

東京電力における産学連携の取り組み

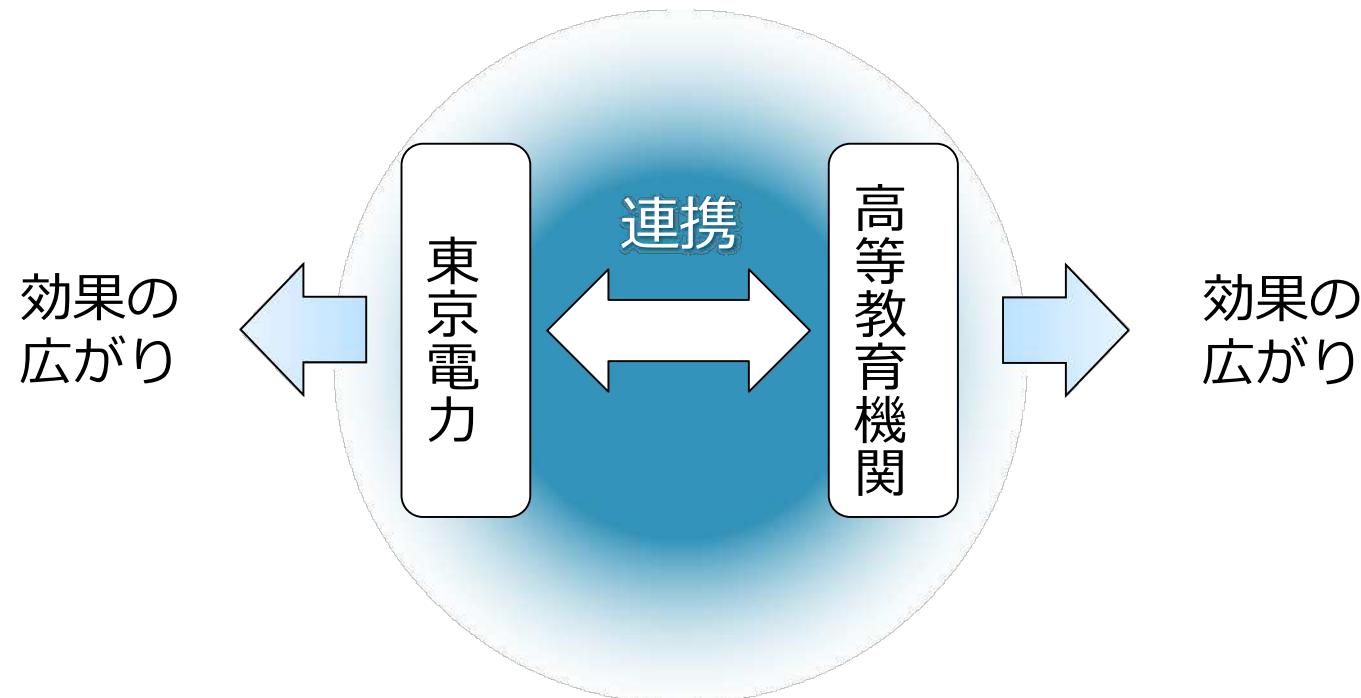


2022年2月25日
東京電力ホールディングス株式会社

1. 产学連携の経緯

TEPCO

- 大学との連携は当社にとっても困難な廃炉作業に関する技術開発体制を強化する意義のあるものであり、当社と大学等の高等教育機関との関係の枠を超えて大きな成果が得られる可能性がある。
- 原子力分野のみにこだわらず各大学全体のリソースを活用し、オールジャパン体制による廃炉技術開発が可能な体制を構築する。



2. 产学連携の目標



■ 大学との連携での目標について

研究成果

- IRID・JAEAなど他の廃炉関連研究機関の手が届きにくい基礎基盤技術分野を中心に実施
- 原子力分野だけでなく、大学が持つ幅広い研究リソースから廃炉に役立つ当社ニーズに合った技術を発掘

人財確保

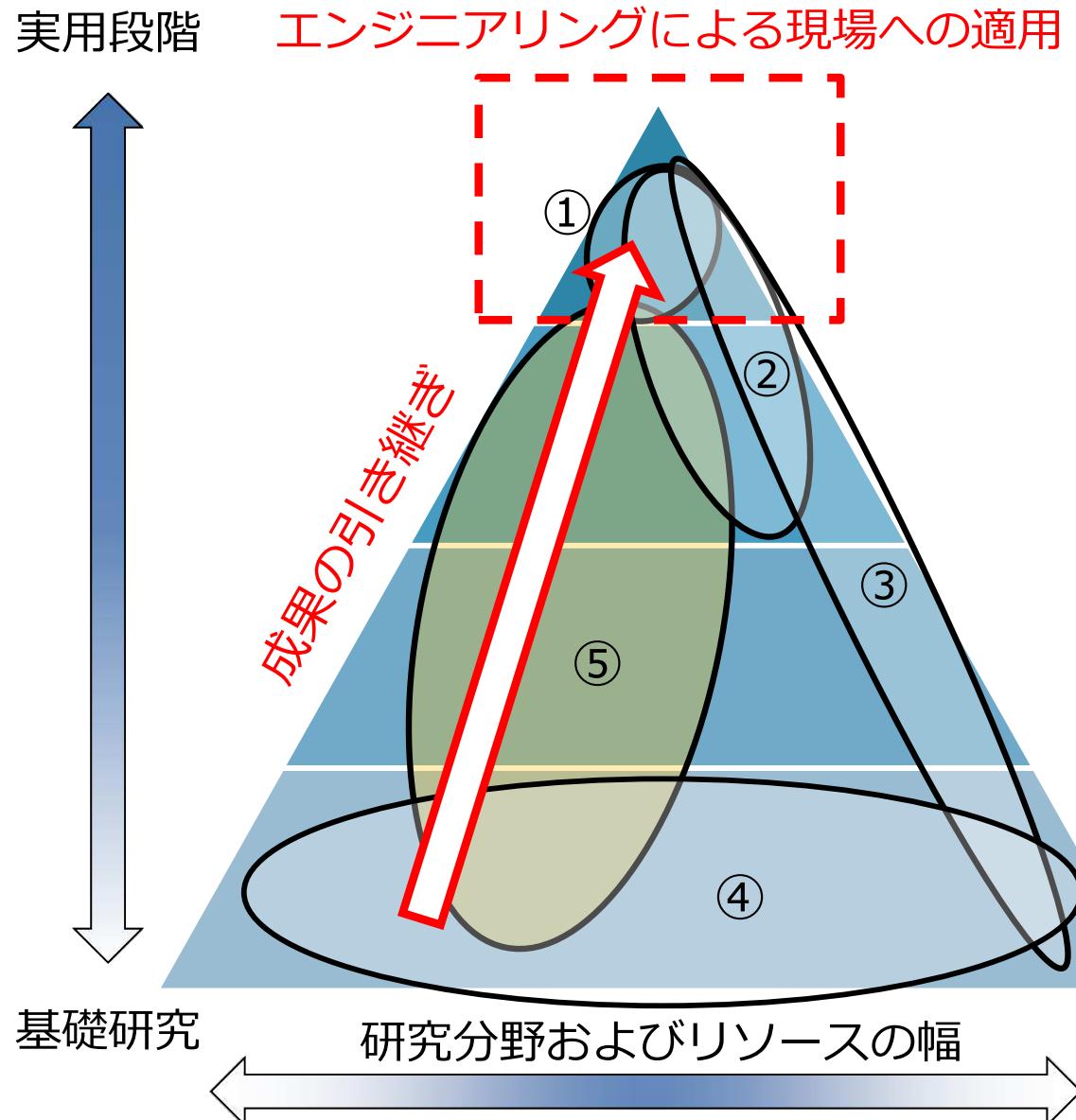
- 廃炉に関する研究開発に興味を持ってもらい、学生の就職先として、当社や当社以外の廃炉関連企業の選択機会の増加
- 大学での研究成果を就職先で継続して活かすなど、人財育成プランの大学からの開始を指向

