

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 2016

骨子

2016 年 4 月 20 日

原子力損害賠償・廃炉等支援機構

## 1. はじめに

- 福島第一原子力発電所の一年間の進捗  
戦略プラン 2015 を公表してから、福島第一原子力発電所の状況には以下のような進捗が見られた。
  - 汚染水対策
    - ✓ [取り除く] 多核種除去設備等による汚染水浄化中、海水配管トレンチ止水・閉塞
    - ✓ [近づけない] 地下水バイパス、サブドレン稼働による建屋流入水の減少、陸側遮水壁の凍結運転開始
    - ✓ [漏らさない] 海側遮水壁の閉合、地下水ドレンによる地下水汲み上げ
  - 使用済燃料プールからの燃料の取り出し
    - ✓ 1号機 建屋カバー解体し、ガレキ撤去を実施中
    - ✓ 2号機 原子炉建屋は、上部全面解体の方針
    - ✓ 3号機 使用済燃料プール内のガレキの撤去完了・オペフロ除染実施中
  - 炉内状況調査
    - ✓ 1号機 ミュオンによる調査実施、ロボットによる格納容器内の調査実施
    - ✓ 2号機 ミュオンによる測定中、ロボットによる格納容器内の調査準備中
    - ✓ 3号機 調査装置を格納容器内部に挿入し、情報取得
  - 廃棄物
    - ✓ 汚染水処理の進展による水処理二次廃棄物及びガレキ撤去等による固体廃棄物の保管量が増加
    - ✓ 廃棄物管理部門の体制強化が図られ、廃棄物発生抑制が推進
    - ✓ 今後 10 年程度の廃棄物の保管管理の計画を公表
  - 作業環境
    - ✓ サイト内の線量低下（敷地境界の追加的な実効線量 1 mSv/年未満）
    - ✓ 建屋内の高線量エリアの低減対応に時間を要しているが、鋭意除染を実施中
  - 研究開発の取組
    - ✓ 廃炉研究開発連携会議を NDF に設置、関連機関の連携の推進による研究開発の強化
    - ✓ JAEA は国際的な研究開発組織として、「廃炉国際共同研究センター(CLADS)」を設置
    - ✓ また、遠隔操作機器（ロボット等）の開発・実証試験を行う「櫛葉遠隔技術開発センター」の本格運用の開始
    - ✓ 福島第一廃炉国際フォーラムの開催を通じ国内外への更なる理解促進、交流の場を提供
- NDF の役割
  - NDF は、原子力損害賠償・廃炉等支援機構法に基づき、法定業務である「廃炉等の適正かつ着実な実施の確保を図るための助言、指導及び勧告」及び「廃炉等を実施するために必要な技術に関する研究及び開発」の一環として、戦略プランを取りまとめる。
  - 戦略プランの中で、福島第一原子力発電所サイトの状況及び研究開発の進捗を踏まえつ

つ、中長期的な視点から、廃炉を適正かつ着実に進めるための技術的検討を進める。

- NDF の関係機関
  - 中長期的な戦略の検討にあたっては、政府、東京電力、IRID、JAEA などの研究開発機関と協力をしている。
  - 研究開発については、前述のとおり廃炉研究開発連携会議と廃炉国際共同研究センター（CLADS）との連携も図っている。
  - 海外関係機関と協力協定を結び、協力関係を構築している。

## 2. 戦略プランについて

- 戦略プラン目的  
NDF は、中長期ロードマップの着実な実行や改訂の検討に資すること、しっかりした技術的根拠を与えることを目的に戦略プランを策定している。
- 戦略プラン 2016 の位置づけ  
今回公表する戦略プラン 2016 は、2015 年 6 月に改訂された中長期ロードマップで示された至近のマイルストーンである 2017 年の夏頃の「号機ごとの燃料デブリ取り出し方針の決定」、2017 年度の「処理・処分に関する基本的な考え方のとりまとめ」に向けて、戦略プラン 2015 の考え方や取組の方向性に従って、リスク低減目標の考え方や燃料デブリ取り出し方法選定の考え方を展開したものである。
- 福島第一原子力発電所サイトの状況、現場調査の実績、研究開発の成果を受けて、定期的に見直しをする。

## 3. 戦略プランの基本的考え方

### 1) 基本方針と 5 つの基本的考え方

- 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よるリスクを、継続的かつ速やかに下げることが基本方針とする。
- 戦略プランは中長期の時間軸に沿った「リスク低減戦略の設計」を行うものであり、さらに、設計したリスク低減戦略を着実に進めるために「プロジェクトリスク管理」も重要である。
- 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。

