

## 福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

## 廃炉作業 10 年 福島第一の廃炉の今 課題はなにか

Decade of Fukushima Daiichi NPS decommissioning. What are the challenges of the future?

## (2) 福島第一における廃炉・汚染水対策の現状と課題

(2) Fukushima Daiichi Decontamination and Decommissioning: Current Status and Challenges

\*小野 明<sup>1</sup><sup>1</sup>東京電力ホールディングス 福島第一廃炉推進カンパニー

## 1. はじめに

本講演では、事故後 10 年が経過した福島第一原子力発電所における廃炉・汚染水対策の現状と今後の課題について説明する。

まず廃炉をどのような全体計画の下、進めているか述べたい。東京電力ホールディングスは、国により 2011 年 12 月に取り纏められた「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」）に基づき廃炉作業を進めている。このロードマップにおける第 1 期とは、使用済燃料の取り出しを開始するまでの期間、第 2 期とは、溶け落ちた燃料デブリの取り出しを開始するまでの期間と定義されている。最後の第 3 期は、廃炉が完了するまでの長い期間になるが、2019 年 12 月に改訂された中長期ロードマップで、第 3 期の最初の 10 年間に新たに 3-1 期と位置づけた。この期間は、より本格的な廃炉作業、つまりデブリ取り出し作業を着実に実施するために、燃料の取り出し、汚染水対策など複数の工程を計画的に進める時期と定義している。そして、それぞれの分野における主なマイルストーンも定めている。

これを踏まえ、当社は 2020 年の 3 月にこれらのマイルストーン及び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ための主要なプロセスを作って公表した。「廃炉中長期実行プラン 2020」と呼ばれるものである。今後は毎年、改訂を実施し、例えば次回は 2021 年 3 月に「廃炉中長期実行プラン 2021」を公表する予定である。

「廃炉中長期実行プラン」により当社は今後の廃炉作業を、将来を見据えながらより計画的に進めることが可能となる。一方、地域の方々からみると、今後の廃炉作業を具体的に把握し、廃炉事業に参入する際の検討を行うことができる。福島第一の廃炉を通じて福島復興にいかに関与できるかが鍵であり、「復興と廃炉の両立」の大原則の下、東京電力ホールディングスは、引き続き廃炉・汚染水対策に責任を持って取り組んでいく。

## 2. 汚染水対策

汚染水は、原子炉内に注入された冷却水が燃料デブリに触れることで発生する。そして、この汚染水と建屋内に流入する地下水と雨水が混ざり合うことで、新たな汚染水が発生し続けている。これに対処するため、東京電力は、①汚染源を取り除く、②汚染源に水を近づけない、③汚染水を漏らさない、の 3 つの基本方針に基づき対応を進めてきた。

これらの対策は既に成果を上げつつあり、現在は、

- ・②の主要対策である地下水や雨水の原子炉建屋等への流入抑制を更に徹底すること
- ・汚染水を①により多核種除去設備等で処理した後の処理水の処分
- ・原子炉建屋やタービン建屋等に残っている汚染水の除去を更なるリスク低減の観点から進めていくこと（建屋滞留水の処理）

の 3 点が主な課題となっている。

## 2-1. 地下水・雨水の流入抑制

フェーシング、サブドレーン、陸側遮水壁(凍土壁)など、地下水の流入を抑制するための従来からの対策に

加えて、最近では雨水が建屋内に流入することを防ぐための対策も強化している。例えば、3号機タービン建屋は水素爆発により大きな損傷部があり、雨が降ると3号機タービン建屋全域に降った雨が、この損傷部を通じて建屋内部に入り込み汚染水を増やしていた。この箇所には雨水カバーを設置する工事を2020年8月に完了している。

これらの重層的な対策により、1日当たり汚染水発生量は対策前の約540m<sup>3</sup>/日（2014年5月）に対し、対策後は140m<sup>3</sup>/日程度（2020年1～12月）まで低減し、中長期ロードマップに掲げている目標を達成した。

## 2-2. 多核種除去設備等処理水への対応

前述の通り1日当たり汚染水発生量は大きく低減した。しかし、依然として雨水、地下水が流入し汚染水が発生し続けていることも事実である。そのため汚染水を多核種除去設備等で処理した後の水を保管するタンクは増え続け、その貯蔵量は1月21日現在で約124万m<sup>3</sup>に達している。

処理水の今後の取り扱いについては、国の小委員会が2016年以降17回にわたって議論を行い、2020年の2月に報告書をまとめた。同報告書では、「技術的には、実績のある水蒸気放出及び海洋放出が現実的な選択肢であり、より確実なのは海洋放出」との提言が行われた。

東京電力としては、小委員会報告書及び2020年4月から開催された「関係者の御意見を伺う場」でのご意見も踏まえて、今後、国から基本的な方針が示されると認識しており、それを踏まえ、丁寧なプロセスを踏みながら適切に対応する。

