

目次

はじめに

I 特定原子力施設の全体工程及びリスク評価

- 1 全体工程・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ I -1-1
 - 1.1 1～4号機の工程・・・・・・・・・・・・・・・・・・ I -1-1-1
 - 1.2 5・6号機の工程・・・・・・・・・・・・・・・・・・ I -1-2-1
- 2 リスク評価
 - 2.1 リスク評価の考え方・・・・・・・・・・・・・・・・・・ I -2-1-1
 - 2.2 特定原子力施設の敷地境界及び敷地外への影響評価・・・・・・・・・・ I -2-2-1
 - 2.3 特定原子力施設における主なリスク・・・・・・・・・・ I -2-3-1
 - 2.4 特定原子力施設の今後のリスク低減対策・・・・・・・・・・ I -2-4-1

II 特定原子力施設の設計、設備

- 1 設計、設備について考慮する事項
 - 1.1 原子炉等の監視・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II -1-1-1
 - 1.2 残留熱の除去・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II -1-2-1
 - 1.3 原子炉格納施設雰囲気の監視等・・・・・・・・・・ II -1-3-1
 - 1.4 不活性雰囲気の維持・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II -1-4-1
 - 1.5 燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理・・・・・・・・・・ II -1-5-1
 - 1.6 電源の確保・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II -1-6-1
 - 1.7 電源喪失に対する設計上の考慮・・・・・・・・・・ II -1-7-1
 - 1.8 放射性固体廃棄物の処理・保管・管理・・・・・・・・・・ II -1-8-1
 - 1.9 放射性液体廃棄物の処理・保管・管理・・・・・・・・・・ II -1-9-1
 - 1.10 放射性気体廃棄物の処理・管理・・・・・・・・・・ II -1-10-1
 - 1.11 放射性物質の放出抑制等による敷地周辺の放射線防護等・・・・・・・・ II -1-11-1
 - 1.12 作業員の被ばく線量の管理等・・・・・・・・・・ II -1-12-1
 - 1.13 緊急時対策・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II -1-13-1
 - 1.14 設計上の考慮・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II -1-14-1
- 2 特定原子力施設の構造及び設備、工事の計画
 - 2.1 原子炉圧力容器・格納容器注水設備・・・・・・・・・・ II -2-1-1
 - 2.2 原子炉格納容器内窒素封入設備・・・・・・・・・・ II -2-2-1
 - 2.3 使用済燃料プール設備・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II -2-3-1
 - 2.4 原子炉圧力容器・格納容器ホウ酸水注入設備・・・・・・・・・・ II -2-4-1
 - 2.5 汚染水処理設備等・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II -2-5-1

2.6	滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋	II-2-6-1
2.7	電気系統設備	II-2-7-1
2.8	原子炉格納容器ガス管理設備	II-2-8-1
2.9	原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内監視計測器	II-2-9-1
2.10	放射性固体廃棄物等の管理施設	II-2-10-1
2.11	使用済燃料プールからの燃料取り出し設備	II-2-11-1
2.12	使用済燃料共用プール設備	II-2-12-1
2.13	使用済燃料乾式キャスク仮保管設備	II-2-13-1
2.14	監視室・制御室	II-2-14-1
2.15	放射線管理関係設備等	II-2-15-1
2.16	放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設	II-2-16-1
2.17	放射性固体廃棄物等の管理施設及び関連施設（雑固体廃棄物焼却設備） ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	II-2-17-1
2.18	5・6号機に関する共通事項	II-2-18-1
2.19	5・6号機 原子炉圧力容器	II-2-19-1
2.20	5・6号機 原子炉格納施設	II-2-20-1
2.21	5・6号機 制御棒及び制御棒駆動系	II-2-21-1
2.22	5・6号機 残留熱除去系	II-2-22-1
2.23	5・6号機 非常用炉心冷却系	II-2-23-1
2.24	5・6号機 復水補給水系	II-2-24-1
2.25	5・6号機 原子炉冷却材浄化系	II-2-25-1
2.26	5・6号機 原子炉建屋常用換気系	II-2-26-1
2.27	5・6号機 燃料プール冷却浄化系	II-2-27-1
2.28	5・6号機 燃料取扱系及び燃料貯蔵設備	II-2-28-1
2.29	5・6号機 非常用ガス処理系	II-2-29-1
2.30	5・6号機 中央制御室換気系	II-2-30-1
2.31	5・6号機 構内用輸送容器	II-2-31-1
2.32	5・6号機 電源系統設備	II-2-32-1
2.33	5・6号機 放射性液体廃棄物処理系	II-2-33-1
2.34	5・6号機 計測制御設備	II-2-34-1
2.35	サブドレン他水処理施設	II-2-35-1
2.36	雨水処理設備等	II-2-36-1
2.37	モバイル型ストロンチウム除去装置等	II-2-37-1
2.38	RO濃縮水処理設備	II-2-38-1
2.39	第二モバイル型ストロンチウム除去装置等	II-2-39-1
2.40	放水路浄化設備	II-2-40-1

2.41	放射性物質分析・研究施設第1棟	II-2-41-1
2.42	大型機器除染設備	II-2-42-1
2.43	油処理装置	II-2-43-1
2.44	放射性固体廃棄物等の管理施設及び関連施設（増設雑固体廃棄物焼却設備）	II-2-44-1
2.45	大型廃棄物保管庫	II-2-45-1
2.46	減容処理設備	II-2-46-1
2.49	3号機原子炉格納容器内取水設備	II-2-49-1
2.50	A L P S 処理水希釈放出設備及び関連施設	II-2-50-1

III 特定原子力施設の保安 III-1

第1編 （1号炉，2号炉，3号炉及び4号炉に係る保安措置） III-1-1-1

第2編 （5号炉及び6号炉に係る保安措置） III-2-1-1

第3編 （保安に係る補足説明）

1 運転管理に係る補足説明

1.1 巡視点検の考え方 III-3-1-1-1

1.2 火災への対応 III-3-1-2-1

1.3 地震及び津波への対応 III-3-1-3-1

1.4 豪雨，台風，竜巻への対応 III-3-1-4-1

1.5 5・6号機 滞留水の影響を踏まえた設備の運転管理について III-3-1-5-1

1.6 安全確保設備等の運転管理責任者について III-3-1-6-1

1.7 1～4号機の滞留水とサブドレンの運転管理について III-3-1-7-1

1.8 地下水ドレンの運転管理について III-3-1-8-1

1.9 A L P S 処理水希釈放出設備の運転管理について III-3-1-9-1

2 放射性廃棄物等の管理に関する補足説明

2.1 放射性廃棄物等の管理 III-3-2-1-1-1

2.2 線量評価 III-3-2-2-1-1

3 放射線管理に係る補足説明

3.1 放射線防護及び管理 III-3-3-1-1

4 保全計画策定に係る補足説明

4.1 保全計画策定の考え方 III-3-4-1-1

4.2 5・6号機 滞留水の影響を踏まえた設備の保全について III-3-4-2-1

5 放射性物質分析・研究施設に係る補足説明

5.1 放射性物質分析・研究施設における保安管理体制及び保安管理について

III-3-5-1-1

IV	特定核燃料物質の防護	IV-1
V	燃料デブリの取出し・廃炉	V-1
VI	実施計画の実施に関する理解促進	VI-1
VII	実施計画に係る検査の受検	VII-1

2. 16. 3 高性能多核種除去設備

2. 16. 3. 1 基本設計

2. 16. 3. 1. 1 設置の目的

高性能多核種除去設備は、『2. 5 汚染水処理設備等』で処理した液体状の放射性物質の処理を早期に完了させる目的から設置するものとし、汚染水処理設備の処理済水に含まれる放射性物質（トリチウムを除く）を十分低い濃度になるまで除去することを計画している。（以下、「本格運転」という。）

本格運転では、処理済水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）を『実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示』に定める周辺監視区域外の水中の濃度限度（以下、「告示濃度限度」という。）を下回る濃度まで低減する。

なお、高性能多核種除去設備の性能を確認する試験（以下、「確認試験」という。）において、高性能多核種除去設備が上記性能を有する設備であることについて確認した。

2. 16. 3. 1. 2 要求される機能

『2. 16. 1 多核種除去設備 2. 16. 1. 1. 2 「要求される機能」』に同じ。

2. 16. 3. 1. 3 設計方針

(1) 放射性物質の濃度及び量の低減

高性能多核種除去設備は、汚染水処理設備で処理した水を、ろ過、イオン交換等により周辺環境に対して、放射性物質の濃度及び量を合理的に達成できる限り低くする設計とする。

(2) 処理能力

高性能多核種除去設備は、滞留水の発生原因となっている雨水、地下水の建屋への流入量を上回る処理容量とする。

(3) 材料

高性能多核種除去設備の機器等は、処理対象水の性状を考慮し、適切な材料を用いた設計とする。

(4) 放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

高性能多核種除去設備の機器等は、液体状の放射性物質の漏えい防止及び敷地外への管理されない放出を防止するため、次の各項を考慮した設計とする。

- a. 漏えいの発生を防止するため、機器等には適切な材料を使用するとともに、タンク水位の検出器、インターロック回路等を設ける。

- b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合は、漏えいの早期検出を可能にするとともに、漏えい液体の除去を容易に行えるようにする。
- c. タンク水位、漏えい検知等の警報については、免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室等に表示し、異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにし、これを監視できるようにする。
- d. 高性能多核種除去設備の機器等は、可能な限り周辺に堰を設けた区画内に設け、漏えいの拡大を防止する。また、処理対象水の移送配管類は、万一、漏えいしても排水路を通じて環境に放出することがないように、排水路から可能な限り離隔するとともに、排水路を跨ぐ箇所はボックス鋼内等に配管を敷設する。さらに、ボックス鋼端部から排水路に漏えい水が直接流入しないように土のうを設ける。

(5) 被ばく低減

高性能多核種除去設備は、遮へい、機器の配置等により可能な限り被ばくの低減を考慮した設計とする。

(6) 可燃性ガスの管理

高性能多核種除去設備は、水の放射線分解により発生する可燃性ガスを適切に排出できる設計とする。また、排出する可燃性ガスに放射性物質が含まれる可能性がある場合には、適切に除去する設計とする。

(7) 健全性に対する考慮

放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設は、機器の重要度に応じた有効な保全が可能な設計とする。

2. 16. 3. 1. 4 供用期間中に確認する項目

『2. 16. 1 多核種除去設備 2. 16. 1. 1. 4 「供用期間中に確認する項目」』に同じ。

2. 16. 3. 1. 5 主要な機器

高性能多核種除去設備は、1系列構成とし、前処理設備と多核種除去装置で構成する。さらに共通設備として、多核種除去装置へ薬品を供給する薬品供給設備、処理済水のサンプリング、多核種処理水タンクへ移送する多核種移送設備、高性能多核種除去設備の運転監視を行う監視制御装置、電源を供給する電源設備等で構成する。

本設備は、処理水の水質等に応じて、フィルタ、吸着塔の通水順序を弁の切替え操作により変更できる構成とする。また、装置の処理能力を確認するための試料採取が可能な構成とする。

高性能多核種除去設備の除去対象とする核種は『2. 16. 1 多核種除去設備 添付資料一

6』と同じとする。

高性能多核種除去設備の主要な機器は、免震重要棟集中監視室またはシールド中央制御室の監視・制御装置により遠隔操作及び運転状況の監視を行う。更に、特に重要な装置の緊急停止操作についてはダブルアクションを要する等の設計とする。また、高性能多核種除去設備の設置エリアには、エリア放射線モニタを設置し、放射線レベルを監視する。

高性能多核種除去設備で処理された水は、処理済水貯留用のタンクで貯留する。

(1) 前処理設備

前処理設備は、8塔の前処理フィルタで構成する。

前処理フィルタは、前処理フィルタ1によって浮遊物質を除去し、前処理フィルタ2～4によってセシウム、ストロンチウムを粗取りする。また、前処理フィルタは、除去対象核種に応じて入れ替え可能な設計とする。

前処理フィルタは、一定量処理後、水抜きを行い、交換する。また、抜いた水は供給タンクへ移送する。使用済みフィルタは容器に収納し、瓦礫類の一時保管エリアで貯蔵する。

(2) 多核種除去装置

多核種除去装置は、20塔の吸着塔で構成する。

多核種除去装置は、除去対象核種に応じて吸着塔に収容する吸着材の種類が異なり、処理対象水に含まれるコロイド状及びイオン状の放射性物質を分離・吸着処理する機能を有する。また、吸着塔に収容する吸着材の構成は、処理対象水の性状に応じて変更する。

吸着塔に含まれる吸着材は、所定の容量を通水した後、吸着塔ごと交換する。使用済吸着塔は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設あるいは大型廃棄物保管庫で貯蔵する。

(3) 薬品供給設備

薬品供給設備は、各添加薬液に対してそれぞれタンクを有し、pH調整のため、ポンプにより薬品を多核種除去装置へ供給する。添加する薬品は、苛性ソーダ、塩酸である。

なお、使用する薬品は、何れも不燃性であり、装置内での反応熱、反応ガスも有意には発生しない。

(4) 多核種移送設備

多核種移送設備は、高性能多核種除去設備で処理された水を採取し、分析後の水を処理済水貯留用のタンクに移送するための設備で、サンプルタンク、高性能多核種除去設備用移送ポンプおよび移送配管等で構成する。なお、高性能多核種除去設備で処理された水は、サンプルタンクをバイパスして処理済水貯留用のタンクに移送することも可能

な構成となっている。

また、サンプルタンクは、『2.16.1 多核種除去設備』で処理された水を受け入れることも可能な構成とする。

(5) 電源設備

電源は、異なる2系統の所内高圧母線から受電できる構成とする。なお、電源が喪失した場合でも、設備からの外部への漏えいは発生することはない。

(6) 橋形クレーン

吸着塔及び前処理フィルタを取り扱うための橋形クレーンを設ける。

(7) 高性能多核種除去設備基礎

高性能多核種除去設備基礎は、平面が約36m（南北方向）×約65m（東西方向）、厚さ約1.5mの鉄筋コンクリート造で、改良地盤を介して段丘堆積層に直接支持されている。

なお、上屋は、地上高さが約18mの鉄骨造で、構造上、基礎で上屋の荷重を負担する構造となっている。

2.16.3.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

高性能多核種除去設備は、アウターライズ津波が到達しないと考えられるT.P.約28m以上の場所に設置する。（Ⅲ.3.1.3 参照）

(2) 台風

台風による設備の損傷を防止するため、建屋は建築基準法施行令に基づく風荷重に対して設計する。

(3) 積雪

積雪による設備の損傷を防止するため、建屋は建築基準法施行令および福島県建築基準法施行規則細則に基づく積雪荷重に対して設計する。

(4) 落雷

接地網を設け、落雷による損傷を防止する。

(5) 竜巻

竜巻の発生の可能性が予見される場合は、設備の停止・隔離弁の閉止操作等を行い、汚染水の漏えい防止及び漏えい水の拡大防止を図る。

(6) 火災

火災発生を防止するため、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。また、火災検知性を向上させるため、消防法基準に準拠した火災検出設備を設置するとともに、初期消火のために近傍に消火器を設置する。さらに、避難時における誘導用のために誘導灯を設置する。

2.16.3.1.7 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

高性能多核種除去設備を構成する主要な機器は、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において、廃棄物処理設備に相当すると位置付けられる。これに対する適用規格は、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下、「設計・建設規格」という。）で規定され、機器区分クラス3の規定を適用することを基本とする。また、主要な機器のうち前処理フィルタ及び吸着塔（二相ステンレス製）は、「ASME Boiler and Pressure Vessel Code (Sec VIII)」に準拠し前処理フィルタ及び吸着塔廻りの鋼管（二相ステンレス製）は、「ASME B31.1 Power Piping」に準拠する。吸着塔（ステンレス製）、吸着塔廻りの鋼管（ステンレス製）は、設計・建設規格に準拠する。

なお、クラス3機器に該当しないその他の機器は、JIS 等規格適合品を用いることとし、ポリエチレン管は、JWWA または ISO 規格に準拠する。

また、原子力発電所での使用実績がない材料を使用する場合は、他産業での使用実績等を活用しつつ、必要に応じて試験等を行うことで、経年劣化等の影響についての評価を行う。なお、検討用地震動および同津波に対する評価が必要な設備として抽出された機器等については、今後対策を講じる。

(2) 耐震性

高性能多核種除去設備等を構成する機器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、耐震性を評価するにあたっては、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠する。なお、検討用地震動および同津波に対する評価が必要な設備として抽出された機器等については、今後対策を講じる。

2.16.3.1.8 機器の故障への対応

(1) 機器の単一故障

高性能多核種除去設備は、1系列構成とするが、動的機器及び電源等については多重化している。そのため、動的機器、電源系統等の単一故障については、切替作業等により速

やかな処理再開が可能である。

2. 16. 3. 2 基本仕様

2. 16. 3. 2. 1 系統仕様

(1) 高性能多核種除去設備

処理方式	フィルタ方式＋吸着材方式
処理容量	400m ³ /日

2. 16. 3. 2. 2 機器仕様

(1) 容器

a. 供給タンク

名 称			供給タンク
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
	平 板 厚 さ	mm	6.0
	高 さ	mm	5006
材 料	胴 板	—	SM400C
	底 板	—	SM400C
個 数		個	2 (1 個予備)

b. 処理水タンク

名 称		処理水タンク	
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
	平 板 厚 さ	mm	6.0
	高 さ	mm	5006
材 料	胴 板	—	SM400C
	底 板	—	SM400C
個 数		個	2 (1 個予備)

c. 前処理フィルタ 1

名 称		前処理フィルタ 1	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m ³ /h/個	21	
最 高 使 用 圧 力	MPa	1.03	
最 高 使 用 温 度	℃	40	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	901.7
	胴 板 厚 さ	mm	6.35
	上 部 平 板 厚 さ	mm	63.5
	下 部 平 板 厚 さ	mm	63.5
	高 さ	mm	2013
材 料	胴 板	—	ASME SA 516 Gr. 70
	上 部 平 板	—	ASME SA 516 Gr. 70
	下 部 平 板	—	ASME SA 516 Gr. 70
個 数		個	2 (1 個予備)

d. 前処理フィルタ 2～4

名 称		前処理フィルタ 2～4	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m ³ /h/個	21	
最 高 使 用 圧 力	MPa	1.03	
最 高 使 用 温 度	℃	40	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	901.7
	胴 板 厚 さ	mm	6.35
	上 部 平 板 厚 さ	mm	63.5
	下 部 平 板 厚 さ	mm	63.5
	高 さ	mm	1800
材 料	胴 板	—	ASME SA 516 Gr. 70
	上 部 平 板	—	ASME SA 516 Gr. 70
	下 部 平 板	—	ASME SA 516 Gr. 70
個 数		個	6 (3 個予備)

e. 多核種吸着塔 1～20 (二相ステンレス製)

名 称		多核種吸着塔 1～20	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m ³ /h/個	21	
最 高 使 用 圧 力	MPa	1.55	
最 高 使 用 温 度	℃	40	
主 要 寸 法	外 胴 内 径	mm	939.8
	外 胴 板 厚 さ	mm	12.7
	内 胴 内 径	mm	330.2
	内 胴 板 厚 さ	mm	12.7
	上 部 平 板 厚 さ	mm	76.2
	下 部 平 板 厚 さ	mm	76.2
	高 さ	mm	3632
材 料	外 胴 板	—	二相ステンレス (UNS S31803) 二相ステンレス (UNS S32205) 二相ステンレス (UNS S32750)
	内 胴 板	—	
	上 部 平 板	—	
	下 部 平 板	—	
個 数		個	20

※現場状況等に応じて、いずれかの材質を使用する。

f. 多核種吸着塔 1～20（ステンレス製）

名 称			多核種吸着塔 1～20
種 類	—		たて置円筒形
容 量	m ³ /h/個		21
最 高 使 用 圧 力	MPa		1.55
最 高 使 用 温 度	℃		40
主 要 寸 法	外 胴 内 径	mm	937.2
	外 胴 厚 さ	mm	14.0
	内 胴 外 径	mm	355.6
	内 胴 厚 さ	mm	19.0
	上 部 平 板 厚 さ	mm	116.0
	下 部 平 板 厚 さ	mm	95.0
	高 さ	mm	3632
材 料	外 胴	—	SUS316L
	内 胴	—	SUS316LTP
	上 部 平 板	—	SUSF316L
	下 部 平 板	—	SUSF316L
個 数	個		20

※活性炭を収容する吸着塔及び低 pH 条件の吸着塔では使用しない。

g. サンプルタンク（高性能多核種除去設備用処理済水一時貯留タンク）

名 称			サンプルタンク
種 類	—		たて置円筒形
容 量	m ³ /個		1235
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	11000
	胴 板 厚 さ	mm	12
	底 板 厚 さ	mm	12
	高 さ	mm	13000
材 料	胴 板	—	SM400C
	底 板	—	SM400C
個 数	個		3

(2) ポンプ

a. 供給ポンプ (完成品)

台 数	2 台 (1 台予備)
容 量	21 m ³ /h

b. 昇圧ポンプ 1 (完成品)

台 数	2 台 (1 台予備)
容 量	21 m ³ /h

c. 昇圧ポンプ 2 (完成品)

台 数	2 台 (1 台予備)
容 量	21 m ³ /h

d. 昇圧ポンプ 3 (完成品)

台 数	2 台 (1 台予備)
容 量	21 m ³ /h

e. 昇圧ポンプ 4 (完成品)

台 数	2 台 (1 台予備)
容 量	21 m ³ /h

f. 処理水移送ポンプ (完成品)

台 数	2 台 (1 台予備)
容 量	21 m ³ /h

g. 高性能多核種除去設備用移送ポンプ (完成品)

台 数	2 台
容 量	50 m ³ /h

(3) 配管

主要配管仕様 (1 / 8)

名 称	仕 様	
R O濃縮水移送ポンプ配管分岐部から 供給タンク A/B 入口まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン ^{注1} 0.98MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A/Sch. 40 ^{注1} 100A/Sch. 40 ^{注1} STPG370+ライニング 0.98MPa 40℃
供給タンク A/B 出口から 前処理フィルタユニット A/B 入口 A0 弁 まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
前処理フィルタ A/B 入口 A0 弁から 前処理フィルタ A/B 入口まで (ポリエチレン管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 1.03MPa 40℃
前処理フィルタユニット A/B 入口から 前処理フィルタユニット A/B 出口 まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 10 80A/Sch. 40 80A/Sch. 10 50A/Sch. 40 UNS S32750 1.03 MPa 40 ℃
前処理フィルタユニット A/B 出口から 昇圧ポンプユニット 1 入口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A /Sch. 40 STPT410+ライニング 1.03 MPa 40℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃

主要配管仕様（2／8）

名 称	仕 様	
昇圧ポンプユニット1 入口から 昇圧ポンプユニット1 出口まで (鋼管)	呼び径／厚さ	80A/Sch. 10 80A/Sch. 40
	材質	UNS S32750
	最高使用圧力	1.03 MPa
	最高使用温度	40 ℃
(鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10
	材質	UNS S32750
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
昇圧ポンプユニット1 出口から 吸着塔ユニット1 入口まで (ホース)	呼び径	80A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
吸着塔ユニット1 入口から 吸着塔ユニット1 出口まで (鋼管)	呼び径／厚さ	80A/Sch. 10
	材質	UNS S32750
	最高使用圧力	1.03 MPa
	最高使用温度	40 ℃
(鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10 80A/Sch. 40
	材質	UNS S32750
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
(鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch. 40 80A/Sch. 40
	材質	UNS S31803
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
(鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch. 40 80A/Sch. 40
	材質	UNS S32205
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
(鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch. 40 ^{注2} 80A/Sch. 40 ^{注2}
	材質	SUS316LTP
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
(ホース)	呼び径	80A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
吸着塔ユニット1 出口から 昇圧ポンプユニット2 入口まで (ホース)	呼び径	80A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃

主要配管仕様（3／8）

名 称	仕 様	
昇圧ポンプユニット2入口から 昇圧ポンプユニット2出口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10 80A/Sch. 40 UNS S32750 1.55 MPa 40℃
昇圧ポンプユニット2出口から 吸着塔ユニット2入口まで (ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40℃
吸着塔ユニット2入口から 吸着塔ユニット2出口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10 80A/Sch. 40 UNS S32750 1.55 MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 40 UNS S31803 1.55 MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 40 UNS S32205 1.55 MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 注2 80A/Sch. 40 注2 SUS316LTP 1.55 MPa 40℃
(ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40℃
吸着塔ユニット2出口から 昇圧ポンプユニット3入口まで (ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40℃
昇圧ポンプユニット3入口から 昇圧ポンプユニット3出口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10 80A/Sch. 40 UNS S32750 1.55 MPa 40℃

主要配管仕様（４／８）

名 称	仕 様	
昇圧ポンプユニット３出口から 吸着塔ユニット３入口まで (ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 ℃
吸着塔ユニット３入口から 吸着塔ユニット３出口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10 80A/Sch. 40 UNS S32750 1.55 MPa 40 ℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 40 UNS S31803 1.55 MPa 40 ℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 40 UNS S32205 1.55 MPa 40 ℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 注 2 80A/Sch. 40 注 2 SUS316LTP 1.55 MPa 40 ℃
(ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 ℃
吸着塔ユニット３出口から 昇圧ポンプユニット４入口まで (ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 ℃
昇圧ポンプユニット４入口から 昇圧ポンプユニット４出口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10 80A/Sch. 40 UNS S32750 1.55 MPa 40℃
昇圧ポンプユニット４出口から 吸着塔ユニット４入口まで (ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 ℃

主要配管仕様（５／８）

名 称	仕 様	
吸着塔ユニット４入口から 吸着塔ユニット４出口まで (鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10 80A/Sch. 40
	材質	UNS S32750
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 °C
(鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch. 40 80A/Sch. 40
	材質	UNS S31803
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 °C
(鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch. 40 80A/Sch. 40
	材質	UNS S32205
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 °C
(鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch. 40 ^{注2} 80A/Sch. 40 ^{注2}
	材質	SUS316LTP
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 °C
(ホース)	呼び径	80A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 °C
吸着塔ユニット４出口から 配管ユニット入口まで (ホース)	呼び径	80A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 °C
配管ユニット入口から 配管ユニット出口まで (鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10
	材質	UNS S32750
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 °C
(鋼管)	呼び径／厚さ	80A/Sch. 10 100A/Sch. 10
	材質	UNS S32750
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 °C

主要配管仕様（6／8）

名 称	仕 様	
配管ユニット出口から 処理水タンク A/B 入口まで (ポリエチレン管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 0.98 MPa 40℃
処理水タンク A/B 出口から 処理水移送ポンプ A/B 入口まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch. 40 100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
処理水移送ポンプ A/B 出口から サンプルタンクまで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/ Sch. 80 100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃

主要配管仕様（7／8）

名 称	仕 様	
サンプルタンク出口から 多核種処理水貯槽，R0 濃縮水貯槽または Sr 処理水貯槽まで※2 (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 80A/Sch. 40 50A/Sch. 40 SUS316L 0.98MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 20S SUS316LTP 0.98MPa 40℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A 相当 100A 相当 ポリエチレン 静水頭 40℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 合成ゴム 0.98MPa 40℃
高性能多核種除去設備用移送ポンプスキッドから供給タンクまで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 150A/Sch. 40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃

主要配管仕様（８／８）

名 称	仕 様	
配管ユニット出口から 供給タンク A/B 入口まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
吸着塔ユニット 1 から 前処理フィルタユニット A/B まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 80A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 1.03MPa 40℃
前処理フィルタユニット A から 前処理フィルタユニット B まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch. 40 STPT410+ライニング 1.03MPa 40℃
前処理フィルタユニット A 出口から 前処理フィルタユニット B 入口まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch. 40 STPT410+ライニング 1.03MPa 40℃
前処理フィルタユニット A/B から 吸着塔ユニット 1 まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch. 40 STPT410+ライニング 1.03MPa 40℃

注 1 「2.5 汚染水処理設備等」で移送配管として使用していた配管を使用する。

注 2 活性炭を収容する吸着塔及び低 pH 条件の吸着塔周りの配管では SUS316L 材を使用しない。

※1：現場施工状況により、配管仕様（呼び径、厚さ、材質）の一部を使用しない場合がある。

※2：K4 エリアタンクへの配管の一部は、「Ⅱ 2.50 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設」と兼用する。

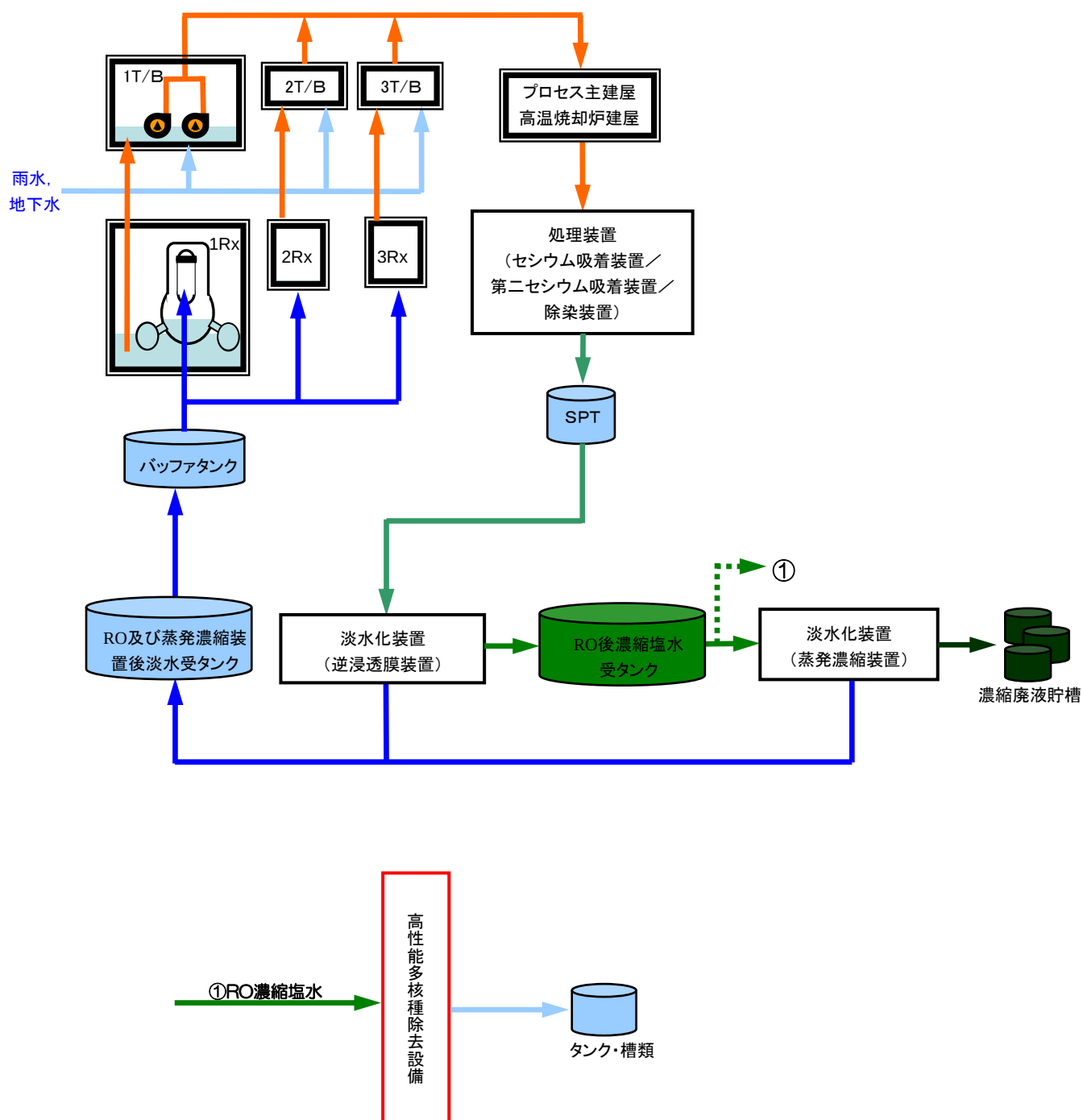
(4) 放射線監視装置

放射線監視装置仕様

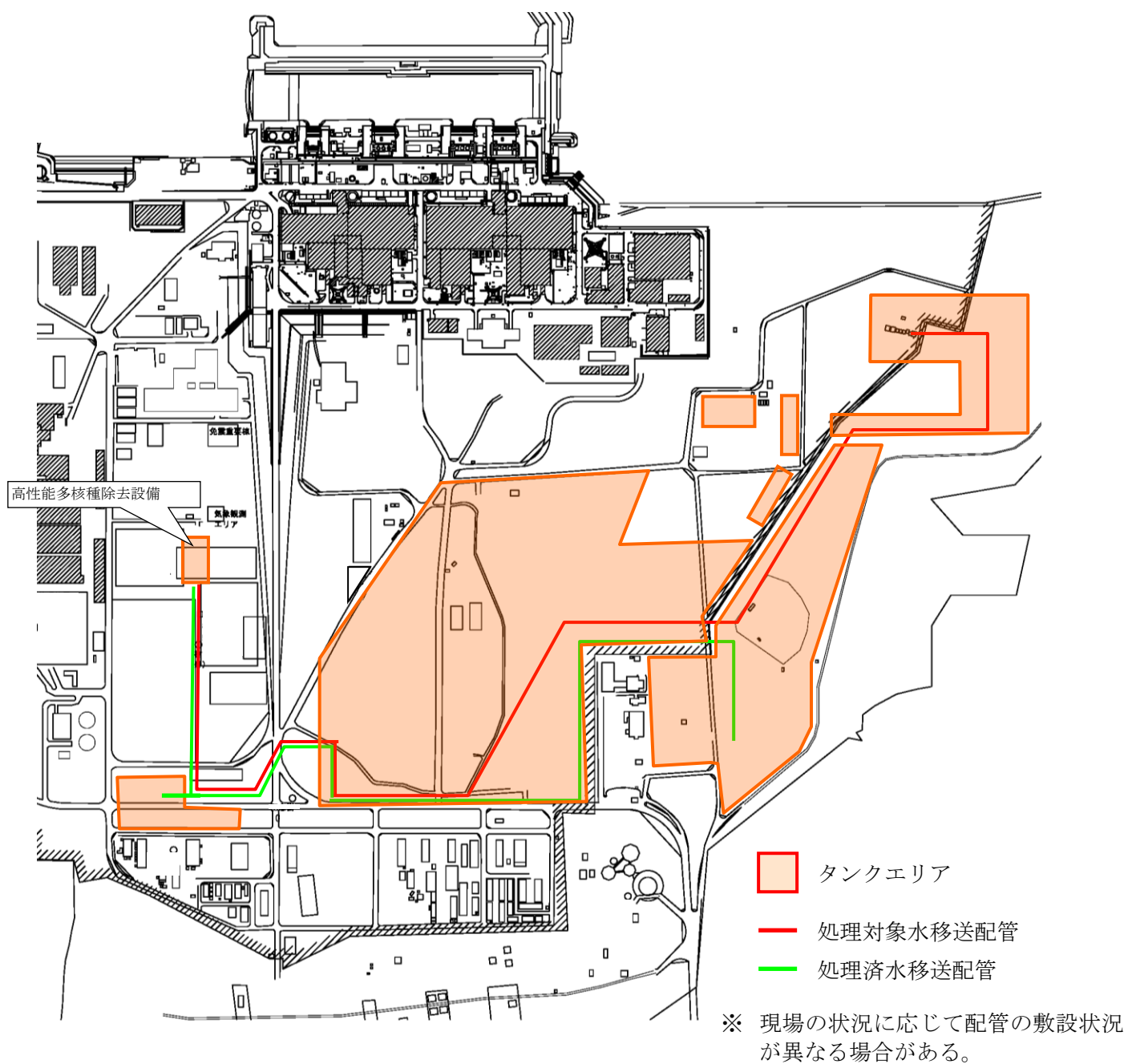
項目	仕様
名称	エリア放射線モニタ
基数	4 基
種類	半導体検出器
取付箇所	高性能多核種除去設備設置エリア
計測範囲	10^{-3} mSv/h $\sim$ 10^1 mSv/h

