

福島第一原子力発電所廃炉における廃棄物の取組みと今後について

加藤和之*1

事故から 10 年を迎え、福島第一原子力発電所の廃炉作業に伴って発生する固体廃棄物の保管・管理、処理・処分方法の重要性が増している。中長期ロードマップにおける廃棄物対策のマイルストーンである「処理・処分方策とその安全性に関する技術的見通し」に向けた関係各機関の研究開発状況を紹介するとともに、技術的見通し以降の課題と技術戦略についても述べる。

Keywords: 廃棄物対策, 保管・管理, 処理・処分方策, 廃棄物ヒエラルキー

10 years after the accident, the importance of storage management and processing/disposal methods of solid waste generated along with the decommissioning activities of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station is further increased. This paper shows the current status of R&D activities of concerned organizations towards the technical prospects of a processing/disposal methods and their safety which is a milestone of the Mid-and-Long-term roadmap. Issues based on technical prospects and technical strategies to achieve them are also stated.

Keywords: waste management, storage management, processing/disposal methods, waste hierarchy

1 はじめに

事故から 10 年を迎え、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)[1]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。

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(中長期ロードマップにおいて、「事故後に発生したガレキ等には、敷地内での再利用等により廃棄物あるいは放射性廃棄物とされない可能性があるものもあるが、これらおよび事故以前から福島第一原子力発電所に保管されていた放射性固体廃棄物を含めて、「固体廃棄物」という.)とされている。)は、多種多様な性状を有する廃棄物が大量に存在する。そのため、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」(以下、技術的見通し)を技術戦略プランで示すこととされている。

Current status and future of radioactive waste on decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station by Kazuyuki KATO (kato-kazuyuki@ndf.go.jp)

*1 原子力損害賠償・廃炉等支援機構

Nuclear Damage Compensation and Decommissioning Facilitation Corporation

〒105-0001 東京都港区虎ノ門 2-2-5 共同通信会館 5 階

本稿は、日本原子力学会バックエンド部会第 37 回バックエンド夏期セミナーにおける講演内容に加筆したものである。

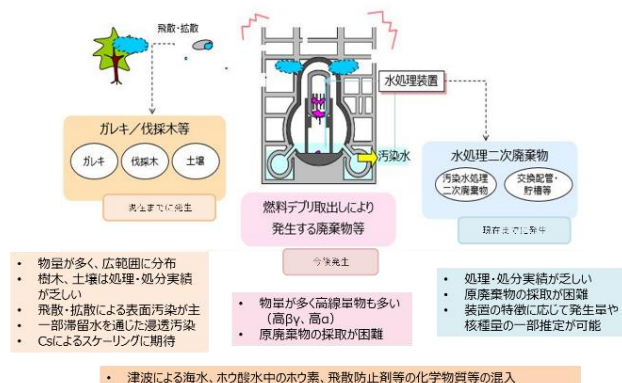
本稿では、福島第一原子力発電所の廃炉に伴って発生する廃棄物の処理・処分に係る関係機関の取組みと技術的見通しに向けた検討状況を紹介する。

2 固体廃棄物の特徴を踏まえた技術戦略

2.1 固体廃棄物の特徴と基本的考え方

事故の状況、事故以降の廃炉に向けた取組や今までの性状把握の結果から推定される固体廃棄物の特徴は、通常の原子炉施設の運転時に発生する放射性固体廃棄物と比べて、発生量が大量であるとともに、その中で比較的高線量の固体廃棄物が占める割合も多いと推定される。これらの固体廃棄物の主要な汚染源が燃料デブリであることから、固体廃棄物中の α 核種と β ・ γ 核種の放射能濃度は、使用済燃料の放射能濃度を超えることはない。したがって、これまでに国内外で蓄積された放射性廃棄物の処理・処分に係る経験や知見を活用しつつ、固体廃棄物の処理・処分の研究開発や検討を進めることが可能と考えられる。このことはオールジャパンの取組みが必須であるとも言える。

これまでの性状把握の結果から、固体廃棄物の核種組成および放射能濃度は、通常の原子炉施設の運転時に発生する放射性固体廃棄物と比べて多様であると推定される(Fig.1)。この検証のため、固体廃棄物の性状把握をさらに進める必要がある。



