

福島第一原子力発電所
特定原子力施設への指定に際し
東京電力株式会社福島第一原子力発電所に
対して求める措置を講ずべき事項について
等への適合性について
(ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設
の設置等について)
補足説明資料

令和4年7月
東京電力ホールディングス株式会社

1 章 特定原子力施設の全体工程及び リスク評価

1.1 特定原子力施設における主なリスクと 今後のリスク低減対策への適合性

特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項について（平成 24 年 11 月 7 日原子力規制委員会決定）

（以下「措置を講ずべき事項」という。）

I. リスク評価について講ずべき措置

1 号炉から 4 号炉については廃炉に向けたプロセス，燃料デブリの取出し・保管を含む廃止措置の完了までの全体工程，5 号炉及び 6 号炉については冷温停止の維持・継続の全体工程をそれぞれ明確にし，各工程・段階の評価を実施し，特定原子力施設全体のリスク低減及び最適化を図ること，特定原子力施設全体及び各設備のリスク評価を行うに当たっては，敷地外への広域的な環境影響を含めた評価を行い，リスクの低減及び最適化が敷地内外の安全を図る上で十分なものであること。

1.1.1 措置を講ずべき事項への適合方針

1 号炉から 4 号炉については廃炉に向けたプロセス，燃料デブリの取り出し・保管を含む廃止措置の完了までの全体工程，5 号炉及び 6 号炉については冷温停止の維持・継続の全体工程をそれぞれ明確にし，各工程・段階の評価を実施し，特定原子力施設全体のリスク低減及び最適化を図ること，廃炉に向けたプロセス，燃料デブリの取り出し・保管を含む廃止措置の完了までの全体工程を改訂していくこととし，特定原子力施設全体のリスク低減及び最適化を図ること，また，特定原子力施設全体及び ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設のリスク評価を行うに当たっては，敷地外への広域的な環境影響を含めた評価を行い，リスクの低減及び最適化が敷地内外の安全を図る上で十分であるよう設計する。

なお，ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設は，タンクに貯留されている ALPS 処理水を海洋へ放出することにより，燃料デブリや使用済燃料の取り出しといった廃炉作業を安全かつ着実に進めていくためのものであり，その位置づけを実施計画上で明確にする。また，同設備の運用によって，ALPS 処理水の放出が環境に影響を与えないことは，「2.11 放射性物質の放出抑制等による敷地周辺の放射線防護等への適合性」及び「5 章 政府の基本方針を踏まえた対応」の記載の通り。

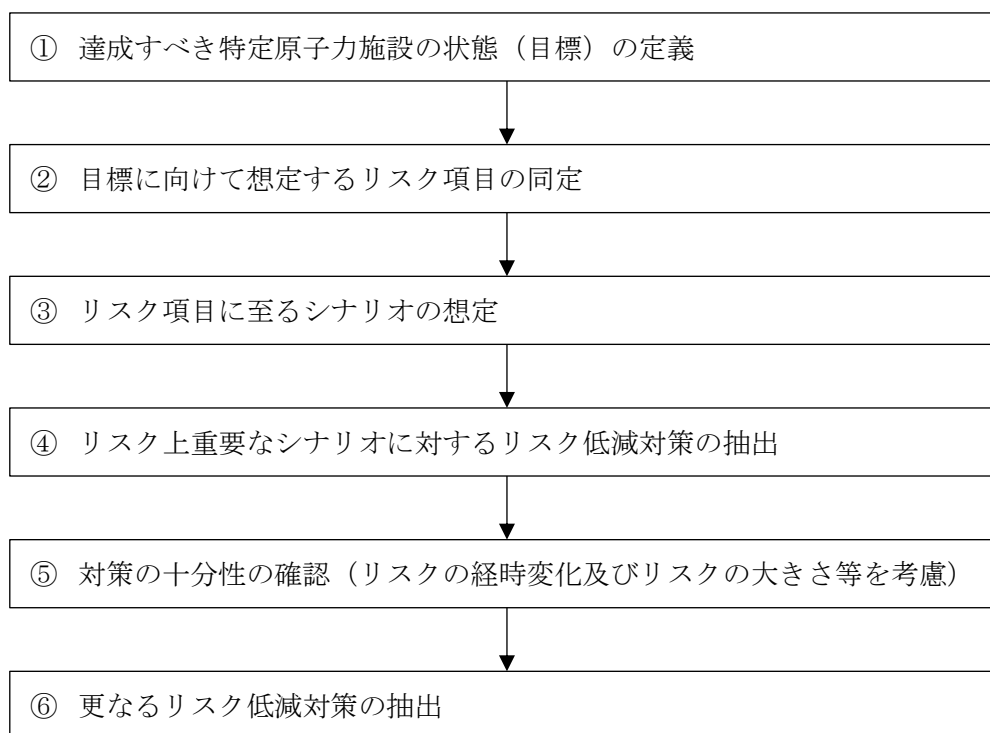
1.1.2 対応方針

(1) リスク評価の考え方

特定原子力施設のリスク評価は、通常の原子力発電施設とは異なり、特定原子力施設全体のリスクの低減及び最適化を図るために必要な措置を迅速かつ効率的に講じていくことを前提として実施する必要がある。以下にリスク評価の実施手順を示す。

また、特定原子力施設におけるリスク評価に関して、現時点で想定される敷地外への影響評価を(2)～(3)に示す。(2)においては、現時点における特定原子力施設の敷地境界及び敷地外への影響評価を示し、(3)においては、リスク評価で想定したリスクに至るシナリオの中で最も影響の高い事象を中心に評価した結果を示す。

a. リスク評価の手順



① 達成すべき特定原子力施設の状態（目標）の定義

特定原子力施設におけるリスク評価を実施するに際して、達成すべき状態（目標）を設定した上で目標に向けた活動に係るリスクを評価する必要がある。目標設定については、中長期的な観点で普遍的な目標を大目標及び中目標として設定した。小目標については個々の活動を実施する目的として設定されるものである。

【大目標】

特定原子力施設から敷地外への放射性物質の影響を軽減させ、事故前のレベルとする

【大目標達成のための中目標】

- 1) プラントの安定状態を維持しながら、廃止措置をできるだけ早期に完了させる
- 2) 敷地外の安全を図る（公衆への被ばく影響の低減）
- 3) 敷地内の安全を図る（作業員への被ばく影響の低減）

② 目標に向けて想定するリスク項目の同定

上記①のうち『敷地外の安全を図る』及び『敷地内の安全を図る』が達成できない状態を現状の主たるリスクと考え、以下の具体的なリスク項目を同定した。

『敷地外の安全を図る（公衆への被ばく影響の低減）』に関連したリスク項目

- i) 大気への更なる放射性物質放出
- ii) 海洋への更なる放射性物質放出

『敷地内の安全を図る（作業員への被ばく影響の低減）』に関連したリスク項目

- iii) 作業員の過剰被ばく

③ リスク項目に至るシナリオの想定

リスク評価を行うに当たっては危険源の同定が必要であり、特定原子力施設においては、放射性物質の発生源をその危険源として考え、放射性物質の発生源毎にリスク項目に至るシナリオを想定する。

また、作業員の過剰被ばくについては、ICRPの放射線防護の3つの原則である「正当化の原則」、「線量限度の適用の原則」、「最適化の原則」に基づきリスク分析を実施する。

シナリオの想定については全体のリスクを理解しやすいようにするため、まずは特定原子力施設全体として現在の設備や運用でリスクを押しえ込んでいる状態がわかるように整理し、次に設備単位でリスクに至るシナリオを想定した。シナリオの想定に当たっては、設備故障やヒューマンエラーなどの内部事象の他に外部事象を考慮したシナリオを想定する。

④ リスク上重要なシナリオに対するリスク低減対策の抽出

想定したリスクのシナリオに対して現在できているリスク低減対策，今後実施するリスク低減対策を含めて抽出する。対策を抽出する際には，目標とすべき状態とそれを達成するための具体的な対策を検討する。

⑤ 対策の十分性の確認（リスクの経時変化及びリスクの大きさ等を考慮）

上記④で抽出した対策について，短期的，中長期的な視点を踏まえた対策の十分性を検討する。その際に④で抽出した対策を実施した結果として新たに発生するリスク等も抽出する。対策の十分性の確認に際しては，リスクの大きさやリスクの経時的な増減等を考慮したものとする。

⑥ 更なるリスク低減対策の抽出

上記⑤で実施した対策の十分性の確認の結果，特定原子力施設全体のリスクをできるだけ早く低減させる観点から，既存の技術で達成可能で他のプライオリティの高い対策の進捗に影響しないものについては，精力的に対策を講じることを前提として更なるリスク低減対策を抽出する。

b. リスク低減対策の適切性確認

上記 a で抽出されたリスク低減対策について，個々の対策の優先度を多角的な視点で評価する必要がある。以下に示す考え方は，個々のリスク低減対策の必要性や工程等の適切性を確認し，対策の優先度を総合的に判断するため整理したものである。しかし，適切性確認の視点等は固定的なものではなく，今後の活動の中で柔軟に見直すことを前提としている。

(a) 適切性確認の前提条件

- ①作業員の被ばく低減を含む安全の確保が最優先である。
- ②リスク低減対策の必要性の有無は，それぞれの対策について個別に確認することが，第一段階となる。（全体の適切性を確認するための基本）
- ③リスク低減対策の全体計画を構築する際には，多種多様なリスク低減対策について同じ評価項目で定量的に比較することが難しいことを認識し，効率性等も考慮して全体リスクが早く低減することを前提とする。
- ④個々のリスク低減対策の適切性確認を行う際には，組織全体として共有すべき共通的な考え方（視点）を明確にする。
- ⑤個々のリスク低減対策の適切性確認においては，実施するかしないかの判断の根拠となるように対比を明確にする。

(b) 適切性確認の視点

①対策を実施しないリスク

対策を実施する目的に照らして、対策を実施しない又は適切な時期を逃すことにより発生、増大するリスクの有無及び他の対策等に与える影響を確認する。

②放射性物質の追加放出リスク

対策の対象となるリスクの大きさを確認するために、敷地外への放射性物質の追加放出の程度を確認するとともに、対策を実施することによるリスク低減効果の程度を確認する。

③外部事象に対するリスク

対策を実施した前後の状態において、地震、津波等の外部事象に対するリスクの有無及び他の対策等に与える影響を確認する。また、外部事象に対してより安定的なリスクの押さえ込みができる環境、方法が他にないかどうかを確認する。

④時間的なリスクの増減

対策を実施しなかった場合に、時間的にリスクが増減するかどうかを確認する。

(例えば設備の劣化、放射能インベントリの増加に伴うリスク増加)

⑤実施時期の妥当性

対策を開始、完了させる時期に対して、環境改善の必要性、技術開発の必要性、他の作業との干渉、全体リスクを速やかに低減させるための対策の順番を確認する。

⑥対策を実施するリスク

対策を実施する段階や実施した後に発生、増大するリスクの有無及び他の対策等に与える影響を確認する。また、対策を実施することで発生、増大するリスクには不測の事態においてマネジメントが機能しない可能性も確認する。

⑦対策を実施できないリスク

不測の事態等で対策を実施できない場合の計画への影響及び他に選択できる対策の有無を確認する。また、複数の選択肢を持った対策を検討する必要があるかどうかを確認する。

c. リスク評価時に考慮すべき事項

前述の手順に基づきリスク評価を実施する際には、以下の事項を考慮することにより、特定原子力施設におけるリスクを体系的に俯瞰できるように整理する。

(a) 放射性物質の量や種類

放射性物質の発生源に着目し、放射性物質の量（インベントリ）や種類（デブリ、燃料集合体、原子炉への注水、雨水の浸入、地下水の浸透等によって原子炉建屋等で発生した高レベルの放射性汚染水（以下「汚染水」という。）等）を考慮したリスク評価を実施することにより、対策の必要性や緊急性を合理的に評価でき、適切かつ効率的なり

スク低減のためのアプローチを行うことができる。

(b) 内部事象と外部事象

リスクが顕在化する起因事象毎にリスク評価を実施することにより、起因事象からのシナリオに応じた適切な対応が行われているか整理することができ、全体を俯瞰したりスク低減対策の漏れ等を洗い出すことができる。

(c) 発生可能性と影響範囲

起因事象からのリスクのシナリオにおける発生可能性や影響範囲を考慮することにより、合理的な対応や広がりやを考慮した対応が取られているかを評価することができる。

(d) 対策の有効性

現状行われている対策や実施予定の対策を多層的に整理し、それぞれの対策の有効性を評価することにより、対策の十分性の確認をよりの確に実施することができる。

(実施計画：I-1-2-1~5)

(2) 特定原子力施設の敷地境界及び敷地外への影響評価

特定原子力施設の敷地境界及び敷地境界外への影響を評価した結果、平成24年10月での気体廃棄物の追加的放出量に起因する実効線量は、敷地境界において約 3.0×10^{-2} mSv/年であり、特定原子力施設から5km地点では最大約 2.5×10^{-3} mSv/年、10km地点では最大約 8.9×10^{-4} mSv/年であった。

また、敷地内各施設からの直接線・スカイシャイン線による実効線量は、敷地境界において約9.4mSv/年であり、5km地点では最大約 1.4×10^{-18} mSv/年、10km地点では最大約 2.4×10^{-36} mSv/年であった。

一方、文部科学省において公表されている「東京電力株式会社福島第一原子力発電所の20km圏内の空間線量率測定結果（平成24年11月11日～13日）」によると、特定原子力施設から約5km地点の空間線量率は $5.2 \sim 17.8 \mu\text{Sv/h}$ （約46～約156mSv/年）、約10km地点の空間線量率は $2.2 \sim 23.5 \mu\text{Sv/h}$ （約20～約206mSv/年）である。

これらの結果から、特定原子力施設の追加的放出量等から起因する実効線量は、5km地点において空間線量率の約18,000分の1以下であり、10km地点において空間線量率の約21,000分の1以下であるため、平常時において5km地点及び10km地点における特定原子力施設からの影響は極めて小さいと判断する。

(実施計画：I-2-2-1)

(3) 特定原子力施設における主なリスク

a. はじめに

特定原子力施設の主なリスクは、特定原子力施設が放射能を内在することに起因すると考えられ、また、現在の特定原子力施設において放射能を内在するもの（使用済燃料等）は、以下のように整理できる。

- ① 原子炉圧力容器・格納容器内の溶融した燃料（燃料デブリ、1～3号機）
- ② 使用済燃料プールの燃料（1～4号機）
- ③ 5・6号機の使用済燃料プールの燃料
- ④ 使用済燃料共用プールの燃料
- ⑤ 使用済燃料乾式貯蔵キャスクの燃料
- ⑥ 放射性廃棄物

ここでは、上記の放射能を内在するものについて、それぞれ個別に現在の状態におけるリスクを定量的もしくは定性的に評価することにより、現在の特定原子力施設のリスクについて評価する。

（実施計画：I-2-3-1-1）

（中略）

⑥ 放射性廃棄物

特定原子力施設内の放射性廃棄物について想定されるリスクとしては、汚染水等の放射性液体廃棄物の系外への漏えいが考えられるが、以下に示す様々な対策を行っているため、特定原子力施設の系外に放射性液体廃棄物が漏えいする可能性は十分低く抑えられている。

なお、汚染水の水処理を継続することで放射性物質の濃度も低減していくため、万一設備から漏えいした場合においても、環境への影響度は継続的に低減される。

【設備等からの漏えいリスクを低減させる対策】

- ・ 耐圧ホースのポリエチレン管化
- ・ 多核種除去設備等により、汚染水に含まれるトリチウム以外の放射性物質を、東京電力福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示（以下「告示」という。）に規定される濃度限度との比の総和が1未満となるよう浄化処理した水（以下「ALPS処理水」という。）の海洋放出による、ALPS処理水等を貯蔵するタンク（以下「中低濃度タンク」という。）の解体・撤去

【漏えい拡大リスクを低減させる対策】

- ・ 中低濃度タンク廻りの堰，土嚢の設置
- ・ 放水路の暗渠化
- ・ 漏えい検知器，監視カメラの設置

また，放射性気体廃棄物については，原子炉格納容器内の温度上昇時の放出がリスクとして考えられるが，これについては燃料デブリに関する注水停止のリスク評価に包含されている。放射性固体廃棄物等については，流動性，拡散性が低いため，敷地内の特定原子力施設からの直接線・スカイシャイン線に関するリスク評価に包含されている。

(実施計画：I-2-3-7-1)

(4) 特定原子力施設の今後のリスク低減対策

現状，特定原子力施設の追加的放出等に起因する，敷地外の実効線量は低く抑えられている（(2)参照）。また，多くの放射性物質を含有する燃料デブリや使用済燃料等において異常時に発生する事象を想定したリスク評価においても，敷地外への影響は十分低いものであると評価している（(3)参照）。

今後，福島第一原子力発電所内に存在している様々なリスクに対し，最新の「東京電力福島第一原子力発電所 中期的リスクの低減目標マップ（以下「リスクマップ」という。）」に沿って，リスク低減対策に取り組んでいく。プラントの安定状態に向けた更なる取組，発電所全体の放射線量低減・汚染拡大防止に向けた取組，ならびに使用済燃料プールからの燃料取り出し等の各項目に対し，代表される様々なリスクが存在している。各項目に対するリスク低減のために実施を計画している対策については，リスク低減対策の適切性確認の視点を基本とした確認を行い，期待されるリスクの低減ならびに安全性，被ばく及び環境影響等の観点から，その有効性や実施の要否，時期等を十分に検討し，最適化を図るとともに，必要に応じて本実施計画に反映する。

また，(3)⑥にて実施する，ALPS 処理水の海洋放出により，廃炉作業に係る敷地などのリソースを有効に活用していくことで，中長期ロードマップに沿った全体工程の達成及びリスクマップに沿ったリスク低減対策を実現していく。

(5) 添付資料

添付資料－1 実施を計画しているリスク低減対策ならびに適切性

(実施計画：I-2-4-1)

表 実施を計画しているリスク低減対策ならびに適切性（抜粋）

ロードマップ関連項目		想定されるリスク	リスク低減対策	目的	対応状況	個々の対策に対する適切性
その他	敷地の確保に向けた計画	・特定原子力施設の全体工程達成及びリスクマップに沿ったリスク低減のための施設建設用の敷地の不足リスク	ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の設置	特定原子力施設の全体工程達成及びリスクマップに沿ったリスク低減のため、今後新たな施設（燃料デブリ保管施設等）を建設する必要がある。施設建設用の敷地を確保するため、ALPS 処理水等の貯蔵量を低減し中低濃度タンクを解体できるよう、汚染水発生量以上の量の ALPS 処理水を海洋へ放出できる設計及び運用とした ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設を設置する。	令和 5 年 4 月中頃使用前 検査完了予定	①対策を実施しない場合、廃炉作業に必要な施設の設置のための施設が確保出来ず、全体工程の達成及びリスクマップに沿ったリスク低減が実施されない。 ②海洋放出前の ALPS 処理水等の貯蔵が継続するが、溶接タンクでの保管や貯蔵タンクエリアへの堰の設置により、放射性物質の追加放出リスクは海洋放出前とほとんど変わらない。 ③対策を実施することにより、外部事象により、中低濃度タンクに貯留している汚染水、ALPS 処理水の系外漏えいが発生するリスクを低減することができる。 ④ALPS 処理水等の貯蔵量が増加し、中低濃度タンクの保守管理が継続することにより、廃炉作業に必要な施設建設用の敷地の確保に加えて、燃料デブリの取り出し等といった相対的に高いリスクの低減に活用出来るリソースの確保等にも影響を与える。 ⑤「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における多核種除去設備等処理水の処分に関する基本方針」に沿った時期となっている。 ⑥ALPS 処理水を海洋放出することから、告示濃度限度比 1 以上のトリチウムを放出することとなる。測定・確認用設備での濃度確認、100 倍以上の希釈、希釈後のトリチウム放出量 1,500Bq/L 未満、年間トリチウム放出量 22 兆 Bq/年未満とする設計・運用により、環境への影響を抑制する。また、溶接タンクの解体・撤去方法の確立や発生する固体廃棄物の保管管理が必要となる。 ⑦長期にわたって ALPS 処理水の安定的な海洋放出が必要とされることから、その供用期間中に想定される機器の故障等を考慮した設計及び運用とする。

適切性確認の視点 ①対策を実施しないリスク ②放射性物質の追加放出リスク ③外部事象に対するリスク ④時間的なリスクの増減 ⑤実施時期の妥当性 ⑥対策を実施するリスク ⑦対策を実施できないリスク

(実施計画：I-2-4-添1-8)

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設運用開始後の敷地の確保と活用について

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設を設置し、中低濃度タンクに貯留されている ALPS 処理水を放出することにより、「実施計画Ⅰ 全体工程」の達成及びリスクマップに沿ったリスク低減対策を実施していく。

「実施計画Ⅰ 全体工程」の達成、及びリスクマップに沿ったリスク低減対策の廃炉作業を安全かつ着実に進めていくために、現段階において今後必要と想定している施設は表 1.1.1-1 の通りである。

タンクエリア基礎外周堰内面積は、容量 1 万 m³ あたり約 1,200～約 2,800m²（「実施計画Ⅱ 2.5 汚染水処理設備等」添付資料-12 別紙-1 及び別紙-6 参照）と幅があるが、2030 年度頃までに約 40 万 m³、将来的に約 70 万 m³ の ALPS 処理水を海洋放出することで（図 1.1.1-1 参照）、2030 年度頃までに約 5～約 11 万 m² の敷地を、将来的に約 8～約 20 万 m² の敷地を確保する。これにより、2030 年代に必要と想定している乾式キャスク仮保管施設（共用プール用、約 1.6 万 m² ※）等や、将来的に必要な燃料デブリー一時保管施設（最大約 6 万 m² ※）等、現状想定している施設を設置出来る見通しである。なお、敷地利用の見通しについては、現段階の想定であり、今後の検討の進捗、新知見等により変わりうるものである。

※：第 14 回多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会（2019/9/27）時点の想定値

表 1.1.1-1 全体工程の達成等に必要な施設（2022年3月時点想定）

使用開始 予定時期	2020年代頃	2030年代頃	2040年代頃	
着工予定時期	2020年代前半頃	2020年代後半頃	2030年代以降	
必要施設例	・ 燃料デブリのリスク低減のために必要な施設			
	段階的取り出し 規模拡大 関連	取り出し規模の更なる拡大 関連		
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 取り出し装置メンテナンス設備 ✓ 燃料デブリ保管施設 ✓ 訓練施設 ✓ 燃料デブリ・廃棄物移送システム 			等
	・ 使用済燃料プール（以下「SFP」とい う。）のリスク低減のために必要な施設		—	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 乾式キャスク 仮保管施設 （1～6号機 SFP用） ✓ SFP内高線量 機器等保管設備 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 乾式キャスク 仮保管施設 （共用 プール用） 		
	・ 放射性廃棄物のリスク低減のために必要な施設			
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 固体廃棄物 貯蔵庫 ✓ 大型廃棄物 保管庫 ✓ 固体廃棄物 減容施設 ✓ リサイクル施設 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ デブリ取り出しに伴い発生する 高線量固体廃棄物の保管・減容施設 		等
・ その他，リスク低減のために必要な施設				

なお，すべての施設をタンクエリア跡地に建設するものではない。

現段階の想定であり，今後の検討の進捗，新知見等により変わりうるものである。

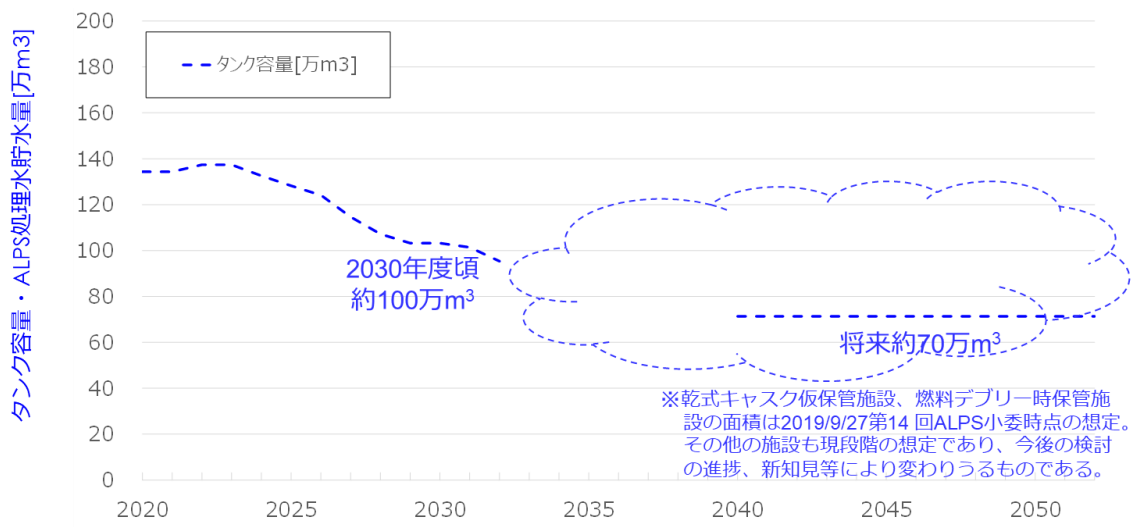


図 1.1.1-1 タンクの解体撤去による設備設置の成立性

以上

2章 特定原子力施設的设计, 設備

2.8 放射性固体廃棄物の処理・保管・管理 への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

8. 放射性固体廃棄物の処理・保管・管理

○施設内で発生する瓦礫等の放射性固体廃棄物の処理・貯蔵にあたっては，その廃棄物の性状に応じて，適切に処理し，十分な保管容量を確保し，遮へい等の適切な管理を行うことにより，敷地周辺の線量を達成できる限り低減すること。

2.8.1 措置を講ずべき事項への適合方針

ALPS 処理水希釈放出設備の設置工事に伴い発生する瓦礫等の放射性固体廃棄物の処理・貯蔵にあたっては，その廃棄物の性状に応じて，適切に処理し，十分な保管容量を確保し，遮へい等の適切な管理を行うことにより，敷地周辺の線量を達成出来る限り低減する。

2.8.2 対応方針

○ 廃棄物の性状に応じた適切な処理

放射性固体廃棄物や事故後に発生した瓦礫等の放射性固体廃棄物等については、必要に応じて減容等を行い、その性状により保管形態を分類して、管理施設外へ漏えいすることのないよう一時保管または貯蔵保管する。

○ 十分な保管容量の確保

放射性固体廃棄物や事故後に発生した瓦礫等については、これまでの発生実績や今後の作業工程から発生量を想定し、既設の保管場所内での取り回しや追加の保管場所を設置することにより保管容量を確保する。

○ 遮蔽等の適切な管理

作業員への被ばく低減や敷地境界線量を低減するために、保管場所の設置位置を考慮し、遮蔽、飛散抑制対策、巡視等の保管管理を実施する。

○ 敷地周辺の線量を達成できる限り低減

上記を実施し、継続的に改善することにより、放射性固体廃棄物や事故後に発生した瓦礫等からの敷地周辺の線量を達成できる限り低減する。

(実施計画：II-1-8-1)

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設設置に伴う発生する廃棄物等の発生量について

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設設置に伴い発生する廃棄物発生量は表 2.8.1-1 に示す。

なお、ALPS 処理水希釈放出設備は、2021 年 4 月に決定された政府方針を踏まえて、設置工事が決定したことから、現状の実施計画の固体廃棄物の保管管理計画には計上されていない。このため、2022 年度の保管管理計画に計上し管理していく。

また、本設置工事で発生する廃棄物については、梱包材等の持ち込みを減らすなど、極力廃棄物の発生低減に努める。

表 2.8.1-1 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設設置に伴い発生する廃棄物量

	2022 年度		2023 年度	
	想定発生量 [m ³]	発生源	想定発生量 [m ³]	発生源
可燃物	1,668	梱包材, ウェス, ポリ袋, 木材	165	紙, ウェス, ポリ袋, 木材
難燃物	403	配管水張り用ホース類, 難燃シート	70	ホース, 難燃シート
不燃物	1,535	機器運搬ラック, 配管・サポートの端材, コンクリートガラ・土砂, 工事用電源ケーブル, 養生材等	180	金属ガラ, コンクリートガラ, アスファルトガラ, ケーブル, 土砂
伐採木	52	機器設置ルート上の伐採木	0	—
合計	3,658 ($\leq 0.1\text{mSv/h}$)		415 ($\leq 0.1\text{mSv/h}$)	

発生する瓦礫類については線量、種類で分別しできる限り減容した上で、一時保管エリアで保管する。なお、 β 汚染のあるものについては飛散抑制のためコンテナ等に収納する。

また、2022 年度に発生する瓦礫類については、一時的に固体廃棄物 G が管理する第二土捨て場等の仮設集積場所で保管する場合もあるが、2022 年度末までに一時保管エリア（今後追設するエリアを含む。）での保管に移行する。

なお、保管容量については、第 97 回特定原子力施設監視・評価検討会 資料 3-2「廃棄物管理の適正化に関する進捗状況について」の P7 に記載の通りである（図 2.8.1-1 参照）。当該想定保管量においても、本工事で発生する廃棄物は含まれていないものの、今回発生する廃棄物量は約 4,000m³ であるため、下記で示す空容量に収まると評価している。

保管容量確保に関する検討状況（2）

①一時保管エリアの追設

- 一部の仮設集積場所の一時保管エリア化、使用済保護衣類のエリアの活用、新設、既設のエリアの拡張により、当面の必要な保管容量を確保可能

保管容量と想定保管量

表面線量率制限値 (mSv/h)	保管容量（2023年度末） +追加保管容量（m ³ ）	想定保管量(m ³) (~2023年度末)	空容量(m ³)
≤0.1	257,380 ^{※1} +77,400	301,800	33,000
0.1超~1	59,100 ^{※1} +6,600^{※2}	62,700	3,000
1~	52,900 ^{※1}	41,400	11,500

※1：既設のエリアの保管容量は実態を踏まえた値に見直し（但し、固体廃棄物貯蔵庫第10棟の保管容量は含めていない）
 ※2：既設の瓦礫類の一時保管エリアの拡張（周辺の仮設集積場所と統合）を考慮
 ※3：端数処理で100m³未満を四捨五入しているため、合計値が合わないことがある

②瓦礫類の分別による保管場所の適正化

- 加えて瓦礫類の受入記録やコンテナ外観点検記録に基づき、瓦礫類を再分別し、より低い線量当量率のエリアへの移動が可能であることを確認
- **0.1~1mSv/hの一時保管エリアから約22,000m³を低線量のエリアに移動可能**と評価
- 廃棄物の発生状況を踏まえて必要に応じて移動を実施する

図 2.8.1-1 廃棄物管理の適正化に関する進捗状況について
(第 97 回特定原子力施設監視・評価検討会 資料 3-2 P7 抜粋)

また、海水移送ポンプの設置予定箇所にあった 5 号機循環水ポンプ 3 台については、護岸整備の一環として既に撤去しており、これによる廃棄物発生量約 480m³ (0.01mSv/h 未満) は、図 2.8.1-1 に計上済みである。

上記の廃棄物の他、ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設設置に伴い、掘削土砂が約 40,000m³ 発生するが、表面線量率が受入基準値[※]を満足していることを確認し、福島第一原子力発電所構内の新土捨場（第四土捨場）に搬入する。

※：表面線量率 γ : 0.01mSv/h 未満 β : 検出無し

以上

2.9 放射性液体廃棄物の処理・保管・管理 への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計, 設備について措置を講ずべき事項

9. 放射性液体廃棄物の処理・保管・管理

○施設内で発生する汚染水等の放射性液体廃棄物の処理・貯蔵にあたっては、その廃棄物の性状に応じて、当該廃棄物の発生量を抑制し、放射性物質濃度低減のための適切な処理、十分な保管容量確保、遮へいや漏えい防止・汚染拡大防止等を行うことにより、敷地周辺の線量を達成できる限り低減すること。また、処理・貯蔵施設は、十分な遮へい能力を有し、漏えい及び汚染拡大し難い構造物により地下水や漏水等によって放射性物質が環境中に放出しないようにすること。

2.9.1 措置を講ずべき事項への適合方針

放射性液体廃棄物処理施設で処理した放射性液体廃棄物のうち、ALPS 処理水を排水する際は、敷地境界における実効線量を達成出来る限り低減するために、多量の海水による希釈により、排水中の放射性物質の濃度を低減する。

また、ALPS 処理水希釈放出設備は、ALPS 処理水の海洋への放出に当たって、漏えい防止・汚染拡大防止等の対策を行い、希釈が不十分である等の「意図しない形での ALPS 処理水の海洋放出」が発生しない、もしくは発生したとしてもその漏えい量が極めて小さくなる設計・運用とする。

なお、ALPS 処理水希釈放出設備では、地下水等の原子炉建屋等への流入により増加する汚染水を、「実施計画Ⅱ 2.5 汚染水処理設備等」、「実施計画Ⅱ 2.16.1 多核種除去設備」、「実施計画Ⅱ 2.16.2 増設多核種除去設備」、「実施計画Ⅱ 2.16.3 高性能多核種除去設備」により、トリチウムを除く放射性核種の告示濃度限度比総和が1未満となった ALPS 処理水を取扱うことから、放射性液体廃棄物の発生量抑制、放射性物質の濃度低減のための適切な処理、十分な保管容量の確保、遮へい等については、上述の実施計画において変更認可を受けた内容にて対応する。

2.9.2 対応方針

< 1～4号機 >

- 廃棄物の発生量の抑制及び放射性物質濃度低減のための適切な処理

放射性液体廃棄物処理施設で処理した放射性液体廃棄物については、処理済水の貯蔵を行う。

また、施設内で発生する汚染水等については、汚染水処理設備により、吸着等の浄化処理を行い、放射性物質を低減する。浄化処理に伴い発生する処理済水は貯蔵を行い、淡水化した処理済水については原子炉の冷却用水等へ再利用し、新たな汚染水等の発生量を抑制する。

- 十分な保管容量確保

タンクの増設や処理済水の低減により、保管容量を確保する。

- 遮へいや漏えい防止・汚染拡大防止

機器等には設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用し、遮へいや漏えい防止を行う。また、機器等は独立した区画内に設けるかあるいは周辺に堰等を設け、汚染拡大防止の対策を講じる。

- 敷地周辺の線量を達成できる限り低減

上記3項目を実施し、継続的に改善することにより、放射性液体廃棄物等の処理・貯蔵に伴う敷地周辺の線量を達成できる限り低減する。

- 十分な遮へい能力を有し、漏えい及び汚染拡大し難い構造物（処理・貯蔵施設）

汚染水等を扱う処理・貯蔵施設に対して、人が近づく可能性のある箇所を対象に作業員の線量低減の観点で遮へいを設置する等の対策を講じる。また、当該施設は独立した区画内に設けるかあるいは周辺に堰等を設け、漏えいの拡大の対策を講じることにより、万が一漏えいしても漏えい水が排水路等を通じて所外へ流出しないようにする。

- 放射性液体廃棄物等の管理

放射性液体廃棄物処理施設で処理した放射性液体廃棄物のうち、トリチウムを除く放射性核種の告示濃度比総和1未満を満足したALPS処理水を排水する際は、敷地境界における実効線量を達成出来る限り低減するために、多量の海水による希釈により、排水中の放射性物質の濃度を低減する。

(実施計画：II-1-9-1)

(1) 放射性液体廃棄物の処理等

ALPS 処理水希釈放出設備は、主に測定・確認用設備、移送設備、希釈設備により構成する。

測定・確認用設備では、タンク内およびタンク群の放射性物質濃度を均質にした後、試料採取・分析を行い、ALPS 処理水に含まれる、トリチウムを除く放射性核種の告示濃度比総和が 1 未満であること及びトリチウム濃度を確認する。

その後、移送設備により ALPS 処理水を希釈設備まで移送し、海水で希釈した上で、放水設備へ排水する。

(実施計画：II-2-50-2)

測定・確認用タンクは、現状の汚染水発生量と ALPS 処理水に含まれる放射性物質量の測定・評価に要する時間を踏まえ、ALPS 処理水の海洋放出までには、少なくとも約 1 万 m³分の容量が必要であることから、「実施計画II 2.5 汚染水処理設備等」の多核種処理水貯槽に示す K4 エリアタンクのうち、10 基をタンク 1 群として 3 群 (30 基) を兼用して、それぞれのタンク群を ALPS 処理水の受入工程、測定・確認工程及び放出工程に振り分けて運用する。

(実施計画：II-2-50-5)

(2) 海洋放出前のタンク内 ALPS 処理水の放射能濃度の均質化

測定・確認用設備では、代表となる試料が得られるよう、採取する前にタンク群の水を循環ポンプにより循環することでタンク群の放射性物質の濃度をほぼ均質にする。また、各タンクに攪拌機器を設置し、均質化の促進を図る設計とする。

(実施計画：II-2-50-2)

受入工程で、測定・確認用タンクに受け入れた ALPS 処理水に含まれる放射性物質の濃度は、移送元の貯蔵タンクごとにばらつきがあることから、ALPS 処理水の海洋放出前の測定・確認工程においては、当該工程にあるタンク群の 10 基全てのタンクを連結し、循環ポンプ、攪拌機器等により均質化した上で試料採取を行い、当該タンク群内の ALPS 処理水に含まれる放射性物質の濃度を分析・評価する。

また、均質化に要する循環攪拌時間については、第三リン酸ナトリウムを試薬として用いた循環攪拌実証試験により、適切に設定する。

さらに、ALPS 処理水を均質化した後の分析では、トリチウム及びトリチウム以外の放射性核種の分析・評価を行い、同処理水中のトリチウム濃度を確認するとともに、トリチウム以外の放射性核種の告示濃度限度比総和が 1 未満であることを確認した上で、ALPS 処理水の放出可否を判断する。

(実施計画：II-2-50-添2-1)

(3) ALPS 処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

ALPS 処理水の希釈は、希釈海水が流れる海水配管ヘッド内に ALPS 処理水を注入することで行う。注入した ALPS 処理水は海水配管内で流下しつつ、周囲の海水と混合して放射性物質濃度を減少させる。

① 混合希釈率の調整

敷地境界における実効線量を達成できる限り低減するために、放出水中に含まれるトリチウムの濃度が運用の上限値である 1,500Bq/L 未満、海水による希釈倍率が 100 倍以上となるように以下の希釈処理及び評価を行う。

② ALPS 処理水の希釈に必要な海水量

測定・確認工程で測定したトリチウム濃度に応じて、ALPS 処理水移送ポンプ、ALPS 処理水流量調整弁、ALPS 処理水流量計等により、ALPS 処理水の流量を最大 500m³/日の範囲で設定する。

また、放出水中に含まれるトリチウム濃度を運用の上限値である 1,500Bq/L 未満かつ希釈倍率を 100 倍以上とするため、容量 17 万 m³/日の海水移送ポンプを 3 台設置した上で、ALPS 処理水の流量に応じて、海水移送ポンプを常時 2 台以上運転することにより、必要な海水量を確保する。さらに、通常運転時においては、ALPS 処理水流量を 500m³/日と設定し、海水移送ポンプの運転台数を 2 台とする場合が、希釈倍率の観点で最も厳しい運転条件であることから、当該条件下において、放出水中のトリチウム濃度を運用の上限値である 1,500Bq/L 未満とするために、海洋放出する ALPS 処理水のトリチウム濃度の上限値を 100 万 Bq/L にする。

③ 解析コードによる ALPS 処理水の混合希釈状態の評価

ALPS 処理水については、海水配管ヘッダ及び海水配管で希釈用の海水により混合希釈した後、放出水として海洋へ放出する。

また、海水配管ヘッダ及び海水配管における ALPS 処理水の混合希釈状態を確認するため、解析コードを用いた数値シミュレーションにより、混合希釈効果を評価する。

a. 評価手法

(a) 評価の考え方

海水配管ヘッダ及び海水配管において、ALPS 処理水が十分に混合希釈されることを確認するため、希釈用の海水中に移流・拡散した ALPS 処理水の質量割合の分布を評価する。

(b) 解析コード

混合希釈状態の評価においては、流体挙動についての基本式（質量保存式、運動量保存式、エネルギー保存式）を解くことにより、3次元空間における流体の運動（流速、圧力）や温度を解析評価することができ、乱流実験等により検証されている STAR-CCM+コードを用いる。

なお、当該解析コードは、流体の流れ（流速、圧力、温度）を3次元の数値流体計算で求める機能に加え、流体の移流・拡散解析機能を有することから、希釈用の海水中に注入される ALPS 処理水が混合・拡散される状況の解析評価が可能である。

