

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 2024

概要版

2024年9月27日

原子力損害賠償・廃炉等支援機構

目次

1. はじめに	3
2. 福島第一原子力発電所の廃炉のリスク低減及び安全確保の考え方	4
2.1 福島第一原子力発電所廃炉の基本方針	4
2.2 放射性物質に起因するリスク低減の考え方	6
2.3 廃炉作業を進める上での安全確保の考え方	9
3. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術戦略	13
3.1 燃料デブリ取り出し	13
3.2 廃棄物対策	25
3.3 汚染水・処理水対策	29
3.4 使用済燃料プールからの燃料取り出し	33
4. 廃炉の推進に向けた分析戦略	37
4.1 廃炉に係る分析の概要	37
4.2 分析に係る現状と戦略	38
4.3 分析戦略のまとめ	41
5. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた研究開発への取組	42
5.1 研究開発の意義と現状	42
5.2 主な課題と戦略	43
6. 技術戦略を支える取組	44
6.1 廃炉を進めるための能力、組織、人材等	44
6.2 国際連携の強化	48
6.3 地域共生	50

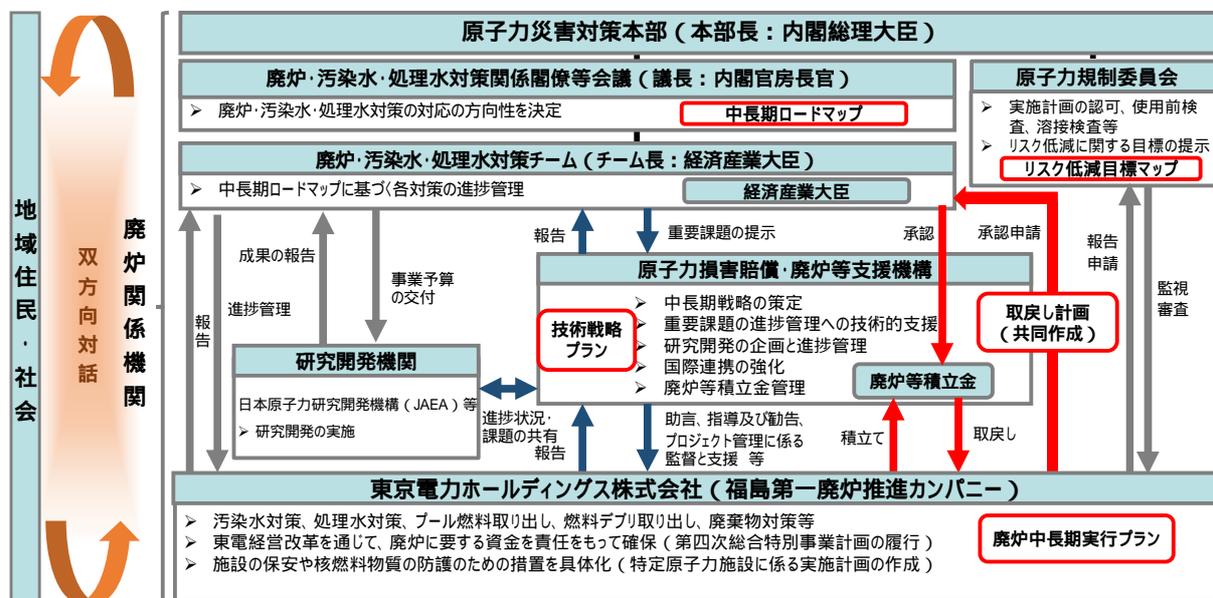
1. はじめに

東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所（以下「福島第一原子力発電所」という。）の長期にわたる廃炉に係る取組は、政府が策定する「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きた。現在は、燃料デブリの試験的取り出しに着手し、第3 - 期¹に本格化する廃炉作業に向けた取組が、関係機関の連携の下、進められている。福島第一原子力発電所の廃炉に係る関係機関の役割分担を図1に示す。

原子力損害賠償・廃炉等支援機構（以下「NDF」という。）は2014年以降、廃炉の実施に必要な研究開発、助言、指導等を行う組織として福島第一原子力発電所の廃炉に係る取組を支援している。「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「技術戦略プラン」という。）は、この支援の一環として、以下の目的で2015年以降毎年取りまとめているものである。

- 中長期ロードマップに確固とした技術的根拠を与え、その円滑かつ着実な実行及び改訂の検討に資する。
- 廃炉等積立金の取戻しに関する計画の作成方針に根拠を与える。

なお、原子力規制委員会が策定する「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」(以下「リスク低減目標マップ」という。)は、中長期ロードマップの工程を考慮しているため、技術戦略プランはリスク低減目標マップで掲げる目標達成にも資することとなる。



令和3年4月13日 ALPS処理水の処分方針決定に伴い、「ALPS処理水の処分に関する基本方針の着実な実行に向けた関係関係等会議」を設置

図1 福島第一原子力発電所の廃炉に係る関係機関等の役割分担

¹ 中長期ロードマップで定める第2期終了から2031年末までの期間

2. 福島第一原子力発電所の廃炉のリスク低減及び安全確保の考え方

2.1 福島第一原子力発電所廃炉の基本方針

福島第一原子力発電所の廃炉においては「事故により発生した通常の原子力発電所にはない放射性物質に起因するリスクを、継続的、かつ、速やかに下げることを基本方針とする。また、廃炉を進める上で、廃炉作業の安全確保は、安全上の特徴に基づき、リスクのバランスを長期的視点で俯瞰した対応が必要であり、柔軟なリスク低減戦略を検討することが重要である。

2.1.1 第3期において議論すべき課題

本年3月、NDFの廃炉等技術委員会の下に設置された「燃料デブリ取り出し工法評価小委員会（委員長：更田豊志・前原子力規制委員長。以下「小委員会」という。）」が、3号機を対象として2030年代前半に開始しようとする大規模な燃料デブリの取り出し工法を示し、東京電力による具体的な設計検討が開始された。東京電力は設計検討を進め、その進捗を小委員会に報告するとともに、1～2年程度でその後の見通しを整理することとされている。

また、本年9月には2号機において燃料デブリの試験的取り出しに着手した。採取されたサンプルは分析・性状把握を通じて事故進展解析に寄与するとともに、必要に応じて大規模デブリの取り出しに向けた東京電力の設計検討にも反映されることとなる。

燃料デブリの取り出しは、リスクの低減と技術的挑戦という両面で福島第一原子力発電所廃炉の最も重要な取組である。事故後13年を経て福島第一原子力発電所の廃炉は燃料デブリの取り出しに向けた新たな段階に入ることになる。

燃料デブリの取り出しは、高線量の厳しい環境の下で、難度の高い遠隔作業を、安全第一を大前提に、ステップ・バイ・ステップで進めることになる。文字どおり、前例のない技術的挑戦であり、調査から設計、施工、取り出し作業、見直し、管理の各段階にわたって、東京電力は協力企業と一体となって前人未到の取組を貫徹する必要がある。

取り出された燃料デブリについては、一旦、安全な容器等に収納して敷地内で保管するのが基本的考え方となる。まずは、サンプルの性状を把握し分析を行って保管の技術的条件を明確にした上で、取り出し作業を進めつつ、着実に安定保管を進めることとなる。

その後の処理・処分の具体的な方法や時期については、取り出され保管される燃料デブリの性状を把握し分析を行った上で検討することとなる。このため、具体的処分の在り方については、燃料デブリの取り出しがある程度進み、分析と検討が進んだ段階で、技術戦略プランにおいて具体的な技術要件を示すこととする。

燃料デブリの取り出しに向かう新たな段階においては、廃炉における課題や困難さを含む技術的見通しについて、地元・社会と共有しながら進めることが重要である。廃炉に関する情報を一方的に届けるのではなく、むしろ地元ならではの懸念や不安を聞き取りながら廃炉に生かしていく姿勢が必要となる。燃料デブリの取り出しばかりでなく、その他の技術的取組についても、ま

た、その後の将来像を含めて、地域社会としての理解に至るべく、誠実で透明な対話を重ねていく必要がある。

対話の在り方については、できるだけ早い段階で形を示し見直しを重ねることが必要である。自治体、議会、団体、マスコミ等様々なチャンネルを通じて対話を重ねる必要があるが、最も重要な対話の相手は地元の住民一人一人であることを銘記する必要がある。

NDFは、今年3月の小委員会報告書について、地元13市町村において初めて地域の住民と直接の対話の機会を持ち意見交換を行った。厳しい意見や質問もあったものの、総じてこうした機会が強く求められていたこと、今後も改善しつつ継続すべきことが示され、直接の対話も重要なチャンネルであると受け止めた。海外の例においては、こうしたタウンホール・ミーティングの積み重ねこそが対話の本質とする意見もある。今後NDFでは、年2回程度を目途に、直接の対話を継続していく。

2.1.2 第3 - 期において取り組むべきリスク管理

燃料デブリ取り出しについては、第3 - 期において、より本格的な廃炉作業となる取り出し規模の更なる拡大に向けた準備を進めていく。現在は原子炉格納容器（以下「PCV」という。）内の温度や圧力は安定的な状態にあるが、燃料デブリの取り出しが始まるとPCV内の状態は変動することになり、従前小さいと認識していたリスクの増大や未知であったリスクが新たに顕在化するおそれは否定できない。取り出し規模の更なる拡大に向けてリスク対応を実効的なものとしていくために、これらのリスク変動が一番生じやすいPCV内の状態把握能力を向上させることが課題である。そのため、現在のPCV内の監視パラメータの監視目的や設置数、現場施工の困難さを踏まえつつ、監視対象の種類や数の拡充に向けた検討を進めていくべきである。

2.2 放射性物質に起因するリスク低減の考え方

2.2.1 リスクの定量的把握

技術戦略プランでは、放射性物質に起因するリスクの大きさ（リスクレベル）を表現するため、英国原子力廃止措置機関が開発した S E D（Safety and Environmental Detriment）をベースとした手法を用いる。本手法において、リスクレベルは、放射性物質が人体に取り込まれた場合の内部被ばくの影響度を示す指標である「潜在的影響度」と事象の起こりやすさを示す指標である「安全管理要求度²」の積によって表される。各リスク源が有するリスクレベルの現時点の状況を「潜在的影響度」と「安全管理要求度」を軸として表現すると図2となる³。

なお、図2の朱記は技術戦略プラン2023（2023年3月時点評価）からの変化が顕著なリスク源を表し、矢印の元は技術戦略プラン2023の位置を示している。

A L P Sスラリー（移替対象H I C）は、移替作業の進捗によりA L P Sスラリー（緑色）へ移行した分の潜在的影響度が減少し、下方に移動している。なお、元々のA L P Sスラリー（緑色）の潜在的影響度に対する移行割合は少ないため、対数スケール上のA L P Sスラリー（緑色）の変動はほとんどない。燃料デブリは、余裕時間（潜在的影響度の一要素）に影響を及ぼす窒素封入停止後の水素濃度の変化を、放射能の減衰や燃料デブリの分布などを考慮して再評価し、これまでの想定よりも余裕時間が伸びた状態がより確からしいと評価することにより潜在的影響度は減少し、下方に移動している。1号機のP C V内部調査により明らかとなった、ペDESTALのコンクリートの一部消失を踏まえた燃料デブリや建屋内汚染構造物等の安全管理要求度への影響については、評価条件に不確かさはあるものの、Ss900相当の地震時においてペDESTAL上部構造物から作用する荷重を負担する構造物の健全性が保たれると評価されていること、ペDESTALの支持機能の喪失によるR P Vの沈下・P C Vの大開口の発生を仮定したとしても敷地境界における実効線量は事故時の基準5 mSv / 事象を下回ることから、安全管理要求度の変更はないと評価した。

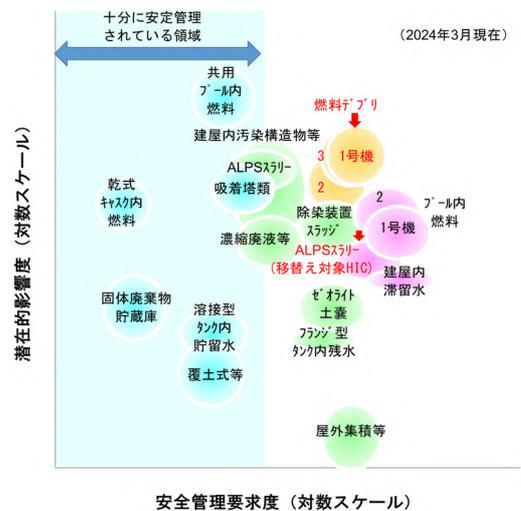


図2 福島第一原子力発電所の主要なリスク源が有するリスクレベル

² リスク源を内包する施設の閉じ込め機能の十分性や、リスク源の特性（劣化や活性度）等による長期的な安定性や取り扱い性を表す指標

³ 安全管理要求度は、F D（Facility Descriptor、閉じ込め機能の十分性を示す指標）とW U D（Waste Uncertainty Descriptor、長期的安定性を示す指標）の積で表される。このF DとW U Dの従前の評価では、あらかじめ用意されたリスク源の性質を説明する各々10種類の記述（カテゴリ）とスコアの組合せに対して評価対象となるリスク源を当てはめることにより評価を行っている。今後、あらかじめ用意されたカテゴリ分類に依らずに、個別の評価視点ごとのリスク源に対する評価者の判断や認識を安全管理要求度に直接的に表せるようにすべく、評価方法の改善に現在取り組んでいる。

2.2.2 リスク低減戦略

2.2.2.1 リスク低減戦略における当面の目標

リスク低減対策としては、「潜在的影響度」を低減させる方法と、「安全管理要求度」を低減させる方法があり、一般に工学的に実現しやすいものは、「安全管理要求度」の低減である。したがって、まずは上述の方法により安全管理要求度を低減させ、事故の影響を受けていない施設又は事故後に長期保管できるよう設計された施設と同等以下である「十分に安定管理されている領域」(図 2)に持ち込むことを当面の目標とする。「十分に安定管理されている領域」に持ち込むまでのプロセス及びそのプロセスに沿った廃炉作業の進捗を図 3 に示す。「安全管理要求度」は、リスク源を内包する施設の閉じ込め機能の十分性(以下「閉じ込め性」という。)に係る指標と、リスク源の特性(劣化や活性度)や梱包、監視状態等のリスク源の長期的な安定性や取扱性に係る指標の 2 つの積を用いて表される。この「安全管理要求度」で表される事象の起こりやすさを低減させる方法としては、第一にリスク源を内包する施設の閉じ込め性を改善することである。第二にリスク源の取扱いの不確かさを低減し、リスク源の特性を踏まえた管理を長期的かつ安定的に可能にすることで、長期的安定性を改善することである。

図 4 には、フロー中に示されたリスク源とその処理プロセスに対応する安全管理要求度の推移をリスク源の分類ごとにグラフで示している。ここで示す安全管理要求度は、上述の安全管理要求度を低減させる方法と対応付けるため、閉じ込め性に係る成分と長期的安定性に係る成分の 2 つに分けて表示している。これによりリスク源を十分に安定管理されている領域に移行させるために、閉じ込め性又は長期的安定性のどちらの対策を優先的に取り組むべきか判別ができる。また、フローで将来検討又は検討中の範囲としている処理プロセスにおいて、安全管理要求度を十分に安定管理されている領域(グラフ中の水色の領域)まで低減させる際に改善すべき対象を、それぞれ青色と橙色の矢印により示している。

各リスク源のリスク低減に係る具体的な戦略は 3 章で詳述する。

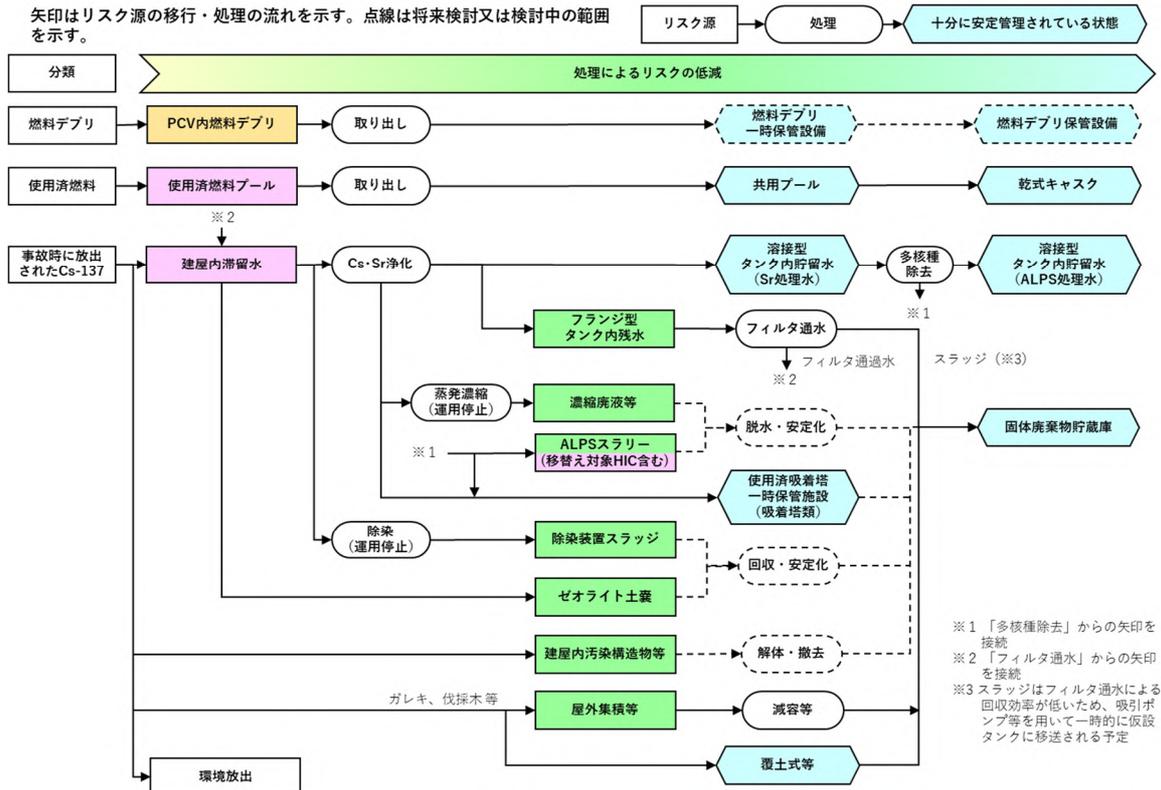


図3 主要なリスク源のリスク低減プロセスとその進捗 (2024年3月時点)