2. 16. 3. 3 添付資料

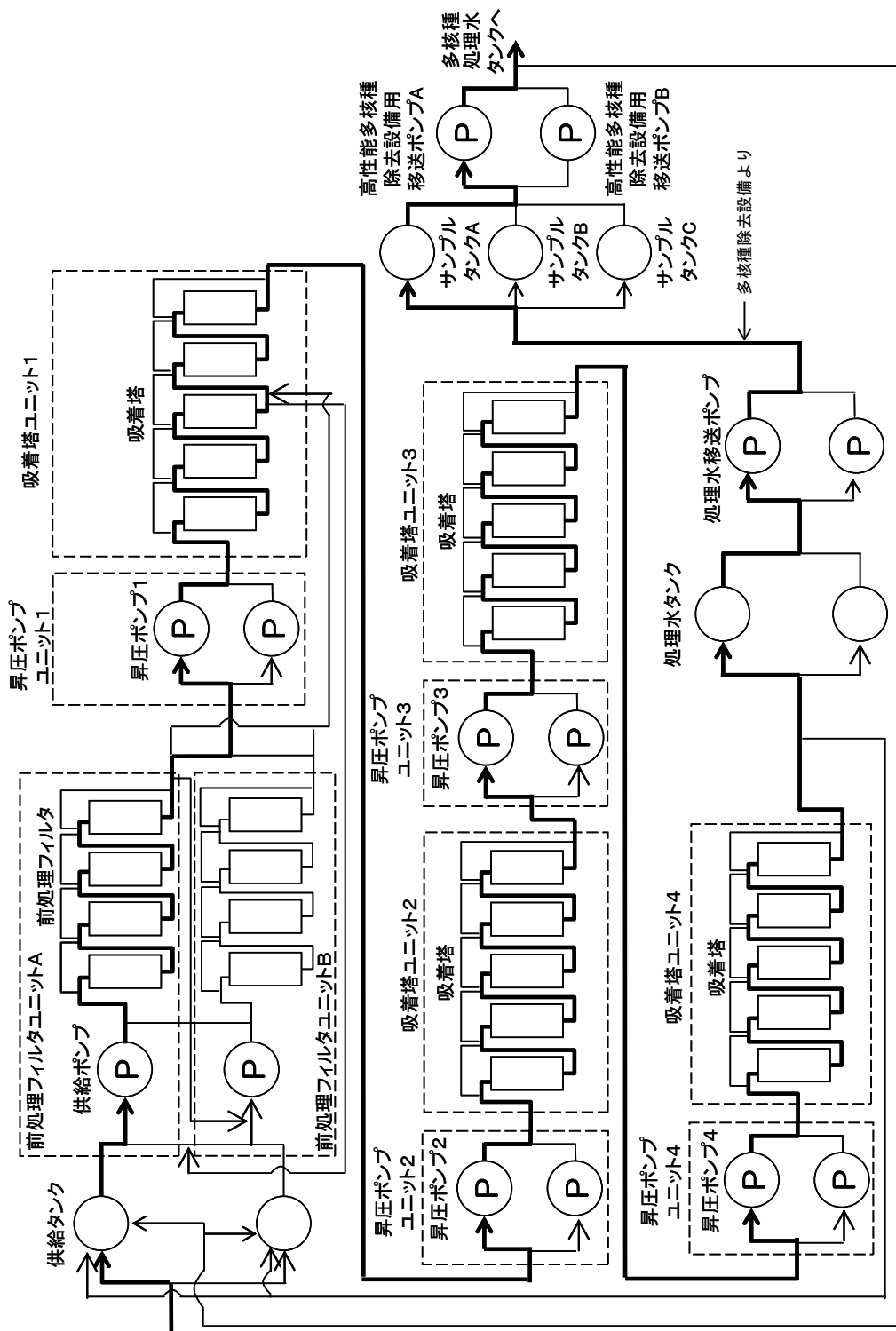
- 添付資料－１： 全体概要図及び系統構成図
- 添付資料－２： 高性能多核種除去設備基礎の構造強度に関する検討結果
- 添付資料－３： 高性能多核種除去設備の耐震性に関する説明書
- 添付資料－４： 高性能多核種除去設備の強度に関する説明書
- 添付資料－５： 流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止に関する計算書
- 添付資料－６： 工事工程表
- 添付資料－７： 高性能多核種除去設備の具体的な安全確保策
- 添付資料－８： 高性能多核種除去設備に係る確認事項
- 添付資料－９： 高性能多核種除去設備の確認試験結果について



図－ 1 汚染水処理設備並びに高性能多核種除去設備等の全体概要図



図－２ 高性能多核種除去設備の配置概要図



図一 3 高性能多核種除去設備の系統構成図

高性能多核種除去設備基礎の構造強度に関する検討結果

1. 評価方針

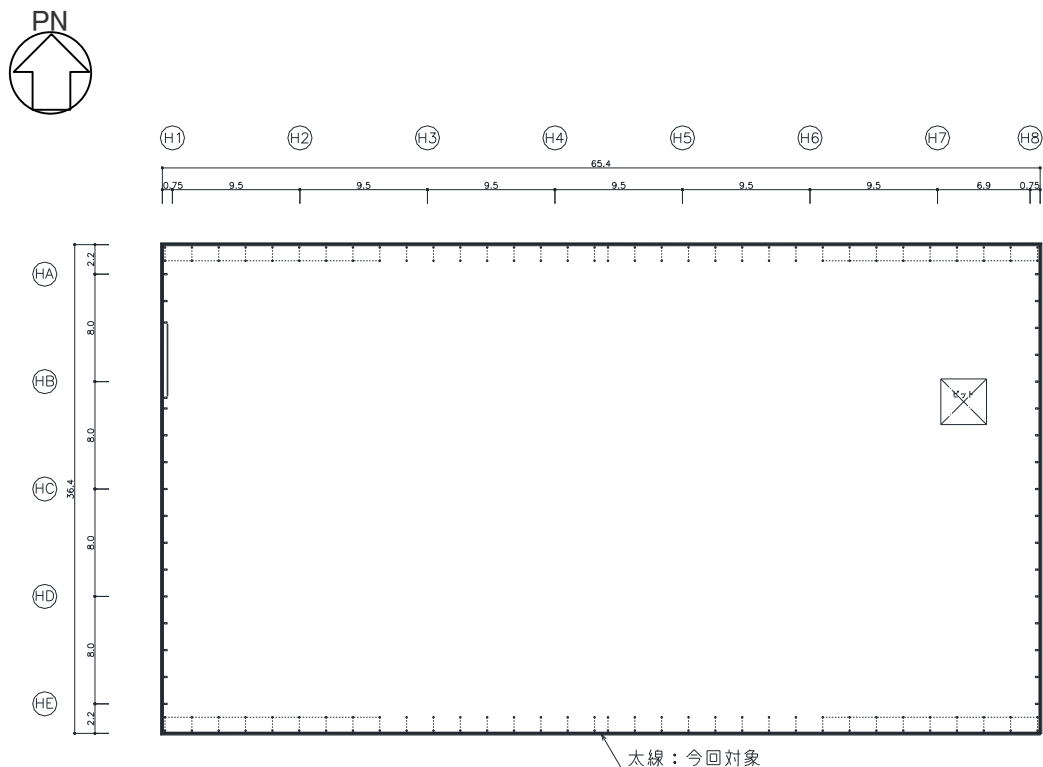
高性能多核種除去設備基礎は、耐震Bクラスである高性能多核種除去設備の間接支持構造物であるため、耐震Bクラス相当として、設計する。

高性能多核種除去設備基礎は、平面が約 36m (NS 方向) ×約 65m (EW 方向)、厚さ約 1.5 mの鉄筋コンクリート造で、改良地盤を介して段丘堆積層に直接支持されている。高性能多核種除去設備基礎の平面図及び断面図を図－ 1 ～図－ 3 に示す。

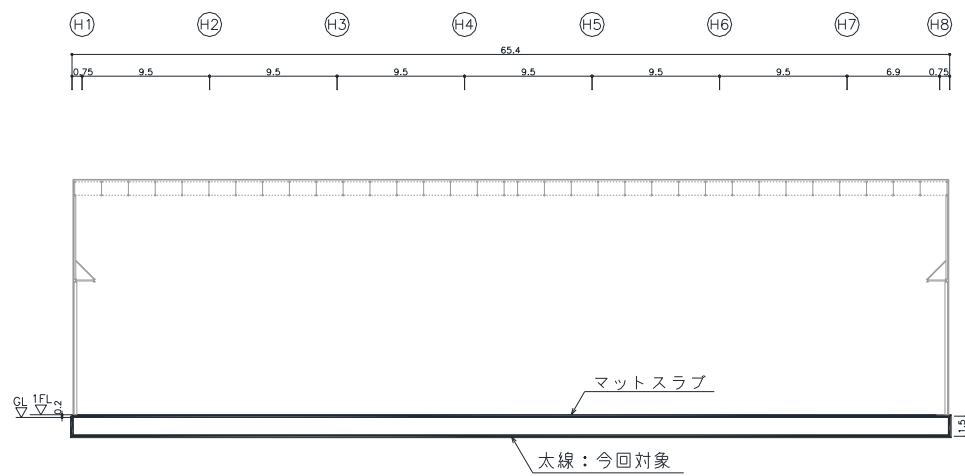
添付資料－ 2 では、GL±0m=T. P. 36. 4m ^(※) とする。

(※) 震災後の地盤沈下量 (－709mm) と O. P. から T. P. への換算値 (－727mm) を用いて、下式に基づき換算している。

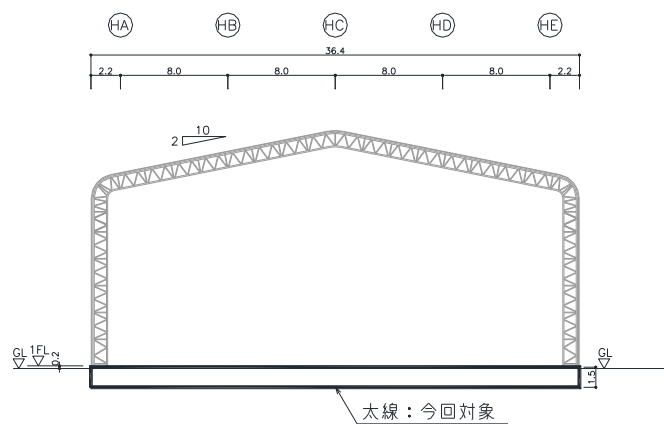
<換算式> T. P. =O. P. -1, 436mm



図－ 1 1 階平面図 (単位 : m)



図－2 東西方向断面図（単位：m）



図－3 南北方向断面図（単位：m）

2. 評価条件

2.1 使用材料及び材料の許容応力度

高性能多核種除去設備基礎スラブに用いる材料のうち、コンクリートは普通コンクリートとし、コンクリートの設計基準強度 F_c は 24N/mm^2 とする。鉄筋は SD345 とする。各使用材料の許容応力度を表－1 及び表－2 に示す。

表－1 コンクリートの許容応力度

(単位： N/mm^2)

	長 期		短 期	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
$F_c = 24$	8	0.73	16	1.09

注：日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表－2 鉄筋の許容応力度

(単位： N/mm^2)

		長 期		短 期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD345	D29 以上	195	195	345	345

注：日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

2.2 荷重

長期荷重として、鉛直荷重（固定荷重、機器荷重及び配管荷重）を考慮する。

また、短期荷重として積雪荷重時、風荷重時または地震時に基礎面に作用する荷重をそれぞれ考慮する。

3. 評価結果

3.1 基礎スラブの評価結果

基礎スラブの応力解析は、弾性地盤上に支持された版として有限要素法を用いて行う。解析モデルは、四辺形の均質等方な板要素により構成し、支持地盤は等価な弾性ばねとしてモデル化する。

曲げモーメントが最大となる要素と面外せん断力が最大となる要素の断面検討結果を表－3及び表－4に示す。基礎スラブ配筋図を図－4に示す。

これより、長期および短期ともに設計鉄筋比は必要鉄筋比を上回り、また面外せん断力は許容せん断力以下であることを確認した。

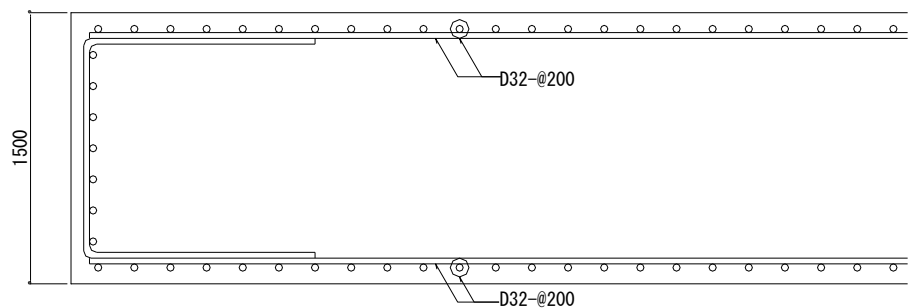
表－3 曲げモーメントに対する検討結果

	応 力 曲げ モーメント (kN・m/m)	必要鉄筋比 (%)	設計鉄筋比 (%)	検定比
長期	413	0.13	0.29	$0.45 \leq 1.0$
短期(風)	415	0.07		$0.25 \leq 1.0$

表－4 面外せん断力に対する検討結果

	応 力 面外せん断力 (kN/m)	許容せん断力 (kN/m)	検定比
長期	340	894	$0.38 \leq 1.0$
短期(風)	341	1335	$0.26 \leq 1.0$

上記は、風荷重に対する結果であるが、水平力は地震時よりも風荷重時の方が大きいことから、上記検討にて地震荷重に対する安全性は確保されている。



鉄筋の設計かぶり厚さ

基礎上端側	50mm 以上
基礎下端側	80mm 以上
基礎側面	80mm 以上

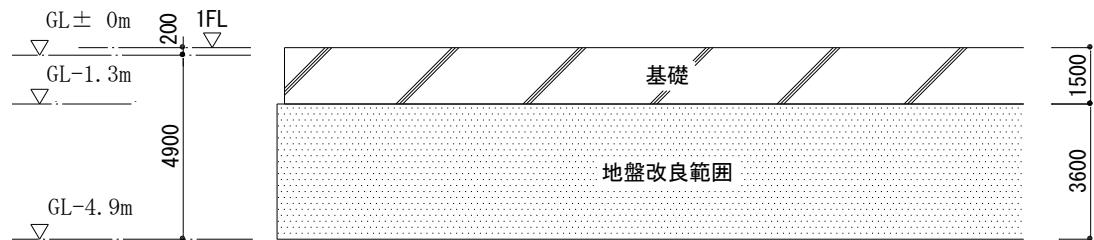
図－４ 基礎スラブ配筋図

3.2 改良地盤の評価結果

(1) 設計方針

高性能多核種除去設備基礎を支持する改良地盤は、基礎スラブ直下（GL-1.3m）の地盤を南北方向に約 36m、東西方向に約 65m、改良体厚さ約 3.6m とし、GL-4.9m の段丘堆積層に支持する。地盤改良範囲の断面図を図－５に示す。

検討は「改定版 建築物のための改良地盤設計及び品質管理指針 日本建築センター」に準拠し、改良地盤の支持力に対して、長期及び短期の改良地盤に生じる最大接地圧が許容支持力度以下であることを確認する。さらに、長期及び短期の改良体に生じる最大応力度が許容応力度以下であることを確認する。



図－５ 地盤改良範囲断面図

(2) 長期における改良地盤の検討

長期における改良地盤に生じる最大応力度と許容応力度の比較を、検定比が最大となる位置について表－５及び表－６に示す。

これより、改良地盤に生じる最大応力度が許容応力度以下であることを確認した。

表－５ 改良地盤の許容支持力度と接地圧の比較

	接地圧 (kN/m ²)	許容支持力度 (kN/m ²)	検定比
長期	68	150※1	0.46 ≤ 1.0

※1：GL-4.9m の地盤支持力と改良地盤を含んだ GL-1.3m の地盤支持力の小さい方を記載（GL-1.3m）

表－６ 改良体の許容圧縮応力度と鉛直応力度の比較

	鉛直応力度 (kN/m ²)	許容圧縮応力度 (kN/m ²)	検定比
長期	87	200※2	0.44 ≤ 1.0

※2：改良体の一軸圧縮試験結果より許容圧縮応力度を設定

(3) 短期における改良地盤の検討

短期における改良地盤に生じる最大応力度と許容応力度の比較を、検定比が最大となる位置について表－７～表－９に示す。

これより、改良地盤に生じる最大応力度が許容応力度以下であることを確認した。

表－７ 改良地盤の許容支持力度と接地圧の比較

	接地圧 (kN/m ²)	許容支持力度 (kN/m ²)	検定比
短期(雪)	69	300	$0.23 \leq 1.0$

表－８ 改良体の許容圧縮応力度と鉛直応力度の比較

	鉛直応力度 (kN/m ²)	許容圧縮応力度 (kN/m ²)	検定比
短期(雪)	88	400	$0.22 \leq 1.0$

表－９ 改良体の許容せん断応力度とせん断応力度の比較

	せん断応力度 (kN/m ²)	許容せん断応力度 (kN/m ²)	検定比
短期(地震)	30	129	$0.24 \leq 1.0$

4. 付録

付録－1 高性能多核種除去設備の上屋から基礎への荷重について

付録－2 基礎スラブおよび改良地盤の参考評価について

付録－3 基礎スラブおよび改良地盤の参考評価について（基準地震動 S_s 評価）

高性能多核種除去設備の上屋から基礎への荷重について

1. 評価方針

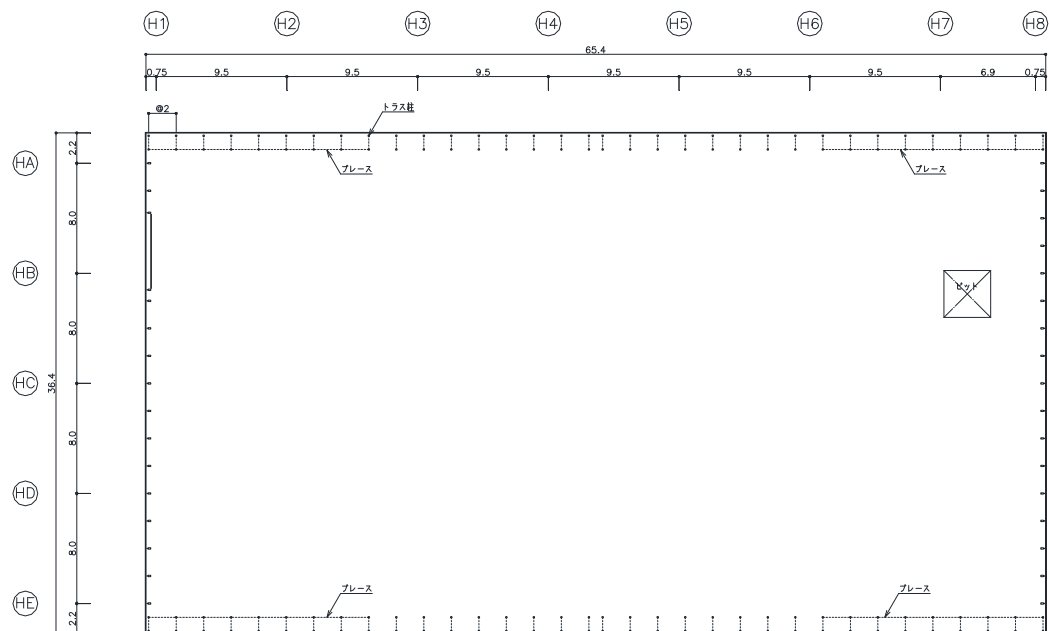
耐震Bクラス相当である高性能多核種除去設備基礎の設計条件として、高性能多核種除去設備の上屋からの荷重を算出する。また、高性能多核種除去設備の上屋は、耐震Bクラス相当として設計する。なお、設計は建築基準法に準拠し、積雪荷重及び風荷重についても評価する。

高性能多核種除去設備の上屋は、鉄骨造の地上1階建てで、平面が約36m（NS）×約65m（EW）の建物で、地上高さは約18mである。高性能多核種除去設備上屋の平面図及び断面図を図－1～図－4に示す。

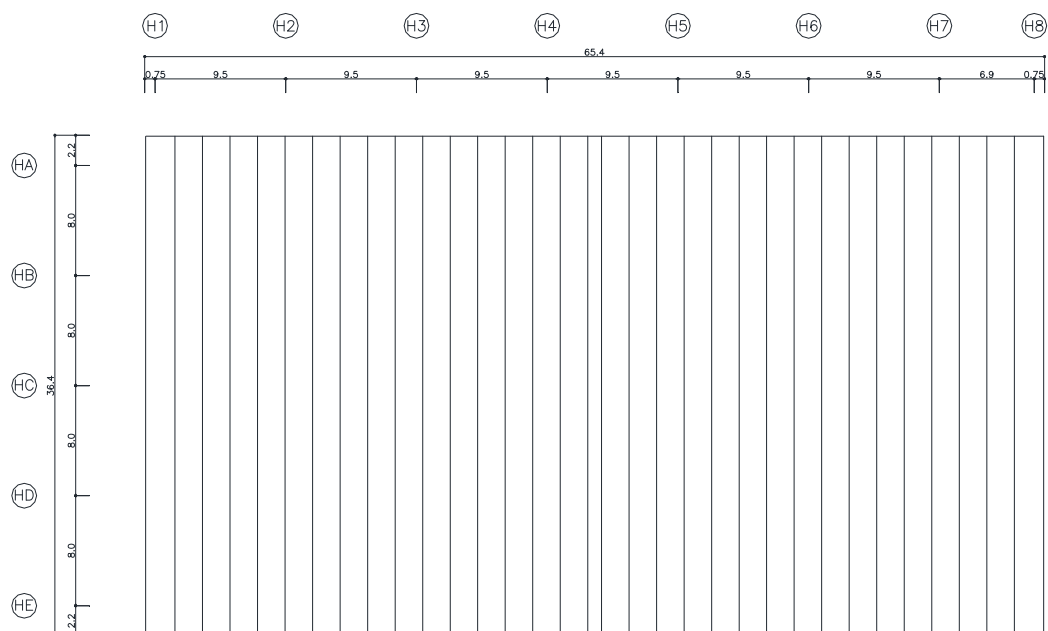
上屋に加わる地震時の水平力を、NS方向は柱・梁ともトラス形式のフレーム、EW方向はブレースで負担する。

耐震性の評価は、地上1階の地震層せん断力係数として $1.5 \cdot C_i$ を採用した場合の当該部位の応力に対して行う。

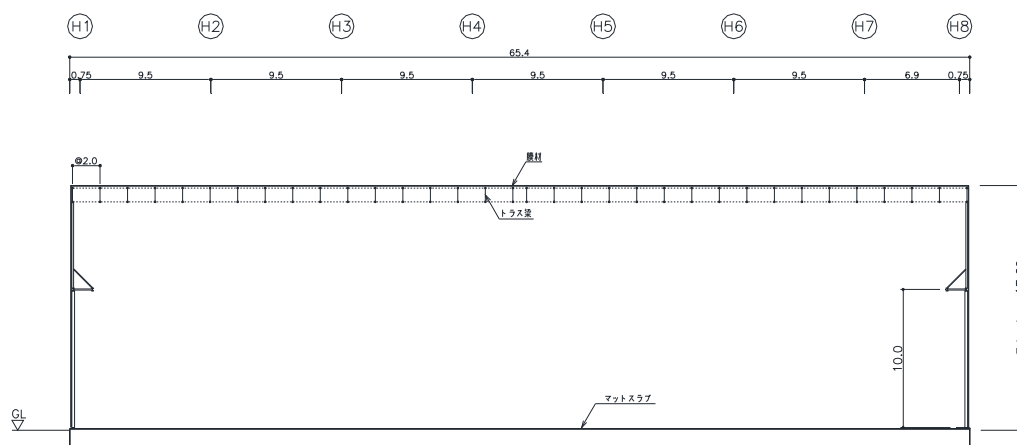
高性能多核種除去設備の上屋から基礎への荷重算出手順を図－5に示す。



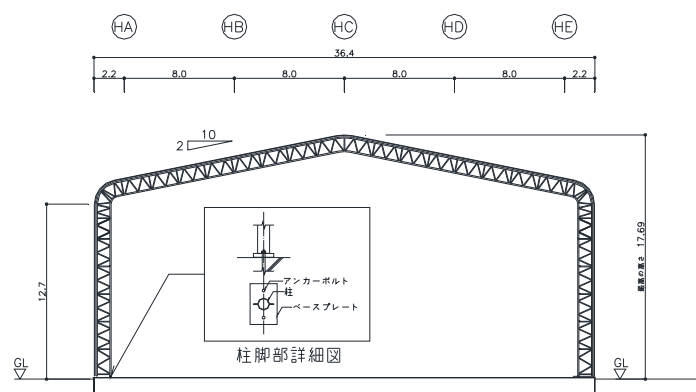
図－1 1階平面図（単位：m）



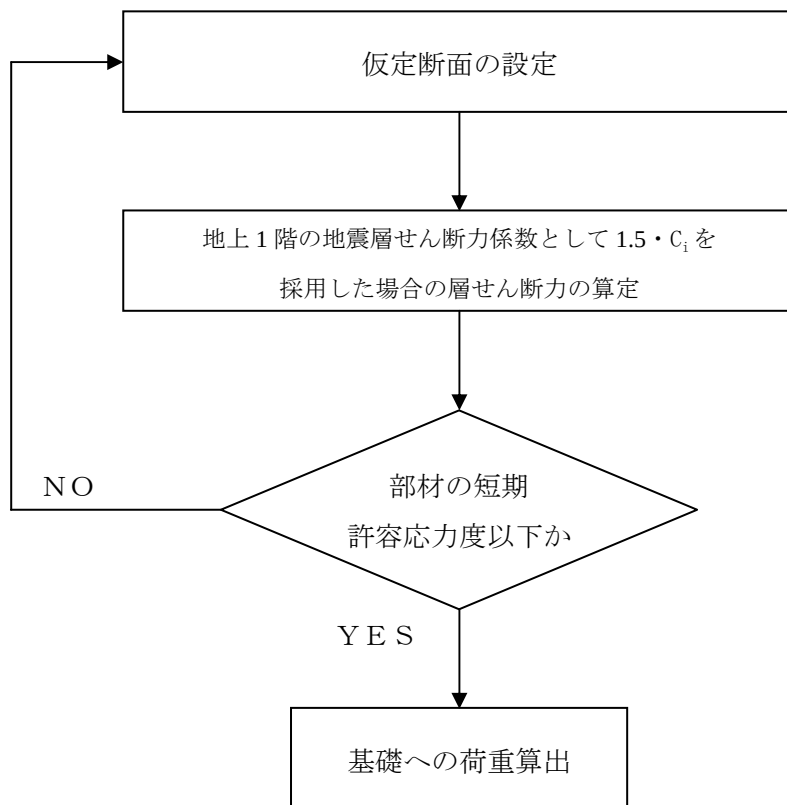
図－2 屋根平面図（単位：m）



図－3 東西方向断面図（単位：m）



図－4 南北方向断面図（単位：m）



図－5 上屋から基礎への荷重算出手順

2. 評価条件

2.1 使用材料並びに材料の許容応力度

高性能多核種除去設備の上屋に用いる鋼材は STK400 とする。使用材料の許容応力度を表－1 に示す。

表－1 構造用鋼材の許容応力度

(単位：N/mm²)

	板厚	材料	基準強度 F	許容応力度
構造用鋼材	t ≤ 40mm	STK400	235	「鋼構造設計規準」に従って左記 F の値により求める。

注：日本建築学会「鋼構造設計規準・同解説」による。

2.2 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重

設計で考慮する荷重を以下に示す。

1) 鉛直荷重 (VL)

鉛直荷重は、固定荷重とする。

2) 積雪荷重 (SNL)

積雪荷重は、建築基準法施行令及び福島県建築基準法施行規則細則に準拠し以下の条件とする。

積雪量：30 cm，単位荷重：20 N/m²/cm

3) 風荷重 (WL)

建築基準法施行令第 87 条，建設省告示第 1454 号に基づく速度圧及び風力係数を用いて算定する。

- ・基準風速：30 m/s
- ・地表面粗度区分：Ⅲ

4) 地震荷重 (SEL)

水平地震力は下式により算定する。

地震層せん断力係数及び設計用地震力を表－2 に示す。

$$Q_i = n \cdot C_i \cdot W_i$$

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

ここで，

- Q_i ：水平地震力 (kN)
- n ：施設の重要度分類に応じた係数 ($n=1.5$)
- C_i ：地震層せん断力係数
- W_i ：当該層以上の重量 (kN)
- Z ：地震地域係数 ($Z=1.0$)
- R_t ：振動特性係数 ($R_t=1.0$)
- A_i ：地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数
- C_0 ：標準せん断力係数 ($C_0=0.2$)

表－2 水平地震力の算定結果

建物高さ (m)	W _i (kN)	地震層せん断力係数 1.5・C _i		設計用地震力 (kN)	
		NS	EW	NS	EW
17.69	1350	0.30		410	

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せについて表－3に示す。

表－3 荷重の組合せ

荷重状態	荷重ケース	荷重の組合せ	許容応力度
常 時	A	VL	長 期
積雪時	B	VL＋SNL	短 期
暴風時	W1	VL＋SWL(S→N 方向)	
	W2	VL＋SWL(W→E 方向)	
地震時	C1	VL＋SEL(S→N 方向)	
	C2	VL＋SEL(W→E 方向)	

注：「建築基準法施行令第82条」による。

3. 評価結果

3.1 高性能多核種除去設備の上屋の評価結果

解析モデルは、全ての部材を線材置換した平面モデルで、柱脚は半固定とする。

検討により得られた部材応力の内、検定比が最大となる鉄骨部材の断面検討結果を表－4に示す。また、外装材の検定比が最大となる膜材の断面検討結果を表－5に示す。

これより、鉄骨部材の応力度および外装材は、許容応力度以下であることを確認した。

表－4 鉄骨部材の応力度と短期許容応力度

部位	荷重条件	応力度 (kN/cm ²)		許容応力度 (kN/cm ²)		検定比 $\sigma_b/f_b + \sigma_c/f_c$
		曲げ： σ_b	圧縮： σ_c	曲げ： f_b	圧縮： f_c	
主フレームトラス梁 (STK400)	風荷重	16.93	0.57	22.03	21.81	$0.80 \leq 1.0$
主フレームトラス柱 (STK400)	風荷重	16.93	0.91	20.53	19.77	$0.87 \leq 1.0$

表－5 外装材の応力度と短期許容応力度

部位	荷重条件	応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	検定比 T/F_t
		引張：T	引張： F_t	
膜材	風荷重	18.86	33.18 ^{※1}	$0.57 \leq 1.0$

※1：膜材の短期許容引張応力度 $F_t = 33.18$ (N/mm²)

※ 上表の通り主フレームの断面算定は風荷重にて行っているが、地震荷重については下記のように風荷重に対して十分小さいことを確認している。

風荷重と地震荷重の比較

風荷重による層せん断力 $Q_W = 32.64$ kN/1 フレーム

地震荷重による層せん断力 $Q_K = 8.74$ kN/1 フレーム

$$\therefore Q_W > Q_K$$

3.2 高性能多核種除去設備基礎への荷重

高性能多核種除去設備の上屋（主フレーム）から基礎への荷重を表－6に示す。

表－6 上屋（主フレーム）から基礎への荷重

	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	曲げ モーメント (kN・m)
長期	18.00	3.42	0.23
短期(雪)	39.00	10.27	0.70
短期(風)	13.40	20.18	3.19
短期(地震)	21.33	7.79	1.35

基礎スラブおよび改良地盤の参考評価について

高性能多核種除去設備の基礎スラブおよび改良地盤について、参考評価として、耐震 S クラス相当の水平震度（水平震度 0.8）に対して、健全性が維持されることを確認した。

基礎スラブの評価結果のうち、曲げモーメントが最大となる要素と面外せん断力が最大となる要素の断面検討結果を表－ 1 及び表－ 2 に示す。

これより、設計鉄筋比は必要鉄筋比を上回り、また面外せん断力は許容せん断力以下であることを確認した。

表－ 1 曲げモーメントに対する検討結果

	応力 曲げモーメント (kN・m/m)	必要鉄筋比 (%)	設計鉄筋比 (%)	検定比
短期	423	0.08	0.29	$0.28 \leq 1.0$

表－ 2 面外せん断力に対する検討結果

	応力 面外せん断力 (kN/m)	短期許容せん断力 (kN/m)	検定比
短期	343	1335	$0.26 \leq 1.0$

また，改良地盤に生じる最大応力度と許容応力度の比較を，検定比が最大となる位置について表－３～表－５に示す。

これより，改良地盤に生じる最大応力度が許容応力度以下であることを確認した。

表－３ 基礎地盤の許容支持力度と接地圧の比較

	接地圧 (kN/m ²)	許容支持力度 (kN/m ²)	検定比
短期	70	300	$0.24 \leq 1.0$

表－４ 改良体の許容圧縮応力度と鉛直応力度の比較

	鉛直応力度 (kN/m ²)	許容圧縮応力度 (kN/m ²)	検定比
短期	90	400	$0.23 \leq 1.0$

表－５ 改良体の許容せん断応力度とせん断応力度の比較

	せん断応力度 (kN/m ²)	許容せん断応力度 (kN/m ²)	検定比
短期	81	129	$0.63 \leq 1.0$

基礎スラブおよび改良地盤の参考評価について（基準地震動 Ss 評価）

高性能多核種除去設備の基礎スラブおよび改良地盤について、参考評価として、基準地震動 Ss（Ss-1～3，水平・上下）に対して、健全性が維持されることを確認した。

基礎スラブの評価結果のうち、曲げモーメントが最大となる要素と面外せん断力が最大となる要素の断面検討結果を表－1 及び表－2 に示す。

これより、設計鉄筋比は必要鉄筋比を上回り、また面外せん断力は許容せん断力以下であることを確認した。

表－1 曲げモーメントに対する検討結果

	応力		必要鉄筋比 (%)	設計鉄筋比 (%)	検定比
	軸力※ (kN/m)	曲げモーメント (kN・m/m)			
短期	-7	335	0.05	0.26	$0.20 \leq 1.0$

※ 圧縮を正とする。

表－2 面外せん断力に対する検討結果

	応力 面外せん断力 (kN/m)	短期許容せん断力 (kN/m)	検定比
短期	271	1335	$0.21 \leq 1.0$

また，改良地盤に生じる最大応力度と許容応力度の比較を，検定比が最大となる位置について表－３～表－５に示す。

これより，改良地盤に生じる最大応力度が許容応力度以下であることを確認した。

表－３ 基礎地盤の許容支持力度と接地圧の比較

	接地圧 (kN/m ²)	許容支持力度 (kN/m ²)	検定比
短期	116	300	$0.39 \leq 1.0$

表－４ 改良体の許容圧縮応力度と鉛直応力度の比較

	鉛直応力度 (kN/m ²)	許容圧縮応力度 (kN/m ²)	検定比
短期	148	400	$0.37 \leq 1.0$

表－５ 改良体の許容せん断応力度とせん断応力度の比較

	せん断応力度 (kN/m ²)	許容せん断応力度 (kN/m ²)	検定比
短期	51	129	$0.40 \leq 1.0$

高性能多核種除去設備の耐震性に関する計算書

1. 耐震設計の基本方針

申請設備に係る耐震設計は，次の基本方針に基づいて行う。

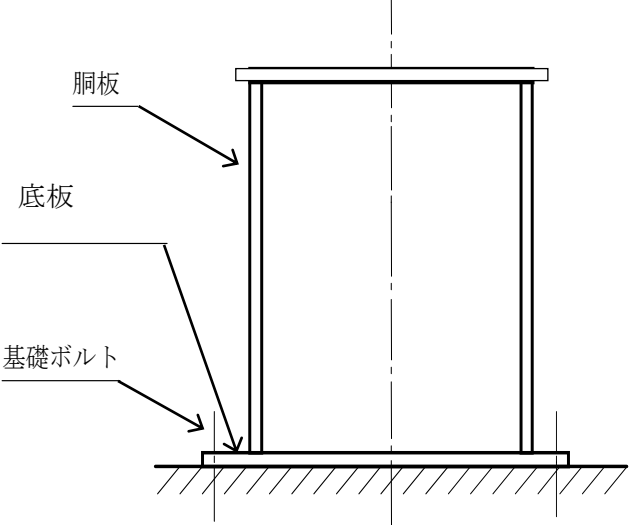
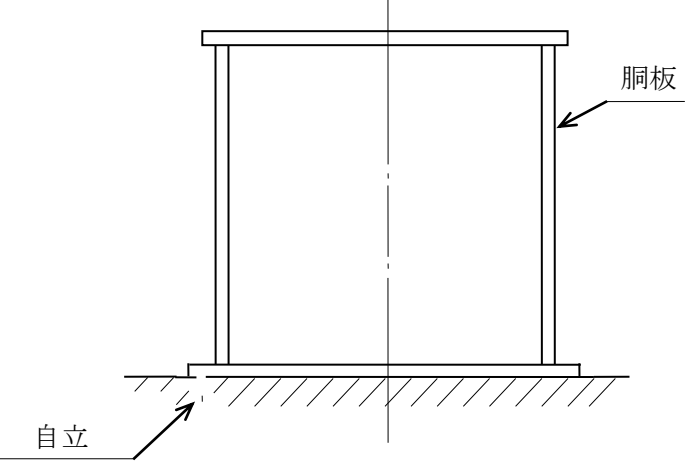
(1) 設備の重要度による耐震クラス別分類

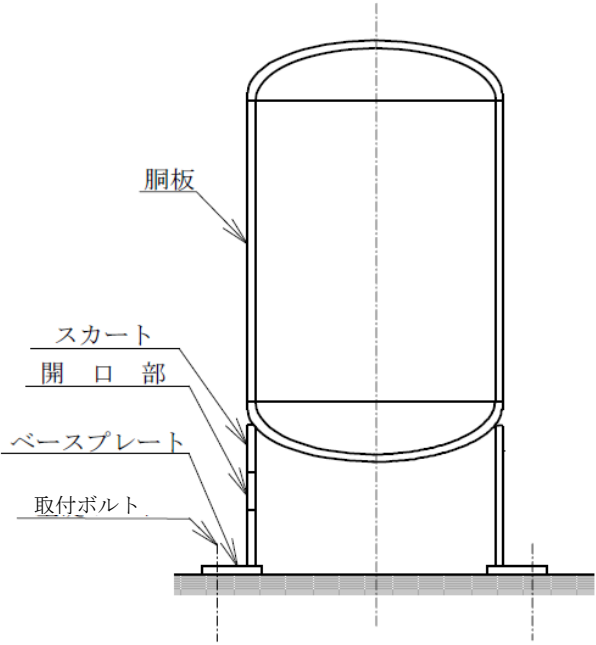
耐震クラス別 系統設備	主要設備，補助設備 及び直接支持構造物	間接支持構造物及び相互 影響を考慮すべき設備		
	B	設 備	検討用地 震動等	
2.16.3 高性能多核種 除去設備	(1) 容器	供給タンク	高性能多核種除去 設備基礎	S _B
		処理水タンク	高性能多核種除去 設備基礎	S _B
		前処理フィルタ 1	前処理フィルタ ユニット	S _B
		前処理フィルタ 2～4	前処理フィルタ ユニット	S _B
		多核種吸着塔 1～20	高性能多核種除去 設備基礎	S _B
		サンプルタンク A，B，C	サンプルタンクエ リア	S _B
	(2) ポンプ	供給ポンプ	前処理フィルタユ ニット	S _B
		昇圧ポンプ 1	昇圧ポンプ 1 ユニ ット	S _B
		昇圧ポンプ 2	昇圧ポンプ 2 ユニ ット	S _B
		昇圧ポンプ 3	昇圧ポンプ 3 ユニ ット	S _B
		昇圧ポンプ 4	昇圧ポンプ 4 ユニ ット	S _B
				S _B
				S _B

