

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

概要版

2021年10月29日

原子力損害賠償・廃炉等支援機構

## 目次

1. はじめに .....	3
1) 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた体制・制度 .....	3
2) 技術戦略プランについて .....	4
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 .....	5
1) 福島第一原子力発電所廃炉の基本方針 .....	5
2) 放射性物質に起因するリスク低減の考え方 .....	5
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
1) 燃料デブリ取り出し .....	13
2) 廃棄物対策 .....	29
3) 汚染水・処理水対策 .....	38
4) 使用済燃料プールからの燃料取り出し .....	44
4. 廃炉の推進に向けた分析戦略 .....	47
1) 燃料デブリ等の不確実性と分析の重要性 .....	47
2) 分析戦略の三要素 .....	47
3) 分析体制構築の現状と戦略 .....	47
4) 分析結果の品質向上と分析手法の多様化・拡充 .....	48
5. 研究開発への取組 .....	50
1) 研究開発の意義と現状 .....	50
2) 主な課題と戦略 .....	51
6. 技術戦略を支える取組 .....	54
1) プロジェクト管理の一層の強化、廃炉の事業執行者として有すべき能力の向上 .....	54
2) 国際連携の強化 .....	58
3) 地域共生 .....	59
用語集 .....	63

## 1. はじめに

現在、事故直後に緊急を要した汚染水対策については、汚染水発生量の低減、並びに建屋内滞留水の処理（1～3号機原子炉建屋、プロセス主建屋、高温焼却炉建屋を除く）が完了するなど安定化している。また、プール内燃料取り出しについては、3,4号機が完了するなど着実に廃炉作業は進展している。さらに、地震・津波などの災害に対する対策が進んでおり、2021年2月13日に発生した福島県沖を震源とする地震の際には、1,3号機原子炉格納容器の水位低下、中低濃度タンク・5,6号滞留水貯留タンクの滑動（ずれ）等が発生したが、その被害を外部への影響はない範囲に留めているほか、廃炉作業に与える影響を抑えることができている。ALPS処理水については、政府により安全性を確保し、風評対策を徹底することを前提に海洋放出する方針が公表された。

一方、新型コロナウイルス感染拡大の影響により、2021年内に開始を予定していた2号機の燃料デブリ取り出しは、1年程度遅れる見込みとなっており、現在はこの遅れを最小限にするための取組が行われている。東京電力ホールディングス(株)（以下「東京電力」という。）は、これらを踏まえた廃炉作業の見通しを具体化するため、2020年に公表した廃炉中長期実行プランを2021年3月に更新している。

「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 2021」（以下「技術戦略プラン 2021」という。）では、「東京電力(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。）で2021年度頃に示すとしていた、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、「技術的な見通し」という。）を提示するとともに、新型コロナウイルスの影響を最小限にするための試験的取り出しに向けた課題、取り出し規模の更なる拡大の工法選定に向けた論点整理、ALPS処理水に係る取組等を特徴的に記載している。

### 1) 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた体制・制度

廃炉作業の中長期を見据え、各課題への対応を計画的に実施し廃炉作業を着実に進めていくため、東京電力は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月に組織を改編し管理体制や仕組みの大枠はできた。今後は管理手法の充実や高度化を図り、実効性のあるものとして現場業務に根付かせていくことが重要である。また、資金面においては、当面の廃炉作業を確実なものとしていくため、2017年10月から原子力損害賠償・廃炉等支援機構（以下「NDF」という。）による廃炉等積立金管理業務が実施されている。当該管理業務は、毎年度、①NDFが定め、経済産業大臣が認可した廃炉の適正かつ着実な実施に要する金額を東京電力がNDFに積み立て、②NDFと東京電力が共同で作成し経済産業大臣が承認した「廃炉等積立金の取戻しに関する計画」（以下「取戻し計画」という。）に基づいて、東京電力が廃炉等積立金を取り戻し、廃炉を実施していくものである。現在、廃炉等積立金管理業務は導入から3年を経ており、適正かつ着実な廃炉の実施に寄与している（図1）。

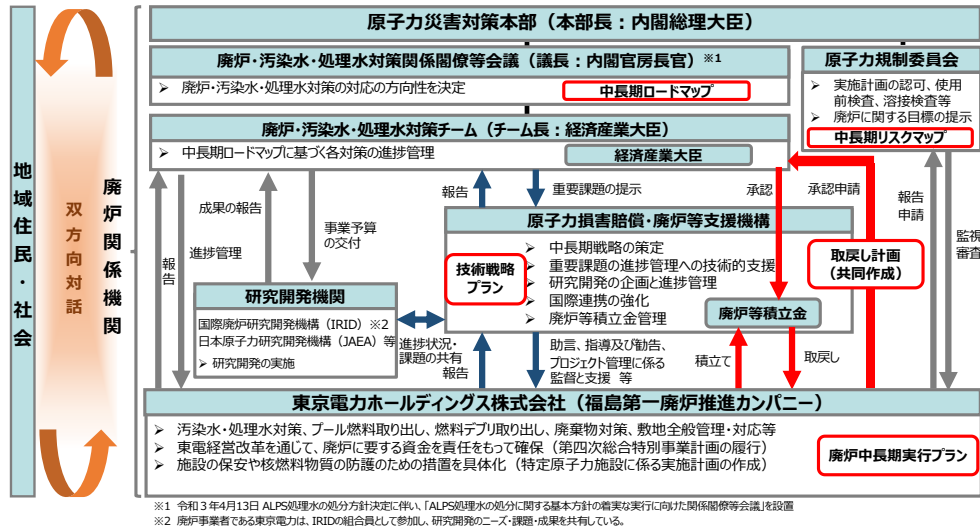


図1 福島第一原子力発電所の廃炉に係る関係機関等の役割分担

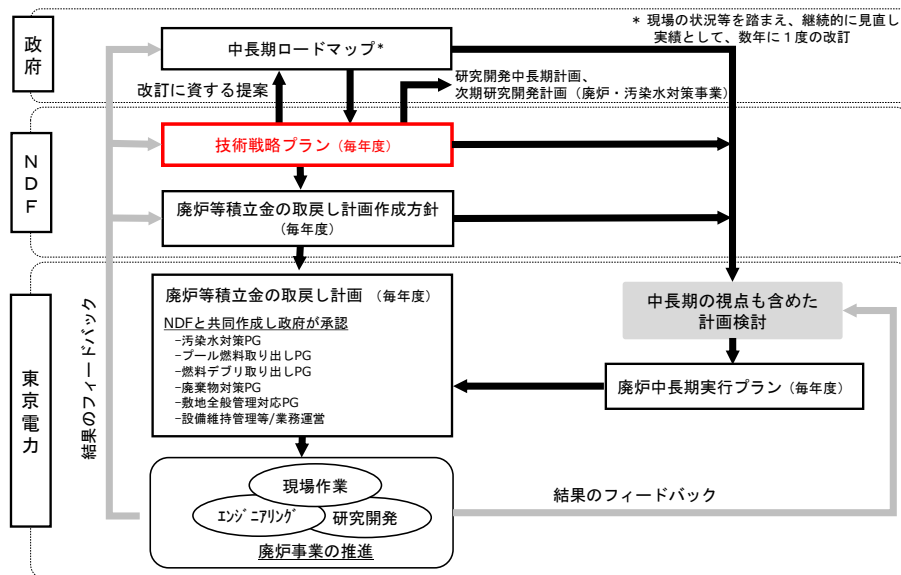


図2 廃炉等積立金制度を踏まえた技術戦略プランの位置付け

## 2) 技術戦略プランについて

NDFでは、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や改訂の検討及び原子力規制庁の「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」の目標達成に資すること、並びに取戻し計画作成方針に根拠を与えることを目的として、技術戦略プランを2015年以降毎年取りまとめている。また、技術戦略プランは、廃炉中長期実行プランの毎年の改訂に技術的な観点から資する提案を行っている。

技術戦略プラン2021では、2019年に改訂された中長期ロードマップの目標に向け事業者が廃炉作業を着実に実施するために、福島第一原子力発電所の取組全体を俯瞰した中長期視点での技術戦略を提示する。特に、難易度が高い作業である燃料デブリ取り出しが至近に迫っており、この実現のためにも、政府、NDF、東京電力、研究機関等の役割は一層大きくなっており、本書ではこれらの観点も意識した記載としている。

## 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

### 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。

### 2) 放射性物質に起因するリスク低減の考え方

#### i. 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（以下「NDA」という。）が開発した Safety and Environmental Detriment（以下「SED」という。）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「管理重要度」の積によって表される。

#### ii. リスク源の特定と評価

福島第一原子力発電所の主なリスク源をまとめると表 1 となり、これらの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「管理重要度」を軸として表現すると図 3 となる。

また、これまで想定できていないリスクを抽出していく取組が重要になる。このようなリスクの抽出は容易ではないが、想定外の事象が発生した際にその事象を分析し、これまで想定できていなかった要因を明らかにしていくことは、リスク抽出の糸口となる。

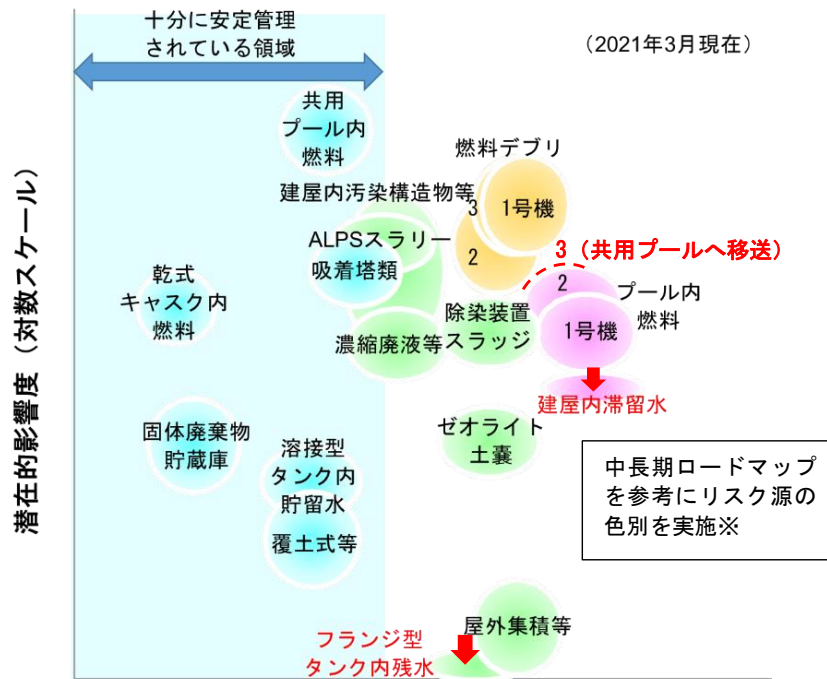
2021年3月25日に報告された瓦礫等の一時保管エリアにおける全 $\beta$ 汚染物の漏洩事象では、内容物が把握されていない容器（コンテナ）からの放射性物質の漏洩が確認された。これまでは、瓦礫など固体状の内容物は、容器破損により直ちに放射性物質を環境に移行させることはない想定していたが、本事象を踏まえると、リスク源の所在と放射能に加えて物理化学的状態とその経年変化の把握がリスク抽出に重要となる。また、2021年2月13日に発生した福島県沖を震源とする地震では、1号機と3号機でのPCVの水位低下や構内のタンクでタンク設置時に評価した滑動量を超える滑動が確認された。現在の状態が十分に把握できていないPCV等については、内部調査とともに事故発生時の状況の理解による損傷状態の把握及び監視や評価による経年変化の推定がリスク抽出に役立つ。自然災害等の外部事象については、既存設備や新規設備の設計条件を超える事象に対する影響と対応策の要否を予め十分評価する必要がある。

上記の事例はいずれも重大な結果に至っていないが、根本原因分析等の手法を用いて事象を丁寧に分析し、そこからこれまで想定できていないリスクを抽出し、重大な結果の発生防止に役立てることが重要である。そのためには東京電力において、上述のように、想定外の事象から学び取る取組が必要である。

表 1 福島第一原子力発電所の主要なリスク源

燃料デブリ		1～3号機の原子炉圧力容器 (RPV) /原子炉格納容器 (PCV) 内の燃料デブリ
使用済燃料	プール内燃料	1～2号機の使用済燃料プール内に保管されている燃料集合体
	共用プール内燃料	共用プール内に保管されている燃料集合体
	乾式キャスク内燃料	乾式キャスク内に保管されている燃料集合体
汚染水等	建屋内滞留水	1～3号機原子炉建屋、プロセス主建屋、高温焼却炉建屋内に滞留する汚染水、1～3号機建屋底部の $\alpha$ 核種含有スラッジ
	ゼオライト土嚢	プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋地下階に設置されたゼオライト入り土嚢
	溶接型タンク内貯留水	溶接型タンク内に保管されているストロンチウム処理水、ALPS 処理水等 (ALPS 処理水及び処理途上水)
	フランジ型タンク内残水	フランジ型タンク底部に残っている濃縮塩水の残水及び $\alpha$ 核種含有スラッジ
水処理 二次廃棄物	吸着塔類	セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置、第三セシウム吸着装置、高性能多核種除去設備、モバイル型ストロンチウム除去装置、第二モバイル型ストロンチウム除去装置、モバイル式処理装置の使用済吸着材等
	ALPS スラリー	多核種除去設備、増設多核種除去設備で発生した、高性能容器 HIC に保管されているスラリー
	除染装置スラッジ	除染装置の運転に伴って発生した凝集沈殿物
	濃縮廃液等	濃縮塩水を蒸発濃縮装置でさらに濃縮減容した濃縮廃液及び濃縮廃液から収集した炭酸塩スラリー
ガレキ等	固体廃棄物貯蔵庫	固体廃棄物貯蔵庫内に収納されているガレキ類 (30 mSv/h 超)
	覆土式等	覆土式一時保管施設、容器収納にて保管されているガレキ類 (1～30 mSv/h)、一時保管槽にて保管されている伐採木
	屋外集積等	屋外シート養生にて保管されているガレキ類 (0.1～1 mSv/h)、屋外集積にて保管されているガレキ類 (0.1 mSv/h 未満)、屋外集積にて保管されている伐採木
建屋内汚染構造物等		原子炉建屋、PCV/RPV 内で、事故により飛散した放射性物質により汚染された構造物・配管・機器等 (シールドプラグ・非常用ガス処理系配管等) 及び事故以前の運転時の放射化物





管理重要度（対数スケール）

※「相対的にリスクが高く優先順位が高いもの」を桃色、「直ちにリスクとして発現するとは考えにくいだが拙速に対処した場合にかえってリスクを増加させ得るもの」を黄色、「将来的にもリスクが大きくなるとは考えにくいが廃炉工程において適切に対処すべきもの」等を緑色で示し、このうち「十分に安定管理されている領域」にあるリスク源を水色で示す。

また、朱記は昨年度からの変化が顕著なリスク源であり、点線または矢印の元が昨年度の位置を表す。

図3 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の例

iii. リスク低減戦略

(1) リスク低減戦略における当面の目標

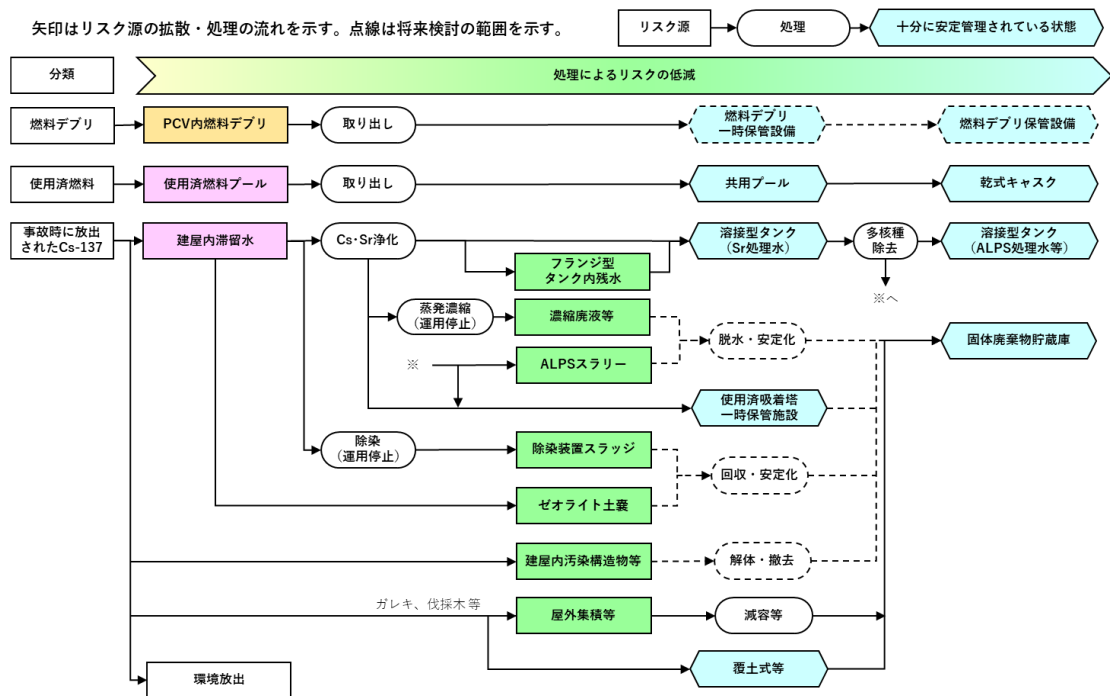
リスク低減対策としては、「潜在的影響度」を低減させる方法と、「管理重要度」を低減させる方法がある。様々なリスク低減対策のうち、一般に工学的に実現しやすいものは、この「管理重要度」の低減である。したがって、「事故により発生した通常の原子力発電所にはない放射性物質に起因するリスクを、継続的、かつ、速やかに下げること」（2.1 節参照）を基本方針とする福島第一原子力発電所の廃炉は、まずはリスク源をより健全な施設においてより安定的に管理することで管理重要度を下げる取組であり、図3の「十分に安定管理されている領域」（水色の領域）に持ち込むことを当面の目標とするものである。

本目標に対する技術戦略プラン2020からの作業進捗として、2021年2月に3号機プール内燃料の共用プールへの移送が完了したこと、2020年7月にフランジ型タンク底部の残水（ALPS処理水等）の処理が完了したこと（溶接型タンクへの移行）、建屋内滞留水が減少したこと（吸着塔類等への移行）などを、図3に反映している。また、原子力規制庁による現地調査により状況が確認されてきたシールドプラグ、非常用ガス処理系配管については従前より建屋内汚染構造物等に含めており、表1にそれを明記した。

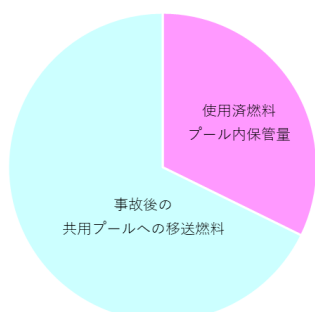
なお、福島第一原子力発電所全体のリスク低減戦略を検討するに当たり、上述のSEDはある時間断面での放射性物質に起因するリスクを定量的に示したものであり、これはリスク源の対策の優先順位を判断する際に有効な手法である。

## (2) リスク低減の進捗状況

主要なリスク源について、当面の目標である「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の1つの表し方を図4に示す。図4(a)は、これまでの廃炉作業及び今後の計画の概要をフロー化し、俯瞰的に廃炉作業全体の流れを示すとともに、図3の色別を用いて各リスク源のリスクレベルを表すことによりリスクの低減の流れを提示している。このフローを基に、燃料デブリ、使用済燃料及び事故時に放出されたCs-137について展開することで、事故時に比べ、どのようにリスク源が移行したのかを可視化することが可能である。図4(b)には、使用済燃料について、作業進捗がわかりやすい燃料集合体体数を指標として、図4(c)には、Cs-137について、様々な形態で存在するリスク源に共通する放射能推定値(Bq)を指標として、「十分に安定管理されている領域」への移行状況を、各々円グラフにより表現し廃炉作業の進捗状況を提示している。

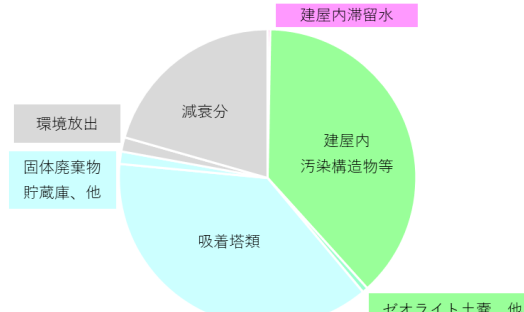


(a) リスク低減プロセス



※新燃料体数は含まれていない

(b) 使用済燃料の燃料集合体体数 (1号機～4号機)



(c) 事故時に放出されたCs-137の放射能 (1号機～3号機)

図4 主要なリスク源のリスク低減プロセスとその進捗 (2021年3月時点の例示)  
 (図4(c)の減衰分は、事故後から2021年3月末までのCs-137放射性崩壊を考慮した)



