

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 2019

概要版

2019年9月9日

原子力損害賠償・廃炉等支援機構

目 次

1	はじめに.....	1
1)	福島第一原子力発電所の廃炉に向けた体制・制度.....	1
2)	戦略プランについて.....	2
2	リスクの低減戦略としての福島第一原子力発電所の廃炉.....	3
1)	福島第一原子力発電所廃炉の基本方針.....	3
2)	福島第一原子力発電所廃炉の進捗状況.....	3
3)	放射性物質に起因するリスク低減の考え方.....	4
3	福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術戦略.....	9
1)	燃料デブリ取り出し.....	9
2)	廃棄物対策.....	23
3)	汚染水対策.....	27
4)	使用済燃料プールからの燃料取り出し.....	30
5)	その他の具体的な対策.....	33
6)	福島第一原子力発電所廃炉プロジェクトの総合的な取組.....	36
4	プロジェクトの円滑な推進に関わる重要事項への対応.....	37
1)	労働環境、労働条件の改善に向けた取組.....	37
2)	中長期の着実な廃炉に向けた運営体制の強化.....	37
3)	人材の育成・確保.....	37
5	研究開発への取組.....	39
1)	研究開発の基本的な方針等.....	39
2)	現場作業・エンジニアリングにおいて必要な廃炉研究開発.....	40
3)	廃炉プロジェクトを確実にする基礎研究及び研究開発基盤の充実.....	40
6	国際連携の強化.....	42
1)	国際連携の意義.....	42
2)	国際連携活動の推進.....	42
3)	国内関係機関との密接な連携.....	43
7	地域との共生.....	44
1)	地域との共生の考え方.....	44
2)	コミュニケーションの具体的取組.....	44
3)	風評被害への対応.....	44
4)	地域の復興とともに歩む廃炉.....	44

1 はじめに

福島第一原子力発電所の事故から8年が経過する中、陸側遮水壁をはじめとする汚染水対策や使用済燃料プールからの燃料取り出しに進捗がみられるとともに、構内の作業環境も整ってきており、短期的な対応については一定の見通しがついてきた。今後は、燃料デブリ取り出しのような長期にわたる取組が求められ、中長期を見据えた対応が必要となる。長期かつ難度が高く、不確かさの大きな課題に取り組むにあたっては、課題対応の積み上げではなく、より計画的に中長期的視点から課題解決のための取組を進めていく必要がある。このような中、燃料デブリ取り出し等に向けたエンジニアリングが本格化しているなど、廃炉作業のフェーズが中長期を見据えた対応へと移行しつつあることも念頭に、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2019においては、2017年9月に改訂された政府の「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。)において示されたマイルストーンを踏まえ、初号機の燃料デブリ取り出し方法を確定するための戦略的提案を提示するとともに、廃棄物対策なども含め、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方向性を提示する。

1) 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた体制・制度

廃炉作業のフェーズが中長期を見据えた対応へと移行しつつある中で、足元の対応を確実に実施しつつ、併せて中長期的な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、東京電力ホールディングス(株) (以下「東京電力」という。)はプロジェクト管理体制を強化している。また、資金面においても廃炉をより確実に実施していくため、原子力損害賠償・廃炉等支援機構法の一部を改正する法律が2017年5月に成立し、同年10月に施行された。同法に基づき原子力損害賠償・廃炉等支援機構 (以下「NDF」という。)には廃炉等積立金管理業務が追加され、毎年度、①NDFが定め主務大臣(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主務大臣が承認した「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、東京電力は廃炉等積立金を取り戻し、廃炉を実施していくこととなった(図1)。

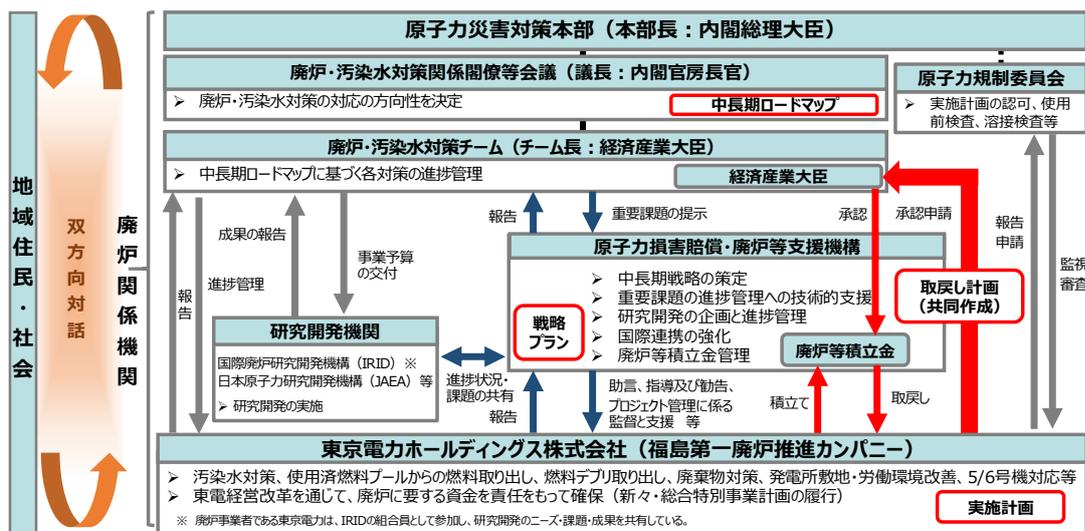


図1 福島第一原子力発電所の廃炉に係る関係機関等の役割分担

廃炉等積立金制度の下において、NDFは、①廃炉に係る資金についての適切な管理、②適切な廃炉の実施体制の管理、③廃炉等積立金制度に基づく着実な作業管理等に当たることとなり、東

京電力による廃炉の実施の管理・監督を行う主体として、これまで以上の役割や責任が課せられることとなった。具体的には、NDFは「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン」(以下「戦略プラン」という。)の内容を踏まえて作成した「廃炉等積立金の取戻しに関する計画の作成方針」(以下「取戻し計画作成方針」という。)により、取戻し計画に盛り込むべき作業目標及び主要作業を東京電力に対して提示するとともに、取戻し計画を東京電力と共同で作成する過程で東京電力の取組内容について地域との共生・コミュニケーションの観点等も踏まえたプロジェクト遂行の観点から妥当性の評価を行うことなどを通じて、廃炉の適正かつ着実な実施を支えていく(図2)。

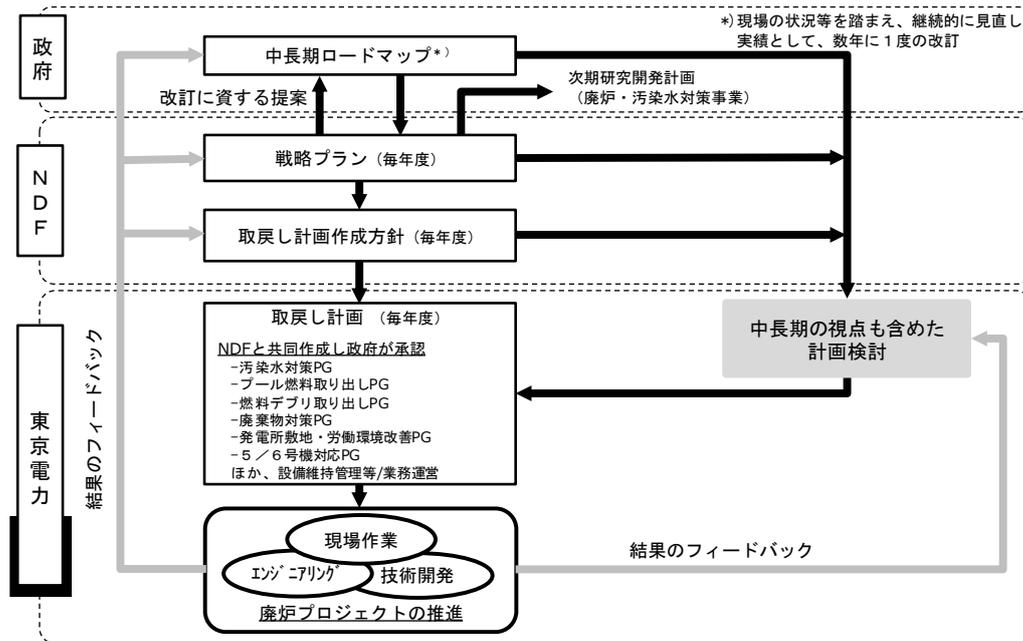


図2 廃炉等積立金制度を踏まえた戦略プランの位置付け

2) 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・着実な実行や改訂の検討に資することを目的として、戦略プランを2015年以降毎年取りまとめている。戦略プラン2018からは、燃料デブリ取り出し及び廃棄物対策を中心とした内容だけでなく、汚染水対策及び使用済燃料プールからの燃料取り出しまで検討範囲を広げている。

戦略プラン2019では、前述の通り、初号機の燃料デブリ取り出し方法を確定するための戦略的提案を提示するとともに、廃棄物対策なども含め、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方向性を提示する。

2 リスクの低減戦略としての福島第一原子力発電所の廃炉

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) 福島第一原子力発電所廃炉の進捗状況

福島第一原子力発電所は、原子力規制委員会が「特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項」において要求している安全上必要な措置を講じており、一定の安定状態で維持管理されている。また、これまでに実施した様々なリスク低減対策の結果、以下のようにリスク低減が継続的に図られている。

(1) 汚染水対策

汚染水については、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」）に基づき対策が進められている。

「取り除く」については、多核種除去設備等での処理を進めている。「近づけない」については、陸側遮水壁は2018年9月までに全ての箇所が凍結しており、サブドレンの効果とも相まって建屋流入量が抑制されるとともに、護岸エリアからの建屋移送量も大幅に減少し、汚染水発生量が低減している。「漏らさない」については、フランジ型タンク内のストロンチウム処理水について、多核種除去設備等によって浄化処理し、より信頼性の高い溶接型タンクへの移送が2018年11月に完了した。さらにフランジ型タンク内の多核種除去設備等で浄化処理した水についても、2019年3月に、溶接型タンクへの移送が完了し、フランジ型タンクからの漏洩リスクが大幅に低減された。

建屋内滞留水については、2020年の処理完了¹に向けて、タービン建屋等における建屋内滞留水の水位低下による貯蔵量の低下を着実に進めている。現在、1号機タービン建屋の最下階床面及び2～4号機タービン建屋の最下階中間部床面が露出している。さらに、2018年内には1,2号機間の連通部の切り離しを達成した（3,4号機間は2017年に完了済）。一方、建屋内滞留水中の放射性物質の量を2018年度内に2014年度末の1/10に減少する目標については、放射性物質量の処理は計画以上に実施してきたものの、滞留水処理の進捗に伴い、一部で高い放射能濃度が検出され、評価が困難になったが、引き続き、2020年内の建屋内滞留水処理完了に向けて取組を進めていくこととしている。

また、多核種除去設備等で浄化処理した上で貯水されている水の取扱いに関しては、政府の「多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会²」において、風評被害等の社会的側面も含めた総合的な検討が行われているところである。

(2) 使用済燃料プールからの燃料取り出し

1号機については、使用済燃料プールからのプール内燃料取り出しに向け、2018年より開始したオペレーティングフロアのガレキ撤去作業を継続している。

2号機については、2018年11月から2019年2月にかけて、オペレーティングフロアの汚染状況等の調査を実施した。この結果を踏まえ、今後のプール内燃料の取り出しに向けての工程等

¹ 原子炉建屋以外の建屋について床面を露出し、原子炉建屋水位を T.P.-1,740mm (O.P.-300mm) 未満まで引き下げる（原子炉建屋では循環注水冷却を行っており、引き続き滞留水が存在する）。

² 多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会

https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku.html#task_force4

を検討している。また、1・2号機共用の排気筒について、震災時の影響により支持構造物の一部破断等がみられることから、耐震上の裕度を確保するとともにプール内燃料の取り出し作業に影響を与えないようにするため、上部を解体することとしている。

3号機については、燃料取り出し開始に向けての試運転時に発生した燃料取扱装置等の不具合の対応により、当初予定より遅れたものの、2019年4月に取り出しを開始した。

(3) 燃料デブリ取り出し

1号機については、2017年の原子炉格納容器（以下「PCV」という。）内の調査で確認された堆積物は水中にあることから、新たに開発した潜水機能付ボート型アクセス調査装置を用いたPCV内部調査を2019年度に実施することとしている。また、今回の調査では、PCV底部の堆積物を少量サンプリングする計画としている。

2号機については、2019年2月、遠隔機器により、PCV内の堆積物の接触調査を実施した結果、PCVペDESTAL底部及びプラットフォームにおいて堆積物（小石状等）が動くことを確認した。また、ペDESTAL内の構造物や堆積物の分布等の把握、少量のサンプリングが今後に予定されている。

3号機については、PCV底部の水位が約6mと高いことから、水位低下の検討を行っており、まずは水質の確認から始める計画としている。

(4) 廃棄物対策

1号機及び2号機から発生する高線量のガレキ等について保管する固体廃棄物貯蔵庫第9棟の運用を2018年2月から開始した。また、汚染水の浄化処理に伴い発生する水処理二次廃棄物について、現在、一時的保管の状態にあるが、これらを保管する大型廃棄物保管庫が今後運用開始する予定である。なお、固体廃棄物の発生量予測の見直し結果を踏まえ、2019年6月に保管管理計画を改訂している。

3) 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

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の通りである。さらに、これらの各リスク源が有するリスクレベルを、潜在的影響度と管理重要度を軸として表現すると図3の通りである。

中長期ロードマップでは、これらリスク源への対処に関して、①高濃度汚染水やプール内燃料など、相対的にリスクが高く優先順位が高いリスク源、②燃料デブリなど、直ちにリスクとして発現するとは考えにくい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リスク源、③固体廃棄物など、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リスク源、という大きく3つの基本分類を用いており、優先順位を付けて最適な対策を実施している。これらそれぞれに対するリスク低減戦略については、3章において述べる。

なお、プール内燃料に関しては、使用済燃料プールの冷却停止試験が実施され、冷却停止後の水温上昇がこれまでの想定よりも緩やかであることが確認された。この知見を取り入れた結果、プール内燃料のリスクが顕在化するまでの時間的余裕が増すことから、プール内燃料のリスクはこれまでの評価よりも低くなっている。

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）及び原子炉格納容器（PCV）内の燃料デブリ
使用済燃料	プール内燃料	1～3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	1～4号機建屋、プロセス主建屋、高温焼却炉建屋内に滞留する汚染水
	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、処理済水
	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、ストロンチウム処理水、処理済水の残水
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、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
	HIC 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
	廃スラッジ	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、仮設保管設備、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 又は 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・機器等及び事故以前の運転時の放射化物

戦略プランではこれまで、放射性物質を多く含むリスク源に着目してきた。一方、今後の廃炉作業全体を長期的に見据えた場合には事故前から存在する廃棄物や放射性物質の多寡に係わらず対応が図られるべきものが存在する。そのため、長期的な戦略検討を必要とするものを特定すべく、対象範囲を拡げて調査を開始したところである。

