

福島第一原子力発電所廃止措置における IRID の研究開発の現状

Current Status of R&D Conducted by International Research
Institute for Nuclear Decommissioning (IRID)

今 村 功 (いまむら いさお)

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 開発計画部 国際・アカデミア連携グループ長

1. はじめに

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID: International Research Institute for Nuclear Decommissioning) は、「廃炉技術の基盤強化を視野に、当面の緊急課題である福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術の研究開発に全力を尽くす」ことを理念として、2013年8月1日の設立以来、福島第一原子力発電所の廃炉作業に必要な技術の研究開発に取り組んできた。そして、廃炉の中長期ロードマップの決定等を通じ、大方針の策定・全体の進捗管理を行う政府 (経済産業省)、2014年8月に原子力損害賠償支援機構から改組され、廃炉戦略の立案・研究開発プランを策定することとなった原子力損害賠償・廃炉等支援機構 (NDF: Nuclear Damage Compensation and Decommissioning Facilitation Corporation)、現場作業を担う東京電力ホールディングス(株)、廃炉に必要な技術の開発を実施する IRID、という役割分担が明確化され、国を含む4者が密接に連携しながら福島第一原子力発電所の廃炉に取り組んでいる。

本稿では、IRID が取り組んでいる研究開発の概要として、特に燃料デブリ取り出し技術の研究開発の現況を中心に紹介する。

2. IRID の概要

2.1 IRID の構成

IRID の組合としての構成は、現在下記の通りで、所謂「オールジャパン体制」が構築されている。

- ① 国立研究開発法人：2 法人 (日本原子力研究開発機構：JAEA、産業技術総合研究所：AIST)、
- ② メーカー等：4 社 (東芝エネルギーシステムズ(株)、日立 GE ニュークリア・エナジー(株)、三菱重工業(株)、(株)アトックス)、
- ③ 電力会社等：12 社 (北海道電力(株)、東北電力(株)、東京電力ホールディングス(株)、中部電力(株)、北陸電力(株)、関西電力(株)、中国電力(株)、四国電力(株)、九州電力(株)、日本原子力発電(株)、電源開発(株)、日本原燃(株))

2.2 IRID の研究開発プロジェクト

研究開発の段階は、一般的に「①基盤研究」「②基礎研究」「③応用開発」「④実用化」の各段階がある。この中で、IRID の研究開発スコープは、「基礎研究」の一

沸騰水型原子力発電所の構造

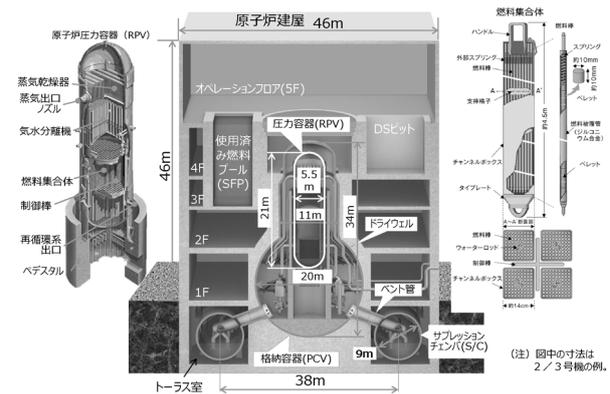


図-1 沸騰水型原子力発電所の概要

部から、「応用開発」及び「実用化」段階の一部までを担っている。

福島第一原子力発電所のタイプの沸騰水型原子力発電所の構造概要を図-1に、現在の IRID 研究開発プロジェクトを図-2に示す。これらの研究開発プロジェクトは、経済産業省「廃炉・汚染水対策事業費補助金」の一部として実施されている。

2.3 TMI-2 事故との違い

1979年3月28日に発生した米国スリーマイルアイランド原子力発電所2号炉 (TMI-2) の事故は、福島第一原子力発電所の事故と同様に「冷却材喪失による燃料冷却不全」に分類される事故であるが、両者には、大きな違いが存在する。TMI-2 事故では、燃料が冷却不全により溶融したものの、圧力容器 (RPV) 内に留まり、RPV 及び格納容器 (PCV) は健全であった。一方、福島第一原子力発電所事故では、燃料溶融後、燃料デブリとなって、RPV を破損し、PCV 内に落下した。また、PCV も破損にまで至り、TMI-2 以上の難しさが存在する。

