

原子力市民委員会と政府・東京電力との意見交換会

◆日 時 2024 年 3 月 15 日（金） 15：00～17：00

◆場 所 衆議院第一議員会館 第 7 会議室

◆参加者 原子力災害対策本部

廃炉・汚染水・処理水関係閣僚等会議

原子力損害賠償・廃炉等支援機構

東京電力ホールディングス(株)福島第一廃炉推進カンパニー

原子力市民委員会 技術・規制部会長 後藤 政志
技術・規制部会メンバー 滝谷 紘一（オンライン）
技術・規制部会メンバー 川井 康郎
技術・規制部会メンバー 松久保 肇（オンライン）
技術・規制部会コーディネータ 菅波 完

この他に、座長 大島堅一、事務局長 村上正子他の原子力市民委員会関係者がオンラインを含めて参加します。

- ◆資 料
- ・原子力市民委員会からの事前質問 …… p.2～3
 - ・政府・東京電力側からの回答 …… p.4～6
 - ・「提言：福島第一原発の廃炉について「汚染水発生量ゼロ」の目標を明確化し、燃料デブリ取り出しを中止した上で、現在の位置での長期遮蔽管理を求める」
説明資料 …… p.7～12
提言書 …… p.13～24

<原子力市民委員会参考資料>

- ・「声明：ALPS 処理汚染水の海洋投棄を即時中止し、デブリ取り出しと非現実的な中長期ロードマップを見直し、福島第一原子力発電所の「廃炉」のあり方を公開・透明な場で検討すべきである」（2023 年 12 月 14 日）
- ・「見解：IAEA 包括報告書は、ALPS 処理汚染水の海洋放出の「科学的根拠」とはならない海洋放出を中止し、代替案の実施を検討すべきである」（2023 年 7 月 18 日）
- ・特別レポート 8 「燃料デブリ「長期遮蔽管理」の提言」（2021 年 4 月）
- ・『原発ゼロ社会への道 —— 「無責任と不可視の構造」をこえて公正で開かれた社会へ』（2022 年 8 月）

2024 年 2 月 28 日

原子力災害対策本部 本部長
廃炉・汚染水・処理水関係閣僚等会議 議長
内閣総理大臣 岸田 文雄 様
原子力損害賠償・廃炉等支援機構
理事長 山名 元 様
東京電力ホールディングス株式会社
福島第一廃炉推進カンパニー
プレジデント 小野 明 様

福島第一原子力発電所の廃炉についての質問事項

原子力市民委員会

座長 大島 堅一
原子力技術・規制部会長 後藤 政志

1. 「中長期ロードマップ」の見直しについて

現行の廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議「中長期ロードマップ（第 5 版改訂版）」は 2019 年 12 月 27 日に決定された。その冒頭には、「継続的な見直しを行いつつ、廃止措置等に向けた取り組みを進めている。」と記載されているが、第 5 版改訂後 4 年経過した現時点まで、その見直しはされていない。近々に見直す予定はあるか。もしその予定がなければ、継続的な見直しをしない理由は何か。

2. 「中長期ロードマップ」等における廃止措置終了目標について

「中長期ロードマップ」及びそれに基づく原子力損害賠償・廃炉等支援機構「技術戦略プラン 2023」には、廃止措置終了目標を「ステップ 2 完了から 30～40 年後」と記されている。この「廃止措置終了」の定義と終了時点での施設の姿を示していただきたい。具体的には、原子炉建屋を含めて建屋、構築物はすべて解体済みか、取り出された燃料デブリは敷地外に搬出されているか、敷地全体が更地にされているか。

3. 「中長期ロードマップ」における汚染水対策について

「中長期ロードマップ」におけるマイルストーンには、汚染水発生量の抑制を「2020 年内に 150m³/日程度に抑制。2025 年内に 100m³/日以下に抑制」と記されている。2020 年内の目標は達成済みであり、2025 年内の目標も 2023 年内に到達された。次いでは、事故の全面収束の上から「汚染水発生量ゼロ」をマイルストーンに付け加えるべきであるが、その予定はあるか。

4. 「技術戦略プラン 2023」と「実行プラン 2023」にもとづく汚染水発生量の抑制について
- (1) 汚染水発生のもとになる地下水、雨水などの建屋内流入は、現在では原子炉建屋のみに限られているか。
 - (2) 建屋間ギャップ部の貫通箇所を通して流入する量とそれ以外（床、壁の一般部）の破損箇所を通して流入する量の比率はどの程度か。
 - (3) 建屋間ギャップ部の貫通箇所については、「ギャップ端部にボーリング削孔し、そこにモルタル等を充填することで止水部を構築する対策を実施していく。ギャップ端部の止水対策は、構外において試験体を用いて施工方法や材料等の試験を行い、これを基に3号機へ展開していく」とある（技術戦略プラン、82頁）。これらの試験状況と3号機への展開状況を説明していただきたい。
 - (4) 建屋間ギャップ部の貫通箇所以外の原子炉建屋への地下水などの流入箇所の局所的な止水対策はどのように実施されているのか。建屋内部からのモルタル等の充填が行われているか。
5. 燃料デブリ空冷の可否について
- 東京電力資料「3号機原子炉注水停止試験（2022年6月30日）」の1. 概要
- 試験目的等（1頁）に次の記述がある。
- 「・また、将来のデブリ取出し工法の具体化を検討中であるが、燃料デブリの空冷の可否や水冷時の最低注水量を見極めていくことが重要。」
- 現在までに実施された原子炉注水停止試験の結果にもとづいて、燃料デブリ取り出し工法の具体化検討における燃料デブリの空冷の可否の見極めはつけられたか。その検討状況及び（もし得られておれば）その検討結果を示していただきたい。
6. 燃料デブリの取り出しと管理について
- 燃料デブリ取り出し工法の選定検討がこの春に結論を出す予定で進められていることは承知している。選定された工法により燃料デブリ取り出しが進められるとして、取り出し作業中及び取り出し後の保管管理について質問する。
- (1) 作業中及び保管管理中には放射性物質の漏えいによる敷地外周辺住民に対する被ばくリスクがあり、厳重な安全対策が求められ、その安全対策の妥当性を評価するための規制基準が必要である。作業実施部門の立場から、原子力規制委員会に対して、燃料デブリの取り出しと管理に関わる規制基準の策定を求めているか。
 - (2) 機器・構造物及び構築物が解体されて取り出された鋼材、コンクリート類のうち、炉心溶融過程でアクチノイド核種が付着・残留している鋼材、コンクリート類は、燃料デブリと同様に保管容器に封入され、保管施設内で管理されると理解してよいか。燃料デブリ自体は約880トンとされているが、それ以外にアクチノイド核種が付着・残留した鋼材、コンクリート類の量はどの程度になると評価しているのか。
 - (3) 上記の燃料デブリとアクチノイド核種で汚染された放射性廃棄物は、いつ、どこに搬出されるのか。2. で述べた「廃止措置終了」の姿とも関連してお聞きしたい。

以 上

1. 「中長期ロードマップ」の見直しについて

現行の廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議「中長期ロードマップ（第5版改訂版）」は2019年12月27日に決定された。その冒頭には「継続的な見直しを行いつつ、廃止措置等に向けた取組を進めている。」と記載されているが、第5版改訂後4年経過した現時点まで、その見直しはされていない。近々に見直す予定はあるか。もしその予定がなければ、継続的な見直しをしない理由は何か。

(回 答)

1. 現時点で「中長期ロードマップ」を改訂することは考えていませんが、今後、廃炉作業が進展する中で、地元の方々のお声もお聞きしながら、必要に応じ、「中長期ロードマップ」の改訂も含め、検討していきます。

2. 「中長期ロードマップ」等における廃止措置終了目標について

「中長期ロードマップ」及びそれに基づく原子力損害賠償・廃炉等支援機構「技術戦略プラン2023」には、廃止措置終了目標を「ステップ2完了から30～40年後」と記されている。この「廃止措置終了」の定義と終了時点での施設の姿を示していただきたい。具体的には、原子炉建屋を含めて建屋、構築物はすべて解体済みか、取り出された燃料デブリは敷地外に搬出されているか、敷地全体が更地にされているか。

(回 答)

2. 東京電力福島第一原子力発電所における廃炉の最終的な絵姿については、取り出される燃料デブリの性状などの調査・分析等も踏まえた上で、地元の皆様の思いもしっかりと受け止めて、具体化していく必要があると考えています。

3. 「中長期ロードマップ」における汚染水対策について

「中長期ロードマップ」におけるマイルストーンには、汚染水発生量の抑制を「2020年以内に150 m³/日程度に抑制。2025年以内に100 m³/日以下に抑制」と記されている。2020年内の目標は達成済みであり、2025年内の目標も2023年内に到達された。次いでは、事故の全面収束の上から「汚染水発生量ゼロ」をマイルストーンに付け加えるべきであるが、その予定はあるか。

(回 答)

3. 汚染水の発生量抑制の目標である「平均的な降雨に対して、2025年以内に汚染水発生量を約100 m³/日以下に抑制」の達成状況については、2023年度の実績を踏まえ今後判断することになる。なお、更なる発生量抑制の目標としては、今後、1～4号機建屋周辺の敷地舗装範囲の拡大や、局所的な建屋止水等を計画的に進めることで、2028年度までに1日あたり約50～70 m³に減らしていくこととしている。

資源エネルギー庁原子力発電所事故収束対応室

4. 「技術戦略プラン 2023」と「実行プラン 2023」にもとづく汚染水発生量の抑制について

Q 1. 汚染水発生のもとになる地下水、雨水などの建屋内流入は、現在では原子炉建屋のみに限られているか。

A 1.