(c) 評価条件

通常運転時に想定される運転条件のうち、ALPS 処理水流量を計画最大流量である 500m³/日とし、海水流量を最低限の流量である 34 万 m³/日とする。

ALPS 処理水の海水配管ヘッダ及び海水配管内での拡散については、乱流による拡散を考慮する。また、解析における乱流拡散挙動については、実験的に決定される乱流拡散係数（乱流シュミット数）が支配的であることから、文献調査等により、乱流拡散挙動の影響が小さくなる乱流シュミット数を設定する。

(d) 判断基準

海水配管出口における ALPS 処理水の最大質量割合が 1.0%以下（希釈倍率が 100 倍以上）となること。

(e) 評価結果

ALPS 処理水の注入位置から海水配管立上り部終端における ALPS 処理水の最大質量割合が 0.28% であり、海水配管内で 100 倍以上の希釈倍率は実現可能であることから、海水配管出口における判断基準を満足する。

一方、海水配管中では単純希釈で想定した希釈倍率の 1/2 程度となる箇所が一部存在することから、当該箇所を含めてトリチウム濃度の運用上限値 1,500Bq/L 未満を満足させるため、後述する混合希釈率の調整及び監視を実施する。

(実施計画：II-2-50-添 2-2~3)

b. 不確かさの影響評価

(a) 解析コードにおける不確かさの影響

STAR-CCM+コードは、モデル化する際のメッシュサイズによる不確かさを有するが、当該条件のパラメータスタディを実施し、メッシュ感度が収束していることを確認した際の条件（代表メッシュサイズ 5cm）を使用することとしたため、解析コードの不確かさが判断に与える影響はない。

(b) 評価条件の不確かさの影響

乱流拡散挙動については、採用する乱流シュミット数に不確かさがある。これについては、文献調査値の平均や解析コードのデフォルト値の 0.9 に対して、密度成層内乱流で使用される 1.3 を採用することで、厳しい結果を与えるような条件を想定しており、最確条件とした場合には乱流拡散による混合希釈の割合が上昇することから、判断基準を満足することに変わりはない。

④ 混合希釈率の調整及び監視

放出水中に含まれるトリチウムの濃度が運用の上限値である 1,500Bq/L となるよう、以下の方法で混合希釈率の調整及び監視を実施する。

a. 混合希釈率の調整

ALPS 処理水の海水への混合希釈率の調整は、海水移送ポンプを定格運転するため、ALPS 処理水流量を制御する設計とする。

具体的には、放出操作の際に、予め測定・確認した ALPS 処理水のトリチウム濃度を監視・制御装置へ登録し、当該トリチウム濃度と希釈後のトリチウム濃度の運用値を踏まえて、所定の混合希釈率になるよう、ALPS 処理水流量調整弁の開度を自動調整する設計とする。

・ ALPS 処理水流量（運用値）算出式

$$\text{ALPS 処理水流量(運用値)} = \frac{\text{海水流量} \times \text{海水希釈後のトリチウム濃度(運用値)}}{\text{ALPS 処理水のトリチウム濃度} - \text{海水希釈後のトリチウム濃度(運用値)}}$$

b. 混合希釈率の監視

海水希釈後のトリチウム濃度は、ALPS 処理水流量と海水流量を監視することで実施する設計とする。

・ トリチウム濃度評価式

$$\text{海水希釈後のトリチウム濃度} = \frac{\text{ALPS 処理水トリチウム濃度} \times \text{ALPS 処理水流量}}{\text{ALPS 処理水流量} + \text{海水流量}}$$

なお、海水希釈後のトリチウム濃度が 1,500Bq/L となる条件を、ALPS 処理水流量の上限とし、上限に達した場合には警報を発報させると共に、緊急遮断弁を閉動作させる設計とすることで、トリチウム濃度が 1,500Bq/L を上回った状態での海洋放出を防止する設計とする。

・ ALPS 処理水流量（上限値）算出式

$$\text{ALPS 処理水流量(上限値)} = \frac{\text{海水流量} \times \text{海水希釈後のトリチウム濃度(1,500Bq/L)}}{\text{ALPS 処理水のトリチウム濃度} - \text{海水希釈後のトリチウム濃度(1,500Bq/L)}}$$

(実施計画：II-2-50-添2-4)

(4) 漏えい防止・汚染拡大防止及び管理されない放出の防止

ALPS 処理水希釈放出設備は、放射性液体廃棄物として ALPS 処理水を取り扱うことから、その漏えい発生防止・汚染拡大防止等のため、次の各項を考慮した設計とする。ただし、当該設備のうち、放水立坑（上流水槽）については、通常時において放出水のみを取り扱うことから、放水設備以外への著しい流出が発生しないよう水密性を確保した設計とする。

- a. 漏えいの発生を防止するため、機器等には設置環境や内部流体の性状に応じた適切な材料を使用する。
- b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合は、漏えいの早期検出を可能にするとともに、漏えい液体の除去を容易に行えるようにする。
- c. 漏えい検知等の警報については、免震重要棟集中監視室に表示し、異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにする。

(実施計画：II-2-50-3)

①漏えい発生防止

- a. 循環ポンプ及び ALPS 処理水移送ポンプは、耐腐食性に優れた二相ステンレス鋼等を使用するとともに、軸封部は漏えいの発生し難いメカニカルシール構造とする。
- b. ALPS 処理水の移送配管は、耐腐食性を有するポリエチレン管、耐圧ホース、十分な肉厚を有する炭素鋼鋼管またはステンレス鋼鋼管とする。主要配管の炭素鋼材料の内面には、耐腐食性を有する塗装を施す。また、可撓性を要する部分は耐腐食性を有する合成ゴム製伸縮継手とする。
- c. 屋外に敷設される移送配管のうち、ポリエチレン管とポリエチレン管の接合部は漏えい発生の防止のため融着構造とする。

② 漏えい検知・漏えい拡大防止

- a. 循環ポンプ、ALPS 処理水移送ポンプ及び緊急遮断弁等は、以下の対応を行う。
 - ・漏えいの早期検知及び漏えいの拡大防止として、機器の周囲に堰を設けるとともに、堰内に漏えい検知器を設置する。また、設備運転中は巡視点検により、漏えいの早期検知を図る。
 - ・漏えい検知の警報は、免震重要棟集中監視室に表示し、運転員が流量等の運転監視パラメータの状況を確認し、ポンプ運転・停止等の適切な対応がとれるようにする。
- b. ALPS 処理水移送配管等は、以下の対応を行う。
 - ・屋外に敷設される移送配管について、鋼管と鋼管、ポリエチレン管と鋼管との取合い等でフランジ接続となる箇所については、堰を設置し、漏えい拡大防止を図る。
 - ・移送配管は、万が一、漏えいしても排水路を通じて環境に放出することがないように、排水路から可能な限り離隔するとともに、移送配管に使用するポリエチレン管は、管の外側

に外装管（接合部は防水カバー）を取り付けることで漏えい拡大を防止する施工を行う。

- ・設備運転中は巡視点検により、移送配管からの漏えいの早期検知を図る。
- ・移送配管に設置するベント弁の周辺には、鋼製のカバーを設置し、各フランジ部に漏えい検知器を設置する。漏えい検知の警報は、免震重要棟集中監視室に表示し、運転員により流量等の運転監視パラメータの状況を確認し、ポンプ運転・停止等の適切な対応がとれるようにする。

(実施計画：II-2-50-添2-6)

③被ばく低減

ALPS 処理水希釈放出設備は、取り扱う放射性液体廃棄物の性状に応じて、機器等の設計において遮へい機能を考慮した設計とする。

(実施計画：II-2-50-3)

ALPS 処理水はトリチウムを除く放射性核種を告示濃度比総和 1 未満としており、1,000m³/基のタンクに貯蔵しても、これを線源としたタンクエリアの空間線量当量率は最大 1 μ Sv/h 以下と評価されることから、機器等の設計において遮へい機能を考慮する必要はない。

(実施計画：II-2-50-添2-6)

(5) 海水の取水方法・希釈後の ALPS 処理水の放水方法（港湾内の放射性物質の取水への移行防止策を含む）

取水方法は、5,6号機取水路開渠を仕切堤（捨石傾斜堤＋シート）にて1～4号機取水路開渠側の発電所港湾から仕切るとともに、北防波堤透過防止工北側の一部を改造（一部撤去）し、5,6号機放水口北側の発電所港湾外から希釈用の海水を取水する。仕切堤を構築することで、1～4号機取水路開渠側からの比較的放射性物質濃度の高い海水の流入を抑制する。

(実施計画：III-3-3-1-4-4)

(6) 異常の検出と ALPS 処理水の海洋放出の停止方法

供用期間中に想定される機器の故障等の異常により、「意図しない形での ALPS 処理水の海洋放出」に至るおそれのある事象（以下「異常事象」という。）等が発生した場合に備え、移送設備には緊急遮断弁を設置し、正常な運転状態を逸脱すると判断される場合においてはインターロックにより閉動作させるとともに、必要に応じて運転員の操作により ALPS 処理水の海洋放出を停止することが可能な設計とする。

(実施計画：II-2-50-2)

供用期間中に想定される機器の故障等の異常により、「意図しない形での ALPS 処理水の海洋放出」に至るおそれのある事象等が発生した場合に備え、移送設備には緊急遮断弁を設置し、正常な運転状態を逸脱すると判断される場合においてはインターロックにより閉動作させるとともに、必要に応じて運転員の操作により ALPS 処理水の海洋放出を停止させる。

①インターロック

以下の条件に合致する場合、緊急遮断弁を動作させ ALPS 処理水の海洋への放出を停止させる。

- a. ALPS 処理水の放出には、希釈設備の海水流量及び ALPS 処理水の移送流量を定めた上で行うが、定めた海水流量が確保できない場合又は定めた ALPS 処理水移送流量を超えた場合に備え緊急遮断弁閉のインターロックを設ける。
- b. ALPS 処理水移送ラインに設置した放射線モニタ*で異常を検出した場合に備え、緊急遮断弁閉のインターロックを設ける。

※：測定・確認用設備において、放射性核種（トリチウムを除く。）の告示濃度比総和 1 未満を確認するものの、万が一に備え移送設備に放射線モニタを設置する。

②運転員の操作による停止

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に影響を及ぼしうる自然現象等が発生した場合、海域モニタリングで異常値が検出された場合又はその他当直長が必要と認める場合には ALPS 処理水の海洋放出を手動で停止させる。

(実施計画：II-2-50-添2-5)

ALPS 処理水希釈放出設備の全体概要

ALPS 処理水希釈放出設備は、多核種除去設備等にて放射性核種を十分低い濃度になるまで除去した水が、ALPS 処理水であることを確認し、海水にて希釈して、海洋に放出する設備である。

本設備は、主に3つの設備から構成される。(図 2.9.1-1 参照)

測定・確認用設備では、事前に ALPS 処理水であることを確認した水を受け入れた後、測定・確認用タンク内およびタンク群の放射性核種の濃度を均質にした後、試料採取・分析を行い、放出直前に、放出するタンク群の水が ALPS 処理水であることを確認する。

その後、移送設備では、ALPS 処理水を測定・確認用設備から海水配管ヘッダへ移送する。

一方、希釈設備では、5号機取水路より海水移送ポンプで大量に取水した希釈海水を、海水配管ヘッダへ移送し、移送設備で送られてきた ALPS 処理水と混合し、トリチウム濃度を 1,500Bq/L 未満に希釈したうえで、放水設備に排水する。

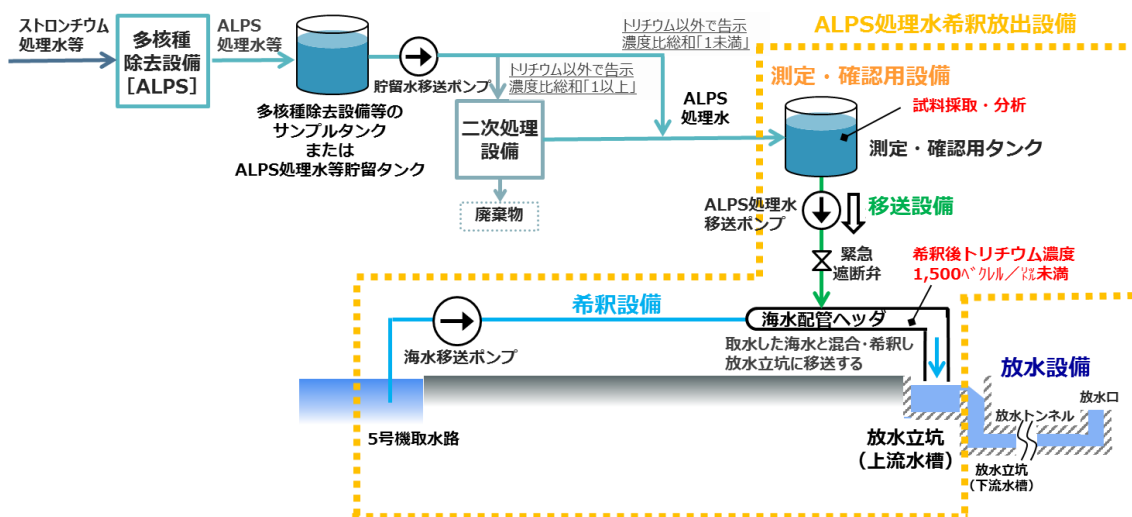


図 2.9.1-1 ALPS 処理水希釈設備の全体概要

(1) 測定・確認用設備

測定・確認用タンクは、K4 エリアタンク（計約 30,000m³）を転用し、A～C の3つのタンク群に分けて、それぞれタンク群で、①受入、②測定・確認、③放出の工程をローテーションしながら運用する。なお、A～C 群はそれぞれタンク 10 基（1 基約 1,000m³）で構成される。

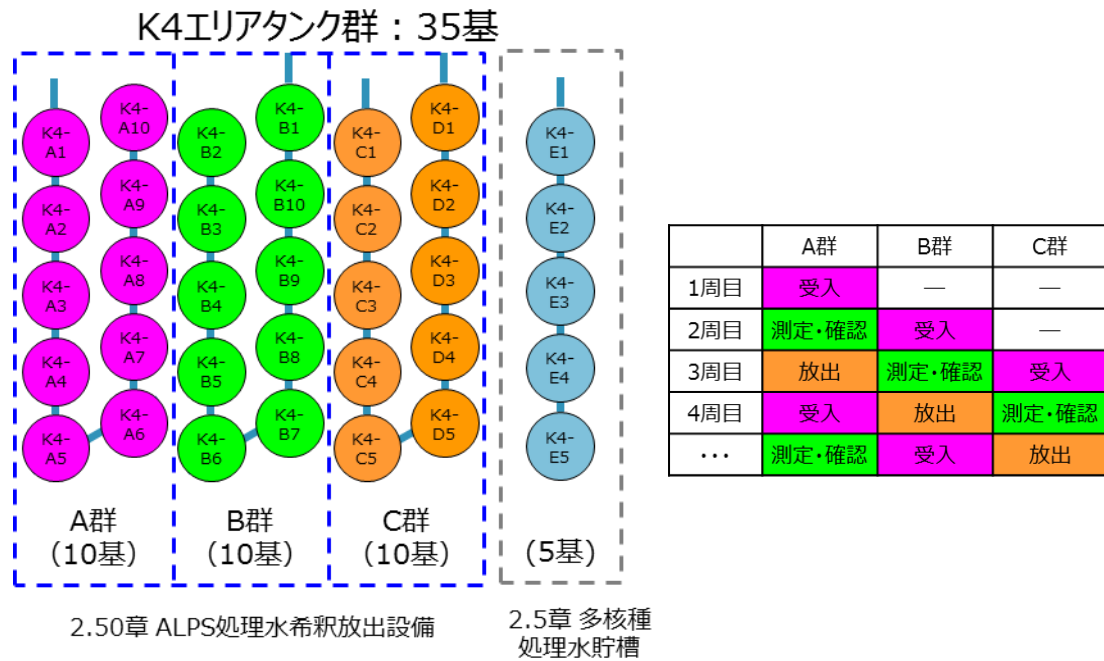
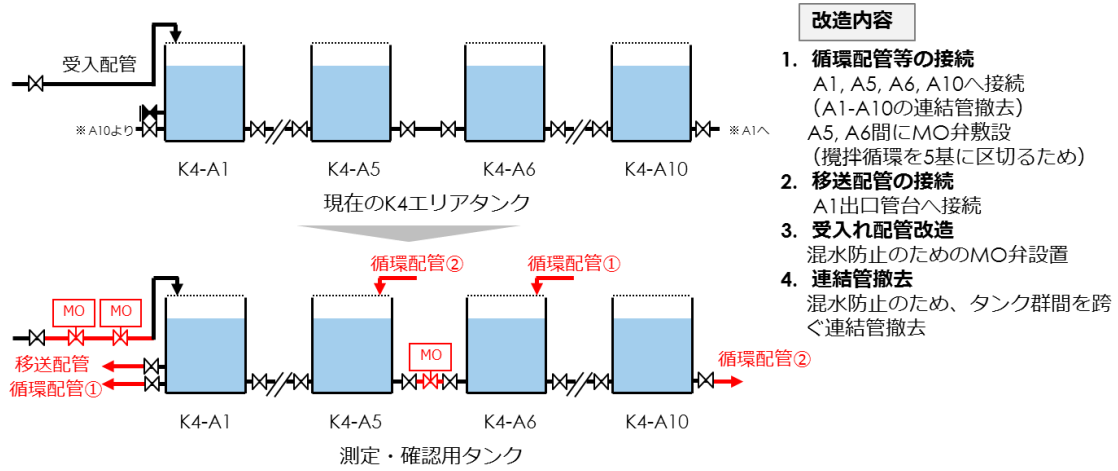


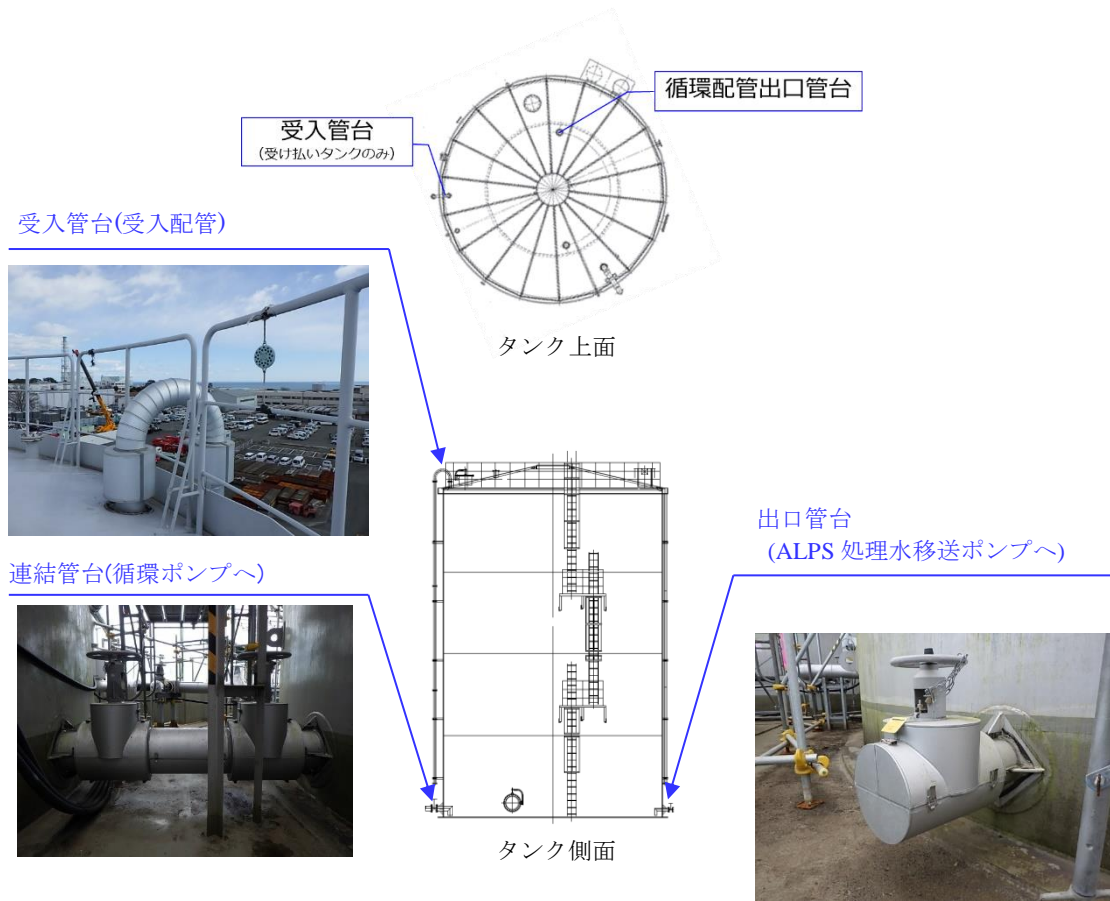
図 2.9.1-2 測定・確認用タンクの概要



改造内容

1. 循環配管等の接続
A1, A5, A6, A10へ接続
(A1-A10の連結管撤去)
A5, A6間にMO弁敷設
(攪拌循環を5基に区切るため)
2. 移送配管の接続
A1出口管台へ接続
3. 受入れ配管改造
混水防止のためのMO弁設置
4. 連結管撤去
混水防止のため、タンク群間を跨ぐ連結管撤去

(a) K4 エリアタンクから改造内容



(b) K4 エリアタンクの構造図と現場写真

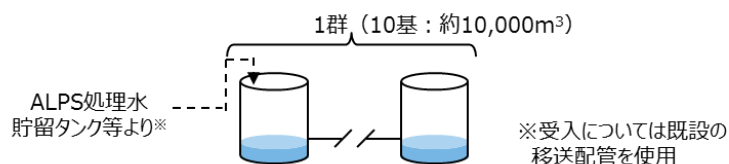
図 2.9.1-3 K4 エリアタンクからの改造内容

先に説明した通り，ALPS 処理水を放出する前の測定・確認にあたって，タンク群毎に，下記に示す①受入，③測定・確認，③放出の工程をローテーションしながら運用する。

①受入工程

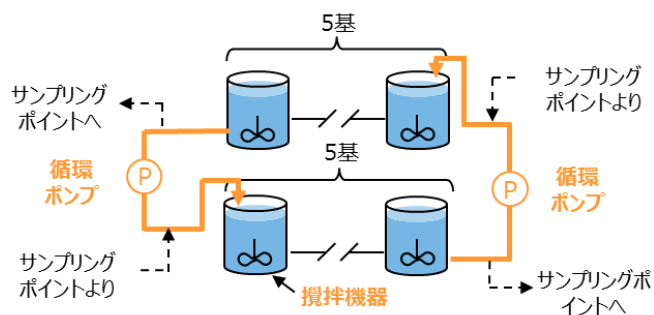
ALPS 処理水貯留タンク等より ALPS 処理水を空のタンク群で受入れる。

なお，長期間保管した ALPS 処理水貯留タンクから，測定・確認用タンクへ移送する場合は，粒子状の物質が入り込まないように，念のためフィルタを経由させる措置を計画する。



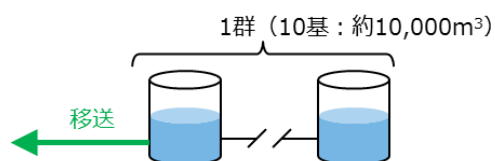
②測定・確認工程

攪拌機器，循環ポンプにてタンク群の水質を均質化した後，サンプリングを行い，放出基準を満たしているか確認を行う。



③放出工程

放出基準を満たしていることを確認した後，ALPS 処理水を移送設備により希釈設備へ移送する。



(2) 移送設備

移送設備は、主に ALPS 処理水移送ポンプ及び移送配管により構成する。

ALPS 処理水移送ポンプは、運転号機と予備機の 2 台構成とし、測定・確認用タンクから希釈設備まで ALPS 処理水の移送を行う。

また、異常発生時に速やかに移送停止できるよう緊急遮断弁を海水配管ヘッド手前及び、津波対策として防潮堤内のそれぞれ 1 箇所にする。

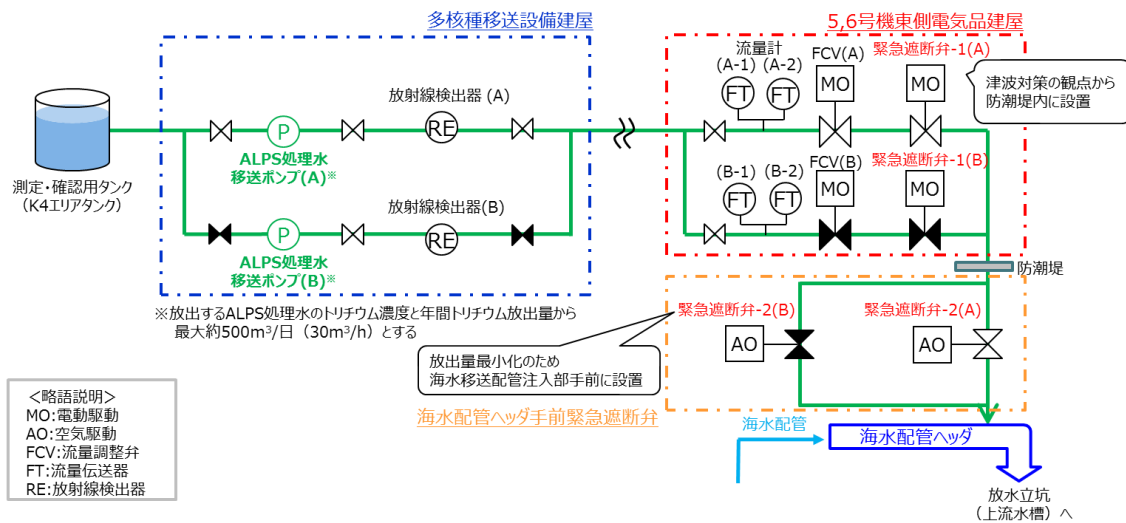


図 2.9.1-4 移送設備の概要

(3) 希釈設備

希釈設備は、ALPS 処理水を海水で希釈し、放水立坑（上流水槽）まで移送し、放水設備へ排水することを目的に、海水移送ポンプ、海水配管（海水配管ヘッダ含む）、放水立坑（上流水槽）により構成する。

海水移送ポンプは、移送設備により移送される ALPS 処理水を 100 倍以上に希釈する流量を確保する。

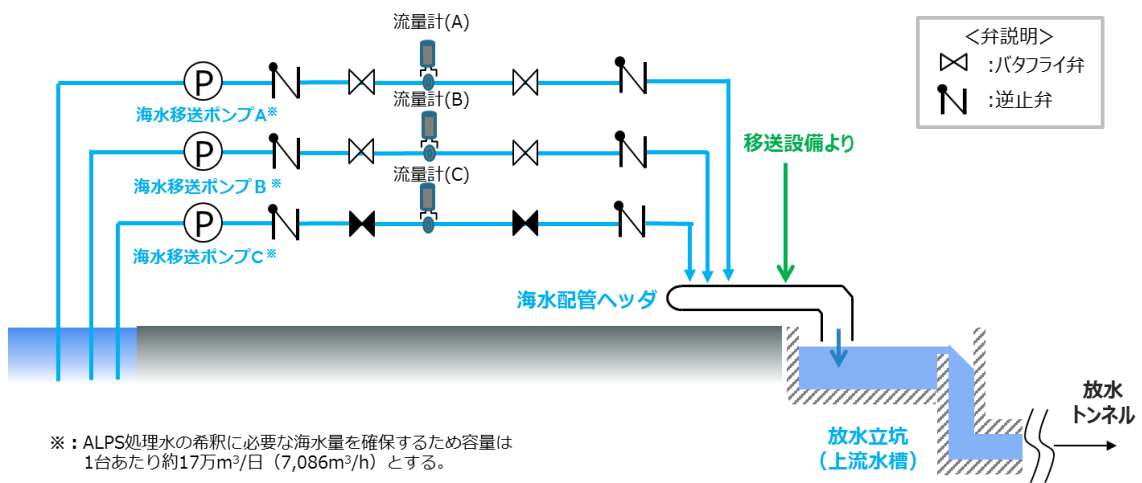


図 2.9.1-5 移送設備の概要

以上

漏えい防止・汚染拡大防止等の対策に関する補足説明

ALPS 処理水希釈放出設備では、放射性液体廃棄物として ALPS 処理水を取扱うことから、液体状の放射性物質の漏えい防止及び敷地外への管理されない放出を防止するため、下記を考慮した設計とする。

1. 漏えい発生防止対策

ALPS 処理水希釈放出設備において、ALPS 処理水を内包する機器の漏えい発生防止について、表 2.9.2-1 の通りに実施する。

表 2.9.2-1 ALPS 処理水希釈放出設備の漏えい発生防止

機器	対象	漏えい発生防止対策
ポンプ	循環ポンプ ALPS 処理水 移送ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・耐食性に優れた二相ステンレス鋼等を使用する。 ・ポンプの軸封部は漏えいの発生しがたいメカニカルシール構造とする。
配管	循環配管 移送配管 海水配管	<ul style="list-style-type: none"> ・耐食性を有するポリエチレン管，耐圧ホース，十分な肉厚を有する炭素鋼鋼管またはステンレス鋼鋼管を使用する。 ・主要配管の炭素鋼材料の内面には，耐食性を有する塗装を施す。 ・可撓性を要する部分は耐腐食性を有する合成ゴム製伸縮継手とする。 ・屋外に敷設される移送配管について，ポリエチレン管とポリエチレン管の接合部は漏えい発生防止のため融着構造（図 2.9.2-1 参照）とする。
タンク※	測定・確認用 タンク	<ul style="list-style-type: none"> ・漏えいの発生を防止するため，中低濃度タンクには設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用する。

※：平成 28 年 7 月 4 日に実施計画変更認可済の K4 エリアタンクの内容を記載



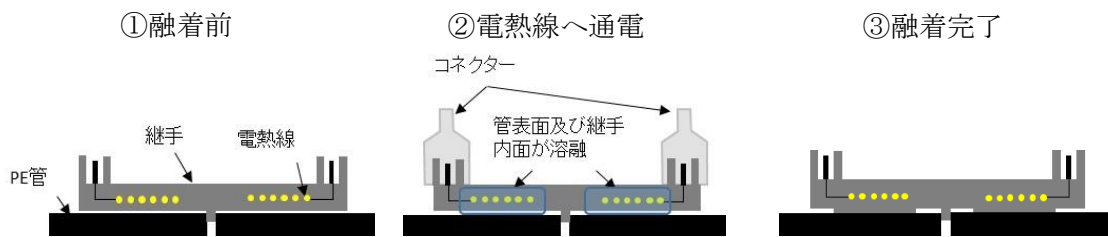
融着部

融着部は、継手^{※1}にポリエチレン管を差し込み一体化させた構造となっている。

施工法としては、継手にポリエチレン管を差し込んだ後、継手内面に埋め込まれた電熱線に電気を流すことで発熱させ、ポリエチレン管表面及び継手内面が溶融させ、ポリエチレン管と継手が完全に一体化とするもの^{※2}。

※1：ポリエチレン管と同様に ISO 規格または JWWA 規格に準拠したものを使用

※2：ポリエチレンと継手の接合は、JWWA 記載の方法にて実施



融着作業イメージ

図 2.9.2-1 ポリエチレン管の融着部の構造

2. 漏えい検知・漏えい拡大防止

ALPS 処理水希釈放出設備の漏えい拡大防止対策として、循環ポンプ、ALPS 処理水移送ポンプ及び緊急遮断弁等の周囲に堰を設けるとともに、堰内に漏えい検知器を設置する計画（図 2.9.2-2,3 参照）。なお、漏えい検知の警報が発報した場合、運転操作員が速やかに ALPS 処理水の海洋放出を停止することで、漏えい拡大防止を図る運用とする。

また、各エリアの漏えい検知・漏えい拡大防止対策の詳細は、表 2.9.2-2 に示す通り。

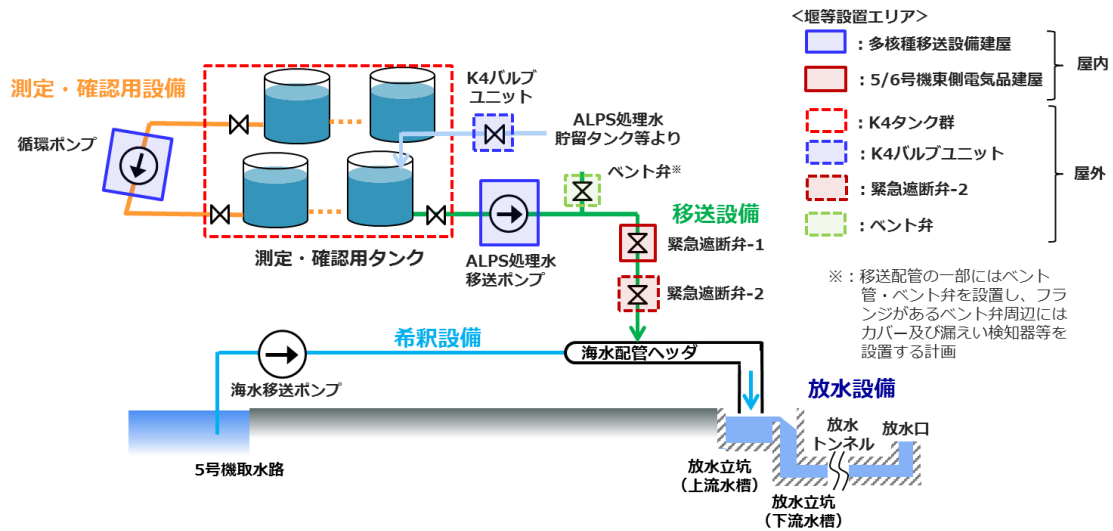


図 2.9.2-2 ALPS 処理水希釈放出設備におけるフランジ部の存在箇所

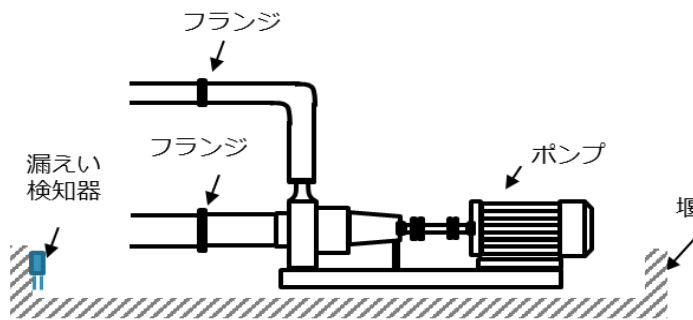


図 2.9.2-3 漏えい防止・汚染拡大防止等の対策イメージ

表 2.9.2-2 ALPS 処理水希釈放出設備の漏えい検知・漏えい拡大防止

エリア	漏えい拡大防止対策
屋内 ・多核種移送設備建屋 (循環ポンプ, ALPS 処理水移送ポンプ) ・5/6 号機東側電気品建屋 (緊急遮断弁-1)	・循環ポンプ, ALPS処理水移送ポンプ, 及び緊急遮断弁-1の周囲に, 漏えいの早期検知及び漏えいの拡大防止として, 堰を設けるとともに, 堰内に漏えい検知器を設置する。 ・設備運転中は 1 日/回の巡視点検により漏えいの早期検知を図る。
屋外 ・K4 タンク群※ (移送, 循環のバウンダリ弁含む) ・K4 バルブユニット (受入弁) ・緊急遮断弁-2 ・ベント弁	・タンク等からの漏えいを早期検知するために, 1 日/回の巡視点検にて漏えいの有無を確認し, 液体状の放射性物質が漏えいした場合においても, 漏えいを停止するのに適切な措置をとれるようにする。 ・弁の周囲に, 漏えいの早期検知及び漏えいの拡大防止として堰を設けるとともに, 堰内に漏えい検知器を設置する。 ・設備運転中は 1 日/回の巡視点検により, 漏えいの早期検知を図る。 ・なお, 堰内への雨水流入防止対策として, 堰の周辺にカバーを設置する。(図 2.9.2-4 参照) ・ベント弁の周辺にカバーを設置し, 各フランジ部に漏えい検知器を設置する。(図2.9.2-5参照) なお, 当該カバーは雨水対策を兼ねる。

※：平成 28 年 7 月 4 日に実施計画変更認可済の K4 エリアタンクの内容を抜粋し記載

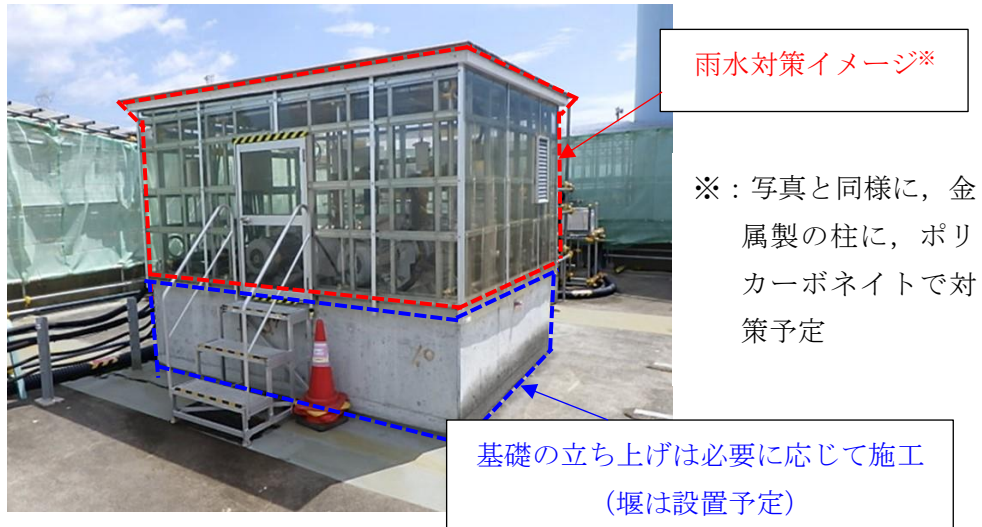


図 2.9.2-4 K4 バルブユニット及び緊急遮断弁-2 における雨水流入対策イメージ

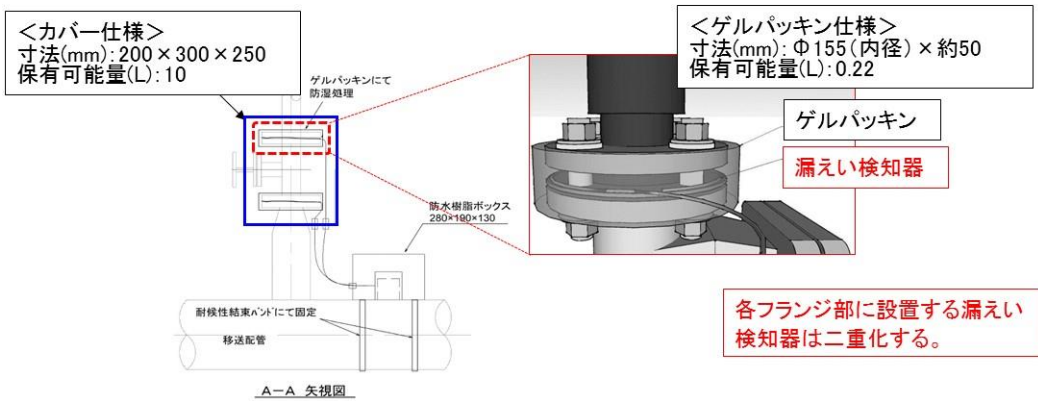


図 2.9.2-5 ベント弁フランジ部の漏えい対策

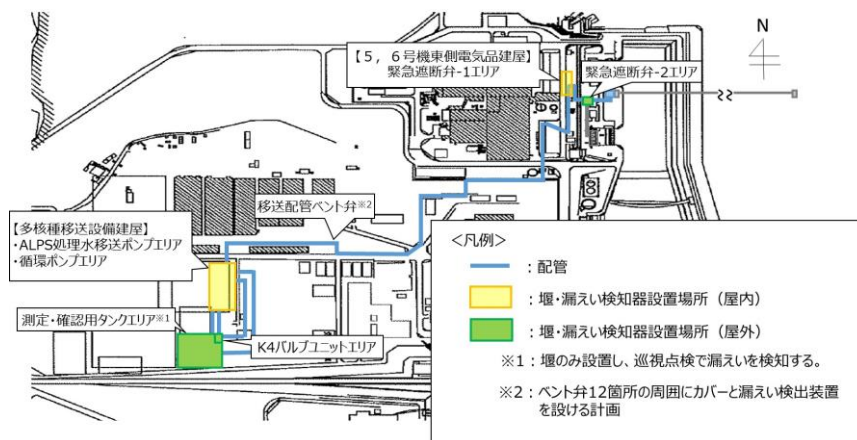
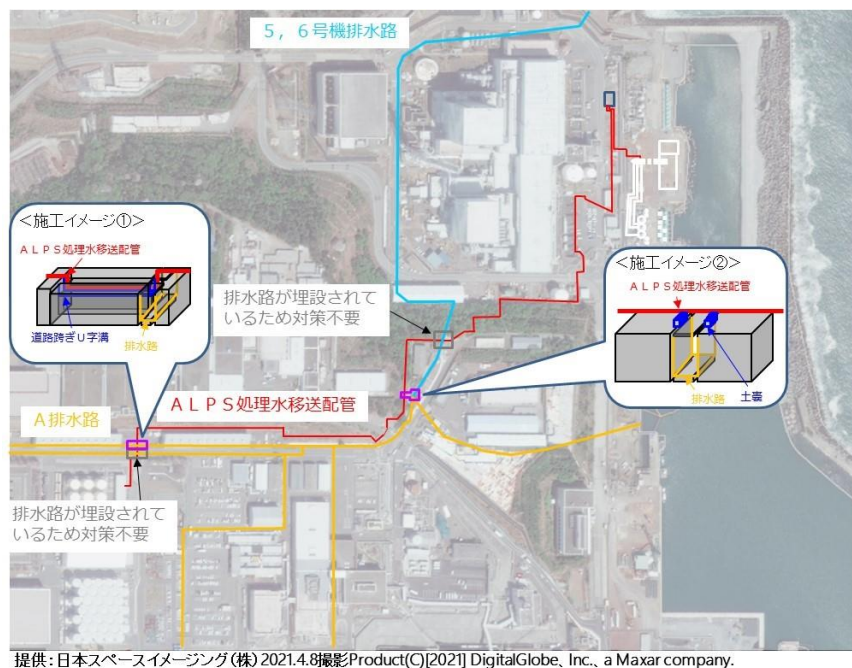


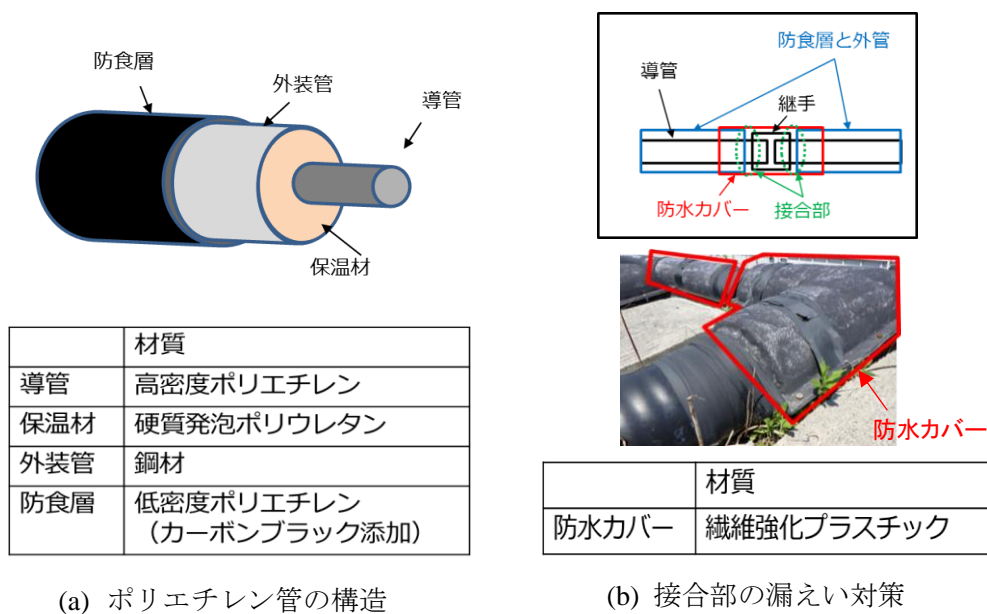
図 2.9.2-6 堰・漏えい検知器等の設置位置

なお、移送配管は、万一、漏えいしても排水路を通じて環境に放出することがないように、排水路から可能な限り離隔するとともに、移送配管に使用するポリエチレン管は、管の外側に外装管（接合部は防水カバー）を取り付けることで、漏えい拡大を防止する施工を行う。（図 2.9.2-7,8 参照）



提供：日本スペースイメージング(株) 2021.4.8撮影Product(C)[2021] DigitalGlobe, Inc., a Maxar company.

