

5 福島第一原子力発電所の現状について

(1) 廃炉に向けた取組（中長期ロードマップ）

平成23年12月21日、国と東京電力は、廃炉に向けた中長期的な工程表「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」を定め、以降定期的に見直しが行われている。

令和元年12月27日に行われた5回目の改訂のポイントは、以下のとおり。

- 周辺地域で住民帰還と復興の取組が進む中、「復興と廃炉の両立」を大原則とし、早期の復興に資するためリスクの早期低減に取り組むとともに、工程ありきではなく安全確保を最優先に、地域とともに廃炉を進める。
- 廃止措置終了までの期間「30～40年後」は堅持する。
- 現行の「第3期」（デブリ取出～廃止措置終了）のうち、当面の10年（2031年末まで）を「第3-①期」とし、次の複数の工程を計画的に進める。
 - ・ 1～6号機の全てのプール燃料の取り出しを完了する。
 - ・ 燃料デブリの試験的取り出しに着手し、段階的に規模を拡大する。
 - ・ 汚染水発生量を最小限にとどめ、安定的に維持する。
 - ・ ガレキ等の廃棄物の一時的保管を解消する。
- トリチウム水の取扱いは現行方針¹⁷⁾を堅持。
- 廃棄物対策の「基本的考え方」を取りまとめ。
- 目標工程を一部見直し（先送りされたもの）
 - ・ 1号機燃料取り出し開始 2023年度→2027年度～2028年度
 - ・ 2号機燃料取り出し開始 2023年度→2024年度～2026年度
 - ・ 燃料デブリ取り出しの初号機を2号機とする。取り出したデブリは所内の保管設備において乾式で保管する。

これまでの中長期ロードマップの改訂やロードマップを巡る主な動き等は以下のとおり。

○ 平成24年7月30日

1回目の改訂。原子力安全・保安院の指示を受け東京電力が作成した「中長期的な信頼性向上のために優先的に取り組むべき事項についての具体的な計画」やそれまでの進捗の反映。

○ 平成25年6月27日

2回目の改訂。使用済燃料プールからの燃料取り出しと、原子炉からの燃料デブリ取り出しのスケジュールを明記。

¹⁷⁾ 現行方針は以下のとおり。

地元関係者の理解を得ながら対策を実施し、海洋への安易な放出は行わない。海洋への放出は、関係省庁の了解なくしては行わない。引き続き、技術的な観点に加え、風評被害などの社会的な観点等も含めた総合的な検討を進める。

表1 中長期ロードマップにおけるマイルストーン（主要な目標工程）

分野	内容	時期
1. 汚染水対策		
汚染水発生量	汚染水発生量を 150m ³ /日程度に抑制	2020 年内
	汚染水発生量を 100m ³ /日以下に抑制	2025 年内
滞留水処理完了	建屋内滞留水処理完了*	2020 年内
	原子炉建屋滞留水を 2020 年末の半分程度に低減	2022 年度 ～2024 年度
2. 使用済燃料プールからの燃料取り出し		
1～6 号機燃料取り出しの完了		2031 年内
1 号機大型カバーの設置完了		2023 年度頃
1 号機燃料取り出しの開始		2027 年度 ～2028 年度
2 号機燃料取り出しの開始		2024 年度 ～2026 年度
3. 燃料デブリ取り出し		
初号機の燃料デブリ取り出しの開始 (2 号機から着手。段階的に取り出し規模を拡大)		2021 年内
4. 廃棄物対策		
処理・処分の方策とその安全性に関する技術的な見通し		2021 年度頃
ガレキ等の屋外一時保管解消**		2028 年度内

※1～3 号機原子炉建屋、プロセス主建屋、高温焼却建屋を除く。

※※水処理二次廃棄物及び再利用・再使用対象を除く。

中長期ロードマップ（令和元年12月27日）におけるマイルストーン
（出典：廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議資料）

- 平成26年10月30日
東京電力が1号機の使用済燃料取り出しが2年、デブリ取り出しが5年遅れる見込みであることを発表。
- 平成27年6月12日
3回目の改訂。主に以下の点を追加。
 - ・ リスク低減の重視
 - ・ マイルストーンの明確化
 - ・ 情報公開を通じた地元との信頼関係の強化
 - ・ 被ばく線量のさらなる低減・労働安全衛生管理体制の強化
 - ・ 原子力損害賠償・廃炉等支援機構の強化
 - ・ 平成26年1月に発電設備として廃止となった5号機と6号機も対象に追加¹⁸⁾。

¹⁸⁾ これに伴い「東京電力(株)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」に改称されている。なお、現在の名称は、「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止措置等に向けた中長期ロードマップ」。

○ 平成29年9月26日

4回目の改訂。主なポイントは以下のとおり。

- ・ 「安全最優先、リスク低減重視を堅持」、「廃炉作業全体の最適化」、「コミュニケーションの一層の強化」を基本。
- ・ 燃料デブリの取り出し方針は「気中・横アクセス工法」に軸足。
- ・ 汚染水発生量を削減、トリチウム水の取扱いは現行方針¹⁹⁾を堅持。
- ・ 廃棄物対策の「基本的考え方」を取りまとめ。

(2) 関係組織

ア 原子力損害賠償・廃炉等支援機構（NDF）

平成26年8月に発足した原子力損害賠償・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（以下「NDF法」という。）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、①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、②確かな技術的根拠を与えることを目的に中長期視点に立った燃料デブリ取り出しと廃棄物処理の2つの分野に関する戦略を検討し、平成27年4月30日、「福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2015」を策定し、その後、毎年とりまとめを行っている。