建屋内への地下水や雨水等の流入は、原子炉建屋、タービン建屋（T/B）、廃棄物処理建屋（Rw/B）において確認されています。

Q 2. 建屋間ギャップ部の貫通箇所を通して流入する量とそれ以外（床、壁の一般部）の破損箇所を通して流入する量の比率はどの程度か。

A 2.

建屋内は高線量であるため、地下水の建屋内への流入経路の調査が出来ず、流入量の比率を把握することが困難です。

Q 3. 建屋間ギャップ部の貫通箇所については、「ギャップ端部にボーリング削孔し、そこにモルタル等を充填することで止水部を構築する対策を実施していく。ギャップ端部の止水対策は、構外において試験体を用いて施工方法や材料等の試験を行い、これを基に3号機へ展開していく」とある（技術戦略プラン、82頁）。これらの試験状況と3号機への展開状況を説明していただきたい。

A 3.

建屋間ギャップ端部の止水対策については、2022年度に構外試験を実施し、その知見を踏まえ、実規模である5号機及び6号機において試験施工を実施しております。今後、4号機への試験施工を実施し、2024年度から3号機で着手する計画としています。

Q 4. 建屋間ギャップ部の貫通箇所以外の原子炉建屋への地下水などの流入箇所の局所的な止水対策はどのように実施されているのか。建屋内部からのモルタル等の充填が行われているか。

A 4.

建屋間ギャップ部以外の貫通部のうち、周辺地下水位（T.P. +2m）以深にある外壁部建屋貫通部について、カメラによる流入調査や、内部充填による閉塞や止水処理を実施しています。引き続き、流入量の多い3号機タービン建屋を優先し、調査及び対策を実施していく予定です。

5. 燃料デブリ空冷の可否について

Q 1. 東京電力資料「3号機原子炉注水停止試験（2022年6月30日）」の1. 概要■試験目的等（1頁）に次の記述がある。「・また、将来のデブリ取出し工法の具体化を検討中であるが、燃料デブリの空冷の可否や水冷時の最低注水量を見極めていくことが重要。」現在までに実施された原子炉注水停止試験の結果にもとづいて、燃料デブリ取出し工法の具体化検討における燃料デブリの空冷の可否の見極めはつけられたか。その検討状況及び（もし得られておれば）その検討結果を示していただきたい。

A 1.

空冷時には、燃料デブリからの発熱を冷却することができるか、温度上昇に伴う核分裂生成物（FP）の揮発や乾燥状態になることによるダストの浮遊の影響など、課題があると考えています。

これまでの試験では、空冷化の可否判断ができるまでには至っていませんが、引き続き、知見拡充に向けた検討を行っていきます。

6. 燃料デブリの取り出しと管理について

燃料デブリ取り出し工法の選定検討がこの春に結論を出す予定で進められていることは承知している。選定された工法により燃料デブリ取り出しが進められるとして、取り出し作業中及び取り出し後の保管管理について質問する。

Q 1. 作業中及び保管管理中には放射性物質の漏えいによる敷地外周辺住民に対する被ばくリスクがあり、厳重な安全対策が求められ、その安全対策の妥当性を評価するための規制基準が必要である。作業実施部門の立場から、原子力規制委員会に対して、燃料デブリの取り出しと管理に関わる規制基準の策定を求めているか。

A 1.

これまで、燃料デブリの試験的取り出しに向けた安全確保の考え方について、原子力規制庁と協議しています。

今後も、燃料デブリの段階的な取り出し規模の拡大、取り出し規模の更なる拡大に向けて、原子力規制庁と協議していくものと想定しています。

Q 2. 機器・構造物及び構築物が解体されて取り出された鋼材、コンクリート類のうち、炉心溶融過程でアクチノイド核種が付着・残留している鋼材、コンクリート類は、燃料デブリと同様に保管容器に封入され、保管施設内で管理されると理解してよいのか。燃料デブリ自体は約 880 トンとされているが、それ以外にアクチノイド核種が付着・残留した鋼材、コンクリート類の量はどの程度になると評価しているのか。

A 2.

炉内構造物などの燃料デブリにより汚染された廃棄物は、デブリとの分別が行われ、そのインベントリや化学的性状を踏まえた適切な保管容器、保管施設により保管を行います。

発生する廃棄物の性状や発生量は廃炉の進捗に伴い徐々に明らかとなるものと考えられ、今後、デブリ取り出しが進むことで、これらの廃棄物の性状や物量も明らかになっていくものと考えています。

Q 3. 上記の燃料デブリとアクチノイド核種で汚染された放射性廃棄物は、いつ、どこに搬出されるのか。2. で述べた「廃止措置終了」の姿とも関連してお聞きしたい。

A 3.

放射性廃棄物の搬出を行うためには、廃炉で発生する廃棄物の種類や物量、それらの核種組成を含めた性状を把握した上で、適切な処理・処分方法を決定する必要があります。

NDF（原子力損害賠償・廃炉等支援機構）から示された「固体廃棄物の処理・処分方策とその安全性に関する技術的な見通し（2021 年 10 月）」を踏まえつつ、国、JAEA 等と連携して研究開発を行っています。

当社は、これらの見通しや、徐々に明らかになる廃棄物の性状、処理・処分に係る技術調査・研究開発成果等を踏まえ、処理・処分の方向性を検討していきます。

提言： 福島第一原発の廃炉について

中長期ロードマップの見直しを求める

□目標に汚染水発生量ゼロを追加する

□建屋止水を最優先項目にする

□燃料デブリ取り出しの「規模拡大」を凍結し、
現在の位置で「長期遮蔽管理」する

2024年3月15日

説明者 滝谷紘一

原子力市民委員会 技術・規制部会



1

提言の経緯と要点

●原子力市民委員会声明（2023.12.14）

・ALPS処理汚染水の海洋投棄の即時中止

・燃料デブリ取り出しなど非現実的な廃炉中長期計画の見直し

●原子力市民委員会提言（今回）

①汚染水対策の目標に「汚染水発生量ゼロ」を追加する。

②建屋止水を最優先項目にし、循環注水冷却システムを
開ループから閉ループに変更する。

③燃料デブリの取り出しは、「規模拡大」を凍結し、現在の位置で
「長期遮蔽管理」する。

2

廃炉の実施計画と推進体制



3

中長期ロードマップの具体的対策の問題点

○廃止措置の終了目標：ステップ2完了(2011.12)から30～40年後

○マイルストーン (主要な目標工程)

1. 汚染水対策 汚染水発生量
150m³/日程度に抑制： 2020年内
100m³/日以下に抑制： 2025年内
2. 使用済燃料プールからの燃料取り出し (略)
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： 2021年内
(2号機から着手。段階的に取り出し規模を拡大)
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年頃