最終的な処分の検討に不可欠な固体廃棄物の全体像（発生物量および性状）は、今後の燃料デブリの取り出し作業、汚染水対策、その他の廃炉作業の進捗状況および計画の明確化に伴って順次明らかになっていく。

上記の特徴を踏まえた廃棄物対策の基本的考え方は以下の通りである。

- ① 閉じ込めと隔離の徹底
- ② 固体廃棄物量の低減
- ③ 性状把握の推進
- ④ 保管・管理の徹底
- ⑤ 処分を念頭に置いた先行的処理方法の選定手法の構築
- ⑥ 固体廃棄物の管理全体を俯瞰した効率的な研究開発の推進
- ⑦ 継続的な運用体制の構築
- ⑧ 作業員の被ばく低減対策等

2.2 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、水処理二次廃棄物および再利用・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。現状の保管・管理状況をTable 1に示す。

2.3 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[2]。

- 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およ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

Table 1 Status of solid waste storage

(a) ガレキ類・伐採木・使用済保護衣等の管理状況（2021.6.30時点）

保管方法	保管量 (m ³) / 保管容量 (m ³) (割合)
屋外集積 (表面積量率 ≤ 0.1 mSv/h)	226,400 / 270,200 (84%)
シート養生 (表面積量率 0.1 ~ 1 mSv/h)	40,900 / 71,000 (58%)
覆土式一時保管施設、容器 (表面積量率 1 ~ 30 mSv/h)	17,900 / 24,600 (73%)
容器* (固体廃棄物貯蔵庫内)	25,600 / 39,600 (65%)
合計	310,700 / 405,400 (77%)

伐採木

分類	保管方法	保管量 (m ³) / 保管容量 (m ³) (割合)
幹・根・枝・葉	屋外集積	99,500 / 134,000 (74%)
枝・葉	伐採木一時保管槽	37,300 / 41,600 (90%)
合計	----	136,800 / 175,600 (78%)

使用済保護衣

保管方法	保管量 (m ³) / 保管容量 (m ³) (割合)
容器	33,700 / 68,300 (49%)

*水処理二次廃棄物（小型フィルタ等）を含む

なお保管量は端数処理で100m³未満を四捨五入しているため、合計と内訳が整合しない場合がある。

(b) 水処理二次廃棄物の管理状況（2021.7.1時点）

吸着塔類

保管場所	保管量	保管容量 (割合)
セシウム吸着装置使用済ベッセル	779 本	5,158 / 6,372 (81%)
第二セシウム吸着装置使用済ベッセル	244 本	
第三セシウム吸着装置使用済ベッセル	9 本	
多核種除去設備等保管容器	既設 1,923 基 増設 1,888 基	
高性能多核種除去設備使用済ベッセル	高性能 83 本	
多核種除去設備処理カラム	既設 17 塔	
モバール式処理装置等使用済ベッセル及びフィルタ類	215 本	

廃スラッジ

保管場所	保管量 (m ³) / 保管容量 (m ³) (割合)
廃スラッジ貯蔵施設	454 / 700 (65%)

濃縮廃液

保管方法	保管量 (m ³) / 保管容量 (m ³) (割合)
濃縮廃液タンク	9,380 / 10,300 (91%)

- 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

これらの目標の達成を目指し、NDFでは研究開発計画を策定し、技術戦略プランに示している。この計画をもとに廃炉・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構築とその安全評価手法の整備等を行っている。関係機関の役割分担をFig.2に示す。

2.4 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、分析方法の簡易・迅速化の検討を進めている。さらに、分析人材の育成およ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・研究施設の整備および分析方法の簡易・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。また、現状では分析できていない廃棄物が多数存在するが、解析的な手法を組み合わせることでそれらの性状を推定することにより、処理・処分等の検討を並行して進めている。

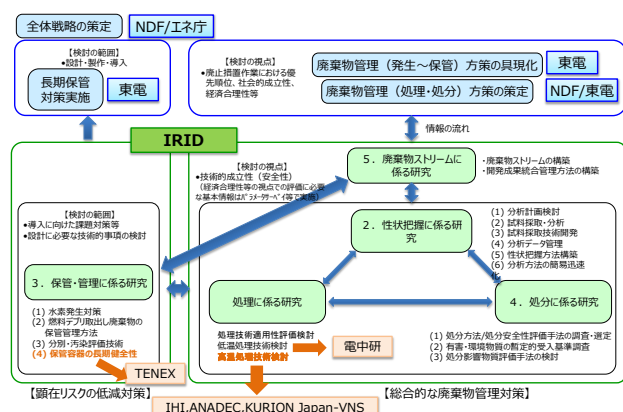


Fig.2 Coordination and Cooperation among Relevant Organizations

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および、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大きく、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。

