

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3月18日



東京電力ホールディングス株式会社

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

(参考) 全体方針

(2-1 原子炉等規制法に基づく審査の主要論点)

(2) 海洋放出時の保安上の措置

①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

(1) 海洋放出設備

①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

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

⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

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

(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

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項①

（参考）全体方針

- タンクの解体撤去により、どの時期にどの程度のエリアを確保できるかを示すとともに、段階的なエリアの開放に応じて、新たな施設の設置が、その設置時期と規模の観点で、成立する見通しがあることを説明すること。

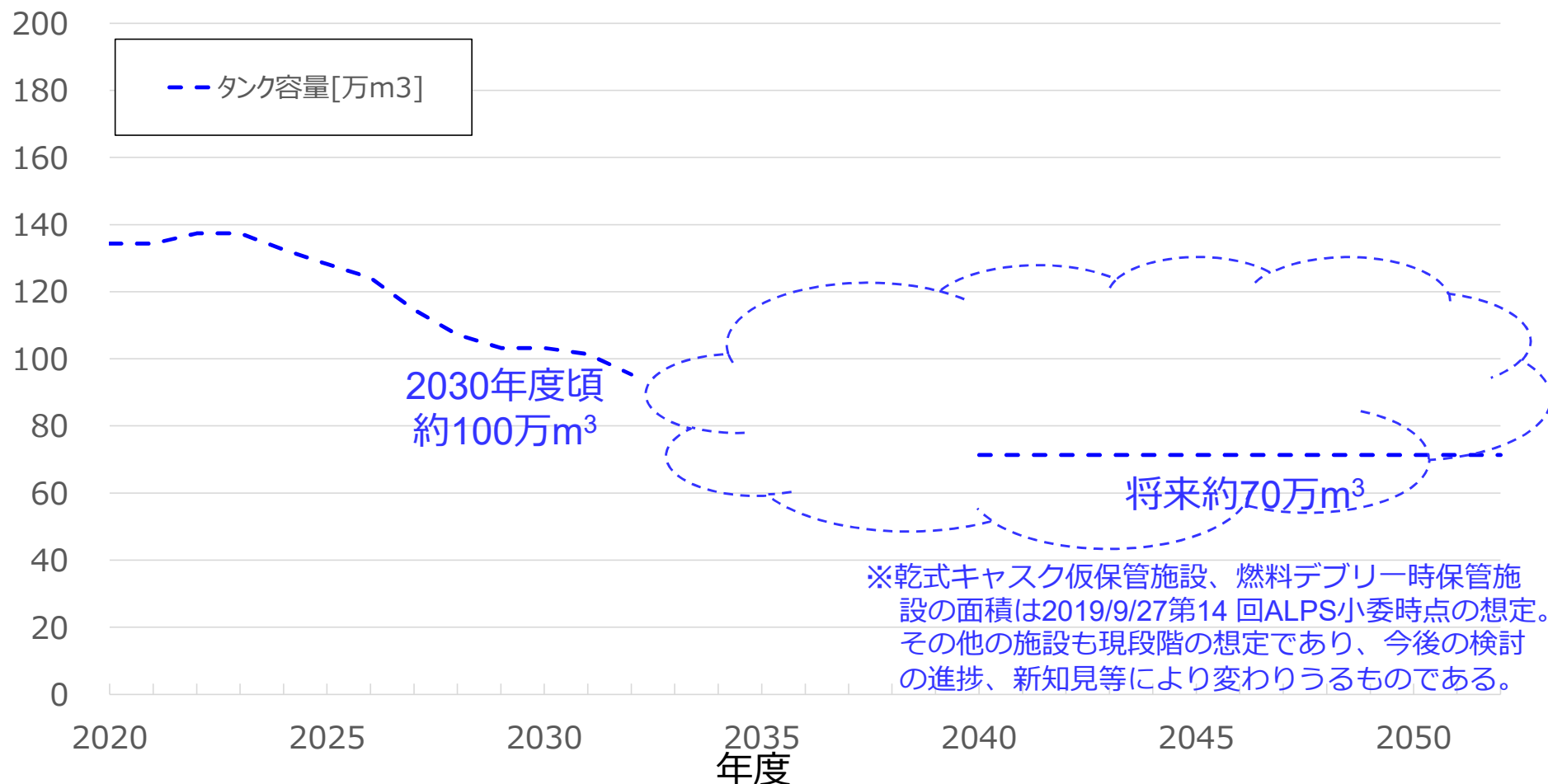
- ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設は、タンクに貯留されているALPS処理水を海洋へ放出することにより、燃料デブリや使用済燃料の取り出しといった廃炉作業を安全かつ着実に進めていくためのものであり、長期間、安定的な放出を行うことが必要である。
- タンクに貯留されているALPS 処理水を放出することにより、中長期ロードマップに沿った全体工程の達成及びリスクマップに沿ったリスク低減対策を実現していく。
- そのため、翌年度の放出計画の策定にあたっては、今後の敷地利用計画（必要な面積、時期）を達成できるよう、タンクに貯留されているALPS処理水の年間放水量（ $\text{m}^3/\text{年}$ ）を定め、日々発生分も含め22兆Bq/年を達成できるようトリチウム濃度の薄い水から放出していく。

(参考) 全体方針

① - 2. タンクの解体撤去による設備設置の成立性

- タンクエリアにより容量1万m³あたりの内堰面積は約1,200～約2,800m²と幅があるが、2030年度頃までに約40万m³のALPS処理水を海洋放出することで約5～約11万m²の敷地を、将来的に約70万m³のALPS処理水を海洋放出することで約8～約20万m²の敷地を確保する（第11回審査会合資料スライド32, 33タンク容量グラフ抜粋）。
- 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。

タンク容量・ALPS処理水貯水量[万m³]



(参考) 全体方針

【参考】タンクの解体撤去による設備設置の成立性

- 下表の施設の着工に先立つタンクの解体撤去には、これまでのフランジタンクの解体実績を踏まえると、エリアの規模にもよるが数年を要する。
- そのため、2020年代前半頃着工予定の施設については、敷地北側に固体廃棄物貯蔵庫を建設する等、福島第一原子力発電所の敷地を有効に活用していく。

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 (SFP) 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 等 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 乾式キャスク仮保管施設 (共用プール用) 等 	—
	・ 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 等 	<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			

※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。
また、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。

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項②

（2－1 原子炉等規制法に基づく審査の主要論点）

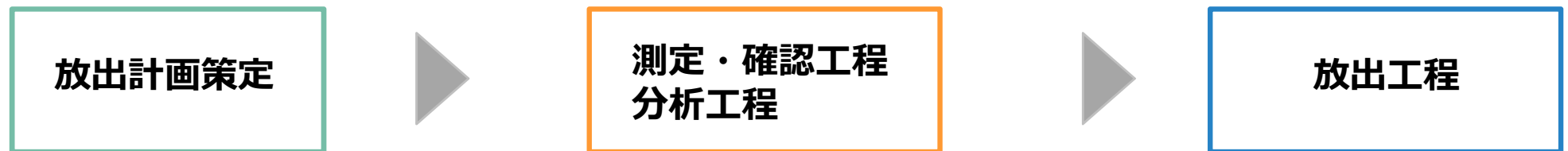
（2）海洋放出時の保安上の措置

- 分析の運用手順と移送/希釈設備の運用手順との関係において、トリチウム濃度はどの段階でチェックするか等、整理して説明すること。

2-1(2) 海洋放出時の保安上の措置

②-1. ALPS処理水のトリチウム濃度の確認について

- ALPS処理水の海洋放出にあたって、トリチウム（H-3）濃度を確認するタイミングは2回ある。
 - ① 毎年度、当該年度のトリチウム放出量の計画策定に当たり、「A.日々発生するALPS処理水」、を放出しながら、22兆Bq/年を下回る水準で「B.タンクに貯留されているALPS処理水等」を放出する計画であるが、計画策定時に、それぞれのトリチウム濃度を確認する（次頁参照）。
 - ② 海洋放出前に測定・確認用設備において、H-3及びH-3以外の放射性物質を分析し、H-3以外の放射性物質が放出基準を満足していることを確認するとともに、H-3濃度を低減させるため、希釈設備にて海水で希釈した上で排水する（実施計画：Ⅲ-3-2-1-2）。
- 上記の通り、海洋放出前（測定・確認工程／分析工程）にて、H-3以外の放射性物質は放出基準を満足しているか確認し、H-3は海水希釈のための流量調整及び、放出計画策定時と実績の比較に使用する計画。



【H-3濃度（計画時）※】

「A.日々発生するALPS処理水」
「B.タンクに貯留されているALPS処理水等」

比較



【H-3濃度（放出前）】

「測定・確認用タンク内のALPS処理水のトリチウム濃度」

スキャナ等により
機械的に入力



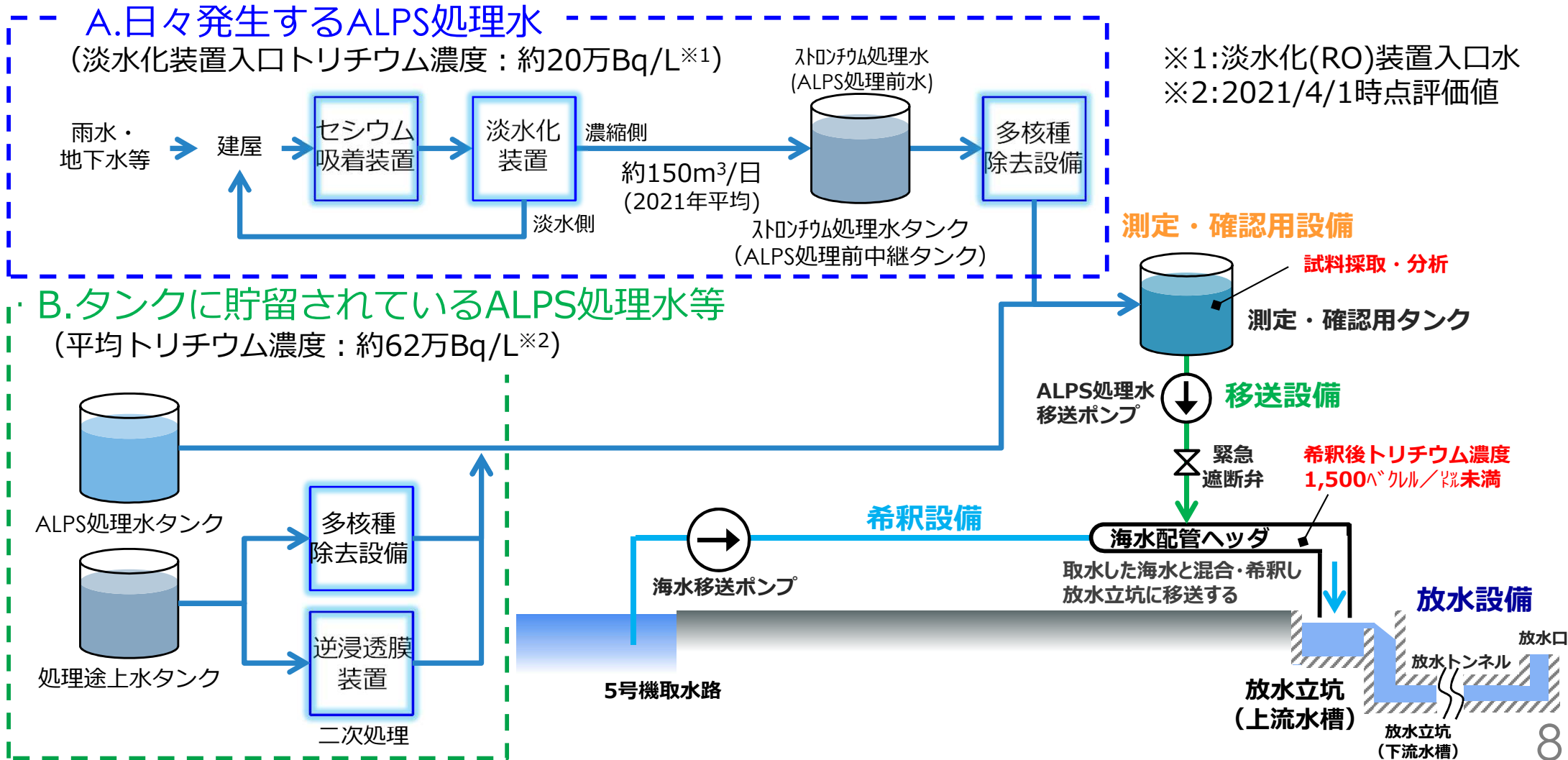
監視・制御装置に登録
海洋放出時の
ALPS処理水流量の調整

※：トリチウム濃度の薄いALPS処理水から順次放出することを基本方針としている。

2-1(2) 海洋放出時の保安上の措置

【参考】放出計画の基本方針

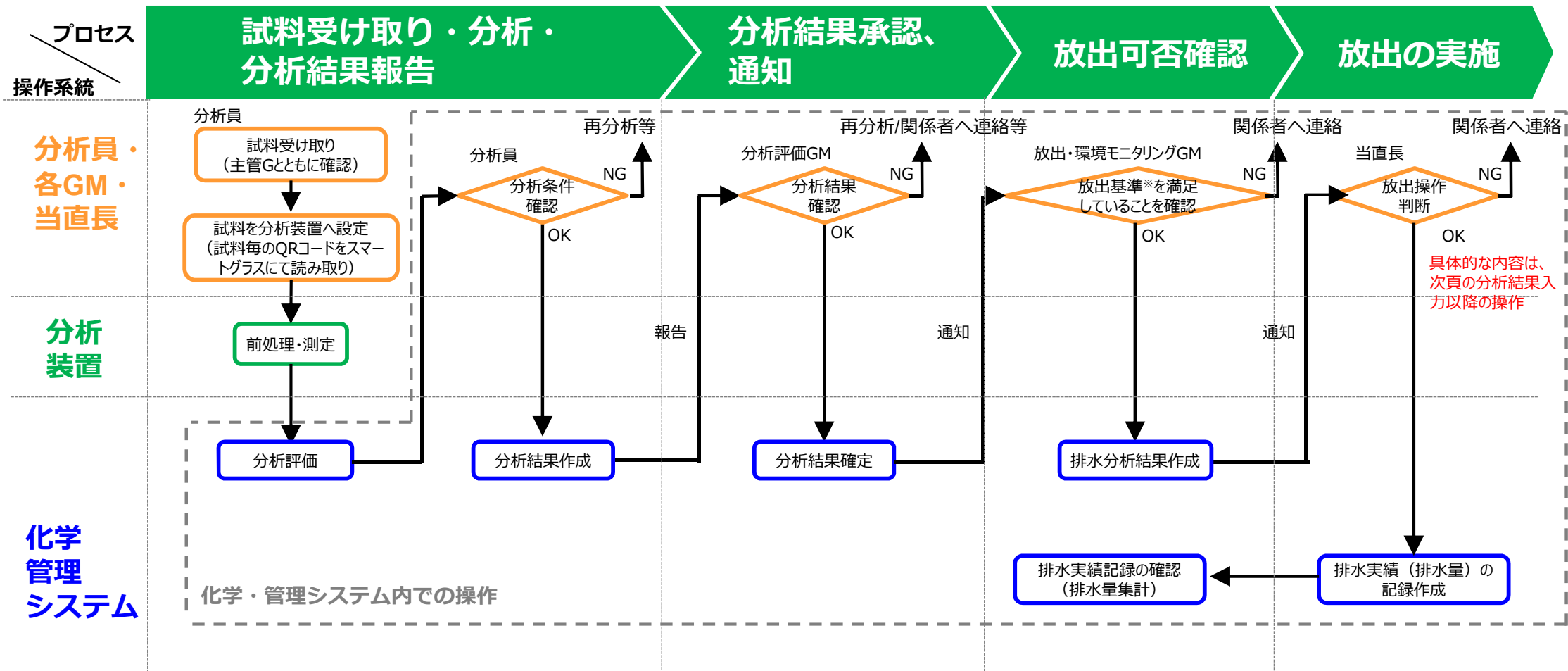
- 今後放出するALPS処理水には、「A.日々発生するALPS処理水」と「B.タンクに貯留されているALPS処理水等」がある。
- トリチウム濃度の薄いALPS処理水から順次放出することを基本方針としており、Aのトリチウム濃度を下回るBの水量は限られていることから（スライド31参照）、AとBを交互に放出する計画である。



2-1(2) 海洋放出時の保安上の措置

【参考】分析の運用手順について

- 測定・確認用設備でサンプリング後の運用手順は以下の通り。
 - 分析装置による測定以降から基幹システム（以下、「化学管理システム」という）内で確認・承認作業を実施（人手による計算や転記なし）。
 - 化学管理システムにて実施した行為はすべて記録が残る設計。

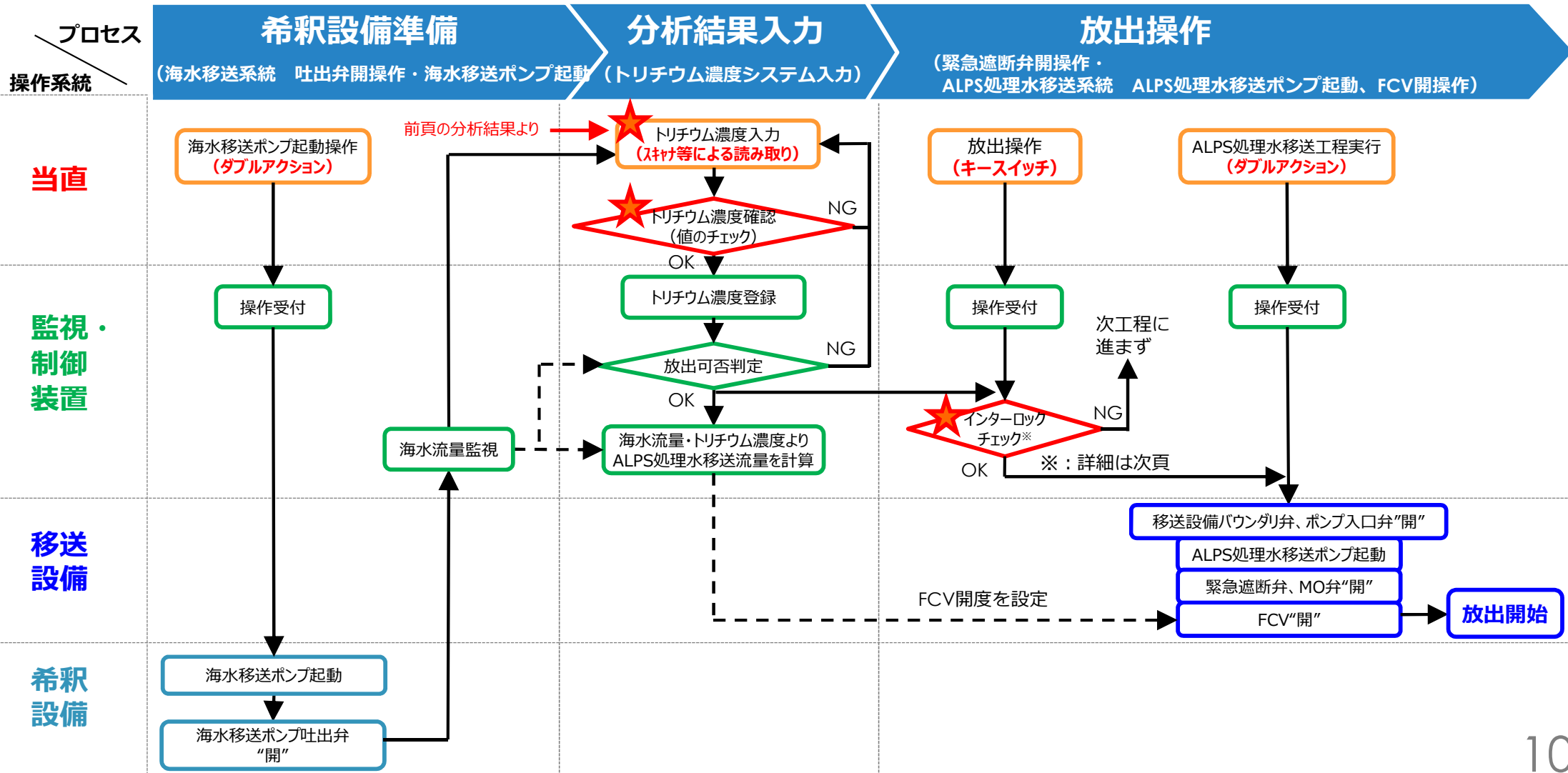


※：放出対象タンク群のALPS処理水が測定されていること
当該水のトリチウム以外の放射性核種の告示濃度限度比総和が1未満を満足していること

2-1(2) 海洋放出時の保安上の措置

【参考】移送設備/希釈設備の運用手順について

- ALPS処理水放出時の運用手順は以下の通り。
 - トリチウム濃度の監視・制御装置への入力はヒューマンエラー防止のため、スキャナ等による機械的な読み取りとする（入力された値が正しいかは、複数人でチェック）。
 - 誤放出が無いよう、監視・制御装置は選択タンク群が測定・確認工程を完了していること、他タンク群のバウンダリ弁が全閉であること等をチェックするインターロックを設置。



ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項③

（2-1 原子炉等規制法に基づく審査の主要論点）

（2）海洋放出時の保安上の措置

①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

- ALPS処理水の分析において、分析員ごとに、誰がいつ何をやるのかを説明するとともに、分析員が所定の力量を身につけるために必要な教育期間等を見積もった上で、放出開始前までに必要なリソースが確保されることを説明すること。
- 力量確保のための教育の時間を確保することにより、本来の分析業務への影響がないかどうか説明すること。
- トリチウムの分析回数が増加した場合に応じて、必要な測定機器及び分析員が確保され、並行的な分析作業が可能であることを示すとともに、トリチウムについても、分析員ごとに力量の有無を明示すること。

2-1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

③-1. 対象分析施設

- ALPS処理水の排水にあたって分析試料数が増加するのは【化学分析棟】であり、リソースの過不足を把握したうえで、必要な措置を計画する
- ALPS処理水系統等の漏洩などのトラブルが発生し、低放射能濃度の試料を急遽分析する必要がある場合は化学分析棟で分析を実施するが、放射能濃度が把握できない漏洩水などの分析は扱わない

環境管理棟

前処理操作 (魚の前処理)

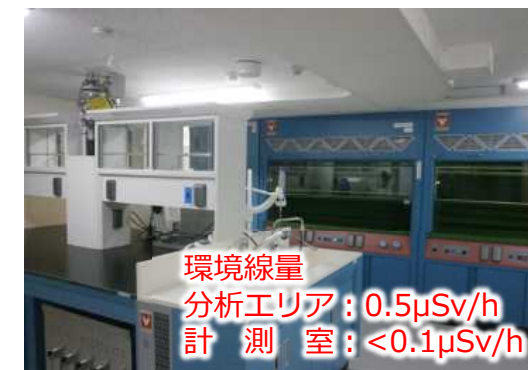


環境線量 : 0.4 μ Sv/h



5,6号分析室

高放射能濃度試料用



環境線量
分析エリア : 0.5 μ Sv/h
計測室 : <0.1 μ Sv/h

化学分析棟

低放射能濃度試料用



環境線量 : 0.06 μ Sv/h

分析室+計測室 : 1,000 m²
実験台 : 15 、 ドラフト : 35
・ 2013年から運用開始

- 震災以前より運用
- 震災により運用不可
- 震災後、新規に建設・運用
- 震災後、既存施設を改造・拡張

2-1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

③-2. リソース状況

■ リソース（分析員）の概要

- 分析員の配分は、過不足が発生しないよう分析試料数によって適宜調整を実施
- 化学分析棟の日勤帯分析員は、最大35名が低放射能濃度分析に従事
- 最大人数をもってしても、日勤帯に低放射能濃度分析の対応が間に合わない場合には、夜間帯に5,6号分析室から2名が移動し対応
- 分析試料数の増加の可能性あることから、分析員数は引き続き確保・育成を行っていく
- 夜間帯の対応員として、大熊単身寮在住者が監理員対応する体制を準備

	所 属	所属人数	平日昼間 (最大)	休 日	夜 間	備 考
分析員	化学分析棟	35名	35名	5名	0名	日勤のみ
	5,6号分析室	59名	37名	21名※1	2名※2	交代勤務と日勤
監理員	分析評価グループ	16名	16名	2名	0名 (9名※3)	日勤のみ

↑
夜間対応
化学分析棟へ移動

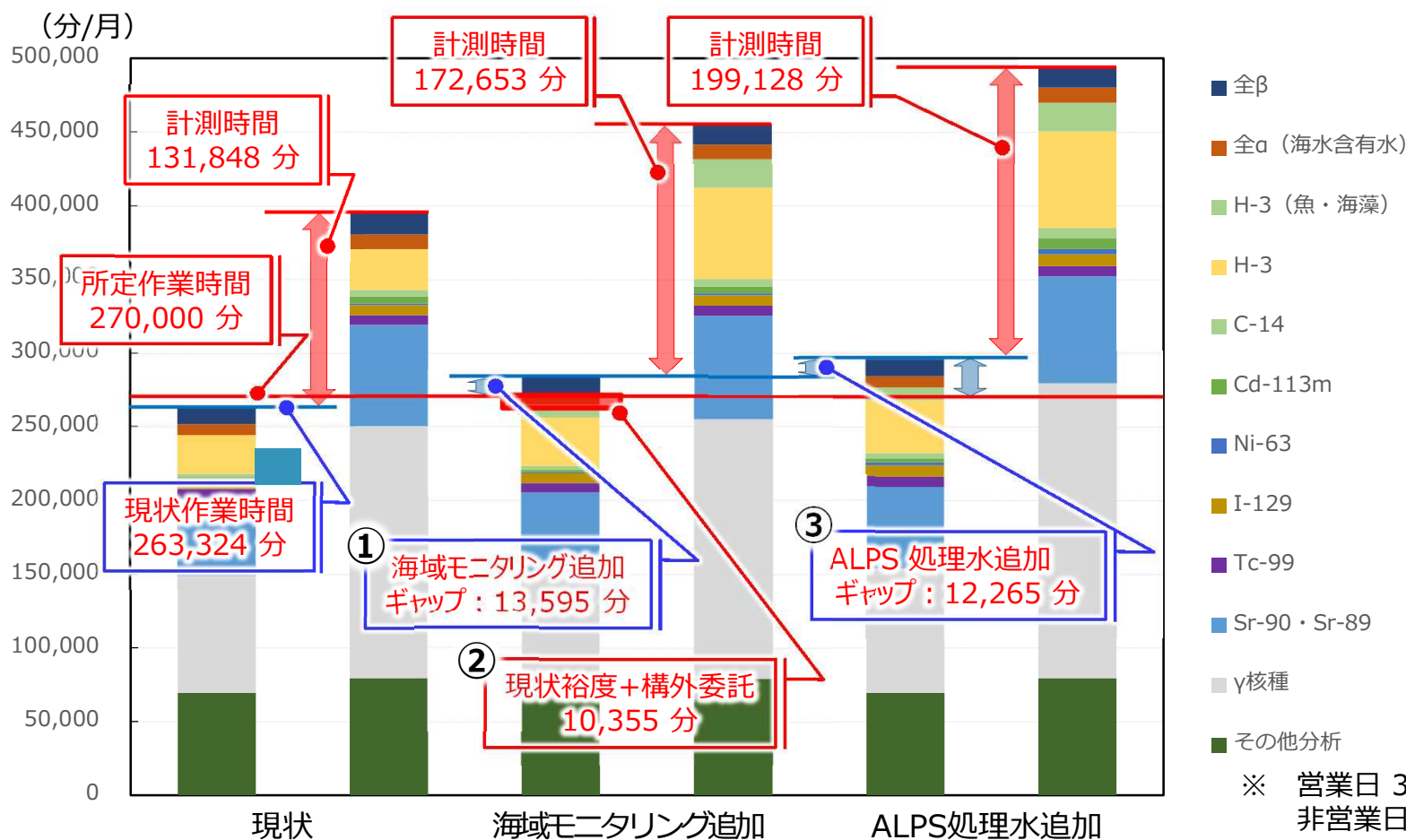
※1：延べ人数、 ※2：選任対応者9名のうち2名、 ※3：夜間対応者を選任

2-1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

③-3. 分析作業の見通し

■ 作業所要時間の把握

- 現状、ならびに今後のモニタリング項目の追加に対して、【作業時間】と【作業時間+計測時間】を算出
- 化学分析棟で作業にあたる35名の所定作業時間※とのギャップを見る化
- ALPS処理水の排水分析に向けて、海域モニタリングの追加により生じる**ギャップ①**相当と力量向上への投資時間を確保するために新たに構外委託先を確保 → 所定作業時間と比較し、約10,000分の裕度：②
- ALPS処理水の追加により生じる**ギャップ③**（事実上のギャップ：約2,000分）を作業効率化に取り組み、ALPS処理水の排水分析を確実に対応できる体制を構築



【具体的な取組】

- ① 所定作業時間を超える作業を構外委託する
- ② トリチウム分析の力量保有者率を100%化するなどにより、ALPS処理水の追加作業による**ギャップ③**(実態：約2,000分)相当の作業効率化を2022年度内に実施
- ③ 今後、化学分析棟の機能拡大（2023年度内竣工目標）により外注する海域モニタリングも化学分析棟で対応していく

※ 営業日 35名×60分/時間×6時間/日×20日/月
非営業日 5名×60分/時間×6時間/日×10日/月

2-1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

③-4. 作業員の力量把握

■ 力量向上の取組み

- 化学分析棟で作業にあたる35名+5,6号分析室9名の力量を見える化
- 力量を見える化し、試料増加が顕著なトリチウムの力量保持率を2022年度内に100%化
- 難測定核種についても力量保有者率を増加させ、作業効率向上を図る

核種 作業員	核種										核種 作業員	核種									
	γ	H-3	全α	Ni-63	Cd-113m	C-14	Tc-99	I-129	Sr-90	全β(参考)		γ	H-3	全α	Ni-63	Cd-113m	C-14	Tc-99	I-129	Sr-90	全β(参考)
1	○	○	○							○	23	○	○								○
2	○	○	○							○	24	○	○	○							○
3	○	○				○			○	○	25	○	○								○
4	○	○	○			○			○	○	26	○	○								○
5	○					○	○	○		○	27	○	○								○
6	○			○	○	○	○	○		○	28	○									○
7	○			○	○				○	○	29										○
8	○			○	○	○	○	○	○	○	30										○
9	○								○	○	31	○									○
10	○			○	○					○	32	○									○
11	○			○	○	○	○	○	○	○	33	○									○
12	○	○				○				○	34										○
13	○	○				○				○	35										○
14	○	○				○			○	○	36	○	○								○
15	○	○	○							○	37	○	○								○
16	○	○							○	○	38	○	○								○
17	○	○								○	39	○	○								○
18	○	○		○	○	○	○	○	○	○	40	○	○								○
19	○					○	○	○		○	41	○	○								○
20	○					○	○	○		○	42	○	○								○
21	○				○	○	○	○		○	43	○	○								○
22	○	○	○							○	44	○	○								○
保有者数	40	26	6	6	7	13	8	8	10	42											

新規分析作業員
(γ、H-3取得を計画)

一般公害物質分析作業員：5名
(γ、全β、H-3取得を計画)

5,6号分析室作業員：9名
(緊急分析に必要なγ、全β、H-3のみ)

2-1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

③-5. 力量確保の取組み

■ 力量向上の取組み (例: Sr-90)

➤ 分析項目毎に力量取得に必要な技能を設定し、研修計画を策定

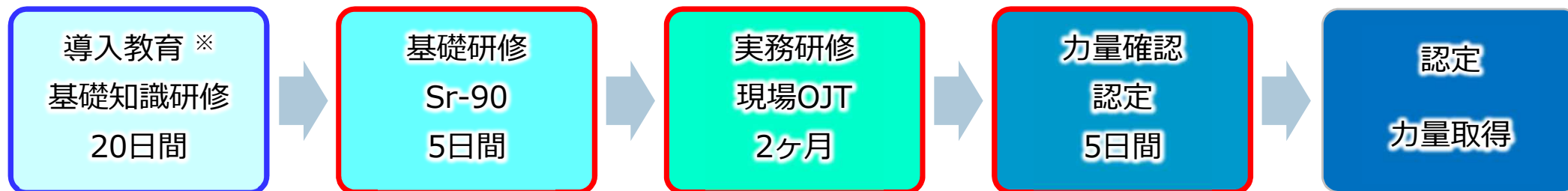
	研修名	対象者	研修期間 日/回	実施場所	力量取得 期間	育成計画 2022年	育成計画 2023年
1	基礎知識研修	新規分析員	20	TFTC	-	入所時研修	入所時研修
2	γ核種 (Ge検出器)	新規分析員 力量拡大者	2	化学分析棟	1カ月	24	24
3	トリチウム	力量拡大者	2	化学分析棟 TFTC	1カ月	24	24
9	Tc-99	力量拡大者	5	化学分析棟 TFTC	2カ月	6	6
10	I-129	力量拡大者	5	化学分析棟 TFTC	2カ月	6	6
11	Sr-90 (レジン法)	力量拡大者	5	化学分析棟	2カ月	6	6

➤ 分析員は発電所近傍の構外研修施設※で分析技術にかかる導入教育を受講し、化学分析棟でのOJTを経て認定試験にて基準値を満足していることをもって、力量保有者として認定

※ 認定基準：同一試料で熟練者との分析値差異(±20%)と力量検定項目(8割以上)を満足していること

➤ 導入教育を含めると最短3.5カ月で力量認定のうえ作業を開始可能

既に化学分析棟で作業にあたっている者は、基礎研修より開始：力量保有までに約2.5カ月



2-1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

③-5. 力量確保の取組み



- OJTは、分析項目毎に力量保有者と化学分析棟で実作業にあたる
- 研修受講者が「すきま時間」を別の分析項目のOJTに充てることにより同時複数の研修受講が可能

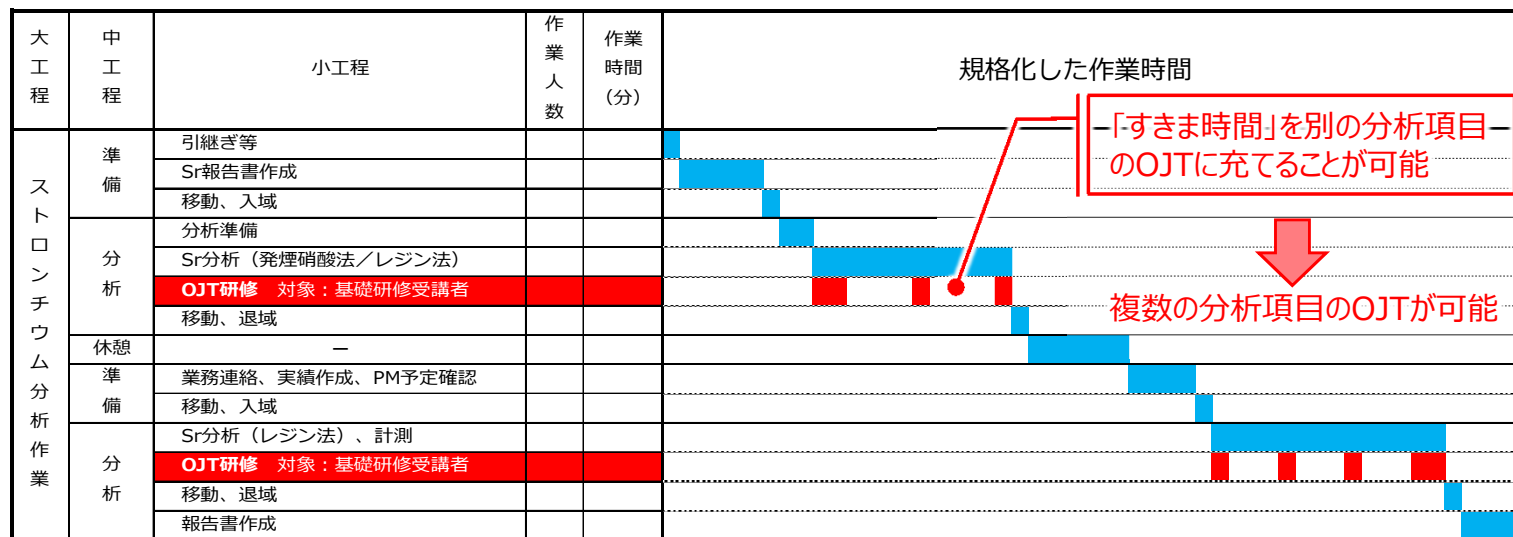
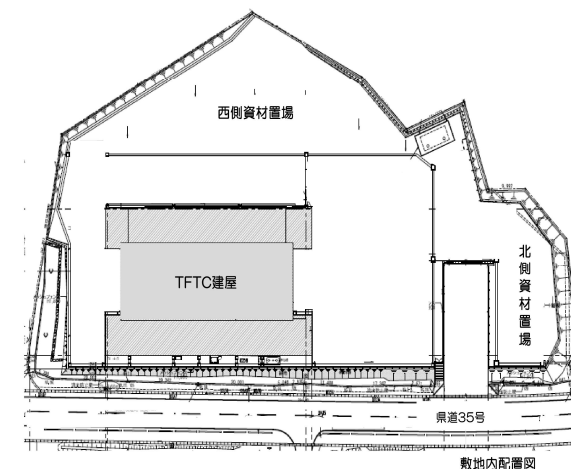


表. ストロンチウム分析作業 (力量保有者と研修受講者)



	装置・設備	備考
1	ドラフトチャンバー	全β前処理等
2	低バック液体シンチレーション計数装置	H-3,C-14等
3	誘導結合プラズマ質量分析装置	I-129,Tc-99
4	凍結乾燥機	海生物前処理：H-3
5	燃焼装置	海生物前処理：H-3
6	分光光度計	海生物前処理：H-3 水質分析
7	PH計	水質分析
8	導電率計	水質分析
9	Ge半導体検出装置	(2022年度中に納入予定)
10	ガスクロマトグラフ質量分析装置	一般公害物質

表. TFTC配備機材

【研修施設】
TFTC：TPT福島テクニカルセンター

- 延床面積：2,500m²
- 分析作業員育成エリア：約110m²

2-1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

③-6. 並行作業の取組み

- 高効率な並行作業の検討・適用と分析員の効果的な配置を見極め、分析効率の向上を図る
- なお、放出可否判断のための分析値取得期間の短縮にあたり、所外運搬の効率化にも取り組む



2-1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

③-7. 化学分析棟の機能拡大

■ 化学分析棟の機能拡大

- 測定対象の増加を想定した、前処理エリアと測定エリアの追設を計画しており、施設竣工後は作業効率の向上が期待でき、現計画作業員での対応に余力が確保できる見込み

【前処理エリア】

対象	測定対象	拡大規模 (最大年間試料数)	前処理設備 (計画台数)	
海水	H-3	156	ドラフトチャンバー	4
			ロータリーエバポレータ	5
			電解濃縮装置	4
	I-129	8	実験台	2
	C-14	20	ドラフトチャンバー	7
	γ核種 (Sn-126含む)	12	ドラフトチャンバー 実験台	4 2
α核種	12	実験台	1	
	Sr-90		12	4
海底土	Sn-126	20	ドラフトチャンバー	4
魚類	C-14	1	ドラフトチャンバー	6
	Sn-126	1	実験台	3
海藻類	C-14	2	凍結乾燥器	6
	Sn-126	2	電解濃縮装置	6
			H-3減衰容器	2

【測定エリア】

LSC : 11 ⇒ 14台

測定対象	測定装置 (計画台数)	
H-3	LSC※1	3
C-14	He-MS※2	2
γ核種 (Sn-126含む)	Ge (LEPS※3)	2

※1 : LSC : 低バック液体シンチレーション計数装置

※2 : He-MS : 希ガス質量分析装置
H-3分析に使用

※3 : LEPS : 低エネルギー光子用高純度Ge半導体検出器

- 現行の約1,500m²に約600m²を追設し約2,100m²に拡張する計画
- 分析装置は今後のモニタリング計画、施設詳細設計の状況に応じて必要台数の増減の可能性あり
- 2023年度内の竣工目標

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項④

（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

①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

- 海水配管の形状変更後の混合希釈シミュレーションの再解析について、解析条件（ALPS処理水流量、トリチウム濃度等）の考え方やそれらの不確かさの影響を説明すること。
- 海水希釈後のトリチウム濃度（運用値）の設定に当たっては、1,500Bq/Lに余裕を持って設定しているが、トラブル等の発生により過渡的に計画以上のALPS処理水を放出するとなった場合を見据えて、あらかじめ設定値の上限値を評価すること。

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

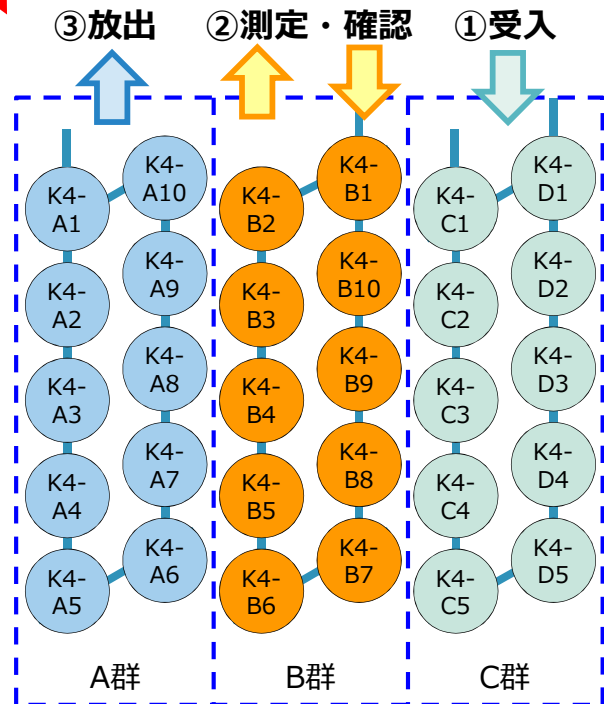
- 第三リン酸ナトリウムを使用した循環攪拌実証試験の結果のばらつきについて、試験条件（循環ポンプの流速等）に関する考察をした上で、そのばらつきをどのように設計又は運用上考慮するのかについて説明すること。

