

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1日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

審査会合における主な指摘事項※等に対する回答

※：第97回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2-2 別紙2

(2-1 原子炉等規制法に基づく審査の主要論点)

(1) 海洋放出設備

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

①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

(2-2 政府方針への取り組みに関する主な確認事項)

(1) トリチウムの年間放出量

(参考) 全体方針

審査会合における主な指摘事項※等に対する回答

※：第97回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2-2 別紙2

指摘事項①

(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

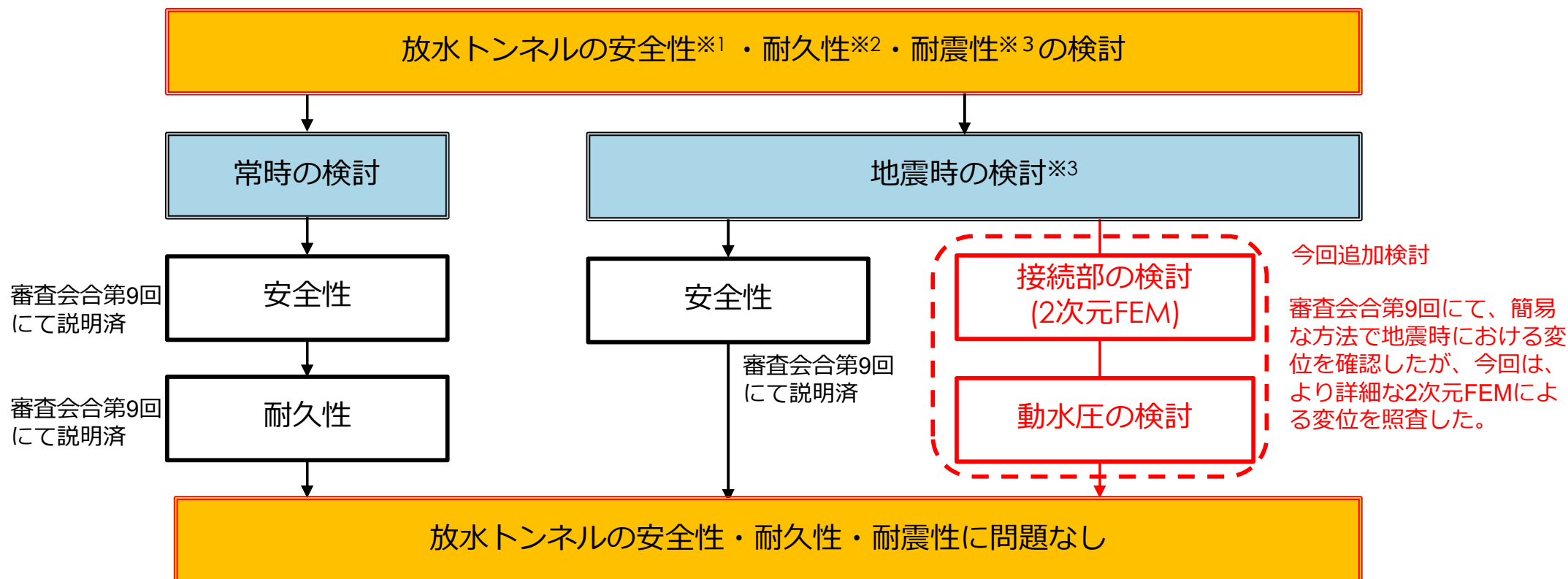
⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護、誤操作防止、信頼性等

- 放水設備について、地震時の変位照査結果における抜け出し量に対する許容値及びその設定根拠を整理して提示すること。
- 放水トンネルの横断面方向の応力度照査結果について、地震時の地盤変位による応力増分に対する余裕度を整理して提示すること。

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

①-1. 審査会合第9回の検討と追加検討内容

- 放水トンネルの検討フローは以下の通り。
- 今回は、放水トンネルの地震時における、接続部の健全性および動水圧を考慮した健全性を確認した。



放水トンネル 構造検討フロー

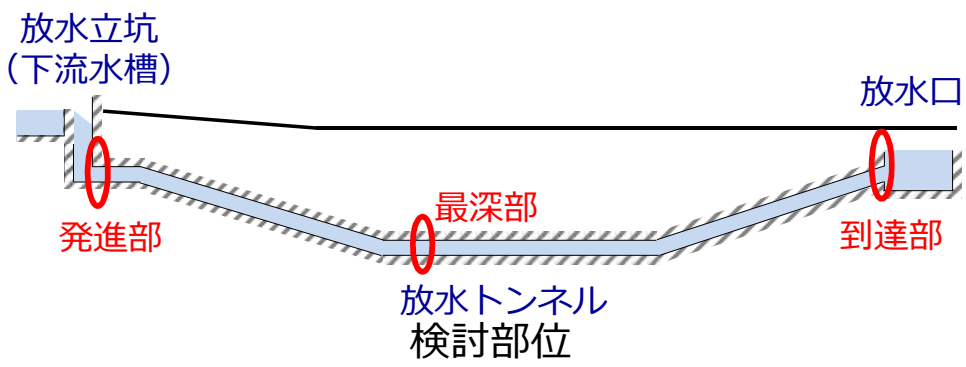
- ※1 安全性：荷重の作用によって生じる材料の応力度が許容応力度以内であること。
- ※2 耐久性：設計供用期間中に、ひび割れや塩化物イオンの進入に伴う鋼材腐食により、構造物の性能が低下しないこと。
- ※3 耐震性：耐震Cクラスとし照査を行う。

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

①-2. 応力度照査結果①

➤ 応力度照査の結果、耐力が確保されることを確認した。

検討荷重	荷重の組合せ		
	常時	地震時* (建設時)	地震時* (供用時)
自重	○	○	○
載荷荷重	○	○	○
土圧	○	○	○
内水圧(波浪含む)	○	○	○
外水圧(波浪含む)	○	○	○
地震時慣性力		○	○



※地震時はトンネルが建設時と供用時に分けて照査を実施した。
(理由)
【建設時(空水時)】:内水圧が作用しないため、地震時の安全性では最も厳しい荷重条件となる。但し、建設中の空水時を想定し照査を実施した。
【供用時(満水時)】:工事が完成した以降の満水時を想定し照査を実施した。

- 作用応力を許容応力と比較し、作用応力/許容応力が最大となる部位および荷重ケースの照査結果を下表に示す。
- 常時荷重および地震時荷重に対して、許容応力度以内であること（作用応力/許容応力<1）を確認。

覆工板(セグメント) 応力度照査の照査結果

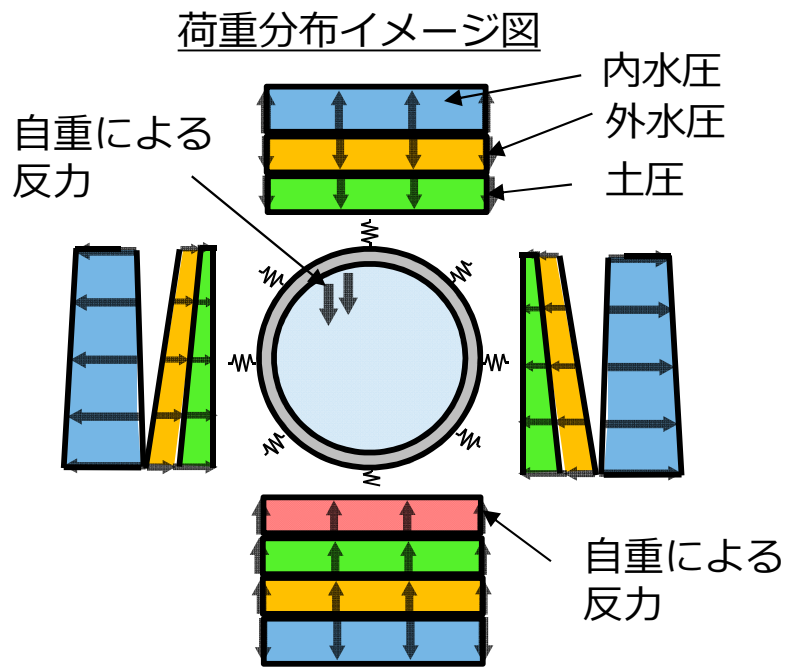
検討部位	荷重ケース	対象材料	応力	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	作用応力度/ 許容応力度
覆工板 (発進部)	常時	鉄筋	曲げモーメント	78*	200	0.39
覆工板 (最深部)	常時	鉄筋	曲げモーメント	91*	200	0.46

*実施計画Ⅱ章2.50 添付資料5からの記載の適正化

①-3. 応力度照査結果②

■ 各検討部位の応力度照査結果

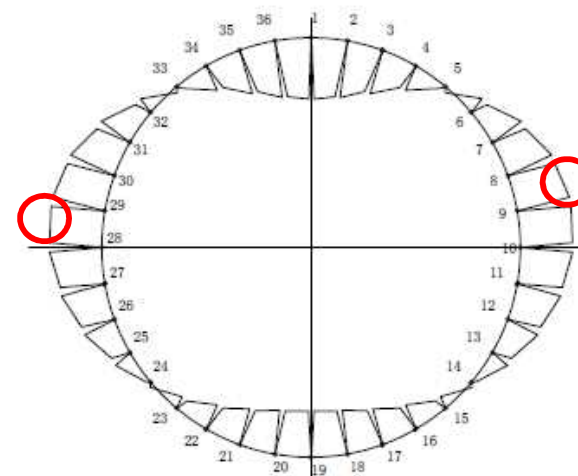
【常時・満水時(短期内水位:T.P.+9.3m)・土被り2D】



覆工板(セグメント) 応力度照査の照査結果

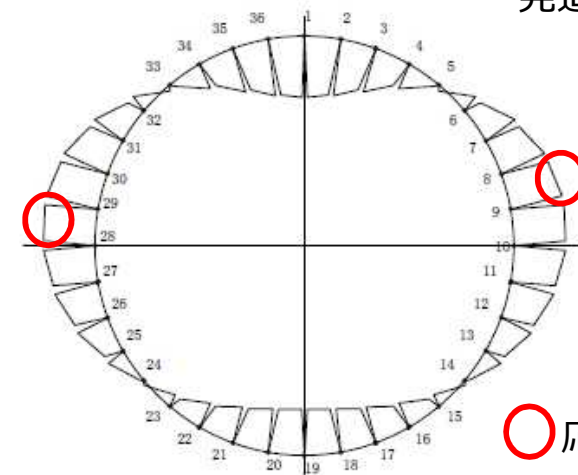
検討部位	応力度照査 (作用/許容)
	曲げ モーメント
覆工板 (発進部)	0.39
覆工板 (最深部)	0.46

※赤字：応力度照査の最大値



発進部 断面力図(曲げモーメント)

※断面力図のスケールは
発進部と最深部で異なる



最深部 断面力図(曲げモーメント)

○ 応力度照査 最大位置

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

①-4. 地震時のクリティカルケース

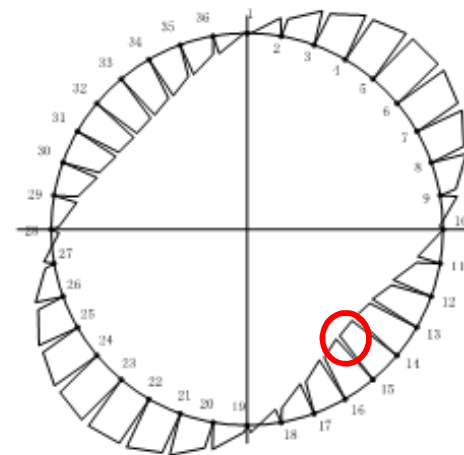
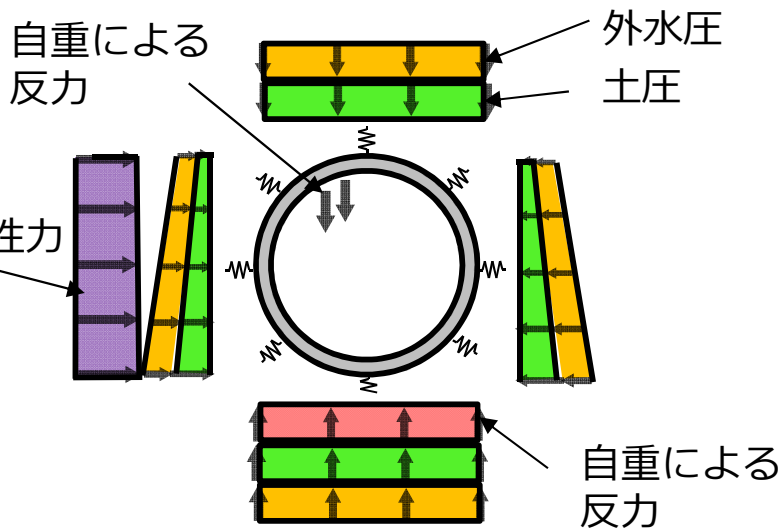
- 地震時における放水トンネルは、左図に示す通り空水時がクリティカルケースとなる。
- 満水時は、右図に示す通り地震時慣性力と内水圧が逆向きに作用し、水平力を低減させるため、クリティカルケースとならない。

	地震時+空水時 (地震時におけるクリティカルケース)	地震時+満水時
<p>検討荷重イメージ</p>		
<p>説明</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内水圧が作用しないため、土圧、外水圧を打ち消さない上図の 때가クリティカルケースとなる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内水圧は地震時慣性力を低減させる方向に働くため、内水圧が作用する場合は、見かけ上の水平力が大きくなり、クリティカルケースとならない。

各検討部位の応力度照査結果

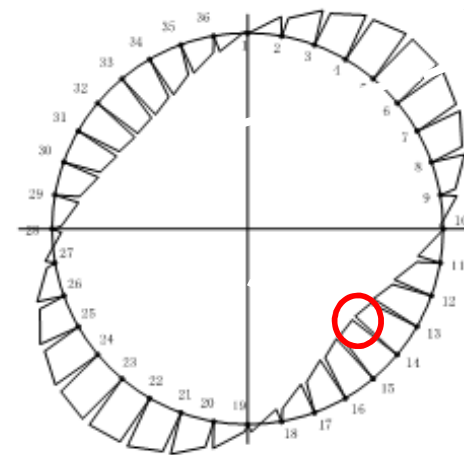
【常時+地震時・空水時・土被り2D】 建設時の空水時（外水圧のみ）を想定

荷重分布イメージ図



発進部 断面力図(曲げモーメント)

※断面力図のスケールは発進部と最深部で異なる



最深部 断面力図(曲げモーメント) ○ 応力度照査 最大位置

地震時における覆工板(セグメント) 応力度照査の照査結果

検討部位	応力度照査 (作用/許容)	
	曲げ モーメント	圧縮力
覆工板 (発進部)	0.15	0.27
覆工板 (最深部)	0.15	0.29

※赤字：応力度照査の最大値

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

【補足】地震時に最も厳しい部位の照査結果

■ 各検討部位の応力度照査結果

発進部の地震時における覆工板(セグメント) 応力度照査結果

検討部位	荷重 ケース	対象材料	応力	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	作用応力度/ 許容応力度
覆工板 (発進部)	常時	鉄筋	曲げモーメント	－ (全圧縮)	200	－
	常時+地震時	鉄筋	曲げモーメント	46	300	0.15
	常時	コンクリート	圧縮力	2.9	16	0.18
	常時+地震時	コンクリート	圧縮力	6.4	24	0.27

最深部の地震時における覆工板(セグメント) 応力度照査結果

検討部位	荷重 ケース	対象材料	応力	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	作用応力度/ 許容応力度
覆工板 (最深部)	常時	鉄筋	曲げモーメント	－ (全圧縮)	200	－
	常時+地震時	鉄筋	曲げモーメント	45	300	0.15
	常時	コンクリート	圧縮力	3.4	16	0.21
	常時+地震時	コンクリート	圧縮力	7.0	24	0.29

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

【参考】検討ケース

検討ケース

検討部位	荷重パターン	トンネルの状態	土圧	外水位
覆工板 (発進部)	常時	空水時	2D	G.L.±0.00
		内水圧作用時(長期※1)		
		内水圧作用時(短期※2)		
	常時+地震時	空水時	0.175D	
		内水圧作用時(長期)		
		内水圧作用時(短期)		
常時+地震時	空水時※3)	2D		
		0.175D		
覆工板 (最深部)	常時	空水時	2D	H.W.L(T.P.+0.757m)
		内水圧作用時(長期)		L.W.L(T.P.-0.778m)
		内水圧作用時(短期)		
	常時+地震時	空水時	0.175D	H.W.L(T.P.+0.757m)
		内水圧作用時(長期)		L.W.L(T.P.-0.778m)
		内水圧作用時(短期)		
常時+地震時	空水時※3)	2D	H.W.L(T.P.+0.757m)	
		0.175D	L.W.L(T.P.-0.778m)	

赤字:
覆工板(発進部)の
クリティカルケース

青字:
覆工板(最深部)の
クリティカルケース

※1)50年確率の有義
波高から求めた
内水位T.P.+6.40m

※2)50年確率の最大
波高から求めた
内水位T.P.+9.30m

※3)地震時に最も
厳しいケース

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

【参考】地震時に動水圧の考慮の必要性

- 地震時における放水トンネル内の動水圧は、放水トンネル内が希釈水で満水になる場合で算出。
- 放水トンネルの内水圧と比較したところ、動水圧は小さいため、動水圧の検討は不要と判断した。