また、平成29年5月のNDF法の一部改正により、NDFは廃炉等積立金管理業務を担うこととなり、①毎年度、NDFが定め、国が認可した金額を東京電力が積み立て、②NDFと東京電力が共同で作成し、国が承認した計画（以下「取戻し計画」という。）に基づいて、東京電力は積立金を取り戻し、廃炉の取組を適正かつ着実に進めていくこととなった。

○ 戦略プラン2015（平成27年5月）

廃炉は継続的なリスク低減活動であるとし、リスクの源である放射性物質を評価し、優先順位を決定して対処方針を策定するとした。また、燃料デブリ取り出し工法として、冠水－上アクセス工法に加え、気中－上アクセス工法、気中－横アクセス工法といったオプションを示し、今後その実現性を評価するとした。

○ 戦略プラン2016（平成28年7月）

先に示したリスク低減の考え方等に関してより詳細な戦略プランが提示された。なお、当初示されたプラン中の「石棺方式」の記載に対し、NDFは「石棺方式を検討している事実はない。」としていたが、福島県は「石棺方式」の選択の余地を残した計画となっており、到底容認できるものではない」として、経済産業省に対し、世界の英知を

¹⁹⁾ 現行方針は以下のとおり。

地元関係者の理解を得ながら対策を実施し、海洋への安易な放出は行わない。海洋への放出は、関係省庁の了解なくしては行わない。引き続き、技術的な観点に加え、風評被害などの社会的な観点等も含めた総合的な検討を進める。

結集し、国の威信をかけて燃料デブリを安全かつ確実に取り出し、県外において適切に処分するよう求めるとともに、NDF に対して削除を求めた。これに対し NDF は修正文を公表、同戦略プランから「石棺方式」という記載は削除された。

○ 戦略プラン2017（平成29年8月）

原子炉格納容器底部の燃料デブリを「気中－横アクセス工法」で取り出すことから検討を進める提言案が示された。

○ 戦略プラン2018（平成30年8月）

これまで「燃料デブリ取り出し」と「廃棄物対策」を2つの主要課題として重点に置いてきたが、燃料デブリ取り出しの具体化を進めるに当たり、「汚染水対策」と「使用済燃料プールからの燃料取り出し」等との関連性、整合性を踏まえた検討が必須との考えから、廃炉の取組全体を俯瞰した中長期的視点での方向性が示された。

○ 戦略プラン2019（令和元年8月）

2021年内のデブリ取り出し開始に向け今後の課題を整理。

初号機は、安全・確実・迅速に取り出しが開始でき、廃炉作業全体の最適化の観点から2号機が適切であるとし、取り出し方法は、アーム型アクセス装置とエンクロージャ（機密性セル）等を用い、把持・吸引による小規模な取り出しから開始し、取り出したデブリは収納缶を二重構造とし、1F敷地内の保管設備において「乾式」にて一時保管を行うとしている。

また、廃炉プロジェクトの総合的な取組として、先を見据えた計画的な作業の必要性、複雑に関連する作業を全体として整合をとって進めていく必要性の観点から、一貫性のある廃炉全体の長期計画の策定の必要性を示している。

○ 戦略プラン2020（令和2年9月）

「燃料デブリの試験的取り出しを2号機で、取り出し規模拡大の先行的検討号機を3号機とすべき」といった提言や、「使用済燃料プールからの燃料取り出し」作業に向けて、1号機においてオペフロ全体を大型カバーで覆う案や、2号機において原子炉建屋南側に構台を設置し、建屋開口部からアクセスする案など、より具体的な技術的提案が提示された。

イ 日本原子力研究開発機構（JAEA）

日本原子力研究開発機構（以下「JAEA」という。）は、廃止措置推進に必要不可欠な遠隔操作機器や放射性物質の分析・研究等に関する技術基盤の確立、国内外の研究機関との共同研究の推進等を図るため、福島県内に次の研究拠点整備を進めている。

○ 楡葉遠隔技術開発センター（遠隔操作機器・装置の開発・実証試験施設）

平成26年9月、バーチャルリアリティーシステムが設置された研究管理棟が完成。平成27年10月19日、開所式が行われ、平成28年3月には原子炉格納容器圧力抑制室の実寸大模型²⁰⁾を備えた試験棟の建設工事が完了。その後、国際廃炉研究開発機構（IRID）による原子炉格納容器の漏水防水の実証試験や、全国各地の高等専門学校の出場による

²⁰⁾ 周方向の長さは円周の8分の1である。

廃炉作業を想定したロボットのコンテスト「廃炉ロボコン」などが実施されている。

○ 大熊分析・研究センター（放射性物質分析・研究施設）

廃炉に向けた研究開発、技術開発等に利用するため、福島第一原子力発電所に隣接し、施設管理棟（分析作業員の居室やワークショップ等）、分析第1棟（ガレキ類、焼却灰、水処理二次廃棄物を分析）、分析第2棟（燃料デブリを分析）を整備する予定。平成30年3月15日、施設管理棟の開所式が行われた。

○ 国際廃炉共同研究センター国際共同研究棟

平成27年4月20日、文部科学省が公表した「東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等研究開発の加速プラン」に基づき、産学官が一体となって世界の英知を結集し、廃炉に向けた研究開発及び人材育成に係る取組を加速できるよう国際廃炉共同研究センターを茨城県に設置、その活動の中核となるべき拠点として「国際共同研究棟」が平成29年4月に富岡町に完成し、開所式が行われた。