・終了の姿が不明
・実現性に疑問

目標達成済。
次に、「発生量ゼロ」
を設定すべき

未達で2年経過！
規模拡大の技術的見
通し立たず。根本的
に見直すべき

燃料デブリ
最終処分の
道筋が未定

4

廃炉計画見直しの提言

1. 汚染水対策

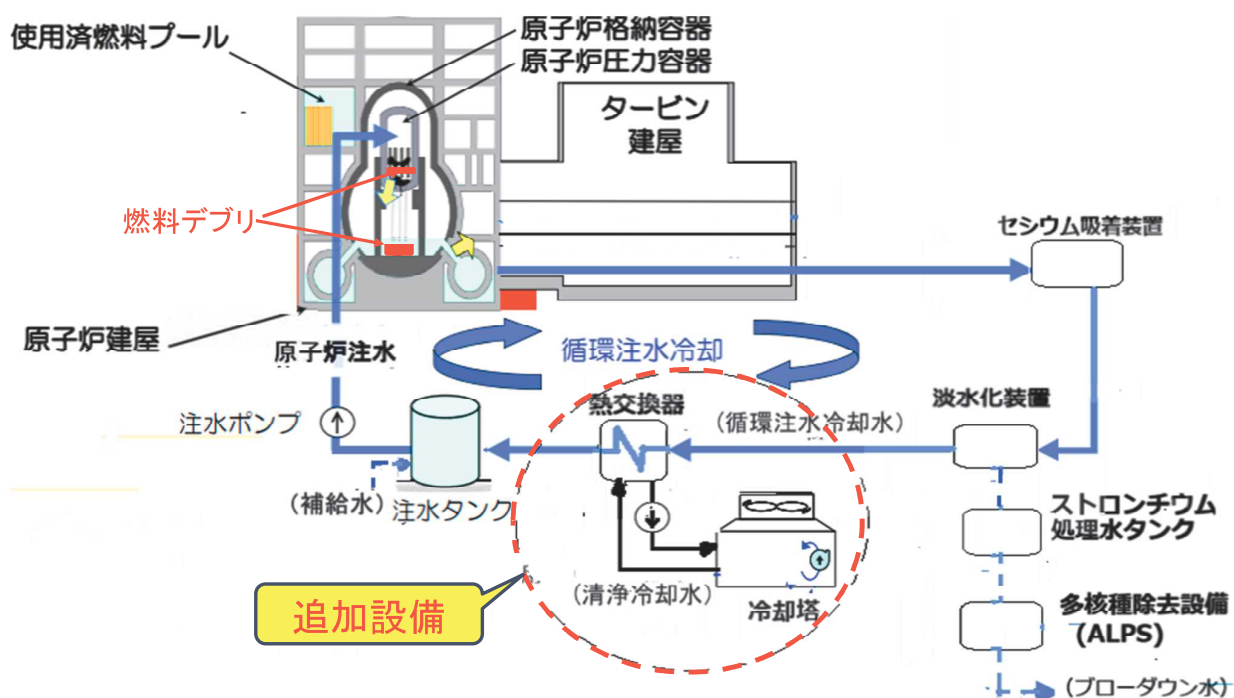
○汚染水発生量ゼロとその達成時期を明記する。

○その実現のために、

・地下水、雨水の流入を防ぐ「建屋止水」を最優先項目にする。

・建屋止水後の燃料デブリ冷却について、
循環注水冷却システムを開ループ方式(現状)から
閉ループ方式に変更する。(次頁の図参照)

5



6

循環注水冷却システム(閉ループ方式)の系統概念図

廃炉計画見直しの提言

2. 燃料デブリについて、「**取り出し規模拡大**」を凍結し、現在の位置で「**長期遮蔽管理**」に変更する。

理由

- 強放射線環境での取り出しに伴う**被曝労働**と事故時の**住民被曝**の防止
- 取り出し技術の成立性**に見通しがなく、**作業の泥沼化**と**巨額費用の投入**を回避
- 長期保管中に**放射能が自然崩壊**により**低減**
- 最終処分への道筋が未確定**。今、急いで取り出しても**敷地内保管**が続く。

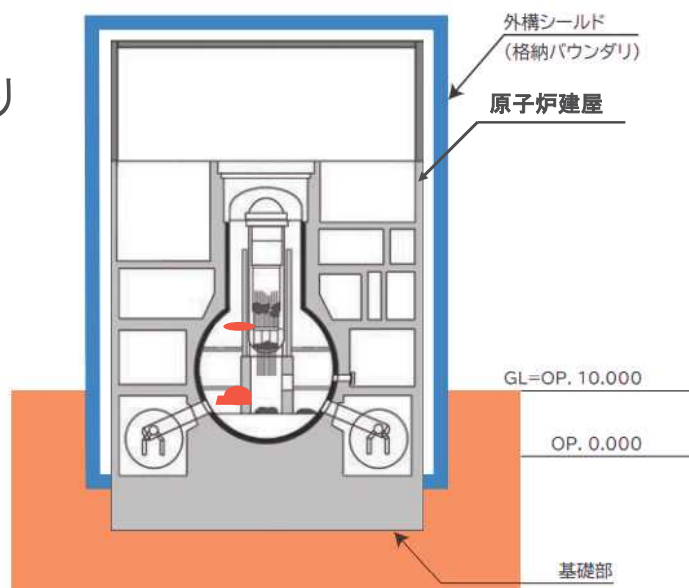
7

長期遮蔽管理方式※とは

- 燃料デブリは現在の位置で**受動型空冷化システム**により**固化状態を維持**（次頁の図）

- 格納バウンダリとして**外構シールド**を設け、**放射性物質の外部漏えい**を防止（右図）

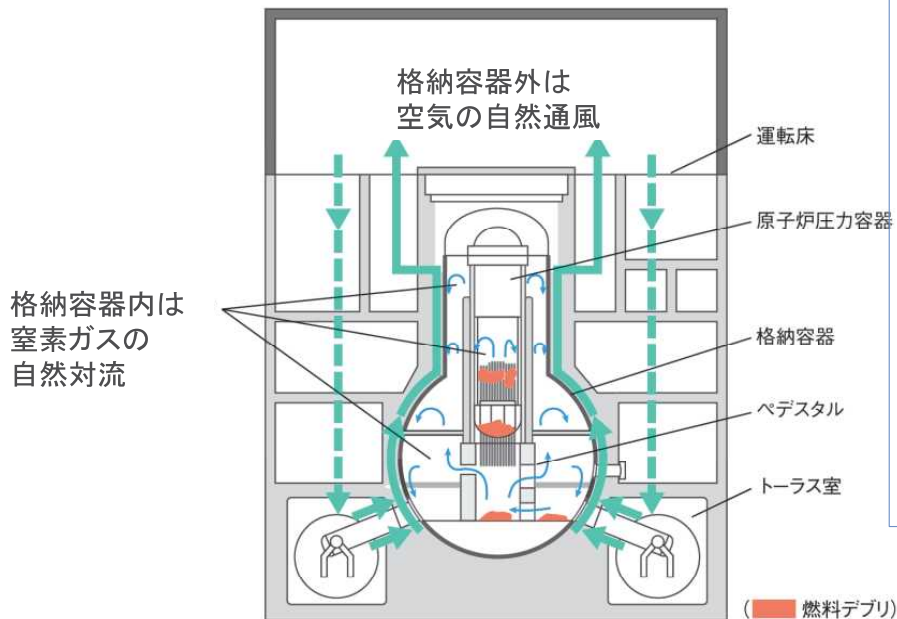
※参考資料：原子力市民委員会特別レポート8
「燃料デブリ『長期遮蔽管理』の提言」
2021.4発行



長期遮蔽管理用の外構シールドのイメージ

8

受動型空冷システムの概念



○駆動機器がなく、安全性と信頼性が高い

○伝熱解析結果※：
除熱上、最も厳しい燃料デブリの内部最高温度は、事故後10年の時点で、約660℃。
固化安定状態は維持される見通しを得た。

※提言書の【補足説明】に記載

9

長期遮蔽管理へ移行するまでの基本手順

基本ステップ

1. 地下水止水

工事中、燃料デブリの水冷一時停止

ピット内部止水工事

循環注水システム閉ループ化工事

2. 燃料デブリ空冷化

循環注水冷却継続(=汚染水発生停止) 注2

空冷ライン構築

空冷開始、継続(=汚染水発生停止)

タービン建屋解体・外構シールド構築

3. 外構シールド設置

長期遮蔽管理に移行

注1. 各ステップの線長は、実際の期間の縮尺を表すものではない。

2 循環水中の放射性物質濃度抑制のため一部抜き出しをするので、少量の汚染水は生じる。

10

まとめ

「中長期ロードマップ」の検証をもとに、以下の見直しを提言する。

- ① 「汚染水対策」の目標に「汚染水発生量ゼロ」を加え、その達成時期を明記すること。
- ② 「原子炉建屋止水」を最優先項目にすること。
止水後の燃料デブリ冷却のために、循環注水冷却システムを閉ループ方式に変更すること。
- ③ 燃料デブリの取り出しについては「規模拡大」を凍結し、受動型空冷システムで冷却しながら現在の位置で安全に管理する「長期遮蔽管理」にすること。

11

END



原子力市民委員会 事務局
〒160-0008 東京都新宿区四谷三栄町16-16 iTEXビル3階
高木仁三郎市民科学基金 内
TEL 03-6709-8083 / 070-5074-5985(菅波)
E-MAIL email@ccnejapan.com
URL <http://www.ccnejapan.com>

12

2024 年 3 月 15 日

原子力災害対策本部 本部長
廃炉・汚染水・処理水関係閣僚等会議 議長
内閣総理大臣 岸田 文雄 様
原子力損害賠償・廃炉等支援機構
理事長 山名 元 様
東京電力ホールディングス株式会社
福島第一廃炉推進カンパニー
プレジデント 小野 明 様

提言：福島第一原発の廃炉について
「汚染水発生量ゼロ」の目標を明確化し、燃料デブリ取り出しを中止
した上で、現在の位置での長期遮蔽管理を求める

原子力市民委員会

座長

大島 堅一

(龍谷大学政策学部教授)

