

バックエンド部会セッション

**福島第一原子力発電所の廃炉に伴って発生する廃棄物の現状と今後
—将来を見据えた取り組みと課題発見—**

Current Status and Future of Radioactive Waste on Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station - Future-oriented approach and exploration of challenges -

(1) 福島第一原子力発電所廃炉における廃棄物の現状と将来

(1) Current Status and Future of Radioactive Waste on Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

(2) 福島第一原子力発電所廃炉に関する研究開発動向

(2) R&D Activities on Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

(3) 固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発

(3) Research and Development of Processing and Disposal of Solid Radioactive Waste

*加藤 和之¹, *松本 昌昭², *吉川 英樹³

¹原子力損害賠償・廃炉等支援機構, ²三菱総合研究所, ³国際廃炉研究開発機構

1. はじめに

本セッションでは、東京電力福島第一原子力発電所事故から10年を迎えるにあたって、福島第一原子力発電所の廃炉に伴って発生する廃棄物の処理・処分に現在の検討状況を紹介します。将来的な廃炉完了までを見据えた、廃棄物の処理・処分の在り方について考える機会を提供します。

福島第一原子力発電所の廃炉作業は、燃料デブリ取り出しに着手するところまで進展を見せている一方、今後も廃炉に伴って発生する廃棄物の保管・管理・処理・処分の方策の重要性が増している。特に、2019年に公開された「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止措置等に向けた中長期ロードマップ」（以下、中長期ロードマップ）では、廃棄物対策のマイルストーンとして、2021年度頃に「処理・処分の方策とその安全性に関する技術的な見通し」が掲げられており、今後福島第一原子力発電所の廃炉を進めていく上で、廃棄物の処理・処分がさらに重要となることについて言及されている。

そこで、本セッションでは、まず、福島第一原子力発電所の廃炉における廃棄物の現状と今後の見通し並びに、現在廃炉・汚染水対策事業で行われている廃棄物関連の取り組みを紹介する。これらに基づき、特に、今現在ではまだ不明確な部分も含めた福島第一原子力発電所の廃炉全体の工程を見据えた上で、不確実性を考慮しつつ、将来発生する廃棄物の発生時期、発生量、特性等を把握し、今後の福島第一原子力発電所の廃炉促進に向けたバックエンド側からの働きかけとして、何ができるのか、何をしなければならないのかを考えたい。そのため、廃炉完了までを見据え、克服しなければならない課題は何か、先行的に着手しておくべき事項は何かについて、パネルディスカッションにて議論し、抽出することを試行する。

2. 福島第一原子力発電所廃炉における廃棄物の現状と将来

福島第一原子力発電所の廃炉に伴い発生する固体廃棄物は、多種多様な性状を有する廃棄物が大量に存在することから、性状把握のための分析能力の向上に加えて、柔軟で合理的な廃棄物ストリーム（性状把握から処理・処分に至るまで一体となった対策の流れ）を開発している。具体的には、中長期ロードマップで取りまとめられた固体廃棄物についての基本的考え方に沿って、関係機関が各々の役割に基づき取り組みを進めており、固体廃棄物の性状把握から処理・処分に至るまで一体となった対策の専門的検討は、原子力損害

賠償・廃炉等支援機構（以下、NDF）を中心に進めている。中長期ロードマップでは 2021 年度頃までを目処に、固体廃棄物の「処理・処分方策とその安全性に関する技術的な見通し」を示すこととされている。

2-1. サイトにおける保管・管理状況

固体廃棄物の適切な保管・管理を行うため、東京電力は保管管理計画を公表し、今後 10 年程度の固体廃棄物の発生量の予測とそれに伴い必要となる廃棄物関連施設の設置等の方針を示している。

この計画に基づき、2028 年度内までに、水処理二次廃棄物及び再利用・再使用対象を除くすべての固体廃棄物の屋外での保管を解消するとしており、それに必要な設備の整備を進めている。

