

淡水化（RO）装置信頼性向上に関する補足説明資料

2020年5月22日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. 実施計画の変更目的及び内容

<目的>

本申請は、蛇腹ハウスやテントハウス内に設置している淡水化装置（RO）（耐震Bクラス要求）に係る設備の内、参考評価として実施したBクラス静的水平震度の2倍に耐える評価を実施していない下記機器について、更なる信頼性向上を目的とした対策を行うものである。

<既設設備の具体的対策内容>

対象機器	具体的対策内容
逆浸透膜装置（RO-1A） 逆浸透膜装置（RO-1B） 逆浸透膜装置（RO-2）	解体撤去
逆浸透膜装置（RO-3） 廃液RO供給タンク 廃液RO供給ポンプ RO濃縮水受タンク RO濃縮水供給ポンプ SPT受入水タンク SPT受入水移送ポンプ	堰内面にライニングを施工し、地震時の系外漏えいに対し、信頼性を向上させる。

※ Bクラス水平震度の2倍に耐える評価を実施していない機器とは、建屋内RO循環設備設置の実施計画審査において既設設備の耐震性を問われた際に説明した、定量的評価が難しい機器、一般的な評価方法では耐えられない機器を示す。

1. 実施計画の変更目的及び内容

<新設設備の具体的対策内容>

運転系列は現状と同様に建屋内RO循環設備を原則使用することとし、**建屋内RO濃縮水受タンク・増設RO濃縮水受タンク等**を設置することで、建屋内RO循環設備の運転にて発生する濃縮水を、逆浸透膜装置（RO-3）を経由せずに移送できる移送系統を構築する。

逆浸透膜装置（RO-3）は、建屋内RO循環設備の計画外停止により、原子炉注水系保有水が不足する恐れがある場合に使用する。

	運転時移送ライン	信頼性向上対策
逆浸透膜装置 (RO-3)	SPT受入水タンク・ポンプ ↓ 廃液RO供給タンク・ポンプ ↓ 逆浸透膜装置 (RO-3) ↓ RO濃縮水受タンク・ポンプ ↓ RO濃縮水貯槽(H8・Dエリア)	Bクラス静的水平震度の2倍に耐える設備を新設
建屋内RO	建屋内RO ↓ 建屋内RO濃縮水受タンク・ポンプ ↓ 増設RO濃縮水受タンク・ポンプ ↓ RO濃縮水貯槽(H8・Dエリア)	堰内面にライニング施工

2. 実施計画の主な変更内容の概要(1/2)

第Ⅱ章 特定原子力施設の設計

2.5 汚染水処理設備等

記載箇所	変更内容
2.5.1 基本設計	<ul style="list-style-type: none"> RO-1A/B,RO-2廃止に伴う台数の変更 運転系列の優先度を追記
2.5.2 基本仕様	<ul style="list-style-type: none"> RO-1A/B,RO-2廃止に伴う要目表の変更 建屋内RO濃縮水受タンク, 建屋内RO濃縮水移送ポンプ, 増設RO濃縮水受タンク, 増設RO濃縮水供給ポンプ, 配管設置に伴う要目表の変更
添付資料1 添付資料3 添付資料15 別冊5,別冊16	<ul style="list-style-type: none"> RO-1A/B,RO-2廃止及びタンク, ポンプ, 配管設置に伴う系統概要の変更 RO-1A/B,RO-2廃止に伴う耐震評価の削除 タンク, ポンプ, 配管設置に伴う設計・確認の方針追記 運転系列の優先度を追記

2.36 雨水処理設備等

記載箇所	変更内容
2.36.2 基本仕様	<ul style="list-style-type: none"> ポンプ及び配管※設置に伴う記載追記
添付資料1	<ul style="list-style-type: none"> ポンプ及び配管※設置に伴う記載追記

※増設RO濃縮水受タンク設置エリアの堰内雨水を移送するための設備

2. 実施計画の主な変更内容の概要(2/2)

2.38 RO濃縮水処理設備

記載箇所	変更内容
2.38.2 基本仕様	・タンク用途変更※に伴う記載の変更
添付資料1	・タンク用途変更※に伴う撤去方法の記載変更

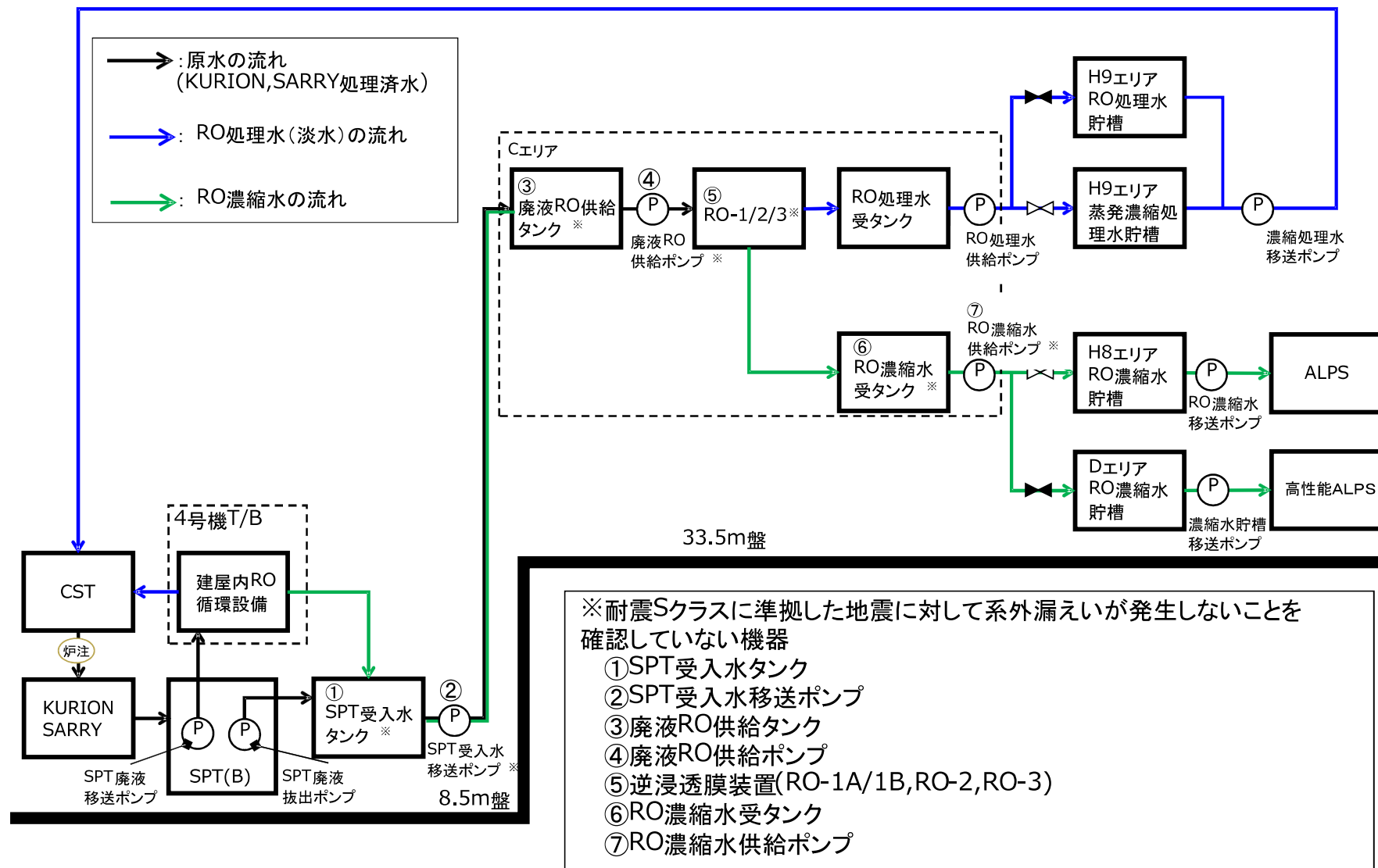
※過去にRO濃縮水処理設備として使用し、現在運用停止となったタンクについて、建屋内RO濃縮水受タンクとして再利用。

第Ⅲ章 特定原子力施設の保安 第3編

記載箇所	変更内容
2.2.2 敷地内各施設からの直接 線ならびにスカイシャイ ン線による実効線量	・タンク新設に伴う敷地境界線量の反映

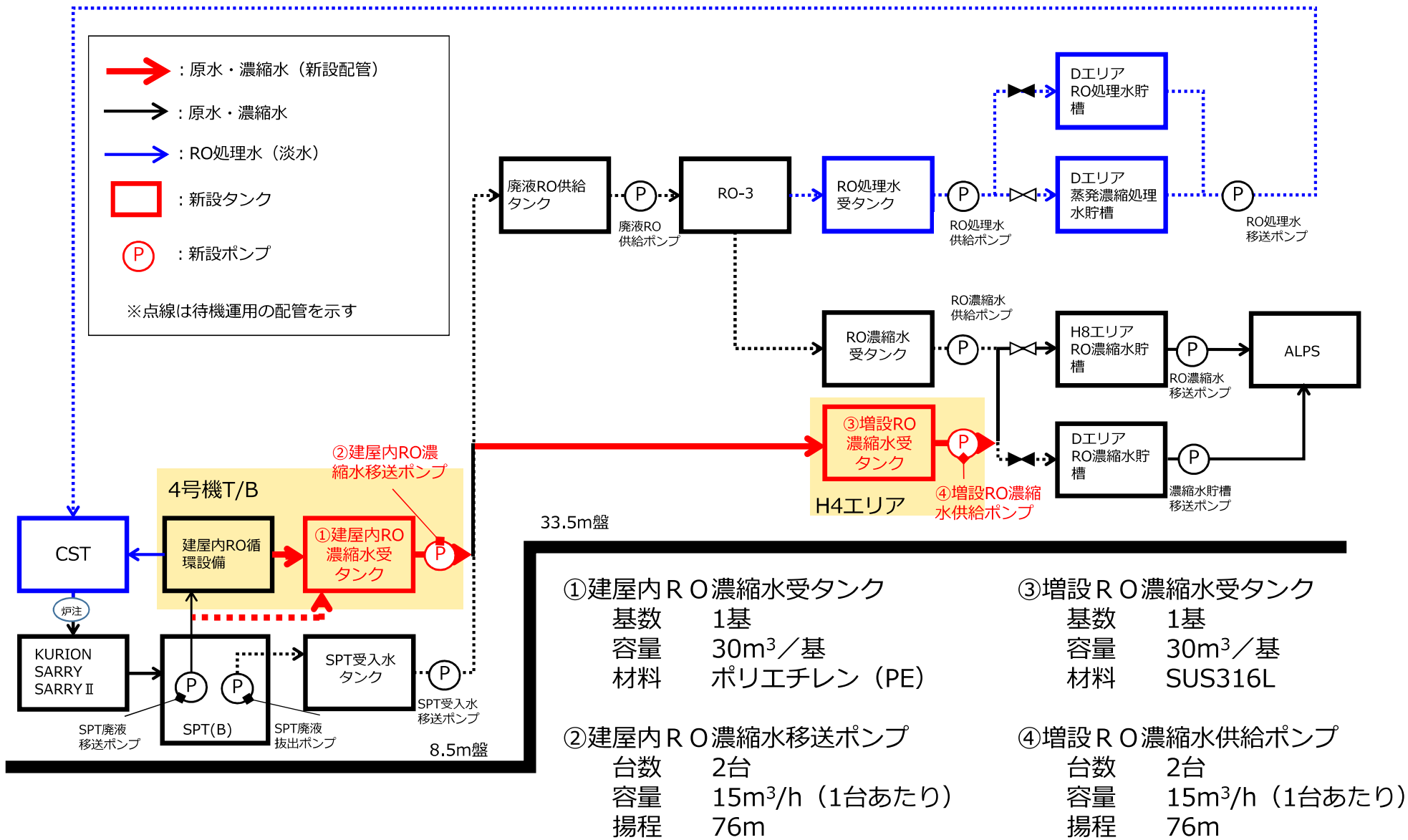
3. 系統概要図 (淡水化設備の既存構成)

- 建屋内RO循環設備にて処理したRO濃縮水はSPT受入水タンク→廃液RO供給タンク→既設RO→RO濃縮水受タンク→RO濃縮水貯槽(H8・Dエリア)の流れで移送される。



3-1. 系統概要図 (改造後の設備構成)

■改造後は建屋内RO循環設備にて処理したRO濃縮水は耐震性を向上した建屋内RO濃縮水受タンク→RO-3バイパス→増設RO濃縮水受タンク→RO濃縮水貯槽(H8・Dエリア)の流れで移送される。



①建屋内RO濃縮水受タンク
基数 1基
容量 30m ³ /基
材料 ポリエチレン (PE)

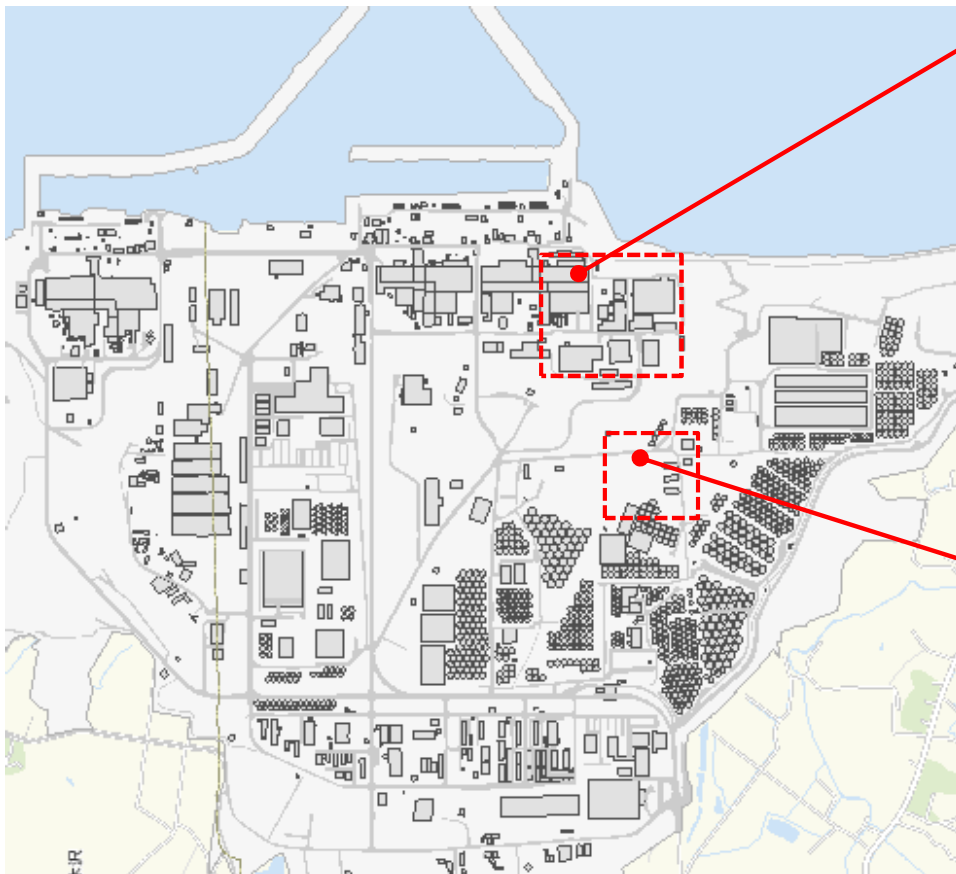
②建屋内RO濃縮水移送ポンプ
台数 2台
容量 15m ³ /h (1台あたり)
揚程 76m

③増設RO濃縮水受タンク
基数 1基
容量 30m ³ /基
材料 SUS316L

④増設RO濃縮水供給ポンプ
台数 2台
容量 15m ³ /h (1台あたり)
揚程 76m

3-2. 設備配置図

- 建屋内ROからの移送ライン（タンク・ポンプ含む）を、4号機T/BからH4エリア（33.5m盤）を經由して、RO濃縮水貯槽タンクまで設置。なお、一部は既設を流用。



