

廃炉プロセス 「共通項目」

検討対象 「遠隔技術」

ニーズ

1. 作業目的や作業環境に応じた適切な遠隔技術を基礎的・汎用的な技術の組合せでできるように開発したい

燃料デブリ取り出し：【短期】

望ましい現状とその理由

- 使用済燃料プールからの燃料取り出し、燃料デブリ取り出し、PCV／RPV／建屋の解体等の分野においては、人が立ち入れない、または長く作業できない高線量下における作業を伴う。作業員被ばくを防止する、もしくは低減させるため、ロボット等の遠隔操作技術・機器の開発が望まれる。
- 遠隔技術開発のみならず、除染、遮へい、作業時間等を踏まえた、被ばく低減方策としての組み合わせを考慮することが望まれる。
- デブリを取り出す切削機器等の作業を行う部分と、その部分の移動に関わるトランスポート・インジェクション機器の「組合せ」の関係(インターフェイス)への視点も必要である。
- 無線の通信インフラ、カメラ、ロボット等の複数技術の開発が必要である。
- 多量のデブリ取り出しや高汚染建屋の解体には、剛構造で故障に強い遠隔ロボット技術の構築が必要であり、現状の華奢で壊れやすい一般的なロボット技術とは異なる技術基盤の構築が必要である。
- 作業目的や作業環境に応じて、ワンオフで製作する場合、開発スケジュールが間に合わない恐れがある。そのため、目的や環境に応じて組合せが可能な技術をそろえておくことが望ましい。
- 原子力分野以外からの積極的な参加が必要である。

理想と現実のギャップ／解決すべき課題

- 高放射線量下でも正常に動作する耐放射線性や耐衝撃性の高い遠隔操作ロボットやカメラ、遠隔通信技術の開発。
- 狭くてゆとりのない X-6 ペネトレーション等の狭隘部を通過できるような技術の開発が必要。
- デブリ取出しで今後、段階的に取り出し規模を拡大していく中では、もう少し重いものをつかむことができる「グリップツール」や、デブリをくぐり抜けて欠片を吸う「掘削回収ツール」などを開発する必要がある。
- 特に、遠隔技術に求められる具体的な観点の例を以下に記載する。

- ・ 建屋内は狭隘部が多く存在する。そのため、監視やバルブ操作を行うとしても、狭くて入らないことがある。加えて遮蔽体が追加設置されており、その奥の線量を測定することも大変である。
 - ・ 高線量下における床面や壁のスミア及びダストを測定できることが望ましい。スミアに関しては、適切な平滑面を画像だけで発見できるかどうか、適切な力でこすれるかどうか、という点が課題として挙げられる。
 - ・ ロボットの位置情報及びそこでの線量を、リアルタイムで図面上に1つの画面として把握できると良い。そのためには、通信環境の共通インフラ整備も望まれる。
 - ・ 遠隔装置のメンテナンスによる被ばく量を低減する必要がある、メンテナンスが少なく済む遠隔装置、メンテナンス時に被ばくしにくい遠隔装置とすることが重要である。
 - ・ 「操作性の向上」という観点も重要である。
- 従来、1F 廃炉のために開発された主な遠隔技術には以下のようなものがある。今後は、これらの改良や高度化とともに、原子炉格納容器／圧力容器内などの燃料デブリ取出しに向けた各作業において、遠隔技術の更なる活用や新たな技術開発が求められている。

例えば、東京電力ホールディングスは2号機に適用するロボットアーム等のエンジニアリングを進めるとともに、それら遠隔装置を使用した燃料デブリ取り出しの運転に向けた操作訓練が国内工場にて性能確認試験とともに実施されている。2022 年前半には福島県楢葉町にある 1F の模擬施設に移して操作訓練を行う計画としている。

<従来開発された遠隔技術例>

目的 1：被ばくなどの作業リスクの低減（除染等による線量率低減）

以下に示す各種作業ロボット

- ・ 遠隔除染：床面除染、低所除染、中所除染、高所除染、上部階除染
（散水、高圧水、ジェット、ブラシ、吸引・ブラスト、ドライアイスブラスト等）
- ・ 遠隔遮蔽
- ・ 遠隔線源撤去
- ・ 遠隔干渉物等撤去
- ・ 燃料デブリ取り出しのためのロボットアーム

