

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 2017

(第 13 回廃炉・汚染水対策福島評議会御説明資料)

骨子案

2017 年 5 月 29 日

原子力損害賠償・廃炉等支援機構

目 次

1. はじめに.....	1
2. 戦略プランについて.....	1
1) 戦略プランの位置付け及び目的.....	1
2) 戦略プランの基本的考え方.....	1
3. 放射性物質に起因するリスクの低減戦略.....	1
1) 福島第一原子力発電所の廃炉の進捗.....	1
2) 放射性物質に起因するリスクの低減戦略.....	3
3) 安全確保の基本的考え方.....	3
4. 燃料デブリ取り出し分野.....	3
1) 燃料デブリ取り出しの検討方針.....	3
2) 燃料デブリ取り出しにおける安全確保の考え方.....	3
3) 号機ごとのプラント状況.....	4
4) 燃料デブリの有するリスク.....	4
5) 燃料デブリ取り出し工法の実現性評価.....	4
6) 5つの基本的考え方による総合評価.....	6
7) 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（戦略的提案）.....	6
5. 廃棄物対策分野.....	6
1) 廃棄物分野の検討方針.....	6
2) 国際的な放射性廃棄物対策における安全確保の基本的考え方.....	6
3) 廃棄物対策分野の取組の現状.....	7
4) 固体廃棄物の処理・処分の基本的考え方の取りまとめに向けた提言（戦略的提案）.....	7
6. 研究開発への取組.....	7
1) 研究開発の基本的な方針等.....	7
2) 廃炉作業への適用に向けた研究開発の推進.....	8
3) 研究開発の連携強化.....	8
7. 国際連携の強化.....	8
8. 今後の廃炉プロジェクトの進め方.....	9

1. はじめに

- 原子力損害賠償・廃炉等支援機構（以下「NDF」という。）は、原子力損害賠償・廃炉等支援機構法に基づき、中長期的な視点から、「東京電力ホールディングス㈱福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン」（以下「戦略プラン」という。）を 2015 年以降毎年取りまとめている。
- 事故後 6 年を経て汚染水対策をはじめとする短期的対応から中長期的な課題の対応の具体化へとフェーズが移行しつつある。東京電力ホールディングス㈱（以下「東京電力」という。）による廃炉の確実な実施を確保するため、本年 2 月、原子力損害賠償・廃炉等支援機構法の一部を改正する法律案が第 193 回通常国会に提出され、5 月に成立、公布された。さらに、新々・総合特別事業計画についても、5 月に主務大臣から認定を受けたところであり、その中でも廃炉に関して、着実に取組を進めていくこととされている。

2. 戦略プランについて

1) 戦略プランの位置付け及び目的

- 戦略プランは、政府が策定する「東京電力㈱福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」（以下「中長期ロードマップ」という。）の着実な実行や改訂の検討に資するための確かな技術的根拠及びその具体的なステップを提示することを目的に策定している。
- 中長期ロードマップ（2015 年 6 月 12 日改訂）に示されたマイルストーンのうち「号機ごとの燃料デブリ取り出し方針の決定」及び固体廃棄物の「処理・処分に関する基本的な考え方の取りまとめ」に対して、戦略的な提案をする。

2) 戦略プランの基本的考え方

- 福島第一原子力発電所の廃炉は、「事故により発生した通常の原子力発電所にはない放射性物質に起因するリスクを、継続的、かつ、速やかに下げることを基本方針とする。
- また、5 つの基本的考え方（安全、確実、合理的、迅速、現場指向）に従って進めることとする。