(3) 汚染水対策

ア 循環注水冷却

現在、1～3号機の溶融した燃料は原子炉注水により冷却されており、溶融燃料を冷却した水はその後、原子炉建屋内において滞留水となる。滞留水はセシウム吸着装置と淡水化装置により原子炉循環注水に用いる淡水と濃縮塩水に分離され、淡水は再度原子炉に注水されている。セシウム吸着装置にストロンチウム除去性能が追加されたことにより、濃縮塩水はストロンチウム処理水として扱われている。濃縮塩水については、当初（平成25年9月）、東京電力は平成26年度内に全量を多核種除去設備（以下「ALPS」という。）により処理するとしていたが、平成27年1月23日、年度内の達成が困難になったことから、ALPSによる処理が間に合わない分を、ストロンチウム90を除去する設備を新たに追加して処理を進めた。また、それまでセシウムの除去に主眼を置いていた滞留水処理設備にストロンチウム90を除去する性能を付加して処理を進め、平成27年5月27日、濃縮塩水の全量がALPSまたはストロンチウム処理設備により処理を完了した。

イ 多核種除去設備（ALPS）

ストロンチウム処理水は、ALPSにより放射性物質を除去され、リスクの小さい水として再貯蔵されている。ストロンチウム処理水に含まれると考えられる主な放射性物質63種類の内62種類を除去できるが、トリチウムは除去できないため、ALPS処理水はトリチウムが含まれた状態のままタンクに貯水されている。

	系統数	定格処理量	処理運転開始
ALPS	3	250m ³ /日×3	平成25年3月30日
増設ALPS	3	250m ³ /日×3	平成26年9月17日
高性能ALPS	1	500m ³ /日	平成26年10月18日

「トリチウム水タスクフォース」（平成25年12月～平成28年5月）

汚染水処理対策委員会の下に設置されたトリチウム水タスクフォースによる検証の結果、現在のトリチウム分離技術はただちに実用化できる段階にないとされ、ALPS 処理水については地層注入、海洋放出、水蒸気放出、水素放出、地下埋設の5つの最終処分方法が検討された。

「多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会」（平成28年11月～令和2年1月）

風評被害など社会的観点を含め総合的な検討を行うため、多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会が開催された。小委員会では、トリチウム水の処分方法の検討や漁業や農畜産物の風評被害、流通や消費者意識、地域対話について意見交換が行われた。

また、平成30年8月には富岡町、郡山市、東京都において公聴会が開かれたが、ALPS 処理水にトリチウム以外の放射性物質が残留していることが明らかにされたこともあり、環境中に ALPS 処理水を放出することに反対する意見が多数を占めた。これを受けて委員長は「タンクでの長期保管の可能性も含めて今後議論する」と表明した。

第14回小委員会（令和元年9月27日開催）において、敷地周辺の中間貯蔵施設など、新たな用地取得は難しいこと、敷地内に関しては今後の廃炉に伴い必要とされる施設が示され、今後、陸上保管を継続するのは難しいとの見解が示された。

第15回小委員会（令和元年11月18日開催）において、トリチウム水タスクフォースにおいて示された5つの最終処分方法のうち、これまでに実績のある「海洋放出」、「水蒸気放出」における放射線の影響評価が報告され、第16回小委員会（令和元年12月23日開催）において、処分方法を「海洋放出」と「水蒸気放出」、「これらを併用」の3つのケースに絞って検討を行うとする「取りまとめ（案）」が示された。

第17回小委員会（令和2年1月31日開催）において、処分方法を「海洋放出」と「水蒸気放出」の2点に絞り、報告書が提出された。

ウ 汚染水貯蔵タンクと漏えいトラブル

汚染水貯蔵タンクは、フランジ型と呼ばれるボルト締めタイプ、溶接によりボルトのつなぎ目のないタイプ、溶接だが横向きのタイプなど、多数の種類が使用されている。このうちフランジ型タンクは鉄板のつなぎ目から貯蔵されている汚染水が漏えいするトラブルが頻発してきた。平成25年8月、H4タンクエリアのフランジ型タンク



フランジ型タンクを調査する廃炉安全監視協議会から、濃縮塩水約300m³が地下へと漏えいした。H4エリアの付近には海へとつながる排水路があり、一部の汚染水は海へと流れた可能性が否定できない。その後もB南エリアにおいて、フランジ型タンクの天板から排水路へ汚染水が漏えいするなどのトラブルが相次いだ。汚染水の漏えいを避けるため、国と東京電力はフランジ型タンクから溶接型タンクへの置き換え計画を立て、フランジ型タンクの解体工事が進められている²¹⁾。

²¹⁾ 横向きのタイプは溶接型であるが置き換えが進められている。

エ 排水路、放水路及びトレンチ

福島第一原発構内の排水路²²⁾には A 排水路、B/C 排水路、K 排水路、物揚場排水路、5、6号機排水路がある。このうち、B/C 排水路は汚染水貯蔵タンクが設置されているエリアを通り、事故後の漏えい時に放射性物質が海へと流出する経路になったため、平成26年7月に放射線モニタが設置され、出口が発電所専用港湾内に切り替えられた。台風に相当する雨量を排水した場合でも、港湾内の放射能濃度に変化はなく、切り替えによる海への影響は観測されなかった。また、タンクから漏えいがあっても容易に放射性物質が排水路に流入しないよう、鋼管により暗渠化された。