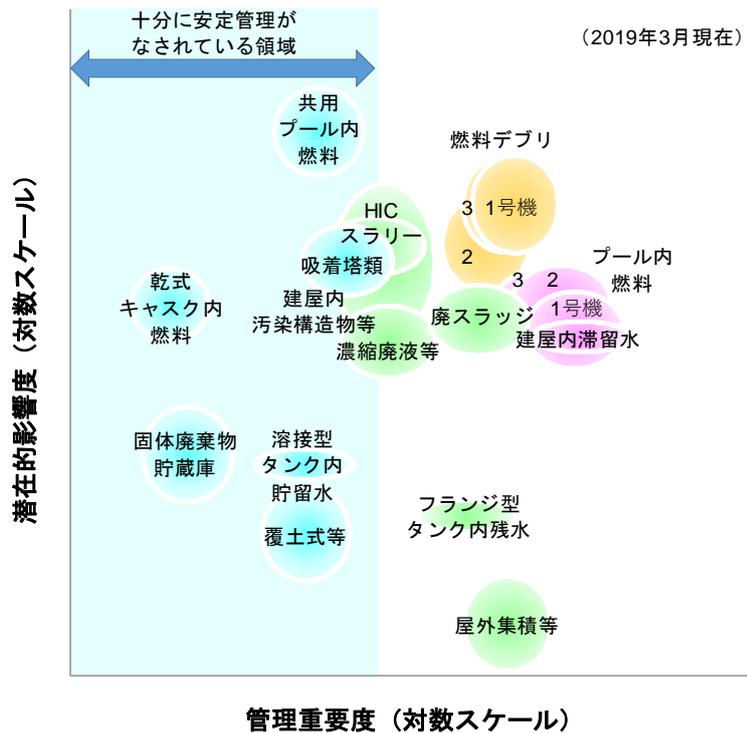


図3 福島第一原子力発電所の主要なリスク源が有するリスクレベルの例

iii. リスク低減戦略の考え方と今後の方向性

(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する方法と、管理重要度を低減する方法がある。潜在的影響度を低減させる例は、放射性崩壊に伴うインベントリや崩壊熱の低下、液体や気体を移動しにくい形態に変化させること等である。汚染水を処理して二次廃棄物にすることは形態変化の例である。

管理重要度を低減させる例としては、プール内燃料の共用プールへの移動、屋外に保管しているガレキ等を貯蔵庫に収納することなどがある。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、図3の「十分に安定管理がなされている領域」(水色の領域)に持ち込むことをリスク低減戦略の当面の目標とするものである。

なお、SEDは放射性物質に起因するリスクの現状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。一方、リスク対策を進める際には、オペレーションの実施に伴う放射性物質によるリスクの発現を抑えるため、エンジニアリングによる対策を講じていくことが必要である。

(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、大きな不確かさを内在したプロジェクトである。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、PCV内への調査機器の投入、建屋内の線量測定などにより、1~3号機PCV内部の様子はある程度推定できているものの、不確かさを解消するためには多くの資源、特に膨大な時間を要することになる。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、安全性の確保を最優先に、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、柔軟かつ迅速に総合的な判断を行うことが必要となる。また、この際、ある号機において先行的に得られた内部情報や技術的成立性などの情報を後続する作業や他号機における作業

に反映し、経験を積みながら柔軟に取り組むことも重要となる。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

この基本的考え方は、取組の優先順位や全体最適を検討するに当たっても必要な視点である。

(3) 優先順位の考え方

プロジェクト全体の進捗を管理する上では、この 5 つの基本的考え方に沿って、各分野におけるそれぞれの取組の位置づけや相互関係を意識することが重要である。特に、廃炉作業の進捗に伴い現場の状況が徐々に明らかになってきており、この基本的考え方を実際の現場にあてはめた場合、現時点においては、作業における被ばく抑制や機器・装置の安全性・信頼性の確保など、「安全」や「確実」に力点を置きながら全体バランスを考慮した廃炉作業が求められる。継続的かつ速やかなリスク低減を目指す福島第一原子力発電所の廃炉においては、長期的な視点でサイト全体を見渡し、時間軸も意識した総合的な視点で、取り得る複数の選択肢（オプション）の中から最適な選択を目指していくことが重要である。こうした観点も含め、東京電力及び NDF はプロジェクト管理の仕組みを導入し、その強化について取り組みを進めている。

(4) 安全確保の考え方と連携の推進

燃料デブリ取り出しなど廃炉を進める対応は福島第一原子力発電所の安定化につながるものであるが、対応実施に伴うリスクも存在する。このリスクを抑制する必要があるものの、対応実施に伴うリスクに対し過大な防護措置を講ずると、その実施が困難となる可能性がある。また、福島第一原子力発電所での適切な安全対策の決定は、状況の大きな不確かさ、現場の高線量に起因する対策実施の困難性等、これまでに類をみない状況を考慮して行う必要がある。

このような状況に鑑み、廃炉作業における適切な安全対策を決定するための考え方（安全確保の考え方）について、NDF を中心に東京電力、設備設計メーカー等が連携し検討が進められている。具体的には、

- 福島第一原子力発電所廃炉作業に適用可能な判断基準、安全評価手法の確立に向けた検討
- 燃料デブリ取り出し作業に対して代表事故シナリオを選定しての安全評価、その結果を踏まえた適切な安全対策決定の考え方の検討

等がなされている。

引き続き、NDF を中心に東京電力、資源エネルギー庁等の関係者が連携して検討を進め、原子力規制委員会と積極的対話を行い、福島第一原子力発電所廃炉作業における合理的な安全対策決定のための考え方について合意を形成していく必要がある。

(5) 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

前述の通り、廃炉作業は、中長期的な観点からは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。廃炉作業による一時的リスクレベルの高まりや被ばく増加の可能性に対しては、それらを防止・抑制する措置を確保することが必須であり、特に作業員の放射線安全は ALARA の考え方（被ばくを合理的に達成できる限り低くすること）に沿って確保する

など、周到な準備を施した上で作業を行うことで作業中のリスクレベルの増加を許容される範囲以内に抑えなければならない。

なお、廃炉作業の実施が過度に遅れる場合には、現存するリスクが長期間存在し続け建屋や設備の劣化によってリスクが徐々に増加していく可能性もあることから、廃炉作業を速やかに実施するという基本姿勢は堅持されねばならない。このため、廃炉作業のための作業工法の選定、装置や安全系の設計製作、作業計画の立案等においては、廃炉作業中のリスク増加の抑制を要件として、準備や作業にかかる時間、コスト、作業員被ばくの制限等の種々の制約条件をも考慮に入れた上で、なるべく早い実施を実現するための慎重で総合的な判断を行うこととなる。

また、こうしたリスク低減戦略としての福島第一原子力発電所の廃炉は、関係者のみならず地域住民を含む国民の皆様からの幅広い理解と支持を得ながら進める必要がある。このため、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、住民の皆様にとってわかりやすいリスク監視の仕組みを整えることが重要である。NDFではこのような仕組みを検討しているところであり、東京電力においても将来的にこのような仕組みの導入を検討していくことが重要である。

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. 分野別目標

- (1) 安全対策をはじめ周到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) 2019年度の初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定、2021年内の初号機の燃料デブリ取り出しの開始に向け、燃料デブリ取り出し方針に従い、必要な取組を進める。

<「燃料デブリ取り出し方針」のポイント>

① ステップ・バイ・ステップのアプローチ

- ・早期のリスク低減を図るため、先行して着手すべき燃料デブリの工法を設定した上で、取り出しを進めながら徐々に得られる情報に基づいて、柔軟に方向性を調整
- ・取り出し作業と内部調査は相互に連携させながら一体的に実施
- ・取り出しは、小規模なものから始め、段階的に取り出し規模を拡大

② 廃炉作業全体の最適化

- ・他の工事等との調整を含め、全体最適化を目指した総合的な計画として検討

③ 複数の工法の組み合わせ

- ・号機毎に、燃料デブリが存在すると考えられる部位に応じた最適な取り出し工法の組合せ

④ 気中工法に重点を置いた取組

- ・より実現性の高い気中工法に軸足を置いた取組

⑤ 原子炉格納容器底部に横からアクセスする燃料デブリ取り出しの先行

- ・取り出しに伴うリスク増加を最小限に留めながら、迅速に燃料デブリのリスクを低減する観点から、燃料デブリへのアクセス性や使用済燃料の取り出し作業と並行し得ること等を考慮

ii. 分野別戦略

(1) 燃料デブリ取り出しにおけるリスク低減の考え方

燃料デブリは直ちにリスクとして発現するとは考えにくいですが、拙速に対処した場合にはかえってリスクを増加させ得るリスク源である。他方、現在は一定の安定状態にあるが、長期的には経年による形態や物性の変化の可能性が考えられる。このことから、できるだけ早期に、分野別目標の(1)に掲げた通り、安全対策をはじめ周到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べきである。これを実現するため、燃料デブリ取り出しにおける安全確保や燃料デブリ取り出し工法に係る技術要件、燃料デブリの安定保管に係る技術要件といった考慮すべき事項を整理して検討を行っていくことが重要である。

燃料デブリ取り出しは、燃料デブリ取り出し方針の考え方に従い、遠隔操作装置なども活用した気中工法により、格納容器底部に横からアクセスすることから開始する。気中工法による燃料デブリ取り出しは世界でも例がなく、また、1～3号機の格納容器内部の状況についての情報が限られるため、作業に伴うリスクの増加を適切に抑制すべく十分な準備をした上で慎重に作業を進める必要がある。このため、まずは、格納容器の状態等の現場の状態は大きく変えずに、既存の安全システムの活用を基本とした取り出しから始めるのが適切である。具体的には、格納容器壁

を加工するなどの大きな状態変更を行わずに、既設のペネトレーションを利用して実施できる範囲での小規模な取り出しから始めることとする。これにより、格納容器に対して非可逆的な状態変化を与えることなく、燃料デブリを取り出した上で、収納・移送した後に安定的に保管するまでの一連の作業を継続し、燃料デブリのリスクを低減できるとともに、その後の作業の展開に向けて必要なシステムの有効性や内部状況の確認などを迅速に行う事ができる。

初号機におけるこの小規模な取り出しによって、

- ①燃料デブリ取り出しから収納・移送・保管までの装置・設備と安全システムの有効性確認・作業効率性に関する情報（気中・水中への放射性核種の移行率を含む）を得ることで、小規模な取り出しの段階で遠隔作業を含め、装置・設備と安全システムを検証できる、
- ②遠隔作業を含む燃料デブリ取り出しから収納・移送・保管までの作業経験を得ていくことで、東京電力が燃料デブリ取り出し作業を習熟するプロセスとして活用できる、
- ③格納容器内の状況把握に資する情報（燃料デブリ分布（性状を含む）、アクセスルートに関する情報、構造物の状況に関する情報等）を得ることができる、

という効果が期待される。

その後は、この初号機の小規模な取り出し作業によって得られる情報・経験などの新たな知見を踏まえて、格納容器の開口部の拡張改造や新規開口部の設置、遠隔操作装置の規模の拡大、新たな安全確保のための装置の追加等の必要な措置を行った上で、燃料デブリの取り出し量を増やしていく、または、初号機以外の号機での取り出しを開始することとなる。このような規模を拡大した取り出しや初号機以外の号機での取り出しのためには、安全システムの概念検討等を踏まえた現場適用性の検討、安全システムの必要十分性を確認する評価（安全評価）に必要な放射性飛散微粒子の飛散率等の情報整備、線量低減・水位低下・敷地確保などの現場環境整備、PCV・RPV内の更なる状況把握、燃料デブリ取り出し作業（干渉物除去を含む）を効率化する技術、燃料デブリ取り出し作業時の放射性飛散微粒子の拡散を低減する技術、燃料デブリと廃棄物との仕分けの検討、燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発などが必要である。このため、初号機の燃料デブリ取り出しを継続的に実施するとともに、新たな安全システム等の現場適用性の検討等のエンジニアリングと、現場環境整備・内部調査・研究開発を引き続き実施していく。

(2) 初号機の燃料デブリ取り出し方法（初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定に向けた戦略的提案の概要）

2017年9月に改訂された中長期ロードマップでは「先行して着手すべき初号機の燃料デブリ取り出し方法については、予備エンジニアリング及び研究開発の成果を慎重に見極めつつ、収納・移送・保管方法を含め、2019年度内までに確定し、2021年内に初号機における燃料デブリ取り出しを開始する」こととされている。

これを受けて、これまで初号機とその燃料デブリ取り出し方法の検討を行い、その検討結果を「初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定に向けた戦略的提案」としてまとめている。初号機とその取り出し方法の検討プロセスとしては、これまでの研究開発成果やPCV内部調査結果等を基に、東京電力による予備エンジニアリングにおける燃料デブリ取り出しシステムの概念検討とその号機ごとの現場適用性の評価に基づいたシナリオ（作業工程案）を踏まえ、各号機のシナリオとサイト全体の計画を組み合わせた全体最適化を検討して、初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定に向けた提言をまとめている。検討の流れについては図4のとおりである。

上記検討の結果、燃料デブリを取り出した上で、収納・移送した後に安定的に保管するまでの一連の作業を継続して行う「燃料デブリ取り出し方法」としては、取り出しに伴うリスク増加を最小限に留めながら、「迅速」に小規模な取り出しを開始し、取り出し規模を拡大した取り出しや初号機以外での取り出しに向けた情報・経験などを「迅速」に得ることで、1～3号機の燃料デブ

り全体のリスクを低減する。具体的には、現場の状態は大きく変えずに、既存の安全システムの活用を基本として、現場適用の目処が立ちつつあるアーム型アクセス装置とそれを格納する気密性を有したエンクロージャ等を用い、把持、吸引といった方法から始めることで、「安全」、「確実」、「迅速」に実施できる可能性がある」と評価している。なお、把持、吸引だけでなく、小規模な取り出しで燃料デブリの切削等を行う場合は、既存の安全システムの大幅な変更を行わない範囲で行う。

また、取り出した後の収納・移送・保管方法としては、福島第一原子力発電所内に保管設備を整備し、取り出した燃料デブリを容器に収納の上、保管設備に移送し、容器を現場適用の目処が立ちつつある収納缶に入れ、乾式にて一時保管を行うことで、「安全」、「確実」、「迅速」に実施できると評価している。燃料デブリの取り出し、収納・移送・保管のイメージを図5に示す。

「初号機」としては、現場の状況（線量、既存の安全システムによる気密度）や格納容器内の情報の充足状況、プール内燃料取り出し作業と並行して行い得ること等を含めたサイト全体計画の状況を踏まえ、燃料デブリ取り出しを「安全」、「確実」、「迅速」に開始でき、燃料デブリ取り出し作業の情報・経験を得られるため廃炉作業全体の最適化の観点からも2号機が適切であると評価している。初号機を2号機とすることで、「迅速」に1～3号機の燃料デブリ全体のリスクを低減できる。

このように、2号機で、アーム型アクセス装置等により燃料デブリを取り出し、収納・移送・保管までの一連の作業を安全かつ確実に継続し、その後の展開に向けて必要な情報・経験を迅速に得ていく。

これらの検討と評価の結果から得られた初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定に向けた提言のポイントは次のとおりである。

- ① 燃料デブリ取り出しは、現場の状態は大きく変えずに、既存の安全システムの活用を基本として、現場適用の目処が立ちつつあるアーム型アクセス装置とそれを格納する気密性を有したエンクロージャ等を用い、把持、吸引といった方法で小規模な取り出しから始める。
- ② 取り出し作業を通じて得られた情報・経験を基に、燃料デブリの加工や干渉物撤去等の作業についても計画する。なお、小規模な取り出しで燃料デブリの切削等を行う場合は、既存の安全システムの大幅な変更を行わない範囲で行う。
- ③ 取り出した燃料デブリは、容器に収納の上、福島第一原子力発電所内の保管設備に移送し、容器を更に収納缶に入れ、乾式にて一時保管を行う。
- ④ 「初号機」は、廃炉作業全体の最適化等の観点から2号機が適切である。2号機で、燃料デブリを取り出し、収納・移送・保管までの一連の作業を継続し、その後の展開に向けて必要な情報・経験を得ていく。ただし、取り出し開始までに適宜ホールドポイントを設け、妥当性を確認しながら進める。
- ⑤ 取り出し規模の拡大や初号機以外の号機での取り出しについては、線量低減、水位低下、敷地確保などの現場環境整備・内部調査・研究開発を引き続き実施し、初号機の燃料デブリ取り出しを通じて得られる情報・経験を基に、新たな安全システム・取り出し・保管設備等の検討及び安全性・現場適用性の評価等のエンジニアリングを進め、収納・移送・保管方法を含め、その方法を確定する。

