

ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設の新設について

2022年1月27日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

ALPS処理水の海洋放出設備の申請内容等に係る主要な論点（※）

に対する回答

※ALPS処理水審査会合（第3回）資料1-2

（2－2 政府方針への取り組みに関する主な確認事項）

（3）海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

（2－1 原子炉等規制法に基づく審査の主要論点）

（1）海洋放出設備

⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護、誤操作防止、信頼性等

ALPS処理水の海洋放出設備の申請内容等に係る主要な論点（※）

に対する回答

※ALPS処理水審査会合（第3回）資料1-2

（2－2 政府方針への取り組みに関する主な確認事項）

（3）海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

- 放射線影響評価報告書に記載された評価方法がIAEAの定める安全基準・ガイド等を参照し行われ、その評価結果が地域や生活環境等による人の年間被ばく量の変動範囲等に比べ十分に小さいものであることについての考え方を説明すること。
- ソースタームの設定のうち、放出管理上の上限値によるソースタームの設定については、運用管理対象核種の選定フロー等含めて、設定の根拠及びその妥当性を示すこと。また、海洋放出設備の年間稼働率の変動等も考慮し、トリチウムの年間放出量の変化に対する評価を説明すること。
- 拡散モデルについて、福島第一原子力発電所近傍の海域の拡散を再現していることの根拠を含め本評価に適用できるとする妥当性を説明するとともに、モデル化する範囲についても、モデル境界部での放射性物質の濃度を示すなどにより妥当性を説明すること。
- 移行モデルについてはその網羅性や評価から除外した移行モデルに対する考え方等、選定の考え方を説明すること。
- 被ばく経路についてはその網羅性や評価から除外した被ばく経路に対する考え方等、選定の考え方を説明すること。
- IAEA ガイド等の文献にない値を入力しているものについては、評価における不確かさについても考慮の上でその根拠及び妥当性を整理して説明すること。
- 潜在被ばくによる影響評価にあたっては、GSG-10 の図3のフローを用いずに評価している点に関して、潜在被ばく評価に用いたシナリオの設定根拠等を含めてその考え方を説明すること。

1.放射線影響評価の概要

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

1.1 放射線影響評価の背景

- 政府の「基本方針」を踏まえ、当社は昨年4月16日に「多核種処理設備等処理水の処分に係る政府の基本方針を踏まえた当社の対応について」を公表し、以下の考え方を示した。
 - ALPS処理水の海洋放出にあたっては、法令に基づく規制基準等の遵守はもとより、関連する国際法や国際慣行に基づくとともに、更なる取り組みにより放出する水が安全な水であることを確実にして、公衆や周辺環境、農林水産品の安全を確保する。
 - ✓ 公衆や周辺環境の安全を確保するため、放出水中のトリチウムおよびトリチウム以外の放射性物質の濃度は、国際標準（IAEA安全基準文書やICRP勧告等）に沿った国の規制基準や各種法令等を確実に遵守する。
 - ✓ この条件のもとで放出を行った場合の人および環境への放射線の影響について、原子力規制委員会による必要な認可手続を開始するまでに、安全性を評価する。その結果を公表し、IAEAの専門家等のレビューを受ける。
- 本放射線影響評価は、上記考え方にに基づき実施したものである。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

1.2 評価方法について (IAEA安全基準・ガイド等の参照)

- 本評価は、IAEAの安全基準文書 GSG-9「Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment」(以下、GSG-9)に基づき、事業者としてALPS処理水の海洋放出に関わる放射線影響について予測評価したものです。
- 具体的な評価手法は、IAEA GSG-10「Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities」(以下、GSG-10)の手順に従った。なお、GSG-9で対象外となっている潜在被ばく、我が国では規制対象となっていない環境防護に関する評価についても実施した。
- 参照したIAEA、ICRPの文書
 - 人の内部被ばく評価に関する実効線量係数は、ICRP Pub.72「Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides; Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients」
 - 海洋生物の濃縮係数及び海底土の分配係数はIAEA TRS-422「Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment」
 - 海洋生物の濃度比はICRP Pub.114「Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants」
 - 海生生物の線量換算係数は、ICRP Pub.136「Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation」及びBiotaDCプログラム
 - 評価の基準として、人の被ばくではICRPが提唱する一般公衆の年間線量限度1mSv/年、環境防護では、ICRP Pub.124「Protection of the Environment under Different Exposure Situations」に示されている誘導考慮参考レベル(DCRL)を使用

1.3 放射線環境影響評価書の構成

本文に人の被ばく評価を記載し、環境防護に関する評価や潜在被ばくについては参考にまとめた。

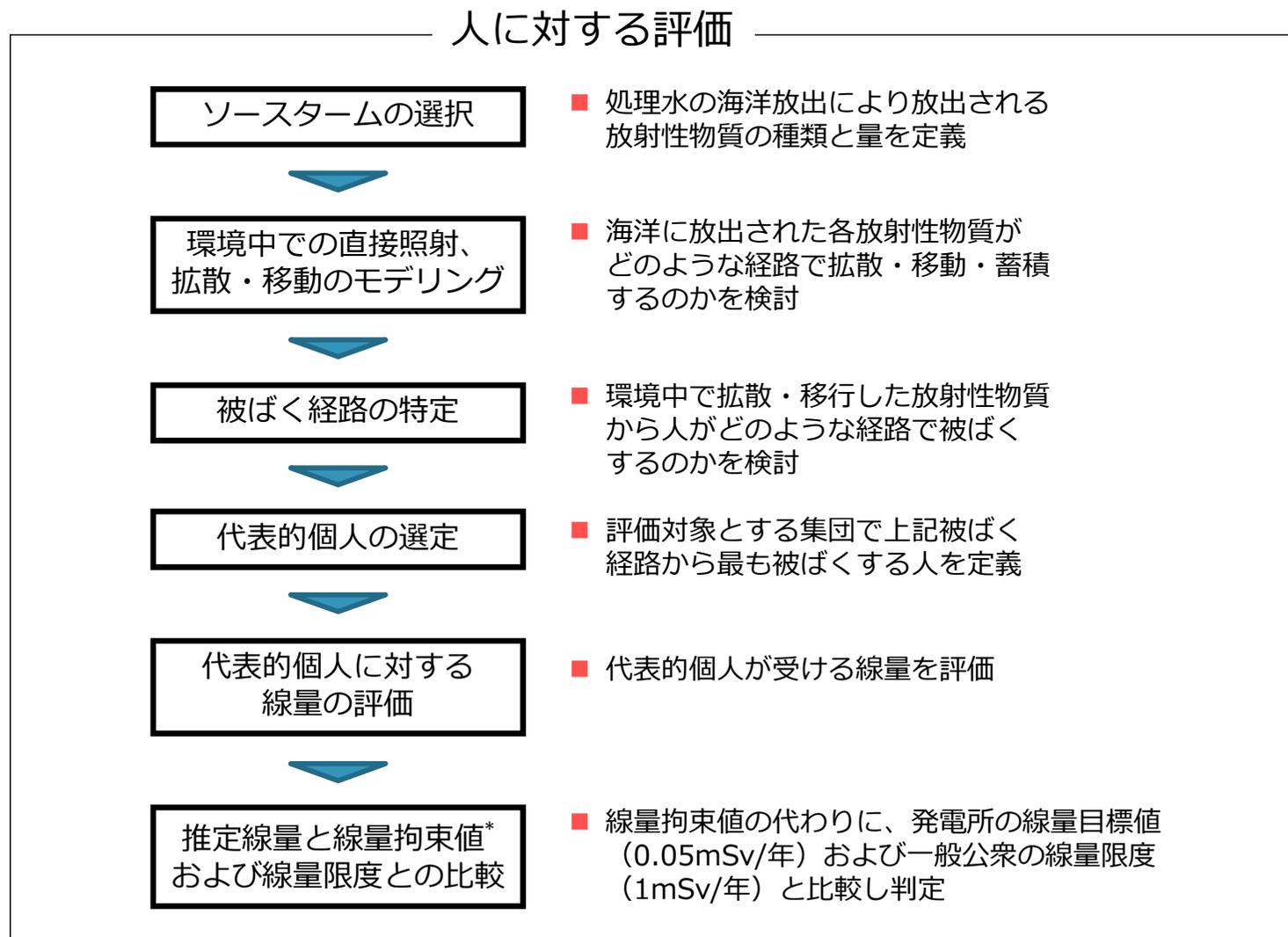
- 本文 人の被ばく評価
 - 評価実施の目的
 - 評価の考え方
 - ALPS処理水の水質と放出方法
 - 評価方法
 - 被ばく評価
 - まとめ
- 参考A 潜在被ばくの評価
- 参考B 環境防護に関する評価
- 参考C ALPS除去対象核種選定の考え方
- 参考D ALPS処理水等の水質について
- 参考E 運用管理値の設定について
- 参考F 放水位置による拡散範囲の違いについて
- 参考G 実測値によるソースタームにおける不検出核種の寄与について
- 参考H 被ばく評価結果の核種毎の内訳
- 参考I 本評価の不確実性について
- 用語集

2.人の被ばく評価について

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

2.1 評価の考え方

- IAEA GSG-10 で示されている下記の手順に従って通常運転時の評価を実施した。



* 線量拘束値：線量限度に到達する前に、ある放射線作業または施設に責任を持つ者が、防護の安全の最適化のために定める数値。日本では、法令上線量拘束値は導入されていないため、原子力発電所の線量目標値との比較を行った。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

TEPCO

2.2 評価の前提となる放出方法について

- 評価の前提となる放出方法は、政府基本方針を踏まえ、当社が公表した「基本方針を踏まえた当社の対応について」に基づき、以下の前提条件とした。
 - 放出するALPS処理水は、トリチウム以外の62核種および炭素14の告示濃度比総和が1未満となるまで浄化したもの。放出前にこれら64核種すべてを測定・評価（第三者機関による測定・評価を含む）し、上述のとおり浄化されていることを確認する
 - トリチウムの年間放出量は事故前の福島第一原子力発電所の放出管理目標値である22兆Bq未満とする
 - 希釈後のALPS処理水は、放出水が希釈用の海水として再取水されにくくするため、発電所沖合約1kmの海底より放出する
- なお、放出にあたっては、海水により100倍以上に希釈し、排出口でのトリチウム濃度を1,500Bq/l未満とする。これにより、トリチウム以外の62核種および炭素14の告示濃度比総和も100分の1未満に希釈される。
- 評価ではALPS処理水は年間を通じて均等に放出する仮定で実施しているのに対し、実際の運用では設備の停止等により、年間の中で放出量が変動する。また、ALPS処理水のトリチウム放出量は、年ごとに変動する。しかしながら、トリチウムによる被ばくへの影響はほとんど無いこと、トリチウム以外の核種の放出量を保守的に設定して評価していること、及び魚介類への濃縮や海底土への付着などは長期的な放出の継続により海水の濃度と平衡状態になったとして評価していることから、評価の保守性には影響しない。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価



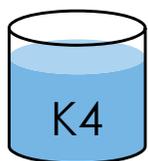
2.3 ソースタームの設定について（1）

- 評価対象核種は、ALPSによる除去対象核種である62核種と、C-14、H-3の64核種とした。放出するALPS処理水の核種組成は明確に決められないことから、①実測値によるソースタームと②被ばくが最大となるよう仮想したALPS処理水によるソースタームの2種類を評価した。

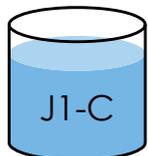
①64核種の実測値によるソースターム

実際のALPS処理水のうち、64核種の実測値がすべて揃っているタンク群3群それぞれの水が、海水で希釈後、放出期間中継続して放出されると仮定して評価

また、これまでに検出されたことがない放射性物質についても、検出下限値で含まれているものと仮定して評価



- ①-1 K4タンク群
トリチウム濃度：約19万Bq/l
トリチウム以外の放射性物質の告示濃度比総和：0.29



- ①-2 J1-Cタンク群
トリチウム濃度：約82万Bq/l
トリチウム以外の放射性物質の告示濃度比総和：0.35



- ①-3 J1-Gタンク群
トリチウム濃度：約27万Bq/l
トリチウム以外の放射性物質の告示濃度比総和：0.22

いずれのケースでも、年間のトリチウムの放出量は22兆Bqの範囲で放出を行うことを前提としています

2.4 ソースタームの設定について (2)

② 仮想したALPS処理水によるソースターム

非常に保守的な評価として、実際にそのような処理水が存在するわけではないが、被ばくの影響が相対的に大きい核種だけが含まれると仮想したALPS処理水が、海水で希釈後、放出期間中継続して放出されるものとして評価

- 予備的な評価を行って人の被ばく評価上重要*な放射性物質8核種を選択し、被ばく評価値の低減を図るべく**運用管理値**を設定 (次頁参照)
- 線量評価値を保守的に最大化するため、この8核種が上限値 (運用管理値) で含まれ (8核種の告示濃度比総和0.32)、その次に重要な放射性物質 (亜鉛65) が告示濃度比総和が1となるまで (亜鉛65の告示濃度比: 0.68) 含まれる核種組成を仮想
- トリチウム放出量は年間22兆Bqを下回る水準にすることとしており、その他の放射性物質の放出量はトリチウム濃度が低いほど多くなるため、評価値を保守的に大きくするために、評価に使用する処理水のトリチウム濃度を、これまでに確認されたトリチウムの最低濃度 (約15万Bq/l) を下回る10万Bq/lと設定



② 仮想したALPS処理水

トリチウム濃度: 10万Bq/l

トリチウム以外の放射性物質の告示濃度比総和: 1.00

* 魚介類により濃縮されやすく、同じ告示濃度比で放出した場合に相対的に被ばく評価値が大きくなる傾向のある放射性物質 (次頁参照)

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

2.5 評価上重要な核種の選定と運用管理値について

- ALPS処理水の放出は、告示濃度比の総和を基に管理される。しかし、同じ告示濃度比であっても、核種ごとに濃縮係数など環境中のふるまいは異なる。そこで、同じ告示濃度比で放出した場合に被ばく影響が相対的に大きい（=0.001mSv/年を超える）核種を選定し、これらに対して運用管理値（運用管理上の上限値）を設けることで、被ばくの低減を図ることとした。
- この結果から、告示濃度比あたりの被ばく影響が相対的に大きい上位8核種が運用管理値の限度で含まれ、かつ8核種の告示濃度比総和で1に足りない部分をその次に影響の大きい亜鉛65が占める仮想のALPS処理水を設定することで、最も保守的なソースタームによる放射線影響評価を実施した。

表 核種毎に告示濃度限度で放出した場合の内部被ばく評価結果（成人）
（0.001mSv/年を超える8核種を運用管理対象として選定）

No.	対象核種	告示濃度限度 [Bq/ℓ]	海産物摂取による内部被ばく線量 (mSv/年)	備考
1	スズ126	2.0E+02	2.6E-02	運用管理対象
2	スズ123	4.0E+02	2.3E-02	運用管理対象
3	スズ119m	2.0E+03	1.9E-02	運用管理対象
4	鉄59	4.0E+02	5.6E-03	運用管理対象
5	カドミウム115m	3.0E+02	1.4E-03	運用管理対象
6	炭素14	2.0E+03	1.3E-03	運用管理対象
7	カドミウム113m	4.0E+01	1.3E-03	運用管理対象
8	銀110m	3.0E+02	1.0E-03	運用管理対象
9	亜鉛65	2.0E+02	8.4E-04	
10	マンガン54	1.0E+03	5.2E-04	
11	コバルト58	1.0E+03	2.5E-04	
12	コバルト60	2.0E+02	2.3E-04	
13	テクネチウム99	1.0E+03	2.1E-04	

※【運用管理値の設定】

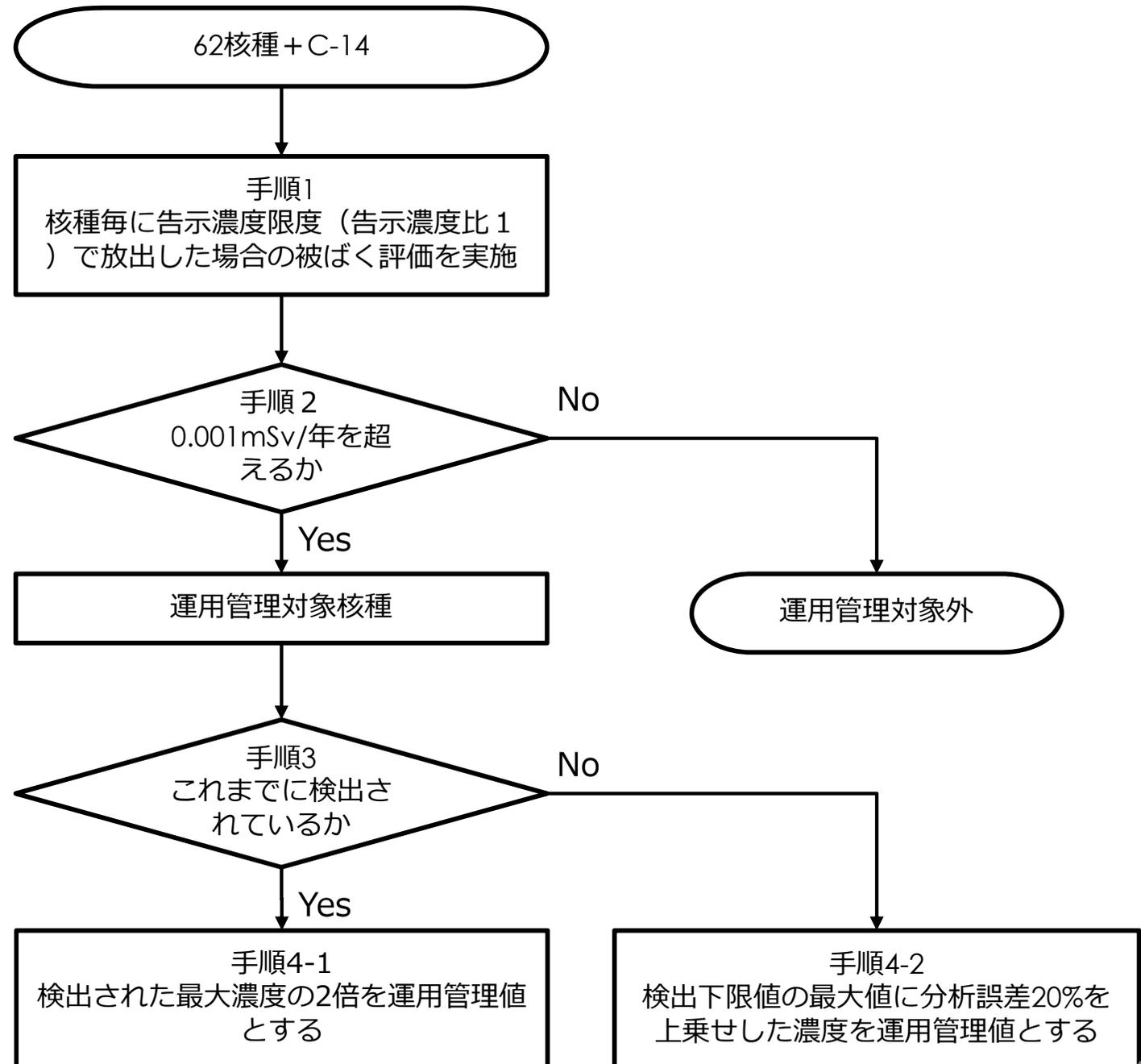
- これまでに検出されたことがある核種：検出値の最大値の2倍
- これまでに検出されたことがない核種：検出下限値の最大値の1.2倍
- これら8核種による告示濃度比総和は、0.32となる

⇒運用管理値を超えたALPS処理水については、63核種の告示濃度比総和が1未満であっても二次処理を行い、運用管理値未満とする

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

2.6 運用管理値の選定フロー

- 手順 1
告示濃度比あたりの被ばくの大きさを計算
- 手順 2
被ばくが大きい核種を運用管理対象核種として選定
- 手順 3,4
これまでの測定実績を踏まえて運用管理値を設定



2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

2.7 評価上重要な核種の選定と運用管理値について

- 運用管理対象核種として、外部被ばく及び環境防護に関する評価の観点からも、追加すべき核種が無い核種毎に告示濃度限度で放出した場合の確認を行った。
- 外部被ばくでは、Te-127、Eu-155、Gd-153が0.001mSv/年を超えているが、いずれも線量換算係数として保守的にCo-60の係数を使用した核種であること、及び被ばく評価値も0.001mSv/年をわずかに超える程度であることから、運用管理対象核種に追加する必要は無いものと判断した。
- 動植物については、最も被ばく影響の大きいFe-59でも基準値（誘導考慮参考レベル）を下回り、かつ運用管理対象核種であること、及びその他の核種はFe-59よりも一桁以上低い線量率であることから、運用管理対象核種に追加する必要のある核種は無いものと判断した。

表1 核種毎に告示濃度限度で放出した場合の外部被ばく評価結果（漁網）

	対象核種	告示濃度限度 [Bq/L]	漁網からの被ばく [mSv/年]	備考
1	Te-127	5.0E+03	2.1E-03	線量換算係数にCo60の値を参照
2	Eu-155	3.0E+03	1.3E-03	線量換算係数にCo60の値を参照
3	Gd-153	3.0E+03	1.3E-03	線量換算係数にCo60の値を参照
4	Sn-119m	2.0E+03	8.5E-04	運用管理対象核種

- いずれも保守的にCo-60の線量換算係数を適用した核種であり、実際の被ばくは小さいこと
- 0.001mSv/年をわずかに超える程度であること

⇒運用管理値への追加は不要と判断

表2 核種毎に告示濃度限度で放出した場合の環境防護に関する評価結果

	核種	告示濃度限度 [Bq/L]	被ばく評価結果 (mGy/日)			備考
			扁平魚	カニ	褐藻	
1	Fe-59	4.0E+02	5.4E-01	5.4E-01	5.8E-01	運用管理対象核種
2	Sn-126	2.0E+02	9.7E-03	9.3E-03	9.0E-03	運用管理対象核種
3	Pm-148m	5.0E+02	7.5E-03	7.2E-03	8.1E-03	

誘導考慮参考レベル(DCRL)
 扁平魚：1-10 mGy/日 カニ：10-100mGy/日 褐藻：1-10mGy/日

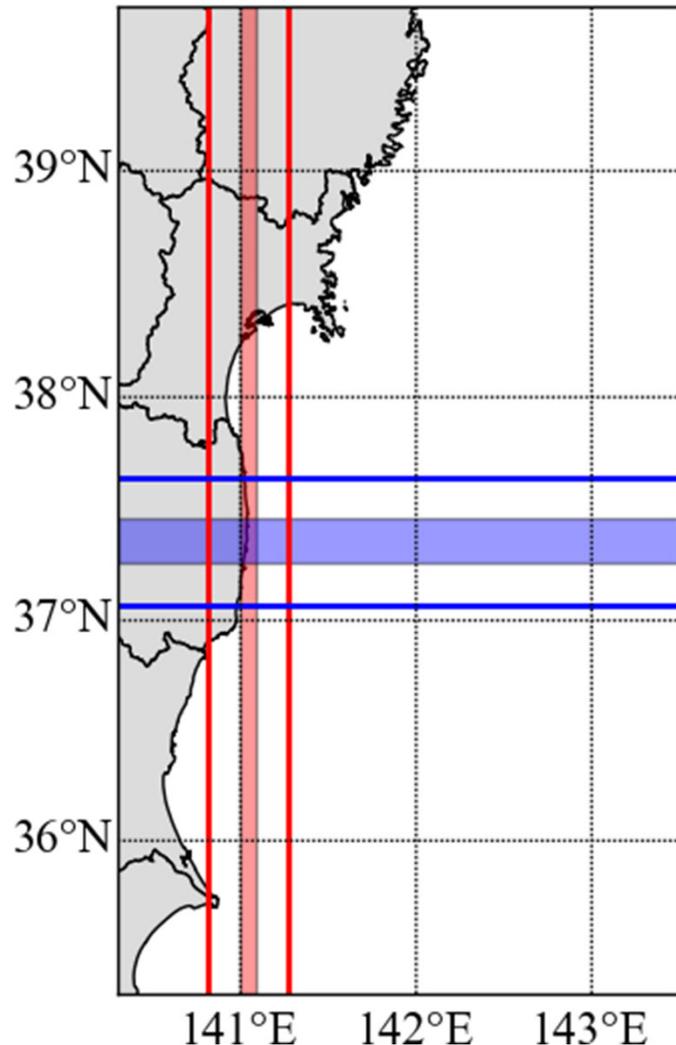
- 最も被ばく影響の大きいFe-59、Sn-126は運用管理対象核種である
- その他の核種は基準値（誘導考慮参考レベル）の1/100を下回る

⇒運用管理値への追加は不要と判断

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

2.8 放出後の拡散、移行のモデリング（海域における拡散計算）

- 福島第一原子力発電所事故後の海水中セシウム濃度の再現計算で再現性が確認されたモデルを使用
- 発電所近傍海域を詳細にシミュレーションできるように高解像度化して計算



- 領域海洋モデル（Regional Ocean Modeling System: ROMS）を福島沖に適用
- 海域の流動データ
 - 海表面の駆動力に気象庁短期気象予測データ（全球数値予報モデルGPV）を内挿したデータ^[1]を使用
 - 外洋の境界条件およびデータ同化*の元データとして、海洋の再解析データ（JCOPE2^[2]）を使用
- モデル範囲：北緯35.30～39.71度、東経140.30～143.50度（490km×270km）、赤と青のハッチングが交差した海域（発電所周辺南北約22.5km×東西約8.4km）が200mメッシュとなるよう、赤線と青線の間を段階的に高解像度化
 - 解像度（全体）：南北約925m x 東西約735m（約1km）、鉛直方向30層
 - 解像度（近傍）：南北約185m x 東西約147m（約200m）、鉛直方向30層（左図の赤と青のハッチが交差した海域）
- 気象・海象データ
 - 2014年および2019年の2年分実施

*データ同化：数値シミュレーションに実測データを取り入れる手法のこと。ナッジングともいう。

[1] 橋本 篤, 平口 博丸, 豊田 康嗣, 中屋 耕, “温暖化に伴う日本の気候変化予測（その1）-気象予測・解析システムNuWFAの長期気候予測への適用-,” 電力中央研究所報告, 2010.