### (3) 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、大きな不確かさを内在した事業である。現在までに、事故進展過程のシミュレーション、ミュオン測定による燃料デブリ位置の推定、原子炉格納容器（以下「PCV」という。）内への調査機器の投入、建屋内の線量測定や映像撮影などにより、1～3号機PCV内部の様子はある程度推定できるようになってきているが、未だ大きな不確かさが存在している。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ことになるが、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いても、安全の確保を最優先に、これまでの経験・知見、実験や解析によるシミュレーション等を活用し方向性を見定めた上で、柔軟かつ迅速に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
- 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とも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（「合理的」）、確実（「確実」）で、現場の厳しい条件に対し実際に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は、判断結果が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。

### 3) 廃炉作業を進める上での安全確保の考え方

#### i. 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）を十分認識する必要がある。

- ・ 多量の放射性物質（内部被ばくに大きな影響をもつα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、また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

そのため、廃炉事業執行者である東京電力は、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、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り、かつ、その不確かさを低減するための現場アクセスや計装装置設置も制約されている状況で、非定型、非密封の多量の放射性物質を不完全な閉じ込め状態で扱うことになる。このため、幅広い可能性（ケース）を想定して、それらについて確実に安全確保が可能であることの確認を、全ての検討の起点とすることが必要である。同時に、「安全」に関して、作業期間全体にわたるリスク低減を踏まえて作業期間を長期化させないことが重要であり、そのために過剰な安全対策を避け、最適な安全対策を講じること（ALARP）が必要である。「安全」に関するこのような視点（安全視点）を廃炉作業の検討に反映することが重要である。

第二に、「現場指向」に関して、

- ・ 現場環境が、高い放射線レベル等の特殊な状況にあり、安全対策を施工／実施する際の現場実現性に留意が必要であること
- ・ 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（運転操作、保全、放射線管理、計装、分析等）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、感覚を大切に、現場を直視した着眼点や判断等（オペレータ視点）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、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。そのため、東京電力は外部の専門家や難作業の経験者、現場一線を離れた経験者など「オペレータ視点」を有する技術者を招聘し指導・教育を仰ぐなど、廃炉作業全体において現場を常に意識した取組を実施していく必要がある。

本節では、まず、福島第一原子力発電所の特徴に対して、オペレータ視点も包含した安全評価による安全確保策の重要性を述べた上で、安全確保過程の中において多段階に取り込むべきオペレータ視点固有の重要性を述べる。

### (1) 安全評価を基本とした判断最適化と廃炉対応における適時性確保

廃炉作業によるリスク低減に向け、燃料デブリ取り出しなど技術的に難易度が高く、大きな不確かさを有し、かつ多量の放射性物質を取り扱う作業は、適切な対策を実施し安全を確保することが最も重要との「安全視点」をもって廃炉作業を進める必要がある。

具体的には、廃炉の各作業の安全対策を検討する際には、安全の評価を尽くし、必要な安全が確保されていることを確認した上で、5つの基本的な考え方に基づいた判断を行うことが基本と

なる。福島第一原子力発電所の廃炉作業は、前例がなく、かつ不確かさが大きいことについて述べてきたが、十分に検討された安全評価を安全対策に関する判断の基本とすることで、安全対策に関する判断が大きく振れることなく（寡少又は過剰なリソース投入を行うことなく）、必要かつ十分に合理的に実行可能な安全対策が実現できる（安全評価を基本とした判断最適化）。なお、合理的に実行可能な安全対策については、次節で述べるオペレータ視点を取り込んだ上で安全評価を行うことが特に福島第一原子力発電所の安全評価において重要である。

また、福島第一原子力発電所の廃炉に固有な「安全視点」として、遅滞ない廃炉作業進捗の重要性（時間軸を意識した対応の重要性）があげられる。既に顕在化している高い放射線影響、さらには閉じ込め障壁等の更なる劣化の可能性を考慮すると、中長期的な視点で見た場合には、遅滞なく廃炉作業を進展させることが廃炉全体の安全確保に大きな意味を持つことになる。そのため、ヒト、モノ、カネ等のリソースに一定の裕度を持ち、放射線影響が低く安定している通常炉の安全確保と異なった視点を持つ点に留意する必要がある。安全が確保されていることを前提であるが、特に、時間軸を意識した遅滞ない廃炉作業の進展とリソース投入については、全体バランスとの関係を踏まえ、合理的に判断することが求められる（廃炉対応における適時性確保）。

## (2) 「オペレータ視点」を取り込んだ安全確保

安全対策が真に実効的であるためには現場で実際に操作や作業等を実行する立場からのニーズを満足している必要があり、「オペレータ視点」（現場を熟知し現場で操作や作業等を実行する立場からの着眼や判断等）が重要である。そのような観点に加え、福島第一原子力発電所の廃炉では、事故影響を受けた施設であること、高い放射線レベルなど通常炉とは異なる特殊な環境にて行われる未経験の取組であることから、安全対策の実現性を判断するに当たっては、高い放射線レベルなどの特殊な状況、環境等の現場の状況を踏まえて判断する必要がある。

また、安全確保に当たり、運転操作を含めた運用による設計の補完、監視・分析等による情報の設計での活用等が重要性をもつ。

### ii. 先行的な実施と得られる情報の後段での活用

事故炉である福島第一原子力発電所の現場状況には大きな不確かさが存在する。このような中、燃料デブリ取り出し等の大掛かりな作業について、既存の知見のみに基づいて作業全体を設計しようとすると、極めて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。このため、対応期間の長大化や手戻りのリスクが避けられず、その結果、廃炉全体の遅れ、廃炉費用の高騰、作業員被ばくの増加等を招き、全体プロジェクトの成立性や予見性を低下させる可能性が大きくなる。

一方で、現状既に放射線レベルが高い環境下にあること、閉じ込め障壁等の更なる劣化、今後の大きな自然事象（地震や津波等）の発生の可能性等を考慮すると、リスク状態の改善と不確実性の縮小は早急に行うことが求められる。このため、作業をいくつかの段階に分けた上で、実際的な安全の確保を保証できる「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という「逐次型の取組」が重要となる。この取組方式では、各段階の作業において、炉内部の状態監視、操作の制限、機動的な対応等によって安全を確保した上で作業を進め、作業

によって得られた情報を次段階の作業の設計に活用することで、次段階の作業の不確かさを低減し、安全確保の信頼性向上と設計の合理化を図ることができる。

東京電力は、このような取組方式を実際のエンジニアリングやプロジェクト管理に積極的に導入していくべきである。

今後は、安全確保のための逐次型の取組の中で、現場作業によって得られる情報も十分に取込み、知見として積み上げていくことを方針として明確にすることが望ましい。例えば、燃料デブリ取り出し時における水素リスクの把握も同様である。窒素供給量を試験的に低減させる試験によって水素リスクを把握し、必要な窒素供給量や排気設備の信頼性などの安全確保上の要件を決定することができる可能性がある。

これらの逐次型の取組方式の過程で得られる上手くいった経験や上手くいかなかった経験を実績として積み上げていくことが重要であり、将来的には廃炉全体がもつ大きな不確かさを徐々に低減させることができる。これにより、廃炉を着実に進展させることができ、中長期的なリスク低減の観点から福島第一原子力発電所の廃炉における安全確保に資することになる。

本章で述べた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は、関係者のみならず地域の皆様からの幅広い理解を得ながら進める必要がある。このため、それぞれの立場を踏まえ、安全確保の考え方に基づくリスク低減を目指し、連携していくことが必要である。その際に、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状況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

#### 1) 燃料デブリ取り出し

##### i. 目標と進捗

###### (目標)

- (1) 周回の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) 2号機の試験的取り出しについては、2021年内の取り出し開始としていたものの、新型コロナウイルス感染拡大の影響により工程が遅れている。1年程度の遅延に抑えるべく、取り出し開始に向けて作業を進める。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。
- (3) 取り出し規模の更なる拡大については、初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、その方法の検討を進める。

###### (進捗)

###### ① 1号機

2021年度内に計画しているPCV内部の調査開始に向け、X-2ペネトレーション（以下「X-2ペネ」という。）内扉の開孔作業時のダスト濃度変化を踏まえたダスト拡散抑制対策及びダスト濃度監視や、2021年に入り干渉物調査の準備作業中にX-2ペネ外扉に外力が加わったことにより発生したと想定されるPCV圧力低下に対し、その発生を抑制する対策を行いながらPCV内の干渉物の除去等を進めている。

###### ② 2号機

2019年の中長期ロードマップにおいて、燃料デブリ取り出しの初号機は2号機とすることが定められ、その際に2021年内の試験的取り出し着手としていたものの、新型コロナウイルス感染症の影響により工程が遅れている。1年程度の遅延に抑えるべく、取り出し開始に向け作業を進めており、アーム型のアクセス装置（ロボットアーム）については、日本国内に到着し、試験を開始している。

段階的な取り出し規模の拡大に向けた計画も進めており、アーム型アクセス装置について、アーム性能に係わる要求事項やアーム型アクセス装置とエンクロージャ等との取り合いに係わる要求事項を明確化し検討を進めている（図5,図6）。

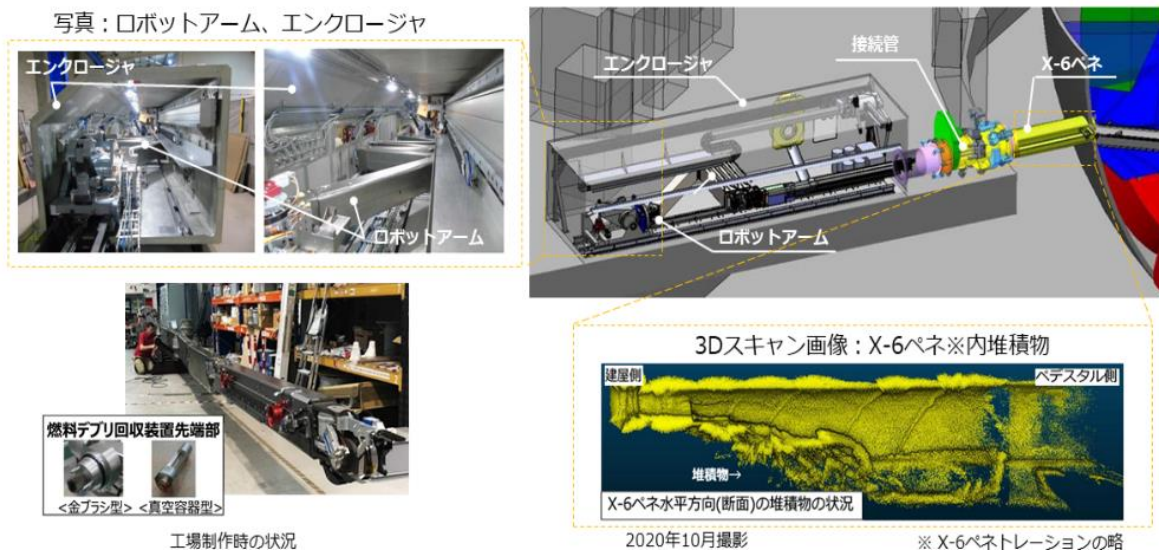
###### ③ 3号機

3号機については、サプレッションチェンバ（以下「S/C」という。）に接続された配管を利用したS/C内水のサンプリング（2020年実施）の結果、Cs-137等の放射性物質濃度が建屋滞留水と比較して高いため、汚染水処理への影響を考慮するとともに、分析結果のPCV取水設備設計への反映を進めている。また、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いる。

###### ④ 2021年2月13日に発生した福島県沖を震源とする地震に対する影響と対応

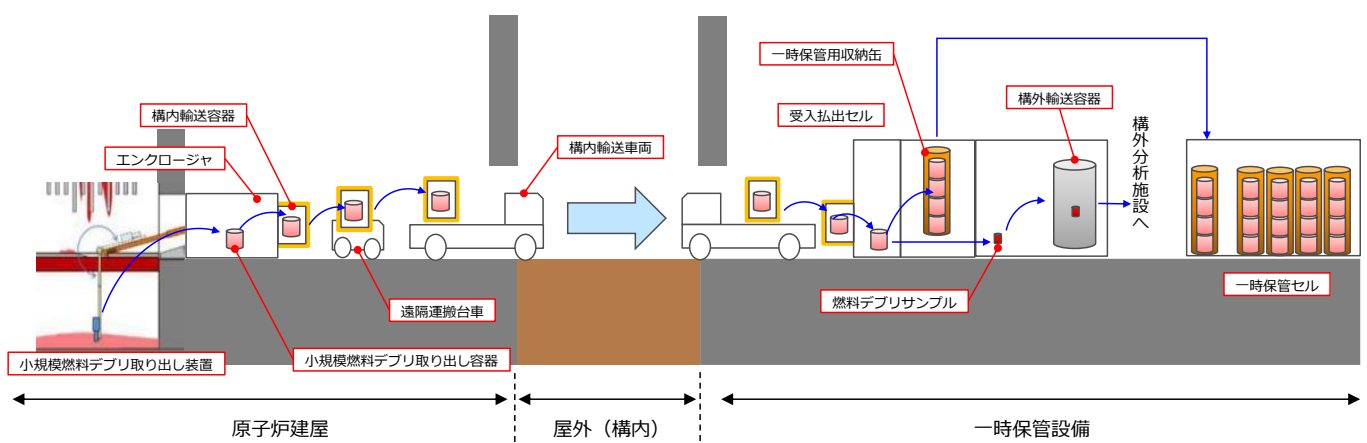
2021年2月13日に発生した福島県沖を震源とする地震により1,3号機においてPCV水位の低下を確認しているが、原子炉への注水は継続しており、また、1~3号機でプラントパラメータの監視強化において、プラントパラメータに有意な変動はないことから、燃料デブリの冷却状態に問題はないと考えられる。この水位低下は、これまで確認されているPCV損傷箇所の状況変化や新たな損傷箇所の発生に伴い、PCV内部からの漏えい量の増加により発生した可能性があるとして想定している。今後、注水停止試験により水位等のパラメータの変動を確認し、知見拡充することを検討している。

今回の地震も踏まえ、プラントの状態変化を把握するための監視系の強化や、中長期を見据えた設備と建屋を保全管理するための影響評価、状況を把握するために必要な技術開発を進める必要がある。



(東京電力資料を NDF にて加工)

図5 燃料デブリ取り出し設備のイメージ (試験的取り出し及び段階的な取り出し規模の拡大)



(東京電力資料を NDF にて加工)

図6 燃料デブリ取り出しから一時保管までのイメージ (段階的な取り出し規模の拡大)



## ii. 主要な課題とそれを実現する技術戦略

PCV 内の状況把握等が未だ限定的であることから、現時点での燃料デブリ取り出しに係る設計や現場作業計画は、今後得られる知見を基に不断の見直しが必要であり、燃料デブリ取り出しに向けた検討や研究開発の成果も的確に反映していくことが重要である。

2号機において試験的取り出し及び PCV 内部調査を進め、その知見等も踏まえ、段階的な取り出し規模の拡大を行う。また、3号機を対象として取り出し規模の更なる拡大の概念検討を進める。

### (1) 試験的取り出し及び PCV 内部調査、段階的な取り出し規模の拡大

#### ① 試験的取り出し・内部調査装置の開発状況と今後の見通し

2号機における試験的取り出し及び PCV 内部調査では、X-6 ペネトレーション（以下「X-6 ペネ」という。）のフランジを開放し、従来より大きな開口を利用し、これを通じてアーム型アクセス調査装置を出し入れし、PCV 内の燃料デブリを外へ取り出すことを行う。この作業では、従来の閉じ込め障壁の位置が X-6 ペネの閉止フランジ部であったものから、X-6 ペネ開放作業時に設置する隔離部屋や新たに設置するエンクロージャに拡張することになる。これは、規模は小さいながらも、PCV に新たな開口を設けて、PCV 外側に閉じ込め障壁を拡張するという今後の取り出し作業の基本的な現場構成の形であり、新たな段階に入る取組である。

新型コロナウイルス感染症の影響による遅れを最小限に抑える努力を行うことは重要であるが、一方で、現場の不確実性を十分考慮したモックアップ試験を実施することは現場適用性や安全確保の観点から重要である。モックアップ試験では、現場の厳しい環境を模擬することに加え、模擬できない部分を明らかにし、実機適用時の対応方策について十分な準備を整えることが必要である。試験計画、並びに対応方策が十分であることを NDF としても確認していく。

以下に主な技術課題と対応策や留意点について述べる。

#### ・ X-6 ペネ内堆積物除去等に伴うダスト拡散抑制対策

X-6 ペネ内堆積物除去、障害物の AWJ 切断・除去作業においても、先行的な実施と後段での活用の考え方に則り、作業ステップを細分化し、ステップごとにダスト拡散状況のモニタリング結果に問題ないことを確認した上で次ステップに進め、異常等の兆候が見られた場合には、対応策を講じた上で次の段階に展開する、といった具体的な作業計画の立案とそれに従った実行により安全の確保を図ることが不可欠である。

NDF は、東京電力が立案する作業計画が綿密に練られているか、その計画に対し抜かりなく実行されているか、必要時には立ち止まっているか等、実施状況について、十分に安全が確保されていることを確認していく。

#### ・ 新型コロナウイルス感染症の影響拡大リスクへの留意点

英国での性能確認試験と現場環境を模擬したモックアップ試験を取りやめ、装置類を日本国内に持ち込み、試験を行う計画である。国内での性能確認試験については、英国技術者の確保が不可欠であり、英国技術者の確保及び情報共有や意思疎通を円滑に行いつつ、不具合が発生した際の英国側のバックアップ体制を維持し、進める必要がある。

また、国内での新型コロナウイルス感染症の影響拡大のリスクに備え、可能な準備を行っていくことが重要である。NDF としてこれらの対応等について確認していく。

- ・ プロジェクト管理の留意点

海外企業を含めた受注者やその外注先の工程進捗管理に注意を払い、プロジェクトを進めていくことが重要である。東京電力においては、プロジェクト管理の取組の中で、遅れのリスクを事前評価し、リスク発生の防止策や代替案を立案する取組がより一層必要である。NDF としても、受注者やその外注先の会議体へ参加し、きめの細かい状況確認を行い、リスクの事前評価をサポートする。

- ・ 試験的取り出し・内部調査可能範囲の制約と段階的な取り出し規模の拡大への反映

PCV 内部調査では、ロボットアームを用いて、ペDESTAL内側の既設構造物の状況や堆積物の分布（3D データ）、底部及びプラットフォーム上のガンマ線分布、中性子カウント数分布を可能な限り広い範囲で取得する計画である。しかしながら、設計当初の計画に比べペDESTAL内の構造物やプラットフォームの残置量が多く、アームが炉底部へアクセスできる範囲が制約され、ペDESTAL底部の中性子計測や試験的取り出しの可能な範囲は限定的となる。ペDESTAL底部の燃料デブリの取り出しが出来なかった場合も想定し、プラットフォーム上の堆積物は底部同様に燃料デブリの可能性が高いため、取り出しの対象として計画をしている。制限された範囲での調査や試験的取り出しとなる中で、次の段階的な取り出し規模の拡大に向け必要な情報は何かを事前に十分に検討した上で、確実に作業を進める必要がある。

- ・ 次ステップ（段階的な取り出し規模の拡大）に向けた人材育成、技術継承

試験的取り出しについては、PCV 内の状況把握が限定的であり、ロボットアームの開発や堆積物、干渉物の除去に不確実性及び難しさがある。そのため、こうした作業を進める際には、東京電力や関係者において、必要に応じて外部からの招聘も含め現場経験豊富な人材を活用し、現場の目線や感覚の浸透を図る人材育成を行っていくとともに、そこで培った技術の継承を行っていく取組が必要である。

## ② 段階的な取り出し規模の拡大の開発状況と今後の見通し

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は、試験的取り出し及び PCV 内部調査装置の仕様を踏襲しつつ、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。

NDF としても引き続き、研究開発及び東京電力のエンジニアリングの両面から、技術開発の状況や現場への適用準備の状況を適時把握して、現場適用性や安全性確保の観点から確認していく。

以下に主な技術課題と対応策について述べる。

- ・ 燃料デブリを持ち込むエンクロージャの閉じ込め性の確保

取り出し作業は、PCV 内から取り出した燃料デブリをエンクロージャへ持ち込み、ユニット缶に収納し、構内移送のためエンクロージャ外へ搬出するという作業を繰り返し行うことになる。このため、エンクロージャ内が徐々に汚染するため、閉じ込め性確保が重要である。

こうした作業は、アーム型アクセス装置の出し入れに合わせて、エンクロージャ内の圧力をコントロールしながら実施する。このため、エンクロージャの耐久性を含めた気密性能や動作信頼性を確認するため、事前のモックアップ試験、装置設置後の試験、その後の異常監視が重要である。

- ・ 双腕マニピュレータの信頼性確保

エンクロージャ内に設置される双腕マニピュレータは、エンクロージャ内で様々な作業・保守を行う重要な役割を担っており、信頼性の確保が重要である。そのため、事前に様々な作業・保守に対する十分な訓練を行い、作業の再現性を確保することや運転員の養成を行っていく必要がある。

- ・ 供用期間中の装置類保守の確保と対応策

段階的な取り出し規模の拡大においては、定期的な保守に加えて、万一故障した場合の修理あるいは交換を行う必要がある。エンクロージャが設置される2号機の原子炉建屋内は線量が高く、その場での保守は困難であるため、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ことを計画している。また、様々な作業を行う双腕マニピュレータは、供用期間中に補修あるいは交換の可能性があるため、これをメンテナンス建屋に搬出入する装置の開発を継続中である。

このように修理等を含む装置類の保守性の確保とその対応が極めて重要であるため、東京電力の検討及び準備状況を確認していく。また、こうした供用期間中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も生かしていくことが重要であるため、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。