ウェルポイントによる汚染地下水汲み上げ

1～4号機原子炉建屋西側を通る K 排水路について、平成27年2月24日、流れ込む雨水の一部が高濃度に汚染されていたことが公表された。この原因は2号機原子炉建屋大物搬入口屋上部分に降った雨が、屋上の放射性物質を含んで排水路に流れ込んでいるということであったが、その後、雨水を K 排水路に導く他の排水路（枝排水路と呼ばれる）も汚染されていることが判明した。この事実を示す測定結果を東京電力が把握しながら公表していなかったことが問題視され、サブドレンの地元説明等に大きな影響を与えた。2号機原子炉建屋大物搬入口屋上部は除染され、雨水が汚染しないよう被覆され、他の枝排水路の汚染源調査が現在進められている。この問題に鑑み、測定した放射能データを全数公開する取組が開始された²³⁾。

福島県は、K 排水路の汚染した雨水が直接港湾外へ流出すれば風評被害を招く可能性があることから、K 排水路の出口を港湾外から港湾内へ付け替えるよう、平成27年3月3日「福島第一原子力発電所の廃炉等の実施に係る周辺地域の安全確保協定」に基づく初めての措置要求を行った。同時に付け替えが完了するまでの間、暫定対策として仮設設備による港湾内への汲み上げを求め、4月17日、この仮設設備の運転が開始された。しかし、多量の降雨があるたびに K 排水路から港湾外への直接流出が起これ、度重なる申し入れにも関わらず改善が見られないことから、9月29日、福島県は東京電力と協議し、K 排水路の上流部分から B/C 排水路へ汲み上げる設備の追加を求め、10月30日この追加設備の設置が完了し、運用が開始された。その後、K 排水路の本設設備による付け替えは平成28年3月28日に完了している。排水路の清掃は随時実施しているが、抜本的な対策である汚染源の除去が完了しておらず、大雨時には K 排水路排水の放射性物質濃度が高くなる状況が続いている。

また、A 排水路については、増設 ALPS や移送配管等が設置されているエリアを通

²²⁾ 構内に降った雨水を海へと排水するための設備。事故により構内全体が汚染し、雨水が放射能を含むようになった。

²³⁾ 「福島第一原子力発電所周辺の放射性物質の分析結果」
<http://www.tepco.co.jp/decommission/data/monitoring/index-j.html>

るため、漏えいリスク低減のために排水先を港湾外から港湾内へ付け替える工事を平成28年11月21日から開始されており、通水は平成30年3月26日に完了している。

2～4号機の海水配管トレンチ²⁴⁾には、震災当時にタービン建屋地下から流れ込んだ高濃度汚染水が滞留していた²⁵⁾。平成23年4月、5月には、2号機、3号機取水口付近から海洋にトレンチ滞留水が漏れ出した。トレンチを閉塞するためグラウト等を注入し止水したものの、依然としてトレンチ内には滞留水が残っていた。このため、2～4号機海水配管トレンチ滞留水の除去のための工事（浄化作業等）が平成25年度下期から開始された。



2号機海水配管トレンチ止水工事状況

トレンチはタービン建屋地下階とつながっており、トレンチ内の水を抜いても建屋から滞留水が流れ込んで来るため、2号機では凍結管によって建屋とトレンチの連通部の水を凍結・止水し、水抜きを行う計画が立てられた。しかし、建屋から滞留水が漏れ出さないように水位調節した際のトレンチ・建屋間の水流によって氷の壁の造成が妨げられ、凍結のみで2号機トレンチの止水はできなかった。

平成26年10月、グラウト充填により配管貫通部等を埋め立て、水流を抑制する工事が行われたが、これによっても止水することはできず、第3番目の手法として滞留水を抜き取りつつ、水中不分離コンクリートを充填していく工事が行われた。海水配管トレンチのトンネル部をコンクリートで充填したのち、立坑部をエポキシやグラウトで充填しつつ、滞留水を抜き取り、平成27年9月11日、2号機海水配管トレンチの滞留水除去が完了した。トレンチのコンクリート充填は完全ではなく、津波によって運ばれた砂が底部に堆積しており、汚染水の通り道となっている可能性が指摘されている。タービン建屋内の滞留水がトレンチを通過して海側へ移動していないか現在でも監視が行われている。

3号機トレンチも、凍結管の設備が設置されたが、建屋内との流通が小さいことから、使用されず、2号機の経験を元に、水中不分離コンクリートによる充填が行われ、平成27年8月27日、3号機の海水配管トレンチの汚染水除去が完了した。

4号機トレンチも平成27年12月21日までに水中不分離コンクリートにより充填され、汚染水は除去された。

除去された汚染水量は2号機トレンチが約4,700m³、3号機が約6,000m³、4号機が約630m³であり、除去された放射性セシウムは合計約1,000兆Bqであった。

1～3号機放水路²⁶⁾には、震災当時に流れ込んだ滞留水が残っている。海への出口は

²⁴⁾ 港湾に隣接する護岸には震災前に設備の冷却に使用していた海水の取水口があり、取水設備の電源ケーブルや配管を建屋まで収納していた坑道のこと。

²⁵⁾ 1号機はトレンチの構造が一部高くなる場所があることから、滞留水は流れ込まなかった。

²⁶⁾ 1～4号機海側にある、事故以前、冷却に使用した海水を海に放水していた設備。

砕石や吸着材で埋め立てられ、海側遮水壁が閉合したことから、海への流出がほとんどないと推定されている。かつては、降雨があるたびに1号機放水路で放射能濃度の上昇が起きていたが、平成27年11月から放水路を浄化するためのモバイル式浄化設備の運転が開始されたことにより、1号機放水路の濃度は低下し、現在は運転が停止されている。