地域復興

- 大学側の出先機関を地域に誘致し、研究者による経済的効果および地域企業との連携による産業活性化に期待
- 将来的には大学と地元高校などの交流を志向

3. 研究開発箇所と研究領域

TEPCO



- ① メーカー等廃炉関係企業及び当社
経営技術戦略研究所 (TRI)
- ② 廃炉・汚染水対策事業
- ③ JAEA
- ④ 文科省英知事業等
- ⑤ 産学連携

産学連携においては、原子力以外の幅広い技術開発分野における基礎基盤研究やその実用化に向けた研究を実施し、その成果をメーカー等に引き継ぎ実用化できる可能性がある。

原子力分野に捕らわれない学生からの新鮮かつ独創的な発想にも期待

4. 各大学との連携内容



東京大学		東京工業大学	東北大学	福島大学
名称	社会連携講座： 統合廃炉工学の研究	協働研究拠点： TEPCO廃炉フロンティア技術創成協働研究拠点	共同研究講座： 福島第一原子力発電所廃炉支援基盤研究部門	共同研究： 廃炉技術開発研究拠点
予定期間	第一期 [3年間] 自：2019年4月 至：2022年3月 第二期 (予定) [3年間] 自：2022年4月 至：2025年3月	自：2020年4月 至：2025年3月 [5年間]	自：2020年4月 至：2025年3月 [5年間]	自：2020年4月 至：2025年3月 [約5年間]
資金拠出	東京電力HD 東芝ESS 日立GENE 三菱重工業 ：4社	東京電力HD：1社	東京電力HD：1社	東京電力HD：1社
研究拠点	大学	大学 福島第一（設置可能）	大学 福島第一（設置済）	大学 福島第一（設置済）
指導教官	浅間教授 岡本教授 鈴木特任教授 他	竹下ゼロカーボンエネルギー研究所長 奈良林特任教授 他	渡邊原子炉廃止措置基盤研究センター長 他	高貝教授 他

※ 研究テーマについては当社側ニーズと大学側が持つシーズおよび開発力をマッチングしつつ、
廃炉作業および研究の進展に応じて選定テーマを毎年見直しする。

参考. 各大学との共同研究テーマ



東京大学

- ・ 俯瞰的に廃炉の課題を理解したうえで統合的戦略を構築するとともに、戦略に必要な新技術開発について研究を行い、人材育成を併せて行う
- ・ 燃料デブリ取り出しのためのデブリ組成の推定手法を構築する
 熱流動や材料の観点から包括的にデブリ組成の推定
- ・ デブリ粉碎／取り出しで放出される気中サブミクロン粒子の性状を推定する
 取り出し時における放射性飛散微粒子を飛散させないため、
 ①水スプレーシステムにより極力少量の水で飛散を抑制する方法
 ②燃料デブリを固めて取り出すことにより飛散を抑制する方法
 その他冷却性能や微粒子の気中・液中挙動並びに飛散防止対策について総合評価を行い、廃炉に実装可能なシステムの研究

等

参考. 各大学との共同研究テーマ



東京工業大学

- **デブリの安定性評価に向けた金属系初期融液形成および損傷メカニズムの解明**

1Fではチャネルボックスと制御棒ブレードの接触箇所から金属系初期融液が形成されて損傷が進展した可能性が高く、当該事象に関わる材料の事故条件下における物理化学的現象を解明することにより、形成されたデブリの特性を評価する研究

- **MPS-DEM法による燃料デブリ粒子水中移動臨界性評価シミュレーション**
MPS-DEM法（粉体解析手法）シミュレーションと臨界解析を組み合わせることで、粒子状の燃料デブリの水中での移動を考慮した臨界性評価手法を確立し、実機体系での適用性に関する研究
- **放射性固体廃棄物の分析・減容・固定化**
放射性固体廃棄物に含まれる放射性物質を無機構造体（セラミックス、ポルサイト封じ込めガラスなど）中に安定固定化させる研究
- **オンライン α ダスト分析法の開発**
廃液等に存在するU/Puを含む様々な微粒子（ α ダスト）の粒径、組成、構造等をオンラインで計測できる新しい分析法の基盤技術を開発
- **拡張型長尺ロボットアームを用いた原子炉建屋内漏えい調査技術の開発**
原子炉建屋主蒸気隔離弁室内の滞留水およびパージガスの漏洩調査技術の開発

参考. 各大学との共同研究テーマ

TEPCO

東京工業大学
(続き)

- **高性能空気浄化システムによる廃炉作業の被ばく低減**
フィルタベントの技術を福島第一の作業エリアで使用可能となる空気浄化システムの開発
英知事業で開発した技術をさらに現場適用に向け、研究を実施する
- **光ファイバによる極限環境下での分布センシング技術の開発**
光ファイバに沿ったひずみや振動あるいは温度の分布を測定するセンシング技術を放射線環境など極限環境に適用するための技術開発を行う

