

東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の
廃炉のための技術戦略プラン 2024

2024年9月27日

原子力損害賠償・廃炉等支援機構

目次

目次.....	2
1. はじめに.....	7
1.1 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた体制・制度.....	8
1.2 技術戦略プラン 2024 について.....	9
2. 福島第一原子力発電所の廃炉のリスク低減及び安全確保の考え方.....	12
2.1 福島第一原子力発電所廃炉の基本方針.....	12
2.1.1 第3期において議論すべき課題.....	12
2.1.2 第3 - 期において取り組むべきリスク管理.....	14
2.1.2.1 リスク低減.....	14
2.1.2.2 取り出し規模の更なる拡大に向けて必要となる事項.....	15
2.2 放射性物質に起因するリスク低減の考え方.....	17
2.2.1 リスクの定量的把握.....	17
2.2.2 リスク低減戦略.....	23
2.2.2.1 リスク低減戦略における当面の目標.....	23
2.2.2.2 リスク低減における基本的考え方.....	27
2.3 廃炉作業を進める上での安全確保の考え方.....	28
2.3.1 福島第一原子力発電所の特徴を踏まえた安全確保の基本方針.....	28
2.3.1.1 安全視点を第一とする考え「安全ファースト」の浸透.....	29
2.3.1.2 安全評価を基本とした判断最適化と廃炉対応における適時性確保.....	29
2.3.1.3 「オペレータ視点」を取り込んだ安全確保.....	30
2.3.1.4 安全を基軸とした工法・装置の選定.....	31
2.3.2 先行的な実施と得られる情報の後段での活用.....	31
2.3.3 作業に伴う一時的なリスクレベルの増加への対応の考え方.....	33
2.3.3.1 2023 年度に発生した二つのトラブルにみる強化すべき安全機能.....	33
2.3.3.2 作業員安全の重要性.....	34
2.3.4 一連のトラブルから見えてきた共通課題.....	34
3. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術戦略.....	38
3.1 燃料デブリ取り出し.....	38
3.1.1 目標.....	38
3.1.2 進捗.....	38
3.1.3 主要な課題と技術戦略.....	46
3.1.3.1 各号機の燃料デブリ取り出し戦略.....	46
3.1.3.2 試験的取り出し（内部調査及び燃料デブリ採取）.....	49
3.1.3.3 段階的な取り出し規模の拡大.....	53
3.1.3.4 取り出し規模の更なる拡大.....	54
3.1.3.5 事故分析（事故時の発生事象等の明確化）活動の継続.....	65
3.1.3.6 取り出し規模の更なる拡大に係る研究開発.....	66
3.1.3.7 保障措置方策の課題.....	72
3.1.4 主な技術課題のまとめ.....	73
3.2 廃棄物対策.....	74
3.2.1 目標.....	74
3.2.2 進捗.....	74
3.2.3 主要な課題と技術戦略.....	80
3.2.3.1 性状把握.....	83

3.2.3.2 保管・管理.....	84
3.2.3.3 処理・処分.....	85
3.2.4 主な技術課題のまとめ.....	87
3.3 汚染水・処理水対策.....	89
3.3.1 目標.....	89
3.3.2 進捗.....	89
3.3.3 主要な課題と技術戦略.....	96
3.3.3.1 汚染水発生量の抑制.....	96
3.3.3.2 建屋滞留水の処理.....	99
3.3.3.3 燃料デブリ取り出し等の廃炉工程を見据えた汚染水対策の課題.....	102
3.3.3.4 A L P S 処理水の海洋放出に関する今後の取組.....	103
3.3.4 主な技術課題と今後の計画.....	104
3.4 使用済み燃料プールからの燃料取り出し.....	105
3.4.1 目標.....	105
3.4.2 進捗.....	105
3.4.3 主要な課題と技術戦略.....	109
3.4.3.1 プール内燃料取り出し.....	109
3.4.3.2 将来の処理・保管方法の決定.....	111
3.4.4 主な技術課題のまとめ.....	115
4. 廃炉の推進に向けた分析戦略.....	116
4.1 廃炉に係る分析の概要.....	116
4.1.1 廃炉に係る分析の目的と意義.....	116
4.1.2 分析の全体像.....	117
4.2 分析に係る現状と戦略.....	118
4.2.1 分析の体制・手法の強化.....	118
4.2.1.1 分析体制の強化.....	118
4.2.1.2 分析計画の更新.....	118
4.2.1.3 分析・評価手法の開発.....	120
4.2.1.4 分析施設の確保.....	121
4.2.1.5 分析人材の確保.....	124
4.2.2 分析結果の品質向上.....	126
4.2.3 サンプルサイズ・量の増加に向けた分析技術の多様化.....	127
4.2.3.1 多様な分析・計測手法による総合的な評価.....	127
4.2.3.2 サンプル分析と非破壊計測の利用.....	127
4.2.3.3 分析数の改善.....	130
4.3 分析戦略のまとめ.....	130
4.3.1 燃料デブリの分析.....	130
4.3.2 固体廃棄物の分析.....	130
5. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた研究開発への取組.....	131
5.1 研究開発の意義と現状.....	131
5.2 主な課題と戦略.....	133
5.2.1 研究開発中長期計画.....	133
5.2.2 廃炉・汚染水・処理水対策事業への取組.....	134
5.2.3 廃炉現場と大学・研究機関における連携の促進.....	138
6. 技術戦略を支える取組.....	142
6.1 廃炉を進めるための能力、組織、人材等.....	142
6.1.1 東京電力が福島第一原子力発電所のオーナーとして有すべき能力、組織.....	142
6.1.1.1 廃炉プロジェクト管理の意義と現状.....	142
6.1.1.2 オーナーが有すべき能力.....	148

6.1.1.3 組織に関する取組.....	152
6.1.2 取引企業との協働的な関係性の構築.....	152
6.1.2.1 長期廃炉事業を見据えた調達管理能力の強化.....	152
6.1.2.2 協力企業と協調した現場管理の在り方の検討.....	153
6.1.3 廃炉を担う人材の確保や次世代の育成と国民理解の促進.....	155
6.1.3.1 東京電力における人材の確保と育成に関する取組.....	156
6.1.3.2 将来の廃炉を担う次世代の育成.....	158
6.1.3.3 廃炉及び廃炉に関わる放射線安全等に関する基礎的知識の普及と国民理解の促進	159
6.2 国際連携の強化.....	160
6.2.1 国際連携の意義と現状.....	160
6.2.1.1 国際連携の意義.....	160
6.2.1.2 国際連携の現状.....	160
6.2.2 主な課題と戦略.....	161
6.2.2.1 世界の英知の結集と還元.....	161
6.2.2.2 廃炉に対する国際社会の理解・関心や協力関係の維持・発展.....	162
6.3 地域共生.....	165
6.3.1 地域共生の意義と現状.....	165
6.3.1.1 基本的な考え方.....	165
6.3.1.2 現状における具体的な取組.....	165
6.3.2 主な課題と戦略.....	167
6.3.2.1 コミュニケーションに関する課題と戦略.....	167
6.3.2.2 廃炉を通じた地域の産業・経済基盤の創出に関する課題と戦略.....	168
略語・用語集.....	170
添付資料.....	174

図表目次

図 1 中長期ロードマップで定める廃炉工程	7
図 2 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	8
図 3 廃炉等積立金制度を踏まえた技術戦略プランの位置付け	9
図 4 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	22
図 5 福島第一原子力発電所が有するリスクの低減	22
図 6 主要なリスク源のリスク低減プロセスとその進捗（2024年3月時点）	25
図 7 安全を基軸とした工法・装置の選定（イメージ）	31
図 8 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	41
図 9 1号機PCV内部気中部調査 調査装置	42
図 10 調査結果（ペDESTAL内CRD交換用開口部付近のCRDハウジング）	42
図 11 燃料デブリ取り出し設備のイメージ（試験的取り出し及び段階的な取り出し規模の拡大）	43
図 12 X-6ペネ内堆積物除去作業状況	44
図 13 X-6ペネ内堆積物除去状況	44
図 14 テレスコプ式装置による試験的取り出しイメージと装置準備状況	45
図 15 燃料デブリ取り出しから保管までのイメージ（段階的な取り出し規模の拡大）	45
図 16 試験的取り出し（内部調査及び燃料デブリ採取）の主なステップ	52
図 17 気中工法の一例	58
図 18 気中工法オプションの一例	60
図 19 冠水工法の一例	62
図 20 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）	73
図 21 NDAにおける廃棄物ヒエラルキーの概念と福島第一原子力発電所における対応策	79
図 22 個別廃棄物ストリーム検討の必要性と各分野のオプションの抽出	81
図 23 個別廃棄物ストリームにおける各分野のオプション設定の考え方	82
図 24 個別廃棄物ストリームオプション案の評価と蓄積	82
図 25 固体廃棄物の安全な処理・処分方法を合理的に選定するための手法	87
図 26 廃棄物対策に係る主な技術課題と今後の計画（工程表）	88
図 27 汚染水対策の概要	89
図 28 汚染水抑制対策の進捗と汚染水発生量の推移	91
図 29 ALPS処理水の分析・評価の体制（原子力規制庁資料をNDFにて加筆）	93
図 30 ALPS処理水の希釈放出設備の概要	94
図 31 迅速測定（海水）の採取点	95
図 32 汚染水発生量抑制対策の概要	97
図 33 建屋貫通部の深度分布（東京電力資料をNDFにて加工）	98
図 34 サブドレンと建屋の水位低下（東京電力資料をNDFにて加工）	98
図 35 建屋間ギャップ部端部の止水イメージ	98
図 36 5号機ギャップ部端部止水実施前後の建屋流入量比較	99
図 37 ゼオライト土嚢の回収作業概要	101
図 38 汚染水対策・処理水対策・自然災害対策に係る主な技術課題と今後の計画（工程表） ..	104
図 39 共用プール・乾式キャスク仮保管設備配置図、及び作業の流れ	105
図 40 使用済燃料の保管状況（2024年6月末）	105
図 41 1号機オペフロ崩落ガレキの状況	106
図 42 1号機 プール内燃料取り出し工法	107

図 43 2号機 プール内燃料取り出し工法.....	107
図 44 福島第一原子力発電所 年度末における燃料体数.....	109
図 45 金属キャスク（例） コンクリートキャスク（例）.....	112
図 46 コンクリートキャスク 地上縦置き保管タイプ.....	113
図 47 コンクリートキャスク 地下縦置き保管タイプ.....	113
図 48 コンクリートキャスク 地上横置き保管タイプ.....	114
図 49 米国における乾式貯蔵実績.....	114
図 50 プール内燃料取り出しに関する主な技術課題と今後の計画（工程表）.....	115
図 51 分析対象物の分析ニーズ、分析に必要な設備及び線量率の関係.....	117
図 52 福島第一原子力発電所の廃止措置における分析戦略の三要素.....	118
図 53 総合分析施設の検討状況と施設イメージ.....	122
図 54 燃料デブリ取り出しと新設分析棟の工事・運用スケジュール.....	123
図 55 分析調整会議と分析サポートチームの構成.....	126
図 56 燃料デブリ取り出し後のハンドリング工程における非破壊計測の一例.....	129
図 57 廃炉研究開発の研究範囲と実施機関.....	131
図 58 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.....	132
図 59 廃炉補助事業の枠組み.....	134
図 60 各研究開発の関係性.....	135
図 61 2024 年度廃炉研究開発計画一覧.....	136
図 62 R F I と事業レビュー.....	138
図 63 福島における J A E A の廃炉研究拠点.....	141
図 64 標準的なリスクマネジメント・ワークフロー.....	145
図 65 第 8 回福島第一廃炉国際フォーラムの様子.....	161
図 66 原子炉建屋内構造図.....	173
図 67 原子炉圧力容器（ R P V ）内構造図.....	173
表 1 福島第一原子力発電所の主要なリスク源.....	21
表 2 共通要因分析結果.....	35
表 3 固体廃棄物の保管・管理状況.....	78
表 4 A L P S 処理水の放出実績.....	92
表 5 海水トリチウム濃度の迅速測定結果.....	96
表 6 分析計画策定のねらい.....	120
表 7 東京電力 - J A E A 間の人材交流及び東京電力への N F D からの人材の受入れの状況....	124
表 8 分析施設内で実施するサンプル分析と分析施設外で実施する非破壊計測における主要諸元の 相対比較.....	128
表 9 2020 年 4 月以降の東京電力における組織改編.....	143
表 10 「Making」と「Buying」の違い.....	151

1. はじめに

東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所（以下「福島第一原子力発電所」という。）の長期にわたる廃炉に係る取組は、政府が策定する「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」¹（以下「中長期ロードマップ」という。）に基づいて進められている（図1）。

事故	初期	第1期	第2期	第3期	
				第3-①期	第3-②期
	●事故 (2011年3月)～ ステップ2完了* (2011年12月)	●ステップ2完了 (2011年12月)～ 初号機の使用済燃料 取り出し開始(2013年 11月)まで	●第1期終了 (2013年11月)～ 初号機の燃料デブリ 取り出し開始まで	●第2期終了 (初号機の燃料デブリ 取り出し開始)～ 2031年末まで	●第3-①期終了～ 廃止措置終了まで (目標はステップ2完了 から30～40年後)

※「放射性物質の放出が管理され、放射線量が大幅に抑えられている」状況

図1 中長期ロードマップで定める廃炉工程

1号機内部調査でドローンを用いた原子炉格納容器内の調査が実施されたこと、汚染水発生量の低減に係るマイルストーンを前倒しで達成し、新たに目標を設定したこと、2023年8月から8回のALPS処理水の海洋放出が行われている等、廃炉作業は進展している。現在は、燃料デブリの試験的取り出しに着手し、第3-①期に入っており、燃料デブリの取り出し規模の更なる拡大の工法検討や、策定された分析計画に基づき、分析手法の開発、分析人材の確保等が進められている。また、2023年10月以降、トラブルが連続して発生していることから、東京電力はこの事態を重く受け止め、ヒューマンエラー防止のための仕組み作り等を行っている。

原子力損害賠償・廃炉等支援機構（以下「NDF」という。）は2014年以降、廃炉の実施に必要な研究開発、助言、指導等を行う組織として福島第一原子力発電所の廃炉に係る取組を支援している。「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン」（以下「技術戦略プラン」という。）は、この支援の一環として、以下の目的で2015年以降毎年取りまとめているものである（添付資料1）。

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

¹ 第4回廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議 資料2、「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(案)」、2019年12月27日

戦略プラン等を踏まえた取戻し計画作成方針を取りまとめ、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提示する。そして、取戻し計画を東京電力と共同で作成する過程を通じて、東京電力の取組内容についてプロジェクト遂行の観点から妥当性を評価するとともに、計画に盛り込むべき作業等の精査及び提示等を行い、適正かつ着実な廃炉の実施を支えている（図3）。

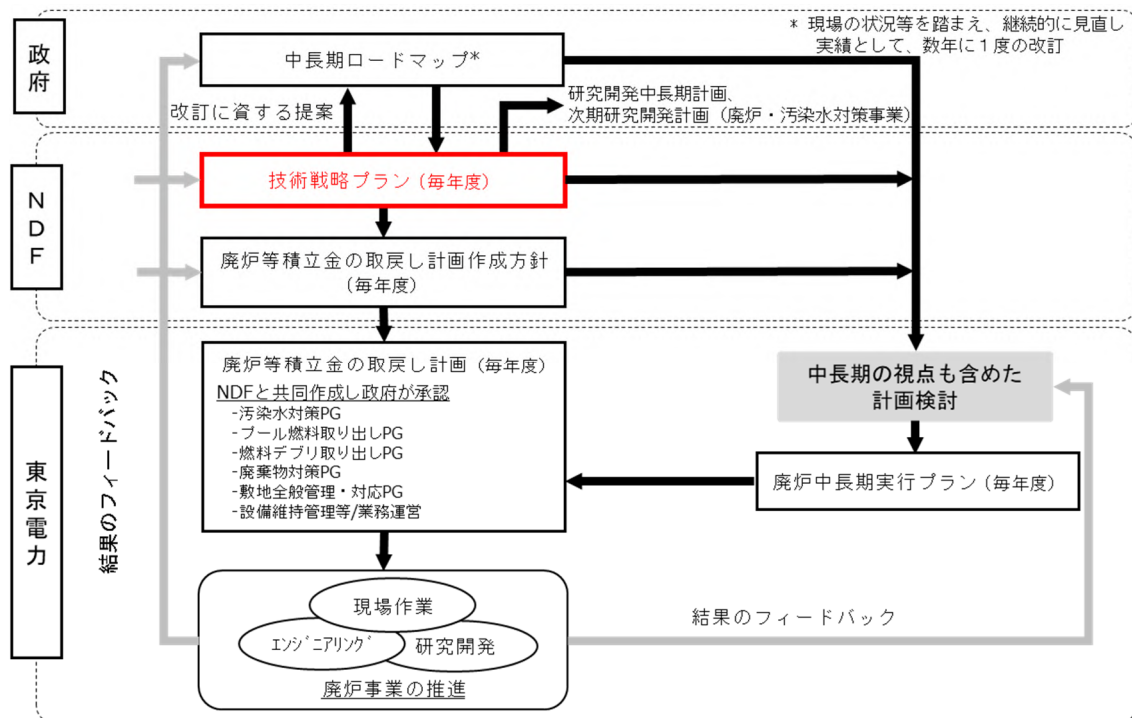


図3 廃炉等積立金制度を踏まえた技術戦略プランの位置付け

1.2 技術戦略プラン 2024 について

技術戦略プラン 2024 は、6つの章から構成されており、以下を特徴的に記載している。

- 中長期ロードマップの第3期において議論すべき課題
- 1号機 ドローン等による内部調査結果の実施状況
- 2号機 試験的取り出し（内部調査及び燃料デブリ採取）に係る準備・実施状況
- 3号機 燃料デブリの取り出し規模の更なる拡大の工法選定に係る検討結果及び対応状況
- A L P S 処理水の海洋放出・第三者分析の実施状況

上記を含め、技術戦略プラン 2024 での主な変更点は以下のとおりである。なお、これまでの福島第一原子力発電所に係る取組実績は添付資料2に示す。

2章 福島第一原子力発電所の廃炉のリスク低減及び安全確保の考え方

- 中長期ロードマップの第3期において議論すべき課題について記載。

- S E D評価²について、2024年3月末時点での各リスク源の放射エネルギーや管理状態を踏まえ潜在的影響度や安全管理要求度の見直しを実施。2023年3月末時点からの変化が顕著なものとしては、A L P Sスラリー（移替対象H I C）の移替作業の進捗に伴う潜在的影響度の低下、水素濃度の可燃限界に至る時間の評価の見直しに伴う燃料デブリの潜在的影響度の低下等について記載。
- 直近1年程度に発生した一連のトラブルを踏まえた強化すべき安全機能と課題、課題に関する取組について記載。

3章 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

- 1号機P C Vにおいて2023年3月に実施された水中R O Vによる調査結果に加え、2024年2～3月に実施されたドローンによる気中部調査結果により、ペDESTAL外とペDESTAL内の既設構造物の状態や堆積物、落下物等に係る映像などの多くの情報が得られたことを記載。
- 2号機の試験的取り出しについて、性状把握のための燃料デブリの採取を早期かつ確実にを行うべく、テレスコピック式の装置(大きさの違う筒を組み合わせたものを引き出す、若しくは収納することにより、全長を変えることのできる機構を持つ装置。以下「テレスコ式装置」という。)を用いて採取し、その後、ロボットアームによる内部調査及び燃料デブリ採取も継続する旨を記載。
- 3号機の取り出し規模の更なる拡大について、燃料デブリ取り出し工法評価小委員会(以下「小委員会」という。)において検討・評価した各工法の内容及び現時点で設計検討を進めるべき工法についての提言及びそれを踏まえた東京電力の検討状況と今後の進め方を記載。

(2) 廃棄物対策

- 全体の廃棄物ストリームの構築に向けた検討方針として、個別の固体廃棄物に対する対策の流れ(個別廃棄物ストリーム)を蓄積し、それらを束ねて、全体の廃棄物ストリームを構築する旨を記載。
- 保管・管理において、リスク低減目標マップで求められている放射能濃度管理手法の構築の方針を記載。

² 放射性物質に起因するリスクの大きさ(リスクレベル)を表現するため、英国原子力廃止措置機関が開発したSafety and Environmental Detriment (S E D)をベースとした手法。詳細は添付資料5を参照。

(3) 汚染水・処理水対策

- 汚染水発生量を 2025 年以内に 100m³/日以下に抑制する目標を前倒しで達成したこと及び新たに設定した目標（2028 年度末に、50～70m³/日程度に抑制）に向けた対策等の戦略を記載。
- 2023 年 8 月に開始した A L P S 処理水の海洋放出の実績及び今後の取組や第三者分析の実施状況を記載。

(4) 使用済燃料プールからの燃料取り出し

- 事故直後からの燃料の取り出し状況と、将来の目標を一覧できる、燃料の保管状況推移を記載。
- 保管方法として検討を行っているコンクリートキャスクについて事例を記載。

4章 廃炉の推進に向けた分析戦略

- 分析数の改善に関し、具体的な課題と取組状況を記載。
- 燃料デブリ、固体廃棄物の分析に関し、それぞれの検討状況と方針を総括的に記載。

5章 研究開発への取組

- 2024 年度に、小委員会の提言を受け、基礎基盤研究を含む課題検討及び実施の具体化検討を四者連携活動の特別タスクで進め、その結果を研究開発中長期計画や次年度廃炉研究開発計画に反映していくこと、また、基礎基盤研究と応用実用化研究の連携を促進していく旨を記載。
- 廃炉・汚染水・処理水対策事業に関し、初見の方にも理解しやすいよう事業の目的、これまでの取組等を記載。

6章 技術戦略を支える取組

(1) 廃炉を進めるための能力、組織、人材等

- 取引企業との協働的な関係性の構築に向け、長期廃炉事業を見据えた調達体制の構築、協力企業と協調した現場管理の在り方の検討について記載。
- 現場の状況変化や社会・地元のニーズに適切に対応するための組織改編について記載。

(2) 国際連携の強化

- 「6.2.2 主な課題と戦略（1）世界の英知の結集と還元」に関し、技術戦略プラン 2023 でも記述してきた戦略 3 つを、新たに項目としてまとめ直し、個別のタイトルを付与。

(3) 地域共生

- 廃炉事業は地域の方々によって支えられていることを示すため、業務に従事している作業員の地元雇用率を記載。

2. 福島第一原子力発電所の廃炉のリスク低減及び安全確保の考え方

2.1 福島第一原子力発電所廃炉の基本方針

＜福島第一原子力発電所廃炉の基本方針＞

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

福島第一原子力発電所は、事故後、継続的に講じた諸対策により一定の安全を保った状態で維持・管理されており、原子力規制委員会が定める「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」も満足している。

しかしながら、福島第一原子力発電所には、事故により損傷を受けた建物の中に燃料デブリ及び使用済燃料が残されていること、プラントの状態が十分に把握されていない箇所があること、放射性物質を含む汚染水が発生していること、従来にないような放射性廃棄物が多量に発生していること等から、大きなリスクが存在している。このリスクの存在に対して何ら対策を取らない場合、施設の経年劣化等によって更にリスクが増加する可能性もあるため、このリスクを可及的速やかに低減させる必要がある。

このため、福島第一原子力発電所の廃炉は、リスク低減のための特段の対策を講ずることを通じて、「事故により発生した通常の原子力発電所にはない放射性物質に起因するリスクを、継続的、かつ、速やかに下げること」を基本方針とする。事故を起こした施設のリスクを低減させるには、損傷した施設の閉じ込め機能を改善すること、閉じ込められている放射性物質の性状や形態をより安定な状態に持ち込むこと、異常の発生や進展を抑制・緩和できるように設備等の監視や制御性を高めること等の措置が有効であり、また、それらを総合的に実現するためには、

損傷した施設や不十分な閉じ込め状態から放射性物質を回収して、より頑健な保管状態に移行させることが有効である。

事故以降、作業員被ばくや環境や公衆への影響を防ぐべく周到な準備をした上で、このような様々なリスクを低減させる対策を講じてきた（添付資料3）が、今後も継続的にリスクを低減していく必要がある。本章では、中長期ロードマップの第3期を迎えるに当たって、第3期において議論すべき課題を2.1.1に示す。次に、第3期において取り組むべきリスク管理を2.1.2に、放射性物質に起因するリスク低減の考え方を2.2に示す。また、廃炉作業を進める上での安全確保の考え方を2.3に示す。2.1.2においては、第3期の廃炉作業において想定される全般的なリスクについて述べ、2.2においては福島第一原子力発電所内に存在する放射性物質の状態に応じた公衆のリスク低減の考え方を述べる。2.3においてもリスクを取り扱うが、ここでは安全確保に伴う作業員と公衆のリスクの両方を対象とする。

2.1.1 第3期において議論すべき課題

本年3月、NDFの廃炉等技術委員会の下に設置された「燃料デブリ取出し工法評価小委員会（委員長：更田豊志・前原子力規制委員長）」が、3号機を対象として2030年代前半に開始しようとする大規模な燃料デブリの取り出し工法を示し、東京電力による具体的な設計検討が開始さ

れた。東京電力は設計検討を進め、その進捗を小委員会に報告するとともに、1～2年程度でその後の見通しを整理することとされている。

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

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

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

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

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

燃料デブリの取り出しに向かう新たな段階においては、廃炉における課題や困難さを含む技術的見通しについて、地元・社会と共有しながら進めることが重要である。廃炉に関する情報を一方的に届けるのではなく、むしろ地元ならではの懸念や不安を聞き取りながら廃炉に生かしていく姿勢が必要となる。燃料デブリの取り出しばかりでなく、その他の技術的取組についても、また、その後の将来像を含めて、地域社会としての理解に至るべく、誠実で透明な対話を重ねていく必要がある。

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

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

2.1.2 第3 - 期において取り組むべきリスク管理

第3 - 期においても中長期ロードマップにおけるマイルストーンに従い以下の複数のリスク低減のための工程を並行して進める。

- 1～6号機の使用済燃料プールからの燃料取り出しの完了を目指す。
- 燃料デブリの試験的取り出しに着手し段階的に取り出し規模の拡大を進める。
- 汚染水発生量を最小限にとどめ安定的に維持する。
- 廃棄物対策としてガレキ等の一時保管を解消する。

燃料デブリ取り出しについては、より本格的な廃炉作業となる取り出し規模の更なる拡大に向けた工法の準備を進めていく。現在は冷温停止状態の宣言から約13年が経過しPCV内の温度や圧力は安定的な状態にあるが、燃料デブリの取り出しが始まるとPCV内の状態は変動することになる。取り出しの進捗に従って燃料デブリに起因するリスクは低減するが、従前小さいと認識していたリスクが相対的に大きくなったり、未知であったリスクが新たに顕在化する可能性がある。これらのリスクに備え、取り出し規模の更なる拡大に向けてリスク対応を実効的なものとしていくためにこれらのリスク変動が一番生じやすいPCV内の状態把握能力を向上させるべきである。そのため、現在のPCV内の監視パラメータの監視目的や設置数、現場施工の困難さを踏まえつつ、監視対象の種類や数の拡充に向けた検討を進めていくべきである。例えば、取り出し規模の更なる拡大においては取り出し作業に伴いPCV内のダスト濃度が上昇することが予想されるが、先行する試験的取り出しや段階的取り出し規模の拡大の段階でPCV内のダスト濃度を測定できるようにしておき、取り出し作業の場所や規模等とダスト濃度の相関を把握できれば、取り出し作業に伴う不確かさを低減でき適切な安全裕度を維持しつつ作業効率を高めることができる。

また、PCV内の状態をより多角的に把握できるようになると、取り出し規模の更なる拡大のために検討している設備類の要・不要の判断材料を提供でき、リソースの最適化に寄与することも期待できる。

さらに、工法に関わる設備類の設計・製造・設置を進めることに加え、操作員・保守要員の確保・教育や管理体制の整備、取り出した燃料デブリに対する合理的な分析体制を構築していくことも重要である。

2.1.2.1 リスク低減

2.1.2.1.1 PCVからの放射性物質の移行抑制に向けた更なる対策

- 気体状・ダスト状の放射性物質

移行しやすい気体状・ダスト状の放射性物質のPCVからの移行を減らすことで、燃料デブリ取り出しに向けて閉じ込め能力をより向上させる。具体的には、PCV圧力の均圧化（微負圧化）と、2.1.2で示したPCV内のダスト濃度の監視機能を充実させ、PCV外へのダスト移行量の低減効果を把握できるようにする。

- 液体状の放射性物質

気体状・ダスト状の放射性物質と同じく移行しやすい液体状の放射性物質の移行抑制を更に確実なものとする。具体的には、現在東京電力にて進められているサプレッションチェンバ（以下「S/C」という。）の水位低下について、燃料デブリ取り出し工法の検討や中長期的な汚染水対策の在り方の検討と整合を図りつつ、PCV水量の最小化を進める。

上記を進めるに当たっては、その可否の見極めや課題の所在、困難さを判断するために、原子炉注水停止試験や窒素供給量の低減試験等、現在の設備構成で可能な試験を、2.3.2で述べる「先行的な実施と得られる情報の後段での活用」の考え方にのっとり積極的に実施すべきである。

2.1.2.1.2 燃料デブリを収める原子炉圧力容器（RPV）・原子炉格納容器（PCV）・原子炉建屋の健全性に対する長期的なリスクへの備え

原子炉圧力容器（以下「RPV」という。）やPCVは事故の影響を直接受けており、RPV底部は溶融燃料により、PCVは過熱・過圧により一部が損傷していることが判明している。

また、PCV底部では、炉心溶融物との接触による影響や溶融物の熱による影響も発生し、1号機PCVペDESTAL内部では内壁の配筋やインナースカートの露出を確認している。このため、金属材の腐食による強度低下や閉じ込め性能の劣化、影響を受けたコンクリート構造材の強度の低下等のおそれに対して、RPVやPCVの閉じ込め性能や原子炉建屋を含めた強度に関わる長期的な健全性を維持するための慎重な対応が必要である。

このためには、特にPCV内部の損傷状況の確認を鋭意進めるとともに、地震や経年劣化といった今後生じ得る長期的なリスクを想定した上で、PCV内部に関する最新情報に基づいた健全性評価を進める必要がある（添付資料4）。損傷状態に関する情報が限られる中で、この評価には不確かさが常に伴うが、不確かさを低減するための評価用データの更新や最新の炉内情報の反映等に鋭意努める必要がある。

2.1.2.2 取り出し規模の更なる拡大に向けて必要となる事項

取り出し規模の更なる拡大の段階において、安全かつ確実な燃料デブリ取り出し作業を行うために以下の事項が必要となる。

- 試験的取り出しを確実に実施し知見を得て、その後の段階的取り出し規模の拡大に活用するとともに、それを取り出し規模の更なる拡大に生かす。
- 工法に関わる設備類の設計・製作・設置を進める。
- 操作員の確保・教育や管理体制を整備し、必要な訓練を実施する。
- 取り出し準備作業等においては高線量の原子炉建屋での作業が必要となることから、現場の環境改善を進めるとともに、作業が長期にわたるため作業員の被ばく管理と長期的な作業員の確保ができることを確認する。
- ハード整備の事前準備として、排気筒、廃棄物処理建屋の解体・撤去等の周辺環境整備を進める。

- 取り出した燃料デブリに対して、合理的な分析ができるように分析計画、分析施設及び分析体制を関係機関で協議、整備しておく。
- 以上の作業に支障が出ないよう、廃棄物保管の整備を推進する。

以上の、具体的な取組については3章及び4章に記載する。

2.2 放射性物質に起因するリスク低減の考え方

2.2.1 リスクの定量的把握

「リスク」という用語は分野や場面ごとに様々な用法で用いられているが、一般的にその適切な管理を検討する場合、リスクとは何らかの事象によってもたらされる負の影響の期待値として理解される。すなわち、個々の対象（リスク源）が有するリスクの大きさ（リスクレベル）は、対象において発生し得る事象の「影響度」とその「起こりやすさ」の積で示される。

技術戦略プランでは、放射性物質に起因するリスクの大きさ（リスクレベル）を表現するため、英国原子力廃止措置機関（以下「NDA」という。）が開発した Safety and Environmental Detriment（以下「SED」という。）をベースとした手法を用いる。SEDで表すリスクレベルは以下の計算式で与えられる。

$$\text{SEDで表すリスクレベル} = \text{「潜在的影響度」} \times \text{「安全管理要求度」} \quad (\text{式1})$$

ここでの「潜在的影響度」とは、事象の影響度（リスク源の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）の指標であり、リスク源に含まれる放射性物質の量（放射性物質が有する毒性）であるインベントリと、リスク源の形態やリスク顕在化までの余裕時間に依存する係数の積で定義される。また、「安全管理要求度」とは、事象の起こりやすさの指標であり、施設の健全性等やリスク源の梱包・監視状態等に依存する係数で定義される（添付資料5）³。

福島第一原子力発電所の主要なリスク源を表1に示す。また、各リスク源の2024年3月末時点でのリスクレベルを図4に示す。また、これらのリスク源の総和としての福島第一原子力発電所のリスクレベル及びその経年変化を図5に示す。図4では2024年3月末時点での各リスク源の放射エネルギーや管理状態を踏まえ潜在的影響度や安全管理要求度の見直しを行っている。特に2023年3月末時点からの変化が顕著なものとしては、2点、積算吸収線量の基準を超過したHICに保管されているALPSスラリーの移替え作業の進捗による「ALPSスラリー（移替え対象HIC）」の潜在的影響度の「ALPSスラリー」への移行による潜在的影響度の変動^{4, 5}。

³ 技術戦略プラン2022まで名称を「管理重要度」としていたが、技術戦略プラン2023で名称を「安全管理要求度」に見直した。この見直しは、リスク源を内包する施設の健全性や梱包・監視状態等が不十分な場合や、リスク源そのものの反応性が高い場合には、より高いレベルの安全管理上の措置が要求されることを明示的に表すため行ったものである。

⁴ 特定原子力施設監視・評価検討会（第112回）資料4-4、HICスラリー移替え作業の進捗状況について、2024年4月26日

⁵ 福島第一原子力発電所における循環注水冷却・滞留水等に係る定例会資料6、HICスラリー移替え作業の進捗状況について、2024年4月5日

6、 余裕時間（Control Factor：潜在的影響度の一要素、添付資料 5 参照）に影響を及ぼす窒素封入停止後の水素濃度の変化を、放射能の減衰や燃料デブリの分布などを考慮して再評価し、これまでの想定よりも余裕時間が伸びた状態がより確からしいと評価したことによる「燃料デブリ」の潜在的影響度の低下が挙げられる^{7、8}。1号機のPCV内部調査により明らかとなった、ペDESTALのコンクリートの一部消失を踏まえた「燃料デブリ」や「建屋内汚染構造物等」の安全管理要求度への影響については、東京電力により実施された以下の一連の評価を考慮し、安全管理要求度は維持されるものとした^{9、10、11}。

- ペDESTALの支持機能が喪失し、RPVの沈下・PCVの大開口が発生したと仮定した事象において、保守性を持たせた複数のダスト発生シナリオを考慮しても敷地境界における実効線量は事故時の基準 5mSv / 事象を下回る（最大のもので 0.04mSv / 事象）。
- ペDESTALのコンクリートの一部消失を踏まえて実施された構造物の健全性評価では、事故時温度履歴を経た鋼材の強度・性状への影響を考慮に入れた上で、Ss900 相当の地震時にペDESTAL基礎部にかかるペDESTAL上部構造物の荷重はインナースカート単体で支持可能と評価されており、また、ペDESTAL上部構造物の水平方向荷重を負担するPCVスタビライザ又はバルクヘッドは、どちらも単体で地震時水平荷重を支持可能と評価されている。
- ただし、上述の評価結果は、事故時の温度履歴の推定、機器の点検範囲が限定的であるため評価条件に不確かさを含み、その影響を受けることから、ダスト飛散に対する影響緩和策等を進める。

以上が 2024 年 3 月末時点でのリスクレベルの評価結果であるが、現状の安全管理要求度の評価方法は、上述の「燃料デブリ」や「建屋内汚染構造物等」の評価のような総合的な判断を必要とし、リスク源の現状を直接的に表せるようになっていないことから評価方法の改善について現在検討している。安全管理要求度は、FD（Facility Descriptor、閉じ込め機能の十分性を示す指

⁶ ALPSスラリー安定化処理設備の運用開始までに積算吸収線量が 5,000kGy を超えると評価される HIC について、順次、移替えが計画されており、2024 年度末までに移替え作業が計画されている分を「ALPSスラリー（移替え対象 HIC）」に含めている（2023 年度末までに当初の計画どおりに移替えが完了しなかった 6 基と 2024 年度末までに移替え作業を計画している 23 基を合計した 29 基分）。2025 年度末、2026 年度末までに新たに積算吸収線量が 5,000kGy を超える HIC の基数は各々 26 基、48 基と評価されており、今後の移替え作業の進捗に応じて次年度以降の「ALPSスラリー（移替え対象 HIC）」の潜在的影響度の評価は変動する。

⁷ 特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合（第 10 回）資料 1 - 3、PCV の閉じ込め機能強化に関する検討状況について（PCV 内の水素爆発） 2023 年 6 月 5 日

⁸ 余裕時間の評価は、「数日」、「数週間」、「数か月」といった大まかな分類によって、その違いが潜在的影響度の評価に反映される。技術戦略プラン 2023 までは、余裕時間の評価として「数週間」をより確からしいと評価していたが、技術戦略プラン 2024 の評価ではこれを「数か月」に見直した。

⁹ 特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合（第 10 回）資料 1 - 1、1号機 ペDESTAL の状況を踏まえた対応について、2023 年 6 月 5 日

¹⁰ 特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合（第 12 回）資料 2、1号機 PCV 内ペDESTAL の状況を踏まえた対応状況（コメント回答） 2023 年 7 月 11 日

¹¹ 特定原子力施設監視・評価検討会（第 109 回）資料 2 - 1、1号機 ペDESTAL の状況を踏まえた今後の対応に関する指示への対応状況について、2023 年 10 月 5 日

標)とWUD(Waste Uncertainty Descriptor、長期的安定性を示す指標)の積で表され、このFDとWUDの評価では、あらかじめ用意されたリスク源の性質を説明する各々10種類の記述(カテゴリ)とスコアの組合せに対して評価対象となるリスク源を当てはめることにより評価がなされるが、リスク源の性質を説明する記述は大まかなものであり、どのカテゴリに分類するかは現状を分析した上での総合的な判断を必要とする。上述の燃料デブリや建屋内汚染構造物等の評価で言えば、FDのカテゴリ分類における安全評価基準の記述に着目することになるが、現状の評価では安全評価基準を「満足する」か、「満足しない」の二択の評価しかない。今回の評価では安全評価基準を「満足する」と評価しているが、安全評価基準に対する評価は二択ではなく、事故による損傷影響の有無や、評価条件の不確かさの程度に応じて段階的に評価されるべきものとする。このようなリスク源の評価に取り入れるべき評価視点を検討し、個別の評価視点毎に評価者のリスクの大小関係の判断を記述的に表現したものを複数用意することによって、評価者がそれらの記述にリスク源を当てはめて評価した結果から直接的にリスク源の現状を表せるような評価手法の改善に現在取り組んでいるところであり、今後評価に反映していく予定である。

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、以下3つの基本分類を用いて優先順位を付け、最適な対策を実施している。

相対的にリスクが高く優先順位が高いもの(建屋内滞留水やプール内燃料)

直ちにリスクとして発現するとは考えにくいだが拙速に対処した場合にかえってリスクを増加させ得るもの(燃料デブリ)

将来的にもリスクが大きくなるとは考えにくいが廃炉工程において適切に対処すべきもの(除染装置スラッジ等の固体廃棄物)

図4では、上記の を桃色、 を黄色及び 等を緑色で示し、このうち「十分に安定管理されている領域」(水色の領域)にあるリスク源については、水色で表している¹²。福島第一原子力発電所全体のリスク低減戦略を検討するに当たり、上述のSEDはある時間断面での放射性物質に起因するリスクの相対的な関係を半定量的に示したものであり、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。

なお、福島第一原子力発電所の主要なリスク源は表1のとおりであるが、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、潜在的影響度が必ずしも高くはないが十分に安定管理されていないものが存在する。これらは、技術戦略プラン2019から提示しており、特に、これまで明示的に検討の対象としていなかったリスク源を収納する設備については、地震、津波、雨水等の外部事象を考慮した調査・検討を進めている。調査・検討によりリスク源の情報が明らかになり、主要なリスク源と同様に優先順位を付けて対処すべきと判断されたものについては今後リスクレベルを評価していく(添付資料6)。

¹² 図4において「十分に安定管理されている領域」は、共用プール、乾式キャスク等の事故前から安全に設計・使用されており、事故の影響を受けていない施設、吸着塔類等の事故後に長期保管できるよう設計された施設に保管されているリスク源の安全管理要求度を内包するように定めている。

また、廃炉作業中の長期的な時間経過に従い、これまで想定できていない事象も発生しており、想定外のリスクを抽出していく取組が重要になる。このようなリスクの抽出は容易ではないが、想定外の事象が発生した際にその事象を分析し、これまで想定できていなかった要因を明らかにしていくことはリスク抽出の糸口となる。

2021年3月25日に報告されたガレキ等の一時保管エリアにおける全汚染物の漏えい事象¹³では、内容物が把握されていない容器（コンテナ）からの放射性物質の漏えいが確認された。これまで、ガレキ等固体状の内容物は、容器破損により直ちに放射性物質を環境に移行させることはない想定していたが、その後の分析によりコンテナ内面の腐食が漏えいの要因と推定された¹⁴。本事象を踏まえるとリスク源の所在と放射能に加えて物理化学的状態とその経年変化の把握がリスク抽出に重要となる。また、2021年2月13日に発生した福島県沖を震源とする地震¹⁵では、1号機と3号機でのPCVの水位低下や構内のタンクでタンク設置時に評価した滑動量を超える滑動が確認された。2022年3月16日に発生した福島県沖を震源とする地震においても1号機と3号機でのPCVの水位低下や一時保管エリアのコンテナの転倒が確認された¹⁶。現在の状態が十分に把握できていないPCV等については、内部調査とともに、事故発生時の状況の理解による損傷状態の把握及び監視や評価による経年変化の推定がリスク抽出に役立つ。自然災害等の外部事象については、既存設備や新規設備の設計条件を超える事象に対する影響と対応策の要否をあらかじめ十分に評価する必要がある。

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

¹³ 東京電力、特定原子力施設監視・評価検討会（第90回）資料4、「物揚場排水路 事故事象報告及びガレキ類の保管管理について」、2021年4月19日

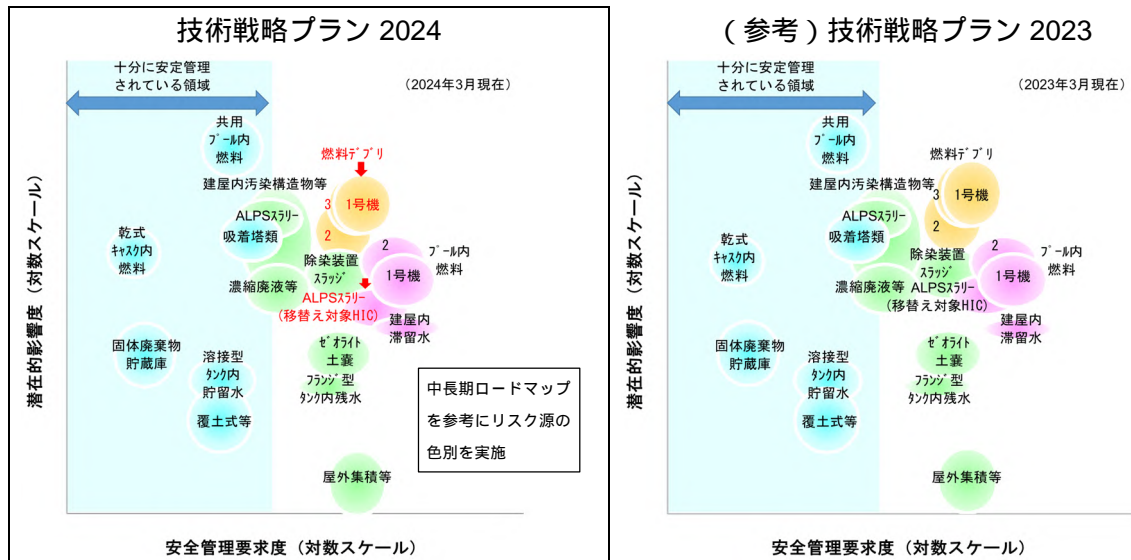
¹⁴ 東京電力、廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第90回）資料3-6、「1F規則第18条第10号判断について（物揚場排水路PSFモニタ放射能高警報発生事象）」、2021年5月27日

¹⁵ 東京電力、特定原子力施設監視・評価検討会（第90回）資料5-1-3、「福島第一原子力発電所 2月13日地震に対する設備の追加点検及び耐震評価について」、2021年5月19日

¹⁶ 東京電力、特定原子力施設監視・評価検討会（第99回）資料1-1、「3月16日地震発生後の福島第一原子力発電所の状況について」、2022年4月18日

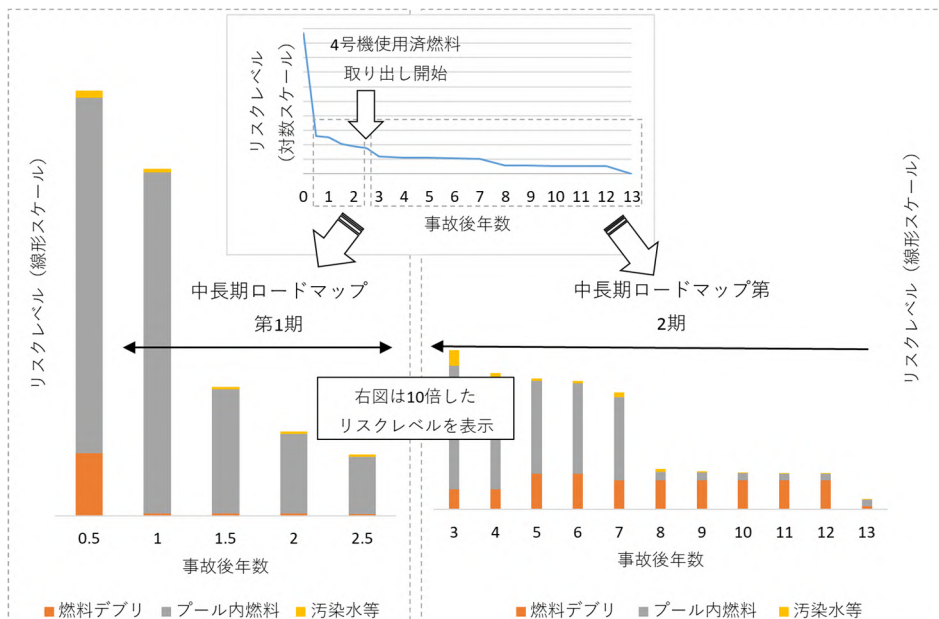
表 1 福島第一原子力発電所の主要なリスク源

燃料デブリ		1～3号機の原子炉圧力容器（RPV）/原子炉格納容器（PCV）内の燃料デブリ
使用済燃料	プール内燃料	1～2号機の使用済燃料プール内に保管されている燃料集合体
	共用プール内燃料	共用プール内に保管されている燃料集合体
	乾式キャスク内燃料	乾式キャスク内に保管されている燃料集合体
汚染水等	建屋内滞留水	1～3号機原子炉建屋、プロセス主建屋、高温焼却炉建屋内に滞留する汚染水、1～3号機建屋底部の核種含有スラッジ
	ゼオライト土嚢	プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋地下階に設置された土嚢内のゼオライト等
	溶接型タンク内貯留水	溶接型タンク内に保管されているストロンチウム処理水、ALPS処理水
	フランジ型タンク内残水	フランジ型タンク底部に残っている濃縮塩水の残水及び核種含有スラッジ
水処理 二次廃棄物	吸着塔類	セシウム吸着装置等の各種の汚染水処理設備から発生した使用済吸着塔等
	ALPSスラリー	多核種除去設備、増設多核種除去設備で発生した、高性能容器（HIC）に保管されているスラリー、廃吸着材
	ALPSスラリー（移替 え対象HIC）	線照射の影響を受けたHICのうち、積算吸収線量が基準値5,000kGy（落下に対する構造健全性が確認できている積算吸収線量）を超えた又は超える時期が近いと評価され、HIC移替えが計画されているALPSスラリー
	除染装置スラッジ	除染装置の運転に伴って発生した凝集沈殿物
	濃縮廃液等	濃縮塩水を蒸発濃縮装置で更に濃縮減容した濃縮廃液及び濃縮廃液から収集した炭酸塩スラリー
ガレキ等	固体廃棄物貯蔵庫	固体廃棄物貯蔵庫内に収納されているガレキ類（30 mSv/h 超）
	覆土式等	覆土式一時保管施設、容器収納にて保管されているガレキ類（1～30 mSv/h）、一時保管槽にて保管されている伐採木
	屋外集積等	屋外シート養生にて保管されているガレキ類（0.1～1 mSv/h）、屋外集積にて保管されているガレキ類（0.1 mSv/h 未満）、屋外集積にて保管されている伐採木
建屋内汚染構造物等		原子炉建屋、PCV/RPV内で、事故により飛散した放射性物質により汚染された構造物・配管・機器等（シールドプラグ・非常用ガス処理系配管等）及び事故以前の運転時の放射化物



「相対的にリスクが高く優先順位が高いもの」を桃色、「直ちにリスクとして発現するとは考えにくい」が拙速に対処した場合にかえってリスクを増加させ得るもの」を黄色、「将来的にもリスクが大きくなるとは考えにくい」が廃炉工程において適切に対処すべきもの」等を緑色で示し、このうち「十分に安定管理されている領域」にあるリスク源を水色で示す。また、朱記は技術戦略プラン 2023 (2023年3月時点評価) からの変化が顕著なリスク源を表し、矢印の元は技術戦略プラン 2023 の位置を示している。ALPSスラリー (移替え対象HIC) は、移替え作業の進捗によりALPSスラリー (緑色) へ移行した分の潜在的影響度が減少し、下方に移動している。なお、元々のALPSスラリー (緑色) の潜在的影響度に対する移行割合は少ないため、対数スケール上のALPSスラリー (緑色) の変動はほとんどない。燃料デブリは、余裕時間 (Control Factor: 潜在的影響度の一要素、添付資料 5 参照) に影響を及ぼす窒素封入停止後の水素濃度の変化を、放射能の減衰や燃料デブリの分布などを考慮して再評価し、これまでの想定よりも余裕時間が伸びた状態をより確からしいと評価することにより潜在的影響度は減少し、下方に移動している

図4 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



- 1 事故直後は燃料デブリによるリスクレベルが高かったが、事故後1年にかけて燃料デブリ中の放射性物質の減衰により潜在的影響度が大きく減少したため、リスクレベルが大きく低下している。
- 2 事故後8年の評価において、使用済燃料プールの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との知見を取り入れた結果、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それ以前の評価よりも低くなっている。
- 3 事故後13年の評価において、PCV内の窒素封入と排気が停止した場合の水素濃度の可燃限界 (4%) に至る時間が事故後初期よりも大幅に伸びているという知見を踏まえ、水素濃度の可燃限界に至る時間の評価を見直した結果、リスクが顕在化するまでの時間的余裕が増すことから、燃料デブリのリスクはそれ以前の評価よりも低くなっている。
- 4 上述のリスクが顕在化するまでの時間的余裕については、潜在的影響度を構成する指標である Control Factor (CF) で考慮されており、「数日」、「数週間」、「数か月」といった大まかな分類に応じてCFに離散的な値を与えることにより潜在的影響度が評価されることから、リスクレベルの変化も離散的に表れる。

図5 福島第一原子力発電所が有するリスクの低減

2.2.2 リスク低減戦略

2.2.2.1 リスク低減戦略における当面の目標

式1で示されるように、SEDで評価されるリスクレベルを低減させるための対策としては、「潜在的影響度」で表される放射性物質の公衆への影響を低減させる方法と、「安全管理要求度」を低減させる方法がある。

「潜在的影響度」は、リスク源に含まれる放射性物質の量であるインベントリと、リスク源の気体、液体、固体等の性状の相違による放出のされやすさや安全機能喪失時のリスク顕在化までの余裕時間に係る指標との積で表される。「潜在的影響度」を低減させる例としては、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がある。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。

「安全管理要求度」は、リスク源を内包する施設の閉じ込め機能の十分性（以下「閉じ込め性」という。）に係る指標と、リスク源の特性（劣化や活性度）や梱包、監視状態等のリスク源の長期的な安定性や取扱い性に係る指標の2つの積を用いて表される。「安全管理要求度」で表される事象の起こりやすさを低減させる方法としては、第一にリスク源を内包する施設の閉じ込め性を改善することである。閉じ込め性の改善方法としては、リスク源を津波の影響を受けにくい高台のより健全な施設へ移送することや、現状の保管施設の損傷箇所の修復等がある。第二にリスク源の取扱いの不確かさを低減し、リスク源の特性を踏まえた管理を長期的かつ安定的に可能にすることで、長期的安定性を改善することである。そのためには、リスク源の分布の調査、分析・測定による性状把握、監視状態の改善等により、十分な情報を取得し、リスク源の特性に応じて回収方法や保管方法に適切に反映することが重要となる。このようなリスク源の取扱いの不確かさを低減するための取組は、リスク源の回収作業等のリスク低減措置に伴う一時的なリスクレベルの増加を低く抑えることにも役立つ。

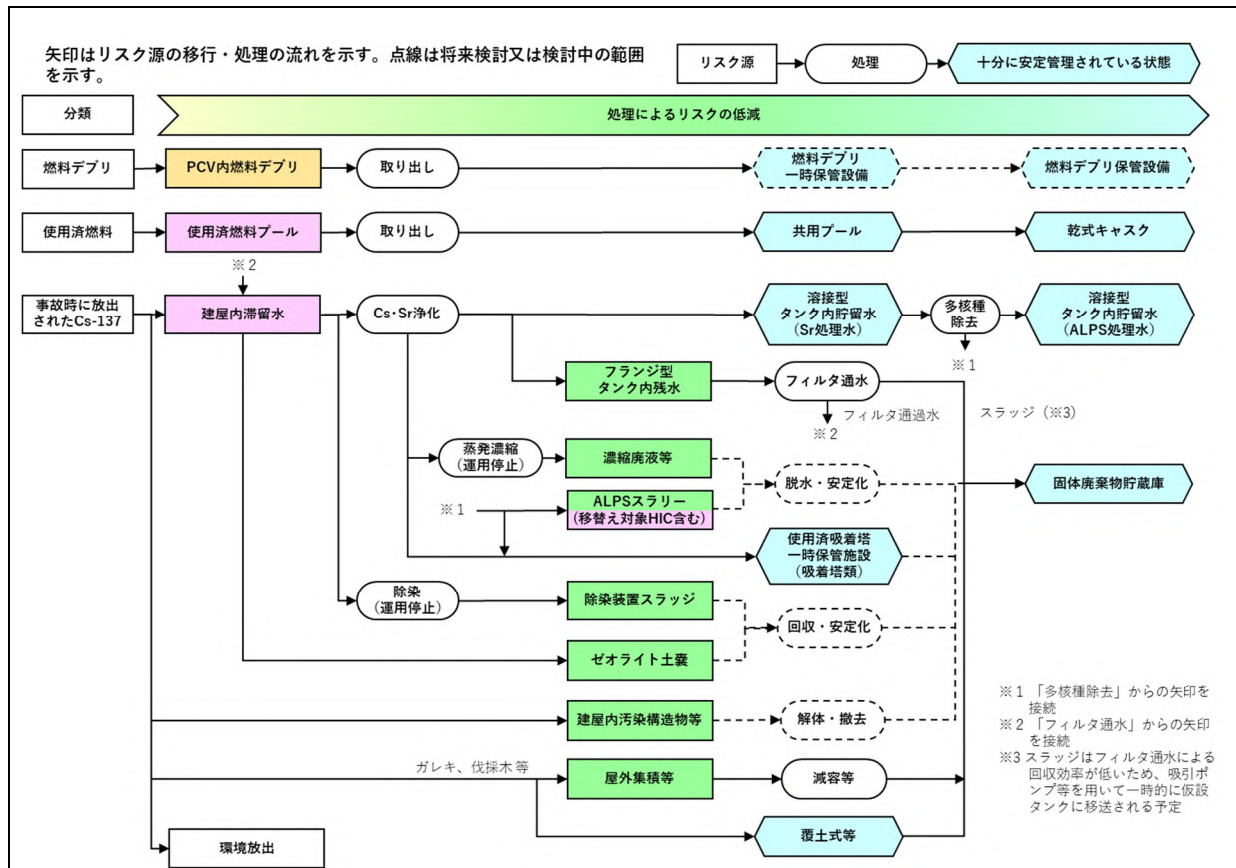
様々なリスク低減対策のうち一般に工学的に実現しやすいものは、この「安全管理要求度」で表される事象の起こりやすさの低減である。したがって、「事故により発生した通常の原子力発電所にはない放射性物質に起因するリスクを、継続的、かつ、速やかに下げること」（2.1節参照）を基本方針とする福島第一原子力発電所の廃炉におけるリスク低減策の当面の目標としては、上述の方法によりリスク源の「安全管理要求度」を、図4の「十分に安定管理されている領域」（水色の領域）に持ち込むこととする。「十分に安定管理されている領域」の中でも「安全管理要求度」を更に下げていくことは、安定状態を維持するための注水や窒素封入等の動的な対応が不要な状態である受動的安全性が確保された状態を達成することにつながる。

主要なリスク源について、当面の目標である「十分に安定管理されている領域」に持ち込むまでのプロセス及びそのプロセスに沿った廃炉作業の進捗を図6に示す。

図6(a)は、これまでの廃炉作業及び今後の計画の概要をフロー化し、俯瞰的に廃炉作業全体の流れを示すとともに、図4の色別を用いて各リスク源のリスクレベルを表すことにより、リスクの低減の流れを提示している。このフローを基に、燃料デブリ、使用済燃料及び事故時に放出されたCs-137について展開することにより、事故時に比べ、どのようにリスク源が移行したのかを可視化することが可能である。図6(b)には、使用済燃料について、作業進捗が分かりやすい燃料集合体体数を指標として、図6(c)には、Cs-137について、様々な形態で存在するリスク源に

共通する放射能推定値（Bq）を指標として、「十分に安定管理されている領域」への移行状況を、各々円グラフにより表現し、廃炉作業の進捗状況を提示している。図 6(b)は技術戦略プラン 2023 からの進捗はない。図 6 (c)には、2023 年度中の建屋内滞留水量の変動、吸着塔類の増加、固体廃棄物貯蔵庫等での保管量の増加、減衰分の増加による Cs-137 の増減を反映し、そのうち、割合の大きい減衰分の増加を明灰色で示している。図 6(d)には、フロー中に示されたリスク源とその処理プロセスに対応する安全管理要求度の推移をリスク源の分類ごとグラフで示している。ここで示す安全管理要求度は、上述の安全管理要求度を低減させる方法と対応付けるため、閉じ込め性に係る成分と長期的安定性に係る成分の 2 つに分けて表示している¹⁷。これによりリスク源を十分に安定管理されている領域に移行させるために、閉じ込め性又は長期的安定性のどちらの対策を優先的に取り組むべきか判別ができる。また、フローで将来検討又は検討中の範囲としている処理プロセスにおいて、安全管理要求度を十分に安定管理されている領域（グラフ中の水色の領域）まで低減させる際に改善すべき対象を、図 6 (d)でそれぞれ青色と橙色の矢印により示した。なお、図 6 (d-1)における取り出した燃料デブリや、図 6 (d-4)の安定化処理後の水処理二次廃棄物の安全管理要求度の閉じ込め性については乾式キャスクや固体廃棄物貯蔵庫等の施設と同等とし、長期的安定性については、リスク源が有する反応性を考慮して適切な保管管理ができる状態を想定している。この想定は現時点での仮定であり、今後の検討の進捗等により変わり得る。各リスク源のリスク低減に係る具体的な戦略は 3 章で詳述する。

¹⁷ 添付資料 5 に示される安全管理要求度の指標のうち、FD に係る成分を閉じ込め性に、WUD に係る成分を長期的安定性に対応付けた。図 6(d)では各々のリスク源の安全管理要求度（ $FD \times WUD$ ）⁴の対数をとることにより、安全管理要求度を閉じ込め性に係る成分と長期的安定性に係る成分に分解して表示している。青色と橙色の棒の高さは、潜在的影響度に安全管理要求度を乗じる際に、閉じ込め性に係る成分と長期的安定性に係る成分によって何倍にされるかを対数で表している。なお、当該リスク源が複数のリスク源から構成される場合、その中で代表的なリスク源について表示している。



(a) リスク低減プロセス

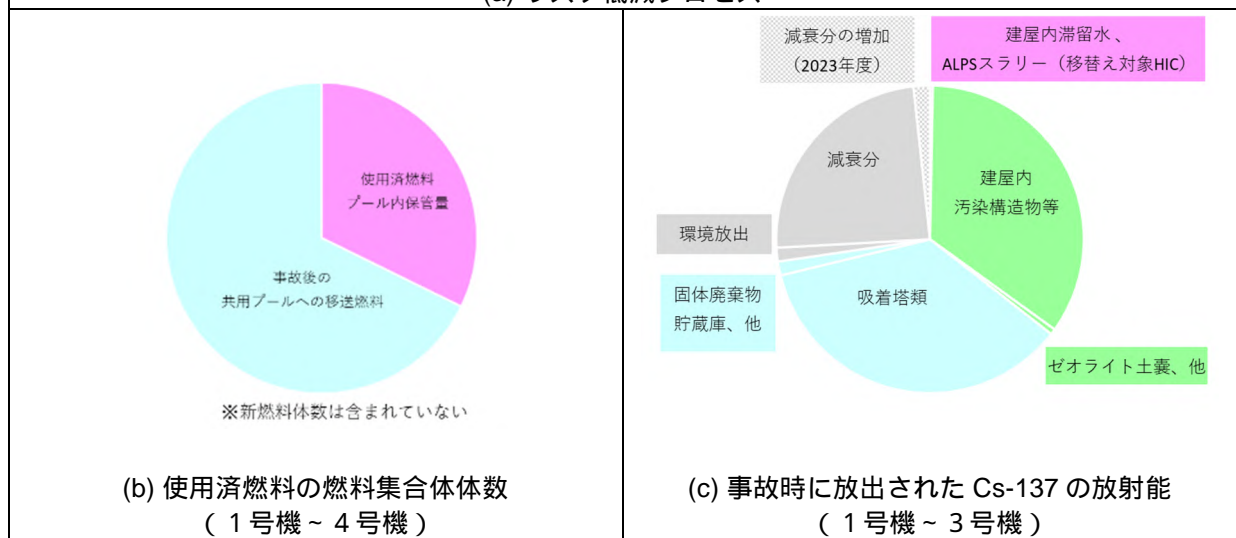


図6 主要なリスク源のリスク低減プロセスとその進捗 (2024年3月時点) (1/2)

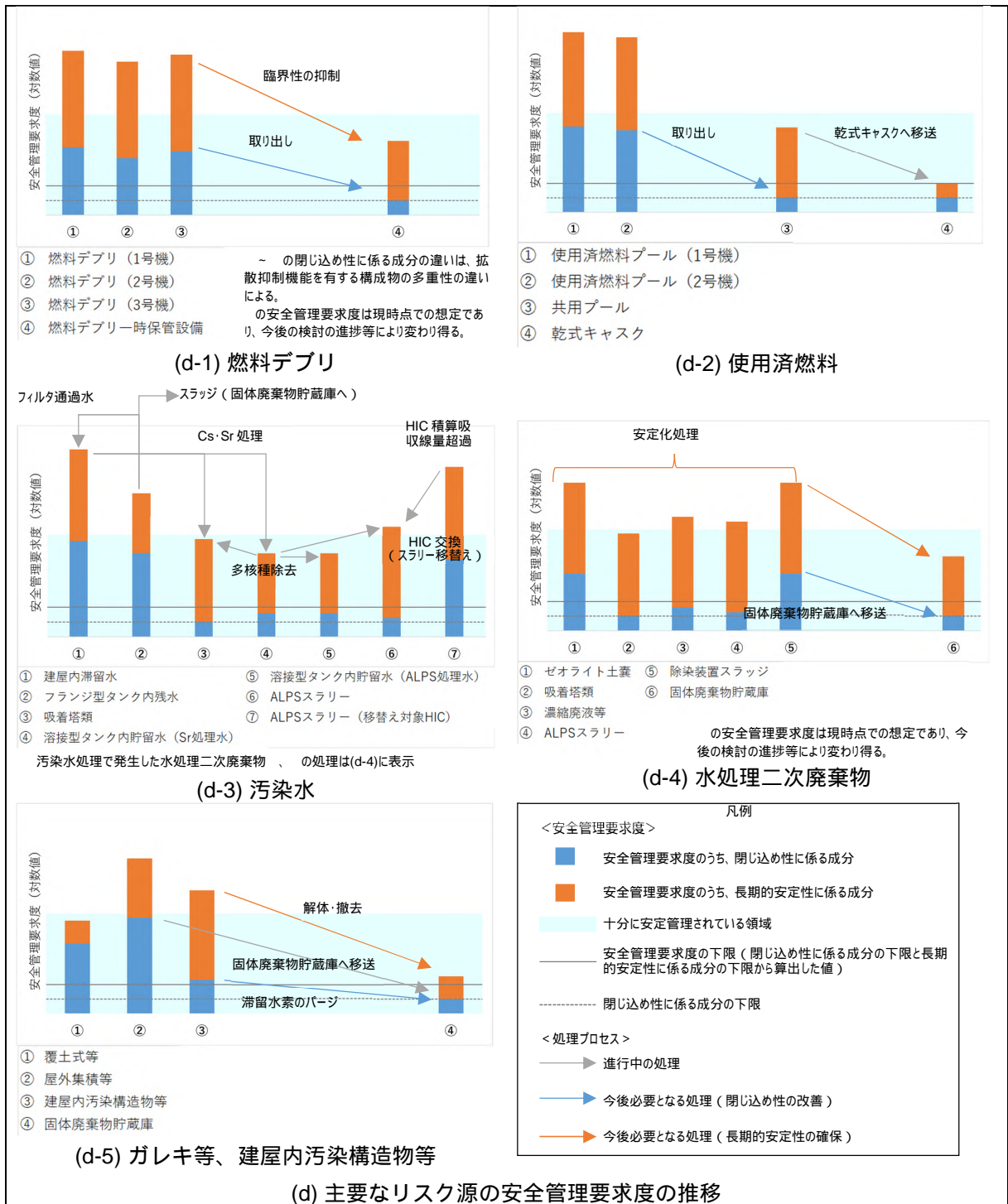


図6 主要なリスク源のリスク低減プロセスとその進捗 (2024年3月時点) (2/2)

2.2.2.2 リスク低減における基本的考え方

福島第一原子力発電所の廃炉は、大きな不確かさを内在した事業である。現在までに、事故進展過程のシミュレーション、ミュオン測定による燃料デブリ位置の推定、PCV内への調査機器の投入、建屋内の線量測定や映像撮影等により、1～3号機PCV内部の様子をある程度推定できるようになってきているが、いまだ大きな不確かさが存在している。この不確かさを解消するためには、多くのリソース、特に膨大な時間を要することになるが、速やかなリスク低減を目指すためには、ある程度の不確かさが存在していても、安全の確保を最優先に、これまでの経験、知見、実験や解析によるシミュレーション等を活用し、方向性を見定めた上で柔軟かつ迅速に廃炉作業を進める必要がある。

このような総合的な判断を行う上での視点として、NDFでは次に示す5つの基本的考え方を整理している。

(5つの基本的考え方)

- 安全 放射性物質によるリスクの低減並びに労働安全の確保
(検討例：放射性物質の閉じ込め(環境への影響)、作業員の被ばく、リスク低減効果)
- 確実 信頼性が高く、柔軟性のある技術の採用
(検討例：要求事項への適合性、効果、不確かさに対する柔軟性)
- 合理的 リソース(ヒト、モノ、カネ、スペース等)の有効活用
(検討例：廃棄物発生量の抑制、コスト、効率性、作業エリア・敷地の確保)
- 迅速 時間軸の意識
(検討例：燃料デブリ取り出しへの早期着手、燃料デブリ取り出しにかかる期間)
- 現場指向 徹底的な三現(現場、現物、現実)主義
(検討例：作業性(環境、アクセス性、操作性)、保守性(メンテナンス、トラブル対応))

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

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

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

2.3 廃炉作業を進める上での安全確保の考え方

2.3.1 福島第一原子力発電所の特徴を踏まえた安全確保の基本方針

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

- 多量の放射性物質（内部被ばくに大きな影響をもつ 核種を含む）が通常にない様々な形態（非定型）で非密封状態にあること
- 原子炉建屋、PCVといった放射性物質を閉じ込める障壁が完全でないこと
- これらの放射性物質や閉じ込め障壁の状況等に大きな不確かさがあること
- 現場の放射線レベルが高い等の制約から現場へのアクセスや現場情報を得るための計装装置の設置が困難であること
- 現状の放射線レベルが高く、又閉じ込め障壁等の更なる劣化が懸念されることから時間軸を意識した対応が必要なこと
- 他方、事故後 10 年以上が経過し内在エネルギー（崩壊熱）も小さく状態変化も緩慢であるため、故障等の異常状態の収束のために充当できる時間的余裕が大きいこと

そのため、廃炉事業執行者である東京電力は、廃炉作業を進めるに当たって、5 つの基本的考え方を踏まえ、以下の点に特に留意した検討をする必要がある。

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

第二に、「現場指向」に関して、

- 現場環境が、高い放射線レベル等の特殊な状況にあり、安全対策を施工 / 実施する際の現場実現性に留意が必要であること
- 大きな不確かさのために設計単独での対応に限界があること

等から、実際の現場から得られた情報を適確にエンジニアリングに反映していくことが不可欠である。燃料デブリ取り出しのような、過去に例のないエンジニアリングを確実に実施していくためには、実際に現場（運転操作、保全、放射線管理、計装、分析等）において作業を担う現場を熟知した人や組織（オペレータ）の目線や感覚を大切に、現場を直視した着眼点や判断等（以下「オペレータ視点」という。）を尊重していくことが重要である。また、長期にわたる廃炉を推進するに当たり、オペレータの目線や感覚の維持・強化を図る必要があり、東京電力自らがオペレータ視点を継承していくべきである。そのため、東京電力は外部の専門家や難作業の経験者、現場一線を離れた経験者等のオペレータ視点を有する技術者を招へいし指導・教育を仰ぐ等、廃炉作業全体において現場を常に意識した取組を実施していく必要がある。

廃炉作業の実際の検討に当たっては、廃炉事業執行者である東京電力がその作業に関する規制要求を満足する要求事項を定め、その実現に向けた具体的な安全対策を検討する。その際は、福島第一原子力発電所の廃炉の特徴（特殊性）に対応するため安全視点、オペレータ視点を反映することが基本である。

不確かさが大きな廃炉作業では、要求事項やそれらを満足する設備や運用の仕様を事前に一意に定めることが困難な場面が多い。その場合でも、後述する「先行的な実施と得られる情報の後段での活用」や「イタレーション型¹⁸のエンジニアリング」、具体的に選択した安全対策の効用の確認と改善によって、柔軟かつ迅速に廃炉作業を進める必要がある。

本節では、まず、事業者による「安全ファースト」の浸透を求める。次に、福島第一原子力発電所の特徴に対して、オペレータ視点も包含した安全評価による安全確保策と、安全を確保する過程で多段階に取り込むべきオペレータ視点の重要性を述べる。最後に、プロジェクトとしての最適化の必要性について言及する。また、これら諸点と前述のリスク低減における5つの基本的な考えとの関連にも言及する。

2.3.1.1 安全視点を第一とする考え「安全ファースト」の浸透

工法・装置は、安全上の視点が十分に反映されていなければ、その使用は基本的に許容されない。したがって、工法・装置が現場で使用されるまでの過程（プロジェクト）に携わる者全てが、安全を第一とする考え（以下、「安全ファースト」という。）をもって業務に当たることが重要である。なお、安全ファーストの考えをプロジェクトへ具体的に適用すると、「工法・装置の使用に伴う安全性向上を最優先事項とし、これに加えて技術的な確実性、合理性、迅速性、現場適用性等にも配慮し、工法・装置としての最適化を行い安全対策を決定する」ということになる。

東京電力では、福島第一原子力発電所の事故後、原子力リーダー間の対話、原子力リーダーから一般社員に向けてのメッセージの発信等、リーダー自らが率先して原子力安全に関する意識向上に向けた一層の取組を実施してきている。しかしながら、現場も含むプロジェクトに携わる者全てに安全ファーストをあまねく浸透させるためには、組織トップの姿勢（原子力安全が特別なものであり、特別な意識を向ける必要があることを訴求し続ける姿勢）が重要である。

以上の考え方を5つの基本的な考え方と関連付けて整理すると、プロジェクトを進めるに当たっては「安全」が最も重要であり、その他の4つは「安全」の次に考慮すべき考え方と位置付けるのが安全ファーストの考え方ということになる。ただし、2.3.1.3で述べるとおり福島第一原子力発電所の廃炉作業に当たっては、「現場指向」は「安全」と相互補完的に機能させるべき考え方となる。

2.3.1.2 安全評価を基本とした判断最適化と廃炉対応における適時性確保

燃料デブリ取り出し等技術的に難易度が高く、大きな不確かさを有し、かつ多量の放射性物質を取り扱う作業は、適切な対策を実施して安全を確保することが最も重要との安全ファーストを

¹⁸ ある結果を基に次の結果を求め、これを繰り返すことによって次第にエンジニアリングの完成度を高めていくやり方

もって廃炉作業を進める必要がある。その上で、十分に検討された安全評価を安全対策の判断の基本とすることで、リソースを寡少でも過剰でもなく投入することができ、必要かつ十分に実行可能な安全対策が実現できる（确实、合理的）。

また、福島第一原子力発電所の廃炉に固有な安全視点として、遅滞ない廃炉作業進捗の重要性が挙げられる。既に顕在化している高い放射線影響、更には閉じ込め障壁等の劣化進展のおそれを考慮すると、遅滞なく廃炉作業を進展させることが廃炉全体の安全確保に大きな意味を持つことになる（迅速）。

以上の考え方を5つの基本的な考え方と関連付けて整理すると、安全ファーストを前提に十分な安全評価を通じた判断により、「确实」「合理的」な安全対策を実現でき、それが「迅速」な廃炉作業の進展につながるということになる。

2.3.1.3 「オペレータ視点」を取り込んだ安全確保

安全対策を施工／実施する際の現場実現性に留意が必要であることや、大きな不確かさのために設計単独での対応に限界があること等から、実際の現場から得られた情報を適確にエンジニアリングに反映していくことが不可欠である。すなわち、安全対策を真に実効的なものとするために、現場での運転操作、保全、放射線管理、計装、分析等の実務を担う現場を熟知した人や組織の着眼点や判断等（オペレータ視点）を尊重する必要がある。また、通常炉と異なる以下の点からもオペレータ視点は重要である。

- 運転操作を含めた運用による設計の補完：

大きな不確かさゆえに全ての状況に設計のみで対応することには限界があるため、操作者による対応や現場運用で設計を補い、運用とトータルで安全を高めることが有効である。例えば、臨界安全に資する情報（燃料デブリの組成や未臨界度等）は、現場の計測が困難であるため、測定値の不確かさが大きい。このような環境下でも臨界に関する安全を確保しつつ、燃料デブリの取り出しを一定の規模で進める必要がある。そのためには、作業ステップごとに变化する臨界の兆候を計測値の有意な変動として、燃料デブリ取り出しの操作者が認識できなければならない。仮に、ノイズと識別可能な計測値の有意な変動を生じさせる程度の大きさの切削等を未臨界度が比較的小さい状態で行う場合であっても、設計と実測値を踏まえた運用によって未臨界の維持や臨界兆候を把握することで対応が可能となる。つまり、前述のとおり、大きな不確かさのある環境においては、運用による対応を可能とするよう検知技術の開発が一層重要となる。

- 監視、分析等による情報の設計での活用：

大きな不確かさへの対応として、現場での運用において得られる監視、分析等による情報を次の段階の設計に活用することでより適正なものとしていく。

- 異常時対応における時間的余裕の考慮：

異常状態への進展防止に万全を図ることが基本ではあるが、万一の異常発生時の備えとして、異常時の進展は緩やかで対応の時間的余裕が大きいという特徴を考慮した現場対応が有効である。

2.3.1.4 安全を基軸とした工法・装置の選定

安全には、このレベルを達成しなければ当該の工法・装置は使用できないという安全の基準に係る最低限のレベルがある。この最低限のレベルを満足した上でどの程度まで安全を高めるかについては、安全が最優先であることを前提に、現実的に投入可能なリソース（コスト、期間等）も考慮して設定されるべきである。工法・装置を決める判断には、「安全の基準をはっきりさせ（安全視点）」、「現場での実現性等について指摘する（オペレータ視点）」、それを「プロジェクトで検討、議論（プロジェクトマネジメント）」していくという図7のサイクルを回しながら、最終的に採用する工法・装置を決めていくことが大切である。この図に示されるように、安全視点とオペレータ視点はそれぞれが独立なものでなく、安全視点をベースにプロジェクトが行った工法・装置選定の判断は、オペレータ視点をベースとした実現性のチェックを経て、最終的な工法・装置の決定に至る。安全視点が実際に現場に反映されるためにはオペレータ視点が不可欠であり、一方、オペレータ視点が活かされるためには安全視点をベースにした判断が必要である。

以上の考え方を5つの基本的な考え方と関連付けて整理すると、「安全」と「現場指向」が相互補完的に機能する考え方である点は2.3.1.3と同じである。安全の向上を可能な限り高める取組を前提としながらも、「确实」、「合理的」、「迅速」といったプロジェクト推進の立場からの現実的視点も考慮するというものである。

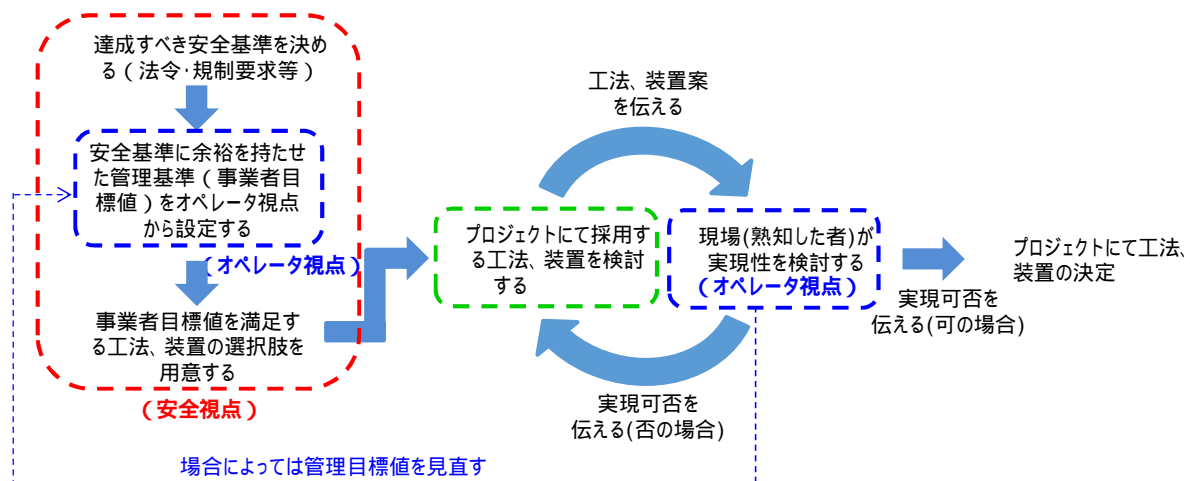


図7 安全を基軸とした工法・装置の選定（イメージ）

2.3.2 先行的な実施と得られる情報の後段での活用

事故炉である福島第一原子力発電所の現場状況には大きな不確かさが存在することから、燃料デブリ取り出し等の大掛かりな作業は、既存の知見のみに基づくと十分に大きな安全余裕や幅広い技術選択肢の想定が必要となる。このため、対応期間の長大化や手戻りのリスクが避けられず、その結果、廃炉全体の遅れ、廃炉費用の高騰、作業員被ばくの増加等を招き、プロジェクト全体の成り立ちや予見性を低下させる可能性が大きくなる。

一方で、既に放射線レベルが高い環境下にあること、閉じ込め障壁等の更なる劣化、今後の大きな自然事象（地震や津波等）の発生の可能性等を考慮すると、リスク状態の改善と不確かさの縮小は早急に行うことが求められる。このため、作業を幾つかの段階に分けた上で、実際の安全の確保を保証できる「最初の段階の作業」に取り組み、そこで得られた情報を次の段階に展開

するという「逐次型の取組」が重要となる。この取組方式¹⁹では、各段階の作業において、炉内部の状態監視、操作の制限、機動的な対応等²⁰によって安全を確保した上で作業を進め、作業や試験によって得られた情報を次段階の作業の設計に活用することで、次段階の作業の不確かさを低減し、安全確保の信頼性向上と設計の合理化を図ることができる。

東京電力は、このような取組方式を実際のエンジニアリングやプロジェクト管理に積極的に導入していくべきである²¹。

逐次型の取組そのものではないが、関連する活動として東京電力が 2019 年度以降進めている原子炉注水停止試験がある。この試験は、燃料デブリ取り出しの工法選定の柔軟性を維持する観点も含め、将来の注水停止の可否判断に資することを目的の一つとしたものである。注水停止に伴う様々なリスク（燃料デブリや R P V 底部温度の上昇、P C V 外へのダスト飛散量の増加、注水再開時の再臨界発生）を把握し、一定のリスクを取りつつも段階的に試験時間を長くしていく方法により、注水停止の可否に関する知見を積み上げている。東京電力ではこれらの知見も踏まえ 2 号機の注水について、連続的な注水を維持しつつ注水量を低減した（2022 年 3 月 10 日）、また、3 号機について既往の試験結果を踏まえ 3 か月にわたる注水停止試験を予定していたが、P C V 水位の下降が早く S / C 内に事故後に設置した水位計よりも水位が下回ったため 5 日間（2022 年 6 月 14 日～19 日）で注水を再開した。1 号機については S / C の水位を下げる手段の一つとして注水量を低減しているところである（2024 年 3 月 26 日～）。

今後は、安全確保のための逐次型の取組の中で、現場作業によって得られる情報も十分に取り込み、知見として積み上げていくことを方針として明確にすることが望ましい。以下に事例を示す。

- 燃料デブリ取り出し時における水素リスクの把握：窒素供給量や排気流量を試験的に低減させる試験によって水素蓄積と燃焼に至るリスクを把握し、必要な窒素供給量や排気設備の風量や台数等の安全確保のための機能の決定に資する。これに関連して、1 号機 P C V ペDESTAL 内壁の配筋やインナースカートの露出を確認したことを受けて、窒素供給量や排気風量を変動させる試験を実施している（2023 年 11 月 1 日～28 日）。この試験では窒素封入量と排気風量の設定を調整することで現行の排風機で達成できる風量の範囲においても微負圧を達成できることが分かった。
- 燃料デブリ取り出し時における注水設備設計に資する根拠：燃料デブリ取り出し時に必要となる注水ポンプの台数や適切な注水量、注水箇所の相違による燃料デブリの冷却状況の変化等の情報を取得する。

¹⁹ セラフィールドの廃止施設等、英国でも用いられており、リード・アンド・ラーン（Lead & Learn）と呼ばれている。

²⁰ 例としては、臨界防止の観点から、実現可能な範囲での核計装を設置する、燃料デブリ加工量を制限する、放射線ダスト濃度の管理値を定めて作業を規制する、などの措置を講ずること等。

²¹ 福島第一原子力発電所の廃炉等の実施に関する方針等を取りまとめた廃炉等実施計画書（2022 年 2 月 17 日、東京電力）において述べられている。 https://www.tepco.co.jp/press/release/2022/1693977_8712.html

これらの逐次型の取組方式の過程で得られる上手くいった経験や上手くいかなかった経験を実績として積み上げることで廃炉作業に伴う大きな不確かさを徐々に小さくすることができる。これを例えばサンプリングによる不確かさの低減方策と組み合わせると不確かさを小さくしていくことが重要である。こうした不確かさを低減する取組により、廃炉を着実に進展させることができ、中長期的なリスク低減の観点から福島第一原子力発電所の廃炉における安全確保に資することができる。

2.3.3 作業に伴う一時的なリスクレベルの増加への対応の考え方

廃炉作業は、中長期的な観点から速やかなリスク低減を目指すものであるが、作業に伴って一時的にリスクレベルが変化することや、作業員の被ばく量が増加する可能性について慎重に考慮する必要がある。廃炉作業は、リスクを有しつつも一定の安定状態にある現状に対して何らかの操作を加えることであり、操作の加え方によっては、そのリスクが顕在化するおそれがあるためである。例えば、燃料デブリを取り出すために原子炉内部にアクセスすることは、現状維持されている閉じ込め状態に影響を与えることになり、また、取り出し作業での特殊な操作や保守の実施は、作業従事者の被ばくを増加させることにつながる。

このような廃炉作業による一時的なリスクレベルの高まりや被ばく増加の可能性については、それらを防止・抑制する措置を講ずることが重要であり、特に作業員の放射線安全は合理的に実行可能な限り低く抑えるよう、周到な準備を施した上で作業を行わなければならない。

なお、廃炉作業の実施が過度に遅れることは現存する大きなリスクが長期間存在し続けることを意味し、建屋や設備の劣化に伴う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なければならない。このため、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、コスト等の種々の制約条件をも考慮に入れた上で、早期の実施を実現するための慎重で総合的な判断を行う必要がある。

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

「増設ALPSの配管洗浄作業における身体汚染」(2023年10月)や、「高温焼却炉建屋からの放射性物質を含む水の漏えい」(2024年2月)といったトラブルが生じた。二つのトラブルは廃炉の進捗に必要な設備の健全性を維持するための作業に伴い発生したものであり、人的過誤を主な原因として意図しない放射性物質の漏えいがあった。その結果、前者は従事していた作業員が被ばくし、後者は近傍の作業員の被ばくはなかったもののそのおそれはあった。

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

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

後者のトラブルについては漏えい箇所となった、建屋外に開口部がある配管について建屋内の管理された区域に開口部を持たせるよう設備を変更した。一方、前者のトラブルのように点検時のみ設備の状態を変更したり、放射性物質を含む気体・液体を放散させる力を発生させ得る作業

の場合には、当該設備に内在する放射性物質の量、作業の頻度、作業環境（高線量でアクセス時間が限られる等）、作業に伴う放散の駆動力の変化の見込みに応じ、人的対応の充実の選択肢も含めて閉じ込め機能の充実を図るべきである。また、この観点はこれから設置しようとする設備に対しても当てはまる。

2.3.3.2 作業員安全の重要性

被ばくりスク低減を含めた作業員の安全を向上することは、それ自体が5つの基本的な考え方の「安全」であり重要である。2.3.1.1（安全ファーストの浸透）で述べたとおり、福島第一原子力発電所廃炉において「安全」は「現場指向」と相互補完的に達成される。この点、2.3.3.1の二つのトラブルは結果的に「安全」が不十分であった。では、相互補完すべき「現場指向」はどうであったか。配管の開口部が建屋の外にあったことや、仮設ホースの端部に大きな反力が働き得ることを事前に把握せよというのは結果論になるが、二つのトラブル共に作業に関わる人的過誤が主な原因であったことから「現場指向」も不十分であったと言わざるを得ない。

また、「安全」が損なわれるトラブルが発生すると、事後対応のために当該作業やそのトラブルに関連する作業は遅れることとなり「迅速」が失われる。2024年4月24日に発生した掘削作業での電気ケーブルの損傷事例では、当該の作業員が発生したアークによる熱傷を負った（「安全」）。このトラブルでは電気ケーブルが損傷したことでALPS処理水希釈放出設備が自動停止した結果、ALPS処理水の放出が数時間止まることとなった（「迅速」）。

更にこうしたトラブルが発生すると事後対応に過剰なリソースが投入されることもあり得る。この点は「合理的」に反するおそれも生じかねない。

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

2.3.4 一連のトラブルから見えてきた共通課題

「増設ALPS配管洗浄作業における身体汚染」以降も複数のトラブルが連続して発生している。

【事案1】 増設ALPS配管洗浄作業における身体汚染（2023年10月）

【事案2】 高温焼却炉建屋からの放射性物質を含む水の漏えい（2024年2月）

【事案3】 増設雑固体焼却設備 廃棄物貯留ピット水蒸気等の発生による火災警報発生（2024年2月）

【事案4】 所内電源A系停止と負傷者発生（2024年4月）

事案1、2は高濃度放射性流体を取り扱う作業といった類似性があるトラブル・漏えいであり、数か月間で続けて発生していることを踏まえ、東京電力は共通要因分析の必要性を判断した。また、同時期に事案3が発生、更に2024年度に入って事案4が発生し、作業起因で重大なトラブルが続いていることに鑑み、事案3、4も共通要因分析の対象に追加した。

東京電力は、.事実関係の把握 .直接原因 .背後要因の整理 .共通要因分析 .改善策提言というプロセスで検討を行い、抽出された背後要因（表 2 参照）を基に下記の共通要因を特定した。

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

表 2 共通要因分析結果²²

事 案	背後要因	共通要因
増設 A L P S 配管洗浄作業 での身体汚染	設計段階/運用段階（不具合・状態変化）のリスク検討不足	
	薬品及び高濃度放射性物質取扱作業のリスク及び設備対策の事前検討不足	
	薬品及び高濃度放射性物質取扱作業に対する作業安全意識が低い	
	東京電力・元請企業の現場実態把握が不十分	
H T I 建屋か らの放射性物 質を含む水の 漏えい	設計段階/運用後の設計変更段階の系外放リスクの検討不足	
	P T W（Permit to Work：作業許可）作成・審査段階での手順書の検討・評価不足	
	東京電力・元請企業による作業リスクの共有不足	
	作業計画・実施段階の現場実態把握・共有の不足	
	系統構成の管理不備	
	作業手順の遵守不備	
増設雑固体焼 却設備廃棄物 貯留ピット水 蒸気等の発生	設計段階の火災リスクの検討不足	
	リスクを踏まえた運転計画作成不備	
	運転実績に基づく受入・貯留量管理不備	
	引継共有不足によるリスク管理不備	
	異常兆候の共有・報告不足	
配電線工事に よる所内電源 A 系停止と負 傷災害	設計段階のリスク検討不足	
	現場変化時のリスク抽出不足	
	急な体制変更時のリスク・注意事項の共有不足	
	固定概念・思い込みによる現場安全管理不遵守	

²² 特定原子力施設監視・評価検討会（第 113 回）資料 2 - 1、「作業点検および共通要因分析を踏まえた今後の取り組みについて」、2024 年 7 月 16 日

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

- 共通課題 : リスクアセスメント²³の一層の強化
- 共通課題 : 多層化した請負工事体制における現場把握・管理の一層の強化

(1) 共通課題 に関する取組

東京電力は、福島第一原子力発電所で行われる作業の安全性を、発電所が一体となって高めていくことが必要と考え、発電所構内で行われる各作業について、現場の状態を確認した上で、現場のリスク要因を抽出し、防護措置の妥当性を点検する「作業点検」を実施し²⁴、最新の現場状況を踏まえた更なる作業安全性向上を目指し、防護措置の改善に取り組んでいる。