技術・規制部会長

後藤 政志

(元東芝、原発設計技術者)

〒160-0008

東京都新宿区四谷三栄町 16-16 iTEX ビル 3 階

高木仁三郎市民科学基金内

TEL 03-6709-8083 / 070-5074-5985 (菅波)

E-MAIL email@ccnejapan.com

趣旨

原子力市民委員会は、福島第一原子力発電所の廃炉に関して、「ALPS 処理汚染水の海洋投棄を即時中止し、燃料デブリ取り出しと非現実的な中長期ロードマップの見直しを求める声明」¹を 2023 年 12 月に発表した。これに引き続いて、汚染水の追加発生 of 早期停止、燃料デブリ取り出しの中止など「中長期ロードマップ」²の見直しに関する具体策を提言する。

福島第一原子力発電所の廃炉作業は、政府が定めた「中長期ロードマップ」に従って原子力損害賠償・廃炉等支援機構と東京電力が実施している。事故発生から、この 3 月で 13 年が経過した現時点でその進捗状況を検証すると、設定された達成目標に関して大きな問題が数々生じている。その中で特に重要な問

¹ 原子力市民委員会声明「ALPS 処理汚染水の海洋投棄を即時中止し、デブリ取り出しと非現実的な中長期ロードマップを見直し、福島第一原子力発電所の「廃炉」のあり方を公開・透明な場で検討すべきである」(2023 年 12 月 14 日)
https://www.ccnejapan.com/wp-content/uploads/2023/12/20231214_CCNE_Seimei.pdf

² 廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議「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」初版(2011 年 12 月 21 日)。以降、改訂が重ねられ、直近版は第 5 回改訂版(2019 年 12 月 27 日)。

題は、汚染水の発生量をゼロにする目標がないこと、及び技術的見通しが立っていない燃料デブリ取り出しをすることである。「中長期ロードマップ」には「継続的な見直しを図る」と記していながら、2019年の改訂以降その見直しはされていない。原子力市民委員会は、これらの問題点についての見直しを強く求めるとともに、それに向けて具体的に次の3項目を提言する。

- ①「汚染水対策」の目標に「汚染水発生量ゼロ」を加え、その達成時期を明記すること。
- ②「汚染水発生量ゼロ」実現のために、地下水流入を防ぐ原子炉建屋止水を最優先項目に位置づけること、及び建屋止水後の燃料デブリの冷却のために、循環注水冷却システムを現在の開ループ方式から閉ループ方式に変更すること。
- ③「燃料デブリの取り出し」は、現状では技術的に極めて困難なこと、また、住民と作業員の被ばくリスクが大きいことから、「取り出し規模の拡大」を凍結し、現在の位置で長期遮蔽管理すること。

1. 廃炉計画の問題点

福島第一原子力発電所の廃炉作業は、政府が定める「中長期ロードマップ」に基づいて原子力損害賠償・廃炉等支援機構が策定する「技術戦略プラン」³、及びそれを東京電力が具体化する「中長期実行プラン」⁴によって進められている。各文書は2011年12月に「中長期ロードマップ」が決定されて以降、これまでに度々改訂されてきている。各直近版をもとに「中長期ロードマップ」における「中長期の具体的対策」のうちの「汚染水対策」と「燃料デブリ取り出し」について実施状況を検証して問題点を述べる。

(1)「汚染水発生量ゼロ」の達成目標がない

「中長期ロードマップ」には「汚染水対策」の主要な目標工程として、「汚染水発生量を150m³/日程度に抑制：2020年内。同100m³/日以下に抑制：2025年内」と定めているだけで、「汚染水発生量ゼロ」の達成目標がない。このことは汚染水の発生を早急にゼロにはしないことを意味しており、これは事故の収束を図る上で本質的な問題点である。

東京電力の報告によると汚染水発生量は2022年度平均で約90m³/日であったので、2025年内目標100m³/日は達成の見込みがあるといえよう。しかしながら、汚染水対策の問題点は100m³/日以下とする目標値そのものにある。発生量100m³/日は僅か10日間で汚染水貯留タンク1基分の容量(約1000m³)になるほどの大きな量である。「技術戦略プラン2023」には2028年度末の目標(約50～70m³/日)も記されているが、50m³/日でも20日間で貯留タンク1基分に相当する量である。政府・東京電力は既設の貯留タンク群が満杯になることを理由に挙げて、漁業関係者や市民及び近隣諸国からの強い反対意見を押し切って、2023年8月から「ALPS(多核種除去設備)処理水」の海洋投棄を開始した。投棄する「処理水」の総量、投棄を終える時期などについて政府・東京電力は明言していないが、汚染水の大量発生を止めない限り、その海洋投棄が続くことは明らかであり、これは地域社会の安全及び自然環境保全上、看過できない問題であり、国際社会から懸念や反対の声が上がるのも当然である。

この汚染水発生問題を燃料デブリ冷却の観点から見ると、事故発生直後から現在に至るまで燃料デブリから出る崩壊熱の除去を東京電力は開ループ方式⁵の循環注水冷却システムで行っている。この冷却

³ 原子力損害賠償・廃炉等支援機構「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」直近版は2023年版(2023年10月18日)

⁴ 東京電力ホールディングス(株)「廃炉中長期実行プラン」直近版は2023年版(2023年3月30日)

⁵ ここで、開ループ方式とは、常時、冷却材が系内に供給され、受熱により昇温して系外に排出される方式を指す。ここに供給されているのは建物内への流入水(地下水および雨水等)、排出されているのは汚染水である。これに対して、閉ループ方式とは、常時には冷却材の系内供給・系外排出はなく、冷却材が循環して受け取る熱は熱交換器等を介して、最終的に

システムでは原子炉建屋内に流入する地下水や雨水と建屋内滞留汚染水が混じった水を燃料デブリの注水冷却用に使用している。この場合、物質収支と熱収支の上から、建屋への流入水量に相当する汚染水量を冷却システムから抜き取る必要があり、システム外で新たな汚染水の貯留が続くことになる。

「汚染水発生量ゼロ」は、建屋への流入水量をゼロにすること、及び燃料デブリの冷却を建屋への流入水に頼らない閉ループ方式の冷却システムに変更することで実現できるのである。その具体策として、短期的に施工可能な閉ループ方式の循環注水冷却システム、そして中長期的には系統構成がシンプルで保守管理に優れる受動型空冷システムの採用を提案する。(これらのシステムの内容については次章で説明する。)

(2)「燃料デブリの全量取り出し」の技術的見通しが立っていない

「中長期ロードマップ」には「初号機からの燃料デブリ取り出し(2号機から着手。段階的に取り出し規模を拡大)： 2021年内」と定めている。

しかし、2号機についてのこの目標行程は2年経過した2024年3月の時点においても達成されていない。直近の状況として、気中工法で行う「試験的取り出し」の準備のために、燃料取り出し用ロボットアームを挿入する予定の格納容器貫通孔の蓋を開けたところ、貫通孔は堆積物で閉塞されていることが判明し、試験的取り出しがいつからできるのか不明になっている。それに続く「段階的に取り出し規模の拡大」が現実にはできるのか、仮にそれができたとして、全量取り出しができるのか、取り出しにどれほどの年月を要するのか、取り出した燃料デブリの最終処分の行き先はどこか、そこへの搬出時期はいつになるのか、など数々の課題についての見通しがまったく立っていない。

1号機、3号機を含めて各号機の基本的な取り出し工法がいまだ定まっておらず、現在、気中工法(RPV注水)、気中工法オプション(RPV充填固化)、及び冠水工法(船殻工法)が比較検討されているところである⁶。各工法には、遠隔ロボット技術の適用性、被ばく労働の増加、事故時に周辺住民に与える放射線被ばく、高レベル放射性廃棄物量の増大、燃料デブリの最終処分、長い工期と巨額の経費など共通の、あるいは特有の課題があり、燃料デブリ取り出しの困難さが明らかになっている。

燃料デブリは、原子炉内にあった核燃料物質、核分裂生成物、燃料被覆管、制御棒、炉内構造物などに加えて、格納容器内の構築物、床・側壁のコンクリートなど様々な物質が溶けて混じり合い凝固してきた極めて硬い物質である。燃料デブリ表層の剥離しやすい部分を取り出すことは可能であろうが、大半は原子炉圧力容器内の構造物や格納容器内のコンクリート層や構造体に固着しており、これを取り出すには、切削、破碎、把持、搬出する作業が必要である。燃料デブリは人体に危険極まりない強い放射線を出し続けているために、その取り出し作業には遠隔操作によるロボットアームが使用されるが、開発中のロボットアームが切削、破碎、把持、搬出の機能と耐久性を十分に備えているのかどうか、何も明らかにされていない。仮にロボットアームがこれらの機能を備えているとしても、燃料デブリはロボットアームの接近が困難な箇所(例えばベデスタル外側と格納容器内壁との間の領域)にも存在していることが判明している。以上を考慮すると、燃料デブリの「全量取り出し」は絵に描いた餅であり、実現不可能と判断すべきである。

