

ふくしまの復興に向けて

—廃炉及び環境回復に係る研究開発と人材育成—

平成28年11月8日

福島研究開発部門 福島研究基盤創生センター

所長 中山 真一

1. 最近の情勢

- 避難者数・避難指示区域の現状
- 東京電力ホールディングス株式会社
福島第一原子力発電所（1F）の状況

2. JAEAにおける研究開発と人材育成

- 廃炉に向けた研究開発
- 環境回復に向けた研究開発
- 研究開発基盤の構築
- 人材育成への取組

1. 最近の情勢

- 避難者数・避難指示区域の現状
- 東京電力ホールディングス株式会社
福島第一原子力発電所（1F）の状況

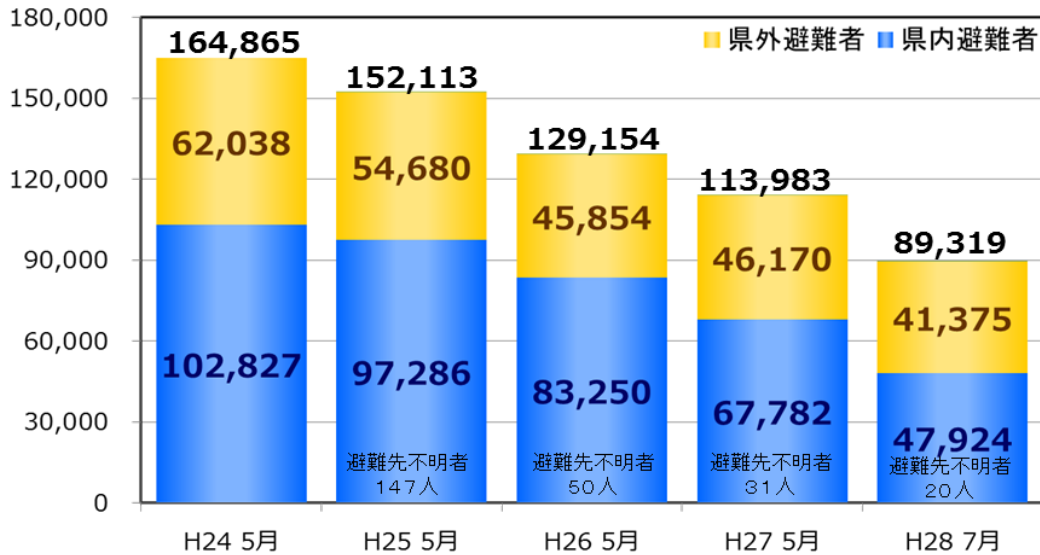


図. 福島県の避難者の推移

※引用 福島県災害対策本部「平成23年東北地方太平洋沖地震による被害状況即報」(各月最終報)

帰還困難区域

5年経過してもなお、年間積算線量が2.0 mSvを下回らないおそれのある地域
約24,000人 / 約9,000世帯

居住制限区域

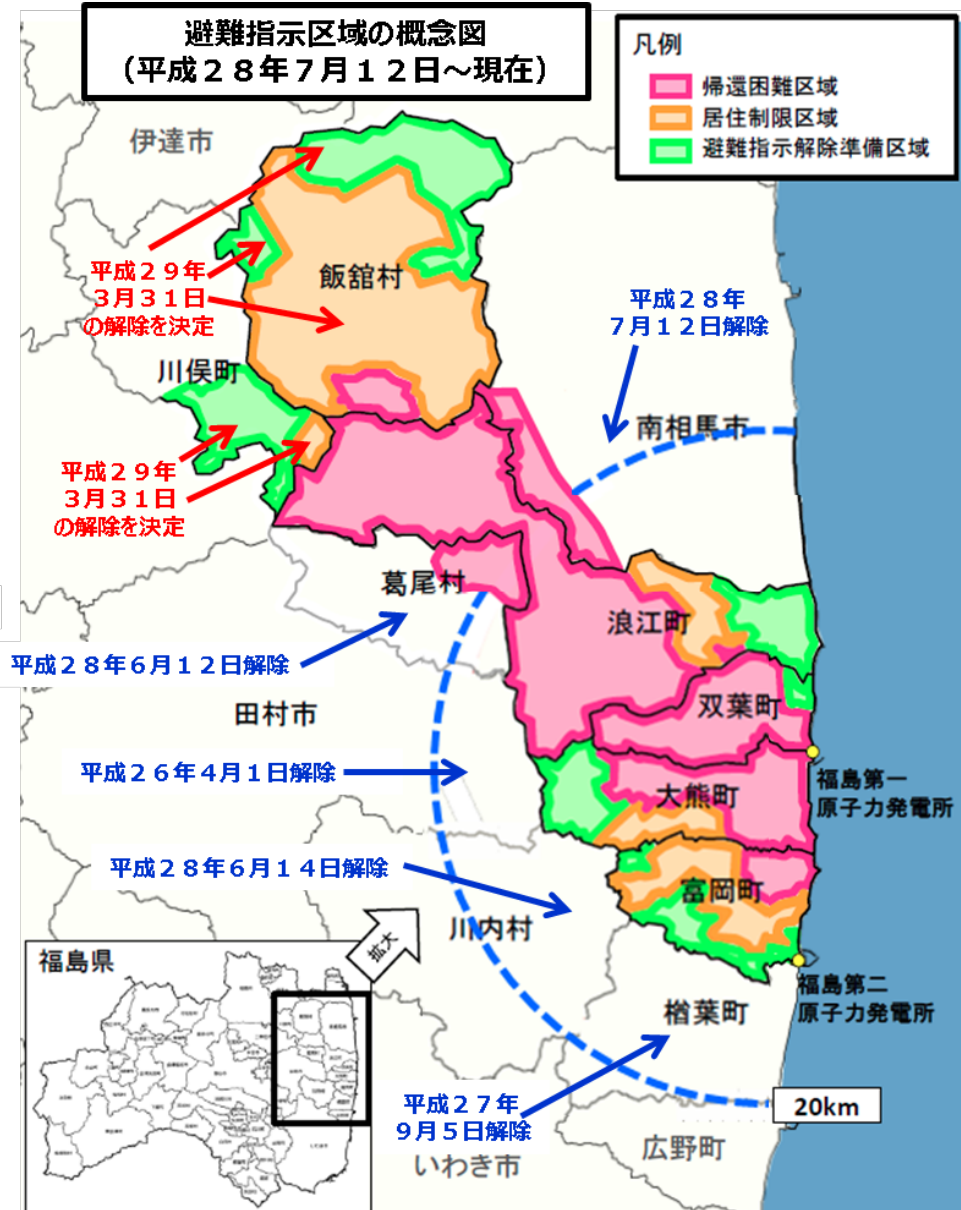
年間積算線量が2.0 mSvを超えるおそれがある地域
約22,000人 / 約8,000世帯

避難指示解除準備区域

年間積算線量が2.0 mSv以下になるのが確実に確認された地域
約11,000人 / 約4,000世帯

図. 避難指示区域の各区域の人口及び世帯数

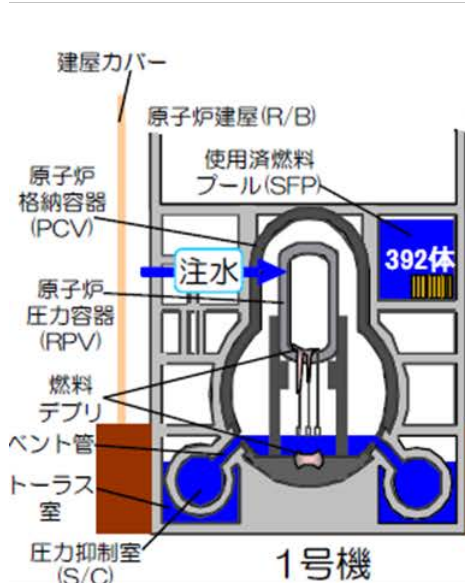
※ 市町村から聞き取った情報(平成28年6月14日時点の住民登録数)を基に原子力被災者支援チームが集計
<http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/kinkyu/hinanshiji/2016/pdf/0712gainenzu02.pdf> より引用