2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

④-1. ALPS処理水の海洋放出における不確かさやばらつきについて (1/2) **TEPCO**

- ALPS処理水の海洋放出の全体工程を考えた時、不確かさやばらつきが存在していると考えている工程は下図の通り。

	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



測定・確認用タンク 3群

①受入工程



②-1 測定・確認工程



サンプリング

①循環攪拌運転で採取する代表試料の濃度のばらつき

②-2 分析工程



②分析結果に対する不確かさ

放出可否/分析結果通知

③放出工程



③海水流量計の計器誤差

③ALPS処理水流量計の計器誤差

④海水配管内の混合希釈状態の不確かさ

2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

④-1. ALPS処理水の海洋放出における不確かさやばらつきについて (2/2) **TEPCO**

■ 前頁で抽出した不確かさやばらつきが存在する項目を、下表の通り整理。

No.	工程	項目	不確かさやばらつきの程度	備考
1	測定・確認工程	循環攪拌運転で採取する代表試料の濃度のばらつき	<p>【サンプリングライン】 リン酸：タンク水量1巡する時間以降の平均濃度は理論値80ppbと同様。相対標準偏差は6.25%。</p> <p>【タンク内】 リン酸：タンク内の全体平均は理論値80ppbに対して標準偏差9ppb。相対標準偏差は10.5%。 トリウム：試験前のタンク中層で平均$1.61E+05$Bq/L、相対標準偏差8.3%であったものが、試験後はタンク全体で平均$1.51E+05$Bq/L、相対標準偏差3.8%（タンク中層では平均$1.50E+05$Bq/L、相対標準偏差2.2%）となった。</p>	第10回審査会合でご説明
2	分析工程	分析結果に対する不確かさ	分析結果の放射能濃度に対して不確かさが存在。 →トリウムであれば±10%（暫定）。	第9, 12回審査会合でご説明
3	放出工程	ALPS処理水流量計の計器精度	0~40m ³ /hの計測範囲に対して、±2.1%F.S.の計器誤差がある。	第10回審査会合でご説明
		海水流量計の計器精度	0~10,000m ³ /hの計測範囲に対して、±2.1%F.S.の計器誤差がある。	
4		海水配管内の混合希釈状態の不確かさ	ALPS処理水流量500m ³ /日、海水流量34万m ³ /日の海水配管内では、現状の解析モデル出口にて、理論質量濃度0.14%に対して、最大0.23%のバラつきがある。	第5, 11回審査会合でご説明

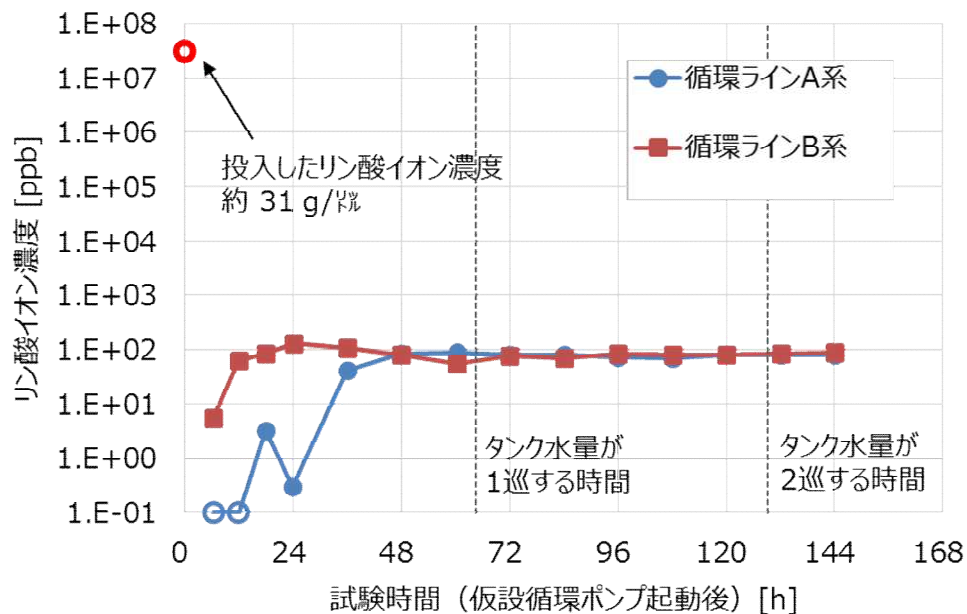
■ 上記に示した、ALPS処理水の海洋放出に関するシステム全体が持つ不確かさを考慮して、ALPS処理水の海水への混合希釈率を調整することを計画。

2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

【参考】循環攪拌実証試験の試験結果 (1/3)



サンプリングによるリン酸イオン濃度

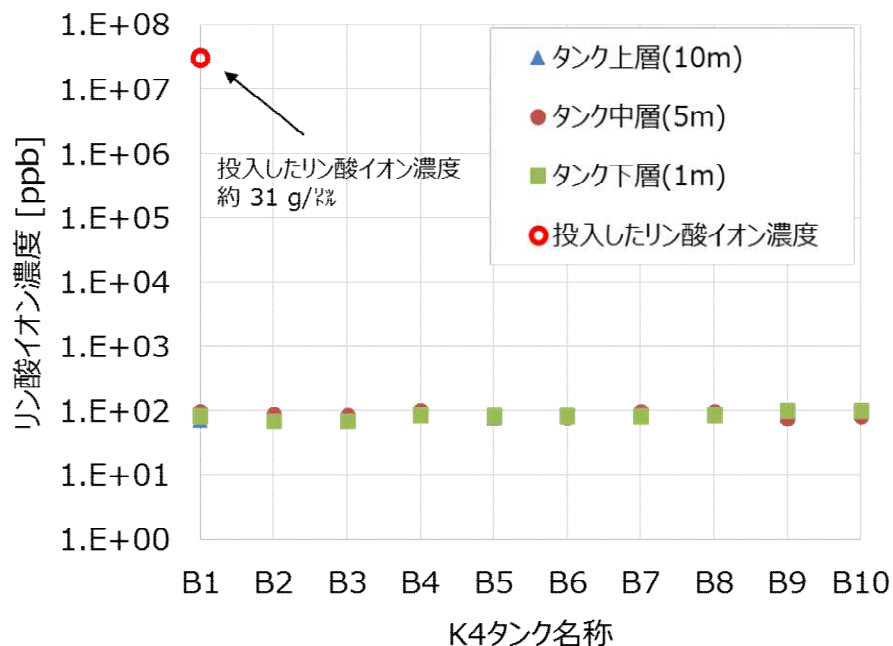


試験時間[h]	リン酸イオン濃度 (A系)	リン酸イオン濃度 (B系)
6.4	0.1	5.4
12	0.1	65
18	3.3	85
24	0.3	131
36	43	109
48	84	82
60	91	56
72	81	77
84	80	72
96	73	84
108	71	82
120	83	82
132	82	84
144	82	90

1巡

2巡

試験終了後のタンク内のリン酸イオン濃度



※：単位はppb

タンク名称	タンク上層 (10m)	タンク中層 (5m)	タンク下層 (1m)	平均値
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

全体の平均値：86ppb

標準偏差：9ppb

相対標準偏差：10.5%

※：単位はppb

2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

【参考】循環攪拌実証試験の試験結果 (2/3)

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 ($\times 10^5$) [Bq/l]	試験後タンク下層 トリチウム濃度 ($\times 10^5$) [Bq/l]	試験後タンク中層 トリチウム濃度 ($\times 10^5$) [Bq/l]	試験後タンク上層 トリチウム濃度 ($\times 10^5$) [Bq/l]	試験後タンク内平均 トリチウム濃度 ($\times 10^5$) [Bq/l]
K4-B1	1.94	1.53	1.51	1.54	1.53
K4-B2	1.63	1.51	1.42	1.50	1.48
K4-B3	1.49	1.51	1.53	1.48	1.50
K4-B4	1.54	1.53	1.48	1.51	1.51
K4-B5	1.67	1.53	1.47	1.55	1.52
K4-B6	1.69	1.52	1.51	1.52	1.52
K4-B7	1.58	1.45	1.53	1.49	1.49
K4-B8	1.50	1.49	1.50	1.48	1.49
K4-B9	1.44	1.50	1.52	1.54	1.52
K4-B10	1.61	1.51	1.54	1.55	1.53
平均	1.61	1.51			-
標準偏差 σ	0.13	0.029			-
相対標準偏差	8.1%	1.9%			-

※ : K4-B1タンクは2020/5/22, K4-B2~B10タンクは2021/6/9~6/22の期間でタンク中層からサンプリングを実施

- 今回の循環攪拌実証試験の結果を踏まえ、循環攪拌運転により代表試料を採取できると判断。
 - 本試験では、試験開始前にタンク1基 (K4-B6) に第三リン酸ナトリウムを全量を投入した、非常に保守的な初期状態で開始したものの、タンク水量が2巡した以降に循環ラインサンプリングポイント (A), (B) 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。
 - 一方、保守的な初期条件により、タンク内から採取した水に含まれるリン酸濃度の平均は86ppb、標準偏差9ppbとなり、若干のばらつきが確認されたものの、タンク内のトリチウム濃度の平均は 1.51×10^5 Bq/l、標準偏差 0.029×10^5 Bq/lとなっており、循環攪拌運転により均一の効果が確認された。

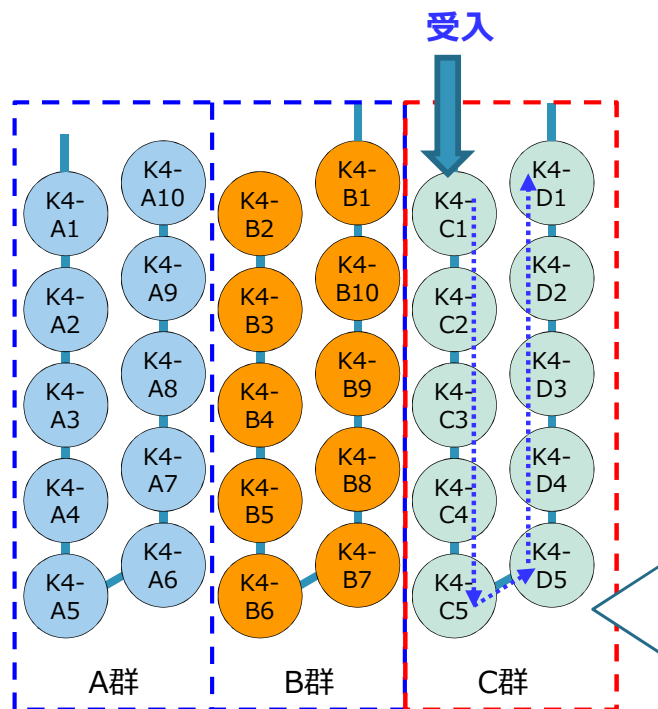
2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

【参考】循環攪拌実証試験の試験結果 (3/3)

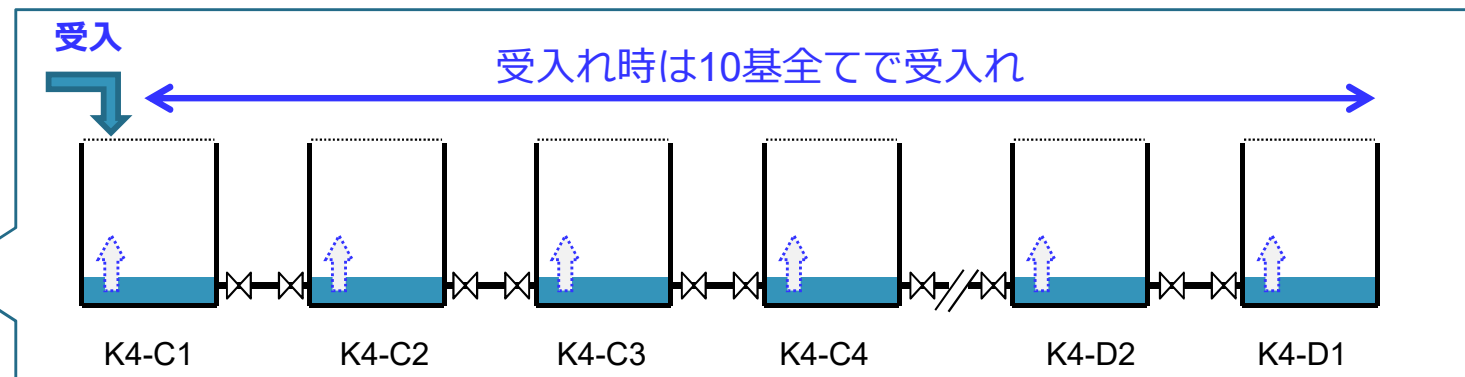
- 受入工程においては、以下の運用となることから、タンク群内で大幅なトリチウム濃度の差が生じる可能性は低いと考えている。
 - 受入れ時は受入タンク群（10基）全てで受け入れる運用であること。
 - 「A.日々発生するALPS処理水」を受け入れる場合は、濃度の変化が緩やかであること。
 - 「B.タンクに貯留されているALPS処理水等」を受け入れる場合でも、放出計画では、トリチウム濃度の薄いALPS処理水から順次放出することを基本方針としていること。また、リン酸での試験では $1.0E+05$ 倍の濃度差をつけても、サンプリングラインで採取した試料は理論値80ppbとほぼ等しかったことと比較して、実際のトリチウムの濃度差は約 $2.0E+01$ 倍の濃度差であることから、トリチウムの濃度差による影響は小さいと考える。

＜参考：2021/4時点のALPS処理水等及びストロンチウム処理水（ALPS処理前水）貯水状況＞

トリチウム濃度 [ベクレル/リットル]	～30万	30～60万	60～120万	120～180万	180～240万	45万と仮定
貯水量	約21.9万m ³	約39.1万m ³	約47.3万m ³	約5.0万m ³	約2.4万m ³	2020年12月 時点推定分 約9.6万m ³



測定・確認用タンク 3群



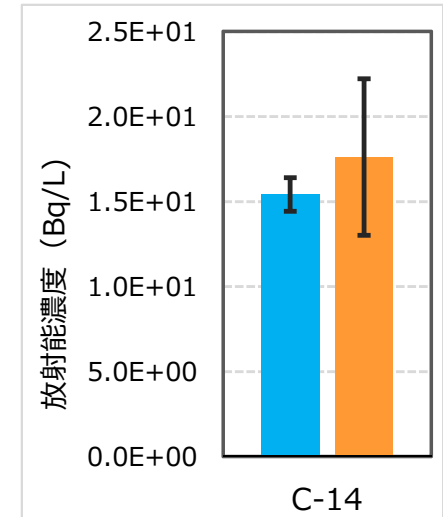
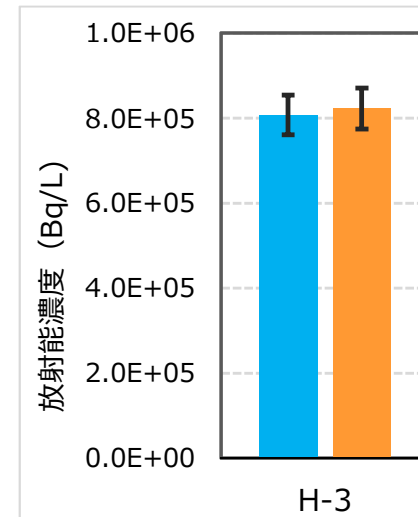
2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

【参考】分析結果に対する不確かさ

➤ LSCによる放射能濃度の拡張不確かさ（UC[Bq/L]） ※ 包含係数 k=2

	測定結果：C	拡張不確かさ：UC
H-3	8.22E+05	4.8E+04
C-14	1.76E+01	4.6E+00
Ni-63	< 8.45E+00	3.7E-01
Cd-113m	< 8.52E-02	3.8E-03

当社分析結果

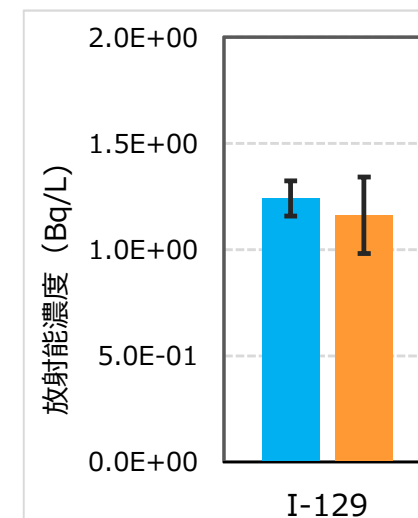


第三者分析機関分析値と当社分析結果比較

➤ ICP-MSによる放射能濃度の拡張不確かさ（UC[Bq/L]） ※ 包含係数 k=2

	測定結果：C	拡張不確かさ：UC
I-129	1.16E+00	1.8E-01
Tc-99	< 1.23E+00	1.6E-02

当社分析結果



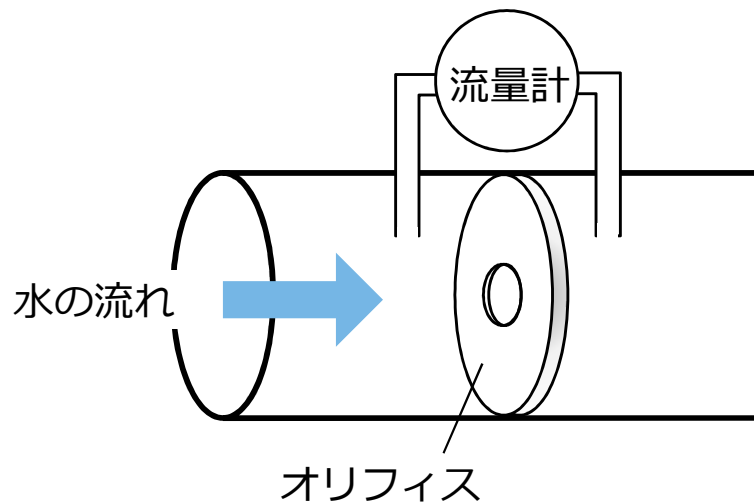
■ 第三者機関
■ 当社

第三者分析機関分析値と当社分析結果比較

【参考】 流量計の計器誤差

- ALPS処理水希釈放出設備では、ALPS処理水流量及び海水流量の測定にあたっては「差圧式流量計（オリフィス）」※1を用いて測定を実施する計画。
- 各流量計は検出器、演算器（指示含む）の機器で構成されており、仕様及び構成は下記の通り。
- ALPS処理水流量の設定や海水希釈後のトリチウム濃度の評価にあたっては、海水希釈後のトリチウム濃度1,500Bq/lを下回るよう各計器の計器誤差を加味し、安全側の設定とする。

※1：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



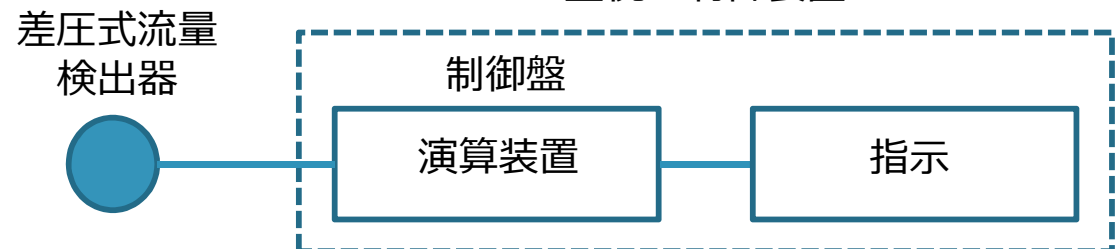
差圧式流量計（オリフィス）の測定イメージ

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※2
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)

※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

監視・制御装置

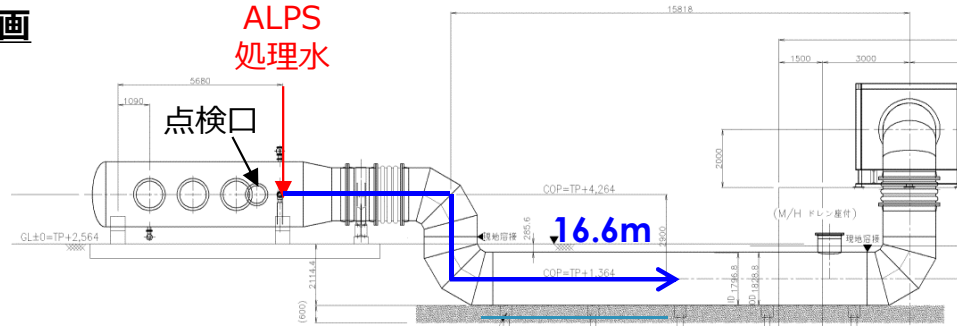


2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

【参考】海水配管内の混合希釈の不確かさ(2/2)

- なお、現在海水配管の形状変更後の混合希釈シミュレーションの再解析を実施中。

当初計画

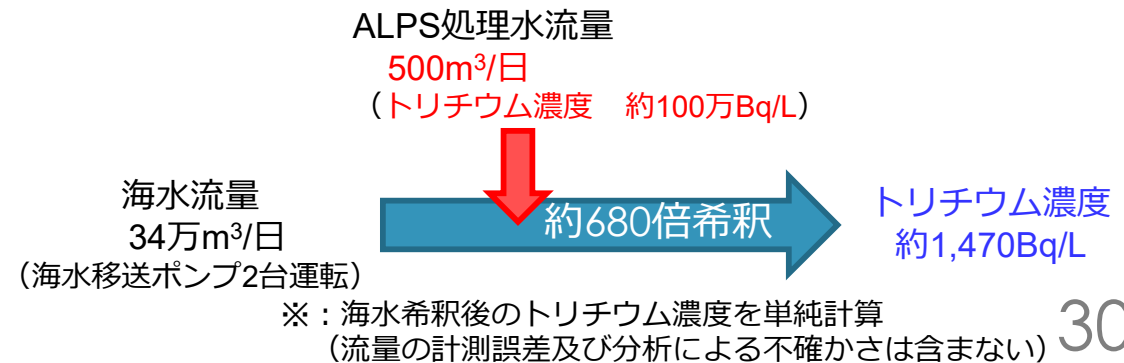


変更後



- 実際の運用について、放出するALPS処理水のトリチウム濃度を最大100万Bq/Lと制限することで、ALPS処理水流量を最大500m³/日としても、海水移送ポンプ2台運転で1,500Bq/Lに希釈可能となり、再解析を実施する、ALPS処理水流量500m³/日、海水流量34万m³/日が最も保守的な条件となる。

トリチウム濃度 100万Bq/Lの場合



2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

④-2. ALPS処理水の海洋放出における不確かさやばらつきへの取扱い (1/3)

- ALPS処理水の海洋放出の全体工程を考えた時、前述の工程で不確かさやばらつきが存在しているが、それぞれの内容は運用上、以下の通りとする。

No.	工程	項目	運用上の考慮
1	測定・確認工程	循環攪拌運転で採取する代表試料の濃度のばらつき	循環攪拌実証試験での、トリチウム濃度のばらつき（相対標準偏差3.8%）は、分析による不確かさ（±10%）の範疇であるため、循環攪拌運転で採取する代表試料の濃度のばらつきは考慮しない。
2	分析工程	分析結果に対する不確かさ	トリチウムの分析による不確かさは±10%（暫定）のため、希釈計算時に保守的+10%を考慮。
3	放出工程	ALPS処理水流量計の計器精度	それぞれの流量計の計器誤差が±2.1%FSなので、それぞれ希釈計算時に保守的に考慮。 例) ALPS処理水流量計：流量を大きくなる様に計測流量に+2.1%FSとする 海水流量計：流量が小さくなる様に計測流量に-2.1%FSとする
		海水流量計の計器精度	
4	放出工程	海水配管内の混合希釈状態の不確かさ	運用上、放出するALPS処理水のトリチウム濃度を最大100万Bq/Lと制限することで、現在の流量設定が最も保守的となる。 また、現状の解析モデル出口の最大濃度が理論質量濃度の1.64倍であることから、これを考慮してもトリチウム濃度が1,500Bq/Lを上回らないように、「海水希釈後のトリチウム濃度（運用値）」を設定。

2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

④-2. ALPS処理水の海洋放出における不確かさやばらつきへの取扱い (2/3) **TEPCO**

- ALPS処理水の海洋放出の全体工程を考えた時、不確かさやばらつきが、ALPS処理水の海水への混合希釈において、全てトリチウムの濃度が高くなる側に設定する。
- この中で、海水希釈後のトリチウム濃度（運用値）の上限値は「800Bq/L」として設定する。これにより、海水希釈後のトリチウム濃度の理論値「約680～700Bq/L」に対して、既に保守的な設定となる他、混合希釈状態の不確かさを考慮しても、制限値「1,500Bq/L」の条件を満足可能。

分析工程

放出工程

今回の希釈計算

放出前のトリチウム分析結果

MAX :	110万Bq/L
Ave :	68.5万Bq/L
min :	16.5万Bq/L

分析の不確かさ+10%

希釈倍率

約1370倍
約850倍
約645倍

計器誤差※1

海水希釈後の評価値

運用値の上限 約800Bq/L
約260Bq/L

制限値：1,500Bq/L
より小さくなる

約1,300Bq/L

1.64倍※2

海水配管内の混合希釈
状態の不確かさ考慮

分析の不確かさ、
計器誤差により保守的に設定

通常の希釈計算

放出前のトリチウム分析結果

MAX :	100万Bq/L
Ave :	62万Bq/L
min :	15万Bq/L

希釈倍率

約1470倍
約884倍
約680倍

希釈倍率の上限（海水
移送ポンプ2台運転）

海水希釈後の理論値

約680～700Bq/L
約220Bq/L

※1：ALPS処理水流量計、海水流量計をそれぞれ希釈計算時に保守的に考慮
 ※2：現時点の暫定値。今後、概ね1,500Bq/Lを下回ることの判断基準に応じて見直し

2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

④-2. ALPS処理水の海洋放出における不確かさやばらつきへの取扱い (3/3)

- なお、前述の設定はトリチウムの告示濃度限度60,000Bq/Lを十分下回る水準であり、政府方針を踏まえて設定された排水濃度1,500Bq/L未満を十分満足可能。
- また、本設定でも問題なく運用できることは、第11回審査会合でもご説明した通り。

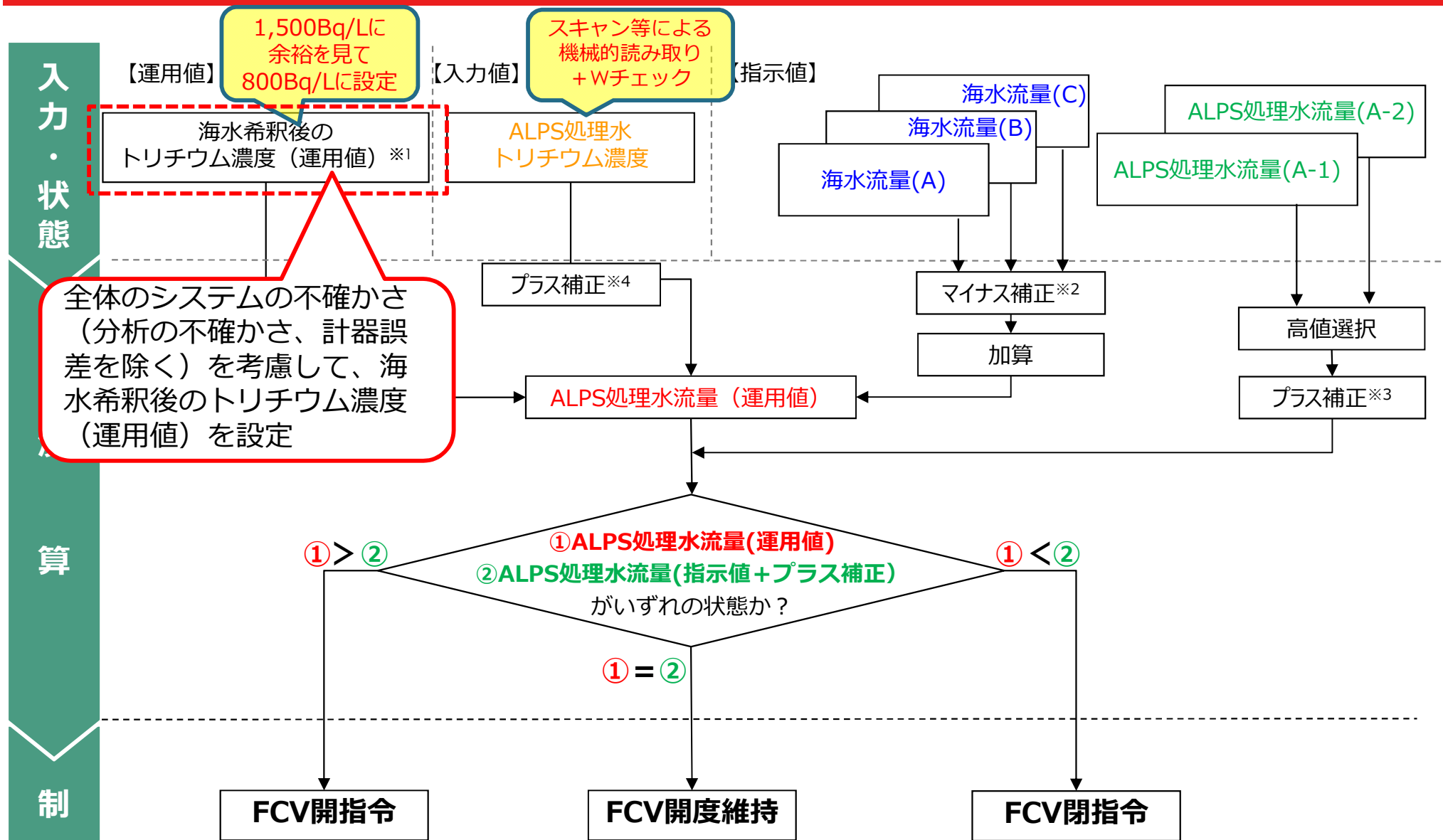
項目	年間平均	根拠
【例】トリチウム濃度が62万Bq/L※のALPS処理水を、1年間ずっと放出したと仮定した場合の評価		
ALPS処理水流量	120m ³ /日	年間22兆Bqを下回る水準で、トリチウム濃度が62万Bq/LのALPS処理水を設備稼働率8割で放出し続けた場合
放出トリチウム濃度 (海水移送ポンプ2台運転)	220Bq/L	トリチウム濃度が62万Bq/LのALPS処理水を、120m ³ /日で放出し、海水移送ポンプ2台で希釈した場合

※：現在、ALPS処理水等貯留タンクに保管されているALPS処理水等のトリチウム濃度の平均値

2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視



【参考】ALPS処理水流量の調整

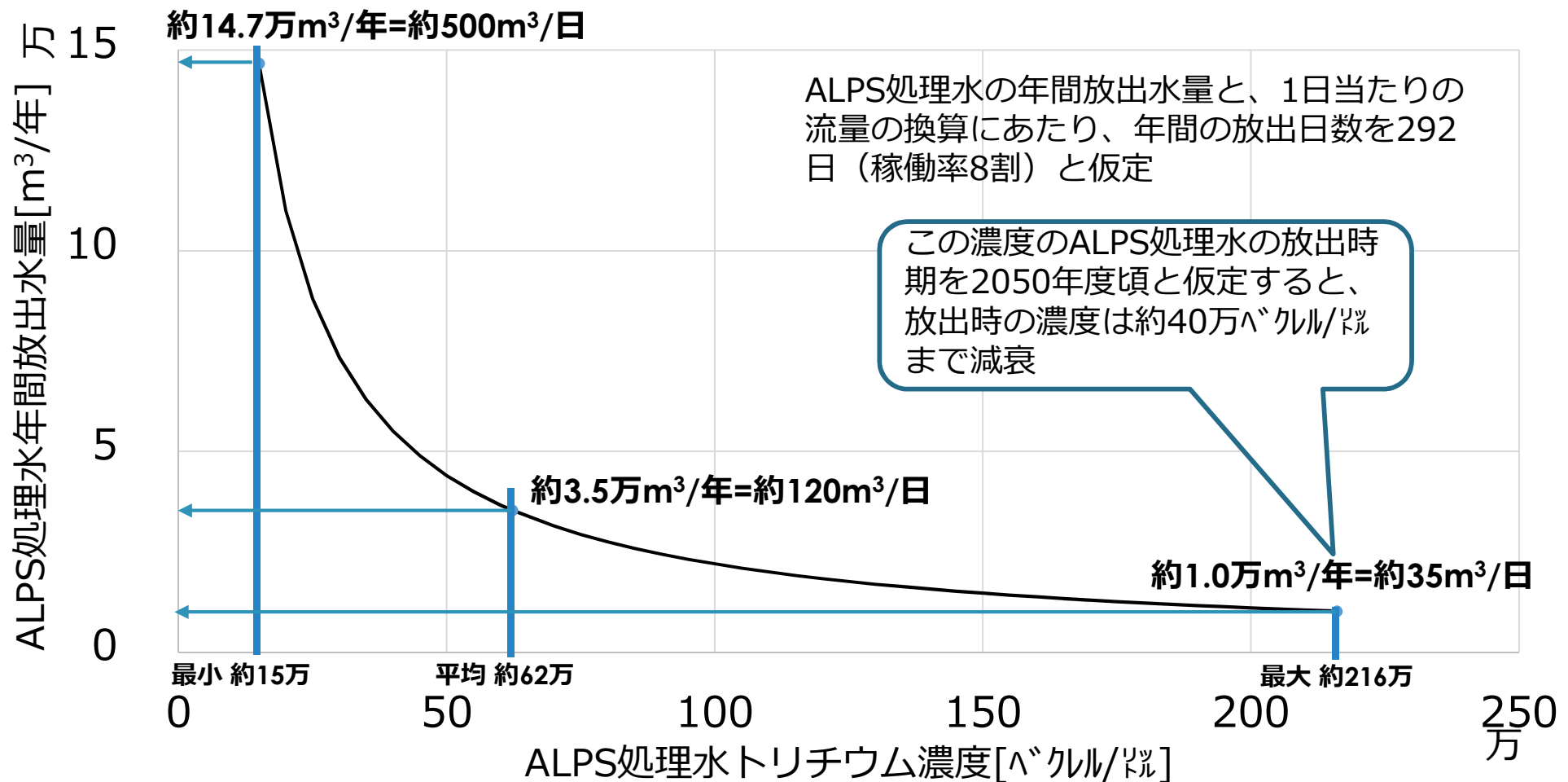


※1： 供用開始前に監視・制御装置へ登録し、計画した条件から変更がある場合を除いて基本的には変更しない
 ※2： 計器の誤差による非安全側（実流量が指示値より低い）を想定し、計器誤差分（2.1%FS）を補正
 ※3： 計器の誤差による非安全側（実流量が指示値より高い）を想定し、計器誤差分（2.1%FS）を補正
 ※4： 分析の不確かさによる非安全側（実濃度が分析値より高い）を想定し、不確かさ分（【暫定】10%）を補正

【参考】ALPS処理水年間放出水量とALPS処理水トリチウム濃度の関係



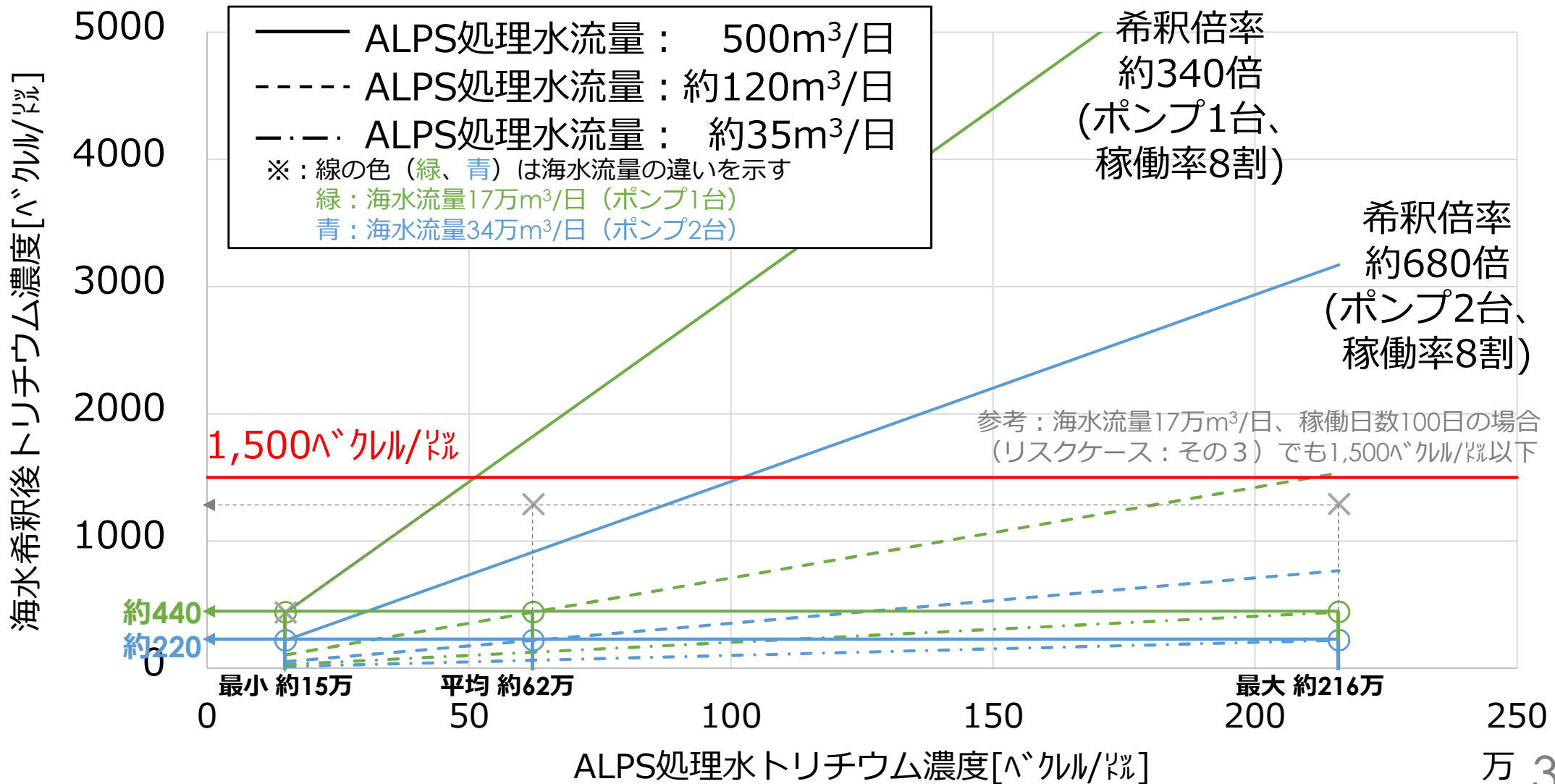
- トリチウムの年間放出量を22兆ベクレルを下回る水準とした時、ALPS処理水トリチウム濃度に応じて1年間で放出できる水量が変化（濃度が薄いほど多く放出）





【参考】トリチウム濃度とALPS処理水流量の関係

- ALPS処理水トリチウム濃度、ALPS処理水流量、海水流量を組み合わせることによって、海水希釈後のトリチウム濃度を1,500ベクレル/ℓ未満を遵守しつつ、ALPS処理水の安定的な放出を継続できるような設備を実現

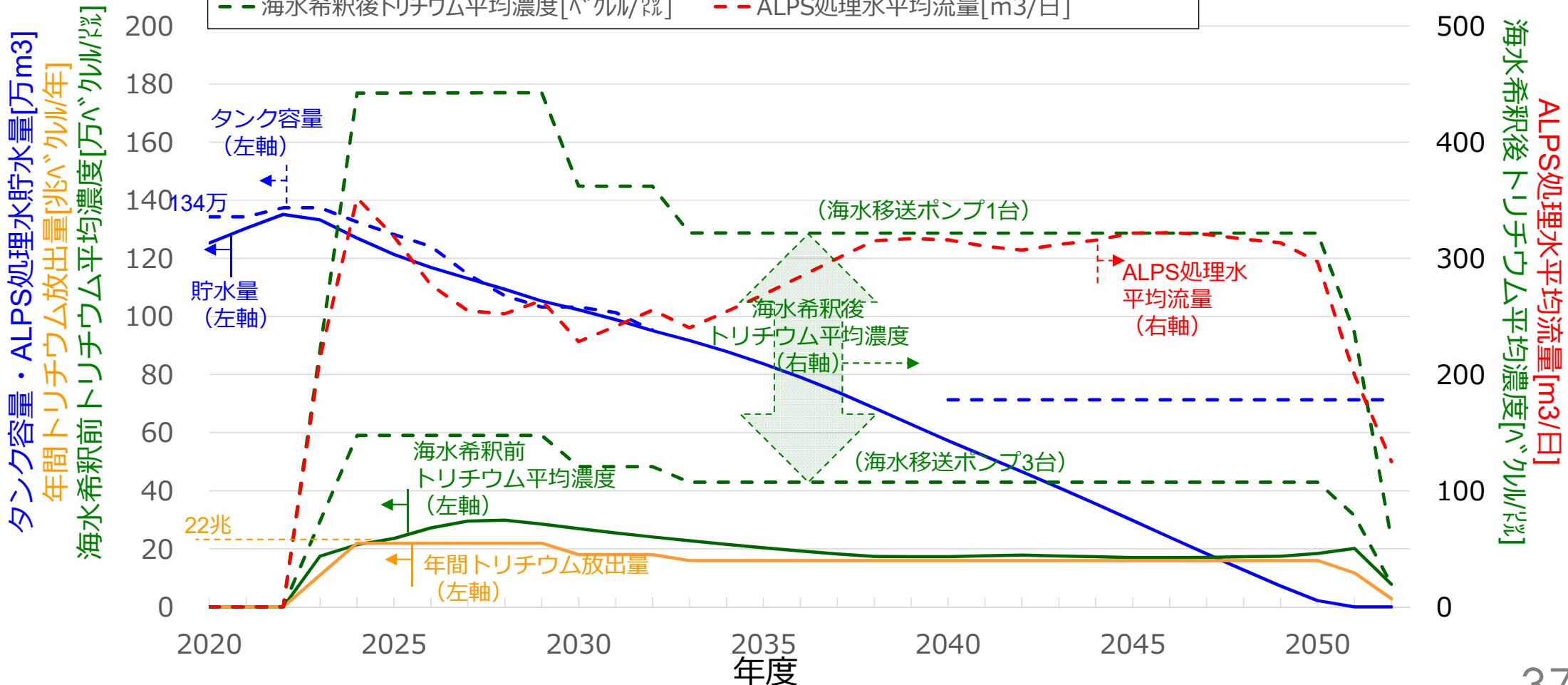


2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視



【補足】放出シミュレーション (建屋内トリチウム総量最大)

- 2023年度:11兆^ハケル/年 (少量から慎重に放出=2024年度以降の半分と設定)
- 2024~2029年度:22兆^ハケル/年
- 2030~2032年度:18兆^ハケル/年
- 2033年度以降:16兆^ハケル/年

