

東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の
廃炉のための技術戦略プラン 2018

概要版

2018年10月2日

原子力損害賠償・廃炉等支援機構

目次

1	はじめに.....	1
1)	廃炉の適正かつ着実な実施に向けた体制・制度の強化.....	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.....	8
1)	燃料デブリ取り出し.....	8
2)	廃棄物対策.....	20
3)	汚染水対策.....	24
4)	使用済燃料プールからの燃料取り出し.....	27
5)	その他の具体的な対策.....	31
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.....	33
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.....	34
1)	労働環境、労働条件の改善に向けた取組.....	34
2)	安全確保の考え方と連携の推進.....	34
3)	中長期の着実な廃炉に向けた運営体制の強化.....	34
4)	人材の育成・確保.....	34
5	研究開発への取組.....	36
1)	研究開発の基本的な方針等.....	36
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.....	37
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.....	37
6	国際連携の強化.....	38
1)	国際連携の意義.....	38
2)	国際連携活動の推進.....	38
3)	国内関係機関との密接な連携.....	39
7	地域との共生及びコミュニケーションの一層の強化.....	40
1)	地域との共生及びコミュニケーションの一層の強化に向けた考え方.....	40
2)	コミュニケーションの具体的な取組.....	40
3)	更なるコミュニケーションの広がりや風評への対応.....	40

1 はじめに

原子力損害賠償・廃炉等支援機構（以下「NDF」という。）ではこれまで、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、「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン」（以下「戦略プラン」という。）を2015年以降毎年取りまとめてきた。

1) 廃炉の適正かつ着実な実施に向けた体制・制度の強化

福島第一原子力発電所の事故から7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。また、中長期を見据えた対応については、燃料デブリ取り出し及び廃棄物対策に向けた調査や研究開発が進捗するとともに、中長期ロードマップが改訂され、燃料デブリ取り出し方針の決定及び固体廃棄物についての基本的な考え方の取りまとめがなされた。

このように廃炉のフェーズが移行しつつある中で、東京電力ホールディングス(株)（以下「東京電力」という。）は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するべく、プロジェクト管理体制の強化に取り組んでいる。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、NDF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て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）。

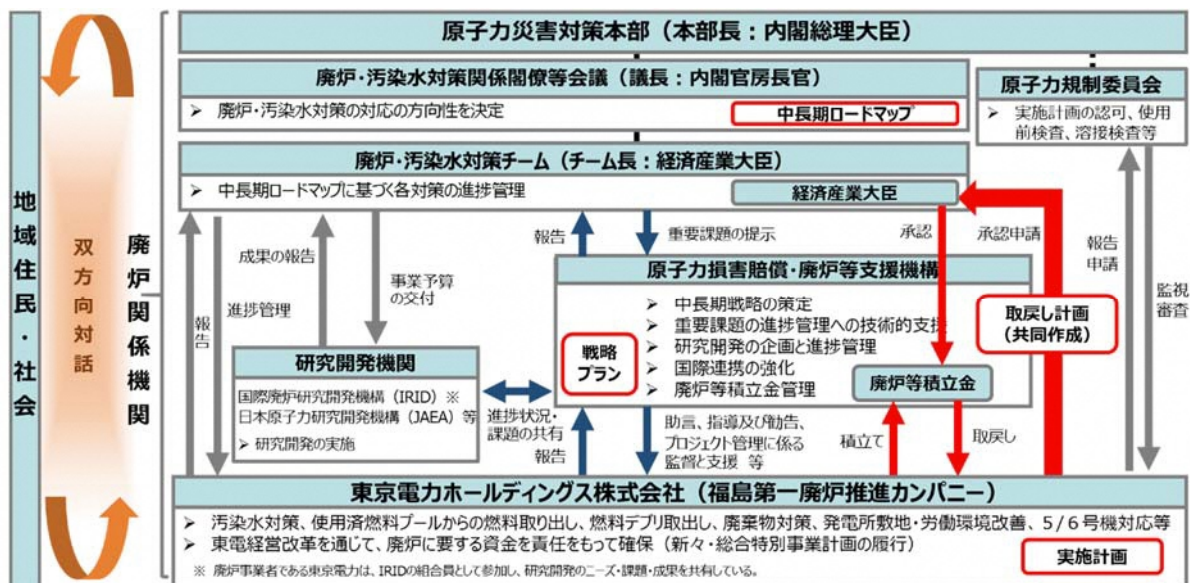


図1 福島第一原子力発電所の廃炉に係る関係機関等の役割分担

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、「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。

2) 戦略プランについて

これまでの戦略プランでは、NDFが取り組むべき中長期的な廃炉戦略として燃料デブリ取り出しと廃棄物対策という2つの主要課題に重点を置き、検討を進めてきたところであるが、今後、燃料デブリ取り出しの具体化を進めていくに当たっては、これらの課題のみならず、汚染水対策や使用済燃料プールからの燃料取り出し等との関連性、整合性を踏まえた検討が必須となる。このため、今後の戦略プランにおいては、汚染水対策及び使用済燃料プールからの燃料取り出し等も含めた構成とし、福島第一原子力発電所廃炉の取組全体を俯瞰した中長期的視点での方向性を提示することとした。なお、これらの検討を通じて当面取り組むべき事項として抽出された課題等は、NDFが東京電力に対して提示する取戻し計画作成方針に反映していく（図2）。

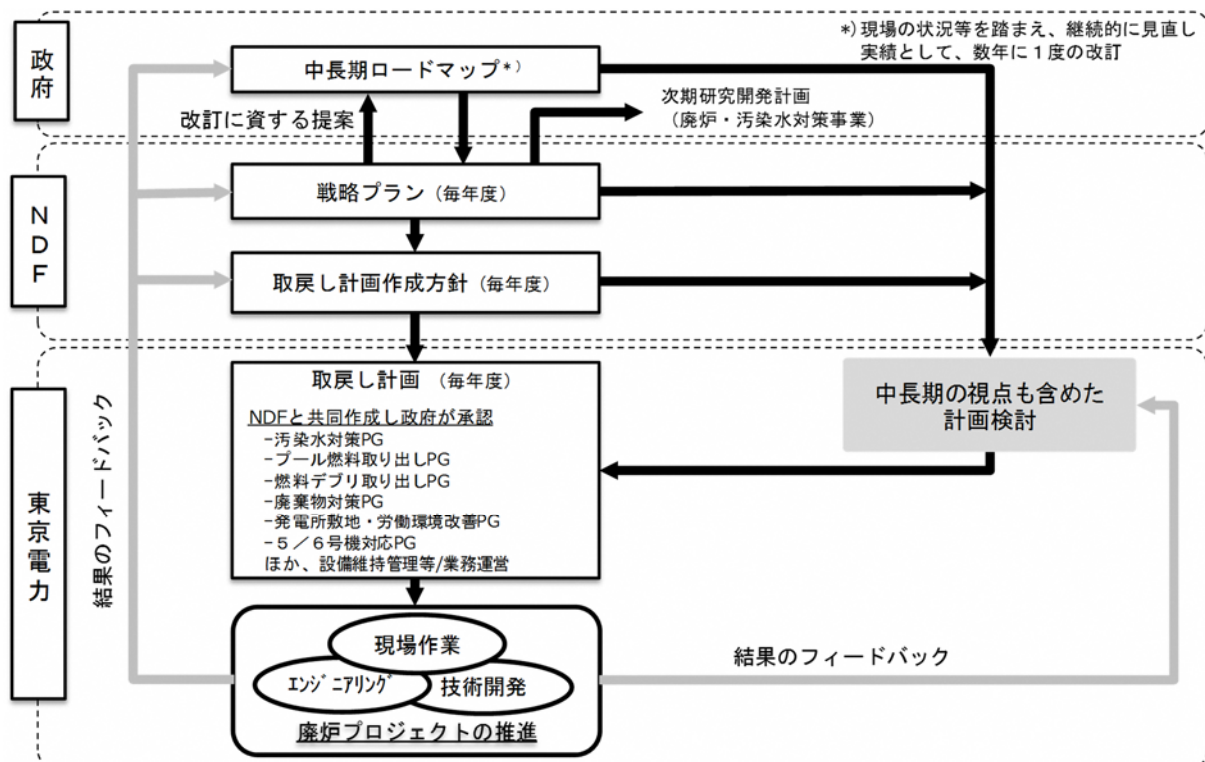


図2 廃炉等積立金制度を踏まえた戦略プランの位置付け

2 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」（以下「措置を講ずべき事項」という。）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、陸側遮水壁について、2017年8月までに全ての箇所凍結を開始し、2018年3月には深部の一部を除き造成が完了した。これにより、サブドレンの効果とも相まって地下水の建屋流入量は抑制され、護岸エリアからの建屋移送量も大幅に減少し、雨水や地下水に起因する汚染水発生量が低減している。また、陸側遮水壁による効果は、サブドレン汲み上げ量、護岸エリアの地下水汲み上げ量自体の減少にも表れている。「漏らさない」については、周辺海域の放射性物質濃度は低い状態で安定している。