[2] Y.Miyazawa, R.Zhang, X.Guo, H.Tamura, D.Ambe, J.-S.Lee, A.Okuno, H.Yoshinari, T.Setou, and K.Komatsu, “Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis,” 2009.

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価



2.9 放出後の拡散、移行のモデリング（モデルの妥当性）

- 海域における拡散計算に使用したモデルは、過去の実気象、海象のデータにより福島第一原子力発電所事故によって漏えいした海水中セシウム濃度の再現計算を実施し、実測データとの比較によって再現性が高いことを確認した※モデル。
 - ✓ 図1では、モニタリング結果とシミュレーション結果の濃度変化が概ね一致している。
 - ✓ 図2では、年間平均濃度のシミュレーション結果は、実測値と概ね一致している。
 - ✓ いずれの図でも、 10Bq/m^3 (0.01Bq/L) を下回る濃度ではシミュレーション結果を実測値が上回る傾向が見られるが、これはシミュレーションに含まれていない外部からの流入の影響と推定している。

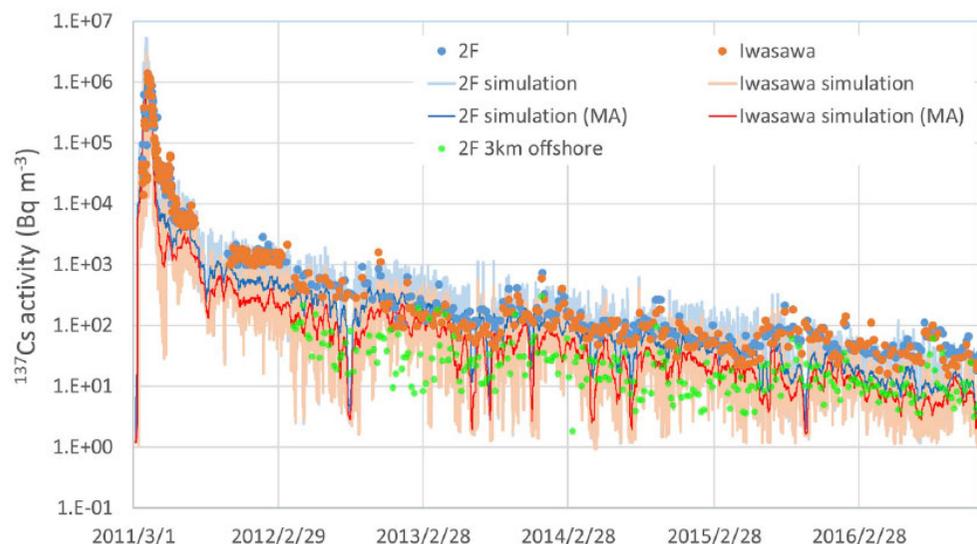


図1 福島第二、岩沢付近のCs-137濃度の計算結果をモニタリング結果と比較したグラフ。(MA)は、14日間移動平均。

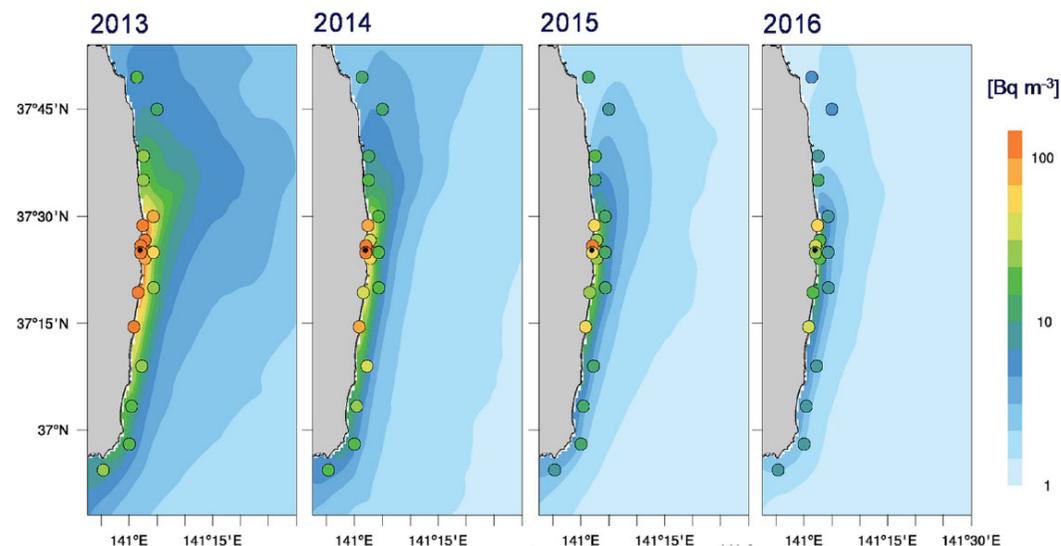


図2 福島第一の周辺海域で計算したCs-137の年間平均濃度をモニタリング結果と比較した図。○がモニタリング地点を表す。

※D.Tsumune, T.Tsubono, K.Misumi, Y.Tateda, Y.Toyoda, Y.Onda, and M.Aoyama, "Impacts of direct release and river discharge on oceanic ^{137}Cs derived from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident", 2020.

2.10 放出後の拡散、移行のモデリング（移行経路）

- 海洋に放出された放射性物質の移行については以下のような移行経路が考えられるが、国内の先行事例（発電所、再処理施設）を参考に選定を行った。
- 外部被ばくについては、線量への寄与の大きいガンマ線による被ばくを対象とした。

	移行経路	移行経路の選定	理由
①	施設からの直接放射線	選定しない	施設で取扱うALPS処理水は、トリチウム以外の放射性物質を排水可能なレベルまで取り除いてあることから、直接放射線による被ばくを考慮する必要は無い。
②	海流等による移流、拡散	選定する (人、環境防護)	海洋に放出された放射性物質の移流、拡散は、全ての移行経路の基となる経路であるため選定する。
③	海流等による移流、拡散→船体への移行（付着）	選定する (人)	類似の評価事例（発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について）を参考として選定した。
④	海流等による移流、拡散→漁網への移行（付着）	選定する (人)	類似の評価事例（発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について）を参考として選定した。
⑤	海流等による移流、拡散→海浜の砂への移行	選定する (人)	類似の評価事例（発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について）を参考として選定した。
⑥	海流等による移流、拡散→海洋生物への移行（取込、濃縮）	選定する (人、環境防護)	類似の評価事例（発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について）を参考として選定した。また、海生動植物への主要な移行経路であるため選定した。
⑦	海流等による移流、拡散→海底土への移行	選定する (環境防護)	海生動植物の生息環境への主要な移行経路であるため選定した。
⑧	海流等による移流、拡散→大気中への移行（蒸発、飛散）	選定しない	大気中に蒸発、飛散等で移行する、放射性物質の量はわずかであり、類似の評価事例でも考慮されていないため選定しなかった。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

2.11 被ばく経路と移行モデル（1）被ばく経路



- 選定した人に関する被ばく経路は以下の通り。
 - (1)海上作業における外部被ばく（海水からの被ばく）
 - (2)海上作業における外部被ばく（船体からの被ばく）
 - (3)遊泳、海中作業における外部被ばく
 - (4)海浜における外部被ばく（砂浜からの被ばく）
 - (5)漁網からの外部被ばく
 - (6)海産物摂取による内部被ばく

2.12 被ばく経路と移行モデル (2) 外部被ばくのパラメータ

外部被ばくの計算方法

- 船舶による移動や水中作業時の海水からの放射線による被ばく

$$\text{被ばく量} = \text{実効線量換算係数} \times \text{海水中の放射性物質濃度}$$

- 海水から船体や海浜の砂、漁網に移行した放射性物質からの放射線による被ばく

$$\text{被ばく量} = \text{実効線量換算係数} \times \text{移行係数} \times \text{海水中の放射性物質濃度}$$

- 廃止措置工事環境影響評価ハンドブック*¹ (以下、廃止措置ハンドブック) は、廃止措置工事の各工程で発生する可能性のある放射性気体廃棄物及び液体廃棄物に関して、周辺公衆への影響を評価するためのパラメータについてまとめたもの
- 外部被ばくの評価には、廃止措置ハンドブックに示された係数を使用
- 海水から船体等への移行係数は、主に六ヶ所再処理工場の許認可書類*² に定める係数を使用。砂浜移行係数のみ旧原子力安全委員会指針類*³に定める係数を使用
- 廃止措置ハンドブックに記載の無い核種の実効線量換算係数については、 $\beta\gamma$ 核種についてはCo-60、 α 核種についてはAm-243とそれぞれ最も保守的な実効線量換算係数を使用した。

*1 「発電用原子炉廃止措置工事環境影響評価技術調査 - 環境影響評価パラメータ調査研究 (平成18年度経済産業省委託調査) 添付資料廃止措置工事環境影響評価ハンドブック」, (財)電力中央研究所

*2 「六ヶ所事業所再処理事業指定申請書」, 日本原燃サービス株式会社

*3 「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」, 原子力安全委員会

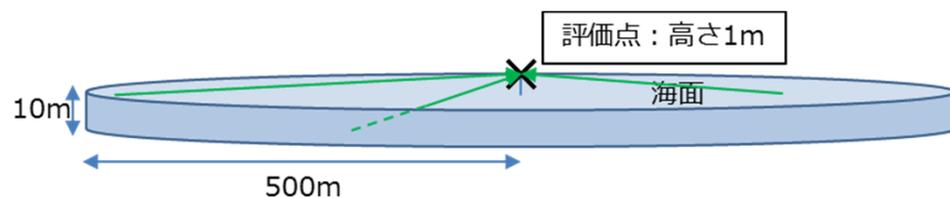
*4 EPA FEDERAL GUIDANCE REPORT NO. 15 「EXTERNAL EXPOSURE TO RADIONUCLIDES IN AIR, WATER AND SOIL」

*5 ICRP Pub.144 「Dose Coefficients for External Exposure to Environmental Sources」

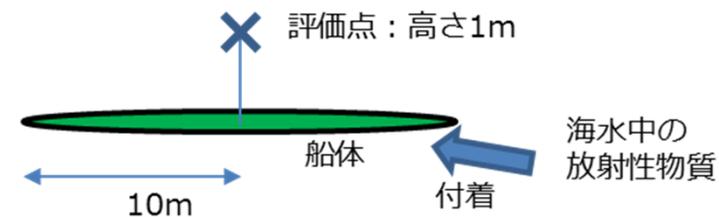
2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

2.13 被ばく経路と移行モデル (3) 外部被ばくの計算モデルについて

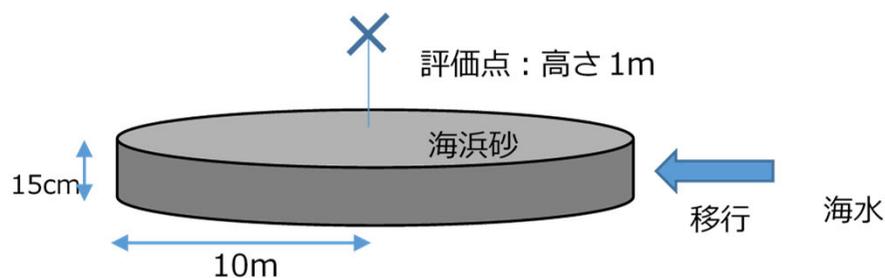
- 廃止措置ハンドブックにおける、外部被ばくの実効線量換算係数の計算モデルは以下の通り。計算は簡易遮へい計算コードQAD-CGGP 2を使用している。



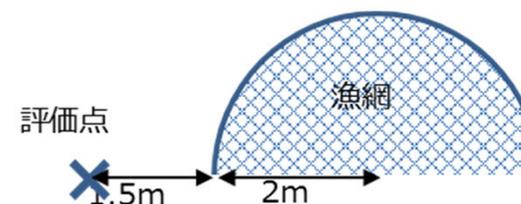
海面からの被ばく評価モデル



船体からの被ばく評価モデル



砂浜からの被ばく評価モデル



漁網からの被ばく評価モデル

- 遊泳中の外部被ばくのみサブマージョンモデルにより計算している。

2.14 被ばく経路と移行モデル (4) 内部被ばく経路

- 内部被ばくの経路は、放射性液体廃棄物を海洋放出している他の施設と同様、海産物摂取による被ばくを対象とした。

内部被ばくの計算式

被ばく量 = 実効線量係数 × 摂取率

摂取率 = 海水中の放射性物質濃度 × 濃縮係数 × 海産物年間摂取量

- 実効線量係数は、ICRP Pub. 72*¹より、成人（20歳以上）の他、幼児（5歳）、乳児（3ヶ月）のパラメータを評価に使用。
- 放射平衡となっている子孫核種は、親核種と同じ濃度で摂取したものとした。
- 濃縮係数は、IAEA TRS No.422*²に定める魚類、無脊椎動物、海藻の濃縮係数を使用。（Rbのみ、UCRL-50564*³より引用）
- 海産物の市場での希釈や、採取から摂取までの放射性物質の減衰は考慮しない。

*1 ICRP Pub.72, "Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides; Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Doses Coefficients"

*2 IAEA Technical Report Series No.422, "Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment"

*3 UCRL-50564rev.1 "CONCENTRATION FACTORS OF CHEMICAL ELEMENTS IN EDIBLE AQUATIC ORGANISM," LAWRENCE LIVERMORE LABORATORY, 1972.

2.15 代表的個人の選定

- 現在復興中の福島第一原子力発電所周辺地域での生活習慣の設定は難しいことから、国内原子力発電所の事例を参考に、被ばくを多く受ける個人として、以下のような人を想定。
 - 福島第一原子力発電所周辺に居住し、レジャー等で海岸を利用
 - 福島第一原子力発電所周辺海域で漁業に従事
 - 福島第一原子力発電所周辺海域で採れた海産物を食する
- 具体的な生活習慣は、「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」より以下の通り設定し、全ての被ばく経路からの被ばくを受ける個人を代表的個人とした。
 - 年間2880時間漁業に従事し、そのうち1920時間は漁網の近くで作業を行う。
 - 海岸に年間500時間滞在し、96時間遊泳を行う。
- 海産物の摂取量は、厚生労働省の令和元年国民健康・栄養調査における成人の食品別摂取量より、平均的な摂取量の場合と多く摂取する場合（平均+2σ）の2通りを設定した。なお、幼児、乳児の摂取量は、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」より成人のそれぞれ1/2、1/5とした。

表1 海産物を平均的に摂取する個人の摂取量(g/日)

	魚類	無脊椎動物	海藻類
成人	58	10	11
幼児	29	5.1	5.3
乳児	12	2.0	2.1

表2 海産物を多く摂取する個人の摂取量(g/日)

	魚類	無脊椎動物	海藻類
成人	190	62	52
幼児	97	31	26
乳児	39	12	10

2.16 線量評価の方法

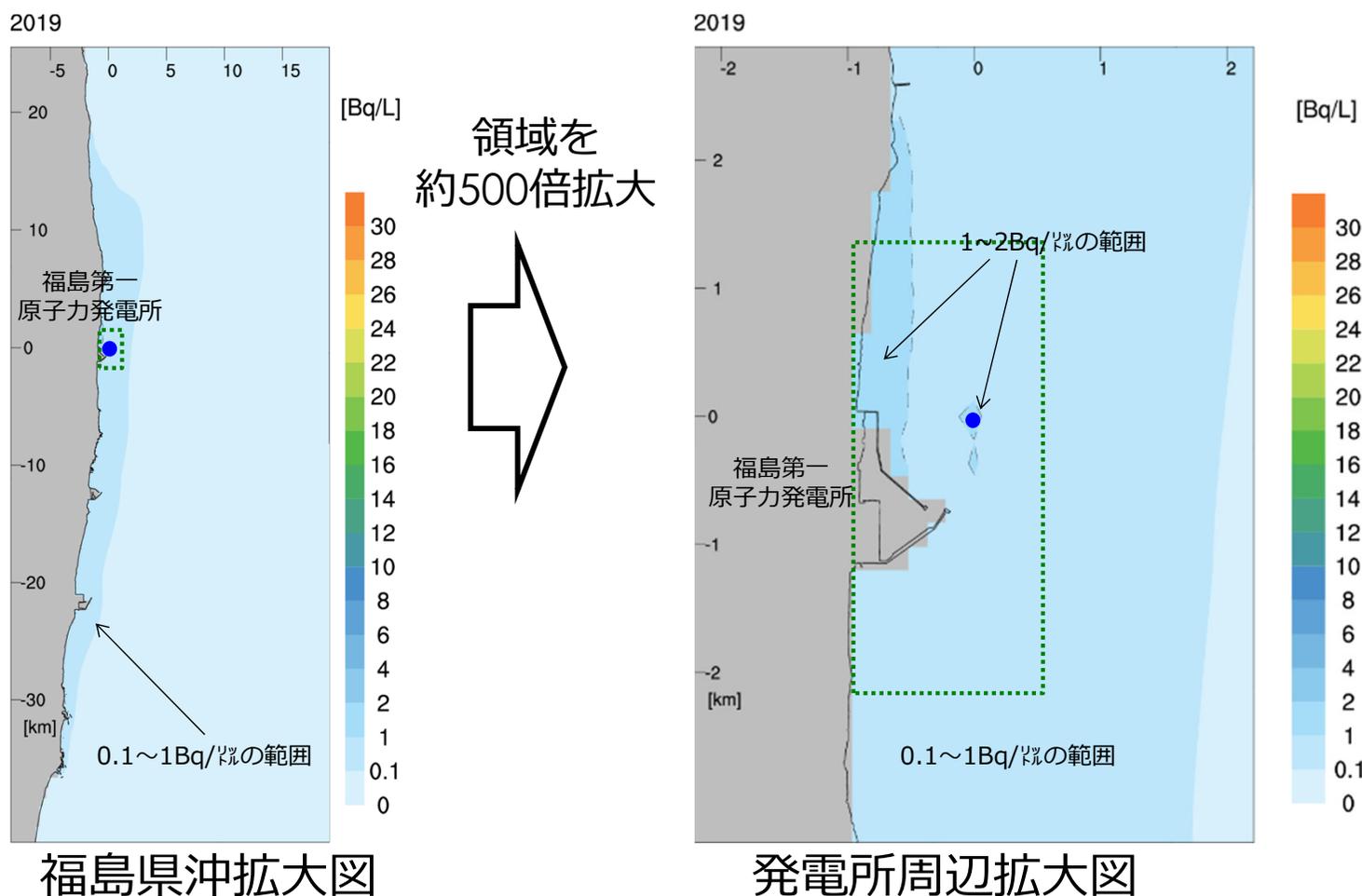
- 被ばく線量の計算は、4種類（実測値によるソースターム3種類、仮想したALPS処理水によるソースタームの計4種類）について実施した。
- 外部被ばくは、成人のみを対象として計算を実施した。
- 内部被ばくは、成人、乳児、幼児のそれぞれについて、海産物を平均的に摂取する場合と多く摂取する場合の計算を実施した。
- 代表的個人の線量評価値は、外部被ばくと内部被ばく（成人）の合計値とした。
- IAEA GSG-10では、一般公衆の線量限度および線量拘束値との比較を行うこととなっているが、我が国では線量拘束値が定められていないことから、発電用軽水炉の線量目標値0.05mSv/年との比較を行った。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

2.17 トリチウムの拡散計算の結果（海表面の年間平均濃度分布）

- 22兆Bqのトリチウムを年間を通じて均等に放出する条件で、2019年の気象・海象データを使って評価した結果、海表面の年間平均濃度が1 Bq/L^{*}を超える範囲は、発電所周辺の2~3kmの範囲に留まった。

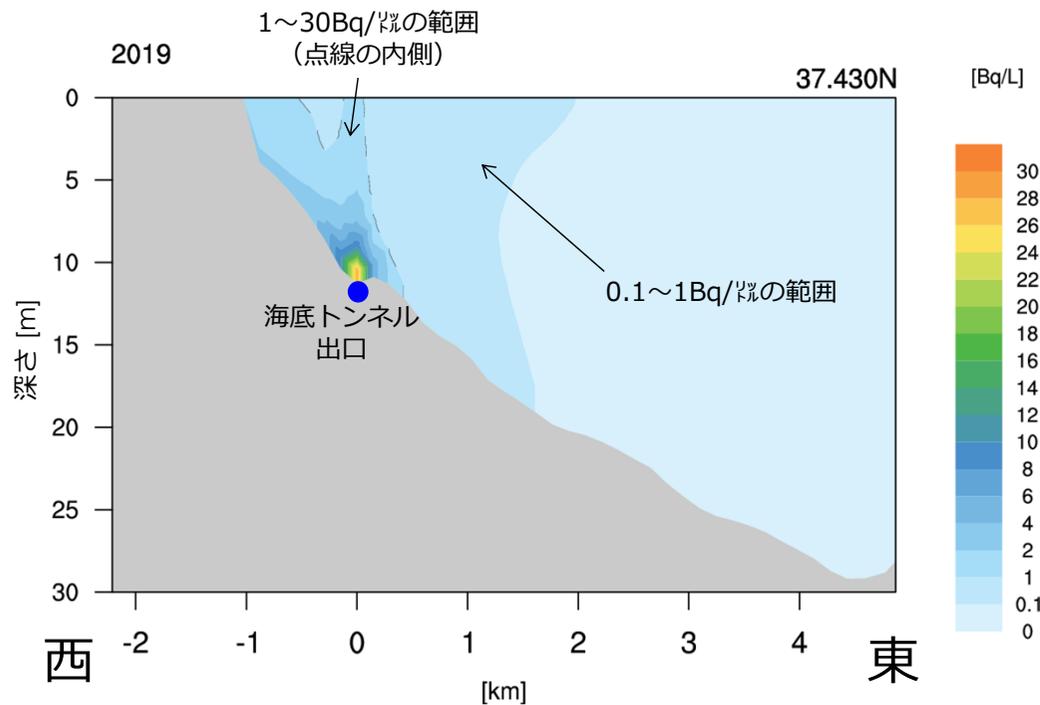
^{*}WHO飲料水ガイドライン10,000Bq/Lの1万分の1



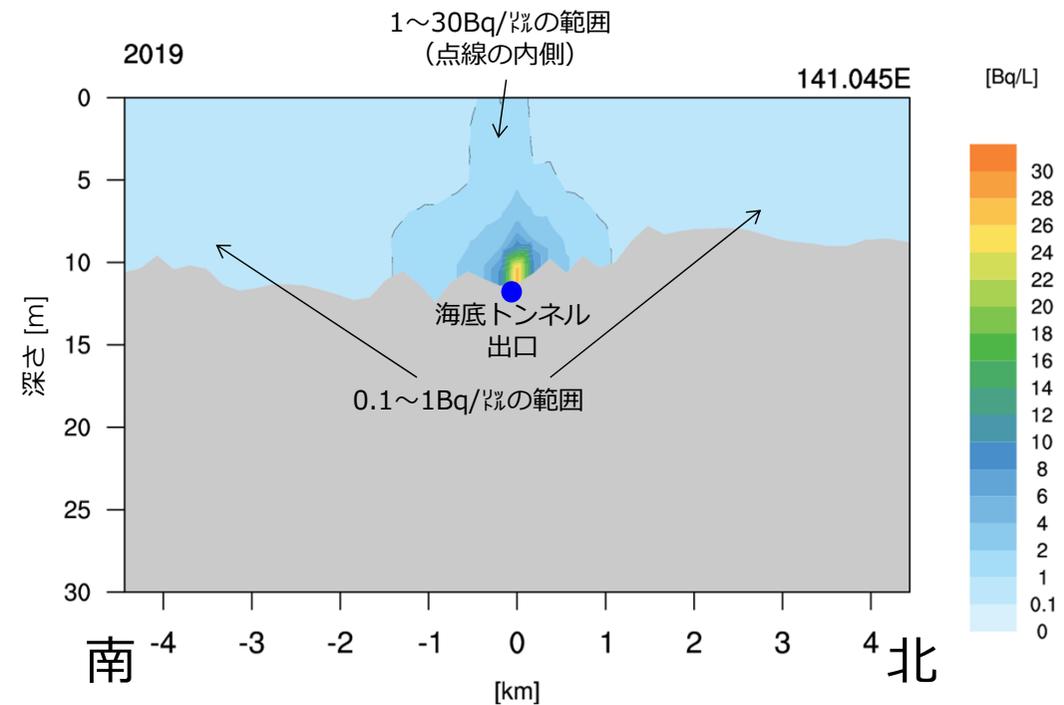
2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