2-2. 技術的見通しのための具体的目標

固体廃棄物は取り組みの進捗に伴い全体像が明らかとなるため、2021 年度頃は引き続き必要な性状に関する情報を蓄積する段階にある。これを念頭に、技術的見通しのための具体的目標を整理すると、次のとおりとなる。

- 福島第一原子力発電所で発生する固体廃棄物の性状と物量及びそれらに適用可能な処理技術を踏まえた安全かつ合理的な処分概念を構築し、諸外国の例を踏まえつつ処分概念の特徴を反映した安全評価手法を整備すること
- 性状把握のための分析・評価手法が明確になっていること
- 水処理二次廃棄物等いくつかの重要な廃棄物ストリームに対して処分を念頭に置いた安定化、固定化のための実機導入が期待される処理技術が明確になっていること
- 上記をベースに、処分の技術的要件が決定される前に、安定化・固定化するための処理（先行的処理）の方法を合理的に選定する方法を構築すること
- 固体廃棄物のうち、処分を念頭に置いた処理技術が明確となっていないものについては、2021 年度頃までに開発した一連の手法を用いて処理・処分方策を設定できる見通しがあること
- 固体廃棄物の廃棄体化前までの保管・管理に係る課題と対策が明確になっていること

これらの達成を目指し、廃炉・汚染水対策事業により、国際廃炉研究開発機構（以下、IRID）を中心とした関係機関が工学規模試験装置等を用いた各種処理方法（高温・低温処理）の適用性の確認、廃棄物の性状と適用可能な処理技術を踏まえた処分概念の構築とその安全評価手法の整備等を行っている。

2-3. 主要な課題とそれを実現する技術戦略

性状把握を着実に推進するため、ハードウェアとしての施設の整備に加え、分析人材の育成及び分析技術力の継承・強化などが重要な課題である。当面は、放射性物質分析・研究施設の整備及び分析方法の簡易・迅速化の成果の反映を進めていくとともに、分析人材の育成を計画的に進めていくことが重要である。

高線量廃棄物の安全な保管管理では、水素発生対策が課題となることから、ベント付き容器や乾燥技術に関する概念の検討が進められている。

先行的処理方法としての候補技術を選定するため、合理的で実現可能性のある処理技術の抽出及び、これに対応した処分時の安全評価手法の開発が進められている。また、処分方策については、福島第一原子力発電所の廃棄物の物量が多く、多様な性状を有し、不確実性が大きいという特徴を考慮し、海外の事例を参考にさまざまな可能性が検討されている。

英国や米国では廃棄物ヒエラルキーの概念（①発生量抑制、②廃棄物量最小化、③再使用、④リサイクル、⑤処分、の順に望ましい方策）に基づき多くの施策が実施されている。2028 年度内の瓦礫（ガレキ）等の屋外一時保管解消に向けて福島第一原子力発電所でもこの概念に基づく対策が実践されつつある。合理的な廃棄物管理を進める上で、他国の先進事例をもとにさらなる可能性を検討していく。

今後も廃炉作業に伴い固体廃棄物は発生し続けるため、それらの安全な保管・管理が重要である。廃棄物性状に関する情報を蓄積し、安全かつ合理的な処理・処分方策の検討を継続していく。

3. 福島第一原子力発電所廃炉に関する研究開発動向

福島第一原子力発電所の廃炉を安全かつ着実に進めるためには、国内外の叡智を結集し、研究開発を行うことが重要である。研究開発を進める際には、一般に、基礎研究・応用研究・実用化といったフェーズを経ていくが、基礎研究として「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」を文部科学省が、応用研究として「廃炉・汚染水対策事業」を経済産業省資源エネルギー庁が進めている。本発表では「廃炉・汚染水対策事業」での取り組みを紹介する。経済産業省は平成 25 年度から基金を設置し、技術的難易度の高い研究開発を支援する「廃炉・汚染水対策事業」を公募による補助事業として実施しており、令和 2 年度 7 月時点では、17 件の補助事業が実施されている。そのうち廃棄物関連事業として実施されている補助事業は 4 件となっている。