図 2.9.2-7 排水路と配管の位置関係



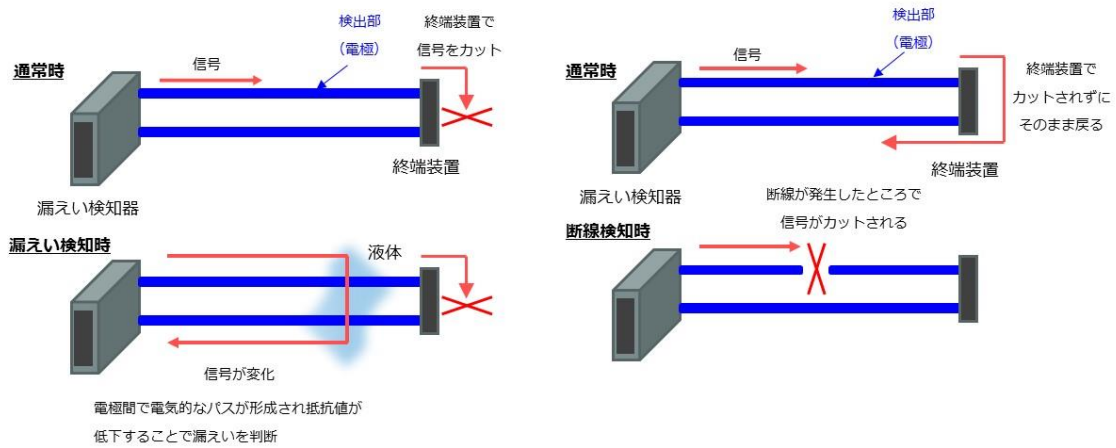
(a) ポリエチレン管の構造

(b) 接合部の漏えい対策

図 2.9.2-8 移送配管に使用するポリエチレン管の概要

ALPS 処理水希釈放出設備で設置する漏えい検知器の動作原理を図 2.9.2-9 に示す。ベント弁周辺フランジ部には漏えい検知器から終端装置までの全体で検出可能な漏えい検知器（以下「タイプ①」という。）を設置し、各堰内にはタイプ①または検出部が先端にある漏えい検知器（以下「タイプ②」という。）を設置する計画とする。

<タイプ①>



<タイプ②>

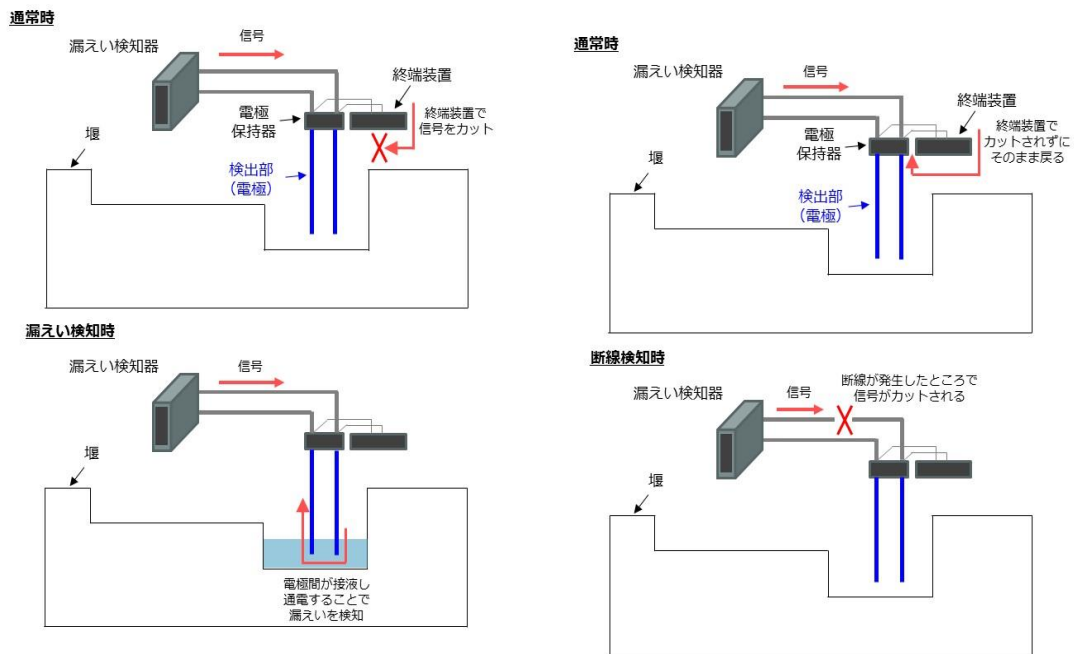


図 2.9.2-9 漏えい・断線検知時の原理イメージ

3. ALPS 処理水希釈放出設備の遮へいについて

ALPS 処理水希釈放出設備に関しては、トリチウムを除く放射性核種の告示濃度限度比総和が 1 未満となった ALPS 処理水を取扱う。

ALPS 処理水を約 1,000m³/基を貯留している K4 エリアの内堰内の空間線量当量率の測定結果より、エリア内の空間線量等量率は最大でも 1 μ Sv/h 以下であることから、機器等の設計において遮へい機能を考慮する必要はないと判断した。

以上

想定する漏えい箇所及び量と漏えい対策の妥当性

1. 想定する漏えい箇所

福島第一原子力発電所で、震災以降発生した漏えい事象は、フランジ部/シール部等、設備本体からの漏えいが最も発生する可能性が高い事象となっている。(図 2.9.2-10 参照)

このため、ALPS 処理水希釈放出設備ではフランジ部/シール部等、設備本体からの漏えい拡大防止を図るため、当該部の周囲に堰及び漏えい検知器を設置する計画としている。

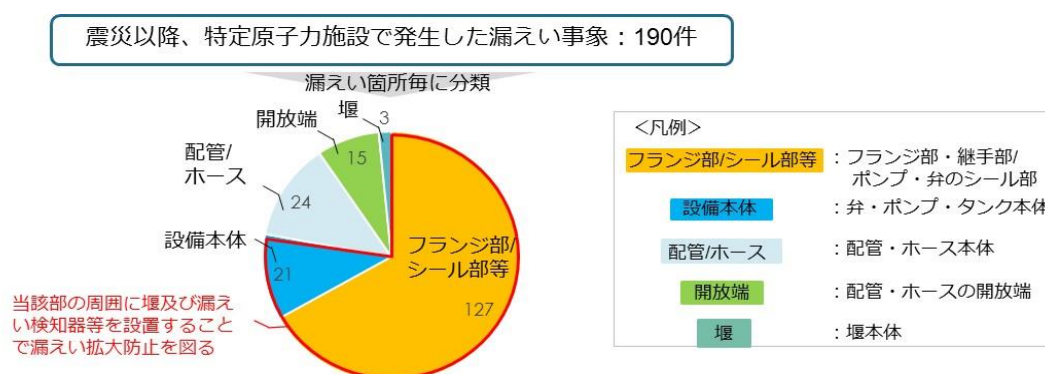


図 2.9.2-10 1F で震災以降に発生した漏えい事象

また、フランジ部/シール部、設備本体以外の配管/ホース、開放端からの漏えい事象は、マニュアルやガイド等に水平展開されており、ALPS 処理水希釈放出設備でもこれらを反映して対策している。

表 2.9.2-3 1F で震災以降に発生した配管/ホース、開放端からの漏えい事象とその対策

震災以降、特定原子力施設で発生した漏えい事象		ALPS 処理水希釈放出設備における対策※
漏えい箇所	漏えい概要	
配管/ホース	雨水回収タンクへの移送中に通行人や周辺で作業する人が誤って耐圧ホースを損傷させ漏えい。	通行人や周辺で作業する人による損傷リスクがある箇所には、柵等を設置する。
開放端	既設 RO-3 の弁を誤って「閉」から「開」とさせたことにより配管から漏えい。	弁を施錠管理する。

※：マニュアルやガイド等で制定済み

2. 想定する漏えい量

福島第一原子力発電所内で過去に発生した漏えい事象に対するモックアップ試験の結果及び過去の漏えい事象（フランジ部/シール部等）における最大の漏えい量から、今回想定する漏えい量を評価した。

【モックアップ試験の結果】

2016年4月20日に発生した「G6タンクエリア移送配管からのストロンチウム処理水の滴下」を受けて、モックアップ試験を実施しフランジ部から滴下する1滴あたりの計量数を測定した。

<試験条件>

- ・形状 JIS10K RF フランジ SGP 短管 (KV パッキン入り)
- ・つまようじ (約 2mm 径) による漏えい再現
- ・配管口径 100A
- ・試験圧力 1.0MPa
- ・試験温度 10.2℃
- ・試験時間 30 分 (1800 秒)



<試験結果>

- ・滴下数 1092 滴
- ・計量数 185 cc

⇒1 滴あたり 0.1694cc

図 2.9.2-11 モックアップ試験の状況

【過去の漏えい事象（フランジ部/シール部等）における最大の漏えい量】

過去のフランジ部/シール部等から漏えいした事象における、最大の漏えい量は、1 秒間あたり 5～7 滴であった。

【想定する漏えい量】

上記の 2 つの情報を踏まえて、フランジ部/シール部等からの漏えいの想定を 1.19cc/秒 (約 4L/h) とした。

3. 評価結果

多核種移送設備建屋，5,6号機東側電気品建屋，K4バルブユニット，緊急遮断弁-2内における堰の寸法・漏えい検知器の配置等は図 2.9.2-12 の通り。また，緊急遮断弁-2 エリアを含む各堰における，漏えい検知器感知時の漏えい量及び堰内保有可能量は表 2.9.2-4 の通りであり，堰内保有可能量は漏えいを検知してから運転員が対応するまで，十分な容量を確保していることから，堰からの溢水は防止可能と評価した。

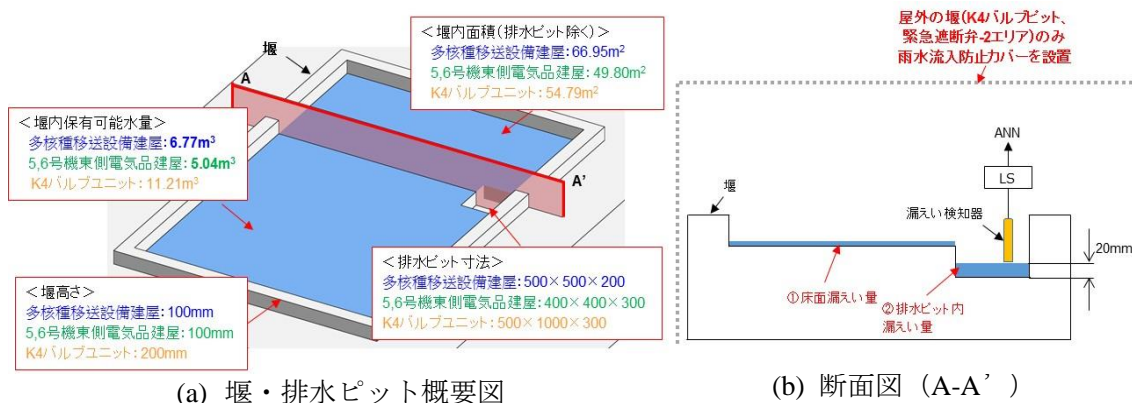


図 2.9.2-12 堰の寸法及び漏えい検知器の配置図

表 2.9.2-4 想定漏えい量を踏まえた堰内保有可能量の妥当性

	漏えい検知器 感知時の漏えい量 (①+②)	堰内保有 可能量	漏えいを感知して から堰が満水に なるまでの時間
多核種移送設備建屋内堰	0.14m ³	6.77m ³	約 1548 時間
5,6号機東側電気品建屋内堰	0.10m ³	5.04m ³	約 1153 時間
K4バルブユニット堰	0.12m ³	11.21m ³	約 2588 時間
緊急遮断弁-2 堰	0.04m ³	5.00m ³	約 457 時間*

*受入れタンク容量 (3m³) は除外して計算

なお，ベント弁周辺の漏えい対策について，ゲルパッキンの保有可能量以上の水が漏えいし，ベント弁周辺に設置する鋼製カバー内に水が浸水すると想定すると，フランジ部の漏えい検知器で漏えいを感知してから鋼製カバーが満水になるまでは約 2.3 時間かかるため，ベント弁カバー内保有可能量は漏えいを感知してから運転員が対応するまで，十分な容量を確保していることから，鋼製カバーからの溢水は防止可能と評価した。なお，機器の単一故障に備えてベント弁の各フランジ部に設置する漏えい検知器は二重化する。

ALPS 処理水の海洋放出時の希釈放出の必要性に関する補足説明

現在、福島第一原子力発電所の構内で保管している ALPS 処理水は、タンクへの保管時期に応じてトリチウム濃度には、2021 年現在で約 15 万 Bq/L～216 万 Bq/L のバラツキが生じている（図 2.9.3-1 参照）。いずれの ALPS 処理水においても、トリチウムの告示濃度限度 6 万 Bq/L を上回っていることから、ALPS 処理水の海洋放出には、海水による希釈が必要となる。

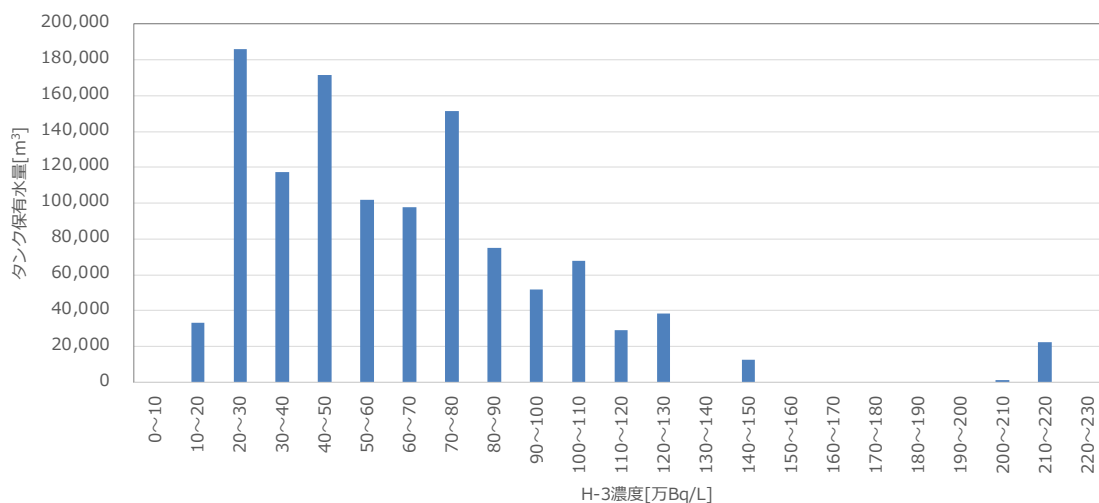


図 2.9.3-1 福島第一原子力発電所で保管している ALPS 処理水等の H-3 濃度の分布
(2021 年 4 月 1 日まで減衰補正)

このため、ALPS 処理水を海洋放出するに当たって、それぞれのポンプの設計の考え方を取り纏めて、各ポンプについて下記の通り設定した。

表 2.9.3-1 各ポンプの流量設定値

対象	設定値
1.ALPS 処理水流量	最大 500m ³ /日
2.海水移送流量	17 万 m ³ /日/台

1. ALPS 処理水流量の設計の考え方について

ALPS 処理水の流量設定値は、年間トリチウム放出量 22 兆 Bq を基準に、設備保守・系統切替を踏まえた放出日数（292 日：年間稼働率 8 割）から、1 日当たりのトリチウム放出量は 753 億 Bq/日となる。

一方、福島第一原子力発電所構内に保管されている ALPS 処理水等のトリチウム濃度は、約 15 万～216 万 Bq/L、平均約 62 万 Bq/L（2021 年 4 月 1 日時点の評価値）である。この中で、トリチウム濃度の低い約 15 万 Bq/L の ALPS 処理水を放出する際に、移送流量が最大となることから、この時の 500m³/日を ALPS 処理水流量とする。

2. 海水移送ポンプの設計の考え方について

海水移送ポンプの海水移送流量値は、海水希釈後のトリチウム濃度を 1,500Bq/L 未満、年間トリチウム放出量 22 兆 Bq を下回る水準とすることを遵守しつつ、ポンプ運用の柔軟性を確保するため、下記の 3 点について考慮して設定する。

- ① 福島第一原子力発電所構内に保管されている ALPS 処理水等のトリチウム濃度約 15 万～216 万 Bq/L より、様々な濃度の ALPS 処理水の放出に柔軟に対応できること。
- ② ALPS 処理水の放出量については、約 500m³/日を上限としつつ、大雨等による ALPS 処理水の増加量や、廃炉に必要な施設の建設に向けたタンクの解体スピード等に応じて、柔軟に対応できること。
- ③ 海水移送ポンプの運用や保守点検にあたり、柔軟に対応できること。

必要となる海水移送流量は、①、②の観点から、下記の通りリスクケースを想定したうえで検討する。

○その 1：高濃度の ALPS 処理水の放出

トリチウム濃度の高い（約 216 万 Bq/L）ALPS 処理水を、汚染水の保管量全体を増加させないように汚染水発生量 150m³/日相当分にて一時的に放出せざるをえない場合を想定すると、海水希釈後のトリチウム濃度を 1,500Bq/L 未満とするために、海水流量は約 22 万 m³/日必要となる。（計算式：216 万 Bq/L ÷ 1,500Bq/L × 150m³/日 = 約 22 万 m³/日）

○その 2：多量の ALPS 処理水の放出

降水量が多い時期に、トリチウム濃度約 62 万 Bq/L（福島第一原子力発電所構内に保管されている ALPS 処理水等のトリチウム濃度の平均）の ALPS 処理水を、約 400m³/日（2020 年の最大汚染水発生量）にて一時的に放出せざるをえない場合を想定すると、海水希釈後のトリチウム濃度を 1,500Bq/L 未満とするために、海水流量は約 17 万 m³/日必要となる。（計算式：62 万 Bq/L ÷ 1,500Bq/L × 400m³/日 = 約 17 万 m³/日）

○その 3：稼働率の低下

設備の保守期間の長期化等により稼働率が低下し、年間トリチウム放出量 22 兆 Bq を放出日数 100 日で ALPS 処理水を放出せざるを得ない場合を想定すると、2,200 億 Bq/日にて放出する際に、海水希釈後のトリチウム濃度を 1,500Bq/L 未満とするための海水流量は、約 15 万 m³/日必要となる。（計算式：22 兆 Bq/年 ÷ 1,500Bq/L = 約 15 万 m³/日）

以上から、最低 22 万 m³/日以上海水移送流量が必要となることが分かるが、更に設計余裕として 5 割の裕度を考慮し、約 33 万 m³/日の海水移送流量を準備する。

海水移送ポンプの運用は、③の観点から、万が一ポンプ 1 台が停止した際の対応や、点検等の保守面を考慮し、ポンプを 3 台用意し、2 台運転 1 台待機とすることで、安定的な放出を行えるようにする。

なお、設計検討上は 2 台運転を通常状態としているが、状況に応じて 3 台運転も可能な設計とする。

以上の検討結果から、海水移送ポンプ 2 台で海水移送流量約 33 万 m³/日を確保できるよう、1 台あたり 17 万 m³/日程度の海水移送ポンプを選定する。

なお、ポンプ 1 台運転でも、稼働率 8 割で年間トリチウム放出量 22 兆 Bq を放出した場合やリスクケースその 2、3 の場合、ALPS 処理水の海水希釈後のトリチウム濃度は 1,500 Bq/L を十分に下回る。

ALPS 処理水を海水で 1,500 Bq/L 未満まで希釈されていることを確認するためには、希釈前の ALPS 処理水トリチウム濃度と、ALPS 処理水流量及び海水流量を正確に測定することが重要であるが、1 台あたり 17 万 m³/日のポンプを選定したとしても、測定できる流量計（オリフィス式）が存在することを確認している。

以上

ALPS 処理水の混合希釈倍率に関する補足説明

ALPS 処理水の混合希釈については、ALPS 処理水流量が 1 日当たり最大 500m³ であるのに対して、海水により 100 倍以上に希釈を行うが、この混合希釈の挙動について確認した結果について説明する。

1. 解析コードや条件について

混合希釈挙動に関しては、表 2.9.4-1 の解析コード・解析条件により、図 2.9.4-1 に示す解析モデルにて想定される希釈効果について評価した。

表 2.9.4-1 解析コード・解析条件等一覧

条件	内容
1. 解析コード・解析モデル	
(1) 解析コード	STAR-CCM+ (ver.11)
(2) 基礎式	非圧縮性質量保存式，運動量保存式 (レイノルズ平均ナビエ・ストークス (RANS) 式)
(3) 乱流モデル	Realizable k-ε モデル
(4) 壁面近傍の扱い	壁関数モデル
(5) 離散化手法	有限体積法
(6) 物質移流・拡散モデル	化学種移流拡散モデル
2. 境界条件	
(1) 希釈海水入口	170,000m ³ /日，運転中海水配管入口本数：2 本
(2) ALPS 処理水入口	500m ³ /日
(3) 海水配管出口	圧力境界 (大気圧)
3. 流体物性	
(1) 温度	20℃
(2) 海水	密度：1025 kg/m ³ ，粘度：1.080×10 ⁻³ Pa・s
(3) ALPS 処理水 (純水)	密度：998.2 kg/m ³ ，粘度：1.002×10 ⁻³ Pa・s

3次元直交系における流体の運動（流動）は、以下の質量保存式（連続の式）、運動量保存式（ナビエ・ストークス式）で記述できる。

（質量保存式）

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}) = 0$$

ρ : 物質の密度 [kg/m³]

\mathbf{u} (u, v, w) : 流速ベクトル [m/s]

（運動量保存式）

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial t} + \text{div}(\mu \text{grad } u) + S_{Mx}$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial t} + \text{div}(\mu \text{grad } v) + S_{My}$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \mathbf{u}) = -\frac{\partial p}{\partial t} + \text{div}(\mu \text{grad } w) + S_{Mz}$$

u, v, w : x, y, z 方向流体流速 [m/s]

p : 圧力 [Pa]

μ : 粘性係数 [Pa · s]

S_{Mx}, S_{My}, S_{Mz} : x, y, z 方向外力 [Pa]

各方向の流速を乱流の平均成分（レイノルズ平均流速）と変動成分に分離 ($\mathbf{u} = \bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}'$, $\mathbf{v} = \bar{\mathbf{v}} + \mathbf{v}'$, $\mathbf{w} = \bar{\mathbf{w}} + \mathbf{w}'$) して、上記基礎式に代入すると、レイノルズ平均流速 ($\bar{\mathbf{u}}, \bar{\mathbf{v}}, \bar{\mathbf{w}}$) についての質量保存式、運動量保存式が得られる。この質量保存式は上記式と同型、運動量保存式は上記式にレイノルズ応力項が付加された形式（レイノルズ平均ナビエ・ストークス (RANS) 式）となる。

実用的な数値流体解析 (CFD) では、上述のレイノルズ平均流速に対する質量保存式、運動量保存式 (RANS 式) を数値解析で解くことで、圧力および流速 (レイノルズ平均流速) の値を得ており、乱流モデルの適用が必要な ALPS 処理水の混合希釈の検討においても同式を基礎式として採用した。

また、RANS 式における乱流モデルは、CFD 解析で使用実績の多い渦粘性モデルを使用することとし、中でも適用実績が多い k-ε 系の乱流モデルとした。

なお、RANS 系の CFD 解析における流体中の物質の移流（移送）と拡散は以下の移流拡散式で計算される。今回は、本移流拡散式で海水中の ALPS 処理水の移流（移送）を計算する。

$$\frac{dC}{dt} + \bar{u} \frac{\partial C}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial C}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial C}{\partial z} = (D_m + D_{t-x}) \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + (D_m + D_{t-y}) \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + (D_m + D_{t-z}) \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$$

C : 物質濃度 (ALPS 処理水の重量/物質の重量) [-]
(解析上, 時間と空間の変数として表される。)

$\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$: x, y, z 方向レイノルズ平均流体流速 [m/s]

D_m : 物質 (分子) 拡散係数 [m²/s]

$D_{t-x}, D_{t-y}, D_{t-z}$: x, y, z 方向乱流拡散係数 [m²/s]

解析においては、実験的に決定される乱流拡散係数（乱流シュミット数）に支配される乱流拡散挙動が注入純水濃度に対する影響が大きい。

このため、乱流シュミット数を諸文献^{※1, ※2, ※3} 調査から、乱流拡散が小さくなる（注入純水の局所的な濃度が高くなる）ように、諸文献提示値のうち上限に近く、密度成層内乱流で用いられている乱流シュミット数を設定し、解析を実施した。なお、今回の混合希釈においても、塩分濃度差に基づく拡散の存在が考えられるが、本評価では保守的に上式で示す物質拡散係数 D_m について無視をした。

また、ALPS 処理水は過去の分析結果で、密度が 0.999±0.001 g/mL (K4-B6 タンク)、塩化物イオン濃度が最大約 11,000ppm であったものの、密度差を大きくし、拡散しにくくする観点で純水と設定した。なお、純水および海水の密度・粘度は以下に基づき設定した。

(密度) : 純水 日本機械学会蒸気表 (1999) CD-ROM 版

海水 海水の状態方程式 UNESCO (1981)

(粘度) : 純水 日本機械学会蒸気表 (1999) CD-ROM 版

海水 中村, 船舶流体力学関係の標準記号および水の密度, 動粘性係数, 造船協会誌 429 号 (昭和 40 年)

※1 : Gualtieri, G., et al., Fluids, 2, 17 (2017)

※2 : Tominaga, Y., et al., Atmospheric Environment, 42, 37 (2007)

※3 : Flesch, T. K., et al., Agricultural and Forest Meteorology, 111 (2002)

(参考1) 質量濃度から体積濃度への換算

混合希釈においては、100倍の希釈できることやトリチウム濃度が1,500Bq/Lに希釈できることを確認するため体積比の方が重要となるが、今回使用する解析コードは質量濃度で計算を行うため、体積濃度にするには、下記式での換算が必要となる。なお、今回の混合希釈はどちらも水であり、密度は約1000 kg/m³であることから、この変換による影響はほとんどない。

$$F = \frac{M}{(1-M) \frac{\rho_i}{\rho_R} + M}$$

F : 体積密度割合 [-]
 M : 質量濃度割合 [-]
 ρ_i : 注入密度 [kg/m³]
 ρ_R : 海水密度 [kg/m³]

(参考2) シュミット数と乱流シュミット数

シュミット数は、物体の物質の拡散の程度を表す無次元量であり、以下で定義される。

$$Sc = \frac{\nu}{D_m} = \frac{\mu}{\rho D_m}$$

Sc : シュミット数 [-]
 ν : 動粘性係数 [m²/s]
 D_m : 物質(分子)拡散係数 [m²/s]

一方、乱流シュミット数は、流体の乱流による物質の拡散の程度を表すために、シュミット数からの類推により設定された無次元量であり、以下で定義される。

$$Sc_t = \frac{\nu_t}{D_t} = \frac{\mu_t}{\rho D_t}$$

Sc_t : 乱流シュミット数 [-]
 ν_t : 渦(動)粘性係数 [m²/s]
 D_t : 乱流拡散係数 [m²/s]
 μ_t : 乱流粘性係数(渦粘性係数) [Pa·s]

さらに乱流粘性係数は、以下で定義され、RANSモデルのk-εモデルとシュミット数(乱流拡散係数)が関係付けられる。

$$\mu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

C_μ : モデル係数 [-]
 k : 乱流エネルギー [m²/s²]
 ε : 乱流散逸率 [m²/s³]

シュミット数が物性により決まる量であり、物性の状態を把握すれば一般的な値の提示が可能であるのに対して、乱流シュミット数は乱流の状態による。乱流の状態は、物性と流速や流慮の幾何学形状に依存するため、一般的な値を提示することは難しく、適用する問題ごとに、実験やシュミット数についての文献値に基づき設定する必要がある。

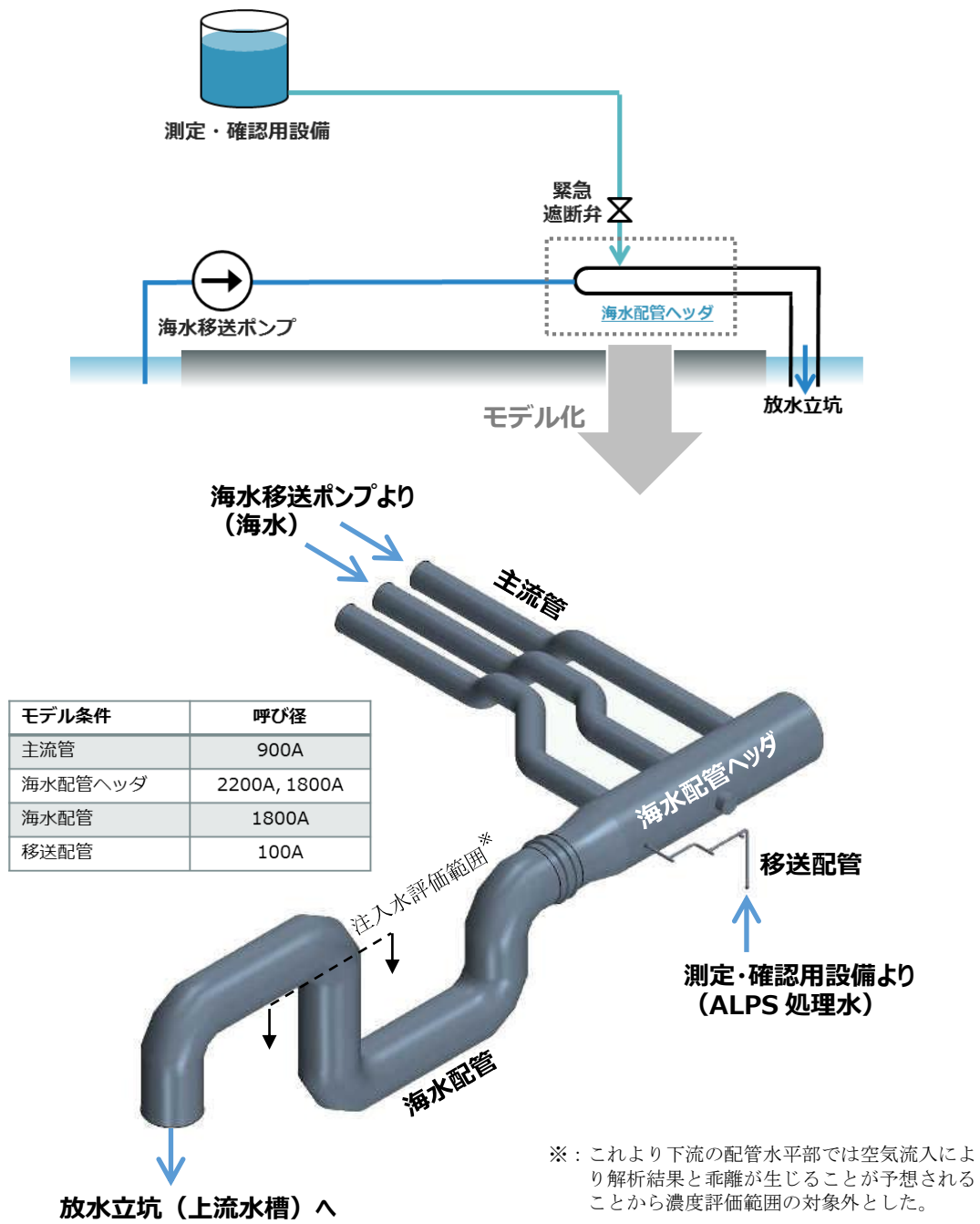


図 2.9.4-1 解析形状モデル (1 / 2)

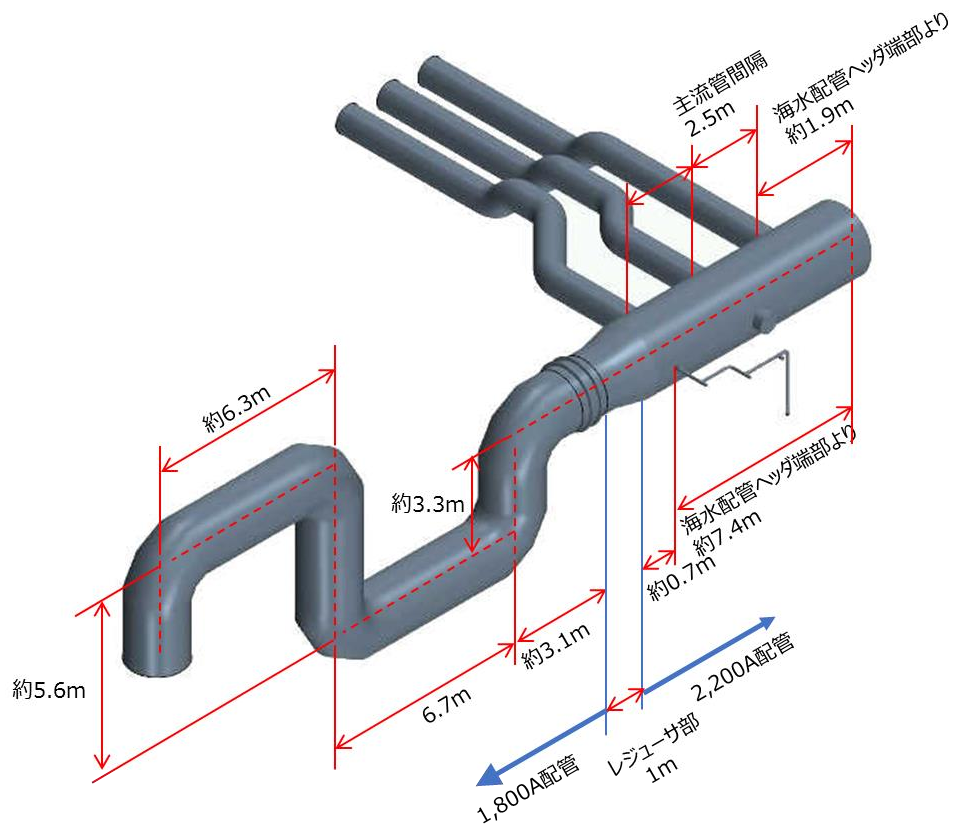


図 2.9.4-1 解析形状モデル (2 / 2)

