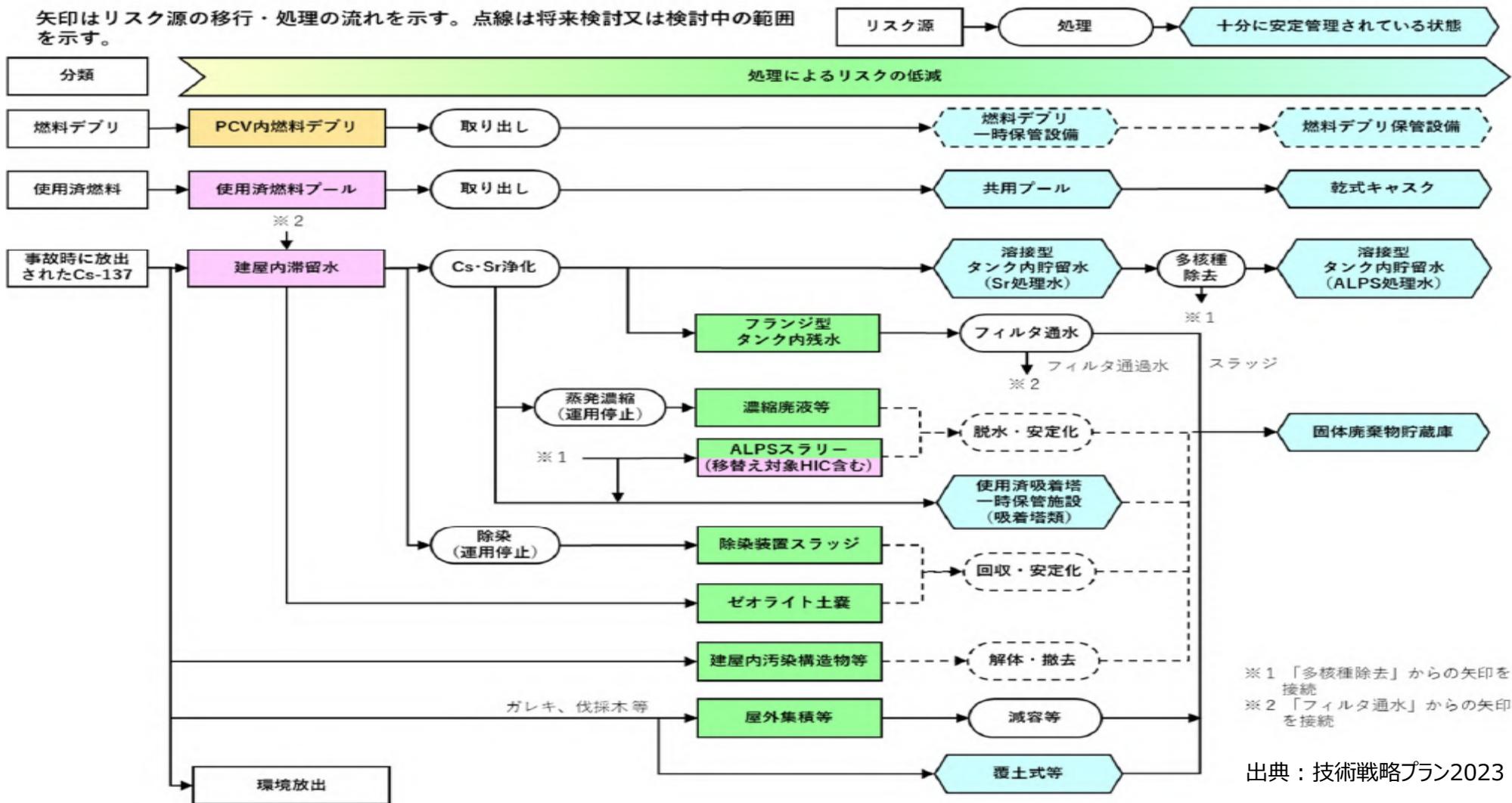
1F 1/2号機排気塔周辺の測定結果

JAEAが開発した小型コンプトンカメラと各種センサー類を組合わせ、1F1/2号機排気塔周辺の放射性物質分布の3次元的可視化に成功

# 報告内容

1. 福島復興に向けた活動とこれまでの歩み
2. 1F廃炉に向けた研究開発基盤の整備・運用の状況
- 3. 研究開発の主要な課題**
4. 最近の研究開発成果（トピックス）

矢印はリスク源の移行・処理の流れを示す。点線は将来検討又は検討中の範囲を示す。



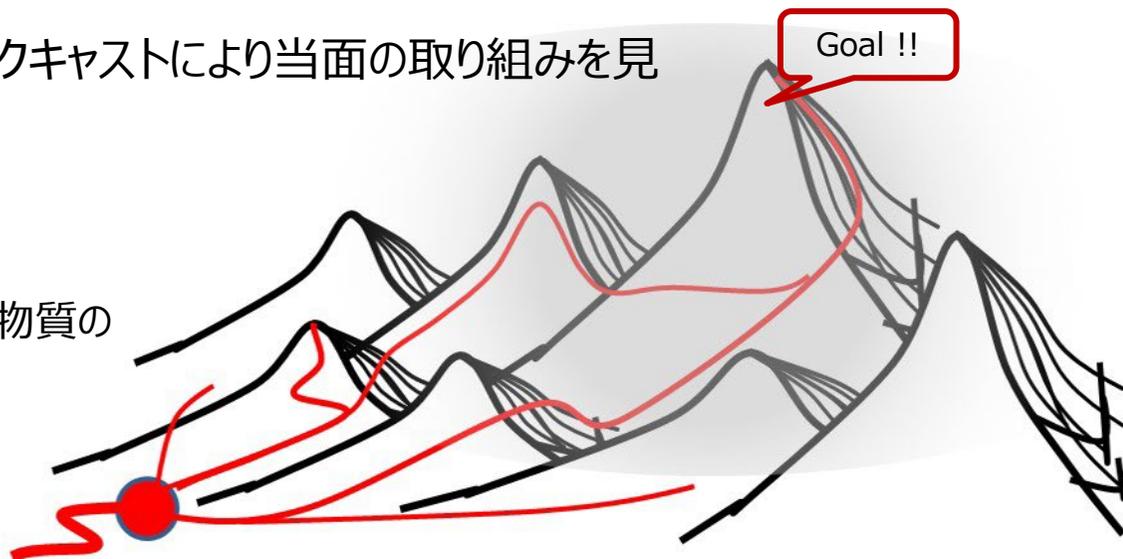
更なるリスク低減のためには、「燃料デブリの回収と保管」や「放射性廃棄物の処理と処分」に向けた**取組を本格化**させる必要がある。

JAEAでは、長期のリスク低減に向け、燃料デブリの回収・保管等の技術的に難易度の高い廃炉工程や、放射性廃棄物の処理・処分を安全、確実、迅速に推進していくために必要となる研究開発を実施。

## 研究開発への期待 大きな不確かさを前提に取り組むことが求められる

- 燃料デブリ、廃棄物の分析と性状把握による不確かさの低減
- 不確かさを前提としたリスク・安全評価の方法論の提示
- 環境回復の成果と併せて、これまでの研究成果によりわかったことを見える化・提示・発信し、現場・社会に貢献。現場作業員・地域市民の皆さまの安全・安心に醸成にも寄与
- 2030年頃のあるべき姿を見据え、バックキャストにより当面の取り組みを見極め

シェルパとしての役割：「専門機関として放射性物質の安全・リスク評価」



2011 ————— 2020 ————— 2030 ————— 30～40年を目指す →

事故後状態安定化



使用済燃料回収完了:2030年前頃

廃棄物保管・使用済燃料回収・汚染水管理・原子炉調査・技術開発



燃料デブリ取出しの準備(試験的取出しから段階的な取出し拡大)



燃料デブリ取出し本格化

建屋の解体等



放射性廃棄物調査・技術研究・管理保管・減容・処理・処分等



出典: 第7回福島第一廃炉国際フォーラム 山名元NDF理事長講演資料

- ✓ 1号機の使用済燃料取出し開始 : 2027～2028年度
- ✓ 2号機の使用済燃料取出し開始 : 2024～2026年度
- ✓ 燃料デブリ取出し : 遅くとも2024年10月頃の見込み
- ✓ 原子炉建屋滞留水を2020年末の半分に低減 : 2022年度～2024年度

■ 中長期ロードマップ



第2期

第3期

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

茨城地区JAEA分析施設(構外)