建屋内滞留水については、2020年の処理完了に向けて、タービン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。1号機タービン建屋については、2017年3月に最下階の床面まで滞留水を除去した。また、2~4号機のタービン建屋については、2017年12月に最下階中間部床面が露出した。また、事故当時の放射能濃度が高い建屋内滞留水が貯留されていた1~3号機の復水器について2017年12月までに水抜きを完了するなどにより滞留水に含まれる放射性物質が大幅に減少した。さらに、建屋内滞留水の貯蔵量低下に加えて、2018年2月より建屋内滞留水の循環浄化の運用を開始し、建屋内滞留水に含まれる放射性物質の低減の加速を図っている。

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は、順次溶接型タンクにおいて安定的に保管・管理がなされており、こ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」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、オペレーティングフロア（以下「オペフロ」という。）にある使用済燃料プールからの燃料取り出しに向け、2018年1月より北側のガレキ撤去を開始した。

2号機については、使用済燃料プールからの燃料取り出しに向けた準備の一環として、オペフロ内へアクセスするための開口部を設置し、2018年7月から遠隔ロボット・重機等を使用したオペフロ内での線量や汚染状況の調査を開始した。

3号機については、2018年2月に燃料取り出し用カバーの設置を完了した。2018年3月に燃料取扱装置等の試運転を開始してから複数の不具合が発生しており、2018年11月中を目処としていた燃料取り出し開始時期について、東京電力は改めて精査・見直しを行うこととしている。

(3) 燃料デブリ取り出し

2号機については、2017年1~2月に引き続き、2018年1月に原子炉格納容器（以下「PCV」という。）の内部調査を実施し、取得した画像の分析結果から、燃料デブリと思われる堆積物がペDESTAL底部に堆積していることを確認した。

3号機については、2017年7月に実施した水中遊泳式遠隔調査装置（以下「水中ROV」という。）による調査結果をもとに、ペDESTAL内部の全体像を把握するため3次元復元を実施した。その結果、旋回式のプラットフォームがレール上から外れ、一部が堆積物に埋まっている状況等、構造物の相対的な位置を視覚的に把握した。

(4) 廃棄物対策

既存の固体廃棄物貯蔵庫（1~8棟）全体の4割程度の保管容量を有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。これにより、1号機オペフロのガレキ撤去や2号機原子炉建屋上部解体に伴って発生する高線量のガレキ等について、遮へい機能を有する保管施設で保管することが可能となった。また、性状把握を目的に試料採取と分析が進められている。2018年6月に、固体廃棄物の発生量予測の見直し結果を踏まえた保管管理計画の改訂が行われた。

(5) その他の具体的な対策

1~4号機建屋の周辺道路やタービン建屋の東側の一部を、新たに一般服エリア（一般作業服又は構内専用服と使い捨て式防じんマスクで作業できる範囲）とし、これにより一般服エリアが福島第一原子力発電所の敷地の約96%に拡大した。

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、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、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。

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
	フランジ型タンク内貯留水	フランジ型タンク内に保管されている濃縮塩水残水、ストロンチウム処理水
	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
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瓦礫類（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

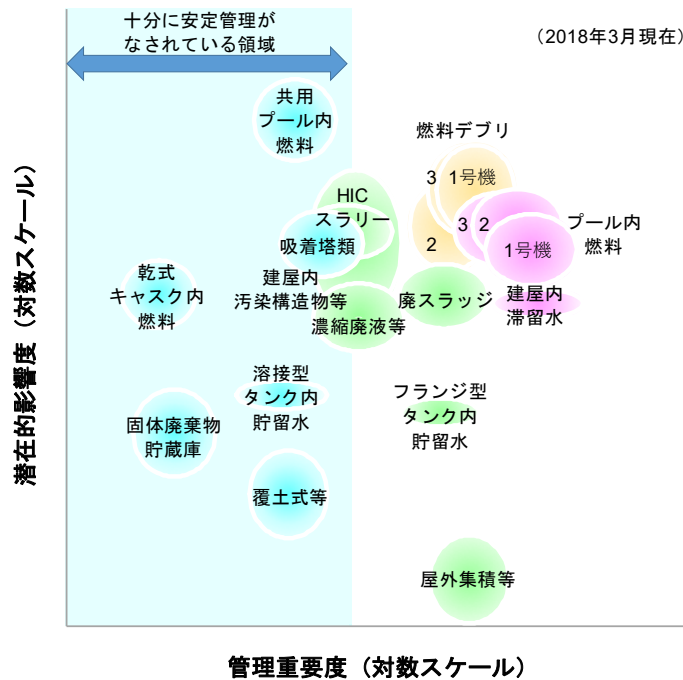


図3 福島第一原子力発電所の主要なリスク源が有するリスクレベルの例

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。

(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思考も重要となる。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。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たところである。

(4) 作業に伴う一時的なリスクレベルの増加への対応の考え方

廃炉作業は、中長期的な観点からは、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、周至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ため、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、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。

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>

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取り出し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するステップ・バイ・ステップのアプローチを進める。燃料デブリ取り出し作業と原子炉格納容器内部及び原子炉圧力容器内部の調査は相互に連携させながら一体的に実施する。燃料デブリ取り出しは、小規模なものから始め、燃料デブリの性状や作業経験などから得られる新たな知見を踏まえ、作業を柔軟に見直しつつ、段階的に取り出し規模を拡大していく。

② 廃炉作業全体の最適化

燃料デブリ取り出しを、準備工事から取り出し工事、搬出・処理・保管及び後片付けまで、現場における他の工事等との調整も含め、全体最適化を目指した総合的な計画として検討を進める。

③ 複数の工法の組み合わせ

単一の工法で全ての燃料デブリを取り出すことを前提とせず、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を組み合わせる。

現時点では、アクセス性の観点から、原子炉格納容器底部には横からアクセスする工法、原子炉圧力容器内部には上からアクセスする工法を前提に検討を進めることとする。

④ 気中工法に重点を置いた取組

原子炉格納容器上部止水の技術的難度と想定される作業時の被ばく量を踏まえると、現時点で冠水工法は技術的難度が高いため、より実現性の高い気中工法に軸足を置いて今後の取組を進めることとする。

なお、冠水工法については、放射線の遮へい効果等に利点があること等を考慮し、今後の研究開発の進展状況を踏まえ、将来改めて検討の対象とすることも視野に入れる。

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

各号機においては、分布の違いはあるが、原子炉格納容器底部及び原子炉圧力容器内部の両方に燃料デブリが存在すると分析されている。取り出しに伴うリスクの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、以下の項目を考慮し、まず、原子炉格納容器底部にある燃料デブリを横からのアクセスで取り出すことを先行することとする。

○原子炉格納容器底部へのアクセス性が最もよく、原子炉格納容器内部調査を通じて一定の知見が蓄積されていること

○より早期に燃料デブリ取り出しを開始できる可能性のあること

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かえってリスクを増加させ得るリスク源である。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、これまで戦略プランでは検討すべき事項を論理的に整理し、燃料デブリ取り出し作業時の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を定めて検討を行ってきた。今後は、燃料デブリ取り出し方針に従ってステップ・バイ・ステップのアプローチで段階的に規模を拡大していく際にも、安全に燃料デブリの取り出しを行うため、これらの技術要件に沿った検討を進めていく必要がある。

(2) 初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定に向けた検討の進め方

2017年9月に改訂された中長期ロードマップでは、戦略プラン2017における戦略的提案の内容を踏まえ、燃料デブリ取り出し方針が決定されたところである。また、「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」とされている。初号機を選定するに当たっては、図4の検討フロー（案）で示されるように、これまでの研究開発の成果やPCV内部調査の結果等を基に、東京電力が実施する予備エンジニアリング（次項参照）において、①各号機ごとの燃料デブリ取り出しシステムの概念検討とその現場適用性の評価に基づいたシナリオ（作業工程案）が作成される必要がある。その上で、②各号機のシナリオと周辺計画を組み合わせた複数の全体シナリオを検討し、総合的に見て最も合理的と考えられる全体シナリオを特定することにより、初号機とその取り出し方法を確定していくこととなる。