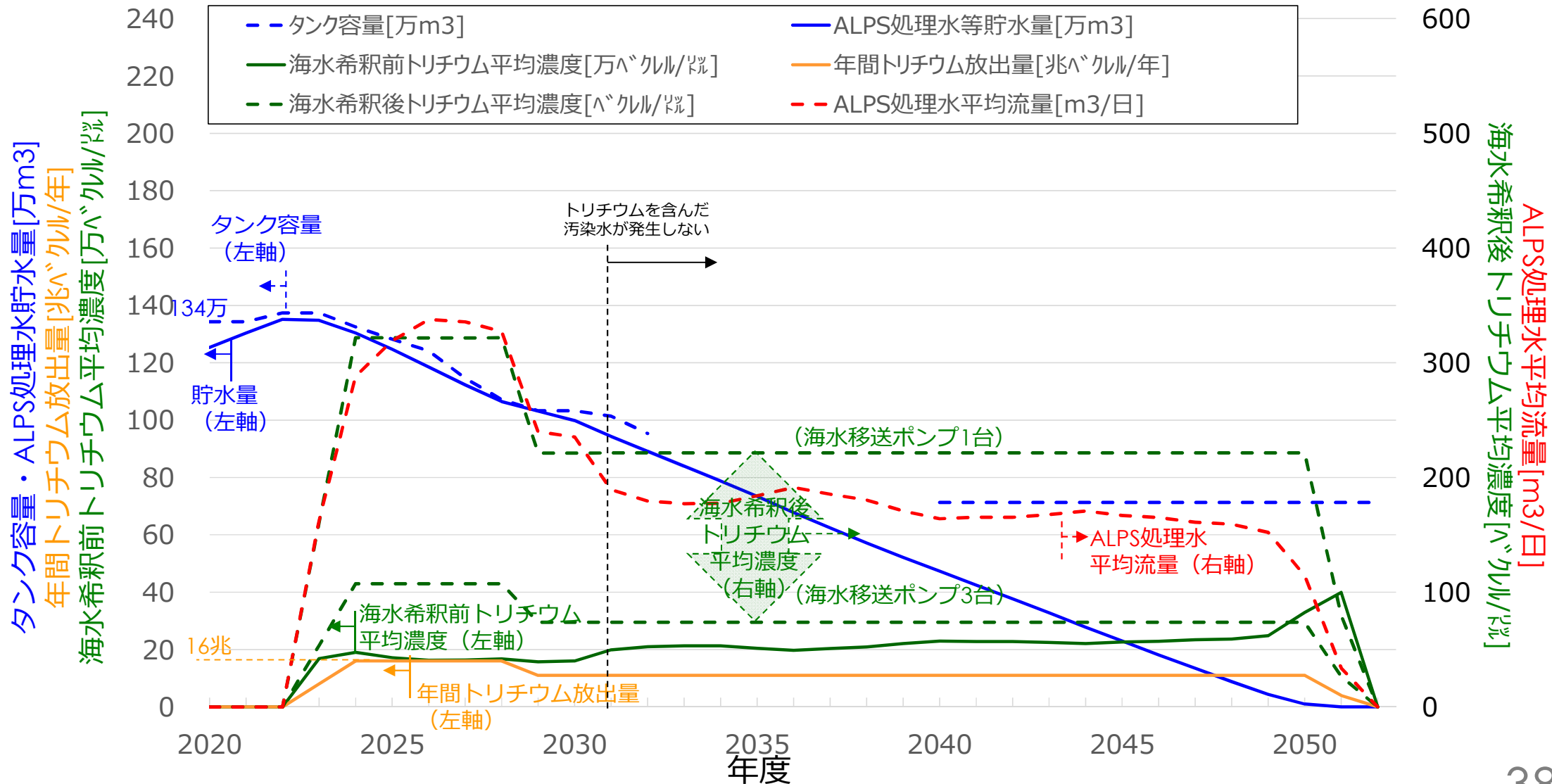


2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視



【補足】放出シミュレーション (建屋内トリチウム総量最小)

- 2023年度:8兆^ハケル/年 (少量から慎重に放出=2024年度以降の半分と設定)
- 2024~2028年度:16兆^ハケル/年
- 2029年度以降:11兆^ハケル/年



ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項⑤

（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

⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

- ALPS処理水移送ポンプ出口に設置するミニフローラインの接続先を測定・確認用タンクとした理由を示すこと。
- 弁本体のみならず、異常事象に対処するために必要な検出器や電気信号系を含めて、最も厳しい単一故障を仮定する機器等を示すこと。

2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑤-1. 具体的な異常事象の抽出

- ALPS処理水を海洋に放出するにあたって、計画で定めた条件を満たさずに、ALPS処理水が海洋に放出されることを『意図しない形でのALPS処理水の海洋放出』と定義し、検討にあたっての頂上事象とした。また、計画で定めた各条件を満足しない事象を、頂上事象の具体的な内容と定義した。

No	計画している内容	備考	
1	放出する水	ALPS処理水 トリチウム以外の放射性物質の告示濃度比総和が1未満	
2	放出方法	取り除くことの難しいトリチウムに関する排水濃度は、1,500Bq/L未満とすること 放出にあたっては、ALPS処理水を海水で大幅（100倍以上）に希釈すること	予め確認したALPS処理水のトリチウム濃度、海水流量から、ALPS処理水流量を定める運用 ALPS処理水の最大流量500m ³ /日、海水移送ポンプは1台あたり17万m ³ /日より、海水移送ポンプが1台でも動いていれば、340倍の希釈が可能
3	放出ルート	移送設備で移送し、希釈設備を通じて海洋へ放出	

頂上事象

意図しない形でのALPS処理水の海洋放出

異常事象

【定義①】
放射性物質を測定・確認不備の状態で放出
(測定・確認不備)

【定義②】
トリチウム濃度を1,500Bq/L以上、又は100倍未満の希釈で放出
(海水希釈不十分)

【定義③】
設備からの漏えい
(海水希釈未実施)

：記載修正

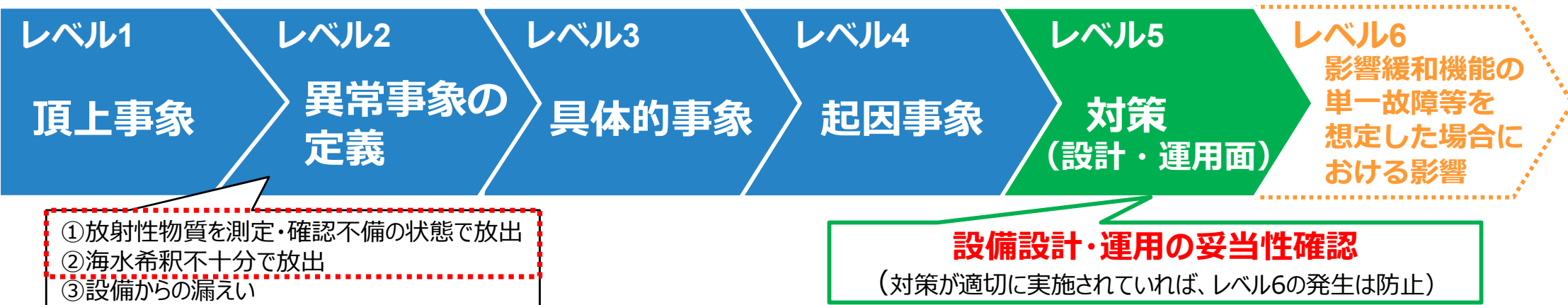
2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑤-2. 異常事象に繋がる起回事象や原因の抽出（1/2）

- ALPS処理水希釈放出設備において、略式のフォルトツリー解析である、マスターロジックダイアグラム（MLD）※を用いて、異常事象が発生するかについて分析を行った。
- MLDの作成に当たっては、当社の安全・リスク評価のメンバーを取りまとめとして、設備設計に関わる機械、電気、計装のメンバーを交えて、MLDの考え方に従い、系統的な分析を実施した。
- 分析の結果、ALPS処理水流量計について二重化の必要性を確認した。

※：MLDは、頂上事象から起回事象を抽出するトップダウン型分析法であり、本手法により、異常事象へと至る起回事象や原因を明らかにすることが可能

内容	
レベル1	頂上事象である『意図しない形でのALPS処理水の海洋放出』を配置
レベル2	頂上事象の定義である3つの異常事象を配置（下図①～③参照）
レベル3	レベル2で定義した異常事象について、異常事象に達しうる具体的事象を、設備仕様、P&ID、IBD、機器配置図、運用手順を参照しながら、各工程で期待される機能に着目して抽出。
レベル4	レベル3に至る、本設備の供用期間中に予想される、機器の単一の故障若しくはその誤操作、または運転員の単一の誤操作及びこれらと類似の頻度で発生すると予想される外乱を抽出
レベル5	レベル4の起回事象に対して、設備設計・運用面の対策の妥当性を確認

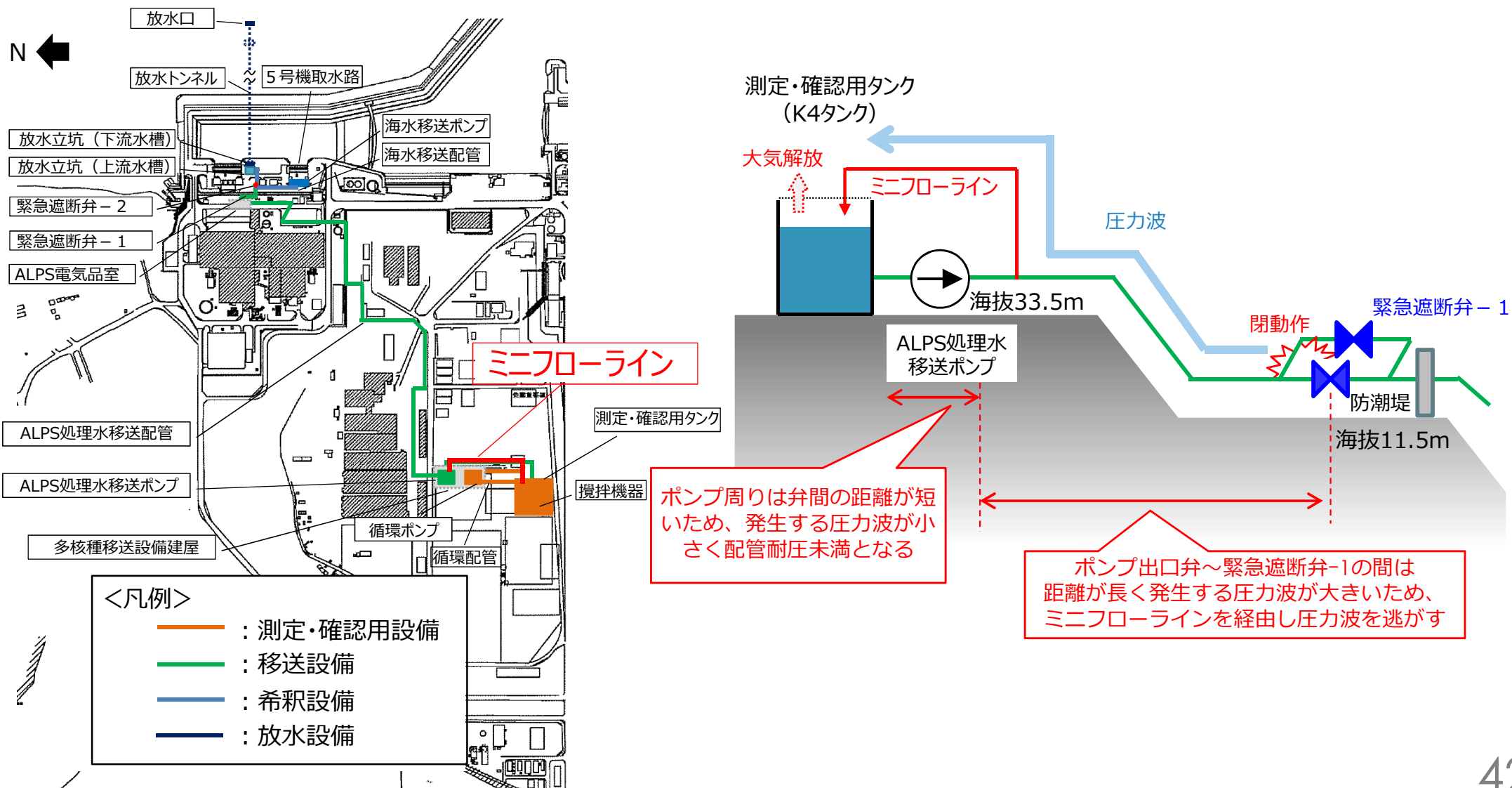


：記載修正

2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑤-3. ALPS処理水希釈放出設備の設計の考え方 (1/3)

- ミニフローラインはポンプ吐出量の一部を上流に戻すことにより、仮に吐出側で締め切り状態になった場合においても最低吐出量を確保することでポンプ損傷を防止するために設置。
- MO弁の誤作動等により閉動作した際、発生する圧力波をミニフローラインを経由して大気解放部（測定・確認用タンク）へ逃がすことによって、配管等の設備損傷を防止する。

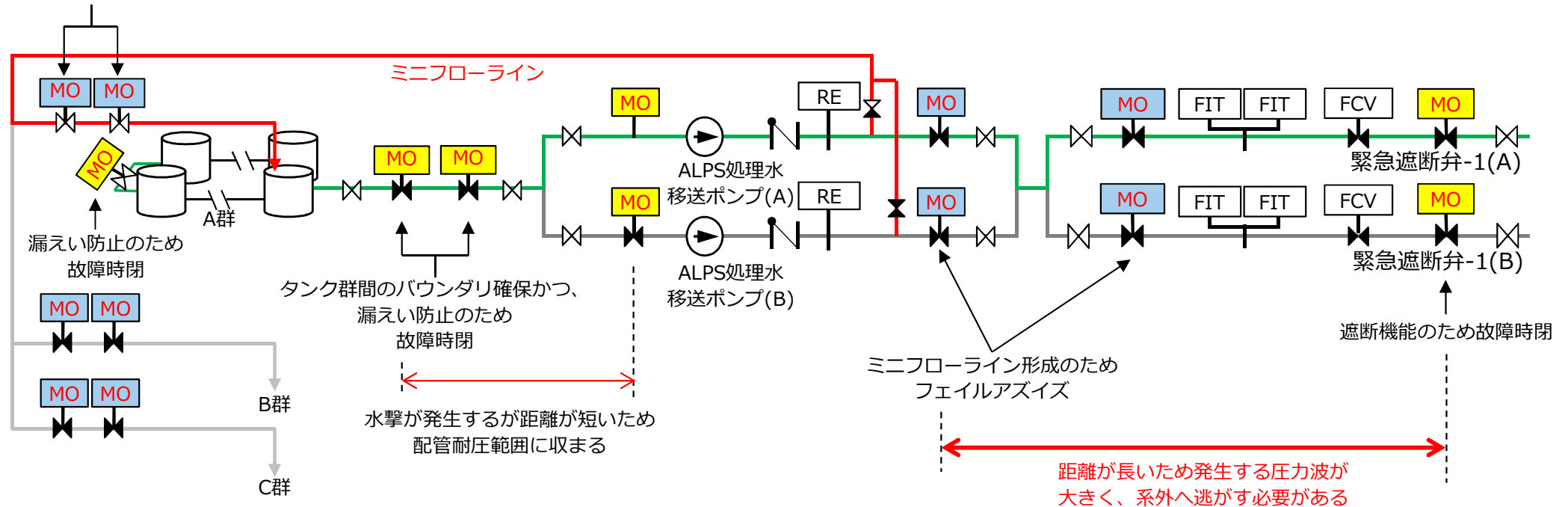


2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑤-3. ALPS処理水希釈放出設備の設計の考え方 (2/3)

- 一方、外部電源喪失等により、フェイルクローズ機能を持つ緊急遮断弁-1 (MO弁) 及び同型弁が同時に閉止してしまうと、移送経路の一部は発生する圧力波が配管の耐圧値を超えてしまうため、ミニフローライン経路確保のため、下図の通り、動作条件を変更する。

事象発生時の水撃防止かつ、タンク群間のバウンダリ確保のためフェイルアズイズ



MO	フェイルクローズ
MO	フェイルアズイズ

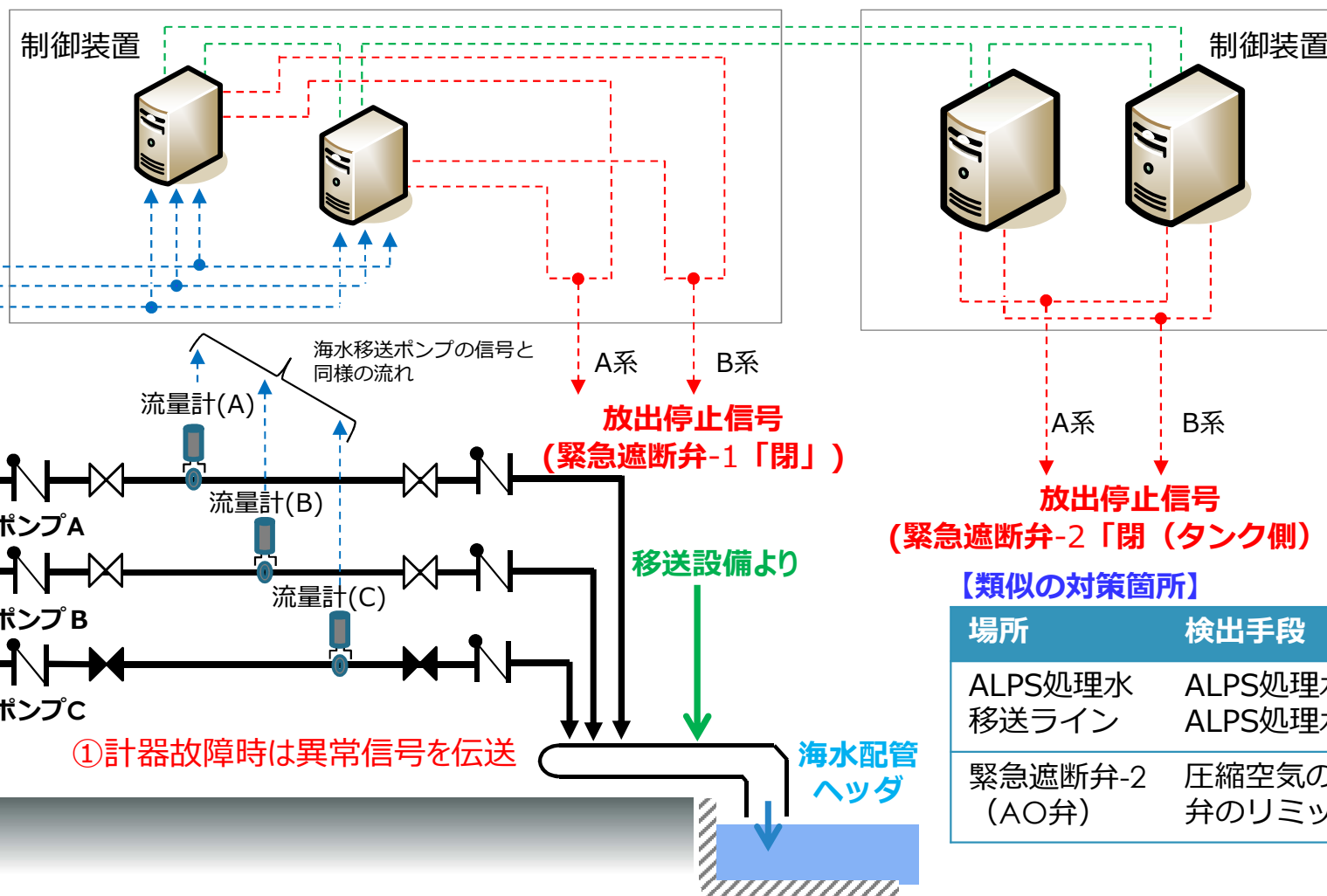
2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑤-3. ALPS処理水希釈放出設備の設計の考え方 (3/3)

- 異常事象に対処するために必要な計器（ALPS処理水流量計、海水流量計等）については、計器が故障した際には警報を発生させ、放出を停止させる設計としている。
- また、制御装置を含む伝送系については多重化されているため、単一故障等が発生しても、もう片系の制御装置・伝送系にて監視・制御が可能な設計としている。（緊急遮断等の機能を喪失しない）
- またポンプ異常が発生した際においても、異常信号は制御装置に伝送され異常状態に応じた制御が可能な設計としている。

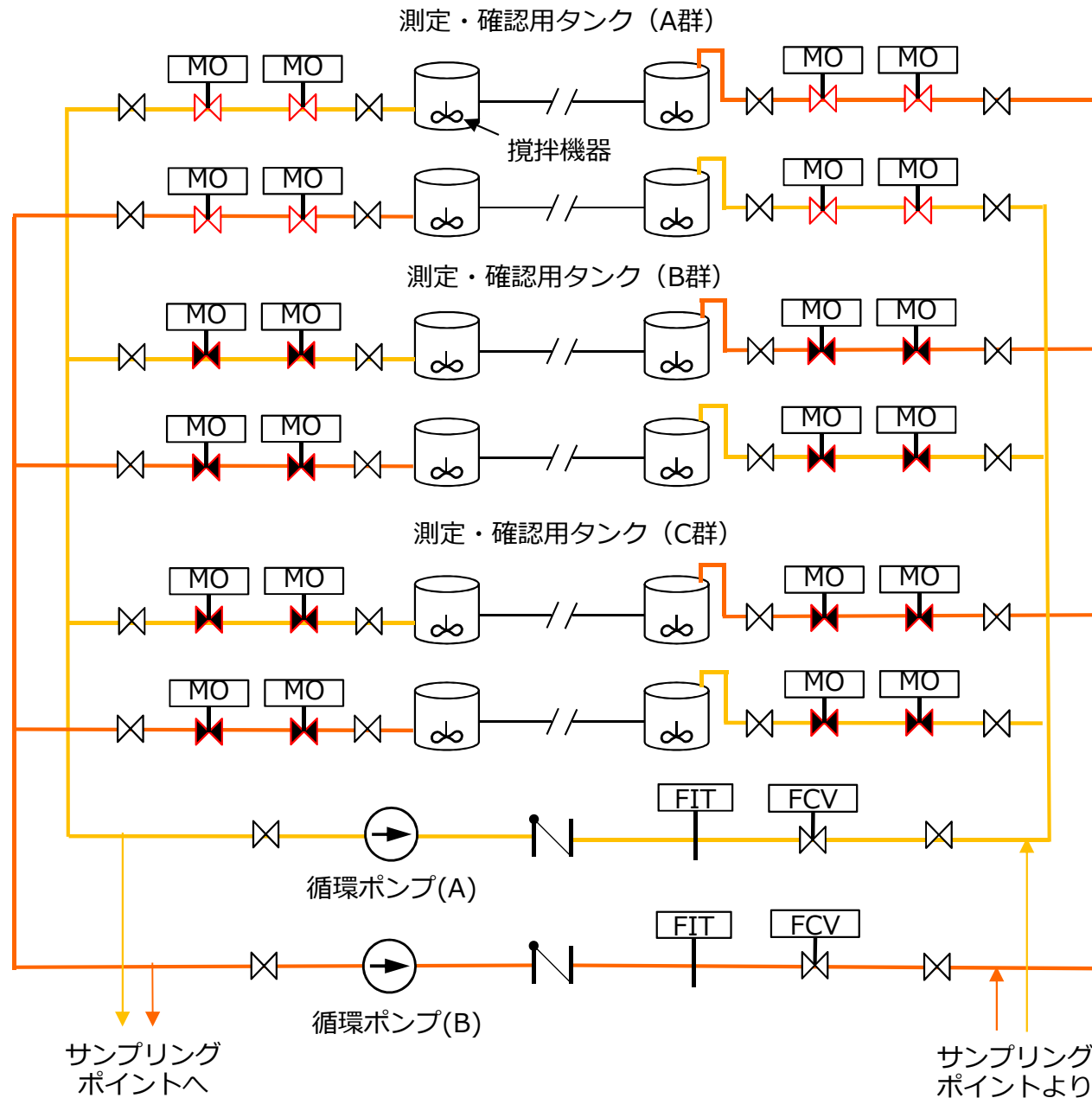
【例】海水ライン

②制御装置(伝送系含む)の多重化により片系故障時も監視・制御可



2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

【参考】測定・確認用設備の設計について



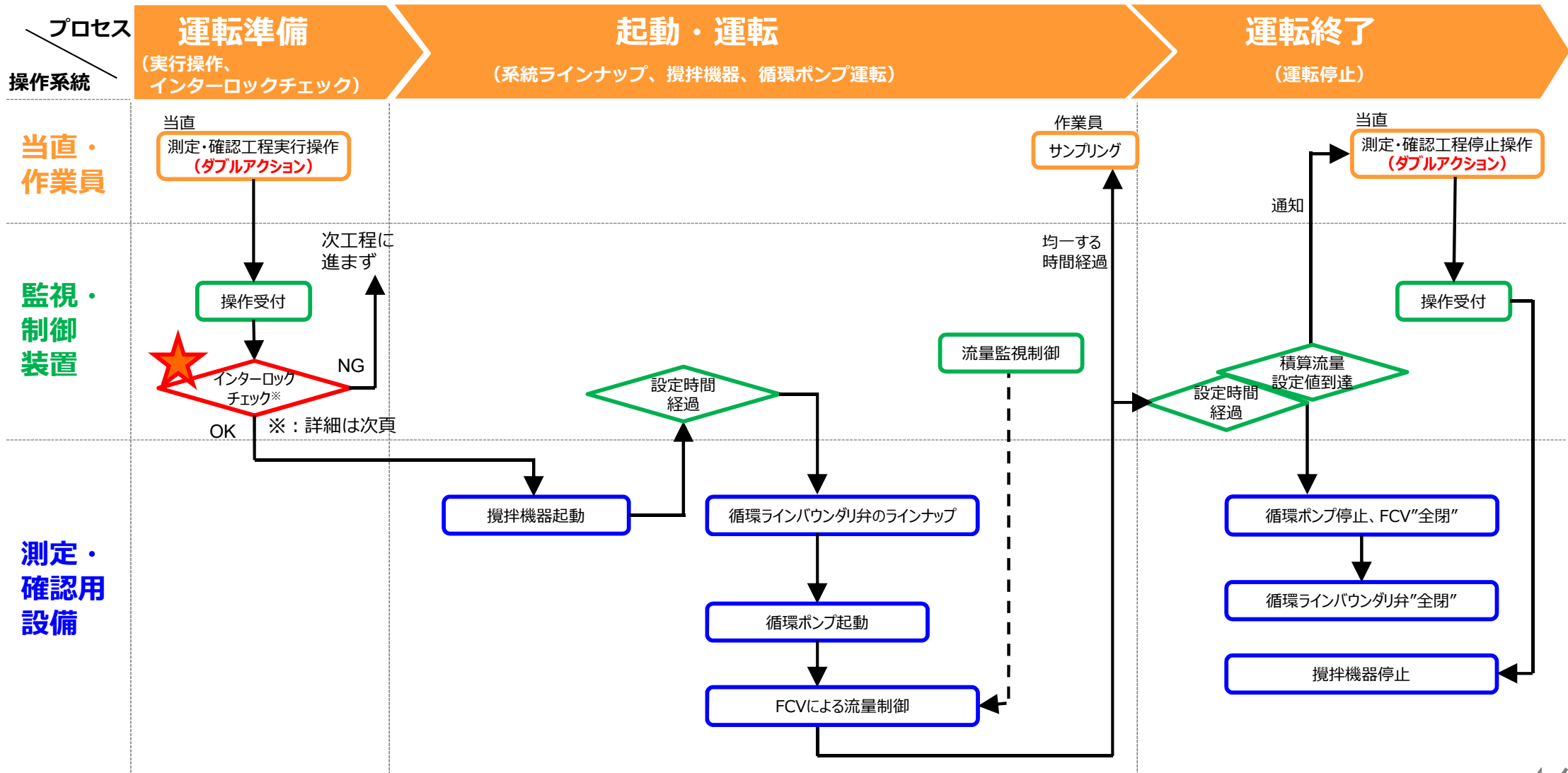
<略語説明>
MO:電動駆動
FCV:流量調整弁
FIT:流量指示計

※: 電動駆動の設備については
A系/B系切替受電可能とする

2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

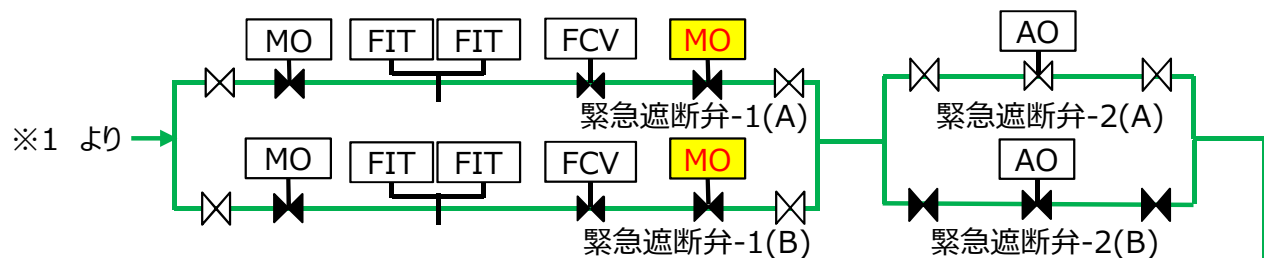
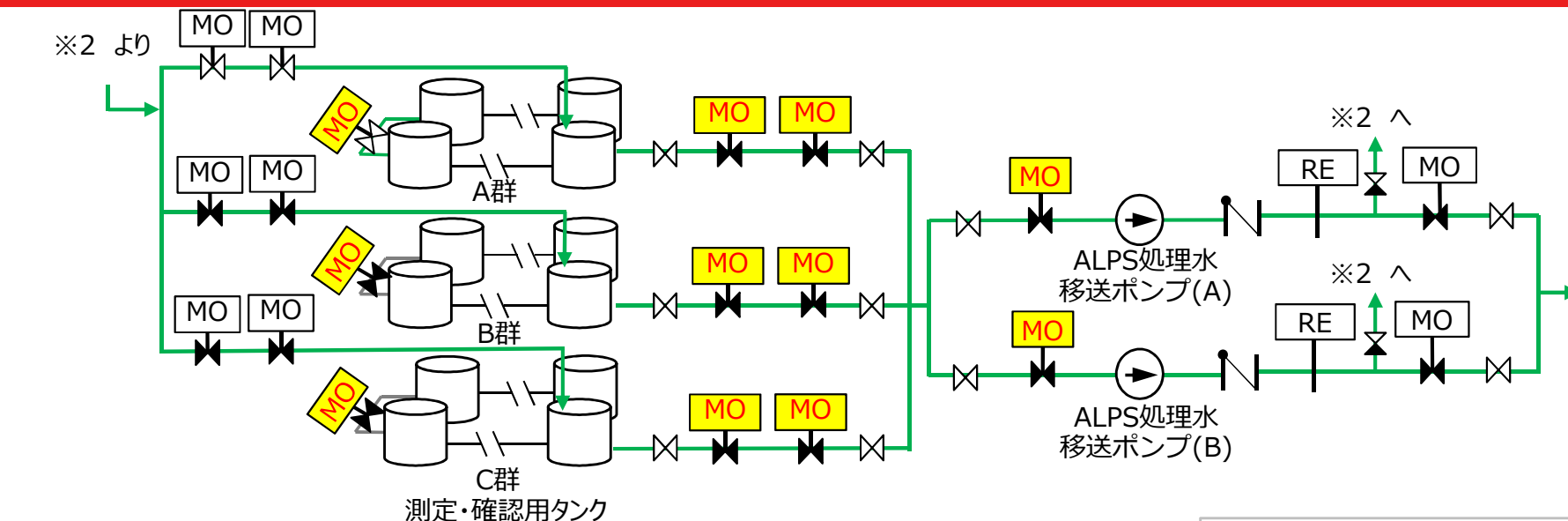
【参考】測定・確認用設備の運用手順について

- 測定・確認用設備での運用手順は以下の通り。
 - 測定・確認工程では、対象タンク群を選択し、実行操作することで、以降は自動動作する設計。
 - タンク群同士の混水・誤放出が無いよう、監視・制御装置は選択タンク群以外が測定・確認工程でないこと、バウンダリ弁が全閉であることをチェックするインターロックを設置。

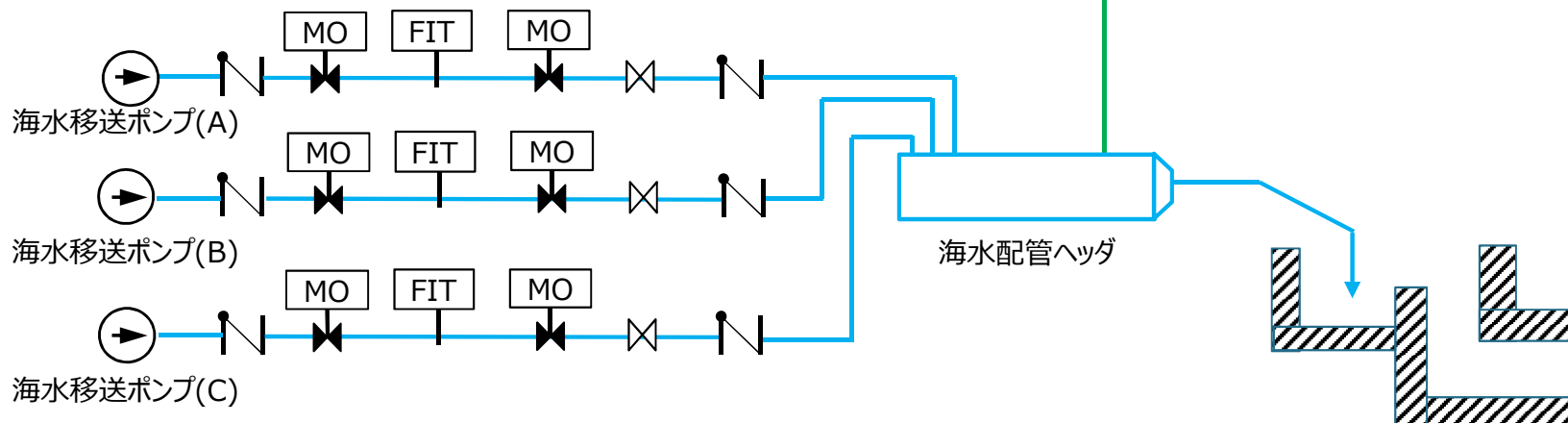


2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

【参考】移送設備/希釈設備の設計について



黄色ハッチング部MO弁は緊急遮断弁-1と同型の弁となっている。



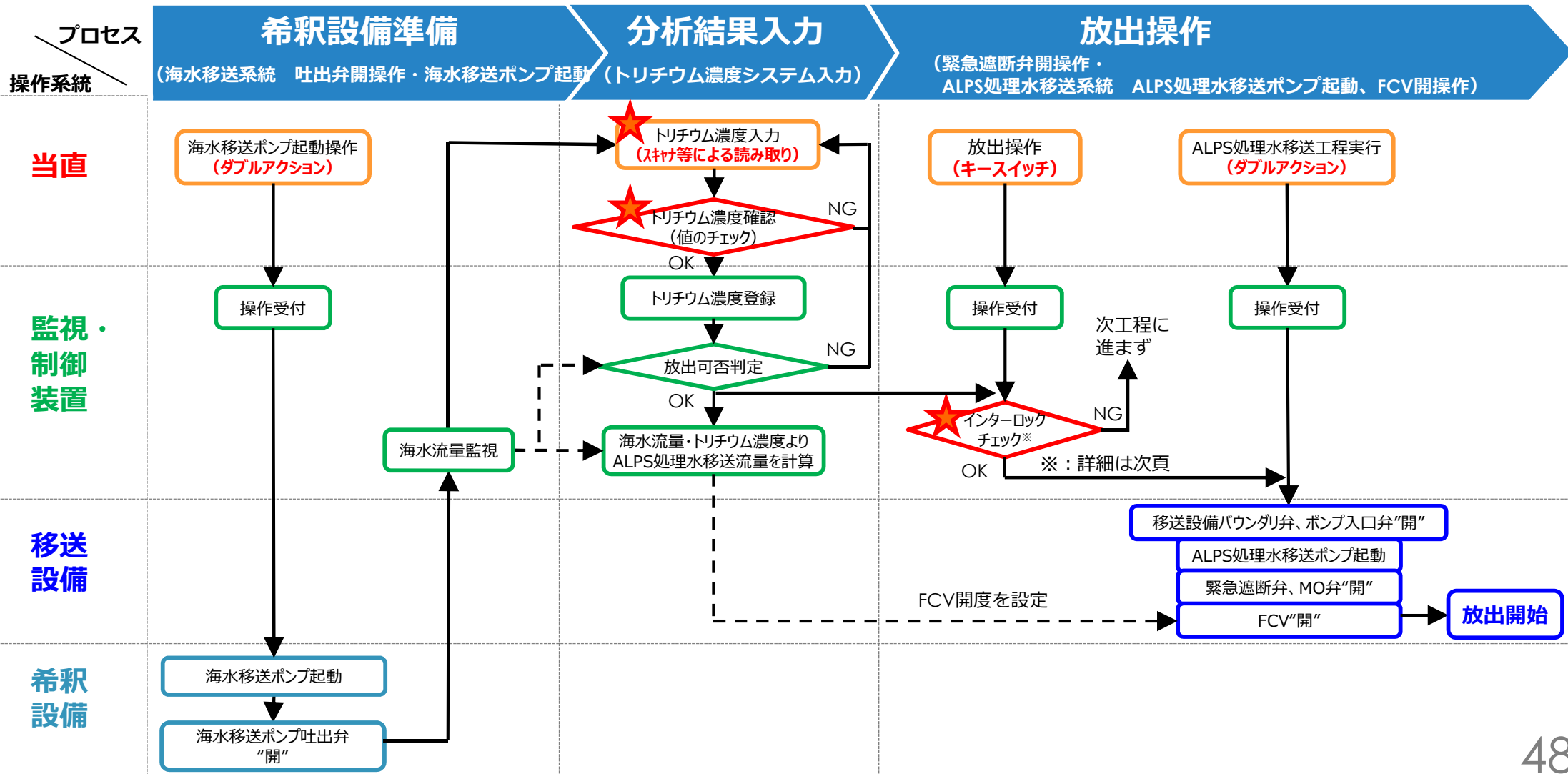
<略語説明>
 MO:電動駆動
 AO:空気駆動
 FCV:流量調整弁
 FIT:流量指示計
 RE:放射線検出器

2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価



【参考】移送設備/希釈設備の運用手順について

- ALPS処理水放出時の運用手順は以下の通り。
 - トリチウム濃度の監視・制御装置への入力にはヒューマンエラー防止のため、スキャナ等による機械的な読み取りとする（入力された値が正しいかは、複数人でチェック）。
 - 誤放出が無いよう、監視・制御装置は選択タンク群が測定・確認工程を完了していること、他タンク群のバウンダリ弁が全閉であること等をチェックするインターロックを設置。

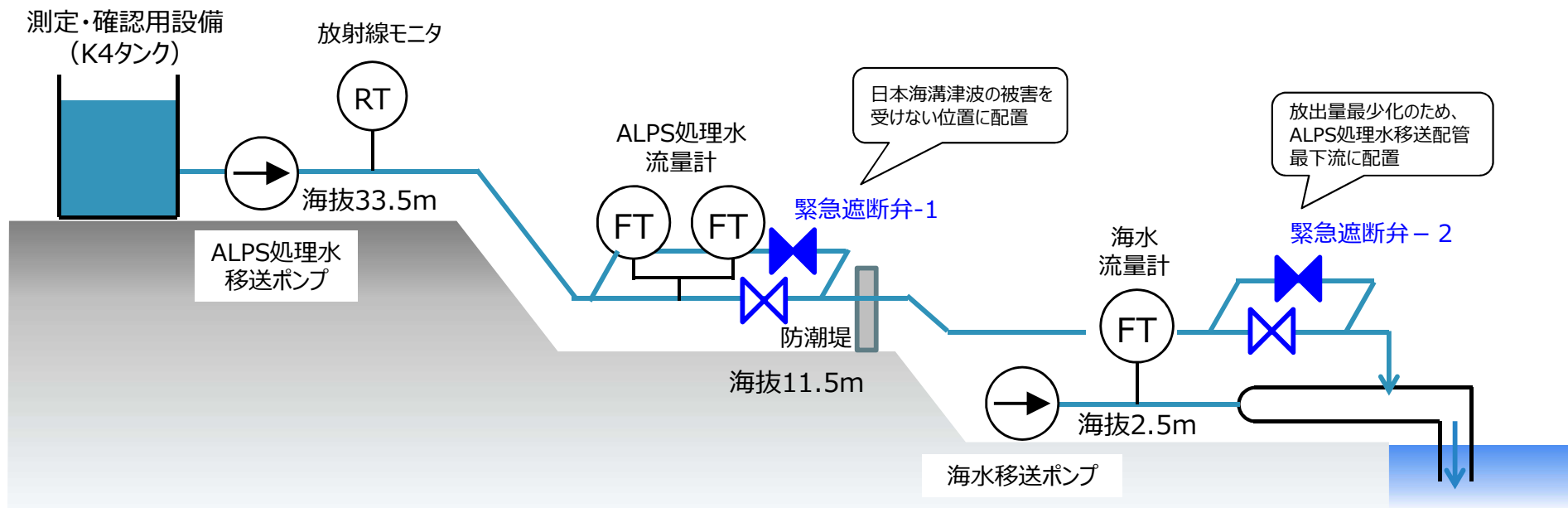


2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

【参考】緊急遮断弁に期待する役割と設計

- ALPS処理水の移送ラインに設ける緊急遮断弁は、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。
- 緊急遮断弁は直列二重化しており、それぞれの設置位置と作動方式、設計の考え方は以下の通り。

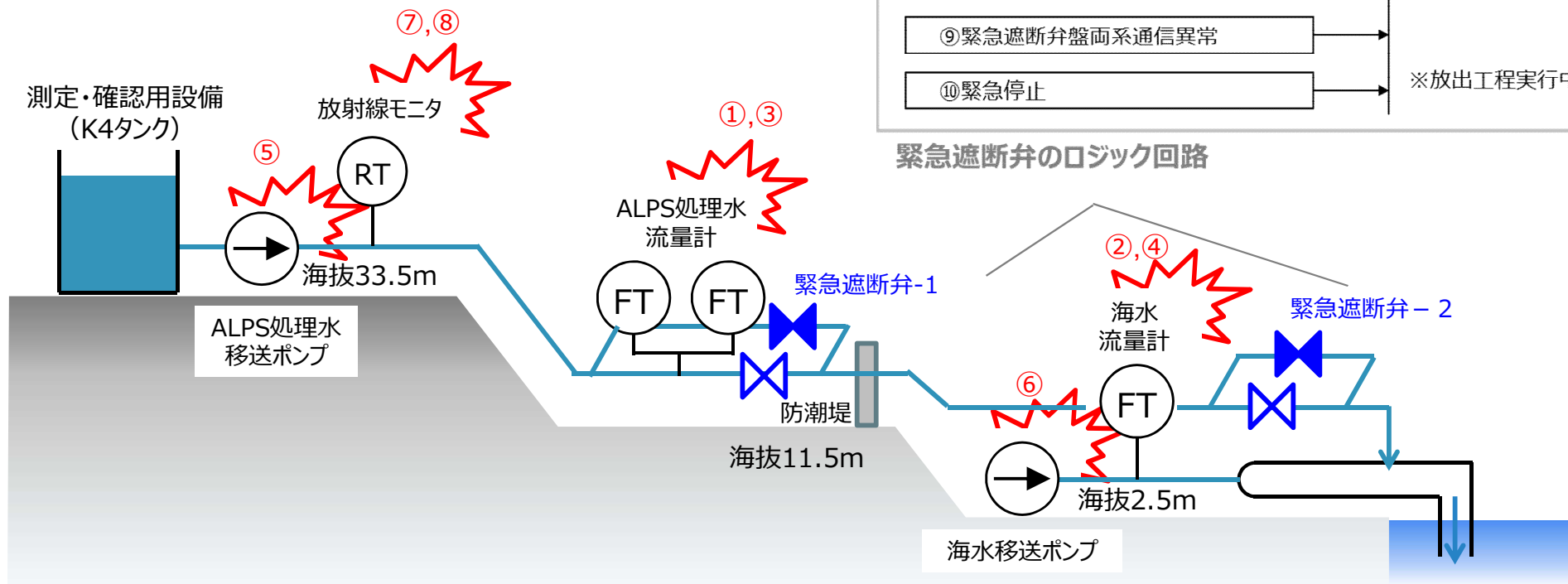
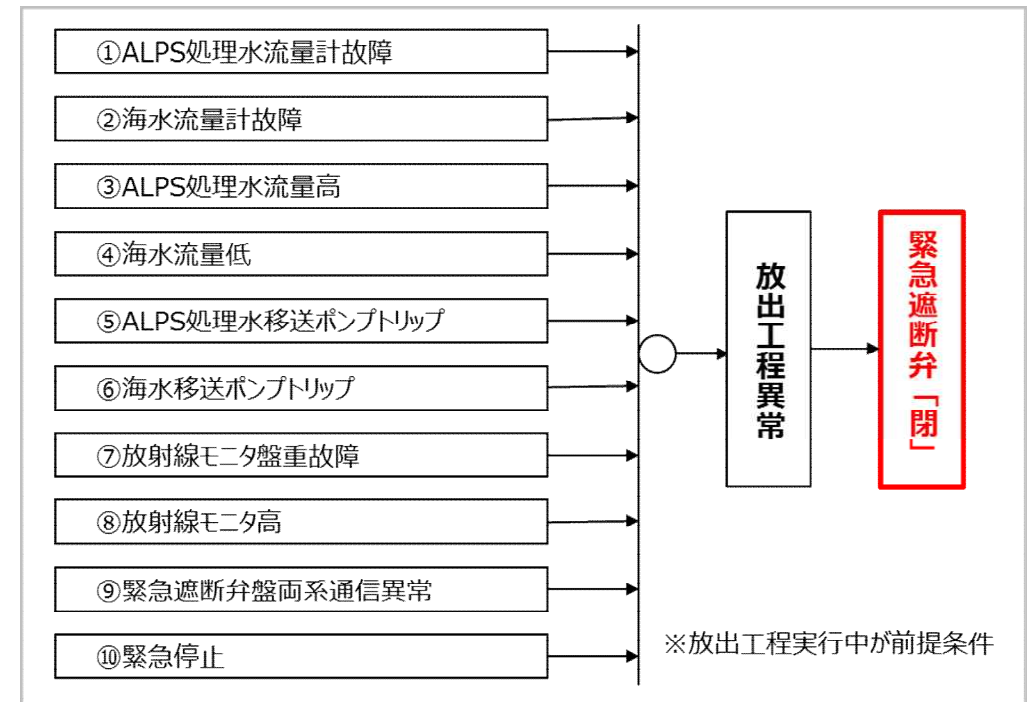
設計	緊急遮断弁-1	緊急遮断弁-2
設置位置	津波被害を受けない位置	弁作動時の放出量最少化のため、ALPS処理水移送配管最下流
作動方式	電動方式（開→閉時間10秒）	AO方式（開→閉時間2秒）
設計の考え方	2系列設置し、不具合・保守時には前後弁の開閉で系統切替可能とし、設備稼働率を維持	（同左）