福島第一原子力発電所(1F)の状況(1)



※引用 平成28年8月10日公表資料 http://www.tepco.co.jp/tepconews/library/archive-j.html?video_uuid=nrqq7j20&catid=61709
平成28年10月27日開催 廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議(第35回)(一部加工)



事故直後に放射性物質の飛散防止のために設置した建屋カバーを撤去し、オペフロ上の瓦礫撤去の開始へ

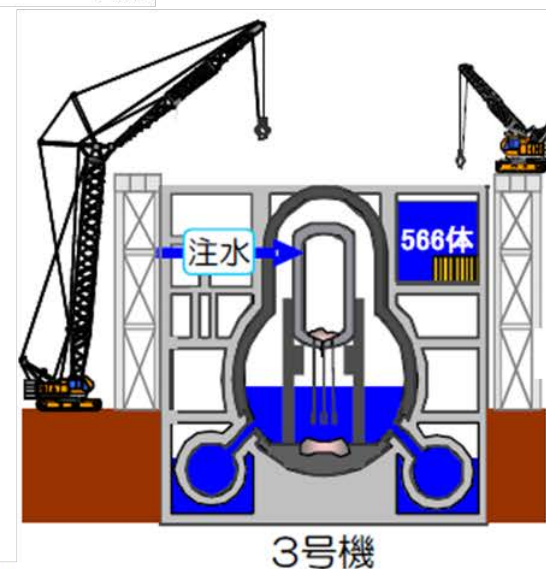


図. 3号機燃料取り出し用カバーイメージ
オペフロ上、プール内の瓦礫を遠隔装置で撤去した後、設計を終えているプール燃料取り出しカバーの設置へ

※引用 平成28年10月27日開催 廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議(第35回)
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2016/images1/handouts_160118_03-j.pdf(一部加工)

福島第一原子力発電所(1F)の状況(2)

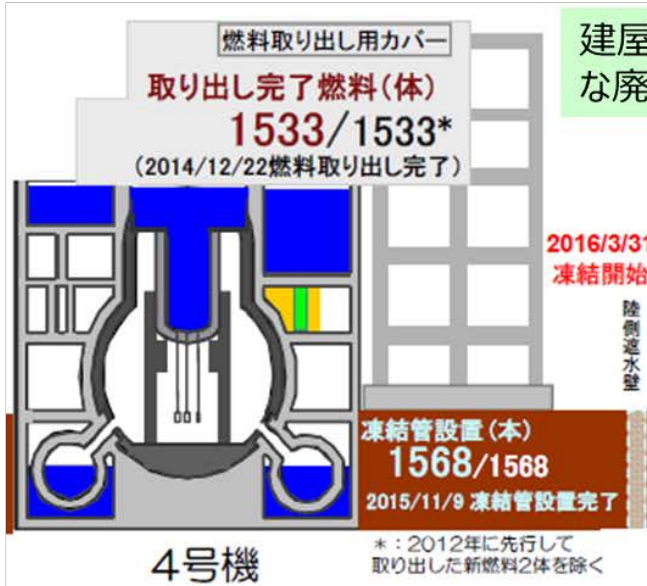


※引用 平成28年8月10日公表資料
http://www.tepco.co.jp/tepconews/library/archive-j.html?video_uuid=nrqq7j20&catid=61709

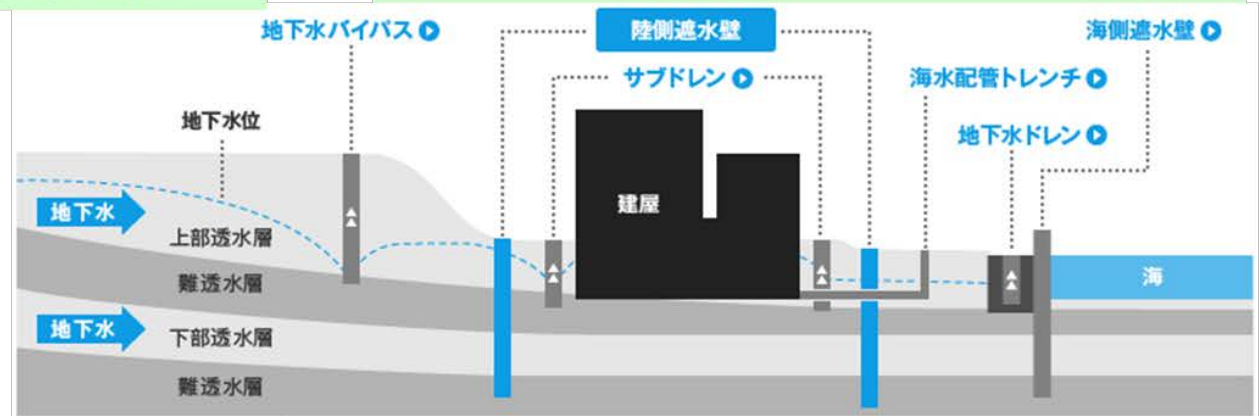


※引用
<http://www.tepco.co.jp/decommission/about-f-nps/photo/index-j.html>

平成28年10月20日現在で、**約880基のタンク**がサイト内に設置され、**約93万m³の汚染水**が貯蔵されています。(1~4号機用汚染水貯蔵タンク)



建屋解体を含む本格的な廃炉作業の検討



※引用 <http://www.tepco.co.jp/decommission/planaction/landwardwall/index-j.html>

2. JAEAにおける研究開発と人材育成

- 廃炉に向けた研究開発
- 環境回復に向けた研究開発
- 研究開発基盤の構築
- 人材育成への取組



1F廃炉作業のロードマップ・避難指示区域の解除 7

・研究開発基盤の構築

年度	H23 2011	H24 2012	H25 2013	H26 2014	H27 2015	H28 2016	H29 2017	H30 2018	H31 2019	H32 2020	H33 2021	H34年度以降 2022年度以降			
1F廃炉作業 のロードマップ 【1F廃炉作業項目】	第1期		第2期（10年以内）									第3期 30~40年後			
	除染・調査等の準備										燃料デブリの取出し (1~3号機)				
	廃炉の最適な方法を検討、技術開発等の準備											解体 ・処分等			
避難指示区域の解除	2017年3月までに避難指示区域を解除 (帰還困難区域を除く)														
楢葉遠隔技術 開発センター	設計		建設										施設運用		
大熊 分析・研究 センター	施設 管理棟		設計		建設		施設運用								
	第1棟		設計		建設		施設運用※								
	第2棟		設計				建設				施設 運用※				
廃炉国際共同研究センター 国際共同研究棟	設計				建設		施設運用								
福島県環境創造センター (福島県が整備し、JAEAが入居)	設計					建設		施設運用							

※運用開始時期は許認可申請等を含め精査中

JAEAにおける研究開発

(1) 廃炉に向けた研究開発

- 国の「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的研究開発
 - ✓**燃料デブリの取扱、放射性廃棄物の処理処分、事故進展シナリオ解明、遠隔操作技術等**
- 汚染水問題等への**組織横断的かつ機動的な対応**
- 国内外の研究機関、大学、産業界等と連携、人材育成**