初号機を選定に当たっては、不確かさの多い環境で過去に例のない燃料デブリ取り出し作業を行うという特殊性や燃料デブリの取扱いの経験・情報を早期に得ることの効果等を踏まえ、内部情報の確実性、必要な準備工事の有無等の作業環境、各号機のリスク評価等の観点も含めて判断していく必要がある。

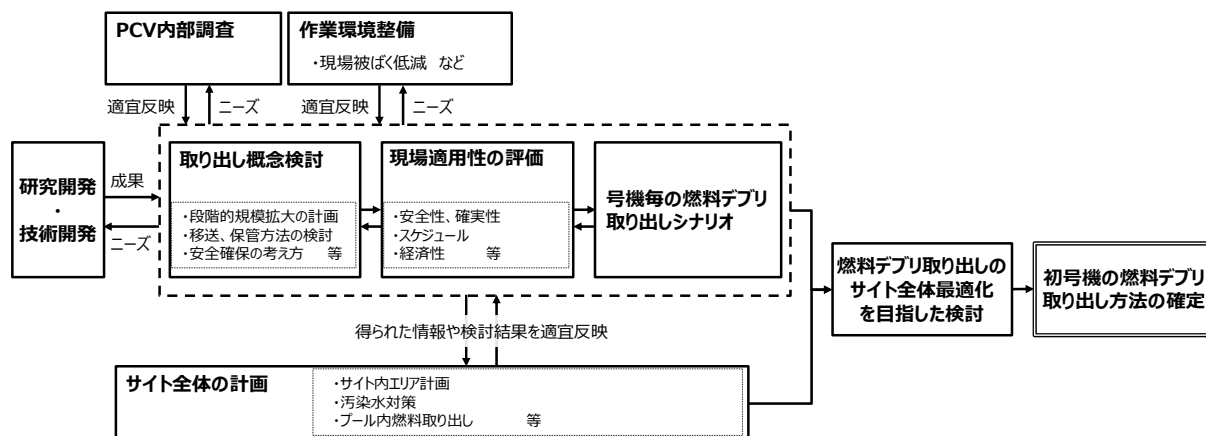


図4 燃料デブリ取り出し方法の確定に向けた検討フロー（案）

(3) 予備エンジニアリングの進め方と作業工程の具体化の考え方

東京電力が実施する予備エンジニアリングにおいては、ステップ・バイ・ステップのアプローチで進める燃料デブリ取り出しの取組段階ごとの作業内容やシステム概念等について、各号機の現場の状況を踏まえて現場適用性を確認し、号機ごとの燃料デブリ取り出しシナリオとして具体化していく。特に、2019年度内の初号機の燃料デブリ取り出し方法確定というマイルストーンを見据え、これに必要な情報を得るべく、予備エンジニアリングの内容は十分に企画・検討されるべきである。

そうした観点から、予備エンジニアリングでは、次のような事項を満たす検討を実施することが期待される。

- シナリオは、燃料デブリ取り出し作業の前段階の内部調査、準備作業から周辺環境整備及び燃料デブリ保管等の関連する作業全体を含めること
- 各段階で、安全確保や取り出し装置等の工学的信頼性確保のために事前に得ておくべき情報を整理すること
- シナリオを立案する上での前提条件の明確化及びその不確実さや見通しについての評価を実施すること
- 現時点で想定される主要なトラブル等についての十分な安全評価を実施すること

これらの検討の結果、予備エンジニアリングの成果として、以下が得られることが期待される。

- 号機ごとの燃料デブリ取り出しまでの作業工程イメージ及び解決すべき技術課題の特定
- 技術課題の解決時期を織り込んだエンジニアリングスケジュール（各号機のシナリオ）

この結果、得られた各号機のシナリオとプール内燃料取り出しや汚染水対策等との関係を組み合わせ合わせた全体シナリオを作成することが可能となり、この全体シナリオに基づき初号機の候補を選定していくこととなる。

(4) 内部調査の継続実施と研究開発等の加速化・重点化

これまでに抽出されている技術課題及び予備エンジニアリングを実施する過程で特定される技術課題について、更なる内部調査や研究開発の加速化・重点化等によって、解決に向けた道筋を示していく必要がある。

内部調査については、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おり、今後、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内部詳細調査が予定されているところである。今後の内部調査においては、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の中で、全体プロジェクトを組み立てるためのパーツとしてどのような情報が必要であるかを十分に検討し、各段階における達成目標を立てた上で実施するべきである。

また、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（気相部）の構築、PCV 内水位管理技術をはじめ、研究開発の加速化・重点化を図るとともに、予備エンジニアリングを通じて新たに必要性が明らかとなった研究開発課題の抽出を進める。また、研究開発の成果とその現場適用の状況に応じ、燃料デブリ取り出しの手法も含め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を取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

燃料デブリ取り出しにあたっては、燃料デブリ取り出し方針に従ってステップ・バイ・ステップのアプローチを進めていく。ここでは、(1) においてステップ・バイ・ステップのイメージを提示した上で、(2)~(5) において、炉内状況の総合的な把握に係る取組やこれまで戦略プランで示してきた安全確保に関わる技術要件、燃料デブリ取り出し工法に関わる技術要件、燃料デブリの安定保管に関わる技術要件について、主要な課題を示すとともに規模拡大に合わせてどのような検討が必要となるかを併せて示す。

(1) ステップ・バイ・ステップのアプローチの考え方

燃料デブリ取り出し方針においては、内部調査と燃料デブリ取り出し作業は相互に連携させながら一体的に実施することとされ、また、燃料デブリ取り出しは小規模なものから始め、燃料デブリの性状や作業経験などから得られる新たな知見を踏まえ、作業を柔軟に見直しつつ、段階的に取り出し規模を拡大していくこととされている。

各号機の燃料デブリ取り出しに関する作業要素については詳細検討中であるが、そのイメージの一例を次に示す。これらは必ずしも 1~3 号機全てについて一律に適用されるものではない。

a. 内部調査等（内部状況の調査と燃料デブリの性状把握等）

現場環境を変えない範囲で、PCV 内部の状態や内部構造物の損傷状況の調査・観測を行う。これにより、燃料デブリの取り出し方法の検討等に用いられることとなる、PCV 底部の燃料デブリ分布状況とアクセス性を確認するための情報や、燃料デブリ取り出し作業の安全性確保の判断材料となる情報等の取得を目指す。

また、PCV 内部より燃料デブリを採取し、分析等を行うこと（サンプリング）により、その性状（形状、存在状態、組成、機械的・化学的性質等）を把握する。

燃料デブリの採取に当たっては、これが燃料デブリを移動させる行為を伴うものであることから、次段階における安全確保の評価に資する重要な情報として、取り出した燃料デブリを一時的に保管するための移送方法や安定保管に係る情報、燃料デブリの気相・液相への移行状況