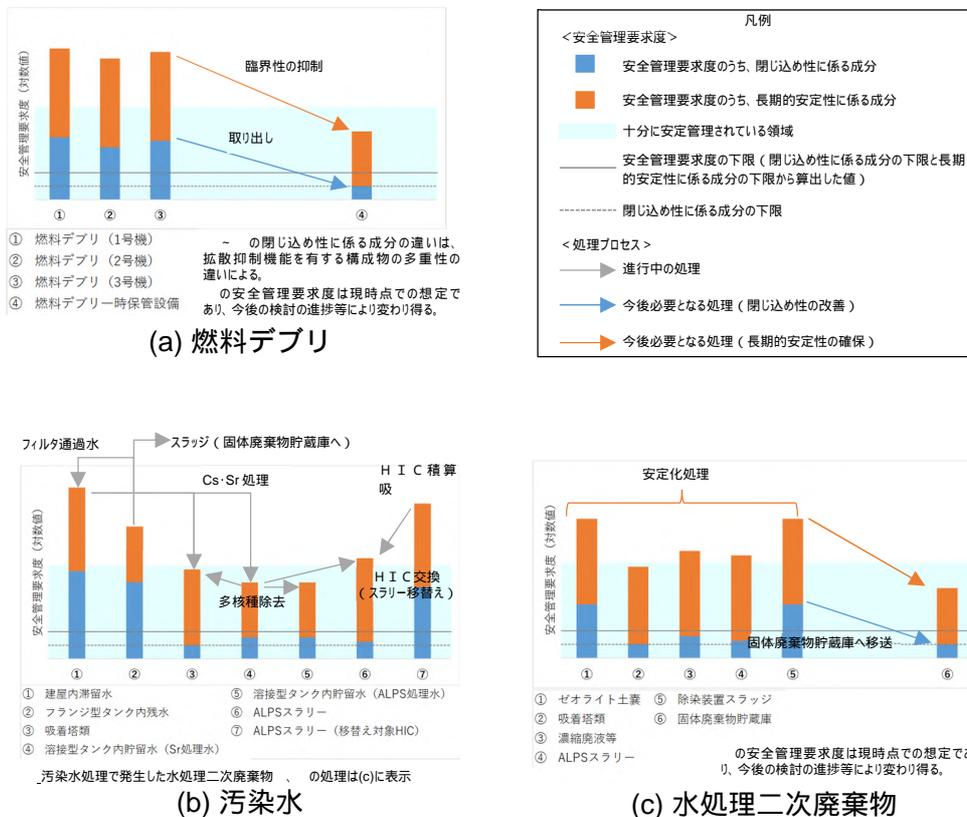


図4 主要なリスク源の安全管理要求度の推移

2.2.2.2 リスク低減における基本的考え方

福島第一原子力発電所の廃炉は、いまだ大きな不確かさが存在しており、この不確かさを解消するためには、多くのリソース、特に膨大な時間を要する。他方、速やかなリスク低減を目指すためには、ある程度の不確かさが存在しても、安全の確保を最優先に、これまでの知見から総合的な判断を行い、廃炉作業を進める必要がある。このような総合的な判断を行う上での視点として、NDFでは次に示す5つの基本的考え方を整理している。

(5つの基本的考え方)

- ・ 安全 放射性物質によるリスクの低減並びに労働安全の確保
- ・ 確実 信頼性が高く、柔軟性のある技術の活用
- ・ 合理的 リソース（ヒト、モノ、カネ、スペース等）の有効活用
- ・ 迅速 時間軸の意識
- ・ 現場指向 徹底的な三現（現場、現物、現実）主義

5つの基本的考え方を実際の現場に適用した場合、作業に伴う放射線から人と環境を防護することを目的とした安全確保に最も力点を置き、人と環境に与える放射線影響評価を徹底して行い、適切な放射線防護対策を講じた上で廃炉作業を進めることが重要である（安全）。

福島第一原子力発電所の廃炉においては、事故により損傷を受けた設備等の劣化が進行して公衆リスクレベルは時間と共に上昇することから、現場の状況に照らし可及的速やかに（迅速）、このリスクを合理的に達成できる限り低く管理しつつ（確実、合理的）、現場の厳しい条件下でも実行できる方法により（現場指向）廃炉を進めることが、中長期的な安全確保につながる。

このような基本的考え方に基づく判断結果について、広く社会から受容されるよう、丁寧な情報発信を行う等の努力をしていくことが重要である。

2.3 廃炉作業を進める上での安全確保の考え方

2.3.1 福島第一原子力発電所の特徴を踏まえた安全確保の基本方針

事故炉である福島第一原子力発電所の廃炉は、通常炉と異なる特殊な環境の中で行われる未経験の取組であることから、その安全確保に当たって以下の安全上の特徴（特殊性）を十分に踏まえることが課題である。

- 多量の放射性物質（内部被ばくに大きな影響をもつ核種を含む）が通常にない様々な形態（非定型）で非密封状態にあること
- 原子炉建屋、PCVといった放射性物質を閉じ込める障壁が完全でないこと
- これらの放射性物質や閉じ込め障壁の状況等に大きな不確かさがあること
- 現場の放射線レベルが高い等の制約から現場へのアクセスや現場情報を得るための計装装置の設置が困難であること
- 現状の放射線レベルが高く、又閉じ込め障壁等の更なる劣化が懸念されることから廃炉を長期化させない、時間軸を意識した対応が必要なこと

- 他方、事故後 10 年以上が経過し内在エネルギー（崩壊熱）も小さく状態変化も緩慢であるため、故障等の異常状態の収束のために充当できる時間的余裕が大きいこと

そのため、東京電力ホールディングス㈱（以下「東京電力」という。）は、廃炉作業を進めるに当たって、5つの基本的考え方を踏まえ、以下の点に特に留意した検討をする必要がある。

第一に、「安全」に関して、廃炉作業の検討に当たっては、上記の特殊性を十分考慮し幅広い可能性（ケース）を想定し、確実に安全確保が可能であることを確認することが大前提である。その前提の下に、廃炉によって最終的にどこまで安全を向上させるか、そのために必要な期間はどの程度か、作業に伴ってどの程度安全が変化するか、という観点から総合的に安全向上を図っていくことが必要である。

第二に、「現場指向」に関して、大きな不確かさのために設計単独での対応に限界があること等から、実際の現場から得られた情報を適確にエンジニアリングに反映していくことが不可欠である。燃料デブリ取り出しのような、過去に例のないエンジニアリングを確実に実施していくためには、実際に現場において作業を担う現場を熟知した人や組織（オペレータ）の目線や感覚を大切に、現場を直視した着眼点や判断等（以下「オペレータ視点」という。）を尊重していくことが重要である。また、長期にわたる廃炉を推進するに当たり、オペレータの目線や感覚の維持・強化を図る必要があり、東京電力自らがオペレータ視点を継承していくべきである。

廃炉作業の実際の検討に当たっては、東京電力がその作業に関する規制要求を満足する要求事項を定め、その実現に向けた具体的な安全対策を、安全視点、オペレータ視点を反映して検討することが基本であるが、不確かさが大きな廃炉作業では、要求事項やそれらを満足する設備や運用の仕様を事前に一意に定めることが困難な場面が多い。その場合でも、「先行的な実施と得られる情報の後段での活用」や「イタレーション型⁴のエンジニアリング」、具体的に選択した安全対策の効用の確認と改善によって、柔軟かつ迅速に廃炉作業を進める必要がある。

2.3.2 先行的な実施と得られる情報の後段での活用

福島第一原子力発電所の現場状況には不確かさが多く存在することから、十分大きな安全余裕や幅広い技術選択肢の想定が必要となるが、閉じ込め障壁等の更なる劣化等を考慮すると、リスク状態の改善と不確かさの縮小は早急に行うことが求められる。このため、実際の安全の確保を保證できる「最初の段階の作業」に取り組み、そこで得られた情報を次の段階に展開する「逐次型の取組」を行うことで、廃炉全体が持つ大きな不確かさを小さくしていく取組が重要となる。

2.3.3 作業に伴う一時的なリスクレベルの増加への対応の考え方

廃炉作業は、中長期的な観点から速やかなリスク低減を目指すものであるが、作業に伴って一時的にリスクレベルが変化することや、作業員の被ばく量が増加する可能性について慎重に考慮する必要がある。

⁴ ある結果を基に次の結果を求め、これを繰り返すことによって次第にエンジニアリングの完成度を高めていくやり方

2.3.3.1 2023 年度に発生した二つのトラブルにみる強化すべき安全機能

「増設ALPSの配管洗浄作業における身体汚染」(2023年10月)や、「高温焼却炉建屋からの放射性物質を含む水の漏えい」(2024年2月)といった人的過誤を主な原因として意図しない放射性物質の漏えいが生じる二つのトラブルがあった。その結果、前者のトラブルでは従事していた作業員が被ばくし、後者のトラブルでは近傍の作業員の被ばくはなかったもののそのおそれがあった。

二つのトラブルに共通して言えることは、放射性物質を放散させるエネルギーが小さかったため漏えいした放射性物質は敷地の外に到達することはなく、一方で近傍にいる作業員が被ばくりスクの受け手になっていたことである。

このことは、敷地の外での被ばくりスク低減は当然として、閉じ込め機能を担う設備の新設・変更・強化を検討する際には、当該設備の巡視や点検を行う作業員や近傍の作業員の被ばくりスクに更に着目すべきであることを示唆している。

2.3.3.2 作業員安全の重要性

被ばくりスク低減を含めた作業員の安全を向上することは、それ自体が5つの基本的な考え方の「安全」であり重要である。二つのトラブル事例ともに結果として「安全」が不十分であり、相互補完すべき「現場指向」も、作業に関わる人的過誤が主な原因であったことから不十分であったと言わざるを得ない。また、「安全」が損なわれるトラブルが発生すると、事後対応のために当該作業やそのトラブルに関連する作業は遅れることとなり「迅速」が失われる。更にこうしたトラブルが発生すると事後対応に過剰なリソースが投入されることもあり得る。この点は「合理的」に反するおそれも生じかねない。

以上のように、作業員安全が損なわれると、5つの基本的な考え方の多くが実践できていない状況を発生させてしまう。逆から見れば、2.3.3.1で述べたとおり、放射性物質を放散させる駆動力が小さい現場においては、作業員の被ばくりスクを低減することを一層重視した設計・運用とすることで、5つの基本的な考え方に基づいた廃炉作業をより確実に実践できるといえる。

2.3.4 一連のトラブル事案から見えてきた共通課題

「増設ALPS配管洗浄作業における身体汚染」以降も複数のトラブルが連続して発生している。東京電力は共通要因分析の必要性を判断し、**事実関係の把握**、**直接原因**、**背後要因の整理**、**共通要因分析**、**改善策提言**というプロセスで検討を行い、抽出された背後要因を基に下記の共通要因を特定した。

- 共通要因 :【設備設計段階/設備運用段階】人・環境に及ぼすリスクに対して設備が脆弱
- 共通要因 :【作業準備段階】作業に対する、危険因子の特定、リスクシナリオ設定及びリスク評価、安全事前評価、安全対策・防護措置の検討が不足
- 共通要因 :【作業実行段階】東京電力・元請の現場実態把握、危機意識が不足

以上の東京電力が特定した共通要因を踏まえ、NDFは共通課題を以下のとおり整理した。

- 共通課題 : リスクアセスメントの一層の強化
- 共通課題 : 多層化した請負工事体制における現場把握・管理の一層の強化

(1) 共通課題 に関する取組

今回の一連のトラブル から得た教訓は、日々変化する現場に応じてリスクを特定・分析・評価する力を持つこと、そのためのリスク感度を高めることの重要性である。

東京電力は、これまでも元請企業と共にリスクアセスメントを進めてきたが、これまでのやり方では十分ではないことを、一連のトラブル から学んだ。東京電力は、社員及び元請企業更には現場第一線の作業員まで巻き込み、福島第一原子力発電所で働く全ての人のリスク感度を高めるための取組を一層強化して行く必要がある。

(2) 共通課題 に関する取組

どの事案も多層化した請負工事体制（以下「多層請負構造」という。）において発生したトラブルである。放射性物質を取扱う原子力発電所においては、ひとたびトラブルが発生すると社会に対する影響が甚大なため、電力会社は他の会社よりも厳格な現場管理が求められる。まして事故を起こした福島第一原子力発電所においては通常の原子力発電所以上に一層厳格な現場管理が求められる。

そのため、福島第一原子力発電所では、多層請負構造を前提に請負先である協力企業との在り方をより協調した関係に変えていく必要がある。東京電力と協力企業との在り方に関するNDFの考えを後段の「6.1.2.2 協力企業と協調した現場管理の在り方の検討」で述べる。

福島第一原子力発電所の廃炉は、政府、NDF、東京電力等のみならず、地域の皆様を含む幅広い方々の理解を得ながら進める必要がある。特に、廃炉作業におけるリスク低減戦略、廃炉作業の安全確保、廃炉作業によってサイト全体のリスク低減がどのように継続的に進んでいるか等について、幅広い方々にとって分かりやすいリスクの継続的な監視の仕組みを整え、社会に発信していくことが重要である。

NDFでは、技術戦略プランを通して継続的に福島第一原子力発電所の廃炉に係るリスクの状況を提示することに加え、廃炉作業の進捗に伴うリスク低減プロセスを提示する検討を進めている。東京電力においても、サイト全体のリスクを把握する仕組みを整備するとともに、リスク低減の状況について東京電力自ら社会への発信を意識した対応が求められる。

3. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術戦略

3.1 燃料デブリ取り出し

3.1.1 目標

- 周至な準備をした上で燃料デブリを安全に回収し、これを十分に管理された安定保管の状態に持ち込む。
- 2号機の試験的取り出し（内部調査及び燃料デブリ採取）については、2024年9月に最初の燃料デブリ取り出しに着手している。今後、内部調査や段階的な取り出し規模の拡大等の一連の作業を進め、その後の取り出し規模の更なる拡大に向けて必要な情報・経験を得る。
- さらに、取り出し規模の更なる拡大については、2号機の燃料デブリ取り出し、内部調査、研究開発、現場環境整備等を見極めつつ、収納・移送・保管方法を含め、その方法を決定する。

3.1.2 進捗

1号機： 2023年度までに潜水機能付ポート型アクセス調査装置（水中ROV）の調査で得た地下階の情報に加えて、2024年2月～3月に、1階エリアの調査を主としたPCV内部調査（気中内部調査）で、ペDESTAL内外の既設構造物の状態や堆積物、落下物等の映像等の情報を得た。 本調査では、PCV貫通部X-2ペネトレーション（以下「X-2ペネ」という。）から無線小型ドローンとヘビ型ロボット（無線中継器を搭載し、X-2ペネに配置）をPCV内1階に投入し、ペDESTAL外の南側及び北側の状況の目視調査を行った。さらに、無線小型ドローンをCRD交換用開口部からペDESTAL内に入らせ、目視調査を行った。本調査で得られた主な情報は以下のとおり。 ペDESTAL外壁に大きな損傷はなく、既存構造物はおおむね形を保っており、CRD交換用レール周辺には目立った障害物がないことを確認した。 脱落したCRDハウジングがペDESTALのCRD交換用開口部の一部を塞いでおり、その上部には塊状の物体の付着が確認され、上方より移行してきたものと推定された。 ペDESTAL内壁面には著しい損傷は確認されず、ケーブルの中継箱等の既設設備や既設TIP（移動式炉心内計装）開口部も確認された。 今回の調査から、無線小型ドローンをペDESTAL外だけでなくペDESTAL内でも使用でき、飛行時間の制約はあるものの相当量の映像情報が得られること等が確認された。 無線小型ドローンのPCV内部調査への活用の有効性が確認されたことから、抽出された課題に対する対策も含めて、1～3号機の今後のPCV内部調査計画に反映していく。
2号機： 試験的取り出しで用いるアーム型のアクセス装置（以下「ロボットアーム」という。）については、性能確認試験、実機模擬環境における検証試験（以下「モックアップ試験」という。）及び訓練を実施している。これまでに、ロボットアーム単体での機能確認試験を完了し、エンクロージャ（機械類を格納する筐体）内へロボットアームを組み込んだ状態での確認試験を実施している。実作業ではロボットアームによる狭隘部へのアクセスを繰り返すため、その際の接触を避けるべく引き続き制御プログラムを最適化して確認試験を継続する。また、現地での準備工事として、既設のPCV貫通部X-6ペネトレーション（以下「X-6ペネ」という。）のハッチ開放に向けた隔離部屋の設置を2023年4月に完了した。その後のハッチ開放作業においてハッチボルトの固着が見つかったが、10月にボルトの除去を完了させ、ハッチを

開放した。その後、X-6ペネ内堆積物除去、CRDレールガイド除去、ケーブル等押し込みの作業を実施し、5月に完了した。6月には、X-6ペネ接続構造及び接続管の設置が完了した。

東京電力は、現地作業の不確実性に加え、ロボットアームについてはペDESTAL内へのアクセスまでの準備に時間がかかることや、信頼性確認のための試験の継続に時間が必要であること等を踏まえ、まずは性状把握のための燃料デブリの採取を早期かつ確実にを行う方針とした。そのため、ロボットアームの検証作業を継続している間に現場への適用を目指し、過去の内部調査で同様な構造での使用実績があるテレスコピック式（大きさが異なる筒を組み合わせた、伸び縮みが可能な構造）の装置（以下「テレスコ式装置」という。）を新たに準備して、2024年9月に燃料デブリの採取に着手した。更にその後、計画どおりロボットアームによる内部調査及び燃料デブリの採取を実施する計画とした。ロボットアームの投入によりペDESTAL内で、テレスコ式装置より広い範囲での燃料デブリ採取を予定している。

3号機：

先行して取り出し規模の更なる拡大の概念検討を進めてきた。この中で気中工法、気中工法オプション（充填固化工法）冠水工法の3工法が候補に上がった。また、2023年2月より、NDFの委員会である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」を設置し、安全を大前提に燃料デブリ取り出しのための各工法の技術成立性等を総合的に検討・評価し、現時点で設計検討を進めるべき工法について提言している。東京電力は、この提言に基づき具体的な設計検討を進めている。

3.1.3 主要な課題と技術戦略

3.1.3.1 各号機の燃料デブリ取り出し戦略

共通：

- 各号機とも直接的な映像情報が得られていないエリアが多く、更なる内部調査を推進し、種々の情報を得ることが課題であり、取り出し規模の更なる拡大を想定して新しく開発される調査技術も取り込み今後の内部調査計画を策定・更新しつつ進めていく。中でも無線小型ドローンが非常にアクセス性の良い有用な調査ツールであることが実証できたため、水中ROVも含めて更に活用していく。エンジニアリングの後戻りを避けると共に選択する工法の確実性を高めるためにも、取得した情報を基に燃料デブリ取り出し戦略の方向性を確認していくべきである。
- これまで経験した現場トラブルについては再発防止策を次の作業に反映していくべきである。また、想定されるリスクを排除できる工法を策定し、排除できない場合は、対応策をあらかじめ準備しておくべきである。
- 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）を施設・設備の損傷状況等の現場状況を踏まえつつ検討するべきである。
- 作業員被ばくの特定の個人への偏り防止、作業員全体の被ばく低減、長期的視点での人的資源の確保を進めるべきである。