放射性物質分析・研究施設第2棟  
(構内) 運用予定

構外から1F構内に分析機能を切替え  
構外は第2棟の補完研究に特化

堆積物等  
分析

成果反映 燃料デブリ

1Fサンプル (PCV内部調査時スミヤ・堆積物分析)、TMI-2燃料デブリ分析

模擬燃料デブリ

国内 海外

ラウンドロビントスト (共通試料を用いた複数機関による分析評価)

研究  
開発

試験的取出しに向けた分析技術、  
取出し規模拡大に向けた非破壊分析技術、  
炉内状況把握

知見

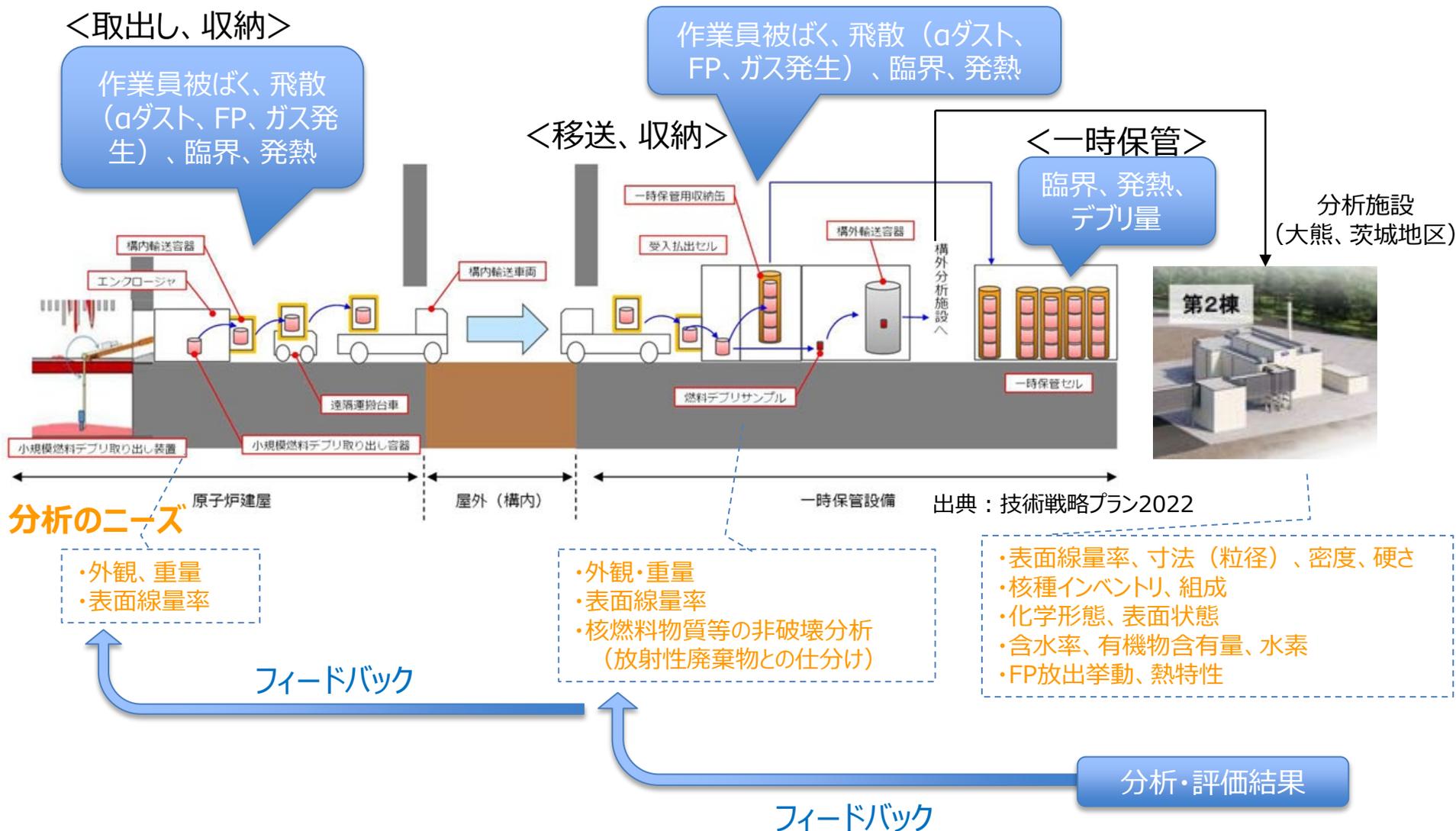
照射済燃料・TMI-2燃料デブリ分析の知見  
放射性核種の取扱い及び施設運転経験