3-2. 設備配置図

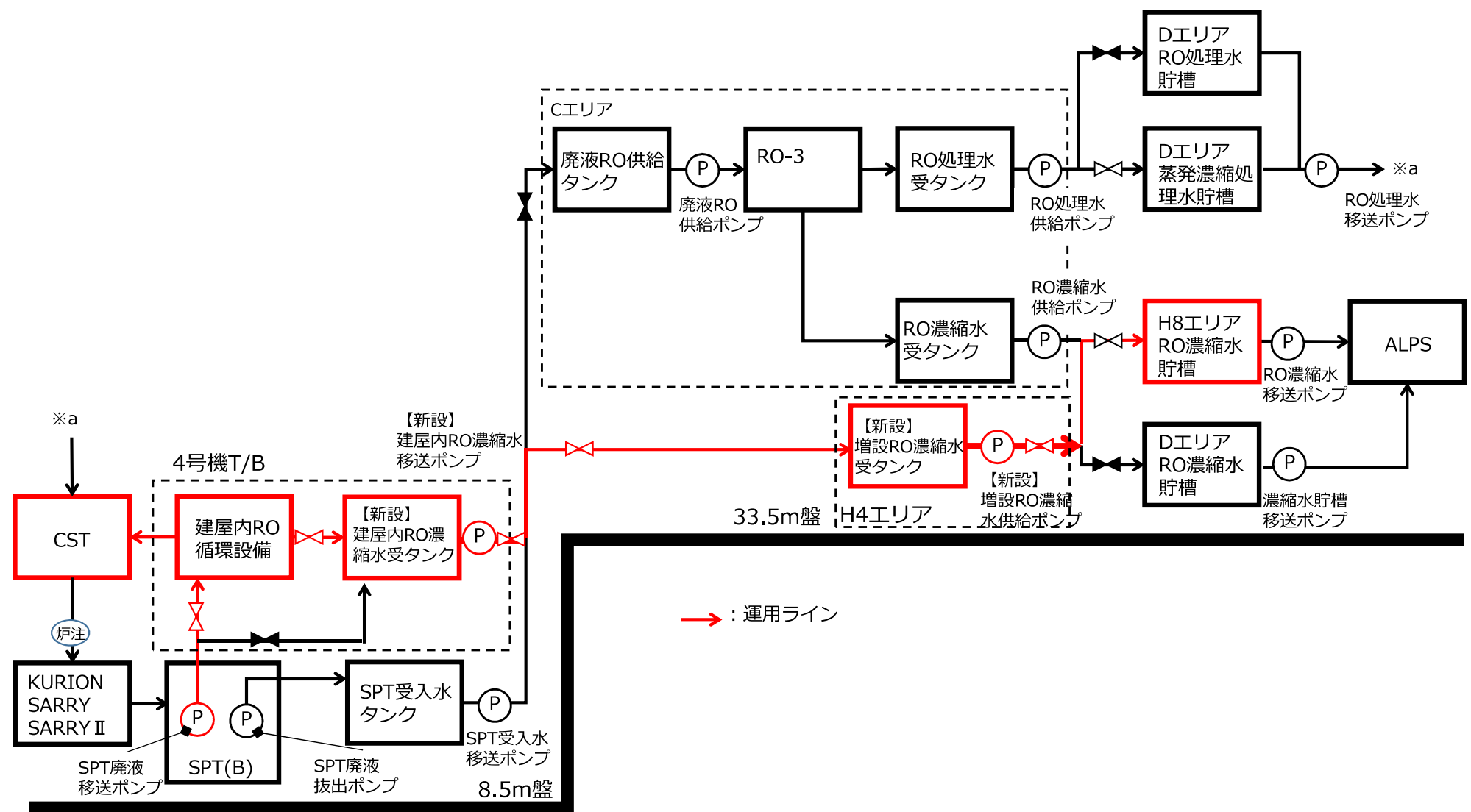


3-2. 設備配置図



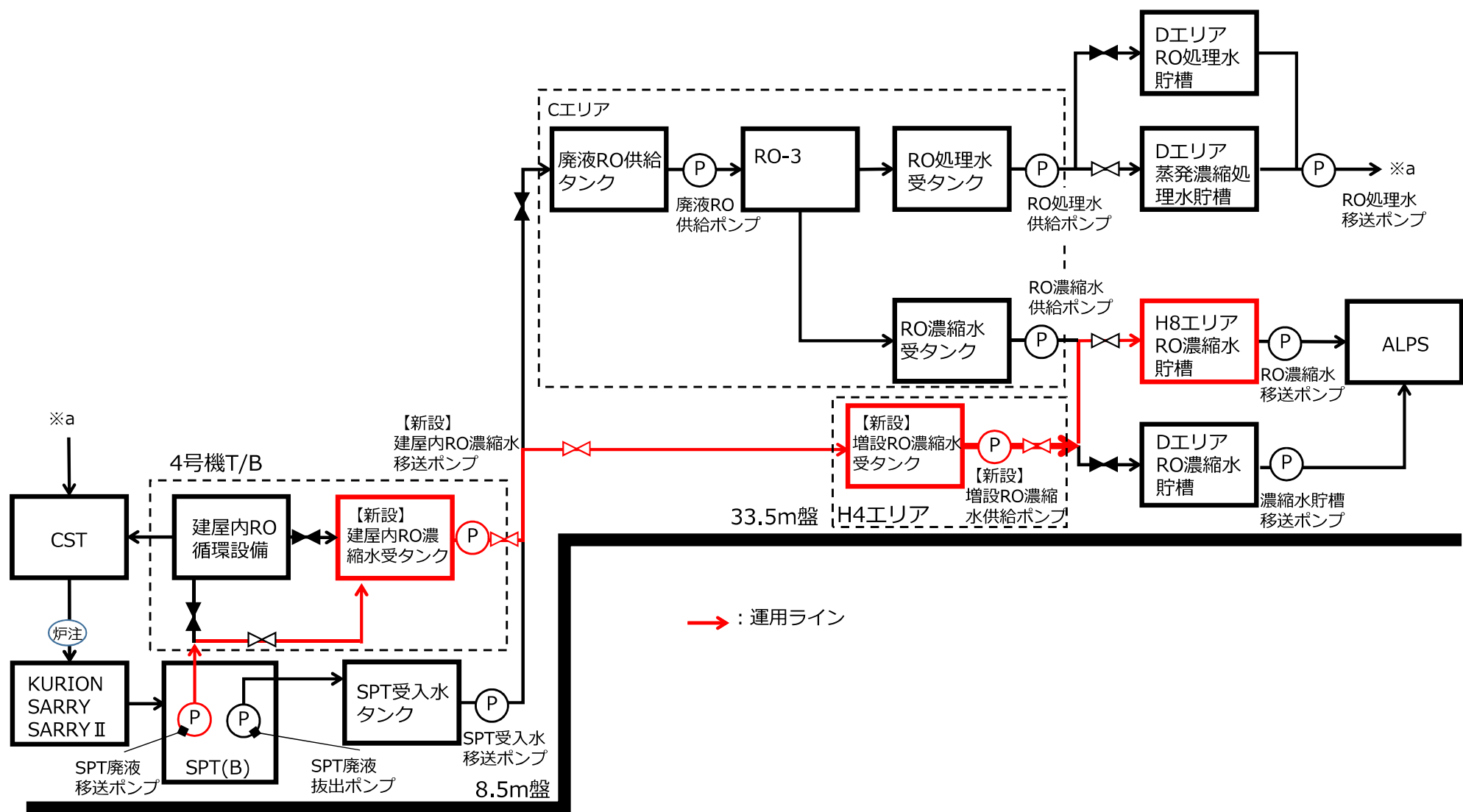
3-3. 運転モード① 建屋内RO運転

- 建屋内ROでSPT（B）貯留水を処理する運転モード。RO濃縮水は、新設設備を通り、33.5m盤の貯槽へ移送される。



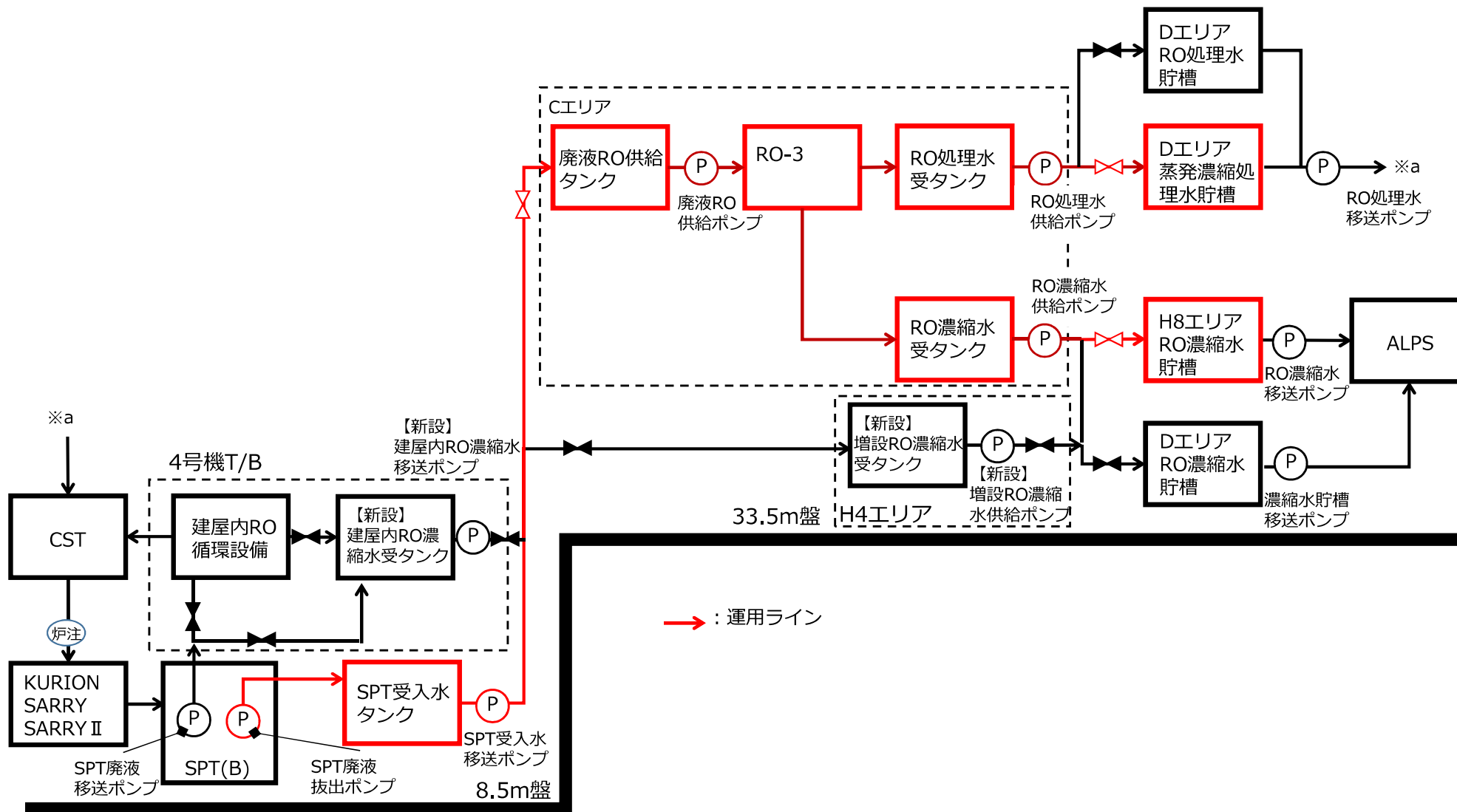
3-4. 運転モード② SPT(B)貯留水直送

- 建屋内RO全停時に、滞留水を33.5m盤の貯槽へ移送する運転モード。



3-5. 運転モード③淡水化装置RO-3運転

- RO-3を用いた処理運転を行う運転モード。本モードは，建屋内RO循環設備の計画外停止により，原子炉注水系保有水が不足する恐れがある場合に使用する。



4. 逆浸透膜装置 (RO-1A・1B・2) の廃止について

<廃止の妥当性について>

淡水化装置 (RO) は、滞留水を原子炉注水に再使用するため、滞留水に含まれる塩分を除去することを目的に設置されている。その内、逆浸透膜装置 (RO-1A・1B・2) は2016年以降処理実績が無く、炉注用の淡水確保は建屋内RO循環設備で十分可能であることから、廃止によって原子炉注水には支障がないと判断可能である。

【淡水確保必要量 (原子炉への注水量) [1日あたり]】

$$3[\text{m}^3/\text{h}] \times 24[\text{h}] \times 3[\text{号機}] = 216\text{m}^3$$

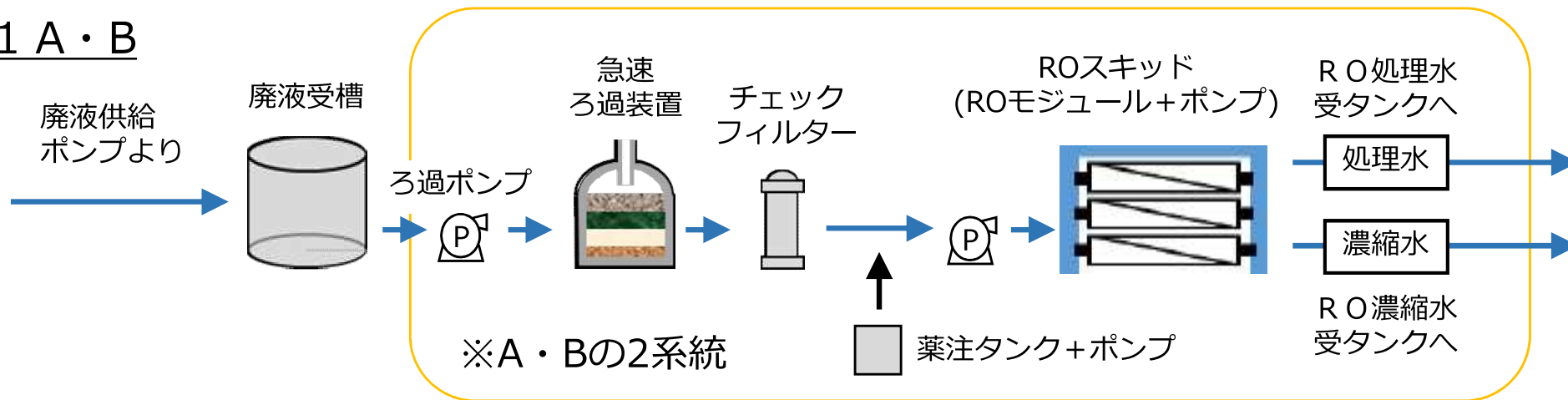
【設備仕様】

(RO-1A)	処理量	270 m³/日	淡水化率	約40%
(RO-1B)	処理量	300 m³/日	淡水化率	約40%
(RO-2)	処理量	1,200 m³/日	淡水化率	約40%
(RO-3)	処理量	1,200 m ³ /日	淡水化率	約40%
(建屋内RO-A)	処理量	800 m ³ /日	淡水化率	約50%
(建屋内RO-B)	処理量	800 m ³ /日	淡水化率	約50%

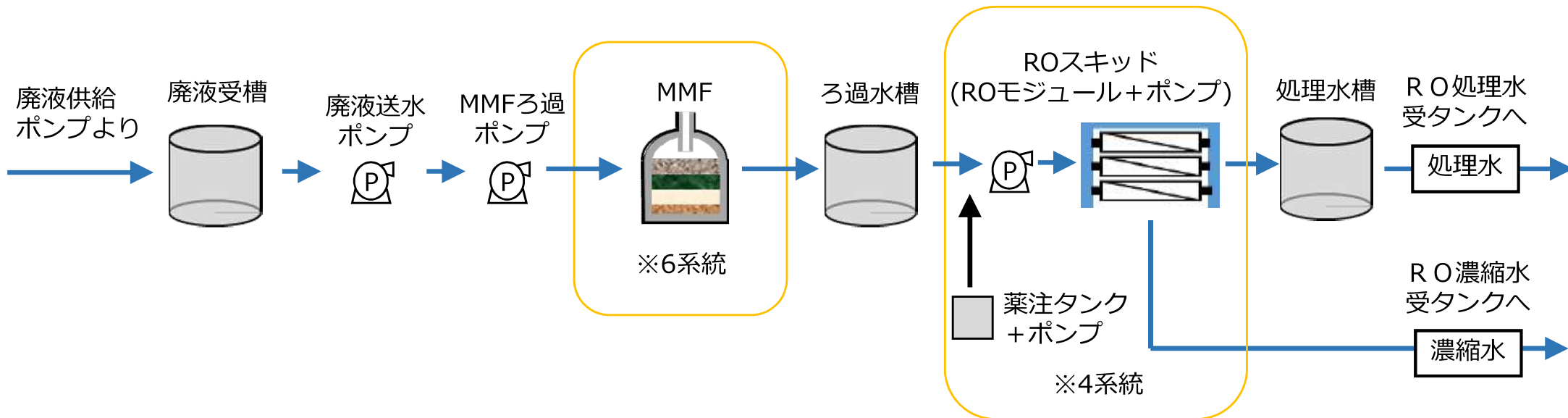
加えて、RO-1A・1B は系統内に保有水が残っており漏えいのリスクがある。RO-2では保有水の抜水作業を行ったが、残水による漏えいのリスクを残している。その為、リスクの解消を目的にRO-1A・1B・2本体の解体を行う。解体は、2021年4月～2022年2月を計画している。

<参考> RO-1・2概略系統図

RO-1 A・B

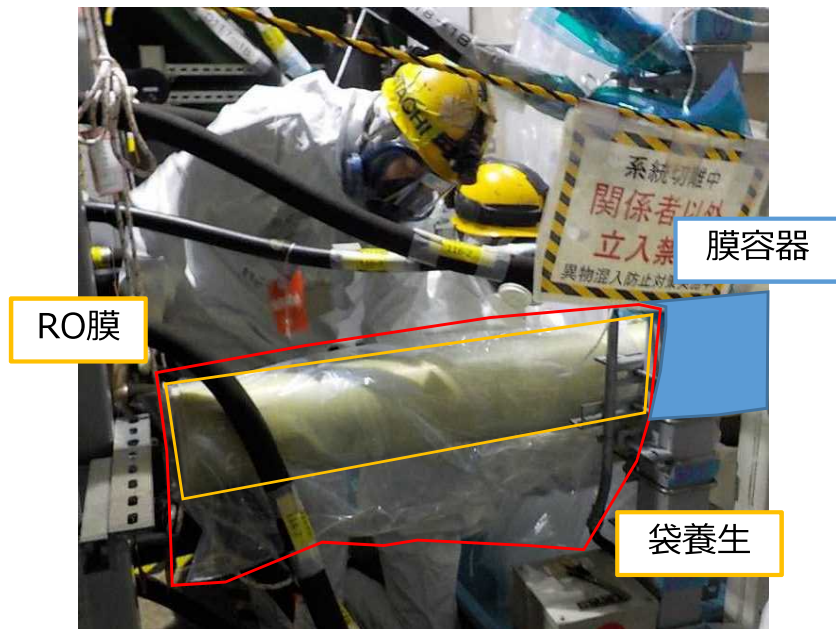


RO-2

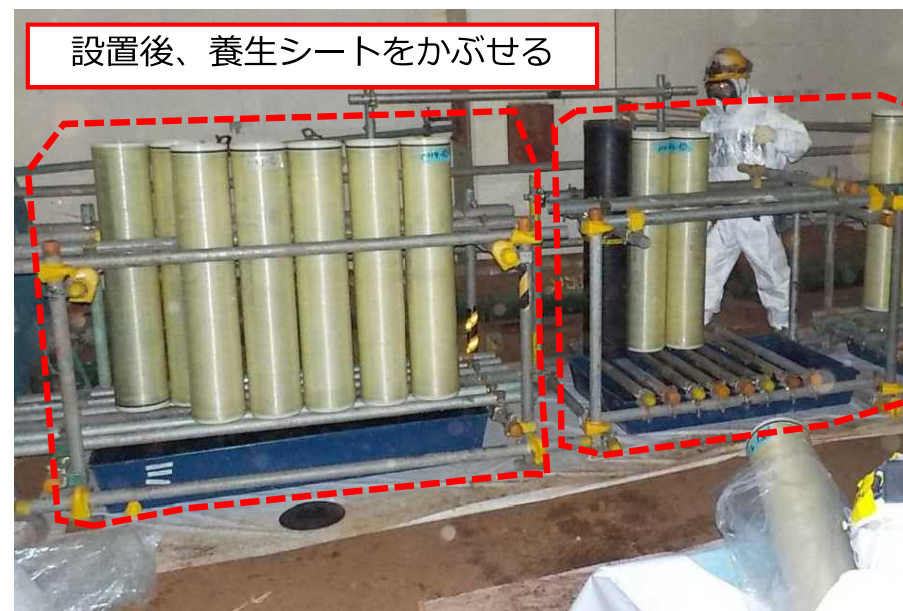


5-1. 機器解体手順(逆浸透膜装置・チェックフィルター)

- 逆浸透膜（以下、RO膜）装置・チェックフィルター
- 使用済みの膜・フィルターは容器から抜取る際に、養生袋にて受けることでダスト及び残水の飛散を抑制する。また、容器抜き取り時に線量測定を行い、必要に応じてゴム等で遮へいを行う。機器に内包する汚染水を取り扱う際は、アノラックを着用する。抜取った膜はテント内にて養生された状態で静置し水切りを行う。
- 膜容器・フィルター容器は内容物を抜取った後、養生された状態で静置して水切りを行ったうえで、保管容器への格納に適切なサイズに細断する。
- 細断・解体時はダスト対策として、作業エリアにアイソレハウス、フィルター付き局所排風機を設置する。
- 回収した残水はプロセス主建屋へ移送する。漏えい防止策として、仮設ホースを使用する場合は、仮設ホースの継手部をカムロック式とし、さらに番線等で固縛して、継手の外れ防止を行う。
- 発生した瓦礫は金属製の保管容器に収納し、表面線量率に応じて定められた一時保管エリアにて貯蔵する。
- 参考：過去のRO膜抜き取り時の線量当量率 γ : 2.2mSv/h、 $\gamma\beta$: 2.5mSv/h



(参考)建屋内ROにおけるRO膜抜き取り作業

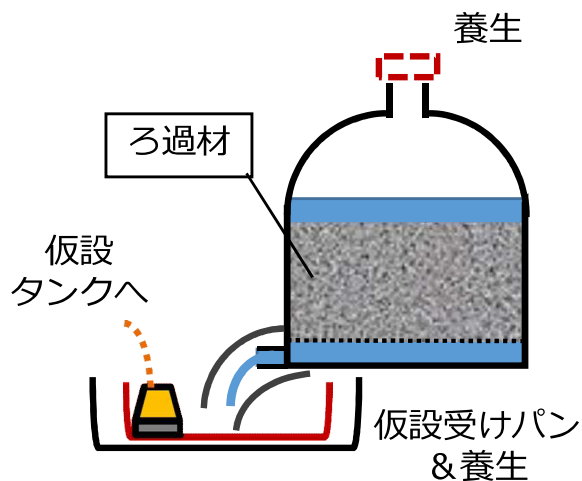


(参考)建屋内ROで膜抜き取り後の水切り作業

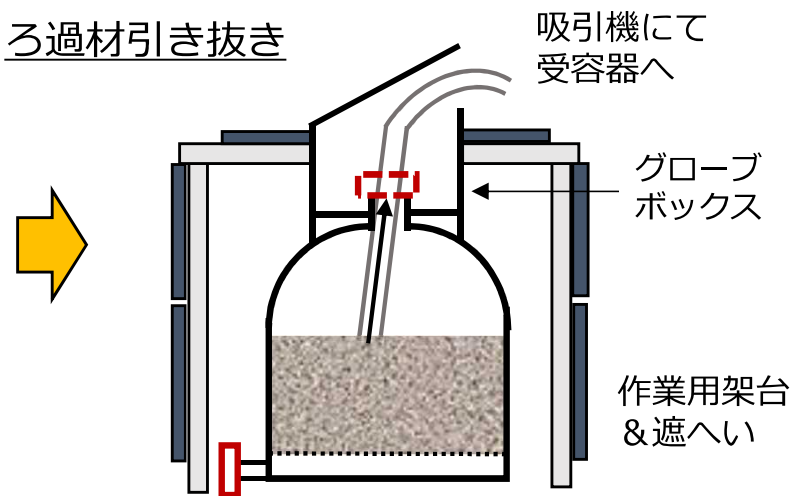
5-2. 機器解体手順(急速ろ過塔・MMF・タンク類)

- 急速ろ過塔・MMF・タンク類
- 急速ろ過塔・MMFは接続配管の切り離し後、塔内の水抜きを行う。MMFはそのままでは格納容器に入りきらないため、塔上部よりろ過材の回収を行った後、塔内をRO処理水等で洗浄した上で細断・解体する。
- タンク類は仮設ポンプ、またはパワプロ車を用いて残水の水抜き後、内面に汚染が確認された場合は洗浄を行ったうえで細断・解体する。
- ろ過材引き抜き時はダスト対策として、アイソレハウスおよびグローブボックス、フィルター付き局所排風機を設置する。
- 細断・解体時はダスト対策として、作業エリアにアイソレハウス、フィルター付き局所排風機を設置する。
- 水抜き時は監視人を配置のうえ仮設の受けパンとダストおよび残水飛散防止のための養生を設置し、回収した残水はプロセス主建屋へ移送する。
- 発生した瓦礫は金属腐食しないように袋養生したうえで金属製の保管容器に格納し、表面線量率に応じて定められた一時保管エリアにて貯蔵する。
- 参考：過去のMMFろ過塔解体時ろ過材の線量当量率 γ : 1.0mSv/h、 $\gamma\beta$: 30mSv/h

