

東京電力ホールディングス(株) 福島第一原子力発電所の 廃炉のための技術戦略プラン2021 について

2021年10月29日

原子力損害賠償・廃炉等支援機構

1. はじめに

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

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
- 3.2 廃棄物対策
- 3.3 汚染水・処理水対策
- 3.4 使用済燃料プールからの燃料取り出し

4. 廃炉の推進に向けた分析戦略

5. 研究開発への取組

6. 技術戦略を支える取組

- 6.1 プロジェクト管理の取組
- 6.2 国際連携の強化
- 6.3 地域共生

技術戦略プラン2021の4つのポイント

- 技術戦略プラン2021では、今回のポイントとして以下 4 点を踏まえ、中長期視点での技術戦略を提示

1 点目

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の提示

2 点目

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

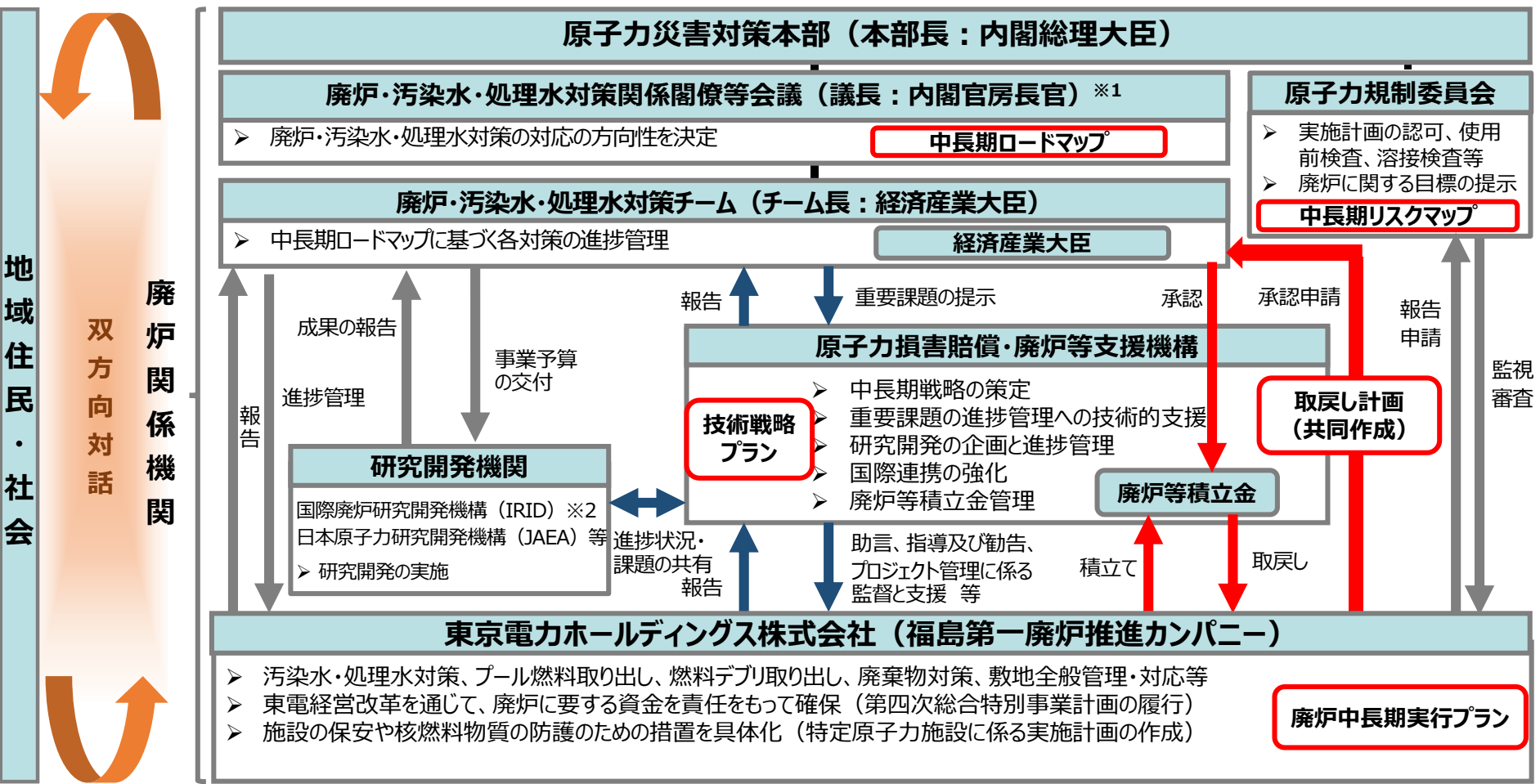
3 点目

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

4 点目

ALPS処理水に係る取組

福島第一原子力発電所の廃炉に係る関係機関等の役割分担

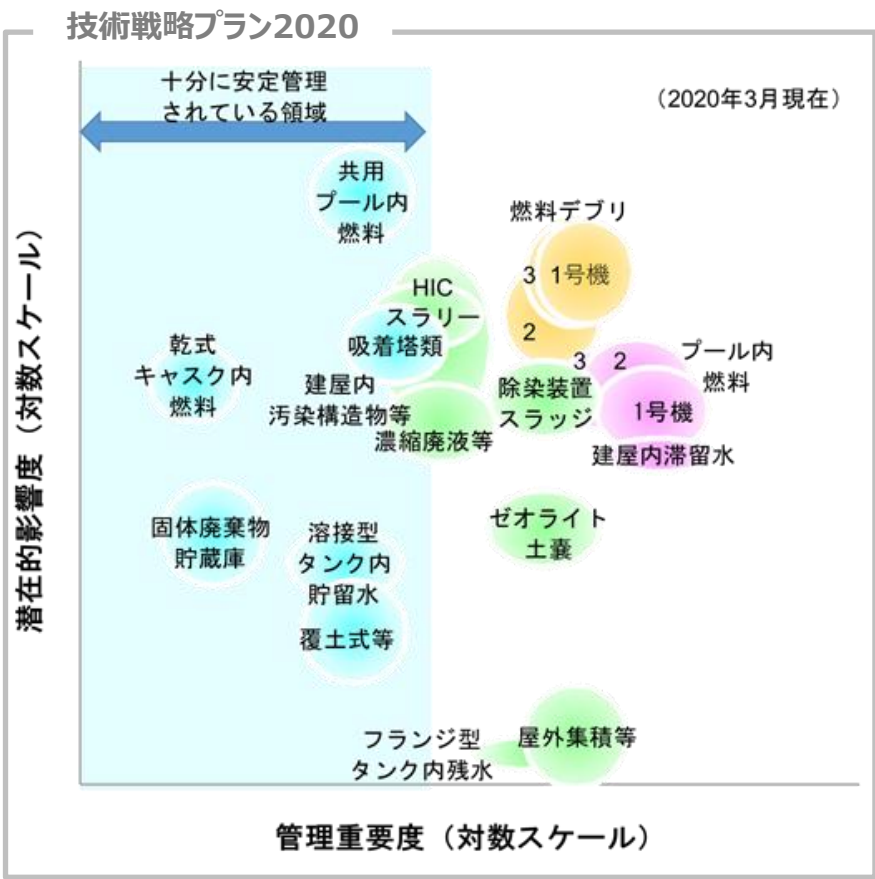
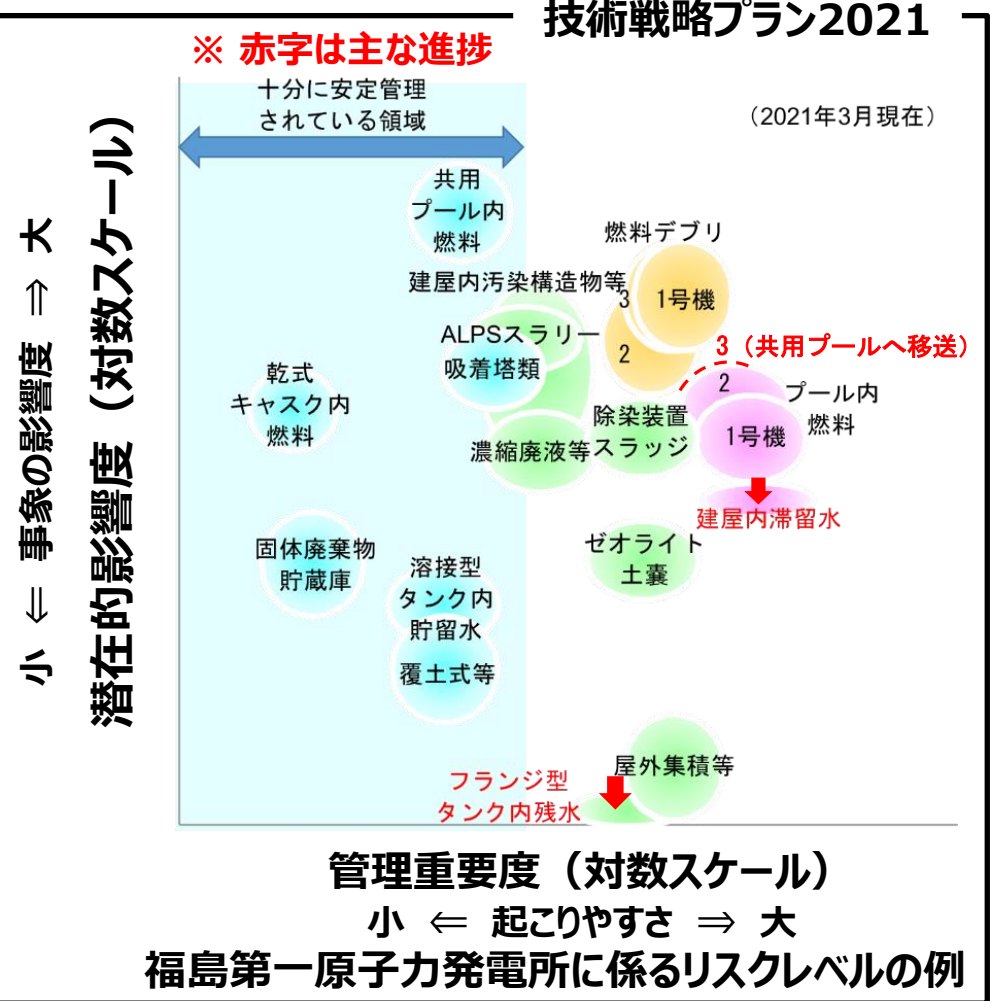


