

廃炉プロセス「燃料デブリ取り出し」
検討対象「戦略・リスク」
課題「デブリ回収戦略の構築」

ニーズ

1. 燃料デブリ取り出しに向けた課題を洗い出したい。

燃料デブリ取り出し：【中期】

望ましい状態とその理由

- 燃料デブリ取り出しを確実に実施するためには、周到な準備をした上で燃料デブリを安全に回収し、管理された安定保管の状態に持ち込む必要がある。
- また、想定されるスループットにおいて検討すべき事項を整理し、取り組むべき課題を明確化することが望ましい。
- 工法の選択においては、専門的かつ集中的な検討が必要なため、2023年2月よりNDFの廃炉等技術委員会の議決を経て、同委員会の下に「燃料デブリ取り出し工法評価小委員会」を設置。同小委員会は、2024年3月に廃炉等技術委員会にその成果を報告している。東京電力は同報告書の内容に沿って、1～2年程度で具体的な設計検討を完了させ、その成果を用いて、基本設計のフェーズに進む計画である。

理想に対する現状

- 燃料デブリ取り出しに係る工法は、現在もまだ確定しておらず、評価検討中の段階である。
- 燃料デブリ取り出し工程は設定目標が10年のところ、廃炉・汚染水対策事業でのスループット検討評価では、アクセスルートの構築に約4年、燃料デブリ取り出しに27.3年～37.2年と試算されている。
- スループットには、PCVへのアクセス、燃料デブリの切り出しの位置決め・切断、回収容器への収納、搬出といった作業工程に加え、保守性やトラブル発生時のバッファや貯蔵施設等の受け入れ能力など潜在的な工程遅延リスクを考慮する必要がある。
- 燃料デブリ取り出しを困難にしている主な要因として以下がある。①PCV・RPV内が極めて高線量（線量当量率が数Sv/h～数百Sv/hオーダー）で、人の立ち入りが不可能。②原子炉建屋内が高線量（線量当量率が数mSv/h～数十mSv/hオーダー）で、人の立ち入りが短時間に限定される。③上記①、②の制約から現場情報の取得が困難であり、大きな不確かさを伴う推定に基づいた検討が必要な部分が多い。④既存の原子炉建屋、PCVを閉じ込め障壁とする場合は、事故による損傷及び経年劣化の考慮が必要。一方、新たな閉じ込め障壁を構築する場合には現場の状況に応じた耐震性などの考慮が必要。⑤PCV・RPV内は未臨界状態が維

持されているが、燃料デブリの分布などに変化を与えた際の臨界の可能性について考慮が必要。⑥廃棄物の保管管理の負荷軽減のため、廃炉作業に伴い新たに発生する固体廃棄物量の低減が必要。

解決すべき課題

- 燃料デブリ取り出しは常に未知と対面しながら、各種分析や作業経験等から得られる新たな知見を踏まえて、作業を柔軟に見直ししながら進めるアプローチをとる必要があり、一意に課題を特定することが困難である。
- 策定した取り出し工法案に潜む課題の体系的な抽出の方法として、準備工事から燃料デブリ取り出し作業、保守、取り出し完了までの工事シーケンスを検討し、各プロセスの作業に対し、現場適用性、技術成立性に大きく影響する可能性のある課題を抽出することが有効である。
- また、工事シーケンスについては可能な限り細分化することにより、抽出される課題の網羅性を高めることができる。
- 更に、抽出された課題の対応策を検討の上、次の検討段階に進む前に、対応できることを確認しておくことが必要である。

参考文献

- 平成 30 年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金「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」、技術研究組合 国際廃炉研究開発機構、2021 年 8 月
 - <https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2021/08/2020005kibonosaranarukakudai.pdf>
- 東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2025、原子力損害賠償・廃炉等支援機構、2025 年 10 月 30 日
 - https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20251030_SP2025FT.pdf