2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

【参考】緊急遮断弁の動作条件

- 緊急遮断弁が“閉”となる動作条件は下図の通りであり、これにより『意図しない形でのALPS処理水の海洋放出』を防止する設計となっている。
- なお、各種異常検知時においても健全な海水移送システムは運転を継続し、可能な限り希釈を行い続けるロジックとなっている。



【参考】緊急遮断弁の動作条件

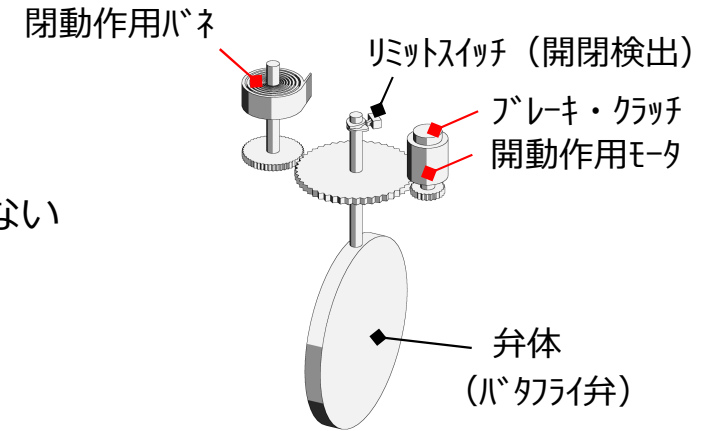
緊急遮断弁-1 (MO弁)

➤ 電源喪失時全閉 スプリングリターン式電動緊急遮断弁

- 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
- 開→閉: 10秒以内

➤ ウォーターハンマー対策

- ALPS処理水移送ポンプ出口からのミニマムフローラインにて対策。



緊急遮断弁-1の構造概略

緊急遮断弁-2 (AO弁)

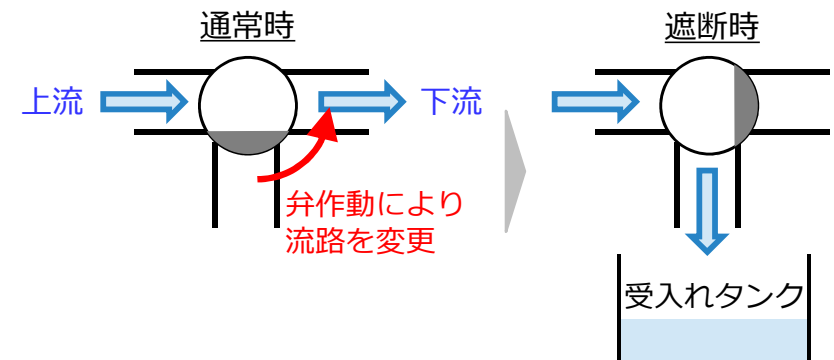
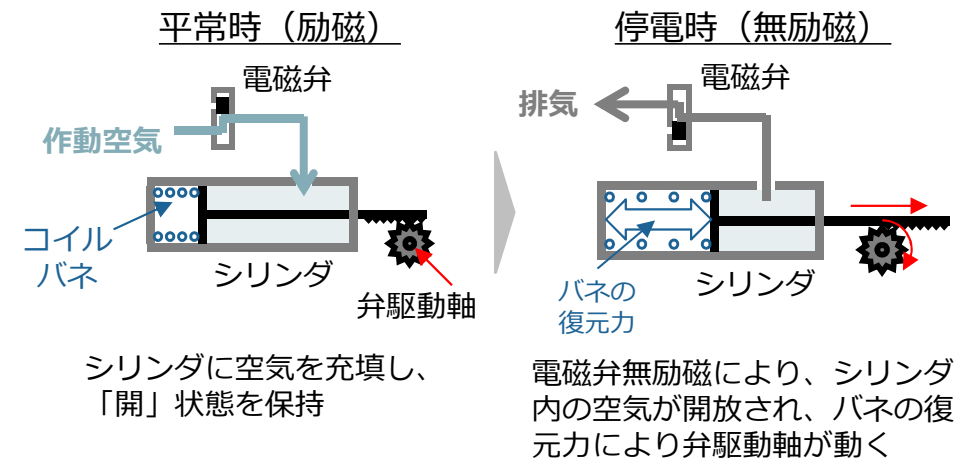
➤ 電源喪失時全閉 空気作動緊急遮断弁

- 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
- 開→閉: 約2秒

➤ ウォーターハンマー対策

- 緊急遮断弁-2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が必要となり、この対策として三方弁を採用。

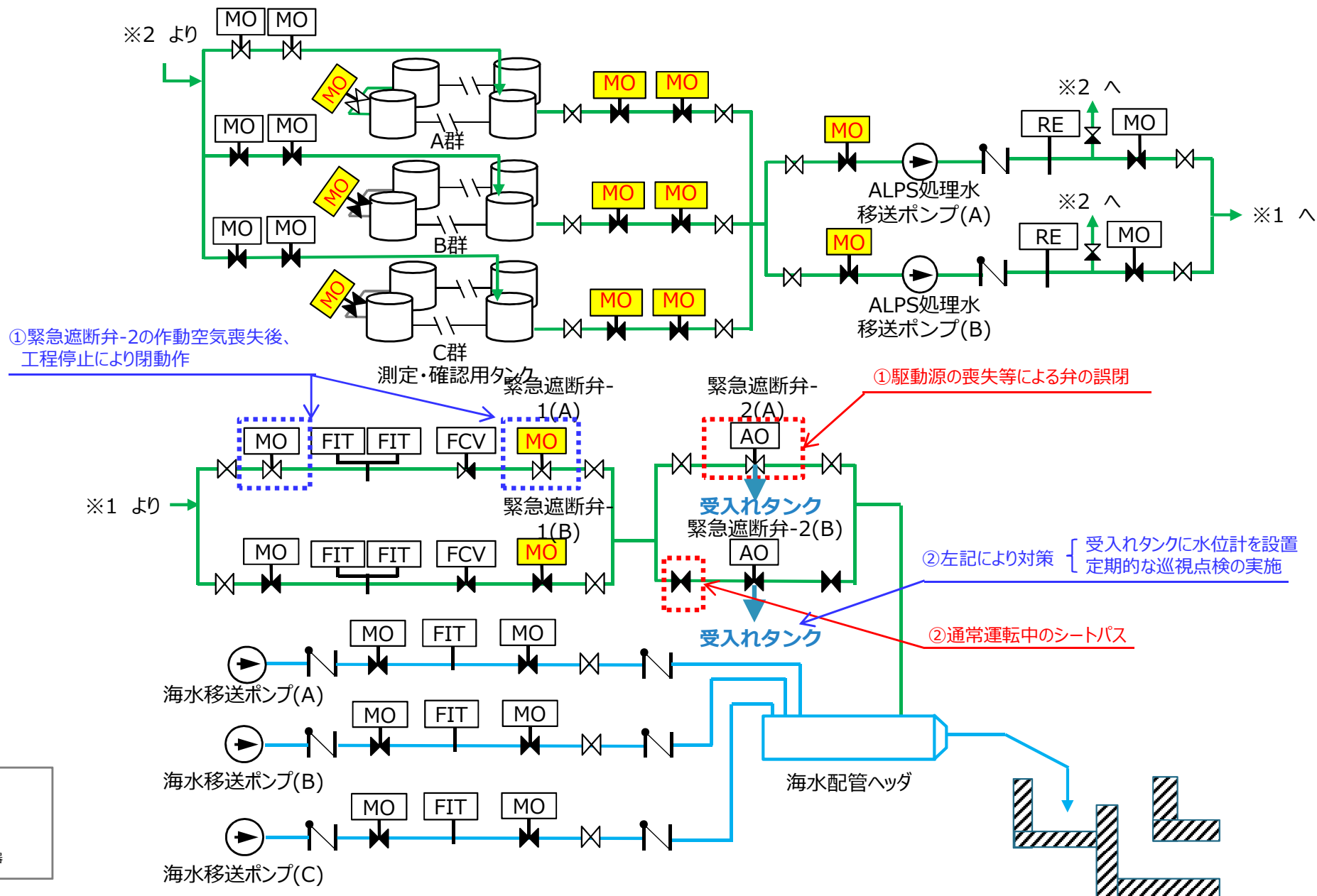
→ 受入れタンクは、緊急遮断弁-1が閉となる移送量と緊急遮断弁-1~緊急遮断弁-2までの配管の内包量約1.1m³に保守性を加えた容量を準備することを計画。



2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

【参考】緊急遮断弁-2の構造により異常事象に繋がる事象

- 緊急遮断弁-2が三方弁であることを踏まえ、新たに抽出した起因事象は受入れタンクの溢水。
 → 抽出された起因事象に対して、対策が妥当であることを確認（詳細は後述）。



2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑤-4. MLDを用いた分析結果


- 上記設計を踏まえて、MLDを用いて、追加、修正した評価結果は下記の通り。
→前回と同様、異常事象①「放射性物質を確認不備の状態で放出」の事象は発生しないことを確認。

レベル1	レベル2	レベル3	レベル4			レベル5	レベル6
頂上事象	異常事象の定義 (OR条件)	具体的事象 (OR条件)	起回事象			対策 (AND条件)	影響
			発生 タイミング	異常 カテゴリ	内容		
ALPS 処理水 の意図 しない 形での 放出	①放射性 物質を確 認不備の 状態で放 出	サンプリ ング不備	測定・ 確認 工程	HE	採水対象のタンク群 選択時、選択誤り (ダブルアクション入力に 失敗)	<ul style="list-style-type: none"> ・インターロックチェックを設ける ・採水時、弁の開閉状態を確認 	(防止)
				設備 (静的)	対象タンク群以外の タンク群の水が、採 水箇所に混入する	<ul style="list-style-type: none"> ・タンク出入口弁をそれぞれで二重化 ・採水時、弁の開閉状態を確認 ・循環ライン切換弁について、適切な時期での時間基準保全を実施 	(防止)
			HE	分析に依頼するサン プルを間違える	<ul style="list-style-type: none"> ・作業員と分析員で分析指示書及び試料ボトルの突合せを実施 	(防止)	
		分析不備	測定・ 確認 工程	HE	分析の手順を誤る	<ul style="list-style-type: none"> ・社内の分析結果と第三者機関の分析結果の突合せを実施 	(防止)
		HE	異なるサンプルの分 析結果を、放出・環 境モニタリングGM に通知	<ul style="list-style-type: none"> ・転記なしに基幹システム内でデータを通知 ・分析員等により結果のトレンド等を確認 	(防止)		

2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑤-4. MLDを用いた分析結果

レベル1	レベル2	レベル3	レベル4			レベル5	レベル6
頂上事象	異常事象の定義 (OR条件)	具体的事象 (OR条件)	起回事象			対策 (AND条件)	影響
			発生 タイミング	異常 カテゴリ	内容		
ALPS 処理水 の意図 しない 形での 放出	①放射性 物質を確 認不備の 状態で放 出	分析不備 [続き]	測定・ 確認 工程	HE	分析結果から異常値 を見落とす	<ul style="list-style-type: none"> 分析員は至近のトレンドから異常値を検出 分析評価GMは、過去の分析結果等から異常値を検出 	(防止)
				HE	異なるサンプルの分 析結果を、当直長に 通知	<ul style="list-style-type: none"> 転記なしに基幹システム内でデータを通知 分析員等により結果のトレンド等を確認 	(防止)
		試料の均 一化不足	測定・ 確認 工程	設備 (動的)	攪拌機器、循環ポン プ停止（故障）によ る攪拌、循環不足	<ul style="list-style-type: none"> 攪拌機器停止により循環運転停止 監視・制御装置にて、定期的な運転状態の確認を実施 	(防止)
				設備 (動的)	循環ポンプ流量低下 による循環不足	<ul style="list-style-type: none"> 循環ポンプ流量低で循環ポンプ停止のインターロックが動作 監視・制御装置にて、定期的な流量確認を実施 	(防止)
		放出タン ク誤り	放出 工程	HE	放出対象のタンク群 選択時、選択誤り (ダブルアクション入力に 失敗)	<ul style="list-style-type: none"> インターロックチェックを設ける 放出操作前に分析結果と対象タンクを照合 	(防止)

 : 記載追加

対策→青字：設計面、緑字：運用面

2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑤-4. MLDを用いた分析結果

レベル1	レベル2	レベル3	レベル4			レベル5	レベル6
頂上事象	異常事象の定義 (OR条件)	具体的事象 (OR条件)	起回事象			対策 (AND条件)	影響
			発生タイミング	異常カテゴリ	内容		
ALPS処理水の意図しない形での放出	②海水希釈不十分で放出放出	希釈不備	測定・確認工程	HE	監視・制御装置にトリチウム濃度を登録する際、実際の値より低めの値を誤入力する（⇒FCVの開度が大きくなる）	<ul style="list-style-type: none"> ・スキャナ等により、機械的にトリチウム濃度を監視・制御装置に入力 ・機械的に監視・制御装置に読み込ませた値について、複数人でチェック 	(防止)
			放出工程	設備 (静的)	外部電源喪失	<ul style="list-style-type: none"> ・電源喪失時、緊急遮断弁-1(MO)は自動閉 ・電源喪失時、緊急遮断弁-2(AO)は自動閉 ・タンク出入口手動弁の設置により閉可能 	(1)緊急遮断弁の単一故障を仮定した放出
			放出工程	設備 (動的)	海水移送ポンプ2台運転中に1台故障	<ul style="list-style-type: none"> ・海水移送ポンプ故障時、緊急遮断弁-1(MO)は自動閉 ・海水移送ポンプ故障時、緊急遮断弁-2(AO)は自動閉 ・海水流量計にて一定以上流量が低下時、緊急遮断弁-1(MO)は自動閉 ・海水流量計にて一定以上流量が低下時、緊急遮断弁-2(AO)は自動閉 ・タンク出入口手動弁により閉可能 ・演算器の二重化 	(1)緊急遮断弁の単一故障を仮定した放出
			放出工程	設備 (動的)	海水移送ポンプ3台運転中に1台故障	(同上)	(1)緊急遮断弁の単一故障を仮定した放出

: 記載追加

2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑤-4. MLDを用いた分析結果

レベル1	レベル2	レベル3	レベル4			レベル5	レベル6
頂上事象	異常事象の定義 (OR条件)	具体的事象 (OR条件)	起回事象			対策 (AND条件)	影響
			発生タイミング	異常カテゴリ	内容		
ALPS処理水の意図しない形での放出	②海水希釈不十分で放出放出	希釈不備 [続き]	放出工程	設備 (静的)	海水流量計の指示値に異常が発生するが、インターロックが動作しない	<ul style="list-style-type: none"> 海水流量計について、適切な時期での時間基準保全を実施 計器が故障した場合は警報を発生させる 海水移送ポンプ2台もしくは3台の流量指示値の偏差を監視し、計器誤差を超えるような偏差が確認された場合は警報を発生させる 	(防止)
			放出工程	設備 (静的)	ALPS処理水流量計の指示値に異常が発生する（⇒FCVの開度が適切ではなくなる）が、インターロックが動作しない	<ul style="list-style-type: none"> ALPS処理水流量計について、適切な時期での時間基準保全を実施 【追加】ALPS処理水流量計の二重化 計器が故障した場合は警報を発生させる 設定した希釈倍率に応じた上限流量を設定し、上限流量に達した場合は警報を発生させる 	(防止)
			放出工程	設備 (静的)	FCVの故障（弁体の故障などの機械的故障）	<ul style="list-style-type: none"> ALPS処理水流量の指示値が、監視・制御装置の計算値に近づかない場合、緊急遮断弁を動作させるインターロックを設置 【追加】ALPS処理水流量計の二重化 緊急遮断弁-1(MO)の設置により閉可能 緊急遮断弁-2(AO)の設置により閉可能 タンク出入口手動弁により閉可能 演算器の二重化 	(防止)

2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑤-4. MLDを用いた分析結果

レベル1	レベル2	レベル3	レベル4			レベル5	レベル6
頂上事象	異常事象の定義 (OR条件)	具体的事象 (OR条件)	起回事象			対策 (AND条件)	影響
			発生 タイミング	異常 カテゴリ	内容		
ALPS 処理水の意図 しない 形での 放出	②海水希 釈不十分 で放出	希釈不備 [続き]	放出 工程	設備 (静的)	海水流量計の下流の フランジ部で漏えい が発生	<ul style="list-style-type: none"> 要求機能に対して、十分に余裕を持たせた容量の海水移送ポンプを採用 定期的な巡視点検の実施 	(防止)
	③設備か らの漏え い	漏えい	常時 (点検中 含む)	設備 (静的)	【参考】 タンク3群全壊※	<ul style="list-style-type: none"> 地震（震度5弱以上）発生時、システムを停止 	機能喪失 による影 響評価を 実施
			常時 (点検中 含む)	設備 (静的)	【参考】 移送配管破断※		

※：本設備の耐震クラス（Cクラス）を上回る地震の発生を想定

対策→青字：設計面、緑字：運用面

2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑤-4. MLDを用いた分析結果

レベル1	レベル2	レベル3	レベル4			レベル5	レベル6
頂上事象	異常事象の定義 (OR条件)	具体的事象 (OR条件)	起回事象			対策 (AND条件)	影響
			発生タイミング	異常カテゴリ	内容		
ALPS処理水の意図しない形での放出	③設備からの漏えい	漏えい	常時 (点検中含む)	設備 (静的)	循環配管フレンジ部からの漏えい	<ul style="list-style-type: none"> 定期的な巡視点検の実施 PE管同士の接続は融着構造とする フレンジ部のあるタンク周辺に基礎外周堰を設置 フレンジ部のある循環ポンプ周辺に堰、漏えい検知器を設置 	(防止)
			常時 (点検中含む)	設備 (静的)	タンク出口～MO遮断弁の間で移送配管フレンジ部からの漏えい	<ul style="list-style-type: none"> 定期的な巡視点検の実施 PE管同士の接続は融着構造とする フレンジ部のあるタンク周辺には基礎外周堰を設置 フレンジ部のある移送ポンプ/MO弁周辺に堰、漏えい検知器を設置 	(防止)
			常時 (点検中含む)	設備 (静的)	MO遮断弁～AO遮断弁の間で移送配管フレンジ部からの漏えい	<ul style="list-style-type: none"> 定期的な巡視点検の実施 PE管同士の接続は融着構造とする フレンジ部のあるMO弁/AO弁周辺に堰、漏えい検知器を設置 	(防止)
			常時 (点検中含む)	設備 (静的)	AO遮断弁～海水配管ハグダの間で移送配管フレンジ部からの漏えい	<ul style="list-style-type: none"> 定期的な巡視点検の実施 PE管同士の接続は融着構造とする フレンジ部のあるAO弁周辺に堰、漏えい検知器を設置 	(防止)

2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑤-4. MLDを用いた分析結果

レベル1	レベル2	レベル3	レベル4			レベル5	レベル6
頂上事象	異常事象の定義 (OR条件)	具体的事象 (OR条件)	起回事象			対策 (AND条件)	影響
			発生タイミング	異常カテゴリ	内容		
ALPS処理水の意図しない形での放出	③設備からの漏えい	漏えい	放出工程	設備(静的)	緊急遮断弁-2 (AO弁) に対して、駆動源 (圧縮空気) の喪失等による受入れタンク溢水	<ul style="list-style-type: none"> 定期的な巡視点検の実施 AO弁のリミットスイッチにより、放水先の切り替えを検知可能 (放出停止インターロック有) 圧縮空気の圧力計からAO弁の動作を検知可能 (放出停止インターロック有) 受入れタンクに水位計 (電極式) を設置 (検知のみ) 	(防止)
			放出工程	設備(動的)	放出中、停止側の緊急遮断弁-2 (AO弁) の前弁シートパスによる受入れタンク溢水	<ul style="list-style-type: none"> 定期的な巡視点検の実施 受入れタンクに水位計 (電極式) を設置 (検知のみ) 	(防止)

: 記載追加

対策→青字 : 設計面、緑字 : 運用面

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項⑥

（2－1 原子炉等規制法に基づく審査）

（1）海洋放出設備

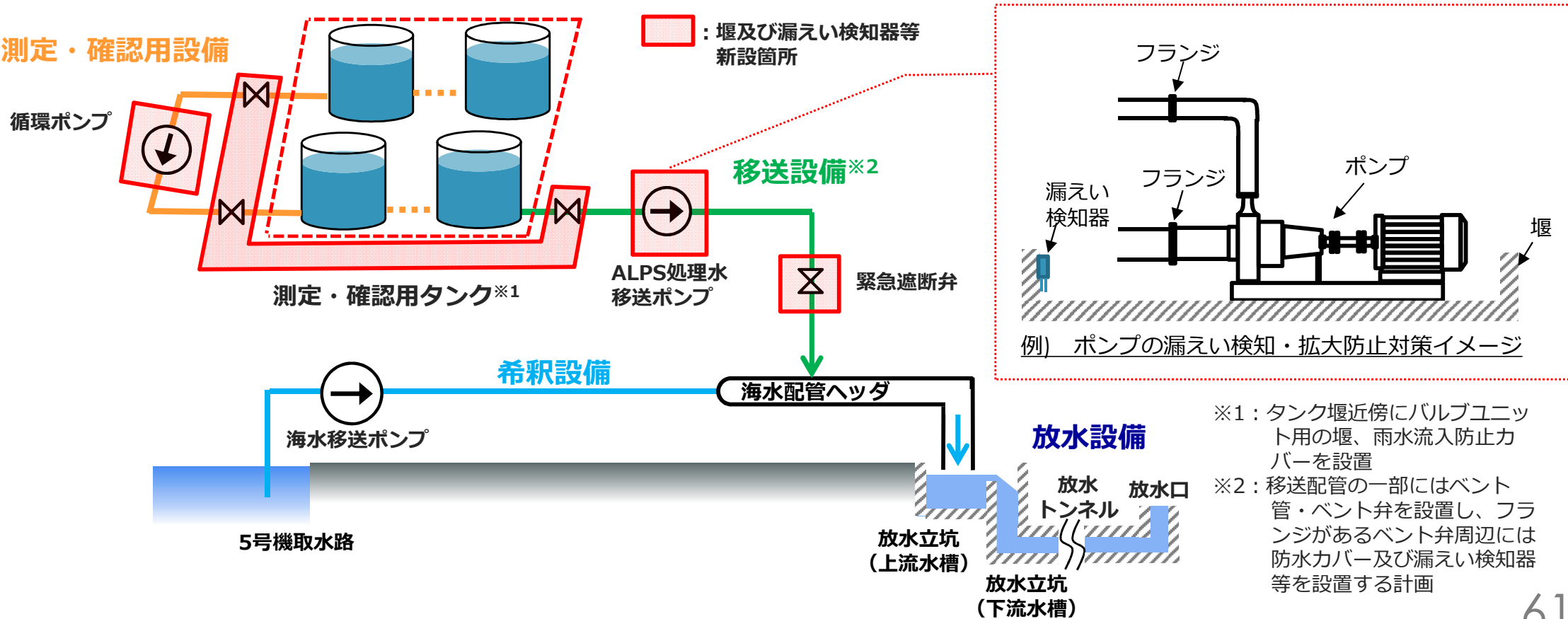
⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

- 静的設備の故障等が発生した場合には堰及び漏えい検知器の設置、巡視点検等により、意図しない形でのALPS処理水の放出が防止できるとしているが、漏えい量等を適切に設定することにより、その対策に妥当性があることを定量的に示すこと。

2-1(1) ⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑥-1. 漏えい拡大防止対策

- 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。
 - 漏えい検知の警報は、免震重要棟集中監視室等に表示し、運転操作員により流量等の運転監視パラメータ等の状況を確認し、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-50-添2-1)。
- 具体的には、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。

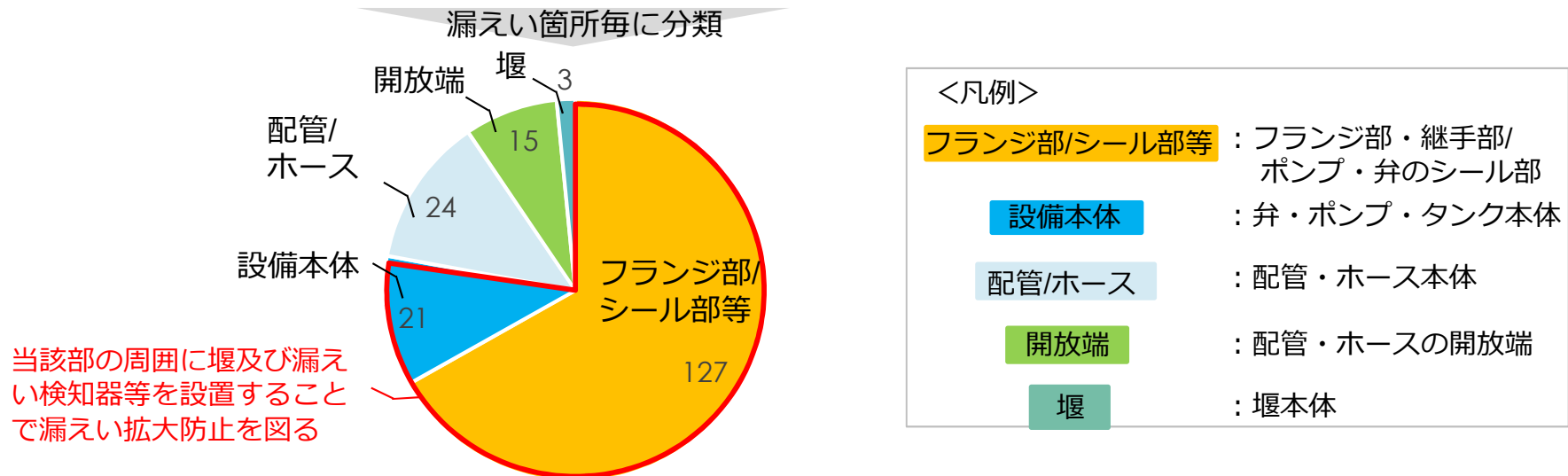


2-1(1) ⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑥-2. 震災後の福島第一原子力発電所での漏えい事象

- 震災以降、福島第一原子力発電所で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（下図参照）。
- 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等を設置する計画。

震災以降、特定原子力施設で発生した漏えい事象：190件



- 主なフランジ部/シール部等以外の配管/ホース、開放端からの漏えい事象は、当社内の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。
- <配管/ホース、開放端からの漏えい事象の例>

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での対策 (当社内のマニュアル等に制定済み)
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。

2-1(1) ⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑥-3. 堰・漏えい検知器等の設置箇所

- ALPS処理水希釈放出設備において、漏えい拡大防止のために堰や漏えい検知器等を設置する箇所を下図の通り。（堰や漏えい検知器等は各エリアにそれぞれ設置する。）



2-1(1) ⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑥-4. 漏えい想定量について

- 下記に示す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)



モックアップ試験の状況

➤ 試験結果

- 滴下数 1092 滴
 - 計量数 185 cc
- ▶ 0.1694 cc/滴

【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】

- 1秒間あたり5~7滴

なお、過去の漏えい事象において、設備本体からの漏えいにおける最大の流量（目測）は1秒間あたり1滴であるため、設備本体からの漏えいについても本評価に包含される。

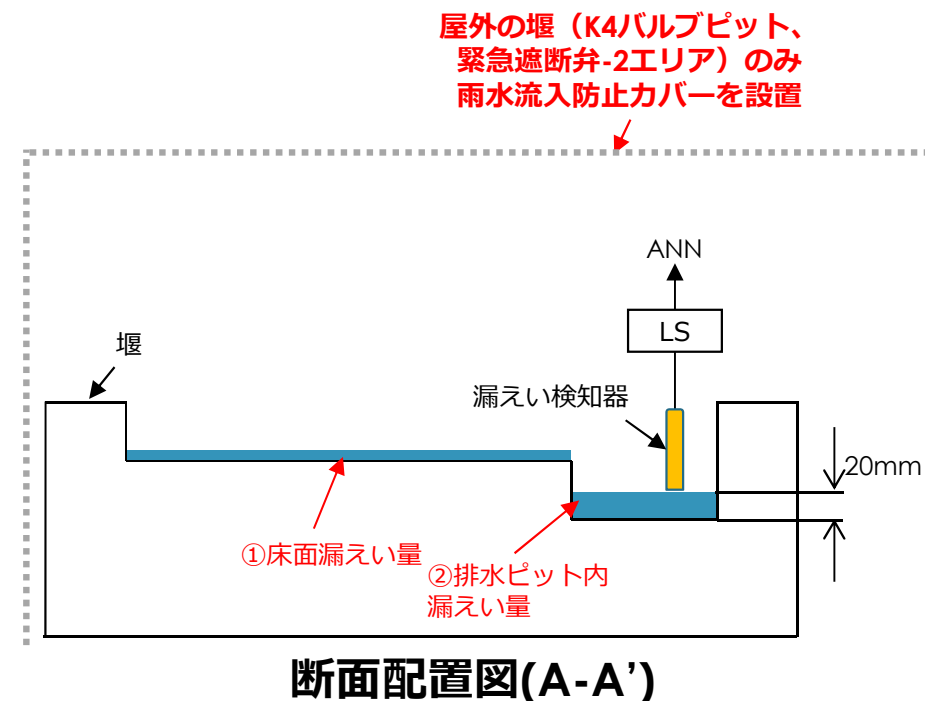
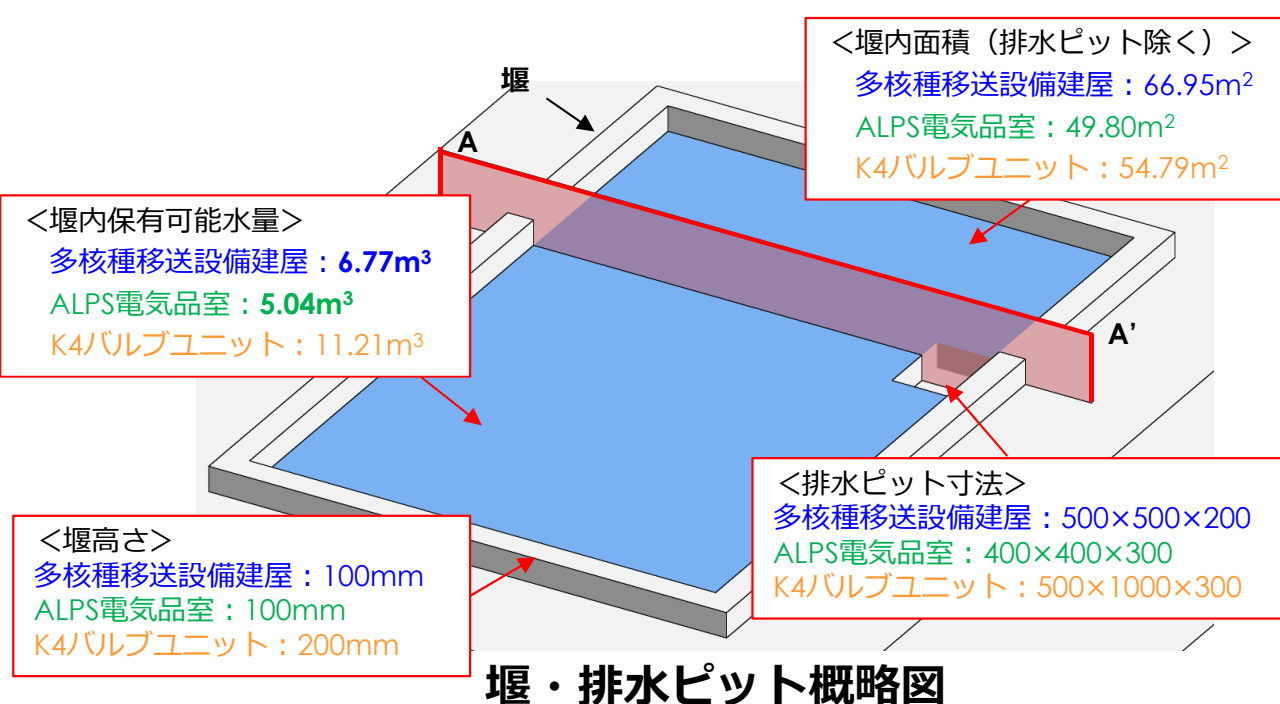
【想定する漏えい量】

- 上記より、フランジ部/シール部等からの最大漏えい量は1.19cc/秒（約4L/h）であると想定する。

2-1(1) ⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑥-5. 堰容量及び漏えい検知器の設置箇所について

- 多核種移送設備建屋、ALPS電気品室、K4バルブユニット内における堰内面積・漏えい検知器の配置は以下の通り。なお、緊急遮断弁-2エリアの堰内面積・漏えい検知器の配置については詳細検討中。



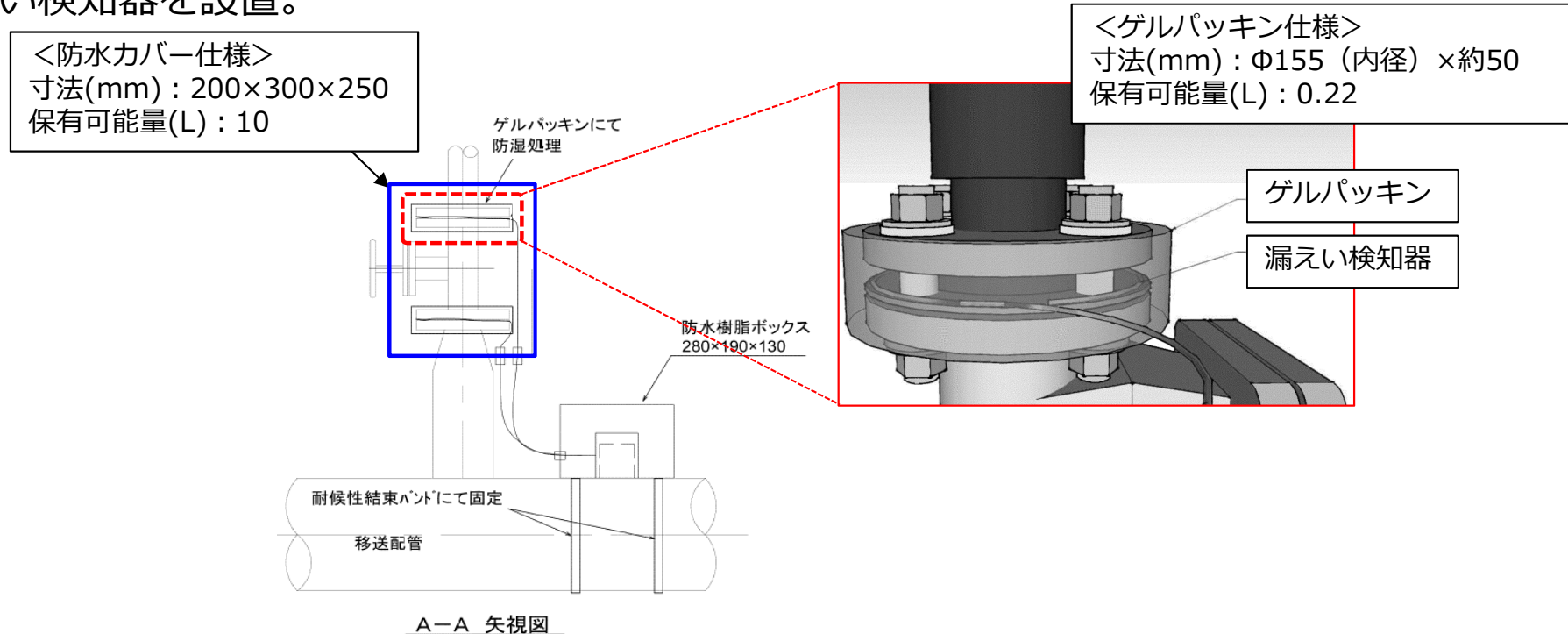
- 各堰における、漏えい検知器感知時の漏えい量及び堰内保有可能量は以下の通りであり、堰内保有可能量は漏えいを検知してから運転員が対応するまで、十分な容量を確保していることから、堰からの溢水は防止可能。

	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	0.14m ³	6.77m ³	約1548時間
ALPS電気品室	0.10m ³	5.04m ³	約1152時間
K4バルブユニット	0.12m ³	11.21m ³	約2588時間

2-1(1) ⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑥-6. ベント弁周辺の防水カバー及び漏えい検知器について

- ALPS処理水移送配管のエア抜き用のベント弁のフランジ部について、下記のように防水カバー及び漏えい検知器を設置。



- 漏えい検知器は漏えいの想定されるフランジ面間に挿入し、その周囲をゲルパッキンで覆う。
- ゲルパッキンはフランジ形状に合わせた成型品で継ぎ目のない構造でシール性を有する（検知器穿孔の貫通部はコーキング処理を実施）。
- 仮にゲルパッキンより漏えいした場合においても、周囲の防水カバーに水を受けることで外部へ漏えいしない構造としている（カバー・配管との隙間はゴムパッキン・コーキングによりシール性を確保）。
- ゲルパッキンの保有可能量以上の水が漏えいすると、防水カバー内に水が浸水すると想定すると、漏えい検知器で漏えいを感知してから防水カバーが満水になるまでは約2.3時間かかる。
 - 上記より、防水カバー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、防水カバーからの溢水は防止可能。

2-1(1) ⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

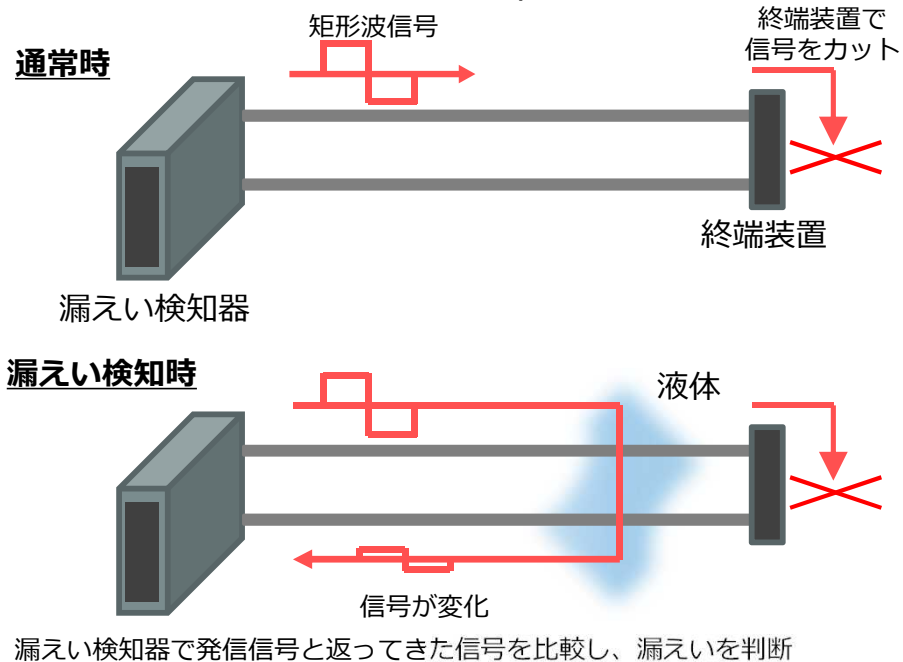
【補足】漏えい検知器について

【動作原理】

- いずれの漏えい検知器も、断線検出機能を備えたものとし、下記動作原理により漏えい検知の他、断線による検知器の機能喪失の検知が可能である。
 - 検知器本体より、漏えい検出用と断線検出用の信号を発信。
 - 返ってきた信号の状況により漏えい、もしくは断線を判断。