また、「初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定に向けた戦略的提案」では、初号機の燃料デブリ取り出し開始に向けた取組や、取り出し規模の拡大や初号機以外の号機での取り出しに向けた取組もまとめており、これらについては、iii(1)において後述する。

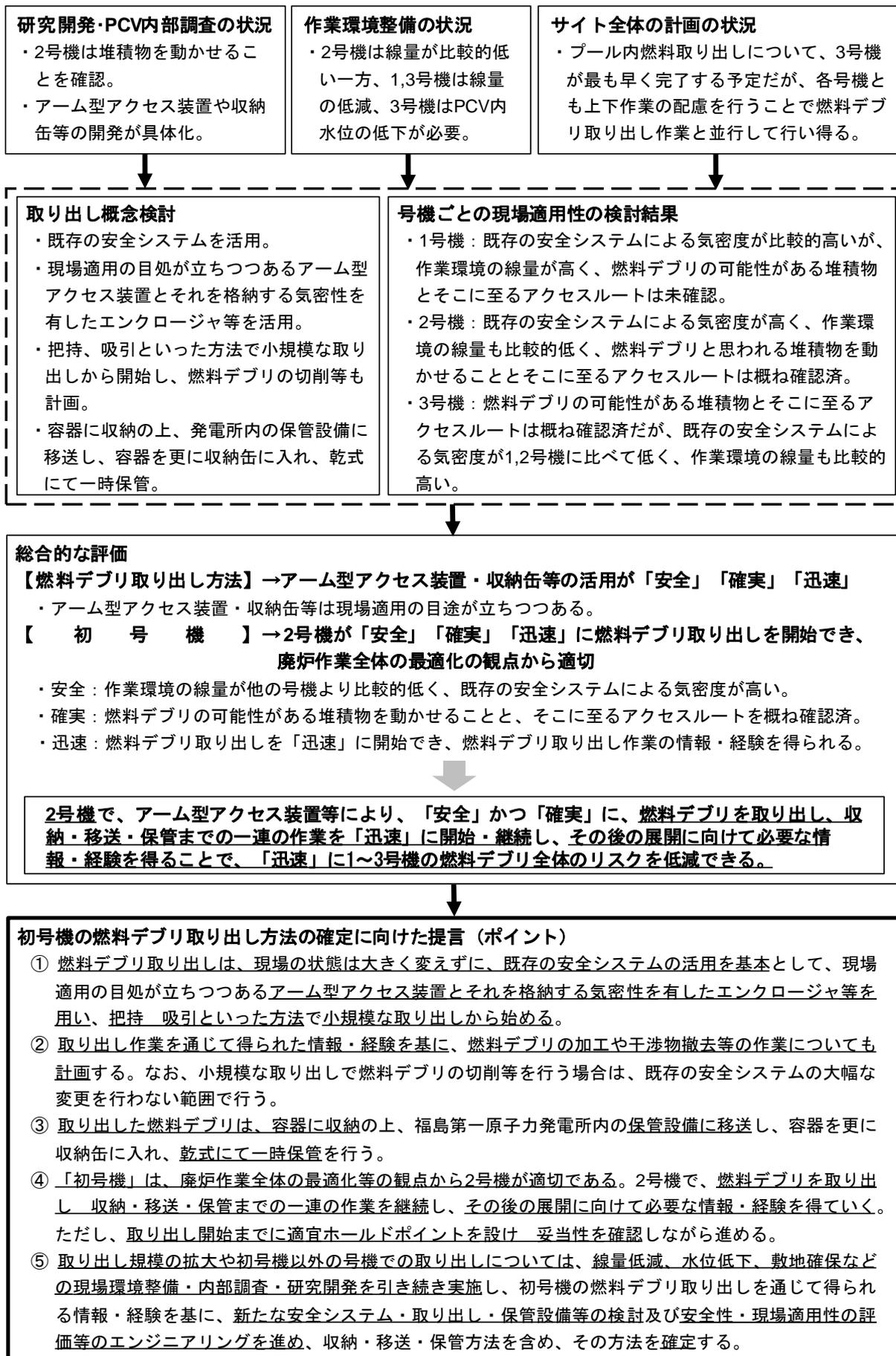
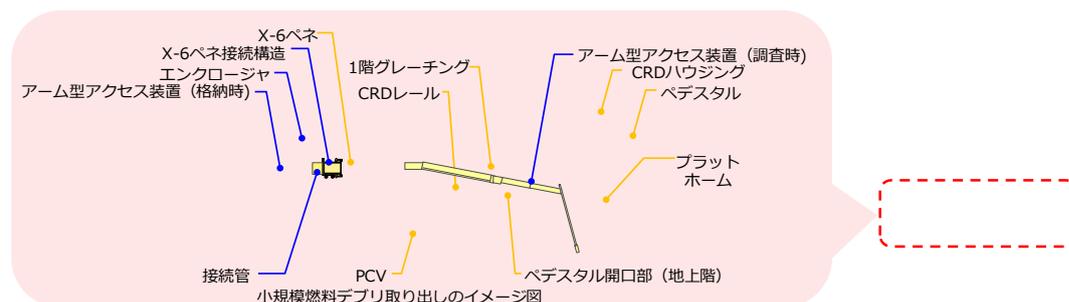
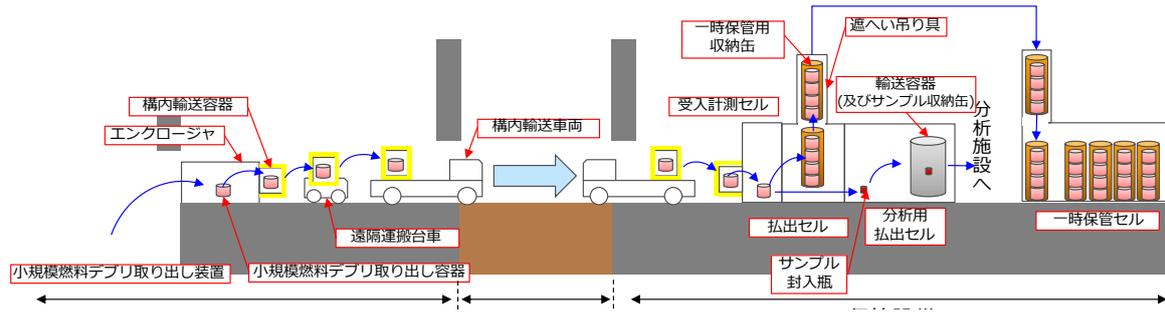


図4 「初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定に向けた戦略的提案」の検討の流れ

<燃料デブリの取り出しのイメージ>



<燃料デブリの収納・移送・保管のイメージ>



(東京電力資料を NDF にて加工)

図5 燃料デブリの取り出し、収納・移送・保管のイメージ

(3) 内部調査の継続実施と研究開発等の加速化・重点化

燃料デブリ取り出しは、徐々に得られる情報に基づいて、柔軟に方向性を調整するステップ・バイ・ステップのアプローチで進めるところであり、格納容器内の状況把握のための内部調査を着実に進めていくことが重要である。

格納容器内の状況把握については、これまで実施された PCV 内部調査により種々の情報が得られてきているが、RPV 内部調査は未実施など、格納容器内の状況把握は未だ限定的であるため、PCV 内部における堆積物や燃料デブリ分布等のより詳細な情報を得るための PCV 内部調査や、RPV 内の情報を取得するための RPV 内部調査を実施するための研究開発を進めているところである。

内部調査については、ステップ・バイ・ステップのアプローチで段階的に進行していく燃料デブリ取り出しに向けた作業全体の中で、格納容器内の燃料デブリの分布状況（性状を含む）やアクセスルートに関する情報、構造物の状況に関する情報等、どのような情報が必要であるかを十分に検討した上で実施するべきである。

なお、福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策を安全かつ確実に進めることが最優先課題であり、結果として、可能な限り速やかな廃炉を実現していくことが必要なことに鑑み、その分析・調査は廃炉を安全かつ着実に進め得る取組の範囲の中で実施することとする。また、この分析・調査は事故原因の究明や今後の原子力に関する安全性向上の観点からの必要性を十分に考慮すべきであり、これらにより得られる情報が、何に貢献するのか等を明確にした上で、その意義とそれに伴う負担を熟慮し、廃炉プロジェクトとして合理的に許容できる範囲で行うべきである。以上のように、福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策に関する分析・調査は、その計画的実施が重要であり、「福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策に関する分析・調査の計画的実施に向

けた基本的考え方」に沿って、分析・調査の計画をエンジニアリングの中で策定していく必要がある³。

研究開発については、気中工法に軸足を置き、PCV 底部への横アクセスを先行させるという燃料デブリ取り出し方針の決定を踏まえ、 α 核種の存在を前提とした閉じ込め機能の構築、PCV 内水位管理技術をはじめ、研究開発の加速化・重点化を図っているところである。規模を拡大した取り出しに向け、PCV・RPV 内の更なる状況把握、燃料デブリ取り出し作業（干渉物撤去を含む）を効率化する技術、燃料デブリ取り出し作業時の放射性飛散微粒子の拡散を低減する技術、燃料デブリと廃棄物との仕分けの検討、燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発などを進めるとともに、上アクセスによる燃料デブリ取り出しでの対応も想定した技術開発等を進めていくことが重要である。また、今後は、エンジニアリング上の検討を通じて必要な研究開発課題を抽出し、その課題を適時的確に実施していくという、プロジェクトベースでの研究開発のマネジメントを強化していく必要がある。

iii. 分野別戦略を推進する上での技術課題と今後の計画

(1) 初号機の燃料デブリ取り出し等に係る技術課題と計画

a. 初号機の燃料デブリ取り出し開始に向けた取組

初号機の燃料デブリ取り出しは、ii (2)に示した初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定に向けた提言に沿った形で検討を進めるべきである。

東京電力が主体的に進めるエンジニアリングの中で、初号機の燃料デブリ取り出しを安全かつ確実に進めるために、小規模な取り出し装置に関するモックアップ時に十分に安全性や現場適用性を確認することや、内部詳細調査時にアクセス性を検証すること等の要素を踏まえて、ホールドポイントを適切に設定し、妥当性を確認しながら作業を進めていく必要がある。

なお、初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定に向けては、内部調査等を通じて明らかになった以下の課題への検討結果を踏まえた作業工程の精査や、プール内燃料取り出しの方法の検討状況を踏まえた作業干渉の精査を行うことに留意する必要がある。

- ・ 内部調査の結果、燃料デブリへのアクセスルート上に干渉物が存在し、干渉物撤去の際のダスト飛散対策の強化が必要であることが明らかとなっている。このため、干渉物撤去の際の放射性物質の飛散防止の強化も踏まえた干渉物撤去方法を検討の上、燃料デブリ取り出し開始に向けた作業工程の具体化・精査を進めるべきである。
- ・ 内部調査、研究開発と予備エンジニアリングを通じて、エンクロージャの据え付け作業等において、有人による多くの現場作業が必要なことが明らかとなっている。このため、作業現場となる原子炉建屋1階の現場線量（約5mSv/h）の更なる低減策を検討の上、燃料デブリ取り出し開始に向けた作業工程の具体化・精査を進めるべきである。
- ・ 2号機のオペレーティングフロア調査の結果、線量が低減している傾向が確認され、オペレーティングフロア内でも限定的な作業であれば実施できる見通しであり、プール内燃料取り出しについて、ダスト飛散リスクを更に低減する工法含め、複数のプランが検討されている。このため、プール内燃料取り出し方法の検討状況を踏まえ、プール内燃料取り出しと燃料デ

³ 東京電力、福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策に関する分析・調査の計画的実施に向けた基本的考え方、廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議（第67回）資料4-1、2019年6月27日。
<http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2019/06/4-1-1.pdf>

ブリ取り出し作業について、準備工事含めて同時に実施する場合における作業干渉の調整に向けた精査を進めるべきである。

また、初号機の燃料デブリ取り出し開始に向け、2018年7月に、東京電力は今後の内部調査の計画を公表している。2号機では、以下のような①堆積物の接触調査、②堆積物の分布状況調査(少量サンプリング含む)を実施し、③取得量を増やしたサンプリングを検討するとしており、それぞれの状況と目的は以下のとおりである。

- ① 堆積物の接触調査は2019年2月に実施している。この目的は、堆積物に接触し、その状態の変化を確認することであり、燃料デブリと思われる堆積物を把持により動かせること等が確認されている。
- ② 堆積物の分布状況調査(少量サンプリング含む)は今後実施予定であり、初号機の燃料デブリ取り出し開始前に実施することが適切である。この目的は、ア)アーム型アクセス装置の格納容器内へのアクセス性の確認、イ)分析による燃料デブリの性状把握である。
- ③ 取得量を増やしたサンプリングの実施について現在検討中である。この目的は、a)取り出し作業の成立性の確認、b)取得量を増やした分析による燃料デブリの性状把握である。

初号機の燃料デブリ取り出しは、③のa)を確認後に実施する予定であったが、これは①、②で確認できる見通しを得ている。具体的には、小規模な取り出しは、把持、吸引から開始することに加え、同じ装置で取得量を増やしたサンプリングを実施し、燃料デブリ切削等に必要データを得られる見通しが得られたことから、③と一体的に実施することが可能であり、かつ、これにより作業員被ばく・廃棄物削減が可能である。したがって、初号機の燃料デブリ取り出しと③は一体的に実施する計画に見直すことが適切である。

b. 取り出し規模の拡大や初号機以外の号機での取り出しに向けた取組

現場の状態は大きく変えずに、既存の安全システムの活用を基本として小規模な取り出しを行い、そこから得られた情報・経験などの新たな知見を踏まえて、取り出し規模の拡大や初号機以外の号機での取り出しをしていくこととなる。そのためには、安全システムの概念検討等を踏まえた現場適用性の検討、安全システムの必要十分性を確認する評価(安全評価)に必要な放射性飛散微粒子の飛散率等の情報整備、線量低減・水位低下・敷地確保などの現場環境整備、PCV・RPV内の更なる状況把握、燃料デブリ取り出し作業(干渉物撤去を含む)を効率化する技術、燃料デブリ取り出し作業時の放射性飛散微粒子の拡散を低減する技術、燃料デブリと廃棄物との仕分けの検討、燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発などが必要である。

このため、取り出し規模の拡大や初号機以外の号機での取り出しについては、現場環境整備・内部調査・研究開発を引き続き実施し、初号機の燃料デブリ取り出しを通じて得られる情報・経験を基に、新たな安全システム・取り出し・保管設備等の検討及び現場適用性の評価等のエンジニアリングを進め、収納・移送・保管方法を含め、その方法を確定する必要がある。

また、燃料デブリ取り出しは他の作業と並行して実施されることから、廃炉作業全体の状況に合わせ作業計画を見直していくことが必要である。特に、今後本格化する燃料デブリ取り出しを安全かつ円滑に実施するためには、安定的に利用できるエリアの確保による余裕を持った敷地の利活用が大きな課題となる。

なお、初号機の燃料デブリ取り出しが途上であっても、他の号機での取り出し準備が整えば、他の号機での取り出しを開始するなど、廃炉作業全体の最適化の観点から、燃料デブリ取り出しの進め方は柔軟に検討すべきである。

(2) 内部調査の継続実施等による格納容器内状況の総合的な把握

事故時に取得したプラントパラメータ等の実測値、事故進展解析、PCV 内部調査等による情報、試験等で得られた知見に基づいた、1～3号機の燃料デブリの分布、燃料デブリへのアクセスルート及び周囲の構造物の状況に関する総合的な分析・評価結果を図6に示す。