2.18 トリチウムの拡散計算の結果（放水口周辺の鉛直方向濃度分布）

- 拡散する前のトンネル出口の直上付近では、 30Bq/L 程度を示す箇所も見られるが、その周辺で速やかに濃度が低下している。
- なお、ALPS処理水の放出にあたっては、トリチウム濃度が 1500Bq/L を下回るよう海水により100倍以上に希釈を行う。トンネル出口の直上付近においても、ICRPの勧告に沿って定められている国内の規制基準（ 6万Bq/L ）やWHO飲料水ガイドライン（ 1万Bq/L ）を大幅に下回る。



トンネル出口東西断面図
（最大目盛 30Bq/L にて作図）



トンネル出口南北断面図
（最大目盛 30Bq/L にて作図）

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

2.20 人に関する被ばく評価の結果（代表的個人の評価結果）

- 代表的個人の被ばく評価結果は下表のとおり。最も保守的に仮想したALPS処理水によるソースタームを使用し、海産物を多く摂取する場合の評価結果についても、線量限度 1 mSv/年はもとより、線量目標値0.05mSv/年も大きく下回った。

表 人に関する被ばく評価結果（代表的個人）

評価 ケース	ソース ターム	(1) 実測値によるソースターム						(2) 仮想した ALPS処理水による ソースターム	
		i. K4タンク群		ii. J1-Cタンク群		iii. J1-Gタンク群		平均的	多い
	海産物 摂取量	平均的	多い	平均的	多い	平均的	多い		
外部 被ばく (mSv/ 年)	海水面	6.5E-09		1.7E-08		4.7E-08		1.8E-07	
	船体	5.2E-09		1.3E-08		3.4E-08		1.4E-07	
	遊泳	2.8E-10		7.6E-10		2.0E-09		7.9E-09	
	海浜砂	5.0E-07		1.3E-06		3.6E-06		1.4E-05	
	漁網	1.6E-06		4.3E-06		1.2E-05		4.5E-05	
内部被ばく (mSv/年)	1.5E-05	6.1E-05	2.8E-05	1.1E-04	7.9E-05	3.0E-04	4.8E-04	2.0E-03	
合計 (mSv/年)	1.7E-05	6.3E-05	3.4E-05	1.1E-04	9.4E-05	3.1E-04	5.4E-04	2.1E-03	

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

2.21 人に関する被ばく評価の結果（年齢別の内部被ばく評価値）

- 年齢別の内部被ばく評価結果は下表のとおり。実効線量係数が大きい幼児、乳児の内部被ばくは成人を上回るものの、最も保守的に仮想したALPS処理水によるソースタームを使用し、海産物を多く摂取する場合の評価結果についても、線量限度 1 mSv/年はもとより、線量目標値0.05mSv/年も大きく下回る。

表 年齢別の内部被ばく評価結果

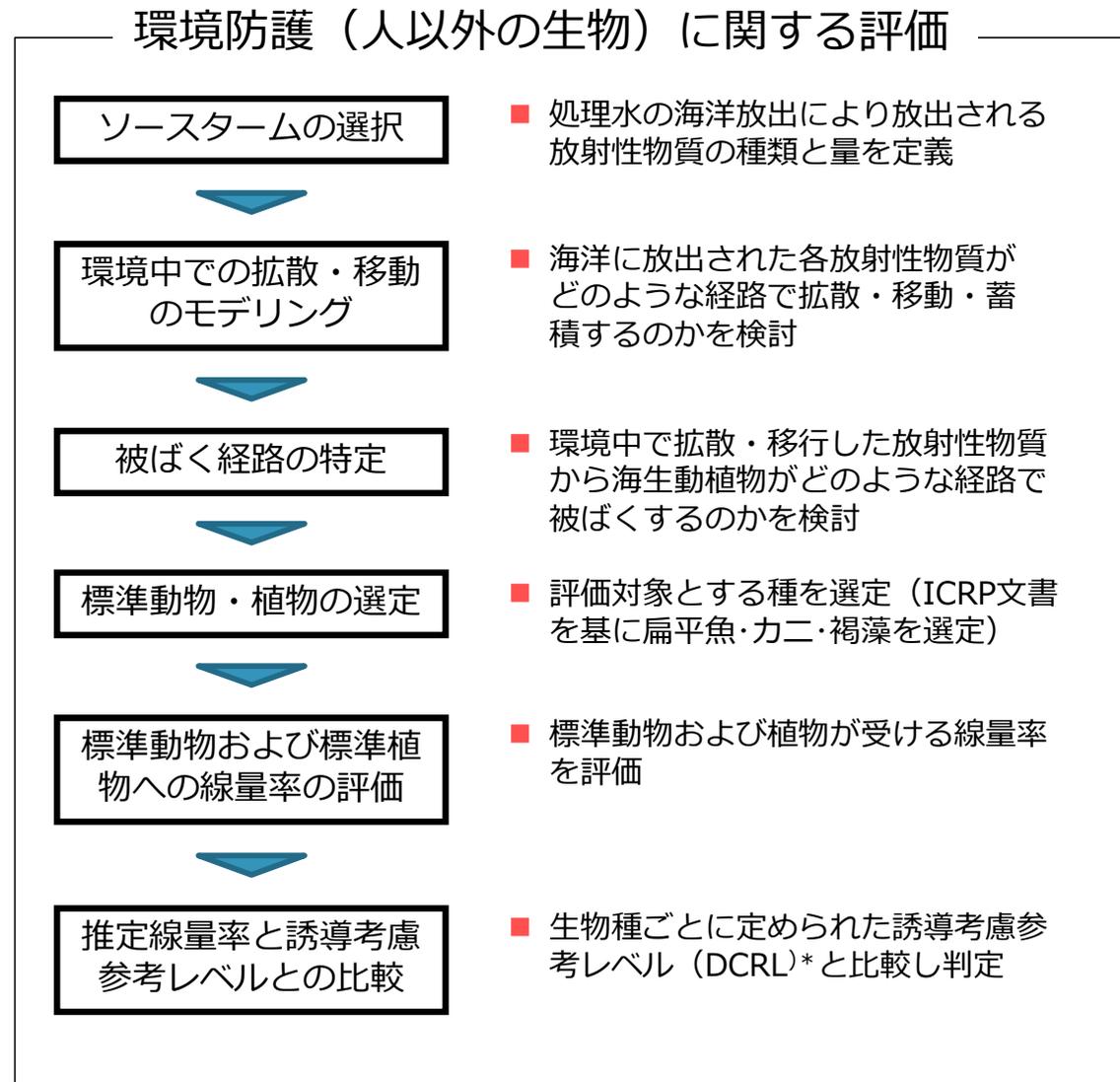
評価 ケース	ソース ターム	(1) 実測値によるソースターム						(2) 仮想したALPS 処理水によるソース ターム		
		i. K4タンク群		ii. J1-Cタンク群		iii. J1-Gタンク群		平均的	多い	
	海産物 摂取量	平均的	多い	平均的	多い	平均的	多い			
内部 被ばく (mSv/年)	成人		1.5E-05	6.1E-05	2.8E-05	1.1E-04	7.9E-05	3.0E-04	4.8E-04	2.0E-03
	幼児		2.4E-05	9.4E-05	5.1E-05	2.0E-04	1.5E-04	5.6E-04	7.5E-04	3.1E-03
	乳児		2.9E-05	1.1E-04	6.7E-05	2.5E-04	1.9E-04	7.1E-04	9.4E-04	3.9E-03

3.環境防護に関する評価について

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

3.1 環境防護に関する評価の考え方

- IAEA GSG-10附属書 I の手順に従って通常運転時における動植物の防護のための評価を実施した。



* 誘導考慮参考レベル（DCRL）：ICRPが提唱する生物種毎に定められた1ケタの幅を持った線量率の範囲。この範囲に入るときは、影響を考慮する必要がある。

3.2 ソースタームの設定

- 人の被ばく評価と同じ考え方でソースタームを設定した。
- ✓ 実測値によるソースタームは、人の被ばく評価と同じとした。
- ✓ 仮想したALPS処理水によるソースタームは、環境防護に関する評価方法で選定した被ばくへの影響が相対的に大きい運用管理対象核種2核種（Fe-59、Sn-126）が運用管理値で含まれ（告示濃度比総和0.0025）、その他の62核種の代表核種としてプロメチウム-148mが499Bq/ℓ（告示濃度比総和0.9975）で含まれるとして年間放出量を設定した。

表 環境防護に関する評価に使用する仮想したALPS処理水によるソースターム（トリチウムを除く）

対象核種	告示濃度 (Bq/L)	核種濃度 (Bq/L)	告示濃度比	年間排水量 (L)	年間放出量 (Bq)	備考
Fe-59	4.0E+02	2.0E-01	0.0005	2.2E+08	4.4E+07	運用管理対象核種
Sn-126	2.0E+02	4.0E-01	0.002		8.8E+07	運用管理対象核種
Pm-148m	5.0E+02	5.0E+02	0.9975		1.1E+11	
トリチウム以外の核種の告示濃度比総和			1			

- 海洋での拡散評価は人の被ばく評価と同じモデルを使用した。
- 移行経路としては、海流等による移流、拡散の他、海生動植物の被ばくに重要な海底の堆積物への移行を選定した。人の被ばくと同様の理由で、直接放射線や大気への移行は考慮しないこととした。
- 被ばく経路は、IAEA GSG-10で動植物の線量評価に考慮すべき被ばく経路として示されている経路から、海水中での被ばくに係わる以下を選定した。
 - ✓ 海水、海底土中の放射性物質からの外部被ばく
 - ✓ 海生動植物が体内に取り込んだ放射性物質からの内部被ばく
- 評価に使用する放射性物質濃度は、トリチウムの評価結果から、年間放出量の比によりその他の63核種の海水中放射性物質濃度を算出した。
- GSG-10に示されている100~400km²の評価エリアに対し、100km² (10km×10km) を評価範囲とした。被ばく評価に使用する海水中濃度は10km×10km圏内の年間平均濃度を使用することとした。
- 海水の拡散評価については、海底土、動植物への移行による放射性物質の減少は考慮しないが、被ばく評価においては、海底土への移行と生物の濃度比は平衡状態になっているものとして評価を行った。

3.4 標準動植物の選定

- 人の被ばく評価における代表的個人と同様、被ばく評価の対象となる動植物として、ICRP Pub.136*で示された海洋環境における標準動植物から、標準扁平魚、標準カニ、標準褐藻をすべて選定
 - 扁平魚：周辺海域にヒラメ・カレイ類が広く生息しており、重要な操業対象魚
 - カニ：周辺海域にヒラツメガニやガザミなどが広く生息
 - 褐藻：周辺海域にホンダワラ類やアラメが広く分布

- これらの動植物は、海底付近に生息することから、被ばく評価に使用する海水中放射性物質濃度は、最下層における年間平均濃度を使用した。

* ICRP Pub.136, ICRP, ICRP Publication 136 "Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation",2017

評価方法

- 動植物については、生息環境における線量率を評価
- ✓ ICRPが示している標準動植物に対する線量換算係数を使用し、下記の計算式で計算
- ✓ 外部被ばくは、海水からの被ばくと海底土からの被ばくを考慮

$$\begin{aligned} \text{内部被ばく} &= \text{内部線量換算係数} \times \text{海水中の放射性物質濃度} \times \text{濃度比} \\ \text{外部被ばく} &= 0.5 \times \text{外部線量換算係数} \times \text{海水中の放射性物質濃度} \\ &\quad + 0.5 \times \text{外部線量換算係数} \times \text{海水中の放射性物質濃度} \times \text{分配係数} \end{aligned}$$

- 内部、外部の線量換算係数は、ICRP Pub. 136 およびBiotaDC^{*1}に定めるものを使用したが、BiotaDCで計算できなかったSn-126は、 $\beta\gamma$ 核種で最も保守的なRu-106の値を使用。
- 濃度比は、ICRP Pub. 114^{*2}から引用したが、示されていない元素については、IAEA TRS-422^{*3}の濃縮係数及びICRP Pub.114の同族元素の値を使用。
- 分配係数は、IAEA TRS-422に定めるものを使用 (2.3.OCEAN MARGIN *Kds*)

評価基準

- ICRPがPub.124^{*4}にて提示している誘導考慮参考レベル (DCRL) と比較

*1 ICRP BiotaDCプログラム v.1.5.1 (<http://biotadc.icrp.org/>)

*2 ICRP Pub.114, "Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants"

*3 IAEA Technical Report Series No.422, "Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment"

*4 ICRP Pub.124 "Protection of the Environment under Different Exposure Situations"

3.6 環境防護に関する評価結果

- 標準動植物に対する被ばく評価の結果は下表のとおり。いずれの結果も、誘導考慮参考レベル（DCRL）の下限値と比べて100分の1以下の低い線量率であった。

表 環境防護に関する評価結果

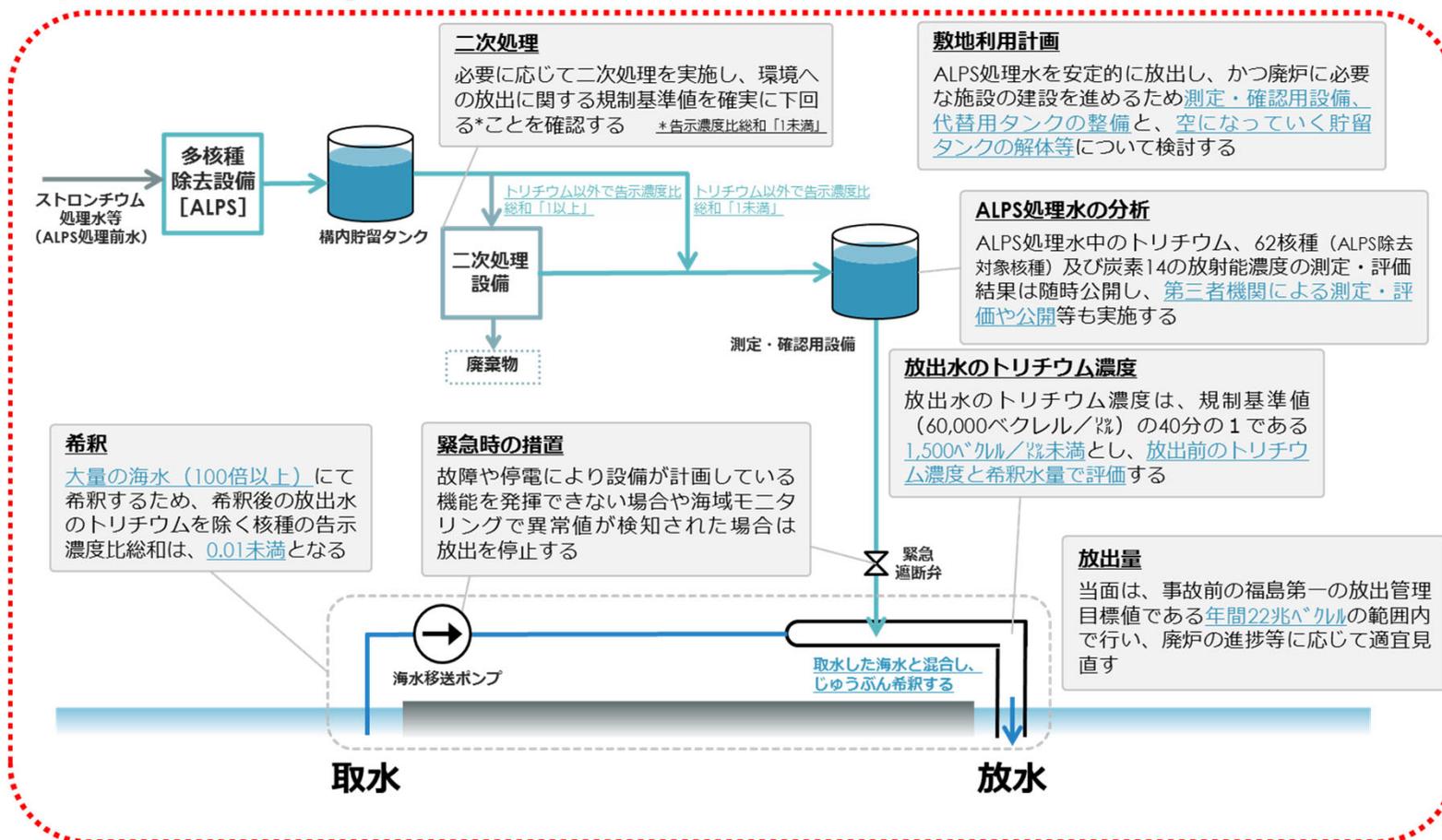
評価 ケース		(1) 実測値によるソースターム			(2) 仮想した ALPS処理水による ソースターム
		i. K4タンク群	ii. J1-Cタンク 群	iii. J1-Gタンク 群	
被ばく (mGy/日)	扁平魚	1.7E-05	2.2E-05	5.6E-05	7.8E-03
	カニ	1.7E-05	2.2E-05	5.5E-05	7.5E-03
	褐藻	1.9E-05	2.3E-05	5.9E-05	8.4E-03
誘導考慮参考レベル(DCRL)					
扁平魚：1-10 mGy/日		カニ：10-100mGy/日		褐藻：1-10mGy/日	

4. 潜在被ばくに関する評価について

4.1 潜在被ばくの評価について

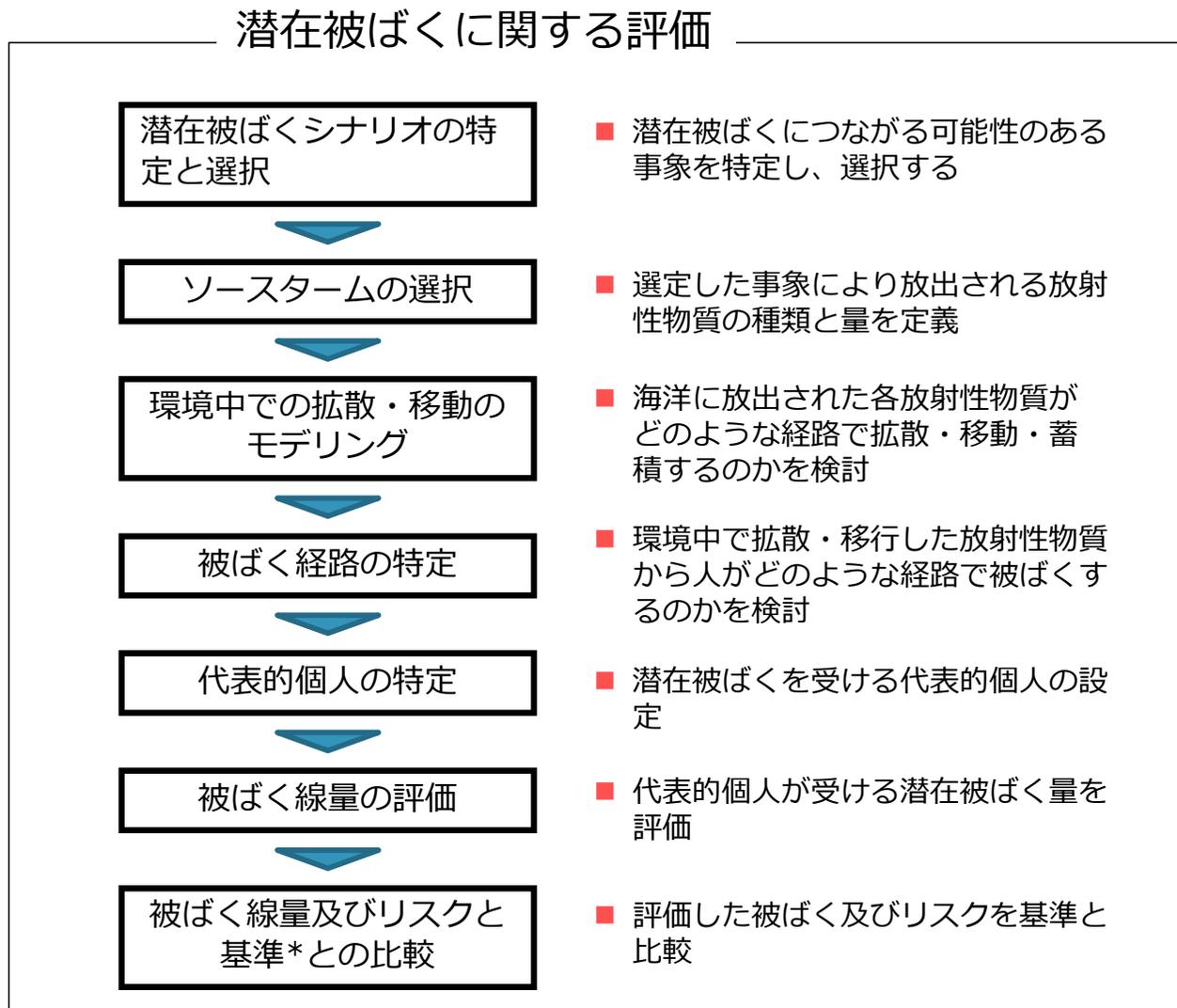
- 報告書に記載した潜在被ばくの評価については、IAEA GSG-10のフロー図の記載を省略したが、同様の手順で評価している。
- 潜在被ばくシナリオの検討にあたって対象となる設備は下図の測定・確認用設備より下流の設備である。

【海洋放出設備の概念図】



4.2 評価の考え方

- IAEA GSG-10に示されている潜在被ばくに関する評価の手順は以下の通り。



* IAEA GSG-10では、比較すべき基準として 1~数ミリシーベルト（通常 5mSv）が示されている。

4.3 潜在被ばくシナリオの選定

- シナリオの検討は、昨年8月25日に当社が公表した「多核種除去設備等処理水の取扱いに関する検討状況」に記載した安全に関する設備の全体像を踏まえて以下の通り行った。
 - ✓ ALPS処理水の海洋放出に係る設備の異常な事象としては、配管の破断や希釈海水ポンプの停止等様々な事象が考えられるが、どのような事象が発生した場合でも**最終的に放出される水は、トリチウム以外の放射性物質が告示濃度比総和 1 未満となるまで取り除かれたALPS処理水又は希釈後のALPS処理水**である。
 - ✓ このうち、希釈後のALPS処理水は放出の対象であることから、選定するシナリオはALPS処理水が希釈されずに放出される事象とした。
 - ✓ さらに、配管破断など敷地内に漏えいした後に海洋に出る事象よりも、直接ALPS処理水が海洋に放出される場合が最も厳しいシナリオと考え、希釈用の海水ポンプが停止し、緊急遮断弁が動作しないことで、ALPS処理水が希釈されないまま沖合の放水口から放出される場合を選定した。
 - ✓ ALPS処理水は、タンク群毎の放出のため、長期間にわたる放出は考えられないことから、短期的に影響のある外部被ばくを対象とした。

4.4 ソースタームの選定

- 放出されるALPS処理水の核種組成を仮想したALPS処理水とし、以下のとおりソースタームの設定を行った。
 - ✓ 海水面からの外部被ばくにおいて、最も影響が大きいTe-127の放出率が最大となるケース（H-3濃度が10万Bq/Lの場合）で評価した。
 - ✓ 対象核種Te-127
 - ✓ 濃度5000Bq/L（告示濃度限度）
 - ✓ 放出率は、10万Bq/LのH-3濃度を、希釈用海水34万m³/日で1,500Bq/Lまで希釈する際（67倍希釈）のALPS処理水の流量5,100m³/日から、
$$5,000\text{Bq/L} \times 5,100\text{m}^3/\text{日} \times 1000\text{L/m}^3 = 2.6\text{E}+10\text{Bq/日}$$
 - ✓ なお、設計上の放出量は最大500m³/日であり、5,100m³/日は極めて保守的な設定となっている。

