

多核種除去設備等処理水の取扱いに関する 海洋放出設備の検討状況について

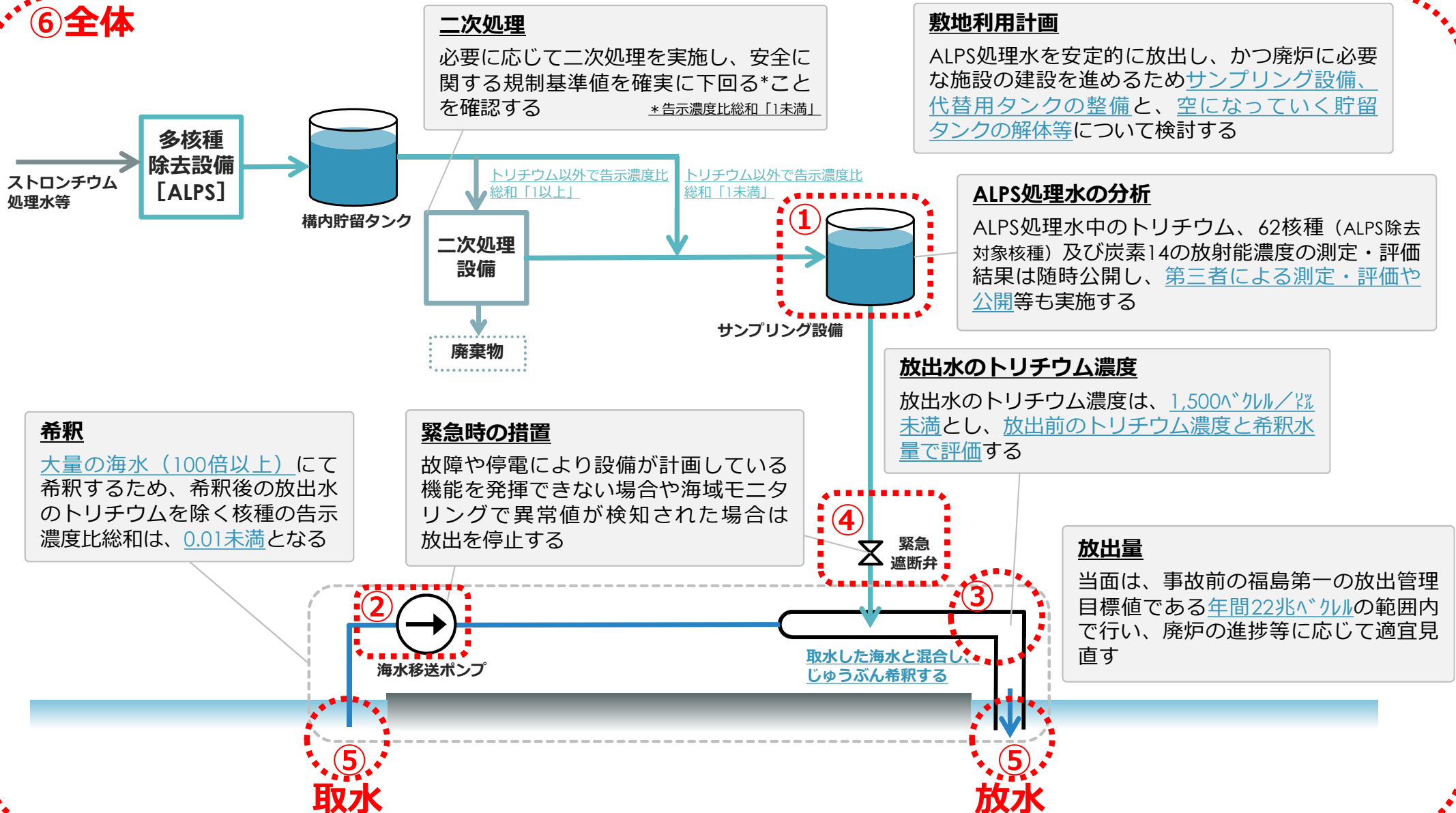
2021年7月28日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

[海洋放出設備の概念図]

⑥全体



<p>論点① (測定・評価)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 希釈放出前にトリチウム、62核種（ALPS除去対象核種）、炭素14の放射能濃度を厳格に測定・評価する際の試料の採取方法および当該採取方法に必要な設備および運用方法 ● 厳格な放射能濃度の測定・評価に必要なタンクの確保 ● 放射能濃度の測定・評価における品質保証
<p>論点② (希釈設備仕様)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 希釈用の海水移送ポンプの仕様（容量、揚程等）および海水流量の測定方法
<p>論点③ (希釈評価)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● トリチウム濃度の測定には半日から1日を要するため、ガンマ核種のように連続測定による異常の検知ができない。このため、放出水のトリチウム濃度が1,500^{Bq}/ℓ未満であることを、放出前のトリチウム濃度と希釈水量で評価することの妥当性（ただし、放出端での定期的なトリチウム濃度の測定は実施する）
<p>論点④ (異常時の措置)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 放出水のトリチウム濃度が1,500^{Bq}/ℓ未満であることが確認できない場合、放出を緊急停止する際のインターロック ● 緊急遮断弁の多重性、設置場所 ● ALPS処理水は、希釈放出前に放射能濃度を測定・評価し、告示濃度比総和1未満（トリチウムを除く）を確認しているが、万一粒子状の放射性物質が流出することに備えて、放射線モニタ（ガンマ線）とこれによる緊急停止インターロック
<p>論点⑤ (取放水)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 取水と放水の方法（特に、取放水時の港湾内海底付近の放射性物質の巻き上がり防止と、放水時の拡散促進）
<p>論点⑥ (全体)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 必要な設備の設計、建設および運用を実施するための体制 ● 設備全体の安定的な運用に対する備え（予備品の確保、自然災害対策等）

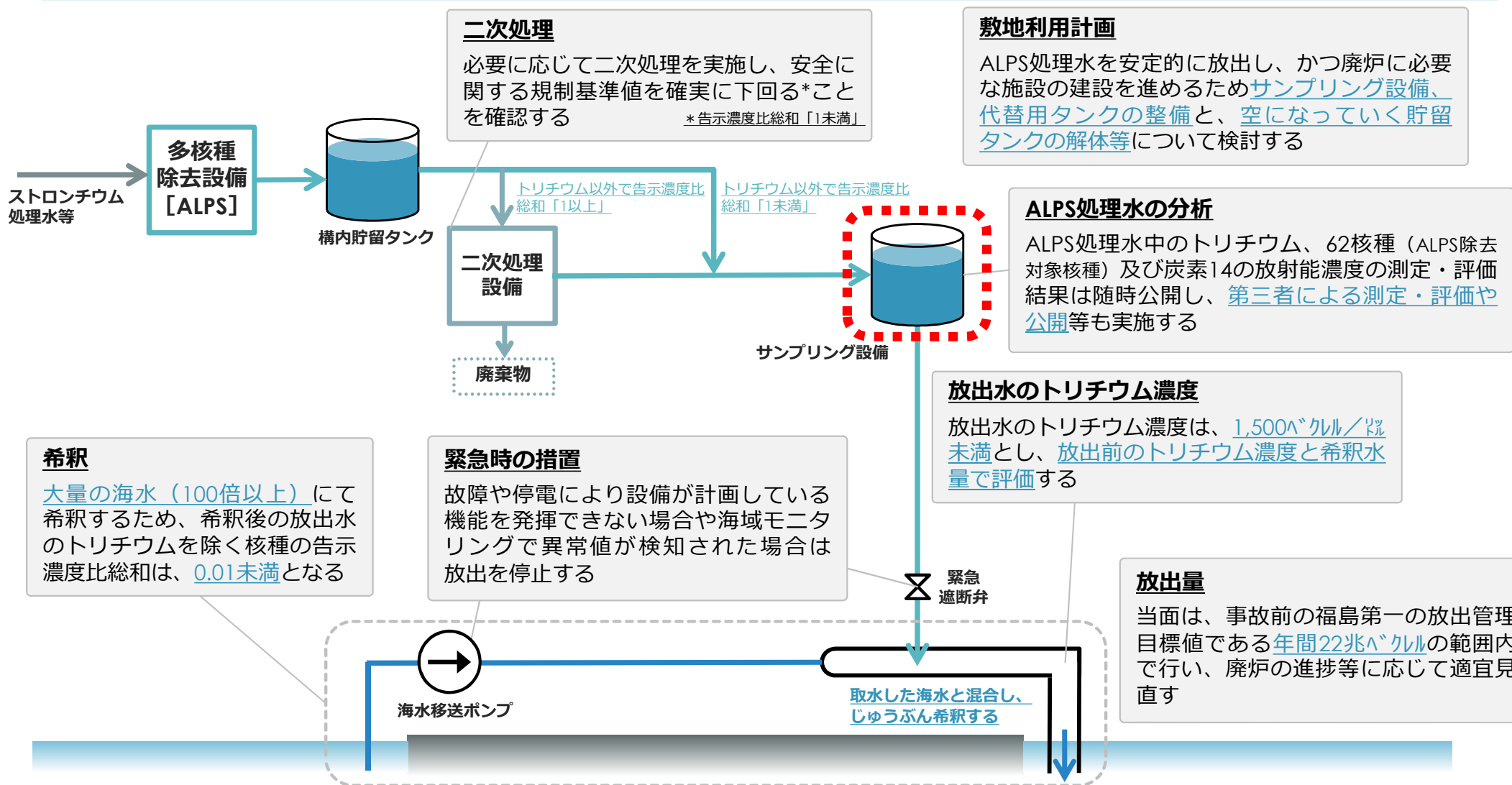
論点①

- 希釈放出前にトリチウム、62核種（ALPS除去対象核種）、炭素14の放射能濃度を厳格に測定・評価する際の試料の採取方法および当該採取方法に必要な設備および運用方法
- 厳格な放射能濃度の測定・評価に必要なタンクの確保

1. 必要な設備の設計及び運用

海洋放出に必要な設備の設計及び運用は、原子炉等規制法等の法令を遵守することを大前提に、関係するみなさまのご意見を伺いながら、原子力規制委員会による必要な許認可の取得など諸準備を進めていきます。

今回、放射能濃度の測定・評価に必要な設備の設計及び運用について報告します。



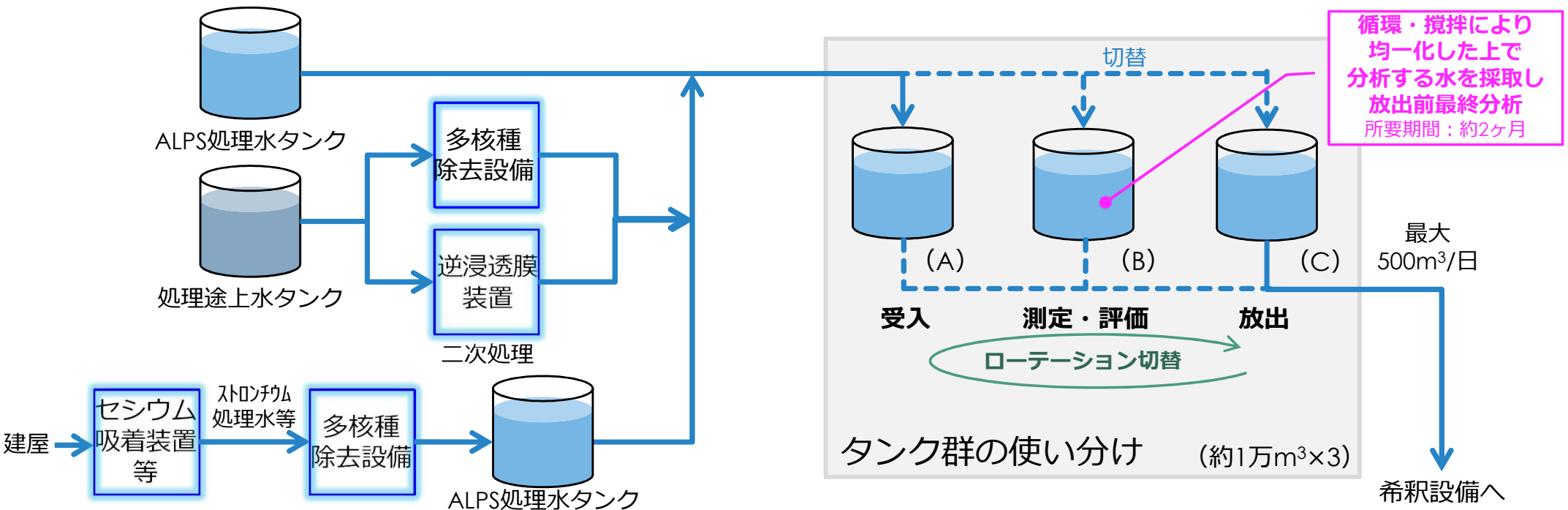
2. 設計の考え方

1. ALPS処理水の海洋放出にあたっての重要なポイントは、トリチウム、62核種（ALPS除去対象核種）及び炭素14の放射能濃度を希釈放出前にきちんと測定・評価し、62核種（ALPS除去対象核種）及び炭素14の告示濃度比総和が1未満であることを確認することです（第三者による確認を含む）。
2. このとき、以下の2つの条件を考慮する必要があります。
 - 放射能濃度の測定・評価には、時間を要する核種があること
 - 廃炉を進めるためには、ALPS処理水等の保管容量を計画的に減少させていくこと
3. これらを両立させるため、「受入」「測定・評価」「放出」の3つの役割をもった測定・評価用のサンプルタンク群を約1万 m^3 ずつ（計約3万 m^3 ）用意することにしました。