(参考) 関連する研究課題

実施されている研究課題

- 廃炉・汚染水対策事業「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化（燃料デブリの拡散防止に係る技術開発、取り出し装置設置のための要素技術開発、燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発、燃料デブリ取り出し時の監視技術の開発）」
 - http://irid.or.jp/_pdf/20180000_14.pdf
 - http://irid.or.jp/wp-content/uploads/2018/06/20170000_09.pdf?v=2
 - https://dccc-program.jp/files/20190711_ONET.pdf
 - https://dccc-program.jp/files/20190716_HAMAMATSU.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工法・システムの高度化（閉じ込め機能に関する技術開発、燃料デブリ由来のダストの捕集・除去に関する技術開発、燃料デブリ取り出しに伴う α 核種モニタリングシステムの検討、工法・システムの安全確保に関する最適化検討）」
 - http://irid.or.jp/_pdf/20180000_13.pdf
 - http://irid.or.jp/wp-content/uploads/2018/06/20170000_10.pdf?v=2

- 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開発（燃料デブリ取り出し工法の開発、燃料デブリ取り扱い技術の開発、燃料デブリ取り出し作業時の安全確保に関わる技術開発）」
- 廃炉・汚染水対策事業「燃料デブリの取り出し工法の開発」
 - <https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2023/06/2022008toridasikouhou202306F-.pdf>
 - https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2022/08/2022007_deburitoridashi.pdf

検討されている研究課題

- 特になし

2. 燃料デブリの回収に係る総合的な戦略を策定したい

燃料デブリ取り出し：【中期】

望ましい状態とその理由

- 燃料デブリ取り出しを最適化するために、取り出す燃料デブリの位置・形状等の優先順位や回収方法、回収された燃料デブリの分析結果による状態推定の高度化等、燃料デブリの回収に係る総合的な戦略を策定することが望ましい。

理想に対する現状

【1号機】

- これまでのミュオンを用いた調査・解析等により、炉心部にはほぼ燃料デブリはないと評価されている。また、これまでに PCV 内部調査は行われているが、RPV 内の調査は未実施である。
- 2,3 号機と比較してプラント出力が小さいが故に RPV や PCV のサイズが小さく、プラント設備の配置も異なっている。また、今後の調査で明らかになると期待されるが、RPV 内及びペDESTAL内外の堆積物分布は 2,3 号機と異なると考えられている。
- PCV 内部調査においてペDESTALの一部に損傷が確認されているが、過去の研究開発において、損傷範囲を仮定した耐震評価では支持機能を大きく損なわないことを確認している。
- 研究開発とその成果を現場適用するためのエンジニアリングを推進し、2 号機の試験的取り出し、段階的な取り出し規模の拡大を通じて得られる知見を装置設計や取り出し手順、安全評価等へ反映する。また、先行する 3 号機における工法検討結果等も反映していく予定である。

【2号機】

- 現在、試験的取り出しを進めており、その後、段階的な取り出し規模の拡大を実施していく計画である。
- これまでに実施された PCV 内部（ペDESTAL内）の調査及びミュオンを用いた調査・解析等では、RPV 底部に多くの燃料デブリが存在すると考えられており、また炉心部にも燃料が一部存在している可能性が指摘されている。PCV 底部に落下した燃料デブリはペDESTAL外へ広がった可能性は低いとされている。
- RPV 内部とペDESTAL外の調査は未実施である。

【3号機】

- 他の号機に先行して取り出し規模の更なる拡大に向けた工法の検討が進められており、「燃料デブリ取り出し工法評価小委員会」からの提言を受け、取り出しシナリオ及び工法の技術成立性等の検討を進める。
- これまでに PCV 内部（ペデスタル内）の調査が実施され、CRD ハウジングサポートの一部脱落、変形している状況や、ペデスタル内下部には、炉内構造物と推定されるものを含む複数の構造物が落下している状況が確認されており、また、燃料デブリと推定される堆積物も確認されている。
- さらに、ミュオン調査・解析等から2号機よりも多くの燃料デブリがペデスタル内に落下し、作業員アクセス口からペデスタル外へ広がった可能性が推定されている。
- RPV 内部とペデスタル外の調査は未実施である。
- 東京電力は3号機を対象として2024年度より小委員会報告書の内容に沿って燃料デブリ取り出し工法の設計検討を実施し、取り出しシナリオ、設備計画、配置計画、工程などの検討結果を取りまとめた。工法は気中工法と気中工法オプションの組み合わせをベースとし、小開口からのアクセス、燃料デブリの取り扱い（加工、回収等）の統一化・単純化、上／横アクセスの組み合わせが重要方針とされている。
- また、原子炉建屋南側に気体・液体システムや電源設備等を収容する「増設建屋」を新設する計画であり、上アクセス支持構造物として南北構台案と東西架台案の2案が検討されている。