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

東京電力は、これまでも元請企業と共に作業の安全事前評価などリスクアセスメントを進めてきたが、これまでのやり方では十分ではないということも、一連のトラブルから学んだ。東京電力は、社員及び元請企業さらには現場第一線の作業員まで巻き込み、福島第一原子力発電所で働く全ての人のリスク感度を高めるための取組を一層強化して行く必要がある。例えば、福島第一原子力発電所に即したリスクアセスメントガイドを制定し協力企業に配布するとともに、リスクアセスメントに対する理解浸透を高めるため、東京電力工事担当者並びに協力企業工事担当者及び作業班長クラスを対象に、講習会を開催する等継続的な取組が必要である。

(2) 共通課題 に関する取組

どの事案も多層化した請負工事体制（以下「多層請負構造」という。）において発生したトラブルである。多層請負構造は福島第一原子力発電所に限ったことではなく東京電力の他の原子力発電所や火力発電所、他電力会社の発電所、他産業においても同様で、元請企業との請負契約に基づきオーナー（発注者）は間接的に現場管理を行っているのが実態である。しかし、放射性物質を取り扱う原子力発電所においては、ひとたびトラブルが発生すると社会に対する影響が甚大なため、ライセンスホルダーである電力会社は他の会社よりも厳格な現場管理が求められる。まして事故を起こした福島第一原子力発電所においては通常の原子力発電所以上に一層厳格な現場管理が求められる。

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

²³ リスクアセスメントとは、作業における危険性又は有害性を特定し、それによる労働災害や健康障害の重篤度（被災の程度）とその災害が発生する可能性の度合いを組み合わせて「リスク」を見積もり、そのリスクの大きさに基づいて対策の優先度を決めた上で、リスクの除去又は低減の措置を検討し、その結果を記録する一連の手法をいう。（厚生労働省ホームページより）

²⁴ 5月7日（一部先行し5月1日）より開始し、6月7日に完了した。995件の作業について、作業のリスクの再評価を実施し、重大な見直しが必要な事案は確認されなかったものの、675件の作業で、更なる安全性の向上の観点から作業手順の改善や放射線防護装備の運用指示の明確化等を実施した。

福島第一原子力発電所の廃炉は、政府、NDF、東京電力等のみならず、地域の皆様を含む幅広い方々の理解を得ながら進める必要がある。このためには、本章で述べたリスク低減の全体の取組について十分に理解いただき、廃炉事業への理解を得ていくことが必要不可欠である。特に、廃炉作業がどのようなリスク低減戦略に基づいて行われるのか、廃炉作業の安全がどのように確保されるのか、廃炉作業によってサイト全体のリスク低減がどのように継続的に進んでいるか等について、幅広い方々にとって分かりやすいリスクの継続的な監視の仕組みを整え、社会に発信していくことが重要である。

NDFでは、技術戦略プランを通して継続的に福島第一原子力発電所の廃炉に係るリスクの状況を提示することに加え、2.2.2.1に示した廃炉作業の進捗に伴うリスク低減プロセスを提示する検討を進めている。東京電力においても、サイト全体のリスクを把握する仕組みを整備するとともに、リスク低減の状況について東京電力自ら社会への発信を意識した対応が求められる。

3. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術戦略

3.1 燃料デブリ取り出し

3.1.1 目標

周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号機の試験的取り出し（内部調査及び燃料デブリ採取）については、2024年9月に最初の燃料デブリ取り出しに着手している。今後、採取した燃料デブリの分析を進めるとともに、内部調査や、段階的な取り出し規模の拡大等の一連の作業を進め、その後の取り出し規模の更なる拡大に向けて必要な情報・経験を得る（燃料デブリ取り出しの対象については添付資料8参照）。

さらに、取り出し規模の更なる拡大については、2号機の燃料デブリ取り出し、内部調査、研究開発、現場環境整備等を見極めつつ、収納・移送・保管方法を含め、その方法を決定する。

3.1.2 進捗

燃料デブリ取り出しに関わる各号機の取組状況について以下に示す。

また、各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を図8に示す。

a. 1号機

2023年度までに水中ROVによる調査で得られた地下階の情報に加えて、2024年2月～3月に、1階エリアの調査を主としたPCV内部調査（気中部調査）を行い、ペDESTAL外とペDESTAL内の既設構造物の状態や堆積物、落下物等に係る映像などの情報を得た。

この調査では、PCV貫通部X-2ペネトレーションから無線小型ドローンとヘビ型ロボット（無線中継器を搭載し、X-2ペネに配置）をPCV内1階に投入し、ペDESTAL外の南側及び北側の状況の目視調査を行った（図9）。さらに、ヘビ型ロボットをCRD交換用開口部付近（CRD交換レール上）に配置し、無線小型ドローンをCRD交換用開口部からペDESTAL内に進入させ、ペDESTAL内の目視調査を行った。

無線小型ドローンによるPCV内部調査（気中部調査）で得られた主な情報は以下のとおり。

ペDESTAL外壁に大きな損傷はなかった。また、CRD交換用開口部外側には落下物があるものの、既存構造物はおおむね形を保っており、CRD交換用レール周辺には目立った障害物がないことを確認した。

脱落したCRDハウジング（複数のCRD関連機器を含む）がペDESTALのCRD交換用開口部の一部を塞いでおり、その上部には塊状の物体（つらら状になっている部位もある）が付着している様子が確認され、上方より移行してきたものと推定された。（図10）

ペDESTAL内壁面には著しい損傷は確認されず、ケーブルの中継箱等の既設設備や既設TIP（移動式炉心内計装）開口部も確認された。

今回の調査から、CRD交換用開口部付近に無線中継器を設置することにより、無線小型ドローンをペDESTAL外だけでなくペDESTAL内でも使用でき、飛行時間の制約はあるものの相当量の映像情報が得られること等が確認された。一方、ペDESTAL内には、もやが発生しており、カメラの視認距離が短くなり、カメラの曇りを発生させる要因にもなるため、今後の調査においては対策が必要であることが分かった。

以上のように、無線小型ドローンのPCV内部調査への活用の有効性が確認されたことから、抽出された課題に対する対策も含めて、1～3号機の今後のPCV内部調査計画に反映していく。

一方、原子炉建屋の線量低減のため実施している高線量機器（原子炉補機冷却系）の内包水採取作業については2023年度に内包水のサンプリング及び分析が完了している。この結果を踏まえ、水抜作業（希釈してからの処理を含む。）の計画を進めている。また、PCV内の水位が高いため、S/Cの耐震性向上を行うことを念頭に、2024年3月よりPCV水位低下を実施している。それに先立って、より低い水位を監視するため新しい水位計を設置した。

b. 2号機

試験的取り出しに使用するアーム型のアクセス装置（以下「ロボットアーム」という。）については、2022年2月よりJAEA櫛葉遠隔技術開発センターにおいて、性能確認試験、実機模擬環境における検証試験（以下「モックアップ試験」という。）及び訓練を実施している（図11）。これまでに、ロボットアーム単体での機能確認試験を完了し、エンクロージャ（機械類を格納する筐体）内へロボットアームを組み込んだ状態での確認試験を実施している。実作業ではロボットアームによる狭隘部へのアクセスを繰り返すため、その際の接触を避けるべく現場適用に向けた位置精度やハード/ソフトの連係等の向上の観点で、引き続き制御プログラムを最適化して確認試験を継続する。また、現地での準備工事として、既設のPCV貫通部X-6ペネトレーション（以下「X-6ペネ」という。）のハッチ開放に向けた隔離部屋設置作業を2023年4月に完了した。その後のハッチ開放作業においてハッチボルトの固着があり、対応に時間を要したが、10月にハッチボルトの除去を完了し、ハッチを開放した。X-6ペネ入口付近は、堆積物で覆われている状態であったことから、ドーザツール（押し込み治具）による堆積物の突き崩しを実施した後で、低圧水噴射による堆積物除去作業、高圧水噴射によるX-6ペネ内堆積物除去、AWJによるCRDレールガイド除去、ケーブル等押し込みの作業を実施し（図12）2024年5月に完了した。（図13）6月には、X-6ペネ接続構造及び接続管の設置作業が完了している。

東京電力は、現地作業の不確実性に加え、ロボットアームについてはペDESTAL内へのアクセスまでの準備に時間がかかることや、信頼性確認のための試験の継続に一定の時間が必要であること等を踏まえ、まずは性状把握のための燃料デブリの採取を早期かつ確実に行う方針とした。そのため、ロボットアームの検証作業を継続している間に現場への適用を目指し、過去の内部調査で同様な構造での使用実績があるテレスコ式装置を新たに準備して、2024年9月に燃料デブリの採取に着手した。今後、ロボットアームによる内部調査及び燃料デブリの採取

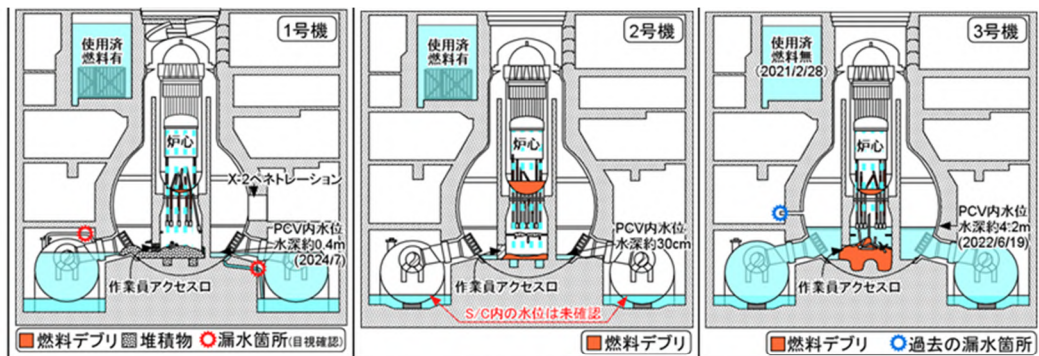
も継続する。計画どおりロボットアームによる内部調査及び燃料デブリの採取を実施する計画としており、ロボットアームの投入によりペDESTAL内で、テレスコ式装置より広い範囲でのデブリ採取を予定している。

段階的な取り出し規模の拡大に向けた計画も進めており、ロボットアームによる取り出し装置は、試験的取り出し装置の検証段階で判明した改善点等も踏まえ、可搬重量の増加やアクセス性を向上する等の改良を行う計画である。この計画では、ロボットアームとエンクロージャ等について、性能に関わる要求事項や設計・据付時の要求事項を明確化し検討を進めている。取り出した燃料デブリは、エンクロージャ内で燃料デブリ取り出し容器及び構内輸送容器に収納された後、第一保管施設（受入・払出セル及び保管容器等）まで構内移送され、保管される。また、分析のために受入・払出セルで燃料デブリの一部を採取し、JAEAの放射性物質分析・研究施設第2棟や茨城県にある分析施設に移送する計画である。現在、第一保管施設の基本設計が終了して詳細設計を実施中である（図15）。

c. 3号機

東京電力は、3号機を先行して、取り出し規模の更なる拡大の概念検討を進めてきた。この中で、気中工法、気中工法オプション（充填固化工法）、冠水工法の3工法が候補に上がった。2023年2月より、NDFの廃炉等技術委員会の議決を経て、同委員会の下に、「燃料デブリ取り出し工法評価小委員会」を設置し、安全を大前提に各工法の技術成立性等を総合的に検討・評価し、現時点で設計検討を進めるべき工法について提言している。東京電力は、この提言に基づき具体的な設計検討を進めている。（詳細は3.1.3.4項を参照）

また、PCV内の水位が高いため、PCV内部調査やS/Cの耐震性向上を行うことを念頭に、PCV水位を低下させる計画である。2022年6月の原子炉注水停止試験においては、PCV水位がその時点でのPCV温度計/水位計下端を下回ったと判断した時点で注水を再開している。その後、PCV水位低下を進めるため、より低い位置での計測が可能な水位計を設置した。なお、PCV取水設備の設置は既に完了している。現状は、S/C内に確認された滞留水素のパーズ作業を進めており、その後、PCV水位の低下を開始する計画である。



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)	・作業員アクセス口を通してペDESTル外側に燃料デブリが広がった可能性あり(堆積物を確認)。	・作業員アクセス口を通してペDESTル外側に燃料デブリが広がった可能性は小さい。	・作業員アクセス口を通してペDESTル外側に燃料デブリが広がった可能性あり。
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(145mSv/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。
	<p>・鉄筋の露出は作業員アクセス口周辺及びペDESTル内側表面で確認。</p>		
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ベネからペDESTル内につながるCRDレール上に脱落したCRDハウジングが落下。	・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	・作業員アクセス口において、内部の鉄筋、インナースカートを露出し、RCW系配管が欠損。 ・ペDESTル外側の作業員アクセス口周辺で厚さ約1mの堆積物を確認(但し、堆積物内部の状態(空洞の存在等)については評価できていない)。 ・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ル外側の堆積物から中性子線とEu-154のガンマ線を検出。	・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ベネからペ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ベネの周りは高線量率であるため、作業環境整備が困難な場合は、機器ハッチをアクセスルートとする可能性がある。

(第81回特定原子力施設監視・評価検討会「資料4-1:建屋滞留水処理の進捗状況について」等に基づき作成)

図8 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

小型ドローン



無線中継用ヘビ型ロボット



図 9 1号機PCV内部気中部調査 調査装置²⁵

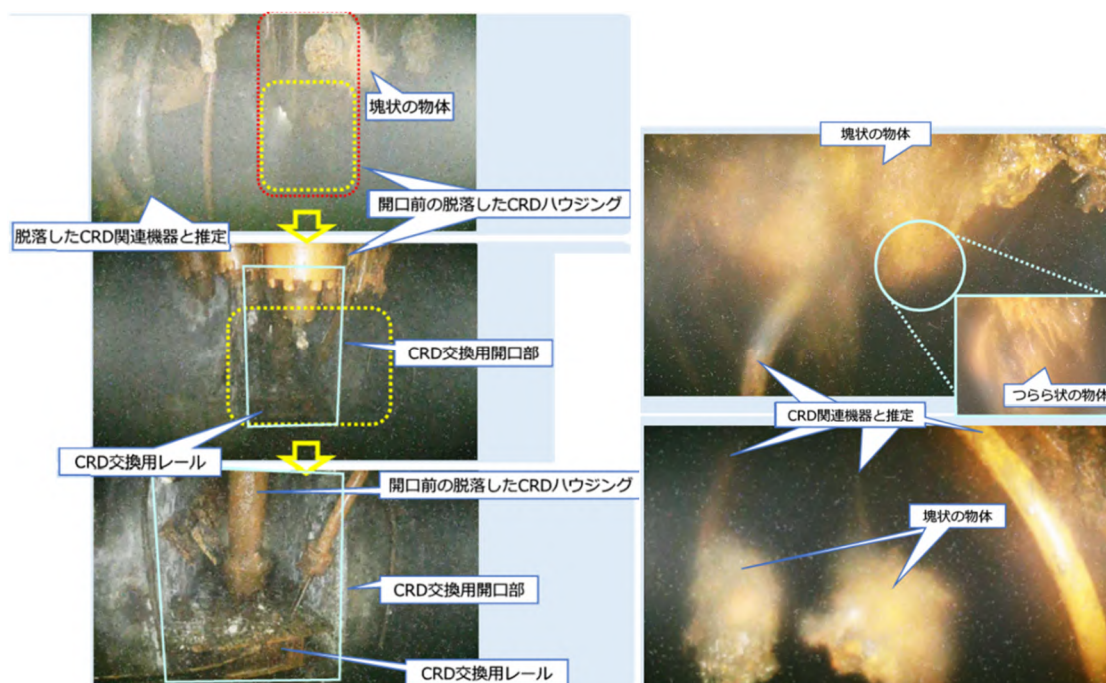
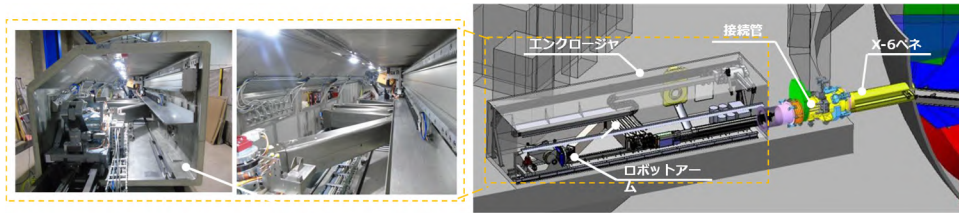


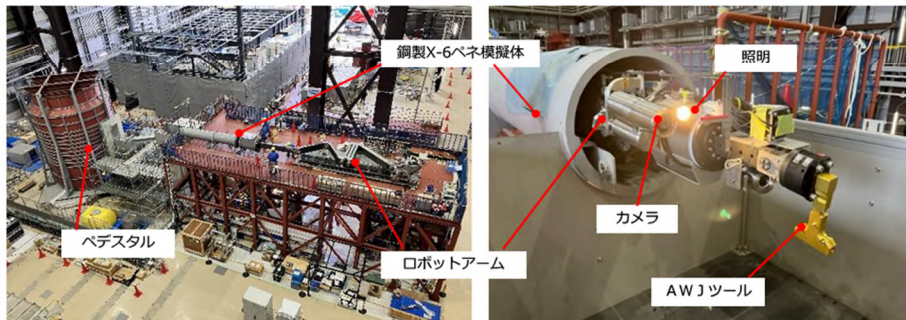
図 10 調査結果(ペダスタル内 CRD交換用開口部付近のCRDハウジング)²⁶

²⁵ 東京電力、廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合／事務局会議（第 123 回）、「1号機 PCV 内部調査（気中部調査）について」、2024 年 2 月 29 日

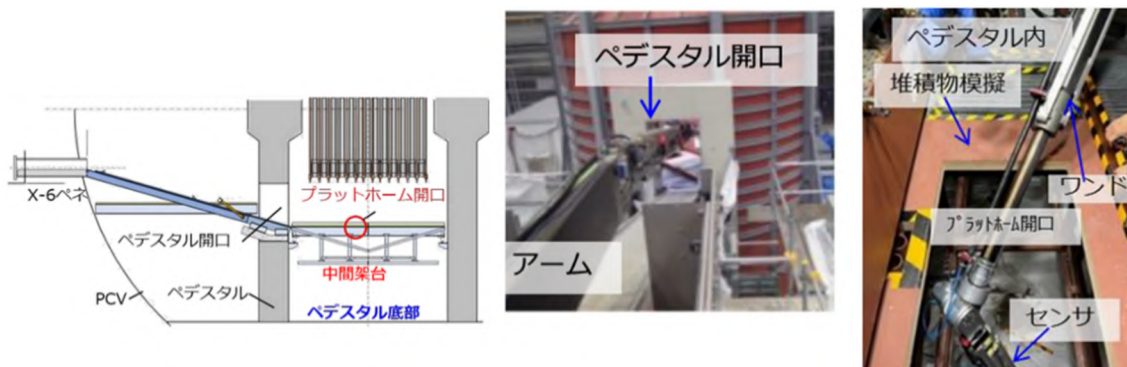
²⁶ 東京電力、廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合／事務局会議（第 124 回）、「1号機 PCV 内部調査（気中部調査）について」、2024 年 3 月 28 日



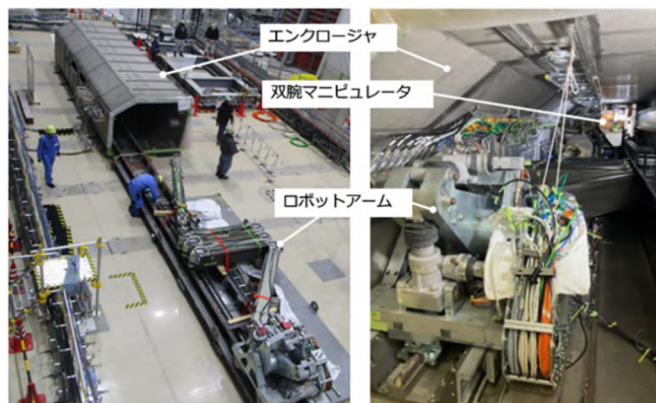
写真：ロボットアーム、エンクローージャ



写真：ロボットアームのX-6ベネ通過性確認試験の状況（楢葉遠隔技術開発センター（JAEA）試験設備）



エンクローージャへのロボットアーム
組み込み状況



(東京電力、IRID資料を基にNDFにて作成)

図 11 燃料デブリ取り出し設備のイメージ²⁷
(試験的取り出し及び段階的な取り出し規模の拡大)

²⁷ I R I D / 東京電力、廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合 / 事務局会議（第 115 回）、「2号機 PCV 内部調査・試験的取り出し作業の準備状況」、2023 年 6 月 29 日

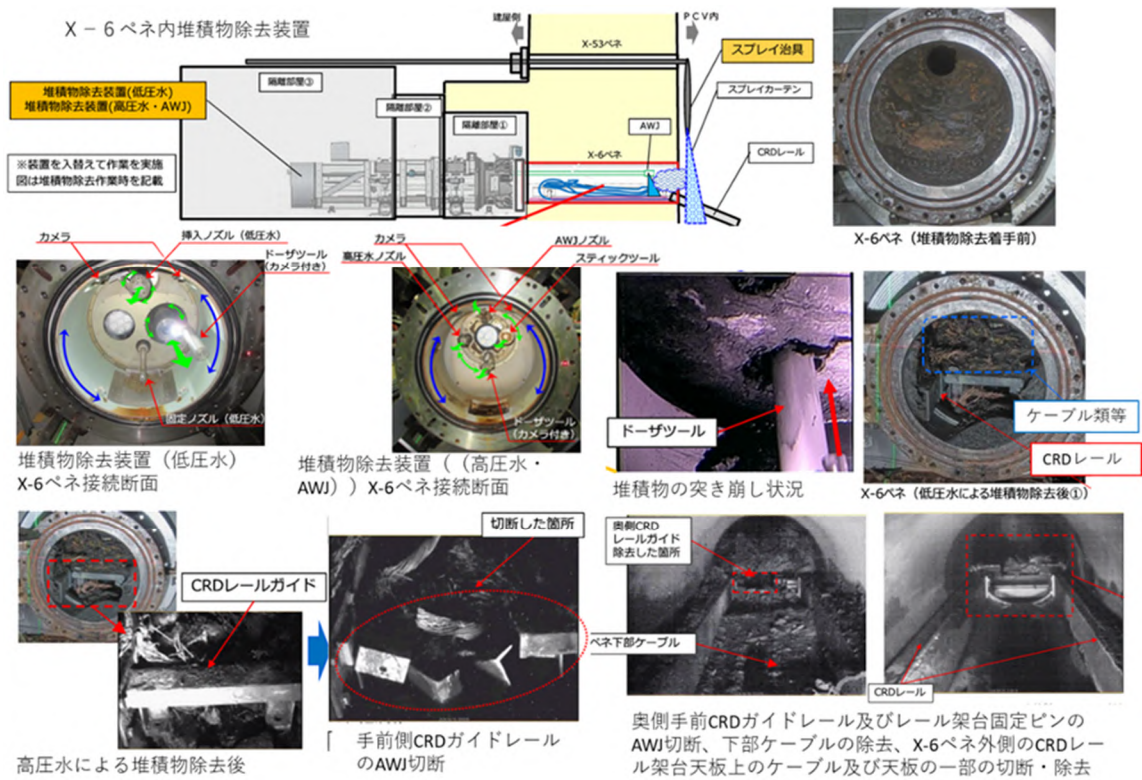


図 12 X-6 ペネ内堆積物除去作業状況²⁸

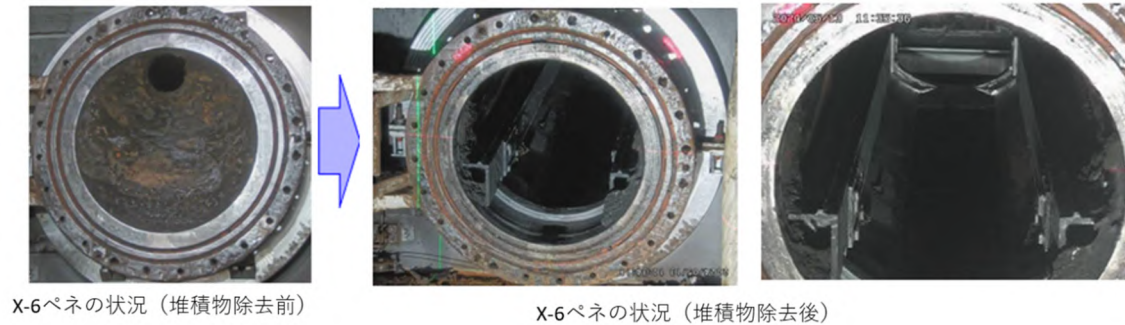
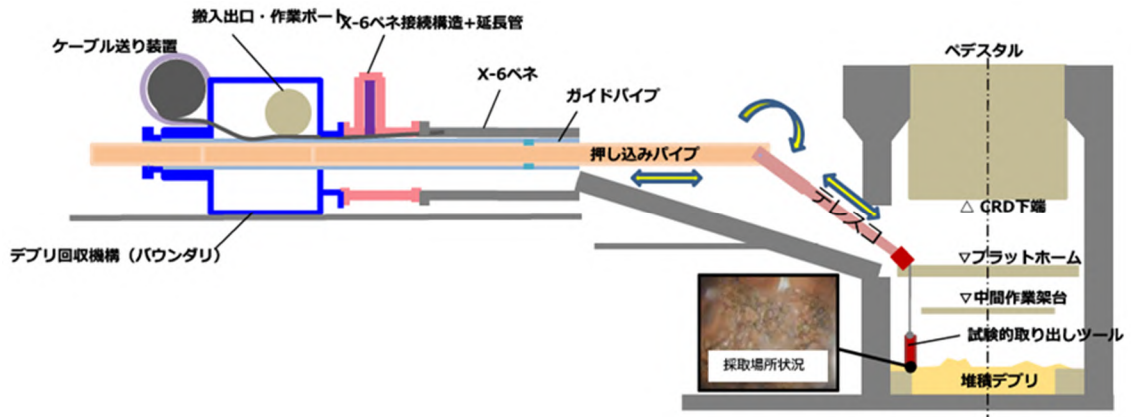


図 13 X-6 ペネ内堆積物除去状況²⁹

²⁸ I R I D / 東京電力、廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合 / 事務局会議 (第 122 回・第 124 回・第 125 回) 「2号機 P C V 内部調査・試験的取り出し作業の準備状況」, 2024 年 1 月 25 日・3 月 28 日・4 月 25 日

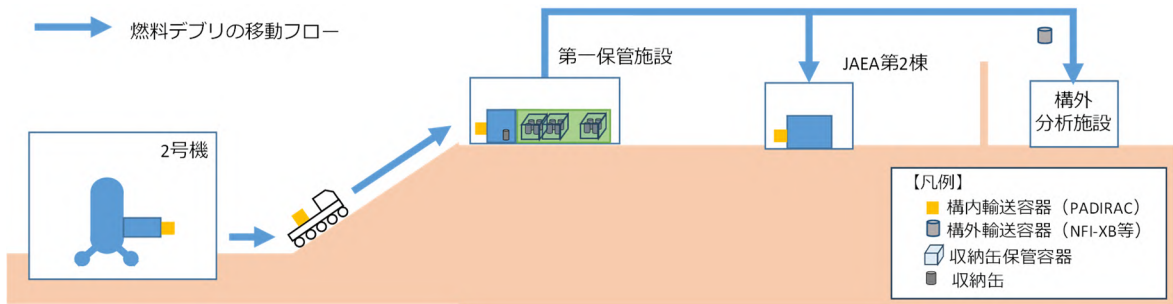
²⁹ I R I D / 東京電力、廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合 / 事務局会議 (第 126 回) 「2号機 P C V 内部調査・試験的取り出し作業の準備状況」, 2024 年 5 月 30 日



テレスコ式試験的取り出し装置（装置を上方から撮影）

グレーチング開口部からの先端治具吊り下ろし

図 14 テレスコ式装置による試験的取り出しイメージと装置準備状況³⁰



(東京電力資料をNDFにて加工)

図 15 燃料デブリ取り出しから保管までのイメージ(段階的な取り出し規模の拡大)

³⁰ 東京電力、特定原子力施設監視・評価検討会（第 111 回）「2号機燃料デブリ取り出し テレスコピック式試験的取り出し装置について」、2024年2月19日
 I R I D / 東京電力、廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合 / 事務局会議（第 124 回）「2号機 P C V 内部調査・試験的取り出し作業の準備状況」、2024年3月28日

3.1.3 主要な課題と技術戦略

燃料デブリ取り出しに係る設計や計画に対しては、今後得られる知見(内部調査、研究開発成果等)や2号機の試験的取り出しを通して得られる情報、経験等をその後の段階的な取り出し規模の拡大及び取り出し規模の更なる拡大の検討に的確に反映することが課題である。

東京電力は、取り出し規模の更なる拡大に向けたシステム・設備の基本設計及び研究開発を行う東双みらいテクノロジー株式会社(以下「デコミテック」という。)を始め、関係機関との適切な役割分担の下、デブリ取り出しに係る取組を進めている。この取組を通じて培われる技術を、後述する東京電力自身の安全とオペレータ視点を基盤とする技術力の向上に有効につなげていくべきである。

この項では以下の流れで記載する。

- 3.1.3.1: 各号機の燃料デブリ取り出し戦略
- 3.1.3.2: 試験的取り出し(内部調査及び燃料デブリ採取)
- 3.1.3.3: 段階的な取り出し規模の拡大
- 3.1.3.4: 取り出し規模の更なる拡大
- 3.1.3.5: 事故分析活動の状況
- 3.1.3.6: 研究開発の状況

3.1.3.1 各号機の燃料デブリ取り出し戦略

以下に各号機共通及び各号機の戦略を示すが、2024年の更新において、現時点で重要と考える項目を四角枠()で囲んで明記した。

(1) 各号機に共通の戦略

- 各号機共直接的な映像情報が得られていないエリアが多く、更なる内部調査を推進し、種々の情報を得ることが重要であり、取り出し規模の更なる拡大を想定した場合、どのエリアを優先して調査すべきかを明確にするため、新しく開発される調査技術も取り込み今後の内部調査計画を策定・更新しつつ進めていく。中でもドローンが非常にアクセス性の良い有用な調査ツールであることが実証できたため、水中ROVも含め更に活用していく。これらの内部調査で取得した情報を基に、エンジニアリングの後戻りを避けるため、及び選択する工法の確実性を高めるためにも、取得した情報を基に燃料デブリ取り出し戦略の方向性を確認していくべきである。
- これまで経験してきた現場トラブルについて、原因分析・究明を実施した上で、組織、体制等も含めて改善することが課題であり、再発防止策を次の作業に反映していく。また、これらの経験を基に、想定されるリスクを排除できる工法を策定し、排除できないリスクはそのリスクが発生した際の対応策をあらかじめ準備しておくべきである。
- 燃料デブリ取り出しは、高線量下という厳しい環境での作業となる。様々な状況下で遠隔操作装置を使用することになるが、作業員による現場作業も少なからず発生する。また、遠隔操作装置の保全や故障時の復旧も考慮する必要がある。このような取り出しの準備から完了までに至る

全体工事シーケンス及び必要な投入リソース・物量(廃棄物)を含めた各プロセスを考慮した工法検討が課題である。

- 現場状況が全て特定できなくても取り出しが成立する工法、地震等の外部事象に影響されにくい工法(ロバストな工法)を施設・設備の損傷状況等の現場状況を踏まえつつ検討すべきである。
- 高線量下の作業が必要となることから、以下の取組を進めるべきであり、これらの取組を進めるに当たっては、作業計画、被ばく管理を効率化できるデータベースの整備が重要である。
 - ✓ 作業員被ばくの特定の個人への偏り防止
 - ✓ 作業員全体の被ばく低減(除染・遮へいなどによる作業環境改善を含む。)
 - ✓ 長期的視点での人的資源の確保
- 今後は各号機の内部調査等により知見を拡充させていくとともに、事故時の考察を進めていくべきである。1号機においては、堆積物がペDESTAL外へ流出したことが確認されており、他号機も含め、ペDESTAL内外の堆積物の取り出し方法、S/Cへの堆積物の流入可能性等の検討を行い、燃料デブリ取り出し工法へ反映していくべきである。

(2) 1号機

取り出し規模の更なる拡大に向け、以下を考慮して計画を進めるべきである。

- 研究開発とその成果を現場適用するためのエンジニアリングを推進し、2号機の試験的取り出し、段階的な取り出し規模の拡大を通じて得られる知見を装置設計や取り出し手順、安全評価等へ反映する。また、先行する3号機における工法検討結果等も反映していく。
- これまでのミュオンを用いた調査・解析等により、炉心部にはほぼ燃料デブリはないと評価されている。また、これまでにPCV内部調査は行われているが、RPV内の調査は未実施である。これらの状況を踏まえ、更にRPV・PCV内部の情報を得ることが課題であり、そこで得られる情報を考慮する。

- PCV内部調査(水中ROV及びドローン調査)の結果、以下の事項等が分かっており、これらを考慮する。
 - ✓ ペDESTAL外には幅広い範囲に堆積物が分布している。
 - ✓ ペDESTAL内底部にほぼ一様な高さの堆積物とCRDハウジング等上部の構造物の一部が存在している。
 - ✓ 脱落したCRDハウジング(複数のCRD関連機器を含む)がペDESTAL内側からCRD交換用開口部の一部を塞いでいる。
 - ✓ ペDESTAL開口(作業員アクセス口)部付近やペDESTAL内壁面ではほぼ全周にわたり下部のコンクリートが消失している。一方、上部のコンクリートについては、ペDESTAL内壁面で大きな損傷は確認されていない。

- 以下の他号機との差異も適切に考慮する。
 - ✓ 2、3号機と比較してRPVやPCVのサイズが小さく、設備の配置も異なっている。
 - ✓ これまでの調査の結果から、ペDESTAL内外の堆積物分布は2、3号機と異なっている。

(3) 2号機

- 現在、試験的取り出しを進めており、その後、段階的な取り出し規模の拡大を実施していく計画である。
- 段階的な取り出し規模の拡大に向け、試験的取り出しを通じて得られる知見の活用が課題である。この知見を踏まえ、燃料デブリ取り出しに必要となる以下設備の設計・製作・設置を進めるべきである。
 - ✓ 燃料デブリ取り出し設備・付帯システム(閉じ込め、燃料デブリ冷却、臨界管理等)
 - ✓ 燃料デブリ保管施設(第一保管施設)
 - ✓ 取り出し設備のメンテナンス設備
- これまでに実施されたPCV内部(ペDESTAL内)の調査及びミュオンを用いた調査・解析等では、RPV底部に多くの燃料デブリが存在すると考えられており、又炉心部にも燃料が一部存在している可能性が指摘されている。さらに、PCV底部に落下した燃料デブリはペDESTAL外へ広がった可能性は低いとされている。なお、RPV内部とペDESTAL外の調査は未実施である。これらの状況を踏まえ、更にRPV・PCV内部の情報を得ることが課題である。
- 取り出し規模の更なる拡大に向けては、2号機の取り出しを通じて得られる知見の活用が課題である。ただし、横アクセス工法にて実施するこの取り出しでは、全ての燃料デブリを取り出す計画ではないため、得られた知見、先行する3号機における工法検討結果等も踏まえ、取り出し方法を検討すべきである。

(4) 3号機

- プール燃料の取り出しが完了し他の作業との干渉が少ないこと及び原子炉建屋の作業環境改善が1号機より早く進められることを勘案し、他の号機に先行して取り出し規模の更なる拡大に向けた工法の検討を進めることとしており、『燃料デブリ取り出し工法評価小委員会』からの提言を受け、取り出しシナリオ及び工法の技術成立性等の検討を進める必要がある。
- これまでにPCV内部(ペDESTAL内)の調査が実施され、CRDハウジングサポートの一部脱落、変形している状況や、ペDESTAL内下部には、炉内構造物と推定されるものを含む複数の構造物が落下している状況が確認されており、また、燃料デブリと推定される堆積物も確認されている。さらに、ミュオン調査・解析等から2号機よりも多くの燃料デブリがペDESTAL内に落下し、作業員アクセス口からペDESTAL外へ広がった可能性が推定されている。なお、RPV内部とペDESTAL外の調査は未実施である。これらの状況を踏まえ、更にRPV・PCV内部の情報を得ることが課題である。

3.1.3.2 試験的取り出し（内部調査及び燃料デブリ採取）

2号機での試験的取り出しは、PCVの外からペDESTAL内部までアクセスして、更なる内部調査を行い、併せて微量の燃料デブリを採取することを目的としている。

この作業では、従来の閉じ込め障壁の位置がX-6ペネのハッチであったものから、X-6ペネハッチ開放作業時に設置する隔離部屋（ロボット搬入部屋等から構成）や新たに設置するエンクロージャ（ロボットアーム等を内蔵）に拡張することになる。これは、規模は小さいながらも、PCVの既設X-6ペネのハッチを解放して、PCV外側に閉じ込め障壁を拡張するという今後の取り出し作業の基本的な現場構成の形であり、新たな段階に入る取組であることに大きな意義がある。

得られた情報は、後続の段階的な取り出し規模の拡大や、取り出し規模の更なる拡大に活用される。また、燃料デブリの取り出しは福島第一原子力発電所で初めてとなることから、検討から取り出し作業までのプロセスで得られた経験や取り出したサンプルの分析により得られた情報は今後の廃炉の取組の中で活用される。

以下に示す試験的取り出しの一連の作業を段階的に進めていくことが課題である(図16)。PCV内部状況の不確かさゆえに、実際の現場の状況次第では、追加作業や作業のやり直し等が発生し、計画した作業どおりに行かない可能性も想定し、安全かつ慎重に作業を進めるべきである。また、一つ一つの作業は未経験の作業であるため、これらの作業を通して得られる貴重な情報、経験等を、他号機を含む後続の取り出し作業に的確に生かしていくべきである。加えて、トラブル時の対応やその体制についても事前に検討しておくことで速やかに対処できるようにしておくことも重要である。

新たに開発したロボットアームについては、2022年2月から、JAEA櫛葉遠隔技術開発センターにおいてモックアップ試験を開始した。試験結果を踏まえて新たに必要となった制御ソフトの改修・検証、一部装置の改良等を実施し、ロボットアーム単独での機能確認試験は完了した。現在（2024年9月時点）、エンクロージャ内へロボットアームを組み込んだ状態での確認試験を実施している。実作業ではロボットアームによる狭隘部へのアクセスを繰り返すため、その際の接触を避けるべく現場適用に向けた位置精度やハード/ソフトの連係等の向上の観点で、引き続き制御プログラムを最適化して確認していく。また、ロボットアームの試験に加えて、実作業を模擬した手順、オペレータの操作性、装置の信頼性を踏まえて、実際の現場適用性について確認し開発を進めている。

不確かな現場へのロボットアームの適用に向けて、様々な状態での機能を検証すること及び万一の際に装置を確実に救出できることが課題である。そのため、必要な準備を整えること、現場を模擬したモックアップ試験等を行うことにより、時間をかけてでも要求機能を満足していることを確実に確認すること、新たに抽出されたりリスクを確実に潰していく取組を行うべきである。さらに、モックアップ試験では、現場の厳しい環境を模擬することに加え、特に事故を経た現在の状態等の模擬していない部分を明らかにし、実機適用時の必要な方策を十分に準備すべきである。

一方、現地のアクセスルート構築作業においては、作業中や設計上の不具合対応や地震対策等により遅れていた隔離部屋の設置が2023年4月に完了した後、X-6ペネのハッチボルト・ナット取り外し、ハッチ開放を2023年10月に完了した。12月にX-6ペネ内堆積物除去装置を据付け、低圧水噴射、高圧水噴射、AWJ切断、押し込み等によるペネ内堆積物除去等の作業を実施、2024年5月に完了した。

引き続き、X-6ペネ接続構造、接続管の設置、及びエンクロージャ(テレスコ式装置等を内蔵)の設置が7月に完了した。

隔離部屋の設置作業においては、隔離部屋の箱型ゴム部損傷(隔離部屋据付作業中の接触による損傷)、ガイドローラ曲がりや遮へい扉の位置ずれ(2022年3月16日の地震による影響)、押付機構部品の破損(設計強度の余裕不足)等の対策に時間を要した。特に高線量環境下での作業となることの作業性や、万一の部品破損等の修復作業性を十分に考慮した設計となっていなかった問題点があった。

また、X-6ペネのハッチ開放に向けた作業においては、複数のボルト固着状態が事前の想定よりも著しかったために取り外せず、取り外し方法を見直して対応した。このような事前の想定と異なる事象が発生した場合にも柔軟に対応できるように、事前に想定外の事象を幅広く洗い出し極小化した上で、それでも発生する想定外事象への対応方針の策定などの事前準備が重要である。あわせて、これまでの現場作業被ばく実績を今後の作業の被ばく量計画に反映する事も含め事前準備をしておくことが重要である。

X-6ペネのハッチを開放したところ、予想とは異なりペネ入口付近が堆積物で覆われている状態であったが、準備していたドーザツールによる堆積物の突き崩しが可能であり、X-6ペネ内堆積物除去作業は、計画どおりに実施することができた。これは、これまでの現地作業の経験を生かし、十分な準備・トレーニングを実施した結果である。

X-6ペネハッチボルトの固着状況やペネ入口付近の堆積物状況等を踏まえると、X-6ペネ内の堆積物除去が困難であることも懸念されたため、ペネ内の堆積物が完全に除去できない場合でも、燃料デブリの取り出し可能な手法を事前に検討しておくことが必要と考えられた。東京電力は、現地作業の不確実性に加え、ロボットアームについてはモックアップ試験からアクセスルート構築(X-6ペネ出口からペDESTAL開口部(CRD開口)内側までのアクセスルートでロボットアームと干渉する可能性のあるものの切断・撤去等)に時間を要することや、信頼性確認のための試験の継続に一定の時間が必要であること等を踏まえ、まずは性状把握のための燃料デブリの採取を早期かつ確実に行う方針とした。そのため、ロボットアームの検証作業を継続している間に現場への適用を目指し、過去の内部調査で同様な構造での使用実績があるテレスコ式装置を新たに準備して、2024年9月に燃料デブリの採取に着手した。その後、当初計画どおり、ロボットアームによる内部調査及び燃料デブリの採取を実施することとした。ロボットアームの投入によりペDESTAL内で、テレスコ式装置より広い範囲での燃料デブリ採取を予定している。

なお、試験的に取り出した燃料デブリは金属製の密閉輸送容器へ収納し、既存の分析施設へ輸送する計画である。

今後ロボットアーム設置のようなPCV外側に既設構造物と取り合った設備を設置し、閉じ込め障壁を拡張する作業等においても、高線量環境下での非常に難しい作業であるため、これまでの知見、経験も踏まえた周到な準備が課題である。今後も同等以上の大きな地震の発生が予想されること等、福島第一原子力発電所の特徴に十分留意し、改めて作業内容の確認や作業訓練等を実施し、作業の安全性と確実性を高めるべきである。さらに、取り出し規模の更なる拡大の燃料デブリ取り出し工法の検討においても、上記の特徴や今回得られた知見、経験等を反映していくべきである。

以下に主な技術課題と対応策や留意点について述べる。

- プロジェクト管理の留意点

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

- 試験的取り出し可能範囲の制約と段階的な取り出し規模の拡大への反映

テレスコ式装置を用いた燃料デブリの試験的取り出しでは、ペDESTAL底部の堆積物を採取する。

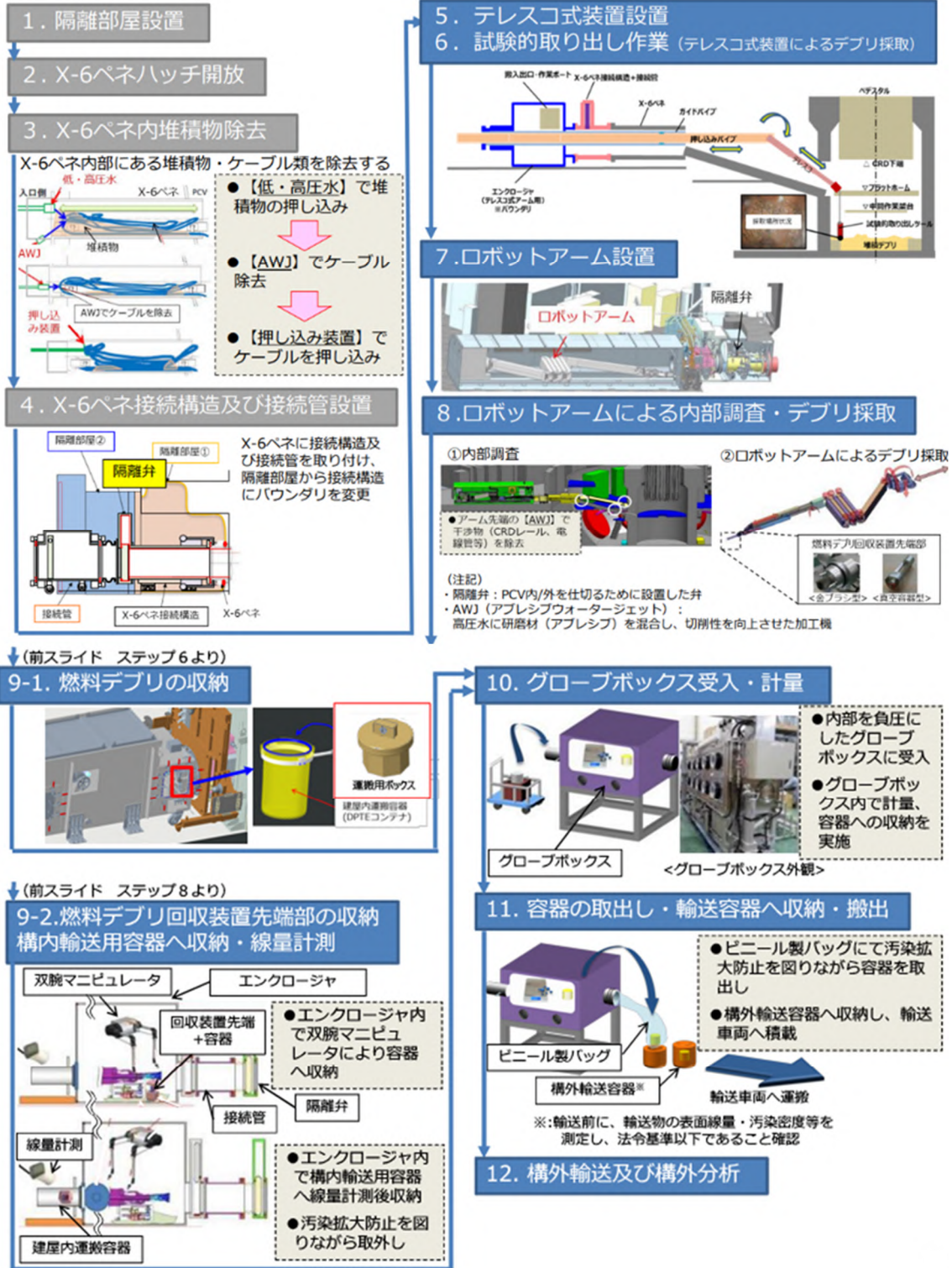
PCV内部調査では、ロボットアームを用いて、ペDESTAL内側の既設構造物の状況や堆積物の分布(3Dデータ)、底部及びプラットフォーム上のガンマ線分布、中性子カウント数分布を取得する。しかしながら、設計当初の計画に比べペDESTAL内の構造物やプラットフォーム等の干渉物が多く、ロボットアームが炉底部へアクセスできる範囲が制約され、ペDESTAL底部の中性子計測や試験的取り出しの可能な範囲は限定的となる。

テレスコ式装置を用いた燃料デブリの試験的取り出しで得られた情報やJAEA櫛葉遠隔技術開発センターでのアーム・ツールの組合せ試験結果も反映し、取得できるデータの範囲、種類、そのデータに基づく炉内状況の評価方法(燃料デブリの分布等)を計画する。

制限された範囲での調査や試験的取り出しとなる中で、次の段階的な取り出し規模の拡大に向け必要な情報は何かを事前に十分に検討した上で、確実に作業を進める必要がある。

- 段階的な取り出し規模の拡大に向けた人材育成、技術継承

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



(東京電力資料をNDFにて加工)

- 分析結果は、後続の段階的な取り出し規模の拡大や、取り出し規模の更なる拡大に活用
- 図 16 試験的取り出し (内部調査及び燃料デブリ採取) の主なステップ³¹⁾

³¹⁾ I R I D / 東京電力、第 47 回 燃料デブリ取り出し専門委員会、「2 号機 PCV 内部調査・試験的取り出し作業の準備状況」、2024 年 5 月 30 日、

3.1.3.3 段階的な取り出し規模の拡大

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

(1) 取り出し用装置について

段階的な取り出し規模の拡大に適用する取り出し用の装置（ロボットアーム等）は、試験的取り出し装置の検証段階で判明した改善点等も踏まえ、可搬重量の増加やアクセス性を向上する等の改良を行う。取り出し範囲については、実績を積みながら、ステップ・バイ・ステップで範囲を拡大していく計画である。把持・吸引できる燃料デブリから取り出しを開始し、切削を伴う燃料デブリ取り出しに拡大していく。あわせて、プラットフォームの梁切断の可否や切断範囲を検討していく計画である。内部にロボットアーム等を内蔵するエンクロージャについては、PCV内部から燃料デブリをエンクロージャ内に持ち込むため、遮へい、水素対策や汚染拡大防止の対策、燃料デブリをエンクロージャ外へ持ち出すための方法、閉じ込め障壁や動的機器の機能維持の確認及び遠隔メンテナンス方法が検討されている。

以下に主な技術課題と対応策について述べる。

- 燃料デブリを持ち込むエンクロージャの閉じ込め性の確保

取り出し作業は、PCV内から取り出した燃料デブリをエンクロージャへ持ち込み、ユニット缶³²に収納し、構内移送のためエンクロージャ外へ搬出するという作業を繰り返し行うことになる。このため、エンクロージャ内が徐々に汚染するため、閉じ込め性の確保が課題である。

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

- マニピュレータの信頼性確保

エンクロージャ内に設置されるマニピュレータは、エンクロージャ内で様々な作業・保守を行う重要な役割を担っている。このため、作業の再現性を確保することが課題である。事前に様々な作業・保守に対する十分な訓練を行い、運転員の養成を行っていくべきである。

- 供用期間中の装置類保守の確保と対応

作業期間が数年オーダーになるため、定期的な保守に加えて、万一の故障に備えた準備が課題である。エンクロージャが設置される2号機の原子炉建屋内は線量が高く、その場での

³² 燃料デブリをPCV内からユニット缶に入れて取り出し、燃料デブリの入ったユニット缶を収納缶に格納して保管することを、一つの案として検討している。

保守は困難であるため、建屋外にメンテナンス建屋を設け、そこまで装置類あるいはエンクロージャごと移送し、その中で、除染、解体、補修あるいは交換等を実施することを計画している。また、こうした供用期間中の装置類保守によって得られる経験を、取り出し規模の更なる拡大にも生かしていくことも課題である。故障履歴や対応結果を含めたメンテナンス記録を確実に残す仕組みを構築すべきである。

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

(2) 第一保管施設について

第一保管施設は、設計時には取り出された燃料デブリの受入れや分析施設への試料の送付等の関連施設との接点があり、据付時には周辺工事を含む多岐にわたる工事間の取り合いや接点が多い。このため、第一保管施設は規模が小さいながらも設計、据付時において、工程管理や懸案事項の解決等に東京電力によるプロジェクト管理が必須である。この工事での経験や知見は今後の取り出し規模の更なる拡大における作業のプロジェクト管理、工事管理に生かされることが期待される。

第一保管施設における燃料デブリの取扱いでは多様な遠隔操作装置を使用する計画であり、これらを計画どおりに使用できる必要がある。設計段階においてこれらの装置を用いた作業内容を十分に確認し、潜んでいるリスクに対する対策を検討して設計に反映しておくべきである。さらに、先行するPCV内部調査や試験的取り出しにおける遠隔操作装置に関する知見や経験を参考にして、設計の検証やモックアップ試験・訓練を行っていくべきである。

3.1.3.4 取り出し規模の更なる拡大

取り出し規模の更なる拡大においては、燃料デブリ取り出しは廃炉事業の重要なプロセスであり、その確実な実施は廃炉事業の成否を左右することを踏まえて、技術的な成立性のみならず、リソースや工程などを含めた総合的な見地からの工法検討を東京電力が責任を持って取り組んでいく必要がある。(参考として、これまでの技術戦略プランにおける工法検討の変遷を添付資料9に示す。)

東京電力は、3号機を先行して、取り出し規模の更なる拡大の概念検討を進めてきた。この中で、気中工法、気中工法オプション(充填固化工法)、冠水工法の3工法が候補に上がった。他方、2030年代の取り出し規模の更なる拡大の作業開始を考慮すると、工法を絞り込み、設計検討を加速していくことが適切である。このような状況を踏まえ、不確かさが大きい中で設計検討の方向性を絞り込むに当たっては、政府、東京電力、NDFが協力して検討を進めるとともに、内外の技術的知見を集めた専門的かつ集中的な検討が必要であった。このため、2023年2月よりNDFの廃炉等技術委員会の議決を経て、同委員会の下に、「燃料デブリ取り出し工法評価小委員会」を設置し、安全を大前提に技術成立性等を総合的に検討・評価し、現時点で設計検討を

進めるべき工法について提言することとした。小委員会は 12 回の審議を経て報告書³³ を取りまとめ、2024 年 3 月に廃炉等技術委員会にその成果を報告している。

本節では、まず、燃料デブリ取り出しを困難にしている主な要因を上げ、それを踏まえ、工法の検討や評価をする際の留意点について述べている。次に、小委員会の成果として取りまとめられた報告書の概要を示し、最後に、小委員会の提言を踏まえた東京電力の取組状況について記載している。

3.1.3.4.1 燃料デブリ取り出しを困難にしている主な要因

事故炉である福島第一原子力発電所は通常炉とは大きく異なる特殊な環境であり、燃料デブリ取り出しを困難にしている以下の要因を十分認識する必要がある。

PCV・RPV内が高線量

PCV・RPV内の線量当量率は数 Sv/h～数百 Sv/h オーダーであり、人が入ることができない。

原子炉建屋内が高線量

原子炉建屋内の線量当量率は数 mSv/h～数十 mSv/h オーダーであり、人が入るのは短い時間に限定される。

現場情報の不足

上記、の制約から現場情報の取得が困難であり、大きな不確かさを伴う推定に基づき検討しなければならない部分が多い。

閉じ込め障壁構築

既存の原子炉建屋、PCVを閉じ込め障壁とする場合は、事故により損傷していること及び経年劣化を考慮しなければならない。一方、新たな閉じ込め障壁を構築する場合には現場の状況に応じた耐震性などを考慮する必要がある。

臨界の可能性

未臨界状態が維持されているPCV・RPV内の状況に対して、燃料デブリの分布などに変化を与えた際の臨界の可能性について考慮が必要である。

廃棄物の発生物量

廃炉作業に伴い新たに発生する固体廃棄物については、敷地における保管管理全体の負荷を軽減するため、可能な限り発生物量を低減していく必要がある。

³³ 原子力損害賠償・廃炉等支援機構 燃料デブリ取り出し工法評価小委員会、「燃料デブリ取り出し工法評価小委員会」報告書、令和 6 年 3 月 7 日

3.1.3.4.2 工法の検討や評価をする際の留意点

上記の燃料デブリ取り出しを困難にしている主な要因を踏まえ、工法の検討や評価をする際の留意点を以下に示す。

(1) 工法を検討する際の留意点

- 安全確保に係る要求事項の適切な設定

通常炉とは異なる特殊な環境であることも踏まえ、安全確保が確実に実現可能であることを確認する前提で、最終的に目指す安全のレベルや、そのために必要な作業期間等を考慮の上、プロジェクト推進の観点から総合的に判断することが必要である。このため、地震や臨界等の安全に係る事象が起きた時の影響評価を実施した上で、要求事項を適切に設定して対策を検討することが重要である。

- 工法検討に必要な情報の推定

工法を検討する上で燃料デブリの位置・量・性状、核分裂生成物分布、PCV内部状況等の情報が重要である。このため、これまでの内部調査による推定、解析による推定、過去の事故・研究の知見及び実験による推定等を基に総合的な分析・評価を行い、工法検討に必要な情報を推定している。今後もこのような取組を継続し、内部調査等で新たに得られる成果を適宜、工法検討のための情報に反映していくことにより工法検討の精度を向上させるべきである。

- 燃料デブリ取り出しシナリオの策定

PCV内の状況把握が限定的な中、工法の検討では、号機ごとに燃料デブリ取り出しシナリオを検討し、スタートからゴールまでの道筋を明らかにすることは重要である。燃料デブリ取り出しシナリオの検討においては、将来実施されるPCVやRPVの内部調査等の現場情報や技術検討等の進捗により得られる成果が複数想定される場合は、それらを活用する前提条件の基に検討するものである。こうした複数の道筋を検討した上で、その後得られる情報に応じ、道筋の組合せや絞り込みを行うことが重要である。また、燃料デブリ取り出しの道筋を検討する上では、準備工事から燃料デブリ取り出し完了までの各プロセスに潜む課題の管理が必要であり、常に課題の困難さ及び対応策を確認しながら、シナリオを策定する必要がある。

- 要求事項の明確化

取り出し規模の更なる拡大については、2号機の燃料デブリ取り出し(試験的取り出し、段階的な取り出し規模の拡大)に比べ、作業、装置及び施設が大規模化し、工事範囲が広域化することから、他工事も含めて福島第一原子力発電所全体を見据えた検討が課題となる。このため、工法に係る作業・装置に求める要求事項(閉じ込め、臨界管理、操作性、メンテナンス性、処理能力等)に加え、発電所全体を見据えた要求事項(敷地利用面積、既存設備との取り合い、地下水対策、廃棄物対策等)をより明確に設定して進めるべきであり、要求事項の相互の関係にも留意すべきである。

- 課題の抽出と現場適用性、技術成立性の確認

策定した工法案に潜む課題を体系的・網羅的に抽出する方法として、準備工事から燃料デブリ取り出し作業、保守、取り出し完了までの工事シーケンスを検討し、各プロセスの作業に対し、技術成立性に大きく影響する可能性のある課題を網羅的に抽出することがその有効な手段である。また、抽出された課題については、対応策を検討の上、現場適用性、技術成立性の視点で対応できることを確認しておくべきである。

(2) 工法を評価する際の留意点

- 判断指標と判断基準の設定

工法を評価する際は、5つの視点(安全、確実、合理的、迅速、現場指向)に基づき、目標とする安全レベルを満足し、現場適用性、技術成立性を確認する評価に加え、リソース、工程、作業員確保、社会受容性などの評価も判断指標とする必要がある。また、工法検討の初期段階から判断指標を設定し、評価に用いる判断基準を明確にすべきである。加えて、判断基準については客観的に判断するための材料(例えば、被ばく評価、構造評価等)をあらかじめ明らかにしておくべきである。

3.1.3.4.3 小委員会報告書の概要

小委員会報告書において検討・評価した各工法の概要及び長所と課題、工法選定への提言、今後の進め方の概要を以下に示す。なお、各工法の概要は一例であり、確定的なものではない。

3.1.3.4.3.1 各工法の概要及び長所と課題

(1) 気中工法の概要及び長所と課題

a. 気中工法の概要

気中工法は、燃料デブリが気中に露出した状態若しくは低水位で浸漬した状態で取り出す工法である。(図17 気中工法の一例を参照)

オペレーティングフロア(以下「オペフロ」という。)上に閉じ込め設備を設置した上で、原子炉ウェルを開放し、上方向からPCV内にアクセスする「上アクセス」と、地上階にてPCV側面に閉じ込め設備を設けた上で横方向からPCV内にアクセスする「横アクセス」を組み合わせた方法としている。上アクセスは、作業開口を大きくできること、直接のアクセスが可能であることを踏まえ、RPV内とペDESTAL内の燃料デブリを主に上アクセスで取り出し、上からのアクセス性が悪いペDESTAL外の燃料デブリを横アクセスで取り出す。その際、ダスト飛散抑制などのため、必要に応じて燃料デブリ取り出し実施箇所へ水をかけ流しながら作業を進める。ペDESTAL内外で、燃料デブリ加工時の切削粉の蓄積防止等による臨界対策やRPVからの重量物落下対策等の安全対策を実施するために、横アクセスは上アクセスに先行して実施することを検討する。取り出し時のダスト飛散抑制、汚染拡大抑制のため、必要な閉じ込め障壁を構築する。一次閉じ込め障壁をPCV等で、二次閉じ込め障壁を原子炉建屋等で構成することを基本とする。また、気相系閉じ込めシステムを一次/二次閉じ込め障壁に設置し、閉じ込め障壁内外の圧力差により動的な閉じ込めを実施する。

上アクセスによる燃料デブリ取り出しでは、閉じ込め等の機能を持たせたセルや取り出し用機器等の重量物をオペフロ上に設置する必要があるため、これらを支持し耐震性を確保するため、大規模な構台を新たに設置する必要がある。構台は、タービン建屋との干渉を避けるため、原子炉建屋を南北方向に跨ぎ、免震層を介してオペフロ上の重量物を支える構造とする。また、原子炉建屋南側に増設建屋を配置し、建屋内には付帯システム（気相系、液相系）水処理、燃料デブリ・廃棄物の移送前処理等を行う設備を設置する。

取り出した燃料デブリは原子炉建屋と接続した増設建屋に搬送し、移送前処理として移送容器への収納・水素濃度計測等を実施する。移送容器は増設建屋から保管前処理施設へ移送し、保管前処理として燃料デブリの分析、仕分け、乾燥を行う。その後、保管容器に収納し、保管施設で保管する。

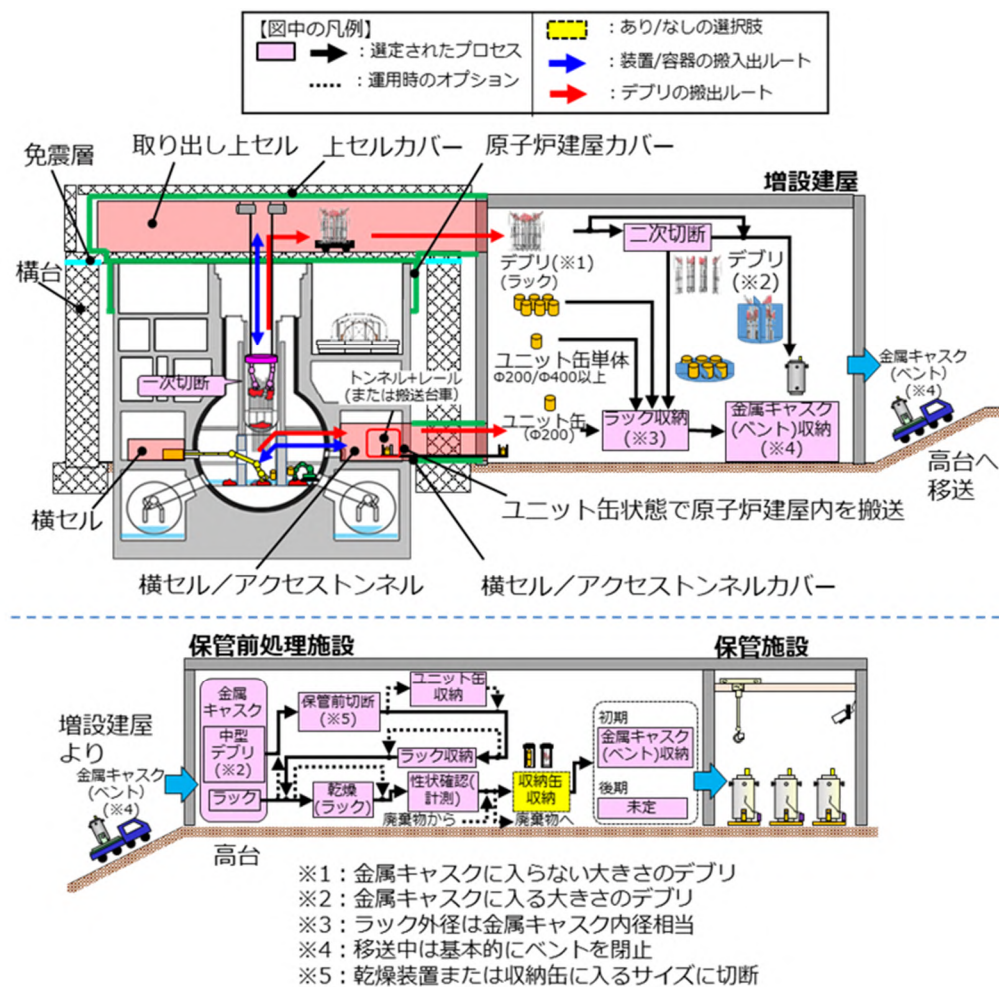


図 17 気中工法の一例

b. 気中工法の長所と課題

上記 a. で示した気中工法に対し、小委員会では、各工法の準備工事、建設工事、燃料デブリ取り出し作業、移送・保管、保守の一連の作業プロセスを分析し、そこに内在する課題を抽出し対応策を検討した上で、技術成立性を評価している。これらの評価に基づき、工法の長所と課題について整理した結果を以下に示す。

<長所>

- 気中工法は、現在気中で維持されている状況を大きく変化させずに取り組むため、状態変更に伴う懸案等が少ない。
- 冠水工法よりも早期に燃料デブリ取り出し作業が開始できる。
- 上アクセスの中でも複数の工法の中からの選択、また、上アクセスと横アクセスの組合せなど、内部の状況に応じた燃料デブリ加工・回収方法を選定できる。

<課題>

- 現場が高線量であるため、他工法と比較して多種多様な遠隔操作装置が必要であり、開発・設計・検証に長い期間を要する上に、現場投入後に設計変更を余儀なくされる可能性もある。遠隔操作装置のレスキューに相当な時間が掛かることを考えると、高線量環境下での復旧方法又はセル内を高線量環境にさせない方法の検討も必要である。
- 高線量の燃料デブリと廃棄物を上から取り出すため、オペフロに高重量のセル、取り出し機器の設置が必要となり、これらを支持し十分な耐震性を確保するための構台の規模が大きくなる。

(2) 気中工法オプション(充填固化工法)の概要及び長所と課題

a. 気中工法オプション(充填固化工法)の概要

気中工法オプション(充填固化工法)は、ペDESTAL内側、ペDESTAL外側底部、RPV内部、原子炉ウェル等に、一定時間の後に固まる流動性がある充填材を注入して物理的に安定固化した上で、オペフロに設ける比較的小さな開口部から遠隔操作装置を用いて、燃料デブリや炉内構造物等を取り出す工法である。(図18 気中工法オプションの一例を参照) 固化された部分については掘削等の方法により回収し、固化しない部分については適切な遠隔操作治具により回収を行う。

横方向よりペDESTAL内底部に充填材等を注入して安定固化し、さらに、上方向から原子炉ウェル以下の空間(PCVヘッド下部、RPV内部、ペDESTAL内側の残りの部分等)のうち、固化することが適切と判断される箇所に充填材等を注入して安定固化する。

取り出し作業については、オペフロから開口部を介して遠隔操作治具を挿入し、ペDESTAL底部までの燃料デブリや充填材を掘削することとし、ペDESTAL外の底部といった充填固化していない空間がある場合は、ケーシングを設置して燃料デブリや充填材を掘削する。

なお、充填固化する箇所は、一時的な安定化が急がれる箇所、掘削法で回収することが効率的な箇所、充填材による線の遮へい効果によりオペフロでの線量低減効果が期待される箇所等が想定される。固化対象となる部分は、内部調査により得られる既設構造物の損傷や燃料デブリの分布等の状況に応じて、原子炉ウェル以下の全体を充填するケース、RPV内部の一部だけを充填するケース、RPV内部全体を充填するケース、PCV底部ペDESTAL内全体を充填するケースやこの一部だけを充填するケース等、部分的充填を含めて様々な可能性が考えられる。内部調査の結果や掘削回収のアクセス性等を勘案して検討する。

充填固化した部分の掘削には、コアボーリングやクラッシュ（圧砕、小割等）などの固体のまま回収を行う方法と、水を循環させることで掘削屑をフィルタ型回収容器に移送して回収する方法などが考えられる。

オペフロ上には閉じ込め機能を持たせたセルや取り出し用機器、セルを覆うセルカバー等を設置するため、これらを支持する構台を新たに設置する。

取り出し時のダスト飛散抑制、汚染拡大抑制のため、二重化した閉じ込め障壁を構築する。気中工法と同様に、一次閉じ込め障壁はP C V等で、二次閉じ込め障壁は原子炉建屋等で構成される。ただし、気中工法と比較すると、充填材が燃料デブリ等を覆うため、ダスト飛散抑制、汚染拡大抑制をより強固にすることが期待できる。また、気相系閉じ込めシステムを一次・二次閉じ込め障壁に設置し、閉じ込め障壁内外の圧力差により動的な閉じ込めを実施する。

回収容器に収納された燃料デブリ等の移送、保管については、気中工法案や冠水工法案を参考にした検討が必要である。

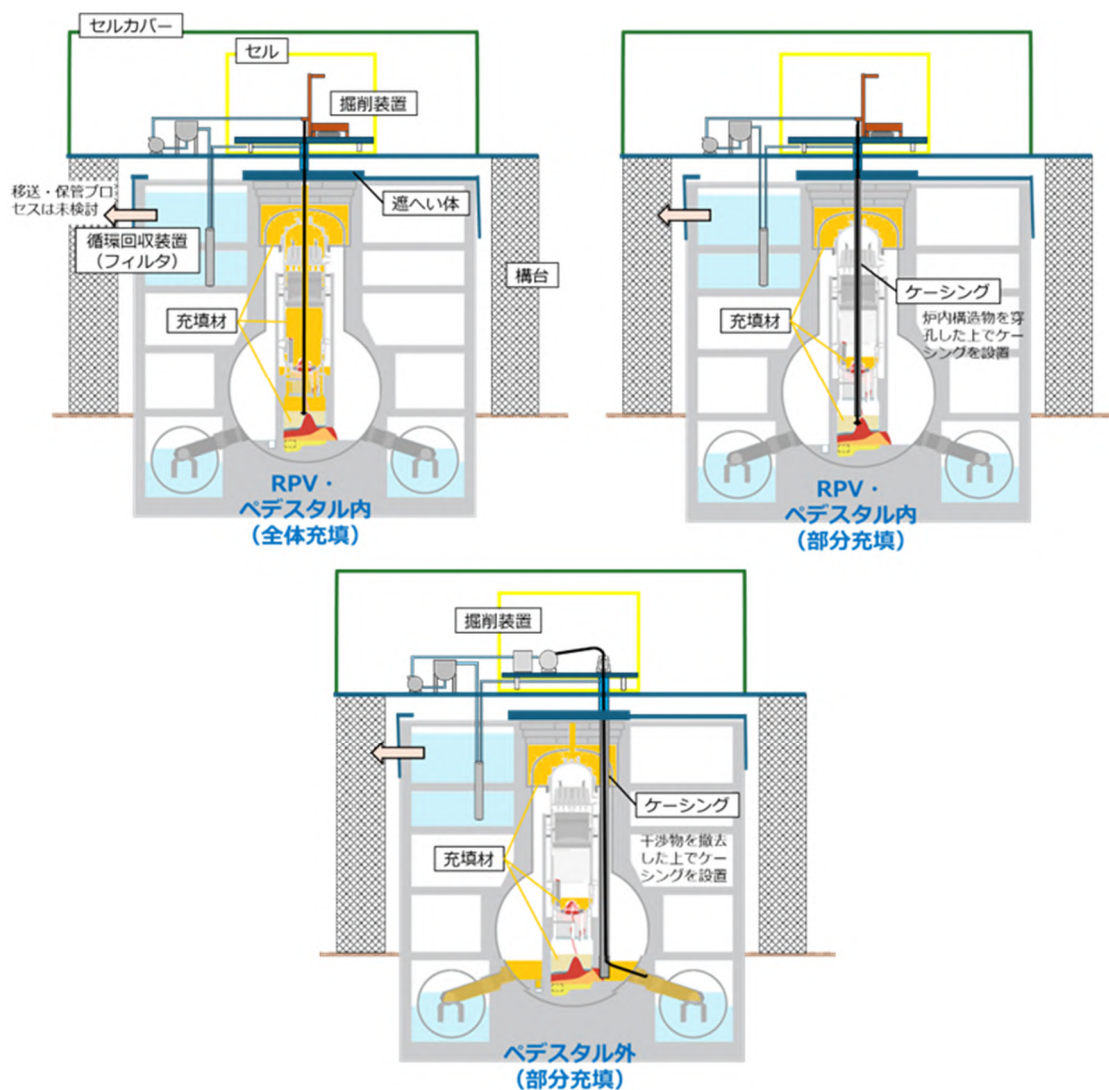


図 18 気中工法オプションの一例

b. 気中工法オプションの長所と課題

上記 a.で示した気中工法オプションに対し、小委員会では、気中工法同様に、課題を抽出し対応策を検討した上で、技術成立性を評価している。これらの評価に基づき、工法の長所と課題について整理した結果を以下に示す。

<長所>

- R P VやペDESTAL底部にある燃料デブリ等を充填材で固めることにより一旦安定化させることができる。また、固化体にすることで取り出しの際の扱いを統一化・単純化させることができる。
- 充填材による遮へい効果、及び比較的小さな開口から炉内にアクセスすることなどから、オペフロでの線量低減が期待される。これにより、オペフロに設置するセルやそれを覆うセルカバー、これらを支持する構台等の規模を簡素化できる可能性がある。また、機器故障時のレスキューにおいてオペフロでの作業員による直接操作が期待できる。
- 掘削装置は、遠隔操作となるが、構造は1軸鉛直方向の動きを基本とし、シンプルである。また、掘削対象物に応じて先端ビット等を交換可能であるため、柔軟性がある。
- 気中工法、冠水工法と比較し、設備の規模が小さく、最も早期に燃料デブリ取り出し作業を開始できる可能性がある。

<課題>

- 充填材の選定（流動性・硬化時間調整性・固化後の機械的物性・熱伝導性・化学的安定性・放射線による劣化性等）、充填方法、充填状態の確認方法の確立が必要。
- 掘削対象物に応じた先端ビット等の選定、検証が必要。
- 充填範囲に応じて廃棄物発生量が増大する。また、スラッジ状で回収する場合には、その取扱いに注意が必要。

(3) 冠水工法の概要及び長所と課題

a. 冠水工法の概要

冠水工法は、船殻構造体と呼ばれる新規構造物で地下から屋上までの原子炉建屋全体を囲い、この構造体の内部に水を満たし、原子炉建屋全体を冠水させて燃料デブリを取り出す工法である。（図 19 冠水工法の一例を参照）水の遮へい効果により燃料デブリ取り出し作業エリアの線量低減が可能となる。船殻構造体は、3層の厚い鋼板による支持構造によって構築されるもので、閉じ込め障壁として、原子炉建屋と水の全ての重量を支え十分な耐震性を持つように設計される。

オペフロに設置するセル内より遠隔操作装置を水中に下ろして、R P V内やペDESTAL内外の炉内設備や燃料デブリを取り出す。なお、ペDESTALの外側については、ペDESTALの内側から地下階にある作業員アクセス口を経由してアクセスする。

水と接触する内壁及びオペフロに設置するセルを一次閉じ込め障壁、船殻構造体内部を二次閉じ込め障壁、外壁を遮水閉じ込め障壁とした3層構造としている。また、気相系閉じ込

めシステムを一次・二次閉じ込め障壁に設置し、閉じ込め障壁内外の圧力差により動的な閉じ込めを行う。

船殻構造体上部の取り出しセルには燃料デブリ取り出し装置などの上アクセス関連設備、付帯システム（気相系、液相系）水処理、燃料デブリ・廃棄物の移送前処理を行う設備等を設置する。取り出された燃料デブリの移送前処理は遮へい容器への収納までを水中で行い、容器の洗浄・水切り・蓋締め・検査を気中にて行う。移送容器に含まれる水分の放射線分解に対して可燃限界以下の水素濃度を担保するため、収納量の制限を行う。移送容器は船殻構造体から保管前処理施設へ移送され、保管前処理として燃料デブリの分析、仕分け、乾燥を行う。その後、保管容器に収納し、保管施設で保管する。

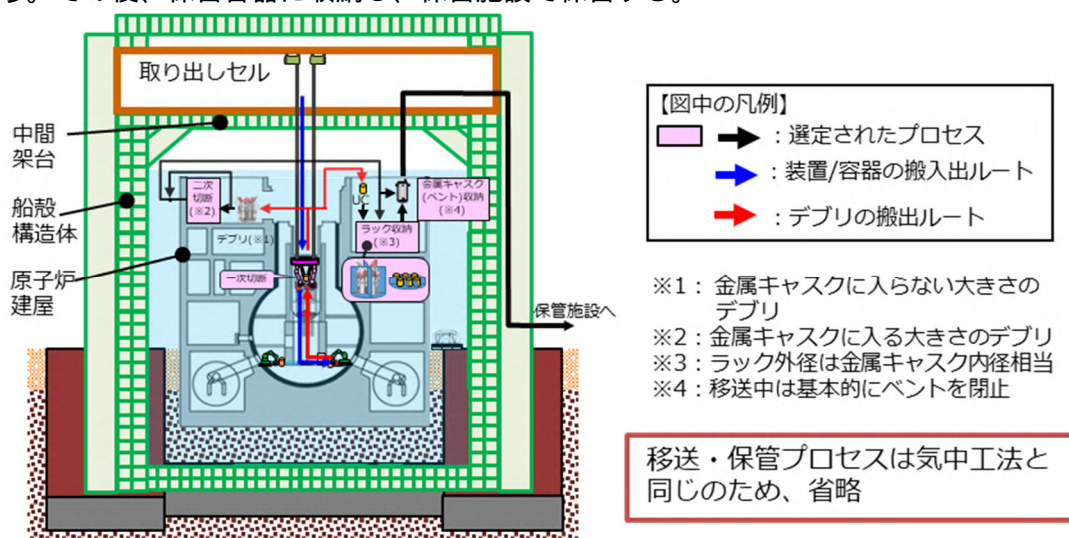


図 19 冠水工法の一例

b. 冠水工法の長所と課題

上記 a. で示した冠水工法に対し、小委員会では、気中工法同様に、課題を抽出し対応策を検討した上で、技術成立性を評価している。これらの評価に基づき、工法の長所と課題について整理した結果を以下に示す。

<長所>

- 炉内からの強い 線に対して、水遮へいによりオペフロでの線量を低減させることで、上部からの遠隔操作が容易となり、作業員被ばくの低減等への裕度を拡大させる。あわせて、ダスト飛散抑制の効果も期待できる。
- 強固な閉じ込め障壁（船殻構造体）により、原子炉建屋全体を外部から完全に隔離できる。
- 遠隔機器故障時のレスキューは、オペフロから人手による操作が可能である。

<課題>

- 建屋の下部地盤での船殻構造体構築における現場施工性（施工中における地震時の地盤安定性、施工時の地下水対策、大規模な船殻構造体製作の品質保証等）の検証と安定化設備のタービン建屋以外の移設先の確保等が必要である。

- 大量の保有水の管理（水質管理・漏えい防止・腐食対策等）に加えて、入念な臨界管理が必要である。
- 船殻構造体の設備規模が膨大である。
- 準備工事期間が最も長く、燃料デブリ取り出し作業の開始時期が最も遅い。

3.1.3.4.3.2 工法選定への提言

前節までの各工法の評価から、小委員会では以下のように提言している。

何れの工法にも課題があり、各工法を構成する技術には不確かさ（設計・基礎データ・技術確証等）が伴うことが確認されたことから、一つの工法に固執することなく、各工法の長所を生かし課題を補完し合うシナリオ（以下「取り出しシナリオ」という。）を検討することが望ましい。

冠水工法は、水遮への効果を十分期待できるが、船殻構造体の現場施工性に不確かさがあること、大量の水を扱う困難さ等の問題があり、本格的に着手すべき工法として現時点で選択することは困難である。一方、高線量物質を水中で扱うことのメリットは大きく、将来、気中工法から水遮への機能を活用できる工法に移行する可能性も否定できない。

気中工法が基本となるが、現状の気中工法はシステム全体の規模が大きく全てを遠隔操作装置に依存するため、現地でのヤード計画との整合性、工事シーケンスの成立性、遠隔操作性や全体の稼働率等のパフォーマンス上の懸念が大きい。

気中工法オプションは、設備全体の規模が小さく装置がシンプルであり、又充填固化することにより燃料デブリを一旦安定化できる効果に期待できる。しかしながら、この期待を満たすような充填材の選定が完了していないこと、必要な箇所を充填固化させる充填材注入の技術検討が未成熟であること、固化部分の掘削や回収物の扱いに関わる設計検討が不足していること等、技術的な検討が不足していることが否定できない。気中工法オプションの基本的成立性が見通しが得られれば、気中工法オプションばかりでなく、充填固化の機能を活用した気中工法の発展が期待される。

いかなる工法であれ、PCVやRPV内部の状況の十分な理解が、その設計や安全確保の前提となる。今後、内部調査を加速していくことが重要となるが、今後の時間的目標を考えれば、工法の設計検討と内部調査が同時併行で行われることが不可欠である。

上記を総合的に考慮すると、以下のように進めることが適切である。

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

なお、今後の内部調査等で得られる情報等により、例えば、燃料デブリの分布が設計検討の前提条件として設定したものと大きく異なり、新たな課題が判明することも考えられる。そうした場合は、設計検討の途中段階であっても取り出しシナリオの変更や、場合によっては遡って工法自体の見直しもあり得るものとする。

3.1.3.4.3.3 今後の進め方

今後の進め方として、小委員会では以下を提案している。

東京電力における具体的な設計検討の進め方

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

安全確保の具体化の進め方

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

小委員会によるフォローアップ

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

関係地域の自治体や住民との対話

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

3.1.3.4.4 小委員会の提言を踏まえた東京電力の取組状況

東京電力は、小委員会報告書の内容に沿って具体的な設計検討を進めている。また、1～2年程度で具体的な設計検討を完了させ、その成果を用いて、基本設計のフェーズに進む計画である。2024年度以降の東京電力の取組状況として、具体的な設計検討の実施計画を策定し、2024年7月の小委員会に報告している。実施計画の概要を以下に示す。

3.1.3.4.4.1 具体的な設計検討の実施計画概要

基本設計に進むために必要な成果を想定し、具体的な設計検討の実施計画を策定している。実施計画のうち、実施内容、検討スケジュール、検討体制の概要を以下に示す。

(1) 具体的な設計検討の実施内容

取り出しシナリオの策定

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

設備計画

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

物流・配置計画

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

工程

項、 項の成果に基づき、各プロセスの工程及び全体工程を検討する。

技術開発テーマ

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

水遮へい機能を活用した工法の検討

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

安全確保の考え方と判断基準の設定

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

(2) 検討スケジュール

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

(3) 検討体制

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

3.1.3.5 事故分析(事故時の発生事象等の明確化)活動の継続

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

東京電力自身による事故分析活動として、事故時の発生事象等を明確化するため、「福島第一原子力発電所事故における未確認・未説明事項」として 52 件の課題を抽出し、内部調査で得られた知見などに基づく調査・検討の進捗を報告している。2013 年 12 月の第 1 回進捗報告において、地震の影響による 1 号機での冷却水喪失の可能性の検討等の 10 件の課題についての結論が報告された³⁴。さらに、報告された 10 件のうち消防車による原子炉注水量などの 2 件は検討継続されることとなり、それらを含む残り 44 件の課題について、優先順位が高い課題 10 件と、それ以外の課題 34 件に整理された。2015 年 12 月の第 4 回進捗報告までに優先順位が高い 10 件の課

³⁴ 福島第一原子力発電所事故発生後の詳細な進展メカニズムに関する未確認・未説明事項の調査・検討結果のご報告「第 1 回進捗報告」、2015 年 12 月 13 日

題について検討結果が示され、2022年11月の第6回進捗報告までに残りの課題のうち「炉内損傷状況とデブリ位置について」を含めた20件の検討結果が示された³⁵。東京電力は、これらの事故分析の結果を参照してRPVやPCVの状態推定に関する検討を進め、現場調査の計画的な実施及び燃料デブリ取り出し工法、保管管理等の検討に反映している。一方で、熔融炉心物質とコンクリートとの反応や、ベント時の格納容器からの放射性物質の放出等の14件の課題については、まだ十分に検討が進められていない。今後、2号機の試験的取り出しにおける内部調査及び燃料デブリの回収・分析により、これらの事故分析活動に有用な情報を得られることが期待される。

本節に係る進捗については添付資料10に、OECD/NEAの活動の詳細は4章に記述した。

3.1.3.6 取り出し規模の更なる拡大に係る研究開発

エンジニアリングで対応するには難易度が高い課題、若しくは、将来を見据えた課題については廃炉・汚染水・処理水対策事業にて研究開発を行ってきている。この研究開発は5.2章に記載する研究開発中長期計画及び次期廃炉研究開発計画に従って進められており、網羅的、計画的及び効率的に、又廃炉の実施主体である東京電力のニーズに沿ったものであることを確認しながら進めることが重要である。実施中の研究開発の項目について以下に記載する。なお、3.1.3.6.7項以外は選択される工法によらず共通の研究開発である。3.1.3.6.7項は、現時点で気中工法のみに係る研究開発となっているが、今後、その他の工法についても研究課題を抽出し、必要により研究開発に着手していく。

3.1.3.6.1 RPV内部調査技術

RPV内部の燃料デブリ取り出し工法におけるエンジニアリングの後戻りを避けるためには、燃料デブリの分布やRPV内の状況、線量等の環境条件を確認することが有用である。

廃炉・汚染水・処理水対策事業ではこれまでに、上部から炉心にアクセスする工法（上部穴開け調査工法）と側面から炉心にアクセスする工法（側面穴開け調査工法）が検討され、2019年度までに、実機適用に向けた装置の機能確認までを実施した。上部穴開け調査工法では、炉内構造物（乾燥器、気水分離器、シュラウドヘッド）の穿孔（開口）にはAWJを使用する計画であるが、AWJ切断に伴う多量の研磨剤がPCV内及びRPV内に入ることになるため、内部調査への影響、廃棄物の増加等の問題が指摘された。

このため、2020年度から二次廃棄物（研磨剤等）を少なくする加工技術を検討し、小型ノズルのAWJ、レーザー切断を候補技術として選定した。2023年度までに、この加工装置を用いたオペフロからの遠隔施工性を試験で確認した。

上部穴開け調査工法については、使用済燃料プールからの燃料取り出し作業との干渉、RPV内部調査装置を設置する現場状況の調査、現場環境の整備等のエンジニアリング作業の計画を具体

³⁵ 福島第一原子力発電所事故発生後の詳細な進展メカニズムに関する未確認・未解明事項の調査・検討結果のご報告「第6回進捗報告」、添付資料2【検討課題リスト】、2022年11月10日

化する必要がある。また、2024年度からは、より早期にR P V内の蒸気乾燥器・気水分離器・シュラウド等の損傷状況を確認できる可能性がある工法として、蒸気乾燥器・気水分離器ピット（以下、D S P）に調査装置を設置して、D S Pプラグ、P C V、R P Vを穿孔してR P V内部を調査する工法（上部側面アクセス調査工法）の検討を開始した。

より早期にR P V内部調査を実施可能な工法の開発を進めることも重要であると考え、P C V内部調査のために構築されたアクセスルート等を利用してP C V内部へ調査装置を投入し、R P V底部に存在すると想定される開口部から調査装置をR P V内に挿入して内部を調査する下部アクセス調査工法を2020年度から検討している。検討の結果、1号機はC R D開口部から小型ドローンをペDESTAL内に入れて調査する方法、2号機及び3号機はC R D開口部からロボットアームに搭載したテレスコ式装置をペDESTAL内に入れて調査する方法を開発した。2023年度までに、これらの下部アクセス調査装置の実機適用性を試験で確認した。2024年度からは、ペDESTAL内下部に干渉物が多数確認されている3号機を想定した下部アクセス調査工法について、新たなアクセス装置の開発も含め、継続して検討を開始した。

東京電力は、簡易な調査方法として、小径で高い耐放射線性のあるファイバースコープを既設の計装配管（小口径配管）に挿入してR P V内部にアクセス、調査する工法を検討しており、2024年度に2号機で調査を実施する計画である。

この検討の発展として、シュラウド内部にアクセス可能な既存配管を利用した内部調査の技術課題（配管途中の逆止弁やT型の管継手等の閉塞部の通過等）に関しては、2022年度から廃炉・汚染水・処理水対策事業にて、課題解決のための要素技術の開発を行い、2023年度までに、炉心スプレイ系（C S系）、主蒸気系（M S系）、原子炉再循環系（P L R系）を実機適用先の候補として抽出し、必要な機能を有する装置の開発を行った。2024年度からは、早い時期に現場適用が期待できるC S系（2号機）とM S系（3号機）を対象に、2023年度までに抽出された課題の解決をはかり、モックアップ試験にて現場適用性を確認する計画である。

各号機ともR P V内部の直接的な映像情報が得られていないため、廃炉・汚染水・処理水対策事業での技術開発と開発された技術を活用したエンジニアリングを推進して、R P V内部の情報を早期に得ることが課題である。エンジニアリングの後戻りを避けるため、及び選択する工法の現実性を高めるためにも、取得した情報を基に燃料デブリ取り出し戦略の方向性を確認していくことになる。

3.1.3.6.2 原子炉建屋内の環境改善のための技術

中長期ロードマップ、東京電力の廃炉中長期実行プランに沿い、作業エリア・アクセスルートの作業環境の改善として、原子炉建屋内の干渉物撤去、線量低減が進められている。今後、燃料デブリ取り出し関連作業では、高線量・高汚染の設備等の干渉物に対して、安全で合理的な撤去方法の構築及び作業エリアの線量低減等による作業時の被ばく低減が環境改善の課題であり、東京電力のエンジニアリングを支援するために廃炉・汚染水・処理水対策事業による原子炉建屋内の環境改善のための技術に関する研究開発を進めている。

燃料デブリ取り出し関連作業では、主な作業エリアは原子炉建屋内等の高線量区域である上、内部被ばくの際の線量寄与が大きい。線放出核種を含む核燃料物質等を取り扱うことになる。このため、環境改善の方策の検討に当たっては、構造物、設備機器、放射線源、線量等の作業環

境や除染、遮へい、撤去等の作業形態に基づいた放射線防護対策を適切に実施することで、作業者の過度な被ばくを防止し、被ばく低減を実現することが基本となる。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率及び作業時間から被ばく線量を評価し、「時間、距離、遮へい」の三原則にのっとり、合理的に達成可能な被ばく低減対策を実施する必要がある。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、汚染拡大防止等に対する設備上の措置に加え、作業エリアの汚染状態に応じた防護対策を選定し吸入摂取や身体汚染の防止に努めることが肝要である。このような考え方を念頭に置き、除染、遮へい、遠隔技術等の方策の適切な組合せを目指すべきである。

特に、燃料デブリ取り出し作業において、考慮すべき重要な観点を以下に示す。

- X-6 ペネ、オペフロ等から P C V 内にアクセスするために、原子炉建屋内の作業環境を十分確保すべきである。
- 原子炉建屋内は、事故による損傷状態が不明な箇所が残りいまだに線量が高い環境であるため、線量分布、汚染状況について対象範囲の周囲の寄与も含めて十分に調査し、線源位置、強度を可能な限り特定して作業計画を立てることに取り組む。
- 作業エリア・アクセスルート目標線量率は、作業の成立性を十分に検証し、法令で定められた作業員の被ばく線量限度（50mSv / 年及び 100mSv / 5 年）に対する裕度も考慮して設定する。
- 高線量区域の線量低減計画は、作業ニーズを明確化し、線量限度に従う作業時間と作業達成に必要な作業時間について、可能な限り総被ばく線量を抑制して作業を達成するための対策を検討する。
- 高所の設備機器、重量物など比較的撤去が難しい干渉物の遠隔撤去技術の開発に取り組む。