や臨界可能性に関する情報等の取得を目指し、これにより燃料デブリ取り出し方法の実現性の精度向上や安全確保のための防護対策の信頼性向上を図る。

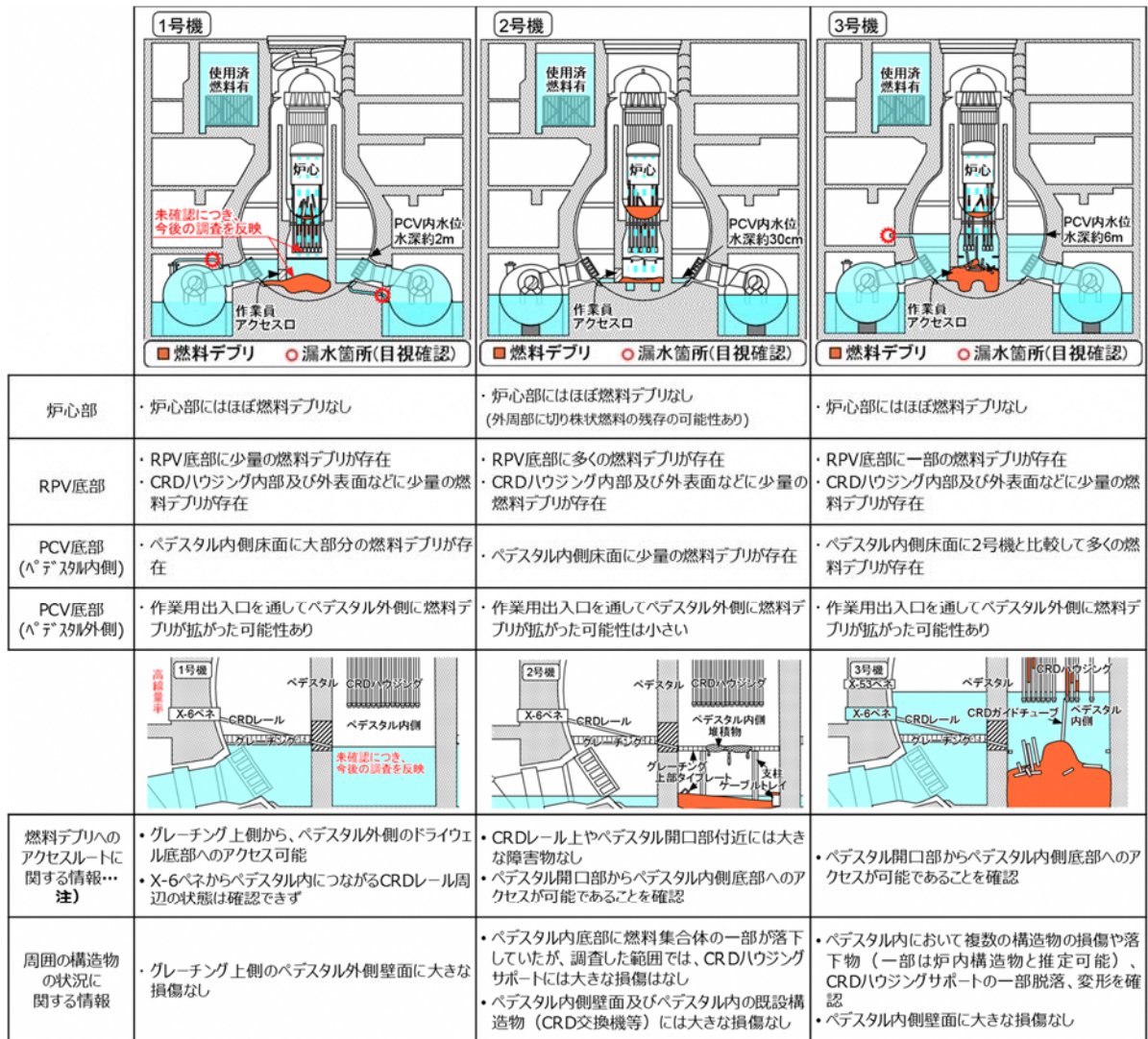
b. 燃料デブリ取り出し

燃料デブリ取り出しの初期段階では、まずは現場の状態を大きく変えない範囲で小規模な燃料デブリ取り出し作業を行う。これにより、燃料デブリ取り出し作業・装置の有効性確認と作業効率の評価や、燃料デブリ取り出し作業の規模拡大に対する安全確保への影響評価、一時的な保管による収納・移送・保管に向けた事前確認等、その後に予定される大規模な取り出しにおける作業・装置を見極めていくための各種情報の取得や検証を行い、燃料デブリ取り出し期間を通じた作業の効率化等を図る。

小規模な燃料デブリ取り出しまでの作業で得られた情報に基づき、燃料デブリ取り出し装置、安全確保のためのシステム等を検討した上で、目標とする1日当たりの燃料デブリ取り出し量に対応可能な設備を設置し、より効率的な燃料デブリ取り出しを行っていく。

(2) 内部調査の継続実施等による炉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5）に示す。



注) 横アクセスによる燃料デブリ取り出し (小規模) 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 (大規模) 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デブリ取り出し工法・システムで検討中。
 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、大規模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。

(IRID、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月に基づき作成)

図5 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

今後、各号機における次の調査・検討を着実に実施していく必要がある (図6)。

【1号機】

- ペDESTル外部の構造物や堆積物の分布等の把握 (サンプリング含む) [2019年度上期予定]

【2号機】

- 機械的な力を加えることによるペDESTル底部の堆積物の可動性等の把握 [2018年度下期予定]
- ペDESTル内の構造物や堆積物の分布等の把握 (サンプリング含む) [2019年度下期予定]
- より取得量を増やしたサンプリング [2020年度予定] の検討

【3号機】

- PCV水位低下の検討と並行して、廃炉・汚染水対策事業によって開発され、実証された内部

調査技術の適用の検討

- 特に、前回調査で使用した水中 ROV を活用した更なる調査の必要性の検討

	2018年度		2019年度		2020年度	2021年度
	上期	下期	上期	下期		
1号機						
2号機						
3号機						

(3つの吹き出し中の図は IRID・東京電力資料より引用)

図6 今後の内部調査スケジュールと調査装置のイメージ

なお今後は、更に詳細な内部調査の実施に当たって、より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 内部への既設の貫通孔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、さらに、万一の異常時における速やかな閉じ込め機能の復旧対策など、引き続き安全確保への十分な配慮が求められる。

(3) 安全確保に係る技術課題と今後の計画

各段階の取り出し概念設計において、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作業時の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、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が許容値内に収まる防護措置を備えた気相部の閉じ込め機能を確保する必要がある。

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、現状の PCV 内の不活性雰囲気（窒素注

入による微正圧状態)の維持を優先し、取り出し量を少量にすることや切削等の加工を伴わない取り出し方法を選定することにより、 α ダスト飛散量の抑制を図る。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、徐々に切削等の加工による燃料デブリ取り出しに進むことが考えられる。なお、その過程において周囲への影響が増加する可能性が評価された場合は、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やさらに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。この場合、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。

この際、より確実な閉じ込め機能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。これまでの検討結果からは、PCV下部補修による完全な止水は難度が高いことが明らかとなってきたが、PCV補修技術やその実規模試験の成果なども鑑みて、止水技術の適用による漏えい抑制と冷却水の循環・浄化系を組み合わせたシステムも含め、閉じ込め機能の在り方について検討を進めていくべきである。

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での作業を行う場合、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切削等の加工を伴わない取り出し方法を選定することにより、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い、 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、徐々に切削等の加工による燃料デブリ取り出しに進むことが考えられる。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℃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。

このとき、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、次段階において構築される循環冷却システムを検討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見て臨界が起こる可能性は極めて低いと考えられる。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、形状管理をした状態で保管することが重要である。このとき、燃料デブリを取り出す過程においても、燃料デブリが臨界に至ることを防止する必要がある、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が必要である。その後、作業前の未臨界度測定や中性子吸収材の投入などの措置を講じていくことも含め、取り出し量を増加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

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、新たな線源として燃料デブリ由来の内部被ばくの際の線量寄与が大きい 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、作業者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気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。

(4) 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、既存の建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、東京電力において予備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。

なお、燃料デブリ取り出し方針においては、号機ごと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を組み合わせることとされており、現時点では、RPV 内部には上からアクセスする工法を前提に検討を進める。

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、遠隔点検・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回収システム、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、閉じ込め機能（気相部）の構築のための作業セル設置や、アクセスルートの確保のための干渉物撤去のための技術開発が進められている。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・エリアの確保

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を設置し、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している必要がある。

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内部状況の監視は必須であり、計測システム（圧力、温度、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ための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。

(5) 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に当たっては、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、保管までにわたる一連の流れからなるシステムを構築する必要がある。具体的には、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収納缶の基本仕様の策定や、水素発生の予測量に基づく許容移送時間の検討等が進められている。今後、これらの結果を踏まえ、燃料デブリの収納から保管までの装置・システムの具体化や、保障措置への対応及び1日あたりの取り出し量の設定を考慮した保管施設を検討していく必要がある。また、収納缶の取扱いについて、燃料デブリ取り出し装置と組み合わせたモックアップ試験を計画していくことも重要である。

今後は、上記の課題も踏まえ、段階ごとに得られたデータから、次段階において取り出される燃料デブリの適切な取扱いを考慮するべきである。

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、後片付け等の各段階においてPCV内外から解体・撤去される構造物や交換部品等の様々な放射性廃棄物が発生するため、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。