### ③ 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」ということを踏まえて、総合的な見地（技術的な成立性のみならず事業継続性も見据えて）から工法選定を行うとともに東京電力が責任を持って取り組んでいく必要がある。そのため、本節では工法選定の進め方について詳述する。

今なお不確実性が存在する福島第一原子力発電所では、原子炉格納容器内部状況の不確実性が検討の障害となっており、前提条件を設定して検討を進めざるを得ない状況がある。今後、技術的成立性を判断する上では、臨界管理、ダストの閉じ込め、遮蔽、熱除去等、工法・システムに対する要求事項（境界条件）及び制約条件（敷地利用面積、既設設備との取合い等）を明確にして検討していくことが重要である。

東京電力は、取り出し規模の更なる拡大についての概念検討を実施中である。東京電力はこの概念検討の中で燃料デブリ取り出しシナリオを検討するとともに、2021年度末に有望な工法の絞り込み（主案・副案の候補）を行う。その後、調査結果等から得られる情報を踏まえた工法の最終絞り込み（主案・副案）を行った後、さらに設計等を進めて工法の決定を行う。

以下に取り出しシナリオ・工法を検討する上での留意点について述べる。

- ・ 工法選定の進め方

工法選定においては、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することはもちろんのこととして、コスト、工程といった属性(評価項目)も判断指標とする必要がある。これらの評価項目を、多属性効用分析手法などを活用してできるだけ定量化する必要がある。どのような評価項目を判断指標として用いるか、または、指標の重み付けを如何に設定するかが工法選定プロセスにおいて最も重要と考える。これらの設定に当たっては、事業者である東京電力の考えを基本にしつつも有識者と議論を重ねて総合的な見地から決める必要がある。工法選定に当たっては、本来なら内部調査結果を反映して進めていくべきものであるが、福島第一原子力発電所のように不確かさが多い状況では、現在ある情報を基に検討を進め、その後、判明した調査結果をフィードバックしていくことが必要と考える。また、工法選定の結果については、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。

- ・ 取り出しシナリオの策定

PCV 内の状況把握が限定的な中、号機毎に複数の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複数の道筋を明らかにすることは重要である。燃料デブリ取り出しシナリオの検討においては、取り出しを横取り出しで進める場合や上取り出しで進める場合、または横取り出しと上取り出しを組み合わせて進める場合を想定し、それぞれに必要な内部調査等を含めて検討を行い、複数の道筋を検討していくことになる。この検討では、将来実施される PCV や RPV の内部調査や技術検討により得られる成果を予め複数想定した上で、それらを活用する前提条件の基に検討を行うものである。

こうした複数の道筋を検討した上で、道筋の中のある時点における工法の有力候補絞り込みを行い、その後得られる情報等に応じ、以降の道筋をさらに絞り込んでいく取組が重要である。

この燃料デブリ取り出しシナリオの検討においては、具体的な工程を合わせて策定することも重要である。

- ・ 要求事項の明確化

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(試験的取り出し、段階的な取り出し規模の拡大)、PCV 内部調査、RPV 内部調査、研究開発、現場環境整備等で得られた知見を踏まえ、収納・移送・保管方法を含め、その工法の検討を進める。その際、2号機の燃料デブリ取り出しに比べ、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一層重要となる。また、現場の線量が高いことや、PCV 内の状況把握が限定的な中、作業範囲が大規模化することから、作業・装置に求める要求事項(閉じ込め、臨界、操作性、メンテナンス性、スループット等)をより明確に設定して進めることが重要であり、要求事項の相互の関係にも留意する必要がある。

- ・ 有望な工法の絞り込みプロセス

廃炉・汚染水対策事業の開発成果を踏まえ、国内外の最新の知見を取り入れアイデアを抽出し、それに対し1次スクリーニング及び2次スクリーニングを行い、段階的に工法を絞り込んでいく。1次スクリーニングでは要求事項や制約条件への適合確認を行い、2次スクリーニン



グでは評価項目毎に定量化と重み付けを行い、多属性効用分析手法などを活用して絞り込んでいく。様々なアイデアの抽出が想定されるが、このようなプロセスに基づき、客観的な評価を行い、工法を絞り込んでいくことが重要である。

NDF は上記の留意点を踏まえ東京電力の概念検討結果の妥当性を評価する計画である(図7)。

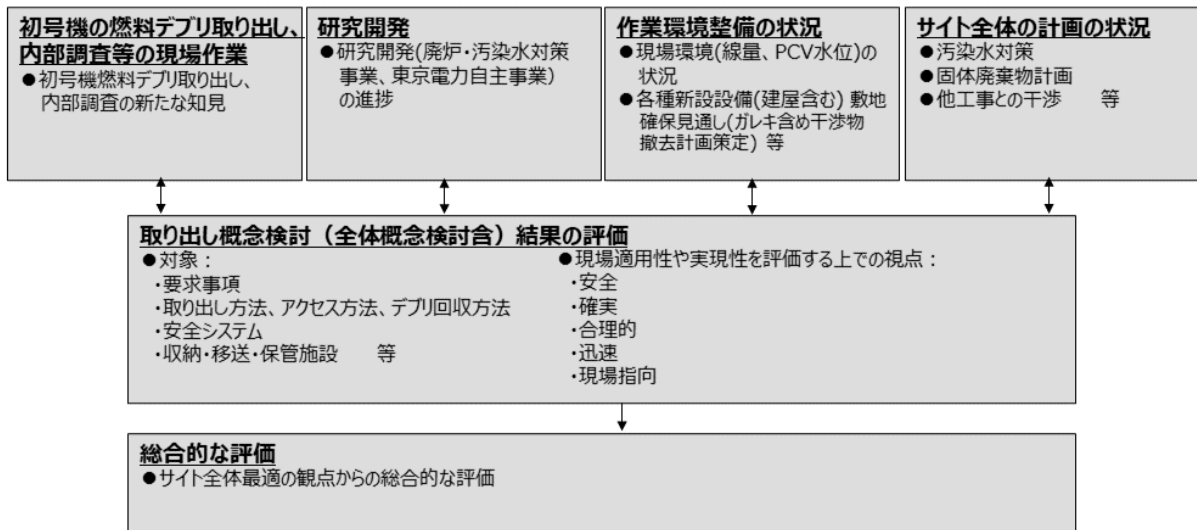


図7 取り出し工法検討の流れ(概念図)

なお、取り出し規模の更なる拡大に向けた各技術分野の課題については、(3)で述べる。

## (2) 事故分析(事故時の発生事象・進展過程等の明確化)活動の継続

燃料デブリ取り出しに向けたこれまでの内部調査により採取された堆積物サンプルの分析が進められている。このような調査・分析により得られる情報は燃料デブリ取り出し工法や保管管理等に直接的に反映される。さらに、事故履歴に関する情報と照らし合わせて、検討及び考察することで現象理解が進み、事故原因の究明及び廃炉へ貢献するとともに、間接的には原子力に関する安全性向上にも資することになる。

サンプル分析の結果と事故進展の模擬試験、既往の科学的知見を照らし合わせて、事故時に発生した過熱、熔融、化学反応、水素爆発等の個々の事象、それらが経時的に進展していく過程、非常用冷却・減圧機器の作動状況を推定・確認する活動を東京電力とJAEAが協力して実施している。さらに、東京電力が各号機のオペレーティングフロア(以下「オペフロ」という。)、非常用ガス処理系(以下「SGTS」という。)等の調査を独自に行っている。

事故の継続的な調査・分析を所掌する原子力規制庁においては、「東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会」を設置し、東京電力の協力を得ながら、2号機のオペフロ、3号機原子炉建屋の内部、SGTS フィルタライン等の調査を実施し、中間報告をまとめている。これらの調査により、原子力規制庁は2号機及び3号機のオペフロに設置しているシールドプラグの1層目と2層目の間に大量のCsが存在していると評価している。このような事故分析に関係する情報は、廃炉作業の進捗による施設解体等の影響を受ける可能性があることから、「福島第一原子力発電所廃炉・事故調査に係る連絡・調整会議」が設置され、原子力規制庁、資源エネルギー

一庁、東京電力、NDF 等の間で事故分析と廃炉に関する連絡・調整が行われている。廃炉作業と事故調査を両立させる例として、1号機及び2号機 SGTS 配管の一部撤去においては、放射線量率やガンマカメラによる測定、切断後に分析用の配管サンプルを採取することを東京電力が計画している。切断時の放射性ダスト放出への対策としては、発砲ウレタン注入や局所排気等を行うことが検討されており、廃炉作業と事故調査が周辺住民や環境へ影響を及ぼさないよう注意している。

東京電力においても炉心・格納容器の状態推定と未解明問題に関する検討を行いながら、現場調査を計画的に実施していく予定である。事故から10年が経過し、核分裂生成物（以下、「FP」という。）の減衰や現場の環境改善等によって線量が低下し、原子炉建屋へのアクセス性が向上したとはいえ、未だに線量の高い場所は多く存在する。少ない被ばく量で事故時に放出されたFPの所在を明らかにするためにも、このように各機関と連携し、合理的な範囲で事故時の発生事象、進展過程、機器の作動状況を明らかにする活動を継続することが重要である。また、今後の調査等により事故についての新たな事実が明らかになった時には、事故進展解析評価を行うなどの知見を深め反映していくことも重要である。

なお、シールドプラグはオペフロに設置されているため、原子炉建屋1階からアクセスを行う試験的取り出し、PCV 内部調査及び段階的な取り出し規模の拡大については、その影響を直接的に受けることはないが、取り出し規模の更なる拡大においては、オペフロからのアクセス（上取り出し）が必要となる可能性も考慮した上で、シールドプラグの線量が高いことを十分に認識し、除染や遮へい、閉じ込め等の対策に留意した取り出し工法の検討を進める取組が重要である。

### (3) 技術要件の技術課題と今後の計画

以下項目の現状と課題について記載する。

#### a. 燃料デブリ取り出しにおける安全確保に係る技術課題

燃料デブリの取り出しに関しては、燃料デブリや閉じ込め障壁の状況に大きな不確かさ（非密封、非定型）があり、その中で大量の燃料デブリを不完全な閉じ込め状態で扱う等の安全上の特徴がある。これらの特徴を踏まえた上で安全確保の考え方を整理し、関係者で共有することが必要である。

現在、NDF では、①安全評価を基本とした判断最適化、②廃炉対応における適時性確保、③運転操作、監視、分析、異常時等の現場運用による設計の補完、を基本とした安全確保の考え方の整理を進めている。また、こうした安全確保の考え方の整理とともに、燃料デブリ取り出しにおける安全確保に係る技術要件を定めて、重点的に検討を進めている。

#### ① 閉じ込め機能の課題（気相部）

試験的取り出しや段階的な取り出し規模の拡大における、把持、吸引といった燃料デブリの取り出しでは、既存の安全システムでの対応が可能な見通しである。その後の燃料デブリ切削等の作業においては、PCV 内の機器や構造物に付着している Cs 等の再飛散や、放射性物質を含んだ水分のエアロゾル化、仮に臨界が発生した場合の短寿命のよう素や希ガス発生等を考慮した気相系の閉じ込め機能の構築が必要である。



また、Cs等の再飛散以外にも $\alpha$ 核種を含む飛散微粒子( $\alpha$ ダスト)が発生し、PCV気相部の放射能濃度が上昇することが懸念される。このため、燃料デブリ取り出し規模拡大の段階ごとにダスト飛散の傾向把握等を行い、次段階において構築される閉じ込め機能の妥当性を検証しつつ、取り出し規模の拡大を図っていくことが合理的である。東京電力のエンジニアリングでは、廃炉・汚染水対策事業の成果を踏まえ、原子炉建屋内のダストのモニタリング設備の拡充や、既設設備を用いたPCV内の圧力低下ないし負圧化検討等が進められている。今後、作業に伴う $\alpha$ ダスト飛散等の状態変化のモニタリング結果を基に周囲への影響を評価し、徐々に燃料デブリ取り出しの規模を拡大していく。その過程において、周囲への影響が増加する可能性も想定し、二次的な閉じ込め機能として必要な機能の見極めとその構築についても検討している。

## ② 閉じ込め機能の課題（液相部）

発生する $\alpha$ ダストの飛散率を軽減し気相部への移行を抑制するため、燃料デブリ取り出しに当たっては、燃料デブリに水を掛けながら切削等の作業を行うことが想定される。把持、吸引といった燃料デブリの取り出しにおいては、既存の安全システムでの対応が可能な見通しであるが、その後の燃料デブリの加工や干渉物撤去等の作業に当たっては、大量の $\alpha$ 粒子が冷却水(液相部)に混入することとなる。この $\alpha$ 粒子を含む冷却水が環境へ漏えいすることを防ぐために、冷却水の循環・浄化系の確立と汚染拡大防止対策を考慮した液相部閉じ込め機能の構築が必要である。

このため、燃料デブリから循環冷却水中へ溶出すると考えられる溶解性核種の除去技術、循環冷却水系のフィルタに捕集された固形物の処理技術について検討していく必要があり、廃炉・汚染水対策事業にて研究開発が進められている。これと並行して、 $\alpha$ 粒子を含む冷却水の拡散防止の観点で利点となる、PCVから取水し原子炉へ注水冷却するPCV循環冷却系の構築については、廃炉・汚染水対策事業による研究開発にて検討が進められた。

燃料デブリ取り出し規模拡大の各段階において、合理的な液相部閉じ込め機能を構築するためには、廃炉・汚染水対策事業の研究開発にて得られた成果(デブリ性状等の情報等)を踏まえつつ、段階ごとに冷却水中の放射能濃度の監視等を行い、次段階において構築される閉じ込め機能の妥当性を検証しつつ進めることが合理的である。閉じ込め機能(気相部)と同様に、作業による液相への影響の確認・調査の観点から、循環水系のモニタリングを目的とした設備の追設、設置等について、廃炉・汚染水対策事業の成果を踏まえ、東京電力のエンジニアリングにて検討が進められている。 $\alpha$ 核種を含めた廃液の状況変化のモニタリング結果を基に、徐々に燃料デブリ取り出しの規模を拡大していく。なお、原子炉建屋内水位を地下水水位より低く維持し、地下水への冷却水の流出を防止することやPCV内水位を適切に管理することが求められ、この点も考慮して安全システムは構築される。

## ③ 冷却機能の課題

燃料デブリは崩壊熱を発生しており、例えば、2号機では最大69kWの発熱があると推定されている。現状、原子炉注水による循環冷却を行うことにより、100℃未満(冷温停止状態)を維持している。この冷却機能の維持に当たり、当面取り組むべき技術課題として、各作業が実施可能なPCV内部温度目標の設定や各作業中の冷却機能への異常発生を想定した対応策等がある。基本的な対応策は早期の復旧や機動的対応等により冷却を継続することであるものの、異常発生

時の時間余裕等を基に PCV 内部状態の変化を評価し、機器の回収等、異常発生時の対応策や手順等を検討しておく必要がある。2019 年度には、冷却設備の運転・保守管理の適正化、緊急時対応手順等の適正化を図ることを目的として、原子炉注水の一時的な停止を実施した。この注水停止試験結果を踏まえて、2020 年度以降は今後の廃炉に向けて、各号機の状況を踏まえた目的に応じた試験を計画・実施していくものとしている。この方針に基づいて各号機の注水停止試験が実施されており、注水停止中の PCV 水位低下状況等を踏まえ、注水量の更なる低減等の今後の注水のあり方について検討が進められる予定である。

また、燃料デブリ取り出し作業時には、ダストの飛散抑制の観点から、水をかけながら燃料デブリを切削するなどの加工を行うことも考えられ、PCV 内部の水位管理や発生する汚染水管理にも留意が必要である。

これらのことから、燃料デブリ取り出し等の作業が既設の循環水冷却・浄化システムとその冷却機能にどのような影響を与えるかについて、状態を監視しながら慎重に進められるよう、監視パラメータ、判断基準等を東京電力のエンジニアリングで計画し、準備しておく必要がある。

なお、将来的に燃料デブリ量の低減に伴って崩壊熱量が低減した場合を想定し、冷却水の注入による冷却が不要となる可能性についても留意しておくべきである。

#### ④ 臨界管理の課題

福島第一原子力発電所の推測される燃料デブリの存在状態より、工学的に見て臨界が起こる可能性は低いと考えられるが、取り出し規模を拡大していくにあたり、燃料デブリの形状等を変化させる可能性があることを考慮しなければならない。燃料デブリ取り出しの作業計画の検討として確実な臨界管理のため、万が一の臨界を想定した場合にも速やかな検知・作業の一旦停止や再開が行われるよう適切な管理方法を確立する必要がある。

取り出し初期においては、燃料デブリの形状を大きく変化させない方法や加工量制限しながら取り出しを行う。取り出し規模を拡大していく段階では、先行する作業時の現場情報を後段の安全評価に活用することで、設計上の不確かさを低減しつつ運転員による監視と作業の一旦停止・再開までの判断を組み合わせた確実な臨界管理を行う。管理手段として、中性子吸収材の投入準備や燃料デブリ周辺の中性子束の連続監視と未臨界度測定などの方策を組み合わせ、取り出し量の増加に対応するための技術開発が進められている。

#### ⑤ PCV・建屋の構造健全性における課題

PCV、RPV ペDESTAL 等の主要機器と原子炉建屋に関して、事故後、東京電力の検討や廃炉・汚染水対策事業において、構造健全性等の評価が進められた。その結果、主要機器と原子炉建屋等が一定の耐震裕度を有していることが確認されている。

今後は、既設の主要機器と原子炉建屋等及び燃料デブリ取り出しのために今後新設する機器・設備と建屋（既設の機器・設備と建屋の改造部を含む）が、要求機能を満足し、比較的長期にわたる燃料デブリ取り出しにおいて、①作業を安全に実施できること、②地震と津波をはじめとする外部事象に対して所要の安全性を確保できることが必要である。また、③長期的な保守管理を前提としつつ、④今後の PCV 内部調査や燃料デブリ分析結果等で得られる新たな知見を燃料デブリ取り出し設備の設計や工法の検討にフィードバックすることが重要である。

また、既設の機器・設備と建屋に関し、2021年2月13日に発生した福島県沖を震源とする地震では、1、3号機のPCVの水位低下が確認されたものの冷却機能は維持された。本地震も踏まえ、中長期を見据えて上記の機能を有する機器・設備と建屋を保全管理するために、事故影響、経年変化、並びに今後の廃炉期間中に想定される外乱（地震、津波等）に対する影響評価を進めておく必要がある。これらの影響に関し従来の評価では限定的であったことに鑑み、高線量下での遠隔操作等が困難な課題となる調査計画の立案及び推進に、既往の技術や評価結果を最大限活用するほか、状況把握のための要素技術の開発が必要である。その際には、安全性を優先しつつ、原子力分野だけでなく、広く他分野の最新知見と実績の積極的な導入を図ることが有用である。

また、新設の機器・設備と建屋に関しては、今後の設計の進捗に応じて、燃料デブリ取り出し時の荷重条件（新設される機器・設備の配置、大きさ、重量、PCV/生体遮蔽壁への開口の新設等）が具体化される。機器・設備と建屋の構造健全性の確保に向け、サイトの状況を反映しつつ、それらの最新の設計情報に基づいて、着実に検討を進める。

## ⑥ 作業時の被ばく低減等における課題

中長期ロードマップ、東京電力の廃炉中長期実行プランに沿い、作業エリア・アクセスルートでの作業環境の改善として、原子炉建屋内の干渉物撤去、線量低減が進められている。今後、燃料デブリ取り出し関連作業として、高線量の設備等の撤去等の作業時の被ばく低減が課題であり、東京電力のエンジニアリングを支援するために廃炉・汚染水対策事業による研究開発を進めている。

主な作業エリアは原子炉建屋内等の高線量区域である上、内部被ばくの際の線量寄与が大きい燃料デブリ由来の $\alpha$ 核種を含む核燃料物質等を取り扱うことになるため、被ばく低減には、より一層の外部被ばく管理及び内部被ばく管理が重要となる。

特に、燃料デブリ取り出し作業では、原子炉建屋内の作業環境を十分確保した上で、X-6ペネ等からPCV内にアクセスすべきである。原子炉建屋内の作業員の被ばく低減については、作業対象範囲の周囲の寄与も含めて線量分布、汚染状況について十分な調査を行い、線源位置、強度を可能な限り特定するとともに、法令で定められた作業員の被ばく線量限度に対する裕度も考慮して目標線量率を設定した線量低減計画を立てることが重要である。高線量区域では、線量限度に従う作業時間と作業達成に必要な作業時間について、可能な限り総被ばく線量を抑制するよう計画することが重要である。これらを踏まえ、可視化技術を導入した環境・線源分布のデジタル化技術の開発に2021年度から着手している。また、高線量下における環境改善・干渉物撤去のための遠隔技術の開発では、2020年度から、撤去対象物を選定して、要求機能を踏まえた要素技術を抽出し、技術調査を開始している。

今後、一連の作業プロセスの中での $\alpha$ 核種に対し、空気中及び水処理系への拡散にも備えた閉じ込めや漏洩検知ができる管理方法、設備が必要になる。取り出し規模の更なる拡大に向けて、情報を共有し、迅速に次の作業計画へフィードバック可能なデータベース等を整備し、また、作業員の被ばくが個人に偏ることがなく、作業員全体の被ばくも低減できる長期的な作業計画を作成し、被ばく管理を適切に行っていく必要がある。福島第一原子力発電所全体の種々の情報を統合的に管理、運転するシステムの構築へとステップ・バイ・ステップで進めて行くように支援を行う。