これらを踏まえ、廃炉・汚染水・処理水対策事業による研究開発として、安全・効率的な作業計画の策定に向けて、環境調査データを用いた放射線源の特定、デジタル技術によって可視化する環境・線源分布のデジタル化技術の開発を 2021 年度から着手した。2022 年度にはプロトタイプを試作し、2023 年度から現場適用に向けた高機能化を目指した開発を進めており、2024 年度には、検討項目に対する現場適用性の評価を行う。長期的に運用することで、実績のある知見を蓄積可能なシステム構築への一助となると考えられる。また、高所の設備機器、重量物など比較的撤去が難しい干渉物撤去については、高線量下における環境改善・干渉物撤去のための遠隔技術の開発を 2020 年度から着手し、選定した撤去対象物に対する要求機能を踏まえた遠隔操作装置の仕様を提案し、2022 年度に終了した。この成果を踏まえ、具体化に向けた開発を東京電力のエンジニアリングで進めている中で、汚染流体や水素などを内包する可能性のある高線量の P C V 貫通配管等の撤去については、密集性への対応、干渉物が多い場所での遠隔監視による視認性の確保など難易度の高い課題が抽出された。そこで、2024 年度から、P C V 貫通配管等の撤去のための遠隔監視及び撤去作業システムの技術開発を実施する。

3.1.3.6.3 被ばく線量評価のための分析手法の技術開発

線放出核種等の作業員身体への内部取り込み事象の発生時は、体外計測法（肺モニタ）やバイオアッセイ法により預託実効線量を適切に評価する必要がある。このため、以下の事項が重要である。

- 事前に被ばく評価において重要な線放出核種を選定し、空气中濃度の管理、防護装備の着用基準、機器校正管理へ反映しておくこと。
- 区域区分を超えた汚染拡大を早期に発見し、遊離性汚染から再浮遊したダストによる内部取り込みを未然に防止するために、作業環境や入退域の作業員身体における表面密度を管理すること。

原子炉建屋内では、一部に比較的高い汚染が確認されているとともに、廃炉作業の進捗に従って原子炉建屋内作業の頻度が高くなっている。トラブル事象への人の作業による回復作業も発生していることから、従前よりも内部取り込みに対し、十分注意して作業を進める必要がある。今後の燃料デブリ取り出しの本格化に向けては、内部取り込みに対する防護機能の向上及び万一内部取り込み事象が発生した場合への対応・対策の検討をより適確にするため、取り込んだ放射性物質の放射エネルギーを速やかに把握して線量を評価することが課題である。

線放出核種の内部取り込みに対しては、線測定の高コスト、内部被ばく線量への寄与が大きいこと等のため、可能な限り早期のバイオアッセイ等による評価が必須になる。近年ではプルトニウムによる内部被ばくに対して薬剤投与等の医療介入が行われる等、取り込み事象へのより複雑な対応が課題となる。さらに、福島第一原子力発電所の廃炉に係る作業環境は、取り扱う放射性物質の核種組成や濃度、管理対象となる作業の状況・従事者数等が、国内外の既存施設とは大きく異なるという特殊性を考慮すべきである。

これらを踏まえ、2021年度から内部取り込み防護と取り込み時の線量評価のための廃炉・汚染水・処理水対策事業による研究開発に着手し、内部被ばく線量評価プログラムの概念の検討、バイオアッセイ手法の迅速化等に関する調査・検討、防護装備の最適化等の技術開発を進めた。これらの成果を踏まえ、2023年度からは、バイオアッセイ手法の高度化や皮膚汚染、創傷汚染測定に関する検討など内部被ばく線量の測定・評価に係わる技術開発、及び内部被ばく線量評価体系の整備及び標準の開発により、内部被ばく線量評価プログラムの開発を進めている。

3.1.3.6.4 液体処理システム（線放出核種除去技術）

燃料デブリ取り出しにおいては、燃料デブリに対し湿潤若しくは水中環境下で切削加工等が加えられることから、汚染水には粒子状及び溶解性の線放出核種が現状よりも高い濃度で混入・溶出する可能性がある。福島第一原子力発電所の廃炉においては、特に線放出核種の除去が重要な課題であり、現在、汚染水から放射性物質を除去する水処理設備（SARRY、ALPS等）が運用中であるが、線放出核種の濃度が高くなった場合でも、汚染水から線放出核種を除去し、所定の濃度まで低減できる技術の確立が必要である。そのため、廃炉・汚染水・処理水対策事業にてこれまで放射性核種を含む粒子の除去技術や実機環境も模擬した状態での溶解性線放出核種の除去技術、並びに二次廃棄物処理技術が研究開発されてきた。しかしながら、燃料デブリ取り出し時の汚染水の水質は、実際に取り出しが開始されるまでは明確にはなら

ず、除去設備の設計においては、除去が難しいコロイド状の線放出核種の存在等、その不確かな点をカバーできるよう、保守的に設備仕様を設定することとなる。そのため、今後も既存の建屋に滞留している汚染水を用いて試験することで、これまでの研究開発で候補に挙がっている除去方法の知見を拡充し技術の開発を続けることがより合理的な設計を実現するために有用と考える。また、二次廃棄物の処理技術については、後続の作業である仕分け・移送・保管の検討と連携しながら更に研究を進める必要がある。2023年度からは、溶解性線放出核種に加えコロイド状の線放出核種にも対応し得る除去技術の開発、建屋に滞留している汚染水を用いた試験の準備及びより合理的な二次廃棄物処理技術の開発等を実施している。

なお、除去設備の基本設計・詳細設計は取り出し規模の更なる拡大の準備として進めることになるが、各設計段階で研究開発の成果を順次取り込みながら進めることが出来ればより合理的であり、その点を考慮してエンジニアリングを進めるべきである。

3.1.3.6.5 燃料デブリ収納・移送・保管技術

段階的な取り出し規模の拡大の開始までに、未臨界維持、閉じ込め、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（塊状～粉状）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、2023年度までに以下の検討が進められている³⁶ ³⁷。

- 収納缶³²の基本仕様、すなわち取扱性を考慮した高さや作業効率と未臨界維持を考慮した内径、材質、蓋構造等の策定と、試験による収納缶の構造健全性の実証
- 収納缶に収納した燃料デブリからの現実的かつ合理的な水素発生予測法の検討とその予測法を用いた収納缶の蓋に設置される水素ガス放出用のベント機構の検討と移送容器内の水素ガスの蓄積を考慮した安全な移送条件の設定
- ユニット缶内に収納された燃料デブリに対して適用可能で効率的な乾燥技術の開発及びその技術を用いた乾燥システム及び乾燥処理条件の検討
- 収納缶内での粉状燃料デブリの挙動の机上検討とその検証のための試験の準備

さらに、東京電力において、これらの検討結果を参考にして段階的な取り出し規模の拡大に必要となる保管用収納缶や第一保管施設（受入・払出セル、保管容器等）を、関連する他のプロジェクトと協調しながら具体化する活動が継続されている。また、取り出し規模の更なる拡大に向けて、移送・保管のプロセスの検討、保管技術・形式の調査と候補の絞り込み、及び燃料デブリの保管前に必要となる処理、保管場所までの移送方法やルート等の検討も進められてきている。これらの検討は主として塊状、粒状の燃料デブリを対象としてきた。燃料デブリの回収のための加工（切断、切削等）に伴って発生する粉状の燃料デブリは、ガス管理システムや冷却水循環システムにおいて粉状、スラリー・スラッジ状態で回収することが検討されている。そのため、廃炉・汚染水・処理水対策事業においてスラリー・スラッジ状の燃料デブリを安全、確実、合理的

³⁶ 「燃料デブリ乾燥技術の開発」に関する 2022 年度成果報告公開版

(<https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2023/06/2022013syuunoukankansouF202306.pdf>)

³⁷ 「粉状、スラリー・スラッジ状燃料デブリの取り扱い技術の開発」に関する 2022 年度成果報告公開版

(<https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2023/06/2022014syuunoukankonajyouF202306.pdf>)

に保管するための技術的課題の抽出を2020年度に実施した。その結果を踏まえて2021年度からはスラリー・スラッジ状燃料デブリの乾燥方法、水素ガス発生挙動特性・放出特性、及び移送から保管までの取扱中の挙動について主として机上での検討や評価を実施してきた。2023年度から関連する廃炉・汚染水・処理水対策事業や東京電力での検討、及び燃料デブリの性状やPCV内状況に関する新たな知見等を踏まえて、水素ガス発生挙動特性・放出特性の机上検討結果を要素試験等によって確認することを進めている。並行して、収納缶に設置するフィルタの寿命評価を要素試験等によって確認することにも着手した。この活動を着実に進めて、スラリー・スラッジ状の燃料デブリを安全、確実、合理的に保管するために必要なプロセスの確立とそれに必要な機器・設備の設計に資する情報を蓄積・共有していく必要がある。

現在、燃料デブリの性状に関する情報、知見が限定的であることから、廃炉・汚染水・処理水対策事業や東京電力での検討では燃料デブリの性状等を保守的に想定して機器・設備を設計している。取り出し規模の更なる拡大における燃料デブリの収納・移送・保管のための機器・設備の設計では試験的取り出しや段階的に規模を拡大した取り出しにおいて収集・蓄積される水素発生量や燃料デブリ性状等の各種計測データや、燃料デブリの移送から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活用して合理化を進めることが重要である。また、燃料デブリの収納から保管までの機器・設備の具体化に際して、保障措置の要求に対しても配慮する必要がある。

燃料デブリが収納されたユニット缶や収納缶の取扱いは遠隔操作装置を用いて安全かつ確実に継続して実施されていく必要がある。そのため、詳細設計の初期の段階で実際に使用する又は類似の遠隔操作装置を用いて想定される作業のモックアップ試験を行うことが有用である。さらに、モックアップ試験で得られた知見を踏まえて燃料デブリの収納・移送・保管のための機器・設備の仕様、サイズ、配置や燃料デブリの動線等を確定していくというアプローチは設計の後戻りの抑制の観点から有用と考えられる。

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

3.1.3.6.6 ダスト飛散率データ取得

取り出し規模の更なる拡大に向けて、燃料デブリ取り出し工法や事故事象に対する安全評価技術の開発が必要である。安全評価は、燃料デブリ取り出しにおける加工、切削等により発生するダストに対し、取り出し箇所から気中への移行、量の把握に加え、根拠となる飛散、沈着、再浮遊等を含めた移行挙動を把握する必要がある。ダスト飛散率データ取得では、その点に着目し、燃料デブリ取り出し環境を模擬したダスト飛散率データ取得試験を通じて、ダスト発生や移行等のダスト飛散に関する知見の取得が行われている。

この安全評価技術の開発のため、燃料デブリ取り出し時に発生するダスト飛散の基礎的な挙動を把握することを目的とした乾燥条件のダスト飛散率データが2022年までに取得された。2023年度からは、燃料デブリ取り出し時に想定されるPCV内の湿潤環境における複数の工法を対象としたダスト飛散率データの取得を進めている。実際の燃料デブリ取り出しは、湿潤環境下で行われ、乾燥条件よりもダスト飛散は抑制されると考えられる。今後は湿潤条件での計測・解析手法の検討を含めて抑制に寄与する因子の特定や、乾燥・湿潤条件のデータを用いた分析を進め、

取得したデータの安全評価への適用方法が検討される。今後の福島第一原子力発電所の廃炉作業における、燃料デブリ取り出し時の安全評価の技術的根拠に用いるため、上記のダスト飛散率データに係る体系的な整備が進められていく。

3.1.3.6.7 燃料デブリ取り出し工法

取り出し規模の更なる拡大における燃料デブリ取り出し工法については、燃料デブリ取り出し作業が高線量下・高汚染下、不確定要素を含む環境下での遠隔作業になることを前提に、PCV内へのアクセスルート構築や燃料デブリ取り出しに必要な機器・装置及びシステムに係る技術開発等が課題となっている。これらの課題に対して、中長期ロードマップ（2017年9月26日）の「燃料デブリ取り出し方針」において、気中工法に重点を置いた取組方針が示されたことから、それ以降の研究開発は、気中工法の横アクセス、上アクセスによる取り出し方法及び横・上アクセス共通の要素技術の開発が廃炉・汚染水・処理水対策事業の中で進められている。横アクセスによる取り出し方法の要素技術として、燃料デブリ回収システム（吸引、把持等）、燃料デブリ切削・集塵システム、S/Cへの汚染拡大防止技術、アクセスルート構築に係るセル構造、搬入・設置技術、PCVとの接続技術、干渉物の撤去技術、遠隔操作支援システム等が開発されてきている。上アクセスによる取り出し方法としては、当初は燃料デブリを原子炉内で細断し搬出する取り出し方法を検討していたが、2019年度より処理能力向上を目的に、炉内構造物や燃料デブリを大型一体で切断し搬出する取り出し方法を検討している。この要素技術として、大型一体で切断する方法・装置、大型搬送装置、オペフロと増設建屋間の汚染拡大防止のための隔離機構、大型搬出容器等が開発されてきている。横・上アクセス共通の要素技術としては、汚染した装置の遠隔除染・保守技術の開発、燃料デブリの加工時のダスト飛散抑制材の開発等を進めてきている。

2023年度からは、これまでの上アクセスによる取り出し方法の開発で得られた成果の中で抽出された課題の対応として、閉じ込め性を考慮した大型搬送装置等のオペフロ上部設備の開発、損傷した炉内構造物を充填安定化させ切断する技術等の技術開発を進めている。また、新たな課題の対応として、上アクセスによる取り出し時に、加工時の破片や振動等により重量物がペDESTAL底部へ落下する可能性があることから、落下による再臨界防止及びダスト飛散抑制、機器損傷等防止のため、落下対策の技術開発を進めている。さらに、東京電力は3.1.3.4で示したように、「燃料デブリ取り出し工法評価小委員会」報告書の提言に基づいた具体的な設計検討を開始しており、取り出しシナリオの策定及び工法の技術成立性等を検討しているところである。この中で新たに開発の必要性が高く、技術的難易度が高いと判断された課題については、廃炉・汚染水・処理水対策事業の中で必要な技術開発を実施していく。

3.1.3.7 保障措置方策の課題

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

3.1.4 主な技術課題のまとめ

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 20 のとおりである。

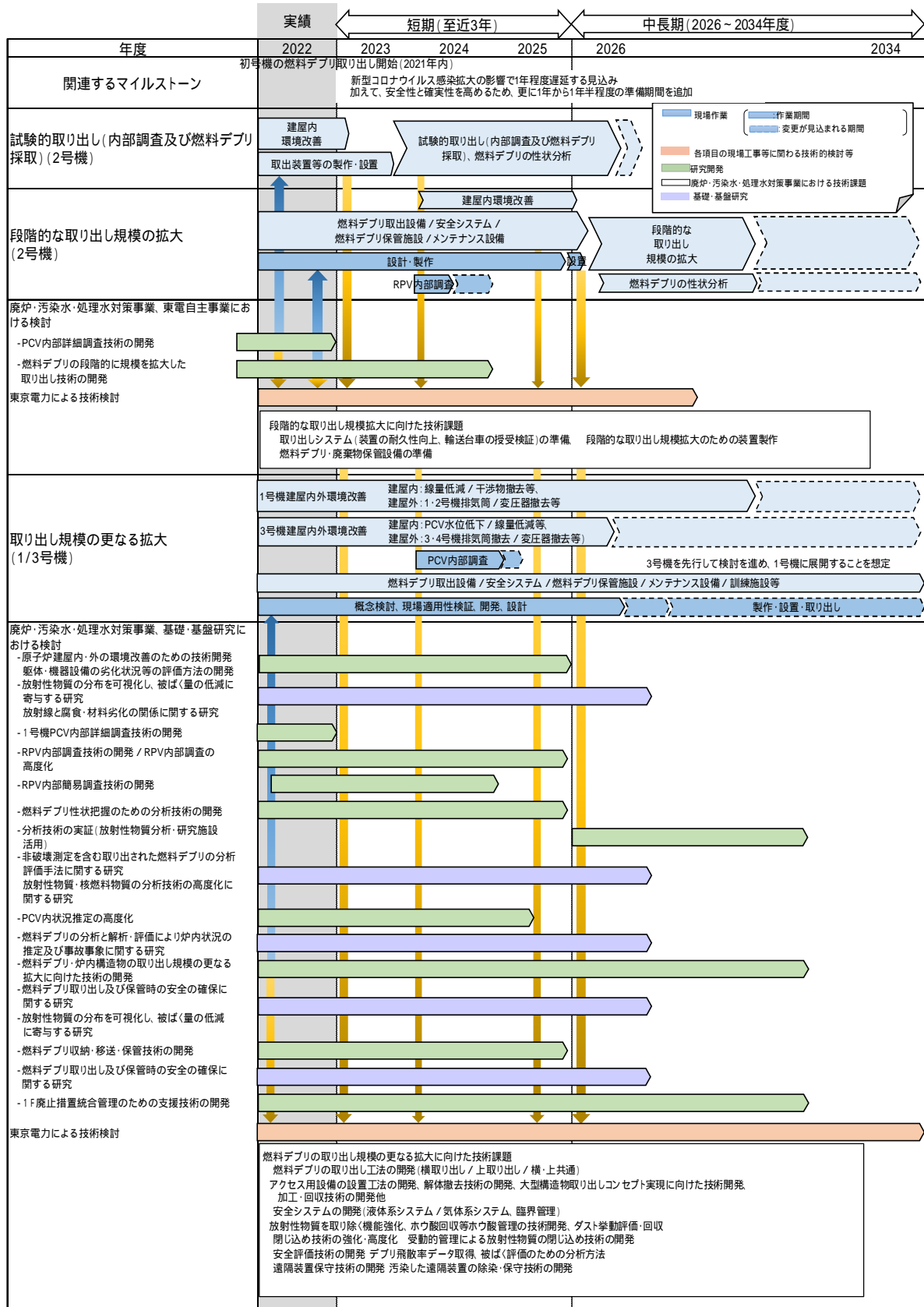


図 20 燃料デブリ取り出しに係る主な技術課題と今後の計画(工程表)

3.2 廃棄物対策

3.2.1 目標

当面 10 年間程度に発生する固体廃棄物³⁸の物量予測を定期的に見直しながら、固体廃棄物の保管管理計画の策定・更新を実施するとともに、それに基づいて発生抑制と減容、保管・管理状況のモニタリング等の適正な保管管理を遂行する。

保管・管理、処理、再利用、処分の検討を進める上で必要な分析計画の策定・更新を実施するとともに、それに基づいた分析を着実に進める。

2021 年度に示した処理・処分方策とその安全性に関する技術的見通し（以下「技術的見通し」という。）を踏まえ、性状把握を進めつつ、保管・管理、処理、再利用、処分に係る方策の選択肢の創出とその比較・評価を行い、具体的な固体廃棄物管理全体（固体廃棄物の発生から再利用、処分までの管理）について適切な対処方策の提示に向けた検討を進める。そのためにはまず、固体廃棄物管理全体のうち、個別の固体廃棄物に対する性状把握から再利用、処分に至るまで一体となった対策の流れ（以下「個別廃棄物ストリーム」という。）を評価し、その中で安全性や成立性が認められた個別廃棄物ストリームオプション案を蓄積する。そののち、全ての個別廃棄物ストリームオプション案を束ねて、全体の廃棄物ストリーム（以下「廃棄物ストリーム」という。）を構築する。

3.2.2 進捗

廃棄物対策は、発生から保管・管理、処理等を経て再利用、処分に至るまでの各段階でリスクを低減しつつ、最終的な処分の実施の見通しを得る必要がある長期にわたる取組である。IAEA による放射性廃棄物管理に係る用語集³⁹を基に作成した固体廃棄物管理に関する用語について添付資料 11 に、国内外の放射性廃棄物の分類と処分について添付資料 12 に示す。

福島第一原子力発電所の廃炉に伴い発生する固体廃棄物は、多種多様な性状を有する廃棄物が大量に存在することから、中長期ロードマップで取りまとめられた以下の固体廃棄物についての基本的考え方に基づく取組を推進する。

< 「固体廃棄物についての基本的考え方」のポイント >

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

³⁸ 中長期ロードマップにおいて「固体廃棄物」は、「事故後に発生したガレキ等には、後述のとおり、敷地内での再利用等により廃棄物あるいは放射性廃棄物とされない可能性があるものもあるが、これらや水処理二次廃棄物及び事故以前から福島第一原子力発電所に保管されていた放射性固体廃棄物を含めて、以下「固体廃棄物」という。」とされている。

³⁹ IAEA, IAEA Safety Glossary Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection 2007 Edition, p.216, (2007).

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

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

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

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

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

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

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

東京電力には発生する固体廃棄物の安全かつ合理的な保管・管理を徹底することが求められている。固体廃棄物の性状把握から保管・管理、処理、再利用、処分に至るまで一体となった対策の専門的検討は、NDFを中心に関係機関が各々の役割に基づき取組を進めており、性状把握のための分析能力の向上、柔軟で合理的な廃棄物ストリームの構築に向けた開発の成果を踏まえ、2021年度に、技術的見通しを示した。中長期ロードマップでは、第3期には、固体廃棄物の性状分析等を進め、廃棄体の仕様や製造方法を確定するとされているため、固体廃棄物の具体的管理について全体としての適切な対処方策の提示に向けた検討に着手した。

なお、2021年度まで固体廃棄物に関する廃炉・汚染水・処理水対策事業は、IRIDがJAEAを核とした体制の下、その中心を担ってきたが、2022年度開始事業よりJAEAが単独でその中心を担う体制となっている。

a. 福島第一原子力発電所における保管・管理の現状

固体廃棄物の現在の保管・管理状況は表3のとおりである。これら固体廃棄物の適切な保管・管理を行うため、東京電力は保管管理計画を公表し、今後10年程度の固体廃棄物の発生量の予測とそれに伴い必要となる廃棄物関連施設の設置等の方針を示している。

この計画に基づき、水処理二次廃棄物及び再利用・再使用対象を除く全ての固体廃棄物の屋外での一時保管を 2028 年度内までに解消するとしており、それに必要な設備の整備を進めるとともに（添付資料 13） それに関わる処理計画⁴⁰及び移送計画⁴¹の検討を行った。

廃棄物処理設備の建設・運用が進む中で、減容処理設備の空調バランスの不具合や 2024 年 2 月に増設雑固体焼却設備建屋における火災報知機の作動事象が発生している。保管に向けた減容化や焼却を計画どおりに進めるため、必要な対策を検討・実施すると共に今後の設備計画に反映する必要がある。

また、これまでの廃棄物の保管・管理では、大量に発生するガレキ等がフォールアウト起因汚染であったため、表面線量率を指標とした区分による管理をしてきた。今後は、より適切な保管・管理を行っていく上で、構内での再利用を進めることを念頭に、廃棄物ごとの分析による放射能濃度の把握を行っていくこととしている。

技術的見通しにおいて、廃棄物ヒエラルキーの考え方（廃棄物対策として取るべき方策は、廃棄物発生抑制、 廃棄物量最小化、 再利用、 再使用、 処分、の優先順位とする。

の方策から優先的に可能な限り取り組み、 処分は最後の手段とする考え方（図 21））を実践している諸外国の例を示したが、東京電力でもこの考え方に対応する取組が実行されている。

再利用・再使用対象のうち、コンクリートガラについては破砕し、表面線量率がバックグランド相当と確認した上で、福島第一原子力発電所構内の路盤材として再利用を実施している。また、金属については、再利用に供するための除染方法として溶融除染等の検討が行われている。廃炉・汚染水・処理水対策事業においても、この実現に必要な研究開発として、溶融・除染時の核種分配挙動の解明と溶融処理後の検認手法に係る検討に取り組んでいる。

水処理二次廃棄物についても、内包する放射エネルギーの大きい吸着塔を優先的に建屋内保管に移行する計画としており、吸着塔類の保管施設として、大型廃棄物保管庫の建設が進められている。また、含水率が高く流動性のある多核種除去設備等で発生した A L P S スラリー及び除染装置スラッジについては、より安全に保管・管理を行うため、前者については特定原子力施設・監視評価検討会及び特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合における保管リスク低減や減容等に関する論点を踏まえた上で、安定化（脱水）処理の実施に向けた検討を行い、後者については、現在の保管場所である建屋内地下貯槽から回収し、脱水処理、容器収納して高台の保管施設へ移送（回収着手予定を 2025 年度から 2027 年度に変更⁴²）することとしている。福島第一原子力発電所の中長期リスクの低減目標マップでは、水処理廃棄物等（不安定なもの）について、2025 年度までに脱水物・回収物・吸着材の固化処理方針

⁴⁰ 必要な減容処理が完了することについて、各減容設備の竣工時期から運用期間並びに処理期間を試算して確認

⁴¹ 固体廃棄物貯蔵庫の竣工時期の影響という観点から、受入作業への影響を評価

⁴² 除染装置スラッジについては、ダスト閉じ込め対策による設備の大型化に伴い設計期間が長期化していること、今後信頼性向上策の検討が必要なことに加え、その後の回収装置の作製及び据え付け等の工程を考慮すると 2025 年度の回収は難しく、最短でも 2027 年度になる見込みである。

を策定し、「屋外保管の解消と適切な保管」及び「固化処理の開始」が実現すべき姿（2033年度）として示されている。

これらの福島第一原子力発電所において適切な保管・管理が求められる固体廃棄物は一部を除いて今後も継続的に発生する。また、2023年11月公表の保管管理計画では、今後の燃料デブリ取り出し準備工事等において相当量の廃棄物が発生することが見込まれていると記載されている。この廃棄物発生量については、燃料デブリ取り出し工法が決まっていないことによる不確かさがあることを前提にした上で、具体的には、1～4号機周辺の建屋の解体及び震災前に発生した樹脂等で、少なくとも約30万m³の廃棄物が発生すると試算されている。なお、今後この廃棄物発生量については、焼却・破砕等の減容効果を見込み精査される予定である。さらに、燃料デブリ取り出しに伴っても、固体廃棄物が発生する。この固体廃棄物に係る対応についても今後、検討する必要がある。

表 3 固体廃棄物の保管・管理状況

(a) ガレキ類・伐採木・使用済保護衣等の管理状況 (2024.7.31 時点)

ガレキ類

分類	保管量 (m ³) / 保管容量 (m ³) (割合)
屋外集積 (表面線量率 0.1mSv/h)	322,000 / 397,900 (81%)
シート養生 (表面線量率 0.1~1 mSv/h)	33,300 / 55,300 (60%)
覆土式一時保管施設、容器 (表面線量率 1~30 mSv/h)	16,400 / 17,200 (95%)
容器* (固体廃棄物貯蔵庫内)	28,500 / 39,600 (71%)
合計	400,200 / 509,900 (78%)

伐採木

分類	保管量 (m ³) / 保管容量 (m ³) (割合)
屋外集積 (幹・根・枝・葉)	43,200 / 134,000 (32%)
一時保管槽 (枝・葉)	37,300 / 41,600 (90%)
合計	80,500 / 175,600 (46%)

使用済保護衣等

分類	保管量 (m ³) / 保管容量 (m ³) (割合)
屋外集積	15,500 / 25,300 (61%)

*水処理二次廃棄物 (小型フィルタ等) を含む

なお保管量は端数処理で 100m³未滿を四捨五入しているため、合計と内訳が整合しない場合がある。

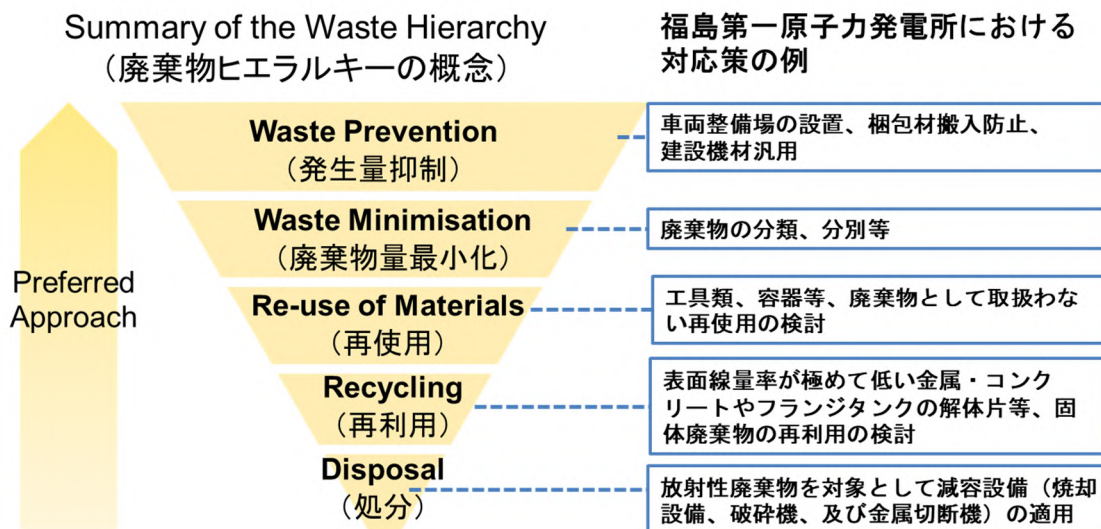
(b) 水処理二次廃棄物の管理状況 (2024.8.1 時点)

吸着塔類

保管場所		保管量		保管量 / 保管容量 (割合)
使用済吸着塔保管施設	セシウム吸着装置使用済ベッセル	779	本	5,790 / 6,692 (87%)
	第二セシウム吸着装置使用済ベッセル	263	本	
	第三セシウム吸着装置使用済ベッセル	21	本	
	多核種除去設備等保管容器	4,380	基	
	高性能多核種除去設備使用済ベッセル	90	本	
	多核種除去設備処理カラム	17	塔	
	モバイル式処理装置等使用済ベッセル及びフィルタ類	240	本	

廃スラッジ	
保管場所	保管量 (m ³) / 保管容量 (m ³) (割合)
廃スラッジ貯蔵施設	423 / 700 (60%)

濃縮廃液	
保管方法	保管量 (m ³) / 保管容量 (m ³) (割合)
濃縮廃液タンク	9,517 / 10,300 (92%)



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

図 21 NDAにおける廃棄物ヒエラルキーの概念と福島第一原子力発電所における対応策

b. 処理・処分方策の検討

性状把握について、対象とする固体廃棄物とその優先度、分析の定量目標等を定める中長期的な分析戦略を策定するための方法論確立に向けた検討を行っている。これまでに検討してきたデータを簡易・迅速に取得するための分析手法については、その成果をJAEAの放射性物質分析・研究施設第1棟において、標準的な分析法として利用するために模擬試料を用いて妥当性を確認した。福島第一原子力発電所から採取されたガレキ試料に同分析手法を適用した結果、妥当性評価試験と同等な結果が得られることを確認し、実試料への適用性を実証した。また、高線量廃棄物の分析データの取得に向け、福島第一原子力発電所構内において採取したセシウム吸着塔（KURION及びSARRY）の吸着材を茨城地区の分析施設に輸送し、分析法の検討を進めている。

保管・管理については、金属廃棄物の減容・再利用技術のため汚染金属を溶融・除染する際の核種分配挙動及び溶融処理後の検認手法について検討を行っている。

処理技術については、低温処理技術に関し、実規模試験による実機適用の見通しの確認やALPS炭酸塩スラリーの低温処理技術による実規模試験時に発生した急結メカニズムの解明を行う

とともに、固化可能性検査手法の更なる検討や各種処理技術により作製された固化体の安定性（浸出特性、長期変質現象、放射線影響等）評価手法について検討を行っている。また、低温処理技術の適用範囲の拡大等、技術オプションの拡大に資するため、中間処理技術の候補として検討している熱分解処理について、熱分解の基礎試験等から減重率が大きく、無機化が可能な廃棄物の確認を行うとともに、実規模試験により適用性を確認し、発生した処理残渣の安定化に取り組んでいる。ALPSスラリー等の固化処理方針策定に向けて、東京電力は分析計画⁴³を更新し、固化処理方針策定に必要な廃棄物性状に関する情報整備を優先的に進めている。さらに、当面の廃炉作業で想定される課題に対し、柔軟かつ合理的に対応するための対策の予備検討として、有害物等が含まれた雑多なガレキ類を一括固化する技術及び脱水処理後のALPS炭酸塩スラリーを脱水物保管容器ごと処理する技術の適用可能性の確認に取り組んでいる。

処分技術については、放射性廃棄物に関する処分の成立性に大きな影響を及ぼし得る重要シナリオの抽出を行い、重要シナリオ等に基づき処分概念に求められるニーズの把握を進めている。又これらのニーズへの対応策として処分概念オプションの構築を実施するとともに、処分概念オプションの構築のための技術の高度化を図っている。

3.2.3 主要な課題と技術戦略

中長期ロードマップにおいて、第3期には、固体廃棄物の性状把握等を進め、廃棄物の仕様や製造方法を確定するとされている。このため、性状把握、保管・管理、処理、再利用、処分の各分野の連携の下、必要な研究開発課題を確認しつつ、具体的な固体廃棄物管理について全体としての適切な対処方策の提示に向けた検討を以下のとおり進める。なお、検討を進めるに当たって、性状把握から処分までの各分野におけるこれまでの研究開発の成果・検討状況を整理しておくことが重要である（添付資料14）。

- 保管・管理、処理、再利用及び処分の各分野におけるオプション案の検討により、個別廃棄物ストリームにおける各分野のオプションを抽出する（図22）。
- その上で、明らかになりつつある性状データ等を用いて、各分野の研究成果を相互にフィードバックしながら検討を繰り返すことで、安全性や成立性が認められた個別廃棄物ストリームのオプション案について、その特徴を評価し、個別廃棄物ストリームオプション案を蓄積する（図23及び図24）。また、この検討を通じて、各分野の研究開発課題や固体廃棄物の管理に係る課題等を抽出・整理する。
- 全ての個別廃棄物ストリームオプション案を束ね、それらを実評価・検討して絞り込みを行った廃棄物ストリームを構築し、固体廃棄物管理について全体としての適切な対処方策を示す。

これら固体廃棄物の性状把握から保管・管理、処理、再利用、処分に至るまで一体となった対策の専門的検討は、NDFを中心に関係機関が各々の役割に基づき取組を推進する。

⁴³ 東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた固体廃棄物の分析計画

これらを円滑に進めるために、関係機関は、引き続き高いレベルでの技術・人材を備えた研究開発体制による取組の継続に向け、廃棄物分野の人材育成・技術力向上に不断に努めるとともに、廃棄物分野内の連携強化、成果の相互活用等によるリソースの効率的な活用に取り組むことが不可欠である。また、廃棄物管理の各段階で必要な要素技術及びそれを支える周辺技術等のサプライチェーンの維持・強化を可能とする環境の整備についても検討するべきである。

■ 個別廃棄物ストリームの検討について

固体廃棄物は、その種類（個別の固体廃棄物）毎に性状把握で得られた特徴に応じて、処分場の受入基準を満足するように処理を実施し、廃棄体化され処分する。しかし、処分場が決まらないなど、固体廃棄物の処理方針や廃棄体の受入基準が定まらない場合、「保管・管理」が継続することとなる。その際、リスク低減が必要なため安定化処理が求められる場合があるが、手戻りがないよう焼却・圧縮といった減容処理、セメントやガラスと一緒に安定化固化などの適正な処理を必要に応じて実施し、性状把握、処理・処分の各分野の連携の下、不確実性に応じた裕度を持たせた個別廃棄物ストリームの検討を実施する必要がある。

■ 個別廃棄物ストリームにおける各分野のオプションの抽出

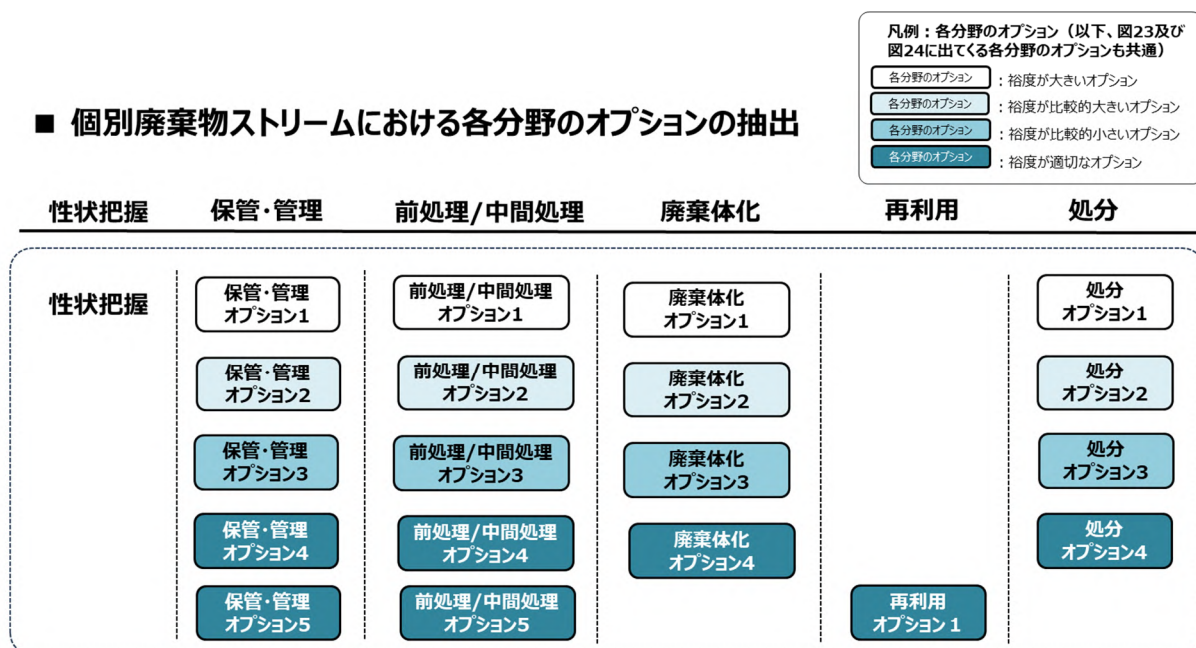


図 22 個別廃棄物ストリーム検討の必要性と各分野のオプションの抽出

3.2.3.1 性状把握

a. 分析データの取得・管理等

処理・処分を含む固体廃棄物対策検討の基礎情報である固体廃棄物のインベントリについて、分析データを蓄積しながら不断の改善を行っていく。その際には、ガレキ類等の低線量廃棄物、水処理二次廃棄物や燃料デブリ取り出しに伴い発生する廃棄物等の高線量廃棄物について、それぞれの特徴に応じた取組を進める。

低線量廃棄物については、分析作業自体の困難性は高くないものの、物量が膨大なこと、高線量廃棄物については、試料採取や分析自体が困難で取得される分析データの数が限定される、といった特徴から、必要な精度を効率的に担保するアプローチが重要となり、共にDQOプロセス⁴⁴と統計論的方法を組み合わせた効率的な分析計画法の確立に取り組んでいるところであり、その取組を継続する。

また、セシウム吸着塔から採取した試料や燃料デブリ取り出しに伴い発生する廃棄物等の分析や難測定核種の分析等に必要な技術開発に取り組む。

b. 分析能力の向上及び分析を着実に実施していくための枠組み整備

性状把握を着実に推進するため、施設整備、分析人材の育成、分析技術力の継承・強化の取組を進めている。2022年にJAEAの放射性物質分析・研究施設第1棟が竣工したことにより分析能力が増強されたことから、その能力を前提として、廃炉工程における課題の解決に資する分析を試料の優先度を踏まえ計画的に実施する。

これまで廃炉・汚染水・処理水対策事業において、中長期的な分析戦略策定から、年度の分析計画策定、データ取得・分析、取得したデータの処理・処分方策検討への反映とその効果の評価、評価結果に基づく次期中長期分析計画の策定、フローの確立を進めている。取得したデータは廃棄物対策全般に活用されるべきであり、東京電力は、分析のサプライチェーン⁴⁵の調整も含む、固体廃棄物の性状把握に関して統括的な管理を行うべきである。

東京電力は、2023年3月に固体廃棄物の処理・処分方法、再利用方策の検討に向けた性状把握及び保管管理の適正化を目的として分析計画を策定した。同計画は2024年3月に更新され、解体モデルケース検討、ガレキ類の放射能濃度管理手法の構築、水処理二次廃棄物等の固化処理方針策定、といった優先すべき分析目標・工程、及び分析対象核種が示された。今後はそれを基にJAEAと協働し、以下に取り組む。

- 具体的な分析業務への落とし込み
- 分析計画の見直し
- 必要な技術開発課題の具体化
- 分析のサプライチェーンの運用体制の早期確立

⁴⁴ 米国環境保護庁により開発された、意思決定のために分析試料のサンプリングを計画する方法。

⁴⁵ 試料採取、分析を行う施設の確保、試料の輸送等に係る工程全体

JAEAの放射性物質分析・研究施設第1棟では、2022年10月に放射性物質を用いた分析作業を開始した。これまで進めてきた簡易・迅速化された分析技術の標準的な分析法としての実証を2023年度中に完了し、2024年度から本格的な運用を行っている。また、東京電力による新たな分析施設は2020年代後半運用開始が予定されている。上記の分析計画及び今後の廃炉工程における分析ニーズを踏まえて、茨城地区を含む固体廃棄物に係る分析施設との適切な役割分担を十分考慮し、分析のサプライチェーンを計画的に整備・運用する。

3.2.3.2 保管・管理

固体廃棄物の保管・管理については、放射能濃度や性状等、リスクに応じて適切に行う。また、保管・管理状況のモニタリングやサーベイランスにより必要な情報を得つつ、性状把握に資する多様な情報という観点からも、測定項目・測定時期等を見直していくことが重要である。

a. 放射能濃度区分による管理への移行

現在の保管・管理は、大量に発生するガレキ類等がフォールアウト汚染起因であることから表面線量率による区分で行われている。今後の廃炉の進捗に伴う固体廃棄物の発生量の増大に備え、固体廃棄物を放射能濃度による管理に移行し、合理的な廃棄物区分や構内再利用等を検討していく。

福島第一原子力発電所の中長期リスクの低減目標マップにおいて、表面線量率によるガレキ類の放射能濃度管理手法の構築が、低線量・BG相当のガレキ類に対しては2025年度までに、中線量のガレキ類に対しては2028年度までの目標として示されている。このため、Cs-137をキー核種とした核種濃度比に関するデータの蓄積・評価を行い、必要に応じて汚染傾向の類似性を考慮したグループの見直しや分析データの追加取得等について分析計画へフィードバックしながら検討を進めていく。

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

b. 屋外一時保管の解消に向けた取組

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

の保管に関する現実性・合理性に関する見解⁴⁶も加味した上で、長期的な処理・処分方法、再利用方策を視野に入れた主要核種の特徴に応じた分類等、安全かつ合理的で、実現可能な保管・管理の在り方について検討を進めることが重要である。

c. ALPSスラリーの保管・管理

ALPSスラリー安定化処理設備の設置時期の遅れは生じているものの、保管施設の増設により、当面の保管容量は確保されている。また、安定化処理までに積算吸収線量の上限值（5,000kGy）を超えると評価されるため、移替えが必要となるHICが継続的に発生している。当面の保管容量の確保及び移替えを確実に実施するとともに、より安定な状態へ移行するため、安定化処理設備の設置及び処理を計画的に進める。

d. 燃料デブリ取り出しに伴い発生する固体廃棄物の保管・管理

燃料デブリ取り出し規模の更なる拡大により発生すると想定した高線量廃棄物の保管・管理についての課題と対策は、2021年度までの廃炉・汚染水・処理水対策事業の成果によって明確にしたところであり、今後は燃料デブリ取り出し工法の検討に応じた見直しを行う。なお、それ以前に行われる燃料デブリ取り出し作業（試験的取り出し、段階的な取り出し規模の拡大）において発生が想定される固体廃棄物の保管・管理についても確実に対策を講じる。

燃料デブリ取り出し準備工事では、取り出し工法によらず、1～4号機周辺の建屋の解体及び震災前に発生した樹脂等で少なくとも約30万m³の廃棄物が発生すると試算されている⁴⁷。この廃棄物発生量については、焼却・減容設備による減容効果を見込んでおらず、今後精査が必要ではあるものの、今後の廃炉作業で固体廃棄物の発生は継続することから、固体廃棄物の保管容量を増大する対応のみではいずれ限界となる。まずはこれまで実行している物量低減に関する対策（図21）を着実に継続するとともに、より物量を低減するために他国の先進事例を参考にする等、更なる物量低減可能性に係る検討を進めることが必須である。

3.2.3.3 処理・処分

個別廃棄物ストリームにおける各分野の研究成果を、相互にフィードバックしながら知見を幅広く得て、安全性や成立性が認められた個別廃棄物ストリームオプション案の特徴を評価し、その結果を蓄積する。その個別廃棄物ストリームオプション案を束ね、それらを評価・検討して絞り込みを行った適切な廃棄物ストリームの構築に向けた検討を進める。そのため、図25の一連の検討に必要な処理技術、処分技術の研究開発に継続して取り組む。

a. 処理技術

これまで研究開発を進めてきた低温・高温処理技術について、

- まだ適用性が検討されていない個別廃棄物ストリームについての評価

⁴⁶ 原子力規制庁、第107回特定原子力施設監視・評価検討会 資料3-1、「中期的リスクの低減目標マップにおける固形状の放射性物質の目標に対する進め方」、2023年4月14日

⁴⁷ 東京電力ホールディングス（株）、福島第一原子力発電所の固体廃棄物の保管管理計画 2023年11月版

- 作製される固化体の安定性等の評価

等、未対応となっている課題への取組を継続する。

低温処理技術については、固化可能性検査手法や固化体の変質に関する検討を行う。ALPS炭酸塩スラリーの低温処理の実規模試験時に発生した急結を防ぐ方策の検討を行う必要がある。高温処理技術では、固化処理プロセスだけでなく供給系や排気系を含めた処理システム全体としての成立性が課題であり、処理の開始時期に応じた適切な時期に検討を行う必要がある。

また、震災影響を受けた運転廃棄物や水処理二次廃棄物を対象とし、保管時の安定化が必要な場合に手戻りが不必要な方法として中間処理技術の開発を進めている。中間処理技術では、事故により海水の影響を受けた廃樹脂の熱分解処理に伴い発生する炉内付着物等の除去方法、塩分濃度に応じた残渣の固化処理への影響を検討する必要がある。

ALPSスラリーについては、水処理で継続的に発生し保管容量が課題となっていることから、特定原子力施設・監視評価検討会及び特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合におけるスラリー脱水処理技術に係る論点を踏まえた上で、脱水処理に伴う課題についても十分に勘案し、適用する処理技術の選定に関する要件について優先的に検討を行う。

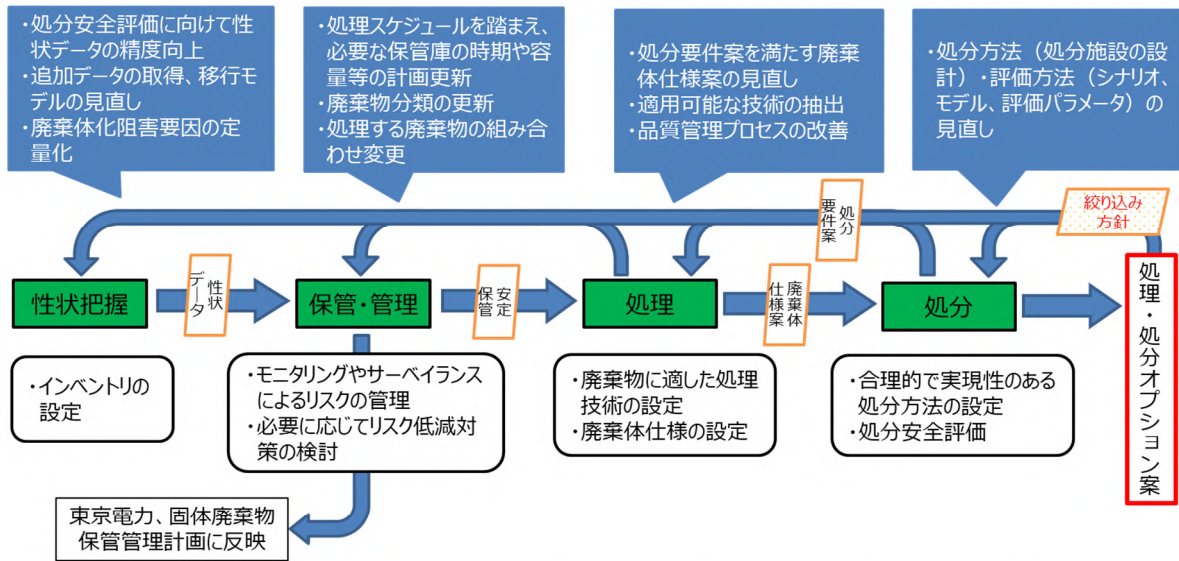
中長期的な廃棄物ストリームの確立の課題に対する対策に加え、当面の廃炉作業で想定される課題に対し、柔軟かつ合理的に対応するための検討に以下のように取り組む。

- 分別が困難で、有害物等が含まれている可能性がある雑多で多量なガレキ類についての対策として、分別せずに一括固化する技術の可能性に関する検討を行う。なお、分別によるアプローチに関しても、検討の対象とすべく情報収集を継続する。
- 早期の設置が必要としているスラリーの安定化処理設備で得られるスラリー脱水物を処理する際、前工程が簡素化され、容器からの取り出しに係る開発を不要とするスラリー脱水物とその容器の一体処理技術の可能性について検討する。

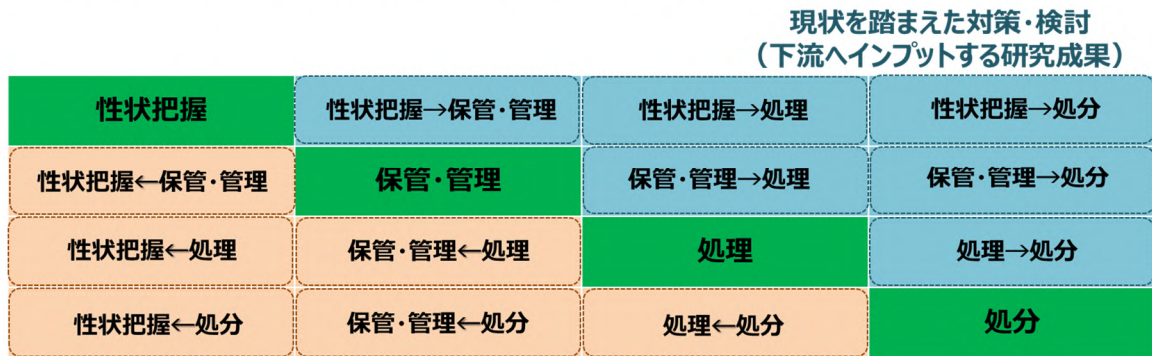
b. 処分技術

処分技術に関しては、放射性廃棄物の特徴を踏まえ、処分施設の長期変遷挙動等の検討に基づき処分の成立性に大きな影響を及ぼし得る重要シナリオを抽出し、その重要シナリオ等に基づき処分概念に求められるニーズを把握して、ニーズへの対応策として、高度化を図ってきた安全評価技術や国内外の知識等を適時活用し、処分概念オプション案を構築・改良する。さらに、この処分概念オプション案を反映した個別廃棄物ストリームの対象を広げ、福島第一原子力発電所の放射性廃棄物全体を俯瞰した処分概念オプション案の検討を行うとともに、性状把握に必要な精度や廃棄体性能の目標の提示等といった処分以外の分野で得られる知見と連携して、固体廃棄物の具体的管理について全体としての適切な対処方策検討に寄与する。

■ 固体廃棄物の安全な処理・処分方法を合理的に選定するための手法



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



**現状の課題
(上流へフィードバックすべき課題)**

図 25 固体廃棄物の安全な処理・処分方法を合理的に選定するための手法

3.2.4 主な技術課題のまとめ

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 26 のとおりである。

中長期ロードマップにおいて、第 3 期には、固体廃棄物の性状分析等を進め、廃棄体の仕様や製造方法を確定するとされている。このため、第 3 - 期では、固体廃棄物の具体的管理に関する全体としての適切な対処方策の提示に向けた検討を推進する。具体的には、分析データの蓄積と統計論的方法の適用により評価された性状データを反映した現実的インベントリ設定を基に、

- 安全確保を前提とした適切な個別廃棄物ストリームの設定の試行例を積み重ね、個別廃棄物ストリームごとの知見を幅広く得る。
- その上で、全ての個別廃棄物ストリームオプション案を束ね、それらを実証・検討して絞り込みを行った廃棄物ストリームの適切な全体像の具体化に向けた検討を進め、その考え方を明らかにする。

これらの検討の際には、最新知見を反映すること及び利用可能な最良の技術（Best Available Techniques）の概念を適用することにより、利用実績や経済的実現性をも考慮して、適切な方策を柔軟に検討することが重要である。検討が進み、廃棄物の全体像に対する処理・処分方策を固めていくに当たっては、地元・社会と問題意識を共通理解にする等、全体最適化に向けた検討の過程を共有することが重要である。

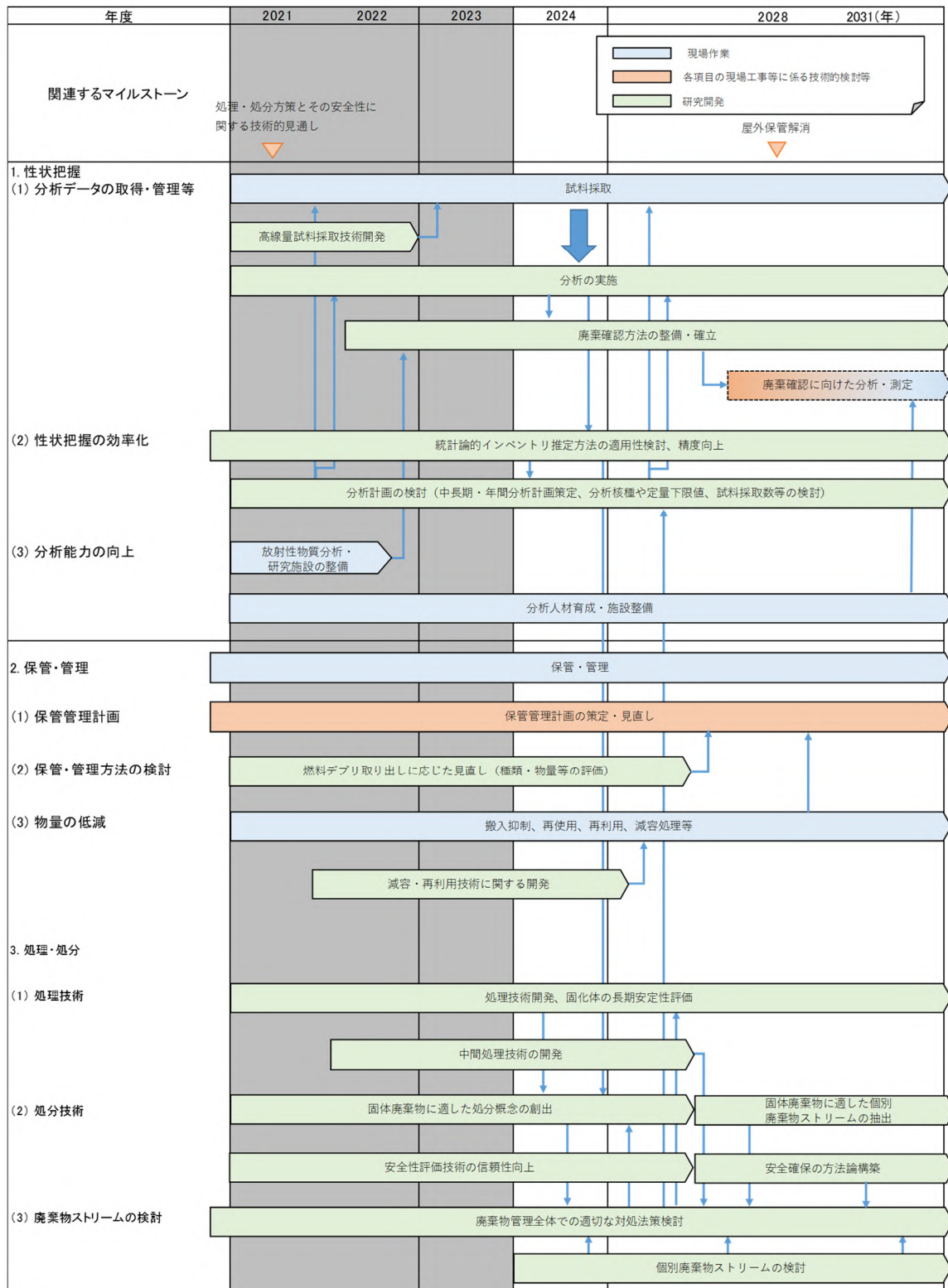


図 26 廃棄物対策に係る主な技術課題と今後の計画（工程表）

3.3 汚染水・処理水対策

3.3.1 目標

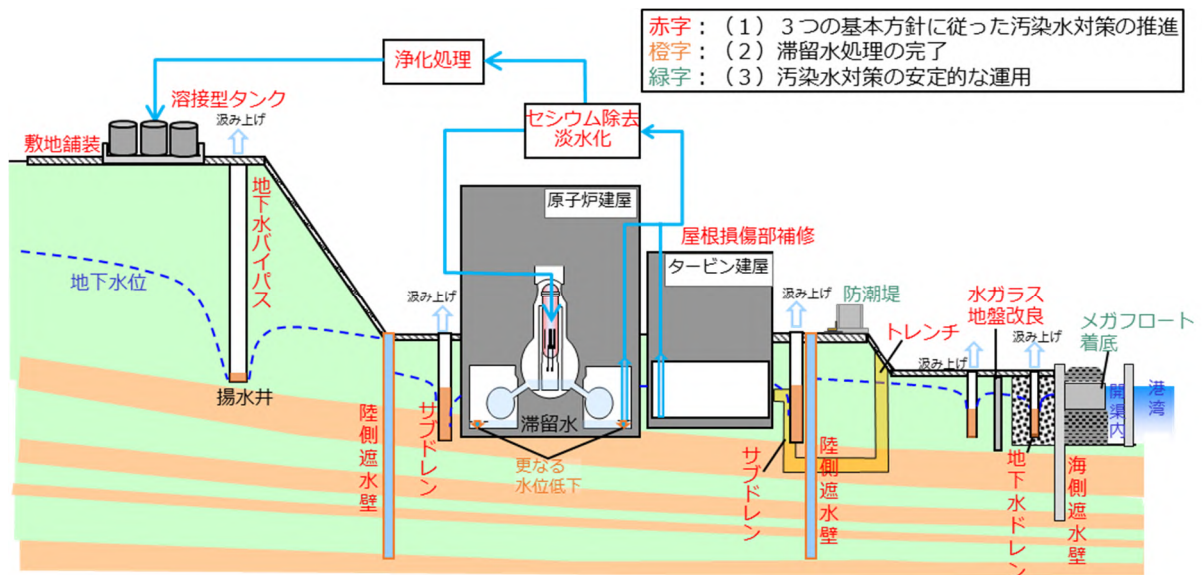
汚染水問題に関する3つの基本方針（汚染源を「取り除く」、汚染源に水を「近づけない」、汚染水を「漏らさない」）の下、構築された水位管理システム運用を継続しつつ、平均的な降雨に対して、汚染水発生量を2028年度末に約50～70m³/日程度に抑制する。また、汚染水対策の安定的な運用に向け、津波対策や豪雨対策等の大規模自然災害リスクに備えた対策を計画的に実施する。

今後本格化する燃料デブリ取り出し等の廃炉工程との関係を整理するとともに、中長期を見据えた汚染水対策の在り方についての検討を進める。

敷地等のリソースを確保し、廃炉作業全体を着実に推進するため、ALPS処理水⁴⁸を安全かつ確実に放出する。

3.3.2 進捗

汚染水問題に対しては当初から、「汚染源を取り除く」、「汚染源に水を近づけない」、「汚染水を漏らさない」という3つの基本方針で様々な取組が実施されてきた。汚染水対策の概要を図27に示す⁴⁹。燃料デブリに接触した冷却水と建屋に流入した地下水・雨水が混合した汚染水である建屋滞留水は、相当量の放射性物質（インベントリ）が存在する液体であり、放射性物質に起因するリスクの低減対策という観点では安全管理要求度が高い状態にある。



（出典：東京電力資料をNDFにて加工）

図27 汚染水対策の概要

⁴⁸ 多核種除去設備（ALPS）等により、トリチウム以外の放射性物質について安全に関する規制基準値を確実に下回るまで浄化した水

⁴⁹ 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第124回）資料2-1、廃炉・汚染水・処理水対策の概要、2024年3月28日

この建屋滞留水は、循環注水を行っている 1～3号機原子炉建屋、浄化処理のため汚染水を一時的に貯水しているプロセス主建屋（以下「PMB」という）及び高温焼却炉建屋（以下「HTI」という）に存在しており、保有水量は大幅に低減してきている（「原子炉建屋滞留水量を2020年末の半分程度に低減」を2022年度に達成済み）。

現在、汚染水・処理水対策として、主に以下の4つの取組が進められている。

a. 汚染水発生量の低減に向けた取組

汚染水が増加する主要因は建屋に流入する地下水や雨水であり、これらを抑制する対策が進められている。陸側遮水壁、サブドレン等の重層的な汚染水対策により原子炉建屋周辺の地下水位を低位で安定的に管理するとともに、建屋屋根の損傷部補修や構内のフェーシング（1～4号建屋周辺エリア全体：約6万m²のうち約50%を2024年2月に完了）等の雨水浸透防止対策により降雨時の汚染水発生量も抑制傾向を呈している。その結果、2023年度は降雨補正をした場合（年間降水量が平年雨量の約1,470mmに比較して約200mm少ないため平年雨量相当に補正）でも約90m³/日の汚染水発生量であり、中長期ロードマップ目標の「2025年内に約100m³/日以下」に対して2年前倒しで達成した。

さらに、2028年度末頃に汚染水発生量を約50～70m³/日程度に抑制することを目指し、建屋流入量の抑制策として建屋外壁局所止水（建屋間ギャップ部⁵⁰端部止水）の検討を進めている。2023年度は5、6号機を対象に試験施工を行い、2024年度以降、3号機他に適用展開する計画である。図28に汚染水抑制対策の進捗と汚染水発生量の推移⁵¹を示す。

⁵⁰ 建屋間ギャップ（原子炉建屋周辺の建屋同士を隣接して建設する際に生じる外壁間の隙間のことで、配管等の貫通部が存在）の端部を対象とした止水など

⁵¹ 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第125回）資料3-1、建屋周辺の地下水位、汚染水発生状況、2024年4月25日

ける浸水リスクの解消を目指すため、2022年8月よりD排水路の供用を開始するとともに、既存排水路の排水機能を計画的に強化している。

また、陸側遮水壁等の重層的な対策の重要性は変わっていないものの、設備の損傷等が発生していることも踏まえ、予防保全、状態監視保全を組み合わせた管理体制の構築が進められている。

d. A L P S 処理水の海洋放出に向けた取組

A L P S 処理水の海洋放出に向け、東京電力は2023年6月にA L P S 処理水希釈放出設備、及び関連設備の設置を完了し、原子力規制委員会による使用前検査を受検し、2023年7月に終了証を受領した。なお、これまでのA L P S 処理水の海洋放出に向けた取組については添付資料15に記載した。

2023年8月22日に開催された「廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議（第6回）」、及び「A L P S 処理水の処分に関する基本方針の着実な実行に向けた関係閣僚等会議（第6回）」において、A L P S 処理水の処分に係る安全確保や風評対策に関するこれまでの取組状況について政府全体での確認がなされ、A L P S 処理水の具体的な海洋放出時期の見込みが提示されたことを踏まえ⁵²、8月24日にA L P S 処理水の海洋放出が開始された。

2023年8月の放出開始以降、約1年間に計8回の放出が実施された。その実績を表4に示す⁵³。これまでのA L P S 処理水の総放出量は約63,000m³、放出トリチウム量は約10兆ベクレルであった。

表4 A L P S 処理水の放出実績

年度	放出回	期間	希釈前のトリチウム濃度	トリチウム以外の放射性核種濃度(告示濃度比総和)	希釈後のトリチウム濃度最大値	放出量	トリチウム総量
2023年度	第1回	2023年8/24~9/11	14万 Bq/L	0.28 (<1)	220 Bq/L	7,788m ³	約1.1兆 Bq
	第2回	10/5~10/23	14万 Bq/L	0.25 (<1)	189 Bq/L	7,810m ³	約1.1兆 Bq
	第3回	11/2~11/20	13万 Bq/L	0.25 (<1)	200 Bq/L	7,753m ³	約1.0兆 Bq
	第4回	2024年2/28~3/17	17万 Bq/L	0.34 (<1)	254 Bq/L	7,794m ³	約1.3兆 Bq
2024年度	第1回	2024年4/19~5/7	19万 Bq/L	0.31 (<1)	266 Bq/L	7,851m ³	約1.5兆 Bq
	第2回	5/17~6/4	17万 Bq/L	0.17 (<1)	234 Bq/L	7,892m ³	約1.3兆 Bq
	第3回	6/28~7/16	17万 Bq/L	0.18 (<1)	276 Bq/L	7,846m ³	約1.3兆 Bq
	第4回	8/7~8/25	20万 Bq/L	0.12 (<1)	267 Bq/L	7,897m ³	約1.6兆 Bq

⁵² 首相官邸ホームページ、https://www.kantei.go.jp/jp/singi/hairo_osensui/dai6/siryou2.pdf

⁵³ 東京電力、福島第一原子力発電所2024年度第4回A L P S 処理水海洋放出の完了、2024年8月26日

ALPS 処理水の海洋放出に先立ち、希釈前にそのトリチウム濃度を確認するとともに、トリチウム以外の放射性物質が安全に関する規制基準を確実に下回るまで浄化されていることを確認する分析においては、政府の「ALPS 処理水の処分に関する基本方針」⁵⁴に基づく「当面の対策の取りまとめ」⁵⁵に従い、東京電力のみならず、第三者による分析も行い、客観性及び透明性の高い測定が実施されている。具体的には、図 29 の赤枠内に示すように、東京電力が分析を委託している東京パワーテクノロジーに加えて、東京電力から独立した分析機関として化研にも分析を委託し、クロスチェックできる体制としている。また、政府方針に基づく取組として、JAEA 大熊分析・研究センターが、放射性物質の分析に専門性を有する第三者の立場で、処理水の分析を実施している。各々の機関において、希釈前の ALPS 処理水のトリチウム濃度、及び測定・評価対象核種の濃度を分析し、結果は東京電力の処理水ポータルサイトに迅速、かつ透明性をもって公表されている⁵⁶。測定・評価対象核種は 2024 年度第 3 回の放出までは、添付資料の表 A 15-2 に示す 29 核種であったが、2024 年 2 月に実施した ALPS 処理前の汚染水の分析においてカドミウム 113m が有意に検出されたことを受けて、2024 年度第 4 回の放出から新たに測定・評価対象核種に追加され、計 30 核種となった。なお、これまでも東京電力は海洋放出前にカドミウム 113m 等を自主的に測定し、カドミウム 113m については告示濃度限度の約 1/500 未満であることを毎回確認しており、放出された ALPS 処理水の安全性に問題はない。

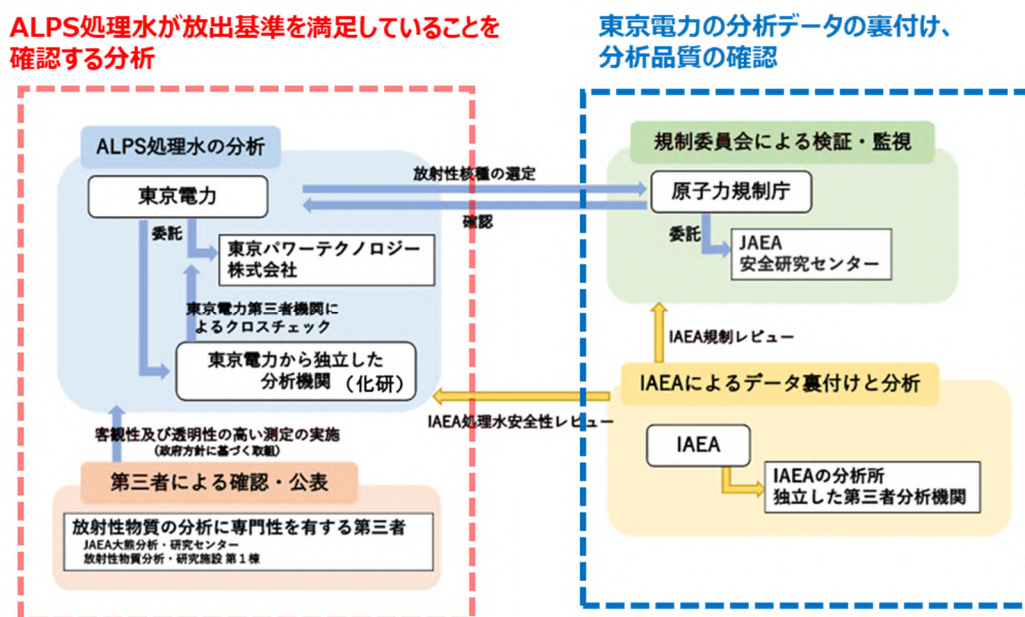


図 29 ALPS 処理水の分析・評価の体制⁵⁷（原子力規制庁資料を N D F にて加筆）

⁵⁴ 廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議（第 5 回）資料 1、東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における多核種除去設備等処理水の処分に関する基本方針（案）2021 年 4 月 13 日

⁵⁵ ALPS 処理水の処分に関する基本方針の着実な実行に向けた関係閣僚等会議（第 2 回）資料 3、東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における ALPS 処理水の処分に伴う当面の対策の取りまとめ（案）令和 3 年 8 月 24 日

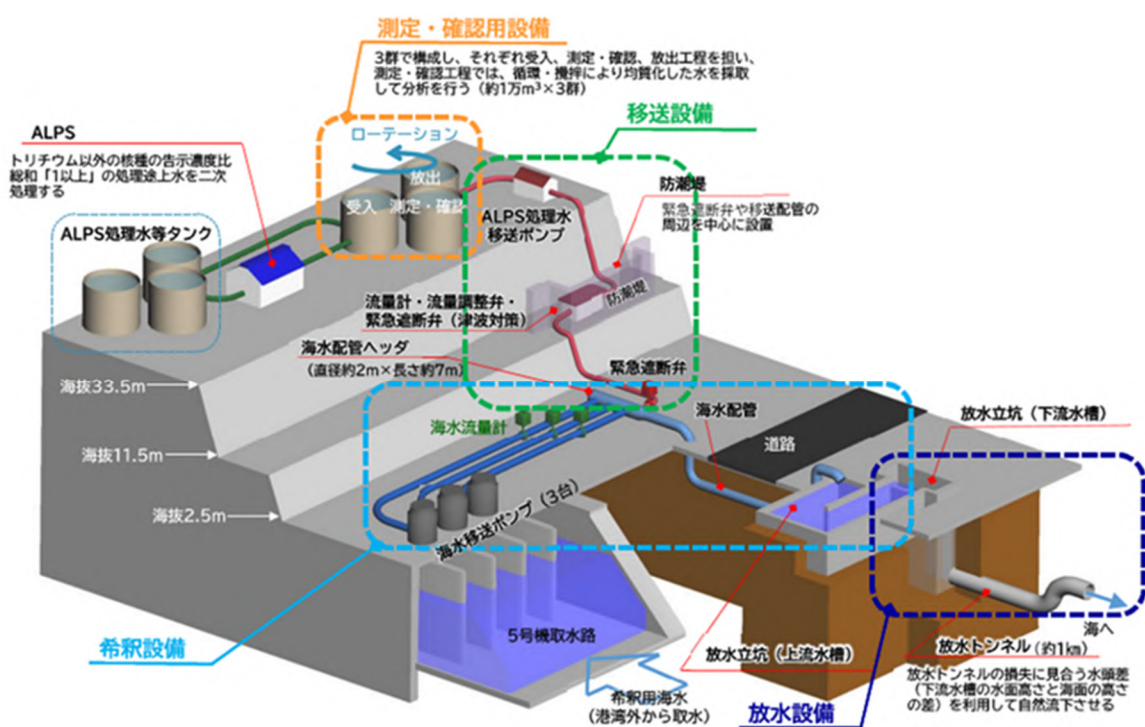
⁵⁶ 処理水ポータルサイト、<https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/>

⁵⁷ 第 101 回 特定原子力施設・監視評価検討会 資料 1 - 1 別添 2、ALPS 処理水の分析体制、令和 4 年 7 月 25 日

A L P S 処理水の希釈放出設備の概要を図 30 に示す。2023 年度第 1 回から第 3 回の放出では、処理水の「希釈後のトリチウム濃度」に対して、次の二段階で計算値⁵⁸の妥当性を確認した。

- 希釈後の処理水を放出前に一旦放水立坑（上流水槽）に溜めてトリチウム濃度を測定し、計画どおりに希釈されていることを確認（第 1 段階）した後、放出する
- 放出中の「希釈後トリチウム濃度」について、毎日海水配管ヘッダ下流部から採水し、トリチウム濃度を測定し、計画どおりに希釈されていることを確認する（第 2 段階）

3 回の放出実績から、海水配管ヘッダでの希釈混合は設計どおりに行われ、希釈放出後のトリチウム濃度の計算値と測定値に有意な差がないことが確認できたため、2023 年度第 4 回以降、第 1 段階の確認を一旦終了し、海水移送ポンプの簡易点検（年 1 回）に合わせて第 1 段階の確認を行い、設備の状態が変化していないことを確認することとした⁵⁹。



（出典：東京電力）

図 30 A L P S 処理水の希釈放出設備の概要

海域モニタリングに関しては、政府の総合モニタリング計画⁶⁰に従い、環境省、原子力規制委員会、福島県、東京電力等が連携して、福島第一近傍海域から半径 300km に及ぶ外洋海域に至るまで、海水、海底土、海洋生物を採取して、その放射性物質の濃度の測定を実施して

⁵⁸ 希釈後濃度 = 希釈前濃度 × 処理水流量 / (処理水流量 + 海水流量)

⁵⁹ 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合 / 事務局会議（第 121 回）資料 3 - 1、A L P S 処理水海洋放出の状況について、2023 年 12 月 21 日

⁶⁰ モニタリング調整会議（第 16 回）配布資料、総合モニタリング計画（令和 6 年 3 月 21 日 改定）

いる。図 31 に示す発電所近傍（港湾外 3 km 圏内）の 10 地点、及び発電所正面の 10 km 四方内の 4 地点の海水中のトリチウム濃度については検出限界値を 10Bq/L 程度に上げた迅速に結果を得るモニタリング（迅速測定）を実施しており、特に港湾外 3 km 圏内の 10 地点については、放出期間中及び放出終了から 1 週間は測定頻度を高めモニタリングを強化している。これまでの 8 回の放出における海水トリチウム濃度の迅速測定結果を表 5 に示す⁶¹。

各調査点では、運用上の指標として放出停止判断レベルや調査レベルが設定されているが、いずれの地点においても検出限界値未満、若しくは指標を一桁以上下回る値で推移しており、これまでの海洋放出が計画どおりに安全に実施されたことを示している。

2023 年 10 月、IAEA タスクフォースにより、海洋放出開始後初となる ALPS 処理水の安全性レビューミッションが実施され、2024 年 1 月 30 日にその報告書が公表された⁶²。報告書によれば、タスクフォースは、機器及び設備が、実施計画及び関連する国際安全基準に合致した方法で設置され、運用されていることを確認したと結論している。

ALPS 処理水海洋放出に係る東京電力の組織・体制に関しては、これまで、計画策定から設備設置、運用までを「ALPS 処理水プログラム部」が担ってきたが、今後も長期にわたり ALPS 処理水の海洋放出を安全・着実かつ計画的・合理的に進めていくために、水処理プロセス全体に関わる計画策定・設計・建設・保守に関わるグループを集約した「水処理センター」を 2024 年 7 月に新設した。

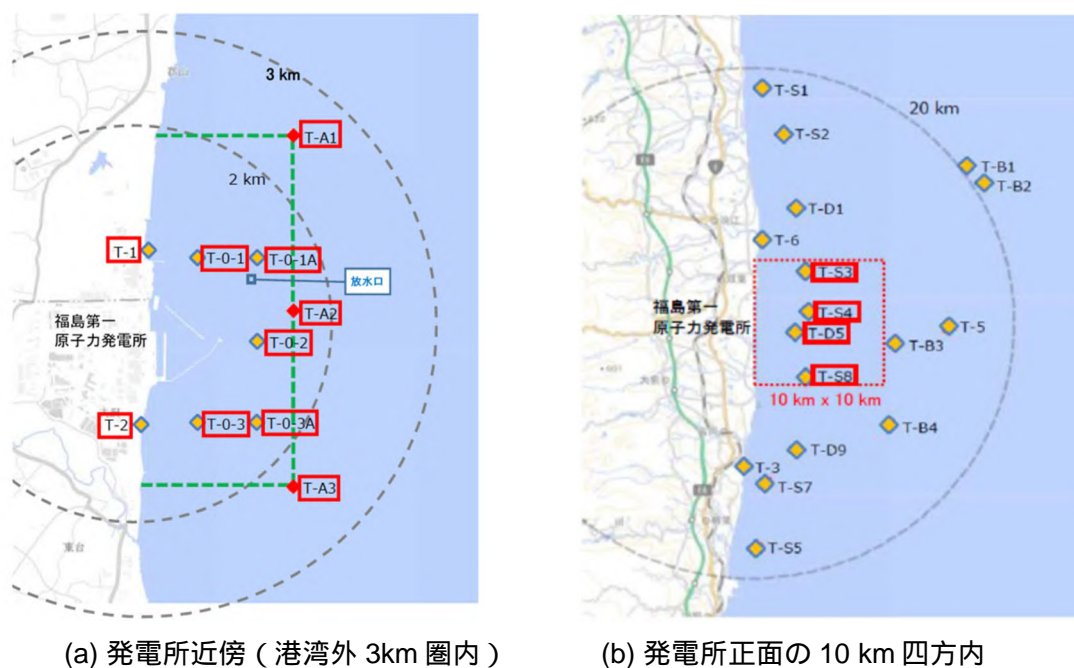


図 31 迅速測定（海水）の採取点

⁶¹ 処理水ポータルサイト

https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/performance_of_discharges/

⁶² IAEA Review of Safety Related Aspects of Handling ALPS-Treated Water at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Report 1: First Review Mission to Japan after the Start of ALPS Treated Water Discharge (October 2023), January 2024

表 5 海水トリチウム濃度の迅速測定結果

項目		発電所から 3 km 以内	発電所正面の 10 km 四方内	
運用指標	放出停止判断レベル	700 Bq/L	30 Bq/L	
	調査レベル	350 Bq/L	20 Bq/L	
迅速測定結果	2023年度	第 1 回	最大10 Bq/L	検出限界値未満
		第 2 回	最大22 Bq/L	検出限界値未満
		第 3 回	最大11 Bq/L	検出限界値未満
		第 4 回	最大16 Bq/L	検出限界値未満
	2024年度	第 1 回	最大29 Bq/L	検出限界値未満
		第 2 回	最大7.7 Bq/L	検出限界値未満
		第 3 回	最大18 Bq/L	検出限界値未満
		第 4 回	最大9.0 Bq/L	検出限界値未満

3.3.3 主要な課題と技術戦略

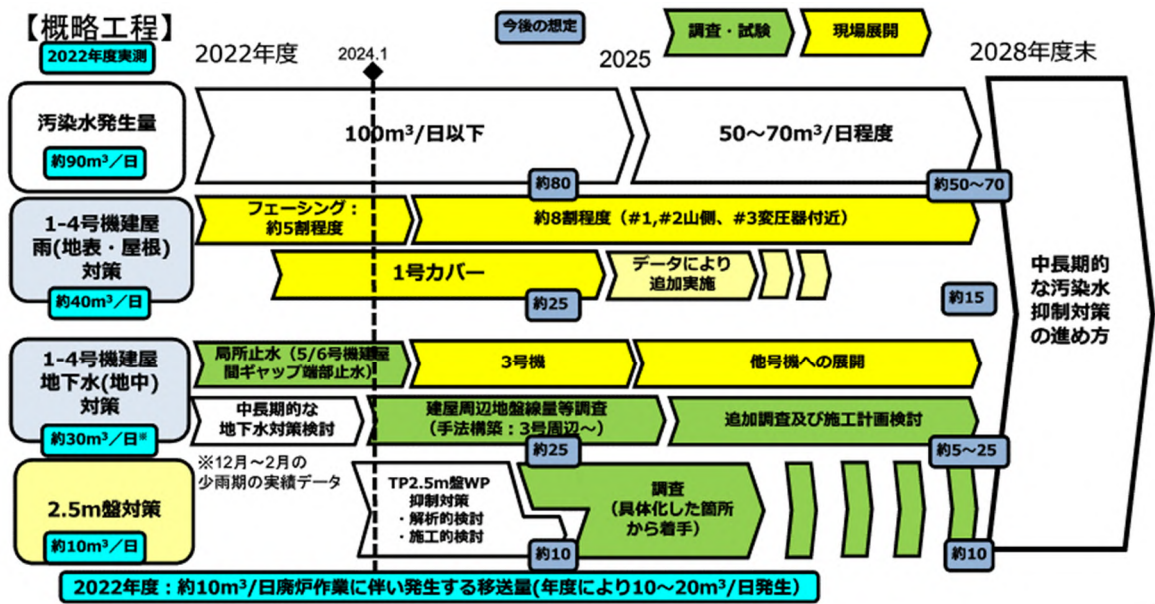
3.3.3.1 汚染水発生量の抑制

図 32 に汚染水発生量抑制対策の概要を示す⁶³。

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

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

⁶³ 汚染水処理対策委員会（第 27 回）資料 2、汚染水抑制対策の現況について、2024 年 1 月 30 日



(出典：東京電力)

図 32 汚染水発生量抑制対策の概要

ここで、建屋への地下水流入の主要因と考えている外壁部及び建屋間ギャップ部（50～100mm の隙間）の貫通部は図 33 に示すような深度分布となっている⁶³。特に建屋間ギャップ部では、現状のサブドレン水位（L 値）である T.P.-0.65m（図 34）⁶³ に対して約 200 か所近い貫通部が存在し、今後の想定地下水位（T.P.-1m 程度）まで下げると、貫通部がほぼ半減することで建屋流入量の低減効果は期待できるものの、T.P.-1m より以深にはまだ約 100 箇所近い貫通部が残存する。

そのため、このギャップ部の貫通箇所からの地下水の流入を抑制するために、ギャップ端部にボーリング削孔し、そこにモルタル等を充填することで止水部を構築する対策（図 35）⁶³ を実施していく。2023 年度より、5 号機タービン建屋（T/B）、原子炉建屋（R/B）の建屋間ギャップ端部において試験施工を実施した。その結果、目標の精度以内で削孔が可能であること、及び止水材を目標高さまで充填できることを確認した。また、止水材の充填前後での建屋流入量を比較した結果、図 36 に示すように、5 号機 T/B で 30～50m³/日から 15～25m³/日に、5 号機 R/B で 5m³/日から 1m³/日に低減していることを確認した⁶⁴。なお、5 号機 T/B については、止水未実施箇所（図 36 白丸部）を含んだ結果である。

これらを踏まえて、4 号機 R/B、廃棄物地下貯蔵建屋（FSTR）の建屋間ギャップ部を対象に施工方法や作業性等の確認を行い、2025 年度までに 3 号機へ展開し、それ以降、他号機における建屋間ギャップ端部の止水工事を進め、2028 年度末の目標（約 50～70m³/日程度）を目指す計画である。

⁶⁴ 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第 125 回）、資料 3 - 1 - 2、建屋周辺の地下水位、汚染水発生状況、2024 年 4 月 25 日

中長期的な汚染水対策の検討においては、廃炉に関して、燃料デブリ取り出し工法が検討されている現在、取り出し作業や関連施設との干渉性等を考慮する必要があり、現場適用性や技術成立性を始め工事計画との整合性、課題等を整理するなど、廃炉工程全体の進捗と整合を図りつつ、並行して検討の具体化を進めるべきである（3.3.3.3で後述）。

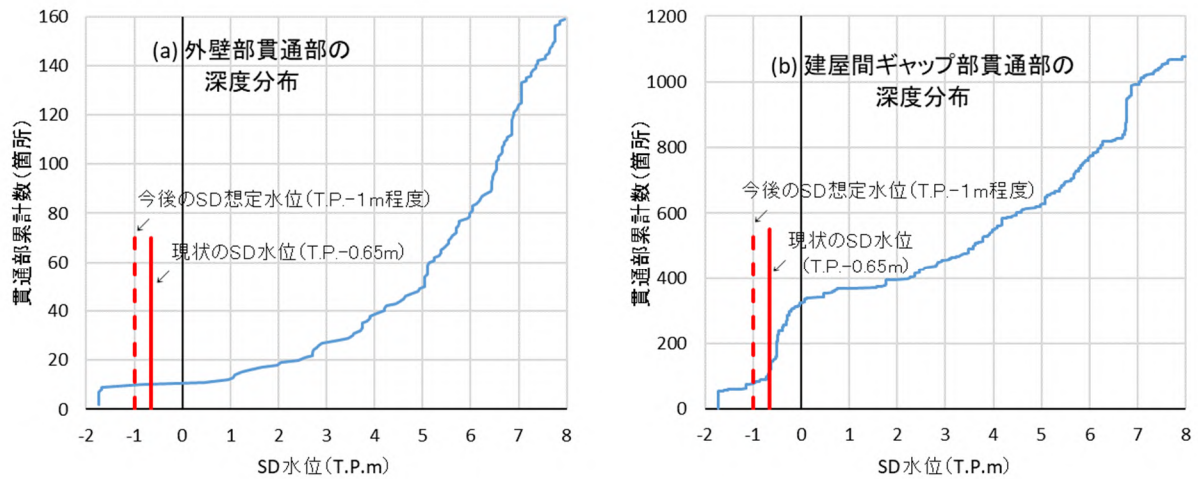


図 33 建屋貫通部の深度分布（東京電力資料をNDFにて加工）



図 34 サブドレンと建屋の水位低下（東京電力資料をNDFにて加工）

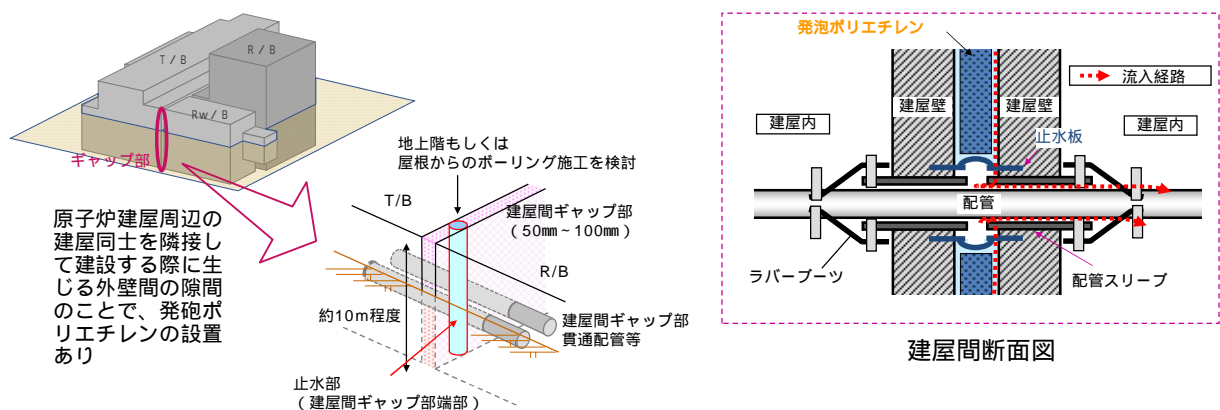


図 35 建屋間ギャップ部端部の止水イメージ

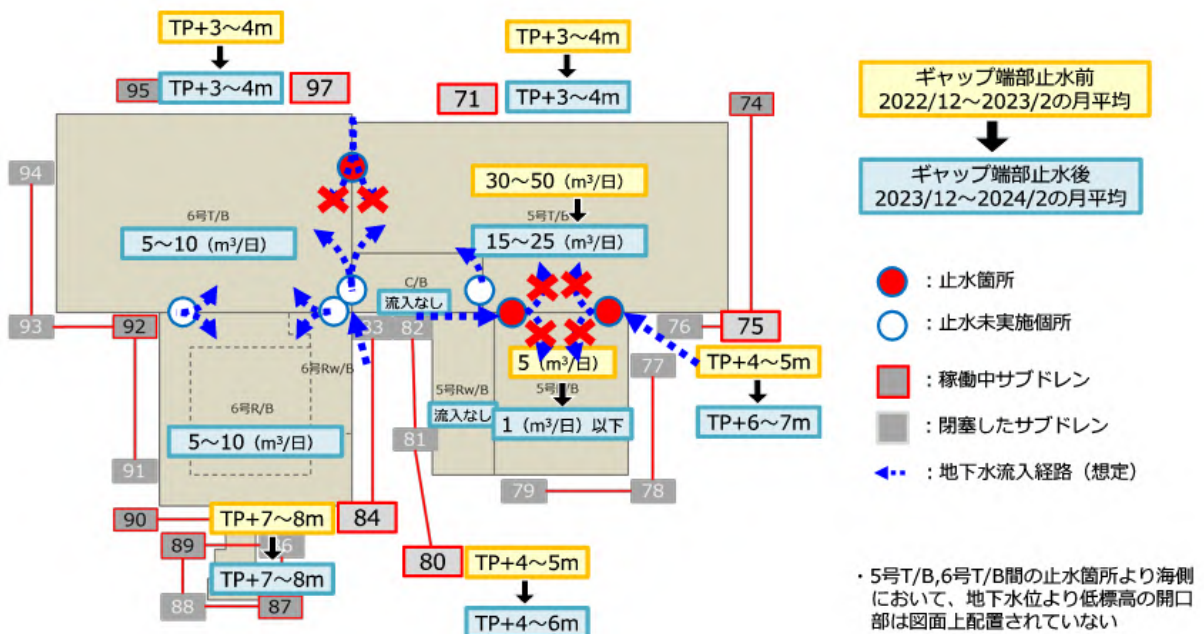


図 36 5号機ギャップ端部止水実施前後の建屋流入量比較

3.3.3.2 建屋滞留水の処理

a. 滞留水量の更なる低減

原子炉建屋の床面近傍には Cs や 核種を含む高線量のスラッジが存在するため、建屋滞留水量を減らすために建屋水位を過度に下げた場合、以下の懸念がある。

- 水の遮へい効果が低下し原子炉建屋内の線量上昇やダスト飛散等を引き起こし作業環境が悪化
- KURIONやSARRY等のCs吸着装置に通常よりも数桁高い放射能濃度の汚染水が流入することにより浄化性能が著しく低下

原子炉建屋滞留水量を2020年末の半分程度(約3,000m³)に低減させることは達成されたが、更なる低減については燃料デブリ取り出し工法との一体的な検討が必要である。例えば、気中工法においても建屋内をドライアップするのか、それとも滞留水を循環させてかけ流すのかによって、建屋滞留水量の低減目標は異なってくる。このため、燃料デブリの取り出し規模の更なる拡大の工法検討に併せて、滞留水管理のあるべき姿を具体化していくことが重要である。

b. プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋の滞留水処理

現在、プロセス主建屋(PMB)及び高温焼却炉建屋(HTI)の地下階にも、建屋滞留水が貯留されている。建屋の床面露出に向けた水位低下を実現するためには、以下の対応が必須となる。

- P M B 及び H T I の地下階に存在する高線量のゼオライト土嚢の回収⁶⁵
- P M B 及び H T I の地下階への貯留に代わる滞留水一時貯留設備の設置⁶⁶