※共同研究テーマ以外に、英知事業で実施している「廃棄物の安定固化技術の開発」について意見交換会を実施し、今後の研究に関する相談をいただいている。

参考. 各大学との共同研究テーマ

TEPCO

東北大学

- **トリチウム水連続放射能モニターシステムの開発**
極低エネルギー β 核種からの β 線によりプラスチックシンチレータを発光させ、それを光検出器で検出するシステム構築に関する研究
- **キャビテーション噴流を用いた表面除染ならびに鋼構造物の切断技術の開発**
キャビテーション噴流でのコンクリートのはつりや鋼材の切断についての、切斷量と水量等に関する研究
- **低圧コールドスプレー技術を用いた原子炉内配管のき裂補修技術の確立**
計算機シミュレーションと実験の二つのアプローチで研究を進め粒子衝突状態が皮膜の品質および成膜性に与える影響や最適な施工条件についての研究
- **原子炉建屋の鉄筋コンクリート構造躯体の構造安全性・健全性に関するモニタリング技術と性能評価法のフィージビリティスタディ**
大地震などの外乱発生時の損傷や建屋に残存する構造耐震性能を推定できるシステム構築に関する研究
- **デブリ簡易分別にむけた太陽電池型線量計のエネルギー分解構造の開発**
PCV 内あるいは PCV 外において核燃料成分および核分裂生成物を多く含むものか、そうでないものを検知し、分別することを目指した研究
- **テラヘルツ波を用いたコンクリート構造物の非破壊検査技術の開発**
コンクリート内部のひび割れや鉄筋の腐食等を検知し、そのデータをコンクリート構造物の健全性評価に利用できるようにしようとするもの

参考. 各大学との共同研究テーマ



東北大学
(続き)

- ・ 電磁パルス音響探傷法(EPAT)による鉄筋コンクリートの非破壊検査
コンクリート構造物の非破壊検査手法として、多様な検査方法の確立を目指すための研究
- ・ 廃止措置の過程で発生するコンクリート廃棄物の利活用のための基礎的検討
廃止措置に伴い、発生する大量のコンクリートがらを廃棄物とせず再利用するための研究

※現時点では共同研究テーマとなっていないが、東北大学とはPCV健全性等についても意見交換会を実施している。

福島大学

- 汚染水ならびにデブリを含む廃棄物からの放射性物質の分離と検出に関する研究

汚染水ならびにデブリを含む廃棄物からの放射性物質のなかでも分離や計測が難しいとされる核種に対して、化学をベースとしたアプローチ
- 錯形成と酸化還元の協奏反応に基づく重金属イオンの捕捉と酸化状態制御

重金属と安定に錯形成する結合部位に加え、結合した重金属を直接還元または酸化する部位を併せ持つ無機／有機複合分子を開発し、環境中に多様な酸化状態で存在する微量金属の捕捉と酸化数の制御を達成するための研究
- 塗布により形成される接触センサの開発

ペンキのように塗るだけで構成できる新しい触覚センサの開発を行う。このセンサにより、従来、装着が困難であった複雑な凹凸面に対しても触覚機能を付加できるセンサの開発
- 多核種弁別計測のためのセンサー及び解析手法の開発

エネルギー応答の異なる検出器を複数組み合わせた多検出器法により、それぞれの核種、エネルギーを特定し、その分布を計測する手法について研究を行い、作業環境測定のためのシステム開発

参考. 各大学との研究テーマ



福島大学
(続き)

- **建屋内部および周辺の安全性評価・推定システムの開発**
建屋を含めた構造物のヘルスモニタリング・劣化度診断および汚染水の状況把握のための仕組みとそのためのソフトウエアの開発
- **作業環境での被爆低減のための放射線源分布推定技術開発**
作業環境において汚染除去を進めているエリアを対象に残留放射性物質の位置特定および核種同定を効率的に行えるシステム構築についての研究

各大学の共同研究紹介

別紙 1 . 東京工業大学

別紙 2 . 東北大学

別紙 3 . 福島大学

別紙 4 . 東京大学

別紙1 . 東京工業大学



東京電力の技術・現場経験 + 東工大の研究力を結集



東京電力の廃炉事業への「想い」に対して協働して解を追及
福島復興&廃炉技術創成

廃炉技術創成

【課題】

- ・解体
- ・解体物の処理
- ・汚染物の無害化
- ・デブリの取り出し
- ・現状建物強度調査
- ...

東電技術者と東工大教員
と協議し、現場ニーズに
適合した課題を決定

2020年度開始課題

- 燃料損傷進展メカニズム研究
- 燃料デブリの再臨界防止研究
- オンラインαダスト分析研究
- 放射性固形廃棄物の減容・固定化研究
- 原子炉建屋漏洩調査技術研究