- 廃炉の安全かつ確実な実施に貢献**
- NDF等での**廃炉戦略の策定や研究開発の企画・推進等を支援** 等

(2) 環境回復に向けた研究開発

- 環境モニタリング・マッピング**に関する技術開発
- 環境動態**に係る研究
- 除染・減容化技術**の高度化技術開発
- 専門家の派遣**による自治体等への直接的支援活動
- 福島県環境創造センターでの連携協力**と民間・自治体への技術移転



- 避難指示解除や帰還に関する各自治体の計画立案等に貢献**
- 研究成果を現場に着実に実装し、**住民の帰還に貢献** 等

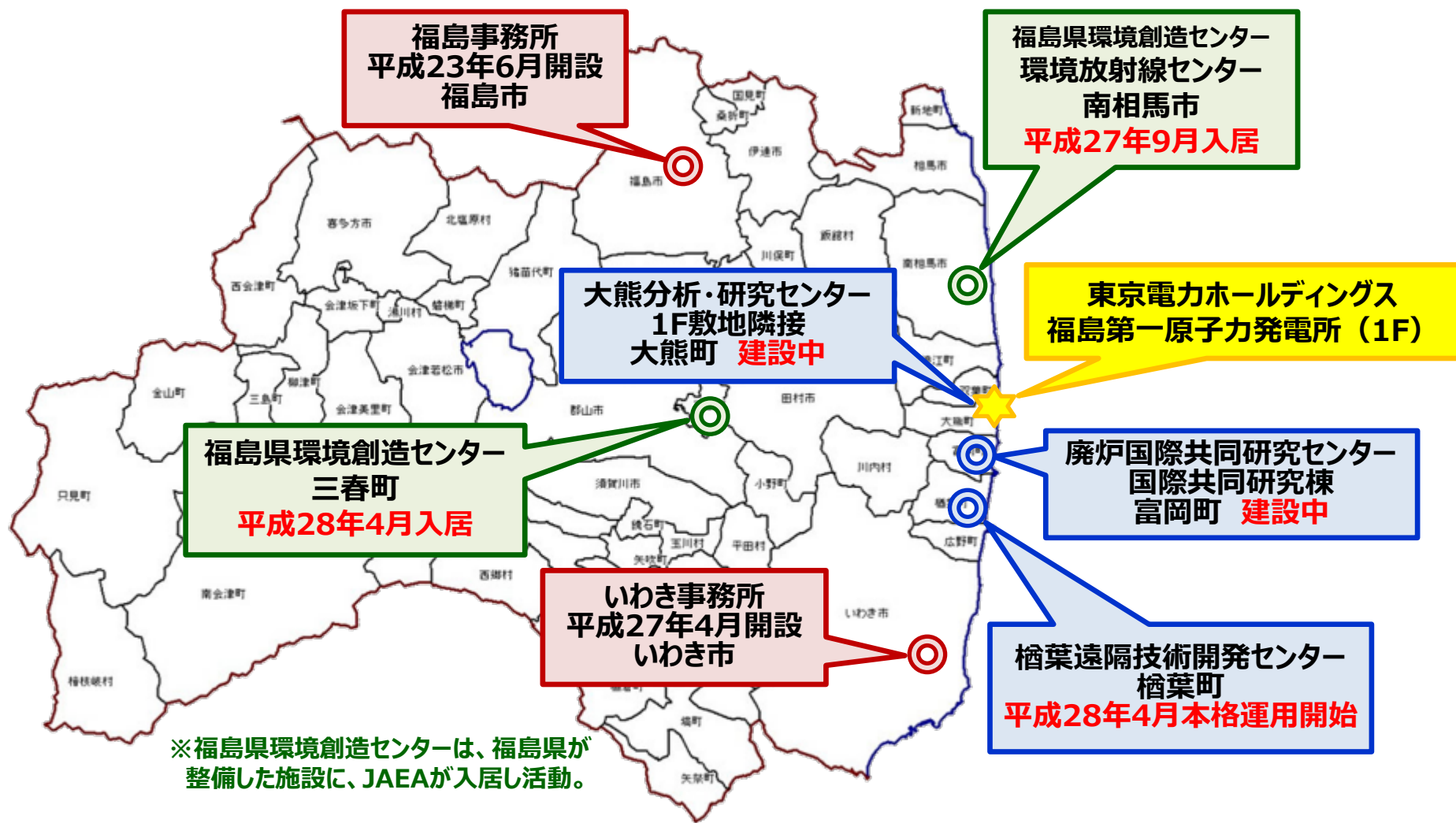
(3) 研究開発基盤の構築

- 楢葉遠隔技術開発センター**の整備
- 大熊分析・研究センター**の整備
- 廃炉国際共同研究センター国際共同研究棟**の整備



- 国内外の研究機関や大学、産業界等との交流ネットワークを形成、**産学官による研究開発と人材育成を一体的に推進**
- 福島浜通り復興を目指す「福島・国際研究産業都市（イノベーション・コースト）構想」の実現に貢献** 等

福島県におけるJAEA活動拠点(平成28年10月現在)