目的 2：原子炉建屋内の調査

以下に示す各種調査ロボット

- ・ 遠隔線量・線源調査
- ・ 遠隔干渉物調査
- ・ 原子炉格納容器調査（空气中、水中(ROV: Remotely Operated Vehicle)）
- ・ サプレッションチェンバー上部／下部外面調査
- ・ サプレッションチェンバー内水位測定
- ・ トーラス室壁面調査（水中遊泳や床面走行）
- ・ ベント管周辺部調査
- ・ レーザースキャンデータ取得
- ・ 遠隔コンクリートコアサンプル採取

目的3：上記の周辺技術

- ・床表面の堆積物除去ロボット
- ・各種ロボットの遠隔充電技術

これらの写真やイラストを以下に示す。

原子炉建屋内のロボット



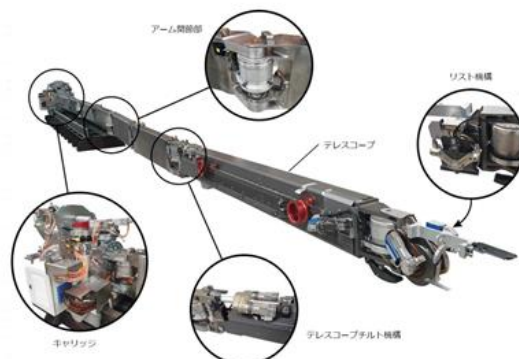
原子炉格納容器内部詳細調査用潜水機能付ポート (ROV-A)

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構:「廃炉研究開発の推移 IRID2021パンフレット」。

燃料デブリ取り出しのためのロボットアーム



試験的取り出し		段階的に取り出し規模を拡大	
アクセス装置	デブリ回収装置	アクセス装置	デブリ回収装置
金ブランチ	真空回収装置	グリップツール	燃料回収ツール



燃料デブリ取り出しのためのロボットアーム

経済産業省 大臣官房 福島復興推進グループ 原子力発電所事故収束対応室:「福島第一原発「燃料デブリ」取り出しへの挑戦③～海外の協力も得て挑む技術開発の最前線」. 経済産業省資源エネルギー庁. 2020-02-28. https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/debris_3.html, (参照2021-12-09)

(参考) 関連する研究課題

実施されている研究課題

- H28 年度英知「ロボット制御技術を用いた廃棄物中放射性核種分析の自動前処理システムの開発」
 - https://www.kenkyu.jp/nuclear/result/h29/document/H29eichi_houkokukai_shiryo_poster29.pdf
- H29 年度英知「可搬型加速器 X 線源・中性子源によるその場燃料デブリ元素分析および地球統計学手法を用いた迅速な燃料デブリ性状分布の推定手法の開発」
- R1 年度英知「動作不能からの復帰を可能とする多連結移動ロボットの半自律遠隔操作技術の確立」
 - <https://jopss.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Review-2020-025.pdf>
- R1 年度英知「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」
 - <https://jopss.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Review-2020-028.pdf>
- R1 年度英知「拡張型スーパードラゴン多関節ロボットアームによる圧力容器内燃料デブリ調査への挑戦」
 - <https://jopss.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Review-2020-040.pdf>
- 廃炉・汚染水対策事業「燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術の開発（燃料デブリのダスト集塵システムの技術開発）」
- R2 年度英知「無人航走体を用いた燃料デブリサンプルリターン技術の研究開発」
- 廃炉・汚染水対策事業「原子炉圧力容器内部調査技術の開発」
- 廃炉・汚染水対策事業「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発（環境改善・干渉物撤去のための遠隔技術の開発）」
- 廃炉・汚染水対策事業「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発」
- 廃炉・汚染水対策事業「遠隔装置保守技術の開発」
- H27 年度英知「廃炉に関する基盤研究を通じた創造的人材育成プログラム-高専間ネットワークを活用した福島からの学際的なチャレンジ-」
- R3 年度英知「燃料デブリ取り出しのための機械式マニピュレータのナビゲーションおよび制御」
- R3 年度英知「連携計測による線源探査ロボットシステムの開発研究」

検討されている研究課題

- 特になし

関連する課題

- 汚染水-102「地下水・建屋の現状把握」
- SFP-101「SFP の現状把握」
- デブリ-101「燃料デブリの状況把握」
- デブリ-102「PCV・RPV 内部の構造物の状況把握」

- デブリ-103「FP の状況把握」
- デブリ-104「PCV・RPV 内部の線量の把握」
- デブリ-106「建屋内の汚染状況の把握」
- デブリ-218「燃料デブリ取り出し装置・機器の開発」
- 解体-101「炉内・建屋内の汚染状況の把握（解体のための）」
- 解体-102「解体対象物の性状・物量の把握」