1号機：

- 取り出し規模の更なる拡大に向けて、2号機の試験的取り出し、段階的な取り出し規模の拡大、研究開発、その成果を現場適用するエンジニアリング、PCV・原子炉压力容器（以下「RPV」という。）内部調査結果など、これまで及び今後得られる現場情報や知見も考慮して工法の検討を進める。

2号機：

- 試験的取り出しを推進し、段階的な取り出し規模の拡大につなげる。

3号機：

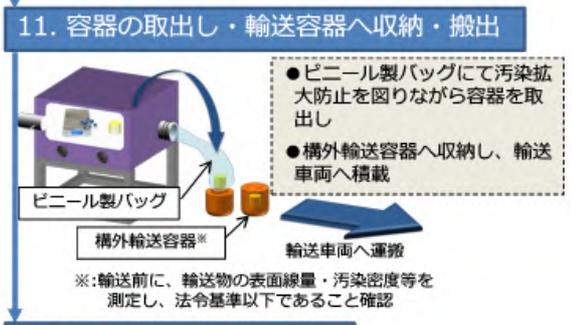
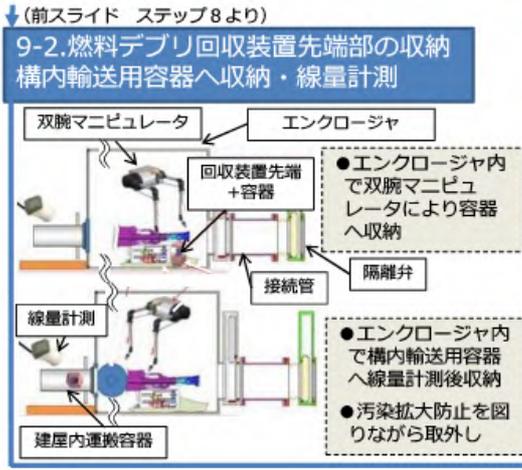
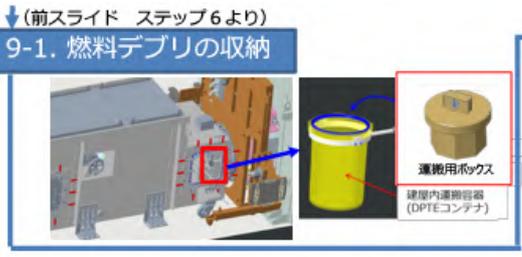
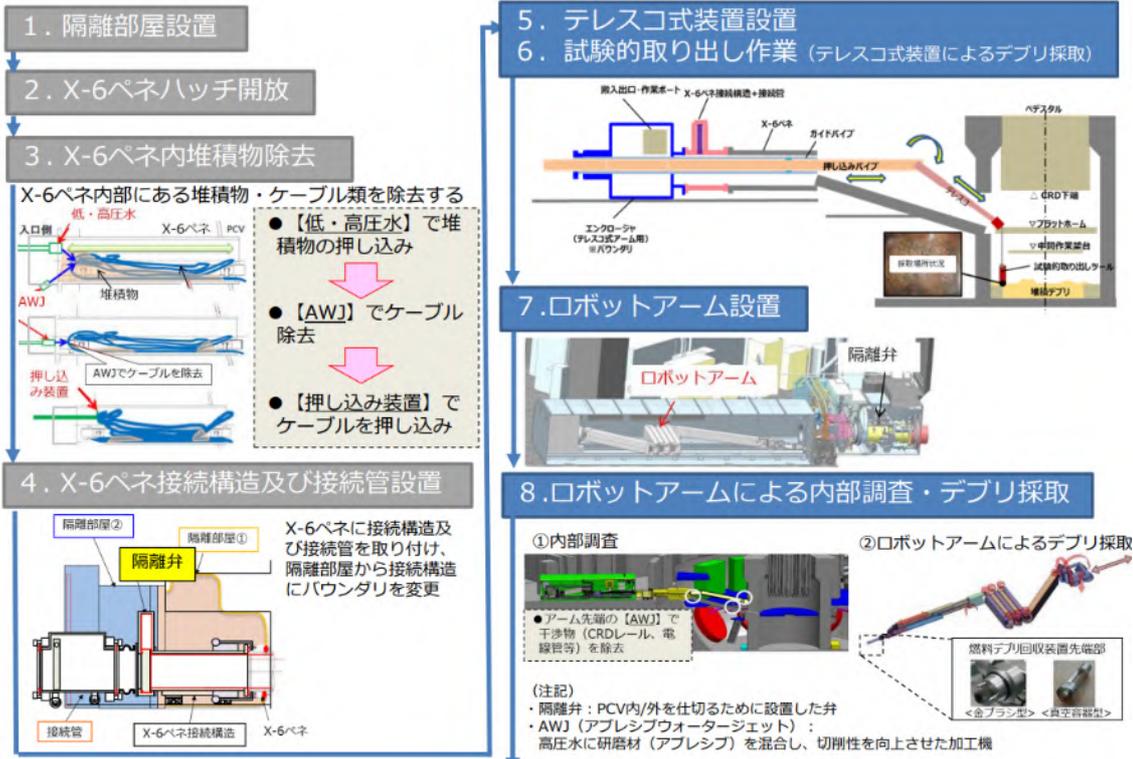
- プール燃料の取り出しが完了し他の作業との干渉が少ないこと及び原子炉建屋の作業環境改善が1号機より早く進められることを勘案し、他の号機に先行し、「小委員会」の提言を踏まえ、取り出し規模の更なる拡大に向けた取り出しシナリオ及び工法の技術成立性等の検討を進める。

3.1.3.2 試験的取り出し（内部調査及び燃料デブリ採取）

2号機での試験的取り出しは、PCVの外からペDESTAL内部までアクセスして、更なる内部調査を行い、併せて微量の燃料デブリを採取することを目的としている。PCVの既設X-6ペネのハッチを開放してPCV外側に閉じ込め障壁を拡張するという新たな段階に入る大きな意義を持った取組であるため、一連の作業を段階的に進めていく必要がある（図5）。この取組で得られた情報は、後続の段階的な取り出し規模の拡大や、取り出し規模の更なる拡大に活用される。また、燃料デブリの取り出しは福島第一原子力発電所で初めてとなることから、検討から取り出し作業までのプロセスで得られた経験や取り出したサンプルの分析により得られた情報は今後の廃炉の取組の中で活用される。PCV内部状況の不確かさゆえに、計画どおりにいかない可能性も想定し、安全かつ慎重に作業を進める必要があり、これらの作業を通して得られる貴重な情報、経験等を、他号機を含む後続の取り出し作業に生かしていくことが重要となる。

東京電力は、現地作業の不確実性に加え、ロボットアームについてはモックアップ試験からアクセスルート構築においてロボットアームと干渉する可能性のあるものの切断・撤去等に時間を要することや、信頼性確認のための試験の継続に時間を要するため、ロボットアームの検証作業を継続している間に性状把握のための燃料デブリの採取を行う方針とした。そのため、過去の内部調査で同様な構造での使用実績があるテレスコ式装置を新たに準備して、2024年9月に燃料デブリの採取に着手した。更にその後、当初の計画どおり、ロボットアームによる内部調査及びテレスコ式装置より広い範囲での燃料デブリの採取を実施することとしたロボットアームの投入によりペDESTAL内で、テレスコ式装置より広い範囲での燃料デブリ採取を予定している。

現地のアクセスルート構築作業においては、事前の想定と異なる事象が発生し隔離部屋の設置や、X-6ペネのハッチボルト・ナット取り外し、ハッチ開放にかなりの時間を要した。このような場合にも柔軟に対応できるように、事前に想定外の事象を幅広く洗い出し極小化した上で、それでも発生する想定外事象への対応方針の策定などの事前準備が重要である。併せて、これまでの現場作業被ばく実績を踏まえた作業計画を事前に検討しておくことも必要である。



12. 構外輸送及び構外分析

(東京電力資料をNDFにて加工)

● 分析結果は、後続の段階的な取り出し規模の拡大や、取り出し規模の更なる拡大に活用
図5 試験的取り出し (内部調査及び燃料デブリ採取) の作業ステップ

3.1.3.3 段階的な取り出し規模の拡大

段階的な取り出し規模の拡大は、取り出し規模の更なる拡大が開始されるまでの期間において、取り出し装置の検証、取り出し作業中の環境への影響のデータ取得、取り出し量の増加、より多くのサンプルからの燃料デブリ組成や性状等のデータ取得、作業員の取り出し経験の蓄積などを主な目的として、2号機で準備を進めている。

(1) 取り出し用装置について

段階的な取り出し規模の拡大に適用する取り出し用の装置（以下「ロボットアーム等」という。）は、試験的取り出し装置の検証段階で判明した改善点なども踏まえ、可搬重量の増加やアクセス性を向上するなどの改良を行う。取り出し範囲は、実績を積みながら範囲を拡大していく計画であり、把持・吸引できる燃料デブリから取り出しを開始し、切削を伴う燃料デブリ取り出しに拡大していく。また、併せてプラットフォームの梁切断の可否や切断範囲を検討していく計画である。内部にロボットアーム等を内蔵するエンクロージャは、燃料デブリを内部に持ち込むため、遮へい、汚染拡大防止対策等が検討されている。

また、エンクロージャ内に設置されるマニピュレータは、様々な作業・保守を行うため、作業の再現性の確保や運転員の養成が必要である。さらに、作業期間が数年オーダーになるため定期的な保守に加えて、故障に備えた準備が課題である。エンクロージャが設置される原子炉建屋内は線量が高くその場での保守は困難であり、建屋外にメンテナンス建屋を設け、そこまで装置類あるいはエンクロージャごと移送し、その中で、除染、解体、補修あるいは交換等を実施する計画である。この装置類保守によって得られる経験を取り出し規模の更なる拡大に生かすことが課題であるため、故障履歴や対応結果を含めたメンテナンス記録を確実に残す仕組みを構築する必要がある。NDFは引き続き、取り出し用装置の技術開発や現場への適用準備の状況を適時把握して、安全性確保や現場適用性の観点から確認していく。

(2) 第一保管施設について

第一保管施設は、設計時には燃料デブリの受入れや分析施設への試料の送付等の関連設備との接点や、据付時には周辺工事を含む多岐にわたる工事間の取り合いや接点が多く、工程管理や懸案事項の解決等に東京電力によるプロジェクト管理が必須である。この工事での経験や知見は今後のプロジェクト管理、工事管理への活用が期待される。また、第一保管施設における燃料デブリの取扱いでは多様な遠隔操作装置を使用する。他の遠隔操作装置の知見を参考にし、設計段階において潜むリスクに対する対策を設計に反映しておくべきである。

3.1.3.4 取り出し規模の更なる拡大

取り出し規模の更なる拡大においては、燃料デブリ取り出しは廃炉事業の重要なプロセスであり、その確実な実施は廃炉事業の成否を左右することを踏まえて、技術的な成立性のみならずリソースや工程などを含めた総合的な見地からの工法検討を東京電力が責任を持って取り組んでいく必要がある。東京電力は、3号機を先行して、取り出し規模の更なる拡大についての概念検討を進めてきており、気中工法、気中工法オプション（充填固化工法）、冠水工法の3工法が候補に上がった。2030年代の取り出し規模の更なる拡大の作業開始を考慮すると、検討を加速して

いくことが適切である。このような状況を踏まえ、不確かさが大きい中で設計検討の方向性を絞り込むに当たっては、政府、東京電力、NDFが協力して検討を進めるとともに、内外の技術的知見を集めた専門的かつ集中的な検討が必要であった。このため、2023年2月より小委員会において、安全を大前提に技術成立性等を総合的に検討・評価し、工法選定への提言等を報告書に取りまとめ、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。

工法の検討を進めるに当たっては、事故炉である福島第一原子力発電所は通常炉と大きく異なる特殊な環境であり、燃料デブリ取り出しを困難にしている以下の要因を十分認識する必要がある。

PCV・RPV内が高線量	閉じ込め障壁構築
原子炉建屋内が高線量	臨界の可能性
現場情報の不足	廃棄物の発生物量

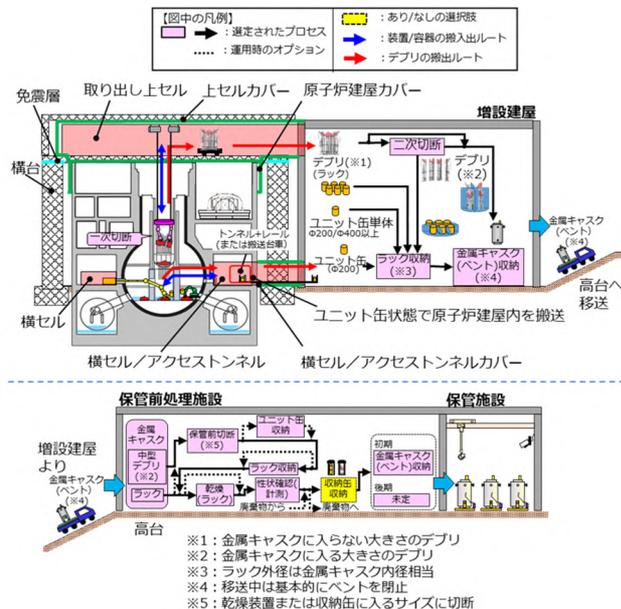
上記の要因を踏まえ、工法の検討や評価をする際の留意点を以下に示す。

- 通常炉とは異なる特殊な環境であることも踏まえ、安全確保が確実に実現可能である前提で、最終的に目指す安全のレベルや、そのために必要な要求事項を適切に設定して工法を検討することが重要である。
- 燃料デブリの位置・量・性状等の現場情報について、これまでの内部調査、解析評価、過去の知見等を基に総合的に分析・評価し、工法検討に必要な情報を推定しているが、今後このような取組を継続し、新たに得られる成果を適宜、工法検討のための情報に反映し工法検討の精度を向上させるべきである。
- 工法の検討では、号機ごとに燃料デブリ取り出しシナリオを検討し、スタートからゴールまでの道筋を明らかにすることは重要である。また、燃料デブリ取り出しの道筋を検討する上では、準備工事から燃料デブリ取り出し完了までの各プロセスに潜む課題の管理が必要であり、常に課題の困難さ及び対応策を確認しながら、燃料デブリ取り出しシナリオを策定する必要がある。
- 作業、装置及び施設が大規模化し、工事範囲が広域化することから、他工事も含めて福島第一原子力発電所全体を見据えた検討が課題となる。このため、工法に係る作業・装置に求める要求事項（閉じ込め、臨界管理、操作性、メンテナンス性、処理能力等）に加え、発電所全体を見据えた要求事項（敷地利用面積、既存設備との取り合い、地下水対策、廃棄物対策等）をより明確に設定して進めるべきである。
- 策定した工法案に潜む課題を体系的・網羅的に抽出する方法として、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（一連の手順）を検討し、各プロセスの作業に対し、技術成立性に大きく影響する可能性のある課題を網羅的に抽出することがその有効な手段である。また、抽出された課題については、対応策を検討の上、現場適用性、技術成立性の視点で対応できることを確認しておくべきである。
- 工法を評価する際は、5つの視点（安全、確実、合理的、迅速、現場指向）に基づき、目標とする安全レベルを満足し、現場適用性、技術成立性を確認する評価に加え、リソース、工程、作業員確保、社会受容性などの評価も判断指標とする必要がある。また、判断

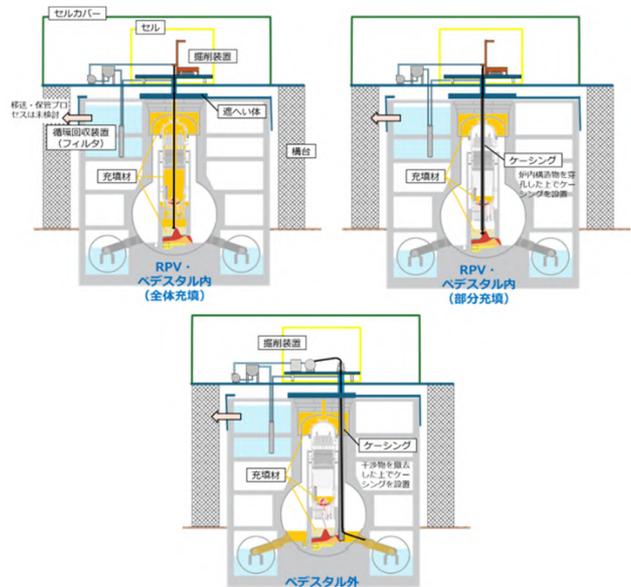
基準については客観的に判断するための材料（例えば、被ばく評価、構造評価等）をあらかじめ明らかにしておくべきである。

次に、小委員会の成果として取りまとめられた報告書の概要を以下に示す。

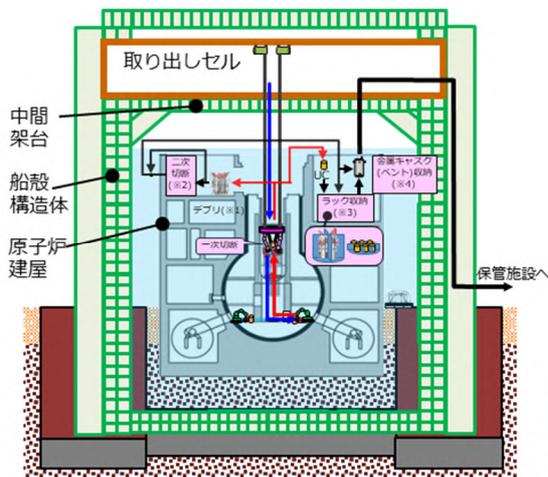
概念検討を進めてきた工法として、気中工法（図 6(a-1)）、気中工法オプション（充填固化工法）（図 6(a-2)）、冠水工法（図 6(b)）の概要及び長所と課題を以下に示す。



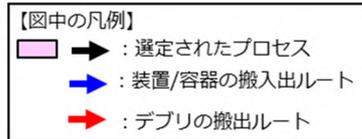
(a-1) 気中工法



(a-2) 気中工法オプション (充填固化工法)



(b) 冠水工法



- ※1: 金属キャスクに入らない大きさのデブリ
- ※2: 金属キャスクに入る大きさのデブリ
- ※3: ラック外径は金属キャスク内径相当
- ※4: 移送中は基本的にベントを閉止

