

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」現地状況及び活動報告
Review Committee on Decommissioning of the Fukushima Daiichi NPS

(1) 福島第一原子力発電所廃炉作業の現状

(1) Present status of Fukushima Daiichi NPS decommissioning

*石川 真澄¹¹東京電力ホールディングス株式会社

1. はじめに

2011年3月11日の事故発生以来、東京電力は、政府や協力企業と共に、原子炉や使用済燃料プールの冷却、汚染水の浄化および海洋への漏えい防止に注力してきた。また、今後30～40年にも及ぶ廃炉作業の進め方や必要となる研究開発などを示した「東京電力（株）福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置に向けたロードマップ（初版2011年12月）（以下「中長期ロードマップ」）」を政府と共にとりまとめ、これに沿った取り組みを実施してきた。

本稿では、廃炉に向けた福島第一原子力発電所における中長期の計画と現状について紹介する。

2. ロードマップ

福島第一原子力発電所の廃炉作業は、中長期ロードマップに沿って進めてきた。これまでに5回改訂がなされ、最新の第5回改訂版は、2019年12月27日に廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議にて決定された。本改訂における基本的姿勢は以下のとおりである。

- ① 復興と廃炉の両立
- ② リスクの早期低減と安全確保の最優先
- ③ 当面（10年程度）の廃炉作業全体の最適化

主な改訂内容

- ・汚染水対策：汚染水発生量を150m³/日程度（2020年内）まで低減させる現行目標を堅持しつつ、これに加えて100m³/日程度（2025年内）まで低減させる新たな目標を設定。
- ・プール内燃料の取り出し：燃料取り出しの開始時期は、1号機で4～5年、2号機で1～3年後ろ倒ししつつも、2031年内までに1～6号機全てで取り出し完了を目指す。
- ・燃料デブリ取り出し：初号機として2号機で、気中・横からの試験的取り出しに着手し（2021年内）、段階的に規模を拡大。
- ・廃棄物対策：ガレキ等の屋外の一時保管エリアを2028年度内までに解消。

3. 中長期実行プラン

「廃炉中長期実行プラン2020」は、計画的かつ戦略的に廃炉に取り組む作業計画として、中長期ロードマップや原子力規制委員会のリスクマップに掲げられた目標を達成するべく、2031年までの廃炉全体の主要な作業プロセスを示すことを目的に作成した。「復興と廃炉の両立」の大原則の下、地域及び国民の皆さまのご理解をいただきながら進めるべく、廃炉作業の今後の見通しについて、より丁寧に分かりやすくお伝えしていくことも目指していく。本プランも廃炉作業の進捗や課題に応じて定期的に見直ししながら、廃炉を安全・着実かつ計画的に進める。

4. 汚染水対策

事故で溶けた燃料を冷やした水と建屋に流入する地下水が混ざり、日々汚染水が発生している。このため、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3つの基本方針に基づき汚

染水対策を実施している。

汚染源を「取り除く」対策としては、トリチウム以外の62核種の放射性物質を除去できる多核種除去設備等の設備により、汚染水（RO濃縮塩水）の浄化を進め、2015年5月27日には、RO濃縮塩水の全量処理（タンク底部の残水を除く）を行った。更に多核種除去設備で浄化を進めるとともに、使用済吸着塔やタンクの配置計画の変更を実施するなどして、敷地境界での追加的な実効線量を1mSv/年未満に維持している。

汚染源に水を「近づけない」対策としては、汚染水貯蔵量の増加につながる建屋内への地下水の流入を抑制するため、建屋上流で地下水を汲み上げ（地下水バイパス）、当社及び第三者の分析結果により一定の水質であることを確認した上で2014年5月21日から排水を開始した。また、建屋近傍の井戸（サブドレン）での地下水汲み上げを2015年9月3日から開始し、専用の浄化設備にて浄化した後に、地下水バイパス同様に当社及び第三者の分析結果により一定の水質であることを確認した上で、同月14日より排水を開始した。また、大雨時においても確実に建屋周辺の地下水位を低下できるように、地下水ドレンの水質改善のための前処理装置設置、サブドレン処理系統の2系列化、集水タンク、一時貯蔵タンクの増設による系統処理量の増加等のサブドレン他水処理施設の強化に加え、大雨時に一時的に雨水流入する箇所への流入防止対策を行っている。

雨水の土壌浸透を抑制するための敷地舗装（フェーシング）については、予定箇所の94%が完了しており、現在は原子炉建屋等の周辺を計画的に実施している。また、雨水の建屋流入対策として、3号機建屋の屋根損傷部への堰設置、損傷部シート掛け等を実施している。

1～4号機周辺を凍結させ遮水する陸側遮水壁（全長約1,500m）については、2016年3月31日から海側の全面閉合を開始、同年10月に凍結を完了した。山側については、2016年6月から段階的に閉合を開始し、2018年9月には全ての凍結が完了した。現在は凍土の過度な成長を抑制するための維持管理運転に移行している。