解決すべき課題

【1号機】

- 2号機の試験的取り出しを通じて得られる知見の活用として、例えば、既設構造物の状況や堆積物の分布状況、ガンマ線分布や中性子カウント数分布、装置類の出し入れに伴う閉じ込めへの影響程度、取り出し作業で採取する燃料デブリの情報などを装置設計や取り出し手順、安全評価等に反映する必要がある。
- また、先行する3号機における工法検討結果等も踏まえ、取り出し方法を検討する必要がある。
- これまでのミュオンを用いた調査・解析等により、炉心部にはほぼ燃料デブリはなしと評価されているが、直接的な調査ではないため、今後の検討において直接的な映像調査が必要になる。

【2号機】

- 横アクセス工法にて実施するこれらの取り出しでは、全ての燃料デブリを取り出す計画ではないため、取り出し規模の更なる拡大に向けた工法の検討が必要である。
- 試験的取り出しを通じて得られる知見等を踏まえ、燃料デブリ取り出し設備・安全システム（閉じ込め、燃料デブリ冷却、臨界管理等）・燃料デブリー一時保管設備・取り出し設備のメンテナンス設備の設計・製作・設置を進める必要がある。
- 炉心部に燃料が一部残っている可能性を加味した工法検討が必要である。
- ペデスタル外調査は未実施であるため、今後の検討において直接的な映像調査が必要になる。

【3号機】

- 選択する工法の確実性を高めるためにも、ペDESTAL外への堆積物分布状況を把握するための調査の計画を検討する他、ペDESTAL内の追加調査やRPV内の調査を検討し、これらの調査結果を工法の検討や設計に反映していく必要がある。
- 工法の検討に当たっては、原子炉建屋の損傷状況を考慮した閉じ込め設備を検討する必要がある。
- 上アクセス支持構造物として東西架台案を主案としつつ、南北構台案への移行や廃棄物処理建屋の撤去を含めた柔軟な見直しを躊躇しないことが必要である。

【号機共通】

- 内部調査等により知見を拡充させていくとともに、高温の堆積物（燃料デブリ）がペDESTAL外へ流出したことから推察される事故時の事象に対する考察を行っていく必要がある。これらの知見や考察を踏まえ、ペDESTAL内外の堆積物の取り出し方法、S/Cへの堆積物の流入可能性等を検討するとともに、内部調査で得られた知見を他号機も含めて燃料デブリ取り出し工法へ反映していく必要がある。
- 各号機ともこれまで得られているPCV内部の情報は限定的であり、直接的な映像情報が得られていないエリアも多いため、各号機のPCV内部調査やRPV内部調査等の更なる調査の検討を進め、RPV底部の損傷状況、ペDESTAL外への堆積物の有無や分布状況など、更に多くの情報を早期に集めることが必要である。
- 遠隔装置の保全や故障時の復旧も考慮する必要がある。このような取り出しの準備から取り出しに至る全体工事シーケンス及びスループットを考慮した工法検討が必要であり、現場状況が全て特定できなくても取り出しが成立する工法、地震等の外部事象に影響されにくい工法（ロバストな工法）の選択が必要である。
- 燃料デブリを取り出した後、建屋解体に移行するクライテリアの検討が必要となる。すなわち、燃料デブリをどの程度まで取り出せば燃料デブリ取り出しが完了したと言えるのか、それをどの様に確認するのか、が重要となる。
- さらに、3号機の準備工程で得られる結果を踏まえ、1・2号機への知見の横展開、工程や設備設計の全体最適化（同時並行作業・支援設備の共用等）を検討することが重要である。

参考文献

- 東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2025、原子力損害賠償・廃炉等支援機構、2025年10月30日
 - https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20251030_SP2025FT.pdf

（参考）関連する研究課題

実施されている研究課題

- 特になし

検討されている研究課題

- 特になし

関連する課題

- デブリ-101「燃料デブリの状況把握」
- デブリ-104「PCV・RPV 内部の線量の把握」
- デブリ-105「炉内状況の知見集約」
- デブリ-211「PCV・建屋の構造健全性確保」
- デブリ-301「PCV 内燃料デブリ取り出し」
- デブリ-302「RPV 内燃料デブリ取り出し」
- 共-6「リスク評価」