## b. 燃料デブリ取り出し工法に係る技術課題

### ① アクセスルートの確保における課題

燃料デブリ取り出しに係る機器・装置の搬入、設置、搬出、燃料デブリや廃棄物の移送のためには、アクセスルートの干渉物が撤去されるとともにこれらの作業が可能な程度に原子炉建屋内の線量が低減されていること、すなわち、アクセスルートが構築されていることが必要である。燃料デブリへのアクセスルートを構築するために PCV 等に新たな開口を設ける場合などには、PCV 及び RPV からの放射性物質の放出抑制、既存の建造物の健全性維持に対しても留意が必要である。

試験的取り出し、段階的な取り出し規模の拡大に向け、東京電力において、2号機 X-6 ペネ等からのアクセスルート構築の具体的なエンジニアリング検討が進められている。

一方、取り出し規模の更なる拡大に向けては、これまでの廃炉・汚染水対策事業における研究開発成果を踏まえ、PCV 側面開口部から燃料デブリに到達するまでのアクセスルート構築の検討が進められている。横取り出し工法においては、新設の重量建造物と PCV 側面開口部の接続部構造の閉じ込め、遮へいや地震変位への対応が課題であり、軽量化セルと固定レールによる方式やアクセストンネル方式等による技術開発を進めている。また、オペフロからの上取り出し工法について、干渉する建造物を一体または大型で取り出し、閉じ込め、遮へいを確保して搬送する方法等によるスループットの向上の検討が進められている。なお、規制庁は、東京電力が行ったオペフロ線量等の測定結果に対する評価として、2、3号機のシールドプラグ下面に大量の Cs の存在可能性を指摘しており、上取り出し工法においては、これを念頭に置いたアクセスルート構築の検討が必要である。

今後、上記の課題も踏まえ、各段階で得られたデータから、次段階において構築されるべきアクセスルートを具体化していく必要があり、規模拡大にむけた研究開発を進めていくことが重要である。

### ② 機器・装置の開発における課題

燃料デブリを取り出すための機器・装置は、安全・確実・効率を重点において開発する必要がある。これらの機器・装置は、現場状況に柔軟に対応するために、耐放射線性、保守性、遠隔操作性、高い信頼性、トラブル発生時に以降の作業を妨げない救援機構、燃料デブリ取り出しの効率性などを考慮する必要がある。

試験的取り出し、段階的な取り出し規模の拡大用の装置は、廃炉・汚染水対策事業の研究開発として進めてきている。段階的な取り出し規模の拡大以降については、その開発成果を東京電力が引き継いで実現をしていくことが必要である。東京電力は2号機に適用するロボットアーム等のエンジニアリングを進めるとともに、それら遠隔装置を使用した燃料デブリ取り出しの運転に向けた教育・訓練の準備を進めている。

取り出し規模の更なる拡大用の機器・装置については、効率向上のための工法、燃料デブリの様々な状態に応じた取り出し・取扱システム、燃料デブリの加工で発生するダストの集塵システム等の開発が進められている。東京電力は取り出し規模の更なる拡大のための工法選定に向けたコンセプト検討を実施中であり、2021 年度末にはその後の設計検討を進める方式の絞り込みが

行われる予定である。今後の機器・装置の開発は選定された方式を踏まえて計画、実施していく必要がある。

開発の進め方としては、先行する調査、取り出し作業によって得られる情報を踏まえ、新たに発生した重要課題に対しては開発を継続していくことが必要である。開発された機器・装置については、実際に現場において安全確実に性能が発揮できることを確認するためにモックアップ試験による検証を重ねる必要がある。モックアップ試験は、不確定要素を多分に含む過酷な現場環境を模擬した施設で実施する必要がある。そのため NDF と東京電力は、遠隔モックアップ試験計画の進め方等について検討を進めてきたが、2021 年からは東京電力が主体的に検討、具体化を進めることが期待されている。

### ③ 系統設備・エリアの課題

安全機能の確保を前提として、過度な設備仕様とならないよう配慮しつつ系統設備等の構築について検討、その成果に基づいて設備を追設する等の必要な処置を講じ、適正に運用していくことが求められる。検討においては、設備の敷設、運転・保守管理に加え、作業員被ばく低減のための遮へい体等も考慮し、十分なエリアが確保され、必要とされる環境条件を満たす必要がある。

この系統設備には、気相部の閉じ込め機能の構築で要求される負圧管理システム、液相部の閉じ込め機能や冷却機能の維持で要求される循環水冷却・浄化システム、臨界管理で要求される臨界管理システムなどがある。また、燃料デブリ取り出しに当たって必須である PCV 内部状況の監視のための計測システム（圧力、温度、水位、放射線等）の具体化は重要な課題であり、これらを統合した安全システムの構築に向けて、東京電力のエンジニアリングにて検討が進められている。

また、燃料デブリ取り出し装置・関連機器や系統設備を設置するエリアの構築については、各システム設置に必要なスペースの算出が進められており、原子炉建屋内の高線量エリアの取扱や他作業との干渉も考慮し、既存建屋以外への設置も含めて検討が進められている。

## c. 燃料デブリの安定保管に係る技術課題

### ① 燃料デブリの取扱（収納・移送・保管）における課題

燃料デブリ取り出しの開始までに、未臨界維持、閉じ込め機能、水素発生対策、冷却等の安全機能を備え、取り出した燃料デブリの収納から移送、保管までの一連のシステムを構築する必要がある。そのため、2020 年度までに以下の検討が進められてきた。

- ・ 収納缶の基本仕様（構造、大きさ、材質等）の策定と、試験による構造健全性の実証
- ・ 燃料デブリからの現実的な水素ガス発生予測法の検討とその結果を用いた収納缶のベント構造の検討及び安全な移送条件の設定
- ・ 燃料デブリに適用可能な乾燥技術の開発と、その技術を用いた乾燥システムの検討

さらに、東京電力においてこれらの検討結果を参照して、段階的な取り出し規模の拡大に必要な燃料デブリの収納から保管までのシステム及び機器・設備を関連する他のプロジェクトと協調しながら具体化する活動が継続されている。また、敷地全体の利用計画を踏まえながら、具体的な移送ルート、保管技術・形式及び保管場所の具体化も進められてきている。現在、燃料デブリの性状に関する情報、知見が極めて限定的であることから、燃料デブリの性状等の条件を保

守的に想定して機器・設備を設計することになる。従って、取り出し規模の更なる拡大時の燃料デブリの収納・移送・保管のための設備、施設の設計では試験的取り出しや段階的に規模を拡大した取り出しにおいて収集・蓄積される水素発生量やデブリ性状等の各種計測データや、構内移送容器の受け入れから一時保管までの作業における燃料デブリの取扱に関する知見や経験を活用して合理化を進めることが重要である。

また、燃料デブリの収納から保管までの設備・システムの具体化に際して、保障措置に対する要求への対応も含める必要がある。

なお、中長期ロードマップにおいては、取り出した燃料デブリの処理・処分については燃料デブリ取り出し開始後の第3期に決定することとされている。

## ② 燃料デブリ取り出し作業時における仕分けの課題

燃料デブリ取り出し作業においては、溶融した炉心燃料が金属類と混合・固化した燃料デブリや、溶融した炉心燃料が PCV 底面のコンクリートと混ざり合って生成された化合物（MCCI 生成物）のほかに溶融燃料が部分的に付着した構造物等も PCV 内から取り出される。これらのうち、微量な溶融燃料が付着しているものをすべて燃料デブリとすると膨大な量となるため、燃料デブリ保管施設及び必要な敷地規模が大型化する等、廃炉を進める上での阻害要因となる可能性がある。このためには、燃料デブリと放射性廃棄物の仕分けの技術、すなわち仕分けのシナリオ（取り出しから保管までのどのプロセスで仕分けを行うか等）、仕分け基準、及び必要な計測技術の開発が必要である。

未臨界状態を維持した取扱や保管のために特別の配慮や設備・システム等が必要なものを燃料デブリとすることができると判断されることから、核物質の量やその含有濃度の測定結果に基づいて燃料デブリを仕分けすることを目指すことが望ましい。これに因應する第1歩として、仕分けを保管までのどの作業プロセスで実施するか（シナリオの検討）と、核物質の量または含有量を測定できる可能性のある技術の調査が実施された。これらの検討から、PCV から取り出される物質に対して核物質量または濃度を計測ないしは推定することは現時点で難度が高く、新たな技術開発が必要とされた。

計測技術・装置の開発においては最初にその計測誤差の把握が重要である。計測誤差に影響を与える因子としては、燃料デブリの性状、ユニット缶や収納缶への収納状態等があり、計測装置自体に依存する誤差以外のものが少なからず存在する。これらの因子の影響の程度は燃料デブリの性状に関する知見が不足している現時点において極めて不確実である。そのため、模擬燃料デブリ等を用いた実際の計測を繰り返すことによる計測技術や実際の計測装置の開発と並行して、計画上での多くの数値実験によって蓄積される計測誤差への影響因子の特定と影響の強さ等の知見を実際の計測装置の開発に反映していくことは研究開発がコスト及び期間短縮上有利と考えられる。つまり、性状や収納状況が異なる種々の条件の燃料デブリが計測誤差に与える影響を把握することや、計測誤差を低減するための計測技術・装置の変更・改良等（例えば、遮へい材の仕様やその設置場所等）も計画上の数値実験で検討することが可能である。このような研究開発に廃炉・汚染水対策事業として 2020 年度から着手したところであり、今後の加速が望まれる。



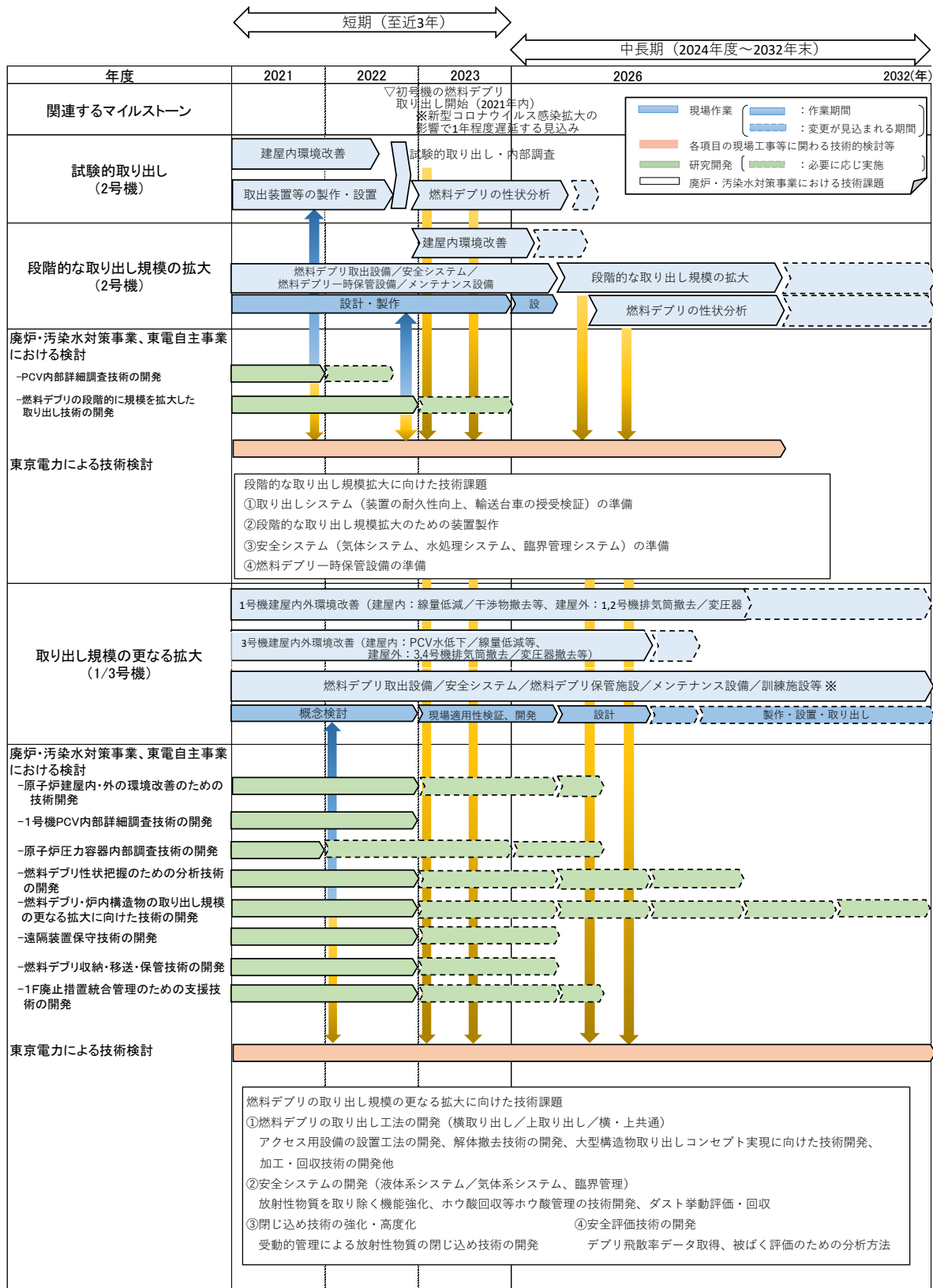
試験的取り出しや段階的に規模を拡大した取り出しにおいて実燃料デブリの性状や実際の収納状態に関する知見が蓄積される見通しである。この知見に基づいて修正された燃料デブリの解析モデルや追加された解析ケースによる数値実験結果と、実燃料デブリの性状に関する知見に基づいて製造された模擬燃料デブリや実燃料デブリを用いた実際の計測結果との比較検討を行うことにより、計測装置の精度向上や開発の更なる加速が可能となる。

このような方法による燃料デブリと放射性廃棄物の仕分けに必要な計測技術・装置の開発を継続することが望ましい。さらに、今後の内部調査、試験的取り出し、段階的な取り出し規模の拡大等で得られる各種試料の分析等による燃料デブリの性状に関する知見や情報を用いて仕分けの方法（仕分けの基準や仕分けのシナリオ、計測技術及び装置）の実機適用性及び実効性を高めていく作業を継続していくことも重要である。

### ③ 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係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。

本節に述べた主な技術課題と今後の計画を整理すると、図8のとおりである。



※ 3号機を先行して検討を進め、1号機に展開することを想定

図8 燃料デブリ取り出しに係る主な技術課題と今後の計画（工程表）

## 2) 廃棄物対策

### i. 目標と進捗

(目標)

- (1) 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、発生抑制と減容、モニタリングをはじめ、適正な保管管理計画の策定・更新とその遂行を進める。
- (2) 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 年度頃までを目処に、固体廃棄物の処理・処分方策とその安全性に関する技術的な見通しを示す。

<「固体廃棄物についての基本的考え方」のポイント>

#### ① 閉じ込めと隔離の徹底

人が有意な被ばくを受けないように、放射性物質と人の接近を防ぐための閉じ込めと隔離を徹底

#### ② 固体廃棄物量の低減

廃炉作業に伴って発生する固体廃棄物について、可能な範囲で物量を低減

#### ③ 性状把握の推進

固体廃棄物の処理・処分の検討を進めていくための、分析試料数の増加に対応した適切な性状把握

#### ④ 保管・管理の徹底

発生した固体廃棄物について、その性状を踏まえた安全かつ合理的な保管・管理  
福島第一原子力発電所の敷地内で確実に保管・管理できるよう、保管容量の確保

#### 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

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）の選定手法を構築し、先行的処理方法を選定

#### 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

性状把握、処理・処分の研究開発の各分野が連携し、固体廃棄物の管理全体を俯瞰した上で、必要な研究開発課題を確認

#### ⑦ 継続的な運用体制の構築

固体廃棄物の管理全体を安全かつ着実に継続していくため、関連する施設の整備や人材の育成を含めた継続的な運用体制の構築

#### ⑧ 作業員の被ばく低減対策等

関連する法令に基づいた被ばく管理、健康管理、安全管理を徹底

(進捗)

廃棄物対策は、発生から、保管・管理、処理等を経て処分に至るまでの各段階でリスクを低減しつつ、最終的な処分の実施の見通しを得る必要がある長期にわたる取組である。

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、上記の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基づく取組を進めている。東京電力には発生する固体廃棄物の安全かつ合理的な保管・管理を徹底することが求められている。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、NDF を中心に関係機関が各々の役割に基づき取組を進めてお

り、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）の構築に向け開発を実施しており、2021年度頃を目処に技術的見通しを得ることを目標としている。

### (1) 福島第一原子力発電所における保管・管理の現状

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、水処理二次廃棄物及び再使用・リサイクル対象を除くすべての固体廃棄物の屋外での一時保管を2028年度内までに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。また、固体廃棄物の物量低減の観点から、表面線量率が敷地のバックグラウンド相当のコンクリート瓦礫については、路盤材としてリサイクルが行われており、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は、固体廃棄物貯蔵庫外の一時保管を当面継続しながら、再使用・リサイクルについて検討されている。

### (2) 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

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。

「物量低減に向けた進め方」については、固体廃棄物についての基本的考え方においても、東京電力が取り組むべき方策として、廃棄物管理全体（発生から保管・管理、処理等を経て処分に至るまでのすべての措置）の負荷軽減のため可能な範囲で行うことが示されており、技術戦略プラン2020では、他国の先行事例を基に更に取組を行う可能性を検討するとしていた。

「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」及び「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」については、物量低減に取り組んだ上で、それでも廃棄物となるものを処分するために必要なこれらの手法を開発・構築するものであり、NDFは技術戦略プラン2018でそのための具体的目標を以下のとおり整理し、検討を進めた。その際、多種多様な固体廃棄物のうち、我が国で処理・処分を行った実績がなく、また流動性が高い特性を持つ水処理二次廃棄物を主要な検討対象とした。

- ① 福島第一原子力発電所で発生する固体廃棄物の性状と物量及びそれらに適用可能な処理技術を踏まえた安全かつ合理的な処分概念を構築し、諸外国の例を踏まえつつ処分概念の特徴を反映した安全評価手法を整備すること
- ② 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
- ③ 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
- ④ 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

- ⑤ 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・処分方を設定できる見通しがあること
- ⑥ 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

以下、これらの検討結果を踏まえた技術的見通しを示す。

#### a. 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。

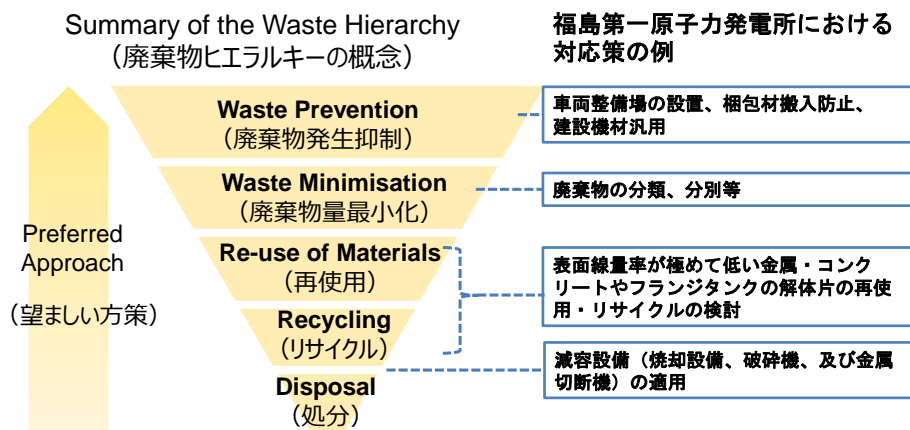
福島第一原子力発電所においても廃棄物ヒエラルキーの考え方を実践している諸外国の例を参考に、固体廃棄物管理全体の負荷低減のための物量低減の取組を廃炉活動全体に浸透させることが重要である。

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資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図9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。





出典：Strategy Effective from April2011 (print friendly version),NDA を加工

図 9 NDA における廃棄物ヒエラルキーの概念と福島第一原子力発電所における対応策

### b. 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）方法を組み合わせる手法の構築を、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ズマ質量分析法(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る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る手法を検討・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。

### c. 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、溶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及び計画の明確化に伴って順次明らかとなっていく。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、処分方法及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、処分を念頭においた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出来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す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。