2021年度開始課題

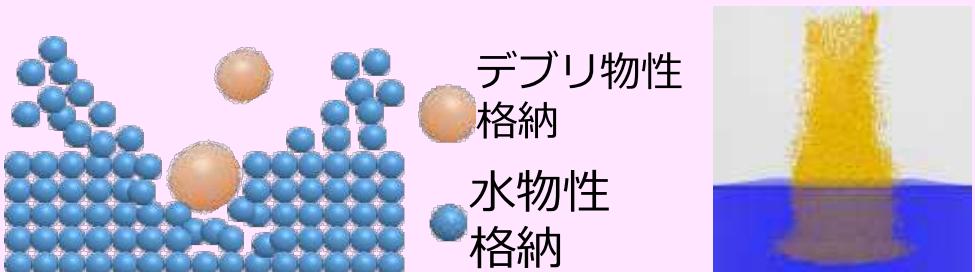
- 高性能空気浄化システム研究
- 極限環境センシング研究

2022年度開始課題

- ALPS沈殿廃棄物固定化研究

燃料デブリの再臨界防止研究

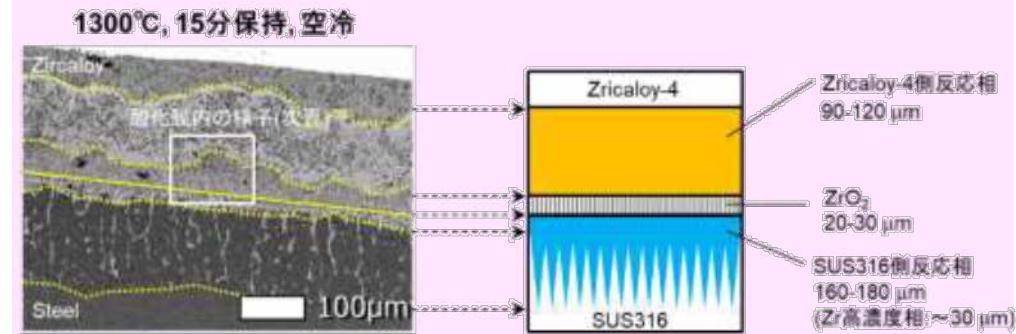
粒子状の燃料デブリの水中での移動を考慮した臨界性評価手法の確立



MPS-DEM法シミュレーション ペデスタル内の水中への燃料デブリ片落下

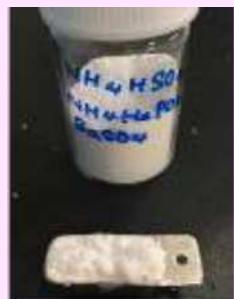
燃料損傷進展メカニズム研究

材料溶融反応を評価し、事故進展への影響とデブリ分布・性状への影響を検証する



放射性固形廃棄物の減容・固定化研究

アレバ製除染装置で発生した放射性固体廃棄物に含まれる放射性物質を無機構造体中に固化



アルカリ溶融リン酸固化

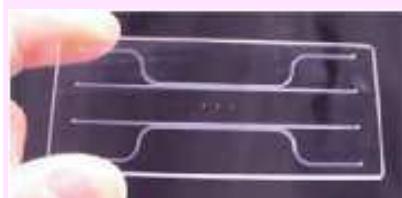


ガラス固化

オンラインαダスト分析研究

気相・液相中のαダスト及びαイオンを極微量な試料で迅速リアルタイム分析

「流す」流体制御
・核種分離

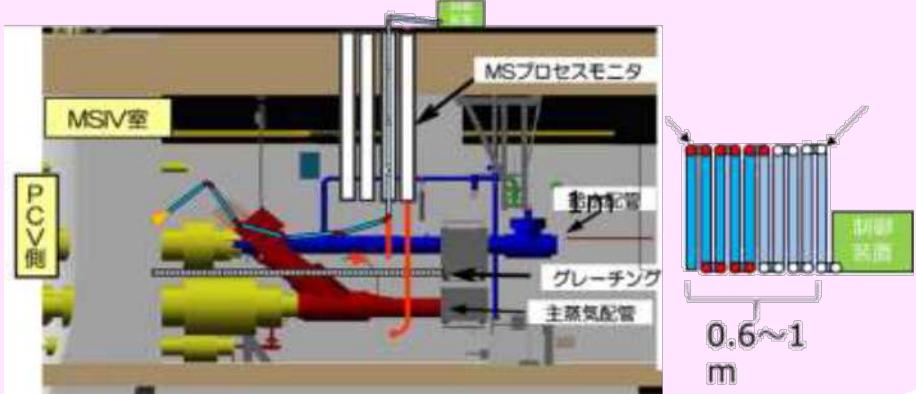


「計る」顕微レーザー計測



原子炉建屋漏洩調査技術研究

拡張型長尺ロボットアームに設置したカメラ画像・超音波による滞留水およびパージガスの漏洩調査技術開発



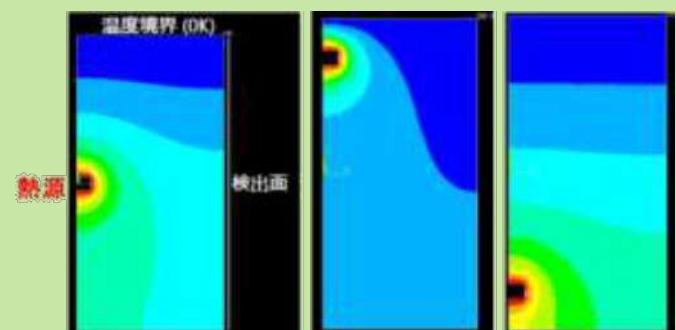
高性能空気浄化システム研究

大型機材のPCV搬入時の建屋・PCVの負圧管理
空気浄化システムによる被ばく低減



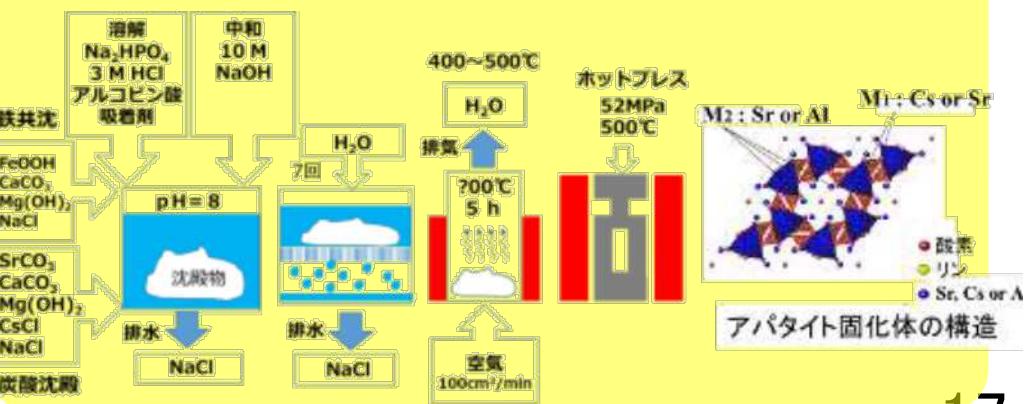
極限環境センシング研究

光ファイバセンサ計測値を用いた離れた位置の温度推定。離れた位置の温度分布から熱源の位置と温度を推定



ALPS沈殿廃棄物固定化研究

アパタイトセラミックスによるALPS沈殿系廃棄物の安定固化技術の開発



別紙2 . 東北大學

東北大学 原子炉廃止措置基盤研究センター 組織図

CFReND : Center for Fundamental Research on Nuclear Decommissioning

2016.12～

国立大学法人 東北大学

(役員、メンバー数:2022年1月現在)

グリーン未来創造機構

原子炉廃止措置基盤研究センター



センター長

(兼)工学研究科教授 渡邊 豊

支援室

室長:CFReND 特任教授 青木 孝行

※工学部・工学研究科事務部と連携

副センター長

(兼)工学研究科教授 前田 匠樹

【廃止措置リスク管理
技術研究部門】

部門長: CFReND 特任教授 青木 孝行

(兼)教員/特任/客員 全20名

工学研究科、情報科学研究科、金属材料研究所、
流体科学研究所、原子炉廃止措置基盤研究センター

【放射性廃棄物処理・処分
技術研究部門】

部門長:(兼)工学研究科教授 新堀 雄一

(兼)教員/客員 全5名

工学研究科、多元物質科学研究所、
原子炉廃止措置基盤研究センター

【福島第一原子力発電所
廃炉支援基盤研究部門*】

部門運営委員長:(兼)工学研究科教授 渡邊 豊

部門運営委員会メンバー(東北大4名、東電3名)