移送・保管プロセスは気中工法と同じのため、省略

図 6 取り出し規模の更なる拡大に係る各工法の一例

a-1 気中工法

燃料デブリが気中に露出した状態若しくは低水位で浸漬した状態で取り出す工法。気中工法の長所と課題を整理した結果を以下に示す。

長所	<ul style="list-style-type: none"> ● 現在気中で維持されている状況を大きく変化させずに取り組むため、状態変更に伴う懸案等が少ない ● 冠水工法よりも早期に燃料デブリ取り出し作業が開始できる ● 上アクセスの中でも複数の工法の中からの選択、また、上アクセスと横アクセスの組合せなど、内部の状況に応じた燃料デブリ加工・回収方法を選定できる
課題	<ul style="list-style-type: none"> ● 現場が高線量であるため、他工法と比較して多種多様の遠隔操作装置が必要であり、開発・設計・検証に長い期間を要する上に、現場投入後に設計変更を余儀なくされる可能性もある ● 遠隔操作装置のレスキューに相当な時間が掛かることを考えると、高線量環境下での復旧方法又はセル内を高線量環境にさせない方法の検討も必要である ● 高線量の燃料デブリと廃棄物を上から取り出すため、オペレーティングフロア（以下「オペフロ」という。）に高重量のセル、取り出し機器の設置が必要となり、これらを支持し十分な耐震性を確保するための構台の規模が大きくなる

a-2 気中工法オプション（充填固化工法）

充填材により燃料デブリを安定化させつつ現場線量を低減し、オペフロに設ける比較的小さな開口部から、掘削により、燃料デブリや炉内構造物等を取り出す工法。気中工法オプション（充填固化工法）の長所と課題を整理した結果を以下に示す。

長所	<ul style="list-style-type: none"> ● 燃料デブリ等を充填材で固めることにより一旦安定化させることができる。また、固化体にすることで取り出しの際の扱いを統一化・単純化させることができる ● 充填材による遮へい効果、小さな開口から炉内にアクセスすることなどから、オペフロでの線量低減が期待される。これにより、オペフロに設置するセルやそれを覆うセルカバー、これらを支持する構台等の規模を簡素化できる可能性がある ● 機器故障時のレスキューにおいてオペフロでの人手による直接操作が期待できる ● 掘削装置は、遠隔操作となるが、構造は1軸鉛直方向の動きを基本とし、シンプルである。また、掘削対象物に応じて先端ビット等を交換可能なため、柔軟性がある ● 気中工法、冠水工法と比較し、設備の規模が小さく、最も早期に燃料デブリ取り出し作業が開始できる可能性がある
課題	<ul style="list-style-type: none"> ● 充填材の選定（流動性・硬化時間調整性・固化後の機械的物性・熱伝導性・化学的安定性・放射線による劣化性等）充填方法、充填状態の確認方法の確立が必要 ● 掘削対象物に応じた先端ビット等の選定、検証が必要 ● 充填範囲に応じて廃棄物発生量が増大する。また、スラッジ状で回収する場合には、その取扱いに注意が必要

b 冠水工法

閉じ込め障壁として船殻構造体と呼ばれる新規構造物で原子炉建屋全体を囲い、原子炉建屋を冠水させ燃料デブリを取り出す工法。冠水工法の長所と課題を整理した結果を以下に示す。

長所	<ul style="list-style-type: none">● 水遮へいにより線量を低減させ、併せて、ダスト飛散抑制の効果も期待できる● 強固な閉じ込め障壁（船殻構造体）により、外部から完全に隔離できる● 遠隔機器故障時のレスキューは、オペフロから人手による操作が可能である
課題	<ul style="list-style-type: none">● 建屋の下部地盤での船殻構造体構築における現場施工性（施工中における地震時の地盤安定性等）の検証が必要である● 大量の保有水に対する臨界管理・水質管理・漏えい対策の確立が必要である● 船殻構造体の設備規模が膨大である● 準備工事期間が最も長く、燃料デブリ取り出し作業の開始時期が最も遅い

小委員会は、これらの各工法の評価を踏まえ、工法選定に対し、以下の内容を提言している。

- 一つの工法に固執することなく、各工法の長所を生かし課題を補完し合うシナリオを検討することが望ましい。
- 冠水工法は、本格的に着手すべき工法として現時点で選択することは困難である。一方、高線量物質を水中で扱うことのメリットは大きく、将来、気中工法から水遮へいの機能を活用できる工法に移行する可能性も否定できない。
- 気中工法が基本となるが、現状の気中工法はシステム全体の規模が大きく全てを遠隔操作装置に依存するため、パフォーマンス上の懸念が大きい。
- 気中工法オプションは、燃料デブリを一旦安定化できる効果に期待ができる。しかしながら、技術的な検討が不足していることが否定できない。気中工法オプションの基本的成立性の見通しが得られれば、充填固化の機能を活用した気中工法の発展が期待される。
- いずれの工法でも、原子炉内部の状況の十分な理解がその設計や安全確保の前提となる。今後、内部調査を加速させ、工法選定やその設計検討と同時併行で行うことが不可欠。

これらの提言を総合的に考慮すると、以下のように進めることが適切であるとしている。

- ✓ 気中工法と気中工法オプションの組合せによる設計検討・研究開発を開始する。
- ✓ これと併行して、小規模な上アクセス等による内部調査を進める。
- ✓ 水遮へいの機能を活用した工法についても、併行して検討を行う。

なお、今後の内部調査等により新たな課題が判明した場合は、設計検討の途中段階であっても取り出しシナリオの変更や、場合によっては遡って工法自体の見直しもあり得るものとする。

また、小委員会では今後の進め方として以下を提案している。

東京電力における具体的な設計検討の進め方

東京電力は、小委員会報告書の提言に基づいた具体的な設計検討に着手し、併行して、内部調査や研究開発などの報告書で示された課題に取り組む必要がある。

安全確保の具体化の進め方

安全確保の考え方、判断の基準とその根拠を早期に明確にし、これらに対する規制側からの見解や示唆を踏まえて、基本設計や詳細設計に反映する。

小委員会によるフォローアップ

小委員会は当面存続し、東京電力の設計検討・研究開発などをフォローアップする。

関係地域の自治体や住民との対話

小委員会報告書の内容、東京電力の設計検討の実施状況等については、関係地域の自治体や住民との対話を行うことで十分に共有する。

東京電力は、上述の小委員会報告書の内容に沿って具体的な設計検討を進めている。また、2025年度半ばを目処にその成果を取りまとめ、その後、基本設計のフェーズに進む計画である。2024年度以降の東京電力の取組状況として、具体的な設計検討の実施計画を策定し、2024年7月の小委員会に報告している。実施計画のうち、実施内容、検討スケジュール、検討体制の概要を以下に示す。

(1) 具体的な設計検討の実施内容

取り出しシナリオの策定

小委員会の提言に基づき、気中工法と気中工法オプションを組み合わせ、併行して内部調査を進めるシナリオを念頭に、準備工事から内部調査、取り出し、構内移送、保管までの一連の取り出しシナリオを策定する。

設備計画

項の取り出しシナリオの全プロセスに対し、必要となるシステム、設備を検討する。また、これらを収納、設置可能な建屋・新規構造物を検討する。検討した成果は基本設計への設計情報となることから、概念設計仕様書、計画図等の形で取りまとめる。

物流・配置計画

項の設備計画に整合した物流・配置計画を検討する。また、項同様に、検討した成果は、概念設計仕様書、計画図等の形で取りまとめる。

工程

項、項の成果に基づき、各プロセスの工程及び全体工程を検討する。

技術開発テーマ

項の取り出しシナリオの全プロセスにおいて、技術成立性に大きく影響する可能性のある課題を抽出し、その課題に対して必要となる技術開発テーマを具体化する。また、開発優先度の高いテーマについては開発に着手する。

水遮へい機能を活用した工法の検討

原子炉建屋下部を含む近傍の地盤の建設時データ調査等を実施して、船殻構造体設置の実現性を確認する。

安全確保の考え方と判断基準の設定

福島第一原子力発電所特有の安全指針を検討し、燃料デブリ取り出しのための安全要求を整理する。

(2) 検討スケジュール

具体的な設計検討は 2025 年度半ばを目標に検討を完了させることで進める。また、小委員会フォローアップに対応して、1 回 / 6 か月程度の頻度で進捗状況を報告する。

(3) 検討体制

東京電力は、具体的な設計検討の検討項目 / 方針、課題の整理、スケジュール / リソース管理など、全体マネジメントを実施する。また、検討項目毎に、デコミテックなど関係機関との協力体制を構築する。

3.1.3.5 事故分析（事故時の発生事象等の明確化）活動の継続

福島第一原子力発電所事故の事故分析活動は、東京電力だけでなく各組織において行われている。原子力規制庁では、東京電力と協働して、事故の原因を究明するとともに、将来の原子力安全性の向上に資するため、事故分析で得られた知見の検討を進めている。日本原子力学会においても、事故分析に関わる活動が継続している。国際協力については、OECD / NEAにおいて、各国・各機関の知見に基づいて、事故分析に係るプロジェクトが進んでいる。

東京電力自身による事故分析活動として、事故時の発生事象等を明確化するため、「福島第一原子力発電所事故における未確認・未解明事項」として 52 件の課題を抽出し、内部調査で得られた知見などに基づく調査・検討の進捗を報告しており、2022 年 11 月の第 6 回進捗報告までに優先順位が高い課題に分類された 10 件全てを含む 38 件の検討結果が示されている。東京電力は、これらの事故分析の結果を参照して R P V や P C V の状態推定に関する検討を進め、現場調査の計画的な実施及び燃料デブリ取り出し工法、保管・管理等の検討に反映している。一方で、熔融炉心物質とコンクリートとの反応や、ベント時の格納容器からの放射性物質の放出等の 14 件の課題については、まだ十分に検討が進められていない。今後、2 号機の試験的取り出しにおける内部調査及び燃料デブリの回収・分析により、これらの事故分析活動に有用な情報を得られることが期待される。

3.1.3.6 取り出し規模の更なる拡大に係る研究開発

エンジニアリングで対応するには難易度が高い課題、若しくは、将来を見据えた課題については「廃炉・汚染水・処理水対策事業（以下「廃炉補助事業」という。）」にて研究開発を行ってきた。この研究開発は 5.2 章に記載する研究開発中長期計画及び次期廃炉研究開発計画に従って進められており、網羅的、計画的及び効率的に、又廃炉の実施主体である東京電力のニーズに沿ったものであることを確認しながら進めることが重要である。実施中の研究開発の項目について以下に記載する。なお、(7) 以外は各工法共通の研究開発である。(7) は、現時点で気中工法のみに係る研究開発となっているが、今後、その他の工法についても研究課題を抽出し、必要により研究開発に着手していく。

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| (1) R P V 内部調査技術 | (5) 燃料デブリ収納・移送・保管技術 |
| (2) 原子炉建屋内の環境改善のための技術 | (6) ガスト飛散率データ取得 |
| (3) 被ばく線量評価のための分析手法の技術開発 | (7) 燃料デブリ取り出し工法 |
| (4) 液体処理システム（線放出核種除去技術） | |

3.1.3.7 保障措置方策の課題

取り出した燃料デブリに対する計量管理や保障措置は前例のないことであり、その検討や現場への適用に際して東京電力が技術的課題に直面する可能性があるため、NDFは、計量管理や保障措置に関わる既存技術を広範囲に調査することで東京電力の技術支援に備えるとともに、エンジニアリング的視点も踏まえながら、保障措置の適用に係る設備対応が廃炉工程に影響を与えないことをプロジェクト進捗状況から確認していく。

3.2 廃棄物対策

3.2.1 目標

- 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ながら、固体廃棄物の保管管理計画の策定・更新を実施するとともに、それに基づいて発生抑制と減容、保管・管理状況のモニタリング等の適正な保管・管理を遂行する。
- 保管・管理、処理、再利用、処分の検討を進める上で必要な分析計画の策定・更新を実施するとともに、それに基づいた分析を着実に進める。
- 2021 年度に示した処理・処分方策とその安全性に関する技術的見通しを踏まえ、性状把握を進めつつ、保管・管理、処理、再利用、処分に係る方策の選択肢の創出とその比較・評価を行い、具体的な固体廃棄物管理全体（廃棄物の発生から再利用、処分までの管理）について適切な対処方策の提示に向けた検討を進める。そのためにはまず、固体廃棄物管理全体のうち、個別の固体廃棄物に対する性状把握から再利用、処分に至るまで一体となった対策の流れ（以下「個別廃棄物ストリーム」という。）を評価し、その中で安全性や成立性が認められた個別廃棄物ストリームオプション案を蓄積する。そののち、全ての個別廃棄物ストリームオプション案を束ねて、全体の廃棄物ストリーム（以下「廃棄物ストリーム」という。）を構築する。

3.2.2 進捗

- 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、以下の「固体廃棄物についての基本的考え方」に基づく取組を進めている。
- 2023 年 11 月公表の保管管理計画では、燃料デブリ取り出し準備工事等において相当量の廃棄物（少なくとも約 30 万 m³）が発生することが見込まれている。この廃棄物発生量については、1～4 号機周辺の建屋の解体及び震災前に発生した樹脂等について、燃料デブリ取り出し工法が決まっていないことによる不確かさを前提に試算されたものである。なお、今後この廃棄物発生量については、焼却・破碎等の減容効果を見込み精査される予定である。

< 「固体廃棄物についての基本的考え方」 >

閉じ込めと隔離の徹底	処分を念頭に置いた先行的処理方法の選定手法の構築
固体廃棄物量の低減	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
性状把握の推進	継続的な運用体制の構築
保管・管理の徹底	作業員の被ばく低減対策等

3.2.3 主要な課題と技術戦略

第 3 期には固体廃棄物の廃棄体の仕様や製造方法を確定するため、固体廃棄物の性状把握から保管・管理、処理、再利用、処分に至るまで一体となった対策の専門的検討は、NDF を中心に関係機関が各々の役割に基づき取組を推進する。各分野の状況を以下に示す。

3.2.3.1 性状把握

処理・処分を含む固体廃棄物対策検討の基礎情報である固体廃棄物のインベントリについて、分析データを蓄積しながら不断の改善を行っていく。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、物量が膨大なこと、高線量廃棄物については、試料採取や分析自体が困難で取得される分析データの数が限定される、といった特徴から、必要な精度を効率的に担保するアプローチが重要となるため、効率的な分析評価方法の確立に取り組んでいる。

2022年6月に福島第一原子力発電所構内に国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「JAEA」という。）の放射性物質分析・研究施設第1棟が竣工し、分析能力が増強されたことから、その能力を前提として、廃炉工程における課題の解決に資する分析について試料の優先度を踏まえ計画的に実施する。取得したデータを廃棄物対策全般に活用し、東京電力は、分析の試料採取、分析施設の確保、試料の輸送等に係る工程全体（以下「分析のサプライチェーン」という。）の調整も含む、固体廃棄物の性状把握に関して統括的な管理を行うべきである。

東京電力は、2023年3月に固体廃棄物の処理・処分方法、再利用方策の検討に向けた性状把握及び保管・管理の適正化を目的として分析計画を策定し、2024年3月に更新している。今後はそれを基にJAEAと協働し、具体的な分析業務への落とし込み、分析計画の見直し、必要な技術開発課題の具体化、分析のサプライチェーンの運用体制の早期確立に取り組む。

3.2.3.2 保管・管理

固体廃棄物の保管・管理については、放射能濃度や性状等、リスクに応じて適切に行う。また、保管・管理状況のモニタリングなどにより必要な情報を得つつ、測定項目・測定時期等を見直していくことが重要である。現在の保管・管理は、表面線量による区分で行われているが、今後の固体廃棄物の発生量の増大に備え、放射能濃度による管理に移行し、これを踏まえた合理的な廃棄物区分、構内再利用等を検討していく。

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において、表面線量率によるガレキ類の放射能濃度管理手法の構築が、低線量・BG相当のガレキ類に対しては2025年度までに、中線量のガレキ類に対しては2028年度までの目標として示されている。このため、Cs-137をキー核種とした核種濃度比に関するデータの蓄積・評価を行い、必要に応じて汚染傾向の類似性を考慮したグループの見直しや分析データの追加取得等について分析計画へフィードバックしながら検討を進める。

将来、膨大な量の固体廃棄物の発生が見込まれる建屋解体廃棄物等については、これまで、廃棄物発生後に表面線量率により区分・管理を実施し、放射能濃度の管理は未実施であったが、今後は、あらかじめ核種分析により施設の汚染状況を把握し、それに応じた除染・解体及び解体物の保管・管理を行う方法に移行させて合理的な処理・処分に繋げていく。まずは、将来実施する施設の解体、発生解体物等の対策に展開するため、特定の施設を対象に解体モデルケースを検討していくことが重要である。

中長期ロードマップでは、水処理二次廃棄物及び再利用・再使用対象を除く全ての固体廃棄物の屋外一時保管を2028年度内までに解消するとされている。この目標の達成のため、焼却・減容施設、固体廃棄物貯蔵庫等の必要な設備・施設を計画的に整備し、固体廃棄物の建屋内保管への集約を着実に進める必要がある。また、特定原子力施設・監視評価検討会及び特定原子力施設

の実施計画の審査等に係る技術会合における低レベルコンクリート等廃棄物の保管に関する現実性・合理性に関する見解も加味した上で、安全かつ合理的で、実現可能な保管・管理の在り方について検討を進めることが重要である。

A L P S スラリーについては、保管施設の増設により、当面の保管容量は確保されている。また、安定化処理までに積算吸収線量の上限值（5,000kGy）を超えると評価されるため、移替えが必要となるH I Cの当面の保管容量の確保及び移替えを確実に実施するとともに、安定化処理設備の設置及び処理を計画的に進める。

2021年度までに明確にした、燃料デブリ取り出し規模の更なる拡大により発生する高線量廃棄物の保管・管理に係る課題と対策について、今後は燃料デブリ取り出し工法の検討に応じた見直しを行う。燃料デブリ取り出し準備工事において、建屋の解体等により放射能濃度の低いコンクリート及び金属が大量に発生すると想定されるため、現行の物量低減に係る対策を継続するとともに、更なる物量低減可能性に係る検討を進めることが必須である。