3. 技術的見通しに向けた技術開発の状況

中長期ロードマップでは、技術戦略プランにおいて、2021 年度頃までを目処に技術的見通しを提示するとし、具体的には、「固体廃棄物の物量低減に向けた進め方を提示」、「性状把握を効率的に実施するための分析・評価手法を開発」、「性状把握等、必要な情報が判明した際に、固体廃棄物の安全な処理・処分方法を合理的に選定するための手法を構築」するとしている。技術開発状況の詳細は技術戦略プラン 2021[3]の本文および添付資料に記載しているので確認されたい。

また、廃炉・汚染水対策事業の成果は、事務局である三菱総合研究所の HP (<https://dccc-program.jp/>) にも掲載されている。

3.1 物量低減に向けた進め方

固体廃棄物が大量に存在すると、分別や分析に時間を要するだけでなく、保管容器数や保管施設規模も大きくなり、廃棄物管理の負荷が増大するため、可能な限り物量を低減することは非常に重要である。

福島第一原子力発電所においても廃棄物ヒエラルキーの考え方を実践している諸外国の例を参考に、固体廃棄物管理全体の負荷低減のための物量低減の取組を廃炉活動全体に浸透させることが重要である。

具体的には、廃棄物対策として取るべき方策は、①廃棄物発生抑制、②廃棄物量最小化、③再使用、④リサイクル、⑤処分、の優先順位とする。①の方策から優先的に可能な

限り取り組み、⑤の処分は最後の手段とする考え方に沿った廃棄物管理を行うことによって、保管や処理、処分の対象となる廃棄物量の低減を図ることが重要である。

発生抑制の観点では、設計や工事計画において使用物質量を低減するよう検討すること等が重要である。また処理・処分に影響を与える物質を極力持ち込まないことも重要である。物量最小化の観点では、分別をしっかりと行い、汚染を防止することや製造物の維持管理・長寿命化、廃棄物の減容等を考慮することが重要である。再使用の観点では、汚染チェック、除染、修理、部品交換等を実施して再使用することが必要であり、それらの容易性を設計段階から考慮することが有用である。また、別の用途への使用の考慮も有益である。リサイクルでは、汚染された有価物は汚染状況を考慮し、リサイクル可能なものは分別・処理し、新たな素材・製品として利用することの考慮が重要である。

東京電力においても、この考え方に対応する取組が Fig.3 に示すように実行されている。このうち、今後の新たに実施する対策としては、屋外集積されているガレキ類（表面線量率 $\leq 0.1\text{mSv/h}$ ）のうち表面線量率が極めて低い金属・コンクリートやフランジ型タンクの解体タンク片等の再使用・リサイクルが検討されており、その一環として金属のリサイクルに向けた除染方法の検討が進められている。安全かつ合理的な廃棄物管理を進める上で、他国の先行事例を参考に福島第一原子力発電所の固体廃棄物の特徴を踏まえて更なる可能性を検討していくことが重要である。

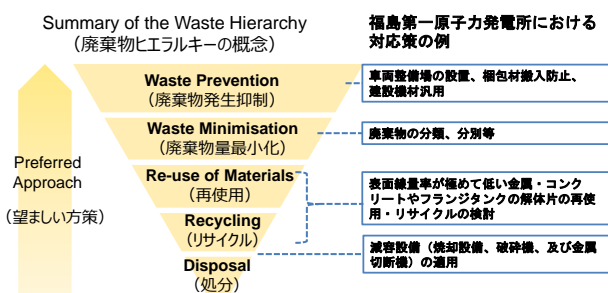


Fig.3 Concept of waste hierarchy and countermeasures at the Fukushima Daiichi NPS

3.2 性状把握を効率的に実施するための分析・評価手法の開発

福島第一原子力発電所の固体廃棄物は、核種組成や放射能濃度が多様かつ物量が多い特徴を持つことから、性状把握を効率的に進めることが必要である。そのため、それに必要となる分析・評価手法を開発することを目指し、データを簡易・迅速に取得するための分析手法を開発するとともに、少ない分析データで性状把握を行うための手法として、インベントリを分析データと汚染メカニズムを組み合わせる効率的に把握する手法に、統計論的方法により評価値の不確かさを定量化する（変動する分布・幅を明らかにする）方法を組み合わせた手法の構築を、廃炉・汚染水対策事業等において行った。

