

「基調報告」
福島復興に向けた研究開発

令和6年1月26日

福島研究開発拠点 所長

宮本 泰明

原子力機構は、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
- ▶ 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



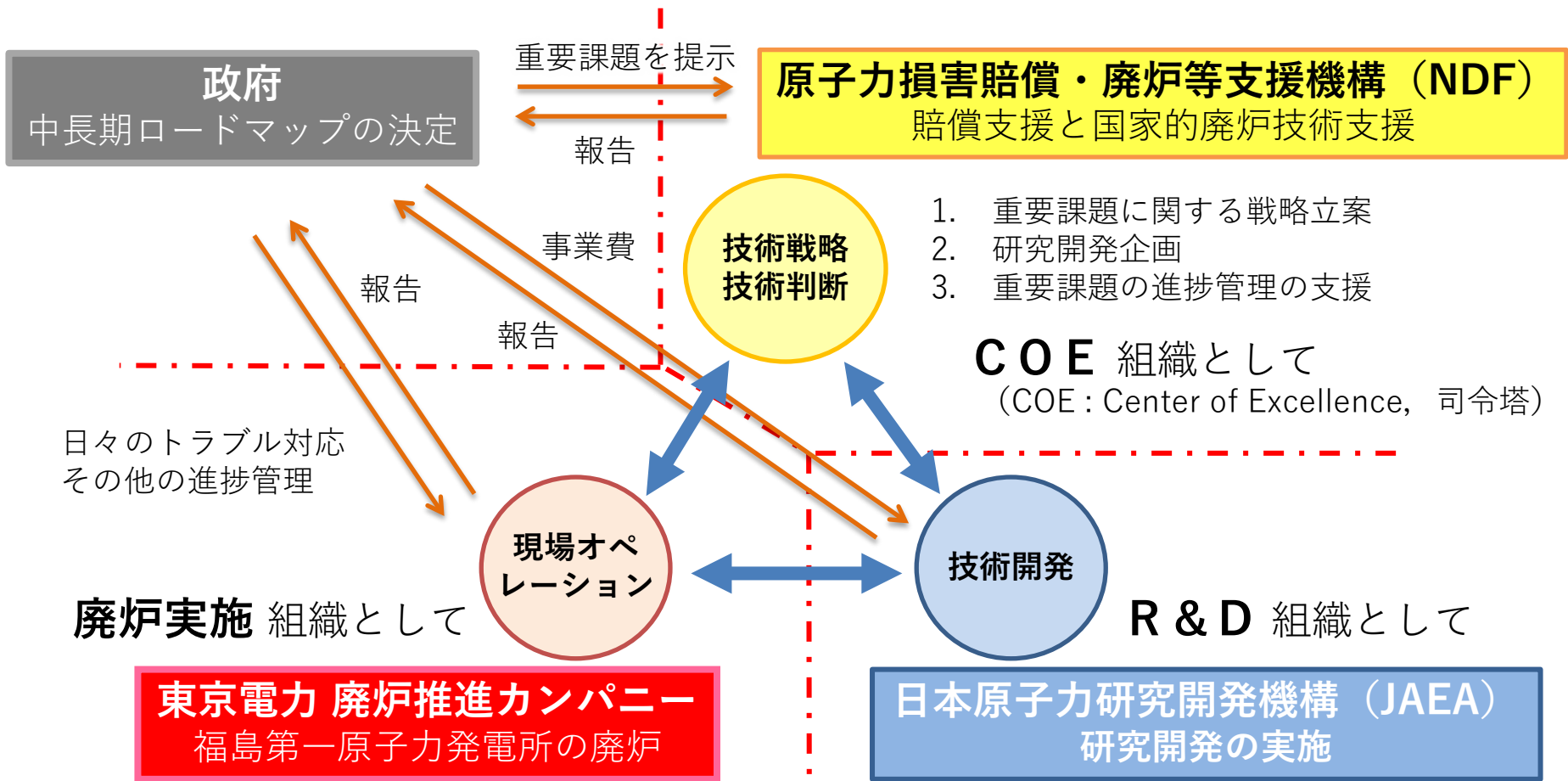
研究開発基盤の整備

- ▶ 檜葉遠隔技術開発センターの運用
- ▶ CLADS 国際共同研究棟の運用
- ▶ 大熊分析・研究センターの整備
- ▶ 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





- 責任所在：
- ①国全体の廃炉取組の統括・事業への指導・是正勧告他：政府
 - ②廃炉技術への総括的・戦略的取組・開発企画・国際連携・東電への指導助言他：NDF
 - ③中長期的にクリティカルな廃炉技術開発：日本原子力研究開発機構 (JAEA)
 - ④廃炉のオペレーション遂行と安全管理・現場適用技術開発：東電廃炉推進カンパニー

福島研究開発部門
所属本務人数(直接雇用者)

約 **300** 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

平均年齢

44.0 歳

男女比率



活躍する外国籍研究者・技術者

13 名

(2024年1月現在)

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)

27,655 人

NARRECの
施設利用実績
(2016~2023年12月)