2. 海水配管内の混合希釈の結果

海水配管内の混合希釈に関する解析結果を図 2.9.4-2～5 および表 2.9.4-2 に示す。

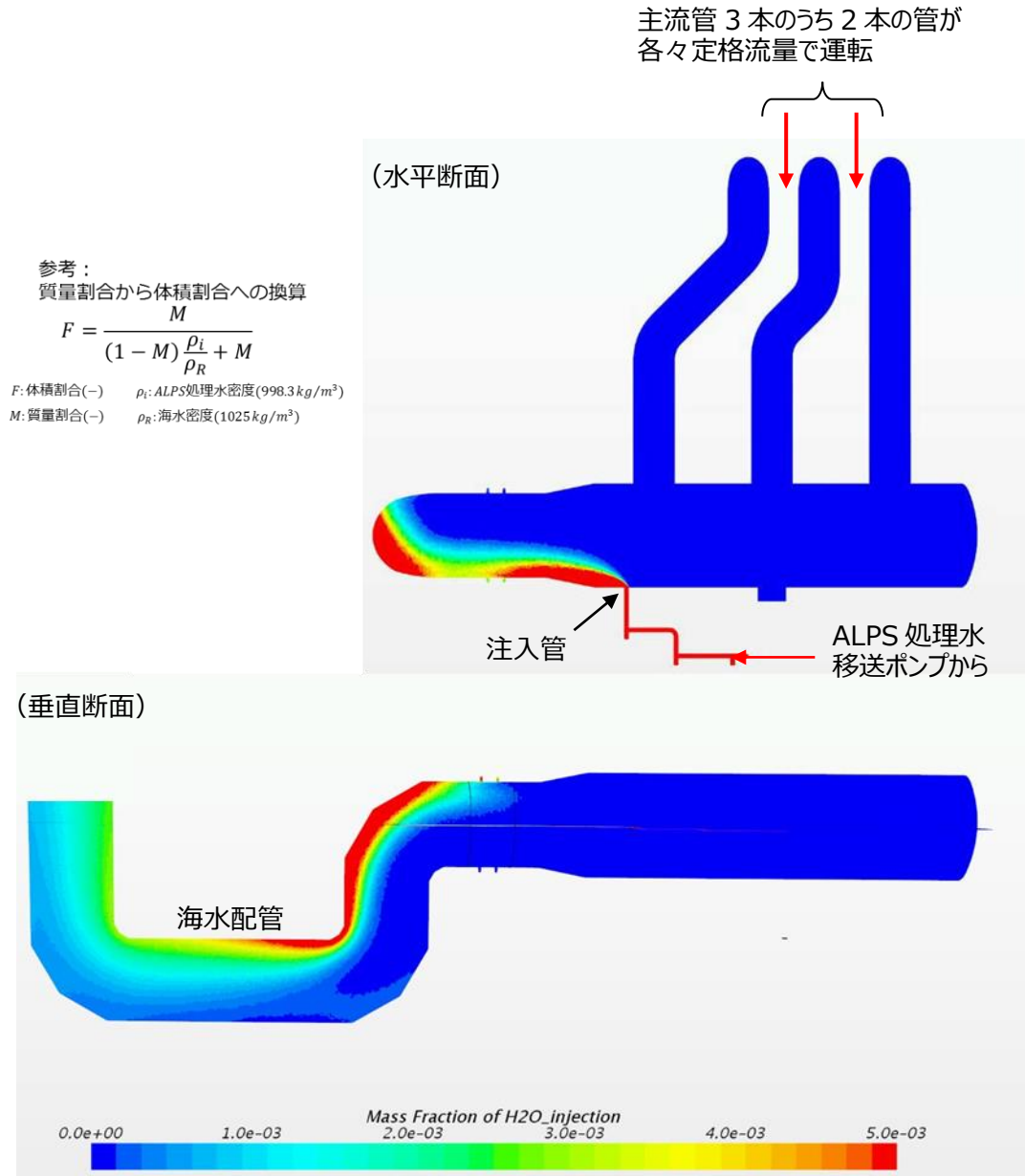


図 2.9.4-2 海水配管内の混合希釈の計算結果

図 2.9.4-2 では、ALPS 処理水移送配管から海水配管ヘッドに注入した注入水（ALPS 処理水）が海水配管内で流下しつつ、周辺の海水と混合している様子が確認できた。

解析結果の状況をより詳細に見るために、図 2.9.4-3 のように海水配管の横断面方向に評価断面を設定し、各評価断面における注入水（ALPS 処理水）の質量濃度を評価した（図 2.9.4-4 および図 2.9.4-5）。

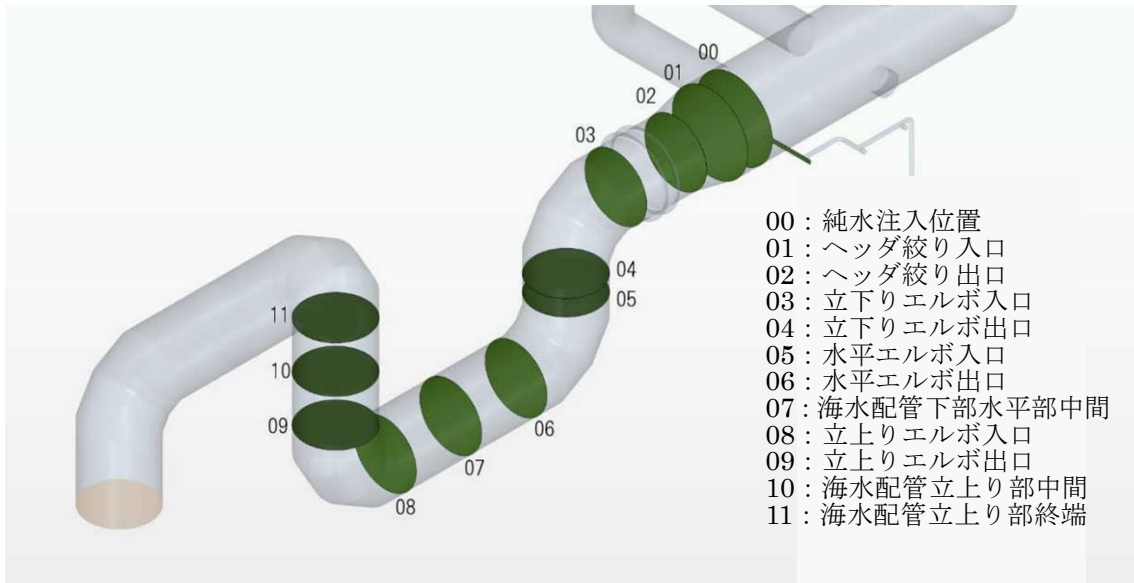


図 2.9.4-3 評価断面の位置および名称

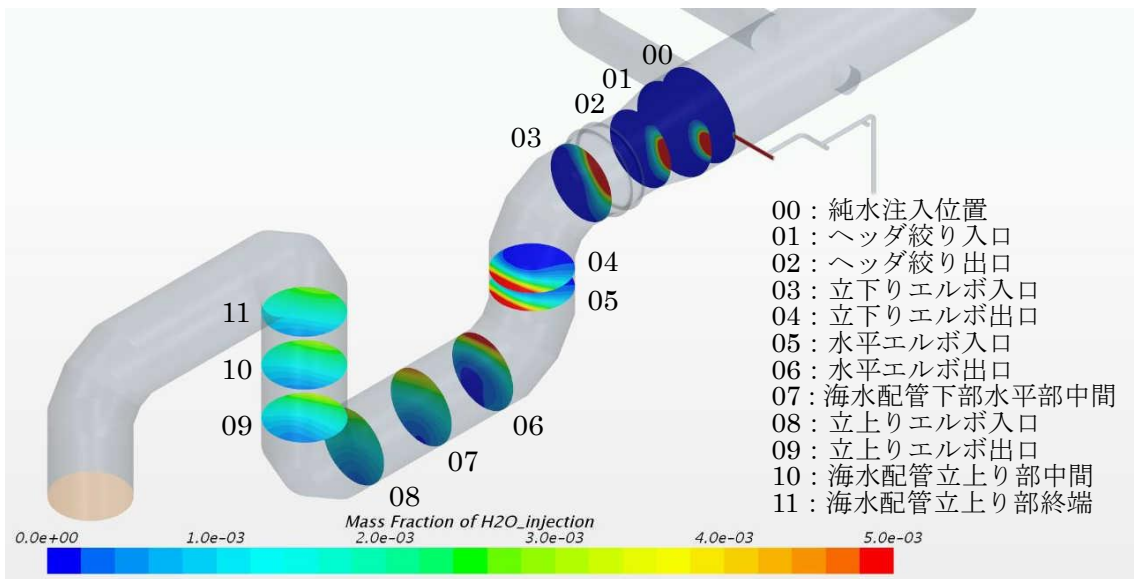


図 2.9.4-4 評価断面の質量分布

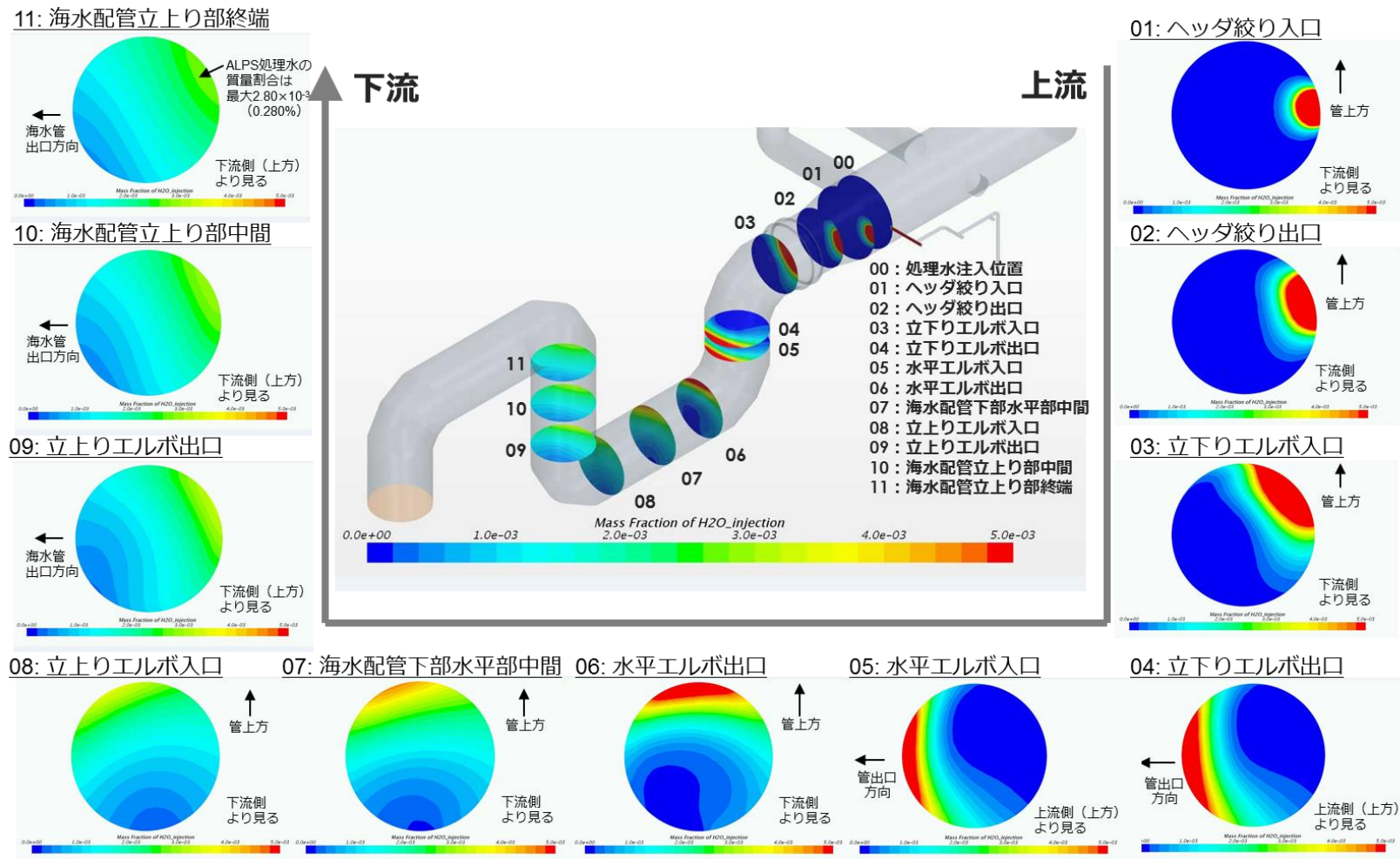


図 2.9.4-5 海水配管での混合希釈の計算結果

図 2.9.4-5 の各評価断面における質量濃度の最大値を表 2.9.4-2 に、また各値の推移を図 2.9.4-6 に示す。

表 2.9.4-2 注入水の断面濃度最大値

名称	断面濃度最大値 (%)
00: 処理水注入位置	100
01: ヘッド絞り入口	14.26
02: ヘッド絞り出口	4.16
03: 立下りエルボ入口	1.79
04: 立下りエルボ出口	0.90
05: 水平エルボ入口	0.84
06: 水平エルボ出口	0.71
07: 海水配管下部水平部中間	0.46
08: 立上りエルボ入口	0.37
09: 立上りエルボ出口	0.33
10: 海水配管立上り部中間	0.30
11: 海水配管立上り部終端	0.28

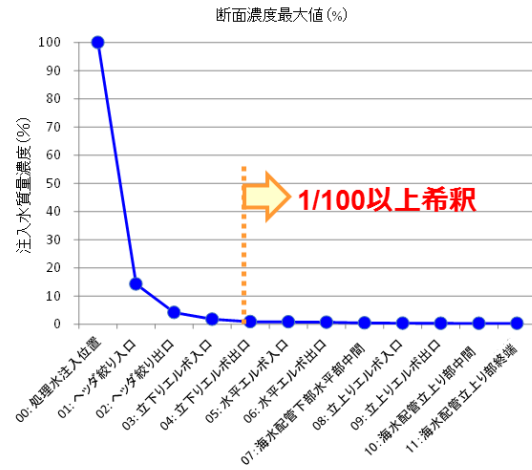


図 2.9.4-6 注入水質量濃度の推移

この結果から、注入水は放水立坑（上流水槽）に向かう海水配管内で最大濃度部においても、 $100/0.280 \div 357$ 倍薄められているという結論を得ると共に、04：立下りエルボ出口で、本設備で目標としている、100 倍以上の希釈効果が得られることを確認した。

また、評価断面の最も下流 11：海水管立上り部終端における最大濃度は 0.28% であり、理論平均値 0.14% の 2 倍であることを確認した。

3. まとめ

ALPS 処理水の混合希釈について、CFD 解析を用いて海水配管内におけるその挙動を確認した。結果、ALPS 処理水流量の最大値 $500\text{m}^3/\text{日}$ において、配管終端部の最大濃度部においても平均値の 2 倍程度に留まるものの、海水配管内で 100 倍以上の希釈効果が得られることが分かった。

以上

ALPS 処理水の混合希釈解析に用いるコード (STAR-CCM+) について

1. 概要

STAR-CCM+は、独シーメンス PLM 社製の汎用数値流体解析コードであり、流体挙動の基本的な基本式（質量保存式、運動量保存式、エネルギー保存式）を解く事により、3次元空間中における流体の運動（流速、圧力）や温度を解析評価する事ができる。また、物質の移流・拡散解析機能などの付加的な機能を用いることにより、目的に応じた様々な解析を行うことが可能である。

2. 機能

STAR-CCM+コードは海水配管中の ALPS 処理水の混合希釈挙動に関連する以下の解析機能を有する。

① 流体の流れ解析機能

流体の流れ（流速、圧力、温度）を3次元の数値流体計算で求める機能。この機能においては、3次元空間内での流体中の流れ計算するにあたり解析境界の形状を任意に設定する事で管内流などの解析ができる。また、流れに伴って発生する乱流の影響も考慮できる

② 流れ中の物質の移流・拡散解析機能

①の機能を用いて評価する流体の流れの中に存在する物質（液体、固体）の、流れによる移送（移流）および流体中への拡散（物質分子拡散、乱流拡散）を評価する機能。

これらの機能によって、流体中に注入される物質が混合・拡散される状況を解析評価可能である。

3. 解析フロー

STAR-CCM+コードの解析フローを図 2.9.4-7 に示す。

4. 使用実績

STAR-CCM+は、その汎用性からエネルギーや自動車他、広範な産業分野で用いられている。なお、原子力においては下表の実績がある。

表 2.9.4-3 STAR-CCM+の原子力産業における使用実績

No.	企業	概要
1	電力中央研究所	発電プラントの配管減肉減少の予測手法開発における STAR-CCM+の適用 (流れ加速型腐食の原因の1つである乱流エネルギー検討)
2	JNES	汎用数値流動解析コードを用いた高速増殖炉におけるナトリウム-水反応解析手法の整備
3	エネルギー 総合工学研究所	福島第一原子力発電所の圧力抑制プール内における蒸気凝縮の二相流解析
4	東京電力 HD	原子力格納施設的设计条件に関する説明書に係る補足説明資料 (格納容器圧力逃がし装置の設計) →温度評価・スロッシング評価に使用

5. 検証方法

STAR-CCM+は、様々な分野・事例への適用とそれに関連する検証が多く報告されている。その中の原子力分野の例では、文献1において、サブチャンネル解析コード COBRA-TF のモデル定数の調整に STAR-CCM+の解析結果を参照する目的で、同コードの基礎式や乱流モデルも含めた全般的な調査や、3×3 サブバンドル試験の実験解析で精度の検証 (validation) がなされている。また、流体の挙動全般や混合挙動 (移流拡散) に重要な寄与をする STAR-CCM+の乱流モデルの妥当性については、文献2において、翼周りの気体の流れについて、実験結果と STAR-CCM+各種乱流モデルを用いた比較がなされており、良好な一致をみると結論されている。こうしたことから、STAR-CCM+は、流れの解析について妥当性は示されていると考える。

文献1 : L.Gilkey, STAR-CCM+ (CFD) Calculations and Validation, Sandia National Laboratories, SAND2017-12545R, 2017.

文献2 : K. Ren, et al., Validation of Turbulence Models in STAR-CCM+ by N.A.C.A. 23012 Airfoil, 2009 ASEE Northeast Section Conference, 2009.

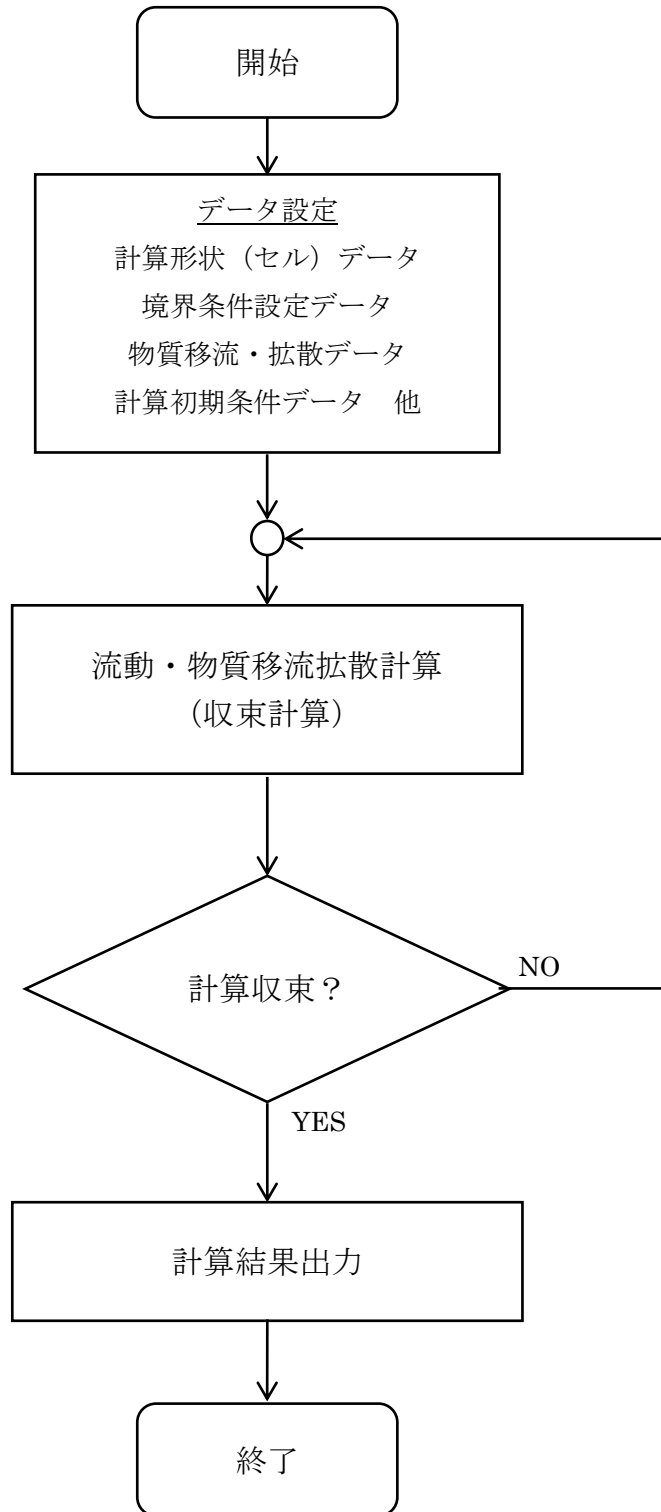


図 2.9.4-7 STAR-CCM+の解析フロー

以上

ALPS 処理水の混合希釈の監視に関する補足説明

1. 概要

ALPS 処理水の海洋放出に当たり、多量の海水で希釈するため、海水希釈後の ALPS 処理水を一時貯留してトリチウム濃度を測定することが出来ない。このため、予め測定・確認用設備にて測定・確認を実施したトリチウム濃度、海水流量（海水移送ポンプは定格運転）から、ALPS 処理水流量を定めて、海水希釈後のトリチウム濃度を評価する。

海水希釈後のトリチウム濃度は、ALPS 処理水流量と海水流量を監視することで実施する。

- ・トリチウム濃度評価式

$$\text{海水希釈後のトリチウム濃度} = \frac{\text{①ALPS 処理水トリチウム濃度} \times \text{②ALPS 処理水流量}}{\text{②ALPS 処理水流量} + \text{③海水流量}}$$

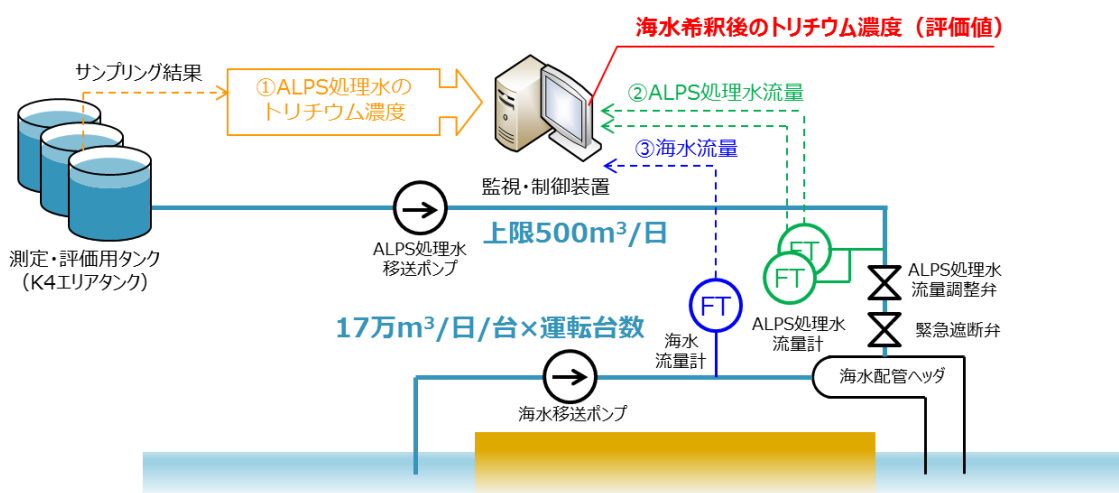


図 2.9.5-1 ALPS 処理水の混合希釈率の監視イメージ

2. ALPS 処理水流量計及び海水流量計の仕様

ALPS 処理水流量及び海水流量の監視にあたり、「差圧式流量計（オリフィス）※」を用いて測定を実施する。

ALPS 処理水流量計及び海水流量計は検出器，演算器（指示含む）の機器で構成されており，仕様及び構成は図 2.9.5-2～3，表 2.9.5-1 に示す通り。

※：流路にオリフィス（絞り弁）を設置することで，オリフィス前後の圧力差（差圧）を検出し，流量に変換する計測方式

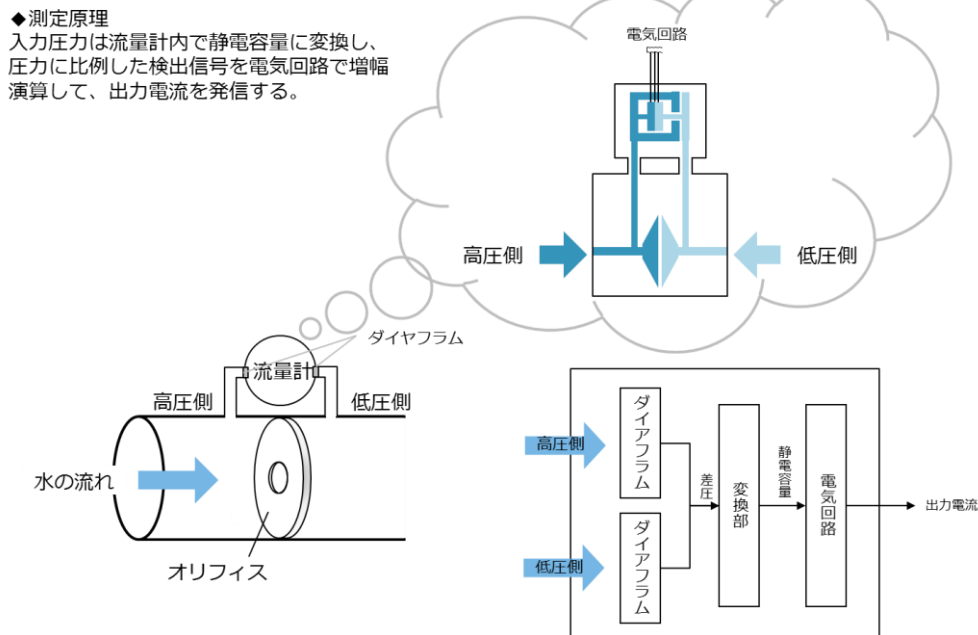


図 2.9.5-2 差圧式流量計（オリフィス）の測定イメージ

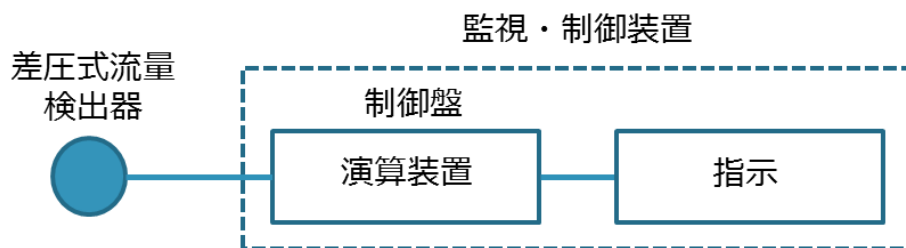


図 2.9.5-3 差圧式流量計の機器構成

表 2.9.5-1 差圧式流量計の仕様

計測方式	差圧式 (オリフィス)
仕様 (オリフィス)	JIS Z 8762-2 (円形管路の絞り機構による流量測定方法 第2部:オリフィス板)
計測範囲	0 ~ 40 m ³ /h (ALPS 処理水) 0 ~ 10,000 m ³ /h (海水)
計器誤差	± 2.1 %FS (ALPS 処理水, 海水)

3. ALPS 処理水流量の管理

移送設備では、ALPS 処理水移送ポンプ、ALP 処理水流量計、ALPS 処理水流量調整弁を設置し、移送時には常時、ALPS 処理水流量を監視する設計とする。

なお、流量計は機器の単一故障等が発生した場合においても、流量が正しく測定できるよう二重化を行う。

二重化された流量計を採用するにあたり、混合希釈率の監視や ALPS 処理水流量調整弁の制御では測定値のうち安全側の測定値を採用することに加え、計器誤差を見込んだ測定値にて監視・制御を行う。

また、二重化した流量計は各々の流量を相互に監視し、計器誤差以上の偏差が発生した場合に異常と判断し警報を発生させ、放出を停止させる設計とする。

流量計には、設定した希釈倍率に応じた上限流量を設定し、上限に達した場合や流量計が故障した場合は警報を発生させるなど、異常の早期検知が可能な設計とする。

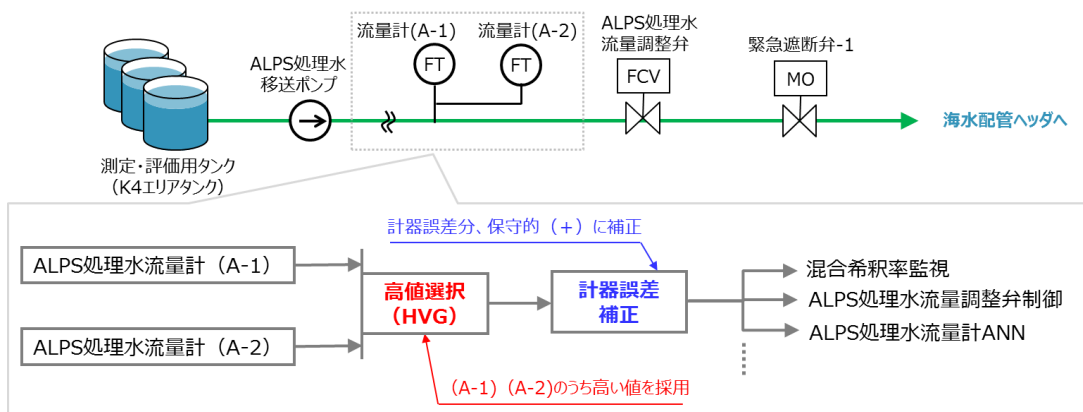


図 2.9.5-4 移送設備の構成

4. 海水流量の管理

希釈設備では海水移送ポンプ，流量計を設置し，運転系列毎の流量を常時，海水流量を監視する設計とする。

混合希釈率の監視やALPS処理水流量調整弁の制御では，計器誤差を見込んだ測定値にて監視・制御を行う。

なお，運転系列の海水流量を相互に監視し，計器誤差以上の偏差が発生した場合や流量計が故障した場合は異常と判断し警報等を発生させ，放出を停止させる設計とする。

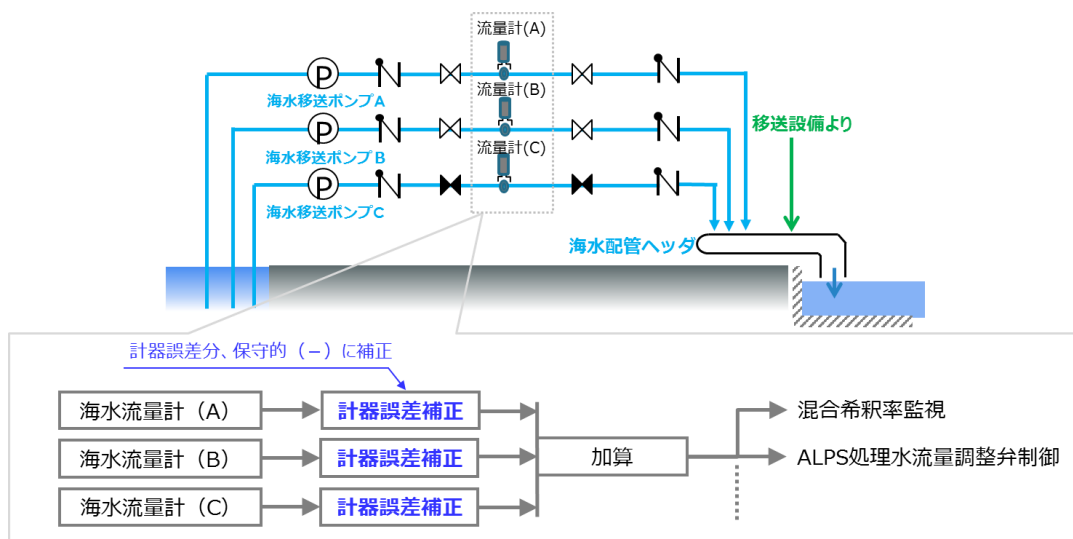


図 2.9.5-5 希釈設備の構成

5. ALPS 処理水の海水への混合希釈率の監視

ALPS 処理水の海洋放出にあたって、測定・確認用設備にて測定・確認した ALPS 処理水のトリチウム濃度と海洋放出時の ALPS 処理水流量、海水流量にて海水希釈後のトリチウム濃度の評価を行う。ALPS 処理水流量と海水流量を監視することで、海水希釈後のトリチウム濃度が 1,500Bq/L を超えないように管理する。

なお、評価の中では、ALPS 処理水流量、海水流量では計器誤差を、ALPS 処理水のトリチウム濃度では分析の不確かさを考慮し、監視・制御装置内で演算し、安全側の測定値にて評価・監視する。

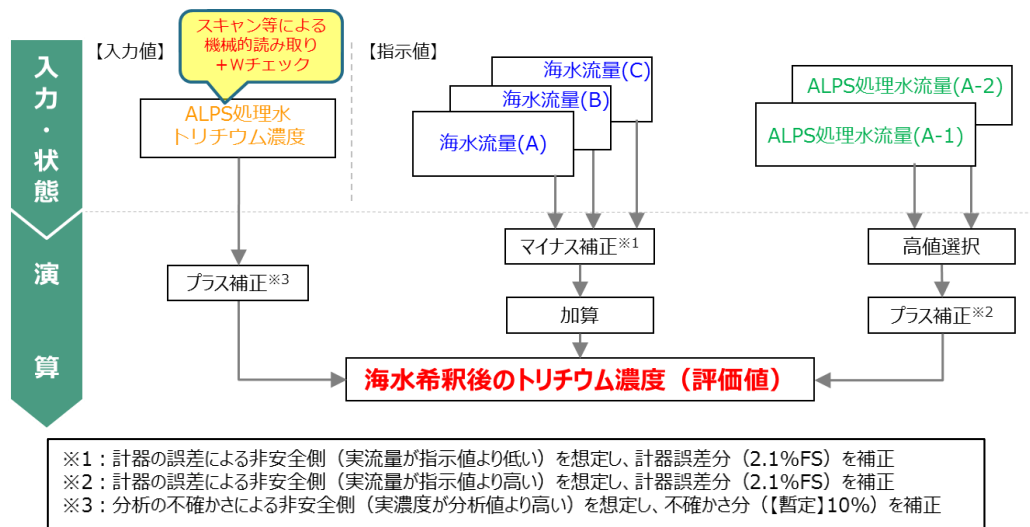


図 2.9.5-6 海水希釈後のトリチウム濃度の評価

以上

ALPS 処理水の混合希釈の調整に関する補足説明

1. ALPS 処理水の混合希釈の調整

ALPS 処理水の海水への混合希釈率の調整は、海水移送ポンプを定格運転するため、ALPS 処理水流量を制御する設計としている。

具体的には、放出操作の際に、予め測定・確認した ALPS 処理水のトリチウム濃度を監視・制御装置へ登録し、当該トリチウム濃度と希釈後のトリチウム濃度の運用値

(1,500Bq/L 未満)を踏まえて、所定の混合希釈率(100 倍以上)になるよう、ALPS 処理水流量調整弁の開度を自動調整する設計としている。

なお、トリチウム濃度を設定値である 1,500Bq/L 未満まで希釈することで、告示濃度限度比は 0.025 未満を達成可能であり、混合希釈率が 100 倍確保することで、トリチウムを除く核種の告示濃度比総和は 0.01 未満が達成可能であり、敷地周辺の線量を達成できる限り低減している。また、海水移送ポンプは 1 台でも 100 倍以上の希釈が可能な容量を有しているが、海水移送ポンプは 2 台以上の運転を計画しているため、混合希釈率は単純計算で、680 倍以上の混合希釈率を確保している。

・ ALPS 処理水流量(運用値) 算出式

$$\text{ALPS 処理水流量(運用値)} = \frac{\text{③海水流量} \times \text{④海水希釈後のトリチウム濃度(運用値)}}{\text{①ALPS 処理水のトリチウム濃度} - \text{④海水希釈後のトリチウム濃度(運用値)}}$$

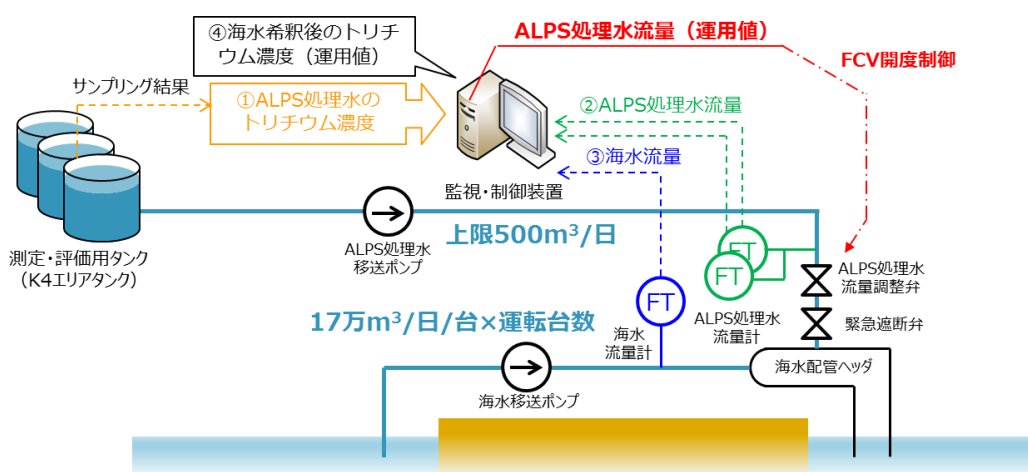
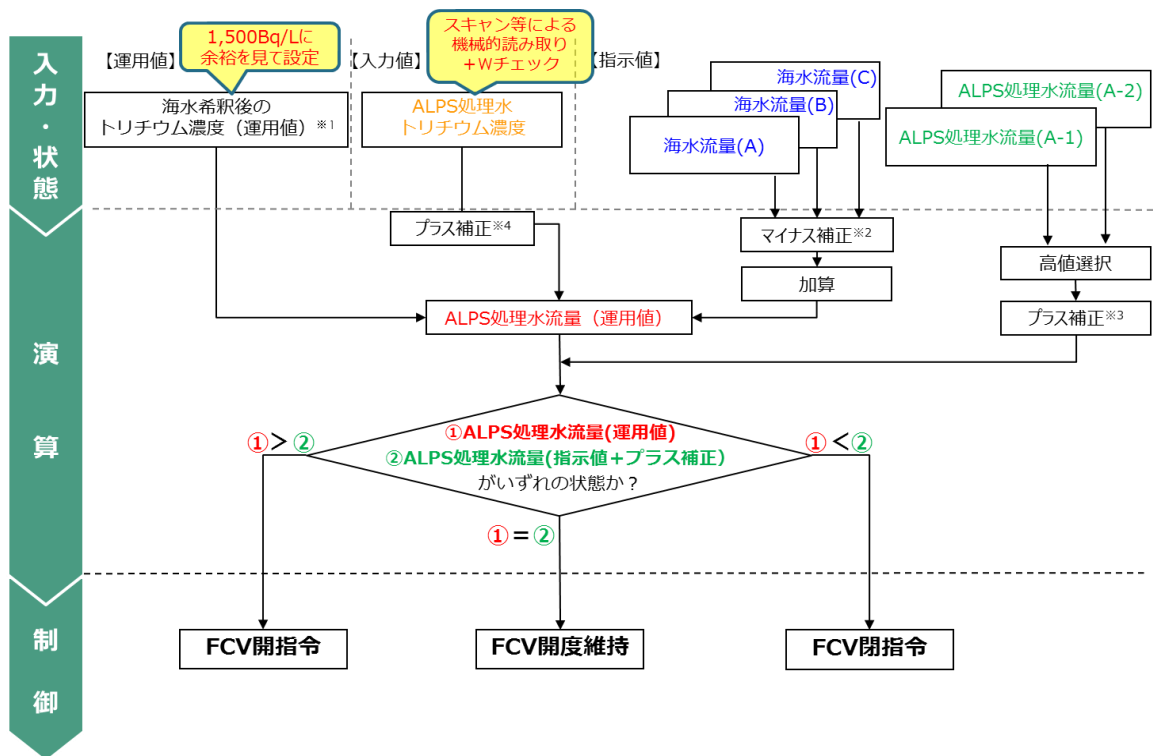


図 2.9.6-1 ALPS 処理水の混合希釈率の調整イメージ



※1： 供用開始前に監視・制御装置へ登録し、計画した条件から変更がある場合を除いて基本的には変更しない
 ※2： 計器の誤差による非安全側（実流量が指示値より低い）を想定し、計器誤差分（2.1%FS）を補正
 ※3： 計器の誤差による非安全側（実流量が指示値より高い）を想定し、計器誤差分（2.1%FS）を補正
 ※4： 分析の不確かさによる非安全側（実濃度が分析値より高い）を想定し、不確かさ分（【暫定】10%）を補正

図 2.9.6-2 ALPS 処理水流量 (運用値) の調整

2. ALPS 処理水流量（上限値）の設定

ALPS 処理水流量については、海水希釈後のトリチウム濃度が 1,500Bq/L という条件で流量の上限を定め、上限に達した場合には、「ALPS 処理水流量高」の警報を発報させると共に、緊急遮断弁を閉動作させる設計としている。