なお、二次処理時の多核種除去設備の性能を確認するため、2020年9月と10月にトリチウムを除く告示濃度比総和が100以上のタンク群の中から、高い濃度のタンク群（J1-C群）、低い濃度のタンク群（J1-G群）を選択し、それぞれ1000m<sup>3</sup>ずつ確認試験を実施した。62核種にC-14を合わせた告示濃度比総和が、前者は2,406→0.35、後者は387→0.22といずれも二次処理後に1未満となることを確認した。

## 2-3. 建屋内滞留水の処理

放射性物質の濃度が高い汚染水は原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋等に滞留しているが、津波発生時等の漏えいリスクを念頭にその除去を進めてきた。2017年3月には他の建屋に先駆けて、1号機のタービン建屋の滞留水を除去することに成功した。その後も作業を継続し、1～4号機のタービン建屋、廃棄物処理建屋、4号機原子炉建屋について建屋内滞留水の水位を低下させ、中長期ロードマップに掲げられた滞留水処理の目標を達成したことを2020年12月に確認した。

当初、プロセス主建屋、高温焼却炉建屋についても、2020年中の滞留水処理完了を目指していたが、最近行われた建屋内調査で高線量源が見つかったため対応方針を変更した。これらの建屋は事故後、高濃度汚染水をセシウム吸着装置（キュリオン、サリー）で処理する前の貯水槽として用いられているが、調査の結果、放射性物質を吸着するためのゼオライト土嚢が地下階に設置されており、この土嚢が高い放射能を有していることが判明した。このまま建屋から水を除去すると、滞留水による遮蔽がなくなり、屋内が高線量化する等のリスクがあるため、現在、それへの対応策を検討している。

## 3. 使用済燃料プールからの燃料取り出し

福島第一の廃炉においても、一般の原子力発電所同様、まず初めに燃料の取り出しを行うことになるが、通常炉と異なって、水素爆発とメルトダウンの影響が取り出しに向けての準備の大きな妨げになっている。使用済燃料プールからの燃料の取り出しは、オペレーティングフロア（以下、「オペフロ」）における①瓦礫撤去（水素爆発のなかった2号機を除く）、②除染・遮へい、③燃料取扱設備の設置、④燃料取り出し、⑤構内の共用プール等での保管の順に実施している。

2014年12月に取り出しが完了した4号機を別として、燃料の熔融を起こした1～3号機のオペフロはいずれも線量が高く、作業員の被ばくには特に留意する必要があることから、これらの作業はほとんどを遠隔操作で実施する。

### 3-1. 1号機の取り出し準備状況

オペフロ北側の瓦礫撤去に2018年1月着手し、既に完了している。一方、使用済燃料プールのある南側では、燃料交換機、天井クレーン、更に崩落屋根の鉄骨やスラブというように、瓦礫が山のように高く積

み重なって使用済燃料プールを覆っている。これらの撤去に際して、鉄骨やスラブ等が使用済燃料プールへ落下したりダストが舞い上がったりするリスクを可能な限り低減するため、瓦礫落下防止・緩和対策として使用済燃料プールのゲートへのカバー設置、使用済燃料プール上への養生設置、燃料交換機・天井クレーンを下部から支える支保材の設置等を最近実施した。今後、大型カバーを設置し、その中でオペフロ上の瓦礫の撤去を行い、2027～2028年度頃を目標に取り出しを開始する。

### 3-2. 2号機の取り出し準備状況

2号機では2020年6月には、水中ROVで使用済燃料プール内の燃料等の状態を確認し、燃料取り出しに支障となる新たな課題がないことを確認した。現在、原子炉建屋南側に構台を設置する作業を進めており、今後、建屋南側側面に開口部を設けて、この構台からオペフロにアクセスし、2024～2026年度頃に取り出しを開始する。

### 3-3. 3号機の取り出し状況

3号機については、2019年4月に燃料取り出しを開始した。途中、ケーブル等のトラブルにより取り出し作業がストップした時期があったものの、2021年1月30日現在、566体中524体の燃料集合体を取り出し済みである。小瓦礫撤去などの関連作業を間欠的に実施している他、ハンドル変形燃料についても新規掴み具の開発、適用により対応し、2021年3月末に計画通り取り出しを完了する予定である。

### 3-4. 関連作業（1・2号機共用排気筒の解体）

1、2号機共用排気筒は、震災後の点検で一部の部材の損傷を確認した。評価上、大規模な地震が起こっても倒壊しないことを確認しているが、耐震上の裕度を向上させるため、1、2号機の燃料取り出し開始に先立ち、120mの高さの排気筒を半分程度の高さまで解体することとした。

2019年8月から地元企業による解体工事を開始し2020年5月に一連の作業を終了した。

なお、解体作業は遠隔操作で実施したが、この技術を開発し解体を行ったのは、福島の浜通りを拠点とする地元の企業である。

## 4. 燃料デブリ取り出しに向けて

福島第一1～3号機における燃料デブリの取出しは、これまでに経験したことのない取り組みとなる。取り出し作業は、①原子炉格納容器内部調査、②燃料デブリ取り出し、③保管というステップで進めていくが、極めて高線量の環境下での作業となるため、ほとんどの作業を遠隔で実施することになる。