データを簡易・迅速に取得するための分析手法として、分析試料の前処理の自動化、トリプル四重極誘導結合プラ

ブマ質量分析法(ICP-MS/MS)を用いた方法(従来の放射能測定による手法に比べ簡易となる手法)の開発などを行った。この成果は、現在整備中の放射性物質分析・研究施設第1棟に反映される予定である。

統計論的方法を用いた性状把握手法としては、分析データだけを用いるのではなく移行モデルと組み合わせて性状を効率的に把握する手法に、統計論的方法を適用し、評価値の不確かさを定量化する手法を構築した。また、中長期の分析計画を策定するため、Data Quality Objectives(以下、「DQO」という。)プロセスと統計論的方法を組み合わせた手法を検討・試行し、その有効性を確認した。さらに、分析データに関わる情報(試料情報(種類、採取場所、日時等)、放射能濃度等の分析値など)を収納するデータベースFRANDLi(Fukushima Daiichi Radwaste Analytical Data Library)を整備し、データの継続的な蓄積を可能とした。

以上のとおり、性状把握を効率的に実施するための分析・評価手法が開発され、今後、固体廃棄物の性状把握に適用する。

3.3 処理・処分方法を合理的に選定するための手法の構築

処理・処分方法の合理的な選定では、廃棄物の性状を踏まえ、将来、埋設された固体廃棄物が人と環境に与えるリスクを十分に小さくできるよう、適切な処理方法(廃棄体)と処分方法(処分施設)の組み合わせを明らかにする。

通常炉の固体廃棄物の場合、その性状についてはこれまでの知見(データ)あるいは解析的手法によりある程度の範囲で推測が可能である。それらに基づいて、適切な処理方法(廃棄体)と処分方法(処分施設)を組み合わせることによりリスクを人や周辺環境に有意な影響を与えない程度に十分小さくすることができる。

福島第一原子力発電所の固体廃棄物の場合でも、熔融した核燃料が主要な汚染源であり、放射能濃度は使用済燃料のそれを超えることはないため、国内外で蓄積された放射性廃棄物の処理・処分に係る経験や知見を活用しつつ、対象となる固体廃棄物の全体像(廃棄物毎の核種組成や放射能濃度等の性状、廃棄物量)を把握し、適切な処理方法(廃棄体)と処分方法(処分施設)の組み合わせを選定することで、リスクを十分小さくすることは可能である。

しかしながら、これから発生するものを含む処分対象の固体廃棄物の全体像は、今後の燃料デブリの取り出し作業、汚染水対策、その他の廃炉作業の進捗状況および計画の明確化に伴って順次明らかになっていく。そのため、性状が明らかになった廃棄物から順次、処理方法、処分方法および安全評価の検討を繰り返し実施し、より適切な処理方法と処分方法になるよう検討し、多様な固体廃棄物全体として安全かつ合理的な処理・処分方策の検討のための知見を蓄積していく必要がある。また流動性が高いスラリー状廃棄物などについて、より安全かつ極端に保守的でない保管・管理を行うため、処分方法(処分施設)が定まる前に安定化、固定化のための処理(先行的処理)を施すことが必要となる場合がある。先行的処理が施された廃棄体仕様が、その後定まる処分方法(処分施設)から要求される廃棄体の仕様に適合しないと再度の処理等が必要となることか

ら、その可能性はできるだけ低くするため、処分を念頭において先行的処理方法の選定手法が必要となる。

適切な処理方法と処分方法の組み合わせ、あるいは先行的処理方法の検討は、具体的には性状がある程度明らかになった廃棄物について

- 廃棄物の特徴に適した実現性のある複数の処分方法を設定(施設の設置場所、規模等を特定せず)
- 並行して、検討対象とする廃棄物の特徴に適した複数の処理方法を設定し、それぞれの処理を施した廃棄体の仕様を設定
- 設定した複数の処分方法に対し、処理後の廃棄体の仕様にに基づき安全性の評価を行い、人と環境に与えるリスクが十分に小さくできることを確認するとともに、評価結果を基に、さらに効果的な処理・処分方法の検討を行う。