相対的に内部調査が進んでいる2号機については、ペDESTAL内の構造物や堆積物の分布等の把握、少量のサンプリングが今後予定されている。こうした内部調査・サンプリングにおいては、機器が以前よりも大きくなっていることや干渉物への対応など、これまでの調査とは異なってくることから、調査機器の試験・遠隔操作訓練等を事前に十分に行うなど、一定の時間をかけて慎重に調査のための準備作業を行っていく必要がある。また、内部調査・サンプリングにおいては、必ずしもPCV底部の情報のみが必須ということではなく、格納容器内のプラットフォーム上における堆積物の性状（硬さや固着状況、含有元素等）や構造物配置状況等、今後の燃料デブリ取り出し作業のために必要な情報を得ていくことが重要である。

1号機については、ペDESTAL外部の構造物や堆積物の分布の把握、堆積物の少量のサンプリングが2019年度に予定されている。これに加え、ペDESTAL内部の状況を確認するための調査を検討していく必要がある。

3号機については、廃炉・汚染水対策事業によって開発、実証された内部調査技術の適用性や、前回調査で使用した水中遊泳式遠隔調査装置を活用した更なる調査の必要性をPCV水位低下の検討と並行して検討していく必要がある。

1号機、3号機については、これらの内部調査も行い、燃料デブリ取り出し方法に関する検討を行っていく必要がある。

今後は、詳細な内部調査の実施にあたって、大型の機器を使用することに伴い、これまでの調査でも利用してきたPCV内部への既設のペネトレーションを最大限活用することも踏まえ、被ばく対策やダスト管理、閉じ込め機能の維持はもとより、万一の異常時における速やかな復旧対策など、引き続き安全確保への十分な配慮が求められる。

また、福島第一原子力発電所の燃料デブリ・堆積物は、原子炉の構造や事故収束対応の違いから、世界に類を見ない特殊性があり、データも限定的で不確実性が高いため、その性状把握のために分析・推定技術の開発が必要である。特に、分析技術の確立に向け、燃料デブリの実サンプル等を活用した燃料デブリ等の分析方法の実証が必要である。放射性物質分析・研究施設を整備するにあたっては、燃料デブリの格納容器内の部位による性状の違いの把握を進められるよう、実証の結果等を踏まえることが重要である。

炉心部	・炉心部にはほぼ燃料デブリなし	・炉心部にはほぼ燃料デブリなし (外周部に切り株状燃料の残存の可能性あり)	・炉心部にはほぼ燃料デブリなし
RPV底部	・RPV底部に少量の燃料デブリが存在 ・CRDハウジング内部及び外表面などに少量の燃料デブリが存在	・RPV底部に多くの燃料デブリが存在 ・CRDハウジング内部及び外表面などに少量の燃料デブリが存在	・RPV底部に一部の燃料デブリが存在 ・CRDハウジング内部及び外表面などに少量の燃料デブリが存在
PCV底部 (ペDESTル内側)	・ペDESTル内側床面に大部分の燃料デブリが存在	・ペDESTル内側床面に一定量の燃料デブリが存在	・ペDESTル内側床面に2号機と比較して多くの燃料デブリが存在
PCV底部 (ペDESTル外側)	・作業用出入口を通してペDESTル外側に燃料デブリが拡がった可能性あり	・作業用出入口を通してペDESTル外側に燃料デブリが拡がった可能性は小さい	・作業用出入口を通してペDESTル外側に燃料デブリが拡がった可能性があり
作業現場の線量 ^{※1}	・R/B 1 階 X-6 ペネトレーション周りの線量が高い (630mSv/h)。	・R/B 1 階の線量は全体的に約5mSv/hまで低減している。	・R/B 1 階の線量は数～数十mSv/h以上であり、線量が高い。
燃料デブリへのアクセスルートに関する情報 ^{※2}	・グレーチング上側から、ペDESTル外側のドライウェル底部へのアクセス可能 ・X-6ペネからペDESTル内につながるCRDレール周辺の状態は確認できず	・CRDレール上やペDESTル開口部付近には大きな障害物なし ・ペDESTル開口部からペDESTル内側底部へのアクセスが可能であることを確認	・ペDESTル開口部からペDESTル内側底部へのアクセスが可能であることを確認
周囲の構造物の状況に関する情報	・グレーチング上側のペDESTル外側壁面に大きな損傷なし	・ペDESTル内底部に燃料集合体の一部が落下していたが、調査した範囲では、CRDハウジングサポートには大きな損傷はなし ・ペDESTル内側壁面及びペDESTル内の既設構造物 (CRD交換機等) には大きな損傷なし	・ペDESTル内において複数の構造物の損傷や落下物 (一部は炉内構造物と推定可能)、CRDハウジングサポートの一部脱落、変形を確認 ・ペDESTル内側壁面に大きな損傷なし

※1 東京電力提供資料

※2 横アクセスによる燃料デブリ取り出しのための有力なアクセスルートと考えられる、X-6ペネからペDESTル内側へ至るルートに、落下物等による支障がないかを判断するための情報として、これまでの内部調査で確認された内容を記載。

PCV内の燃料デブリ取り出しのアクセスルートについては、機器ハッチ等からのアクセスルートを廃炉・汚染水対策事業で検討中。

1号機のX-6ペネの周りが高線量率であるため、作業環境整備が困難な場合は、規模の拡大時と同じアクセスルートとする可能性がある。なお、次の1号機の内部調査はX-2ペネからアクセスする計画で開発を進めている。

(RID、エネルギー総合工学研究所「廃炉・汚染水対策事業補助金(総合的な炉内状況把握の高度化)」平成29年度成果報告、(2018年6月)等に基づき作成)

図6 1～3号機の燃料デブリ分布の推定、アクセスルート及び周囲の構造物の状況

(3) 技術要件の技術課題と今後の計画

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と今後の計画

取り出し工法の概念設計において、安全確保のための防護措置を検討していくこととなるが、内部状況の不確かさを低減する取組を進めつつ、作業規模に応じた防護措置を合理的に見極めてい

くことが重要である。戦略プランにおいては、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 閉じ込め機能の構築（気相部）

燃料デブリ取り出しでは、把持、吸引といった小規模な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だが、その後の燃料デブリ切削等の作業に伴い、 α 核種を含む放射性飛散微粒子（ α 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。したがって、PCV 内からの α ダストの拡散を極力抑制し、作業員及び公衆への線量影響を許容値内に収めるための気相部の閉じ込め機能の構築が必要である。

このため、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、規模拡大を図っていくことが合理的である。例えば、想定される内部調査等や小規模な取り出しにおいては、取り出し量を少量にすることや、慎重に切削を行うことにより、 α ダスト飛散量の抑制を図る。このとき、原子炉建屋内外のダストのモニタリングや、既設設備を使い PCV 内を均圧化ないし負圧化する等の検討が必要となる。そして、作業による α ダスト飛散等の状態の変化を監視し周囲への影響を評価した内容を踏まえ、徐々に燃料デブリ取り出しの規模を拡大していくことが考えられる。

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、PCV 内を均圧化ないし負圧化することによる閉じ込め機能の構築に加え、二次的な閉じ込め機能の必要性について検討していく必要がある。

② 閉じ込め機能の構築（液相部）

発生する α 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、燃料デブリを水没させる、または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、吸引といった小規模な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だが、その後の燃料デブリの加工や干渉物除去等の作業に当たっては、大量の α 粒子が冷却水（液相部）に混入することとなる。この α 粒子を含む冷却水が環境へ影響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、 α 粒子を含む冷却水の拡散防止の観点での利点を有する、PCV から取水し原子炉へ注水冷却する PCV 循環冷却系を検討していく必要がある。

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、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。例えば、想定される内部調査等や小規模な取り出しにおいて、現状の水循環システムにて作業を行う場合、閉じ込め機能（気相部）と同様に、取り出し量を少量にすることや慎重に切削を行うことにより、冷却水中の放射能濃度の増加抑制を図る。このとき、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行うとともに、既設の水処理設備での入口放射性物質濃度の低減を目的として、設備の追設、設置等を検討していく必要がある。 α 核種を含めた廃液の状況変化を監視・評価した内容を踏まえ、徐々に燃料デブリ取り出しの規模を拡大していくことが考えられる。なお、PCV 内から原子炉建屋への大量の冷却水流出等の異常事象においても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が求められる。このため、適切な PCV 内水位の設定とこれをコントロールする PCV 内水位管理システムを確立することが必要となる。

③ 冷却機能の維持

燃料デブリは崩壊熱を発生しているため、熱エネルギーにより液相部から気相部へ移行する核種を抑える等の観点から、冷却機能を常に維持し続ける必要がある。現状では、冷却水によって、この温度を 100 °C未満で維持することを目標とした冷温停止状態が維持されている。今後、燃料デブリ取り出し作業において燃料デブリ周辺にアクセスする際には、燃料デブリ取り出し装置等が長期間にわたり健全に機能を維持できる温度以下とする必要がある。

規模拡大の各段階において冷却機能を維持するためには、液相部閉じ込めのための PCV 内の水位制御の考え方や循環水冷却・浄化システムなど、他システムの検討内容との整合を図りつつ、規模拡大の段階ごとに得られたデータから、次段階において循環冷却システムを検討、構築していく必要がある。

④ 臨界管理

現状、希ガス (Xe-135) の濃度監視により臨界の兆候は見られておらず、予想される燃料デブリの存在状態から工学的にみて臨界が起こる可能性は低いと考えられる。また、仮に臨界が発生した場合においても燃料デブリが広範囲に分散していると推定されること等から、その規模は小さいと考えられる。未臨界状態の維持をより確実にするためには、燃料デブリを取り出し、収納缶に収納する等、管理をした状態で保管することが重要である。燃料デブリを取り出す過程においても、燃料デブリの臨界防止のため、燃料デブリの形状や水量等が変化した場合に臨界になり得る条件を把握して、臨界の発生防止と検知・停止を組み合わせた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で取り出しを行い、燃料デブリの組成・性状や作業に伴う燃料デブリ周辺の中性子信号の変動量を確認して、燃料デブリの臨界性を評価していくことと、運転員による監視と判断を組み合わせる等の確実な臨界防止の対策が必要である。また、取り出し規模を拡大していく段階では、作業前の未臨界度測定や中性子吸収材の投入準備などの措置を講じていくことも含め、取り出し量の増加に伴う対策を実施していくことが考えられる。

⑤ PCV・建屋の構造健全性（耐震性）の確保

原子炉建屋、PCV、RPV 等は事故時に水素爆発を経験し、また高温環境に晒された影響や海水が注入されたことによる腐食等の影響もある。これらの影響と大地震の発生可能性や構造材の経年変化も考慮した上で、燃料デブリ取り出し期間中、PCV、RPV 等の重要な機器・設備の支持機能を維持すること、PCV 及び原子炉建屋等の閉じ込め機能の劣化を抑制することが必要となる。また、地震等によって、万が一、機器の破損等が生じることを想定し、その損傷形態に応じた人や環境への影響を評価して必要な緩和策を検討することが必要である。

これまでの検討において、原子炉建屋、PCV 及び RPV、RPV を支えるペDESTAL 等の構造上の主要部分は、事故による損傷、40 年間分の腐食による経年劣化及び燃料デブリ取り出しに必要な設備等の負荷を考慮しても基準地震動に対して比較的大きな耐震裕度を確保できる結果が得られている。これらの評価について、今後の PCV 内部調査や燃料デブリ取り出し方法の検討の進捗に応じ、より詳細に実施していく必要がある。

⑥ 作業時の被ばく低減等

燃料デブリ取り出し関連作業の主な作業区域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 α 核種を含む核燃料物質等を取り扱うことになるため、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。

具体的には、作業環境や作業形態に基づいた放射線防護を適切に実施し、作業員の過度な被ばくを防止することが肝要である。外部被ばく防護に関しては、作業エリアの対象線源と線量当量率から被ばく線量を評価し、「時間、距離、遮へい」の三原則に則り、合理的に達成可能な被ばく低減対策を施す必要がある。また、内部被ばく防護に関しては、放射性ダストの飛散抑制、汚染拡大防止等の設備上の措置を講じた上で、作業エリアの対象核種と空气中濃度及び表面密度から適切な防護措置を選定し、吸入摂取や身体汚染の防止に努めるべきである。

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。

b. 燃料デブリ取り出し工法に係る技術課題と今後の計画

① アクセスルートの確保

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、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、既存の構造物の健全性維持に対しても留意が必要である。

気中工法に軸足を置き、PCV底部への横アクセスを先行させるという燃料デブリ取り出し方針の決定に基づき、現在、東京電力においてエンジニアリングが行われているところであるが、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を構築し、必要に応じ原子炉建屋壁側面開口部の設置やPCV側面開口部の拡大を含めた計画を策定することとなる。また、今後の規模拡大にむけて干渉物撤去や上アクセスによる燃料デブリ取り出しでの対応も想定した技術開発を進めていくことが重要である。

② 機器・装置の開発

燃料デブリを安全・確実・効率的に取り出すための機器・装置を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、遠隔・保守性、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などの仕様を満たす必要がある。

これらを踏まえ、燃料デブリの状態に応じた取り出しシステム、燃料デブリの切削システムとこれに合わせた集塵システムの開発が進められている。さらに、取り出し装置の設置のための技術も必要であり、遠隔作業となることを基本として、遮へい、閉じ込め機能（気相部）の構築のための作業セル設置、既設構造物との接続方法の技術開発や上アクセスのアクセスルート確保のための技術開発、上アクセス・横アクセス工法毎の干渉物撤去のための技術開発が必要である。今後、それぞれ開発された機器・装置を組み合わせた上で、実際に現場において安全確実に上記の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おいてその検証を行う必要がある。

③ 系統設備・エリアの構築

燃料デブリ取り出しに当たっては、安全機能を確保するための系統設備等の必要十分性を評価し、必要に応じて追設・新設の上、適正に運用する必要がある。この際、その設置、運転・保守管理及び作業員被ばく低減のための遮へい体等の設置に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）の具体化は今後の重要な課題である。これらを統合した全体システムとしての系統設備等の実装方法を具体化していく必要がある。

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い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と今後の計画

① 燃料デブリの取扱い（収納・移送・保管）

燃料デブリ取り出しまでに、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、以下の検討が進められている。

- ・収納缶の基本仕様、すなわち取扱い性を考慮した全長や作業効率と未臨界維持を考慮した内径などの策定と、収納缶の構造検証のための試験の計画とその実施
- ・収納缶に格納した燃料デブリからの現実的な水素発生予測法の検討とその結果を用いた安全な移送条件の検討
- ・収納缶内の燃料デブリに対して適用可能な乾燥技術の検討と、その技術を用いた乾燥システムの検討

今後、これらの検討結果に基づいて、燃料デブリの収納から保管までの設備・システムを具体化していく必要がある。さらに、1日あたりの燃料デブリ取り出し量や収納缶への充填率を考慮して移送方法の具体化、具体的な保管施設の形式や規模等を検討していく必要がある。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。

小規模な取り出しにおいて収集・蓄積できる水素発生量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いに関する知見や経験を、規模を拡大した取り出し時の燃料デブリを安全・確実・合理的に収納・移送・保管するための設備、施設の設計に反映することが重要である。また、規模を拡大した取り出しに際しては、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、保管場所の具体化を進めていく必要がある。

なお、中長期ロードマップにおいては、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廃棄物の取扱いについて

燃料デブリ取り出し作業においては、燃料デブリのほかに、その準備作業、取り出し作業、後片付け等の各作業段階においてPCV内外から解体・撤去される構造物や取り出しのための装置の交換部品等の様々な放射性廃棄物が発生する。これらについても安全かつ適切に分類・保管していく必要がある。