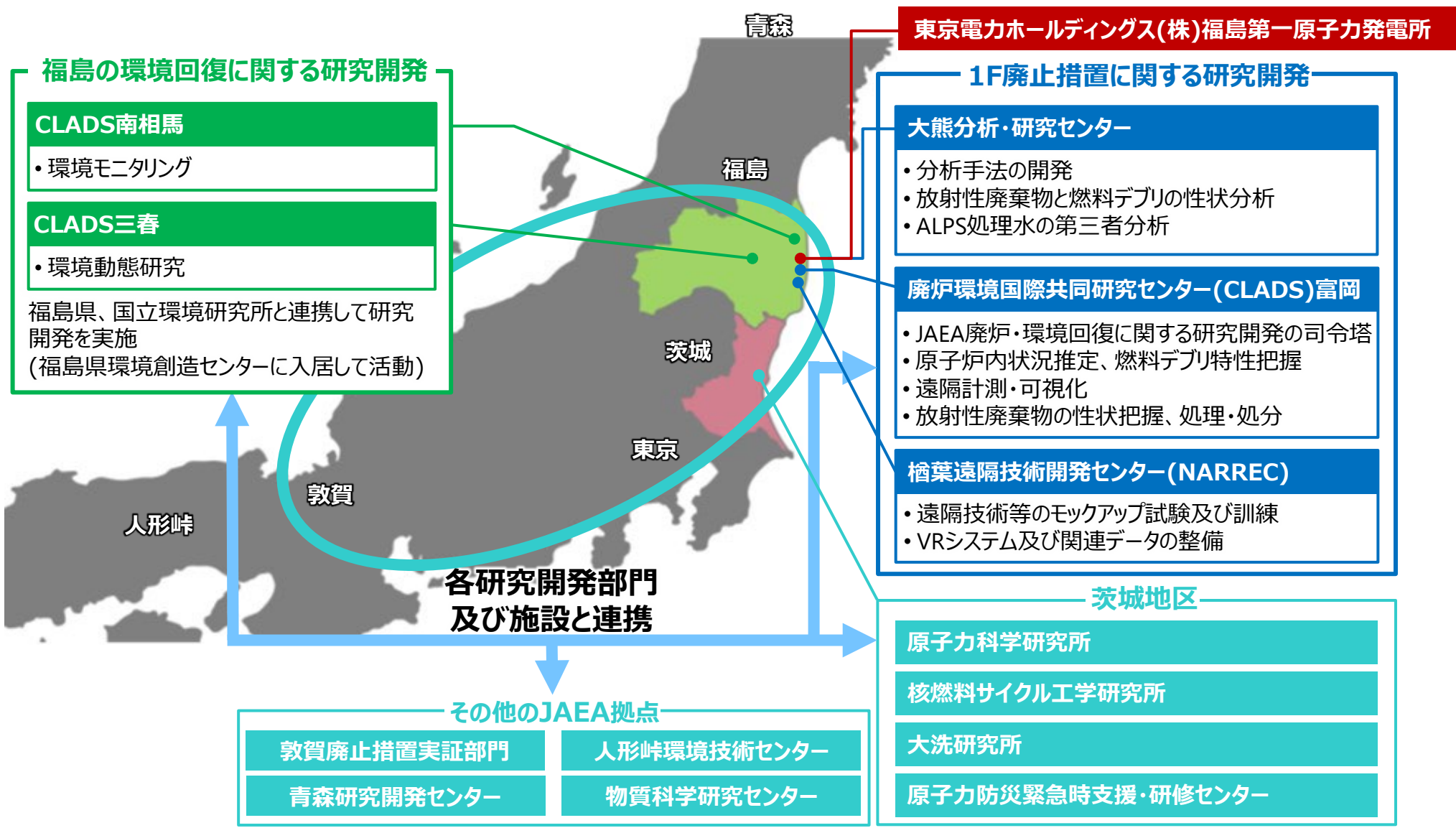
571 件

CLADSに訪れた
見学者数
(2017~2023年12月)

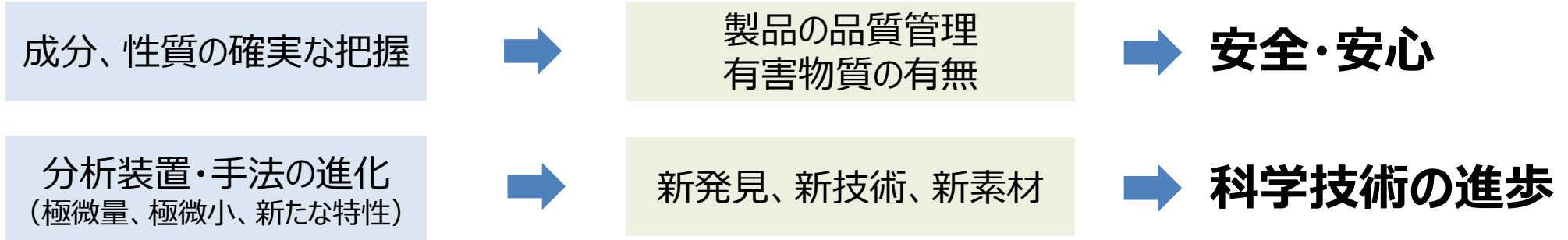
4,047 人

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)