3. 容量の考え方 (1/2)

希釈放出前に、ALPS処理水中のトリチウム、62核種（ALPS除去対象核種）及び炭素14の放射能濃度を測定・評価し、その結果を毎回公表していくことはもちろんのこと、第三者による確認を得ます。

62核種の中には測定・評価に時間を要する核種があり、二次処理性能確認試験では**測定・評価に約2ヶ月**（短縮検討中）要したことから、日々発生する水の**約1万m³分**（=150m³/日×2か月）を確保します。また、測定・評価を円滑に実施するために、**「受入」「測定・評価」「放出」の3つの役割**をもったタンク群を確保し、**約1万m³×3群の計約3万m³分をローテーションしながら運用すること**とします。なお、**放出前最終分析は、タンク群ごとに内部の水を循環・攪拌により均一化した上で、分析する水を採取します**。このため、これらの用途のタンク群には、ALPS処理水等の保管用タンクと異なり、循環用と攪拌用のポンプ、弁、試料採取用配管、電源、制御装置等を追設するなどの改造を行います。



3. 容量の考え方 (2/2)

容量については、前ページで述べたように「**受入**」「**測定・評価**」「**放出**」の3つの役割をもったタンク群を確保し、**約1万m³×3群の計約3万m³分をローテーションしながら運用する(1周するのに6か月間)**こととします。これは、ALPS処理水等の保管量がこれ以上増加しないよう、日々発生する水が150m³/日×2か月であることを前提にしています。

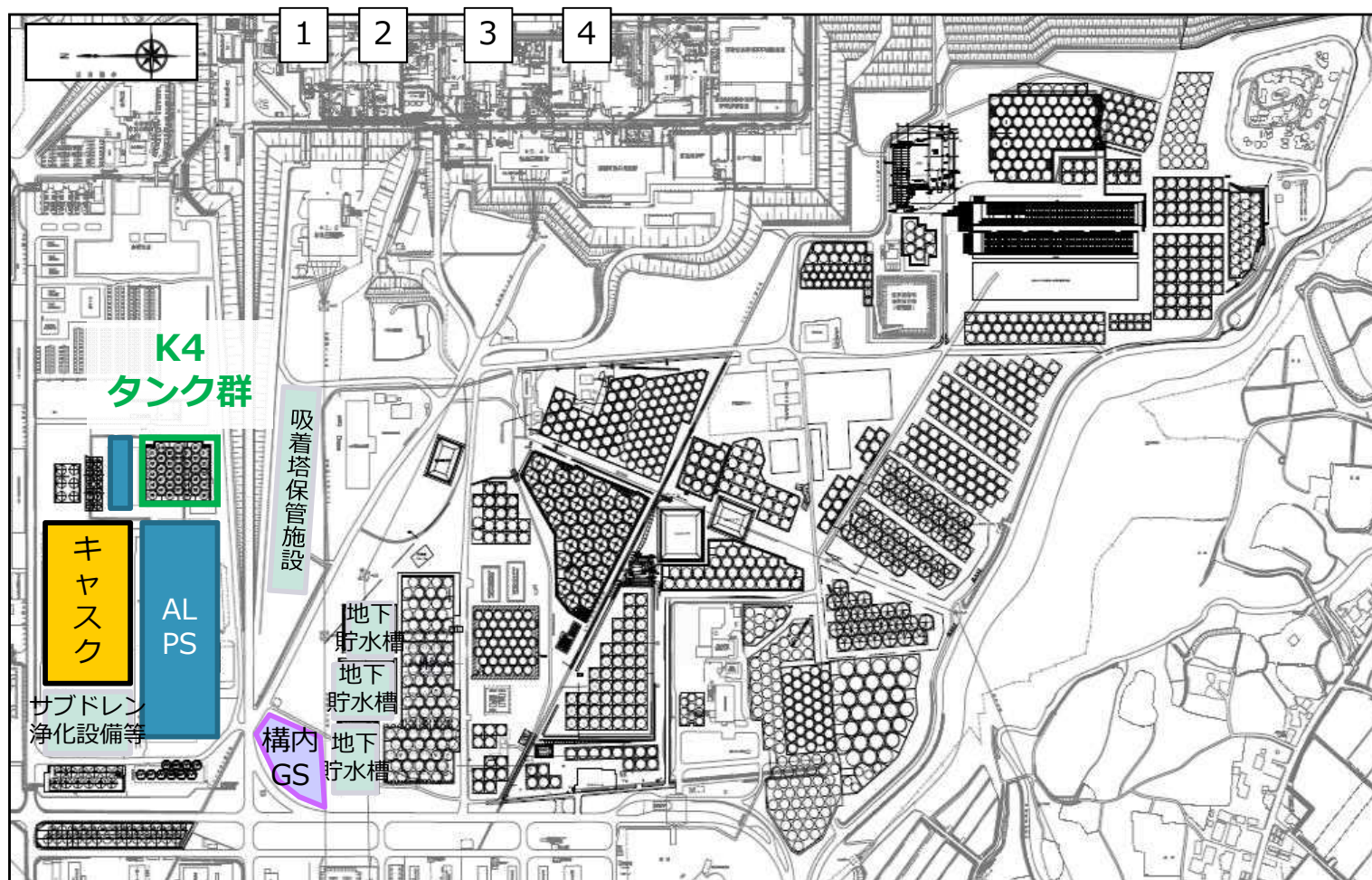
- 汚染水の発生量を2025年内に100m³/日以下まで低減させていくこと
 - 62核種の測定・評価時間の短縮を検討し、ローテーション上の工程を短くすること
- についても継続的に取り組み、既に貯留されているALPS処理水等を減少させたいと考えています。

さらに、海洋放出に必要な設備等の定期点検や故障等に対する備えとして稼働率を考慮する必要があること、既に貯留されているALPS処理水等を計画的に減少させること等を踏まえ、運用する幅を広げておく必要があると考えており、以下についても検討してまいります。

- タンク間の配管の引き回しの改造が必要だったり、ALPS処理水等の移送手順の複雑化になったりするが、二次処理の受入、放出だけならそれぞれ1か月程度で実施できることから、4か月周期のローテーション運用とすること
- 詳細なシミュレーションが必要であるものの、ALPS処理水のうち、トリチウム濃度の低いものから放出することにより、既に貯留されているALPS処理水等の減少幅を大きくすること

4. 配置の考え方

希釈設備へのALPS処理水の移送や、万一トリチウムを除く告示濃度比総和が1以上が確認された場合に再浄化のためのALPSへの返送を考慮して、この用途の**タンク群はALPSの近傍**に設置することが必要です。しかしながら、ALPS近傍に約3万m³のタンクを建設する余地が無い場合、周辺のタンク群のうち、既にトリチウム、62核種（ALPS除去対象核種）及び炭素14の計64核種を測定・評価し、トリチウムを除く告示濃度比総和が1未満であることを確認している**K4タンク群**をこれにあてることを検討しています。



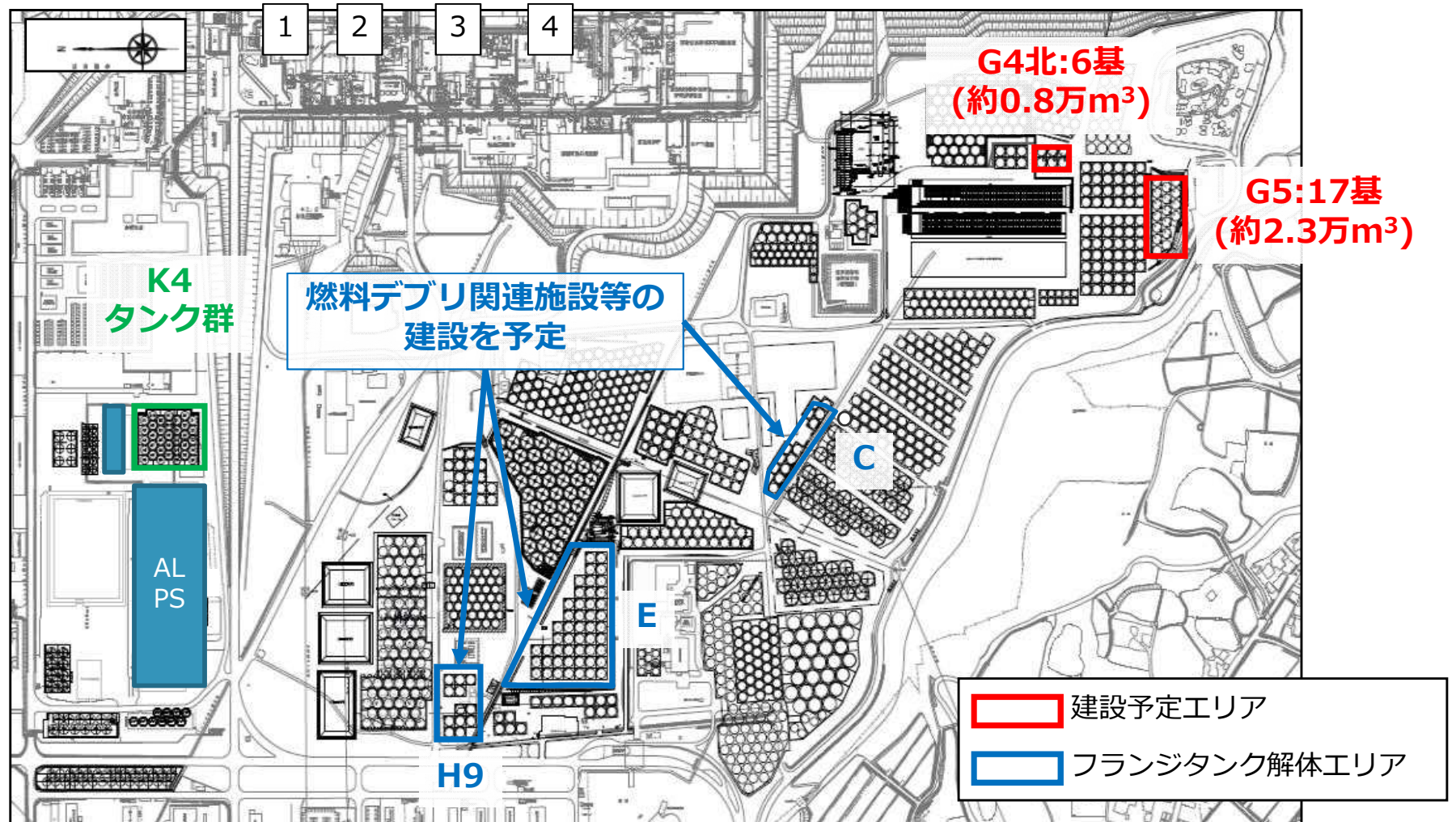
5. K4タンク群の用途の変更 (1/2)