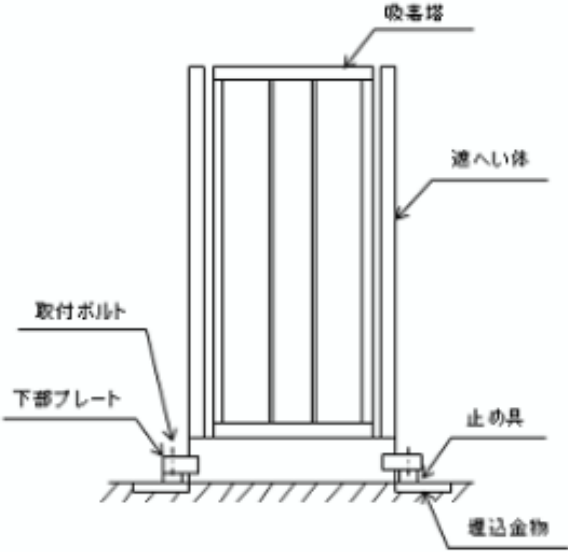
耐震クラス別 系統設備	主要設備，補助設備 及び直接支持構造物	間接支持構造物及び相互 影響を考慮すべき設備	
	B	設 備	検討用地 震動等
(つづき：ポンプ)	処理水移送ポンプ	高性能多核種除去設備 基礎	S _B
(3) 配管	高性能多核種除去設備用 移送ポンプ	高性能多核種除去設備 用移送ポンプスキッド	S _B
(4) ユニット	主配管	高性能多核種除去設備 基礎,ユニット等	S _B
	前処理フィルタユニット A, B	高性能多核種除去設備 基礎	S _B
	昇圧ポンプユニット 1～4	高性能多核種除去設備 基礎	S _B
	吸着塔ユニット 1～4	高性能多核種除去設備 基礎	S _B
	配管ユニット	高性能多核種除去設備 基礎	S _B
	高性能多核種除去設備用移送 ポンプスキッド	多核種移送設備基礎	S _B
備考	・高性能多核種除去設備上屋は設備を支持しておらず，間接支持構造物及び相互影響を考慮すべき設備には該当しない。		

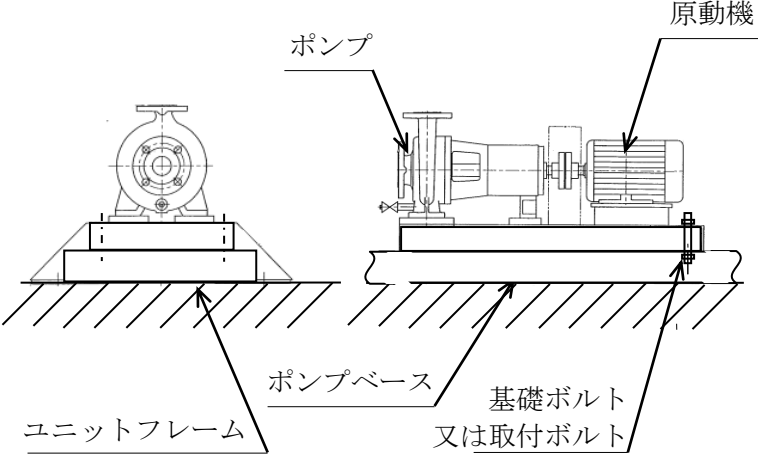
(2) 構造計画

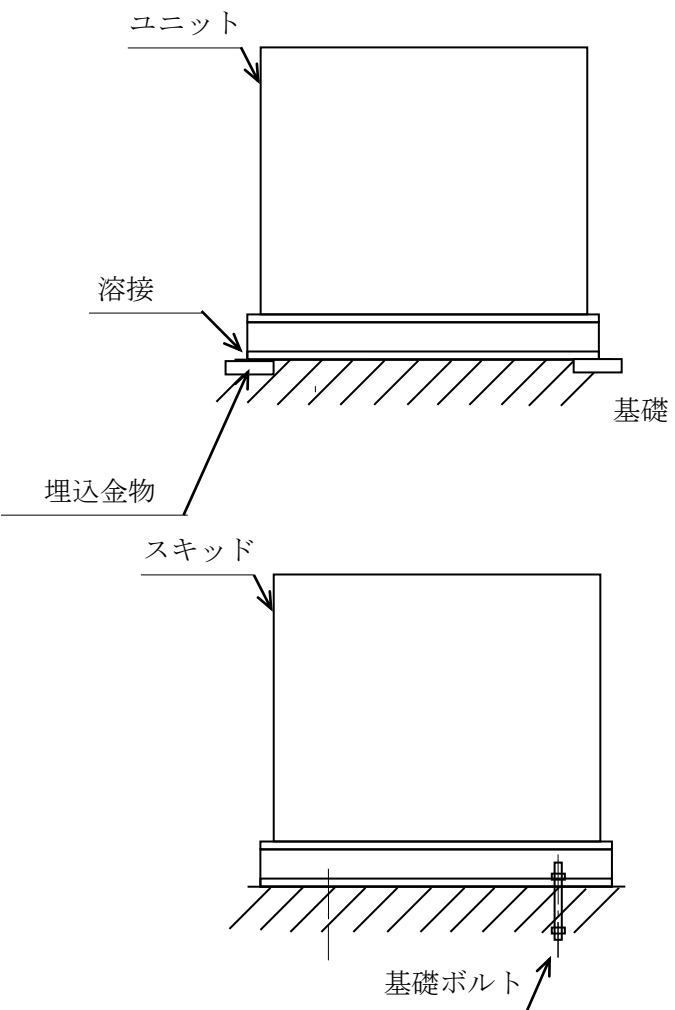
a. 機器

主 要 区 分	計 画 の 概 要		概 略 構 造 図	摘 要
	基 礎 ・ 支 持 構 造	主 体 構 造		
(1) 平底たて置円筒形容器	・ 供給タンク ・ 処理水タンク 底板を基礎ボルトで基礎に据え付ける。	下面に底板を有する たて置円筒形	 The diagram shows a cross-section of a tank with a flat bottom. A horizontal line at the base is labeled '底板' (base plate). Below it, a horizontal line is labeled '基礎ボルト' (foundation bolt). The tank's side wall is labeled '胴板' (cylindrical shell plate). The tank sits on a hatched ground line.	・ 供給タンク ・ 処理水タンク
	b. 自立 (非固定)		 The diagram shows a cross-section of a self-standing tank. The side wall is labeled '胴板' (cylindrical shell plate). The tank sits on a hatched ground line. An arrow points to the ground line with the label '自立' (self-standing).	・ サンプルタンク A, B, C

主 要 区 分	計 画 の 概 要		概 略 構 造 図	摘 要
	基 礎 ・ 支 持 構 造	主 体 構 造		
(2) スカート支持 たて置円筒形 容器	胴をスカートで支持し、スカートを取付ボルトでユニットフレームに据え付ける。	上面及び下面に平板を有するたて置円筒形		・ 前処理フィルタ 1 ・ 前処理フィルタ 2～4

主 要 区 分	計 画 の 概 要		概 略 構 造 図	摘 要
	基 礎 ・ 支 持 構 造	主 体 構 造		
(3)多核種吸着塔 1～20	下部プレートを取付ボルトで止め具に据え付ける。	垂直自立形		・多核種吸着塔 1～20

主 要 区 分	計 画 の 概 要		概 略 構 造 図	摘 要
	基 礎 ・ 支 持 構 造	主 体 構 造		
(4) 横軸ポンプ	ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは取付ボルトによりユニットフレームに据え付ける。	うず巻形		・ 供給ポンプ ・ 昇圧ポンプ 1 ～ 4 ・ 処理水移送ポンプ ・ 高性能多核種除去設備用移送ポンプ

主 要 区 分	計 画 の 概 要		概 略 構 造 図	摘 要
	基 礎 ・ 支 持 構 造	主 体 構 造		
(5) ユニット	ユニットフレームを溶接により基礎に据え付ける。 スキッド架構を基礎ボルトで基礎に据え付ける。	垂直自立形	 ユニット 溶接 埋込金物 基礎 スキッド 基礎ボルト	・前処理フィルタユニットA, B ・昇圧ポンプユニット1～4 ・吸着塔ユニット1～4 ・配管ユニット ・高性能多核種除去設備用移送ポンプスキッド

b. 配管系

a) 配管（鋼管）

配管はサポートにより建屋（建屋で支持されるユニットフレームを含む）等の構造物から支持される。サポートの位置を決定するにあたっては、原子力発電所の耐震設計に用いられている定ピッチスパン法により適正なサポートスパンを確保する。

(3) 設計用地震力

項目	耐震 クラス	適用する地震動等		設計用地震力
		水 平	鉛 直	
機 器 ・ 配 管 系	B	静的震度 ($1.8 \cdot C_i^{*1}$)	—	設計用地震力は、静的地震力とする。

注記 *1: C_i は、標準せん断力係数を 0.2 とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

(4) 荷重の組合せと許容限界

荷重の組合せと許容限界は、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補－1984，JEAG4601－1987及びJEAG4601－1991追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月，昭和62年8月及び平成3年6月）（以下「JEAG4601」という。）及び発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC1－2005（2007年追補版含む））（日本機械学会 2005年9月，2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）に準拠する。

記号の説明

D	：死荷重
P _d	：当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
M _d	：当該設備に設計上定められた機械的荷重
S _B	：Bクラスの設備に適用される地震動より求まる地震力又はBクラス設備に適用される静的地震力
B _{AS}	：Bクラス設備の地震時の許容応力状態
S _y	：設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定される値。―(輸入品は、ASME BPVC SEC. II Part D Subpart 2 TABLE Y-1 に規定される値を用いる。)―
S _u	：設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に規定される値。―(輸入品は、ASME BPVC SEC. II Part D Subpart 2 TABLE U に規定される値を用いる。)―
S	：許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 に規定される値。―(輸入品は、ASME BPVC SEC. II Part D Subpart 2 TABLE 1A に規定される値を用いる。)―
f _t	：許容引張応力 支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値。ボルト等に対して設計・建設規格 SSB-3131 により規定される値。
f _s	：許容せん断応力 同 上
f _c	：許容圧縮応力 支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値。
f _b	：許容曲げ応力 同 上
τ _b	：ボルトに生じるせん断応力
A S S	：オーステナイト系ステンレス鋼
H N A	：高ニッケル合金

また、「供用状態C」とは、「対象とする機器等が構造不連続部等においては大変形を生じてよい」と設計仕様書等で規定された圧力及び機械的荷重が負荷された条件下にある状態をいう。

a. 容器

耐震 クラス	荷重の組合せ	供用状態 (許容応力 状態)	許 容 限 界		適用範囲
			一次一般膜応力	一次膜応力+一次曲げ応力	
B	D+Pd+Md+SB	C (BAS)	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、ASS及びHNAに ついては上記の値と1.2・S のうち大きい方とする。	S _y ただし、ASS及びHNAに ついてはS _y と1.2・Sのうち 大きい方とする。	- 供給タンク - 処理水タンク - 前処理フィルタ1 - 前処理フィルタ2～4 - 多核種吸着塔1～20

b. 支持構造物（注1、注2）

耐震 クラス	荷重の組合せ	供用状態 (許容応力 状態)	許 容 限 界 (ボ ル ト 等 以 外)					許 容 限 界 (ボ ル ト 等)			適用範囲
			一 次 応 力					一 次 応 力			
			引 張	せん断	圧 縮	曲 げ	組合せ	引 張	せん断	組 合 せ	
B	D + Pd+Md+ S B	C (BAS)	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min}\{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$	- 基礎ボルト - 取付ボルト - スカート - 溶接

注1： 耐圧部に溶接により直接取り付けられる支持構造物であって、耐圧部と一体の応力解析を行うものについては、耐圧部と同じ許容応力とする。

注2： 鋼構造設計規準（日本建築学会 2005年改定）等の幅厚比の規定を満足する。

2. 耐震性評価

本評価は、「付録1 平底たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」，「付録2 スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「付録3 横軸ポンプ（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づいて，以下の耐震性の計算を行う。また評価方法が同付録に依らないものは以下に特記する。

- (1) 供給タンク
- (2) 処理水タンク
- (3) サンプルタンク A, B, C
- (4) 前処理フィルタ 1
- (5) 前処理フィルタ 2～4
- (6) 多核種吸着塔 1～20（胴部材料：UNS S31803）
- (7) 多核種吸着塔 1～20（胴部材料：UNS S32205）
- (8) 多核種吸着塔 1～20（胴部材料：UNS S32750）
- (9) 多核種吸着塔 1～20（胴部材料：SUS316L）
- (10) 供給ポンプ，昇圧ポンプ 1～4
- (11) 処理水移送ポンプ
- (12) 高性能多核種除去設備用移送ポンプ
- (13) 主配管……………配管標準支持間隔評価（定ピッチスパン法）により評価する。
- (14) 前処理フィルタユニット A, B
- (15) 昇圧ポンプユニット 1～4
- (16) 吸着塔ユニット 1～4
- (17) 配管ユニット
- (18) 高性能多核種除去設備用移送ポンプスキッド

なお，機器（配管を除く）の固有周期について確認した結果，固有振動数が 20Hz 以上のため地震動と共振する恐れがないことから，以下では剛体として扱う。

添付資料－3 では，高性能多核種除去設備建屋 $GL \pm 0m = T.P. 36.4m^{(*)}$ ，多核種移送設備建屋 $GL \pm 0m = T.P. 35.9m^{(*)}$ とする。

（※）震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P. から T.P. への換算値（-727mm）を用いて，下式に基づき換算している。

<換算式> $T.P. = O.P. - 1,436mm$

(1) 供給タンク

a.条件

機 器 名 称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計GL (m)	固 有 周 期 (s)		水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比 重
			水平方向	鉛直方向						
供給タンク	B	高性能多核種除去設備建屋 GL +0.2	0.037	—	$C_H = 0.36$	—	静水頭	40	40	1.00

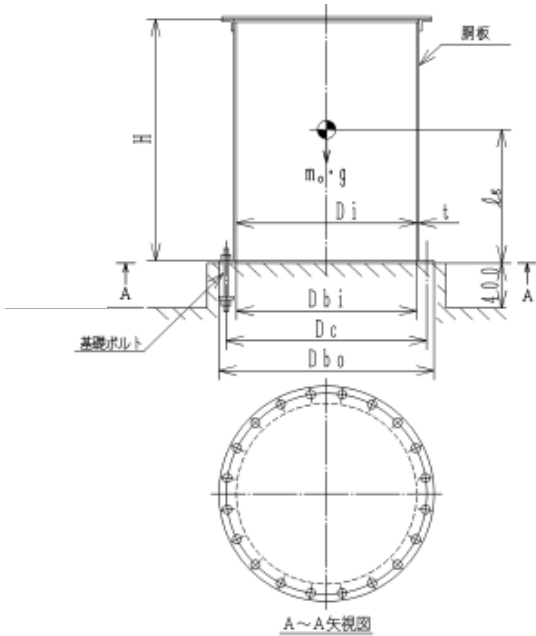
b.評価結果

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板	SM400C	一次一般膜	$\sigma_0 = 11$	$S_a = 240$
		圧縮と曲げ の組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot \sigma_{x2}}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$	
			0.04	
基礎ボルト	SS400	引 張 り	$\sigma_b = 1$	$f_{ts} = 176$ *
		せん断	$\tau_b = 16$	$f_{sb} = 135$

すべて許容応力以下である。

注記*： (3.2.2.2) 式より算出



(2) 処理水タンク

a.条件

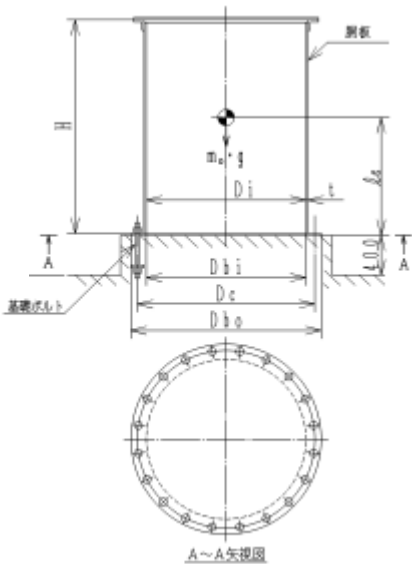
1. 設計条件										
機 器 名 称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計GL (m)	固 有 周 期 (s)		水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比 重
			水平方向	鉛直方向						
処理水タンク	B	高性能多核種除去設備建屋 GL +0.2	0.037	—	$C_H = 0.36$	—	静水頭	40	40	1.00

b.評価結果

(単位：MPa)				
部 材	材 料	応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板	SM400C	一次一般膜	$\sigma_0 = 11$	$S_s = 240$
		圧 縮 と 曲 げ の 組 合 せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot \sigma_{x2}}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$	
			0.04	
基礎ボルト	SS400	引 張 り	$\sigma_b = 1$	$f_{ts} = 176$ *
		せん断	$\tau_b = 16$	$f_{sb} = 135$

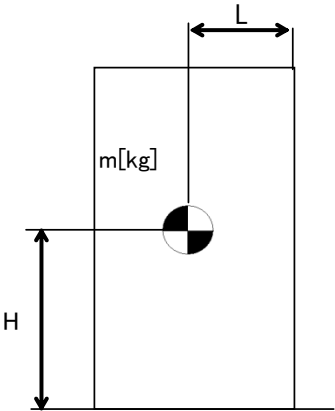
すべて許容応力以下である。

注記＊： (3.2.2.2) 式より算出



(3) サンプルタンク

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し、それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果、地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから、転倒しないことを確認した。



- 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 : $M_2[N \cdot m] = m \times g \times L$

評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平地震動	算出値	許容値	単位
サンプルタンク A, B, C	本体	転倒	0.36	3.1×10^4	7.1×10^4	kN・m

(4) 前処理フィルタ 1

a.条件

機 器 名 称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 GL (m)	固 有 周 期(s)		水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比 重
			水平方向	鉛直方向						
前処理フィルタ 1	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	0.039	—	$C_H=0.36$	—	1.03	40	40	—

b.評価結果

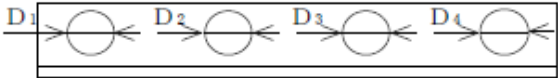
(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板	ASME SA516 Gr.70	組 合 せ	$\sigma_o = 74$	$S_a = 262$
ス カ ー ト	ASME SA516 Gr.70	組 合 せ	$\sigma_s = 32$	$f_t = 262$
		圧縮と曲げ の 組 合 せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$ 0.14 (無次元)	
取付ボルト	ASTM A193 Gr.B7	引 張 り	$\sigma_b = 1$	$f_{ts} = 452$ *
		せ ん 断	$\tau_b = 8$	$f_{sb} = 348$

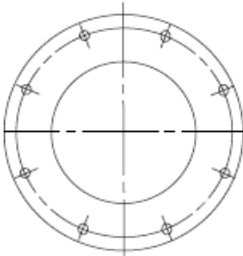
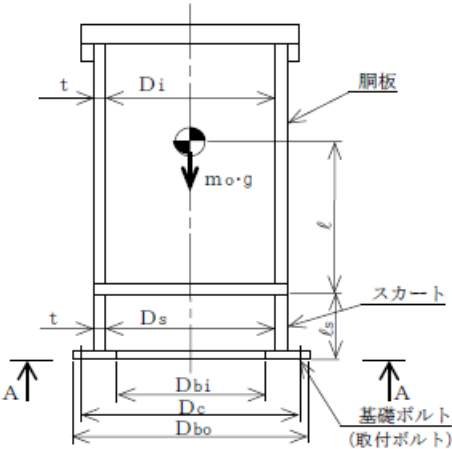
すべて許容応力以下である。

注記 *：以下より算出

$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b$ かつ、 $f_{ts} \leq f_{to}$



スカート開口部の形状を示す。



A~A矢視図

(5) 前処理フィルタ 2～4

a.条件

機 器 名 称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 GL (m)	固 有 周 期(s)		水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比 重
			水平方向	鉛直方向						
前処理フィルタ 2, 3, 4	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	0.032	—	C _H = 0.36	—	1.03	40	40	—

b.評価結果

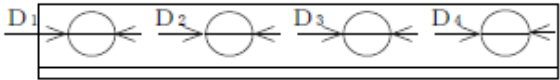
(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板	ASME SA516 Gr.70	組 合 せ	$\sigma_o = 74$	$S_a = 262$
ス カ ー ト	ASME SA516 Gr.70	組 合 せ	$\sigma_s = 28$	$f_t = 262$
		圧縮と曲げ の 組 合 せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$ 0.12 (無次元)	
取付ボルト	ASTM A193 Gr.B7	引 張 り	$\sigma_b = 1$	$f_{ts} = 452 *$
		せ ん 断	$\tau_b = 8$	$f_{sb} = 348$

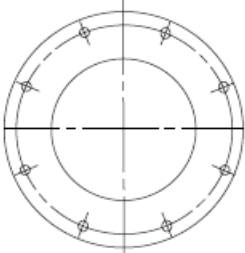
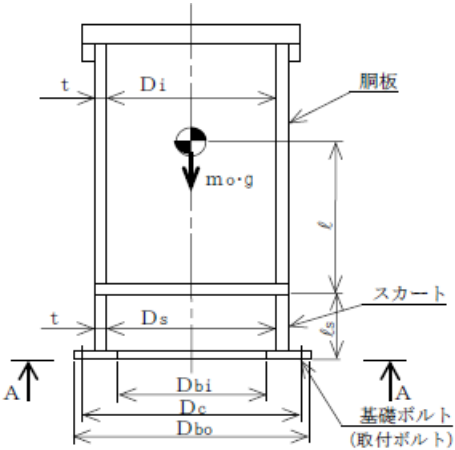
すべて許容応力以下である。

注記 *：以下より算出

$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b$ かつ、 $f_{ts} \leq f_{to}$



スカート開口部の形状を示す。



A～A矢視図

(6) 多核種吸着塔 1 ～ 2 0 (胴部材料 : UNS S31803)

a.条件

機 器 名 称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 GL (m)	固 有 周 期(s)		水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比 重
			水平方向	鉛直方向						
多核種吸着塔 (胴部材料 : UNS S31803)	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	0.031	—	$C_H = 0.36$	—	1.55	40	40	—

b.評価結果

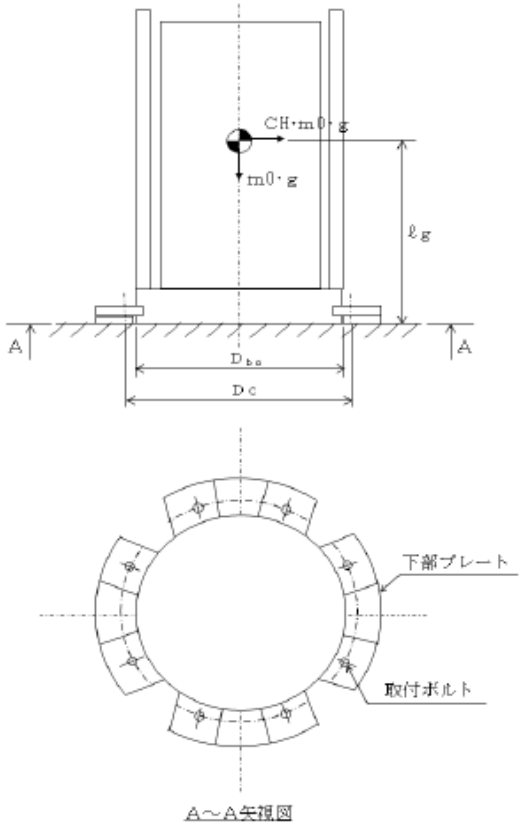
(単位 : MPa)

部 材	材 料	応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板	UNS S31803	一次一般膜	$\sigma_0 = 59$	$S_s = 372$
取付ボルト	ASTMA193 Gr.B7	引 張 り	—	$f_{ts} = 452 *$
		せん断	$\tau_b = 50$	$f_{sb} = 348$

すべて許容応力以下である。

注記 * : 以下より算出

$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b$ かつ、 $f_{ts} \leq f_{to}$



(7) 多核種吸着塔 1 ～ 2 0 （胴部材料：UNS S32205）

a.条件

機 器 名 称	耐震設計上の 重 要 度 分 類	据付場所及び床面高さ 設計 GL (m)	固 有 周 期 (s)		水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比 重
			水平方向	鉛直方向						
多核種吸着塔 (胴部材料：UNS S32205)	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	0.031	—	$C_H = 0.36$	—	1.55	40	40	—

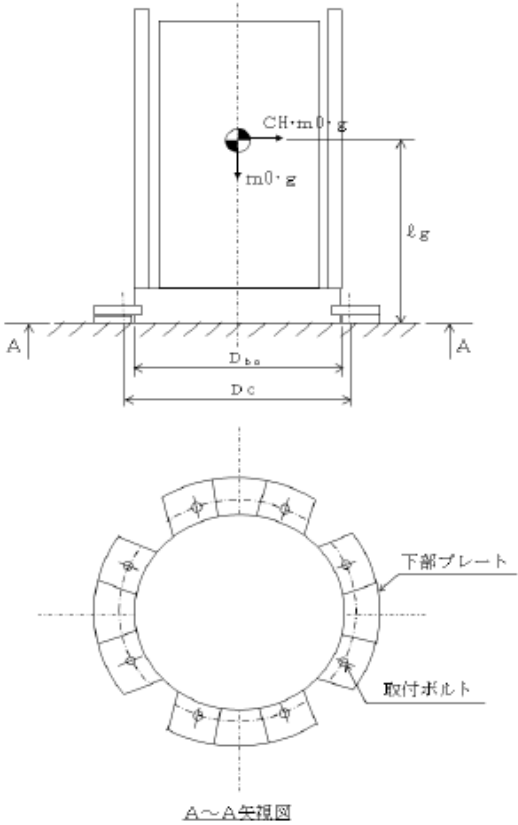
b.評価結果

(単位：MPa)				
部 材	材 料	応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板	UNS S32205	一次一般膜	$\sigma_0 = 59$	$S_A = 393$
取付ボルト	ASTMA193 Gr.B7	引 張 り	—	$f_{ts} = 452 *$
		せ ん 断	$\tau_b = 50$	$f_{sb} = 348$

すべて許容応力以下である。

注記 *：以下より算出

$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b$ かつ、 $f_{ts} \leq f_{to}$



(8) 多核種吸着塔 1 ～ 2 0 (胴部材料 : UNS S32750)

a.条件

機 器 名 称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 GL (m)	固有周期 (s)		水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比 重
			水平方向	鉛直方向						
多核種吸着塔 (胴部材料 : UNS S32750)	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	0.031	—	$C_H = 0.36$	—	1.55	40	40	—

b.評価結果

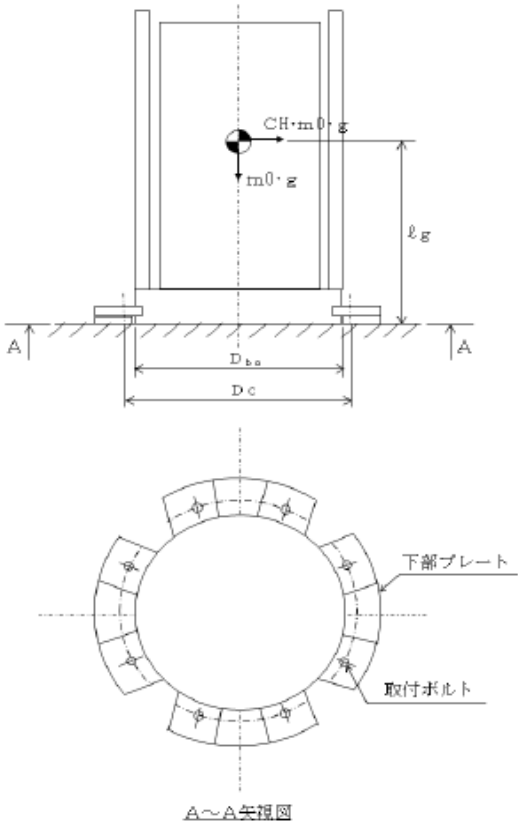
(単位 : MPa)

部 材	材 料	応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板	UNS S32750	一次一般膜	$\sigma_o = 59$	$S_a = 480$
取付ボルト	ASTM A193 Gr.B7	引 張 り	—	$f_{ts} = 452 *$
		せ ん 断	$\tau_b = 50$	$f_{cb} = 348$

すべて許容応力以下である。

注記 * : 以下より算出

$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b$ かつ, $f_{ts} \leq f_{to}$



(9) 多核種吸着塔 1 ～ 2 0 (胴部材料：SUS316L)

a.条件

機 器 名 称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 GL (m)	固 有 周 期 (s)		水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比 重
			水 平 方 向	鉛 直 方 向						
多核種吸着塔 (胴部材料：SUS316L)	B	高性能多核種除去設備建屋 GL +0.2	$T_H = 0.033$	—	$C_H = 0.36$	—	1.55	40	40	—

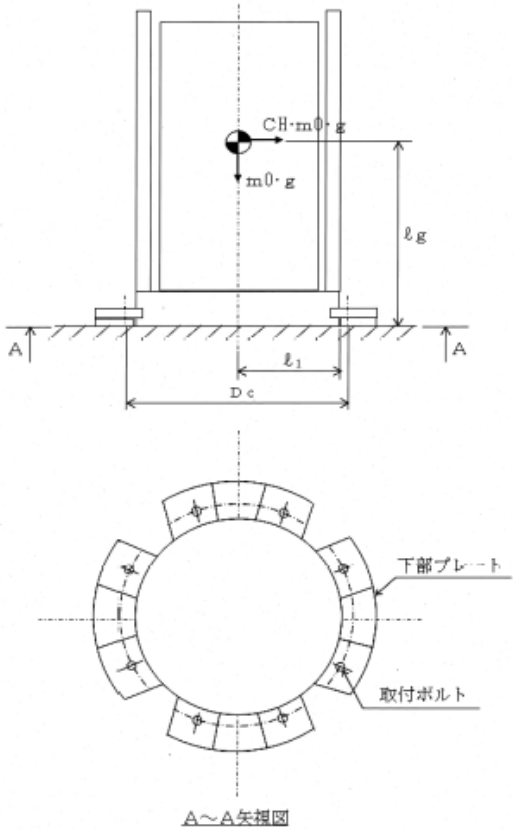
b.評価結果

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板	SUS316L	一次一般膜	$\sigma_0 = 53$	$S_a = 175$
取付ボルト	ASTM A193 Gr. B7	引 張 り	—	$f_{ts} = 462$ *
		せん断	$\tau_b = 50$	$f_{sb} = 348$

すべて許容応力以下である。

注記 *：以下より算出
 $f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b$
かつ、 $f_{ts} \leq f_{to}$



(10) 供給ポンプ，昇圧ポンプ 1 ～ 4

a.条件

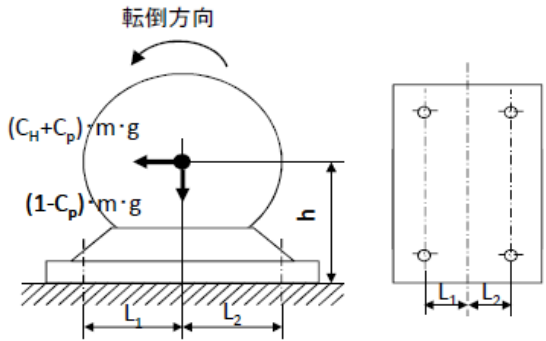
機器名称	耐震設計上の 重要度区分	据付場所及び床面高さ 設計 GL (m)	水平方向設計震度	ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
供給ポンプ、昇圧ポンプ	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	$C_H=0.36$	$C_p=0.29$	40	40

b.評価結果

単位:MPa

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	ASTM A193 Gr.B7 (SNB7相当)	せん断	$\tau_b = 3$	$f_{sb} = 348$
		引 張	$\sigma_b = -$	$f_{ts} = 452$

すべて許容応力以下である。



(11) 処理水移送ポンプ

a. 条件

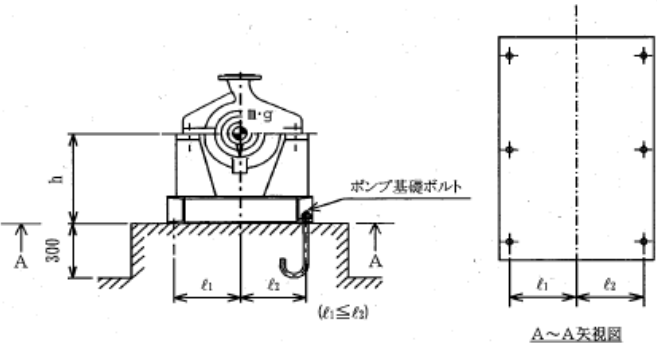
機器名称	耐震設計上の 重要度区分	据付場所及び床面高さ 設計 GL (m)	水平方向設計震度	ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
処理水移送ポンプ	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	$C_H=0.36$	$C_P=0.21$	—	40

b. 評価結果

単位:MPa

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 1$	$f_{ts} = 183$
		せん断	$\tau_b = 3$	$f_{sb} = 141$

すべて許容応力以下である。



(12) 高性能多核種除去設備用移送ポンプ

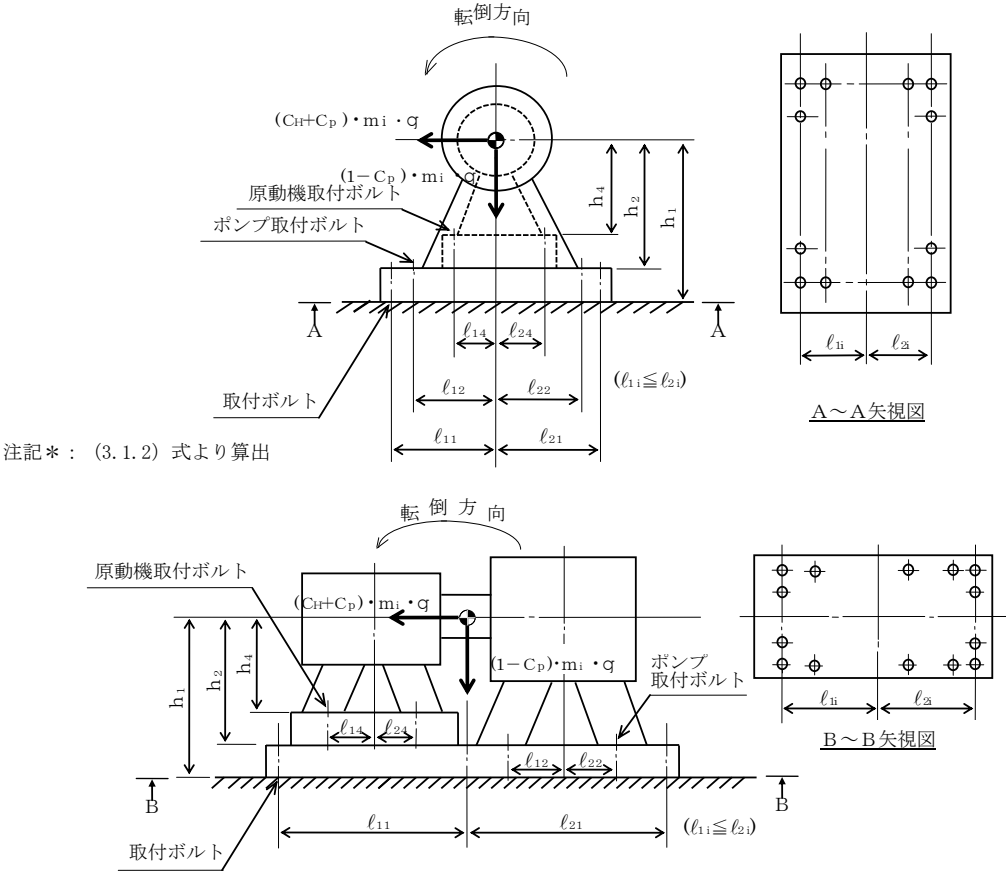
a. 条件

機 器 名 称	耐 震 設 計 上 の 重 要 度 分 類	据 付 場 所 及 び 床 面 高 さ 設 計 GL (m)	水 平 方 向 設 計 震 度	鉛 直 方 向 設 計 震 度	ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
高性能多核種除去設備用移送ポンプ A、B	B	多核種除去設備建屋 GL ±0	$C_H=0.36$	—	$C_P=0.18$	40	40

b. 評価結果

(単位：MPa)				
部 材	材 料	応 力	算出応力	許容応力
取付ボルト ($i = 1$)	SUS304	引張り	$\sigma_{b1}=1$	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	$\tau_{b1}=4$	$f_{sb1}=118$
ポンプ取付ボルト ($i = 2$)	SUS304	引張り	$\sigma_{b2}=11$	$f_{ts2}=153^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=118$
原動機取付ボルト ($i = 4$)	SUS304	引張り	$\sigma_{b4}=3$	$f_{ts4}=153^*$
		せん断	$\tau_{b4}=3$	$f_{sb4}=118$