※1 令和3年4月13日 ALPS処理水の処分方針決定に伴い、「ALPS処理水の処分に関する基本方針の着実な実行に向けた関係閣僚等会議」を設置
※2 廃炉事業者である東京電力は、IRIDの組合員として参加し、研究開発のニーズ・課題・成果を共有している。



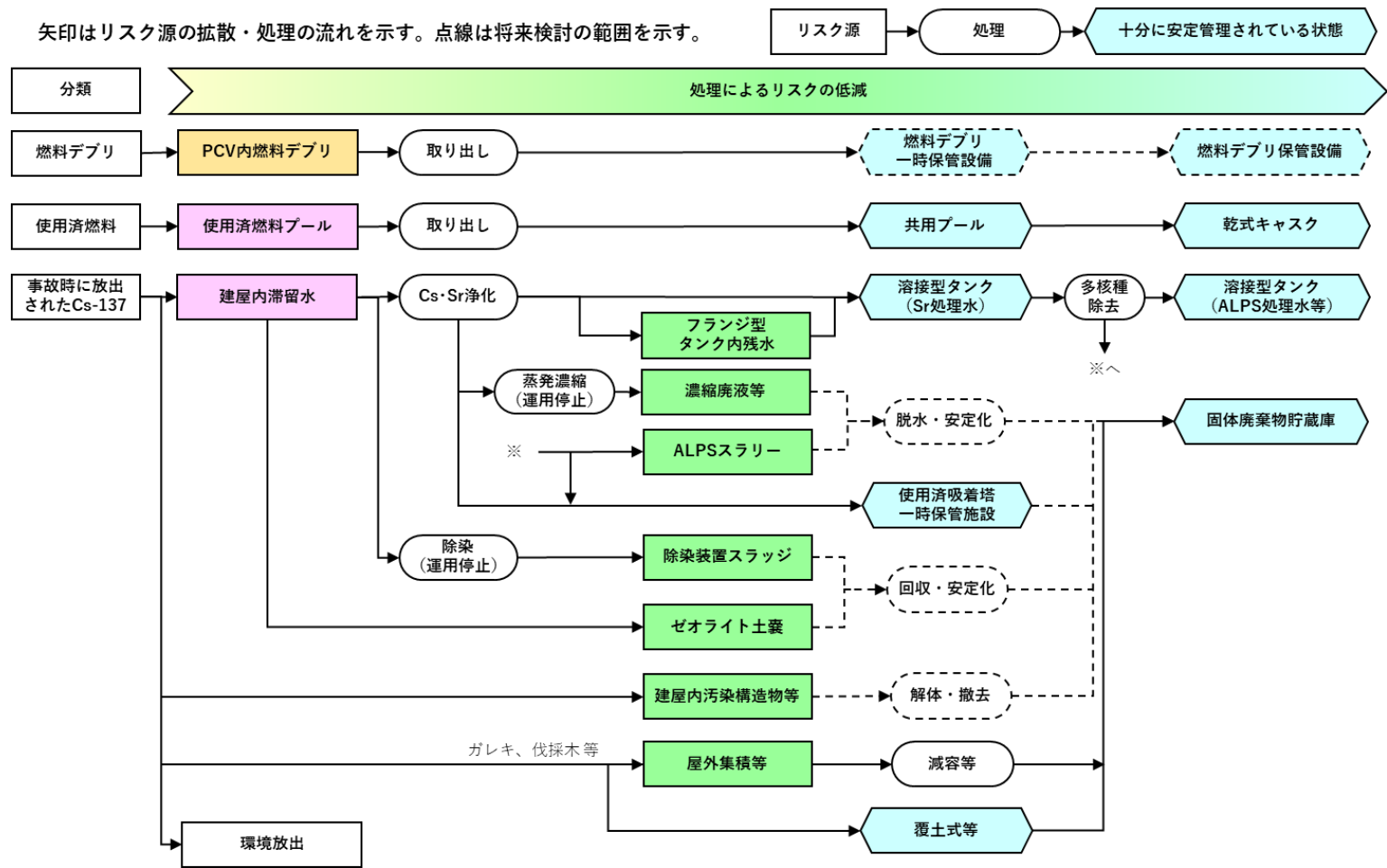
リスク低減の考え方

- リスク低減戦略の当面の目標は、「十分に安定管理がなされている領域」（水色領域）に持ち込むこと



主要なリスク源のリスク低減プロセスとその進捗

- 主要なリスク源のリスク低減プロセスとそれに沿った廃炉作業の進捗の1つの表し方を提示（事故時からのリスク源の移行プロセスを可視化）



(a) リスク低減プロセス

主要なリスク源のリスク低減プロセスとその進捗

- 各リスク源に対し、事故当初に比べ、十分に安定管理されている領域（水色）への移行状況（どの程度の割合）を提示

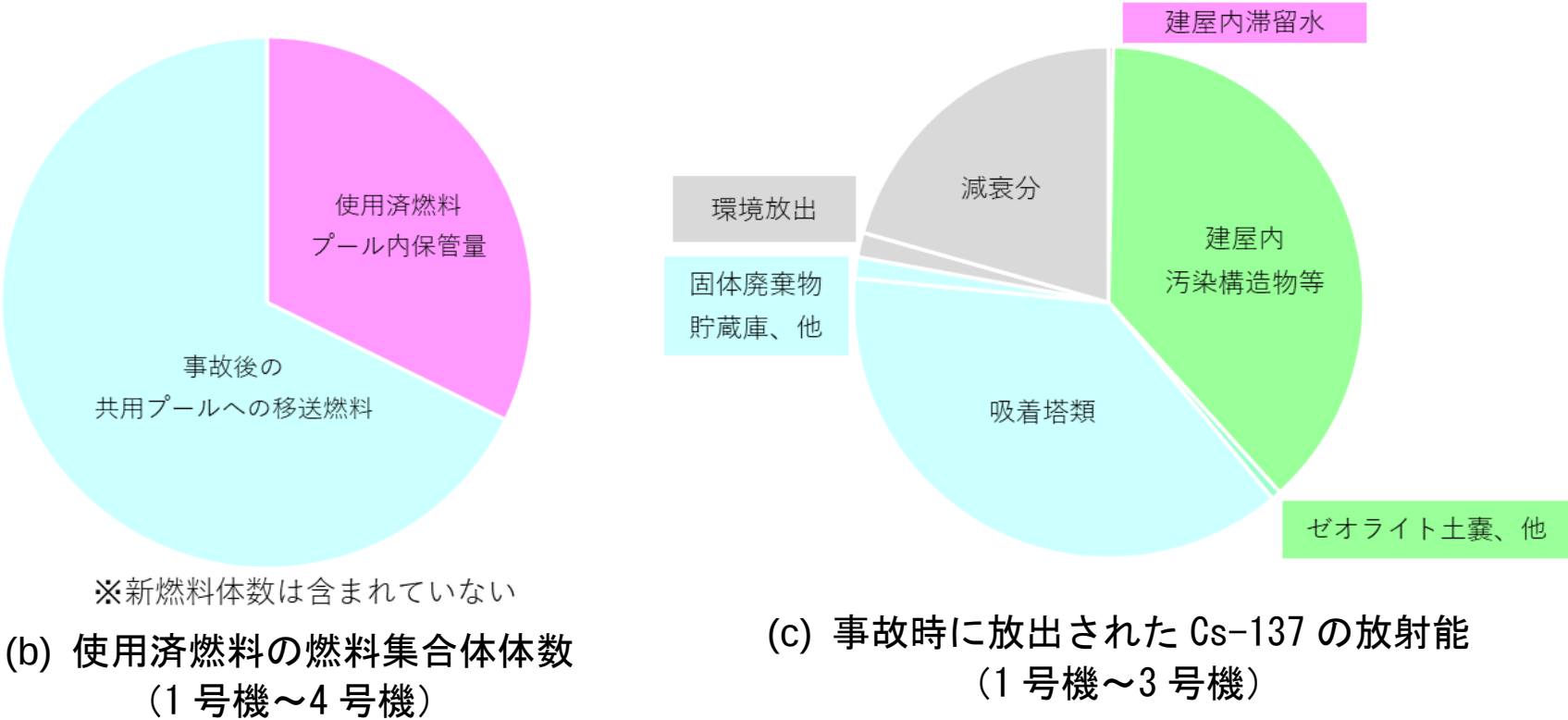


図 主要なリスク源のリスク低減プロセスとその進捗（2021年3月時点の例示）

廃炉作業を進める上での安全確保の考え方

基本方針

- 事故炉である福島第一の廃炉は、その安全確保に当たって安全上の特殊性を十分認識し、「安全視点」、「オペレータ視点」に十分留意して実施していくことが必要
 - ✓ 安全視点：確実な安全確保を検討の起点、最適な安全対策（ALARP※）を判断
 - ✓ オペレータ視点：現場を熟知し現場で操作や作業等を行う立場からの着眼・判断等

福島第一原子力発電所の持つ特殊性

- ✓ 多量の放射性物質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
- ✓ 放射性物質を閉じ込める障壁が完全でないこと