3.2.3.3 処理・処分

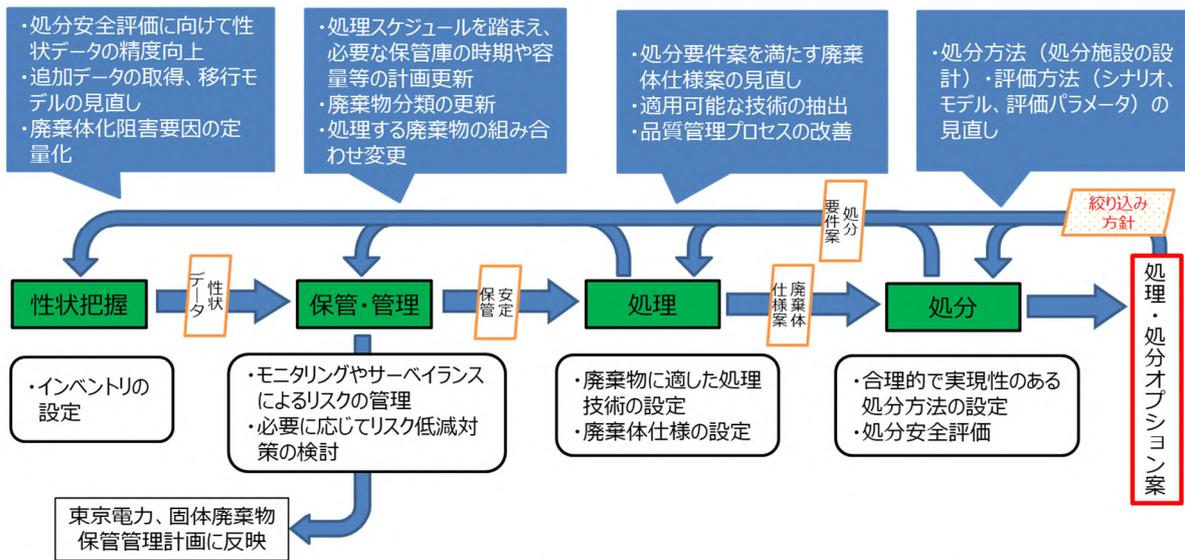
個別廃棄物ストリームにおける各分野の研究成果を、相互にフィードバックしながら知見を幅広く得て、安全性や成立性が認められた個別廃棄物ストリームオプション案の特徴を評価し、その結果を蓄積する。その個別廃棄物ストリームオプション案を束ね、それらを評価・検討して絞り込みを行った適切な廃棄物ストリームの構築に向けた検討を進める。図7の一連の検討に必要な処理技術、処分技術の研究開発に継続して取り組む。

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、未対応となっている課題への取組を継続する。

A L P S スラリーについては、水処理で継続的に発生し保管容量の確保が課題となっているため、特定原子力施設・監視評価検討会及び特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合におけるスラリー脱水処理技術に係る論点を踏まえた上で、適用する処理技術の選定に関する要件について優先的に検討を行う。当面想定される課題に対する検討として、分別が困難な多量のガレキ類を分別せず一括固化する技術の可能性に関する検討、スラリー脱水物とその容器の一体処理技術に係る検討に取り組む。

処分技術に関しては、放射性廃棄物の特徴を踏まえ、処分施設の長期変遷挙動等の検討に基づき処分の成立性に大きな影響を及ぼし得る重要シナリオを抽出し、その重要シナリオ等に基づき処分概念に求められるニーズを把握して、ニーズへの対応策として、高度化を図ってきた安全評価技術や国内外の知識等を適時活用し、処分概念オプション案を構築・改良する。さらに、この処分概念オプション案を反映した個別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放射性廃棄物全体を俯瞰した処分概念オプション案の検討を行うとともに、処分以外の分野で得られる知見と連携して、全体として適切な具体的管理に係る対処方策の検討に資する。

■ 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



■ 廃棄物ストリーム検討における各分野の研究成果のインプットと課題のフィードバック

**現状を踏まえた対策・検討
(下流へインプットする研究成果)**

性状把握	性状把握→保管・管理	性状把握→処理	性状把握→処分
性状把握←保管・管理	保管・管理	保管・管理→処理	保管・管理→処分
性状把握←処理	保管・管理←処理	処理	処理→処分
性状把握←処分	保管・管理←処分	処理←処分	処分

**現状の課題
(上流へフィードバックすべき課題)**

図7 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

3.3 汚染水・処理水対策

3.3.1 目標

- 汚染水問題に関する3つの基本方針（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」）の下、構築された水位管理システム運用を継続しつつ、平均的な降雨に対して、汚染水発生量を2028年度末に約50～70m³/日程度に抑制する。また、汚染水対策の安定的な運用に向け、津波対策や豪雨対策等の大規模自然災害リスクに備えた対策を計画的に実施する。
- 今後本格化する燃料デブリ取り出し等の廃炉工程との関係を整理するとともに、中長期を見据えた汚染水対策の在り方についての検討を進める。
- 敷地等のリソースを確保し、廃炉作業全体を着実に推進するため、ALPS処理水を安全かつ確実に放出する。

3.3.2 進捗

- 陸側遮水壁、サブドレン等の重層的な汚染水対策、及び建屋屋根の損傷部補修や構内のフェーシング等の雨水浸透防止対策により、2023年度の汚染水発生量は降雨補正をした場合（年間降水量が平年雨量の約1,470mmに比較して約200mm少ないため平年雨量相当に補正）でも約90m³/日となり、中長期ロードマップ目標の「2025年内に約100m³/日以下」を2年前倒しで達成した。
- 2022年度に中長期ロードマップのマイルストーンである「2022年度～2024年度に、原子炉建屋滞留水を2020年末の半分程度に低減」を達成したが、プロセス主建屋（以下「PMB」という。）、及び高温焼却炉建屋（以下「HTI」という。）の床面露出に向けた水位低下を実現するために、地下階に存在する高線量のゼオライト土嚢等の回収、及び地下階への滞留水の貯留に代わる一時貯留設備の設置に向けた準備を進めている。
- 津波に伴うリスク低減対策として、2024年3月に日本海溝津波防潮堤設置工事を完了した。豪雨対策としては、1～4号機周辺における浸水リスクを解消するため、2022年8月よりD排水路の供用を開始するとともに既存排水路の排水機能を計画的に強化している。
- 2023年8月のALPS処理水の海洋放出以降、約1年間に計8回の放出が実施された。これまでのALPS処理水の総放出量は約63,000m³、放出トリチウム量は約10兆ベクレルであった。処理水の放出期間中、発電所近傍の14地点の海水についてトリチウム濃度の迅速分析が実施されているが、これまでの8回の放出においていずれの地点においても検出限界値未満、若しくは運用目標値（放出停止判断レベルや調査レベル）を一桁以上下回る値で推移しており、これまでの海洋放出が計画どおりに安全に実施されたことを示している。

3.3.3 主要な課題と技術戦略

3.3.3.1 汚染水発生量の抑制

汚染水発生量については、中長期ロードマップの目標である「2025 年以内に 100m³/日以下」を達成したが、これまで進めているサブドレン、陸側遮水壁の維持管理を継続し、建屋周辺の地下水を低位で安定的に管理するとともに、雨水浸透防止対策として陸側遮水壁内側のフェーシング（敷地舗装）、建屋屋根破損部の補修を進める。さらに、1～4号機建屋周辺の局所止水として、建屋深部外壁貫通部や建屋間ギャップ端部の止水対策によって、「汚染水発生量を 50～70m³/日程度に抑制（2028 年度末）」の目標達成を目指す。

また、2.5m 盤には事故直後に建屋から海水配管トレンチ（海水を取水する配管が収納されている鉄筋コンクリート製の地下構造物）を介して漏えいした汚染水が残存しており、ウェルポイント（以下「WP」という。）からの地下水の汲み上げによって汚染水の流出防止を図っている。汚染水発生量抑制の観点からは、中長期的な対策として、まず建屋止水対策を着実に進め、その効果が発揮されることが前提となるが、今後行う調査検討を踏まえ、2.5m 盤の汚染土壌への対策を含む、WP 汲み上げ量抑制対策を検討する必要がある。

3.3.3.2 建屋滞留水の処理

（1）滞留水量の更なる低減

原子炉建屋の床面近傍にはセシウムや核種を含む高線量のスラッジが存在するため、建屋水位を下げ過ぎると、水の遮蔽効果が低下し作業環境が悪化するおそれがある。また、セシウム吸着装置に通常よりも数桁高い放射能濃度の汚染水が流入すると、浄化性能が著しく低下するおそれがある。原子炉建屋滞留水量を 2020 年末の半分程度（約 3,000m³）に低減させることは達成されたが、更なる低減については燃料デブリ取り出し工法との一体的な検討が必要である。例えば、気中工法においても建屋内をドライアップするのか、それとも滞留水を循環させてかけ流すのかによって、建屋滞留水量の低減目標は異なってくる。このため、燃料デブリの取り出し規模の更なる拡大の工法検討に併せて、滞留水管理のあるべき姿を具体化していくことが重要である。

（2）プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋の滞留水処理

現在、プロセス主建屋（PMB）及び高温焼却炉建屋（HTI）の地下階にも建屋滞留水が貯留されており、床面露出に向けた水位低下を実現するために以下の対応を行う。

- PMB 及び HTI の地下階に存在する高線量のゼオライト土嚢の回収

ゼオライト土嚢は高線量であるため、水没させた環境で集積用ロボットを用いて集積作業を行い、容器封入用ロボットで地上階に移送し、建屋内で脱水して保管容器に封入した後、一時保管施設に移送する計画である。集積作業は、狭隘な地下階で高線量物を遠隔で回収する難易度の高い作業であることから、モックアップ試験で得られた知見を基に改良を重ね、段階を踏みながら慎重に進めていく必要がある。実規模モックアップ試験の結果から、スラッジ類の舞い上がりや濁り等による視認性の低下が確認されており、実際の集積作業へ反映していく計画である。

- P M B 及び H T I の地下階への貯留に代わる滞留水一時貯留設備の設置

P M B 及び H T I の床面露出に向けて、P M B 及び H T I がこれまで担ってきたバッファタンクとしての機能を引き継ぐため、受入槽と一時貯留槽の 2 槽で構成される滞留水一時貯留設備の設計、製作が進められており、2025 年度から運転確認等が実施される予定である。受入槽にて分離・回収されたスラッジは、当面の間、P M B の地下階の限定されたエリアに排出し、水分は床ファンネル（床面に設けられた排水口）を通じて滞留水一時貯留設備へ回収することで、水抜きされたスラッジが貯留される計画である。将来的には受入槽から直接スラッジを回収する設備を設置することで、P M B 地下階でのスラッジの貯留をなくし、更なるリスク低減を図ることとしている。

3.3.3.3 燃料デブリ取り出し等の廃炉工程を見据えた汚染水対策の課題

(1) 核種の拡大防止と燃料デブリ取り出しに向けた水処理設備の検討

これまでの建屋滞留水の分析では、核種は主として粒子状で存在することが確認されており、セシウム吸着装置（S A R R Y / S A R R Y ）出口では、現状 10Bq/L 以下の全濃度が維持され、下流側への核種の汚染拡大は抑えられている。今後、燃料デブリ取り出し等の作業で建屋底部のスラッジ蓄積量が増加することによって、汚染水へのスラッジ混入が多くなり、水処理設備入口での全濃度が上昇する可能性がある。こうした懸念に対応するため、セシウム吸着装置の後段にフィルタ設備（核種除去設備）の設置を検討している。

また、燃料デブリ取り出し時には切削等の加工により多量の微粒子を含む汚染水が発生し、燃料デブリに含まれる核種も微粒子やイオン、コロイド等様々な形態で存在する可能性がある。汚染水の水質は切削等の加工の方法に依存するが、燃料デブリ取り出し工法が確定していない状況では水質の想定が難しいため、燃料デブリ取り出し時の水処理システムは想定し得る水質の変動範囲やそれに対応した核種の形態を考慮してシステム設計を実施すべきである。

(2) 汚染水対策設備の中長期的対応

汚染水対策の効果を中長期にわたって維持するため、陸側遮水壁やサブドレン設備、既存の水処理設備（S A R R Y、A L P S 等）など、各設備の定期的な点検、更新を確実に行うことが必要である。そのためには経年変化など様々なリスクを想定し、監視・早期復旧対策の体制強化や安定運用に向けた予備・代替品の調達手配等を整えるなど、計画的に維持管理・設備更新を進めることが重要である。

また、燃料デブリ取り出し完了までには長期間を要することから、現在進められている燃料デブリ取り出し規模の更なる拡大の工法選定と併せ、中長期を見据えた汚染水対策を俯瞰し、より安定的な汚染水対策の在り方や各設備のより適切な維持・管理を考慮すべきである。現行の地下水流入抑制対策の継続を含め、汚染水のアウトリーク防止を前提としてインリーク抑制策も取られた汚染水対策工法であることが望ましく、燃料デブリ取り出しのための構築物設置や周辺施設解体期間中の汚染水管理を含めた対策が必要である。中長期的な汚染水対策においては、現場適用性や技術成立性の確認と併せ、燃料デブリ取り出し工法等の廃炉工程全体の進捗と整合を図りつつ検討を進めるべきである。

3.3.3.4 A L P S 処理水の海洋放出に関する今後の取組

東京電力はA L P S 処理水の海洋放出において、政府が策定した「A L P S 処理水の処分に關する基本方針」の着実な実行に向けた行動計画に基づき、自ら立案した計画どおり確実に設備を運用し、その状況をタイムリーに透明性高く発信することを継続していくことが必要である。

今後は原子炉格納容器内のトリチウム濃度の高い水の処理が計画されていることを考慮し、タンクの処理・移送・貯留計画を策定していく必要がある。また、今後は測定・確認用設備から離れた貯留タンクから、一部仮設ラインを用いた処理水の長距離移送が必要となる。そのため、仮設ホースの二重化や漏えい検知器の設置など、漏えい対策を強化するとともに、仮設部分の本設化も重要である。

放出計画の策定に当たっては、タンク内の処理水のトリチウム濃度や減衰を考慮しつつ、敷地利用計画に応じた放出計画を策定する必要がある。燃料デブリ取り出しやプール燃料取り出し等の廃炉作業に必要な施設・設備を計画的に建設できるよう、中長期の放出計画や敷地利用計画を検討・立案し、公表していくことが重要である。

A L P S 処理水の分析に関しては、測定・評価対象核種（トリチウムを除く 30 核種）に加えて、東京電力が自主的に有意に存在していないことを確認している核種（38 核種）についても分析・評価しその結果を公表している。これらの核種については、減衰による変化や測定実績を定期的に再評価し、分析・評価の必要性について検討を継続していくとともに、対象核種を削減することに対しても、科学的根拠に基づいた分かりやすい説明により、公衆の理解を求めていくことが重要である。

3.4 使用済燃料プールからの燃料取り出し

3.4.1 目標

- 2031 年以内に 1 ～ 6 号機の全てで使用済燃料プールからの燃料取り出しの完了を目指す。
- 周辺地域で住民の帰還と復興が徐々に進む中、放射性物質の飛散防止を始めとしたリスク評価・安全確保を確実にいき、1 号機は 2027 ～ 2028 年度、2 号機は 2024 ～ 2026 年度にプール内燃料取り出しを開始する。
- 海水やガレキの影響を受けた 1 ～ 4 号機の燃料については、使用済燃料プールから取り出した後に共用プール等へ移送して適切に保管することにより、安定管理状態とする。なお、共用プールの容量確保に向け、共用プールに保管されている燃料を乾式キャスク仮保管設備へ移送・保管する。
- 取り出した燃料の長期的な健全性の評価及び処理に向けた検討を行い、将来の処理・保管方法を決定する。

3.4.2 進捗

1 号機 :
<ul style="list-style-type: none">● 非常用ガス処理系配管の撤去作業の遅延により準備工事に遅れが生じた。また、その後、原子炉建屋南側壁面で高い線量箇所が発見されたため、追加の除染や遮蔽作業の実施や作業日数の増加が必要となり大型カバー設置工事に時間を要している。1 号機原子炉建屋では、大型カバーの架構設置を進めている。これらを踏まえ、廃炉中長期実行プラン 2024 では、大型カバー設置工事完了時期を 2025 年夏頃までとしているが、1 号機燃料取り出し開始は予定どおり 2027 ～ 28 年度の予定である。
2 号機 :
<ul style="list-style-type: none">● 原子炉建屋南側では、2024 年 6 月に燃料取り出し構台及び前室設置を完了し、アクセスルートを構築中である。併せて燃料取扱設備の製作が完了し、工場で機能試験を進めている。また、オペフロ内では、使用済燃料プール南側の燃料取扱機操作室等の干渉物撤去後、除染、遮蔽作業を 2024 年 4 月に完了し、線量低減に向けた一連の作業が完了した。燃料取り出し開始は 2025 年度の見込みである。また、燃料取り出しに関しては設備トラブル時の迅速な対応を目的として、東京電力社員を工場に常駐させ、国内初となるブーム式燃料取扱設備の操作・機能の習得を図っている。
3 号機 :
<ul style="list-style-type: none">● 2023 年 3 月に使用済燃料プールからの高線量機器取り出しを開始後、燃料取扱設備に複数のトラブルが発生したが、それらの不具合対応が完了し、2024 年 3 月に再開した。
6 号機 :
<ul style="list-style-type: none">● 2024 年 2 月に 6 号機使用済燃料移送分の乾式キャスクによる燃料移送・保管が全て完了し、共用プールの空き容量が確保できた。それにより、6 号機使用済燃料プールから共用プールへの使用済燃料移送を 2024 年 5 月から再開し、2025 年前半に完了予定である。