3. 研究の進捗と展望

3.1 プール燃料取り出しに係る研究開発

使用済燃料プールにおいて、海水注入や瓦礫落下履歴のある燃料集合体の「共用プール (湿式)」から「キャスク貯蔵 (乾式)」に至る長期保管過程での健全性について評価をした。

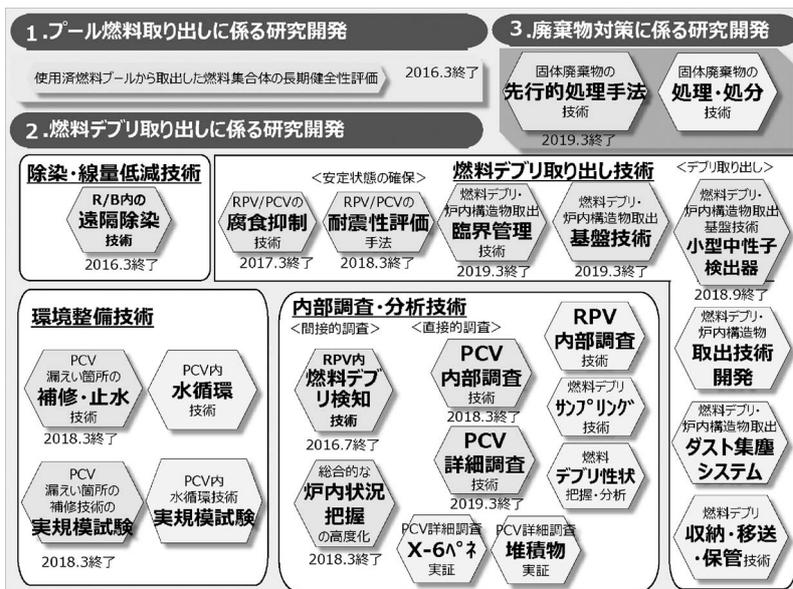


図-2 IRIDの研究開発プロジェクト

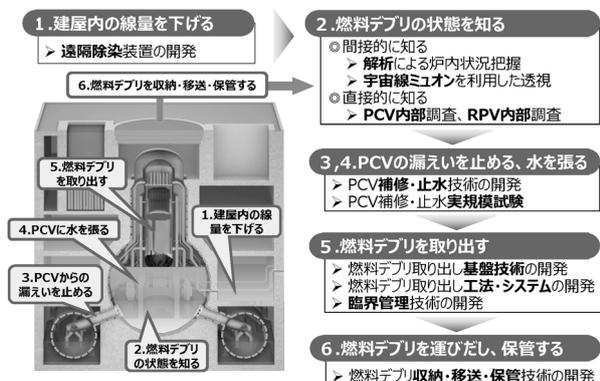


図-3 燃料デブリ取り出しに必要な技術開発

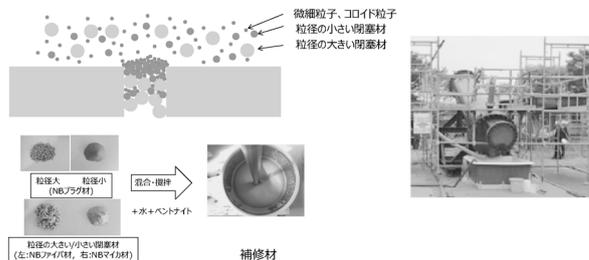


図-4 補修材（超重泥水）の検討と試験状況

3.2 燃料デブリ取り出しに係る研究開発

燃料デブリ取り出しに必要な技術開発は図-3に位置付けられる。

(1) 除染・線量低減技術

PCV・RPV内部調査や燃料デブリ取り出し作業等の現場作業実施前には可能な限り除染を行い、作業環境の改善（線量低減）を行っていく必要がある。これらの課題に対して、遠隔操作による除染技術の開発を実施してきた。

(2) 環境整備技術

燃料デブリ取り出し作業の前準備として、PCVからの漏えいの止水等を実施し環境整備をしていくことが必要となる。これらの研究開発として行ってきた漏えい個所の補修・止水技術開発については、サプレッションチェンバからの漏水を止める技術やサプレッションチェンバ脚部の耐震補強技術などに、実機施工への実現性の見通しを得ることができた。ここでは地盤工学会の関係者の協力もいただき、経年劣化、地震等により止水部で漏洩が発生した場合に備え、止水材上部の補修材として超重泥水を選定した（図-4）。そして要素試験によって止水材に発生するひび割れ等に対する止水効果も確認し