人材  
体制

研究開発  
への参画、  
OJTなど

デブリ取出し以後も  
JAEAの強みを生かした  
取組み成果の反映を継続

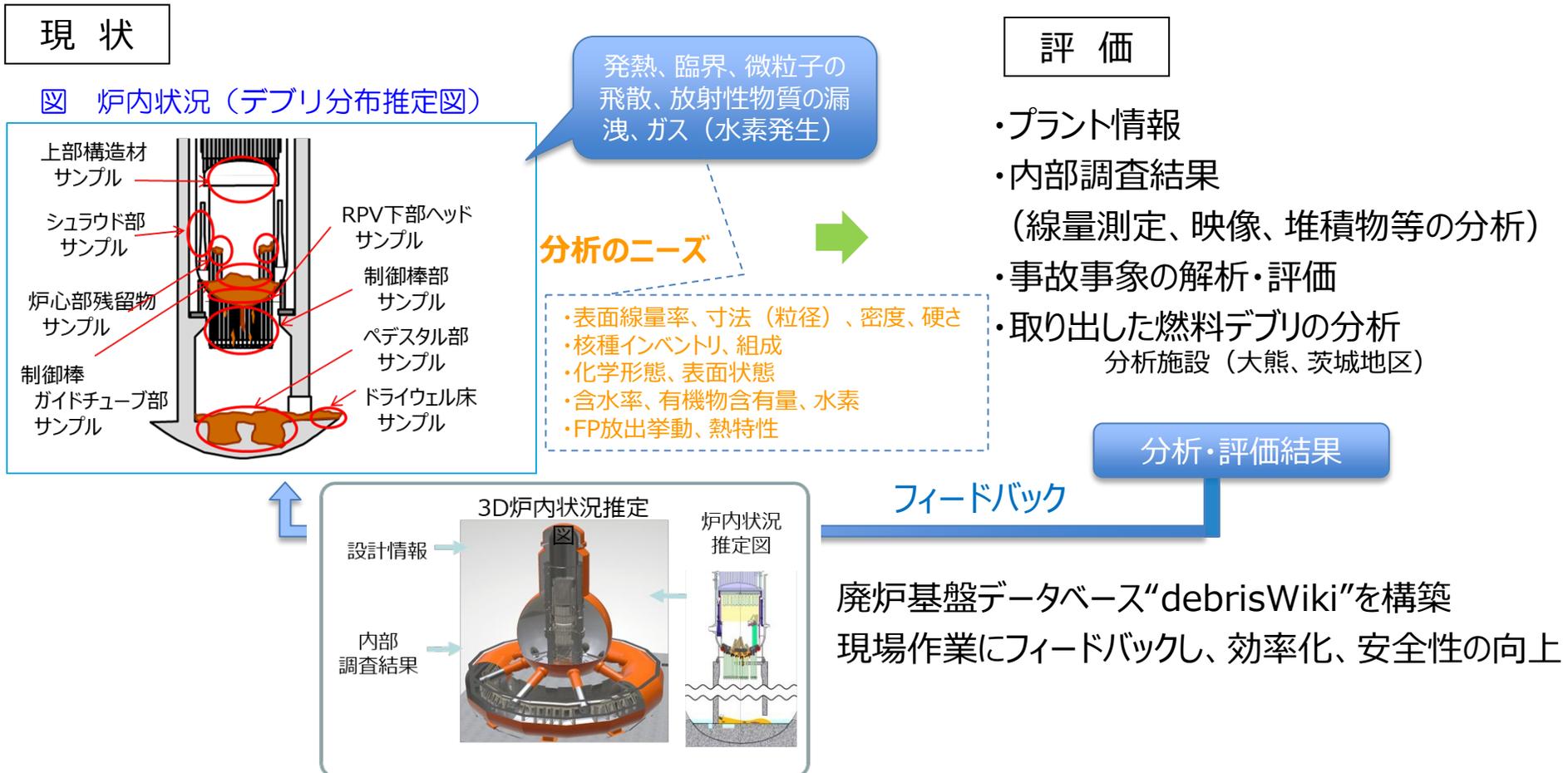
## A 燃料デブリの取出しから一時保管まで



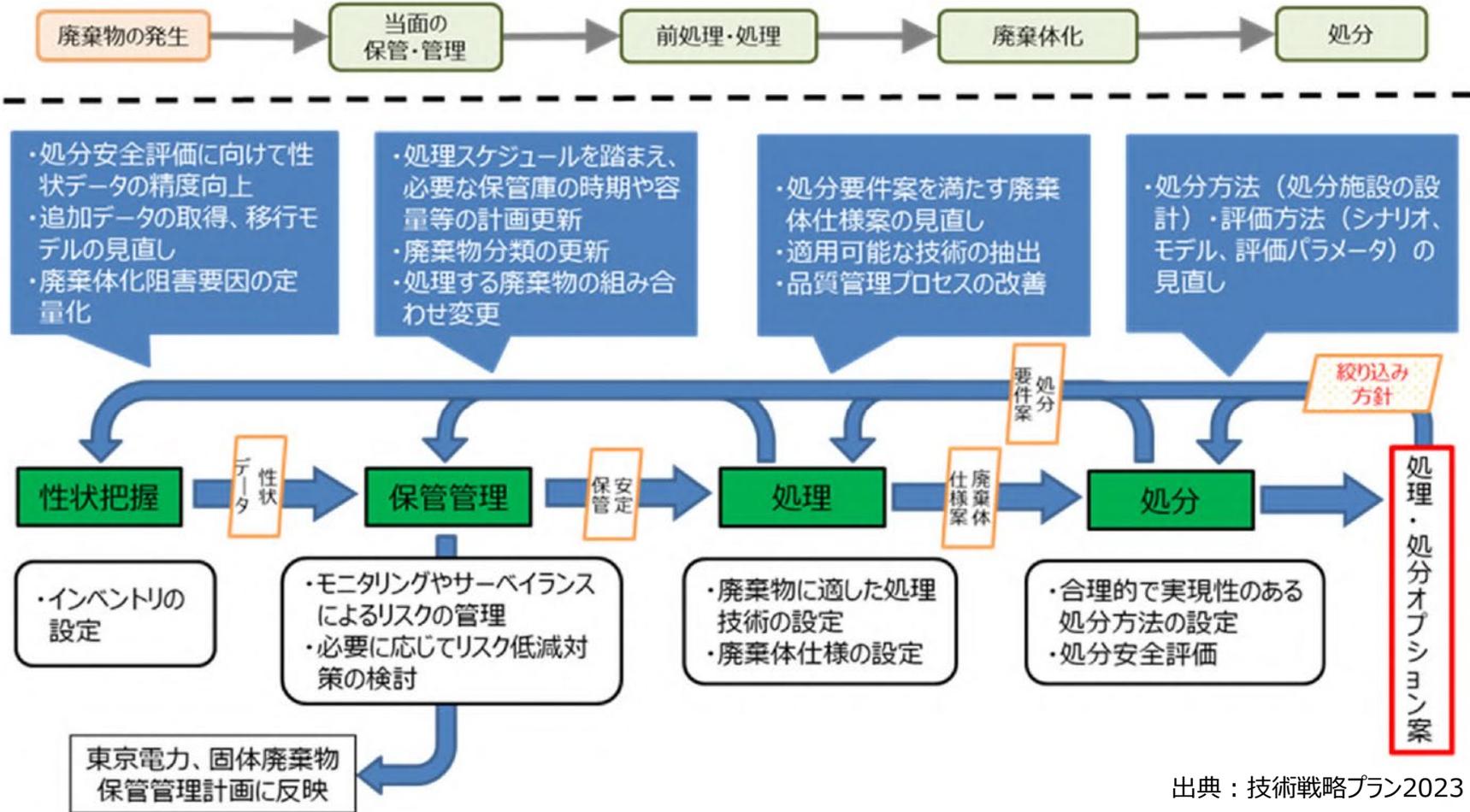
## B 燃料デブリの処理を考慮しておく

- ・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)

## 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



放射性廃棄物の保管、処理・処分の技術検討に必要な性状を分析により提供。  
 着実な分析のための分析法を開発。



出典：技術戦略プラン2023

固体廃棄物の安全な処理・処分方法を合理的に選定するための手法

## ○ 生活・科学技術において「分析」がもたらすもの

成分、性質の確実な把握



製品の品質管理  
有害物質の有無



**安全・安心**

分析装置・手法の進化  
(極微量、極微小、新たな特性)



新発見、新技術、新素材



**科学技術の進歩**

## ○ 1F廃炉・環境回復において「分析」がもたらすもの

成分、性質の  
確実な把握



ALPS処理水  
放射性廃棄物  
燃料デブリ  
環境中放射性  
物質  
etc.



廃炉のリスク低減  
安全評価  
帰還後の被ばく評価



**現場作業や地域の  
安全・安心**

分析装置・  
手法の進化



リスク源・挙動の解明  
廃炉プロセスの合理化  
新たなモニタリング技術



**更なる安全・安心  
安全・防災への展開  
新産業への広がり**

**分析が 廃炉の未来 福島の世界の未来を切り拓く**

- **JAEAの役割**
  - 信頼ある確かな分析を迅速に実施、結果を分かりやすく提供・発信
- **JAEAにおける取組**
  - 分析ラボの整備・運用（施設、人材）
  - 分析技術・手法の開発

## 《分析施設》

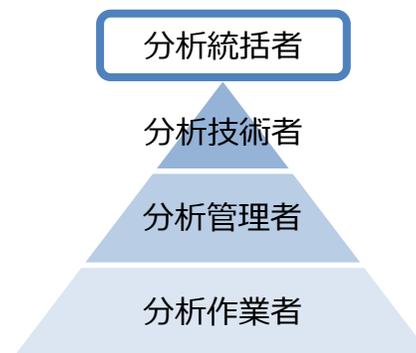
- 茨城地区での知見の蓄積・発信  
⇒大熊への反映

## 《分析戦略～分析作業のフロー》

分析戦略	• 目的を踏まえ、何をどこまで分析するか
分析技術	• 方法（技術・手法）の検討・選定
分析計画管理	• 合理的な計画の策定
分析作業①	• 確かな前処理により対象物を分離
分析作業②	• 正確な測定
分析作業③	• 妥当性の確認・評価

## 《分析人材・体制》

- 各階層における人材確保・育成  
⇒体制を整備



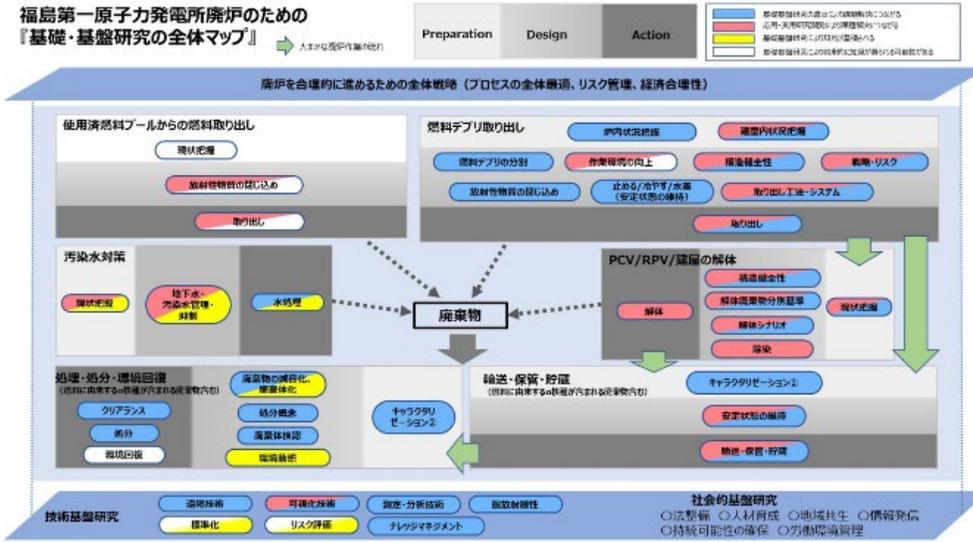
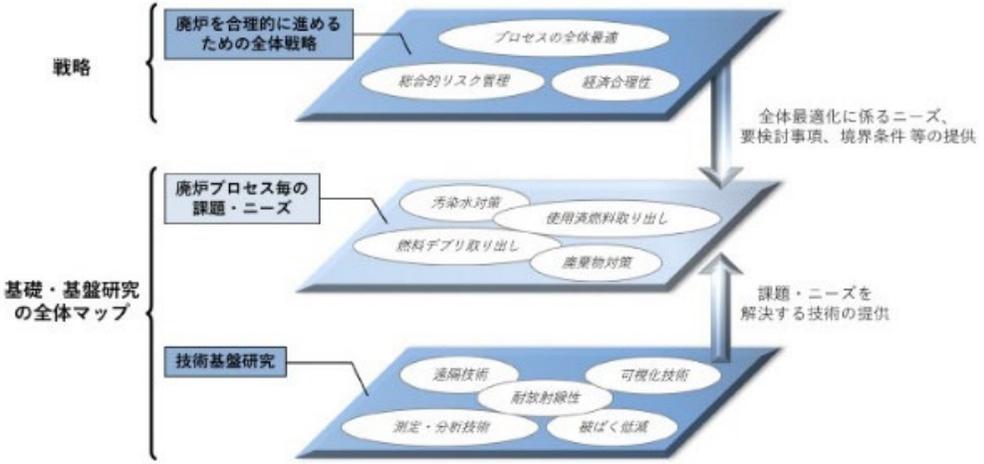
## ● 将来を見据えた取組

