

第6章 廃止措置及び放射性廃棄物への対応

6-1 東電福島第一原発の廃止措置

東電福島第一原発の廃炉及び汚染水対策は、「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」という。）に基づいて進められています。

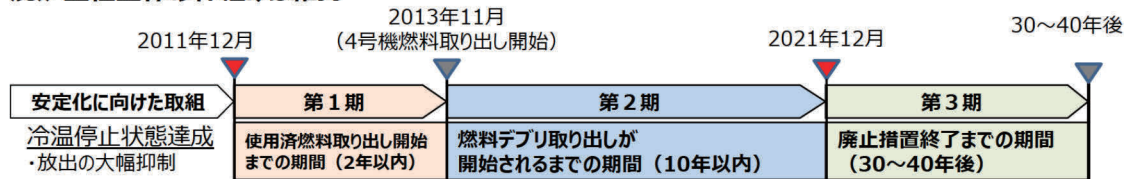
また、中長期にわたる廃止措置を実施するには、国内外の幅広い分野の英知を結集し、研究開発を進めていくとともに、廃炉作業や研究活動を維持、継続していくため、研究者やエンジニア等の人材育成・確保の取組を進めることも重要です。国は、廃炉に関する技術的難易度の高い課題に対する研究開発や人材育成を推進するとともに、研究施設等の整備も進めています。さらに、国及び原子力関連機関は、廃炉・汚染水対策に関する進捗状況、研究活動及び人材育成・確保に関する取組について、国民に対する適切な情報提供を行うことが求められます。

（1）東電福島第一原発の廃止措置等の実施に向けた基本方針等

中長期ロードマップでは、具体的な廃止措置の工程・作業内容、作業の着実な実施に向けた、研究開発から実際の廃炉作業までの実施体制の強化や、人材育成・国際協力の方針等が示されています。この中長期ロードマップは、東電福島第一原発の現場状況や、廃炉に関する研究開発成果等を踏まえ、継続的に見直していくことが原則とされており、2017年9月に4回目の改訂が行われました。現在、この中長期ロードマップに基づき、国も前面に立って、安全かつ着実に取組が進められています（図 6-1）。

目標工程（マイルストーン）

廃炉工程全体の枠組みは維持



対策の進捗状況を分かりやすく示す目標工程

汚染水対策	汚染水発生量を150m ³ /日程度に抑制	2020年内
	浄化設備等により浄化処理した水の貯水を全て溶接型タンクで実施	2018年度
	①1, 2号機間及び3, 4号機間の連通部の切り離し	2018年内
滞留水処理	②建屋内滞留水中の放射性物質の量を2014年度末の1/10程度まで減少	2018年度
	③建屋内滞留水処理完了	2020年内
燃料取り出し	①1号機燃料取り出しの開始	2023年度目処
	②2号機燃料取り出しの開始	2023年度目処
	③3号機燃料取り出しの開始	2018年度中頃
燃料デブリ取り出し	①初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定	2019年度
	②初号機の燃料デブリ取り出しの開始	2021年内
廃棄物対策	処理・処分の方策とその安全性に関する技術的な見通し	2021年度頃

図 6-1 中長期ロードマップ（2017年9月26日改訂）の概要

（出典）第3回廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議資料第1号 内閣府廃炉・汚染水対策チーム事務局「中長期ロードマップ改訂案について」（2017年）[1]

原子力損害賠償・廃炉等支援機構は、中長期ロードマップに技術的根拠を与え、その円滑・着実な実行や改訂の検討に資することを目的として、2015年以降毎年、「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」（以下「戦略プラン」という。）を策定しています。2018年10月に公表された戦略プラン2018では、汚染水対策及び使用済燃料プールからの燃料取り出し等も含めた構成としており、東電福島第一原発廃炉の取組全体を俯瞰した中長期的視点での方向性が提示されています[2]。