(兼)教員/特任/客員 全17名

工学研究科、金属材料研究所、流体科学研究所、多元
物質科学研究所、未来科学技術共同研究センター

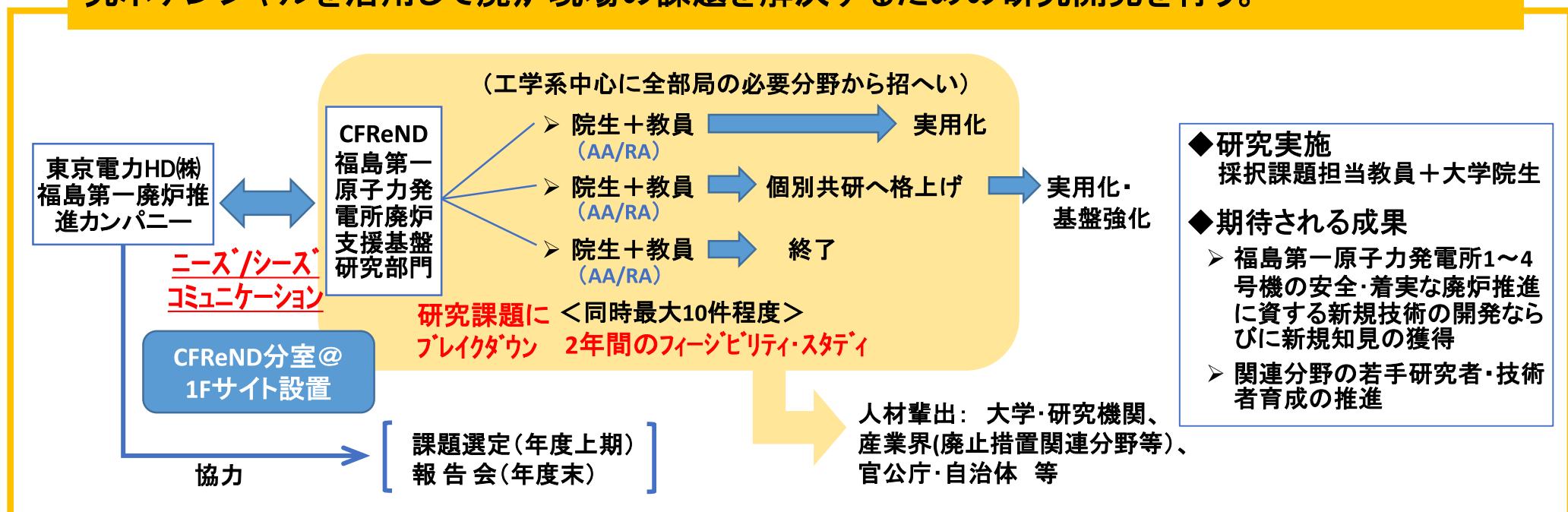
* 東京電力HD福島第一廃炉推進カンパニーとの共同研究部門

福島第一原子力発電所廃炉支援基盤研究部門

(東京電力HD福島第一廃炉推進カンパニーとの共同研究部門)

■本部門の狙い

廃炉事業の実施主体である東京電力の技術者と本学エキスパートとの密接なコミュニケーションに基づいて現場ニーズを研究課題にブレイクダウンし、東北大学が有する広範な分野での研究ポテンシャルを活用して廃炉現場の課題を解決するための研究開発を行う。



- 廃止措置リスク管理技術研究部門
 - 放射性廃棄物処理・処分技術研究部門
 - 福島第一原子力発電所廃炉支援基盤研究部門
- : シーズ主導型
- : 現場ニーズ起点型
- 2つの異なるアプローチで研究・開発する体制

別紙3 . 福島大学

福島第一原子力発電所の 廃炉に資する研究

- 場所 : 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
および国立大学法人福島大学
- 期間 : 2020年4月17日～2025年3月31日
- 概要 : 福島大学は分野横断的な幅広い教員が、機械・物理・数理・化学などの専門分野を生かし廃炉に役立つ様々な研究に取り組んでいる。これらを活用しつつ、廃炉技術へと転換し、福島第一原子力発電所の廃炉を安全かつ着実に推進するための新規技術開発の実現ならびに基盤的研究の構築を目指す。現場において、福島第一原子力発電所の技術者とともに現場での適応や課題を調査・分析しながら取り組む。特に、化学吸着材、測定計測、ロボットの触覚センサ、コンピューター解析、人工知能（AI）の分野を起点として研究を開始する。

福島大学 廃炉人材推進室
運営会議/研究担当副学長

共生システム理工学研究科
研究科長

プロジェクトマネージャー



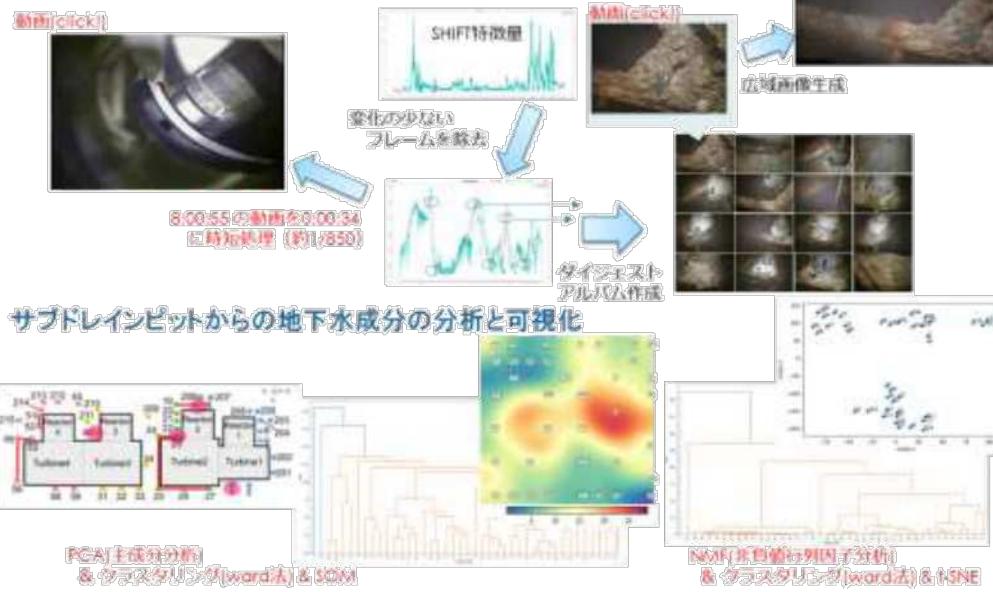
実施項目の一部 :