オ 護岸エリア地下水の汚染とその対策

平成25年6月、護岸エリアの1・2号機取水口間に設けた地下水観測孔から高濃度のトリチウムが検出されたことが発表された。その後の観測により、護岸エリア地下水は高濃度に汚染されていることがわかり、同7月には護岸から海洋に漏れ出していることが判明した。汚染源として、平成23年4月に漏えいし、土中に残留したトレンチ滞留水が考えられている。護岸エリアに水ガラスを注入して部分的に止水し、ウェルポイントで地下水を汲み上げることで当面の漏えい対策が行われていた。海へと漏えいしている地下水をせき止め、放射性物質の流出を大きく減らすことができる海側遮水壁を閉合するため、地下水ドレン運用に対する地元漁業者等への説明が行われ、平成27年8月25日に漁業者からの理解が得られたことから、9月10日から閉合工事を再開、10月26日に海側遮水壁が閉合した。閉合後の港湾内の海水の放射能濃度は顕著に減少傾向を示している。



海側遮水壁と地下水ドレンポンド

カ 地下水対策

汚染水が増え続けるのを防ぐためには、建屋に流れ込む地下水を減らさなければならない。国と東京電力は、地下水バイパス、サブドレン、凍土遮水壁の三つを地下水対策の柱と位置づけている。

地下水バイパスは建屋山側（地下水の流れの上流側）で地下水を汲み上げ、汚染される前に海洋へ放出する設備である。設備の設置、水質確認が終了し、漁業関係者から海洋放出に対する理解を得られたことから、平成26年5月21日、排水が開始された。令和3年3月1日までに、361回の排水が行われた。一日200～1500m³の地下水を汲み上げ、定期的に排水が行われている。水質は、排水前に第三者機関を交えて確認しており、運用目標（下表参照）を上回ったことはない。排水の都度、排水後の海水中の放射能濃度を東京電力が測定しており、有意な変動は観測されなかったことから、現在では月に1回、排水後の海洋の放射能濃度を測定している。福島県も月に一度、排水後の海水中



地下水バイパス排水状況

放射能濃度を測定し、変動がないかどうかを確かめている。地下水バイパス稼働による地下水流入抑制効果は、建屋貫通部止水効果と合わせて、一日約80m³と見積もられている。

【地下水バイパス運用目標】

核種	セシウム134	セシウム137	全β	トリチウム	その他のγ線核種
基準 (Bq/L)	1	1	5	1,500	不検出

サブドレンは建屋近傍に震災前からあった設備²⁷⁾で、震災により放射性物質やガレキが入り込み、いくつかの揚水井は使用不能となっていたが、揚水井の除染や新設によって機能を回復し、地下水流入を抑制する試みが計画された。また、海側遮水壁閉合に伴い、地下水がせき止められ水位が上昇して地下水が遮水壁を乗り越えて海へ流出しないように汲み上げる地下水ドレンが設置された。サブドレンや地下水ドレンで汲み上げた地下水は汚染されているため、浄化設備による浄化を行い、水質が地下水バイパス運用目標よりも厳しい目標値を下回ることを確認したのち、海洋放出する計画について理解を得るため、漁業関係者への説明が行われた。平成27年8月25日、福島県漁連、全漁連は計画を容認することを発表した。福島県は8月26日の廃炉安全監視協議会で説明を受けるとともに立入調査を実施し、8月28日、内堀知事が経済産業副大臣と東京電力代表執行役社長に運用目標の確実な遵守などを申し入れた。地元理解が得られたことから、サブドレンの汲み上げが9月3日から開始され、初めての排水が9月14日に行われた。サブドレンは一日約300～700m³の地下水を汲み上げており、令和3年3月1日まで1,494回の排水を行った。

地下水バイパスと同様、水質は排水前に第三者機関を交えて確認しており、運用目標(下表参照)を上回ったことはない。排水の都度、排水後の海水中の放射能濃度を東京電力が測定し、有意な変動は観測されなかったことから、現在では月に1回、排水後の海洋の放射能濃度を測定している。県も月に一度、排水後の海水中放射能濃度を測定し、変動がないかどうかを確かめている。サブドレン稼働により地下水位と建屋の水位差が2～2.5m程度まで低下した段階では、降水量の多い時期を除き建屋への流入量は1日50m³～150m³程度に減少している。(令和3年2月時点)

【サブドレン・地下水ドレン運用目標】

核種	セシウム134	セシウム137	全β	トリチウム	その他のγ線核種
基準 (Bq/L)	1	1	3	1,500	不検出

陸側遮水壁は、1～4号機建屋周辺を一周するように、地面に凍結管を埋め込み、土壌を凍らせて、氷の壁を作り、地下水が建屋を避けるように流れを変える計画である。平成27年4月30日から、建屋山側の一部の凍結管を用いてデータを採取する試験凍結が行われた。平成28年2月9日、凍土遮水壁の全ての工事が完了した。2月15日、第40回特定原子力施設監視・評価検討会において東京電力は凍土壁を海側から凍結させるという方針に変更した。(当初は、山側から凍結させる方針であったが、建屋内滞留水と建屋外地下水位が逆転するリスクがあったため規制庁による審査が続いていた。海側から

²⁷⁾ 地下水が建屋に及ぼす浮力を抑えるため、地下水を汲み上げて水位を調節する設備であった。

凍結させることで、建屋内滞留水と建屋外地下水位の逆転のリスクが回避された。) 10月時点で、海側は海水配管トレンチ下の非凍結箇所や地下水位以上などの範囲を除き凍結必要範囲の全てが0℃以下となった。山側については段階的に凍結を進め、平成29年8月22日、最後の箇所の凍結が開始され、11月2日、山側で表層を除き概ね0℃以下になった事が確認された。平成30年3月、東京電力は凍土遮水壁の効果に関する評価を行い、深部の一部を除き陸側遮水壁は完成し、陸側遮水壁とサブドレン等の重層的な汚染水対策により、地下水位を安定的に制御し、建屋に地下水を近づけない水位管理システムが構築された公表した。重層的な汚染水対策により、雨水や地下水に起因する汚染水発生量は、陸側遮水壁の閉合前後で1日あたり約490トンから約110トンに減少(約1/4)した。