原子力規制委員会は、2012年11月に特定原子力施設監視・評価検討会及び2015年10月に特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会¹をそれぞれ設置し、東電福島第一原発の監視・評価や同原発における放射性物質の安定的な管理に係る課題について検討を行っています。また、東電福島第一原発の廃止措置に関する目標を示すため、「東京電力福島第一原子力発電所の中期的リスクの低減目標マップ」（2015年2月策定、2019年3月改訂。以下「リスク低減目標マップ」という。）[3]を策定し、リスク低減目標マップに従って廃炉・汚染水対

¹ 特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会については、廃止措置の進捗状況等を踏まえ、より包括的・合理的な監視・評価の実施を図るため、2019年2月27日の第63回原子力規制委員会において廃止が決定され、以後福島第一原発における廃棄物の管理に係る検討は、特定原子力施設監視・評価検討会で取り扱うこととした。

策が計画的に実施されていることを確認しています。

なお、東電福島第一原発の廃炉・汚染水対策に関する体制及び役割分担は、図 6-2 のとおりです。国から重要課題の提示を受けた原子力損害賠償・廃炉等支援機構は、中長期戦略の策定等を行い、東京電力に助言、指導及び勧告等を行います。また、技術研究組合国際廃炉研究開発機構（IRID²）や原子力機構等の研究開発機関は、原子力損害賠償・廃炉等支援機構と進捗状況や課題を共有し、研究を進めています。

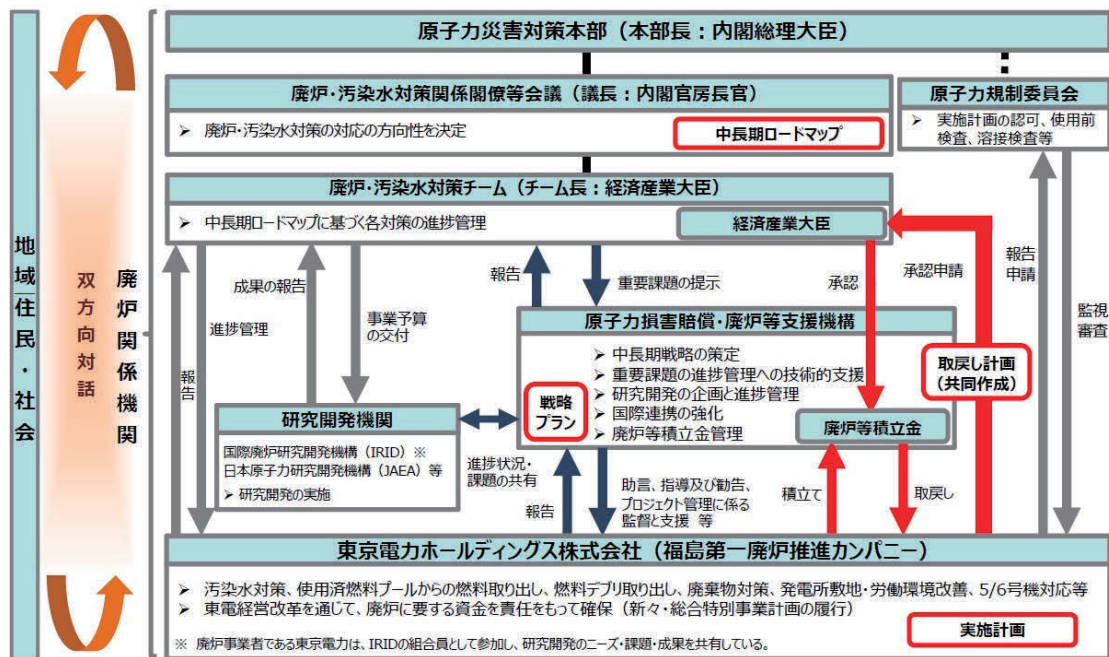


図 6-2 東京電力福島第一廃炉・汚染水対策の役割分担

（出典）原子力損害賠償・廃炉等支援機構「福島第一原子力発電所廃炉・汚染水対策の役割分担図」³

（2） 東電福島第一原発の状況と廃炉に向けた取組

① 汚染水対策

燃料デブリ（溶融した核燃料と原子炉構造物等が混合した残骸・堆積物）の冷却のため、事故を起こした原子炉内に注水を行っています。この冷却用の水が原子炉建屋内に流入した地下水と混ざり合うことで、汚染水が発生しています。現在、「汚染水問題に関する基本方針」[4]における「汚染源を取り除く」、「汚染源に水を近づけない」、「汚染水を漏らさない」、という3つの基本方針に沿って対策が進められています。