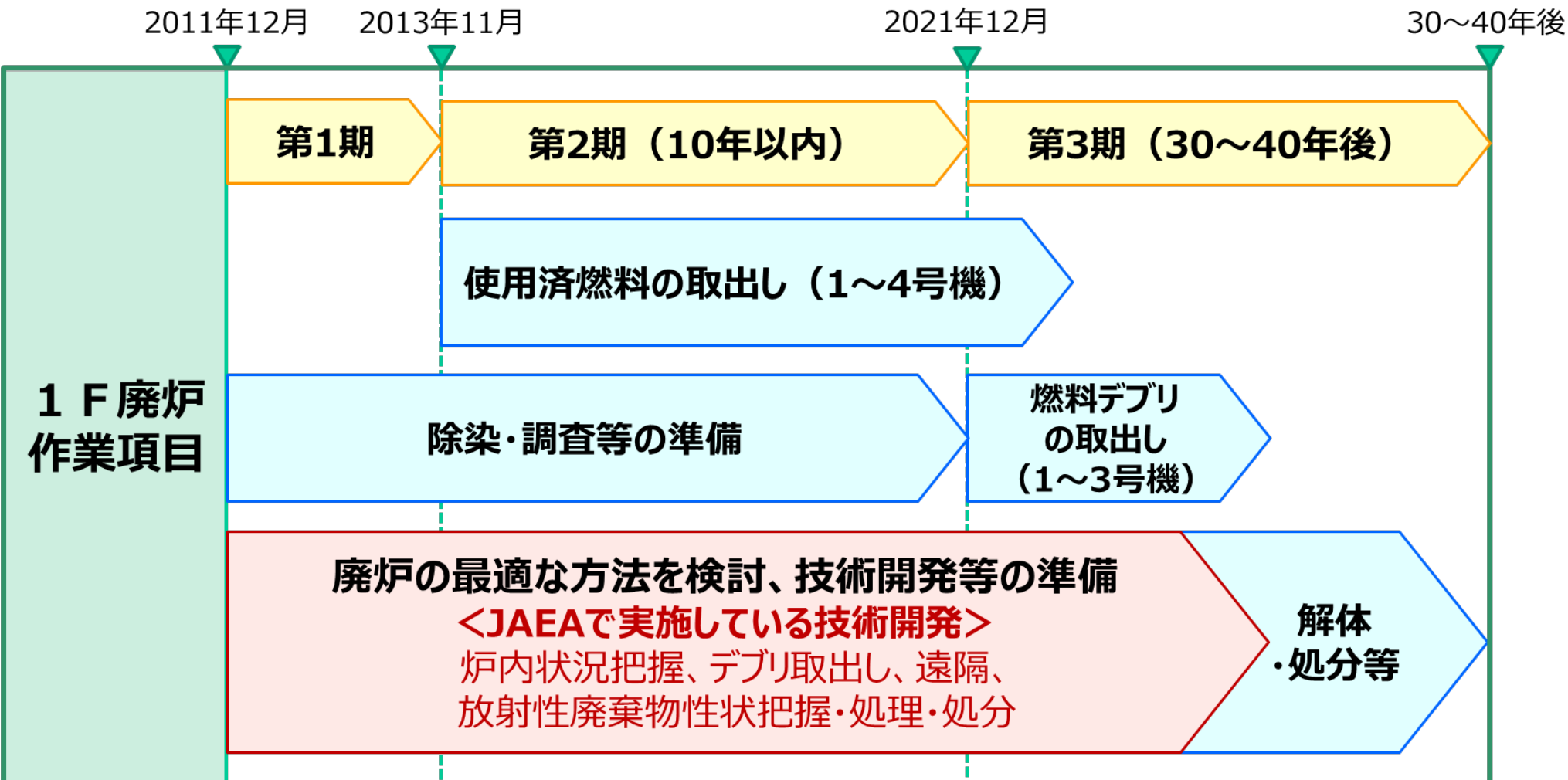


この他、以下の研究開発拠点を活用

- 茨城県東海村 原子力科学研究所、核燃料サイクル工学研究所
- 茨城県大洗町 大洗研究開発センター

1F廃炉作業のロードマップ(概要)

- 1F廃炉に向けた国の中長期ロードマップの実現に向け、燃料デブリの取り出し、放射性廃棄物の処理・処分等に必要な研究開発を実施。

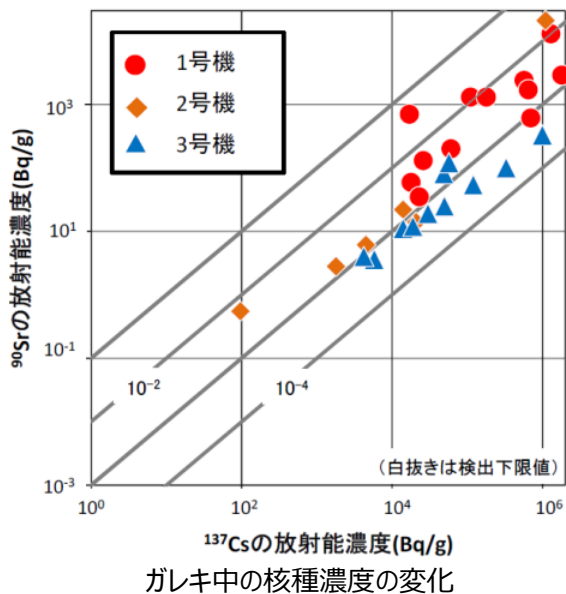


基礎、基盤から応用までの連続的な研究開発により廃炉における課題解決に貢献

①国の「中長期ロードマップ」に基づく研究開発

～固体廃棄物の処理

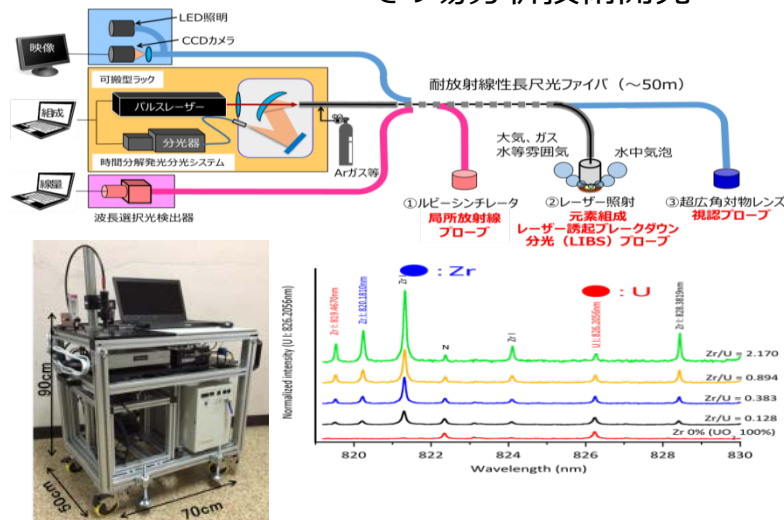
・処分に関する研究開発～



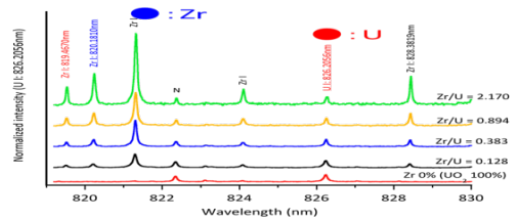
- 原子炉建屋内のガレキ等の分析の結果、 $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ との間に比例関係が見られ、1号機では高め、3号機では低めの傾向。