### 2) 放射性物質によるリスクの低減戦略

- リスク分析
  - 主なリスク源として、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）、汚染水（建屋、トレンチ、タンク）、水処理設備二次廃棄物、放射性固体廃棄物、建屋・構造物等について、放射能レベルや管理状態を把握する。
  - 上記リスク源について、その特徴を踏まえて、潜在的影響度及び閉じ込め機能喪失の起こりやすさを詳細に評価し、リスクの大きさを分析する。

- 分析結果を基にリスク源を分類し、各分類の優先順位を決定する。また、リスク低減に顕著な進展があった汚染水等について、1年間のリスクの変化を示す。
- なお、ガレキ、伐採木、溜まり水、排気筒等については、東京電力において総点検を実施してリスク低減に取り組んでいる。
- リスク低減戦略
  - 上記リスク源に対して、リスクを低減してより確実に安定化する措置を施し、福島第一原子力発電所全体として十分に管理された安定状態を目指す。さらに、長期的により低いリスク状態に持ち込む戦略を検討する。
  - リスク低減対策の実施によって、作業員の被ばく等一時的にリスクが増加する可能性があるが、周到な準備によってこれを十分低減しなければならない。その際、対策を実施しない場合の原子炉格納容器や建屋等の劣化によるリスクの増加、リスクが顕在化する可能性の増加等を考慮に入れる必要がある。

### 3) プロジェクトリスク管理

- 戦略プランとプロジェクトリスク管理
  - リスク低減戦略を着実に進捗させるためには、廃炉プロジェクトに係るリスクを洗い出し、重要なリスクに対して対策を講じておく必要がある。こうみると、戦略プランを展開することが、プロジェクトリスク管理そのものと言える。なお、通常は課題を克服するための検討に注力されるが、期待通りの結果が得られない場合の対応も検討が必要である。
- 特に留意すべき事項
  - 燃料デブリ取り出しのように、これまでに経験がなく現状に大きな変化をもたらす作業の実施にあたっては、十分に計画を検討し、安全を確保する必要がある。手戻りを発生させないためには、規制庁が提示する「措置を講ずべき事項」の内容を具体化して安全確保の基本的考え方をあらかじめ策定し、関係者と共有することが重要である。その際、事故後の時間経過に伴う放射能の減衰等を考慮すべきである。
  - 社会との関係においては以下の認識と対応が重要である。
    - ✓ 現場作業の進捗に伴い風評被害が発生すれば、地域社会に影響を及ぼす可能性がある。さらに、これらへの対策を実施する際に追加的な対応が必要になったり、廃炉を進める政府関係者や事業者の評判が低下すると、対策の遅延にも繋がりがかねない。
    - ✓ このような悪循環を防ぐためには、リスクを、顕在化しないように適切に管理すると共に速やかに低減することが重要である。加えて、地域住民はもちろん、社会に大きな影響力を持つ報道関係者及び市場への流通に大きな影響力を持つ市場関係者や流通業者に対しても、早い段階で正確な情報を発信することが重要である。

## 4. 燃料デブリ取り出し戦略

### 1) 燃料デブリ取り出し検討方針

- 燃料デブリは、周到な準備と技術により取り出し、安定保管することにより、リスクを更に低減する。その際に、再臨界、崩壊熱、水素ガスのリスクが十分低くなることを目指して回収する。
- 燃料デブリを安全に取り出すために、「燃料デブリの分布、性状、FP 分布を把握」し、以下に示す「作業時の安全確保のための要件」を満たす「燃料デブリ取り出しの方法」を確立するとともに、「取り出した燃料デブリを収納・移送した後安定的に保管する」方法の検討を行う。

「燃料デブリ取り出し作業時の安全確保」

- (1) PCV・建屋の構造健全性の確保
- (2) 臨界管理
- (3) 冷却機能の維持
- (4) 閉じ込め機能の構築
- (5) 作業時の被ばく低減
- (6) 労働安全の確保

「燃料デブリ取り出し方法」

- (7) 燃料デブリ取り出し機器・装置の開発
  - (8) 燃料デブリへのアクセスルートの構築
  - (9) 系統設備、エリアの構築
- 2017年夏頃に「号機ごとの燃料デブリ取り出し方針の決定」、2018年度上半期に「初号機燃料デブリ取り出し方法の確定」を検討のマイルストーンとしている。
  - PCV水位レベルと燃料デブリへのアクセス方向を考慮して、重点的に取り組む3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」を選定している。
  - 燃料デブリ取り出し方針は、各号機において優先的に調査、検討・設計・技術開発を進める工法を5つの基本的考え方「安全」「確実」「合理的」「迅速」「現場指向」に基づく評価により選定する。