取り出す物質についての事前情報が限定的な状況においても、規模を拡大した取り出しに向けては、これを燃料デブリとして扱うか廃棄物として扱うかを適切に判断するための仕分け基準を策定しておくことが重要である。このため、今後の内部調査等において得られる知見や情報を踏まえて可能性のある仕分けの方法を検討し、その実現のため必要となる技術の調査と技術課題の解決を進めていく必要がある。

③ 燃料デブリに対する保障措置方策について

福島第一原子力発電所1～3号機においては、これまで計量管理の単位としてきた燃料集合体が溶融してその形状を留めていないと考えられ、また、施設が破損していることから、震災前と同

様の封じ込め及び監視の手法が適用できない、或いは高線量のために査察による立ち入りや検認活動が制限される等、従来の計量管理の適用や保障措置活動の実施が困難な状況に至っている。そのため、現状は代替措置として追加の保障措置活動が適用され、未申告の核物質の移動等のないことが確認されている。

一方、燃料デブリのサンプリングや燃料デブリ取り出しにおいては核物質を移動することになるため、これらに即した新たな計量管理や保障措置活動が必要となる。今後、新たな計量管理や保障措置の適用が、現場作業に過大な負担が掛からない現実的かつ十分な透明性を有したものとなるよう、IAEA と適時、適切な協議や情報共有を行う必要があり、そのための取組が開始されている。

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7のとおりである。

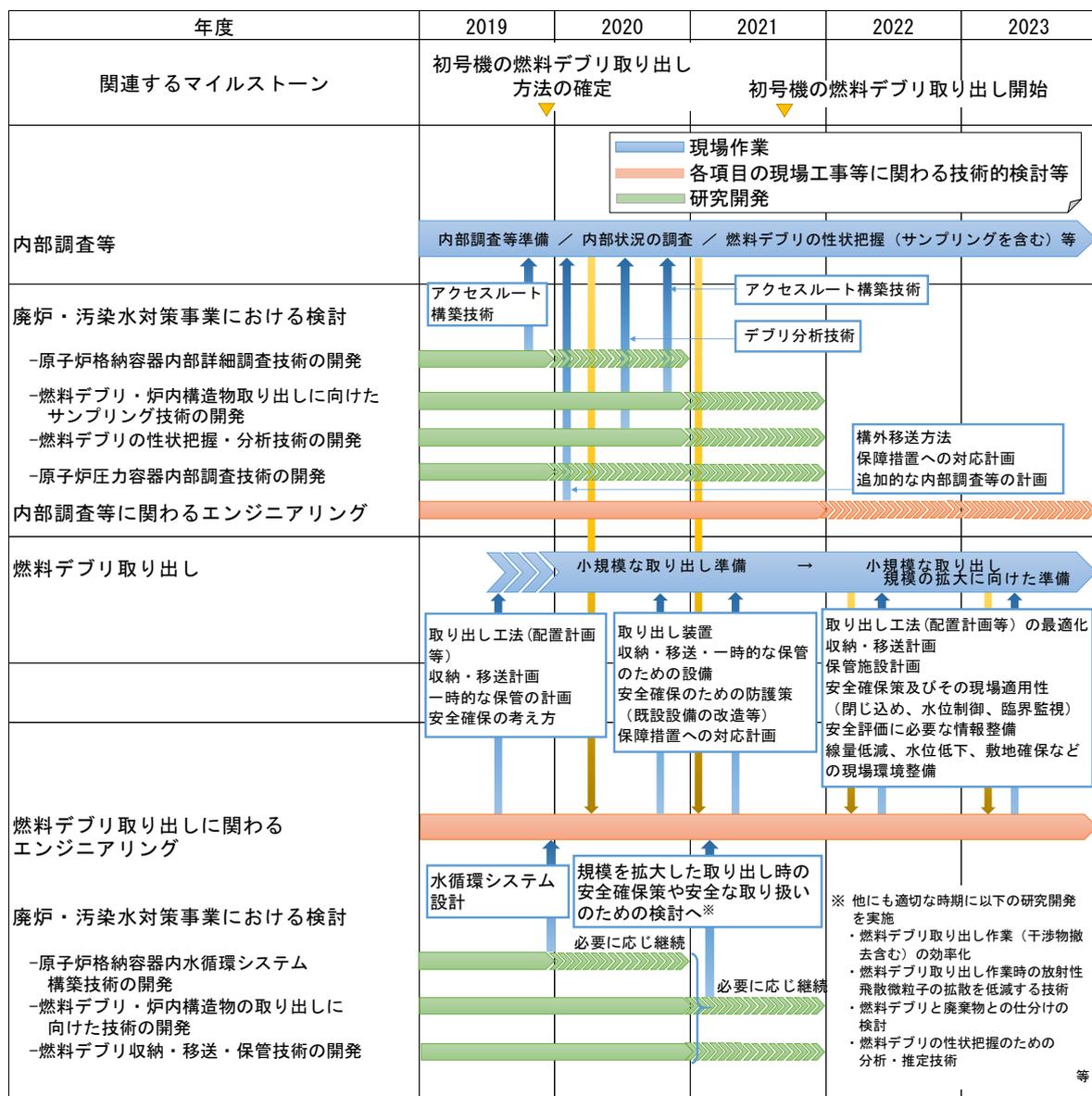


図7 燃料デブリ取り出しに係る主な技術課題と今後の計画（工程表）

2) 廃棄物対策

i. 分野別目標

- (1) 保管・管理の取組として、当面 10 年間程度に発生する固体廃棄物の物量予測を定期的に見直ししながら、固体廃棄物の発生抑制と減容、モニタリングをはじめ、適正な廃棄物保管管理計画の策定・更新とその遂行を進める。
- (2) 処理・処分に向けた取組として、性状把握から処理・処分に至るまで一体となった対策の専門的検討を進め、2021 年度頃までを目処に、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

ii. 分野別戦略

(1) 廃棄物対策におけるリスク低減の考え方と固体廃棄物についての基本的な考え方

敷地内に保管されているガレキ等の固体廃棄物は、将来的にもリスクが大きくなるとは考えにくいですが、廃炉工程において適切に対処すべきリスク源である。これらは、他の主要なリスク源に比べ総じてリスクレベルが低い状態にあり、また、今後も継続的な維持・管理を行うことによって、一定のリスクレベルを維持することができると考えられる。

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が課題である。このため、性状把握のための分析能力の向上に加えて、柔軟で合理的な廃棄物ストリーム（性状把握から処理・処分に至るまで一体となった対策の流れ）を開発していくべきである。具体的には、中長期ロードマップで取りまとめられた固体廃棄物につ

いての基本的考え方に沿って、関係機関が各々の役割に基づき取組を進めていくべきであり、固体廃棄物の性状把握から処理・処分に至るまで一体となった対策の専門的検討は、NDF を中心に次のような方針で進めていく。

(2) 保管・管理

固体廃棄物は飛散・漏えいしないように閉じ込めることが基本である。また、適切に設定された保管場所に保管することにより隔離した上で、モニタリング等の適切な管理を行うべきである。また、廃棄物ヒエラルキーの考え方を浸透させて固体廃棄物発生量抑制に対する意識を高めていくことが重要である。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発生量の予測とそれに伴い必要となる廃棄物関連施設等の設置等の方針を示している。発生量予測は今後の廃炉作業の進捗状況等により変動するものであることから、1 年に 1 回、発生量予測の見直しを行い、適宜保管管理計画を更新していくことが必要である。

水処理二次廃棄物のうち流動性が高いものについては、一定の処理によりリスクを低減して、より安定かつ合理的な保管・管理を行う必要がある。一般に、廃棄物の処分に先立って処理を行う場合は、処分の技術的要件が決まった後でその要求事項に基づき行うことが望ましいが、処分の技術的要件が決まる前に安定化・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も考え、処分を念頭に置いた先行的処理方法の選定手法を検討していく。

(3) 処理・処分方策の検討

中長期ロードマップにおいては、2021 年度頃までを目処に、処理・処分方策とその安全性に関する技術的な見通しを示すこととされている。固体廃棄物は取組の進捗にしたがってその全体像が順次明らかになってくるものであることから、2021 年度頃は依然として必要な性状に関する情報を蓄積しつつある段階にあることを念頭に、技術的な見通しのための具体的目標を整理すると、次のとおりとなる。

- 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
- 性状把握のための分析・評価手法が明確になっていること
- 水処理二次廃棄物等いくつかの重要な廃棄物ストリームに対して処分を念頭に置いた安定化、固定化のための実機導入が期待される処理技術が明確になっていること
- 上記をベースに、処分の技術的要件が決定される前に、安定化・固定化するための処理（先行的処理）の方法を合理的に選定する方法を構築すること
- 固体廃棄物のうち、処分を念頭に置いた処理技術が明確となっていないものについては、2021 年度頃までに開発した一連の手法を用いて処理・処分方策を設定できる見通しがあること
- 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

なお、中長期ロードマップにおいては、これらの対応を踏まえ、燃料デブリ取り出し開始後の第 3 期に、廃炉作業に伴う廃棄体の仕様や製造方法を確定し、その上で発電所内に処理設備を設置し、処分の見通しを得た上で、廃炉作業に伴う廃棄体の製造を開始し、搬出することとされている。

iii. 分野別戦略を推進する上での技術課題と今後の計画

(1) 性状把握の推進及び分析体制・技術力の強化

廃炉過程において発生する多種多様な放射性廃棄物を分析・把握することは、合理的な保管・管理や処理・処分方法の検討を行う上で不可欠である。このような分析作業を行っていくためには、ハードウェアとしての施設の整備、分析人材の育成及び分析技術力の継承・強化などが重要な課題である。このため、当面は、放射性物質分析・研究施設の整備や分析人材の育成を計画的に進めていくことが重要である。これらの取組を通じ、技術、施設、体制を構築し、今後、廃炉に必要な分析作業が継続的かつ適時的確になされることが求められる。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構大熊分析・研究センター第1棟の運用開始が2020年度末に予定されているが、当面は限られた分析データに基づいて評価データを得るモデルの精度向上を図ることが重要である。これまで、性状把握のための分析について検討がなされてきているが、今後は保管・管理や処理・処分の検討の目的に沿った分析精度の明確化や分析対象核種の見直しを行うとともに、分析方法の簡易・迅速化の検討を進め、効率的な分析手法を確立する。

なお、国の廃炉・汚染水対策事業により、ガレキ類、汚染水、水処理二次廃棄物などの試料採取・分析が実施され、各分析対象の核種組成の相関が徐々に明らかになるなど性状把握のための研究開発が進められている。

(2) 保管・管理の更なる安全性向上

水処理二次廃棄物の当面のリスク低減策として、安定化のための脱水処理や一時保管施設から高台の保管施設への移動のための抜き出し・移送を進める。

また、先行的処理方法の選定手法の構築に資する観点からも、水処理二次廃棄物の安定化・固定化及び廃棄体化技術について、実機導入に向けた課題への対応、技術的要件に係るデータの取得・評価を進め、実処理に適用できる見通しのある処理技術の抽出、廃棄体仕様の設定を行う。

燃料デブリ取り出しに伴い発生する高線量固体廃棄物の保管・管理方法については、燃料デブリと廃棄物の仕分けの考え方、廃棄物の種類、物量の評価、廃棄物の取扱いフロー等について検討を進め、保管・管理方法の候補の絞り込みを行う。保管・管理のためには、水素発生対策の検討が必要であり、ベント付き容器の適用など合理的な方法の検討を進める必要がある。

その他の固体廃棄物についてもその性状を踏まえ、保管・管理中の水素発生の検討等を進め、安全確保の観点から更なる対策が必要となる時期、内容について検討を行い、必要に応じて保管管理計画に反映していく。

(3) 処理・処分概念の構築と安全評価手法の開発

先行的処理方法としての候補技術を選定するためには、それぞれの候補技術で作成された廃棄体仕様を対象に安全評価を行うことが必要である。このため、2021年度末までに合理的で実現可能性のある候補技術の選定や、これに対応した安全評価手法の開発を進める。

福島第一原子力発電所の固体廃棄物は、多種多様な性状を有する廃棄物が大量に存在する等の特徴があることから、今後、処理技術を選定していくにあたっては、各技術の研究開発状況を踏まえ、固化性能、無害化性能、水素発生の抑制、処理速度、減容性能等を考慮して検討していく必要がある。このような視点から、現在、具体的な処理技術として国の廃炉・汚染水対策事業では、低温処理技術（セメント固化など）及び高温処理技術（ガラス固化など）の研究開発が行われている。

また、処分概念の構築にあたっては、福島第一原子力発電所の廃棄物は、物量が多く、多様な性状を有し、また、不確実性が大きいとの特徴を有していることから、処分施設の大容量化、多様な廃棄物の受入れ性、不確実なリスクといった課題を踏まえて検討していく必要がある。この

ような観点から海外の先行事例を参考にしながら、我が国としての取組方策について検討していく。

(4) その他

今後、燃料デブリの取り出しに伴い発生する固体廃棄物として、解体・撤去される炉内・炉外構造物や作業で発生する二次廃棄物等が発生してくることが見込まれ、燃料デブリ取り出し方法の検討と合わせて、この保管・管理方法等の検討を進める必要がある。

本節に述べた技術課題は、図 8 に示すように固体廃棄物の管理全体を俯瞰し、各課題への取組の間の連携を密に検討を進めていく。

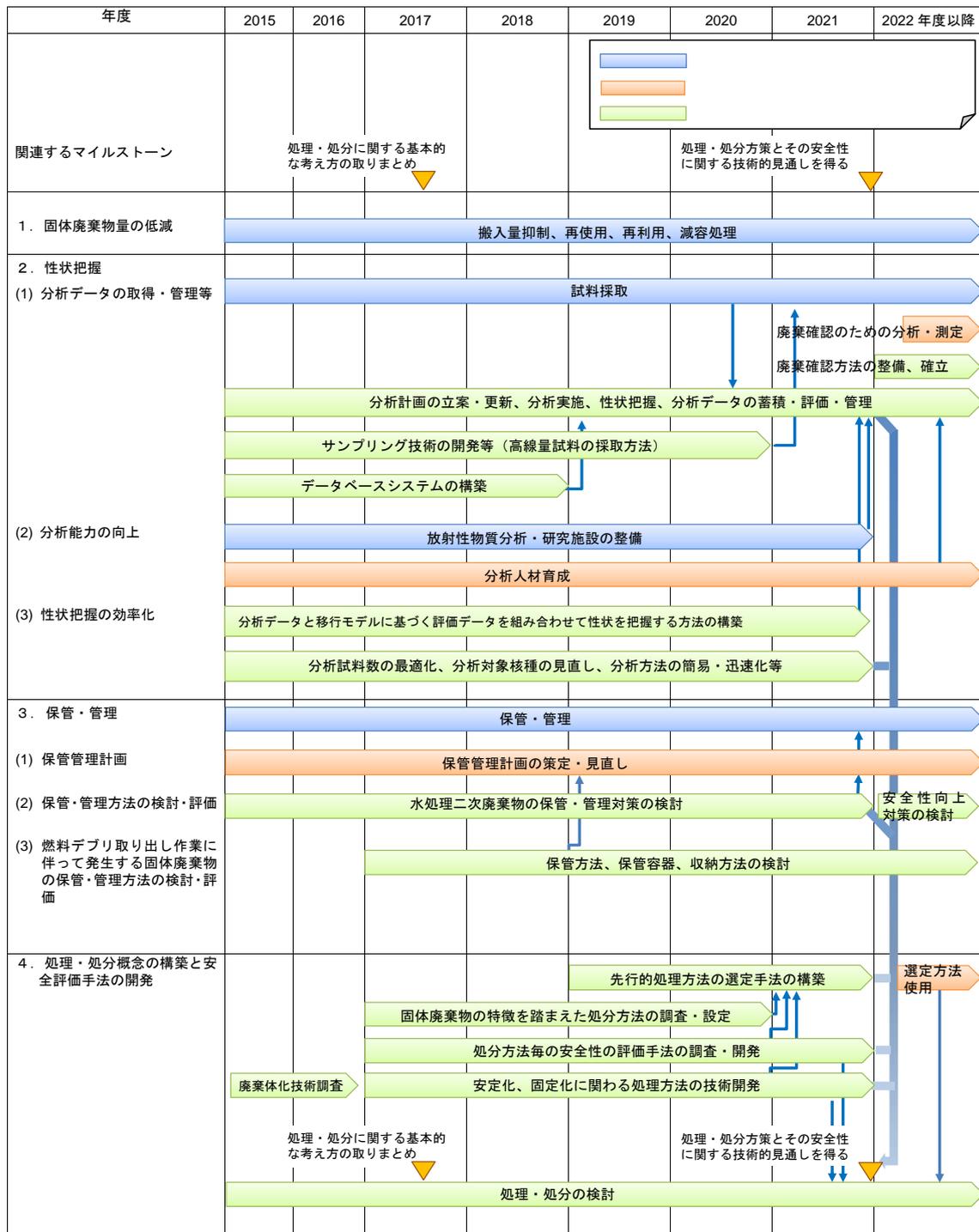


図 8 廃棄物対策に係る主な技術課題と今後の計画（工程表）

3) 汚染水対策

i. 分野別目標

- (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の強化及び適切な運用を継続しつつ、引き続き、重層的な対策に取り組み、2020年内の建屋内滞留水の処理完了を目指す。
- (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、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。

ii. 分野別戦略

(1) 汚染水対策におけるリスク低減の考え方

汚染水については、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」）に基づき対策が進められている。建屋内滞留水は、相当量の放射性物質が溶存した液体であり潜在的影響度が相対的に高いこと等から、可及的速やかな対処が求められている。