- 人材確保・育成に向けた外部機関とのネットワーク
  - 大学（分析ラボ構想）
  - 国内：東電、NDC、NFD、日本分析センター他
  - 国外：IAEA他
- 更なる技術開発
  - 自動化、省力化（非破壊分析など）

- 廃炉現場との対話により、廃炉作業において手が付けられていない、気づかれていない重要な研究課題を掘り起こし、「基礎・基盤研究の全体マップ」として提示。廃炉の進捗に応じて更新。
- アカデミアによる基礎・基盤研究シーズとの橋渡しにより、成果を廃炉現場に実装。
- 中長期的な研究開発・人材育成をより安定的かつ継続的に実施する体制を構築。

## 「廃炉を合理的に進めるための全体戦略」ページのイメージ

### 基礎・基盤研究の全体マップの全体構成



<https://clads.jaea.go.jp/jp/rd/map/map.html>

(2023年度版の見直し事項)

- ・重要度評価の更新
- ・デジタル技術等最新ニーズの追加、等

- ◆ 基礎・基盤研究の全体マップに基づき、公募を実施し、国内外の大学等の有する多様な分野の優れた知見を、廃炉研究の国際的な中核であるCLADSに結集。
- ◆ NDF、東京電力、デコミック社等とも連携し、研究成果の1F廃炉現場への橋渡しを推進する。  
 プログラム：「共通基盤型原子力研究プログラム」、「課題解決型廃炉研究プログラム」、  
 「国際協力型廃炉研究プログラム」、「研究人材育成型廃炉研究プログラム」

英知事業各プログラムの採択件数

プログラム	H30	R1	R2	R3	R4	R5
共通基盤型 現在募集なし	若手6 一般5	若手2 一般5	—	—	—	—
課題解決型 1.2億円/3年(R5)	6	4	若手2 一般6	8	6	7
国際協力型 0.6億円/3年(R5)	日英2	日英2 日露2	日英2	日英2 日露2	日英2	日英2
研究人材育成型 6億円/5年(R1)	—	4	—	—	—	—

1. 原子炉ウエル内調査について TEPCO

■ 2号機シールドプラグ下部の原子炉ウエル内の調査を5月20日、24日に実施したが、線量の測定値の再検証を行うため、再調査を6月23日に実施。調査結果の速報を紹介する。

■ 前回投入した水中線量計（同一型式の別のもの）に加えて、ポータブル線量計等をウエル内へ投入した。

※1 東北大学(英知事業)、CLADS (JAEA)、東電が開発中の線量計

※2 ガラスパッチのようなもの

課題解決型廃炉研究PG

若手 東京大学, 九州大学, 北海道大学, i-Lab, Inc., 京都大学, JACC, KEK, 東京大学, HITACHI, 福井大学, 工学院大学, 早稲田大学, 東京工業大学, 大阪大学, NINS, 岐阜大学, YNU 横浜国立大学

研究人材育成型廃炉研究PG

内 東北大学, 東京大学, 東京工業大学, 福島大学

国際協力型廃炉研究PG

英城大学, 京都大学, University of Bristol, diamond, 北海道大学, 静岡大学, The University of Sheffield, US, 信州大学, 東京大学, Kansai University, 岡山大学, Lancaster University, AUCI, 岡山大学, 東京工業大学



Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science

共通基盤型原子力研究PG

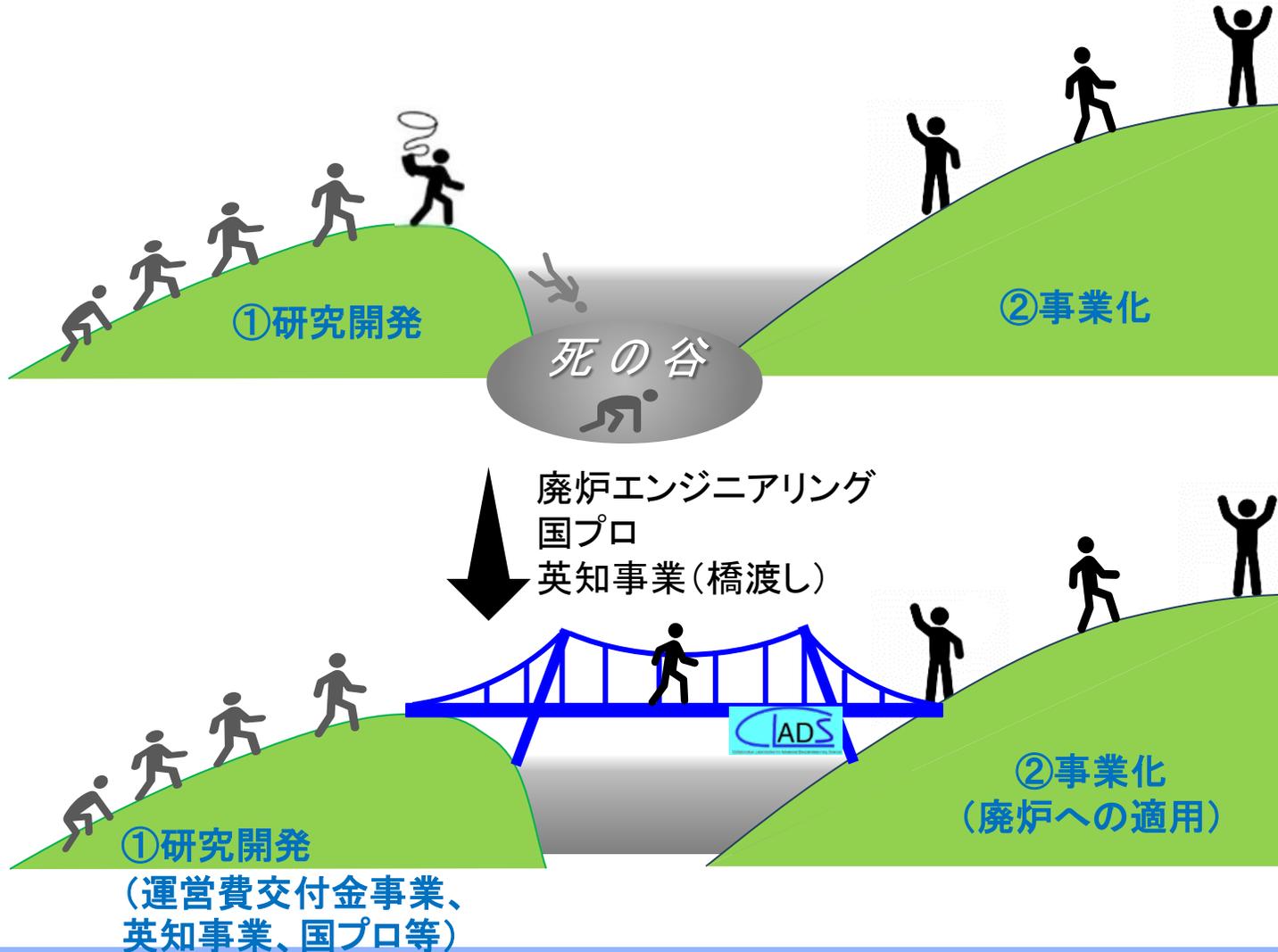
若手 筑波大学, 大阪大学, K-GEI, LIB, 聖光学院大学, 岡山大学, 東京工業大学, 東京大学

一般 大阪大学, 東北大学, 名古屋大学, 東京大学, 筑波大学, 東京工業大学, 東京工業大学専門部, QST, 量子科学技術研究開発機構

国内外のアカデミア・研究機関・企業に対し、68 研究代表、再委託含め延べ 209 研究機関と連携

研究成果の廃炉現場への適用例  
(2号機原子炉上部調査に線量計を使用)