取り出し作業時の実務的な課題として、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、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ながら、仕分け基準を含めた取り出した物質の取扱い方法について具体的な検討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形状を留めていないと考えられ、また、施設が破損して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、従来の計量管理及び保障措置の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実施され、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、燃料デブリ取り出しにおいては核物質を移動することになり、これに即した保障措置活動が必要となるため、我が国としては早期に円滑な保障措置が実施されることを目指し、国際原子力機関（以下「IAEA」という。）を含む関係者へ必要な情報提供を行っている。このよう

な取組を通じて、現実的かつ十分な透明性を有した計量管理と保障措置の在り方について提案を行い、IAEA を含む関係者間での合意を目指していくべきである。

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。

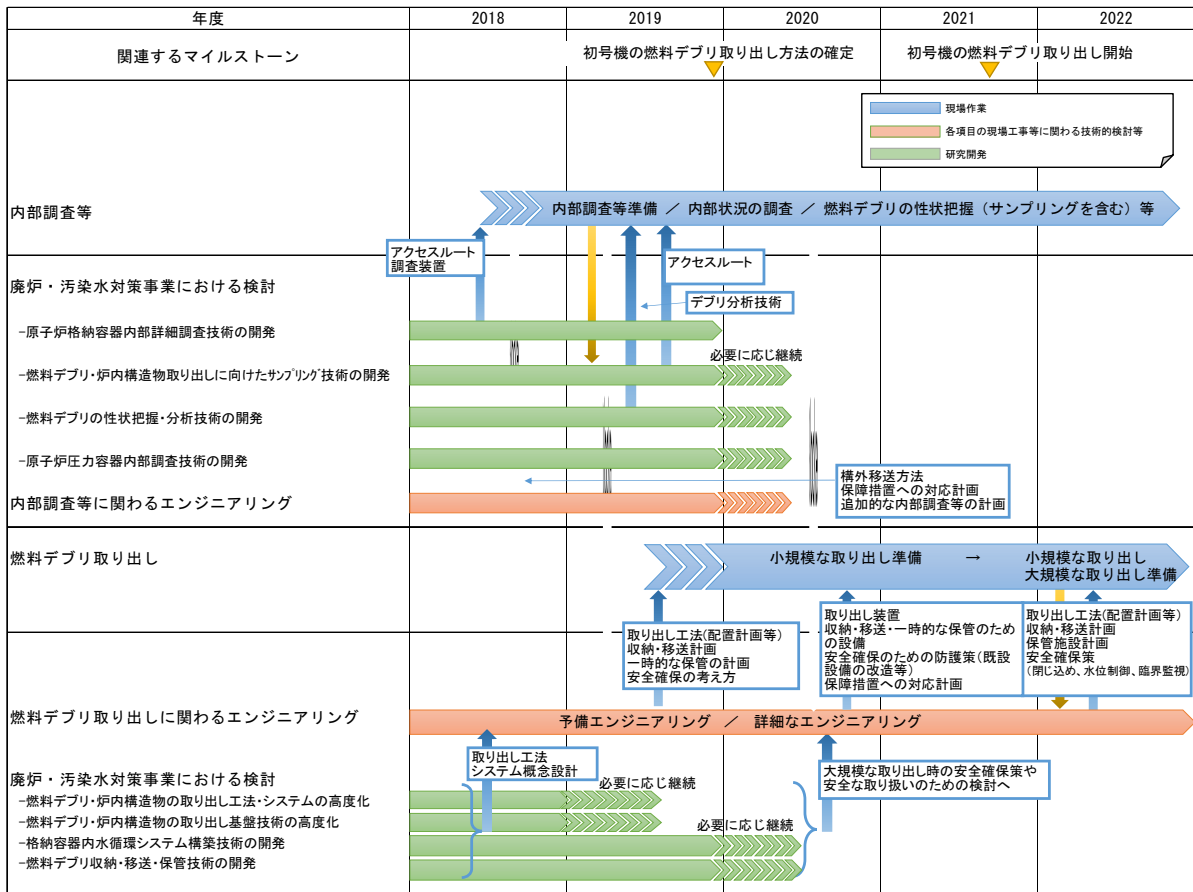


図7 燃料デブリ取り出しに係る主な技術課題と今後の計画（工程表）

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>

- ① 閉じ込めと隔離の徹底
固体廃棄物については、放射性物質の接近（漏えい）を防止するための閉じ込めと人の接近を防止するための隔離を徹底し、人が有意な被ばくを受けないようにする。
- ② 固体廃棄物量の低減
固体廃棄物の管理全体の負荷を軽減するため、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していく。
- 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には、固体廃棄物の核種組成、放射能濃度等の性状を把握することが必要である。廃棄物の物量が多く、核種組成も多様であることから、分析試料数の増加に対応し、適切に性状把握を進めていく。
- ④ 保管・管理の徹底
固体廃棄物を処分するためには、処分対象とする固体廃棄物の発生量及び性状を把握した上で、処分施設の仕様及びそれに適した廃棄物の技術的要件（処分の技術的要件）を明確にすることが必須である。しかしながら、固体廃棄物の発生量及び性状は、今後の廃炉作業の進捗状況や計画の明確化に伴って順次明らかになる。したがって、発生した固体廃棄物については、その性状を踏まえて安全かつ合理的な保管・管理を行うとともに、福島第一原子力発電所の敷地内で確実に保管・管理ができるよう、保管容量を確保する。
- 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
固体廃棄物をより安全に保管・管理するため、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手法を構築し、先行的処理の方法を選定する。
- 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
固体廃棄物の処理・処分に係る研究開発を効率的に進めていくため、性状把握、処理、処分の研究開発の各分野の連携を密にする。各分野の検討状況や課題を共有し、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しながら進めていく。
- 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、固体廃棄物の管理全体に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を構築する。
- ⑧ 作業員の被ばく低減対策等
固体廃棄物の管理全体を着実に進めていくに当たり、作業に従事する者の安全と健康を確保することが重要であり、関連する法令に基づいた被ばく管理、健康管理、安全管理を徹底していく。

（注）各項目の番号とタイトルは NDF において付記したもの。

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。

(3) 保管・管理の更なる安全性向上

水処理二次廃棄物のうち流動性が高いものについては、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その処理を行う場合は、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。

(4) 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
- 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

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ところ、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。そのため、解析的手法を用いたインベントリ評価において分析データのばらつきを反映させる方法や、分析データと解析値を総合的に評価して、放射能インベントリを設定・更新するシステムの概念の検討を進める。

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、今後は分析の目的を、処分前管理を中心としたものとして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。これらの取組を通じて、2020年度末には、精度の高い固体廃棄物の性状把握をするための体制、施設・設備、技術が構築され、一部の固体廃棄物については、必要な分析データが取得されることとなる。

(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。

その他の固体廃棄物についてもその性状を踏まえ、保管・管理中の水素発生等の検討等を進め、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。