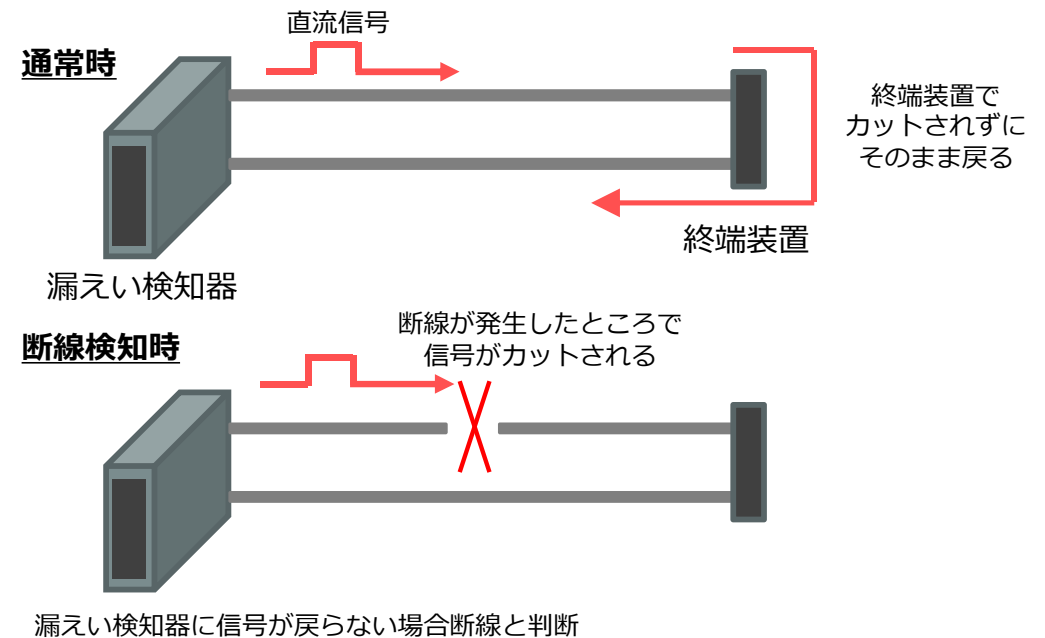
<漏えい検出>

- 検知器より漏えい検出用の矩形波信号を発信
 - 通常であれば終端装置により信号はカットされる。
 - 漏えい検知帯に液体が接触した場合は、液体の抵抗により変化した信号が検知器に戻るため、発信信号と比較し漏えいを判断。



<断線検出>

- 検知器より断線検出用の直流信号を発信
 - 健全であれば発信信号はそのまま検知器に戻り正常と判断。
 - 断線が発生すると断線されたところで信号がカットされるため、漏えい検知器に信号が戻らない時点で断線と判断。



2-1(1) ⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑥-7. 漏えい拡大防止対策の妥当性

- 過去の事象を確認した結果、フランジ部/シール部等並びに設備本体からの漏えい事象が大部分を占めていることを確認。
- このため、設計面ではフランジ部/シール部等並びに設備本体の周囲に、堰及び漏えい検知器を設置し、漏えい拡大防止を図る設計とする（既設の他設備と同様）。また、配管/ホース、開放端からの漏えいに対しては、水平展開された対策を、本設備でも反映して対策することで対応する。
- また、運用面では、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こととする。

- また、モックアップ試験や過去の漏えい事象を踏まえて、想定される最大の漏えい量（約4L/h）に対して、設置する堰等の保有可能量は漏えい検知器で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、漏えいの拡大防止対策として妥当と考える。

2 - 1 (1) ⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

【参考】過去の漏えい事象で水平展開されている事象



- 過去の漏えい事象のうち、配管/ホースからの漏えい事象について、水平展開されている主な事象は以下の通り。

漏えい箇所	原因分類	主な直接原因	当該事象での対策※	ALPS処理水希釈放出設備での対策
配管/ ホース	HE	雨水回収タンクの移送ホースを近傍で作業をしていた者が誤って損傷させたと想定されるため。	・ <u>耐圧ホース近傍で作業する場合は保護板の設置等十分な防護処置を行う。</u>	社内ガイドにて制定されている、ホースや配管等の防護措置を実施する。
	施工不良	雨水処理移送ホース移動時に釘が刺さったため。	・ 雨水移送設備耐圧ホースの総点検を実施。 ・ <u>耐圧ホース運用管理ガイドへ本事例等を反映及び関係Gへの周知。</u>	ALPS処理水希釈放出設備ではホースを移動させる作業は予定していない。
		2号機建屋内移送配管（PE管）上に白熱型投光器が落下したことで、照射熱により損傷したため。	・ <u>耐圧ホースからPE管化への切り替えを実施。</u> ・ <u>PE管敷設エリア近傍で白熱型投光器の使用を禁止する。</u>	ALPS処理水希釈放出設備では白熱型投光器を使用しない。

※：下線は社内マニュアル・ガイドにて水平展開済み。

2-1(1) ⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

【参考】過去の漏えい事象で水平展開されている事象

- 過去の漏えい事象のうち、開放端、堰からの漏えい事象について、水平展開されている主な事象は以下の通り。

漏えい箇所	原因分類	主な直接原因	当該事象での対策※	ALPS処理水希釈放出設備での対策
開放端	HE	ALPS処理水等タンクの配管に繋がる弁が誤って“閉”から“開”へ操作された。	<ul style="list-style-type: none"> 配管経路及び配管接続箇所を明示した図面を基に手順書を作成する。 移送手順書と現場のラインナップを確認する旨を手順書に反映する。 弁の施錠管理及び識別表示を行う。 	社内ガイドにて制定されている、弁の施錠管理及び識別表示を行う。
	施工不良	機器の点検時等において、閉止処置が施されていないため。	<ul style="list-style-type: none"> 点検等で機器を取外す際は、<u>隔離した弁のシートパスを考慮した安全処置の実施を行う。</u> 閉止フランジの取付けを行う。 	点検等で機器を取外す際は弁のシートパスを考慮した安全処置の実施を行い、開放端となる箇所には、閉止フランジを取り付ける。
		雨水回収タンクホースの先端が水没していたことでサイフォン現象が起これ、漏えいした。	<ul style="list-style-type: none"> 耐圧ホース排出先の先端を水面から離して固縛を実施する。また、移送中は監視員による確認を必要に応じて行う。 移送開始および終了時に、耐圧ホースの固縛状況・サイフォン現象による水の逆流の有無を確認する。 	ALPS処理水希釈放出設備では堰やタンクに水没するリスクのある配管やホースが無い。
堰	自然現象	豪雨・強風時の対応手順が不明確であり、堰から溢水したため。	<ul style="list-style-type: none"> 移送の体制及び手順を定めた。 堰に雨水が流入しないように屋根を設置。 	社内ガイドに制定されている堰内水の移送手順に基づき、対応し、屋外に設置する堰には雨水流入防止カバーを設置する。

※：下線は社内マニュアル・ガイドまたはOE情報にて水平展開済み。

2-1(1) ⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

【参考】過去の漏えい事象で水平展開不要と判断された事象

- 過去の漏えい事象のうち、その他の設備固有の漏えい事象についても、今回のALPS処理水希釈放出設備とは環境や使用する設備、設計が異なり、考慮が不要であることを確認。

漏えい箇所	原因分類	主な直接原因	当該事象での対策	ALPS処理水希釈放出設備で発生するか否か
配管/ ホース	設計不良	増設ALPSのホースに塩酸等の薬液を通水したことから腐食が進行したため。 既設ROの塩化ビニル製の配管融着部が、地震等の影響により、応力が集中したため。	「薬液の排水禁止」の標示札を貼りつける。 ホースから鋼管への取替えを実施する。 応力集中が生じにくい配管の構成に変更する。	薬剤・樹脂及び濃塩酸を使用しないため、考慮不要。 塩化ビニル製の配管を使用しないため、考慮不要。
	施工不良	既設ALPSのドレン配管内にスラリーが堆積したことから腐食が進行したため。 サブドレン他浄化設備のメタルホース溶接時に、隙間が形成されたことによる隙間腐食と推定。	定期的な配管内の清掃を行う。 メタルホースから合成ゴムホースへ交換を行う。	スラリーが堆積することがないため、考慮不要。 メタルホースを使用しないため、考慮不要。
	管理不足	淡水化装置（RO3）のエアホース内に液体が流入したことによって、当該部が硬化したことに気づけなかったため。 （点検計画が不適切であった。）	点検計画を事後保全から時間保全で管理することとする。	エアホースを使用しないため、考慮不要。
開放端	設計不良	システムのインターロックが不足していた。（弁が“閉”となっている状態でポンプが運転し続ける設計となっていた。）	ポンプ吐出圧力の異常を検知したら、設備が自動停止する運転ロジックへ変更する。	設備の異常を検知した場合には設備を停止するインターロックを設置しているため、考慮不要。
堰	施工不良	配管貫通部及び取付ボルト部の止水処置が不足していたため。	ポリウレア吹付による止水処理を行う。	左記事象発生時と、内堰の構造が異なり、貫通部や取付ボルトがないため、考慮不要。

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項⑦

（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

⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

- 評価条件の設定については、運転中やメンテナンス中にかかわらず評価結果が最も厳しくなるような初期状態を設定すること。併せて、基本的な機器の運用方法について示すこと。
- 異常事象を抽出した後の妥当性評価において、放出量の観点で結果を厳しくするような評価条件（初期条件を含む）の考え方を説明すること。
- 単一故障仮定における静的機器の扱いについては、実用炉の新規制基準の解釈も参考に、その使用期間や長期的な影響緩和機能の有無などを整理した上で、動的機器同様、その扱いを整理すること。
- 異常事象への対策を講じた場合の放出量を評価するにあたっては、判断基準と評価条件を適切に設定するとともに、それらの考え方を示すこと。

2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑦-1. 異常事象における初期条件の設定

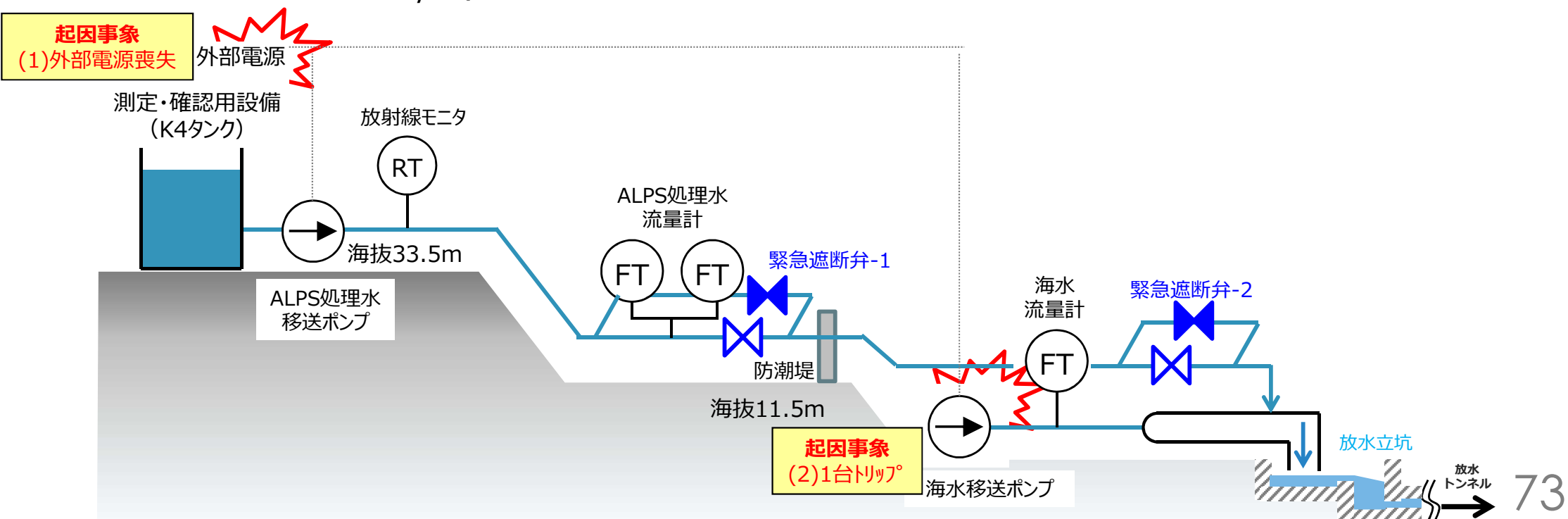
- MLDの結果より、異常事象②「海水希釈不十分で放出」が発生する際の、起因事象として(1)「外部電源喪失」と(2)「2,3台運転中の海水移送ポンプのうち1台トリップ」を抽出。
- これらについて、ALPS処理水の放出量の観点で最も厳しくなる初期条件および機器条件を以下の通り設定。

初期条件

- 異常事象②「海水希釈不十分で放出」は、ALPS処理水の海洋放出中に発生することから、通常運転状態を想定する。

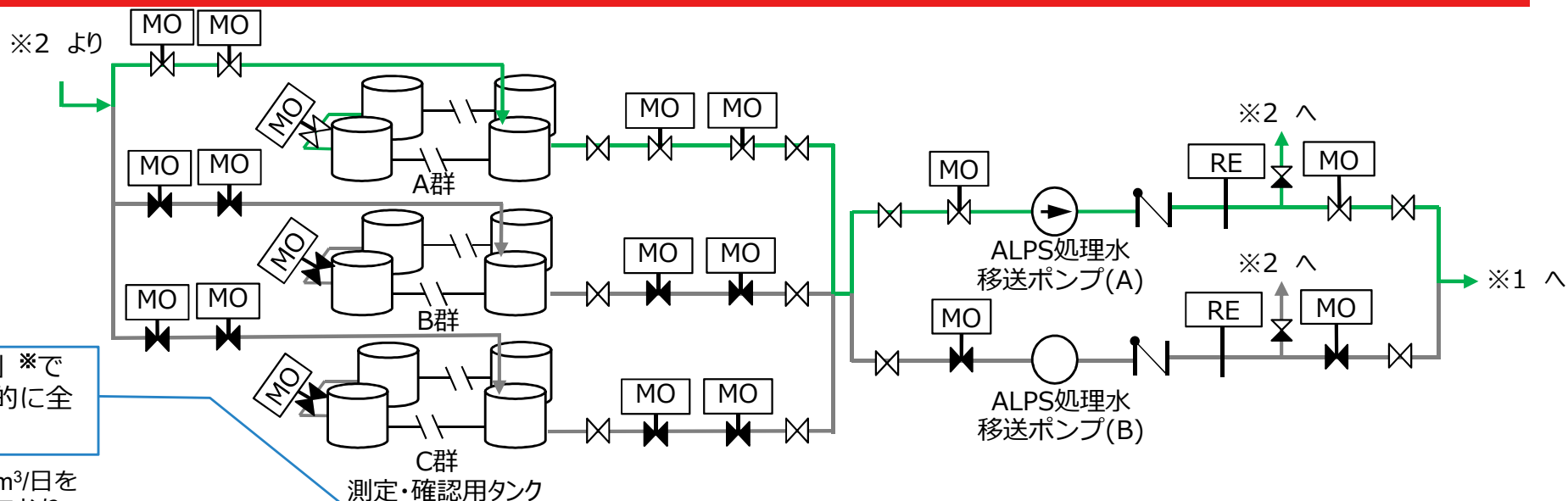
機器条件

- 通常運転状態であるため、ALPS処理水の流量は、FCVにて1日当たりの500m³/日に制御する計画であるが、ここでは保守的にALPS処理水移送ポンプ単体の機器スペックである720m³/日とし、海水移送ポンプは2台運転（34万m³/日）とする。



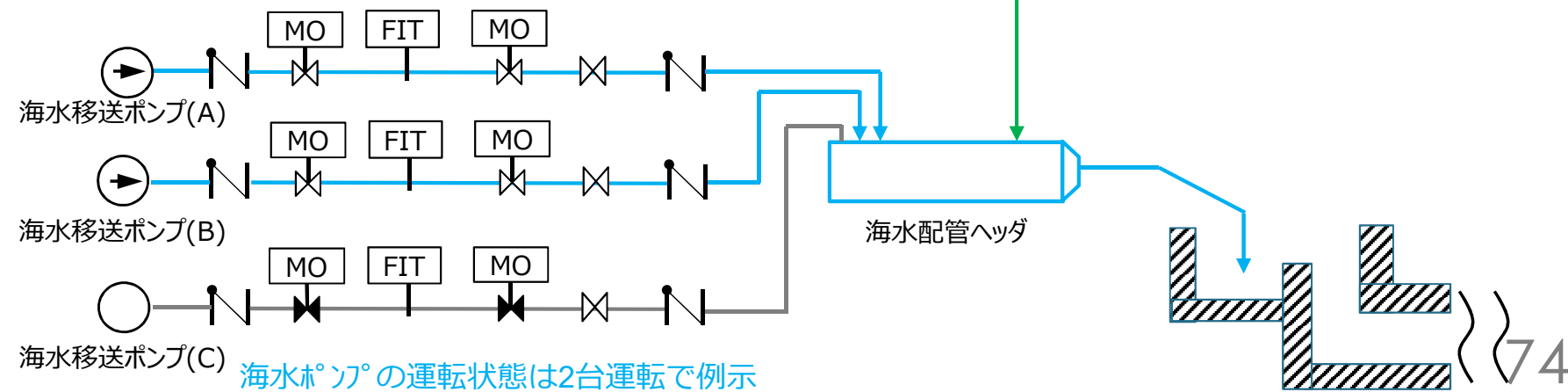
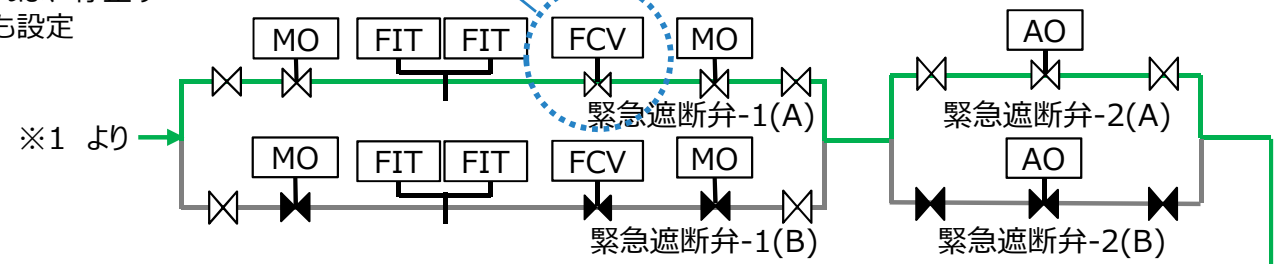
2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

【補足】機器の状態詳細



通常運転時は「調整開」※であるが、ここでは保守的に全開と仮定した。

※：ALPS処理水流量が500m³/日を上回らないよう制御しており、既定の流量を上回れば、停止するインターロックも設定



<略語説明>
 MO:電動駆動
 AO:空気駆動
 FCV:流量調整弁
 FIT:流量指示計
 RE:放射線検出器

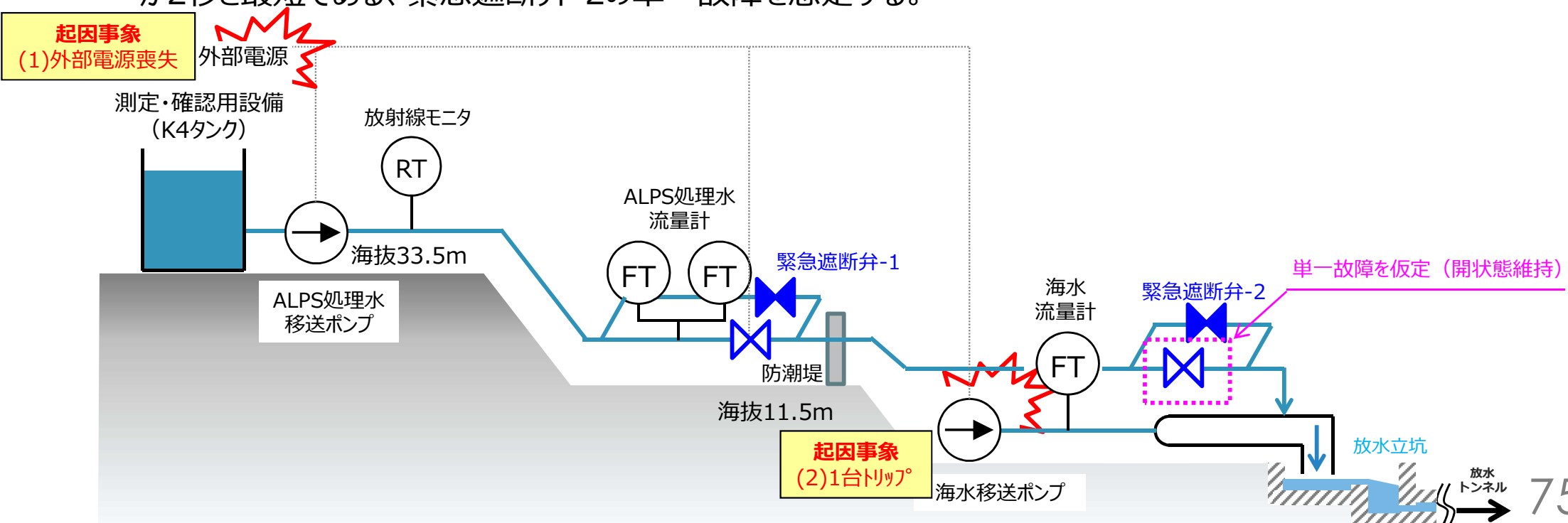
2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

⑦-2. 異常事象における単一故障等の仮定

- 新規基準では配管やフィルタ等の静的機器においても、事象発生後、長時間（24時間以上）使用する静的機器の故障も想定することになっているが、本設備では異常発生時、直ちに海洋放出を停止させるため、該当する機器はない。このため、動的機器のみを単一故障等の対象として、以下の通り、単一故障等を想定した。
 - 起因事象(1)「外部電源喪失」と(2)「2,3台運転中の海水移送ポンプのうち1台トリップ」いずれの事象も、緊急遮断弁によって海洋放出を停止することが、『意図しない形でのALPS処理水の放出』の対策となっている。
 - つまり、本機能を有する緊急遮断弁が、異常事象に対処するために必要な設備となっている。このため、緊急遮断弁に対して、評価結果が最も厳しくなるような単一故障等を仮定する（作動に必要な演算器（ロジック回路）は二重化しているため対象外）。

単一故障等の想定

- ALPS処理水希釈放出設備では、ALPS処理水移送配管の最下流に設置し、かつAO方式で開→閉時間が2秒と最短である、緊急遮断弁-2の単一故障を想定する。



2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

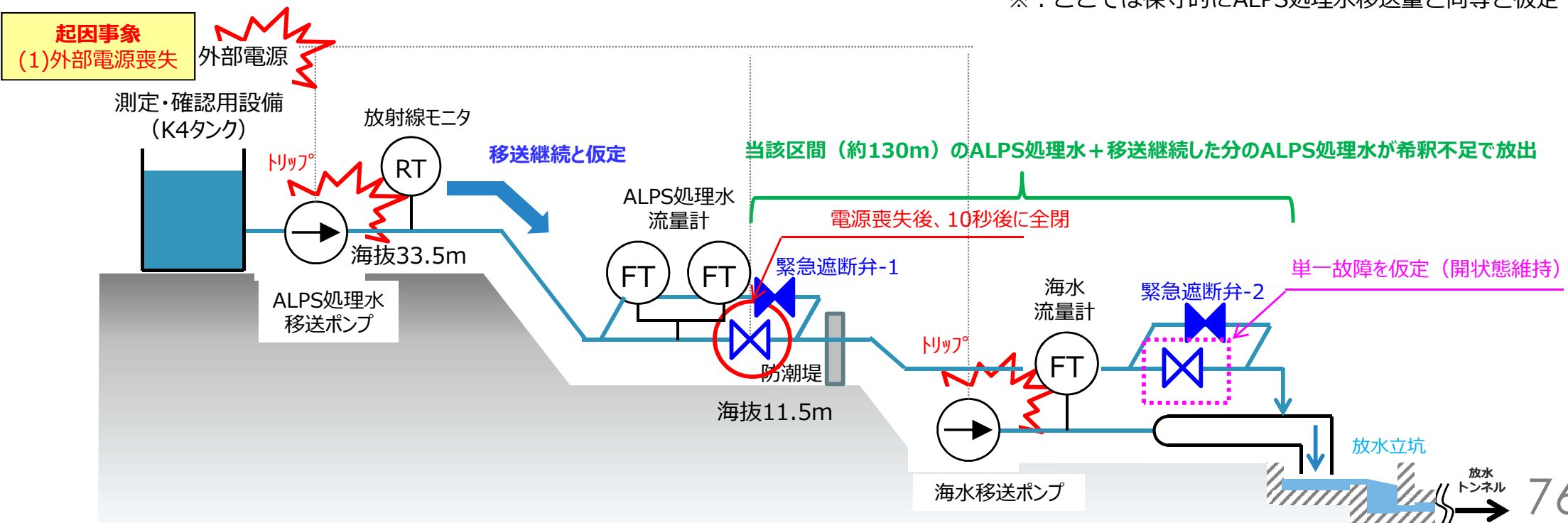
⑦-3. 異常事象発生時の評価（外部電源喪失）

- ALPS処理水の海洋放出中に、送電システムの故障等により、(1)「外部電源喪失」が発生した場合、海水移送ポンプとALPS処理水移送ポンプがそれぞれ停止するものの、ALPS処理水の放出については、タンクの水頭圧、高低差等により継続され、希釈不足でALPS処理水が海洋に放出される事象を想定する。
- なお、本事象が発生した場合には、緊急遮断弁へ供給する電源も喪失するため、当該弁の持つフェイルクロズの機能により、緊急遮断弁-1が全閉となることで、外部電源が喪失してから少なくとも10秒後には海洋放出が停止される。

評価結果

- 緊急遮断弁-1～海水配管ヘッダ間（約130m）の内包水（約 1.02m^3 ）と、緊急遮断弁-1が閉動作するまでの10秒間に、タンク水頭、高低差により移送継続されるALPS処理水の量※（約 0.08m^3 ）を加えた、約 1.1m^3 のALPS処理水が希釈不足で放出されることになる。

※：ここでは保守的にALPS処理水移送量と同等と仮定



2-1(1)⑥不具合の発生時における設備の設計の妥当性評価

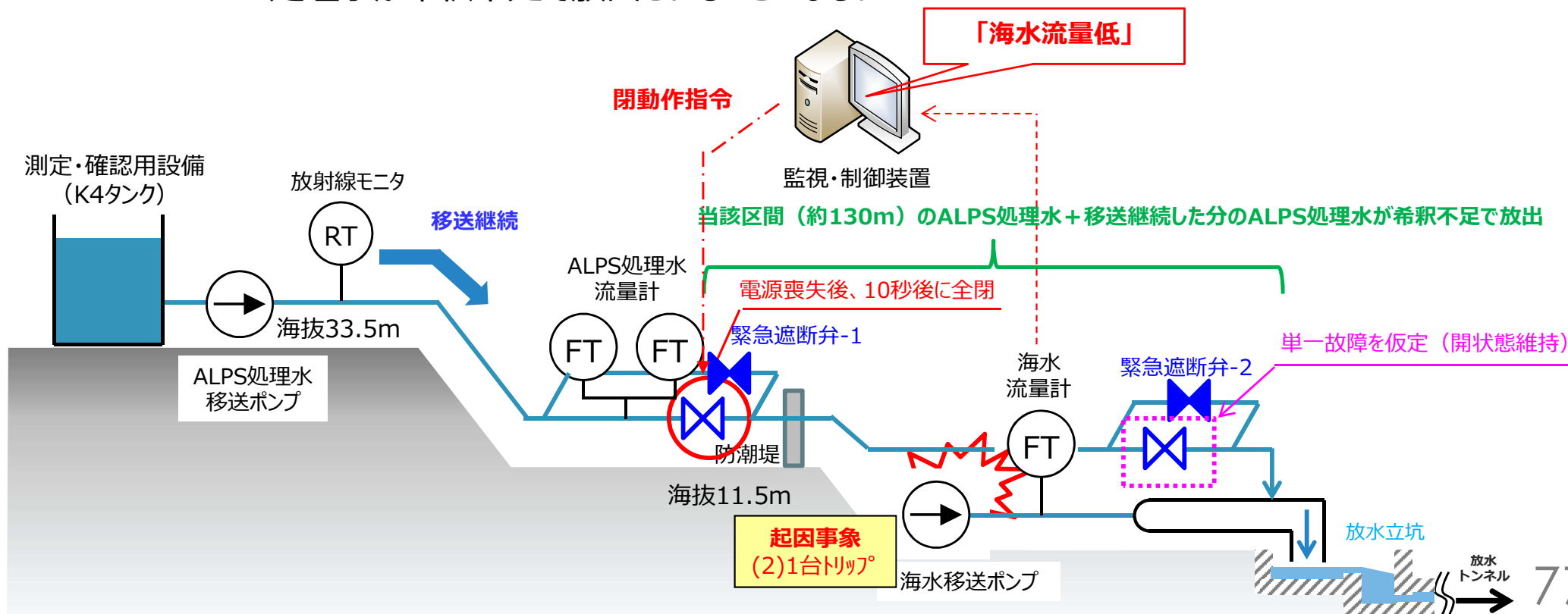
⑦-4. 異常事象発生時の評価（海水移送ポンプ故障）

- ALPS処理水の海洋放出中に、(2)「2,3台運転中の海水移送ポンプのうち1台トリップ」等が発生することにより、ALPS処理水を希釈するための海水流量が減少する事象を想定する。
- なお、本事象は、「海水流量低」の信号により、緊急遮断弁が動作する条件となっていることから、緊急遮断弁-1が全閉となることで、海水移送ポンプのうち1台に故障等が発生してから、監視・制御装置でそれを検知し、緊急遮断弁への動作指令が出て、弁が全閉となるまでの少なくとも15秒後※には海洋放出が停止される。

※：現時点での設計値

評価結果

- 緊急遮断弁-1～海水配管ヘッド間（約130m）の内包水（約1.02m³）と、緊急遮断弁-1が閉動作するまでの15秒後に、ALPS処理水移送ポンプから移送されるALPS処理水の量（約0.12m³）を加えた、約1.2m³のALPS処理水が希釈不足で放出されることになる。



ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項⑧

（2－1 原子炉等規制法に基づく審査の主要論点）

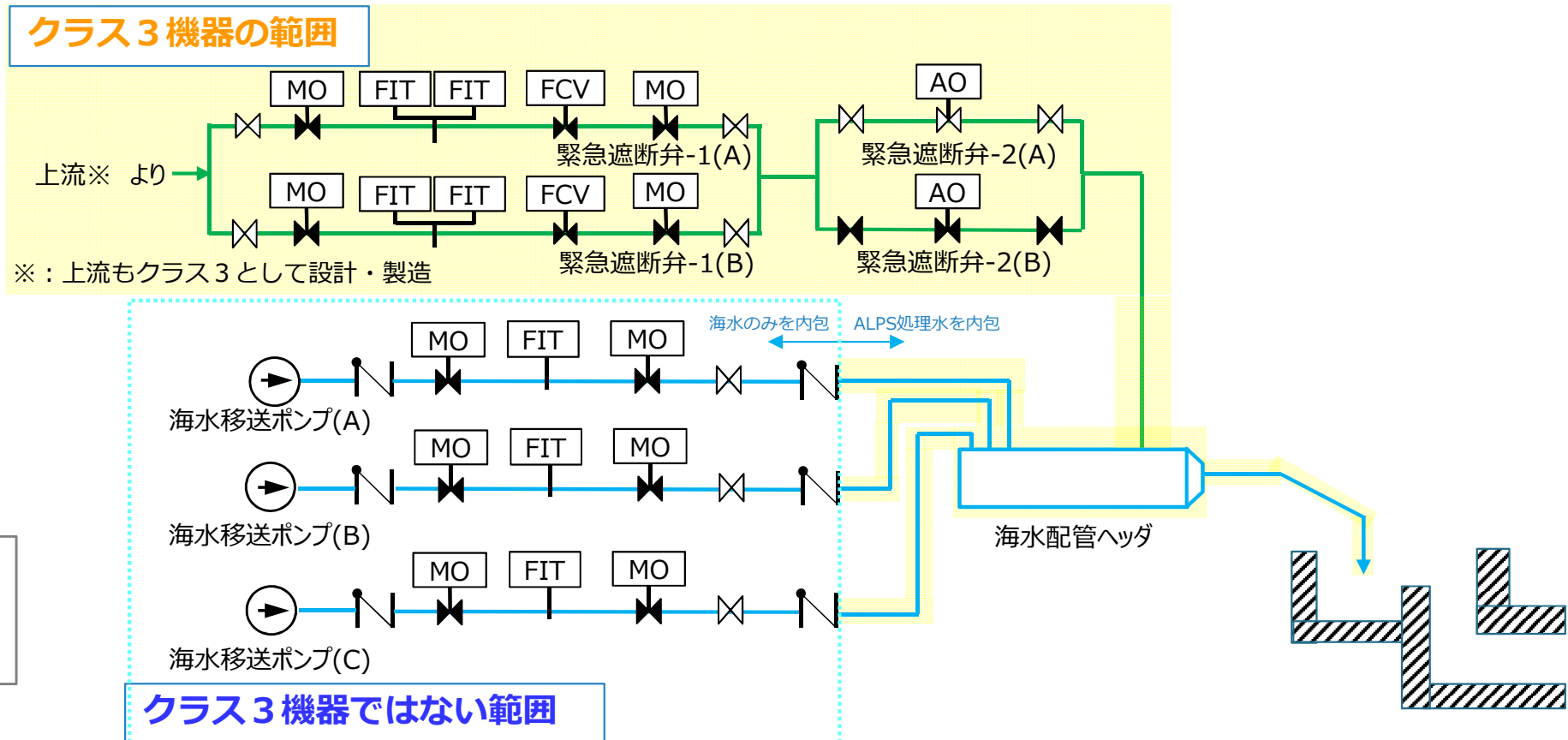
（1）海洋放出設備

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

- 一部の海水移送配管について、「設計・建設規格」等に照らして、クラス3配管としていない理由を説明すること。

⑧-1. ALPS処理水希釈放出設備のクラス分類

- ALPS処理水希釈放出設備のクラス分類は、トリチウム以外の放射性物質が告示濃度限度比1未満のALPS処理水（希釈後含む）を内包する配管について、放射性液体廃棄物を取扱う設備として、クラス3機器と整理しているが、希釈海水のみを内包する海水配管についてはクラス3配管と分類していない。
- なお、技術基準上、放射性液体廃棄物を処理する設備へ放射性物質を含まない流体を導く場合には逆止め弁を設けることとなっている。これにより逆流による汚染の広がりを防止することで、汚染の拡大を防止し、海水移送ポンプ出口～海水配管ヘッダまでは放射性物質を含まない希釈海水のみを扱う配管となっている。
- これらの機器については、次頁以降に示す内容により信頼性を確保することを計画している。



<略語説明>
 MO:電動駆動
 AO:空気駆動
 FCV:流量調整弁
 FIT:流量指示計
 RE:放射線検出器

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

⑧-2. 海水移送ポンプと海水配管ヘッドまでの海水配管の信頼性確保



- 海水移送ポンプと海水配管ヘッドまでの海水配管は、設計、製作面で以下の通り信頼性を確保する。
 - 海水移送ポンプ：火力で十分実績のある国内ポンプメーカーで設計・製造し、材料、外観、耐圧検査等を実施。
 - 海水配管：海水流量を計測するオリフイス部の配管に、流量計測のための高い信頼性（配管の表面粗さ）と高い耐食性を両立した、二相ステンレス（SUS329J4L※）を採用。クラス3機器に準じて構造強度を評価して問題ないことを確認する（今後実施）。また、海水配管ヘッドまでの海水配管について、クラス3配管と同様に検査を実施する（既計画で反映済み。下表参照）。 ※：JISには記載されているが、JSMEには記載のない材料

鋼管で実施する検査事項（クラスに関係なく下記検査を実施）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径、厚さについて記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付けられていること。
	耐圧・漏えい確認	最高使用圧力の1.25倍で一定時間保持後、同圧力に耐えていること、また、耐圧部からの漏えいがないことを確認する。	最高使用圧力の1.25倍に耐え、かつ異常のないこと。また、耐圧部から漏えいがないこと。
機能・性能	通水確認	通水ができることを確認する。	通水ができること。

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回）資料1-3

（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

- 海洋拡散モデルが、福島第一原子力発電所近傍の海域に適用できることの妥当性について、根拠とともに説明すること。
- 海洋拡散モデルについて、ALPS処理水を放出する際に海水をかき混ぜてしまい、鉛直混合が活発化することが懸念されるため、それが起こりえる可能性と影響について示すこと。
- トリチウム濃度の鉛直断面図に反して、被ばく評価に使用したトリチウム濃度は最上層での値が最下層での値の倍になっていることについて、考え方を示すこと。
- トリチウムの拡散計算結果について、ALPS処理水の放出を年々継続した場合に蓄積されるのか、ある時点で飽和するのか等、トリチウムの挙動について、2019年の気象・海象データを踏まえて説明すること。
- 放射性物質の蓄積による影響については、海水中だけでなく、船体や漁網・海浜砂等、選定した移行モデル全てに対してその考え方を示すこと。
- 被ばく経路を選定するにあたっては、GSG-10のフローに従って設定した拡散・移行モデルを基とした検討を行うとともに、除外した被ばく経路に対する考え方を示す等、その網羅性を含め、選定の考え方の詳細を示すこと。
- トリチウムの線量換算係数について、トリチウム水（HTO）と有機結合型トリチウム（OBT）の存在割合に対する考え方を説明するとともに、その存在割合については、根拠となる参考文献等を示すこと。
- ソースタームとして、64核種（トリチウム、炭素14及びALPS除去対象62核種）を設定しているが、ソースタームの設定に当たっては、ALPS処理水中に理論的にどのような核種が存在しうるのかを評価した上で、評価対象核種を絞り込むなどの選定の考え方を明示すること。
- 海洋放出設備により港湾内の海水中に含まれる放射性物質濃度の分布を変えることになるため、その影響について放射線環境影響評価に含めること。
- 放射線環境影響評価における不確かさの内容を説明するとともに、それらの不確かさのうち、評価において支配的となる要素や保守性を与える要素を整理して説明すること。
- 潜在被ばくの評価においては、発生した事故等に気づかない場合や対処に遅れが生じる時間を踏まえ、それらの継続時間を考慮した内部被ばくの評価を行うことについても検討すること。
- 通常時の被ばく評価では外部被ばくの経路として漁網が想定されているが、潜在被ばく評価においては、漁網による外部被ばくが想定されていない理由を含め、評価において使用したデータの設定根拠について示すこと。
- 代表的個人の被ばく線量評価について、可能な限り現実的な被ばく評価パラメーターを用い、現在の福島第一原子力発電所の周辺の状況、将来の見通しを踏まえて、今妥当性を示すこと。
- 放射線環境影響評価の各係数について、ICRPの文書（Pub.72,124,144等）からの引用箇所、引用した理由等を明示すること。

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項⑨

（2－2 政府方針への取り組みに関する主な確認事項）

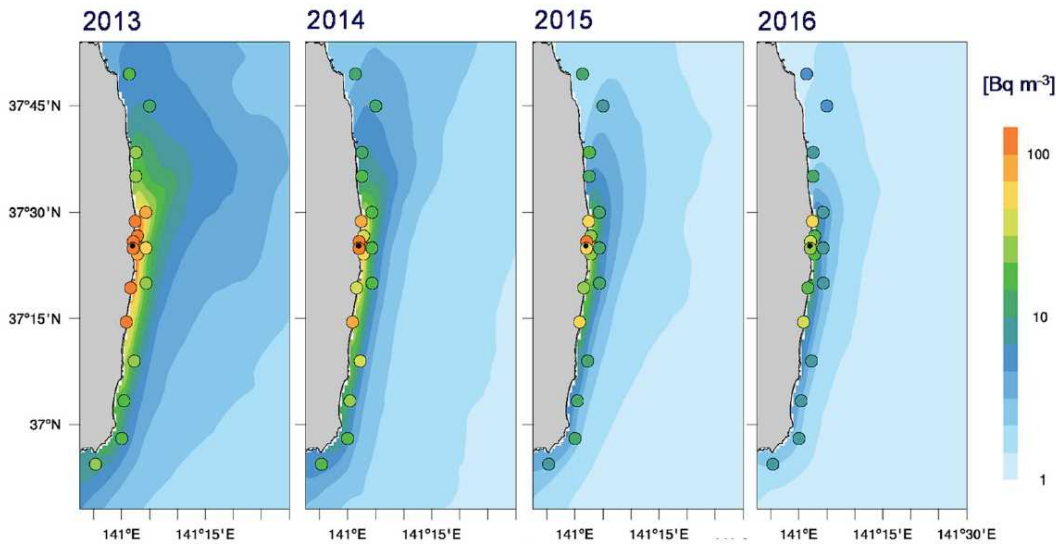
（3）海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

- 海洋拡散モデルが、福島第一原子力発電所近傍の海域に適用できることの妥当性について、根拠とともに説明すること。

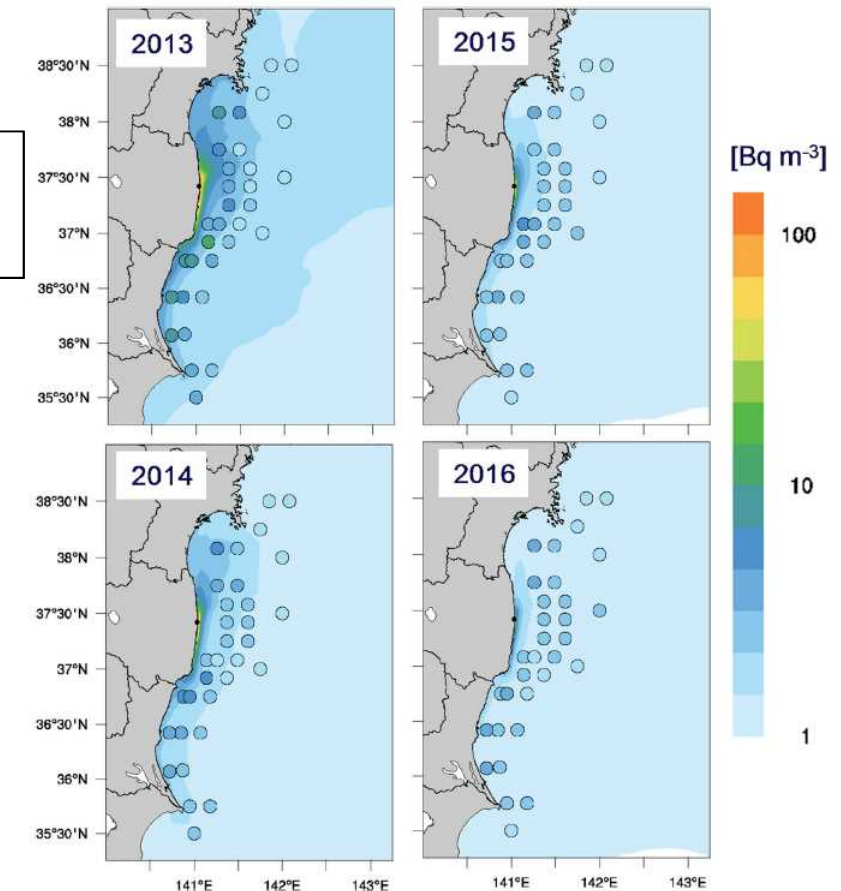
2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

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、福島第一原子力発電所事故によって漏えいしたセシウムの拡散について再現計算に使用したモデルを使用した。
- 当時の気象、海象の実データを使用して、セシウム濃度の再現計算を実施し、実際のモニタリング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※。