東京電力等との連携体制を強化し、**研究成果を1F廃炉現場に適用**する  
 更に、JAEA施設を含む原子力施設の廃止措置や一般産業分野など社会実装を図る。

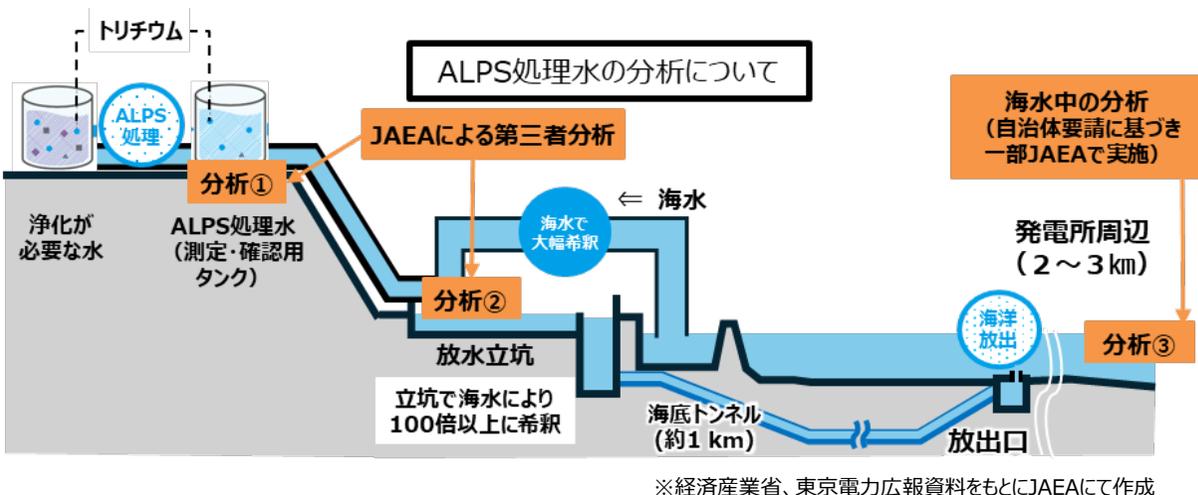


# 報告内容

1. 福島復興に向けた活動とこれまでの歩み
2. 1F廃炉に向けた研究開発基盤の整備・運用の状況
3. 研究開発の主要な課題
4. **最近の研究開発成果（トピックス）**

1.ALPS処理水関連	1-1	第三者分析による客観性及び信頼性の確保
	1-2	ALPS処理水分析技術の開発と能力の向上
2.燃料デブリ取出し関連	2-1	試験的取出しに向けた技術支援と現場への知見のフィードバック
	2-2	堆積物等サンプル(1号機・2号機)の分析と炉内状況推定
	2-3	作業安全の確保に向けた線量・線源評価
3.放射性廃棄物対策関連	3-1	放射性廃棄物の分析、将来の処理・処分への取組
4.人材育成地域貢献関連	4-1	研究成果の社会実装に向けた企業との連携
	4-2	地元教育機関との連携による人材育成活動
	4-3	地域連携、活動成果の情報発信

- ▶ JAEAは、独立した第三者機関の立場から客観的に分析を行うことで、ALPS処理水分析の信頼性確保に貢献。
- ▶ 今年度3回採取した試料の第三者分析では、ALPS処理による浄化及び海水希釈により、放出される処理水が規制基準を確実に下回ることを確認。



## 成果①：トリチウム以外の核種分析（海水希釈前）

**分析①** ▶ ALPS処理によりトリチウム以外の核種（68核種）が放出基準（規制基準）未満まで浄化されていることを確認。  
 ※確認後、さらに海水で100倍以上希釈されることにより、規制基準を大幅に下回るレベルになる。

### 【JAEAによる分析結果】

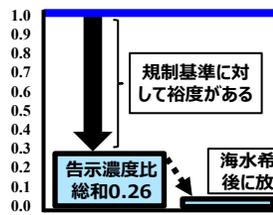
分析結果 (公表日)	放出基準 (告示濃度比総和 < 1) を満足しているかを確認する29核種	有意に存在していないことを確認する39核種
第1回 (2023/6/22)	告示濃度比総和 0.28 < 1 (東電HD : 0.28)	有意に存在していないことを確認。 (東電HDの結果も同じ)
第2回 (2023/9/21)	告示濃度比総和 0.21 < 1 (東電HD : 0.25)	
第3回 (2023/10/19)	告示濃度比総和 0.26 < 1 (東電HD : 0.25)	

## 成果②：トリチウムの分析（海水希釈前→希釈後）

**分析②** ▶ トリチウムの濃度が放出基準（1,500Bq/L）を下回るまで、海水で希釈されていることを確認。

### 【JAEAによるトリチウム濃度分析結果】

分析結果	海水希釈前 (タンク)	海水希釈後 (放水立坑)
第1回	14万Bq/L	38~58Bq/L (東電HD : 43~63Bq/L)
第2回	14万Bq/L	60~96Bq/L (東電HD : 63~87Bq/L)
第3回	13万Bq/L	52~78Bq/L (東電HD : 55~77Bq/L)



### 【告示濃度比総和とは？】

放射線核種ごとに定められた規制基準（告示濃度限度）について、比率を計算・評価し、比率の合計値を告示濃度比総和と呼びます。

## 成果③：トリチウムの分析（海域モニタリング）

**分析③** ▶ 海水中のトリチウム濃度を測定し、放出後の拡散・希釈を確認。

いわき市からの要請を受けて、周辺海域の迅速分析を放出前～第3回放出後まで計5回実施し、すべて検出下限値の目標（10Bq/L以下）未満であることを確認。（2023年12月現在）

### 【いわき市HPで公表】

※公表範囲は、福島県いわき市から約10kmの範囲です。

測定日	測定地点	測定値	検出限界	備考
6月22日	いわき市	<0.5	<0.5	第1回測定
9月21日	いわき市	<0.5	<0.5	第2回測定
10月19日	いわき市	<0.5	<0.5	第3回測定
12月19日	いわき市	<0.5	<0.5	第4回測定
12月19日	いわき市	<0.4	<0.4	第5回測定

※0.5 Bq/Lは、検出限界値です。

➤ JAEAは、信頼性の高い分析を行うため、分析技術開発、技能認定取得や分析能力向上を実施。

## 分析の3ステップ

### ①前処理

測定しやすくなるよう核種の純度を高める処理（精製）

### ②測定

分析対象が放出する放射線や特徴を考慮、それぞれ適切な分析装置を用いて測定

### ③評価

分析値の妥当性を確認・評価

## 報告・公表

分析結果を国に報告、機構Webページで公表

### 成果①：ALPS処理水分析の実施

- ◆ 難測定核種の分析技術開発を含む69核種の分析。
- ◆ ALPS処理水のサンプリングから分析、報告・公表に至るまで、第三者機関としての役割を遂行。

#### ①前処理

分離操作等により、複数の対象核種それぞれを測定に適した状態に調整



▲カラム抽出の様子



▲蒸留操作の様子

#### ②測定

核種ごとに適した測定装置により測定  
(例)

- H-3 : β線測定 ⇒液体シンチレーションカウンター
- Cs-137 : γ線測定 ⇒Ge半導体検出器
- Tc-99 : 質量分析 ⇒誘導結合プラズマ質量分析計



▲Ge半導体検出器



▲誘導結合プラズマ質量分析計



▲液体シンチレーションカウンター

### 成果②：分析技術の技術認定取得

国際機関（IAEA）との結果の良好な一致

- ◆ 日本分析センターが実施する試験所間比較試験に参加し、分析技術者の技能認定を取得。
- ◆ IAEAによる「ALPS処理水の放射性核種分析における分析機関間比較結果」と良好に一致。



IAEA報告書：  
First Interlaboratory Comparison  
on the Determination of  
Radionuclides in ALPS Treated  
Water

### 成果③：Webページでの分析結果公表

JAEAのWebページで公表



※英文ページあり



<https://fukushima.jaea.go.jp/okuma/alps/index.html>

- アクセスルートの内部調査、障害物除去、ロボットアームの設置・運用に向けた準備が進行中。
- JAEAは、ロボットアームの実規模試験の支援、燃料デブリの分析を行う施設の準備や受入手続きを推進中。
- また、デブリ分析で得られた知見を結集し、現場作業の効率化、安全性向上へフィードバックする仕組みを構築。