1. ALPS処理水について、厳格な放射能濃度の測定・評価を実施し、かつ海洋放出を安定して実施するためのタンクを用意し、これにK4タンク群をあてることを検討していることについては、前述のとおりです。
2. したがって、K4タンク群（約3万m³）の用途を、ALPS処理水等の長期保管を目的としたものから、厳格に放射能濃度を測定・評価するために必要な放出設備という目的にすることに変更します。このため、今後K4タンク群を放出設備の一つとして、ALPS処理水等の保管用タンクと異なり、循環用と攪拌用のポンプ、弁、試料採取用配管、電源、制御装置等を追設するなどの改造を実施していくこととなりますので（改造工事の内容、工程等については検討中）、K4タンク群の水抜きを行う際の受け入れ先として、同容量のタンクが一時的に必要となる状況です。
3. K4タンク群の用途変更に伴い、ALPS処理水等及びストロンチウム処理水の保管のための計画容量（約137万m³）からK4タンク群（約3万m³）分が減少することになるため、同容量のタンクはK4タンク群を相殺する位置付けとなり、海洋放出開始後も一定期間貯留用タンクとして活用します。

5. K4タンク群の用途の変更 (2/2)

4. 同容量のタンクを建設する場所については、フランジタンク解体跡地が候補となります。
5. K4タンク群を厳格な放射能濃度を測定・評価を行うためのタンクとして運用することの重要性を踏まえ、G4北及びG5エリアについては、資機材や事故対応設備等の保管場所として計画し、順次活用していくことを断念し、K4タンク群の代替場所として、タンク建設にあてることにしました（**スライド11**）。なお、溶接型タンクの解体が進むまでの間、資機材は道路等に仮置きし、事故対応設備等は現状に残置します。

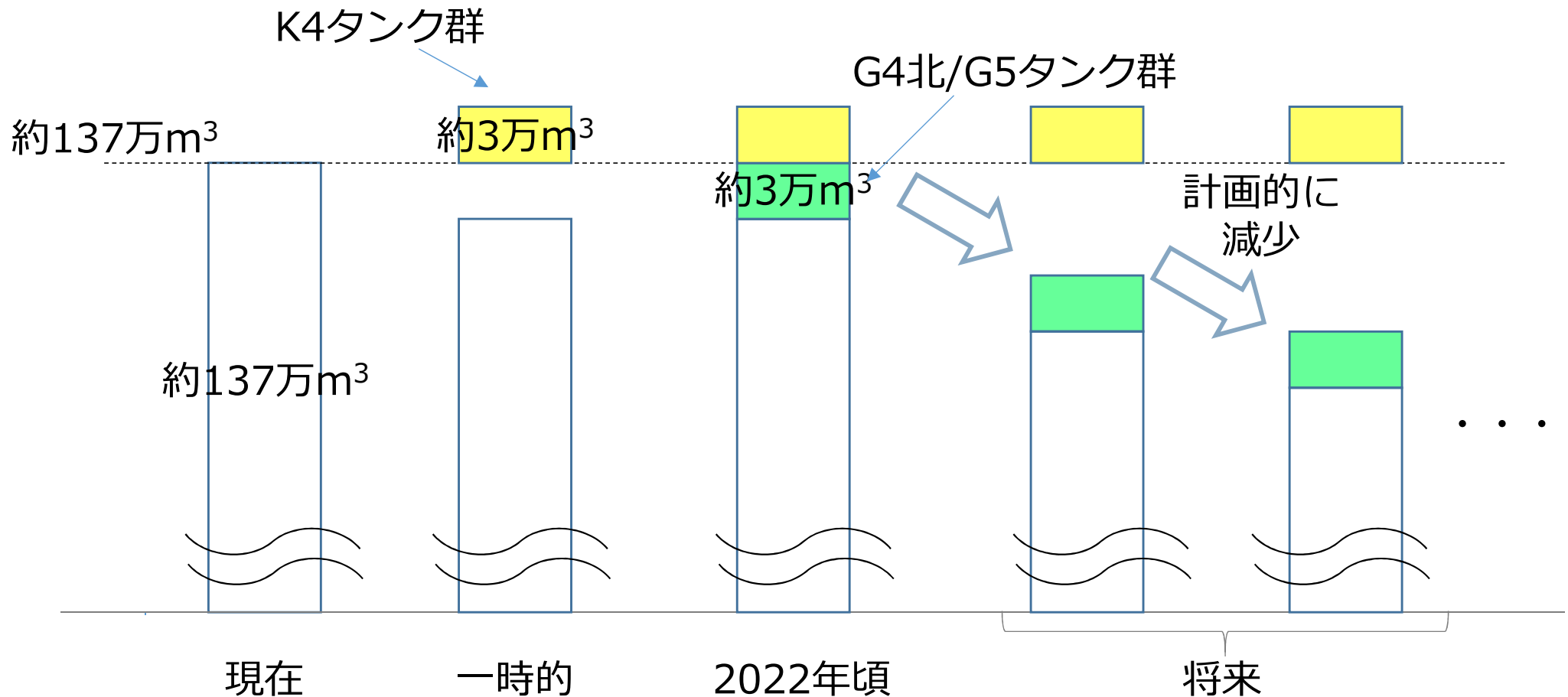
6. K4タンク群の代替場所



7. タンクエリアの敷地利用見通し

タンクエリアは、将来的に廃炉に必要な施設を建設する計画であり、施設の着工の大半は2020年代後半となっています。**廃炉作業に支障を与えないよう**、海洋放出によりALPS処理水を計画的に処分し、**施設の着工までにタンクを解体**していく必要があります。

フランジタンク解体跡地にK4タンク群に相当する約3万m³のタンクを建設した場合でも、2020年代前半には建設したタンクと同容量のタンク解体が必要となります。



【参考】敷地利用について

- ◇福島第一原子力発電所構内において、現行計画以上のタンク増設の余地は限定的。
- ◇ALPS処理水よりもリスクの高い使用済燃料の取り出しやデブリの取り出しといった廃炉作業を進めていくためには、以下のような施設の建設が必要。
 - ・ 取り出した使用済燃料の保管施設
 - ・ 燃料デブリの取り出しに必要なメンテナンス施設
 - ・ 今後発生する廃棄物を保管するために必要な施設
 - ・ 廃棄物リサイクル施設
 - ・ 取り出した燃料デブリの保管施設
 - ・ 燃料デブリ取り出しのための訓練施設
 - ・ 様々な試料の分析施設
 - ・ 燃料デブリ・放射性廃棄物関連の研究施設
 - ・ 作業員が安全に作業に取り組むために必要な施設 など
- ◇安全かつ着実な廃炉作業に向けて敷地内の土地を確保するためには、ALPS処理水を処分し、タンクの解体を進めていくことが必要。

2021年度頃

- 事故対応設備の保管
- 水処理二次廃棄物関連資材置場
- サブドレン集水設備

2022年度頃

- 取り出し装置メンテナンス設備
- 試験的取り出し装置等保管
- 乾式キャスク仮保管施設 (1~6号SFP用)

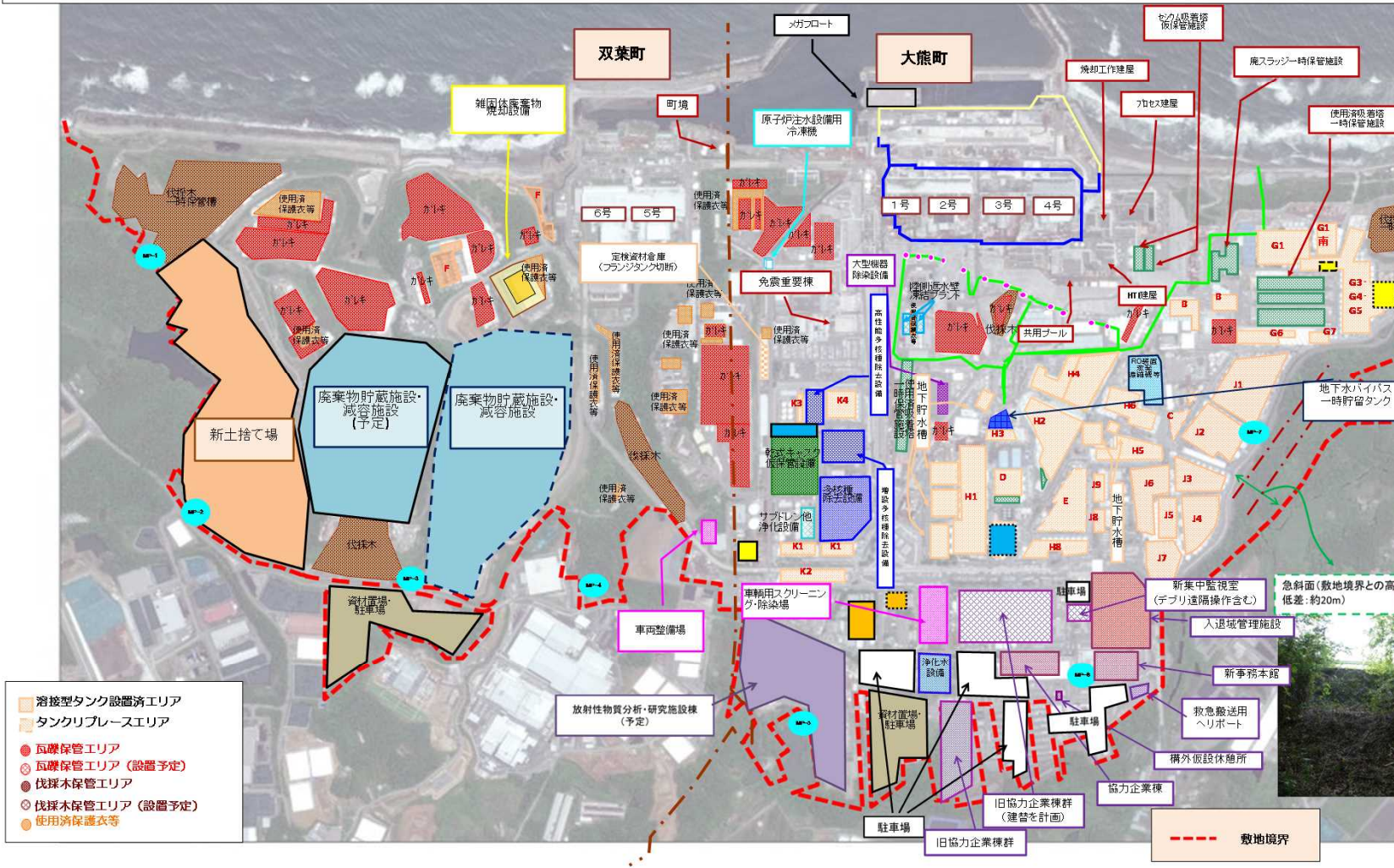
2023年度頃

- バイオアッセイ施設

2024年度以降

- 総合分析施設
- 廃棄物リサイクル施設
- 燃料デブリ第一保管施設
- SFP内高経量機器等の保管設備
- 燃料デブリ第二保管施設
- 取り出し装置メンテナンス設備
- 燃料デブリ取り出し訓練施設等
- 燃料デブリ・廃棄物移送システム
- 保管施設用収納年等
- 燃料デブリ第三保管施設
- 乾式キャスク仮保管施設 (共用プール用)
- 高経量用減容設備
- 高経量用固体庫
- 燃料デブリ保管施設 (第四以降)

※この他、廃炉に伴い2030年代以降に必要な施設
 注1: 着工が必要と想定される時期を示したものの、タンクの解体に1~2年の期間が必要となる。
 注2: 工事時の作業用ヤードを考慮すると、最大で2倍程度の敷地が一時的に必要となる。
 注3: 施設の面積は現時点での想定であり、今後の検討の進捗、新知見等により変わらうものである。