これら、地下水バイパス、サブドレン、フェーシング、陸側遮水壁の効果により、建屋への地下水流入量が大幅に減少している。年平均の汚染水発生量を比較すると、陸側遮水壁閉合前（2015年度）の490m³/日に対して、陸側遮水壁閉合後（2019年度）は180m³/日となっている。今後も引き続き、水質、地下水位/建屋水位を確認しながら地下水バイパス、サブドレン、陸側遮水壁の運用を継続すると共に未実施箇所のフェーシングや屋根雨水流入対策等の追加対策を含めた重層的な汚染水対策に継続して取り組み、汚染水発生量を更に低減していく。

汚染水を「漏らさない」対策としては、建屋内の滞留水について、周辺地下水の水位より建屋の水位を下げることで、建屋の外に流出しない状態を引き続き維持する。また、上記建屋内流入量抑制対策により、汚染水発生量が減少したことから、建屋の汚染水を減らすため建屋水位を徐々に低下しており、1号タービン建屋については、2017年3月に最下階エリアの滞留水の除去を完了した。引き続き他の建屋についても除去を行い、1・2号機連通部の切り離し、3・4号機連通部の切り離しを経て、2020年迄に循環注水を行っている原子炉建屋以外の建屋滞留水の除去を完了させることとしている。

汚染水を貯蔵するタンクについては、フランジ型のタンクから漏えいリスクの少ない溶接型タンクへのリプレースを進めている。貯蔵タンクについては、状況変化に応じて増設計画を適宜見直す。

5. 使用済燃料プールからの燃料取り出し

4号機は、事故当時定期検査中であったため、全ての燃料が使用済燃料プールに保管されており、3号機の影響で建屋は爆発、損壊、プール内にガレキが落下したが、燃料は健全な状態にあった。2013年11月18日から他号機に先行して燃料の取り出しを開始した後、順調に作業を進め、2014年12月22日に全ての燃料取り出しを完了した。

1号機は、建屋カバーを解体し、オペレーティングフロア上部のガレキ撤去をした上で、燃料取り出し専用カバーを設置し、使用済燃料を取り出す計画である。2015年7月から10月に屋根カバーの撤去、2016年9月から11月に壁パネル撤去、2017年3月から5月に柱・梁の取り外しを完了し、2017年12月に建屋カバーの柱・梁の改造および防風フェンスの設置を完了した。2018年1月から北側のガレキ撤去に着手し、並行し

て進めてきたガレキの状況やウェルプラグの汚染状況の調査を踏まえ、よりダスト飛散に留意した慎重な作業の観点から、ガレキ撤去前に大型カバーを設置する工法を採用することとした。また、2020年6月から南側にある使用済燃料プールへのガレキ等落下防止・影響緩和対策を実施している。

2号機は、2015年9月から使用済燃料取り出しに向けた原子炉建屋周辺の整備を開始するとともに、同年11月、早期に燃料を取り出すことによる廃炉作業のリスクの低減、作業による被ばく量の低減等の観点から、オペレーティングフロア上部の全面解体が望ましいと判断した。その後、2018年11月～2019年2月に実施したオペレーティングフロア内調査（建屋西側の壁面開口部から遠隔ロボットを使用）では、2012年と比べて放射線量が低減していることを確認したことから、ダスト飛散防止や被ばく低減、雨水の建屋流入抑制を図るため、上部建屋を解体しない工法を採用することとした。

3号機は、オペレーティングフロアの線量が非常に高いことから、燃料取り出し用カバー及び燃料取扱設備を設置するためのガレキ撤去や除染、遮へいを遠隔操作にて実施した。2015年11月には、使用済燃料プール内の大型ガレキ（燃料交換機他）の撤去を完了し、2016年12月には、除染、遮へいの設置を完了した。2017年1月から、燃料取り出し用カバーや燃料取扱設備等の設置を開始し、2018年2月に燃料取り出し用カバーの設置を完了した。その後、燃料取扱設備は試運転開始後に制御ケーブルの断線等の不具合が発生したことから、試運転を中断して設備不具合の洗い出しをすべく動作確認や外観確認等の点検を実施した。ここで確認された不具合について原因の究明と再発防止対策をしっかりと行うだけでなく、万が一不具合が発生した場合でも、速やかに復旧出来るよう対応手順の策定や訓練の実施、予備品の購入を行い万全の体制を整えた。2019年4月15日より燃料取り出し作業を開始し、これまでに566体中266体（2020/7/30時点）の燃料を取り出し、2020年度内の燃料取り出し完了に向けて引き続き安全最優先で作業を進めていく。

6. 燃料デブリ取り出し

燃料デブリ取り出しについては、原子炉格納容器からの漏水部分の止水が必要な冠水工法の難易度が、当初の想定より高いことが明らかになってきたこと、水を用いない遮へい技術を適用した取り出し工法など、冠水工法以外の工法について、成立性に関する情報が得られたこと、原子力損害賠償・廃炉等支援機構（NDF）が発足し、多様な工法の実現性を、専門的に比較検証する体制が整ったこと等の状況変化を踏まえ、原子炉格納容器の水位や燃料デブリへのアプローチ方向を組み合わせた複数の工法の実現可能性について、成立性の評価及び技術的な比較検証を行っている。