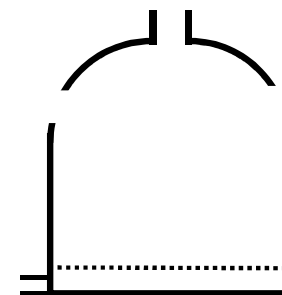
塔内水抜き



ろ過材引き抜き



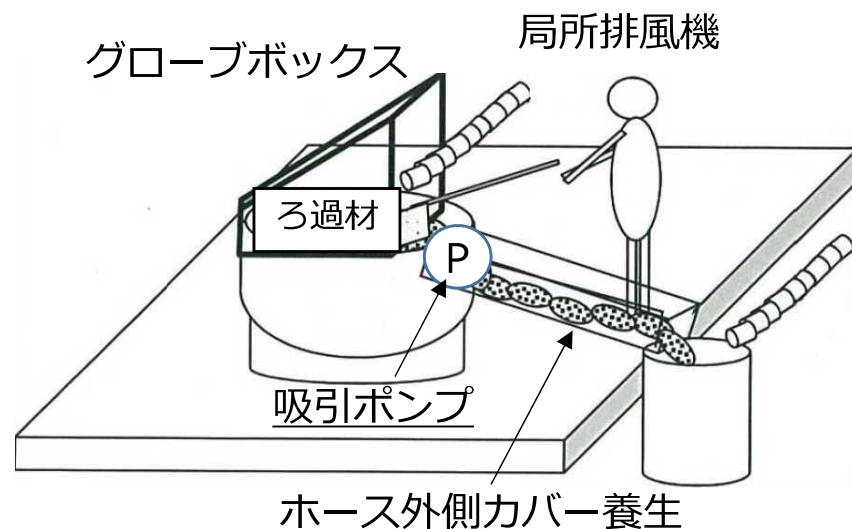
切断



MMF解体時のフロー概要図

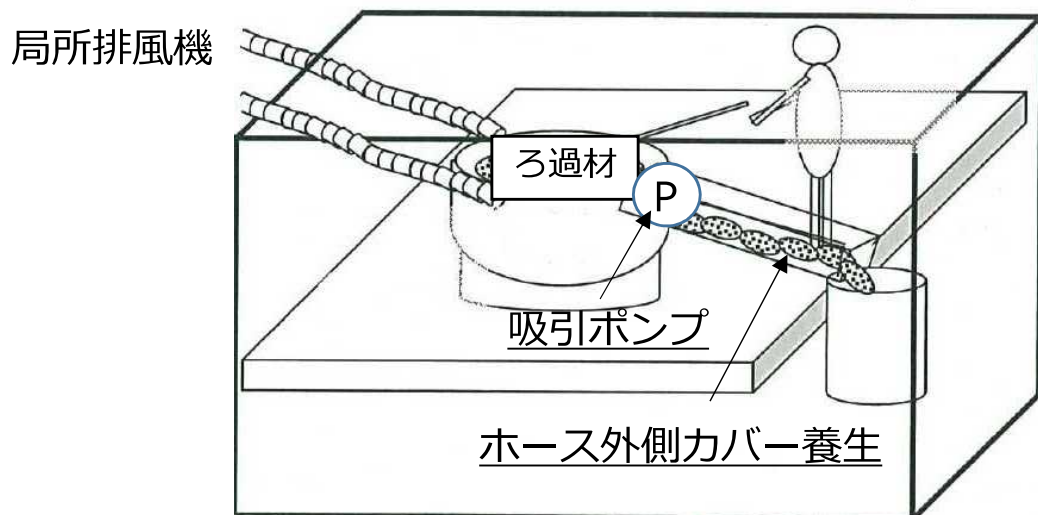
5-2. <参考>グローブボックス、アイソレハウス、局所排風機イメージ

■ グローブボックス内での作業イメージ



■ アイソレハウス内での作業イメージ

アイソレハウス



局所排風機

- ろ過材引き抜きの初回実施時は、グローブボックスを使用して作業を行う。
 - ろ過材をある程度回収したらろ過塔を切断する。切断時はアイソレハウスを設置し、ハウス内で作業を行う。
 - 切断開始後にろ過材を回収する際は、ハウス内でグローブボックスを使用して作業を行う。
- ※序盤からハウスを設置すると大型になるため、ろ過材引き抜きの初回実施後にハウスを設置する。

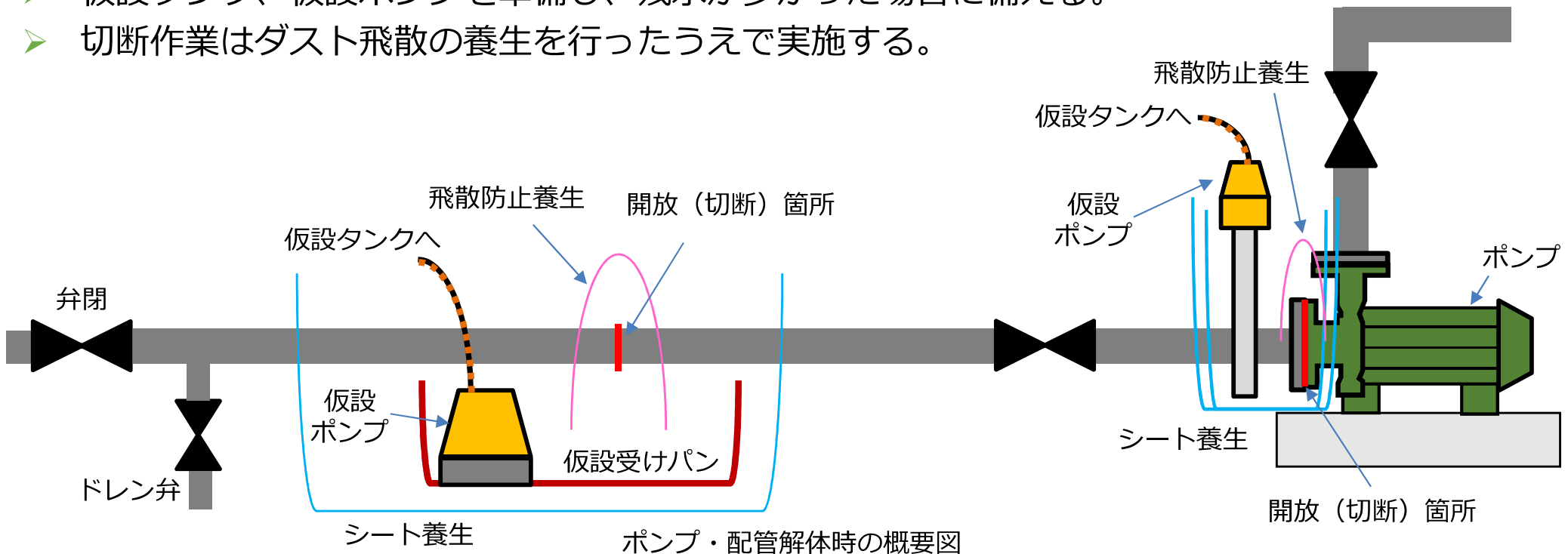
※ろ過材引き抜き時、序盤はグローブボックスを使用し、ある程度回収したら、塔を切断してハウスを設置する。

—序盤からハウスを設置すると大型になるため、ある程度切断してからハウスを設置する。

5-3. 機器解体手順(ポンプ・配管・付属機器)

■ ポンプ・配管・付属機器

- ポンプ、配管類（弁・ホース含む）は残水をブローする。表面線量率は0.1mSv/h以下であるものの、殆どがβ汚染していると想定されることから、解体後は金属製の保管容器に収納した上で表面線量率に応じて定められたエリアにて貯蔵する。
- ポンプの解体・配管の開放は、隔離処置（弁閉）及び水抜き後に実施する。
- 水抜き時は漏えい防止策として以下の対策を実施する。
 - ・ 仮設の受けパンを設置(受パンが設置できない場合は、シート2重、3重化で対応)
 - ・ 受けパン廻りおよび開放端上部をシート養生
- 仮設タンク、仮設ポンプを準備し、残水が多かった場合に備える。
- 切断作業はダスト飛散の養生を行ったうえで実施する。



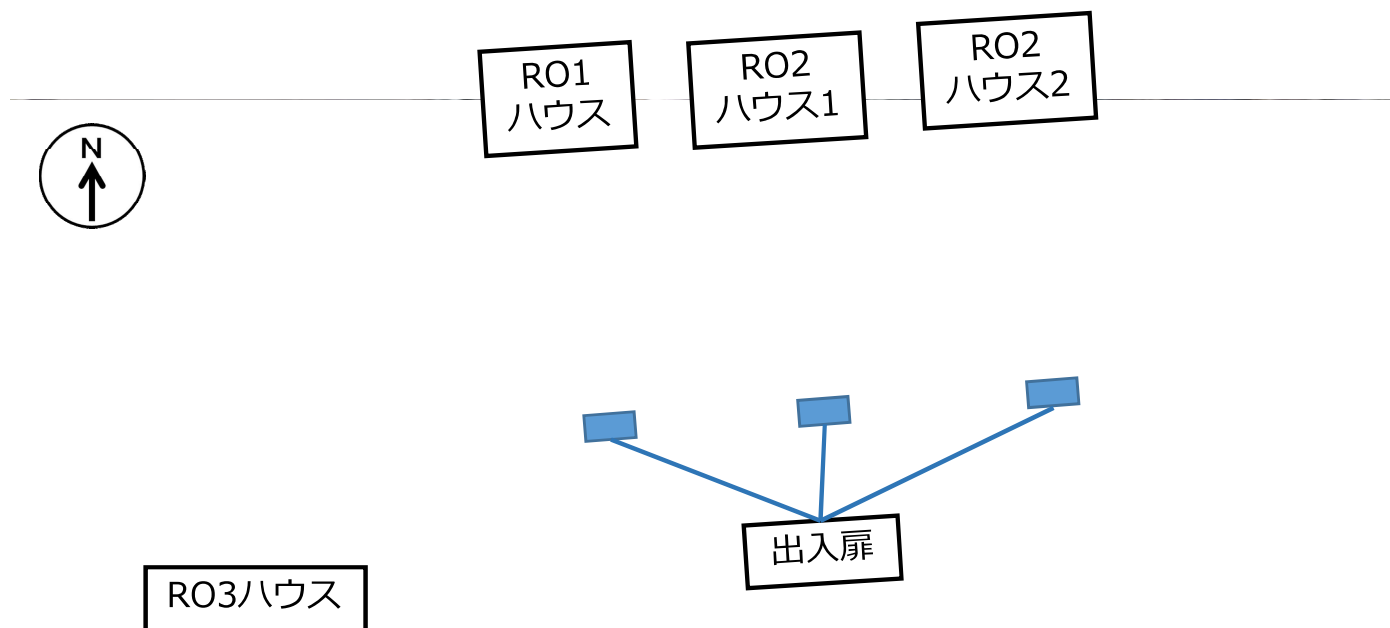
6. ダスト飛散抑制対策

【ダスト飛散抑制対策】

- 解体前に、既設RO-1,2テント内の機器表面および床面の清掃を実施し、ダストの飛散を抑制する。
- 機器解体作業における撤去・細断・保管容器への収納については極力テント内で行うこととする。
- テント外の解体対象機器は配管・弁のみであり、ダスト飛散を抑制する手順にて切り離し後に、養生を行ったうえでテントへ運び込み細断・保管容器への収納を行う。
- 解体期間中においては、作業前・作業中・作業後においてテント内外のダスト測定を実施する。作業中の測定値について、テント内外作業管理基準値を超過した場合は一旦作業を中止し、ダスト飛散元の養生を行う・作業計画を見直す等で対応する。また、ダストが飛散した場合、フィルター付き局所排風機で排気すると共に、テント内の機器表面及び床面の再清掃を実施する。
- テント側面に物品搬出入口を設ける。なお搬出入口は作業計画上で必要となる最小サイズとし、開閉可能かつ、閉止時にダストが通過しない構造のカバーを取付ける。人が出入りする際、物品搬出入する際以外はカバーを閉止する。
- 物品搬出入時はテント内の作業を中断し、搬出入作業前・作業中・作業後のダスト測定をテント外側にて行い、においてテント外のダスト測定を実施する。作業中の測定値について、テント外作業管理基準値を超過した場合は一旦作業を中止し、ダスト飛散元の養生を行う・作業計画を見直す等で対応する。
- 構内の連続ダストモニタにて監視を行う。
- 系統機器内の残水はダスト飛散の抑制・漏えい防止対策を施した手順にて回収し、プロセス主建屋地下へ移送する。

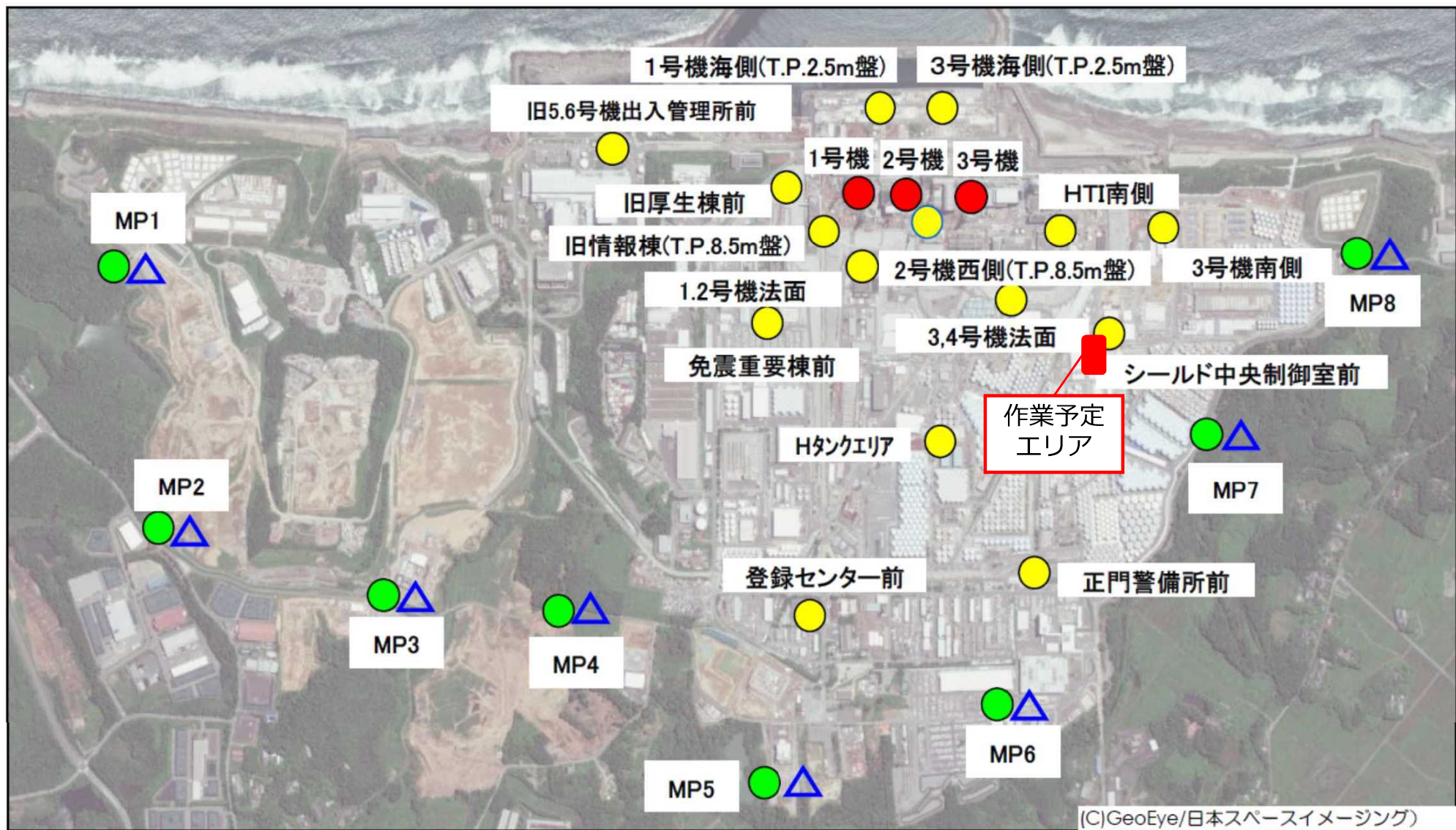
7. ダスト測定

- テント内ダスト測定における作業管理基準値： $1 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$ （電動ファン式全面マスクで作業できるダスト濃度上限の着用基準の2分の1）
- テント外ダスト測定における作業管理基準値： $5 \times 10^{-5} \text{Bq/cm}^3$ （構内ダストモニタの兆候把握値）
- ダスト測定を行うタイミングは以下の通り（テント内外）
 - ・作業前：1回/作業実施日
 - ・作業中：1回/作業実施日（当日でダスト濃度上昇が最大になると予想される作業中(配管切断時等)に実施）
 - ・作業後：1回/作業実施日
- ダスト測定ポイントについては各ROハウスにおいて、作業計画時に当日でダスト濃度上昇が最大になると予想される箇所で実施する。



RO-1・2ハウスとダスト測定ポイントについて

<参考> 連続ダストモニタ設置状況



- オペレーティングフロア上のダストモニタで監視 (1号機：6箇所，2号機：4箇所，3号機：5箇所)
- 構内ダストモニタで監視 (15箇所)
- ▲ 敷地境界ダストモニタ (8箇所) による監視

8. 発生する瓦礫について

■ 格納容器について

- 金属製の保管容器は屋外保管環境下での腐食防止のため、塗装を施した金属材料を使用する。また、保管容器は雨水が容易に入り難い構造とする。
- 保管容器はテントを一時的に開放し、テント南側よりラフタークレーンにてテント内へ吊り込んで搬出入する。当該作業時は、作業エリアを一時的にYゾーンと区画設定する。

■ 瓦礫類発生量

- 撤去に伴う瓦礫類は約240m³発生する見込みである。
- 2021年度に計上済。

単位：m³

	配管・ケーブル類等	機器類 (タンク・ポンプ・ スキッド・盤等)	その他 (工事用資機材等)	合計
RO-1	20	48	14	82
RO-2	40	100	20	160
合計	60	148	34	242

※瓦礫表面線量0.1mSv/h以上のものは配管・機器類で約106m³発生する見込み

9. 作業者の被ばく線量の管理

- 撤去工事においては以下の線量管理値に則りながら、被ばく低減対策を実施する。下記の被ばく低減対策を実施する。これにより水晶体の等価線量15mSv/年を超えることは無いと想定しているが、超える場合には目の近傍の測定を追加する等、適切な管理を追加する。
- **線量管理値（法令限度を超えないための作業管理値）について**
 - 水晶体の等価線量：15mSv/年（法令限度：150mSv/年）
 - 皮膚の等価線量：300mSv/年（法令限度：500mSv/年）
- **測定方法**
 - 水晶体および皮膚の双方とも胸部に装着した個人線量計で測定する。
 - 胸部より体幹部以外の被ばくが大きくなる場合は、当該部位の測定を追加する。
 - 水晶体の等価線量が線量管理値を超える場合は、眼の近傍の測定を追加する。
- 作業エリアがYゾーンであることと、作業中にダスト濃度が万が一上昇した場合への備えから、全面マスクを着用する。テント内の作業においても、テント内ダスト測定における作業管理基準値は $1 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$ （電動ファン式全面マスク着用基準の2分の1）を想定しており、全面マスクを着用する。
- 鉛板、ゴムマットやベニヤ板等の遮へいにより、作業場の線量低減を図ることを優先する。
- 配管切断時においては、開放端部をゴム質のキャップ等で養生し、作業者の被ばく低減を図る。
- 作業を行わない間は、容易に近づけないよう作業エリアを区画する。
- 機器の開放（切断）作業時においては、必要に応じて追加の局所排風機、ハウスの設置を行い、ダストの飛散防止に努める。