汚染水に含まれるインベントリは、セシウム吸着装置等で処理されることにより、吸着塔類などのより管理重要度の低い水処理二次廃棄物に移行することとなる。

(2) 中長期ロードマップに示された汚染水対策の着実な遂行

汚染水問題に関する3つの基本方針に基づいた対策により、事故直後の緊急的対策を要する状況から、中長期的な計画をある程度見通すことができる一定の安定的な状態に移行していると考えられる。中長期ロードマップに示されたマイルストーンは、①汚染水発生量を150m³/日程度に抑制（2020年内）、②浄化設備等により浄化処理した水の貯水を全て溶接型タンクで実施（2018年度）、建屋内滞留水については、③1,2号機間及び3,4号機間の連通部の切り離し（2018年内）、④建屋内滞留水の放射性物質の量を2014年度末の1/10程度まで減少（2018年度）、⑤建屋内滞留水処理完了（2020年内）である。

2019年8月現在では、②及び③は完了している。一方、④については、放射性物質量の処理は計画以上に実施してきたものの、滞留水処理の進捗に伴い、一部で高い放射能濃度が検出され評価が困難になったが、2020年内の建屋内滞留水処理の完了に向けて取組を進めていくこととしている。引き続き、中長期ロードマップで示された具体的な対策を着実に実施し、マイルストーンを達成していくことが期待される。

(3) 燃料デブリ取り出し等との関係を踏まえた汚染水対策の検討

今後、燃料デブリ取り出し作業が開始されるなど、廃炉作業が本格化することから、廃炉工程の各段階においてあるべき汚染水・地下水のコントロールを併せて検討することが必要となる。

中長期ロードマップの目標工程に従って2020年内には原子炉建屋を除く建屋内滞留水の処理が完了していると考え、原子炉建屋内で滞留水を回収して浄化した後に冷却材として再使用する循環冷却系が成立している必要がある。また、原子炉建屋内の滞留水水位低下、サプレッションチェンバ内の水位低下について検討を進めることが重要である。さらに、燃料デブリ取り出し規模の拡大に応じたPCV循環冷却系の検討が進められている。

また、多重のバウンダリを確保する観点からPCV下部補修等による止水の検討が進められてきている。ただし、PCV下部補修での完全な止水は難度が高いことが明らかとなっており、PCV内から原子炉建屋内滞留水へ α 粒子が流入することに備え循環系側の対応が必要である。また、

PCV 内から原子炉建屋内へ冷却水が漏えいした場合に備えて、原子炉建屋内の滞留水と地下水の間の適切な水位差の設定を検討することが必要である。

燃料デブリ取り出し作業が進み、燃料デブリ冷却のための注水が不要となる場合には、原子炉建屋内の滞留水が存在しない状態を目指すことが可能となると考えられる。この場合、動的機器だけでなく機器トラブル等の可能性が低い受動的設備との組み合わせを検討するなど、長期間安定して地下水水位のコントロールを行うことができるようシステムの構築を図ることが重要である。

iii. 分野別戦略を推進する上での技術課題と今後の計画

(1) 中長期ロードマップに示された汚染水対策の着実な遂行

3つの基本方針に基づく予防的・重層的な汚染水対策を着実に推進することにより、汚染水の一層の発生抑制、漏えい防止を図るとともに、建屋内滞留水の処理完了に向けた検討を進める必要がある。

(2) 燃料デブリ取り出し等との関係を踏まえた汚染水対策の検討

燃料デブリ取り出し時の循環冷却系について、水処理設備に α 粒子を含む燃料デブリ由来物質が混入することが考えられるため、水処理設備の入口放射性物質濃度を確認するモニタリングの強化や、放射性物質濃度を低減する設備の設置など、システム全体の検討を進める必要がある。

燃料デブリ取り出し規模の拡大に応じて成立させる PCV 循環冷却系においては、 α 粒子を適切に除去することが必要であることに加え、継続して発生する原子炉建屋への流入水の払い出し先として、浄化処理後の水の一部を既設設備で受け入れるための条件を PCV 循環冷却系の検討と並行して設定しておくことが必要である。

また、汚染水対策の効果を将来にわたって維持するため、設備の定期的な点検、更新を確実に行うとともに、建屋周辺の地下水を安定的に管理するため、地下水位や放射性物質のモニタリング体制（観測点、観測頻度、データ管理等）の一層の拡充が必要である。さらに、津波、豪雨など大規模自然災害リスクや今後の廃炉作業との関連性等も踏まえつつ、必要な汚染水対策について検討する必要がある。

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9のとおりである。

4) 使用済燃料プールからの燃料取り出し

i. 分野別目標

- (1) 作業を進める上でのリスク評価と管理をしっかりと行い、放射性物質の飛散防止をはじめ安全・安心のための対策の徹底を図り、1号機及び2号機は2023年度を目処として、プール内燃料の取り出しを開始する。3号機については2020年度内の取り出し完了を目指して着実に遂行する。
- (2) 乾式キャスク仮保管設備への移送により共用プール容量を確保し、1~4号機の使用済燃料プールから取り出した燃料を、当面、共用プール等において適切に保管する。
- (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、その結果を踏まえ、2020年度頃に将来の処理・保管方法を決定する。

ii. 分野別戦略

(1) プール内燃料取り出しにおけるリスク低減の考え方と具体的計画

水素爆発等による影響を受けた1~3号機の原子炉建屋に貯蔵されているプール内燃料は、2章図3に示すように管理重要度の低い共用プールに速やかに移送する計画であり、これを基本にしつつも、号機ごとの状況を十分に踏まえた上で、適切かつ具体的な作業計画を立案して慎重に対応する必要がある。特に2019年4月、立地市町村で初めて避難指示が解除され住民の帰還と復興への取組が始まった。こうした状況を踏まえれば、ダストの飛散等について、より安全を重視した慎重な取組が必要である。例えば、1号機ではオペレーティングフロア上にガレキが存在しており、ガレキ撤去作業中の使用済燃料プールへのガレキの落下といったオペレーション上のリスクや、ダストの飛散による周辺地域や作業員への影響を考慮したうえで、プール内燃料取り出しの準備作業を慎重に行っていく必要がある。

1~3号機の作業計画については、中長期ロードマップにおいて示されており、東京電力はこれに基づいて取組を進めている。

1号機は、オペレーティングフロア上に屋根板、建屋上部を構成していた鉄骨等の建築材及び燃料取扱機等がガレキとして散乱しており、2018年から開始した撤去作業を継続中であり、取り出し開始時期を2023年度目処としている。

2号機は、燃料取り出し設備を設置するため、2018年度に行ったオペレーティングフロア内の線量調査を踏まえ、オペレーティングフロアにアクセスするための手法を検討中であり、取り出し開始時期を2023年度目処としている。

3号機のプール内燃料取り出しについては、試運転時に発生した燃料取扱設備の不具合の対応により遅れが生じたものの、2019年4月から取り出しを開始し、2020年度内の取り出し完了に向け、安全最優先に取り組むこととしている。

5,6号機のプール内燃料は、通常の原子力発電所と同様に十分に安定管理がなされた状態で貯蔵されている。中長期ロードマップでは、5,6号機の使用済燃料は、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、1~3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されている。

(2) 取り出した燃料の保管計画

プール内燃料の取り出しにあたっては、共用プール及び乾式キャスク仮保管設備における適切な保管容量の確保が必要である。このため、乾式キャスク仮保管設備の増設等を計画的に進めていくことが必要である。

(3) 将来の処理・保管方法の決定

プール内燃料には、健全な使用済燃料、事故前から破損している燃料、使用済燃料プールへのガレキ落下の影響が懸念される燃料などが存在する。また、事故発生時に2,3,4号機の使用済燃料プールに海水注入を行った経緯もある。これらの影響は少ないと見通されているものの、通常の使用済燃料と同等の扱いを阻害する技術的な要件の有無を整理する必要がある。

今後、3号機から取り出された燃料の状況等を踏まえ、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進め、2020年度頃に将来の処理・保管方法を決定する。

iii. 分野別戦略を推進する上での技術課題と今後の計画

(1) プール内燃料の取り出し

<1号機>

1号機は、オペレーティングフロア上に水素爆発により崩落した屋根がガレキとして堆積し、燃料取扱機（FHM）や天井クレーンが変形・破損した状態で使用済燃料プール上に覆いかぶさっている。ガレキの撤去に際しては、ガレキやFHM、天井クレーンの使用済燃料プールへの落下対策を行うことが重要であり、使用済燃料プールの保護や天井クレーン等の支保をはじめ、一定の時間をかけて必要な作業を慎重に実施していく必要がある。また、ガレキ撤去作業の進捗に伴い、ガレキの分布等の現場状況が得られてくるとも考えられることから、現場情報に基づき作業を一步一步着実に進展させることが必要である。

また、周辺環境への影響の観点では、ガレキ撤去時のダスト飛散、ウェルプラグ上のガレキ撤去や、ウェルプラグのずれによるスカイシャインの影響等が懸念されることから、ダスト飛散防止対策や線量モニタリングと連携させた中でガレキ撤去及びウェルプラグの処置を進める必要がある。

<2号機>

2号機は、これまで原子炉建屋のオペレーティングフロア上部を全面解体するとして、プール内燃料取り出し用のコンテナを燃料デブリ取り出し用のコンテナと共用するプラン及びプール内燃料取り出しカバーを個別に設置するプランの検討がされてきた。これに加え、安全・安心に工事を進める観点から、建屋解体時のダスト飛散リスクを更に低減し、オペレーティングフロア上部を可能な限り解体せず、原子炉建屋南側からアクセスする工法も含めたプランの検討も行っている。

プール内燃料取り出しのプラン選定に当たっては、ダスト飛散対策、周辺環境や、作業員被ばくに対する安全確保、雨水対策、並行する他工事との成立性を総合的に検討していくことが必要である。

<3号機>

3号機は、燃料の取り出し装置に不具合が発生し、取り出し開始が当初計画から大きく遅れることになったが、2019年4月からプール内燃料のうち、28体の新燃料の取り出しが行われ、共用プールへの移送が完了している。引き続き、残りのプール内燃料について2020年度内の取り出しの完了に向けた作業を着実に進めていく必要がある。

(2) 取り出した燃料の適切な保管

敷地全体で保有するプール内燃料を計画的に共用プールへ移送するために、5,6号機も含めた燃料移送計画を策定するとともに、それに合わせた乾式キャスク仮保管設備を増設することが必要である。

(3) 将来の処理・保管方法の決定

これまでに海水注入やガレキ落下履歴のあるプール内燃料の長期健全性についての研究開発が実施され、共用プールの環境条件において長期間の保管が可能であることや、乾式キャスク貯蔵を行う際にもガレキによる傷や海水の付着による影響は小さく乾式保管時の燃料健全性への影響は小さいことが確認されている。また、取り出したプール内燃料の処理の可能性に関する研究開発も実施されており、燃料の震災履歴による影響は少ないとの見通しが得られている。

今後、3号機から取り出された燃料を確認し、長期的な保管等における検討の要否を判断していく必要がある。

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10のとおりである。

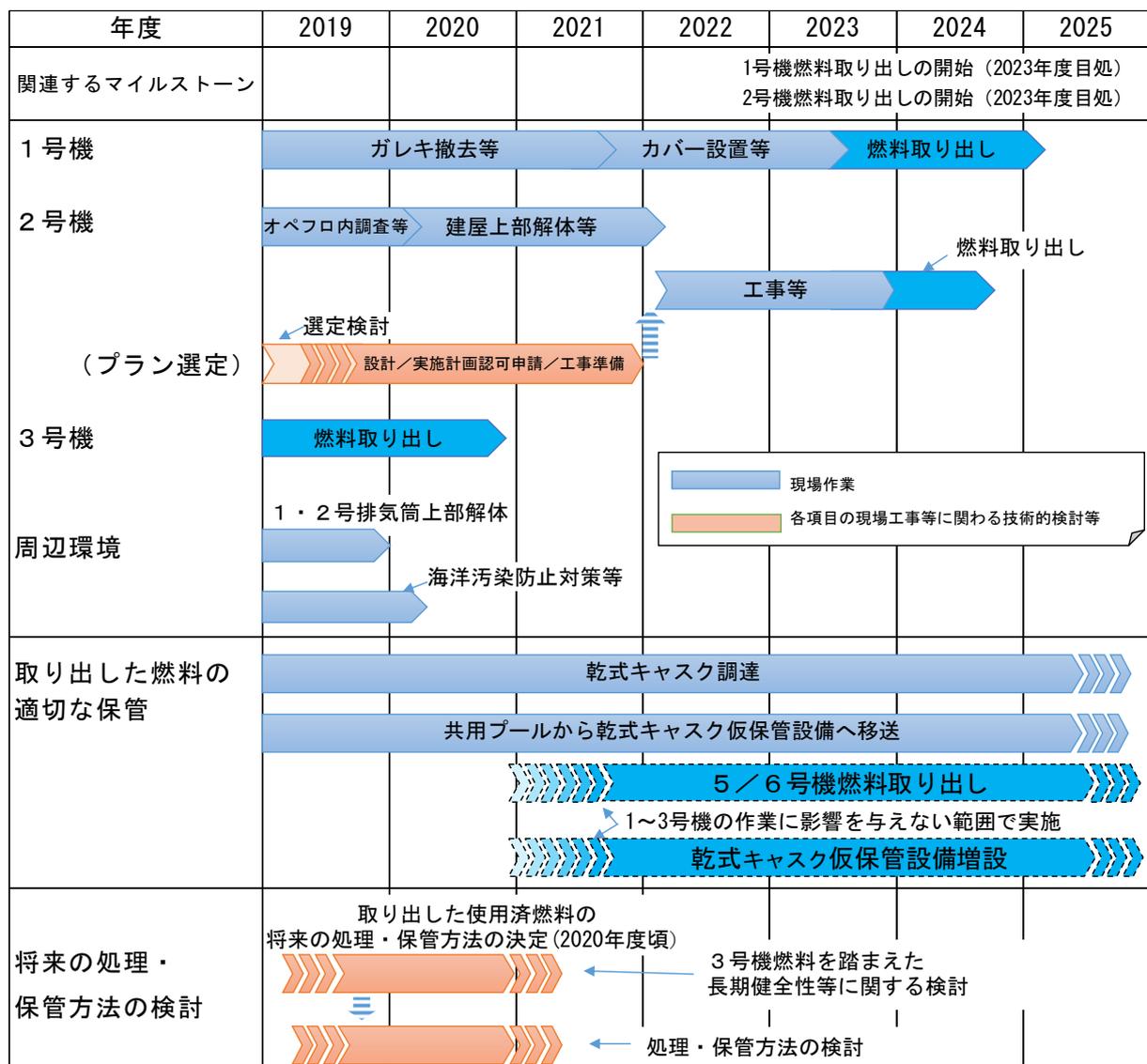


図10 使用済燃料プールからの燃料取り出しに係る主な技術課題と今後の計画 (工程表)