この一連の検討は図 10 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。

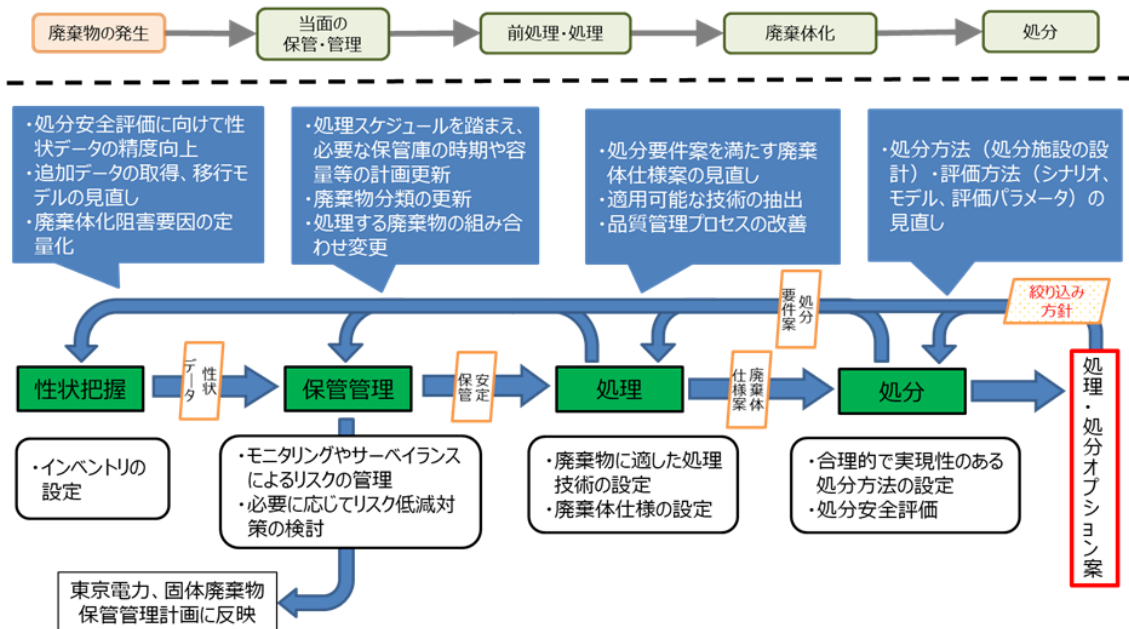


図 10 固体廃棄物の安全な処理・処分方法を合理的に選定するための手法

## ii. 主要な課題とそれを実現する技術戦略

処理・処分方策とその安全性に関する技術的な見通しを踏まえた今後の課題を提示した上で、それを実現するための分野毎の技術戦略を示す。

### (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、図 10 の手法を用い、中長期ロードマップで示されている第 3 期における廃棄体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及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当たっては、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。

## (2) 分野毎の技術戦略

### a. 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みとともに、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・研究施設及び東京電力による分析施設の設置が計画されており、様々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。

### b. 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）、溶融除染（溶融スラグ除染法）について検討が進められている。

溶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。

### c. 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、図 10 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。

本節に述べた主な技術課題と今後の計画を整理すると、図 11 のとおりである。

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、第 3-①期で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進める。



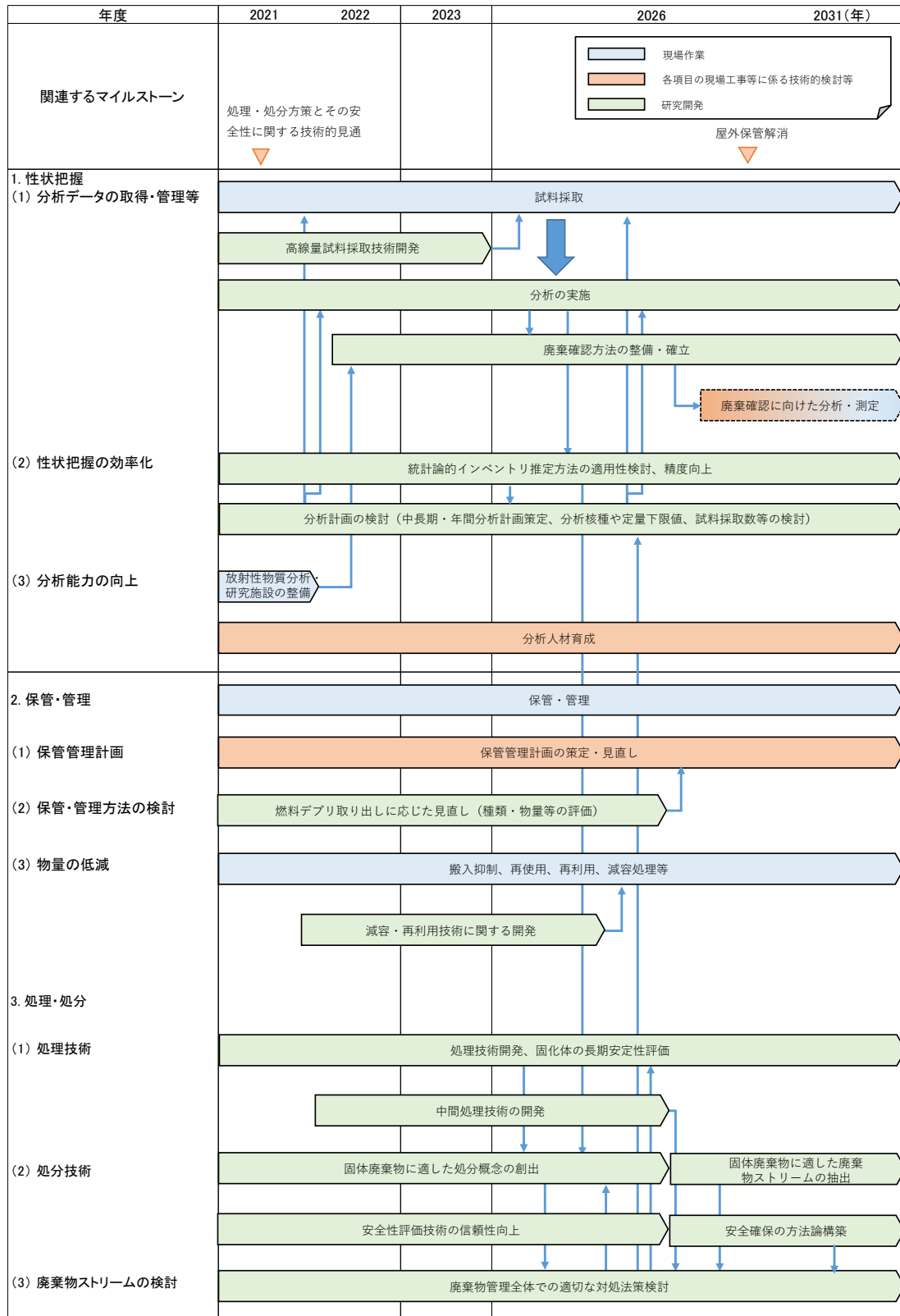


図 11 廃棄物対策に係る主な技術課題と今後の計画（工程表）

### 3) 汚染水・処理水対策

#### i. 目標と進捗

##### (目標)

- (1) 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、2025年内に汚染水発生量を100m<sup>3</sup>/日以下に抑制するとともに、2022年度～2024年度には原子炉建屋滞留水を2020年末の半分程度に低減する。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。
- (2) 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。
- (3) 現在タンク保管中のALPS処理水について、2021年4月に公表した政府の基本方針を踏まえた対応を進める。

##### (進捗)

循環注水を行っている1～3号機原子炉建屋、浄化処理のため汚染水を一時的に貯水しているプロセス主建屋及び高温焼却炉建屋を除く建屋内滞留水の処理が2020年に完了し、保有水量は大幅に低減したものの、未だ潜在的影響度は高いレベルにある。

#### a. 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」）に従った汚染水対策の推進に関する取組

陸側遮水壁、サブドレン等の重層的な汚染水対策により、原子炉建屋周辺の地下水位を低位で安定的に管理するとともに、建屋屋根の損傷部の補修や構内のフェーシング等により、降雨時の汚染水発生量の増加も抑制傾向となり、汚染水発生量は、対策前の約490m<sup>3</sup>/日（2015年度）から約140m<sup>3</sup>/日（2020年）まで低減した。100m<sup>3</sup>/日以下に抑制することに向け、他の廃炉作業等との干渉を調整しながら、屋根の補修やフェーシング範囲の拡大を進めている。また、2020年7月にフランジ型タンク底部のALPS処理水等の残水の処理が完了するとともに、地下水・港湾のモニタリングによるリスク低減に向けた取組と監視が行われている。

#### b. 滞留水の処理完了に向けた取組

2020年に1～3号機原子炉建屋、プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋を除く、建屋内滞留水の処理が完了した。

原子炉建屋滞留水量の半減に向け、引き続きサブドレン水位を低下させながら、建屋内水位を低下させる計画であるが、これに伴って $\alpha$ 核種を含むスラッジ（ $\alpha$ スラッジ）対策の課題の重要度が増している。原子炉建屋底部に存在する $\alpha$ スラッジについては、粒径分布や化学組成が分析され、適切な孔径のフィルタにより大部分を除去できる見通しが得られつつある。また、プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋の滞留水処理完了に向け、最下階に存在する高線量のゼオライト土嚢についても、線量率調査や回収に向けた工法検討が進められている。滞留水処理が完了し、床面露出をさせた建屋については、床面に存在するスラッジ等の回収方法の検討が進められている。

c. 汚染水対策の安定的な運用に向けた取組

津波対策として、日本海溝津波防潮堤の設置、建屋開口部の閉止対策、陸側遮水壁の強化、サブドレン等の集水機能設備類の護岸側から高台への移転を進めている。豪雨対策としては、既存排水路の排水機能強化等が進められている。

d. 処理水対策

多核種除去設備等で処理した水（ALPS処理水）の取扱については、技術的な観点に加え、風評等社会的な影響も含めた専門家による検討が国の小委員会で行われ、2020年2月に報告書が公表されている。その後実施した地元自治体や農林水産業者との意見交換等による幅広い方々の意見を踏まえ、2021年4月に政府により安全性を確保し、風評対策を徹底することを前提に海洋放出する基本方針が公表されるとともに、東京電力は「多核種除去設備等処理水の処分に關する政府の基本方針を踏まえた当社の対応について」を公表した。現在、必要な設備の検討、風評対策等の取組が進められている。

ii. 主要な課題とそれを実現する技術戦略

(1) 今後の建屋内滞留水処理における課題

a. α核種の拡大防止

原子炉建屋のトラス室底部には、αスラッジとイオン状のα核種を含む滞留水が存在しており、比較的高いα核種濃度が検出されている（図12）。このα核種は吸入摂取した場合の実効線量係数が顕著に高く、この拡がりを限られた範囲に抑える必要がある。現在、αスラッジやイオン状のα核種についての性状分析が行われ、α核種の拡大防止のための除去方策が検討されつつあるが、α核種の化学形態は水質や共存物質によっても変化する可能性があり、確実な除去のためには、できるだけ複数の場所からサンプリングし、性状のばらつきを把握する必要がある。また、αスラッジには高濃度のCs-137も含まれているため、除去方策については、作業員の被ばく線量低減対策やメンテナンス性、二次廃棄物の観点からの検討も重要である。

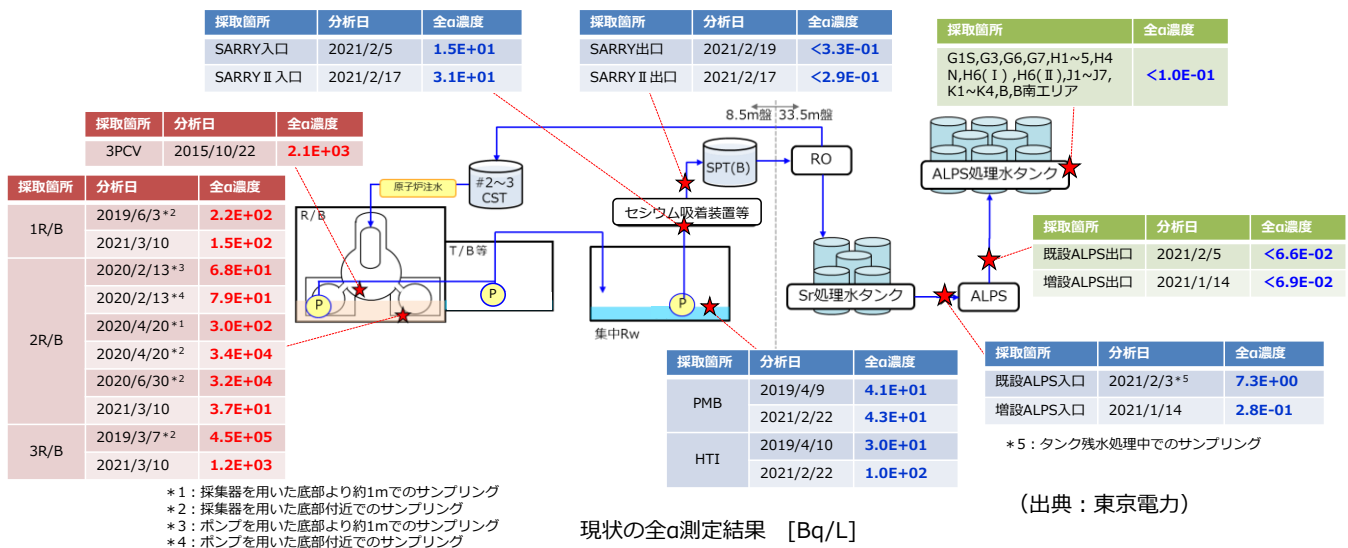


図12 建屋内滞留水の水処理設備の系統と全α測定結果

## b. 高濃度滞留水の処理

建屋内滞留水の処理では、これまで建屋底部の水は汲み上げてこなかったため、原子炉建屋のトラス室底部には $\alpha$ 核種だけでなく、事故直後の状態に近い高濃度の放射性物質や塩分を含む高濃度滞留水が存在している。S/Cにも通常の滞留水よりも放射性物質濃度や塩分濃度の高い汚染水が存在している。

このような高濃度の放射性物質や塩分を含む汚染水は、リスク低減の観点から早期に処理を進めていく必要がある。ただし、水処理設備の安定的な運用を図る上で汚染水濃度の変動幅を抑えるため、高濃度の汚染水と低濃度の汚染水とを混合して処理を行っている。そのため、高濃度の汚染水の処理を加速するためには、低濃度の汚染水との水バランスを考慮した計画を慎重に立て、着実に処理を進める必要がある。

## (2) 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

### a. 高濃度の $\alpha$ 核種の取扱

燃料デブリの切削・加工等に伴い高濃度の $\alpha$ 核種を含む微粒子が発生し、水処理設備に混入する可能性が否定できないため、水処理設備のモニタリングの強化、 $\alpha$ 核種を含む微粒子の捕集設備の設置、臨界監視などの対策をとる必要がある。さらに、こうした $\alpha$ 核種の取扱においては、 $\alpha$ 核種を構成するアクチニド元素の化学的特性を十分に理解しておくことが必要となる。アクチニド元素は水質によって様々な化学形態に変化し、特に酸化性環境では溶解速度が著しく増大する傾向があるため、水質の把握、管理は重要な課題となる。また、 $\alpha$ 核種の除去方式を検討する際には、早期に少量でも実液を採取してそれを用いた性能検証を行うことでより有効な設計が可能となる。高濃度の $\alpha$ 核種の回収物については臨界や発熱、線量、水素発生、廃棄物管理等の観点から安全性を評価する必要がある。

### b. 持続的な安定運転を実現するためのシステム構成

燃料デブリ取り出し時の水処理設備では、原子炉冷却水の確保と $\alpha$ 核種を含む大量の放射性物質の浄化を両立させる必要がある。このため、全体のシステムにおいて、冷却水の循環系は信頼性を重視したシンプルなシステム構成とし、設備構成が複雑な浄化系は汚染した冷却水の一部を取り入れて浄化する、原子炉冷却水の浄化と供給を兼ね備えたシステム構成とすることが望ましい。また浄化系設備については、浄化性能の評価とともに二次廃棄物発生量の評価や高線量下でのメンテナンス性についても配慮し、中長期を見据えた浄化方法を検討する必要がある。特に、これまでの既設設備の運転経験、並びに現在までの水質環境の変化と今後の変動予測を踏まえ、既設設備の改良や更新も視野に入れながら浄化系設備全体の計画を進めるべきである。

### c. 汚染水対策設備の中長期的対応

現在の汚染水対策は一定の安定的な状態に移行しつつあるが、燃料デブリ取り出し完了までには長期の期間が必要となる。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、現在の汚染水対策を改めて俯瞰し、より安定的な汚染水対策の在り方やより適切な維持・管理についても検討を進めることが必要である。

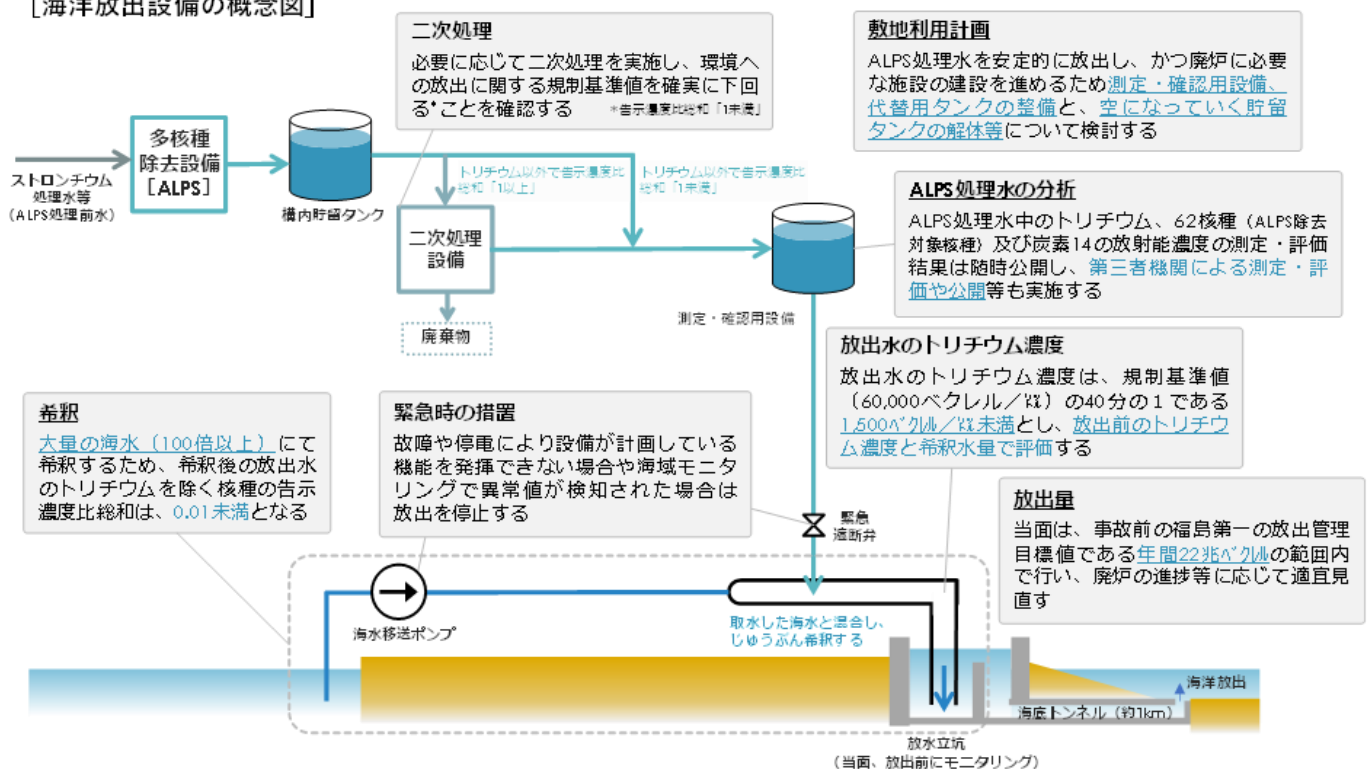


### (3) ALPS 処理水の海洋放出に向けた取組

この度、ALPS 処理水について公表された政府の方針は、国際的な考え方にも則っており、廃炉作業の持続可能性を確保する観点から重要な判断である。特に、ALPS 処理水を海洋放出することにより、タンク保管に伴うリスクの低減、並びに限られたリソースを他の高リスク作業へ投入することが可能となり、廃炉作業の着実な進展に寄与するものである。

一方で、ALPS 処理水の海洋放出に関し、風評影響を懸念する声が出ていることも事実であり、これらの懸念を払拭するための理解が深まるよう努力を続ける必要がある。東京電力に対しても、柏崎刈羽原子力発電所における核物質防護面での不適切な事案、福島第一原子力発電所での地震時の不十分な情報提供等から、信頼が低下している。東京電力は、その現実を真摯に受け止め、従来以上に丁寧な対応が必要である。本件に関しては、地元や商流関係者等と十分なコミュニケーションが図られていなかったことが一つの要因と考えられる。そのため、東京電力を中心に、安全な海洋放出を行う上で基本となる①海洋放出の運用計画、②海洋放出水中のトリチウムが人体に及ぼす影響、③運用状況の確認方法をご理解いただけるようわかりやすく丁寧な説明を繰り返し行うこと、関係機関とも連携の上、IAEA 等の信頼できる第三者によりこれらの確認を行い正確な情報を発信することなど、より高い透明性が求められる。

[海洋放出設備の概念図]



(東京電力資料を NDF にて加工)

図 13 東京電力が計画する海洋放出設備の概念図

### ① 海洋放出の運用計画

東京電力が計画する放出設備の概念図を図 13 に示す。この放出設備では、測定・確認用設備において ALPS 処理水のトリチウム以外の放射性物質の濃度が環境への放出に関する規制基準値を確実に下回ることが確認された後、放出水のトリチウム濃度が規制基準値（60,000 Bq/L）の 1/40 に相当する 1,500 Bq/L 未満となるように海水と混合・希釈される。その後、海底トンネルを介し港湾外に設置した放出口から放出するとともに、海域でのモニタリングを行う計画である。この一連の放出システムは、[浄化]～[分析・確認]～[希釈]～[放出]～[海域での継続的なモニタリング]となっている。また、設備故障時や海域モニタリングでの異常値検出が発生した際には放出停止が可能となるよう [分析・確認]～[希釈]間に緊急遮断弁を設ける計画である。