P M B 及び H T I 共に地下階には、事故直後に滞留水の水質改善を目的として設置されたゼオライト土嚢が高線量状態（表面最大線量：約 4,400mSv/h）で存在している。また、階段室には活性炭土嚢も存在することが確認されている。滞留水も高線量線源であるものの、地下階を床面露出した場合、より高線量であるゼオライト土嚢の水遮へいがなくなることにより、地上階の開口部についても線量の大幅な上昇が予想される。

現在検討されているゼオライト土嚢の回収に係る作業計画は以下のとおりである。また、回収作業の概要を図 37 に示す。

集積作業用 R O V⁶⁷を地下階に投入し、ゼオライトを吸引し、集積場所に移送

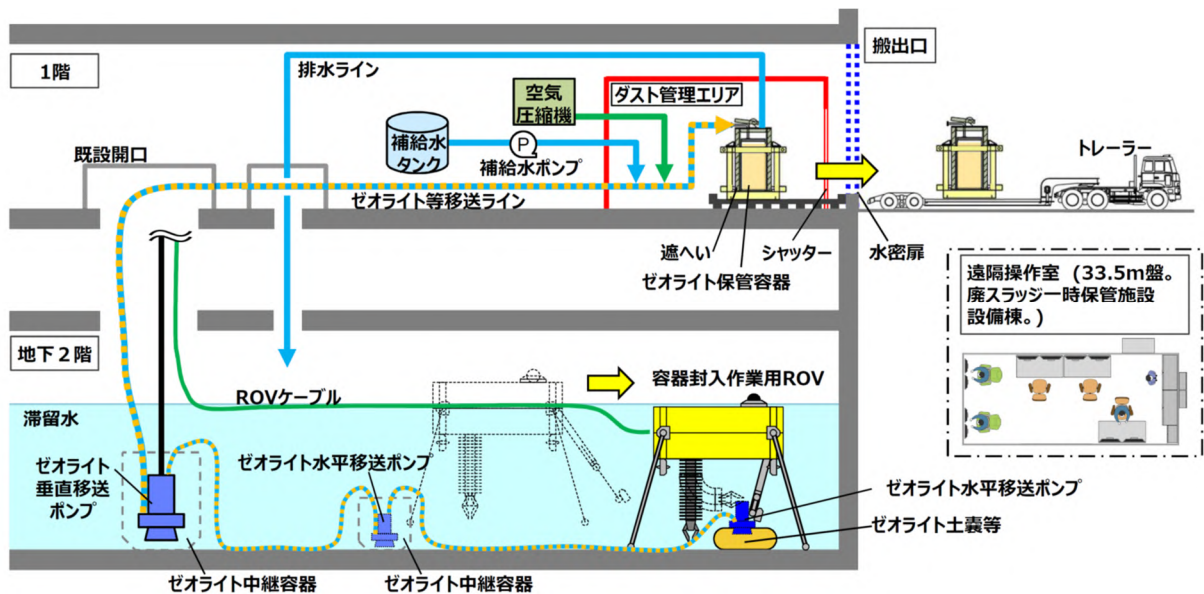
集積されたゼオライト等を容器封入作業用 R O V で地上階に移送。建屋内で脱塩、脱水を行い、金属製の保管容器に封入し、一時保管施設に移送

集積作業は、狭隘な地下階で高線量物を遠隔で回収する難易度の高い作業であることから、モックアップ試験で得られた知見を基に改良を重ね、段階を踏みながら慎重に進めていく必要がある。一例として、実規模モックアップ試験の結果からスラッジ類の舞い上がりや濁り等による視認性の低下が確認されており、実際の集積作業への反映が必要である。この作業で得られた知見は、その後の容器封入作業や、今後計画される原子炉建屋の床面に堆積する高線量スラッジの回収作業等にも適用が可能であり、今後の廃炉作業の進展において非常に重要な知見となる。

⁶⁵ 特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合（第 5 回）資料 2 - 2、「ゼオライト土嚢等処理の検討状況について」、2023 年 2 月 1 日

⁶⁶ 特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合（第 14 回）資料 3 - 1、建屋滞留水一時貯留設備の設置に関する実施計画の変更認可申請について、2023 年 11 月 2 日

⁶⁷ R O V : Remotely Operated Vehicle の略



(出典：東京電力資料をNDFにて加工)

図 37 ゼオライト土壌の回収作業概要⁶⁵

一方、PMB及びHTIの床面露出に向けた水位低下を行うことで、これら建屋への建屋滞留水の貯留ができなくなるため、PMB及びHTIがこれまで担ってきた以下の機能を引き継ぐ滞留水一時貯留設備の設計、製作が進められている。

- セシウム吸着装置 (SARRY他) を安定稼働させるための建屋滞留水のバッファ機能
- 各建屋滞留水の濃度平均化、スラッジ類の沈降分離

これらの滞留水一時貯留設備はPMBの4階に設置される予定である。滞留水一時貯留設備は上述の機能を引き継ぐため、以下の2種類の槽の組合せで構成され、製作が進められており、2025年度から運転確認等が実施される予定である。

- 受入槽 (容量：約 15m³)：滞留水を受入れスラッジ類を沈降分離
- 一時貯留槽 (容量：約 24m³)：受入槽で沈降分離された上澄み水を貯留し濃度を均質化

受入槽にて分離・回収されたスラッジは、当面の間、PMBの地下階の限定されたエリアに排出し、水分は床ファンネル (床面に設けられた排水口) を通じて滞留水一時貯留設備へ回収することで、水抜きされたスラッジが貯留される計画である。将来的には、受入槽から直接スラッジを回収する設備を設置することで、PMB地下階でのスラッジの貯留をなくし、更なるリスク低減を図ることとしている。

3.3.3.3 燃料デブリ取り出し等の廃炉工程を見据えた汚染水対策の課題

a. 核種の拡大防止と燃料デブリ取り出しに向けた水処理設備の検討

核種は吸入摂取した場合の実効線量係数が顕著に高く⁶⁸、建屋滞留水や水処理設備に広がった場合には特別な管理や対策が必要となるため、核種の広がりをできるだけ限られた範囲に抑えることが課題である。

これまでの建屋滞留水の分析では、核種は主として粒子状で存在することが確認されており⁶⁹、セシウム吸着装置（SARRY / SARRY）出口では、現状 10Bq/L 以下の全濃度が維持され、下流側への核種の汚染拡大は抑えられている。今後、燃料デブリ取り出し等の作業で建屋底部のスラッジ蓄積量が増加することによって、汚染水へのスラッジ混入が多くなり、水処理設備入口での全濃度が上昇する可能性がある。こうした懸念に対応するため、セシウム吸着装置の後段にフィルタ設備（核種除去設備）の設置を検討している⁷⁰。

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

b. 汚染水対策設備の中長期的対応

汚染水対策の効果の中長期にわたって維持するため、陸側遮水壁やサブドレン設備、既存の水処理設備（SARRY、ALPS等）等、各設備の定期的な点検、更新を確実にすることが課題である。そのためには、経年変化に伴う設備機能の低下、材料劣化や自然災害で生じる配管の損傷等様々なリスクを想定し、監視・早期復旧対策の体制強化や安定運用に向けた予備・代替品の調達手配等を整えるなど、計画的に維持管理・設備更新を進めるべきである。

また、燃料デブリ取り出し完了までには長期間を要することから、現在進められている燃料デブリ取り出し規模の更なる拡大の工法選定と併せ、中長期を見据えた汚染水対策を俯瞰し、より安定的な汚染水対策の在り方や各設備のより適切な維持・管理を考慮すべきである。現行の地下水流入抑制対策の継続を含め、汚染水のアウトリーク防止を前提としてインリーク抑制策も取られた汚染水対策工法であることが望ましく、燃料デブリ取り出しのための構築物設置や周辺施設解体期間中の汚染水管理を含めた対策が必要である。中長期的な汚染水

⁶⁸ 日本アイソトープ協会：アイソトープ法令集（ ）2005年版、科学技術庁告示第5号（放射線を放出する同位元素の数量等を定める件）別表第2、2005年10月

⁶⁹ 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第100回）資料3-1、建屋滞留水処理等の進捗状況について、2022年3月31日

⁷⁰ 第110回特定原子力施設監視・評価検討会 資料3-1-2、建屋滞留水処理等の進捗状況について、2023年12月18日

対策においては、現場適用性や技術成立性の確認と併せ、燃料デブリ取り出し工法等の廃炉工程全体の進捗と整合を図りつつ検討を進めるべきである。

3.3.3.4 A L P S 処理水の海洋放出に関する今後の取組

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

放出計画の考え方については、当面の間、放出を円滑に進めるため、原則としてトリチウム濃度の低いもの、二次処理が不要と見込まれる既貯留分、測定・確認用設備に近い貯留タンクから順次放出するように策定されている。

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

放出計画は、タンク内の処理水のトリチウム濃度や減衰を考慮しつつ、敷地利用計画に応じて策定する必要がある。当面のタンク跡地の利用計画としては、燃料デブリ取り出し関連施設の建設場所として、E エリア（フランジタンク解体中）とその周辺が想定されているが、引き続き、燃料デブリ取り出しやプール燃料取り出し等の廃炉作業に必要な施設・設備を計画的に建設できるよう、中長期の放出計画や敷地利用計画を検討・立案し、公表していくことが重要である。

A L P S 処理水の分析については、前述のとおり、東京電力（東京パワーテクノロジー）、東京電力から独立した第三者分析機関として化研と J A E A 大熊分析・研究センターのクロスチェック体制で進められているが、今のところ分析結果の齟齬は生じていない。また、2024 年 1 月、I A E A は「A L P S 処理水の放射性核種分析における第 2 回目の分析機関間比較（I L C）結果」に関する報告書⁷¹において、東京電力は正確で精密な A L P S 処理水の測定能力を有しており、A L P S 処理水の放出中における福島第一原子力発電所での継続的な技術的ニーズを支えるための持続可能で堅固な分析体制を構築していると結論付けている。

ここで、測定・評価対象核種（トリチウムを除く 30 核種）に加えて、東京電力が自主的に有意に存在していないことを確認している核種（38 核種）についても、東京電力、化研、J A E A の三者において、分析・評価を実施し、その結果を公表している⁷²。これらの核種については、減衰による変化や測定実績を定期的に再評価し、分析・評価の必要性について検討を継続していくとともに、対象核種を削減することに対しても、科学的根拠に基づいた分かりやすい説明により、公衆の理解を求めていくことが重要である。

⁷¹ IAEA Review of Safety Related Aspects of Handling ALPS-Treated Water at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Second Interlaboratory Comparison on the Determination of Radionuclides in ALPS Treated Water, January 2024

⁷² 処理水ポータルサイト, <https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/measurementfacility/>

I A E A は、政府と東京電力が実施する安全確保の取組に対して放出前、放出中及び放出後と継続的にレビューすることをコミットしており、I A E A 職員が福島第一原子力発電所に常駐し、確認を継続する体制が構築されている。政府と東京電力は、今後も I A E A と必要な情報共有を継続するとともに、日本国内及び国際社会に対して高い透明性をもって科学的根拠に基づく説明を続けていくことが重要である。

N D F は、東京電力が進める汚染水・処理水対策の計画や運用に対し、技術的・専門的な支援を行うとともに、国内外の関係機関との会合、会議等を通じて、正確かつ受け手の関心に応じた情報発信や理解促進を進めていく。さらに、風評影響を最大限抑制する対策が確実に実施されていること、万が一風評被害が発生した場合には適切かつ十分な賠償により対応していることを確認していく。

3.3.4 主な技術課題と今後の計画

本節に述べた汚染水対策、処理水対策及び自然災害対策の関連項目について主な技術課題と今後の計画を整理すると、図 38 のとおりである。

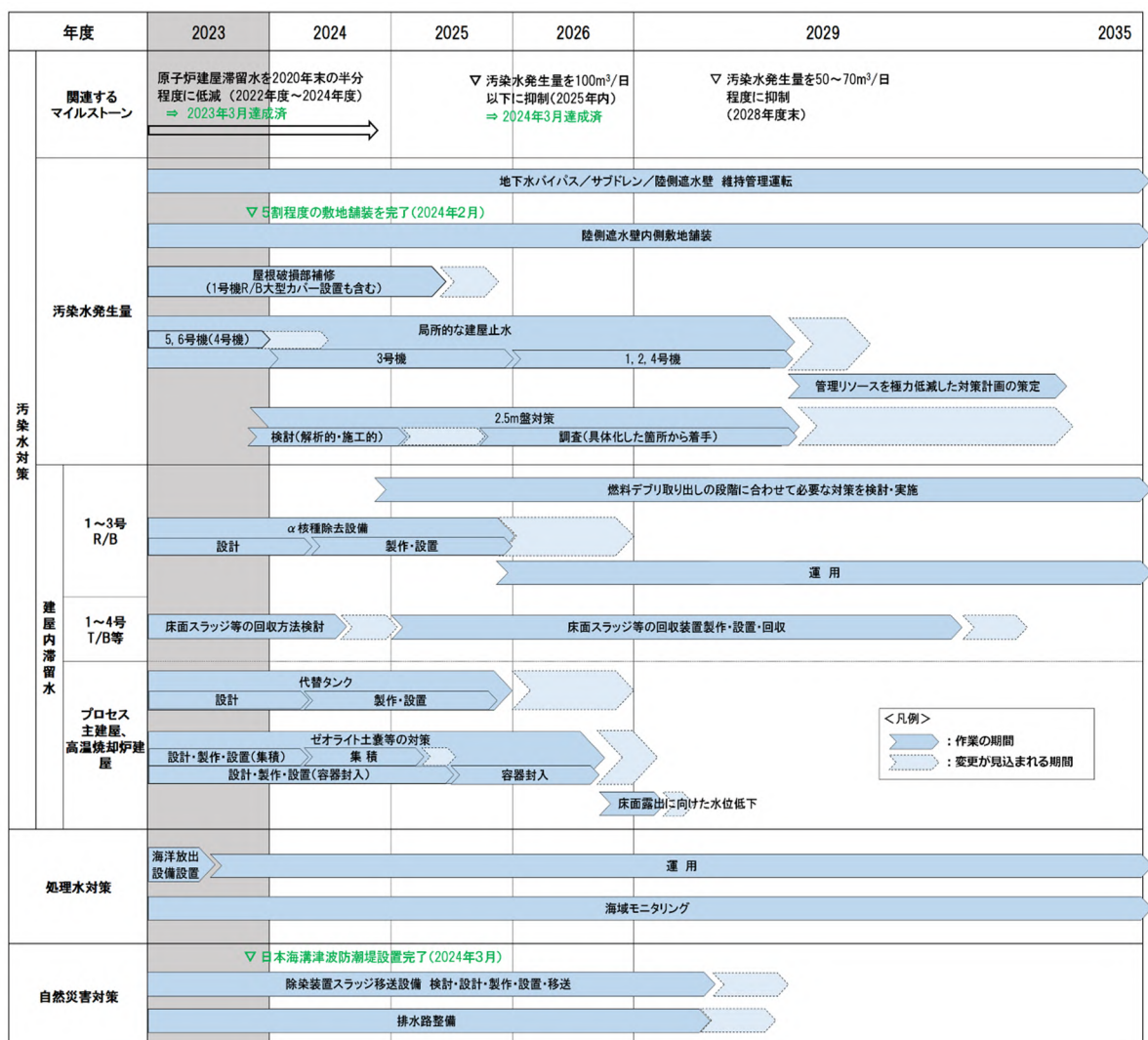


図 38 汚染水対策・処理水対策・自然災害対策に係る主な技術課題と今後の計画(工程表)

3.4 使用済み燃料プールからの燃料取り出し

3.4.1 目標

2031 年内に 1 ～ 6 号機の全てで使用済み燃料プールからの燃料取り出しの完了を目指す。

周辺地域で住民の帰還と復興が徐々に進む中、放射性物質の飛散防止を始めとしたリスク評価・安全確保を確実にいき、1 号機は 2027～2028 年度、2 号機は 2024～2026 年度にプール内燃料取り出しを開始する。

海水やガレキの影響を受けた 1～4 号機の燃料については、使用済み燃料プールから取り出した後に共用プール等へ移送して適切に保管することにより、安定管理状態とする。なお、共用プールの容量確保に向け、共用プールに保管されている燃料を乾式キャスク仮保管設備へ移送・保管する。

取り出した燃料の長期的な健全性の評価及び処理に向けた検討を行い、将来の処理・保管方法を決定する。

3.4.2 進捗

中長期ロードマップ及び廃炉中長期実行プランに示された作業計画に基づき、2031 年内に 1～6 号機の全てで使用済み燃料プールからの燃料取り出し完了に向け、取組を進めている。図 39 に使用済み燃料の共用プール及び乾式キャスク仮保管設備の配置図及び作業の流れの全体像、図 40 に空き容量の状況を示す。5、6 号機を含むプール内燃料を全て取り出して共用プールに保管するためには、共用プールの空き容量を確保する必要がある。このため、共用プール内燃料の一部を乾式キャスク仮保管設備へ移送するべく、乾式キャスク仮保管設備の増設や計画的な新燃料の所外搬出に取り組んでいる。これらの取組を進め、2031 年内に全ての号機の燃料取り出しを完了する計画である。新燃料の所外搬出については、6 号機の使用済み燃料搬出を優先することとし、2025 年度以降に開始する計画としている。なお、6 号機にある 4 号機から取り出した新燃料については、線量測定・洗浄作業を 2022 年 3 月に完了している。



図 39 共用プール・乾式キャスク仮保管設備配置図、及び作業の流れ

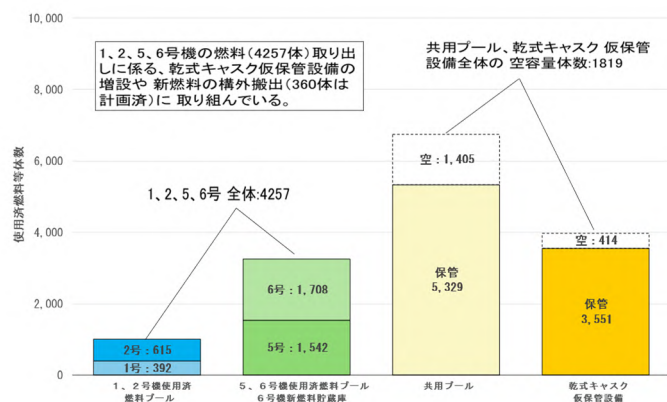


図 40 使用済み燃料の保管状況 (2024 年 6 月末)

a. 1号機

水素爆発により、オペフロ上に屋根板、建屋上部を構成していた鉄骨等の建築材及び天井クレーン等がガレキとなり崩落している（図41）。住民の帰還が進む中、ダスト飛散リスクの更なる低減の観点から、オペフロ全体を大型カバーで覆い、カバー内においてガレキ撤去やプール内燃料取り出しを行う工法への変更が2019年12月に行われた。本工法のイメージを図42に示す。

大型カバー設置やその後のガレキ撤去作業の準備として、以下が完了している。

- 使用済燃料プール養生（2020年6月完了）
- 天井クレーンや燃料取扱機への支保の設置（2020年11月完了）
- 干渉する既存の建屋カバー（残置部）の撤去（2021年6月完了）

その後、原子炉建屋周辺の整備を進めてきたが、非常用ガス処理系配管（以下、「SGTS配管」という。）の撤去作業（遠隔操作による高線量配管の撤去）の遅延により準備工事に遅れが生じた。また、その後、原子炉建屋南側壁面で高い線量箇所が発見されたため、追加の除染や遮へい作業の実施や作業日数の増加が必要となり大型カバー設置工事に時間を要している。現在、構外ヤードでの大型カバーのボックスリングの地組作業、並行して1号機原子炉建屋では、大型カバーの架構設置を進めている。これらを踏まえ、廃炉中長期実行プラン2024では、大型カバー設置工事完了時期を2025年夏頃までとしているが、1号機燃料取り出し開始は予定どおり2027～28年度の予定である。



崩落屋根下の既存設備の状況（イメージ図）



南側崩落屋根の状況

図41 1号機オペフロ崩落ガレキの状況

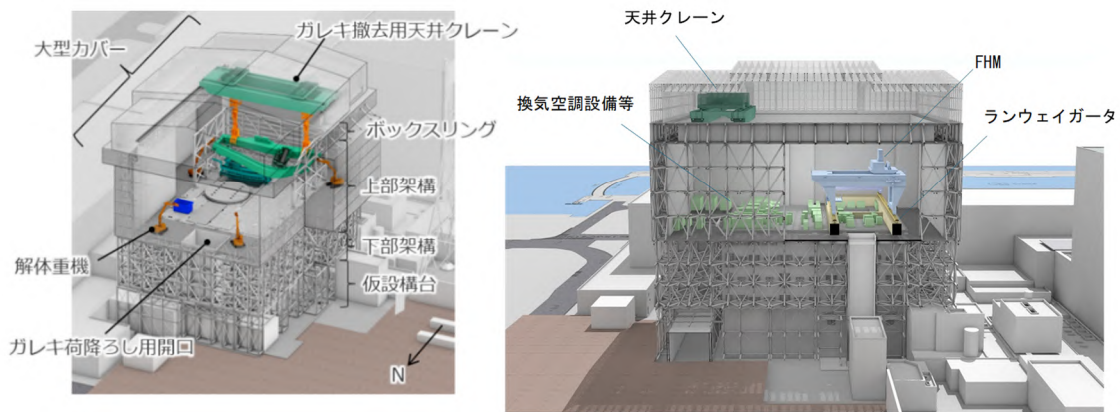
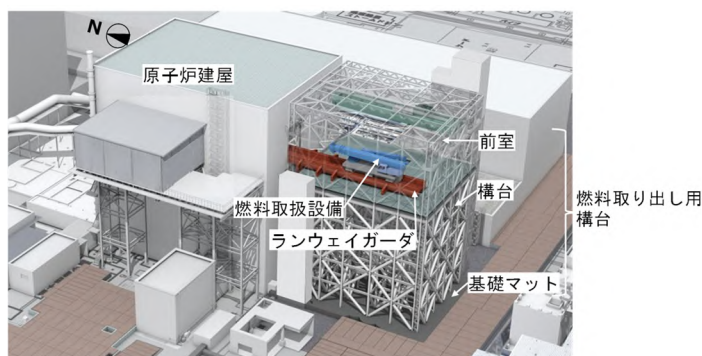


図 42 1号機 プール内燃料取り出し工法

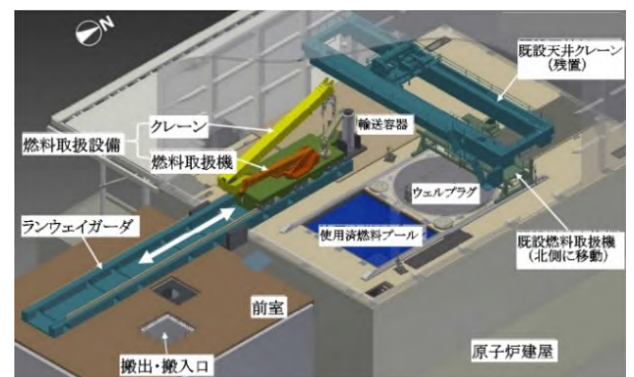
b. 2号機

ダスト飛散リスクの更なる低減の観点から、オペフロ上部を解体せず、原子炉建屋南側に設置する燃料取り出し用構台からアクセスする工法が採用されている。本工法のイメージを図 43 に示す。

原子炉建屋南側では、2024 年 6 月に燃料取り出し構台及び前室設置を完了し、アクセスルート構築中である。あわせて、燃料取扱設備の製作が完了し、工場で機能試験を進めている。また、オペフロ内では、使用済燃料プール南側の燃料取扱機操作室等の干渉物撤去後、除染、遮へい作業を 2024 年 4 月に完了し、線量低減に向けた一連の作業が完了した。規制対応含め、燃料取り出しに向けてスケジュール管理を確実にし、燃料取り出し開始は 2025 年度の見込みである。また、燃料取り出しに関しては設備トラブル時の迅速な対応を目的として、東京電力社員を工場に常駐させ、国内初となるブーム式燃料取扱設備の操作・機能の習得を図っている。



燃料取り出し工法 (イメージ図)



燃料取扱設備 (イメージ図)

図 43 2号機 プール内燃料取り出し工法

c. 5、6号機

1、2号機の作業に影響を与えない範囲で燃料取り出し作業を実施する方針である。6号機については、使用済燃料プールから共用プールへの移送を2022年8月に開始した。その後、更に共用プールの空き容量を確保するため、共用プールから乾式キャスク仮保管設備への燃料移送作業を進めていたが、3号機SFP内の燃料を共用プールに移送した際に混入したガレキ等の影響により、乾式キャスクの気密性が担保できなくなり、燃料装荷前後の作業内容を見直したため、工程が遅延した。2024年2月に6号機使用済燃料移送分の乾式キャスクによる燃料移送・保管が全て完了し、共用プールの空き容量が確保できた。それにより、6号機使用済燃料プールから共用プールへの使用済燃料移送を2024年5月から再開し、2025年前半に完了予定である。引き続き準備が整い次第、5号機使用済燃料プールから共用プールへの移送を開始予定である。

d. 高線量機器の取り出し

各号機の使用済燃料プール内には、燃料以外に制御棒、チャンネルボックス、フィルタ等の高線量機器が保管されている。これらについては、冷却は不要だが、遮へいが必要であり、プール水が漏えいした場合にプール内の線源が露出する等のリスクが残っている。そのため、リスク低減の観点から、プール内燃料に続いてこれらの高線量機器の取り出しが進められている。使用済燃料プール側の燃料取扱設備、受入れ側のサイトバンカの準備が整ったことから、2023年3月に3号機使用済燃料プールからの高線量機器取り出しを開始した。その後、燃料取扱設備⁷³の内、クレーン主巻ホース巻取り機の動作不良、主巻水圧ホースリール付近からの作動流体漏えい等の複数のトラブルが発生したが、それらの不具合対応が完了し、高線量機器の取り出しを2024年3月に再開した。

⁷³ 使用済燃料プールからの高線量機器の取り出しでは、燃料取り出しに利用したクレーン等を流用する。

e. 燃料の保管状況推移

事故直後からの燃料の推移は図 44 のとおりである。

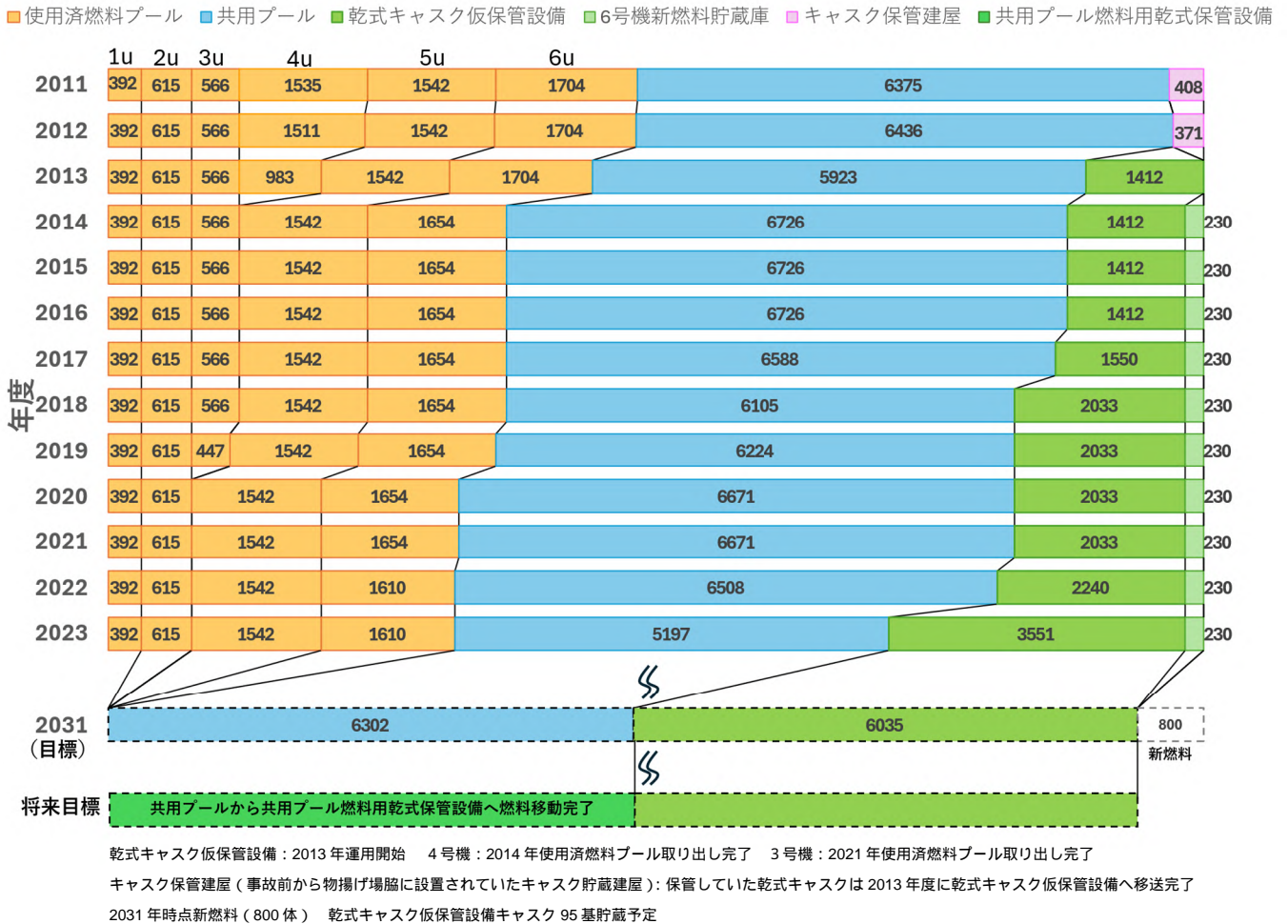


図 44 福島第一原子力発電所 年度末における燃料体数

3.4.3 主要な課題と技術戦略

3.4.3.1 プール内燃料取り出し

1、2号機については、決定された工法の実現に向けて、着実に作業を進めることが必要である。

プロジェクトを進めるに際しては、作業に伴う安全性を評価し、必要十分な安全の確保を確認した上で、技術的な確実性、合理性、作業工程に関わる迅速性、現場適用性、プロジェクト上のリスク等を総合的に考慮して、課題への対応を行うことが基本である。

a. 1号機

オペフロ上部には、天井クレーンが、落下防止の支保は設置されているものの、不安定な状態で存在しており、燃料交換機への崩落及びそれに伴うこれらの使用済燃料プールへの落下を防止するため、安全かつ確実に天井クレーンを撤去することが主要な課題の一つである。そのため、現在進めている天井クレーンの撤去方法の検討に当たっては、安全評価を行うこ

とが前提であり、以下を行い作業の合理性や他の作業への影響等の観点を踏まえ、総合的に検討していくことが重要である⁷⁴。

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

天井クレーンの撤去方法については、現時点では屋根スラブ下部の状況に関する情報が限られているため、スラブを除去後に詳細調査を行うこととなる。この結果によってはクレーン解体工程が遅延するリスクがあることから、調査や確認等の必要作業を抽出した上で作業手順等を立案し、調査が可能となった段階で速やかに天井クレーン等の調査を行い、リスクケースを含め安全評価、ガレキ撤去計画に反映すべきである。

1～3号機のウェルプラグの汚染状態については、福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会にて、その汚染の高さから、「安全面及び廃炉作業面において非常に重要な意味を持つ」と指摘されている⁷⁵。このうち、1号機のウェルプラグについては、2、3号機の数十 PBq に比べ2桁程度低い汚染であることが上記検討会にて評価されているものの、事故時の爆発の影響でずれが生じ、不安定な状態になっているため、対処方策の検討を進めている。今後、ウェルプラグへの対応方法は、検討結果を踏まえ、プール内燃料取り出しや後段作業である燃料デブリ取り出しへの影響を考慮し、安全評価を尽くした上で、総合的に判断すべきである。

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

b. 2号機

これまで国内原子力施設では経験のないブーム型クレーン式の燃料取扱設備を用いて、プール内燃料取り出しを行う予定であり、この燃料取扱設備での取扱いは初めてであるため、事前に操作・設備トラブルに関するリスクを抽出し、その対策を確実に施すことが肝要である。特に、以下の取組を着実に進める必要がある⁷⁶。

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

⁷⁴ 廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議(第73回)資料3-2、NDF「福島第一1号機燃料取り出し工法(プラン)の選定に関する評価」、2019年12月19日

⁷⁵ 原子力規制委員会、東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会(第19回会合)資料3(P.81～83)、「意見募集の結果等を踏まえた中間取りまとめ(案)の修正案について」、令和3年3月5日

⁷⁶ 廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議(第71回)資料3-2、NDF「福島第一2号機燃料取り出し工法(プラン)の選定に関する評価」、2019年10月31日

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

オペフロから前室の間を燃料取扱設備が移動するため、前室と作業員の汚染防止のため作業手順を確立し、確実に実施することや燃料取扱設備トラブル時を想定し、可能な限りリスク低減に努めるべきである。

また、使用済燃料プールには破損燃料⁷⁷が1体存在するため、当該燃料移動に関しては状況を把握し、安全に取り出す方法を確立するとともに、リスク管理を十分に行うことが重要である。

c. 高線量機器取り出し

プール水が漏えいした場合のリスク低減の観点から、高線量機器取り出しが課題であり、取り出しに向けた取組が進められている。高線量機器取り出しが完了すれば、プールの水抜きを行いプールの水を管理対象から除外でき、これによりオペフロの活用の自由度が増し、その後の燃料デブリ取り出し作業の円滑な実施にもつながる。

高線量機器の取り出しに際しては、燃料取り出しやガレキ撤去に用いた装置等を活用することが効率的である。既存装置の保守管理の観点からも、保管先の確保等の取り出しに向けた準備が整い次第、速やかに進めるべきである。今後設置される1号機の燃料取り出し設備についても、高線量機器の取り出し等を見据えて設計、保守を進めるべきである。また、取り出しを開始した3号機の高線量機器を保管する既設サイトバンクの容量にも限りがあることから、新設のサイトバンクの検討を進めている。保管形態に関しては、湿式や乾式でどちらが最適であるか検討するべきである。新設サイトバンクを設置するまでの期間に、既設サイトバンクのプール水が漏えいする可能性が否定できないため、監視強化及び漏えい対策を策定することが重要である。

また、プールの水抜きに際しては、事前に水抜き後のプールからの線量やダスト飛散を評価し、安全性を確認しておくべきである。

3.4.3.2 将来の処理・保管方法の決定

プール内燃料の将来の処理・保管方法は、事故時に受けた海水やガレキの影響、及び事故前から保管している破損燃料等を考慮した上で決定することが必要である。これまで、4号機から取り出した燃料について海水やガレキの影響評価を行い、これらの影響は少ないと見通されている。他方、今後取り出した燃料の状況を踏まえ、長期的な健全性の評価及び処理に向けた検討を進め、将来の処理・保管方法を決定すべきである。

2031年内までに全ての号機のプール内燃料を共用プールへ移送する計画であるが、その後は、津波リスクも考慮し、共用プール内の既存燃料を含め、高台での乾式保管に向けた検討を進めている。東京電力は乾式保管設備として既存の金属キャスクに加えて、海外で実績があり下記のメ

⁷⁷ 燃料を落下させる事象があり、被覆管は破損しなかったが結合燃料棒下部端栓が全数折損し上下に分断した。その後ステンレス製ワイヤー等を用いて分断した燃料を一体化している。

リットが期待できるキャニスタ（金属製筒型容器）を用いたコンクリートキャスクの導入も視野に入れた準備を進めている。

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

現在、数種類のコンクリートキャスクに対して、技術的な成立性の検討を進めている。コンクリートキャスクでは特に、キャニスタへの塩分付着による応力腐食割れ（SCC）が生じた場合の密封機能の劣化のリスクがあり、この対応策を確立する必要がある。また、コンクリートキャスクを適用する場合には、円滑な運用開始に向けて実証試験等の必要な確認項目を明確にしたエンジニアリングスケジュールを設定し、計画的に進めることが肝要である。

一方、金属キャスクのメリットは、これまで国内外で多数の健全燃料の保管実績があることが挙げられる。しかしながら、破損燃料等の保管に関しては、海外での事例も限られ、国内では事例はない。

いずれの乾式保管設備を選択するに際してもプール内に存在する破損燃料等の保管が課題である。

海水やガレキの影響を受けた燃料も含めて、両キャスクの得失及び福島第一原子力発電所の特徴を踏まえた上で、適用する乾式保管設備を判断すべきである。

参考として、以下に一般的な金属キャスク、コンクリートキャスク例を図 45 に示す。米国では、空間線量低下や耐震性向上を考慮した地下保管タイプや地上置きで専用保管設備に入れるコンクリートキャスクなどがある。なお、米国ではコンクリートキャスクでの乾式貯蔵が主流であり、既にコンクリートキャスクで約 3,300 基（燃料集合体で約 143,000 体）を超える実績を有する。保管方式の選定に当たっては、上記の課題に対する技術的成立性を確保するとともに、耐震性や敷地境界線量への観点も含めて検討する必要がある。

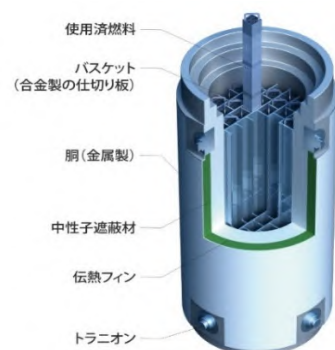
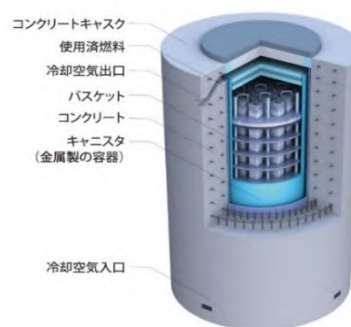


図 45 金属キャスク（例）



コンクリートキャスク（例）⁷⁸

⁷⁸ 出典： <https://www.fepec.or.jp/sp/chozo/result.html>

地上縦置き保管タイプ

キャスク下部から給気、上部から排気



図 46 コンクリートキャスク 地上縦置き保管タイプ⁷⁹

地下縦置き保管タイプ

吸排気は地表面付近の上部



図 47 コンクリートキャスク 地下縦置き保管タイプ⁸⁰

⁷⁹ 出典 : <https://www.nacintl.com/solutions/storage-technologies>

https://www.nacintl.com/images/pdf/NAC-Product_Flyer-Magnastor_GEV_DIGITAL_220706.pdf

⁸⁰ 出典 : <https://holtecinternational.com/2018/03/12/the-celebrated-history-of-storing-used-fuel-below-ground/>
<https://holtecinternational.com/products-and-services/nuclear-fuel-and-waste-management/dry-cask-and-storage-transport/hi-storm/hi-storm-100u/>

地上横置きタイプで、1階建・2階建で運用可能
 保管設備下部から給気、上部から排気



図 48 コンクリートキャスク 地上横置き保管タイプ⁸¹

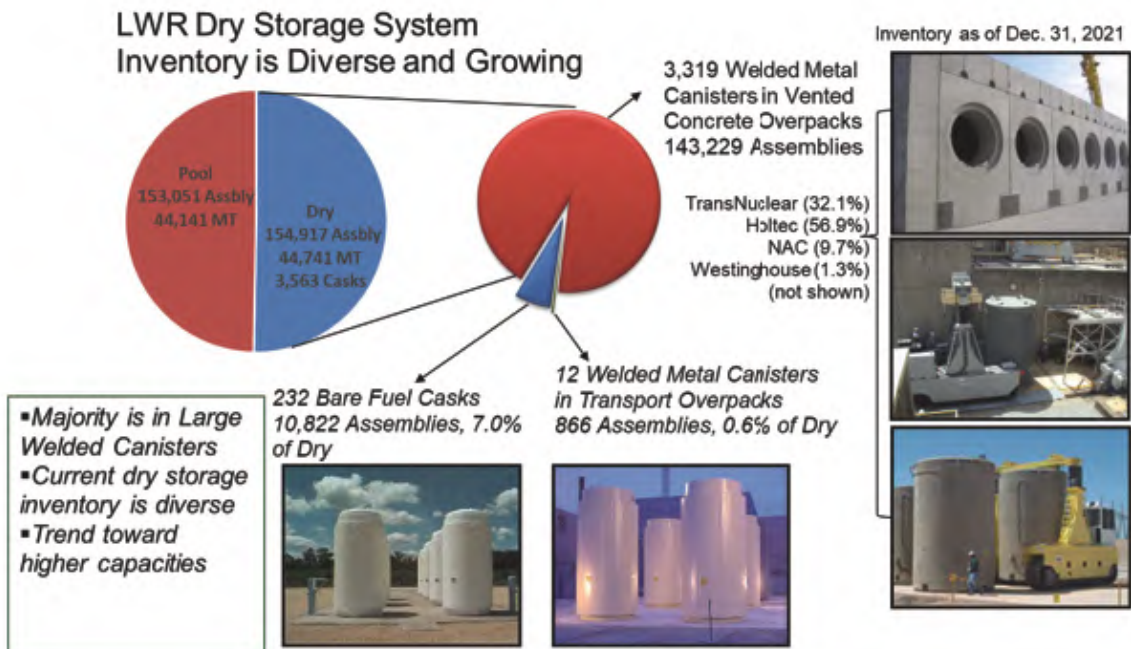


図 49 米国における乾式貯蔵実績⁸²

⁸¹ 出典 : <https://www.orano.group/usa/en/our-portfolio-expertise/used-fuel-management/used-fuel-storage/nuhoms-matrix-storage-module>

⁸² 出典 : https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-33938.pdf

3.4.4 主な技術課題のまとめ

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 50 のとおりである。

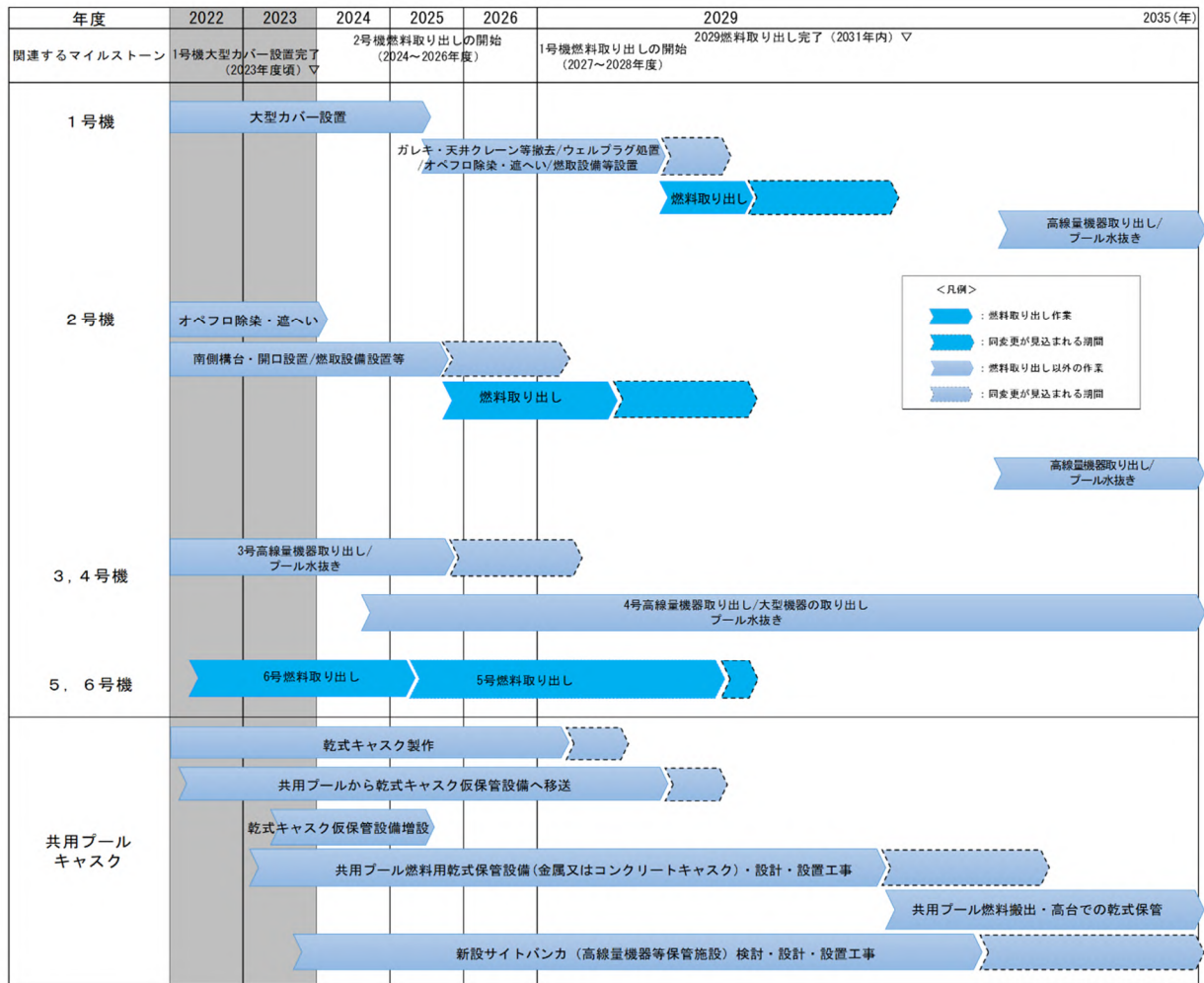


図 50 プール内燃料取り出しに関する主な技術課題と今後の計画(工程表)

4. 廃炉の推進に向けた分析戦略

4.1 廃炉に係る分析の概要

4.1.1 廃炉に係る分析の目的と意義

福島第一原子力発電所の事故は、世界で前例のない沸騰水型原子炉の炉心溶融事故であるとともに、事故時の停電により温度を始めとする多くの記録が存在しない。さらに、安全機器の作動状況が不明瞭であること、事故収束のために海水注入が行われたこと等が影響して、炉内状況、燃料デブリの状態、核分裂生成物の放出経路等に多くの不確かさが存在する。そのため、事故によって発生した燃料デブリや固体廃棄物を安全に取り扱い、適正に保管・管理等を行うことを目的にこれらについて分析を実施している。

燃料デブリは、生成過程に上述のような不確かさが存在し、人為的な管理下でもないために、化学組成、ミクロ組織、密度等の各種物性値において不均質性を有するものと考えられる。また、福島第一原子力発電所の廃炉に係る安全対策の設計に関しては、事故前の燃料中の U-235 の含有率である 4 ~ 5 mass% を用いて臨界管理や輸送の安全評価、安全対策を保守的に検討されている。原子炉内での燃焼に伴って U-235 の含有率は低下している上、事故解析や P C V 内部調査の映像から、周囲の構造材と溶融・混合によっても U-235 の含有率は低下している可能性が高いが、評価に用いるデータが不明なことから安全対策に過度の裕度を含ませることになる。採取したサンプルの分析を行うことにより、このような不確かさの幅を低減できれば、燃料デブリの取扱い、安全評価及び安全対策における安全裕度の適切化につながり、廃炉の迅速性、合理性の向上が可能となる。

固体廃棄物については、適正な保管・管理の遂行及び処理・処分方策の検討に当たり、保管時の安全性向上のための物理的・化学的性状の把握、及び処理・処分方策の検討に資する核種組成や放射能濃度等の性状データを取得するための分析を着実に進めていくことが不可欠である。そのため、性状が多様でかつ物量が多いという固体廃棄物の特徴を踏まえ、分析施設の整備や分析人材の育成等に取り組むとともに、性状把握を効率的に実施するための分析・評価手法を用いて分析を行う必要がある。また、中長期ロードマップにおいて、固体廃棄物の性状分析等を進め、廃棄体の仕様や製造方法を確定する、とされている第 3 期を迎え、固体廃棄物の分析の着実な実施は、それらの確定を含めた固体廃棄物対策全般を着実に進めていく上で、今後重要な課題となる。そのため、これまでの取組の成果を基に、分析を計画的に行うための体制整備に取り組むことが必須である。

燃料デブリと固体廃棄物は回収した上で、環境に放出されないよう容器への収納等により閉じ込め、保管・管理を行うこととしている。一方、ALPS 処理水については、海洋放出を安全に実施するため、希釈前の ALPS 処理水に対して、トリチウムを除く核種の告示濃度比の総和が 1 未満であること等を分析により確実に確認することが必要である。さらに、トリチウム等の拡散状況を把握するため海域での環境試料を対象としたモニタリング活動を継続することが重要である。なお、東京電力による海域モニタリングの強化策として、福島第一原子力発電所の港湾外及び沿岸の海水、海藻類、20km 圏内の魚類のモニタリングが 2022 年 4 月より開始されている。

東京電力では、ALPS処理水の放水前の希釈前後で分析を実施しており、これまでの海洋放出において、トリチウムの放出基準の1,500Bq/L及びトリチウム以外の核種の告示濃度比総和が1を超えていないことを確認している。このほかに、JAEAがALPS処理水の放水前の希釈前後で第三者分析を実施しており、上述の値を超えていないことを確認している。東京電力の海域モニタリングでは、海水中のトリチウム濃度は放水口から近い地点(200~2,100m)において0.43~29Bq/Lであり、それ以外の地点では検出下限値未満である。さらに、放出の開始後、環境省及び福島県が海水を、水産庁が水産物を、それぞれ分析しているが、放出前の海水と同程度(0.06~0.63Bq/L)であること、又はいずれも検出下限値未満であることを確認している。

4.1.2 分析の全体像

福島第一原子力発電所の廃炉作業においては、図51に示すような、分析対象物、目的、線量率が多岐に及ぶ分析を行わなければならない。福島第一原子力発電所の廃炉作業を安全かつ着実に進捗させるため、上述の目的に照らして適切な分析結果を得ることが不可欠である。これを得るには図52に示すように、分析の手法・体制、分析結果の品質、サンプルのサイズ・量を向上させることが有効であり、そのための取組が現在進められている。

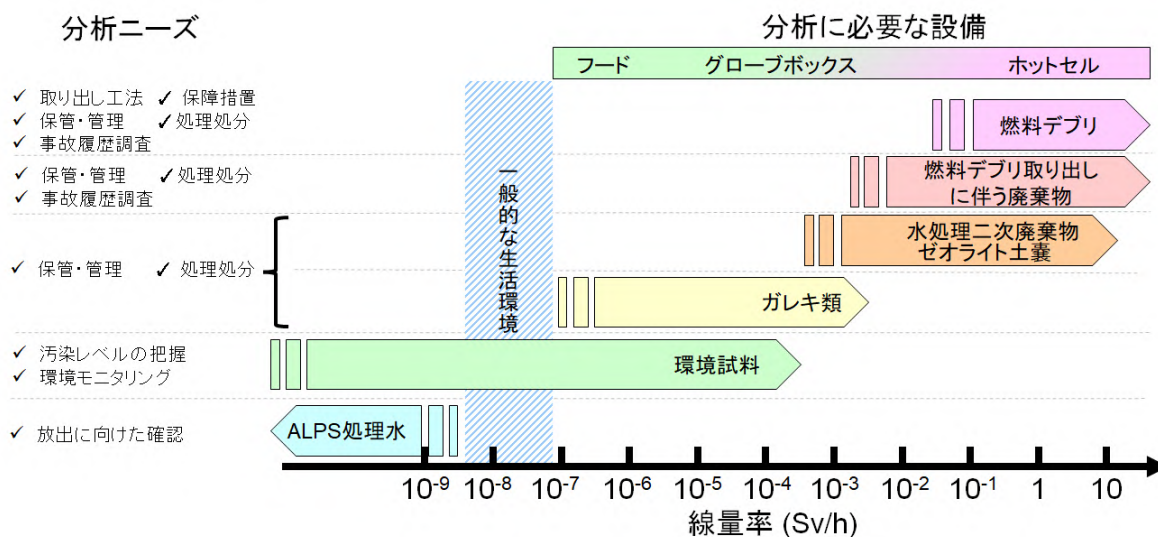


図 51 分析対象物の分析ニーズ、分析に必要な設備及び線量率の関係

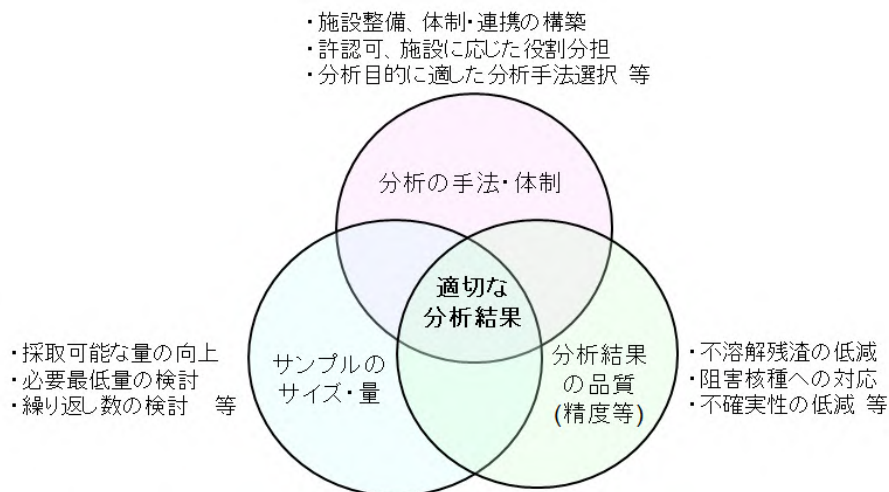


図 52 福島第一原子力発電所の廃止措置における分析戦略の三要素

4.2 分析に係る現状と戦略

4.2.1 分析の体制・手法の強化

4.2.1.1 分析体制の強化

これまで、政府が中心となり中長期ロードマップを策定するとともに、東京電力、JAEA、NDF等の関係機関は、分析施設の整備、国内ホットラボ機関の連携、分析・評価手法の開発、人材交流等の分析体制の構築を連携しながら進めている。初号機の燃料デブリ取り出し開始以降からの第3期を迎え、これまで取り組んできた分析体制の整備を一層加速することが急務である。

東京電力、JAEA、NDF等の関係機関では、分析体制の強化として、分析計画の検討、分析・評価手法の開発、分析施設の確保、分析人材の確保等の取組を着実に進めるとともに、関係機関間の連携強化を図っている。これら分析体制の整備に係る当面の対応方策を資源エネルギー庁が取りまとめ、廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議、原子力規制委員会にて公表・報告している(関係機関個別の実行計画については添付資料16参照)^{83,84}。今後も当面の取組を着実に実施するとともに、状況を踏まえ必要な対応を実施していく。

4.2.1.2 分析計画の更新

東京電力は、廃炉作業の進捗に伴い、分析対象物の種類と量が増加し、それに応じて分析需要が拡大すると想定している⁸⁵。ALPS処理水、環境試料等のより低濃度領域の分析需要が拡大

⁸³ 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議(第112回)資料3-4、「東京電力ホールディングス株式会社 福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた分析体制の整備に係る当面の対応について」、2023年3月30日

⁸⁴ 2023年度第1回原子力規制委員会資料1、「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の分析体制の強化に係る政策的取組」、2023年4月5日

⁸⁵ 第104回特定原子力施設監視・評価検討会資料1-3-2「分析体制構築に向けた取り組み状況について」、2022年12月19日

すると、含まれる放射性元素の量が少ないことから検出精度の向上を行う必要が生じる。一方、燃料デブリや高線量廃棄物等の高線量領域の分析需要が拡大すると、遮へい及び閉じ込めのような放射線防護機能の拡充や元素分布や構造解析のような分析項目の多様化を行う必要がある。このような分析需要の変化に柔軟に対応し、分析が原因で廃炉作業が停滞しないよう計画的に準備を進めなければならない。特に、燃料デブリや水処理二次廃棄物に代表される高い線量率を有する対象物は、遮へい及び閉じ込め能力を有するホットセルを分析設備として必要とするが、その数に限りがある。これらを有効に活用するため、分析対象物に対して取得を望む情報とその数量、検出精度、分析頻度等に関してバランスを取り、分析設備の定期メンテナンス等を考慮した計画を立案することが重要である。

原子力規制委員会では、廃炉に向けて中長期的に実現すべき姿とそれに向けた目標を明確にすることを目的として、中期的リスクの低減目標マップを更新している。放射性物質の安定的な保管への移行の重要性に鑑み、固体状の放射性物質に対して優先して取り組むべきリスク低減に向けた分野として、水処理廃棄物等、ガレキ類等、建屋解体物等を挙げている。さらに、「実現すべき姿」の達成に向け完了が必要な分析についても示している⁸⁶。

これに対し、東京電力では、分析の進捗状況や保管・管理上のリスク等を踏まえて分析優先度の高い廃棄物を抽出し、各廃棄物の特徴を踏まえた性状把握方針及び分析計画を 2023 年に策定している⁸⁷。表 6 に分析計画策定のねらいを示す。その後、特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合等で提示した方針・計画の反映として、水処理二次廃棄物等の固化処理方針策定のための分析、ガレキ類の放射能濃度管理手法構築のための分析、建屋解体物等の解体モデルケースの検討のための分析、分析優先度の見直し、及び試料採取状況等を踏まえた分析数の更新を行っている⁸⁸。今後、計画の取組を実行するとともに、その進捗及び実績を踏まえ、分析計画の不断の見直しを行う。

⁸⁶ 第 112 回特定原子力施設監視・評価検討会 資料 4 - 1、「東京電力福島第一原子力発電所の中期的リスクの低減目標マップ(2024 年 3 月版)」、2024 年 4 月 26 日

⁸⁷ 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議(第 112 回)資料 3 - 4、「東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた固体廃棄物の分析計画」、2023 年 3 月 30 日

⁸⁸ 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議(第 124 回)資料 3 - 4、「東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた固体廃棄物の分析計画の更新について(2024 年度)」、2024 年 3 月 28 日

表 6 分析計画策定のねらい⁸⁷

廃炉進捗に伴う対応	内容
放射能濃度による廃棄物管理への移行	<ul style="list-style-type: none"> ・全ての廃棄物について下記を踏まえた放射能濃度管理へ移行 ✓廃棄物毎の特性に応じた合理的な安全対策等の検討に資するデータ取得 ✓処分・再利用に向けたデータ蓄積・管理（より幅広い放射性核種に対する放射能濃度の管理）
安全で安定的な保管管理の実施	<ul style="list-style-type: none"> ・保管時の廃棄物の挙動評価及び適切な安全対策を検討し、長期にわたり閉じ込めを維持できる保管方法の検討のための廃棄物の物理的・化学的特性の把握
試料採取・分析の高難度化対応	<ul style="list-style-type: none"> ・デブリ取り出しに伴う試料採取、分析難易度の高い試料等に対応できる技術、人材の整備
体系的な試料採取・分析の実施	<ul style="list-style-type: none"> ・代表性に配慮した体系的な試料採取・分析の実施 ・廃棄物毎の特性を踏まえた合理的な性状把握の実施

（出典：東京電力）

これまで、JAEAは、日本核燃料開発株式会社（以下「NFD」という。）及びMHI原子力研究開発株式会社（以下「NDC」という。）とともに、PCV内部調査に伴う堆積物、付着物、固体廃棄物サンプル等の分析を実施してきている^{89,90,91}。これにより燃料デブリや廃棄物の性状の一部が明らかになっている。JAEAでは、これまでの経験と実績に基づいて、廃炉作業を安全かつ着実に進めるニーズの観点で課題解決に必要な燃料デブリの分析対象項目や分析フローを検討している⁹²。JAEAの検討に加え、後述する分析サポートチームの協力を得ながら、燃料デブリの分析計画を策定することになる。

4.2.1.3 分析・評価手法の開発

固体廃棄物は、核種組成や放射能濃度が多様かつ物量が多い特徴を有することから、通常の発電炉における廃棄物確認方法の整備と異なり、スケーリングファクター法、その他の評価方法設定のためのデータ取得、蓄積、整理、統計的手法の適用といった福島第一原子力発電所の固体廃棄物に特有な廃棄物確認方法の整備に係る開発業務が必要である。特に、処理・処分方策検討に必要なインベントリに係る性状把握については、迅速かつ効率的に進めなければならない。このため、データを簡易・迅速に取得するための分析手法を開発、試料前処理の合理化・自動化等に

⁸⁹ I R I D、廃炉・汚染水対策事業費補助金（燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発）2021年度実施分成果、(2022)

⁹⁰ 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第108回）資料3-4、「廃棄物の性状把握に関する最近の成果-主要なリスク源の性状把握」、2022年11月25日

⁹¹ I R I D、令和3年度開始「廃炉・汚染水対策事業費補助金（固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発）」2021年度最終報告、2022年9月

⁹² 燃料デブリ等研究戦略検討作業部会、JAEA、「東京電力ホールディングス㈱福島第一原子力発電所燃料デブリ等分析について」、JAEA-Review 2020-004、(2020)

より迅速化した分析方法の標準化⁹³及び様々な試料形態や難測定核種に対応するための分析手法開発に取り組んでいる。また、この取組とともに、DQOプロセスとベイズ統計を用いた分析計画や統計論的インベントリ推定手法といった、少ない分析データで性状把握を行うための手法の構築への取組を廃炉・汚染水・処理水対策事業等において行っている。今後、分析手法の開発については、JAEAの放射性物質分析・研究施設第1棟において検証を行い、分析手法を確立し、東京電力のニーズを踏まえた分析計画に基づき、性状把握を行う計画である⁹⁴。また、燃料デブリ取り出し時の固体廃棄物については、溶融燃料や構造材料が混在しているため、損傷した支柱や配管等への付着物中にウランが含まれるか否かを迅速に確認することができれば、作業性の向上が期待できる。そのため、簡易（その場）分析の技術開発として、レーザー誘起ブレークダウン分光分析法（以下「LIBS」という。）による技術開発を実施している。

4.2.1.4 分析施設の確保

福島第一原子力発電所の廃炉に必須な施設として、政府の補正予算（2012年度）⁹⁵によりJAEAが放射性物質分析・研究施設の整備・運用を福島第一原子力発電所の隣接地にて実施している⁹⁶。これらは運用開始時に、福島第一原子力発電所の周辺監視区域内の施設として順次設定するため、構外輸送にならない利点がある。これを生かして基礎的な物性を迅速に把握し、安全評価、作業手順等へ反映させることが有効である。このうち第1棟では固体廃棄物の分析及びALPS処理水の第三者分析⁹⁷、第2棟では燃料デブリの分析を行うことを目的としている。第1棟は2022年6月に竣工^{98,99}、10月に特定原子力施設の一部として管理区域等を設定し放射性物質を用いた分析作業を開始し¹⁰⁰、2023年3月にALPS処理水の第三者分析を開始した¹⁰¹。第1棟でのトリチウム分析に関しては、正確な測定/校正結果を生み出す能力があることを示す国際規格である、ISO/IEC 17025の認定を2024年2月に受けている¹⁰²。第2棟は実施計画変更認可申請審査及び事業者選定プロセス中であり、2026年度の竣工を目指している。東京電力

⁹³ I R I D、令和3年度開始「廃炉・汚染水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)」2021年度最終報告、2022年9月

⁹⁴ 第104回特定原子力施設監視・評価検討会 資料1-3-3、「分析・評価手法の開発の流れ」、2022年12月19日

⁹⁵ 第24回特定原子力施設監視・評価検討会 資料3-1、「廃炉関係の研究開発拠点施設の整備について」、2014年7月7日

⁹⁶ 廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議（第52回）資料3-4、「大熊分析・研究センター施設管理棟の開所」、2018年3月29日

⁹⁷ 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第100回）資料4、「放射性物質分析・研究施設第1棟の整備状況について」、2022年3月31日

⁹⁸ JAEA、放射性物質分析・研究施設第1棟（大熊分析・研究センター）の竣工と今後の予定について、2022年6月24日

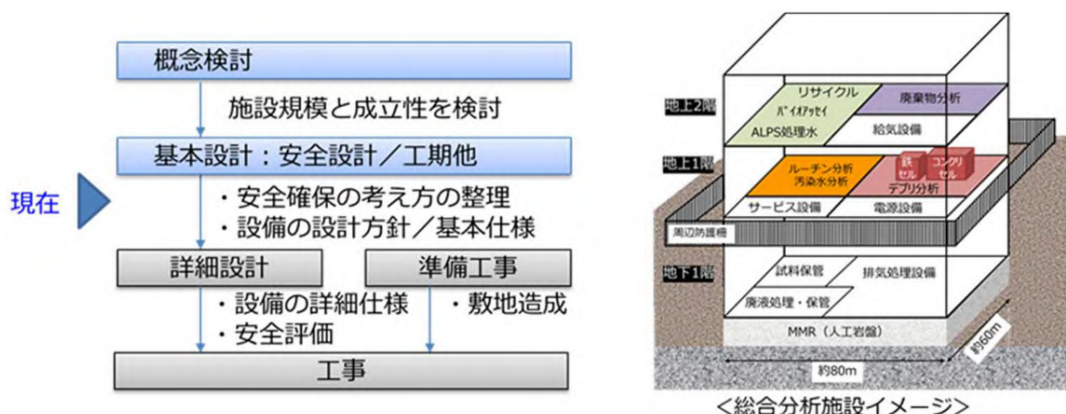
⁹⁹ 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第103回）資料4-1、「放射性物質分析・研究施設第1棟（大熊分析・研究センター）の竣工と今後の予定について」、2022年6月30日

¹⁰⁰ 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第106回）資料その他、「放射性物質分析・研究施設第1棟の分析作業開始について」、2022年9月29日

¹⁰¹ 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門、放射性物質分析・研究施設第1棟におけるALPS処理水第三者分析の開始について、2023年3月30日

¹⁰² 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 福島廃炉安全工学研究所、「大熊分析・研究センター分析部分析課でISO/IEC17025認定証が授与されました」、2024年3月29日

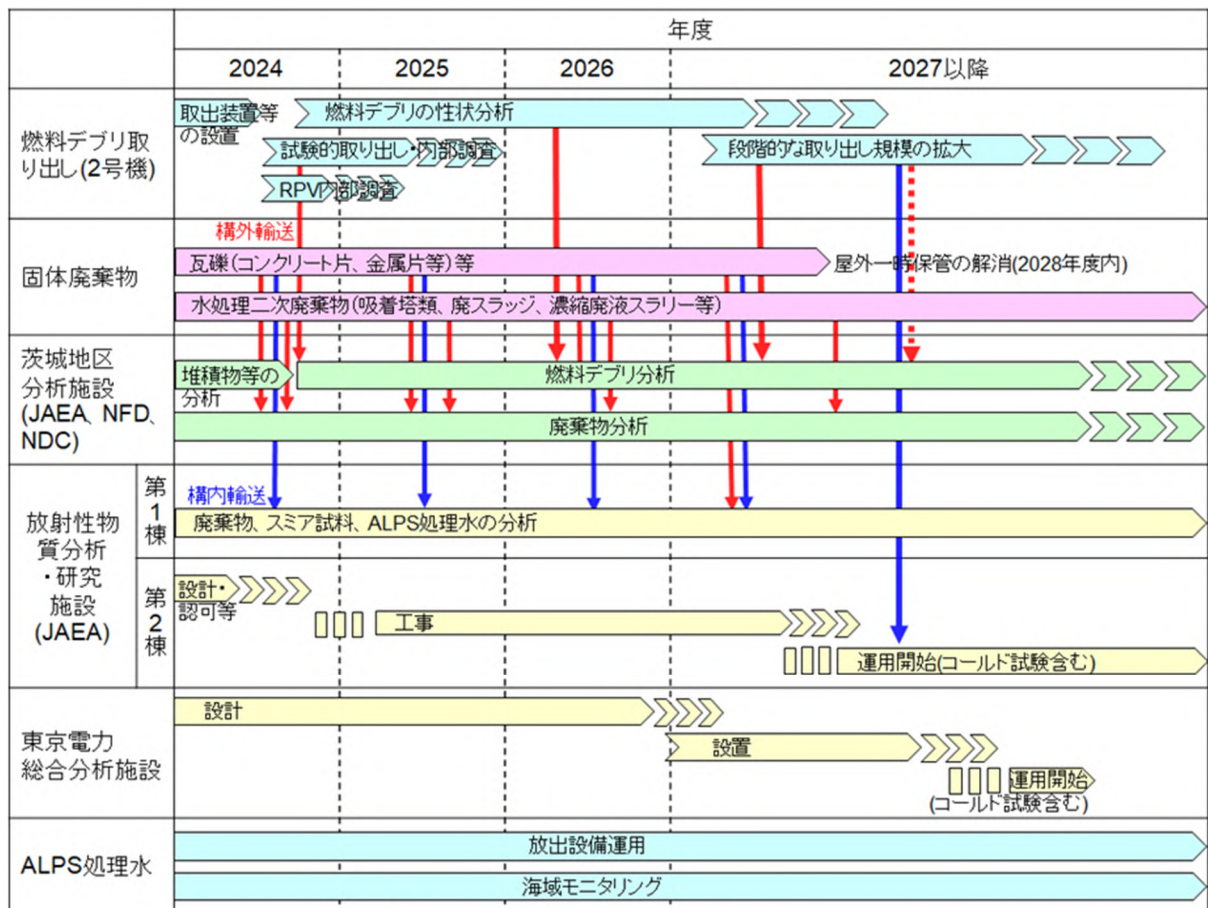
も現行のルーチン分析のほか、燃料デブリや固体廃棄物の分析といった将来の分析ニーズを踏まえた分析施設（総合分析施設）の建設を検討しており、2020年代後半の竣工を目指している。図53に総合分析施設の検討状況と施設イメージを示す。



(出典:東京電力)

図53 総合分析施設の検討状況と施設イメージ

図54に示すように、第2棟と総合分析施設が燃料デブリの試験的取り出し以降の運用開始予定のため、それまでの間、茨城地区の分析施設での分析を行うことになる。燃料デブリに対しては、金属組織観察、ミクロ組織観察、元素マッピング等、固体廃棄物の分析よりも分析項目が多くなるため、第2棟の運用開始以降においては、分析の負荷が集中する可能性がある。第2棟の分析の負荷軽減として、第2棟の運用開始後も高線量を有するサンプルの前処理に特別な技術が必要、あるいは分析や試験に長時間が必要な場合は、(i)研究者、技術者が多くおり、(ii)特殊な分析装置の種類も多く、(iii)閉じ込め・遮へい機能を有するホットセルの数・用途の選択肢が多い茨城地区で引き続き分析を行うことが有効である。現在、第1棟では核燃料物質の使用許可を取得していないが、長期的には第2棟で燃料デブリの溶解、希釈を行った後、第1棟において希釈溶液を用いた分析の可能性を検討し、福島第一原子力発電所の敷地内・隣接地では迅速に分析を行うことができるサンプル優先することも燃料デブリの分析キャパシティの拡大策の一つである。



※ ↓ ↓ (破線矢印) については、サンプルの輸送先を示すものであり、輸送回数とは対応していない。
 ※ ↓ (破線矢印) については、他施設の運用状況により、変更となる可能性がある。

図 54 燃料デブリ取り出しと新設分析棟の工事・運用スケジュール

固体廃棄物の分析についても、燃料デブリの取り出しの進捗に伴い、微細な燃料デブリや核分裂生成物を捕獲したフィルタ等、これまで経験していない固体廃棄物が発生することが予想される。このような経験が乏しく、かつ、高線量の固体廃棄物については、上記と同様の理由により茨城地区で分析することが望ましく、第1棟の運用開始後もしばらくの間は茨城地区での固体廃棄物分析を継続することが必要である。これらを踏まえ、福島第一原子力発電所の敷地内・隣接地の分析施設と茨城地区の分析施設では、使用許可の対象核種や構外輸送の有無等が異なることから、特徴に応じた役割分担とし、燃料デブリ及び固体廃棄物の分析データの拡充を図ることが有効である。ただし、茨城地区の分析施設はいずれも運用開始後 30 年以上経過しており、特に、JAEA では施設の集約化・重点化を計画している¹⁰³ことから、今後も使用を継続する施設に関して使用時期を検討する必要がある。

¹⁰³ JAEA、「施設中長期計画」、2022年4月1日

4.2.1.5 分析人材の確保

茨城地区の分析施設はもとより、福島第一原子力発電所の敷地内・隣接地の分析施設では安定的な施設稼働を継続するために必要な人的資源は不足しており、分析人材の確保と維持の検討が必要である。この際には、種々の分析業務に対して各分析人材に期待される資質をあらかじめ考慮し、求められる役割が適切に達成されるように分析人材を計画的に育成することが重要である。東京電力では、現体制の117名に加え、固体廃棄物の分析に対して2030年代に向けて30名程度の追加人員が必要になると試算しており、廃炉・汚染水・処理水対策事業の分析関連プロジェクトに参画させて実践経験を積みながら育成することを2023年度より開始している¹⁰⁴。JAEAの施設中長期計画では廃止措置を含むバックエンド対策の実施を示しており、JAEAにおいても廃止措置に関連する分析に必要な人材の育成は重要な問題である。JAEAでは、茨城地区、大学を活用した分析技術ネットワークを形成し、JAEA大熊分析・研究センターの分析の検証、分析技術の高度化等を実施することを通じて人材の確保・育成を図っている¹⁰⁵。東京電力及びJAEAが時間経過に伴う分析ニーズの変化と課題を相互に抽出、連携しながら人材育成を進め、資源エネルギー庁、NDF等の関係機関も支援を行うことが必要である。

通常の原子力発電所においては、燃料は燃料被覆管の中に密封されており、福島第一原子力発電所においても事故前は非密封状態の放射性核種を直接取り扱うことはなかった。事故により生じた燃料デブリは、非密封状態の燃料、核分裂生成物を含んでおり、分析の際には、内部・外部被ばくや汚染拡大のリスクを伴うことになる。このため、東京電力にとっては経験の少ない分野での人材育成を可能な限り短時間で行わねばならない。放射性核種の取扱いや燃料の分析技術に関して十分な知識と経験を有するJAEA及び民間企業の協力^{106,107}を得ながら、東京電力が分析技術者の育成に効率的に取り組むことが必要である。東京電力 - JAEA間での人材交流及び東京電力へのNFDからの人材の受入れの状況を表7に示す。

表7 東京電力 - JAEA間の人材交流及び東京電力へのNFDからの人材の受入れの状況

		年度						
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
東京電力 JAEA	出向・派遣・外来研究員	1	1	3	3	4	4	3
	移籍・再雇用	0	0	0	1	0	1	0
JAEA 東京電力	出向・派遣等	0	3	11	4	1	1	1
	移籍・再雇用	0	0	1	0	0	0	0
NFD 東京電力	出向・派遣	0	0	1	0	0	0	0
	移籍・再雇用	1	1	0	1	0	0	0

2024年度は2024年7月末時点

¹⁰⁴ 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合 / 事務局会議 (第112回) 資料3 - 4、「東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた固体廃棄物の分析計画」, 2023年3月30日

¹⁰⁵ 第12回廃炉研究開発連携会議 資料3 - 3、「分析人材等JAEAの人材育成の取組について」, 2024年4月4日

¹⁰⁶ 東京電力、日本原燃㈱、「福島第一原子力発電所の廃止措置に関する技術協力についての協定書」の締結について、2022年1月27日

¹⁰⁷ 東京電力、日本核燃料開発㈱、「福島第一原子力発電所デブリ分析業務等の協力に関する覚書」の締結について、2022年8月1日

福島第一原子力発電所構内の分析作業員においては、これまで主に液体試料の分析経験のみであったため、総合分析施設の立ち上げに向けて、第1棟においてホットセルやグローブボックスを用いた高線量試料の分析トレーニングを行うとともに、2023年度から将来の分析技術者候補を派遣し、研究開発に参加することで分析技術者の育成を実施している¹⁰⁸。

今後、想定される分析需要の拡大に伴い、あらかじめ分析結果の活用方法を見越した分析計画の立案が可能な高度な人材が必要となることが予想される。この業務を担う分析評価者としては、(i)評価結果を廃炉工程上必要な箇所（取り出し工法、保障措置、保管・管理、処理・処分）へ適切に反映させること、(ii)次のサンプル採取において適切な指示を出せること、及び(iii)分析結果から事故事象を論理的かつ的確に理解していることが求められる。しかしながら、個人でこれらの全ての能力に対応することは困難である。そのため、図55に示す「分析調整会義」及び「分析サポートチーム」をNDF内に組織した。分析調整会議は対象物の種類と数の増加に対応する分析計画の確認や課題解決に関する助言を行うこととしている。分析実務に豊富な経験・知見を有する研究者、技術者から構成された分析サポートチームは提起された課題の解決に向けた議論・検討を行い、課題解決手法の提案、進捗状況の報告を行うこととしている。NDFは、分析調整会義及び分析サポートチームの第1回会合を2023年8月に開催し、分析の計画と課題解決に向けた議論を行った¹⁰⁹。一例として、分析データの信頼性を向上させるための技能試験について議論されており、それを受けて、NDFでは固体廃棄物の分析技術を確認する試験方法について検討している。

2024年秋に第2回分析調整会議の開催を検討しているとともに、分析サポートチームの中で課題に対応したワーキンググループ(WG)の一つとして、燃料デブリ分析の評価検討WGを設けるべく、準備を進めている。燃料デブリの試験的取り出しが開始されることから、燃料デブリ分析の評価検討WGでは、これまでPCV内部調査等から得られた付着物、堆積物の分析結果と燃料デブリの分析結果について、幅広く、かつ深い議論を行い、得られる考察を事故進展、保管・管理、処理・処分等の関連分野へ横断的に反映させることを目的としている。さらに、今後の保管・管理、処理・処分の検討に向けて、燃料デブリサンプルから取得すべきデータとその重要性、取得方法について検討する。WGのメンバーについては、議論の継続性の観点から、今後、約10年間は議論に参加可能な若手、中堅の研究者、技術者等を中心とし、東京電力もオブザーバーとして参加し、議論を通して、分析評価者、分析技術者の育成を図ることを目指している。

¹⁰⁸ 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議(第112回)資料3-4、「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた分析体制の整備に係る当面の対応について」、2023年3月30日

¹⁰⁹ 第1回分析調整会議 議事要旨、2023年8月24日

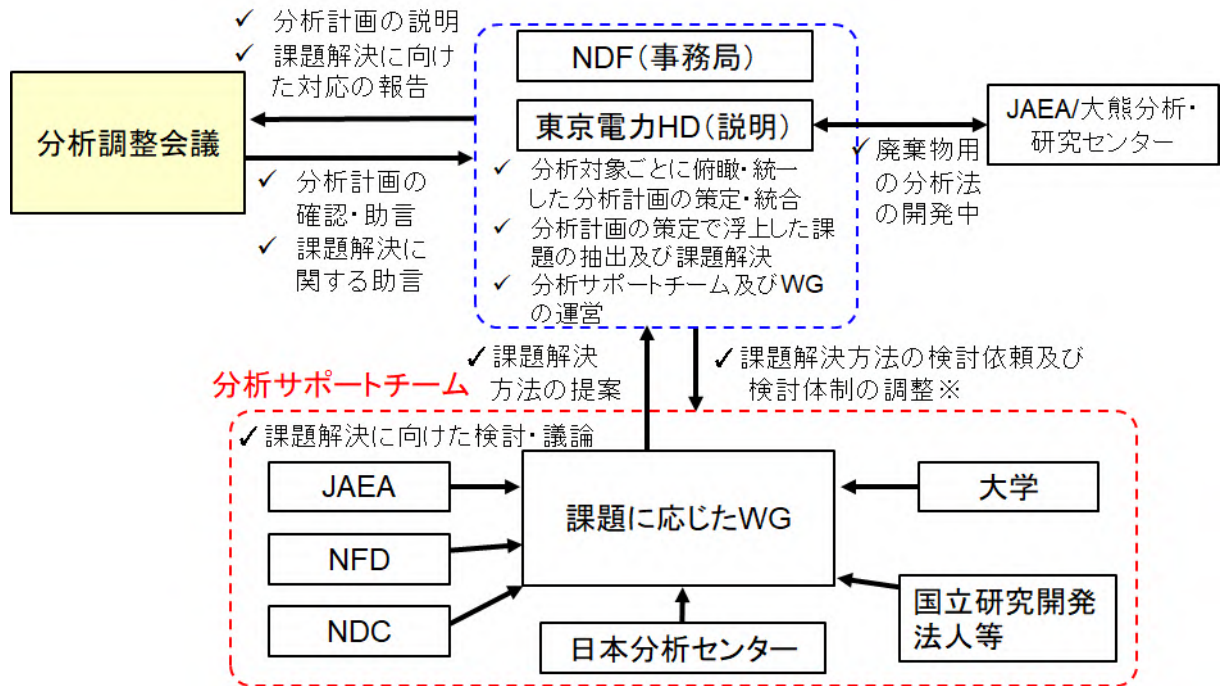


図 55 分析調整会議と分析サポートチームの構成

4.2.2 分析結果の品質向上

燃料デブリは、難測定核種、妨害元素、不溶性物質等を含み、サンプルの均一溶解、同重体の選別等の前処理や測定時の課題があることから、分析により微量成分までの全ての元素、同位体の同定・定量を精密に行うことは難しい。このため、誤差要因の影響を考慮してサンプルの分析結果に対して多角的な視点を持つことが重要である。サンプルの分析結果の検証の意味も兼ねて、解析、調査、試験結果等の既存知見と照らし合わせて検討し、矛盾のない性状評価を導出することが分析結果の信頼性を向上させ、分析結果の品質向上へつながることになる。

分析結果の品質向上のため、JAEA、NFD、NDC、東北大学が協力して共通試料を用いて化学分析や構造解析を2020年度から実施している^{110,111}。現在は燃料デブリデータ拡充のため、茨城地区の事業所間において、最新の分析技術を用いてTMI-2デブリの分析を実施している。また、事故時の挙動等を推定する活動を東京電力とJAEAが協力して実施している¹¹²。

国際的な議論を行い、事故進展や燃料デブリ分析・評価技術を吸収するための場として、OECD/NEAのプロジェクトとして実施してきた、BSAF、BSAF-2、PreADES及

¹¹⁰ JAEA、令和3年度開始 廃炉・汚染水対策事業費補助金に係る補助事業「燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発（燃料デブリの分析精度の向上、熱挙動の推定及び簡易分析のための技術開発）」2022年度最終報告、2023年10月

¹¹¹ 池内、小山、逢坂ら、JAEA、「燃料デブリの分析精度向上のための技術開発2020年度成果報告（廃炉・汚染水対策事業費補助金）」、JAEA-Technology 2022-021、(2022)

¹¹² JAEA、令和4年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発（原子炉圧力容器の損傷状況等の推定のための技術開発）」2022年度最終報告、2023年9月

びA R C - F が終了し、2022 年7月からF A C E プロジェクトが開始されている¹¹³。F A C E プロジェクトは、(i)核分裂生成物の移行挙動や水素爆発等を含む事故進展に係る詳細な検討、(ii)原子炉建屋等から採取されたU含有粒子の特性評価及び廃止措置に向けた燃料デブリ分析技術の構築、(iii)データ、情報の収集及び共有をスコープとしている。13か国から24機関が参加し、我が国からは、原子力規制庁、資源エネルギー庁、J A E A、一般財団法人電力中央研究所、一般財団法人エネルギー工学総合研究所及びN D F の6機関が参加している。

固体廃棄物においては、限られた分析データから多量の固体廃棄物全体の性状を把握するため、必要な精度を効率的に担保するアプローチが重要となり、D Q Oプロセスを用いた効率的な分析計画法、及びベイズ統計を用いた統計論的インベントリ推定方法の開発を進めている。

分析データの品質の指標の一つとして不確かさや検出下限値等の精度があるが、精度と計測時間は相互に関連しており、計測時間を長くすれば、精度の向上は期待できる。一方で、計測時間が数週間から数か月を要するのであれば、分析量の増加に対応することは困難となる。そのため、分析目的、対象物、分析手法に応じて、精度、計測時間及び当該分析手法による計測頻度を適切に選択することも重要である。

4.2.3 サンプルサイズ・量の増加に向けた分析技術の多様化

4.2.3.1 多様な分析・計測手法による総合的な評価

現在の付着物等のサンプル分析は、スミアサンプル等を茨城地区の分析施設へ輸送後、電子顕微鏡を用いた分析を中心に行っている。微小、少量のサンプルでは、密度や硬さ等の測定不可能な項目があるため、今後、燃料デブリ取り出し工程の進捗に伴い、サンプルのサイズ、量共に増加させる必要がある。ホットセル内の分析工程ではマニピュレータを用いての分析であり、一つの工程ごとに時間を要する上、各々のホットセルでは取り扱える核種ごとに使用量が定められていることから多量に分析することは困難である。このため、取り出し・保管量と分析量の間大きな離が生じてしまう。

特に、燃料デブリは不均質性を持つために採取された部位に応じて分析値に幅がある上、十分な量を分析できる状況ではなく、評価における不確かさに幅が生じることになる。分析品質の向上やサンプル量の改善に制限がある中で、従来のホットラボでのサンプル分析での数量の増加に注力するだけでなく、他の分析・計測手法の多様化も必要である。他の手法により得られる分析項目の短所、長所を把握した上で、分析結果の用途に応じて相互に補完することを検討し、総合的な評価をすることが有効である。また、用途によっては、単独の項目を計測することしかできない手法を検討することも価値がある。

4.2.3.2 サンプル分析と非破壊計測の利用

ホットラボ施設でのサンプル分析では多くの分析項目を行えるが、分析に要する時間は長く、1回の分析量も少量である。試料そのものが核燃料を含み、放射性物質の微粒子が付着している

¹¹³ Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency、「Post-Fukushima Daiichi accident nuclear safety project FACE begins」,(2022)

可能性も高いことから、被ばく事故や汚染拡大のリスクを伴うことになる。機器の養生、除染、分析時に生じた放射性廃液の処理等に割くリソースも常に一定以上あり、迅速に多量のサンプル分析を行うことは困難である。

サンプル分析の結果を補完する分析・計測の手法の一つとして、サンプルから放出、散乱、又は透過した放射線、量子等を利用して、サンプルを破壊せずに核燃料や放射能の量等を評価する手法（以下「非破壊計測」という。）がある。表 8 に分析施設内で実施するサンプル分析と分析施設外で実施する非破壊計測の項目やサンプル量等を相対的に比較したものを示す。サンプル分析では多くの分析項目を行えるが、分析に要する時間は長く、1回の分析量も少量である。固体廃棄物のうち、燃料デブリ取り出しに伴って発生する高線量廃棄物については、非破壊計測可能な Cs-137 や Co-60 等からの 線を計測し、これらの核種を指標として、その他の難測定核種等の放射能評価を目指した技術開発を実施している。非破壊計測ではサンプル分析よりも計測可能な項目が少ないものの、計測時間は短く、1回の計測につき多くの量が計測でき、汚染拡大防止のために密封容器に対象物を収納しての計測も可能であり、放射性廃液の発生もない。

表 8 分析施設内で実施するサンプル分析と分析施設外で実施する非破壊計測における主要諸元の相対比較

	分析施設内で実施する* サンプル分析	分析施設外で実施する** 非破壊計測
分析・計測時間	長(△)	短(○)
分析・計測項目	多(◎)	少(△)
1回の分析・計測量	少(△)	多(◎)
廃液の発生	有(△)	無(○)
分析・計測時の閉じ込め性	非密封	非密封、密封どちらも可
ダスト対策	必要	必要
放射線の遮へい施設	必要	必要

◎：優 ○：良 △：可

*: 燃料デブリのサンプルを取り扱うのに適したホットラボ等の分析専用の施設内での実施。
 **: 燃料デブリを取り出して保管・管理するまでの工程で利用する施設であり、分析専用ではない施設での実施。

燃料デブリは核燃料の溶融時に周囲の制御棒(中性子吸収材)を取り込んでいるため、中性子を利用した非破壊計測技術では正確性に懸念が示されている。また、燃料集合体が健全であれば、透過力の強い 線源である Cs-137 からの 線を計測することで燃焼度を評価する手法も利用できたが、核燃料の溶融時に Cs-137 が揮発してしまったために 線量と燃焼度の対応が取れなくなっている。このように、燃料デブリには、非破壊計測の阻害要因が含まれているため、それら阻害要因が計測に及ぼす影響の程度を確認する必要がある。このため、廃炉・汚染水・処理水対

策事業において、シミュレーション解析と既存試験装置を活用した実測試験により現場適用を目指した技術開発を実施している¹¹⁴。

非破壊計測を適用する場合の一例として、燃料デブリ取り出しから、保管・管理までのハンドリング工程での非破壊計測の利用を図 56 に示す。図中の[非破壊計測]では固体廃棄物のレベル分け、[非破壊計測]では未臨界維持、[非破壊計測]では輸送・保管用の値付けを目的としている。図 56 は一例の提示であり、今後の研究開発、検討の結果に応じて変更となる可能性があるが、非破壊計測を燃料デブリの収納容器又は固体廃棄物の保管容器に対して実施できれば、サンプル分析数の補助、最小臨界質量未満の迅速な確認、未臨界状態を維持しての次の工程への移行、保管・管理時の負担軽減等に資することが可能となる。このとき、サンプルの分析数、サンプル採取時の座標情報等のサンプルに関する情報量を増やしてデータの信頼性を向上させながら、可能な限り燃料デブリの持つ性状の不確かさの幅を小さく抑えることが望ましい。

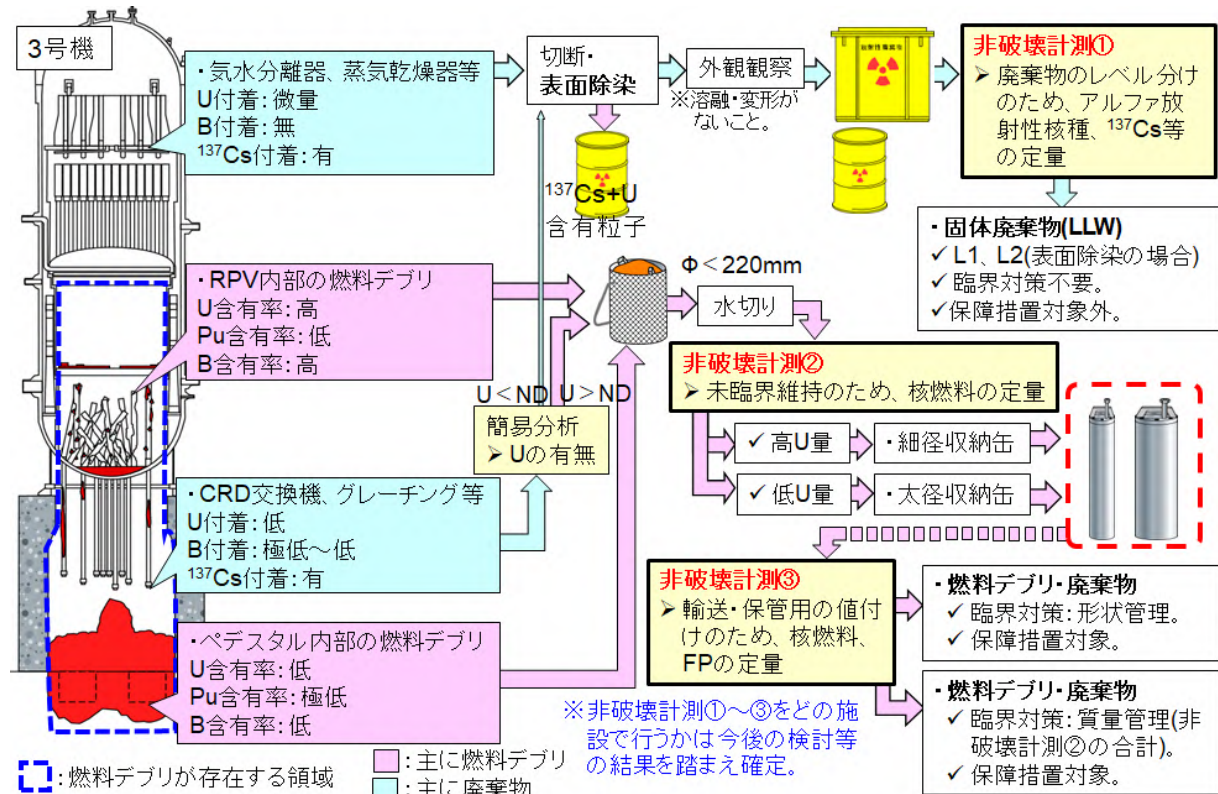


図 56 燃料デブリ取り出し後のハンドリング工程における非破壊計測の一例

非破壊計測技術のうち、核燃料の核分裂に伴う中性子の検出する手法、素粒子ミュオンの散乱を利用する手法については、核燃料を含む燃料デブリ及び核種に汚染した固体廃棄物を対象とした計測には有効であるが、核種を含まない固体廃棄物には適さない。一方、核分裂生成物や

