

[寄稿]

日本原子力研究開発機構のバックエンド対策に関する IAEA ARTEMIS レビューの結果について

目黒 義弘 (国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
バックエンド総括本部 バックエンド推進部長)



1. はじめに～ARTEMIS レビューに至った背景～

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)は、前身の日本原子力研究所および核燃料サイクル開発機構(旧 動力炉・核燃料開発事業団)の期間を含めて65年以上にわたり日本の原子力に係る研究開発を担ってきており、燃料加工施設、試験研究炉、再処理施設、廃棄物管理施設、燃料試験施設など、様々な研究施設を保有している。しかし、これらの施設の多くは老朽化が進み、近年、高経年化への対応が大きな課題の1つとなっている。

原子力機構は、保有する原子力施設の安全強化と放射性廃棄物の処理や原子力施設の廃止措置などのバックエンド対策を着実に実施することによって研究開発機能を維持・発展させるため、①施設の集約化・重点化、②施設の安全確保、③バックエンド対策を三位一体で進めることとし、2017年4月に2028年度までのこれらの計画を具体化した「施設中長期計画」※⁽¹⁾を策定した。このうちバックエンド対策については、東海再処理施設(TRP)の廃止措置に約70年を要するなど、放射性廃棄物(以下、廃棄物)の処理・処分を含めた長期にわたる見通しと方針が必要であること、および「核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律」の改正に伴い原子力施設の廃止措置実施方針を作成・公表することとなったことから、原子力機構

全体のバックエンド対策の長期にわたる見通しと方針を「バックエンドロードマップ」⁽²⁾として取りまとめ、2018年12月に公開した。

「バックエンドロードマップ」では、バックエンド対策の推進に向けた廃止措置、廃棄物処理・処分、核燃料物質の管理についての方針を記載するとともに、「バックエンドロードマップ」で対象とした70年間のバックエンド対策に要する費用の見積もり結果、バックエンド対策の効率化・最適化に向けた取り組みの方針などを記載した。また、今回の費用見積もりの対象とした原子力施設は、試験研究炉のほか、核燃料使用施設、再処理施設、加工施設および廃棄物管理施設と多様であり、それぞれの施設解体実績が十分でないことなど、不確定要素があることから、「バックエンドロードマップ」では、見積もり額について、海外機関を含む外部組織のレビューなども踏まえつつ、継続した見直しを行うことを明記している。

そこで、バックエンド対策費用の見積もり額のみならず、原子力機構のバックエンド対策全般について、外部組織のレビューを受けることを決定し、外部組織のレビュープログラムとして、国際原子力機関(IAEA)で実施している専門家レビュー「ARTEMIS」(IAEA Integrated Review Service for Radioactive Waste and Spent Nuclear Fuel Management, Decommissioning and Remediation Programmes)(以下、ARTEMIS レビュー)を選択した。

※ 2035年度までの計画に改訂し、2022年4月1日に公開した。

2. ARTEMIS レビューについて

(1) レビューの目的と範囲

ARTEMIS レビューは 2014 年に開始された、放射性廃棄物および使用済み燃料の管理、廃止措置および環境修復プログラムに関する国際的な専門家による総合的なレビューサービスである。IAEA 加盟国からの要請に基づき、レビューの対象範囲や内容を調整した上で、国際的な専門家を招集してレビューチームを作り、ピアレビューを実施する。

本レビューの目的は、レビュー結果をバックエンドに係る加盟国やその原子力組織のパフォーマンスの向上、安全性の向上、費用の削減、透明性および利害関係者との信頼の向上などにつながることである。

レビューの範囲は、要請する組織や対象施設のニーズによって異なるが、廃止措置や廃棄物などに関する国の枠組み、規制システムおよび国家プログラムなどについて実施してきている。本レビューには、技術、安全、またはその両方に重点を置いた、レビュー対象のプログラムおよびプロジェクト活動の実施に関する詳

細な評価と技術的助言が含まれている。レビューチームは、ARTEMIS レビューのガイドラインに従って、IAEA の安全基準と技術刊行物、およびこの分野での実証済みの国際的な慣行と経験に基づいて結論を出す。

(2) これまでの実績

これまでの ARTEMIS レビューは、主に欧州原子力共同体 (EURATOM) の 2011 年 7 月 19 日付指令 Council Directive (2011/70/EURATOM) に基づき、EURATOM 加盟国からの要請で実施されているが、特定の施設などを対象としたレビューはまだ多くない。2022 年 3 月末時点で、11 カ国が EURATOM 指令に関してレビューを受けており、特定の施設の廃止措置などに関するレビューは今回の原子力機構を含め、3 カ国 4 回にとどまっている。