ミュオン透過法による測定

- ミュオンは、宇宙から飛来する放射線が大気と衝突する過程で発生する二次的な宇宙線。エネルギーが高く、物質を透過しやすい。
- 原子炉建屋を透過するミュオン数を測定し、その透過率から原子炉圧力容器内の燃料デブリ分布をレントゲン写真のように撮影。（高密度の物質ほど透過しにくく、暗い領域になる）

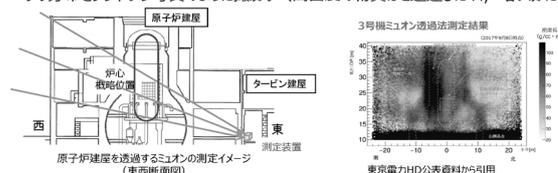


図-5 ミュオンを用いた炉内状況測定結果

ている。また、1/2スケールベント管を用いた止水・耐圧試験においても良好な結果を得ている。今後、事業者のエンジニアリングを通じたこれら成果のデブリ取り出し実機工事への活用が期待される。

(3) 内部調査・分析技術

宇宙線ミュオンを活用したラジオグラフィを、1~3号機に適用し、各号機のPCV内の状態を調査した。ミュオンによる測定技術の概要と3号機の状況を図-5に示す。また、各号機の炉内状況の推定・調査の結果（解析コードによる評価結果、実測データ・実験等による分析結果、現場調査の結果）を、一元的にRPV・PCV内状態推定図として取り纏めた。

PCV内部調査の技術開発として、燃料デブリの広がりや格納容器内の損傷状況を調査するために、各号機の

調査内容に則した調査用ロボットを開発し、調査を実施してきた。各号機のPCV内部調査用に開発されたロボットを図-6に示す。

開発された各ロボットによる調査により、多くのPCV内部の情報を得ることができている。特に、2018年1月に2号機を対象として実施した調査装置の現地実証試験では、PCV内部でRPV本体を支える基礎(RPVペDESTAL)の内側の画像情報の取得に成功した(図-7)。RPVペDESTAL内側下部にアクセスし、RPVペDESTAL底部に堆積物が広がっている様子を捉えた画像を得ることができている。現在、より多くの情報を得ることを目的に新たな調査装置の開発に取り組んでいる(PCV詳細調査技術開発)。

一方、RPV内部調査に向けた技術開発では、これまでの上部アクセス工法に加え、原子炉建屋(R/B)外側面からRPV内部へアクセスする横アクセス工法の技術開発に取り組み始めている。複数の選択肢により、現場状況に応じた調査が可能となり早期調査実現に資するものと考えている。

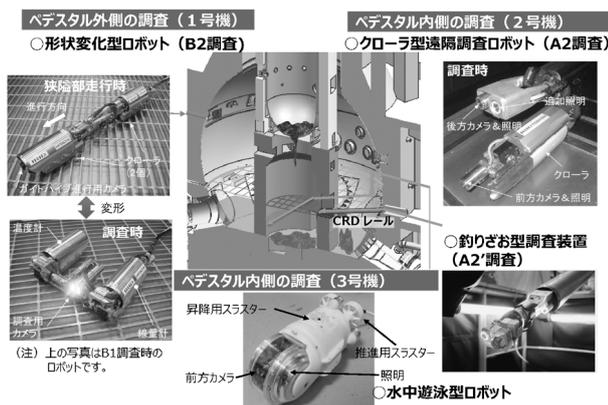


図-6 内部調査用ロボット

(4) 燃料デブリ取り出し技術

燃料デブリ取り出し技術は、①放射性ダストの閉じ込め機能の確保、②遠隔操作技術の確立、③被ばく低減・汚染拡大防止技術の確立を目指して研究が進められている(図-8)。