### 4-1. 格納容器内部調査と燃料デブリ分布状況の推定

取出し方法を決定し具体的な取出し機器の開発を進めるためには、まずその位置や性状を把握する必要があり、これまでに格納容器内部の状況をロボット等の遠隔調査機器、ミュオン透過法などにより調査している。燃料デブリの分布の状況は、以上のような調査の結果や事故進展解析結果等から下記のとおり推定している。

1号機：燃料デブリの大部分が格納容器底部に存在

2号機：圧力容器底部に多くが残存し格納容器底部にも一定の量が存在

3号機：1号機と2号機の間

### 4-2. 取り出し初号機の決定と装置開発

この中で取り出し初号機に決まったのは2号機である。他号機に比べて現場の線量が低いことや内部調査により、より多くの情報が得られていること、燃料取り出し作業との干渉がないこと等が主な理由である。

最初に行う取り出しは試験的な取り出しと位置付けており、その際に用いる装置は、英国で開発されている。モックアップ施設での試験・訓練を経て、実運用に移行する予定である。長さ最大約22mのロボットアームを用いて格納容器内にアクセスする計画であり、伸ばしてもたわまないように高強度のステンレス鋼となっている。また、先端部に金ブラシや真空容器型回収装置をとりつけ、粉状の燃料デブリを回収する予定である。

なお、2021年内の取り出し開始を目指していたが、英国内の新型コロナ感染拡大の影響でこれらの装置の開発が遅れている。工程遅延を1年程度に留められるよう引き続き安全最優先で取り組んでいきたい。

#### 4-3. 1号機内部調査の準備状況

1号機については、次期調査として、潜水機能付ボート型調査装置による格納容器内ペDESTAL（台座）外の堆積物分布等の調査を計画している。この調査装置は、直径25cm、長さ1mの大型のものとなる。調査装置を投入するため、「X-2」ペネと呼ばれる貫通孔をアクセスルートとして、装置を内部へガイドするためのパイプを設置、これを通して格納容器内に投入する計画としている。現在は、アクセスルート構築のために格納容器内の干渉物の切断を実施中しているところであるが、最近、配管等、新規の干渉物を確認したことから、今後、カメラを投入してルートを確認した後、その結果に基づいて具体的な切断作業を再開する予定である。

潜水機能付ボート型調査装置を用いて調査する際には、カメラ撮影、堆積物の3次元形状や厚さの測定、更に少量のサンプリング等、調査目的に応じた5種類の調査装置を用いることとしている。

#### 4-4. 取り出し規模の拡大

2号機における試験的取り出し後は、取り出し方法の検証や確認を行った上で、同じ機構の装置を用い、段階的に取り出し規模を拡大していく。中長期的には1、3号機においても取り出しを開始し、取り出し規模を拡大予していく予定である。

1号機、3号機における取り出しに当たっては、1・2号機排気筒残置部や3・4号機排気筒等の撤去を行い、デブリ取り出しに必要な設備の設置を行っていく。加えて、1、3号機は2号機と比較して作業現場の線量が高いことから、遠隔操作で汚染した配管の撤去や除染を行い、線量を低減することを検討している。

また、これらと並行して取り出し・保管設備の設計、製作も順次進めていく。

### 5. 放射性固体廃棄物の管理

固体廃棄物については、「保管管理計画」において、向こう10年間に発生する物量の予測を行った上で、必要な減容処理施設や保管施設を導入する計画を立案している。ただし、発生する物量の予測は今後の廃炉作業等の進展状況等により変動するため、毎年、見直しを行い、計画を更新している。

2020年7月に発表した計画では瓦礫等は10年間で約78万 $\text{m}^3$ 発生することを見込んでいる。これらを線量や形態により分類の上、例えば、伐採木や使用済保護衣は焼却、また金属物は切断や破砕をするなどして最終的に26万 $\text{m}^3$ まで減容し、これらを各貯蔵庫に保管することを計画している

減容処理設備のうち、既に雑固体廃棄物焼却設備が2016年3月に運開し使用済保護衣類の焼却処理を行っている。また、可燃性瓦礫類（木材、梱包材・紙）等の処分を目的とした増設雑固体廃棄物焼却設備についても2020年度中の竣工を目指し、建設が進んでいる。2020年11月の火入れ式後、系統試験、コールド試験、ホット試験を経て2021年3月に竣工する予定である。加えて、金属、コンクリートを減容するための設備の設置を、2022年度内竣工を目途に進めているところである。

こうした方策により、現在、屋外に仮置きしています廃棄物は2028年度内に固体廃棄物貯蔵庫内への保管に移行していく。

また、汚染水処理により発生した水処理二次廃棄物も固体廃棄物としての管理が必要である。これらについても、今後、屋内保管への移行を進める方針である。吸着塔類等を保管する予定の大型廃棄物保管庫は2021年度運用開始を目指し、2020年6月より本体工事を実施している。

※当原稿は2021年1月時点のものである

なお、本講演資料は、セッション開始前に以下URLに掲載予定である。

原子力学会廃炉委員会 HP [https://www.aesj.net/aesj\\_fukushima/fukushima-decommissioning](https://www.aesj.net/aesj_fukushima/fukushima-decommissioning)

\*Akira Ono<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tokyo Electric Power Company Holdings