(3) レビューを受けるための流れ

ARTEMIS レビューを受けるための流れを図 1 に簡単にまとめた (詳しくは <https://www.iaea.org/services/review-missions> 参照)。

まず、レビューを受ける希望がある旨を

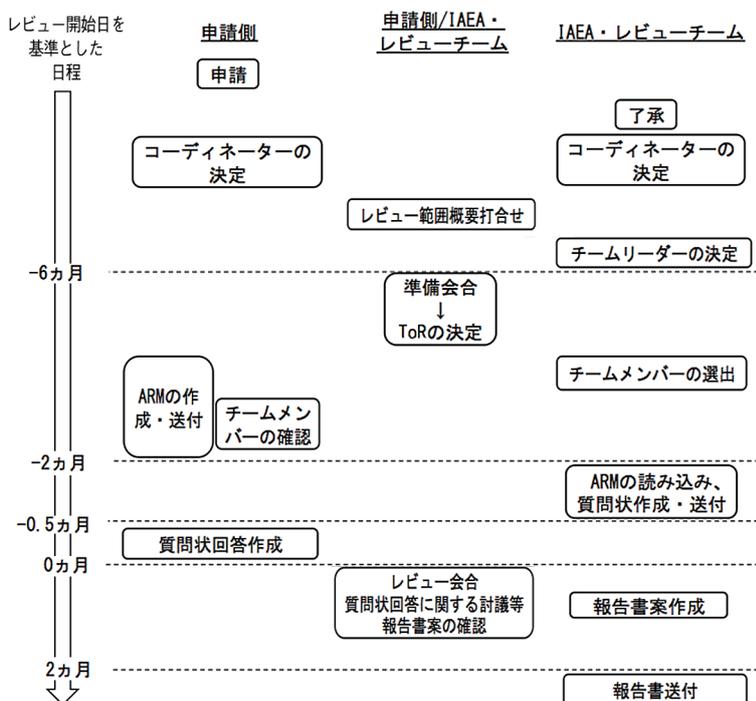


図 1 レビューの流れ

IAEAに申請する。IAEAは申請を了承した後、正/副のコーディネーターを指定する。申請側のコーディネーターは、彼らとレビューの範囲について事前協議を実施する。事前協議の結果に基づき、IAEAがレビューチームのリーダーを指定する。次いで、レビューチームリーダー、コーディネーター、申請側の関係者が集まって、準備会合を実施し、レビューの仕様書（ToR：Terms of Reference）を確定させる。次に、ToRに基づいてIAEA側がレビューチームメンバーを選定し、申請側はレビュー範囲に関する情報をまとめた配布資料（ARM：Advance Reference Material）を作成し、IAEAに送付する。レビューチームメンバーはARMの各担当分を確認し、質問状を作成して申請側に送付する。申請側は質問状への回答を作成する。レビューは申請側の施設においてレビュー対象の研究施設の見学も含めて実施され、質問状への回答の説明を中心に質疑、レビューを行う。引き続きレビューチームが作成したレビュー結果（申請側への提言、助言、良好事例をまとめたもの、エグゼクティブ・サマリー、報告書）案について検討し、事実確認をもって終了とする。最終報告書は、後日IAEAから申請側に送付される。

基本的な日程では、レビューの約6カ月前に準備会合を実施し、レビューの2カ月前にまでにARMを送付、レビューの約2週間前に質問状が届き、レビューまでにその回答を準備する流れとなっている。レビューの実施期間はレビュー範囲によるが、10日から2週間程度である。最終報告書はレビュー終了後2カ月以内に提出される。場合によっては、IAEAからフォローアップミッションが提案されることがある。

3. 原子力機構に対するレビュー

(1) レビューの経過

表1に、原子力機構に対する今回のレビュー

に関する申請から報告書の受理までの実際の経過を示す。申請は文部科学省が行った。今回のレビューミッションは、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の影響により、準備や会合が図1に示した流れ通りには進まなかったとともに、通常は施設見学を含めた申請側の施設で行うレビュー会合も、2回の延期を経て最終的にWeb会議で実施した。施設見学は実施できなかった。

表1 原子力機構のARTEMISレビューの実際の流れ

年月	項目
2019年4月	文部科学省よりIAEAに要請文書を発出
6月	IAEAからの受入れ返信文書を受領、コーディネーター&チームリーダーの決定
9月	準備会合の開催、ToRの決定
2020年1月	ARMをIAEAに送付
6月	質問状の受理
2021年4月	レビュー会合
6月	報告書受理