という一連の検討ステップを繰り返し行い、処理後の廃棄体の仕様や処分方法の設定の絞り込みを行う。並行して性状把握を進め固体廃棄物の特性の全体像を明らかにすることにより、処理・処分の適切な組み合わせを明らかにしていく。先行的処理が必要となった場合は、その時点での検討状況と残された課題等を勘案して候補処理方法を選定する。

なお、処分前管理を行う期間を考慮し、その間のリスク低減にも十分配慮し、必要な実現性のある技術を検討することも重要である。また保管・管理は、処理・処分の進捗に対応できる柔軟性を持たせるとともに核種の減衰による作業員の被ばく低減をもたらし重要な方策であることから、本検討の一環として検討することが重要である。

この一連の検討は Fig.4 に示すフローとなる。この検討(廃棄物に適した処理技術や廃棄体の仕様、安全かつ合理的で実現性のある処分方法の設定、処分安全評価)の実施に必要な技術的な知見や評価手法は、廃炉・汚染水対策事業における研究開発(水処理二次廃棄物を中心に実施した工学規模試験装置等を用いた各種処理方法の適用性の確認、廃棄物の性状と適用可能な処理技術を踏まえた安全かつ合理的で実現性のある処分方法の設定と安全評価手法の整備等)により整備され、処理・処分方法を合理的に選定するための一連の手法として構築した。

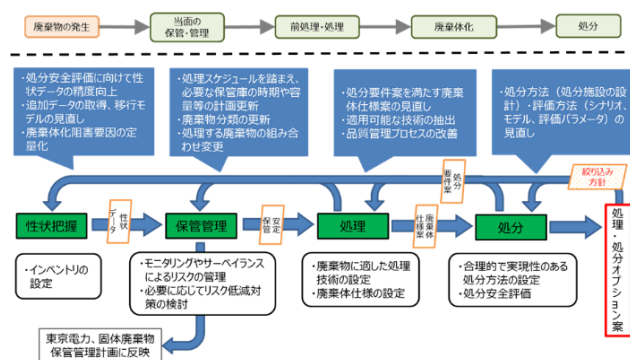


Fig.4 Development of methods to rationally select safe processing/disposal methods

4. 技術的見通しを踏まえた今後の課題と技術戦略

4.1 技術的見通しを踏まえた課題

物量低減は、今後の廃炉作業の進展に応じた固体廃棄物の管理を安全かつ合理的に進める上で、極めて重要な対策であり、まずはこれまで実行している対策を着実に継続することが必要である。固体廃棄物は今後も発生し続けることから、より物量を低減するために他国の先進事例を参考に、更なる可能性の検討を継続していくことが重要であり、期待される効果と実現可能性を考慮して、具体化していくことが望ましい。

効率的な性状把握のための分析・評価手法の開発については、これまで行われた研究開発の成果により確立された効率的な分析手法により、分析データを蓄積しながら、評価手法について不断の改善を行い、処理・処分を含む固体廃棄物対策への反映を継続していく必要がある。その際には、ガレキ類等の低線量廃棄物と、水処理二次廃棄物や燃料デブリ取り出しに伴い発生する廃棄物等の高線量廃棄物について、それぞれの特徴に応じた取組を進める必要がある。

安全な処理・処分方法を合理的に選定するための手法構築については、Fig.4の手法を用い、中長期ロードマップで示されている第3期における廃棄物の仕様や製造方法の確定に向けた検討を進める必要がある。具体的には、本手法により、性状把握の進展に応じた安全確保を前提として廃棄物ストリーム毎の処理・処分方策の最適化・合理化の試行例を積み重ね、廃棄物ストリーム毎の最適化の知見を幅広く得るとともに、すべての廃棄物ストリームを束ねた全体像の最適化・合理化に向けた方策の具体化に向けた検討を進め、その考え方を明らかにしていく。その際には、最新知見を反映することおよび利用可能な最良の技術 (Best Available Techniques) の概念を適用することにより、利用実績や経済的実現性をも考慮して、最適な方策を柔軟に検討することが重要である。検討が進み、廃棄物の全体像に対する処理・処分方策を固めていくにあたっては、地元・社会と問題意識を共通理解にするなど、最適化に向けた検討の過程を共有することが重要である。