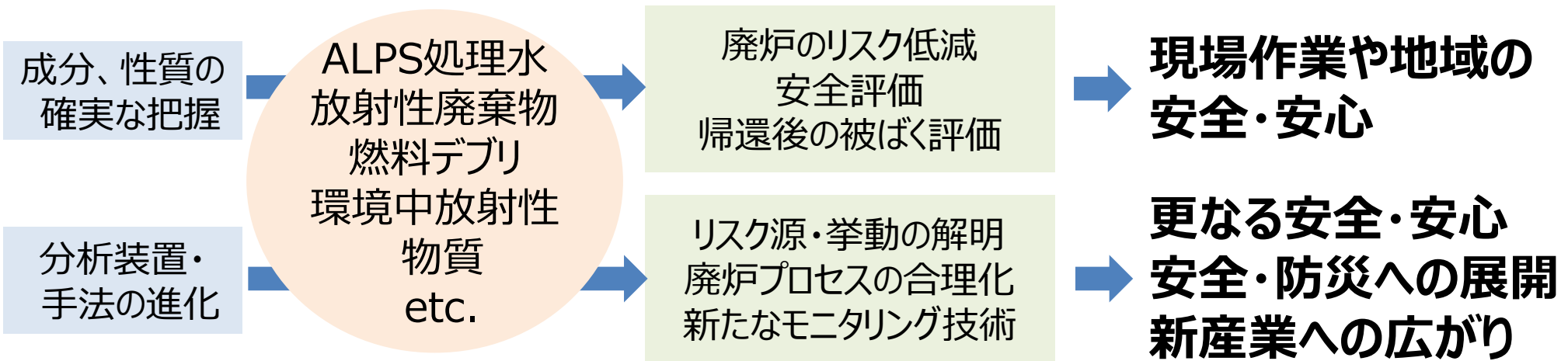
318 回



○ 生活・科学技術において「分析」がもたらすもの



○ 1F廃炉・環境回復において「分析」がもたらすもの



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**
 - 分析施設の整備・運用、人材確保・育成
 - 分析技術・手法の開発

《分析施設》

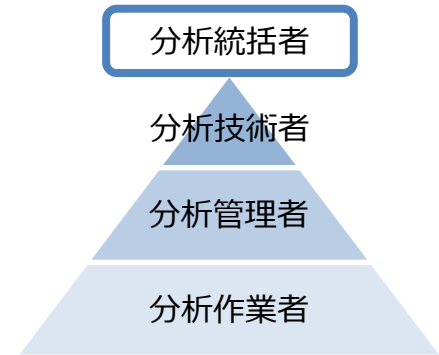
- 茨城地区での知見の蓄積・発信
⇒大熊への反映

《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



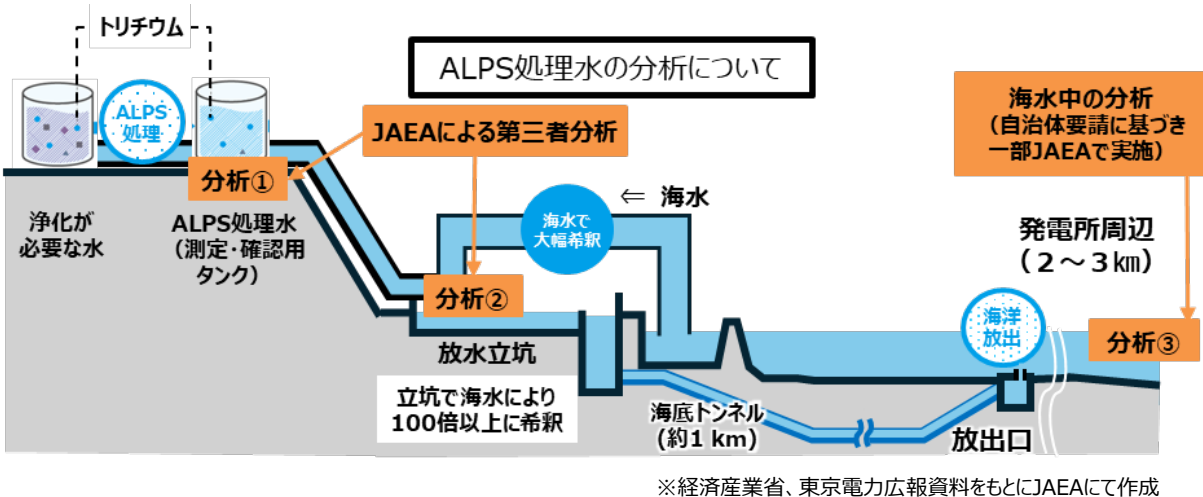
● 将来を見据えた取組

- 人材確保・育成に向けた外部機関とのネットワーク
 - 大学（ホットラボを活用した大学間連携）
 - 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）

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.環境回復関連	4-1	避難指示解除に向けた検討・判断に資するデータの提供
	4-2	森林等の環境中における放射性物質の挙動解明
5.人材育成地域貢献関連	5-1	研究成果の社会実装に向けた企業との連携
	5-2	地元教育機関との連携による人材育成活動
	5-3	地域連携、活動成果の情報発信