(2) レビュー範囲（ToRの概要）

準備会合を2019年9月に開催し、ToRを検討、決定した。準備会合では、レビュー会合のスケジュール、チームメンバーを選定するためのレビュー項目、レビューを実施するため事前に準備、配布するARMの項目を決定した。ARMの提出が2020年1月末、質問状の送付が2020年3月、レビュー会合が2020年5月18日～28日の11日間に設定された。レビュー期間には、レビューチームによる報告書の作成や施設見学を予定した。

ToRでは、表2に示すように、本レビューの主要テーマを3つ定め、評価項目を7つ設定した。各評価項目にはそれらを主に担当する専門家が設定された。それぞれの項目を担当するために選任された専門家およびチームリーダーを表3に示す。また、ARMの項目として、「バックエンドロードマップ」の背景情報を含め、「国の枠組み」から「バックエンド対策の合理化、最適化」までの5つを設定した。

表2 原子力機構の ARTEMIS レビューの主要テーマ，評価項目，ARM 項目

主要テーマ	評価項目	ARM 項目
<ul style="list-style-type: none"> ●施設の解体，関連する放射性廃棄物の処理と処分，および核燃料物質の取り扱いに対する時間枠と一般的なアプローチを含む，全体的な廃止措置プログラムの適切性。 ●施設の解体，および関連する放射性廃棄物の処理と処分のための廃止措置費用の見積もりの方法論，およびその正確性 ●原子力機構とその請負業者との関係の管理や，利用可能な人的，技術的，財政的資源の最適な活用を含む，現在の優れた国際慣行に沿った廃止措置プログラムの効果的な実施。 	<ol style="list-style-type: none"> ① 廃止措置プログラム全体の最適化 ② 放射性廃棄物管理 ③ 核燃料物質管理 ④ 廃止措置費用評価 ⑤ 放射性廃棄物管理費用評価 ⑥ プロジェクトマネジメントと契約管理 ⑦ 廃止措置に関する技術 	<ul style="list-style-type: none"> ●国の枠組み ●原子力機構の概要 ●バックエンドロードマップ ●施設解体，放射性廃棄物処理・処分のための費用の見積もり方法 ●バックエンド対策の合理化，最適化

表3 レビューチームのチームリーダーおよびメンバー

Role/Expertise Domain	Name of Expert	Member State
<u>Team Leader</u>	Francesco Troiani	Italy
Optimization of the Overall Decommissioning Programme	Roger Cowton	United Kingdom
Waste Management	Peter Ormai	Hungary
Nuclear Fuel Material Management	Robert Walthery	Belgium
Decommissioning Cost Assessment	Simon Carroll	Sweden
Waste Management Cost Estimation	Alastair Laird	United Kingdom
Project and Contract Management	Christine Marie Gelles	United States
Technology for Decommissioning	Jean-Michel Chabeuf	France

(3) レビュー結果

レビュー会合に先立って原子力機構が作成した ARM は約 850 ページに及び，2020 年 1 月末に IAEA に提出した。COVID-19 の影響でレビュー会合が当初予定していた 5 月から 10 月に延期となったため，ARM に対する IAEA からの質問状は 2020 年 6 月末に送付された。質問状は背景情報を含め 20 ページを超え，レビュー会合で回答を準備して討議する質問が 37 問，更にレビュー会合で取り上げる可能性がある質問が 100 以上含まれていた。

レビュー会合は 2 回延期（1 回目：2020 年 5 月から 2020 年 10 月へ）後，2021 年 4 月 12 日～22 日に開催された。前半はレビューチームからの質問に対する回答とその内容についての討議に費やされ，後半はレビューチーム

が作成した提言，助言，良好事例（good practice），エグゼクティブ・サマリー，報告書の案の内容についての事実確認などに費やされた。その後，レビューチームによって附属書を含め 74 ページの報告書が作成され，2021 年 6 月に IAEA から公開された。

報告書は，表 2 に示した評価項目ごとのレビュー概要，所見，各評価項目についての提言と助言，およびレビューで見出した良好事例などで構成されている。レビューの総括として，「原子力機構は，将来にわたるバックエンド対策の方向性を確立しているとともに，直面している課題もはっきり示したロードマップも評価でき，今後も引き続き安全で責任ある高水準のバックエンド対策管理を実施できる状態にあると判断した。」とまとめられている。