この東京電力が計画する海洋放出システムは、国内外の既往実績に準拠したものであり、それらを確実に反映するとともに、設備操作、分析等に係る運用手順・マニュアル整備、オペレータの教育・訓練・オブザベーションを徹底し、実施計画を厳格に守ることで、安全な海洋放出が可能となる。

### ② 海洋放出水中のトリチウムが人体に及ぼす影響

トリチウムの放出は、事故前の福島第一原子力発電所の放出管理目標値である年間 22 兆 Bq の範囲内で行う計画である。トリチウムは、水素の放射性同位体であり、大気中の水蒸気、雨水、海水、水道水、さらに人体内を含め、水分のある全てのものに含まれており、かつ通常の水分子と同様な性質であるため、水から分離することが難しいとの特徴がある。また、ALPS 処理水の処分によって人体が受けるトリチウムの影響について、UNSCEAR の手法を用いた評価が行われており、自然放射線による影響（2.1mSv/年）と比較し、極めて小さいことが確認されている。なお、東京電力は、廃炉の進捗等に応じてトリチウムの年間放出量を見直すこととしている。

### ③ 運用状況の確認方法

運用段階では、計画した設備が確実に設置され運転されていること、分析が定められた手順に従い確実に実施されていること等を確認し、結果を公表していく必要がある。

また、放出前の分析・確認や放出後の海域でのモニタリングに東京電力以外の第三者も関与するなど、計画遂行状況の透明度を高めることが必要である。なお、第三者機関の関与に際しては、検出下限値が計測器の検出精度や分析技術によって変化するなど、分析機関、分析施設により結果が変動する可能性があるため、品質保証の仕組みを整備することが重要である。さらに、整備された仕組みの運用状況を確認する体制についても考えていく必要がある。

東京電力の計画する海洋放出システムは、原子力規制委員会による審査で認められる実施計画どおりに確実に運用されれば、他の放射性核種を含め人や環境への影響に支障はなく、従って、「計画どおり」に「確実に」運用することが重要な課題である。そのため、今後、東京電力は、具体的な設備・運用計画の立案、設備操作・分析等に係る関係者の教育・訓練、並びに人や環境への影響評価、国内外への正確かつ誰でも理解し得る情報発信方策の整備と準備状況のタイムリーな発信を進めて行く必要がある。また運用時には、準備段階で立てた計画（設備、運用、情報発

信等)の確実な実施、チェック&レビューや必要な計画の見直し・拡充、並びにその透明性の確保が求められる。

NDFは、東京電力による海洋放出設備の設計や放出方法などについて、技術的・専門的な支援を行うとともに、国内外へ向け、様々な機会を通じて、正確かつ受け手の関心に応じた情報発信や理解促進を進めていく。さらに、東京電力により、風評影響を最大限抑制する対策が確実に実施されていること、万が一風評被害が発生した場合には適切かつ十分な賠償により対応していることを確認していく。

本節に述べた主な技術課題と今後の計画を整理すると、図14のとおりである。なお、燃料デブリ取り出しにおける水処理システムに係る今後の計画は図8に示したとおりである。

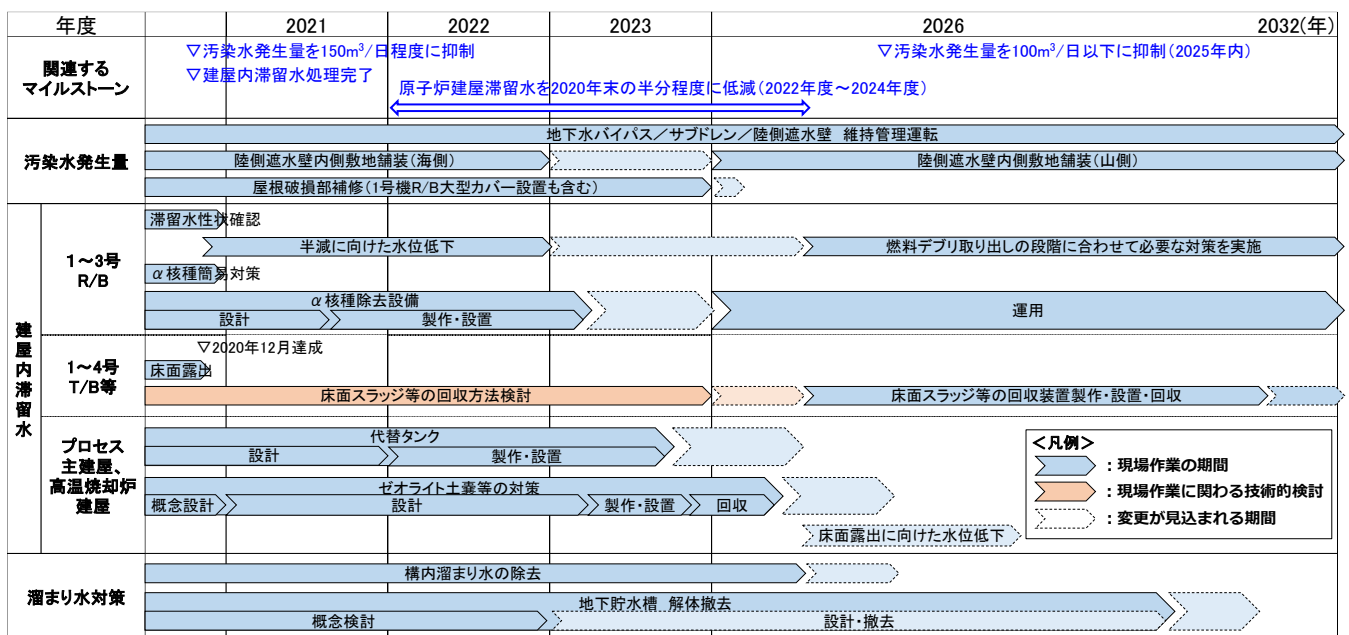


図 14 汚染水対策に係る主な技術課題と今後の計画 (工程表)

## 4) 使用済燃料プールからの燃料取り出し

### i. 目標と進捗

(目標)

- (1) 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はじ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。3号機については、2020年度内にプール内燃料取り出しを完了する(2021年2月完了)。
- (2) 事故の影響を受けた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に移送し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。
- (3) 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。

(進捗)

1号機は、大型カバーの設置に干渉する建屋カバー(残置部)の撤去は完了しており、原子炉建屋周辺の整備が完了した範囲から、大型カバーの設置を進めている。また、プール内の燃料へ影響を及ぼさないようにするため、天井クレーンや燃料取扱機への支保の設置、使用済燃料プール養生等、ガレキ落下防止・緩和対策を2020年11月に完了している。

2号機は、燃料取り出し用構台設置に係る準備工事としてヤード整備や地盤改良工事を行っている。また、2021年3月及び4月に実施したオペフロの空間線量率測定及び表面汚染測定結果を踏まえ、更なる線量低減のため、オペフロの除染を行っている。

3号機は、2021年2月に全ての燃料取り出しが完了した。この経験から得られた調達や遠隔操作に関する知見や教訓を、今後の廃炉作業の計画と実施に水平展開することが重要である。このため、トラブル対応や再発防止のための取組を含めて、実績を整理し、参照できるように東京電力内で資料を取りまとめた。また、品質管理強化の取組の一環として、福島第一原子力発電所共通の「設計管理基本マニュアル」を改定し、設計・調達プロセスの改善を図っている。

5,6号機は、当面、当該号機の使用済燃料プールにおいて適切に保管した後、1,2号機の作業に影響を与えない範囲で燃料取り出し作業を実施することとしている。

5,6号機を含むプール内燃料を全て取り出し共用プールに保管するためには、共用プールの空き容量を確保する必要があり、共用プール内燃料の一部を乾式キャスク仮保管設備へ移送する必要がある。このため、東京電力は乾式キャスク仮保管設備の増設や新燃料の所外搬出に取り組んでいる。

これらの取組を進め、2031年内に全ての号機の燃料取り出しを完了する計画である。

### ii. 主要な課題とそれを実現する技術戦略

1,2号機については、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。



## (1) プール内燃料の取り出し

プロジェクトを進めるに際しては、作業に伴う安全性の評価をし、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号機は、天井クレーンが、落下防止の支保は設置されているものの、不安定な状態で存在しており、燃料交換機への崩落、及びそれに伴うこれらの使用済燃料プールへの落下を防止するため、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。

1号機のウェルプラグについては、2,3号機の数十PBqに比べ2桁程度低い汚染ではあることが、東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会にて評価されているものの、事故時の爆発の影響でずれが生じ、不安定な状態になっている。今後、ウェルプラグへの対応方法は、プール内燃料取り出しや後段作業である燃料デブリ取り出しへの影響を考慮し、安全評価をつくした上で、総合的に判断することが必要である。

なお、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、海外の知見も活かした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、取扱方法の検討とその開発、取扱に係るリスク検討等を確実に実施する必要がある。

2号機は、オペフロ南側の開口から、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。新たな設備であることから、①適切な裕度を持たせた設計スケジュールの設定、②現場状況と操作方法を十分に模擬したモックアップ試験の実施及びその結果の設計・製作への確実なフィードバック、③遠隔操作により取り出しを行うことから事前に設備の操作・機能性の十分な習熟等が重要である。

## (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、事故時に受けた海水やガレキの影響を考慮した上で決定することが必要である。これまで、4号機から取り出した燃料について海水やガレキの影響評価を行い、これらの影響は少ないと見通されているものの、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・保管方法を決定する必要がある。

本節に述べた技術課題と今後の計画を整理すると、図15のとおりである。

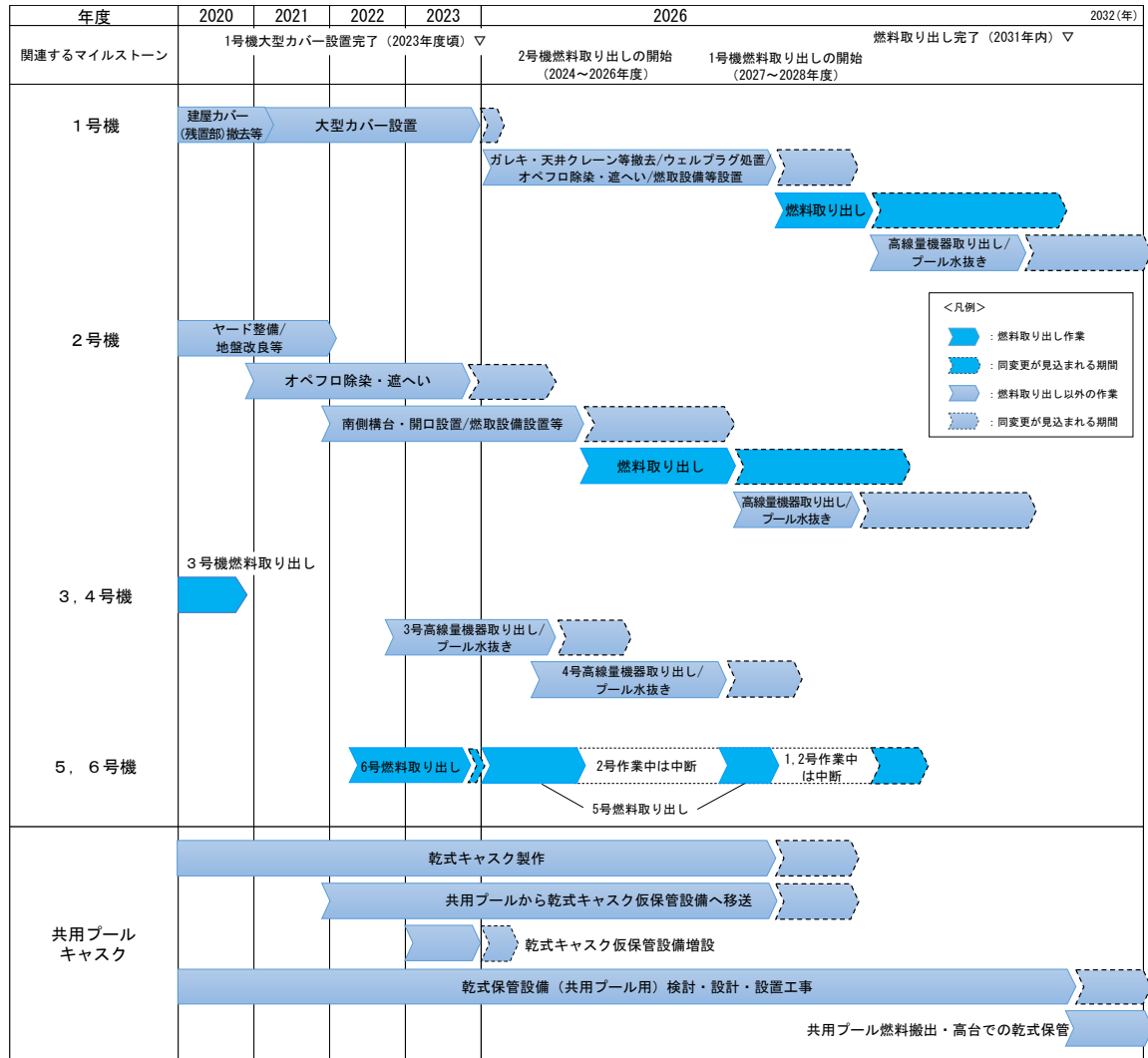


図 15 プール内燃料取り出しに関する主な技術課題と今後の計画（工程表）

## 4. 廃炉の推進に向けた分析戦略

### 1) 燃料デブリ等の不確かさと分析の重要性

福島第一原子力発電所の事故では、世界初の沸騰水型原子炉の炉心溶融事故であるとともに、事故時の停電により温度を始めとする多くのプラントパラメータの記録が存在しない。さらに、安全機器の作動状況が不明瞭であることや事故収束のために海水注入が行われたこと等が影響して、炉内状況、燃料デブリの状態、FPの放出経路等に多くの不確かさが含まれたままである。不確かさの幅を低減できれば、安全評価及び安全対策の中に過度な安全裕度を含める必要がなくなり、廃炉の迅速性、合理性の向上が可能となる。従来のサンプル分析に加え、他の計測手法による燃料デブリ性状の不確かさの低減についての検討が廃炉・汚染水対策事業において開始されている。

固体廃棄物の分析結果は事故によって発生した多種、多様な廃棄物の処理・処分方策の検討にとって重要な基礎情報である。燃料デブリの分析結果は、取り出し工法、保管・管理、処理の必要性、事故原因の究明、原子力に関する安全性向上等の多くの反映先があり、その関係は福島第一原子力発電所の廃炉の進捗とともに変化していくことになる。分析結果は廃炉を円滑に進めるための上記検討における不確かさの幅を小さくするための重要な判断材料の1つであることを正しく認識することが重要である。分析結果を反映する東京電力が中心となり、分析結果を効率的に収集・評価できる分析体制、分析施設や機能を構築・整備する必要がある。

### 2) 分析戦略の三要素

東京電力が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、固体廃棄物や燃料デブリの取扱に要する分析施設や機能を構築・整備する必要がある。また、分析結果を各廃炉作業に効率的に活用していくための体制構築も重要である。良好な分析結果を取得するためには、①分析の手法・体制、②分析結果の品質及び③サンプルのサイズ・量を適正に保つことが有効である。

### 3) 分析体制構築の現状と戦略

福島第一原子力発電所の廃炉に必須な施設として、政府の補正予算(2012年度)によりJAEAが放射性物質分析・研究施設(施設管理棟、第1棟、第2棟)の整備を福島第一原子力発電所の隣接地に進めている。第1棟、第2棟の各々の運用開始時には福島第一原子力発電所の管理対象区域として順次設定するため、構外輸送にならない利点がある。これを活かして基礎的な物性を迅速に把握し、安全評価、作業手順等へ反映させることが有効である。第1棟では固体廃棄物の分析、第2棟では燃料デブリの分析を行うことを目的としている。施設管理棟は2018年に運用を開始し、第1棟は2021年2月より総合機能試験を開始し、第2棟は安全審査中である。しかしながら、第1棟は給排気設備の不具合により予定されていた2021年6月の運用開始が遅延している。このため、茨城地区の分析施設の一層の活用を検討するとともに、福島第一原子力発電所の敷地内・隣接地の分析施設と茨城地区の分析施設のそれぞれの特徴に応じた役割分担を整理する必要がある。ただし、茨城地区の分析施設はいずれ

も運用開始後 30 年以上経過しているため、今後も使用を継続する施設への老朽化対策等に関して検討する必要がある。

茨城地区の分析施設はもとより、福島第一原子力発電所の隣接地に運用を開始する放射性物質分析・研究施設では安定的に施設を稼働するために必要な人的資源は不足しており、分析技術者の確保と維持の検討が必要である。この際には、種々の分析業務に対して分析技術者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計画することが必要であり、東京電力にとっては経験の乏しい分野での人材育成を可能な限り短時間で行うためには、 $\alpha$ 核種の取扱や燃料の分析技術に関して十分な知識と経験をもつ JAEA 及び日本原燃(株)の協力を得ながら、東京電力が分析技術者の育成に早急に取り組むことが必要である。また、予め分析結果の活用方法を見越した分析範囲や項目等を立案できる有能な人材(分析評価者)は希少であり、これを増やすことに取り組むことも重要である。

#### 4) 分析結果の品質向上と分析手法の多様化・拡充

##### i. 分析結果の品質向上

燃料デブリは難測定核種、妨害元素、不溶解性物質等を含み、組成分析を完全に行うことは困難と考えられている。誤差要因の影響を考慮してサンプルの分析結果を疑っておくことも重要な視点である。これまでに、モニタリングデータ、サンプル分析、PCV 内部・現場調査、SA コードによる解析、過去の知見、実験の結果等が蓄積されている。サンプルの分析結果の検証の意味もかねて、解析、調査、試験結果等の既存知見と照らし合わせて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、分析結果の品質向上へつながることになる。

事故により生じた燃料デブリは、炉内にあった燃料と材料が混ざり合った物質である。事故進展過程のどの段階で生じた物質であり、何の元素を多く含み、どのような性状を示すのかを総合的に考察・評価することが重要である。これにより、いたずらにサンプルの分析数を増やすのではなく、次の分析結果へつなぐために必要なサンプルを採取するための指示をフィードバックすることも可能となる。図 16 に示す概念図のように、[(1)サンプル採取]→[(2)サンプル分析]→[(3)性状評価]→[(4)安全評価]への流れと [(1)サンプル採取]→[(2)サンプル分析]→[(3)性状評価]→[(6)次回の採取指示]のサイクルが構築できる見込みがある。サンプルの分析結果と熔融進展の模擬試験、既往の科学的知見を照らし合わせて、事故時の挙動や事故原因を推定する活動は、既に、東京電力と JAEA が協力して実施しており、この活動をさらに拡張させることが望ましい。



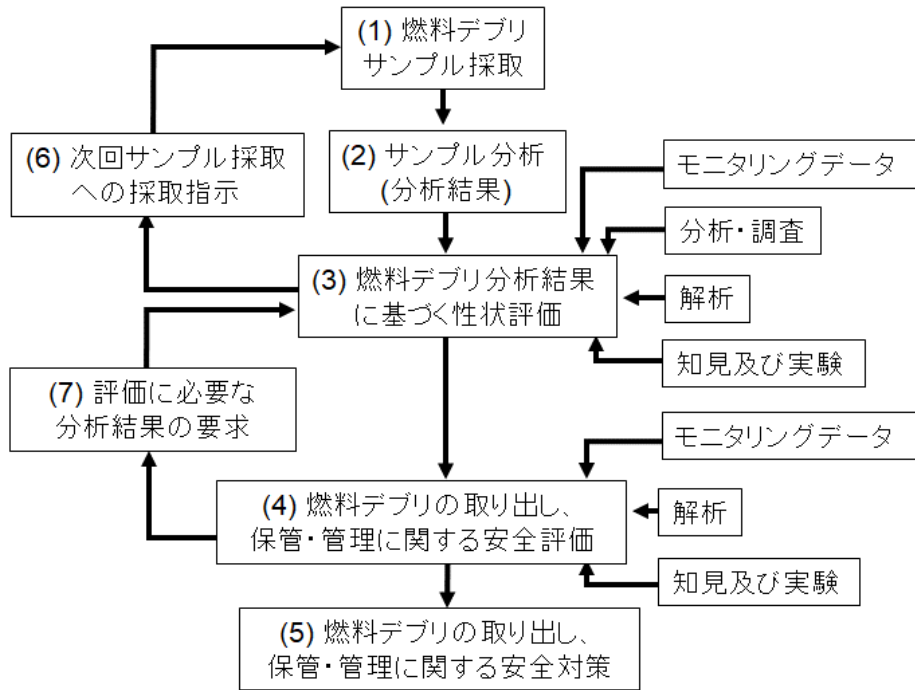


図 16 燃料デブリの分析から評価・対策に至る概念図

## ii. サンプルのサイズ・量の制約を踏まえた分析手法の多様化・拡充

現在のサンプル分析は、スミアサンプル等を茨城地区の分析施設へ輸送後、電子顕微鏡を用いた分析を中心に行っている。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、量ともに増加させる必要がある。ホットセル内の各工程でマニピュレータを用いての分析であり、1つの施設では、0.5～1 サンプル/月程度の分析となることから十分な量を分析することは困難である。このため、取り出し・保管量と分析量の間には大きな乖離が存在することになる。