すべて許容応力以下である。



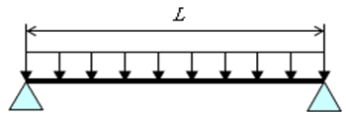
(13) 主配管（鋼管）

a. 評価条件

評価条件として配管は、配管軸直角 2 方向拘束サポートにて支持される両端単純支持のはりモデル（図－１）とする。

次に、当該設備における主配管（鋼管）について、各種条件を表－１に示す。表－１より管軸方向については、サポート設置フロアの水平震度 0.36 が鉄と鉄の静止摩擦係数 0.52 より小さいことから、地震により管軸方向は動かないものと仮定する。

図－１ 等分布荷重 両端単純支持はりモデル



表－１ 配管系における各種条件

配管分類	主配管（鋼管）					
配管クラス	クラス 3 相当					
耐震クラス	B クラス相当					
設計温度 [℃]	40					
配管材質	STPT410					
配管口径	100A		80A		50A	
Sch	40		40		80	
設計圧力 [MPa]	1.03	0.98	1.03	0.98	0.98	
配管支持間隔 [m]	7.2		6.5		5.5	

配管分類	主配管（鋼管）									
配管クラス	クラス 3 相当									
耐震クラス	B クラス相当									
設計温度[℃]	40									
配管材質	UNS S32750					UNS S31803		UNS S32205		SUS316LTP
配管口径	100A	80A			50A	50A	80A	50A	80A	50A 80A
Sch	10	10		40		40	40	40	40	40 40
設計圧力[MPa]	1.03	1.03	1.55	0.98	1.03	1.55	0.98	1.03	1.55	1.55 1.55 1.55 1.55 1.55
配管支持間隔[m]	7.7	6.7		6.6		5.4	5.4	6.6	5.4	6.6 5.3 6.5

b. 評価方法

水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価する。

自重による応力 S_w は、下記の式で示される。

$$S_w = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8Z} \quad (3.1)$$

ここで S_w :	自重による応力	[MPa]
L :	支持間隔	[mm]
M :	曲げモーメント	[N・mm]
Z :	断面係数	[mm ³]
w :	等分布荷重	[N/mm]

管軸直角方向の地震による応力 S_s は、自重による応力 S_w の震度倍で下記の式で示される。

$$S_s = \alpha \cdot S_w \quad (3.2)$$

S_s :	地震による応力	[MPa]
α :	想定震度値	[-]

また、評価基準値として JEAG4601-2008 に記載の供用応力状態 C_s におけるクラス 3 配管の一次応力制限を用いると、地震評価としては下記の式で示される。

$$S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha \cdot S_w = S_p + (1 + \alpha) \cdot S_w \leq 1.0 S_y \quad (3.3)$$

ここで、 S :	内圧，自重，地震による発生応力	[MPa]
S_p :	内圧による応力	[MPa]
S_y :	設計降伏点	[MPa]

c. 評価結果

両端単純支持はりモデルで、自重による応力 S_w が 30 [MPa]以下となる配管サポート配置を仮定し、各応力を計算した結果を表－2に示す。

表－2より、自重による応力 S_w を 30 [MPa]以下となるようサポート配置を決定することで、配管は十分な強度を有するものと評価する。

表－２ 応力評価結果

配管分類	主配管（鋼管）				
配管材質	STPT410				
配管口径	100A		80A		50A
Sch	40		40		80
設計圧力[MPa]	1.03	0.98	1.03	0.98	0.98
内圧，自重，地震 による発生応力 S [MPa]	51	51	50	49	47
供用状態 Cs における 一次応力許容値 [MPa]	1.0Sy=245	1.0Sy=245	1.0Sy=245	1.0Sy=245	1.0Sy=245

配管分類	主配管（鋼管）														
配管材質	UNS S32750								UNS S31803		UNS S32205		SUS316LTP		
配管口径	100A	80A						50A		50A	80A	50A	80A	50A	80A
Sch	10	10			40			40		40	40	40	40	40	40
設計圧力 [MPa]	1.03	1.03	1.55	0.98	1.03	1.55	0.98	1.03	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
内圧，自重，地震 による発生応力 S [MPa]	48	43	51	43	37	40	36	36	40	40	40	40	40	40	40
供用状態 Cs における 一次応力許容値 [MPa]	1.0Sy=552									1.0Sy=448		1.0Sy=448		1.0Sy=175	

(14) 前処理フィルタユニットA, B

a.条件

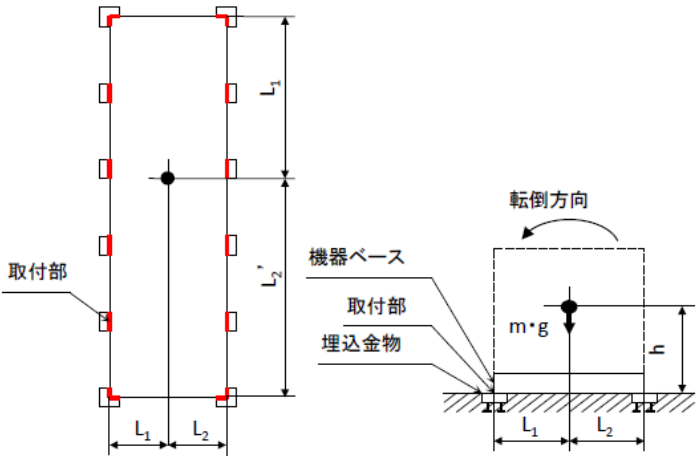
機器名称	耐震設計上の 重要度区分	据付場所及び床面高さ 設計GL (m)	水平方向設計震度	最高使用温度 (°C)	使用环境温度 (°C)
前処理フィルタユニットA, B	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	Ch=0.36	40	40

b.評価結果

単位：MPa

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
取付部 すみ肉溶接	YS309Mo	せん断	$\sigma_w = 15$	$f_s = 53$

許容応力以下である。



(15) 昇圧ポンプユニット1～4

a.条件

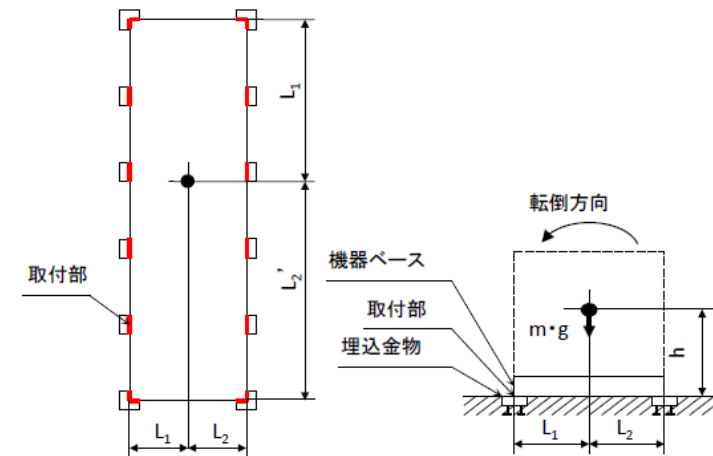
機器名称	耐震設計上の 重要度区分	据付場所及び床面高さ 設計GL (m)	水平方向設計震度	最高使用温度 (°C)	使用環境温度 (°C)
昇圧ポンプユニット1～4	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	Ch=0.36	40	40

b.評価結果

単位：MPa

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
取付部 すみ肉溶接	YS309Mo	せん断	$\sigma_w = 2$	$f_s = 53$

許容応力以下である。



(16) 吸着塔ユニット 1 ～ 4

a.条件

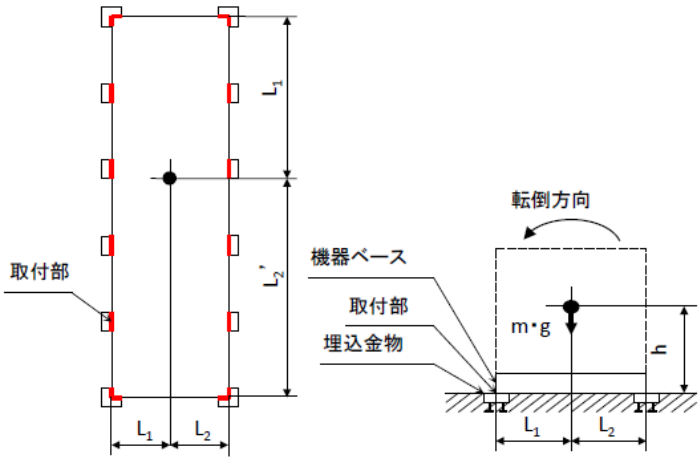
機器名称	耐震設計上の 重要度区分	据付場所及び床面高さ 設計 GL (m)	水平方向設計震度	最高使用温度 (℃)	使用環境温度 (℃)
吸着塔ユニット1～4	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	Ch=0.36	40	40

b.評価結果

単位：MPa

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
取付部 すみ肉溶接	YS309Mo	引 張	$\sigma_w = 19$	$f_t = 69$

許容応力以下である。



(17) 配管ユニット

a. 設計条件

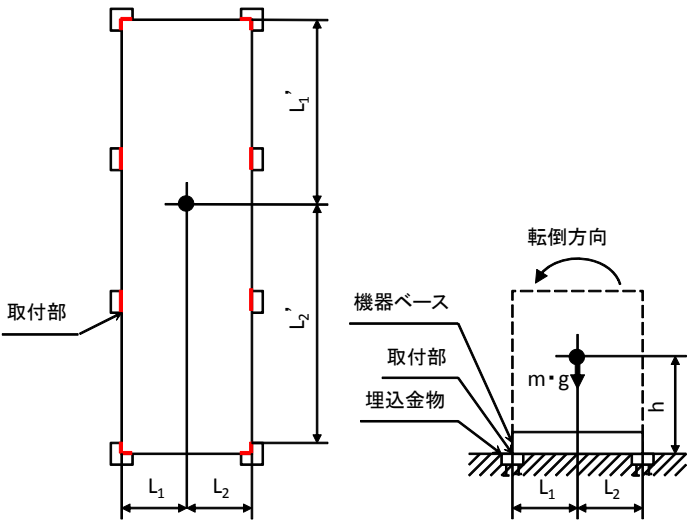
機器名称	耐震設計上の 重要度区分	据付場所及び床面高さ 設計 GL (m)	水平方向設計震度	最高使用温度 (℃)	使用環境温度 (℃)
配管ユニット	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	Ch=0.36	40	40

b. 評価結果

単位：MPa

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
取付部 すみ肉溶接	YS309Mo	引 張	$\sigma_w = 1$	$f_t = 69$

許容応力以下である。



(18) 高性能多核種除去設備用移送ポンプスキッド

a. 条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 GL (m)	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
高性能多核種除去設備 用移送ポンプスキッド	B	多核種移送設備建屋 GL ±0	$C_H = 0.36$	—	—	40	40

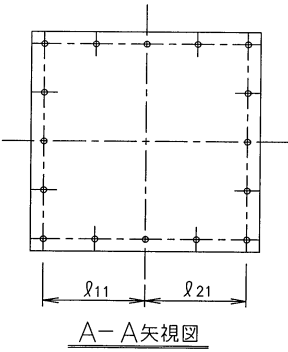
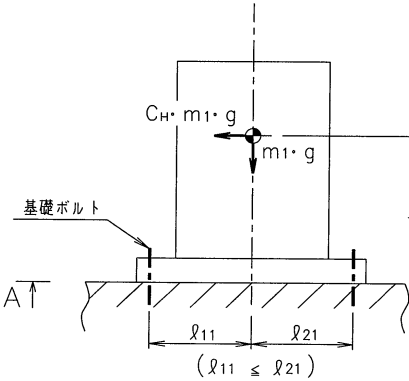
b. 評価結果

(単位：MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト ($i = 1$)	SS400	引張り	$\sigma_{b1} = -$	30 *
		せん断	$\tau_{b1} = 11$	38 *

すべて許容応力以下である。

注記 * : 後打ちアンカー耐力による。



高性能多核種除去設備の各機器について，参考評価として，耐震Ｓクラス相当の水平震度に対して，健全性が維持されることを確認した。評価結果を表１に示す。

表１ 高性能多核種除去設備 各機器に対する耐震評価結果（１／２）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
供給タンク	基礎ボルト	引張	0.8	36	176	MPa
		せん断	0.8	36	135	MPa
処理水タンク	基礎ボルト	引張	0.8	36	176	MPa
		せん断	0.8	36	135	MPa
サンプルタンク	本体	転倒	0.8	6.7×10^4	7.1×10^4	kN・m
前処理フィルタ１	取付ボルト	引張	0.8	37	452	MPa
		せん断	0.8	18	348	MPa
前処理フィルタ２～４	取付ボルト	引張	0.8	29	452	MPa
		せん断	0.8	17	348	MPa
多核種吸着塔１～２０ (UNS S31803)	取付ボルト	引張	0.8	123	452	MPa
		せん断	0.8	111	348	MPa
多核種吸着塔１～２０ (UNS S32205)	取付ボルト	引張	0.8	123	452	MPa
		せん断	0.8	111	348	MPa
多核種吸着塔１～２０ (UNS S32750)	取付ボルト	引張	0.8	123	452	MPa
		せん断	0.8	111	348	MPa
多核種吸着塔１～２０ (SUS316L)	取付ボルト	引張	0.8	139	452	MPa
		せん断	0.8	111	348	MPa
供給ポンプ， 昇圧ポンプ１～４	取付ボルト	引張	0.8	2	452	MPa
		せん断	0.8	5	348	MPa
処理水移送ポンプ	基礎ボルト	引張	0.8	3	183	MPa
		せん断	0.8	5	141	MPa

表 1 高性能多核種除去設備 各機器に対する耐震評価結果（2 / 2）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
高性能多核種除去設備 用移送ポンプ	取付ボルト	引張	0.8	2	153	MPa
		せん断	0.8	3	118	MPa
	ポンプ取付 ボルト	引張	0.8	9	153	MPa
		せん断	0.8	2	118	MPa
	原動機取付 ボルト	引張	0.8	3	153	MPa
		せん断	0.8	3	118	MPa
前処理フィルタ ユニット A, B	取付部 すみ肉溶接	せん断	0.8	33	53	MPa
昇圧ポンプユニット 1～4	取付部 すみ肉溶接	せん断	0.8	5	53	MPa
吸着塔ユニット 1～4	取付部 すみ肉溶接	引張	0.8	52	69	MPa
配管ユニット	取付部 すみ肉溶接	引張	0.8	3	69	MPa
高性能多核種除去設備 用移送ポンプスキッド	基礎ボルト	引張	0.8	—	30	MPa
		せん断	0.8	25	38	MPa

以上

付録1. 平底たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類 B クラス）
の耐震性についての計算書作成の基本方針

1. 一般事項

本基本方針は、平底たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1 適用基準

本基本方針における計算方法は、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 62 年 8 月）に準拠する。

1.2 計算条件

- (1) 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は容器に対して水平方向から作用するものとする。
- (3) 容器は胴下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで、基礎については剛となるように設計する。
- (4) 胴をはりと考え、変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。

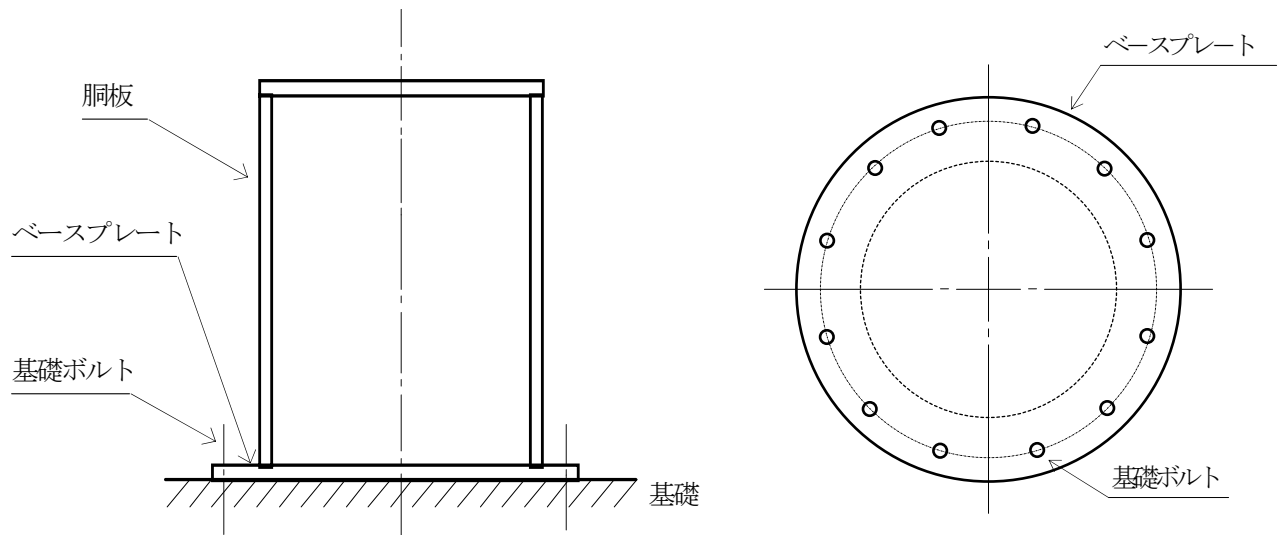


図1-1 概 要 図

1.3 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A	胴の軸断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _e	胴の有効せん断断面積	mm ²
C _c	基礎ボルト計算における係数	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _t	基礎ボルト計算における係数	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D _{b i}	ベースプレートの内径	mm
D _{b o}	ベースプレートの外径	mm
D _c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D _i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F [*]	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F _c	基礎に作用する圧縮力	N
F _t	基礎ボルトに作用する引張力	N
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
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm ⁴
K _H	水平方向ばね定数	N/m
K _V	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
ℓ ₁ , ℓ ₂	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離 (図2-2に示す距離)	mm
ℓ _g	基礎から容器重心までの距離	mm
M _s	胴に作用する転倒モーメント	N・mm
m _o	容器の運転時質量	kg
m _e	容器の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S _a	胴の許容応力	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
z	基礎ボルト計算における係数	—
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
η	座屈応力に対する安全率	—
π	円周率	—
ρ'	液体の比重量（＝比重 $\times 10^{-6}$ ）	kg/mm ³
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (圧縮側)	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (引張側)	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (引張側)	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	静水頭により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
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応力	MPa
σ_{x4}	胴の水平方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和 (引張側)	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

注：「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 J S M E S N C 1－2005（2007年追補版含む。））（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

2. 計算方法

2.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

本容器は、1.2項より図2-1に示すような下端固定の1質点系振動モデルとして考える。

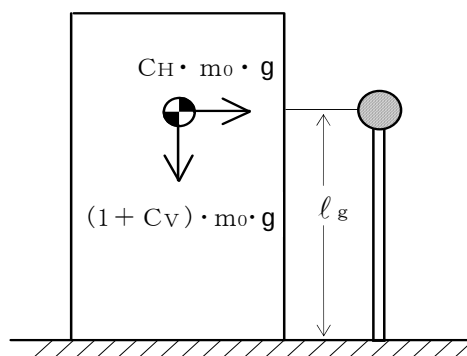


図2-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{\ell_g^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{\ell_g}{G \cdot A_e}} \quad (2.1.1)$$

ここで、胴の断面性能は次のように求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad (2.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad (2.1.3)$$

したがって、固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad (2.1.4)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_V は次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{\frac{\ell_g}{A \cdot E}} \quad (2.1.5)$$

ここで、胴の断面性能は次のように求める。

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad (2.1.6)$$

したがって、固有周期 T_V は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_e}{K_V}} \quad (2.1.7)$$

2.2 応力の計算方法

応力計算において、静的地震力を用いる場合は、絶対値和を用い、動的地震力を用いる場合は、SRSS法を用いることができる。

2.2.1 胴の応力

(1) 静水頭及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.2.1.3)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がベースプレートと接合する点には、胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{x 3} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.5)$$

(3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はベースプレート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{x 4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \ell_g}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.6)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.7)$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.8)$$

$$\sigma_{ot} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.9)$$

ここで、

【絶対値和】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x 1} - \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.10)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x 1} - \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 3}^2 + \sigma_{x 4}^2} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.11)$$

(b) 組合せ圧縮応力

σ_{xc} が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2} \cdots \cdots \cdots (2.2.1.12)$$

$$\sigma_{oc} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \} \cdots \cdots \cdots (2.2.1.13)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \cdots \cdots \cdots (2.2.1.14)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \cdots \cdots \cdots (2.2.1.15)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，SRSS法それぞれに対して，

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{ot}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{oc}) \} \cdots \cdots \cdots (2.2.1.16)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.2.2 基礎ボルトの応力

(1) 引張応力

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。(図2-2参照)
以下にその手順を示す。

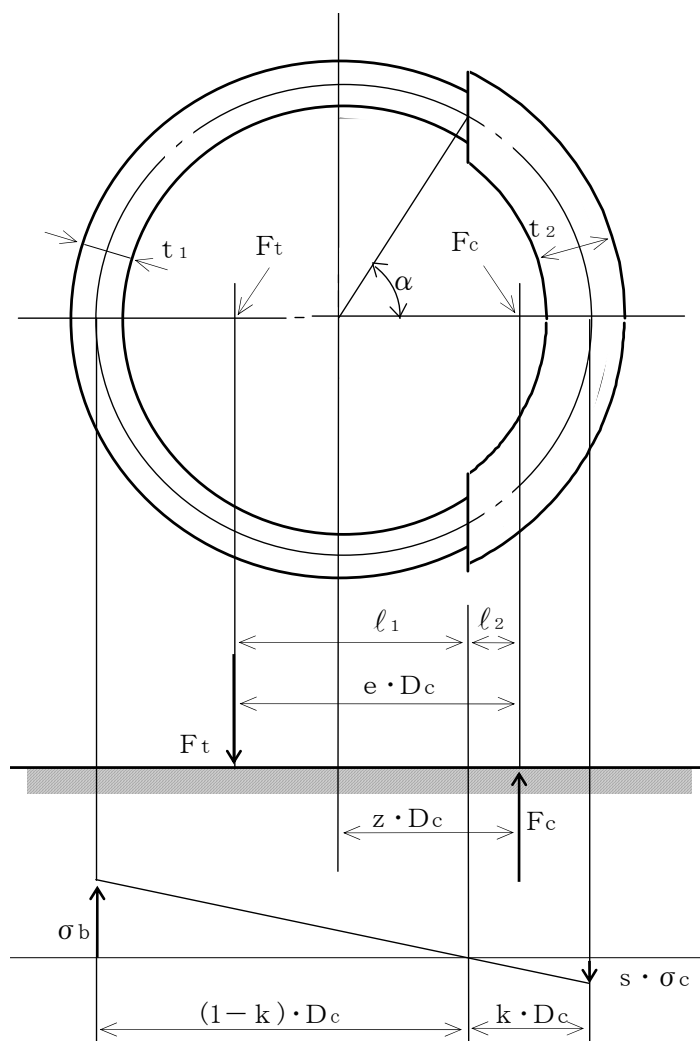


図2-2 基礎の荷重説明図

- a. σ_b 及び σ_c を仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \quad \dots\dots\dots (2.2.2.1)$$

- b. 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度 α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1 - 2 \cdot k) \quad \dots\dots\dots (2.2.2.2)$$

- c. 各定数 e , z , C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\} \quad \dots\dots\dots (2.2.2.3)$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left(\cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right) \quad \dots\dots\dots (2.2.2.4)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{ (\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (2.2.2.5)$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (2.2.2.6)$$

- d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

【絶対値和】

$$F_t = \frac{M_s - (1 - C_v) \cdot m_o \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c} \quad \dots\dots\dots (2.2.2.7)$$

$$F_c = F_t + (1 - C_v) \cdot m_o \cdot g \quad \dots\dots\dots (2.2.2.8)$$

【S R S S 法】

$$F_t = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_o \cdot g \cdot z \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} - \frac{z}{e} \cdot m_o \cdot g \quad \dots\dots (2.2.2.9)$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_o \cdot g \cdot (z - e) \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} + \left(1 - \frac{z}{e}\right) \cdot m_o \cdot g \quad \dots\dots\dots (2.2.2.10)$$

ここで,

$$M_s = C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \ell_g \quad \dots\dots\dots (2.2.2.11)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π に等しくなったときであり、
 (2.2.2.3) 式及び (2.2.2.4) 式において α を π に近づけた場合の値 $e = 0.75$ 及び $z = 0.25$ を (2.2.2.7) 式又は (2.2.2.9) 式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leq 0$ ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$ ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e. σ_b 及び σ_c を求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \quad \dots\dots\dots (2.2.2.12)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \quad \dots\dots\dots (2.2.2.13)$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \quad \dots\dots\dots (2.2.2.14)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \quad \dots\dots\dots (2.2.2.15)$$

σ_b 及び σ_c がa項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合の σ_b 及び σ_c を基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2) せん断応力

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (2.2.2.16)$$

3. 評価方法

3.1 固有周期の評価

2.1 項で求めた固有周期から、水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

3.2 応力の評価

3.2.1 胴の応力評価

- (1) 2.2.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。

応力の種類	許 容 応 力 S_a
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。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

- (2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。
（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (3.2.1.1)$$

ここで、 f_c は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \quad \dots\dots\dots (3.2.1.2)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (3.2.1.3)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c = \phi_1 \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (3.2.1.4)$$

ただし、 $\phi_1(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x} \right) \right\} \right] \quad \dots\dots\dots (3.2.1.5)$$

また、 f_b は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \quad \dots\dots\dots (3.2.1.6)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{9600 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_z \left(\frac{9600 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right]$$

$$\dots\dots\dots (3.2.1.7)$$

$$\frac{9600 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b = \phi_z \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (3.2.1.8)$$

ただし、 $\phi_z(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_z(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x} \right) \right\} \right]$$

$$\dots\dots\dots (3.2.1.9)$$

η は安全率で次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 \quad \dots\dots\dots (3.2.1.10)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \quad \dots\dots\dots (3.2.1.11)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1.5 \quad \dots\dots\dots (3.2.1.12)$$

3.2.2 基礎ボルトの応力評価

2.2.2 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots\dots\dots (3.2.2.1)$$

かつ,

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots\dots\dots (3.2.2.2)$$

ただし, f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	許容引張応力 f_{to}	許容せん断応力 f_{sb}
計 算 式	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

付録2 スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類
Bクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針

1. 一般事項

本基本方針は、スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1 適用基準

本基本方針における計算方法は、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 62 年 8 月）に準拠する。

1.2 計算条件

- (1) 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は容器に対して水平方向に作用するものとする。
- (3) また、参考評価として、基準地震動 S_s 相当の水平震度に対して健全性が維持されることを確認する。この場合の許容応力は耐震設計上の重要度分類Bクラスの値で評価する。
- (4) 容器はスカートで支持され、スカートは下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎又は架台に固定された固定端とする。ここで、基礎又は架台については剛となるように設計する。
- (5) 胴とスカートをはりと考え、変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。
- (6) 容器頂部に水平方向変位を拘束する構造物を設ける場合は、その部分をピン支持とする。
- (7) スカート部材において、マンホール等の開口部があつて補強をしていない場合は、欠損の影響を考慮する。

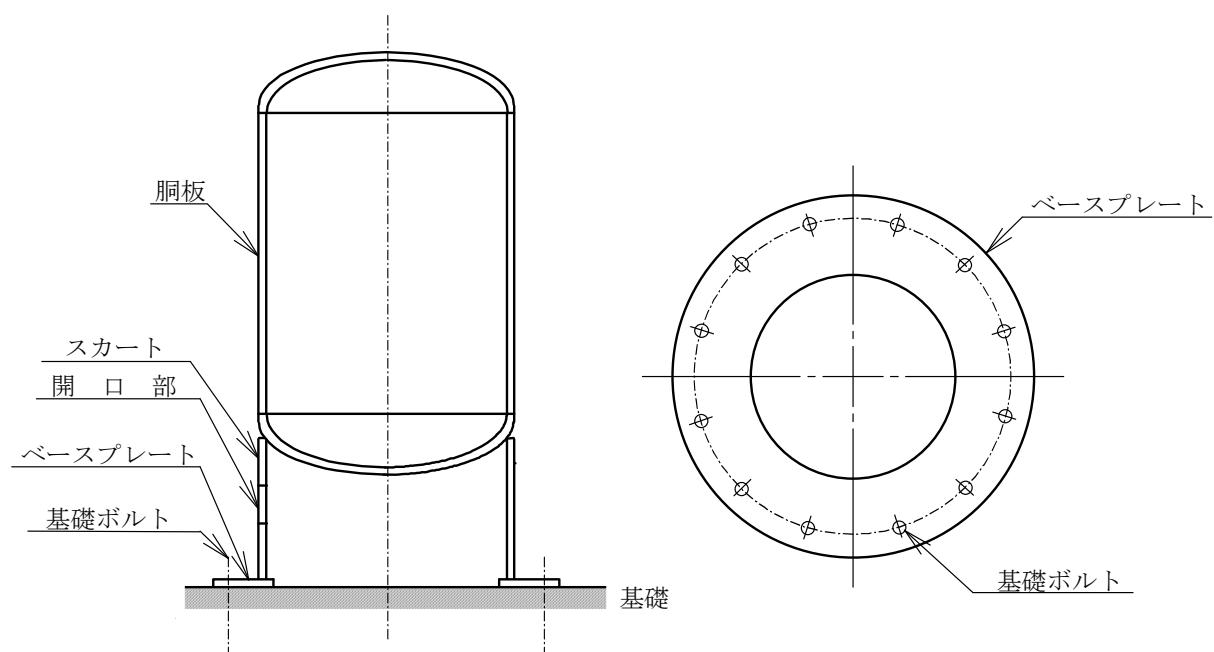


図1-1 概要図

1.3 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A	胴の軸断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _e	胴の有効せん断断面積	mm ²
A _s	スカートの軸断面積	mm ²
A _{s e}	スカートの有効せん断断面積	mm ²
C _c	基礎ボルト計算における係数	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _t	基礎ボルト計算における係数	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D _{b i}	ベースプレートの内径	mm
D _{b o}	ベースプレートの外径	mm
D _c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D _i	胴の内径	mm
D _j	スカートに設けられた各開口部の穴径 (j=1, 2, 3…j ₁)	mm
D _s	スカートの内径	mm
E	胴の縦弾性係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に定める値。又は、 ASME BPVCセクションⅡ Material Specifications PartD- Properties Subpart2 Physical Properties Tables Table TM-1~TM-5による	MPa
E _s	スカートの縦弾性係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に定める値。又は、 ASME BPVCセクションⅡ Material Specifications PartD- Properties Subpart2 Physical Properties Tables Table TM-1~TM-5による	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F _c	基礎に作用する圧縮力	N
F _t	基礎ボルトに作用する引張力	N
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
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _t	スカートの許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	スカートのせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
I_s	スカートの断面二次モーメント	mm^4
j_1	スカートに設けられた開口部の穴の個数	—
K_H	水平方向のばね定数	N/m
K_v	鉛直方向のばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
ℓ	胴のスカート接合点から重心までの距離	mm
ℓ_1, ℓ_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離	mm
ℓ_r	容器の重心から上端支持部までの距離	mm
ℓ_s	スカートの長さ	mm
M_s	スカートに作用する転倒モーメント	N・mm
M_{s1}	スカートの上端部に作用する転倒モーメント	N・mm
M_{s2}	スカートの下端部に作用する転倒モーメント	N・mm
m_o	容器の運転時質量	kg
m_e	容器のスカート接合部から上部の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	重心に作用する任意の水平力	N
Q'	Qにより上端の支持部に作用する反力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値。又は、ASME BPVCセクションⅡMaterial Specifications PartD-Properties Subpart1 -Stress Tables Table 1Aによる。	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値。 又は、ASME BPVCセクションⅡMaterial Specifications PartD-Properties Subpart1 -Stress Tables Table Uによる。	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値。 又は、ASME BPVCセクションⅡMaterial Specifications PartD-Properties Subpart1 -Stress Tables Table Y-1による。	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_H	水平方向固有周期	s
T_v	鉛直方向固有周期	s

記 号	記 号 の 説 明	単 位
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
t_s	スカートの厚さ	mm
Y	スカート開口部の水平断面における最大円周長さ	mm
z	基礎ボルト計算における係数	—
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
δ	荷重 Q による容器の上端での変位量	mm
δ'	荷重 Q' による容器の上端での変位量	mm
δ_o	荷重 Q 、 Q' による容器の重心での変位量	mm
η	座屈応力に対する安全率	—
π	円周率	—
ρ'	液体の密度（＝比重 $\times 10^{-6}$ ）	kg/mm ³
σ_o	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{oc}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{ot}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ_s	スカートの組合せ応力	MPa
σ_{s1}	スカートの運転時質量による軸方向応力	MPa
σ_{s2}	スカートの曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{s3}	スカートの鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	静水頭又は内圧により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の運転時質量による軸方向引張応力	MPa
σ_{x3}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x4}	地震により胴に生じる軸方向応力	MPa
σ_{x5}	胴の鉛直方向地震による軸方向引張応力	MPa
σ_{x6}	胴の鉛直方向地震による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_s	地震によりスカートに生じるせん断応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC-1-2005）（日本機械学会 2005年9月及び2007年9月）をいう。

「ASME BPVC セクションⅡ」とは、

The American Society of Mechanical Engineers「Boiler and Pressure Vessels Code」Section Ⅱ；Material Specifications（米国機械学会 セクションⅡ 材料規格）をいう。

2. 計算方法

2.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

本容器は、1.2項より図2-1に示す下端固定の1質点系振動モデルあるいは下端固定上端支持の1質点系振動モデルとして考える。

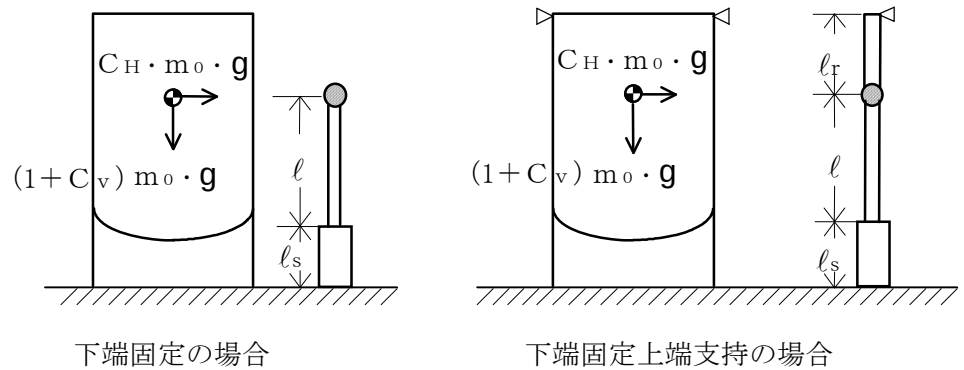


図2-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

a. 下端固定の場合

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = 1000 \left\{ \frac{\ell^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{1}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot (3 \cdot \ell^2 \cdot \ell_s + 3 \cdot \ell \cdot \ell_s^2 + \ell_s^3) + \frac{\ell}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \quad (2.1.1)$$

ここで、スカートの開口部（図 2-2 参照）による影響を考慮し、胴及びスカートの断面性能は次のように求める。

胴の断面性能は

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad (2.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad (2.1.3)$$

スカートの断面性能は

$$I_s = \frac{\pi}{8} \cdot (D_s + t_s)^3 \cdot t_s - \frac{1}{4} \cdot (D_s + t_s)^2 \cdot t_s \cdot Y \quad (2.1.4)$$

スカート開口部の水平断面における最大円周長さは、（図 2-2 及び図 2-3 参照）

$$Y = \sum_{j=1}^{j-1} (D_s + t_s) \cdot \sin^{-1} \left(\frac{D_j}{D_s + t_s} \right) \quad \dots\dots\dots (2.1.5)$$

$$A_{se} = \frac{2}{3} \cdot \{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s \quad \dots\dots\dots (2.1.6)$$

したがって、固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \dots\dots\dots (2.1.7)$$

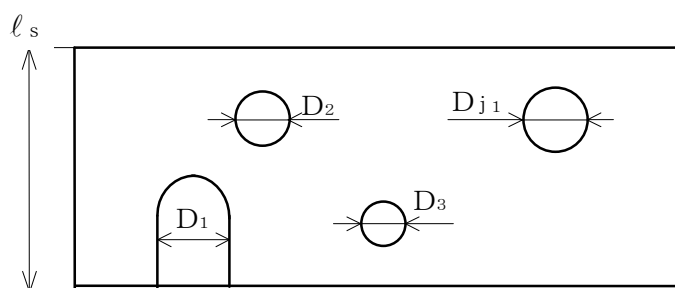


図2-2 スカート開口部の形状

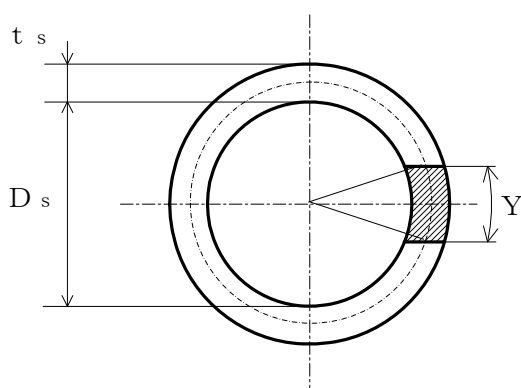


図2-3 スカート開口部の水平断面における最大円周長さ

b. 下端固定上端支持の場合

重心の位置に水平方向の荷重 Q が作用したときに上端の支持部に生じる反力 Q' は、図2-4に示すように荷重 Q 及び反力 Q' による上端の変位量 δ と δ' が等しいとして求める。