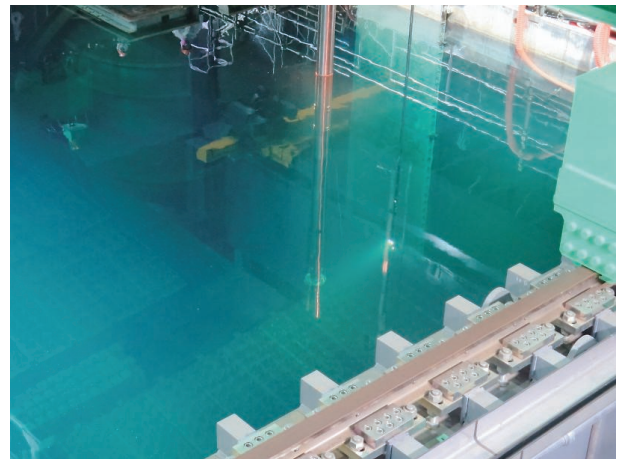
(4) 使用済燃料プールからの燃料取り出し

水素爆発により、福島第一原発1、3、4号機の原子炉建屋、タービン建屋は大きく損傷した。高温になり溶融した燃料から放射性物質が大量に飛散したことにより、建屋内は大規模に放射能で汚染され、高線量のために作業員の立ち入りが難しくなっている。

1、3、4号機の原子炉建屋は損傷しているため、原子炉建屋最上階の使用済燃料プールにある燃料を震災でも損傷が少なかった共用プール建屋へ移す方が安全性が高い。また、各号機に分散して保管するよりも、1カ所で保管、冷却する方が管理上も優れている。共用プールには6,799体の燃料集合体を保管することができ、震災発生時点で6,375体が保管されていた。

ア 4号機からの燃料取り出し

4号機使用済燃料プールからの燃料取り出しは、平成25年11月18日から開始された。4号機使用済燃料プールには、1,533体の燃料集合体があり²⁸⁾、キャスクと呼ばれる燃料輸送容器に装填して、共用プールに輸送した。燃料のうち、新燃料22体、使用済燃料全1,331体の移動作業は、平成26年11月5日に完了した。残る新燃料180体は、共用プールの容量が不足していたことから、6号機使用済燃料プールへの移送が行われ、平成26年12月22日に完了した。



4号機使用済燃料プールの燃料移動
(写真提供：東京電力)

イ 1～3号機からの燃料取り出し

1号機は水素爆発により原子炉建屋5階オペレーティングフロア(以下「オペフロ」)

²⁸⁾ 事故当時4号機に保管されていた燃料集合体数は1,535体であるが、2体の新燃料は事前調査のために平成24年7月に取り出された。

という。)の壁が吹き飛び、天井が崩れ、ガレキが散乱している。燃料取り出しのためには建屋上部のガレキ撤去が必要である。平成23年10月に放射性物質の放出を抑えるため建屋カバーが設置されたが、燃料取り出しに向け、平成26年10月から解体を開始し、カバーのパネル解体、防風フェンス等の設置を平成29年12月に完了した。この作業と並行し、オペフロ上の調査が行われ、ウェルプラグのずれなど新たに多くのことが判明している。現在、オペフロ上部のガレキ撤去が行われている。これらの作業にあたっては、飛散防止剤の散布等の放射性物質の飛散防止対策が取られている。



3号機燃料取り出し用カバー設置

これらのガレキ撤去は令和5年度（2023年度）頃に再度大型カバーを設置後に行い、令和9年（2027年度）から令和10年度（2028年度）に燃料取り出しを開始する予定である。

2号機は水素爆発を回避できたため建屋は健全だが、一方、放射能により建屋内は重度に汚染されている。当初は燃料取り出しに向けオペフロ上部を全面解体する計画だったが、ロボットによるオペフロ調査の結果、線量が想定よりも低いことが判明したことから、原子炉建屋の南側に構台を設置し、小規模開口部から使用済燃料取扱機を差し込む計画に変更された。使用済燃料の取り出し開始は令和6年（2024年度）以降が予定されている。

3号機も水素爆発により原子炉建屋のオペフロにガレキが散乱していた。無人重機により建屋上部のガレキ撤去を平成25年10月に、使用済燃料プールからの大型ガレキ撤去を平成27年10月に完了した。オペフロの除染、遮へい体の設置、使用済燃料プールからの小ガレキ撤去が平成28年12月まで行われた。平成29年1月から平成30年2月まで使用済燃料プールから燃料を取り出すためのカバー等の設置工事が行われた。平成30年度中頃を目処に燃料取り出しが開始される予定であったが、電圧設定の誤りによる電源盤の損傷やケーブル接続部への雨水侵入に伴う腐食による断線といった不具合が確認されたことから、平成30年末まで安全点検による不具合の抽出を行い、対策を実施。平成31年4月に使用済燃料の取り出しを開始しており、令和3年2月28日に566体（内52体が新燃料）全ての燃料取り出しが完了した。