(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。

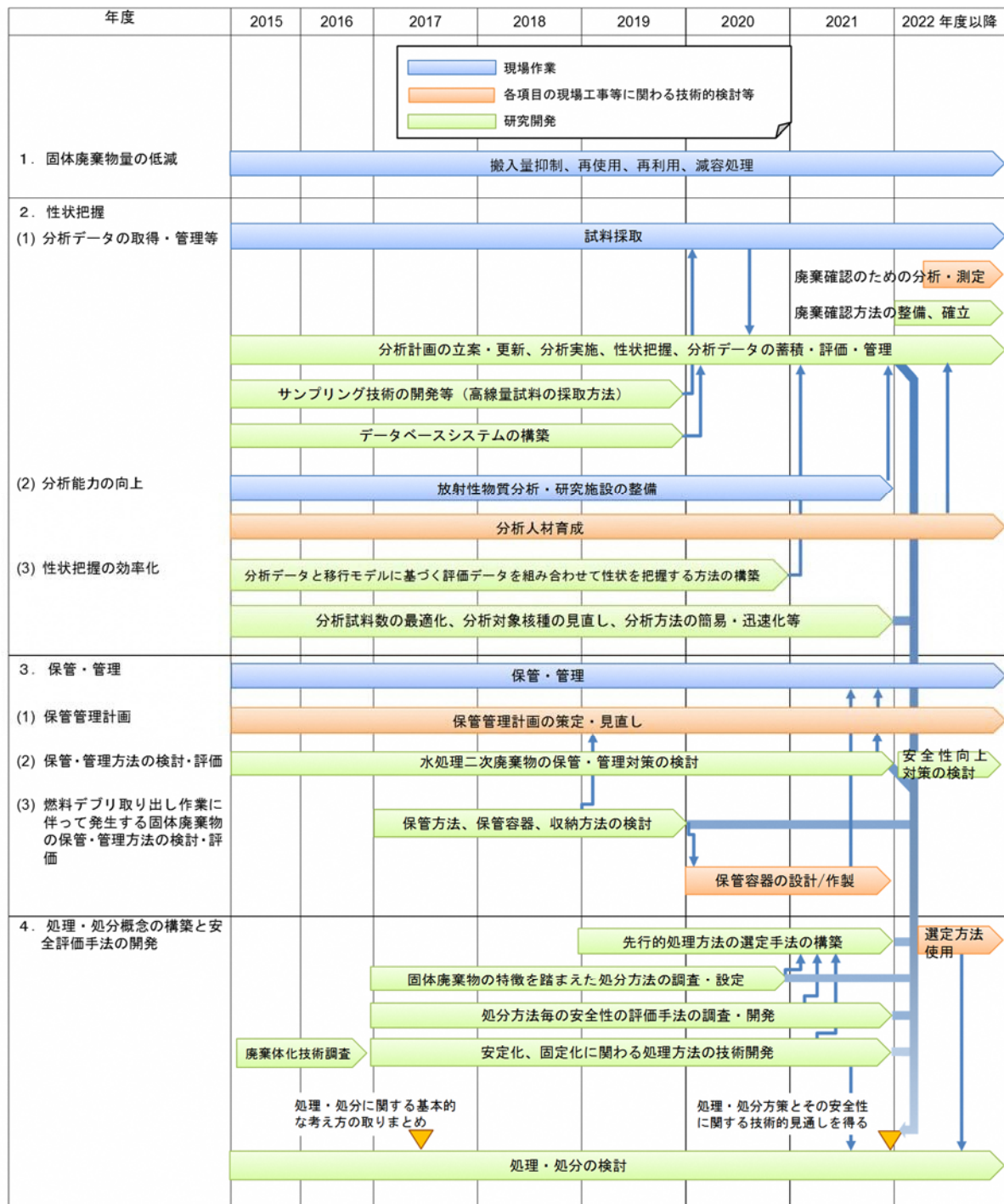


図8 廃棄物対策に係る主な技術課題と今後の計画（工程表）

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¹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

汚染水対策においては、建屋内や様々なトレンチ・ピットに存在する既に汚染された水への対処のほか、地下水・雨水などの汚染されていない水への対処があり、それぞれ汚染水問題に関する3つの基本方針に基づく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。

これらは、セシウム吸着装置等で処理されることにより、そのインベントリは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し、建屋内滞留水のリスクレベルとしては潜在的影響度が低下することとなる。

(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おいては、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²）、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）といったマイルストーンや、これらを達成するための当面の具体的な対策が既に示されている。これらの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。さらに、燃料デブリ取り出し時におけるPCV循環冷却系の成立性を含めた検討が進められており、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

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 2018年9月完了。

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た循環系側の対応が必要である。また、止水を実施する際にも、PCV内から原子炉建屋内へ冷却水が大量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等により、注水した冷却水が原子炉建屋最下階において滞留することがなくなった場合には、地下水位を原子炉建屋下端よりも下のレベルに維持する等の対策を講じることにより、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

サブドレン機能の強化や陸側遮水壁の造成等により、建屋周辺の地下水の安定的な管理がなされるようになってきている等、汚染水の大部分がコントロールされる状況になってきたことから、建屋内滞留水の処理完了に向けて一層の対策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にあたっては、PCV循環冷却系に α 粒子を含む燃料デブリ由来物質が混入することとなる。そのため、PCV循環冷却系において適切に除去することが必要であることに加え、継続して発生する建屋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の循環水冷却・浄化システム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。

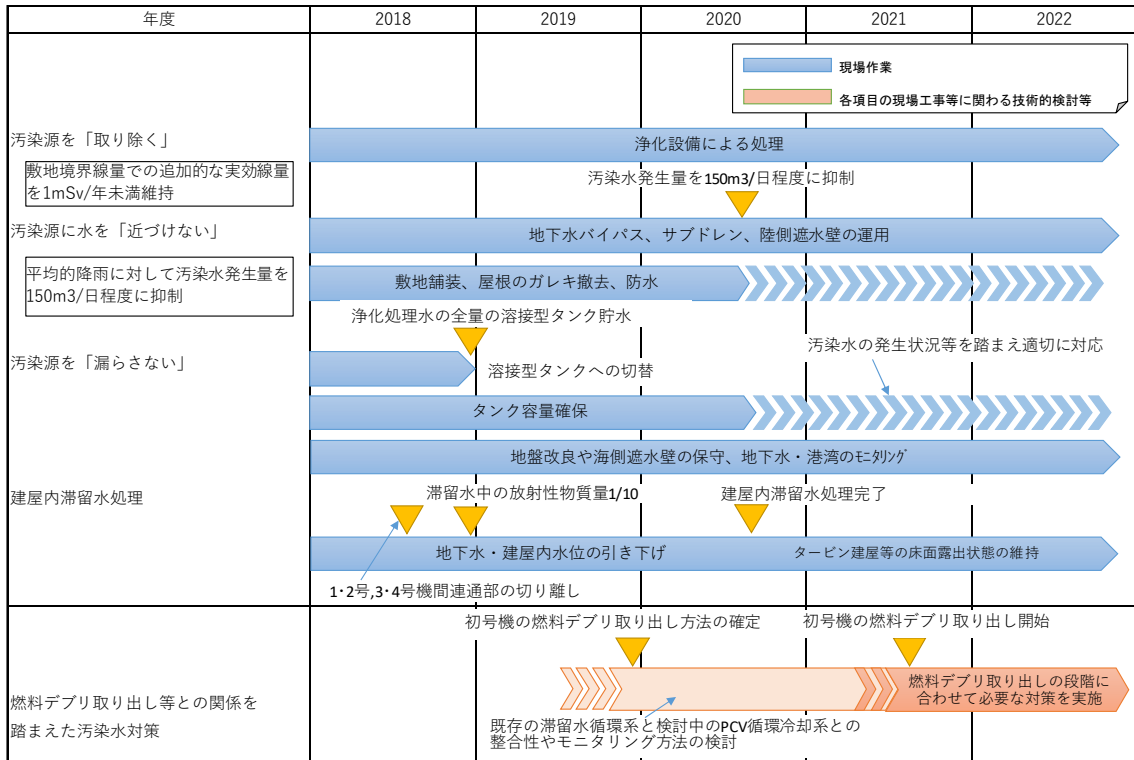


図9 汚染水対策に係る主な技術課題と今後の計画（工程表）

4) 使用済燃料プールからの燃料取り出し

i. 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 1号機は2023年度を目処、② 2号機は2023年度を目処、③ 3号機は2018年度中頃を目処³として、プール内燃料の取り出しを開始する。
- (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⁴は、可及的速やかに管理重要度の低い共用プールに移送する計画であり、号機ごとの状況に応じて、適切かつ具体的な作業計画を立案して対応する必要がある。

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既に示されており、東京電力はこれに基づいて取組を進めている。1号機はダスト飛散防止対策を講じながら建屋カバーを取り外し、防風フェンスの取り付けを行い、一部ガレキの撤去等が開始された状況であり、取り出し開始時期は2023年度を目処としている。2号機は燃料取り出し設備を設置するために原子炉建屋上部を解体する計画であり、オペフロにアクセスするための開口部や放射性物質の飛散を防ぐための前室の設置を完了し、更なる調査や対策を進めているところであり、取り出し開始時期は2023年度を目処としている。3号機は2018年2月にプール内燃料取り出し用カバーを設置した。2018年3月から燃料取扱設備の試運転を開始したところ、複数の不具合が発生しており、2018年11月中を目処としていたプール内燃料取り出し開始時期について、東京電力は、改めて精査・見直しを行うこととしている³。

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においては、当面、5, 6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号機に影響を与えない範囲で燃料取り出し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容量確保が必要である。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 3号機においては、2018年3月に燃料取扱設備等の試運転開始以降、複数の不具合が発生しており、それぞれの原因究明・対策を実施するとともに、共通要因として考えられる品質管理上の問題を改善後、試運転作業を再開する。このため、東京電力は安全を最優先に、2018年11月中を目処としていたプール内燃料取り出し開始時期についても改めて精査・見直しを行うこととしている。

⁴ 4号機のプール内燃料は、2014年12月に取り出しを完了した。

(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履歴等から、腐食に関する懸念があり得る。これらの燃料について通常の使用済燃料と同等の扱いを阻害する技術的な要因の有無を整理・確認する必要がある。