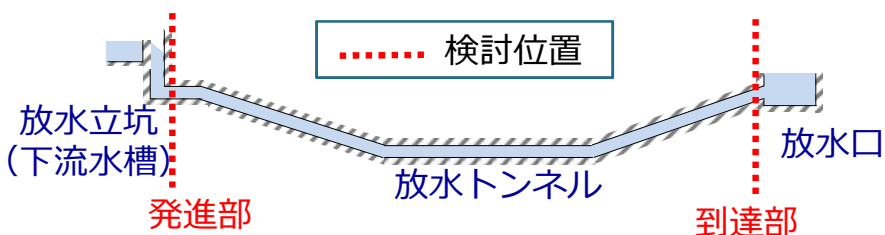
	地震時 内水圧+動水圧を考慮した場合
検討荷重 イメージ	
検討結果	動水圧は内水圧に比べて小さいため考慮する必要はないと判断
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内水圧(水平下部)：約200-370kN/m² ・ 動水圧(トンネル内)：最大約5kN/m² (動水圧 = 内水重量 × 水平震度0.2) N値50以上の岩盤内の間隙水圧はほとんど上昇しないため、外側からの動水圧は考慮しない(※)。

※仮にウェスターガード式で算定した場合でも、内水圧の方が大きく、動水圧を考慮しない場合の方が地震時は安全側の評価となる。

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

①-5. 地震時の検討モデルと変位の評価方法

- 地震時には地中接合部や立坑取付部など覆工構造が急変する場合に検討が必要とされているため※1)、放水トンネルと、下流水槽および放水口ケーソンの接続部を検討。
- 今回検討では、詳細に地震時の検討を行う※2)のために2次元FEM解析を用い、放水トンネル軸直角方向および放水トンネル軸方向における接続部の相対変位 Δ を算出。
- 放水トンネルと、下流水槽および放水口ケーソンを繋ぐ接続ボルトは、変位差に抵抗するためのせん断力 S および引張力 P が生じるため、この各々の力により接続ボルトが破壊しないことを確認。



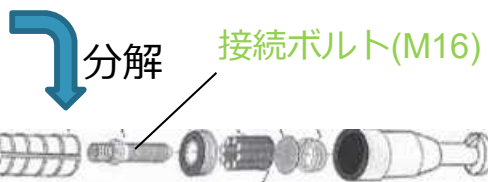
地震時接続部の検討位置

※1)トンネル標準示方書,P.62
 ※2)審査会合第9回にて、
 簡易な方法による地震時の変位の
 検討結果を報告済み

$K_s=45,000\text{kN/m}$
 $K_v=60,000\text{kN/m}$
 (小口径セグメント用スクリーボルト(M16)の
 開発,平成22年,土木学会第65回年次学術講演会)



スクリーボルト継手
(接続部)



セグメントとスクリーボルト継手(接続部)

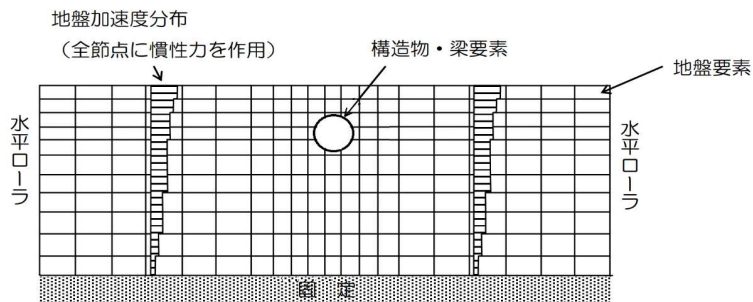
トンネル軸直角方向の検討	トンネル軸方向の検討
<p>せん断力S</p> <p>相対変位量Δ</p> <p>接続ボルト(M16)</p>	<p>引張り力P</p> <p>相対変位量Δ</p> <p>接続ボルト(M16)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • $S = k_s \times \Delta$ • $\tau = S/A < \tau_a$ 	<ul style="list-style-type: none"> • $P = k_v \times \Delta$ • $\sigma = P/A < \sigma_a$
<p>※k_s: 接続ボルトのせん断ばね定数 τ: 接続ボルトのせん断応力度 A: 接続ボルトの断面積</p>	<p>※k_v: 接続ボルトの引張ばね定数 σ: 接続ボルトの引張応力度 A: 接続ボルトの断面積</p>

接続ボルト検討イメージ

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

①-6. 地震時のトンネル軸直角方向の検討モデル

- 地震時の下流水槽、放水口ケーソンおよび放水トンネル接続部における、トンネル軸直角方向の変位差 Δ は、2次元FEM解析により算出



モデル図イメージ

- ・周辺地盤：平面ひずみ要素としてモデル化
- ・トンネル：梁要素、立坑：平面ひずみ要素としてモデル化
- ・水平震度：0.2を一様に作用
- ・解析領域：下方は基盤層位置、側方は5.0H確保

(H：トンネル～基盤層の深さ(=約50m))

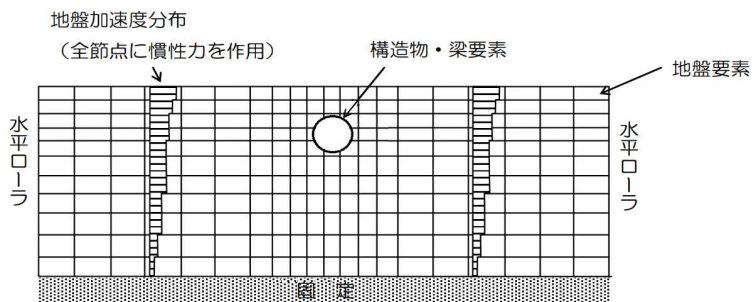
検討箇所	解析モデル (トンネル断面)	解析モデル (下流水槽・放水口ケーソン)	最大相対変位量 Δ (= $\Delta_1 - \Delta_2$)
発進部			0.5mm
到達部			0.5mm

トンネル軸直角方向 モデル図および相対変位量

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

①-7. 地震時のトンネル軸方向の検討モデル

- 地震時の下流水槽、放水口ケーソンおよび放水トンネル接続部における、トンネル軸方向の変位差 Δ は、2次元FEM解析により算出



モデル図イメージ

- ・周辺地盤：平面ひずみ要素としてモデル化
- ・立坑：平面ひずみ要素としてモデル化、
(トンネルは地盤と同変位としてモデル化しない)
- ・水平震度：0.2を一様に作用
- ・解析領域：下方は基盤層位置、側方は5.0H確保
(H：地表面～基盤層までの深さ(=約50m))
- ・供用時を想定：トンネル、立坑ともに内水がある状態で検討

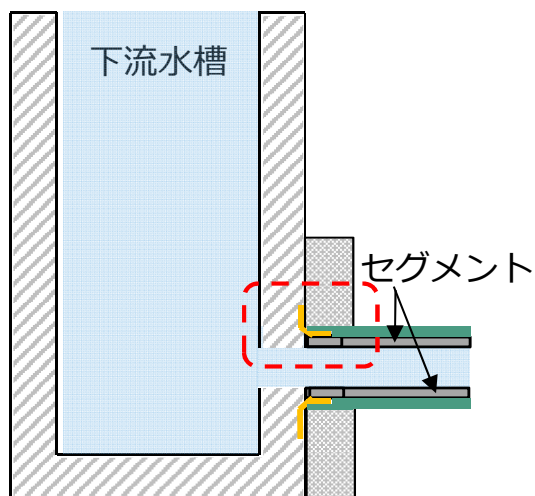
検討箇所	解析モデル (トンネル断面)	解析モデル (下流水槽・放水口ケーソン)	最大相対変位量 $\Delta (= \Delta_1 - \Delta_2)$
発進部	<p>埋戻し土 砂岩 泥岩 放水トンネル変形量 Δ_1</p>	<p>埋戻し土 砂岩 泥岩 立坑 下流水槽変形量 Δ_2</p>	0.1mm
到達部	<p>放水トンネル変形量 Δ_1</p>	<p>放水口ケーソン変形量 Δ_2</p>	0.6mm

トンネル軸方向 モデル図および相対変位量

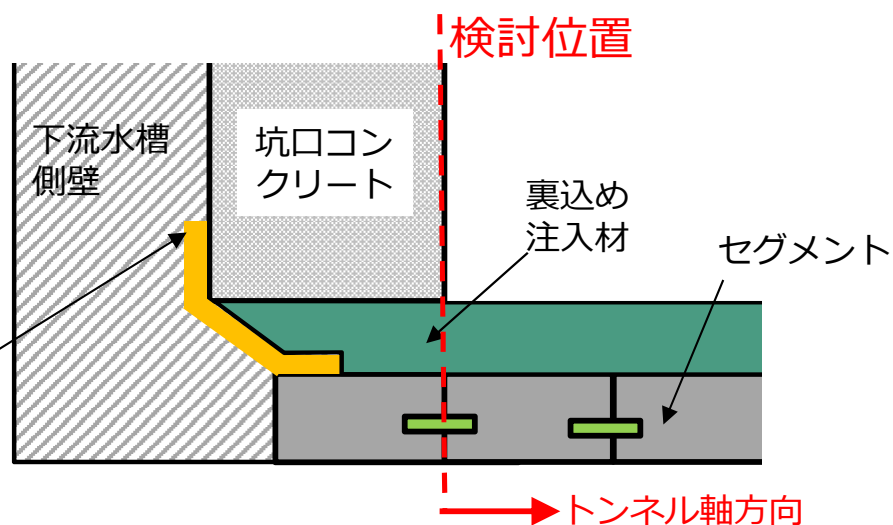
2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

①-8. 接続部の詳細検討位置①

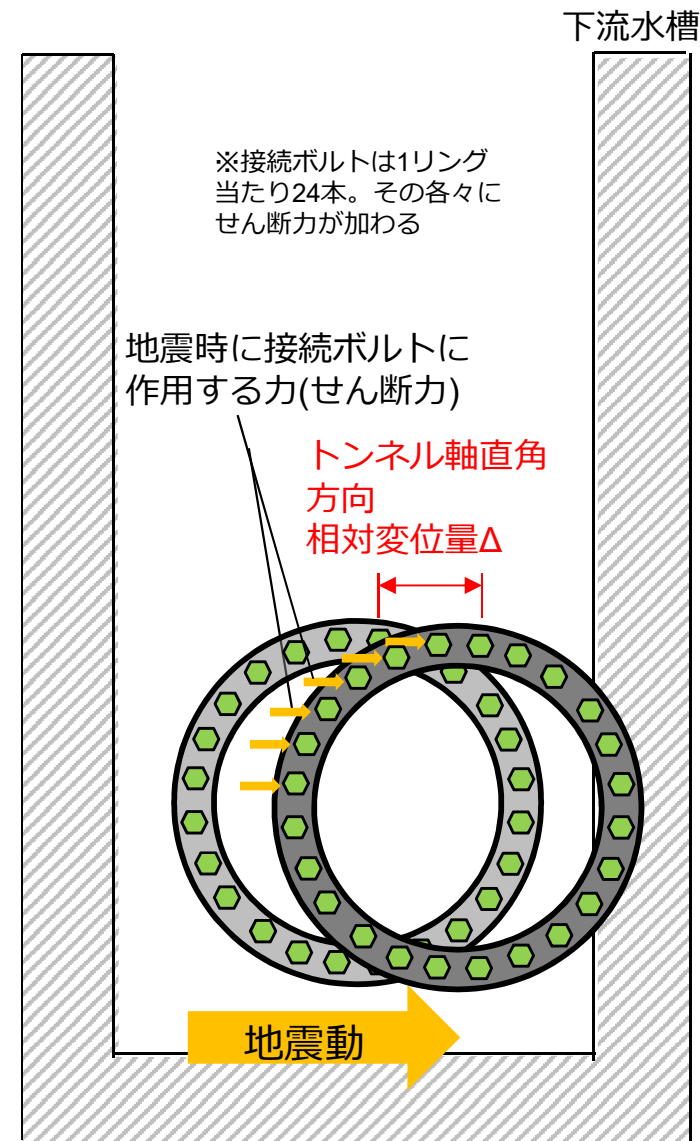
- 地震時における下流水槽と放水トンネルの接続部の詳細な検討位置は左下図の通り。
- 左下図の検討位置において、トンネル軸直角方向および軸方向における接続部の相対変位量を算出。



下流水槽と放水トンネル 接続部イメージ



検討位置およびトンネル軸方向 検討断面イメージ

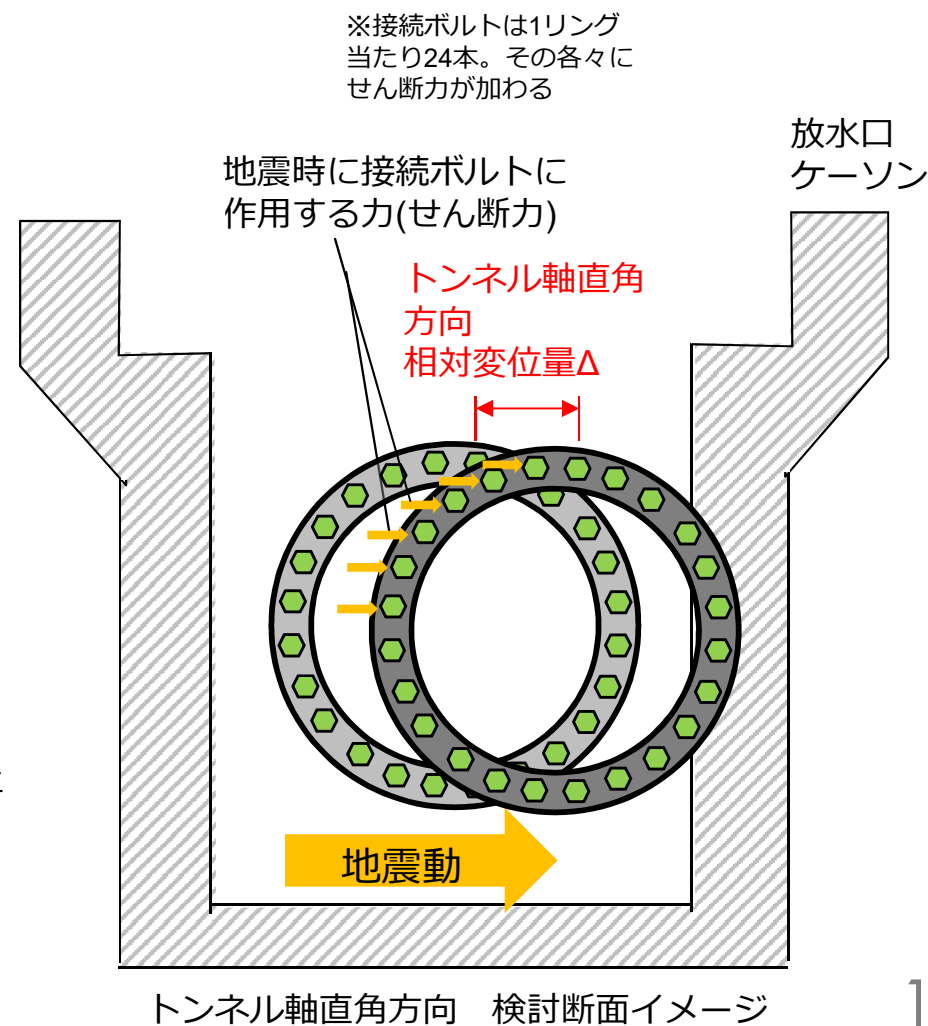
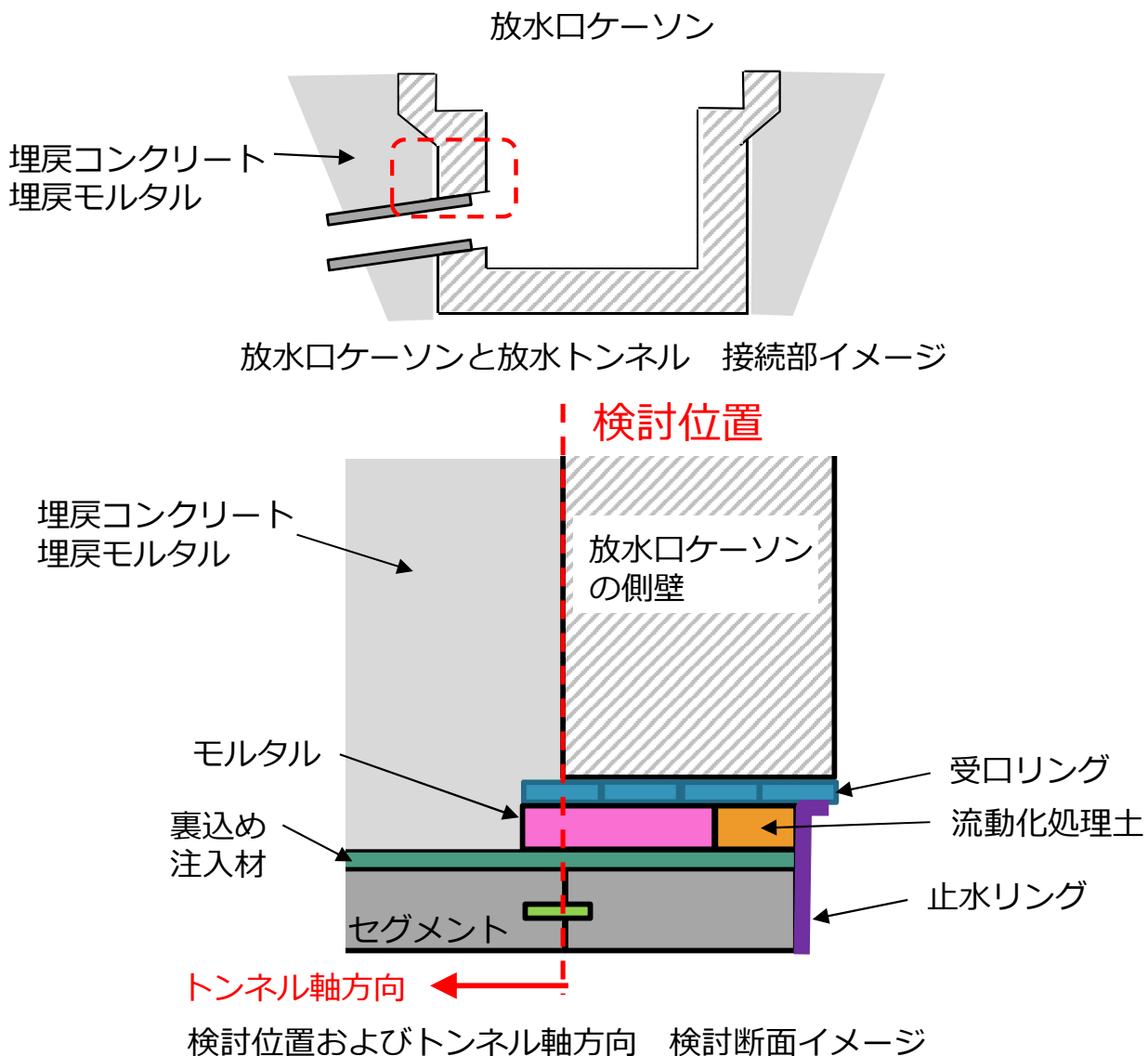