3-1. 「廃炉・汚染水対策事業」における研究開発

「廃炉・汚染水対策事業」は、廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議より毎年公表される「廃炉研究開発計画」に基づき、内部調査等（原子炉格納容器内の状況把握技術の開発）、燃料デブリ取り出し等（燃料デブリの取り出し、収納・移送・保管の技術開発）、廃棄物処理等（福島第一原子力発電所の廃棄物の性状把握・保管管理・処理・処分の技術開発）の技術開発が実施されている。

廃炉・汚染水対策事業の研究開発内容は多岐にわたっており、各成果を福島第一原子力発電所の廃炉に適用するためには、補助事業間の連携や東京電力との連携が欠かせない。三菱総合研究所は、廃炉・汚染水対策事業開始以来、事務局を担当しており、原子力やプロジェクト管理等の専門家を結集し、各補助事業の進捗状況の管理や補助事業間の連携推進、関係者会合の設置による情報共有を行っている。

3-2. 福島第一原子力発電所の廃炉における固体廃棄物を対象とした研究開発動向

固体廃棄物の研究開発は、廃炉の全体工程や関連する研究開発の進捗と密接に関係するため、福島第一原子力発電所廃炉の研究開発全体の動きを押さえつつ研究開発を進めることが重要である。例えば、下記のような情報を定期的に整理・更新・共有している。

- 廃棄物管理の対象となる高線量廃棄物の性状と保管条件に関する内容（関連プロジェクト：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）
 - 臨界評価・計量管理・遮蔽設定に係る燃料デブリと放射性廃棄物の仕分けに関する内容（関連プロジェクト：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）
 - 燃料デブリ収納・保管に係る容器情報及び簡便な核種測定方法に関する内容（関連プロジェクト：燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発）
- 等

現時点において固体廃棄物事業は、国内外を含む 5 大学、49 社以上の関係者が参画しており、まさに国内外の叡智を結集しながら、多様な方々が研究開発に取り組んでいる。今後固体廃棄物の性状や物量が判明するにつれ、ますます多様な分野の専門家が必要となることから、これまで以上に、多様な研究機関や企業が固体廃棄物の処理・処分に関心を寄せ、共に検討を進めていくことが重要となる。

4. 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発

IRID は、NDF を中心に検討を進めている固体廃棄物の廃棄物ストリームをもとに、性状把握から処分に至るまでの研究開発の一部を実施している。ここでは、福島第一原子力発電所の廃棄物の特性に応じた廃棄物への適切な対応方策を見出す手段の構築を目指している。福島第一原子力発電所の廃炉工程への迅速な反映を意識しつつ、技術的観点から成立しえる保管、処理、処分の種々の技術オプションを提示し、廃炉工程に沿った廃棄物の各分類に資することを目標としている。以下に IRID が進める主な研究開発について記す。