報告書にはレビューチームが確認、評価した原子力機構のバックエンド対策の現状への認識が「所見」として提示されている。また、7つの評価項目に対し、原子力機構の今後のバックエンド対策におけるリスク削減と時間とコストの最適化の観点から、21の提言、17の助言、1つの良好事例が提示された。以下に代表的なものをまとめた。詳細はIAEAから公開されている報告書を参照されたい⁽³⁾。

レビューチームの代表的な所見と提言は以下の通りである。

<代表的な所見>

- 原子力機構が現在、3つの大規模な原子力施設（東海再処理工場、高速増殖原型炉「もんじゅ」、新型転換炉原型炉「ふげん」）の廃止措置に集中しており、それらの廃止措置とそれに伴う核燃料物質と廃棄物の管理を行っている。これらのプロジェクトは、関連する廃棄物の管理技術上の課題を提供するだけでなく、廃止措置の第1段階におけるコストおよびその他のリソースニーズを支配的にシェアしている。
- 原子力機構が実施している全体的な廃止措置戦略は、より大きなリスク軽減が達成される可能性があり、メンテナンス関連の大幅なコスト削減効果が期待される施設を優先していることを認識した。原子力機構が、将来の廃止措置および廃棄物処理プログラムに利益をもたらす可能性のある技術開発に長い歴史を持っていることを確認した。さらに、最近の組織変更により、技術開発イニシアチブの統合、優先順位付け、および各種調整を満足のいく方法で可能にする集中管理構造の導入が容易になったことを確認した。
- 原子力機構は、敦賀地域における廃止措置デモンストレーションの一環として、廃止措置活動の経験のない地元産業を敦賀のモックアップ施設（スマデコ）において訓練するために招待している。この活動は、良好事例として認識した。

<代表的な提言>

- ① 廃止措置プログラム全体の最適化
各ミッションへの対応を強化するために、研究開発と廃止措置に対する組織と資源（人員と予算）の責任をより明確に分離し、さまざまなオプションを検討する必要がある。

プログラムレベルのリスクと機械分析、および短期的な資源配分とプログラム管理を可能にする統合された資源配分プログラム計画を設定する必要がある。

② 放射性廃棄物管理

処分施設の整備が遅れる可能性を考慮し、すべての廃棄物区分に対し計画されている処分施設の利用可能性と廃棄物貯蔵能力を整合させることを目的とした明確な戦略を示す必要がある。

③ 核燃料物質管理

使用済燃料やその他の核燃料物質の管理を考慮して、安全が長期にわたって維持されることを保証し、安全性をさらに高めるための可能な活動を特定するために、恒久的に停止している施設の定期的な安全レビューを実施する必要がある。

④ 廃止措置費用評価

廃止措置の費用に関する不確実性とリスクに対処し、施設の解体にかかる総費用を包括的に理解するために、廃止措置費用の評価方法をさらに発展させる必要がある。

⑤ 放射性廃棄物管理費用評価

現在対象外としているすべての分野の費用を含めていく必要がある。また、現場の廃棄物の処理、中間貯蔵、最終処分の選択肢に関連する不確かさをリストアップして評価し、それらに対処する必要がある。

⑥ プロジェクトマネジメントと契約管理

廃止措置と廃棄物管理に関する教育と訓練プログラムを開発し、プログラムの実施に必要なスキル、能力、要員数に対応するための枠組みを確立する必要がある。

サプライチェーンを拡大する戦略を策定し、短期的な廃止措置作業計画活動と整合するサプライヤーとの提携アプローチを実施するとともに、リスクと説明責任のバランスのとれた分担を確保するための選択肢と契約方法を検討し、詳細な契約計画を産業界と共有する必要がある。

⑦ 廃止措置に関する技術

潜在的に問題のある廃棄物の性質と量を完全に理解するために、サンプリングを含むプラントのすべての主要なプロセス機器やセルにおいて、幅広い特性評価を行う必要がある。

4. 原子力機構の対策案

レビューチームから提出された提言、助言のうち、前章に示した代表的なものに対する原子力機構の対応方針案を以下にまとめた。

すべての提言、助言への対応方針案は、2021年に開催された文部科学省 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 原子力科学技術委員会 原子力バックエンド作業部会（第3回）の資料を参照されたい⁽⁴⁾。

① 廃止措置プログラム全体の最適化

原子力機構の第3期中長期目標期間（2015年～2021年）において、敦賀廃止措置実証部門やバックエンド統括本部の設置およびバックエンドに特化した予算枠の確保など、研究開発と廃止措置の組織や予算の責任の明確化を進めてきているが、研究開発と廃止措置を並行して進めている拠点などにおける責任の明確化やバックエンドへの資源の充量が不十分である。さらなる役割分担及び責任の明確化、予算及び人材の拡充を第4期中長期目標期間（2022年～2028年）中に取り組むこととする。