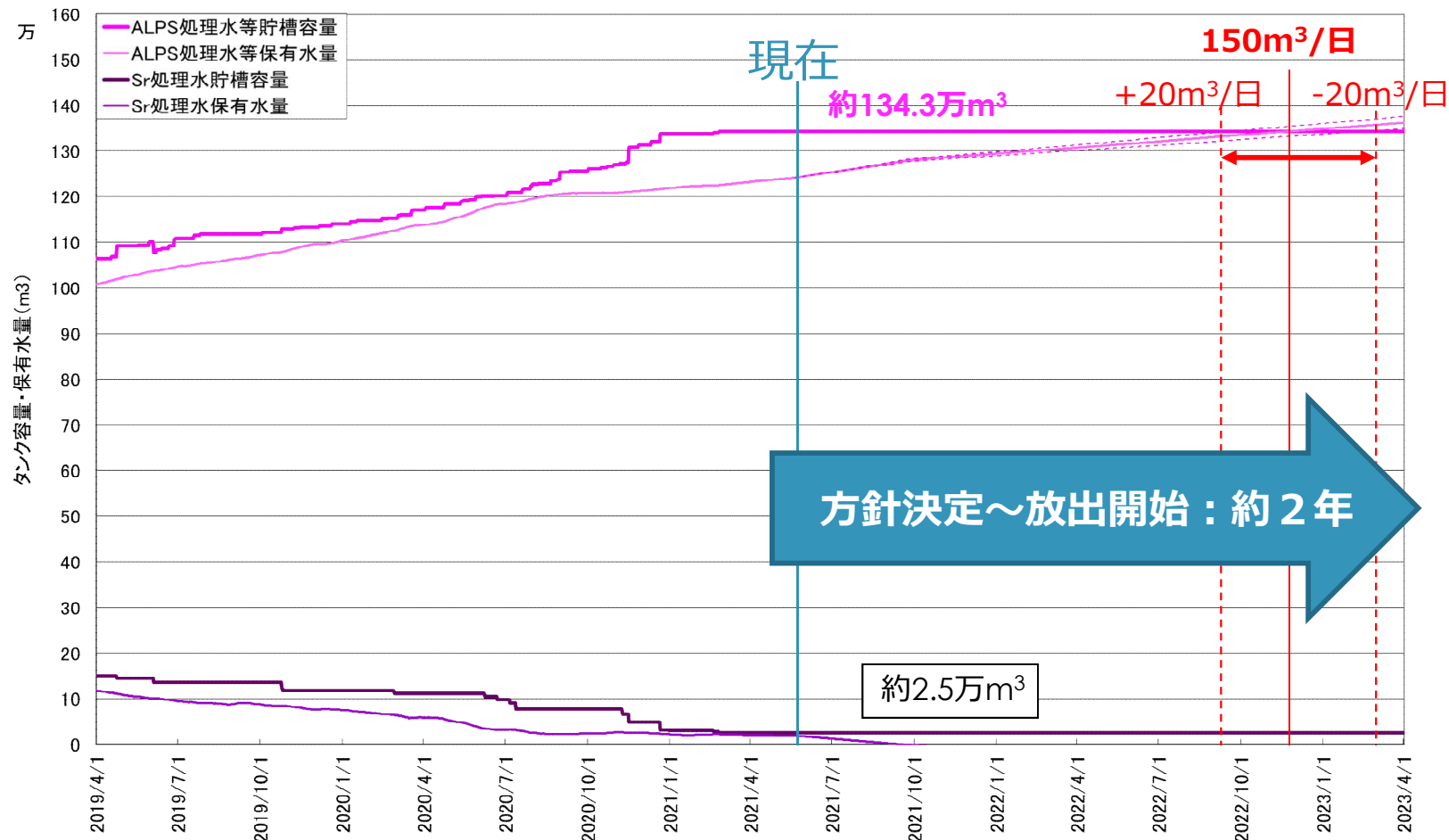


【補足事項】
 ○本配置図は、現在の敷地の利用状況と現段階の利用計画に基づき作成。
 ○また、将来の廃炉作業の進捗に応じて、施設の設置・廃止が必要となることから、適宜計画の見直しを実施。

【参考】ALPS処理水等の保管状況

2021年5月20日時点のALPS処理水等及びストロンチウム処理水の保管実績（約126万 m^3 ）から、汚染水発生量150 m^3 /日の場合、**2022年11月頃に約134万 m^3 に到達します。**
 今回K4タンク群の用途を変更し、その代替タンクを2022年11月頃に供用開始させることで、計画容量である約137万 m^3 の範囲内で、ALPS処理水等の保管を継続することが可能です。

タンク総容量と保有水予想の比較



【参考】 G4北、 G5エリアのタンク建設工程

2022年11月頃に確実にALPS処理水等を受け入れられるよう、G4北、G5エリアは2022年10月末までに完成を目指します。

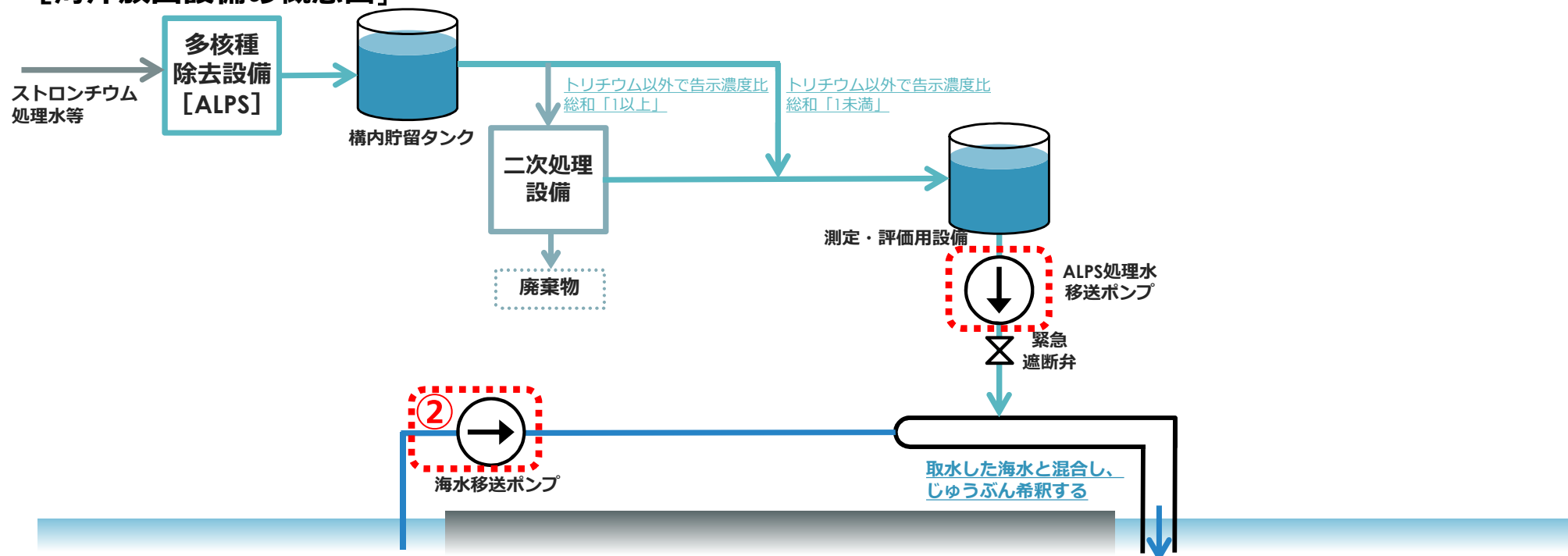
スケジュール（計画）

エリア名 (容量)	2021年度												2022年度													
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
G4北 (約0.8万 m ³)			工場 製作																							
				タンク建設								堰														
				付帯設備工事（水位計盤製作・設置等）（工程短縮検討中）																						
																		検査	使用承認			使用開始				
																						↓				
G5 (約2.3万 m ³)			工場 製作																							
				タンク建設								堰														
				付帯設備工事（水位計盤製作・設置等）（工程短縮検討中）																						
																		検査	使用承認			使用開始				
																						↓				

論点② 希釈設備仕様

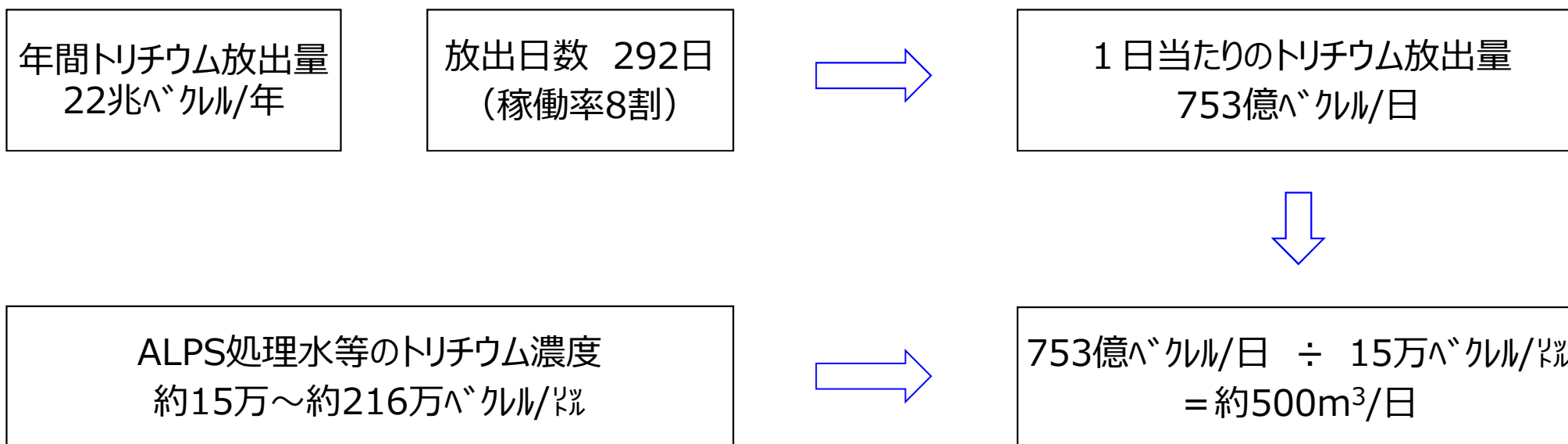
- 希釈用の海水移送ポンプの仕様（容量等）
および海水流量の測定方法

[海洋放出設備の概念図]