現在までに IRID が提案した燃料デブリ取り出し工法を実現するための課題について、順次、技術開発を進めているところである。例えば、燃料デブリ取り出し装置をPCV内に投入するために必要な遮蔽壁への大開口施工技術やPCVへの大開口施工の際に必要なシール技術、RPVペDESTAL内部の干渉物を遠隔で撤去し、燃料デブリを取り出す環境を構築する技術(図-9)、横アクセス工法でRPVへのアクセスを可能にする気密や遮へい機能を有する重量物となるアクセストンネルを、建屋の負荷を減らすために建屋外から施工する土木のトンネル施工技術を活用した技術開発(図-10、図-11)、燃料デブリ/干渉物の撤去に係るロボットアームとアクセスレール組み合わせ要素試験による課題抽出(図-12)、燃料デブリ・炉内構造物取出し時の臨界管理技術などに

デブリ取り出し工法

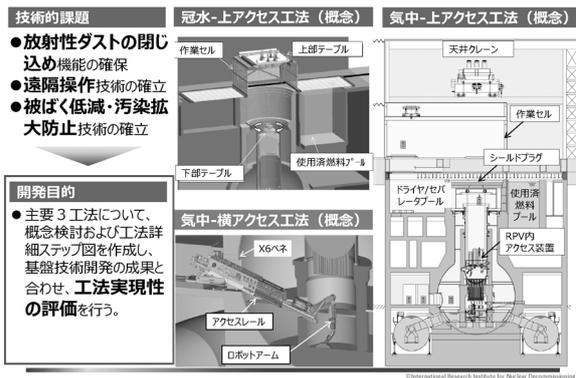
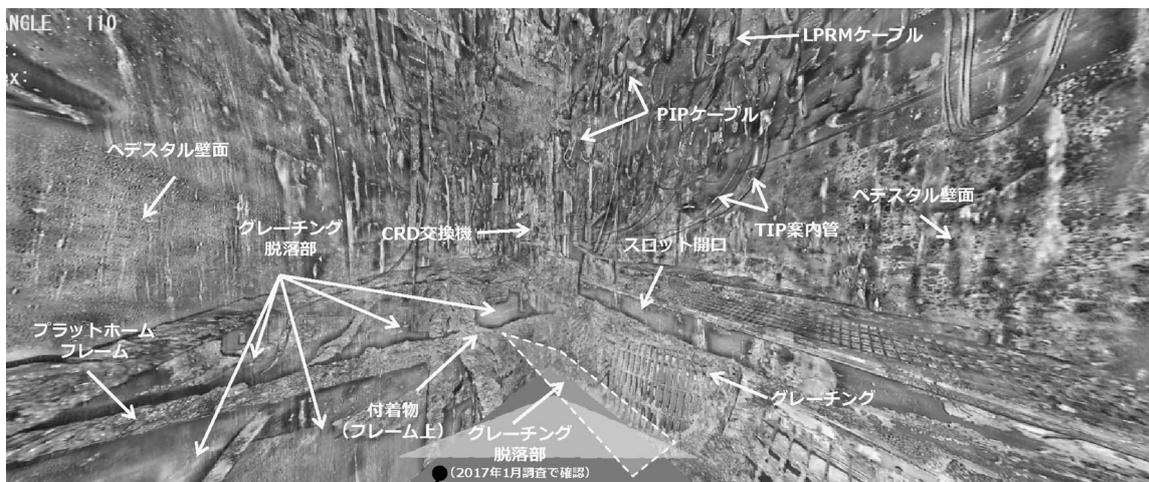


図-8 検討が進められているデブリ取り出し工法



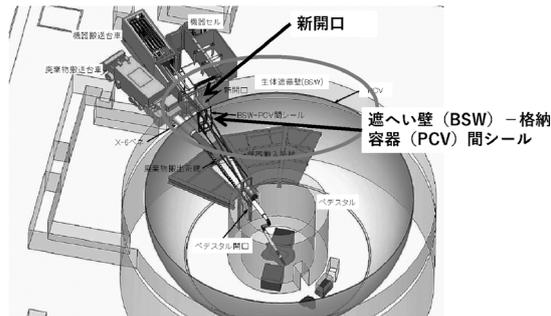
映像の組み合わせが無い場合、画像無し

- LPRM (局部出力領域モニタ)
: 炉心内の中性子束レベルを測定するためのもの
- TIP (移動式炉心内計装装置)
: LPRMを校正するためのもの
- PIP (制御棒位置指示プローブ)
: 制御棒の位置を検出するためのもの

