

東京電力ホールディングス(株) 福島第一原子力発電所の 廃炉のための技術戦略プラン2019 について

2019年9月9日

原子力損害賠償・廃炉等支援機構

目次

1. はじめに
2. 福島第一原子力発電所のリスク源と今後のリスク低減戦略
3. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術戦略
 - ① 燃料デブリ取り出し
 - ② 廃棄物対策
 - ③ 汚染水対策
 - ④ 使用済燃料プールからの燃料取り出し
4. プロジェクトの総合的な取組と円滑な推進に関わる重要事項への対応等
5. 地域との共生

1. はじめに

- 戦略プラン2019では、初号機の燃料デブリ取り出し方法に関する戦略的提案を提示
- 廃棄物対策なども含め、福島第一原子力発電所の取組全体を俯瞰した中長期視点での方向性を提示

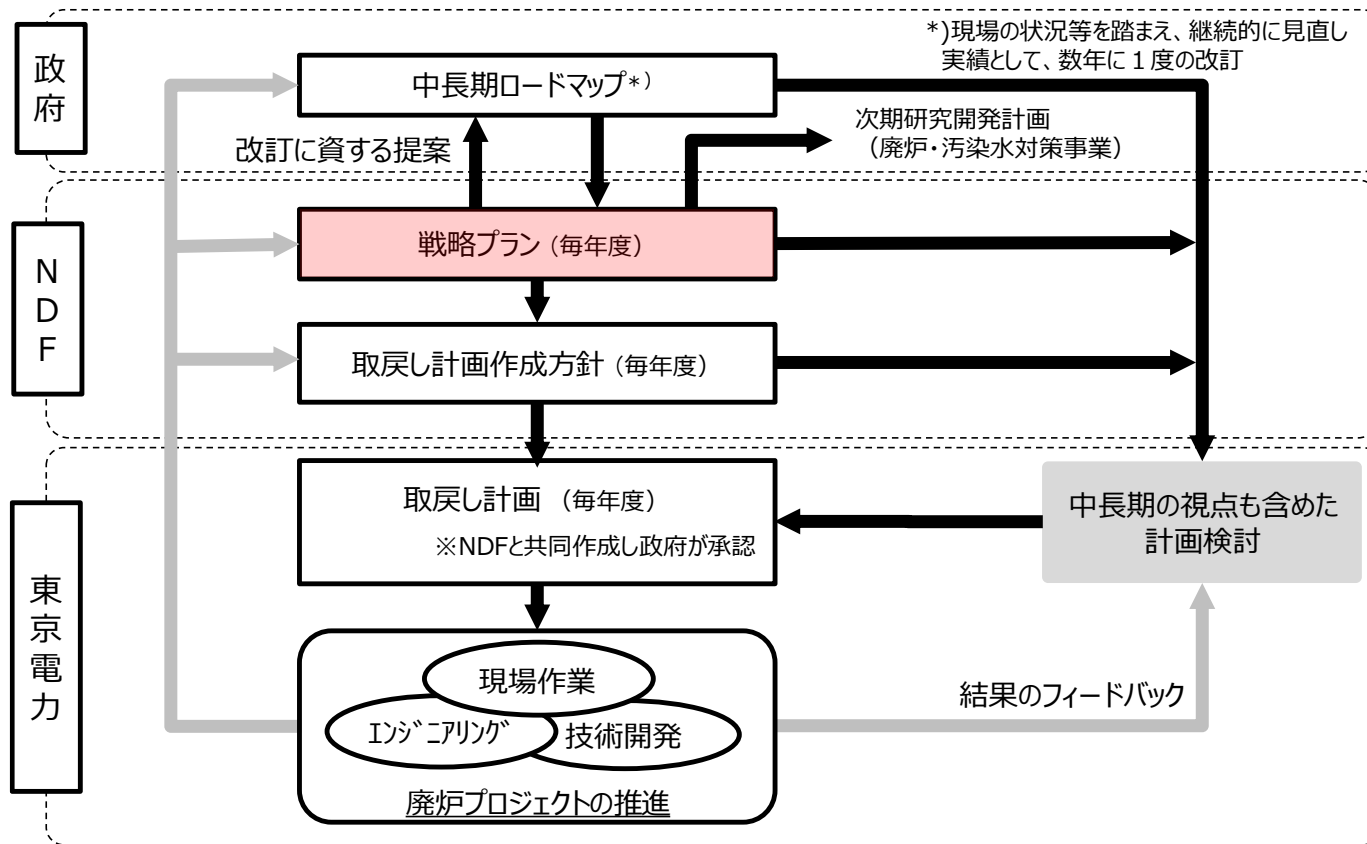


図 廃炉等積立金制度を踏まえた戦略プランの位置付け

2. 福島第一原子力発電所のリスク源と今後のリスク低減戦略（1 / 2）