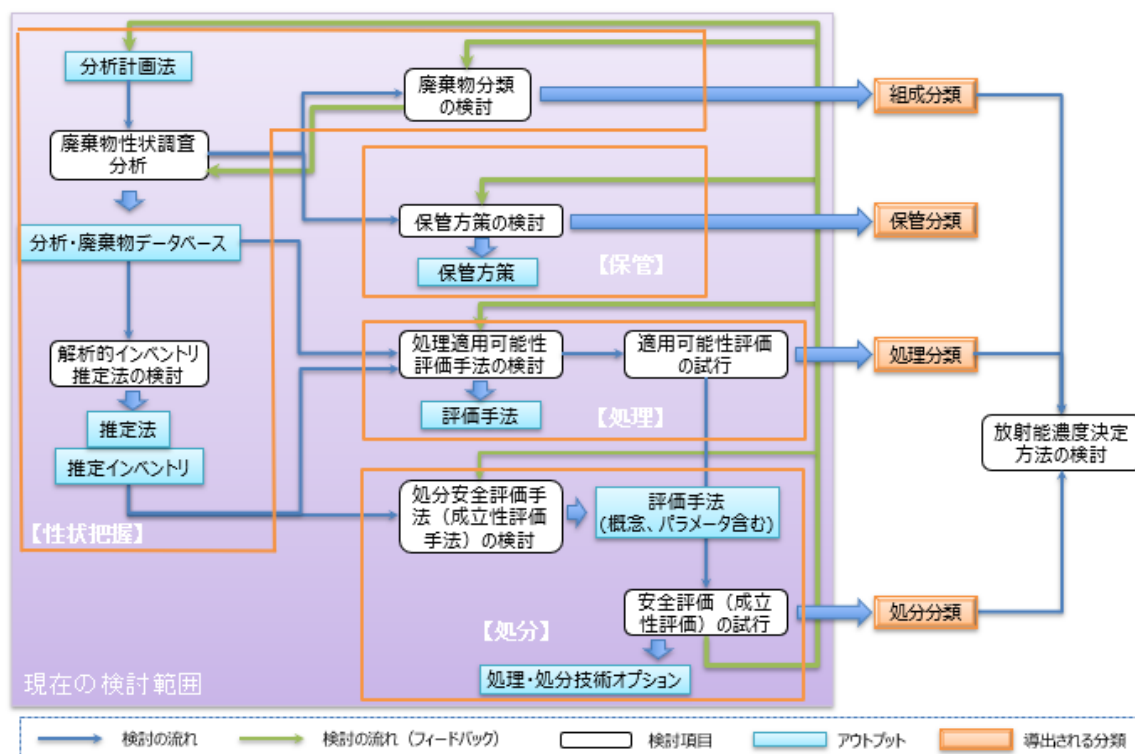


図1 IRID 実施の固体廃棄物研究開発における主な研究開発項目の関係性

図1に主要な研究開発項目を示す。大きく①性状把握、②保管、③処理、④処分、といった研究分野を実施している。これらの研究項目は相互に関係するので、連携して進めている。例えば、性状把握の研究開発として、保管、処理や処分の検討に必要な情報を提供するため、福島第一原子力発電所で採取した試料の分析とともに、試料採取や分析法、分析計画法などの開発を進めている。茨城地区の複数施設において放射性核種濃度を中心に分析を実施しており、得られたデータを公開している。すべての廃棄物を対象とした処分方策の検討のため、福島第一原子力発電所固有の入手が困難な廃棄物や定量が困難な長半減期核種を含め、インベントリ（含有放射エネルギー）を推定する手法を開発している。また、これまでに評価した放射エネルギーの不確実性を定量的に示す手法の研究開発を行っている。

処理については、瓦礫（ガレキ）からゼオライト・スラッジなどの水処理二次廃棄物含めさまざまな廃棄物の特性を有する福島第一原子力発電所の廃棄物について、適用可能な固化処理技術の抽出が求められている。例えばスラッジに対する低温固化処理技術（セメント固化、Alkali Activated Materials（以下、AAM）固化）の適用性検討など処理技術の現場適用に向けた研究開発を実施している。また、個別の研究課題としては、固型化物、特に AAM の長期的な安定性に関する研究などを実施し、処分方策との関係性から重要核種の閉じ込め性向上を目指している。

5. おわりに

本セッションでは、上述の3つの講演を受け、パネルディスカッションを実施する。今後福島第一原子力発電所の廃炉を進める上で検討すべき廃棄物対策の課題や、バックエンド側からの福島第一原子力発電所の廃炉推進に向けた働きかけの可能性について議論する。本取り組みにより、今後、バックエンドに携わる方々がこれまで以上に福島第一原子力発電所の廃炉に伴う廃棄物の課題に関心を寄せ、関与を深めていただけることを期待する。

*Kazuyuki Kato¹, Masaaki Matsumoto² and Hideki Yoshikawa³

¹ Nuclear Damage Compensation and Decommissioning Facilitation Corporation (NDF), ² Mitsubishi Research Institute, Inc. (MRI),

³ International Research Institute for Nuclear Decommissioning (IRID)