燃料デブリの切削、破碎作業を行うと、核燃料物質と核分裂生成物を含んだ放射性粉塵が大量に生じる。気中工法では粉塵の捕捉と対象区域の気密化などで、原子炉建屋内への漏出を防ぐ設備対策が計画されているが、粉塵回収率100%はありえず、設備の故障や操作ミス、強い地震に見舞われた際の設

大気、あるいは海に放出される。汚染水の新たな発生と排出はない。

⁶ 脚注3の「3.1.3.3 段階的な取り出し規模の拡大」、「3.1.3.4 取り出し規模の更なる拡大」45～55頁参照。

備損傷などによる建屋内への漏出事故を想定しなければならない。その際には、建屋内に漏出する粉塵を作業員が吸い込み α 核種による重篤な内部被ばくを生じるおそれがある。さらに、粉塵が建屋外に漏出して大気中に拡散すると、周辺住民に放射線被ばくを与えるおそれがある。このような放射性粉塵の漏出事故に関して、最悪の事態を想定した安全性の評価が必要であるにもかかわらず、その想定や評価を求める規制基準すら定められていないことも問題である。廃炉作業中の安全性を確保する上からも燃料デブリ取出しはすべきでない。

(3) 取り出した燃料デブリの最終的行き先が不明

仮に燃料デブリの取り出しができたとしても、取り出した燃料デブリの最終的な処分の道筋が不明という問題がある。現計画では、敷地内の保管設備で暫定保管がされるが、その最終処分先が決まっていないので、それが決まるまで敷地内での保管が続くことになる。また、燃料デブリは破壊工作の標的ともなりうるので、保管設備には厳重なセキュリティ対策が必要になる。高レベル放射性廃棄物の最終処分場の選定すら長期にわたり難航している現実を踏まえると、最終的な行き先が不明の燃料デブリを原子炉建屋内から急いで取り出す必要性は全くないのである。

2. 廃炉計画見直しの提言

現行の廃炉計画には上述した大きな問題点があり、それらを解決するための具体的な見直し項目を提言する。

(1) 「汚染水対策」の目標に「汚染水発生量ゼロ」を加え、その達成時期を明記すること

「中長期ロードマップ」の「汚染水対策」における「主要な目標工程」に「汚染水発生量をゼロにすること」を加え、その「時期」を定めるべきである。これにより「技術戦略プラン」と「中長期実行プラン」において、それを実現する作業計画の具体化が必須となる。

(2) 「汚染水発生量ゼロ」の実現のために、地下水と雨水の流入を防ぐ建屋止水を最優先項目に位置づけること、及び建屋止水後の燃料デブリの冷却のために、循環注水冷却システムを現状の開ループ方式から閉ループ方式に変更すること

循環注水冷却の一時停止期間中に、地下ピットの内側からモルタル充填あるいは防水塗装などの既往技術、及び東京電力が開発中の建屋間ギャップ部の止水工法⁷により実施することで、建屋への地下水と雨水の流入量ゼロを実現する可能性は十分にあると見込まれ、建屋止水を最優先項目に位置づけて実施するべきである。

地下水と雨水の流入量がゼロになると、1 (1)で述べたように、現状の循環注水冷却システムでは燃料デブリ崩壊熱の除去ができなくなるので、現システムに熱交換器と冷却塔を追加設置して、図1に示すような閉ループ方式に変更する。燃料デブリの崩壊熱は、熱交換器を介して循環注水冷却水から清浄な冷却水に伝えられ、冷却塔において大気中に放出される⁸。

(なお、循環注水冷却水は燃料デブリに触れてから建屋内貯留水に混じる放射能汚染水であるから、運用中の放射性物質の蓄積を緩和するために、必要に応じて一定量のブローダウン(抜き出し)が必要と

⁷ 脚注3の「3.3.3.1 汚染水発生量の抑制」82～83頁参照。

⁸ このような閉ループ方式の循環注水冷却システムは、東京電力が2011年12月の時点で、「中長期的な対応としての実施を検討中」と公表している。東京電力「課題別取り組み状況(写真・図面集)」(2011.12.16) 2頁。

https://www.tepco.co.jp/cc/press/betu11_j/images/111216x.pdf

なお、図1に示す冷却塔に替えて、清浄冷却水を海水で冷やす熱交換器を設け、最終的に海に排熱する案もありうる。最終排熱先を大気にするか海にするかは配置、施工、保守管理などを勘案して選定すればよい。

なる。ブローダウン水はALPS（多核種除去設備）を経て、放射性液体廃棄物として保管する。その発生量は、現在の地下水と雨水の流入に伴う汚染水発生量と比べると桁違いに少なくなるであろう（ブローダウンにより減じる水の補給には一般の工業用水を用いる）。

(3)「燃料デブリ取り出し」をやめて、燃料デブリを受動型空冷システムで冷却しながら現在の位置で安全に管理する「長期遮蔽管理」に変更すること

燃料デブリ取り出しをやることにより、取り出しに伴う作業員の被ばく労働を不要にし、事故時の周辺住民の放射線被ばくリスクをなくすることができる。さらに、技術的困難さによる取り出し作業の泥沼化とそれに伴う巨額の費用投入を避けることができる。従って、燃料デブリ自体は現在の位置で安全性を確保しつつ長期的に管理することが理に適っている。この管理方式は、日本原子力学会が分類した廃止措置基本方針の選択肢の内の「原位置処分（長期保管）」⁹に該当する。その具体的な内容は、原子力市民委員会が2021年に提唱した「燃料デブリの長期遮蔽管理」¹⁰に示している。その要点は次のとおりである。

- ① 燃料デブリについては、現状の固化した安定状態を維持するにあたり、燃料デブリから出続ける崩壊熱を受動型空冷システムで除去する。その概念を図2に示す。

原子炉圧力容器内及びそこから流出して格納容器内に存在する燃料デブリは、封入されている窒素ガス¹¹の自然対流で冷却される。窒素ガスに伝わった熱は自然対流により格納容器鋼壁に伝わる。

格納容器鋼壁の外側には生体遮蔽コンクリート壁との間に約5cmの間隙が設けられており、そこは原子炉建屋内に通じている空気雰囲気である。格納容器鋼壁の外側から熱が伝わって空気の温度が上昇すると、煙突効果で自然通風の状態になる。自然通風で運転床上の広い空間に運ばれた熱は、換気空調系あるいは建屋の天井、側壁を介して最終的に大気中に放散される。

この受動型空冷システムでは、ポンプ、弁などの駆動機器及び熱交換器、冷却塔などの除熱用の機器がないので、長期にわたるシステムの安全性、信頼性及び保守管理に優れる。このような受動型空冷システムを適用できるのは、事故発生後10年余り経過して崩壊熱が自然減衰してきたことによる。このシステムの成立性を検討するために簡易計算手法による伝熱解析をした結果によると、1、2、3号機の燃料デブリ存在箇所の全体を通して、事故10年後の時点における燃料デブリと原子炉圧力容器鋼壁の最高温度はそれぞれ約660℃と約410℃である（この温度評価については末尾の「補足説明」に記す）。

この評価に基づいて、受動型空冷システムにより燃料デブリを固化して安定な状態に維持できる見通しを得た。

- ② 燃料デブリを現在の位置で長期管理するにあたり、原子炉建屋を長期間にわたり、天候による劣化や地震、津波などの外部事象から守らなければならない。そのために、建屋全体を覆って保護する外構シールドを設ける。その基本概念を図3に示す。

⁹ 日本原子力学会福島第一原子力発電所廃炉検討会「国際標準からみた廃棄物管理―廃棄物検討分科会中間報告―」（2020年7月）

¹⁰ 原子力市民委員会特別レポート8「燃料デブリ「長期遮蔽管理」の提言」（2021年4月5日）。この要点は原子力市民委員会『原発ゼロ社会への道 ――「無責任と不可視の構造」をこえて公正で開かれた社会へ』（2022年8月26日）115～122頁にも記載されている。

¹¹ BWRでは通常運転時から水素ガス濃度を抑制して水素爆発を防ぐ目的で窒素ガスが注入されている。長期遮蔽管理においては鋼製構造物の錆発生を抑えて劣化防止にも有用である。

原子炉建屋は2011年の地震と事故時の水素爆発で健全性を損なっていると考えられるので、原子炉建屋を強度的に連結、補強するために外構シールドは鉄筋コンクリート造りとする。

