

東京電力福島第一原子力発電所の廃炉に向けた取組

はじめに

東京電力福島第一原子力発電所における事故から7年以上が経った。今では、事故当初の緊急的対応を脱し、「東京電力ホールディングス株式会社 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」。）」に基づき、廃炉・汚染水対策が安全かつ着実に進められている。本稿においては、福島第一原子力発電所の廃炉に向けた工程を概観し、事故以降これまでとられてきた対策の内容や効果、今後の取組について紹介を行う。

福島第一原子力発電所の廃炉に向けた工程

日本政府は、福島第一原発の廃炉に向けて、2011年12月に最初の中長期ロードマップを策定した。福島第一原発においては、事故により、原子炉圧力容器内の核燃料が溶け落ち、それともなって水素が発生し、その水素により水素爆発が発生した。現在、1号機～3号機の原子炉格納容器内には、融解して周りの構造物とともに固化した燃料（「燃料デブリ」と呼ばれる）が残されているほか、汚染水や廃棄物の処理などについても進める必要がある。

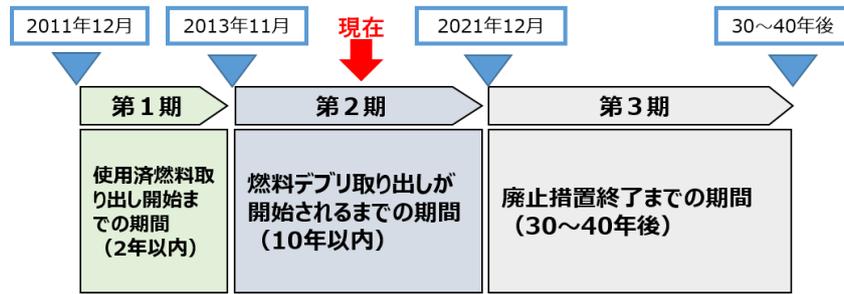
中長期ロードマップとは、こうした廃炉作業におけるそれぞれの対策について、目標となる工程を立てたものである。ロードマップは3つの期に分かれており、現在は第2期にあたる。

ここで、福島第一原発の廃炉作業の難しさについて説明する。福島第一原発の原子炉建屋の中は、高い放射性物質濃度によって、人が立ち入って作業することが困難な状態にあり、内部の状況を正確かつ詳細に把握することが難しい。このような環境で行われる福島第一原発の廃炉作業は、これまで世界で経験のない困難な取組であり、すべての状況が把握できる通常の工事などに比べて、不確実性を内在したプロジェクトであるといえよう。

しかし、たとえそうした不確実性があったとしても、安全に、確実に、万が一の出来事にも対処できるように、また現場で働く人々に負荷がかからないように、慎重に作業を進める必要がある。

そこで、中長期ロードマップは、策定時点で新しく判明した現場の状況や最新の知見、研究開発成果などを反映するなど、その時その時の状況に最適化されたものにすべく、適宜見直しがなされており、2017年9月には4回目の改訂が行われた（図1）。

図1 中長期ロードマップの期間区分



出典：資源エネルギー庁

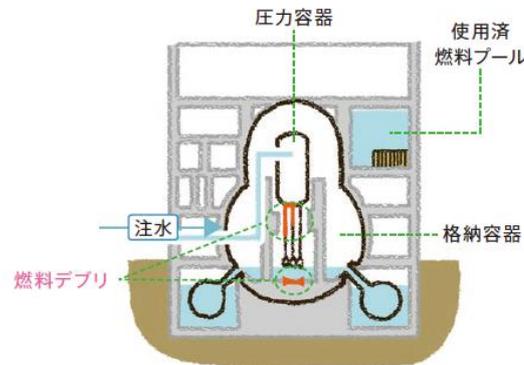
現在の状況

それぞれの対策は次の章で見えていくが、現在の大まかな福島第一原発の状況について説明する。

●燃料の状況について

1～3号機の溶け落ちた燃料デブリは、継続的な注水により、安定した状態を維持しており、炉内の温度も低温に保たれている。また、使用済燃料プール内の使用済燃料は、事故から7年近く経過した結果、崩壊熱が大幅に減少している。実際に、真夏の厳しい条件の下で、1か月プールの冷却を停止して水温を確認しても、自然放熱により制限温度（65℃）未満で推移することが確認されている（図2）。