※地元の皆様をはじめ関係者の方々のご意見に基づいて抽出いたしました。

- 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】

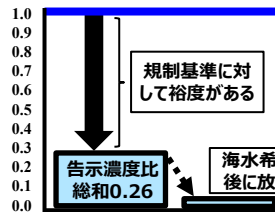
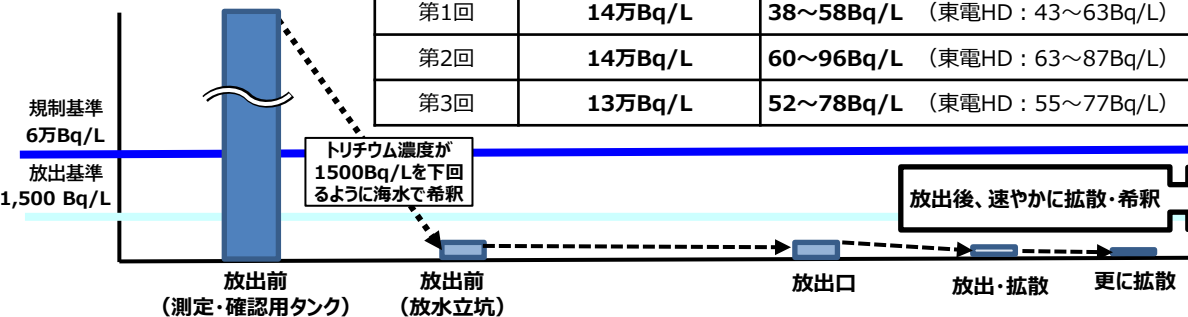
分析結果 (公表日)	放出基準 (告示濃度比総和 < 1) を満足しているかを確認する29核種	有意に存在していないことを確認する39核種
第1回 (2023/6/22)	告示濃度比総和 0.28 < 1 (東電HD : 0.28)	有意に存在していないことを確認。 (東電HDの結果も同じ)
第2回 (2023/9/21)	告示濃度比総和 0.21 < 1 (東電HD : 0.25)	
第3回 (2023/10/19)	告示濃度比総和 0.26 < 1 (東電HD : 0.25)	

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】

観測項目	観測日時	測定値	検出限界	備考
トリチウム	6月22日	<0.5	<0.5	第1回放出後
トリチウム	9月21日	<0.5	<0.5	第2回放出後
トリチウム	10月19日	<0.5	<0.5	第3回放出後
トリチウム	12月1日	<0.4	<0.4	第5回放出後

➤ 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

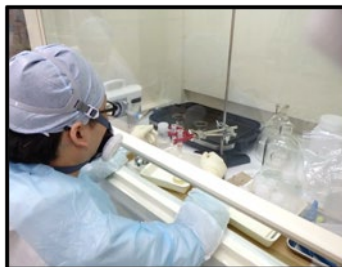
分析結果を国に報告、機構Webページで
公表

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



<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**



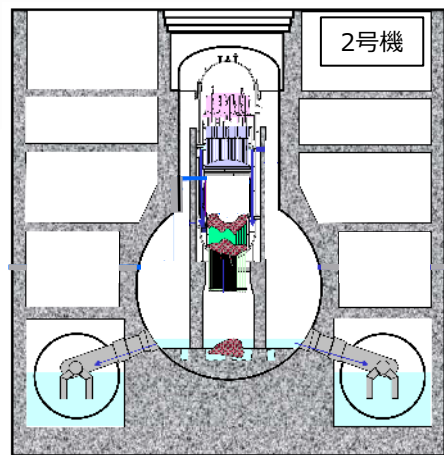
成果②：茨城地区ホットラボにおける燃料デブリの性状把握準備



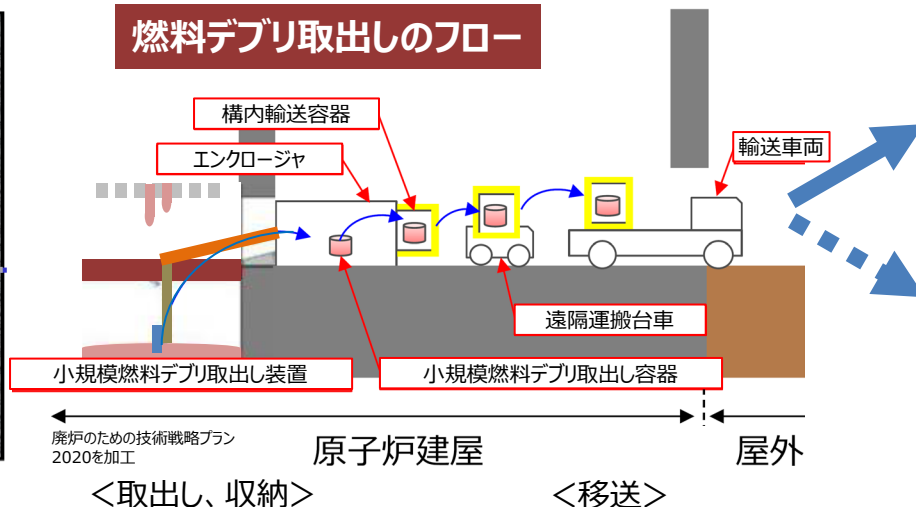
- ◆ 燃料デブリの受入れに係る許認可取得
- ◆ 1F内部調査サンプルの**分析評価結果の提供**