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

廃炉の進捗状況

燃料デブリ取り出し

- 2号機（2019年2月）PCV内の堆積物の接触調査の結果、PCVペDESTAL底部及びプラットフォームにおいて堆積物が動くことを確認

廃棄物対策

- （2019年6月）廃棄物の保管管理計画を改訂

汚染水対策

【取り除く】（継続）多核種除去設備等による汚染水浄化中

【近づけない】（2018年9月）陸側遮水壁について全ての箇所が凍結

【漏らさない】（2019年3月）浄化設備等により浄化した水の溶接型タンクへの移送が完了※

【建屋内滞留水処理】（2018年内）1,2号機間の連結部の切り離しを達成

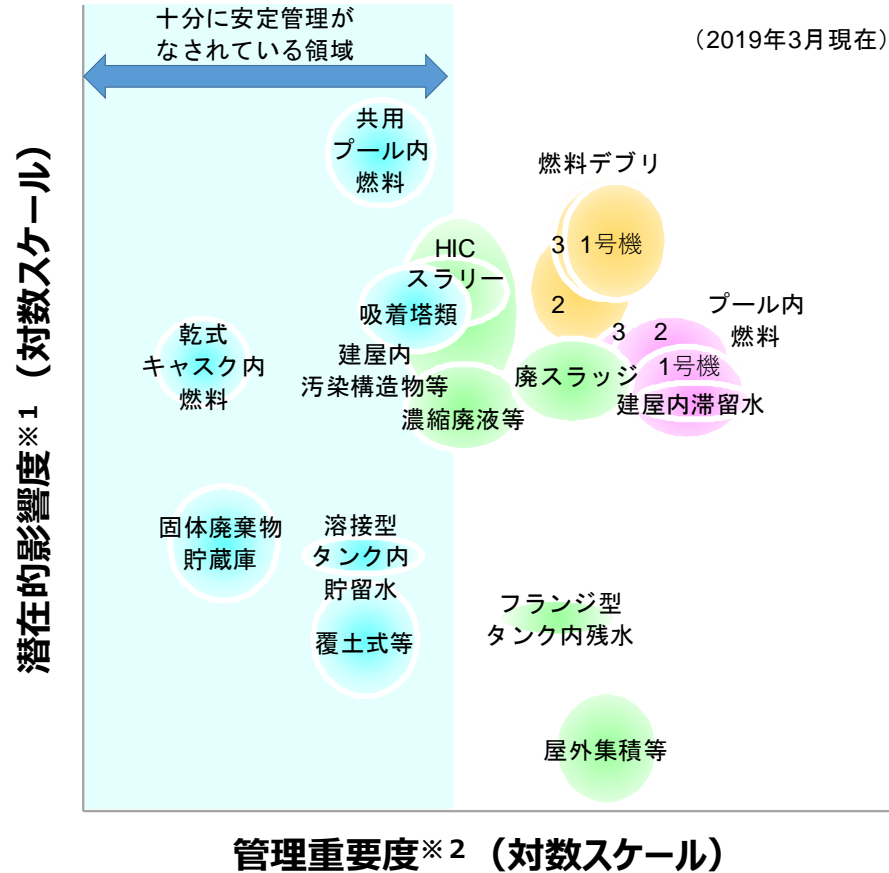
※貯水されている水の扱いについては、現在、政府の委員会において、社会的側面も含めた総合的な検討が行われている。

使用済燃料プールからの燃料の取り出し

- 1号機（継続）オペフロのガレキ撤去を継続
- 2号機（2018年11月～2019年2月）オペフロの汚染状況等の調査を実施
- 3号機（2019年4月）プール内燃料取り出しを開始