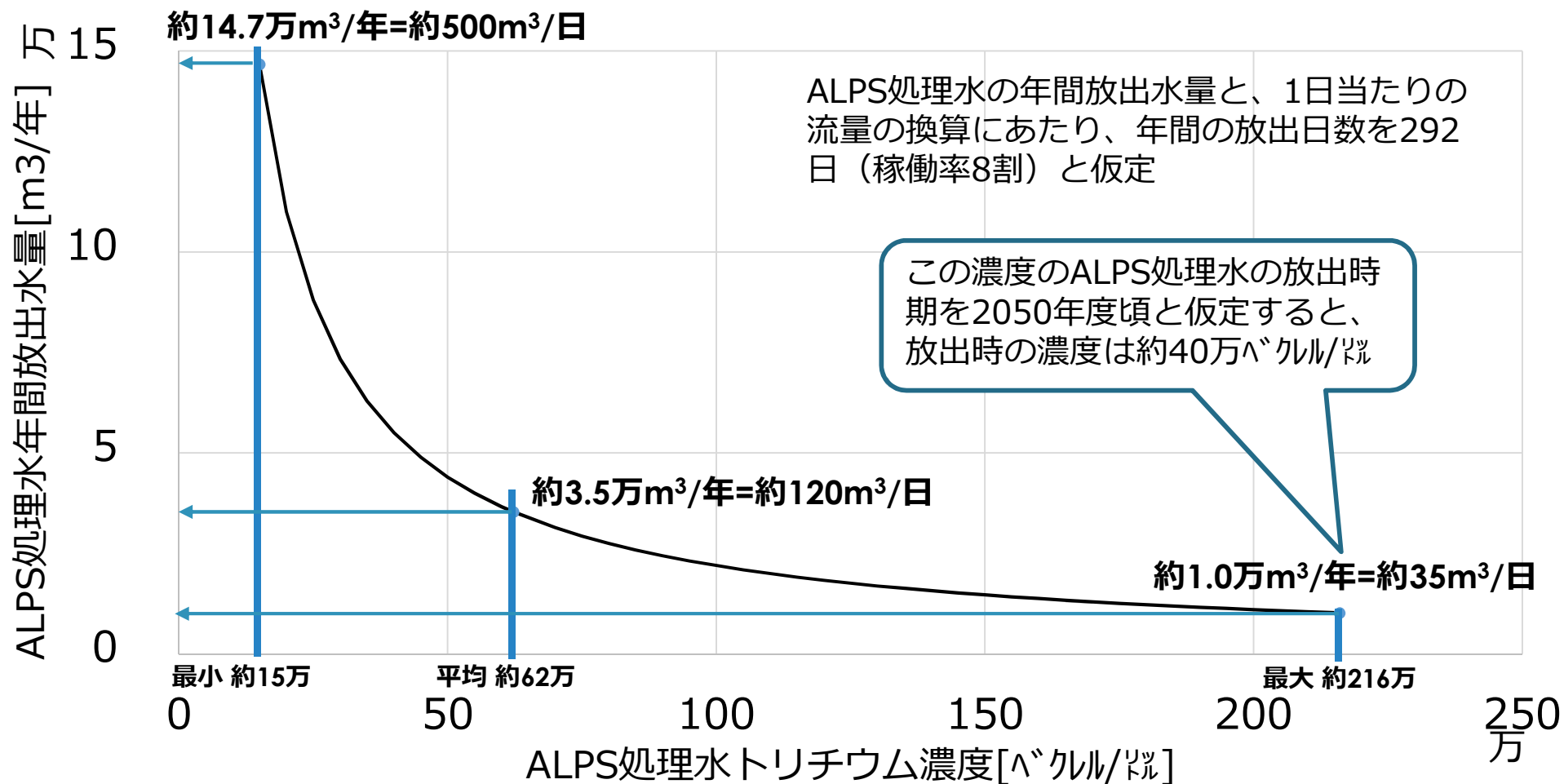
1. ALPS処理水移送ポンプの設計の考え方について

- 現在、福島第一原子力発電所構内に保管されているALPS処理水等のトリチウム濃度は約15万～約216万ベクレル/ℓ、平均約62万ベクレル/ℓ（2021年4月1日時点の評価値）
- ALPS処理水の移送量は、年間トリチウム放出量を基準に、設備保守・系統切替を踏まえた放出日数、放出するALPS処理水のトリチウム濃度から設定
- 放出するALPS処理水のトリチウム濃度の低い約15万ベクレル/ℓの 때가ALPS処理水流量最大となり、約500m³/日



【参考】トリチウム放出総量と放出水量・処理水流量の関係

- 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）



2-1. 海水移送ポンプの設計の考え方について (1/4)

- 海水希釈後のトリチウム濃度を1,500ベクレル/ℓ未満とすること、年間トリチウム放出量を22兆ベクレルを下回る水準とすることを遵守しつつ、ポンプ運用の柔軟性を確保するため、以下の点を考慮する
 - ① 約15万～約216万ベクレル/ℓのさまざまなトリチウム濃度のALPS処理水の放出に柔軟に対応できること
 - ② ALPS処理水の放出量については、約500m³/日を上限としつつ、大雨等による処理水の増加量や、廃炉に必要な施設の建設に向けたタンクの解体スピード等に応じて、柔軟に対応できること
 - ③ 海水移送ポンプの運用や保守点検にあたり、柔軟に対応できること

2-2. 海水移送ポンプの設計の考え方について (2/4)

- ①、②の観点から、

- リスクケース (その1 : 高濃度のALPS処理水の放出)

約216万 β クレル/ℓのALPS処理水を、汚染水発生量150 m^3 /日相当分（保管量全体を増加させないため）にて、一時的に放出せざるをえない場合を想定

海水希釈後のトリチウム濃度を1,500 β クレル/ℓ未満とするための海水流量は、
 $216\text{万}\beta\text{クレル}/\ell \div 1,500\beta\text{クレル}/\ell \times 150\text{m}^3/\text{日} = \text{約}22\text{万}\text{m}^3/\text{日}$

- リスクケース (その2 : 多量のALPS処理水の放出)

降水量が多い時期には約400 m^3 /日の汚染水が発生すること（2020年実績の最大）から、平均約62万 β クレル/ℓのALPS処理水を、約400 m^3 /日にて一時的に放出せざるをえない場合を想定

海水希釈後のトリチウム濃度を1,500 β クレル/ℓ未満とするための海水流量は、
 $62\text{万}\beta\text{クレル}/\ell \div 1,500\beta\text{クレル}/\ell \times 400\text{m}^3/\text{日} = \text{約}17\text{万}\text{m}^3/\text{日}$

2-3. 海水移送ポンプの設計の考え方について (3/4)

- ①、②の観点から、

- リスクケース (その3 : 稼働率の低下)

設備の保守期間の長期化等により稼働率が低下し、年間放出日数100日で22兆ベクレル (2,200億ベクレル/日) にて、ALPS処理水を放出せざるを得ない場合を想定

2,200億ベクレル/日にて放出する際に、海水希釈後のトリチウム濃度を1,500ベクレル/ℓ未満とするための海水流量は、

$$2,200\text{億ベクレル/日} \div 1,500\text{ベクレル/ℓ} = \text{約}15\text{万m}^3/\text{日}$$

- 以上の通り、様々なリスクケースを考慮しても、最低22万m³/日以上海水流量が必要となるが、更に設計余裕として5割の余裕を考慮し、約33万m³/日の海水流量を準備する

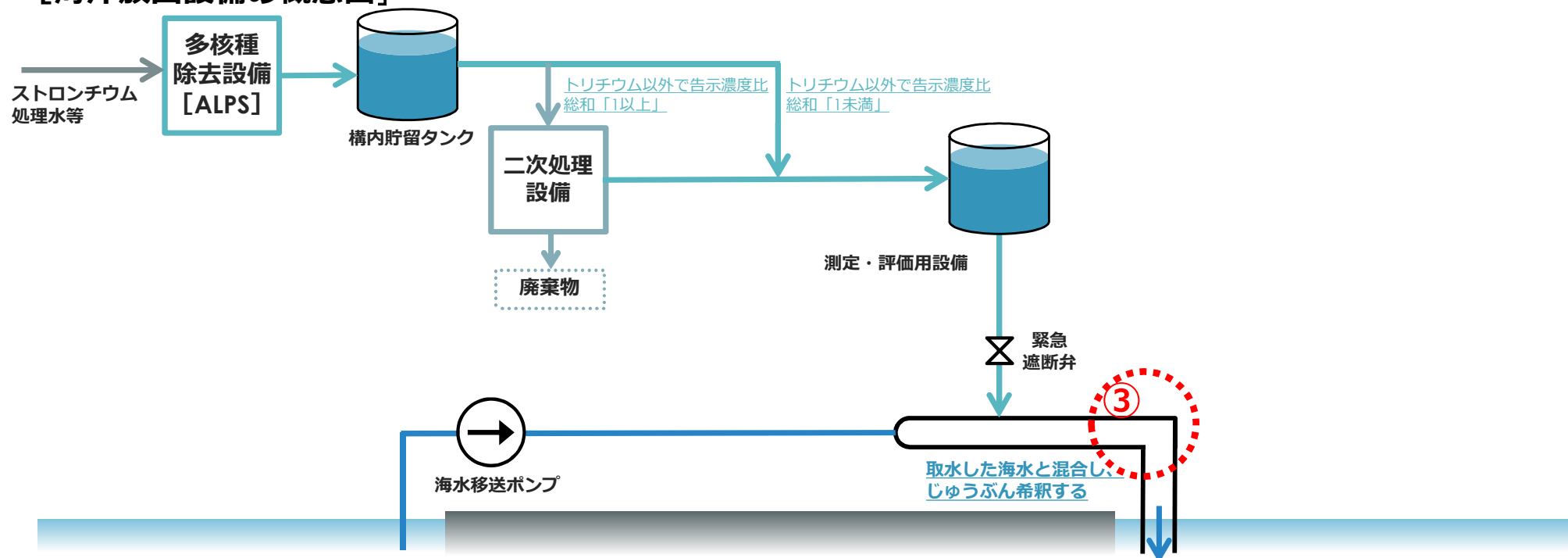
2-4. 海水移送ポンプの設計の考え方について (4/4)

- ③の観点から、
 - 万が一ポンプ1台が停止した際の対応や、点検等の保守性を考慮し、ポンプを3台用意し、2台運転1台待機の運用とすることで、安定的な放出が可能となる
 - すなわち、**海水移送ポンプを3台確保することで安定的な放出を行う**
- 以上のことから、必要な流量を確保できるよう、
約33万m³/日÷2台から**1台あたり17万m³/日程度のポンプを選定**
 - 前述のリスクケース（その2、3）の場合では、1台運転でも1,500^{ベクレル}/ℓ未満を確保可能
 - ALPS処理水を海水で1,500^{ベクレル}/ℓ未満まで希釈されていることを確認するためには、希釈前のALPS処理水トリチウム濃度と、ALPS処理水流量及び海水流量を正確に測定することが重要であるが、1台あたり17万m³/日のポンプを選定したとしても、測定できる流量計（オリフィス式）が存在することを確認済み
 - なお、設計検討上は2台運転を通常状態としているが、場合によっては3台運転も可能

論点③ 希釈評価方法

- 放出水のトリチウム濃度を、放出前のトリチウム濃度と希釈水量で評価することの妥当性

[海洋放出設備の概念図]

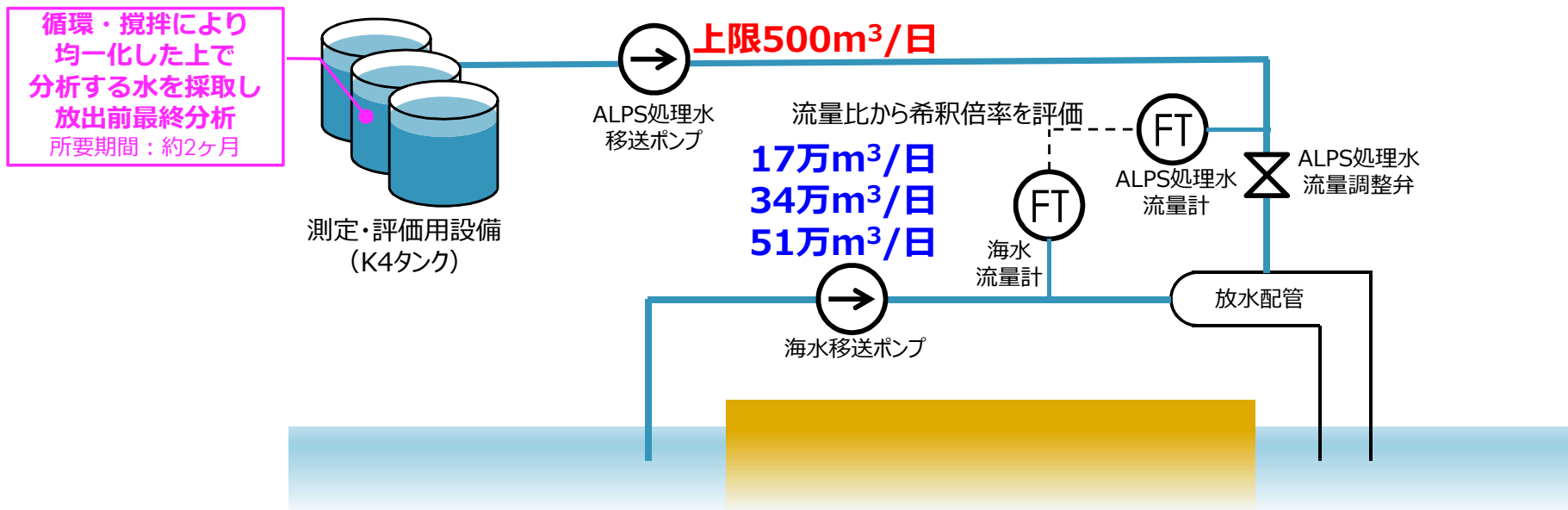


1. 海水希釈後のトリチウム濃度

- 通常の原子力発電所では、希釈前のトリチウム濃度は測定するが、圧倒的な量の海水で希釈することから、海水量を常時測定してトリチウム濃度を評価するようなことは実施していない
- 今回の放出にあたっては、ALPS処理水は500m³/日を上限として放出する設計としていること、海水流量は1日あたり17万m³、34万m³、51万m³で選択可能であることから、**それぞれ約340倍以上、約680倍以上、約1020倍以上に希釈される設計**である
また、放水配管内で海水とALPS処理水が**混合されることを解析にて確認**している

$$\text{海水希釈後のトリチウム濃度} = \frac{\text{ALPS処理水トリチウム濃度} \times \text{ALPS処理水流量 (流量調整弁で制御)}}{\text{ALPS処理水流量 (流量調整弁で制御)} + \text{海水流量}}$$