10. 堰内面のライニング施工について

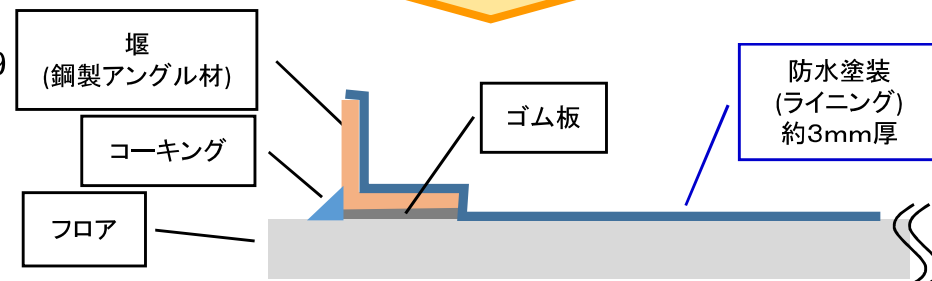
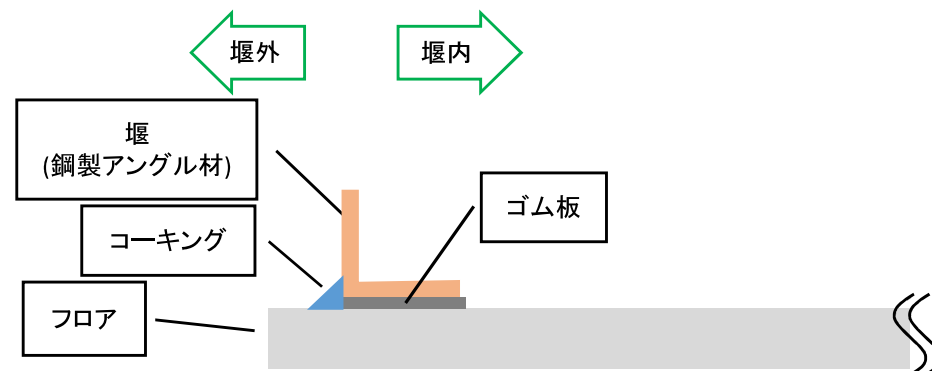
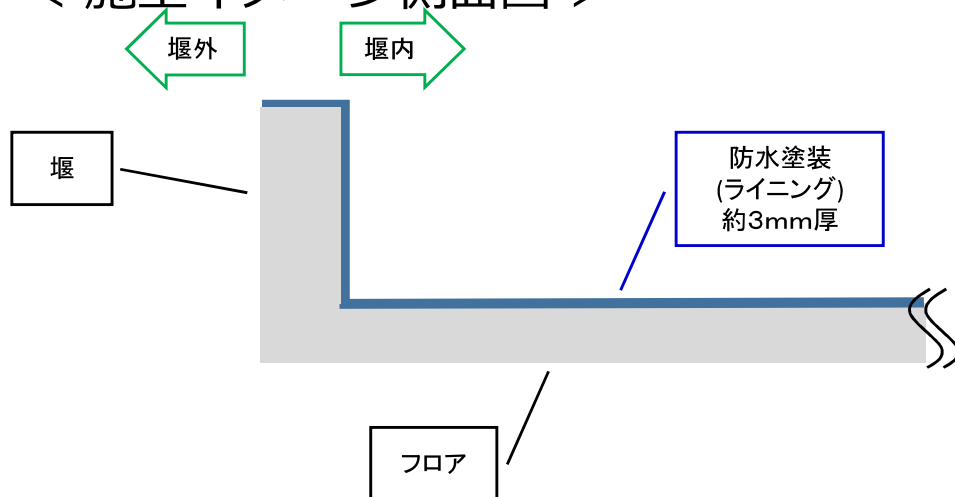
<ライニングの妥当性について>

逆浸透膜装置（RO-3）はBクラス相当の震度に耐える設備であるが、堰内面に防水塗装(ライニング)を施工し、コンクリートヘクラックが発生した場合に於いても容易に系外漏えいしないよう信頼性を向上させる。

◆ポリウレア樹脂仕様：伸び率200%以上(メーカーカタログ値)

塗布長さ2cm ⇒ 破断長さ6cm(メーカー実験値)

< 施工イメージ側面図 >



◆鋼製アングル材堰へのライニング(2019年度実施予定)

・RO-3装置堰

◆コンクリート製堰へのライニング(2018年度実施済み)

- ・SPT受入水タンク堰
- ・廃液RO供給タンク堰
- ・RO濃縮水タンク堰

◆コンクリート製堰へのライニング(2019年度実施予定)

- ・建屋内RO濃縮水移送ポンプ堰
- ・増設RO濃縮水供給ポンプ堰
- ・RO濃縮水供給ポンプ
- ・SPT受入水移送ポンプ

ライニング施工後、外観検査を行う。

ライニングの保守管理として、パトロール時に目視確認を行い、異常がある場合は必要に応じ補修を行う。

11-1. 各設備の設置個所における地盤支持力について

各設備の設置個所における地盤支持力は表－1 参照。

表－1 各設備の設置場所における地盤支持力の評価結果

評価対象機器※ ¹	水平震度	鉛直荷重 [kN]	許容支持力 [kN]
淡水化装置（逆浸透膜装置）（R0-1A/R0-1B）	0.3	140	697
淡水化装置（逆浸透膜装置）（R0-2）	0.3	58	231
淡水化装置（逆浸透膜装置）（R0-3）	0.3	648	1,885
SPT 受入水タンク※ ²	0.3	1,305	1,548
廃液 RO 供給タンク（40m ³ ）※ ³	0.3	596	2,045

※1 同一エリアにて最も裕度の低い機器を記載

※2 同一エリアに設置している SPT 受入移送水ポンプは本評価結果に内包される

※3 同一エリアに設置している廃液 RO 供給タンク（35m³，42m³，110m³），廃液 RO 供給ポンプ，RO 濃縮水受タンク，RO 濃縮水供給ポンプは，本評価結果に内包される

11-1. 各設備の設置個所における地盤支持力について

増設RO濃縮水受タンクの地盤支持力は下記参照。

評価対象機器※1	水平震度	鉛直荷重 [kN]	許容支持力 [kN]
増設RO濃縮水受タンク (増設RO濃縮水供給ポンプ含む)	0.6	1,856	4,690

12-1. 新設設備について

<新設設備の妥当性について>

建屋内RO 循環設備のうち放射性物質を内包するものは、発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針のB クラス相当の設備と位置づけられる。

新設設備については、JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程に準拠することを基本とし、Bクラス水平震度の2倍に耐える設備とする。建屋内RO濃縮水受タンク（材料：ポリエチレン）については、ポリエチレン製縦型耐食円筒型貯槽規格（ポリエチレンタンク協議会）に準拠することを基本とし、参考としてJEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程に準拠することを確認し、増設RO濃縮水受タンク(材料:SUS316L)と同様な検査を行う。

【設備仕様】

建屋内RO濃縮水受タンク

基数	1基
容量	30 m ³ /基
材料	ポリエチレン (PE)
厚さ	胴板 16.0mm

建屋内RO濃縮水移送ポンプ

台数	2台
容量	15m ³ /h (1台あたり)
揚程	76m

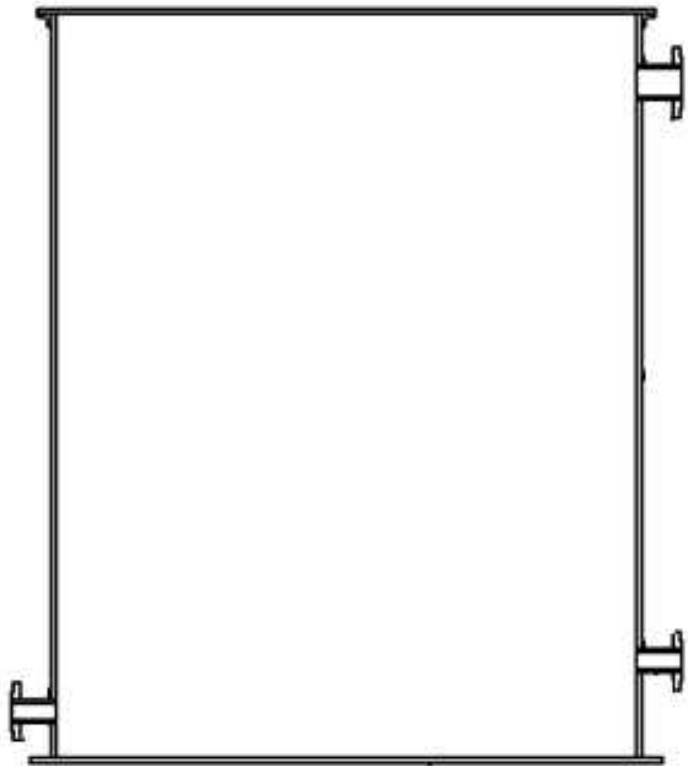
増設RO濃縮水受タンク

基数	1基
容量	30 m ³ /基
材料	SUS316L
厚さ	胴板 9.0mm

増設RO濃縮水供給ポンプ

台数	2台
容量	15m ³ /h (1台あたり)
揚程	76m

基本仕様

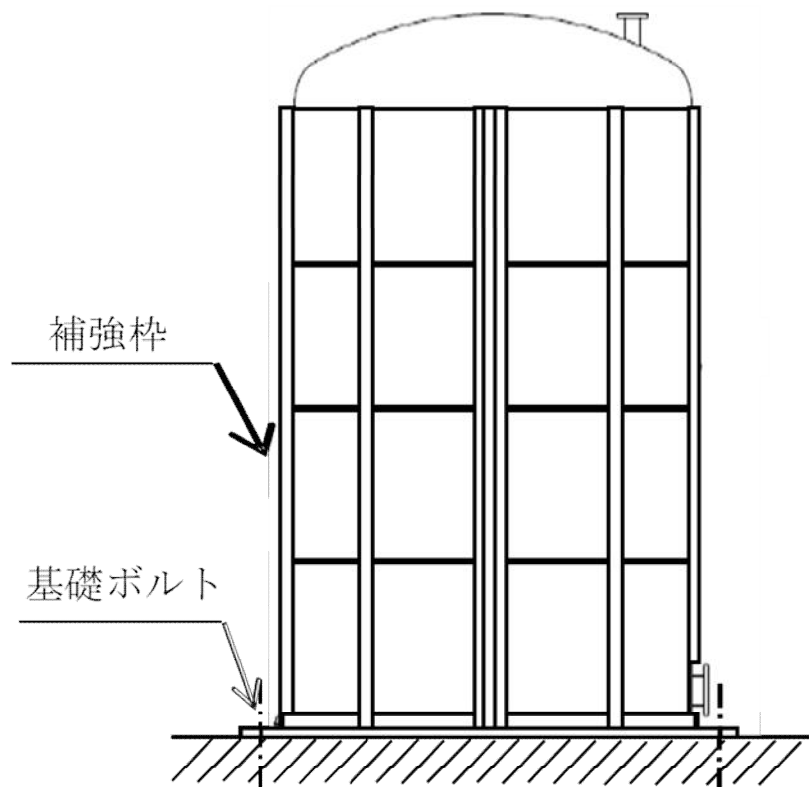


名 称		増設 RO 濃縮水受タンク	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m ³ /個	30	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	40	
主 要 寸 法	胴内径	mm	3000
	胴板厚さ	mm	9.0
	底板厚さ	mm	12.0
	高 さ	mm	5006
管 台 寸 法	RO 濃縮水入口	mm	外径 114.3×厚さ 6.0
	RO 濃縮水出口	mm	外径 114.3×厚さ 6.0
	予備	mm	外径 114.3×厚さ 6.0
	予備	mm	外径 165.2×厚さ 7.1
材 料	胴 板	—	SUS316L
	底 板	—	SUS316L
	管 台	—	SUS316L
個 数	—	1	

※RO濃縮水処理設備からの用途変更

12-3. 建屋内RO濃縮水受タンク仕様

基本仕様



名 称		建屋内 RO 濃縮水受タンク	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m ³ /個	30	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	40	
主要寸法	胴外径	mm	2860
	胴板厚さ	mm	16.0
	直胴部高さ	mm	5250
材 料	胴 板	—	ポリエチレン
	管 台	—	ポリエチレン
個 数	—	1	

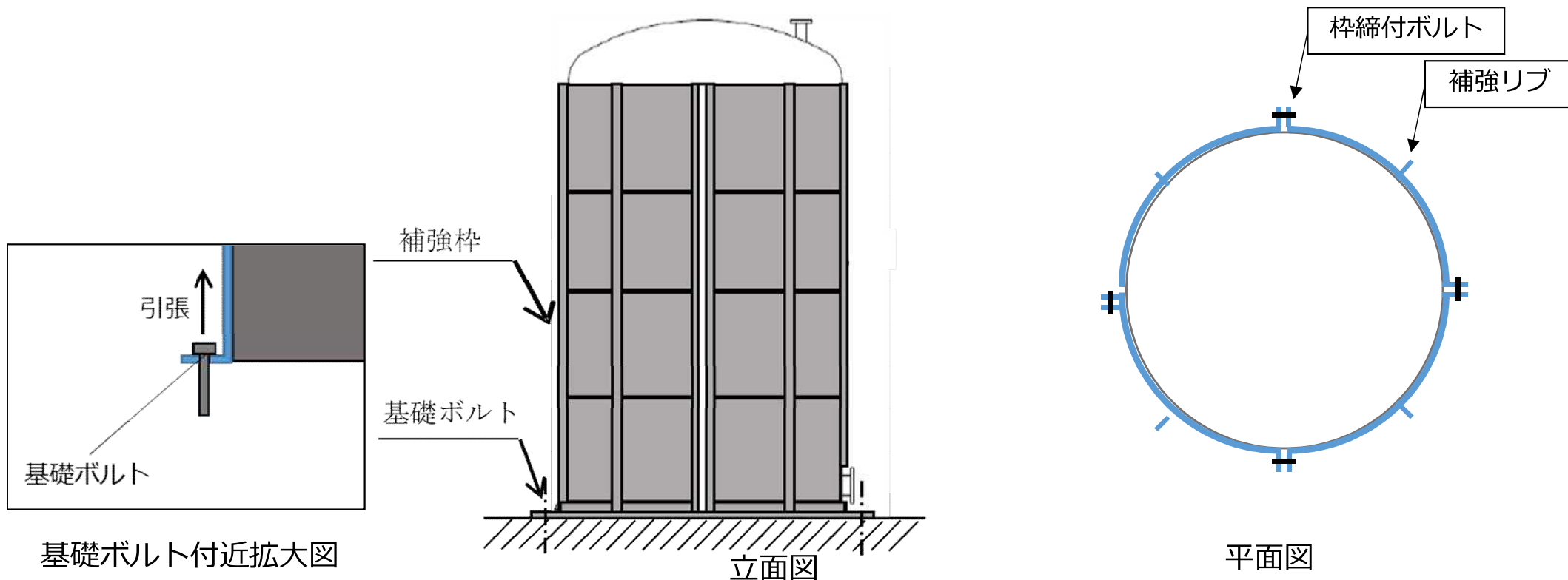
<参考> 付属品の仕様

補強棒 : SUS304, 厚さ7mm

基礎ボルト : SS400, M30, 24本

12-3. 建屋内RO濃縮水受タンク補強枠について

- ポリエチレンタンクは、保有水のバウンダリ機能をタンク本体で、耐震性をタンク補強枠により担保する。タンク補強枠は製作上生じる最低限の隙間部を除き、側面の全周を覆う設計とする。
- タンク補強枠はタンク本体に密着するように取り付けられ、枠締付ボルトで固定されている。
- 胴に取り付けられた補強枠は、タンク本体と一体となってタンク本体に働く荷重を受け持つため、地震荷重は補強枠最下部アングルを伝い基礎ボルトに伝達される。
- タンク本体と補強枠が一体であることは、現場据付時にタンク本体－補強枠が接触していること、枠締結ボルトの緩みが無いことにより確認する。



12-4. 目次

12-4,12-5,12-6にて以下の強度，耐震等の評価を示す。

増設RO濃縮水受タンク

	評価	備考
12-4-1	応力評価	耐震設計技術規程
12-4-2	座屈評価	耐震設計技術規程
12-4-3	構造強度評価	設計建設規格
12-4-4	構造強度評価	設計建設規格
12-4-5	構造強度評価	設計建設規格
12-4-6	転倒評価	耐震設計技術規程
12-4-7	スロッシング評価	耐震設計技術規程
12-4-8	共振評価	耐震設計技術規程
12-4-9	基礎ボルト強度評価	耐震設計技術規程

12-4. 目次

12-4,12-5,12-6にて以下の強度，耐震等の評価を示す。

建屋内RO濃縮水受タンク

	評価	備考
12-5-1	強度・耐震評価	ポリエチレン製縦型耐食円筒型貯槽規格
12-5-2	強度・耐震評価	ポリエチレン製縦型耐食円筒型貯槽規格
12-5-3	強度・耐震評価	ポリエチレン製縦型耐食円筒型貯槽規格
12-5-4	強度・耐震評価	ポリエチレン製縦型耐食円筒型貯槽規格
12-5-5	強度・耐震評価	ポリエチレン製縦型耐食円筒型貯槽規格
12-5-6	転倒評価	12-4-6と評価式同じ
12-5-7	スロッシング評価	12-4-7と評価式同じ
12-5-8	【参考】応力評価	12-4-1と評価式同じ 耐震設計技術規程
12-5-9	【参考】座屈評価	12-4-2と評価式同じ 耐震設計技術規程
12-5-10	【参考】構造強度評価	12-4-3と評価式同じ 設計建設規格
12-5-11	【参考】構造強度評価	12-4-4と評価式同じ 設計建設規格
12-5-12	【参考】共振評価	12-4-8と評価式同じ 耐震設計技術規程
12-5-13	【参考】補強枠について	—
12-5-14	【参考】JEAC評価との違い	—

建屋内RO濃縮水移送ポンプ／増設RO濃縮水供給ポンプ

	評価	備考
12-6	基礎ボルト強度評価	耐震設計技術規程

12-4-1. タンクの応力評価（増設RO濃縮水受タンク）

『JEAC4601-2008原子力発電所耐震設計技術規程』に基づき、タンク胴板の応力評価を実施して一次一般膜応力が許容応力以下であることを確認する。

評価式の詳細については、実施計画Ⅱ.2.5添付資料-15「付録2 平底たて置円筒型容器の評価」を参照。

タンク	部材	材料	水平方向 設計震度	応力	算出応力 [MPa]	許容応力 [MPa]
増設RO濃縮水受 タンク (30m ³)	胴板	SUS316L	0.36	一次一般膜	10 Max (σ_{0t} , σ_{0c})	175 Min (S_y , $0.6S_u$)
増設RO濃縮水受 タンク (30m ³)	胴板	SUS316L	0.72	一次一般膜	17※ Max (σ_{0t} , σ_{0c})	175 Min (S_y , $0.6S_u$)

※水平震度0.8で評価を実施

記号	記号の説明	単位
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
m_0	容器の運転時質量	kg
m_e	容器の空質量	kg

記号	記号の説明	単位
D_i	胴の内径	mm
t	胴の板厚	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
H	水頭	mm
S_y	設計降伏点@40℃	MPa
S_u	設計引張強さ@40℃	MPa

m_0 : XXXXXXXXXX
 m_e : XXXXXXXXXX
 D_i : 3000mm
 t : 9mm
 E : 194000MPa
 H : XXXXXXXXXX
 S_y : 175MPa
 S_u : 480MPa

12-4-2. タンクの座屈評価（増設RO濃縮水受タンク）

『JEAC4601-2008原子力発電所耐震設計技術規程』に基づき、タンク胴板の座屈評価を実施して、圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）が評価式を満足することを確認する。

評価式の詳細については、実施計画Ⅱ.2.5添付資料-15「付録2 平底たて置円筒型容器の評価」を参照。

タンク	部材	材料	水平方向設計震度	座屈評価結果（胴は座屈しない）
増設RO濃縮水受タンク (30m ³)	胴板	SUS316L	0.36	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} = 0.05 < 1$
増設RO濃縮水受タンク (30m ³)	胴板	SUS316L	0.72	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} = 0.23 < 1 ※$

記号	記号の説明	単位
η	座屈応力に対する安全率	-
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	胴の鉛直方向地震による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x4}	胴の水平方向地震による軸方向圧縮応力	MPa
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa

※水平震度0.8で評価を実施

12-4-3. タンクの構造強度評価（増設RO濃縮水受タンク）

◎円筒型タンクの胴の板厚評価結果

$$t = \frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

t : 胴板の計算上必要な厚さ
 Di: 胴の内径
 H: 水頭
 ρ: 液体の比重
 S: 最高使用温度における許容引張応力
 η: 継手効率

評価部位	必要肉厚 [mm]	最小厚さ [mm]
タンク板厚 (胴板)	1.5	6.57

必要肉厚は、tの値と以下の値の何れか大きい値とする。
 炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたもの: 3mm