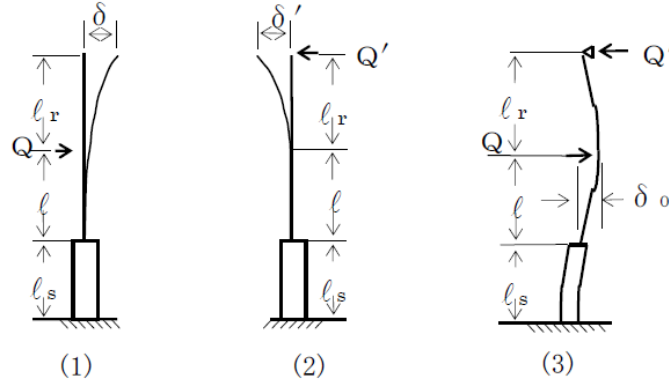


図2-4 下端固定上端支持の場合の変形モデル

図2-4の(1)の場合

$$\begin{aligned} \delta = & \frac{Q \cdot \ell^2}{6 \cdot E \cdot I} \cdot (2 \cdot \ell + 3 \cdot \ell_r) + \frac{Q}{6 \cdot E_s \cdot I_s} \\ & \cdot \{ 2 \cdot \ell_s^3 + 3 \cdot \ell_s^2 \cdot \ell_r + 6 \cdot \ell_s \cdot \ell \cdot (\ell_s + \ell + \ell_r) \} \\ & + \frac{Q \cdot \ell}{G \cdot A_e} + \frac{Q \cdot \ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \quad \dots\dots\dots (2.1.8) \end{aligned}$$

図2-4の(2)の場合

$$\begin{aligned} \delta' = & \frac{Q' \cdot (\ell + \ell_r)^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{Q'}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \\ & \cdot \{ 3 \cdot (\ell + \ell_r)^2 \cdot \ell_s + 3 \cdot (\ell + \ell_r) \cdot \ell_s^2 + \ell_s^3 \} \\ & + \frac{Q' \cdot (\ell + \ell_r)}{G \cdot A_e} + \frac{Q' \cdot \ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \quad \dots\dots\dots (2.1.9) \end{aligned}$$

(2.1.8) 式と (2.1.9) 式を等しく置くことにより、

$$\begin{aligned} Q' = & Q \cdot \left\{ \frac{\ell^2 \cdot (2 \cdot \ell + 3 \cdot \ell_r)}{6 \cdot E \cdot I} \right. \\ & + \frac{2 \cdot \ell_s^3 + 3 \cdot \ell_s^2 \cdot \ell_r + 6 \cdot \ell_s \cdot \ell \cdot (\ell_s + \ell + \ell_r)}{6 \cdot E_s \cdot I_s} \\ & + \frac{\ell}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \left. \right\} \Bigg/ \left\{ \frac{(\ell + \ell_r)^3}{3 \cdot E \cdot I} \right. \\ & + \frac{3 \cdot (\ell + \ell_r)^2 \cdot \ell_s + 3 \cdot (\ell + \ell_r) \cdot \ell_s^2 + \ell_s^3}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \\ & + \frac{\ell + \ell_r}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \left. \right\} \quad \dots\dots\dots (2.1.10) \end{aligned}$$

したがって、図2-4の(3)に示す重心位置での変位量 δ_o は図2-4の(1)及び(2)の

重心位置での変位量の重ね合せから求めることができ、ばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{Q}{\delta_o} = 1000 \left/ \left\{ \frac{\ell^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{3 \cdot \ell^2 \cdot \ell_s + 3 \cdot \ell \cdot \ell_s^2 + \ell_s^3}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \right. \right. \\ \left. + \left(1 - \frac{Q'}{Q} \right) \cdot \left(\frac{\ell}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \right) - \frac{Q'}{Q} \cdot \left(\frac{2 \cdot \ell^3 + 3 \cdot \ell^2 \cdot \ell_r}{6 \cdot E \cdot I} \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{3 \cdot \ell_s^2 \cdot \ell + \ell_s^3 + 3 \cdot \ell_s \cdot \ell^2 + 3 \cdot \ell_s \cdot \ell \cdot \ell_r + \frac{3}{2} \cdot \ell_s^2 \cdot \ell_r}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots (2.1.11)$$

固有周期は (2.1.7) 式により求める。

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_v は、次式で求める。

$$K_v = 1000 \left/ \left(\frac{\ell}{E \cdot A} + \frac{\ell_s}{E_s \cdot A_s} \right) \right. \quad \dots\dots\dots (2.1.12)$$

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots\dots\dots (2.1.13)$$

$$A_s = \{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s \quad \dots\dots\dots (2.1.14)$$

したがって、固有周期 T_v は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_o}{K_v}} \quad \dots\dots\dots (2.1.15)$$

2.2 応力の計算方法

応力計算において、静的地震力を用いる場合は絶対値和を用い、動的地震力を用いる場合は、S R S S法を用いることができる。

2.2.1 胴の応力

(1) 静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.2.1.3)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.2.1.5)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.6)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がスカートと接合する点を境界として、上部には胴自身の質量による圧縮応力が、下部には下部の胴自身の質量と内容物の質量による引張応力が生じる。

下部の胴について

$$\sigma_{x 2} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.7)$$

$$\sigma_{x 5} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.8)$$

上部の胴について

$$\sigma_{x 3} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.9)$$

$$\sigma_{x 6} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.10)$$

(3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はスカート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。
この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

a. 下端固定の場合

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \ell}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.11)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.12)$$

b. 下端固定上端支持の場合

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \left| \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell + \ell_r) \right|}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.13)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q} \right)}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.14)$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_\phi = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (2.2.1.15)$$

$$\sigma_{ot} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (2.2.1.16)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} \dots\dots\dots (2.2.1.17)$$

【S R S S 法】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x5}^2} \dots\dots\dots (2.2.1.18)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_\phi = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (2.2.1.19)$$

σ_{xc} が正の値（圧縮側）のとき、次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{oc} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (2.2.1.20)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \quad \cdots \cdots \quad (2.2.1.21)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x6}^2} \quad \cdots \cdots \quad (2.2.1.22)$$

したがって、胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は、絶対値和、SRSS法それぞれに対して、

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{ot}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{oc}) \} \quad \cdots \cdots \quad (2.2.1.23)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.2.2 スカートの応力

(1) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

スカート底部に生じる運転時質量及び鉛直方向地震による圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s1} = \frac{m_o \cdot g}{\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s} \quad \cdots \cdots \quad (2.2.2.1)$$

$$\sigma_{s3} = \frac{m_o \cdot g \cdot C_v}{\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s} \quad \cdots \cdots \quad (2.2.2.2)$$

(2) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力によりスカートには曲げモーメントが作用する。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

a. 下端固定の場合

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s) \cdot t_s \cdot \left\{ \frac{\pi}{4} \cdot (D_s + t_s) - \frac{Y}{2} \right\}} \quad \cdots \cdots \quad (2.2.2.3)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g}{\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s} \quad \cdots \cdots \quad (2.2.2.4)$$

ここで,

$$M_s = C_H \cdot m_o \cdot g \cdot (\ell_s + \ell) \quad \cdots \cdots \quad (2.2.2.5)$$

b. 下端固定上端支持の場合

軸方向応力は (2.2.2.3) 式で表されるが、曲げモーメント M_s は次の M_{s1} 又は M_{s2} のいずれか大きい方の値とする。

$$M_{s1} = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell + \ell_r) \right| \dots\dots\dots (2.2.2.6)$$

$$M_{s2} = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell_s + \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell_s + \ell + \ell_r) \right| \dots\dots\dots (2.2.2.7)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (1 - \frac{Q'}{Q})}{\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s} \dots\dots\dots (2.2.2.8)$$

(3) 組合せ応力

組合せ応力は次式で求める。

【絶対値和】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \dots\dots\dots (2.2.2.9)$$

【SRSS法】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s3}^2})^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \dots\dots\dots (2.2.2.10)$$

2.2.3 基礎ボルトの応力

(1) 引張応力

基礎に作用する転倒モーメント M_s は下端固定の場合、(2.2.2.5)式を、下端固定上端支持の場合は(2.2.2.6)式又は(2.2.2.7)式を用いる。

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。(図2-5参照)

以下にその手順を示す。

- a. σ_b 及び σ_c を仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \quad \dots\dots\dots (2.2.3.1)$$

- b. 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度 α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1} (1 - 2 \cdot k) \quad \dots\dots\dots (2.2.3.2)$$

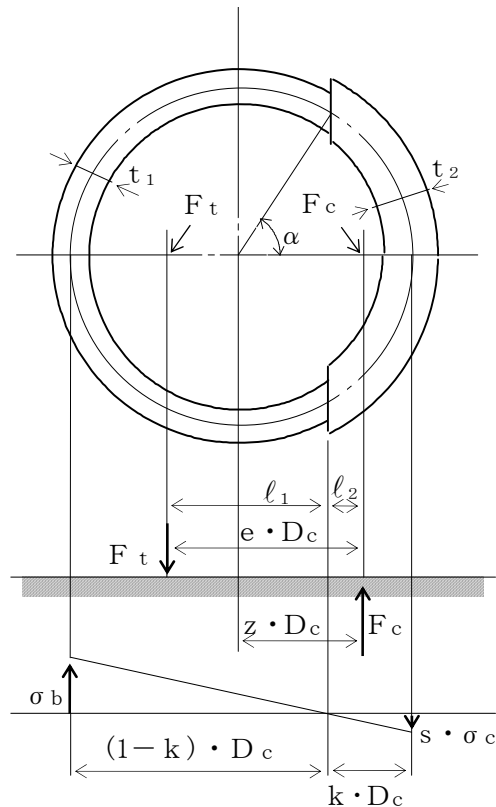


図2-5 基礎の荷重説明図

c. 各定数 e , z , C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\} \dots\dots\dots (2.2.3.3)$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left(\cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right) \dots\dots\dots (2.2.3.4)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{ (\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha} \dots\dots\dots (2.2.3.5)$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha} \dots\dots\dots (2.2.3.6)$$

d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

【絶対値和】

$$F_t = \frac{M_s - (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c} \dots\dots\dots (2.2.3.7)$$

$$F_c = F_t + (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (2.2.3.8)$$

【S R S S 法】

$$F_t = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} - \frac{z}{e} \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (2.2.3.9)$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot (z - e) \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} + (1 - \frac{z}{e}) \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (2.2.3.10)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π に等しくなったときであり、
 (2.2.3.3) 式及び (2.2.3.4) 式において α を π に近づけた場合の値 $e = 0.75$ 及び $z = 0.25$ を (2.2.3.7) 式又は (2.2.3.9) 式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leq 0$ ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$ ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e. σ_b 及び σ_c を求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \dots\dots\dots (2.2.3.11)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \dots\dots\dots (2.2.3.12)$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \dots\dots\dots (2.2.3.13)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \dots\dots\dots (2.2.3.14)$$

σ_b 及び σ_c が a 項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合の σ_b 及び σ_c を基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2) せん断応力

a. 下端固定の場合

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (2.2.3.15)$$

b. 下端固定上端支持の場合

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g \cdot (1 - \frac{Q'}{Q})}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (2.2.3.16)$$

3. 評価方法

3.1 固有周期の評価

2.1 項で求めた固有周期から「IV-2-＊ 申請設備に係る耐震設計の基本方針」に基づき，水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

3.2 応力の評価

3.2.1 胴の応力評価

2.2.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。

応力の種類	許 容 応 力 S_a
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つては許容引張応力 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。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

3.2.2 スカートの応力評価

(1) 2.2.2項で求めたスカートの組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。

$$f_t = \frac{F}{1.5} \cdot 1.5 \quad \dots\dots\dots (3.2.2.1)$$

(2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。
（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (3.2.2.2)$$

ここで， f_c は次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \quad \dots\dots\dots (3.2.2.3)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (3.2.2.4)$$

$$\frac{8000 \cdot \mathbf{g}}{\mathbf{F}} \leq \frac{\mathbf{D}_s + 2 \cdot \mathbf{t}_s}{2 \cdot \mathbf{t}_s} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c = \phi_1 \left(\frac{\mathbf{D}_s + 2 \cdot \mathbf{t}_s}{2 \cdot \mathbf{t}_s} \right) \dots\dots\dots (3.2.2.5)$$

ただし、 $\phi_1(\mathbf{x})$ は次の関数とする。

$$\phi_1(\mathbf{x}) = 0.6 \cdot \frac{\mathbf{E}_s}{\mathbf{x}} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{\mathbf{x}} \right) \right\} \right] \dots\dots\dots (3.2.2.6)$$

また、 f_b は次による。

$$\frac{\mathbf{D}_s + 2 \cdot \mathbf{t}_s}{2 \cdot \mathbf{t}_s} \leq \frac{1200 \cdot \mathbf{g}}{\mathbf{F}} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = \mathbf{F} \dots\dots\dots (3.2.2.7)$$

$$\frac{1200 \cdot \mathbf{g}}{\mathbf{F}} < \frac{\mathbf{D}_s + 2 \cdot \mathbf{t}_s}{2 \cdot \mathbf{t}_s} < \frac{9600 \cdot \mathbf{g}}{\mathbf{F}} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = \mathbf{F} \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot \mathbf{g}} \cdot \left\{ \mathbf{F} - \phi_2 \left(\frac{9600 \cdot \mathbf{g}}{\mathbf{F}} \right) \right\} \right. \\ \left. \cdot \left(\frac{\mathbf{D}_s + 2 \cdot \mathbf{t}_s}{2 \cdot \mathbf{t}_s} - \frac{1200 \cdot \mathbf{g}}{\mathbf{F}} \right) \right] \dots\dots\dots (3.2.2.8)$$

$$\frac{9600 \cdot \mathbf{g}}{\mathbf{F}} \leq \frac{\mathbf{D}_s + 2 \cdot \mathbf{t}_s}{2 \cdot \mathbf{t}_s} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b = \phi_2 \left(\frac{\mathbf{D}_s + 2 \cdot \mathbf{t}_s}{2 \cdot \mathbf{t}_s} \right) \dots\dots\dots (3.2.2.9)$$

ただし、 $\phi_2(\mathbf{x})$ は次の関数とする。

$$\phi_2(\mathbf{x}) = 0.6 \cdot \frac{\mathbf{E}_s}{\mathbf{x}} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{\mathbf{x}} \right) \right\} \right] \dots\dots\dots (3.2.2.10)$$

η は安全率で次による。

$$\frac{\mathbf{D}_s + 2 \cdot \mathbf{t}_s}{2 \cdot \mathbf{t}_s} \leq \frac{1200 \cdot \mathbf{g}}{\mathbf{F}} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 \dots\dots\dots (3.2.2.11)$$

$$\frac{1200 \cdot \mathbf{g}}{\mathbf{F}} < \frac{\mathbf{D}_s + 2 \cdot \mathbf{t}_s}{2 \cdot \mathbf{t}_s} < \frac{8000 \cdot \mathbf{g}}{\mathbf{F}} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 + \frac{0.5 \cdot \mathbf{F}}{6800 \cdot \mathbf{g}} \cdot \left(\frac{\mathbf{D}_s + 2 \cdot \mathbf{t}_s}{2 \cdot \mathbf{t}_s} - \frac{1200 \cdot \mathbf{g}}{\mathbf{F}} \right) \dots\dots\dots (3.2.2.12)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1.5 \quad \dots\dots\dots (3.2.2.13)$$

3.2.3 基礎ボルトの応力評価

2.2.3項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots\dots\dots (3.2.3.1)$$

かつ,

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots\dots\dots (3.2.3.2)$$

ただし, f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	許容引張応力 f_{to}	許容せん断応力 f_{sb}
計 算 式	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

付録3. 多核種吸着塔（耐震設計上の重要度分類Bクラス）
の耐震性についての計算書作成の基本方針

1. 一般事項

本基本方針は、多核種吸着塔（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1 適用基準

本基本方針における計算方法は、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和62年8月）に準拠する。

1.2 計算条件

- (1) 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は容器に対して水平方向から作用するものとする。
- (3) 容器本体は下部プレートに溶接され一体構造となっている。下部プレートは、取付ボルトで基礎に固定された止め具にて固定され、下部プレートに溶接された容器、遮へい体を固定している。ここで、基礎については、剛となるように設計する。
- (4) 固有周期は、下部プレートと遮へい体を除いた容器本体のものを求め、胴をはりと考え、変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。

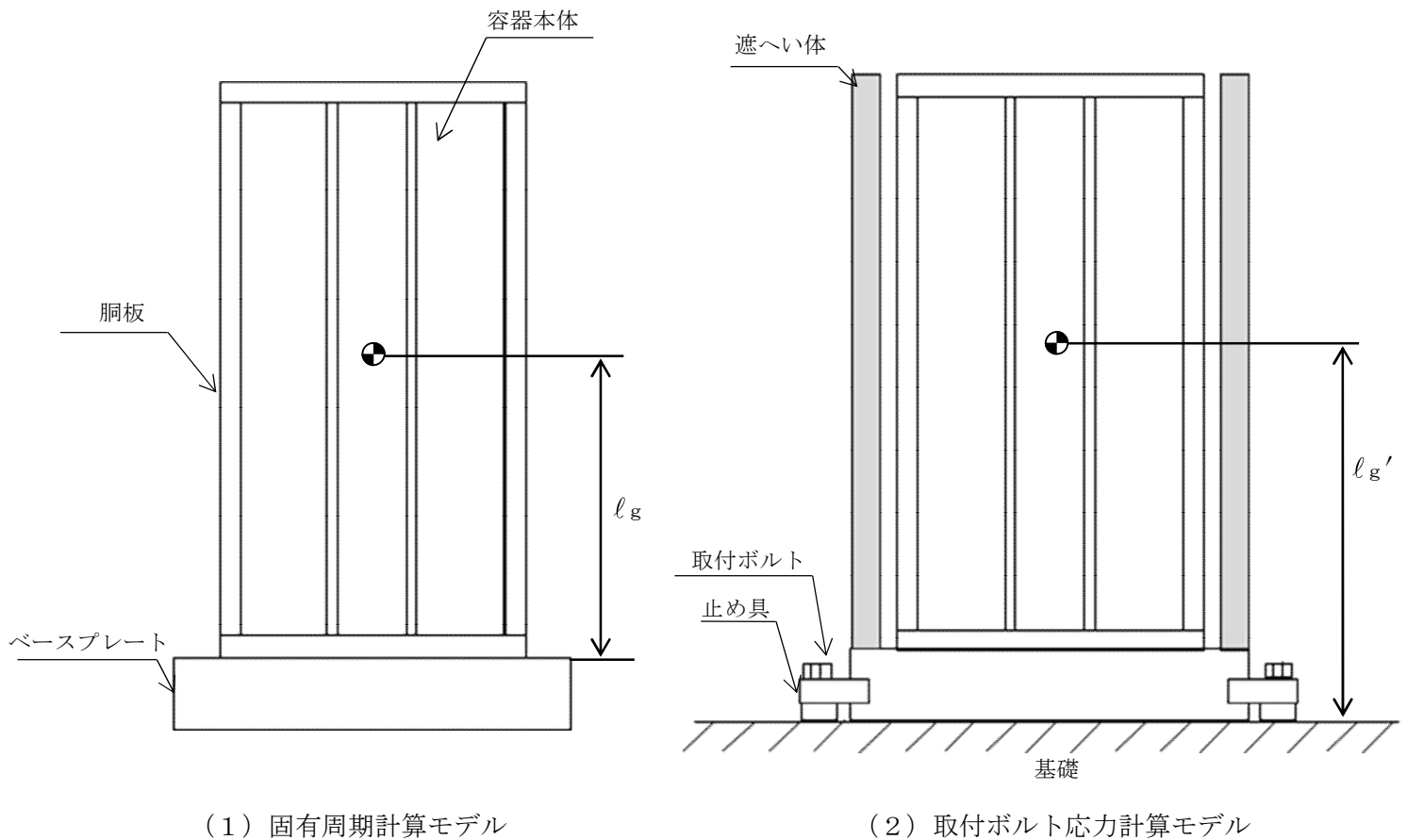


図1-1 概 要 図

1.3 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A	胴の軸断面積	mm ²
A _b	取付ボルトの軸断面積	mm ²
A _e	胴の有効せん断断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D _{b o}	ベースプレートの外径	mm
D _c	取付ボルトのピッチ円直径	mm
D _{i o}	外胴の内径	mm
D _{i i}	内胴の内径	mm
E	外胴及び内胴の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	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
f _{s b}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
I	胴の断面二次モーメント	mm ⁴
K _H	水平方向ばね定数	N/m
K _V	鉛直方向ばね定数	N/m
ℓ ₁	転倒支点から重心までの距離 (図2-2に示す距離)	mm
ℓ _g	下部プレートから容器重心までの距離	mm
ℓ _g '	基礎から容器重心までの距離	mm
M _s	基礎に作用する転倒モーメント	N・mm
m _o	容器の運転時質量	kg
M ₁	地震による転倒モーメント	N・mm
M ₂	自重による復元モーメント	N・mm
m _e	容器の空質量	kg
n	取付ボルトの本数	—
n _s	せん断応力を受ける取付ボルトの本数	—
n _t	引張応力を受けるボルト本数	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S _a	胴の許容応力	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
s	取付ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t_{io}	外胴の厚さ	mm
t_{ii}	内胴の厚さ	mm
η	座屈応力に対する安全率	—
π	円周率	—
ρ'	液体の密度（＝比重 $\times 10^{-6}$ ）	kg/mm ³
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (圧縮側)	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (引張側)	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (引張側)	MPa
σ_b	取付ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
P_r	内圧 (最高使用圧力)	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	内圧により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
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応力	MPa
σ_{x4}	胴の水平方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和 (引張側)	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

注：「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 J S M E S N C 1－2005（2007年追補版含む。））（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

2. 計算方法

2.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

本容器は、1.2項より図2-1に示すような下端固定の1質点系振動モデルとして考える。

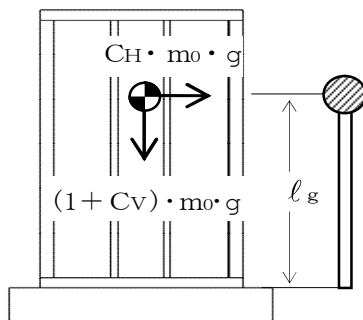


図2-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{l_g^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{l_g}{G \cdot A_e}} \quad (2.1.1)$$

ここで、胴の断面性能は次のように求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_{io} + t_{io})^3 \cdot t_{io} + \frac{\pi}{8} \cdot (D_{ii} + t_{ii})^3 \cdot t_{ii} \quad (2.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_{io} + t_{io}) \cdot t_{io} + \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_{ii} + t_{ii}) \cdot t_{ii} \quad (2.1.3)$$

したがって、固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad (2.1.4)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_V は次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{\frac{l_g}{A \cdot E}} \quad (2.1.5)$$

ここで、胴の断面性能は次のように求める。

$$A = \pi \cdot (D_{io} + t_{io}) \cdot t_{io} + \pi \cdot (D_{ii} + t_{ii}) \cdot t_{ii} \quad (2.1.6)$$

したがって、固有周期 T_V は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_e}{K_V}} \quad (2.1.7)$$

2.2 応力の計算方法

応力計算において、静的地震力を用いる場合は、絶対値和を用い、動的地震力を用いる場合は、SRSS法を用いることができる。

2.2.1 外胴の応力

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_{io} + 1.2 \cdot t_{io})}{2 \cdot t_{io}} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.2.1.2)$$

$$\sigma_{x1} = \frac{P_r \cdot (D_{io} + 1.2 \cdot t_{io})}{4 \cdot t_{io}} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.3)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がベースプレートと接合する点には、胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{x2} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_{io} + t_{io}) \cdot t_{io}} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{x3} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_{io} + t_{io}) \cdot t_{io}} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.5)$$

(3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はベースプレート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \ell_g}{\pi \cdot (D_{io} + t_{io})^2 \cdot t_{io}} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.6)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_{io} + t_{io}) \cdot t_{io}} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.7)$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.8)$$

$$\sigma_{ot} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.9)$$

ここで、

【絶対値和】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} - \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.10)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} - \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.11)$$

(b) 組合せ圧縮応力

σ_{xc} が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2} \cdots \cdots \cdots (2.2.1.12)$$

$$\sigma_{oc} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \cdots \cdots \cdots (2.2.1.13)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \cdots \cdots \cdots (2.2.1.14)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \cdots \cdots \cdots (2.2.1.15)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，SRSS法それぞれに対して，

$$\sigma_o = \text{Max} \left\{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{ot}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{oc}) \right\} \cdots \cdots \cdots (2.2.1.16)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.2.2 取付ボルトの応力

(1) 引張応力

転倒モーメントが作用した場合に生じる取付ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、容器の地震による転倒モーメントより求める。以下にその手順を示す。

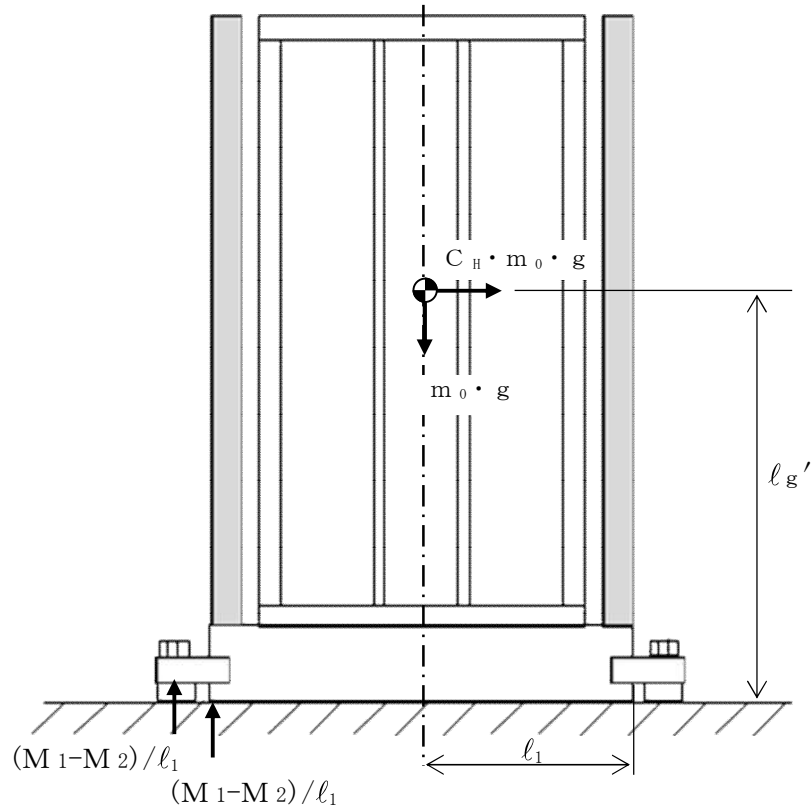


図2-2 基礎の荷重説明図

- a. 地震による容器の転倒モーメントを求める。

$$M_1 = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell_{g'} \quad \dots \quad (2.2.2.1)$$

- b. 自重による容器の復元モーメントを求める。

$$M_2 = m_0 \cdot g \cdot \ell_1 \quad \dots \quad (2.2.2.2)$$

- c. 取付ボルトに作用する引張応力を求める。

容器が転倒する際の荷重は止め具を伝わり取付ボルトに作用する。ここで、容器の転倒支点は下部プレートの端となるので、取付ボルト一本に作用する引張応力は以下となる。

$$\sigma_b = (M_1 - M_2) / (\ell_1 \cdot n_t \cdot A_b) \quad \dots \quad (2.2.2.3)$$

(2) せん断応力

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n_s \cdot A_b} \quad \dots \quad (2.2.2.4)$$

3. 評価方法

3.1 固有周期の評価

2.1 項で求めた固有周期から、水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

3.2 応力の評価

3.2.1 胴の応力評価

2.2.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。

応力の種類	許 容 応 力 S_a
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。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

3.2.2 取付ボルトの応力評価

2.2.2 項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots\dots\dots (3.2.2.1)$$

かつ、

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots\dots\dots (3.2.2.2)$$

ただし、 f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	許容引張応力 f_{to}	許容せん断応力 f_{sb}
計 算 式	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

付録 4 横軸ポンプ（耐震設計上の重要度分類 B クラス）の耐震性について
の計算書作成の基本方針

1. 一般事項

本基本方針は、横軸ポンプ（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算方法を示す。なお、本基本方針は横軸ブロワにも適用する。（その場合は、ポンプをブロワと読み替える。）

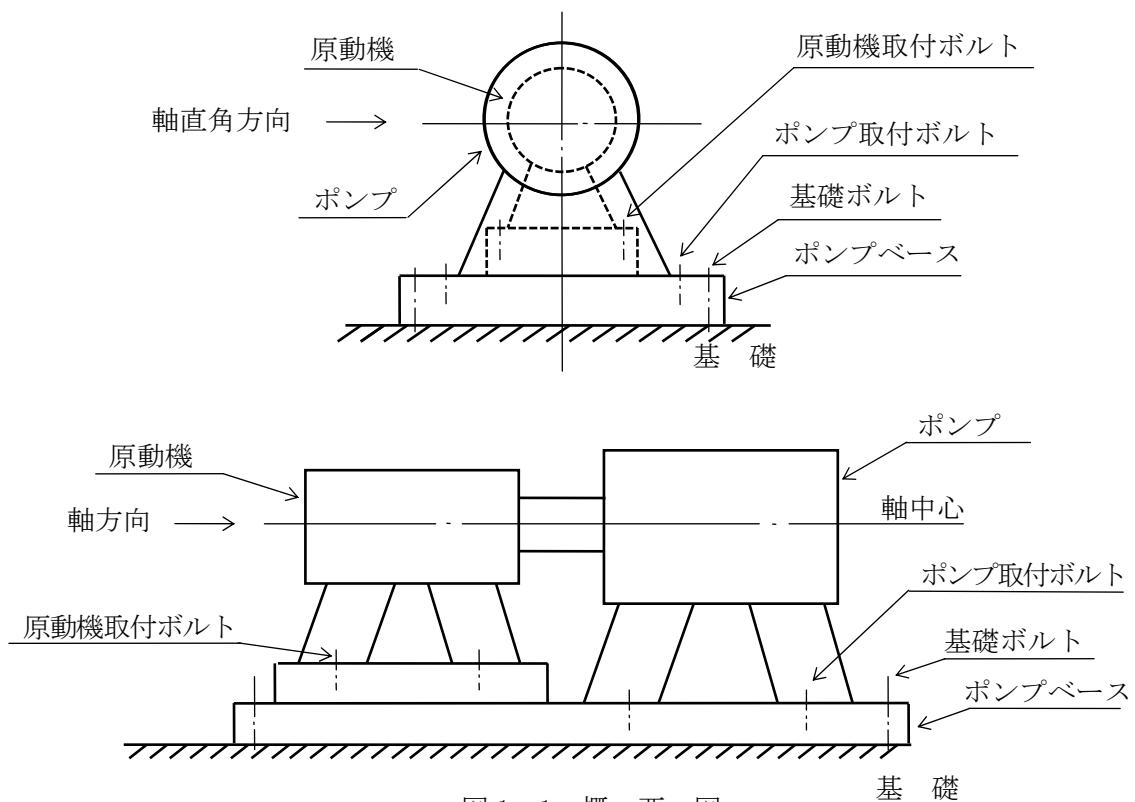
1.1 適用基準

本基本方針における計算方法は、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 62 年 8 月）（以下「指針」という。）に準拠する。

なお、耐震設計の手順は、指針「6.6.3(3)a. ポンプ・ブロワー類」の図 6.6.3-45 により行う。

1.2 計算条件

- (1) ポンプ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力はポンプに対して水平方向から作用するものとする。なお、横軸ポンプは剛体とみなせるため、鉛直方向の地震力は考慮しないものとする。
- (3) ポンプは基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで、基礎については剛となるように設計する。
- (4) 転倒方向は図 1-1 概要図における軸直角方向及び軸方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。



1.3 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_{bi}	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_m	原動機振動による震度	—
C_p	ポンプ振動による震度	—
d_i	ボルトの呼び径	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
H_m	原動機予想最大両振幅	μm
H_p	ポンプ予想最大両振幅	μm
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
ℓ_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
M_m	原動機回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_p	ポンプ回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_i	運転時質量	kg
N_m	原動機回転速度（同期回転速度）	min^{-1}
N_p	ポンプ回転速度	min^{-1}
n_i	ボルトの本数	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
P	原動機出力	kW
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注 1：「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 J SME S NC 1－2005（2007 年追補版含む。））（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

注 2： A_{bi} 、 d_i 、 F_i 、 F_{bi} 、 f_{sbi} 、 f_{toi} 、 f_{tsi} 、 ℓ_{1i} 、 ℓ_{2i} 、 n_i 、 n_{fi} 、 Q_{bi} 、 S_{ui} 、 S_{yi} 、 σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: ポンプ基礎ボルト (ポンプと原動機のベースが共通である場合を含む。)

$i = 2$: ポンプ取付ボルト

$i = 3$: 原動機基礎ボルト

$i = 4$: 原動機取付ボルト

なお、ポンプと原動機間に増速機がある場合は、次のように定義する。

$i = 5$: 増速機基礎ボルト

$i = 6$: 増速機取付ボルト

注 3 : h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: ポンプ据付面

$i = 2$: ポンプ取付面

$i = 3$: 原動機据付面

$i = 4$: 原動機取付面

なお、ポンプと原動機間に増速機がある場合は、次のように定義する。

$i = 5$: 増速機据付面

$i = 6$: 増速機取付面

注記 * : $\ell_{1i} \leq \ell_{2i}$

2. 計算方法

2.1 固有周期の計算方法

横軸ポンプは構造的に 1 個の大きなブロック状をしており、重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり、かつ、下面が基礎ボルトにて固定されている。

したがって、全体的に一つの剛体と見なせるため、固有周期は十分に小さく、固有周期の計算は省略する。

2.2 応力の計算方法

2.2.1 ボルトの応力

ボルトの応力は地震による震度、ポンプ振動による震度及びポンプ回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

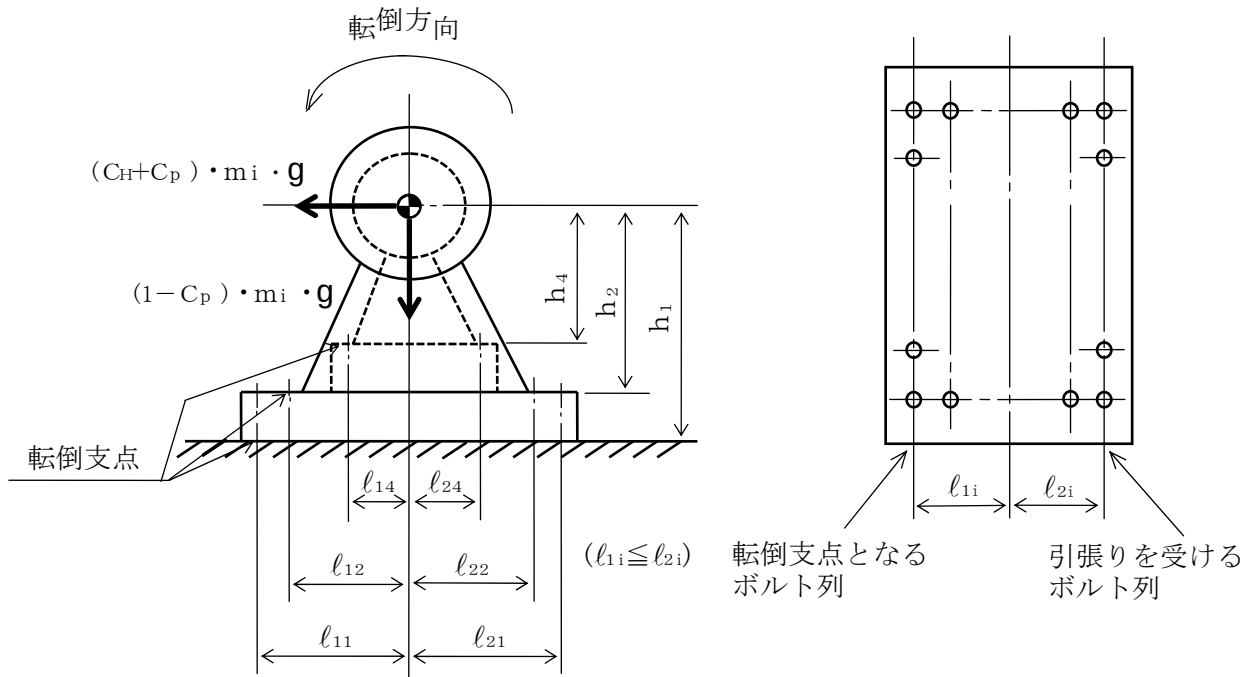


図 2-1 計算モデル（軸直角方向転倒）

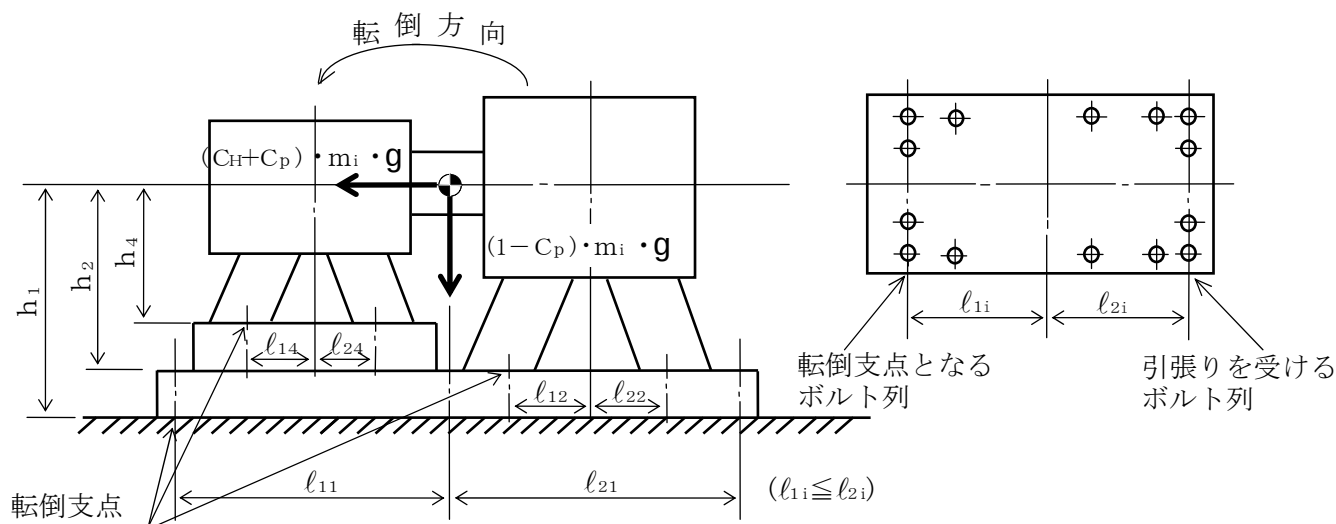


図 2-2 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 2-1 及び図 2-2 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