¹¹⁴ I R I D、令和4年度開始廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金「燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発(仕分けに必要な燃料デブリ等の非破壊計測技術の開発)」最終報告、2023年10月

放射化生成物からの線測定する手法やX線CT法については、核種を含まない固体廃棄物においても容器の内容物の情報を取得可能であり、工業用、医療用では実用化している。

4.2.3.3 分析数の改善

燃料デブリ取り出し時には、汚染状況のモニタリングのため、多くのサンプルを採取し、分析する必要がある。このうち、放出するエネルギーが弱い、あるいは微量の放射性核種は放射線の検出が困難であることから、質量分析を行うことになる。サンプル数が多くなれば、比例して前処理を含む分析に要する全体の時間も長くなり、汚染状況のモニタリングに支障を来すことになる。核燃料物質、難測定核種等の分析における迅速化・効率化を目指して、これらを同時に自動定量するための技術開発を実施している。

いずれのサンプルに対しても全体を把握するために分析数を増やすことは重要であるが、燃料デブリやセシウム吸着塔サンプルのような高線量を有し、サンプルの採取自体が困難な場合については、分析数が足りていない。採取装置の開発等を通して、採取数の改善を図ることも重要である。

4.3 分析戦略のまとめ

4.3.1 燃料デブリの分析

燃料デブリの試験的取り出しの際に、採取された燃料デブリのサンプルは茨城地区へ輸送後、分析が開始される。それに備えて、燃料デブリの分析体制の整備、分析結果の精度向上、国内及び国際的な議論等を進めてきた。年間の分析数が6～12サンプル程度であれば、茨城地区への輸送の準備も含めて対応可能と見込まれることから、試験的取り出しでの燃料デブリ分析については、茨城地区で十分に対応可能と判断している。その後の段階的な取り出し規模の拡大では分析するサンプル数が徐々に増加することになり、確実に分析を行うためにも、JAEAの放射性物質分析・研究施設第2棟の整備を着実に進める必要がある。続く取り出し規模の更なる拡大に向けて、総合分析施設の検討、非破壊計測システムや簡易分析の技術開発との連携も重要である。また、燃料デブリの処理・処分方法は第3期に決定することから、採取した燃料デブリを用い、熱物性や水の放射線分解による水素の発生量の測定等の処理・処分に関連するデータの取得を検討する必要がある。このため、試験的取り出しの開始に伴い、これらの課題に係る検討を一層進めていく。

4.3.2 固体廃棄物の分析

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

5. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた研究開発への取組

5.1 研究開発の意義と現状

福島第一原子力発電所の廃炉を安全、確実、合理的、迅速及び現場指向の視点で推進していく上では、研究開発が必要となる困難な技術課題が多数存在する。2024年3月、小委員会において工法選定への提言が示されたことを踏まえ、2030年代に予定されている燃料デブリの取り出し規模の更なる拡大に向け、現場での適用を見据えた研究開発を重点化・加速化する必要がある。

これら技術課題を解決するため、国内外の大学やJAEA等の研究機関による基礎基盤研究及び応用研究、メーカー、東京電力等による応用研究、実用化研究、現場実証等が海外企業を含む産学官の多様な主体により実施されている（図57）。

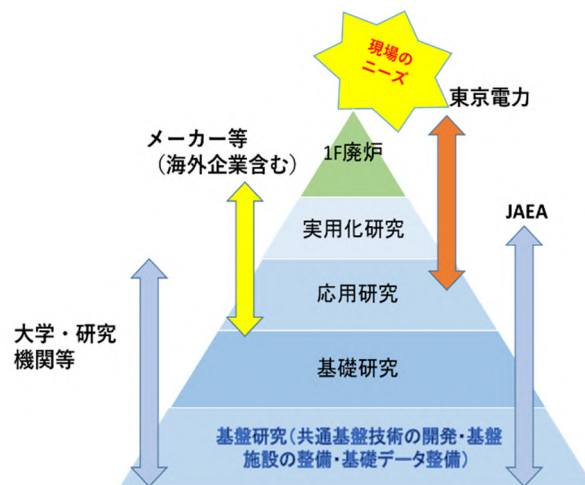


図57 廃炉研究開発の研究範囲と実施機関

政府は、廃炉に向けた応用研究、実用化研究のうち技術的難易度の高い課題の解決を目指すため廃炉・汚染水・処理水対策事業（以下「廃炉補助事業」という。）により、また、国内外の大学、研究機関等の基礎基盤研究及び人材育成の取組を推進するため「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業（以下「英知事業」という。）」により各機関が行う研究開発を支援している。

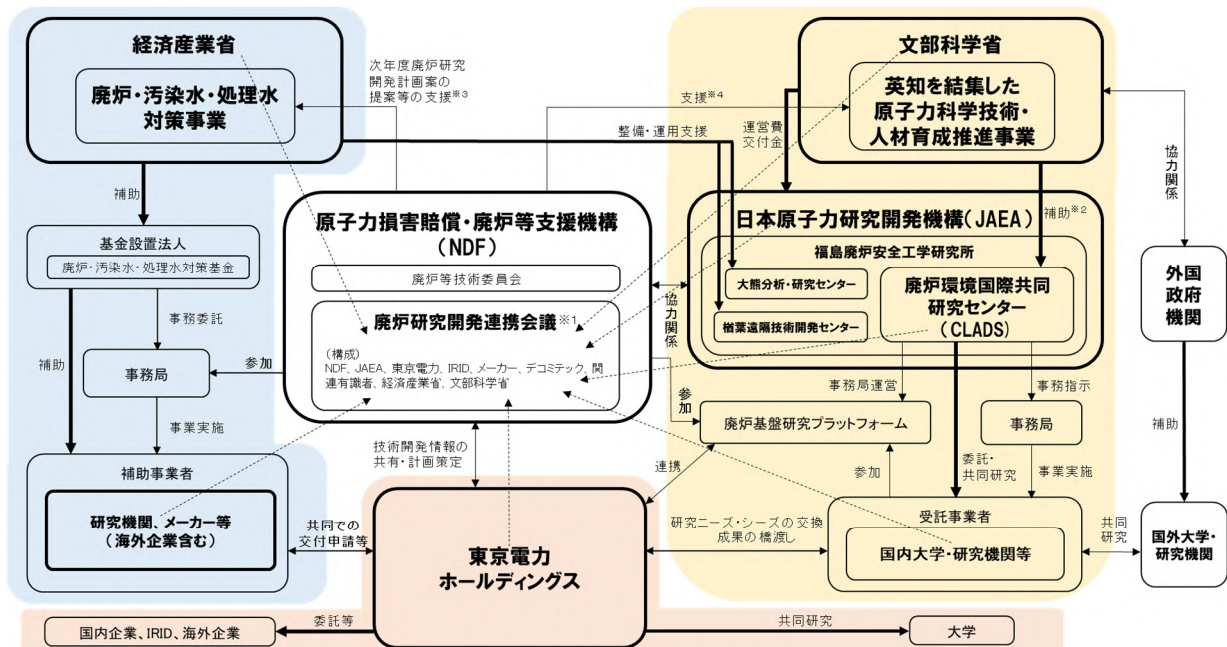
東京電力においては、現場適用に直結した技術開発に取り組むとともに、廃炉中長期実行プランに紐づいた研究・技術開発課題の抽出と解決策の検討、技術開発の進捗管理と開発計画への反映等を行っている。

NDFにおいては、研究開発中長期計画や廃炉補助事業の次年度研究開発計画の企画検討及び英知事業の支援を行うとともに、関係機関の代表者や大学等の有識者をメンバーとする「廃炉研究開発連携会議」を設置し、研究開発のニーズとシーズの情報共有、廃炉作業のニーズを踏まえた研究開発の調整、研究開発・人材育成に係る協力促進等の諸課題について検討している。また、基礎基盤研究と応用実用化研究の連携強化が廃炉研究開発連携会議等を通じて進められている。

JAEAは英知事業の実施主体として基礎基盤研究、人材育成を推進するとともに、廃炉補助事業においてJAEAの知見や経験等を活用し燃料デブリの性状把握のための分析・推定、廃棄

物対策等の研究開発において主要な役割を果たしている。なお、JAEAは2024年4月に組織改正を実施し、福島研究開発部門が福島廃炉安全工学研究所と名称を変更した。

廃炉研究開発は、経済産業省の行う廃炉補助事業、文部科学省の行う英知事業及び東京電力独自の技術開発の三つが主要な開発である。これら研究開発実施体制の概略を図58に示す。



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

図58 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

炉内調査の進展により廃炉作業の現場ニーズが明確になってきたこと、東京電力が燃料デブリ取り出しに向けたエンジニアリングを開始していることを踏まえ、2023年度から廃炉補助事業の主要な実施主体はこれまでの国際廃炉研究開発機構(以下「IRID」という。)中心から東京電力ニーズをベースにし、研究機関、メーカー等を実施主体とした体制となってきた。これに伴い、研究開発の実施主体と東京電力の円滑な連携が求められている。NDFは、このような実施主体の移行に対処するため、情報提供依頼(Request for Information(以下「RFI」という。))を2022年度から、補助事業に対する事業レビューを2023年度から立ち上げ、研究開発内容の企画提案や補助事業の現場適用性の向上において廃炉補助事業の支援を強化している。

2024年3月に小委員会の報告書が出され、この中で燃料デブリ取り出しに係る工法選定への提言が示された。これを受け、2030年代に予定されている燃料デブリの取り出し規模の更なる拡大に向け東京電力においてエンジニアリングを進めるとともに、関係機関(東京電力、JAEA、NDF等)は基礎基盤研究を含む課題の検討を行い廃炉補助事業、英知事業、東京電力の技術開発において燃料デブリ取り出しに係る研究開発を重点化・加速化していくことが求められる。

現在、福島第一原子力発電所においてはPCV内部調査や燃料デブリの試験的取り出しが進められているが、その際には、ROVなどのPCV内調査装置やロボットアームなどの廃炉補助事

業の開発成果が活用されるとともに、東京電力が技術開発した無線小型ドローン・ヘビ型ロボット、テレスコ式装置が使用され、廃炉補助事業と東京電力の技術開発が組み合わせられた補完的な形で進められている。東京電力の技術開発については、廃炉補助事業との役割分担をしつつ、今後も積極的に取組を進めていくべきである。

また、その場分析を可能にするLIBS¹¹⁵や燃料デブリ取り出しの充填材候補であるジオポリマーなど英知事業の成果が廃炉補助事業の研究開発の中で取り上げられるなど現場適用に向けての開発が進められており、基礎基盤研究と応用実用化研究の連携が図られつつあるが、更に連携を促進していくことが望まれる。

このほか、NDFは、福島国際研究教育機構（F-REI）での研究開発や人材育成の状況について、引き続き意見交換を行っていくとともに、F-REIが廃炉に生かすことのできるロボットの研究開発を視野に入れていることも踏まえ、東京電力、F-REI、NDFの三者で情報共有を行っていく。

5.2 主な課題と戦略

5.2.1 研究開発中長期計画

NDF及び東京電力は、福島第一原子力発電所の廃炉に係る研究開発が網羅的、計画的、効率的に進むように、廃炉の今後約10年程度の研究開発の全体を俯瞰した研究開発中長期計画を2020年度から毎年度作成更新している。研究開発中長期計画は、政府の中長期ロードマップを実現するための廃炉の具体的作業プロセスである東京電力の廃炉中長期実行プランに基づき、求められる研究開発を洗い出し、その研究成果が必要とされる時期に適切に反映されるよう作成している。また、2022年度からは基礎基盤から応用実用化まで廃炉研究全体を統合した計画とするため関連する基礎基盤研究についても計画に含めている。2023年度からは、東京電力、デコミテック、JAEA及びNDFの四者で福島第一原子力発電所廃炉の研究開発の連携強化のための課題共有（以下「四者連携活動」という。）を行い、その検討結果を研究開発中長期計画に反映している。2024年度においては、小委員会において工法選定への提言が示されたことを踏まえ、基礎基盤研究を含む課題検討及び実施の具体化検討を四者連携活動の中に設置する特別タスクにおいて進め、重点化、加速化すべき研究開発を抽出し、その結果を研究開発中長期計画に反映している。研究開発中長期計画を添付資料17に示す。

¹¹⁵ レーザー誘起ブレイクダウン分光法（Laser Breakdown Spectroscopy）：気体、液体、固体等の測定対象物にパルスレーザー光を直接集光照射してプラズマを発生させ、生成プラズマの発光を分光してその場で迅速に元素組成を計測する手法

5.2.2 廃炉・汚染水・処理水対策事業への取組

(1) 廃炉・汚染水・処理水対策事業の概要

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

a. 事業の目的

廃止措置を進めていく上で、技術的に難易度が高い研究開発等を支援し、国が前面に立って、廃炉・汚染水・処理水対策の取組を安全かつ着実に進めることを目的とする。

b. 事業の枠組み

国からの補助により造成した基金により研究開発を支援する。

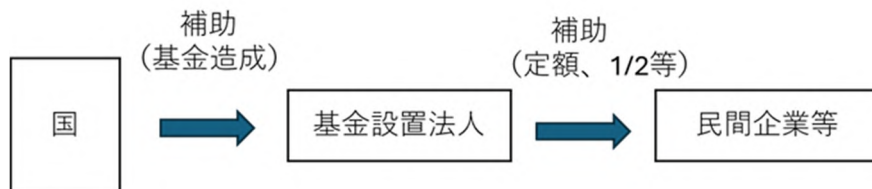


図 59 廃炉補助事業の枠組み

c. これまでの取組

福島第一原子力発電所の廃炉を成し遂げる上で、解決すべき主要な課題としては以下があげられる。

使用済燃料プール内からの使用済燃料集合体の移動と安全な保管

汚染水の処理と発生量の低減

炉心溶融により発生した燃料デブリの取り出しと安全な保管

事故により発生した廃棄物及び今後燃料デブリ取り出しに伴い発生する廃棄物の保管、処理、処分

これらのうち、使用済燃料プール内からの使用済燃料集合体の移動と安全な保管及び汚染水の処理と発生量の低減に関する研究開発については、2011 年度から研究開発が実施され、至近の課題解決に向けて一定の目途がついたため 2016 年度までに研究開発は終了し、東京電力のエンジニアリングフェーズに移行している。の燃料デブリ取り出しに係る研究開発及びの廃棄物対策に係る研究開発については、検討範囲が多岐にわたるとともに難度の高い技術課題を多く含むことから、2011 年度の事故直後から今日に至るまで研究開発が継続して実施されてきている。研究開発のこれまでの取組と主な成果を添付資料 18 に示す。

d. 現在取り組んでいる研究開発

現在取り組んでいる研究開発及び関係性は以下のとおりである。なお、研究開発テーマの選定理由、開発成果と課題は添付資料 19 に示す。

【燃料デブリ取り出しに係る研究開発】

- P C V 内部調査
- R P V 内部調査
- 燃料デブリの性状把握に関する研究開発
- 原子炉建屋内の環境改善に関する研究開発
- 燃料デブリ取り出し工法に関する研究開発
- 安全システムに関する研究開発
- 燃料デブリの収納・移送・保管に関する研究開発
- 福島第一原子力発電所の廃止措置統合管理のための支援技術の開発

【廃棄物対策に係る研究開発】

- 固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発

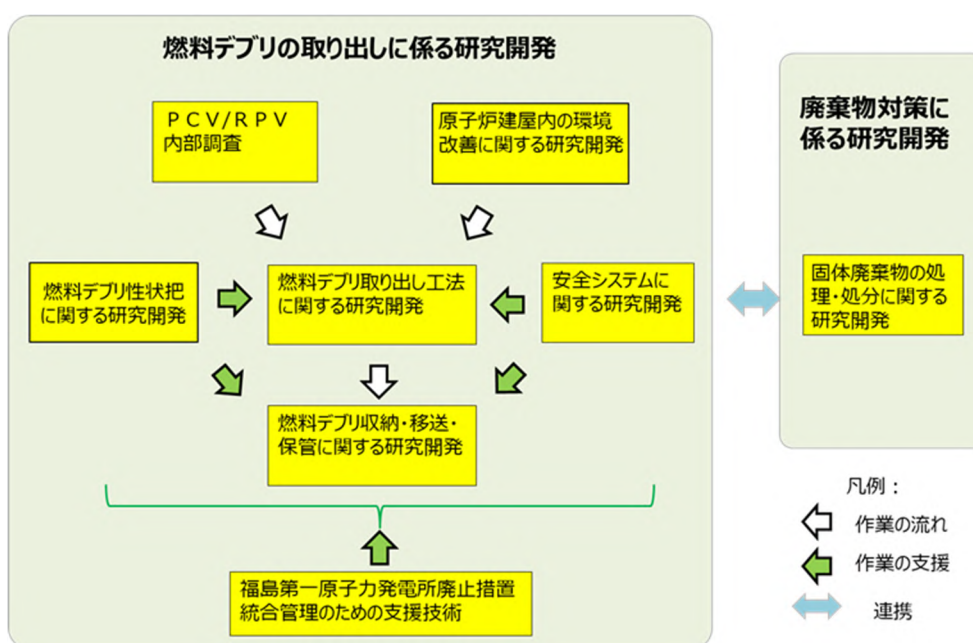


図 60 各研究開発の関係性

以上のように、廃炉補助事業の実施により徐々に炉内状況が明らかとなり、課題解決に向けての検討が進んできているが、廃炉の完遂までには依然として必要な研究開発が多く存在すると想定されるため、引き続き、廃炉補助事業は廃炉の完遂のための重要な研究開発事業として推し進めていくべきである。

(2) 次年度廃炉研究開発計画

N D F は、廃炉補助事業を円滑、着実に推進するため、毎年度、直近 2 年間の次年度廃炉研究開発計画を策定している。次年度廃炉研究開発計画は、東京電力、経済産業省と調整検討し、文部科学省も参加する研究開発企画会議で確認の上、N D F の委員会である燃料デブリ取り出し専門委員会、廃棄物対策専門委員会での審議を経た後、廃炉等技術委員会

しNDF提案として取りまとめている。この次年度廃炉研究開発計画は、経済産業省から廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議に報告され、これに沿って廃炉補助事業が実施されている。2024年2月の第123回廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議¹¹⁶で報告された次年度廃炉研究開発計画としての2024年度廃炉研究開発計画一覧を図61に示す。



図 61 2024 年度廃炉研究開発計画一覧

次年度廃炉研究開発計画の検討においては、これまでの研究開発成果を評価し、更に達成度を向上すべき課題や新たに出てきた課題を抽出するとともに、福島第一原子力発電所の廃炉に向けて取り組むべき研究開発内容を広く募集するRFIにより提案された案件について必要性、優先度の観点で取り上げるべき課題を選定して技術課題を整理している。課題の抽出に当たっては、網羅的に課題を抽出するとともに、各課題が廃炉の実施主体である東京電力のニーズに沿ったものであることを確認し、研究開発成果が東京電力のエンジニアリングに活用されるものを目指すことが重要である。

今年度の次年度廃炉研究開発計画の検討においては、小委員会から燃料デブリ取り出し工法選定への提言が示されたことから、提言を踏まえた技術課題に着目して選定を行う。

(3) 廃炉・汚染水・処理水対策事業に係る課題と対応

5.1 研究開発の意義と現状に記したように、廃炉研究開発はIRIDによる技術研究組合主体の取組から東京電力のエンジニアリングに基づく開発を進める段階になってきている。こ

¹¹⁶ 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議(第123回)資料4、「2024年度廃炉研究開発計画について」、2024年2月29日

これらの環境変化を踏まえ、2023年度から、廃炉補助事業の実施主体は研究機関、メーカー等になり、東京電力が補助事業者と共同での交付申請を行い補助事業者との円滑な連携を図るとともに、事業のプロジェクト管理に責任を持つ体制としている。こうした新たな実施体制に移行したことに対処するため、NDFは、研究開発の企画提案機能の確保のためにRFIを、研究開発成果の現場適用性確保に係る機能をより一層強化していくため事業レビューを実施し、廃炉補助事業を円滑、着実に推進している（図62）。

a. 情報提供依頼（RFI：Request for Information）

RFIは、研究開発の企画提案として、福島第一原子力発電所の廃炉に向けて取り組むべき研究開発内容を広く募集する取組である。具体的には、研究開発テーマ、研究開発の内容（解決すべき技術的課題と実施内容）、研究開発の規模、想定される共同研究開発先、研究開発分野等について公募により情報提供を求めるものである。これまでのIRIDを中心とした補助事業の体制においては、新たな事業者の参入が少なかったことと、新たな研究開発シーズの掘り起こしが課題であった。このため、RFIを通じて、廃炉補助事業に参入する事業者の裾野を広げるとともに、研究開発シーズを公募により広く集め、廃炉の課題解決の加速につなげていくことを目的に実施している。

2022年度、2023年度に行ったRFIにおいては、両年度合わせて100件近い提案がなされ、その中の多くの提案が次年度の廃炉研究開発計画に反映された。また、複数の海外事業者や大学から提案があったこと、さらには、今年度の廃炉補助事業の新規公募においてRFIの提案から発展して、大学が補助事業者として採択されたことは、廃炉補助事業への新規参入事業者の拡大の点で成果であった。今年度実施のRFIの新たな取組として、小委員会の報告書を加えることにより、燃料デブリ取り出し工法に関する新たな研究開発シーズの掘り起こしを行っている。今後も引き続き、本制度の改善を図っていく予定である。

b. 事業レビュー

事業レビューとは、廃炉補助事業を対象に目標達成に向けたマイルストーンを適切に設定した上で、適切なタイミングで補助事業者の計画、試験、設計、製作等の活動に対して、以下の観点で専門家、関係機関による確認を行い必要な指導・助言を行う取組である。

- 設定された目標に向けた計画となっているか
- 実機エンジニアリング、現場への適用性の確認

2023年度においては同年度開始の10件の事業についてレビューを行い、それぞれの事業について専門家、関係機関の確認結果に基づき指導・助言（以下提言という。）を行っている。具体的には「類似事例の調査と反映」、「他事業との連携」、「実機適用に向けての注意点」、「成果のまとめ方」等種々の提言がなされ、事業者からは、それらの提言を事業に反映するとの回答を得ている。今年度においては上記10件のうち本年度も継続している9件の廃炉補助事業のレビューに加え、今年度新たに開始した4件の廃炉補助事業についても事業レビューを実施している。

本事業レビューについては、実施結果について振り返りを行い継続的に制度の改善を図っていく。

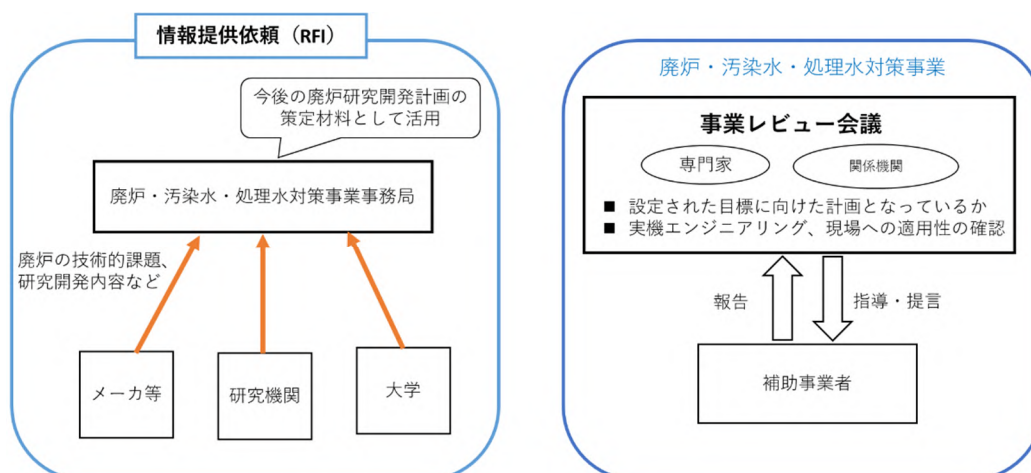


図 62 R F I と事業レビュー

廃炉補助事業については目標とする成果が得られた段階で終了し、次の段階としての東京電力エンジニアリング又は東京電力の技術開発に移行していくことが必要である。また、これまで廃炉補助事業により開発してきた成果については、福島第一原子力発電所の廃炉は国家的・社会的課題であることから、廃炉の研究開発に参画する機関が得られた知見等の研究開発成果を効果的に活用できるアクセスしやすい体制構築が課題である。そのため、成果の情報開示とナレッジシェアの観点からのアーカイブ化を進めるべきであり、IRIDを中心とした実施体制での研究開発成果の継承については東京電力を中心に進められているが、新たな実施体制における研究開発成果の集約と活用を含めたアーカイブ化の体制構築が求められている。

5.2.3 廃炉現場と大学・研究機関における連携の促進

(1) 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業

基礎・基盤研究を担う大学・研究機関には、将来、理工学的知見を要する技術課題が発生したときに即応できる人材、知識・基盤を維持・育成していくことが期待され、大学・研究機関においても、廃炉現場が抱える課題や認識を共有しておくことが重要である。長期にわたる福島第一原子力発電所の廃炉を推進するに当たっては、中長期的な観点から、原理の理解や理論に基づいた理工学的検討も重要である。

このような背景の下、文部科学省においては英知事業として、大学・研究機関等を対象とし、原子力分野の垣根を越え、国際共同研究も含めて緊密に融合・連携させることにより、国内外の英知を結集し、福島第一原子力発電所の廃炉等の課題解決に資する基礎基盤研究及び人材育成の取組を推進してきている。英知事業の実施はJAEA福島廃炉安全工学研究所廃炉環境国際共同研究センター（以下「JAEA/CLADS」という。）が担い、大学・研究機関等との連携を強化し、廃炉に資する中長期的な研究開発・人材育成をより安定的かつ継続的に実施する体制としている。なお、この英知事業の公募に当たっては、汚染水対策が

ら廃棄物の処理・処分まで含めた廃炉全体を俯瞰し、求められる研究開発のニーズとシーズを整理した「基礎・基盤研究の全体マップ」を活用している¹¹⁷。

2024年度の英知事業では、以下の課題解決型廃炉研究プログラムと、研究人材育成型廃炉研究プログラムの2つのプログラムで新規課題を採択している。過去に採択された英知事業の選定課題を添付資料20に示す。

- 課題解決型廃炉研究プログラム

「基礎・基盤研究の全体マップ」の中で、「基礎基盤研究の追求により課題解決につながる」と評価された課題の解決に資する研究開発及び廃炉現場のニーズから抽出された特定ニーズにつながる研究開発を推進。

- 研究人材育成型廃炉研究プログラム

廃炉に関する研究を通じて過酷環境の課題に対処でき得る人材の育成を図るとともに、今後の福島第一原子力発電所の廃炉で求められる国際的な研究人材の育成を推進

なお、国際協力型廃炉研究プログラムは、今年度は継続課題を実施し、次年度以降は新規課題を含めた実施を検討している。

各プログラムの実施に当たっては、東京電力や廃炉に携わる企業参加のワークショップを開催し廃炉ニーズと研究シーズのマッチングの取組を行っている。また、各研究開発の実施状況をフォローするため外部有識者のプログラムオフィサー（PO）、廃炉現場への成果の活用や成果を最大化するためのJAEA担当者のリサーチ・サポーター（RS）¹¹⁸を置いている。

今後とも、研究成果を廃炉現場に伝えるため、英知事業で得られた成果は、広く公開されることが重要である。事業終了後の研究成果報告書はJAEAレポートとしてまとめられるとともに、2022年度からは、研究成果を視覚的に理解できるようJAEA/CLADSのウェブサイト¹¹⁹で動画を公開している。また、残された課題の深掘りや得られた成果の更なる発展などのため、研究開発成果が簡易に利活用できることも求められる。このため、JAEAはデータベースの構築に取り組んでおり、JOPSS¹²⁰では、英知事業のみならずJAEAの研究論文をキーワードで検索できるように整備している。

以上のように、廃炉現場の課題解決に資する基礎基盤研究の成果を廃炉現場に十分に反映していく取組を進め、引き続き、廃炉研究開発連携会議等の場を活用した廃炉現場からのニーズと大学・研究機関のシーズのマッチングや英知事業により得られた優れた成果の橋渡しを進めていくことが重要である。

¹¹⁷ 『基礎・基盤研究の全体マップ』は、6つの重要研究開発課題を含め廃炉に必要な研究要素を整理したもの。なお、6つの重要研究開発課題とは、2016年にNDFに設置された研究連携タスクフォースで抽出し、研究連携タスクフォース中間報告（平成28年11月30日）で取りまとめたもの。

¹¹⁸ リサーチサポーターとは、個々の英知事業採択機関に対してJAEAとして研究をサポートする担当者のこと。

¹¹⁹ JAEA/CLADS研究紹介動画（<https://clads.jaea.go.jp/video/>）

¹²⁰ JAEA Original Paper Searching System（<https://jopss.jaea.go.jp/search/servlet/interSearch>）

(2) 基礎基盤研究と応用実用化研究の連携及び東京電力における産学連携の取組

ニーズとシーズのマッチングの深化及び基礎基盤研究から応用実用化研究までの廃炉研究開発の整合のため、英知事業におけるニーズとシーズのマッチングのためのワークショップ活動や四者連携活動がなされてきている。

また、英知事業（基礎基盤研究）と廃炉補助事業（応用実用化研究）の連携の実例として、英知事業の成果の幾つかが廃炉補助事業に展開されてきている。今後、廃炉作業の課題のブレイクスルーや安全性の向上、効率性の向上を図っていく上では基礎基盤研究と応用実用化研究との連携を更に強化・促進していくことが鍵となる。

そのため、NDFは、四者連携活動の場を利用して、特別タスクにより小委員会の燃料デブリ取り出しに係る工法選定への提言を踏まえた基礎基盤研究開発を含む課題の検討及び基礎基盤研究の実用化への連携の具体化検討を行うことにより連携の強化を図る。なお、研究成果の現場適用に向けては東京電力との更なる連携が求められる。

一方、東京電力においても、基礎基盤研究分野を中心に、原子力分野だけでなく、大学が持つ幅広い研究リソースから廃炉に役立つニーズに合った技術シーズを発掘するため大学（東京大学、東京工業大学、東北大学、福島大学）との産学連携の取組を行っている。

政府、JAEA、NDF、東京電力等の関係機関はニーズとシーズのマッチング及び成果の橋渡しの強化に向けて、更に連携を強化していくべきである。

(3) 基礎研究拠点・研究開発基盤の構築

長期にわたる福島第一原子力発電所の廃炉を技術面においてより着実なものとしていくためには、基盤技術や基礎データの整備、研究拠点や研究施設・設備の構築、人材の育成等の研究開発基盤の整備や技術知識の蓄積が必要不可欠である。福島第一原子力発電所の廃炉の研究開発においては、こうした蓄積がイノベーションの源泉となっていくことが期待される。

JAEA/CLADSの「国際共同研究棟」(福島県富岡町)が、廃炉に係る研究開発・人材育成を実施するため、大学・研究機関等が共用できる施設として2017年から運用されている。JAEAはJAEA/CLADSを中核とし、国内外の大学、研究機関、産業界等の人材が交流できるネットワークを形成しつつ、産官学による研究開発と人材育成を一体的に進める体制を構築している。

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る。2016年4月に福島県楡葉町で本格運用を開始したJAEA楡葉遠隔技術開発センター(試験棟)は、遠隔操作機器・装置の開発・実証のためのモックアップ試験が行える施設である。特に人間がアクセスできない過酷環境への機器投入に先立って、実スケールでのモックアップ試験を行うことは、性能検証のみならず遠隔操作の訓練や操作手順の確立のために必要不可欠である。2022年2月より、燃料デブリの試験的取り出し用のロボットアームの性能確認試験、実機模擬環境における検証試験及び訓練を実施している。

さらに、福島県大熊町においては、福島第一原子力発電所の廃止措置に向け固体廃棄物及び燃料デブリ等の性状把握を通じた研究開発を行うため、JAEA大熊分析・研究センター(放射性物質分析・研究施設)の運用・建設が進んでいる。低線量・中線量の固体廃棄物の分析及び処理水の第三者分析を行う第1棟が2022年6月に竣工、同年10月に管理区域設定

し、2023年3月よりALPS処理水の第三者分析を開始、2024年4月から廃棄物試料分析本格化に向け、技能認定、分析法の実証試験を実施している。燃料デブリ等の高線量試料を分析する第2棟については今年度中の着工を目指し準備が進められている。分析や研究で得られたデータは福島第一原子力発電所の廃炉に向けた放射性廃棄物の確実な処理・処分方策とその安全性に関する技術基盤の確立や燃料デブリの性状解明等に活用されるため、分析施設の早期の運用開始が望まれる。

このように、福島県内に、JAEAの廃炉事業に関連する研究施設が立地してきており、廃炉研究開発の世界的な拠点が形成され、中長期を見通した研究開発基盤が構築されつつある。(図63)



図 63 福島における JAEA の廃炉研究拠点

6. 技術戦略を支える取組

6.1 廃炉を進めるための能力、組織、人材等

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

東京電力は福島第一原子力発電所の廃炉に責任を持つサイトオーナーとして廃炉プロジェクトを管理する主体であるとともに、ユーティリティーとしての責務を担っている組織でもある。両者に共通するものもあるが、新たに福島第一原子力発電所のサイトオーナーとして必要となる技術戦略をいかに実行するかが福島第一原子力発電所の廃炉にとっては極めて重要である。ここでは東京電力による廃炉プロジェクト管理の現状及び今後、東京電力が廃炉技術戦略の実行を支えるために有すべき能力、組織に関する取組について記載する。

6.1.1.1 廃炉プロジェクト管理の意義と現状

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

東京電力はこれまでプロジェクト管理体制の構築・強化に取り組んできており、2020年4月に組織を改編し、約4年間の運用を通じてプロジェクト型の組織運営はほぼ定着した。今後第3期に入り、廃炉作業がより難度と不確かさを増していくにつれ、中長期を見据えたプロジェクト全体を調整・整合させながら円滑に進めていくためには、これに関係する組織が達成目標に向かって協働していく管理体制を一層強化し、その総合力を高めていくことがより重要となる。

東京電力における2023年度までの主な取組例としては、現場の状況変化や社会・地元のニーズに適切に対応するための組織の見直し、リスクマネジメント強化、先を見据えた計画（廃炉中長期実行プラン）の作成等がある。主な取組内容を以下に示す。

a. 現場の状況変化や社会・地元のニーズに適切に対応するための組織の見直し

東京電力は、2020年4月にプロジェクト型組織に大きく舵を切って以降も、現場の状況変化や社会・地元ニーズを踏まえ柔軟かつ迅速に組織の見直しを臨機応変に行ってきた。

2020年4月から2024年7月までの主な組織改編を表9に示す。

表 9 2020 年 4 月以降の東京電力における組織改編

年月	主な変更内容	目的
2020 年 4 月	プロジェクトマネジメント室（PMO）、プログラム部、廃炉安全・品質室、設計・計画センター、建設・運用・保守センター、防災・放射線センターの設置	プロジェクトマネジメント機能の強化、安全・品質の管理機能の強化、現場・現物主義の推進。
2020 年 10 月	浜通り産業プロジェクト室	廃炉事業における中長期実行プランに即した廃炉関連産業の形成、事業スキーム等の策定。
2021 年 8 月	廃炉技術開発センターの設置	廃炉・汚染水対策に係る技術開発を一元管理し、エンジニアリング能力の向上を推進。
2021 年 8 月	廃炉情報・企画統括室の設置	地域目線を反映した情報発信や設備形成を実行させるための司令塔の設置。
2021 年 9 月	A L P S 処理水プログラム部の設置	組織的な責任を明確にして、政府方針の決定から 2 年後程度に A L P S 処理水海洋放出できる状態となるよう、設備形成及び計画策定を主目的に設置。
2022 年 5 月	セキュリティ管理部の設置	核物質防護及びサイバーセキュリティの強化。（ホールディングス全体としての組織設置）
2023 年 7 月	組織再編準備室の設置	福島における事業に関連する組織の再編と連携強化を推進。
2024 年 7 月	水処理センターの設置、A L P S 処理水プログラム部の廃止	滞留水のくみ上げから A L P S 処理水の海洋放出に至る一連の水処理プロセスを長期的に一層安全・着実に実行していくため、水処理プロセスに関わる組織を改編。
2024 年 7 月	調達部の設置、廃炉資材調達センターの廃止	原子力・廃炉の調達を一元的に対応し、調達力を強化。大型プロジェクト案件での上流参画、仕様標準化、サプライマネジメント強化を図るとともに、契約業務の効率化を推進。
2024 年 8 月	廃炉戦略室の設置	燃料デブリの試験的取り出しの着手により中長期ロードマップにおける期間区分が第 3 期へ移行することから、廃炉を一層戦略的に進めるため。

b. リスクマネジメント強化

東京電力は2020年4月にプロジェクト型組織に転換して以降、プロジェクト運営に伴うリスクマネジメント¹²¹及び設備の運用保守に伴うリスクマネジメントに力を注ぎ、リスクマネジメントの能力向上に努めてきた。しかし、増設ALPS配管洗浄作業における身体汚染を始めとした4事案¹²²に対する共通分析の結果から、現場作業の着手前に実施するリスクマネジメント（以下「現場リスクマネジメント」という。）に弱さがあることが判明し、協力企業と一体となり現場リスクマネジメント強化に取り組んでいる。

プロジェクト運営に伴うリスクマネジメント

リスクマネジメントとは、不確かな事象が顕在化する前に把握し、プロジェクトにマイナスの影響が発生しないよう「未然に対処する」、あるいは発生した場合でも「その影響を最小限にとどめる」ように対処する活動である。

東京電力は実際の廃炉作業を通じてリスクマネジメントの重要性を認識しており、現在図64に示すワークフローに沿って体系的リスクマネジメント強化の取組を進めている。実際に、例えばSGTS配管撤去作業において遅延が発生している件¹²³等、事前に対策すべきであったと考えられるリスクについての認識不足が原因となった事例が認められている。リスクの内容は、安全に関するもの、プロジェクト成立性に関するもの等、多岐にわたるが、今後、第3 - 期以降本格化する廃炉作業において、このようなリスクの顕在化による影響を未然に防ぐ、あるいは最小限にとどめるために、リスクマネジメントの重要性は増大する。

¹²¹ リスクマネジメントとは、リスクを組織的に管理（マネジメント）し、損失等の回避又は低減を図る業務プロセスをいう。

¹²² 増設ALPS配管洗浄作業における身体汚染（2023年10月）、HTIからの放射性物質を含む水の漏えい（2024年2月）、増設雑固体焼却設備 廃棄物貯留ピット水蒸気等の発生による火災警報発生（2024年2月）及び所内電源A系停止と負傷者発生（2024年4月）の計4事案。

¹²³ 配管切断装置の噛み込み、クレーン油圧ホース油漏れ、ウレタン未充填箇所切断等、モックアップと実際の現場状況とのギャップに関する認識を始めとするリスク認識の不足により配管撤去工程が大幅に遅延した。リスクマネジメントの不足によりリスク顕在化を招いた事例と考えられる。

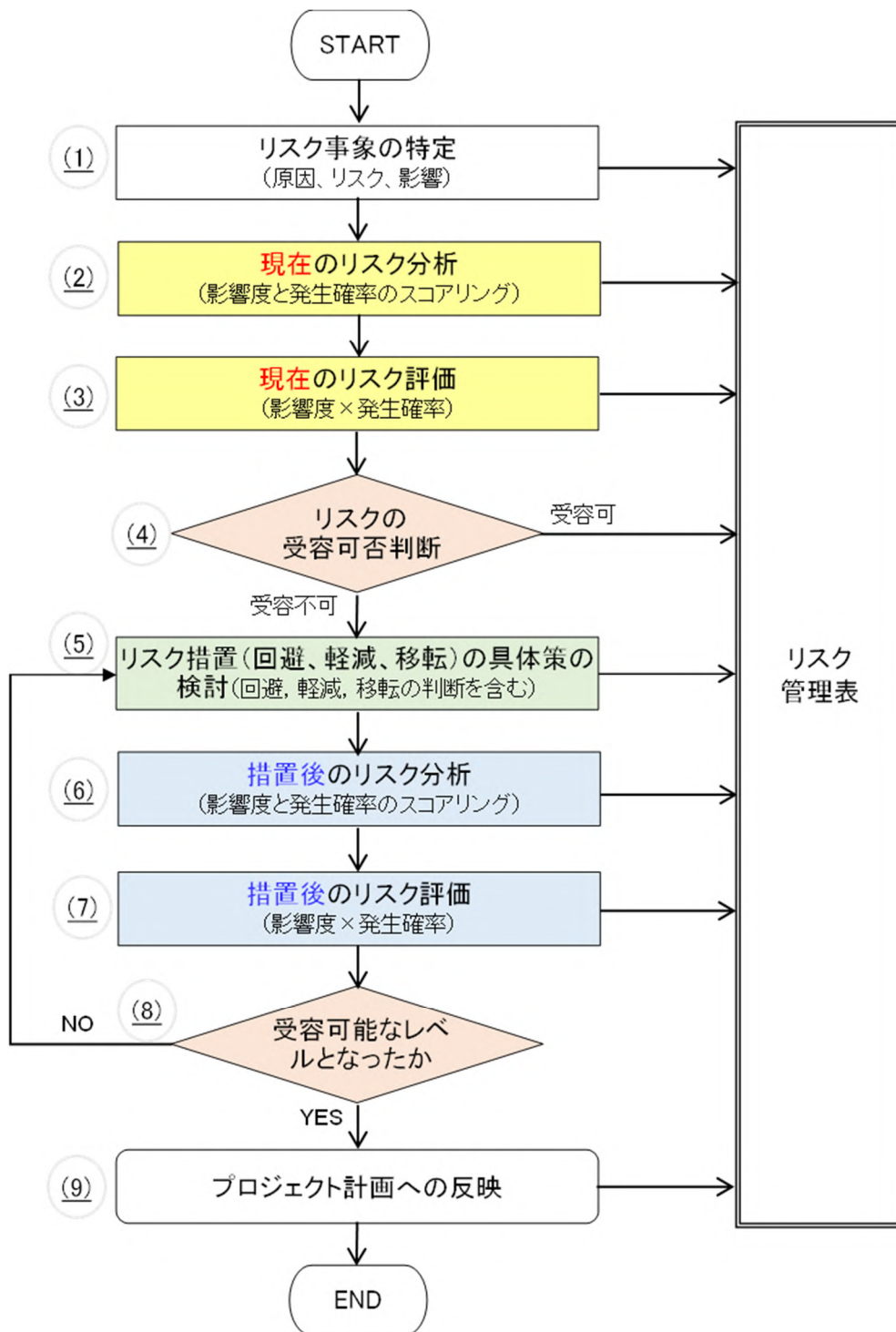


図 64 標準的なリスクマネジメント・ワークフロー

設備の運用保守に伴うリスクマネジメント

福島第一原子力発電所では廃炉を進めるために多くの設備を設置し運用しているが、それら設備に対してリスク評価を実施し、適切に保守し、確実に運用する必要がある。そのため、東京電力では、リスクマネジメントの一環として、設備を運転、運用していく上で考えられる設備のリスク評価を実施し、発生確率と影響度を軸に評価を行っている。リスクが高いと評価した設備に対し、必要な対応を優先的に進め、効果的にリスクの低減対策を図っている。

なお、東京電力は上記設備の経年劣化リスクの対応として、保全対象機器のデータベース化を通じた設備情報等の一元管理化を進め、同情報を基に経年劣化リスク評価を行い、その結果を長期保守管理計画に反映するシステムの開発を進めている。なお、本システム開発に当たっては、従来の膨大なデータがグループごとの記載要領、様式にまとめられており、これらのデータの一元化には、相当な時間と労力を要するが、今後の廃炉事象の円滑な推進のため、信頼性の高いデータベース構築を目指している。

現場リスクマネジメント

東京電力は4事案が発生する以前から、労働災害の発生防止を目的とした安全事前評価、作業員の被ばく低減を目的としたALARA検討、新設設備の設計レビュー等を、協力企業と共に現場リスクマネジメントの一環として実践してきた。

しかし、4事案に対する共通要因分析の結果、リスクアセスメントの弱さ（作業に対するリスク因子の特定の弱さ、リスクが顕在化した場合の顕在化シナリオ（悪影響）の検討不足、リスク情報が全員で共有できていない等）が共通的な弱みとして抽出された。このため、東京電力は、これまでの“どうすればうまく行くか”という視点だけではなく“うまく行かなかった場合どうなるか”という視点も加え、より現場に即した実効性の高いリスクアセスメントへと改善を図っているところである。

c. 先を見据えた計画（廃炉中長期実行プラン）の作成

東京電力は、福島第一原子力発電所の事故以降、原子力災害対策特別措置法及び原子炉等規制法¹²⁴に基づく要求や、廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議において決定された中長期ロードマップ並びに原子力規制委員会が作成したリスク低減目標マップの目標工程（マイルストーン）を道標として廃炉事業を実施してきたが、中長期ロードマップ並びにリスク低減目標マップのマイルストーンを達成するための具体的な作業計画を示すことを目的として廃炉中長期実行プランを作成、2020年3月に公表した。これにより、東京電力が自ら主導的に中長期的な作業の工程計画を立案し、実行することを明示的に示すこととなった。以降、作業進捗を踏まえて廃炉中長期実行プランを毎年更新している。2024年3月に公表されたリスク低減目標マップは、中長期的な視点で、廃炉の進め方に関する方針を記載するように改定された。本方針に基づき2024年3月に廃炉中長期実行プラン2024を公表した。同プランでは至近約10か年の作業計画を主な対策ごとに示しており、同プランの至近3か年の計画を基に廃炉等積立金の取戻し計画を作成している。

廃炉中長期実行プランは複雑かつ長期にわたる廃炉事業に一定の透明性を与えており、地元や社会の皆さまとの効果的なコミュニケーションツールとしても重要なものとなっている。

¹²⁴ 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律

d. 研究開発中長期計画¹²⁵の作成

今後プロジェクト難易度や不確かさが高まると予想されることから、プロジェクト成立性を確保する上で、研究開発との連携の重要性が高まっている。東京電力は技術開発課題の検討や実施計画を推進するための研究開発の企画・管理機能の強化を目的として、2021年8月に廃炉技術開発センターを設立し、廃炉中長期実行プランに紐づいた技術開発課題を抽出するとともに、重要な課題については研究開発中長期計画への反映を進めている。

このような動きは廃炉作業を円滑に進めるために必要であり、今後更にプロジェクト難易度や不確かさが高まることを考えれば、その成立性を左右する技術開発について、体制を整備しつつ、プロジェクト上流段階から中長期的かつ戦略的に進めることの重要性は増大している。

e. 予算計画の強化

毎年度、廃炉に必要なプログラム/プロジェクト作業、プログラム外の作業（維持管理やユーティリティ設備）及び運営費の予算計画を策定しており、廃炉中長期実行プランを踏まえた件名の計上、早期設計確定、予算月報差異理由書の作成・分析、請求時期の管理強化等の取組により、予算精度の向上に取り組んできた。こうした取組により、仕事の進め方の問題（検討不足、調整不足、確認不足等）が原因となった予実差は減少傾向にある。

一方、プロジェクトを進めるために実施する工事等についてはいまだに会計年度を意識して契約期間を設定し、検収時期が年度末に集中、その結果、本来計上すべき時期から外れて計上するケースが見られる。よりプロジェクトオリエンテッドに契約期間を設定することで、業務負荷を平準化し、効率的に業務を進めることが肝要と考える。

f. プロジェクトを横断する課題への対応

核種拡散防止、耐震設計に関する統一的な考え方の整備、事故炉周辺における作業錯綜の解消といった複数プロジェクトを横断する課題への対応は、相互に関連するプロジェクトの数が増え、複雑化するにつれ重要性を増す。東京電力では個々のプログラム/プロジェクトに収まらない横断的課題に対しては部門横断的な体制を構築し対応している。このような仕組みは現在機能しており、廃炉・汚染水対策最高責任者（以下「CDO」という。）を始めとする経営層ともこのような横断課題に対する認識を共有しつつ解決に向けて取り組んでいる。

g. 核セキュリティに関する対応

東京電力は東京電力ホールディングス(株)柏崎刈羽原子力発電所（以下「柏崎刈羽」という。）におけるIDカード不正使用及び核物質防護設備の機能の一部喪失に関わる核物質防護事案に対して、2021年9月に「改善措置報告書」を原子力規制庁に提出した。これら核物質防護事案に対する「改善措置計画」は36項目に及び、現在全て実施段階に移行し、大宗の項目で有効性評価に着手した。追加検査を通じ、原子力規制庁からもアドバイスを受けながら、

¹²⁵ 詳細については5章を参照のこと。

随時、措置を改善した。2022年9月原子力規制委員会で示された確認方針を踏まえ、東京電力では「継続的な設備面の信頼性向上」「経営層が主体的に改善に向けた運用の定着に参与」「改善措置を一過性のものとししない仕組みの構築」を推進した。また、特に核セキュリティを始めとする現場力の強化に向けた「リソース投入」を躊躇なく進めることとした。

東京電力は核物質防護機能の強化策や各対策の評価について「改善措置成果報告書」として取りまとめ、2023年12月27日第56回原子力規制委員会にて柏崎刈羽に対する追加検査報告書が了承され、原子力規制検査に係る対応区分を第4区分から第1区分に変更。また、令和5年度の検査計画の変更が了承された。

廃止措置に取り組む福島第一原子力発電所においても、上記方針にのっとり、2022年5月に、発電所の核セキュリティ全般を管理・運営するため、発電所長の直下に「セキュリティ管理部」が新設された。「セキュリティ管理部」では、核セキュリティに係る警備（監視・巡視）出入管理及び設備管理に加え、サイバーセキュリティの総括に関する業務が行われている。福島第一原子力発電所では使用済燃料プールからの燃料取り出しや、燃料デブリの試験的取り出し等が予定されているが、全ての業務に対して、核セキュリティに関わる脅威が常にあり、細心の注意を払うことを、東京電力社員のみならず、協力企業社員にもより一層理解されることが求められる。東京電力は本社と発電所が一体となり、地元や社会から信頼を得られる組織や企業文化を醸成するための検討に加え、核セキュリティ機能や作業の安全性の確保、廃炉事業を通じた地域共生の観点から、更なる「現場重視の事業運営」を目指して体制の検討がなされている。

6.1.1.2 オーナーが有すべき能力

第4次総合特別事業計画においてオーナーズ・エンジニアリングの重要性が述べられている。ここでオーナーズ・エンジニアリング能力とは、事業者である東京電力が「サイトオーナー」及び「ライセンスホルダー」として求められる能力で、具体的にはプロジェクトマネジメント力、及び安全とオペレータ視点を基盤とする技術力の双方の要素から成る能力のことである。このような能力は廃炉事業を進めていく上で大変重要なものである。加えて、このほかにも、福島第一原子力発電所の特殊性に鑑み廃炉全体戦略を高度化し、復興と廃炉の両立を進めるための能力が必要とされる。東京電力は、2022年に海外原子力関連施設の廃止措置に豊富な経験を有するJacobsとの間でパートナーシップ契約を締結し、現在彼らの支援を受けながら、国際的良好事例等をベンチマークとしてオーナーが有すべき能力の強化に取り組んでいる。

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

6.1.1.2.1 安全ファーストの浸透¹²⁶及び安全とオペレータ視点¹²⁶を基盤とする技術力

前章までに記載のとおり、福島第一原子力発電所は事故前と現場の状況が大きく変化し、原子炉建屋、PCVといった放射性物質を閉じ込める障壁が完全でない中で多量の放射性物質が非定型・非密封状態で存在している状態にある上、天候・地震等の自然事象や機器・建物等の経年劣化により常に状態が変化し得る環境にあり、放射性物質や閉じ込め障壁の状況等に不確かさを含んでいる。高線量及び機器・建物等の損傷により人・設備のアクセス性にも制約があり、現場情報を完全に把握することが困難な状況にある。また、他発電所と異なり、個々の作業の目的を達成する上で安全上どのような要件を満足すべきかの詳細が必ずしも明確になっていない。

また、事故後新たに設置した機器が廃炉作業の進捗とともに増加していることに加え、現場の状態が事故前とは異なり事故前の設計情報がそのまま活用できないため、事故前に構築したプラットフォームコンフィグレーション管理¹²⁷の仕組みを見直す必要がある。

現在は、燃料デブリ、汚染水等の放射性物質を安定な状態にコントロールできているが、福島第一原子力発電所の廃炉は過去の建設、運転、保守等において経験したことがない作業が連続する現場であるため、東京電力は、引き続き、予測困難な事態が発生し得るということを常に念頭に置きつつ現場に目を向け、現場の変化を一早く察知し、現場目線で適切に物事を考える必要がある。

ここで、東京電力は、福島第一原子力発電所が特殊であっても同所の廃炉に関する安全を軽視してよいことにはならない点を肝に銘じるべきである。例えば、通常炉において安全機能維持のために求められる保全作業や老朽化対策等を、そのまま福島第一原子力発電所に当てはめることは労働安全上の制約等から困難な場合もあるが、そのような事情のみから安易に長期保全や劣化管理上の要件等を緩和してよいわけではない。また、そのような安易な管理により劣化等に起因する不具合が生じた場合、地域社会の反応はより厳しいものになる点も肝に銘じるべきである¹²⁸。東京電力は、福島第一原子力発電所の特殊性に鑑み、安全ファーストを浸透させ続ける必要がある。

また、そのためには福島第一原子力発電所の現場を熟知している者の現場目線はもちろんのこと、非密封放射性物質のハンドリング等、東京電力が経験のない分野での現場目線までも考慮しなければならない。したがって、そのような考慮に際しては単一組織の守備範囲を超える知見・経験の広さ、深さが求められるゆえ、東京電力には学際的体制の構築¹²⁹も求められる。

¹²⁶ 詳細については2章を参照のこと。

¹²⁷ コンフィグレーション管理とは、原子力発電所の各設備・機器が設計で要求されたと通りに製作・設置され、運転・維持（保守）されていることを常に確認、保証する仕組みをいう。

¹²⁸ 例えば2021年2月、福島第一原子力発電所3号機原子炉建屋に試験的に設置した地震計の故障情報が組織内で共有されず、かつ長期間修理・復旧がなされなかった事例が報告され、社外からも厳しい指摘を受けている。東京電力は本事例を反省し、現在長期保全プロセスの改善等に取り組んでいる。

¹²⁹ 特に燃料デブリ取り出しの様なプロジェクトは極めて複雑、かつ技術的難易度が高く、一つの組織が持つ技術のみにてやり遂げることは困難である。したがって、東京電力には個々の技術の良し悪しを判断する工学的判断能力を備え、取り入れるべき要素技術をシステムとして統合し所定の性能を発揮させる能力が求められる。そのために、東京電力には、技術開発や技術の適用に関し、経験を有する複数の国内外組織と連携する、あるいは経験の豊富な外部人材を取り入れるなど、学際的体制の構築が求められる。

つまり、東京電力は、前例がなく、かつ不確かさが大きい福島第一原子力発電所において、自ら適切に安全要件を定め、様々なステークホルダーとの間で自ら定めた事項について合意を形成し、その合意の下で他者と協調、連携しつつ廃炉作業を進めるべきである。

その上で、現場を熟知するオペレータが現場の実情¹³⁰に立脚し、安全を総合的にチェックし、それを基に同所に適した安全要件を定め、作業するプロセスを確立する必要がある。そのために必要となる現場力¹³¹を始めとする能力の総体が、安全とオペレータ視点を基盤とする技術力であり、東京電力に当該能力の一層の強化が求められることは論を待たない。また、東京電力が現在進めている手の内化¹³²は、このような能力の強化につながる重要な施策であり、適用案件を適切に選択し、今後も引き続き精力的に取り組むべきである。

6.1.1.2.2 プロジェクト上流側における検討能力

前述のとおり、通常の原子力発電所のように設計の上流側における考え方や基準等が整備されていない福島第一原子力発電所の廃炉作業において、東京電力は倣うべき前例、確立された基準や手法がない中で、非常に難しく不確かさの大きい課題を前にして何をすべきかを自ら見出す必要がある。福島第一原子力発電所の廃炉作業においては、プロジェクトを起案し進めた後に、どのような機能を実現すべきか、そのためにはどのような安全要件を満足する必要があるかの検討に再度、立ち戻った例¹³³が認められている。

また、3章に記載のとおり、燃料デブリ取り出しに向けた準備作業において発生する廃棄物等、廃炉作業の進捗に伴い発生する廃棄物等について、あらかじめどのように対処、管理すべきか検討を進める必要がある。今後、東京電力はプロジェクトを進める意義や目標（何のためにいつまでに何をするか）・安全要件を明確化し、発生抑制、再利用等を含む総合的な廃棄物に関する計画を策定し、その上でプロジェクト成立性を確保すべきである。そのためには、廃炉作業の計画から実施までのプロセスにおいて、特に上流側の検討能力についての拡充を進める必要がある。

ただし、福島第一原子力発電所における廃炉に特有の非常に高い不確かさゆえに、上流側における検討を充実させるとしても、全てがその結果どおりに進行するとは限らない点にも留意すべきである。東京電力は、今後もある程度のイタレーション型エンジニアリングが必要であることを前提に、研究開発等の最新の知見も加えた上で、プロジェクト上流側における検討能力の最適化を目指すべきである。

¹³⁰ 福島第一原子力発電所において何らかの作業を行う際には、通常の発電所における「実情」に加え、福島第一原子力発電所特有の現場情報の不確かさ、作業経験の少なさ、線量の高さ、規制の違い、内包エネルギーの少なさ、動的機器の少なさや、それらに備えるための安全マージンに関する過剰/過少判断の難しさ等を踏まえ、逐次型の取組の様なアプローチも含めて作業の実施可否や改善を考える必要がある。「現場の実情」とはこのような状況を指す。

¹³¹ ここで現場力とは、予測困難な事態が発生し得るということを常に念頭に置きつつ現場に目を向け、現場の変化を一早く察知し、現場目線で適切に物事を考える力のことを指す。

¹³² 手の内化とは、東京電力自らの技術力、管理能力を向上させ、協力企業に依存しすぎず、それぞれの作業工程のプロセスを理解し、管理する上での重要なポイントを把握することを指す。

¹³³ 3章に記載のALPSスラリー安定化処理設備設置時期遅延はその一例である。放射性物質の閉じ込めに係る安全要件についての認識が不足していたことから施設設計に手戻りが生じている。

6.1.1.2.3 プロジェクトマネジメントを高度化する能力

今後想定される、より大規模かつ複雑であり、不確かさの大きい高難度プロジェクトの実施に当たっては、発注者、受注者双方が協調し、契約上のリスクを分担し、合意した達成目標を目指すような新たな概念によるプロジェクト運営が、米国始め欧米諸国の官民を問わず、高難度の大型プロジェクト遂行の場で提唱されている。発注者から受注者といった一方通行のモノ買い（Buying）ではなく、開発から製造そして運用保守までも考慮し、発注者と受注者がパートナーとして協働し「モノを作り上げていく」（Making）ことで“最終成果を取得する（Acquisition）”ことを目指すものである（表10）。

表10 「Making」と「Buying」の違い

	Making	Buying
目的	プロジェクトの最終成果の獲得（Acquisition）	仕様に適合した製品（モノ）を購入
受注者の呼び方、役割	Contractor（請負契約者）、プロジェクトの最終成果を獲得するためのPartner	Vender（ベンダー）、仕様に適合した機器の供給
受注者の決め方	提案内容と実現性で選定	価格で選定
契約方法	リスク配分に沿った契約 等	確定価格契約

このような Making 型プロジェクトに対応するためには、仕様を具体化する技術力を向上させることに加え、“成果の取得”を主眼としたプロジェクトマネジメント力が求められる。

東京電力は2022年より、このようなプロジェクト運営を熟知する Jacobs の支援を受け、今後の廃炉作業において必要となるプロジェクトマネジメント、及びその実行に必要な能力や仕組みについて検討を続けている。Jacobs は英国 N D A のセラフィールドサイトや米国 D O E の原子力サイト等で豊富な廃止措置に係る経験を有している。東京電力は、Jacobs が有している豊富な先行事例を基に、国際的良好事例と東京電力の現状とのギャップについて分析を実施中である。加えて、東京電力は、英国セラフィールドと協力協定を結び、社員を出向させ、知見獲得、人材育成等の取組を続けている。どのようなプロジェクト運営がベストなものであるかはプロジェクトの特徴や国情、オーナー及び受注者の抱える事情等により異なるため、安易な他事例の模倣は控えるべきであるが、東京電力は、Buying 型での業務遂行が容易ではなくなってくる状況に適應すべく、受注者との関係及び契約の仕方を含め、プロジェクトマネジメントの高度化を進めるべきである。

中でも、リスクが大きく先を見通し難いプロジェクトについて、「成果を獲得するためのパートナー」として受注者と協働する体制の有効性を見極め、その導入について検討すべきである。

6.1.1.2.4 核セキュリティ管理能力

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

今後、福島第一原子力発電所においては、燃料デブリの試験的取り出し作業が開始される等、引き続き核セキュリティや安全意識の不断の向上に取り組むことが求められる。これらの取組を通じて、地元や社会に対して、安全な状態が維持されていることを発信することが必要である。

6.1.1.3 組織に関する取組

福島第一原子力発電所では、これまで「廃炉事業をやり遂げる」という視点から、プロジェクト管理体制の構築・強化を始め、様々な施策に取り組んできた。同時に、2020年に東京電力が公表した「復興と廃炉の両立に向けた福島の皆さまへのお約束（以下「お約束」という。）」の実現に向けて、福島本部、福島第二原子力発電所といった福島地区に所在する他事業所と連携しつつ、発電所内で行われる廃炉作業等の地元発注の拡大等にも取り組んでおり、一定の成果も生まれ始めている。

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

これを実現するため、東京電力は、現在は原子力・立地本部に所属する福島第二原子力発電所とその本社機能について福島第一廃炉推進カンパニーへの統合・再編を検討することとし、その統括組織として2023年7月に「組織再編準備室」を設置し、統合に向けた検討を進めている。

これまでは「事故炉である福島第一原子力発電所は福島第一廃炉推進カンパニー」「通常炉である福島第二原子力発電所は原子力・立地本部」という整理をしてきたが、「福島第二原子力発電所が廃炉を進めるに当たっては、既に廃炉を10年以上進めてきている福島第一原子力発電所のノウハウを共有することが有効であること」「地元発注拡大等の地域共生推進には、両発電所一体となって取り組むことが望ましいこと」等の理由により、今後は福島第一廃炉推進カンパニーが両発電所の廃炉を一元的に実施すべきとの判断に至ったものである。この組織改編を通じ、東京電力は復興と廃炉の両立に向けた取組をより加速していく予定である。NDFとしてもこの東京電力の取組を前向きに受け止めており、また、今後、統合・再編が進み、復興と廃炉の両立に向かって東京電力が歩みを強めていくよう、その取組を支援していく。

6.1.2 取引企業との協働的な関係性の構築

6.1.2.1 長期廃炉事業を見据えた調達管理能力の強化

東京電力は、安定的な調達、地元企業の参入拡大を目的として、2018年度に廃炉資材調達センター内に調達改革グループを設置し、調達管理能力強化¹³⁴に精力的に取り組んできている。具体的には、調達先候補に当たる元請企業と契約交渉に当たる調達部門（調達改革グループ）がプロジェクトの上流（基本設計段階）からプロジェクトメンバーとして参画し、主管部門と調達部門の協働による調達管理能力強化を試みた。しかし、基本設計段階での参画では、基本設計を受託している受注者によるサプライチェーン¹³⁵が既に構築されており、設計・製作・据付（EPC）分離による地元企業参入調整、競争化などが困難であることが分かった。そこで、基本設計

¹³⁴ 調達管理能力とはBuying（モノ買い）ではなくMaking（モノ作り）する能力。具体的には、要求仕様の具体化、RFI（情報提供依頼書）・RFP（提案依頼書）の作成、調達先の選択（技術力、適正価格の見極め等）、契約タイプの選定、調達先との交渉、納期管理、検査・検収（品質・納期・数量・性能等のチェック）等の業務を適切に行う能力。また、地元調達拡大のために分離発注する能力。

¹³⁵ サプライチェーンとは、製品の原材料・部品の調達から、製造、在庫管理、配送、販売、消費までの全体の一連の流れ（供給網）のことをいう。

の更に上流となるプロジェクトの立ち上げ段階から調達部門が参画し、2022 年度以降、分離発注が比較的進めやすい廃棄物対策プログラム（P G 4）をターゲットに置き、主管部門（廃棄物対策プログラム部）と調達部門が、プロジェクトの立ち上げ段階から組織的な連携を開始した。

この取組を通じて、P G 4 の特定プロジェクトにおける設計製作を含む調達品の一部については、東京電力が主導したサプライヤーへと切り替えることができた。なお、本取組を進める上で、一層の透明性、公平性を維持することが肝要である。

一方で、東京電力がプラント機能の性能保証・最終責任を負うことが難しい廃炉の機電プラント案件については、東京電力としてはE P C一括での発注を志向するも、リスク込みのE P C一括契約に調達先候補に当たる元請企業が難色を示したため、次善の策として、まずはE（設計）契約を先行させその結果を見てからP C（製作・据付）契約に移行するという、段階的契約方式へと切り替えた。

これまで福島第一廃炉における調達は福島第一原子力発電所廃炉推進カンパニーに設置された廃炉資材調達センターがその機能を担ってきたが、上記の課題に限らず調達上のより大きな課題に対処していくため、調達組織を統合し一元的に対応することで調達力の強化を図り、大型プロジェクト案件での上流参画・仕様標準化・調達管理能力強化を図るとともに、契約業務の効率化を推進することを目的に、2024 年 7 月に新組織が発足した。

東京電力自らの調達能力を高めることは重要な経営課題である。一方で、燃料デブリ取り出し等の不確実性が高く数十年にも及ぶ廃炉作業におけるサプライチェーンを東京電力 1 社が維持・管理していくためには、自社の調達能力の強化に加え、取引企業の調達能力を有効活用することも重要な要素となる。東京電力は、取引企業と協調したサプライチェーン体制をこれまで以上に強固なものとする必要がある。福島第一廃炉のサプライチェーン体制は、発注者となる東京電力と受注者となる取引企業とが協調しながら構築することが基本ではあるものの、政府及びN D F も連携して必要な支援を行うことが肝要である。

6.1.2.2 協力¹³⁶企業と協調した現場管理の在り方の検討

東京電力は 2020 年 4 月に福島第一廃炉推進カンパニーを組織改編してC D O直下に廃炉安全・品質室を設置した。本体制も 5 年目を迎え、安全の確保や業務品質のレベル維持・向上に取り組んできている。しかし、増設A L P S配管洗浄作業における身体汚染（2023 年 10 月）、H T Iからの放射性物質を含む水の漏えい（2024 年 2 月）、所内電源 A 系停止（2024 年 4 月）等のトラブルが連続して発生している。東京電力としては、単なる個別のヒューマンエラーとして対処するだけでなく、経営上の課題として重く受け止め、他産業の例や外部専門家の意見を取り入れながら、高い放射線リスクにつながるヒューマンエラーが発生するような共通の要因がないか、徹底的に分析するとともに、ヒューマンエラーを防止できるハードウェアやシステムの導入には躊躇なく投資することとしている。加えて、所内電源 A 系停止の事案発生後、福島第一原子力発電所における全作業について、作業点検を行い、リスク要因や防護措置の確認が行われた。

¹³⁶ 東京電力の取引企業のうち福島第一原子力発電所の現場作業に従事している企業を協力企業と呼ぶ。

東京電力はこの事態を重く受け止め、教育・管理面の充実を図るため、放射線防護教育、及びヒューマンパフォーマンスツール（HPT）¹³⁷と基本動作の重要性に関する教育の実施、作業のリスク抽出レベルの向上、決められた作業体制での作業の徹底、系統隔離上のヒューマンエラー防止のための仕組み作り等を進めている。また、水処理プロセスの安全・品質を一層高めることを目的に、水処理設備の設備更新及び保守性向上のための改造を一元的・継続的に行う水処理センターを新たに設置¹³⁸するなど組織面での強化にも乗り出しており、危機感を持って再発防止に取り組んでいる。

また、2024年8月に発生したテレスコ式装置の押し込みパイプのトラブル¹³⁹においては、東京電力は自らの「確認作業の不足」、「現場視点の不足」、「模擬環境での作業訓練の不足」が主な原因と分析している¹⁴⁰。この事例では、準備作業ではあるものの、原子炉建屋の中で高線量かつ重装備で実施することに対する配慮が不足していた。今後は、厳しい現場環境においても安全・着実に作業が進められるよう、東京電力のオーナーとしての能力を強化していく必要がある。

東京電力は作業の安全と品質の確保を要件とした契約を元請企業と結び、作業を進めている。一方、廃炉事業全体を安全に進めていくため、東京電力はオーナー（発注者）として全体を監督し、安全・品質上の齟齬がないかを注意深く管理していく責任がある。したがって、東京電力の包括的な責任の下で、協力企業がそれぞれの責任を果たし安全・品質を徹底して確保していくことが重要である。また、福島第一廃炉の社会的な重要性に鑑み、このような安全・品質の確保について、地元や社会に丁寧に説明を行っていくことも重要である。

多層請負構造では、東京電力が元請企業に発注し（元請契約）、元請企業が一次請企業に発注し（一次請契約）、一次請企業が二次請企業に発注し（二次請契約）更にその先の請負企業へと発注する、というように契約体系も多層化している。このため、階層が深くなるにつれ責任範囲が曖昧なグレーゾーンが広がるという潜在的なリスクがある。また、請負契約は各層の責任（“個”の責任）に立脚した契約体系のため、本来一つの作業を安全にやり遂げるという共通の

¹³⁷ ヒューマンエラー防止対策のツール。以下に一例を示す。

3WAY コミュニケーション：指示者が意思を伝え、受信者はその内容を復唱、指示者は正しく伝わったかを再確認することでコミュニケーションエラーを防止する手法

T B M - K Y：作業前に作業に携わるもの全員で、作業内容、工具・安全装備品等を確認・点検する TOOL BOX MEETING、及び作業手順より危険要因を抽出し、その排除対策を立案し、一人一人が危険に対する問題解決力を高める K Y 活動を合わせて T B M - K Y 活動と呼ぶ。

S T A R 活動：Stop Think Action Review の略。「立ち止まり」、「考え」、「行動し」、「見直す」という行動様式

¹³⁸ 水処理センターは以下を目的として 2024 年 6 月に発足

- ・安全な設備運用・保守を実施していくため、水処理設備の保守性向上に加え、設備更新・改造といった対策の計画・実行など、継続的に水処理プロセスの安全・品質をより一層高めていくこと
- ・A L P S 処理水放出が追加された水処理プロセスは、セシウム吸着装置や A L P S などの運転計画、A L P S 処理水放出計画、今後の処理水放出の進捗に応じた、タンク解体計画や二次処理計画など、複数の計画が相互に影響しあうため、計画策定箇所が、より綿密に連携できる体制とすること

¹³⁹ 2024 年 8 月に開始した 2 号機燃料デブリの試験的取り出し作業でトラブルが発生し、一時作業を中断した。本トラブルは、テレスコ式装置のガイドパイプの挿入作業の際、隔離弁手前まで進んだところで、現場の最終チェックにて押し込みパイプが計画していた順番と異なっていることを確認したもの。

¹⁴⁰ 東京電力は対策として「作業工程全般の再確認・検証」、「更なる手順書の見直し」、「作業訓練の確認・検証ならびに不足箇所の追加対策」を実施した。東京電力では本トラブルを教訓として、高線量エリアなど作業環境が非常に厳しい場所での作業では、東京電力自身が確認等を行っていくとしており、NDF としてもこうした取組を後押ししていく。

目的（ゴール）があるにもかかわらず、他社の責任範囲に対してのアンテナが低くなり自社の責任範囲にだけ目が向きがちとなり、グレーゾーンをお互いにカバーし合う連帯感が醸成されにくいという弱さがある。今回の一連の事案を踏まえると、今後はこれまでの請負契約をベースにしつつも、一つの作業に関わっている全ての階層の会社が、同じ目的の下に機能するような、体制や契約上の工夫が必要である。NDFがこれまでに行った契約形態等のベンチマーク調査によれば、海外のプロジェクトにおいて、発注者と受注者が同じ目的の下に協働するため、体制や契約上の工夫¹⁴¹をしてプロジェクトが円滑に進んでいる事例が確認されている。東京電力は、こういった国内外の良好事例を参考に、「2.3.1 福島第一原子力発電所の特徴を踏まえた安全確保の基本方針」で述べている安全上の特徴（特殊性）を十分に踏まえた上で、福島第一原子力発電所の現場に適したチームによる業務遂行のやり方を協力企業の意見を取り入れながら構築していく必要がある。

福島第一原子力発電所はルーチン作業が少なく日々変化している複雑な現場である。このような複雑な（将来的には更に複雑になる）現場の安全・品質を長期にわたり持続的に確保するためには、東京電力は、一つの作業に関わっている全ての階層の会社が同じ目的の下に機能するための請負体制・契約の工夫に加えて、現場安全を一層高めるための設備及び管理面の充実、協力企業が安心して長期的な人材育成・確保に取り組める持続的かつ平準化した契約方式の導入等の必要な環境整備を、協力企業と力を合わせて検討すべきである。

6.1.3 廃炉を担う人材の確保や次世代の育成と国民理解の促進

長期にわたる福島第一原子力発電所の廃炉を継続的に実施していくためには、東京電力自らが必要となる人材を計画的に確保・育成していくことが極めて重要である。それに加えて、廃炉に必要な研究開発活動を行うため研究者・技術者の育成・確保及び確実な技術・知見の継承も不可欠である。さらに、福島第一原子力発電所の廃炉には、工学的に非常に難易度の高いエンジニアリングが要求されるため、原子力を専門とする人材のみならず、他分野の科学や技術を備えた、多様なバックグラウンドを持った人材の参画も重要である。こうした廃炉を担う人材を現在から将来にわたって持続的に育成・確保し、様々な場面で活躍してもらうためには、関係機関が協力し、現場と合わせ次世代を担う高等・中等教育の階層に応じた取組を着実に進めていく必要がある。

また、難易度が高く長期にわたる廃炉を円滑・かつ確実に進めるためには、国民の理解を広くかつ持続的に得ていくことが不可欠である。福島第一原子力発電所について基礎的な知識を身に

¹⁴¹ 発注者と受注者が相互の信頼と協力の精神に基づき行動すること目的として「早期警告（Early Warning）」や「補償対象事項（Compensation Event）」といった仕組みを体制及び契約条項に取り入れたことにより、発注者と受注者が同じ目的の下に協働して作業を行うことの後押しとなっている。

- ・早期警告（Early Warning）：安全、品質、時間、コスト等に影響を与える可能性のある“リスク”に気づいた者は、契約上の階層のいかんによらず速やかに警告を出し（早期警告）、他の当事者とそのリスクを共有し、チームとしてリスクマネジメントを行う仕組み。早期警告で重要なことは、できるだけ早期に統合されたチームを作り、当事者間でリスクや損益を共有し、必要な措置をチームで話し合い決定することである。
- ・補償対象事項：原契約に含まれない変更や追加が生じた場合の支払い対象事象をコンペンセーション・イベントと呼ぶ。コンペンセーション・イベントをあらかじめ明示することで早期警告を促すもの。

付けることは、廃炉に関する国民的な理解を促進するための基礎となる。このため、関連する知識を学ぶ機会を確保していくことに加え、多くの人が廃炉について関心を寄せ、その取組を知るきっかけとなる機会の提供も重要である。

6.1.3.1 東京電力における人材の確保と育成に関する取組

福島第一原子力発電所では、燃料デブリ取り出し計画の進捗に伴う業務の拡大への対応、及び系統構成時のヒューマンエラー防止等、一層の作業信頼性向上のための体制強化等を見据え、今後も計画的に人材の確保・育成を進めていく必要がある。具体的には、後述の短期的なニーズへの対応を行いつつ、中長期の業務見通しに基づき必要な能力・資質と要員数を含む人材配置計画を立案すること、それを達成するための方策をまとめた組織としての人材確保計画を立案すること、併せて要員のモチベーション向上策を展開することである。さらに、2020年以降取り組んできた「お約束」の一段の活動のシンカ（深化／進化）に向け、福島第一原子力発電所の廃炉にとどまらず、復興と廃炉の両立に向けて広く人材配置を考える姿勢が求められる。

6.1.3.1.1 短期的な取組

福島第一原子力発電所の廃炉事業は、ここ数年における最も重要なマイルストーンである燃料デブリの試験的取り出しに着手した段階にあり、燃料デブリの取り出し規模の段階的な拡大に合わせるように、発電所全体の業務量も増加しつつある。そのような中、発電所における繁忙感も年々強くなってきており、現場で求められる人員数も増加している。

また、増設ALPS配管洗浄作業における身体汚染事案（2023年10月）、高温焼却炉建屋からの放射性物質を含む水の漏えい（2024年2月）、所内電源A系停止（2024年4月）のような事象を再発させないため、東京電力社員による現場管理強化のための体制強化を図る必要がある。さらに、東京電力と協力企業が一体となって福島第一原子力発電所全体の現場力を底上げすることが不可欠であり、東京電力はその実現に向け、協力企業の育成を行うことが重要である。

東京電力では、現場での旺盛な人員に対する需要を少しでも満たすべく積極的な採用活動を行っているが、相手のあることであり、必ずしも望む人材を獲得できるとは限らない。

したがって、積極的な採用活動は継続すべきであるが、加えて、リーダー¹⁴²による業務の優先順位明確化と優先度に応じたリソース配分の推進及び現有人材の多能化／生産性向上のための人材育成の推進が必須である。東京電力では従来から品質・安全向上を目的としたカイゼン活動に取り組んでいるが、副次的にはリソース課題解決にも役立つゆえ、今後も精力的に継続すべきである。そのほかにも教育・訓練¹⁴³やDX（Digital Transformation）¹⁴⁴を進め、限られたリソースによって必要なアウトプットを得る努力が不可欠である。

¹⁴² リーダーとは、課題や目標に向かってチームを率い、成果を求められるポジションの者であり、東京電力の職位で言えば、CDOからチームリーダーまでを含む。

¹⁴³ 直接的業務ニーズに応じたOJT（On the Job Training）等の教育を含む教育・訓練による要員育成・多能化はもちろん、その他、社外コミュニケーションエラーに起因する社会不安増大の回避、社内コミュニケーションにおける心理的安全性確保を通じたエラー防止、プロジェクトをスムーズに進めるためのマネジメント能力向上などを目的とする教育・訓練は、人的リソースの効率的活用に効果的である。

¹⁴⁴ 東京電力の進める設備・機器類長期保全管理高度化などはDX推進を通じた人的リソース節約例でもある。

6.1.3.1.2 中長期的な取組

東京電力の目指す復興と廃炉の両立は、福島第一原子力発電所内で行われる廃炉作業のみでは成し得ず、福島の復興と廃炉に関わる全ての組織に関して必要な業務運営やガバナンスの在り方の見直しはもとより、必要な人材の確保及び育成の在り方についても今後具体化していくことが望まれる。東京電力が検討を進める福島第一廃炉推進カンパニーと福島第二原子力発電所の統合は、組織の改編を通じ、事業所の枠を超えて人材活用の最適化を目指す意味においても重要なものである。統合に伴い要員の多能化や業務運営共通化・効率化を進め、必要な人材の確保にもつながら取組とすべきである。

さらに、中長期的な人材確保を進める際、福島第一廃炉推進カンパニーがユーティリティーとしてのルーチン型業務実施組織から廃止措置サイトオーナーとしてのプロジェクト型業務実施組織への移行を進めている点には十分留意する必要がある。従来東京電力が継続してきた通常発電所の運営・保守を前提とした人材確保策を引き続き適用すべき範囲を見定め、一方で今後業務量増大が予想される廃炉作業において、逐一変化していくプロジェクト型業務に必要となる人材、及びプロジェクト実行の結果新たに設置される施設等の運転・保全に必要となる人材を確保するため、中長期的にいつ頃どのような人材が必要となるかを東京電力自身が見定め、早くからその必要性を明確に提示し、様々なチャンネルを通じて広く社内外から人材を確保するための活動を進められるようにすべきである。このことは、採用¹⁴⁵のためにも、中長期を見据えた社員のリスクリング¹⁴⁶のためにも、若手社員に対する魅力的なキャリアパスデザイン等の人材マネジメントのためにも、地域理解促進¹⁴⁷のためにも、そして、外部組織との連携¹⁴⁸によって人材を補うためにも必要である。

また、廃炉が長期間にわたる取組であることに鑑みれば、東京電力は中長期的視点で計画的かつ体系的に廃炉を担うリーダー育成に取り組む必要がある。困難かつ多様な多くの短期的・中長期的な課題を前に、日々、業務の優先順位に応じた取捨選択をし、やるべきことに取り組む体制を作るため、特に、かつてない困難な廃炉のプロジェクトを担うリーダーには、他のプロジェクトに比べるとより高度の胆力・人間力が求められることは論を待たないが、それらに加え、変化する事業環境を先取りする嗅覚や変化への適応能力、学習能力等が必要となる。さらに、組織における他の人間が、ナショナルチャレンジたる廃炉に取り組むリーダー達や、リーダーに連なる指導層の姿に影響を受け、自身の可能性に気付き、成長へのモチベーションを持つことができ

¹⁴⁵ 例えば専門人材の獲得に向けた取組には、多くの最先端技術を必要とする前人未至のプロジェクトであることや、海外も含め多種多様な高度人材との交流を期待できること等、効果的にアピール出来る要素を整理しておく必要がある。

¹⁴⁶ 例えばアクチニド化学、分析評価、耐震、環境影響評価等、高度かつ将来需要が高まりそうな業務知識は何かを見定め、戦略的に習得を進める必要がある。

¹⁴⁷ 例えば地元の高校や高等専門学校、大学からの採用、あるいは各地に進学した地元出身者の採用など、地元人材の獲得に向けた取組は、長期にわたって復興と廃炉の両立を地元と共に目指す上で、副次的に地域理解が深まる効果も期待できる。

¹⁴⁸ 例えば分析要員の育成、確保は急務であり、東京電力はJAEA等、分析の専門分野を有する組織でのOJTによる育成に着手している。この様な連携により、分析実施者のみならず、分析計画策定や評価等、高度技能を有する分析技術者を含め、分析要員の育成を進める必要がある。

ば、それは廃炉人材の中長期的確保・育成にもつながる。リーダー育成には長い時間を要し、育成に適したキャリアパスを設定すべきであることから、東京電力はその育成を計画的に進めるべきである。

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

6.1.3.2 将来の廃炉を担う次世代の育成

東京電力による廃炉人材の確保に加えて、大学・大学院・高等専門学校・高校等から卒業し、科学や技術に関する専門性を備えた優秀な人材が、廃炉に携わる様々な組織にいかに関続的に供給される道筋を付けるかが課題である。これを安定的に実現していくためには、高等・中等教育機関において、専門的な知識に加え周辺知識を学習・獲得する場の形成、関連するシステム及び制度が教員を含め全体として機能するように維持されることが必要である。

基礎・基盤研究を担う大学・研究機関には、将来、理工学的知見を要する技術課題が発生したときに即応できる人材を育成していくことが期待され、大学・研究機関においても、廃炉現場が抱える課題や認識を共有しておくことが重要である。今後とも次世代を担う人材確保・育成のための取組を関係機関がそれぞれの役割・階層に応じ、引き続き推進・強化していくべきである。

6.1.3.2.1 大学・研究機関等における取組

文部科学省では、英知事業において、国内外の多様な分野の知見を組織の垣根を越えて融合・連携させることにより、中長期的な廃炉現場のニーズに対応する研究開発及び人材育成を推進している。英知事業の「研究人材育成型廃炉研究プログラム」では、2024年度から、福島第一原子力発電所の廃炉に関する研究を通じて、不確実性が高く過酷な環境下の課題に対処でき得る人材の育成を図るとともに、今後の廃炉で求められる国際的な研究人材の育成を目的とした第3期プログラム¹⁴⁹が開始した。また、英知事業の一環として実施している高専生を対象とした廃炉創造ロボコンでは、学生による研究成果が発表され、福島第一原子力発電所の廃炉に携わる研究者・技術者等との意見交換や優秀者の表彰が継続的に行われている。2023年には第8回を数え、海外大学チームの参加があったほか、原子炉建屋内の遠隔装置による環境改善に関する研究等について高専と企業との共同研究が実施されるなど、取組が着実に進展している。

英知事業発足から9年を経て、これらの仕組み・実施内容は、高等教育機関の研究・人材育成の両面から大きな成果を創出しており、卒業生が実際に廃炉関連事業に従事する等の人材の活性化にもつながっている。また、学生を対象とした研究発表の場である「次世代イニシアティブ廃炉技術カンファレンス(NDEC)」は、学生と廃炉に携わる研究者・技術者とが直接交流できる機会としてこれまで9回の実施を重ねており、2024年には、廃炉関連事業者によるブースが設けられ、参加者による活発な意見交換が行われた。引き続き、こうした仕組みの下、福島第一

¹⁴⁹ 英知事業の「研究人材育成型廃炉研究プログラム」では、これまで、大学等による人材育成体制の構築を目的とした第1期プログラム(平成26年から令和元年)及び大学等において培ってきた多様な分野の知見や経験をCLADSに結集させる体制を構築することを目的とした第2期プログラム(令和元年から令和5年)を実施してきた。

原子力発電所の廃炉現場と高等教育機関の活動の視点が一層一致することを目指し、事業を実施していくべきである。

6.1.3.2.2 中等教育段階における取組

高等教育より手前の段階の高等学校、中学校の中等教育段階の生徒に対しては、廃炉を含む原子力分野に携わる魅力を紹介し、廃炉に特化した技術的な関心を寄せる取組や福島第一原子力発電所の廃炉や復興、広くは理系の進路等について理解を広げる取組が大切である。中等教育段階は、自らの個性を伸ばし、興味・関心を探索しつつ、社会に参画・貢献する前の大切な準備段階である。こうした時分に、社会で活躍する研究者・技術者、理系教員等から刺激を受け、主体的な選択と進路の決定に役立ててもらうことは大きな意義がある。こうした観点から、NDFでは、OECD/NEAと連携して「国際メンタリングワークショップ Joshikai in Fukushima」を2019年から開催している。これは、廃炉を始めとした福島の課題に取り組む理工系女性人材の獲得を目指すもので、福島県を始めとした女子高校生等を対象に、国内外の理工系女性研究者・技術者との交流を通じて科学・工学への関心を高めるイベントである。2024年は引き続き、これらの機会を将来の進路を具体的に検討する時期にある41名の高校生等に提供し、廃炉と復興等に向けた理解を広げて、興味・関心及び貢献意欲の醸成を図っている。

こうした取組を通じて、福島第一原子力発電所の廃炉に係る人材の育成は、基礎研究や関連研究等にその裾野を広げていくことも必要である。日本の基礎技術基盤全体を底上げするという方向性の中で、原子力レガシーへの対応や原子力安全への取組が広く定着していくことが期待される。

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

多くの国民が、福島第一原子力発電所の事故・廃炉、災害対応、放射線安全、食品安全等について基礎的な知識を身に付けることは、廃炉及びそれに関係する放射線安全等に関して正確な情報に基づく議論の基礎となり、国民理解の促進には重要である。特に、今後の様々な災害へのレジリエンス（強靱性）を高める観点からも、原子力や廃炉に関する知識・体験を得るとともに、子供の発達段階に応じた学ぶ機会を確保していくべきである。子供は教員や親等の周囲の大人の知識・体験を通じて興味・関心を持つことから、初等教育機関に従事する者も含めた幅広い者に対して原子力や廃炉に関する科学的根拠に基づく知識の一層の普及が効果的である。こうしたことから、政府では、「ALPS処理水の処分にに関する基本方針の着実な実行に向けた行動計画」（2024年8月）を踏まえ、放射線に関する教職員研修及び出前授業の実施、放射線副読本の活用促進等が進められている。また、NDFにおいても、上述のような地元の学生等を対象にした廃炉と復興について考えるワークショップを開催している。

また、廃炉の現状を広く知ってもらう観点から、東京電力においては、福島第一原子力発電所の視察受入れやウェブサイトでも廃炉現場を巡るバーチャルツアーを公開しているとともに、「東京電力廃炉資料館」では原子力発電所事故の経過と廃炉の進捗を展示している。引き続き、福島第一原子力発電所の廃炉の現状を正しく伝えることで国民の関心を喚起し、廃炉への理解促進に資する取組を積極的に推進していくべきである。

6.2 国際連携の強化

6.2.1 国際連携の意義と現状

6.2.1.1 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（Windscale Pile-1）、米国のスリーマイルアイランド原子力発電所2号機（TMI-2）、ウクライナのチョルノービリ原子力発電所4号機（ChNPP-4）がある。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、海外にある過去の核関連施設（以下「レガシーサイト」という。）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。これらの施設やレガシーサイトの設備やそれぞれの状態は多様であるが、いずれにおいても各国は、「unknown unknowns」（何が分からないかが分からない）とも言われる技術的な困難や、長期にわたるプロジェクト運営、多額の資金の確保といった課題に直面しながらも、それら乗り越えるための挑戦を続けている。

福島第一原子力発電所の廃炉は長期にわたると見込まれ、原子炉建屋、PCV、RPV等の内部の状況を推定する調査や解析、燃料デブリ取り出し及びそれらを実行するための研究開発並びに作業従事者の訓練を含むモックアップ試験等において、難度が高い工学的課題が存在している。こうした課題に取り組むに当たっては、諸外国の廃止措置活動で得られた経験や教訓を学びつつ廃炉を進めることが重要との認識の下、海外の知見を結集してきた。具体的には、各相手国の事情に即した二国間協力を進めるとともに、IAEAやOECD/NEA等の国際機関を通じた多国間協力の枠組みを活用して、世界の廃止措置活動の有用な経験を取り入れてきた。

また、これらの国際機関は、廃止措置に関する国際基準の策定、技術情報の集約や紹介、研究者や技術者間の連携や組織化、国際基準や良好事例経験に基づいたピアレビュー、国際的広報活動等多数の重要で有用な役割を担っている。我が国の廃炉の経験を基に技術者や研究者が国際基準の策定、技術課題の集約やピアレビュー等に参画していくことは、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有意義である。また、事故後の多くの取組を経て我が国内に蓄積されている知識や情報を各国に共有することで、国際社会に対する責任の一端を果たすことも期待される。

我が国が福島第一原子力発電所の廃炉を進める上で、国際的に理解を得ることは重要である。そのためには、英知の結集や経験の還元に加えて、国際社会に対する透明性の高い情報の発信と継続的な対話が必要である。

6.2.1.2 国際連携の現状

こうした国際連携の意義の観点から、我が国では、廃炉に関する二国間協力のため、政府間の枠組みとして、各国行政機関や研究機関との情報共有を行う年次対話の開催や会議が設置されており、NDF及び東京電力は、こうした政府間の枠組みと連携しつつ、米国、英国、仏国等の廃止措置活動において実績ある専門組織と協力協定を結ぶ等して国際連携の関係を維持している。