4.2 分野毎の技術戦略

4.2.1 性状把握

ガレキ類等の低線量廃棄物については、分析作業自体の困難性は高くないものの、物量が膨大であることから全数測定の実施には膨大な時間を要し、前述の物量低減とそれに応じた効率的な分析戦略が必要となる。そのためには必要な精度を効率的に担保するアプローチが重要となり、その実現に向けて簡易・迅速化により効率的な分析を進めるとともに、DQO プロセスと統計論的方法を組み合わせたインベントリ評価方法の確立を目指すことが必要である。

高線量廃棄物については、試料採取や分析自体が困難であり、取得される分析データの数が限定されることから、移行モデルに基づくインベントリ評価がより重要なものとなる。現在実施中のセシウム吸着塔からの試料採取・分析に向けた取組を継続するなど、実試料のデータ取得に取り

組むとともに、DQO プロセスと統計論的方法を組み合わせたインベントリ評価手法の適用や採取すべきデータの優先度を検討し、移行モデルの精度向上を目指すことが必要である。

性状把握については、試料採取が容易なものを分析する段階から、廃棄物対策上重要な試料を採取・分析する段階になってきている。今後は対象とする固体廃棄物とその優先度、分析の定量目標等を定める中長期的な分析戦略を策定し、それに基づいて分析・評価を進めることが重要となる。統計論的方法を利用した分析計画法による中長期分析計画策定、分析・データ取得、取得したデータの処理・処分方策検討への反映とその効果の評価、評価結果に基づく次期中長期分析計画の策定のフローを確立するため、その試行実績を蓄積し、妥当性を確認することが有用である。

分析施設については、JAEA 茨城地区の分析施設等の既存の分析施設に加え、現在整備中の放射性物質分析・研究施設および東京電力による分析施設の設置が計画されており、さまざまな固体廃棄物の性状把握を平行して実施することが可能となる。対象とする固体廃棄物によって求められる分析の対象核種や分析項目、精度、分析試料数等が異なるため、施設の特徴に応じた適切な役割分担に基づく体制の構築が必要である。

4.2.2 保管・管理

すべての廃棄物の保管・管理については、リスクに応じて保管・管理状況のモニタリングやサーベイランスを続けながら必要な情報を得つつ、性状把握に資する多様な情報という観点からも測定項目・測定時期等を見直していくことが重要である。

燃料デブリ取り出しに伴って発生する廃棄物等の高線量廃棄物について、2021 年度までの研究開発の成果によって燃料デブリの取り出し規模の更なる拡大を想定した課題と対策は明確にしたところであり、今後は燃料デブリ取り出し工法の検討に応じた見直しが必要である。なお、それ以前に行われる燃料デブリ取り出し作業（試験的取り出し、段階的な取り出し規模の拡大）において発生が想定される固体廃棄物の保管・管理についても確実に対策を講じる必要がある。

また、敷地内には事故前から保管されている固体廃棄物も存在し、燃料デブリ取り出し作業終了後には大量の解体廃棄物の発生も予測されることから、固体廃棄物の保管容量を増大する対応のみでは何れ限界となるため、固体廃棄物発生量を可能な限り低減する取組を進めることとする。

物量低減の更なる可能性の検討として、表面線量率が極めて低い金属の再使用・リサイクルの実現のため、金属のリサイクルに向けた除染方法として化学除染（りん酸除染法）、物理（機械）除染（スチールブラスト法）、熔融除染（熔融スラグ除染法）について検討が進められている。

熔融スラグ除染法による金属リサイクルは、既に欧米諸国で多くの実績があり、有望な候補技術と考えられることから、欧米諸国と福島第一原子力発電所で条件が異なる部分（対象核種等）に着目し、その適用性の評価に取り組むことが重要である。

4.2.3 処理・処分

多様な廃棄物ストリームが存在する固体廃棄物全体として安全かつ合理的となる処理・処分方策の構築を目指し、個別ストリーム毎の最適化の知見を幅広く得る。そのため、**Fig.4**の一連の検討に必要な処理技術、処分技術の研究開発に継続して取り組む必要がある。