2. 福島第一原子力発電所のリスク源と今後のリスク低減戦略（2 / 2）

- 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



福島第一原子力発電所に係るリスクレベルの例

※1：事象の影響度の指標。インベントリ（放射性物質質量）、リスク源の形態（気体・液体・固体等）や安全機能喪失時のリスク顕在化までの余裕時間に依存

※2：起こりやすさの指標。施設健全性や、リスク源の梱包・監視状態等に依存

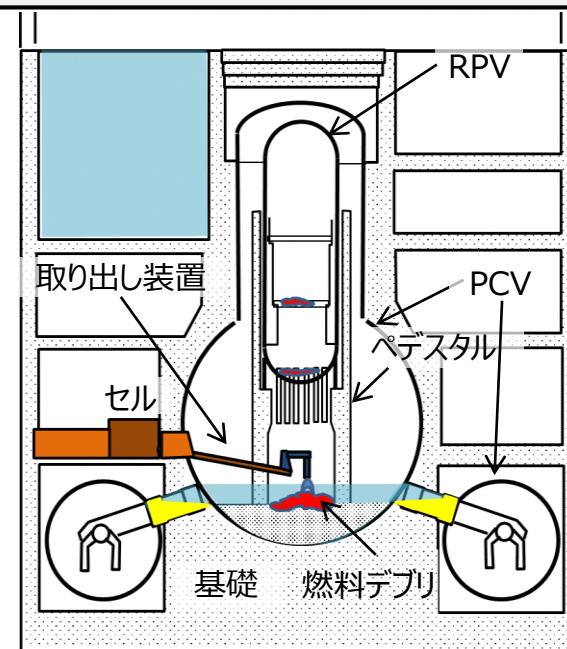
3. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術戦略 (①燃料デブリ取り出し)

目標

- (1) 安全対策をはじめ周到な準備をした上で燃料デブリを安全に回収し、これを十分に管理された安定保管の状態に持ち込む。
- (2) 2019年度の初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定、2021年内の初号機の燃料デブリ取り出しの開始に向け、燃料デブリ取り出し方針に従い、必要な取組を進める。

燃料デブリ取り出し方針

- ① ステップ・バイ・ステップのアプローチ
－取り出しを進めながら、柔軟に方向性を調整
- ② 廃炉作業全体の最適化
－他の工事等との調整を含め、総合的な計画として検討
- ③ 複数の工法の組み合わせ
－号機毎に、燃料デブリが存在すると考えられる部位に応じた最適な取り出し工法の組合せ
- ④ 気中工法に重点を置いた取組
－より実現性の高い気中工法に軸足を置いた取組
- ⑤ PCV底部に横からアクセスする燃料デブリ取り出しの先行
－燃料デブリへのアクセス性や使用済燃料の取り出し作業と並行し得ること等を考慮



気中-横アクセス工法のイメージ

3. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術戦略 (①燃料デブリ取り出し)

戦略

燃料デブリ取り出しにおけるリスク低減の考え方

- 気中工法による燃料デブリ取り出しは世界でも前例がなく、格納容器内部状況について情報等が限られるため、十分な準備をした上で慎重に作業を進めることが重要
- 格納容器壁を加工するなどの大きな状態変更を行わずに、既存の閉じ込め等の安全システム（以下「既存の安全システム」という。）の活用を基本とした小規模な取り出しから始めることで、取り出しから保管までの一連の作業を継続し、燃料デブリのリスクを低減できるとともに、必要なシステムの有効性確認などを迅速に行う事が可能
- 初号機における小規模な取り出しによって期待される効果
 - ✓遠隔作業を含め、装置・設備と安全システムの検証
 - ✓東京電力が燃料デブリ取り出し作業を習熟するプロセスとしての活用
 - ✓格納容器内の状況把握に資する情報の入手
- 初号機取り出し後は、得られた知見を踏まえて、燃料デブリの取り出し量を増やしていく、または、初号機以外の号機での取り出しを開始
- 規模を拡大した取り出しや初号機以外の号機での取り出しのためには、安全システムの概念検討等を踏まえた現場適用性の検討や更なる線量低減・水位低下・敷地確保などの現場環境整備・内部調査・研究開発が必要

3. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術戦略 (①燃料デブリ取り出し)