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

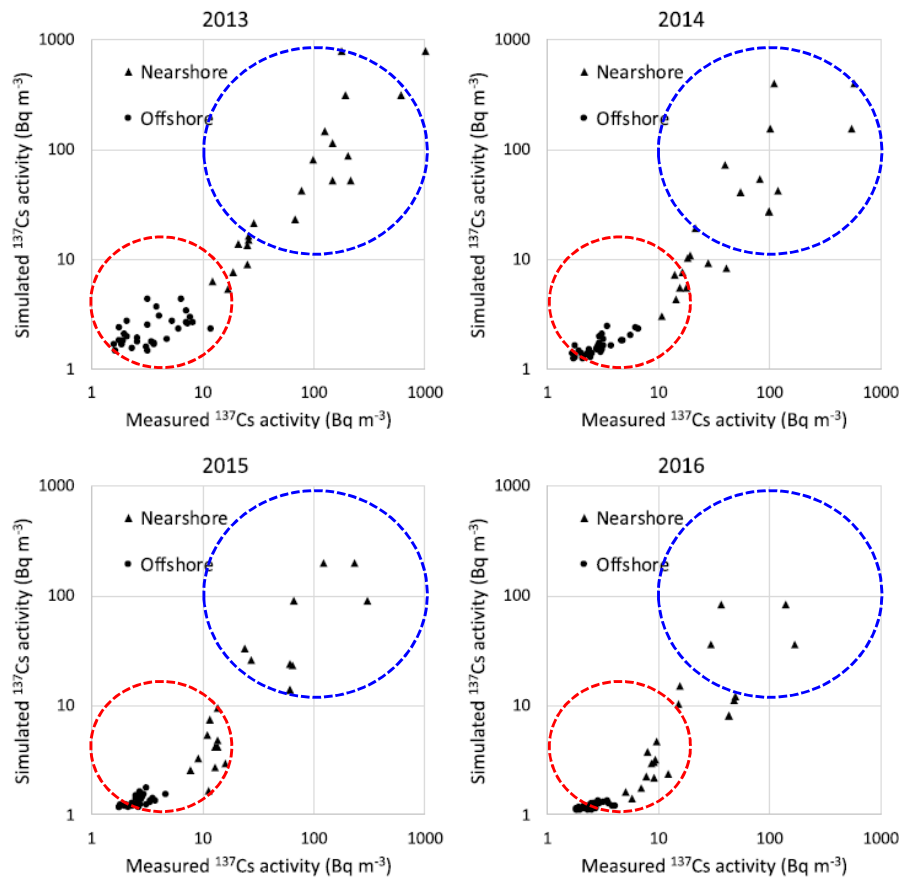


広域の海域で計算したCs-137の年間平均濃度をモニタリング結果と比較した図

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

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

放出後の拡散、移行のモデリング (モデルの妥当性)



沿岸と沖合における海表面のCs-137濃度をシミュレーションと実測値で比較した結果

- 左の図は、福島沿岸と沖合で採取した海水のCs-137濃度の実測値（横軸）と、シミュレーションの結果（縦軸）を年毎に図示したもの。
- 濃度の高い右上の領域（青い破線）では、実測値とシミュレーションが概ね同じ濃度となっている。
- 一方で、濃度が低い左下の領域（赤い破線）では、実測値がシミュレーションよりも高い傾向となっている。
- 濃度の低い領域で実測値の方が高い濃度となっているのは、河川からのセシウムの供給や北太平洋の海流によるセシウムの再循環による流入など、シミュレーションに反映しきれていないソースの存在が原因として考えられるとしている。

- 水に溶存したセシウムイオンとトリチウムは、海洋において同じように移流、拡散するものと考えられる。
- 濃度の高い右上の領域は、福島第一原子力発電所から放出されたセシウムの影響が大きいエリアであり、シミュレーションの結果は実測値と良く一致していることから、本シミュレーションをトリチウムのシミュレーションに適用することは妥当と考えている。

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項⑨

（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

- 海洋拡散モデルについて、ALPS処理水を放出する際に海水をかき混ぜてしまい、鉛直混合が活発化することが懸念されるため、それが起こりえる可能性と影響について示すこと。
- トリチウム濃度の鉛直断面図に反して、被ばく評価に使用したトリチウム濃度は最上層での値が最下層での値の倍になっていることについて、考え方を示すこと。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

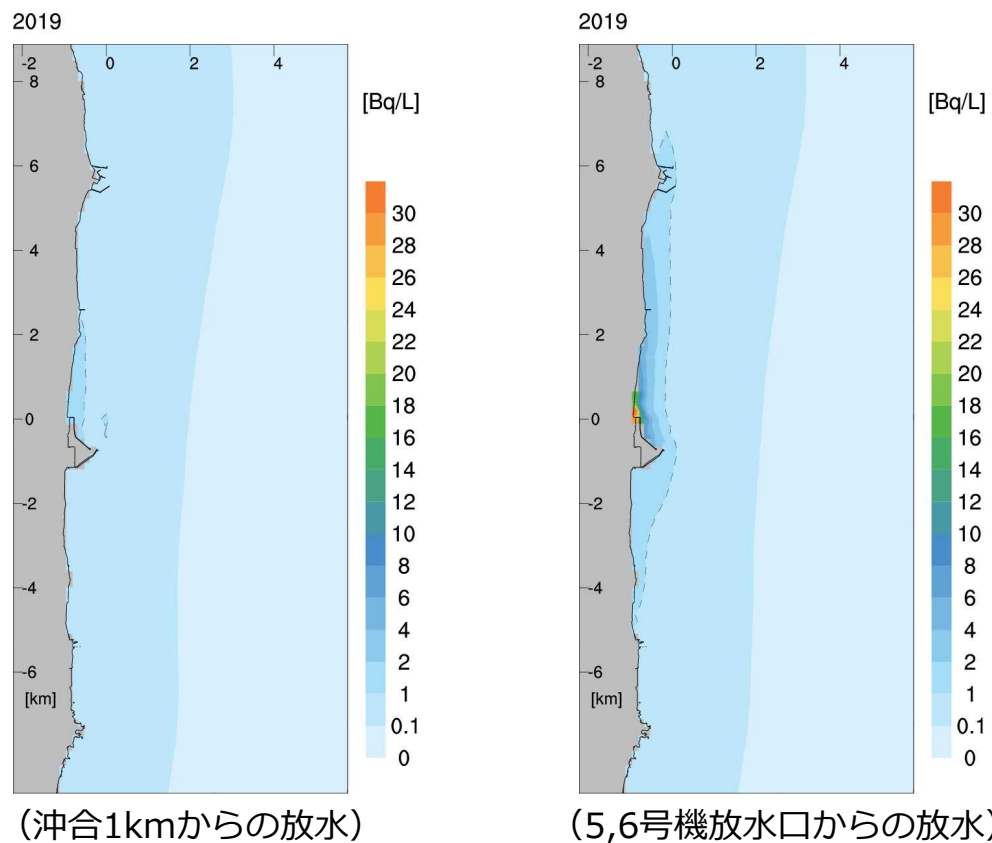
放水口周辺の濃度分布について

- 放射線影響評価報告書で使用したトリチウムのシミュレーションモデルは、広域における移流、拡散の状況を再現するモデルであり、放水口付近の物理的な流れは再現していない。
- そのため、断面図で分かるとおり、放水口に近い海底付近の濃度が周囲よりも高くなっているものの、放水口直上の濃度はあまり上昇していない。
- 一方、実際の放出の際には上方に向かって放出されることから、上昇する際に周囲の海水を巻き込みながら、混合希釈が進むものと考えられる。
- ただし、放出されるALPS処理水はあらかじめ海水で100倍以上に希釈されることから塩分や比重は周囲の海水とかわらず、放水口付近の濃度分布に若干の違いはあっても、放水口から離れた場所での拡散は、シミュレーションの結果と大きな違いは生じないものと考えられる。
- この点は、報告書参考Fに示した放水位置の違いによる拡散シミュレーション結果の比較からも確認できる。5,6号機放水口から表層放水した場合の10km×10kmの年間平均濃度は、沖合1km海底から放水した場合の5.6E-02Bq/Lに対して6.6E-02Bq/Lと2割程度の違いにすぎない。
- 一方、上方への流れを考慮しない条件でも、シミュレーションによる計算結果から算出した10km×10kmの平均濃度が、放水口付近と逆に上層が高い濃度となっているのは、周辺海域が沖合に向かって緩やかに深くなっており、沖合海底では表層と比べて濃度低下が著しいためである。

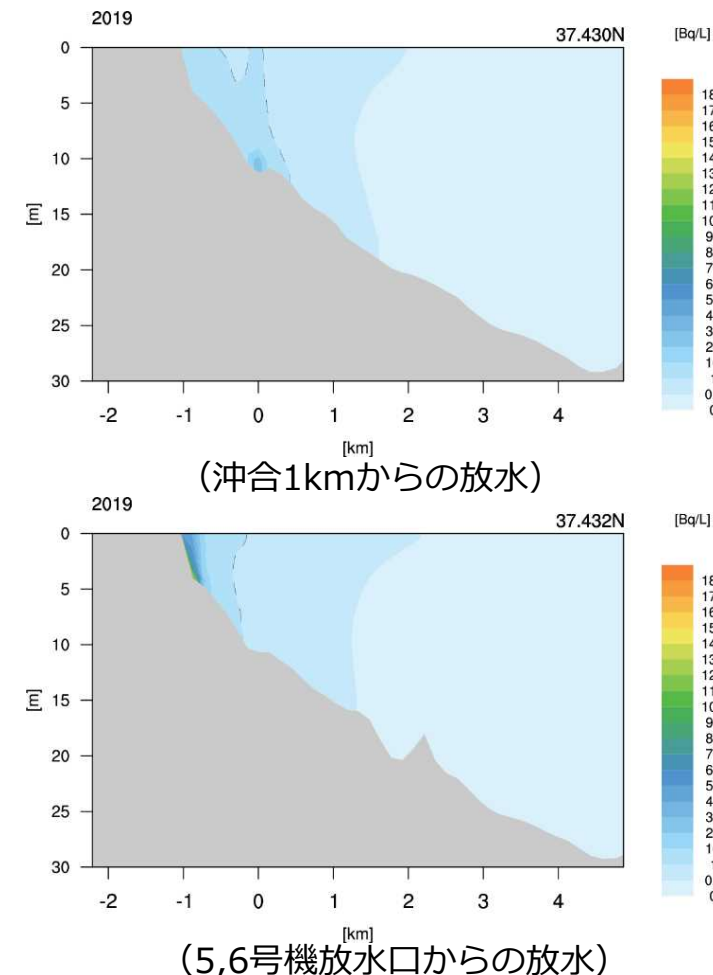
2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

放水口位置による拡散範囲の違いについて

- 放射線影響評価報告書の“参考F 放水位置による拡散範囲の違いについて”では、沖合1kmから放水する場合と5,6号機放水口から放水した場合のトリチウムの拡散シミュレーション結果の比較を示している。
- 下図に示すとおり、放水口周辺の濃度分布が異なっても、周辺海域での拡散に大きな違いは見られない。



放水位置の違いによる海水のトリチウム年間平均濃度分布図の比較
(海表面)

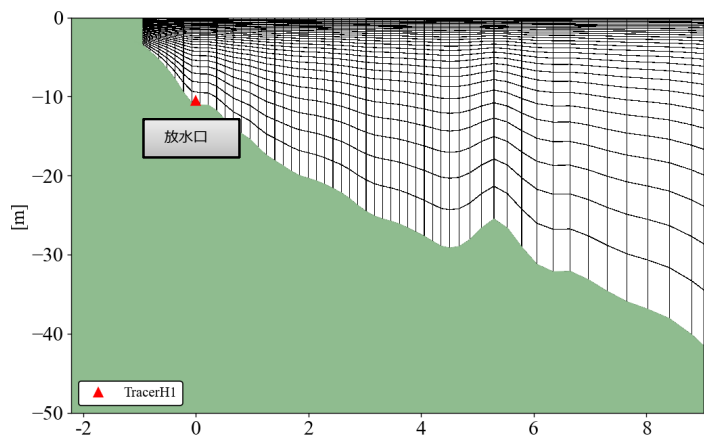


放水位置の違いによる海水のトリチウム年間平均濃度分布図の比較 (断面図)

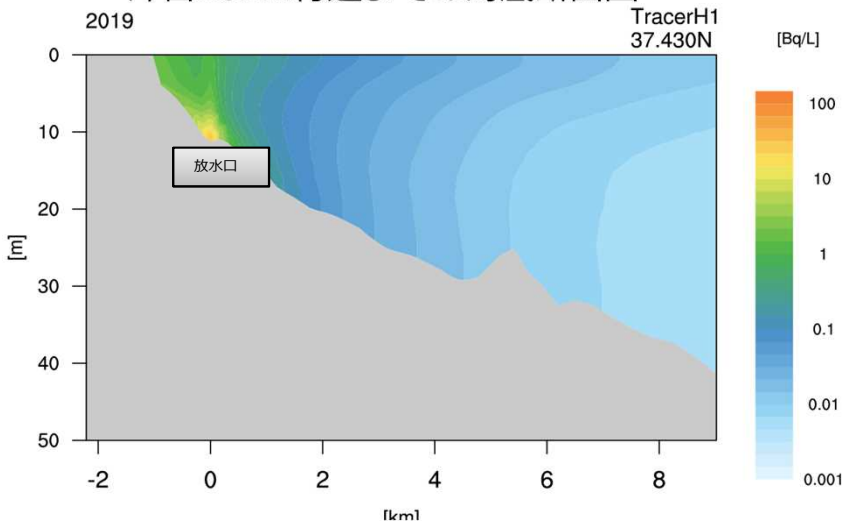
2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

放水口周辺の濃度分布と10km×10km平均濃度について

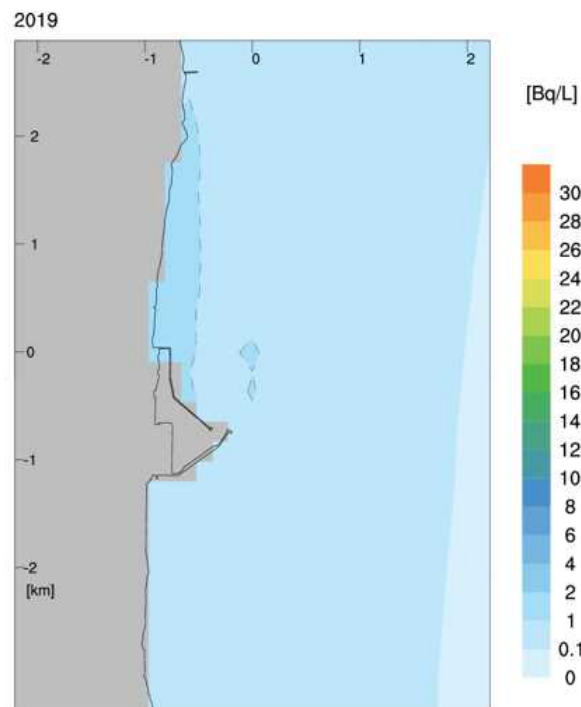
- 海底断面図に示すとおり、福島第一原子力発電所周辺の海域は、沖合に向かって緩やかに深くなっており、沖合での海底の濃度は海表面と比べて低下する。
- そのため、放水口付近では局所的に海底の濃度が高いものの、10km×10kmの範囲で平均した場合には海表面の濃度の方が高くなる。



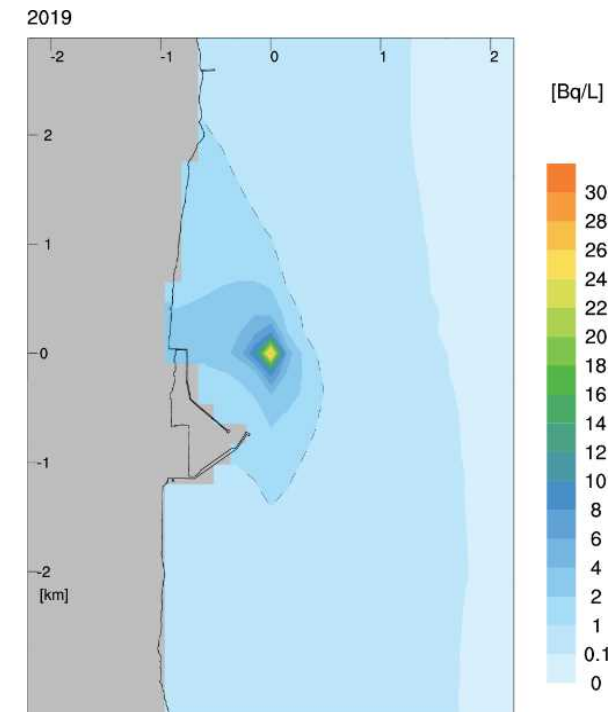
沖合10km付近までの海底断面図



沖合10km付近までのトリチウム年平均濃度分布断面図



沖合3km付近までの海表面のトリチウム年間平均濃度分布図



沖合3km付近までの海底のトリチウム年間平均濃度分布図

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回）資料1-3

指摘事項⑨

（2－2 政府方針への取り組みに関する主な確認事項）

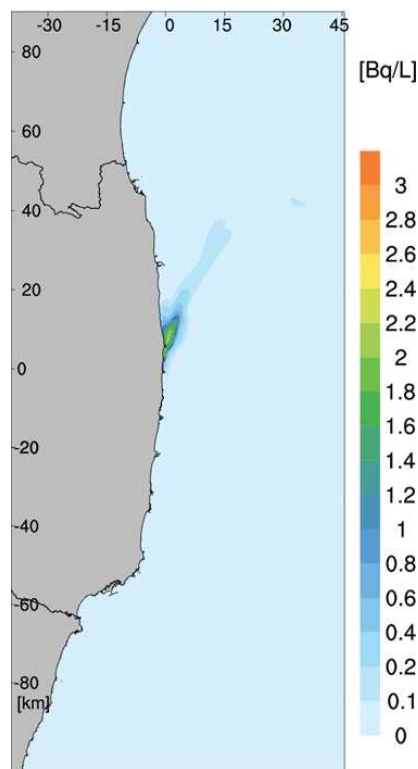
（3）海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

- トリチウムの拡散計算結果について、ALPS処理水の放出を年々継続した場合に蓄積されるのか、ある時点で飽和するのか等、トリチウムの挙動について、2019年の気象・海象データを踏まえて説明すること。
- 放射性物質の蓄積による影響については、海水中だけでなく、船体や漁網・海浜砂等、選定した移行モデル全てに対してその考え方を示すこと。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価 トリチウムの拡散計算における放出継続の影響について

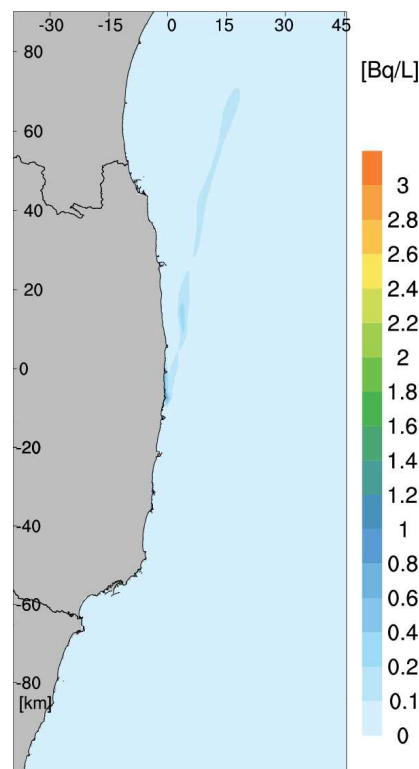
- トリチウム22兆Bqを年間を通じて均等に放出した場合の日平均濃度分布図の例を示す。連続して放出した場合も、海流によって頻繁に拡散の方向や分布は変化し、蓄積による濃度上昇といった影響は見られない。
- 30年間連続して放出した場合も、トリチウムの蓄積による影響は無いものと考えている。

20190806



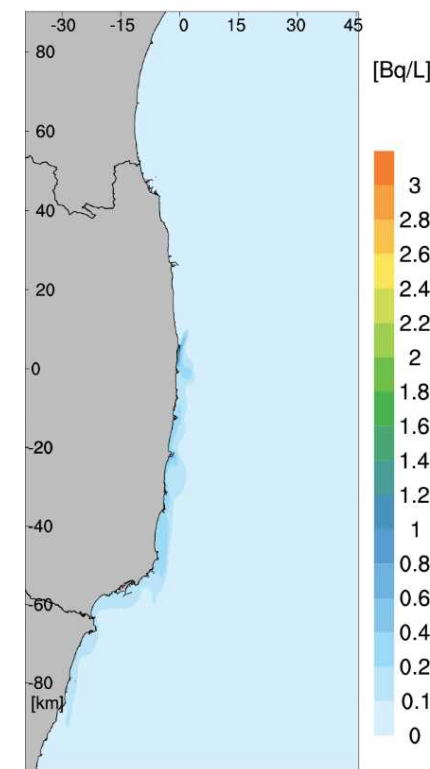
(0.1Bq/Lの範囲が
最も東に広がる場合)

20190827



(0.1Bq/Lの範囲が
最も北に広がる場合)

20191027



(0.1Bq/Lの範囲が
最も南に広がる場合)

海表面のトリチウム日平均濃度分布図

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

放射性物質の蓄積による影響の考慮について

- トリチウム以外の放射性物質については、海底土をはじめとする物質に付着し、蓄積する。
- 放射線影響評価においては、海底土の他、海域で操業する船の船体、漁網、海浜の砂への付着を考慮して評価を行った。
- 一般的に、放射性物質の物質（媒体）への吸着は海水中の濃度に比べて高い濃度となるが、媒体中の濃度と海水中の濃度は、いずれ平衡状態となりそれ以上の蓄積は進まなくなると考えられている。
- ALPS処理水の放出は、トリチウム以外の核種を告示濃度比総和 1 未満となるまで浄化すること、及び海水により100倍以上に希釈して放出することから、海水中の濃度は低く、蓄積には時間がかかると考えられるが、保守的に平衡状態になったものとして評価を行っている。

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項⑨

（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

- 被ばく経路を選定するにあたっては、GSG-10のフローに従って設定した拡散・移行モデルを基とした検討を行うとともに、除外した被ばく経路に対する考え方を示す等、その網羅性を含め、選定の考え方の詳細を示すこと。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

GSG-10に従った移行経路選定の考え方

GSG-10に示されている考慮すべき移行経路と、放射線影響評価報告書における移行経路、被ばく経路選定の考え方は下表の通りである。

GSG-10に示されている移行経路	移行経路選定の考え方	被ばく経路選定の考え方
直接放射線	ALPS処理水は、あらかじめトリチウム以外の放射性物質が告示濃度比総和1未満となるまで浄化したものであり、直接放射線による影響は選定しない。	移行経路として選定しないことから被ばく経路としても選定しない。
大気中での拡散	タンク内に保管されること、及び希釈後に液体として海洋放出することから大気中での拡散は選定しない。	移行経路として選定しないことから被ばく経路としても選定しない。
大気から地表への沈着と再浮遊	大気中での拡散は選定しないことから、地表への沈着及び再浮遊は選定しない。	移行経路として選定しないことから被ばく経路としても選定しない。
水中での拡散	液体として海洋放出するため、海水中での移流、拡散を選定する。	海水中の放射性物質からの船上での外部被ばく及び遊泳中の外部被ばくを選定した。また、遊泳に伴い海水を誤飲することが考えられることから、改訂にあたって遊泳中の飲水による内部被ばくを追加する。
海水から大気への再浮遊	ALPS処理水は希釈後に海洋放出されること、及び海洋にて移流、拡散することから、大気への再浮遊による影響は選定しない。	移行経路として選定しないことから被ばく経路としても選定しない。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

GSG-10に従った移行経路選定の考え方

GSG-10に示されている移行経路	移行経路選定の考え方	被ばく経路選定の考え方
海底堆積物（海底土）への蓄積と再浮遊	海底堆積物への移行、蓄積は移行経路として選定するが、移行に伴う海水中濃度の低下を考慮しないことから、海水中での再浮遊は選定しない。	海底堆積物に直接人が近づく頻度は少ないことから、海底堆積物からの外部被ばくは選定しない。 ※なお、海生動植物の外部被ばくは選定する。
海浜の砂への蓄積と再浮遊	海水から海浜の砂への蓄積が考えられることから選定する。 海浜の砂の再浮遊の影響は小さいと考え、選定しない。	海浜の砂からの外部被ばくを選定した。 海浜の砂の再浮遊の影響は小さいと考え、吸入による内部被ばくは選定しない。
動植物への移行と蓄積	液体として海洋放出するため、海水から海生動植物への移行を選定する。	海生動植物の摂食による内部被ばくを選定する。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

被ばく経路の妥当性確認 (Tecdoc1759の手法による試算)

- 放射線影響評価で選定しなかった移行経路及び被ばく経路について、IAEAの Tecdoc1759※に示されている経路、評価手法による試算を行った。
- Tecdoc1759の手法及び試算を行った条件は下記の通り。
 - ✓ Tecdoc1759の評価手法は、放射性物質を海洋投棄した場合を想定したもの
 - ✓ 海水中での放射性物質を、溶存状態、浮遊粒子に吸着、海底堆積物に吸着の3形態に分けて計算
 - ✓ 放射性物質は、評価領域内では瞬時に平衡状態に達すると仮定
- 試算にあたっては、放射線影響評価に使用した10km×10kmの領域内での全層平均濃度を基に、溶存状態、浮遊粒子に吸着、海底堆積物の濃度を計算
- 以下の移行経路を試算。比較のため、一部放射線影響評価と同じ経路も実施した。
 - ① 砂浜からの外部被ばく (放射線影響評価と同じ経路)
 - ② 海岸堆積物の不注意な摂取による内部被ばく
 - ③ 遊泳中の飲水による内部被ばく
 - ④ 飛散した海岸堆積物の吸入による内部被ばく
 - ⑤ 海水噴霧 (水しぶき) の吸入による内部被ばく
 - ⑥ 海産物摂取による内部被ばく (放射線影響評価と同じ経路)
 - ⑦ 海底堆積物が皮膚に付着した場合の皮膚の被ばく
- 全ての核種を考慮するため、実測値によるソースタームを使用して実施。

※ IAEA-Tecdoc1759 "Determining the Suitability of Materials for Disposal at Sea under the London Convention 1972 and London Protocol 1996: A Radiological Assessment Procedure" (IAEA,2015)

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価 被ばく経路の妥当性確認 (Tecdoc1759の手法による試算)

- K4タンク水のソースタームを用いて、Tecdoc1759の手法で試算した結果は下表のとおり。報告書で選定しなかった経路はいずれも報告書の被ばく合計値に対して2ケタ以上低い結果であり、追加すべき経路は無かった。
- また、同じ経路を計算した結果は、放射線影響評価の結果よりも低い結果であった。

評価ケース		報告書 (K4タンク水)	Tecdoc1759	備考
外部被ばく (mSv/年)	海水面からの被ばく	6.5E-09		Tecdoc1759では評価対象外
	船体からの被ばく	5.2E-09		Tecdoc1759では評価対象外
	海中作業における被ばく	2.8E-10		Tecdoc1759では評価対象外
	漁網からの被ばく	1.6E-06		Tecdoc1759では評価対象外
	砂浜からの被ばく	5.0E-07	2.5E-08	報告書の評価では、保守的な外部被ばく線量換算係数を用いているため保守的な評価となっていると考えている
内部被ばく (mSv/年) (成人の値)	海岸堆積物摂取		5.0E-11	
	遊泳中の飲水	2.1E-08	2.1E-08	トリチウムによる被ばくがほとんどであり、どちらもほぼ同じ。
	海岸堆積物飛散吸入		3.2E-13	
	海水噴霧吸入		4.9E-09	
	海産物摂取	6.1E-05	1.6E-05	報告書の評価では、浮遊粒子や海底土への付着を考慮せず、保守的な海水濃度を用いて海産物の濃度を評価しているため保守的な評価となっていると考えている
皮膚の被ばく (mSv/年)	海底堆積物が皮膚に付いた場合		1.5E-09	皮膚の組織荷重係数0.01にて評価
合計 (mSv/年)		6.3E-05	1.6E-05	

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

被ばく経路の妥当性確認 (Tecdoc1759の手法による試算)

- J1-Cタンク水のソースタームを用いて、Tecdoc1759の手法で試算した結果は下表のとおり。報告書で選定しなかった経路はいずれも報告書の被ばく合計値に対して2ケタ以上低い結果であり、追加すべき経路は無かった。
- また、同じ経路を計算した結果は、放射線影響評価の結果よりも低い結果であった。

評価ケース		報告書 (J1-Cタンク水)	Tecdoc1759	備考
外部被ばく (mSv/年)	海水面からの被ばく	1.7E-08		Tecdoc1759では評価対象外
	船体からの被ばく	1.3E-08		Tecdoc1759では評価対象外
	海中作業における被ばく	7.6E-10		Tecdoc1759では評価対象外
	漁網からの被ばく	4.3E-06		Tecdoc1759では評価対象外
	砂浜からの被ばく	1.3E-06	1.3E-08	報告書の評価では、保守的な外部被ばく線量換算係数を用いているため保守的な評価となっていると考えている
内部被ばく (mSv/年) (成人の値)	海岸堆積物摂取		4.2E-11	
	遊泳中の飲水	2.0E-08	2.0E-08	トリチウムによる被ばくがほとんどであり、どちらもほぼ同じ。
	海岸堆積物飛散吸入		2.7E-12	
	海水噴霧吸入		4.8E-09	
	海産物摂取	1.1E-04	2.9E-06	報告書の評価では、浮遊粒子や海底土への付着を考慮せず、保守的な海水濃度を用いて海産物の濃度を評価しているため保守的な評価となっていると考えている
皮膚の被ばく (mSv/年)	海底堆積物が皮膚に付いた場合		2.2E-09	皮膚の組織荷重係数0.01にて評価
合計 (mSv/年)		1.1E-04	2.9E-06	

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

被ばく経路の妥当性確認 (Tecdoc1759の手法による試算)

- J1-Gタンク水のソースタームを用いて、Tecdoc1759の手法で試算した結果は下表のとおり。報告書で選定しなかった経路はいずれも報告書の被ばく合計値に対して2ケタ以上低い結果であり、追加すべき経路は無かった。
- また、同じ経路を計算した結果は、放射線影響評価の結果よりも低い結果であった。

評価ケース		報告書 (J1-Gタンク水)	Tecdoc1759	備考
外部被ばく (mSv/年)	海水面からの被ばく	4.7E-08		Tecdocでは評価対象外
	船体からの被ばく	3.4E-08		Tecdocでは評価対象外
	海中作業における被ばく	2.0E-09		Tecdocでは評価対象外
	漁網からの被ばく	1.2E-05		Tecdocでは評価対象外
	砂浜からの被ばく	3.6E-06	3.1E-08	報告書の評価では、保守的な外部被ばく線量換算係数を用いているため保守的な評価となっていると考えている
内部被ばく (mSv/年) (成人の値)	海岸堆積物摂取		9.8E-11	
	遊泳中の飲水	2.0E-08	2.0E-08	トリチウムによる被ばくがほとんどであり、どちらもほぼ同じ。
	海岸堆積物飛散吸入		6.8E-12	
	海水噴霧吸入		5.0E-09	
	海産物摂取	3.0E-04	4.6E-06	報告書の評価では、浮遊粒子や海底土への付着を考慮せず、保守的な海水濃度を用いて海産物の濃度を評価しているため保守的な評価となっていると考えている
皮膚の被ばく (mSv/年)	海底堆積物が皮膚に付いた場合		5.2E-09	皮膚の組織荷重係数0.01にて評価
合計 (mSv/年)		3.1E-04	4.7E-06	

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

参考：Tecdoc1759の手法

TEPCO

- Tecdoc1759は、海洋汚染防止に関するロンドン条約（1972）とロンドン議定書（1996）に基づき、海洋投棄する物質の適合性を判断するための放射線影響評価手順について、IAEAが出版したものの
- 海洋に投棄された放射性物質から、人や動植物が受ける被ばく量を算定するための手法や計算例が具体的に示されている。
- ALPS処理水の海洋放出に係る放射線影響評価報告書では選定しなかった被ばく経路について確認するため、本書で示されている経路、評価手法による試算を実施した。
- パラメータについては、原則としてTecdoc1759で推奨しているパラメータを使用した。呼吸率は我が国の線量評価指針、Tecdoc1759に例示の無い皮膚等価線量換算係数（ベータおよびガンマ放出核種）はIAEAのSRS44^{※1}より引用した。また、外部被ばく線量換算係数として、Tecdoc1759では米国環境保護庁のFGR12^{※2}を推奨しているが、最新版のFGR15^{※3}を使用した。

※1 IAEA SAFETY REPORTS SERIES No. 44 “DERIVATION OF ACTIVITY CONCENTRATION VALUES FOR EXCLUSION, EXEMPTION AND CLEARANCE”

※2 FEDERAL GUIDANCE REPORT NO.12 “EXTERNAL EXPOSURE TO RADIONUCLIDES IN AIR, WATER AND SOIL” (U.S. Environmental Protection Agency ,1993)

※3 FEDERAL GUIDANCE REPORT NO.15 “EXTERNAL EXPOSURE TO RADIONUCLIDES IN AIR, WATER AND SOIL” (U.S. Environmental Protection Agency ,2019)

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

参考：Tecdoc1759の手法

海水濃度の考え方 (1)

- Tecdoc1759では、乱流の激しい沿岸部（沖合数km）への投棄を想定し、シングルボックスモデル（10km×10km×水深20m）を使用。
- ボックス内に放出された放射性物質は、ボックス内の海水全量と瞬時に混合し、海水の溶存態濃度、吸着（浮遊粒子、堆積物）が瞬時に平衡になると仮定。
- ボックス内に放出された核種jの年間放出量とボックスから移動する海水の量から求めたBox内の平衡濃度を $C_{\text{BOX}}(j)$ とすると、海水中の核種jの溶存態濃度 $C_{\text{DW}}(j)$ （Bq/m³）は、次式で与えられる。

$$C_{\text{DW}}(j) = \frac{C_{\text{BOX}}(j)}{1 + K_d(j) \left(S + \frac{L_B \rho_B}{D} \right)}$$

- ✓ ここで、 $K_d(j)$ は核種jの底質分配係数（単位：m³/kg）である。
- ✓ Sは浮遊物質濃度（単位：kg/m³）である。3E-03kg/m³を使用。
- ✓ L_B は堆積物境界層の厚さ（単位：m）である。1E-02mを使用。
- ✓ ρ_B は堆積物境界層の密度（単位：kg/m³）である。1500kg/m³を使用。
- ✓ Dはモデルの水深（単位：m）である。放水口位置の水深12mを使用。

海水濃度の考え方（2）

- Tecdoc1759の手法による評価において、 $C_{\text{BOX}}(j)$ には放射線影響評価報告書における核種毎の年間平均濃度（10km×10km全層平均濃度）を使用した。

- 浮遊粒子の質量密度 $C_p(j)$ （Bq/kg）は、次式で求めた。

$$C_p(j) = K_d(j) C_{\text{DW}}(j)$$

- 溶存態と浮遊粒子状物質を合わせた海水中の濃度 $C_w(j)$ は、次式で求めた。

$$C_w(j) = (1 + K_d(j)S) C_{\text{DW}}(j)$$

対象とした被ばく経路

- 一般公衆の主要な被ばく経路として、Tecdoc1759で周辺住民が被ばくする可能性のある主な経路として示された5経路（①、②、④、⑤、⑥）及びサイト特有の条件によって考慮する必要があるものとして示された2経路（③、⑦）の計7経路について試算を行った。
 - ① 砂浜からの外部被ばく（放射線影響評価で選定）
 - ② 海岸堆積物の不注意な摂取による内部被ばく
 - ③ 遊泳中の飲水
 - ④ 飛散した海岸堆積物の吸入による内部被ばく
 - ⑤ 海水噴霧（水しぶき）の吸入による内部被ばく
 - ⑥ 海産物摂取による内部被ばく（放射線影響評価で選定）
 - ⑦ 皮膚の汚染による被ばく

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

参考：Tecdoc1759の手法

① 海岸に沈着した放射性核種からの外部被ばくによる公衆の年間実効線量

$E_{\text{ext, public}}$ (単位：Sv) は、次式を用いて計算することができる。

$$E_{\text{ext, public}} = t_{\text{public}} \sum_j C_s(j) DC_{\text{gr}}(j)$$

- ここで
- t_{public} は、一般人が1年間に海岸で過ごした時間 (500時間)
- $DC_{\text{gr}}(j)$ は放射性核種jの地上汚染に対する線量換算係数 (単位：(Sv/h)/(Bq/m²))。米国環境保護庁が作成した、最新のFGR15*の地表面汚染による線量換算係数を使用。
- $C_s(j)$ は海岸堆積物中の放射性核種jの表面汚染 (単位：Bq/m²)

$$C_s(j) = \frac{C_p(j) \rho_s d_s}{10}$$

- ここで
- ρ_s は海岸堆積物の密度 (1.5E+03kg/m³) である。
- d_s は海岸堆積物の有効厚さ (0.1m) である。
- 浮遊粒子中における核種jの放射性物質濃度 $C_p(j)$ (単位：Bq/kg, 乾燥重量) は、次式から求められる。

$$C_p(j) = K_d(j) C_{\text{DW}}(j)$$

* FEDERAL GUIDANCE REPORT NO.15 "EXTERNAL EXPOSURE TO RADIONUCLIDES IN AIR, WATER AND SOIL" (U.S. Environmental Protection Agency, 2019)

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

参考：Tecdoc1759の手法

- ② 海岸堆積物の不注意な摂取による線量
海岸堆積物の不注意な摂取による年間線量 $E_{\text{ing, shore, public}}$ (Sv) は、次式を用いて計算することができる。

$$E_{\text{ing, shore, public}} = t_{\text{public}} H_{\text{shore}} \sum_j \frac{C_{\text{s}(j)}}{\rho_{\text{s}} L_{\text{B}}} DC_{\text{ing}}(j)$$

- ここで
- t_{public} は滞在時間（500 時間）である。
- H_{shore} は、海岸堆積物の1時間当たりの摂取量（単位：kg/h）である。
成人 5.0E-06kg/hを使用する。
- 摂取された物質中の放射性核種濃度は、海岸の堆積物の表面汚染密度 $C_{\text{s}(j)}$ を堆積物層の厚さ L_{B} (1.0E-02m) と堆積物密度 (1.5E+03kg/m³) で割った値から導かれる。
- $DC_{\text{ing}}(j)$ は放射性核種 j の経口摂取に対する実効線量係数（単位：Sv/Bq）である。

③ 飲水による被ばく

魚介類摂取による内部被ばくと同様、核種毎の摂取量（Bq/年）を求め、経口摂取による実効線量係数との積で求める。

$$E_{\text{drink,public}} = t_{\text{public}} H_{\text{swim}} \sum_j C_w(j) DC_{\text{ing}}(j)$$

- ここで
- t_{public} は遊泳時間（96時間/年）
- H_{swim} は、遊泳中の海水摂取率（0.2L/時間と保守的に設定）
- $C_w(j)$ は、核種jの海水中濃度（Bq/L）
- $DC_{\text{ing}}(j)$ は、核種jの経口摂取による実効線量係数

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

参考：Tecdoc1759の手法

- ④ 飛散した海岸堆積物の吸入による線量 $E_{inh, shore, public}$ は、次式を用いて計算した。

$$E_{inh, shore, public} = t_{public} R_{inh, public} DL_{shore} \sum_j C_p(j) DC_{inh}(j)$$

- ここで
- $R_{inh, public}$ は、一般人の吸入速度（単位： m^3/h ）である。線量評価指針の値（成人 $0.92m^3/h$ ）を使用する。
- DL_{shore} は海岸堆積物の粉塵負荷係数（単位： kg/m^3 ）である。推奨値 $2.5E-09kg/m^3$ を使用する。
- $DC_{inh}(j)$ は放射性核種 j の吸入に対する線量係数（単位： Sv/Bq ）である。
- 堆積物中の放射性核種濃度 $C_p(j)$ (Bq/kg)は、次式から求められる。

$$C_p(j) = K_d(j)C_{DW}(j)$$

- t_{public} は、海岸の滞在時間（500時間/年）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

参考：Tecdoc1759の手法

- ⑤ 海岸の空気中の海水噴霧の吸入による線量 $E_{inh, spray, public}$ (Sv/年) は、次式を用いて計算した。

$$E_{inh, spray, public} = t_{public} R_{inh, public} \frac{C_{spray}}{\rho_w} \sum_j C_w(j) DC_{inh}(j)$$

- ここで
- C_{spray} は空気中の海水噴霧の濃度(単位：kg/m³)である。推奨値1.0E-02kg/m³を使用した。
- ρ_w は海水の密度 (1E+03kg/m³) である。
- $C_w(j)$ は海水中の放射性核種jの濃度 (単位：Bq/m³) である。
- t_{public} は、海岸の滞在時間 (500時間/年) である。
- 吸入速度 $R_{inh, public}$ (単位：m³/h) および吸入の線量係数 $DC_{inh}(j)$ (単位：Sv/Bq) は、飛散した海岸堆積物の吸入による線量を計算するために使用したものと同じである。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

参考：Tecdoc1759の手法

- ⑥ 海産物摂取による内部被ばくは、海水濃度を除き報告書と同じ計算を行った。

$$E_{\text{ing,food,public}} = \sum_k H_B(k) (j) \sum_j C_{\text{EB}}(j, k) DC_{\text{ing}}(j)$$

- ここで、
- $H_B(k)$ は魚介類 k の年間摂取量(単位：kg)である。放射線影響評価と同じ値を使用した。
- $DC_{\text{ing}}(j)$ は放射性核種 j の経口摂取に対する実効線量係数 (単位：Sv/Bq) である。
- $C_{\text{EB}}(j, k)$ は、次式で求めた魚介類 k の可食部の核種 j の濃度 (単位：Bq/kg)である。

$$C_{\text{EB}}(j, k) = CF(j, k) C_{\text{DW}}(j)$$

- ここで、
- $CF(j, k)$ は、魚介類 k の核種 j に対する濃縮係数である。
- $C_{\text{DW}}(j)$ は、核種 j の海水中の溶存態濃度である。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

被ばく経路の妥当性確認 (Tecdoc1759の手法による試算)

- ⑦ 漁網操作時に、漁網とともに引き上げられた海底堆積物が皮膚に付着した場合を想定し、次式により計算を行った。

$$E_{\text{skin}} = t_{\text{public}} \sum_j S_d DC_{\text{skin}}(j)$$

- ここで
- t_{public} は、被ばく時間。
- S_d は表面汚染密度 (Bq/cm²)
- $DC_{\text{skin}}(j)$ [(Sv/年)/(Bq/cm²)] は、IAEA SRS44※に示されている皮膚等価線量換算係数 (ベータおよびガンマ放出核種) を使用した。
- 表面汚染密度 S_d は、次式から求めた。

$$S_d = K_d(j) C_{\text{DW}}(j) \rho d$$

- ここで
- $K_d(j)$ は核種 j の海水と海底堆積物の分配係数 ((Bq/kg)/(Bq/L))
- $C_{\text{DW}}(j)$ は、核種 j の海水中の濃度 (Bq/L)
- ρ は海底堆積物の密度 (1.5E-03 kg/cm³)
- d は皮膚に付いた海底堆積物の厚さ (0.01 cm)

※ IAEA SAFETY REPORTS SERIES No. 44 "DERIVATION OF ACTIVITY CONCENTRATION VALUES FOR EXCLUSION, EXEMPTION AND CLEARANCE"

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項⑨

（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

- トリチウムの線量換算係数について、トリチウム水（HTO）と有機結合型トリチウム（OBT）の存在割合に対する考え方を説明するとともに、その存在割合については、根拠となる参考文献等を示すこと。