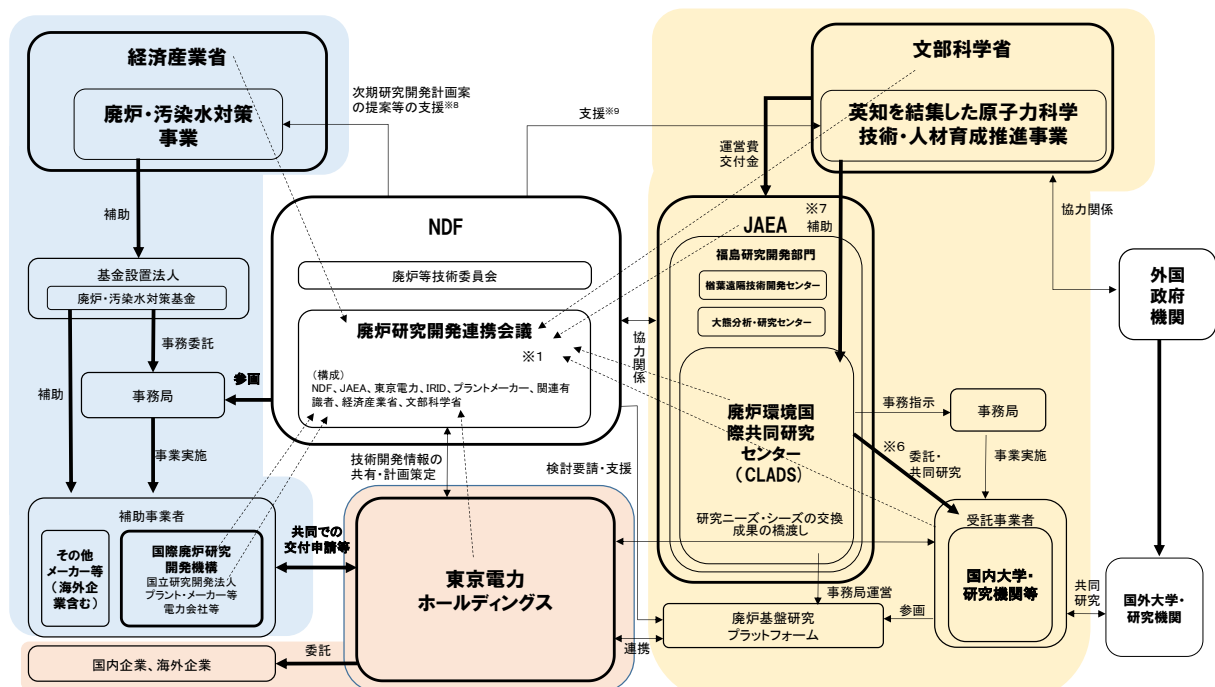
燃料デブリは不均質性を持つために採取された部位に応じて分析値に幅がある上、十分な量を分析できる状況ではなく、評価における不確かさに幅が生じる。分析品質の向上やサンプル量の改善に制限がある中で、良好な分析結果を増やすためには、分析の手法の多様化・拡充を行い、総合的な評価をすることが有効である。例えば、分析施設内で非密封状態のサンプル分析を行う他に、その場分析（簡易分析）や非破壊測定を実施するとともに採取時の座標情報も含めてサンプルに関する情報量を増やし、それらの結果を組み合わせることで評価を行うことで不確かさの幅を一定範囲内に抑えることが望ましい。ただし、燃料デブリを対象としたその場分析や非破壊測定は実用化例がない上、対象物が高線量であることから遠隔操作により行う必要がある。このため、ウラン含有率等の特定の項目に焦点を絞って研究開発を進めていく必要がある。

## 5. 研究開発への取組

### 1) 研究開発の意義と現状

福島第一原子力発電所の廃炉を安全、確実、合理的、迅速及び現場指向の視点で推進していくためには、研究開発が必要となる困難な技術課題が多数存在する。燃料デブリの試験的取り出しが目前に迫った現在、段階的な取り出し規模の拡大、取り出し規模の更なる拡大に向け、現場での適用を見据えた研究開発を加速する必要がある。これら技術課題を解決するため、国内外の大学や JAEA 等の研究機関による基礎・基盤研究及び応用研究、IRID、海外企業を含むメーカ、東京電力等による実用化研究、現場実証等が産学官の多様な機関により実施されている。

政府は、応用研究、実用化研究及び現場実証のうち難度の高いものは「廃炉・汚染水対策事業」により、基礎・基盤研究に係るものは「英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業（以下「英知事業」という。）」により支援している。東京電力においては、現場適用に直結した技術開発に取り組んでいる。NDF においては、研究開発中長期計画や次期研究開発計画の企画検討、推進及び英知事業の支援を行うとともに、関係機関をメンバーとして研究開発のニーズとシーズの情報共有、廃炉作業のニーズを踏まえた研究開発の調整、研究開発・人材育成に係る協力促進等の諸課題について検討する「廃炉研究開発連携会議」を設置している。また、本会議での議論に基づき、「研究連携タスクフォース」を設置し、課題の調査、ニーズ側の問題意識等を踏まえ、基礎・基盤分野を中心に優先的に取り組む6重要研究課題を抽出した。これら研究開発実施体制を図17に示す。



- ※1 廃炉研究開発連携会議は、廃炉・汚染水対策チーム基金決定によりNDFに設置。
- ※2 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。
- ※3 JAEA等、一部機関は複数個所に存在している。
- ※4 各機関はそれぞれMOU等に基づき外国機関との協力関係を有する。
- ※5 電力中央研究所等が独自に実施する研究開発は本図では省略した。
- ※6 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業のうち、平成29年度までの採択分は文部科学省から受託事業者への委託であるが、本図では省略した。
- ※7 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、JAEAに交付されるが、わかりやすさのためCLADSに交付されるものと表現した。
- ※8 廃炉・汚染水対策補助金事業は、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を踏まえ、NDFがその次期研究開発計画の案を策定し、経済産業省が確定する。
- ※9 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。

図17 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

## 2) 主な課題と戦略

### i. 研究開発中長期計画の更新

2020年10月、NDFと東京電力は、廃炉の今後約10年間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た。2021年3月に改訂された廃炉中長期実行プラン2021、研究開発の進展及び廃棄物対策に関する処理・処分方策と安全性に関する技術的見通しを踏まえ、研究開発中長期計画を更新した。

研究開発中長期計画の検討に当たっては、東京電力、資源エネルギー庁、NDFが研究開発企画会議等を開催しており、さらには文部科学省とも共有することで、求められる成果、必要とされる時期、実施体制等の検討を行っている。

### ii. 廃炉・汚染水対策事業への取組

#### (1) 廃炉・汚染水対策事業

経済産業省は廃炉を進める上で課題となるような難度の高い技術課題について、その解決を図るための研究開発に対して廃炉・汚染水対策事業によって支援を行っている。

昨年度より、各事業の企画立案及び進捗管理の機能を強化するためNDFが事務局に参画するとともに、現場適用性の観点からの要求事項を研究開発に反映させるため、東京電力が研究実施主体と共同での交付申請を行い、事業のプロジェクト管理を行う体制としている。この機能強化により、東京電力の現場ニーズや現場適用性をより具体的に反映した事業の提案が行われており、また、その成果が東京電力のエンジニアリングに効果的に活用されるよう事業の遂行がなされてきている。東京電力はこのような仕組みに積極的に参画しつつ、併せて自らが行う研究開発の比重を高め、その体制を強化していくことが重要であり、2021年8月、今後の技術開発の検討や実施を推進するための体制強化を行ったところである。

#### (2) 次期研究開発計画

NDFは、廃炉・汚染水対策事業を支援するため、毎年度、研究開発中長期計画を踏まえ、直近2年間で行うべき研究開発について、研究開発企画会議において関係者間で検討の上、次期研究開発計画を策定している。燃料デブリ取り出し専門委員会、廃棄物対策専門委員会での審議を経た後、廃炉等技術委員会で審議しNDF提案として取りまとめている。この計画は、経済産業省から廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合／事務局会議に報告され、これに沿って廃炉・汚染水対策事業が実施されている。

次期研究開発計画の検討においては、これまでの研究開発成果を評価し、さらに達成度を向上すべき課題や新たに取り上げるべき課題を抽出するとともに、研究開発中長期計画を見据えて新たな課題を抽出して技術課題を整理することが必要である。また、課題の抽出に当たっては網羅的に課題を抽出するとともに、各課題が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、研究開発成果が東京電力のエンジニアリングに活用されるものを目指すことが重要である。

### **(3) 廃炉・汚染水対策事業に係る今後の研究開発実施体制**

事故後の原子炉内の状況が不明な時期から約 10 年間、廃止措置に関する研究開発の母体として IRID が果たしてきた役割は大きなものがある。特に、原子炉格納容器の内部調査において炉内状況把握に実績を上げるとともに、燃料デブリ取り出し装置及び収納容器の開発において成果を上げてきている。

他方、原子炉内の状況が次第に明らかになり、また、東京電力におけるエンジニアリングの進展によりニーズが明らかになってきており、技術研究組合による共同の取組から東京電力のエンジニアリングに基づく開発を進める段階になってきている。これらの環境変化を踏まえ、IRID の継続期限である 2023 年夏頃以降の体制について検討を進めているところである。

廃炉・汚染水対策事業においては、適切な研究開発の実施体制の構築が重要であり、これまで IRID 中心で進められてきた研究開発の継続性を担保し（研究開発成果へのアクセスも含む）、研究開発実施者が東京電力とより密接に連携することが必要である。

#### **iii. 廃炉現場と大学・研究機関における連携の促進**

##### **(1) 英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業**

文部科学省においては英知事業として、2015 年度から大学・研究機関等を対象とし、原子力分野の壁を越え、国際共同研究も含めて緊密に融合・連携させることにより、国内外の英知を結集し、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的・基盤的研究及び人材育成の取組を推進してきている。2018 年の新規採択課題から実施主体を文部科学省から JAEA/CLADS に移行することで、JAEA/CLADS と大学等との連携を強化し、廃炉に資する中長期的な研究開発・人材育成をより安定的かつ継続的に実施する体制を構築した。

現在の英知事業の公募に当たっては、これらの 6 重要研究開発課題も含め、汚染水対策から廃棄物の処理・処分まで含めた廃炉全体を俯瞰し、求められる研究開発のニーズとシーズを整理した「基礎・基盤研究の全体マップ」を活用している。

##### **(2) 廃炉・汚染水対策事業と英知事業の連携及び東京電力における産学連携の取組**

廃炉現場の課題解決に資する基礎・基盤研究については、近年、英知事業を中心に優れた研究成果が得られているものもあり、その成果を廃炉現場に直接反映していくことは重要な課題である。2021 年 2 月に開催した第 9 回廃炉研究開発連携会議においては、ニーズ主導の研究開発の更なる深化に向けて、文部科学省と経済産業省が連携して、廃炉の課題を解決することが提言された。これを受け、研究開発企画会議等の共有や両事業の成果の共有等で結びつきをさらに強め、英知事業と廃炉・汚染水対策事業の連携を深めていくことが重要である。このように廃炉研究開発連携会議の所期の任務である研究開発シーズと廃炉作業ニーズの効果的な連携を促進するなど、引き続き、当該会議が総合調整機能を果たしていくことが求められる。

また、2019 年度から東京電力においても、大学の有する廃炉に関する技術シーズを発掘すべく、英知事業の成果も踏まえた大学との共同研究が開始している。政府、JAEA/CLADS、NDF、東京電力等の関係機関はニーズとシーズのマッチング及び成果の橋渡しの強化に向けて、さらに連携を強化していく必要がある。

### (3) 基礎研究拠点・研究開発基盤の構築

長期にわたる福島第一原子力発電所の廃炉を技術面においてより着実なものとしていくためには、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。

JAEA/CLADS の国際共同研究棟（福島県富岡町）では、国内外の大学、研究機関、産業界等がネットワークを形成し研究開発と人材育成を一体的に推進している。2019 年度から、英知事業に新たに「研究人材育成型廃炉研究プログラム」を創設し、大学等の教育研究機関と JAEA/CLADS の双方に研究・人材育成拠点（連携ラボ）を形成した上で、組織間をクロスアポイントメント制度で結ぶ研究開発・人材育成事業を開始しており、JAEA/CLADS の拠点機能の強化を図っている。

また、ハードウェアとしての研究開発基盤として、JAEA の檜葉遠隔技術開発センターの整備・活用や大熊分析・研究センター（放射性物質分析・研究施設）の建設が進められている。



## 6. 技術戦略を支える取組

### 1) プロジェクト管理の一層の強化、廃炉の事業執行者として有すべき能力の向上

#### i. プロジェクト管理の意義と現状

廃炉に係る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連携して達成目標に向かって協働していく管理体制を構築し、その総合力を高めていくことが必要である。

廃炉プロジェクトの各作業分野における個々の作業においては、一般に研究開発→概念設計→基本設計→詳細設計→製作→現地据え付け工事→検査→運用、といったプロセスを経て進められることとなる。また、その間に必要に応じて、原子力規制委員会による審査や各種検査も加わることになる。こうした一連のプロセスを漏れなく、また遅滞なく実施していくに当たっては、長期計画において定める大きな作業の流れを適切な規模の管理単位である個別プロジェクトとして設定することが有効である。その上で、プロジェクト間の相互関係並びに時系列的な関係を最適化し、またプロジェクトに内在するリスクを適切に管理できるように、高度化されたプロジェクト管理体制の下で全体整合をとりながら進めていくことが重要である。この観点から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、管理体制や仕組みの大枠はできたところである。今後は管理手法の充実や高度化を図り、実効性のあるものとして現場業務に根付かせていくことが重要である。2020年度までの主な取組例としては、組織改編によるプロジェクトマネージャーの権限強化、安全・品質レベル向上、先を見据えた計画（廃炉中長期実行プラン）の作成、研究開発中長期計画の作成等がある。

#### ii. 今後強化すべき主な課題と戦略

##### (1) 安全とオペレータ視点、「安全ファースト」の浸透

柏崎刈羽原子力発電所（以下「柏崎刈羽」という。）における核物質防護上の不適合を受け、2021年4月、東京電力は原子力規制委員会から特定核燃料物質の移動を禁止する命令を受けた。これにより東京電力の原子力規制検査の対応区分は第4区分（「各監視領域における活動目的は満足しているが、事業者が行う安全活動に長期間にわたる又は重大な劣化がある状態」となり、今後は原子力規制委員会の監視下で多くの検査が実施されることになる。

福島第一原子力発電所は事業形態として柏崎刈羽の発電所運営とは異なる上に、管理体制においてもプロジェクト管理を本格的に運用しておりその点で柏崎刈羽と異なるが、他方で本年2月、福島第一原子力発電所3号機原子炉建屋に試験的に設置した地震計の故障情報が組織内で共有されず、かつ長期間修理・復旧がなされなかったという不適合が起きている。作業上の安全や被ばく等の問題がなかったにしろ、一連の事象について社外からも厳しい指摘を受けており、福島第一原子力発電所では事象の背後にある組織的な課題は何なのかを把握すべく、経営層自らが所員全員との対話活動を行っているところである。

安全をお題目ではなく組織文化として定着させるためには心構えを問うだけでは不十分で社員一人一人が安全を体系的に学ぶ教材と機会が必要である。

## (2) オーナーズ・エンジニアリング能力

イタレーション型のエンジニアリングは、事業執行者とサプライチェーンとの契約も従来のものとはならないため、東京電力は事業執行者として「エンジニアリング上の判断を行い、その結果に対して責任を持つこと」が強く求められる。そのためには、プロジェクト管理能力に加え、サプライチェーン全体を最適化するために事業執行者として有すべき能力、具体的には、工学的判断をする能力、事業リスクを評価する能力、発注仕様を具体化する能力等の事業執行者である東京電力がオーナーとして主体的に行うエンジニアリング能力（オーナーズ・エンジニアリング能力）を向上させていく必要がある。なお、オーナーズ・エンジニアリング能力向上に向けた取組の例としては、燃料デブリ取り出し工法選定の評価において、品質（燃料デブリ取り出し状態、安全性等）、プロジェクト（コスト、時間等）、技術成立性の視点で評価を行うことや、或いは従来であれば一社に一括発注していたような案件を複数社に分割発注し、東京電力が工事全体を統括管理するといった取組が挙げられる。また、こうした取組や後述する手の内化の推進など、諸々の現場経験を蓄積・フィードバックすることもオーナーズ・エンジニアリング能力向上を図る上で重要である。

燃料デブリ取り出しは、原子力発電所の設計・建設のように完成されたプロダクトを性能保証した上で納める仕事ではない。したがって、最後は事業執行者である東京電力が技術的なリスクや事業リスクを負う形でない、コストが天文学的に膨れ上がってしまう。技術リスクを事業執行者が負うということは、事業執行者自らが機能設定や工学的設計の信頼性についても見極める眼力を備えるという、従来の東京電力以上に技術力が求められるということでもある。また、ここで重要なことは「安全とオペレータ視点」をエンジニアリングのできるだけ上流から組み込むことにある。

### a. 工程リスクの評価・管理能力

プロジェクト執行に大きな影響を及ぼすコスト、工程、安全等のプロジェクトリスクを洗い出して対応していくことはプロジェクト管理を行う上での基本であり、安全を最優先にプロジェクトを取り巻く制約や不確実性を踏まえつつ、予測するスキルとノウハウを駆使し一定の誤差範囲内に期間・費用が収まるように完遂することが求められる。特に今後は技術的難度や不確定要素が高い作業（例えば、燃料デブリ取り出し等）に対するプロジェクトリスク管理が一層重要となる。

### b. 取得マネジメント能力

福島第一原子力発電所の廃炉は変化する現場状況にあって、長期に渡って確実に廃止措置作業を実施しなくてはならず、特に燃料デブリ取り出しのようにリスクの大きいプロジェクト作業に対しては、従来型の契約では対処が困難となるため、発注者、受注者双方が協調し、契約上のリスクを分担し、合意した達成目標を目指すような新たな概念による契約方式を準備する必要がある。また、調達の在り方も、発注者→受注者といった一方通行のモノ買い（Buying）ではなく、開発から製造そして運用保守までも考慮して「モノを作り上げてゆく」（Making）ことで“最終成果を取得する（Acquisition）”という発想が双方にとって必要となる。

このような Making 型プロジェクトに対応するためには、仕様を具体化する能力等のオーナーズ・エンジニアリング能力を向上させることに加えて、“取得”を主眼とした取得マネジメントに精通する必要がある。

### c. 手の内化の推進

廃炉作業に対する多くの課題に対応するためにはエンジニアリング力強化が欠かせず、東京電力はそのための手段として手の内化を進めている。「手の内化」とは計画・設計や保全・運転において東京電力自らが行える力をつけることであり、これによりムリ・ムダの低減、生産性向上等を深化させ、設計品質、調達品質等、並びに東京電力社員の業務品質の向上を図ることを目指している。これらの品質の向上は、結果的に安全性の向上にも寄与する。手の内化は広い範囲で様々な課題に対して有効であるが、より多くの効果を得るために今後予想される課題を意識しながら進めることが望ましい。

## (3) 人材の確保・育成

### a. 廃炉事業を円滑に遂行していくための人材の確保・育成

#### ① 中長期人材育成計画に基づく人材の確保・育成

長期にわたる廃炉事業を円滑に遂行していくための基盤として、人材の育成が不可欠である。そのためにはプロジェクトマネジメント能力、エンジニアリング能力の向上が必要であり、また、廃炉中長期実行プランに照らして、将来必要となる職種（設計、運転、保全、化学分析、安全評価、放射線管理等）、人数及び必要となる時期を想定して、それらを中長期人材育成計画として取りまとめ、人材の育成と要員の確保を計画的に進めていくことが重要となる。

東京電力はプロジェクトマネジメント能力を高める取組として、プロジェクトマネージャーに責任と権限を付与してプロジェクトマネジメントに専念させ、また、プロジェクトマネジメント基礎教育に加え、国際基準に基づく体系的な学習のためのトレーニングを新たに導入する等の取組を拡充している。エンジニアリング能力を高める取組としては、他の電力会社はもとより、メーカー、ゼネコン、エンジニアリング企業等と連携しながら、海外等の外部専門家の知見を活用しつつ、エンジニアリング能力を含めた技術やノウハウを蓄積・継承を図っている。そして、廃炉中長期実行プランに照らして将来必要となる技術者の人数及び時期を想定して、人材の育成及び要員の確保策を検討しているところである。

#### ② 「安全とオペレータ視点」を備えた人材の確保・育成

「安全とオペレータ視点」を備えた人材を計画的かつ迅速に確保・育成していく必要がある。

「オペレータ視点」を持った人材については、現場に精通し、現場知識を十分に取得した人材を確保・育成することが重要であると東京電力は早くから考え、福島第一原子力発電所の廃炉に必要な「コア技術」を設定し、育成のための「廃炉コア技術講座」を開設し、社内のベテランが講師となり現場力向上に向けた取組を 2015 年から実施している。これらの一般的な福島第一原子力発電所の廃炉の現場への精通、現場知識取得に加え、扱う施設、作業に固有かつ特殊な技能が必要な場合については、そのような特殊な技能をもつ人材を個別に確保・育成することが必要である。