- 拡散評価は、通常の放出と同じシミュレーションモデルを使用した。
- 移行経路としては、海流等による移流、拡散を対象とした。短期的な放出のため、通常の被ばく評価で選定した船体や海浜の砂、漁網への付着、魚介類等海洋生物による濃縮は考慮しないこととした。
- 被ばく経路としては、長時間被ばくを受ける可能性のある海水面からの被ばくを対象とした。

4.6 代表的個人の設定および線量評価について

- 潜在被ばく評価の対象となる代表的個人を以下の通り想定した。
 - ✓ 異常な放出が発生した際に発電所周辺で漁業等の作業を行う船舶の乗組員
 - ✓ 発電所付近では南北方向の流れが多いことを考慮し、日常的に漁業が行われていないエリア外で放水口から北に最も近い場所（約1km北側）で作業を行っているものとした。
 - ✓ 異常な放出が発生した際には、作業を中止して退去するものと考え、被ばくする期間を1日（24時間）とした。

- 評価に使用する海水中の放射性物質濃度は、2014年と2019年の2年間の計算結果から、放水口からの距離1kmで最大となる1日の日平均濃度を算出した。

- 被ばく評価方法は、通常運転時の人への海水からの外部被ばくと同じ方法とした。

4.7 評価の基準及び評価結果

■ 評価の基準

- ✓ ALPS処理水は、トリチウム以外の放射性物質を告示濃度比総和1未満となるまで取り除いていること、及びALPS処理水の放出はタンク群毎の放出のため、事故時に放出される放射性物質は限定されることから、評価結果と比較する事故時の基準としては、GSG-10に通常使われる基準値として記載のある5 mSv とした。

■ 被ばく評価の結果

- ✓ 被ばく評価の結果は、 $7.3E-05$ mSvとなり、事故時の判断基準5 mSvと比べて非常に小さい値となった。

5. 次回改訂の方向性

現在以下のような項目について補正申請時での改訂を検討している。
ただし、これ以降実施する関係者へのご説明等の状況に応じ、項目が追加・変更される可能性がある

被ばく経路の変更

- IAEA TECDOC-1759に基づく被ばく経路の追加検討（「遊泳中の飲水による摂取」等）

各係数に関する他データセットに基づく評価

- 今回用いた線量換算係数、分配係数および濃縮係数の他にも核種によっては得られる係数があることから、それらを用いた場合に評価結果にどの程度の影響を与えるのかを考察するために試算
- IAEA TRS-479（海水と海洋生物体内の濃度比）
 - 米国EPAおよびICRP Pub.144（人の外部被ばく）

追加的な評価

- 有機結合型トリチウム（OBT）考慮による被ばく線量評価値への影響
- 今回使用した拡散シミュレーションモデルの外側への影響に関する考察
- 異常事象の抽出結果とその対応（必要な場合）に関する考察

その他の説明の詳細化等

- 当社が実施するモニタリングの計画（ソースモニタリング、放出前モニタリング、海域モニタリング）
- 評価が含む不確実性に関する考察
- 本報告書公表以降進捗した設備や運用に関する設計等

その他記載の適正化

ALPS処理水の海洋放出設備の申請内容等に係る主要な論点（※）

に対する回答

※ALPS処理水審査会合（第3回）資料1-2

（2－1 原子炉等規制法に基づく審査の主要論点）

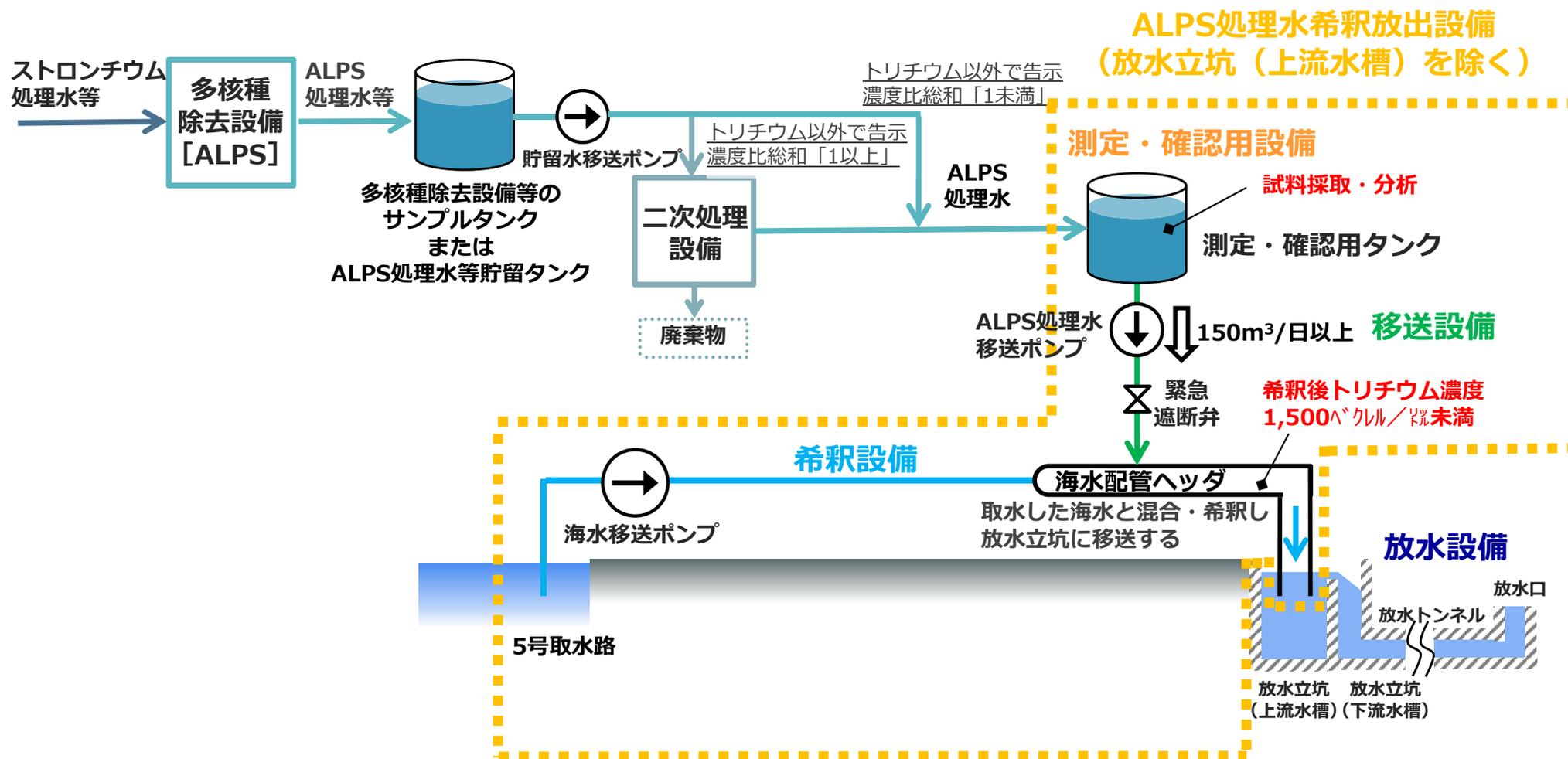
（1）海洋放出設備

⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護、誤操作防止、信頼性等

- 海洋放出設備を構成する構築物、系統及び機器ごとに、安全機能、安全機能喪失時の影響、基本仕様及びその設定根拠、主要構造、適用規格・基準等を整理して説明すること。

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護、誤操作防止、信頼性等

- ALPS処理水希釈放出設備（放水立坑（上流水槽）を除く）のうち、安全機能を有する設備について機器の構造・強度、自然現象に対する防護及び信頼性を整理した。
- なお、放水立坑（上流水槽）及び放水設備については取り纏まり次第、ご説明する。



2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

1. 準拠規格及び基準

「14. 設計上の考慮 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。

- 設計、材料の選定、製作及び検査について、発電用原子力設備規格設計・建設規格（JSME）、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。

※：「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」

（実施計画：Ⅱ-2-50-3）

- ALPS処理水希釈放出設備を構成する各設備のうち、ALPS処理水を内包する主要な機器は、「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、廃棄物処理設備に相当するクラス3機器に準ずるものと位置づけられる。

- ALPS処理水を内包する鋼管については、「JSME S NC1-2012 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下、「設計・建設規格」）」のクラス3機器の規定を適用することとし、必要に応じて日本産業規格（JIS）等の国内外の民間規格も適用する。

（実施計画：Ⅱ-2-50-6）

- 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。

（実施計画：Ⅱ-2-50-6）

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

1. 準拠規格及び基準（構造強度評価）

「14. 設計上の考慮 ①準拠規格及び基準」（金属材料の扱い）

- 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。

■ 評価方法（実施計画：Ⅱ-2-50-添3-5）

- 鋼管の最小厚さが「設計・建設規格PPD-3411式(PPD-1.3)」(以下①)または「設計・建設規格PPD-3411(3)の表PPD-3411-1」(以下②)によって求められる必要厚さを満足することを確認する。
- 管の必要厚さは次に掲げる値のいずれか（①または②）大きい方の値とする。
 - 内面に圧力を受ける管

$$\text{管の計算上必要な厚さ} \quad : \quad t = \frac{PD_0}{2S\eta + 0.8P} \dots \text{①}$$

P : 最高使用圧力 (MPa)

D_0 : 管の外径 (mm)

S : 最高使用温度における材料の許容引張応力 (MPa)

η : 長手継手の効率

- 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小必要厚さ： $t_r \dots \text{②}$
⇒設計・建設規格PPD-3411(3)の表PPD-3411-1より求めた値

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

1. 準拠規格及び基準（構造強度評価）

「14. 設計上の考慮 ①準拠規格及び基準」（金属材料の扱い）（続き）

■ 評価結果（実施計画：Ⅱ-2-50-添3-5）

- 評価結果を表-1に示す。必要厚さを満足しており、十分な構造強度を有していると評価している。

表-1 主配管（鋼管）の構造強度評価結果

評価機器※	外径 (mm)	材質	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
配管①	216.3	SUS316LTP	0.49	40	0.46	5.68
配管②	139.8	SUS316LTP	0.98	40	0.59	4.37
配管③	165.2	SUS316LTP	0.98	40	0.69	4.37
配管④	216.3	SUS316LTP	0.98	40	0.91	5.68
配管⑤	165.2	SUS316LTP	0.49	40	0.35	4.37
配管⑥	114.3	SUS316LTP	0.49	40	0.24	3.50
配管⑦	76.3	SUS316LTP	0.98	40	0.32	3.00
配管⑧	114.3	SUS316LTP	0.98	40	0.48	3.50
配管⑨	114.3	STPG370	0.98	40	3.40	5.25
配管⑩	914.4	STPY400	0.60	40	4.56	11.43
配管⑪	2235.2	SM400B	0.60	40	11.14	15.00
配管⑫	1828.8	SM400B	0.60	40	9.11	12.00

※：配管番号は参考資料参照

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

1. 準拠規格及び基準（構造強度評価）

「14. 設計上の考慮 ①準拠規格及び基準」（JSMEに記載のない非金属材料の扱い）

● 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。

■ 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。

（実施計画：Ⅱ-2-50-6）

非金属配管の適用範囲※

		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)
ポリエチレン管		1.00	40
耐圧ホース		0.75	60
伸縮継手	循環配管 移送配管	1.00	80
	海水配管	0.60	40

※：一部の機器については詳細設計中のため、確定値ではないものの、系統の最高使用圧力・温度を満足する機器を採用する。

2 - 1 (1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

2. 耐震重要度と機器クラス

- ALPS処理水希釈放出設備のうち、機器の耐震重要度と機器クラスは以下の通り。
 - 耐震重要度選定根拠
放射線影響評価や機能的対応を検討の結果、耐震クラス分類は「Cクラス」が適切と考えている。
 - 機器クラス選定根拠
「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」第二条第二項第三十四項に規定する、「クラス3容器」又は「クラス3管」に準ずるものと位置づけられる。

設備	機器		耐震重要度分類	機器クラス
測定・確認用設備	測定・確認用タンク		C	クラス3
	循環配管		C	クラス3
	循環ポンプ		C	-※
移送設備	移送配管		C	クラス3
	ALPS処理水移送ポンプ		C	-※
希釈設備	海水配管	ALPS処理水を内包する	C	クラス3
		海水のみを内包する	C	-
	海水移送ポンプ	海水のみを内包する	C	-

※：「発電用原子炉施設の工事計画に係る手続きガイド」に準じて、クラス3機器に接続するポンプについては「設計・建設規格」又はJISを基にした強度に関する計算等を実施する。

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

3. 自然現象に対する設計上の考慮（地震）

「14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮」（地震）

- 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して、耐震設計上の区分がなされるとともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること。

【補足】原子力規制委員会で示された 耐震設計の考え方

令和3年度 第19回 原子力規制委員会 資料3
令和3年2月13日の福島県沖の地震を踏まえた東京電力福島第一
原子力発電所の耐震設計における地震動とその適用の考え方



「14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮」(地震) (続き)

3. 1Fにおける安全上の観点からの耐震クラス分類と適用する地震動

(1)耐震クラス分類

現在の1Fにおいては、通常の実用発電用原子炉の耐震クラス分類ではなく、核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして、設備等の機能喪失による公衆への放射線影響の程度※5により、以下のクラス分類とすることが適切と考える。加えて、Bクラスについては、1Fの状況に鑑み、以下に記載する3つの条件のいずれかに該当する設備に対して、B+クラスというより耐震性の高い分類を設けることが適切と考える。

Sクラス：5mSv < 敷地周辺の公衆被ばく線量

B+クラス：50μSv < 敷地周辺の公衆被ばく線量 ≤ 5mSv

- ・ 恒久的に使用する設備
- ・ 耐震機能喪失時にリスク低減活動や放射線業務従事者の被ばく線量に大きな影響を与える設備
- ・ Sクラスの設備に対して波及的影響を与える可能性のある設備※6

Bクラス：50μSv < 敷地周辺の公衆被ばく線量 ≤ 5mSv

Cクラス：敷地周辺の公衆被ばく線量 ≤ 50μSv

※5：耐震クラス分類を行う際の影響評価のうち、液体の放射性物質の放出による影響評価の妥当性を示すことが困難な場合には、影響評価の対象からは除外し、その上で、多核種除去設備等で処理する前の液体等、放出による外部への影響が大きい液体を内包する設備については、機能喪失したとしても海洋に流出するおそれのない設計とすることを求める。また、多核種除去設備等で処理した後の液体等、放出による外部への影響が比較的小さい液体を内包する設備は、上記の設計対応をすることが望ましいが、それが困難な場合には、例えば機能喪失時の仮設ホースによる排水等の機動的対応等の放出時の影響を緩和する措置を求める。

※6：事故後当初、Sクラスである原子炉格納容器や使用済燃料プールに波及的影響のある設備はBクラスに適用する地震力に加えてSs600に対する機能維持を求めてきたが、現在の1Fは通常の実用発電用原子炉施設とは異なり、使用済燃料やデブリ中の放射性核種の崩壊が進み潜在的な放射線リスクが低くなっているため、念頭に置くべき外部への影響の程度を勘案し、燃料取り出し設備等のSクラスの設備に波及的影響のある設備はB+クラスに分類することとする。

3. 自然現象に対する設計上の考慮（地震）

「14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮」（地震）（続き）

- 原子力規制委員会（2021年7月7日）にて「耐震設計の考え方」が示されたことを受け、改めて核燃料施設等の耐震クラス分類の考え方を参考に「設備等の機能喪失による公衆への放射線影響の程度」に基づき分類する。
- 放射線影響評価や機能的対応を検討の結果、**耐震クラス分類は「Cクラス」が適当**と考えている。

【想定される設備等の機能喪失】

- 地震による測定・確認用タンクの滑動等により連結管等が損傷。当該損傷部からALPS処理水が漏えい。

→ 測定・確認用タンクの機能喪失による公衆への放射線影響の評価結果：<1 μ Sv/年

漏えいした水の気中移行による公衆への放射線影響の評価結果：0.4 μ Sv

【機動的対応等】

- 震度5弱以上の地震発生時、連結弁が開状態となっているタンクについて、優先的に現場確認を行い、漏えいが確認された場合は速やかに連結弁を閉とする。
- 地震により耐震Cクラスのタンク等が損傷し、貯留水が敷地外へ著しく漏えいすることを防止するために基礎外周堰を設置する。当該堰については耐震Bクラスとし、Bクラスの構築物に要求される水平方向設計震度に対して、必要な強度を確保する。
- 貯留水が漏えいし、基礎外周堰内に溜った場合には、仮設ポンプ・高圧吸引車等にて漏えい水の回収を行う。回収した漏えい水は、健全なタンク・建屋に排水を行う。

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

3. 自然現象に対する設計上の考慮（地震）

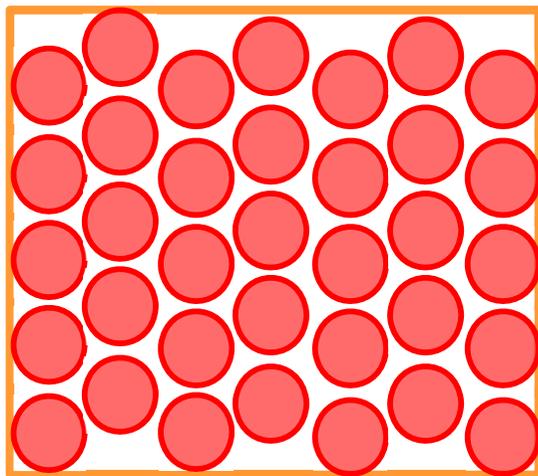
【公衆への放射線影響の程度】

- 測定・確認用タンク※の機能喪失による公衆への放射線影響を評価した結果は、下記の通り。

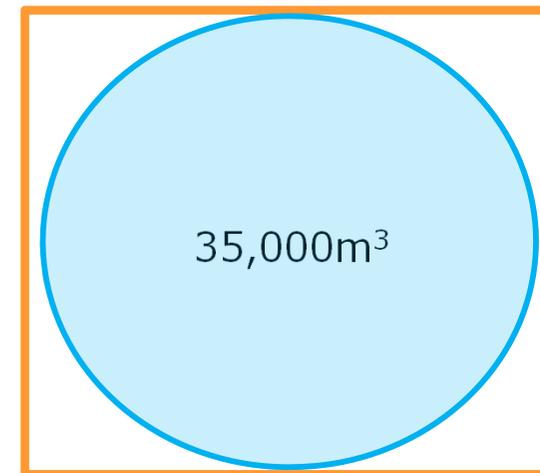
➤ 条件

※：ここでの評価は2.5章 多核種処理水貯槽5基を含む

地震によるタンクの滑動等により連結管等が損傷。当該損傷部からALPS処理水が漏えい。タンク内包水全てがタンク外に漏えい（タンク群と体積・高さが同じとなる1つの大型円柱形状で存在し続けると仮定）した場合の公衆への放射線影響。



$$1,000\text{m}^3 \times 35\text{基} = 35,000\text{m}^3$$



直接線・スカイシャイン線による被ばく評価： $<1\mu\text{Sv}/\text{年}$ （最寄り評価点：No.70）

※：概算となるが、タンクの遮蔽が無くなった場合、1.25～2.0倍程度、敷地境界に与える影響が上昇すると想定。保守的に2.0倍で計算しても最寄り点への影響は軽微。

【補足】 K4エリアタンクの直接線・スカイシャイン線評価

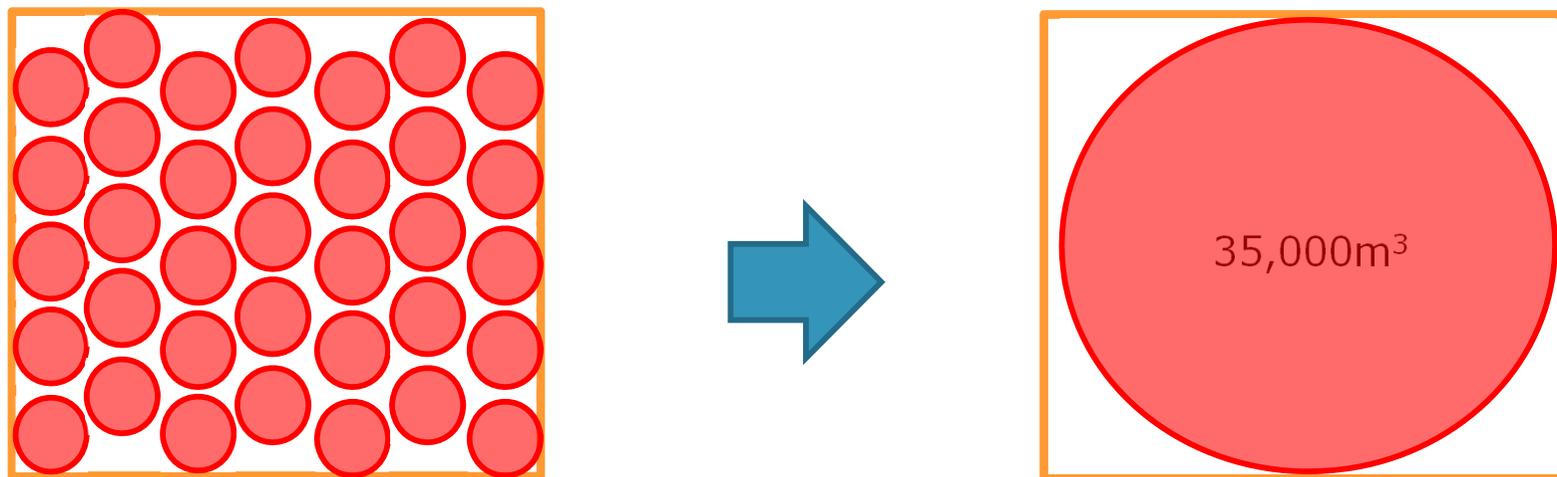
- K4エリアタンクにおける直接線・スカイシャイン線による敷地境界への影響評価※

（実施計画：2.5章 添付資料12 別紙-7）

※：平成28年7月4日認可

➤ 条件

敷地境界に与える影響の評価について、評価体系はタンク群と体積・高さが同じとなる1つの大型円柱形状でモデル化した概略評価である。



$$1,000\text{m}^3 \times 35\text{基} = 35,000\text{m}^3$$

直接線・スカイシャイン線による被ばく評価：0.0001mSv/年 未満（最寄り評価点：No.70）
([1.9E-03μSv/年](#))

2 - 1 (1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

3. 自然現象に対する設計上の考慮（地震）

【公衆への放射線影響の程度】

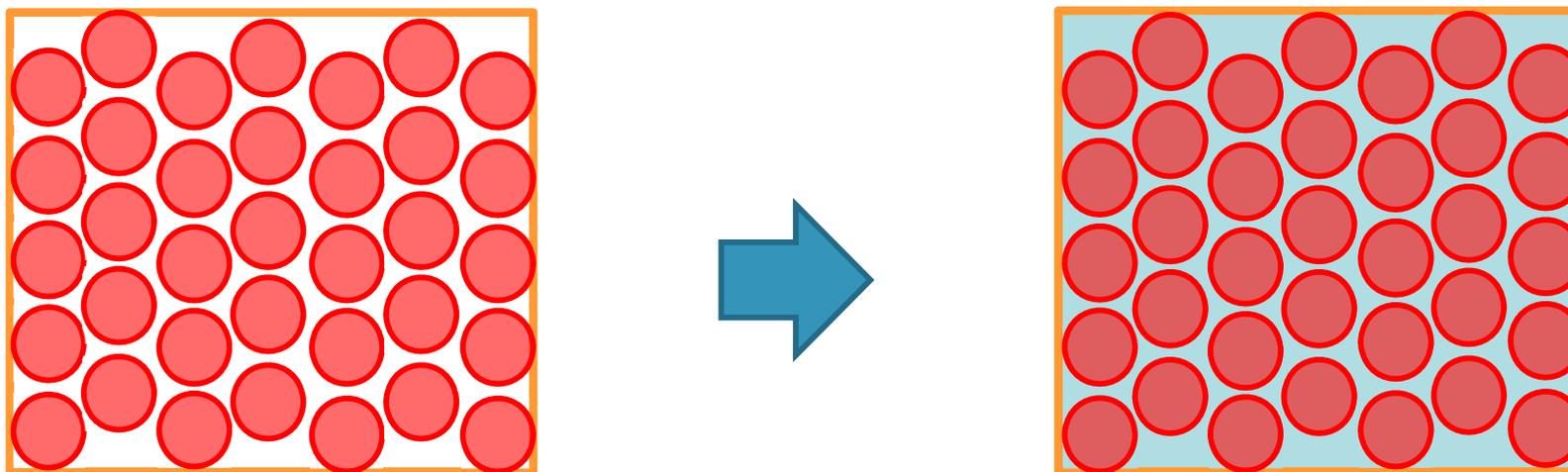
- 測定・確認用タンク※1の機能喪失による公衆への放射線影響を評価した結果は、下記の通り。