なお、ポンプと原動機のベースが共通である場合の基礎ボルト（ $i=1$ ）及び計算モデル図 2-2 の場合のボルト（ $i=1\sim 6$ ）については、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

引張力

$$F_{bi} = \frac{(C_H + C_P) \cdot m_i \cdot g \cdot h_i + M_P - (1 - C_P) \cdot m_i \cdot g \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})} \quad \dots \dots \dots (2.2.1)$$

l_{1i} が負となる場合、(2.2.1) 式中の $(1 - C_P)$ を $(1 + C_P)$ に置き換える。

増速機のボルト（ $i=5$ 及び 6 ）の場合、(2.2.1) 式中の M_P は $(M_P + M_m)$ 、 C_P は $(C_P + C_m)$ と置き換える。

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_P は次式で求める。

（ M_m についても同様で、次式で求める。この場合、 N_P は N_m と置き換える。）

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N_P} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad \dots \dots \dots (2.2.2)$$

(1kW = 10^6 N・mm/s)

また、 C_P は振動による振幅及び回転速度を考慮して定める値で、次式で求める。

（ C_m についても同様で、次式で求める。この場合、 H_P は H_m 、 N_P は N_m と置き換える。）

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_P}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N_P}{60} \right)^2}{g \cdot 1000} \quad \dots \dots \dots (2.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \quad \dots\dots\dots (2.2.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_{bi} は

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \quad \dots\dots\dots (2.2.5)$$

ただし、 F_{bi} が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) セン断応力

ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{bi} = (C_H + C_P) \cdot m_i \cdot g \quad \dots\dots\dots (2.2.6)$$

増速機のボルト ($i=5$ 及び 6) の場合、(2.2.6) 式中の C_P は $(C_P + C_M)$ と置き換える。

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_{bi}} \quad \dots\dots\dots (2.2.7)$$

3. 評価方法

3.1 応力の評価

3.1.1 ボルトの応力評価

2.2.1 項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。

$$f_{tsi} = 1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi} \quad \dots\dots\dots (3.1.1)$$

かつ,

$$f_{tsi} \leq f_{toi} \quad \dots\dots\dots (3.1.2)$$

ただし、 f_{toi} 及び f_{sbi} は下表による。

	許容引張応力 f_{toi}	許容せん断応力 f_{sbi}
計 算 式	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

高性能多核種除去設備の強度に関する計算書

1. 強度評価の方針

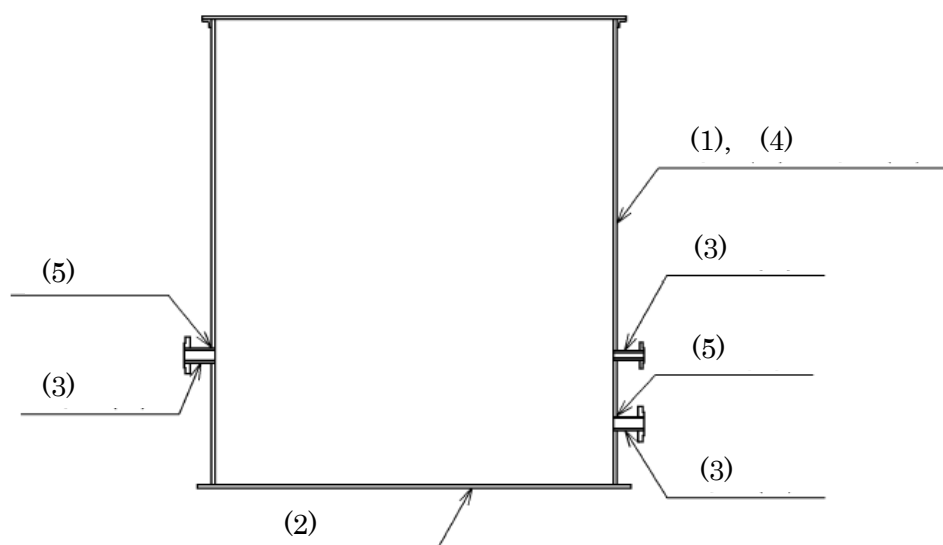
高性能多核種除去設備を構成する主要な機器及び主配管（鋼管）は、強度評価においては、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下、「設計・建設規格」という。）のクラス 3 機器またはクラス 3 配管に準じた評価を行う。

2. 強度評価

2.1 供給タンク，処理水タンク，サンプルタンク

2.1.1 評価箇所

強度評価箇所を図－ 1 に示す。



図－ 1 供給タンク，処理水タンク，サンプルタンク 概要図

図中の番号は，2.1.2 及び 2.1.3 の番号に対応する。

2.1.2 評価方法

(1) 胴の厚さの評価

開放タンクの胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は **3mm**，その他の材料で作られた場合は **1.5mm** とする。

b. 胴の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_2 ：必要厚さ (mm)

D_i ：胴の内径 (m)

H ：水頭 (m)

ρ ：液体の比重。

ただし、1未満の場合は1とする。

S ：許容引張応力(MPa)

η ：継手効率 (-)

(2) 底板の厚さの評価

地面、基礎等に直接接触する開放タンクの底板の厚さは、下記に掲げる値以上の厚さとする。

a. 地面、基礎等に直接接触するものの厚さ： t

設計・建設規格 PVD-3010により3mm以上とする。

(3) 管台の厚さの評価

開放タンクの管台に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 管台の計算上必要な厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_1 ：必要厚さ (mm)

D_i ：管台の内径(m)

H ：水頭(m)

ρ ：液体の比重。

ただし、1未満の場合は1とする。

S ：許容引張応力(MPa)

η ：継手効率(-)

b. 規格上必要な厚さ： t_2

管台の外径に応じ設計・建設規格 表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

(4) 開放タンクの補強不要となる穴の評価

- a. 設計・建設規格 PVD-3512 により穴の径が 85mm 以下の場合は補強不要となる。

(5) 胴の穴の補強計算

- a. 補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにすること。
- b. 大きい穴の補強を要しない穴の最大径
内径が 1500mm 以下の胴に設ける穴の径が胴の内径の 2 分の 1（500mm を超える場合は，500mm）以下および内径が 1500mm を超える胴に設ける穴の径が胴の内径の 3 分の 1（1000mm を超える場合は，1000mm）以下の場合は，大きい穴の補強計算は必要ない。
- c. 溶接部の強度として，予想される破断箇所の強さが，溶接部の負うべき荷重以上であること。

2.1.3 評価結果

評価結果を表－１～３に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－１－１ 供給タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
供給タンク	(１) 胴板の厚さ	3.00	6.57
	(２) 底板の厚さ	3.00	9.50
	(３) 管台の厚さ (RO 濃縮水出口)	3.50	4.25
	(３) 管台の厚さ (RO 濃縮水出口 (予備))	3.50	4.25
	(３) 管台の厚さ (液位計)	1.70	1.90

表－１－２ 供給タンクの評価結果（胴板の補強要否確認）

機器名称	評価項目	補強を要し ない穴の最 大径 (mm)	穴の径 (mm)
供給タンク	(４) RO 濃縮水出口	85.00	85 以上
	(４) RO 濃縮水出口 (予備)	85.00	85 以上

表－１－３ 供給タンクの評価結果（胴の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
供給タンク	(５) 胴 (RO 濃縮水出口)	補強に必要な面積 (mm ²)	補強に有効な総面積 (mm ²)
		77.56	743.7
		大きな穴の補強計算を 要しない最大径 (mm)	穴の径 (mm)
		1000.00	105.80
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所の 強さ (N)
		-5.341×10^4	— ※1
	(５) 胴 (RO 濃縮水出口 (予備))	補強に必要な面積 (mm ²)	補強に有効な総面積 (mm ²)
		77.56	743.7
		大きな穴の補強計算を 要しない最大径 (mm)	穴の径 (mm)
		1000.00	105.80
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所の 強さ (N)
		-5.341×10^4	— ※1

※1 溶接部の負うべき荷重が負であり、溶接部の強度計算は不要

表－２－１ 処理水タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
処理水タンク	(１) 胴板の厚さ	3.00	6.57
	(２) 底板の厚さ	3.00	9.50
	(３) 管台の厚さ（処理水出口）	3.50	4.25
	(３) 管台の厚さ（処理水出口（予備））	3.50	4.25
	(３) 管台の厚さ（液位計）	1.70	1.90

表－２－２ 処理水タンクの評価結果（胴板の補強要否確認）

機器名称	評価項目	補強を要し ない穴の最 大径 (mm)	穴の径 (mm)
処理水タンク	(４) 処理水出口	85.00	85 以上
	(４) 処理水出口（予備）	85.00	85 以上

表－２－３ 処理水タンクの評価結果（胴の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
処理水タンク	(５) 胴 (処理水出口)	補強に必要な面積 (mm ²)	補強に有効な総面積 (mm ²)
		77.56	743.7
		大きな穴の補強計算を 要しない最大径 (mm)	穴の径 (mm)
		1000.00	105.80
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所の 強さ (N)
		－5.341×10 ⁴	— ※1
	(５) 胴 (処理水出口 (予備))	補強に必要な面積 (mm ²)	補強に有効な総面積 (mm ²)
		77.56	743.7
		大きな穴の補強計算を 要しない最大径 (mm)	穴の径 (mm)
		1000.00	105.80
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所の 強さ (N)
		－5.341×10 ⁴	— ※1

※1 溶接部の負うべき荷重が負であり，溶接部の強度計算は不要

表－３－１ サンプルタンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最少厚さ (mm)
サンプルタンク A, B, C	(１) 胴の厚さ	11.7	12.0
	(２) 底板の厚さ	3.0	11.2
	(３) 管台の厚さ (100A)	3.5	6.0
	(３) 管台の厚さ (200A)	3.5	8.2
	(３) 管台の厚さ (650A)	3.5	12.0

表－３－２ サンプルタンクの穴の補強評価結果

機器名称	管台口径	評価部位	補強に必要な 面積[mm ²]	補強に有効 な総面積 [mm ²]
サンプルタンク A, B, C	100A	管台	724	1616
	200A	管台	1411	3195
	650A	管台	4466	10840

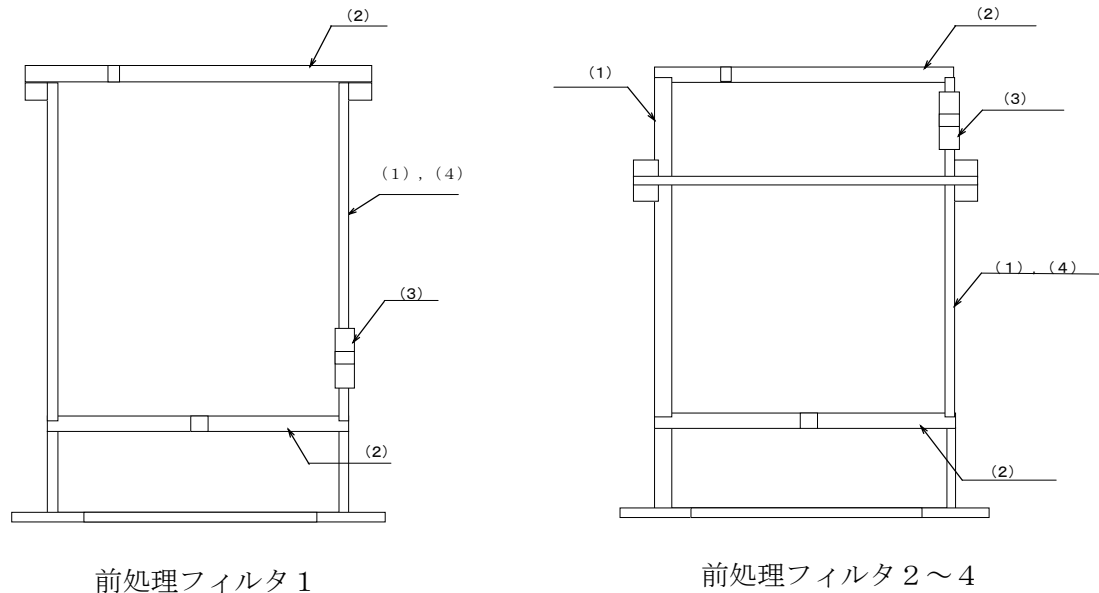
表－３－３ サンプルタンクの強め材の取付け強さ

機器名称	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]
サンプルタンク A, B, C	100A	37367.82	154937	278514	119886	199587	234638	243463
	200A	63939.66	342042	570661	300675	402159	443526	529294
	650A	167003.76	1412331	2016618	1600574	1641873	1453630	2204861

2.2 前処理フィルタ

2.2.1 評価箇所

強度評価箇所を図－2に示す。



図－2 前処理フィルタ 概要図
図中の番号は、2.2.2, 2.2.3 の番号に対応する。

2.2.2 評価方法

(1) 胴の厚さの評価

胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものにあつては 3mm，その他の材料で作られたものにあつては 1.5mm とする。

b. 内面に圧力を受ける胴の必要厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

t_2 ：必要厚さ (mm)

P ：最高使用圧力 (MPa)

D_i ：胴の内径 (mm)

S ：許容引張応力 (MPa)

η ：継手効率 (-)

(2) 平板の厚さの評価

平板の厚さは、次に掲げる値のうちいずれかによるものとする。

- a. 平板に穴を設ける場合であって、穴の径が平板の径の 2 分の 1 以下であり、穴の補強計算を行うもの。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

t：必要厚さ (mm)

d：平板の径 (mm)

K：取付方法による係数 (-)

P：最高使用圧力 (MPa)

S：許容引張応力 (MPa)

- b. 平板に穴を設ける場合であって、穴の径が平板の径の 2 分の 1 以下であり、a 項以外のもの。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

t：必要厚さ (mm)

d：平板の径 (mm)

K：取付方法による係数 (-)

P：最高使用圧力 (MPa)

S：許容引張応力 (MPa)

(3) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 内面に圧力を受ける管台： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

t_1 ：必要厚さ (mm)

P：最高使用圧力 (MPa)

D_o ：管台の外径 (mm)

S：許容引張応力 (MPa)

η ：継手効率 (-)

- b. 規格上必要な最小厚さ： t_2

炭素鋼鋼管を使用する管台にあつては、管台の外径に応じて設計・建設規格 表 PVC-3610-1 より求めた管台の厚さとする。

(4) 胴の補強を要しない穴の最大径の評価

胴の補強を要しない穴の最大径は、以下で計算した値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 穴の径が 61mm 以下で、かつ、次の式により計算した値以下の穴。

$$d_{r1} = \frac{D - 2 \cdot t_s}{4}$$

d_{r1} ：補強を要しない穴の最大径 (mm)

D：胴の外径 (mm)

t_s ：胴の最小厚さ (mm)

b. a に掲げるものを除き、穴の径が 200mm 以下で、かつ、設計・建設規格 図 PVD-3122-1 及び図 PVD-3122-2 により求めた値以下の穴。

$$d_{r2} = 8.05 \cdot \sqrt[3]{D \cdot t_s \cdot (1-K)}$$

d_{r2} : 補強を要しない穴の最大径 (mm)
 D : 胴の外径 (mm)
 t_s : 胴の最小厚さ (mm)
 K : 係数 (-)

ここで、 K は、円筒形の場合、次の式により計算した値で、 $K > 0.99$ のときは、 $K = 0.99$ とする。

$$K = \frac{P \cdot D}{1.82 \cdot S \cdot \eta \cdot t_s}$$

P : 最高使用圧力 (MPa)
 D : 胴の外径 (mm)
 S : 許容引張応力 (MPa)
 η : 継手効率 (-)
 t_s : 胴板の最小厚さ (mm)

2.2.3 評価結果

評価結果を表－４に示す。必要厚さ等を満足しており、十分な構造強度を有すると評価している。

表－４－１ 前処理フィルタ評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
前処理フィルタ 1	(1)胴板の厚さ	4.84	5.84
	(2)上部平板の厚さ	44.75	62.50
	(2)下部平板の厚さ	44.75	62.50
	(3)管台の厚さ	3.80	55.15
前処理フィルタ 2～4	(1)胴板の厚さ	4.84	5.84
	(2)上部平板の厚さ	44.75	62.50
	(2)下部平板の厚さ	44.75	62.50
	(3)管台の厚さ	3.80	48.80

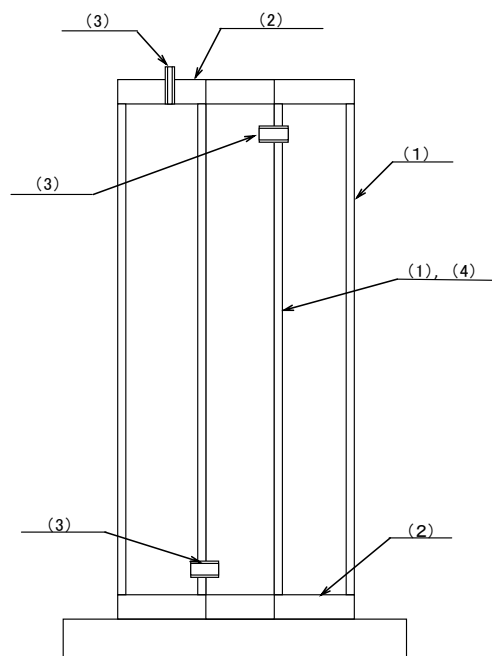
表－４－２ 前処理フィルタ評価結果（胴の補強要否）

機器名称	評価項目	補強を要しない穴の最大径 (mm)	穴の径 (mm)
前処理フィルタ 1	(4)胴	99.89	99 以下
前処理フィルタ 2～4	(4)胴	99.89	99 以下
	(4)胴	99.89	99 以下

2.3 多核種吸着塔

2.3.1 評価箇所

強度評価箇所を図－３に示す。



図中の番号は、2.3.2, 2.3.3 の番号に対応する。

図－３ 吸着塔 概要図

2.3.2 評価方法

(1) 胴の厚さの評価

胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものにあつては **3mm**，その他の材料で作られたものにあつては **1.5mm** とする。

b. 内面に圧力を受ける胴の必要厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

t_2 ：必要厚さ (mm)

P ：最高使用圧力 (MPa)

D_i ：胴の内径 (mm)

S ：許容引張応力 (MPa)

η ：継手効率 (-)

- c. 外面に圧力を受ける胴の必要厚さ： t_3

厚さが外径の 0.1 倍以下のものの計算上必要な厚さは次の式による値とする。

$$t_3 = \frac{3 \cdot P_e \cdot D_o}{4 \cdot B}$$

t_3 ：必要厚さ (mm)

P_e ：外面に受ける最高の圧力 (MPa)

D_o ：胴の外径 (mm)

B ：ASME BPVC SECTION. II PartD subpart3 fig.G,
fig.HA-5 または、設計・建設規格 付録材料図
表 Part7 図 1, 図 14 より求めた値 (-)

(2) 平板の厚さの評価

平板の厚さは、次に掲げる値のうちいずれかによるものとする。

- a. 平板に穴を設ける場合であって、穴の径が平板の径の 2 分の 1 以下であり、穴の補強計算を行うもの。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

t ：必要厚さ (mm)

d ：平板の径 (mm)

K ：取付方法による係数 (-)

P ：最高使用圧力 (MPa)

S ：許容引張応力 (MPa)

- b. 平板に穴を設ける場合であって、穴の径が平板の径の 2 分の 1 以下であり、a 項以外のもの。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

t ：必要厚さ (mm)

d ：平板の径 (mm)

K ：取付方法による係数 (-)

P ：最高使用圧力 (MPa)

S ：許容引張応力 (MPa)

(3) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 内面に圧力を受ける管台： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

t_1 ：必要厚さ (mm)

P ：最高使用圧力 (MPa)

D_o ：管台の外径 (mm)

S ：許容引張応力 (MPa)

η ：継手効率 (-)

- b. 規格上必要な最小厚さ： t_2

炭素鋼鋼管を使用する管台にあつては、管台の外径に応じて設計・建設規格 表
PVC-3610-1 より求めた管台の厚さとする。

(4) 胴の補強を要しない穴の最大径の評価

胴の補強を要しない穴の最大径は、以下で計算した値のうちいずれか大きい値とする。

a. 穴の径が 61mm 以下で、かつ、次の式により計算した値以下の穴。

$$d_{r1} = \frac{D - 2 \cdot t_s}{4}$$

d_{r1} : 補強を要しない穴の最大径 (mm)

D : 胴の外径 (mm)

t_s : 胴の最小厚さ (mm)

b. a に掲げるものを除き、穴の径が 200mm 以下で、かつ、設計・建設規格 図 PVD-3122-1 及び図 PVD-3122-2 により求めた値以下の穴。

$$d_{r2} = 8.05 \cdot \sqrt[3]{D \cdot t_s \cdot (1 - K)}$$

d_{r2} : 補強を要しない穴の最大径 (mm)

D : 胴の外径 (mm)

t_s : 胴の最小厚さ (mm)

K : 係数 (-)

ここで、 K は、円筒形の場合、次の式により計算した値で、 $K > 0.99$ のときは、 $K = 0.99$ とする。

$$K = \frac{P \cdot D}{1.82 \cdot S \cdot \eta \cdot t_s}$$

P : 最高使用圧力 (MPa)

D : 胴の外径 (mm)

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

t_s : 胴板の最小厚さ (mm)

(5) 評価結果

評価結果を表－５に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－５－１ 吸着塔評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
吸着塔 1 ～ 2 0 (UNS S31803)	(1) 胴板の厚さ（外筒胴）	5.93	11.70
	(1) 胴板の厚さ（内筒胴）	7.42	11.10
	(2) 上部平板	71.45	75.20
	(2) 下部平板	71.45	75.20
	(3) 管台の厚さ（入口・出口）	0.27	3.43
	(3) 管台の厚さ（ベント）	0.15	2.96
吸着塔 1 ～ 2 0 (UNS S32205)	(1) 胴板の厚さ（外筒胴）	5.61	11.70
	(1) 胴板の厚さ（内筒胴）	7.42	11.10
	(2) 上部平板	69.51	75.20
	(2) 下部平板	69.51	75.20
	(3) 管台の厚さ（入口・出口）	0.25	3.43
	(3) 管台の厚さ（ベント）	0.14	2.96
吸着塔 1 ～ 2 0 (UNS S32750)	(1) 胴板の厚さ（外筒胴）	4.59	11.70
	(1) 胴板の厚さ（内筒胴）	7.42	11.10
	(2) 上部平板	62.96	75.20
	(2) 下部平板	62.96	75.20
	(3) 管台の厚さ（入口・出口）	0.21	3.43
	(3) 管台の厚さ（ベント）	0.12	2.96
吸着塔 1 ～ 2 0 (SUS316L)	(1) 胴板の厚さ（外筒胴）	9.47	11.39
	(1) 胴板の厚さ（内筒胴）	7.45	15.82
	(2) 上部平板	69.42	114.20
	(2) 下部平板	69.42	93.40
	(3) 管台の厚さ（入口・出口）	0.42	1.43
	(3) 管台の厚さ（ベント）	0.24	1.08

表－５－２ 吸着塔評価結果（胴の補強要否）

機器名称	評価項目	補強を要しない穴 の最大径（mm）	穴の径 （mm）
吸着塔 1 ～ 2 0 （UNS S31803）	(4) 胴（内筒胴）	119.04	119 以下
吸着塔 1 ～ 2 0 （UNS S32205）	(4) 胴（内筒胴）	119.48	119 以下
吸着塔 1 ～ 2 0 （UNS S32750）	(4) 胴（内筒胴）	120.95	120 以下
吸着塔 1 ～ 2 0 （SUS316L）	(4) 胴（内筒胴）	134.43	134 以下

2.4 主配管

2.4.1 評価箇所

強度評価箇所を図－４に示す。

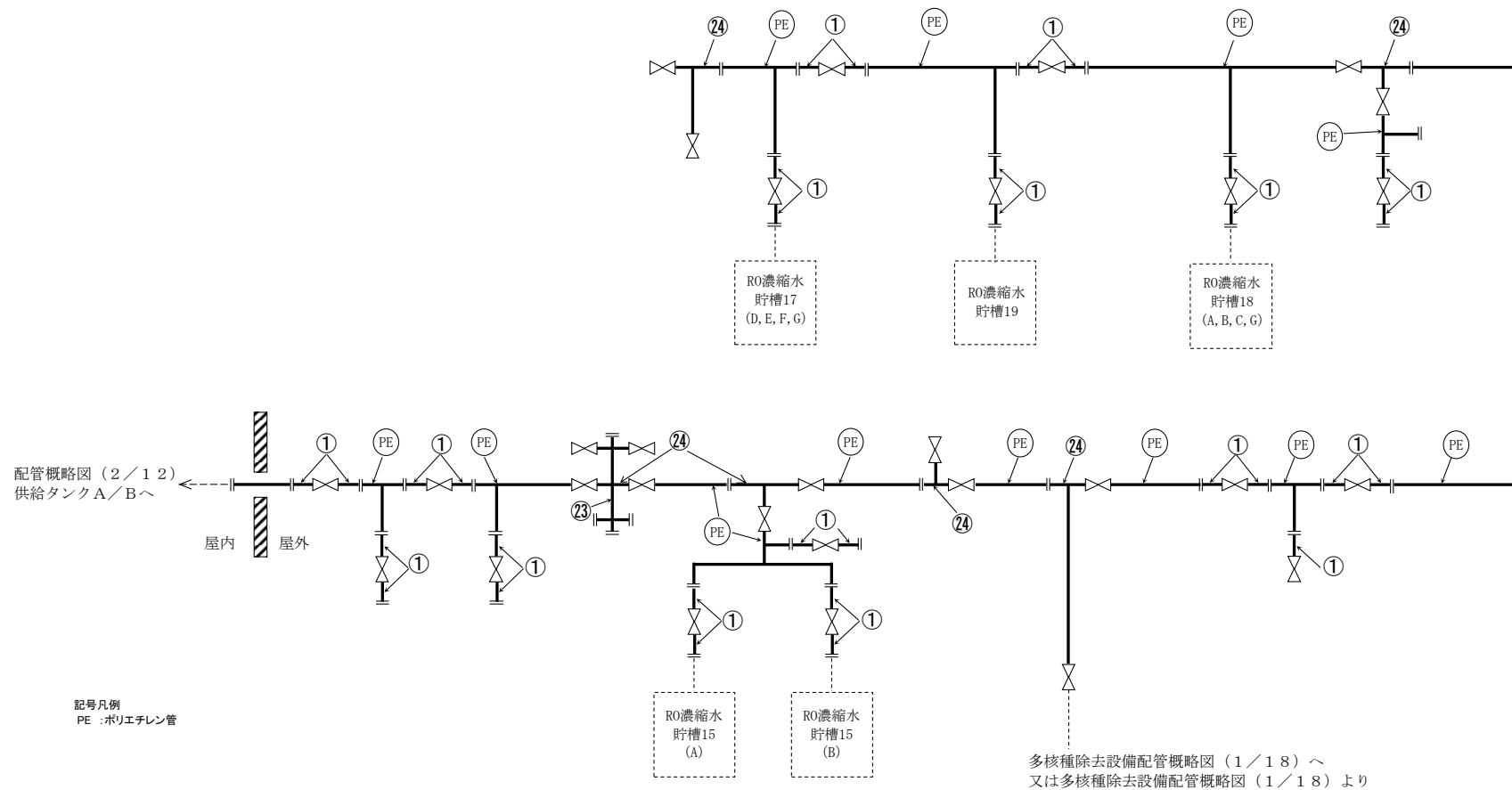


図-4 配管概略図 (1 / 1 2)

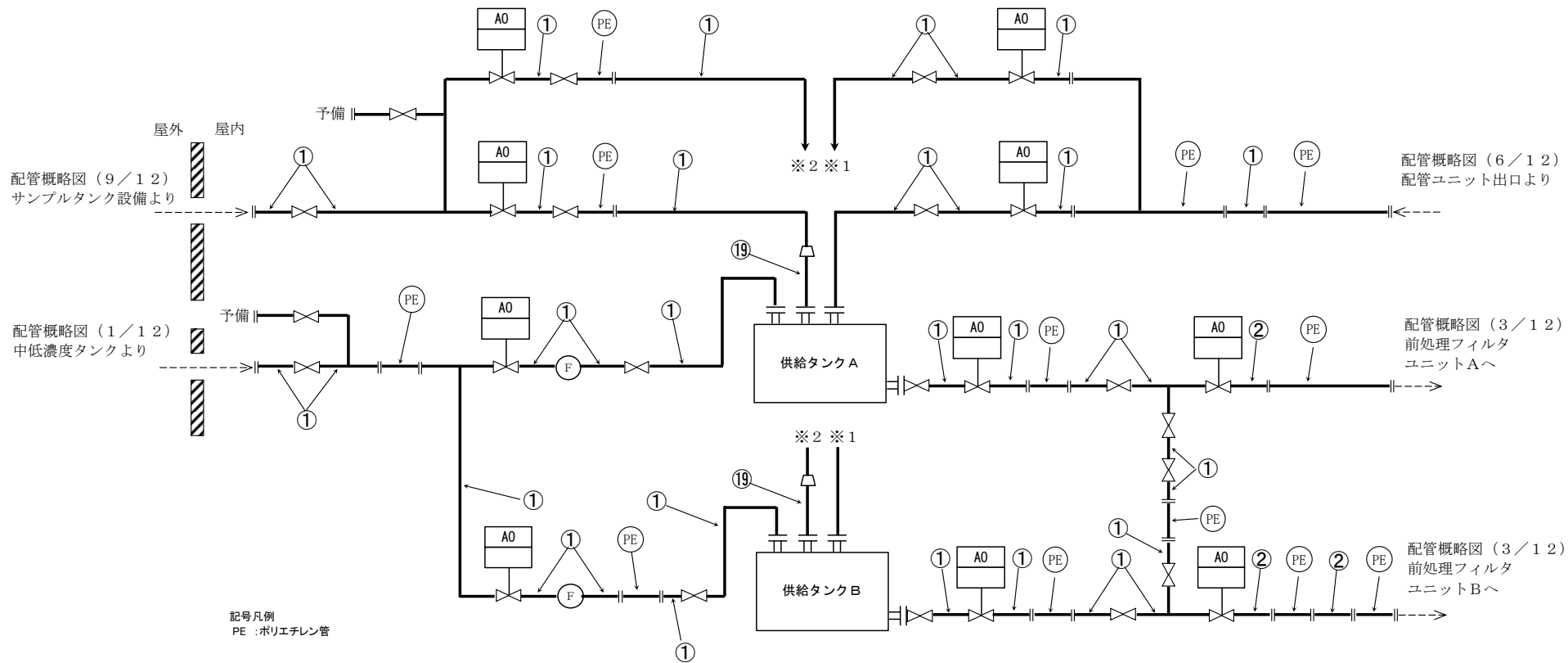


図-4 配管概略図 (2 / 1 2)

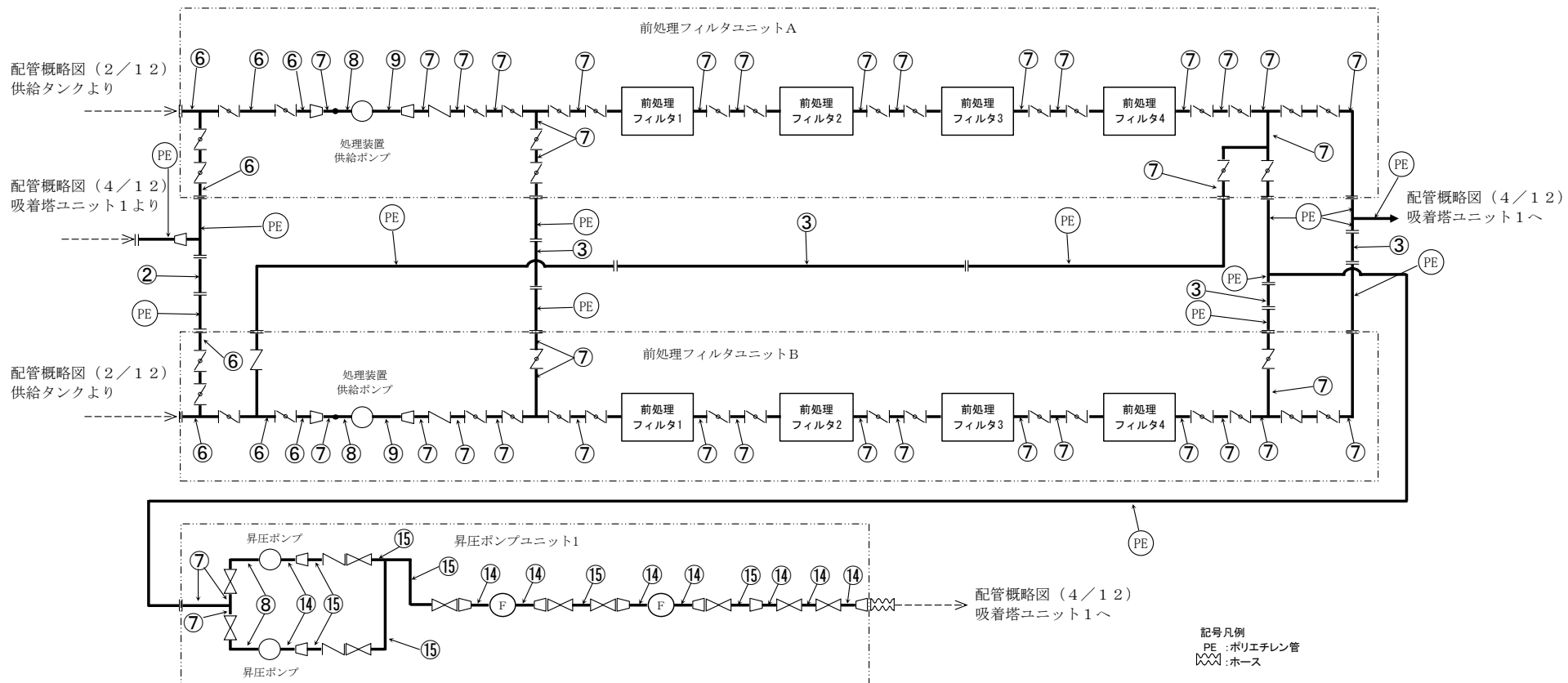


図-4 配管概略図 (3/12)