・ ALPS 処理水流量（上限値）算出式

$$\text{ALPS 処理水流量(上限値)} = \frac{\text{③海水流量} \times \text{④海水希釈後のトリチウム濃度(1,500Bq/L)}}{\text{①ALPS 処理水のトリチウム濃度} - \text{④海水希釈後のトリチウム濃度(1,500Bq/L)}}$$

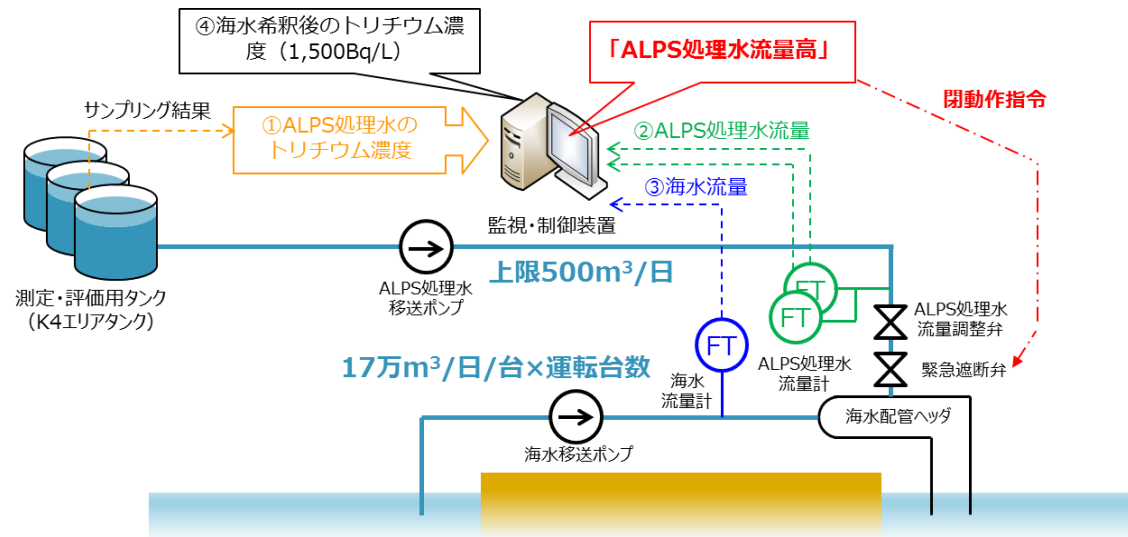


図 2.9.6-3 「ALPS 処理水流量高」時の動作イメージ

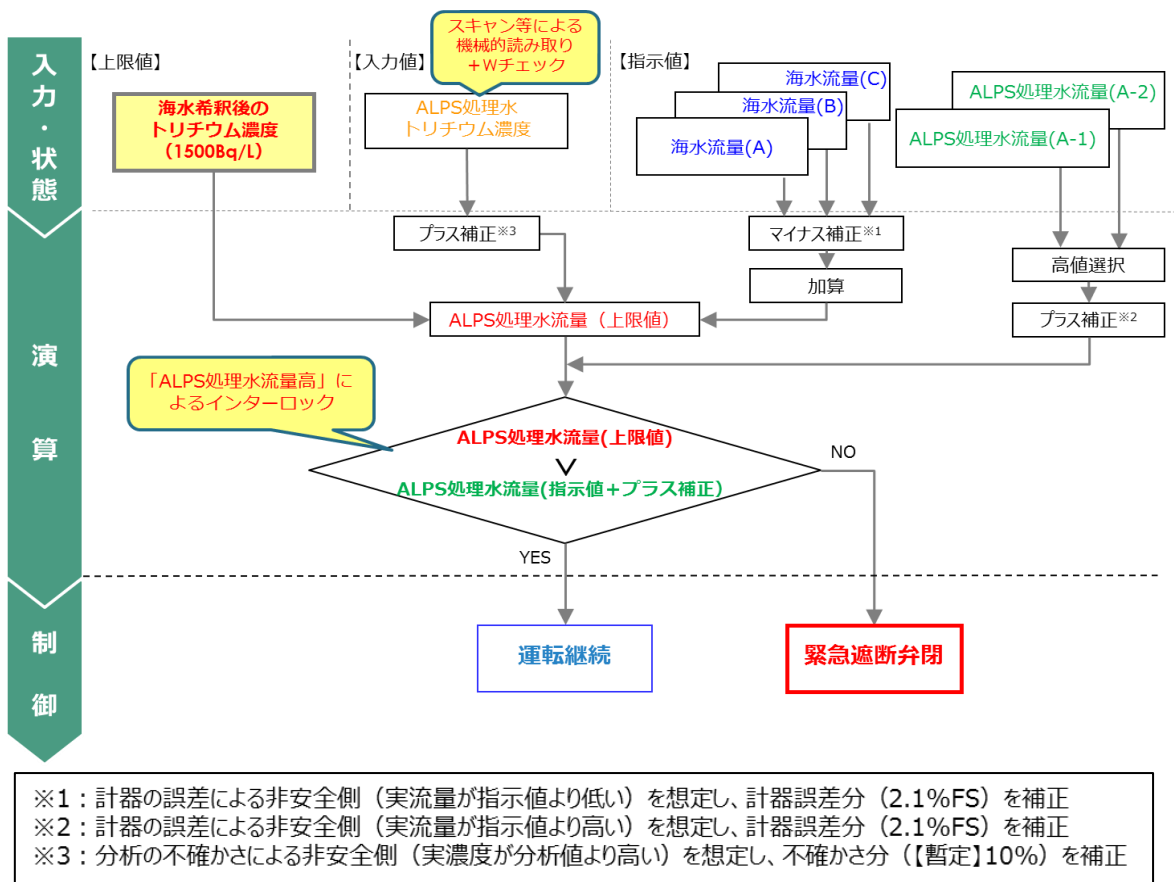


図 2.9.6-4 「ALPS 処理水流量高」時の動作

以上

海洋放出前のタンク内 ALPS 処理水の放射能濃度の均質化に関する補足説明

ALPS 処理水希釈放出設備では、タンク 10 基を 1 群として放出操作を行うことから、放出前にタンク内の ALPS 処理水が放出基準を満足していることを確認するため、サンプリングを実施する。

測定・確認用設備では、「発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針」に基づきタンク群の放射性物質濃度を均質にするため、攪拌機器でタンク単体を攪拌すると共に、循環ポンプによりタンク群全体の水を循環し、代表的な試料が得られるようにする計画である。

本資料では、測定・確認用設備で代表的な試料が得られることを確認する実証試験の計画ならびに結果について説明する。

1. 攪拌実証試験

最初に、測定・確認用タンク 1 基に対して攪拌実証試験を実施した。

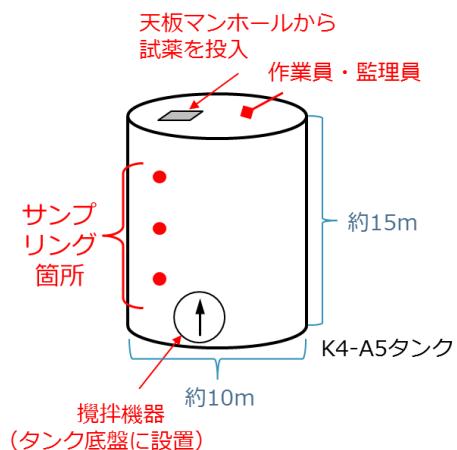
攪拌実証試験では、タンク底部に実機同等品の攪拌機器を取り付け、攪拌機器の動作確認及び、タンク内に投入する試薬で攪拌効果を確認した。なお、測定・確認用タンク内のトリチウムは、タンク内で濃淡が無い為、タンク内に存在しない試薬（第三リン酸ナトリウム）をタンクに投入し、濃度分布を確認した。なお、第三リン酸ナトリウムを採用した他の理由としては、微量でも分析の精度が高く、ALPS 処理水に今回の投入する添加量では排水に影響がないためである。

攪拌実証試験の条件を表 2.9.7-1、試験イメージを図 2.9-7.1 に示す。

表 2.9.7-1 攪拌実証試験の条件

実施日	2021 年 11 月 23 日
試験時間	約 5 時間 25 分（攪拌時間 4 時間）
サンプリング	約 30 分毎・試験前を含め 9 回
採取量	各 1L（以下 3 か所から採取） タンク上：11.6m タンク中：7.6m タンク下：2.6m
試薬	第三リン酸ナトリウム（2.6L（約 30g/L））※
対象タンク	K4-A5

※：測定・確認用タンク内のトリチウムは、タンク内で濃淡が無い為、タンク内に存在しない試薬をタンクに投入し、濃度分布を確認。



攪拌実証試験のイメージ



攪拌実証試験当日の採水の様子
(タンク上部にて撮影)



使用した
攪拌機器
(実機同等品)



攪拌機器の
設置状況



攪拌機器運転時のタンク水面
(T/R時に撮影)

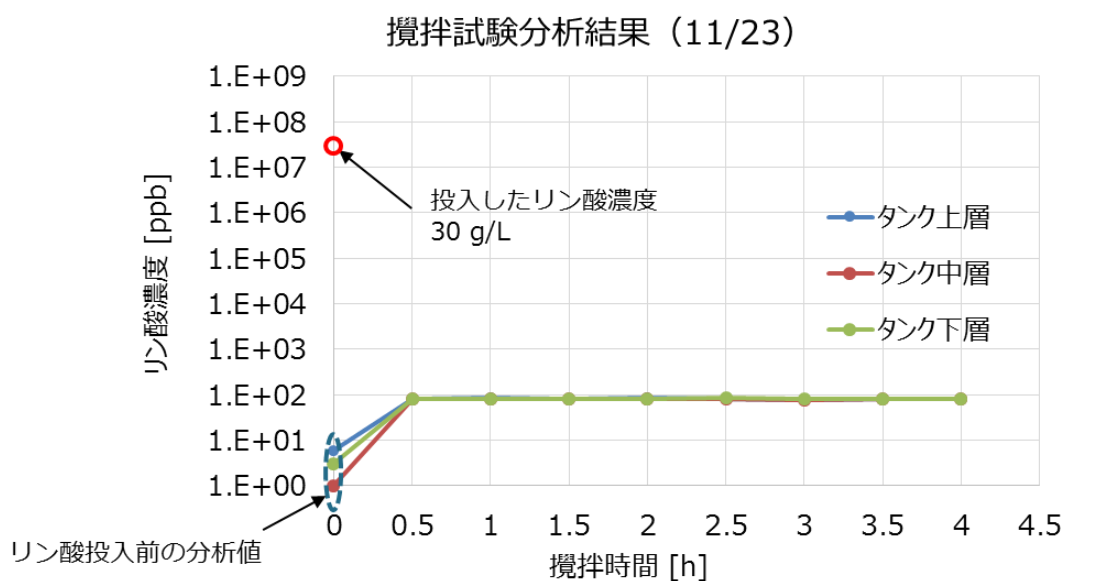
【試験方法】

- 8:00 攪拌試験前にサンプリング（1回目）を実施
- 8:30 第三リン酸ナトリウム溶液（約2.6L）を投入
- 9:00 攪拌機器を起動
- 9:30 攪拌機器を停止（攪拌時間30分）
- 9:30～ タンク水面の安定を確認後、サンプリング（2回目）
以降、攪拌機器起動・停止を繰り返し、
計9回のサンプリングを実施（終了時刻16:30頃）
終了後、サンプルボトル（合計27本）を5,6号ホットラボへ提出

図 2.9.7-1 攪拌実証試験の概要

攪拌実証試験を実施し、タンク内の試薬の濃度分布を約 30 分毎に測定した結果を 図 2.9.7-2 に示す。なお、K4-A5 タンクの内包水が約 970m³ であることから、試薬が希釈された際の濃度の理論値は約 80ppb となる。

攪拌機器による攪拌を 30 分実施した段階で、サンプルに含まれる第三リン酸ナトリウム濃度は 80ppb 付近の値で安定しており、攪拌機器による攪拌効果が認められた (80ppb の標準試料に対して、標準偏差 σ は 3.0ppb)。



(ppb)

	1回目 (0 h)	2回目 (0.5 h)	3回目 (1.0 h)	4回目 (1.5 h)	5回目 (2.0 h)	6回目 (2.5 h)	7回目 (3.0 h)	8回目 (3.5 h)	9回目 (4.0 h)
上層	6	80	85	81	84	83	78	83	83
中層	1	82	81	82	81	81	75	81	82
下層	3	80	82	83	81	84	79	79	81

図 2.9.7-2 攪拌実証試験の結果

2. 循環攪拌実証試験

2.1 試験計画

攪拌実証試験で理論値との良好な一致が見られたことから、次に実機と同様に測定・確認用タンク 10 基を連結した循環攪拌実証試験を実施した。

循環攪拌実証試験では、攪拌実証試験と同様にタンク底部に実機同等品の攪拌機器を取り付けると共に、仮設の循環配管および、実機同等品の仮設循環ポンプを用いて、それぞれの機器の動作確認及び、タンク内に投入する試薬で循環攪拌効果を確認する。サンプリング位置については、実機の運用と同様の箇所とした。

循環攪拌実証試験の条件を表 2.9.7-2、試験イメージを図 2.9.7-3 に示す。なお、各分析対象の目的は以下の通り。

トリチウム：循環攪拌実証試験の評価パラメータとして、タンク毎に存在するばらつきが、均質な状態となることを確認。

リン酸：循環攪拌実証試験では、10 基中 1 基のみに第三リン酸ナトリウムを投入するという極端な初期条件で開始し、サンプリングラインにおいて、均質な状態となる時間の評価および代表的な試料が採取できることを確認。

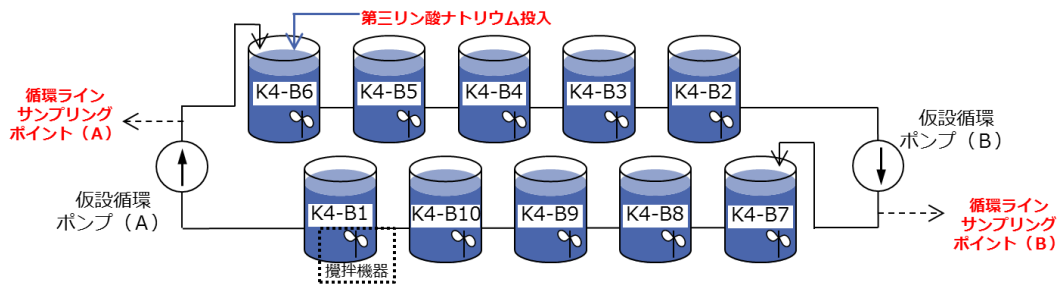
表 2.9.7-2 循環攪拌実証試験の条件

実施日	2022 年 2 月 7 日～2022 年 2 月 13 日		
試験時間	約 144 時間		
対象タンク	K4-B 群 (10 基)		
試薬	第三リン酸ナトリウム ^{※1} (K4-B6 タンク天板マンホールから投入)		
サンプリング	試験前	試験中 ^{※2}	試験後
採取ポイント	K4-B1～B10 タンク 中(5m)	循環ライン 2 箇所	K4-B1～B10 タンク 上(10m)・中(5m)・下(1.5m)
採取量	各 1L 計 10 サンプル	各 1L 計 28 サンプル	各 6L 計 30 サンプル
分析対象	リン酸	リン酸	リン酸+トリチウム ^{※3}

※1：測定・確認用タンク内のトリチウムは、タンク内で濃淡が無い為、タンク内に存在しない試薬をタンクに投入し、濃度分布を確認。

※2：試験開始～24 時間は 6 時間毎にサンプリング、24 時間～144 時間は 12 時間毎にサンプリングを実施する。

※3：念のため主要 7 核種 (Cs-134,Cs-137,Sr-90,I-129,Ru-106,Co-60,Sb-125) についても測定を実施。



【試験方法】

- ① 循環攪拌試験前に K4-B 群タンク 10 基について、各々サンプリングを実施
- ② 第三リン酸ナトリウム溶液(容量約 23.7L, リン酸イオン濃度約 31g/L)を K4-B6 タンクへ投入
- ③ 仮設循環ポンプを起動
- ④ 循環ライン 2 箇所より一定の間隔でサンプリングを実施
- ⑤ 仮設循環ポンプを停止 (144 時間後) し、循環攪拌試験終了
- ⑥ 試験終了後、タンク水面の安定を確認したのち、K4-B 群タンク 10 基について、各々タンクの上段・中段・下段からサンプリングを実施

図 2.9.7-3 循環攪拌実証試験の概要

2.2 試験結果

2.2.1 試験中のサンプリングによるリン酸イオン濃度

第三リン酸ナトリウム溶液（容量約 23.7L，リン酸イオン濃度約 31g/L）を K4-B6 タンクへ投入し，K4-B 群タンク（約 9168.7m³）で希釈されたときのリン酸イオン濃度の理論値は約 80ppb となる。

仮設循環ポンプ起動後に，図 2.9.7-3 に示す循環ラインサンプリングポイント（A），（B）より，一定時間毎にサンプリングを行い，リン酸について分析を実施した。

結果，試験中のリン酸イオン濃度は，タンク水量 1 巡以降（試験開始から約 65 時間経過以降）の濃度は 80ppb（試験開始 72 時間以降のデータの平均値。相対標準偏差は 6.25%），タンク水量 2 巡以降（試験開始から約 130 時間経過以降）の濃度は 84.5ppb（試験開始 132 時間以降のデータの平均値）と，理論値の 80ppb とほぼ等しい濃度となった。

なお，タンク水量が 1 巡及び 2 巡する時間は，試験時に計測した仮設循環ポンプの最小流量 142m³/h とタンク水量 9168.7m³ より評価した。

表 2.9.7-3 試験中のリン酸イオン濃度

試験時間 [h]	リン酸イオン濃度 [ppb]	
	循環ライン A 系	循環ライン B 系
6.4	0.1	5.4
12	0.1	65
18	3.3	85
24	0.3	131
36	43	109
48	84	82
60	91	56
72	81	77
84	80	72
96	73	84
108	71	82
120	83	82
132	82	84
144	82	90

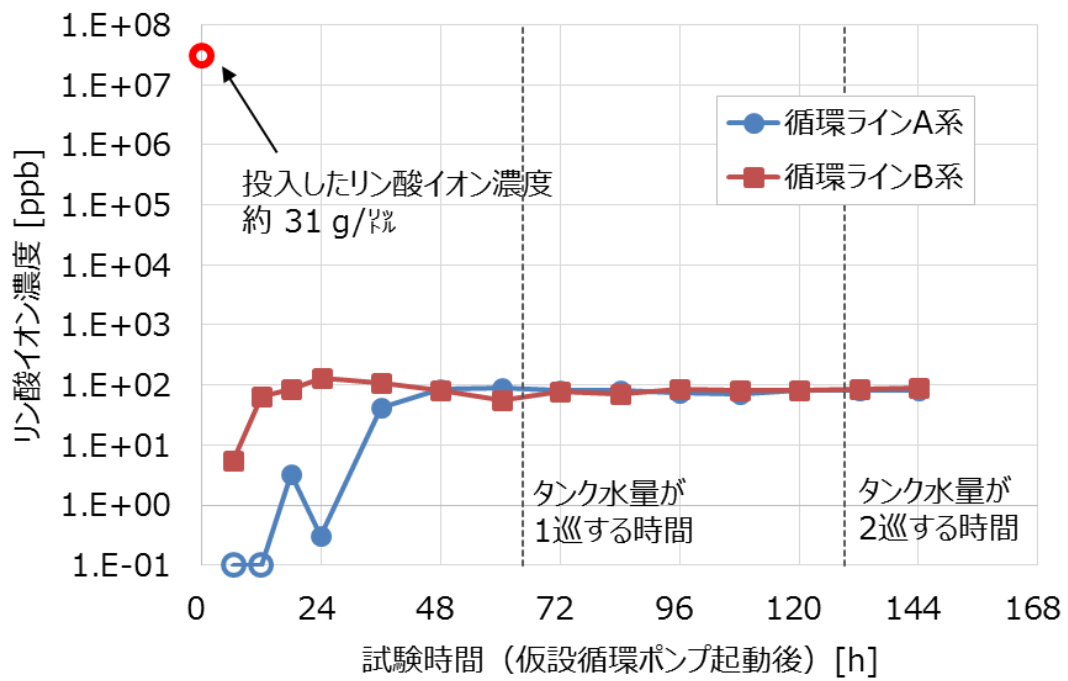


図 2.9.7-4 試験中のリン酸イオン濃度

2.2.2 試験終了後のタンク内のリン酸イオン濃度

仮設循環ポンプ起動後 144 時間が経過した段階で、タンク 10 基の上層（10m）・中層（5m）・下層（1m）から採取し、リン酸について分析を実施した。

結果、試験終了後のリン酸イオン濃度は、個々のタンクに含まれるリン酸イオン濃度の全体平均値が 86ppb、標準偏差が 9ppb、相対標準偏差 10.5%となり、タンク全体平均が理論値の 80ppb に近い値となっていたことから、若干のばらつきが存在するもののタンク全体としてはリン酸が行きわたったと評価した。

表 2.9.7-4 試験終了後のリン酸イオン濃度

タンク 名称	上層(10m) [ppb]	中層(5m) [ppb]	下層(1m) [ppb]	平均値 [ppb]
K4-B1	69.0	98.0	84.0	83.7
K4-B2	82.0	88.0	69.0	79.7
K4-B3	68.0	85.0	71.0	74.7
K4-B4	85.0	101.0	87.0	91.0
K4-B5	79.0	82.0	85.0	82.0
K4-B6	84.0	82.0	85.0	83.7
K4-B7	82.0	99.0	85.0	88.7
K4-B8	89.0	98.0	88.0	91.7
K4-B9	83.0	77.0	102.0	87.3
K4-B10	95.0	85.0	101.0	93.7

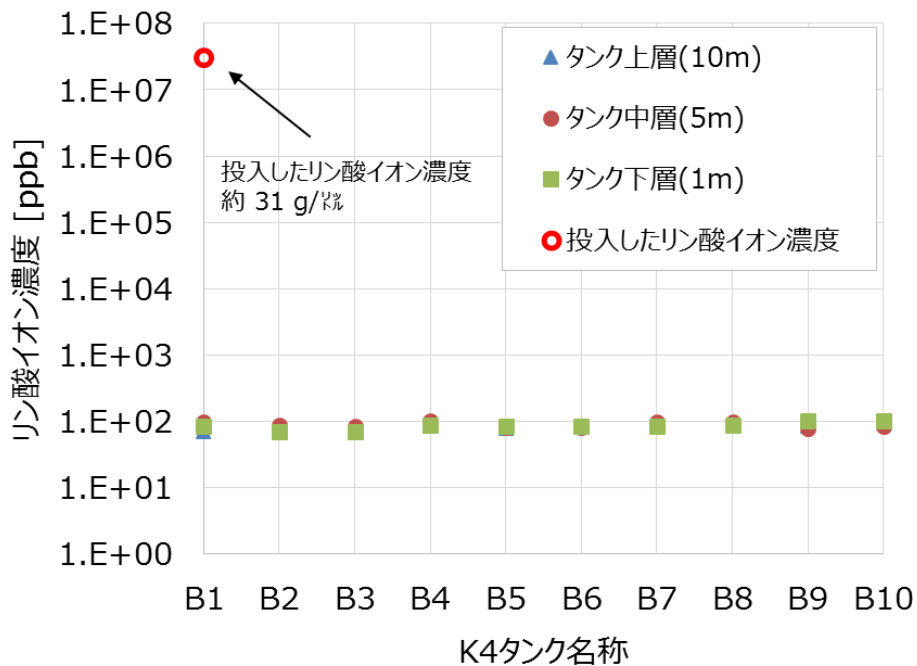


図 2.9.7-5 試験終了後のリン酸イオン濃度

2.2.3 試験終了後のタンク内のトリチウム濃度分布

仮設循環ポンプ起動後 144 時間が経過した段階で、タンク 10 基の上層 (10m)・中層 (5m)・下層 (1m) から採取し、トリチウムについて分析を実施した。

結果、試験終了後のトリチウム濃度については、過去にタンク 10 基をサンプリングした結果は平均 1.61×10^5 Bq/L、相対標準偏差 8.1%であったものが、試験終了後では平均 1.51×10^5 Bq/L、相対標準偏差 1.9%となっており、攪拌機器と循環ポンプの組合せ運転によりタンク 10 基のトリチウム濃度について均質の効果を確認した。

表 2.9.7-5 試験終了後のタンク内のトリチウム濃度分布

タンク 名称	試験前 トリチウム 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク下層 トリチウム 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク中層 トリチウム 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク上層 トリチウム 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク内平均 トリチウム 濃度 [Bq/L]
K4-B1	1.94×10^5	1.53×10^5	1.51×10^5	1.54×10^5	1.53×10^5
K4-B2	1.63×10^5	1.51×10^5	1.42×10^5	1.50×10^5	1.48×10^5
K4-B3	1.49×10^5	1.51×10^5	1.53×10^5	1.48×10^5	1.50×10^5
K4-B4	1.54×10^5	1.53×10^5	1.48×10^5	1.51×10^5	1.51×10^5
K4-B5	1.67×10^5	1.53×10^5	1.47×10^5	1.55×10^5	1.52×10^5
K4-B6	1.69×10^5	1.52×10^5	1.51×10^5	1.52×10^5	1.52×10^5
K4-B7	1.58×10^5	1.45×10^5	1.53×10^5	1.49×10^5	1.49×10^5
K4-B8	1.50×10^5	1.49×10^5	1.50×10^5	1.48×10^5	1.49×10^5
K4-B9	1.44×10^5	1.50×10^5	1.52×10^5	1.54×10^5	1.52×10^5
K4-B10	1.61×10^5	1.51×10^5	1.54×10^5	1.55×10^5	1.53×10^5
平均	1.61×10^5	1.51×10^5			/
標準偏差 σ	0.134×10^5	0.029×10^5			
相対 標準偏差	8.3%	1.9%			

3. 循環攪拌実証試験のまとめ

試験開始前にタンク内でばらつきのあったトリチウム濃度は、循環攪拌実証試験の結果、均質の効果が確認されていることから、トリチウム以外の放射性物質の告示濃度限度比総和 1 未満の ALPS 処理水を取扱う本設備では、代表的な試料が採取できるものと判断した。なお、これはトリチウム分析による不確かさ（±10%）の範囲内となっている。

試験前のトリチウム濃度：平均 1.61×10^5 Bq/L， 相対標準偏差 8.1%

試験後のトリチウム濃度：平均 1.51×10^5 Bq/L， 相対標準偏差 1.9%

今回の試験結果で均質の効果が確認できたことから、実際の設備構成についても、今回の試験と同様の構成として計画する。

ただし、タンクに貯留されている ALPS 処理水を放出する際には、循環攪拌前のタンク内のトリチウム濃度のばらつきを少なくするため、放出計画策定時に、トリチウム濃度が大きく異ならないタンク群を受け入れるよう計画する。

また、循環攪拌によりタンク 10 基が均質の効果が確認され、サンプリングにおける代表的な試料を得るための時間は、全量が 1 つのタンクに存在する極端な条件で開始したリン酸濃度においても、タンク 2 巡した以降に循環ラインサンプリングポイントから採取した水に含まれるリン酸の平均濃度が、理論値 80ppb とほぼ等しい 84.5ppb であったことから、実際の運転においても、放出開始後の当面の間はタンク水量の 2 巡以上確保する運用とする。

なお、循環攪拌の運転時間は、必要に応じトレーサを用いた検証を実施し、最適な運転時間を確認する。

上記に示したトリチウムとリン酸以外に、主要 7 核種の分析も実施したが循環攪拌試験後に検出された Cs-137, Co-60, Sr-90 及び I-129 においても、検出濃度が低く、分析の不確かさによるばらつきが主となっていると考えられる結果が得られたため、精度良く分析可能な濃度であったトリチウムとリン酸を循環攪拌試験の指標として取り扱った。

以上

循環攪拌実証試験終了後のタンク内の主要核種分布

仮設循環ポンプ起動後 144 時間が経過した段階で、タンク 10 基の上層（10m）・中層（5m）・下層（1m）から採取し、主要 7 核種（Cs-134,Cs-137,Sr-90,I-129,Co-60,Ru-106,Sb-125）について分析を実施した。

分析の結果、Cs-134,Ru-106,Sb-125 は全ての試料で検出下限値以下であった。循環攪拌試験後に検出された Cs-137,Co-60, I-129 及び Sr-90（一部のタンクで検出下限値以下）の結果を表 2.9.7-6～9 に示す。

Ge 半導体検出器で測定する Cs-137 と Co-60 は、告示濃度限度の 1/100 を下回る放射能濃度で、検出下限値付近となっており、分析の不確かさによるばらつきが主となっていると考える。また、 β 核種であり単体で測定する Sr-90 及び I-129 についても、相対標準偏差が循環攪拌試験後に減少しているが、検出濃度が低く分析の不確かさが主となっている可能性がある。

なお、試験前後で平均値が変化している理由については、分析の不確かさの影響を受けている他、循環・攪拌による均質化や、比較的短半減期の核種（Co-60：約 5.2 年）は減衰の影響を受けていると考えられる。

表 2.9.7-6 試験終了後のタンク内の Cs-137 濃度分布 (告示濃度限度 : 9.00×10^1 [Bq/L])

タンク 名称	試験前 Cs-137 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク下層 Cs-137 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク中層 Cs-137 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク上層 Cs-137 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク内平均 Cs-137 濃度 [Bq/L]
K4-B1	4.70×10^{-1}	4.15×10^{-1}	5.01×10^{-1}	4.83×10^{-1}	4.66×10^{-1}
K4-B2	4.47×10^{-1}	4.62×10^{-1}	4.97×10^{-1}	5.70×10^{-1}	5.10×10^{-1}
K4-B3	5.66×10^{-1}	5.06×10^{-1}	6.32×10^{-1}	5.65×10^{-1}	5.67×10^{-1}
K4-B4	4.43×10^{-1}	5.03×10^{-1}	5.12×10^{-1}	5.34×10^{-1}	5.16×10^{-1}
K4-B5	6.33×10^{-1}	5.14×10^{-1}	5.52×10^{-1}	4.35×10^{-1}	5.00×10^{-1}
K4-B6	6.90×10^{-1}	4.20×10^{-1}	5.56×10^{-1}	5.26×10^{-1}	5.01×10^{-1}
K4-B7	5.91×10^{-1}	4.99×10^{-1}	4.47×10^{-1}	6.37×10^{-1}	5.27×10^{-1}
K4-B8	4.85×10^{-1}	5.33×10^{-1}	4.64×10^{-1}	5.23×10^{-1}	5.07×10^{-1}
K4-B9	5.39×10^{-1}	4.63×10^{-1}	4.21×10^{-1}	5.13×10^{-1}	4.66×10^{-1}
K4-B10	4.35×10^{-1}	5.01×10^{-1}	4.38×10^{-1}	5.22×10^{-1}	4.87×10^{-1}
平均	5.30×10^{-1}	5.05×10^{-1}			/
標準偏差 σ	0.84×10^{-1}	0.55×10^{-1}			
相対 標準偏差	16%	11%			

表 2.9.7-7 試験終了後のタンク内の Co-60 濃度分布 (告示濃度限度 : 2.00×10^2 [Bq/L])

タンク 名称	試験前 Co-60 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク下層 Co-60 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク中層 Co-60 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク上層 Co-60 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク内平均 Co-60 濃度 [Bq/L]
K4-B1	5.56×10^{-1}	3.00×10^{-1}	3.38×10^{-1}	3.19×10^{-1}	3.19×10^{-1}
K4-B2	4.92×10^{-1}	2.89×10^{-1}	4.74×10^{-1}	5.28×10^{-1}	4.30×10^{-1}
K4-B3	5.16×10^{-1}	3.41×10^{-1}	5.33×10^{-1}	4.35×10^{-1}	4.36×10^{-1}
K4-B4	4.60×10^{-1}	4.99×10^{-1}	4.08×10^{-1}	3.64×10^{-1}	4.24×10^{-1}
K4-B5	5.15×10^{-1}	4.34×10^{-1}	4.03×10^{-1}	2.69×10^{-1}	3.68×10^{-1}
K4-B6	4.41×10^{-1}	5.22×10^{-1}	4.68×10^{-1}	2.91×10^{-1}	4.27×10^{-1}
K4-B7	4.25×10^{-1}	4.09×10^{-1}	3.26×10^{-1}	3.15×10^{-1}	3.50×10^{-1}
K4-B8	6.58×10^{-1}	5.02×10^{-1}	4.67×10^{-1}	2.53×10^{-1}	4.07×10^{-1}
K4-B9	4.57×10^{-1}	4.26×10^{-1}	4.67×10^{-1}	3.08×10^{-1}	4.00×10^{-1}
K4-B10	5.33×10^{-1}	4.51×10^{-1}	3.75×10^{-1}	5.17×10^{-1}	4.48×10^{-1}
平均	5.05×10^{-1}	4.01×10^{-1}			/
標準偏差 σ	0.65×10^{-1}	0.85×10^{-1}			
相対 標準偏差	13%	21%			

表 2.9.7-8 試験終了後のタンク内の Sr-90 濃度分布 (告示濃度限度 : 3.00×10^1 [Bq/L])

タンク 名称	試験前 Sr-90 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク下層 Sr-90 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク中層 Sr-90 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク上層 Sr-90 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク内平均 Sr-90 濃度 [Bq/L]
K4-B1	$86.3 \times 10^{-1} \text{※1}$	$<4.11 \times 10^{-1} \text{※2}$	$<4.25 \times 10^{-1} \text{※2}$	7.41×10^{-1}	7.41×10^{-1}
K4-B2	$<3.63 \times 10^{-1}$	5.48×10^{-1}	$<4.20 \times 10^{-1} \text{※2}$	$<5.49 \times 10^{-1} \text{※2}$	5.48×10^{-1}
K4-B3	$<4.60 \times 10^{-1} \text{※2}$	5.19×10^{-1}	5.53×10^{-1}	5.29×10^{-1}	5.33×10^{-1}
K4-B4	$<4.04 \times 10^{-1} \text{※2}$	5.17×10^{-1}	5.16×10^{-1}	$<4.99 \times 10^{-1} \text{※2}$	5.16×10^{-1}
K4-B5	5.03×10^{-1}	$<5.24 \times 10^{-1} \text{※2}$	$<4.19 \times 10^{-1} \text{※2}$	$<5.16 \times 10^{-1} \text{※2}$	—
K4-B6	6.43×10^{-1}	$<4.59 \times 10^{-1} \text{※2}$	5.07×10^{-1}	$<4.77 \times 10^{-1} \text{※2}$	5.07×10^{-1}
K4-B7	5.31×10^{-1}	$<4.75 \times 10^{-1} \text{※2}$	$<4.58 \times 10^{-1} \text{※2}$	5.60×10^{-1}	5.60×10^{-1}
K4-B8	$<4.07 \times 10^{-1} \text{※2}$	5.39×10^{-1}	$<4.41 \times 10^{-1} \text{※2}$	5.45×10^{-1}	5.42×10^{-1}
K4-B9	$<4.74 \times 10^{-1} \text{※2}$	4.77×10^{-1}	4.16×10^{-1}	$<5.39 \times 10^{-1} \text{※2}$	4.46×10^{-1}
K4-B10	$<3.91 \times 10^{-1} \text{※2}$	$<4.57 \times 10^{-1} \text{※2}$	4.42×10^{-1}	$<4.59 \times 10^{-1} \text{※2}$	4.42×10^{-1}
平均	5.59×10^{-1}	5.29×10^{-1}			/
標準偏差 σ	$0.06 \times 10^{-1} \text{※3}$	0.71×10^{-1}			
相対 標準偏差	11% ※3	14%			

※1 : 本データは 2020 年 5 月 22 日のサンプリング時のデータだが、2017 年 10 月 27 日にサンプリング時のデータは 2.05×10^1 Bq/L であり、サンプリング時にコンタミした可能性があるため、平均、標準偏差、相対標準偏差の算出から除いた

※2 : 検出下限値以下のデータは除いて平均、標準偏差、相対標準偏差を算出

※3 : 検出されたデータが少ないため参考値

表 2.9.7-9 試験終了後のタンク内の I-129 濃度分布 (告示濃度限度 : 9.00[Bq/L])

タンク 名称	試験前 I-129 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク下層 I-129 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク中層 I-129 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク上層 I-129 濃度 [Bq/L]	試験後 タンク内平均 I-129 濃度 [Bq/L]
K4-B1	1.32	<2.12 ^{※1}	2.05	1.82	1.94
K4-B2	1.09	2.03	2.00	1.96	2.00
K4-B3	1.45	1.90	1.91	2.03	1.95
K4-B4	1.98	1.88	1.89	1.94	1.90
K4-B5	2.07	2.03	1.93	1.87	1.94
K4-B6	1.75	2.06	2.11	1.94	2.03
K4-B7	1.97	1.95	2.09	1.94	1.99
K4-B8	2.10	1.78	1.92	2.04	1.91
K4-B9	1.96	2.23	2.17	2.25	2.22
K4-B10	1.83	2.04	2.02	2.29	2.12
平均	1.75	2.00			/
標準偏差 σ	0.33	0.12			
相対 標準偏差	19%	6%			

※1 : 検出下限値以下のデータは除いて平均, 標準偏差, 相対標準偏差を算出

なお, 検出下限値以下であった, Cs-134,Ru-106,Sb-125 の下限値はそれぞれ以下の通り。

表 2.9.7-10 試験終了後のタンク内の主要 7 核種の検出下限値 (Cs-134,Ru-106,Sb-125)

	告示濃度[Bq/L]	検出下限値[Bq/L]
Cs-134	60	$0.98 \sim 1.99 \times 10^{-1}$
Ru-106	100	1.00 ~ 1.81
Sb-125	80	$3.90 \sim 6.34 \times 10^{-1}$

以上

ALPS 処理水の性状に関する補足説明

循環攪拌実証試験の結果の考察の前提として、タンクの内包水は粒子状、沈降性の放射性物質を含まない性状であり、他の核種はトリチウムと同じ挙動をすると想定しているため、本事項について補足説明する。

1. 粒子状、沈降性の物質に対する設計上の考慮

既設 ALPS 及び増設 ALPS では、前処理設備の後段にクロスフローフィルタを設置しているが、クロスフローフィルタは 20nm の粒子まで除去可能な能力を持つ。このため、ALPS 処理後の ALPS 処理水に粒子状の放射性物質は含まない設計となっている。

(図 2.9.7-6～7 参照)