NDFでは、二国間協力について関係各国と年に1回の定期的な会合（年次会合）、来訪・往訪に合わせた不定期な会談を実施する等継続的なコミュニケーションを図っている。

他方、多国間協力についても、政府及び国内の各関係機関は、国際機関の各種会議や専門委員会に参画してきている。東京電力は、IAEA及びOECD/NEAが開催する各種会議やプロジェクトへの参加、加えてNDFは、OECD/NEAの常設技術委員会である廃止措置及びレガシー管理委員会の副議長を務めること等により、廃炉に関する多国間協力の基盤維持への貢献と情報発信に取り組んできている（添付資料21）。

日本政府、東京電力、NDF及び関係機関のそれぞれが、各々のカウンターパートと廃炉に関する技術協力、情報、経験、教訓等の共有等を図っており、今後の長期的な廃炉を見据えた強固な協力関係の構築を目指している。

福島第一原子力発電所のエンジニアリングが本格化する中、世界の優れた技術や人材の最新状況を把握し、これらを有効に活用することが重要である。現在、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。そのような中、東京電力は海外の民間企業との技術交流を活発に行ってきた。

NDFにおいても、会議を開催する際には、参加者の都合等を考慮しつつ、対面開催、オンライン開催、対面とオンラインを組み合わせた開催を検討し、海外機関等とのコミュニケーションを行っている（図65）。

6.2.2 主な課題と戦略

6.2.2.1 世界の英知の結集と還元

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、困難を伴う廃止措置を実施する海外の原子力施設での実績、レガシーサイトの廃止措置活動等の事例から教訓を学び、廃炉に活かしていくことや、世界最高水準の技術や人材を国内の技術に活用することが要求される。すなわち、世界の英知を結集し、活用すると同時に国内の研究開発を進め、経験と実績を積み上げつつ課題解決を実現することが求められる。我が国としても、国際社会への廃炉に関する課題等の情報発信や国際共同活動への参画等を通じ、海外の政府機関、規制当局や研究開発機関の職員、若しくは独立の有識者から様々な支援を受けてきたところである。

各国のレガシーサイトの廃止措置は、公的な廃止措置実施機関が中心となってこれを推進しており、モデルとして技術面や運営面等において参考になる点が多い。技術面では、原子炉等の運転・保守とは異なる専門的知識や考え方、新技術の必要性等、運営面では、制度・政策、戦略策定と事業計画・運営、安全確保、地域コミュニケーション等の課題に対応している。東京電力は、レガシーサイトへ駐在員を派遣し、廃炉の技術的知見、運営ノウハウ等について、実務経験を通して得ているほか、視察の実施や受入れ、廃止措置関連機関・企業との定期的な情報交換等を行



図65 第8回福島第一廃炉国際フォーラムの様子
（2024年8月）

っている。NDFは、各国で中心的な役割を担う公的な廃止措置実施機関として、英国NDA、仏国原子力・代替エネルギー庁（CEA）、米国エネルギー省（DOE）等との長期的なパートナーシップを通して、世界の高難度措置を実施する施設やレガシーサイトでの廃止措置で得られた教訓等の英知を継続して、集める必要がある。

これらを踏まえ、下記3つの戦略を意識して、廃止措置に取り組んでいくべきである。

（１）カウンターパートとの連携

東京電力は廃炉を着実に進めるための実施主体として、NDFは中長期的な視点から、廃炉の適正かつ着実な実施の確保を図るための助言、指導等を行う組織として、それぞれのカウンターパートとの連携を維持・強化することが重要である。国内関係機関間の連携に加えて、現在有する海外専門家との人的コンタクトを技術者レベル、役員レベルそれぞれにおいて高度に維持し、引き続き定期的な情報交換を実施する。このことにより、福島第一原子力発電所の廃止措置の実現に向けて、技術面・運営面で世界の英知を集め、所要の課題解決に最大限反映・活用していくべきである。

（２）廃炉に資する幅広い技術情報の活用

より多くの技術を廃炉に応用する可能性を模索するために、上記（１）に加えて、原子力技術を利用していない国々や原子力以外の産業の専門家から協力を得るべく、あらゆる分野にアンテナを立てて、技術的な情報を継続して収集していくべきである。福島第一原子力発電所の廃炉は、遠隔技術を始めとした、原子力分野だけに限らない様々な分野の知見を組み合わせながら未踏の工学的課題を解決していくプロセスであり、福島第一原子力発電所の廃炉がイノベーション創出の有力な場になり得るものと期待できる。

（３）互恵的関係の継続

事故から約13年が経ち、これまで国内で蓄積したノウハウや成果を国際社会に対して還元・還元することを意識しつつ、互恵的関係の継続を図ることも戦略として堅持することが重要である。国際共同活動への参画に当たっては、我が国にとっての最優先課題である廃炉の着実な実施を前提としつつ、国際社会の利益の確保にも留意するべきである。また、成果の還元の側面からは、例えば、事故や廃炉そのものだけでなく原子力以外の課題への応用といった側面にも関心が広がりつつある。こうした国際社会の変化に応えることで、その関心の維持に努めることも有効である。

世界から多様な知や経験を福島に集約することは、第一義的には福島第一原子力発電所の廃炉そのものを着実に進めるための重要な取組であるが、廃炉プロセスを通じて生み出されるイノベーションを地元産業の復興につなげ、長期にわたる廃炉を進めるに当たって不可欠な地域との共生関係を構築していくという観点からも重要な取組である。

6.2.2.2 廃炉に対する国際社会の理解・関心や協力関係の維持・発展

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

際世論は、廃炉の進捗や成否に相当の影響を与えかねない。このため、海外における福島第一原子力発電所の廃炉に関する誤った認識が広がることで、廃炉の進捗に影響をもたらす。このことを認識し、国際連携を戦略的に検討し実施することは重要である。「福島第一原子力発電所の廃炉は安全に実施できる」とする見方が国内のみならず、海外に十分に行き渡るための取組をするべきである。こうした見方が広がらない場合、対立した構造が発生しかねず、国内の世論や理解の形成及び廃炉の結果に影響するリスクが存在するととらえるべきである。

このため、必要かつ現実的で実施可能と考えられる新たな技術的取組や政策的議論の立ち上がり時に、海外の社会において理解不足を伴うような状況が存在すれば、この取組等に対する懸念の表明、更に進めば国際的安心のためには取組を停止するよう求めること等の影響が想定され得る。このリスクは、NDF及び国内関係機関によってこれらの可能性を事前に評価し、前向きに発信していくことで低減できるが、逆に対応が遅れれば廃炉プロジェクトの支障、ひいては地域の復興に遅延を来すリスクが伴うことになる。また、昨今の気候変動対策への取組、国際紛争に伴うエネルギー安全保障政策の変化、エネルギー供給インフラの強靱化ニーズの拡大等、世界のエネルギー情勢の変化に対応し、各国においてエネルギー政策の見直しが行われている。このような中においても、各国の最新の状況を的確に把握しつつ、福島第一原子力発電所の廃炉に向けて、各国との協力関係を円滑に維持していくことが課題である。

国際的な理解を得るための戦略として、専門家へのアプローチと、一般市民へのアプローチに分けて対応する必要がある。

専門家へのアプローチ

福島第一原子力発電所の廃炉に向けた取組が、科学的・技術的に妥当であることが、海外の専門家に正確に理解されることは国際社会の理解の基礎である。事故から約13年が経過し、近年国際的な学会等では、福島第一原子力発電所の廃炉に関する論文発表数の減少等、廃炉技術や進捗への国際的な関心低下の兆しがうかがえる。国外の関心を維持するためにも、官民の枠を超えて、技術の実務に関与する技術実施者、技術開発者及び研究者のレベルにおいて国外と対話し、交流を活性化していくべきである。

これまでは、廃炉技術の協力のための枠組みに基づいて、レガシーサイトを保有する原子力先進国等を主な相手方とし、情報発信・交流を行ってきた。例えば、NDF及び東京電力は、国際フォーラム、二国間の定例会合、多国間枠組みへの参加等の様々な機会を通して、世界へ向けて廃炉の現状や課題に関する技術的な説明や情報発信を行ってきた。加えて、東京電力は、海外専門家らの福島第一原子力発電所の視察機会を積極的に提供している。こうした活動は、海外の専門家に対して、最新の技術情報を直接伝えることができる点で国際広報を補完する意義があり、国際的な理解を得る上で重要である。さらに、燃料デブリ取り出し、廃棄物管理等、福島第一原子力発電所の特殊な環境の上で進める前例のない取組については、周辺諸国や原子力技術を使用していない国々の多くの専門家との対話を通じて、新たな視点からの意見を取り入れるとともに取組に対する正確な理解を得ていくことも重要である。そうした専門家らの理解を足掛かりとして、その国で正しい理解が広まることも期待される。社会的に影響を持つ専門家らが自身の国で正しい知識に基づき発言をし、最終的に国際世論に良い影響をもたらせるように、我が国としても支援していくべきである。今後は、

日本政府機関、東京電力、また特に I A E A の原子力安全セキュリティ部局とが相互に協力した上で、幅広く議論を実施し、戦略的に強靱な新たな国際連携を構築することを目指す。

科学的で正確な情報に基づく国際世論の形成に資するためには、まずは、世界の専門家に正しく理解してもらおう。このことを認識し、我が国は、各国政府機関や国際機関と連携し、廃炉に向けた取組の実績について情報発信することはもちろんのこと、一層丁寧な対話に努め、継続していくべきである。

一般市民へのアプローチ

情報の受け手の関心等が事故当時から変化しているほか、理解のベースとなる知識や情報量に国ごとに違いがある部分もある。また、我が国として、原子力先進国以外の国々に対しても、国際機関と連携し、福島第一原子力発電所の事故及び廃炉に向けた取組、実績等について、積極的に情報発信を行うべきである。

このため、以下のような配慮が求められる。

- 専門家だけでなく非専門家にも分かりやすい情報を発信すること
- 動画やイラストを効果的に用いる等、受け手の関心や理解度を考慮しつつ説明に工夫を加えること
- 日本語や英語以外の多言語で情報を発信すること 等

こうしたことにより受け手の理解を深めることは、結果として、透明性を高め、信頼関係の構築につながるため、継続して取り組むべきである。また、事故を起こした我が国の責務として、行政機関、大学、研究機関、民間企業を含む国内関係機関が、廃炉に関して透明性の高い、正確な情報発信を継続することが、国際社会の理解の維持・強化や信頼関係の構築のための課題である。国内外全ての一般市民から意見を聞くことは難しいが、これらの懸念や疑問に答える形で情報発信を行う姿勢は必要である。

A L P S 処理水の海洋放出については、外務省、経済産業省を中心として、科学的な見地に基づき、閣僚級会合、国際会議、二国間対話、在外公館等における説明を数多く実施しているほか、経済産業省、原子力規制委員会等による I A E A のレビュー実施への対応等、日本政府一丸となった方策が取られている。このように、日本政府は外交チャンネルを生かし国際機関、各国政府、海外の報道機関等への説明を強化、多言語での情報発信、海外報道機関への情報提供ウェブサイトやメディアを通じた発信等の積極的な広報を継続して実施している。また、事実と異なる報道があった際には、メディアへの説明に加えて、反論記事を掲載する等、適切な報道対応を実施している。

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

6.3 地域共生

6.3.1 地域共生の意義と現状

6.3.1.1 基本的な考え方

福島第一原子力発電所の廃炉における大原則は復興との両立（「復興と廃炉の両立」）である。避難指示が解除された地域において、住民の帰還や事業活動の再開はもとより、域外からの移住・定住や新たな投資の促進等、復興への歩みが徐々に進んでいる中においては、より一層の周辺環境へのリスク低減や安全確保を最優先としつつ、地域からの信頼を獲得するため、地域とのコミュニケーションを強化するとともに地域との共生を進めていくことが必要である。廃炉に対する不安感や不信感によって、廃炉が住民の帰還や移住・定住等の復興の動きの妨げになることは決してあってはならない。

そのため、一方的な情報発信ではなく、地域住民の不安や疑問に真摯に耳を傾け、双方向のコミュニケーションを通じて、地域住民が廃炉について理解を深め、その不安を取り除いていくことが重要である。

また、長期にわたる廃炉を貫徹するためには、地元企業を中心とした企業の継続的な協力が不可欠である。それと同時に、地元企業が廃炉事業に参画することで、この地で廃炉関連産業が活性化し、雇用や技術が生まれるのみならず、他の地域や産業への成果の広がりにつながることから、福島の復興に貢献するための重要な柱でもある。

福島第一原子力発電所において、約 3,500～4,700 人の作業員¹⁵⁰が業務に従事している。なお、地元雇用率¹⁵¹は約 7 割となっている。このように、廃炉事業は地域の方々によって支えられており、引き続き長きにわたる廃炉事業を着実かつ安定的に進めていくためには、こうした地元雇用の観点での貢献も重要である。

このことを踏まえ、「福島イノベーション・コースト構想」の取組とも連携しつつ、廃炉を通じて地域の雇用創出、人材育成、産業・経済基盤の創造等に貢献し、「復興と廃炉の両立」の実現を目指すこととしている。

6.3.1.2 現状における具体的な取組

（1）コミュニケーションの取組

政府においては、「廃炉・汚染水・処理水対策福島評議会」等、主催する会議体における地元関係機関等との意見交換、廃炉の現状をまとめた動画やウェブサイト、パンフレット等による情報発信、地域住民や関係自治体を対象とした説明会・座談会の開催等を行っている。

¹⁵⁰ 福島第一原子力発電所において放射線業務従事者登録をしている協力企業と東京電力の社員のうち、2024年7月までの至近2年間に、実際に発電所構内での作業に従事した各月の平日1日あたりの平均人数。東京電力、廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第129回）、「廃炉・汚染水・処理水対策の概要」、2024年8月29日

¹⁵¹ 2024年7月時点における雇用率。東京電力、廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第129回）、「廃炉・汚染水・処理水対策の概要」、2024年8月29日

NDFにおいては、国内外の専門家との廃炉に関する最新の知見や技術的成果・課題の共有を目的に国際フォーラムを開催し、地域住民を始めとした参加者と関係機関等との廃炉に関する率直な意見交換も行っている。なお、意見交換の促進のため、国際フォーラム開催前に高校生・高専生を含む地元の方々と対話を行う「ヒアリング活動」を例年実施しており、「生の声」を収集、整理及び編集し、冊子「ぼいすふるむふくしま」にまとめ、国際フォーラムで配布しているほか、政府や地元自治体主催の会議等での廃炉に関する進捗の説明等に努めている。

東京電力においては、政府や福島県主催の会議体における地域代表者等への説明・対話の取組のほか、報道機関向けの定例の会見やレクチャー、自社のウェブサイト、パンフレット等を活用した情報発信を継続的に行っている。また、廃炉の現状を見聞きして、率直な意見を交わすことが共通理解の形成に資することから、視察受入れは非常に有効である。こうした考えの下、福島第一原子力発電所の視察受入れを積極的に行っている（視察者数：2019年度 18,238人、2020年度 4,322人、2021年度 6,138人、2022年度 14,728人、2023年度 18,516人）。一方、新型コロナウイルス感染症の影響で視察に制限が必要となった等、今後その必要が生じる可能性があることや、直接視察を行えない方もいることから、東京電力のウェブサイトで2018年から福島第一原子力発電所の廃炉現場を巡るバーチャルツアーを公開しており、こうした疑似体験プログラムも活用した積極的な情報発信に取り組んでいる。

加えて、原子力発電所事故の経過と廃炉の進捗を学べる場として富岡町に設置している「東京電力廃炉資料館」では、2024年3月末時点で累計約14万人を超える来場者数となっている。2020年度からは、福島県が双葉町に開所した「東日本大震災・原子力災害伝承館」との連携を図っている。

（2）廃炉を通じた地域の産業・経済基盤の創造に向けた取組

東京電力は、2020年3月末に策定した「お約束」に基づき、廃炉産業集積に向けた取組を大きく「地元企業の参画拡大」、「地元企業のステップアップサポート」、「地元での新規産業創出」の3つに整理し、段階的に着手している。また、これらの地域共生の取組を着実に進めるため、東京電力は組織改編を随時実施している。具体的には、2020年4月に福島第一廃炉推進カンパニー内に地域パートナーシップ推進グループを、2020年10月には福島第一原子力発電所内に地域との共生に取り組む専門部署を設置したほか、社長直轄として浜通り廃炉産業プロジェクト室を設置した。それぞれ役割分担の下、社内外の調整や地元での現場対応、中長期的な方向性の検討等を行っている。

及び の取組については、福島イノベーション・コースト構想推進機構及び福島相双復興推進機構と連携し、以下を実施している。

- 廃炉事業への参画希望や興味・関心を持つ地元企業と地元企業への発注を検討している元請企業とのマッチングを支援するための共同相談窓口の設置・運用
- 元請企業と地元企業との廃炉関連産業マッチングの開催
- 元請企業と地元企業との関係構築のための廃炉関連産業交流会の開催
- 地元企業への個別訪問

- 地元企業を対象とした福島第一原子力発電所の視察ツアー 等

廃炉作業における地元企業への発注は、主として元請企業を介した間接的な形により行われることから、元請企業・地元企業双方に対するアプローチが必要となる。このため、人材育成に関する元請企業・地元企業双方へのニーズ調査、複数の大学との共同研究等に着手しているほか、2020年9月に作成した「中長期発注見通し」の内容を、廃炉作業の進捗に合わせて適宜更新し、元請企業はもとより、地元の商工団体や地元企業に対する説明会を順次実施している。特に、2022年度からは「中長期発注見通し」に地元企業参画の候補となる具体的な作業を明示する工夫を実施し、地元企業に対して参画の検討に資する情報の共有を行っているほか、元請企業に対する説明会において地元企業参画に対する東京電力の思い・考えを示すこと等により、元請企業の理解促進や、地元企業とのマッチング支援を行っている。

これらの取組により、2020年7月のマッチングサポート事務局（東京電力、福島イノベーション・コースト構想推進機構及び福島相双復興推進機構で組織）開設以降、2024年8月末までにおいて、廃炉関連マッチング（成約）件数が累計1,183件になる等、着実に成果につながっている。

の取組については、地元で「開発・設計」から「製造」、「運用」、「保管」、「リサイクル」という一貫した廃炉事業の実施体制を構築するため、これまで海外を含め福島県外に発注していた比較的難度の高い設計や技術開発、高機能な製品の製造等を浜通り地域で完結できるよう、2020年代に複数の新たな施設の設置・運用を予定している。特に「開発・設計」及び「製造」については、パートナー企業と共同事業体を設立し、地元企業との緊密な連携を図ることで、地域の雇用創出、人材育成、産業・経済基盤の創造等を目指している（2022年4月27日公表）。具体的な取組として、2022年10月に、使用済燃料キャスク等、廃炉に向けて必要となる様々な中核製品を製造する「東双みらい製造株式会社」、及び燃料デブリの取り出し規模の更なる拡大に必要なシステム・設備の基本設計、必要となる研究開発を行う「東双みらいテクノロジー株式会社」を設立した。

6.3.2 主な課題と戦略

6.3.2.1 コミュニケーションに関する課題と戦略

廃炉に関する不適切な情報発信による誤解や懸念、風評の発生は、廃炉に対する地域はもとより社会全体の評価・信頼を失墜させ、廃炉の遅れのみならず福島復興への妨げにつながることから、東京電力は、様々な手段を講じて廃炉の現状を正確かつ分かりやすく速やかに発信していくことが課題となる。このため、引き続き視察や座談会といった直接対面する取組に加え、バーチャルツアーのような疑似体験プログラムやオンライン会議システムといったツールの積極的な活用、写真・動画コンテンツの一層の充実を図る等、非対面・非接触でも可能なコミュニケーションも強化していくべきである。

また、政府、NDF及び東京電力が適切に連携し、情報提供をより一層丁寧に行い、地域との信頼構築に努めることも課題となる。このため、座談会の開催や地域の会議体・行事へ参加する等、機会を捉えた地域住民との直接対話や関係機関等との連携を積極的に図っていくとともに、国際フォーラム等のイベントを通じ、不安や疑問に真摯に耳を傾ける等、対話による双方向のコ

コミュニケーションを図り、正確な情報を分かりやすく丁寧に伝えていく。こうした機会を捉え、地域や東京電力、政府、NDF、関係機関等が、様々な状況変化の中で、共に知見を深めてくべきである。

特に、ALPS処理水の処分に関して、政府においては、「ALPS処理水の処分に関する基本方針の実施状況と今後の対策の方向性について」(2024年8月30日策定)等に基づき、科学的根拠に基づく安全性を発信する等、風評を生じさせない対策や、漁業者の設備投資や販路拡大に対する支援、基金や賠償等のセーフティネットの充実を行うことで風評に打ち勝つための対策を実施している。

また、東京電力においては、「多核種除去設備等処理水の海洋放出の開始について」(2023年8月22日公表)に基づき、「処理水ポータルサイト」による情報発信や関係機関による安全確認等を通じた風評影響の抑制に向けて取り組んでいる。2024年8月19日には燃料デブリに関する情報を分かりやすく伝えることを目的に「燃料デブリポータルサイト」を開設した。引き続き、地元等の理解醸成に最大限取り組み、信頼を積み重ねるべきである。

6.3.2.2 廃炉を通じた地域の産業・経済基盤の創出に関する課題と戦略

6.3.1.2(2)で示したように、東京電力は、「お約束」の実現に向けた様々な取組を進めているが、これらはすぐに目に見える成果が出るものではなく、一定の期間を要する。「地元での新規産業創出」の取組である2020年代の複数の新たな施設を設置・運用、及びパートナー企業と共同企業の設立については、比較的大規模な投資であり、浜通り地域への大きな経済効果が見込まれることから、着実に取組の推進・強化を行っていくことが求められる。一方、特に高機能製品の製造については高度な技術を要することから、地元企業の技術力の向上を図る等、地元企業の積極的な参画につなげられるかが課題となる。よって、当面は「地元企業の参画拡大」「地元企業のステップアップサポート」といった現状の取組もしっかりと継続・強化するとともに、新たな廃炉関連施設の立地場所や規模、建設・運用までのスケジュール、雇用・協業・発注における地元との関わりなど諸々の検討状況について、地元の自治体、商工団体及び関係機関に丁寧に説明し、理解・協力を得ながら取組を進めていくべきである。

また、前述のとおり、廃炉作業における地元企業への発注は、主として元請企業を介した間接的な形により行われることから、地元企業の参画拡大に当たっては元請企業各社による理解・協力が欠かせない。これまでも元請企業は福島復興に貢献すべく地元企業参画に注力しているが、東京電力及びNDFを初めとする関係機関が、そうした取組状況や、元請企業の視点から見た課題・意見を把握し、共有して一緒に議論していくことで、元請企業が今後更に地元企業の参画を得やすくなるような環境整備を行っていくべきである。

地元企業の中には、必ずしも元請となることを希望しておらず、まずは下請けとして参入して技術や経験を得ることを望む声もある。こうした地元企業の意向やニーズを適切に把握した上で、東京電力と元請企業が連携して発注・契約を含めた様々な取組を具体的に検討し、試行的に実施することも重要である。例えば、元請企業による技術指導を含めた地元企業への発注や人材育成に関し一定の成果があった場合には、複数年契約や優先発注のような契約上のインセンティブを元請企業に付与する仕組みを構築する等、両者にメリットが生じるような手法を取り入れることで、地元企業の受注促進に寄与するものと考えられる。引き続き、地元企業が参画しやすくなる

取組や、地元企業が継続した一定規模の発注を見通すことができる取組を検討する等、今後長期にわたる廃炉作業を地元・福島と共に進めていくという姿勢を示していくべきである。

あわせて、人材育成の取組に関しては、2018年に発足し、これまで放射線防護教育、低圧電気取扱等の特定事項に関する特別教育等を実施してきている福島原子力企業協議会の福島廃炉技術者研修センターを活用し、地元企業向けに特化した研修を拡充させることが課題である。こうした様々な取組を状況の変化に適宜対応しながら着実に進め、廃炉事業を通じた地元産業・経済の基盤づくりと地元企業・人材の育成を図っていくべきである。

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

これらの地域共生の取組を着実に進めるには、東京電力社内における各部署間の緊密な連携が不可欠である。6.3.1.2(2)で示した、東京電力が組織改編により地域共生の専門部署を順次設置し、廃炉を通じた地元の産業振興に向けた取組が少しずつではあるが前に進んでおり、地元からも一定の評価を得つつある。この流れを絶やさず着実に進めつつ、更なる地元の産業振興に向け、必要に応じて社内の取組を強化していくべきである。

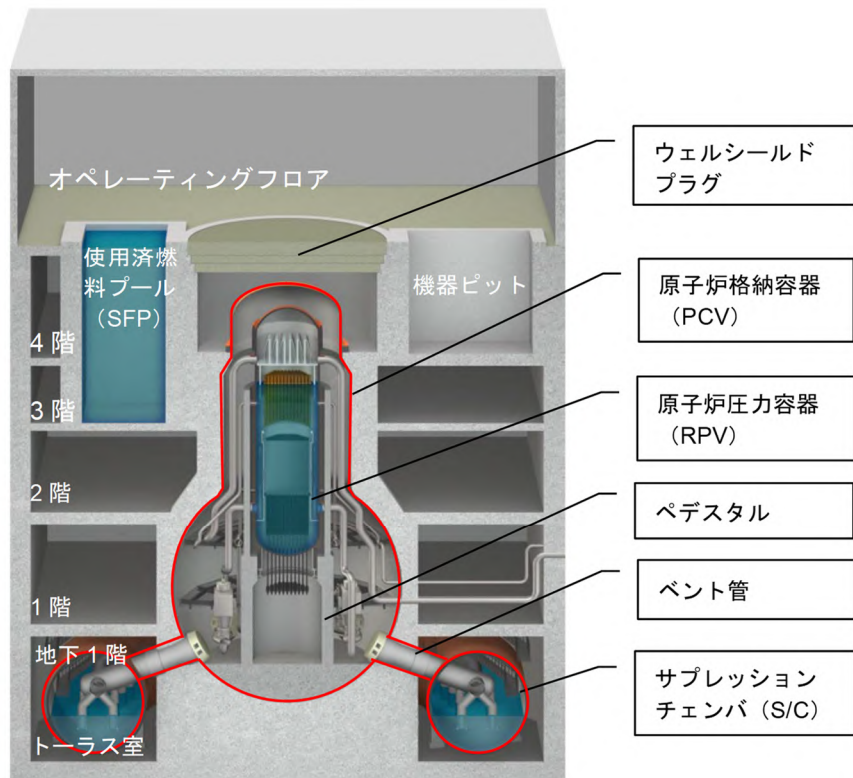
さらに、福島県を始めとする地元自治体、共同相談窓口の運用やマッチング会の共催等を行っている福島イノベーション・コースト構想推進機構、福島相双復興推進機構を始めとする地元関係機関との連携・協働をより一層強化していく必要がある。NDFは、東京電力の地域共生に関する取組を適切に支援するとともに、地元自治体、関係機関等との連携・協働の強化に努めていく。

略語・用語集

略 語	正 式 名 称
A L A R A	As Low As Reasonably Achievable：全ての被ばくは社会的、経済的要因を考慮に入れながら合理的に実行可能な限り低く抑えるべきである、という被ばく管理の基本精神
A L P S 処理水	多核種除去設備（ALPS：Advanced Liquid Processing System）等を使って「汚染水」からトリチウム以外の放射性物質を規制基準以下まで取り除いたもの
A W J	Abrasive Water Jet（アブレイブウォータージェット）
C R D	Control Rod Drive：制御棒駆動機構
D O E	United States Department of Energy：米国エネルギー省
D Q O プロセス	Data Quality Objectives プロセス：米国環境保護庁により開発された、意思決定のために分析試料のサンプリングを計画する方法
F P	Fission Products：核分裂生成物
F - R E I	Fukushima Institute for Research, Education and Innovation：福島国際研究教育機構
H I C	High Integrity Container：高性能容器
I A E A	International Atomic Energy Agency：国際原子力機関
I L C	Interlaboratory Comparison：分析機関間比較
I R I D	International Research Institute for Nuclear Decommissioning：国際廃炉研究開発機構
J A E A	Japan Atomic Energy Agency：日本原子力研究開発機構
J A E A / C L A D S	JAEA Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science：JAEA 福島研究開発部門福島研究開発拠点 廃炉環境国際共同研究センター
M A D A 評価	多属性効用分析手法
N D A	Nuclear Decommissioning Authority：英国原子力廃止措置機関
N D C	MHI 原子力研究開発株式会社
N D F	Nuclear Damage Compensation and Decommissioning Facilitation Corporation：原子力損害賠償・廃炉等支援機構
N F D	Nippon Nuclear Fuel Development Co.,Ltd：日本核燃料開発株式会社
O E C D / N E A	OECD Nuclear Energy Agency：経済協力開発機構/原子力機関
O R B S	Overarching Radiation-monitoring data Browsing System in the coastal ocean of Japan：包括的海域モニタリング閲覧システム
P C V	Primary Containment Vessel：原子炉格納容器
R O V	Remotely Operated Vehicle
R P V	Reactor Pressure Vessel：原子炉圧力容器
S / C	Suppression Chamber：サプレッションチェンバ

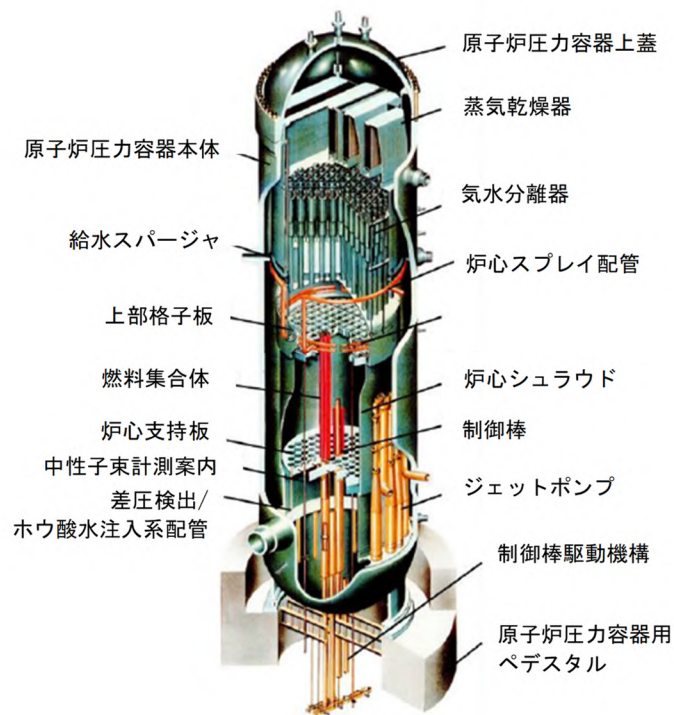
略 語	正 式 名 称
S E D	Safety and Environmental Detriment : 英国原子力廃止措置機関が開発したリスクレベルを表現する手法
S F P	Spent Fuel Pool : 使用済燃料プール
S G T S	Standby Gas Treatment System : 非常用ガス処理系
T M I - 2	Three Mile Island Nuclear Power Plant Unit 2 : 米国スリーマイルアイランド原子力発電所 2 号機
X-2 ペネ	PCV 貫通部 X-2 ペネトレーション
X-6 ペネ	PCV 貫通部 X-6 ペネトレーション
英知事業	英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業
オペフロ	オペレーティングフロア
お約束	復興と廃炉の両立に向けた福島の方々へのお約束
柏崎刈羽	東京電力ホールディングス(株)柏崎刈羽原子力発電所
技術戦略プラン	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
技術的見通し	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
国際フォーラム	福島第一廃炉国際フォーラム
水中 R O V	潜水機能付ポート型アクセス調査装置 (ROV : Remotely Operated Vehicle)
中長期ロードマップ	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
東京電力	東京電力ホールディングス(株)
非破壊計測	サンプルから放出、散乱、又は透過した放射線、量子等を利用して、サンプルを破壊せずに核燃料や放射能の量等を評価する手法
福島第一原子力発電所	東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所
ミュオン測定 (ミュオンによる燃料デブリ検知技術)	宇宙や大気から降り注ぐミュー粒子 (ミュオン) が物質を通り抜ける際に、密度の違いにより粒子の数や軌跡が変化する特性を利用して燃料の位置や形状を把握する技術
リスク低減目標マップ	東京電力福島第一原子力発電所の中期的リスクの低減目標マップ

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



(I R I D提供)

図 66 原子炉建屋内構造図



(I R I D提供)

図 67 原子炉圧力容器 (R P V) 内構造図

添付資料

目次

添付資料 1 中長期ロードマップの改訂とこれまで公表した技術戦略プランについて.....	175
添付資料 2 福島第一原子力発電所の廃炉に係るこれまでの主な実績	177
添付資料 3 これまでに実施した主なリスク低減対策と今後の計画	183
添付資料 4 P C V ・ 建屋等の構造健全性における課題	189
添付資料 5 S E D 指標の概要	193
添付資料 6 主要なリスク源として明示的に取り扱っていないリスク源.....	199
添付資料 7 リスクの時間変化	201
添付資料 8 燃料デブリ取り出しの対象となる燃料デブリについて	202
添付資料 9 これまでの工法検討の変遷.....	204
添付資料 10 事故分析（事故時の発生事象等の明確化）活動の継続（最近の活動の進捗）	212
添付資料 11 固体廃棄物管理に関する用語	225
添付資料 12 放射性廃棄物処分について.....	226
添付資料 13 福島第一原子力発電所の固体廃棄物の保管管理計画の全体イメージ	229
添付資料 14 固体廃棄物毎の各分野における技術の開発・検討状況.....	231
添付資料 15 A L P S 処理水の海洋放出に向けたこれまでの取組	233
添付資料 16 分析に係る関係機関個別の実行計画	243
添付資料 17 研究開発中長期計画	245
添付資料 18 廃炉・汚染水・処理水対策事業における研究開発のこれまでの取組	247
添付資料 19 現在取り組んでいる研究開発	249
添付資料 20 英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業（英知事業） 選定課題.....	251
添付資料 21 国際連携の強化に係る主な活動実績	259

添付資料1 中長期ロードマップの改訂とこれまで公表した技術戦略プランについて

<p>【中長期ロードマップ 初版（2011年12月21日）】</p> <ul style="list-style-type: none"> 事故発生後に政府及び東京電力で取りまとめた「東京電力福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋 当面のロードマップ」におけるステップ2が完了したことに伴い、確実に安定状態を維持するための取組、使用済燃料プールからの燃料取り出しや燃料デブリの取り出し等の中長期に亘って進めるべき必要な措置を、東京電力、資源エネルギー庁、原子力安全・保安院の3者にて取りまとめ、政府・東京電力中長期対策会議で決定 中長期の取組の実施に向けた基本原則の提示や、廃止措置終了までの期間を使用済燃料取り出し開始までの期間（第1期）、第1期終了後から燃料デブリ取り出し開始までの期間（第2期）、第2期終了後から廃止措置終了までの期間（第3期）に区分した上で時期的目標を設定
<p>【中長期ロードマップ 改訂第1版（2012年7月30日）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ステップ2以降に東京電力が策定した「中期的な信頼性向上のために優先的に取り組むべき事項についての具体的な計画」の反映や、作業の進捗状況に応じた目標の明確化
<p>【中長期ロードマップ 改訂第2版（2013年6月27日）】</p> <ul style="list-style-type: none"> 使用済燃料プールからの燃料取り出し、燃料デブリ取り出しについて号機ごとの状況を踏まえたスケジュールの検討（複数プランの提示）及びこれを踏まえた研究開発計画の見直し
<p>【技術戦略プラン 2015（2015年4月30日）】</p> <ul style="list-style-type: none"> 福島第一原子力発電所の廃炉を適正かつ着実に実施する観点から、中長期ロードマップにしっかりとした技術的根拠を与えるために初版となる技術戦略プランを公表 （NDFは2014年8月18日に既存の原子力損害賠償支援機構を改組する形で発足） 福島第一原子力発電所の廃炉を「過酷事故により顕在化した放射性物質によるリスクから人と環境を守るための継続的なリスク低減活動」と位置付け、リスク低減のための5つの基本的考え方（安全、確実、合理的、迅速、現場指向）を提示 燃料デブリ取り出し分野について、冠水 - 上アクセス工法・気中 - 上アクセス工法・気中 - 横アクセス工法を重点的に検討する工法と位置付け、実現可能性のあるシナリオを検討 廃棄物対策分野について、処分の安全確保や処理の在り方の基本的考え方を踏まえ、中長期的観点から保管・管理等の方針を検討
<p>【中長期ロードマップ 改訂第3版（2015年6月12日）】</p> <ul style="list-style-type: none"> リスク低減を重視し、長期的にリスクが確実に下がるように取組の優先順位付けを実施 燃料デブリ取り出し方針の決定（2年後を目処）、建屋内滞留水中の放射性物質の量を半減（2018年度）等、数年間の目標の具体化
<p>【技術戦略プラン 2016（2016年7月13日）】</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術戦略プラン 2015 公表からの廃炉の進捗状況を踏まえつつ、中長期ロードマップで規定された2017年夏頃の「号機ごとの燃料デブリ取り出し方針の決定」、2017年度の「放射性廃棄物の処理・処分に係る基本的な考え方」とりまとめ」等の目標工程に向けて、技術戦略プラン 2015 の考え方や取組の方向性に従って具体的な考え方や方法を展開
<p>【技術戦略プラン 2017（2017年8月31日）】</p> <ul style="list-style-type: none"> 燃料デブリ取り出しの重点3工法について実現性評価等を行い、燃料デブリ取り出し方針の決定に向けた提言と予備エンジニアリング等方針決定以降の取組を戦略的提案として提言 固体廃棄物の処理・処分に係る基本的考え方の取りまとめに向けた提言
<p>【中長期ロードマップ 改訂第4版（2017年9月26日）】</p> <ul style="list-style-type: none"> NDFの技術提言を踏まえ、燃料デブリ取り出し方針と当面の取組を決定

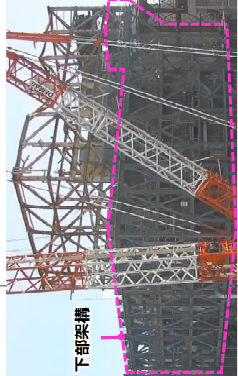
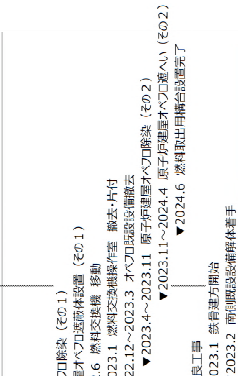

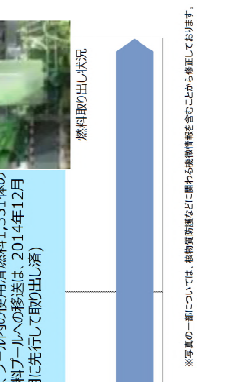
<ul style="list-style-type: none"> • 固体廃棄物の処理・処分に関する基本的考え方の取りまとめ • 個別作業を具体化するに当たり、「廃炉作業全体の最適化」の視点
<p>【技術戦略プラン 2018 (2018年10月2日)】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 汚染水対策及び使用済燃料プールからの燃料取り出し等も含めた構成とし、福島第一原子力発電所廃炉の取組全体を俯瞰した中長期的視点での方向性を提示
<p>【技術戦略プラン 2019 (2019年9月9日)】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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、廃棄物対策等も含め、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
<p>【中長期ロードマップ 改訂第5版 (2019年12月27日)】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 燃料デブリを取り出す初号機と、その取り出し方法を確定 • 1、2号機のプール内燃料の取り出しに係る工法を変更 • 1日当たりの汚染水発生量について、2020年以内に150m³まで低減させる目標は堅持。加えて、2025年以内に100m³まで低減させる新たな目標を設定
<p>【技術戦略プラン 2020 (2020年10月6日)】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 廃炉中長期実行プランが策定されたこと、規模の更なる拡大に向けた燃料デブリ取り出し方法の検討に必要な要求事項の抽出、廃炉作業における安全確保の考え方の明確化、研究開発の重要性の高まりを受けた管理体制の強化等を特徴的に記載
<p>【技術戦略プラン 2021 (2021年10月29日)】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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提示するとともに、新型コロナウイルス感染症の影響を最小限にするための試験的取り出しに向けた課題、取り出し規模の更なる拡大の工法選定に向けた論点整理、ALPS処理水に係る取組等を記載
<p>【技術戦略プラン 2022 (2022年10月11日)】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2号機の試験的取り出しに向けた準備状況、取り出し規模の更なる拡大に向けた工法検討として俎上に上がった工法の例（気中工法、冠水工法）の概要と課題、ALPS処理水の海洋放出に向けた取組状況、廃炉の推進に向けた分析戦略等を記載
<p>【技術戦略プラン 2023 (2023年10月18日)】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1号機のベデスタルの健全性に関する調査及び評価、2号機の試験的取り出しに係る準備、3号機燃料デブリの取り出し規模の更なる拡大の工法選定に係る検討、ALPS処理水の海洋放出、分析体制の強化等を記載

3 使用済燃料プールからの燃料の取り出し作業

中長期ロードマップにおけるマイルストーン（主要な目標工程）

- ・1～6号機燃料取り出しの完了（2031年内）
- ・1号機大型カバ－の設置完了（2023年度頃）、1号機燃料取り出しの開始（2027年度～2028年度）
- ・2号機燃料取り出しの開始（2024年度～2026年度）

参考資料 3/6
2024年8月29日
藤中・巧治水・如里水対策チーム会議
事務局会議

凡例	燃料の保管搬出	燃料取り出し	燃料取り出し設備の設置	燃料取り出しの開始	燃料取り出しの完了
1号機	<p>下部架構</p>  <p>2024年（令和6年）～</p>	<p>1号機原子炉建屋への大型カバ－設置に当たり、南面外壁で高線量箇所が確認されたため、放射線対策として、高線量箇所に対する遮へいの設置を実施。2025年度工事完了となる見込み。</p> <p>2025年度工事完了となる見込み。</p> <p>中長期ロードマップの進捗状況は、2027年度から2028年度にかけての1号機原子炉建屋からの燃料取り出し開始の時期については、大型カバ－設置後の工程の進捗等により、設置の見込みあり。</p> <p>2017.12 建屋カバ－構体 防風フェンス設置完了 2018.1～2020.12 原子炉建屋北側バルコニー工事完了 2018.9～12 X線モニタリング作業 2020.3～6 使用済燃料プール養生設置 2020.9～11 カバ－落下防止・傾斜対策 2020.11～2021.6 大型カバ－構体 2021.8 大型カバ－準備工事開始 2022.4 大型カバ－設置工事開始</p>	<p>2020年（令和2年）</p> <p>2021年（令和3年）</p> <p>2022年（令和4年）</p> <p>2023年（令和5年）</p> <p>2024年（令和6年）</p>	<p>2024年（令和6年）</p>	<p>2027年度（令和9年度）</p> <p>2028年度（令和10年度）</p>
2号機	<p>燃料取り出し用構台</p>  <p>2024年（令和6年）</p>	<p>2号機使用済燃料プールからの燃料取り出しに向けては、2018年11月～2019年2月のオオカワ前回の結果を踏まえ、建屋上部を全面解体する工法から建屋南側に小形掘削工法を採用し、フォーム型カバ－を用いる工法へ変更することとした。引き続き、2024～2026年度の燃料取り出し開始に向け、検討を進める。</p> <p>2018.8～2020.12 使用済燃料プール内調査実施 2021.6～2022.1 原子炉建屋北側バルコニー改修（50.1） 2021.9～2022.5 原子炉建屋北側バルコニー改修（50.1） 2021.5～2021.6 燃料交換機 移動 2021.7～2023.1 燃料交換機解体作業 撤去・片付 2022.12～2023.3 オオカワ前回の結果を踏まえ、建屋上部を全面解体する工法へ変更することとした。引き続き、2024～2026年度の燃料取り出し開始に向け、検討を進める。 2023.11～2024.4 原子炉建屋北側バルコニー改修（50.2） 2024.6 燃料取り出し用構台設置完了</p> <p>2020.6 使用済燃料プール内調査実施 2021.10～2022.4 地盤改良工事 2023.1 原子炉建屋南側 2023.2 南側掘削設備解体着手</p>	<p>2020年（令和2年）</p> <p>2021年（令和3年）</p> <p>2022年（令和4年）</p> <p>2023年（令和5年）</p> <p>2024年（令和6年）</p>	<p>2024年（令和6年）</p>	<p>2027年度（令和9年度）</p> <p>2028年度（令和10年度）</p>
3号機	<p>燃料取り出し用構台</p>  <p>2024年（令和6年）</p>	<p>燃料取り出し用カバ－設置に向けて、プール内並列カバ－撤去作業が2015年11月に完了。安全・燃費に燃料取り出しを準備するため、現場に設置する燃料取り出し設備を用いて、工場で遠隔操作試験を実施（2015年2月～12月）。2018年2月23日燃料取り出し用カバ－設置完了。</p> <p>燃料取り出しに向けては、燃料取り出し設備の計画していたカバ－撤去計画を2019年3月15日より開始し、2019年4月15日より燃料取り出しを開始。2021年2月28日燃料取り出しを完了。</p> <p>2015.8 使用済燃料プール内の燃料交換機設備の撤去完了 2016.12 原子炉建屋南側上部表面に遮へい体設置完了 2017.1 燃料取り出し用カバ－の設置開始 2019.4.15 燃料取り出し作業開始 2021.2.28 燃料取り出し作業完了（566機）</p>	<p>2015年（平成27年）</p> <p>2016年（平成28年）</p> <p>2017年（平成29年）</p> <p>2018年（平成30年）</p> <p>2019年（令和元年）</p> <p>2020年（令和2年）</p> <p>2021年（令和3年）</p> <p>2022年（令和4年）</p> <p>2023年（令和5年）</p> <p>2024年（令和6年）</p>	<p>2024年（令和6年）</p>	<p>2027年度（令和9年度）</p> <p>2028年度（令和10年度）</p>
4号機	<p>燃料取り出し用カバ－</p>  <p>2024年（令和6年）</p>	<p>中長期ロードマップでは、ステップ2完了から52年以内（～2013年12月）に初号機の使用済燃料プール内の燃料取り出しを開始第1期を目途としてきた。</p> <p>2013年11月18日より初号機である4号機の使用済燃料プールの燃料取り出しを開始し、第2期へ移行した。</p> <p>燃料取り出し作業開始から1年以内となる2014年11月5日にプール内の使用済燃料1,331体の共用プールへの移送が完了し、残りの新燃料の6号機使用済燃料プールへの移送は、2014年12月22日完了（新燃料2機については燃料貯留の2012年7月に先行して既出済み）。</p> <p>これにより、4号機原子炉建屋からの燃料取り出しが完了した。</p> <p>2013.10 燃料取り出し作業開始 2014.12.22 燃料取り出し作業完了（1533機）</p>	<p>2011年（平成23年）</p> <p>2012年（平成24年）</p> <p>2013年（平成25年）</p> <p>2014年（平成26年）</p> <p>2015年（平成27年）</p> <p>2016年（平成28年）</p> <p>2017年（平成29年）</p> <p>2018年（平成30年）</p> <p>2019年（令和元年）</p> <p>2020年（令和2年）</p> <p>2021年（令和3年）</p> <p>2022年（令和4年）</p> <p>2023年（令和5年）</p> <p>2024年（令和6年）</p>	<p>2024年（令和6年）</p>	<p>2027年度（令和9年度）</p> <p>2028年度（令和10年度）</p>

※写真の一部については、燃料貯留庫の日に限らず燃料貯留庫を全てから撮影しております。

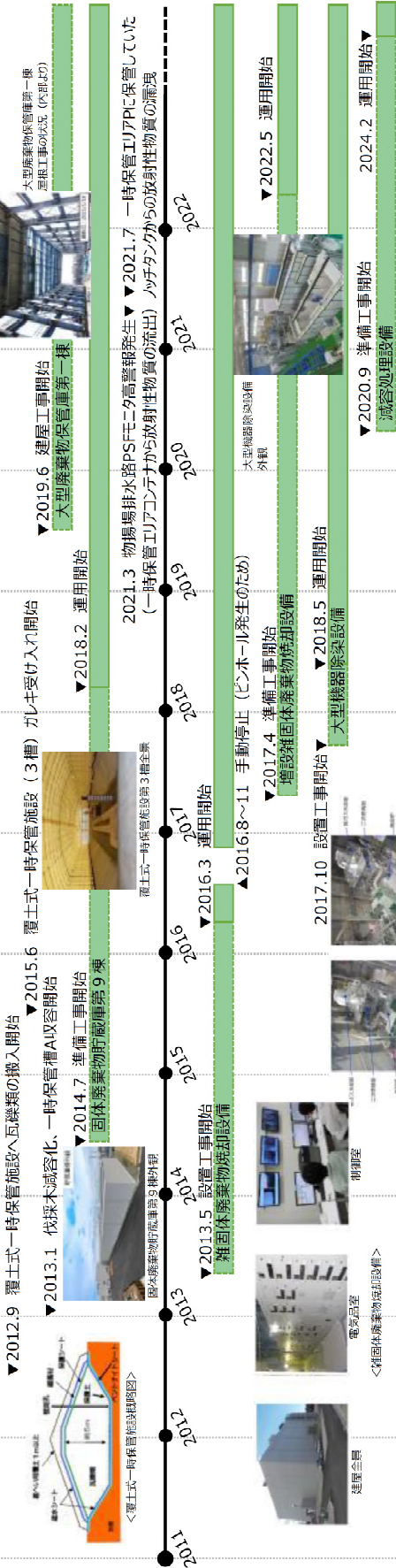
5 放射性固体廃棄物の管理

中長期ロードマップにおけるマイルストーン（主要な目標工程）

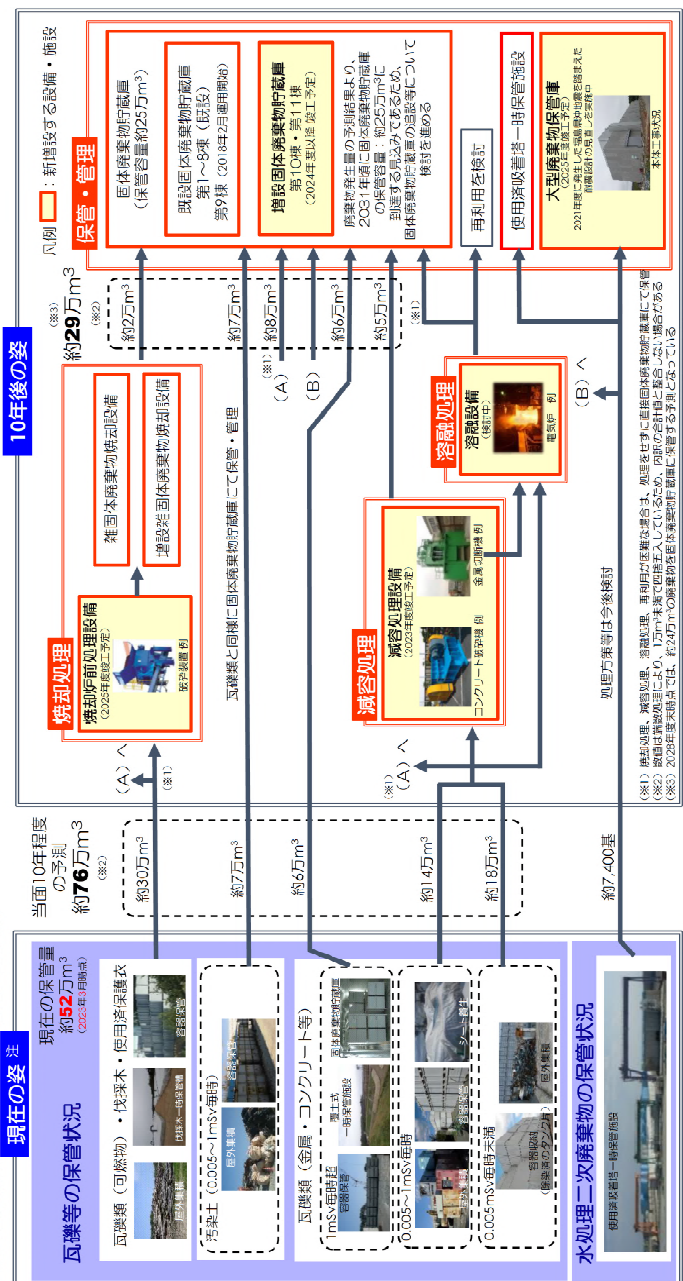
カレキ等の屋外一時保管施設 ※水処理二次廃棄物及び再利用・再使用対象を除く（2028年度内）

★2016.3 固体廃棄物の保管管理計画（初版）策定
 ★2017.6 改訂 ★2018.6 改訂 ★2019.6 改訂 ★2020.7 改訂 ★2021.7 改訂 ★2023.2 改訂 ★2023.11 改訂

参考資料 5/6
 2024年8月29日
 廃炉・汚染水・処理水対策チーム合同
 事務局会議



●福島第一原子力発電所の固体廃棄物の保管管理計画（2023年11月版）
 雑固体廃棄物焼却設備 焼却設備全体（写真左：A系、右：B系）



注) 現時点で処理・再利用が定まっている焼却炉の処理能力は、BCLレベルのコンクリートカレキは含んでいない。



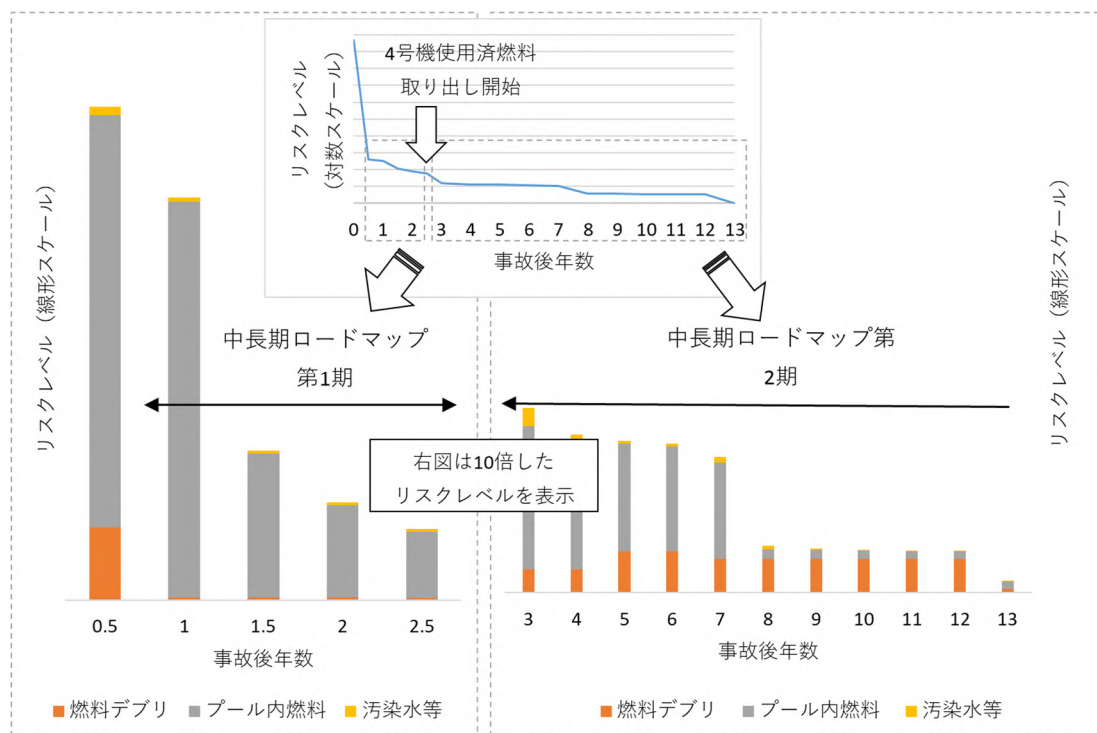
焼却炉建設現場 現場写真

添付資料3 これまでに実施した主なリスク低減対策と今後の計画

福島第一原子力発電所が有するリスクレベルの時間的変化を S E D で評価すると、図 A 3-1 のとおりである。同図中の上部に示したグラフの縦軸は常用対数スケールのリスクレベルであり、横軸は事故後年数を示している。

事故後 0 年時点では、冷却機能が失われたプール内燃料や溶融した核燃料によりリスクレベルは高い状態にあったが、燃料プールの冷却機能回復、炉心スプレイ系注水による燃料デブリの冷却、窒素注入等の安全対策が行われ（2011 年）、放射性物質の減衰によるインベントリ及び崩壊熱の減少も寄与し、事故後 0.5 年にかけて潜在的影響度・安全管理要求度ともに大きく低下してリスクレベルが低下している。

事故後 0.5 年から 2.5 年までについては同図中の左下部の縦軸を線形スケールにしたグラフにおいて、リスクレベルを主なリスク源（燃料デブリ、プール内燃料、汚染水等）ごとの内訳とともに示しており、さらに、事故後 3 年以降のリスクレベルについては同図中の右下部に線形スケールの縦軸を 10 倍に拡大したグラフとして示している。いずれからも、継続的なリスク低減が図られていることが確認できる。



事故後 8 年のプール内燃料の評価は、冷却停止試験の水温上昇結果を反映（詳細は本文図 4）

図 A 3-1 福島第一原子力発電所が有するリスクの低減

この事故後 0.5 年以降のリスクレベルの変化を、更に詳細なリスク源ごとに示すと図 A 3-2 のとおりである。同図におけるリスク源は、対数スケールで表示することによって、線形スケールの図 A 3-1 では小さすぎて表示されなかったリスク源についても表示されている。なお、十分に安定管理がなされている共用プール内燃料と乾式キャスク内燃料は省略した。また、図 A 3-2 に

示す「建屋内滞留水+ゼオライト土嚢」は事故後0～8年の間は建屋内滞留水の情報に基づいて評価したが、事故後9年後からは、プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋地下階に設置されたゼオライト入り土嚢の情報が明らかになってきたためこれを評価に取り入れた。

主なリスク源の中でも、燃料デブリ、プール内燃料、建屋内滞留水及びゼオライト入り土嚢、水処理二次廃棄物は、比較的リスクレベルが高い。近年は、建屋内滞留水の処理が進み、「建屋内滞留水+ゼオライト土嚢」のリスクレベルは低下傾向にあるものの、高線量状態で存在するゼオライト土嚢は今後の廃炉作業において支障を及ぼす可能性があるため留意が必要である。水処理二次廃棄物については、ALPSスラリーが保管されている一部のHICについて線照射の影響を踏まえ移替えが必要になったことにより、リスクレベルが事故後11年で高くなったが、移替え作業が進捗したことにより事故後12年以降では低下している。また、タンク内貯留水（フランジ型タンク及び溶接型タンク）は、フランジ型タンク貯留水の処理の進行に従ってリスクレベルが低下しており、濃縮塩水残水の処理完了によって、更にリスクが低下する見込みである。建屋内汚染構造物等については、事故時にPCVに接続された系統内へ流入した水素の滞留及び当該配管における万一の水素爆発を仮定した健全性評価結果等を踏まえ、事故後12年の評価でリスクレベルが上昇した。

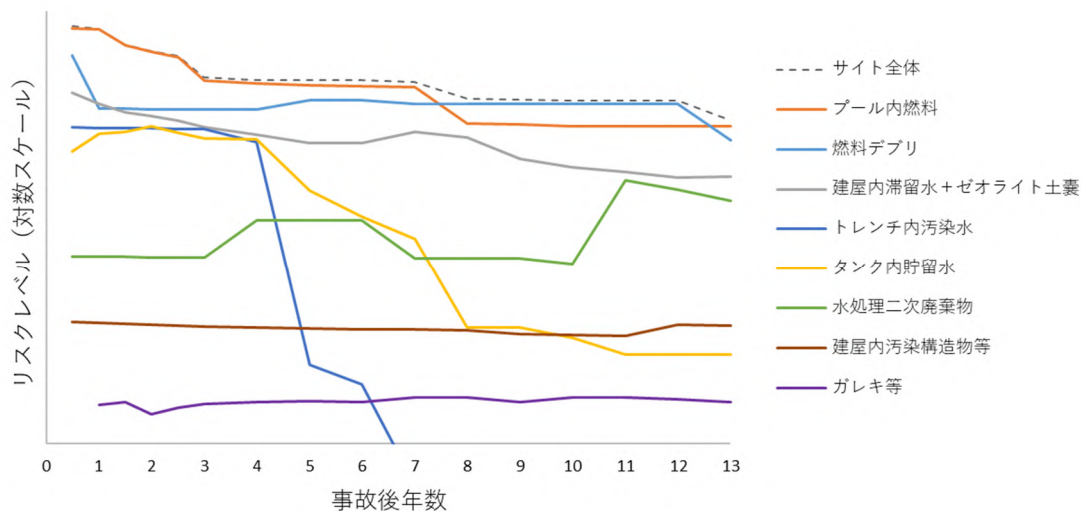


図 A 3-2 主なリスク源ごとのリスクレベルの推移

(1) プール内燃料

事故後1年頃から、4号機について、燃料取り出し準備としてガレキ撤去や燃料取り出し用カバー設置等が行われ、プール内燃料のガレキ等による損傷リスクや損傷時における拡散抑制機能が強化されたこと、また、事故後2.5年から燃料の取り出しが行われ安全管理要求度の低い共用プールに移送したことにより、リスクレベルが低減した（2014年完了）¹⁵³。

¹⁵³ 東京電力、廃炉プロジェクト 廃炉作業の状況 4号機燃料取り出し作業（ウェブサイト）

1号機の建屋カバー（2011年設置）の拡散抑制機能により、安全管理要求度の低減によるリスクレベルの低減効果があったが、プール内燃料取り出し準備のために建屋カバーが取り外されたことにより（2015年）、現在ではこの効果はなくなっている¹⁵⁴。今後、ガレキ撤去時のダスト飛散抑制のため、大型カバーを設置し、2027年度～2028年度にプール内燃料の取り出しを開始する計画である¹⁵⁵。

2号機については、原子炉建屋の南側に燃料取り出し用構台を設置し、2024年度～2026年度にプール内燃料の取り出しを開始する計画である¹⁵⁵。

3号機については、プール内燃料取り出し準備としてガレキ撤去等を実施した後に、2018年に燃料取り出し用カバーが設置され、2019年4月からプール内燃料取り出しを開始した。その後、2021年2月に共用プールへの移送が完了した¹⁵⁶。

なお、プール内燃料の冷却が停止した場合、崩壊熱によりプール水温度の上昇及びプール水位の低下が考えられる。事故後8年目以降においては、使用済燃料プールの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との知見を取り入れた結果、水位低下等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レベルはこれまでの評価よりも低くなっている。

（2）燃料デブリ

燃料デブリは事故直後、溶融状態にあり、また、放射性物質の放出リスクが顕在化したため、リスクレベルの高い状態にあったが、放射性物質の減衰に加え、冷却機能の回復・強化により潜在的影響度・安全管理要求度が低減し、リスクレベルが低減した。

なお、(1)に記載のとおり、1号機の建屋カバーの拡散抑制機能により、燃料デブリの飛散に伴うリスクが低減し、安全管理要求度の低減によるリスクレベルの低減効果があったが、現在ではこの効果はなくなっている。また、事故後13年目において、PCV内の窒素封入と排気が停止した場合の水素濃度の可燃限界（4%）に至る時間が事故後初期よりも大幅に伸びているという知見を踏まえ¹⁵⁷、余裕時間（Control Factor、添付資料5参照）に影響を及ぼす窒素封入停止後の水素濃度の変化を、放射能の減衰や燃料デブリの分布などを考慮して見直した結果、リスクが顕在化するまでの時間的余裕が増すことから、燃料デブリのリスクレベルはこれまでの評価よりも低くなっている。

（3）建屋内滞留水+ゼオライト土嚢

建屋内滞留水は、燃料デブリの冷却及び地下水の建屋内への侵入等によって発生するが、セシウム吸着装置（KURION）及び第二セシウム吸着装置（SARRY）の運転開始、サブドレ

¹⁵⁴ 東京電力、特定原子力施設監視・評価検討会（第57回）資料7、「福島第一原子力発電所1号機進捗状況およびオペレーティングフロア北側のがれき撤去について」、2017年12月26日

¹⁵⁵ 東京電力、廃炉中長期実行プラン、2024年3月28日

¹⁵⁶ 東京電力、廃炉プロジェクト 廃炉作業の状況 3号機使用済燃料プールからの燃料取り出し（ウェブサイト）

¹⁵⁷ 特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合（第10回）資料1-3、PCVの閉じ込め機能強化に関する検討状況について（PCV内の水素爆発）、2023年6月5日

ン・陸側遮水壁の効果、復水器中の水抜き、第三セシウム吸着装置（SARRY）の運転開始等により、リスクレベルは低減している。この建屋内滞留水の処理は、プール内燃料取り出しに次いで、これまでサイト全体のリスクレベル低減に大きく寄与している。原子炉建屋の建屋内滞留水の移送先であるプロセス主建屋及び高温焼却炉建屋の滞留水については、床面露出に向けた水位低下を実施するために、地下階に設置されたゼオライト土嚢の回収（2025年度着手）、原子炉建屋の滞留水を受入する設備の設置、核種除去設備の設置が計画されている¹⁵⁸。

（４）トレンチ内汚染水

2～4号機の海水配管トレンチには事故直後から高濃度の汚染水が滞留していたが、トレンチ内を閉塞してその処理を完了している（2015年完了）¹⁵⁹。2～4号機に比べて低濃度である1号機の海水配管トレンチは、溜まり水の浄化について検討中である¹⁶⁰。

（５）タンク内貯留水

タンク内貯留水には浄化処理の段階により放射性物質濃度が異なる複数種類の貯留水が存在する。まず、建屋内滞留水のKURION、SARRY及びSARRYによる浄化処理で発生するストロンチウム処理水は溶接型タンク内貯留水として保管されている。その後、多核種除去設備（ALPS）等により、更にリスクレベルが低減され、ALPS処理水等（ALPS処理水及び処理途上水）として溶接型タンクに保管されている。事故直後の短期間のみ稼働した蒸発濃縮装置から発生した濃縮廃液等は、放射性物質濃度の高い沈殿状のスラリー（濃縮廃液スラリー）が分離され、残った液体（濃縮廃液）については、溶接型タンクに移送することにより、漏えいリスクの低減及びリスクレベルの低減を図っている。

ALPSが稼働する前にKURIONによる処理で発生した濃縮塩水は、ALPS及び高性能多核種除去設備（高性能ALPS）の稼働により、2015年に処理が完了している¹⁶¹。

これらのタンク内貯留水は、堰のかさ上げと2重化（既設タンクは2014年に完了）、フランジ型タンクから溶接型タンクへの移送、フランジ型タンク底部に残水として存在していたストロンチウム処理水の処理（2019年）及びALPS処理水等の処理（2020年）により、リスクレベルの低減が図られている。なお、濃縮塩水のフランジ型タンク底部の残水については、タンク解体に向けてフィルタ通水による残水の回収が実施されていたが、2024年4月末現在、粘性の高いスラッジの堆積が確認されており、フィルタ通水による回収効率が低いことから、回収方法を見直し、吸引ポンプ等を用いて一時的に仮設タンクに移送する計画となっている¹⁶²。

¹⁵⁸ 東京電力、特定原子力施設監視・評価検討会（第111回）資料4-2-3、「建屋滞留水処理等の進捗状況について」、2024年2月19日

¹⁵⁹ 東京電力、廃炉プロジェクト 廃炉作業の状況 海水配管トレンチ内の汚染水除去（ウェブサイト）

¹⁶⁰ 東京電力、福島第一原子力発電所のトレンチ内で発見された放射性物質を含む溜まり水の点検について（2023年度）

¹⁶¹ 東京電力、廃炉プロジェクト 廃炉作業の状況 汚染水の浄化処理（ウェブサイト）社

¹⁶² 東京電力、廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第125回）資料3-1、「Eエリアのフランジ型タンク解体の進捗状況」、2024年4月25日

(6) 水処理二次廃棄物

汚染水の処理により、多くの放射性物質が水処理二次廃棄物に移行する。除染装置スラッジ、KURION及びSARRY稼働（2011年）、SARRY 稼働（2019年）による廃吸着塔、ALPSの稼働（2013年）によるALPSスラリー、高性能ALPSの稼働（2014年）による廃吸着塔、海水配管トレンチを処理したモバイル式処理装置による廃吸着塔等が発生している。リスクレベルは、移替え対象HICに保管されているALPSスラリーの影響により、事故後2011年以降、水処理二次廃棄物の中でも支配的な要因となっている。積算吸収線量の基準値を超えた又は超える時期が近いと評価されたHICは移替えが計画されており、2023年度末までの移替え作業の進捗を踏まえリスクレベルは低下傾向にある。2024年度末、2025年度末、2026年度末までに新たに積算吸収線量が5000kGyを超えるHICの基数は各々23基、26基、48基と評価されており¹⁶³、時間経過とともに積算吸収線量が基準値に近づくHICは徐々に増えていくが、移替え作業を計画的に実施し、積算吸収線量の基準値を超えないように管理できるようにすることでリスクレベルの低減につながる。それ以外のリスク源としては、除染装置スラッジの寄与が大きいが、除染装置スラッジは現在では新たに発生しておらず、水処理二次廃棄物全体のリスクレベルは増加傾向にはない。今後は、津波対策としてプロセス主建屋内（T.P. 8.5m盤）に保管されている除染装置スラッジを抜き出し（2027年度計画）、保管容器に入れ、高台エリア（T.P. 33.5m盤）に移送する計画である¹⁶⁴。

濃縮廃液から分離された濃縮廃液スラリーは、基礎がない地表に置かれ堰もない溶接型横置きタンクに収納されていたが、鉄筋コンクリートの基礎と堰が設置される安全対策がなされリスクレベルが低減した。

(7) 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（シールドプラグ・非常用ガス処理系配管等）からなる建屋内汚染構造物等は、事故時にPCVに接続された系統内へ流入した水素の滞留及び当該配管における万一の水素爆発を仮定した健全性評価結果等を踏まえリスクレベルが事故後12年目において上昇した。水素爆発を仮定した健全性評価において弾性変形範囲を超える結果となった3号機S/Cについてはパーシ作業が開始されたが、滞留水素のパーシは少量ずつ行われており長期間を要していることから事故後13年時点でのリスクレベルの低下はない^{165、166}。

¹⁶³ 東京電力、特定原子力施設監視・評価検討会（第112回）資料4-4、「HICスラリー移替え作業の進捗状況について」、2024年4月26日

¹⁶⁴ 東京電力、特定原子力施設監視・評価検討会（第111回）資料4-2-4、「除染装置スラッジ回収装置の進捗状況について」、2024年2月19日

¹⁶⁵ 東京電力、廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第121回）資料3-3、「3号機S/C内滞留ガスのパーシ作業の開始について」、2023年12月21日

¹⁶⁶ 東京電力、特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合（第18回）資料3-1、「3号機SC内滞留ガスパーシ作業の状況について」、2024年4月5日

(8) ガレキ等

固体廃棄物のうちガレキ等は、固体廃棄物貯蔵庫、一時保管施設、屋外集積等、様々な状態で保管されており、それぞれで安全管理要求度が異なり、屋外シート養生や屋外集積のリスクレベルが最も高い。これまでも、覆土式一時保管施設受入開始（2012年）、伐採木一時保管槽受入開始（2013年）、固体廃棄物貯蔵庫増設（2018年）等により、より管理状態の良い施設が增強されてきた。また、仮設保管設備のガレキ等については、より管理状態の良い固体廃棄物貯蔵庫への移送を実施した（2020年）。屋外に一時保管されているガレキ等については、焼却・減容処理をした上で、固体廃棄物貯蔵庫に保管することで2028年度までに屋外一時保管を解消する計画である。これらの取組のうち、焼却・減容処理については増設固体廃棄物焼却設備の運用開始（2022年5月）と減容処理設備の運用開始（2024年2月）により、可燃物と不燃物の両方について減容処理が可能となった。保管先である固体廃棄物貯蔵庫については、固体廃棄物の発生量予測が変動し、保管施設が不足する場合は、構内の敷地を確保した上で保管施設を増設する計画としている¹⁵⁵。

添付資料4 P C V ・ 建屋等の構造健全性における課題

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

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

- 既設の機器・設備と建屋に関して（改造部を含む。必要に応じて経年影響も考慮）
 - ・ P C V、R P V及び原子炉建屋等の閉じ込め機能の劣化を抑制し、放射性物質の大量放出を抑制・防止する（閉じ込め機能の維持）。
 - ・ 原子炉建屋等が、既設の主要機器に加えて、燃料デブリ取り出しのために原子炉建屋等に新たに設置される機器・設備を安全に支持する（支持機能の維持）。
- 燃料デブリ取り出しのために新設する機器・設備と建屋に関して（既設の機器・設備への接続部を含む）
 - ・ 設計要求に応じた機能を有し、放射性物質の大量放出を抑制・防止する（閉じ込め機能の確保）。
 - ・ 燃料デブリ取り出しのために設置される機器・設備を安全に支持する。（支持機能の確保）。
 - ・ 新設する建屋等が所要の安全な作業環境を提供する（遮へい性能の確保等）。

東京電力では、既設の構内の設備・機器と建屋に対し、劣化進展を考慮した長期保守管理計画を2020年度に策定し、運用を開始している。今後の調査等により事故についての新たな事実が明らかになった時には、事故進展解析等の評価を行って特に損傷等の事故影響を明らかにするとともに、劣化進展を考慮の上で廃炉期間にわたる機能の確保を図ることが必要である。また、既設の機器・設備と建屋に関し、2021年2月13日及び2022年3月16日に発生した福島県沖を震

源とする地震^{167,168}では、1、3号機のPCVの水位低下が確認された。いずれの地震でも冷却機能は維持されたが、両地震も踏まえ、中長期を見据えた上記の機能を有する機器・設備と建屋を保全管理するために、事故影響、経年劣化、並びに今後の廃炉期間中に想定される外部事象（地震、津波等）に対する影響評価を進めておく必要がある。既往の影響評価では設備・機器の情報が限定的であったことから、今後の更なる状況把握のための調査計画の検討においては既往の技術や調査結果を最大限活用するとともに新たな技術の開発も必要である。その際には、安全性を優先しつつ、原子力分野だけでなく、広く他分野の最新知見と実績の積極的な導入を図ることが有用である。

上記の影響評価に基づいて、今後想定される地震や経年劣化によるリスクへの備えをできることから実施していくことが重要である。以下に地震リスクと経年劣化リスクへの備えについて述べる。

（１）地震リスクへの備え

今後想定される地震によるリスクへの備えとして、耐震評価によって裕度を見極めた上で、対策を具体化することが重要であるが、その際には現場の不確かさと作業の難易度、作業員被ばくを十分に考慮しなければならない。

耐震評価のためには、事故による影響や経年劣化による減肉等の実状を適切に把握する必要がある。しかし、高線量環境下にあるため、把握できる情報は限定的であり、検討条件の多くを推定に基づいて保守的に設定することにより、対策の難易度を高めてしまう可能性がある。したがって、事故時の影響のほか、経年劣化の実状を精度良く把握することに努めることが重要である。例えば、計測できるところは限定的ではあるが、配管等の腐食進展速度の計測結果を、モデル分析を踏まえて測定できない場所の推定に生かす等、そのフィードバックの範囲や仕方について、不確かさを低減するべく工夫していく必要がある。

そのほか、地震リスクへの備えの一つとして地震時に発生する応力を低減させる方法がある。この例としては、事故の影響によって水位が通常運転時よりも高い1、3号機のS/Cを対象とした水位低下計画を立案し、1号機では徐々にPCV水位を低下させている。

1～3号機の原子炉建屋については、事故後の損傷状態を考慮した耐震評価により一定の安全性を確認している。しかし、上記の主要な設備と同様、燃料デブリ取り出し期間中の長期にわたって、耐震安全性を確認していく必要がある。

そのためには、高線量下のため、実施困難な状況にあるとはいえ、継続的な調査を行い、損傷状態や劣化・腐食状況の把握に努めなければならない。

¹⁶⁷ 福島県沖を震源とする地震。宮城県と福島県で最大震度6強を観測した。福島第一では、6号機原子炉建屋の地下2階（基礎盤上）に設置した地震計で最大加速度235galの揺れが記録された。これは、原子力規制委員会の決定した新耐震設計方針適用前の基準地震動Ss（600gal）に対する建屋の地震応答解析結果の約半分程度の応答レベルに相当する。

¹⁶⁸ 福島県沖を震源とする地震。宮城県と福島県で最大震度6強を観測した。福島第一原子力発電所では、6号機原子炉建屋の地下2階（基礎盤上）に設置した地震計で最大加速度221galの揺れが記録された。

東京電力では以下の取組を進めているが、継続的な調査により知見の蓄積を図り、建屋の状態に関する情報として集約することが重要である。

- ロボットやドローン等を活用した無人化・省人化技術の適用
- 詳細評価が可能な4号機を活用したコンクリートの調査
- 地震計の整備と観測記録の活用

耐震評価上考慮している部材に対して、上記の調査等により、構造性能の低下、大地震による損傷の追加等の新たな事実や知見が明らかになった場合には、建屋の状態に関する情報を更新し、耐震評価に適宜反映することが重要である。

(2) 経年劣化リスクへの備え

R P VやP C V等の経年劣化としては腐食による減肉が想定されるため、経年的には構造強度が低下していく傾向にある。このための備えとしては、構造物そのものへの対策と、構造物が置かれている環境への対策が考えられる。前者としては、一般的にはコーティング等があるが、人が容易に近づけないことを考えると難易度が極めて高い。このため、後者の環境への取組を優先して検討する。現状の取組として、原子炉注水に対しては、タンク内での窒素バブリングやヒドラジン注入により、溶存酸素濃度の低減を図る対策を講じており、気相部に関してはP C V内部に窒素を封入する対策を講じている。

一方でP C Vは損傷しており、経年劣化も進展していくことも考えると、特にP C V内部の酸素濃度が低い状態を適切に継続的に維持していく取組が重要である。

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

なお、新設する機器・設備と建屋の具体的な設計では、原子力規制委員会が決定した新耐震設計方針^{169,170}に示されている地震動と耐震クラスに基づいて耐震評価を行うことが重要である。一方、事故で損傷した建屋や主要機器等については、いまだに高線量の環境下で補修や補強も容易でない状況にある。このため、リスク評価の観点も含めて適切に設定する。その際、今後の燃料デブリ取り出しを始めとする個々の廃炉作業に必要な設備の設計方針に関し、安全確保最優先であることは当然として、適用する地震動や解釈等について、審査の独立性を担保しつつ、申請前に東京電力が原子力規制庁と意見交換のできる枠組みを構築し、運用することが重要と考える。

そのほか、既設設備の評価において、耐震性に直接影響がない部材や耐震評価上、無視している部材についても、事故影響で破損した部位等が崩落した場合には、構造上及び放射線安全上の

¹⁶⁹ 原子力規制庁、原子力規制委員会（第19回）資料3、「令和3年2月13日の地震を踏まえた東京電力福島第一原子力発電所の耐震設計における地震動とその適用の考え方」、2021年7月7日

¹⁷⁰ 原子力規制庁、原子力規制委員会（第30回）資料2、「令和3年2月13日の地震を踏まえた東京電力福島第一原子力発電所の耐震設計における地震動とその適用の考え方（2回目）」、2021年9月8日

支障が生じなくても社会的に大きな影響を与える可能性がある。それを避けるため、日々のモニタリングにより劣化の進行がないか注視するとともに、人身安全、設備安全の観点からの管理を徹底する必要がある。

添付資料5 S E D 指標の概要

サイト全体に存在する様々な特徴を有するリスク源について、リスク低減対策を実施すべき優先度を決定する上で重要な要素として、NDAが開発したS E D指標¹⁷¹を参考にして分析を実施した。福島第一原子力発電所への適用に当たっては、福島第一原子力発電所固有の特徴を反映しやすいうちに一部変更した（次ページ以降参照）。以下に、S E D指標の概要と、福島第一原子力発電所への適用に当たって変更した部分について述べる。

S E D指標は下式で表される。第一式は廃棄物等を対象として広くに用いられるもの、第二式は汚染土壌の評価に用いられるものである。各々の式において、第一項をリスク源が持つ潜在的影響度、第二項を安全管理要求度と呼ぶ。

$$SED = (RHP + CHP) \times (FD \times WUD)^4$$

または

$$SED = (RHP + CHP) \times (SSR \times BER \times CU)^4$$

潜在的影響度はリスク源が有する放射能等に基づく公衆への影響を表す指標であり、第一式の安全管理要求度はリスク源を内包する施設の閉じ込め機能の十分性や、リスク源の特性（劣化や活性度）等による長期的な安定性や取扱い性を表す指標である。第二式の安全管理要求度は、敷地境界までの距離や地下水の流れの状況等による汚染土壌の公衆へのリスク顕在化までの時間猶予、リスク低減対策を早期に実施することのメリット、現状評価及び将来予測の不確実性を表す指標である。福島第一原子力発電所の主要なリスク源のS E D指標は、第一式により評価を実施している。潜在的影響度と安全管理要求度は、両者ともリスク低減対策の優先度を決定する上で考慮されるべき要素であり、NDAが開発したS E D指標は、潜在的影響度と安全管理要求度の両者の優先度への寄与を大まかに表せるように、掛け算の形で表されている。閉じ込め機能が脆弱で多量の放射能を有するリスク源は対策の優先度が高く、反対に閉じ込め機能が十分で少量の放射能を有するリスク源の対策の優先度は低い。これらのリスク源の中間的な状態にある、閉じ込め機能が十分で多量の放射能を有するリスク源と、閉じ込め機能が脆弱で少量の放射能を有するリスク源を比較した場合には、後者の方が対策の優先度が高くなることから、優先度への寄与としては安全管理要求度の方が潜在的影響度よりも支配的になるように設定されるべきものである。しかしながら、後述するように潜在的影響度には放射能等の数値の影響が直接的に表れる一方で、第一式の安全管理要求度を構成するFD及びWUDにはそれぞれ2～100の範囲のスコアが割り当てられることから、安全管理要求度をFDとWUDの積のみで定義して潜在的影響度に乗じるだけでは、対策の優先度への寄与としては潜在的影響度の方が支配的になり得る。これら

¹⁷¹ NDA Prioritization – Calculation of Safety and Environmental Detriment score, EPGR02 Rev.6, April 2011.

を考慮して、対策の優先度への安全管理要求度の寄与を大きくするために、S E D指標では潜在的影響度にF DとW U Dの積の4乗で定義した安全管理要求度を乗じるように設定されている¹⁷²。

以下、各指標について説明する。C H Pは化学物質の潜在的影響度であるが、ここでは使用しないので、説明は省略する。

(1) 潜在的影響度

Radiological Hazard Potential (R H P) は、放射性物質の潜在的影響度を表す指標であり、放射性物質が全量放出された際に公衆に及ぼす影響を下式で表したものである。

$$RHP = Inventory \times \frac{Form Factor}{Control Factor}$$

Inventory は、下式のように、リスク源の放射能 Radioactivity と潜在的比毒性 Specific Toxic Potential (S T P) で表され、実効線量に相当する¹⁷³。S T P は、1TBq の放射性物質を水で希釈し、その一定量を1年間摂取した際の被ばく量が1mSv となるような水の希釈量であり、線量係数に相当する。S E D指標では保守的に、経口摂取と呼吸のうち大きい線量係数を用いている。

$$Inventory(m^3) = Radioactivity(TBq) \times STP(m^3/TBq)$$

Form Factor (F F) は、気体、液体、固体等の性状の相違によって、実際にどれだけの放射性物質が放出されるかを表す指標であり、表 A 5-1 に与えられている。気体や液体は、閉じ込め機能を完全に喪失すると100%放出、粉末は測定データに基づいて10%放出としている。固体には明確な根拠はなく、放出されにくいことを表すために十分小さい数値として設定したものである。

表 A 5-1 では、N D Aが使用している定義に、特に燃料デブリに対して想定される幾つかの形態を追加した。#4 と#5 はスコア自体、新たに設定したものである。

Control Factor (C F) は、リスク源の特徴として、発熱性、腐食性、可燃性、水素発生等の可能性、空気や水との反応性、臨界性等を考慮したものであり、安定している現状を維持するための安全機能が喪失した場合に、復旧するまでにどの程度の時間余裕があるかを示す指標であり、表 A 5-2 に与えられている。C F はN D Aの定義どおりである。

(2) 安全管理要求度 - F D, W U D

Facility Descriptor (F D) は、施設の閉じ込め機能が十分かどうかを表す指標である。施設の健全性、閉じ込め機能の多重性、安全対応状況等の要素の組合せによってリスク源を序列化する。

¹⁷² The NDA Prioritisation Process - Development Process Route Map Report, EGR014 Rev.0, July 2006.

¹⁷³ Instruction for the calculation of the Radiological Hazard Potential, EGPR02-WI01 Rev.3, March 2010.