戦略

初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定に向けた戦略的提案の概要

研究開発・PCV内部調査の状況

- 2号機は堆積物を動かせる。
- アーム型アクセス装置等の開発が具体化。

作業環境整備の状況

- 2号機は線量が比較的低い。

サイト全体の計画の状況

- プール内燃料取り出しは、燃料デブリ取り出し作業と並行して行い得る。

取り出し概念検討

- 既存の安全システム、現場適用の目処が立ちつつあるアーム型アクセス装置等を活用。
- 把持、吸引といった方法で小規模な取り出しから開始し、燃料デブリの切削等も計画。
- 容器に収納の上、発電所内の保管設備に移送し、容器を更に収納缶に入れ、乾式にて一時保管。

号機ごとの現場適用性の検討結果

- 1号機：既存の安全システムによる気密度が比較的高いが、作業環境の線量が高く、アクセスルートは未確認。
- 2号機：既存の安全システムによる気密度が高く、作業環境の線量も比較的低く、アクセスルートは概ね確認済。
- 3号機：アクセスルートは概ね確認済だが、既存の安全システムによる気密度が1,2号機に比べて低く、作業環境の線量も比較的高い。

総合的な評価

- 2号機で、アーム型アクセス装置等により、「安全」「確実」「迅速」に燃料デブリを取り出し、「迅速」に1～3号機の燃料デブリ全体のリスクを低減できる。

☐: 予備エンジニアリング

初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定に向けた提言（ポイント）

- ① 燃料デブリ取り出しは、把持、吸引といった方法で小規模な取り出しから始める。
- ② 燃料デブリの加工や干渉物撤去等の作業についても計画する。
- ③ 取り出した燃料デブリは、福島第一原子力発電所内の保管設備に移送し、乾式にて一時保管を行う。
- ④ 「初号機」は、廃炉作業全体の最適化等の観点から2号機が適切である。
- ⑤ 取り出し規模の拡大等は、安全性・現場適用性の評価等のエンジニアリングを進め、その方法を確定する。

3. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術戦略 (①燃料デブリ取り出し)

課題

内部調査の継続実施等による格納容器内状況の総合的な把握

- 内部調査・サンプリングは、一定の時間をかけて慎重に準備作業を行っていくことが必要

1号機：2019年度下期より、堆積物分布状況等の調査（少量サンプリング含む）を開始予定

2号機：2018年度下期の堆積物の接触調査（2/13に実施）。2019年度下期より、堆積物分布状況等の調査（少量サンプリング含む）を開始予定

3号機：格納容器内の水位低下方策や水中遊泳ロボットによる更なる調査の必要性を検討中



図 2号機の堆積物接触調査※

※ 出典：東京電力

初号機（2号機）の燃料デブリ取り出し開始に向けた取組

- 2号機の燃料デブリ取り出し方法の確定は、提言に沿った形で検討を進めることが必要
- 2号機の燃料デブリ取り出し方法の確定に向けては、以下課題に留意が必要
 - ✓ 放射性物質の飛散防止の強化も踏まえた干渉物の撤去
 - ✓ 原子炉建屋1階の現場線量の低減
 - ✓ プール内燃料取り出しと燃料デブリ取り出し作業を同時に実施する場合における作業干渉の調整

3. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術戦略 (②廃棄物対策)

目標

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

戦略と課題

- 性状把握の推進及び分析体制・技術力の強化
 - ✓ 放射性物質分析・研究施設の整備や分析人材育成を通じて技術、施設、体制を構築し、廃炉に必要な分析作業が継続的かつ適時的確になされることが必要
- 処理・処分概念の構築と安全評価手法の開発
 - ✓ 先行的処理方法の候補技術について、合理的で実現可能性のある候補技術の選定、安全評価手法の開発が必要