- ◆ 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



燃料デブリ取出しのフロー



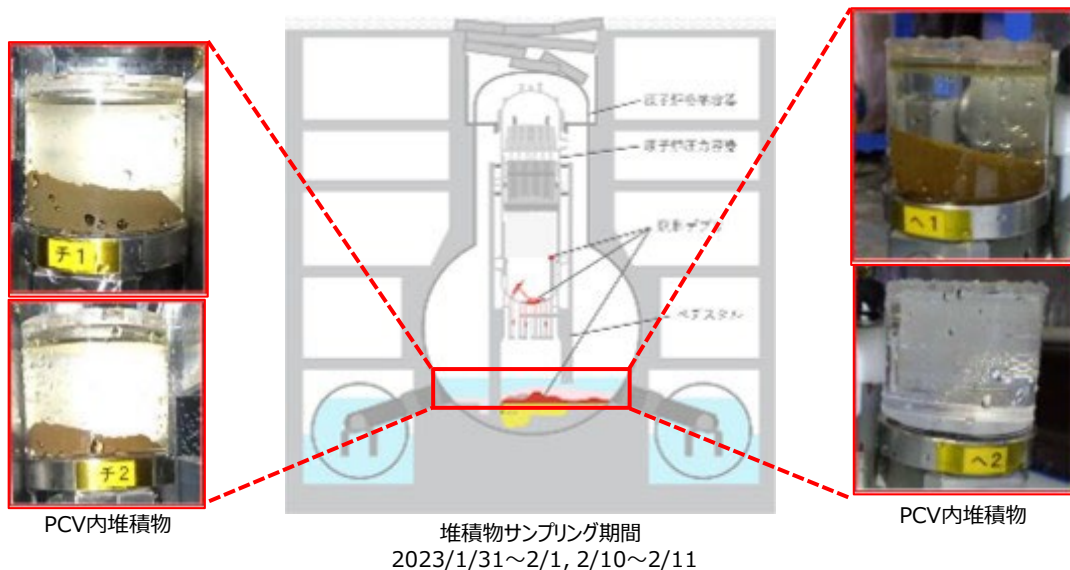
得られた知見を結集、現場へフィードバック

- ◆ 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**

<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)



PCV内堆積物

堆積物サンプリング期間
2023/1/31~2/1, 2/10~2/11

PCV内堆積物

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

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。

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（ α 、 γ ）、質量分析（ICP-MS、ICP-AES、TIMS）を実施中。

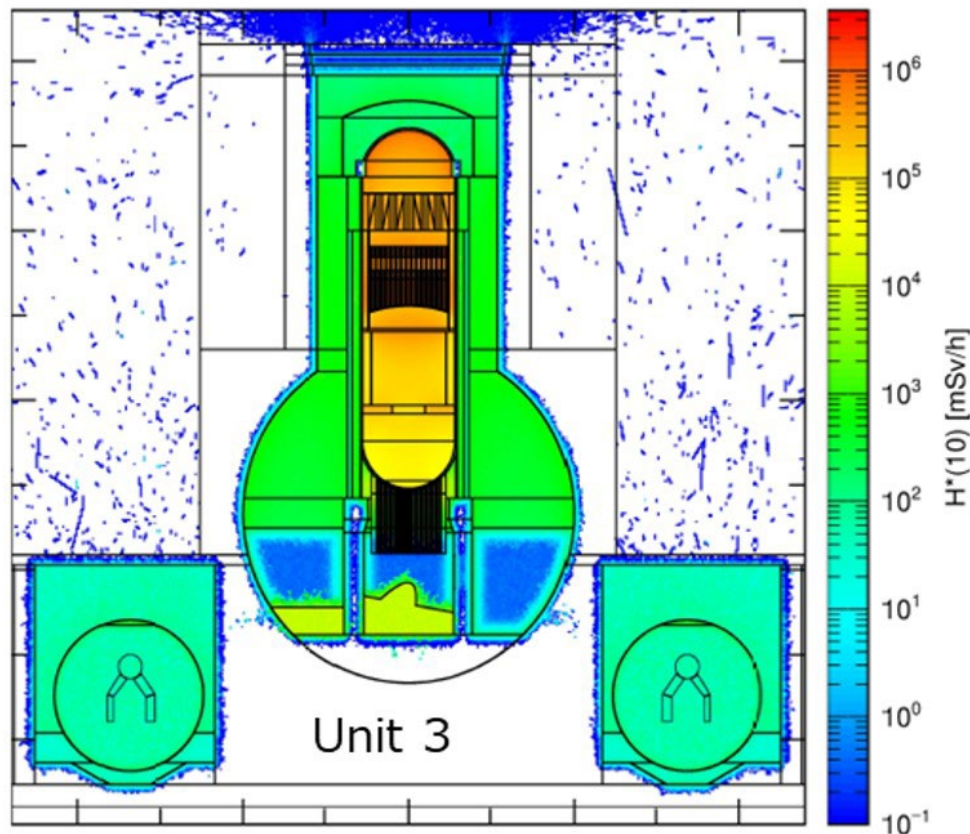


堆積物試料

- 取出し規模の更なる拡大（3号機を念頭）の工法選定に向けて専門的かつ集中的な検討・評価が進行中。
- JAEAは、作業安全の確保を図るために線量・線源評価、燃料デブリ分析等の研究を推進中。