また、事故直後からの燃料の保管状況の推移を図 8 に示す。

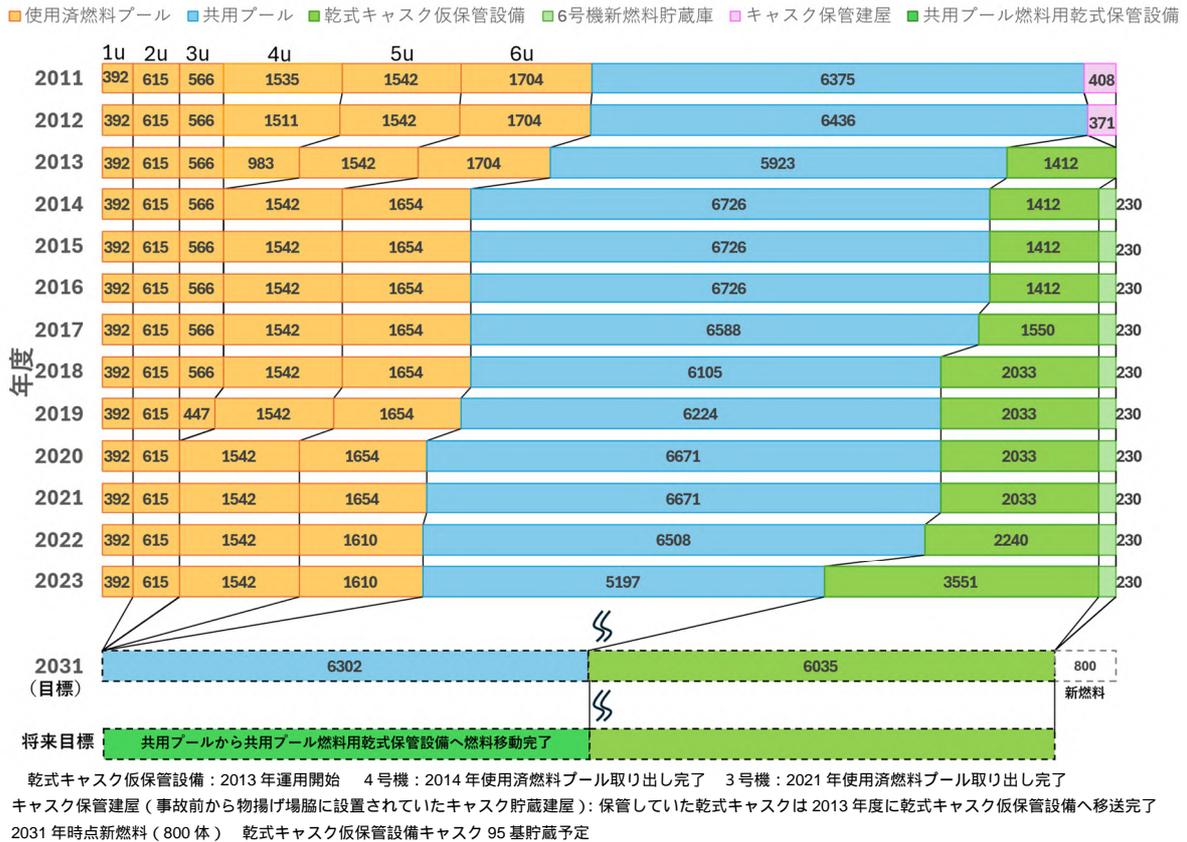


図8 福島第一原子力発電所 年度末における燃料体数

3.4.3 主要な課題と技術戦略

3.4.3.1 プール内燃料取り出し

1、2号機について、決定された工法の実現に向けて、着実に作業を進めることが必要である。プロジェクトを進めるに際しては、作業に伴う安全性を評価し、必要十分な安全の確保を確認した上で、技術的な確実性、合理性、作業工程に関わる迅速性、現場適用性、プロジェクト上のリスク等を総合的に考慮して、課題への対応を行うことが基本である。

(1) 1号機

オペフロ上部には、天井クレーンが不安定な状態で存在しているため、安全かつ確実に天井クレーンを撤去することが主要な課題の一つである。そのため、現在進めている天井クレーンの撤去方法の検討に当たっては、安全評価を行うことが前提であり、以下を行い作業の合理性、他の作業への影響等を踏まえ、総合的に検討していくことが重要である。

- リスク項目を抽出し得る具体的な作業手順及び作業計画の作成
- 想定されるリスクシナリオとその対策
- 作業員被ばく等のオペレータ視点に立った考慮事項の抽出

現時点では屋根スラブ（屋根の荷重を支える構造体）下部の状況に関する情報が限られているため、屋根スラブ除去後に詳細調査が必要である。調査結果によってはクレーン解体工

程が遅延するリスクがあるため、調査が可能となった段階で速やかに行い、結果を安全評価、ガレキ撤去計画に反映すべきである（図9）。

1～3号機のウェルプラグの汚染状態については、その汚染の高さから、安全面及び廃炉作業面において非常に重要な意味を持つと指摘されている。このうち、1号機のウェルプラグについては、2、3号機に比べ低い汚染であるものの、事故時の影響で不安定な状態になっているため、対処方策の検討を進めている。今後、ウェルプラグへの対応方法は、この検討結果を踏まえ、プール内燃料取り出しや燃料デブリ取り出しへの影響を考慮し、安全評価を尽くした上で総合的に判断すべきである。

1号機のプール内に事故前より保管されている被覆管の破損した燃料67体についても、2031年の燃料取り出し完了に向けて、取扱計画の具体化を進めているところである。特に、事故後の状況の確認、取扱いに係るリスク検討等を確実に実施すべきである。

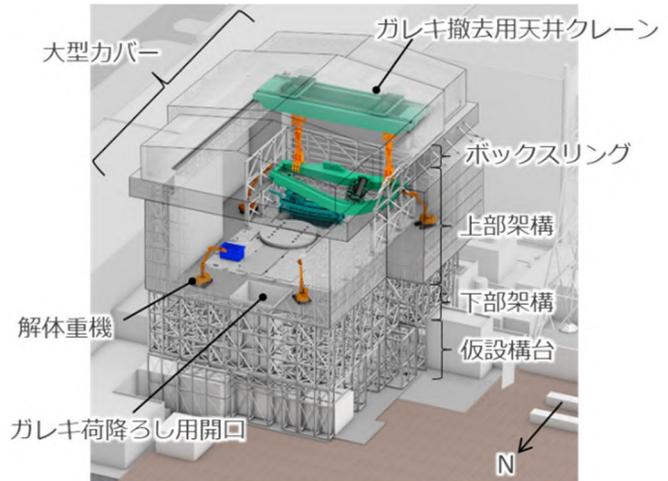


図9 1号機 オペフロガレキ撤去概要

(2) 2号機

オペフロ南側の開口部から、これまで国内原子力施設では経験のないブーム型クレーン式の燃料取扱設備を用いてプール内燃料取り出しを行う（図10）。新たな設備であることから、以下の取組を確実に行うべきである。

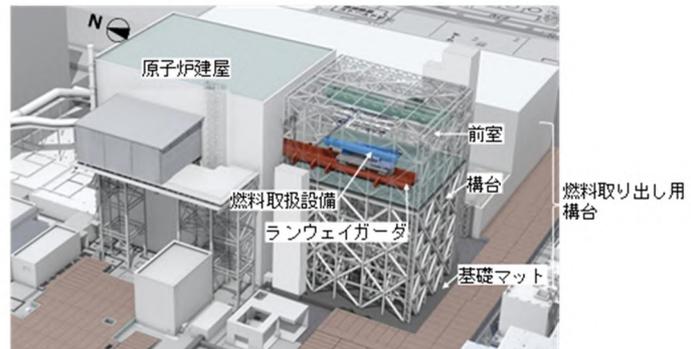


図10 2号機プール内燃料取り出し工法

- 機能試験、及び実際の作業者による操作手順の確認
- その結果を踏まえ、必要に応じて、操作手順へのフィードバック及び設備改造

あわせて、燃料取扱作業に係る関係者が、設備の機能を十分理解した上で、操作手順を確実に習得するべきである。

(3) 高線量機器の取り出し

プール水が漏えいした場合のリスク低減の観点から、高線量機器取り出しが進められている。高線量機器の取り出し後、プールの水抜きを行うことによってプールの水を管理対象から除外することも可能となり、オペフロの活用の自由度が増し、その後の燃料デブリ取り出し作業の円滑な実施につながる。

高線量機器取り出しに際しては、燃料取り出しやガレキ撤去に用いた装置等を活用することが効率的である。今後設置される1号機の燃料取扱設備についても、高線量機器の取り出

し等を見据えて設計、保守を進めるべきである。また、高線量機器は保管する既設サイトバンカ（放射性固体廃棄物を一時的に貯蔵・保管するための設備）の容量にも限りがあるため、新設のサイトバンカの検討を進めている。新設サイトバンカを設置するまでの期間に、既設サイトバンカのプール水が漏えいする可能性が否定できないため、監視強化及び漏えい対策を策定することが重要である。

3.4.3.2 将来の処理・保管方法の決定

プール内燃料の将来の処理・保管方法は、事故時の海水やガレキの影響及び事故前から保管している破損燃料を考慮した上で決定することが必要である。今後取り出した燃料の状況を踏まえ、長期的な健全性の評価及び処理に向けた検討を進め、将来の処理・保管方法を決定すべきである。

東京電力は 2031 年内までに全ての号機のプール内燃料を共用プールへ移送する計画であるが、その後は、津波リスクも考慮し、共用プール内の既存燃料を含め、高台での乾式保管に向けた検討を進めている。また、乾式保管設備として既存の金属キャスクに加えて、海外で実績があり、下記のメリットが期待できるキャニスタ（金属製筒型容器）を用いたコンクリートキャスクの導入も視野に入れた準備を進めている。

- 海外で多数の健全・破損燃料等の保管実績
- コンクリート製造に関して地元企業の参画
- 金属部分が少なく使用後の廃棄物量を低減
- 乾式保管設備の選択肢が拡大し調達リスク低減

破損燃料等の保管も含めて、両キャスクの得失及び福島第一原子力発電所の特徴を踏まえた上で、適用する乾式保管設備を判断すべきである。

米国ではコンクリートキャスクでの乾式貯蔵が主流であり、既にコンクリートキャスクで約 3,300 基（燃料集合体で約 143,000 体）を超える実績を有する。保管方式の選定に当たっては、技術的成立性を確保するとともに、耐震性や敷地境界線量への観点も含めて検討する必要がある。

4. 廃炉の推進に向けた分析戦略

4.1 廃炉に係る分析の概要

4.1.1 廃炉に係る分析の目的と意義

福島第一原子力発電所の廃炉では、温度を始めとする多くの記録が存在せず、炉内状況、燃料デブリの状態、核分裂生成物の放出経路等に多くの不確かさが存在する。そのため、事故によって発生した燃料デブリや固体廃棄物を安全に取り扱い、適正に保管・管理等を行うことを目的にこれらについて分析を実施している。

燃料デブリは、分析により性状を把握できれば、不確かさの幅の低減により廃炉作業における安全裕度の適切化につながり、廃炉の迅速性、合理性の向上が可能となる。また、固体廃棄物については、その処理・処分方策の検討に当たり、分析による核種組成や放射能濃度等の性状データが基本情報となる。ALPS処理水については、環境への放出を前提としているため、分析により放出基準値を十分に下回っていることを確認しなければならない。東京電力及びJAEAはALPS処理水の放水前の希釈前後で分析を行い、放出基準を下回っていることを確認している。東京電力の海域モニタリングでは、放水口から近い地点において0.43~29Bq/Lであり、それ以外の地点では検出下限値未満である。さらに、放出の開始後、環境省及び福島県が海水を、水産庁が水産物をそれぞれ分析しているが、放出前の海水と同程度(0.06~0.63Bq/L)であること、又はいずれも検出下限値未満であることを確認している。

4.1.2 分析の全体像

福島第一原子力発電所の廃炉作業においては、図11に示すような分析対象物、目的、線量率が多岐に及び分析を行わなければならない。

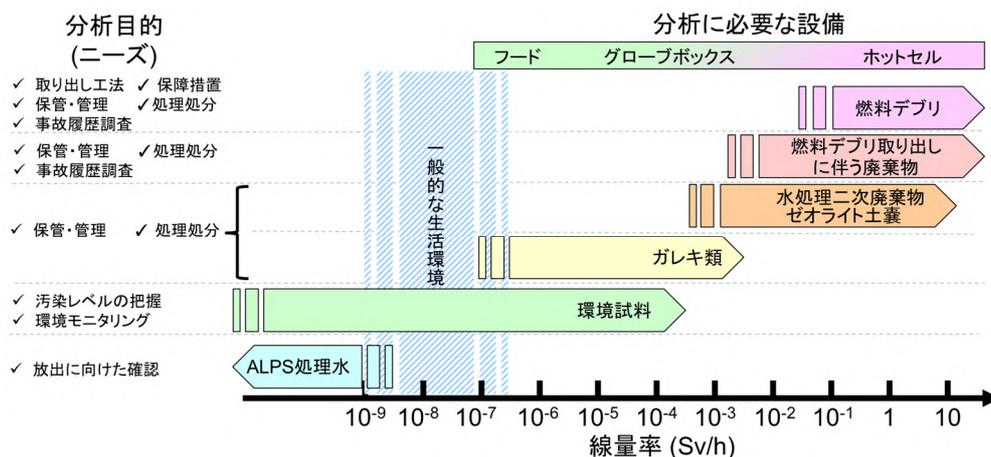


図11 分析対象物の分析目的、分析に必要な設備及び線量率の関係

福島第一原子力発電所の廃炉作業を安全かつ着実に進捗させるためには、これらの分析に係る適切な結果が不可欠である。この適切な分析結果を取得するには廃止措置における分析戦略の三要素(分析の手法・体制、分析結果の品質、サンプルのサイズ・量)を向上させることが有効である。

4.2 分析に係る現状と戦略

4.2.1 分析の体制・手法の強化

(1) 分析体制の強化

福島第一原子力発電所の廃炉等に必要な分析体制の強化として、分析計画の検討、分析・評価手法の開発、分析施設の確保及び分析人材の確保を、東京電力、JAEA、NDF等の関係機関がこれまで連携して進めるとともに、これら分析体制の整備に係る当面の対応方策を公表・報告している。今後も当面の取組を着実に実施するとともに、状況を踏まえ必要な対応を実施していく。

(2) 分析計画の更新

廃炉作業の進捗に伴う分析需要の拡大に柔軟に対応し、分析が原因で廃炉作業が停滞しないよう計画的に準備を進めなければならない。原子力規制委員会では、リスク低減目標マップを作成し、優先して取り組むべきリスク低減に向けた分野として、水処理（二次）廃棄物等、ガレキ類等、建屋解体物等を挙げている。さらに、「実現すべき姿」の達成に向け完了が必要な分析についても示している。これに対し、東京電力は、分析の進捗状況や保管・管理上のリスク等を踏まえて分析優先度の高い廃棄物を抽出し、各廃棄物の特徴を踏まえた性状把握方針及び分析計画を2023年に策定している。また、廃棄物ごとの分析計画を統合・調整の上、必要な分析能力の年度展開を策定し、それを分析要員計画に反映させている。その後、特定原子力施設の実実施計画の審査等に係る技術会合等で提示した方針・計画の反映として、当面最優先で対応すべき課題の進め方・スケジュールと整合した分析計画の立案、分析優先度の見直し及び試料採取状況等を踏まえた分析数の更新を行っている。今後、計画の取組を実行するとともに、その進捗及び実績を踏まえ、分析計画について不断の見直しを行う。

(3) 分析・評価手法の開発

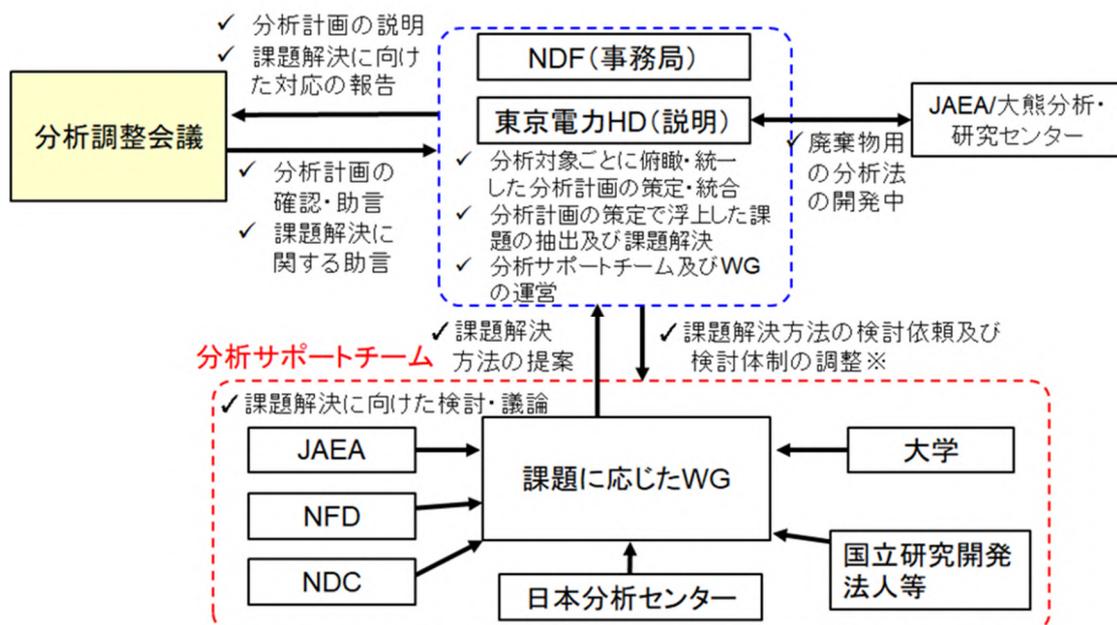
固体廃棄物は、多様かつ物量が多い特徴を有することから、性状把握を効率的に進めることが必要である。そのため、データを簡易・迅速に取得するための分析手法を開発するとともに、少ない分析データで性状把握を行うための手法の構築を廃炉補助事業等において行ってきた。その一環として、試料前処理の合理化・自動化等により迅速化した分析方法の標準化を行っている。さらに、様々な試料形態や難測定核種に対応するための分析手法開発に取り組んでいる。

(4) 分析施設の確保

JAEAの放射性物質分析・研究施設（第1棟及び第2棟）は福島第一原子力発電所の周辺監視区域内の施設として設定されるため構外輸送にならない利点がある。このため、燃料デブリ等のホットセル（十分な遮蔽を施した設備）を必要とする分析は必要に応じ茨城地区で行い、福島第一原子力発電所の敷地内・隣接地では迅速性が高い分析を優先すべきである。このような各分析施設の特徴に応じた役割分担の下、分析データの拡充を図ることが有効である。

(5) 分析人材の確保

各分析施設では安定的な施設稼働を継続するため分析人材の確保と維持が課題である。種々の分析業務に対して各分析人材に期待される資質をあらかじめ考慮し、求められる役割が適切に達成されるように分析人材を計画的に育成するべきである。また、福島第一原子力発電所の廃炉では、通常炉では扱うことがない非密封の放射性核種を直接取り扱うため、東京電力にとっては経験の少ない分野の人材育成を短期間で行わねばならない。放射性核種の取扱いについて十分な知識と経験を有する関係機関の協力を得ながら、分析技術者の育成に効率的に取り組むべきである。今後、想定される分析需要の拡大に伴い、あらかじめ分析結果の活用方法を見越した分析計画の立案が可能な高度な人材が必要となることが予想される。この業務を担う分析評価者としては、(i) 評価結果を廃炉工程上必要な箇所(取り出し工法、保障措置、保管・管理、処理処分)へ適切に反映させること、(ii) 次のサンプル採取において適切な指示を出せること及び(iii) 分析結果から事故事象を論理的かつ的確に理解していることが求められる。しかしながら、個人でこれらの全ての能力に対応することは困難である。そのため、「分析調整会議」及び「分析サポートチーム」をNDF内に組織した(図12)。分析調整会議は対象物の種類と数の増加に対応する分析計画の確認や課題解決に関する助言を行うこととしている。分析実務に豊富な経験・知見を有する研究者、技術者から構成された分析サポートチームは課題解決に向けて具体的な研究開発の手法、信頼性の高い分析技術を確認する手法の検討・議論を行うこととしており、分析調整会議及び分析サポートチームの第1回会合を2023年8月に開催した。会合では一例として、分析データの信頼性を向上させるための技能試験について議論を行い、それを受けて、NDFでは固体廃棄物の分析技術を確認する試験方法について検討している。なお、燃料デブリの試験的取り出しが開始されることから、課題に応じたワーキンググループ(WG)の1つとして、燃料デブリ分析の評価検討WGを設けるべく、準備を進めている。