- 現場作業
- 各項目の現場工事等に関わる技術的検討等
- 研究開発

年度	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022年度以降
関連するマイルストーン		処理・処分に 関する基本的な考え方 の取りまとめ					※を受けて 処理・処分方策とその安全性 に関する技術的見通しを得る	
1. 性状把握			▼					▼
(1) 分析データの取得・管理等		分析計画の立案・更新、分析実施、性状把握、分析データの蓄積・評価・管理						
(2) 分析能力の向上		放射線物質分析・研究施設の整備						
		分析人材育成						
(3) 性状把握の効率化		分析試料数の最適化、分析対象核種の見直し、分析方法の簡易・迅速化等						
2. 保管・管理								
(1) 保管管理計画		保管管理計画の策定・見直し						
(2) 保管・管理方法の検討・評価		水処理二次廃棄物の保管・管理対策の検討						
(3) 燃料デブリ取り出し作業に伴って発生する固体廃棄物の保管・管理方法の検討・評価		保管方法、保管容器、収納方法の検討						
3. 処理・処分概念の構築と安全評価手法の開発								
						先行的処理方法の選定手法の構築	※	選定方法使用
						処分方法の安全性評価手法の開発	※	
		廃棄体化技術調査	安定化、固定化に関わる処理方法の技術開発				※	

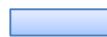
3. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術戦略 (③汚染水対策)


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の強化及び適切な運用**を継続しつつ、**引き続き重層的な対策**に取り組み、**2020年内の建屋内滞留水の処理完了**を目指す。
- 今後本格化する**燃料デブリ取り出し等の廃炉工程との関係**を整理するとともに、**長期を見据えた汚染水対策の在り方**についての検討を進める。

戦略と課題

- 中長期ロードマップに示された汚染水対策の着実な遂行
- 燃料デブリ取り出し等との関係を踏まえた汚染水対策の検討
- ✓ 水処理設備の入口放射性物質濃度を確認するモニタリングの強化など、システム全体の検討が必要
- ✓ 設備の定期的な点検、更新を確実に行うとともに、建屋周辺の地下水を安定的に管理するため、地下水位や放射性物質のモニタリング体制の一層の拡充が必要

 : 現場作業

 : 各項目の現場工事等に関わる技術的検討等

年度	2019	2020	2021	2022	2023
関連するマイルストーン		汚染水発生量を150m ³ /日程度に抑制 ↓ 建屋内滞留水の処理完了			
(1) 中長期ロードマップに示された汚染水対策					
・ 汚染源を「取り除く」		浄化設備による処理			
・ 汚染源に水を「近づけない」		地下水バイパス、サブドレン、陸側遮水壁の運用			
		敷地舗装、屋根のガレキ撤去、防水			
		↓ 汚染水の発生状況等を踏まえ適切に対応			
・ 汚染源を「漏らさない」		タンク容量確保			
		地盤改良や海側遮水壁の保守、地下水・港湾のモニタリング			
・ 建屋内滞留水処理		地下水・建屋内水位の引き下げ		タービン建屋等の床面露出状態の維持	
(2) 燃料デブリ取り出し等との関係を踏まえた汚染水対策		初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定	初号機の燃料デブリ取り出し開始		
		PCV循環冷却系やモニタリング方法の検討		燃料デブリ取り出しの段階に合わせて必要な対策を実施	

3. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術戦略 (④使用済燃料プールからの燃料取り出し)

目標

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

戦略と課題

- 立地市町村で避難指示が解除され住民の帰還と復興への取組が始まり、より安全を重視した慎重な取組が必要
- 1号機：ガレキ撤去を慎重に進め、撤去時のダスト飛散防止対策を継続実施
- 2号機：従来のオペレーティングフロア上部を全面解体する方法に加え、可能な限り解体せず原子炉建屋南側からアクセスする工法も検討
- 3号機：本年4月から取出しを開始、2020年度内の完了を目指す

: 現場作業
 : 各項目の現場工事等に関わる技術的検討等

年度	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
関連するマイルストーン			1号機燃料取り出しの開始 (2023年度目処) 2号機燃料取り出しの開始 (2023年度目処)				
(1) プール内燃料の取り出し							
・ 1号機			ガレキ撤去等	カバー設置等	燃料取り出し		
・ 2号機 (プラン選定)		選定検討 設計/実施計画認可申請 / 工事準備					
		オペフロ内調査等	建屋上部解体等	工事等	燃料取り出し		
・ 3号機		燃料取り出し					
(2) 取り出した燃料の適切な保管		乾式キャスク調達・共用プールから乾式キャスク仮保管設備へ移送					
		1～3号機の作業に影響を与えない範囲で実施			5/6号機燃料取り出し		
		乾式キャスク仮保管設備増設					
(3) 取り出した使用済燃料の将来の処理・保管方法の検討		処理・保管方法の決定					