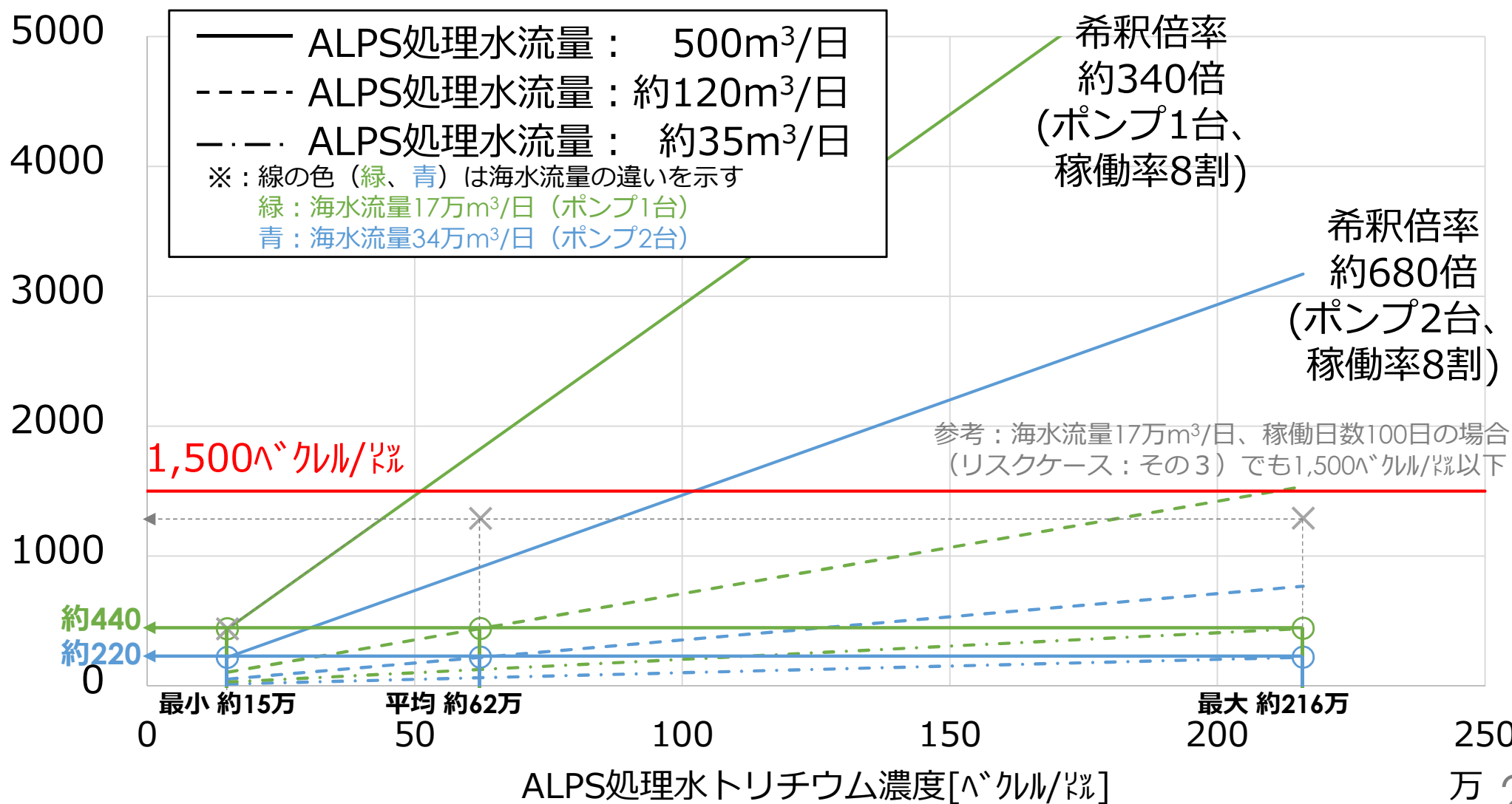
- 通常運転時においては、測定・評価用設備分析結果のトリチウム濃度とALPS処理水・海水の流量比から、海水希釈後のトリチウム濃度が1,500ベクレル/ℓを十分下回ることを担保する
その上で、今後具体的なポンプの運用方法について検討する
- なお、放出端において設計通り混合・希釈されて、トリチウム濃度が1,500ベクレル/ℓを下回ることを確認することについては、測定にあたっての具体的な方法の検討を進める



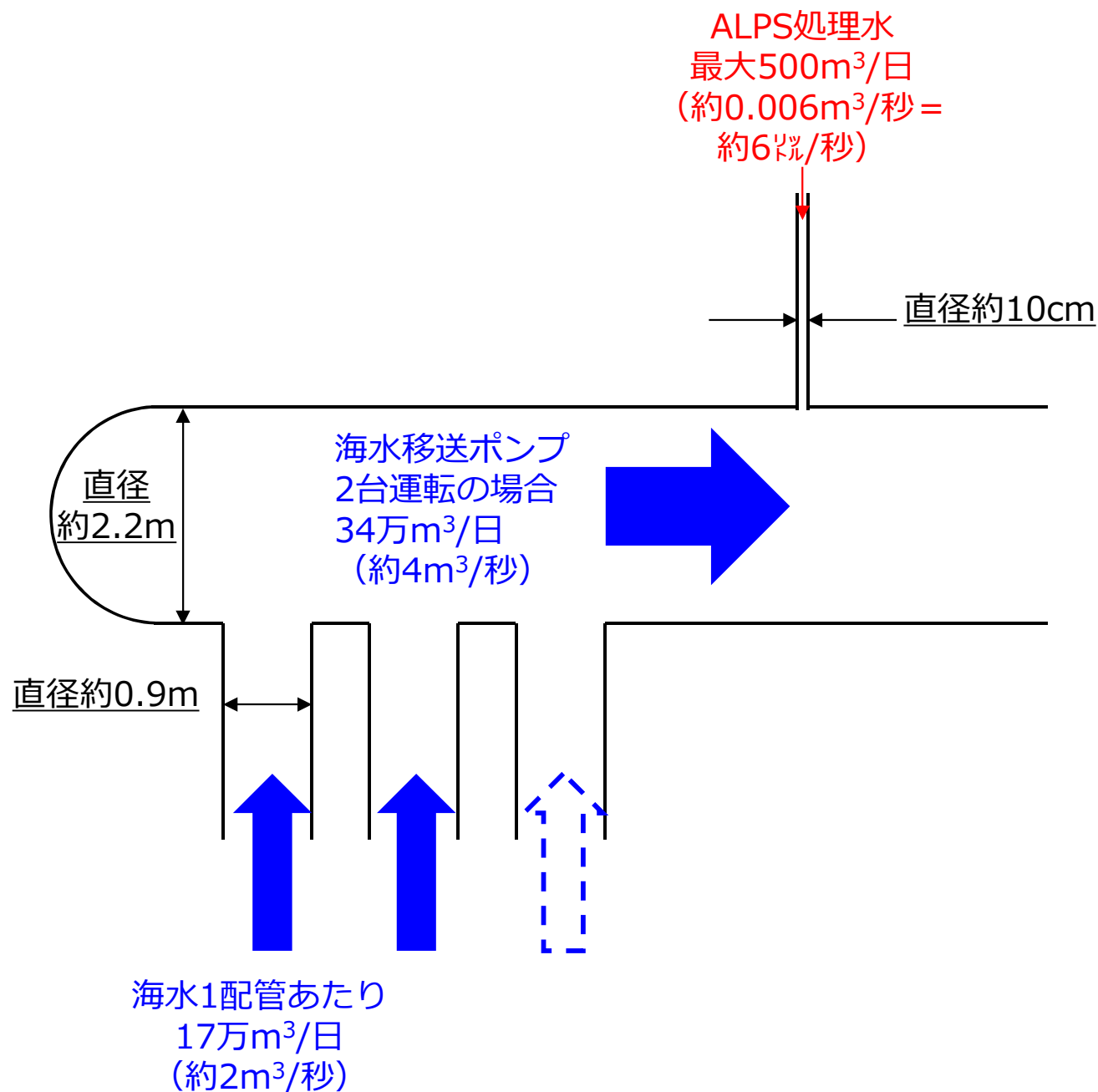
【参考】トリチウム濃度と処理水流量の関係

- 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/リットル}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

海水希釈後トリチウム濃度[^{ベクレル/リットル}]