図2 原子炉建屋（概念図）



原子炉建屋（概念図）

出典：資源エネルギー庁

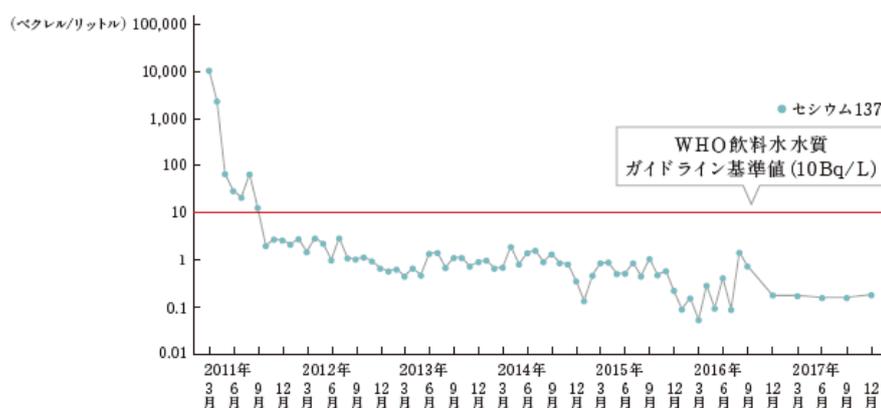
以上のように安定した状態が続いているため、事故の再発の危険性は限りなく低い状況にはなっているが、万が一に備えて、再臨界を抑制する設備や、地震・津波に対する対策・訓練も講じられている。

●敷地内・周辺環境について

発電所の敷地境界周辺には、モニタリングポストやダストモニタを設置し、常時監視しており、安定した状態が継続している。例えば、発電所の周辺海域（港湾外）の海水の放

放射性物質濃度は、世界的な飲料水の水質基準と比べても十分に低く、公衆の安全は確保され、海洋の環境は安定していると国際機関からも評価を受けている（図3）。

図3 南放水口付近の放射性物質（セシウム137）濃度（月平均）



出典：資源エネルギー庁

また、労働環境も大きく改善している。除染、フェーシング作業によって自然環境から受ける放射線量の低減対策を行ったことで、事故前はほとんどのエリアで防護服が必要だった状態に比べ、現在では、敷地内の96%のエリアにおいて一般作業服等で作業が可能となっている。あわせて、健康管理対策についても、緊急医が24時間常駐しているほか、ヘリポートの設置により搬送時間を短縮して緊急時の医療体制を強化するなど充実が図られている。また、食堂、売店、シャワー室を備え、一度に約1,200人を収容可能な大型休憩所が設置され、地元で調理した、温かくて美味しい食事を提供している。

長期にわたる廃炉作業を着実に進めていくため、引き続き安全でより良い労働環境の整備に努めていく（写真1）。

写真1
一般作業服で
作業可能なエリア



写真：東京電力ホールディングス株式会社

それぞれの対策の進捗とこれからの取組

(1) 燃料デブリの取出しに向けた取組

(i) 燃料デブリ取出し方針の決定

先述のとおり中長期ロードマップは2017年9月に4回目の改訂を行ったが、改訂のポイントの一つとして燃料デブリ取出し方針の決定がある。この取出しを無事に終えることは、廃炉に向けた工程における大きな目標のひとつである。今回の改訂において取り出し方針が定められた背景には、これまで確認できなかった1～3号機の細かな内部の状況が、さまざまな分析・調査を通じて、明らかになってきたということがある。

(ii) 燃料デブリ取出しに向けた調査

人が直接入ることのできない環境での調査は、既存の技術に加えて、国内外の叡智を結集して行う必要があり、コンピュータによる解析に加えて、さまざまな先端技術を活用した調査を行っている。

1 炉内状況に応じたロボットの開発

炉内は放射線量が高く、明かりがほとんどない過酷な状況である。また、進入経路がせまい、障害物が多い、想定外の干渉物が存在することがあるなどの困難を伴う。

そこで、調査にはロボットも活用。ロボットにより、人が直接見ることのできない建屋内部の放射線量や破損状況など、さまざまなデータを取得し、内部状況の把握に挑戦している。これまで、経路に応じて形状が変化するロボットや、水中を泳ぐことのできるロボットなど、状況に応じた最適なロボットを開発し、遠隔操作で調査を行ってきた。調査の結果、炉内の状況が画像で確認でき、燃料デブリと思われる堆積物も確認できた。また、燃料デブリ取り出しに向けた作業空間が存在するのか確認することができた（写真2）。