なお、1～3号機の使用済燃料の移送先となる共用プールの保管容量の不足分は、共用プールに保管されている十分に冷却された燃料を乾式貯蔵キャスク²⁹⁾に装填し、敷地内のキャスク仮保管施設に移動することで確保する予定である。

ウ 使用済燃料プールの冷却

使用済燃料は運転停止後も熱を出し続けるため、使用済燃料プールでは循環冷却を継続している。事故直後は使用済燃料の熱量が大きかったが、事故から6年が経過した平

²⁹⁾ 放射線を遮蔽し、燃料を空気で冷却する容器。

成29年4月及び7月に1号機使用済燃料プールの冷却停止試験（熱交換バイパス運転）を行い、プール水温が運転上の制限（60℃）未満で推移すること及び自然放熱を考慮した水温評価式の妥当性が確認された。2号機及び3号機においても評価を行ったところ、運転上の制限（65℃）未満で推移する見込みとなったことから、熱量が大きい2号機を代表として、平成29年8月から9月にかけて冷却停止試験（二次系通水停止運転）を実施した。その結果、東京電力は、仮に使用済燃料プールの冷却が停止した場合でも、自然冷却により運転上の制限未満でプール水温が推移することが確認できたとしている。

(5) 溶融燃料の取り出し

運転中だった1～3号機の原子炉内の燃料は、冷却が停止したことで高温となり、燃料ペレットや燃料被覆管が溶融した。溶融した燃料は、燃料を囲む構造物や圧力容器も溶かし、格納容器の底にたまっていると推測されている。これまで、格納容器内の状況確認や取り出し工法の検討のため、各号機でカメラ・線量計の挿入、ロボット調査、宇宙線ミュオン調査が行われているが、詳細までは判明していない。

原子炉から溶融燃料を取り出すためには多くの課題が残っている。まず、原子炉建屋上部に燃料取り出し用の器具を設置するため、建屋の健全性の調査や、ガレキ撤去を行う必要がある。当初、格納容器の漏えい部を止水し、格納容器内に水を満たすことで放射線を遮蔽する冠水工法が検討されていたが、平成29年8月にNDFから原子炉格納容器底部の燃料デブリを「気中－横アクセス工法」で取り出すことから検討を進める技術戦略プラン2017が示され、平成29年9月の中長期ロードマップの改訂で、「気中－横アクセス工法」に軸足を置くこととされ、令和元年、技術戦略プラン2019において、燃料デブリ取り出しの初号機として2号機が示された。

東京電力は2021年度に試験的な取り出しを開始すべく、取り出し装置の開発を進めていたが、新型コロナウイルス感染拡大の影響により、イギリスの装置開発メーカーにおけるモックアップ訓練や装置移送などに支障が生じたため、試験取り出し時期の見通しが立たない状況となっている。

ア 原子炉の冷却

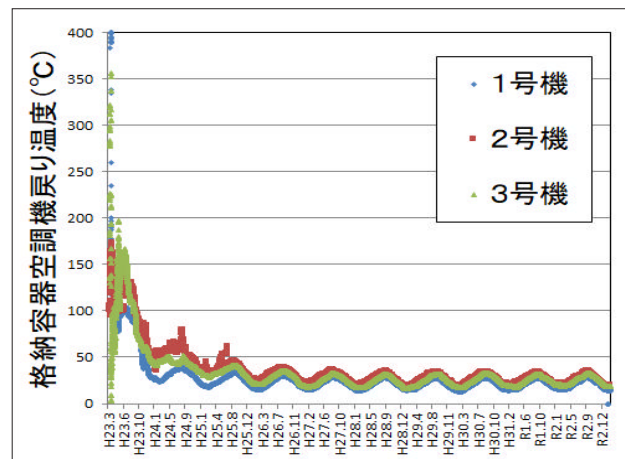
冷却設備を失った1～3号機の原子炉格納容器・圧力容器は、事故当初、高温であったものの、代替冷却設備の設置により安定的に冷却されている。現在、原子炉格納容器内の温度は、13℃～34℃程度の範囲で推移しており、燃料デブリが再び溶融する温度よりも十分低い値を維持している。

1～3号機の代替冷却設備は、原子炉建屋とタービン建屋に滞留している汚染水³⁰⁾を汲み上げ、水処理設備で放射性物質と塩分を除去した後、再び原子炉に注水している。余剰分の水については、タンクに貯蔵されてから多核種除去設備によって処理される。

³⁰⁾ 1～3号機の原子炉格納容器は冷却停止による高温高圧により損傷したため、原子炉を冷却するために注水した冷却水が、格納容器の損傷部から建屋内に漏れ出している。

注水した冷却水は、損傷した原子炉格納容器から漏えいし、再びタービン建屋地下階に移動して高濃度滞留水に混じる。

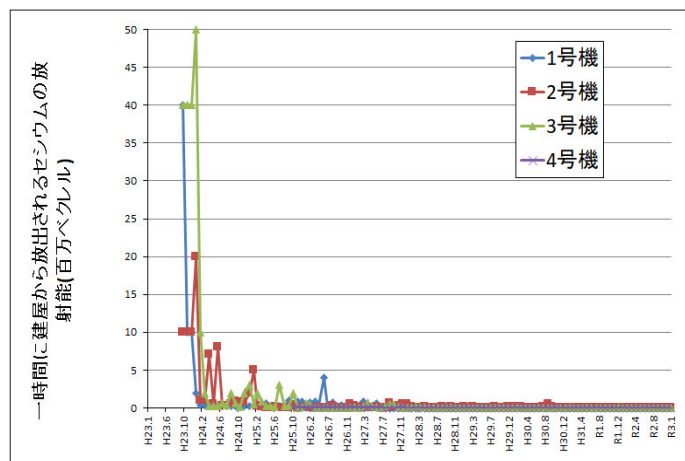
代替冷却設備は多くの設備と配管からなっており、発電所敷地内の広い範囲に点在している。配管の全長は約3 kmにも及び、配管からの漏えい等の恐れがあることから、冷却設備を建屋内に収納し、小循環化が行われ、平成28年10月7日から運用が開始された。また、平成28年3月26日に1号機タービン建屋が循環注水ラインから切り離された。