トンネル軸直角方向 検討断面イメージ

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

①-9. 接続部の詳細検討位置②

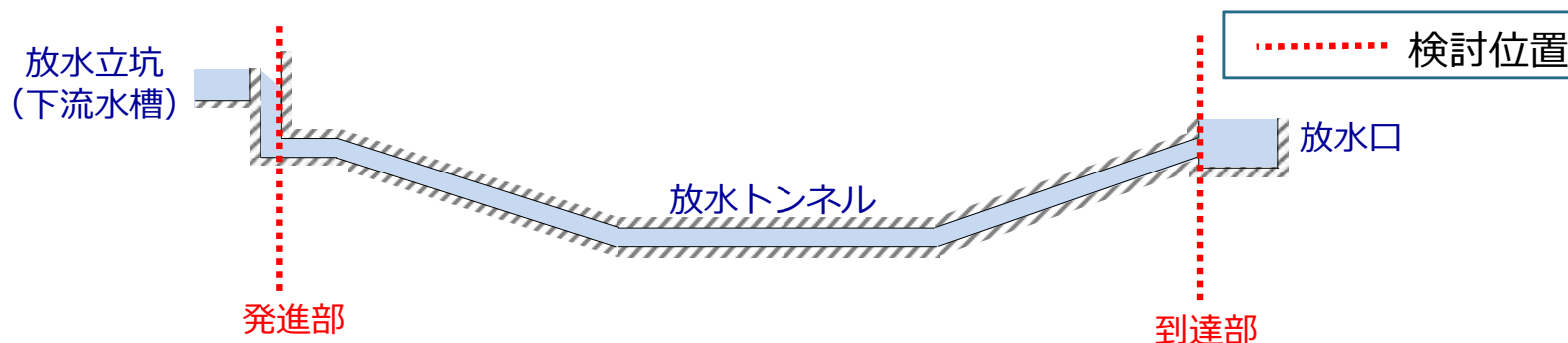
- 地震時における放水口ケーソンと放水トンネルの接続部の検討位置は左下図の通り。
- 左下図の検討位置において、トンネル軸直角方向および軸方向における接続部の相対変位量を算出。



2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

①-10. 地震時のトンネル軸直角方向の照査結果

- 応力度照査の結果、耐力が確保されることを確認した。



- 作用応力を許容応力と比較し、作用応力/許容応力が最大となる部位および荷重ケースの照査結果を下表に示す。
- 地震時荷重(接続部の変位に伴うせん断力)に対して、許容応力度以内であること（作用応力/許容応力<1）を確認した。

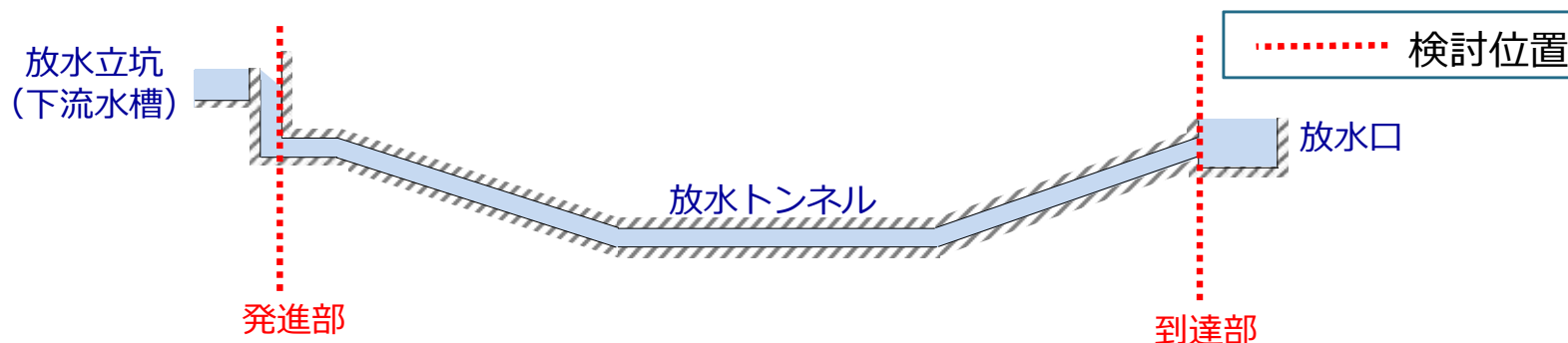
地震時における接続ボルト応力度照査の結果

検討箇所	荷重ケース	対象材料	相対変位量 Δ (mm)	せん断力 S(kN/本)	発生せん断応力度 τ (N/mm ²)	許容せん断応力度 τ_a (N/mm ²)	発生応力度/ 許容応力度
発進部	地震時	接続ボルト	0.5	22.5	143	405	0.35
到達部	地震時	接続ボルト	0.5	22.5	143	405	0.35

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

①-11. 地震時のトンネル軸方向の照査結果

- 応力度照査の結果、耐力が確保されることを確認した。



- 接続ボルトの発生応力度を許容応力度と比較し、作用応力度/許容応力度が最大となる照査結果を下表に示す。
- 地震時荷重(接続部の変位に伴う引張力)に対して、許容応力度以内であること（作用応力/許容応力<1）を確認した。

地震時における接続ボルト応力度照査の結果

検討箇所	荷重ケース	対象材料	相対変位量 Δ (mm)	引張力 P(kN/本)	発生引張応力度 σ (N/mm ²)	許容引張応力度 σ_a (N/mm ²)	発生応力度/ 許容応力度
発進部	地震時	接続ボルト	0.1	6.0	38	570	0.07
到達部	地震時	接続ボルト	0.6	36.0	229	570	0.40

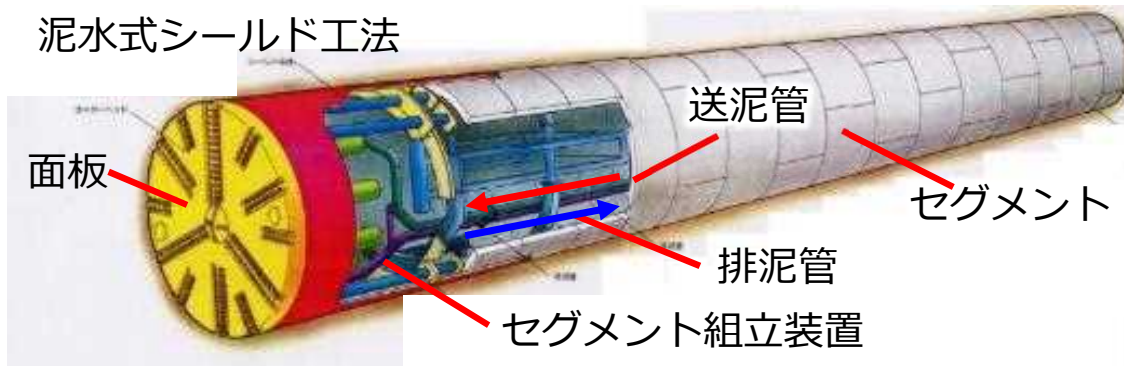
2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

【参考】放水トンネルの設計概要

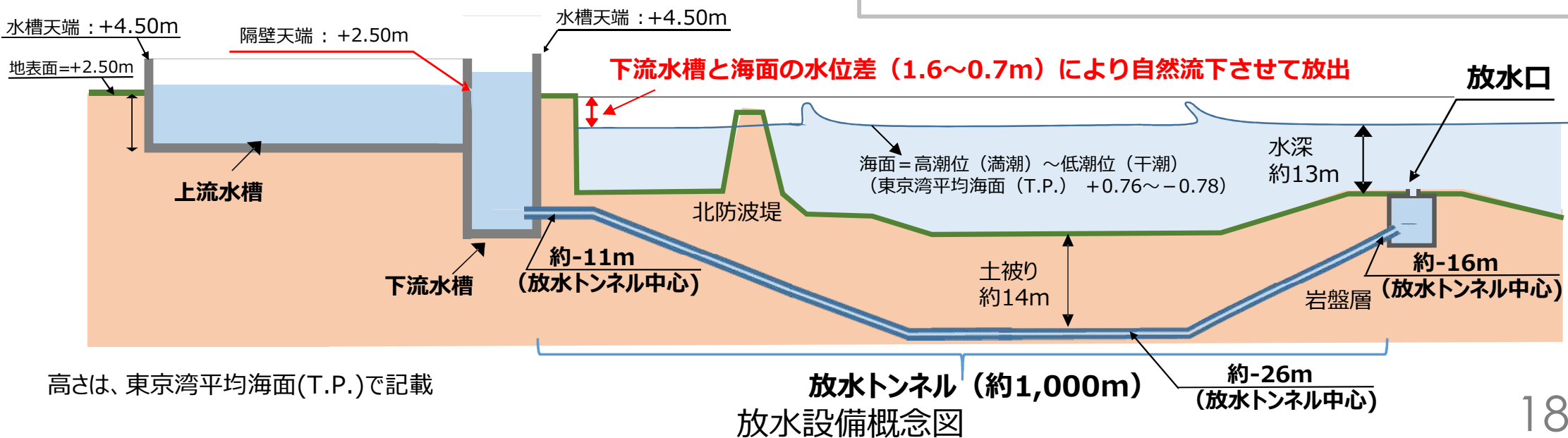
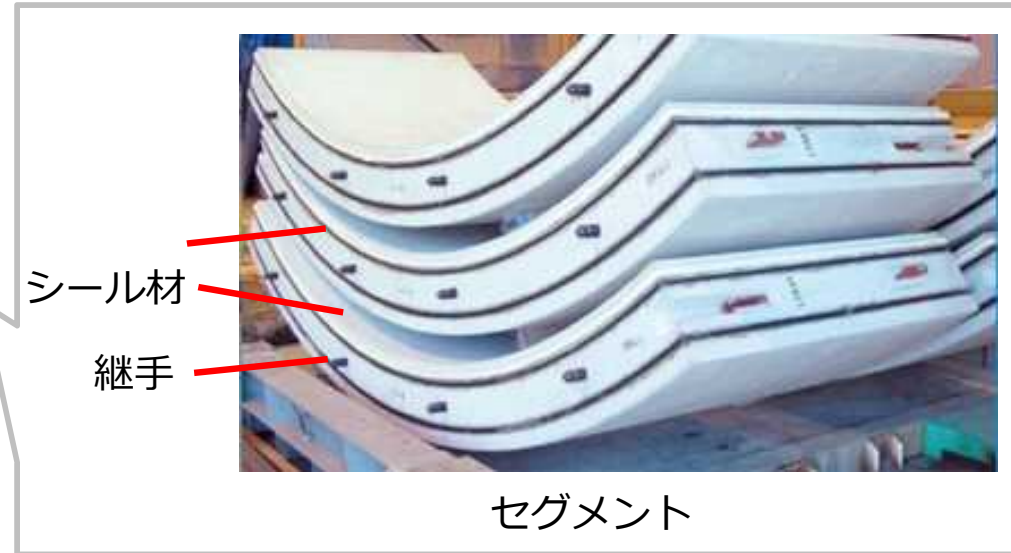
設計概要

- 放水トンネルは岩盤層を通過させるため漏洩リスクが小さく、耐震性に優れる。また台風（高波浪）や高潮（海面上昇）の影響を考慮した設計を実施。
- 今回は、シールド工法を採用し、鉄筋コンクリート製のトンネル壁面材（セグメント）に2重のシール材を取り付けることで止水性を保持。

泥水式シールド工法



シールドマシンの概要図



放水トンネル（約1,000m）
放水設備概念図

- 2016年制定トンネル標準示方書[共通編]・同解説/[シールド工法編]・同解説のP.62には、地震時の検討について、下のように記載されている。

2.10 地震の影響

地震の影響が考えられる場合は、トンネルの使用目的やその重要度に応じて、立地条件、地山の条件、地震動の規模、トンネルの構造と形状およびその他の必要な条件を考慮し検討を行わなければならない。

【解説】 地下構造物では、一般にトンネルの質量が、トンネルの構築により排除された土の質量と比較して小さいため、地震時にトンネルに作用する慣性力が周辺地山の慣性力よりも小さくなる。また、地震動による振動エネルギーが周辺地盤によって吸収される逸散減衰が大きいので、地上構造物のように慣性力による共振現象は生じにくい。トンネルの土被りがある程度以上ある場合には、トンネルは地盤の変形にほぼ追従すると考えられるので、地震の影響は比較的小さいと考えてよい。しかしながら、兵庫県南部地震において一部の開削トンネルに崩壊が生じたことから、設計地震力を大きく設定することや、部材のじん性を高めること等、地下構造物の耐震設計の考え方が見直された。

一方、シールドトンネルは兵庫県南部地震や新潟県中越沖地震、東北地方太平洋沖地震において、主体構造のごく一部に若干の損傷があったものの、兵庫県南部地震の開削トンネルとは異なり主体構造が崩壊するには至らなかった。これは、シールドトンネルが比較的深い地盤中にトンネルを構築する施工法であること、構造的に安定している円形であること、また、多くの継手を有し地盤の変位に追従しやすい構造であること等によると考えられる。そこで、土被りが大きく良好な地盤中のトンネルでは、一般に地震の影響の検討を省略してもよい。しかし、次の条件にあてはまる場合は、トンネルが地震の影響を受けるものと考えられ、とくに慎重な検討が必要である。

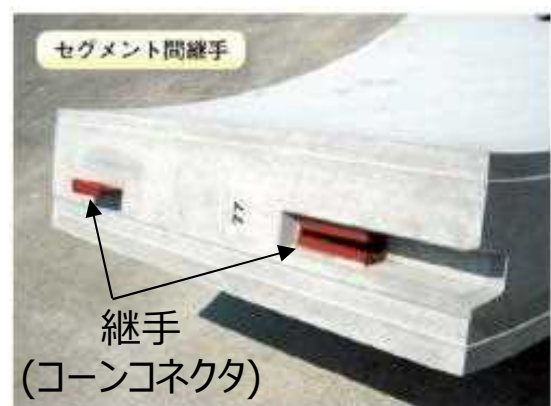
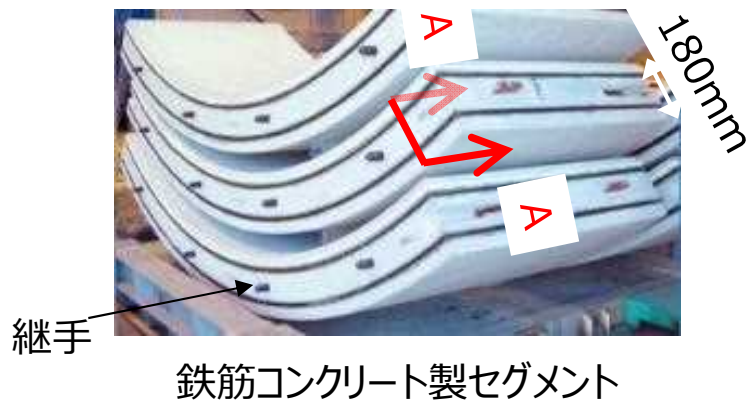
- ① 地中接合部、分岐部、立坑取付部等のように覆工構造が急変する場合
(セグメントの種類の変化、二次覆工の有無等も含む。)
- ② 軟弱地盤中の場合
- ③ 土質、土被り、基盤深さ等の地盤条件が急変する場合
- ④ 急曲線部を有する場合
- ⑤ 緩い飽和砂地盤で、液状化の可能性のある場合



【参考】セグメントの継手 (1/2)