写真2 燃料デブリと推定される堆積物



黄色部分は「燃料集合体」の一部であることから、その周辺の堆積物は燃料デブリと推定される。

写真：東京電力ホールディングス株式会社

2 宇宙線「ミュオン」を使った調査

原子炉格納容器内部の調査では、宇宙から降り注いでいる宇宙線のひとつである「ミュオン」も使用して原子炉内部の状態を透視し、調査を行っている。

ミュオンはほとんどの物質を通り抜けるが、溶けて固まった燃料のような密度の高い物質は通り抜けられない。この性質を使って、粒子が飛来した軌跡上にある物質の物質量を分析し、レントゲンのように炉内を透視することで、燃料が炉心部にあるかなどを調べている。

その結果、1号機には圧力容器炉心部には燃料がほとんどないこと、2・3号機には、原子炉圧力容器底部に一部の燃料デブリが残っている可能性があることが判明した。

(iii) 燃料デブリ取出し方針の決定

燃料デブリは、現在は冷却され一定の安定状態を維持している。しかし、中長期的なリスク管理の観点から見ると、不確かさや不安定さの存在はめぐえず、できるだけ早く取り出し、より安全な場所に移動して安定的に保管する必要がある。

既に御紹介したような、さまざまな方法を用いたこれまでの調査によって、炉内の情報として重要となる「燃料デブリの分布状況」、「燃料デブリへのアクセスルートを確認するための情報」、「工事の安全性の判断に資するための情報」などについて、多くの情報が得られてきた。

その結果、今回改訂において以下のような取出し方針が定められた。

- ・作業は小規模なものから始め、状況を確認しながら、得られる情報に基づいて柔軟に見直しを行いつつ段階的に拡大していく「ステップ・バイ・ステップのアプローチ」で進めること。
- ・取り出す方法としては、原子炉格納容器を完全に水で満たす「冠水工法」は技術的難易度が高いことなどから、容器内に存在する燃料デブリを「気中工法」で取り出すことに軸足を置くこと。
- ・まずは、格納容器底部の燃料デブリを「横側から」取り出すことに軸足を置くこと。

以上の方針を踏まえ、現在、燃料デブリ取出しに向けた検討を実施し、2021年からの燃料デブリ取出しに向けて、さらなる内部調査や、技術開発を進めている。

加えて、廃炉の実施主体である東京電力には、工事の実現性の見極めをつけるため、エンジニアリング面での検討を進めてもらい、実際の取出し作業にスムーズに移行できるよう取り組んでいる。

(2) 汚染水対策

原子炉建屋内では、原子炉に水をかけて冷却を続けることで、低温での安定状態を維持しているが、この水が建屋に流入した地下水と混ざり合うことで、日々新たな汚染水が発生している。このため、(i) 汚染源に水を「近づけない」、(ii) 汚染水を「漏らさない」、(iii) 汚染源を「取り除く」という3つの基本方針に沿って、予防的・重層的に対策を進めている。

(i) 「近づけない」対策

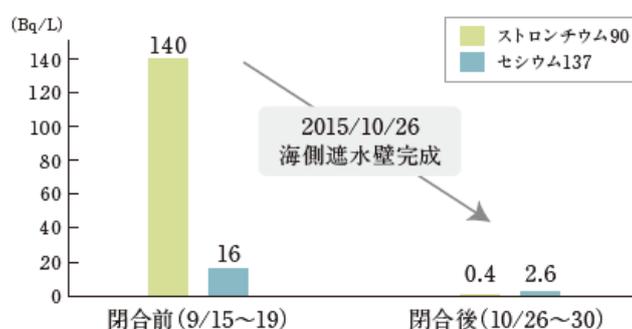
汚染源に水を「近づけない」対策は、汚染水発生量の低減を目的としており、建屋への地下水流入を抑制するための多様な対策を組み合わせている。

具体的には建屋山側でくみ上げた地下水を海洋に排出する地下水バイパス・建屋のより近傍で地下水をくみ上げ、浄化して海洋に排出するサブドレン及び地下水ドレン・土壌を地下水とともに凍らせる凍土方式の陸側遮水壁・雨水の土壌浸透を防ぐ広域的な敷地舗装といった対策を取っているが、これらの対策により、汚染水発生量は大幅に低減することとなった（対策実施前：540m³/日程度、2017年度平均：220m³/日程度）。