4.プロジェクトの総合的な取組と円滑な推進に関わる重要事項への対応等

プロジェクトの総合的な取組

- 現状から短期～中期～長期へと一貫性のある廃炉全体の長期計画を策定し、この計画に沿って様々な取組を総合的に管理
 - リードタイムの確保
 - 限られたリソース（人、モノ、カネ、時間、スペース）の配分の最適化
- 長期計画の具体的な活用にあたっては、適切な時期に判断ポイントを設定し、長期計画を柔軟に改訂しながら運用

プロジェクトの円滑な推進に関わる重要事項への対応

- 将来の研究者・技術者などの育成・確保のための取組を原子力に関わる産学官全体として着実に進める

研究開発への取組

- 東京電力は、現場適用に直結する自らの技術開発の比重を高める
- 研究開発の成果が現場に適時的確に提供される、エンジニアリングスケジュールに紐づいた形での研究開発のマネジメント
- 大学等においても、廃炉現場が有する課題意識の共有が重要

国際連携の強化

- リスク低減戦略として、各国が培ってきた技術や人材の活用を図るとともに、先行する事故炉の処置やレガシーサイトの教訓を学び廃炉に活かす
- 海外の廃止措置関係機関と長期的なパートナーシップの構築・強化
- NDFは、1 Fでの事故や廃炉工程で得た知見の他課題への応用といった海外の新たな関心にも積極的に応えるべく、国際共同活動へ積極的に参画

5. 地域との共生

地域との共生の考え方

- 「廃炉と福島の復興は車の両輪」
- 廃炉に関する正確な情報を適時・的確に発信、丁寧なコミュニケーションの実施によりその声に応えていく

コミュニケーションの具体的取組

- 廃炉作業が進む中では、一層丁寧な情報の提供や双方向のコミュニケーション



第4回福島第一廃炉国際フォーラム（2019年8月）
（1日目・「地元の皆様と考える1F廃炉」富岡町）

地域の復興とともに歩む廃炉

- 「福島イノベーション・コースト構想」と連携し、地元人材の育成などにも取り組んでいく
- 安全かつ着実な廃炉と地元優先との両立を図る
- 関係機関が持つ資源などを通して、より多くの地元企業が廃炉作業に参画できる環境を整備していく



図 福島イノベーション・コースト構想の概要※

※ 出典：経済産業省資料

参考資料

燃料デブリ分布の推定状況

下記の情報に基づき、

- 燃料デブリの分布
- アクセルート及び周囲の構造物の状況

に関する総合的な分析・評価を実施

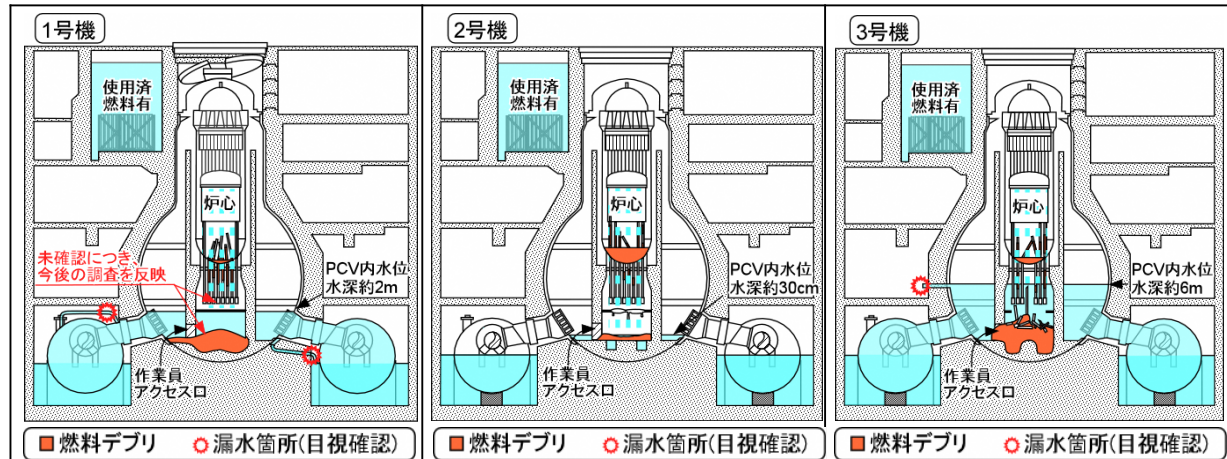
(右図は燃料デブリの分布)