「汚染源を取り除く」対策として、多核種除去設備をはじめ、ストロンチウム除去装置などの複数の浄化設備により汚染水の浄化を行い、ストロンチウムを多く含む高濃度汚染水の処理は2015年5月に一旦完了しました。更なるリスク低減の観点から、ストロンチウム

² International Research Institute for Nuclear Decommissioning

³ <http://www.dd.ndf.go.jp/jp/about/about/index.html>

除去装置で処理した汚染水の多核種除去設備による再浄化や、継続的に日々発生する汚染水の浄化などに取り組んでいます。なお、水素の同位体であるトリチウムは、多核種除去設備等で除去できないため、「多核種除去設備等で処理した後の水」（以下「多核種除去設備等処理水」という。）の取扱いが課題として挙げられています。多核種除去設備等処理水の長期的取扱いの決定に向けて、政府は、2016年9月、汚染水処理対策委員会の下に「多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会」を設置し、風評被害等の社会的な観点も含めた総合的な検討を丁寧に進めています。

「汚染源に水を近づけない」対策は、汚染水発生量の低減を目的として、建屋への地下水等の流入を抑制するものです。建屋山側の高台で地下水をくみ上げ海洋に排水する地下水バイパス、建屋周辺で地下水をくみ上げ浄化して港湾へ排水するサブドレン、凍土方式の陸側遮水壁が運用されています。また、千島海溝津波を想定して、建屋流入に伴う建屋滞留水の増加と流出を防止し、東電福島第一原発全体の廃炉作業が遅延するリスクを緩和することを目的に、防潮堤が設置されます。2020年度上期の防潮堤の設置完了を目標に、検討・工事が進められています [5] [6]。

「汚染水を漏らさない」対策としては、建屋内に溜まっている水の水位を、周囲の地下水水位より低く保つよう、サブドレンから地下水をくみ上げることによる地下水位管理や、建屋内に溜まっている水の排水等により、建屋内外の水位差管理が実施されています。その中で、建屋滞留水の漏えいリスクを低減するため1～4号機建屋水位を順次引き下げており、2017年12月に3、4号機間の連通部の切り離しを、2018年9月に1、2号機間の連通部切り離しを完了しました。これにより、中長期ロードマップにおける目標工程（マイルストーン）の一つである「1、2号機間及び3、4号機間の連通部の切り離し（2018年内）」を達成し、滞留水を号機毎に管理することができるようになりました。引き続き、2020年内の建屋滞留水処理完了に向けて、順次水位低下が進められています [7]。貯水タンクについては、信頼性の高い溶接型タンクの設置や、フランジ型タンクから溶接型タンクへのリプレース等が進められています。フランジ型タンク内に貯留したストロンチウム処理水の浄化処理を2018年11月に完了し、処理後の多核種除去設備等処理水を溶接型タンクで保管しています。これによりストロンチウム処理水の漏えいリスクを大幅に低減することができます [8]。更なる漏えいリスクを低減する観点で、フランジ型タンク内の多核種除去設備等処理水についても溶接型タンクへ移送を行ってきましたが2019年3月に完了しました [9]。