その他の材料で作られたもの: 1.5mm

◎円筒型タンクの底板の板厚評価結果

必要肉厚は、設計・建設規格より「地面、基礎等に直接接触するものについては3mm」と定義される。

評価部位	必要肉厚 [mm]	最小厚さ [mm]
タンク板厚 (底板)	3.0	9.60

◎円筒型タンクの管台の板厚評価結果

$$t = \frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

t : 管台の計算上必要な厚さ
 Di: 管台の内径
 H: 水頭
 ρ: 液体の比重
 S: 最高使用温度における許容引張応力
 η: 継手効率

管台口径	評価部位	必要肉厚 [mm]	最小厚さ [mm]
100A	管台板厚	3.5	4.45
150A			5.41

必要肉厚は、tの値と以下の値の何れか大きい値とする。
 管台の外径82mm以上: 3.5mm

12-4-4. タンクの構造強度評価（増設RO濃縮水受タンク）

◎円筒型タンクの穴の補強評価結果

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

$$A_1 = (\eta t_r - Ft_r)(X - d) - 2(1 - \frac{S_n}{S_s})(\eta t_r - Ft_r)t_{sr}$$

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = 2(\text{Max}(d, \frac{d}{2} + t_s + t_{sr}))$$

$$A_2 = 2((t_{st} - t_{sr})Y_1 + t_{st}Y_2)S_n / S_s$$

$$t_{sr} = \frac{PDi}{2S_n - 1.2P}$$

$$Y_1 = \text{Min}(2.5t_s, 2.5t_{st} + Te)$$

$$Y_2 = \text{Min}(2.5t_s, 2.5t_{st}, h)$$

$$A_3 = L_1L_1 + L_2L_2 + L_3L_3$$

$$A_4 = (W - Wi) \times Te$$

$$W = \text{Min}(X, De)$$

$$Ar = dt_r F + 2(1 - \frac{S_n}{S_s})t_{sr} Ft_r$$

- A₀ : 補強に有効な総面積
- A₁ : 胴、鏡板又は平板部分の補強に有効な面積
- A₂ : 管台部分の補強に有効な面積
- A₃ : すみ肉溶接部の補強に有効な面積
- A₄ : 強め材の補強に有効な面積
- η : PVC-3161.2に規定する効率
- t_s : 胴の最小厚さ
- t_{sr} : 継ぎ目のない胴の計算上必要な厚さ (PVC-3122(1)において、η=1としたもの)
- t_{st} : 管台最小厚さ
- t_{st} : 胴板より外側の管台最小厚さ
- t_{st} : 胴板より内側の管台最小厚さ
- t_{sr} : 管台の計算上必要な厚さ
- P : 最高使用圧力(水頭)=9.80665×10³H₂O
- S_s : 胴板材料の最高使用温度における許容引張応力
- S_n : 管台材料の最高使用温度における許容引張応力
- Di : 管台の内径
- X : 胴面に沿った補強に有効な範囲
- X₁ : 補強に有効な範囲
- X₂ : 補強に有効な範囲
- Y₁ : 胴面に垂直な補強の有効な範囲 (胴より外側)
- Y₂ : 胴面に垂直な補強の有効な範囲 (胴より内側)
- h : 管台突出し高さ (胴より内側)
- L₁ : 溶接の脚長
- L₂ : 溶接の脚長
- L₃ : 溶接の脚長
- A_r : 補強が必要な面積
- d : 胴の断面に現れる穴の径
- F : 係数 (図 PVC-3161.2-1 から求めた値)
- Te : 強め材厚さ
- W : 強め材の有効範囲
- Wi : 開先を含めた管台直径
- De : 強め材外径

管台口径	評価部位	補強に必要な面積 Ar[mm ²]	補強に有効な総面積 A0[mm ²]
100A	管台	69.61	757.7
150A		101.9	1122

12-4-5. タンクの構造強度評価（増設RO濃縮水受タンク）

◎円筒型タンクの強め材の取付け強さ

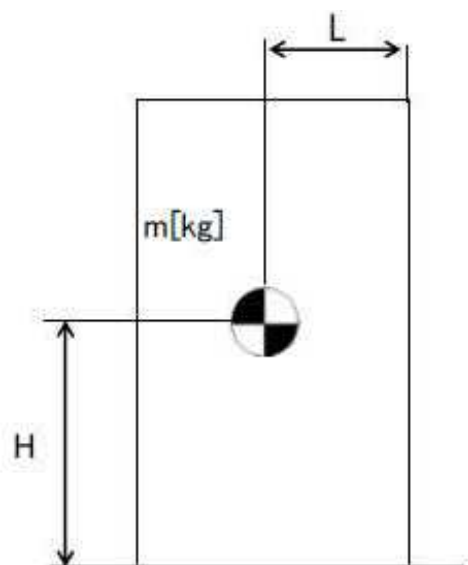
$F_1 = \frac{\pi}{2} d_o L_1 S \eta_1$	F_1 : 断面（管台外側のすみ肉溶接部）におけるせん断強さ		
	F_2 : 断面（管台内側の管台壁）におけるせん断強さ		
	F_3 : 断面（突合せ溶接部）におけるせん断強さ		η_2 : 強め材の取付け強さ（表 PVC-3169-1 の値）
$F_2 = \frac{\pi}{2} d t_n S_n \eta_3$	F_4 : 断面（管台内側のすみ肉溶接部）におけるせん断強さ		η_3 : 強め材の取付け強さ（表 PVC-3169-1 の値）
	F_5 : 断面（強め材のすみ肉溶接部）におけるせん断強さ	$W = d'_o t_{sr} S - (t_s - Ft_{sr})(X - d'_o)S$	W : 溶接部の負うべき荷重
	F_6 : 断面（突合せ溶接部）におけるせん断強さ		t_{sr} : 継目のない胴の計算上必要な厚さ
$F_3 = \frac{\pi}{2} d'_o t_s S \eta_2$	d_o : 管台外径	$W_1 = F_1 + F_2$	(PVC-3122(1)において $\eta = 1$ としたものの)
	d : 管台内径	$W_2 = F_1 + F_6 + F_4$	F : 管台の取付角度より求まる係数
	d_o' : 胴の穴の径	$W_3 = F_5 + F_2$	(図 PVC-3161.2-1 から求めた値)
$F_4 = \frac{\pi}{2} d_o L_2 S \eta_1$	W_o : 強め材の外径	$W_4 = F_5 + F_3$	X : 胴面に沿った補強に有効な範囲
	S : 胴板材料の最高使用温度における許容引張応力	$W_5 = F_1 + F_3$	W_1 : 予想される破断箇所の強さ
	S_n : 管台材料の最高使用温度における許容引張応力	$W_6 = F_5 + F_6 + F_4$	W_2 : 予想される破断箇所の強さ
$F_5 = \frac{\pi}{2} W_o L_3 S \eta_1$	L_1 : すみ肉溶接部の脚長（管台取付部（胴より外側））		W_3 : 予想される破断箇所の強さ
	L_2 : すみ肉溶接部の脚長（管台取付部（胴より内側））		W_4 : 予想される破断箇所の強さ
	L_3 : 溶接部の脚長（強め材）		W_5 : 予想される破断箇所の強さ
$F_6 = \frac{\pi}{2} d_o t_s S \eta_2$	η_1 : 強め材の取付け強さ（表 PVC-3169-1 の値）		W_6 : 予想される破断箇所の強さ

管台口径	溶接部の負うべき荷重	予想される破断箇所の強さ					
	W[N]	W_1 [N]	W_2 [N]	W_3 [N]	W_4 [N]	W_5 [N]	W_6 [N]
100A	-60800	14930	-60800	—	—	—	—
150A	-89210	23260	-89210	—	—	—	—

➤ $W < 0$ 溶接部の負うべき荷重が負のため、強度計算不要

12-4-6. タンクの転倒評価（増設RO濃縮水受タンク）

◎タンク基礎ボルトを考慮しない耐震計算



m : 機器質量

g : 重力加速度

H : 据付面からの重心までの距離

L : 転倒支点から機器重心までの距離

C_H : 水平方向設計震度

地震による転倒モーメント： $M_1[N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント： $M_2[N \cdot m] = m \times g \times L$

当該タンクはボルトによる固定を行っているため
本評価にて算出値>許容値となった場合でも
ボルトが評価に耐えられれば耐震上問題とならない。

評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
本体	転倒	0.36	3.7×10^2	6.5×10^2	kN・m

評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
本体	転倒	0.72	7.4×10^2	6.5×10^2	kN・m

12-4-7. タンクのスロッシング評価（増設RO濃縮水受タンク）

◎中低濃度タンクに対するスロッシング評価

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{D}{3.68g} \coth\left(\frac{3.68H}{D}\right)}$$

$$\eta = 0.837 \left(\frac{D}{2g}\right) \left(\frac{2\pi}{T_s}\right) S_v$$

D : タンク内径 [m]

H : タンク液位 [m]

g : 重力加速度 [m/s²]

T_s : スロッシング固有周期 [s]

S_v : 速度応答値 [m/s]

η : スロッシング波高 [m]

タンク内径 [m]	スロッシング波高 [mm]	スロッシング時液位 [mm]	タンク高さ [mm]
3.00	533	4,933	4,982

12-4-8. 設計上の考慮 共振評価（増設RO濃縮水受タンク）

■ 増設RO濃縮水受タンクの共振評価について

➤ 増設RO濃縮水受タンクの固有周期は

- ・ 水平方向で, 0.036s (約27Hz)
- ・ 鉛直方向で, 0.006s (約166Hz)

➤ 上記より, 固有振動数が水平・鉛直方向で20Hz以上であり共振の恐れはないと考える。

12-4-9. 基礎ボルトの強度評価（増設RO濃縮水受タンク）

『JEAC4601-2008原子力発電所耐震設計技術規程』に基づき、タンク基礎ボルトの評価を実施して、引張応力、せん断応力が許容値未満であることを確認する。評価式の詳細については、実施計画Ⅱ.2.5添付資料-15「付録2 平底たて置円筒型容器の評価」を参照。

【基礎ボルトの強度評価結果】

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
増設RO濃縮水受タンク	基礎ボルト	引張	0.36	1	176	MPa
		せん断	0.36	16	135	MPa

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
増設RO濃縮水受タンク	基礎ボルト	引張	0.72	30※	176	MPa
		せん断	0.72	34※	135	MPa

※水平方向設計振動0.8で評価を実施

12-5-1. タンクの強度・耐震評価（建屋内RO濃縮水受タンク）

建屋内RO濃縮水受タンクについては、「ポリエチレン製縦型耐食円筒型貯槽規格」に準拠するため、当該規格に基づく強度・耐震評価を実施している。

【強度評価】

機器名称	評価部位	評価方向	算出値	許容値	単位
建屋内RO濃縮水受 タンク	胴板	周方向	4.7	5.0	MPa
		軸方向	0.43	0.70	MPa
	補強枠	周方向	20	137	MPa

【耐震評価】

機器名称	評価部位	水平震度	算出値	許容値	単位
建屋内RO濃縮水受 タンク	胴板	0.36 / 0.72	2.9 / 5.8	7.5	MPa
	補強枠	0.36 / 0.72	7 / 14	205	MPa

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
建屋内RO濃縮水 受タンク	基礎 ボルト	引張	0.36 / 0.72	2 / 25	176	MPa
		せん断	0.36 / 0.72	8 / 16	101	MPa

12-5-2. タンクの強度・耐震評価（建屋内RO濃縮水受タンク）

【胴板の強度評価】

- ・内圧（静水圧）により発生する円周方向応力 σ_θ が許容応力 f より小さいこと

$$\sigma_\theta = \frac{P \cdot d}{2t} \quad f = \frac{\sigma_s}{F}$$

P ：最大水位時の静水圧[MPa]

d ：タンクの外径[mm]

t ：胴板の厚さ[mm]

σ_s ：ポリエチレンの強度[MPa]（規格より15MPa）

F ：安全率[-]（長期荷重評価のため3）

P :0.051MPa

d :2860mm

t :16mm

- ・タンク本体の自重により発生する軸方向応力 σ_y が許容応力 f より小さいこと

$$\sigma_y = \frac{m_t \cdot g}{\pi \cdot d \cdot t}$$

$$f = \frac{\sigma_{X,cr}}{F}$$

$$\sigma_{X,cr} = \frac{2 \cdot C \cdot E_p \cdot t}{\{3(1 - \nu^2)\}^{1/2} \cdot d}$$

m_t ：タンク本体の質量[kg]

g ：重力加速度[m/s²]

$\sigma_{X,cr}$ ：材料の圧縮座屈応力[MPa]

C ：座屈係数 = $1 - 0.901 \{ 1 - e^{-(1/16) \cdot \sqrt{d/2t}} \}$

E_p ：引張弾性係数[MPa]（規格より500MPa）

ν ：ポアソン比[-]（規格より0.41）

F ：安全率[-]（長期荷重評価のため3）

m_t :6250kg

12-5-3. タンクの強度・耐震評価（建屋内RO濃縮水受タンク）

【胴板の耐震評価】

- 地震による転倒モーメントにより発生する応力 σ_x が許容応力 f より小さいこと

$$\sigma_x = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot d^2 \cdot t}$$

$$M = K_H \cdot \alpha_t \cdot m_{total} \cdot g \cdot H$$

$$f = \frac{\sigma_s}{F}$$

M:地震による転倒モーメント[N*mm]

F:安全率[-] (短期荷重評価のため2)

K_H :水平震度[-] (0.36または0.72)

α_t :タンクの有効重量比[-]

(最大水位, タンク直径より算出し0.88)

m_{total} :タンク全体の質量(補強枠含む)[kg]

H:水平地震荷重の作用点高さ[mm]

m_{total} :36250kg
H:2625mm

【基礎ボルトの耐震評価】

- 基礎ボルトに発生する応力 σ_b , τ_b が許容応力より小さいこと

$$\sigma_b = \frac{1}{A_b \cdot n} \left(\frac{4 \cdot M}{L_b} - m_{total} \cdot g \right)$$

$$\tau_b = \frac{K_H \cdot m_{total} \cdot g}{A_b \cdot n}$$

L_b :基礎ボルトのピッチ円直径[mm]

σ_b :基礎ボルトに掛かる引張応力[MPa]

τ_b :基礎ボルトに掛かるせん断応力[MPa]

n:基礎ボルトの本数[-]

A_b :基礎ボルト断面積[mm²]

L_b :3050mm
n:24
 A_b :706.9mm²

12-5-4. タンクの強度・耐震評価（建屋内RO濃縮水受タンク）

【補強枠の耐震評価】

- 地震による転倒モーメントにより発生する応力 σ_x が許容応力 σ_s より小さいこと

$$\sigma_x = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot d^2 \cdot ts}$$

$$M = K_H \cdot \alpha_t \cdot m_{total} \cdot g \cdot H$$

M:地震による転倒モーメント[N*mm]

K_H : 水平震度[-] (0.36または0.72)

α_t : タンクの有効重量比[-]

(最大水位, タンク直径より算出し0.88)

m_{total} : タンク全体の質量 (補強枠含む) [kg]

H: 水平地震荷重の作用点高さ[mm]

d: タンクの外径[mm]

ts: 補強枠厚さ[mm]

σ_s : ステンレス鋼板の許容引張応力[MPa]

(規格より短期荷重評価では205MPa)

m_{total} :36250kg

H:2625mm

d:2860mm

ts:7mm

12-5-5. タンクの強度・耐震評価（建屋内RO濃縮水受タンク）

【補強枠の強度評価】

- ・ 内圧（静水圧）及びタンク本体の膨張により発生する円周方向応力 $\sigma_{s\theta}$ が許容応力 σ_s より小さいこと

$$\sigma_{s\theta} = \frac{P \cdot d}{2t_s} + \alpha \cdot \Delta T \cdot E_p \cdot \frac{t}{t_s}$$

温度の最大変化	ΔT	17	°C
ポリエチレン縦弾性係数	E_p	500	MPa
ポリエチレン熱膨張係数	α	0.00016	1/°C
胴板厚さ	t	16	mm
最大水位での水頭圧	P	0.0515	MPa
ステンレス鋼板の長期許容引張応力	σ_s	137	MPa

【補強枠のボルトピッチ評価】

- ・ 内圧（静水圧）及びタンク本体の膨張により補強枠締付ボルトに発生する応力を考慮して必要となるボルトピッチ a より、実際のボルトピッチが小さいこと

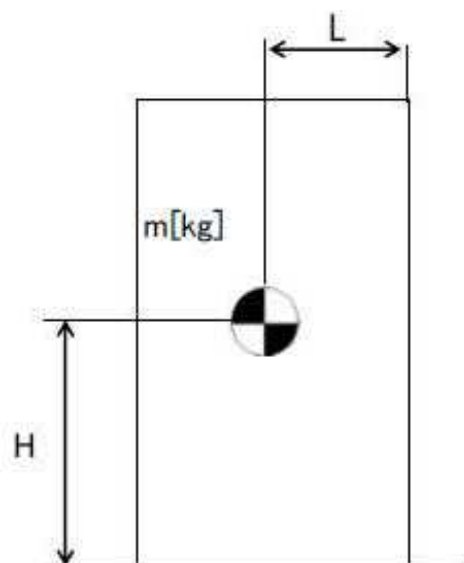
$$a = \frac{\pi \cdot d_c^2 \cdot f_c}{4 \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot E_p \cdot t + 2 \cdot d \cdot P_d}$$

締付ボルト呼び径	d_c	20	mm
締付ボルト長期許容引張応力	f_c	105	MPa

$$a = 345\text{mm} > \text{当該タンクのボルトピッチ}150\text{mm}$$

12-5-6. 設計上の考慮 タンクの転倒評価（建屋内RO濃縮水受タンク）

◎タンク基礎ボルトを考慮しない耐震計算



- m : 機器質量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L : 転倒支点から機器重心までの距離
- C_H : 水平方向設計震度

地震による転倒モーメント： $M_1[N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント： $M_2[N \cdot m] = m \times g \times L$

当該タンクはボルトによる固定を行っているため本評価にて算出値>許容値となった場合でもボルトが評価に耐えられれば耐震上問題とならない。

評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
本体	転倒	0.36	3.4×10^2	5.4×10^2	kN・m

評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
本体	転倒	0.72	6.8×10^2	5.4×10^2	kN・m

12-5-7. タンクのスロッシング評価（建屋内RO濃縮水受タンク）

◎中低濃度タンクに対するスロッシング評価

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{D}{3.68g} \coth\left(\frac{3.68H}{D}\right)}$$

$$\eta = 0.837 \left(\frac{D}{2g}\right) \left(\frac{2\pi}{T_s}\right) S_v$$

D : タンク内径 [m]

H : タンク液位 [m]

g : 重力加速度 [m/s²]

T_s : スロッシング固有周期 [s]

S_v : 速度応答値 [m/s]

η : スロッシング波高 [m]

タンク内径 [m]	スロッシング波高 [mm]	スロッシング時液位 [mm]	タンク高さ [mm]
1.414	386	5,216	5,250

12-5-8. 【参考】タンクの応力評価（建屋内RO濃縮水受タンク補強枠）

当該タンクは「ポリエチレン製縦型耐食円筒型貯槽規格」に準拠するため、当該規格に基づく耐震評価を実施している。

ここでは参考として、鋼製タンクと同様に『JEAC4601-2008原子力発電所耐震設計技術規程』に基づき、タンク補強枠の応力評価を実施して一次一般膜応力が許容応力以下であることを確認する。評価式の詳細については、実施計画Ⅱ.2.5添付資料-15「付録2 平底たて置円筒型容器の評価」を参照。

タンク	部材	材料	水平方向設計震度	応力	算出応力 [MPa]	許容応力 [MPa]
建屋内RO濃縮水受タンク (30m ³)	補強枠	SUS304	0.36	一次一般膜	■	■
建屋内RO濃縮水受タンク (30m ³)	補強枠	SUS304	0.72	一次一般膜	■	■

記号	記号の説明	単位
σ_{ot}	補強枠の組合せ引張応力	MPa
σ_{oc}	補強枠の組合せ圧縮応力	MPa
m_o	容器の運転時質量	kg
m_e	容器の空質量	kg

記号	記号の説明	単位
D_i	補強枠の内径	mm
t_s	補強枠の板厚	mm
E	補強枠の縦弾性係数	MPa
H	水頭	mm
S_y	設計降伏点@40°C	MPa
S_u	設計引張強さ@40°C	MPa

mo:36250kg
me:6250kg
Di:2860mm
ts:7mm
E: ■
H: ■
Sy: ■
Su: ■

応力の種類	設計応力 S_d
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。

12-5-9. 【参考】タンクの座屈評価（建屋内RO濃縮水受タンク補強枠）

当該タンクは「ポリエチレン製縦型耐食円筒型貯槽規格」に準拠するため、当該規格に基づく耐震評価を実施している。

ここでは参考として、鋼製タンクと同様に『JEAC4601-2008原子力発電所耐震設計技術規程』に基づき、タンク補強枠の座屈評価を実施して、圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）が評価式を満足することを確認する。評価式の詳細については、実施計画Ⅱ.2.5添付資料-15「付録2 平底たて置円筒型容器の評価」を参照。