3. 放射性物質に起因するリスクの低減戦略

戦略プランでは、福島第一原子力発電所の廃炉の基本方針を達成するために、中長期の時間軸に沿った放射性物質に起因するリスクの低減戦略を提示する。

1) 福島第一原子力発電所の廃炉の進捗

福島第一原子力発電所の廃炉においては、ここ一年で概ね以下のようなリスク低減に向けた進

捗が見られた。

- 汚染水対策

- 汚染水については、3つの基本方針（汚染源を「取り除く」、汚染源を「近づけない」、汚染水を「漏らさない」）に基づき対策が進められている。
- 「取り除く」については、多核種除去設備等での処理を進め、リスクを低減している。
- 「近づけない」については、2016年3月より陸側遮水壁の海側と山側の一部、2016年6月より山側の95%の範囲の凍結を開始した。同年10月には海側の凍結を完了し、山側も未凍結箇所1箇所を残し凍結が進展。海側凍結完了後、4m盤の汲み上げ量は3分の1程度まで減少（2017年3月平均で約118m³/日）。また、建屋内滞留水の処理にあわせてサブドレンによる建屋周囲の水位低下も進められ、これらに伴い、建屋への流入量は、2017年3月の平均で120m³/日程度に減少してきている。
- 「漏らさない」については、周辺海域の放射性物質濃度は低いまま安定している。
- 建屋内滞留水については、2020年の処理完了に向けて、着実に処理を実施。1号機タービン建屋内滞留水の水位低下を進め、2017年3月に最下階エリアの滞留水を除去した。

- 使用済燃料プールからの燃料取り出し

- 1号機では、原子炉建屋カバー壁パネルの取り外しが完了し、オペフロ調査を実施し、ガレキ・燃料交換機の状態等、ガレキ撤去計画立案に必要な情報を取得した。
- 2号機では、燃料取り出しに向けた原子炉建屋周囲のヤードを整備し、オペフロへのアクセス構台の設置が完了した。
- 3号機では、オペフロ線量低減策（除染、遮へい）が完了し、2017年1月より燃料取り出し用カバー等設置作業を実施中である。

- 燃料デブリ取り出し

燃料デブリ取り出しに向けた炉内状況の把握を以下のように進めている。

- 1号機では、ロボットによる原子炉格納容器（以下「PCV」という。）内部調査として、PCV内1階から線量計及びカメラを吊り降ろし、ペDESTAL外地下階と作業員作業用出入口近傍の状況を確認する調査を実施し、PCV底部に近づくほど線量が上昇する傾向及び底部に堆積物の存在を確認した。
- 2号機は、ロボット等によるPCV内部調査を実施し、ペDESTAL内のグレーチングの脱落や変形等の状況を確認した。
- 3号機は、ミュオン計測による炉心部、原子炉圧力容器（以下「RPV」という。）底部の調査を開始した。また、遊泳型装置によるPCV内部調査を実施する予定である。

- 廃棄物対策

- 発生量低減対策を継続するとともに焼却炉運転による保護衣保管量の低減が開始された。固体廃棄物の発生量予測の見直しを行い、保管管理計画を年に1回更新予定である。分析結果の蓄積を踏まえた性状把握が進められている。

- その他の具体的な対策

- 敷地内の環境改善として、「4m盤」（1～4号機建屋海側）等のガレキ撤去やフェーシングを進めた結果、身体汚染のリスクが低減されたことから、当該エリアを一般服エリアの運用区分とした。

2) 放射性物質に起因するリスクの低減戦略

- リスク分析
 - 主要なリスク源として、燃料デブリ、使用済燃料（各号機使用済燃料プール、共用プール、乾式キャスク）、建屋内滞留水、濃縮廃液等（処理水を含む。）、水処理二次廃棄物、放射性固体廃棄物（貯蔵庫内固体廃棄物、一時保管固体廃棄物）、事故により飛散した核分裂生成物により汚染された構造物及び放射化された構造物について、放射能レベルや管理状態を整理する。
 - リスクの大きさ「リスクレベル」は、上記リスク源に含まれる放射性物質が放出された場合の影響である「結果」とその「起こりやすさ」の組合せとして表す。ここでは、英国原子力廃止措置機関 NDA が開発した SED 指標（Safety and Environmental Detriment Score）を、福島第一原子力発電所に適用しやすいように一部修正した分析手法を用いる。
 - 主要なリスク源について、2017 年 3 月時点の情報に基づいたリスク分析の例として図を示す。
- リスク源の分類と対応方針
 - 福島第一原子力発電所の廃炉の基本方針を達成するために、リスク分析の結果に基づいて、主要なリスク源を優先度分類し、各々について対応方針と対応時の課題を記載する。