5、6号機放水口北側付近における海水中の放射性物質濃度の推移を図6-3に示します。2011年3月以降、放射性物質濃度が下がっていることが分かります。

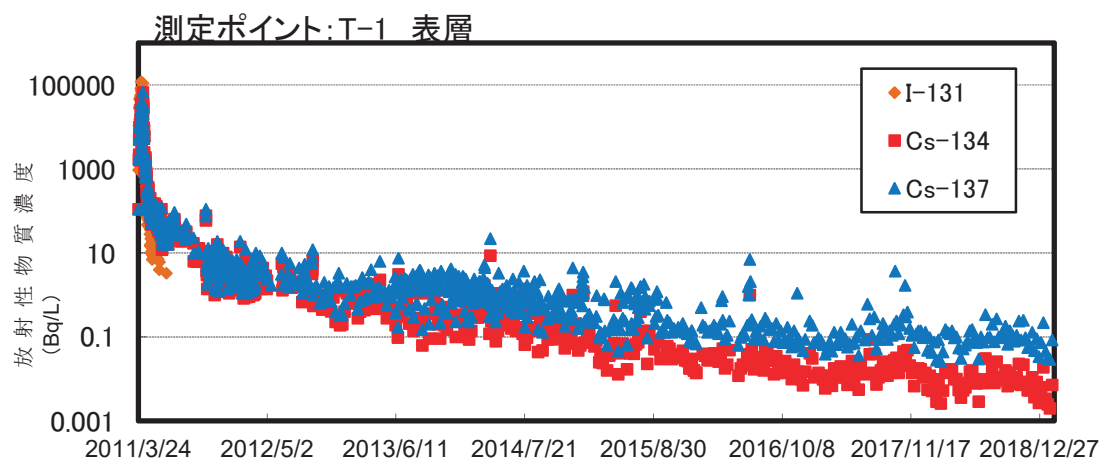


図 6-3 5、6号機放水口北側付近における放射性物質濃度の推移

(出典)原子力規制委員会「福島近傍・沿岸の海水の放射性物質濃度の推移」(2019年) [10]

② 使用済燃料プールからの燃料取り出し

事故当時、1～4号機の使用済燃料プール内に保管されていた燃料は、リスク低減の観点から、各号機の使用済燃料プールから取り出しを行い、敷地内の共用プール等において適切に保管することとしています。4号機使用済燃料プールからの燃料取り出しは、2014年12月に完了しました。1号機は、放射性物質を含んだダスト等の飛散防止対策と放射性物質濃度の監視を行いつつ、ガレキ撤去等の作業が進められており、2号機は、これまでに得られたオペレーティングフロア内の空間線量率等の調査結果を踏まえ、使用済燃料プールからの燃料取り出しに向けた作業計画等の検討を進めています。1、2号機ともに、燃料取り出し開始時期は2023年度をめどとしています。3号機は、2019年4月より使用済燃料プールからの燃料取り出しを開始し、2020年度内の完了に向けて安全を最優先に作業を進めています。なお、3号機使用済燃料プールから取り出した燃料は、共用プール内へ移送し保管するため、共用プールで保管している燃料の一部を、2018年5月～8月にかけて敷地内にある乾式キャスク仮保管設備へ移送し、共用プールにおける必要な空きスペースを確保しました [11]。

③ 燃料デブリ取り出し

1～3号機では、事故により熔融した燃料や原子炉内構造物等が冷えて固まった「燃料デブリ」が原子炉内の広範囲に存在していると推測されています。原子炉建屋内は線量率が非常に高く、燃料デブリの所在や状態を直接確認できる状況にありませんが、燃料デブリ取り出しに向け、遠隔操作機器・装置等による内部状況調査が進められています。遠隔操作ロボット等を用いた原子炉格納容器内部の調査が、1～3号機において行われ、内部の映像や線量等の情報が取得されました。2019年2月には、2号機原子炉格納容器内の堆積物への接触調査が行われ、小石状等の堆積物を把持して動かせること、把持できない硬い岩状の堆積

物が存在する可能性があることが確認されるとともに、堆積物の輪郭や大きさの推定に資する映像や、線量・温度データが取得されました [12]。さらに、2019 年度には1、2 号機の原子炉格納容器内部調査を行い、原子炉格納容器底部の堆積物の少量サンプリングを行う計画です。2020 年度には2 号機において、燃料デブリ取得量を増やしたサンプリングが検討されています。また、3 号機については、前回使用した水中遊泳式調査装置を活用した更なる調査の必要性が検討されています [13]。