### 成果①：大型モックアップ実証・訓練を継続的に支援

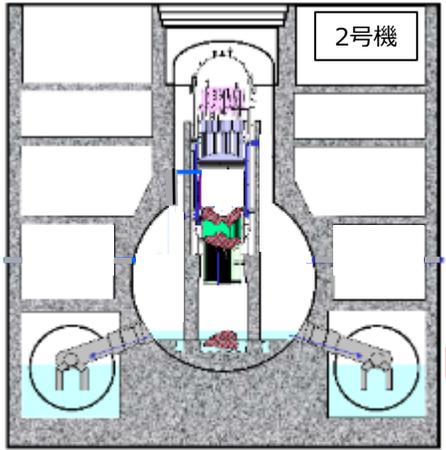
- ◆ 楯葉遠隔技術開発センターにおいて、デブリ取出し装置の**実規模試験・操作訓練を支援**



原子炉格納容器内実物大模型  
 ◀ロボットアーム (デブリ取出し装置)

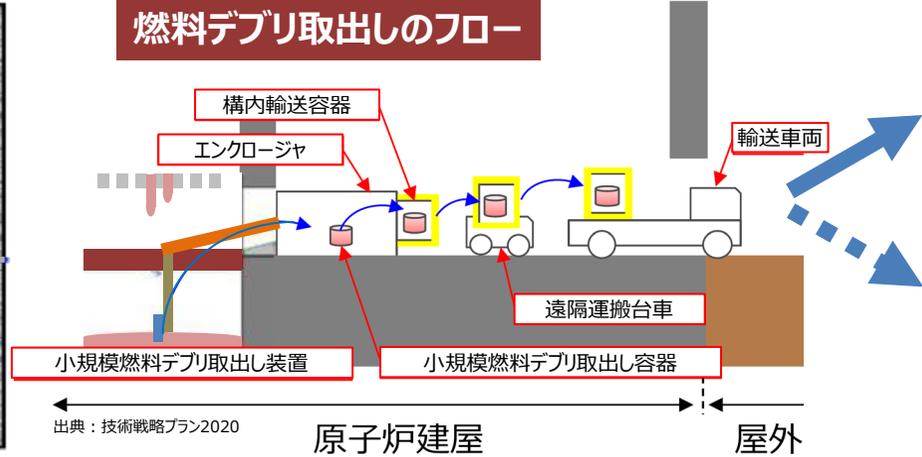


出典：国際廃炉研究開発機構 (IRID)



<現状> (東京電力資料から引用)

### 燃料デブリ取出しのフロー



出典：技術戦略プラン2020

### 成果③：得られた知見を結集、現場へフィードバック

- ◆ 廃炉基盤データベース“debrisWiki”を拡充・高度化
- ◆ フィードバックを図ることで**作業の効率化、安全性の向上**



3次元炉内状況推定図▶

### 成果②：茨城地区ホットラボにおける燃料デブリの性状把握準備

#### 茨城地区 (大洗研FMF)



- ◆ 燃料デブリの受入れに係る許認可取得
- ◆ 1F内部調査サンプルの**分析評価結果の提供**
- ◆ TMI-2デブリを用いた分析技術実証準備

#### 大熊地区 (第2棟)

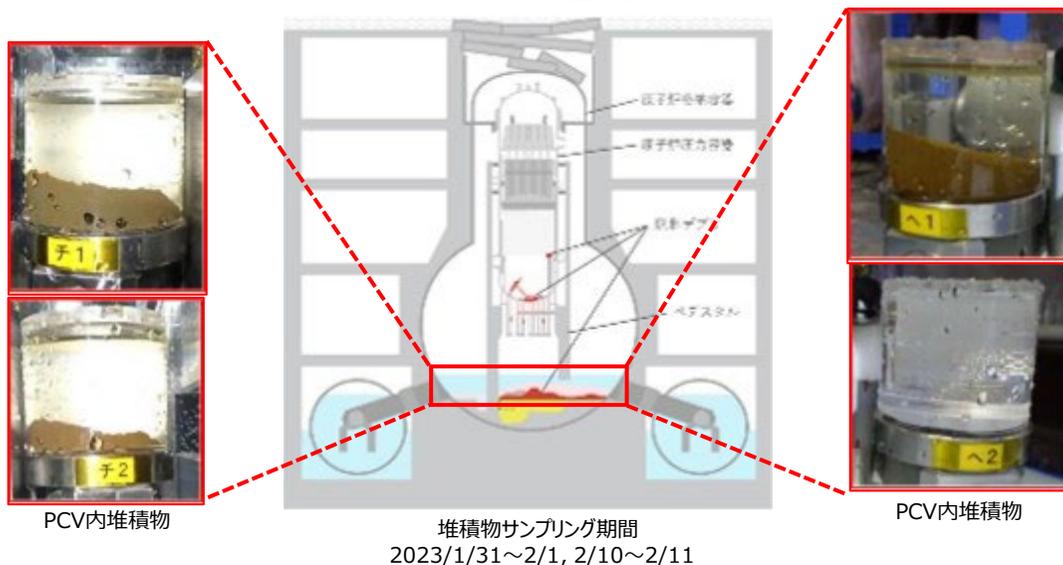


- ◆ 将来の受入れに向けて準備工事に着手
- ◆ 分析技術者を茨城地区等で育成

<分析・評価>

- 格納容器内の状況確認、堆積物等のサンプリングが進行中。
- JAEAは、堆積物等サンプルの分析を実施。微量分析などの燃料デブリの分析に向けた技術の適用性を確認。
- また、得られた結果を炉内状況の把握に反映、データベース化して現場作業へフィードバック。

1号機PCV内部調査 (2023年)



出典：廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合／事務局会議(第111回)、東京電力Webページ

## 成果①：1号機PCV内堆積物を分析

- ◆ 堆積物の分析を茨城地区（原子力科学研究所、大洗研究所）で実施。
- ◆ 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。
- ◆ 放射線分析（ $\alpha$ 、 $\gamma$ ）、質量分析（ICP-MS、ICP-AES、TIMS）を実施中。



堆積物試料

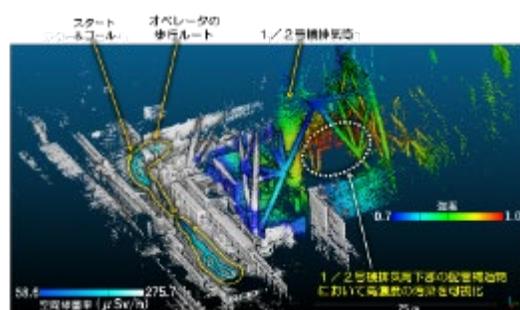
## 成果②：得られた分析結果や測定データ等の知見を結集

- ◆ データ収集により廃炉基盤データベース“debrisWiki”を拡充・高度化。
- ◆ 現場作業にフィードバックを図ることで作業の効率化、安全性の向上。

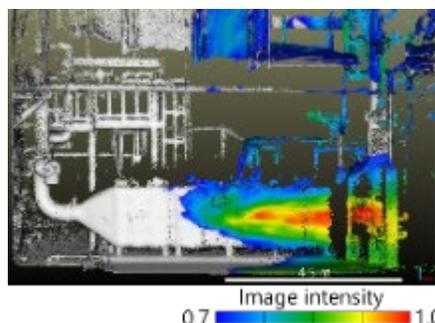
- 燃料デブリの取り出し（装置設置・準備含む）においては、高線量環境やダストの拡散が課題であり、安全を確保するために必要となる安全システム、安全監視・評価の手法検討が進行中。
- JAEAは、作業安全の確保を図るために線量・線源評価、ダスト測定、燃料デブリ分析等の研究を推進中。