事故時の実測値
(プラントパラメータ等)

事故進展解析

PCV内部調査
ミュオン測定

科学的知見
(試験等)



	1号機	2号機	3号機
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 (ペデスタル内側)	・ペデスタル内側床面に大部分の燃料デブリが存在	・ペデスタル内側床面に一定量の燃料デブリが存在	・ペデスタル内側床面に2号機と比較して多くの燃料デブリが存在
PCV底部 (ペデスタル外側)	・作業用出入口を通してペデスタル外側に燃料デブリが広がった可能性あり	・作業用出入口を通してペデスタル外側に燃料デブリが広がった可能性は小さい	・作業用出入口を通してペデスタル外側に燃料デブリが広がった可能性があり
作業現場の線量※	・R/B 1階X-6ペネトレーション周りの線量が高い(630mSv/h)。	・R/B 1階の線量は全体的に約5mSv/hまで低減している。	・R/B 1階の線量は数～数十 mSv/h以上であり、線量が高い。

※：東京電力提供資料

IRID,エネルギー総合工学研究所,「廃炉汚染水対策事業補助金(総合的な炉内状況把握の高度化)」平成29年度報告書、2018年6月に基づき作成

燃料デブリ取り出しに係る主な課題と今後の工程

年度	2019	2020	2021	2022	2023
関連する マイルストーン	初号機の燃料デブリ取り出し 方法の確定 ▼		初号機の燃料デブリ取り出し開始 ▼		
(1) 内部調査等			必要に応じ継続		
・ 廃炉・汚染水対策事業	[研究開発]		[研究開発]		
・ エンジニアリング	[技術的検討]		[技術的検討]		
・ 内部調査等	内部調査等準備 / 内部状況の調査 / 燃料デブリの性状把握（サンプリングを含む）等				
(2) 燃料デブリ取り出し			必要に応じ継続		
・ 廃炉・汚染水対策事業	[研究開発]		[研究開発]		
・ エンジニアリング	[技術的検討]				
・ 燃料デブリ取り出し	[現場作業]	小規模な取り出し準備		→ 小規模な取り出し 規模の拡大等に向けた準備	

- : 現場作業
- : 各項目の現場工事等に関わる技術的検討等
- : 研究開発

中長期ロードマップに示された汚染水対策の着実な遂行

3つの基本方針に基づいた予防的・重層的な抜本対策を引き続き実施し、中長期ロードマップに示されたマイルストーンを達成していくことを期待。

マイルストーン（主要な目標工程）と2019年8月現在の実施状況

- ① 汚染水発生量を**150m³/日**程度に抑制（2020年内）⇒ **取組中**
- ② 浄化設備等により浄化処理した水の貯水を全て**溶接型タンク**で実施（2018年度）⇒ **完了**
- ③ 建屋内滞留水について、1, 2号機間及び3, 4号機間の**連通部の切り離し**（2018年内）⇒ **完了**
- ④ 建屋内滞留水中の放射性物質の量を2014年度末の**10分の1程度まで減少**（2018年度）⇒ **2014年度末の2/10程度**※1
- ⑤ **建屋内滞留水処理完了（2020年内）**※2 ⇒ **取組中**