➤ 条件

※1：ここでの評価は2.5章 多核種処理水貯槽5基を含む

地震によるタンクの滑動等により連結管等が損傷。当該損傷部からALPS処理水が漏えい。タンク堰内の貯留可能面積全域に水が広がり、トリチウムを含む水から蒸発した水蒸気が拡散。敷地境界（最寄り評価点）に居住する人が呼吸により摂取したトリチウムによる内部被ばくを評価。

（2週間以内※2に回収したと仮定した場合の放射線影響。）

タンク貯留可能面積（2,201m²）

気中移行による被ばく評価：0.4μSv（最寄り評価点：No.70）

※2：30m³/hの仮設ポンプを使用して24時間体制で回収を行った場合、約3日間で回収可能である。準備作業を考慮しても約1週間と想定しているが、保守的に2週間と設定した。

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

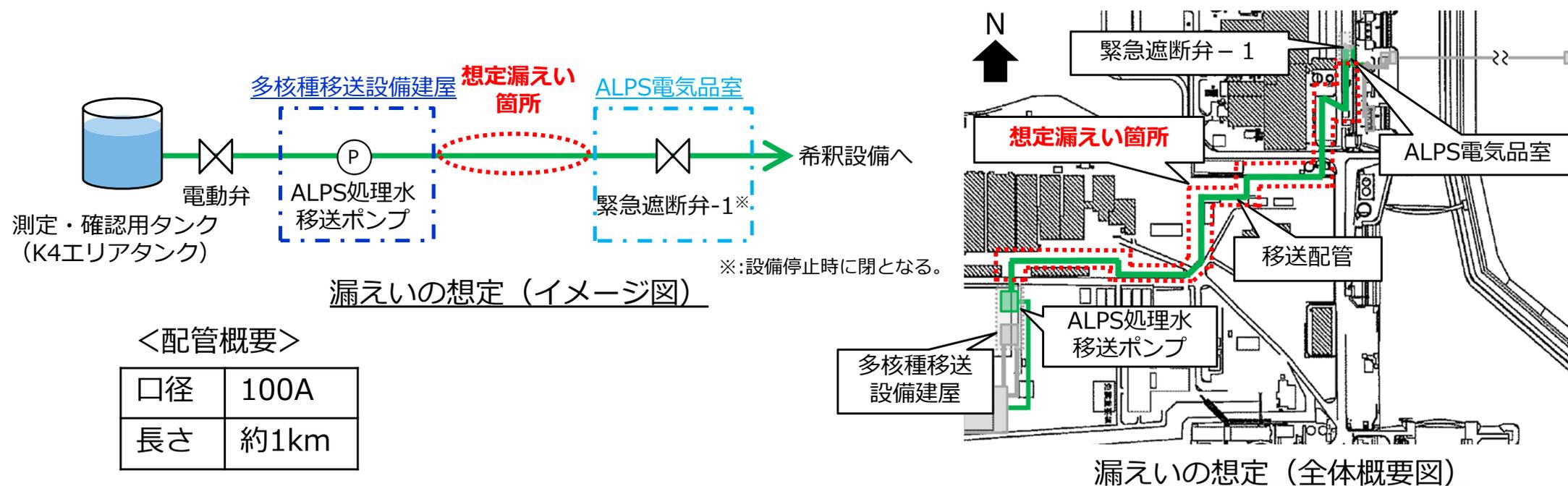
【補足】測定・確認用タンクより下流の設備の機能喪失による影響評価 (1/2)

- 測定・確認用タンクより下流の設備が機能喪失した際の影響を評価した結果は、下記の通り。

➤ 条件

測定・確認用タンクより下流の設備において、最もALPS処理水を内包する量が多い屋外の移送配管が地震により損傷。処理水移送ポンプ出口～緊急遮断弁-1入口の配管の内包水が全て漏れ出した場合の影響について確認。

なお、震度5弱以上の地震発生時は海洋放出を停止するとともに、測定・確認用タンク出口の電動弁を閉とする運用であることから、評価には本運用を考慮した。



- 測定・確認用タンクより下流の設備からの最大の漏えい量は約8m³であり、測定・確認用タンクで想定した漏えい量より十分少ないことから、ALPS処理水希釈放出設備の機能喪失時による公衆への放射線影響は測定・確認用タンクの評価で代表できると考える。

【機動的対応等】

- 震度5弱以上の地震発生時は、海洋放出を停止すると共に、測定・確認用タンク出口の電動弁を閉とし、タンク水位による漏えい確認を実施する（再掲）。更に、地震後、屋外の移送配管を含む全ての設備の重点パトロールを行い、設備の異常の有無を確認する。
 - 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融着構造とすることで、漏えい発生防止を図る。また、ポリエチレン管は材料の可撓性により、耐震性を確保する。
- ⇒ 2021年2月13日に発生した福島県沖を震源とする地震によって、福島第一原子力発電所構内に敷設されているポリエチレン管の損傷は確認されていない。
- 移送配管の近傍に車道がある箇所は柵等を設置し、外的要因による設備の損傷を防止する。
 - 移送配管は排水路から可能な限り離隔するとともに、排水路を跨ぐ箇所はボックス鋼内等に配管を敷設し、ボックス鋼端部から排水路に漏えい水が直接流入しないように土のうを設ける。

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

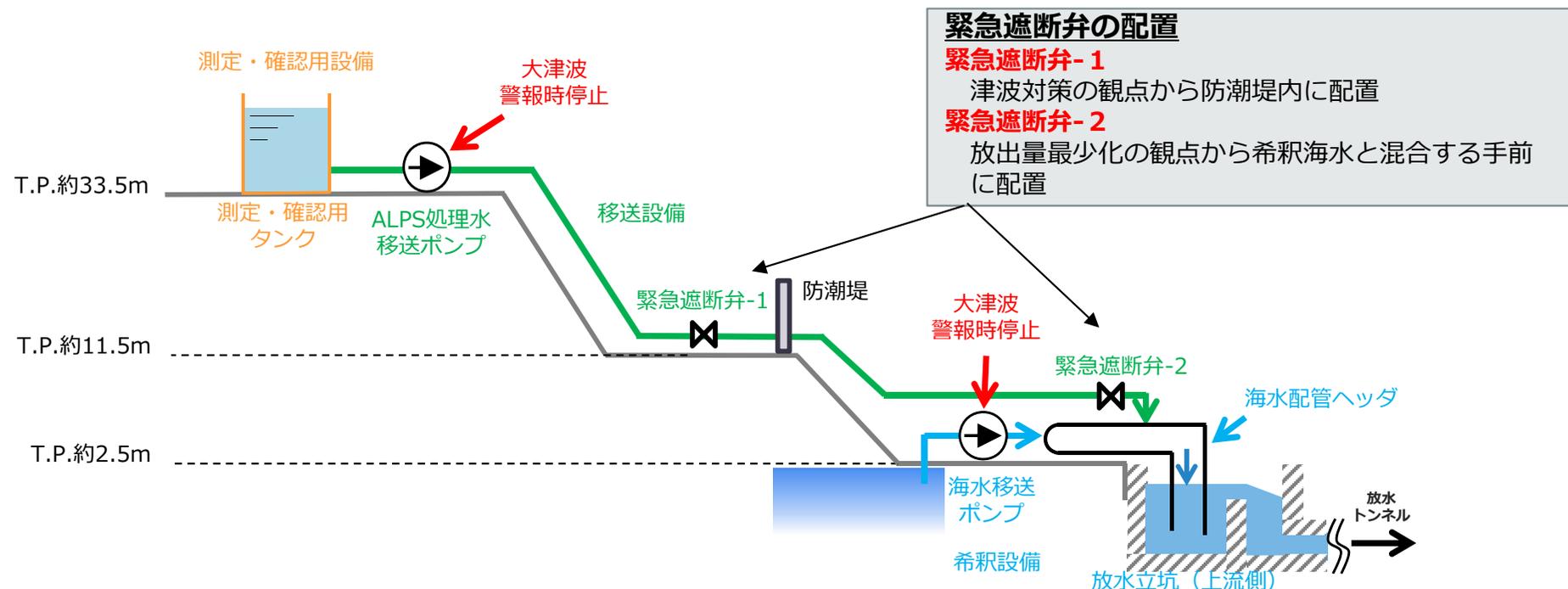
3. 自然現象に対する設計上の考慮（地震以外の自然現象）

「14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮」（地震以外の自然現象）

- 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、地震以外の想定される自然現象（津波、豪雨、台風、竜巻等）によって施設の安全性が損なわれない設計であること。 重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。

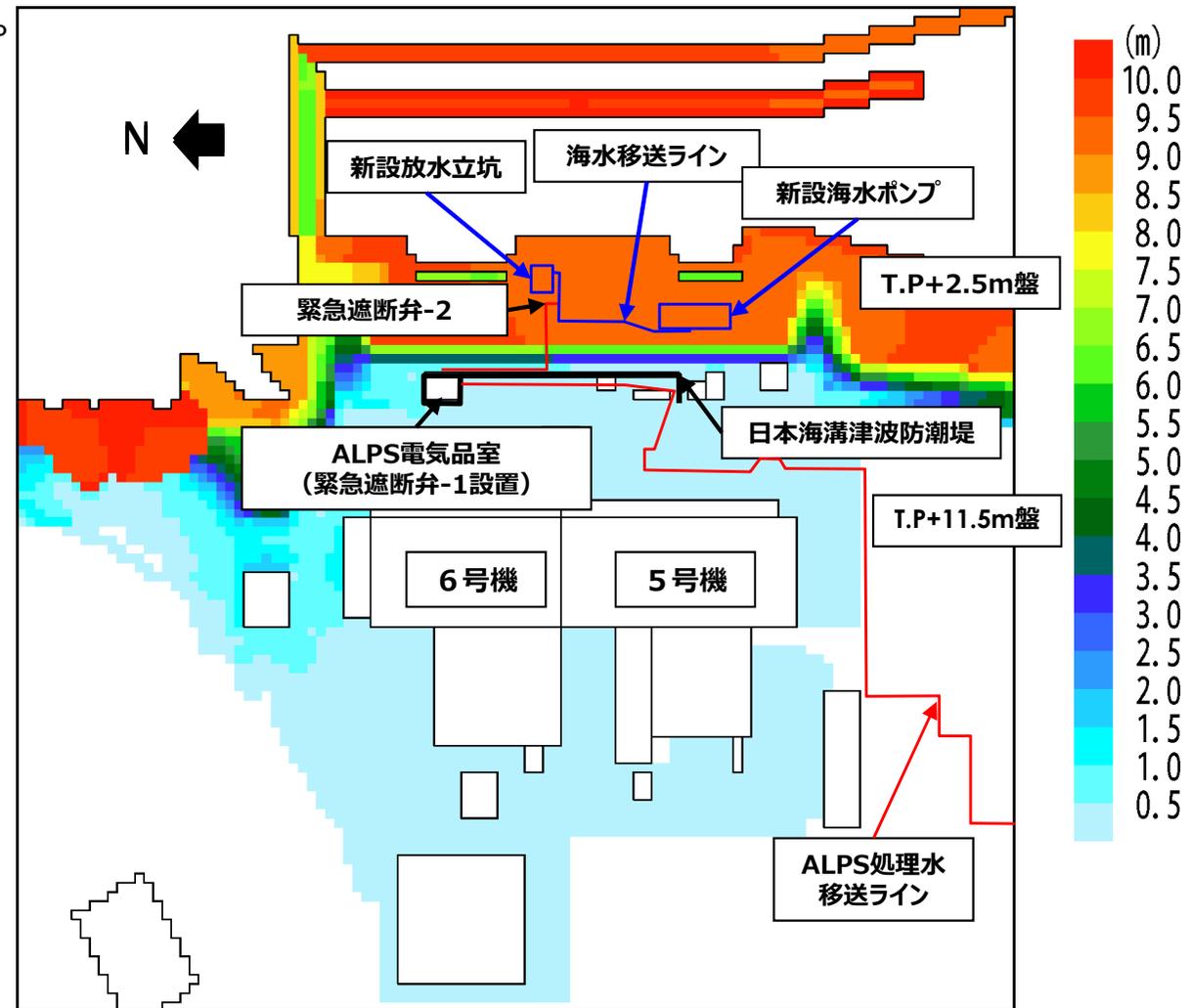
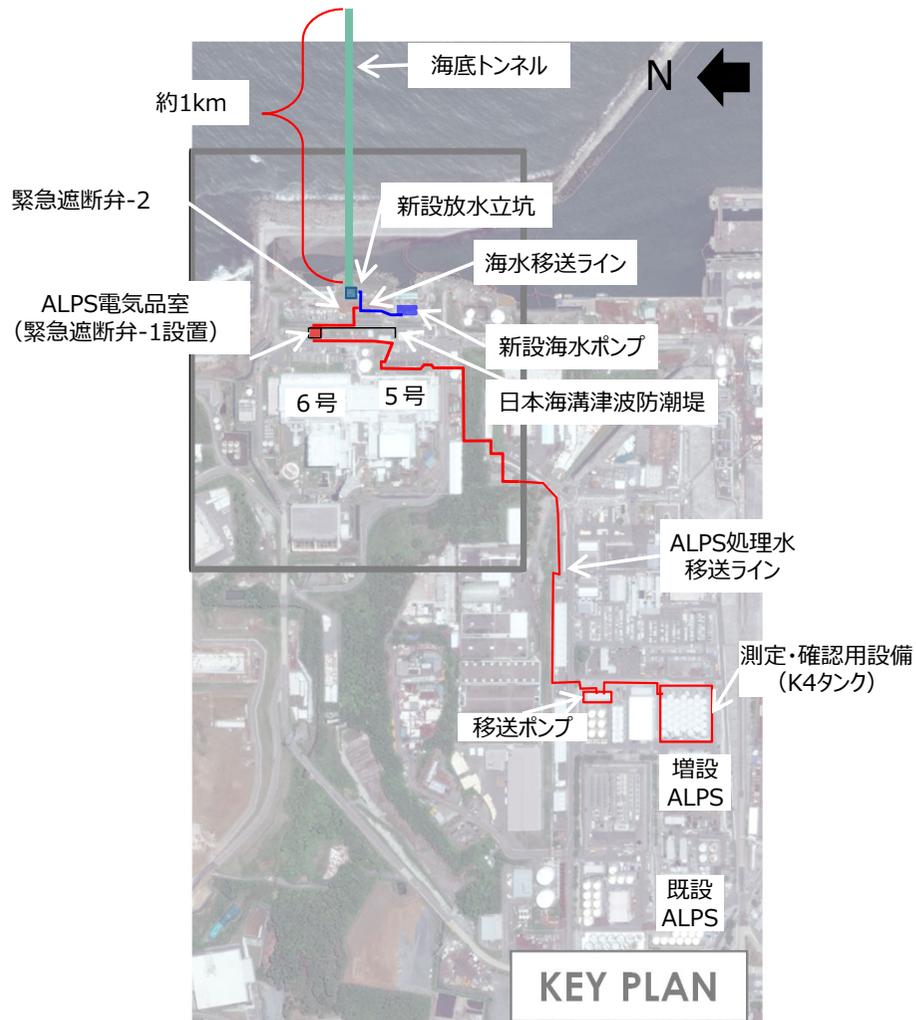
■ 津波（実施計画：Ⅱ-2-50-5）

- ALPS処理水希釈放出設備の内、希釈設備を除く、測定・確認用設備及び移送設備の一部については津波が到達しないと考えられるT.P.約33.5m以上の場所に設置する。
- また、大津波警報が出た際は、津波による設備損傷リスクを考慮して移送設備、希釈設備を停止する運用とする。



【補足】機器・施設類と防潮堤の位置関係

- 日本海溝津波による解析結果を踏まえると、T.P.+2.5m盤は浸水深9m以上となり、海水ポンプ等の設備は浸水する可能性が高いと想定されます。
- また、T.P.+11.5m盤にある緊急遮断弁(1)は防潮堤で囲われているため浸水せず、ALPS処理水移送ラインは、地上高0.3~0.4m程度に敷設予定であり、最大浸水深はいずれの位置においても0.2m未満のため浸水は想定していません。



日本海溝津波による最大浸水分布図
(第93回 特定原子力施設監視・評価検討会と同条件での解析結果)

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

3. 自然現象に対する設計上の考慮（地震以外の自然現象）

「14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮」（地震以外の自然現象）（続き）

- 積雪（実施計画：Ⅱ-2-50-5）
 - 積雪による設備の損傷を防止するため、建屋は建築基準法施行令及び福島県建築基準法施工細則に基づく積雪荷重に対して設計する。
- 落雷（実施計画：Ⅱ-2-50-5）
 - 動的機器及び電気設備は、機器接地により落雷による損傷を防止する。
- 竜巻（実施計画：Ⅱ-2-50-5）
 - 竜巻の発生の可能性が予見される場合は、竜巻による設備損傷リスクを考慮して設備を停止する運用とする。
- 台風（強風）（実施計画：Ⅱ-2-50-5）
 - ALPS処理水希釈放出設備の内、循環ポンプ、ALPS処理水移送ポンプは台風（強風）による設備損傷の可能性が低い鉄骨造の多核種移送設備建屋内に設置する。その他、屋外に設置する移送配管等の機械品においては基礎ボルト等により固定することで転倒しない設計とする。
 - ALPS処理水希釈放出設備の内、制御盤等の電気品は、台風（強風）による設備損傷の可能性が低い軽量鉄骨造のALPS電気品室内に設置する。

なお、津波注意報、竜巻注意報等が発表され、設備を損傷させる恐れがある場合、または設計通りの海洋放出ができない恐れがある場合、設備を停止する運用とする。

以降、参考資料

【参考】機器・設備の基本仕様（ALPS処理水希釈放出設備）

■ 循環ポンプ

台数	2台
容量	160m ³ /h（1台あたり）

■ ALPS処理水移送ポンプ

台数	2台
容量	30m ³ /h（1台あたり）

■ 海水移送ポンプ

台数	3台
容量	7,086m ³ /h（1台あたり）

■ 放水ガイド

基数	1基
主要寸法	たて2,100mm×よこ2,100mm×高さ7,096mm（上流側） たて2,140mm×よこ2,140mm×高さ11,144mm（下流側）
材質	SUS316L

■ 放水立坑（上流水槽）

基数	1基
構造	鉄筋コンクリート造

【参考】配管基本仕様（ALPS処理水希釈放出設備）

名称	仕様	
測定・確認用タンク 出口から 循環ポンプ入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A/Sch.20S SUS316LTP 0.49MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A相当 ポリエチレン 0.49MPa 40℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A相当 合成ゴム 0.49MPa 40℃
（伸縮継手）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A相当 合成ゴム 0.49MPa 40℃
循環ポンプ出口から 測定・確認用タンク 入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	125A/Sch.20S 150A/Sch.20S 200A/Sch.20S SUS316LTP 0.98MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
（伸縮継手）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	125A相当 合成ゴム 0.98MPa 40℃

名称	仕様	
測定・確認用タンク間 （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A/Sch.20S SUS316LTP 0.49MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A相当 ポリエチレン 0.49MPa 40℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A相当 合成ゴム 0.49MPa 40℃
測定・確認用タンク出 口から ALPS処理水移送ポンプ 入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.20S 150A/Sch.20S SUS316LTP 0.49MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A相当 150A相当 ポリエチレン 0.49MPa 40℃
（伸縮継手）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A相当 合成ゴム 0.49MPa 40℃

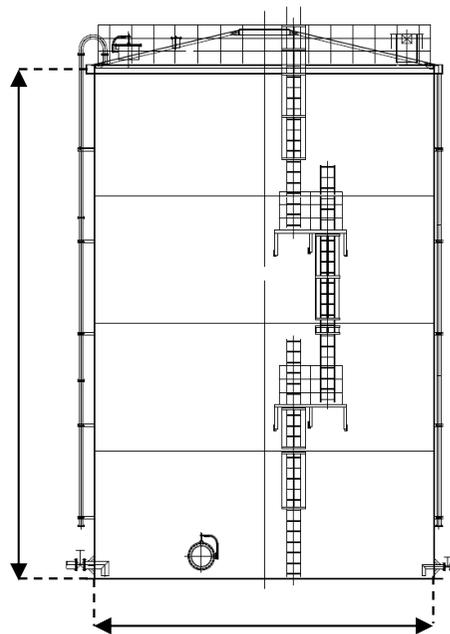
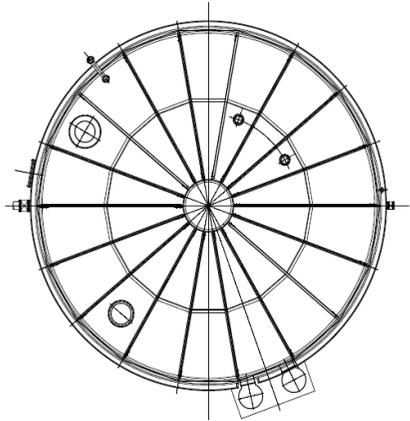
【参考】配管基本仕様（ALPS処理水希釈放出設備）

名称	仕様	
ALPS処理水移送ポンプ出口から 海水配管ヘッド入口 取合まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPG370 0.98MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch.20S 100A/Sch.20S 150A/Sch.20S SUS316LTP 0.98MPa 40℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
(伸縮継手)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A相当 100A相当 合成ゴム 0.98MPa 40℃

名称	仕様	
海水移送ポンプ出口から 海水配管ヘッド入口 取合まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	800A/12.7mm 900A/12.7mm STPY400 0.60MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	900A/Sch.20S SUS329J4LTP 0.60MPa 40℃
(伸縮継手)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	800A相当 900A相当 合成ゴム 0.60MPa 40℃
海水配管ヘッド (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	1800A/13mm 2200A/16mm SM400B 0.60MPa 40℃
海水配管ヘッド出口から 放水ガイドまで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	1800A/13mm SM400B 0.60MPa 40℃
(伸縮継手)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	1800A相当 合成ゴム 0.60MPa 40℃

【参考】測定・確認用タンクの基本仕様

■ 測定・確認用タンク（K4タンクを流用）



高さ：14,565mm

内径：10,000mm

タンク容量		m ³	1,000
主要寸法	内 径	mm	10,000
	胴板厚さ	mm	15
	底板厚さ	mm	25
	高 さ	mm	14,565
管台厚さ	100A	mm	8.6
	200A	mm	12.7
	600A	mm	16.0
材料	胴板・底板	—	SS400
	管台	—	STPT410,SS400

➤ 設計温度 5 0℃

【参考】測定・確認用タンク関連設備の仕様

■ タンク堰*（漏えい拡大防止として基礎外周堰を設置）（実施計画：Ⅱ-2-5-添12-25）

基礎外周堰の堰内容量は、タンク20基当たり1基分の貯留容量（20基以上の場合は20基あたり1基分の割合の容量、20基に満たない場合でも1基分）を確保できる容量に、大雨時の作業等を考慮した余裕高さ（堰高さで20cm程度）分の容量との合計とする。 ※タンク堰については、K4エリアのものを併用する。

設置場所	タンク設置 基数	想定漏えい		基礎外周堰の 堰内容量 (m ³)	(計画値)			
		基数	容量(m ³)		基礎外周 堰内面積 (m ²)	タンク専有面 積(m ²)	貯留可能面積 (m ²)	基礎外周堰の 高さ(m)
K4	35	1.75	1,750	2,190以上	5,145	2,944	2,201	0.995以上

■ 測定・確認用タンク付属配管

	呼び径	材質	最高使用圧力	最高使用温度
連結管（耐圧ホース）	200A相当	EPDM合成ゴム	1.0MPa	50℃
入口配管（鋼管）	100A	STPT410	1.0MPa	50℃