Waste Uncertainty Descriptor (W U D) は、リスク源の取り出しが遅れた場合に影響が生じるかどうかを表す指標である。リスク源の劣化や活性度、梱包や監視状態等の組合せによってリスク源を序列化する。

これらは、N D A の定義のままでは福島第一原子力発電所に適用することが困難であったため、各々表 A 5-3 及び表 A 5-4 のように再設定した。

(3) 安全管理要求度 - S S R , B E R , C U

汚染土壌の安全管理要求度評価に用いる S S R , B E R , C U は N D A の定義のままであり、各々のスコアを表 A 5-5 に示す。

Speed to Significant Risk (S S R) は、敷地境界までの距離や地下水の流れの状況等、公衆が影響を受けるまでの時間に関するもので、対策の緊急度を評価するための指標である。

Benefit of Early Remediation (B E R) は、リスク対策を早期に実施することのメリットを評価するための指標である。

Characterisation Uncertainty (C U) は、リスク評価モデルの信頼性又は不確実性を評価するための指標である。

表 A 5-1 F F の定義とスコア表

#	形態	F F
1	気体、液体、水分の多いスラッジ 及び凝集粒子	1
2	その他スラッジ	1/10 = 0.1
3	粉及び遊離性汚染物 (表面汚染等)	1/10 = 0.1
4	固着性 または浸透汚染物 (表面浸透汚染)	1/100 = 0.01
5	脆く分解しやすい固体 (空隙部の多い MCCI 等)	1/10,000 = 1E-4
6	不連続な固体 (ペレット等、人力で運搬可能な大きさと重さ)	1/100,000 = 1E-5
7	連続した固体	1/1,000,000 = 1E-6

: 福島第一原子力発電所への適合性を高める目的で、N D A での定義に加えて追加した形態

表 A 5-2 C F の定義とスコア

#	リスクが顕在化するまでの時間裕度	C F
1	数時間	1
2	数日	10
3	数週間	100
4	数か月	1,000
5	数年	10,000
6	数十年	100,000

表 A 5-3 F D の判断基準とスコア

カテゴリ	判断基準 (福島第一原子力発電所への適合性を高める目的で、NDAでの定義を修正)	NDF スコア
1	拡散抑制機能の構成物が存在しない。このため格納機能についての評価ができない。	100
2	事故の影響等により「評価時点 ^{*1} 」において、「安全評価基準 ^{*2} 」を満たさない。 拡散抑止機能の構成物は一重。	91
3	事故の影響等により「評価時点」において、「安全評価基準」を満たさない。 拡散抑制機能の構成物は多重。	74
4	拡散抑制機能の構成物に内包されるリスク源の「作業時点（移動、処理、回収等の作業を行う時点） ^{*3} 」まで、「安全評価基準」を満たさない。 「評価時点」では、「安全評価基準」を満足する拡散抑制機能の構成物が存在する。	52
5	リスク源の「作業時点（移動、処理、回収等の作業を行う時点）」まで、拡散抑制機能の健全性が評価されており、「安全評価基準」を満足する。 「不測の事態 ^{*4} 」の発生頻度が高く、不測の事態が発生した際に、内包されるリスク源の拡散を防止する対策が不十分。 拡散抑制機能の構成物は一重。	29
6	リスク源の「作業時点（移動、処理、回収等の作業を行う時点）」まで、「安全評価基準」を満足する。 「不測の事態」の発生頻度が高く、内包されるリスク源の拡散を防止する対策が不十分。 拡散抑制機能の構成物は多重。	15
7	リスク源の「作業時点（移動、処理、回収等の作業を行う時点）」まで、「安全評価基準」を満足する。 周辺に「安全評価基準」を満足しない施設等があり、これら隣接施設へ（からの）リスク源の拡散影響 ^{*5} を与える（受ける）可能性が高い。 拡散抑制機能の構成物は一重。	8
8	リスク源の「作業時点（移動、処理、回収等の作業を行う時点）」まで、「安全評価基準」を満足する。 隣接施設へ（からの）リスク源の拡散影響を与える（受ける）可能性が高い。 拡散抑制機能の構成物は多重。	5
9	リスク源の「作業時点（移動、処理、回収等の作業を行う時点）」まで、「安全評価基準」を満足する。 隣接施設へ（からの）リスク源の拡散影響を与える（受ける）可能性が低い。 拡散抑制機能の構成物は一重。	3
10	リスク源の「作業時点（移動、処理、回収等の作業を行う時点）」まで、「安全評価基準」を満足する。 隣接施設へ（からの）リスク源の拡散影響を与える（受ける）可能性が低い。 拡散抑制機能の構成物は多重。	2

*1 SEDスコアを検討する「時点」、すなわち評価する「現時点」をいう。
 *2 ここでいう「安全評価基準」とは、「措置を講ずべき事項」、あるいは、「設計基準事象の範囲での拡散抑制機能の確保」をいう。
 *3 SEDスコアを検討する対象であるリスク源を、処分・搬出等のために「回収」する時点をいう。
 *4 不測の事態としては外部事象（自然災害等）を想定する。
 *5 不測の事態による外的影響や隣接施設における事象（火災等）等による影響を受けた際に、隣接施設へ（からの）リスク源の拡散の可能性がある。

表 A 5-4 W U D の判断基準とスコア

カテゴリ	判断基準 (福島第一原子力発電所への適合性を高める目的で、NDAでの定義を修正)	N D F スコア
1	燃料（核分裂性物質を含有するもの）であり、活性 ^{*1} である。 処理や回収等の作業に必要な情報（存在量、存在箇所、放射能等）が不十分で（確認又は推定ができず）、モニタリング等による管理・監視が不可能な状態である。 ハンドリングに適した形状となっていない、あるいは、専用容器に収納されていない等の理由で、そのままの形態・状態ではハンドリングできない。	100
2	燃料であり、活性（核分裂性を有する）である。 処理や回収等の作業に必要な情報が不十分で、管理・監視が不可能な状態である。 ハンドリングに適した形状となっている、あるいは、専用容器に収納されている等の理由で、そのままの形態・状態でハンドリングできる。	90
3	活性であるが、燃料以外（廃棄物）である。 処理や回収等の作業に必要な情報が不十分。	74
4	燃料であり、活性（核分裂性を有する）である。 処理や回収等の作業に必要な情報が得られており（確認又は推定でき）、モニタリング等により管理・監視が可能な状態である。 そのままの形態・状態でハンドリングできない。	50
5	燃料であり、活性（核分裂性を有する）である。 処理や回収等の作業に必要な情報が得られており、管理・監視が可能な状態である。 そのままの形態・状態でハンドリングできる。	30
6	活性であるが、燃料以外（廃棄物）である。 処理や回収等の作業に必要な情報がある。	17
7	不活性 ^{*2} であるが、物理的・幾何学的な不安定性がある。 そのままの形態・状態でハンドリングができない。	9
8	不活性であるが、物理的・幾何学的な不安定性がある。 そのままの形態・状態でハンドリングできる。	5
9	不活性であり、物理的・幾何学的な不安定性が無い、あるいは、十分低い。 そのままの形態・状態でハンドリングができない。	3
10	不活性であり、物理的・幾何学的な不安定性が無い、あるいは、十分低い。 そのままの形態・状態でハンドリングできる。	2
<p>^{*1} 「活性」とは、C F で定義する反応性を、管理や作業に影響を及ぼす程度に顕著に有するもの。 ^{*2} 「不活性」とは、反応性を有さない、あるいは、十分低いもの。</p>		

表 A5-5 S S R, B E R, C U の定義とスコア

指標	スコア	判断基準	
S S R	25	5年以内にリスクが顕在化する可能性がある。	
	5	40年以内にリスクが顕在化する可能性がある。	
	1	40年以上（リスクが顕在化する可能性はほぼ無い）。	
B E R	20	対策の実施により、リスクを2桁以上低減可能、または管理が階段状に容易になる。	
	4	対策の実施により、リスクを1桁以上低減可能、ただし管理は容易にならない。	
	1	リスク低減効果が非常に小さく、管理も容易にならない。	
C U	20	+ = 5~6点	現状に対する評価 1点：主要な核種や拡散経路がモニタされている。 2点：モニタされているが、評価モデルの構築に十分なデータはない。 3点：モニタされていない。
	4	+ = 3~4点	将来予測に対する評価 1点：評価モデルの構築に十分なサイト特性が得られている。 2点：サイトを代表する主要な特性が得られている。 3点：将来予測に使用可能なモデルが無い。
	1	+ = 2点	

添付資料6 主要なリスク源として明示的に取り扱っていないリスク源

主要なリスク源は本文表 1 のとおりであるが、福島第一原子力発電所全体の廃炉を見据えると、主要なリスク源では明示的に取り扱っていないリスク源にも着目しておく必要がある。表 A 6-1 では、事故前から存在する廃棄物や事故により拡散された低濃度の放射性物質等に着目し、原子力規制委員会の中期的リスクの低減目標マップ¹⁷⁴も参考にして整理した。

表 A 6-1 主要なリスク源として明示的に取り扱っていないリスク源¹⁷⁵ (1/2)

分野	リスク源	概略
汚染水対策	建屋内床面スラッジ	1～4号機のターピン建屋及び廃棄物処理建屋、4号機の原子炉建屋は床面露出状態を維持し、これらの露出後のスラッジは $1.9 \times 10^{13} \text{Bq}^{176}$ 。なお、1～3号機の原子炉建屋、プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋は滞留水処理を継続中。
	建屋への雨水流入水	屋上のガレキ撤去・新規防水。雨樋への浄化材設置。排水管への逆止弁設置。ルーフトレインの改修・閉塞 ¹⁷⁷ 。T.P. 2 m、陸側遮水壁外の T.P.6.5m 及び T.P.8.5m 盤のフェーシングを完了 ¹⁷⁸ 。陸側遮水壁内の 1～4号建屋周辺エリア全体の約 6 万 m ² のうち、約 50%のフェーシングが完了 ¹⁷⁹ 。
	地下貯水槽	全地下貯水槽の残水回収は完了 ¹⁸⁰ 。解体・撤去の方針は検討中。
	構内溜まり水	2015年のリスク総点検で抽出し ¹⁸¹ 、以降、適宜、放射性物質濃度、水量を確認している状況 ¹⁸² 。
原子炉建屋内のリスクの低減	5 / 6号機プール内燃料	5号機：1,374 体、6号機：1,412 体 ¹⁸³
	使用済制御棒等	使用済制御棒等：22,305 本。シュラウド片等：193m ³ ¹⁸⁴ 。主要核種は Co-60。
	プール水	2013年までに 2～4号機の塩分除去完了。
固形状の放射性物質	建屋周辺のカレキ	水素爆発により建屋上屋に飛散したガレキの撤去が作業・計画中。物量については未確認。

¹⁷⁴ 東京電力福島第一原子力発電所の中期的リスクの低減目標マップ（2024年3月版）原子力規制委員会

¹⁷⁵ 技術戦略プラン 2023 までは本表にメガフロートを含めていたが、津波により漂流物となるリスクは十分に低減していることから削除した。メガフロートはモルタルを内部充填したうえで港湾内に着底しており、現在では護岸及び物揚場として活用されている。

¹⁷⁶ 第 87 回特定原子力施設監視・評価検討会 資料 3 - 5、「建屋滞留水処理等の進捗状況について」、2021 年 1 月 25 日

¹⁷⁷ 第 78 回廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合 / 事務局会議 資料 3 - 1、「屋根雨水対策の進捗状況」、2020 年 5 月 28 日

¹⁷⁸ 第 84 回特定原子力施設監視・評価検討会、「汚染水発生抑制対策の進捗及び検討状況 建屋毎の地下水及び雨水流入量」、2020 年 10 月 19 日

¹⁷⁹ 第 123 回廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合 / 事務局会議 資料 3 - 1、「建屋周辺の地下水位、汚染水発生の状況」、2024 年 2 月 29 日

¹⁸⁰ 第 44 回廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合 / 事務局会議 資料 3 - 6、「発電所内のモニタリング状況等について（1～3号機放水路の状況、地下貯水槽の状況について）」、2017 年 7 月 28 日

¹⁸¹ 東京電力、福島第一原子力発電所の敷地境界外に影響を与えるリスク総点検～検討結果～、2015 年 4 月 28 日 社

¹⁸² 第 124 回廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合 / 事務局会議 資料 1「汚染水等構内溜まり水の状況(2024.3.21 時点)」、2024 年 3 月 28 日

¹⁸³ 第 124 回廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合 / 事務局会議 資料 3 - 2、「使用済燃料等の保管状況」、2024 年 3 月 28 日

¹⁸⁴ 東京電力、福島第一原子力発電所における循環注水冷却・滞留水等に係る定例会「福島第一原子力発電所における固体廃棄物について」、2024 年 4 月 5 日

表 A 6-1 主要なリスク源として明示的に取り扱っていないリスク源 (2/2)

分野	リスク源	概略
固形状の放射性物質	震災前廃棄物	ドラム缶相当で 185,816 本保管 ¹⁸⁵ 。主要核種は Co-60。
廃炉作業を進める上で重要なもの	オペフロのダスト	放出管理目標値 (1×10^7 Bq/h) 未満。徐々に低下傾向 ¹⁸⁶ 。
	原子炉建屋の放射線源	1号機：3階では、非常用復水器 (I C) の接続配管付近で最大で約 48mSv/h を測定。4階では、I C の付近で最大で約 34mSv/h を測定 ¹⁸⁷ 。 3号機：1階では、南側通路の床面で線量が高く、最大 39mSv/h を測定。2階では、最大 90mSv を測定 ¹⁸⁷ 。3階では、複数箇所の梁が損傷、最大 45mSv/h を測定。4階では 104mSv/h を確認 ¹⁸⁸ 。
	排水路	A 排水路では Cs-137 : ND ~ 23Bq/L へ低下 ¹⁸⁹ 。K 排水路では 2号機原子炉建屋屋上の汚染源除去を実施し、67Bq/L まで低下。その他、浄化材を設置 ¹⁹⁰ 、弁別型 PSF モニタの運用等の対策を実施 ¹⁹¹ 。 豪雨対策として D 排水路の運用を 2022 年度に開始 ¹⁹² 。
	排気筒	1 / 2号機排気筒：2019年8月より解体作業を実施し、全高 120m のうち、上部 61m を全 23 ブロックに分割して解体。2020年5月1日に地上 59m の筒身部に雨水侵入防止用の蓋を設置し解体完了 ¹⁹³ 。 3 / 4号機排気筒：基部で 3mSv/h を測定 ¹⁹⁴ 。2023年6月に雨水による溜まり水 (水深約 1 m) が確認され、その際に約 0.165 ~ 0.352mSv/h を測定 ¹⁹⁵ 。
	汚染土壌	表土分析の結果、採取サンプルの半数以上が放射性物質対処措置法に基づく指定基準 (8,000Bq/kg) を超過 ¹⁹⁶ 。

¹⁸⁵ 東京電力、原子力規制委員会 被規制者との面談資料、「福島第一原子力発電所使用済燃料共用プール運用補助 共用施設排気放射線モニタおよび燃料貯蔵区域換気空調系の復旧状況について」、2018年9月21日社

¹⁸⁶ 東京電力、福島第一原子力発電所における日々の放射性物質の分析結果(ウェブサイト)社

¹⁸⁷ 第36回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料1-3、「東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめ(2023年版)(案)」、2023年3月7日

¹⁸⁸ 第14回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料3、「現地調査の実施状況について」、2020年10月16日

¹⁸⁹ 第32回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2、「K排水路の廃水濃度低減対策状況について」、2015年3月4日

¹⁹⁰ 第63回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2、「雨水流入抑制対策(タービン建屋雨水排水 浄化材設置の進捗状況)」、2018年10月15日

¹⁹¹ 第74回廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議 資料3-6、「K排水路におけるPSFモニタの運用開始について」、2020年1月30日

¹⁹² 東京電力、ニュースリリース「福島第一原子力発電所D排水路の運用開始(豪雨時の浸水リスク低減のため)」、2022年7月19日

¹⁹³ 東京電力、「福島第一原子力発電所1/2号機排気筒解体作業完了について」、2020年5月1日

¹⁹⁴ 第19回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料4、「東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間とりまとめ(案)」、2021年3月5日

¹⁹⁵ 第40回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2-4、「3/4号機排気筒解体に向けた現場調査の実施状況について」、2023年10月30日

¹⁹⁶ 東京電力、福島第一原子力発電所における日々の放射性物質の分析結果(ウェブサイト)

添付資料7 リスクの時間変化

英国のリスク管理の考え方の概要を、図 A 7-1 に示す。現在のリスクレベルが白色の領域にあるとしても、そのままの状態がいつまでも許容されるわけではなく、許容できない時期が到来する（黄色の領域）。さらに、時間の経過とともに、施設やリスク源の劣化等によりリスクレベルが増加する可能性がある（点線）。一方、リスク低減措置を実施する場合には、リスクレベルが一時的に増加する可能性があるものの、周到な準備と万全の管理によって、受容できない領域（赤色の領域）に入らないようにすることが可能である。このように、受容又は許容できない領域に入ることなく、リスクレベルを十分に下げることを目指すべきである（実線）。

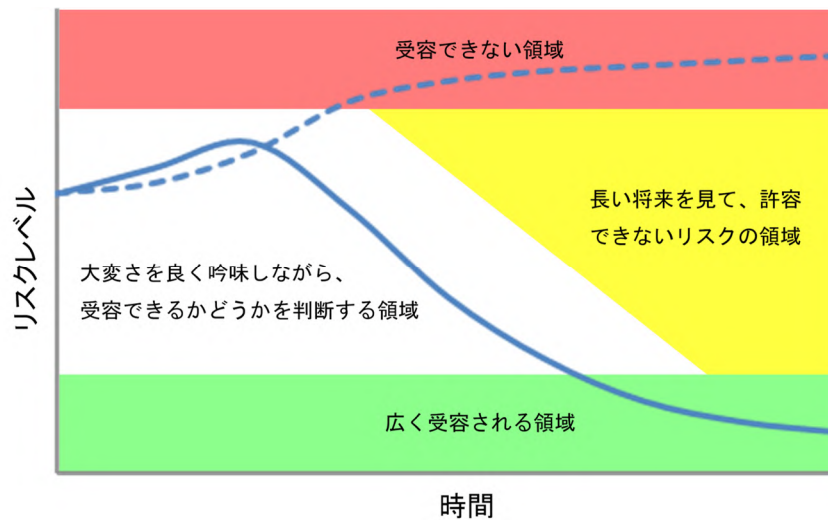


図 A 7-1 リスクの時間変化¹⁹⁷

¹⁹⁷ V. Roberts, G. Jonsson and P. Hallington, "Collaborative Working Is Driving Progress in Hazard and Risk Reduction Delivery at Sellafield" 16387, WM2016 Conference, March 6-10, 2016. M. Weightman, "The Regulation of Decommissioning and Associated Waste Management" 第1回福島廃炉国際フォーラム（2016年4月）。

添付資料8 燃料デブリ取り出しの対象となる燃料デブリについて

東京電力（株）福島第一原子力発電所 1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ（2011年12月21日）においては、燃料デブリを「燃料と被覆管等が溶融し再固化したもの」と解説しており、IAEAのレポート^{198,199}の趣旨に従うと、燃料デブリとは「燃料集合体、制御棒、炉内の構造材がともに溶融して固まった燃料」である。

PCV内の状態を、これまでの内部調査、TMI-2やチョルノーベリ原子炉といった過去の事故事例、溶融再現試験等の結果から総合的に想定したものを図A 8-1に示す。ただし、図の損傷状況は特定の号機を示しているものではない。図中に示されるように、詳細にみると、燃料デブリは損傷ペレット、デブリ、クラスト等のように形態に応じて呼称することができる。

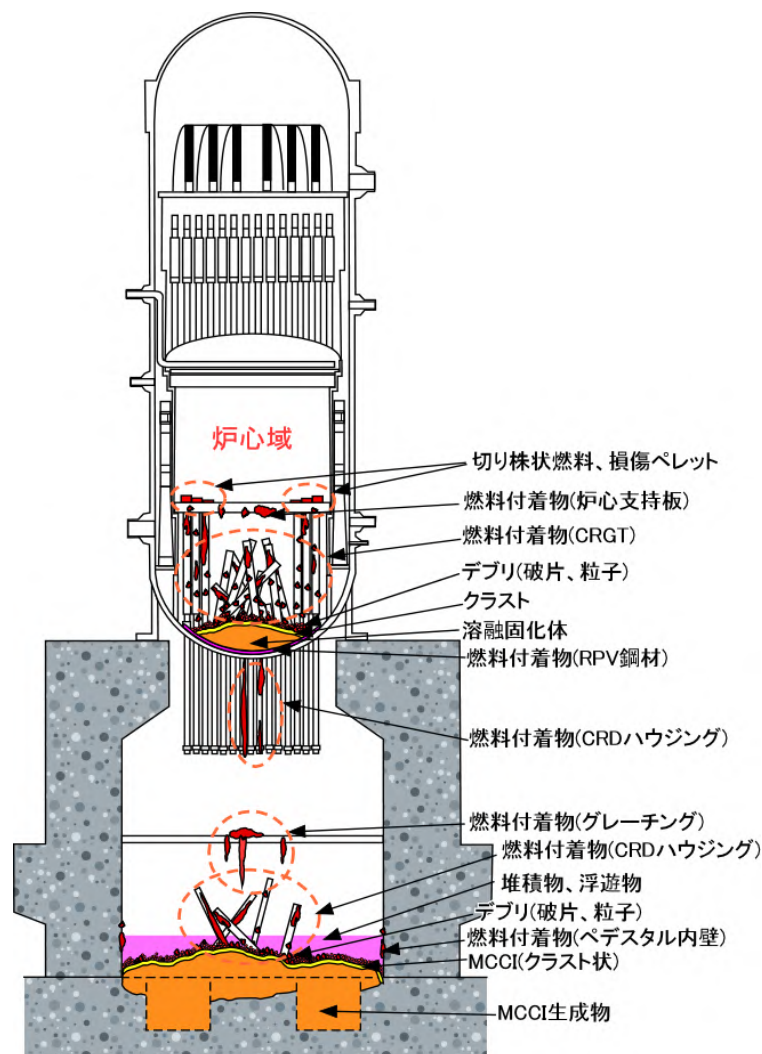


図 A 8-1 福島第一原子力発電所で想定される PCV 内の状態

¹⁹⁸ International Atomic Energy Agency Experiences and Lessons Learned Worldwide in the Cleanup and Decommissioning of Nuclear Facilities in the Aftermath of Accidents, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-2.7, Vienna (2014)

¹⁹⁹ Managing the Unexpected in Decommissioning, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-2.8, Vienna (2016)

核燃料物質を含むものには臨界性への配慮が必要であるため、今後の取り出し、収納・移送・保管の観点から、PCV内に存在する物質は、核燃料物質を含むものと含まないものに大きく分類することが合理的であると考えられる。核燃料物質を含まないものであっても、放射性のセシウム-137 や放射化生成物であるコバルト-60 等の放射性物質が含有、あるいは付着していると想定される。その場合には放射性廃棄物として取り扱うことになる。

以上を踏まえ、燃料デブリ取り出しの対象としての燃料デブリの概念を整理した一例が図 A 8-2 である。炉心損傷により生じた物質は、燃料成分の含有量、外観上の形態から様々な呼称があるが、臨界対策の必要性、燃料含有量により分類した。

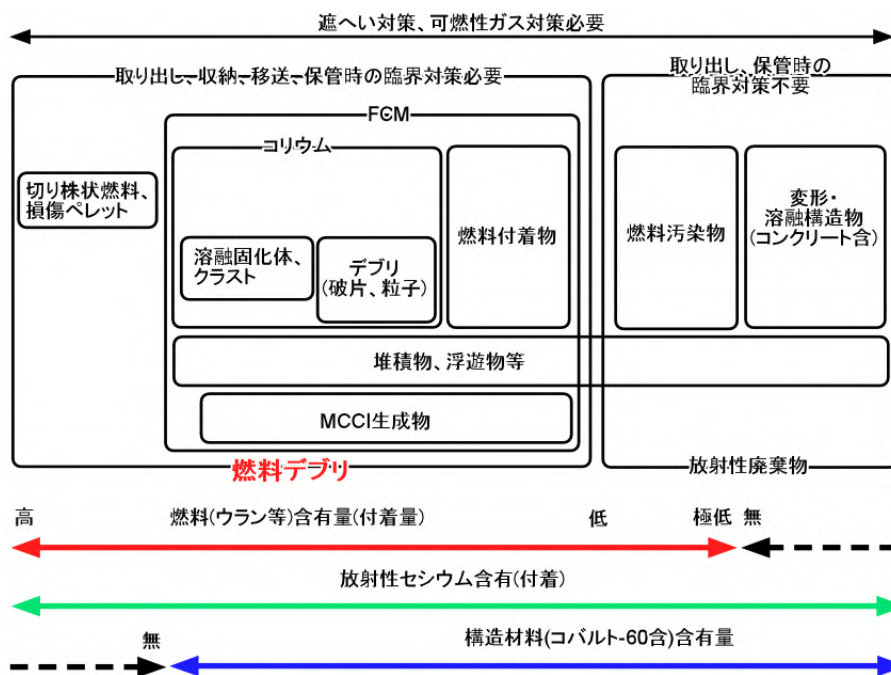


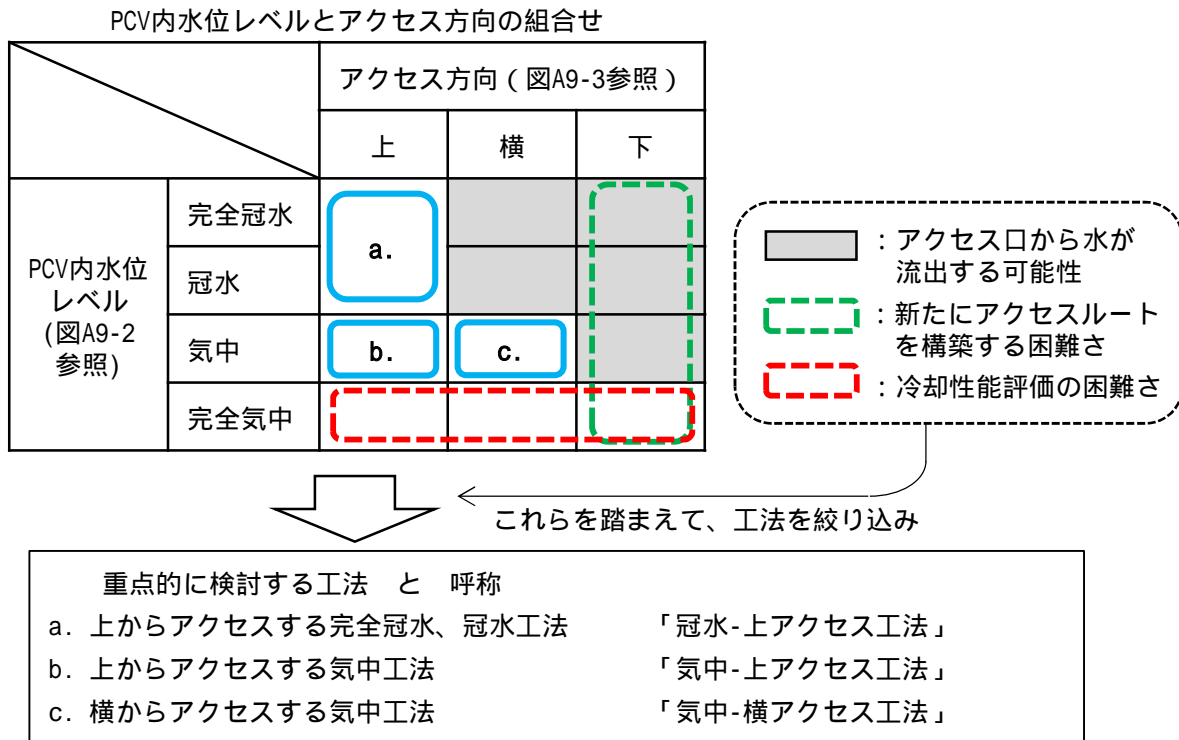
図 A 8-2 福島第一原子力発電所事故における燃料デブリ取り出しの対象となる燃料デブリの概念整理の例

【用語解説】

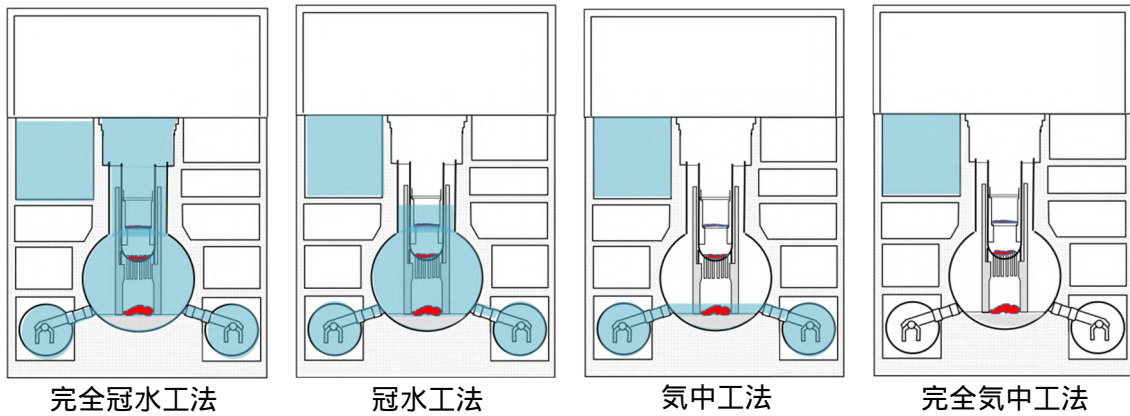
- ・ F C M : Fuel Containing Materials (燃料含有物質)。溶融した燃料成分が構造材を巻き込みながら、固化したものを広義に指す。外観から、lava-like F C M (溶岩状 F C M) と呼称することもある。
- ・ コリウム : corium。主に炉心成分である燃料集合体、制御棒成分が溶融固化したものの。
- ・ クラスト : crust。固い外皮、甲殻のこと。溶融した燃料が固化する際に表面層では冷却速度が大きいため、殻状に硬く固化することがある。
- ・ MCCI 生成物 : Molten Core Concrete Interaction (溶融炉心コンクリート相互作用) により生じたもの。コンクリート成分である、カルシウム、ケイ素等を含む。
- ・ 燃料付着物 : C R Dハウジング、グレーチング等、元来、燃料成分を含まない部材に溶融した燃料が付着、固化したもので、目視で燃料の付着が確認可能なもの。
- ・ 燃料汚染物 : 目視では溶融した燃料の付着が確認できないが、線検出器等により燃料成分が検知されるもの。付着している燃料成分の粒子の大きさが極めて小さく、かつ微量であるために、電子顕微鏡でなければ、燃料成分の所在が特定できないもの。

添付資料9 これまでの工法検討の変遷

技術戦略プラン 2015 及び 2016 では、PCV内水位レベル（完全冠水、冠水、気中、完全気中）や燃料デブリへのアクセス方向（上アクセス・横アクセス・下アクセス）の組合せによる燃料デブリ取り出し工法オプションの検討を行い、重点的な検討を進めるべき3つの工法（冠水-上アクセス工法、気中-上アクセス工法、気中-横アクセス工法）を選定し、その検討を進めてきた。（図A9-1～図A9-3参照）



図A9-1 PCV水位と燃料デブリへのアクセス方向の組合せによる工法の検討



完全冠水工法

冠水工法

気中工法

完全気中工法

完全冠水工法：原子炉ウェル上部までの水張りを行う工法
 冠水工法：燃料デブリ分布位置より上部までの水張りを行う工法
 （補足）現状、燃料デブリは炉心領域より上に分布がないものと想定し、炉心領域上端部以上の水位では、冠水工法と呼ぶ。
 気中工法：燃料デブリ分布位置最上部より低いレベルまで水張りを行い、気中の燃料デブリには水を掛けながら取り出しを行う工法
 （補足）現状、炉心領域上端部より下の水位では、気中に露出する燃料デブリが存在すると想定し、気中工法と呼ぶ。
 完全気中工法：燃料デブリ分布全範囲を気中とし、水冷、散水を全く行わない工法

図 A 9-2 P C V内水位レベルに応じた工法分類

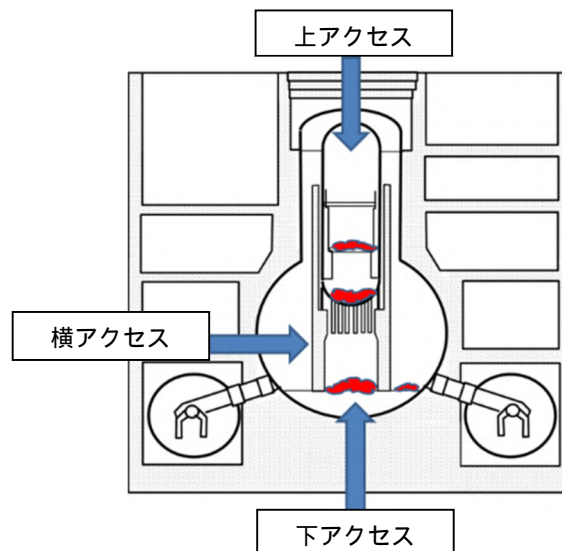


図 A 9-3 燃料デブリへのアクセス方向

技術戦略プラン 2017 においては、上記の3つの燃料デブリ取り出し工法に関して、燃料デブリの安全な取り出しのために満足すべきものとして9つの技術要件（閉じ込め機能、冷却機能、臨界管理、構造健全性、被ばく低減、労働安全、アクセスルート、機器・装置開発、系統設備・エリア構築）に加え、燃料デブリの安全・安定保管に係る3つの技術要件（収納・移送・保管、取り出し作業で発生する廃棄物の取扱い、保障措置）に関してそれぞれ実現可能性評価を行い、5つの基本的考え方（安全、確実、合理的、迅速、現場指向）による総合評価の上で、燃料デブリ取り出し方針の決定に向けた戦略的提案（燃料デブリ取り出し方針の決定に向けた提言と決定以降の取組）を行った。2017年9月に改訂された中長期ロードマップでは、この戦略的提案の内容を踏まえ、燃料デブリ取り出し方針が次のように決定されている。

燃料デブリ取り出し方針

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で進める。

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压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等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。

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。

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。

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、原子炉压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。

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。

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压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

使用済燃料の取り出し作業と並行し得ること

技術戦略プラン2018及び2019では、初号機とその燃料デブリ取り出し方法の検討を行っている。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。検討の流れを図A9-4に示す。

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・経験等を「迅速」に得ることで、1～3号機の燃料デブリ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。

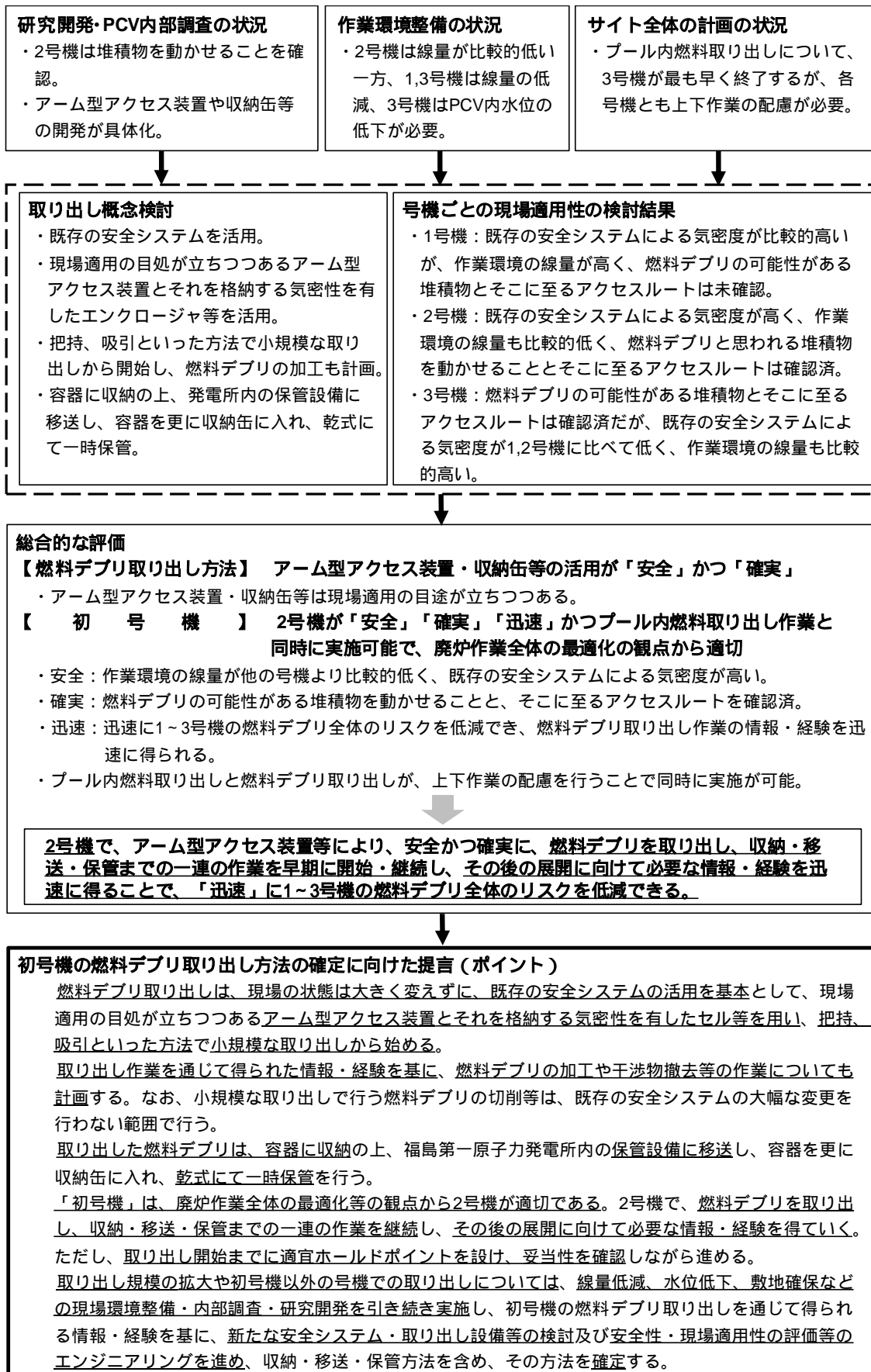


図 A 9-4 初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定の検討の流れ

その後、技術戦略プラン 2022 までに進められた工法の検討状況を以下に示す。

東京電力は、取り出し規模の更なる拡大についての概念検討を、3号機を先行して実施中であり、燃料デブリ取り出しシナリオを検討するとともに工法の検討を進めている。

2021 年度に実施した内容を以下に示す。工法を検討するに当たって、作業プロセスを取り出しプロセスと移送・保管プロセスの大きく2つに分け、さらに、取り出しプロセスは準備作業とPCV内作業、移送・保管プロセスはPCV外作業と移送・保管作業の合計4つの主要な作業フェーズ ～ に分類した(図A9-5参照)。作業フェーズごとに工法の検討を行うため、各作業フェーズで考えられる工法をあらゆる可能性を排除せず幅広く網羅的に抽出(ロングリストの設定)した上で、合理性の低い工法を排除した(ショートリストへの整理)。次に、ショートリスト各々に対し、多属性効用分析評価²⁰⁰(MADA評価)によりスコアリングを実施した。また、候補に上がった工法に対し、廃炉・汚染水・処理水対策事業の開発成果や東京電力のエンジニアリング成果や国内外の技術知見を取り入れ、基本仕様、条件等を仮設定した上で工法を検討し、課題・リスクを抽出、整理した(図A9-6参照)。

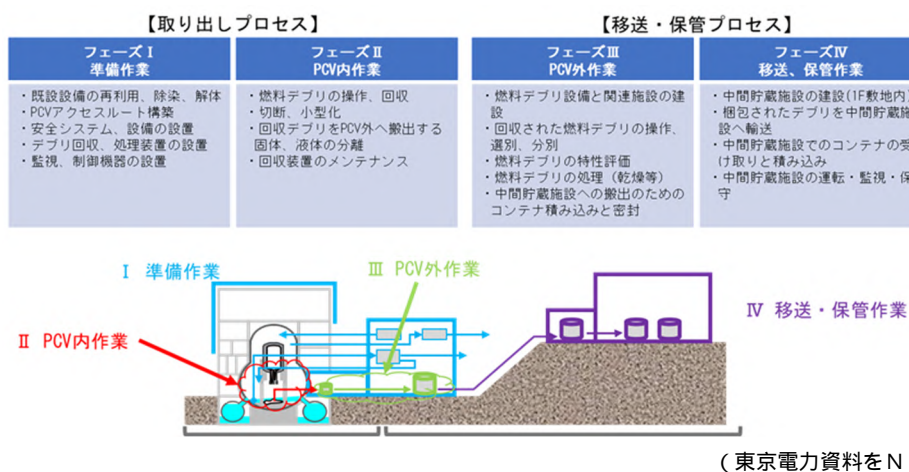
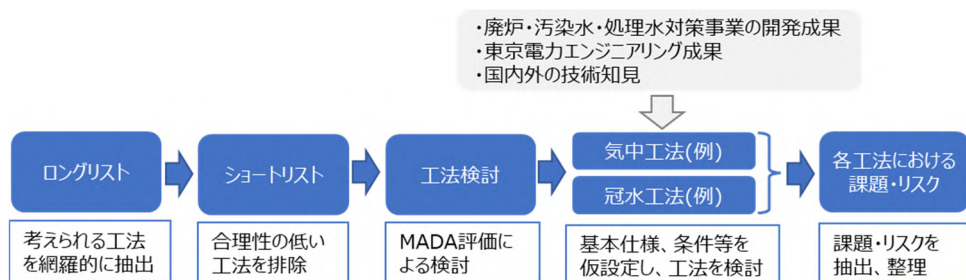


図 A 9-5 各作業フェーズのイメージ(プロセスの分割)



(東京電力資料をNDFにて加工)

図 A 9-6 2021 年度 工法の検討フロー(概要)

²⁰⁰ 意思決定を行う際にひとつの属性(評価項目)だけではなく複数の属性(評価項目)に着目し優劣を判断する手法。この手法を工法策定プロセスに当てはめ「(各属性(評価項目)の評価)×(各属性(評価項目)の重み=重要度)」の得点が高い工法を残す。今回、工法の検討で活用したが、今後も複数の工法オプション(例えば、アクセス装置等)の絞り込みの際には本手法の評価も有効であると考えられる。

上記の検討により、気中工法及び冠水工法が候補に上がってきている。今回の気中工法は、従来から考えられてきた上アクセス工法と横アクセス工法を単独ではなく組み合わせした形の工法としている（今回の気中工法のイメージ図は図 A 9-7 参照）。

一方、今回の冠水工法については、以下に示すように従来の冠水の考え方と相違している。従来の冠水工法（PCVに水を張る工法：PCV冠水工法）は放射線の遮へい効果等に利点があるものの、PCV上部止水の技術的難度と作業時の被ばく量を踏まえると、実現性が低いと判断されていた（従来の冠水工法（PCV冠水工法）のイメージ図は図 A 9-8 参照）。このため、2017年及び2019年の中長期ロードマップにおける取り出し方針では、気中工法に軸足を置いて進めることとし、冠水工法については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としていた。今回の冠水工法は、上述のPCV冠水工法と相違し、新たな発想により、閉じ込め障壁として船殻構造体と呼ばれる新規構造物で原子炉建屋全体を囲い、原子炉建屋を冠水させる方式の工法である（今回の冠水工法（船殻工法）のイメージ図は図 A 9-9 参照）。

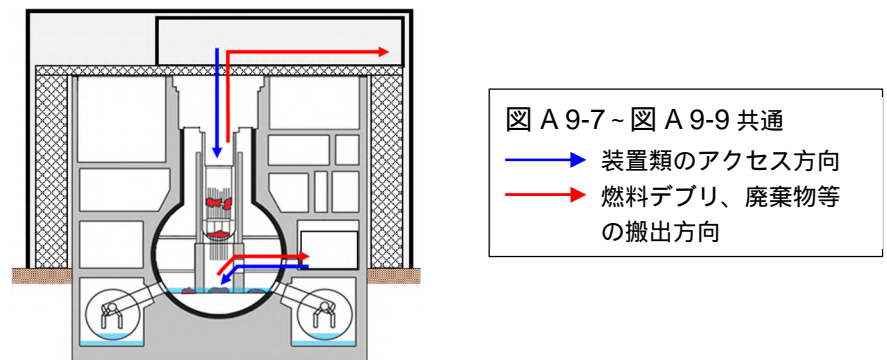


図 A 9-7 気中工法の一例
（上アクセスと横アクセスの組合せのイメージ図）

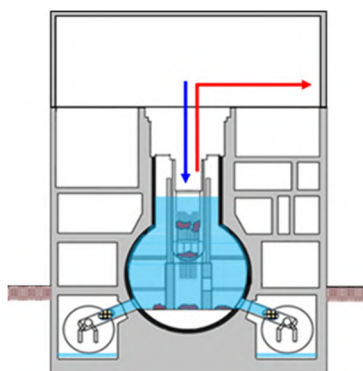


図 A 9-8 参考：従来の冠水工法
（PCV冠水工法のイメージ図）

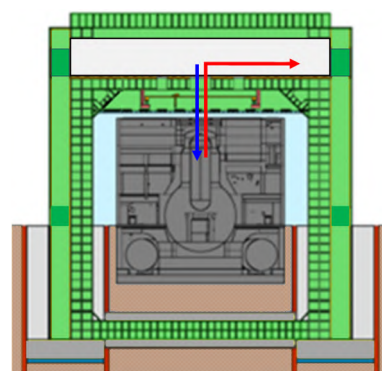


図 A 9-9 冠水工法の一例
（船殻工法のイメージ図）

技術戦略プラン 2023 では、まず燃料デブリ取り出しを困難にしている6項目の要因を抽出し、これらを踏まえ、工法を検討・評価する際の留意点を整理している。次に、気中工法、気中工法オプション（RPV充填固化）、冠水工法（船殻工法）の各工法について、工事シーケンスから抽出した課題を上記要因6項目に分類し、それらの課題と取組方針を整理・検討している。なお、気中工法オプション（RPV充填固化）は、気中工法の課題の困難さを下げる可能性のある方策

として考案されたもので、ペDESTAL底部、RPV、原子炉ウェル等を充填材で固めて物理的に安定化させた上で、充填材とともに燃料デブリを掘削して取り出す工法である（図A9-10）。

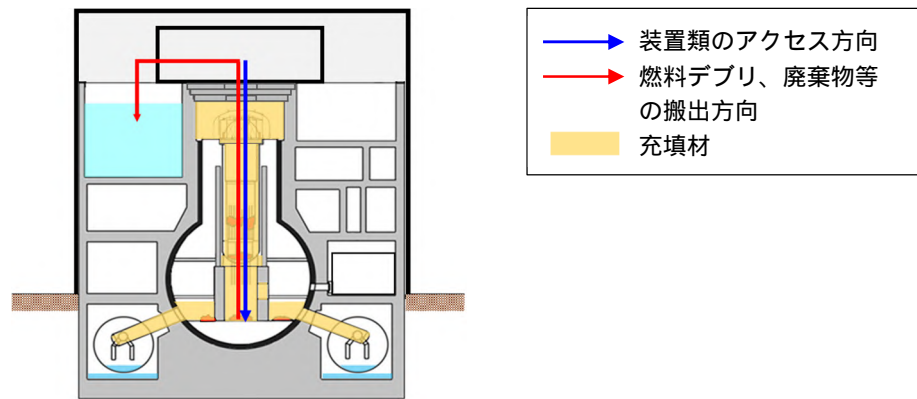


図 A 9-10 気中工法オプション（RPV充填固化）案の一例

添付資料10 事故分析（事故時の発生事象等の明確化）活動の継続（最近の活動の進捗）

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

東京電力自身による事故分析活動として、事故時の発生事象等を明確化するため、「福島第一原子力発電所事故における未確認・未解明事項」として52件の課題を抽出し、内部調査で得られた知見などに基づく調査・検討の進捗を報告している（表A10-1）。2013年12月の第1回進捗報告において、地震の影響による1号機での冷却水喪失の可能性の検討（1号機-4）等の10件の課題についての結論が報告された²⁰¹。さらに、報告された10件のうち消防車による原子炉注水量（共通-2）及びと3号機 HPCI 停止後の原子炉水位の挙動（3号機-5）の2件については検討が継続された。これら2件を含む残り44件の課題について、優先順位が高い課題10件とそれ以外の課題34件に整理された。2015年12月の第4回進捗報告までに優先順位が高い10件の課題について検討結果が示され、2022年11月の第6回進捗報告までに優先度がそれほど高くない課題のうち「炉内損傷状況とデブリ位置について」を含めた20件の検討結果が示された²⁰²。第6回進捗報告までに、事故進展メカニズムの理解に重要な課題10件、現場情報に基づく燃料デブリ分布の推定1件、事故進展メカニズムの理解を助ける課題27件について、検討結果が報告されている。このうち、炉心損傷とデブリ位置（共通-10）や原子炉建屋の水素爆発（共通-11）などの課題については検討が継続されている。一方で、熔融炉心物質とコンクリートとの反応や、ベント時の格納容器からの放射性物質の放出等14件の課題については、まだ十分な検討が進められていない。今後、2号機の試験的取り出しにおける内部調査及び燃料デブリの回収・分析により、これらの事故分析活動に有用な情報を得られることが期待される。

²⁰¹ 福島第一原子力発電所事故発生後の詳細な進展メカニズムに関する未確認・未解明事項の調査・検討結果のご報告「第1回進捗報告」、2015年12月13日

²⁰² 福島第一原子力発電所事故発生後の詳細な進展メカニズムに関する未確認・未解明事項の調査・検討結果のご報告「第6回進捗報告」、添付資料2【検討課題リスト】、2022年11月10日

表 A 10-1 福島第一原子力発電所事故における未確認・未説明問題の報告状況²⁰³(報告済、 未報告)

課題番号	課題件名	進捗報告での報告状況
共通-1 (優先順位が高い課題)	炉心損傷後のSRVの動作について	第4回 第6回(追加報告)
共通-2 (優先順位が高い課題)	消防車による原子炉注水量について	第1～3回* 第5回(追加報告)
共通-3	水位計の基準面器配管の水の蒸発挙動について	第3回、第5回
共通-4	PLRMメカニカルシールからの漏えいについて	未報告
共通-5	コア・コンクリート反応について	未報告
共通-6 (優先順位が高い課題)	溶融炉心の下部プレナム落下挙動	第4回
共通-7	放射性物質の大気放出のタイミングとモニタリングデータの関連について	第5回
共通-8	ベント時の格納容器からの放射性物質の放出挙動について	未報告
共通-9 (優先順位が高い課題)	3月20日前後の線量上昇について	第3回
共通-10	炉心損傷状況とデブリ位置について	第6回
共通-11	原子炉建屋の水素爆発について	第5回
共通-12	巨大連動型地震及び巨大津波発生に関する知見について	未報告
共通-13	福島県浜通り南部地域における地震活動の活発化について	未報告
共通-14	津波の福島第一主要建屋への詳細な到達時刻や浸水経路について	第1回*、第2回 第5回(追加報告)
共通-15	津波の波力による影響について	未報告
共通-16	ヒューマンファクターの観点からの検討	未報告
1号機-1	1号機水素によるICの除熱劣化について	第3回
1号機-2	1号機IC動作の場合の挙動について	第3回
1号機-3	1号機指示不良後の原子炉水位計指示値の挙動について	第3回
1号機-4	1号機地震の影響によるLOCAの可能性について	第1回*
1号機-5	1号機原子炉圧力容器の気相漏えいについて	未報告
1号機-6	1号機格納容器の気相漏えいについて	未報告
1号機-7	1号機3月11日の原子炉建屋内の線量上昇について	未報告
1号機-8	1号機原子炉建屋1階南東エリアの高線量汚染の原因の特定	第6回
1号機-9 (優先順位が高い課題)	1号機RCW配管の高線量汚染の原因の特定	第4回 第6回(追加報告)
1号機-10	1号機SGTS配管周辺の高線量汚染について	未報告
1号機-11	1号機消防車による注水条件の変更	第4回

²⁰³ 福島第一原子力発電所事故発生後の詳細な進展メカニズムに関する未確認・未説明事項の調査・検討結果「第6回進捗報告」について、添付資料2【検討課題リスト】、2022年11月10日
(https://www.tepco.co.jp/decommission/information/accident_unconfirmed/pdf/221110j0106.pdf)

課題番号	課題件名	進捗報告での報告状況
2号機-1	2号機制御電源喪失後のR/C流量について	第1回
2号機-2	2号機R/Cの停止原因について	未報告
2号機-3	2号機3月14日21時以降のS/C圧力計の挙動について	第6回
2号機-4	2号機津波到達後のRHR系統の状況について	第1回
2号機-5	2号機14日13時頃からの格納容器圧力挙動について	第1回
2号機-6	2号機SRV強制開時のPCV圧力について	第4回
2号機-7 (優先順位が高い課題)	2号機強制減圧後の原子炉圧力の上昇について	第2回、第3回
2号機-8	2号機原子炉圧力容器の気相漏えいについて	第4回
2号機-9 (優先順位が高い課題)	2号機ラプチャディスクの作動の有無について	第3回
2号機-10	2号機水素リッチな蒸気を放出した際の凝縮挙動	第3回、第4回
2号機-11	2号機原子炉格納容器の気相漏えいについて	第6回
2号機-12	2号機15日のCAMS指示値の急上昇について	第2回、第4回、第6回
2号機-13	2号機水素爆発が起きなかったことについて	未報告
3号機-1 (優先順位が高い課題)	3号機R/Cの停止原因について	第2回
3号機-2	3号機指示不良後の原子炉水位計指示値の挙動について	第5回
3号機-3 (優先順位が高い課題)	3号機圧力抑制プールの温度成層化について	第4回
3号機-4	3号機HPCI運転中の原子炉水位の挙動	第1回、第2回 第6回(追加報告)
3号機-5 (優先順位が高い課題)	3号機HPCI停止後の原子炉水位の挙動	第1回*、第2回 第5回(追加報告)
3号機-6	3号機13日9時頃の原子炉圧力の急速減圧挙動	第1回*
3号機-7	3号機13日急速減圧後の原子炉圧力の挙動	第1回、第4回
3号機-8	3号機ベント操作時の格納容器圧力の挙動	第4回、第6回
3号機-9	3号機原子炉圧力容器の気相漏えいについて	第6回
3号機-10	3号機格納容器の気相漏えいについて	第4回、第6回
3号機-11	3号機原子炉建屋上部からの大量の蒸気発生	第4回、第6回
3号機-12	3号機消防車による注水条件の変更	未報告

*これらの5課題は、第1回進捗報告において事故を理解する上で重要な課題として現状の検討結果が報告された。そのうち共通 2と3号機 5の2課題は、優先順位が高い 10件の課題の中に再編された。

備考：「福島第一原子力発電所事故発生後の詳細な進展メカニズムに関する未確認・未解明事項の調査・検討結果」の各報告の開催日について

「第1回進捗報告」、2013年12月13日

「第2回進捗報告」、2014年8月6日

「第3回進捗報告」、2015年5月20日

「第4回進捗報告」、2015年12月17日

「第5回進捗報告」、2017年12月25日

「第6回進捗報告」、2022年11月10日

また、東京電力は、福島第一原子力発電所の1号機から3号機の原子炉建屋内やPCV内部調査で得られる知見及び採取された堆積物サンプルの分析データを、燃料デブリ取り出し工法や保管管理等の検討、並びに、福島第一原子力発電所事故における未確認・未説明問題の検討や炉内損傷状態や燃料デブリ分布の推定に反映している。

1号機については、2022年度に、IRID/日立GEとの協働により、水中ROVを用いた1号機PCV内部調査が実施され、事故後初めてペDESTAL内部の状況を観測することに成功した^{204,205,206,207,208,209}。取得されたサンプルの分析では、鉄錆が主成分であり、わずかにウランとジルコニウム、シリコンとアルミニウムを含む微粒子が検出された²¹⁰。2023年度には、ドローンを使ったPCV気中の内部調査が行われ、RPV下のCRDハウジングが破損し、燃料デブリの可能性のある物質が付着していることなど、ペDESTAL内やPCVの上部の観測データが取得された^{211,212,213,214}。現在、3Dモデル作成が進められている²¹⁵。さらに、高線量が

²⁰⁴ 第110回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機PCV内部調査(後半)について」令和5年1月26日

²⁰⁵ 第111回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機PCV内部調査(後半)について」令和5年2月22日

²⁰⁶ 第112回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機PCV内部調査(後半)について」令和5年3月30日

²⁰⁷ 第113回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機PCV内部調査(後半)について」令和5年4月27日

²⁰⁸ 第114回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機PCV内部調査(後半)について」令和5年5月25日

²⁰⁹ 第115回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機PCV内部調査について(ROV-E調査で取得した堆積物の分析)」令和5年6月29日

²¹⁰ 第121回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機格納容器底部堆積物の分析状況)」令和5年12月21日

²¹¹ 第121回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機PCV内部調査(気中部調査)について」令和5年12月21日

²¹² 第122回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機PCV内部調査(気中部調査)について」令和6年1月26日

²¹³ 第123回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機PCV内部調査(気中部調査)について」令和6年2月29日

²¹⁴ 第124回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機PCV内部調査(気中部調査)について」令和6年3月28日

²¹⁵ 第127回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機PCV内部調査(気中部調査)について」令和6年6月27日

観測されているRCW熱交換器残留水や滞留ガス^{216,217,218,219}、PCV内の水位低下に向けたS/C内包水^{220,221,222,223}、X-2ペネの扉内側付着物²²⁴などのサンプル採集と分析が進められた。

2号機については、試験的デブリ取り出しで使用するX-6ペネの内部調査と堆積物の除去作業が進められ、堆積物のサンプリングが行われた

-
- ²¹⁶ 第111回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機RCW熱交換器入口ヘッダ配管で確認された滞留ガスの対応について」令和5年2月22日
- ²¹⁷ 第112回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機RCW熱交換器サンプリング及び水素滞留事象の対応」令和5年3月30日
- ²¹⁸ 第116回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機RCW熱交換器(C)のサンプリング結果について」令和5年7月27日
- ²¹⁹ 第123回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機RCW系統で確認された堆積物の分析結果について」令和6年2月29日
- ²²⁰ 第115回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機PCV水位低下に向けたS/C内包水サンプリング作業の実施について」令和5年6月29日
- ²²¹ 第117回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機PCV水位低下に向けた作業の進捗状況」令和5年8月31日
- ²²² 第120回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機PCV水位低下に向けたS/C内包水サンプリング作業の実施系統について」令和5年11月30日
- ²²³ 第121回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機PCV水位低下に向けた作業の進捗状況(サンプリング結果の続報)」令和5年12月21日
- ²²⁴ 第126回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「1号機PCV内(X-2ペネ内扉)サンプル採取について」令和6年5月30日

225,226,227,228,229,230,231,232,233,234,235,236,237,238,239,240,241。また、事故後に約3日間作動していたR C I Cの停止原因の究明に向けた原子炉建屋地階へのアクセス性の調査²⁴²、R P V内部調査に向けた原子炉系計装配管の線量低減・洗浄作業及びサンプル採集^{243,244,245}が行われた。

-
- ²²⁵ 第111回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査試験の取り出し作業の準備状況」令和5年2月22日
- ²²⁶ 第112回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査試験の取り出し作業の準備状況」令和5年3月30日
- ²²⁷ 第113回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査試験の取り出し作業の準備状況」令和5年4月27日
- ²²⁸ 第114回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査試験の取り出し作業の準備状況」令和5年5月25日
- ²²⁹ 第115回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査・試験の取り出し作業の準備状況」令和5年6月29日
- ²³⁰ 第116回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査試験の取り出し作業の準備状況」令和5年7月27日
- ²³¹ 第117回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査試験の取り出し作業の準備状況」令和5年8月31日
- ²³² 第118回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査試験の取り出し作業の準備状況」令和5年9月28日
- ²³³ 第119回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査試験の取り出し作業の準備状況」令和5年10月26日
- ²³⁴ 第120回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査試験の取り出し作業の準備状況」令和5年11月30日
- ²³⁵ 第121回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査試験の取り出し作業の準備状況」令和5年12月21日
- ²³⁶ 第122回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査試験の取り出し作業の準備状況」令和6年1月25日
- ²³⁷ 第123回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査試験の取り出し作業の準備状況」令和6年2月29日
- ²³⁸ 第124回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査試験の取り出し作業の準備状況」令和6年3月28日
- ²³⁹ 第125回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査試験の取り出し作業の準備状況」令和6年4月25日
- ²⁴⁰ 第126回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査試験の取り出し作業の準備状況」令和6年5月30日
- ²⁴¹ 第127回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機P C V内部調査試験の取り出し作業の準備状況」令和6年6月27日
- ²⁴² 第110回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機原子炉建屋内調査(地下1階アクセス性検討のための状況確認)」令和5年1月26日
- ²⁴³ 第116回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機R P V内部調査に向けた原子炉系計装配管の線量低減作業について」令和5年7月27日
- ²⁴⁴ 第118回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機R P V内部調査に向けた原子炉系計装配管の線量低減作業について」令和5年9月28日
- ²⁴⁵ 第119回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「2号機R P V内部調査に向けた原子炉系計装配管の線量低減作業について」令和5年10月26日

3号機では、PCV内の水位低下に向けたS/C内包水と滞留ガスの調査^{246,247,248}、事故時に原子炉底部のCRDが損傷し、FPが流入したと推定されているHCU内包水のサンプリング²⁴⁹が行われた。

さらに、原子炉建屋内で事故の痕跡を留める場所については、事故時の情報が失われる前に先行して調査を行い検討に役立てることを計画し、「福島第一原子力発電所事故調査中長期計画」として公表している。2024年度には、3号機建屋内の空間情報や線量率情報について、今後の詳細調査の要否判定に向けて、現状把握が進められている^{250,251,252}。

これらの調査や解析で得られた知見は、炉内状況推定図に反映され、事故原因の究明等に利用されている。また、検討結果と推定図はdebrisWikiにより一般に公開されている²⁵³。

また、東京電力は、福島第一原子力発電所事故における未確認・未解明問題の検討について52件の課題を抽出し、優先度で分類して検討を進めている。第6回進捗報告までに、事故進展メカニズムの理解に重要な課題10件、現場情報に基づく燃料デブリ分布の推定1件、事故進展メカニズムの理解を助ける課題27件について、検討結果が報告されている²⁵⁴。このうち、燃料デブリの分布を含む12件の課題については検討が継続されている。一方で、14件の課題については、まだ十分な検討が進められていない。

事故の継続的な調査・分析を所掌する原子力規制庁は、東京電力と協働して、「東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会」を設置して事故分析に係る検討を進めている²⁵⁵。2022年度中間報告では、放射性物質の放出経路について、ベント配管やシールドブラ

²⁴⁶ 第118回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「3号機S/C内滞留ガスのパージ作業について」令和5年9月28日

²⁴⁷ 第120回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「3号機S/C内滞留ガスの測定分析結果について」令和5年11月30日

²⁴⁸ 第121回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「3号機S/C内滞留ガスのパージ作業開始について」令和5年12月21日

²⁴⁹ 第127回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「3号機HCU内包水サンプリングについて」令和6年6月27日

²⁵⁰ 第124回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「3号機原子炉建屋内の調査の計画について」令和6年3月28日

²⁵¹ 第126回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「3号機原子炉建屋内の調査の計画について」令和6年5月30日

²⁵² 第127回廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 資料3-3、「3号機原子炉建屋内の調査の計画について」令和6年6月27日

²⁵³ debrisWiki メインページ：<https://fdada-plus.info/wiki/index.php?title=メインページ>

²⁵⁴ 福島第一原子力発電所事故発生後の詳細な進展メカニズムに関する未確認・未解明事項の調査・検討結果「第6回進捗報告」について、2022年11月10日

(https://www.tepco.co.jp/decommission/information/accident_unconfirmed/pdf/221110j0101.pdf)

²⁵⁵ 原子力規制委員会設置法第4条第1項第11号「原子炉の運転等に起因する事故の原因及び原子力事故により発生した被害の原因を究明するための調査に関すること」

グの汚染メカニズム、汚染量、及び核種の放出タイミングについて検討結果が、また、水素爆発について、水素燃焼の物理・化学的メカニズムの検証結果がとりまとめられた^{256,257,258,259}。

2023年度には、ROVによる1号機格納容器内部調査の結果の整理^{260,261,262}とそこで観測されたコンクリート喪失に関する意見交換^{263,264,265,266,267}が行われたが、破損メカニズムの同定には至っていない。ドローンによる気中調査の結果²⁶⁸も共有された。さらに、1号機について

-
- ²⁵⁶ 東京電力福島第一原子力発電所における事故の調査・分析に係る中間とりまとめ～2019年9月から2021年3月までの検討～、令和3年3月5日
- ²⁵⁷ 原子力規制委員会、「東京電力福島第一原子力発電所における事故の調査・分析に係る中間とりまとめ」について、令和3年6月19日
- ²⁵⁸ 東京電力福島第一原子力発電所における事故の調査・分析に係る中間とりまとめ（2023年版）
- ²⁵⁹ 第38回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料4、「東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析の状況 [原子力規制庁]」、令和5年6月22日
- ²⁶⁰ 第37回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料1、「1号機原子炉格納容器内部調査の状況について [技術研究組合国際廃炉研究開発機構・東京電力ホールディングス]」、令和5年4月24日
- ²⁶¹ 第38回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料1-1、「1号機原子炉格納容器内部調査について [技術研究組合国際廃炉研究開発機構・東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年6月22日
- ²⁶² 第39回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料1、「1号機原子炉格納容器内部調査について [東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年9月12日
- ²⁶³ 第38回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料1-2、「東京電力福島第一原子力発電所1号機PCV内部調査により確認されたコンクリートに関する事象の検討 [国立大学法人大阪大学]」、令和5年6月22日
- ²⁶⁴ 第38回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料1-3、「コンクリート喪失に関する実験等について [原子力規制庁]」、令和5年6月22日
- ²⁶⁵ 第39回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料4-5、「コンクリート喪失に関する実験等について [原子力規制庁]」、令和5年9月12日
- ²⁶⁶ 第44回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料1-2、「1号機ペDESTAL下部で確認されたコンクリート損傷事象について [原子力規制庁]」、令和6年3月29日
- ²⁶⁷ 第44回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料1-3、「1号機ペDESTALにおけるコンクリート損傷事象に関する実験等の実施状況について [大阪大学/福島高専/原子力規制庁]」、令和6年3月29日
- ²⁶⁸ 第44回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料1-1、「1号機原子炉格納容器内調査(気中調査)の実施状況について [東京電力ホールディングス株式会社]」、令和6年3月29日

は、RCWの高線量の原因^{269,270,271,272,273,274,275,276,277,278,279,280,281}、CUW配管の滞留ガスの確認²⁸²、S/C内含水のサンプリング²⁸³について、意見交換と情報共有が進められた。2号機については、試験的デブリ取り出しに向けた準備作業^{284,285}とRPV内部調査に向けた準備作業²⁸⁶について情報共有が行われた。さらに、X-6ペネ内で観測された堆積物の形成メカニズムに

-
- ²⁶⁹ 第37回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料4、「1号機原子炉補機冷却系統の現地調査の状況 [原子力規制庁]」、令和5年4月24日
- ²⁷⁰ 第38回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料3-1、「1号機RCW系統の汚染経路とRCW熱交換器(c)のサンプリングについて[東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年6月22日
- ²⁷¹ 第38回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料3-2、「福島第一原子力発電所におけるRCW系統の格納容器隔離弁について [東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年6月22日
- ²⁷² 第38回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 3-3、「資料1号機原子炉補機冷却系統の汚染状況 [原子力規制庁]」、令和5年6月22日
- ²⁷³ 第39回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料4-1、「1号機RCW系統の汚染経路推定に係る検討およびRCW熱交換器(C)のサンプリング結果について[東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年9月12日
- ²⁷⁴ 第40回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2-5、「RCW系統の格納容器隔離弁に対する電動弁の適用理由 [東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年10月30日
- ²⁷⁵ 第42回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2-1、「1号機RCW系統の汚染経路推定に係る検討について [東京電力ホールディングス株式会社]」、令和6年2月16日
- ²⁷⁶ 第42回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2-2、「1号機RCW系統で確認された堆積物の分析結果について[東京電力ホールディングス株式会社]」、令和6年2月16日
- ²⁷⁷ 第42回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2-3、「1号機RCW系統サンプリング水の分析結果について[東京電力ホールディングス株式会社]」、令和6年2月16日
- ²⁷⁸ 第42回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2-4、「1号機RCW系統の汚染経路推定に係る検討」の主な論点 [原子力規制庁]」、令和6年2月16日
- ²⁷⁹ 第43回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2-2、「1号機RCW系統の汚染経路推定に関する暫定的な検討結果と今後検討を要する事項 [原子力規制庁]」、令和6年3月12日
- ²⁸⁰ 第44回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2-1、「1号機RCW系統の汚染経路推定に係る検討について [東京電力ホールディングス株式会社/日立GEニュークリア・エナジー株式会社]」、令和6年3月29日
- ²⁸¹ 第44回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2-2、「1号機RCW系統の汚染経路推定に係る議論の流れ（提案） [原子力規制庁]」、令和6年3月29日
- ²⁸² 第39回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料4-3、「1号機PCV水位低下に向けた作業の進捗状況(1号機CUW配管の滞留ガス確認について) [東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年9月12日
- ²⁸³ 第41回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料5-3、「1号機PCV水位低下に向けたS/C内含水サンプリング作業の実施について(S/C底部確認含む) [東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年12月25日
- ²⁸⁴ 第40回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2-2、「2号機PCV内部調査・試験的取り出し作業の準備状況 [東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年10月30日
- ²⁸⁵ 第41回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料3-2、「2号機X-6ペネに関する現場情報[東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年12月25日
- ²⁸⁶ 第40回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2-3、「2号機RPV内部調査に向けた原子炉系計装配管の線量低減作業の結果について [東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年10月30日

ついてサンプル分析結果に基づく検討^{287,288,289,290,291}が行われた。また、差圧調整ラインの汚染が比較的少ない理由^{292,293}について認識共有された。3号機については、水素爆発に係る可燃性ガスの影響の検討に向けて、実機同等材を用いた燃焼実験と解析、可燃性ガスの発生条件と生成ガス成分の調査、及び漏えい経路と爆発メカニズムの推定が継続して進められている

-
- ²⁸⁷ 第43回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2 - 3、「2号機 X-6 ペネの堆積物の生成過程等に関する検討について[原子力規制庁]」、令和6年3月12日
- ²⁸⁸ 第41回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料3 - 1、「X-6 ペネ調査装置付着物サンプルの分析結果(2021年度)[日本原子力研究開発機構]」、令和5年12月25日
- ²⁸⁹ 第43回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2 - 4「JAEAにおけるスミヤ試料分析の状況[日本原子力研究開発機構]」、令和6年3月12日
- ²⁹⁰ 第44回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料3 - 1、「スミヤ試料分析結果の整理[日本原子力研究開発機構]」、令和6年3月29日
- ²⁹¹ 第44回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料3 - 2、「スミヤ試料分析結果に対する見解と今後の取組について[原子力規制庁]」、令和6年3月29日
- ²⁹² 第40回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2 - 1「2号機原子炉キャビティ差圧調整ラインバルブチェックリストの現場調査結果について[東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年10月30日
- ²⁹³ 第41回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料5 - 1、「2号機の差圧調整ラインの汚染が比較的小さいことに関する解釈について[東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年12月25日

294,295,296,297,298,299,300,301,302,303,304,305,306。また、S / C内滞留ガスのパージに関する情報共有

307、1号機と共通する課題として事故初期の高線量の原因の検討^{308,309}が行われた。1 / 2号機SGTS配管の調査結果^{310,311,312}と、3 / 4号機の排気塔解体に向けた排気塔とSGTS配

-
- 294 第37回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2 - 1、「BWR格納容器内有機材料熱分解生成気体の分析結果 [国立研究開発法人日本原子力研究開発機構]」、令和5年4月24日
- 295 第37回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2 - 2、「ケーブルなどから発生する可燃性ガス発生量評価及び可燃性有機ガス燃焼試験進捗状況 [東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年4月24日
- 296 第37回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料3、「東京電力福島第一原子力発電所事故時の水素爆発における可燃性有機ガスの影響に関する調査[国立大学法人長岡技術科学大学]」、令和5年4月24日
- 297 第37回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料5 - 1「CI GMA装置体系での凝縮による水素局在化に関するCFD解析 [国立研究開発法人日本原子力研究開発機構]」、令和5年4月24日
- 298 第38回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2 - 1、「令和5年度原子力施設等防災対策等委託費（東京電力福島第一原子力発電所事故時の水素爆発における可燃性有機ガスの影響に関する調査）事業」[国立大学法人長岡技術科学大学]」、令和5年6月22日
- 299 第38回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2 - 2、「福島第一原子力発電所3号機の水素爆発に寄与した漏えい経路と爆発メカニズムの推定」にかかる補足資料 [東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年6月22日
- 300 第38回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会資料2 - 3、「株式会社テブコシステムズの解析から得られた建屋内水素挙動に関する知見と今後の展開[原子力規制庁]」、令和5年6月22日
- 301 第39回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料4 - 4、「CI GMA装置体系での凝縮による水素蓄積に関する実験計画 [国立研究開発法人日本原子力研究開発機構]」、令和5年9月12日
- 302 第43回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会資料1 - 1、「3号機水素爆発事象に関する検討（全体概要）[原子力規制庁]」、令和6年3月12日
- 303 第43回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料1 - 2、「CI GMA装置体系での凝縮による水素局在化に関する実験 [日本原子力研究開発機構]」、令和6年3月12日
- 304 第43回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料1 - 3、「令和5年度原子力施設等防災対策等委託事業（東京電力福島第一原子力発電所事故時の水素爆発における可燃性有機ガスの影響に関する調査）」[国立大学法人長岡技術科学大学]」、令和6年3月12日
- 305 第43回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料1 - 4、「3号機水素爆発による原子炉建屋破損に関する整理[原子力規制庁]」、令和6年3月12日
- 306 第43回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料1 - 5、「3号機水素爆発時の可燃性有機物を供給した可能性のある物質[原子力規制庁]」、令和6年3月12日
- 307 第41回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料5 - 2、「3号機S / C内滞留ガスのパージ作業について [東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年12月25日
- 308 第39回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料3、「福島第一原子力発電所1号機及び3号機の事故初期高線量率の原因推定に向けて(問題提起)[原子力規制庁]」、令和5年9月12日
- 309 第40回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料1 - 4、「福島第一原子力発電所1号機及び3号機の事故初期高線量率の原因推定に向けて(問題提起)」に関する追加情報[東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年10月30日
- 310 第40回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料2 - 6、「1 / 2号機SGTS配管に対する測定の実施状況[東京電力ホールディングス]」、令和5年10月30日
- 311 第41回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料4 - 1、「福島第一原子力発電所1号機及び2号機非常用ガス処理系(SGTS)配管スミアの紙分析結果について [東京電力ホールディングス株式会社]」、令和5年12月25日
- 312 第41回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料4 - 2、「1号機SGTS配管に対する測定状況[原子力規制庁]」、令和5年12月25日

管の調査結果の共有^{313,314}も行われた。モニタリングポストデータの活用についての検討も継続された^{315,316,317,318,319,320,321,322}。

2024 年度には、東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめの2024 年版について、原子力規制庁の案^{323,324}が紹介された。東京電力や日立GE などから示された修正案やパブリックコメントについて意見交換^{325,326,327,328}が進められている。また、2024 年度に調査する項目³²⁹が示され、1号機の非常用復水器（IC）の事故時の作動状況^{330,331}と1号機のシールドプラグの変形原因³³²について意見交換が行われている。東京電力からは、3

- ³¹³ 第 39 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 4 - 2、「3 / 4号機排気筒解体に向けた現場調査の実施状況について [東京電力ホールディングス株式会社]」_レ、令和 5 年 9 月 2 日
- ³¹⁴ 第 40 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 2 - 4、「3 / 4号機排気筒解体に向けた現場調査の実施状況について [東京電力ホールディングス]」_レ、令和 5 年 10 月 30 日
- ³¹⁵ 第 39 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 2、「モニタリングポストデータの活用に関する検討 [原子力規制庁]」_レ、令和 5 年 9 月 12 日
- ³¹⁶ 第 40 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 1 - 1、「空間線量率モニタリングデータに基づく 1号機事故進展の推定 [東京電力ホールディングス株式会社]」_レ、令和 5 年 10 月 30 日
- ³¹⁷ 第 40 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 1 - 2、「1号機オペレーションフロアに充満した放射性同位元素による周辺への線量の検討 [原子力規制庁]」_レ、令和 5 年 10 月 30 日
- ³¹⁸ 第 40 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 1 - 3、「2011 年 3 月 12 日の正門付近及び MP-8 付近等の周辺線量率の検討 [原子力規制庁]」_レ、令和 5 年 10 月 30 日
- ³¹⁹ 第 41 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 2、「ブルームによるモニタリングポスト等での線量率について [原子力規制庁]」_レ、令和 5 年 12 月 25 日
- ³²⁰ 第 42 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 1 - 1、「モニタリングポスト等での線量率と原子炉での事象との関係 (2011 年 3 月 12 日) [原子力規制庁]」_レ、令和 6 年 2 月 16 日
- ³²¹ 第 42 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 1 - 2、「モニタリングポスト等での線量率と原子炉での事象との関係 (2011 年 3 月 12 日) の主な論点 [原子力規制庁]」_レ、令和 6 年 2 月 16 日
- ³²² 第 43 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 2 - 1、「モニタリングポストデータを踏まえた検討状況の整理 [原子力規制庁]」_レ、令和 6 年 3 月 12 日
- ³²³ 第 45 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 1 - 1、「東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間とりまとめ (2024 年版) (案) (本文) [原子力規制庁]」_レ、令和 6 年 4 月 19 日
- ³²⁴ 第 45 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 1 - 2、「東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間とりまとめ (2024 年版) (案) (参考及び別添資料) [原子力規制庁]」_レ、令和 6 年 4 月 19 日
- ³²⁵ 第 46 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 1 - 1、「東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間とりまとめ (2024 年版) (案) に対するご意見への考え方 (案) [原子力規制庁]」_レ、令和 6 年 6 月 11 日
- ³²⁶ 第 46 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 「資料 1-2 : 中間とりまとめ (2024 年版) (案) に対する修正案について [東京電力ホールディングス株式会社 / 日立 GE ニュークリア・エナジー株式会社]」_レ、令和 6 年 6 月 11 日
- ³²⁷ 第 46 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 1 - 3、「意見募集の結果等を踏まえた中間とりまとめ (2024 年版) (案) の修正案について [原子力規制庁]」_レ、令和 6 年 6 月 11 日
- ³²⁸ 第 46 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 1 - 4、「東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間とりまとめ (2024 年版) (案) [原子力規制庁]」_レ、令和 6 年 6 月 11 日
- ³²⁹ 第 47 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 1、「令和 6 年度の調査項目について [原子力規制庁]」_レ、令和 6 年 7 月 22 日
- ³³⁰ 第 47 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 2 - 1、「非常用復水器 (IC) に関する検討 (1 回目) [原子力規制庁]」_レ、令和 6 年 7 月 22 日
- ³³¹ 第 47 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 2 - 2、「1号機 IC に関するご質問について [東京電力ホールディングス株式会社]」_レ、令和 6 年 7 月 22 日
- ³³² 第 47 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 3、「1号機シールドプラグ変形等の原因の検討について [原子力規制庁]」_レ、令和 6 年 7 月 22 日

号機原子炉建屋内調査の結果³³³と原子炉格納容器内調査関連サンプルの分析・評価スケジュール³³⁴が報告された。

また、日本原子力学会は、「東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会」(学会事故調)を設置して検討し、その背景と根本原因を明らかにするとともに各分野にわたる提言をまとめ、平成 26 年 3 月に最終報告書を発刊した。さらに、「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」を発足させ、課題の抽出と対応策の検討など専門性を生かした廃炉に関わる活動を継続している³³⁵。2023 年度には、福島第一原子力発電所の廃炉で発生する放射性廃棄物の取扱いをテーマに、東京電力福島第一原子力発電所の廃炉に関わる第 7 回シンポジウムを開催した。2023 年秋の大会では、福島第一原子力発電所の廃炉に貢献するロボット技術開発について、2023 年春の年会では、福島第一原子力発電所の廃炉完了までを見据えたリスクへの対応について、企画セッションを開催した。

事故分析活動については、事故後 10 年以上が経過した現時点では、今なお原子炉格納容器内部をはじめとして、高放射線下などのために人間が接近することが困難な部分は多いものの、現場の環境改善や廃炉作業の進捗により、原子炉建屋内部などへのアクセス性が向上し、事故の分析に必要な試料の採取や施設の状態確認が可能となってきている。廃炉等の作業を進める中で、東京電力が公表する現場知見や情報も増えつつある。一方で、事故時の痕跡をとどめる場所については、事故時の情報が失われる前に先行して調査を行い、今後の詳細調査の要否を検討していくことが重要となってきている。

³³³ 第 47 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 4 - 1、「3 号機原子炉建屋内調査の結果について [東京電力ホールディングス株式会社]」、令和 6 年 7 月 22 日

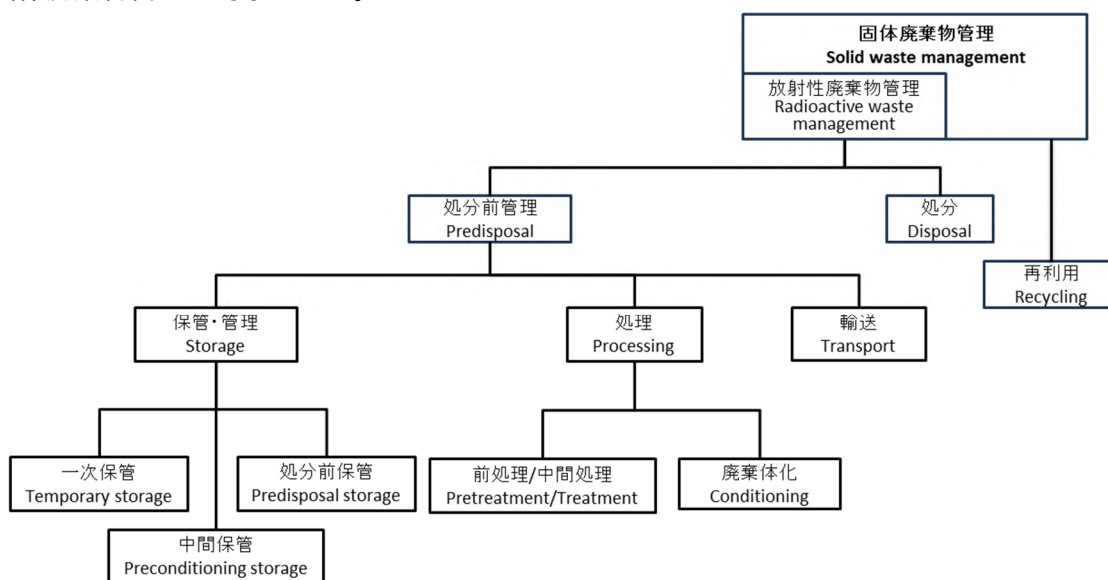
³³⁴ 第 47 回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会 資料 4 - 2、「福島第一原子力発電所原子炉格納容器内調査関連サンプルの分析・評価スケジュール [東京電力ホールディングス株式会社]」、令和 6 年 7 月 22 日

³³⁵ 原子力学会、https://www.aesj.net/aesj_fukushima/fukushima-decommissioning

添付資料11 固体廃棄物管理に関する用語

IAEAの安全要件 GSR-Part5³³⁶では、保管・管理、処理及び輸送を含む、発生から処分に至るまでの放射性廃棄物の管理におけるあらゆる段階を包含するものとして放射性廃棄物の処分前管理を位置づけている。IAEAによる放射性廃棄物管理に係る用語集³³⁷を基に作成した固体廃棄物の管理に関する用語を図 A 11-1 に示す。処分前管理の中で、放射性廃棄物の処理は、前処理、中間処理及び廃棄体化に分けられる。処理は選択あるいは予想される処分オプションに適合する廃棄物の形態であるように実施されるとともに、保管・管理及び輸送のために適した形態であることも必要であるとされている。

再利用については、放射性物質との接触がないもの、一旦、放射性廃棄物としての管理を経て、放射線防護目的で規制管理からクリアランス、規制免除の基準を満たしたものをまとめて固体廃棄物管理の対象とした。



- 保管・管理: 固体廃棄物を安全・安定な状態を維持・管理する以下の工程の総称。
 - 一次保管: 固体廃棄物の発生後に、前処理/中間処理を実施するまでの当面の保管。
 - 中間保管: 固体廃棄物に対して前処理/中間処理を実施した後に、廃棄体化処理を実施するまでの保管。
 - 処分前保管: 固体廃棄物を安全かつ安定的な廃棄体とした後に、処分場に設置するまでの保管。
- 処理: 固体廃棄物に対して行う処理工程の総称。
 - 前処理/中間処理: 固体廃棄物の発生後に、収集、分別、化学調整、除染などの操作を前処理という。その後必要に応じ、保管・管理の安全性及び処理・処分全体の合理性を考慮して行う処理工程を中間処理という。
 - 廃棄体化: 取り扱い、輸送、保管・管理及び(又は)処分に適した廃棄体パッケージを製造する工程。
- 処分: 放射性廃棄物を最終的に処分場に設置すること。

図 A 11-1 固体廃棄物管理に係る用語

³³⁶ IAEA, Predisposal Management of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 5, (2009). (原子力安全研究協会, IAEA 安全基準 放射性廃棄物の処分前管理 一般安全要件第 5 巻 No. GSR-Part5, 2012 年 7 月)

³³⁷ IAEA, IAEA Safety Glossary Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection 2007 Edition, p.216, (2007).