中長期ロードマップでは、2019 年度に初号機の燃料デブリ取り出し方法が確定され、2021 年以内に、初号機の燃料デブリの取り出しが開始される予定です。戦略プラン 2018 では、号機毎の燃料デブリ取り出しシナリオを作成し、燃料デブリ取り出しのサイト全体最適化を目指した検討の上、初号機の燃料デブリ取り出し方法を確定させるものとしています。また、燃料デブリ取り出しの技術課題の解決に向けた道筋を示すため、内部調査の継続実施と研究開発の加速化・重点化を図ることが示されています [2]。

④ 廃棄物対策

東電福島第一原発事故により、ガレキや水処理二次廃棄物等の固体廃棄物が発生しています。今後、燃料デブリ取り出しに伴い、燃料デブリ周辺の撤去物、機器等が高線量率の廃棄物として発生します。これらは、破損した燃料に由来する放射性物質を含んでいること、海水成分を含む場合があること、対象となる物量が多く汚染レベルや性状の情報が十分でないこと等、既往の原子力発電所の廃炉作業で発生する放射性廃棄物と異なる特徴があります。このため、性状把握が進められています。

戦略プラン 2018 において、廃棄物対策における当面の目標は、「①保管・管理の取組として、当面 10 年間程度に発生する固体廃棄物の物量予測を定期的に見直ししながら、固体廃棄物の発生抑制と減容、モニタリングをはじめ、適正な廃棄物保管管理計画の策定・更新とその遂行を進める」、「②処理・処分に向けた取組として、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を進め、2021 年度頃までをめどに、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」こととしています [2]。目標①に関し、東京電力は、2016 年 3 月に策定した「固体廃棄物の保管管理計画」について 2018 年 6 月に 2 回目の改定を行い、最新の保管実績や工事計画を踏まえた発生量予測等を反映しました。今回の改定では、建設中の増設雑固体廃棄物焼却設備において、汚染の少ない伐採木を優先して焼却し、焼却設備を点検する作業員の被ばく低減を図るなど、廃棄物関連設備の運用計画を最適化する見直しも併せて行いました。より一層のリスク低減に向けて、固体廃棄物を可能な限り減容して建屋内保管し、屋外にある一時保管エリアの解消に向けて取り組んでいます [14]。

⑤ 作業等環境改善

長期に及ぶ廃炉作業を達成するためには、高度な技術、豊富な経験を持つ人材を中長期的

に確保していくことが必要です。そのためには、モチベーションを維持しながら安心して働ける作業環境を整備することが重要であり、作業環境の改善に向けて、法定被ばく線量限度の遵守に加え、可能な限りの被ばく線量の低減、労働安全衛生水準の不断の向上等に取り組む必要があります。1～4号機建屋の周辺道路等において、空気中のダスト濃度がマスクの着用基準を下回っている状態が継続していることから、2018年5月より、防護服・全面マスクの着用が不要な「一般作業服エリア」が構内面積の96%に拡大されました。これにより、作業時の負荷が軽減され、安全性と作業性が向上します〔15〕。さらに、2018年11月より、1～4号機を俯瞰する高台について、マスクなしで視察が可能となる運用を開始しています。これにより、視察等における装備の負担感がなくなり、また、構内に入域する際の準備時間の短縮につながっています〔16〕。

また、原発事故後の対応拠点であったナショナルトレーニングセンターJヴィレッジは、2017年3月に拠点としての役割が終了し、2018年夏に一部営業が再開され、2019年4月に全面再開されました〔17〕。

(3) 廃炉に向けた研究開発、人材育成及び国際協力

① 研究開発

現在、国、民間企業、原子力機構、大学等が実施主体となり基礎・基盤研究から実用化研究の広範囲にわたる取組が行われています（図 6-4）。

経済産業省は、技術的難易度が高い課題について、現場での活用を目指して要素技術等の開発を補助する「廃炉・汚染水対策事業」を実施しており、原子炉内の内部調査技術や、燃料デブリ取り出しに関する基盤技術、取り出した燃料デブリの収納・移送・保管に関する技術等の開発を進めています〔18〕。