- ・重金属イオンの捕捉と酸化状態を制御する分子複合体の開発
- ・コーティング式触覚センサの開発
- ・多核種弁別計測のためのセンサ及び解析手法の開発
- ・PCV内動画の再編集とパノラマ画像の生成
- ・らせん状配置プラスチックシンチレーションファイバを用いた放射線測定
- ・放射性廃棄物の効率的分離を指向した化学吸着剤の開発
- ・並列分離系によるベータ線放出核種の多核種同時分析
- ・化学分析と多変量解析を併用させた敷地単位の水質クラスタライズ
- ・フーリエ変換を利用するフロー分析法の高感度化に関する研究
- ・表面電離型質量分析計を用いる微少量試料中の微量分析の高感度測定
- ・構造材料を対象にした熱ルミネッセンスの測定

実施項目の一部

建屋内部および周辺の安全性評価・推定システムの開発

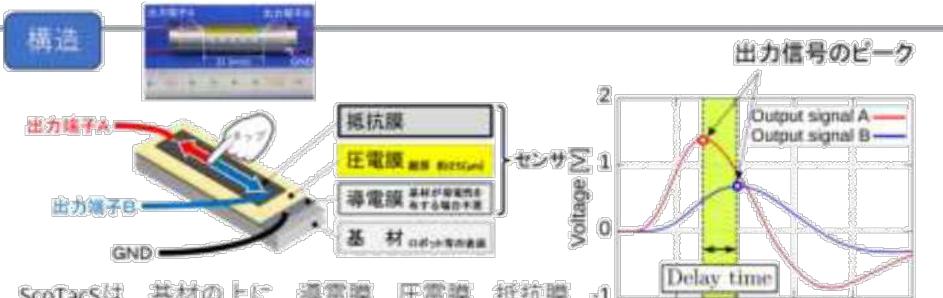
PCV動画の時短処理とダイジェスト画像の生成(内部調査の補助資料作成ツール)
SHIFT特微量を用いた動画の時短処理と印象的な画像の抽出(全自动処理)



Spray-Coated Tactile Sensor; ScoTacS



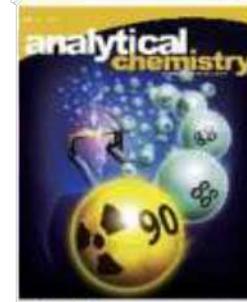
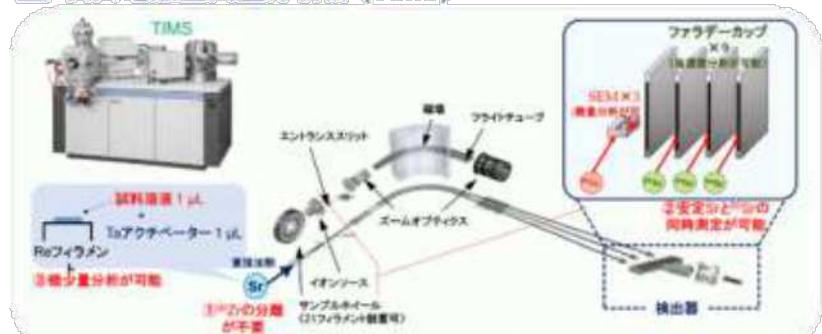
ScoTacSは、ペンキのように“塗布”することにより様々な曲面上に接触センサを形成することができる。これにより、複雑な表面形状を持つロボットハンドをはじめ、さまざまな物体の表面に触覚機能を付与することができる。



ScoTacSは、基材の上に、導電膜、圧電膜、抵抗膜の順に積層した3層構造をしており、タップした位置に応じて、出力端子に現れる信号に生じる時間遅延を利用して接触位置を検出するセンサである。

超微量の試料に含まれる放射性ストロンチウムの分析方法の開発

1 表面電離型質量分析計(TIMS)

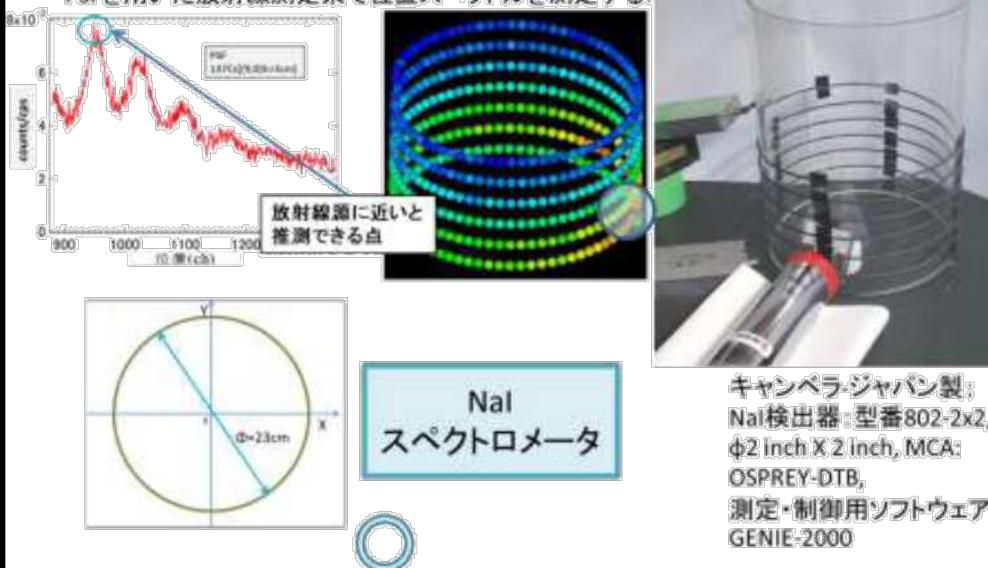


- 従来のTIMSでは実現できなかった⁹⁰Srの直接定量を実現。
- 試料を濃縮せずに検出下限値1 Bq/Lを達成。

$^{90}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 10^{-12}$
同位体比分析精度pptレベル