## b. 将来の福島第一原子力発電所の廃炉を担う次世代の育成

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、それに必要な研究開発活動を行うためには、確固とした技術力の継続的な確保が重要であり、そのためには将来の研究者・技術者の育成・確保及び確実な技術の継承が不可欠である。産学官全体として、高等・中等教育段階の各階層に応じた取組を進めることが重要である。

高等教育段階の学生に対しては、原子力産業に関する理解促進活動を産業界と高等教育機関が連携して継続的に実施していくことが重要である。次世代人材の育成のためには、これら高等教育機関から若手研究者・技術者が安定して輩出されることが何よりも根本的に重要である。特に、文部科学省及び JAEA/CLADS の英知事業により、学生及び若手研究者に廃炉を重要な研究分野として捉えさせ、廃炉研究に携わる仕組みを導入した。これら英知事業の仕組み・実施内容は、高等教育機関に属する研究者及び学生に対して一定の成果を上げていると言える。今後は、この事業の仕組みにおいて、東京電力の廃炉現場と高等教育機関の活動の視点が一層一致することを目指し、事業を実施していくことが重要である。

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。NDF においては、高校生等を対象に、福島復興について考えることを目的とした「学生セッション」を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。）と併せて開催している。この取組を通して、福島第一原子力発電所の廃炉と復興の両立に向けた取組を考える機会を高校生等に提供することで、廃炉が地域の復興において重要な課題であることを認識してもらい、廃炉と復興に向けた取組への興味・関心及び貢献意欲の醸成を図っており、一定の成果を上げている。

今後も次世代を担う人材確保・育成のための取組を関係機関がそれぞれの役割・階層に応じ、引き続き推進・強化していくことが求められる。

## c. 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

多くの国民や地元住民が、福島第一原子力発電所の事故・廃炉、災害対応、放射線安全、食品安全等について基礎的な知識として身に付けることは、廃炉及びそれに関係する放射線安全等に関して正確な情報に基づく議論が行われ、国民理解が促進されるための基礎であることから、今後の日本全体のレジリエンス（強靱性）の観点からも重要である。加えて、直接的には次世代の原子力分野を担う人材育成を目指すものではないが、原子力分野に限らず科学全般を志す人材の裾野を間接的に広げる側面もある。特に、原子力分野に関しては、原子力や廃炉に関する知識・体験を得るとともに、地域・社会における関係において、様々な機会を通じた子供の発達段階に応じた学びが必要である。その際には、教員や親等の周囲の大人の知識・体験を通じて子供が興味・関心を持つことが重要であることから、初等教育機関に従事する者も含めた幅広い者に対して原子力や廃炉に関する科学的根拠に基づく知識を一層普及していくことが重要である。



## 2) 国際連携の強化

### i. 国際連携の意義と現状

近年、原子力利用の黎明期に建設された原子炉や核燃料サイクル関連施設が運転寿命を迎え、各国ではこれらの施設の廃止措置が本格化している。各国は、「unknown unknowns」（何がわからないかがわからない）とも言われる技術的な困難や、長期にわたるプロジェクト運営、多額の資金の確保といった課題に直面しながらも、それらを乗り越えるための挑戦を続けている。

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、リスク低減戦略として、先行する廃止措置活動等の事例から教訓を学び、廃炉に活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、すなわち世界の英知の結集と活用が重要である。

世界の英知を結集するためには、廃炉に対する国際社会の継続的な理解・関心や協力関係を維持・発展させていくことが重要である。そのため、廃炉の進捗等の正確な情報を国際社会に発信し、国際社会からの信頼を得ることや、福島第一原子力発電所の事故及び廃炉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、国際社会に開かれた互恵的な廃炉を進めることが重要となる。

具体的には、各国の事情に即した二国間協力を進めるとともに、IAEA、OECD/NEA等を通じた多国間協力の枠組みを活用することが重要である。我が国では、政府間の枠組みとして、各国との情報共有を行う年次対話の開催や会議体の設置を行ってきた。また、国内関係機関それぞれが、海外関係機関との協力協定や取り決めを結び、国際会議の場で情報発信を行っている。NDFにおいては、主要な国際会議での登壇等の機会を通じて、廃炉に関する情報発信に取り組み、国際社会からの信頼を確保すること及び互恵的な廃炉を進めることで、国際社会の継続的な理解・関心や協力関係の維持・発展を図っている。

また、上記の国際連携を行っていく上で、新型コロナウイルス感染症の世界的流行は大きな障害となっているものの、多くの会議やイベントがオンラインで開催されており、我が国もオンラインシステムを活用して参画してきた。NDFにおいてもオンラインシステム等を積極的に活用して、世界の英知の結集、国際社会の継続的な理解・関心の維持・強化、及び国際社会との協力関係の維持・発展に取り組んできた。今後も、これまでの経験を活かして、諸外国とのコミュニケーションの機会の更なる拡大等を図っていくことが大切である。

### ii. 主な課題と戦略

#### (1) 世界の英知の結集と活用

我が国は廃炉を進めるに当たり、国際社会への情報発信や国際共同活動への参画等を通じて国際社会の支援を受けてきたところである。事故から10年以上が経ち、国際社会に対してこれまで蓄積したノウハウや成果の還元にも取り組みつつ、互恵関係の継続を図ることが必要である。

新型コロナウイルス感染症の世界的流行により諸外国との行き来が困難となったことは、このような互恵関係を継続する上で障害となっている。新型コロナウイルス感染症の世界的流行に限らず、未曾有の事態により諸外国の関係機関や有識者、国際機関との関係が希薄になることがないよう、オンラインシステム等を活用することで、コミュニケーションの機会を確保し、関係の維持・発展に取り組むことが重要である。

NDF では、国際フォーラムを通して、世界各国の廃止措置の教訓や技術といった英知を集めてきた。引き続き、諸外国からの直接の参加が困難な状況下でも、オンラインシステムを活用することで国際フォーラムを世界の英知の結集の一つの有効な機会とすることが重要である。

なお、福島第一原子力発電所のエンジニアリングが本格化する中、世界の優れた技術や人材の最新状況を把握し、これらを有効に活用することが重要である。そのような中、東京電力は海外の民間企業との技術交流を活発に行ってきた。引き続き、民間の状況まで含めた世界の最新情報を把握するとともに、これら民間企業との継続的なコミュニケーションに取り組み、廃炉作業の進捗について情報を共有しながら、必要な時に必要な技術にアクセスできる環境を形成していくことが必要である。

## **(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のために世界の英知を結集するためには、国際社会の理解・関心や協力関係の維持・発展が重要となる。そのためにも、政府をはじめとした国内関係機関が、廃炉に関する正確な情報を発信することに加え、事故から 10 年以上が経過し、情報の受け手の関心等が事故当時から変化している部分もあり、これに留意した情報発信が重要となる。廃炉を進める中で得られた知見等を国際社会へ還元していくため、国際共同活動へ参画し、情報発信に取り組んでいくことも重要である。特に成果の還元の側面からは、例えば、事故や廃炉そのものだけでなく他の課題への応用といった側面にも関心が拡がりつつあるといった国際社会の変化に応えながら、その関心の水準の維持に努めることが重要である。

実際に、安全性を確保し、風評対策を徹底することを前提に ALPS 処理水を海洋放出する方針を日本政府が公表したことを受けて、環境への影響を懸念するコメントや処分に当たっての透明性について疑義を呈するコメントを発表した国がある一方、我が国の廃炉の状況を理解している海外政府、関係機関及び国際機関からは、我が国の決定を支持するコメントが発表された。加えて、IAEA がレビューミッションの派遣や環境モニタリングの支援など、第三者的立場から ALPS 処理水の海洋放出に向けて積極的に協力することを表明した。これらは海洋放出に対する国際的な理解を得る後押しとなっており、正確な情報発信を通じた透明性の確保や協力関係の構築の重要性が改めて認識された。

今後の ALPS 処理水の海洋放出を含め、廃炉の着実な実施に当たっては、引き続き、国際社会からの理解と協力を得ることが重要であり、政府をはじめとする国内関係機関が、正確な情報の発信や分かりやすい情報の発信を行う必要がある。NDF としても、様々な機会を通じて、正確かつ情報の受け手の関心に応じた情報発信、廃炉を進める中で得られた知見等の国際社会への還元を行っていくことが重要である。

## **3) 地域共生**

### **i. 地域共生の意義と現状**

#### **(1) 基本的な考え方**

福島第一原子力発電所の廃炉における大原則は、「復興と廃炉の両立」である。避難指示が解除された地域において、住民の帰還や事業活動の再開はもとより、域外からの移住・定住や新た

な投資の促進など、復興への歩みが徐々に進んでいる中であっては、より一層の周辺環境へのリスク低減や安全確保を最優先としつつ、地域からの信頼を獲得するため、コミュニケーションを強化するとともに地域との共生を進めていくことが必要である。廃炉に対する不安感や不信感によって、復興の動きに悪影響が及ぶ、すなわち廃炉が復興の妨げになることは決してあってはならない。

そのため、一方的な情報発信ではなく、地域住民の不安や疑問に真摯に耳を傾け、それらを取り除くための正確な情報を分かりやすく速やかに伝える、といった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、安心していただくことが重要である。また、非常に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御協力が不可欠である。それと同時に、地元企業に廃炉事業に参画いただくことは、この地で廃炉関連産業が活性化し、雇用や技術が生まれるのみならず、他の地域や産業への成果の広がりにつながることから、東京電力が福島復興に貢献するための重要な柱でもある。

## (2) 現状における具体的な取組

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方々の皆さまへのお約束」(以下「お約束」という。)に基づき、廃炉産業集積に向けた取組を大きく①地元企業の参画拡大、②地元企業のステップアップサポート、③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。このうち、①及び②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、廃炉事業への参画希望や興味・関心を持つ地元企業と地元企業への発注を検討している元請企業とのマッチングを支援するための共同相談窓口の設置・運用や、元請企業と地元企業とのマッチング商談会の開催、地元企業への個別訪問、地元企業を対象とした福島第一原子力発電所の視察ツアーなどに取り組んでいるほか、人材育成に関する元請企業・地元企業双方へのニーズ調査、複数の大学との共同研究等に着手している。また、2020年9月に作成した「廃炉中長期発注見通し」の内容を、廃炉作業の進捗に合わせ適宜更新するとともに、新型コロナウイルス感染症の流行状況に十分留意しながら、元請企業はもとより、地元の自治体、商工団体及び地元企業に対する説明会を順次実施している。

また、③については、地元で「開発・設計」から「製造」、「運用」、「保管」、「リサイクル」という一貫した廃炉事業の実施体制を構築するため、これまで海外を含めた福島県外へ発注していた比較的難度・重要性の高い技術や製品について、浜通り地域で完結できるよう、2020年代に複数の新たな施設を設置・運用する計画を立てている(2021年5月27日公表)。特に地元での「製造」については、これまで県外製造とせざるを得なかった高機能製品について、実績のあるパートナー企業と共同事業体を設立した上で浜通り地域に製造拠点を設置し、地元での雇用や地元企業への発注及び協業を目指している。

## ii. 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、廃炉に対する地域はもとより社会全体の評価・信頼を失墜させ、廃炉の遅れのみならず福島復興への妨げにつながる。このため、東京電力は、引き続き様々な手段を講じて廃炉の現状を分かりやすく速やかに発信して

いく必要がある。この点、新型コロナウイルス感染症の影響が当面続くことが想定される中で、バーチャルツアーのような疑似体験プログラムやオンライン会議システムといった急速に発達しているツールを積極的に活用するとともに、写真・動画コンテンツの一層の充実を図るなど、非対面・非接触でも可能なコミュニケーションを強化していくことも重要である。

また、政府、NDF 及び東京電力が適切な連携の下、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が求められる。このため、座談会の開催や地域の会議体・行事への参加など、機会を捉えて地域住民との直接対話を積極的に図るとともに、国際フォーラム等のイベントを通じて不安や疑問に真摯に耳を傾けるなど、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必要がある。

特に、ALPS 処理水の処分方針に関しては、地元はもとより国内外から不安・懸念が寄せられており、地元自治体や関係団体から正確な情報発信や万全の風評対策などの措置を強く求められている。東京電力は、これらの状況を踏まえ、「多核種除去設備等処理水の処分に関する政府の基本方針を踏まえた当社の対応について」（2021年4月16日公表）に示した対策を確実に実行するとともに、必要により追加・見直しを行い、風評抑制に全力で取り組まねばならない。

## (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

東京電力は、「お約束」の実現に向けた様々な取組を進めているが、これらはすぐに目に見える成果が出るものではなく、一定の期間を要する。加えて、今後取り組むこととしている「③地元での新規産業創出」では、比較的大規模な投資であり浜通り地域への大きな経済効果が見込まれる一方、特に高機能製品の製造については高度な技術を要することから、いかに実績のある元請企業と地元企業との技術格差を解消し、地元企業の積極的な参画に繋げられるかが課題となる。そのため、当面は「①地元企業の参画拡大」「②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をしっかりと継続・強化していくとともに、新たな廃炉関連施設の立地場所や規模、建設・運用までのスケジュール、雇用・協業・発注における地元との関わりなど諸々の検討状況について、地元の自治体、商工団体及び関係機関に丁寧に説明し、理解・協力を得ながら取組を進めていくことが重要である。

また、元請企業の理解の下、地元企業が受注しやすくなるような発注・契約方法を具体的に検討し、まずは試行的に実施することも必要である。昨年度、地元企業を対象に行ったヒアリングの結果、地元企業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傾向にあるといったことが明らかとなった。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、地元企業へのアプローチのみならず、既存の元請企業に対しても、例えば、技術指導を含めた地元企業への発注を促進し、地元企業の受注や人材育成に関し一定の成果があった場合には、複数年契約や優先発注のような契約上のインセンティブを元請企業に付与するといった仕組みを構築するなど、両者にメリットが生じるような手法を取り入れることで、地元企業の受注促進に寄与するものと考えられる。併せて、人材育成の取組に関しては、2018年に発足し、これまで放射線防護教育、低圧電気取扱等の特定事項に関する特別教育等を実施してきている福島原子力企業協議会の福島廃炉技術者研修センターを活用し、今後は並行して地元企業向けに特化した研修に係る具体的な検討・準備を加速させることが求められる。こう



した様々な取組を状況の変化に適宜対応しながら着実に進め、廃炉事業を通じた地元産業・経済の基盤づくりと地元企業・人材の育成を図っていくことが重要である。

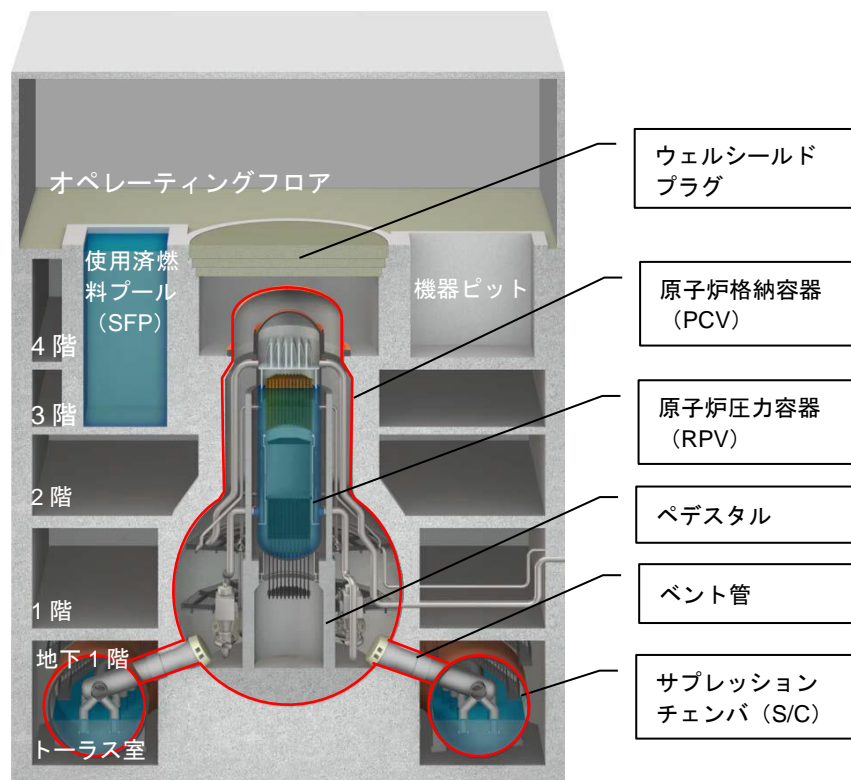
さらに、廃炉に関する研究開発はもとより、域外企業の進出や地元企業への技術指導などが今後進んでくると、域外から来訪・滞在する技術者や研究者の増加が見込まれることから、そうした外部人材が地域社会に溶け込み、その一員として活躍することができるよう、必要な環境整備や支援体制の構築を図っていくことが求められる。特に環境整備については、単身はもとより家族ぐるみで安心して生活できるよう、日常生活や教育などの機能を幅広く考慮する必要がある。この点、福島県が住民の帰還促進に加え、広域的な移住・定住を促進することで避難地域の復興を加速化させるため、主に県外から12市町村への移住・定住を支援する「ふくしま12市町村移住支援センター」を開設し、全国の移住に関心を持つ層への情報発信や12市町村への移住希望者に対する各種支援などを行っている。こうした地元の取組との連携・協力の可能性を検討していくことも重要である。

これらの地域共生の取組を着実に進めるには、東京電力社内における組織体制の強化及び各部署間の緊密な連携が不可欠である。東京電力が組織改編により地域共生の専門部署を順次設置し、廃炉を通じた地元の産業振興に向けた取組が少しずつではあるが前に進んでおり、地元からも一定の評価を得つつある。この流れを絶やさず着実に進めつつ、必要に応じて社内の体制をさらに強化していくことが重要である。

さらに、福島県をはじめとする地元自治体、共同相談窓口の運用やマッチング商談会の共催などを行っている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をはじめとする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に関する取組を適切に支援するとともに、地元自治体、関係機関等との連携・協働の強化に努めていく。

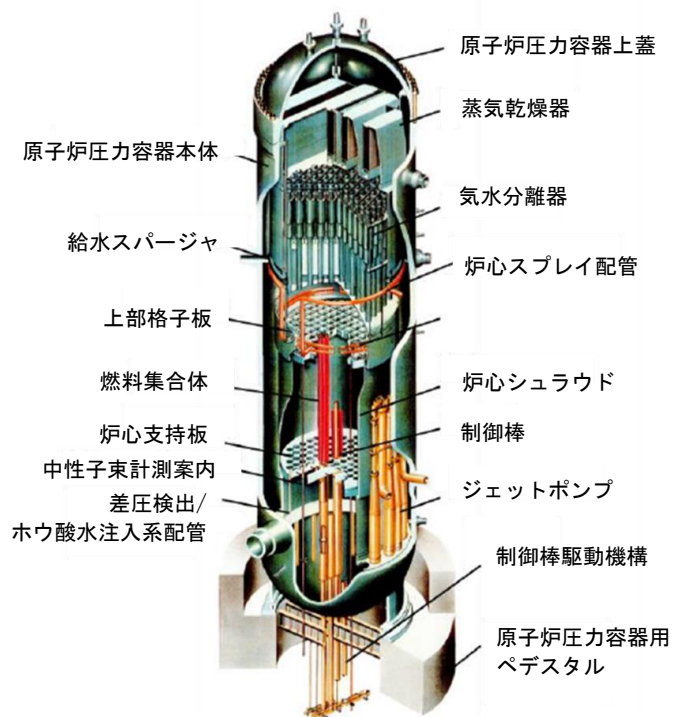
## 用語集

用語	説明
インベントリ	リスク源に含まれる放射性物質の量（放射能、放射性物質の濃度または放射性物質が有する毒性）
ウェルプラグ（シールドプラグ）	原子炉格納容器の上部にある遮へい用のコンクリート製上蓋（運転中は原子炉建屋最上階の床面となっている。）
エンジニアリング	技術要素を現場に適用するための設計等の作業
キャスク	使用済燃料の輸送や貯蔵に用いられる専用の容器
サブドレン	建屋近傍の井戸
除染装置スラッジ	汚染水を処理するため2011年6月～9月にかけて運転していた除染装置(AREVA)により発生した高濃度の放射性物質を含むスラッジ
スラッジ	泥状物質、汚泥
スラリー	液体中に鉱物や汚泥等が混ざった液状の懸濁物
ゼオライト	セシウム等の放射性物質を回収するために用いる吸着材
トーラス室	非常用炉心冷却系の水源として用いる水を擁する大きなドーナツ状の圧力抑制室を収納する部屋
燃料デブリ	原子炉冷却材の喪失等により核燃料が炉内構造物の一部と熔融した後に再度固化した状態
フェーシング	発電所構内の地表面をアスファルト等で覆うこと
プラットフォーム	ペDESTAL内側で原子炉圧力容器の下に設置された作業用の足場
フランジ型タンク	ボルト締めによる組み立て式のタンク
ペDESTAL	原子炉本体を支える基礎
マニピュレータ	デブリ取り出しのサポートを行うロボットアーム
モックアップ	実物とほぼ同様に似せて作られた模型



(IRID 提供)

図 18 原子炉建屋内構造図



(IRID 提供)

図 19 原子炉圧力容器 (RPV) 内構造図