②中長期的な現場ニーズを踏まえた基礎基盤的な研究開発

～光ファイバレーザー誘起発光分光法によるその場分析技術開発～



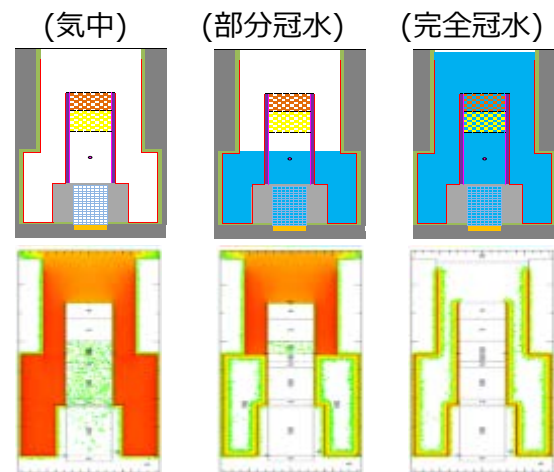
水没模擬デブリ (Zr/U酸化物) スペクトルデータ



- 実用化に向けて機器を高分解能化 (従来の約10倍) ・コンパクト化 (従来の約1/2) 。

③専門的知見や技術情報の提供等、廃炉戦略策定に貢献

～燃料デブリ取り出し時の建屋内線量評価～



PCV表面汚染源による線量率分布

- 2次元簡易モデルによる定性評価と廃炉工法ケーススタディを実施。

アウトカム

● 廃棄物の安全な処理処分の実現に貢献。

● 不明物の組成分析等、現場での活用を協議。

● 成果をNDF等に提供、廃炉の技術戦略策定等に貢献。

汚染水問題等に対し、組織横断的かつ機動的に対応

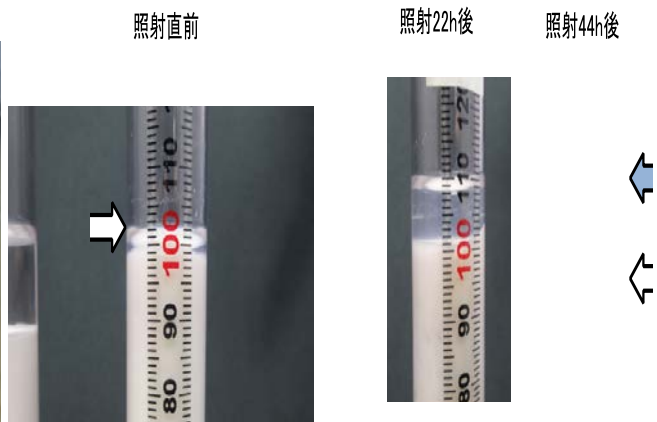
①排水路における汚染検知



PSFを用いたモニタの設置状況

- 排水路での連続モニタリング設備としてJAEAが現地試験した検知手段が採用。

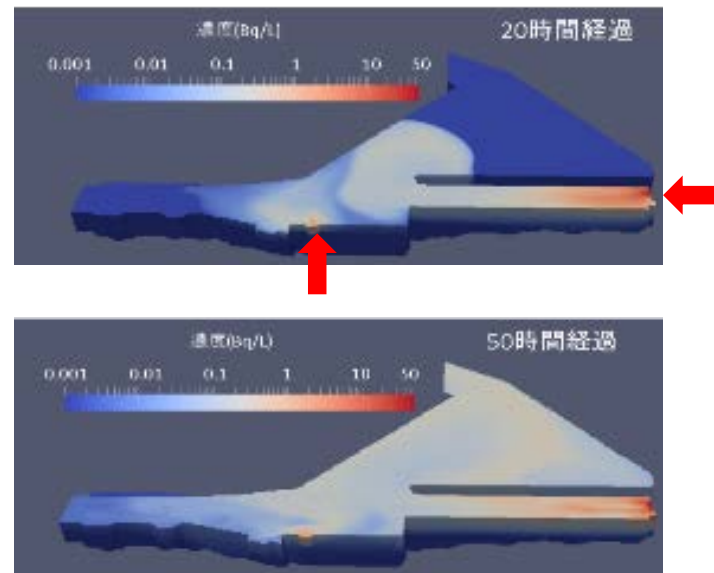
②多核種除去設備の溢水事象の解明



模擬炭酸塩スラリーの照射実験

- 模擬物をCo-60ガンマ線で照射、溢水の要因となる水位上昇再現に成功。
- 放射線分解挙動を検証し、廃棄物内の水素ガス発生メカニズムを解明。

③港湾内の核種濃度の変化の予測



解析結果 (矢印は排水路からの流入)

- 海側遮水壁閉合後、排水路を通じて汚染水が湾内に流入した時の拡散シミュレーションの例。潮位変動による海水の流入出によって拡散される様子を分析。

アウトカム

● 1F廃止措置等の安全かつ確実な実施に顕著に貢献。

● 原子力規制委員会特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会における発生原因の報告に貢献。

● 湾内の核種濃度変動の要因評価に貢献。

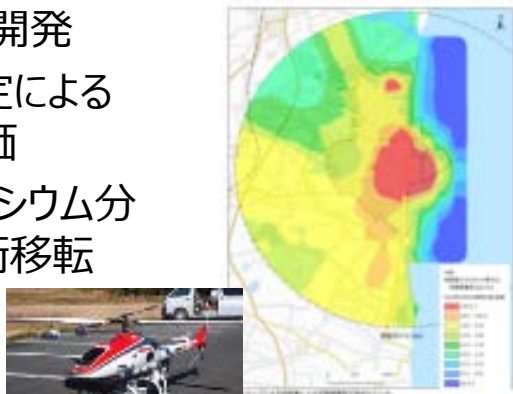
住民の帰還に貢献する研究開発を実施

●ふくしまの環境回復及び避難されている方々の帰還に向けた研究開発を実施。

環境モニタリング・マッピング

● 遠隔モニタリング技術の開発

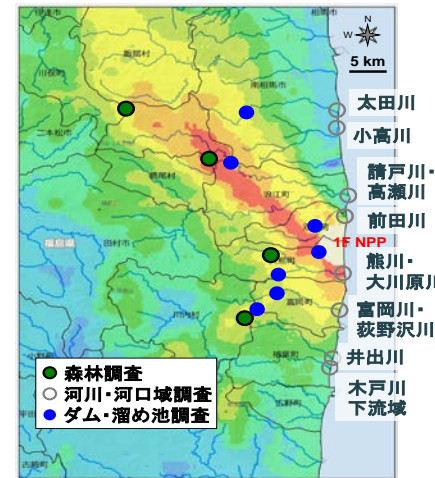
- 上空からの無人ヘリ測定による空間線量率分布の評価
- 農業用ため池水底のセシウム分布測定技術開発と技術移転



測定結果の例

環境動態研究

● 森林から河川、ダム、河口域へと至るセシウムの移動と蓄積の調査・評価
(請戸川、熊川、富岡川、木戸川等、浜通りの8河川流域)



8河川流域の測定地点

除染・減容化技術開発

● 除染効果評価システム (RESET) の開発

- 国・自治体での除染効果の評価及び将来の空間線量率の低減予測に利用

● セシウムの粘土鉱物への吸脱着機構の解明



除染効果評価システム (RESET)

ニーズ
へ対応

共通: 1mSvへの対応

- 福島県:**
 - 環境創造センターの県の研究者の教育
 - イノシシの汚染調査
- 南相馬市:**
 - 除去土壌の減容・再利用
 - 稲の作付け可否
 - 行政区単位の線量率予測
- 環境省:**
 - 河川湖沼森林等の対策
 - 帰還困難区域除染後のフォローモニタリング
- 農水省:**
 - ため池・ダム対策
- 浪江町:**
 - 住居、生活回りの除染評価
- 葛尾村:**
 - 帰還や森林対策等に関する定期協議
- 飯館村:**
 - 森林対策と林業再生
 - 生活と農業のリスク
- 川俣町:**
 - 森林除染、キノコ・山菜対策(帰還後の楽しみ)
- 大熊町:**
 - 5km圏内放射線データの提供
 - 淡水魚の汚染対策
- 双葉町:**
 - 空間線量率の予測(帰還困難区域、復興拠点など)
- 川内村:**
 - 森林対策
 - ダム等の管理方法
- 富岡町:**
 - 復興拠点の線量予測
 - 線量に関するリスク
- 楢葉町:**
 - 水(ダム)と森林対策
 - キノコ、山菜対策(帰還後の楽しみ)

遠隔によるセシウム分布等測定技術の適用性を確認～環境モニタリング・マッピングの技術開発～

①遠隔放射線測定技術開発

PSFによる湖底、河床の放射能濃度分布調査 (請戸川で実施)

移動・蓄積の定量評価の信頼性確認

無人航空機による陸域の放射能濃度分布調査 (南相馬で実施)

無人水中ロボットによる湖底の放射能濃度分布調査

ドローンによる河川敷や林床の放射能濃度分布調査 (南相馬で実施)

横川ダムで実施

ダム

河川敷

無人観測船による海底土の放射能濃度分布調査 (請戸川河口域で実施)

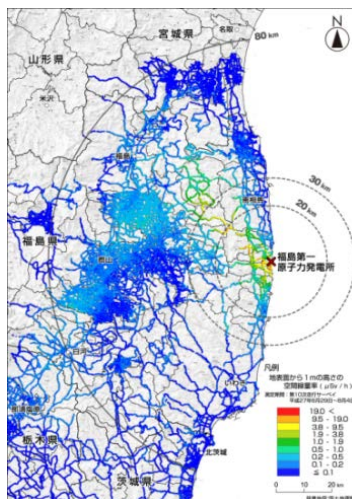
無人ヘリ(ガンカメラ搭載)による河川敷の放射能濃度分布調査

速度: 1 m/s
高度: 10m
約10m

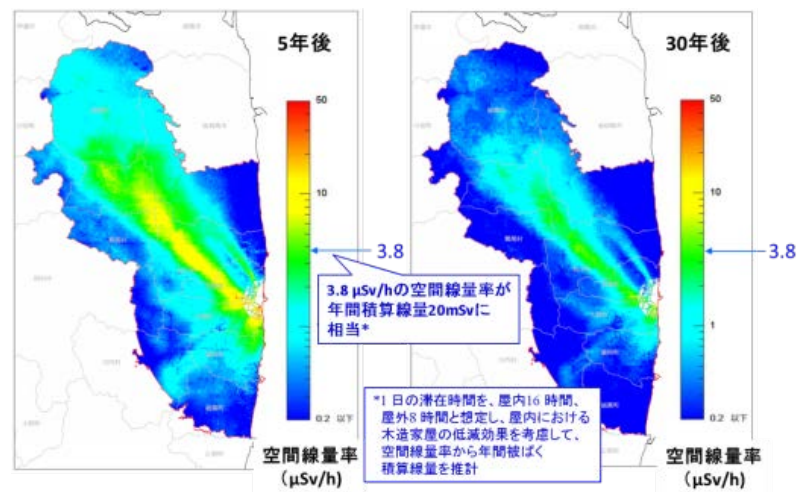
(請戸川等で実施)