2種類の放射線測定器の同時測定

PSFを用いた放射線測定系で位置スペクトルを測定する



別紙4 . 東京大学

統合廃炉講座

目的

- (1) 俯瞰的に福島第一廃炉の課題を理解した上で統合的戦略を構築するとともに、戦略で必要な新技術開発について研究を行う。
- (2) 講義や学生研究指導を通じて、廃炉人材育成を推進するとともに、俯瞰的な視野をもつ学生を育成する。
- (3) 研究体制としては、廃炉事業を推進している東京電力ホールディングス株式会社、日立GEニュークリア・エナジー株式会社、東芝エネルギーシステムズ株式会社、三菱重工業株式会社、と連携を図り、実プロジェクトあるいは二の矢として代替となりうる技術の開発を目指す。
- (4) 担当教員

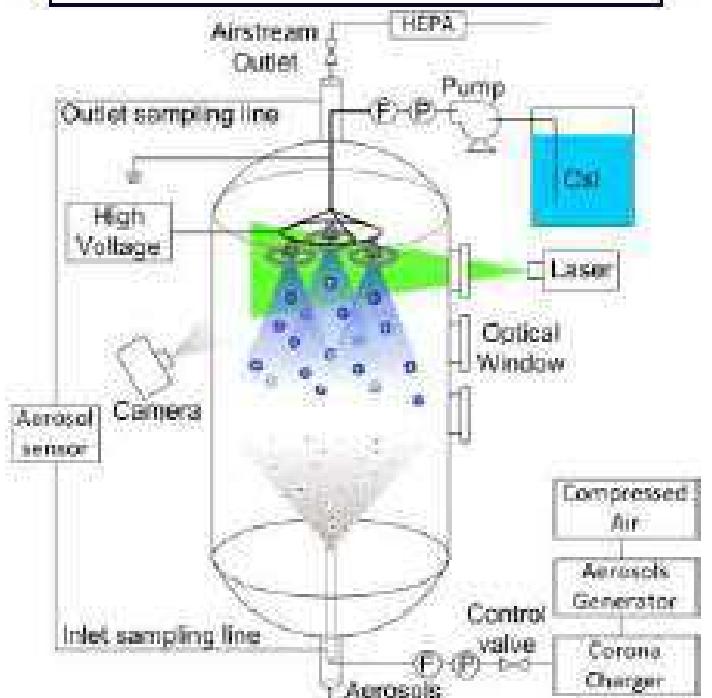
特任教授(兼務): 原子力専攻 岡本孝司 教授
精密工学専攻 淺間一 教授

鈴木俊一特任教授(兼 原子力国際専攻)
禹ハンウル特任講師(兼 精密工学専攻)

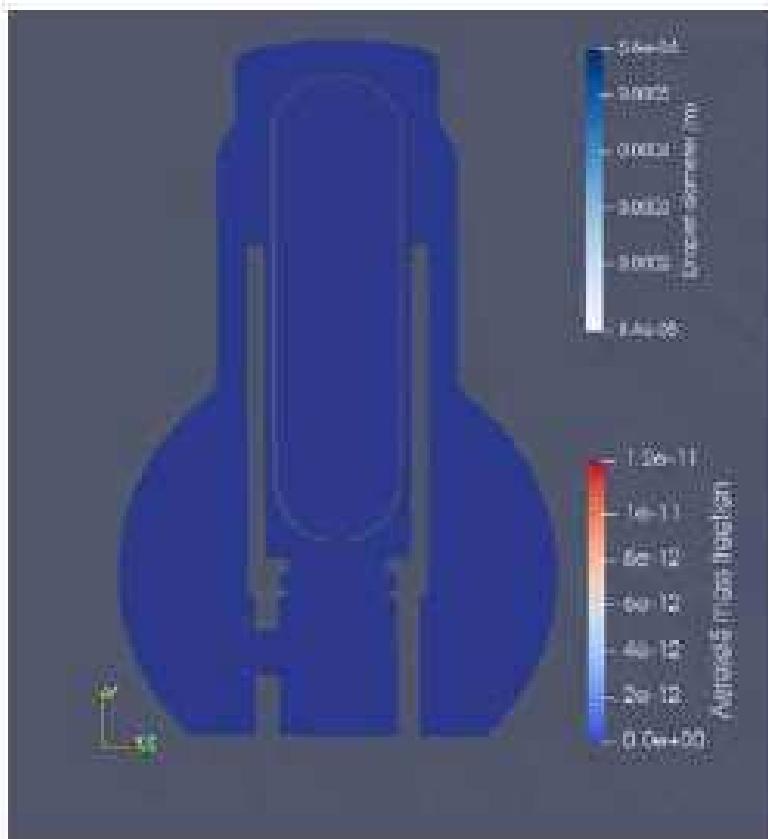
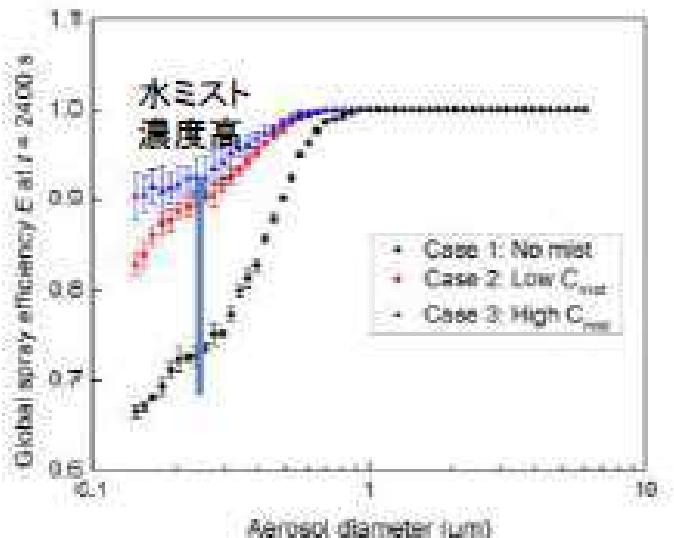
燃料デブリ取出し時における放射性核種飛散防止技術の開発

「英知を結集した原子力技術・人材育成推進事業」平成31年度採択研究（研究代表：東大鈴木俊一）

スプレイによるエアロゾル捕集



微粒子捕獲試験装置(東大東海村キャンパス)



微粒子飛散シミュレーション(1F3)

- ① 実機スプレイ装置への発展
(プラントメーカーとのコラボ)
② 手術時のコロナ粒子飛散対策への発展
(東大病院とのコラボ)