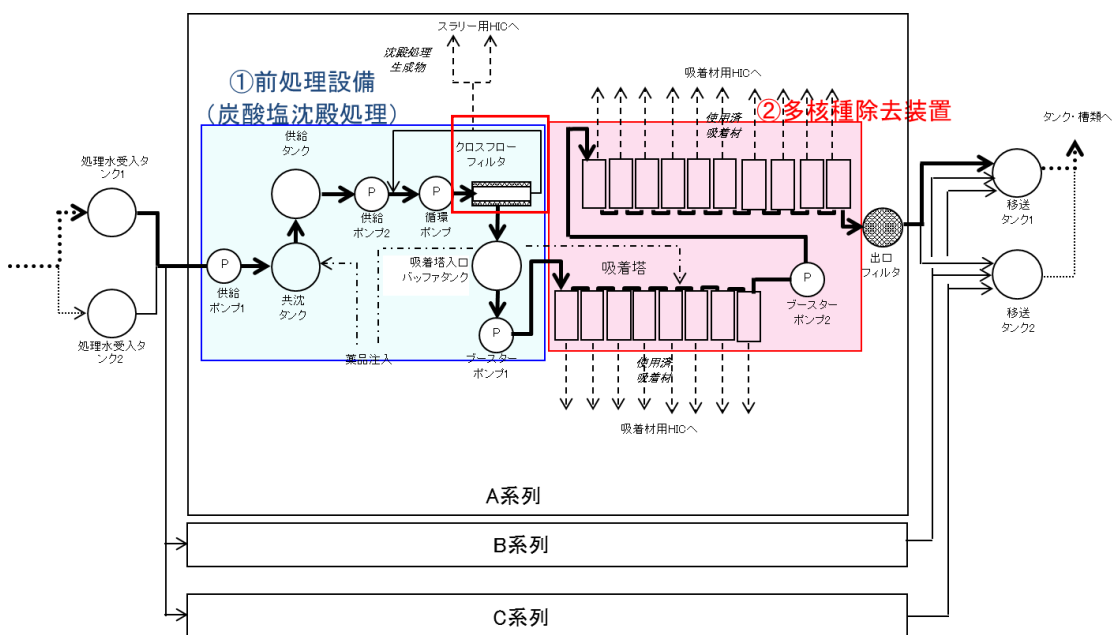
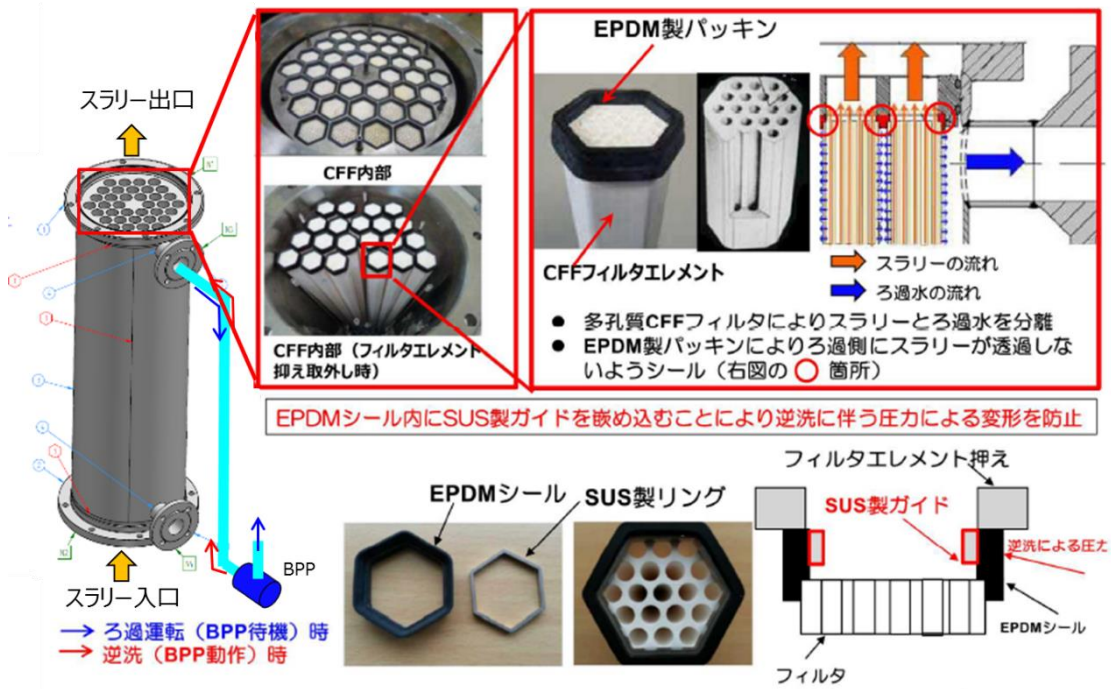
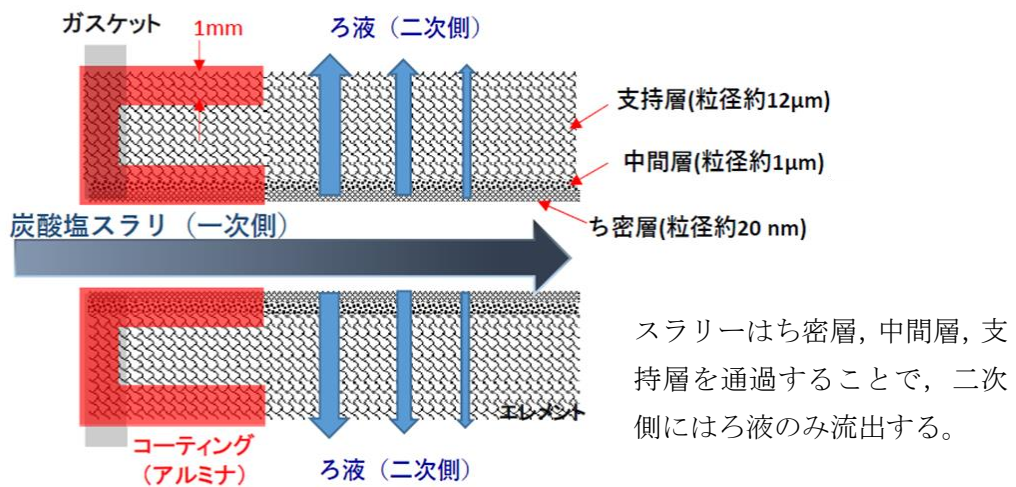


図 2.9.7-6 増設 ALPS の系統図とクロスフローフィルタの設置位置



(a) クロスフローフィルタの構造



(b) クロスフローフィルタの除去原理

図 2.9.7-7 クロスフローフィルタの構造と除去原理

2. ALPS 処理水等における過去の実績

2018年10月にストロンチウム処理水（以下「Sr 処理水」という。）を貯留していた溶接型タンク（G3-E1）にて硫化水素を検出したことに伴い、Sr 処理水を貯留している溶接型タンク及び多核種除去設備で処理した水（以下「ALPS 処理水等」という。）を貯留している溶接型タンクについて、タンクの内面点検を進めていたところ、2020年2月にALPS 処理水等を貯留している溶接型タンクのG3 東エリア A5 タンク（処理途上水ではあるが、RO 濃縮塩水及び Sr 処理水を貯蔵した経歴はない。）底部においてスラッジの堆積を確認した。この後の調査により、G3 東エリア受払いタンクである A1・B1・C1 タンク 3 基にも底部にスラッジが堆積していることを確認した。（いずれも処理途上水を貯蔵している。）

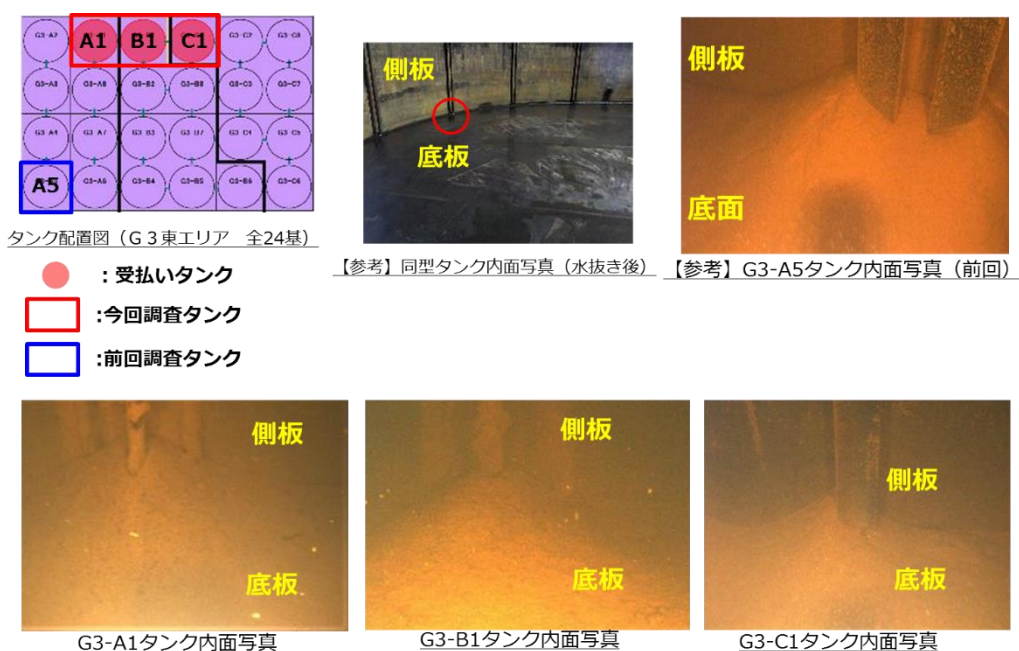


図 2.9.7-8 G3 東エリアタンクの内部調査結果

このため、確認されたスラッジの成分分析及び硫化水素測定を実施したところ、 γ 線放出核種は検出限界値未満、硫化水素は未検出であった。また、硫化水素が発生した Sr 処理水のスラッジとは組成が異なることを確認している。

なお、Sr 処理水を貯留している溶接型タンクで硫化水素が発生した原因は、以下の通りである。

- ① 既設の逆浸透膜装置にて注入し、マルチメディアフィルター（以下「MMF」という。）で除去している塩化第二鉄による凝集沈殿物が、MMF 詰まり時の逆洗により RO 濃縮水側に移送され、Sr 処理水の一時貯留タンクへ移送。

- ② Sr 処理水の一時貯留タンクは、運用上、Sr 処理水の受入/払出を繰り返し行うことから、徐々にタンク底部に塩化第二鉄による凝集沈殿物が堆積し、嫌気性環境が形成。
- ③ 硫酸塩還元細菌による有機物分解が促進し、硫酸塩が硫化物イオンへ還元され、硫化水素を生成。

一方、Sr 処理水を多核種除去設備で処理する場合には、クロスフローフィルタを通過させるため、塩化第二鉄による凝集沈殿物及び硫酸塩還元細菌は除去されるため、硫化水素の発生の可能性は十分低く、これまで、ALPS 処理水等を貯留しているタンクで硫化水素の発生は確認されていない。

表 2.9.7-11 G3-A5 タンクのスラッジの分析結果

核種	G3-A5タンクスラッジ (ALPS処理水)		(参考) G3-E1タンク内スラッジ (Sr処理水)		元素	G3-A5タンクスラッジ (ALPS処理水)	(参考) G3-E1タンク内スラッジ (Sr処理水)
	Bq/L	Bq/mg	Bq/L	Bq/mg		%	%
Cs-134	<1.48E+02	<3.20E-01	<3.29E+02	<8.66E-01	Fe	51	49
Cs-137	<1.44E+02	<3.12E-01	1.20E+03	4.56E+00	Cl	38	3
Co-60	<1.85E+02	<4.00E-01	2.81E+02	1.06E+00	S	2	40
					その他	9	8

注) スラッジ成分は検出された元素の比率を示す。

3. まとめ

ALPS 処理水は ALPS で処理する過程で、クロスフローフィルタでろ過することにより、粒子状の放射性物質を含む 20nm の粒子まで除去されることから、設計上、粒子状の放射性物質を含むことはない。

また、過去に一部の ALPS 処理水等を貯留しているタンクで確認された底部のスラッジについて、分析を行ったところ、 γ 線放出核種は検出限界値未満であり、この結果からも粒子状の放射性物質を考慮する必要はないと考える。

なお、長期間保管した ALPS 処理水貯留タンクから、測定・確認用タンクへ移送する場合は、粒子状の物質が入り込まないように、念のためフィルタを経由させる措置を計画する。また、移送設備には、念のため、放射線モニタを設置する。

以上

ALPS 処理水の化学物質の分析結果について

海洋放出に当たっては、原子炉等規制法に基づく放射性物質の分析に加え、水質汚濁防止法に基づく確認も必要となる。このため、化学物質の性状把握の観点から受け入れ時期に応じてタンク群を選出し、ALPS 処理水の化学物質の分析を実施した。

分析は、タンク群の代表タンク 1 基の中層から水を採取し、当社「一般排水処理管理要領」に基づき 46 項目の測定を実施（許容限度については、水質汚濁防止法に関する許容限度等を参考にしている。）し、結果はいずれも許容限度内の値だった。

表 2.9.7-12 化学物質の分析を実施したタンク群及び ALPS 処理水受入れ時期

エリア	グループ (群)	ALPS 処理水 受入れ時期
G3	A	2013 年度
J4	B	2014 年度
H1	E	2015 年度
K3	A	2016 年度
K4	A	2016 年度
H2	C	2017 年度
G1S	A	2018 年度

表 2.9.7-13 化学物質の分析結果 (1/5)

エリア	グループ (群)	水素イオン濃度 (pH)	浮遊物質量 (SS) [mg/L]	化学的酸素要求量 (COD) [mg/L]	ホウ素 [mg/L]	溶解性鉄 [mg/L]	銅 [mg/L]	ニッケル [mg/L]	クロム [mg/L]	亜鉛 [mg/L]	生物化学的酸素要求量 (BOD) [mg/L]
		許容限度:5.0以上9.0以下(海域)	許容限度:200(日間平均150)	許容限度:160(日間平均120)	許容限度:230(海域)	許容限度:10	許容限度:3	許容限度:2	許容限度:2	許容限度:2	許容限度:160(日間平均120)
G3	A	8.8	<1	2.4	3.5	<1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1
J4	B	8.3	<1	2.8	4.4	<1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1
H1	E	7.8	<1	3.9	2.3	<1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1
K3	A	8.3	<1	3.9	0.9	<1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1
K4	A	8.3	<1	0.9	0.4	<1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2
H2	C	8.5	<1	1.8	1.1	<1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1
G1S	A	8.3	<1	1.5	1.1	<1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<1

表 2.9.7-13 化学物質の分析結果 (2/5)

エリア	グループ (群)	大腸菌群数 [個/cm ³]	カドミウム [mg/L]	シアン [mg/L]	有機燐 [mg/L]	鉛 [mg/L]	六価クロム [mg/L]	ひ素 [mg/L]	水銀 [mg/L]	アルキル水銀 [mg/L]	ポリ塩化ビフェニル [mg/L]
		許容限度:日間平均3,000	許容限度:0.03	許容限度:1	許容限度:1	許容限度:0.1	許容限度:0.5	許容限度:0.1	許容限度:0.005	許容限度:検出されないこと	許容限度:0.003
G3	A	0	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	<0.05	<0.01	<0.0005	<0.0005	<0.0005
J4	B	0	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	<0.05	<0.01	<0.0005	<0.0005	<0.0005
H1	E	0	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	<0.05	<0.01	<0.0005	<0.0005	<0.0005
K3	A	0	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	<0.05	<0.01	<0.0005	<0.0005	<0.0005
K4	A	0	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	<0.05	<0.01	<0.0005	<0.0005	<0.0005
H2	C	0	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	<0.05	<0.01	<0.0005	<0.0005	<0.0005
G1S	A	0	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	<0.05	<0.01	<0.0005	<0.0005	<0.0005

表 2.9.7-13 化学物質の分析結果 (3/5)

エリア	グループ (群)	トリクロロエチレン [mg/L]	テトラクロロエチレン [mg/L]	ジクロロメタン [mg/L]	四塩化炭素 [mg/L]	1,2-ジクロロエタン [mg/L]	1,1-ジクロロエチレン [mg/L]	シス-1,2-ジクロロエチレン [mg/L]	1,1,1-トリクロロエタン [mg/L]	1,1,2-トリクロロエタン [mg/L]	1,3-ジクロロプロペン [mg/L]
		許容限度:0.1	許容限度:0.1	許容限度:0.2	許容限度:0.02	許容限度:0.04	許容限度:1	許容限度:0.4	許容限度:3	許容限度:0.06	許容限度:0.02
G3	A	<0.03	<0.01	<0.02	<0.002	<0.004	<0.1	<0.04	<0.3	<0.006	<0.002
J4	B	<0.03	<0.01	<0.02	<0.002	<0.004	<0.1	<0.04	<0.3	<0.006	<0.002
H1	E	<0.03	<0.01	<0.02	<0.002	<0.004	<0.1	<0.04	<0.3	<0.006	<0.002
K3	A	<0.03	<0.01	<0.02	<0.002	<0.004	<0.1	<0.04	<0.3	<0.006	<0.002
K4	A	<0.03	<0.01	<0.02	<0.002	<0.004	<0.1	<0.04	<0.3	<0.006	<0.002
H2	C	<0.03	<0.01	<0.02	<0.002	<0.004	<0.1	<0.04	<0.3	<0.006	<0.002
G1S	A	<0.03	<0.01	<0.02	<0.002	<0.004	<0.1	<0.04	<0.3	<0.006	<0.002

表 2.9.7-13 化学物質の分析結果 (4/5)

エリア	グループ (群)	チウラム [mg/L]	シマジ ン [mg/L]	チオベン カル ブ [mg/L]	ベンゼ ン [mg/L]	セレン [mg/L]	フェニ トロチ オン [mg/L]	フェノ ール類 [mg/L]	フッ素 [mg/L]	溶解性 マンガン [mg/L]
		許容限度:0.06	許容限度:0.03	許容限度:0.2	許容限度:0.1	許容限度:0.1	許容限度:0.03	許容限度:5	許容限度:15(海城)	許容限度:10
G3	A	<0.006	<0.003	<0.02	<0.01	<0.01	<0.003	<0.1	<0.5	<1
J4	B	<0.006	<0.003	<0.02	<0.01	<0.01	<0.003	<0.1	<0.5	<1
H1	E	<0.006	<0.003	<0.02	<0.01	<0.01	<0.003	<0.1	<0.5	<1
K3	A	<0.006	<0.003	<0.02	<0.01	<0.01	<0.003	<0.1	<0.5	<1
K4	A	<0.006	<0.003	<0.02	<0.01	<0.01	<0.003	<0.1	<0.5	<1
H2	C	<0.006	<0.003	<0.02	<0.01	<0.01	<0.003	<0.1	<0.5	<1
G1S	A	<0.006	<0.003	<0.02	<0.01	<0.01	<0.003	<0.1	<0.5	<1

表 2.9.7-13 化学物質の分析結果 (5/5)

エリア	グループ (群)	アンモニア, アンモニウム 化合物 [mg/L]	亜硝酸化 合物及び 硝酸化合 物 [mg/L]	1,4-ジオキ サン [mg/L]	n-ヘキサン 抽出物質 (鉱油類) [mg/L]	n-ヘキサン 抽出物質 (動植物油 脂類) [mg/L]	窒素 [mg/L]	燐 [mg/L]
		許容限度:100		許容限 度:0.5	許容限度:5	許容限 度:30	許容限 度:120 (日間平均 60)	許容限 度:16 (日間平均 8)
G3	A	<1	2	<0.05	<0.5	<1	2	<0.05
J4	B	<1	2	<0.05	<0.5	<1	2.3	<0.05
H1	E	<1	<1	<0.05	<0.5	<1	0.7	<0.05
K3	A	<1	11	<0.05	<0.5	<1	11.1	<0.05
K4	A	<1	25	<0.05	<0.5	<1	24.6	<0.05
H2	C	<1	7	<0.05	<0.5	<1	7.5	<0.05
G1S	A	<1	10	<0.05	<0.5	<1	10	<0.05

以上

海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法に関する補足説明
 (港湾内の放射性物質の取水への移行防止策を含む)

図 2.9.8-1 に取放水設備の概念図を示す。

取水設備は、5,6号機取水路開渠を仕切堤（捨石傾斜堤+シート）にて1～4号機取水路開渠側の発電所港湾から仕切るとともに、北防波堤透過防止工北側の一部を改造（一部撤去）し5,6号機放水口北側の発電所港湾外から希釈用の海水を取水する設計とする。

放水設備は、放水立坑内の堰を越流した水を、放水立坑（下流水槽）水位と発電所港湾外海面水位（潮位）との水頭差により、約1km離れた放水口まで移送する設計とする。また、放水設備における摩擦損失や水位上昇等を顧慮した設計とする。なお、設計内容については、「2.14.1 準拠規格及び基準への適合性」にて述べる。

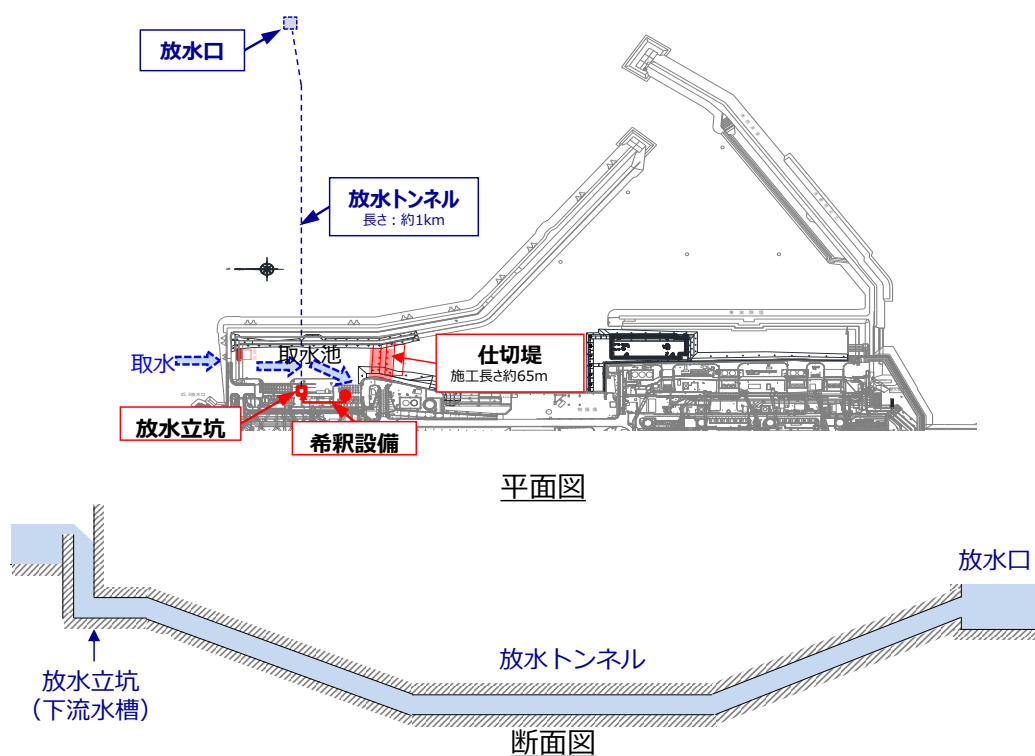


図 2.9.8-1 取放水設備の概要図

1. 希釈用海水の取水方法

取水設備の全体概要図を図 2.9.8-2 に示す。取水方法は、5,6 号機取水路開渠を仕切堤（捨石傾斜堤+シート）にて 1~4 号機取水路開渠側の発電所港湾から仕切るとともに、北防波堤透過防止工北側の一部を改造（一部撤去）し、5,6 号機放水口北側の発電所港湾外から希釈用の海水を取水する設計とする。

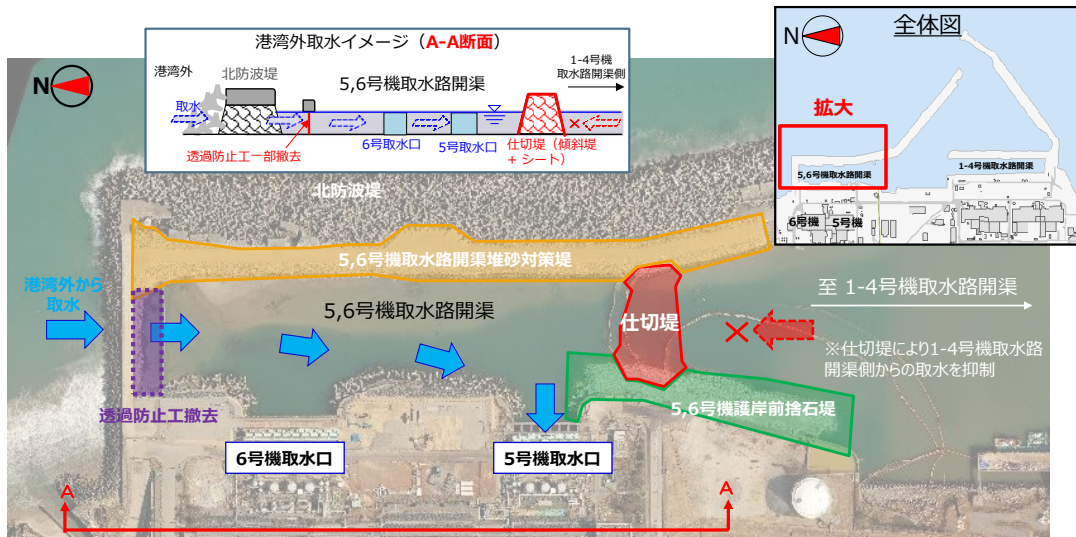


図 2.9.8-2 取水設備 全体概要図

図 2.9.8-3 に 5,6 号機取水路開渠の現況と取水設備工事後の希釈用海水の取水イメージを示す。現況では北防波堤の透過防止工により港湾外北側からの海水流入がないが、取水設備工事後は、北防波堤の透過防止工を一部撤去することにより港湾外北側から海水を取水する。また、仕切堤を構築することで、1~4 号機取水路開渠側からの比較的放射性物質濃度の高い海水の流入を抑制する。

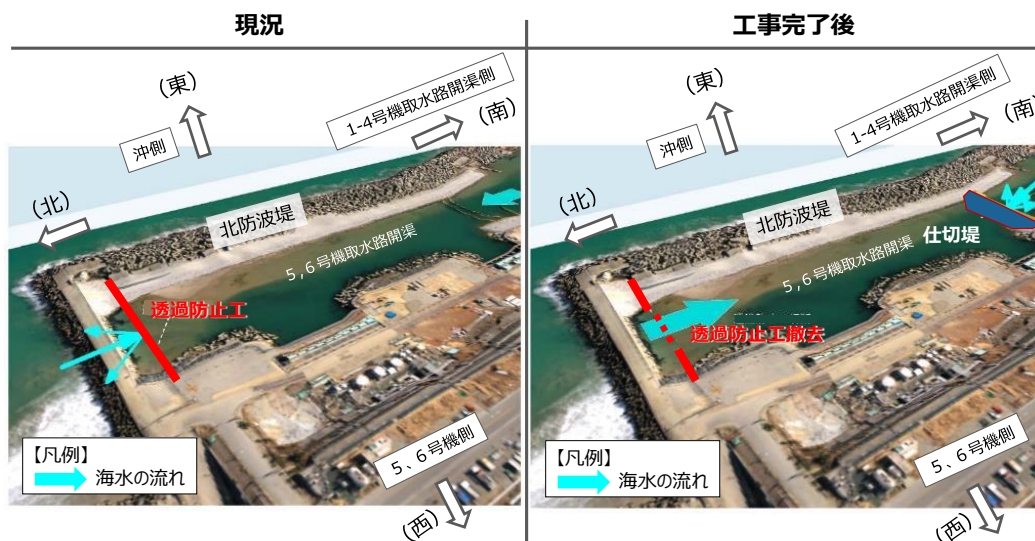


図 2.9.8-3 5,6号機取水路開渠現況および取水設備工事完了後イメージ図

(1) 仕切堤の概要

希釈用海水を5号機取水口より継続的に取水するが、1～4号機取水路開渠側の比較的放射性物質濃度の高い海水および海底土の影響により、希釈用の海水放射性物質濃度が上昇するリスクがあるため、5,6号機取水路開渠と1～4号機取水路開渠側の港湾を仕切る仕切堤（捨石傾斜堤+シート）を構築し、1～4号機取水路開渠側からの海水および海底土の取水を抑制する。

(2) 仕切堤の構造

仕切堤の構造は、捨石傾斜堤の両側にシートを敷設する。図 2.9.8-4 に仕切堤平面図を図 2.9.8-5 に仕切堤断面図を示す。捨石にて傾斜堤構築後、両側にシートを敷設、表面を捨石にて被覆する。シートは軟質塩化ビニル製マット（厚さ：5mm）であり、シート同士を重ね合わせることで敷設する。

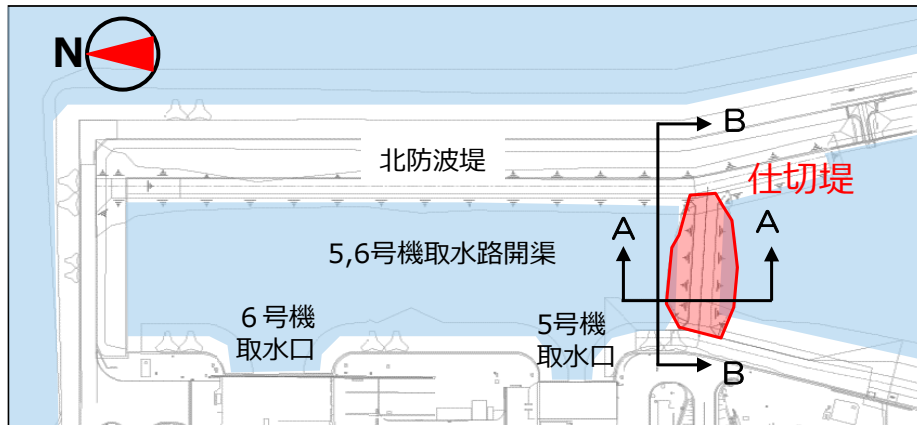
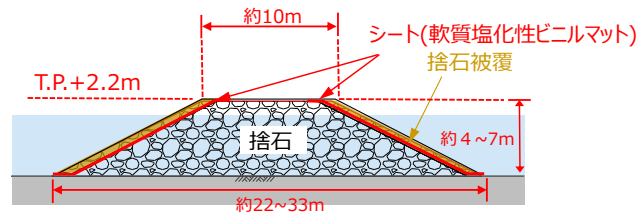
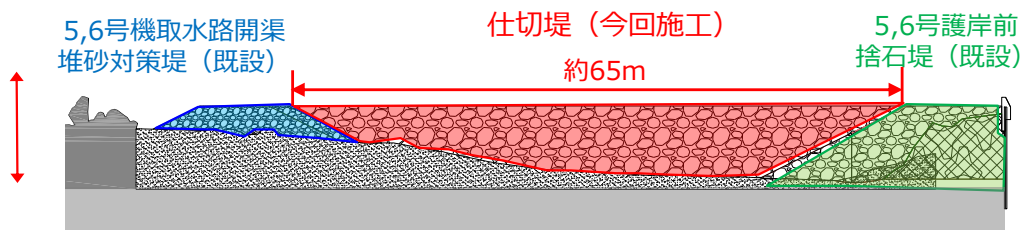


図 2.9.8-4 仕切堤平面図



(a) A-A 断面



(b) B-B 断面

図 2.9.8-5 仕切堤断面図

(3) 仕切堤構築による効果とその確認方法他について

現在は 2 重のシルトフェンスにより、5,6 号機取水路開渠と 1~4 号機取水を開渠側の港湾を仕切っているが、潮位や波浪の影響で完全には放射性物質濃度の高い海水の流入を抑制できていない。仕切堤は捨石傾斜堤にシートを敷設する構造のため、1~4 号機取水路開渠側の港湾からの比較的放射性物質濃度の高い海水および海底土の取水を抑制する設備としての機能と安定性はシルトフェンスに比べて向上する。

仕切堤構築による抑制効果の確認については、構築後に仕切堤の 5,6 号機取水路開渠（北）側と 1~4 号機取水路開渠（南）側の海水をそれぞれサンプリングし、放射性物質濃度の比較を行う。

仕切堤構築後の維持管理方法については、点検長期計画に基づき、定期点検を実施した上で、必要に応じて修繕・改善等を実施していく。

(4) 透過防止工改造について

仕切堤構築により 1~4 号機取水路開渠側からの港湾内海水の取水を抑制した後、希釈海水を発電所北側の港湾外から取水するため、北防波堤の透過防止工の一部（上部コンクリートおよび鋼矢板）を撤去する。図 2.9.8-6 に透過防止工改造平面図を、図 2.9.8-7 に透過防止工改造断面図を示す。なお、撤去した透過防止工（上部コンクリートおよび鋼矢板）は、固体廃棄物として発電所構内に保管する。

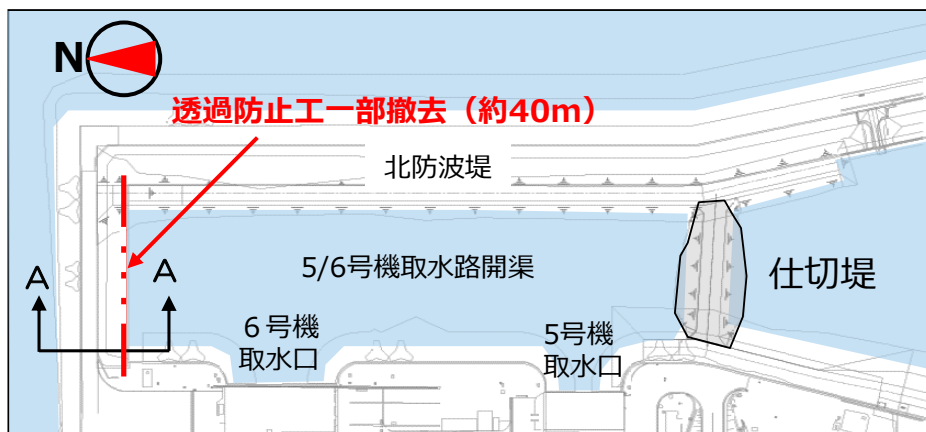


図 2.9.8-6 透過防止工改造平面図

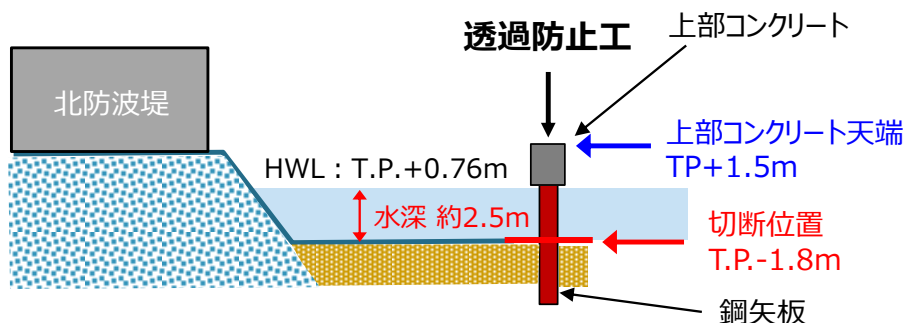


図 2.9.8-7 透過防止工改造断面図 (A-A 断面)

(5) 仕切堤構築および透過防止工改造による 5,6 号機非常用冷却水取水への影響について

図 2.9.8-8 に北防波堤および 5,6 号機取水路開渠堆砂対策堤の構造図を示す。5,6 号機取水路開渠前の北防波堤は震災による津波で上部工および透過防止工が倒壊し、北防波堤の基礎部分および震災後に設置された消波ブロック部を外洋からの海水が通過できる状態となっている。また、開渠内への砂の流入防止のために捨石堤と防砂シート（高伸度不織布、透水係数： $3.0 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 程度）が設置されているが、水が透過する構造であるため、外洋からは海水が通過できる状態となっている。

したがって、仕切堤構築後から透過防止工改造（一部撤去）の間は、1～4号機側の港湾からの海水供給がほとんどないが、北防波堤側からの海水供給があるため、5,6号機の非常用冷却水の取水には影響がない。北防波堤の施工中の状況を図2.9.8-8に示す。

なお、5,6号機非常用ポンプの運転可能最低水位はT.P.-3.35mであり、取水に影響を及ぼす程度に水位が低下していないことを確認するため、施工期間中は5,6号機取水路開渠内の水位を監視する。

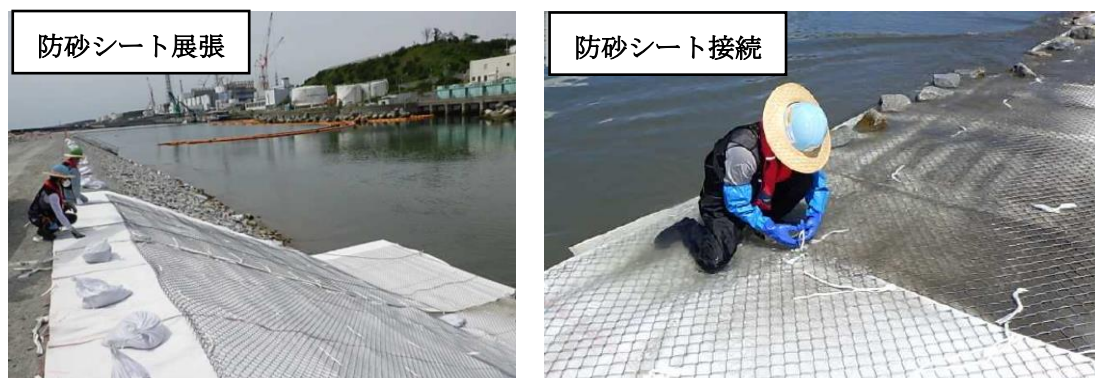


図 2.9.8-8 北防波堤の施工状況

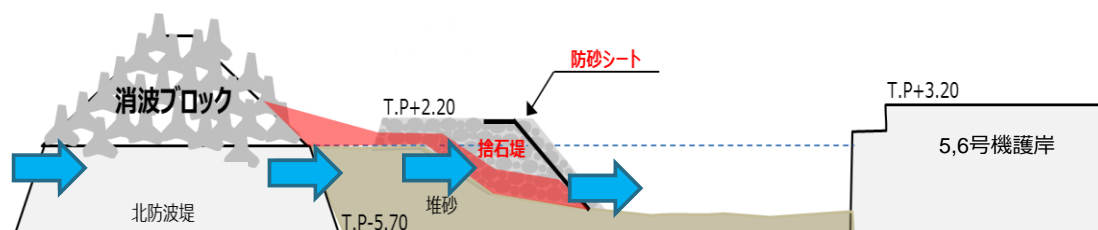


図 2.9.8-9 北防波堤および5,6号機取水路開渠堆砂対策堤イメージ図（断面）

(6) 仕切堤施工中の海底放射性物質濃度拡散の抑制対策について

仕切堤は捨石を海中に投入し構築するが、施工中の海底土巻き上がりによる海水放射性物質濃度の上昇が懸念されるため、工事用汚濁防止フェンスを設置するとともに通常よりも施工スピードを落とすことで、海底土巻き上がり・拡散を抑制する。至近3年間の港湾内工事にて捨石等の材料を海中投入した際は、同様の対策を講じることで、施工中の海水放射性物質濃度上昇を抑制できている。

(7) 取水に伴う、開渠内堆積砂の移動について

希釈海水を既設の5号機取水口より取水するが、取水による砂の移動、巻き上がりが発生し、放射性物質を含む砂の取水する可能性があることから、取水に伴う砂移動について検討する。

○ 検討方法

取水のためにポンプを起動させると、底面流速や底面せん断力が増大し、砂（底質）の移動が始まる。移動限界を超えたせん断力が砂（底質）に作用すると底質が掃流状態となり移動する。この砂（底質）の初期移動限界は、定常流場での底質に作用する抗力と重力との釣り合いから得られる移動限界シールズ数 ψ_c を用いて表示することができる。このシールズ数は、後段に示す参考文献において、実験や数値解析により検証されている。ここでは、5号機取水口前面部でのシールズ数 ψ （海底面での砂の動きやすさを示す指標）を求め、それが砂の移動限界シールズ数 ψ_c （それ以下では砂が移動しない指標）を超えないかを確認する。ただし、ここでは仕切堤構築後は波などの影響を受けないものとし、取水による影響のみを考慮した評価を実施した。

○ 境界条件

境界条件については、最も流速が大きくなる（最も保守的な）条件として、以下を設定した。

① 潮位

朔望平均干潮位（L.W.L.）：T.P.-0.778m：最も通水断面が小さくなる干潮時を設定

② 運転条件

ポンプ運転台数（流量）：3台（ $2\text{m}^3/\text{s} \times 3\text{台} = 6\text{m}^3/\text{s}$ ）

③ 水路条件（5号機取水口スクリーン室）

幅：4.0m

底板標高：T.P.-4.9m

水深（底板標高-潮位） h ：4.2m

水路数：6本

④ 底質条件（細砂）

粒径 d ：0.2 mm

震災後、発電所港湾内の海底土は放射性物質濃度が高く、発電所構外（放射線管理対象区域外）に持ち出し粒度分析を実施することが不可能であったため、当社が2019年に発電所港湾口（放射線管理対象区域外）で採取した海底土の粒度分析結果から、代表粒径：0.2mm（細砂）を使用した。また、同調査において港湾内の粒度形成は全体の90%以上が砂であることが分かっている。港湾内に堆積する砂のほとんどが港湾口より流入するため、港湾口での粒度分析結果を利用することは適切であるといえる。

海水密度 ρ ：1.03tf/m³

底質の水中比重 s ：1.65tf/m³

重力加速度 g ：9.8m/s²

○ 計算方法

底面せん断応力 τ_b は海底面上の平均流れの対数分布則に基づく次式から算定した（西畑ら，2007）。

$$\sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} = u_{*b} = \frac{\kappa|U|}{\ln(h/z_0) - 1} \quad (\text{式 1})$$

ここで、 u_{*b} は摩擦速度、 κ はカルマン係数 (=0.4)、 h は水深、 z_0 は粗度高さであり、相当粗度 k_N から次式によって算定した。（西畑ら，2007）

$$z_0 = \frac{k_N}{30} \quad (\text{式 2})$$

ただし、相当粗度 k_N は Herrmann ら（2007）に倣って、次式のようにシールズ数 ψ に依存させた。

$$k_N = 2d + 4.5(\psi - \psi_c)d \quad (\text{式 3})$$

シールズ数 ψ は次式のように定義される（土木学会，1998）。

$$\psi = \frac{u_{*b}^2}{(\rho_s/\rho - 1)gd} \quad (\text{式 4})$$

○ 砂移動の評価

上記計算の結果、シールズ数 ψ 0.001 を得た。

細砂の移動限界シールズ数 ψ_c は、0.075 以上で初期移動状態（海底面の底質がいくつか移動し始める状態）となり、0.11 以上で完全移動状態（海底面の表層粒子がほとんど移動し始める状態）となるといわれている（渡辺，1979）。今回求められたシールズ数 ψ 0.001 は、移動限界シールズ数に比べ十分小さいため、砂移動は発生しないと評価した。

○ 参考文献

西畑 剛・佐貫 宏・森屋陽一・後藤和久（2007）：津波による地形変化モデルに関する研究，海岸工学論文集，第 54 巻，pp.521-525.