### 2) 炉内状況把握のための調査戦略と最新情報

- 炉内状況把握の基本的考え方
  - 燃料デブリの分布・量・性状及び炉内にある構造物の損傷・汚染状況が必要な情報であり、その目的、重要度、方法等を明確にした上で、調査戦略を策定する。特に、至近の燃料デブリ取り出し方針決定前の時期においては、実機調査を極力早期に実施するよう努めるとともに、事故進展解析コードなどによる解析、プラントデータ分析や、過去の知見等を踏まえて、総合的に分析・評価を行い情報の精度を上げることを目指す。
- 実機調査  
戦略プラン 2015以降、以下のような調査の進捗と今後の課題が明らかになっている。

- 1号機については、ミュオン検知（透過法）を実施し、炉心部には大量の燃料デブリがないと評価された。また、PCV内ペDESTAL外側調査（B1調査）を実施し、線量率が10Sv/h程度であること、調査範囲においては大きな損傷がないことが確認されたが、D/W底部には堆積物が広く分布していることが新たに判明し、今後の調査や燃料デブリ取り出し時における堆積物対策が必要なことが分かった。このため、PCV内底部ペDESTAL外側の調査（B2調査）は、2016年度に延期した。
- 2号機については、ミュオン検知（透過法）による炉心部、炉底部の検知を2015年度末に開始し、測定中である。また、PCV内ペDESTAL内側調査（A2調査）を計画していたが、CRDハッチ（X-6ペネ）周辺にペネ内からの溶出物が確認され、高線量低減対策のため2016年度に延期した。
- 3号機については、PCV内1stエントリーを実施し、線量率1Sv/h程度と1, 2(\*)号機より低く、PCV内水中の透明度は良好であったが、1号機と同様に堆積物も確認された。PCV内ペDESTAL内側調査として、X-53ペネから水中遊泳型ROVの投入を検討中である。（\* 2号機線量率 最大73Sv/h程度；2012年3月計測）
- 総合的な評価による推定  
実機調査情報に加え、プラントパラメータや熱バランス法による評価、事故進展解析による評価に基づく総合的な評価を実施し、号機ごとの燃料デブリの分布、量、性状、FP分布、炉内構造物の状況等について推定した。

### 3) 燃料デブリ取り出し作業時の安全確保

- 安全確保の基本的考え方
  - 安全確保の目的は、敷地周辺の住民と環境及び作業者を放射性物質の影響から守ることである。
  - 過酷事故が発生した後の福島第一原子力発電所の現存状態を前提として、燃料デブリ取り出し作業（定常作業時及び想定される異常時）の特徴を踏まえた安全確保上の課題とその対策を検討する。
- 安全確保に係る重要課題への取組み状況  
冠水-上アクセス工法では、閉じ込め機能の構築、臨界管理、PCV・建屋の構造健全性の確保が、気中-上アクセス工法、気中-横アクセス工法では、閉じ込め機能の構築、作業時の被ばく低減が、特に重要な課題である。これらの課題への取組み状況を以下に示す。
  - 臨界管理
    - ✓ 水位上昇、燃料デブリ切削時他の各作業ステップでの未臨界維持の管理方法を検討中である。
    - ✓ 今後は、万一の臨界事象の評価を行い、実機適用性を踏まえた仕様を検討する。
  - 閉じ込め機能の構築（PCV補修（止水））
    - ✓ これまでは、要素試験等によりPCV下部（トラス室天井以下）を対象としたベント管やダウンカマの止水技術、方法の成立性を主に開発してきた。
    - ✓ 今後はこれまでに明らかとなった課題の解決に加えて、実機適用性を見極める上で必要となる長期止水性などについて検討を進める。

- ✓ ベント管止水及び、ダウンカマ止水はセメント系材料による補修のため完全な止水は難しいことから、ある程度のトラス室への漏えいを許容することを前提にした汚染水閉じ込め機能の構築を検討する。
- ✓ PCV 上部については、現場の線量状況を踏まえながら補修技術開発を進める。
- 閉じ込め機能の構築（放射性ダスト飛散防止）
  - ✓ 燃料デブリ切削時のダスト飛散防止は、作業用セル、PCV で一次隔壁を構成し、内部を負圧に維持するシステムを構築する方針である。閉じ込めに必要な負圧管理システムの仕様を検討する。
  - ✓ PCV 上部の損傷想定箇所については、気体の漏えい防止を前提とした合理的な補修工法も検討する。
- PCV・建屋の構造健全性の確保
  - ✓ 冠水工法時の PCV の耐震健全性を基準地震動 Ss に対してスクリーニング評価した結果、S/C 脚部が厳しい結果となり、詳細評価や損傷時の影響評価を実施する。
  - ✓ 燃料デブリが PCV 底部に落下し、コンクリートと相互作用したことが想定されることから、RPV ペDESTAL への影響を検討する。
- 作業時の被ばく低減
  - ✓ 原子炉建屋内の除染
 