燃料デブリ挙動評価及びジオポリマーによるデブリ安定化・止水技術の開発

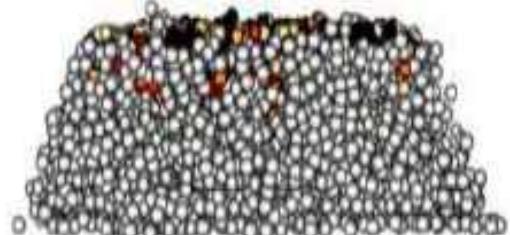
「英知を結集した原子力技術・人材育成推進事業」(研究代表: 東大鈴木俊一)

- ①「燃料デブリ取出し時における放射性核種飛散防止技術の開発」
- ②「ジオポリマー等によるPCV下部の止水・補修及び安定化に関する研究」

燃料デブリ流動・凝固挙動の把握 によるデブリ取り出しへの貢献 (統合廃炉PJ)

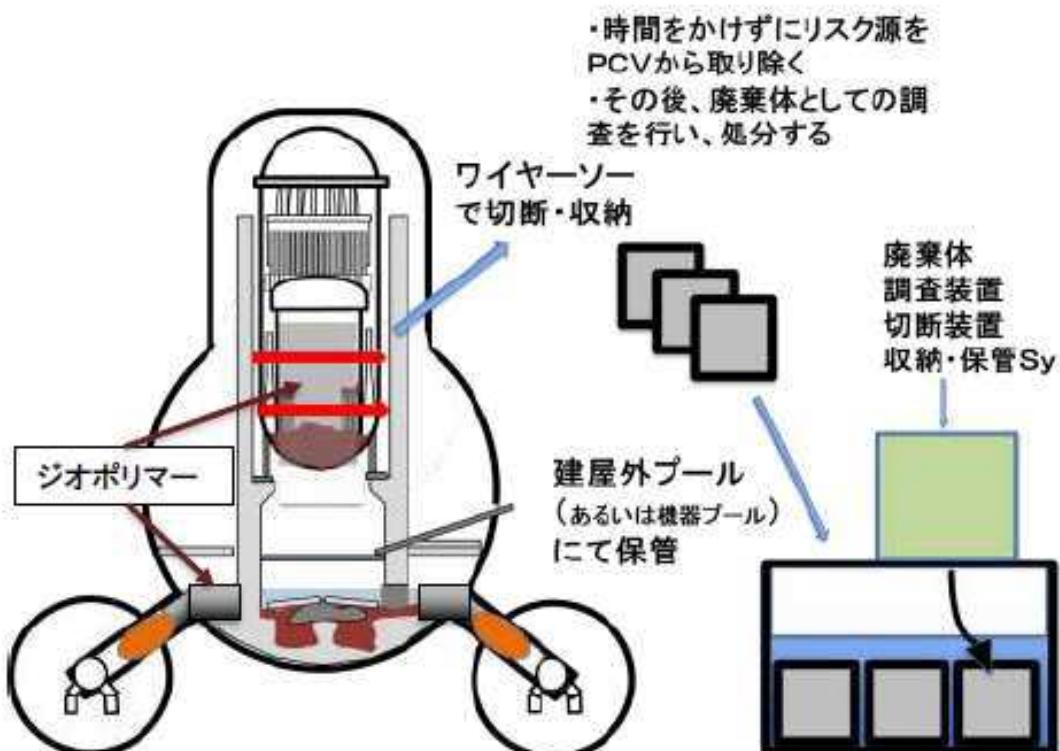


実験（溶融物の水中での凝固挙動）



粒子法によるシミュレーション

- ① ジェットデブリをジオポリマーで止水
- ② RPV底部をジオポリマーで安定化後、
ワイヤーソーで大規模取り出し



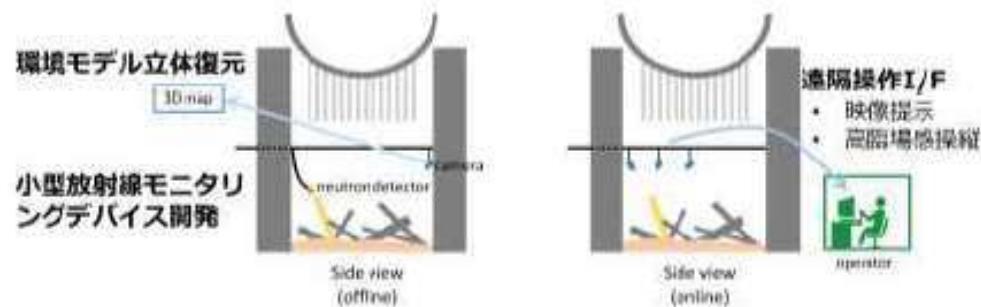
燃料デブリ大規模
取り出し工法への発展
(IRIDpj プラントメーカーとのコラボ)

遠隔技術・ロボット技術開発

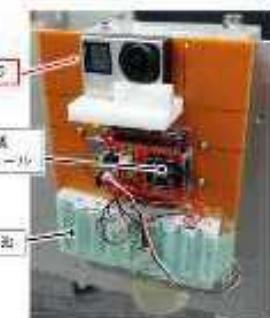
燃料デブリ取り出し時における炉内状況把握のための遠隔技術に関する研究人材育成

研究目標

カメラや放射線計測デバイスが移動可能なプラットフォームをペデスタル内に遠隔から構築し、作業状況をモニタリングする



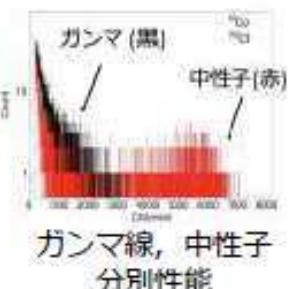
軌道構造施工システム



高剛性軽量アームの開発



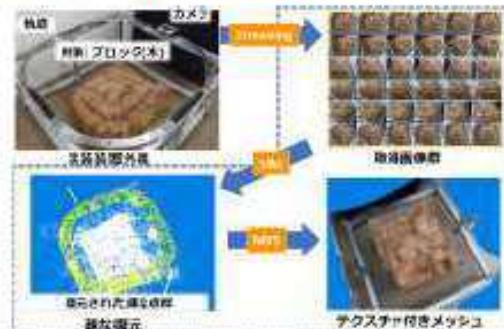
放射線モニタリングデバイス



遠隔操作インターフェース



環境モデル立体復元手法



提案手法の概要