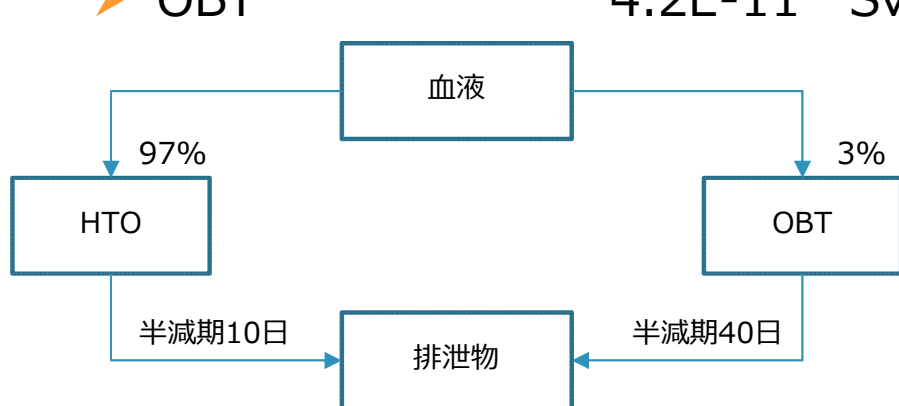
2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

トリチウムの換算係数におけるOBT（有機結合型トリチウム）の取扱いについて

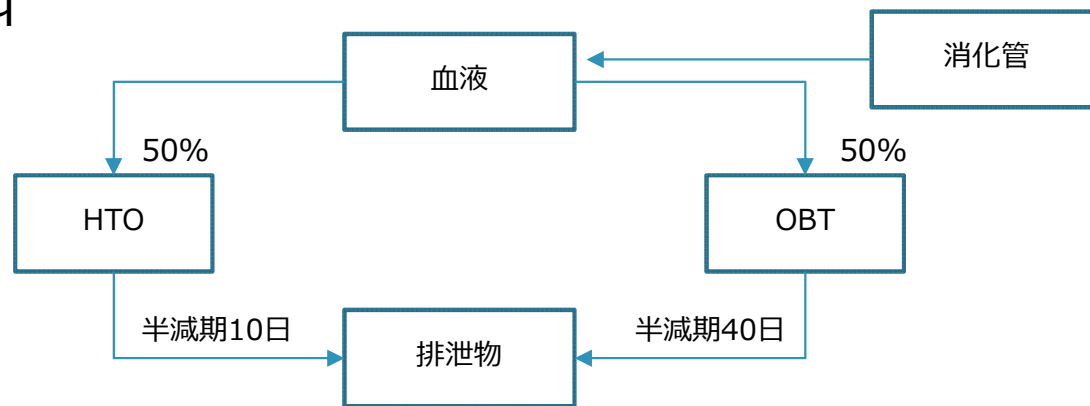
- ICRP Publication56^{※1}のモデルによれば、体内に取り込まれたトリチウム水（HTO）の約3%がOBTに変化し、トリチウム水としてよりも長く体内に留まるとしている。体内における半減期は、トリチウム水で約10日、OBTでは約40日としている。
- 一方、OBTとして体内に取り込まれたトリチウムは、血液中で50%が直ちにトリチウム水に変換されると仮定している。それぞれのトリチウムは上記の半減期で、最終的には血液からトリチウム水として対外に排出される。
- これらの体内における動態モデルを踏まえ、ICRP Publication72^{※2}におけるトリチウムの実効線量係数は、それぞれ以下の通りとされている。

➤ トリチウム水 1.8E-11 Sv/Bq

➤ OBT 4.2E-11 Sv/Bq



トリチウム水摂取のICRPモデル
(UNSCEAR2016^{※3}附属書Cより引用)



OBT摂取のICRPモデル
(UNSCEAR2016附属書Cより引用)

※1 ICRP Publication56 "Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides:Part1"

※2 ICRP Publication72 " Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5
Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients"

※3 原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR) 2016年報告書

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

トリチウムの換算係数におけるOBT（有機結合型トリチウム）の取扱いについて



- 環境影響評価報告書では、放出するALPS処理水にOBTを含むような有機物がほとんど含まれていないことから、全量をトリチウム水（HTO）として評価している。
- 環境中での、有機結合型トリチウムの知見は少ないものの、HTOの濃度を超えることは無いものと考えられる。
- 当社では、福島沖にて魚体が大きく分析に有利なヒラメについて、トリチウムの測定を継続して実施しているが、これまでにOBTを検出したことは無い。
- 仮に、摂取するトリチウムの数%がOBTとして評価しても、被ばく評価結果に占めるトリチウムの割合はわずかであり、放射線影響評価の結果が変わるものではない。

例 摂取するトリチウムの10%がOBTであった場合の被ばくへの影響

$$0.9 \times 1.8E-11 [\text{Sv/Bq}] + 0.1 \times 4.2E-11 [\text{Sv/Bq}] = 2.0E-11 [\text{Sv/Bq}]$$

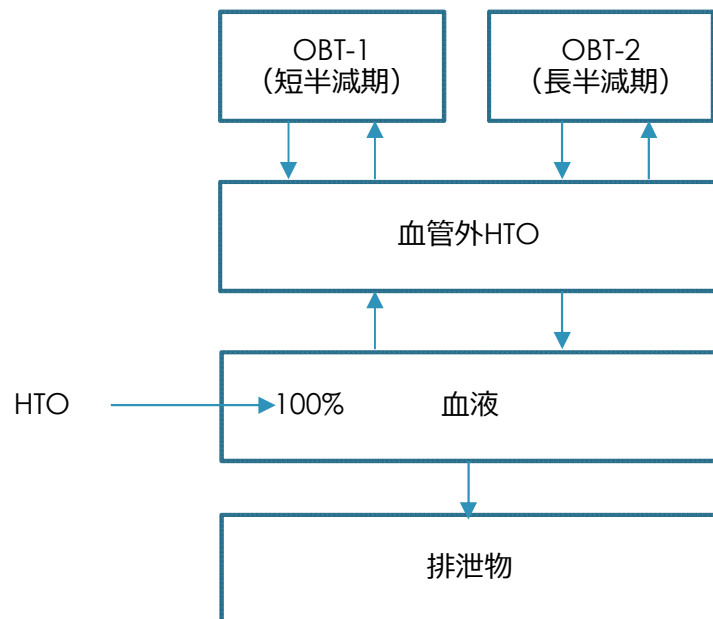
全量がトリチウム水の場合と比べて、トリチウムによる被ばくが、1割程度増加する可能性があるが、被ばく全体に占めるトリチウムの割合はわずかであり、被ばく評価結果への影響はごくわずかである。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

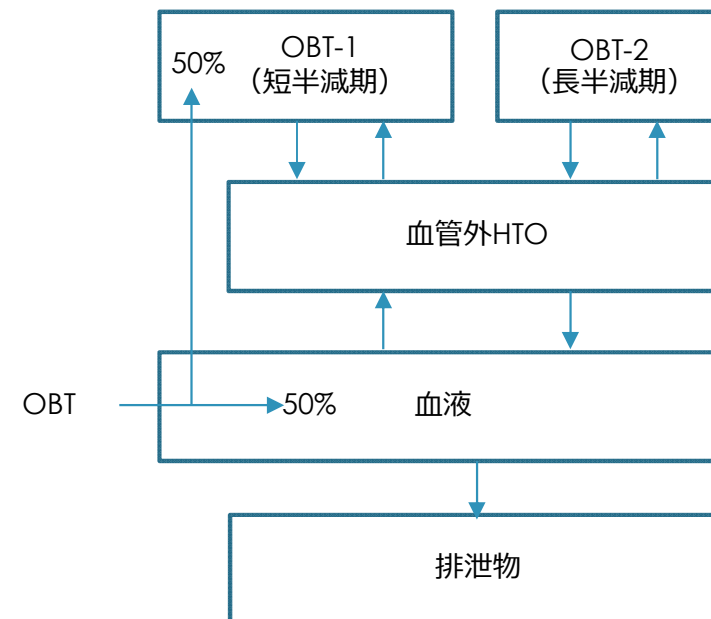
参考：ICRPの新しい体内動態モデル

- ICRP Publication134※では新しい体内動態モデルが示されており、体内半減期約40日のOBTに加え、体内半減期約1年と更に長期間体内に留まるOBTをモデルに組み込んでいる。
- このモデルによる実効線量係数は以下の通りPublication72よりも高くなっているが、こちらで計算した場合も被ばく評価結果への影響が大きく変わるものではない。
 - トリチウム水 1.9E-11 Sv/Bq
 - OBT 5.1E-11 Sv/Bq
- 本モデルでは、トリチウム水を継続して摂取した場合、全身のトリチウムのうち約6%がOBTと予測されるとしている。

新しいトリチウム水摂取のモデル



新しいOBT摂取のモデル



※ ICRP Publication134 “Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2”

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項⑨

（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

- ソースタームとして、64核種（トリチウム、炭素14及びALPS除去対象62核種）を設定しているが、ソースタームの設定に当たっては、ALPS処理水中に理論的にどのような核種が存在しうるのかを評価した上で、評価対象核種を絞り込むなどの選定の考え方を明示すること。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

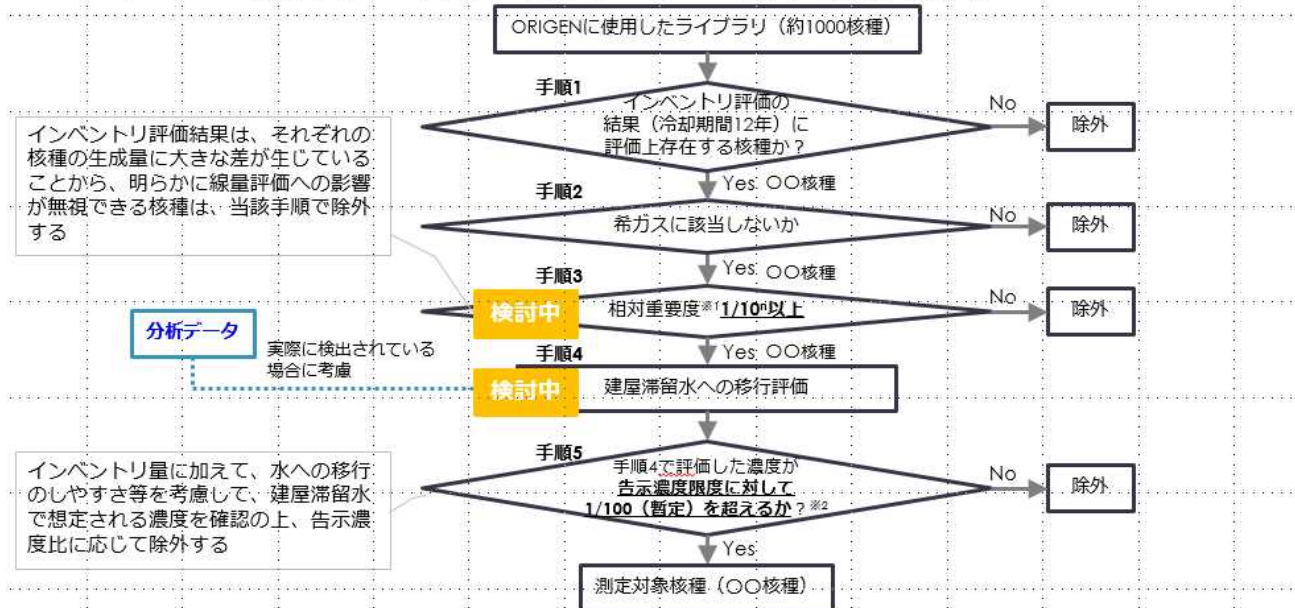
ソースタームの選定について

- 第9回ALPS処理水審査会合資料 1-1 にて示したとおり、測定対象核種を選定することを検討中であり、放出基準の確認も行う予定。
- 放射線影響評価報告書のソースタームについても、上記検討結果を踏まえ見直しの必要性を含めて検討する予定。

2-1(2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

4.1 ALPS処理水の測定対象核種選定の考え方(案)

- 汚染水、処理水の核種分析の結果並びにインベントリ評価の結果から、以下のフローに従い、測定対象核種を選定することを検討中。当該フローで選定された核種にて放出基準を確認する予定。
- なお、今回の測定対象核種選定において、ALPS除去対象核種が除外されたとしても、ALPSで除去されたことを確認するため、当社が自主的にこれらの核種も確認する計画。



※1: それぞれの核種のインベントリ量を告示濃度限度で除した値と、その総和に対する比により、線量評価に影響を与える核種を確認
 ※2: α核種は全αで測定するため、α核種の全Ba数に対して、最も厳しい告示濃度(4Bq/L)に対する比により評価する

ALPS処理水の測定対象核種選定の考え方(案)
 (ALPS処理水審査会合(第9回)資料1-1より抜粋)

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項⑨

（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

- 海洋放出設備により港湾内の海水中に含まれる放射性物質濃度の分布を変えることになるため、その影響について放射線環境影響評価に含めること。

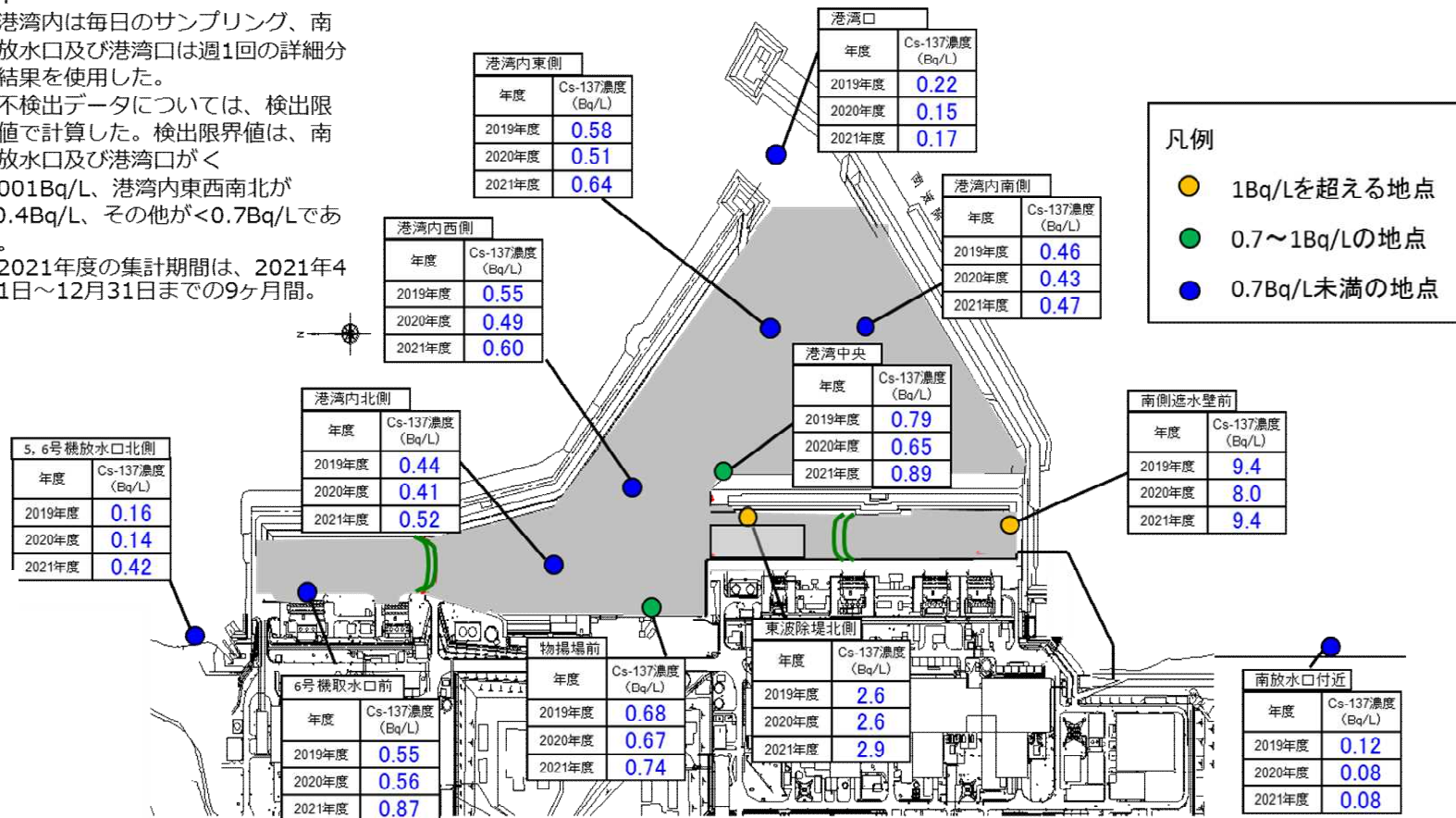
2-1(1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

港湾の海水中の放射性物質の影響（港湾のCs-137濃度の状況）

- ALPS処理水の希釈用海水は、5号機取水口から取水する計画であるが、港湾内の海水濃度は周辺海域の海水よりも若干高い放射性物質濃度となっていることや、港湾内の海底土等の影響を考慮し、5/6号機放水口北側から海水を引き込む計画である。
- 港湾のCs-137濃度の現状は下図の通り。1～4号機取水口付近の濃度が高く、港湾口や5,6号機側に向けて1～4号機取水口付近から遠ざかると濃度が低下している。

注：

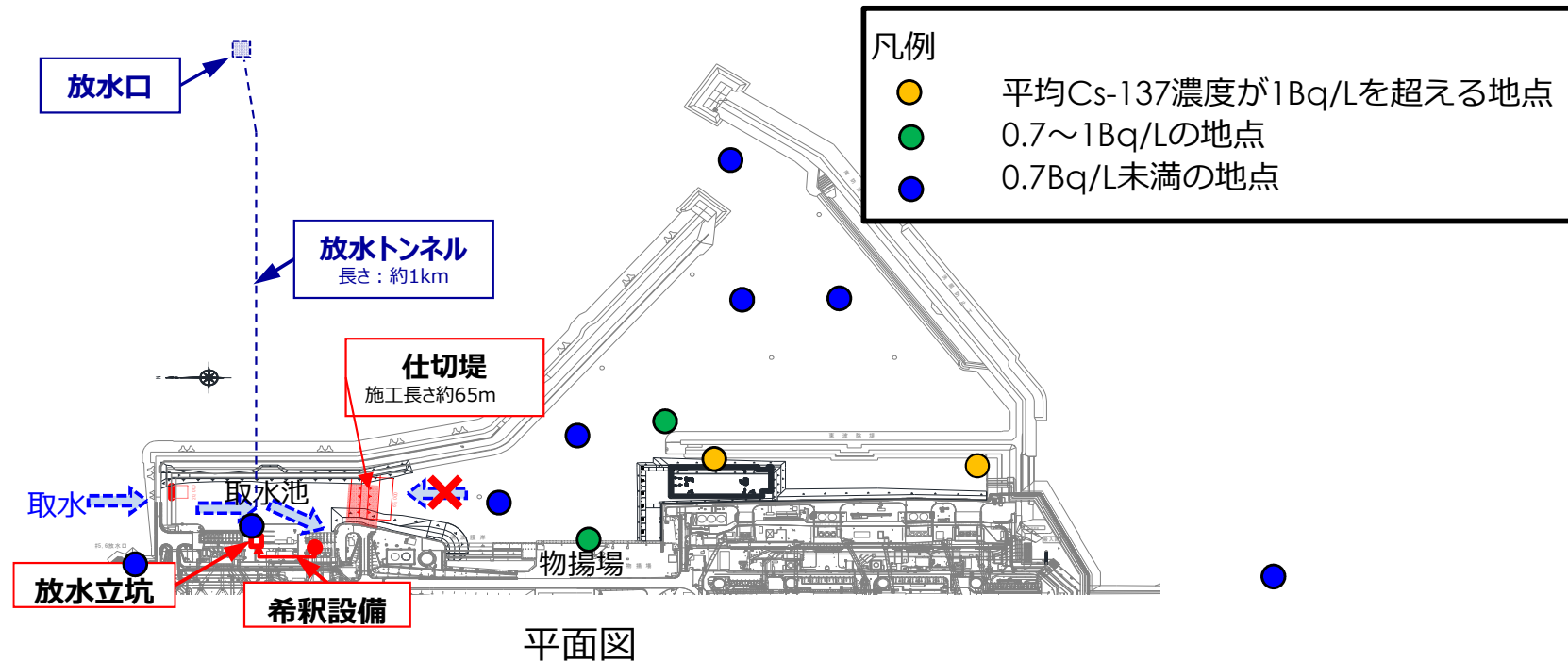
1. 港湾内は毎日のサンプリング、南北放水口及び港湾口は週1回の詳細分析結果を使用した。
2. 不検出データについては、検出限界値で計算した。検出限界値は、南北放水口及び港湾口が 0.001Bq/L、港湾内東西南北が <math><0.4\text{Bq/L}</math>、その他が <math><0.7\text{Bq/L}</math> である。
3. 2021年度の集計期間は、2021年4月1日～12月31日までの9ヶ月間。



2-1(1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

港湾の海水中の放射性物質の影響（取放水による影響について）

- 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号機側の港湾から仕切り、北防波堤透過防止工の一部を改造し、港湾外から希釈用の海水を取水する設計とする。
- これにより、1-4号機取水口側の放射性物質濃度の高い海水の取水を防止し、港湾外への影響を低減する。
- この結果、貯水池となる5,6号機取水路開渠の海水中放射性物質濃度は低下し、5,6号機取水路開渠への拡散が抑制される物揚場付近の濃度がわずかに上昇する可能性がある。
- 港湾外への影響の比較のため、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外部影響について評価を行った。

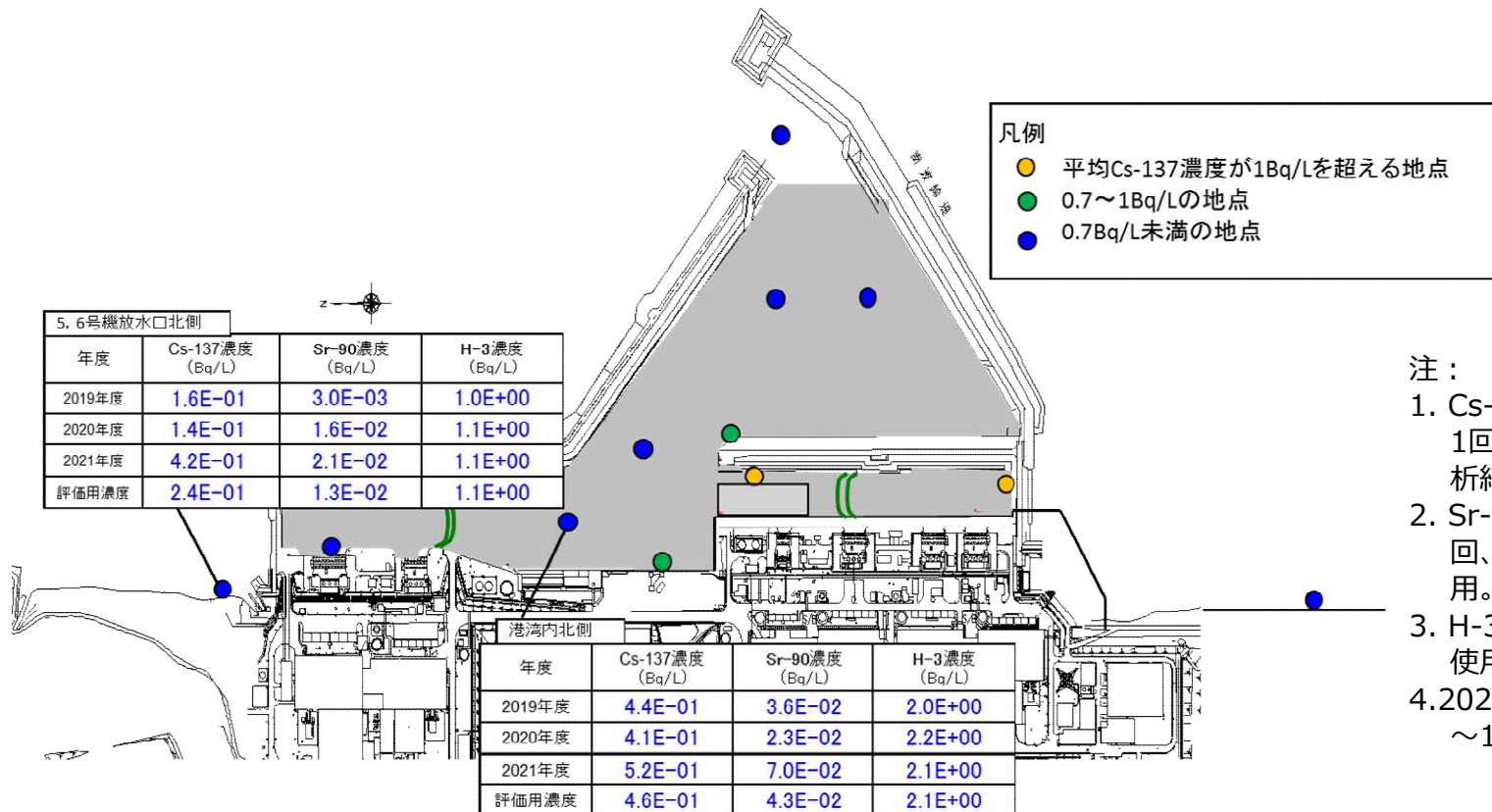


2-1(1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

港湾の海水中の放射性物質の影響（希釈用海水として取水する海水の放射性物質濃度）



- 取水する海水の濃度としては、港湾外取水が5,6号機放水口北側、港湾内取水が港湾内北側のモニタリング結果（2019年度から約3年間）から下表の通り設定した。
- 対象核種は、Cs-137、Sr-90、H-3（Cs-137、Sr-90は、それぞれ子孫核種Ba-137とY-90が同じ濃度で含まれる）とした。
- なお、港湾内外で検出下限値が異なる（港湾内の方が高い）ため、港湾内北側のCs-137、H-3は過大評価となっている可能性が高いものの、5,6号機放水口北側の方が低濃度であることは変わらない。



注：

1. Cs-137濃度は、5,6号機放水口北側が週1回の詳細分析、港湾内北側は毎日の分析結果を使用。
2. Sr-90濃度は、5,6号機放水口北側が月1回、港湾内北側は週1回の分析結果を使用。
3. H-3濃度は、いずれも週1回の分析結果を使用。
4. 2021年度の集計期間は、2021年4月1日～12月31日までの9ヶ月間。

2 - 1 (1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

港湾の海水中の放射性物質の影響（被ばく評価方法）

- 以下の式により、希釈用海水（希釈用海水ポンプ3台運転の場合）の中に含まれる核種毎のインベントリ（年間の放射能移動量）を求め、被ばく評価用のソースターム（ALPS処理水の年間放出放射能量）に加えて評価した。

$$\text{年間移動量[Bq/年]} = \text{評価用海水濃度[Bq/L]} \times 51\text{万[m}^3\text{/日]} \times 1000\text{[L/m}^3\text{]} \times 365\text{[日/年]} \times 0.8\text{(稼働率)}$$

- 被ばく評価用のソースタームとして、放射線影響評価に用いた「K4タンク群の実測値」及び「仮想したALPS処理水」の2種類を用いた。また、追加した放射能移動量は下表の通り。

表 希釈用海水の核種毎の年間の放射能移動量

核種	K4タンク群の実測値		港湾内北側取水	
	評価用濃度 (Bq/L)	移動量 (Bq/年)	評価用濃度 (Bq/L)	移動量 (Bq/年)
Cs-137	2.4E-01	3.6E+10	4.6E-01	6.9E+10
Sr-90	1.3E-02	1.9E+09	4.3E-02	6.4E+09
H-3	1.1E+00	1.6E+11	2.1E+00	3.1E+11

2 - 1 (1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

港湾の海水中の放射性物質の影響（被ばく評価結果）



- 被ばく評価の結果は下表の通り。港湾外から取水する方が外部への影響は小さい。
- ただし、いずれの評価結果も線量限度1mSv/年や線量目標値0.05mSv/年と比べてわずかであり、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。

人に関する被ばく評価結果

評価ケース		K4タンク群の実測値			仮想したALPS処理水			備考
		放射線影響評価 報告書	5, 6号機放水口 北側取水	港湾内北側取水	放射線影響評価 報告書	5, 6号機放水口 北側取水	港湾内北側取水	
外部被ばく (mSv/年)	海面からの被ばく	6.5E-09	7.4E-08	1.4E-07	1.8E-07	2.5E-07	3.1E-07	
	船体からの被ばく	5.2E-09	5.9E-08	1.1E-07	1.4E-07	1.9E-07	2.4E-07	
	海中作業における被ばく	2.8E-10	3.3E-09	6.0E-09	7.9E-09	1.1E-08	1.4E-08	
	砂浜からの被ばく	5.0E-07	6.0E-06	1.1E-05	1.4E-05	1.9E-05	2.4E-05	
	漁網からの被ばく	1.6E-06	1.7E-05	3.1E-05	4.5E-05	6.0E-05	7.4E-05	
内部被ばく (mSv/年)		6.1E-05	7.3E-05	8.4E-05	2.0E-03	2.0E-03	2.1E-03	成人の値
合計 (mSv/年)		6.3E-05	9.6E-05	1.3E-04	2.1E-03	2.1E-03	2.2E-03	

年齢別の内部被ばく評価結果

評価ケース		K4タンク群の実測値			仮想したALPS処理水			備考
		放射線影響評価 報告書	5, 6号機放水口 北側取水	5, 6号機放水口 北側取水	放射線影響評価 報告書	5, 6号機放水口 北側取水	5, 6号機放水口 北側取水	
内部被ばく (mSv/年)	成人	6.1E-05	7.3E-05	8.4E-05	2.0E-03	2.0E-03	2.1E-03	
	幼児	9.4E-05	9.9E-05	1.1E-04	3.1E-03	3.1E-03	3.1E-03	
	乳児	1.1E-04	1.1E-04	1.2E-04	3.9E-03	3.9E-03	3.9E-03	

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項⑨

（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

- 放射線環境影響評価における不確かさの内容を説明するとともに、それらの不確かさのうち、評価において支配的となる要素や保守性を与える要素を整理して説明すること。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

放射線影響評価の不確かさについて



- 放射線影響評価のフローに従って、各種の試算結果等を参考に不確かさの大きさと放射線影響評価における取扱いについて下表にまとめた。

不確かさの整理結果 (1 / 2)

項目	不確かさの内容	放射線影響評価における対応	不確かさの大きさ※
ソースタームの選択	ソースタームの核種組成が不確かである	64核種すべてを評価の対象とし、これまでずっと不検出である核種も検出下限値に含まれるものとして保守的な評価を行っている。 また、トリチウム以外の63核種の告示濃度比が上限値1であり、被ばく影響が最も大きいALPS処理水を仮想し、保守的な評価を行った。	+30
	年毎の放出量が未定である	仮想したALPS処理水による評価は、保守的に不検出核種も含めて評価したK4タンク水のソースタームによる評価のさらに30倍以上となっている。	
環境中での拡散、移行のモデリング	シミュレーション自体の不確かさ	同じモデルで、セシウムモニタリング結果を再現した文献では、拡散の形状に大きな差は見られておらず、濃度の高い領域では概ね実測値と同じ濃度となっている。不確かさはあるものの、2倍に満たない程度と考えられる。	±2
	シミュレーションに使用する気象条件の不確かさ	報告書では2年間の結果から濃度の高い結果を使用した。その後、合計で7年分の評価を行い、10km×10kmの平均濃度のばらつきが2割程度に過ぎないことを確認した。	±1.2
	移行経路の選定の不確かさ	国内における先行事例を基に選定を行った。最も海洋における被ばく評価への影響が大きいとされている海産物による濃縮の移行経路において、発電所周辺10km×10kmの範囲内で漁獲された魚介類のみを評価に使用することとしていることから、移行経路の選定の不確かさは評価結果に大きな影響を与えないものと考えた。なお、IAEAのTecdoc1759の手法により確認を行った結果、評価結果に大きな影響を及ぼすような経路が無いことを確認した。	—
	外部被ばくに係わる船体、漁網、砂浜への移行係数の不確かさ	国内外の先行する原子力施設にて、これらの経路が大きな問題となっていないこと、及び外部被ばくは内部被ばくに比べて影響が小さいことから、評価結果に大きな影響を与えないものと考えた。なお、IAEAのTecdoc1579の手法により砂浜からの被ばくの評価を行った結果、放射線影響評価の方法が保守的であることを確認した。	—
被ばく経路の選定	選定した被ばく経路が、全ての経路を網羅していないことによる不確かさを含んでいる。	国内における先行事例を基に選定を行った。外部被ばくは内部被ばくに比べて影響が小さいことから、移行経路の選定の不確かさは評価結果に大きな影響を与えないものと考えた。なお、IAEAのTecdoc1759の手法により確認を行った結果、評価結果に大きな影響を及ぼすような経路が無いことを確認した。	—
代表的個人の選定	現在、発電所周辺地域は復興途上であり、住民は少なく詳細な生活習慣の把握は困難であり、生活習慣データは不確かさを含んでいる。	被ばく経路として影響が大きい内部被ばく結果に影響する海産物摂取量は、最新のデータを使用した。データは全国のデータであり、発電所周辺のデータと違う可能性があるが、東北地区のデータとは10%程度しか変わらないこと、さらに、報告書では摂食する魚介類は加工品も含めて全て発電所周辺10km×10kmの範囲で漁獲されたものを食べるものとして評価したことにより、むしろ過大評価となっているものと考えている。	—

※不確か性の大きさは、+が過大評価、-が過小評価の不確か性であり、倍率として表現した。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

放射線影響評価の不確かさについて

- 被ばく経路の中では、ソースタームの不確かさと、魚介類の濃縮係数の不確かさが支配的と考えられるが、本評価においては、ソースターム及び海産物の漁獲の設定などの保守性の中に収まっているものとする。

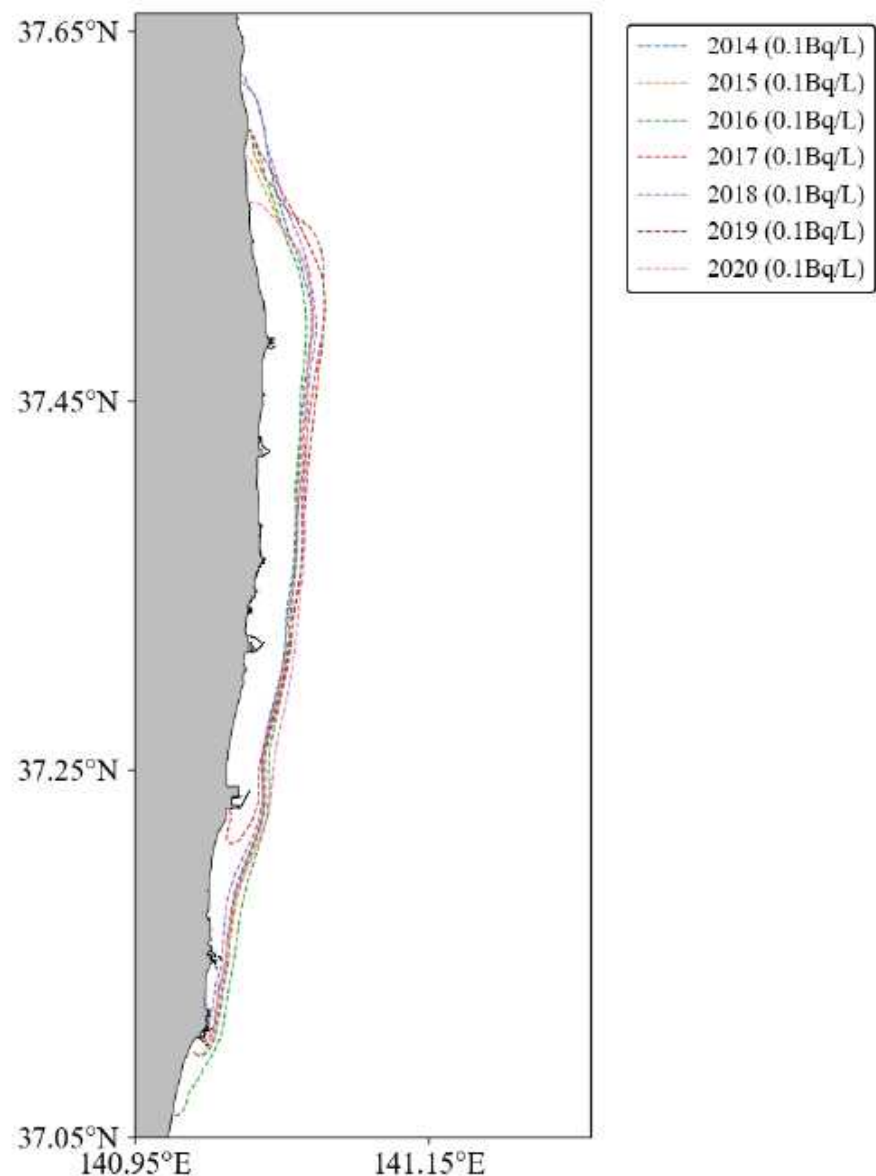
不確かさの整理結果 (2 / 2)

項目	不確かさの内容	放射線影響評価における対応	不確かさの大きさ※
線量の評価	外部被ばく評価に用いる線量換算係数は、国内の廃止措置工 事ハンドブックから引用したものであるが、64核種すべ ての係数が無いことや、γ線のみを評価しているといった不確 かさを含んでいる。	ハンドブックに記載の無い核種の線量換算係数は、βγ核種はCo-60、α核種はAm-243と、それぞれ保守的に最 も大きい値を用いたことにより、むしろ過大評価である不確かさを含んでいるものと考えている。 なお、放射線影響評価報告書における外部被ばくの線量換算係数を、米国環境保護庁が公表している、外部被 ばくに関する線量換算係数 (FGR-15)に変更して計算したところ、放射線影響評価報告書の方が約3倍~40倍 大きい結果となった ただし、内部被ばくと比べて被ばくへの影響は小さく、被ばくの合計値には影響しない。	—
	TRS-422では、海産物の濃縮係数は、上下一桁程度の不確 かさがあるものとされている。	ソースタームとして、内部被ばくに影響の大きい核種だけで告示濃度比が1となる仮想したソースタームを設定 した。また、海産物は加工品も含め全て発電所周辺10km×10kmの範囲で漁獲されたものを摂食するとして評 価することで、十分保守的な評価となっていると考えている。	±10
総合評価	最も大きな不確かさを含むのはソースタームの設定と考え、報告書では不確かさを考慮した極めて保守的な仮想したALPS処理水によるソースタームを設定している。内部 被ばく評価に大きな影響のある魚介類の濃縮係数は、最大上下一桁程度の不確かさを含んでいるとされているが、ソースタームの保守性及び摂食する海産物の設定により、 保守性を確保した評価結果になっているものとする。		

※不確か性の大きさは、+が過大評価、-が過小評価の不確か性であり、倍率として表現した。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

評価の不確かさ（気象、海象データの年変動）



2014年から2020年の気象海象データにより計算したトリチウム濃度の年平均値0.1Bq/Lの範囲

- 2014年から2020年までの7年間について、各年の実気象、海象データを用いたシミュレーション計算を行った結果を図に示す。
- また、発電所周辺10km×10kmの範囲内における7年間各年毎の年間平均濃度を下表に示す。
- 拡散範囲、平均濃度ともに年変動は小さく、2019年の計算結果を長期的な評価に使用することは可能と考える。

2014年から2020年の気象海象データにより計算した発電所周辺10km×10kmのトリチウムの平均濃度

年	全層	表層	底層
2014	4.8E-02	1.0E-01	5.0E-02
2015	4.9E-02	9.6E-02	5.3E-02
2016	4.9E-02	9.6E-02	5.3E-02
2017	5.8E-02	1.2E-01	6.3E-02
2018	5.0E-02	1.1E-01	5.4E-02
2019	5.6E-02	1.2E-01	6.0E-02
2020	5.4E-02	1.1E-01	6.0E-02
平均	5.2E-02	1.1E-01	5.6E-02
標準偏差	3.8E-03	9.3E-03	4.4E-03

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

評価の不確かさ（米国環境保護庁の外部被ばく線量換算係数によるチェック）

- 米国環境保護庁（以下、EPA）では、典型的な被ばく状況について、FGR-15※として核種毎の外部被ばく線量換算係数を示している。
- 放射線影響評価報告書では、国内で作成された廃止措置工事環境影響評価ハンドブック（以下、廃止措置ハンドブック）に示されたγ線に関する外部被ばく線量換算係数を使用した評価を行ったが、ベータ線の考慮がされていないこと、及び核種の多くに他の核種の換算係数を引用していることから、EPAが示した換算係数によるチェックを行った。
- 対象としては、FGR-15で示されている換算係数が適用可能な、以下の被ばく経路とした。
 - ✓ 海水面からの外部被ばく・・・浸漬に関する線量換算係数を0.5倍して使用
 - ✓ 船体からの外部被ばく・・・地表面汚染に関する線量換算係数を使用
 - ✓ 遊泳等水中での外部被ばく・・・浸漬に関する線量換算係数を使用
 - ✓ 砂浜からの外部被ばく・・・地表面汚染に関する線量換算係数を使用
- ここでは、換算係数のチェックが目的であることから、ソースタームは実測値に基づくソースタームを対象とし、海水濃度や移行係数等その他の条件は放射線影響評価報告書の条件をそのまま使用した。
- なお、FGR-15はICRP Publication103（2007年勧告）に基づく外部被ばく線量の換算係数であり、現行のICRP Publication60（2000年勧告）に基づく規制には直接使用できないが、今回はチェックのために使用した。

※ FEDERAL GUIDANCE REPORT NO.15 "EXTERNAL EXPOSURE TO RADIONUCLIDES IN AIR, WATER AND SOIL" (U.S. Environmental Protection Agency, 2019)

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

評価の不確かさ（米国環境保護庁の外部被ばく線量換算係数によるチェック）



- 被ばく評価結果を比較した結果は下表のとおり。
- 全てのケースにおいて、廃止措置ハンドブックの換算係数を用いた評価の方が保守的であり、その比率は約3倍～70倍であった。

外部被ばくの評価について、米国環境保護庁が作成した係数を使用した場合との比較結果

評価条件	ソース ターム	(1) 実測値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		
	評価 ケース	廃止措置ハ ンドブック	FGR15	HB/FGR 倍率	廃止措置ハ ンドブック	FGR15	HB/FGR 倍率	廃止措置ハ ンドブック	FGR15	HB/FGR 倍率
単位	mSv/年	mSv/年	倍	mSv/年	mSv/年	倍	mSv/年	mSv/年	倍	
被 ば く 経 路	海水面	6.5E-09	9.4E-10	6.9	1.7E-08	3.5E-10	49	4.7E-08	8.6E-10	55
	船体	5.2E-09	1.8E-09	2.9	1.3E-08	9.8E-10	13	3.4E-08	2.2E-09	15
	遊泳	2.8E-10	2.9E-11	9.7	7.6E-10	1.1E-11	69	2.0E-09	2.7E-11	74
	砂浜	5.0E-07	9.0E-08	5.6	1.3E-06	3.7E-08	35	3.6E-06	8.9E-08	40