- ✓ 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
- ✓ 現場へのアクセスや現場情報を得るための計装装置の設置が困難であること
- ✓ 現状の放射線レベルが高く、また閉じ込め障壁等の更なる劣化が懸念されることから廃炉を長期化させない、時間軸を意識した対応が必要なこと

※As Low As Reasonably Practicableの略。放射線影響を合理的に実行できる限り低くしなければならないというもの

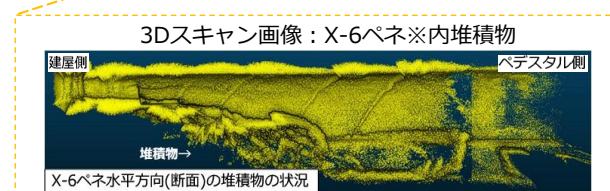
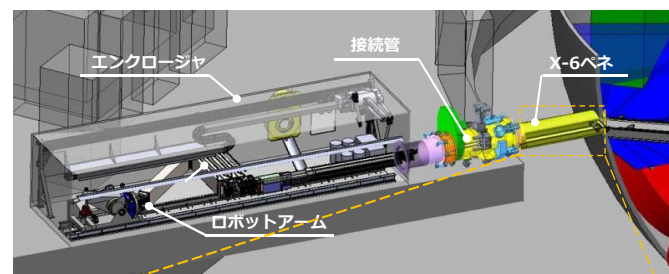
燃料デブリ取り出しに係る主な目標と進捗

主な目標

- 中長期ロードマップでは2021年内とされている2号機の試験的取り出しについて、新型コロナウイルス感染症の影響による遅れを、1年程度の遅延に抑えるべく、取り出し開始に向け作業を進める
- 取り出し規模の更なる拡大については、内部調査、研究開発等を見極めつつ、収納・移送・保管方法を含め、その方法の検討を進める

進 捗

- アーム型アクセス装置については、日本国内に到着し、試験を開始
- X-6ペネトレーション内の堆積物の接触調査、3Dスキャン調査を実施



2020年10月撮影

※ X-6ペネトレーションの略

(東京電力資料をNDFにて加工)

図 3Dスキャンの調査結果

試験的取り出しに向けた戦略

戦略

試験的取り出し

- 規模は小さいながらも従来の閉じ込め障壁の位置がX-6ペネの閉止フランジ（突縁）部であったものから、新たな開口を設けて、PCV外側（隔離部屋やエンクロージャ）に閉じ込め障壁を拡張することは、今後の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