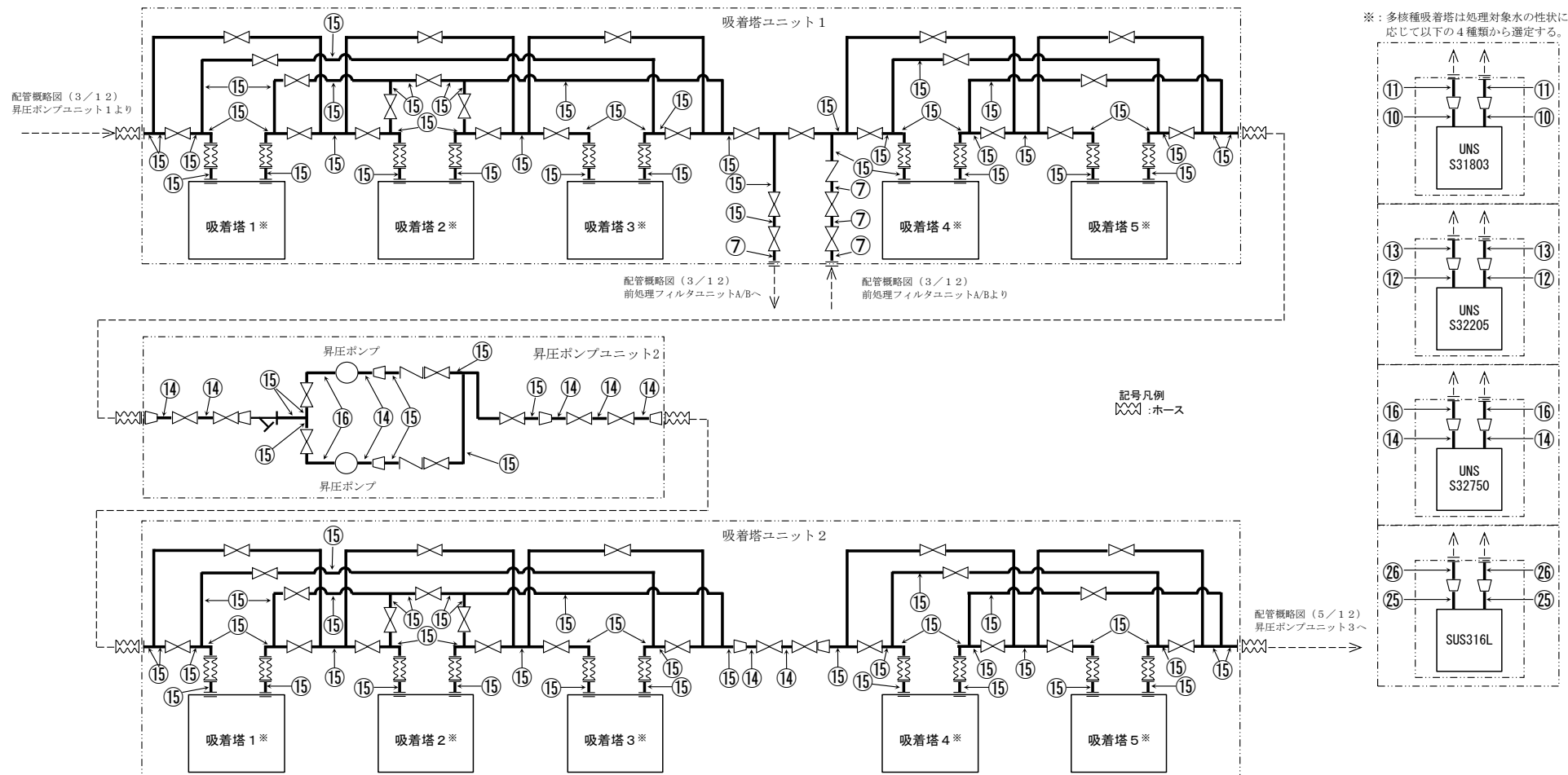
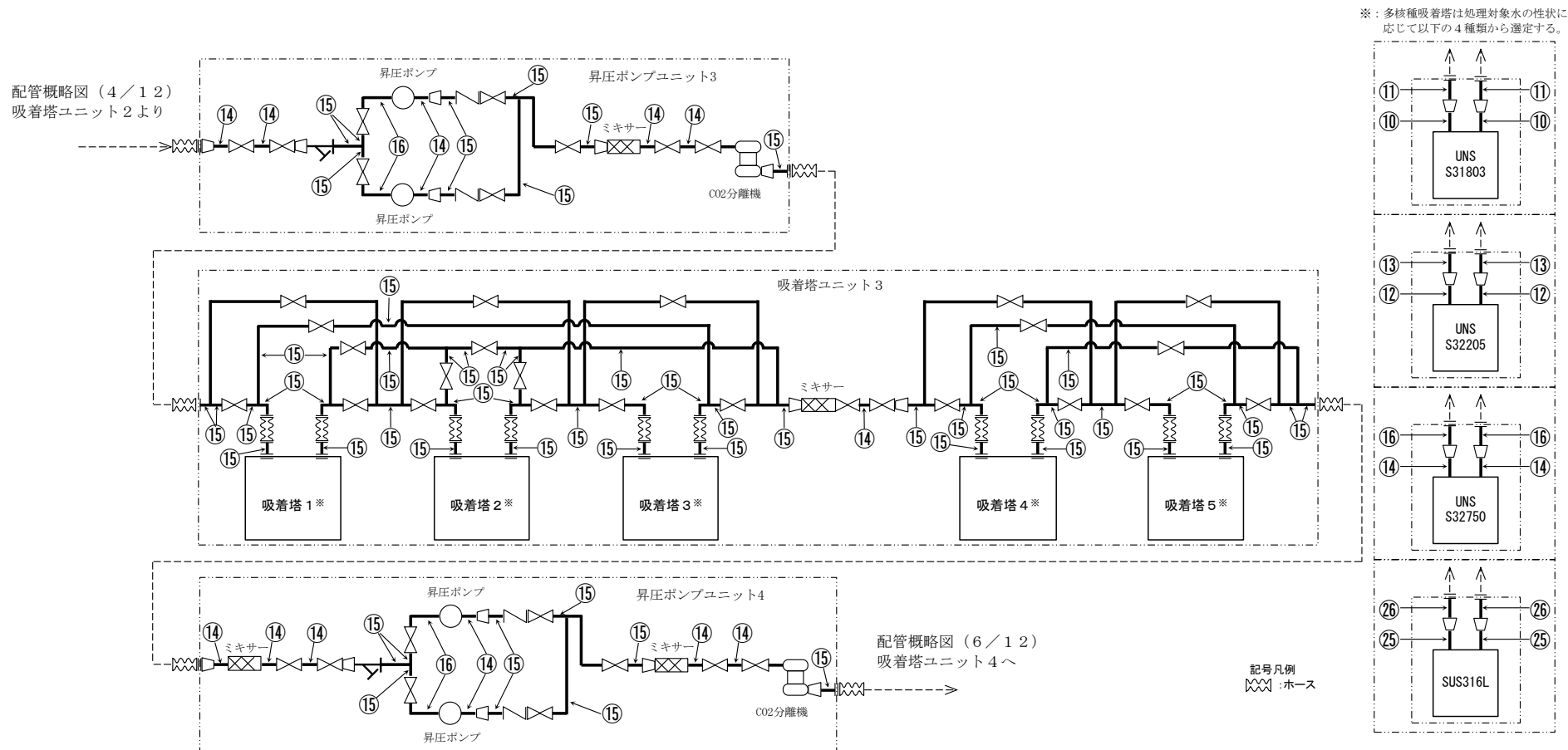


図-4 配管概略図 (4/12)



図－4 配管概略図 (5 / 12)

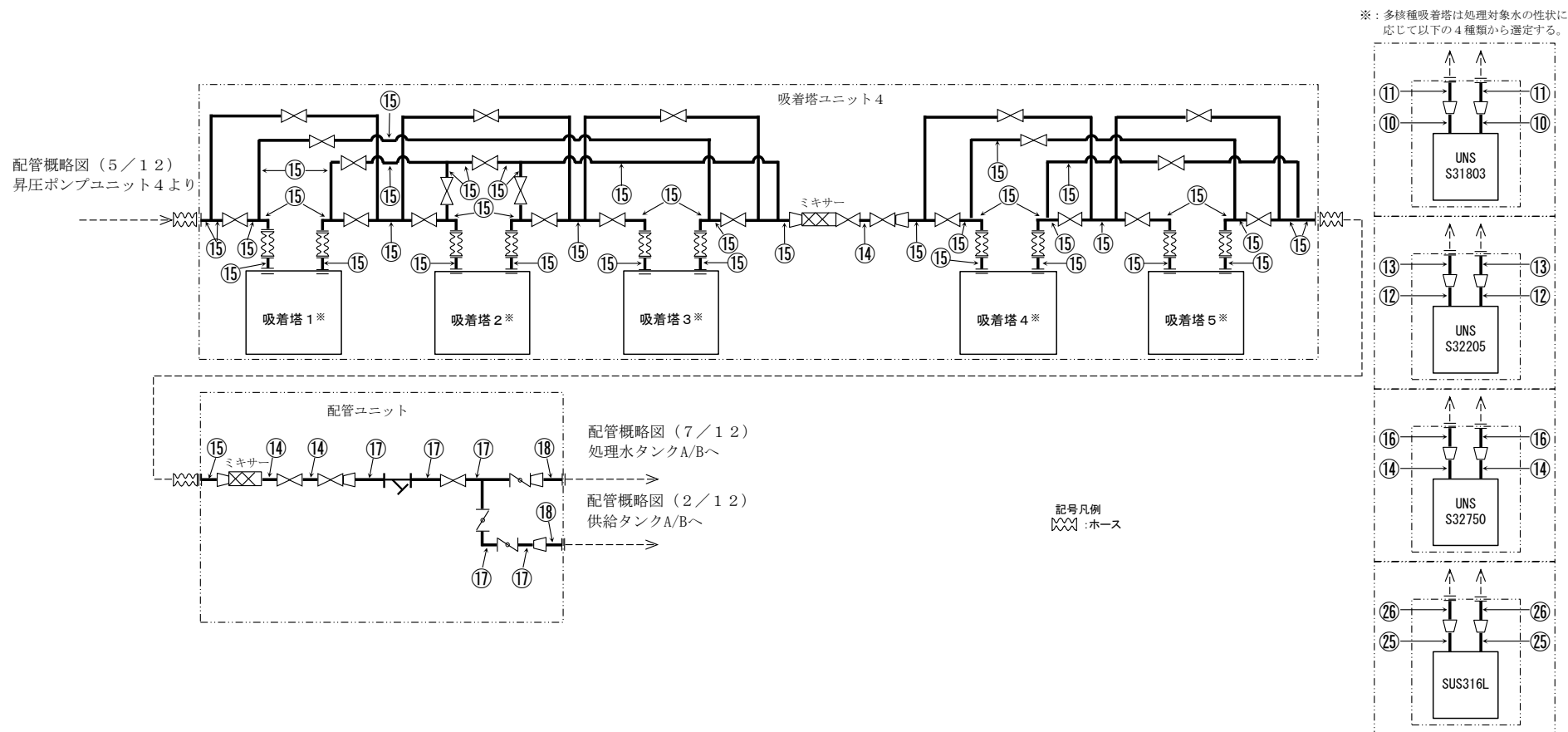
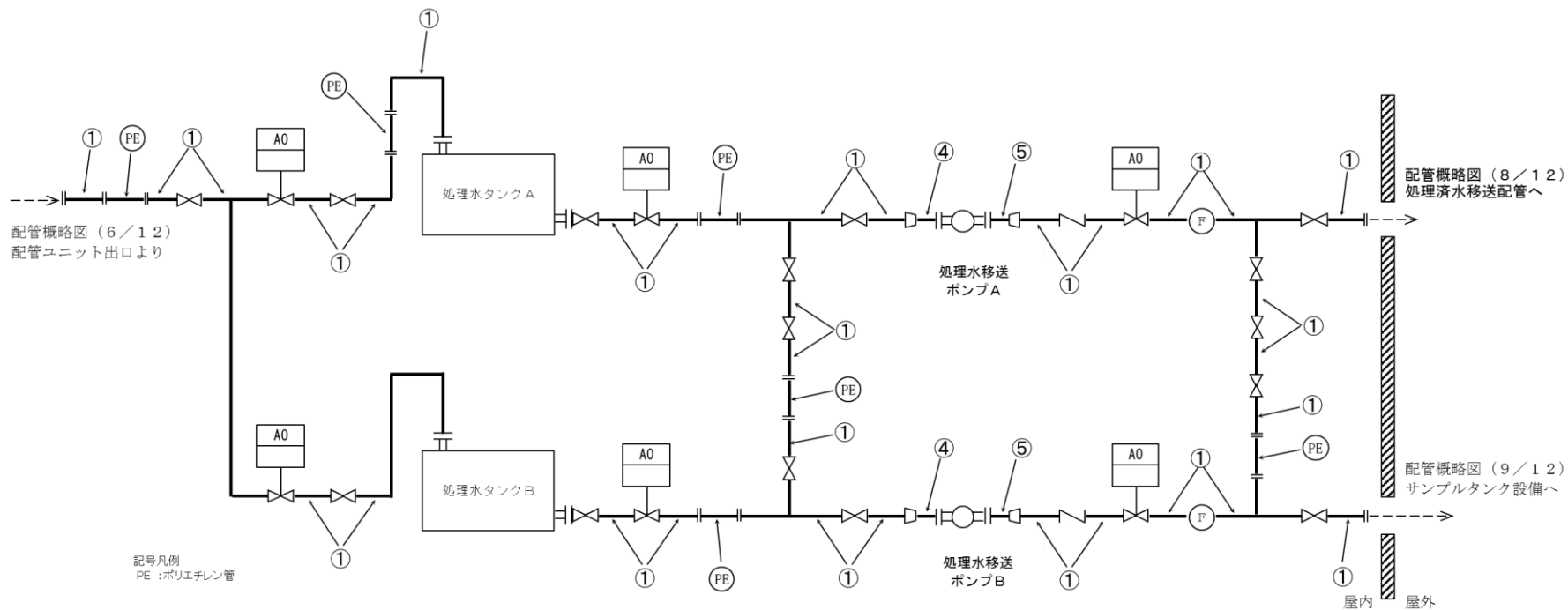


図-4 配管概略図 (6 / 12)



図ー 4 配管概略図 (7 / 12)

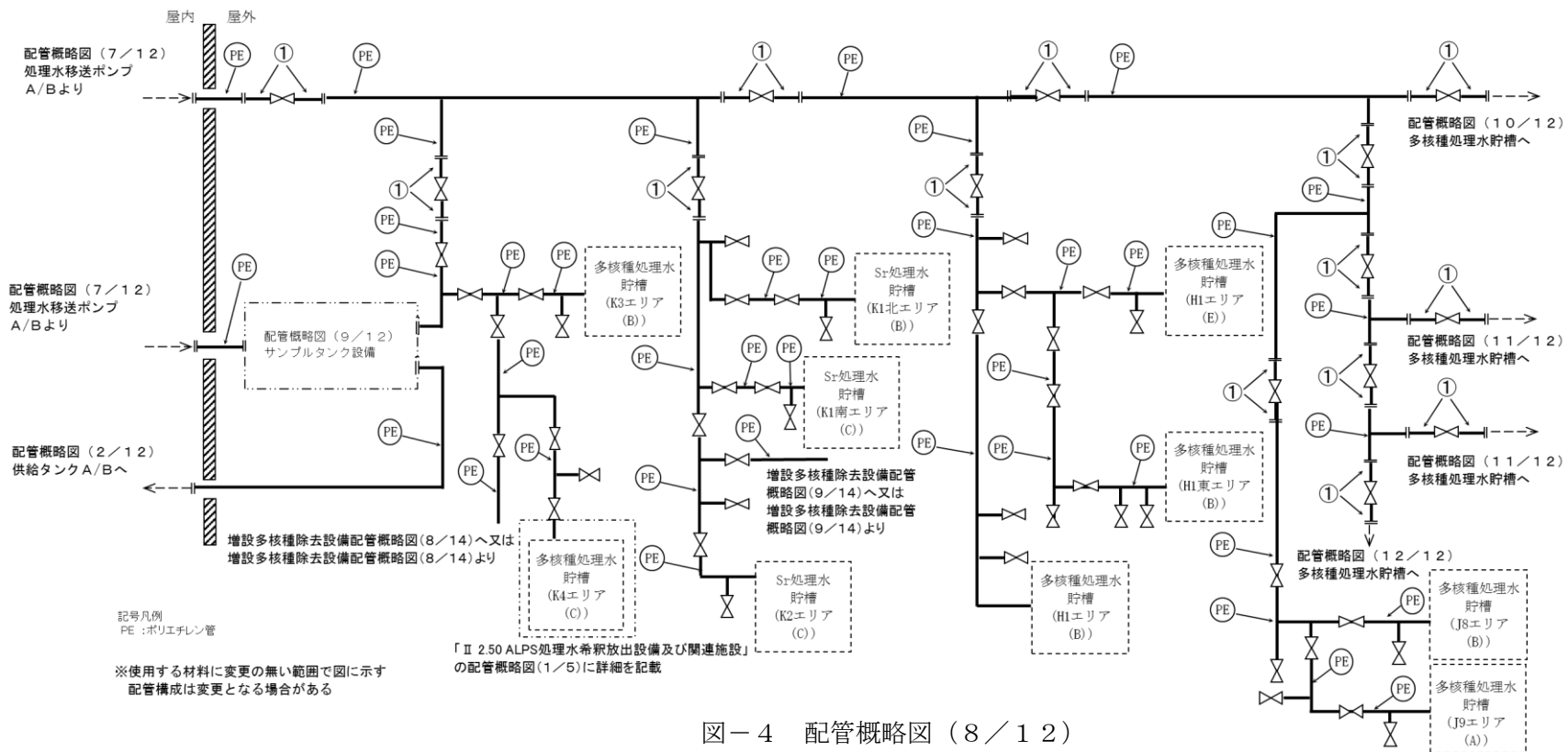
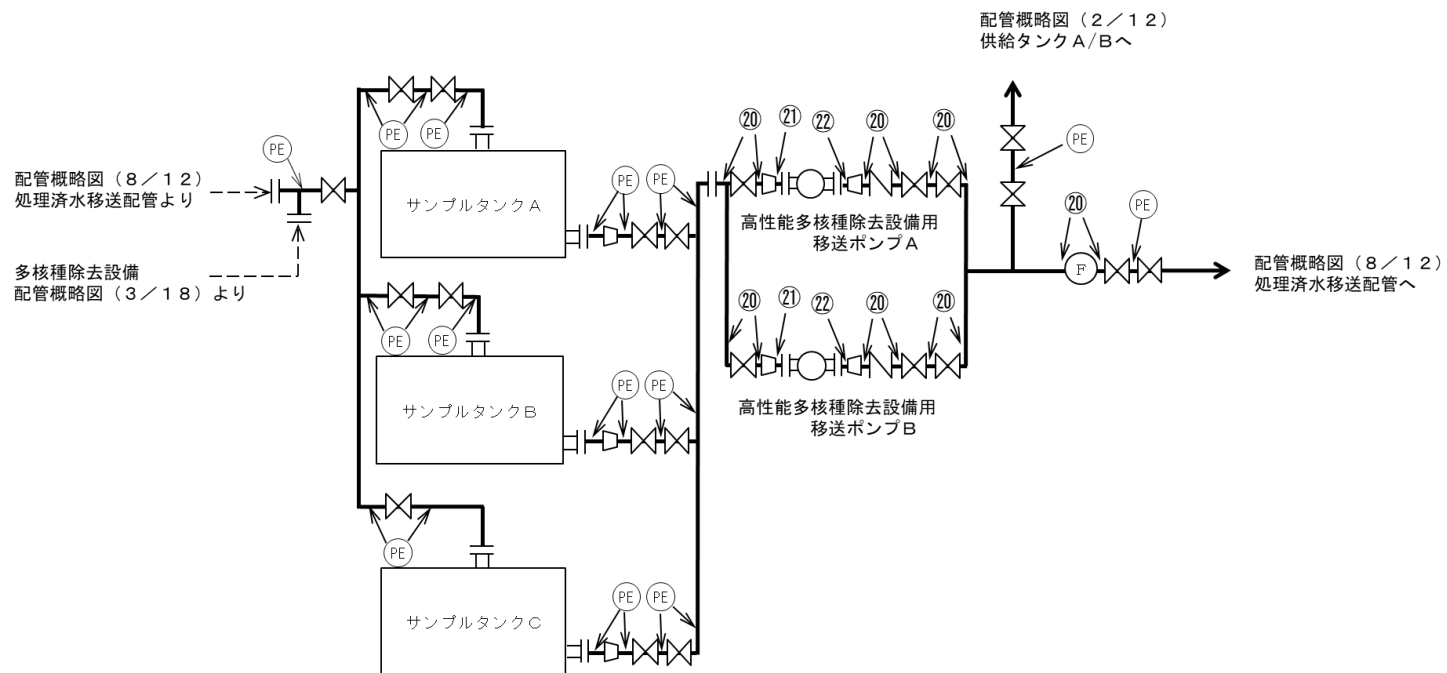


図-4 配管概略図 (8/12)

記号凡例
PE : ポリエチレン管



図－4 配管概略図 (9 / 1 2)

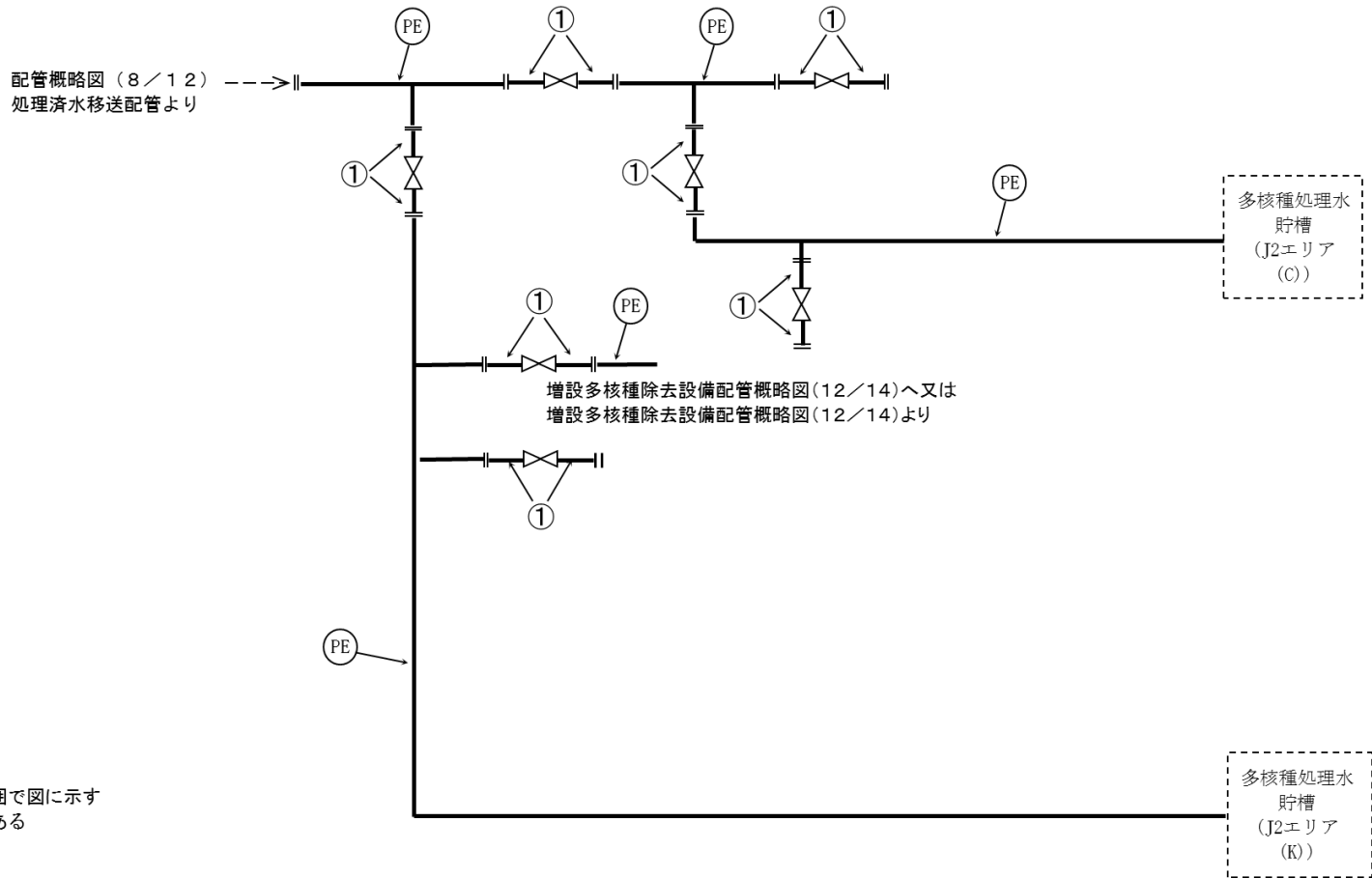


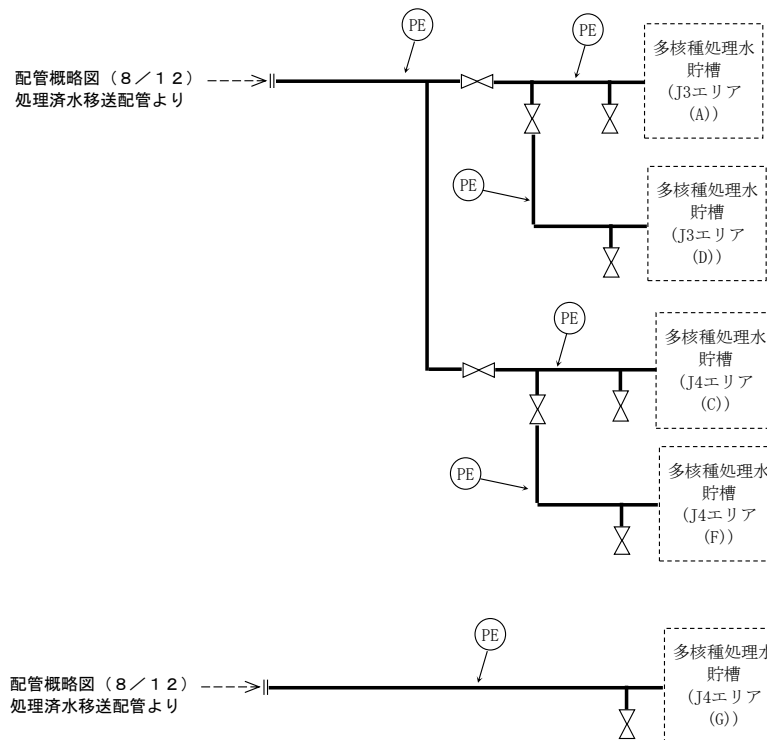
図-4 配管概略図 (10/12)

記号凡例
PE :ポリエチレン管

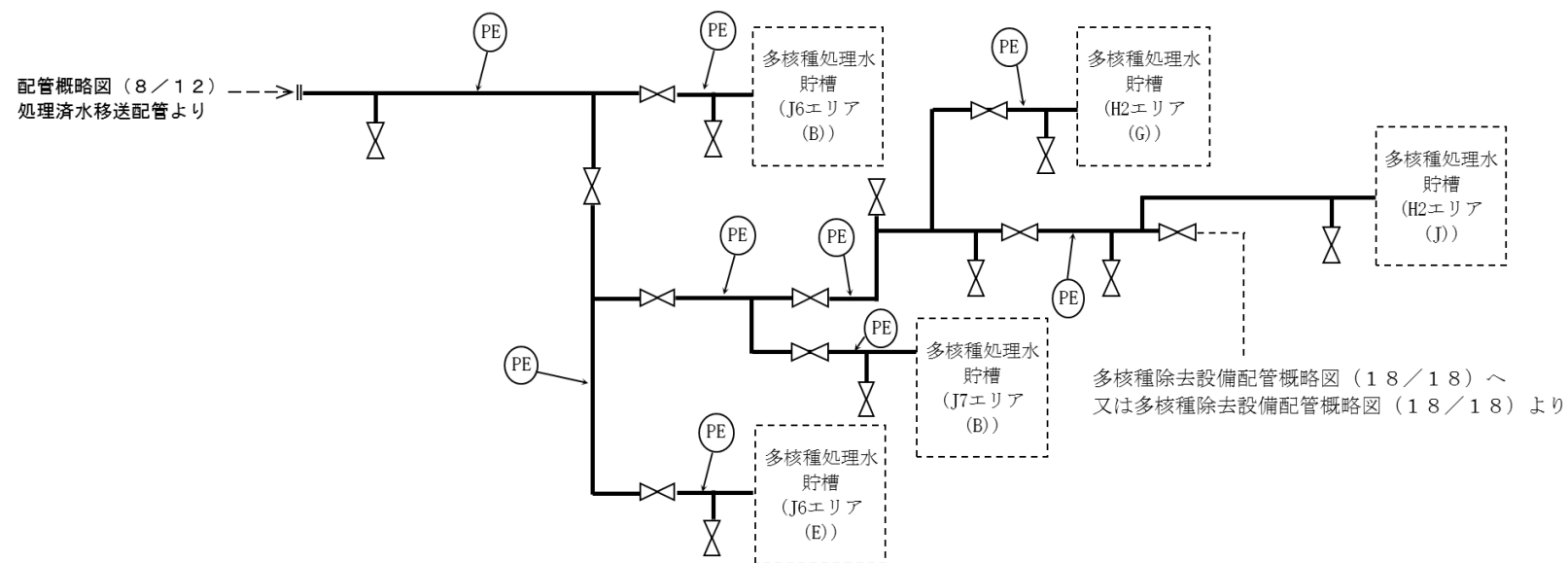
※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

記号凡例
PE :ポリエチレン管

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある



図－4 配管概略図 (11/12)



記号凡例
PE : ポリエチレン管

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

図-4 配管概略図 (12 / 12)

2.4.2 評価方法

(1) 管の厚さの評価

管の必要な厚さは、次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

a. 内面に圧力を受ける管

$$t_1 = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

t_1 : 必要厚さ (mm)
 P : 最高使用圧力 (MPa)
 D_o : 管台の外径 (m)
 S : 許容引張応力 (MPa)
 η : 継手効率 (-)

b. 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ : t_2

設計・建設規格 PPD-3411 (3) の表 PPD-3411-1 より求めた値

2.4.3 評価結果

評価結果を表－6に示す。必要厚さ等を満足しており、十分な構造強度を有していると評価している。

表－6 配管の評価結果（管厚）

No.	外径 (mm)	材料	最高使用 圧力(MPa)	最高使用 温度 (°C)	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
1	114.30	STPT410	0.98	40	3.40	5.25
2	114.30	STPT410	1.03	40	3.40	5.25
3	89.10	STPT410	1.03	40	3.00	4.81
4	89.10	STPT410	0.98	40	3.00	4.81
5	60.50	STPT410	0.98	40	2.40	4.81
6	114.30	UNS S32750	1.03	40	0.26	2.66
7	88.90	UNS S32750	1.03	40	0.20	2.66
8	88.90	UNS S32750	1.03	40	0.20	4.80
9	60.33	UNS S32750	1.03	40	0.14	3.42
10	60.33	UNS S31803	1.55	40	0.27	3.42
11	88.90	UNS S31803	1.55	40	0.39	4.80
12	60.33	UNS S32205	1.55	40	0.25	3.42
13	88.90	UNS S32205	1.55	40	0.37	4.80
14	60.33	UNS S32750	1.55	40	0.21	3.42
15	88.90	UNS S32750	1.55	40	0.31	2.66
16	88.90	UNS S32750	1.55	40	0.31	4.80
17	88.90	UNS S32750	0.98	40	0.19	2.66
18	114.30	UNS S32750	0.98	40	0.25	2.66
19	165.20	STPT410	0.98	40	3.80	6.21
20	114.30	SUS316L	0.98	40	0.51	5.25
21	89.10	SUS316L	0.98	40	0.40	4.81
22	60.50	SUS316L	0.98	40	0.27	3.40
23	216.30	STPG370	0.98	40	1.00	5.25
24	114.30	STPG370	0.98	40	1.89	7.17
25	60.50	SUS316LTP	1.55	40	0.42	2.23
26	89.10	SUS316LTP	1.55	40	0.62	4.81

注1) 継手類及び弁類はJIS等の規格品を適用することで、管に対し十分な厚さを有し、管の強度評価に包絡される。

注2) 管及び機器の取合箇所において、変位の吸収や着脱の必要性から強度計算の規格外となるホース類を適用する箇所がある。これらについては配管の流体・圧力・温度条件に合致した十分実績のあるものを採用することで、必要な強度を確保するものとする。

流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止に関する計算書

1. 流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止能力の評価

高性能多核種除去設備建屋の外周には堰が設置されており，仮に全容器の保有廃液が流出した場合においても施設内にとどまり，施設外への漏えいは防止される。この漏えい防止能力の評価を表－ 1 に示す。

表－１ 施設外への漏えい防止能力の評価（高性能多核種除去設備）

容器名称	設 置 場 所		容器容量 (m^3)	容器設置区画 内床面積※ ² (m^2)	見込み高さ ※ ³ (cm)	漏えい廃液全 量を貯留する ために必要な 堰の高さ (cm)	拡大防止 堰の高さ (cm)	評 価
	建屋名	据付床 レベル (m)	①	②	③	④＝①/② ×100+③	⑤	
供給タンク等	高性能多核 種除去設備 建屋	GL +0.2	204※ ¹	1430	0	15	15 以上	容器設置区画の拡大 防止堰の高さは、各 容器からの漏えい廃 液全量を貯留するた めに必要な堰の高さ を満足しており、施 設外への漏えいを防 止できる。
供給タンク A		GL +0.2	30	56	8	62	62 以上	
供給タンク B		GL +0.2	30	56	8	62	62 以上	
処理水タンク A		GL +0.2	30	56	8	62	62 以上	
処理水タンク B		GL +0.2	30	56	8	62	62 以上	

注記 ※¹ : 保守的に建屋内に設置する全容器の総容量としている

※² : 容器設置区画内の内り面積

※³ : 基礎体積による高さ増加分（基礎体積÷当該容器設置区画内床面積）を考慮した値

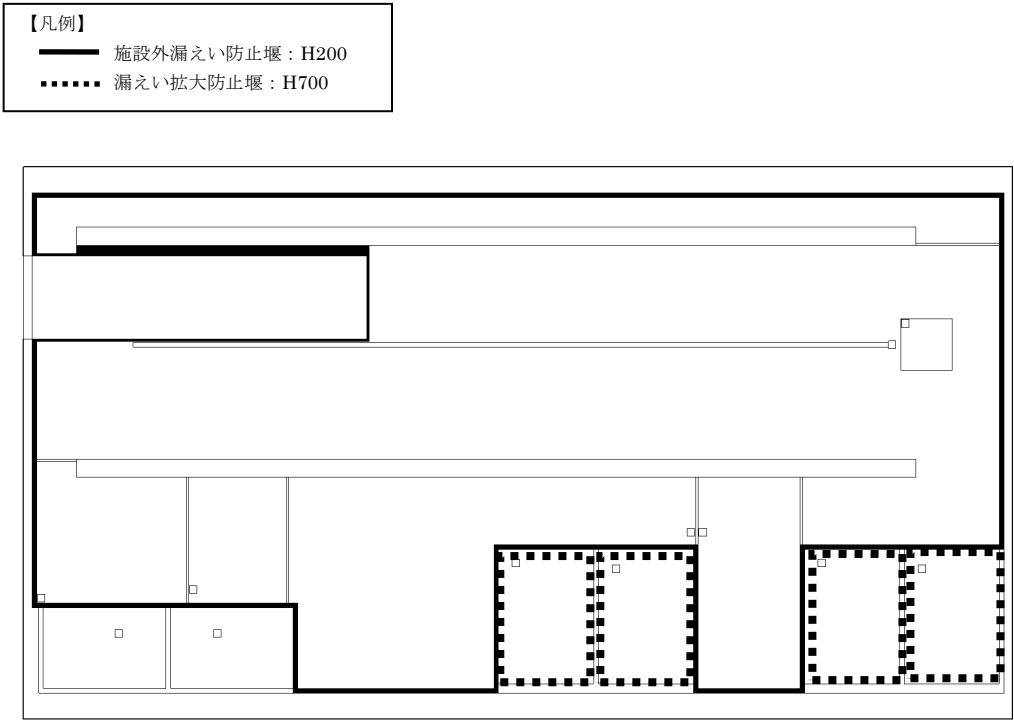
添付資料－５では、GL±0m=T. P. 36. 4m（※）とする。

（※）震災後の地盤沈下量（-709mm）と O. P. から T. P. への換算値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。

<換算式>T. P. =O. P. -1, 436mm

2. 高性能多核種除去設備建屋の堰に関する説明

高性能多核種除去設備建屋の外周に設置される堰の配置を図－１に示す。堰の名称，主要寸法及び材料について，表－２に示す。



図－１ 高性能多核種除去設備建屋 堰を明示した図

表－２ 堰の名称、主要寸法、材料

名 称		高性能多核種除去設備建屋 施設外漏えい防止堰
主要寸法	堰の高さ	150mm 以上
	床・堰の塗装	床面及び床面から堰の高さまで
材 料	堰	鉄筋コンクリート
	床・堰の塗装	ポリウレア樹脂系

名 称		高性能多核種除去設備建屋 漏えい拡大防止堰
主要寸法	堰の高さ	620mm 以上
	床・堰の塗装	床面及び床面から堰の高さまで
材 料	堰	鉄筋コンクリート
	床・堰の塗装	ポリウレア樹脂系

工事工程表

		2014 年									・・・	2022 年		2023 年	
		4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	・・・	11 月	12 月	1 月	2 月
高性能多核種除去設備	高性能多核種除去設備												△ ③		
	高性能多核種除去設備 建屋							△ ①							

: 現地据付

① : 構造，強度又は漏えいに係る試験をすることができる状態になった時

③ : 原子炉施設の工事の計画に係る工事が完了した時

高性能多核種除去設備の具体的な安全確保策

高性能多核種除去設備で扱う液体は、放射性物質を含むことから、漏えい発生防止、放射線遮へい・崩壊熱除去、可燃性ガス滞留防止等について、具体的な安全確保策を以下の通り定め、実施する。

1. 放射性物質の漏えい発生防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

- a. 高性能多核種除去設備を構成する機器は、腐食による漏えい発生防止するため、液性等に応じて、炭素鋼（内面ライニング）、ステンレス鋼、二相ステンレス鋼、ポリエチレン材等を採用する（別添－ 1）。
- b. タンクには水位検出器を設け、オーバーフローを防止するため、インターロックの作動によりポンプを停止する設計とする。
- c. 鋼材もしくはポリエチレンの継手部は、可能な限り溶接構造もしくは融着構造とする。また、漏えい堰等が設置されない移送配管等で継手部がフランジ構造となる場合には、継手部に漏えい防止カバーを設置する。
- d. ポンプの軸封部は、漏えいし難いメカニカルシール構造とする。
- e. K 2，K 4，J 2 エリアの増設多核種除去設備処理済水移送配管と接続するために増設する移送配管は、供用の終了後に配管の水抜きを実施する。
- f. ポリエチレン管の耐震性については、可撓性を有しており地震による有意な応力は発生しない。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