格納容器温度の推移

イ 放射性物質の放出

セシウム、ヨウ素、キセノンなどの揮発性放射性物質が大気中に放出される量は、半減期が比較的短い放射性物質（ヨウ素131、キセノン135など）が崩壊により存在量が少なくなったことや原子炉への安定した注水により原子炉格納容器・压力容器内の温度が低下したことから、減少傾向である。令和2年1月分の評価で、建屋から大気中に放出された放射性物質による福島第一原発敷地境界における追加的被ばく線量は、年間0.00029ミリシーベルト未満となっている³¹⁾。平成27年5月から1号機建屋カバーのパネル取り外しを開始し、開口面積が増加したが、放出量の増加は確認されていない。



原子炉建屋からのセシウム放出量

1～3号機の格納容器内の気体は、格納容器ガス管理システムによって抽気され、フィルターによって粒子状放射性物質を取り除いてから放出されている。

(6) その他の課題

ア 廃棄物保管設備

ガレキや作業員の防護服、マスクなどの廃棄物、水処理設備での廃吸着塔など、廃棄物を保管する設備は構内各所に点在している。防護服やマスクなど低線量の廃棄物は、

³¹⁾ 建屋から大気中に放出された放射性物質による被ばくであり、地面に沈着した放射性物質や汚染水タンク、固体廃棄物貯蔵施設による寄与は含まない。

本設の貯蔵施設である固体廃棄物貯蔵庫等に保管されている。一方、建屋上部のガレキ撤去で生じた高線量ガレキ等の高線量廃棄物は、覆土式一時保管施設と呼ばれる遮蔽テントの中に保管されているが、放射線防護の観点からは、固体廃棄物貯蔵庫の地下階に保管することが望ましい。このような固体廃棄物の発生量予測、管理計画として、「固体廃棄物の保管管理計画（平成28年3月31日）」が策定され、令和2年9月に改訂されている（毎年改訂、4回目）。なお、水処理設備の廃吸着塔は放射性物質を吸着しており非常に高線量であるため、専用施設に保管されている。

平成27年4月1日、ALPSで発生した残渣を保管する高性能容器（以下「HIC」という。）から内包水が漏えいしていることが判明した。原因は、比較的高線量の炭酸塩を含む残渣³²⁾であり、水の放射線分解により発生した水素ガスが残渣内から放出されず、液位を押し上げ、漏えいに至ったと考えられている。福島第一原発構内にあるHIC全数に対して漏えいしていないかどうかの調査が順次行われ、抜本的対策として、HICからの水抜きが行われているが、高線量であるため、無人機による本設水抜き装置が設置された。

イ 作業員確保

廃炉作業は数十年にわたり続けられるため、安全かつ着実に作業を続けるためには、作業員の確保、熟練技術の継承が課題となる。特に、放射線作業従事者の被ばく線量は、法令により1年間で50mSv未滿、5年間で100mSv未滿であることが定められていることから、高線量環境下においては、作業の熟練に伴い被ばく線量が累積し、作業に従事できなくなるという問題がある。令和元年9月現在、作業員は毎日約3,600人ほど従事しており、ある程度余裕のある範囲で従事登録者が確保されている。

ウ 労働安全

福島第一・第二原発において下記表のように作業員の死亡事故（作業起因によるもの）が発生している。

年 月 日	事 例
平成26年3月28日 (福島第一原発)	建物の基礎部で掘削作業を行っていた作業員が崩落に巻き込まれ死亡
平成27年1月19日 (福島第一原発)	雨水を排水するための一時貯水タンクの設置状況を確認していた作業員がタンク上部（高さ10m）の開口部からタンク内に落下し、死亡
平成27年1月20日 (福島第二原発)	特殊な治具を扱っている際に頭部を治具に挟まれ作業員が死亡
平成27年8月8日 (福島第一原発)	バキューム車の除染に当たっていた作業員がタンクの蓋に頭を挟まれ死亡

福島第一・第二原発における作業員の死亡事故

³²⁾ ALPSでは海水由来のマグネシウムやカルシウムがストロンチウム除去を阻害するのを防止するため、吸着塔に通水する前に炭酸塩として沈殿させている。

平成27年1月19日、20日の死亡事故を受け、東京電力は労働安全を見直し(例：安全総点検の実施)、安全帯の着用や作業前の危険予知などの徹底など、安全管理方針を発表した。また、平成28年3月をもって、表土除去やモルタル吹付(フェーシング)等を用いた除染作業が概ね終了(1～4号機建屋周辺等については引き続き実施中)したことから、作業時の負荷軽減による安全性と作業性の向上、線量低減が実施されたエリアを可能な限り低い汚染レベルに維持することを目的とし、平成28年3月より防護マスクや防護服の簡易化が行われた。現在、福島第一原発の敷地の約96%で一般作業服による作業が可能となっている。さらに平成30年11月からは、放射性物資による汚染の広がりのないエリアについては、手袋を含む防護装備が不要で移動を可能とし、免震重要棟周辺を結ぶ歩道にも範囲が拡大されている。