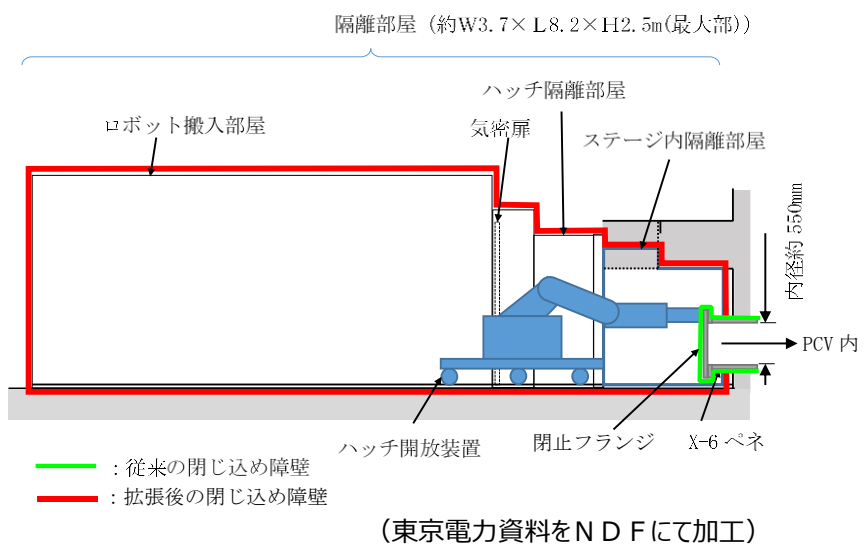


図 X-6 ペネ 隔離部屋 構造概略図

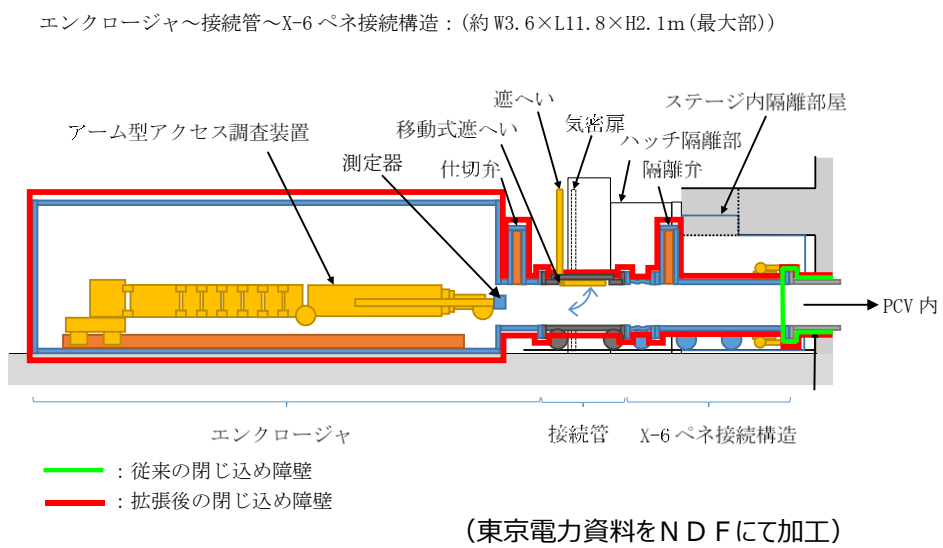
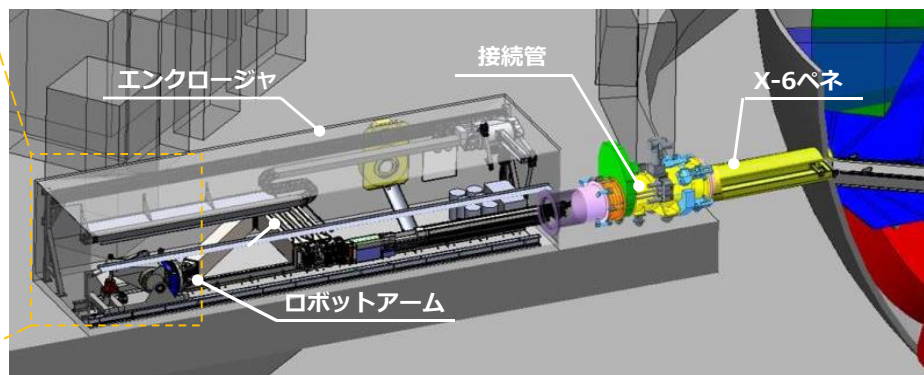


図 X-6 ペネ エンクロージャ等 構造概略図

試験的取り出しに向けた戦略

- 新型コロナウイルス感染症の影響による遅れを最小限に抑える一方、現場の不確実性を十分考慮したモックアップ試験を実施することは、現場適用性や安全確保の観点から重要
- 装置を作製した英国技術者との情報共有や意思疎通を円滑に行いつつ、英国側のバックアップ体制を維持し進めることが必要



(東京電力資料をNDFにて加工)

図 燃料デブリ試験的取り出し設備のイメージ

取り出し規模の更なる拡大に向けた戦略

戦 略

取り出し規模の更なる拡大

① 工法選定の進め方

- 工法選定においては、目標とする安全レベルを満足するとともに、工程・リソースといった評価項目を判断指標とすることが必要
- これらの評価項目を各々定量化し、どのような評価項目を判断指標として用いるか、指標の重み付けを如何に設定するかが工法選定プロセスにおいて最も重要
- 不確かさが多い状況では、現在ある情報を基に検討を進め、その後、判明した調査結果をフィードバックしていくことが必要

② 取り出しシナリオの作成

- 号機毎に複数の燃料デブリ取り出しシナリオを検討し、複数の道筋を明らかにした上で、得られる情報等に応じ、以降の道筋を絞り込んでいく取組が重要

取り出し規模の更なる拡大に向けた戦略

③ 要求事項の明確化

- 作業、装置、施設が大規模化し、工事範囲が広域化するため以下が重要
 - ✓ 福島第一原子力発電所全体を見据えた検討
 - ✓ 作業・装置に求める要求事項（閉じ込め、臨界、操作性、メンテナンス性、スループット※等）の設定と全体最適化

④ 有望な工法の絞り込みプロセス

- 様々なアイデアの抽出が想定されるが、段階的なプロセスにより、客観的な評価を行い、工法を絞り込んでいくことが重要

※燃料デブリの取り出し能力を表し、取り出し作業の処理時間や作業効率を示すもの

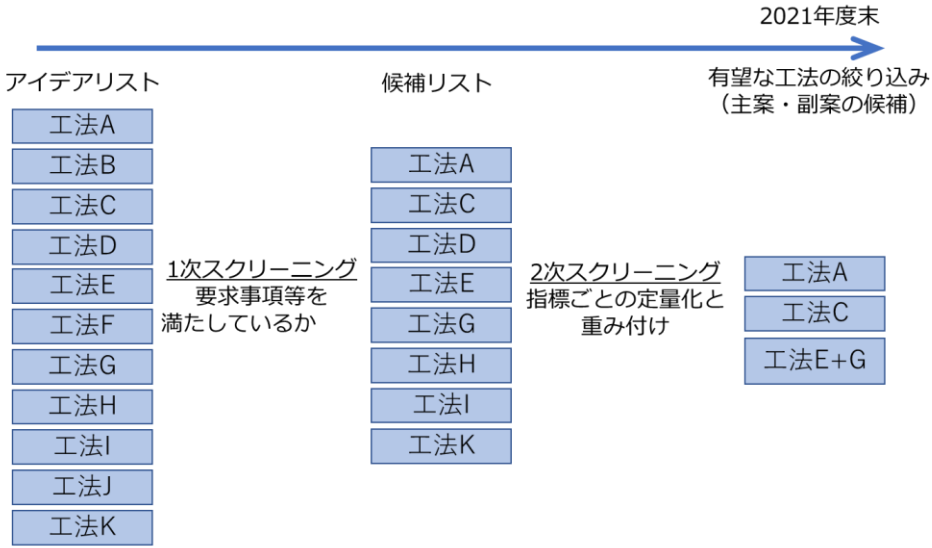


図 工法の絞り込みプロセスのイメージ

廃棄物対策に係る主な目標と進捗

主な目標

- 処理・処分にに向けた取組として、2021年度頃までを目処に、固体廃棄物の処理・処分方策とその安全性に関する技術的な見通しを示す

進 捗

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の提示

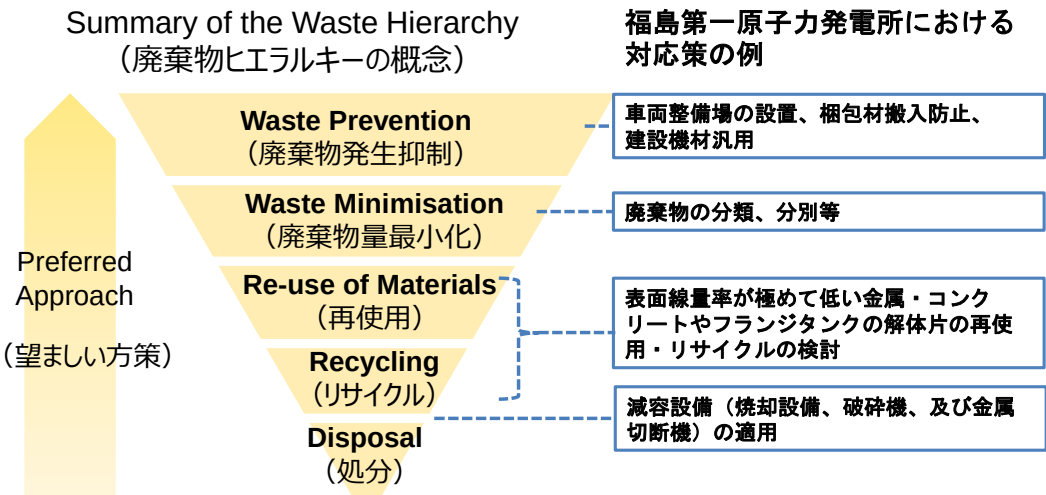
- 固体廃棄物の物量低減に向けた進め方を提示
- 性状把握を効率的に実施するための分析・評価手法を開発
- 性状把握等、必要な情報が判明した際に、固体廃棄物の安全な処理・処分方法を合理的に選定するための手法を構築