## 成果①：線源・線量率分布可視化手法を開発

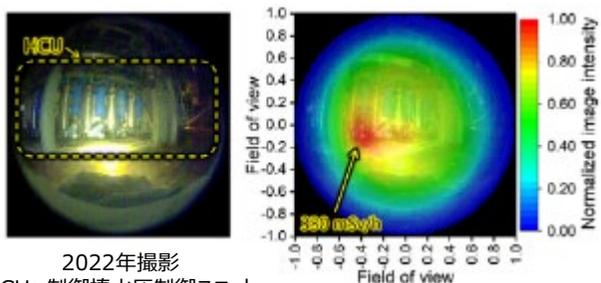
◆ 高線量率環境下での高濃度汚染の可視化に成功するとともに、放射能推定も実施



1 / 2号機排気筒下部の配管構造物



2号機非常用ガス処理系室

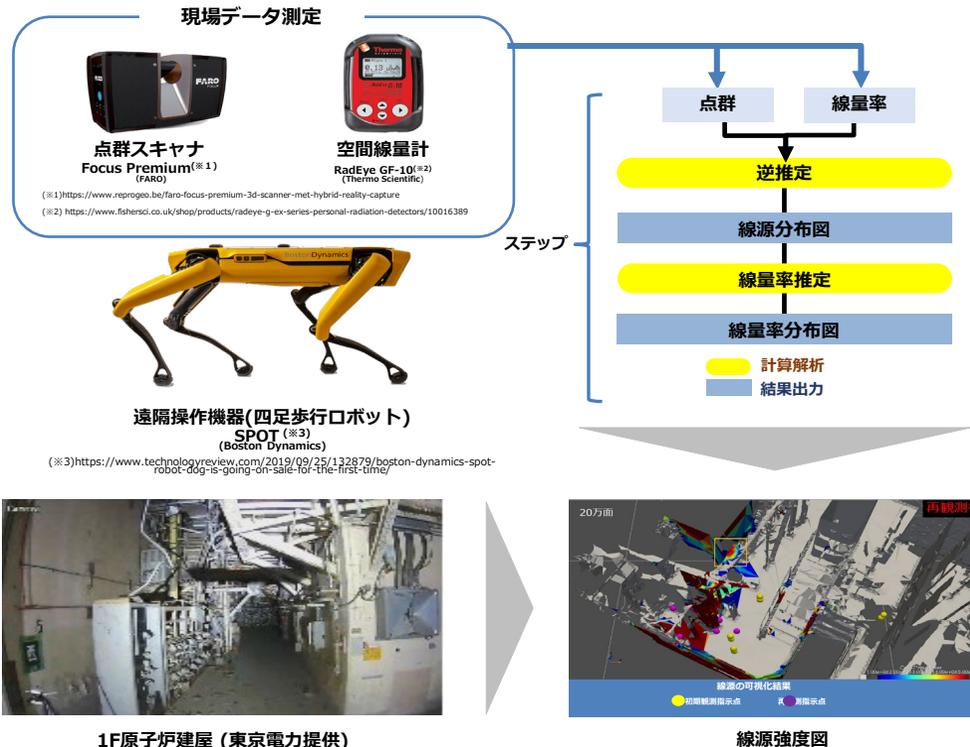


2022年撮影  
HCU: 制御棒水圧制御ユニット

3号機格納容器付近

## 成果②：廃炉作業環境の改善に向けた評価技術を開発

◆ 現場の汚染源の位置と作業に伴う空間線量率の変化を推定・可視化するシステムを開発

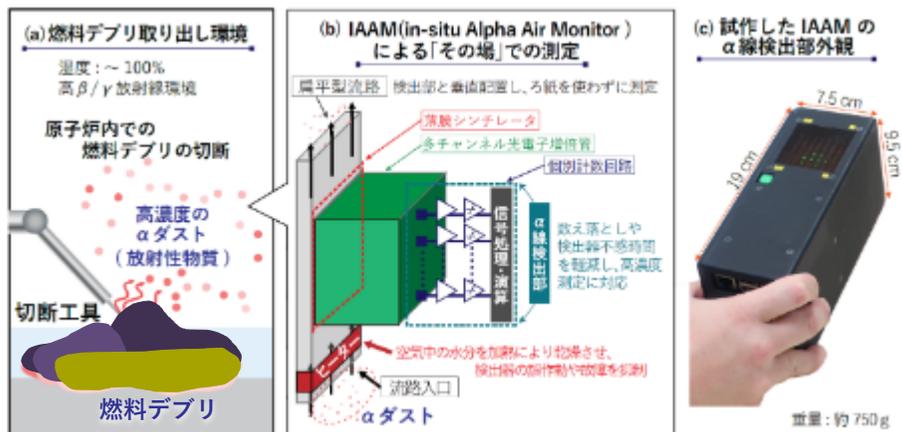


1F原子炉建屋 (東京電力提供)

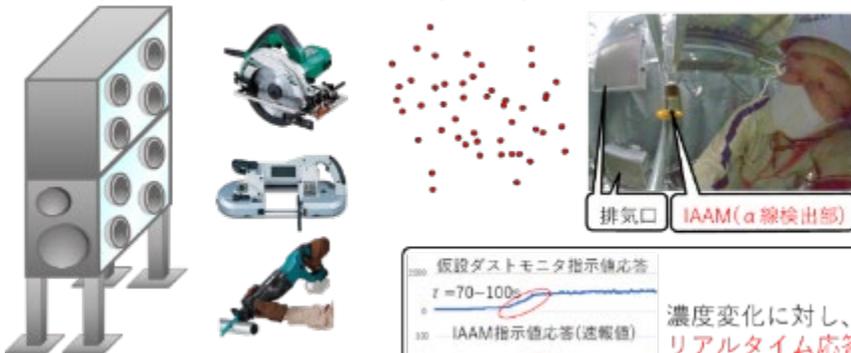
現場適用性評価試験 (5号機)

## 成果③ : αダストの「その場」測定技術を開発

◆内部被ばく影響の大きいαダストを過酷環境の「その場」で測定する装置を試作・性能検証



過去にMOX燃料製造試験に使用したGB 電動工具等による切断解体 MOX系粉塵(αダスト)

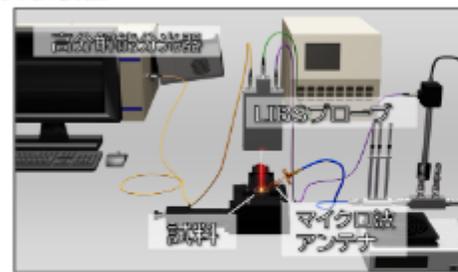


## 成果④ : 燃料デブリの「その場」分析技術を開発

◆炉内や比較的近い場所での簡易分析に向けてレーザー誘起発光分析(LIBS)装置を開発



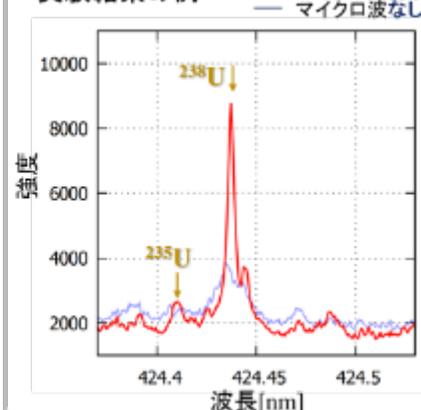
### 実験装置



### 実験条件

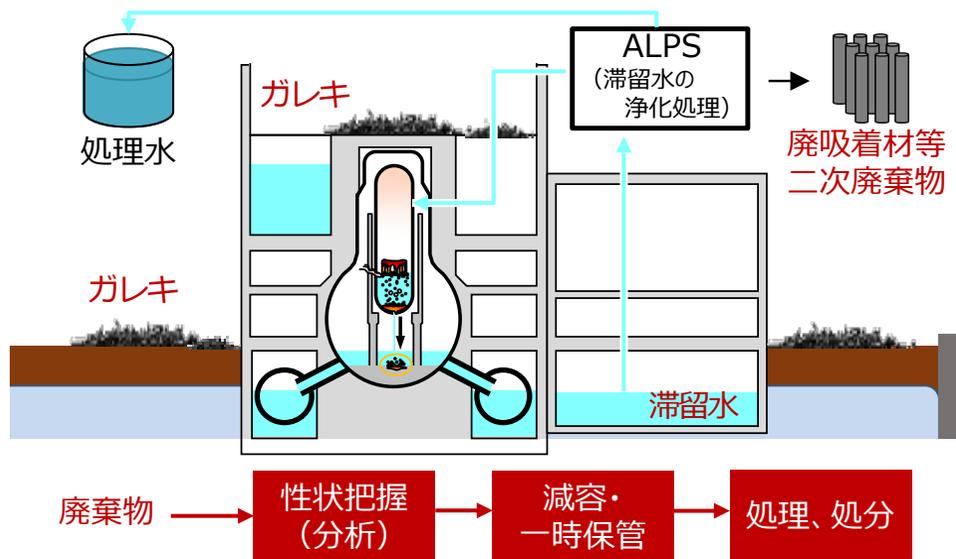
レーザーのエネルギー: 1.0mJ  
繰り返し周波数: 10 Hz  
ショット回数: 200回  
観測遅延時間: 0.5μs  
観測時間幅: 1000μs  
マイクロ波の周波数: 2.45GHz  
マイクロ波のパワー: 1000W  
マイクロ波の照射時間: 1000μs