5) その他の具体的な対策

i. 原子炉の冷温停止状態の継続

1～3号機のプラント状況について、放射線量、温度、水素濃度、圧力、放射性物質濃度等のPCV内部のプラントデータから、安定した冷温停止状態が維持されていると判断することができる。今後も安定状態を維持していくため、PCV内のパラメータ監視や、水素爆発のリスク低減のための窒素封入を継続するとともに、保守管理等による信頼性の維持・向上を図るべきである。なお、燃料デブリの崩壊熱は大幅に減少しているとみられることも踏まえ、2号機において2019年4月に燃料デブリ冷却の流量低減試験、5月に冷却の一時停止試験が行われた。これにより、燃料デブリの冷却状況の実態を把握し、緊急時対応手順の適正化等の改善に繋げることを目指している。

ii. 発電所全体の放射線量低減・汚染拡大防止

(1) 海洋汚染の拡大防止

トレンチ内高濃度汚染水の除去等の緊急対策、海側遮水壁の設置の抜本対策、更には海底土の被覆工事等がなされたことにより、港湾内の放射性物質の濃度は告示に定められた濃度限度を下回っている。建屋屋上からの雨水対策及び建屋周辺の路盤整備等、港湾内へ流入する排水路の放射性物質濃度の低減対策を継続し、引き続き低減を図っていくべきである。

なお、長期的な視点での海洋への影響評価や将来的な環境修復を視野に入れ、港湾近くの土壌の汚染について、浅い地層における核種の移行メカニズムの理解や解析モデルの精緻化等の研究開発を進めることが重要である。

(2) 気体・液体廃棄物の管理

気体・液体廃棄物については、モニタリングを継続し、厳重な放出管理を行い、告示に定められた濃度限度を遵守することはもとより、合理的な手法に基づき、できる限り濃度の低減を図るために、適切な対応を進めるべきである。

(3) 敷地内除染による線量低減

東京電力は、2014年3月に「福島第一原子力発電所敷地内の線量低減の実施方針」を立て、敷地内のエリアごとに段階的に目標線量率を設定して線量低減を進めている。取組の結果、1～4号機周辺及び廃棄物保管エリア以外の多くの作業員が作業を行っているエリアにおいて、2015年度末に目標線量当量率 $5\ \mu\text{Sv/h}$ を達成しており、線量低減がより進んだ現在では、一般作業服等で作業が可能なエリアは敷地全体の約96%に拡大している。引き続き、平均 $5\ \mu\text{Sv/h}$ 以下を維持するとともに、目標線量当量率を段階的に下げていき、最終的には事故前の状態に可能な限り近づけていくべきである。

(4) 周辺環境への影響低減

敷地全体からの追加的放出を含む敷地境界での線量評価については、前項までの取組や高濃度汚染水の浄化等により、2015年度末に目標である $1\ \text{mSv/年未満}$ を達成して以降、引き続き $1\ \text{mSv/年未満}$ を維持している。

(5) リスクの総点検

東京電力は、敷地外に影響を与える可能性のあるリスク源について総点検を実施し、2015年4月に公表している。さらに、追加対策が必要なものについては、優先順位を考慮しつつ具体的な対策を検討するとともに環境変化等を反映して適宜見直しを行い、これらの対応状況について廃炉・汚染水対策現地調整会議等の場で説明・公表している。

また、原子力規制委員会は、2015年2月から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を作成している。この中期的リスクの低減目標マップは、残存リスクの提示に軸足を置きつつ、3年程度を目安としたリスク低減作業工程の性格も持ち合わせたものであり、随時更新がなされてきている。東京電力としては、この中期的リスクの低減目標マップに対しても、現状の取組状況、検討課題、今後の予定に整理した対応状況を2018年5月以降随時報告している。

今後も、リスク源についてこのような網羅的な把握を行うとともに、それぞれの対策の実施については廃炉プロジェクト全体の中での位置づけと優先順位を総合的に考慮しつつ、その継続的な低減に取り組んでいくことが重要である。

iii. 原子炉施設の廃止措置計画

中長期ロードマップにおいては、福島第一原子力発電所の廃止措置計画は、東京電力が燃料デブリ取り出し開始後の第3期に策定することとされている。その際、NDFは、国内外の英知の結集等を通じ、その時点における廃炉の進捗状況やその後の見通し、原子炉建屋等の状況、研究開発の動向などを踏まえ、多角的かつ専門技術的な助言・指導を行っていく。

なお、福島第一原子力発電所では、施設全体のリスク低減に必要な措置を迅速かつ効率的に講じることが求められることを踏まえ、廃炉作業に対するより効果的な規制を実施するため、原子力規制委員会は福島第一原子力発電所全体を実施計画を中心として一体的に規制する見直しを検討しており、福島第一原子力発電所については「廃止措置計画」に係る規定が適用対象外となる予定である。

iv. 安全確保に向けた具体的な取組

(1) 作業安全のための取組

高線量環境下において作業者が介在せざるを得ない作業計画に対しては、個人の線量を制限するとともに「正当化、最適化」の観点から投入資源に応じた評価を行い、作業環境の安全を目指すことが重要である。特に、3H作業（初めて、変更、久しぶり）に対しては、モックアップによる作業訓練を十分に実施し、効果的な作業手順及び試験方法を立案・実施・検証することが不可欠である。

また、作業ステップごとに綿密な作業計画を立案するとともに、発生の可能性があるトラブル等について未然防止策を講じること及び不測の事態への対処方法も検討しておくことが必要である。

中長期ロードマップにおいては、労働災害防止対策の確実な実施と、その不断の見直しを行うとともに、労働災害が発生した際の医療体制の運用や、作業による被ばくを可能な限り低減するための対策を実施することとしており、引き続きこうした取組を通じて、万全な作業安全の体制を整えることが重要である。

(2) 設備安全のための取組

多種多様な作業用・安全確保用設備等が導入されている福島第一原子力発電所においては、設備安全に対する格段の配慮も必要である。そのため、設備毎の保全計画に基づき、信頼性を維持・向上する対策を実施している。また、特に、燃料デブリの冷却等に係る重要な安全確保設備については、その重要機能が停止しないよう、設備面のみならず、管理・運用面における防止対策を徹底することが重要である。

なお、3号機のプール内燃料の取り出しにあたって、昨年度、燃料の取り出し装置に不具合が発生した結果、取り出し開始が当初計画から大きく遅れることとなった。この不具合に関しては、

特に海外調達品の品質管理が不十分であったことに直接的な原因があったことから、東京電力においては再発防止対策として品質管理を強化する対応が取られている。

この対応は当然必要なものではあるが、本件は単に品質管理の問題に限るのではなく、むしろ組織的課題、すなわちプロジェクトを推進するうえで必要な広範な技術的対応力の不足、という問題の存在を示唆するものにとらえるべきものであると考える。今後、燃料デブリ取り出しなど更に困難な作業が控えていることを考えると、今後広く廃炉対応組織としての技術的対応力の強化を進めていくために本件を活かしていくべきである。

(3) セキュリティ強化

福島第一原子力発電所では、大量の核燃料物質が保管されていることから、通常原子力発電所と同様に、セキュリティ対策に格段の留意が必要であり、個人の信頼性確認、核セキュリティ教育の充実、敷地内への無断侵入等に対する防護措置を実施している。引き続き、これらの取組を継続するとともに、視察者の受入れにも対応できる運用上の適切な措置を実施する必要がある。

6) 福島第一原子力発電所廃炉プロジェクトの総合的な取組

今後の福島第一原子力発電所の廃炉においては、燃料デブリ取り出しなど、長期かつ難度が高く、不確かさの大きな課題に取り組んでいくこととなる。このため、より先を見据えて、十分な準備を行うリードタイムを確保しながら計画的に課題解決のための取組を進めていく必要がある。

また、福島第一原子力発電所の廃炉事業は複雑かつ重層的な大規模事業であり、様々な取組は、同時並行的に、かつ、相互に関連を持ちながら進められる。特に例えば今後燃料デブリ取り出しなどが開始されると、デブリの冷却に用いられる冷却水の処理、デブリの保管施設の設置、他の各種作業とのスペースの取り合いなど、各分野における作業の関連性が一層強まってくることとなる。このような状況の中で廃炉事業全体を、中長期にわたり安定的に進めていくためには、これらの多くの関連した取組の全体としての整合性と成立性を確保しつつ、限られたリソース（人、モノ、カネ、時間、スペース）の配分を最適化することが重要である。

以上のような観点、すなわち先を見据えた計画的な作業の必要性及び複雑に関連する作業を全体として整合をとって進めていく必要性の観点から、今後廃炉事業を着実かつ効率的に進めていくうえでは、現状から短期～中期～長期へと一貫性のある廃炉全体の長期計画を策定し、この計画に沿って様々な取組を総合的に管理できるようにすることが必要となる。

なお、長期計画を作成するにしても、遠い将来の廃炉の状況や必要な作業については依然大きな不確実性があるため、現時点で将来にわたって精度の高い計画を作成することは事実上困難である。このため、長期計画としては、その具体化がどこまで詳細にできるかという点で制約があるものの、内外に廃炉の道筋を示す観点からも、ある程度作業内容が具体化できる可能な限り長期の範囲を対象とし、その期間における作業計画の最適化を図ることが現実的であると考えられる。

また、福島第一原子力発電所の廃炉は、過去に経験がなく、また厳しい環境と限られた情報のなかで、経験や実績を蓄積しながら行うことが必要とされる事業である。このような事業を、安全かつ安定的に進めるうえでは、現状で得られている情報や想定を基に計画立案を行う一方で、作業の進捗に伴って得られる新たな情報や様々な知見をタイムリーに取り入れ、明らかとなる状況に応じて柔軟に計画を見直していくことが重要である。ひとたび計画を策定した後にその計画に過度に拘泥することは、状況に応じた最適な、あるいは最も安全な手法の選択の余地を狭め、結果的に安全で着実な作業の進捗を阻害しかねないことにも留意すべきである。

このように、長期計画の具体的な活用にあたっては、新たな知見が得られるような適切な時期にあらかじめ判断ポイントを設定し、その時点での作業の進捗や知見を評価した上でその後の進め方を検討し、それに基づいて長期計画を柔軟に改訂しながら運用していくことが一層重要となる。

4 プロジェクトの円滑な推進に関わる重要事項への対応

1) 労働環境、労働条件の改善に向けた取組

福島第一原子力発電所の労働環境は、現在では大幅に改善されてきている。労働環境の改善は、今後長期的に行われることとなる福島第一原子力発電所の廃炉事業が、健全な基盤の上で安全・着実に遂行されるための土台となるものである。例えば東京電力は、既存休憩所の統廃合や代替休憩所の整備等により、労働環境インフラの整備を進めている。また、安全衛生管理、熱中症対策、被ばく管理、敷地内の線量低減化対策の面からも様々な対策を講じているところである。

今後も引き続き、労働環境・労働条件の改善に向け、適切に取り組むことが必要である。

2) 中長期の着実な廃炉に向けた運営体制の強化

東京電力においては、福島第一廃炉カンパニーを発足させて以来、廃炉に係るプロジェクト体制を整えてきたが、実際の運営においてライン業務運営とプロジェクト業務が混在し、責任と権限が明確となっていないという課題がある。このため、2020年度に向けてプロジェクトの責任と権限の明確化や、プロジェクト管理の全体最適及び支援を担うためのプロジェクトマネジメントオフィスを立ち上げ、プロジェクト管理強化に取り組んでおり、NDFもプログラム監督・支援室を立ち上げて、この東京電力の取り組みを監督・支援している。また、長期にわたる廃炉プロジェクトに係る管理の仕組みを固めるとともに、実際にプロジェクトで行われる個々の作業についての技術的な理解を深め、適切な作業管理の下、この仕組みを実効的に機能させていく必要がある。

3) 人材の育成・確保

i. 作業員・技術者等の育成・確保

福島第一原子力発電所の廃炉は、これまで東京電力が有していた原子力発電所の建設・運転に関する技術とは全く異なるスキルも必要となる。このため、必要な技術の全体像、必要とされる廃炉人材の像を把握するため、技術マップ試案を作成しており、今後の人材育成・確保のために活用していくことが期待される。また、NDFでは福島第一原子力発電所に携わる技術者等に対し、廃炉業務を行う上で必要とされる共通的な技術を習得する機会を設けることについて、その準備を行っているところである。

また、福島第一原子力発電所の廃炉のような多くの要素が関連する複合的な大規模プロジェクトに携わる上では、廃炉工程全体を俯瞰した上で、他のプロジェクトとの関係性を含む総合的な観点からプロジェクトを管理する能力を有する専門技術者が求められている。

ii. 将来の福島第一原子力発電所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するとともに研究開発活動を長期間、持続的に実施するためには、将来の研究者・技術者などの育成・確保が不可欠である。このための取組を原子力に関わる産学官全体として着実に進めることが重要である。

具体的には、学生に対して、原子力産業に関する理解を促進する活動や魅力を伝える活動を産業界と教育機関が連携して継続的に実施していくということに加えて、福島第一原子力発電所の廃炉が世界にも例のない極めて高度な技術的挑戦であるという魅力を発信すること、研究者・技術者が活躍するための多様なキャリアパスを構築し具体的に示すことなど、福島第一原子力発電所の廃炉における活躍の道筋を示していくべきである。

また、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り、この観点からも、2015年度に文部科学省の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。）が開始され、特に2018年度からは大学などの若手人材を対象とした共通基盤型原子力研究プログラムを実施しており、今後もさらに大学等における人材確保のための施策を推進・強化していくことが必要である。

さらに、福島第一原子力発電所の廃炉のような長期かつ大規模のプロジェクトでは、学術的見地から理工学的検討を行うことのできる分野別の研究開発のコア人材や、俯瞰的な視野を備え、個々の技術シーズを統合して実用的な機能を有するシステムとして完成させることのできる人材（システムインテグレータ人材）の育成が重要であり、5章で後述する重要研究開発課題の実施を通してその取組を進めているところである。