この結果を踏まえ、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>

ガレキ撤去に際し、燃料取扱装置（FHM）、天井クレーンの落下防止等の対策として、支保等について慎重に検討する必要がある。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増加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。

また、震災前より保管されていた破損燃料の取り出しについて適切な対応が必要である。

<2号機>

原子炉建屋において、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と、プール内燃料取り出し用カバーを個別に設置するプランを選択することとしている。プラン選択に際しては、燃料デブリ取り出しとの関係やプール内燃料の取り出し時期を踏まえ、適切な時期までに判断していく必要がある。

また、コンテナ設置又はカバー設置の前段で実施する建屋上部解体において、安全な解体方法を選択するため、オペフロ上の調査結果を踏まえながら、上部建屋解体計画に反映させていく必要がある。

なお、プール内燃料の取り出しに先立って、1/2号機排気筒解体を行うこととしている。

<3号機>

使用済燃料プールから燃料集合体を取り出す際には、プール内燃料上部のガレキを撤去しながらの作業となることから、ガレキの撤去を踏まえた燃料集合体の取り出し順序等を検討していく必要がある。

(2) 取り出した燃料の適切な保管

敷地全体で保有する使用済燃料・新燃料を計画的に移送・保管するために、5/6号機も含めた燃料移送計画を策定するとともに、それに合わせた設備面の増容量や調達を進める必要がある。

(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、事故による爆発の影響が大きくガレキによる燃料の損傷可能性もある 3 号機から取り出した燃料を確認し、長期的な保管等における検討の可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。

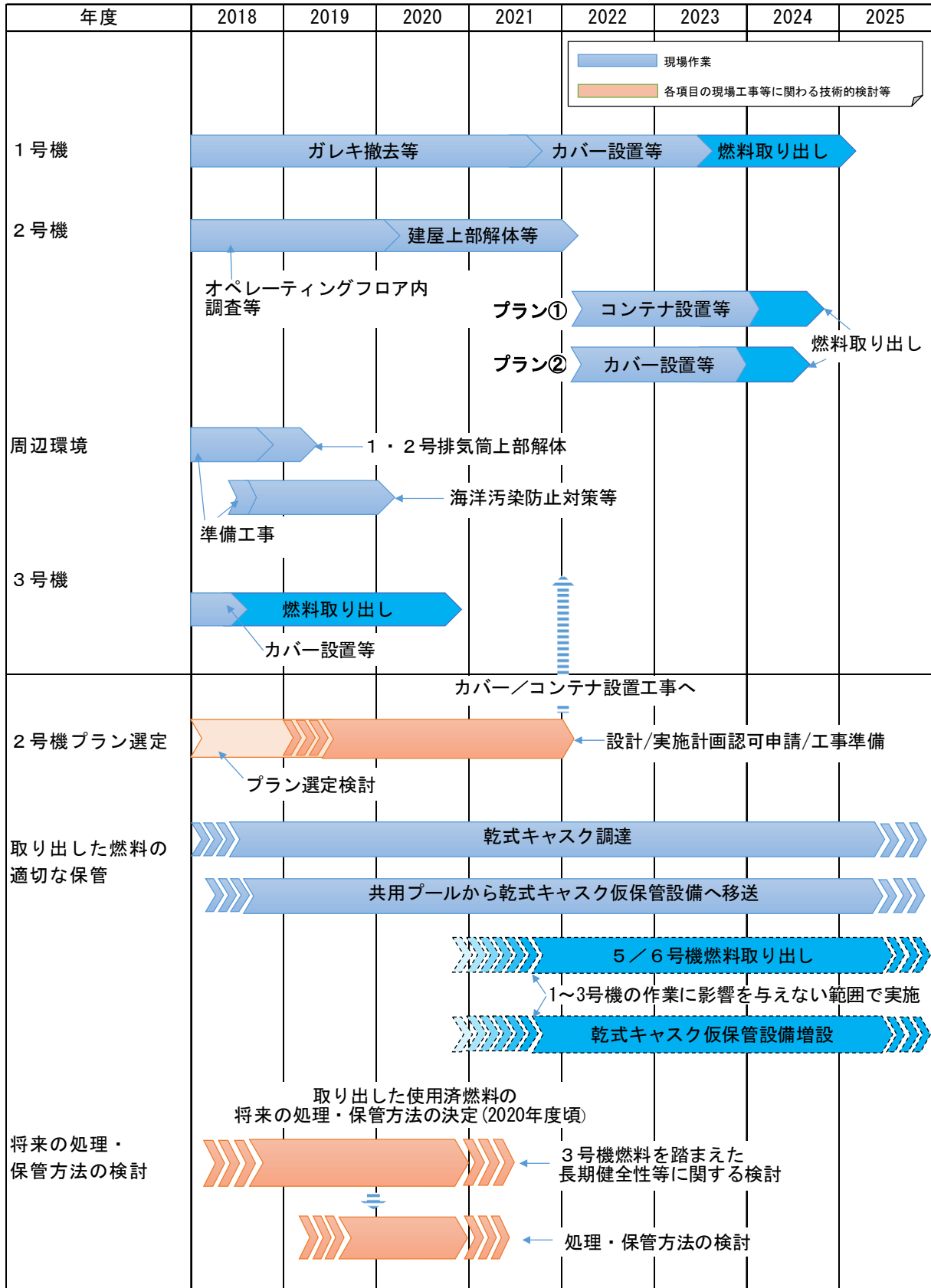


図 10 使用済燃料プールからの燃料取り出しに係る主な技術課題と今後の計画（工程表）

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。

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无路盤整備等、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、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 mSv/年未満を達成して以降、引き続き実効線量の低減が図られている。

(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。さらにこの結果、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が行われ、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・公表されている。

また、原子力規制委員会では、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、これまで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、国内外の叡智の結集等を通じ、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。

5,6号機については、1~4号機の作業の進捗状況を踏まえつつ、プール内燃料の取り出しを進め、その上で、廃止措置計画を策定することとされている。

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。

(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、通常の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よう、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

2章でも述べた通り、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、1)節から5)節までに掲げた各分野における取組に当たっては、これまでのような課題対応の積み上げによって業務を遂行するのではなく、より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。特に、福島第一原子力発電所の廃炉においては不確かな要素が多く、計画立案時の情報や想定と作業の進捗に伴って得られた情報の相違が大きい場合には、当初予定通りの作業が困難となる可能性があり、このようなプロジェクトリスクと常に向き合いながら進めていかなければならない。

加えて、同時並行的に、かつ、相互に関連を持ちながら進められる取組の全体としての整合性と成立性を確保しつつ、リソースの配分やスケジュールを最適化することが重要である。すなわち、この複雑かつ重層的な大規模プロジェクトを、適切な規模の管理単位で個別プロジェクトとして管理する一方で、プロジェクト間の相互関係を踏まえて、廃炉プロジェクト全体として総合的に進めていくことが必要となる。また、中長期的な視点でもサイト全体を見渡し、中間的な目標を可能な範囲で想定しながら、廃炉全体計画を策定・検討していくべきである。

このような廃炉プロジェクト全体の安定的な継続に関わるプロジェクトリスクについては、作業の進捗管理、資金管理の適切な実施の観点から、海外の先行事例にも学びつつ、適切な対応を図っていくことが重要である。

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) 安全確保の考え方と連携の推進

燃料デブリ取り出し等、世界でも経験の無い作業の実施に当たっては、福島第一原子力発電所の状況等を踏まえた安全確保の考え方を確立していく必要がある。こうした観点も踏まえ、具体的な作業と、遵守すべき事項を同時並行で検討する必要があるため、NDF、東京電力、資源エネルギー庁等は、互いに連携し、原子力規制委員会との積極的な対話を行い、安全確保に係る対処方針や観測データを早期に示すなど、適切な対応をしていく。

3) 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、これまでも、廃炉に係る様々な取組について、部分的に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、意思決定が非効率になるなど、必ずしも全体として効率的な運営となっていないという課題がある。このため、今後はプロジェクト本位の組織運営への移行を図るとともに、プロジェクト間の整合を図る組織・機能を強化していく必要がある。併せて、プロジェクト管理の仕組みを実効的に機能させるためには、個々の作業についての技術面における深い理解に基づき、東京電力自らがエンジニアリングを管理し、これを機能させていく必要がある。

4) 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、廃炉研究開発連携会議では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たところであり、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、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