3) 安全確保の基本的考え方

- 福島第一原子力発電所の廃炉を安全に進めるための燃料デブリ取り出し分野、廃棄物対策分野に共通する安全確保の考え方を記載する。

4. 燃料デブリ取り出し分野

1) 燃料デブリ取り出しの検討方針

- 燃料デブリの取り出しを進めるためには、取り出し作業に伴うリスク（環境への放射性物質の漏えいや作業員被ばく等）を許容できる低いレベルに抑えつつ、可能な限り速やかに取り出し、より安定的な管理状態に移行させる必要がある。
- 今回の戦略プラン 2017 においては、これまでの検討で各工法についての特徴や得失が明らかになるとともに、内部状況の把握や、要素技術の開発が進展しつつあることから、現時点で想定し得る燃料デブリ取り出し工法の基本概念となる要素を提案する。

2) 燃料デブリ取り出しにおける安全確保の考え方

- 燃料デブリ取り出しの早期実現と安全確保を両立するためには、「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」が求めるリスクの低減及び最適化を図ることが重要である。そのため、国際機関における基本安全原則及び福島第一原子力発電所の安全確保上の特徴を踏まえて、燃料デブリ取り出しに係る安全機能及びそれを実現するための考え方を整理する。

3) 号機ごとのプラント状況

- 燃料デブリ取り出しに向けた検討には、以下の PCV 内部状況の把握に可能な限り取り組む必要がある。
 - 燃料デブリの分布
 - 燃料デブリへのアクセスが可能であること（障害物撤去が可能なことを含む）
 - 周囲の構造物の落下等の危険がなく、取り出し工事が安全に行えること
- これまで事故進展解析による全体像把握、実機のプラントパラメータを用いた推定・分析、実機調査から得られた映像、温度、放射線量等の情報やミュオン計測による燃料デブリの概略分布調査の情報を総合的に評価することにより現時点における各号機の燃料デブリ分布の推定を示す。

4) 燃料デブリの有するリスク

- 燃料デブリは各号機ごとにその存在箇所や量、性状等が異なっており、3. 2)で紹介した英国 NDA が開発した SED 指標を用いて燃料デブリの有する潜在的被ばくリスクを評価する。

5) 燃料デブリ取り出し工法の実現性評価

- 戦略プラン 2015、2016 において、燃料デブリへのアクセス方向について上、横、下の 3 通りと、PCV 水位について、完全冠水、冠水、気中、完全気中の 4 通りの組合せに対して、実現可能性の観点から①冠水—上アクセス工法、②気中—上アクセス工法、③気中—横アクセス工法の 3 通りを絞り込んでいる。
- 燃料デブリ取り出し工法の実現のための技術要件として、以下がある。
 - (1) 閉じ込め機能の構築
 - (2) 冷却機能の維持
 - (3) 臨界管理
 - (4) PCV・建屋の耐震性
 - (5) 作業時の被ばく低減
 - (6) 労働安全の確保
 - (7) 燃料デブリへのアクセスルートの構築
 - (8) 燃料デブリ取り出し機器・装置の開発
 - (9) 系統設備等の構築