また、各号機とも格納容器が破損して気密性を失っているので、外構シールドには外部環境への放射性物質の漏出を防ぐ障壁（＝格納バウンダリ）の機能をもたせる。具体的には、外構シールド内は原子炉運転中の原子炉建屋と同様に排気ラインを設けて外気に対して負圧を維持できるようにし、何らかの原因で放射性の微粒子や粉塵が建屋内に出てきた場合には高性能フィルタを通して捕獲し、環境への漏出を防ぐようにする。

③ 受動型空冷システムを採用した「長期遮蔽管理」へ移行する基本手順を図4に示す。

「基本ステップ1. 地下水止水」では、循環注水冷却を一時停止した状態でピット内部のモルタル充填、防水塗装など、及び建屋間ギャップ部の止水工事を行う。それとともに、循環注水冷却システムに熱交換器、清浄冷却水回路及び冷却塔を追加設置する閉ループ化の工事を行う。

「基本ステップ2. デブリ空冷化」では、燃料デブリの除熱を閉ループ方式の循環注水冷却システムにより行いながら、受動型空冷システムの気体循環ラインを構築し、除熱機能の確認をする。そのために、「燃料デブリ表面が気中に露出するまでの循環注水冷却システムの長期停止試験」を行い、空冷状態での系内各部の温度推移データを取得する。そのデータをもとにして、空冷状態における伝熱解析評価の検証を行い、受動型空冷システム成立性の最終的な見極めをつける。成立性の確認が得られた後、燃料デブリの空冷化を開始する。空冷化により乾燥環境になり放射性微粒子が浮遊してくるおそれがあるので、その対策用に建屋内は負圧に維持し、HEPA フィルタを通して排気するものとする。なお、基本ステップ2に入った段階から汚染水発生は停止している。

「基本ステップ3. 外構シールド設置」では、タービン建屋など原子炉建屋に隣接する建屋を解体して外構シールドを設置し、本格的な「長期遮蔽管理」段階に入る。

まとめ

現状の廃炉計画の「中長期ロードマップ」とその実施状況を検証した結果、汚染水の発生を止めようとしていないこと、及び技術的見通しが立たないまま燃料デブリの全量取り出しに進もうとしていることが判明した。これらの問題を解決するために、「中長期ロードマップ」及びそれに基づく「技術戦略プラン」と「中長期実行プラン」の見直しを求めて、以下の項目を提言する。

- ① 「汚染水対策」の目標に「汚染水発生量ゼロ」を加え、その達成時期を明確にすること。
- ② 「汚染水発生量ゼロ」を実現するために、地下水流入を防ぐ原子炉建屋止水を最優先項目に位置づけること、及び建屋止水後の燃料デブリの冷却のために、循環注水システムを現在の開ループ方式から閉ループ方式に変更すること。
- ③ 「燃料デブリの取り出し」は、現状では技術的に極めて困難なこと、また、住民と作業員の被ばくリスクが大きいことから、「取り出し規模の拡大」を凍結し、現在の位置で長期遮蔽管理すること。