図-7 2号機のペDESTAL内調査結果¹⁾

【横アクセス工法】デブリ取り出しに係る技術

■デブリ取り出しの工法を実現するための要素技術を開発中

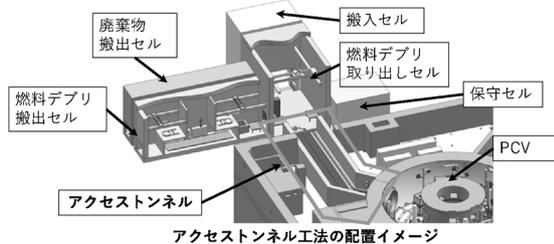


横アクセス工法の一例 イメージ

図-9 横アクセス工法のシール技術等要素技術開発

【横アクセス工法】トンネル施工技術

- アクセストンネル工法では、重量物のトンネル（約800トン）を原子炉建屋外から精密な位置制御で送り出し、格納容器へ接続させる必要有
- 橋梁等の工事で実績がある重量物送り出し工法を応用し、狭隙部に曲がった形状の重量物トンネルを送り出す技術を開発中



アクセストンネル工法の配置イメージ

図-10 横アクセス工法トンネル施工技術開発状況

ついて、順次、技術検証を行っていく予定である。

(5) 燃料デブリの収納・移送・保管に関する技術
取り出した燃料デブリの収納・移送・保管に関する技術開発では、燃料デブリ収納の観点での「臨界管理」、
「水分の放射線分解による水素発生対策」等独自の技術開発を進めている。

3.3 廃棄物対策に係る研究開発

2021年度頃までを目処に処理・処分方策とその安全性に関する技術的見通しを得ることを当面の目標に、処理・処分の全体像を検討し、研究開発の成果や課題とともに統合的に評価していく手法を構築した。放射能分析等を継続実施し、処理・処分方策検討の基礎データの取得を実施している。

トンネル施工技術の要素試験

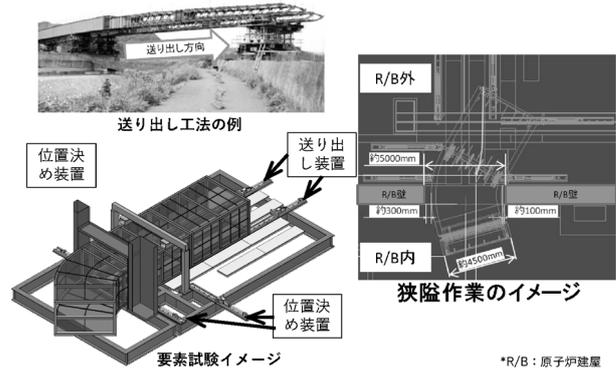


図-11 トンネル施工技術を活用した要素試験

アクセスレール工法を実現する技術

- それぞれ開発を進めてきた、アクセスレールとロボットアームを組み合わせた機能試験を計画中

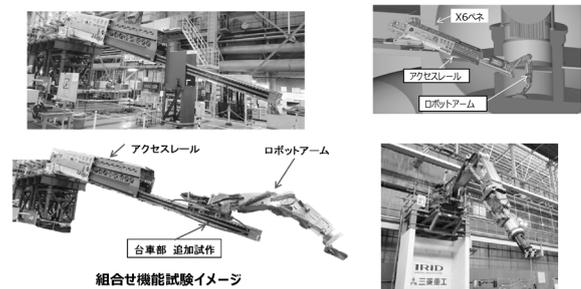


図-12 デブリ取り出しのためのアクセスレールとロボットアームとの組み合わせ要素試験

4. 今後の進め方

IRID は、今後も地盤工学会をはじめ国内外の叡智を結集し、廃炉に必要な研究開発を効率的・効果的に実施するという設立目的に沿って、研究開発活動を通じ、福島第一原子力発電所の廃炉に係るリスク低減とそれに向けた安全確保、環境保全などに、着実に効果を上げるよう、積極的に取り組んでいく。

参考文献

- 1) 「福島第一原子力発電所2号機原子炉格納容器内部調査結果について（2018年4月26日廃炉・汚染水対策チーム会合／事務会議（第53回）報告資料）」より抜粋
(原稿受理 2019.6.28)