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項⑨

（2－2 政府方針への取り組みに関する主な確認事項）

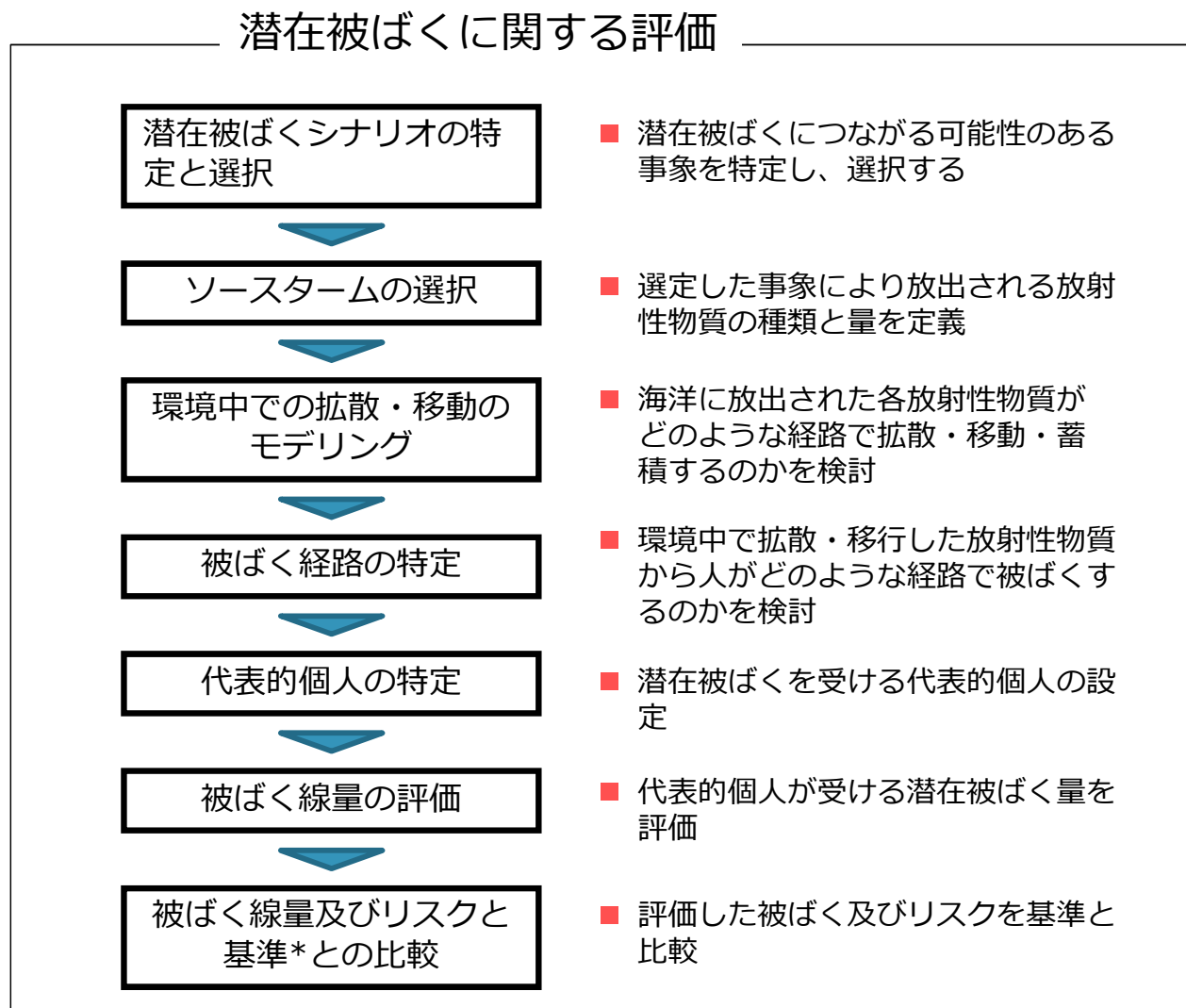
（3）海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

- 潜在被ばくの評価においては、発生した事故等に気づかない場合や対処に遅れが生じる時間を踏まえ、それらの継続時間を考慮した内部被ばくの評価を行うことについても検討すること。
- 通常時の被ばく評価では外部被ばくの経路として漁網が想定されているが、潜在被ばく評価においては、漁網による外部被ばくが想定されていない理由を含め、評価において使用したデータの設定根拠について示すこと。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

潜在被ばくの評価(1)評価手順

- 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。



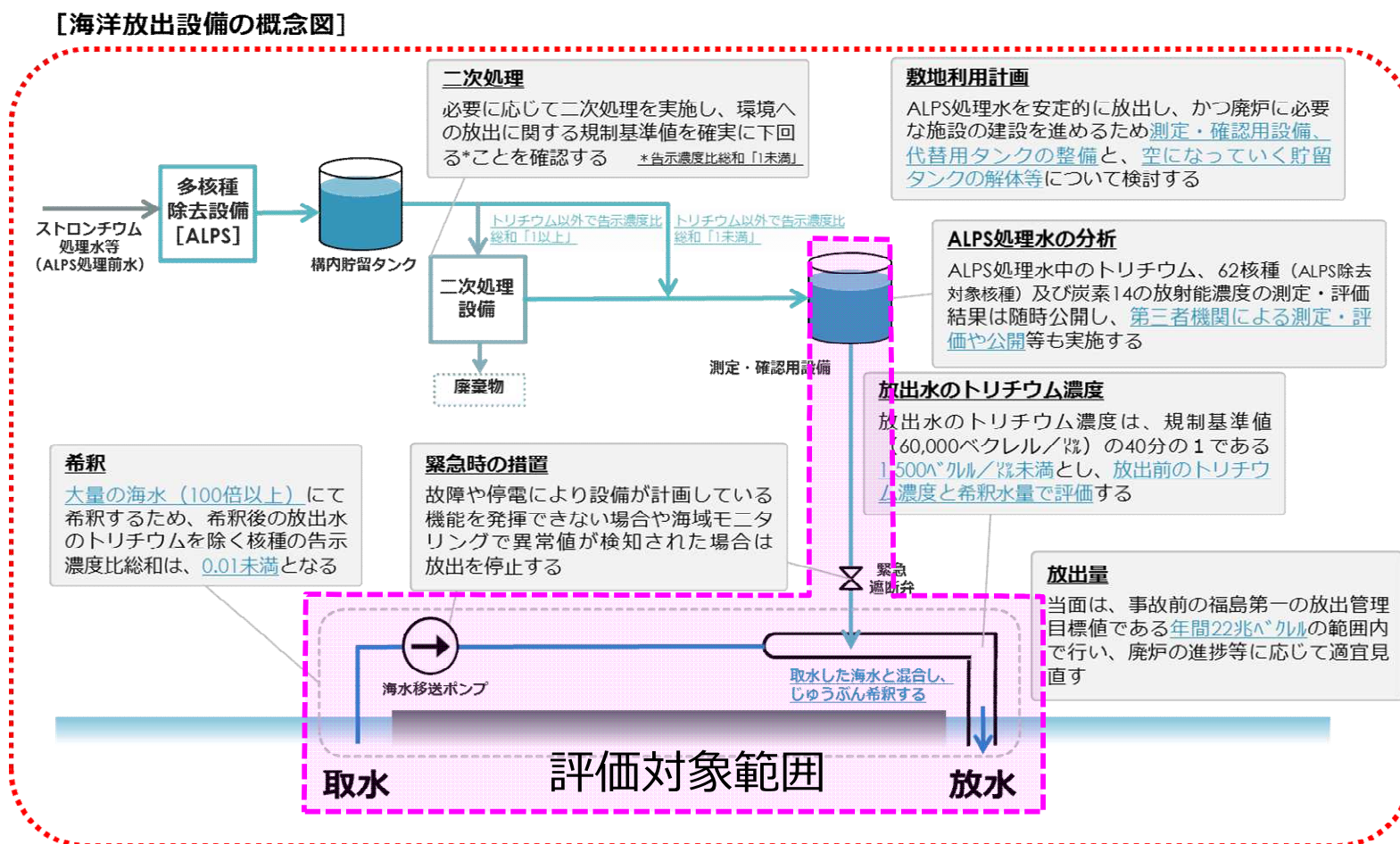
* IAEA GSG-10では、比較すべき基準として 1~数ミリシーベルト (通常 5mSv) が示されている。

- 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手順で選定した。
 - ① ALPS処理水の海洋放出に係る設備で取り扱う水は、**希釈前のALPS処理水又は希釈後のALPS処理水**の2種類である。希釈後のALPS処理水は放出の対象であり通常の被ばく評価の対象であることから、想定される事象はALPS処理水が希釈されずに放出される事象とした。
 - ② ALPS処理水が希釈されずに放出される経路としては配管破断などの系外漏えい事象又は通常の放出配管から希釈海水無しで放出される場合の2種類であるが、漏えい事象は、漏えい後に海洋に出るまでに敷地内で地下浸透などによりインベントリが減少することから、**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た。**
 - ③ 具体的な事象としては、**希釈用の海水ポンプが停止して希釈用海水の供給が止まり、本来動作すべき緊急遮断弁が動作せずに放出が継続する場合を選定した。**

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

潜在被ばくの評価(3)対象設備

- 潜在被ばくシナリオの検討にあたって対象とした設備は下図の測定・確認用設備より下流の設備である。
- 従って、設備が内包する放射性物質を含む水は、希釈前のALPS処理水と希釈後のALPS処理水の2種類である。



- 潜在被ばくのシナリオで放出されるALPS処理水は、63核種すべてがどのような濃度で含まれているかあらかじめ特定できないことから、トリチウムの他に、63核種のどれか1核種が告示濃度（平衡状態にある子孫核種は親核種の告示濃度）で含まれているものとし、63種類すべてについて被ばく計算を行った結果から、最大の核種の結果を評価値とした。
- 被ばくへの影響の大きい、トリチウム以外の核種の放出量（ソースターム）を保守的に大きく設定するため、放出するALPS処理水のトリチウム濃度を10万Bq/Lと低く設定し、34万m³/日の海水希釈により1500Bq/Lで放出中に事象が発生するものとした。
- これにより、ALPS処理水の放出率を次の通り設定した。
$$34\text{万m}^3/\text{日} \times 1500\text{ Bq/L} / 10\text{万Bq/L} = 5100\text{m}^3/\text{日}$$
- 以上より、ソースターム（1日あたりの放出量）は以下の通りとした。
 - ✓ トリチウム $10\text{万Bq/L} \times 1000\text{L/m}^3 \times 5100\text{m}^3 / \text{日} = 5.1\text{E}+11\text{Bq/日}$
 - ✓ その他の核種
核種毎に 告示濃度[Bq/L] $\times 1000\text{L/m}^3 \times 5100\text{m}^3 / \text{日}$
例：Cs-137の場合、 $90\text{Bq/L} \times 1000\text{L/m}^3 \times 5100\text{m}^3 / \text{日} = 4.6\text{E}+08\text{Bq/日}$

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価 潜在被ばくの評価(5)環境中での移流、拡散のモデリング

- 船体や海浜の砂、漁網への移行は、通常時の被ばく評価では長期的な蓄積の結果として平衡状態になったものとして評価しており、短期的な濃度上昇の影響はほとんど無いと考えられることから、放射線影響評価報告書では被ばく経路として選定しなかった。
- しかしながら、網羅性の観点から、通常時の被ばく経路全てを評価の対象として見直しを行うこととした。
- 具体的には、船体や海浜の砂、漁網への移行は、保守的に放出が継続している2日間だけ上昇した海水濃度を用いて、瞬時に移行し、平衡状態になったと仮定して計算を行うこととした。
- 海産物についても同様に、2日間だけ瞬時に濃縮し、2日分だけ濃度が上昇した魚介類を摂取するものとして計算した。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

潜在被ばくの評価(6)潜在被ばくの経路の考え方

- 潜在被ばくに関する被ばく経路についてあらためて整理し、以下に示す。
- 変更点については、放射線影響評価報告書の改訂時に反映する。

通常時の被ばく経路	潜在被ばくの経路としての考え方	被ばく経路の選定
海面からの外部被ばく	希釈されないままALPS処理水が放出されるため、海水中放射性物質濃度が一時的に上昇し、海面からの外部被ばくの影響が増加すること、及び事故発生時に気がつかないまま被ばくする可能性があることから選定した。	○
水中作業での外部被ばく	水中での被ばくは、海水中放射性物質濃度の上昇により増加するものの、作業時間が比較的短時間であることから選定しなかったが、網羅性の観点から選定することとした。	X⇒○ (追加)
水中作業での内部被ばく	水中作業を対象として選定するのに伴い、水中作業時に海水を飲水してしまった場合の内部被ばくについて評価を行うこととした。	X⇒○ (追加)
船体、砂浜、漁網からの外部被ばく	船体、砂浜、漁網への放射性物質の移行は長期的な蓄積によるものであり、短期的な海水濃度上昇による影響はほとんど無いものと考え、報告書では選定しなかったが、網羅性の観点から2日間だけ上昇した海水濃度と平衡状態になったものとして計算を行った。	X⇒○ (追加)
海産物摂取による内部被ばく	海産物への放射性物質の移行は長期的な蓄積の影響であり、短期的な海水濃度上昇による影響はほとんど無いものと考えられること、及び万が一の発生時には出荷制限等の措置も実施可能であることから、報告書では選定しなかったが、網羅性の観点から2日間だけ上昇した海水濃度と平衡状態まで濃縮し、2日間だけその海産物を摂取したものとして計算を行った。	X⇒○ (追加)

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

潜在被ばくの評価(7)代表的個人の設定について

■ 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。
- ✓ 作業では、潜水作業を1日8時間実施し、その際1日に1Lの海水を誤飲すると仮定する。
- ✓ 報告書では、船舶は当該海域からの退去や立ち入り規制が可能であることから、被ばくの継続時間を1日としたが、何らかの理由で船舶が退去できない場合も考慮し、放出が2日間継続するものとして2日間の被ばくを評価する。



* 共同漁業権非設定区域

潜在被ばくの評価地点

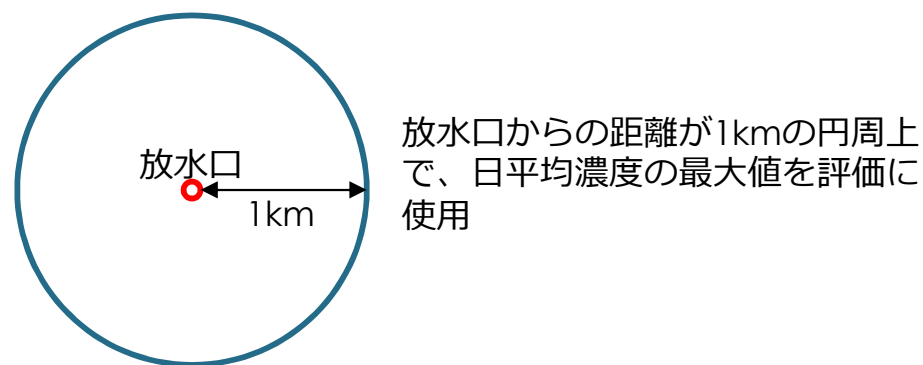
出典：地理院地図（電子国土Web）をもとに東京電力ホールディングス株式会社にて作成

<https://maps.gsi.go.jp/#13/37.422730/141.044970/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

潜在被ばくの評価(8)被ばく計算 (評価に使用する海水濃度)

- 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年間の気象、海象データを用いた拡散計算結果から、方位にかかわらず放水口からの距離1kmの円周上で日平均濃度の最大値を算出し、その濃度が2日間継続するものとした。
- 2014年と2019年の2年間の気象条件で1 Bq/日で放出し続けた場合、距離1kmの円周上における日平均濃度の最大値は、 $2.4E-10$ Bq/Lであった。
- これと、ソースターム（核種毎の日放出量）の積により、核種毎の海水濃度を求め、評価に使用した。



被ばく評価に使用する海水濃度の評価方法

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

潜在被ばくの評価(9)評価結果

- 被ばく評価の結果は、表のとおり。外部被ばくの影響が大きく、被ばく評価値が最大となったTe-127の結果を使用した。
- 海水の誤飲による内部被ばくは、告示濃度より高い濃度で放出するトリチウムがTe-127よりも大きいため評価対象とした。
- 実際に船上と砂浜で同時に被ばくする事は無いが、保守的に合算した。
- 被ばく評価の結果は0.26mSvとなり、事故時の判断基準5mSvと比べると極めて小さい。

潜在被ばくの評価結果

評価ケース		海産物を平均的に 摂取する場合	海産物を多く摂取 する場合	対象核種
外部被ばく (mSv)	海水面からの被ばく	1.5E-04		Te-127
	船体からの被ばく	1.0E-04		
	海中作業における被ばく	1.4E-04		
	砂浜からの被ばく	1.4E-01		
	漁網からの被ばく	1.2E-01		
内部被ばく (mSv)	海水の誤飲による被ばく	4.4E-06		H-3
		2.1E-06		Te-127
	海産物摂取による被ばく	3.7E-04	1.6E-03	Te-127
合計 (mSv)		2.6E-01	2.6E-01	

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項⑨

（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

- 代表的個人の被ばく線量評価について、可能な限り現実的な被ばく評価パラメーターを用い、現在の福島第一原子力発電所の周辺の状況、将来の見通しを踏まえて、妥当性を示すこと。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

代表的個人の被ばく評価 (1) 代表的個人の生活習慣について

- 現在、福島第一原子力発電所の周辺地域は復興途上であることから、代表的個人の生活習慣の調査は難しく、外部被ばくに係わる生活習慣は、“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”の試算に使われたパラメータを引用した。
- また、内部被ばくに係わる海産物の摂取量も調査が難しいのは同様であることから、令和元年度国民健康・栄養調査報告（厚生労働省、2019年）の食品群別摂取量を引用して設定した。
- 設定にあたっては、魚介加工品も含めて集計するとともに、不確実性を考慮して95パーセントイルに相当する平均値+2 σ を、魚を多く摂取する場合として設定した。
- これらの設定は妥当と考えているが、将来を見越した場合、発電所北側の10km×10km圏内には、既に避難指示が解除されたエリアがあること、及び海浜部には砂浜があることから、砂浜からの被ばく評価の評価点を具体化し、追加の評価を実施することとした。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

代表的個人の被ばく評価 (2) 砂浜からの被ばく評価地点について

- 発電所周辺は、除染土等を保管する中間貯蔵施設の敷地となっており、2045年までは貯蔵が継続するものと考えられる。
- そのため、中間貯蔵施設の敷地内に、ALPS処理水の放出期間中に人が居住する可能性は低く、評価点としては、発電所北側の帰還困難区域外では最寄りの砂浜付近とした。
- 評価地点付近における、海水中トリチウム濃度の年間平均濃度は下表のとおりであり、報告書で評価に使用した10km×10kmの全層平均濃度0.056Bq/Lに比べて約16倍（2019年）となった。

評価地点付近の海水中トリチウム濃度

	年平均濃度 (Bq/L)
2014年	0.7
2019年	0.9



* 共同漁業権非設定区域

砂浜からの被ばくの評価地点

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

代表的個人の被ばく評価 (3) 砂浜地点の被ばく評価結果について

- 海浜砂からの被ばくを、年平均濃度0.9Bq/L (2019年) を使って計算すると、表の通り海浜砂からの被ばくが上昇し、外部被ばくでは最大となった。
- ただし、内部被ばくが最も影響の大きい被ばく経路であることは変わらず、海産物を多く摂取する場合の被ばく評価結果の増加は最大でも2割程度であった。

報告書の人の被ばく評価結果

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			
		海産物摂取量	平均的	多い	平均的	多い	平均的	多い	平均的
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	1.7E-05	6.3E-05	3.4E-05	1.1E-04	9.4E-05	3.1E-04	5.4E-04	2.1E-03	

海浜砂からの被ばく評価に使用する海水濃度を見直した場合

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			
		海産物摂取量	平均的	多い	平均的	多い	平均的	多い	平均的
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	8.0E-06		2.1E-05		5.8E-05		2.2E-04	
	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	2.5E-05	7.1E-05	5.4E-05	1.3E-04	1.5E-04	3.7E-04	7.5E-04	2.3E-03	

※ハッチング箇所が変更点

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項⑨

(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

- 放射線環境影響評価の各係数について、ICRPの文書（Pub.72,124,144等）からの引用箇所、引用した理由等を明示すること。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

引用した係数の場所と理由 (1)

- 放射線影響評価報告書にてICRP文書から引用した係数等の引用元と使用した理由は下表のとおりである。

引用した係数	引用文献	引用箇所	引用した理由
外部被ばくの実効線量換算係数	廃止措置工事環境影響評価ハンドブック	表付4-4-12 海洋系の外部被ばくに関する実効線量換算係数	国内の許認可等の事例を基に被ばく評価モデルを設定し、許認可等で使用実績のある遮へい計算コードにより計算された実効線量換算係数であり、核種が比較的多数揃っていること
船体、漁網への移行係数	六ヶ所事業所再処理事業指定申請書	添付書類七 5.1.3.3.2 液体廃棄物中の放射性物質による外部被ばく	国内の許認可にて使用されていること
砂浜の移行係数	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	3.液体廃棄物中の放射性物質による線量計算	過去の国内の規制機関の報告書に使用されていること
経口摂取による実効線量係数	ICRP Pub.72 "Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients"	ANNEX A. Dose coefficients for ingestion and inhalation of radionuclides and effective dose rates for exposure to inert gases	国際的に認知された文書であること、内部被ばく評価に国内外で広く使用されていることから引用した
海産物の濃縮係数	IAEA Technical Reports Series No.422 "Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment"	3. CONCENTRATION FACTORS FOR BIOLOGICAL MATERIAL	国際的に認知されている文書であること
	UCRL-50564 Rev.1 "CONCENTRATION FACTORS OF CHEMICAL ELEMENTS IN EDIBLE AQUATIC ORGANISMS"	Table.1 Concentration factors in marine plants	TRS No.422には、Rbの濃縮係数が記載されていないこと UCRL-50564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でも海産物の濃縮係数を引用している文献であることから引用した。
海底土の分配係数	IAEA Technical Reports Series No.422 "Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment"	2.3. OCEAN MARGIN Kds (TABLE II)	国際的に認知されている文書であること
代表的個人の生活習慣	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	3.液体廃棄物中の放射性物質による線量計算	福島第一原子力発電所周辺は復興途上であり、生活習慣の調査が困難であることから、過去の国内の規制機関の報告書において、決定グループの生活習慣として使用されたデータを引用した
海産物の摂取量	国民健康・栄養調査	第5表の1 食品群別摂取量－食品群，年齢階級別，平均値，標準偏差，中央値－総数，1歳以上	福島第一原子力発電所周辺は復興途上であり、生活習慣の調査が困難であることから、国の機関が調査した公的データを利用して成人の摂食量データを作成した。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

引用した係数の場所と理由 (2)

- 放射線影響評価報告書にてICRP文書から引用した係数等の引用元と使用した理由は下表のとおりである。

引用した係数	引用文献	引用箇所	引用した理由
動植物の線量換算係数	ICRP Pub.136 "Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation" BiotaDCプログラム	ANNEX B. DOSE COEFFICIENTS FOR NON-HUMAN BIOTA BiotaDCプログラム	ICRPがPub.108で提唱した動植物の被ばく評価手法について、評価に必要な線量換算係数を定めた文書であること。 BiotaDCは、Pub.136内で不足している換算係数を計算できるICRPが運営しているサイト。パラメータをそろえるために利用した。
動植物の濃度比	ICRP Pub.124 "Protection of the Environment under Different Exposure Situations"	4.4. Concentration ratio values for marine Reference Animals and Plants and their applicability	ICRPがPub.108で提唱した動植物の被ばく評価手法について、評価に必要な動植物への移行係数(濃度比)を定めた文書であること。その後、更に新しい文書としてIAEAのTRS-479 "Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer to Wildlife"からの引用について検討中。
	IAEA Technical Reports Series No.422 "Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment"	3. CONCENTRATION FACTORS FOR BIOLOGICAL MATERIAL	ICRP Pub.124に示されていない核種に関して、厳密に言えば異なるものの、同様に動植物への放射性物質の移行に関するパラメータである濃縮係数を引用した。

ALPS処理水審査会合における指摘事項※に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第12回） 資料1-3

指摘事項⑨

（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

- その他の改訂内容について

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

その他の改訂内容 (IAEA TRS-479のパラメータの反映)

TEPCO

- 放射線影響評価報告書では、環境防護に関する評価として、海生動植物の被ばく評価を行っている。
- 海生動植物に対する放射性物質の移行について、ICRPのPub.114※1では、標準動植物（海生動植物は扁平魚、カニ、褐藻の3種）に対する濃度比が示されているが、IAEAのTRS-479※2では新しい知見に基づき、動植物を細分化するとともに、濃度比の最新のパラメータを示している。
- 放射線影響評価報告書の改訂にあたって、TRS-479を引用し、濃度比のパラメータを更新することとした。
- ただし、細分化した動植物について示されている濃度比はごく一部の元素のみに留まっていること、及び被ばく計算に必要な動植物の線量換算係数は示されていないことから、細分化した動植物個別の評価は行わず、標準動植物に対して、TRS-479で更新された濃度比の反映を行うこととした。

※1 ICRP Pub.124 "Protection of the Environment under Different Exposure Situations"

※2 IAEA Technical report series No.479 "Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer to wildlife"

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

その他の改訂内容 (IAEA TRS-479のパラメータの反映)

- 濃度比について、以下の考え方でデータを更新する。
 - ✓ TRS-479にて、細分化された動植物について示された濃度比パラメータを、下表の通り標準動物（魚、カニ、褐藻）にグループ分けし、最大値を求める。
 - ✓ 求めた最大値が放射線影響評価報告書において使用した濃度比よりも大きい場合は見直しを行う。
 - ✓ 新しい濃度比が示されていない、あるいは示されていても放射線影響評価報告書において使用した濃度比よりも小さい場合は、見直しは行わない。

TRS-479の濃度比採用の考え方

標準動植物	TRS-479の分類	濃度比の取扱い
魚	魚：底生餌	放射線影響評価報告書の値を含めて、最大の濃度比を標準扁平魚の濃度比として使用する
	魚：魚食性	
	魚：餌魚	
カニ	大型甲殻類	放射線影響評価報告書の値を含めて、最大の濃度比を標準カニの濃度比として使用する
	小型甲殻類	
	軟体動物：二枚貝	
	軟体動物：頭足類	
	軟体動物：腹足類	
大型藻類	褐藻	放射線影響評価報告書の値と比較し、大きい濃度比を標準褐藻の濃度比として使用する

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

その他の改訂内容 (IAEA TRS-479のパラメータの反映)



- 見直し前後の濃度比の比較は下表のとおり。(ハッチング箇所が変更部)
- TRS-479の濃度比は、対象核種が多く、数字も大きい算術平均を採用した。

	対象核種	濃度比 ((Bq/kg-f.w) / (Bq/L))					
		扁平魚 報告書記載	扁平魚 TRS-479反映	カニ 報告書記載	カニ TRS-479反映	褐藻 報告書記載	褐藻 TRS-479反映
1	H-3	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	3.7E-01	3.7E-01
2	C-14	1.2E+04	1.2E+04	1.0E+04	1.0E+04	8.0E+03	8.0E+03
3	Mn-54	2.5E+02	2.6E+03	2.5E+03	4.5E+04	1.1E+04	1.1E+04
4	Fe-59	3.0E+04	3.0E+04	5.0E+05	5.0E+05	2.0E+04	2.0E+04
5	Co-58	3.3E+02	1.1E+04	4.7E+03	5.5E+03	6.8E+02	1.7E+03
6	Co-60	3.3E+02	1.1E+04	4.7E+03	5.5E+03	6.8E+02	1.7E+03
7	Ni-63	2.7E+02	2.7E+02	9.1E+02	6.4E+03	2.0E+03	2.0E+03
8	Zn-65	2.2E+04	2.5E+04	3.0E+05	3.0E+05	1.3E+04	1.3E+04
9	Rb-86	3.6E+01	3.6E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.2E+01	1.2E+01
10	Sr-89	1.0E+01	4.4E+01	2.4E+00	1.5E+02	4.3E+01	4.3E+01
11	Sr-90	1.0E+01	4.4E+01	2.4E+00	1.5E+02	4.3E+01	4.3E+01
12	Y-90	—	—	—	—	—	—
13	Y-91	2.0E+01	2.0E+01	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+03
14	Nb-95	3.0E+01	3.0E+01	1.0E+02	8.8E+02	8.1E+01	4.9E+02
15	Tc-99	8.0E+01	8.0E+01	1.9E+02	1.8E+04	3.7E+04	5.3E+04
16	Ru-103	1.6E+01	2.9E+01	1.0E+02	1.6E+03	2.9E+02	1.2E+03
17	Ru-106	1.6E+01	2.9E+01	1.0E+02	1.6E+03	2.9E+02	1.2E+03
18	Rh-103m	—	—	—	—	—	—
19	Rh-106	—	—	—	—	—	—
20	Ag-110m	8.1E+03	1.1E+04	2.0E+05	2.0E+05	1.9E+03	3.9E+03
21	Cd-113m	1.3E+04	2.9E+04	1.2E+04	1.3E+05	1.6E+03	1.6E+03
22	Cd-115m	1.3E+04	2.9E+04	1.2E+04	1.3E+05	1.6E+03	1.6E+03
23	Sn-119m	5.0E+05	5.0E+05	5.0E+05	5.0E+05	2.0E+05	2.0E+05
24	Sn-123	5.0E+05	5.0E+05	5.0E+05	5.0E+05	2.0E+05	2.0E+05
25	Sn-126	5.0E+05	5.0E+05	5.0E+05	5.0E+05	2.0E+05	2.0E+05
26	Sb-124	6.0E+02	6.0E+02	3.0E+02	4.7E+02	1.5E+03	1.5E+03
27	Sb-125	6.0E+02	6.0E+02	3.0E+02	4.7E+02	1.5E+03	1.5E+03
28	Te-123m	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+04	1.0E+04
29	Te-125m	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+04	1.0E+04
30	Te-127	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+04	1.0E+04
31	Te-127m	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+04	1.0E+04
32	Te-129	—	—	—	—	—	—

	対象核種	濃度比 ((Bq/kg-f.w) / (Bq/L))					
		扁平魚 報告書記載	扁平魚 TRS-479反映	カニ 報告書記載	カニ TRS-479反映	褐藻 報告書記載	褐藻 TRS-479反映
33	Te-129m	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+04	1.0E+04
34	I-129	9.0E+00	9.0E+00	3.0E+00	8.8E+03	1.4E+03	4.2E+03
35	Cs-134	3.6E+01	1.2E+02	1.4E+01	6.3E+01	1.2E+01	9.6E+01
36	Cs-135	3.6E+01	1.2E+02	1.4E+01	6.3E+01	1.2E+01	9.6E+01
37	Cs-136	3.6E+01	1.2E+02	1.4E+01	6.3E+01	1.2E+01	9.6E+01
38	Cs-137	3.6E+01	1.2E+02	1.4E+01	6.3E+01	1.2E+01	9.6E+01
39	Ba-137m	—	—	—	—	—	—
40	Ba-140	9.6E+00	9.6E+00	8.0E+02	8.0E+02	1.6E+03	1.6E+03
41	Ce-141	2.1E+02	3.9E+02	1.0E+02	2.2E+03	9.5E+02	2.1E+03
42	Ce-144	2.1E+02	3.9E+02	1.0E+02	2.2E+03	9.5E+02	2.1E+03
43	Pr-144	—	—	—	—	—	—
44	Pr-144m	—	—	—	—	—	—
45	Pm-146	7.3E+02	7.3E+02	2.4E+04	2.4E+04	5.9E+03	5.9E+03
46	Pm-147	7.3E+02	7.3E+02	2.4E+04	2.4E+04	5.9E+03	5.9E+03
47	Pm-148	7.3E+02	7.3E+02	2.4E+04	2.4E+04	5.9E+03	5.9E+03
48	Pm-148m	7.3E+02	7.3E+02	2.4E+04	2.4E+04	5.9E+03	5.9E+03
49	Sm-151	7.3E+02	7.3E+02	2.4E+04	2.4E+04	5.9E+03	5.9E+03
50	Eu-152	7.3E+02	7.3E+02	2.4E+04	2.4E+04	1.1E+03	1.4E+03
51	Eu-154	7.3E+02	7.3E+02	2.4E+04	2.4E+04	1.1E+03	1.4E+03
52	Eu-155	7.3E+02	7.3E+02	2.4E+04	2.4E+04	1.1E+03	1.4E+03
53	Gd-153	7.3E+02	7.3E+02	2.4E+04	2.4E+04	5.9E+03	5.9E+03
54	Tb-160	6.0E+01	6.0E+01	4.0E+03	4.0E+03	2.0E+03	2.0E+03
55	Pu-238	2.1E+01	2.5E+03	3.8E+01	1.7E+03	2.4E+03	4.1E+03
56	Pu-239	2.1E+01	2.5E+03	3.8E+01	1.7E+03	2.4E+03	4.1E+03
57	Pu-240	2.1E+01	2.5E+03	3.8E+01	1.7E+03	2.4E+03	4.1E+03
58	Pu-241	2.1E+01	2.5E+03	3.8E+01	1.7E+03	2.4E+03	4.1E+03
59	Am-241	1.9E+02	3.2E+02	5.0E+02	9.9E+03	7.7E+01	4.3E+02
60	Am-242m	1.9E+02	3.2E+02	5.0E+02	9.9E+03	7.7E+01	4.3E+02
61	Am-243	1.9E+02	3.2E+02	5.0E+02	9.9E+03	7.7E+01	4.3E+02
62	Cm-242	1.9E+02	1.9E+02	5.0E+02	3.2E+04	8.4E+03	1.2E+04
63	Cm-243	1.9E+02	1.9E+02	5.0E+02	3.2E+04	8.4E+03	1.2E+04
64	Cm-244	1.9E+02	1.9E+02	5.0E+02	3.2E+04	8.4E+03	1.2E+04

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

その他の改訂内容 (IAEA TRS-479のパラメータの反映)

- IAEA TRS-479を考慮した濃度比の見直しを行っても、動植物の被ばく評価の合計値に変化はなかった。
- 濃度比の見直しにより内部被ばくが増加するものの、標準動植物として選定した扁平魚、カニ、海藻のいずれも、海底堆積物からの外部被ばくが被ばくの大部分を占めているためである。

濃度比の見直し後の被ばく評価結果

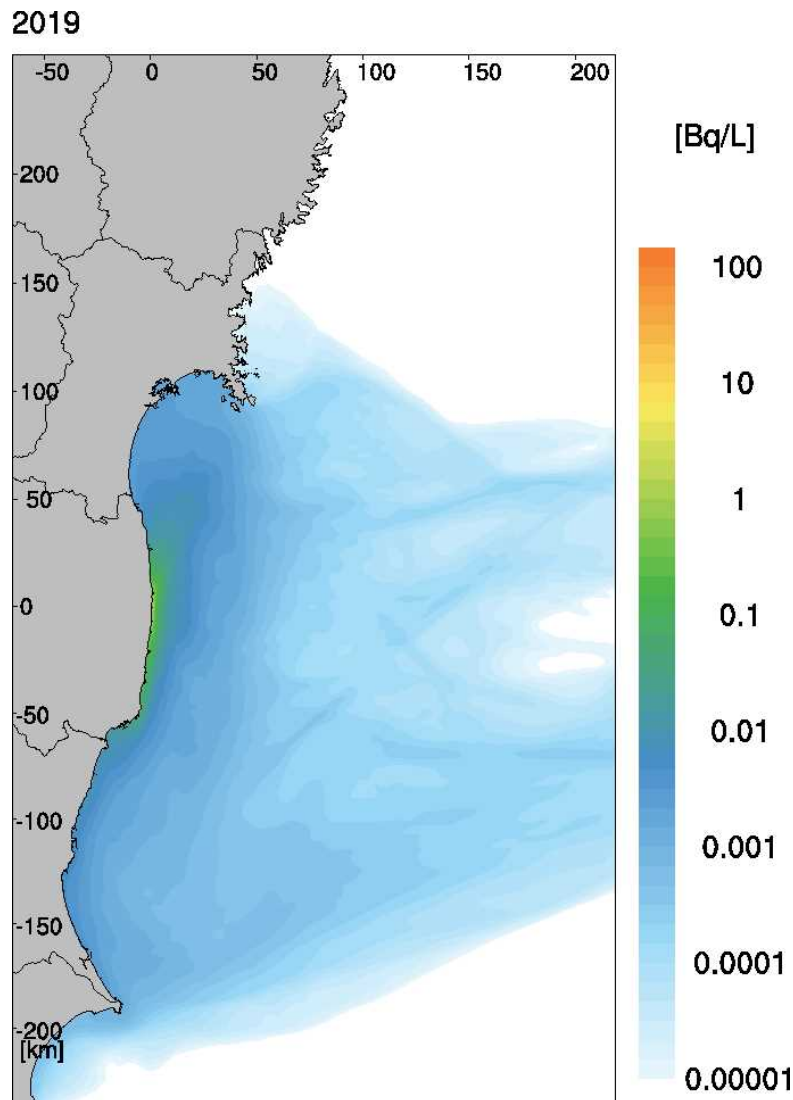
評価	ケース	(1) 実測値によるソースターム									(2) 仮想したALPS処理水によるソースターム		
		i. K4タンク群			ii. J1-Cタンク群			iii. J1-Gタンク群			内部被ばく	外部被ばく	合計
		内部被ばく	外部被ばく	合計	内部被ばく	外部被ばく	合計	内部被ばく	外部被ばく	合計			
被ばく (mGy/日)	扁平魚	1.5E-06	1.6E-05	1.7E-05	3.8E-06	1.8E-05	2.2E-05	1.1E-05	4.5E-05	5.6E-05	3.2E-06	7.8E-03	7.8E-03
	カニ	1.8E-06	1.6E-05	1.7E-05	4.1E-06	1.8E-05	2.2E-05	1.1E-05	4.4E-05	5.5E-05	4.6E-05	7.5E-03	7.5E-03
	褐藻	5.7E-07	1.9E-05	1.9E-05	1.4E-06	2.2E-05	2.3E-05	3.9E-06	5.5E-05	5.9E-05	6.7E-06	8.4E-03	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													

放射線影響評価報告書の被ばく評価結果

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			内部被ばく	外部被ばく	合計
		内部被ばく	外部被ばく	合計	内部被ばく	外部被ばく	合計	内部被ばく	外部被ばく	合計			
被ばく (mGy/日)	扁平魚	1.5E-06	1.6E-05	1.7E-05	3.8E-06	1.8E-05	2.2E-05	1.1E-05	4.5E-05	5.6E-05	2.5E-06	7.8E-03	7.8E-03
	カニ	1.6E-06	1.6E-05	1.7E-05	3.8E-06	1.8E-05	2.2E-05	1.1E-05	4.4E-05	5.5E-05	9.8E-06	7.5E-03	7.5E-03
	褐藻	5.5E-07	1.9E-05	1.9E-05	1.4E-06	2.2E-05	2.3E-05	3.9E-06	5.5E-05	5.9E-05	3.8E-06	8.4E-03	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													

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

その他の改訂内容（拡散シミュレーションモデルの外側への影響について）



- 2019年の気象海象データで計算した全領域の年間平均濃度について、 $1\text{E}-05\text{Bq/L}$ まで図示した結果を左図に示す。
- 計算範囲の境界における年間平均濃度の最大値は、領域の東側境界部で $1.6\text{E}-04\text{ Bq/L}$ であった。
- また、日平均濃度の年間最大値は、同様に領域の東側境界部で $1.0\text{E}-2\text{Bq/L}$ であった。
- シミュレーションの計算領域境界における濃度は、日本周辺海域における海水中トリチウム濃度（約 $1.0\text{E}-01\text{Bq/L}$ ）※と比較して十分低い。
- また、発電所周辺 $10\text{km}\times 10\text{km}$ の評価結果から考えても、計算領域から外側において、放射線影響を評価する必要は無いものとする。

※ 令和2年度原子力施設等防災対策等委託費（海洋環境における放射能調査及び総合評価）事業調査報告書（2021年3月、公益財団法人海洋生物環境研究所）

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

その他の改訂内容（線量拘束値について）

- 国内の原子力発電所には、線量拘束値は設定されていないことから、放射線影響評価報告書においては、通常運転時の発電用軽水型原子炉の線量目標値0.05mSvとの比較を行った。
- 2022年2月16日、原子力規制委員会より、“放射線影響評価の確認における考え方及び評価の目安”として、「代表的個人について、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に比べ十分に小さいものであること、すなわち50 μ Sv/年を下回ることを確認する。50 μ Sv/年は、通常運転時の発電用軽水型原子炉に適用される線量目標値であり、IAEA安全基準における線量拘束値に相当する。」との見解が示された
- 本報告書においても、線量目標値0.05mSv/年を線量拘束値として改訂を行う。
- なお、本来、放射線影響評価はこの線量拘束値に相当する年間放出量を上限として評価するものであるが、ALPS処理水の処分については、日本政府の基本方針として、事故前の福島第一原子力発電所の放出管理値22兆Bq/年を下回る水準とすべく、本報告書による評価に先立ち定められたことから、改訂においても見直しはしない。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

その他の改訂内容（線量預託）定義等

- ALPS処理水の放出による一般公衆の被ばく評価は、放出期間中最大の放出が継続した場合を想定し、放射性物質の移行や濃縮などが平衡状態に達したものととして代表的個人の被ばく評価を行っている。
- この結果は、一般公衆の線量限度1mSv/年はもとより、線量目標値（線量拘束値）0.05mSv/年と比べても小さいが、ALPS処理水の放出は、30年～40年間継続して行われる。
- 長期的な被ばく影響について評価を行う際のツールとして、線量預託がある。

- 線量預託 $E(\tau)$ は、次式で表される。

$$E(\tau) = \int_0^{\tau} E(t) dt$$

- ここで、
 - ✓ $E(t)$ は、代表的個人がALPS処理水の放出開始後 t 年目に被ばくする年間の実効線量
 - ✓ τ は放出の継続期間（年）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

その他の改訂内容（線量預託）考え方

- ある行為が数年にわたって被ばくを引き起こすような場合は、2年目、3年目と行為が続くと前年の行為による被ばくが加算されていくことから、平衡状態となるまで年々被ばくが増加していく。
- しかしながら、今回のALPS処理水の放出における被ばく評価は、最も影響が大きくなる「仮想したALPS処理水」をソースタームに設定し、海浜の砂や海底土、魚介類等に放射性物質が平衡状態となったものとして評価していることから、放出期間中の代表的個人の被ばく量は30年間変わらない。
- 放出の終了後は、平衡状態となっている海浜の砂や魚介類等の放射性物質は、減少していく。
- 従って、将来に渡って代表的個人の年間の被ばく量が放射線影響評価報告書の被ばく評価結果に大きな影響を与えることはないと考えます。
- 念のため、線量預託の評価について、必要性を含めて今後確認する。

2-2 (3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価

その他の改訂内容（線量預託） 【参考】 建屋内トリチウム総量最大と仮定した場合の放出量の見通し **TEPCO**

- 2023年度:11兆^{Bq}/年（少量から慎重に放出=2024年度以降の半分と設定）
- 2024~2029年度:22兆^{Bq}/年
- 2030~2032年度:18兆^{Bq}/年
- 2033年度以降:16兆^{Bq}/年

年間のトリチウム放出量、処理水の平均流量とともに、初期のピークを上回ることが無い。