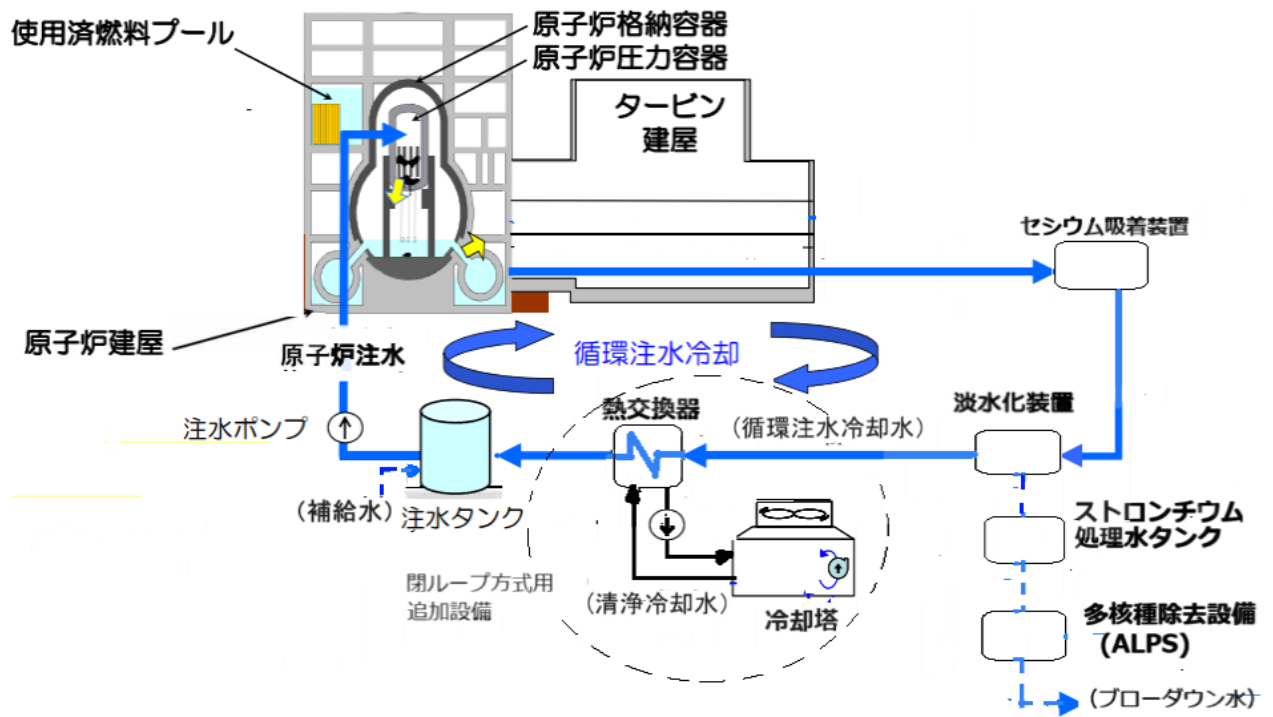


図1 閉ループ方式の循環注水冷却システムの構成概念

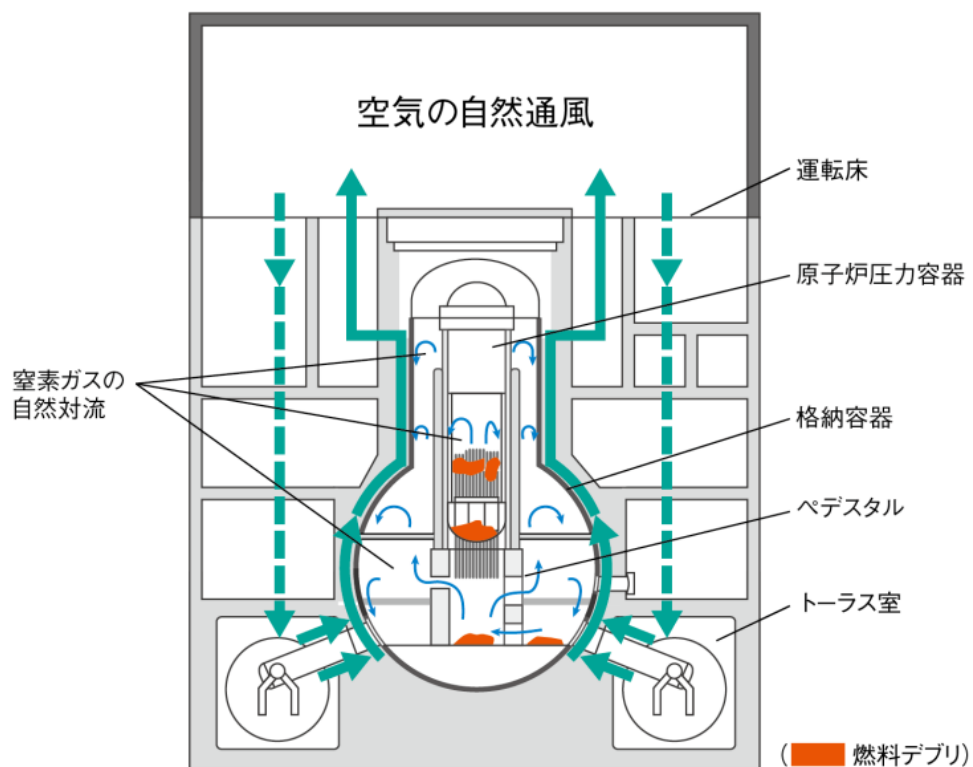


図2 受動型空冷システムの概念

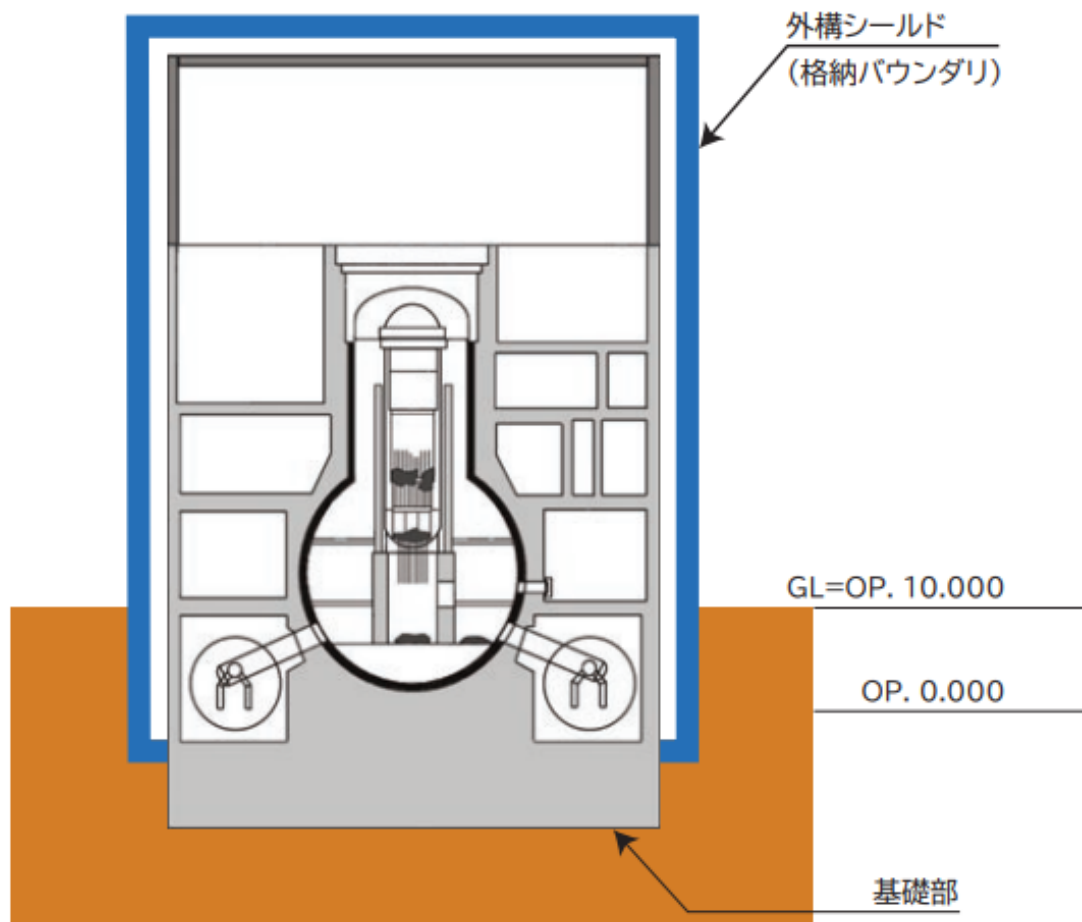


図3 長期遮蔽管理用の外構シールドの概念

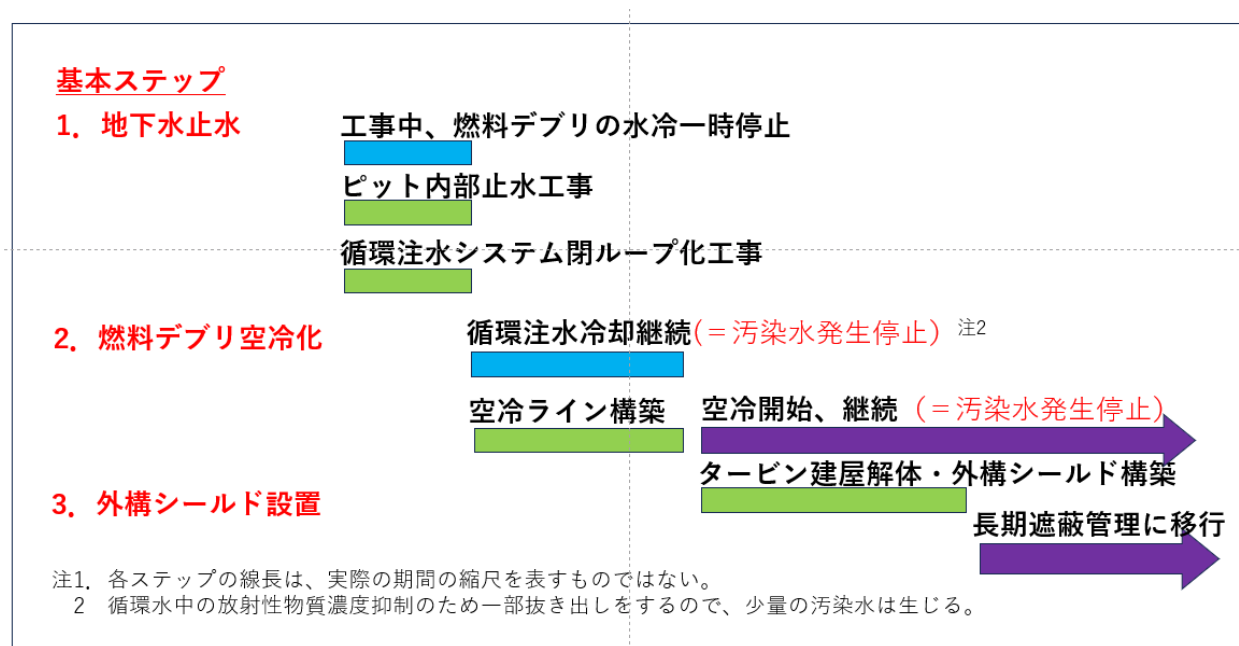


図4 長期遮蔽管理へ移行するまでの基本手順

【補足説明】 受動型空冷システムによる燃料デブリの除熱解析について

燃料デブリの空冷化が成立する可能性があるか否か判断するために行った簡易計算手法による伝熱解析の要点を述べる¹²。

(1) 解析モデル

格納容器内の各部位間の熱の流れを、図 A.1 に示す 1 次元伝熱ネットワークモデルで取り扱う。燃料デブリを除いて各部位の温度は均一とする。燃料デブリについては円筒形状に単純化し、厚さ方向の温度分布を 1 次元熱伝導方程式の理論解より求める。

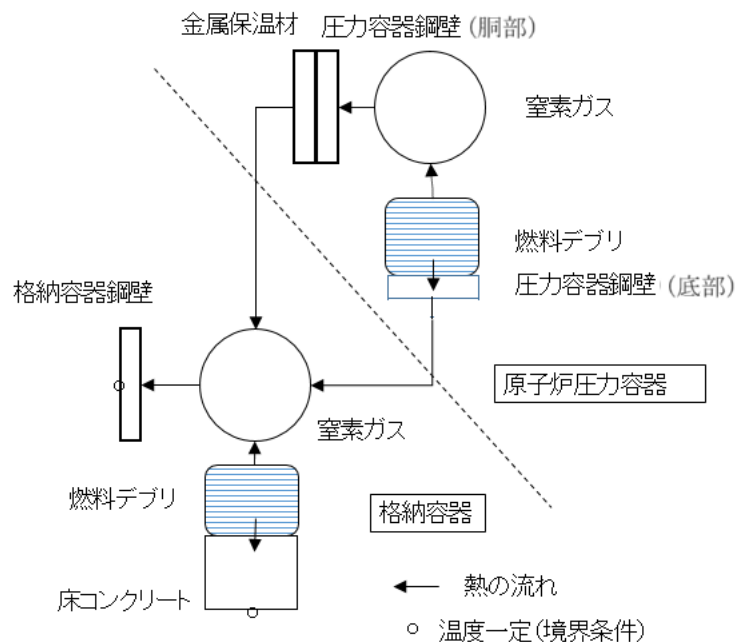


図 A.1 燃料デブリ温度分布計算用の伝熱ネットワークモデル

(2) 主な相関式と物性値

- ・自然対流熱伝達式： 水平上面、下面と垂直円筒面に関して Giet の推奨式¹³を適用。
- ・燃料デブリの物性値： 均質を仮定。Nagase-Uetsuka (JAEA) の TMI-2 デブリ標本値¹⁴を参照して設定。
 - ・熱伝導率 2.0W/mK
 - ・密度 7626kg/m^3
- ・金属保温材の熱通過率： $0.7\text{W/m}^2\text{K}$ (保温材メーカーの公開資料)

¹² 詳細は、脚注 10「原子力市民委員会特別レポート 8」の補足説明資料 2(31～37 頁)を参照。

¹³ W.H.Giet「基礎伝熱工学」丸善(1960)

¹⁴ F.Nagase, H.Uetsuka, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.49, No1(2012)

(3) 燃料デブリの崩壊熱値

注水停止試験(2019～2020)の結果からの推算値と高守 (IRID) による炉心溶融時の揮発性 FP 放出を考慮した評価値(モデル 2)¹⁵を包絡する原子炉停止後 10 年での値を採用する。各号機の燃料デブリ全体の発熱量は、