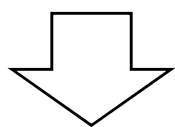


【参考】ALPS処理水・海水の合流部イメージ図

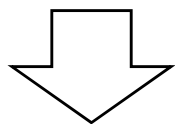


【参考】放水配管内の拡散混合解析結果（1/2）

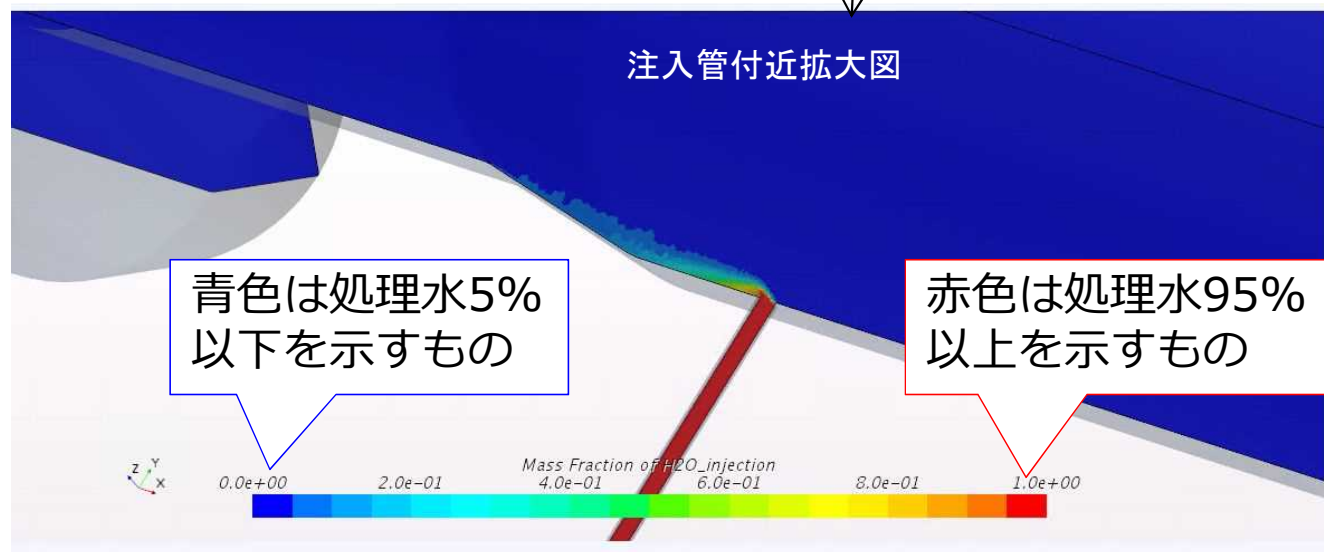
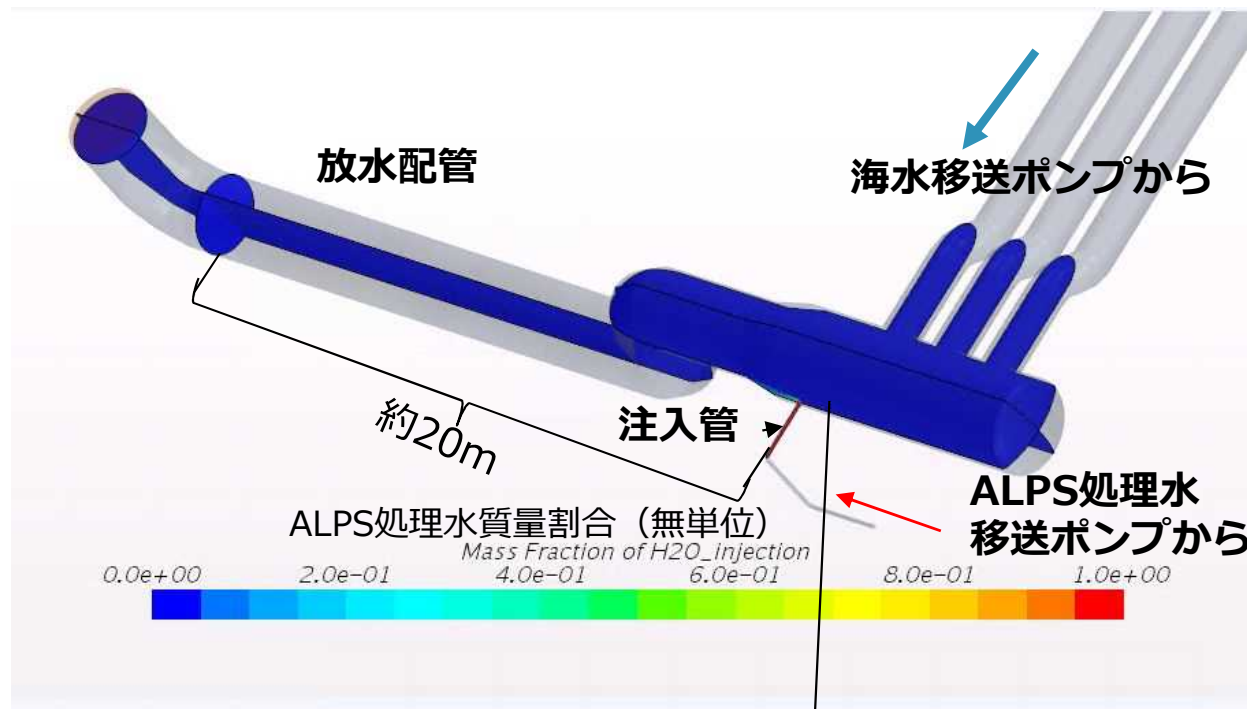
ALPS処理水流量500m³/日、海水流量34万m³/日で希釈した場合の放水配管内の拡散混合解析結果



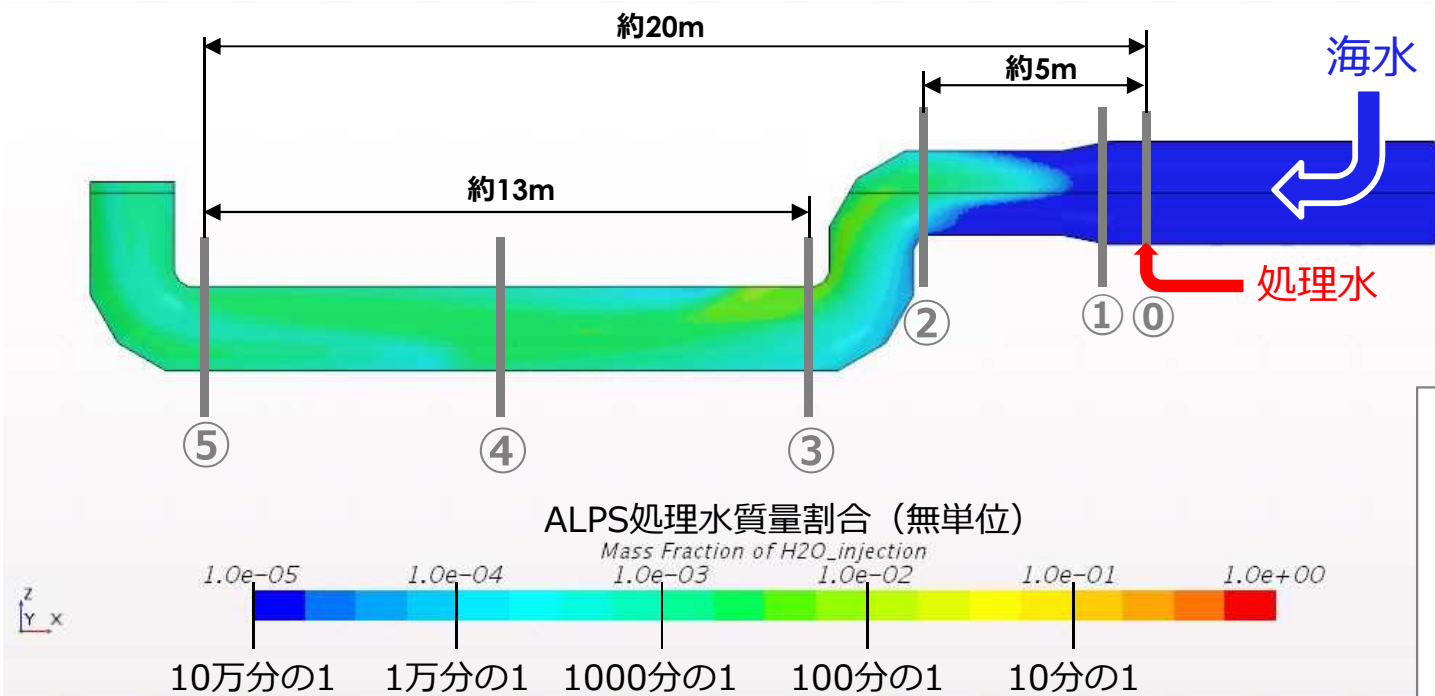
注入管近傍で5%以下（20分の1以下）まで希釈されることが確認



右図では、5%以下の希釈状況をお示し出来ないことから、次スライドで対数軸で表示したものを再掲



【参考】放水配管内の拡散混合解析結果 (2/2)



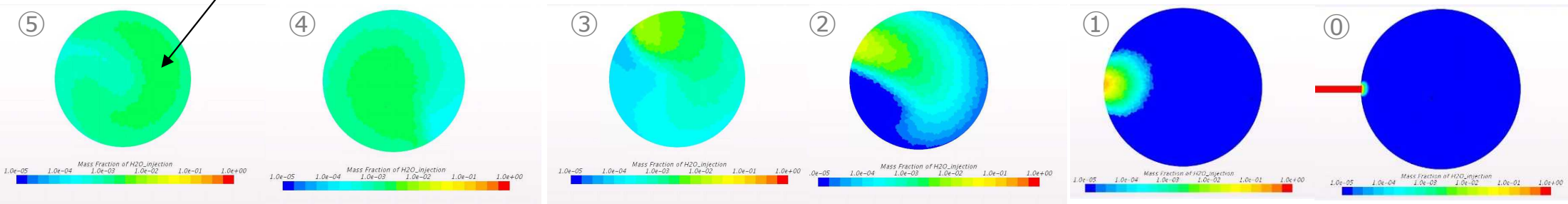
参考：
質量割合から体積割合への換算

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

F: 体積割合(-) ρ_i: ALPS処理水密度(998.3 kg/m³)
M: 質量割合(-) ρ_R: 海水密度(1025 kg/m³)

- ①注水位置
- ②混合ヘッダ出口
- ③立下がりエルボ手前
- ④立下がりエルボ直後 (直管入口)
- ⑤直管中央
- ⑥直管出口 (立ち上がりエルボ入口)

- ALPS処理水の質量割合は最大0.23%(約430分の1)、平均0.14%(約710分の1)まで希釈
- 15万ℓ/ℓのALPS処理水を放出した場合、最大約350ℓ/ℓ、平均約220ℓ/ℓとなる (平均濃度は計算上の海水希釈後トリチウム濃度と同等 (スライド12参照))