※1：2014年度末当時の放射性物質量の算出値（各建屋内の滞留水は濃度が均一と仮定）と比較した場合の評価

※2：原子炉建屋を除く

使用済燃料等の保管状況

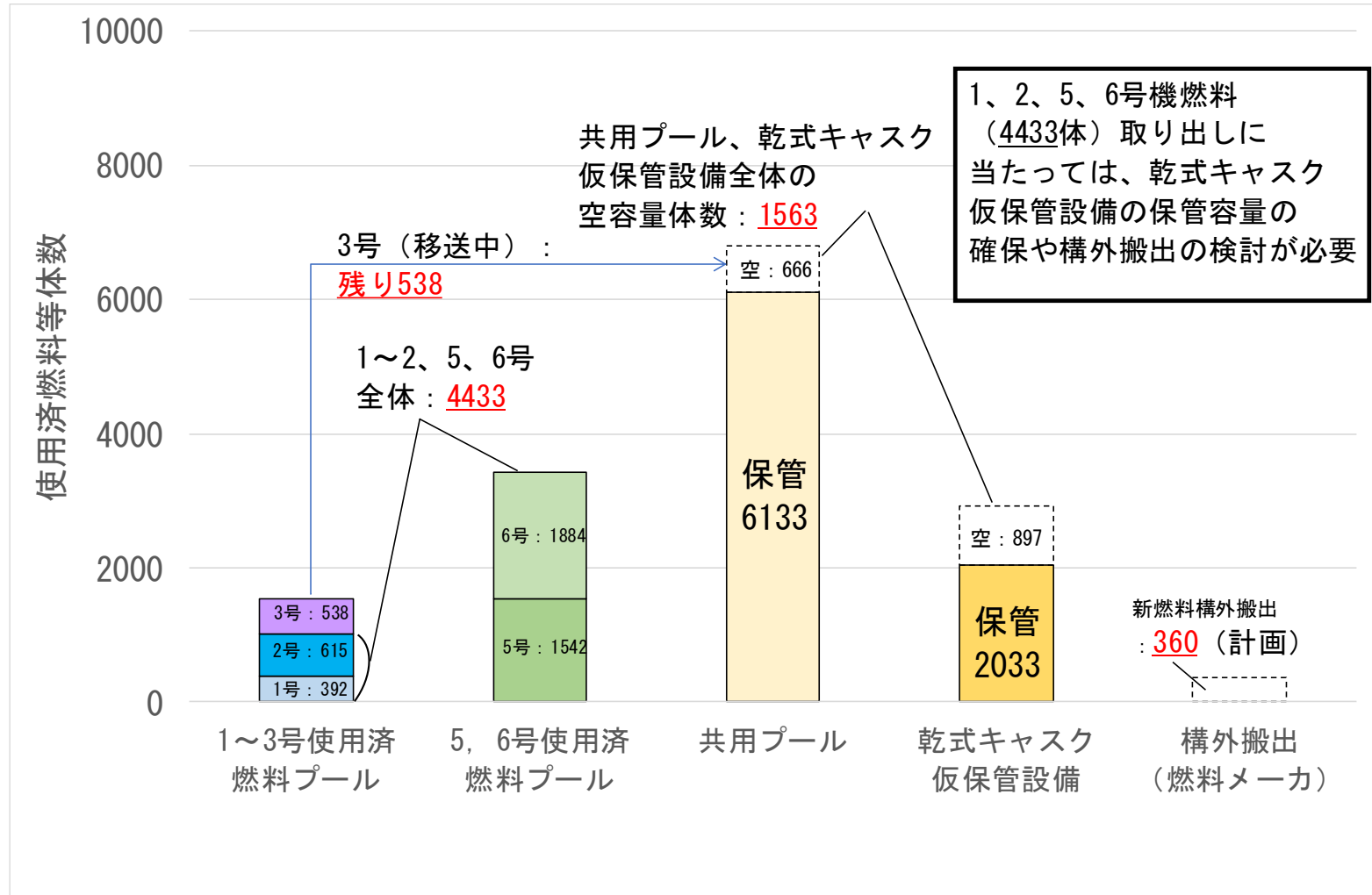


図 使用済燃料等の保管状況 (2019年7月25日現在)

固体廃棄物についての基本的考え方

(注) 各項目の番号とタイトルはNDFにおいて付記

① 閉じ込めと隔離の徹底

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

② 固体廃棄物量の低減

- ・ 廃炉作業に伴って発生する固体廃棄物について、可能な範囲で物量の低減

③ 性状把握の推進

- ・ 固体廃棄物の処理・処分の検討を進めていくために、分析試料数の増加に対応し、適切に性状把握を進めていく。

④ 保管・管理の徹底

- ・ 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・管理ができるよう、保管容量の確保

⑤ 処分を念頭に置いた先行的処理方法の選定手法の構築

- ・ 処分の技術的要件が決定される前に、安定化・固定化するための処理（先行的処理）の選定手法を構築し、先行的処理方法を選定

⑥ 固体廃棄物の管理全体を俯瞰した効率的な研究開発の推進

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

⑦ 継続的な運用体制の構築

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

⑧ 作業員の被ばく低減対策等

- ・ 関連する法令に基づいた被ばく管理、健康管理、安全管理を徹底