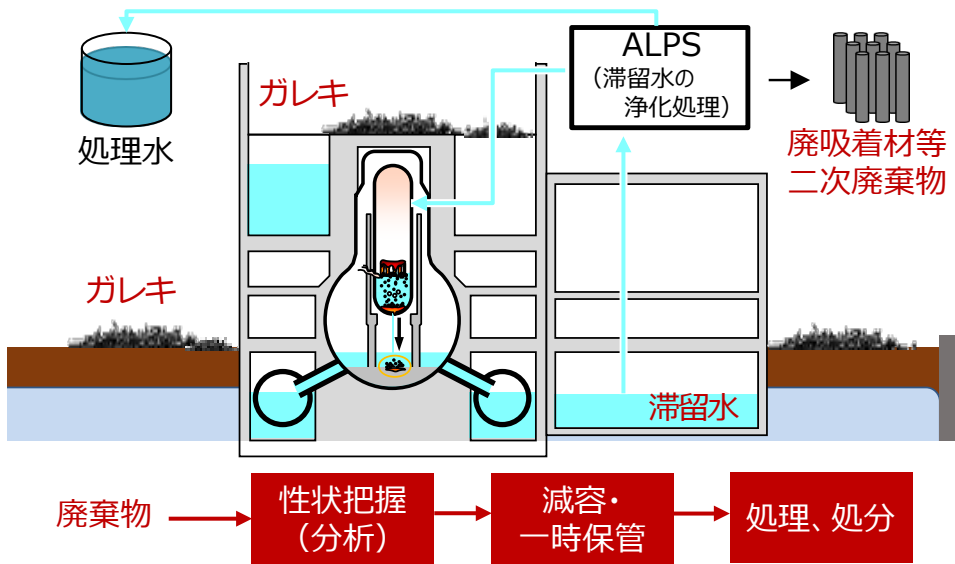
成果：線源・線量率分布評価手法を開発

- ◆ 東京電力などが行った事故進展解析、内部調査結果による燃料デブリ等の配置や炉内状況の実測値、事故前の原子炉運転履歴などによる炉内に存在する放射性核種の情報を基に、粒子輸送モンテカルロ計算コードにより放射線の散乱、吸収等を計算することで**建屋内各所の線源・線量率分布を推定・評価**。
- ◆ 推定された線源・線量率分布と各取出し工法において予想される作業内容から、作業に必要な設備や作業場の線量率を想定することで、**作業計画策定や作業安全の確保に寄与**。



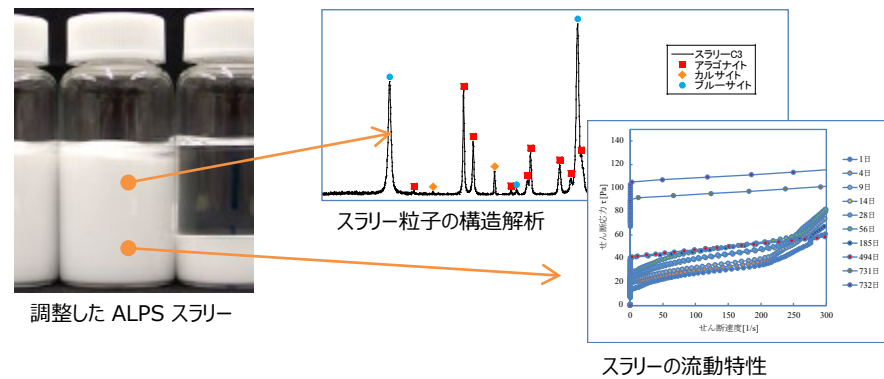
3号機内部の放射線量率推定図

- 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



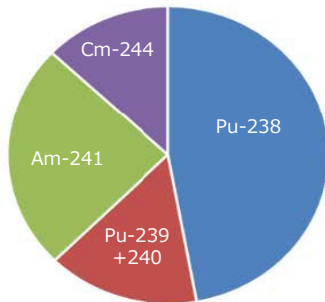
成果① 滞留水中のスラッジを分析

◆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



1号機トラス室水
(2022年4月採取)