- 1 号機: 40kW
2 号機、3 号機: いずれも 45kW

(4) 燃料デブリ温度の解析結果

伝熱解析結果例として、1、2、3 号機を通じて燃料デブリ温度が最も高くなるケースについて記す。このケースの解析対象は 2 号機原子炉压力容器底部の燃料デブリであり、その重量は 160 トンである。この値は、東京電力が実施したミュオン(宇宙線の一種)透過測定結果にもとづく定量評価¹⁶ (表 A.1 中の②に示す値) を参照した。この重量に相応する発熱量は 30.4 kW である。

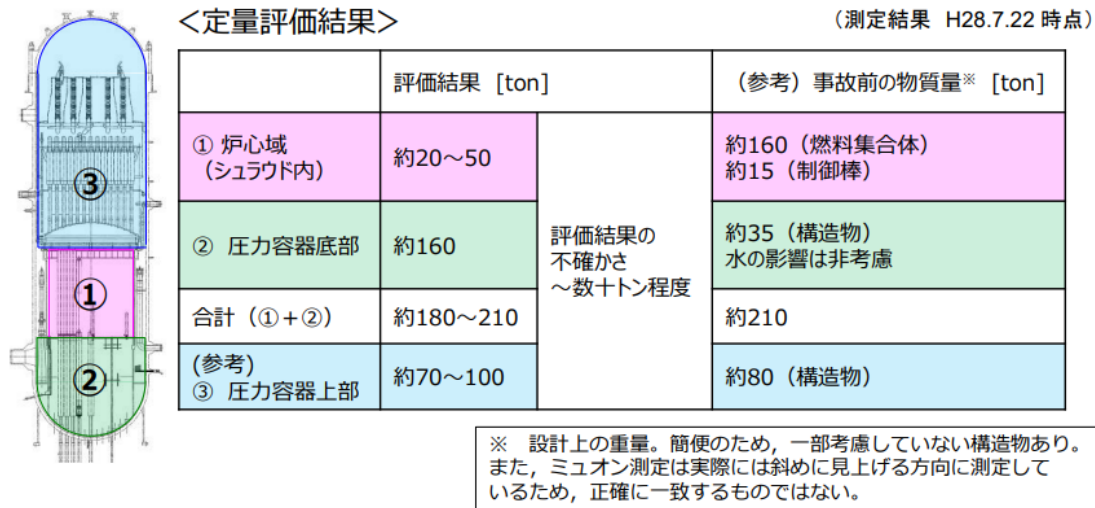


表 A.1 ミュオン透過測定にもとづく 2 号機原子炉压力容器内の燃料デブリ量の評価
(脚注 16 の東京電力資料からの転載)

本ケースについての燃料デブリの厚さ方向の温度分布を図 A.2 に示す。同図に示されているように、燃料デブリの内部最高温度は約 660℃、下面温度は約 410℃である。図にはないが、原子炉压力容器の下部半球部の鋼壁温度は、燃料デブリ下面と接しているため約 410℃である。また、このケースでの窒素ガス温度は、原子炉压力容器内が約 240℃、格納容器内が約 71℃である。

本ケースで採用した燃料デブリの形状、重量、物性値、単純化した伝熱計算モデルなどに不確かさを伴っているが、解析結果による燃料デブリ最高温度約 660℃は溶融温度 (おおよそ 2500℃) に対して相当の余裕があるので、空冷化のもとで固化状態を維持する見通しがあると判断している。空冷化

¹⁵ 高守謙郎「IRID における燃料デブリ取出し技術の開発」(2019 年 4 月 11 日) https://irid.or.jp/_pdf/20190411.pdf

¹⁶ 東京電力「福島第一原子力発電所事故発生後の原子炉压力容器内・格納容器内の状態推定について」(2021 年 7 月 19 日)

の運用に際しては、その準備試験として空冷状態での各部温度データを採取して、本計算結果の妥当性の検証を行うことは必要である。

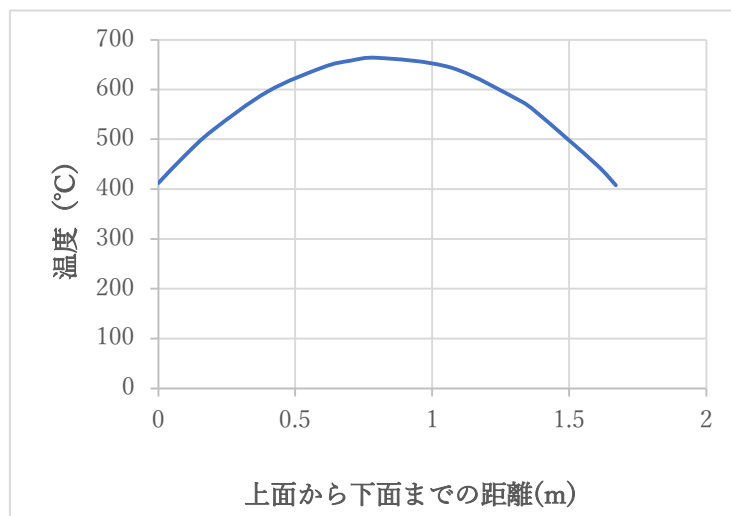


図 A.2 2号機原子炉压力容器底部にある燃料デブリの内部温度分布

本対象ケースについての事故発生から 10 年以降の燃料デブリ最高温度などの時間的推移を図 A.3 に示す。燃料デブリ崩壊熱の自然減衰に伴って徐々に全体的に温度が低下していく様子が示されている。

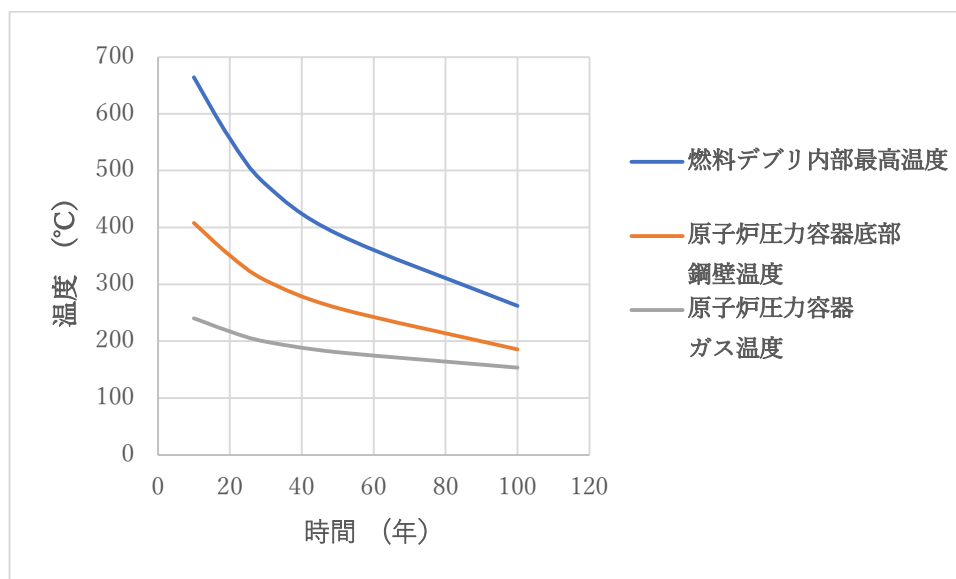


図 A.3 燃料デブリの最高温度などについての時間経過の影響

<付記>

原子力市民委員会の特別レポート 8(脚注 11)掲載の 2 号機原子炉压力容器底部の燃料デブリの温度解析結果は、ミュオン透過試験結果が発表される前の国際廃炉研究開発機構とエネルギー総合工学研究所による燃料デブリ分布の推定代表値(燃料デブリ重量 42 トン)¹⁷のケースに対するもので、燃料デブリ最高温度は約 430℃である。ミュオン透過試験結果を反映した今回のケースでは、重量と発熱量がその約 4 倍に増えたことにより、燃料デブリ最高温度は約 660℃と高くなっている。

重量と発熱量以外に、特別レポート 8 のケースと今回のケースとの間で解析条件が異なる点は、燃料デブリ存在領域をミュオン測定結果に合わせて、円筒形状を仮定する燃料デブリの直径を 3m から 4m に変更したこと、及び施工実態に合わせて、原子炉压力容器下鏡外側の保温材を「あり」から「なし」に変更したことの 2 点である。前者は燃料デブリの伝熱面積の増加、後者は熱抵抗の減少により燃料デブリの除熱性を高める影響を与える。

¹⁷ 国際廃炉研究開発機構 (IRID)、エネルギー総合工学研究所 (IAE)「解析・評価等による燃料デブリ分布の推定について」日本原子力学会燃料デブリ研究専門委員会 (2016 年 10 月 4 日)