代替シナリオを加味した廃止措置計画及び資源配分計画、技術開発計画などを統合したプログラムスケジュールの作成が必要であることが指摘されている。現在の施設中長期計画⁽¹⁾をもとに、様々な要素を考慮した統合された詳細なプログラムを策定し、第4期中長期目標期間中に実行していく。

② 放射性廃棄物管理

埋設事業計画の遅延が、廃止措置の実施に影響することがないよう、これまでにも行っている設備等の解体撤去を完了したスペースを廃棄物保管として活用を図るなどの手段によって廃棄物保管容量を確保し、着実な廃止措置を進める。

③ 核燃料物質管理

廃止措置対象施設においても廃止措置の終了までの期間の安全を維持するため、定期検査などを通じて安全確保に係る性能を維持する施設等を維持管理していく。さらに、廃止措置の進展に伴い変化する状況を踏まえて、定期事業者検査をはじめ定期的なレビューを行い、さらなる安全確保に努める。

④ 廃止措置費用評価

これまでの費用評価において不足している項目を取り入れた積み上げ方式による高精度評価法の開発に速

やかに取り組む。また、海外の例などを参考に評価法を更新していくことや廃止措置の段階に応じた適切な評価法を採用することなどによって、不確実性やリスクの影響を最小化していく。

⑤ 放射性廃棄物管理費用評価

廃棄物管理に関するコストは、これまでは処理施設計画及び埋設事業計画に係わる項目から単価を設定して見積もっているが、今後、これら計画の積算や時期等の不確実性に加え、現時点で見積もられていない中間貯蔵等の費用についてもリスト化し、評価していく。また、これらの評価において、①の対応で示した統合的な廃止措置計画と整合を取って進める。

⑥ プロジェクトマネジメントと契約管理

第3期中長期目標期間において、廃止措置対象施設が急増したことにより、廃止措置のスキルを有する人員が不足しており、人材育成方法の検討を2019年より開始している。今後は外部の訓練プログラムを活用しつつ、廃止措置のスキルのみならずプロジェクトマネジメントの能力開発を含めた教育プログラムの検討などに着手していく。また、知識継承などのためのデータベースの構築、拡充、並びに知見、経験に基づく改善を行い、廃止措置に係る知識の体系化を進めていく。

これまでに、廃止措置の教育 / 訓練プログラムを活用し、原子力施設で作業経験のない地元企業の参入支援の仕組みをスマデコで実施している。また、自治体と連携した地元企業向けの説明も実施してきている。サプライチェーンを拡充する戦略を策定するため、自治体と連携して地元企業の関心の有無を調査するとともに、地域に応じた参入のための支援策の検討を進める。

⑦ 廃止措置に関する技術

処理が困難な廃棄物の性状や量などの全体像を把握するため、汚染された設備の工程洗浄や系統除染などを行う機器解体の準備期間において、設備内に滞留する処理が困難な廃棄物の調査を実施し、そのような廃棄物が存在した場合、適切な回収や処理のための計画を策定し、実施していくこととする。

5. まとめ

原子力機構が作成した「バックエンドロードマップ」は、今後のバックエンド対策の方針として大筋において妥当なものであるとの評価を受けた。他方、更なる対策の向上やコ

スト削減などにおいて、改善すべき示唆に富んだ提言、助言を受けた。これらを今後のバックエンド対策の改善に取り入れ、安全はもとより、より合理的、効率的な廃止措置および廃棄物管理事業を原子力機構において進めていく。

参考文献

- (1) 日本原子力研究開発機構, 「施設中長期計画」, 2022年4月1日 (https://www.jaea.go.jp/about_JAEA/facilities_plan/)
- (2) 日本原子力研究開発機構, 「バックエンドロードマップ」, 2018年12月 (https://www.jaea.go.jp/about_JAEA/backend_roadmap/s02.pdf)
- (3) IAEA, “ARTEMIS REVIEW OF JAEA BACK-END ROADMAP: FINAL REPORT,” 2021 (https://www.iaea.org/sites/default/files/documents/review-missions/artemis_jaea_backend_roadmap_final_report_11june2021.pdf)
- (4) 文部科学省 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 原子力科学技術委員会 原子力バックエンド作業部会 (第3回), 資料3, 「原子力機構のバックエンド対策に関する国際的なレビューの結果等について」, 2021年7月5日