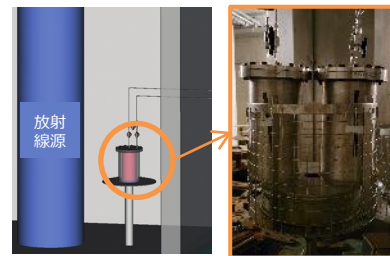
スラッジ



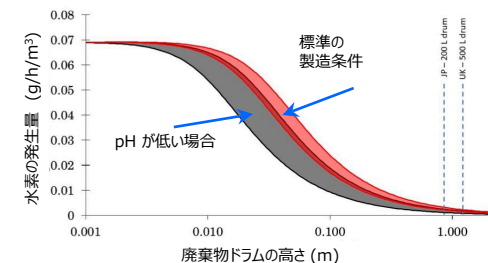
スラッジ中のα線放出核種の割合

成果③ 廃棄物の固化処理の検討

◆ジオポリマー固化における水の放射線分解により発生する水素の挙動を実験的に検討



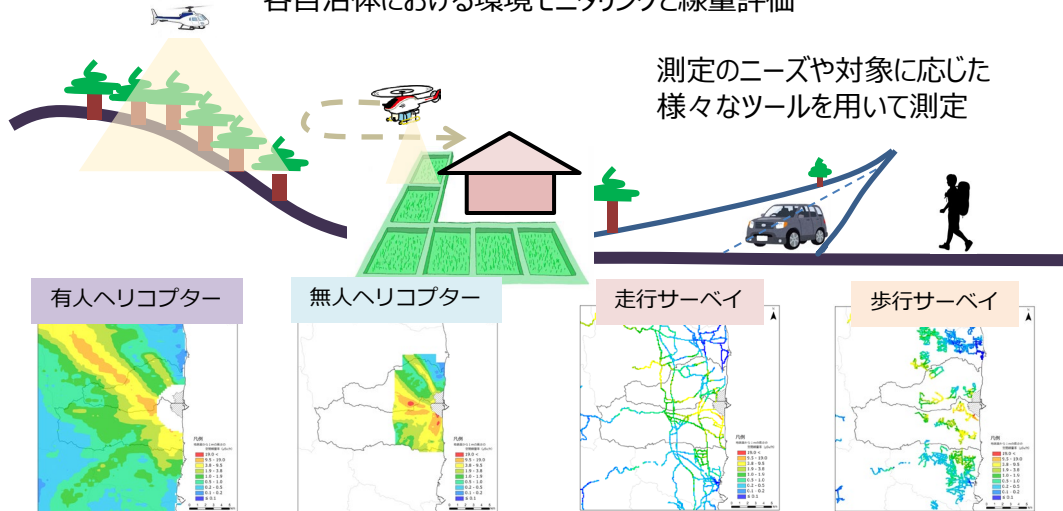
照射試験の様子 (仏国との共同研究)



試験データに基づいて計算した水素の発生量

- 特定復興再生拠点区域の避難指示解除が完了。特定帰還居住区域の避難指示解除に向けた検討が開始。
- JAEAは、自治体の要請に基づき、環境モニタリングや線量評価データを提供。

各自治体における環境モニタリングと線量評価



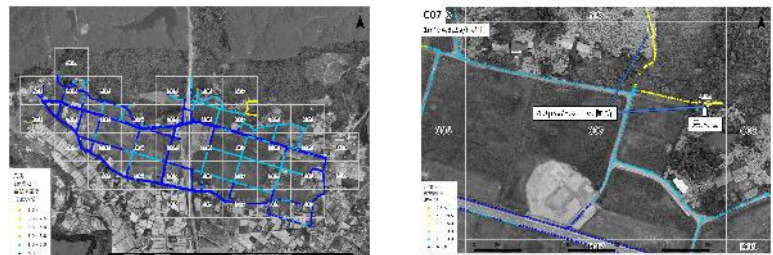
成果②：富岡町の避難指示解除に向けた放射線量率の測定

- ◆ 富岡町の要請に基づき、避難指示解除前の状況把握と除染効果の確認のための詳細測定結果を提供。



成果①：大熊町特定帰還居住区域の詳細測定

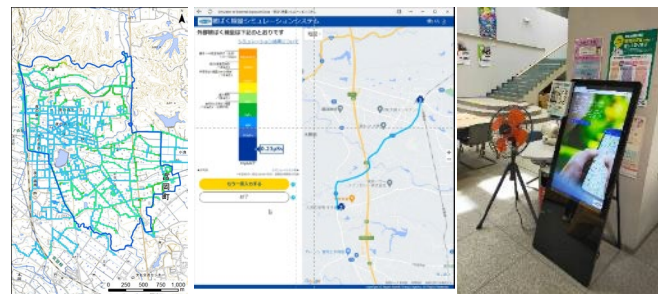
- ◆ 内閣府からの要請に即応し、無人機や歩行サーベイを用いた帰還困難区域の詳細モニタリングを実施。
- ◆ 今後の解除を目指す新区域である特定帰還居住区域の除染前の基礎データとして情報を提供。



大熊町における環境モニタリングと線量評価

成果③：被ばく評価システムを開発し、自治体への導入

- ◆ 生活行動パターンに基づく被ばく評価手法を応用し、リスクコミュニケーションツールとして活用可能な被ばく評価システムを開発。地域の皆様の被ばく線量把握のための情報を提供。



◀ HPや市町村役場に設置するサイネージシステムとして最適化し、自治体（大熊町、浪江町、富岡町、葛尾村）でご利用いただいています。

- 福島県環境創造センターにおいて、福島県、国立環境研究所と連携して環境回復に向けて活動。
- JAEAは、環境中の放射性物質の挙動の調査・分析による移行過程の解明を行い、長期的な濃度変化を予測。

福島県環境創造センターで実施する森林から流域環境への放射性物質の移行の調査・研究



成果①：動態研究成果の階層型Q&Aによる情報発信、モニタリングデータの公開

- ◆ 関係研究機関等で行われた重要な調査研究の成果も加えて、地域の皆様の疑問や不安に応えられるように科学的な知見を、説明の詳細度が異なる3つの階層を設けて解説。
- ◆ 原子力規制庁、福島県等が公開している大量のデータを見える化し、状況把握できるように公開。
- ◆ 6自治体（相馬市、田村市、飯舘村、楡葉町、三春町、双葉町）のWebページにリンクを掲載いただいた。