高線量エリアでは、的確な汚染状況の把握が困難な場合があり、これが除染工程の遅延、ひいては内部調査や工事の遅れにつながる例も見られている。このため、事前の情報収集・共有を極力行うとともに、予め有効と考えられる複数の除染計画を立案、準備して状況に応じた臨機応変な対応を可能とし、PCV 補修工事他の現地工程の遅延を回避するように努める。
  - ✓ 燃料デブリ取り出し時の遮蔽
 

気中上アクセス工法で燃料デブリが全て炉心部に存在すると仮定した場合でも、オペフロ線量率 1mSv/h 程度を実現する遮蔽は可能な見通しを得ているが、横アクセス工法におけるセルの遮蔽仕様についても、同様な検討を進める。

#### 4) 燃料デブリ取り出し方法の検討

- 燃料デブリ取り出し工法開発（工法、システム、機器・装置）
  - 3 工法について、燃料デブリへのアクセスルートの構築、燃料デブリ取り出しから仮保管までの動線と詳細作業ステップを検討し、各作業ステップでの課題抽出を進めていく。
  - 3 工法に必要なシステムの抽出と、主要システム（負圧管理／放射性ダスト処理システム、臨界管理システム、循環水冷却システム等）に要求される概略仕様をまとめ、それらの実現性の検討を進める。
  - 3 工法に適用する主要な取り出し機器・装置の概念設計と要素試験を進める。
- 燃料デブリの収納・移送・保管
  - 未臨界維持、崩壊熱除去、水素ガス滞留防止等の安全確保のための収納缶の基本仕様を取り纏める。
- 工法に必要なシステムを構成する設備の設置エリアの他、燃料デブリ仮保管施設等の関連

設備の設置エリアの確保は重要な課題であり検討を進める。

- PCV 水位の検討  
閉じ込め機能の確保、PCV・建屋の構造健全性の確保、作業時の被ばく低減等の観点で目標とすべき合理的な PCV 水位を検討していく。

## 5) 燃料デブリ取り出し方針の検討

- 号機ごとの最新情報（実機調査、解析等）に基づき、燃料デブリ位置を推定するとともに、安全確保に係る重要な技術要件である PCV 補修の実現性（閉じ込め機能の構築）、構造健全性の検討結果等を踏まえ、号機ごとに今後優先的に進めていく調査、燃料デブリ取り出し工法についての方針を5つの基本的考え方に従って検討していく。
  - 燃料デブリは、いずれの号機もある程度の量が PCV 底部に落下しており、号機によっては RPV ペDESTAL 外側に拡がっている可能性があるかと推定されている。今後の PCV 内部調査結果等を踏まえて燃料デブリの分布をより正確に推定し、優先的に取り出すべき燃料デブリの検討を進めていく。
- 燃料デブリ取り出しによるリスク低減のゴールは、3つの号機の燃料デブリを取り出し、安定保管が完了することであることから、号機ごとの個別の工法の選定だけに捉われることなく、3つの号機全体で最適となるよう、それぞれの号機の工法を選定することも重要である。

## 5. 廃棄物対策分野の戦略プラン

### 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あり方も整理する。
- 固体廃棄物に関する現行ロードマップの記載事項について、取組の現状を評価するとともに、今後の廃棄物対策の取組の内容又はスケジュールに影響を与え得る課題を抽出する。

### 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

- 放射性廃棄物の処分に対する安全確保の基本的考え方
  - 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処分における安全確保の基本的考え方をまとめる。これを踏まえ、事故により発生した廃棄物の特徴を勘案していくこととする。
- 放射性廃棄物の管理の在り方
  - 従来とは異なる廃棄物の性状把握、処理・処分の専門的検討、研究開発、廃棄体仕様確定など順次検討を進める必要があり、当面は保管管理が重要となる。貯蔵は可能な限り受動的な形態で実施されなければならない、そのために必要な場合は将来の処分要件に適合可能な処理を実施することなど安全に管理するための考え方を充実させる。