NFD: 日本核燃料開発株式会社、NDC: MHI原子力研究開発株式会社

図12 分析調整会議と分析サポートチームの役割

4.2.2 分析結果の品質向上

燃料デブリは、分析により微量成分までの全ての元素、同位体の同定・定量を精密に行うことは難しい。このため、誤差要因の影響を考慮してサンプルの分析結果に対して多角的な視点を持つことが重要である。サンプルの分析結果の検証も兼ねて、解析、調査、試験結果等の既存知見と照らし合わせて検討し、矛盾のない性状評価を導出することが分析結果の信頼性を向上させ、それが分析結果の品質向上につながる。このため、JAEA、日本核燃料開発株式会社（NFD）、MHI原子力研究開発株式会社（NDC）、東北大学が協力して共通試料を用いて化学分析や構造解析を2020年度から実施している。現在は燃料デブリデータ拡充のため、茨城地区の事業所間において、最新の分析技術を用いてスリーマイルアイランド原子力発電所2号機（TMI-2）デブリの分析を実施している。

また、固体廃棄物においては、限られた分析データから多量の固体廃棄物全体の性状を把握するため、必要な精度を効率的に担保するアプローチが重要となるため、効率的な分析・評価方法の確立に取り組んでいる。なお、分析データの品質の指標の一つとして不確かさや検出下限値等の精度があるが、精度と計測時間は相互に関連しており、計測時間を長くすれば精度の向上は期待できる。一方で、計測時間が数週間から数か月を要するのであれば、分析量の増加に対応することは困難となる。そのため、分析目的、対象物、分析手法に応じて、精度、計測時間及び当該分析手法による計測頻度を適切に選択することも重要である。

4.2.3 サンプルサイズ・量の増加に向けた分析技術の多様化

（1）多様な分析・計測手法による総合的な評価

微小、少量のサンプルでは、密度や硬さ等の測定不可能な項目があるため、今後、燃料デブリ取り出し工程の進捗に伴い、サンプルのサイズ、量共に増加させる必要がある。ホットセルでの分析は時間を要し、取り扱える核種ごとに使用量が定められているため、多量な分析は困難である。このためホットセルでの分析数量の増加に注力するだけでなく、分析・計測手法の多様化も必要である。他の手法で得られる分析項目を把握した上で、分析結果の用途に応じて相互に補完することを検討し、総合的な評価をすることが有効である。

（2）サンプル分析と非破壊計測の利用

サンプルを破壊せずに核燃料や放射能の量等を評価する手法（以下「非破壊計測」という。）では計測可能な項目が少ないものの、サンプル分析よりも計測時間は短く1回の計測につき多くの量が計測できる。また、非破壊計測では汚染拡大防止のために密封容器に対象物を収納しての計測も可能であり、放射性廃液の発生がない利点もある。一方、燃料デブリは中性子吸収材を含むなど非破壊計測の阻害要因が含まれているため、それら阻害要因が計測に及ぼす影響の程度を確認する必要がある。このためシミュレーション解析と実測試験により現場適用を目指した技術開発を実施している。この非破壊計測により、収納容器内の燃料デブリに係る核燃料の定量ができれば、迅速に分析が可能であるため、サンプル分析数の少なさを補うことができる。なお、分析数を増やす際には、サンプル採取時の座標情報等のサンプルに関する情報量を増やしてデータの信頼性を向上させながら、可能な限り燃料デブリの持つ性状の不確かさの幅を小さく抑えることが望ましい。

(3) 分析数の改善

燃料デブリ取り出し時には、汚染状況のモニタリングのため、多くのサンプルを採取し、分析する必要がある。サンプル数が多くなれば、比例して前処理を含む分析に要する全体の時間も長くなり、汚染状況のモニタリングに支障を来すことになる。核燃料物質、難測定核種等の分析における迅速化・効率化を目指して、これらを同時に自動定量するための技術開発を実施している。

いずれのサンプルに対しても全体を把握するために分析数を増やすことは重要であるが、サンプルの採取自体が困難なものについては分析数が足りていないため、採取装置の開発等を通して、採取数の改善を図ることも重要である。

4.3 分析戦略のまとめ

4.3.1 燃料デブリの分析

これまで、燃料デブリの試験的取り出しに備えて、燃料デブリの分析体制の整備、分析結果の精度向上、国内及び国際的な議論等を進めてきた。試験的取り出しでの燃料デブリ分析については、茨城地区で十分に対応可能と判断しているが、その後の段階的な取り出し規模の拡大では分析するサンプル数が徐々に増加することになり、確実に分析を行うためにもJAEAの放射性物質分析・研究施設第2棟の整備を着実に進める必要がある。続く取り出し規模の更なる拡大に向けて、総合分析施設の検討、非破壊計測システムや簡易分析の技術開発との連携も重要である。また、採取した燃料デブリを用い、処理・処分に関連するデータの取得の検討を一層進める。

4.3.2 固体廃棄物の分析

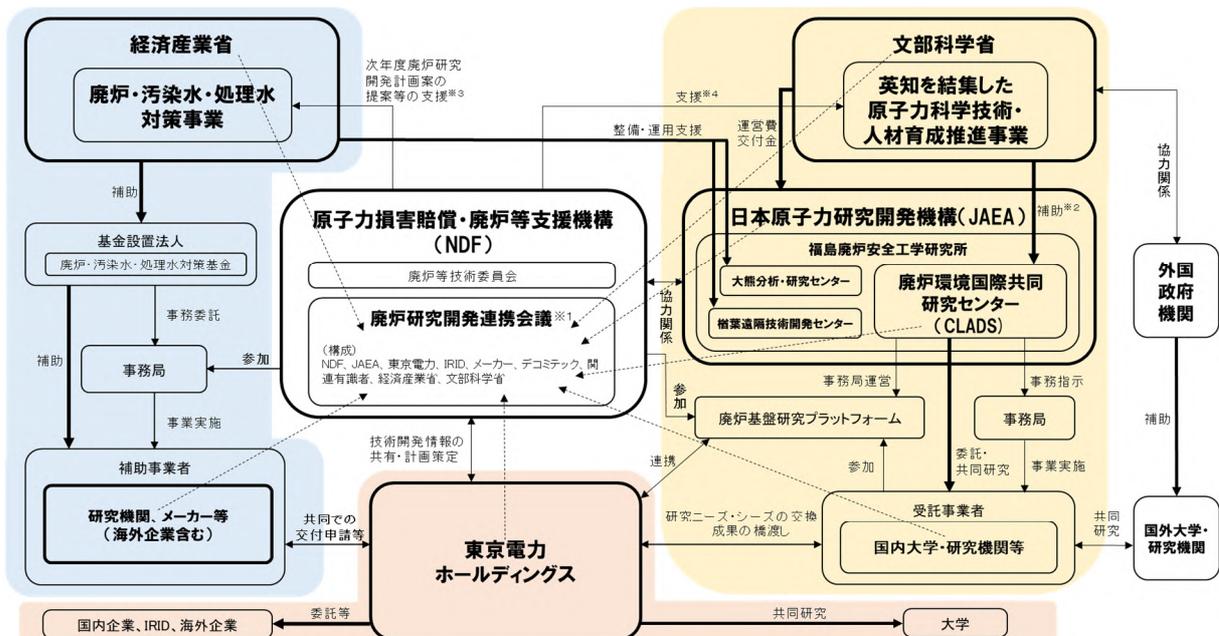
固体廃棄物の分析については、JAEAの放射性物質分析・研究施設第1棟の運用が開始されたが、引き続き茨城地区の分析施設も活用し、分析を着実かつ効率的に実施している。東京電力が策定・更新した分析計画に基づき効率的に分析データを取得しつつ、高線量廃棄物に対してはサンプリング方法を検討している。また、固体廃棄物は物量が多量であることから、簡易・迅速な分析技術の開発を継続して進めるとともに、DQOプロセスとベイズ統計を用いた分析計画法や統計論的インベントリ推算手法を用いて、少ない分析データで性状把握を行うための手法の構築に向けた検討を継続する。分析のための人材育成や総合分析施設の整備も引き続き行う。

5. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた研究開発への取組

5.1 研究開発の意義と現状

2024年3月、小委員会において燃料デブリ取り出しに係る工法選定への提言が示されたことを踏まえ、現場での適用を見据えた燃料デブリの取り出しに関する研究開発を重点化・加速する必要がある。政府は廃炉に向けた応用研究、実用化研究のうち技術的難易度の高い課題の解決を目指すため廃炉補助事業により、また、国内外の大学、研究機関等の基礎的・基盤的研究及び人材育成の取組を推進するため「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業（以下「英知事業」という。）」により各機関が行う研究開発を支援している。なお、NDFにおいては、研究開発中長期計画や次年度廃炉研究開発計画の企画検討及び英知事業の支援を行うとともに、廃炉研究開発連携会議を設置し、基礎基盤研究と応用実用化研究の連携強化を図っている（図13）。

炉内調査の進展により廃炉作業の現場ニーズが明確になってきたこと、東京電力が燃料デブリ取り出しに向けたエンジニアリングを本格的に開始したことを踏まえ、2023年度から廃炉補助事業の主要な実施主体はこれまでの国際廃炉研究開発機構（以下「IRID」という。）中心から、東京電力のニーズをベースにし、研究機関、メーカー等を実施主体とした新たな研究開発体制となってきている。東京電力においてエンジニアリングを進めるとともに、関係機関（東京電力、JAEA、NDF等）は基礎基盤研究を含む課題の検討を行い廃炉補助事業、英知事業、東京電力独自の技術開発において研究開発、技術開発を重点化・加速していくことが求められる。また、福島国際研究教育機構（F-REI）での研究開発や人材育成の状況について、引き続き意見交換を行っていくとともに、F-REIが廃炉に生かすことのできるロボットの研究開発を視野に入れていることも踏まえ、東京電力、F-REI、NDFの三者で情報共有を行っていく。



- ※1 廃炉研究開発連携会議は、廃炉・汚染水対策チーム会合決定により原子力損害賠償・廃炉等支援機構に設置。
- ※2 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業の補助金は、日本原子力研究開発機構に対して交付されるが、わかりやすさのためCLADSに交付されるものと表現した。
- ※3 廃炉・汚染水・処理水対策事業は、中長期ロードマップや戦略プランにおける方針、研究開発の進捗状況等を踏まえ、NDFがその次年度廃炉研究開発計画案を策定し、経済産業省が確定する。
- ※4 NDFは、英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業のステアリングコミッティに構成員として参加する。
- ※ 太い実線矢印は研究費・運営費等の支出（施設費除く）、細い実線矢印は協力関係等、点線矢印は廃炉研究開発連携会議への参加を示す。
- ※ 各機関はそれぞれMOU（覚書）等に基づき外国機関との協力関係を有する。

図13 福島第一原子力発電所の廃炉に係る研究開発実施体制の概略

5.2 主な課題と戦略

5.2.1 研究開発中長期計画

N D F 及び東京電力は、福島第一原子力発電所の廃炉に係る研究開発が網羅的、計画的、効率的に進むように、廃炉の今後約 10 年程度の研究開発の全体を俯瞰した研究開発中長期計画を作成している。2023 年度からは、東京電力、東双みらいテクノロジー株式会社、J A E A 及び N D F の四者で廃炉研究開発の課題共有活動（以下「四者連携活動」という。）を行いその検討結果を、研究開発中長期計画に反映している。また、2024 年度には、小委員会において工法選定への提言が示されたことを踏まえ、基礎基盤研究を含む課題検討及び実施の具体化検討を四者連携活動の中で設置するタスクチームで進め、その結果を研究開発中長期計画に反映している。

5.2.2 廃炉・汚染水・処理水対策事業への取組

政府は、福島第一原子力発電所事故直後の 2011 年度から廃炉に係る様々な課題解決のため、研究開発を支援する取組を開始。2013 年度からは廃炉に向けた技術的難易度の高い課題解決を目指すため廃炉補助事業を立ち上げ、事業者が行う研究開発の支援を行ってきた。

N D F は、廃炉補助事業を円滑、着実に推進するため、毎年度、直近 2 年間の次年度廃炉研究開発計画を策定している。これまでの成果を評価し、更に達成度を向上すべき課題や新たな課題を抽出するとともに、廃炉に向けて取り組むべき内容を広く募集する情報提供依頼（Request for Information（以下「R F I」という。））により提案された案件について必要性、優先度の観点から選定して技術課題を整理している。2024 年度は、これらに加え、小委員会による燃料デブリ取り出し工法選定への提言を踏まえ、今後取り組むべき工法に係る技術課題に着目して選定する。

廃炉補助事業の実施主体が I R I D から研究機関、メーカー等を主体とする体制へと移行し、N D F は、R F I を 2022 年度から、廃炉補助事業に対する事業レビューを 2023 年度から立ち上げ、研究開発課題の企画提案や廃炉補助事業の現場適用性の向上のための支援を強化している。

5.2.3 廃炉現場と大学・研究機関における連携の促進

文部科学省では、J A E A 福島廃炉安全工学研究所 廃炉環境国際共同研究センター（J A E A / C L A D S）が担う英知事業で、大学・研究機関等を対象に、福島第一原子力発電所の廃炉等の課題解決に資する基礎基盤研究及び人材育成の取組を推進している。

今後、廃炉作業の課題のブレイクスルーや安全性、効率性の向上には、基礎基盤研究と応用実用化研究の更なる連携の強化・促進が鍵となる。このため N D F は、四者連携活動の場で、燃料デブリ取り出し工法等の課題の検討及び基礎基盤研究の実用化への連携の具体化検討を行う。

長期にわたる福島第一原子力発電所の廃炉をより着実なものとしていくためには、基盤技術や基礎データの整備、研究拠点や研究施設・設備の構築、人材の育成等の研究開発基盤の整備や技術知識の蓄積が必要不可欠である。J A E A では、J A E A / C L A D S を中核とし、国内外の大学、研究機関、産業界等の人材が交流できるネットワークを形成し研究開発に取り組むべく、研究開発・人材育成の拠点機能の強化を図るとともに、J A E A 櫛葉遠隔技術開発センター（試験棟）、J A E A 大熊分析・研究センター（放射性物質分析・研究施設）の運用・建設を進めている。

6. 技術戦略を支える取組

6.1 廃炉を進めるための能力、組織、人材等

6.1.1 東京電力が福島第一原子力発電所のオーナーとして有すべき能力、組織

6.1.1.1 廃炉プロジェクト管理の意義と現状

福島第一原子力発電所における廃炉作業のようなプロジェクト型の業務においては「何のためにいつまでに何をするか」の目的を明確化し、目的を達するための手段となる具体的な作業内容を定め、その安全性や効率性を確認し、必要な設備等を設計／製造／構築し、必要な要員を確保し、それらを活用して目的を達成することが一連の作業となる。したがって、目的、手段、必要資源とスケジュールを明確化し、目的を達するためにプロジェクト実行を計画的に管理することがプロジェクト管理の意義である。

東京電力はこれまでプロジェクト管理体制の構築・強化に取り組んできており、2020年4月に組織を改編し、約4年間の運用を通じてプロジェクト型の組織運営はほぼ定着した。今後第3期に入り、廃炉作業がより難度と不確かさを増していくにつれ、中長期を見据えたプロジェクト全体を調整・整合させながら円滑に進めていくためには、これに関係する組織が達成目標に向かって協働していく管理体制を一層強化し、その総合力を高めていくことがより重要となる。東京電力における2023年度までの主な取組例としては、現場の状況変化や社会・地元のニーズに適切に対応するための組織の見直し、リスクマネジメント強化等、先を見据えた計画（廃炉中長期実行プラン）の作成等がある。

6.1.1.2 オーナーが有すべき能力

第4次総合特別事業計画において述べられているとおり、東京電力はオーナーズ・エンジニアリング能力を獲得すべきである。また、このほかにも、福島第一原子力発電所の特殊性に鑑み廃炉全体戦略を高度化し、復興と廃炉の両立を進めるための能力が必要とされる。

以下の各項では、NDFとして東京電力が今後戦略的に強化すべきと考える能力について述べるが、東京電力においては指摘された事項のみに取り組むのではなく、廃炉事業の戦略・計画作成から実行に至るまでの全ての活動に必要な能力について、その中でも何を優先的に獲得すべきかを自ら考え、主体的にその獲得に努める姿勢を継続すべきである。

(1) 安全ファーストの浸透及び安全とオペレータ視点を基盤とする技術力

東京電力は、福島第一原子力発電所の特殊性に鑑み、安全ファーストを浸透させ続ける必要がある。その上で、現場を熟知するオペレータが現場の実情に立脚し、安全を総合的にチェックし、それを基に同所に適した安全要件を定め、作業するプロセスを確立する必要がある。そのために必要となる現場力を始めとする能力の総体が、安全とオペレータ視点を基盤とする技術力であり、東京電力に当該能力の一層の強化が求められることは論を待たない。

(2) プロジェクト上流側における検討能力

設計の上流側における基準等が整備されていない福島第一原子力発電所の廃炉作業においては、プロジェクトを進めた後に、どのような機能を実現すべきか、そのためにはどのような安全要件を満足する必要があるかの検討に再度、立ち戻った例が認められている。

今後、東京電力はプロジェクトを進める意義や目標（何のためにいつまでに何をするか）・安全要件を明確化し、発生抑制、再利用等を含む総合的な廃棄物に関する計画を策定し、その上でプロジェクト成立性を確保すべきである。そのためには、廃炉作業の計画から実施までのプロセスにおいて、特に上流側の検討能力についての拡充を進める必要がある。

(3) プロジェクトマネジメントを高度化する能力

今後想定される、より大規模かつ複雑であり、不確かさが大きい高難度プロジェクトにおいて、東京電力は、仕様、価格、スケジュールを決め、物品や役務を調達すること、すなわち単純なモノ買い（Buying）のみによって業務を進めることが容易ではなくなってくる状況に適應すべく、新たなモノを作り上げていく（Making）場合の受注者との関係及び契約の仕方を含め、プロジェクトマネジメントの高度化を進めるべきである。

(4) 核セキュリティ管理能力

柏崎刈羽原子力発電所において発生した核物質防護事案に対する改善措置に関しては、福島第一原子力発電所では事情が異なる点も多いが、共通点については水平展開し改善を確実に進める必要がある。

6.1.1.3 組織に関する取組

今後、東京電力が更に「復興と廃炉の両立」を進めていくためには、福島第一原子力発電所内外を問わず、この地域に東京電力としてどのような貢献を行えるのかについて、全ての社員が同じ志と責任感を持ち、より一層、組織の壁を越えて最善を尽くしていかなければならない。