タンク	部材	材料	水平方向設計震度	座屈評価結果（胴は座屈しない）
建屋内RO濃縮水受タンク (30m ³)	補強枠	SUS304	0.36	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} =$ 
建屋内RO濃縮水受タンク (30m ³)	補強枠	SUS304	0.72	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} =$ 

記号	記号の説明	単位
η	座屈応力に対する安全率	-
σ _{x2}	補強枠の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ _{x3}	補強枠の鉛直方向地震による軸方向圧縮応力	MPa
σ _{x4}	補強枠の水平方向地震による軸方向圧縮応力	MPa
f _b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f _c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa

12-5-10. 【参考】タンクの構造強度評価（建屋内RO濃縮水受タンク）

当該タンクは「ポリエチレン製縦型耐食円筒型貯槽規格」に準拠するため、当該規格に基づく強度評価を実施計画に記載している。ここでは参考として、設計建設規格に準拠した鋼製タンクと同様に評価した結果を記載する。なお、溶接部の負うべき荷重の評価については、当該タンクが溶接による製作物でないため評価を省略する。

◎円筒型タンクの胴の板厚評価結果

$$t = \frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

t : 胴板の計算上必要な厚さ
 Di: 胴の内径
 H: 水頭
 ρ: 液体の比重
 S: 最高使用温度における許容引張応力
 η: 継手効率

必要肉厚は、tの値と以下の値の何れか大きい値とする。
 炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたもの: 3mm

その他の材料で作られたもの: 1.5mm

評価部位	必要肉厚 [mm]	最小厚さ [mm]
タンク板厚 (胴板)		

◎円筒型タンクの底板の板厚評価結果

必要肉厚は、設計・建設規格より「地面、基礎等に直接接触するものについては3mm」と定義される。

評価部位	必要肉厚 [mm]	最小厚さ [mm]
タンク板厚 (底板)		

◎円筒型タンクの管台の板厚評価結果

$$t = \frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

t : 管台の計算上必要な厚さ
 Di: 管台の内径
 H: 水頭
 ρ: 液体の比重
 S: 最高使用温度における許容引張応力
 η: 継手効率

必要肉厚は、tの値と以下の値の何れか大きい値とする。
 管台の外径64mm以上: 2.7mm 外径82mm以上: 3.5mm

管台口径	評価部位	必要肉厚 [mm]	最小厚さ [mm]
50A	管台板厚		
100A			

12-5-11. 【参考】タンクの構造強度評価（建屋内RO濃縮水受タンク）

◎円筒型タンクの穴の補強評価結果

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

$$A_1 = (\eta t_s - Ft_{sr})(X - d) - 2(1 - \frac{S_n}{S_s})(\eta t_s - Ft_{sr})t_s$$

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = 2(\text{Max}(d, \frac{d}{2} + t_s + t_{sr}))$$

$$A_2 = 2((t_{n1} - t_{sr})Y_1 + t_{n2}Y_2)S_n / S_s$$

$$t_{sr} = \frac{PDi}{2S_s - 1.2P}$$

$$Y_1 = \text{Min}(2.5t_s, 2.5t_{n1} + Te)$$

$$Y_2 = \text{Min}(2.5t_s, 2.5t_{n2}, h)$$

$$A_3 = L_1L_1 + L_2L_2 + L_3L_3$$

$$A_4 = (W - Wi) \times Te$$

$$W = \text{Min}(X, De)$$

$$Ar = dt_{sr}F + 2(1 - \frac{S_n}{S_s})t_{sr}Ft_{sr}$$

- A₀ : 補強に有効な総面積
- A₁ : 胴、鏡板又は平板部分の補強に有効な面積
- A₂ : 管台部分の補強に有効な面積
- A₃ : すみ肉溶接部の補強に有効な面積
- A₄ : 強め材の補強に有効な面積
- η : PVC-3161.2 に規定する効率
- t_s : 胴の最小厚さ
- t_{sr} : 継ぎ目のない胴の計算上必要な厚さ (PVC-3122(1)において、η = 1 としたもの)
- t_n : 管台最小厚さ
- t_{n1} : 胴板より外側の管台最小厚さ
- t_{n2} : 胴板より内側の管台最小厚さ
- t_{nr} : 管台の計算上必要な厚さ
- P : 最高使用圧力(水頭) = 9.80665 × 10² H₂O
- S_s : 胴板材料の最高使用温度における許容引張応力
- S_n : 管台材料の最高使用温度における許容引張応力
- Di : 管台の内径
- X : 胴面に沿った補強に有効な範囲
- X₁ : 補強に有効な範囲
- X₂ : 補強に有効な範囲
- Y₁ : 胴面に垂直な補強の有効な範囲 (胴より外側)
- Y₂ : 胴面に垂直な補強の有効な範囲 (胴より内側)
- h : 管台突出し高さ (胴より内側)
- L₁ : 溶接の脚長
- L₂ : 溶接の脚長
- L₃ : 溶接の脚長
- A_r : 補強が必要な面積
- d : 胴の断面に現れる穴の径
- F : 係数 (図 PVC-3161.2-1 から求めた値)
- Te : 強め材厚さ
- W : 強め材の有効範囲
- Wi : 開先を含めた管台直径
- De : 強め材外径

管台口径	評価部位	補強に必要な面積 Ar[mm ²]	補強に有効な総面積 A0[mm ²]
100A	管台		

※補強に有効な総面積A0=A1+A2+A3+A4は、保守側にA2,A3,A4=0として評価した。
 ※50A管台は、穴の径が85mm以下のため評価を省略した。

12-5-12. 【参考】共振評価（建屋内RO濃縮水受タンク）

当該タンクは「ポリエチレン製縦型耐食円筒型貯槽規格」に準拠するため、当該規格に基づく耐震評価を実施しており、当該規格では共振評価は規定していない。ここでは参考として、『JEAC4601-2008原子力発電所耐震設計技術規程』で規定される共振評価を実施する。ただし、JEACでは当該タンクに即した評価方法は規定されていないため、一般的な評価式等を併用して評価する。

■建屋内RO濃縮水受タンクの共振評価について

- JEACではタンク単体の固有振動数評価式が規定されており、補強枠単体での評価は水平約■■■Hz、鉛直約■■■Hz。JEACの考え方を拡張してタンク（本体+補強枠）の固有振動数を算出しても水平約■■■Hz、鉛直約■■■Hzであり、ほぼ変わらない。
- 固有振動数が20Hz以上であるため、共振の恐れはないと考える。

12-5-12. 【参考】共振評価（建屋内RO濃縮水受タンク）

- 合成ばね定数（水平方向）の算出方法

$$\text{曲げ応力ばね定数 } k_1 = \frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

$$\text{せん断応力ばね定数 } k_2 = \frac{h}{G \cdot Ae}$$

$$\text{合成ばね定数 } K \quad \frac{1}{K} = \frac{1}{\text{本体 } k_1 + \text{補強枠 } k_1} + \frac{1}{\text{本体 } k_2 + \text{補強枠 } k_2}$$

$$\text{固有振動数 } f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$$

- 合成ばね定数（鉛直方向）の算出方法

$$\text{軸方向応力ばね定数 } k_3 = \frac{h}{E \cdot A}$$

$$\text{合成ばね定数 } K = \text{本体 } k_3 + \text{補強枠 } k_3$$

$$\text{固有振動数 } f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{me}}$$

h:容器重心までの高さ（共通2625mm）

E:縦弾性係数（194000MPa/500MPa）

I:断面二次モーメント

G:せん断弾性係数（74615MPa/177MPa）

Ae:有効断面積

A:断面積

d:内径（2828mm/2860mm）

t:厚さ（16mm/7mm）

m:質量（36250kg）

me:空質量（6250kg）

I, Ae, Aはタンク本体については下記の円筒型形状の評価式を用いる。

タンク補強枠については次スライド参照。

$$I = \frac{\pi \cdot t \cdot (d+t)^3}{8}$$

$$Ae = \frac{2\pi \cdot t \cdot (d+t)}{3} \quad A = \pi \cdot t \cdot (d+t)$$

12-5-12. 【参考】共振評価（建屋内RO濃縮水受タンク）

タンク補強枠の構成部品である金属板には製作の都合上、不連続部が発生する。このためタンク補強枠の構成部品であり不連続部がないフレームを含めた固有振動数の評価を行う方針とし、評価に必要な I 、 A_e 、 A （断面二次モーメント、有効断面積、断面積）を以下の通り評価した。

- ・表計算ソフトを使用し、地震力を与えた際の各変形モードに対する変位量を補強枠の高さ1mm毎に求める。補強枠金属板が不連続となる高さではフレームのみで変位量を求める。
- ・接地面から重心高さまでの変位量を積分し、補強枠としての変位量を求める。
- ・高さ方向に一様な梁における変位量の評価式を用いて、上記評価での地震力－変位量に相当する断面二次モーメント等を求める。

補強枠の評価条件は保守側となるよう下記の通り設定した。

- ・不連続部の数は接地面～重心高さまでの間で2カ所。
- ・1カ所目の不連続部は高さ1000mmより10mm発生する。
- ・2カ所目の不連続部は高さ2000mmより10mm発生する。

評価の結果、断面二次モーメント等は以下の通り求めた。

	断面二次モーメント[mm ⁴]	有効断面積[mm ²]	断面積[mm ²]
評価値	■■■■■	■■■■■	■■■■■
(参考) 不連続部無しの場合	■■■■■	■■■■■	■■■■■

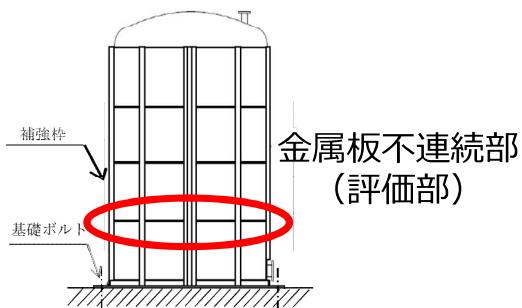
12-5-13. 【参考】 建屋内RO濃縮水受タンクの補強枠について

当該タンク補強枠の構成部品である金属板には製作の都合上、不連続部が発生する。補強枠内側のタンク本体に不連続部は無く、地震に対して十分な耐力を有すると考えているが、ここでは参考として保守側にタンク本体を考慮せず、補強枠の構成部品であり不連続部がないフレームに対して耐震評価を行う。

評価対象のフレームはL型、厚さ6mm、75mm×75mm、SUS304 304製、合計8本とし、補強リブは考慮していない。金属板の不連続部はタンク底部より1000mm以上高い位置にて生じるため、不連続部が高さ1000mmの位置にあるとして当該部の評価を行う。

評価は下表の通りであり、水平震度0.72にて評価値<許容値であることを確認した。

タンク	部材	材料	水平方向設計震度	評価項目	評価値	許容値
建屋内RO濃縮水受タンク (30m ³)	フレーム	SUS304	0.72	一次一般膜	■	205 MPa
				座屈	■	1



静水頭により生じる周方向応力

$$= \text{内径} \times \text{水頭} \times \text{重力加速度} \times \text{比重} / (\text{板厚} \times 2) \times 10^{-6}$$

$$= 9.98 \text{MPa}$$

空質量による軸方向圧縮応力

$$= \text{空質量} \times \text{重力加速度} / (\text{円周率} \times (\text{内径} + \text{板厚}) \times \text{板厚})$$

$$= 1.13 \text{MPa}$$

水平方向地震力による軸方向応力

$$= \text{曲げモーメント} / \text{断面係数} = 90.33 \text{MPa}$$

曲げモーメント = 質量 × 重力加速度 × 水平震度 × 重心高さ
 断面係数 = $b * (h^3 - h_1^3) / (6 * h)$

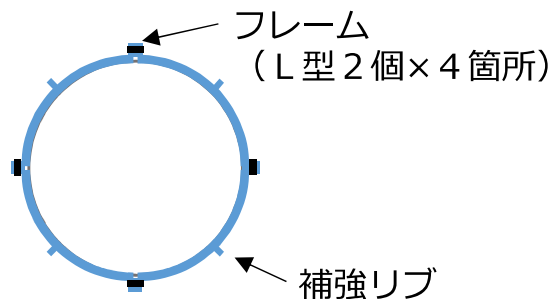
地震により生じるせん断応力

$$= \text{質量} \times \text{重力加速度} \times \text{水平震度} / \text{断面積}$$

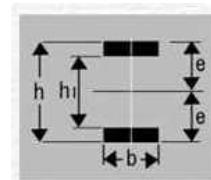
$$= 30.61 \text{MPa}$$

以降の一次一般膜応力、座屈の算出については、実施計画Ⅱ.2.5 添付資料-15「付録2 平底たて置円筒型容器の評価」を参照。

内径：2874mm
 水頭：4250mm
 板厚：6mm
 空質量：6250kg
 質量：29970kg
 重心高さ：2125mm
 断面積：6912mm²



断面係数



断面係数はL型 2個×2箇所について求め、 $4.98 \times 10^6 \text{mm}^3$

12-5-14. 【参考】JEAC評価との違い

- 「ポリエチレン製縦型耐食円筒型貯槽規格」と「JEAC4601-2008原子力発電所耐震設計技術規程」の評価について、主な違いは以下の通り。
 - ポリエチレン規格では、貯槽の有効重量比を評価しており、水平震度による応力がJEACより低めに評価される。
 - ポリエチレン規格では、タンク本体の自重による評価、地震加速度による評価を個々に行っているが、JEACでは両者を組み合わせて評価している。
 - ポリエチレン規格では、曲げ応力を求めて耐震評価を行っているが、JEACでは曲げ応力、円周方向応力、せん断応力等を組み合わせた一次一般膜応力を求めて耐震評価を行っている。
 - 両規格にて、評価に用いる判定基準値が異なる。

12-6. 基礎ボルトの強度評価（ポンプ基礎ボルト）

『JEAC4601-2008原子力発電所耐震設計技術規程』に基づき、ポンプ基礎ボルトの評価を実施して、引張応力、せん断応力が許容値未満であることを確認する。評価式の詳細については、実施計画Ⅱ.2.5添付資料-15別紙3を参照。

【基礎ボルトの強度評価結果】

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
建屋内RO濃縮水移送ポンプ	基礎ボルト	引張	0.36	< 0	—	MPa
		せん断	0.36	3	161	MPa
増設RO濃縮水供給ポンプ	基礎ボルト	引張	0.36	< 0	—	MPa
		せん断	0.36	3	161	MPa

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
建屋内RO濃縮水移送ポンプ	基礎ボルト	引張	0.72	3	210	MPa
		せん断	0.72	5	161	MPa
増設RO濃縮水供給ポンプ	基礎ボルト	引張	0.72	3	210	MPa
		せん断	0.72	5	161	MPa

（補足）建屋内RO濃縮水移送ポンプ、増設RO濃縮水供給ポンプは同仕様のため、評価結果は同一である。

12-7. 設計上の考慮（増設RO濃縮水受タンク、増設RO濃縮水供給ポンプ）

<風雨に対する考慮>

- 屋外に設置する増設RO濃縮水供給ポンプ、増設RO濃縮水受タンクについては風雨により損傷を与える可能性がある場合、汚染水移送停止等の操作を行い、機器の損傷による汚染水漏えい防止を図る。

【参考】

本申請で屋外に設置する最も大きい機器である増設RO濃縮水受タンクについて、風による転倒有無の評価を行う。風による転倒モーメントは $M = 1/2 * \rho * V^2 * Cd * A * H$ で求められる。浪江町の最大瞬間風速は32.4 m/s(気象庁HP, 2017年4月)であるが、風速 $V=50\text{m/s}$ としても $M = 55\text{kN}\cdot\text{m}$ である。この値は安定モーメント $90\text{kN}\cdot\text{m}$ （タンクが空状態での値）を下回るため、転倒しないと考えられる。

A:風を受ける面積（ $5\text{m}\cdot 3\text{m}=15\text{m}^2$ ） H:重心高さ(2.5m) V:風速

ρ :空気密度（ 0°C , 1気圧にて $1.293\text{kg}/\text{m}^3$ ）

Cd:抗力係数（0.9, 建設省告示第1454号における「煙突その他の円筒形の構造物」の風力係数を使用）

12-7. 設計上の考慮（増設RO濃縮水受タンク、増設RO濃縮水供給ポンプ）

<構造強度及び耐震性>

- 増設RO濃縮水受タンクは、RO濃縮水処理設備にて処理装置供給タンクとして供用していたタンク（SUS316L製、溶接検査受検実績有）を再使用する。タンクの構造強度及び耐震性は建屋内RO循環設備と同様※に設計・建設規格（JSME規格）、原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）に準拠して評価を行う。タンクの健全性については、撤去時記録の確認、外観点検、外面・内面の点検結果より評価を行い、記録確認にて検査を受検する。増設RO濃縮水受タンクの内側はライニング加工しているため、板厚の減肉は無いと考えている。
- 増設RO濃縮水供給ポンプの耐震性は原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）に準拠して評価を行う。
- 配管は、ポリエチレン管を新設し、鋼管の新設は行わない。ポリエチレン管は可とう性により耐震性を確保する。

<長期停止に対する考慮>

- 建屋内RO循環設備は、故障により設備が長期間停止することがないように2系列設置しているが、追設する関連機器では、動的機器であるポンプを2系列設置し、故障リスクが少ないタンク・配管は1系列設置としている。

<風雨に対する考慮>

- 建屋内RO濃縮水移送ポンプ，建屋内RO濃縮水受タンクは建屋内RO循環設備と同様に4号機タービン建屋内に設置するため，風雨により設備の安全性が損なわれる可能性は低い。

<構造強度及び耐震性>

- 建屋内RO濃縮水受タンクは，一般産業で水や薬品の貯留の用途で多数の実績を有するポリエチレン製タンクを使用する。タンクの構造強度及び耐震性は「ポリエチレン製縦型耐食円筒型貯槽規格（ポリエチレンタンク協議会）」に準拠して評価を行う。
- 建屋内RO濃縮水移送ポンプは原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）に準拠して評価を行う。
- 配管は，ポリエチレン管を新設し，鋼管の新設は行わない。ポリエチレン管は可とう性により耐震性を確保する。

<長期停止に対する考慮>

- 建屋内RO循環設備は，故障により設備が長期間停止することがないように2系列設置しているが，追設する関連機器では，動的機器であるポンプを2系列設置し，故障リスクが少ないタンク・配管は1系列設置としている。

<耐放射線について>

- ポリエチレンは、集積線量が $2 \times 10^5 \text{Gy}$ に達すると、引張強度は低下しないが、破断時の伸びが減少する傾向を示す。ポリエチレンタンク・ポリエチレン管の照射線量率を 1Gy/h と仮定すると、 $2 \times 10^5 \text{Gy}$ に到達する時間は 2×10^5 時間（22.8年）と評価される。そのため、ポリエチレンタンク・ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。
- <参考> 現在の建屋内RO濃縮水表面の線量当量率は、保守的にみて 10mSv/h であることから、集積線量が $2 \times 10^5 \text{Gy}$ に到達する時間は 2×10^7 時間（2283年）と評価される。

12-9. 設計上の考慮（増設RO濃縮水受タンク）

<津波対策>

増設RO濃縮水受タンクは、アウターライズ津波（T.P. 約 12.7 m）が到達しないと考えられるT.P. 約 33.5 mの場所に設置する。

また、アウターライズ津波を上回る津波の襲来に備え、大津波警報が出た際は滞留水移送装置、処理装置を停止し、処理装置については隔離弁を閉めることにより滞留水の流出を防止する。

<火災対策>

増設RO濃縮水受タンクおよび追設する関連機器は、火災発生防止及び火災影響軽減のため、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用するとともに設備周辺から可能な限り可燃物を排除する。また、初期消火の対応ができるよう、設備近傍に消火器を設置する。なお、火災発生は、監視カメラ等※により確認可能な設計とする。

※監視カメラ等には、監視カメラのほか現場出向を含む。増設RO濃縮水受タンク等を設置するH4エリアには監視カメラを設置していない。警報発生等の異常時には現場出向により現場を確認する。なお現在、現場パトロールは毎日実施している。