### 3) 現行の中長期ロードマップに基づいた取組の現状と評価・課題

- 廃棄物管理部門の体制強化が図られ、廃棄物発生抑制が推進されている。今後 10 年程度の保管管理の計画が公表された。管理すべき固体放射性廃棄物の量が廃炉作業の進捗とともに増加するため、その安定的な長期管理がリスク低減の観点から重要である。
- 海外で実績のある廃棄物管理の考え方（廃棄物ヒエラルキー）で示されている通り、優先度を明確にした廃棄物量低減の取り組みが重要である。
- 2018 年度に運用開始予定の放射性物質分析・研究施設の仕様検討が進んでいるものの、その運用体制の強化・整備が重要である。
- 工程の進捗や研究の進展に合わせて廃棄物対策に必要な分析を行うための中長期分析計画が策定された。性状把握を加速するために高線量試料採取のための検討も着手されていることは適切である。分析結果は廃炉工程に活かすとともに、工程の進捗に応じて分析計画を柔軟に見直していくことが重要である。
- 分析結果等を踏まえ、分析対象核種を精査していくこと（分析の効率化）が重要である。
- 固体廃棄物の処理に関して、廃棄体化を含めた既存の処理技術の調査及び廃棄体化技術の基礎試験が行われ必要なデータの取得・整理が進められている。廃棄体化技術の評価に必要なデータを拡充するとともに評価の要件を整理することが重要である。
- 処分方策については、既存の処分概念に対する安全評価手法の調査・検討などが行われ、安全を確保する上でのバリア機能等の条件や課題、廃棄物の物理・化学的特徴の影響評価等の検討が進められている。それらの結果に基づき、合理的と考えられる処分概念の候補を検討し、その成立条件を明確にすることが重要である。

## 6. 研究開発への取組

### 1) 研究開発の検討方針

- 我が国の総力の結集
  - 関係者の連携を一層緊密なものとし、実用化のための研究開発を現場の必要性を踏まえて強化、見直しを行うとともに、基礎・基盤研究を行う研究機関や大学等からの協力も得て、福島第一の廃炉という未踏領域への挑戦を、我が国の総力を結集して加速する。
- 研究開発マネジメント
  - 放射性物質によるリスクの低減という目的の達成に直結する合理的な目標を、現場工事やこのためのエンジニアリングも含めた全体を俯瞰して、各々の研究開発に設定する。
  - 上記の目標設定など研究開発の企画段階のマネジメントを適確に行うことに加えて、研究開発開始後においても、定期的に、課題や達成すべき目標を確認し、必要に応じて調整するためのマネジメントを行う。
  - 全体を俯瞰した目標設定、定期的な確認については、更に効果的な取組にすることを目指す。

## 2) 研究開発連携の推進による研究開発の強化

- 現状の課題を踏まえた今後の研究開発の進め方
  - これまでの実施してきた研究内容を評価し、現場への適用にあたって考慮すべき課題も踏まえつつ研究開発に不足している部分を補うよう、次年度以降の研究計画に反映する。
  - 現場適用時の安全確保に関して、その妥当性や根拠などを示すためのデータを、大学や研究機関と連携して取得することについても考慮する。
- 研究開発体制に関する留意事項
  - 廃炉研究開発連携会議での議論による重層的な取組（許認可に必要なデータの拡充、メカニズムに立ち返った除染方法の検討等）の実施にも対応できるよう、リソースを継続的に確保していくことの重要性をあらためて関係者間で共有する。
- 廃炉研究開発連携会議を通じた取組
  - 産業界、大学、研究機関等においてそれぞれの立場で分散していた取組を統合していくことを目的に設置された廃炉研究開発連携会議を通じて、「各機関が進めている研究開発に関する取組内容などの理解、共有」、「当該取組内容や現場ニーズなどの情報共有による廃炉現場との協力関係、技術の連携性の確保」、「研究者やエンジニアなど人材育成等に関する取組」を進めていく。
  - 現場ニーズに適確に応えるためには、ソリューションのパスを見える化することが極めて重要であり、このために現場状況、廃炉に関わるデータ、現場ニーズ、研究開発シーズなどの情報を関係者の間で共有、発信するための情報ポータルサイトを整備することや、現場ニーズと研究開発シーズを橋渡しするための仕組みを構築し、具体的な議論を進めていく。なお、シーズは海外を含め広く求めていく。
  - 長期にわたる廃炉を確実に進めていくための人材の育成・確保は、将来の廃炉工程全体を俯瞰した上で、必要となる人材像や重点的に育成すべき技術分野を具体的に明らかにした上で、企業や研究機関における研修等の人材育成、大学等の教育機関における人材育成の取組の双方が密接に連携しながら、役割分担をしつつ一体的に推進していく。