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

■ 物量低減に向けた進め方を提示

➤ 廃棄物対策として①廃棄物発生抑制、②廃棄物量最小化、③再使用、④リサイクル、の優先順位で取り組み、⑤処分は最後の手段とする考え方に沿った管理を行い、物量低減を図ることが重要

- ①:設計や工事計画において使用物資量を低減するよう検討すること、また、処理・処分に影響を与える物資を極力持ち込まないこと
- ②:分別をしっかりと行うこと
- ③:汚染チェック、除染、修理、部品交換等を実施して再使用すること
- ④:汚染状況を考慮し、リサイクル可能なものは分別・処理し、新たな素材・製品として利用すること



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

図 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

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

■ 分析・評価手法を開発

- 前処理の自動化、放射能測定による従来手法に比べ簡易な分析方法 等
- 評価値の変動する分布・幅を明らかにする（不確かさを定量化する）ため、統計論的方法を適用した手法を構築

■ 処理・処分方法を合理的に選定するための手法を構築

- 性状がある程度明らかになった廃棄物について、①～③の検討を繰り返し、適切な処理方法（廃棄体）と処分方法※の組み合わせを検討
 - ① 廃棄物の特徴に適した実現性のある複数の処分方法を設定
 - ② 廃棄物の特徴に適した複数の処理方法を設定し、それぞれの処理を施した廃棄体の仕様を設定
 - ③ 設定した複数の処分方法に対し、処理後の廃棄体の仕様に基づき安全性評価を行い、人と環境に与えるリスクが十分に小さく出来ることを確認し、評価結果を基に、さらに効果的な処理・処分方法の検討を行う

※ 施設の設置場所、規模等の特定はしない

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

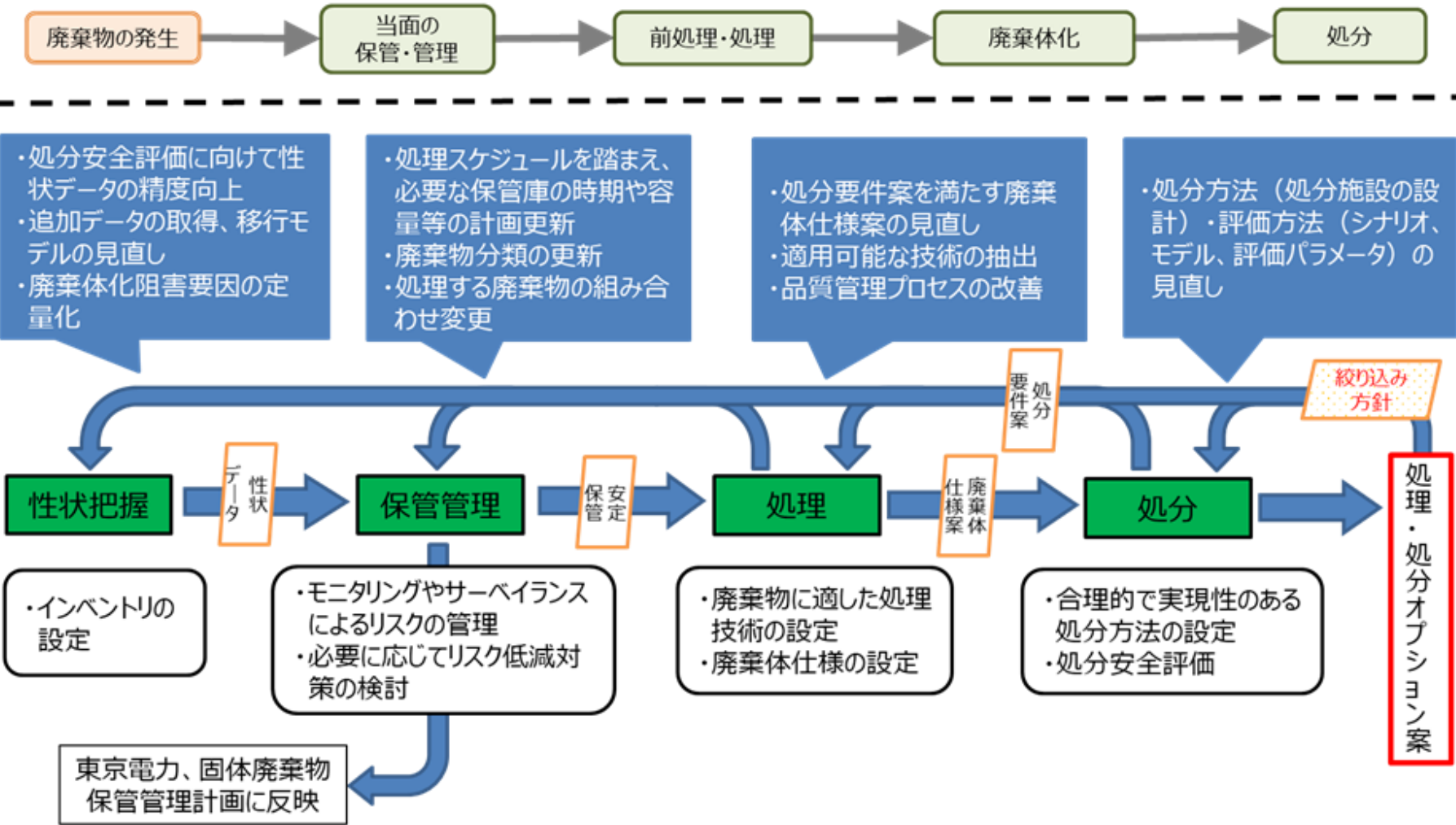


図 固体廃棄物の安全な処理・処分方法を合理的に選定するための手法

廃棄物対策に係る分野毎の技術戦略

戦 略

性状把握

- 対象とする固体廃棄物とその優先度、分析の定量目標等を定める中長期的な分析戦略を策定し、それに基づいて分析・評価を進めることが重要

保管・管理

- リスクに応じて保管・管理状況のモニタリングやサーベイランスを続けながら必要な情報を得つつ、測定項目・測定時期等を見直していくことが重要

処理・処分

- 安全かつ合理的となる処理・処分方策の構築を目指し、個別廃棄物ストリーム
※毎の最適化の知見を幅広く得るため、一連の検討に必要となる処理技術、処分技術の研究開発に継続して取り組む必要

※ 廃棄物の種類毎に、その発生・保管から処理・処分までの一連の取扱を示したもの

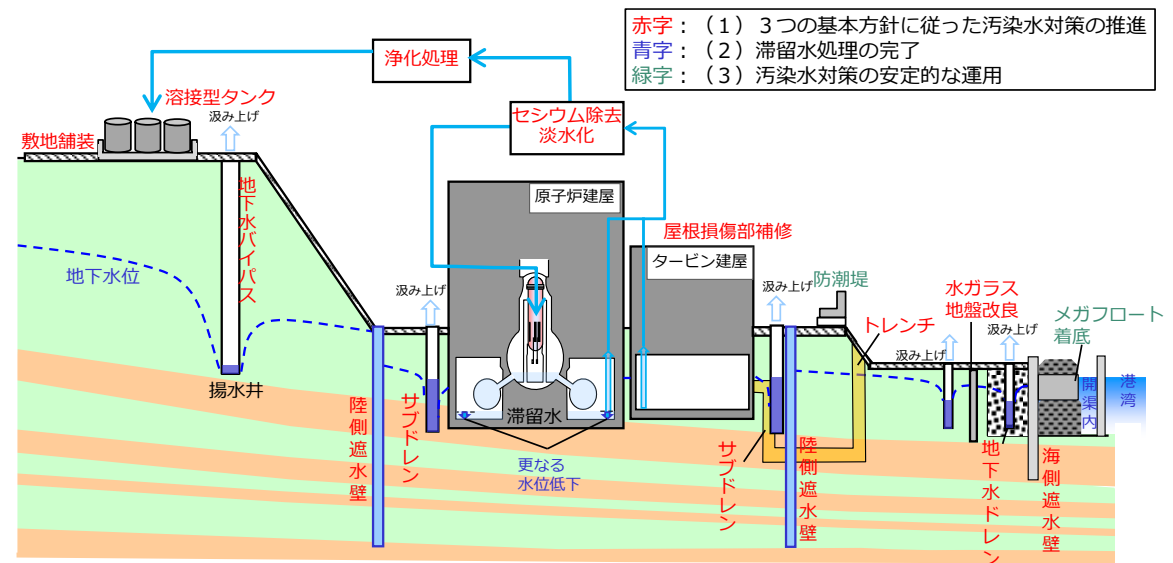
汚染水対策に係る主な目標と現状

主な目標

- 2025年内に汚染水発生量を100m³/日以下に抑制するとともに、2022年度～2024年度には原子炉建屋滞留水を 2020年末の半分程度に低減する

進 捗

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



(出典：東京電力)