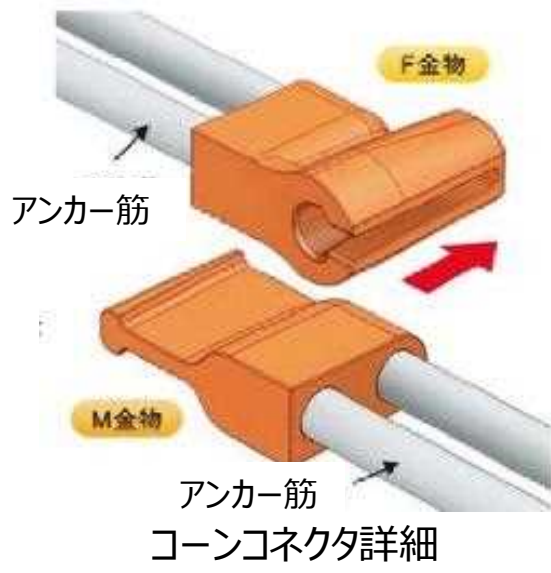
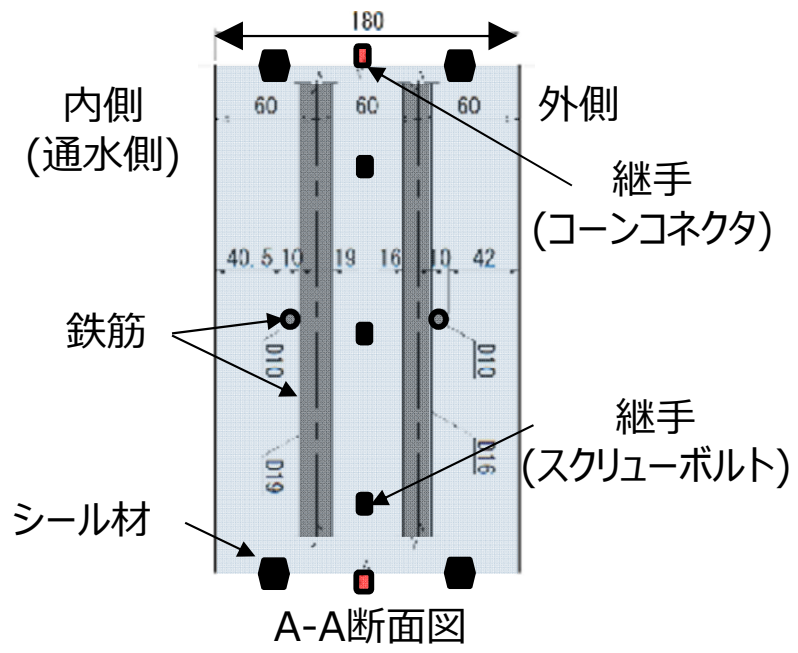
■ セグメントの継手

- セグメント間の継手は、セグメントの円周方向の継手(コーンコネクタ継手)と放水トンネルの延長方向の継手(スクリーボルト継手)の2種類



円周方向の継手(コーンコネクタ)

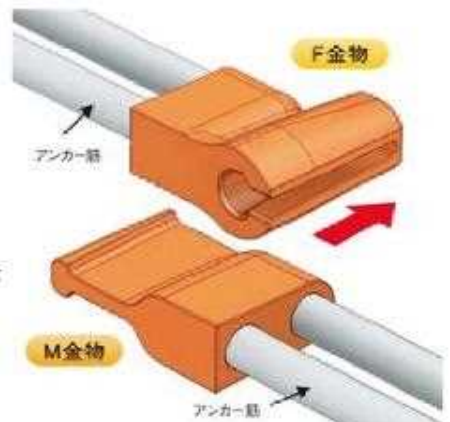
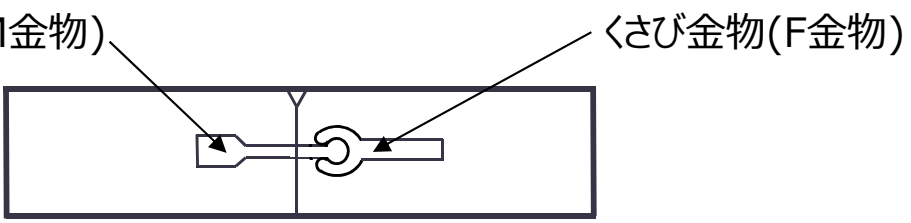

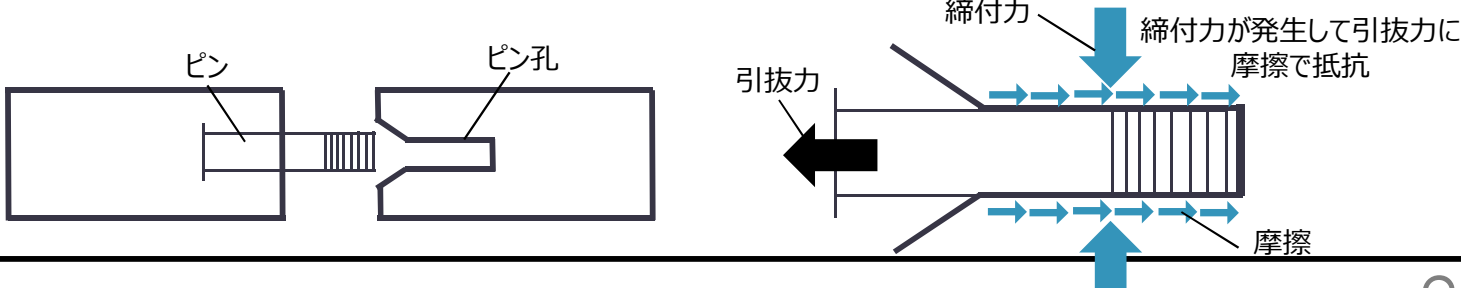
延長方向の継手(スクリーボルト)



スクリーボルト詳細

【参考】セグメントの継手（2/2）

■ 継手の構造的特徴

継手の種類	特 徴
 <p>コーンコネクタ継手 (くさび継手構造)</p>	<ul style="list-style-type: none"> くさび作用を用いてセグメント同士を引き寄せ、締結する 継手の回転剛性が大きく、セグメントの変形が生じにくい トンネルの軸方向にくさびを打ち込むため、トンネルに継手が露出しない 
 <p>スクリーボルト継手 (ピン挿入型継手構造)</p>	<ul style="list-style-type: none"> セグメント同士を押し付けることで締結できるため作業効率が良い ピンとピン孔径の余裕を適切に設定することで、引抜力に対し摩擦力で抵抗する 

審査会合における主な指摘事項※等に対する回答

※：第97回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2-2 別紙2

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)

(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

- ALPS処理水の海水への混合希釈シミュレーション結果に対して、海水配管ヘッド内の濃度分布の平均ではなく、濃度がおおむね1,500 Bq/L を下回っていることの判断基準やその基準を満足する位置について、考え方を含めて明確に示すこと。その際、運用・手順で上記を担保する場合は、設計への取り込み方を示すこと。

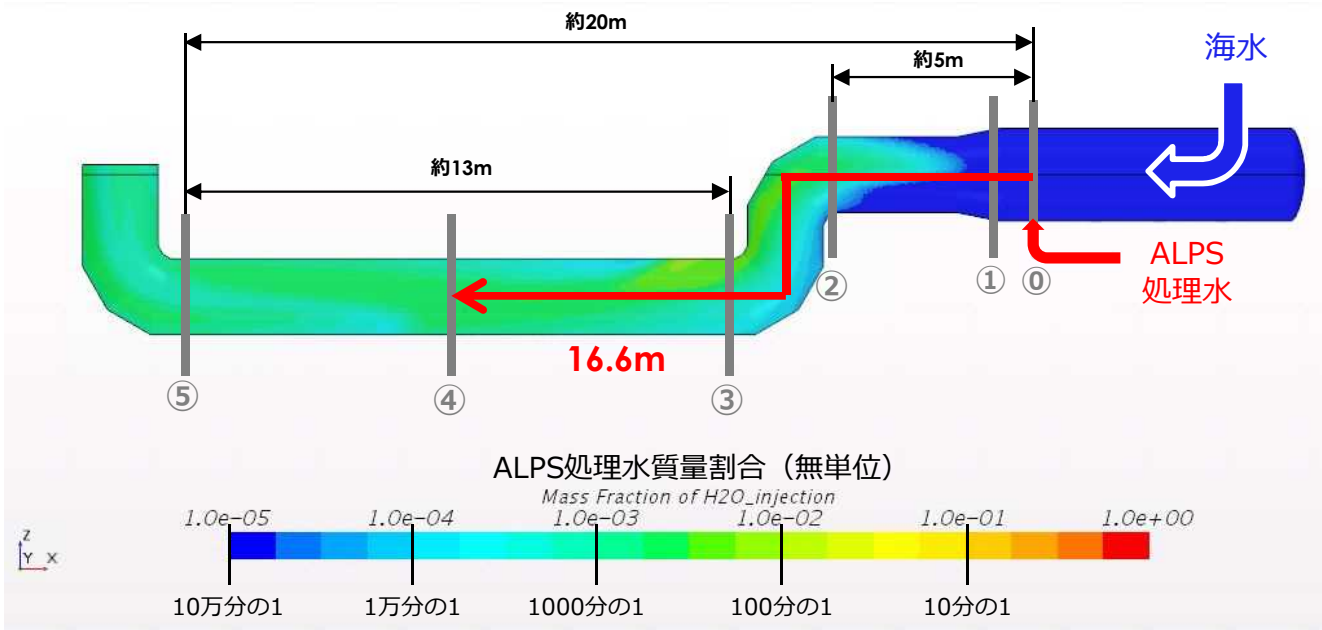
③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

- 放水立坑の構造確定による、海水配管ヘッド等の他設備への影響を説明すること。

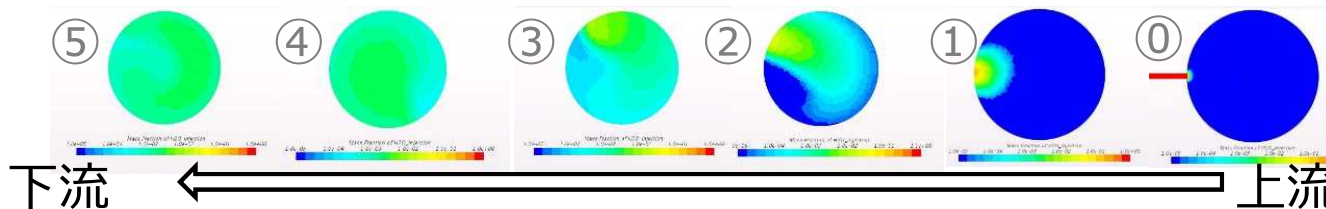
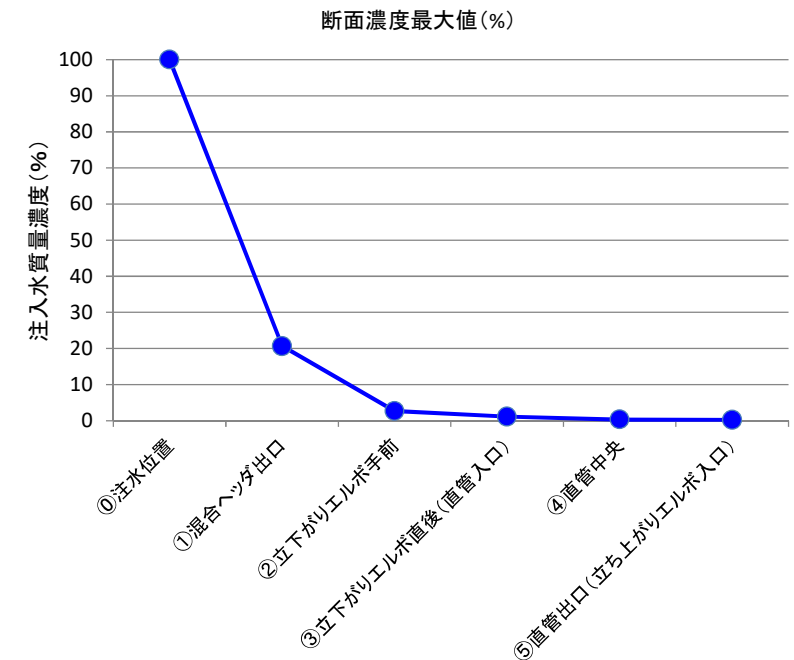
2 - 1 (1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

② - 1. 混合希釈の判断基準について

- 流体解析により海水配管内の各断面における注入したALPS処理水の質量濃度を計算
 - 海水流量34万m³/日、ALPS処理水流量500m³/日の評価であり、理論質量濃度は0.14%
- 各断面におけるALPS処理水の質量濃度の最大値から混合希釈が進む状況进行评估
 - ④直管中央以降は、ALPS処理水の質量濃度最大値が1%を下回る値となっており、概ね混合希釈が進んだと判断



名称	断面濃度最大値 (%)
① 注入位置	100
① 混合ヘッド出口	20.6
② 立下りエルボ手前	2.65
③ 立下りエルボ直後 (直管入口)	1.10
④ 直管中央	0.30
⑤ 直管出口 (立ち上がりエルボ入口)	0.23



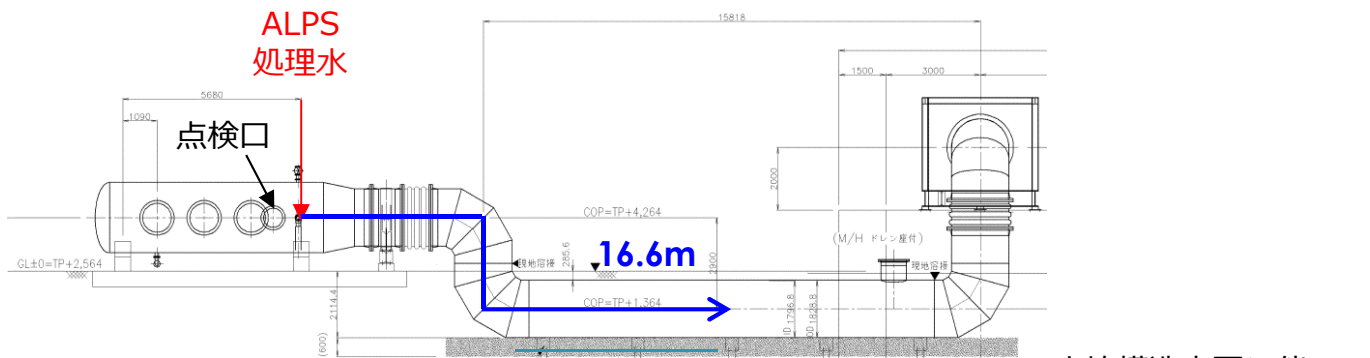
2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

②-2. 放水立坑の構造確定に伴う配管形状の変更

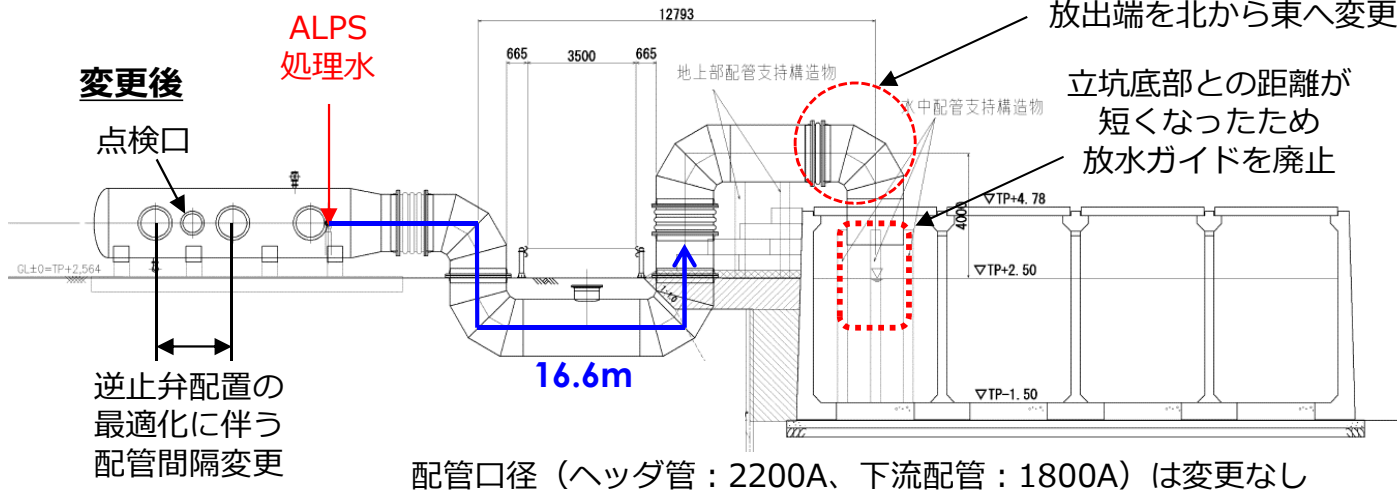
■ 放水立坑の構造確定に伴い海水配管の設計変更が発生

- 設計変更の際には、配管口径は変えず既往解析でALPS処理水の質量濃度最大値が1%を下回る④直管中央以上の配管長を確保
- 再度、変更後の形状において流体解析を実施し、混合希釈の効果を確認
- ✓ 再解析にあたっては、海水配管ヘッドから配管端部までモデル化を実施し、質量濃度の最大値を評価予定

当初計画



変更後



放水立坑の構造確定による影響箇所

2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

②-3. トリチウム濃度に応じた放出量の調整

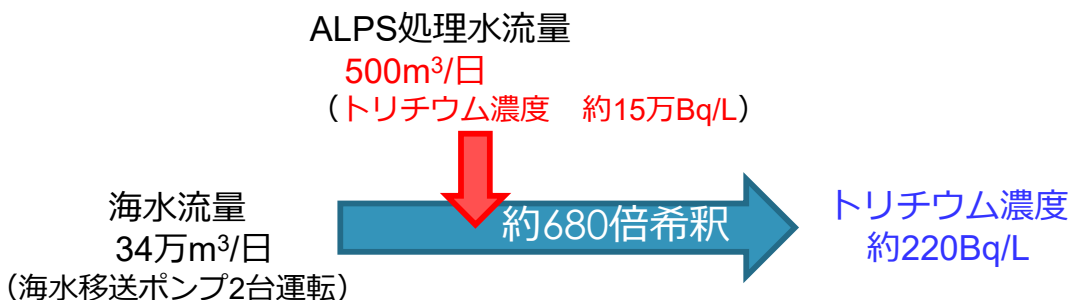
- ALPS処理水はトリチウム濃度に約15万Bq/L～約216万Bq/Lの幅があるため、希釈後のトリチウム濃度が1,500Bq/Lを下回るよう、ALPS処理水のトリチウム濃度に応じてALPS処理水流量の調整が必要