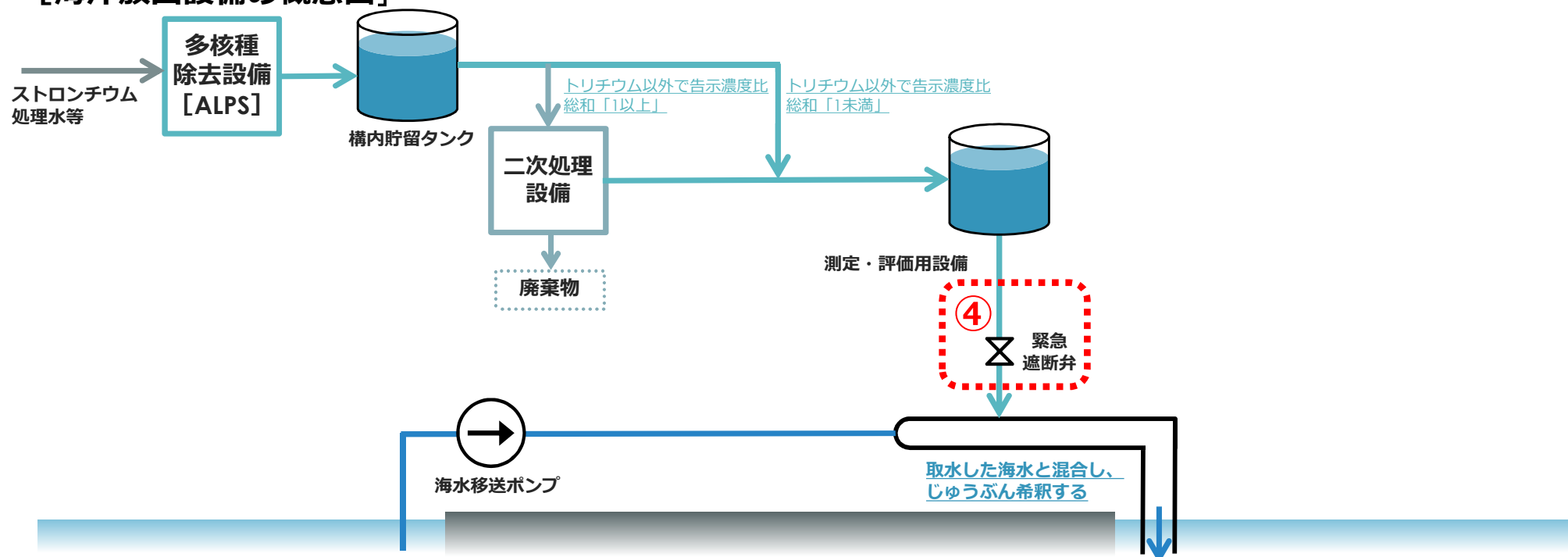


下流 ← → 上流

論点④ 異常時の措置

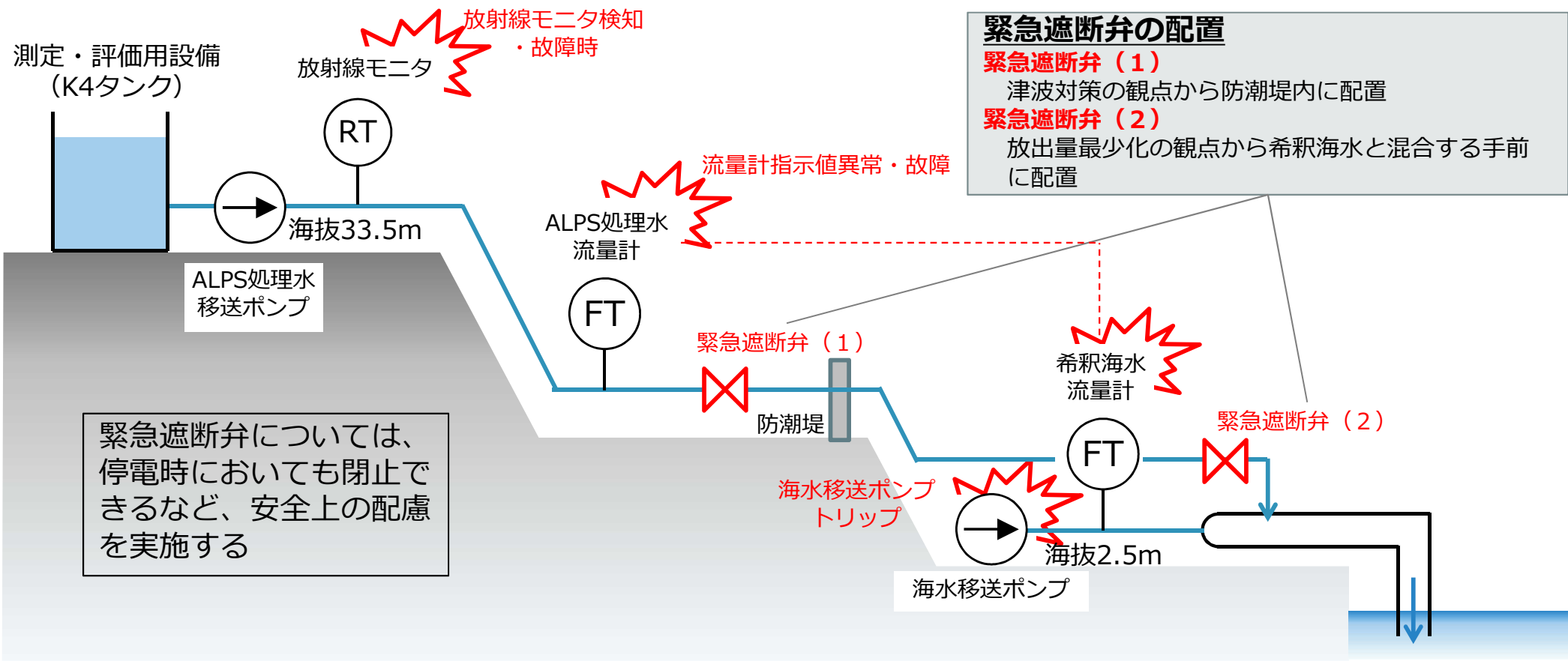
- 放出を緊急停止する際のインターロック
(放出水濃度異常、ガンマ線検知)
- 緊急遮断弁の多重性、設置場所

[海洋放出設備の概念図]



1. 異常時対応

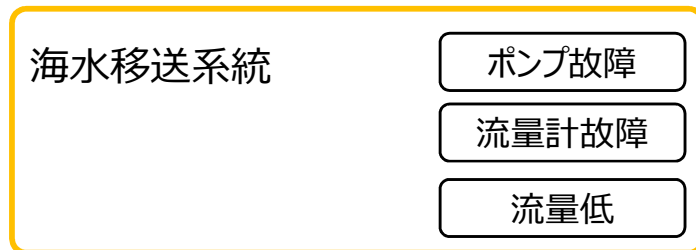
- ALPS処理水の希釈率が異常の場合（海水ポンプの停止、海水流量低下、処理水流量増加、流量計故障）又はALPS処理水の性状の異常の場合（放射線モニタ作動・故障）、緊急遮断弁2弁を速やかに閉じるとともに、ALPS処理水移送ポンプを停止する
- 緊急遮断弁のうち1箇所は異常時のALPS処理水の放出量を最小限とするよう海水移送配管のそばに、もう1箇所は津波による水没等に備え防潮堤内側に設置する
- なお、設備の異常ではないが、海域モニタリングで異常値が確認された場合も、いったん放出を停止する



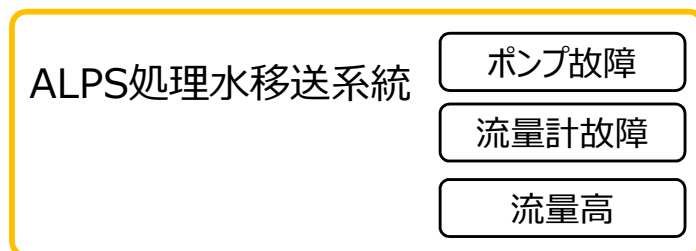
2. インターロック

<検知信号>

ALPS処理水の希釈率が異常、
もしくは確認できない場合



ALPS処理水の放射能が異常、
もしくは確認できない場合



その他、設備異常や任意の緊急停止



海域モニタリングで
異常の場合は手動停止



緊急遮断弁 閉※1

ALPS処理水移送ポンプ 停止※2

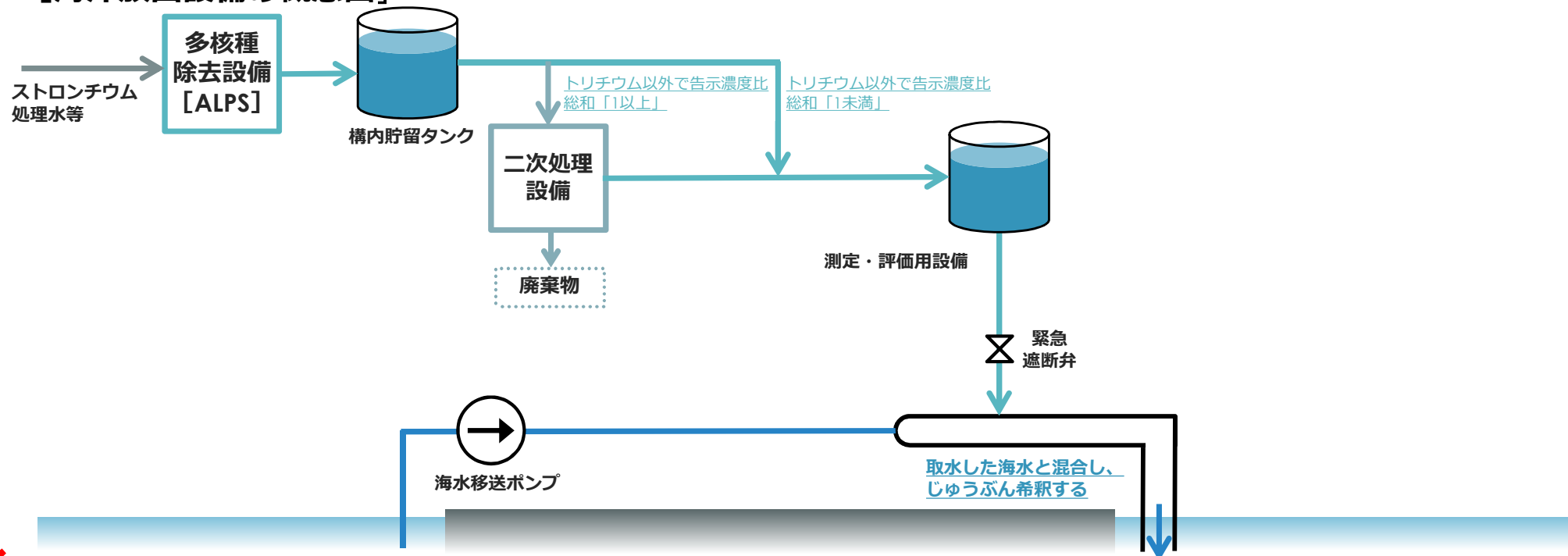
※1：停電等の異常が発生してもALPS処理水の放出を停止できるよう設計上配慮
 ※2：ALPS処理水の希釈ができるよう、異常のない海水移送ポンプは運転を継続

論点⑥ 全体

- 必要な設備の設計、建設および運用を実施するための体制

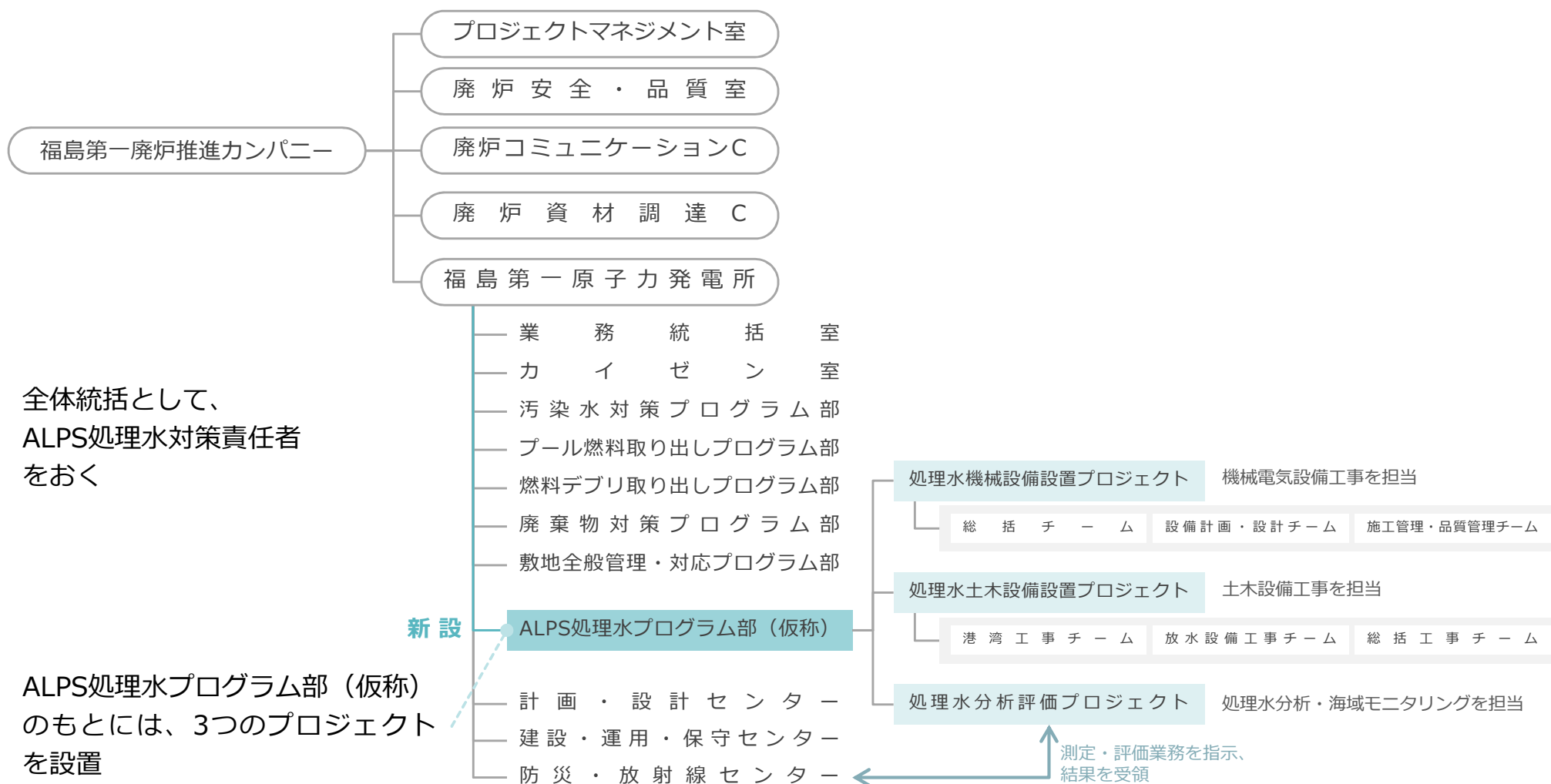
⑥全体

[海洋放出設備の概念図]



1. プロジェクト体制の設置について

- 政府方針を踏まえ、ALPS処理水の海洋放出を着実に履行するため、ALPS処理水処分業務に特化した組織を設置する計画



全体統括として、ALPS処理水対策責任者をおく

ALPS処理水プログラム部 (仮称)のもとには、3つのプロジェクトを設置