Herrmann, M. and O.S.Madsen（2007）：Effect of stratification due to suspended sediment on velocity and concentration distribution in unidirectional flows, J. Geophys. Res., vol.112, C02006, 13p.

土木学会海岸工学委員会研究現況レビュー小委員会（1998）：漂砂環境の創造に向けて，1.3 掃流移動限界，pp.74.

渡辺 晃（1979）：振動流境界層と海浜過程，水工学に関する夏期研修会講義集，B-3-1-17.

(8) 砂混入時の海水移送ポンプ取水機能維持の確認

海水移送ポンプ取水時に、浮遊砂の一部が軸受潤滑水としてポンプ軸受に混入したとしても、海水移送ポンプの水中軸受は、設計上の最小隙間が [redacted] mm であることに加えて、異物排出と冷却水の供給のために、溝を設けていることから、砂（代表粒径：0.2mm（細砂））が混入したとしても、海水移送ポンプの運転に支障はない。

また、(7)に示した通り、取水に伴う開渠内堆積砂は移動しないという評価を行っていることを踏まえると、大きな粒径の砂は殆ど混入しないと考えられ、砂混入に対して海水移送ポンプの取水機能は維持できる。

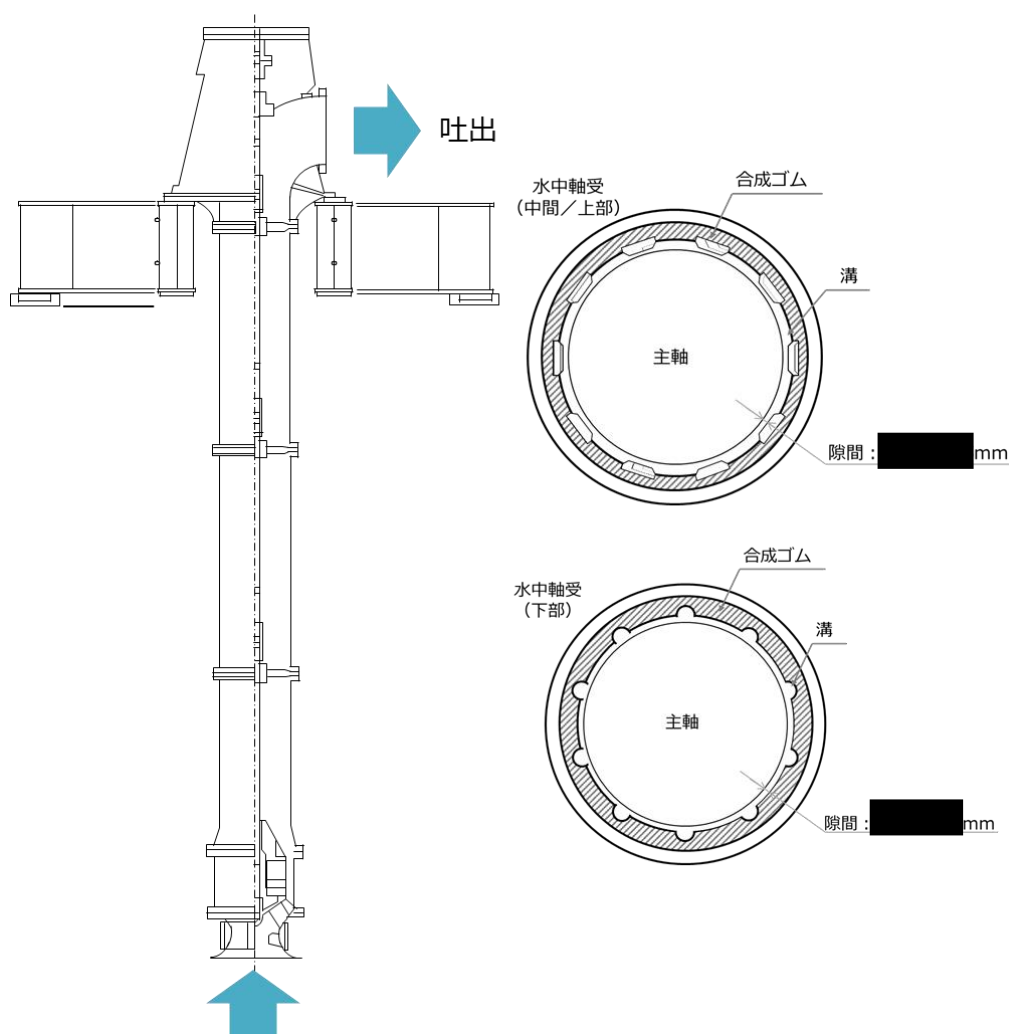


図 2.9.8-10 海水移送ポンプ軸受の構造

2. ALPS 処理水を希釈した後の海水の放水方法

ALPS 処理水を希釈した後の海水の放水方法は、放水立坑（上流水槽）側から堰を越流した水を放水立坑（下流水槽）水位と海面水位（潮位）との水頭差により、約 1 km 離れた放水口まで移送する設計とする。また、放水設備における摩擦損失や水位上昇等を顧慮した設計とする。なお、設計については「2.14.1 準拠規格及び基準への適合性」にて述べる。

(1) 放水設備工事の施工方法

海上工事の概要図（平面）を図 2.9.8-11 に示す。放水設備工事は福島第一原子力発電所の沖合約 1km まで放水トンネルを設置し、終端部に放水ロケソンを設置する。また、工事には大型の作業船舶を使用することから、放水口部を囲む 800m×800m の範囲を工事区域として設定することで、公衆船舶の航行安全にも配慮する。

○ 灯浮標・シンカーブロック設置

工事区域を設定するため、灯浮標 4 基と灯浮標係留用のシンカーブロック 4 基（25t）を起重機船にて工事区域の四隅にそれぞれ設置する。また、作業船舶を係留するためのシンカーブロックを起重機船にて港湾外に 4 基（110t）、港湾内に 3 基（25t, 40t）設置する。図 2.9.8-12 に灯浮標および船舶係留用シンカーブロックのイメージ図を示す。

○ 海上掘削

放水ロケソン設置のため、発電所沖合約 1km の地点の海底をグラブ浚渫船にて掘削する。掘削した海底土は発電所港湾内の物揚場まで土運船にて運搬、陸上のバックホウにて揚土、ダンプトラックにて構内の土捨て場に運搬する。図 2.9.8-13 に海上掘削概要図（平面）を図 2.9.8-14 に海上掘削イメージ図（断面）を示す。

○ 捨石投入・均し

海上掘削した底面を放水ロケソン据付のため不陸整生を行う。不陸整正は、起重機船にて捨石を所定の厚さで投入し、表面を平らに敷き均す。

○ 放水ロケソン製作

発電所構外にて鉄筋コンクリート製の放水ロケソンを製作する。放水ロケソンには、据付時の位置誘導と放水トンネルを掘進するシールドマシンが放水口に到達する際の位置情報管理のための測量櫓（鋼製）と放水トンネルを掘進してきたシールドマシンが到達するための到達管（鋼製）を設置する。到達管には、撤去時に海水を注水するための注水バルブと空気抜き孔を設置する。図 2.9.8-15 に放水ロケソン製作イメージ図（模型）、図 2.9.8-16 に放水ロケソン部断面図を示す。



図 2.9.8-11 海上工事概要図（平面）

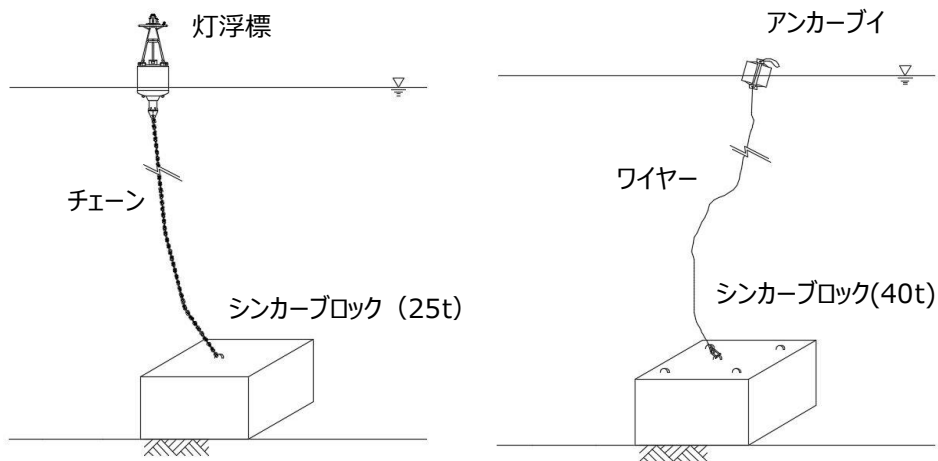


図 2.9.8-12 灯浮標および船舶係留用シンカーブロックイメージ図

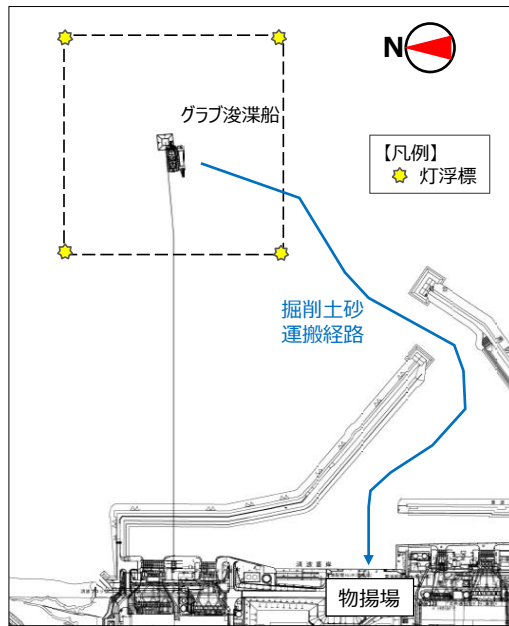


図 2.9.8-13 海上掘削概要図（平面）

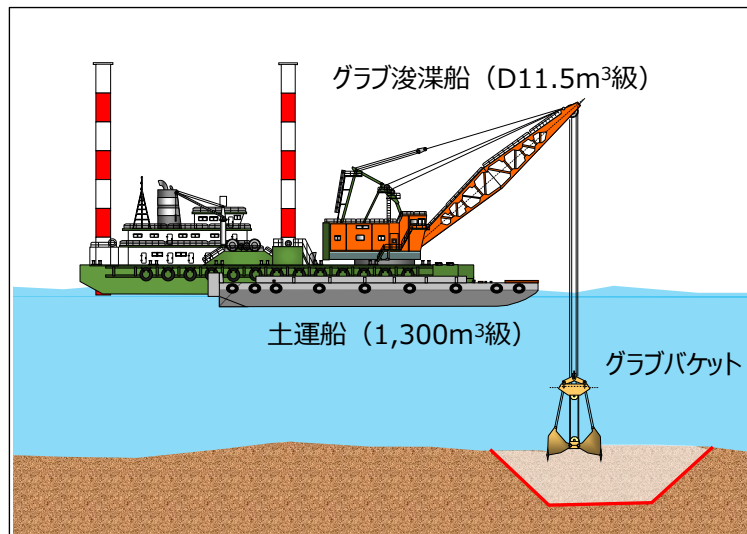


図 2.9.8-14 海上掘削イメージ図（断面）

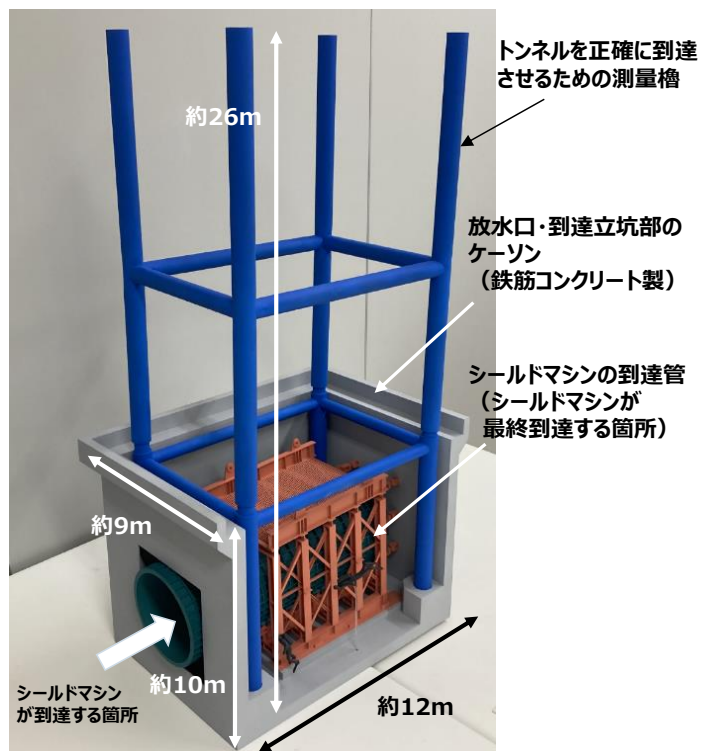


図 2.9.8-15 放水ロケーソン製作イメージ図 (模型)

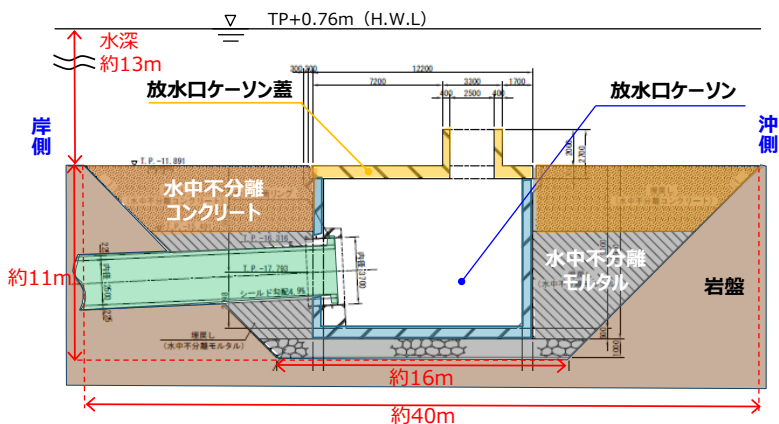


図 2.9.8-16 放水ロケーソン部断面図

○ 放水ロケーソン据付

発電所構外で製作した放水ロケーソンを、海上掘削し底面に捨石を敷き均した箇所に据え付ける。発電所構外で製作した放水ロケーソンを大型起重機船に積込、発電所沖合の据付位置まで海上運搬する。大型起重機船は、事前に設置した船舶係留用のシンカーブロック 4 基 (110t) と自船のアンカーを使用し係留、係留ワイヤーをウインチにて操作しながら放水ロケーソン据付位置まで移動し、放水ロケーソンを据付ける。据付位置の誘導は、起重機船に搭載した GPS および放水ロケーソンに事前設置した測量檣を陸上の 2 地点から測量する

ことで行う。図 2.9.8-17 に放水ロケソン据付作業概要図（平面）および図 2.9.8-18 に放水ロケソン据付イメージ図（断面）を示す。

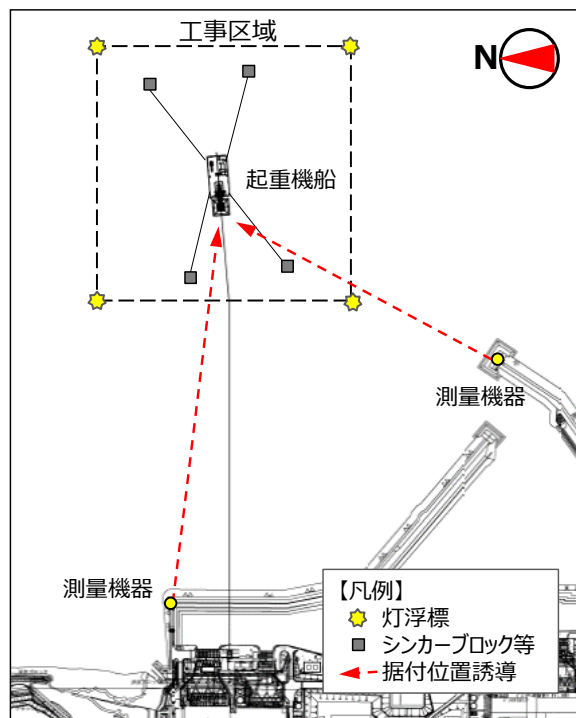


図 2.9.8-17 放水ロケソン据付概要図（平面）

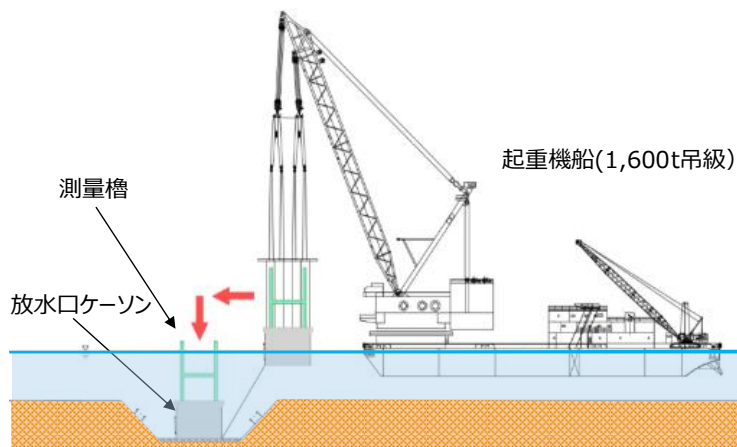


図 2.9.8-18 放水ロケソン据付イメージ図（断面）

○ 放水ロケソン埋戻し

据付けた放水ロケソン周囲にコンクリートプラント船により水中不分離コンクリートおよび水中不分離モルタルをそれぞれ所定の厚さで打設し、放水ロケソンを埋戻す。図 2.9.8-16 に示すように、水中不分離モルタルは放水トンネルを掘進してきたシールドマシンが通過する部分、水中不分離コンクリートはそれ以外の海底面までの部分にそれぞれ打設する。

○ 測量櫓・シールドマシン撤去

放水口トンネルを掘進し構築してきたシールドマシンが放水口ケーソン内に設置された到達管内に到達した後、位置情報管理のために使用した測量櫓を起重機船にて撤去する。その後、到達管の空気抜き孔にホースを設置、注水バルブを操作することで放水トンネル内に海水を注水する。放水トンネル内が海水で満たされたことを確認し、到達管と放水口ケーソンの接続部を切り離す。切り離し完了後、起重機船にて到達管と一緒にシールドマシンを撤去する。図 2.9.8-19 にシールドマシン（到達管）撤去イメージ図（断面）を示す。

○ 放水口ケーソン蓋据付

発電所構外にて鉄筋コンクリート製の放水口ケーソン蓋を製作する。製作した放水口ケーソン蓋（鉄筋コンクリート製）を起重機船に積込、発電所構外まで海上運搬し、放水口ケーソン上部に設置する。図 2.9.8-20 に放水口ケーソン蓋据付イメージ図（断面）を示す。

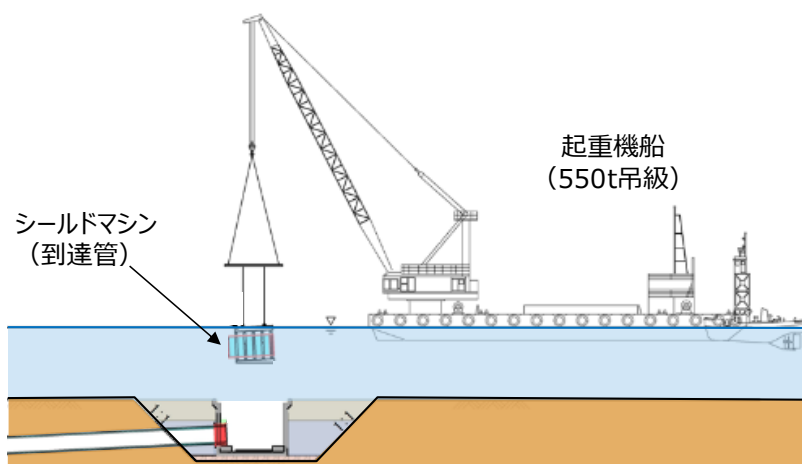


図 2.9.8-19 シールドマシン（到達管）撤去イメージ図（断面）

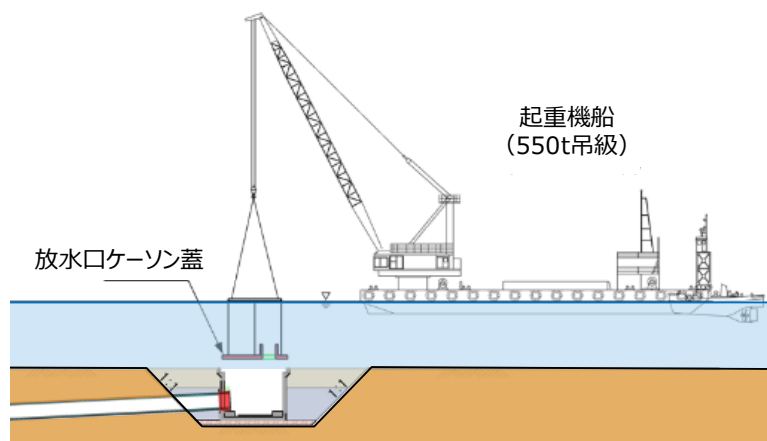


図 2.9.8-20 シールドマシン（到達管）撤去イメージ図（断面）

3. 取放水設備設置工事におけるモニタリングの強化

発電所港湾内および発電所沖合にて海上工事を実施するにあたり、海底土の巻き上がりによる濁りの拡散、放射性物質の拡散が懸念されることから、以下の対応を実施する。

- ・海水モニタリング
- ・掘削土砂のサンプリング
- ・濁り拡散抑制対策

港湾内については、震災時の事故由来の放射性物質を含んだ海底土の巻き上がり・拡散が懸念されるため、海水の放射性物質濃度モニタリングを実施し、放射性物質濃度の上昇がないことを確認するとともに、対策として施工方法の工夫と工事用汚濁防止フェンス設置による放射性物質を含んだ砂の港湾外への拡散、5,6号機取水への取り込みを抑制する。

港湾外については、これまでの海底土サンプリング結果から放射性物質濃度が測定下限値以下であることから、一般的な海域の環境管理の観点で、掘削等による海底土の巻き上がりによる濁りの管理を行うとともに、影響を低減可能な施工方法の検討や濁り拡散時の物理的抑制等の対策を行う。

(1) 発電所港湾内における放射性物質の拡散抑制対策

発電所港湾内における仕切堤構築等の施工中は濁り対策および放射性物質の拡散抑制対策を実施する。

具体的な対策としては、施工中、工事用汚濁防止フェンスを設置するとともに、通常よりも施工速度を落とし、慎重に施工するなど、放射性物質を含む海底土の巻き上がりおよび拡散を抑制する。

海水中セシウム濃度に有意な上昇が確認された場合または濁りがひどい場合は、工事を中断する。その後、海水中セシウム濃度および濁り状況が問題のない状態になったことを確認し、工事を再開する。

(2) 発電所沖合における海水モニタリング計画

発電所沖合における海上工事（海上掘削、捨石投入、放水ロケーション据付等）の期間中、施工箇所では海水サンプリングを行い、作業による海水中セシウム濃度の上昇の有無を確認する。期間は工事開始前と工事中とし、作業日毎に行うが、施工状況により実施方法を検討する。

海水中セシウム濃度に有意な上昇が確認された場合は、工事を中断する。その後、海水中セシウム濃度および濁り状況が問題のない状態になったことを確認し、工事を再開する。

(3) 掘削土砂の分析計画

放水口ケーソン終端部を海上掘削した土砂の一部をサンプリングし、土中のセシウム濃度分析を実施する。サンプリングは、海上掘削施工期間中の初期、中期、完了時に行うが、施工状況により実施方法を検討する。

土中セシウム濃度が構内土捨て場の受入れ基準値を超える場合は、コンテナに箱詰めし適切に構内で管理するとともに、掘削を中断しその後の対応を検討する。

(4) 発電所沖合における濁り対策

発電所沖合における海上工事(海上掘削等)の期間中、濁り対策を実施する。施工初期は、施工速度を落とし、時間当たりの施工量を少なくすることにより、濁り発生を抑制する。その後、濁り発生状況をみながら施工速度を調整する。

濁りの確認方法は、現場での目視による確認と、工事区域(800m×800m)の境界(4箇所)にて濁度計による確認を行う。濁度については、事前にSS(浮遊物質)との相関を確認し、SS指標で管理し、管理値は、BG(バックグラウンド)+10mg/Lとする。

濁りがひどい場合、またはSS管理値を超える場合は、作業を中断する。濁り状況により、オイルフェンス(油対策を兼用)等を設置し、沈降剤(無機凝集剤)の使用を検討する。その後、工事海域での濁り状況が問題のない状態になったことを確認し、工事を再開する。

(5) その他の工事における一般的な環境対策

港湾内の北防波堤透過防止工の一部(上部コンクリート)を撤去する際は、粉塵対策を講じる。粉塵対策は、コンクリートブレーカでの上部コンクリート取り壊し時、施工部に真水を散水しながら取り壊しすることで、粉塵の発生を抑制する。

以上

異常の検出と ALPS 処理水の海洋放出の停止方法に関する補足説明

1. 緊急遮断弁の設計

ALPS 処理水希釈放出設備には、通常運転から逸脱するような異常を検知した場合、人の手を介すことなく“閉”とすることで、ALPS 処理水の海洋放出を停止させる機能を持つ、緊急遮断弁を設置する。

緊急遮断弁は、直列二重化しており、それぞれの設置位置、作動方式、設計の考え方は、表 2.9.9-1、図 2.9.9-1 の通り。

表 2.9.9-1 緊急遮断弁の設計

設計	緊急遮断弁-1	緊急遮断弁-2
設置位置	津波被害の受けない位置	弁作動時の放出量最小化のため、ALPS 処理水移送配管の最下流
作動方式	MO 方式 (開→閉時間：10 秒)	AO 方式 (開→閉時間：2 秒)
設計の考え方	2 系列設置し、不具合・保守時には前後の手動弁で系統切替可能とし、設備稼働率を維持	(同左)

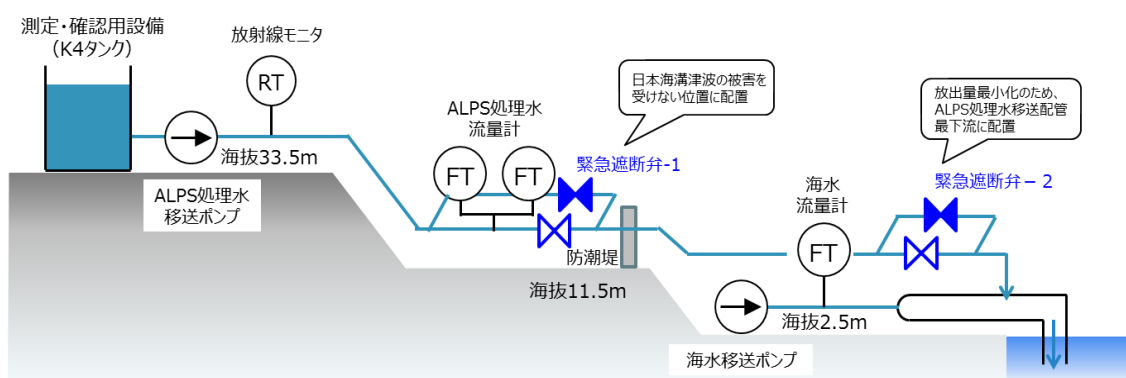


図 2.9.9-1 緊急遮断弁の設置位置のイメージ

それぞれの緊急遮断弁の動作原理は以下の通りとなっている。

(1) 緊急遮断弁-1 (MO 弁)

緊急遮断弁-1にはスプリングリターン式電動緊急遮断弁を採用している。本遮断弁の動作原理は以下の通り。

- ・ 全開時はモータが駆動し、バネを巻き上げながら弁開にする
- ・ 弁が全開になると内蔵されるブレーキが作動し、巻き上げたバネが戻らないよう保持する (平常時)
- ・ 電源の遮断によりブレーキが開放され、バネの力により弁閉となる

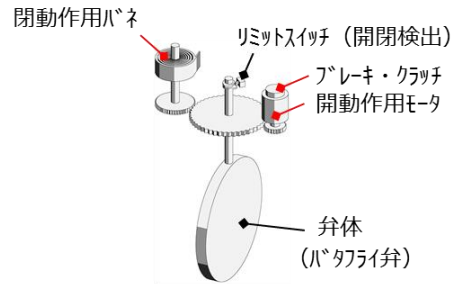


図 2.9.9-2 緊急遮断弁-1 の構造

緊急遮断弁-1 閉止時のウォーターハンマー対策として、ミニフローラインを設置する計画としている。(図 2.9.9-3 参照)

なお、緊急遮断弁-1 は過去に弁の閉止試験*を実施した結果、約 6 秒が最短であることが分かっており、当該閉止時間を踏まえても、下図に示すミニフローラインにより圧力波を逃がすことにより、対策が可能である。

※同型弁が設置されているサブドレン他移送設備で実施

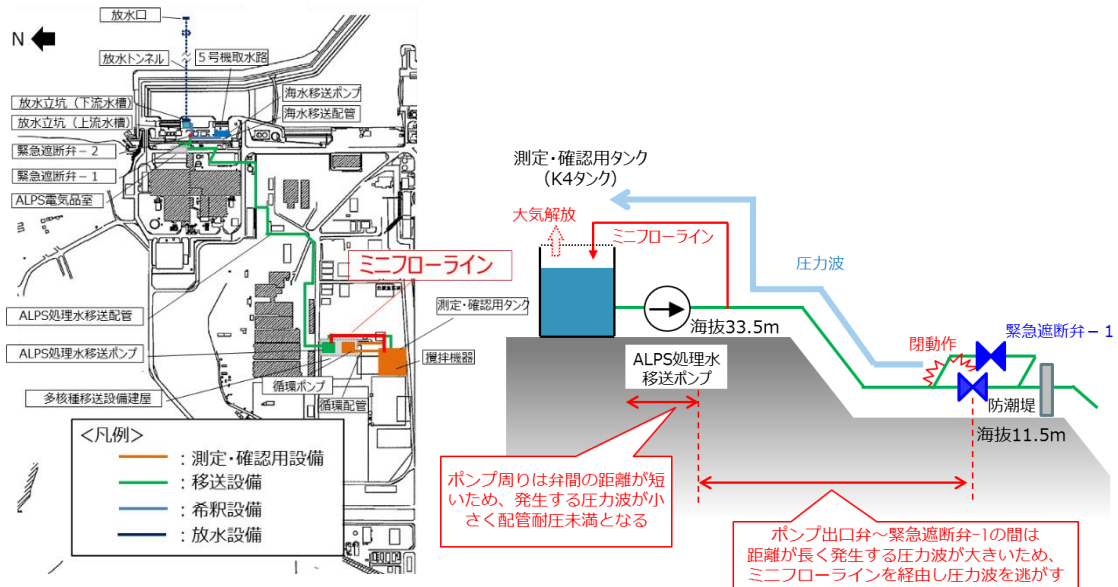


図 2.9.9-3 ミニフローラインの概要

(2) 緊急遮断弁-2 (AO 弁)

緊急遮断弁-2には空気作動の緊急遮断弁を採用している。本遮断弁の動作原理は以下の通り。なお、当該弁は可能な限り素早く放出を遮断する設計としたため、ウォーターハンマー対策として三方弁を採用している。

- ・ シリンダ内のピストンを加圧し、ピストンの移動により発生する直線運動を回転運動（弁駆動）に変換
- ・ コイルバネを内蔵し、停電時に作動空気の電磁弁が無励磁になることにより、シリンダ内のエアを開放してピストンを動かす

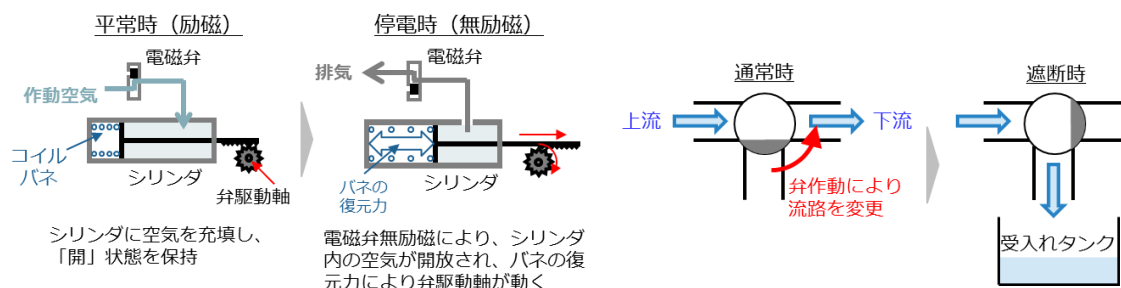


図 2.9.9-4 緊急遮断弁-1 の構造と動作原理

三方弁が動作した際に受け入れるタンクは、緊急遮断弁-1 が閉となるまでの移送量 0.07m^3 と緊急遮断弁-1～緊急遮断弁-2 までの配管の内包量 1.02m^3 に、保守性を加えた容量 3m^3 を準備することを計画している。

なお、緊急遮断弁-2 周辺には雨水対策を実施すると共に、受入れタンクは鋼製の角型タンクを計画している。

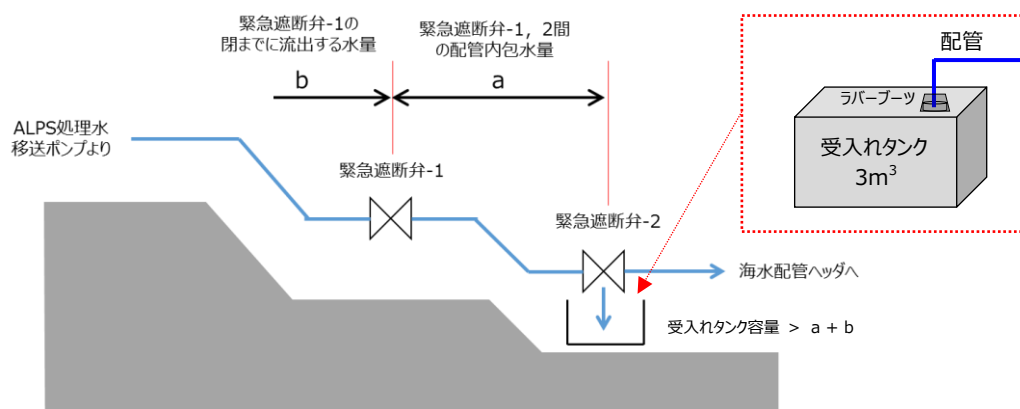


図 2.9.9-5 受入れタンクの必要容量のイメージ

2. 緊急遮断弁の動作条件

緊急遮断弁を”閉”とする，通常運転から逸脱する事象は9種類を考えており，それに加えて，監視・制御装置にて手動で緊急停止が可能な設計としている。（表 2.9.9-2 参照）

また，これらのロジック回路は二重化しており，仮に片系が故障としたとしても，健全な他方の系統で緊急遮断が可能な設計としている。

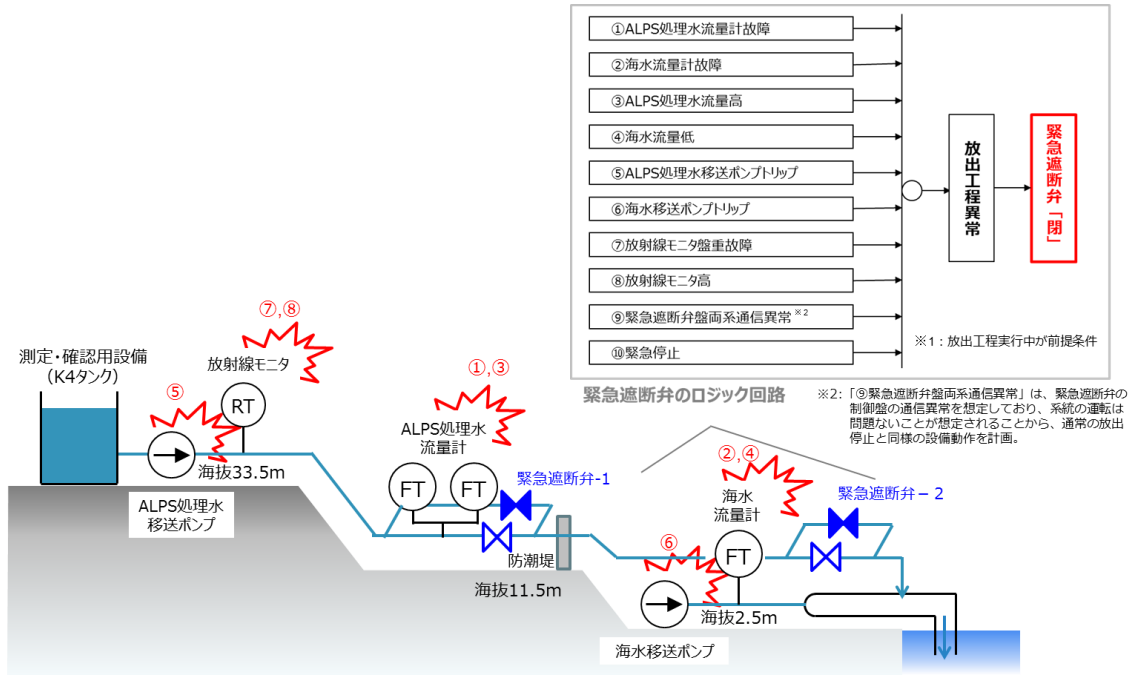


図 2.9.9-6 緊急遮断弁のロジック回路

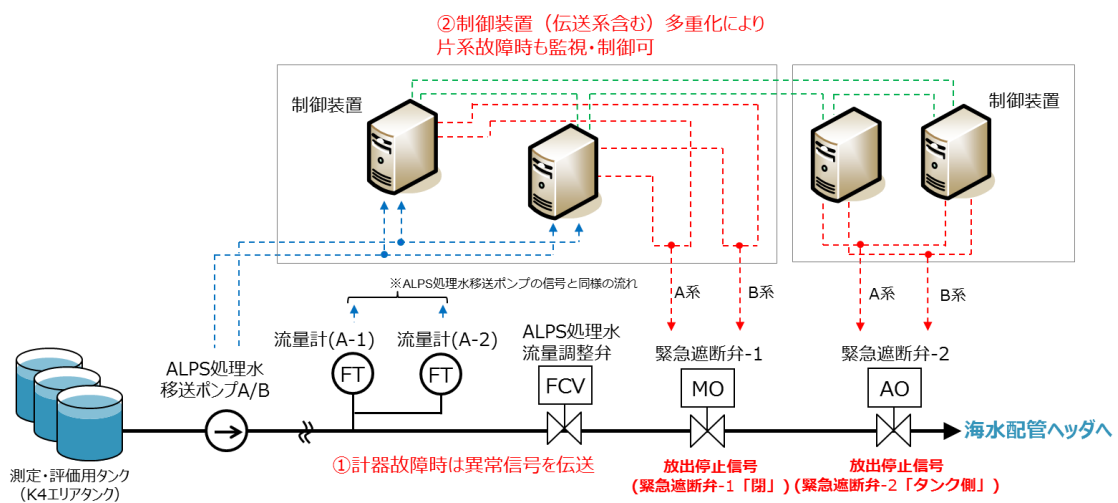


図 2.9.9-7 緊急遮断弁のロジック回路

表 2.9.9-2 緊急遮断弁の動作信号詳細

要素	信号	目的
ALPS 処理水流量計故障	移送ライン (A) (B) 流量計 オーバースケール	計器故障による流量監視不可のため
	移送ライン (A) (B) 流量計 ダウンスケール	計器故障, ケーブル断線による流量監視不可のため
海水流量計故障	海水移送ポンプ (A) (B) (C) 流量計オーバースケール	計器故障による流量監視不可のため
	海水移送ポンプ (A) (B) (C) 流量計ダウンスケール	計器故障, ケーブル断線による流量監視不可のため
ALPS 処理水流量高	移送ライン (A) (B) 流量信号	移送ライン流量上昇による希釈後トリチウム濃度 1,500Bq/L 未満を保つため
海水流量低	海水移送ポンプ (A) (B) (C) 流量信号	希釈用の海水供給量不足による希釈後トリチウム濃度上昇を防ぐため 海水移送系統で異常が考えられるため
ALPS 処理水移送ポンプトリップ	遮断器トリップ信号	移送工程で異常が考えられるため
海水移送ポンプトリップ	M/C トリップ信号	希釈用の海水供給停止による希釈後トリチウム濃度上昇を防ぐため 海水移送系統で異常が考えられるため
放射線モニタ盤重故障	放射線モニタ (A) (B) 下限	放射線モニタによる監視不能のため
	放射線モニタ (A) (B) 遮断器トリップ	
放射線モニタ高	放射線モニタ (A) (B) 高*	放射線モニタによる異常検知のため
緊急遮断弁盤両系通信異常	両系通信異常信号	緊急遮断弁盤の通信が両系異常になると, 異常信号が受信できなくなり, 緊急遮断弁が自動閉できなくなるため
緊急停止	緊急停止信号	運転員による異常発見時に速やかに停止させるため