- 開発した遠隔放射線測定技術について現地測定により適用性を確認。

②原子力規制庁「放射性物質の分布データの集約事業」



走行サーベイによる空間線量率測定



空間線量率の将来予測

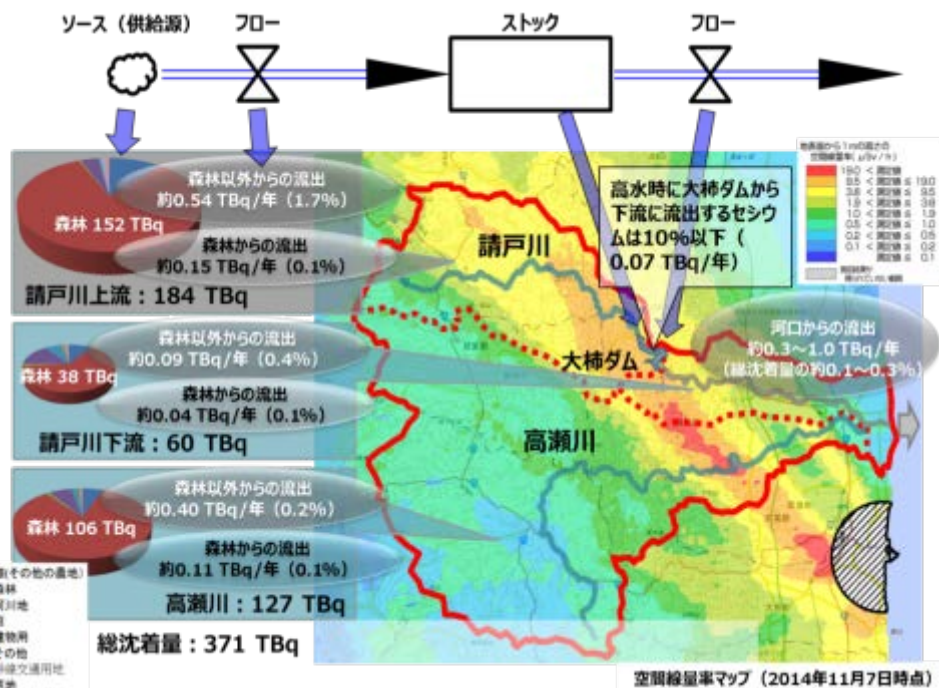
- 遠隔放射線測定技術による測定を実施、結果を線量率マップとして可視化。
- これまでの測定結果を環境動態研究による解析手法を用いて長年にわたる空間線量率を予測

アウトカム

- 無人ヘリ及びPSFによる測定技術は、技術指導しつつ、民間に移転。
- 環境動態研究における調査に活用。
- 大学・研究機関との共同研究等による河川敷、森林の測定、除染モデル実証事業実施エリアの測定等を実施。

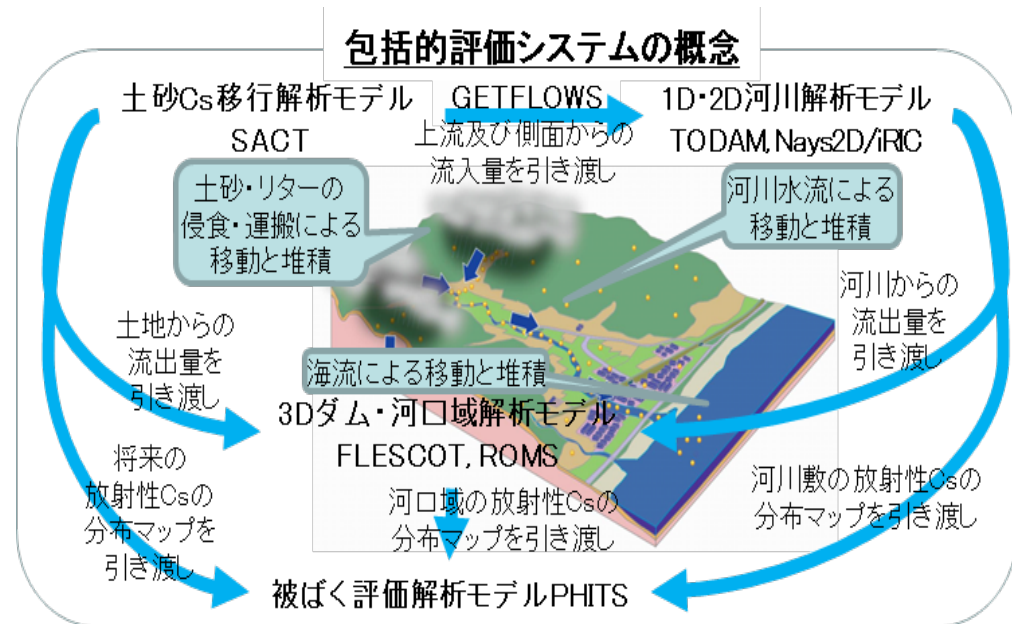
森林・河川・湖沼・河口域でのセシウムの移動と蓄積について知見を整理～環境動態研究～

①放射性セシウムのストック・フロー



- 河川水系における放射性セシウムのストック・フローを定量的に評価

②包括的評価システムの概念構築



- 環境動態研究で得られたデータ、整備した解析モデル、予測結果や知見をパッケージ化し、様々な条件下での外部被ばく線量評価や、内部被ばく評価に関連する生態系の放射性セシウム濃度を評価する包括的評価システムの概念を整理。