この評価及び検証に当たっては、原子炉格納容器内の状況把握に集中的に取り組み、取得される情報を反映させた燃料デブリ取り出し工法の実現性を評価する。その結果を踏まえ、各号機の燃料デブリ取り出し方針を決定する計画としている。

（1） 原子炉格納容器内等の状況把握

原子炉格納容器内は、高線量のため進入が困難であり、ロボット等による原子炉格納容器内の調査、外部から検知する技術の活用、得られた情報を基にした解析や実験による推定を行い、必要な燃料デブリの位置の絞り込みにより燃料デブリ取り出し方針を決定する。

1号機の格納容器内の調査は、2012年10月、2015年4月、2017年3月に実施した。2015年4月の調査では、ロボットを用いて、格納容器内1階、地下階への開口部の周囲に大きな障害物がないこと、原子炉再循環ポンプや格納容器内壁面にも大きな損傷がないことを確認した。また、2017年3月の調査では、地下1階面のペDESTAL外側の調査を行い、線量や堆積物の状況を確認するとともに、堆積物の採取を行った。現在は、次の内部調査に向けて準備作業を進めている。

2号機については、2012年1月、2012年3月、2013年8月、2017年1～2月、2018年1月、2019年2月に調査を実施した。2018年1月の調査では、ペDESTAL内プラットフォーム下の調査を実施し、取得した画像の分析をした結果、燃料デブリを含むと思われる堆積物がペDESTAL底部に堆積している状況を確認した。また、堆積物の状況から、燃料デブリの落下経路が複数存在していると推定している。2019年2月の調査では、ペDESTAL底部の6箇所堆積物に初めて接触することができ、そのうち5箇所で小石状の堆積物が動くことを確認した。さらに、前回の調査よりも堆積物に接近した状態で、映像・線量・温度データを取得す

ることができた。

3号機については、2015年10～12月、2017年7月に実施した。2017年7月の調査では、水中を遊泳するロボット（ROV）により、原子炉格納容器内ペDESTAL内部状況を撮影した。複数の構造物の損傷やCRDハウジング支持金具の一部が脱落していること、ペDESTAL内に溶融物が固化したと思われるものやグレーチング等複数の落下物、堆積物があることを確認した。また、プラットホーム上のグレーチングは確認されなかった。

また、1号機～3号機原子炉内燃料デブリの位置を把握するため、宇宙線由来のミュオン（素粒子の一種）を用いた測定を行っている。

1号機は、2015年2月～5月に測定を行い、炉心部に燃料がないと評価した。2号機は、2016年3月～7月に測定を行い、圧力容器底部及び炉心下部、炉心外周域に燃料デブリと考えられる高密度の物質が存在していると評価した。3号機は、2017年5月から測定を行い、7月までの測定結果では、原子炉圧力容器内部には、一部の燃料デブリが残っている可能性はあるものの、大きな高密度物質の存在は確認できていない。

（2）燃料デブリ取り出し工法の実現性評価

燃料デブリ取り出し工法の実現性を評価するため、各工法を実現するための条件を明確にすると共に、その条件の成立性を各号機別に評価していく。

被ばく低減、飛散防止の観点から有効な工法と考えている冠水工法の実現性評価として、複数の原子炉格納容器の止水・補修方法の実現性に加えて、工法毎に原子炉格納容器等の健全性や燃料デブリの臨界リスクを評価する。また、気中工法の実現性として、放射線の遮へいや放射性物質のダスト飛散防止を実現するための設備の構造設計を行うとともに、高い放射線環境下での稼働や燃料デブリ取り出し時に発生するダストの抑制を重視した遠隔取り出し装置の開発を行うこととしている。

最新の「中長期ロードマップ」（第5回改訂）では、取り出しの初号機を「燃料デブリ取り出し作業における安全性、確実性、迅速性、使用済燃料の取り出し作業との干渉回避を含めた廃炉作業全体の最適化の観点から」2号機と決定した。気中工法で原子炉格納容器底部に横からアクセスして、まず試験的な取り出しを2021年に開始し、その後、取り出し方法の検証や確認を行った上で、段階的に取り出し規模を拡大する計画である。

7. 廃棄物対策

廃炉作業に伴い発生する廃棄物を適正に保管していくことを目的に、当面10年程度の固体廃棄物の発生量予測を踏まえた「保管管理計画」を策定した（第4次改訂2020年7月）。

発生する廃棄物は、既設施設の保管容量を超えて増加していくことから、廃棄物の保管管理を行う上では、敷地内の有効利用、管理のしやすさ、処理・処分の負担を低減する観点から、発生量をできるだけ少なくすることが重要である。運用を開始した雑固体廃棄物焼却設備等および2020年度に運用開始する予定の増設雑固体廃棄物焼却設備、2022年度に運用開始する予定の減容処理設備により、廃棄物を可能な限り減容すると共に、保管施設を導入し、遮へい・飛散防止及びモニタリングにより適切に保管する。

今後も、処理・処分方法の検討のため、性状把握、処理・処分技術の適用性、難測定核種等の分析手法等の開発を推進していく。

*Masumi Ishikawa¹

¹Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.