- これらの技術要件に対して、ここ 2 年間の研究開発等における取組状況について、以下に整理する。
 - 閉じ込め機能の構築
閉じ込め機能については、「液相部」と「気相部」で構成される。閉じ込め機能を構築するための補修技術と PCV 内の水位や必要なシステムについて記載する。
 - 冷却機能の維持
燃料デブリは、崩壊熱を発生しているため燃料デブリ取り出し時においても冷却機能の維持が要求される。燃料デブリ取り出し時の循環冷却システム構築の検討と冷却能力の確保について記載する。
 - 臨界管理
燃料デブリ取り出し時の PCV 水位上昇や燃料デブリ切削作業等において、燃料デブリの量や形状等の様々な条件での臨界評価結果と臨界発生を防止する手法に加え、臨界を検知・停止する手段の検討について記載する。
 - PCV・建屋の耐震性
原子炉建屋、PCV 及び RPV 等の主要部分について、これまで検討した範囲では、事故による損傷、40 年間の経年劣化及び燃料デブリ取り出しに必要な設備や PCV 内冷却水による重量増加等を考慮した上で、各号機、重点的に取り組む 3 つの工法における基準地震動 Ss (600Gal) に対する耐震裕度の評価について記載する。
 - 作業時の被ばく低減
燃料デブリ取り出しに係わる作業エリアの除染や既設設備の撤去等による線量低減を含む準備作業、PCV 補修作業及び燃料デブリ取り出し作業は、いずれも、高線量エリアにおける作業となるため、作業員の被ばく低減が重要であり、その対応について記載する。
 - 労働安全の確保
労働災害の撲滅に向けモックアップによる訓練、不測の事態への対処方法等の検討、並びに現場の作業環境及び作業条件等の改善の必要性について記載する。
 - 燃料デブリへのアクセスルートの構築
それぞれの燃料デブリの場所へのアクセスルート構築について、各工法の作業の詳細ステップ及び課題の洗い出しとその対策案を検討する中での評価を記載する。
 - 燃料デブリ取り出し機器・装置の開発
各工法においてそれぞれ、PCV 底部、RPV 内部で燃料デブリ取り出しを行う主要装置として、各工法の作業ステップ検討より抽出された要素技術の開発の状況について記載する。
 - 系統設備等の構築
燃料デブリ取り出し作業にあたっては、安全確保の観点から要求される「気相、液相の閉じ込め機能」や「冷却」「臨界管理」等の機能を確保するために必要な各種システム概念及び各システム設置に必要なスペースについての検討状況を記載する。

6) 5つの基本的考え方による総合評価

- 前章での技術的な実現可能性の評価を含め、福島第一原子力発電所の廃炉を進める上での継続的なリスク低減のため2.2)で述べた5つの基本的考え方に基づき、評価を行う。
- 福島第一原子力発電所の廃炉のように不確実性を多く含む対応では、これら5つの基本的考え方がトレードオフの関係となるため、それぞれの視点における得失を整理した上で総合的な評価を行う。

7) 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（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
上記の総合評価の結果を踏まえ、号機ごとの燃料デブリ取り出し方針の決定に向けた提言を取りまとめる。
- 燃料デブリ取り出し方針の決定以降の取組
燃料デブリ取り出し方針決定に続く「初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定」、更には、実際の工事計画の立案の加速化に向けて、関係者が重点項目に取り組むべき事項を記載する。

5. 廃棄物対策分野

1) 廃棄物分野の検討方針

- 国際的に取りまとめられている一般的な放射性廃棄物の処分に対する安全確保の基本的考え方を整理しておくとともに、それに関連して留意すべき管理の在り方も整理する。それらを踏まえて、廃棄物対策分野における取組の現状を評価するとともに、処理・処分の基本的考え方の取りまとめに資する提言を行う。

2) 国際的な放射性廃棄物対策における安全確保の基本的考え方

- 今後、固体廃棄物¹の処理・処分を具体化していくにあたり、国際放射線防護委員会（ICRP）や国際原子力機関（IAEA）において国際的に取りまとめられている一般的な放射性廃棄物対策における安全確保の基本的考え方をまとめる。
- 国際的な放射性廃棄物管理の対象には、事故により発生した放射性廃棄物も含まれる。このため、国際的な放射性廃棄物管理の考え方を基本とし、後述する固体廃棄物の特徴を踏まえて安全に管理していくことが適切である。

¹ 中長期ロードマップにおいて、「事故後に発生したガレキ等には、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も含めて、「固体廃棄物」という。」とされている。

3) 廃棄物対策分野の取組の現状

- 保管管理
 - 隔離と閉じ込めを原則とした保管管理を行うとともに、日々発生する廃棄物の発生量低減対策を進めている。施設整備も進められ、焼却炉運転による保護衣保管量の低減が開始された。
 - 当面 10 年程度に発生する固体廃棄物の物量予測に基づき保管管理計画を策定し、今後 1 年に 1 回見直すこととしている。
- 性状把握
 - 分析結果の蓄積を踏まえ、移行モデルに基づく評価手法によるインベントリの評価精度向上に向けた取組が進められている。また、事故の影響を受けた汚染の核種組成は通常の原子炉施設のものとは異なっている。
- 処理・処分
 - 適用可能な廃棄体化技術の絞り込みのため、固化処理実績のない汚染水処理二次廃棄物を対象に実績のある技術を用いた固化基礎試験を実施した。固化の可否と、固化可能な場合、その固化物の健全性確認データ等（固形化の条件、強度等）を取得した。
 - 既存処分概念を例に、それに適した廃棄物を分類することを試行した。固体廃棄物の特徴を踏まえた処分概念の検討に資するため、海外の事例調査等を実施した。