図 汚染水対策の概要

原子炉建屋滞留水低減に向けた戦略

戦略

原子炉建屋滞留水の低減

➤ α核種の拡大防止のための除去方策を検討する上で、できるだけ複数の場所からサンプリングし、性状のばらつきを把握することが必要

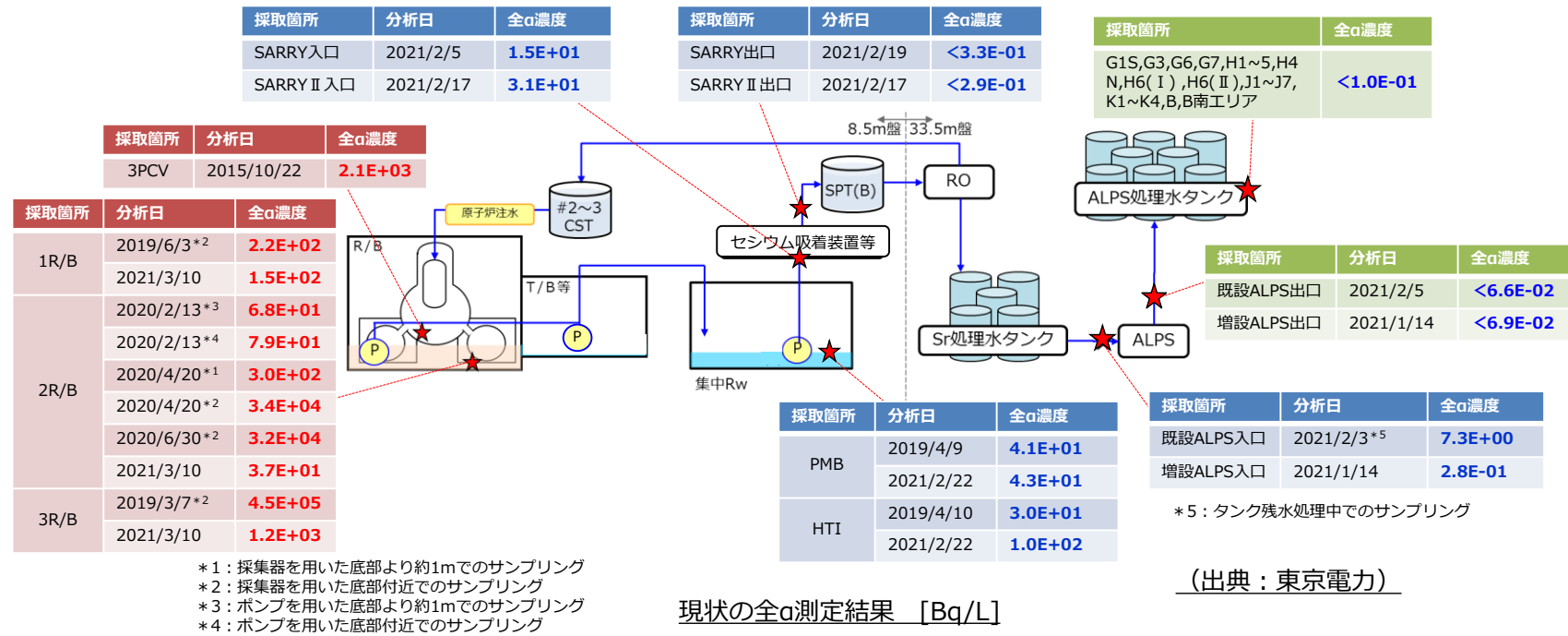


図 建屋内滞留水の水処理設備の系統と全α測定結果

➤ 現在タンク保管中のALPS処理水について、2021年4月公表の政府の基本方針や8月公表の当面の対策の取りまとめを踏まえた対応を進める

海洋放出設備の概念図

ストロンチウム処理水等 (ALPS処理前水) → 多核種除去設備 [ALPS] → 構内貯留タンク

構内貯留タンク → 二次処理 (トリチウム以外で告示濃度比総和「1未満」※告示濃度比総和「1未満」) → 二次処理設備

二次処理設備 → 廃棄物

二次処理設備 → 測定・確認用設備

測定・確認用設備 → 緊急遮断弁

緊急遮断弁 → 放出立坑 (取水した海水と混合し、じゅうぶん希釈する) → 海底トンネル (約1km) → 海洋放出

多核種除去設備 [ALPS]

二次処理
必要に応じて二次処理を実施し、環境への放出に関する規制基準値を確実に下回る*ことを確認する
*告示濃度比総和「1未満」

敷地利用計画
ALPS処理水を安定的に放出し、かつ廃炉に必要な施設の建設を進めるため測定・確認用設備、代替用タンクの整備と、空になっていく貯留タンクの解体等について検討する

ALPS処理水の分析
ALPS処理水中のトリチウム、62核種 (ALPS除去対象核種) 及び炭素14の放射能濃度の測定・評価結果は随時公開し、第三者機関による測定・評価や公開等も実施する

放出水のトリチウム濃度
放出水のトリチウム濃度は、規制基準値 (60,000ベクレル/ℓ) の40分の1である1,500 Δ 2ℓ/ℓ未満とし、放出前のトリチウム濃度と希釈水量で評価する

放出量
当面は、事故前の福島第一の放出管理目標値である年間22 Δ 2ℓの範囲内で行い、廃炉の進捗等に応じて適宜見直す

希釈
大量の海水 (100倍以上) にて希釈するため、希釈後の放出水のトリチウムを除く核種の告示濃度比総和は、0.01未満となる

緊急時の措置
故障や停電により設備が計画している機能を発揮できない場合や海域モニタリングで異常値が検知された場合は放出を停止する

海水移送ポンプ

取水した海水と混合し、じゅうぶん希釈する

放出立坑

海底トンネル (約1km)

海洋放出

(当面、放出前にモニタリング)

【図】 東京電力が計画する海洋放出設備の概念図

ALPS処理水の海洋放出に向けた取組

■ 海洋放出に向けた取組

- 公表された政府の方針は、国際的な考え方にも則っており、廃炉作業の持続可能性を確保する観点から重要な判断
- 海洋放出システムは、国内外の既往実績に準拠したものであり、マニュアル整備等を徹底し、実施計画を厳格に守ることで、安全な海洋放出が可能
- 実施計画の確実な運用に向けては、IAEA等の第三者による確認やモニタリングなど計画遂行状況の透明度を高めることが必要