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

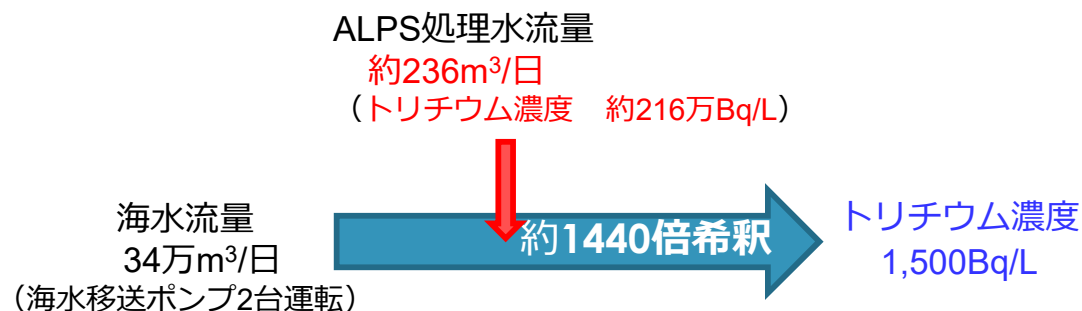
【例】

- トリチウム濃度が15万Bq/Lの場合は、ALPS処理水流量を最大の500m³/日と設定しても、希釈後のトリチウム濃度は約220Bq/Lとなる。
(ALPS処理水のトリチウム濃度が102万Bq/Lを超える場合、ALPS処理水流量を低減させる)
- トリチウム濃度が216万Bq/Lの場合、希釈後のトリチウム濃度を最大の1,500Bq/Lとするために、ALPS処理水流量は約236m³/日に調整する必要がある。

①トリチウム濃度 15万Bq/Lの場合



②トリチウム濃度 216万Bq/Lの場合



※流量計測及び分析による不確かさは含まない
また、海洋放出する際のトリチウム濃度を計算

2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

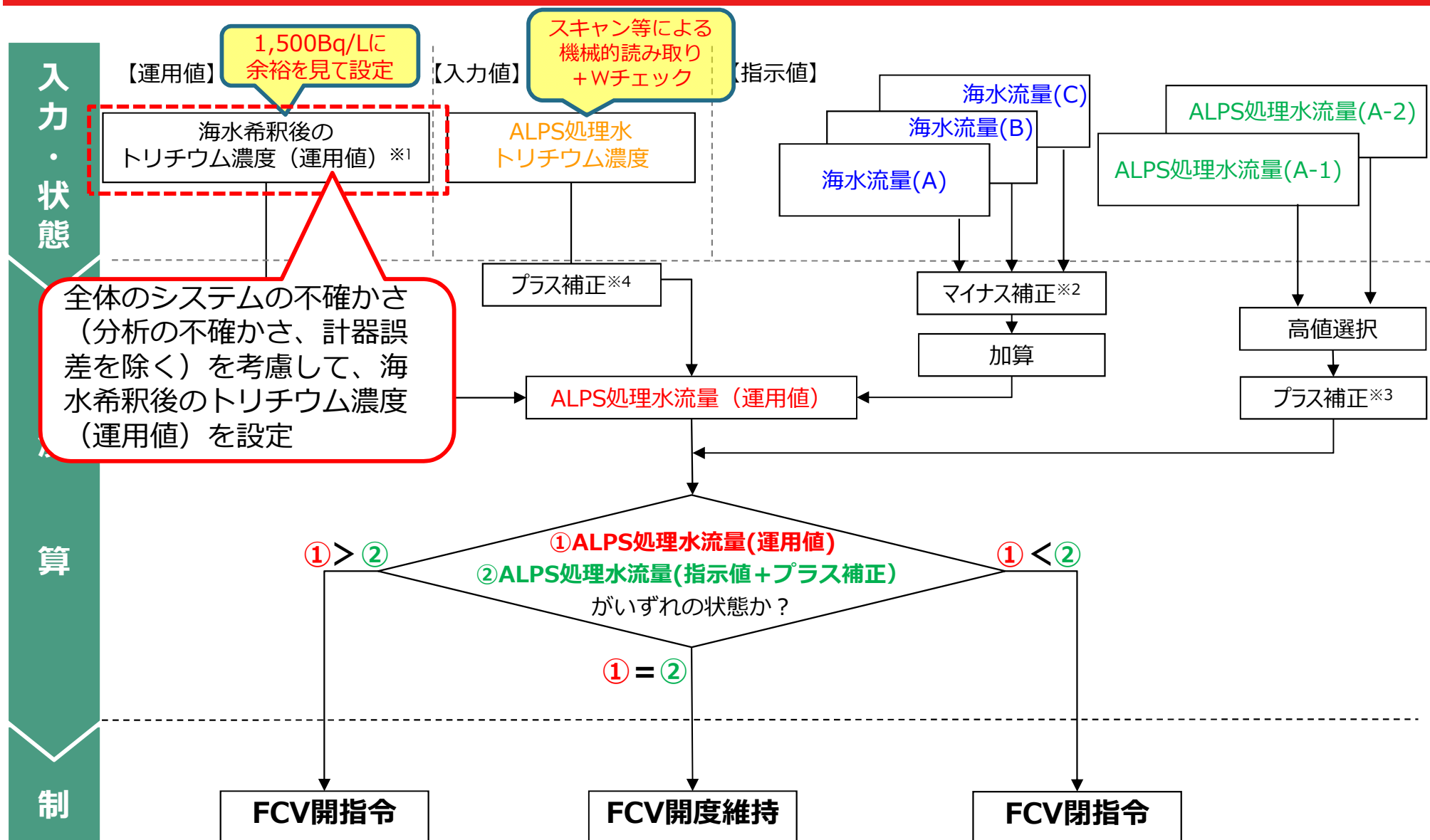
②-4. 実際の放出時のトリチウム濃度

- 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、トリチウム濃度に応じて放出できる1日当たりのALPS処理水の放水量は以下の通り（設備稼働率として80%を考慮）
 - トリチウム濃度約15万Bq/Lの場合：約500m³/日
 - トリチウム濃度約62万Bq/Lの場合：約120m³/日
 - トリチウム濃度約216万Bq/Lの場合：約35m³/日
- なお、タンク解体跡地の敷地利用を促進するため、トリチウム濃度の低いALPS処理水から優先して放出する方針（スライド38参照）であることから、トリチウム濃度の高いALPS処理水であっても、放出までの半減期による減衰を見込むことで、濃度を低減させる（現在、約216万Bq/Lであっても、放出時期を2050年と仮定すると約40万Bq/Lまで低減）



- 上記の通り、トリチウムの年間放出量を22兆Bqを下回る水準とした時の1日当たりのALPS処理水の放水量及び、トリチウム濃度の低いALPS処理水から優先して放出する方針から、希釈混合による不確かさ（理論混合値0.14%に対して断面④でALPS処理水の質量濃度の最大0.3%、断面⑤でALPS処理水の質量濃度の最大0.23%）を考慮しても、実際の放出時のトリチウム濃度が1,500Bq/Lより十分低くなることから、各断面で1,500Bq/Lを超えることはない
- なお、上記を含む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

②-5. ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整

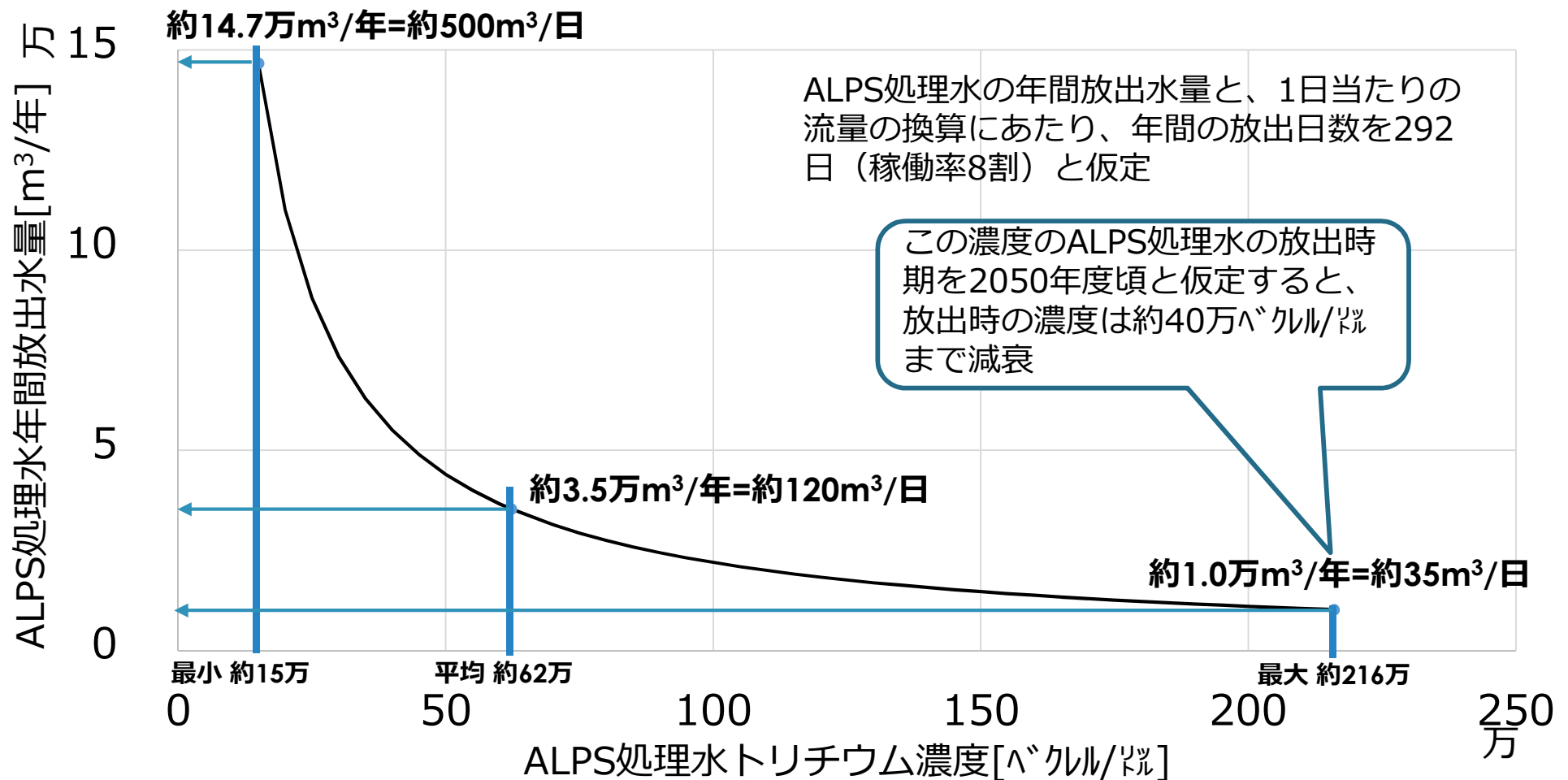


※1： 供用開始前に監視・制御装置へ登録し、計画した条件から変更がある場合を除いて基本的には変更しない
 ※2： 計器の誤差による非安全側（実流量が指示値より低い）を想定し、計器誤差分（2.1%FS）を補正
 ※3： 計器の誤差による非安全側（実流量が指示値より高い）を想定し、計器誤差分（2.1%FS）を補正
 ※4： 分析の不確かさによる非安全側（実濃度が分析値より高い）を想定し、不確かさ分（【暫定】10%）を補正

【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）

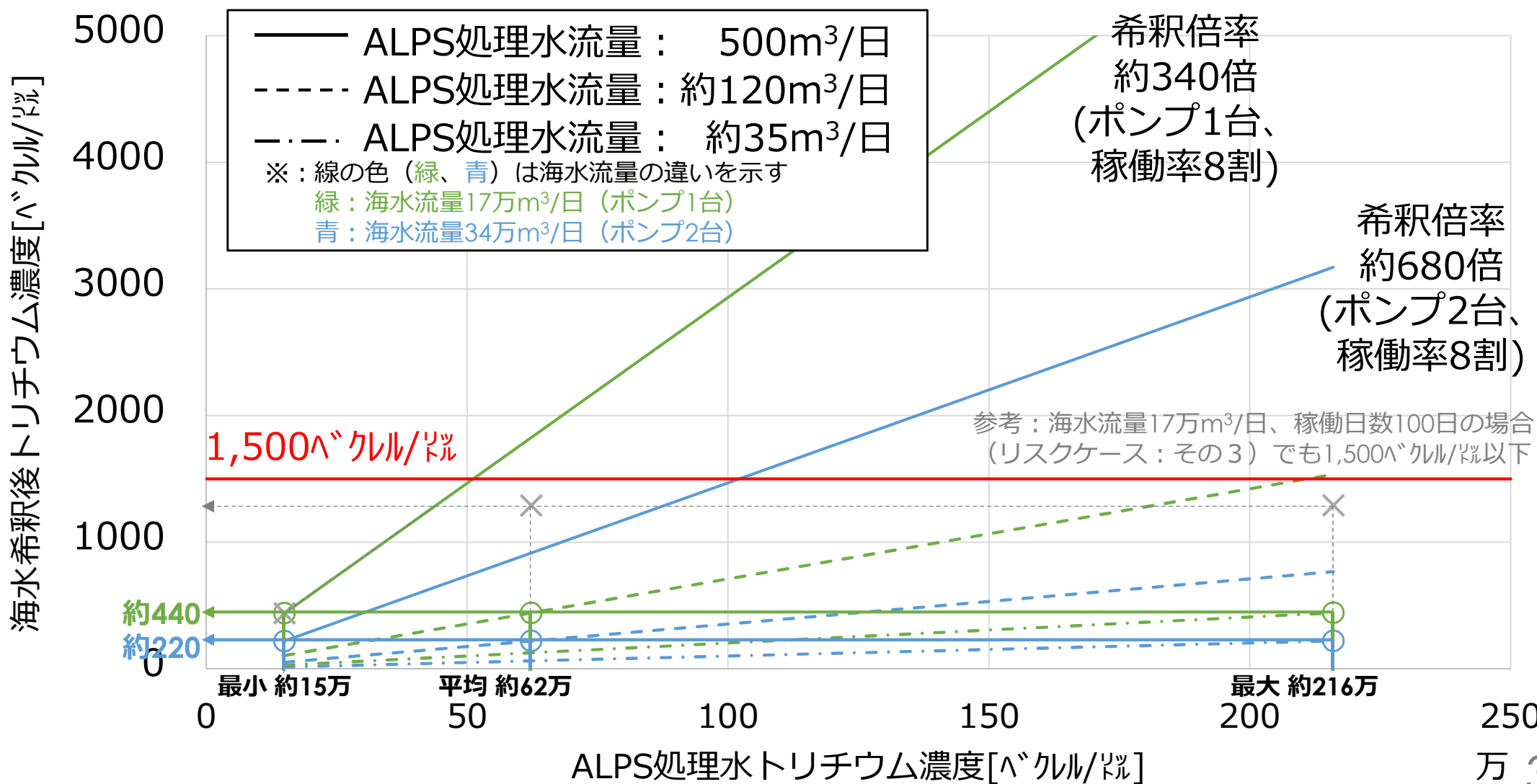


2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視



【参考】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/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



【参考】放出シミュレーション

- 事故時点のトリチウムが全量存在しているケースAと、現時点の情報においてトリチウム総量が最も少ないケースBの2ケースにて評価した
- それぞれのケースについて、敷地利用計画に影響を与えないよう年間のトリチウム放出総量を変化させ、**海洋放出完了がちょうど2051年度となる放出総量を設定すると**、ケースAは年間最大22兆ベクレル、ケースBは年間最大16兆ベクレルとなる