■ 測定・確認用タンク付属弁

	呼び径	材質	最高使用圧力	最高使用温度
連結弁	200A相当	FCD450-10	1.0MPa	50℃

■ 測定・確認用タンク水位計

検出方式	当社管理精度
マイクロ波タイプ	±1%

■ 攪拌機器

台数
30台

【参考】ALPS処理水希釈放出設備の構造強度評価対象配管箇所

■ 評価対象箇所を以下に示す。

記号凡例

- PE：ポリエチレン管
- E：伸縮継手
- F：流量計
- ：ホース

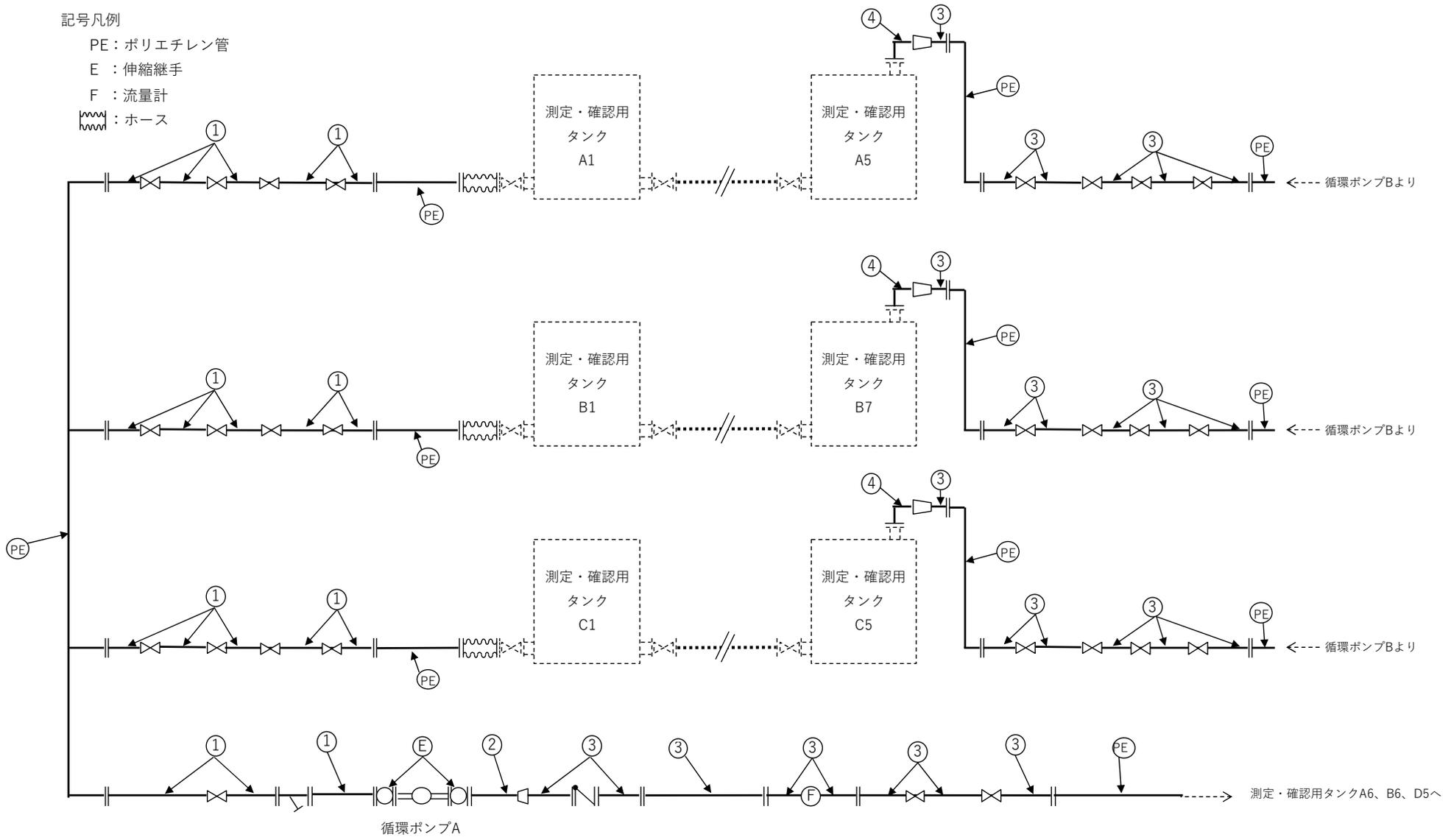


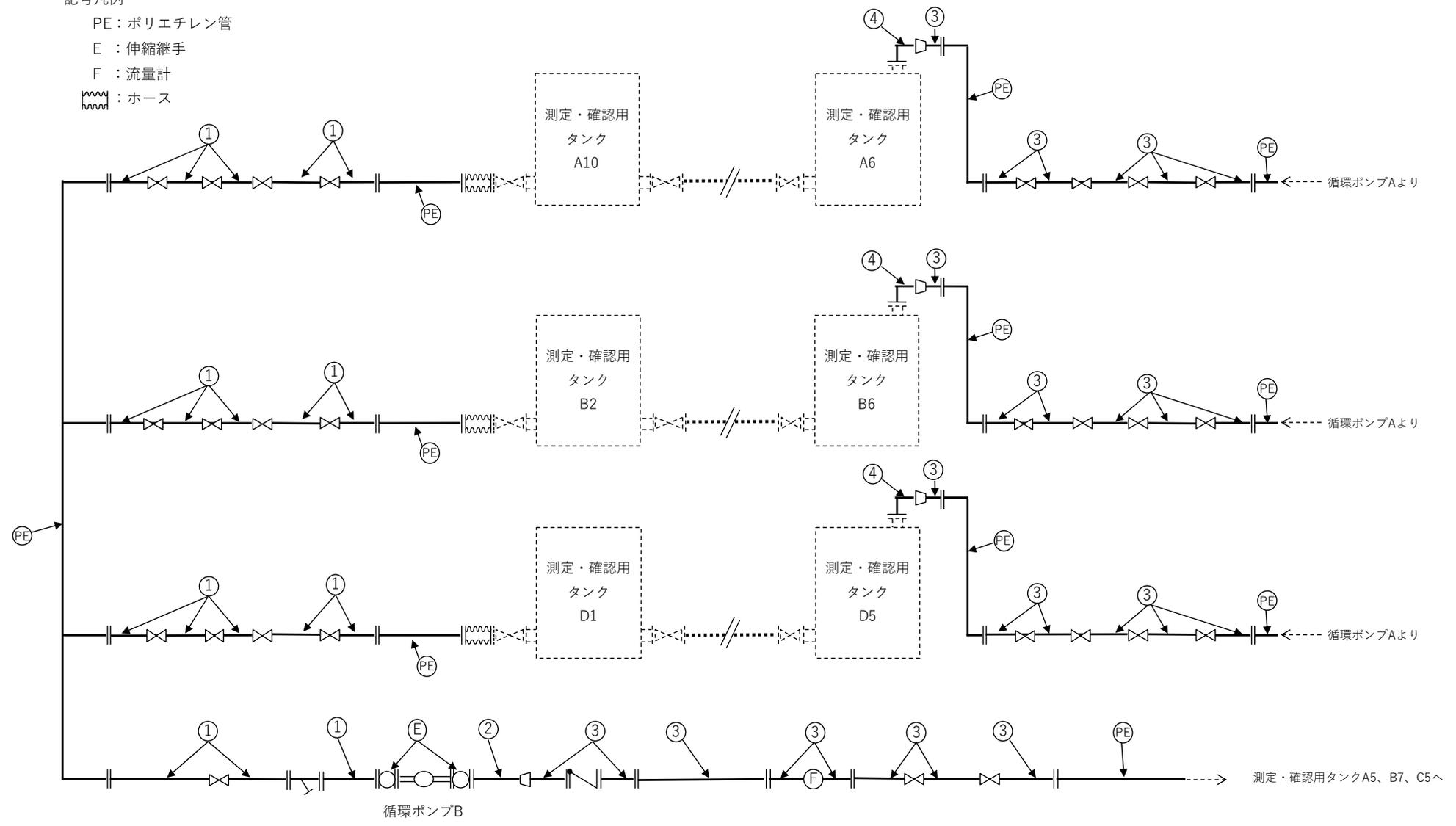
図-1 配管概略図 (1/5)

【参考】ALPS処理水希釈放出設備の構造強度評価対象配管箇所

■ 評価対象箇所を以下に示す。

記号凡例

- PE：ポリエチレン管
- E：伸縮継手
- F：流量計
- ~~~~~：ホース

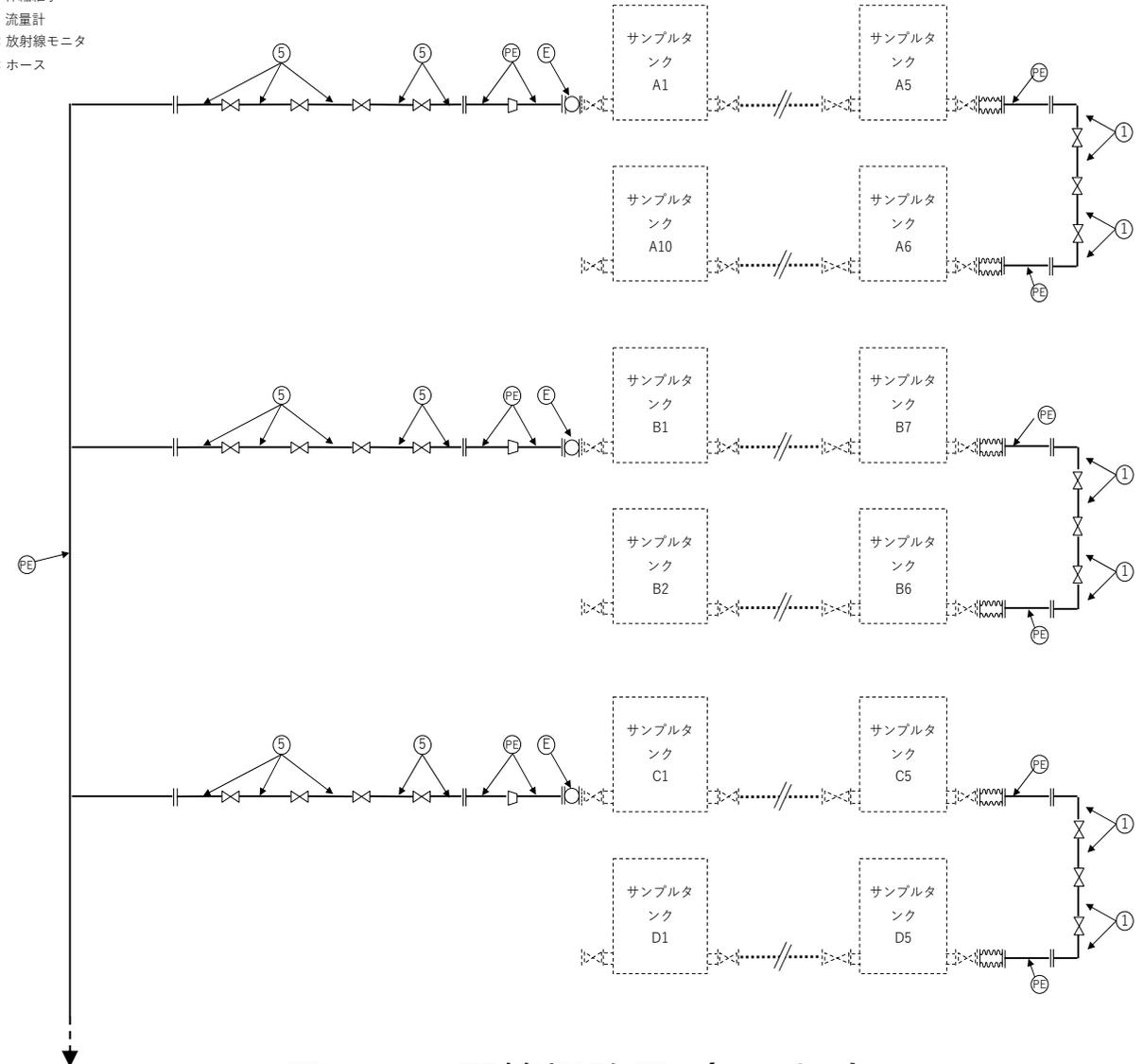


図－1 配管概略図（2 / 5）

【参考】ALPS処理水希釈放出設備の構造強度評価対象配管箇所

■ 評価対象箇所を以下に示す。

- 記号凡例
- PE：ポリエチレン管
 - E：伸縮継手
 - F：流量計
 - R：放射線モニタ
 - ~~~~~：ホース
 - |||||



ALPS処理水移送ポンプへ 図-1 配管概略図 (3 / 5)

【参考】ALPS処理水希釈放出設備の構造強度評価対象配管箇所

- 評価対象箇所を以下に示す。

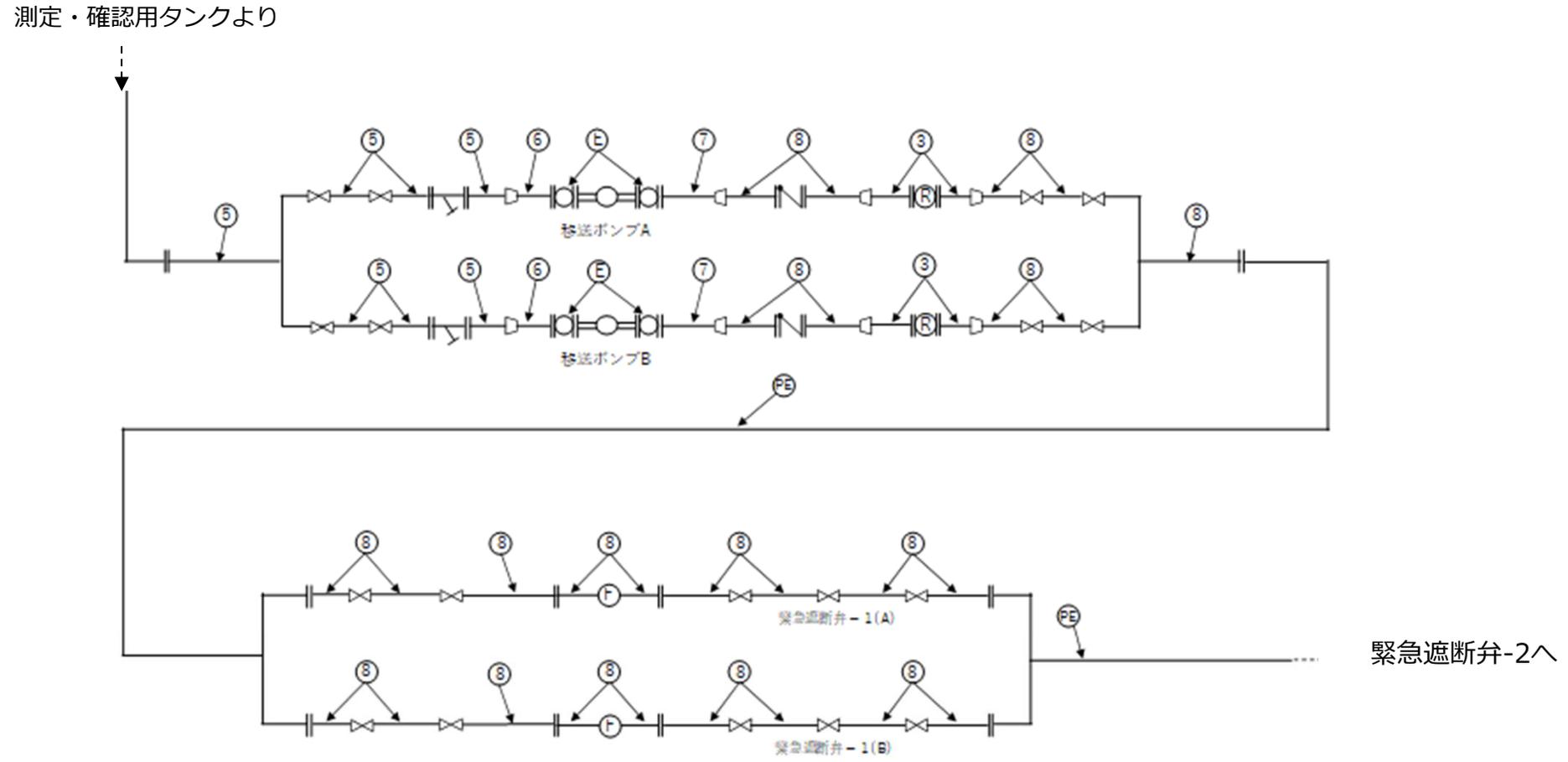


図-1 配管概略図 (4 / 5)

【参考】ALPS処理水希釈放出設備の構造強度評価対象配管箇所

■ 評価対象箇所を以下に示す。

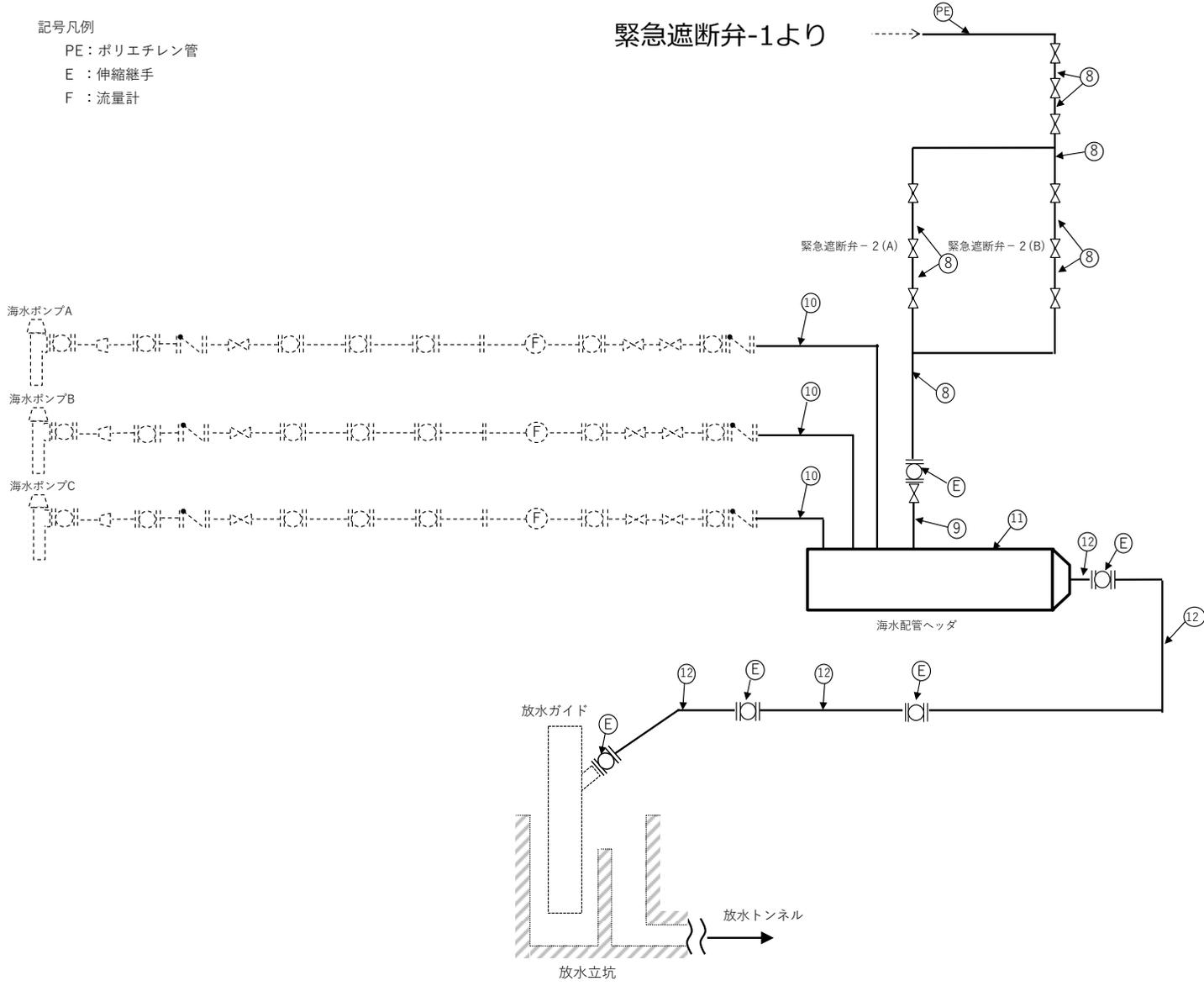


図-1 配管概略図 (5 / 5)

【参考】 気中移行による被ばく評価の算出根拠

■ 被ばく評価の設定値

No.	項目	数値	単位	算出根拠
①	機能喪失時の想定漏えい水貯留面積	2201	m ²	機能喪失時想定漏えい貯留面積
②	放射能濃度	1.1E+06	Bq/L	敷地境界線量評価に用いているH-3の濃度を引用
③	代表風速	3.1	m/s	設置許可記載の1Fにおける代表風速
④	蒸発係数	0.403	mm/day/mb	0.13×代表風速（電力中央研究所報告、研究報告376008、Hefner湖の式(1954)より）
⑤	水面と水面直上2mの飽和蒸気圧差	23.366	mb	水面20℃を仮定した場合の飽和蒸気圧（気中トリチウム圧は0を仮定）（日本機械学会蒸気表より）
⑥	水面蒸発量	9.42	mm/day	蒸発係数×水面と水面直上2mの飽和蒸気圧差
⑦	蒸発量	2.40E-4	m ³ /s	水面蒸発量×機能喪失時の想定漏えい水貯留面積/1000(mm/m)/24/3600(s/day)
⑧	X/Q（気象指針）に基づく相対濃度	1.9E-04	s/m ³	「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」（原子力安全委員会）を引用（実施計画Ⅲ章3編2.2線量評価(2-2-1式)）（放出高さ0m、大気安定度D、風速3.1m、最寄評価点No.70までの距離442mで計算）
⑨	呼吸率	1.2	m ³ /h	活動時の成人の呼吸率「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」（原子力安全委員会）より
⑩	継続呼吸時間	336	h	機能喪失時想定復旧時間（24時間呼吸継続すると仮定）
⑪	吸入摂取の実効線量係数	1.8E-08	mSv/Bq	核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度を定める告示（別表第一）

【参考】 気中移行による被ばく評価

■ 被ばく評価算出（丸数字は前頁のNo.と対応する）

➤ 放出率

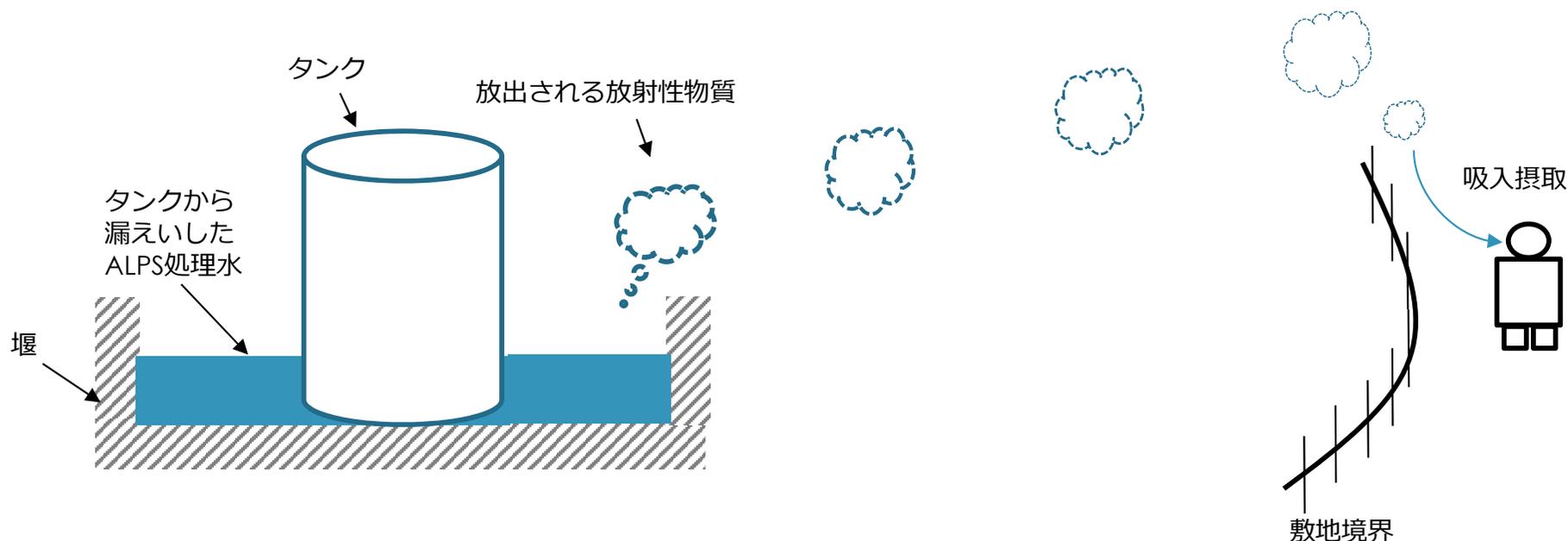
放射能濃度 (②) × 蒸発量 (⑦) × 1000(L/m³) = 2.64E+5 Bq/m³