アウトカム

- 今後の環境回復効果を定量的に評価する手法の確立に見通しを得た。
- 自治体等のニーズによる予測評価に対応。

住民の理解促進、自治体の復興計画に貢献～除染・減容技術の高度化技術開発～

① 除染効果評価システムの開発



- 帰還困難区域の除染シミュレーションと将来の線量率を予測

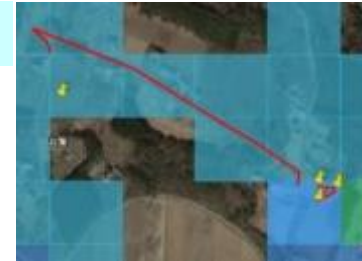
② 個人被ばく線量評価手法の開発

帰還後の具体的な生活行動経路の聞き取り

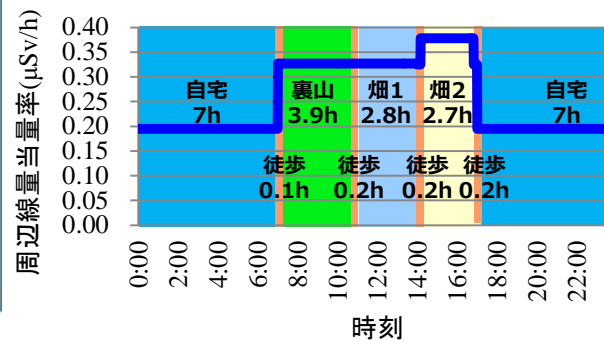
滞在場所・時間、移動経路・手段

行動経路に沿った詳細な空間線量率測定

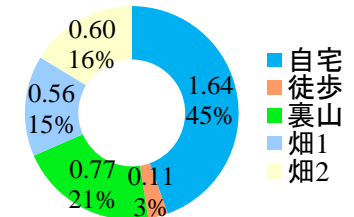
KURAMAシステムを用いて、聞き取りした生活行動経路に忠実に辿って測定



想定生活行動パターンにおける被ばく線量の推定



積算被ばく線量の割合



想定生活行動パターン時の被ばく量を推定場所ごとの空間線量率、被ばく量を可視化複数のパターンを想定し、年間被ばく量も推定

- 帰還後の生活行動パターンに沿った個人被ばく線量を推定

アウトカム

- JAEAが開発した線量率予測、個人被ばく評価技術等が地元住民の理解促進、自治体の復興計画の立案等に貢献。
- 除染効果評価システムを活用した評価依頼への対応、本システムの外部利用等を実施。
- 専門家派遣による除染に係る自治体支援活動を実施。

福島県環境創造センターにおける活動

研究棟 (三春町施設)

JAEA (H28.4) に入居



交流棟

本館



環境放射線センター (南相馬市施設)

福島県およびJAEAが入居 (H27.9)



福島県環境創造センター
研究棟



入居式 (H28年4月21日)

福島県環境創造センター
グランドオープン記念式典



グランドオープン記念式典 (H28年7月21日)



サイエンスカフェ (H28年7月23日～24日)

アウトカム

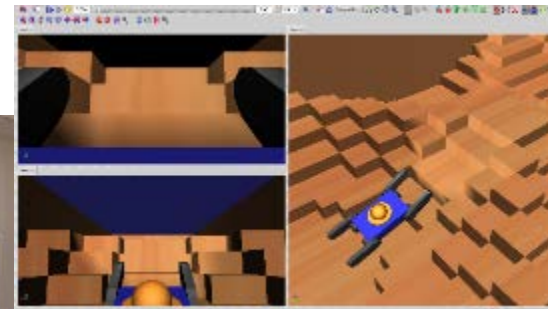
- 福島県、国立環境研究所 (NIES) 及びJAEAの三者が協力。
- 除染技術、放射性物質の環境動態解明、廃棄物・土壌の処理技術開発、1 F 周辺的环境への影響を監視するためのモニタリングや安全監視等、福島県の環境回復・創造に貢献。

廃止措置を加速し、研究を支える研究開発拠点の整備～櫛葉遠隔技術開発センター～

試験棟
(幅60m×奥行80m×高さ40m)

研究管理棟
(幅35m×奥行25m×高さ20m)

【仮想空間訓練システムの
開発・整備】



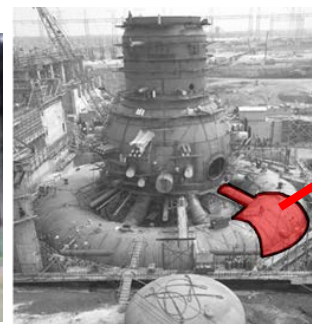
ロボットシミュレータ



バーチャルリアリティシステム

【実規模実証試験設備】

原子炉格納容器



Brookings Ferry Unit 1 under construction 1966.Sep.J
Tennessee Valley Authority - TVA's 75th Anniversary webpage



実物大の寸法の機器を1/8 切り出した試験体
(IRIDによる開発プロジェクト)

20×18×18m

【ロボット性能評価のための要素試験設備】

約8m



モックアップ階段



ロボット試験用水槽



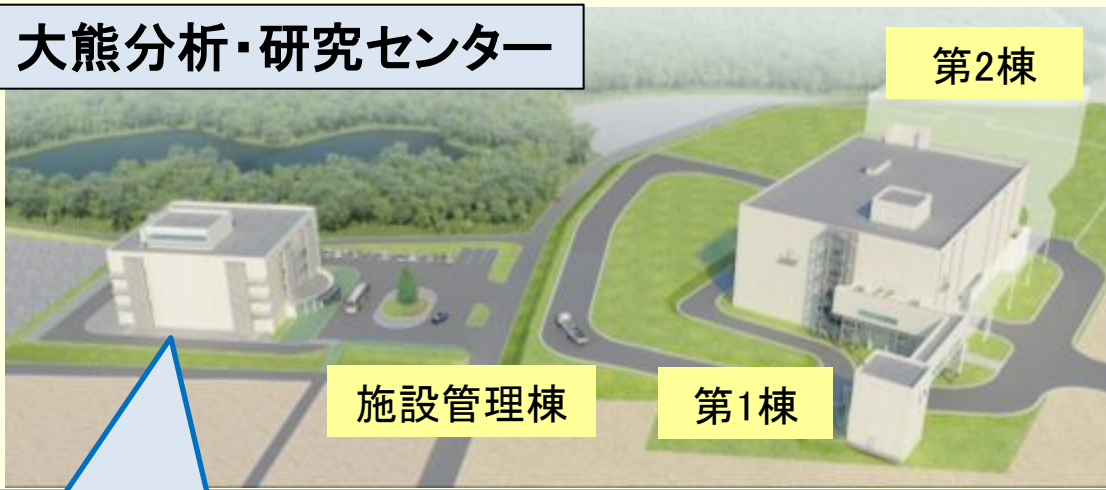
モーションキャプチャ

アウトカム

●廃炉に必要な遠隔技術の着実な開発及び本施設を活用した地域の活性化に期待。

廃止措置を加速し、研究を支える研究開発拠点の整備～大熊分析・研究センター～

大熊分析・研究センター

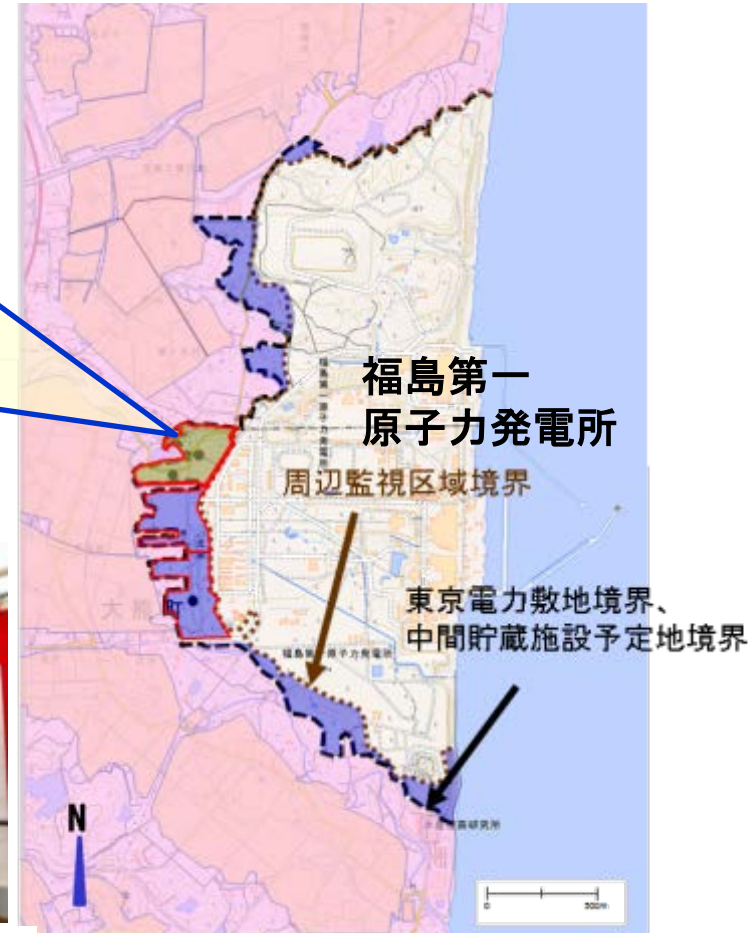


施設管理棟イメージ図

延床面積 : 約4,600m²
階数 : 地上4階
主要構造 : 鉄筋コンクリート造



安全祈願祭 (H28年9月7日)