プール内燃料取り出しに係る主な目標と進捗

主な目標

- 1号機は2027～2028年度、2号機は2024～2026年度にプール内燃料の取り出しを開始する。（3号機は、2021年2月に完了）

進 捗

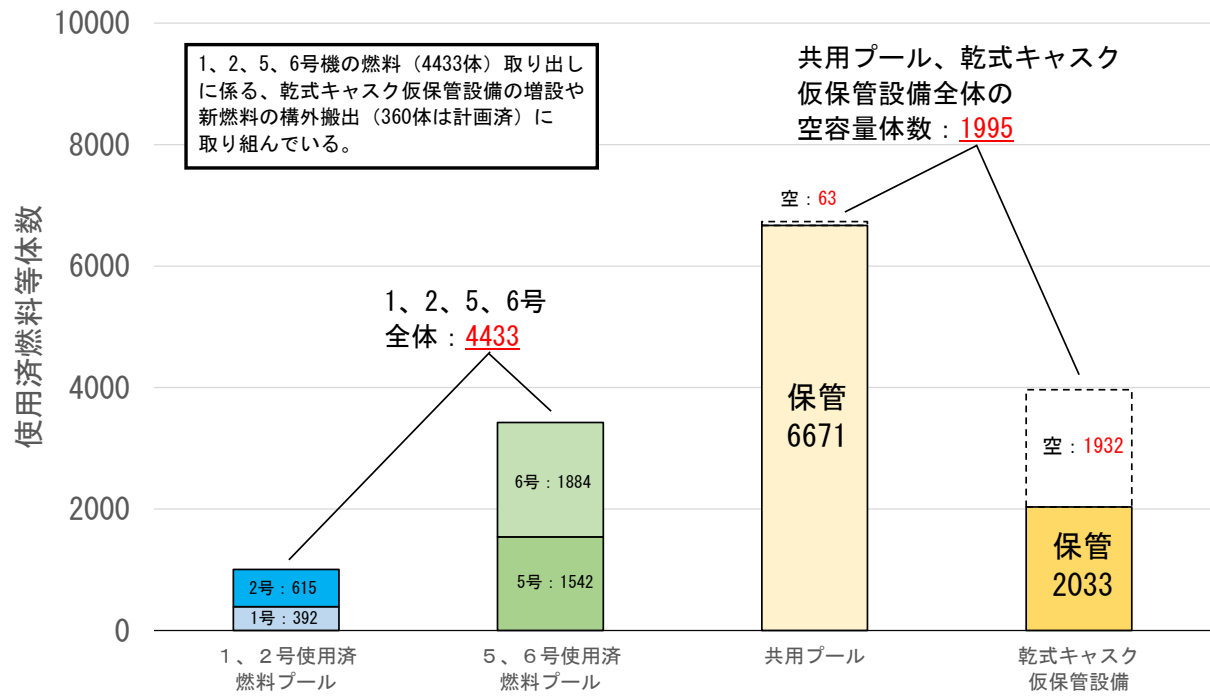


図 使用済燃料の保管状況（2021年3月時点）

プール内燃料取り出しに係る戦略

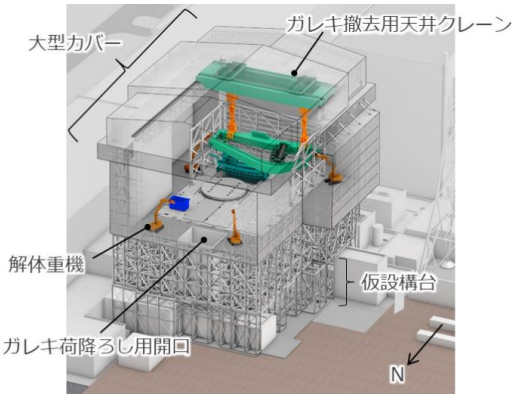
戦略

1号機

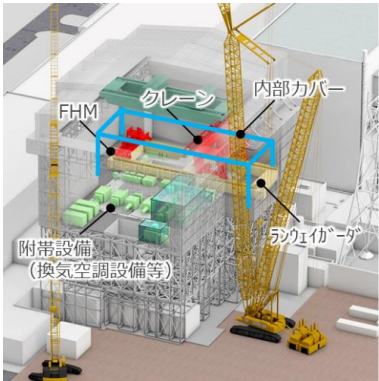
- 天井クレーン撤去及びウェルプラグへの対応は、安全評価をつくし、他作業への影響等を踏まえ、総合的に検討していくことが重要

2号機

- 新たに導入する燃料取扱設備について、モックアップ試験の実施、遠隔操作に係る十分な習熟等が重要
- オペフロ線量の更なる低減に向け、新たな調査結果を、除染や遮へいの設置工法へ反映していくことが重要



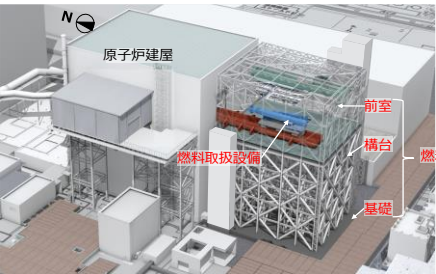
ガレキ撤去時（イメージ図）



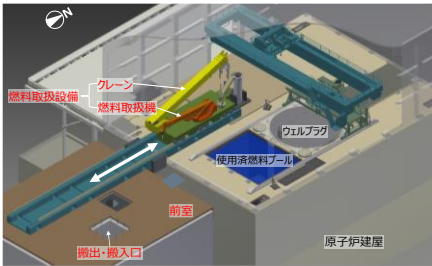
燃料取り出し時（イメージ図）

（東京電力資料をNDFにて加工）

図 プール内燃料取り出し工法（1号機）



燃料取り出し工法（イメージ図）



燃料取扱設備（イメージ図）

（東京電力資料をNDFにて加工）

図 プール内燃料取り出し工法（2号機）

4. 廃炉の推進に向けた分析戦略

- 不確かさの大きい固体廃棄物や燃料デブリの取扱を検討する上で、分析は重要な要素
 - 良好な分析結果を得るため ①分析の手法・体制、②分析結果の品質及び ③サンプルのサイズ・量を適正に保つことが有効
- ✓ 茨城地区を含めた分析施設の各特徴に応じた役割分担の整理が必要
 - ✓ 分析技術者の確保と育成が必要
 - ✓ 事故のどの段階で、何の元素を多く含み、どのような性状を示すのか総合的な考察・評価をすることが重要
 - ✓ 分析手法の多様化・拡充を行い、総合的な評価をすることが有効

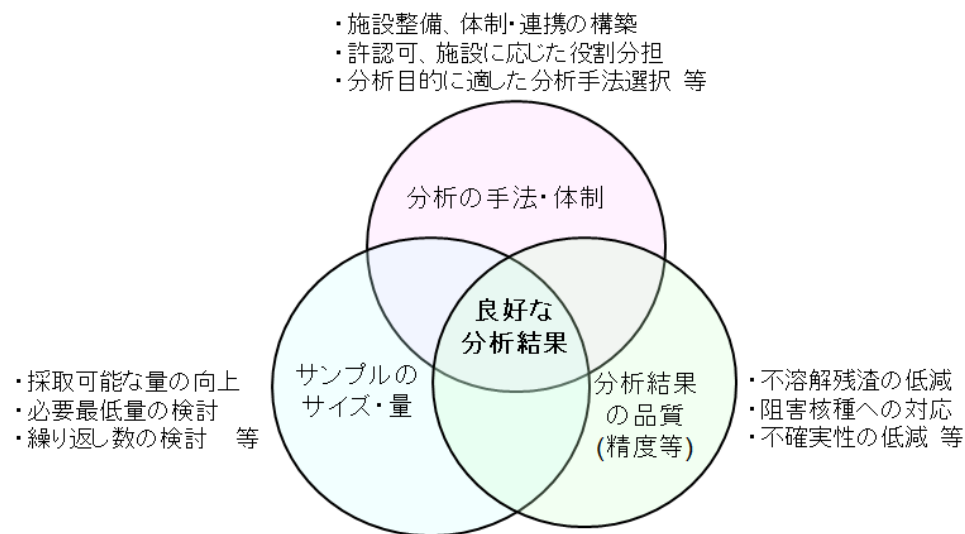


図 燃料デブリ分析戦略の三要素

5. 研究開発への取組

- 燃料デブリ取り出し等に関する研究開発中長期計画の更新
- 廃炉・汚染水対策事業の企画・管理機能の強化（NDFの事務局参画等）
- 東京電力の研究開発体制の強化（廃炉技術開発センター設置）
- 英知事業におけるニーズ視点の強化・加速（東京電力が採択審査委員として参画）