<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>

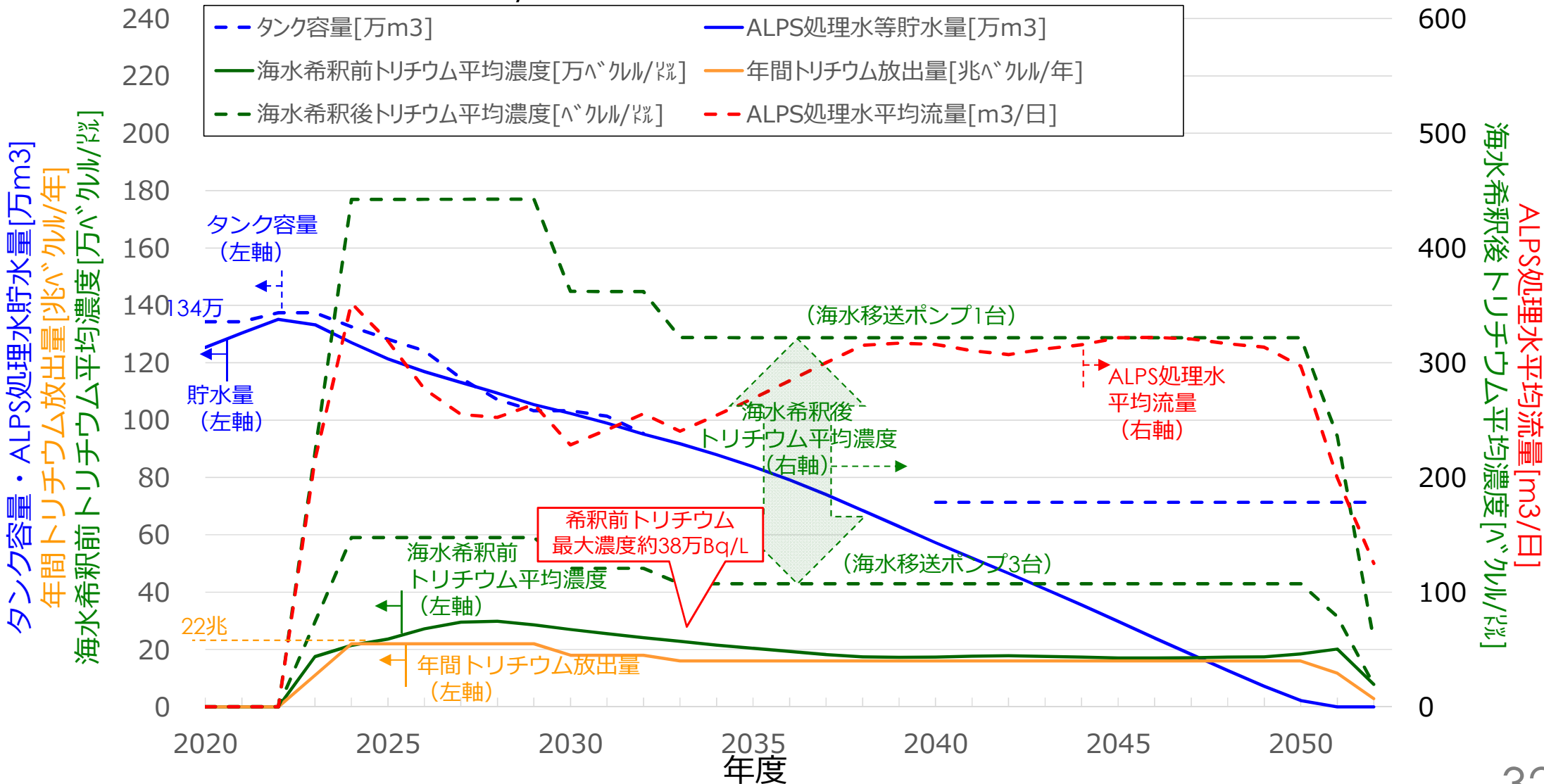
トリチウム濃度 [ベクレル/ℓ]	～30万	30～60万	60～120万	120～180万	180～240万	45万と仮定
貯水量	約21.9万m ³	約39.1万m ³	約47.3万m ³	約5.0万m ³	約2.4万m ³	2020年12月 時点推定分 約9.6万m ³

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】 ケースA (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

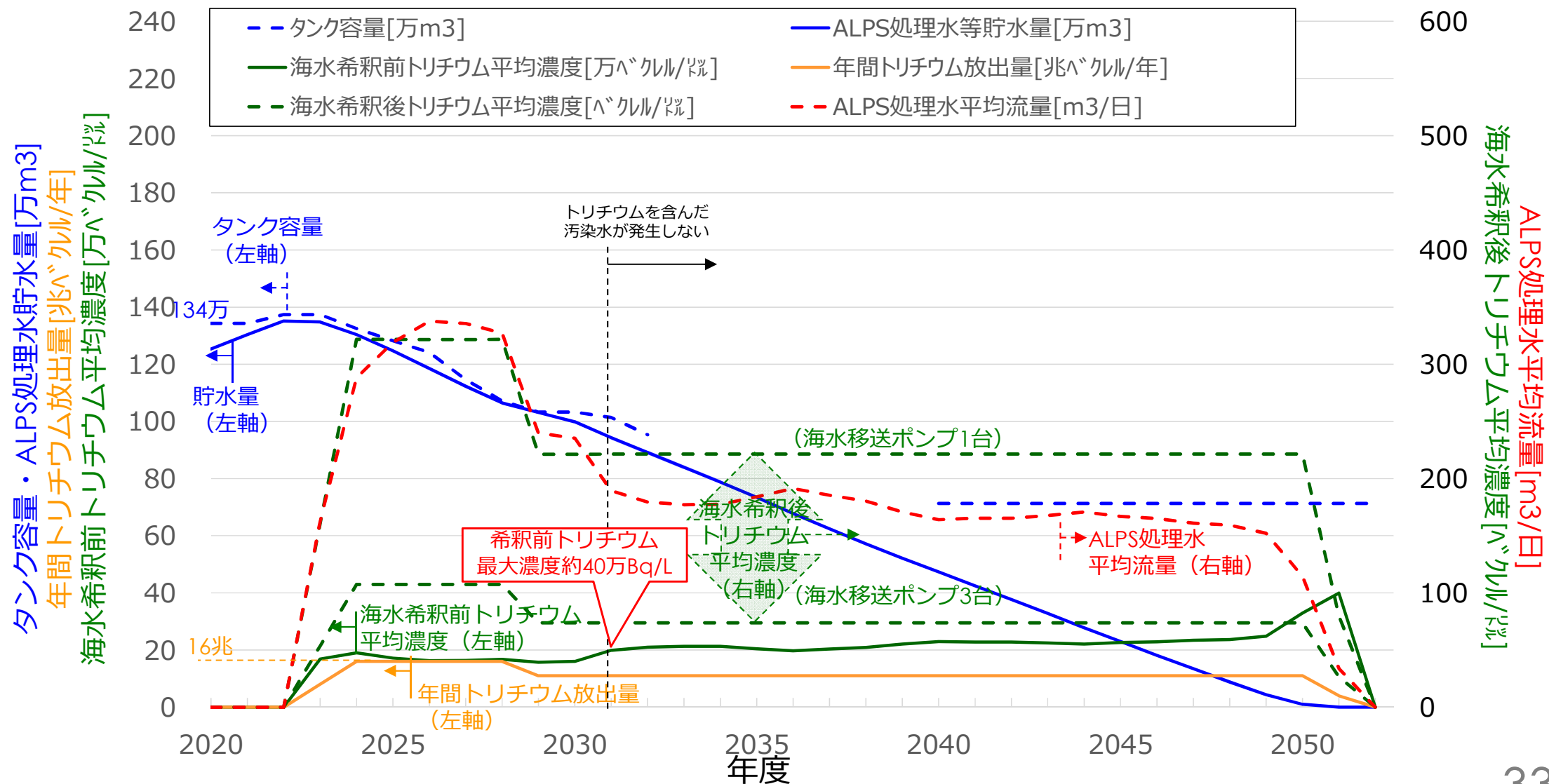


2-1(1) ①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視



【参考】 ケースB (建屋内トリチウム総量最小)

- 2023年度:8兆 Bq /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 Bq /年
- 2029年度以降:11兆 Bq /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

【参考】放出シミュレーション (共通条件及びパラメータ)

共通条件

年間トリチウム放出量 (22兆ベクレル/年未満)	敷地利用計画に影響を与えない範囲で海洋放出完了が2051年度となる放出総量を設定
シミュレーション 評価開始日	2021年4月1日 (1年単位でのシミュレーション)
放出開始日	2023年4月1日
ALPS処理水流量	最大500m ³ /日
希釈用海水流量	17万m ³ /日 (海水ポンプ1台) ~ 51万m ³ /日 (海水ポンプ3台)
ALPS処理水 放出順序	測定・確認用設備として使用するK4タンク約3万m ³ をトリチウム濃度の薄い順に放出 その後、その他のタンク・新規発生ALPS処理水もトリチウム濃度の薄い順に放出
トリチウム減衰	半減期12.32年として考慮 (1年間で約5.5%減少)、新規発生分も減衰考慮
ALPS処理水発生量	2025年度以降に100m ³ /日となるよう、段階的に汚染水発生量が毎年10m ³ /日ずつ減少 することを仮定
放出日数	292日 (稼働率8割)

パラメータ

ケース	A (トリチウム総量が最も多いケース)	B (現時点の情報でトリチウム総量が 最も少ないケース)
新規発生 トリチウム濃度	44.8万ベクレル/l (2021/1/5、2021年最大)	21.5万ベクレル/l (2021/6/1、2021年最小)
建屋内トリチウム総量 (2021/4/1時点)	約1150兆ベクレル (事故時3400兆ベクレルが建屋・タンクに全量残存)	約81兆ベクレル (建屋内滞留水貯水量及び濃度より推計)

審査会合における主な指摘事項※等に対する回答

※：第97回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2-2 別紙2

指摘事項③

(2-2 政府方針への取り組みに関する主な確認事項)

(1) トリチウムの年間放出量

- 年間トリチウム放出量を管理するに当たって、インターロックを介して機械的に放出操作を止めることその他、今回東京電力から口頭で説明のあった年間放出計画の基本的な内容や当該計画に沿った放出管理の方法について説明すること。

③-1. 概要

■ 計画時における年間トリチウム放出量の管理

- 予め毎年度、当該年度のトリチウム放出総量の実績を公表する際に合わせて、汚染水発生量の状況（推移）、淡水化装置（RO）入口トリチウム濃度（推移）や、今後の敷地利用計画（必要な面積、時期）等を年度末までに精査し、翌年度の放出計画を策定する予定である（詳細はスライド37、38参照）。

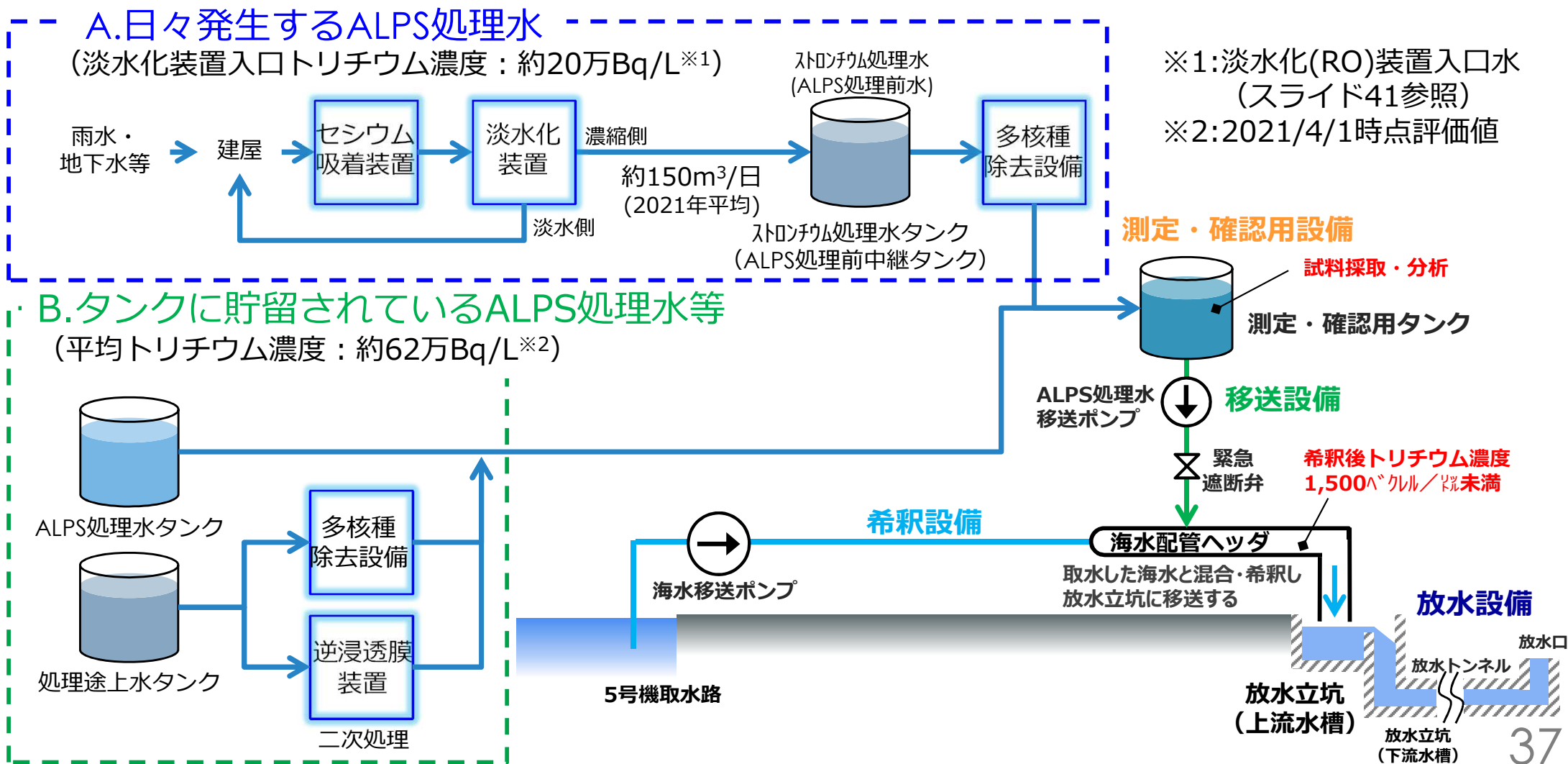
■ 運用時における年間トリチウム放出量の管理

- 上記に加えて、第5回審査会合にてご説明した設備面でのインターロックを設けることで、22兆Bq/年を上回らないように運用時においても管理する。（スライド40参照）

2-2(1)トリチウムの年間放出量

③-2. 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。



2-2(1)トリチウムの年間放出量

③-3. 放出計画の立案手順

- 「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」を交互に放出する定常的な運用状況において、年間トリチウム放出量22兆Bq/年の範囲内で、以下の考え方で翌年度の放出計画を毎年度立案する。

「A.日々発生するALPS処理水」

- ✓ ①淡水化（RO）装置入口トリチウム濃度 × ②汚染水発生量 = ③Aの年間トリチウム放出量

「B.タンクに貯留されているALPS処理水等」

- ✓ ④年間トリチウム放出量（22兆Bq/年） - ③ = ⑤Bの年間トリチウム放出量
- ✓ ⑥Bの年間放水量：
「廃炉中長期実行プラン」を踏まえ、タンク解体に着手する必要がある面積から水量を決定
- ✓ ⑤ ÷ ⑥ = ⑦Bの平均トリチウム濃度
- ✓ 平均トリチウム濃度が⑦で定めた値を下回るよう、トリチウム濃度の薄いALPS処理水を優先し、運用（貯留タンクから測定・確認用設備又はALPSへの移送ラインの敷設等）を考慮しながら、⑥の放出水量の範囲で、タンク群の放出順序の計画を立案

水の種類	平均トリチウム濃度 [Bq/L]	年間放水量 [m ³ /年]	年間トリチウム放出量 [Bq/年]
A	①淡水化（RO）装置 入口トリチウム濃度	②汚染水発生量 ×365[日/年]	③：①×1000[L/m ³] ×②×365[日/年]
B	⑤÷⑥÷1000[L/m ³]	⑥敷地利用計画より	⑤：④ - ③
合計	-	-	④：22兆（政府方針より）

2-2(1)トリチウムの年間放出量

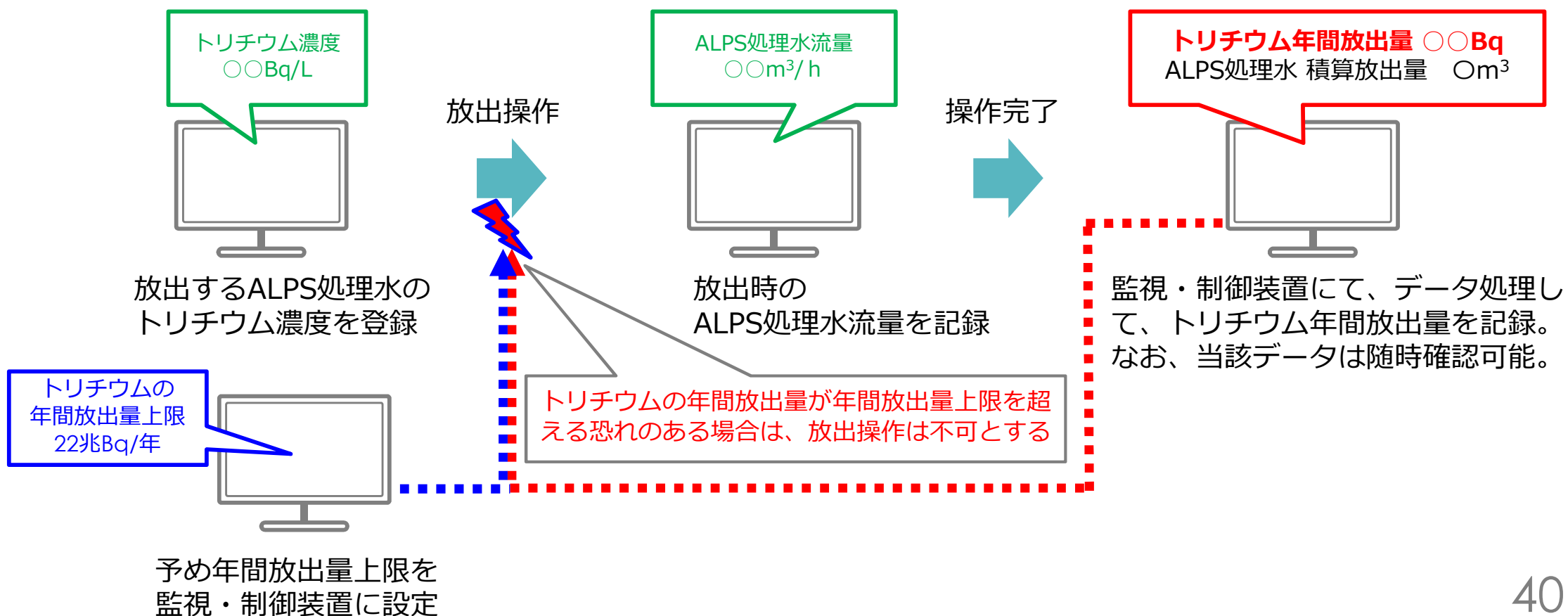
③-4. 放出計画の前提が変化した場合の対応

- 放出計画立案の前提として①淡水化(RO)装置入口トリチウム濃度、②汚染水発生量を考慮している。
- これらのパラメータが年度途中で大きく変化した場合においては、A.日々発生するALPS処理水と放出計画で選定したB.タンクに貯留されているALPS処理水等のトリチウム濃度を比較し、トリチウム濃度の薄いものを優先し放出する。また、この場合、スライド40に示す設備面でのインターロックにより、年間22兆Bqを超えないよう運用する。