処理技術に関しては、これまで研究開発を進めてきた低温・高温処理技術について、未実施となっている課題に取り組む必要がある。これまでに低温・高温処理技術の適用について検討されていない廃棄物ストリームについて、必要に応じて評価を行うとともに、作製される固化体の浸出性能等の評価を行う。低温処理技術については、固化可能性検査手法や固化体の変質に関する検討を行う。高温処理技術については、固化処理プロセスだけでなく供給系や排気系を含めた処理システム全体としての成立性が課題であり、処理の開始時期に応じた適切な時期に検討を行う必要がある。また、技術オプション拡大のため、蒸気改質等による中間処理を施した上での低温固化の可能性について検討することが重要である。

処分技術に関しては、信頼性のある安全評価技術を構築するため、パラメータの線量に対する感度構造の理解・処分施設の長期変遷挙動等に基づき、福島第一原子力発電所の固体廃棄物特有の重要課題を探索・抽出し、優先度を検討して、研究計画に反映する。また、国内外の事例を参考に、処分概念案と処分対象廃棄物の組み合わせからなる処分オプション案の創出・改良を行う。さらに、その信頼性の向上を図りつつ、安全評価技術を適用して評価を試行する廃棄物ストリームの対象を広げ、福島第一原子力発電所の固体廃棄物全体を俯瞰した処分オプション群の検討を行い、性状把握に必要な精度や廃棄体性能の目標の提示等の処分以外の分野と連携して廃棄物管理全体での適切な対処方策検討に寄与する。

以上の技術戦略をまとめた今後 10 年程度の研究開発計画案を **Fig.5** に示す。

5. おわりに

2021 年度も汚染水対策補助事業による検討が進められているが、中長期ロードマップのマイルストーンである技術的見通しはほぼ得られたと考える。福島第一原子力発電所の固体廃棄物対策を検討する上で、極めて難易度の高い技術開発は不要であるものの、多種多様かつ大量であるため、固体廃棄物全体の処理・処分方策を具体化するには時間を要する。中長期ロードマップにおいて、第 3 期には、固体廃棄物の性状分析等を進め、廃棄体の仕様や製造方法を確定するとされているため、次期の研究開発においてはそれに向けた計画的な取組として、固体廃棄物の管理全体での適切な対処方策の提示に向けた検討を効率的に進める必要がある。

参考文献

[1] 廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議：東京電力ホールデ

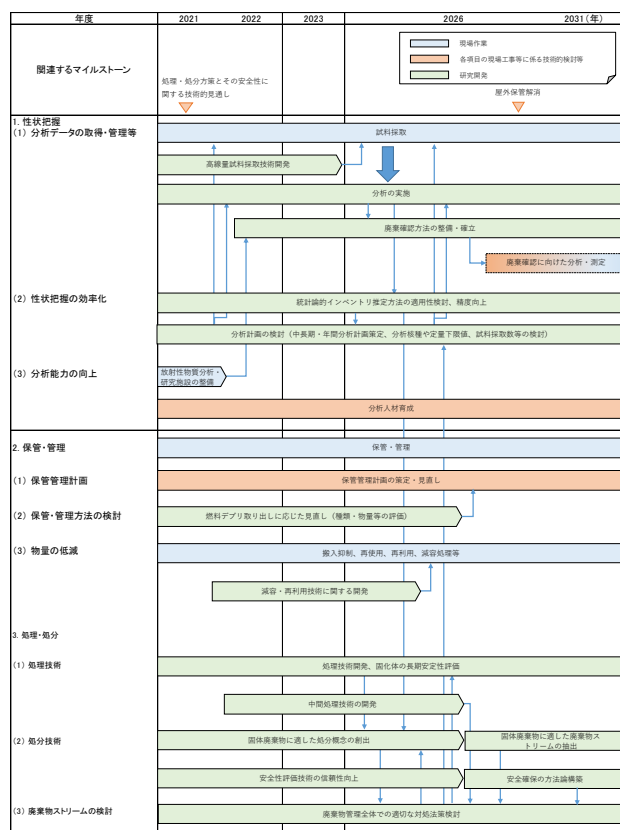


Fig.5 Future R&D Plan for next 10 years

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（2017）。

<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/20191227.pdf> (accessed 2021-11-03).

[2] 原子力損害賠償・廃炉等支援機構：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 2018 (2018)。

<https://www.dd.ndf.go.jp/strategic-plan/index2018.html> (accessed 2021-11-03)。

[3] 原子力損害賠償・廃炉等支援機構：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 2021 (2021)。

<https://www.dd.ndf.go.jp/strategic-plan/index2021.html> (accessed 2021-11-03)。