12-10. 設計上の考慮（建屋内RO濃縮水受タンク）

<津波対策>

建屋内RO濃縮水受タンク（T.P. 約 8.5 m）は、アウターライズ津波（T.P. 約 12.7 m）による浸水を防止するため仮設防潮堤内に設置する。

また、アウターライズ津波を上回る津波の襲来に備え、大津波警報が出た際は滞留水移送装置、処理装置を停止し、処理装置については隔離弁を閉めることにより滞留水の流出を防止する。

<火災対策>

建屋内RO濃縮水受タンクおよび追設する関連機器は、火災発生防止及び火災影響軽減のため、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用するとともに設備周辺から可能な限り可燃物を排除する。また、初期消火の対応ができるよう、設備近傍に消火器を設置する。なお、火災発生は、監視カメラ等※により確認可能な設計とする。

※監視カメラ等には、監視カメラのほか現場出向を含む。建屋内RO濃縮水受タンク等を設置する4号T/Bオペフロには監視カメラを設置しており、警報発生等の異常時に、必要に応じて監視カメラにて現場を確認している。なお現在、監視カメラでの現場確認は毎日実施している。また、現在、現場パトロールは週3日実施している。

12-11. 設計上の考慮（配管）

<漏えい防止>

ポリエチレン管とポリエチレン管の接合部は漏えい発生を防止するため融着構造とすることを基本とし、ポリエチレン管と鋼管の取合い等でフランジ接続となる箇所については堰内に配置、養生を行い、漏えい拡大防止を図る。また、移送配管は、万が一漏えいがあった場合でも直接排水路上に汚染水が滴下しない構造（排水路を横断する汚染水移送配管は、二重管化構造）とする。

移送配管から漏えいが確認された場合は、ポンプ等を停止し、システムの隔離及び土嚢の設置等により漏えいの拡大防止を図る。

<凍結防止対策・紫外線対策>

ポリエチレン管には保温材を取り付け凍結防止対策を施す。なお、本対策は、ポリエチレン管の紫外線劣化対策を兼ねる。

屋外に敷設されているポリエチレン管等は、紫外線による劣化を防止するため、紫外線防止効果のあるカーボンブラックを添加した保温材を取り付ける、もしくは、カーボンブラックを添加していない保温材を使用する場合は、カーボンブラックを添加した被覆材または紫外線による劣化のし難い材料である鋼板を取り付ける。

<火災対策>

移送配管で使用するポリエチレン管は、可燃性であるが内部流体が水であることに加え、保温材カバーは難燃性であり、配管近傍から可能な限り可燃物を排除するため、燃焼、延焼し難い。

12-12. 設備の点検保守方法について

- 建屋内R O濃縮水移送ポンプ、増設R O濃縮水供給ポンプ
パトロールによる目視点検を行うと共に、定期的に点検又は取替を行う。
- 建屋内R O濃縮水受タンク、増設R O濃縮水受タンク
パトロールによる目視点検を行うと共に、定期的に外観点検（目視確認）、内面確認を行う。

<参考> 仮設防潮堤について

- ✓ 仮設防潮堤（以下、既設アウターライズ津波防潮堤）は、アウターライズ津波への緊急的な対応として、平成23年6月末に設置を完了したものである。
- ✓ 現在、切迫性が高いとされる千島海溝津波に対応するため、T.P.+8.5m盤海側に千島海溝津波防潮堤を設置する工事を実施している。
- ✓ 千島海溝津波防潮堤は、既設アウターライズ津波防潮堤を北側に延伸する形で計画しており、既設アウターライズ防潮堤と一体となって機能するよう設計している。
- ✓ よって、今後も既設アウターライズ津波防潮堤を適切に維持管理しつつ継続的に使用していく。
- ✓ 既設アウターライズ津波防潮堤の高さは、T.P.+8.5m盤各所において想定されたアウターライズ津波の高さに対し、必要な防潮堤高さ（T.P.+11.0m～T.P.+12.8m）を確保している。
- ✓ なお、千島海溝津波の最高水位はT.P.+10.3mと想定しているため、上記の既設アウターライズ津波防潮堤の高さはこれを上回っている。

12-13. 信頼性向上対策について

機能	現在の状況	本申請による信頼性向上の内容
<p>建屋内RO運転にて発生する濃縮水の33.5m盤エリアへの送水</p>	<p>SPT受入水タンク/ポンプが当該機能を担う 【構造強度評価】 角型タンクの定量的な評価が不可 【耐震評価】 Bクラス相当評価 【材質】 炭素鋼（ライニング無） 【環境】 ・屋外</p>	<p>建屋内RO濃縮水受タンク/ポンプが当該機能を担う 【構造強度評価】 円筒タンクの定量的な評価が可能 【耐震評価】 Bクラスの2倍の水平振動で評価 【材質】 ポリエチレン（耐食性向上） 【環境】 ・屋内</p>
<p>33.5m盤エリアへ送水した濃縮水のRO濃縮水貯槽への送水</p>	<p>RO濃縮水受タンク/ポンプが当該機能を担う 【構造強度評価】 角型タンクの定量的な評価が不可 【耐震評価】 Bクラス相当評価 【材質】 炭素鋼（ライニング無） 【環境】 ・屋外</p>	<p>増設RO濃縮水受タンク/ポンプが当該機能を担う 【構造強度評価】 円筒タンクの定量的な評価が可能 【耐震評価】 Bクラスの2倍の水平振動で評価 【材質】 SUS316L（ライニング有） 【環境】 ・屋外</p>

12-14. ポリエチレンタンクの採用経緯について

- 本タンクに求められる機能は、最高使用温度が40℃（常温）、最高使用圧力が水頭圧の環境にて30m³程度の水を貯留出来ることであり、タンクに求められる機械的強度は比較的低い。また、建屋内に設置するため、直射日光に曝されない、風雨が無いなど、環境条件が穏やかである。
- このため、本タンクは鋼材のほか非金属材料も含めて仕様を検討を実施し、下記の点にて鋼製タンク以上の信頼性が有ると判断したことから、ポリエチレン製を採用することとした。
 - 耐腐食性を有すること。
 - 「ポリエチレン製堅型耐食貯槽規格」の強度・耐震評価式に基づき、設計の妥当性が定量的に確認出来ること。
- ポリエチレンタンクは一般産業では広く使用されており、官庁/民間あわせて年間約5000台※1の納入実績がある。
- 今回使用するタンクについては、鋼製の補強枠が付属し、水平震度1.5Gの地震に耐える仕様※2の製品を採用している。

※1:ポリエチレンタンク協議会資料による

※2:タンクメーカーカタログによる

12-15. ポリエチレンタンクの採用経緯について

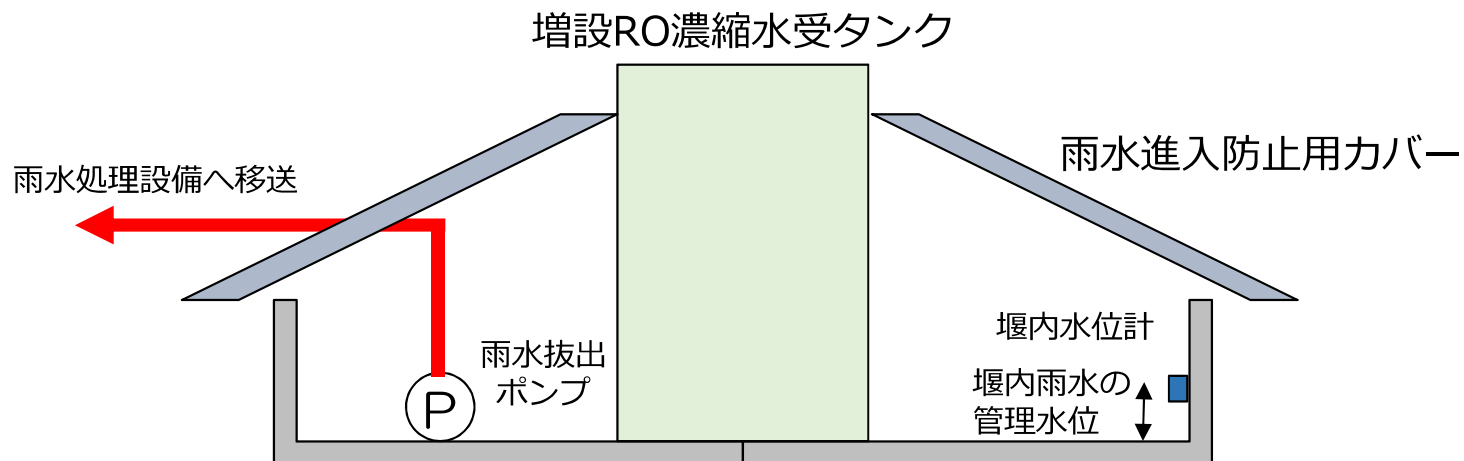
	ポリエチレンタンク	鋼製タンク
機械的強度	○：単位面積あたりでの機械的強度は鋼に比べ劣るが、厚肉設計により十分な強度を確保している。また、周囲に金属製の補強枠を取り付けることにより更なる強度を確保している。	◎：十分な機械的強度を有しており、様々な温度・圧力の使用条件において広く用いられている。
化学的強度 (耐腐食性)	◎：ポリエチレンは鋼よりも腐食に強く、鋼製タンクでもライニング加工に用いられている。	○：腐食発生リスクはあるが、炭素鋼・ステンレス・二相ステンレス等から使用環境に応じた適切な材料を選定するとともに、必要に応じてライニング加工、犠牲電極等の対策を講じることで耐腐食性を有することが可能。
製作期間	◎：6ヶ月※ 原材料を溶融して成型するため、短期間で製作が可能。なお、補強枠は鋼製タンクのように水密構造が要求されないため、4.5ヶ月程度で製作が可能。	○：12～15ヶ月※ JSME溶接規格に基づき、鋼板を溶接して製作するため、製作に期間が必要。
火災 (周囲から火を受けた際の可燃性)	○：鋼のような金属材料に比べて燃焼性を有するが、管理された建屋内に設備を設置する、設備周辺から可能な限り可燃物を排除する、設備近傍に消火器を設置する、監視カメラ等により火災発生防止及び火災影響軽減を図る。 なお、タンク周囲を金属製の補強枠にて覆っているため、燃焼するリスクは低減されている。	◎：金属材料は不燃材料のため燃焼することはなく、火災に対して優れている。
メンテナンス	◎：目視確認に加え、分析による劣化診断が可能。	◎：目視確認に加え、肉厚測定等が可能。

※：標準的な値であり製作仕様により変動する。

12-16. 放射性液体廃棄物の処理・保管・管理（新設設備について）

<漏えい検知・漏えい拡大防止>

- 建屋内RO濃縮水受タンクは、建屋内RO循環設備と同様に、周囲に設けるコンクリート製の堰に機器等に内包する処理水を受けられる容量を確保し、漏えい拡大防止を図る。また、漏えい検知器を設置し、早期検知を図る。
- 一方、増設RO濃縮水受タンクは屋外に設置することから、以下の通り漏えい検知、漏えい拡大防止を図る。
 - 周囲に設けるコンクリート製の堰は、機器等に内包する処理水を受けられる容量に、大雨時の作業等を考慮した余裕高さ（堰高さで20cm）分を合わせた容量を確保する。
 - 漏えいの早期検知を図るため堰内水位計を設置し、管理水位（余裕高さ以下で設定）より高い水位に達した際は警報を発生させる。警報発生時は現場確認、水質分析により汚染水漏えい有無を確認する。また、汚染水の微小漏えい有無の確認のため、定期的な巡視点検を併せて実施する。
 - なお、堰内雨水の発生を抑えるため、雨水進入防止用カバーを設置するとともに、堰に溜まった水は分析を実施し、汚染がなければ雨水処理設備へ移送し処理する。



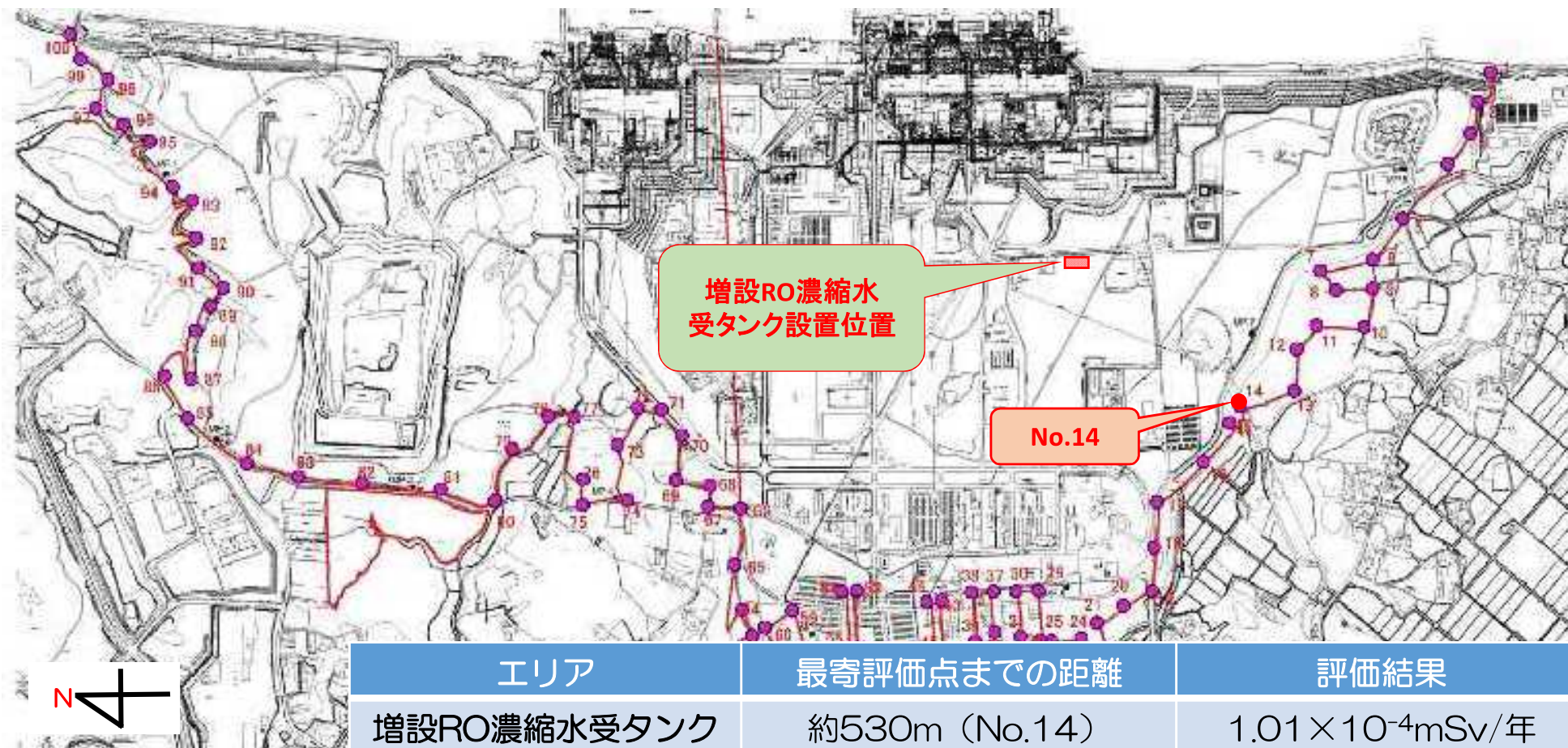
12-17. 計装品リスト

■ インターロック有無について

種類（使用箇所）	インターロック有無	主なインターロック内容	設置目的
水位計 （建屋内RO濃縮水受タンク）	有り	建屋内RO濃縮水移送ポンプ 起動，停止	液位の監視として使用。
流量計 （建屋内RO濃縮水移送ポンプ出口）	有り	建屋内RO濃縮水移送ポンプ 停止	移送流量の監視として使用。
水位計 （増設RO濃縮水受タンク）	有り	増設RO濃縮水供給ポンプ 起動，停止	液位の監視として使用。
流量計 （増設RO濃縮水供給ポンプ出口）	有り	増設RO濃縮水供給ポンプ 停止	移送流量の監視として使用。
漏えい検知器 （建屋内RO濃縮水受タンク堰内）	無し	—	堰内の漏えい検知として使用。
水位計 （増設RO濃縮水受タンク堰内）	無し	—	堰内の雨水管理として使用。

12-18. 放射性物質の放出抑制等による敷地周辺の放射性防護 (新設設備について)

- 増設RO濃縮水のタンク新設に伴い、敷地境界の線量評価結果は下記の通りとなる。



※敷地境界における実効線量への影響評価方法

分析結果から線源条件を設定し、制動X線も考慮し、RO濃縮水受タンク設置位置から 最寄りの敷地境界評価点における直接線・スカイシャイン線の寄与をコード計算により求める。

なお、建屋内RO濃縮水受タンクについては、4号T/B建屋内に設置されていることから評価対象外としている。

13. 検査の確認事項について（Ⅱ-2.5）

- 新設する建屋内RO濃縮水受タンク及びRO濃縮水処理設備から用途変更する増設RO濃縮水受タンクについて以下に基づき実施する。なお、撤去配管については、バルブの下流側に閉止フランジを取り付け、閉止フランジには圧力が掛からないようにするため、検査不要と考えている。
(1 / 2)

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認※ 1	使用材料を記録により確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認※ 1	主要寸法（板厚、内径、高さ）を記録により確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	タンク本体の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	組立状態及び据付状態を確認する。	組立状態及び据付状態に異常がないこと。
		タンク基礎の不陸について確認する。	不陸がないこと。
	耐圧・漏えい確認※ 1	タンク運用水位以上に水を張り、耐圧部からの漏えいが無い事を確認する。	各部からの漏えいおよび水位の低下がないこと。
地盤支持力確認	支持力試験にてタンク基礎の地盤支持力を確認する。※ 2	必要な支持力を有していること。	

※ 1 : 増設RO濃縮水受タンクは用途変更のため過去の記録を確認とする

※ 2 : 増設RO濃縮水受タンクを対象とする

13. 検査の確認事項について（Ⅱ-2.5）

- 新設する建屋内RO濃縮水受タンク及びRO濃縮水処理設備から用途変更する増設RO濃縮水受タンクについて以下に基づき実施する。なお、撤去配管については、バルブの下流側に閉止フランジを取り付け、閉止フランジには圧力が掛からないようにするため、検査不要と考えている。

(2/2)

確認事項	確認項目	確認内容	判定
機能・性能	監視確認	水位計について、免震重要棟集中監視室にタンク水位が表示できることを確認する。	免震重要棟集中監視室にタンク水位が表示できること。
	寸法確認	堰内容量を確認する。	必要容量に相当する堰内容量があること。
	外観確認	基礎外周堰の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。

13. 検査の確認事項について（Ⅱ-2.5）

- 新設する建屋内RO濃縮水移送ポンプ及び増設RO濃縮水供給ポンプについて以下に基づき実施する。

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	外観確認	ポンプの外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	組立状態及び据付状態を確認する。	組立状態及び据付状態に異常がないこと。
		ポンプ基礎の不陸について確認する。	異常な不陸がないこと。
	漏えい確認	運転圧力で耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	ポンプの運転確認を行う。	実施計画に記載した容量を満足すること。 また、異音、異臭、異常振動等がないこと。

13. 検査の確認事項について（Ⅱ-2.5）

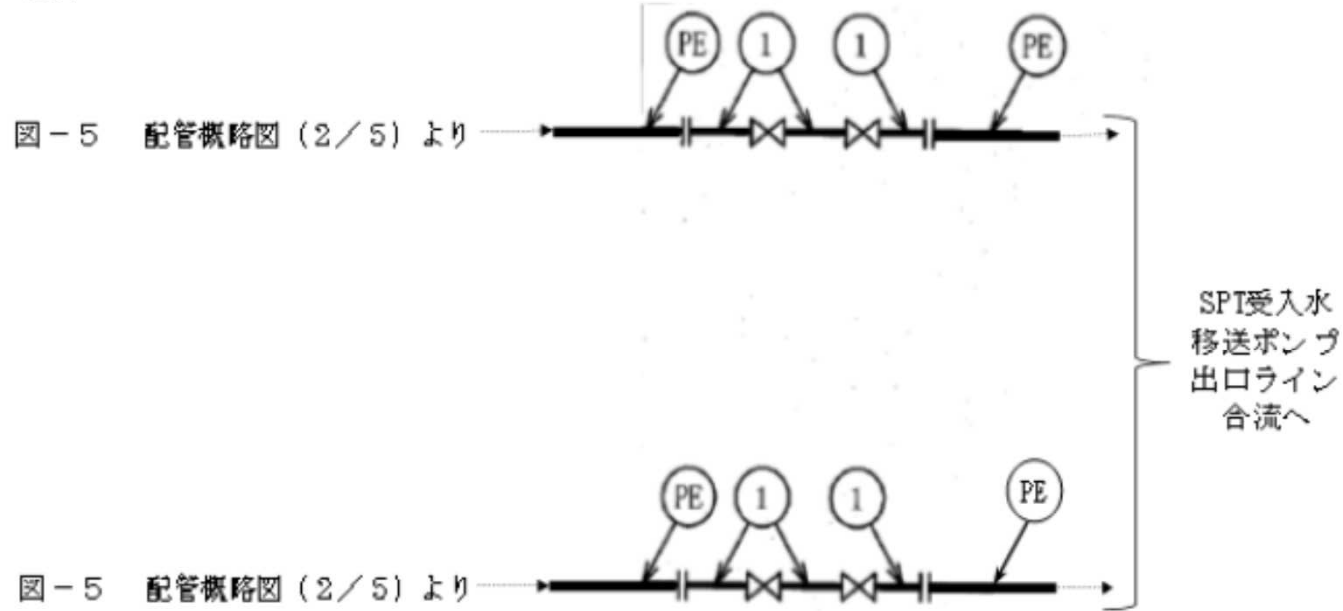
- 建屋内RO濃縮水移送ポンプから増設RO濃縮水受タンク間の既設鋼管部分についての確認事項として以下に基づき実施する。