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・確保等の人材に関する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。

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

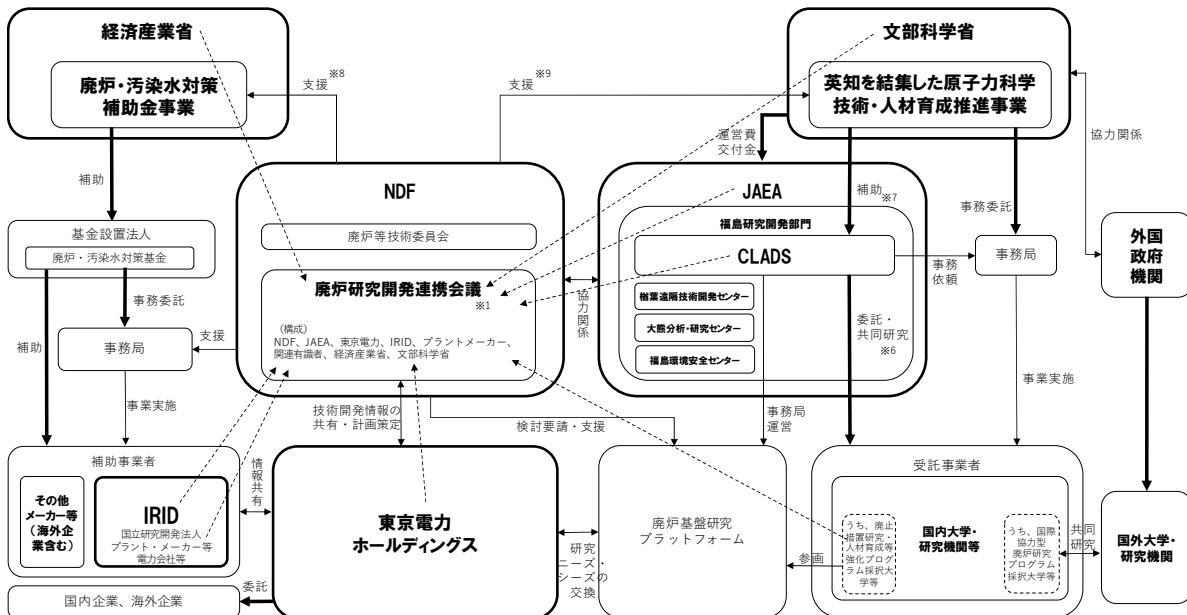
i. 基本的な方針

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、国と事業者が適切に役割分担し、着実に進めることが必要であり、また、国及び関連する研究機関の役割としては、中長期にわたる廃炉の着実な実施をバックアップするべく、基礎研究拠点・研究開発基盤の構築が更に期待されることになると考えられる。各研究機関は、廃炉の状況や廃炉に関する理工学的な諸課題（ニーズ）を検討した上で取り組む基盤的な研究開発により、廃炉に必要な技術を補完・補強していくことが期待される。

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 11）。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」を定期的に開催している。



- ※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（平成 30 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

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時的確に実施されることが重要である。

具体的には、当面は、東京電力が実施する予備エンジニアリングの進捗により研究開発課題が抽出され、さらに、プロジェクト管理上の検討を通じてそれを実施すべきタイミングが固まってくるのが想定される。このようなプロジェクトベースのスケジュール感で研究開発をマネジメントする体制を実現するためには、NDFと東京電力が共同で推進するプロジェクト管理体制の下で適切に情報共有がなされることが必要である。このため、具体的には東京電力と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、即ち、どのプロジェクトでいつ課題解決が必要なの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定期的に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り、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る。

また今後は、具体的な工程が明らかになってくるにしたがって、東京電力には、廃炉作業の安全性・効率性を向上させる技術開発の比重を高めていく努力が求められ、廃炉等積立金制度の下、必要な技術開発を適切に把握し、これを着実に実施することが重要である。

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

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た。さらに廃炉基盤研究プラットフォームにおいて重要研究開発課題について検討を進め、研究開発戦略が策定された。

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 櫛葉遠隔技術開発センターの本格運用開始（2016年4月、福島県櫛葉町）、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た。さらに、英国、米国、フランス等の「レガシーサイト」と呼ばれる過去の核開発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を長期にわたり実施することになる。このため、各国は、「unknown unknowns」（不確かさの程度さえ分かっていない未知の課題）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挑戦している。

福島第一原子力発電所の廃炉を着実に進めるためには、世界最高水準の技術や人材を活用するとともに、世界で先行してい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ぶことが重要である。また、国際社会の理解と支援を確保・維持するため、国際社会に開かれた廃炉を進めることが重要である。

また、福島第一原子力発電所の廃炉は、最先端の科学技術の発展の機会を生み、イノベーションの源泉となっていくことが期待される。例えば、英国で開発された立体的な線量評価が可能なマルチコプター（RISER）は、福島第一原子力発電所において適用性試験が行われ、1号機及び3号機建屋内の線量分布を測定する成果を上げている。このように、福島第一原子力発電所の廃炉を通じて獲得された技術や知見は、各国で行われる廃止措置にも有益になり得るものである。

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開かれた形で進めるためにも重要である。また同時に、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加することにより、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、我が国の国際社会に対する責任の一端を果たすことが期待される。

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

長期にわたる福島第一原子力発電所の廃炉においては、海外の廃止措置関係機関との連携は一過性のものではなく、継続的なパートナーシップの構築を見据えながら取り組む必要がある。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、各国で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ところである。このため NDF は、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）といった廃止措置関係機関と、政府間の枠組み

の下で、継続性のあるパートナーシップを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. 世界の叡智の結集と活用

福島第一原子力発電所の廃炉に関して我が国が獲得すべき世界の叡智には、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がある。これまでも、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、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り、これらの支援に深く感謝したい。

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。世界最高水準の技術や人材の活用に向けて、その最新状況を把握していくべきである。

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。

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 地域との共生及びコミュニケーションの一層の強化

1) 地域との共生及びコミュニケーションの一層の強化に向けた考え方

福島第一原子力発電所の廃炉を継続的に実施していく上で、地域との共生は大前提であり、地域に密着して信頼関係の構築に努めながら、復興に貢献する廃炉を目指していくべきである。

この地域との信頼関係構築の土台となるコミュニケーションにおいては、地域住民の皆様をはじめとした様々な立場の方々の声に真摯に耳を傾けることが出発点となる。特に、事業・計画や廃炉活動への疑問、安全・危機管理への不安にこたえることは重要であり、安全対策の取組や作業の進捗状況、放射線安全等に関する適切な情報提供や双方向のコミュニケーションを行いながら、リスク低減の方針に対する共通理解を形成し、今後の廃炉を進めていくべきである。このようなコミュニケーションの土台の上で、廃炉やこれに関連する様々な活動が地域の復興と活性化に貢献していくことを通じて、地域に根ざした産業となるように具体的な取組を始めることが必要である。

2) コミュニケーションの具体的な取組

今後、燃料デブリ取り出し等の取組が本格化する中では、関係機関の適切な連携の下、一層丁寧なコミュニケーションの在り方を検討し、実践していくことが必要である。

政府においては、「廃炉・汚染水対策福島評議会」の開催や、廃炉作業の状況についての動画やパンフレット「廃炉の大切な話」を作成し、丁寧なコミュニケーションに取り組んでいくこととしている。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、廃炉に関する情報発信や地域住民の皆様との精力的な意見交換を行うとともに、廃炉の話を平易な形で伝えられるパンフレット「はいろのいろは」を作成したところである。今後もこうした双方向の対話活動等を精力的に実施し、地域の皆様の声に真摯に受け止めていくこととしている。東京電力においては、2017年11月に廃炉コミュニケーションセンターを設置するとともに、ウェブコンテンツの公開や廃炉情報誌「はいろみち」の定期的な発行により、適切な情報発信に取り組んでいくこととしている。また、福島第一原子力発電所への視察者受入れを進めてきており、今後一層の受入拡大と視察内容の充実を図っていくこととしている。

3) 更なるコミュニケーションの広がりや風評への対応

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。また、事故後7年を経過してもなお、事故直後のイメージが払拭されずに定着していることによる影響も指摘されている。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、これらが更に活動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が何よりも重要である。また、風評被害防止のための対応としては、地域住民の皆様とのコミュニケーションに加えて、報道関係者、市場関係者及び流通業者はもちろん、海外を含む消費者に対してコミュニケーションを広げていく努力が必要となる。