2-2(1)トリチウムの年間放出量

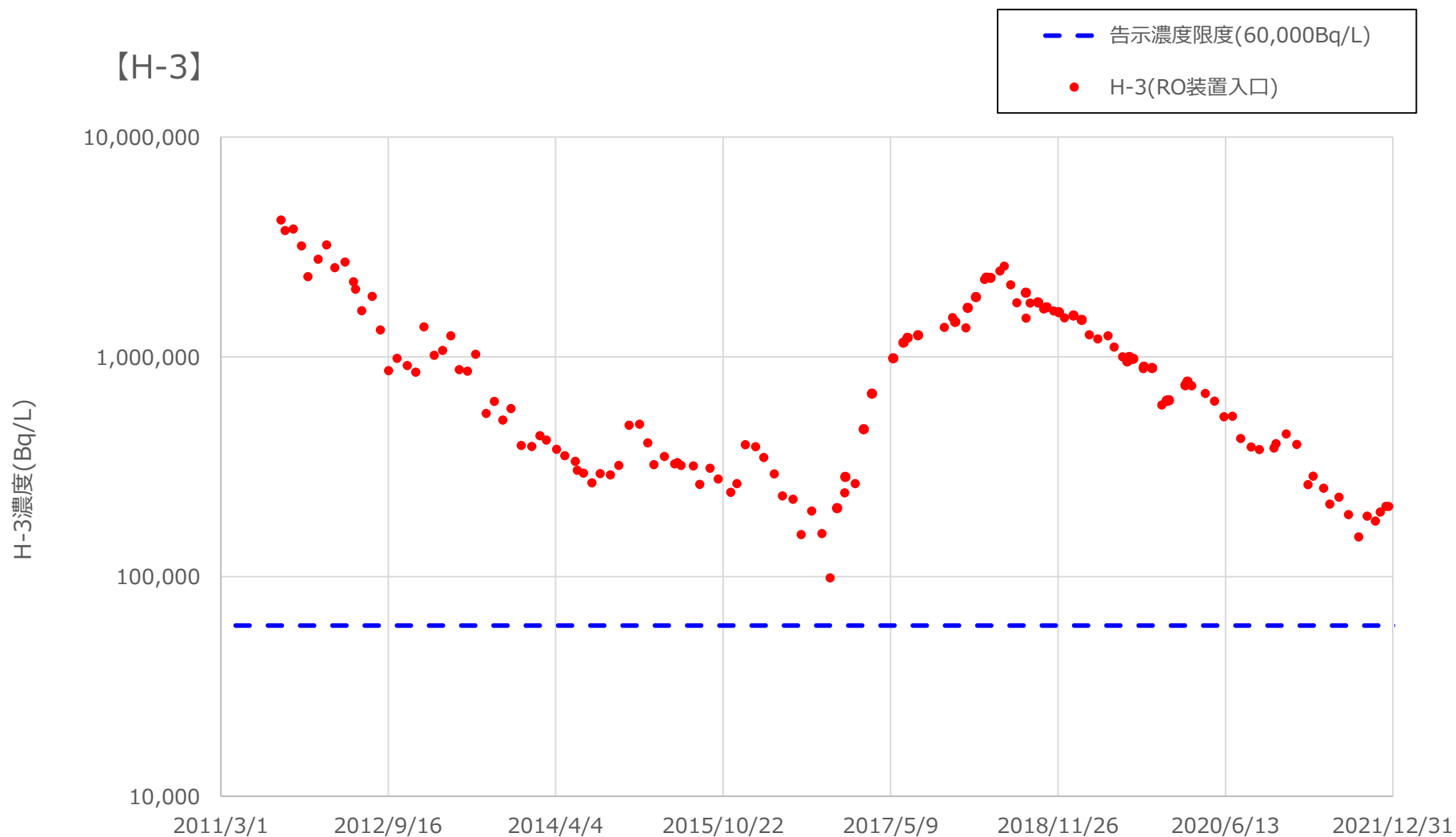
【補足】放出管理値を超えないインターロック

- ALPS処理水希釈放出設備では、放出の都度、放出するALPS処理水のトリチウム濃度を監視・制御装置に登録すると共に、放出時のALPS処理水流量を監視・制御装置にて監視し、その積算流量をカウント・記録している。
- トリチウムの年間放出量は、放出の都度登録されるトリチウム濃度と積算流量を乗じた結果を、監視・制御装置内で足し合わせて記録すると共に、当該データは随時確認可能となっている。
- また、装置内では、トリチウムの年間放出量上限を設定することが可能であり、当該設定値を超える恐れがある場合は、放出操作へ移行出来ないインターロックを組むことで、1年あたりの放出管理値（22兆Bq）を超えない運用を実施する。



2-2(1)トリチウムの年間放出量

【参考】淡水化（RO）装置入口トリチウム濃度推移



※ 2015/4/30以降のデータは当社HP「福島第一原子力発電所における日々の放射性物質の分析結果」に掲載のデータ

審査会合における主な指摘事項※等に対する回答

※：第97回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2-2 別紙2

指摘事項④

(参考) 全体方針

- 今回の設備については、安全上の対応として、放出を停止することに主眼が置かれているが、特定原子力施設全体のリスク低減を考慮した場合に、安全上の措置に加えて、長期間、安定的な放出を行うことが必要である点についても設計思想に取り入れること。
- 敷地利用計画について今後の方針の妥当性やALPS処理水の放出によるタンク撤去と廃炉に必要な施設の設置が、当該計画の中で全体として成立することを示すこと。

④ - 1. 長期・安定的な放出の必要性

- 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。
特定原子力施設の今後のリスク低減対策として、以下の通り位置付ける。
- ✓ 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。

(参考) 全体方針

④ - 2. 敷地利用の成立性 (1/2)

- 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に、今後必要と想定している施設及びその建設時期は下表のとおり。必要な手続きを実施した上で、これらの施設の建設に必要な敷地を確保し、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
	✓ 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		
	✓ 乾式キャスク仮保管施設 (1~6号機SFP用)	✓ 乾式キャスク仮保管施設 (共用プール用) 等	—
	✓ SFP内高線量機器等保管設備 等		
	・ 放射性廃棄物のリスク低減のために必要な施設		
	✓ 固体廃棄物貯蔵庫		
	✓ 大型廃棄物保管庫	✓ 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	
	✓ 固体廃棄物減容施設		
	✓ リサイクル施設 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

④ - 3. 敷地利用の成立性 (2/2)

- 政府方針において示されている年間22兆ベクレルを下回る水準で放出するにあたり、前頁で示した施設が建設できるよう、敷地利用を考慮したタンクからの年間放水量を設定（スライド38参照）することで、廃炉作業への影響を与えないよう放出を進めていく。
- また現状の評価では、年間22兆ベクレルを下回る水準で放出しても、廃炉への影響がないものと想定している（スライド31～34参照）。

<政府方針>

3. ALPS処理水の海洋放出の具体的な方法

(2) 風評影響を最大限抑制するための放出方法

- ④また、放出するトリチウムの年間の総量は、事故前の福島第一原発の放出管理値（年間22兆ベクレル）を下回る水準になるよう放出を実施し、定期的に見直すこととする。なお、この量は国内外の他の原子力発電所から放出されている量の実績値の幅の範囲内である。

以降、参考資料

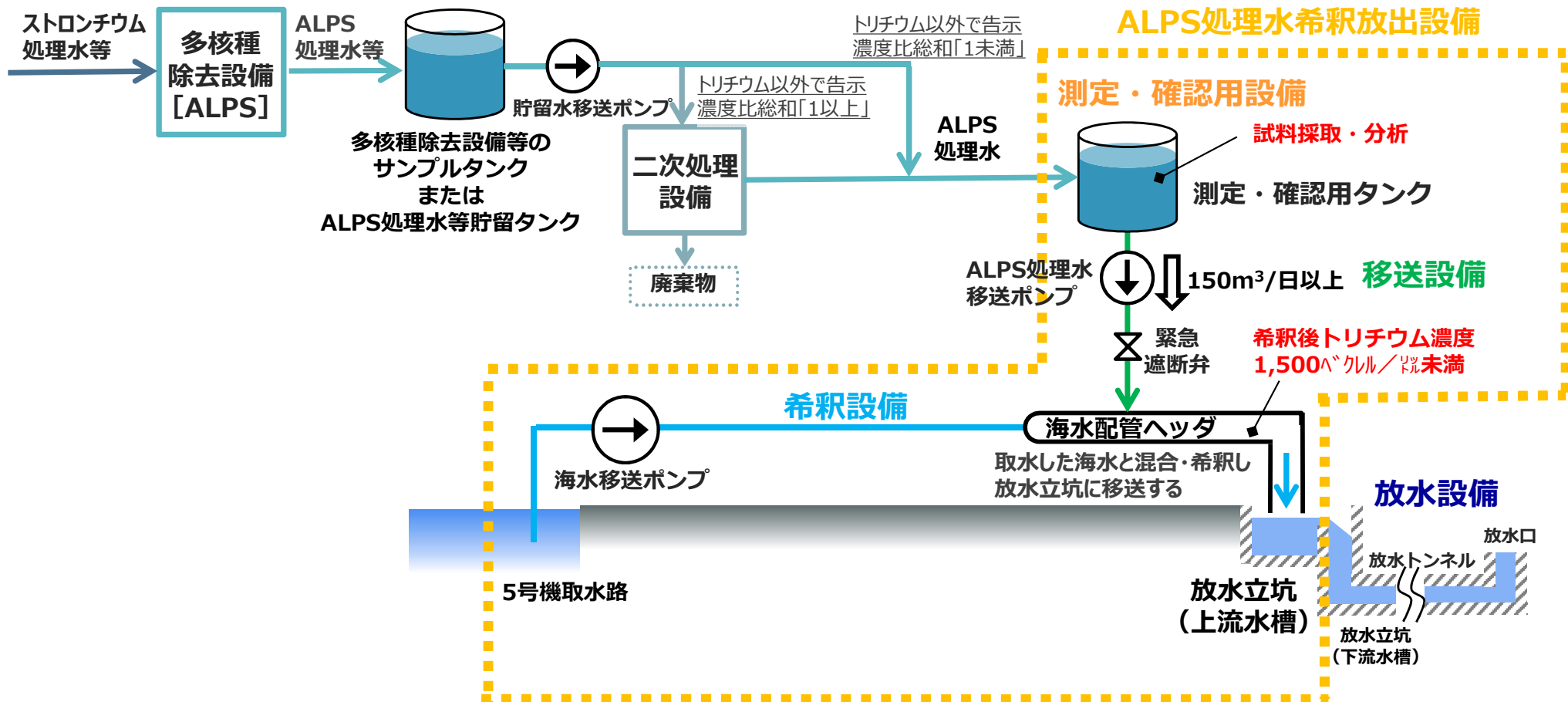
【参考】ALPS処理水希釈放出設備の全体概要

■ 目的

多核種除去設備で放射性核種を十分低い濃度になるまで除去した水が、ALPS処理水（トリチウムを除く放射性核種の告示濃度比総和 1 未満を満足した水）であることを確認し、海水にて希釈して、海洋に放出する。

■ 設備概要

測定・確認用設備は、測定・確認用タンク内およびタンク群の放射性核種の濃度を均一にした後、試料採取・分析を行い、ALPS処理水であることを確認する。その後、移送設備でALPS処理水を海水配管ヘッダに移送し、希釈設備により、5号機取水路より海水移送ポンプで取水した海水と混合し、トリチウム濃度を1,500ベクレル/l未満に希釈したうえで、放水設備に排水する。



【参考】ALPS処理水希釈放出設備（測定・確認用設備）の概要

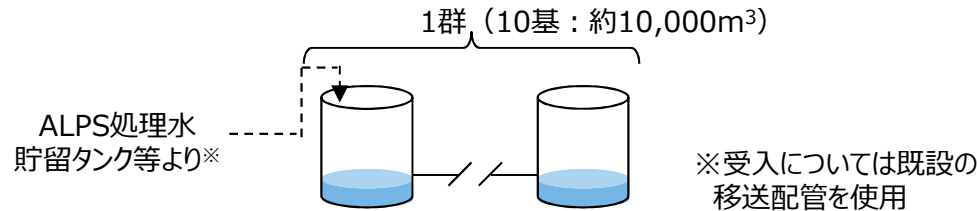


■ 測定・確認用設備

- 測定・確認用タンクはK4エリアタンク（計約30,000m³）を転用し、A～C群各10基（1基約1,000m³）とする。
- タンク群毎に、下記①～③の工程をローテーションしながら運用すると共に、②測定・確認工程では循環・攪拌により均一化した水を採取して分析を行う。