### 実験結果の例



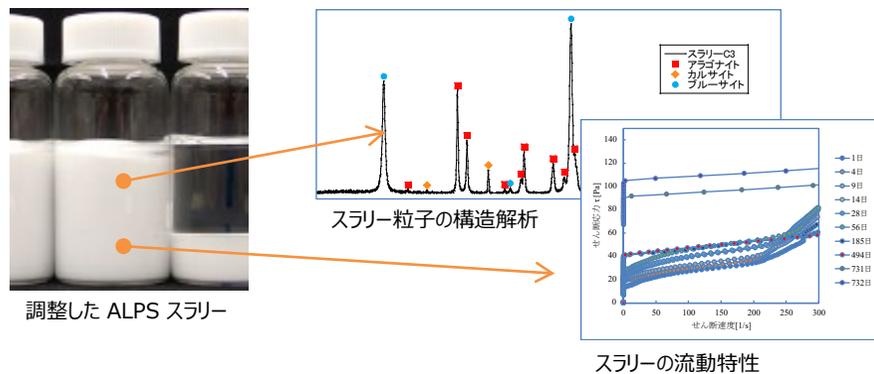
マイクロ波LIBSによるウラン同位体測定

- 廃炉を進めるに伴い、多種多様で大量な廃棄物が発生しており、安全な保管と減容処理が進行中。
- JAEAは、廃棄物を分析してその性状の把握しつつ、将来の処理・処分技術の実現に向けた開発に取り組んでいる。



## 成果② 水処理二次廃棄物の特性分析

◆ALPS スラリーの模擬物を製作し、特性を分析



## 成果① 滞留水中のスラッジを分析

◆各種建屋の滞留水下のスラッジを分析し、α線放出核種の挙動の類似性を示し、成因を推定



## 成果③ 廃棄物の固化処理の検討

◆ジオポリマー模擬固化体の照射試験により、水分を低減、高pH化することで水素発生量が低減することを解明



▶ JAEAは、研究成果の実装において地域企業と連携し、技術力向上にも貢献。

### 成果①：可搬型レーザー遠隔・その場分析装置(LIBS)の現場支援装置

- ◆ 汚染環境へ遠隔LIBS装置を導入するため、可搬・遠隔操作型分析容器を製作（タカワ精密：南相馬市）。
- ◆ 2号機原子炉ウエル内調査で採取された高線量率汚染試料の分析を実現。分析で発生する微粒子による汚染拡散を防止。



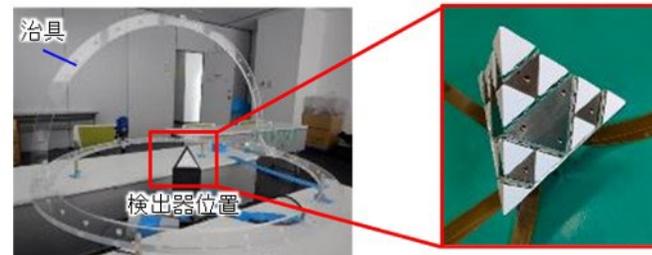
### 成果②：遠隔放射線イメージングシステム

- ◆ コンプトンカメラ、ドローンや各種センサを組み合わせた遠隔放射線イメージングシステムを千代田テクノル、栄製作所（南相馬市）と共同で開発。
- ◆ 福島県地域復興実用化開発等促進事業において、システム開発、特許取得及び千代田テクノルより製品化を実施。



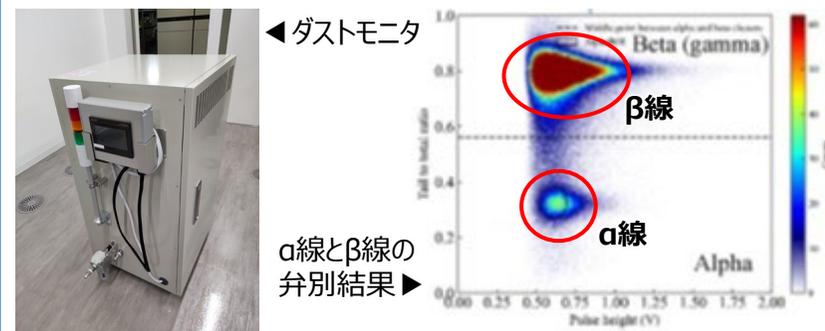
### 成果③：新型放射線可視化センサ

- ◆ 全方位型放射線イメージングシステムに用いる新型放射線可視化センサの複雑遮へい体の加工（スター精機：南相馬市）や放射線源治具の作製（協栄精機：南相馬市）。



### 成果④：α線/β線を同時測定可能なダストモニタ

- ◆ 放射線防護の観点で作業環境のダスト中に含まれるα線放出核種とβ線放出核種を分けるため、検出素子を積層構造にすることで、弁別して測定する技術を開発。
- ◆ 開発技術を適用した検出器はダストモニタとして製品化（クリアパルス：水戸市）され、1F作業現場に搬入。



➤ JAEAは、福島高専、福島大学をはじめ、遠隔技術や分析等の分野で連携し、人材育成活動に貢献。

### 活動①：ロボット操作実習プログラム



クローラー型ロボット操作



ドローン操作シミュレーション

ロボット操作、シミュレータなど最新技術の体験と講義を組み合わせたプログラム

(令和5年度実績)

小高産業技術高等学校、ふたば未来学園、相馬高等学校、喜多方桐桜高等学校、磐城高等学校、会津工業高等学校、磐城緑蔭高等学校 等

### 活動②：廃炉創造ロボコン



課題に取り組む学生

1F廃炉作業での技術課題をテーマに、課題解決に向けたロボット製作を通じて廃炉への興味と創造性を涵養することを目的に開催。

2023年は12月23日に開催、海外チーム（マレーシア）を含む14校17チームが参加（第8回）

過去の競技テーマ：

- ・遠隔ロボットによる1F建屋内の模擬階段の昇降
- ・ペDESTAL内の模擬燃料デブリの取出し
- ・高所での除染

### 活動③：連携協力の下での取り組み



- ・2012年3月連携協力の覚書を締結
- ・高専生による学生視点のノベルティ作製
- ・共同研究、人材育成プログラムにおける実習等を実施



- ・2011年7月連携協力協定を締結
- ・共同研究、人材育成プログラムにおける実習等を実施
- ・放射線科学の授業を実施

### 活動④：浜通り地域等の教育機関との取り組み



ならはっ子  
こども教室



講師派遣



ドローン実習



富岡中学校  
理科教室

講師派遣による廃炉及び環境回復への取り組みの説明、ドローンによる環境放射線測定実習、理科教室や出張授業などを実施。

(令和5年実績)

- ならはっ子こども教室：檜葉小学校
- 講師派遣：ふたば未来学園高等学校
- ドローン実習：小高産業技術高等学校
- 富岡中学校理科教室：富岡中学校

➤ JAEAは、地域の皆様と交流を図るとともに、理解増進に資する情報発信活動に尽力。

### 活動①：イベントを通じた情報発信

自治体で開催される数多くのイベントに参加。

地域の皆様との交流を図るとともに、福島部門の活動情報の発信を行い、理解増進に寄与。



▲ならSUNフェス2023



▲大熊町ふるさとまつり2023



▲富岡町桜まつり2023



▲第93回富岡えびす講市



▲コミュニティリアルラボ（三春町）



▲ふたばワールド2023



▲2023相馬市子ども科学フェスティバル



▲ロボテスフェスタ（南相馬市）

### 活動②：Webサイト、広報誌を通じた情報発信



Webマガジン

- ・Topics福島
- ・Science Station

広報誌

- ・明日へ向けて
- パンフレット類

<https://fukushima.jaea.go.jp/pamphlet/science/>

### 活動③：福島研究開発部門成果報告会

1F廃止措置と福島への環境回復に向けたJAEAの活動成果について地元や関係機関の方々の理解を深めて頂くことを目的に開催。

今年度は「分析が拓く未来」をテーマに、1/26開催。



JAEAは、研究開発の実施において、以下を重要視。

- ①安全・リスク評価を通じ、作業現場及び地域の安全・安心向上に貢献
- ②2030年頃に期待される状況を見据えた取組
- ③廃炉基礎研究プラットフォームや英知事業を通じて、研究機関・大学・企業等とのネットワークを拡大し、研究成果を現場に実装

また、最近の研究開発成果は、以下のとおり。

- ①ALPS処理水第三者分析の着実な実施
- ②燃料デブリの分析に向け、「堆積物」「TMI-2デブリ」の分析研究や許認可取得など、万全な準備
- ③内部調査結果と少量のデブリ分析結果を組み合わせ、炉内状況や事故進展シナリオを推定し、炉内に残存するデブリや取出し作業の安全・リスク評価ツールや体制を構築
- ④現場作業の安全・安心向上のため、放射性物質の分析・測定、可視化技術開発を進め、1F現場でのトライアル利用や適用を既に開始

ご清聴ありがとうございました。