※: 「放射線モニタ高」は, 放射線モニタリング指針 (JEAG4606) の「バックグラウンド×10 倍以内の倍数」の考え方をもとに, 適切な値で設定する。

以上

2.11 放射性物質の放出抑制等による敷地 周辺の放射線防護等への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

1 1. 放射性物質の放出抑制等による敷地周辺の放射線防護等

- 特定原子力施設から大気，海等の環境中へ放出される放射性物質の適切な抑制対策を実施することにより，敷地周辺の線量を達成できる限り低減すること。
- 特に施設内に保管されている発災以降発生した瓦礫や汚染水等による敷地境界における実効線量（施設全体からの放射性物質の追加的放出を含む実効線量の評価値）を，平成25年3月までに1 mSv/年未満とすること。

2.11.1 措置を講ずべき事項への適合方針

ALPS 処理水希釈放出設備は，地下水等の原子炉建屋等への流入により増加する汚染水を，「実施計画Ⅱ 2.5 汚染水処理設備等」，「実施計画Ⅱ 2.16.1 多核種除去設備」，「実施計画Ⅱ 2.16.2 増設多核種除去設備」，「実施計画Ⅱ 2.16.3 高性能多核種除去設備」で，トリチウムを除く放射性核種の告示濃度限度比総和が1未満となったALPS 処理水を，海水によりトリチウム濃度を1,500Bq/L未満，トリチウムを除く放射性核種を100倍以上に希釈し，海洋へ放出することで，敷地周辺の線量を達成出来る限り低減するよう設計する。

同設備の設計・運用開始後においても，敷地内に保管されている発災以降に発生した瓦礫や汚染水等による敷地境界における実効線量を1mSv/年未満とする。

2.11.2 対応方針

- 平成 25 年 3 月までに、追加的に放出される放射性物質及び事故後に発生した放射性廃棄物からの放射線による敷地境界における実効線量を 1mSv/年未満とするため、下記の線量低減の基本的考え方に基づき、保管、管理を継続するとともに、遮へい等の対策を実施する。

また、線量低減の基本的考え方に基づき、放射性物質の保管、管理を継続することにより、敷地周辺の線量を達成できる限り低減する。

敷地境界における線量評価は、プラントの安定性を確認するひとつの指標として、放射性物質の放出抑制に係る処理設備設計の妥当性の確認の観点と、施設配置及び遮蔽設計の妥当性の確認の観点から施設からの放射線に起因する実効線量の評価を行うものとする。

線量低減の基本的考え方

- ・ 瓦礫等や水処理廃棄物の発生に応じてエリアを確保し保管対策を継続するとともに、廃棄物に対し、追加の遮へい対策を施す、もしくは、遮へい機能を有した施設内に廃棄物を移動する等により、敷地境界での放射線量低減を図っていく。
- ・ 気体・液体廃棄物については、告示に定める濃度限度を超えないよう厳重な管理を行い放出するとともに、合理的に達成できる限り低減することを目標として管理していく。なお、海洋への放出は、関係省庁の了解なくしては行わないものとする。

(実施計画：II-1-11-1)

○排水による線量評価

ALPS 処理水については、排水前に、トリチウム以外の放射性核種の告示濃度限度比の和が 1 未満であることを測定等により確認する。また、排水にあたっては、海水による希釈（100 倍以上）を行い、排水中のトリチウム濃度を 1,500Bq/L 未満となるよう管理しながら排水するため、トリチウムの寄与分については運用の上限値である 1,500 Bq/L を告示で定めるトリチウムの濃度限度で除し、それ以外の全ての核種の寄与分については告示濃度限度比総和 1 としたものを海水による最小の希釈倍率（100 倍）で除した上で、それぞれの和による実効線量は 0.035mSv/年となる

(実施計画：III-3-2-2-3-2)

(補足)

ALPS 処理水の排水による実効線量は 0.035mSv/年と評価されることから、引き続き放射性液体廃棄物等による実効線量は、排水する系統のうち最大となる地下水バイパス水による 0.22mSv/年とする。

(参考)

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設では海水取水の放射性物質濃度の低減対策として、5,6 号機取水路開渠を仕切堤（捨石傾斜堤+シート）にて 1~4 号機取水路開渠側の発電所港湾から仕切るとともに、北防波堤透過防止工北側の一部を改造（一部撤去）し、5,6 号機放水口北側の発電所港湾外から希釈用の海水を取水する。仕切堤を構築することで、1~4 号機取水路開渠側からの比較的放射性物質濃度の高い海水の流入を抑制する計画である。

本対策の効果を確認するため、港湾内（1~4 号機側）から取水する場合と港湾外（5,6 号機放水口北側）から取水する場合の影響について比較評価を行った結果、ALPS 処理水の排水による実効線量（0.035mSv/年）を考慮しても、港湾内から取水する場合の実効線量は 0.038mSv/年、港湾外から取水する場合の実効線量は 0.042mSv/年であり、いずれの評価結果も地下水バイパス水による実効線量である 0.22mSv/年を下回る結果となり、仮に希釈水として港湾内の海水を取水した場合でも被ばくへの影響は小さい。

表 2.11-1 希釈用海水の評価用濃度（2019 年度からの 3 年の平均値） [単位：Bq/L]

核種	港湾外取水（5,6 号機放水口北側）	港湾内取水（港湾内北側）
Cs-137	2.4E-01	4.6E-01
Sr-90	1.3E-02	4.3E-02
H-3	1.1E+00	2.1E+00

ALPS 処理水の海洋放出による敷地周辺の線量影響に関する補足説明

ALPS 処理水の海洋放出による敷地周辺の線量影響については、下記に示す手法によって算出している。

○ 計算手法

ALPS 処理水におけるトリチウム濃度を 1,500Bq/L 未満となるように希釈し、トリチウム以外の放射性核種濃度を告示濃度限度比の和が 1 未満となった ALPS 処理水を海水にて 100 倍以上希釈することから実効線量は保守的に以下の通り評価される。

$$\frac{\text{H-3 濃度}}{\text{H-3 の告示濃度限度}} + \text{H-3 以外の告示濃度限度比総和} \times \frac{1}{\text{海水による希釈倍率}}$$

$$= \frac{1500[\text{Bq/L}]}{60000[\text{Bq/L}]} + 1[-] \times \frac{1}{100[(\text{倍})]} = \underline{0.035 \text{ mSv/年}}$$

なお、海水による希釈倍率に関する補足説明に関しては、「2.9 放射性液体廃棄物の処理・保管・管理への適合性」より、最大濃度部においても 357 倍に希釈されていることを確認しているが、今回の線量影響の計算において保守的に 100 倍の希釈と設定している。

以上

2.12 作業者の被ばく線量の管理等への 適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

1 2. 作業者の被ばく線量の管理等

○現存被ばく状況での放射線業務従事者の作業性等を考慮して，遮へい，機器の配置，遠隔操作，放射性物質の漏えい防止，換気，除染等，所要の放射線防護上の措置及び作業時における放射線被ばく管理措置を講じることにより，放射線業務従事者が立ち入る場所の線量及び作業に伴う被ばく線量を，達成できる限り低減すること。

2.12.1 措置を講ずべき事項への適合方針

作業者の被ばく管理等において，現存被ばく状況での放射線業務従事者の作業性等を考慮して，遮へい機器の配置，遠隔操作，放射性物質の漏えい防止，換気，除染等，所要の放射線防護上の措置及び作業時における放射線被ばく管理措置を講じることにより，放射線業務従事者が立ち入る場所の線量及び作業に伴う被ばく線量を，達成できる限り低減する。

なお，ALPS 処理水希釈設備及び関連施設の設置工事では，33.5m 盤エリアで移送配管，循環配管，ポンプ等の敷設，5/6 号機護岸エリアで海水配管，海水移送ポンプ，弁等の敷設，放水立坑構築等の工事が行われるが，何れのエリアにおいても，外部放射線に係わる線量率は低減されており，放射線業務従事者が過度に被ばくする恐れはない。また，ALPS 処理水を直接扱う作業はイエローゾーン，それ以外はグリーンゾーンエリアに設定されており，それぞれの作業時には適切な放射線被ばく管理措置を講じる。

他方，ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設では，地下水等の原子炉建屋等への流入により増加する汚染水を，「実施計画Ⅱ 2.5 汚染水処理設備等」，「実施計画Ⅱ 2.16.1 多核種除去設備」，「実施計画Ⅱ 2.16.2 増設多核種除去設備」，「実施計画Ⅱ 2.16.3 高性能多核種除去設備」により，トリチウムを除く放射性核種の告示濃度限度比総和が 1 未満となった ALPS 処理水を取扱うため，本設備の運用による外部放射線に係わる線量影響は極めて小さい。

2.12.2 対応方針

(1) 作業者の被ばく線量管理等

○ 現存被ばく状況における放射線防護の基本的な考え方

現存被ばく状況において放射線防護方策を計画する場合には、害よりも便益を大きくするという正当化の原則を満足するとともに、当該方策の実施によって達成される被ばく線量の低減について、達成できる限り低く保つという最適化を図る。

○ 所要の放射線防護上の措置及び作業時における放射線被ばく管理措置の範囲

「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」に基づいて定めた管理区域及び周辺監視区域に加え、周辺監視区域と同一な区域を管理対象区域として設定し、放射線業務に限らず業務上管理対象区域内に立ち入る作業者を放射線業務従事者として現存被ばく状況での放射線防護を行う。

○ 遮へい、機器の配置、遠隔操作、換気、除染等

放射線業務従事者が立ち入る場所では、外部放射線に係わる線量率を把握し、放射線業務従事者等の立入頻度、滞在時間等を考慮した遮へいの設置や換気、除染等を実施するようにする。なお、線量率が高い区域に設備を設置する場合は、遠隔操作可能な設備を設置するようにする。

○ 放射性物質の漏えい防止

放射性物質濃度が高い液体及び蒸気を内包する系統は、可能な限り系外に漏えいし難い対策を講じる。また、万一生じた漏えいを早期に発見し、汚染の拡大を防止する場合は、機器を独立した区域内に配置したり、周辺にせきを設ける等の対策を講じる。

○ 放射線被ばく管理

上記の放射線防護上の措置及び作業時における放射線被ばく管理措置を講じることにより、作業時における放射線業務従事者が受ける線量が労働安全衛生法及びその関連法令に定められた線量限度を超えないようにするとともに、現存被ばく状況で実施可能な遮へい、機器の配置、遠隔操作を行うことで、放射線業務従事者が立ち入る場所の線量及び作業に伴う被ばく線量を、達成できる限り低減するようにする。

さらに、放射線防護上の措置及び作業時における放射線被ばく管理措置について、長期にわたり継続的に改善することにより、放射線業務従事者が立ち入る場所における線量を低減し、計画被ばく状況への移行を目指すこととする。

(実施計画：II-1-12-1)

(2) 放射線管理に係る補足説明

① 放射線防護及び管理

a. 放射線管理

(a) 基本方針

- 現存被ばく状況において、放射線被ばくを合理的に達成できる限り低減する方針で、今後、新たに設備を設置する場合には、遮へい設備、換気空調設備、放射線管理設備及び放射性廃棄物廃棄施設を設計し、運用する。また、事故後、設置した設備においても、放射線被ばくを合理的に達成できる限り低減する方針で、必要な設備の改良を図る。
- 放射線被ばくを合理的に達成できる限り低くするために、周辺監視区域全体を管理対象区域として設定して、立入りの制限を行い、外部放射線に係る線量、空気中もしくは水中の放射性物質の濃度及び床等の表面の放射性物質の密度を監視して、その結果を管理対象区域内の諸管理に反映するとともに必要な情報を免震重要棟や出入管理箇所等で確認できるようにし、作業環境の整備に努める。
- 放射線業務に限らず業務上管理対象区域に立ち入る作業者を放射線業務従事者とし、ばく歴を把握し、常に線量を測定評価し、線量の低減に努める。また、放射線業務従事者を除く者であって、放射線業務従事者の随行により管理対象区域に立ち入る者等を一時立入者とする。
さらに、各個人については、定期的に健康診断を行って常に身体的状態を把握する。
- 周辺監視区域を設定して、この区域内に人の居住を禁止し、境界に柵または標識を設ける等の方法によって人の立入を制限する。
- 原子炉施設の保全のために、管理区域を除く場所であって特に管理を必要とする区域を保全区域に設定して、立入りの制限等を行う。
- 核燃料物質によって汚染された物の運搬にあたっては、放射線業務従事者の防護及び発電所敷地外への汚染拡大抑制に努める。

(実施計画：II-3-3-1-2-2)

(b) 発電所における放射線管理

a. 管理対象区域内の管理

管理対象区域については、次の措置を講じる。

- 管理対象区域は当面の間、周辺監視区域と同一にすることにより、さく等の区画物によって区画するほか周辺監視区域と同一の標識等を設けることによって明らかに他の場所と区別し、かつ、放射線等の危険性の程度に応じて、人の立入制限等を行う。

管理対象区域内の線量測定結果を放射線業務従事者の見やすい場所に掲示する等の方法によって、管理対象区域に立ち入る放射線業務従事者に放射線レベルの高い場所や放射線レベルが確認されていない場所を周知する。特に放射線レベルが高い場所においては、必要に応じてロープ等により人の立入制限を行う。

- 放射性物質を経口摂取するおそれのある場所での飲食及び喫煙を禁止する。ただし、飲食及び喫煙を可能とするために、放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が、法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域を設ける。なお、設定後は、定期的な測定を行い、この区域内において、法令に定める管理区域に係る値を超えるような予期しない汚染を床又は壁等に発見した場合等、汚染拡大防止のための放射線防護上必要な措置等を行うことにより、放射性物質の経口摂取を防止する。
- 管理対象区域全体にわたって放射線のレベル及び作業内容に応じた保護衣類や放射線防護具類を着用させる。
- 管理対象区域から人が退去し、又は物品を持ち出そうとする場合には、その者の身体及び衣服、履物等身体に着用している物並びにその持ち出そうとする物品（その物品を容器に入れ又は包装した場合には、その容器又は包装）の表面の放射性物質の密度についてスクリーニングレベルを超えないようにする。管理対象区域内において汚染された物の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域に人が立ち入り、又は物品を持ち込もうとする場合は、その者の身体及び衣服、履物等身体に着用している物並びにその持ち出そうとする物品（その物品を容器に入れ又は包装した場合には、その容器又は包装）の表面の放射性物質の密度について表面汚染測定等により測定場所のバックグラウンド値を超えないようにする。
- 管理対象区域内においては、除染や遮へい、換気を実施することにより外部線量に係る線量、空気中放射性物質の濃度、及び放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質密度について、管理区域に係る値を超えるおそれのない場合は、人の出入管理及び物品の出入管理に必要な措置を講じた上で、管理対象区域として扱わないこととする。

(実施計画：II-3-3-1-2-3~4)

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の設置工事における
被ばく線量管理に関する補足説明

ALPS 処理水希釈設備及び同関連施設の設置工事では、33.5m 盤エリアで移送配管，循環配管，ポンプ等の敷設，5,6号機護岸エリアで海水配管，海水移送ポンプ，弁等の敷設，放水立坑構築等の工事が行われるが，何れのエリアにおいても，外部放射線に係わる線量率は低減されており，放射線業務従事者が過度に被ばくする恐れはない（図 2.12.1-1～2 参照）。また，それぞれの作業の放射線被ばくのリスクに応じて作業エリアの区域区分を表 2.12.1-1 のように設定して，それぞれの作業時には適切な放射線被ばく管理措置を講じる（図 2.12.1-3 参照）。

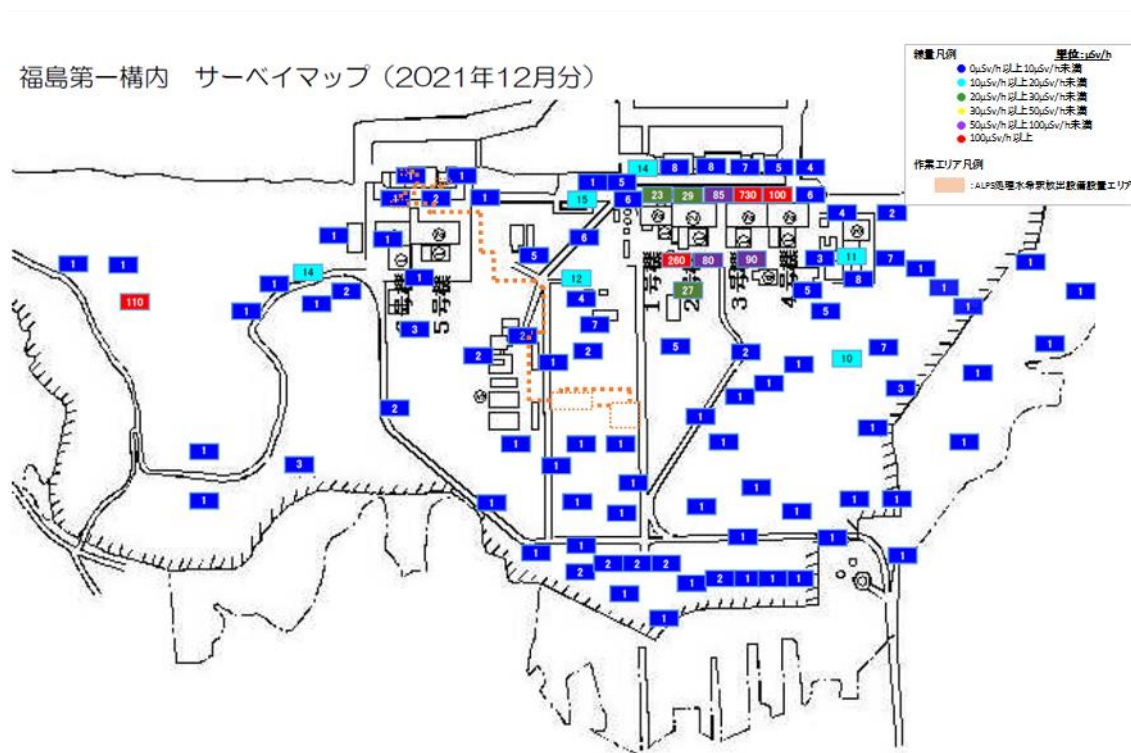


図 2.12.1-1 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設設置工事の
作業エリアの外部放射線に係わる線量率（2021年12月）

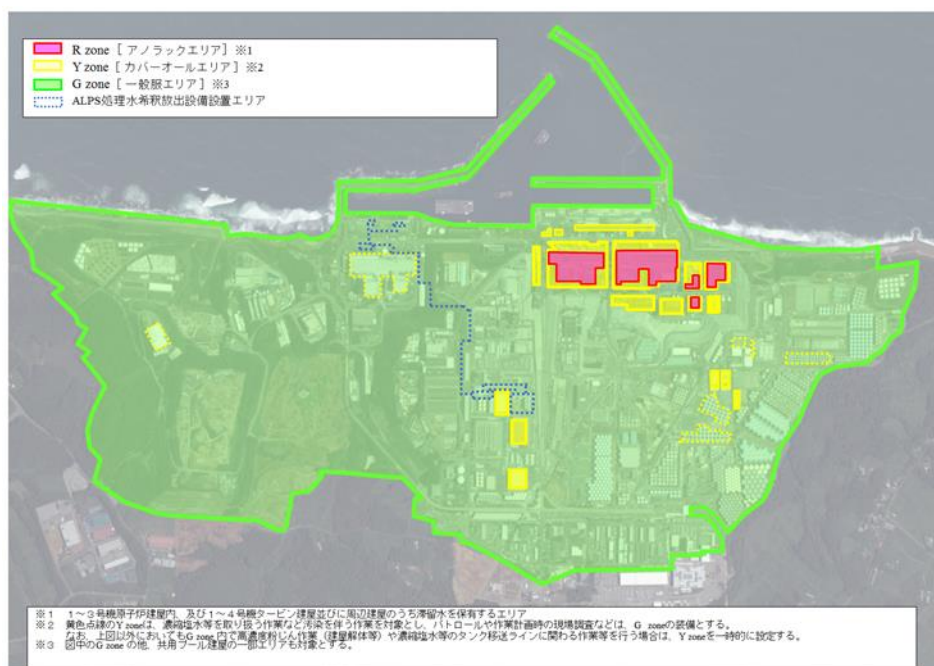


図 2.12.1-2 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設設置工事の作業エリアの区域区分図

表 2.12.1-1 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設設置の作業分類ごとの具体的な作業

分類	区分区分	具体的な作業
ALPS 処理水に触れる可能性のある作業	Y ゾーン	<ul style="list-style-type: none"> 測定・確認用タンクへの攪拌機器の設置 測定・確認用タンクへの配管接続 (循環配管, 移送配管)
それ以外の作業	G ゾーン	<ul style="list-style-type: none"> 循環ポンプ, 循環配管設置 (測定・確認用タンクへ接続する配管を除く) ALPS 処理水移送ポンプ, 移送配管設置 (測定・確認用タンクへ接続する配管は除く) 海水移送ポンプ, 海水配管ヘッダ, 海水配管設置 電気設備設置 監視・制御装置, 各計測装置 (流量計, 放射線計測器等) 設置 5, 6 号機東側電気品建屋設置 放水立坑 (上流水槽) 設置 放水設備設置

Y zone (カバーオールエリア)	G zone (一般服エリア)
全面マスク 又は 半面マスク ※1※2 	使い捨て式防じんマスク 
カバーオール 	一般作業服 

- ※1 水処理設備[多核種除去装置等]を含む建屋内の作業(視察等を除く)は、全面マスクを着用する。
- ※2 濃縮塩水、Sr処理水を内包しているタンクエリアでの作業(濃縮塩水等を取り扱わない作業、パトロール、作業計画時の現場調査、視察等を除く)時及びタンク移送ラインに関わる作業時は、全面マスクを着用する。

図 2.12.1-3 各エリア区分における放射線被ばく管理措置

2.13 緊急時対策への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

1 3. 緊急時対策

- 緊急時対策所，安全避難経路等事故時において必要な施設及び緊急時の資機材等を整備すること。
- 適切な警報系及び通信連絡設備を備え，事故時に特定原子力施設内に居るすべての人に対する指示ができるとともに，特定原子力施設と所外必要箇所との通信連絡設備は，多重性及び多様性を備えること。

2.13.1 措置を講ずべき事項への適合方針

(1) 緊急時において必要な施設及び資機材等の整備について

緊急時において必要な施設及び安全避難経路等事故等において必要な施設及び緊急時の資機材等の整備を行う。

(2) 緊急時の避難指示について

緊急時の特定原子力施設内に居るすべての人に対し避難指示を実施できるようにする。

なお，ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の設置エリアにおいても，緊急放送等により施設内への周知が可能となっている。

(3) 所外必要箇所との通信連絡設備の多重性及び多様性について

特定原子力施設と所外必要箇所との通信連絡設備は，多重性及び多様性を備える。

2.13.2 対応方針

(1) 緊急時において必要な施設及び資機材等の整備について

原子力防災管理者は、緊急時において必要な施設及び緊急時の資機材等の整備について防災業務計画に従い以下の対応を実施する。

- ・ 緊急時対策所を平素から使用可能な状態に整備するとともに、換気浄化設備を定期的に点検し、地震等の自然災害が発生した場合においてもその機能が維持できる施設及び設備とする。また、外部電源喪失時においても専用の非常用発電機により緊急時対策所へ給電可能である。
- ・ 退避場所又は避難集合場所を関係者に周知する。
- ・ 瓦礫撤去用の重機及び操作要員を準備し、瓦礫が発生した場合の撤去対応が可能である。
- ・ 原子力防災資機材及びその他の原子力防災資機材について、定期的に保守点検を行い、平素から使用可能な状態に整備する。また、資機材に不具合が認められた場合、速やかに修理するか、代替品を補充あるいは代替手段により必要数量又は必要な機能を確保する。

施設内の安全避難経路については防災業務計画に明示されていないが、誘導灯により安全避難経路を示すことを基本としている。しかしながら、一部対応できていない事項があるため、それらについては以下のとおり対応する。

- ・ 震災の影響により使用できない誘導灯（1～4号機建屋内）
作業にあたっては、緊急時の避難を考慮した安全避難経路を定め、この経路で退出することとする。また、使用するエリアの誘導灯の復旧を進め、適切な状態に維持する。
- ・ 震災の影響により使用できない非常灯（1～4号機建屋内）
施設を使用するエリアの非常灯の復旧を進め、適切な状態に維持する。

(実施計画：II-1-13-1)

(2) 緊急時の避難指示について

○ 緊急時の避難指示

緊急時の避難指示については、防災業務計画では緊急放送等により施設内に周知することとなっているが、緊急放送等が聞こえないエリアが存在することを考慮し、以下の対応を実施することで、作業員等特定原子力施設内にいるすべての人に的確な指示を出す。

- ① 免震重要棟にて放射性物質の異常放出等のプラントの異常や地震・津波等の自然災害を検知。
- ② 原子力防災管理者は緊急放送装置により免震重要棟・高台等への避難を指示。
- ③ 緊急放送が聞こえないエリアで作業を実施している場合は、作業主管Gより携帯電話にて免震重要棟・高台等への避難を指示。
- ④ 緊急放送が聞こえないエリアでの作業員に対して上記③により連絡がつかない場合は、警備誘導班がスピーカー車により免震重要棟・高台等への避難を指示。

※ 建屋内等電波状況が悪く緊急放送等も入らないエリアにおいては、緊急放送が入るエリアに連絡要員を配置する、トランシーバ等による通信が可能な位置に連絡要員を配置する等通報連絡が可能となるような措置を実施する。

○ 通報、情報収集及び提供

緊急事態の発生及び応急措置の状況等の関係機関への通報連絡、事故状況の情報収集による応急復旧の実施のため、特定原子力施設内及び特定原子力施設と所外必要箇所との通信連絡設備として防災業務計画に定める以下を準備することで、多重性及び多様性を備える。

a. 特定原子力施設内の通信連絡設備

- ・ 緊急放送（1台）
- ・ ページング
- ・ 電力保安通信用電話設備（60台）
- ・ 携帯電話（40台）

※緊急放送・ページングについては、聞こえないエリア・使用できない場所があるが、場所を移動しての連絡や電力保安通信用電話設備・携帯電話の使用、その他トランシーバの使用等により対応する。

※電力保安通信用電話設備、携帯電話については防災業務計画に定める数量を示しているが、緊急時対応として必要により、防災業務計画に定める数量を超える通信連絡設備を使用する場合もある。

(実施計画：II-1-13-1~2)

(3) 所外必要箇所との通信連絡設備の多重性及び多様性について

○ 通報，情報収集及び提供

緊急事態の発生及び応急措置の状況等の関係機関への通報連絡，事故状況の情報収集による応急復旧の実施のため，特定原子力施設内及び特定原子力施設と所外必要箇所との通信連絡設備として防災業務計画に定める以下を準備することで，多重性及び多様性を備える。

b. 特定原子力施設と所外必要箇所との通信連絡設備

- ・ ファクシミリ装置（1台）
- ・ 電力保安通信用電話設備（60台；上記「特定原子力施設内の通信連絡設備」の再掲）
- ・ TV会議システム（1台），IP電話（5台），IPFAX（3台）
- ・ 携帯電話（40台；上記「特定原子力施設内の通信連絡設備」の再掲）
- ・ 衛星携帯電話（1台）

※電力保安通信用電話設備，携帯電話については防災業務計画に定める数量を示しているが，緊急時対応として必要により，防災業務計画に定める数量を超える通信連絡設備を使用する場合もある。

※防災業務計画ではこの他に緊急時用電話回線があるが使用できないため，電気通信事業者の有線電話，携帯電話，衛星携帯電話等の通信手段により通信連絡を行う。

※上記防災業務計画で定めるもの以外として，TV会議システム（社内用）についても通信連絡用に使用する。

○ 外部電源喪失時の通信手段・作業環境確保

外部電源喪失時に緊急時対策を実施するために，防災業務計画に明示されていないが，以下の対応を実施する。

必要箇所との連絡手段確保のため，ペーजングについては，小型発電機または電源車から，電力保安通信用電話設備については，小型発電機から給電可能とする。また，夜間における復旧作業に緊急性を要する範囲の照明については，小型発電機から給電可能とする。

（実施計画：II-1-13-2~3）

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設に関する緊急時対策に関する補足説明

1. 緊急時の避難指示等について

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の設置範囲において、「実施計画Ⅱ章 1.13 緊急時対策」の規定に従い、所内の作業員等に対して必要な対応等を指示するために設置されているスピーカーのエリア図を図 2.13.1-1 に示す。なお、同施設の中で、放水設備に関しては、運用開始後は内部が海水で充水されることから、作業員の立ち入る計画はない。

また、緊急放送が聴こえないエリアで作業を実施している場合は、作業主管 G より携帯電話にて免震重要棟・高台等への避難を指示する他、緊急放送が聴こえないエリアでの作業員に対しては、警備誘導班がスピーカー車により免震重要棟・高台等への避難を指示する計画となっている。

なお、今回設備を設置する多核種移送設備建屋や 5,6 号機東側電気品建屋内には速やかに避難できるよう建屋に安全通路等を設置する

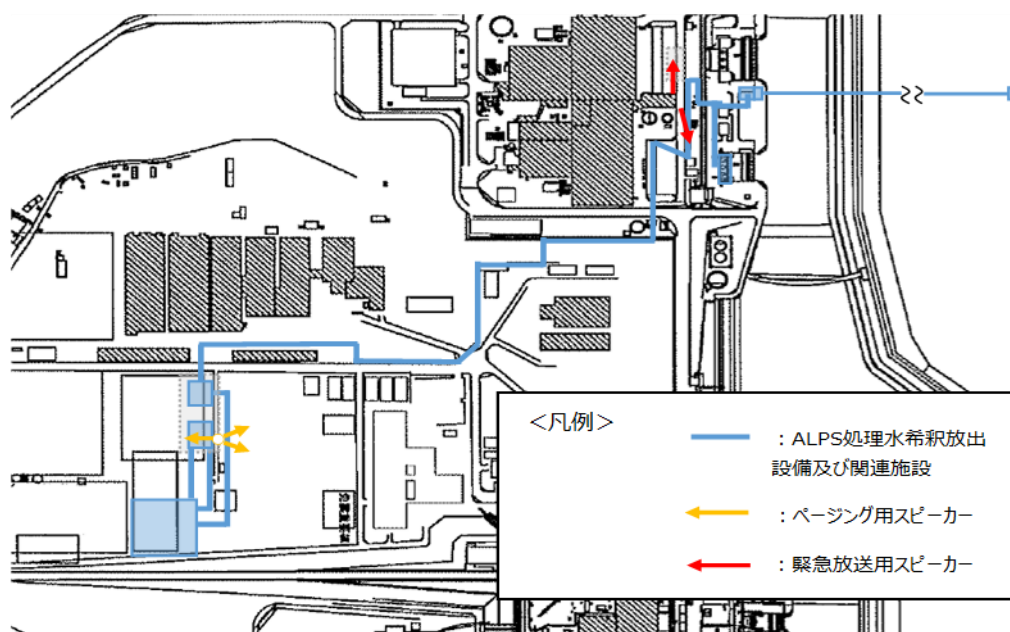


図 2.13.1-1 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の設置範囲におけるスピーカーのエリア図

2. 所外必要箇所への通信連絡について

ALPS 処理水希釈放出設備において、設計上の想定を超える自然現象等により事故故障等が発生した場合は、設備の状況を連絡するために、既認可の規定に沿って、ファクシミリ装置や電力保安通信用電話設備等を使用して、発電所外の関係箇所に連絡を実施する。

以上

2.14 設計上の考慮

2.14.1 準拠規格及び基準への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

① 準拠規格及び基準

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，設計，材料の選定，製作及び検査について，それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によるものであること。

2.14.1.1 措置を講ずべき事項への適合性

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設は，それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準を考慮して，設計，材料の選定，製作及び検査を実施する。

2.14.1.2 対応方針

施設の設計については、安全上の重要度を考慮して以下について適切に考慮したものと
する。

(1) 準拠規格及び基準

安全機能を有する構築物、系統及び機器は、設計、材料の選定、製作及び検査につい
て、それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によ
るものとする。

(実施計画：II-1-14-1)

ALPS 処理水希釈放出設備を構成する構築物、系統及び機器の設計、材料の選定、製作
及び検査については、発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSME)、(公社) 土木学会
等の技術基準 (規準)、日本産業規格 (JIS) 等を適用することにより信頼性を確保する。

(実施計画：II-2-50-3)

放水設備を構成する各設備の設計、材料の選定、製作について、(公社) 土木学会等の
技術基準 (規準) や日本産業規格 (JIS) 等の国内外の民間規格を適用することにより信頼
性を確保する。

(実施計画：II-2-50-7)

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設を構成する構築物、系統及び機器は、「実用発電
用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」において、廃棄物処理設備等に相当す
るものと位置づけられることから、その設計、材料の選定、製作及び検査において、それら
が果たすべき安全機能の重要度を考慮して、ALPS 処理水を内包する容器及び鋼管につい
ては、発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSME S NC1) のクラス 3 機器の規定を適用す
ることとし、これら以外の機器等については、必要に応じて日本産業規格 (JIS)、(公社) 土
木学会等の技術基準 (規準) 等の国内外の民間規格も適用する。また、JSME 規格で規定さ
れる材料の日本産業規格 (JIS) 年度指定は、技術的妥当性の範囲において材料調達性の観
点から考慮しない場合もある。

具体的な規格及び基準は以下のとおり。

- ・ JIS G 3454 圧力配管用炭素鋼鋼管
- ・ JIS G 3457 配管用アーク溶接炭素鋼鋼管
- ・ JIS G 3459 配管用ステンレス鋼鋼管
- ・ JIS G 3468 配管用溶接大径ステンレス鋼鋼管
- ・ JWWA K 144 水道配水用ポリエチレン管
- ・ コンクリート標準示方書 (設計編；2017 年制定) (公社) 土木学会
- ・ コンクリート標準示方書 (設計編；2012 年制定) (公社) 土木学会

- ・コンクリート標準示方書（構造性能照査編；2002年制定）（公社）土木学会
 - ・道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編 平成24年（公社）日本道路協会
 - ・道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編 平成24年（公社）日本道路協会
 - ・道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編 平成24年（公社）日本道路協会
 - ・共同溝設計指針 1986年（公社）日本道路協会
 - ・水理公式集 2018年（公社）土木学会
 - ・プレキャスト式雨水地下貯留施設技術マニュアル（改訂版；2020年）（公財）日本下水道新技術機構
 - ・エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針（改訂版；2013年）（公社）土木学会
 - ・火力・原子力発電所土木構造物の設計（増補改訂版）（一社）電力土木技術協会
 - ・トンネル標準示方書〔共通編〕・同解説/〔シールド工法編〕・同解説（2016年制定）（公社）土木学会
 - ・トンネル標準示方書〔開削工法〕・同解説（2016年制定）（公社）土木学会
 - ・港湾の施設の技術上の基準・同解説 2018年（公社）日本港湾協会
 - ・内水圧が作用するトンネル覆工構造設計の手引き（1999年制定）（財団法人）先端建設技術センター
 - ・シールド工事用標準セグメント 土木学会・日本下水道協会共編（2001年制定）
 - ・土木研究所資料 大規模地下構造物の耐震設計法・ガイドライン（案）-平成4年3月」建設省土木研究所・地震防災部耐震研究所
 - ・下水道施設の耐震対策指針と解説-2014年版（公社）日本下水道協会
 - ・下水道施設耐震計算例 処理場・ポンプ場編-2015年版（公社）日本下水道協会
 - ・下水道施設耐震計算例-管路施設編-2015年版（公社）日本下水道協会
- （実施計画：Ⅱ-2-50-添2-7~8）*

(2) ALPS 処理水希釈放出設備の構造強度評価

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設を構成する構築物、系統及び機器は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」において、廃棄物処理設備等に相当するものと位置づけられることから、その設計、材料の選定、製作及び検査において、それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して、ALPS 処理水を内包する容器及び鋼管については、発電用原子力設備規格 設計・建設規格（JSME S NC1）のクラス 3 機器の規定を適用して評価を行う。なお、海水のみを内包する鋼管についても、クラス 3 機器に準じて評価を行う。

ポリエチレン管は ISO 規格または JWWA 規格に準拠したものを、適用範囲内で使用することで、構造強度を有すると評価する。また、耐圧ホース、伸縮継手については、製造者仕様範囲内の圧力及び温度で使用することで構造強度を有すると評価する。なお、ALPS 処理水希釈放出設備におけるポリエチレン管、耐圧ホース及び伸縮継手の環境条件（最高使用温度・最高使用圧力）は以下のとおりであり、当該条件を満足する管を選定する。

（実施計画：II-2-50-添3-1）

(3) 放水設備の構造

放水設備を岩盤に設置することで、地震の影響を受けにくい構造とする。また、放水トンネルについては、岩盤内部に設置することとし、海底部の掘進における施工時の安全性や供用期間中の耐久性を考慮し、シールド工法を採用する。さらに、放水トンネルを構成する鉄筋コンクリート製の覆工板にシール材を設けることで止水性を確保する。

（実施計画：II-2-50-8）

(4) 放水設備等の健全性に対する考慮

長期荷重および短期荷重に対して、許容応力度以内であることを確認し、構造を設定している。また、構造物の浮き上がりが生じないことを確認している。さらに、鉄筋コンクリート製の躯体に生じるひび割れ幅および塩害の照査を実施し、適切な鉄筋かぶりを設定し、供用期間中の耐久性が確保されることを確認している。

また、一般土木構造物と同様に、点検長期計画に基づき維持管理する。

(実施計画：II-2-50-8)

放水立坑（上流水槽）および放水設備については、表 2.14-1 の照査を行うことで、供用期間中の健全性が確保されることを確認している。なお、照査項目は、構造物の使用目的に適合するための要求性能を踏まえて設定している。

表 2.14-1 放水立坑（上流水槽）および放水設備の照査項目

照査項目		放水立坑 (上流水槽)	放水立坑 (下流水槽)	放水 トンネル	放水口	照査内容
長期	構造	○	○	○	○	許容応力度以内であること
	構造 (波浪)	-	-	○	○	許容応力度以内であること
	ひび割れ	○	○	○	○	ひび割れ幅が許容ひび割れ幅以下であること
	塩害	○	○	○	○	鋼材位置の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界に達しないこと
	浮上がり	○	○	-	○	浮上がりが生じないこと
短期		○	○	○	○	地震に対して許容応力度以内であること

(実施計画：II-2-50-添5-5)