これを実現するため、東京電力は、現在は原子力・立地本部に所属する福島第二原子力発電所の本社機能について福島第一廃炉推進カンパニーへの統合・再編を検討することとし、その統括組織として2023年7月に「組織再編準備室」を設置した。NDFとしてもこの東京電力の取組を前向きに受け止めており、また、今後、統合・再編が進み、復興と廃炉の両立に向かって東京電力が歩みを強めていくよう、その取組を支援していく。

6.1.2 取引企業との協働的な関係性の構築

6.1.2.1 長期廃炉事業を見据えた調達管理能力強化

東京電力は、調達組織を統合し一元的に対応することで調達力の強化を図るとともに、契約業務の効率化を推進することを目的に、2024年7月に調達部を発足した。

東京電力自らの調達能力を高めることは重要な経営課題であるが、燃料デブリ取り出し等の不確実性が高く数十年にも及ぶ廃炉作業におけるサプライチェーンを東京電力1社が維持・管理していくためには、自社の調達能力の強化に加え、取引企業の調達能力を有効活用することも重要な要素となる。東京電力は、取引企業と協調したサプライチェーン体制をこ

れまで以上に強固なものとする必要がある。福島第一廃炉のサプライチェーン体制は、発注者となる東京電力と受注者となる取引企業とが協調しながら構築することが基本ではあるものの、政府及びNDFも連携して必要な支援を行うことが肝要である。

6.1.2.2 協力企業⁵と協調した現場管理の在り方の検討

東京電力は安全の確保や業務品質のレベル維持・向上に取り組んできているが、増設ALPS配管洗浄作業における身体汚染等のトラブルが連続して発生している。東京電力としては、単なる個別のヒューマンエラーとして対処するだけでなく、経営上の課題として重く受け止め、他産業の例や外部専門家の意見を取り入れながら、高い放射線リスクにつながるヒューマンエラーが発生するような共通の要因がないか、徹底的に分析するとともに、ヒューマンエラーを防止できるハードウェアやシステムの導入には躊躇なく投資することとしている。加えて、所内電源A系停止の事案発生後、福島第一原子力発電所における全作業について、作業点検を行い、リスク要因や防護措置の確認が行われた。

そのほか、教育・管理面の充実を図るための仕組み作り等を進めるとともに、水処理プロセスの安全・品質を一層高めることを目的に、水処理設備の設備更新及び保守性向上のための改造を一元的・継続的に行う水処理センターを新たに設置するなど組織面での強化にも乗り出しており、危機感を持って再発防止に取り組んでいる。

東京電力は作業の安全と品質の確保を要件とした契約を元請企業と結び、作業を進めている。一方、廃炉事業全体を安全に進めていくため、東京電力はオーナー（発注者）として全体を監督し、安全・品質上の齟齬がないかを注意深く管理していく責任がある。したがって、東京電力の包括的な責任の下で、協力企業がそれぞれの責任を果たし安全・品質を徹底して確保していくことが重要である。

ルーチン作業が少なく日々変化している複雑な現場の安全・品質を東京電力だけで長期にわたり持続的に確保することは困難であり、東京電力は、一つの作業に関わっている全ての階層の会社が、同じ目的の下に機能するための請負体制・契約の工夫に加えて、現場安全を一層高めるための設備及び管理面の充実、協力企業が安心して長期的な人材育成・確保に取り組める持続的かつ平準化した契約方式の導入等の必要な環境整備を、協力企業と力を合わせて検討すべきである。

6.1.3 廃炉を担う人材の確保や次世代の育成と国民理解の促進

長期にわたる福島第一原子力発電所の廃炉を継続的に実施していくためには、東京電力自らが必要となる人材を計画的に確保・育成していくことが極めて重要である。福島第一原子力発電所の廃炉には、原子力のみならず、他分野の科学や技術を備えた、多様なバックグラウンドを持った人材の参画も重要である。こうした人材の持続的な育成・確保のためには、関係機関が協力し、現場と合わせて次世代を担う高等・中等教育の階層に応じた取組を着実に進めていく必要がある。

また、廃炉を円滑・かつ確実に進めるためには、国民の理解を広くかつ持続的に得ていくことが不可欠である。このため、関連する知識を学ぶ機会を確保していくことに加え、多くの人が廃炉の取組を知るきっかけとなる機会の提供も重要である。

⁵ 東京電力の取引企業のうち福島第一原子力発電所の現場作業に従事している企業を協力企業と呼ぶ。

6.1.3.1 東京電力における人材の確保と育成に関する取組

(1) 短期的な取組

福島第一原子力発電所の廃炉事業は、燃料デブリの試験的取り出しに着手した段階にあり、燃料デブリの取り出し規模の段階的な拡大に合わせて、発電所全体の業務量も増加しつつある。

そのため、東京電力では、積極的な採用活動を行っているが、加えて、リーダーによる業務の優先順位明確化と優先度に応じたリソース配分の推進及び現有人材の多能化／生産性向上のための人材育成の推進が必須である。東京電力では従来から取り組んでいるカイゼン活動を継続するとともに、教育・訓練やDX（Digital Transformation）を進めるなど、限られたリソースによって必要なアウトプットを得る努力が不可欠である。

(2) 中長期的な取組

東京電力が検討を進める福島第一廃炉推進カンパニーと福島第二原子力発電所の統合は、組織の改編を通じ、事業所の枠を超えて人材活用の最適化を目指す意味においても重要なものである。統合に伴い要員の多能化や業務運営共通化・効率化を進め、必要な人材の確保にもつながる取組とすべきである。

今後業務量増大が予想される廃炉作業において、中長期的にいつ頃どのような人材が必要となるかを東京電力自身が見定め、早くからその必要性を明確に提示し、様々なチャンネルを通じて広く社内外から人材を確保するための活動を進められるようにすべきである。

廃炉が長期間にわたる取組であることに鑑みれば、東京電力は中長期的視点で計画的かつ体系的に廃炉を担うリーダー育成に取り組む必要がある。特に、かつてない困難な廃炉のプロジェクトを担うリーダーには、より高度の胆力・人間力に加え、変化する事業環境を先取りする嗅覚や変化への適応能力、学習能力等が必要となる。

なお、NDFは、社外との連携による人材育成の活動において、海外で行われている同様な計画のベンチマークを行うことは有用と考える。

6.1.3.2 将来の廃炉を担う次世代の育成

基礎・基盤研究を担う大学・研究機関には、将来、理工学的知見を要する技術課題が発生したときに即応できる人材を育成していくことが期待され、大学・研究機関においても、廃炉現場が抱える課題や認識を共有しておくことが重要である。文部科学省では、英知事業において、国内外の多様な分野の知見を組織の垣根を越えて融合・連携させることにより、中長期的な廃炉現場のニーズに対応する研究開発及び人材育成を推進している。また、英知事業の「研究人材育成型廃炉研究プログラム」では、2024年度から第3期プログラム⁶が開始された。

高等教育より手前の段階の高等学校、中学校の中等教育段階の生徒に対しては、廃炉を含む原子力分野に携わる魅力を紹介し、廃炉に特化した技術的な関心を寄せる取組や福島第一原子力発

⁶ 英知事業の研究人材育成型廃炉研究プログラムでは、これまで、大学等による人材育成体制の構築を目的とした第1期プログラム（平成26年から令和元年）及び大学等において培ってきた多様な分野の知見や経験をCLADSに結集させる体制を構築することを目的とした第2期プログラム（令和元年から令和5年）を実施してきた。

電所の廃炉や復興、広くは理系の進路等について理解を広げる取組が大切である。中等教育段階は、自らの個性を伸ばし、興味・関心を探索しつつ、社会に参画・貢献する前の大切な準備段階である。こうした時分に、社会で活躍する研究者・技術者、理系教員等から刺激を受け、主体的な選択と進路の決定に役立ててもらうことは大きな意義がある。

6.1.3.3 廃炉及び廃炉に関わる放射線安全等に関する基礎的知識の普及と国民理解の促進

福島第一原子力発電所の廃炉等について基礎的な知識を身に付けることは、廃炉に関する国民的な理解が促進される基礎であり、重要である。特に、今後の様々な災害へのレジリエンス（強靭性）を高める観点からも、将来を担う世代である子供の発達段階に応じた学ぶ機会を確保していくべきである。このため、政府では放射線に関する教職員研修及び出前授業の実施、放射線副読本の活用促進等が進められている。

また、廃炉の現状を広く知ってもらう観点から、東京電力においては、福島第一原子力発電所の視察受入れ等を実施しており、引き続き、廃炉の現状を正しく伝えることで国民の関心を喚起し、廃炉への理解促進に資する取組を積極的に推進していくべきである。

6.2 国際連携の強化

6.2.1 国際連携の意義と現状

難度の高い工学的課題を扱う福島第一原子力発電所の廃炉を着実に進めるためには、先行する海外にある過去の核関連施設（以下「レガシーサイト」という。）の廃止措置活動等で得られた経験を生かすことが重要となる。こうした認識の下、各国の事情に即した二国間協力を進めるとともに、IAEAやOECD/NEA等の国際機関を通じた多国間協力の枠組みを活用して、世界の廃止措置活動の経験を取り入れきた。また、我が国の廃炉で得た経験を各国に共有することで、国際社会に対する責任の一端を果たすことも期待されることから、海外の関係機関と協力協定を結ぶ等して関係を維持している。我が国が福島第一原子力発電所の廃炉を進める上で、国際的に理解を得ることは重要である。そのためには、英知の結集や経験の還元に加えて、国際社会に対する透明性が高い情報の発信と継続的な対話が必要である。

日本政府、東京電力、NDFのそれぞれが、各々のカウンターパートと廃炉に関する技術協力、情報、経験、教訓等の共有等を図っており、今後の長期的な廃炉を見据えた強固な協力関係の構築を目指している。また、NDFは、世界各国の専門家の知見を活用し、収集する基盤維持の観点から、国際機関の各種会議や専門委員会へ参加しているほか、福島第一廃炉国際フォーラム（以下「国際フォーラム」という。）を毎年開催し、廃炉の現状や課題について継続的に情報発信している。

6.2.2 主な課題と戦略

（１）世界の英知の結集と還元

福島第一原子力発電所の廃炉を着実に進めるためには、レガシーサイトの廃止措置活動等の事例から教訓を学び、廃炉に生かしていくことや世界最高水準の技術や人材を活用することが求められる。東京電力は、レガシーサイトへ駐在員を派遣し実務経験を得ているほか、

視察や廃止措置関連機関・企業との情報交換を定期的に行っている。また、NDFは、各国で中心的な役割を担う公的な廃止措置実施機関との長期的なパートナーシップを構築しているが、引き続き、レガシーサイトの廃止措置で得られた教訓等の英知を集める必要がある。これらを踏まえ、下記3つの戦略を意識して、廃止措置に取り組んでいくべきである。

カウンターパートとの連携

東京電力は廃炉を着実に進めるための実施主体として、NDFは中長期的な視点から、廃炉の適正かつ着実な実施の確保を図るための助言、指導等を行う組織として、それぞれのカウンターパートとの関係を維持・強化することが重要である。

廃炉に資する幅広い技術情報の活用

より多くの技術の廃炉への応用を模索し、原子力技術を利用していない国々や原子力以外の産業の専門家から協力を得るべく、技術的な情報を継続して収集していくべきである。

互恵関係の継続

これまで国内で蓄積したノウハウや成果を国際社会に対して還流・還元することを意識しつつ、互恵関係の継続を図る。また、事故や廃炉だけでなく、原子力以外の課題への応用といった側面にも応えることで、廃炉技術に対する関心の維持に努めることも有効である。

(2) 廃炉に対する国際社会の理解・関心や協力関係の維持・発展

福島第一原子力発電所の廃炉に世界の英知を結集し、廃炉実施に係る対立的構造のリスクを可能な限り抑えるためには、国際社会の理解・関心や協力関係の維持・発展が課題となる。

国際世論は、廃炉の進捗や成否に相当の影響を与えかねない。このため、海外における福島第一原子力発電所の廃炉に関する誤った認識が広がることが廃炉の進捗にもたらす影響を考慮した上で、国際連携の方針を定める必要がある。国際的な理解を得るための戦略として、専門家へのアプローチと、一般市民へのアプローチに分けて考え、対応する必要がある。

専門家へのアプローチ

福島第一原子力発電所の廃炉に向けた取組が、科学的・技術的に妥当であることが、海外の専門家に正確に理解されることは、国際社会の理解の基礎である。国外の関心を維持するためにも、官民の枠を超えて、技術の実務に関与する技術実施者、技術開発者及び研究者のレベルにおいて、国外のカウンターパートとの対話・交流を活性化していくべきである。

科学的で正確な情報に基づく国際世論の形成に資するためには世界の専門家に正しく理解してもらうことが重要であると認識し、我が国は、各国政府機関や国際機関と連携し、廃炉に向けた取組の実績について情報発信や関係者との対話に努め、継続していくべきである。

一般市民へのアプローチ

情報の受け手の関心等が事故当時から変化しているほか、理解のベースとなる知識や情報量に国ごとに違いがある部分もある。また、我が国として、原子力先進国以外の国々に対しても、国際機関と連携し、積極的に情報発信を行うべきである。

A L P S 処理水の海洋放出については、外務省、経済産業省を中心として、科学的な見地にに基づき、積極的な広報を実施するとともに、経済産業省や原子力規制委員会等による I A E A のレビュー実施に対応する等の日本政府一丸となった方策が取られている。

福島第一原子力発電所の廃炉は、世界の理解なくして進めることは難しい。このため、福島第一原子力発電所の廃炉等を進める中で得られた知見等を国際社会に積極的かつ戦略的に還元していくことで、信頼を構築できるように努めていくべきである。また、事故を起こした我が国の責務として、政府を始めとした国内関係機関が、廃炉に関する透明性高く正確な情報発信を継続することが課題であり、今後とも戦略的に取り組んでいくべきである。

6.3 地域共生

6.3.1 地域共生の意義と現状

福島第一原子力発電所の廃炉における大原則は復興との両立（「復興と廃炉の両立」）である。廃炉に対する不安感や不信感によって、廃炉が住民の帰還や移住・定住等の復興の動きの妨げとなることは決してあってはならず、地域住民の不安や疑問に真摯に耳を傾け、双方向のコミュニケーションを通じて、地域住民が廃炉について理解を深め、その不安を取り除いていくことが重要である。このため、政府においては、「廃炉・汚染水・処理水対策福島評議会」など主催する会議体における地元関係機関等との意見交換、廃炉の現状をまとめた動画やウェブサイト、パンフレット等による情報発信、地域住民や関係自治体を対象とした説明会・座談会の開催等を行っている。N D F においては、国際フォーラムを開催し、地域住民を始めとした参加者と関係機関等との廃炉に関する率直な意見交換も行っている。東京電力においては、自社のウェブサイト、パンフレット等を活用した情報発信や福島第一原子力発電所の視察受入れを積極的に行っている。

また、長期にわたる廃炉を貫徹するためには、地元企業を中心とした企業の継続的な協力が不可欠であることから、地元企業の参画を仰ぎ、この地で廃炉関連産業の活性化を図ることが、福島の復興に貢献する重要な柱となる。福島第一原子力発電所においては約 3,500～4,700 人の作業員が業務に従事しており、地元雇用率は約 7 割となっているなど、廃炉事業は地域の方々によって支えられている。このため東京電力は、2020 年 3 月末に策定した「復興と廃炉の両立に向けた福島の皆さまへのお約束」に基づき、廃炉産業集積に向けた取組を「地元企業の参画拡大」「地元企業のステップアップサポート」「地元での新規産業創出」の 3 つに整理し、段階的に着手している。及び の取組については、福島イノベーション・コースト構想推進機構及び福島相双復興推進機構と連携し取組を進めるとともに、2020 年 9 月から作成している「中長期発注見通し」の内容を廃炉作業の進捗に合わせて更新し、地元の商工団体や地元企業に対して説明会を実施している。 の取組については、2020 年代に地元で一貫した廃炉事業の実施体制を構築するため、2022 年 10 月に、廃炉に向け必要となる使用済燃料キャスク等の中核製品を製造する「東双みらい製造株式会社」、燃料デブリの取り出し規模の更なる拡大に必要な基本設計等を行う「東双みらいテクノロジー株式会社」を設立した。

6.3.2 主な課題と戦略

(1) コミュニケーションに関する課題と戦略

廃炉に関する不適切な情報発信による誤解や懸念、風評の発生は、福島復興への妨げにつながることから、東京電力は、廃炉の現状を正確かつ分かりやすく速やかに発信することが課題となる。このため、引き続き視察や座談会といった直接対面する取組に加え、オンライン会議システム等の非対面・非接触でも可能なコミュニケーションも強化すべきである。

また、政府、NDF及び東京電力が適切に連携し、情報提供をより一層丁寧に行い、地域との信頼構築に努めることも課題となる。このため、関係機関等との連携を積極的に図っていくとともに、対話による双方向のコミュニケーションを図り、正確な情報を分かりやすく丁寧に伝えていく。特に、ALPS処理水の処分に関して、政府においては、「ALPS処理水の処分に関する基本方針の実施状況と今後の対策の方向性について」(2024年8月30日策定)等に基づき、風評を生じさせない・風評に打ち勝つための対策を実施している。

(2) 廃炉を通じた地域の産業・経済基盤の創出に関する課題と戦略

「地元での新規産業創出」の取組は、比較的大規模な投資であることから、着実に取組の推進・強化を行っていくことが求められる。一方、高機能製品の製造については高度な技術を要するため、地元企業の積極的な参画につなげられるかが課題となる。当面は「地元企業の参画拡大」「地元企業のステップアップサポート」といった現状の取組もしっかりと継続・強化するとともに、新たな廃炉関連の検討状況について、地元の自治体、商工団体等に丁寧に説明し、理解・協力を得ながら取組を進めていくべきである。

地元企業の中には、必ずしも元請となることを希望しておらず、まずは下請けとして参入して技術や経験を得ることを望む声もある。こうした地元企業の意向やニーズを適切に把握した上で、東京電力と元請企業が連携して発注・契約を含めた様々な取組を具体的に検討することも重要である。引き続き、地元企業が参画しやすくなる取組や、地元企業が継続した一定規模の発注を見通すことができる取組を検討する等、今後長年にわたる廃炉作業を地元・福島と共に進めていくという姿勢を示していくべきである。

地域共生の取組を着実に進めるには、東京電力は社内の緊密な連携とともに、地元自治体、地元関係機関との連携・協働をより一層強化していく必要がある。NDFは、東京電力の地域共生の取組支援に加え、地元自治体、地元関係機関等との連携・協働の強化に努めていく。