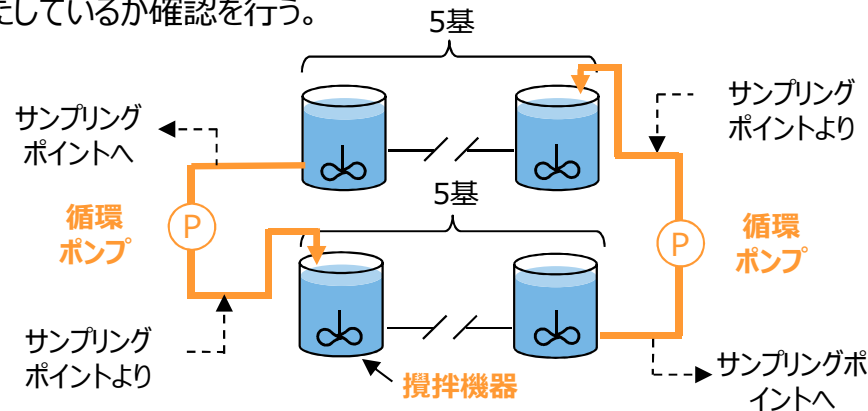
①受入工程

ALPS処理水貯留タンク等よりALPS処理水を空のタンク群で受入れる。



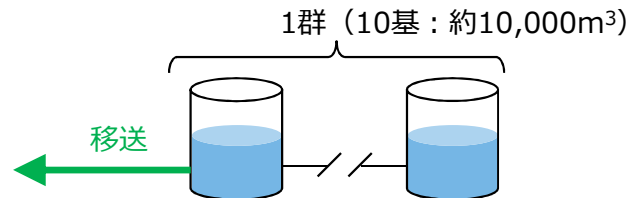
②測定・確認工程

攪拌機器・循環ポンプにてタンク群の水質を均一化した後、サンプリングを行い、放出基準を満たしているか確認を行う。

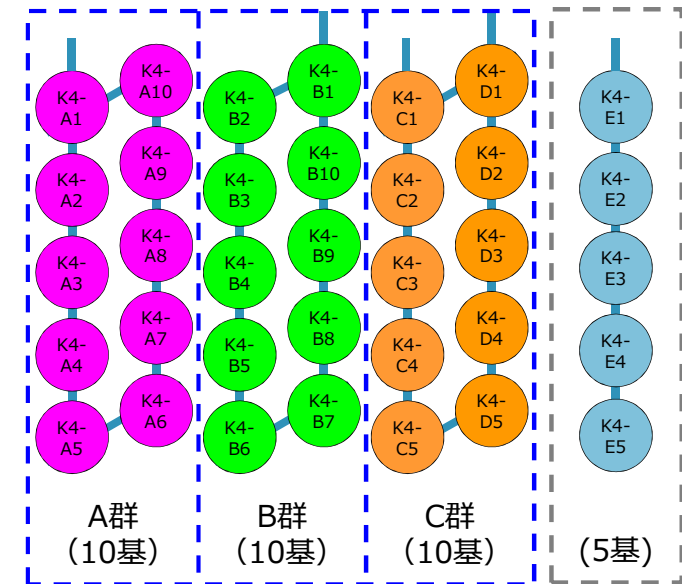


③放出工程

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



K4エリアタンク群：35基



2.50章 ALPS処理水希釈放出設備

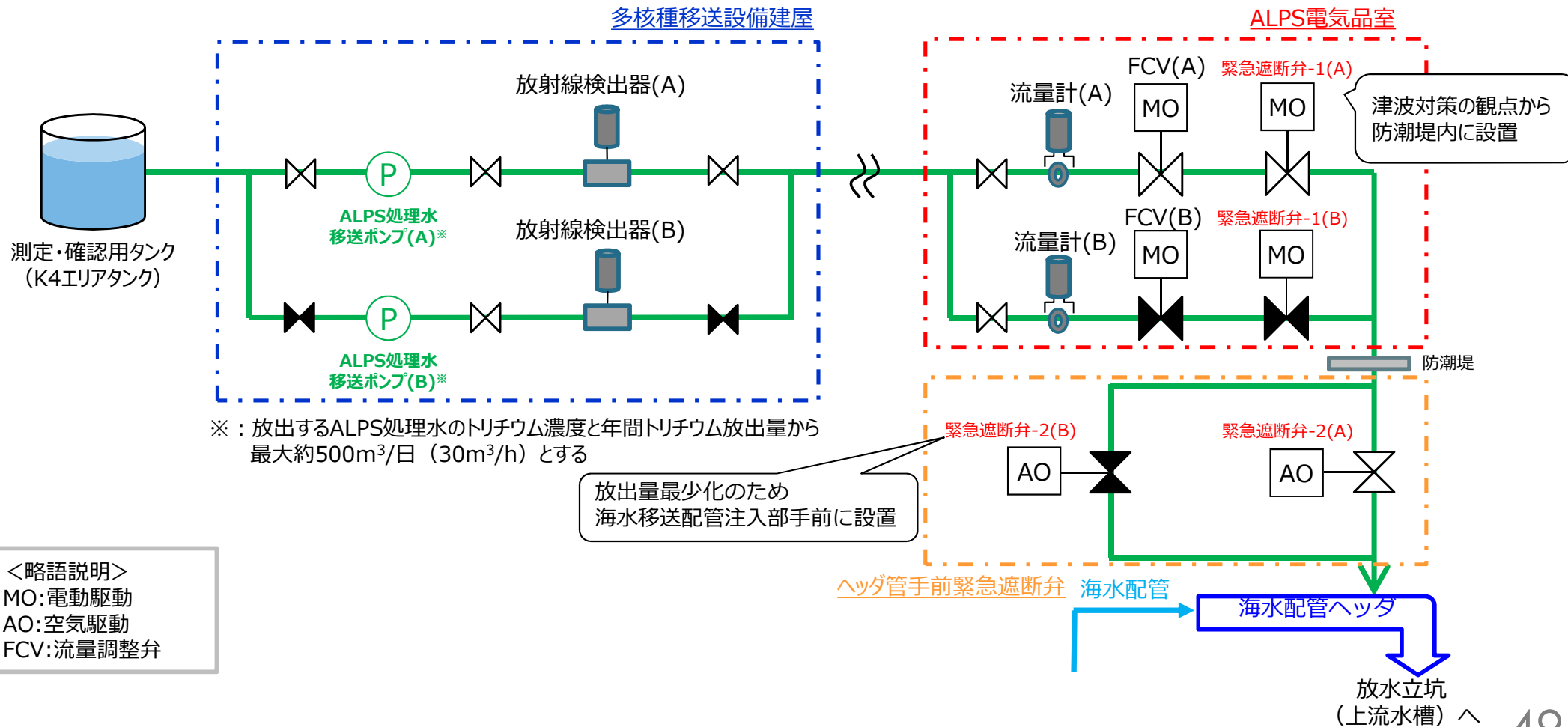
2.5章 多核種処理水貯槽

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

【参考】ALPS処理水希釈放出設備（移送設備）の概要

■ 移送設備

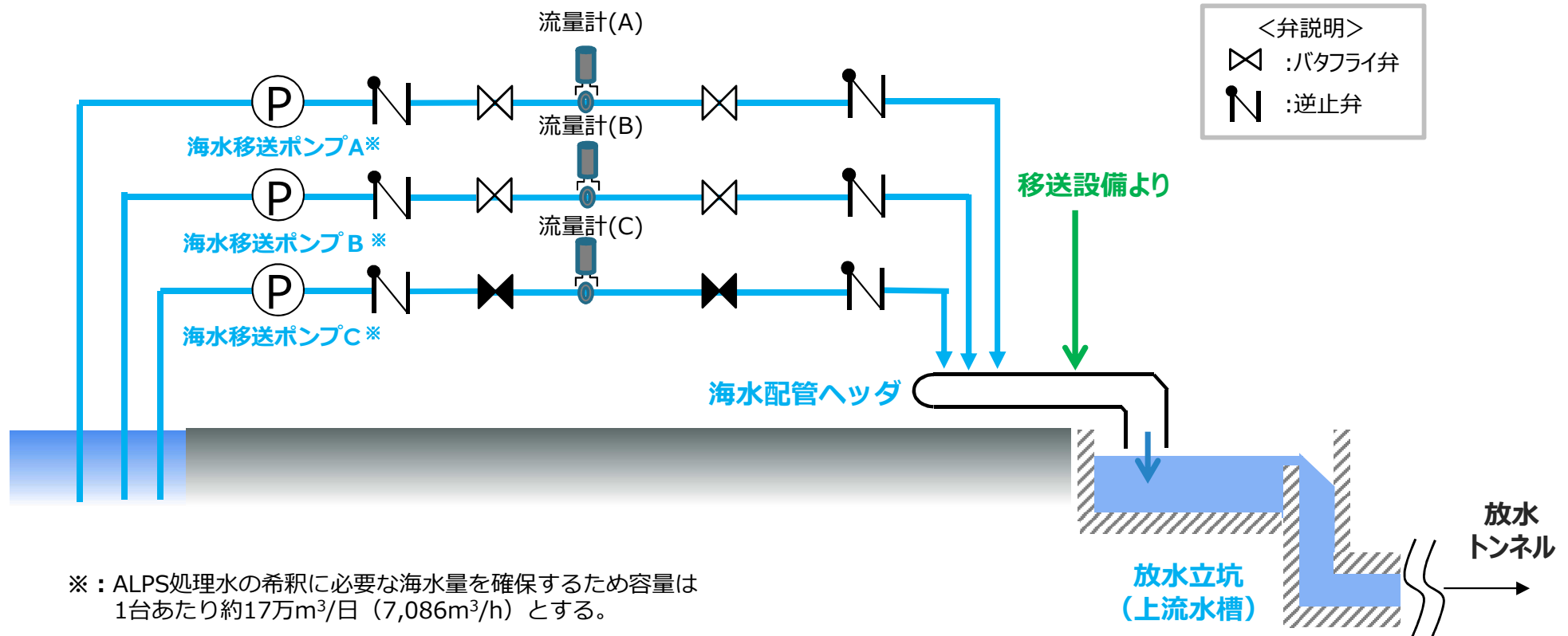
- 移送設備は、ALPS処理水移送ポンプ及び移送配管により構成する。
- ALPS処理水移送ポンプは、運転号機と予備機の2台構成とし、測定・確認用タンクから希釈設備までALPS処理水の移送を行う。
- また、異常発生時に速やかに移送停止できるよう緊急遮断弁を海水配管ヘッダ手前及び、津波対策として防潮堤内のそれぞれ1箇所を設置する。



【参考】ALPS処理水希釈放出設備（希釈設備）の概要

■ 希釈設備

- ALPS処理水を海水で希釈し、放水立坑（上流水槽）まで移送し、放水設備へ排水することを目的に、海水移送ポンプ、海水配管（ヘッド管含む）、放水立坑（上流水槽）により構成する。
- 海水移送ポンプは、移送設備により移送されるALPS 処理水を100倍以上に希釈する流量を確保する。



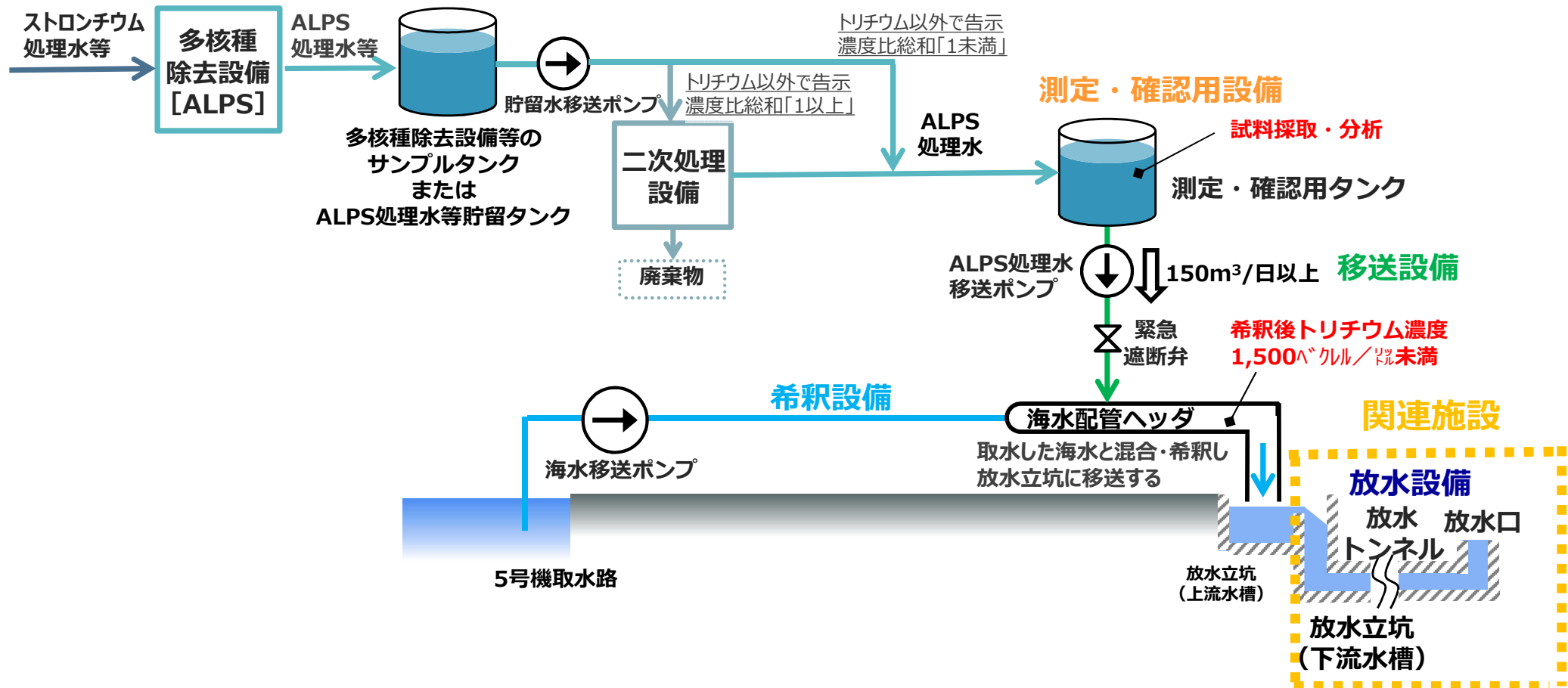
【参考】 関連施設（放水設備）の全体概要

■ 目的

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

■ 設備概要

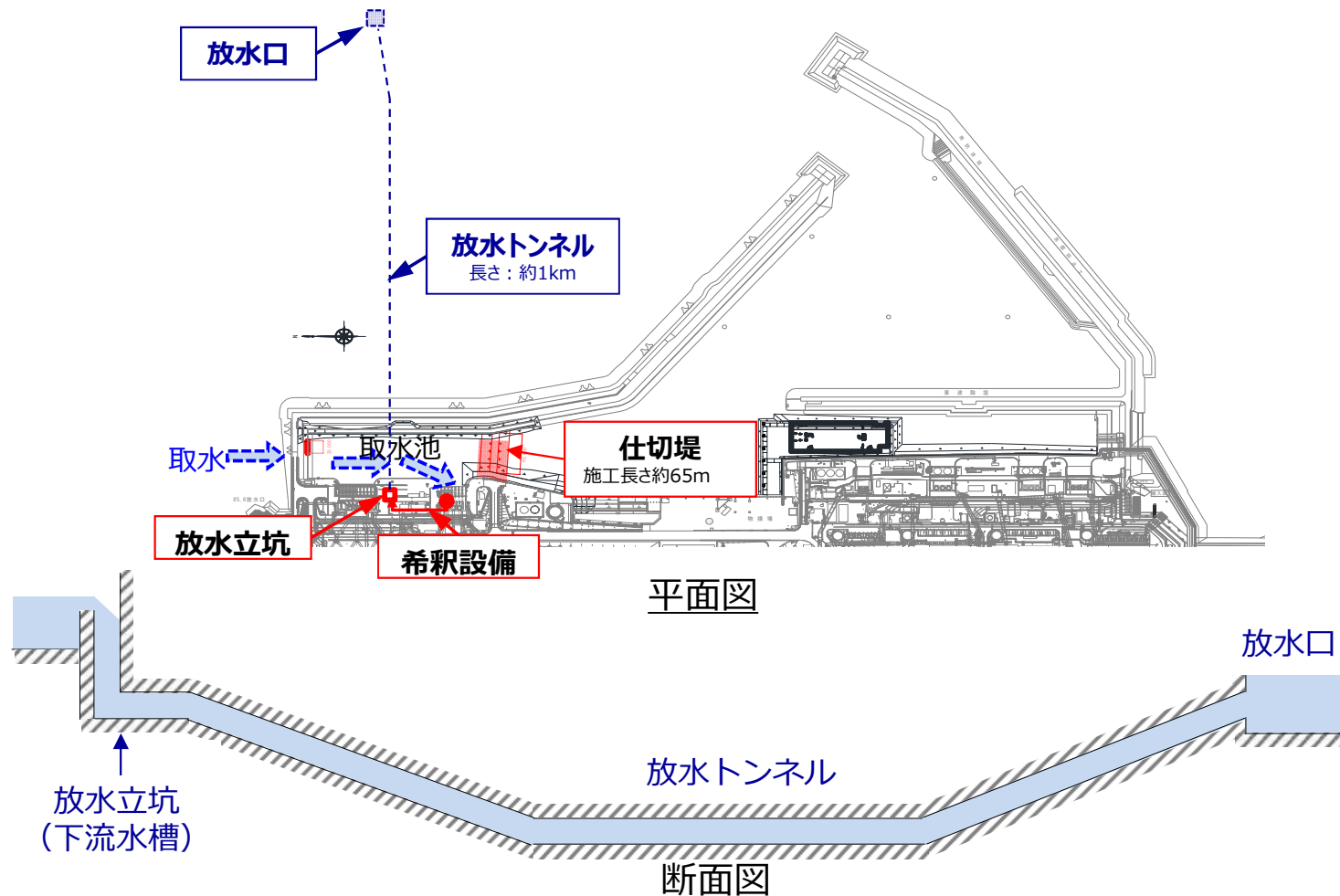
放水設備は、上記目的を達成するため、放水立坑（下流水槽）、放水トンネル、放水口により構成する。



【参考】 関連施設（放水設備）の概要（1/2）

■ 放水設備

- 放水立坑内の隔壁を越流した水を、放水立坑（下流水槽）と海面との水頭差により、約1km離れた放水口まで移送する設計とする。また、放水設備における摩擦損失や水位上昇等を考慮した設計とする。



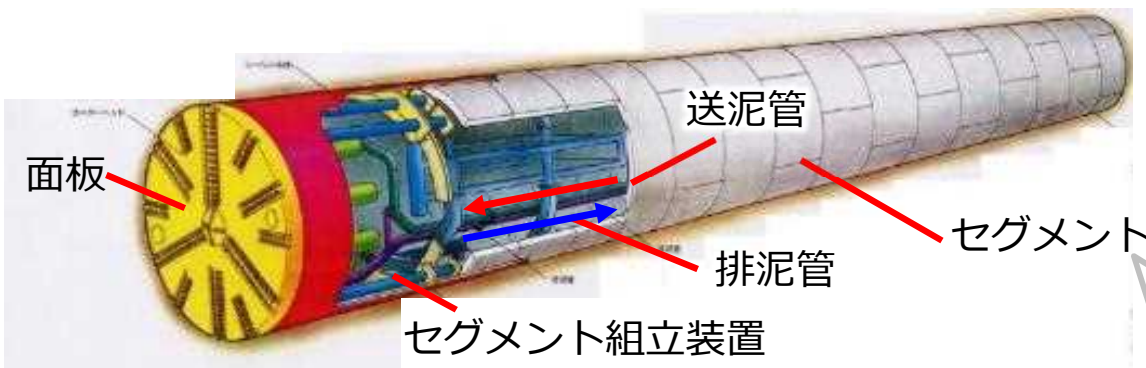
【参考】関連施設（放水設備）の概要（2/2）

■ 構造設計の概要

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

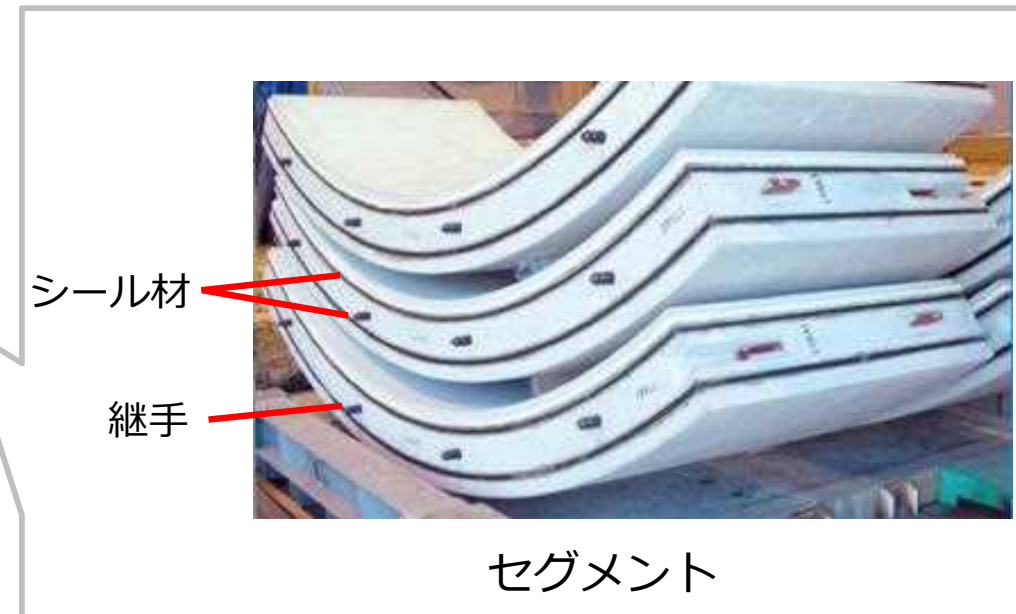
■ トンネルの施工（シールド工法）

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



※：今回は泥水式シールド工法を採用

シールドマシンの概要図



セグメント

【参考】ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設の配置計画

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