➤ 敷地境界濃度

放出率 × X/Q（気象指針）に基づく相対濃度 (⑧) = 5.01E+1 Bq/m³

➤ 被ばく量

敷地境界濃度 × 呼吸率 (⑨) × 継続呼吸時間 (⑩) × 吸入摂取の実効線量係数 (⑪)
× 1000(μSv/mSv) = 0.36μSv/事象



被ばく評価イメージ図

【参考】液体漏えい時の被ばく評価について

- ALPS処理水希釈放出設備の「設備等の機能喪失時」の想定
 - 地震によりALPS処理水希釈放出設備が破損し、保有水が漏えい
 - 漏えい水が排水路等を通じ構外に流出。ただし、保守的な評価として途中での希釈は無いものと想定
 - 漏えい水2Lを成人が1回摂取

- 被ばく線量評価：1回の事象に対して32 μSv

項目		単位	トリチウム以外の核種	H-3	
告示濃度				60,000	
評価用のタンク内濃度				620,000 ^{※2}	
【参考】	K4エリアA1タンク（中段）	Bq/L	<p>至近での多核種除去設備の実績から主要7核種の「告示濃度比総和」が1未満となっていることを踏まえ、保守的な設定として主要7核種の告示濃度比総和=1をとした場合でも、水中における告示濃度限度の考え方^{※1}に基づいて</p> <p>1mSv/年/365日\div3μSv程度となる。</p> <p>従って、トリチウム以外の核種の影響は、保守的に考慮しても10μSv程度と考えられる。</p>	154,000	計
	G1エリアB1タンク			498,000	
実効線量係数		$\mu\text{Sv/Bq}$		0.000018	
摂取量		L/事象1回		2	
被ばく線量評価値		μSv		10	

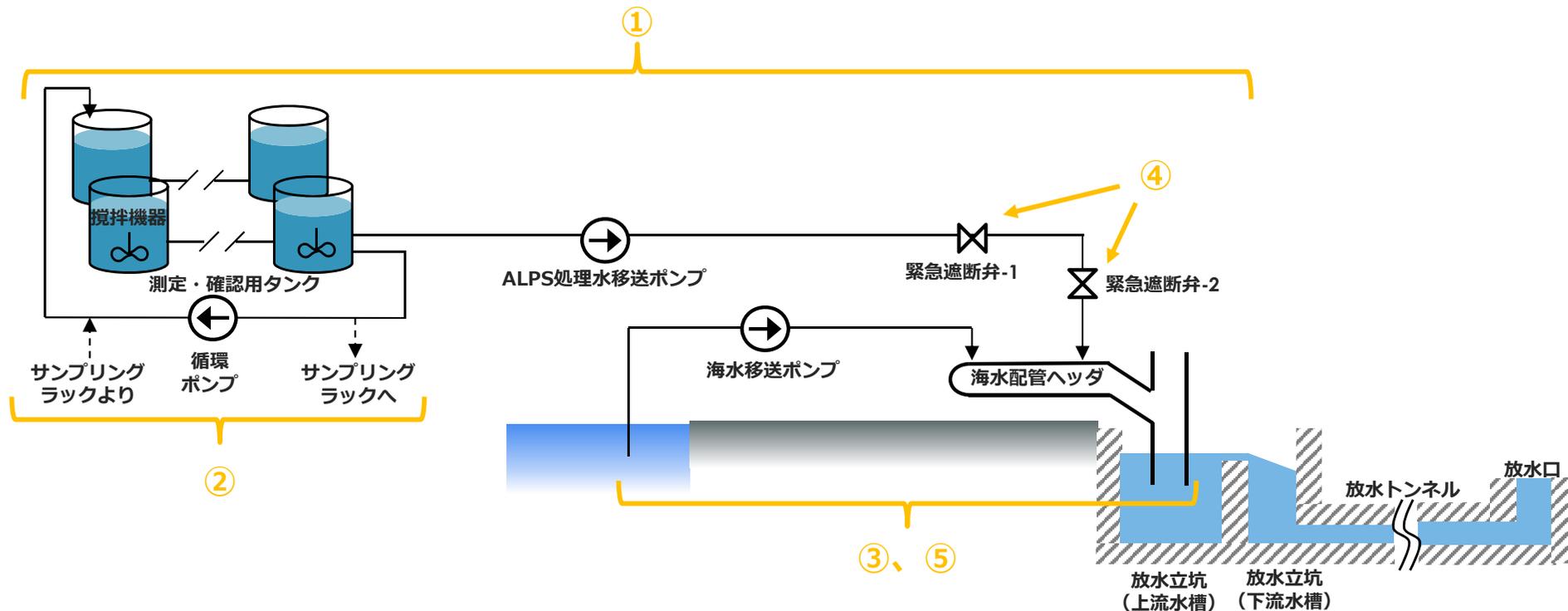
※1：生まれてから70歳になるまで毎日2L飲み続けた場合に、平均の線量率が1年あたり1mSvに達する濃度

※2：既存の全タンク内平均濃度

【参考】ALPS処理水希釈放出設備 要求される機能

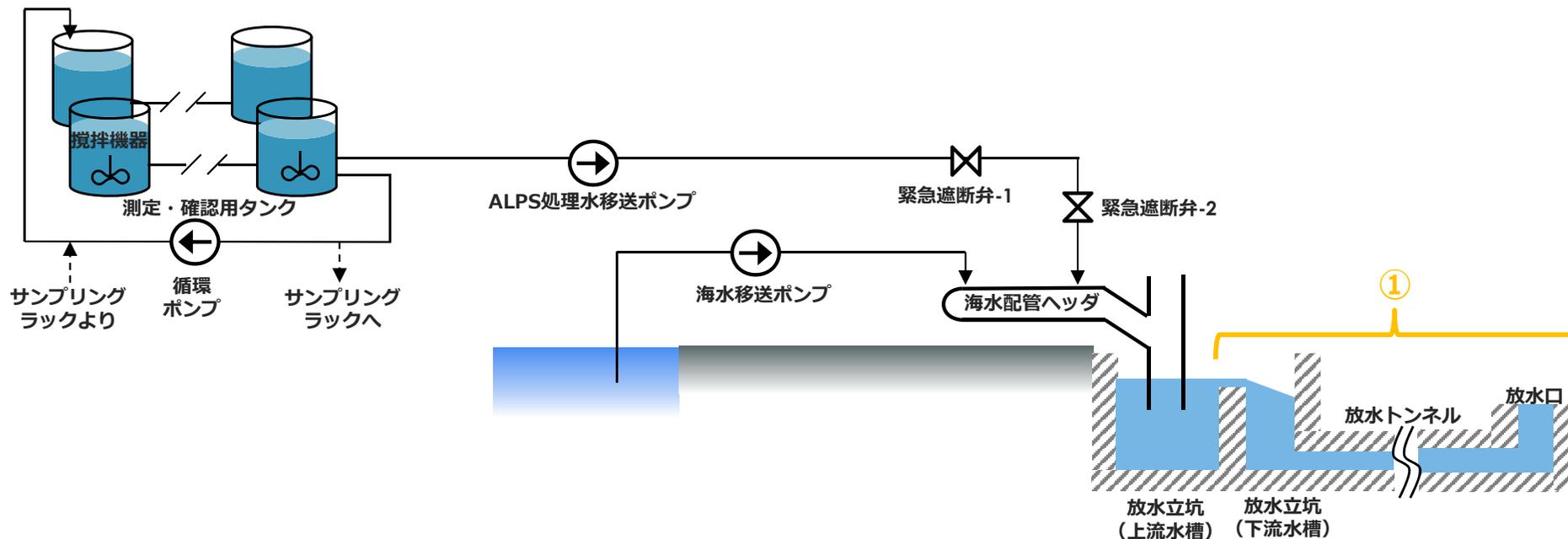
- ① 海洋への放出量は、発生する汚染水の量（地下水、雨水の流入による増量分）を上回る能力を有すること。
- ② 希釈放出前の水がALPS処理水であることを確認するため、タンク内およびタンク群の放射性物質濃度の均一化および試料採取ができること。
- ③ ALPS 処理水を海水で希釈し、海洋へ放出できること。
- ④ 異常が発生した場合、速やかにALPS 処理水の海洋への放出を停止できる機能を有すること。
- ⑤ 海水希釈後のトリチウム濃度が告示濃度限度（60,000Bq/L）を十分下回る水準となるよう、ALPS 処理水を100 倍以上に希釈する能力を有すること。

（実施計画：II-2-50-1）



【参考】放水設備 要求される機能（1/2）

- ① ALPS処理水希釈放出設備の排水（海水で希釈して、トリチウムを含む全ての放射性核種の告示濃度比総和が1を下回った水）を、沿岸から約1km離れた海洋から放出できること。
(実施計画：II-2-50-7)



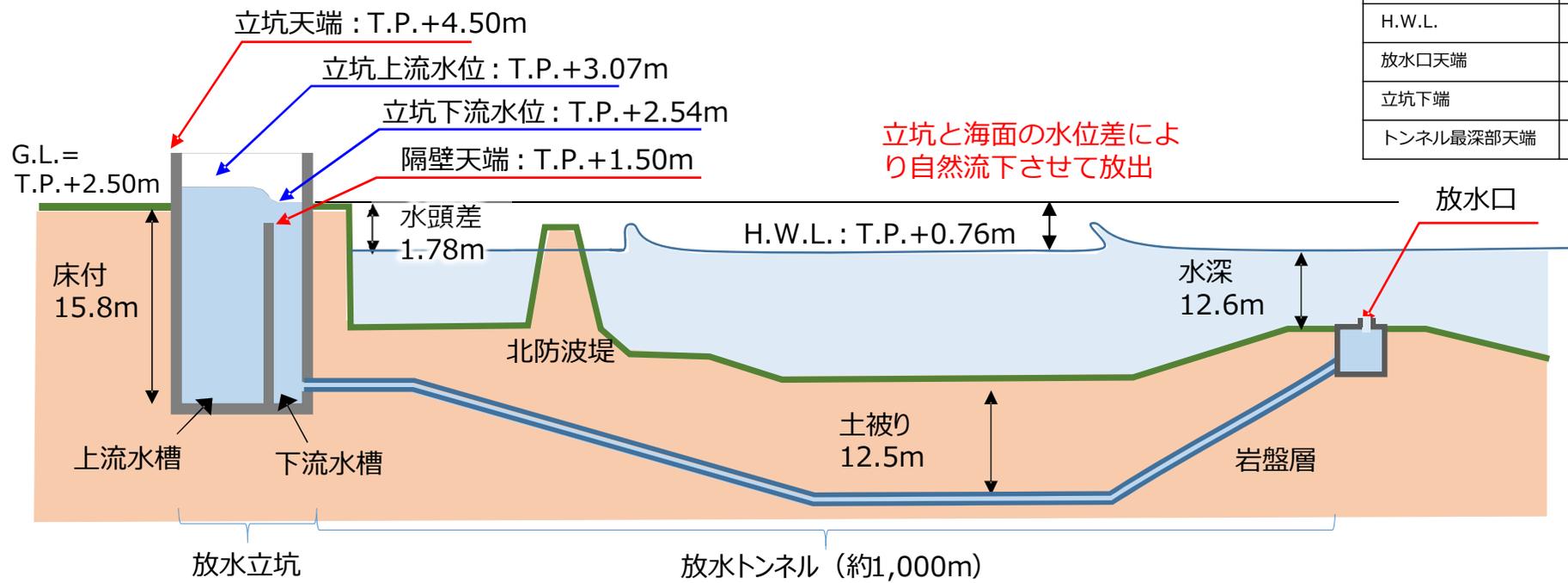
【参考】放水設備 要求される機能（2/2）

■ 水理設計の考え方

- 放水立坑において大気開放することで、管内圧力を低減させる。
- 放水立坑は、放水トンネル、放水口を通して外洋の潮位と連動する構造となるが、海水移送ポンプ3台（51万m³/日=6m³/s）の条件下においても、放水立坑（下流水槽）と海面の水頭差（約1.8m：立坑～放水口の損失合計）により、自然流下可能であることを確認。
- 緊急停止時のサージングによる水位上昇を考慮。

水位・標高一覧

立坑天端	T.P.+4.50m
立坑上流水位	T.P.+3.07m
立坑下流水位	T.P.+2.54m
G.L.	T.P.+2.50m
隔壁天端	T.P.+1.50m
H.W.L.	T.P.+0.76m
放水口天端	T.P.-11.9m
立坑下端	T.P.-15.1m
トンネル最深部天端	T.P.-24.3m



放水設備概念図

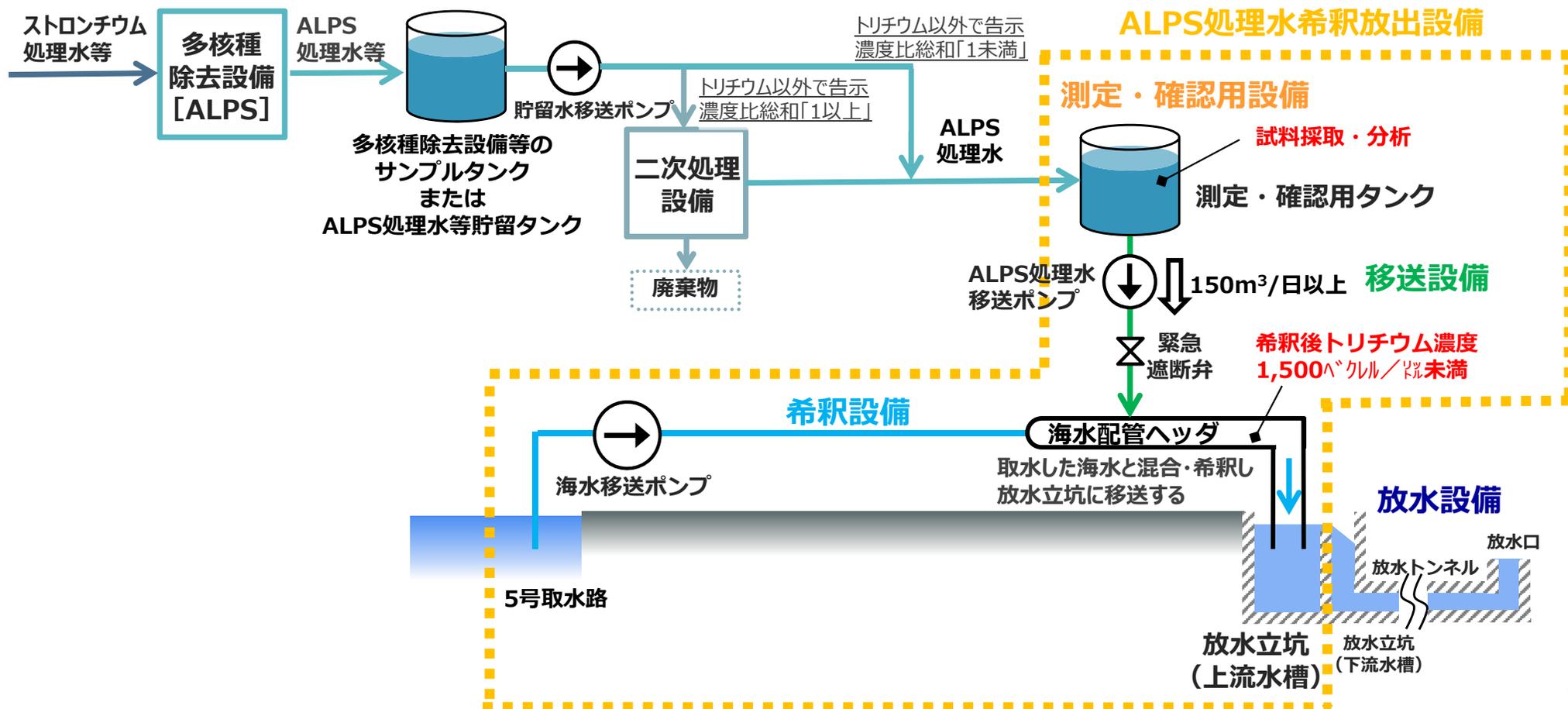
【参考】ALPS処理水希釈放出設備の全体概要

■ 目的

多核種除去設備で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（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。

■ 設備概要

測定・確認用設備は、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一にした後、試料採取・分析を行い、ALPS処理水であることを確認する。その後、移送設備でALPS処理水を海水配管ヘッダに移送し、希釈設備により、5号取水路より海水移送ポンプで取水した海水と混合し、トリチウム濃度を1,500ベクレル/ℓ未満に希釈したうえで、放水設備に排水する。



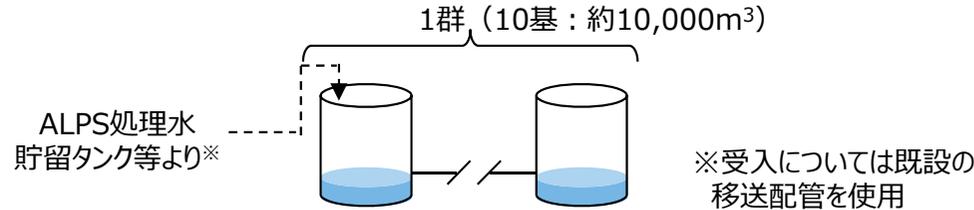
【参考】ALPS処理水希釈放出設備（測定・確認用設備）の概要

■ 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群各10基（1基約1,000m³）とする。
- タンク群毎に、下記①～③の工程をローテーションしながら運用すると共に、②測定・確認工程では循環・攪拌により均一化した水を採取して分析を行う。

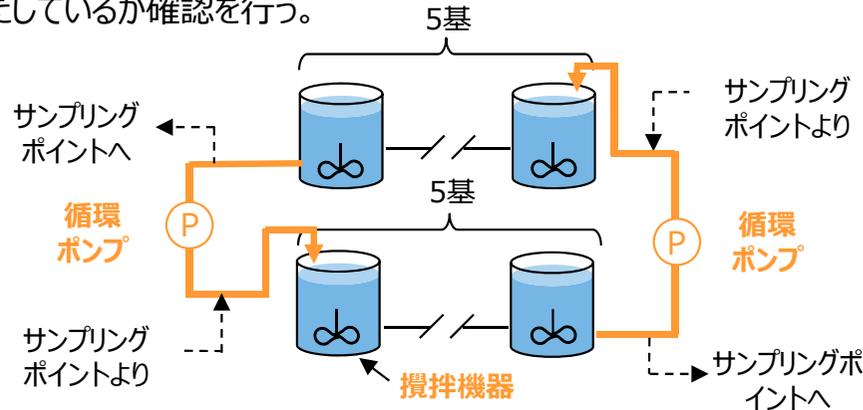
①受入工程

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。



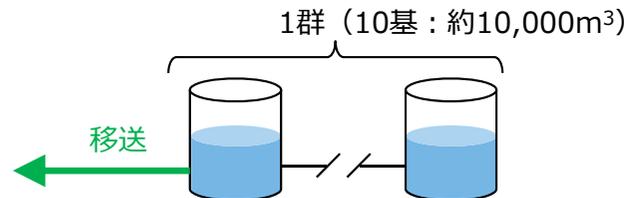
②測定・確認工程

攪拌機器・循環ポンプにてタンク群の水質を均一化した後、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。

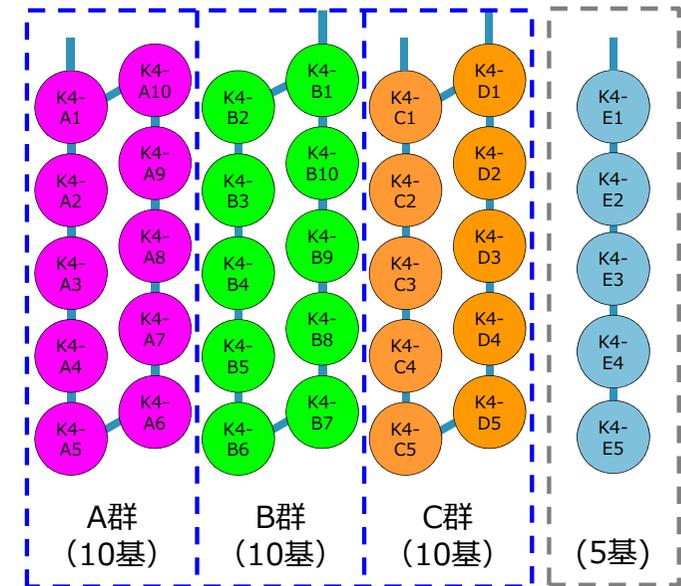


③放出工程

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。



K4エリアタンク群：35基



2.50章 ALPS処理水希釈放出設備

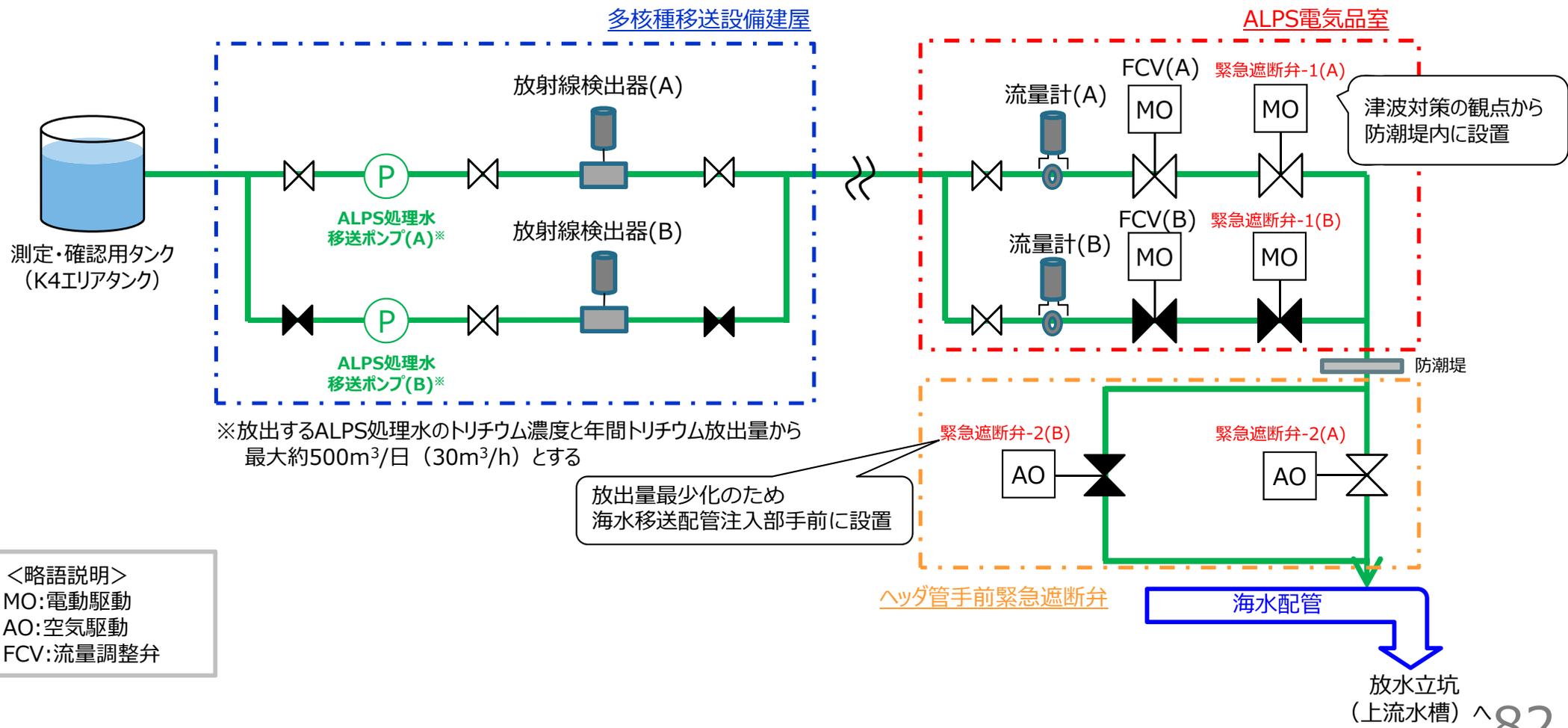
2.5章 多核種処理水貯槽

	A群	B群	C群
1周目	受入	—	—
2周目	測定・確認	受入	—
3周目	放出	測定・確認	受入
4周目	受入	放出	測定・確認
...	測定・確認	受入	放出

【参考】ALPS処理水希釈放出設備（移送設備）の概要

■ 移送設備

- 移送設備は、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ダ手前及び、津波対策として防潮堤内のそれぞれ1箇所設置する。