アウトカム

●国の中長期ロードマップに沿った整備が着実に進捗し、今後、東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置等の安全かつ確実な実施に貢献。

廃止措置を加速し、研究を支える研究開発拠点の整備～廃炉国際共同研究センター～

楢葉遠隔技術開発センター

(平成28年4月本格運用開始)
-遠隔操作機器開発等-



福島県楢葉町

活用

廃炉国際共同研究センター -国内外の英知を結集する拠点- 国際共同研究棟

(福島県富岡町 平成29年3月竣工予定)



JAEA特有の核燃料・放射性物質の
使用施設、照射施設等の活用

『オフサイトから
オンサイトへ』

成果の適用

活用

大熊分析・研究センター

(建設中：平成29年度～)
-放射性核種分析等-



福島県大熊町 (1F敷地隣接)

※廃炉国際共同研究センターは
平成27年4月茨城県東海村へ設置



福島環境安全センター 環境動態・放射線モニタリング等の研究開発

産学官との 連携・協力

【東京電力ホールディングス・IRID・NDF】

東京電力ホールディングス、
国際廃炉研究開発機構IRID、
原子力損害賠償・廃炉等支援機構NDF
との連携、協力

【国内外の大学・研究機関・産業界】

東京大学、東北大学、
東京工業大学等との連携講座
国際機関、米仏英国研究所等、民間
企業等との共同研究、情報交換

【福島県、環境省】

福島県環境創造センター
福島県環境放射線センター
福島県ハイテクプラザ

アウトカム

- 国際共同研究棟の整備について平成28年度内の完成に向け計画どおり着実に進捗。
- 立地地域の復興推進に貢献。

廃炉基盤研究プラットフォームの形成

- 文部科学省公募事業採択者等と基礎・基盤研究の推進協議体となる「廃炉基盤研究プラットフォーム」を設置。
- 基礎・基盤研究分野におけるシーズを、廃炉へ応用していくための橋渡し。

応用研究

プロジェクト 実用化段階技術

- 戦略プランと基礎基盤研究マップの共有、更新

基礎基盤研究

文部科学省

「廃止措置研究・人材育成等強化プログラム」

- 東北大学
- 東京大学
- 東京工業大学
- 福井大学
- 福島高専
- 福島大学
- 地盤工学会

バザールのアプローチ

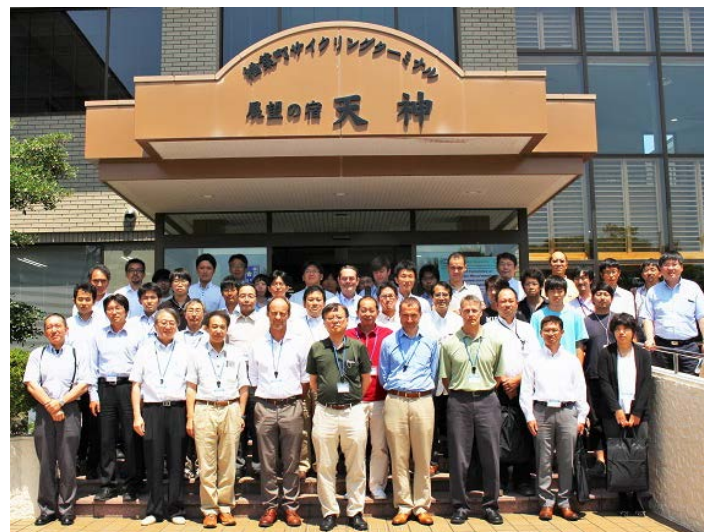
- 多様なプレイヤー（大学、研究機関、企業、事業者）が専門知識、技術、アイデアを持ち寄り連携し、競い合う。
- 戦略プランに呼応した基礎基盤研究マップの作成、更新。
- 研究成果をタイムリーに提供。基礎・基盤研究とプロジェクトとの間のダイナミックな相互作用を実現。
- 顕在化していない課題の掘り起しによる長期的なリスク管理。

国内外の英知の結集、人材育成ネットワークの整備

- 廃炉関連の基盤研究を扱う国際ワークショップ『福島リサーチカンファレンス(FRC)』を継続的に開催。
- 国内外の英知を結集するとともに、人材育成のネットワークを整備、廃炉技術に関する幅広い専門分野の人材を育成。



「廃炉に向けた耐放射線性センサー及び
関連研究に関する国際ワークショップ」
(平成28年4月19日～20日)



「廃炉のための放射線計測
研究カンファレンス」
(平成28年8月4日～6日)



「神戸青少年科学館による
ドローン操作訓練」
(平成28年6月23日～24日)



「東京大学サマースクールにおける
ロボット操作体験」
(平成28年8月8日～10日)

分析技術者の確保・育成①

- 燃料デブリ等を分析する大熊分析・研究センター第2棟の運用開始時には、JAEA内外から約100名の分析技術員が必要。
- 分析・研究に必要な技術や手法、分析技術者に必要な要件と教育・訓練、訓練に利用する施設の考え方等を整理。

分析技術者が約100名必要



大熊分析・研究センター

- ① 1Fの廃炉は今後、数十年単位で長期間継続。
- ② 放射能分析ができる人材は減少。
- ③ 分析技術者の育成は一朝一夕には不可能。

□ 分析対象物

- ✓ 汚染水・ガレキ
- ✓ 燃料デブリ
- ✓ その他



□ 分析技術者に必要な要件

- ✓ 分析経験の無い廃棄物の分析
- ✓ 低い定量下限値が要求される分析
- ✓ 高精度が要求される分析
- ✓ 多数の試料の分析

分析技術者の確保・育成②

- JAEAが保有する放射性廃棄物対策の本格化により、機構内外の分析技術者の確保が必要。
- 大熊分析・研究センターにおける分析技術者と併せ、分析技術者の育成と合理的な分析体制の構築に向けた検討を開始。

早急に解決すべき課題

1. 分析技術者の育成

- 指導者、育成場所の確保
- 合理的な育成システムの構築
- 分析技術の高度化、合理化による必要技術者数の削減

2. 分析施設・設備の確保及び管理

- 施設の集約化への対応
- 施設間の分析試料移動に必要な許認可等の対応
- 施設・設備の長期的な維持管理計画の策定

中長期的課題

3. 分析技術者の技量の確保

- 分析技術者認定制度

4. 長期間にわたる分析技術者の確保

- 育成計画の策定

5. 分析データの品質保証体制強化

- 品質保証体系への取り込み
- 分析技術の標準化
- 分析能力の確認

6. 放射能濃度評価法の確立

- 合理的な放射能濃度評価方法の考案による分析点数の削減



将来の原子力発電所の廃炉需要の拡大により、分析技術者育成の需要も拡大

**日本原子力研究開発機構は、1 F の廃炉と、
ふくしまの環境回復と避難されている方々の帰還
に向けた研究開発に取り組んでまいります。**

皆様のご理解、ご支援をお願いいたします。