(ii) 「漏らさない」対策

汚染水を「漏らさない」対策は、海洋へ放射性物質が流出するリスクの低減を目的としている。2015年10月には、建屋の海側に、深さ約30m、全長約780mの鋼管製の杭の壁（海側遮水壁）を設置する工事が完了した。放射性物質の港湾への流出量が大幅に低減し、港湾内の水質の改善傾向が確認されている。さらに、信頼性の高い溶接型の貯水タンクの新規設置や、鋼板をボルトで接合するフランジ型タンクから溶接タンクへのリプレースを進めているとともに、万一の漏えいにも備え、タンク周囲において、二重堰の設置や側板フランジ部への防水シール材等による予防保全策、1日複数回のパトロールなどを実施している（図4）。

図4 港湾内の海水中放射性物質濃度の変化
(海側遮水壁の完成前後)



出典：資源エネルギー庁

(iii) 「取り除く」対策

汚染源を「取り除く」対策としては、多核種除去設備（ALPS: Advanced Liquid Processing System）をはじめとする複数の浄化設備により汚染水の浄化を行った上でタンクに貯蔵している。特に、事故後に問題となった高濃度汚染水についても、2015年5月に一旦処理を完了しており、現在では浄化された水がタンクに貯蔵されている状況である。また、原子炉建屋の海側の地下トンネル（海水配管トレンチ）には高濃度汚染水が溜まっており、万一漏えいした場合のリスクが大きいとため、ポンプで汚染水を抜き取り、トレンチ内を充填・閉塞する作業を進め、2015年12月には高濃度汚染水の除去・トレンチ内の充填が全て完了。リスクの大幅な低減が図られた。

これらの予防的・重層的な取組により汚染水対策は大きく前進しているが、汚染水問題の最終的な解決のため、有識者による委員会での議論を行うなど引き続き次の対策に取り組んでいる。

(3) 使用済燃料プールからの燃料取出し

廃炉に向けて燃料を取り出すことは、大きなリスクを取り除くことであり、損傷した建物から健全な建物へ燃料を移すことで、より安全な場所での保管・管理を行うことができる。

(i) 4号機使用済燃料プールからの燃料取出しの完了

当面の最優先課題とされていた4号機使用済燃料プールからの燃料取出しについては、2014年12月に完了。燃料1,535体全てを共用プール等へ移送した。

(ii) 1～3号機使用済み燃料プールからの燃料取出し

1号機については、建屋カバーの撤去を完了、防風フェンス、作業床を設置。オペレーティングフロア北側のガレキ撤去を進めている。爆発を免れた2号機については、建屋西側に開口部を設置し、オペレーティングフロアの調査を行っている。1・2号機の燃料取り出し開始は2023年度の予定だ。3号機は、燃料取り出し用カバー等の設置を完了したところであり、2018年度中頃からの燃料取り出し開始を予定している。

なお、これらの作業中においては、放射性物質が飛散しないよう飛散防止剤の散布などによる安全対策を徹底しており、作業現場においても、放射性物質濃度をしっかりと監視している（写真3）。

写真3 福島第一原子力発電所の現況



写真：東京電力ホールディングス株式会社

(4) 廃棄物対策

廃炉作業に伴い発生した廃棄物については、まずは安全に保管することが重要。発生した固体廃棄物については、表面線量率毎に区分するなど、固体廃棄物貯蔵庫や屋外の施設等において適切に保管している。また、今後の発生量を予測しながら、保管に十分なスペースを確保することにも努めている。

事故が起きた福島第一原発における固体廃棄物については、従来の原子力発電所で発生する放射性廃棄物とは異なる特徴があることから、性状把握を行いながら、処理・処分に向けた研究開発も行っている（写真4・イメージ1）。

写真4・イメージ1 2018年2月に完成した固体廃棄物貯蔵庫9棟



写真：東京電力ホールディングス株式会社

結びに

以上、福島第一原子力発電所における廃炉工程とその現状の進捗を紹介してきたが、福島第一原子力発電所の作業環境は、前例のない取組であることに加えて、現場も線量が高い場所が多いことから、依然として厳しい状況にある。そのため今後も、新たに分かった事象に応じて、安全対策の追加や作業内容の変更など、柔軟な見直しを行うことが必要となる。

これらに加えて、こうした廃炉作業全体や個別作業の進めかたについて、地元の皆様や国内外の関係者に十分に説明し、広くコミュニケーションをとることも必要である。

福島復興のためには、この廃炉作業を何としてもやり遂げる必要がある。今後も、中長期にわたる作業が続いていくが、安全を最優先に、国内だけでなく、世界の力も結集しながら、国も前面に立って全力で作業を進めていく。

(了)