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	使用材料を記録により確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	外径，厚さについて記録により確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	配管の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認※1	配管が図面のとおり据付ていることを立会いまたは記録により確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	最高使用圧力の1.5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立会いまたは記録により確認する。	最高使用圧力の1.5倍に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から漏えいがないこと。
機能・性能	通水確認※1	通水ができることを立会いまたは記録により確認する。	通水ができること。

※1：既設鋼管部分の新規検査項目

13. 検査の確認事項について（Ⅱ-2.5）

屋外



記号凡例

PE：ポリエチレン管

図中の番号は、2.5.3の番号に対応する。

①の既設鋼管部分が対象。

13. 検査の確認事項について（Ⅱ-2.5）

- 新規設置配管（ポリエチレン管）について以下に基づき実施する。

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した材料について、製品検査成績書により確認する。	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主要寸法（外径相当）について、製品検査成績書により確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観について、立会いまたは記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が図面のとおりに据付ていることを立会いまたは記録により確認する。	図面のとおり施工・据付ていること。
	耐圧・漏えい確認	最高使用圧力以上で一定時間保持後、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立会いまたは記録により確認する。	最高使用圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。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立会いまたは記録により確認する。	通水ができること。

13. 検査の確認事項について（Ⅱ-2.5）

- 漏えい検知器及び警報装置について以下に基づき実施する。

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度	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	装置の据付位置、据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	漏えい警報確認	漏えい信号により、警報が作動することを確認する。	警報が作動すること。

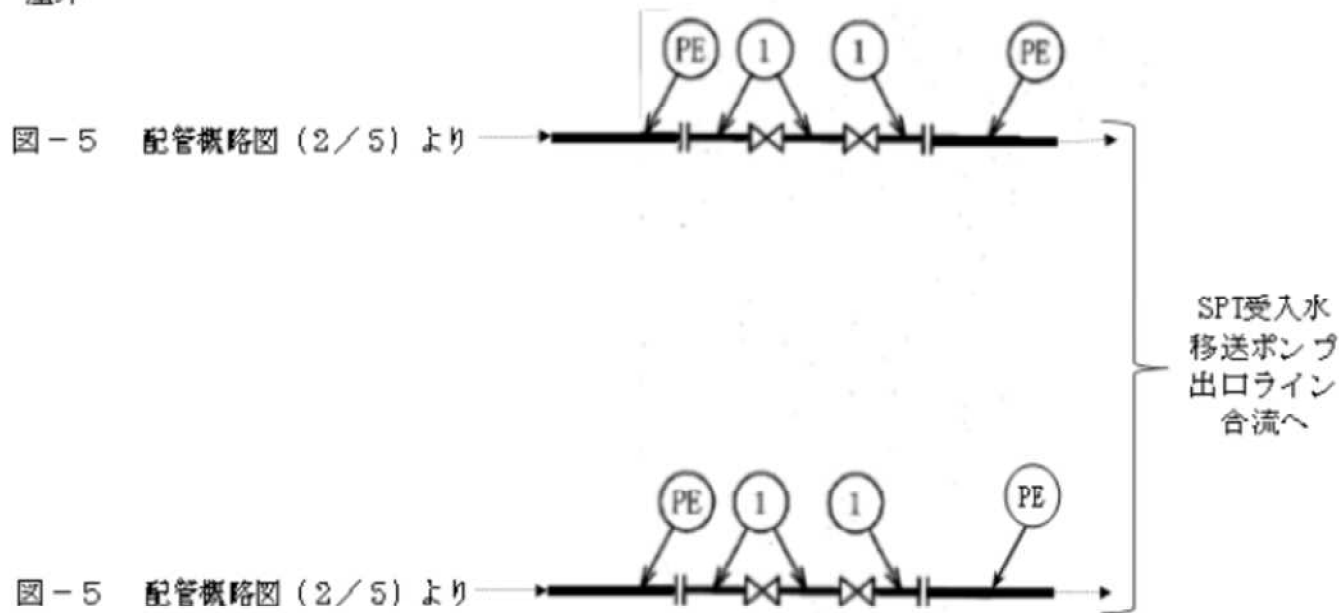
13. 検査の確認事項について（Ⅱ-2.5）

- 建屋内RO濃縮水移送ポンプから増設RO濃縮水受タンク間の既設鋼管部分についての確認事項として以下に基づき実施する。検査は過去の記録を確認とする。

確認事項	確認項目	対象設備	確認内容	判定
溶接検査	材料検査	建屋内RO出口から 8.5m盤SPT受入水移送 ポンプ出口ライン合流	材料が溶接規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合することを確認する。	材料が溶接規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査		開先形状等が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	開先形状等が溶接規格等に適合するものであること。
	溶接作業検査		あらかじめ確認された溶接施工法又は実績のある溶接施工法又は管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。あらかじめ確認された溶接士により溶接が行われていることを確認する。	あらかじめ確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。
	非破壊検査		溶接部について非破壊検査を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接部について非破壊検査を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。
	耐圧・漏えい検査 外観検査		最高使用圧力の1.5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立会いまたは記録により確認する。	最高使用圧力の1.5倍で一定時間保持後、同圧力に耐えている事。耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無及び外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと。

13. 検査の確認事項について (II-2.5)

屋外



記号凡例

PE：ポリエチレン管

図中の番号は、2.5.3の番号に対応する。

①の既設鋼管部分が対象。

13. 検査の確認事項について（Ⅱ-2.5）

- RO濃縮水処理設備から用途変更する増設RO濃縮水受タンクの溶接検査について以下に基づき実施する。検査は過去の記録を確認とする。

確認事項	確認項目	対象設備	確認内容	判定
溶接検査	材料検査	増設RO濃縮水受タンク	使用する材料が、溶接規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合するものとする。	使用する材料が溶接規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査		開先形状等が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	開先形状等が溶接規格等に適合するものであること。
	溶接作業検査		あらかじめ確認された溶接施工法又は実績のある溶接施工法又は管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。あらかじめ確認された溶接士により溶接が行われていることを確認する。	あらかじめ確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。
	非破壊試験		溶接部について非破壊検査を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接部について非破壊検査を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。
	耐圧・漏えい検査 外観検査		検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無及び外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと。

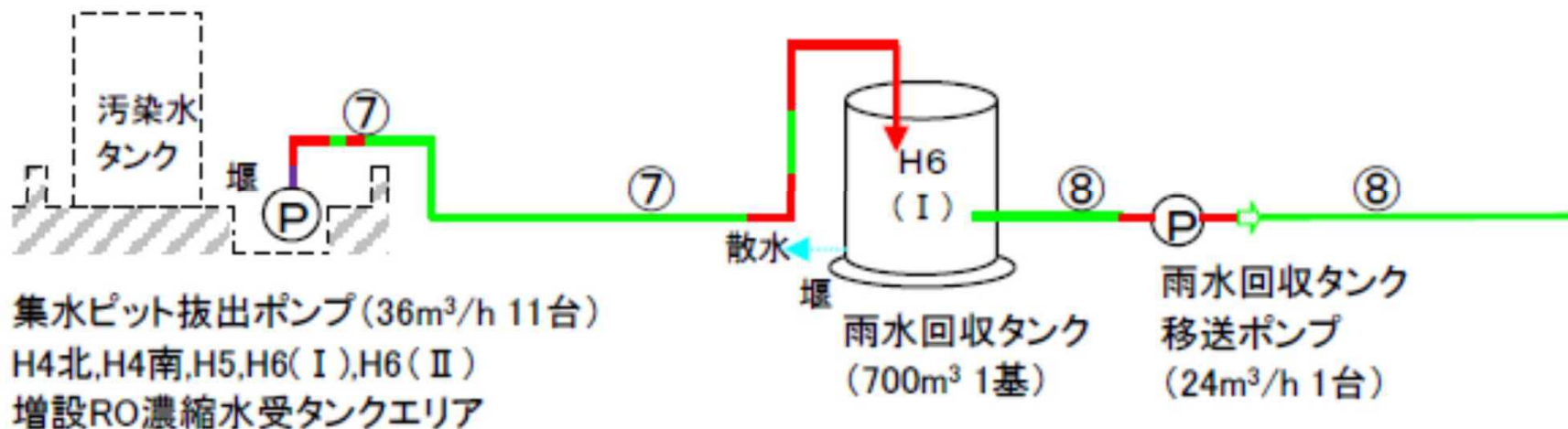
13. 検査の確認事項について（Ⅱ-2.36）

- 新設する集水ピット抜出ポンプについて以下に基づき実施する。

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	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	機器の据付状態について確認する。	施工図等の通り施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認※	運転圧力で耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	耐圧部から漏えいがないこと。
機能	運転性能確認※	通常運転時に性能確認を行う。	異音，異臭，異常振動等がないこと。

※集水ピット内部に設置されており、耐圧・漏えい及び運転性能確認は可能な範囲で実施する。

13. 検査の確認事項について (Ⅱ-2.36)



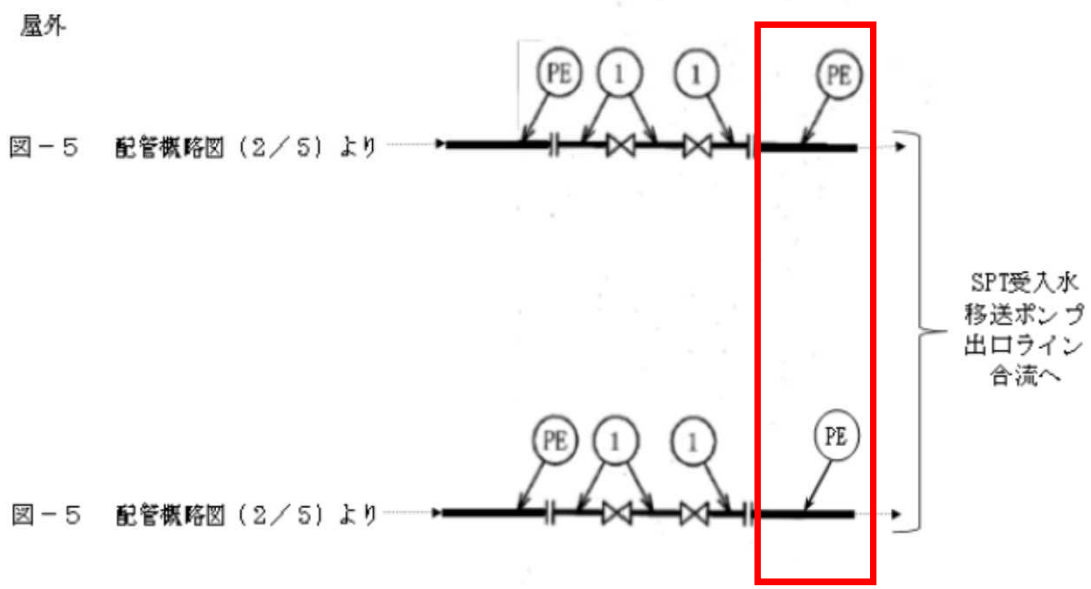
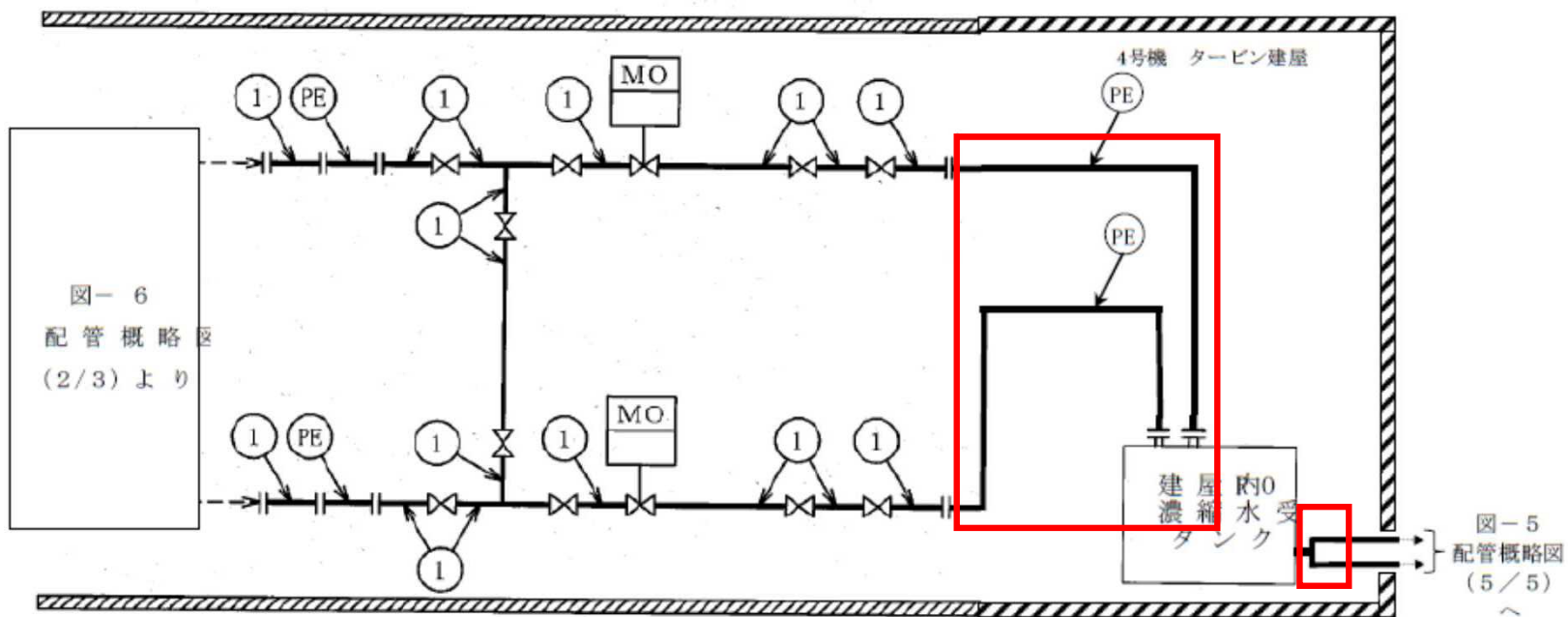
増設RO濃縮水受タンクエリアの集水ピット抽出ポンプが対象。

13. 検査の確認事項について（Ⅱ-2.36）

- 新規設置配管（ポリエチレン管）について以下に基づき実施する。

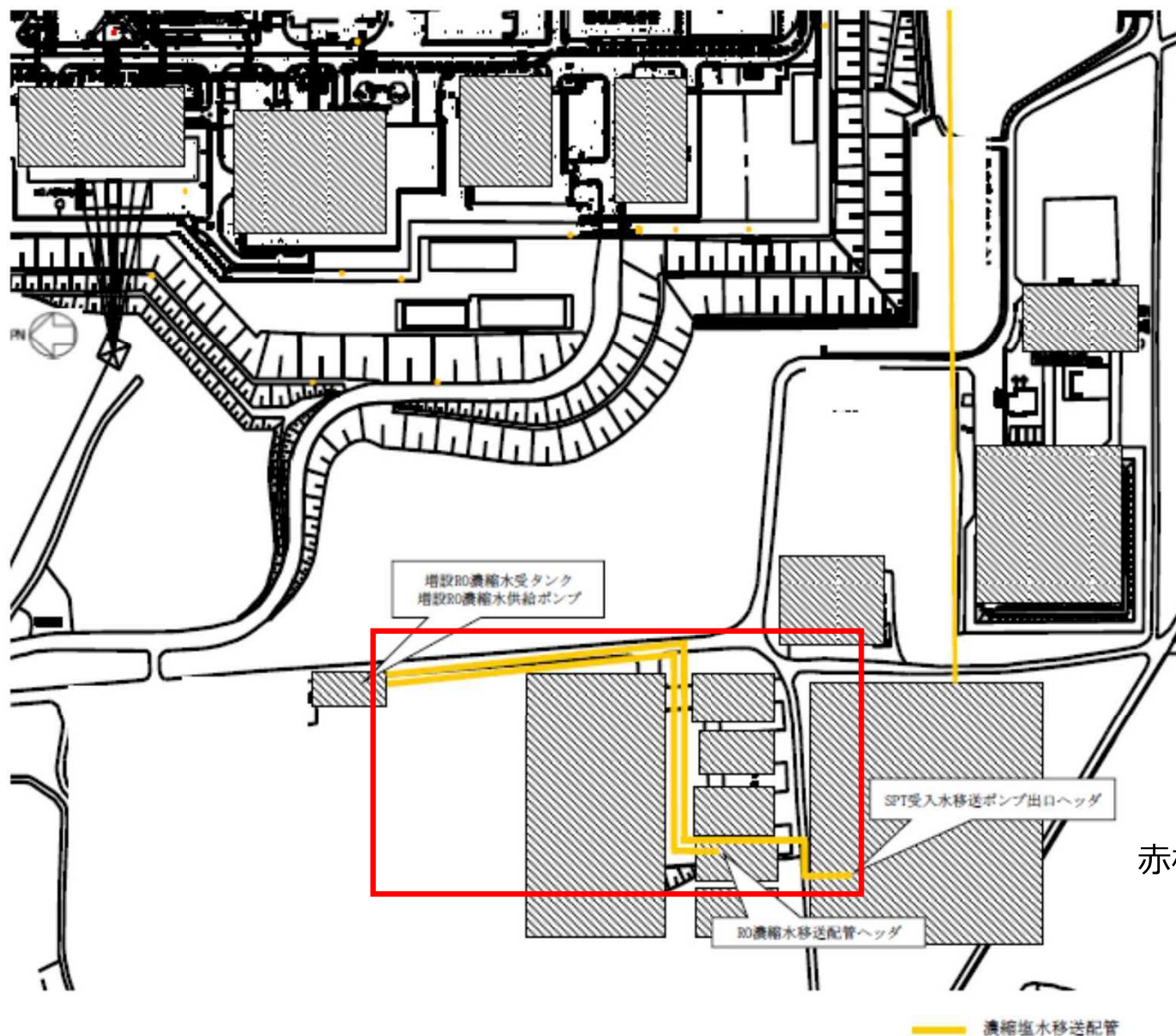
確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した材料について、製品検査成績書により確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法（外形相当）について外径、厚さについて製品検査成績書により確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観について、立会いまたは記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が図面の通りに据付ていることを立会いまたは記録により確認する。	図面のとおり施工・据付ていること。
	耐圧・漏えい確認	最高使用圧力以上で一定時間保持後、同圧力に耐えていること、また、耐圧部からの漏えいがないことを立会いまたは記録により確認する。	最高使用圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。また、耐圧部からの漏えいがないこと。
機能・性能	通水確認	通水ができることを立会いまたは記録により確認する。	通水ができること。

13. 検査の確認事項について (II-2.36)



赤枠部分のPE管が対象。

13. 検査の確認事項について (Ⅱ-2.36)



赤枠部分のPE管が対象。

	2019年度（平成31年度／令和元年度）									2020年度（令和2年度）					
	第2 Q			第3 Q			第4 Q			第1 Q			第2 Q		
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
許認可対応	実施計画申請 ▼			実施計画審査			実施計画認可希望 ▼			使用前検査合格 ▼ 使用前検査受検					
タンク・ポンプ等新設工事							建屋内RO濃縮水受タンク一部再製作 -----			タンク設置					
							増設RO濃縮水受タンク・ポンプ設置			配管設置			配管設置		
							配管設置								
付帯工事							RO-3ライニング工事			雨水カバー設置					

実施計画認可以降の工程進捗については、定期的に報告する。