5 研究開発への取組

1) 研究開発の基本的な方針等

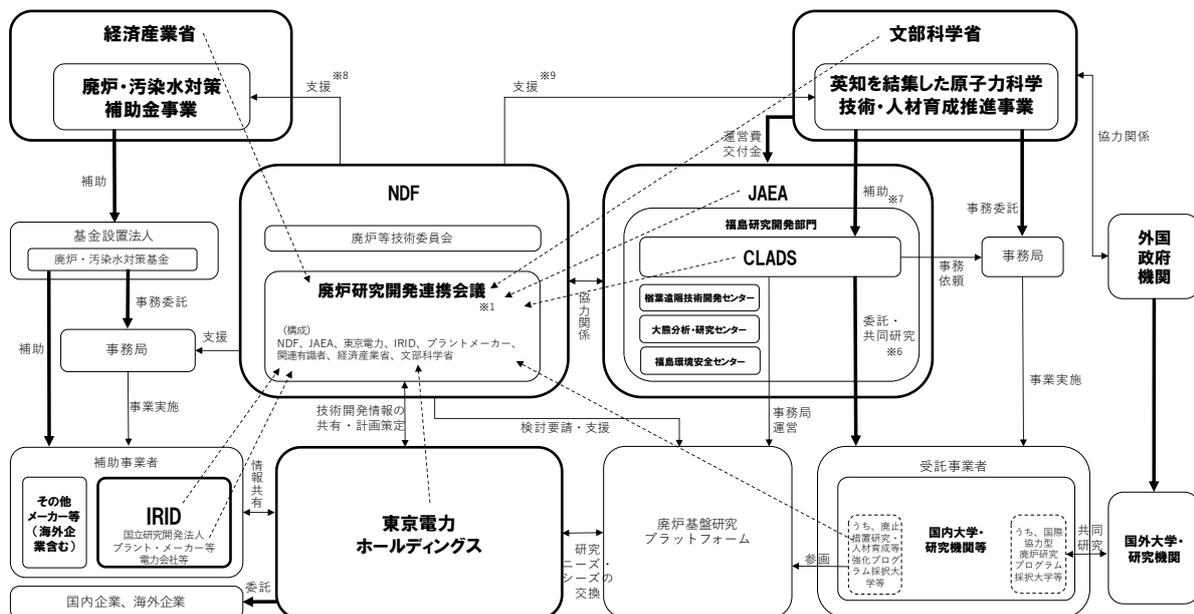
i. 基本的な方針

NDFでは、NDF法に基づき研究開発業務実施方針を策定し、中長期ロードマップに基づく取組の着実な実行を技術的に支えるための幅広い研究開発をマネジメントしてきたところである。

今後は、廃炉の実施に向けた具体的な工程が明らかになることにより、各主体が担うべき役割もより明確化されていくと考えられる。この際、研究開発成果の現場への適用に向けては、事業者及び関係する研究機関が適切に役割分担し、着実に進めることが必要である。エンジニアリングの進捗により、現場適用を目指した研究開発課題が抽出されてくると考えられ、東京電力には、廃炉作業を実現するための現場適用に直結する自らの技術開発の比重を高めていく努力が求められる。

ii. 研究開発の全体像

福島第一原子力発電所の廃炉には様々な課題が存在しており、その解決のための研究開発は、基礎・基盤研究から応用研究、開発・実用化に至るまで、産学官の多様な実施主体により行われている（図）。NDFでは、これらの活動を有機的に結び付け、現場の課題を研究開発によって効率的に解決していくために、廃炉・汚染水対策チーム会合決定に基づき、「廃炉研究開発連携会議」を開催している。



- ※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、一部機関は複数箇所が存在している。
- ※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本図では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等を踏まえ、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・人材育成推進事業のステアリング・コミティに構成員として参加する。

図 11 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（2019年度）

2) 現場作業・エンジニアリングにおいて必要な廃炉研究開発

i. 実効的な研究開発の推進

廃炉を実現するために実施される現場適用を念頭に置いた研究開発としては、東京電力が実施する技術開発要素を含むエンジニアリングと、国の廃炉・汚染水対策事業に採択された補助事業者が実施する研究開発プロジェクトが存在する。特に今後は、エンジニアリング上の検討により必要性が明らかとなった研究開発課題が適切な実施機関により適時的確に実施され、その成果が現場に適時的確に提供されていくという、プロジェクトベースでの研究開発のマネジメントが重要になってくる。このため、東京電力とNDFにより、エンジニアリングスケジュールにも紐づいた形で、どのプロジェクトでいつ課題解決が必要なかを明らかにしつつ、現に行っている研究開発の内容、今後必要となる研究開発課題をプロジェクト管理体制の下で整理していく必要がある。

この際、研究開発課題の実施の検討は、廃炉・汚染水対策事業での実施も含めて、その内容に応じて、国・東京電力の適切な役割分担の基本的な考え方に従って行われるべきである。具体的には、国による支援が必要とされる研究開発としては、難度の高い研究開発が対象になり、エンジニアリング要素が多い研究開発は、東京電力が実施していくことが適切である。

このような考え方を踏まえ、東京電力においては、①廃炉・汚染水対策事業での実施プロジェクトも含め必要な研究開発課題をエンジニアリングスケジュールに位置付けていくこと、②東京電力のプロジェクト管理の中で、廃炉・汚染水対策事業の研究開発のうち東京電力によるエンジニアリングに繋がる段階のものを中心に全体工程の管理に積極的に関与していくこと、③エンジニアリング上の検討から研究開発課題の抽出を行い、着実に研究開発を進めていくことが重要である。

ii. 今後の研究開発のあり方

これまでの廃炉・汚染水対策事業による研究開発により、要素技術開発の実施や調査装置の開発等で原子炉格納容器の内部の状況が徐々に明らかになってくるなど、一定の成果が得られてきたところであるが、上述のように、今後は、本格的な廃炉の実施に向けた具体的な工程が明らかになってくる中で、廃炉作業を実現するための現場適用に直結する研究開発がより求められる。そのためには、現場で実際の作業を行う東京電力が、自らが計画するオペレーションや安全確保策、さらには廃炉作業の全体像を踏まえ、それを実現するための研究開発を自ら企画・管理していくことが不可欠となる。このため、東京電力には、現場適用に直結する研究開発について効果的に実施するため、自らが研究開発の企画・管理を行うなどの仕組みを構築しつつ、その比重を高めていく努力が求められる。この際、上述のように、東京電力では実施が困難な中長期的視点からの取組が求められる技術的難易度が高く、国が支援すべき研究開発や基盤的な研究開発については、国の支援により実施されていくことが適切である。

3) 廃炉プロジェクトを確実にする基礎研究及び研究開発基盤の充実

i. ニーズから導き出された重要研究開発課題とその戦略的推進

基礎研究を担う大学等には、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、知識・基盤を維持・育成していくことが期待されるところ、大学等においても、廃炉現場が有する課題意識を強く共有しておくことが重要である。

また、廃炉を安全着実かつ効率的に推進するに当たっては、原理の理解や理論に基づいた理工学的検討も含む中長期をにらんだ研究開発戦略を立案することが重要である。このためNDFで

は、廃炉研究開発連携会議での議論に基づき、「研究連携タスクフォース」を設置して、戦略的かつ優先的に取り組むべき6つの重要研究開発課題を抽出している。

ii. 中長期を見通した基礎研究拠点・研究開発基盤の構築

廃炉プロジェクトを技術面においてより着実なものとしていくためには、重要研究開発課題の実施をはじめ、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、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。

2017年4月には、JAEA/CLADSの国際共同研究棟が福島県富岡町に開所し、文部科学省の委託事業である英知事業は、NDFの提案を受け、2018年度新規採択課題からJAEA/CLADSを中核とした体制により実施されている。

また、ハードウェアとしての研究開発基盤の構築も重要であり、JAEA 楢葉遠隔技術開発センターの本格運用開始（2016年4月、福島県楢葉町）、福島県、JAEA、国立環境研究所が入居する環境創造センターのグランドオープン（2016年7月、福島県三春町）、JAEA 大熊分析・研究センターの施設管理棟の開所（2018年3月、福島県大熊町）など、福島県内を中心に、中長期を見通した研究開発基盤が構築されつつある。

6 国際連携の強化

1) 国際連携の意義

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。また、過酷事故を起こした原子炉としては、英国のウィンズケール原子炉1号炉、米国のスリーマイルアイランド原子力発電所2号炉、ウクライナのチェルノブイリ原子力発電所4号機があり、これらの施設では長年にわたって安定化作業、安全対策等が講じられてきている。さらに、「レガシーサイト」と呼ばれる、英国、米国、フランス等の保有する過去の核関連施設においては、多種多様な放射性物質の管理に大きな不確かさが存在し、その廃止措置及び環境修復の取組は長期にわたることが見込まれている。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、数十年にわたるプロジェクトの運営、多額の資金の確保といった課題に直面しており、それらを乗り越えるための挑戦を続けている。

リスク低減戦略として、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、各国が培ってきた優れた技術や人材の活用を図るとともに、先行する事故炉の処置やレガシーサイトの廃止措置活動による教訓を学び、現実の廃炉に活かすことが重要である。また、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・発展させていくため、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廃止措置に関する国際的な共同活動等を通じて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である。

国際連携においては、それぞれの国の事情に即した二国間協力を進めると同時に、IAEA、経済協力開発機構／原子力機関（以下「OECD/NEA」という。）といった国際機関を通じた多国間協力の枠組みを活用することも重要である。これら国際機関は、廃止措置に関する国際基準の策定、各国の知見・経験の共有、国際共通認識の形成に貢献する役割を有しており、我が国としてこれら国際機関の活動に積極的に参加していくことは、福島第一原子力発電所の廃炉を国際的に開かれた形で進めるために重要である。同時に、我が国が福島第一原子力発電所の廃炉の経験を基に国際基準の策定等に参画し、国際機関加盟各国にも我が国の経験が共有されることにより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。

2) 国際連携活動の推進

i. 海外の廃止措置関係機関とのパートナーシップの強化

福島第一原子力発電所の廃炉は長期にわたることから、海外の廃止措置関係機関と長期的かつ継続的なパートナーシップの構築を進めていくことが必要である。

特に、前述のレガシーサイトの廃止措置は、福島第一原子力発電所の廃炉に先行する取組のモデルとして、技術面や運営面などにおいて多くの知見が参考になる。レガシーサイトの廃止措置においては、原子炉や核燃料サイクル施設の運転・保守とは異なる専門的知識や考え方、新技術等が必要となることから、各国は公的な廃止措置関係機関を設置してこれらを推進している。このため、NDFは政府間の枠組みの下で各国の廃止措置関係機関、英国NDA、フランス原子力・代替エネルギー庁（CEA）、米国エネルギー省（DOE）等と長期的なパートナーシップを構築・強化していくことが重要である。併せて、東京電力においても、海外の廃止措置事業者と長期的なパートナーシップを構築し、これらを広範な協力の基盤としていくべきである。

ii. 世界の英知の結集と活用

我が国は、福島第一原子力発電所の廃炉に関して、技術面のみならず、運営面においても、制度・政策、戦略策定と事業の計画・運営、安全確保、地域コミュニケーションといった様々な取組について世界の英知を集め、学ばなければならない。他方、国際社会においては福島第一原子力発電所の廃炉を支援していくとの機運があり、IAEAによるDARODプロジェクトやOECD/NEAによる共同プロジェクトなど、我が国はこれまでに海外の政府機関や有識者から様々な支援を受けてきたところである。

なお、国内外を問わず、廃炉は多数の企業と廃止措置事業者との契約の下で実施されており、その世界市場は大きな広がりを見せている。世界の優れた技術や人材を有効に活用するため、その最新状況を把握していくことが重要である。

iii. 国際社会への情報発信

国際社会に開かれた形で廃炉を進めることは、7章に述べる風評被害の発生を防ぐためにも必要であり、国際社会の正確な理解が形成されるよう、分かりやすい情報の発信をより一層強化していくべきである。

このためNDFでは、IAEA総会のサイドイベントの開催や、OECD/NEA運営委員会等の主要な国際会議での登壇等を通じて、福島第一原子力発電所の廃炉に関する情報発信に取り組んでいる。また、福島第一原子力発電所の廃炉の状況を世界に分かりやすく伝え、地域との共生に向けた対話に取り組むため、福島第一廃炉国際フォーラムを開催している。

iv. 国際共同活動への参画

福島第一原子力発電所の事故から8年が経ち、海外ではこの事故から得られた知見を他の課題へ応用しようとする動きが出てきている。

我が国にとってリスク低減戦略としての廃炉は最優先の課題であるが、廃炉を進めるために世界の英知を結集するという観点からは福島第一原子力発電所事故に対する海外の関心を高く保ち続けることは重要である。また、廃炉を通じて得られた知見を海外の協力機関等に適切にフィードバックしていくことが重要である。このため、NDFはこのような海外の新たな関心にも積極的に応えるべく、OECD/NEA等が実施する国際共同活動へ積極的に参画し、福島第一原子力発電所事故についての情報提供等を行っているところであり、関係機関の協力も得つつ、今後も継続していくべきである。

3) 国内関係機関との密接な連携

2)節で述べたように国内関係機関がそれぞれの役割に応じて、海外関係機関とのパートナーシップの構築・強化に向けた取組を進めている。これらの活動で得られる知見や人的な繋がりを共有することは、我が国として国際連携活動の一貫性を確保し、効果的な国際連携の実施という観点からも重要であることから、国内関係機関間の密接な連携を一層推進すべきである。

7 地域との共生

1) 地域との共生の考え方

長き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、「廃炉と福島の復興は車の両輪」という認識の下、地域の復興とともに歩む廃炉を目指していかなければならない。

そのためにはまず、地域からの御理解と御協力が必要であり、廃炉への取組を安全かつ着実に進めることを第一優先として、廃炉に関する正確な情報を適時・的確に発信するとともに、住民の皆様や様々な立場の方々の不安や疑問などの声に真摯に耳を傾け、対話をはじめとした丁寧なコミュニケーションの実施によりその声に応えていくことが重要である。

さらに、地域の資源を有効活用し、廃炉やこれに関連する様々な活動を地域の復興とともに進めることで、廃炉が地域に信頼され、共生することが可能となると考える。

2) コミュニケーションの具体的取組

今後、廃炉作業が進む中では、政府、NDF、東京電力といった関係機関の適切な連携の下、一層丁寧な情報の提供や双方向のコミュニケーションを実践していくことが必要である。

例えば、NDFにおいては「福島第一廃炉国際フォーラム」を継続的に開催し、地域住民や将来廃炉と向き合うこととなる世代の皆様との精力的な意見交換を行っている。今後もこうした双方向の対話活動等を精力的に実施し、地域の皆様の声を真摯に受け止めていくこととしている。また、東京電力においては「東京電力廃炉資料館」を2018年11月にオープンするとともに、福島第一原子力発電所への視察者受入れを進めている。

3) 風評被害への対応

風評被害は、リスクが顕在化しなくとも、不安があるというだけで被害がもたらされる場合もあり得る。風評被害への対応の遅れや、廃炉作業におけるトラブルの発生等は、廃炉の取組に対する社会の評価を低下させ、これらが更に廃炉への取組を遅らせるという悪循環にもつながりかねない。このような悪循環を防止するためには、適切な安全管理に努めながら、現存するリスクを速やかに低減させることを最優先に、適時・的確な廃炉に関する情報発信が重要であり、日頃からの地域とのコミュニケーションの実践による信頼関係の構築が極めて重要である。

4) 地域の復興とともに歩む廃炉

「廃炉と福島の復興は車の両輪」という認識の下、東日本大震災や原子力災害で失われた福島県浜通り地域等の産業を回復するため、「福島イノベーション・コースト構想」と連携し、地元における廃炉に携わる人材の育成や関連産業の集積などにも取り組んでいくことが重要である。

また、地域の復興とともに廃炉を進めていくためには、東京電力が廃炉に伴う物品や役務を地元から調達し、地元の人材を雇用するなど地域との接点を増やしていくべきである一方で、できるだけ早い廃炉を安全に進めることが求められていることを踏まえ、安全かつ着実な廃炉と地元優先との両立を図ることが必要である。

こうした取組を実現するためには、東京電力においては福島第一廃炉推進カンパニーと福島復興本社が諸課題に協働して取り組むことはもとより、政府、NDF、地元自治体等の関係機関が連携していくことが強く期待される。さらに、関係機関が持つ資源やノウハウの活用、技術支援や経営支援などを通して、より多くの地元企業が廃炉作業に参画できる環境を整備していくべきである。