4) 固体廃棄物の処理・処分の基本的考え方の取りまとめに向けた提言（戦略的提案）

- 処理・処分の基本的考え方の取りまとめに向けた提言
上記評価を踏まえ、今後の処理・処分（放射性廃棄物管理）に関する提案と今後の進め方をまとめる。

6. 研究開発への取組

1) 研究開発の基本的な方針等

- 基本的な方針
NDF では研究開発業務実施方針に基づき、幅広い研究開発をマネジメントしてきている。
- 今後、燃料デブリ取り出し方針が決定されることにより、研究開発の進め方も新たな段階に入ることとなる。また、中長期を踏まえた基礎研究拠点・研究基盤の構築等がさらに重要であり、関係機関は、廃炉の状況や廃炉に関する理工学的な諸課題（ニーズ）を検討した上で取り組む基盤的な研究開発により、廃炉技術を補完・補強していく必要がある。
- 研究開発の全体像
福島第一原子力発電所の廃炉に係る研究開発は、基礎・基盤研究から応用研究、開発・実用化に至るまで多様な実施主体により行われている。また、国の予算による研究開発においても海外機関・企業が参画している。

2) 廃炉作業への適用に向けた研究開発の推進

- 中長期ロードマップ及び戦略プランを実現するために実施される現場適用を念頭に置いた研究開発は、廃炉作業及び研究開発の進捗状況に合わせて機動的に見直すことが重要である。

3) 研究開発の連携強化

- 福島第一原子力発電所の廃炉に係る研究開発には多数の関係機関が関わっており、互いの研究開発の取組内容に関する理解と共有、廃炉現場と研究現場との協力及び連携が重要である。NDFは、定期的に廃炉研究開発連携会議を開催し、関係機関の連携強化を図っている。
 - ニーズから導き出された重要研究開発課題とその戦略的推進
NDFは研究連携タスクフォースを設置して議論を行い、戦略的かつ優先的に取り組むべき更なる研究開発課題・ニーズとして、重要研究開発課題を抽出した。さらに廃炉基盤研究プラットフォームに課題別分科会が設置され、これら重要研究開発課題について研究開発戦略の策定作業が進められている。
 - 中長期を見通した研究開発基盤の構築
国内外の大学、研究機関、産業界等がネットワークを形成し研究開発と人材育成を一体的に推進する場として、JAEAに設置されている廃炉国際共同研究センター（CLADS）はその中心的な組織としてさらに活用していくことが重要である。
ハードウェアとしての研究基盤の構築も重要であり、JAEAにおいては櫛葉遠隔技術開発センター、大熊分析・研究センター等の施設の整備が進んでいる。
 - 人材の育成・確保
研究開発活動を長期間、持続的に実施するため、研究者・エンジニアの育成・確保等の人材に関する取組を原子力業界全体として着実に進めることが重要である。

7. 国際連携の強化

- 叡智の結集
福島第一原子力発電所の廃炉を推進していく上で海外の廃止措置等に関する知見・経験の収集・活用を今後も進めていくことが重要である。政府、NDF、IRID、JAEA、東京電力といった国内関係機関はそれぞれの役割に応じて、海外の関係機関と協力関係を構築する、海外有識者から助言を得る等の国際連携を実施している。
- 国際社会への積極的な情報発信
事故を起こした国の国際社会に対する責任を果たすとともに、叡智を結集して廃炉を進める観点から、関係機関は、積極的な情報発信を行い、国際社会における認知度を高めていくことでコミュニケーションの活性化を図るべきである。
- 関係機関の密接な連携

廃炉の推進にあたり、それぞれの役割に応じて国際連携活動を実施している国内関係機関は、国際連携をより効果的に進めるため、国内での連携についても一層強化していかねばならない。

8. 今後の廃炉プロジェクトの進め方

- 廃炉の取組を着実に進めていくために必要なプロジェクトリスクへの対応、風評被害防止の取組、社会とのコミュニケーションの在り方等について記載する。