根拠情報 Q&Aサイト
モニタリングデータ 情報公開サイト▶



F-REIへの研究協力：環境中の放射性物質の動態への人間活動の影響・移行抑制対策効果の評価手法開発

- ◆ JAEAの開発した森林内の放射性セシウム循環モデル (CMFW) を用いて、放射性セシウム林産物等への移行の不確実性要因を考察。

モデル導入のためのデータ整理・解析

JAEAのこれまで蓄積した森林内のデータ (川内サイト、田村サイト) + 福島県・福島大学のデータ

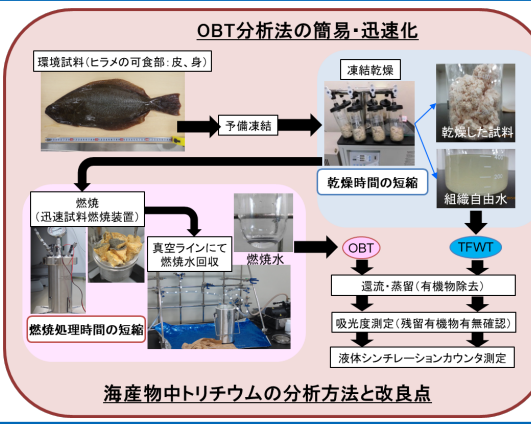
- 林内雨Cs濃度
- 林内雨量
- 樹幹流Cs濃度
- 樹幹流量
- リターフォールCs濃度
- リターフォール量
- 樹木部位のCs濃度
- 樹木のバイオマス量
- 土壌内のCs濃度
- リター層のCs濃度

CMFWの精緻化・高精度化

- 過去のデータによるモデル再構築
- モデルの適用性拡大のためのデータベース構築
- モデルによる再現性確認

山野草・キノコだけでなく木材を含めた自然資源中の放射性セシウムの濃度評価を目指す

成果②：放射性物質の迅速測定手法の開発



- ◆ 環境中の様々なところの放射性物質濃度を、迅速に低い濃度まで測定する手法が必要。
- ◆ 魚の中の組織自由水型(TFWT)および有機結合型(OBT)のトリチウム濃度を、迅速かつ高精度に測定する分析条件を明らかにした。
- ◆ 公定法「トリチウム分析法」(令和5年10月改訂)で迅速な真空凍結乾燥処理法として、解説で引用された。

➤ 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。
- ◆ 2号機原子炉ウェ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。



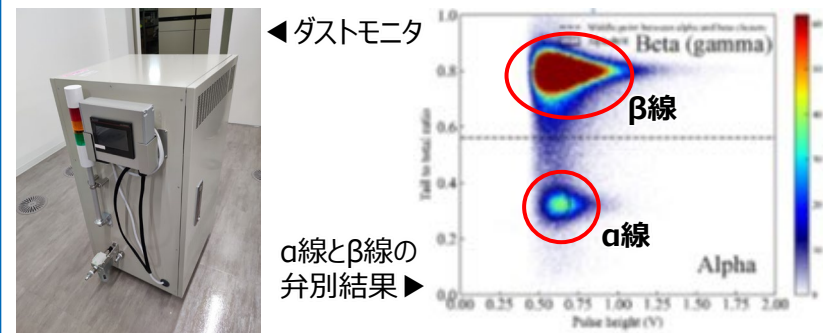
成果③：新型放射線可視化センサ

- ◆ 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や放射線源治具の作製。



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**として製品化され、**1F作業現場に搬入**。



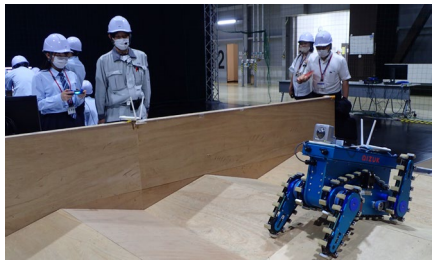
成果②：遠隔放射線イメージングシステム

- ◆ 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**。



➤ 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



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

課題に取り組む学生

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。





➤ 「福島県の林業回復」を願う福島高専生 × 「福島の復興」と共に歩むJAEA

- ◆ 福島高専生たちが立ち上がり、その想いにJAEAが共鳴することで昨年度からスタート。
- ◆ 福島県の林業回復を応援するため、福島県産の間伐材使用の新たな試みを模索。



ウッドアロマスティック & アロマリキッド

① 企画

高専生とアイデアを出し合い

② 試作

木工職人の方と相談・試作

③ 制作・調合

CLADS実験室で調合

④ 完成

福島県を象徴する赤べこ桃をモチーフに

福島県の林業へのサポート

福島県が行う「森林管理署新規配属者研修」や「林業アカデミーふくしま」での講義などを実施



▲ 講義



▲ 森林内での放射線測定実習

ふくしまSDGsフォーラムへの参加

コラボグッズの頒布のほか、福島高専生による発表等を実施



【大熊分析・研究センター】

- ALPS処理水の第三者分析を継続的に実施
 - ・ALPS処理水分析の品質を確保するためのISO/IEC17025をトリチウム分析で認定取得
- 1Fで発生する固体廃棄物の汚染状況評価に関する本格的な分析を開始
- 将来の取出し規模の拡大時に燃料デブリ分析を行う第2棟の着工
- 大熊町産業交流施設（12月運用開始）への事務所（大熊サテライト）開設

【CLADS】

- 茨城地区ホットラボでの燃料デブリ分析の実施
 - ・TMI-2燃料デブリサンプル
 - ・2号機試験的取出しで得られる少量デブリサンプル

【NARREC】

- 1F廃炉におけるDX推進に向けたデジタルデータ（3DCAD、3D汚染分布、線源逆推定計算）整備・統合

ご清聴ありがとうございました。