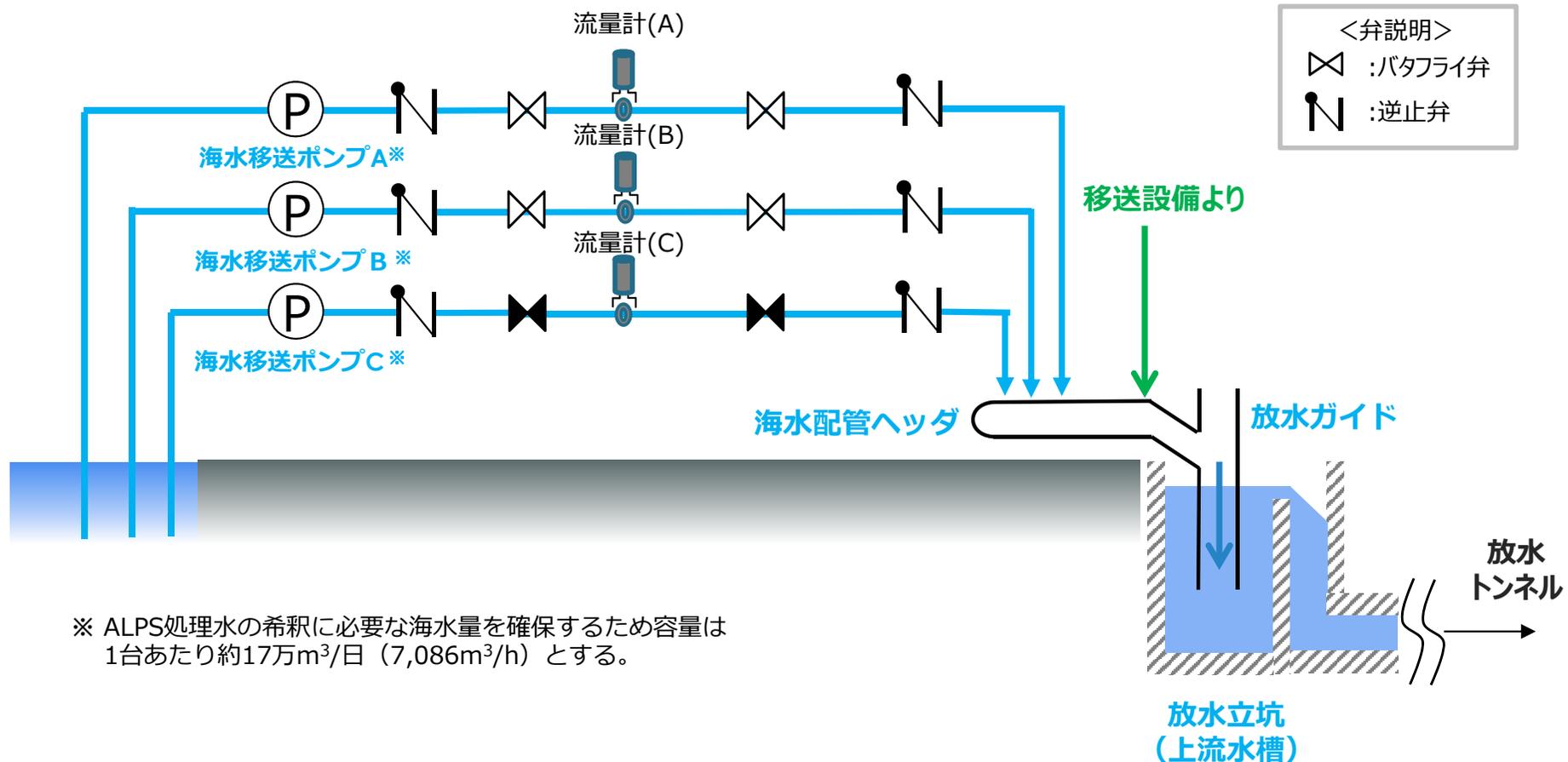


<略語説明>
MO:電動駆動
AO:空気駆動
FCV:流量調整弁

【参考】ALPS処理水希釈放出設備（希釈設備）の概要

■ 希釈設備

- 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（ヘッド管含む）、放水ガイド、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。



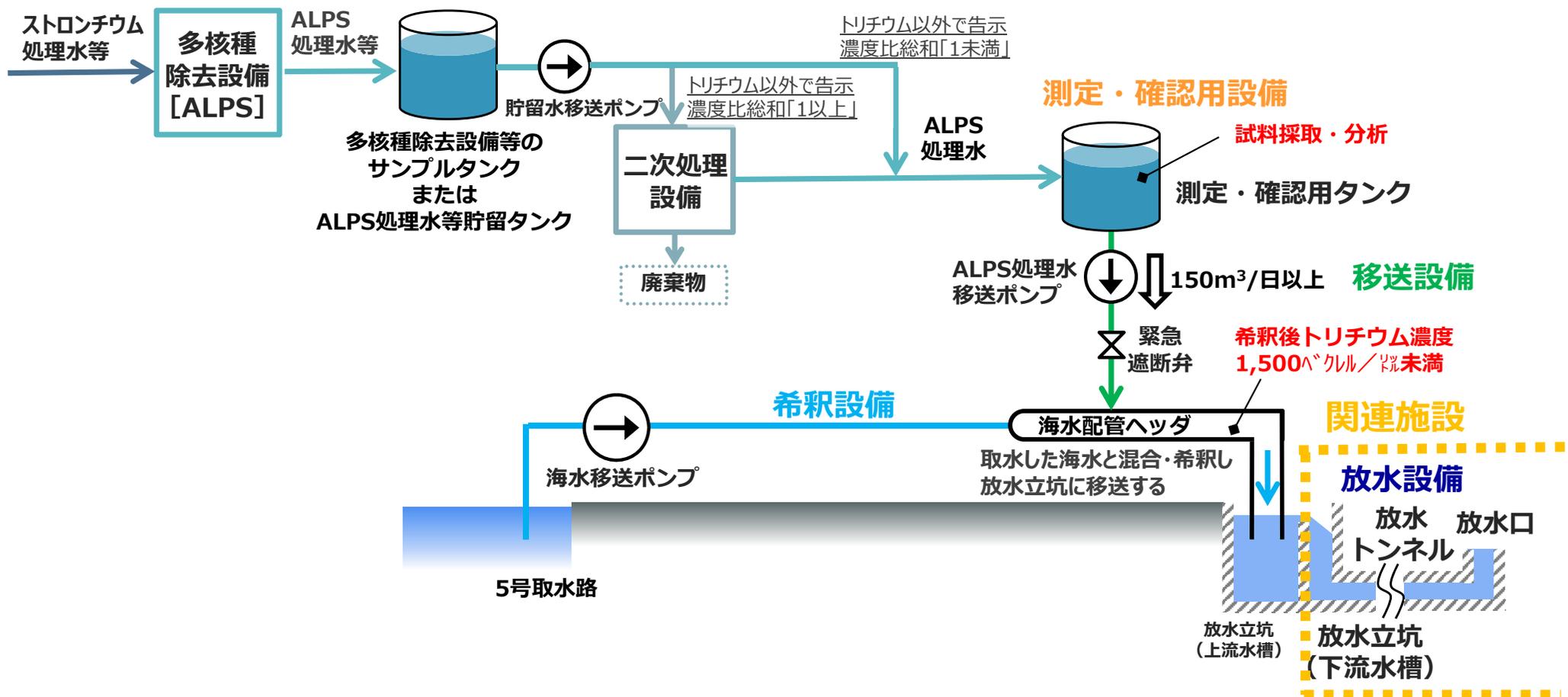
【参考】 関連施設（放水設備）の全体概要

■ 目的

ALPS処理水希釈放出設備の排水（海水で希釈して、トリチウムを含む全ての放射性核種の告示濃度比総和が1を下回った水）を、沿岸から約1km離れた場所から海洋へ放出する。

■ 設備概要

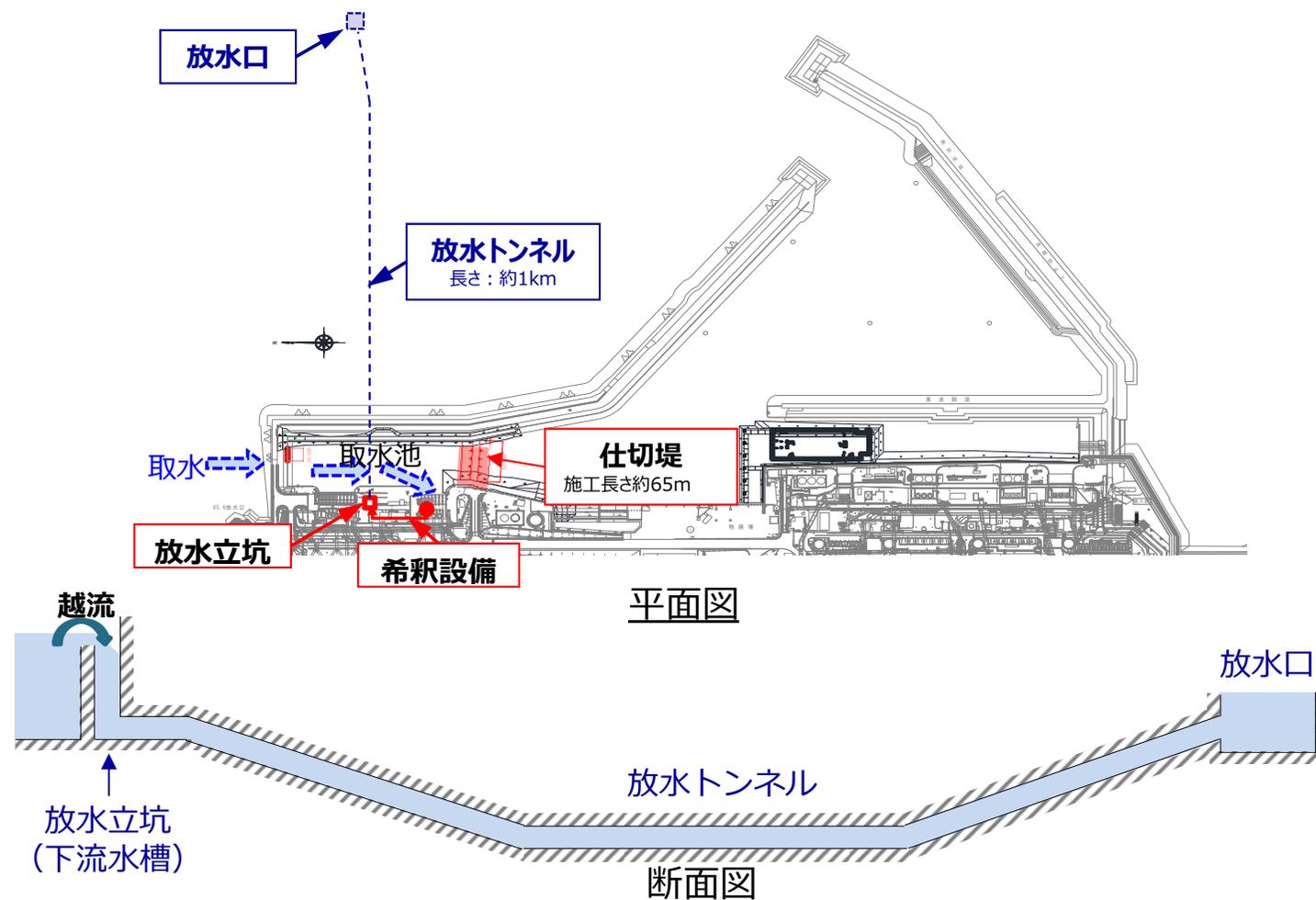
放水設備は、上記目的を達成するため、放水立坑（下流水槽）、放水トンネル、放水口により構成する。



【参考】 関連施設（放水設備）の概要（1/2）

■ 放水設備

- 放水立坑内の隔壁を越流した水を、放水立坑（下流水槽）と海面との水頭差により、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考慮した設計とする。



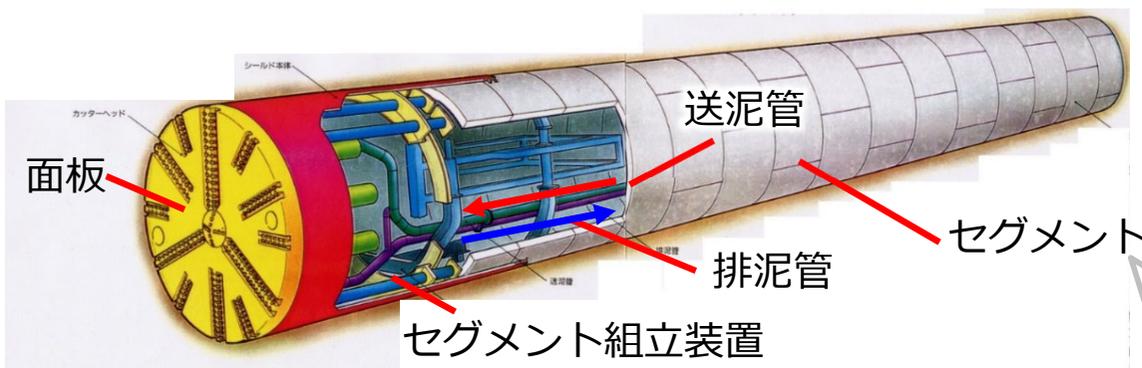
【参考】 関連施設（放水設備）の概要（2/2）

■ 構造設計の概要

- 岩盤層を通過させるため、漏洩リスクが小さく、且つ耐震性に優れた構造を確保。
- シールド工法を採用し、鉄筋コンクリート製のセグメントに2重のシール材を設置することで止水性を確保。
- 台風（高波浪）や高潮（海面上昇）の影響を考慮したトンネル躯体（セグメント）の設計を実施。

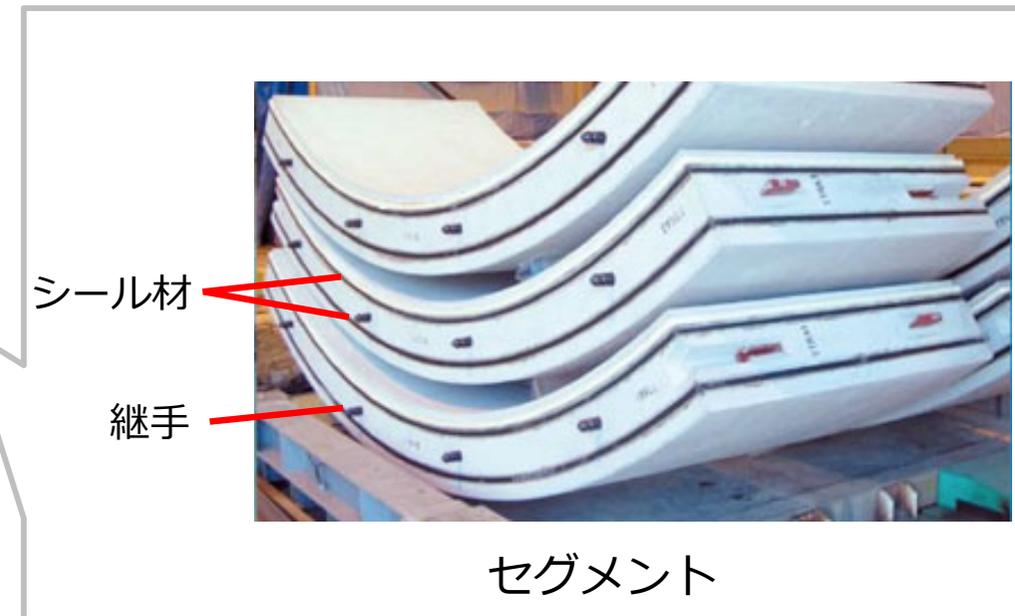
■ トンネルの施工（シールド工法）

- シールド工法による放水トンネルの施工実績は多数あり、確実な施工によりトラブルの発生の可能性が小さい。



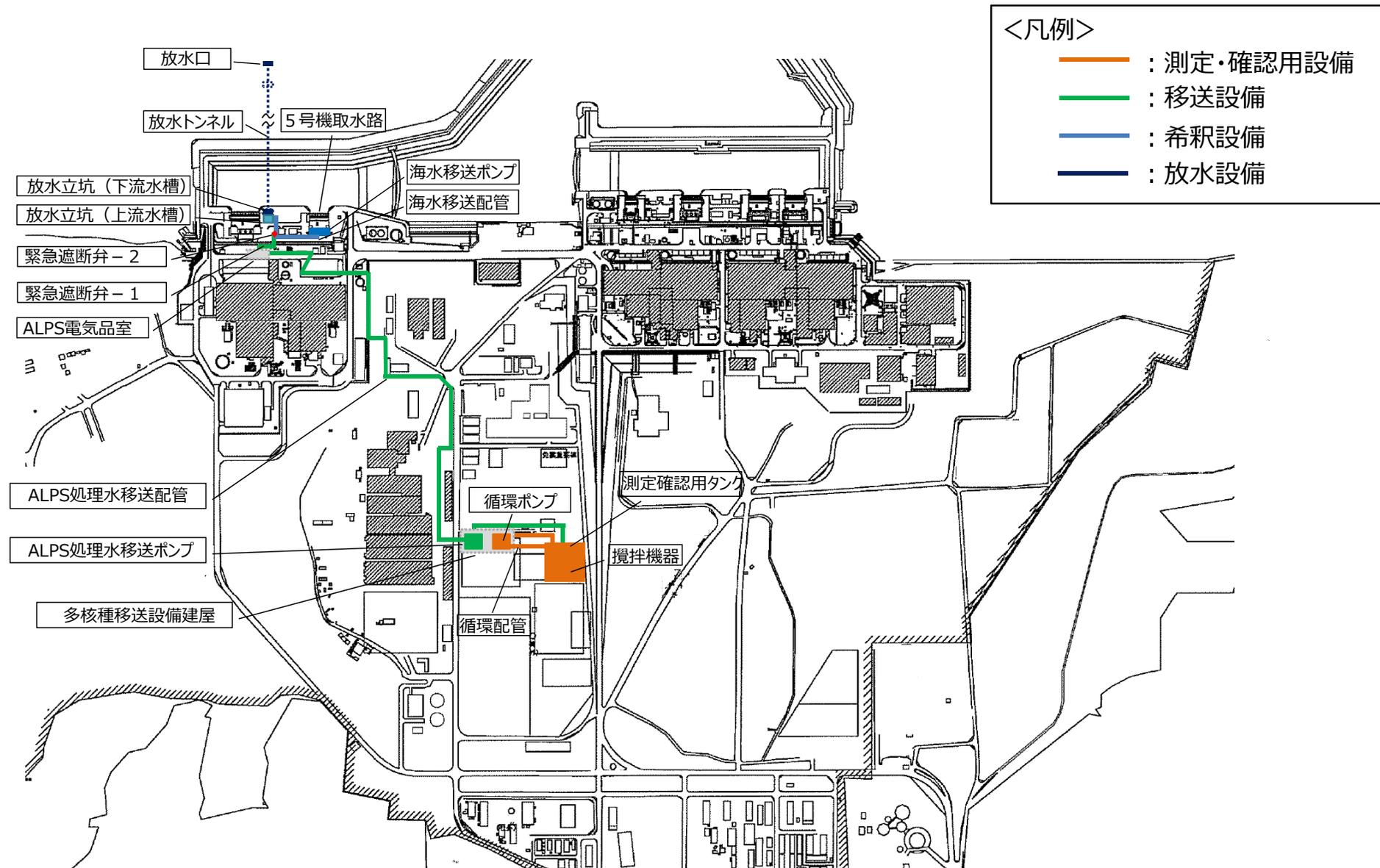
※今回は泥水式シールド工法を採用

シールドマシンの概要図



【参考】 ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設の配置計画

- ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設を構成する設備の配置は以下の通り。
(実施計画：Ⅱ-2-50-添1-2)





【参考】安全確保のための設備の全体像

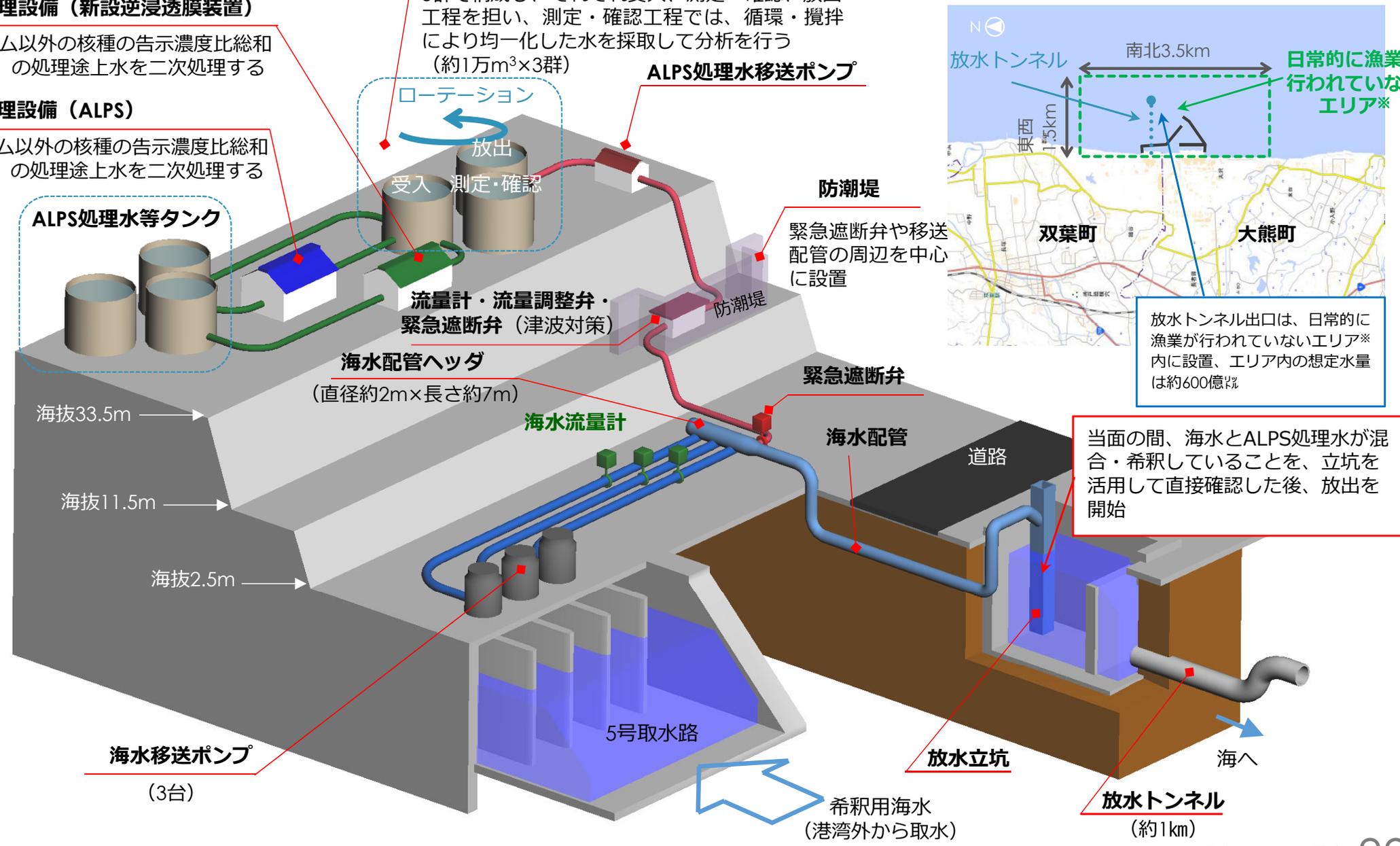
出典：地理院地図（電子国土Web）をもとに東京電力ホールディングス株式会社にて作成
<https://maps.gsi.go.jp/#13/37.422730/141.044970/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0f0z0r0s0m0f1>

二次処理設備（新設逆浸透膜装置）
 トリチウム以外の核種の告示濃度比総和「1~10」の処理途上水を二次処理する

二次処理設備（ALPS）
 トリチウム以外の核種の告示濃度比総和「1以上」の処理途上水を二次処理する

測定・確認用設備（K4タンク群）

3群で構成し、それぞれ受入、測定・確認、放出工程を担い、測定・確認工程では、循環・攪拌により均一化した水を採用して分析を行う（約1万m³×3群）



放水トンネル出口は、日常的に漁業が行われていないエリア※内に設置、エリア内の想定水量は約600億ℓ

当面の間、海水とALPS処理水が混合・希釈していることを、立坑を活用して直接確認した後、放出を開始

希釈用海水（港湾外から取水）

※共同漁業権非設定区域