文部科学省は、基礎的・基盤的研究の推進及び人材育成のため、2015年度より「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」を実施しています（以下「英知事業」という。）〔19〕。英知事業については、2018年度からは新規課題分の運用体制を文部科学省の委託事業から、原子力機構を対象とした補助金事業へ移行し、共通基盤型原子力研究プログラム、課題解決型廃炉研究プログラム、国際協力型廃炉研究プログラムとプログラムの見直しを行っています。

原子力機構は、廃炉国際共同研究センターを中心として、国内外の研究機関等と共同で、廃炉に向けた基礎的・基盤的研究を進めています。また、原子力機構は、櫛葉遠隔技術開発センターにて廃炉に関する遠隔操作機器等の開発・実証試験を行い、大熊分析・研究センターにて燃料デブリや放射性廃棄物の分析・研究等を行っています。

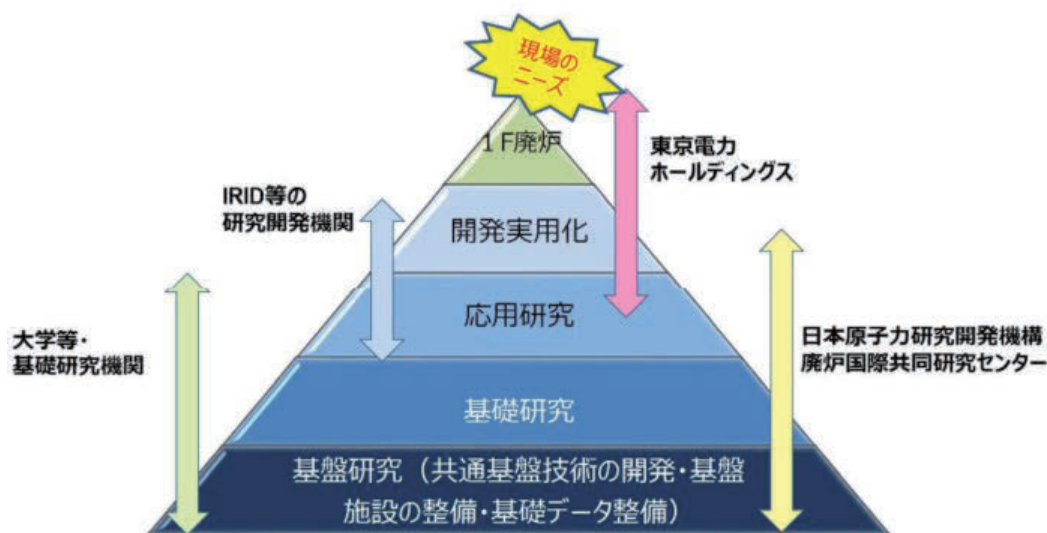


図 6-4 東電福島第一原発廃炉に関する研究開発の全体像

(出典)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年) [2]

② 人材育成

東電福島第一原発の廃止措置は、30～40年を要すると見込まれており、その廃止措置を実施するためには、中長期的な視点での計画的な人材育成が必要です。

文部科学省は、現場ニーズを踏まえたより実効的な基礎的・基盤的研究と人材育成の取組を推進するため、「廃止措置研究・人材育成等強化プログラム⁴」を実施し、大学等における産学官の連携強化や、研究・人材育成の拠点の基盤強化を進めています。

原子力機構は、学生の受入れ制度の活用等を通じた人材育成を実施しています。また、廃炉国際共同研究センターを中心に、国内外の大学、研究機関、産業界等の人材交流ネットワークを形成しつつ、研究開発と人材育成を一体的に進める体制を構築しています。

技術研究組合国際廃炉研究開発機構は、2014年度以来、同機構の研究開発成果を報告するとともに、若手研究者、技術者の育成も目的としてシンポジウム⁵を開催しています。