添付資料12 放射性廃棄物処分について^{338,339,340}

1. 国際的な放射性廃棄物の分類

原子力発電所の運転や解体、医療あるいは産業での放射性同位元素の利用等により、放射性物質で汚染された放射性廃棄物が発生する。放射性廃棄物は、人間の生活環境に影響がないように、廃棄物の放射能レベル、性状、放射性物質の種類等に応じて適切に分類し、厳重に管理し、それに応じて合理的な処理・処分を行う。

I A E Aの個別安全要件 SSR-5 “Disposal of Radioactive Waste”(2011)³⁴¹では、国際的に合意されている放射性廃棄物の管理に関する好ましい戦略は、放射性廃棄物の発生を最小化した上で、廃棄物を閉じ込め、生活環境から隔離することとしている。必要な隔離と閉じ込めは、廃棄物の危険性の程度と時間に応じて決まり、それに応じた処分オプション（施設の設計、深度）が選定されることとなる。

I A E Aの一般安全指針 GSG-1 “Classification of Radioactive Waste”³⁴²では、放射性廃棄物の危険性の程度（放射能量）と持続時間（半減期）に応じた廃棄物分類と処分オプションの関係を図 A 12-1 のように示している。また、各分類について表 A 12-1 のとおり示している。

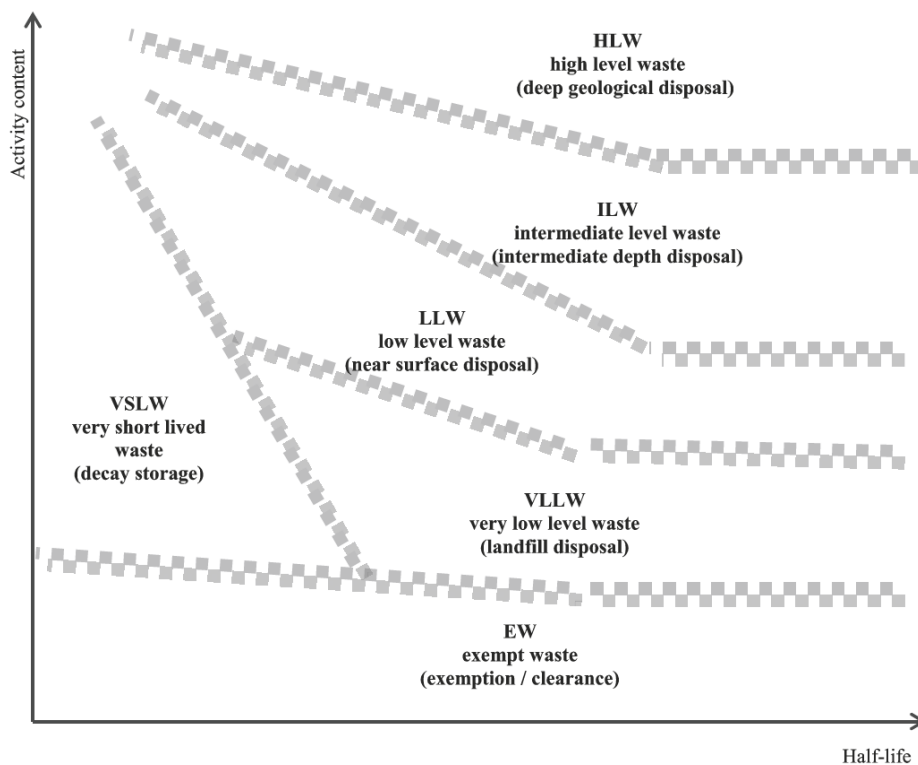


図 A 12-1 廃棄物分類の概念図

³³⁸ 朽山修、放射性廃棄物処分の原則と基礎 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター(2016)

³³⁹ https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/

³⁴⁰ <https://www.fepec.or.jp/nuclear/haikibutsu/index.html>

³⁴¹ IAEA SSR-5 “Disposal of Radioactive Waste”(2011)

³⁴² IAEA GSG-1 “Classification of Radioactive Waste” (2009)

表 A 12-1 GSG-1 における放射性廃棄物の分類

分類	分類の説明
規制免除廃棄物 (E W)	放射線防護目的での規制管理からのクリアランス、規制免除の基準を満たす廃棄物。
極短寿命廃棄物 (V S L W)	規制機関によって承認された、数年までの限られた期間にわたって減衰保管され、その後規制管理から除かれる廃棄物。
極低レベル廃棄物 (V L L W)	E Wの基準を必ずしも満たしていないが、高度な閉じ込めと隔離を必要としない廃棄物。規制管理が限定される、浅地中の埋立タイプの施設での廃棄に適する。
低レベル廃棄物 (L L W)	クリアランスレベルを超えているが、長寿命の放射性核種の量が限られている廃棄物。最長で数百年の期間にわたって強固な隔離と閉じ込めが必要であり、浅地中での工学的施設での処分に適している。
中レベル廃棄物 (I L W)	含有する核種、特に長寿命放射性核種のために、浅地中処分よりも高度な閉じ込めと隔離が必要な廃棄物。ただし、除熱への考慮はほとんど必要としない。I L Wには浅地中処分では管理できないレベルの長寿命放射性核種（特にアルファ核種）の濃度を含むことがあるため、数十から数百メートルの処分深度が必要となる。
高レベル廃棄物 (H L W)	高い放射能濃度レベルで大量の熱の発生を伴う廃棄物、又はそのような廃棄物の処分施設と同等の設計を検討する必要がある大量の長寿命放射性核種を含む廃棄物。通常、地表から数百メートル以深の安定した地層での処分が一般的である。国によっては使用済燃料をH L Wとしている。

2. 我が国における分類と処分

我が国では、放射性廃棄物は、原子力発電所の運転等に伴い発生する放射能レベルの低い「低レベル放射性廃棄物」(GSG-1 の V L L W ~ I L W に相当) と、原子力発電の運転に伴って発生する使用済燃料を再処理することで生じる放射能レベルの高い廃液をガラス固化体にした「高レベル放射性廃棄物」(GSG-1 の H L W に相当) とに大別している。処分に当たっては、廃棄物の放射能レベル、性状、放射性物質の種類等に応じて適切に分類し、厳重に管理し、それに応じて発生者責任の原則の下、合理的な処理・処分を行うこととしている。

「高レベル放射性廃棄物」は原子力発電の運転に伴って発生する使用済燃料を再処理することで生じる放射能レベルの高い廃液をガラス固化体にしたものである。日本では、法律（特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律（最終処分法））で地下 300メートルよりも深い地層に処分することが決められている。

「低レベル放射性廃棄物」は「高レベル放射性廃棄物」以外の放射性廃棄物全体のことを呼び、発生場所や放射能レベルによって更に複数の分類に分けられている。

原子力発電の運転に伴い発生する放射性廃棄物の種類や想定されている処分の方法を表 A 12-2 に示す。

これらのうち既に処分が開始されているのは、原子力発電所の運転に伴い発生した放射能レベルの比較的低い廃棄物のみで、平成 4 年より、青森県六ヶ所村にある日本原燃（株）六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターでピット処分が行われている。現在の施設を含めて 200 リ

ットルドラム缶で約 100 万本相当を埋設する計画であり、最終的には 200 リットルドラム缶で約 300 万本相当の規模にすることも考えられている。

表 A 12-2 原子力発電の運転に伴い発生する放射性廃棄物の種類

廃棄物の種類		廃棄物の例	発生場所	処分の方法(例)
低レベル放射性廃棄物	発電所廃棄物	放射能レベルの極めて低い廃棄物	原子力発電所	トレンチ処分
		放射能レベルの比較的低い廃棄物		ビット処分
		放射能レベルの比較的高い廃棄物		中深度処分
	ウラン廃棄物	消耗品、スラッジ、廃器材	ウラン濃縮・燃料加工施設	中深度処分、ビット処分、トレンチ処分、場合によっては地層処分
	超ウラン核種を含む放射性廃棄物 (TRU廃棄物)	燃料棒の部品、廃液、フィルター	再処理施設、MOX燃料加工施設	地層処分、中深度処分、ビット処分
高レベル放射性廃棄物		ガラス固化体	再処理施設	地層処分
クリアランスレベル以下の廃棄物		原子力発電所解体廃棄物の大部分	上に示した全ての発生場所	再利用/一般の物品としての処分

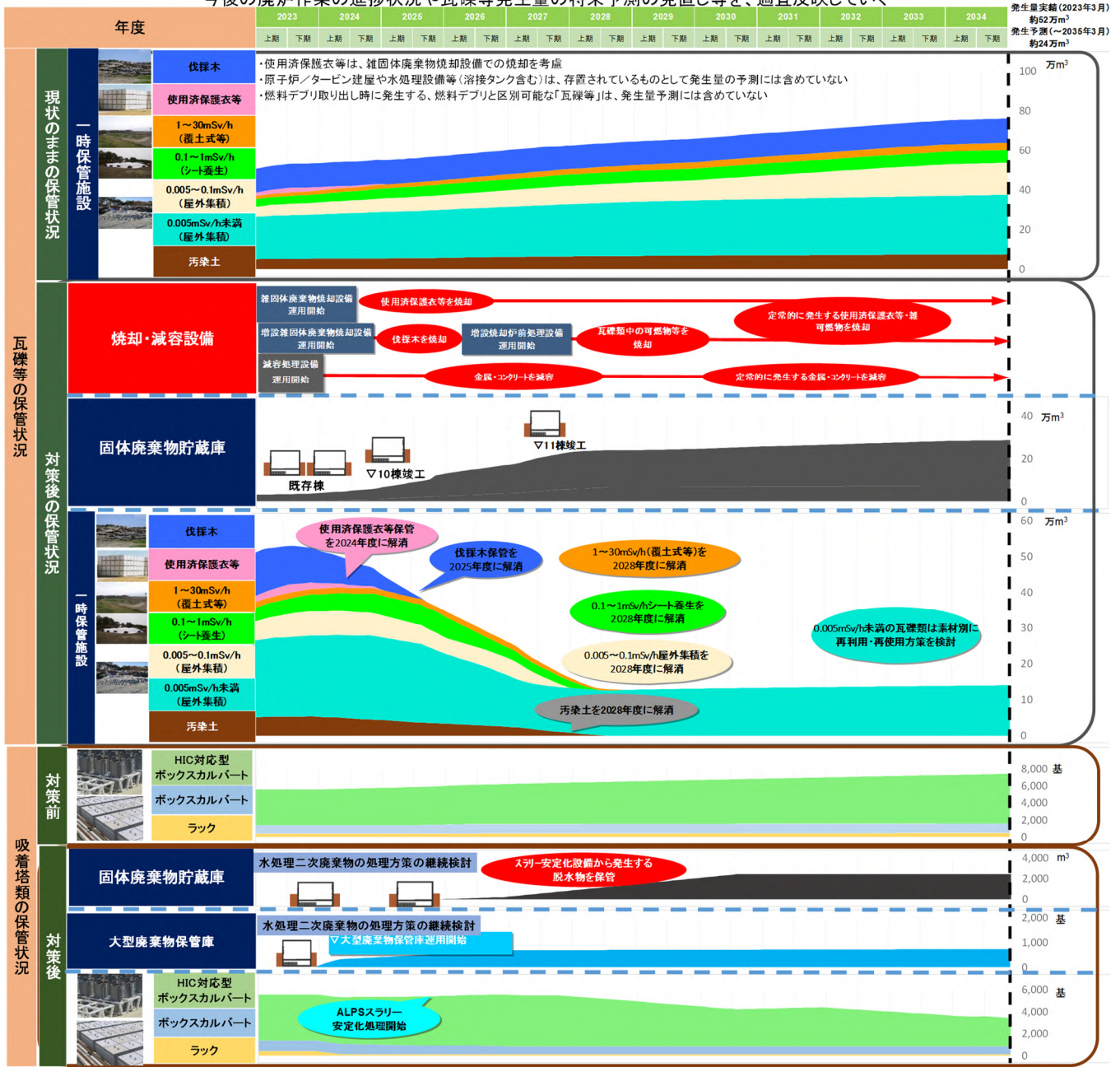


図 A 12-2 日本原燃(株)低レベル放射性廃棄物埋設センター

添付資料13 福島第一原子力発電所の固体廃棄物の保管管理計画の全体イメージ³⁴³

東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の瓦礫等保管のイメージ

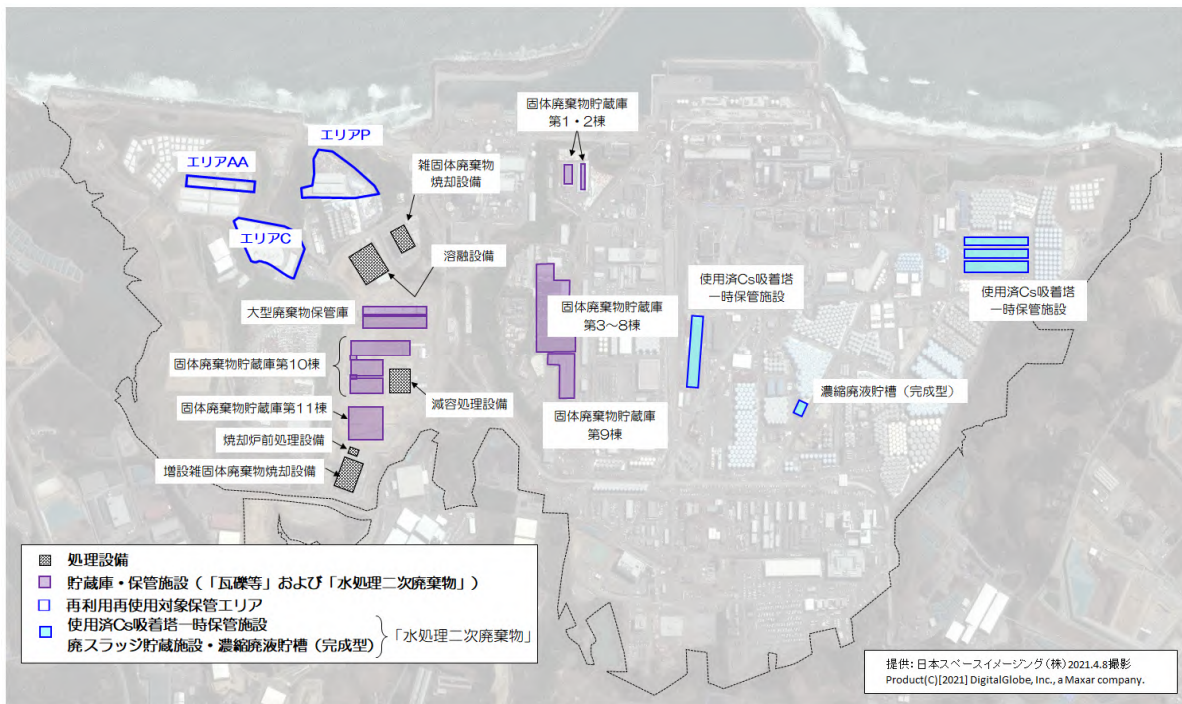
- ・敷地境界線量への影響が高い瓦礫等から優先的に建屋内保管に移行
- ・可能な限り、可燃物は焼却、金属・コンクリートは減容処理した上で、建屋内に保管
- ・今後の廃炉作業の進捗状況や瓦礫等発生量の将来予測の見直し等を、適宜反映していく



³⁴³ 東京電力、東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の固体廃棄物の保管管理計画 2023年11月版



(a) 「ガレキ等」及び「水処理二次廃棄物」の保管状況



(b) 「ガレキ等」及び「水処理二次廃棄物」の保管の将来像

図 A 13-1 福島第一原子力発電所構内における「ガレキ等」及び「水処理二次廃棄物」の保管状況及び保管の将来像

添付資料14 固体廃棄物毎の各分野における技術の開発・検討状況

性状把握から処分までの各分野におけるこれまでの研究開発の成果・検討状況を整理しておくことが、個別廃棄物ストリームの検討を進めていく上で重要である。このため、固体廃棄物毎の各分野における技術の開発・検討状況を表 A 14-1 のとおり整理した。また、表 A 14-1 については、技術の開発・検討状況の進捗に応じて、毎年度見直しを実施する。

表 A 14-1 固体廃棄物ごとの各分野における技術の開発・検討状況の一覧

固体廃棄物 (個別廃棄物ストリーム)	ストリーム 番号	固体廃棄物管理							再利用
		放射性廃棄物管理							
		性状把握	一次保管	前処理/中間処理	中間保管	廃棄体化	処分前保管	処分	
解体廃棄物									
圧力容器	S1	■	■	■	■	■	■	■	■
格納容器金属	S2	■	■	■	■	■	■	■	■
格納容器コンクリート	S3	■	■	■	■	■	■	■	■
建屋内金属	S4	■	■	■	■	■	■	■	■
建屋内コンクリート	S5	■	■	■	■	■	■	■	■
瓦礫類									
ガレキ金属	S6	■	■	■	■	■	■	■	■
ガレキコンクリート	S7	■	■	■	■	■	■	■	■
可燃性雑固体、伐採木									
可燃物(伐採木、保護衣類など)	S8	■	■	■	■	■	■	■	■
水処理二次廃棄物									
吸着塔 (KURION, SARRY)	S9	■	■	■	■	■	■	■	■
吸着塔 (モバイル浄化装置)		■	■	■	■	■	■	■	■
多核種除去装置 (スラリー)	S10	■	■	■	■	■	■	■	■
多核種除去装置 (吸着材)		■	■	■	■	■	■	■	■
多核種除去装置 (処理カラム)		■	■	■	■	■	■	■	■
除染装置スラッジ	S11	■	■	■	■	■	■	■	■
フィルタ	S12	■	■	■	■	■	■	■	■
濃縮廃液	S13	■	■	■	■	■	■	■	■
デブリ取出しに伴う発生廃棄物									
燃料デブリ取出しに伴う発生廃棄物	S14	■	■	■	■	■	■	■	■
汚染土壌等									
汚染土壌	S15	■	■	■	■	■	■	■	■

■ 実用技術としての成立性は確認しており、前後の分野と適合するためのエンジニアリング検討が可能な段階

■ 要素技術としての成立性は確認しており、前後の分野との適合性について検討が可能な段階

■ 要素技術としての成立性を確認している段階

■ 各分野における技術的検討は未着手だが、技術の難易度が低く個別廃棄物ストリームの検討が開始可能な段階

■ 各分野における技術的検討が未着手又は検討開始の条件が不成立な段階

個別の固体廃棄物ごとの各分野における技術の開発・検討状況を基に、個別廃棄物ストリームの検討着手の判断に係る考え方を以下のとおり整理した。

個別廃棄物ストリームの検討着手の判断に係る考え方(表 A 14-2)

- ✓ 性状把握から処分の各分野で「各分野における技術的検討が未着手又は検討の条件が不成立な段階」及び「要素技術としての成立性を確認している段階」の評価がなく、分野ごとの評価・検討及び上流・下流側への影響について評価可能な状態である。

表 A 14-2 個別廃棄物ストリームの検討着手が可能と考えられる固体廃棄物の例

固体廃棄物 (個別廃棄物ストリーム)	ストリーム 番号	固体廃棄物管理							再利用
		放射性廃棄物管理							
		性状把握	一次保管	前処理/中間処理	中間保管	廃棄体化	処分前保管	処分	
瓦礫類									
ガレキ金属	S6	■	■	■	■	■	■	■	■
ガレキコンクリート	S7	■	■	■	■	■	■	■	■
水処理二次廃棄物									
多核種除去装置① (スラリー)	S10	■	■	■	■	■	■	■	■

個別廃棄物ストリームの検討着手が可能と考えられる固体廃棄物

添付資料15 A L P S 処理水の海洋放出に向けたこれまでの取組

(1) A L P S 処理水の海洋放出に至った経緯

A L P S 処理水の処分方法については、6年以上に及ぶ専門家会議^{344,345}での総合的な議論を経て2020年2月に公表された報告書において「海洋放出がより現実的」と結論付け、これに対し I A E A も「科学的根拠に基づく」と評価した。その後、政府は、自治体や農林水産業者等との数百回に及ぶ意見交換や各省副大臣による意見聴取、更に書面による意見募集（4千件を超える意見）を踏まえて、2021年4月、「廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議」において基本方針³⁴⁶が決定された。基本方針には、「復興と廃炉の両立」に向けた基本的な考え方、A L P S 処理水の海洋放出の具体的な方法、風評影響への対応についてまとめられた。同時に、基本方針に定めた事項の実施状況をフォローアップし、必要な追加対策を機動的に実施するため、「A L P S 処理水の処分に関する基本方針の着実な実行に向けた関係閣僚等会議」を立ち上げた。

表 A 15-1 に基本方針公表以後の A L P S 処理水の海洋放出に向けた主な取組を示す。政府は同関係閣僚等会議をこれまで7回開催し、当面の対策と具体的な行動計画を取りまとめ、進捗を管理している。また、2021年以降、海域環境の監視測定タスクフォース、海域モニタリング専門家会議が継続的に開催され、海域モニタリングの強化に向けた取組が実施されている。2022年10月からは水産物の流通・小売事業者の方々を対象にした「A L P S 処理水モニタリングシンポジウム」が開始され、食の安全・安心を守るためのモニタリング等の取組について、丁寧な説明と対話を進めてきた。

³⁴⁴ トリチウム水タスクフォース報告書、2016年6月3日

³⁴⁵ 多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会報告書、2020年2月10日

³⁴⁶ 廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議（第5回）資料1、東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における多核種除去設備等処理水の処分に関する基本方針（案）、2021年4月13日

表 A 15-1 A L P S 処理水の海洋放出に向けた主な取組

年度	2021年度	2022年度	2023年度
政府	▼「ALPS処理水の処分に関する基本方針」の公表 ■ALPS処理水の処分に関する基本方針の着実な実行に向けた関係閣僚等会議 ▼第1回 ▼第2回 ▼第3回 ▼海域環境の監視測定タスクフォース設置 ▼海域モニタリング専門家会議設置 ▼IAEAとの付託事項(TOR)署名 ▼JAEAが放出前のALPS処理水の第三者分析を実施	▼海域モニタリング開始 ▼第4回 ▼第5回 ALPS処理水モニタリングシンポジウム開催 ▼第1回 ▼第2回 ▼第3回	▼第6回
東京電力	▼「政府基本方針を受けた当社の対応」を公表 ▼「安全確保のための設備の検討状況について」を公表 ▼「ALPS処理水の海洋放出に係る放射線影響評価報告書(設計段階)」の公表 ▼「特定原子力施設に係る実施計画変更認可申請書(ALPS処理水の海洋放出関連設備の設置等)」の提出	▼「放射線影響評価報告書(建設段階)」の公表 ▼「特定原子力施設に係る実施計画変更認可申請書(ALPS処理水の海洋放出時の運用等)」の提出 ▼「実施計画変更認可申請書一部補正」の提出 設備設置等工事	▼海洋放出開始(8/24)
原子力規制委員会	▼第1回審査会合 ▼第2回審査会合 審査会合(第3回～第15回)	審査 パブコム等 設備設置等工事 審査 パブコム等	使用前検査 ▼認可 ▼終了証交付
IAEA	▼日本政府とのTOR署名 ▼安全性レビュー(第1回) →▼報告書① ▼規制レビュー(第1回) →▼報告書②	▼安全性レビュー(第2回) →▼報告書③ ▼報告書③(サンプリング・データ裏付け・分析活動) ▼規制レビュー(第2回) →▼報告書④	▼包括レビュー ▼包括報告書の公表 ▼ILC報告書(分析機関間比較) ▼報告書⑤

東京電力は政府の基本方針を踏まえ、ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設の設計・運用等の具体的な検討を進め、2021年12月に「福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画変更認可申請書（ALPS処理水の海洋放出関連設備の設置等）」を原子力規制委員会に提出し、2022年7月に認可を取得した。

その後、ALPS処理水希釈放出設備の運転・保守管理等の組織体制の明記、海洋放出前に放出基準を満足していることを確認するための測定・評価対象核種の選定、さらに、測定・評価対象核種の選定を踏まえた人と環境への放射線影響評価の改訂を行い、2022年11月に「特定原子力施設に係る実施計画変更認可申請書（ALPS処理水の海洋放出時の運用等）」を提出した。その後開催された、原子力規制庁による特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合における議論を反映し、2023年2～4月に実施計画変更認可申請書の一部補正が実施され、同年5月に認可された。

ALPS処理水希釈放出設備に関しては、2022年8月から海底トンネル等の本格工事に着手し、2023年6月に工事が完了、その後、原子力規制委員会による使用前検査を受検し、7月に終了証を受領した。

IAEAは政府との付託事項に基づき、ALPS処理水の取扱いに係る安全性や規制及びサンプリング・分析に関するレビューを実施しており、それぞれのレビューについて、報告書を公表しているが、2023年7月にレビューを総括した包括報告書が公表された。ここでIAEAは、

- ALPS処理水の海洋放出へのアプローチ、並びに、東京電力、原子力規制委員会及び日本政府による関係する活動は、関連する国際的な安全基準に合致している
- 東京電力が現在計画しているALPS処理水の海洋放出は、人及び環境に対し無視できるほどの放射線影響（negligible radiological impact）であると結論付けた。

2023年8月に開催された「廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議（第6回）」、及び第6回「ALPS処理水の処分に係る基本方針の着実な実行に向けた関係閣僚等会議」において、ALPS処理水の処分に係る安全確保や風評対策に関するこれまでの取組状況について政府全体での確認がなされ、ALPS処理水の具体的な海洋放出時期の見込みが提示されたことを踏まえ、8月24日にALPS処理水の海洋放出が開始された。

(2) ALPS処理水の海洋放出設備の概要

東京電力が公表している海洋放出設備の概念図を図A 15-1に示す³⁴⁷。この海洋放出設備は、[処理] [分析・確認] [希釈] [放出]のプロセスで構成され、主要な設備と手順は次のとおりである。

測定・確認用設備

測定・確認用設備にてALPS処理水を循環・攪拌して均質化した後、試料採取・分析を行い、トリチウム以外の放射性核種濃度が放出に関する規制基準値（トリチウムを除く放射性核種の告示濃度限度比総和が1未満）を確実に下回るまで浄化されていること、トリチウム濃度が100万Bq/Lを下回っていること、除去対象核種³⁴⁸が有意に存在しないこと、及び水質に問題が無いことを確認する。

希釈設備

規制基準値を満たすことが確認されたALPS処理水について、トリチウム濃度が1,500Bq/L未満³⁴⁹となるように、海水を用いて混合・希釈する。希釈後のトリチウム濃度は、ALPS処理水の流量と希釈する海水の流量をリアルタイムに監視し、両者の割合から確認する。

取水・放水設備

取水設備については、港湾内の放射性物質の影響を避けるため、5、6号機取水路開渠に仕切堤を構築するとともに、港湾外から希釈用海水を取水するために北防波堤の透過防止工の一部を撤去した。放水設備については、放出した水が取水した海水に再循環することを抑制するため、海底トンネル（約1km）を經由して放出する。

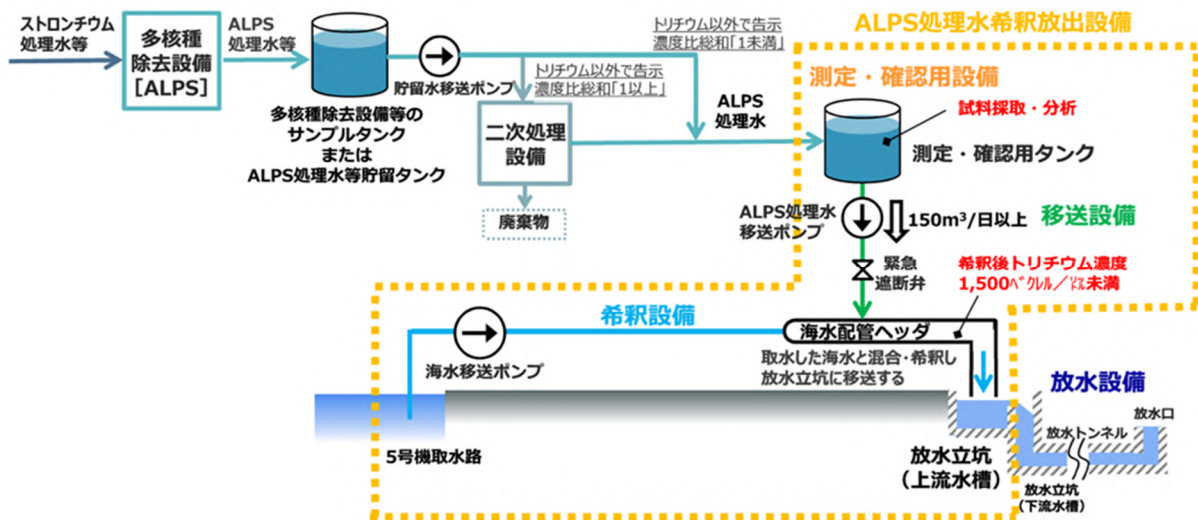
異常時の措置

希釈用の海水ポンプが停止した場合は、緊急遮断弁を速やかに閉じて放出を停止する。また、海域モニタリングで放出停止判断レベルを超える値が確認された場合も、一旦放出を停止し状況調査を実施する。

³⁴⁷ 第98回特定原子力施設監視・評価検討会資料2-2、ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設の新設について、2022年3月14日

³⁴⁸ 測定・評価対象核種（29核種）以外のALPS除去対象核種（39核種）

³⁴⁹ 告示濃度限度（60,000Bq/L）の1/40であり、WHO飲料水基準（10,000Bq/L）の1/7程度



(出典：東京電力)

図 A 15-1 海洋放出設備の概念図

(3) ALPS 処理水の分析・評価の体制、及び対象核種の選定

ALPS 処理水の分析・評価の体制については、本文図 29 に示している。東京電力は海洋放出前に、自社（東京パワーテクノロジーに委託）での分析に加え、ISO/IEC17025³⁵⁰の認定証等を持つ独立した外部機関（化研）にも委託して分析を実施し、規制基準に照らし、放出可否を判断している。また、JAEA 大熊分析・研究センターにおいても、政府の基本方針に基づき、放出前に毎回分析を実施している。

原子力規制庁は東京電力が実施計画に従い測定・評価対象核種分析の体制整備や分析に係る品質保証活動を適切に実施しているかを保安検査で確認していることに加えて、JAEA 安全研究センターに委託して ALPS 処理水の分析を実施し、独立した立場で東京電力の分析品質を確認している。

また、IAEA が主体となり IAEA 及び第三国の分析機関において分析機関間比較（ILC）が継続的に実施されており、ALPS 処理水の分析に関する東京電力のデータの裏付け、分析品質の確認が実施されている。

ALPS 処理水の海洋放出前に測定・評価する対象核種については、国内における原子力発電所の廃止措置や埋設施設に関する知見を踏まえ、セシウム吸着装置や ALPS などでの処理される前の汚染水中に有意に存在し得る核種を改めて検証した上で、測定・評価対象核種を選定した。対象核種の選定に際しては、専門家の意見も踏まえ、インベントリ評価と、建屋滞留水等の核種濃度の実測データ、及び核種の物理・化学的な性質の考察を組み合わせ、図 A 15-2 に示す対象核種の選定フローを構築した。この手順に基づき、測定・評価対象核種として表 A

³⁵⁰ 国際標準化機構によって策定された、試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項の国際標準規格

15-2 に示す 29 核種（トリチウムを除く）を選定した³⁵¹。A L P S 処理水の海洋放出に当たっては、選定した測定・評価対象核種の告示濃度限度比の和が 1 未満を満足しているかを確認してきた。また、A L P S で除去対象とした 62 核種のうち、測定・評価対象外とした 39 核種³⁵²についても、風評抑制の観点から、放出前に自主的に測定・評価し、有意に存在しないことを確認してきた。測定・評価対象核種は 2024 年度第 3 回の放出までは表 A15-2 に示す 29 核種であったが、2024 年 2 月に実施した A L P S 処理前の汚染水の分析において監視対象としている 6 核種³⁵³のうちカドミウム 113m について告示濃度限度の 1/100 を上回る濃度が検出されたため、図 A15-2 に示す選定フローに基づき、2024 年度第 4 回の放出よりカドミウム 113m を測定・評価対象核種に追加（計 30 核種）することとした。これに伴い、東京電力が海洋放出前に自主的に測定・評価し、有意に存在しないことを確認している核種はカドミウム 113m が除外されて 38 核種となった。今回、カドミウム 113m が検出された水は A L P S 処理前の汚染水であり、これまでの処理水についても東京電力は海洋放出前に、カドミウム 113m を含む 39 核種を自主的に測定し、カドミウム 113m については告示濃度限度の約 1/500 未満であることを毎回確認しており、放出された A L P S 処理水の安全性に問題はない。

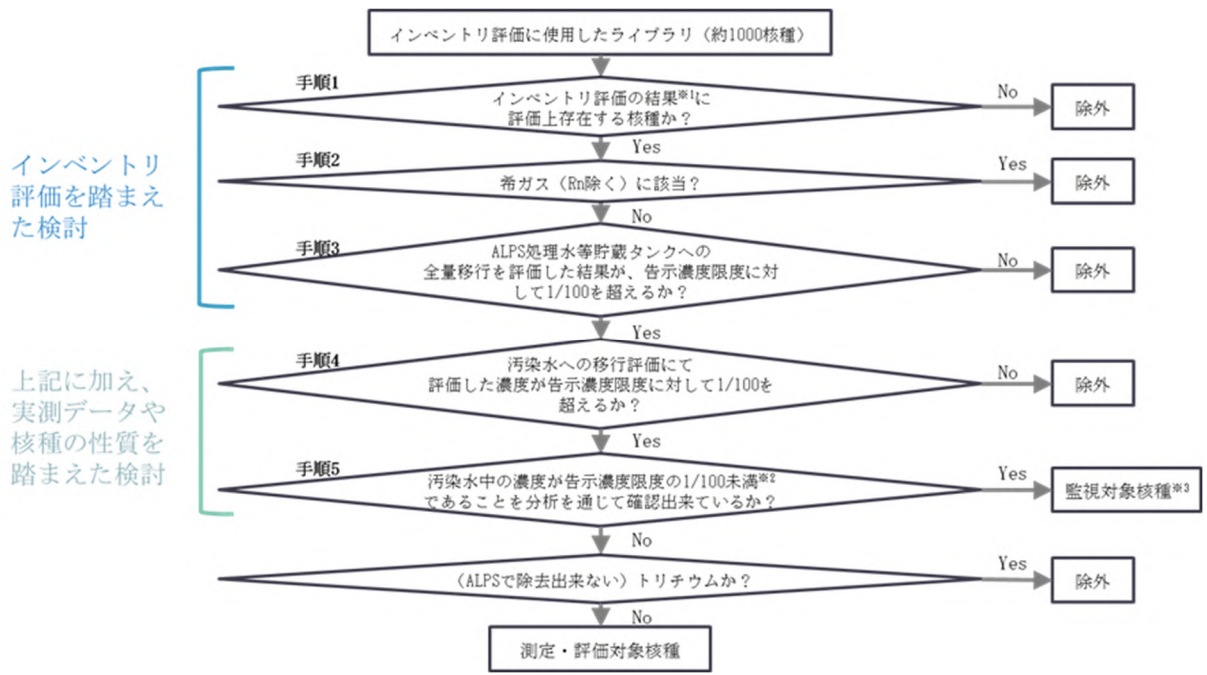
選定された測定・評価対象核種については、今後、減衰によって対象から外れる核種が生じてくる。減衰計算によれば、今後 10 年で 5 核種が対象外になると評価される。また、評価対象核種の中には、炉心のインベントリ評価結果を用いて、評価された核種も存在する。したがって、定期的にインベントリを再評価し、その結果に応じて測定・評価対象核種選定の手順に従い、対象核種を見直していく必要がある。

同様に東京電力が自主的に有意に存在しないことを確認している 39 核種についても、そのうち 18 核種は測定・評価対象核種の選定の際に、手順 1 のインベントリ評価で対象外と判定された核種であり、過去 6 回の放出において有意な存在は一度も確認されていないことから、測定・評価の必要性について検討する必要がある。

³⁵¹ 福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 変更認可申請書の一部補正について、2023 年 2 月 20 日

³⁵² 選定した 29 核種には A L P S 除去対象 62 核種に含まれていない 6 核種（C-14, Fe-55, Se-79, U-234, U-238, Np-237）が含まれる。したがって、62 核種から測定・対象外とした核種は 62-(29-6)=39 核種。

³⁵³ 過去の分析において汚染水中に有意な濃度で存在しないことを確認しているものの、理論上汚染水中に存在する可能性がある 6 核種（塩素 36, コバ 93m, コバ 94, リンゲン 93, カドミウム 113m, バリウム 133）



- 1：インベントリ評価の減衰期間は、選定結果を使用する時期に応じて適切に設定（初回は2023年（事故後12年）に設定）
- 2：過去に検出されたことのある核種は検出値の最大値、一度も検出されたことのない核種は検出下限値の最小値で確認
- 3：汚染水中に有意に存在しないか継続して確認する核種

（出典：東京電力）

図 A 15-2 測定・評価対象核種の選定フロー

表 A 15-2 測定・評価対象核種とその定量方法

No.	核種	定量方法	検出限界値*1 [Bq/L]	No.	核種	定量方法	検出限界値*1 [Bq/L]
1	C-14	化学分離後，β線測定	1.50E+00	16	Ce-144	γ線核種分析	3.80E-01
2	Mn-54	γ線核種分析	2.60E-02	17	Pm-147	代表核種（Eu-154）の 放射能濃度より評価	3.30E-01
3	Fe-55	化学分離後，X線測定	1.90E+01	18	Sm-151		1.30E-02
4	Co-60	γ線核種分析	2.30E-02	19	Eu-154	γ線核種分析	7.40E-02
5	Ni-63	化学分離後，β線測定	9.10E+00	20	Eu-155	γ線核種分析	2.60E-01
6	Se-79	化学分離後，β線測定	8.80E-01	21	U-234	全α放射能に包含される ものとして評価	2.80E-02
7	Sr-90	化学分離後，β線測定	3.90E-02	22	U-238		
8	Y-90	Sr-90と放射平衡	3.90E-02	23	Np-237		
9	Tc-99	ICP-MS測定	2.10E-01	24	Pu-238		
10	Ru-106	γ線核種分析	2.50E-01	25	Pu-239		
11	Sb-125	γ線核種分析	9.60E-02	26	Pu-240		
12	Te-125m	Sb-125と放射平衡	3.60E-02	27	Pu-241	代表核種（Pu-238）の 放射能濃度より評価	7.80E-01
13	I-129	ICP-MS測定	1.00E-02	28	Am-241	全α放射能に包含される ものとして評価	2.80E-02
14	Cs-134	γ線核種分析	3.30E-02	29	Cm-244		
15	Cs-137	γ線核種分析	3.40E-02				

*1：第7回放出前の測定・確認用タンク水分析（2024年6月26日報告）における東京電力の値を例示

(4) 海域モニタリングの強化・拡充

福島第一原子力発電所の事故に係るきめ細やかな放射線モニタリングを確実に、かつ計画的に実施するため、政府は、原子力災害対策本部の下に環境大臣を議長とするモニタリング調整会議を設置し、総合モニタリング計画³⁵⁴を策定、これに基づき、関係府省、自治体、事業者が連携してモニタリングを実施することとした。

2021年4月に決定された政府の「ALPS処理水の処分に係る基本方針」に、海域モニタリングを強化・拡充することが盛り込まれたことに基づき、同年、モニタリング調整会議の下に環境省が主導する「海域環境の監視測定タスクフォース」、及び「ALPS処理水に係る海域モニタリング専門家会議」が設置され、海域モニタリング強化に向けた取組がなされてきた（図A 15-3）。専門家からの助言を踏まえ、2022年3月に総合モニタリング計画が改定され、4月には海洋放出前の海域モニタリングが開始されたが、これによれば、福島第一原子力発電所近傍の海域では、東京電力に加え、環境省、原子力規制委員会、福島県も同じ海域を独立してモニタリングすることとされており、東京電力を含めてそれぞれが客観性・透明性を高めてモニタリングを実施する枠組みが構築されている。また、海洋放出期間中、及び放出終了後一定期間中は、設定された地点における海水のトリチウム濃度の迅速測定を行い、その結果を速報で公表する取組を進めている。

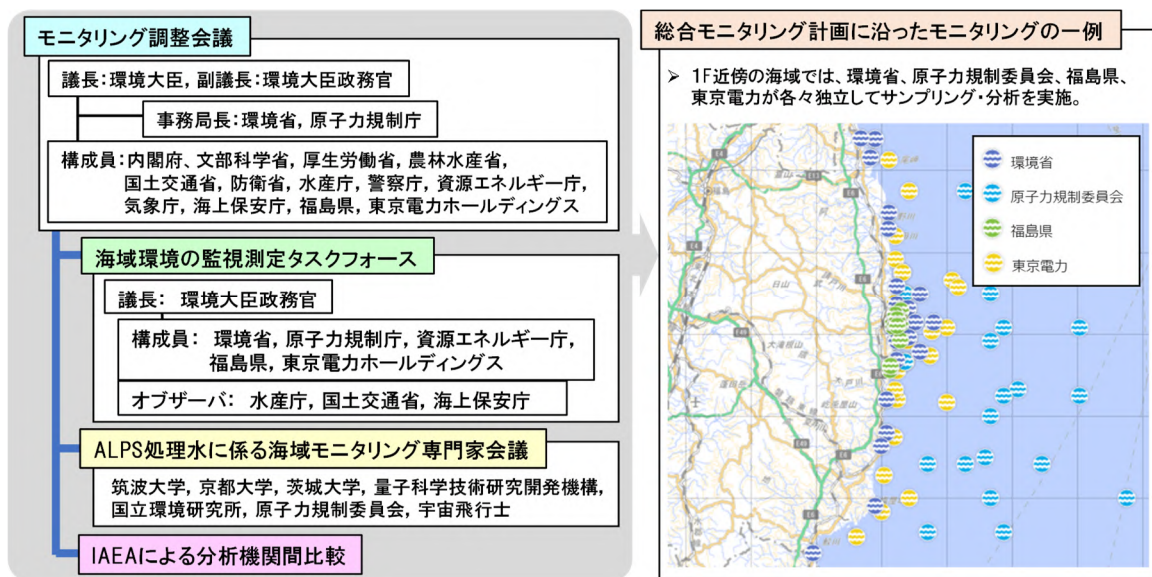


図 A 15-3 海域モニタリングに係る議論の枠組みと実施体制

（モニタリング調整会議資料³⁵⁵，東京電力ホームページ³⁵⁶等を参考にN D Fにて作成）

また、海域モニタリングデータの信頼性及び透明性の維持向上のため、IAEAにより、データ裏付けや分析機関間比較（ILC）等が実施されている。2022年6月に公表された海水、

³⁵⁴ 原子力規制委員会ホームページ、https://radioactivity.nra.go.jp/cont/ja/plan/meetings/204_01_20240321.pdf

³⁵⁵ 環境省ホームページ、<https://www.env.go.jp/content/000120258.pdf>

³⁵⁶ 東京電力ホームページ、<https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/monitoring/>

海底土、魚の放射性核種分析に関する I L C 結果報告書³⁵⁷の中では、参加した日本の分析機関（東京電力、J A E A 等 10 機関）の試料採取方法は適切であり、かつ高い正確性と能力を有しているとの評価を得ている。I A E A の包括報告書においても「A L P S 処理水の放出に対処するため東京電力と日本政府により強化された環境モニタリングは明確に定義された計画を有している」との評価がなされている。

風評影響抑制の観点では、分析の迅速化及びモニタリング結果の分かりやすく、タイムリーな情報発信が重要である。海域モニタリングでは、極めて低濃度の放射性核種を検出するため、高度な分析技術と長時間の測定が必要となる。分析を迅速化するためには、放射性核種を濃縮するための前処理に加えて、短時間分析による速報値と長時間分析による確定値を時間差で公表する等、運用面での工夫が進められている。

東京電力は分析結果を分かりやすく情報発信するため、処理水ポータルサイト内に、モニタリング結果を視覚的に分かりやすく表示したページを公開し、多言語化（英語、中国語、韓国語）することで、国内外へ最新の情報を提供している。さらに、各者の分析結果を分かりやすく確認できるサイトとして、2023 年 3 月に包括的海域モニタリング閲覧システム（O R B S）を開設している³⁵⁸。

海域モニタリングでは、東京電力、環境省、原子力規制委員会、福島県など複数の機関でサンプリング・分析が実施されるため、それらのデータが迅速かつ透明性をもって公表されるよう、今後も継続して同システムを運用していくことが重要である。

2023 年 8 月、東京電力は A L P S 処理水の海洋放出に係る取組を確実に進めるため、社内関係部署を横断的に統括する社長直轄の「A L P S 処理水統合対策プロジェクトチーム」、及び福島のみならず全国の様々な地域も含めた情報発信・風評対策・賠償対応に一元的に対応する「A L P S 処理水影響対策チーム」を設置する等体制を強化した。

また、訪問説明や説明会等、様々な機会を捉えたコミュニケーション、ホームページ（処理水ポータルサイト）等の様々な媒体を通じた情報発信により、タイムリーに分かりやすく現場状況を公開する取組が進められている。一例として、処理水ポータルサイトでは、A L P S 処理水の海洋放出における各設備の状況を一つにまとめたページが新たに公開され、「希釈・放水設備の状況」のページでは海水や A L P S 処理水の流量、希釈後の A L P S 処理水のトリチウム濃度等のリアルタイムのデータを一目で確認することができる。これらのデータは I A E A のウェブサイトにおいても公開されている。

(5) 海洋放出シミュレーション

タンクに貯留している処理水中のトリチウム量は、海洋放出による減少に加え、減衰によって毎年約 5 % 減少する。これらの変化を考慮し、2051 年末にタンク内のトリチウム量がゼロと

³⁵⁷ I A E A ホームページ，https://www.iaea.org/sites/default/files/22/06/2022-06-21_japan_ilc_2021_report_v4.2.pdf

³⁵⁸ 東京電力、包括的海域モニタリング閲覧システム（O R B S）の開設について、2023 年 3 月 13 日

なる前提で、海洋放出するトリチウム量ができる限り少なくなるような設定で、放出シミュレーションが実施された³⁵⁹。なお、本シミュレーションは、年間22兆ベクレルの範囲内でALPS処理水を2051年末までに放出完了できることを示す目的で作成されたものであり、2024年度以降の年間トリチウム放出量の計画値を示すものではない。シミュレーションに用いられた諸条件を表A 15-3に示す。

表 A 15-3 シミュレーションに用いられた諸条件

共通条件

年間トリチウム放出量 (22兆 ⁸ ベクレル/年未満)	敷地利用計画に影響を与えない範囲で海洋放出完了が2051年度となる放出総量を設定
シミュレーション 放出開始年度	2023年度（年度ごとのシミュレーション）
ALPS処理水流量	最大約460m ³ /日
希釈用海水流量	約34万m ³ /日（海水移送ポンプ2台）
ALPS処理水 放出順序	測定・確認用設備として使用するK4タンク約3万m ³ をトリチウム濃度の薄い順に放出その後、他のタンク・新規ALPS処理水は可能な限りトリチウム濃度の薄い順に放出
トリチウム減衰	半減期12.32年として考慮（1年間で約5.5%減少）、新規発生分も減衰考慮
ALPS処理水発生量	2023年度:120m ³ /日、2024年度:110m ³ /日、2025年度:100m ³ /日、 2026年度:90m ³ /日、2027年度:80m ³ /日、2028～2051年度:70m ³ /日、
放出日数	292日（稼働率8割）

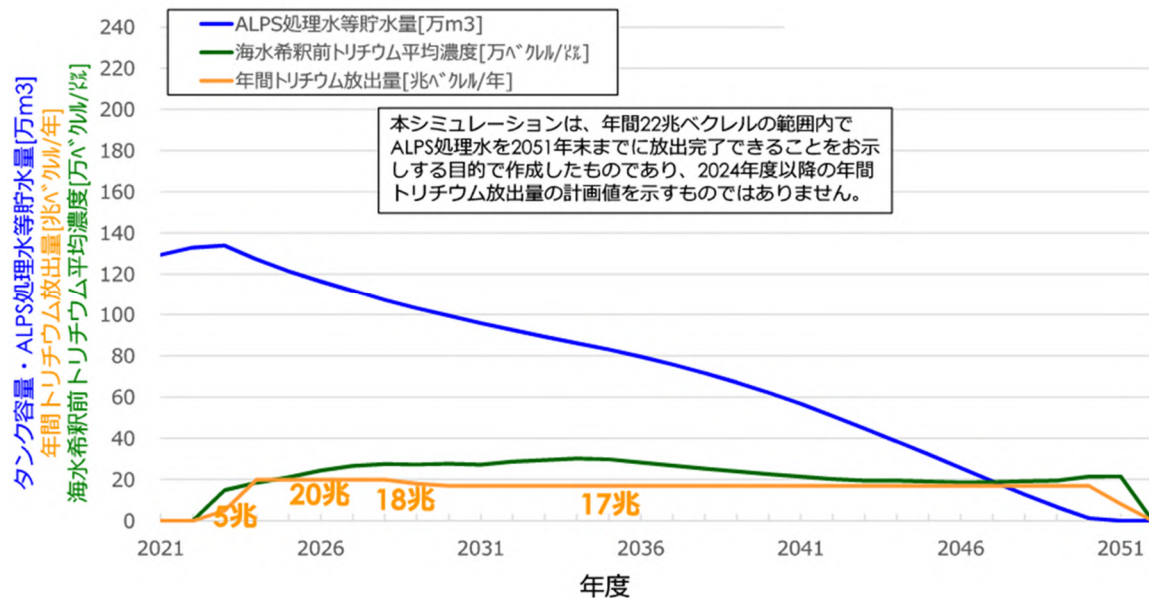
パラメータ

ケース	A (トリチウム総量が最も多いケース)	B (現時点の情報でトリチウム総量が最も少ないケース)
日々処理ALPS処理水 トリチウム濃度	58.9万 ⁸ ベクレル/l (2022/12/23、2022年度最大)	25.4万 ⁸ ベクレル/l (2022/4/8、2022年度最小)
建屋内トリチウム総量 (2023/3/31時点)	約1020兆 ⁸ ベクレル (事故時3400兆 ⁸ ベクレルが建屋・タンクに全量残存)	約80兆 ⁸ ベクレル (建屋内滞留水貯水量及び濃度より推計)

（出典：東京電力）

³⁵⁹ 汚染水処理対策委員会（第27回）資料1、ALPS処理水海洋放出の状況について、2024年1月30日

ここでは、パラメータ A のトリチウム総量が最も多いケースのシミュレーション結果を図 A 15-4 に示す。図中の青線で示すように、トリチウム総量が最も多いケースにおいても、トリチウム放出量が年間 22 兆ベクレルの範囲内で、ALPS 処理水を 2051 年末までに放出完了できることが示されている。



(出典：東京電力)

図 A 15-4 海洋放出シミュレーション結果 (トリチウム総量が多いケース)

添付資料16 分析に係る関係機関個別の実行計画

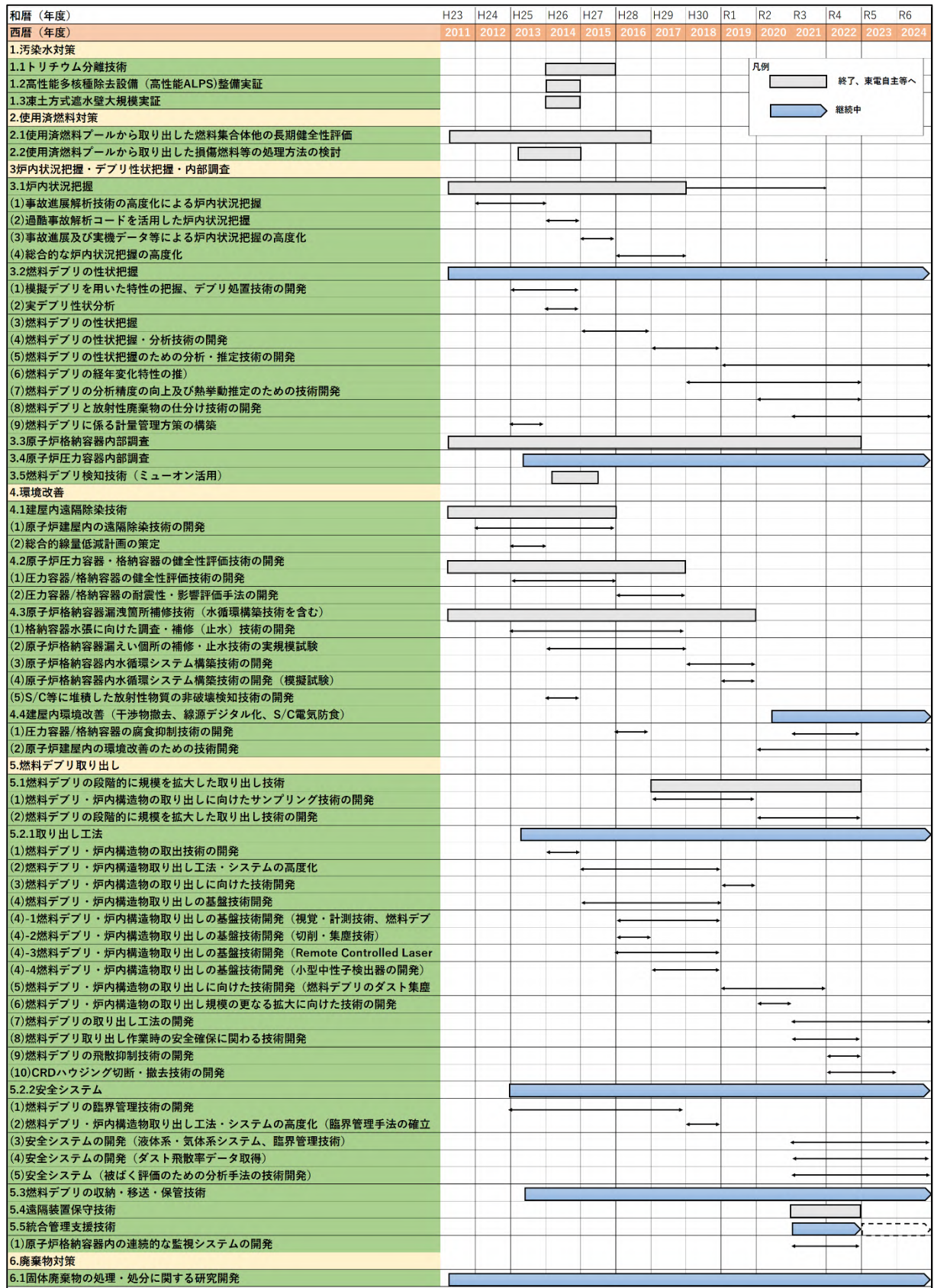
資源エネルギー庁、東京電力ホールディングス（株）
日本原子力研究開発機構、原子力損賠賠償・廃炉等支援機構

施策の柱：人材育成確保に向けた取組		
対策1：人材の確保		
これまでの取組	短期（今後2年程度）の取組	中長期（10年程度）の取組
<p>【東京電力】</p> <ul style="list-style-type: none"> 分析人材（分析技術者、分析管理者及び分析作業者）に必要な要件を整理した。 燃料デブリ、廃棄物、バイオアッセイを中心に分析体制を整理。 <p>【JAEA】</p> <ul style="list-style-type: none"> スキルや経験がある人材を含む新規採用（新卒、キャリア）の実施。 	<p>【東京電力】</p> <ul style="list-style-type: none"> 分析計画の見直しに必要な要員を確保する。 分析計画を実施する上で必要な要員を確保する。 <p>【JAEA】</p> <ul style="list-style-type: none"> スキルや経験がある人材を含む新規採用（新卒、キャリア）の実施。【継続】 	<p>【東京電力】</p> <ul style="list-style-type: none"> 分析計画の見直しに必要な要員を確保する。【継続】 総合分析施設において分析実施に必要な要員を確保する（新卒/キャリア）。 <p>【JAEA】</p> <ul style="list-style-type: none"> JAEA全体での経験者の活用とその展開。 スキルや経験がある人材を含む新規採用（新卒、キャリア）の実施。【継続】
対策2：人材の育成		
これまでの取組	短期（今後2年程度）の取組	中長期（10年程度）の取組
<p>【東京電力】</p> <ul style="list-style-type: none"> 分析人材に必要な要件を整理し、燃料デブリ、廃棄物、バイオアッセイを中心に分析技術を構築することとした。 分析人材の育成に向け、JAEAなどの社外分析機関においてOJTによる分析技術者の育成を行うこととした。 外部機関等による育成支援等を活用して分析作業者の育成を行うこととした。 <p>【JAEA】</p> <ul style="list-style-type: none"> 東電1F及び民間分析所での研修を実施。 JAEA茨城地区及び大熊第1棟でのOJTを実施。 廃炉・汚染水・処理水対策事業、英知事業における研究開発に従事。 	<p>【東京電力】</p> <ul style="list-style-type: none"> 分析技術者候補のOJTをJAEAで開始する。 分析管理者/分析作業者について、順次外部機関等による育成支援を活用した育成を開始する。 <p>【JAEA】</p> <ul style="list-style-type: none"> JAEA茨城地区及び大熊第1棟でのOJTにより育成を行う。【継続】 廃炉・汚染水・処理水対策事業、英知事業における研究開発に従事。【継続】 JAEA全体での分析人材育成体制を検討する。 JAEA茨城地区及び大学を活用した分析ネットワークを形成し、分析の検証、分析技術の高度化等の実施を通して人材の確保・育成を図る。 	<p>【東京電力】</p> <ul style="list-style-type: none"> 分析技術者の育成を行う。【継続】 JAEAに向きさせた育成の他、既に育った分析技術者による1F構内でのOJT等により、分析技術を維持できるよう育成を継続する。 分析計画を達成に必要な（分析管理者/分析作業者）を確保するとともに、教育を継続することで1F分析能力を維持する。 <p>【JAEA】</p> <ul style="list-style-type: none"> JAEA茨城地区及び大熊第1棟でのOJTにより育成を行う。【継続】 廃炉・汚染水・処理水対策事業、英知事業における研究開発に従事。【継続】 JAEA全体での分析人材育成体制を構築し、より高度な人材育成を行う。
対策3：人材育成の支援		
これまでの取組	短期（今後2年程度）の取組	中長期（10年程度）の取組
<p>【JAEA】</p> <ul style="list-style-type: none"> JAEA茨城地区及び大熊第1棟において東京電力の分析技術者候補者の受け入れを検討・調整を行った。 <p>【NDF】</p> <ul style="list-style-type: none"> 福島第一原子力発電所廃炉に係る分析計画及び分析に関する課題に対して助言を与える分析調整会議及び課題解決に向けた議論・検討を行う分析サポートチームを組織した。 	<p>【JAEA】</p> <ul style="list-style-type: none"> JAEA茨城地区及び大熊第1棟において、東京電力の分析技術者候補者を受け入れ、研究開発の現場に参加させる。 <p>【NDF】</p> <ul style="list-style-type: none"> 分析調整会議において、東京電力の分析計画に対する助言を行う。 分析サポートチームにおいて、新たな分析の課題に対し、必要に応じてワーキンググループを設け、課題解決に向けた検討・助言を行う。 若手・中堅の有識者を中心とした「燃料デブリ分析の評価検討WG」を設置し、燃料デブリ分析の結果と今後のデータ取得の議論を行い、分析評価者等の育成を図る。 	<p>【JAEA】</p> <ul style="list-style-type: none"> JAEA茨城地区及び大熊第1棟において、東京電力の分析技術者候補者を受け入れ、研究開発の現場に参加させる。【継続】 <p>【NDF】</p> <ul style="list-style-type: none"> 分析調整会議において、東京電力の分析計画に対する助言を行う。【継続】 分析サポートチームにおいて、新たな分析の課題に対し、必要に応じてワーキンググループを設け、課題解決に向けた検討・助言を行う。【継続】 東京電力と分析コミュニティとの連携をより強固なものとするとともに、その協力のもとで、東京電力が分析計画の調整及び遂行を主体的に行う能力を身に付けるよう支援する。

施策の柱 : 分析施設整備に向けた取組		
対策4 : 分析施設の整備・運用		
これまでの取組	短期(今後2年程度)の取組	中長期(10年程度)の取組
<p>【東京電力】</p> <ul style="list-style-type: none"> 総合分析施設の整備に関して、概念検討を完了し、設計検討(基本設計)を開始した。 <p>【JAEA】</p> <ul style="list-style-type: none"> 茨城地区における廃棄物試料、内部調査サンプル等の分析、燃料デブリ分析に係る許認可取得、分析装置の導入。 大熊第1棟が運用開始した。 大熊第2棟については、施設整備を開始した。 	<p>【東京電力】</p> <ul style="list-style-type: none"> 総合分析施設の整備に関して、設計検討(基本設計/詳細設計)を行い、認可取得に着手する。 <p>【JAEA】</p> <ul style="list-style-type: none"> 茨城地区と大熊第1棟が相補的に分析の研究開発に取組み、人材育成に活用。 大熊第1棟において分析を実施し、分析能力(設備・人員)の拡充の必要性を検討する。 大熊第2棟の施設整備を行う。【継続】 	<p>【東京電力】</p> <ul style="list-style-type: none"> 総合分析施設に関して、2020年代後半の着実な竣工に向け、認可を取得し、工事を完了させる。 <p>【JAEA】</p> <ul style="list-style-type: none"> 茨城地区と大熊第1棟が相補的に分析の研究開発に取組み、人材育成に活用。【継続】 大熊第1棟において分析を継続して実施し、必要に応じて分析能力の拡充を行う。 大熊第2棟に関しては、2026年度の竣工を目指し、運用を開始する。
対策5 : 分析能力拡充のための手法開発		
これまでの取組	短期(今後2年程度)の取組	中長期(10年程度)の取組
<p>【資源エネルギー庁】</p> <ul style="list-style-type: none"> 大熊分析・研究センターの安定的運営のために必要な措置を講じている。 <p>【NDF】</p> <ul style="list-style-type: none"> 廃炉・汚染水・処理水対策事業において、燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発及び固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発を行っている。 固体廃棄物の分析技能の確認に関する議論を行っている。 <p>【JAEA・NDF】</p> <ul style="list-style-type: none"> OECD/NEAプロジェクトにおいて、事故進展、炉内状況推定、燃料デブリ分析の予備検討等を実施した。 <p>【JAEA】</p> <ul style="list-style-type: none"> 測定が困難なサンプル・核種の分析手法の開発。 統計的に分析点数を設定する分析計画法(DQOプロセス)の開発に取り組んでいる。 燃料デブリに関し、分析精度の向上、簡易・迅速化のための新規分析手法(ICP-MS/MSやSIMS等)の研究開発を実施している。 	<p>【資源エネルギー庁】</p> <ul style="list-style-type: none"> 大熊分析・研究センターの安定的運営のために必要な措置を講じる。【継続】 大熊第1棟で実施しているALPS処理水の第三者分析を安定的に進めるための議論を行う。 <p>【NDF】</p> <ul style="list-style-type: none"> 廃炉・汚染水・処理水対策事業において、分析の迅速化・自動化・省力化に関して必要な技術開発を行う。また、従来とは異なる燃料デブリ非破壊計測技術の検討と必要に応じて技術開発を行う。 燃料デブリ、固体廃棄物ともに、分析技術の開発と高度化(迅速化・自動化・省力化)を行い、取得した分析データを燃料デブリ取り出し、廃棄物保管・管理、処理処分の検討に反映する。 固体廃棄物の分析技能の確認を行う。 分析調整会議及び分析サポートチームの提案に基づき、必要に応じて分析課題解決のための技術開発を行う。 <p>【JAEA・NDF】</p> <ul style="list-style-type: none"> OECD/NEAプロジェクトを通して、燃料デブリ性状、炉内損傷状況に関して議論を行い、世界の知見を吸収し、国際的な情報発信を行う。 <p>【JAEA】</p> <ul style="list-style-type: none"> 測定が困難なサンプル・核種の分析手法の開発。【継続】 	<p>【資源エネルギー庁】</p> <ul style="list-style-type: none"> 大熊分析・研究センターの安定的運営のために必要な措置を講じる。【継続】 <p>【NDF】</p> <ul style="list-style-type: none"> 燃料デブリ、固体廃棄物ともに、分析技術の開発と高度化(迅速化・自動化・省力化)を行い、取得した分析データを燃料デブリ取り出し、廃棄物保管・管理、処理処分の検討に反映する。 <p>【JAEA・NDF】</p> <ul style="list-style-type: none"> 燃料デブリ性状に関してはOECD/NEAプロジェクト等を通じて世界の知見を吸収し、廃止措置に役立てるとともに、国際的な情報発信を行う。 <p>【JAEA】</p> <ul style="list-style-type: none"> 測定が困難なサンプル・核種の分析手法の開発。【継続】 分析計画を踏まえた必要な分析手法の開発と検証を行う。【継続】
施策の柱 : 分析を着実に実施していくための枠組みの整備		
対策6 : 分析計画、体制の見直し		
これまでの取組	短期(今後2年程度)の取組	中長期(10年程度)の取組
<p>【東京電力】</p> <ul style="list-style-type: none"> 分析優先度や今後の廃炉イベントの進展を踏まえた分析計画を策定し、それに合わせた分析体制に係る検討を行った。 	<p>【東京電力】</p> <ul style="list-style-type: none"> 毎年度の分析実績及び分析ニーズを踏まえ、原則、毎年度分析計画及び必要な体制の見直しを行う。 	<p>【東京電力】</p> <ul style="list-style-type: none"> 毎年度の分析実績及び分析ニーズを踏まえ、原則、毎年度分析計画及び必要な体制の見直しを行う。【継続】
対策7 : 分析試料の採取、輸送、施設の確保等に係る全体工程の調整		
これまでの取組	短期(今後2年程度)の取組	中長期(10年程度)の取組
<p>【東京電力・JAEA・IRID】</p> <ul style="list-style-type: none"> JAEA大熊第1棟への1F瓦礫試料を輸送した。 茨城地区施設への試料の輸送を行った。 	<p>【東京電力】</p> <ul style="list-style-type: none"> サンプリングの内容及びスケジュールを検討し、関係機関と調整の上、サンプリング・輸送及び分析施設の確保に関して必要な措置を講じる。 分析計画に基づき、JAEA大熊第1棟・茨城施設への試料輸送。【継続】 	<p>【東京電力】</p> <ul style="list-style-type: none"> サンプリングの内容及びスケジュールを検討し、関係機関と調整の上、サンプリング・輸送及び分析施設の確保に関して必要な措置を講じる。【継続】 総合分析施設での試料分析を実施。 分析手法の開発が必要となる試料は引き続きJAEA施設への輸送。【継続】
対策8 : アクションプランの策定、見直し、フォローアップ		
これまでの取組	短期(今後2年程度)の取組	中長期(10年程度)の取組
<p>【NDF】</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術戦略プランにおいて、分析戦略を燃料デブリ中心から福島第一原子力発電所における廃炉作業全般で求められる分析全般に広げるとともに、当該アクションプランを作成した。 	<p>【NDF】</p> <ul style="list-style-type: none"> アクションプランに記載されている取り組みへの進捗状況を政府とともにフォローアップするとともに、技術戦略プランの改訂に合わせて、内容の見直し、具体化を行う。 	<p>【NDF】</p> <ul style="list-style-type: none"> アクションプランに記載されている取り組みへの進捗状況を政府とともにフォローアップするとともに、技術戦略プランの改訂に合わせて、内容の見直し、具体化を行う。【継続】

FY	2022	2023	2024	2025	2026	2029	2035
[C] 廃 棄 物 対 策	[1] 性状把握						
	性状把握						
	分析データの取得・管理等						
	性状把握の効率化						
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"> 分析計画の作成・分析データの取得・評価・管理 セシウム吸着塔の実機から採取した吸着材の分析技術の開発・測定 関係する課題・ニーズを基礎・基礎研究の全体マップの処理・処分分野に取り上げ、基礎基礎研究として実施 </div> <div style="width: 40%; text-align: center;"> 性状把握に向けた技術課題 分析・試料データベースの運用・利便性向上 非破壊測定技術の開発 他 </div> <div style="width: 20%;"> 分析困難かつ処分重要核種分析技術の開発・測定 </div> </div>						
	[2] 保管・管理						
	保管・管理						
	α表面汚染測定技術の開発						
	再利用による廃棄物量低減に関する調査						
	[3] 処理・処分						
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"> 処理技術の開発 処分技術の開発 廃棄物ストリームの検討 関係する課題・ニーズを基礎・基礎研究の全体マップの処理・処分分野に取り上げ、基礎基礎研究として実施 </div> <div style="width: 40%; text-align: center;"> 処理・処分に向けた技術課題 低温処理技術の開発 固化体等の安定性評価 中間処理技術の開発 処分概念オプション案の提示 固体廃棄物処分の安全評価技術の信頼性向上 他 </div> </div>							
<p>研究開発中長期計画の検討に当たっては、東京電力、文部科学省、経済産業省、NDFの参加する研究開発企画会議等を通じて、求められる成果、必要とされる時期、実施体制等の検討を行っている。廃炉・汚染水・処理水対策事業を代表とする実用化開発・応用研究に、基礎・基礎研究の内容も取り込み一体として計画を作成している。</p>							

添付資料18 廃炉・汚染水・処理水対策事業における研究開発のこれまでの取組



事業成果のリンク先

※事業成果のリンク先は下記を参照してください。

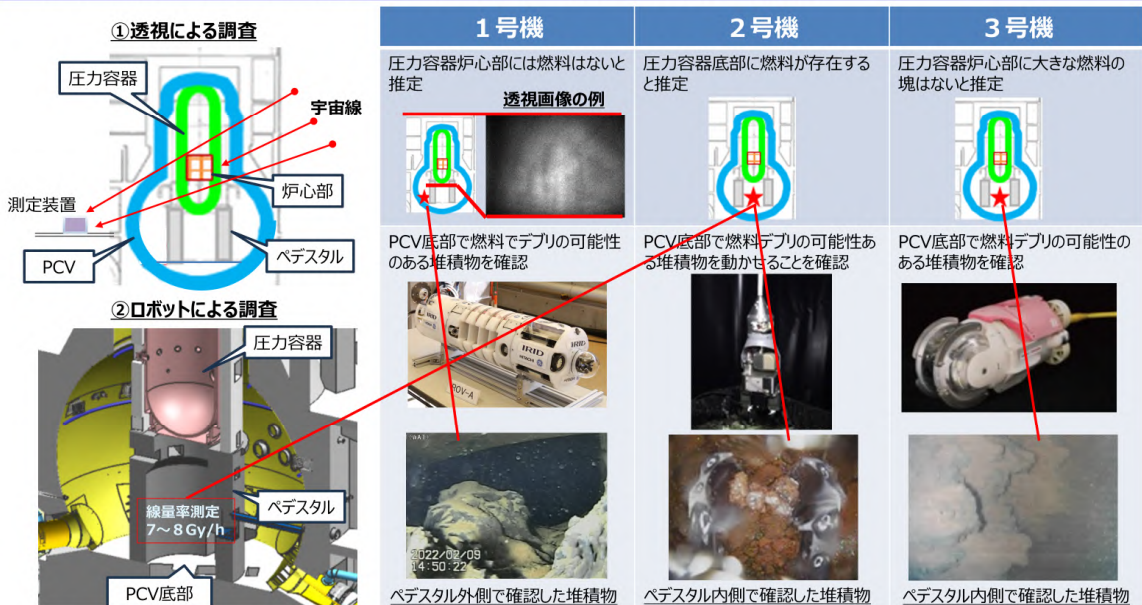
2013（平成25）年度実績及び2014年度計画：廃炉・汚染・処理水対策チーム会合/事務局会議（第4回）
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/20140327_02/140327_02_025.pdf
 2014（平成26）年度実績及び2015年度計画：廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第15回）
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/150226/150226_01_4_1_03.pdf
 2015（平成27）年度実績及び2016年度計画：廃炉・汚染・処理水対策チーム会合/事務局会議（第27回）
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2016/pdf/0225_4_3a.pdf
 2016（平成28）年度実績及び2017年度計画：廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第39回）
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2017/02/4-02-01.pdf>
 2017（平成29）年度実績及び2018年度計画：廃炉・汚染水・処理水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第51回）
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2018/03/4-02.pdf>
 2018（平成30）年度実績及び2019年度計画：廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第63回）
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2019/02/4-1.pdf>
 2019（平成31）年度実績及び2020年度計画：廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第75回）
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2020/02/4-2-2.pdf>
 2020（令和2）年度実績及び2021年度計画：廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第86回）
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2021/01/4-1.pdf>
 2021（令和3）年度実績及び2022年度計画：廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第98回）
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2022/01/4-1-1.pdf>
 2022（令和4）年度実績及び2023年度計画：廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第111回）
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2023/02/02/4-1.pdf>
 2023（令和5）年度実績及び2024年度計画：廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合/事務局会議（第123回）
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2024/02/02/4-1-2.pdf>
 < 廃炉・汚染水・処理水対策事業事務局 事業一覧 >
<https://dccc-program.jp/project>
 < 廃炉研究開発情報ポータルサイト >
<http://www.drd-portal.jp/>

成果の例（内部調査）

燃料デブリの検知技術（ミュオンによる調査）・原子炉格納容器内部調査技術の開発（2011年度～2022年度）

目的 燃料デブリ取り出しに向けて、燃料デブリが存在する原子炉格納容器(PCV)内の状況把握を進めることが重要であり、PCV内の調査を進めている。

成果 燃料デブリのある1～3号機のPCV内には放射線量も高く、容易に人が近づける環境ではないため、①透過力の強い宇宙線「ミュオン」を利用した透視技術による調査、②内視鏡やロボット等による調査を1～3号機で実施した。こうした調査より、圧力容器内の燃料の状況を推定でき、また、PCV底部に燃料デブリの可能性のある堆積物を確認すると共に、線量率等のPCV内のデータも取得した。2019年2月に実施した2号機PCVの内部調査では、燃料デブリと思われる堆積物をつかんで動かせることを確認するなど、燃料デブリ取り出しに向けて重要な情報を取得することができた。



出典：・IRIDパンフレット2022 ・廃炉・汚染水対策事業 令和元年度最終報告「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発（X-6ペネトレーションを用いた内部詳細調査技術の現場実証）」・経済産業省HP「廃炉・汚染水・処理水対策ポータルサイト」
 ・福島第一原子力発電所2号機 原子炉格納容器内部調査 実施結果2018年2月1日東京電力



無断複製・転載禁止 原子力損害賠償・廃炉等支援機構
 ©Nuclear Damage Compensation and Decommissioning Facilitation Corporation

添付資料19 現在取り組んでいる研究開発

区分	研究開発の名称	選定理由	開発成果	残された課題
燃料デブリ取り出しに係る研究開発	PCV 内部調査	PCV 内部の燃料デブリの取り出しの検討に資するため、燃料デブリの分布や PCV 内の状況、線量等の環境条件を確認する必要があるため。	高線量・高汚染に阻まれ状況が不明であった PCV 内部を調査するため、アーム/テレスコプ式、水中遊泳式 (ROV) 等のアクセス装置の開発、アクセスルート内の構築、実機での実証を行った。1 号機のペデスタル内外の状況、2 号機のペデスタル内の状況 (底部にある燃料デブリの可能性がある堆積物の把持調査を含む)、3 号機のペデスタル内の状況等を明らかにした。	各号機とも PCV 内部の状況が確認できていない範囲の情報を得る必要がある。各号機の RPV 底部の損傷状況、1 号機のペント管及び SIC 内の堆積物の状況、3 号機のペデスタル外の状況等の把握が課題である。
	RPV 内部調査	RPV 内部の燃料デブリの取り出しの検討に資するため、燃料デブリの分布や RPV 内の状況、線量等の環境条件を確認する必要があるため。	透過力の強い宇宙線 (ミュオン) 調査により RPV 内の燃料の残存状態の推定を行った。1 号機 RPV 炉心部に燃料が存在、2 号機 RPV 炉心部に大きな燃料塊無し。また、RPV 内に直接アクセスして調査するための上部穴開け調査工法、側面穴開け調査工法、下部アクセス調査工法及び既存配管を利用した調査工法について調査を行い、実機適用に向けた装置の機能確認を行った。	各号機とも RPV 内部の直接的な映像等の情報が得られていないため、現場状況や東電のエンジニアリングに適した技術開発を推進して、RPV 内部の情報を早期に得ることが課題である。
	燃料デブリ・炉内構造物の取り出し方法、燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発等に資するため、燃料デブリの成分の定量分析及び性状の推定に資するため。	燃料デブリ・炉内構造物の取り出し方法、燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発等に資するため、燃料デブリの成分の定量分析及び性状の推定に資するため。	燃料デブリの分析を迅速、適確に行うための模擬デブリを用いた分析手法の標準化、PCV 内部調査で得られた堆積物等の分析、OECD/NEA プロジェクトへの参加、炉内状況推定図の 3 DCG 化等を行ってきた。	現状の取組を引き続き行うことに加え、1 F で採取する燃料デブリや比較用のスリーマイル原燃の燃料デブリの分析、サンプルのサイズ・量の増加への対応、簡易分析技術、非破壊計測技術の開発。
	原子炉建屋内の環境改善に関する技術開発	燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けて、事故による損傷状態が不明な場所が残り、未だに線量率が高い原子炉建屋内において、作業を安全・効率的に行うために必要となる環境改善に係る技術開発を実施するため。	安全・効率的な作業計画の策定に向けて、環境調査データを用いた放射線源の特定、デジタル技術によって環境・線源分布を可視化する技術の開発を行い 2022 年度にはプロトタイプを試作した。2023 年度から現場適用に向けた高機能化を目指した開発を進めており、2024 年度は、現場適用性の評価を行っている。	汚染流体や水素などを内包する可能性のある高線量の PCV 貫通配管等の撤去のための遠隔監視及び撤去作業システムの技術開発。
	燃料デブリ取り出し工法に関する研究開発	取り出し規模の更なる拡大における燃料デブリ取り出し工法について、燃料デブリ取り出し作業が高線量・高汚染下、不確定要素を含む環境下で遠隔作業になることを前提に、PCV 内へのアクセスルート構築や燃料デブリの取り出しに必要な機器、装置及びシステムに係る技術開発が課題となっているため。	気中工法の横アクセス、上アクセスによる取り出し方法及び横・上アクセス共通の要素技術開発を実施。横アクセスについて、燃料デブリ回収システム、切削・集塵システム、干渉物撤去技術、遠隔操作支援システム等を開発。上アクセスについて大型一体で切断する方法、大型搬送装置等を開発。横・上アクセス共通の要素技術として遠隔除染・保守技術、加工時のダスト飛散抑制材等を開発。	「燃料デブリ取り出し工法評価小委員会」報告書の提言に基づいた具体的な設計検討を進めており、取り出しシナリオの策定や工法の技術的成立性等を検討しているところ。ここで新たに抽出された過大のうち、開発の必要性が高く、技術的難易度が高いと判断された課題について取り組む必要がある。
安全システムに関する研究開発	燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けて、作業時の安全を確保するために必要となる要素技術開発及び試験を実施するため。	循環冷却水からの放射性核種を含む粒子の除去技術や実機環境を模擬した状態での溶解性 線放出核種の除去技術並びに二次廃棄物処理技術の開発。燃料デブリ取り出し時に発生する湿潤環境におけるダスト飛散の基礎的な挙動を把握することを目的とした乾燥条件下でのダスト飛散率データの取得。内部被ばく線量評価プログラムの概念検討、ハイオプセイス手法の迅速化に関する調査検討、防護装備の最適化等の技術開発。	コロイド状の核種の除去技術ならびに建屋滞留水棄液を用いた核種の除去試験等 PCV 内の湿潤環境を想定したダスト飛散率データの取得とその具体的な安全評価への適用方法 内部被ばく線量評価プログラムの開発 核燃料物質・難分析元素等の分析の迅速化・効率化技術の開発	

区分	研究開発の名称	選定理由	開発成果	残された課題
燃料デブリ取り出しに係る研究開発	燃料デブリの収納・移送・保管に関する研究開発	取り出した燃料デブリを安全、確実かつ合理的に収納、移送、保管するためのシステムを開発する必要があるため	収納缶の基本仕様の策定と試験による収納缶の構造健全性の実証。収納缶に収納した燃料デブリからの水素発生予測法の検討及びその予測法を用いた収納缶のベント機構の検討と安全な移送条件の設定。回収された燃料デブリに対して適用可能な乾燥技術の開発と乾燥システムの検討。	スラリー・スラッジ状燃料デブリを安全、確実、合理的に移送、保管するためのプロセスの確立
	1 F 廃止措置統合管理のための支援技術の開発	1 F 廃止措置を長期にわたり安全にかつ効率的、継続的に実施して行く上でデジタル技術を利用した統合管理支援技術の開発が必要であるため。	燃料デブリの取り出し規模の更なる拡大において、安全上の要求やスループット維持の観点から、PCV 内の環境変化を連続的に監視するための監視システムの開発（監視項目の抽出、監視方法の検討、技術的課題及び開発要素の抽出）を行った。	統合管理支援システムの全体概念の検討及びデジタル技術を利用した統合的管理技術の開発（データベースの構築）
廃棄物対策に係る研究開発	固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発	2021 年度に示した処理・処分方策とその安全性に関する技術的見通し（以下「技術的見通し」という。）を踏まえ、具体的な固体廃棄物の管理全体について適切な対処方策の提示に向けた検討を進める必要があるため	<p>性状把握、保管・管理・処理・処分に関する技術的知見や評価方法を整備することにより、技術的見通しの提示に貢献した。また、技術的見通しを踏まえた固体廃棄物の管理全体についての適切な対処方策の提示に向け、以下をこれまで実施してきた。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・分析データの蓄積と性状把握の効率化に向けた開発 ・物量低減のための減容・再利用技術に関する開発 ・低温処理の適用性に関する課題の検討、各種処理技術により作製された固化体の安定性に関する検討等 ・処分概念構築に必要な情報・知識の調査及び安全評価技術の信頼性向上の試行 	<p>具体的な固体廃棄物の管理全体について適切な対処方策を提示に向けた、個別廃棄物ストリームオプシヨンの蓄積及び全ての個別廃棄物ストリームオプシヨンを束ね、評価・検討するために必要となる技術的知見の構築</p>

添付資料20 英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業（英知事業） 選定課題

課題解決型廃炉研究プログラム 令和6年度 選定課題（7課題）

提案課題名	研究代表者 [所属機関]	参画機関
高放射線耐性を有する無線データ伝送用チップセットの要素開発（ベースバンド回路開発）	宮原 正也 [高エネルギー加速器研究機構]	岡山大学、株式会社 Piezo Studio
高放射線耐性を有する無線データ伝送用チップセットの要素開発（高周波アナログ回路開発）	白根 篤史 [東京工業大学]	大熊ダイヤモンドデバイス株式会社、名古屋大学、北海道大学
高線量かつ不可視環境下での炉内可視化を可能とするレーザ偏向検出型超音波広帯域3Dイメージングシステムの開発	木倉 宏成 [東京工業大学]	室蘭工業大学、エネルギー総合工学研究所、合同会社玉浦ラボ、日本原子力研究開発機構
視界不良・高線量下での空間認識のための超音波可視化技術	林 高弘 [大阪大学]	日本大学、東北大学
耐放射線性を有するレーザスキャナとAI・画像処理による3Dモデリング法の開発	福田 知弘 [大阪大学]	理化学研究所、クモノスコープレーション
データ駆動型オンサイト診断技術：長期的健全性を確保するための微生物腐食リスク予測	若井 暁 [海洋研究開発機構]	物質・材料研究機構、電力中央研究所、日本製鉄株式会社、日本原子力研究開発機構
デブリ取り出しの安全性確保を目的とした中性子源等のイメージング手法の研究	松林 錦 [京都大学]	福島大学、東北大学、日本原子力研究開発機構

研究人材育成型廃炉研究プログラム 令和6年度 選定課題（2課題）

提案課題名	研究代表者 [所属機関]	参画機関
燃料デブリ取り出しに向けた遠隔ロボット-計測技術の統合のための研究教育人材育成	斉藤 拓巳 [東京大学]	福島大学、神戸大学、東北大学、工学院大学、会津大学、富山高等専門学校、福島工業高等専門学校、日本原子力研究開発機構
燃料デブリ研究とSEEM学構築を基軸とした研究人材育成	渡邊 豊 [東北大学]	福井大学、京都大学、理化学研究所、東京工業大学、東双みらいテクノロジー株式会社、日本原子力研究開発機構

課題解決型廃炉研究プログラム 令和5年度 選定課題（7課題）

提案課題名	研究代表者 [所属機関]	参画機関
遮蔽不要な耐放射線性ダイヤモンド中性子計測システムのプロトタイプ開発	金子 純一 [北海道大学]	高エネルギー加速器研究機構、産業技術総合研究所、名古屋大学、九州大学、日本原子力研究開発機構
簡易非破壊測定に向けた革新的な n・シンチレーション検出システムの開発	鎌田 圭 [東北大学]	東京大学、産業技術総合研究所、日本原子力研究開発機構
ペDESTAL部鉄筋コンクリート損傷挙動の把握に向けた構成材料の物理・化学的変質に関する研究	五十嵐 豪 [名古屋大学]	東京大学、東北大学、日本原子力研究開発機構
動画像からの特徴量抽出結果に基づいた高速3次元炉内環境モデリング	中村 啓太 [札幌大学]	岩手県立大学、日本原子力研究開発機構
放射性コンクリート廃棄物の減容を考慮した合理的処理・処分方法の検討	小崎 完 [北海道大学]	福井大学、電力中央研究所、日本原子力研究開発機構
高バックグラウンド放射線環境における配管内探査技術の開発	鳥居 建男 [福井大学]	大阪大学、神戸大学、東北大学、埼玉大学、日本原子力研究開発機構
PCV気相漏洩位置及び漏洩量推定のための遠隔光計測技術の研究開発	椎名 達雄 [千葉大学]	レーザー技術総合研究所

国際協力型廃炉研究プログラム 令和5年度 選定課題（2課題）

提案課題名	研究代表者 [所属機関]	参画機関
日英原子力共同研究：2課題		
革新的分光画像解析による燃料デブリの可視化への挑戦と LIBS による検証	牟田 浩明 [大阪大学]	日本核燃料開発株式会社、日本原子力研究開発機構
燃料デブリ除去に向けた様々な特性をもつメタカオリンベースのジオポリマーの設計と特性評価	Yogarajah Elakneswaran [北海道大学]	日本原子力研究開発機構

課題解決型廃炉研究プログラム 令和4年度 選定課題（6課題）

提案課題名	研究代表者 [所属機関]	参画機関
革新的アルファダスト撮像装置と高線量率場モニタの実用化とその応用	黒澤 俊介 [東北大学]	三菱電機株式会社、京都大学、日本原子力研究開発機構
3次元線量拡散予測法の確立と線透過率差を利用した構造体内調査法の開発	谷森 達 [京都大学]	福島 SiC 応用技研株式会社、日本原子力研究開発機構
汚染可視化ハンドフットクロスモニタの要素技術開発	樋口 幹雄 [北海道大学]	産業技術総合研究所、日本原子力研究開発機構
高放射線耐性の低照度用太陽電池を利用した放射線場マッピング観測システム開発	奥野 泰希 [京都大学]	木更津工業高等専門学校、産業技術総合研究所、理化学研究所、宇宙航空研究開発機構、東北大学、量子科学技術研究開発機構
障害物等による劣悪環境下でも通信可能なパッシブ無線通信方式の開発	新井 宏之 [横浜国立大学]	新潟大学、名古屋工業大学
無線UWBとカメラ画像分析を組合せたリアルタイム3D位置測位・組込システムの開発・評価	松下 光次郎 [岐阜大学]	東京大学、LocationMind 株式会社、福島工業高等専門学校、名古屋大学、日本原子力研究開発機構

国際協力型廃炉研究プログラム 令和4年度 選定課題（2課題）

提案課題名	研究代表者 [所属機関]	参画機関
日英原子力共同研究：2課題		
耐放射線プロセッサを用いた組み込みシステムの開発	渡邊 実 [岡山大学]	神戸市立工業高等専門学校、ランカスター大学
マイクロ・ナノテクノロジーを利用したアルファ微粒子の溶解・凝集分散に及ぼすナノ界面現象の探求	塚原 剛彦 [東京工業大学]	早稲田大学、日本原子力研究開発機構、University College London

課題解決型廃炉研究プログラム 令和3年度 選定課題（8課題）

提案課題名	研究代表者 [所属機関]	参画機関
建屋応答モニタリングと損傷イメージング技術を活用したハイブリッド型の原子炉建屋長期健全性評価法の開発研究	前田 匡樹 [東北大学]	芝浦工業大学、東京工業大学、日本工業大学、木更津工業高等専門学校、日本原子力研究開発機構
燃料デブリ周辺物質の分析結果に基づく模擬デブリの合成による実機デブリ形成メカニズムの解明と事故進展解析結果の検証によるデブリ特性データベースの高度化	宇埜 正美 [福井大学]	大阪大学、東京工業大学、東北大学、日本原子力研究開発機構
ジオポリマー等による PCV 下部の止水・補修及び安定化に関する研究	鈴木 俊一 [東京大学]	東京都市大学、産業技術総合研究所、株式会社アトックス、日本原子力研究開発機構
世界初の同位体分析装置による少量燃料デブリの性状把握分析手法の確立	坂本 哲夫 [工学院大学]	名古屋大学、東京電力ホールディングス株式会社、日本原子力研究開発機構
アルファ微粒子の実測に向けた単一微粒子質量分析法の高度化	豊嶋 厚史 [大阪大学]	京都大学
連携計測による線源探査ロボットシステムの開発研究	人見 啓太郎 [東北大学]	富山高等専門学校、福島大学、日本原子力研究開発機構
中赤外レーザー分光によるトリチウム水連続モニタリング手法の開発	安原 亮 [自然科学研究機構 核融合科学研究所]	弘前大学
福島原子力発電所事故由来の難固定核種の新規ハイブリッド固化への挑戦と合理的な処分概念の構築・安全評価	中瀬 正彦 [東京工業大学]	原子力環境整備促進・資金管理センター、岡山理科大学、東北大学、日本原子力研究開発機構

国際協力型廃炉研究プログラム 令和3年度 選定課題（4課題）

提案課題名	研究代表者 [所属機関]	参画機関
日英原子力共同研究：2課題		
福島第一原子力発電所の廃止措置における放射性エアロゾル制御及び除染に関する研究	三輪 修一郎 [東京大学]	株式会社アトックス、日本原子力研究開発機構、University of Bristol
燃料デブリ取り出しのための機械式マニピュレータのナビゲーションおよび制御	浅間 一 [東京大学]	有限会社ライテックス、日本原子力研究開発機構、University of Sussex
日露原子力共同研究：2課題（令和5年度より課題解決型廃炉研究プログラムに移管）		
福島第一発電所2、3号機の事故進展シナリオに基づくFP・デブリ挙動の不確かさ低減と炉内汚染状況・デブリ性状の把握	小林 能直 [東京工業大学]	九州大学、日本原子力研究開発機構、Saint Petersburg State University
非接触測定法を用いた燃料デブリ臨界解析技術の高度化	小原 徹 [東京工業大学]	産業技術総合研究所、National Research Nuclear University (MEPhI)

課題解決型廃炉研究プログラム 令和2年度 選定課題（8課題）

提案課題名	研究代表者 [所属機関]	参画機関
若手研究：2課題		
燃料デブリにおける特性の経年変化と環境劣化割れの調査	楊 会龍 / 村上 健太 [東京大学]	長岡技術科学大学
健全性崩壊をもたらす微生物による視認不可腐食の分子生物・電気化学的診断及び抑制技術の開発	岡本 章玄 [物質・材料研究機構]	海洋研究開発機構、電力中央研究所、日本原子力研究開発機構
一般研究：6課題		
遮蔽不要な臨界近接監視システム用ダイヤモンド中性子検出器の要素技術開発	田中 真伸 [高エネルギー加速器研究機構]	北海道大学、産業技術総合研究所、名古屋大学、日本原子力研究開発機構
／／線ラジオリシス影響下における格納容器系統内広域防食の実現：ナノバブルを用いた新規防食技術の開発	渡邊 豊 [東北大学]	量子科学技術研究開発機構、物質・材料研究機構、日本原子力研究開発機構
、 、 X線同時解析による迅速・高感度放射性核種分析法の開発	篠原 宏文 [日本分析センター]	新潟大学、九州大学、大成建設株式会社、量子科学技術研究開発機構、日本原子力研究開発機構

合理的な処分のための実機環境を考慮した汚染鉄筋コンクリート長期状態変化の定量評価	丸山 一平 [東京大学]	国立環境研究所、株式会社太平洋コンサルタント、太平洋セメント株式会社、名古屋大学、北海道大学、日本原子力研究開発機構
溶脱による変質を考慮した汚染コンクリート廃棄物の合理的処理・処分の検討	小崎 完 [北海道大学]	福井大学、電力中央研究所、日本原子力研究開発機構
マイクロ波重畳 LIBS によるデブリ組成計測の高度化と同位体の直接計測への挑戦	池田 裕二 [アイラボ株式会社]	日本原子力研究開発機構

国際協力型廃炉研究プログラム 令和2年度 選定課題（2 課題）

提案課題名	研究代表者 [所属機関]	参画機関
日英原子力共同研究：2 課題		
革新的水質浄化剤の開発による環境問題低減化技術の開拓	浅尾 直樹 [信州大学]	自然科学研究機構分子科学研究所、東北大学、Diamond Light Source
無人航走体を用いた燃料デブリサンプリング技術の研究開発	鎌田 創 [海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所]	高エネルギー加速器研究機構、日本原子力研究開発機構、ランカスター大学

共通基盤型原子力研究プログラム 令和元年度（平成 31 年度） 選定課題（7 課題）

提案課題名	研究代表者 [所属機関]	参画機関
若手研究：2 課題		
ウラニル錯体化学に基づくテラー メイド型新規海水ウラン吸着材開発	鷹尾 康一郎 [東京工業大学]	日本原子力研究開発機構
動作不能からの復帰を可能とする多 連結移動ロボットの半自律遠隔操作 技術の確立	田中 基康 [電気通信大学]	-
一般研究：5 課題		
一次元光ファイバ放射線センサを 用いた原子炉建屋内放射線源分布計 測	瓜谷 章 [名古屋大学]	日本原子力研究開発機構
低線量・低線量率放射線被ばくによ る臓器別酸化ストレス状態の検討	鈴木 正敏 [東北大学]	広島大学、大阪大学
単一微粒子質量分析法に基づくアル ファ微粒子オンラインモニタリング に向けた基礎検討	豊嶋 厚史 [大阪大学]	(同一機関内連携)
幹細胞動態により放射線発がんの特 徴付ける新たな評価系の構築	飯塚 大輔 [量子科学技術研究 開発機構]	東京大学
耐放射線性ダイヤモンド半導体撮像 素子の開発	大曲 新矢 [産業技術総合研究 所]	北海道大学

課題解決型廃炉研究プログラム 令和元年度（平成 31 年度） 選定課題（4 課題）

提案課題名	研究代表者 [所属機関]	参画機関
Multi-Physics モデリングによる福島 2・3号機ベデスタル燃料デブリ深 さ方向の性状同定	山路 哲史 [早稲田大学]	大阪大学、日本原子力研究開発 機構
燃料デブリ取出しに伴い発生する廃 棄物のフッ化技術を用いた分別方法 の研究開発	渡邊 大輔 [日立 GE ニューク リア・エナジー株式会 社]	埼玉大学、日本原子力研究開発 機構
アパタイトセラミックスによる ALPS 沈殿系廃棄物の安定固化技術 の開発	塚原 剛彦 [東京工業大学]	電力中央研究所、日本原子力研 究開発機構
拡張型スーパードラゴン多関節ロボ ットアームによる圧力容器内燃料デ ブリ調査への挑戦	高橋 秀治 [東京工業大学]	日本原子力研究開発機構

研究人材育成型廃炉研究プログラム 令和元年度（平成 31 年度） 選定課題 4 課題

提案課題名	研究代表者 [所属機関]	参画機関
燃料デブリ取り出し時における炉内状況把握のための遠隔技術に関する研究人材育成	浅間 一 [東京大学]	福島大学、神戸大学、日本原子力研究開発機構
化学計測技術とインフォマティクスを融合したデブリ性状把握手法の開発とタイアップ型人材育成	高貝 慶隆 [福島大学]	株式会社パーキンエルマージャパン、株式会社化研、日本原子力研究開発機構
放射線・化学・生物的作用の複合効果による燃料デブリ劣化機構の解明	塚原 剛彦 [東京工業大学]	株式会社ヴィジブルインフォメーションサービス、日本原子力研究開発機構
燃料デブリ分析のための超微量分析技術の開発	永井 康介 [東北大学]	長岡技術科学大学、日本核燃料開発株式会社、九州大学、日本原子力研究開発機構

国際協力型廃炉研究プログラム 令和元年度（平成 31 年度） 選定課題（ 4 課題）

提案課題名	研究代表者 [所属機関]	参画機関
日露原子力共同研究： 2 課題		
燃料デブリ取り出し臨界安全技術の高度化	小原 徹 [東京工業大学]	東京都市大学、ロシア国立原子力研究大学
微生物生態系による原子炉内物体の腐食・変質に関する評価研究	金井 昭夫 [慶應義塾大学]	理化学研究所、日本原子力研究開発機構、カザン大学
日英原子力共同研究： 2 課題		
高い流動性および陰イオン核種保持性を有するアルカリ刺激材料の探索と様々な放射性廃棄物の安全で効果的な固化	佐藤 努 [北海道大学]	アドバンエンジ株式会社、日本原子力研究開発機構、シェフィールド大学
再臨界前の中性子線増に即応可能な耐放射線 FPGA システムの開発	渡邊 実 [静岡大学]	神戸市立工業高等専門学校、ランカスター大学

(注) 採択後生じた事情の変更等により、実施内容（事業計画、契約金額等）の変更及び採択の取消しを行うことがある。

添付資料21 国際連携の強化に係る主な活動実績

表 A 21-1 政府間の枠組み

枠組み	内 容
日英原子力年次対話	2012 年 4 月の日英首脳会談における共同声明の付属文書として発出された「日英民生用原子力協力の枠組み」に基づき開催（2012 年 2 月～）
原子力エネルギーに関する日仏委員会	2012 年 10 月の日仏首脳会談の際に発表された共同宣言に基づき設立（2012 年 2 月～）
日米廃炉及び環境管理ワーキンググループ	2011 年 3 月の原子力事故後の日米協力関係に基づき、民生用二国間協力を一層強化するため、2012 年 4 月に設立が決定。同委員会の下に「廃炉及び環境管理ワーキンググループ（D E M W G）」が設置された（2012 年 12 月～）
日露原子力ワーキンググループ	2016 年 9 月の日露首脳会談で承認された 8 項目の協力プランの一つとしてエネルギー分野が掲げられたことに基づき、原子力ワーキンググループが設置された（2016 年 9 月～）

表 A 21-2 組織間の協力協定・取り決め

国内機関	海外機関	内 容
N D F	N D A	廃炉等に関わる様々な技術的知見に関する情報交換、人材交流等について定めている（2015 年 2 月締結）
N D F	C E A	廃炉等に関わる様々な技術的知見に関する情報交換、人材交流等について定めている（2015 年 2 月締結）
東京電力	D O E	アンブレラ契約を締結し、必要に応じて情報交換を実施（2013 年 9 月締結）
東京電力	セラフィールド社	廃止措置時のサイト運営等に関する分野での情報交換協定を締結（2014 年 9 月）
東京電力	C E A	廃止措置に関する分野での情報交換協定を締結（2015 年 9 月）
J A E A	N N L	原子力の研究開発に関する先進技術、先進燃料サイクル、高速炉、放射性廃棄物に関する包括的取り決め
J A E A	C E A	熔融炉心-コンクリート相互作用等に関する特定技術課題に関する協力取り決め
J A E A	ベルギー原子力研究センター	原子力研究開発分野及び福島事故の研究に関する協力取り決め
J A E A	原子力安全問題研究センター（ウクライナ）	福島第一原子力発電所とチョルノービリの廃止措置研究等に関する覚書の締結
J A E A	I A E A	燃料デブリの特性把握に関する研究取り決め

表 A 21-3 海外に向けた情報発信（国際会議の開催、登壇（2021年9月～2022年8月））

会議名称	時期	発信機関
第 64 回 I A E A 総会サイドイベント	2021 年 9 月	N D F 経済産業省 東京電力
I A E A 福島第一原子力発電所事故後 10 年の進捗に関する国際会議	2021 年 11 月	N D F 経済産業省 東京電力
日英原子力対話	2021 年 12 月	経済産業省
海外向けブリーフィング	2022 年 2 月	経済産業省
米国 Waste Management 2022	2022 年 3 月	東京電力 I R I D
米国 Regulatory Information Conference	2022 年 3 月	N D F
福島リサーチカンファレンス	通年実施	J A E A

表 A 21-4 海外に向けた情報発信（英語版ウェブサイト等による情報発信）

名称	発信機関
廃止措置に向けた取組 (https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/)	経済産業省
各国大使館への福島第一原子力発電所からの海洋放出及び海水モニタリングに関する年次報告	経済産業省 外務省
原子力損害賠償・廃炉等支援機構ホームページ (https://www.dd.ndf.go.jp/english/)	N D F
廃炉研究開発情報ポータルサイト (https://www.drd-portal.jp/en/)	N D F
廃止措置に向けた取組 (https://fukushima.jaea.go.jp/en)	J A E A
技術研究組合国際廃炉研究開発機構ホームページ (https://irid.or.jp/en/)	I R I D
福島への責任 (https://www.tepco.co.jp/en/hd/responsibility/revitalization/index-e.html)	東京電力
各国メディアへのプレスリリース英文概要提供	東京電力
廃炉・汚染水・処理水対策事業事務局 (https://en.dccc-program.jp/)	三菱総合研究所 (事業受託者)

表 A 21-5 主な海外機関との連携プロジェクト

プロジェクト名	内容・期間	国内対応機関
I A E A プロジェクト		
D A R O D	<ul style="list-style-type: none"> ・ 損傷原子力施設の廃止措置・修復に関する課題への取組で得られた知識や経験（規制、技術、制度・戦略）を各国で共有 ・ 実施期間：2015年～2017年 	N D F
O E C D / N E A プロジェクト		
B S A F	<ul style="list-style-type: none"> ・ 11か国の研究機関や政府機関が参加し、各国参加機関において過酷事故解析コードを用いた福島第一原子力発電所事故の進展、炉内の燃料デブリとF Pの分布等に関するベンチマークを実施。各国参加機関による現象論のモデル化に関する知見等を活用 ・ 事故時の測定データや事故後の放射線量に関する情報データベースを共有 ・ 実施期間：2015年～2018年 	I R I D J A E A 東京電力
A R C - F	<ul style="list-style-type: none"> ・ 12か国の研究機関や政府機関が参加し、B S A Fプロジェクトを引き継いで、更に詳細に事故の状況を探り、今後の軽水炉の安全性向上のための研究に活用 ・ 実施期間：2019年～2021年 	原子力規制庁 電力中央研究所 J A E A
P r e A D E S	<ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料デブリの相状態や組成情報等、その特徴を理解するのに役立つ特性情報を共有 ・ 燃料デブリ分析ニーズ及び優先度をまとめた「燃料デブリ分析表」の拡充 ・ 分析の課題及び分析施設情報の整理 ・ 実施期間：2018年～2021年 	経済産業省 原子力規制庁 電力中央研究所 J A E A I R I D N D F、東京電力
F A C E	<ul style="list-style-type: none"> ・ A R C - F 及び P r e A D E S を統合する形で立ち上がったプロジェクト ・ 燃料デブリのサンプル分析や事故シナリオの解析を実施 ・ 分析の結果を参加国間で共有する ・ 実施期間：2022年～2026年 	経済産業省 原子力規制庁 J A E A N D F 東京電力
T C O F F	<ul style="list-style-type: none"> ・ 福島第一原子力発電所（1 F）の事故進展を参考に、炉心・燃料溶融モデルやF Pふるまいモデル、及びその基礎となる熱力学データベースを高度化。得られた材料科学的な知見に基づき、1 F 事故条件での炉心・燃料溶融、核分裂生成物ふるまい、デブリ特性や生成メカニズムを詳細評価。材料科学的知見及び詳細評価の結果をP r e A D E S、A R C - F、T A F - I D等の国際協力及びI R I D事業等の国際廃炉プロジェクトに提供 ・ プロジェクト予算を文部科学省が拠出 ・ 実施期間：2017年～2019年 	文部科学省 J A E A 電力中央研究所 東京工業大学
E G C U L	<ul style="list-style-type: none"> ・ 由来が不明な廃棄物に対するキャラクタリゼーション方法について議論 	経済産業省 N D F、J A E A 東京電力