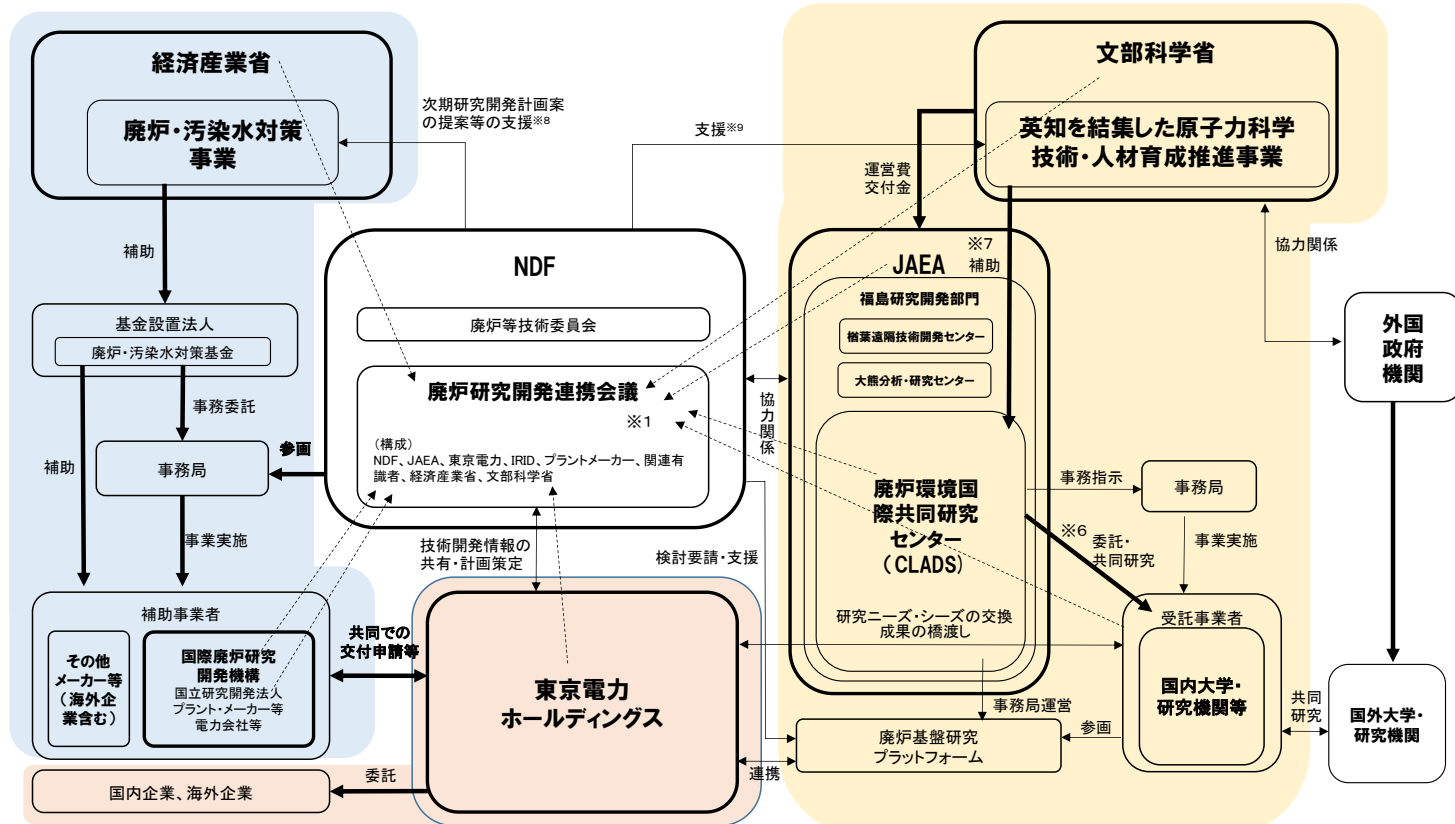


図 福島第一の廃炉に係る研究開発実施体制の概略

プロジェクト管理に係る取組

■ プロジェクト管理の意義と現状

- 廃炉の円滑な推進には、組織が連携して達成目標に向かって協働していく管理体制の構築、強化が必要
- 東京電力は管理体制の構築・強化に取り組み大枠はできたものの、現場業務に一層根付かせることが重要

■ 今後強化すべき主な課題と戦略

- 安全を組織文化として定着させるためには、社員一人一人が安全を体系的に学ぶ教材と機会が必要
- オナーズ・エンジニアリング能力の向上が必要
 - ✓ 工程リスクの評価・管理能力の向上
 - ✓ 取得マネジメント能力の向上（開発から製造、運用保守までも考慮して「モノを作り上げていく」ことで“最終成果（製品や成果物）を取得”する等）
 - ✓ 計画・設計/保全・運転を自らが行える力をつける手の内化の推進
- 廃炉事業を円滑に遂行していくための人材の育成・確保が重要
 - ✓ 中長期人材育成計画の作成と計画的な実施等

国際連携の強化

■ 国際連携の意義

- 先行する海外事例から学び、世界最高水準の技術や人材を活用することが重要
- 廃炉の正確な情報発信による国際社会からの信頼確保や、事故・廃炉の知見等を積極的に還元し、国際社会と互恵的な廃炉を進めることが重要

■ 主な課題と戦略

- 国際社会へ成果の還元にも取り組みつつ、互恵的関係の継続を図ることが必要
- 新型コロナウイルス感染症の影響により、国際連携が希薄にならないよう、オンラインシステム等を活用し、関係の維持・発展に取り組むことが重要
- 廃炉の着実な実施に当たっては、様々な機会を通じて、正確で受け手の関心に応じた情報発信を行うことが必要

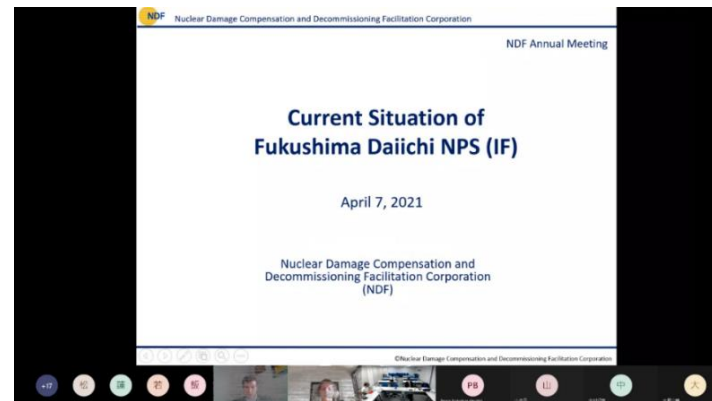


図 海外関係機関とNDFの年次会合の様子
(2021年4月にオンライン開催)

地域共生

■ 地域の産業・経済基盤に係る取組の現状

- 福島第一原子力発電所の廃炉における大原則は「復興と廃炉の両立」。福島での廃炉関連産業の活性化は、東京電力が福島復興に貢献するための重要な柱
 - 2020年3月末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様へのお約束」に基づき、廃炉産業集積に向けた取組
 - ① 地元企業の参画拡大
 - ② 地元企業のステップアップサポート
 - ③ 地元での新規産業創出
- 元請け企業とのマッチング支援
人材育成に関するニーズ調査 等
- 浜通り地域で一貫した事業体制の構築※

■ 主な課題と戦略

※ 東京電力、「福島県浜通り地域への廃炉関連製品工場設置に向けた、工場運営パートナーおよびキャスクライセンスパートナーの募集について」、お知らせ,2021年7月9日

- 元請企業の理解の下、地元企業が受注しやすくなるような発注・契約方法の試行的な実施が必要
- 地元自治体、共同相談窓口の運用やマッチング商談会の共催などを行っている福島イノベーション・コースト構想推進機構、福島相双復興推進機構をはじめとする地元関係機関との連携・協働をより一層強化