原子力委員会では、仕事や研究開発を通じた人材育成が必要であることを、2018年2月27日の人材育成の見解で述べています。廃止措置分野においても、上司による部下の能力の開発や、組織内外との連携や協力・共同作業を通じて能力向上を図ることが期待されています [20]。

③ 国際社会との協力

東電福島第一原発事故を起こした我が国としては、事故の経験と教訓を世界と共有する

⁴ 「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」の一部。東北大学、東京大学、東京工業大学、福島大学、福井大学、福島工業高等専門学校、地盤工学会の7機関が採択されました。

⁵ <http://www.iris-symposium.jp/>

とともに、国際機関や海外研究機関等と連携し国内外の知見・経験を結集し、国際社会に開かれた形で廃止措置等を進め、国際社会に対する責任を果たしていかなければなりません。

2018年11月、第4回目となるIAEAのレビューミッション（調査団）を受け入れ、サマリーレポートを受領しました。同レポートでは、「福島第一原子力発電所において緊急事態から安定状態への移行が達成されている」等のコメントとともに、17の評価できる点、21の助言について記載されています[21]。また、同レビューミッションの最終報告書を、2019年1月に受領しました[22]。

政府は、東電福島第一原発事故発生以降、国際社会に対して透明性を確保する形で情報発信を行ってきました。昨年に引き続き、毎年秋に開催されるIAEA総会において、世界各国の関係者・専門家との間での相互理解を得ることを目的に、我が国の取組として東電福島第一原発事故後の取組（廃炉・汚染水対策等への着実な取組、第4回目のピアレビュー・ミッション受入れ、除染活動の完了、日本産食品の輸入規制の撤廃の要請）を紹介しました[23]。

国際共同研究として、英知事業の国際協力型廃炉研究プログラムの枠組みで、2018年度は、英国と二か国間の共同研究を実施しています。また、東電福島第一原発廃炉に関するOECD/NEAと共同研究の強化に向けて、2013年より実施しているTAF-IDプロジェクト⁶と連携し、さらに、燃料デブリに関する豊富な知見を有するロシアの研究機関との研究協力を推進する形で、2017年6月から新たな国際協力プロジェクトである「福島第一原子力発電所の事故進展シナリオ評価に基づく燃料デブリと核分裂生成物（FP）の熱力学特性の解明に係る協力プロジェクト」（TCOFFプロジェクト⁷）が開始されました。また、廃炉国際共同研究センターでは、海外からの研究者招へい、海外研究機関との共同研究を実施しており、国際的な研究開発拠点の構築を目指しています。一方、経済産業省による補助事業である廃炉・汚染水対策事業では、海外の研究機関や企業とも協力して廃炉・汚染水対策に係る技術開発が進められています。

さらに、東電福島第一原発の廃炉・汚染水対策の進捗や、これに伴い得られたデータ等を積極的に情報発信をしていくことは、福島の状態に関する国際社会の正確な理解の形成に不可欠です。そこで、2016年より、東電福島第一原発の廃炉・汚染水対策等に関する英語版動画やパンフレットを作成して、IAEA総会サイドイベントや要人往訪の際などの機会等、様々なルートで、海外に向けて情報を発信するとともに、経済産業省のウェブサイト⁸にも掲載しています。

⁶ TAF-ID (Thermodynamics of Advanced Fuels - International Database)プロジェクト

高速炉等の次世代燃料及び軽水炉破損燃料の挙動評価に役立てるために、各国の所有する様々な化合物等に関する熱力学データベースを相互レビュー・統合し、国際標準データベースとして整備するプロジェクトです。

⁷ 東電福島第一原発事故のシナリオ解析を参考に燃料デブリと核分裂生成物の熱力学的特性を評価し、既存の熱力学データベースの高度化やデブリ取り出しに向けた材料科学的課題の検討を行うプロジェクトです。2017～2019年までの予定で実施中です。現在、10か国及びEUから18の研究機関が参加しています。

⁸ <http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/index.html>