- a. 高性能多核種除去設備は、放射性物質を内包する機器のスキッド毎に漏えいパン及び漏えい検知器を設け、漏えいを早期に検知する。また、高性能多核種除去設備設置エリアの最外周に、漏えいの拡大を防止する堰及び漏えい検知器を設ける（図 1）。なお、トレーラヤードには、スロープ堰を設置する。
- b. 漏えいを検知した場合には、免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室等に警報を発し、運転操作員によりカメラ、流量等の運転監視パラメータ等の状況を確認し、適切な対応を図る。また、大量の漏えいが確認された場合には、高性能多核種除去設備を遠隔操作で停止する。
- c. 漏えい水のコンクリートへの浸透を防止するため、高性能多核種除去設備設置エリアには床塗装を実施する。
- d. 高性能多核種除去設備の設置に伴い新規に敷設する屋外移送配管について、以下の対応を行う。

- ・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の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との取合い等でフランジ接続となる箇所については養生を行い、漏えい拡大防止を図る。また、処理対象水の移送配管は、万一、漏えいしても排水路を通じて環境に放出することがないように、排水路から可能な限り離隔するとともに、排水路を跨ぐ箇所はボックス鋼内等に配管を敷設する。さらに、ボックス鋼端部から排水路に漏えい水が直接流入しないように土のうを設ける。
- ・移送配管は、使用開始までに漏えい確認等を実施し、施工不良等による大規模な漏えいの発生を防止する。また、フランジ継手部は、ガスケットの経年劣化により微小漏えいの発生が懸念されることから、架空化により視認性を向上させ、毎日の巡視点検により漏えいの有無を確認する。
- ・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、系統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。
- ・移送配管の更なる漏えい検知・漏えい拡大防止策について、速やかに検討し、RO濃縮水処理によるリスク低減効果、漏えい拡大防止策の有効性や工期等を踏まえ、可能なものから実施する。対策が完了するまでの間は、巡視点検による漏えい検知を要員へ周知し、確実に実施する。
- e. サンプルタンクの本堰（コンクリート堰）高さは、堰の保有水量がタンク1基分の容量以上となるよう確保する。

2. 放射線遮へい・崩壊熱除去

(1) 放射線遮へい（被ばくに対する考慮）

- a. 高性能多核種除去設備の機器表面線量当量率が1mSv/h以下となるように遮へいを設ける。また、本設備から最寄りの敷地境界における直接線・スカイシャイン線の寄与は年間約0.0036mSvとなる。

評価点	年間線量（mSv/年）
No. 70	0.0036
（参考）No. 66	0.0018
（参考）No. 71	0.0036

- b. 通常運転時は、免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室等から遠隔での監視及び操作を可能とする。
- c. 保守作業時の放射線業務従事者の被ばく低減のため、機器の洗浄が行える構成とする。
- d. 高性能多核種除去設備の運転操作等に係る放射線業務従事者以外の者が不要に近づ

くことがないよう、標識等を設ける。さらに、放射線レベルの高い区域は、標識を設け放射線業務従事者の被ばく低減を図る。

(2) 崩壊熱除去

- a. 処理対象水に含まれる放射性物質の崩壊熱は、通水時は処理水とともに熱除去される。
- b. 使用済フィルタ及び吸着塔の保管時においては、フィルタ及び吸着塔の最高温度は、それぞれ約 67℃、約 182℃と想定される。一方、フィルタ及び吸着塔内の吸着材の耐熱温度は、それぞれ、150℃、600℃であることから、材料の健全性に影響を与えるものではない（別添－2）。

3. 可燃性ガスの滞留防止

- a. 前処理フィルタおよび吸着塔内で水の放射性分解により発生する可能性のある可燃性ガスは、通水時は処理水とともに排出される。通水停止以降も再度その前処理フィルタおよび吸着塔により処理を行う場合には、可燃性ガスが滞留する可能性があるため、前処理フィルタおよび吸着塔内の可燃性ガスの濃度が可燃限界を超えないようベント弁より排出する。なお、高性能多核種除去設備の建屋には、換気装置及び換気装置のための貫通箇所があり、可燃性ガスが滞留し難い構造となっている。
- b. 使用済フィルタ及び吸着塔は、可燃性ガスの滞留防止のため、淡水置換し、エアブローにより水切りした後、使用済フィルタはベント孔を設けた保管容器に収容し、吸着塔はベントを開放して保管する。保管時の水素濃度の評価を行った結果、水素濃度は高いもので約 2.5%となり、可燃限界を超えることはない（別添－3）。

4. 環境条件を踏まえた対応

(1) 腐食

高性能多核種除去設備は、汚染水処理設備の処理済水を処理することから塩化物イオン濃度が高く、薬液注入により pH が変動することから、耐腐食性を有する材料を選定する。また、使用済の吸着塔は、淡水置換し、エアブローにより水切りした後、使用済セシウム吸着塔一時保管施設で貯蔵する。

(2) 熱による劣化

熱による劣化が懸念されるポリエチレン管については、汚染水処理設備の処理済水の温度がほぼ常温のため、熱による材料の劣化の可能性は十分低い。

(3) 凍結

水を移送している過程では、凍結の恐れはない。水の移送を停止した場合、屋外に敷設されているポリエチレン管等は、凍結による破損が懸念される。そのため、屋外敷設のポ

リエチレン管等に保温材を取り付ける。また、建屋内の配管は、温度調整により凍結防止を図る。

今後、タンク増設等に合わせて、追加で敷設する屋外移送配管については、凍結しない十分な厚さを確保した保温材を取り付ける。なお、保温材は、高い気密性と断熱性を有する硬質ポリウレタン等を使用する。

保温材厚さの設定の際には、「建設設備の凍結防止（空気調和・衛生工学会）」に基づき、震災以降に凍結事象が発生した外気温 -8°C 、内部流体の初期温度 5°C 、保温材厚さ 21.4mm の条件において、内部流体が25%※凍結するまでに十分な時間（50時間程度）があることを確認した。なお、震災以降の実測データから、外気温 -8°C が半日程度継続することはない。

※「JIS A 9501 保温保冷工事施工標準」において管内水の凍結割合を25%以上と推奨

(4) 耐放射線性

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。

(5) 紫外線

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。

5. その他

(1) 処理済水の保管容量

多核種除去設備処理済水の保管容量は、半期毎に報告している「福島第一原子力発電所1～4号機における滞留水貯留タンク増設計画」（平成26年4月4日付）において、地下水流入低減対策（地下水バイパス実施、サブドレン汲み上げ等）の実施により、平成27年3月末時点で、多核種除去設備処理水保有量約52万 m^3 の想定に対し、多核種除去設備処理水貯槽容量を約58万 m^3 確保する計画としており、必要な保管容量を確保している。なお、必要に応じて多核種除去設備処理水貯槽の増設等を実施する。

(2) 使用済フィルタの貯蔵

使用済フィルタは、エアブローにより水切りした後、コンクリート製または金属製の保管容器に収容して瓦礫類の一時保管エリアE2で貯蔵する。また、使用済フィルタの保管容

量が逼迫する場合は、必要に応じて瓦礫類をエリアE2以外の一時保管エリア（F1, Q, L, A1, A2, 固体廃棄物貯蔵庫第2棟）に貯蔵し、使用済フィルタの保管容量を確保する。

なお、当初の計画では、固体廃棄物貯蔵庫に貯蔵することを予定していたが、発生する可燃性ガスの拡散性を考慮し、貯蔵先を屋外の瓦礫類の一時保管エリアとする。

コンクリート製の保管容器は、鉄筋を配したコンクリートを使用する。保管容器の蓋には可燃性ガスの滞留防止のため保管容器の蓋にベント孔を設け、蓋が容易に外れないよう容器と固定される構造とする。また、保管容器は、雨水が容易に入り難い構造とする。

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。保管容器の蓋には可燃性ガスの滞留防止のため保管容器の蓋にベント孔を設け、蓋が容易に外れないよう容器と固定される構造とする。また、保管容器は、雨水が容易に入り難い構造とする。

使用済フィルタの保管容器は、年間約 126m³（約 2m³ の容器で 63 個程度）発生すると想定される。また、運用上可能な範囲において処理量を増加（最大で 1.6 倍程度）して運転した場合、使用済フィルタの発生量は、通常が発生量に加えて 1 ヶ月で約 12m³（約 2m³ の容器で 6 個程度）と想定される。

使用済フィルタの保管時は、瓦礫類の一時保管エリアの受入目安表面線量率に応じて、保管容器の表面線量率を管理（保管容器の遮へいを考慮し、保管容器の表面線量率を測定する。また、必要に応じてフィルタの収納数を制限）する。

(3) 使用済吸着塔の貯蔵

使用済吸着塔は、淡水置換し、エアブローにより水切りした後、使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設、第四施設）に貯蔵する。

使用済吸着塔の発生量は、年間 14 基程度（多核種除去設備、増設多核種除去設備の運転に応じて 2 ヶ月程度の処理運転を想定）と想定される。また、運用上可能な範囲において処理量を増加（最大で 1.6 倍程度）して運転した場合、使用済吸着塔の発生量は、通常の発生量に加えて 1 ヶ月で 7 基程度と想定される。

なお、一部の使用済 Cs/Sr 同時吸着塔は、第二セシウム吸着装置、第三セシウム吸着装置にて再利用する。

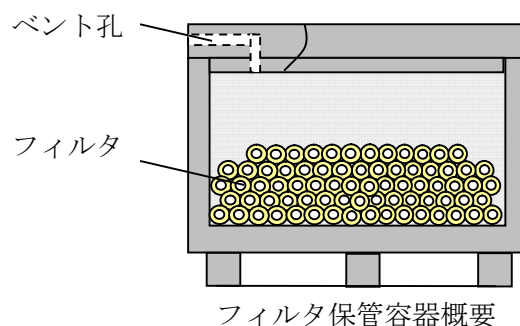
使用済吸着塔の貯蔵による敷地境界への直接線・スカイシャイン線による寄与は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設、第四施設）に貯蔵される他の廃棄物と同程度であり、使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設、第四施設）の敷地境界線量の評価結果に包絡される。

(4) 交換作業時の考慮

- a. 使用済吸着塔・フィルタは、平成 23 年 6 月から実施している実績のあるセシウム吸着装置の吸着塔と同様の要領により、使用済みセシウム吸着塔一時保管施設等に搬入される。交換作業は、フォークリフトおよびトレーラ等を用いる。

吸着塔およびフィルタ保管容器は鋼製もしくはコンクリート製であり、万一の落下時等に損傷し難い構造となっているが、落下等の発生防止の観点等で、フォークリフト等の操作は経験を積んだ操作者が行うこととする。

- b. 運搬時に落下することを防止するため、使用済吸着塔はトレーラ上に固定されたラックに収容し、フィルタ保管容器はトレーラに固縛するなどの対策を講じて輸送する。



6. 多核種除去設備において確認された不具合事象の対応

多核種除去設備でこれまでに確認された不具合事象の高性能多核種除去設備への対応を以下に記す。また、多核種除去設備で今後発生する不具合についても、適宜対策を反映していく。

(1) 誤操作による連続処理停止事象

運転データ取得のため、運転操作員が監視・制御画面（タッチパネル）を操作したところ、機器の「選択操作」を誤り、設備が自動停止した。対策として、シングルアクションとなっていた「選択操作」をダブルアクションとなるようソフト変更を行っており、高性能多核種除去設備においても同様に「選択操作」をダブルアクションとする設計とする設計とする。

(2) バッチ処理タンクからの漏えい事象

バッチ処理タンクからの漏えいが確認された原因は、当該材料である SUS316L 材のすき間腐食（生成した鉄沈殿物がタンク内に堆積・付着することによるすき間環境の形成及び薬液注入（次亜塩素酸）等による腐食環境の促進）と推定した。対策として、次亜塩素酸の注入の停止、バッチ処理タンクへのゴムライニング施工及びすき間腐食発生の可能性があるフランジに対しガスケット型犠牲陽極等を施工した。

高性能多核種除去設備では、処理の過程においてすき間環境の形成要因となる鉄沈殿物は発生せず、腐食環境の促進要因となる次亜塩素酸を使用しない。また、耐腐食性の高い二相ステンレス鋼、ステンレス鋼及びライニング付き炭素鋼を採用する。

(3) クロスフローフィルタからのスラリー透過事象に対する対応

クロスフローフィルタ（以下、「CFF」という。）のガスケット（テフロン PTFE 製）が β 線照射により照射されたことによって脆化し、逆洗時の圧力脈動等によって欠損・傷が発生したことで、ストロンチウムを含む炭酸塩スラリーが下流側へ流出し、出口水に高い放射能濃度が確認された。この対策として、当該ガスケットを耐放射線性に優れる合成ゴム（EPDM）へ変更した CFF へ交換を実施している。

高性能多核種除去設備では、CFF を用いない設備構成としているものの、以下の汚染拡大対策を図る（別添－4）。

- ・処理済水移送設備（サンプルタンク、処理済水移送ポンプ）の導入
- ・サンプルタンクが万一汚染した場合の再処理ラインの設置

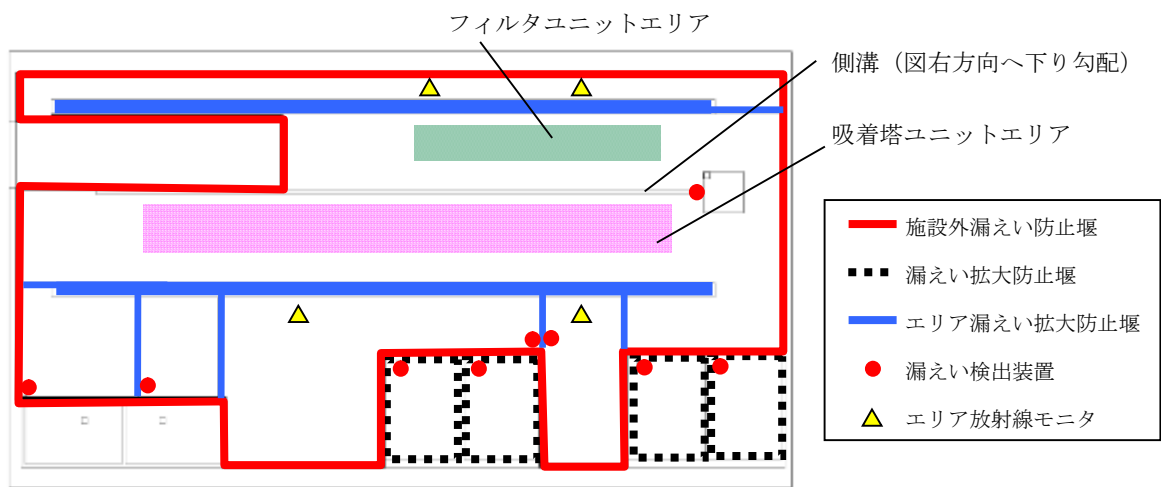


図1 堰及び漏えい検出装置等の配置概要（上から見た図）

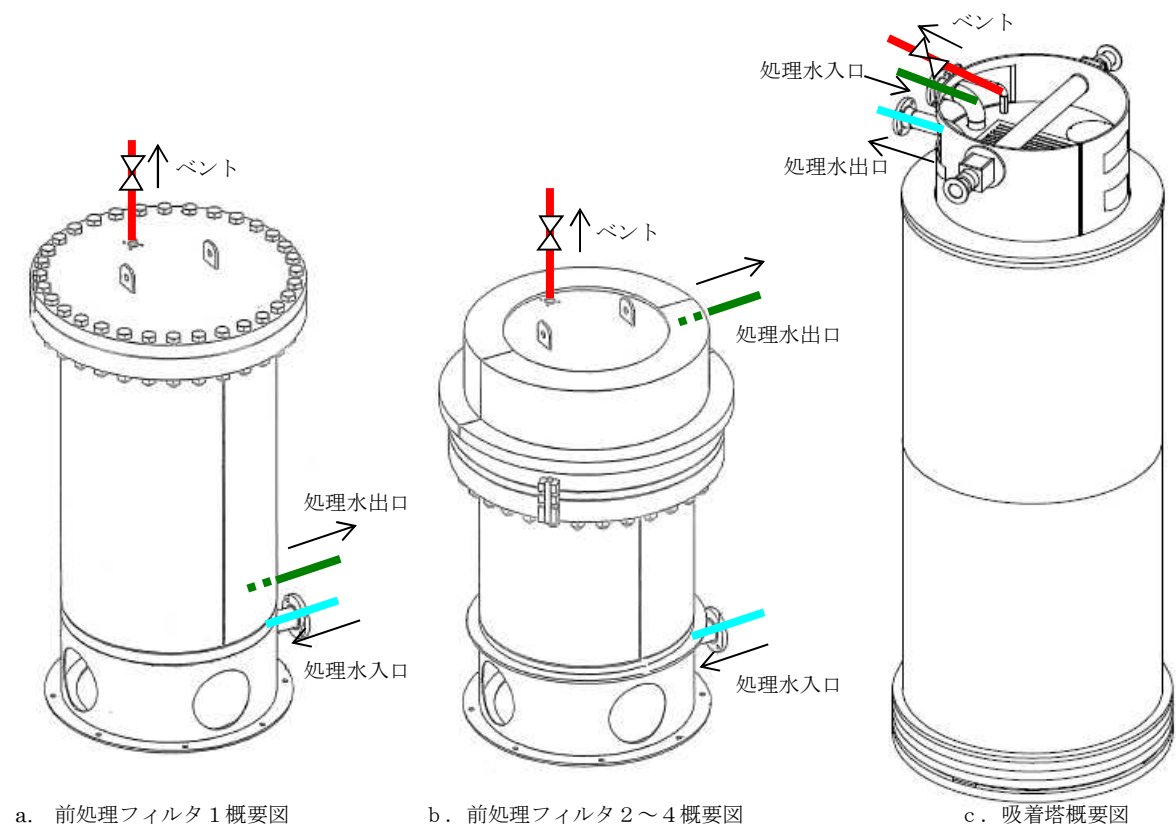


図2 前処理フィルター，吸着塔概要図

高性能多核種除去設備に使用する材料の適合性評価

1. はじめに

高性能多核種除去設備は、RO 濃縮塩水等进行处理することから、系統内の塩化物イオン濃度が高く、また、薬液注入により pH が変動する。そのため高性能多核種除去設備の使用環境における材料の適合性について評価を実施した。

2. 使用環境における材料の適合性について

高性能多核種除去設備を構成する主な機器の材料選定理由を表１に示す。表１の材料のうち、二相ステンレス鋼、ステンレス鋼、炭素鋼に対する耐食性について評価を行った。

表１ 高性能多核種除去設備を構成する主な機器の使用材料と選定理由

機器	材料	選定理由
多核種吸着塔	二相ステンレス鋼 (UNS S31803, UNS S32205, UNS S32750)	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから、耐食性に優れる二相ステンレス鋼 (UNS S31803, UNS S32205, UNS S32750) を使用する。
	ステンレス鋼 (SUS316L, SUS316LTP, SUSF316L)	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから、耐食性に優れるステンレス鋼 (SUS316L, SUS316LTP, SUSF316L) を使用する。多核種除去設備において、活性炭を収容する吸着塔及び近傍のフランジ部に、微小なすき間腐食が確認された知見を踏まえ、当該箇所においてステンレス鋼は使用しない。また、低 pH 条件においても腐食が加速する要因となる可能性があるためステンレス鋼は使用しない。
前処理フィルタ	炭素鋼 (ASME SA 516 Gr. 70)	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから、耐食性に優れる炭素鋼 (エポキシライニング付) を使用する。
タンク類	炭素鋼 (SM400C)	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから、ゴムライニング付の炭素鋼または内面塗装を施した炭素鋼を使用する。
配管 (鋼管)	二相ステンレス鋼 (UNS S31803, UNS S32205, UNS S32750, 炭素鋼 (STPT410) ステンレス鋼 (SUS316LTP)	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから、耐食性に優れる二相ステンレス (UNS S31803, UNS S32205, UNS S32750) またはステンレス鋼 (SUS316LTP) を使用する。多核種除去設備において、活性炭を収容する吸着塔及び近傍のフランジ部に、微小なすき間腐食が確認された知見を踏まえ、当該箇所においてステンレス鋼は使用しない。また、低 pH 条件においても腐食が加速する要因となる可能性があるためステンレス鋼は使用しない。炭素鋼を使用する場合は、ポリエチレンライニング付の炭素鋼を使用する。
配管 (ポリエチレン管)	ポリエチレン	耐食性に優れることから、屋外配管に主に使用する。

2.1 二相ステンレス鋼及び炭素鋼の耐食性について

炭素鋼は、ゴムライニング施行するため、腐食の発生の可能性はない。

二相ステンレス鋼の腐食モードを表2に示す。二相ステンレス鋼の腐食モードに対する耐食性について、表3に示す使用範囲を考慮し評価を実施した。

表2 使用材料における腐食モード

使用材料	腐食モード
二相ステンレス鋼	応力腐食割れ(SCC)
	すきま腐食
	孔食
	全面腐食

表3 二相ステンレス鋼を使用する範囲の環境

二相ステンレス鋼	使用範囲		
	塩化物イオン 濃度[ppm]	常用温度 [℃]	pH
	6,350	0～40℃	3.5～10

a. 二相ステンレス鋼の応力腐食割れ (SCC)

応力腐食割れ (SCC) の発生には、使用温度と塩化物イオン濃度が影響する。塩化物イオン濃度が 10ppm を超える条件においては、304 系ステンレス鋼の SCC 発生臨界温度は約 50℃とされており¹⁾²⁾、また二相ステンレス鋼の耐 SCC 性はオーステナイト系ステンレス鋼よりも良好であることから²⁾使用温度が 40℃であれば、塩化物イオン濃度が 6,350ppm の環境であっても SCC が発生する可能性は低いと考えられる。

b. 二相ステンレス鋼のすきま腐食

すきま腐食の発生には、使用温度、塩化物イオン濃度等が寄与し、高性能多核種除去設備の使用環境下では、すきま腐食が発生し得る条件であるが³⁾、腐食発生時間を考慮すると、50℃、塩化物イオン濃度 19,000ppm の条件でも、腐食発生までに 80 年以上を有するというデータもあり⁴⁾、すきま腐食が発生する可能性は低いと考えられる。

c. 二相ステンレス鋼の孔食

孔食よりも発生しやすいとされるすきま腐食の可能性が低いと判断されることから、孔食が発生する可能性も低いと判断できる。

d. 二相ステンレス鋼の全面腐食

全面腐食の発生には、pH および流れが影響する。pH が 7.5 程度の使用環境では不動態皮膜は安定である⁵⁾。不動態皮膜は高い流速にも耐え、全面腐食が進行する速度は小さいと考えられる⁶⁾。二相ステンレス鋼の全面腐食特性は、ステンレス鋼（SUS316L）に比べて優れており、また pH が 3.5 まで低下しても脱不動態化には至らないと考えられるため⁷⁾、全面腐食が進行する速度は小さいと考えられる。

2.2 ステンレス鋼の耐食性について

ステンレス鋼（SUS316L）の腐食モードを表 4 に示す。ステンレス鋼の腐食モードに対する耐食性について、表 5 に示す使用範囲を考慮し評価を実施した。

表 2 使用材料における腐食モード

使用材料	腐食モード
ステンレス鋼 (SUS316L)	応力腐食割れ (SCC)
	すきま腐食
	孔食
	全面腐食

表 3 ステンレス鋼を使用する範囲の環境

ステンレス鋼	使用範囲		
	塩化物イオン 濃度 [ppm]	常用温度 [℃]	pH
	6,350	0～40℃	7～10

a. ステンレス鋼の応力腐食割れ（SCC）

応力腐食割れ（SCC）の発生には、使用温度と塩化物イオン濃度が影響する。温度および塩化物イオン濃度が高いほど SCC は発生しやすい。中性条件では SUS316L の場合 70～90℃以上で SCC が発生する。使用温度が常温（最高温度 40℃）であれば、塩化物イオン濃度が 6,350ppm の環境であっても SCC が発生する可能性は低いと考えられる。

b. ステンレス鋼のすきま腐食

すきま腐食の発生には、使用温度、塩化物イオン濃度が影響する。淡水や海水などの通常の中性塩化物溶液中において、316系ステンレス鋼にすきま腐食が発生する下限界のCl⁻濃度は、30℃で約16,000 ppm程度⁸⁾との報告例がある。また、セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置の主配管、吸着塔等に使用されており、1万数千 ppm～数百 ppmの塩化物イオン濃度での使用実績があるが、次亜塩素酸注入等の腐食加速因子がない場合においては、腐食事象は見られていない。

今回の処理対象のRO濃縮水のCl⁻濃度は最大6,350ppm程度であり、すきま腐食の発生下限界のCl⁻濃度を下回っているため、すきま腐食発生の可能性は低い。

第二セシウム吸着装置、多核種除去設備で見られたSUS316Lの腐食事象においては、次亜塩素酸注入により腐食が加速される要因となっていたが、本設備においては次亜塩素酸を使用しない。また、多核種除去設備において、活性炭を収容する吸着塔及び近傍のフランジ部に、微小なすき間腐食が確認された知見を踏まえ、本設備の当該箇所においてステンレス鋼は使用しない。低pH条件においても腐食が加速する要因となる可能性があるためステンレス鋼は使用しない。

c. ステンレス鋼の孔食

孔食の発生には、定常腐食電位、使用温度、塩化物イオン濃度が影響する。孔食のほうがすきま腐食よりも発生し難いと判断されるため孔食発生の可能性が低い。

d. ステンレス鋼の全面腐食

全面腐食の発生には、pHおよび流れが影響する。pHが7～10程度の使用環境では不動態皮膜は安定である⁵⁾。不動態皮膜は高い流速にも耐え、全面腐食が進行する速度は小さいと考えられる⁶⁾ため、全面腐食は発生し難い。

- 1) 篠原正, 新谷嘉弘, 辻川茂男: 材料と環境, 第 46 巻 (1997) p695.
- 2) 遅沢浩一郎: ステンレス鋼の特性と使用上の要点, (社) 腐食防食協会 腐食センター.
- 3) 宮坂松甫: エバラ技報, 腐食防食講座—海水ポンプの腐食と対策技術 (第 5 報), No. 224 (2009-7) p28.
- 4) 松橋亮, 松橋透: 第 167 回腐食防食シンポジウム資料 (2010) .
- 5) 小野山征生, 辻正宣, 志谷健才: 防食技術, 第 28 巻 (1979) p532.
- 6) 宮坂松甫: 材料と環境, 第 47 巻 (1998) p164-165.
- 7) 腐食防食便覧, 腐食防食協会編 (現学会), 日刊工業新聞社 (1986) p103. (原著 H. R. Copson: Physical Metallurgy of Stress Corrosion Fracture, New York (1959) p247.)
- 8) L. F. Plock and H. B. Bomberger: CORROSION/68, NACE International, Paper No. 36 (1968)

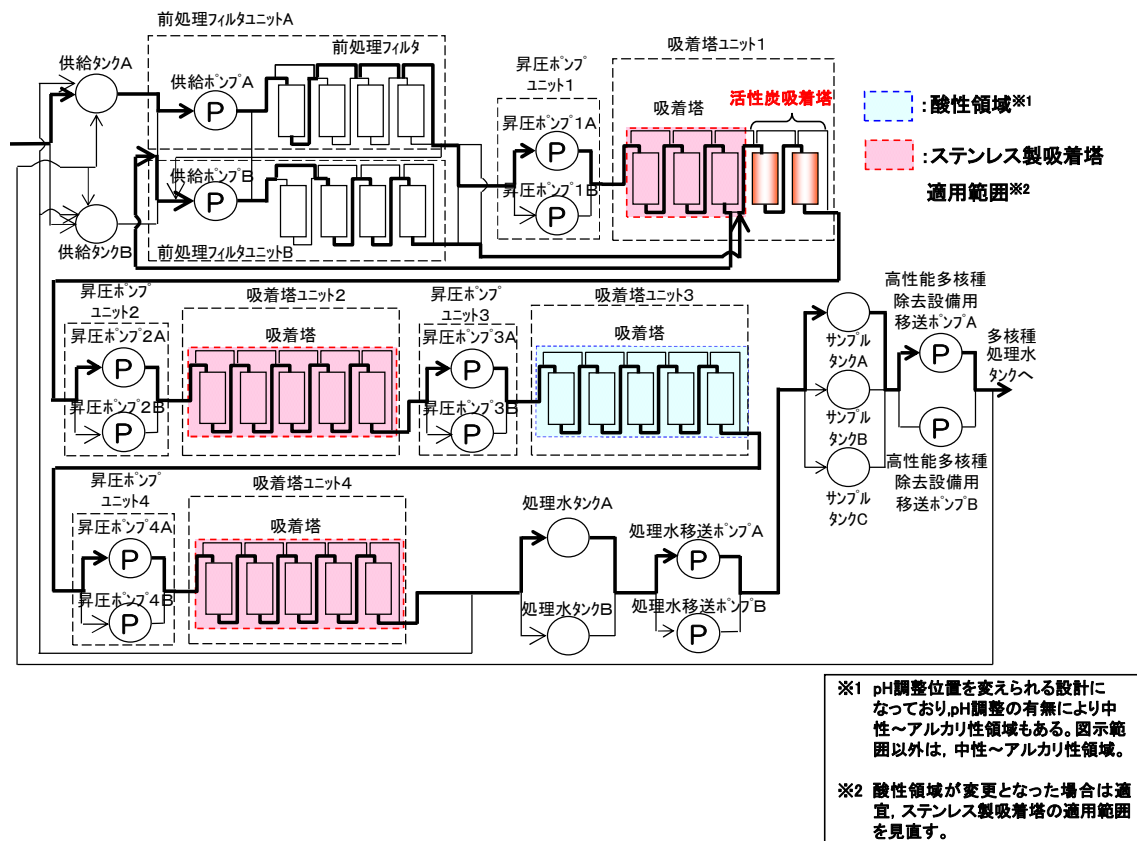


図 3 高性能多核種除去設備における液性

3. 腐食への対応方針

高性能多核種除去設備で使用する二相ステンレス鋼，ステンレス鋼の腐食モードへの対応方針として，腐食が発生する可能性がある箇所について定期的な点検・保守を行っていく。また，長期間の貯蔵が必要となる多核種吸着塔については，腐食環境の緩和するため淡水置換し，エアブローによる水切りを行う。

以 上

高性能多核種除去温度評価

温度評価は、前処理フィルタ及び多核種吸着塔の収容物からの発熱を入熱条件とし、解析により前処理フィルタ及び多核種吸着塔の最高温度を評価する。

1. 評価概要

○ 評価手法：

熱解析プログラムSTAR-CCMにより、発熱体からの自然対流熱伝達，熱輻射，固体熱伝導を考慮し，吸着塔の温度分布を解析した。

○ 入熱条件：

フィルタ及び吸着材のうち，発熱量が最大となるフィルタ 3，4 及び多核種吸着塔 1 の吸着材を発熱体とした。なお，発熱量の算出に用いる各前処理フィルタ及び多核種吸着塔内の放射能濃度は，各フィルタ・吸着塔の入口濃度から除去率，通水量を考慮して算出した値に保守的に 30%を加算した値とする。

○ 評価条件：

- ・フィルタは，保管容器に収容される。本評価では，容器及び内部のフィルタをモデル化し，解析により温度評価を実施した（図 1 参照）。
- ・放射能濃度は，各フィルタ・吸着塔の入口濃度から除去率，通水量（機器表面線量が 1mSv/h 以下となるよう設定）を考慮して算出した値に保守的に 30%を加算して評価を行う。
- ・多核種吸着塔は，中空の円柱形の容器（二相ステンレス製，ステンレス製）内に収用されており，さらに容器の外周には鉛の遮へい体が設置されている。本評価では，容器及び遮へい体をモデル化し，解析により温度評価を実施した（図 2 参照）。放射能濃度は，想定される濃度に対して，保守的に 30%を加算して評価を行う。

2. 解析結果

フィルタ及び多核種吸着塔の温度評価の結果，最高温度はフィルタでは約 67℃，多核種吸着塔では二相ステンレス製であり約 182℃となった（図 3，図 4 参照）。フィルタ及び吸着塔内の吸着材の耐熱温度は，それぞれ，150℃，600℃であることから，材料の健全性に影響を与えるものではない。

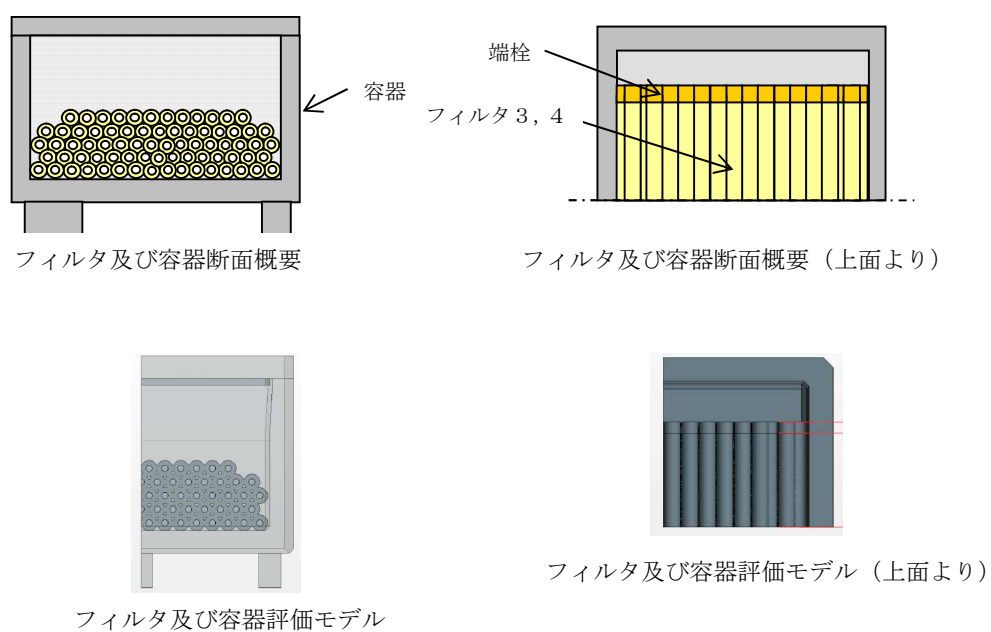


図 1 フィルタの評価モデル

表 1 フィルタの評価に用いた物性値等

発熱量	70[W]
フィルタ	0.25[W/m K]
端栓	0.19[W/m K]
容器	1.2[W/m K]
空気	伝熱工学資料第 4 版 常圧下の気体の熱物性値から近似式 により算出

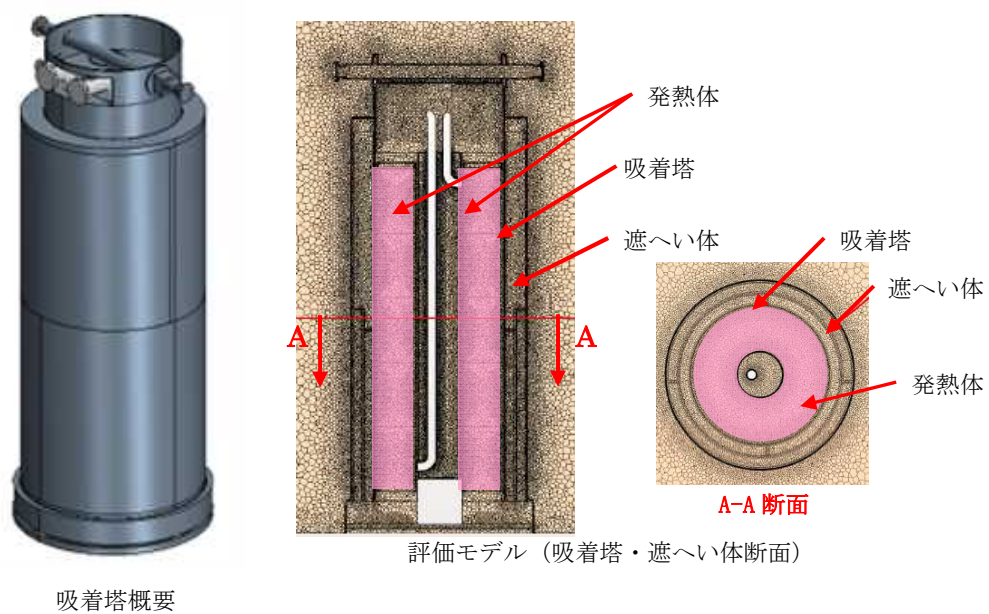


図 2 吸着材の評価モデル

表 2 吸着塔の評価に用いた物性値等

発熱量	1000[W]
吸着材 1	熱伝導率は表 3 に示す値から線形補間
容器 (S32750)	熱伝導率は表 4 に示す値から線形補間 (二相ステンレス鋼加工マニュアル 第二版 2009 年)
遮へい体 (鉛)	径方向 0.75[W/m K] 周方向, 軸方向 30.5[W/m K]
空気	伝熱工学資料第 4 版 常圧下の気体の熱物性値から近似式により算出

表 3 吸着材 1 熱伝導率

温度	熱伝導率
25.0 [°C]	0.119 [W/m・K]
125.0 [°C]	0.161 [W/m・K]
250.0 [°C]	0.186 [W/m・K]
375.0 [°C]	0.183 [W/m・K]
500.0 [°C]	0.182 [W/m・K]

表 4 容器(S32750)熱伝導率

温度	熱伝導率
297 [K]	16.0 [W/m・K]
373 [K]	17.0 [W/m・K]
473 [K]	19.0 [W/m・K]
573 [K]	20.0 [W/m・K]

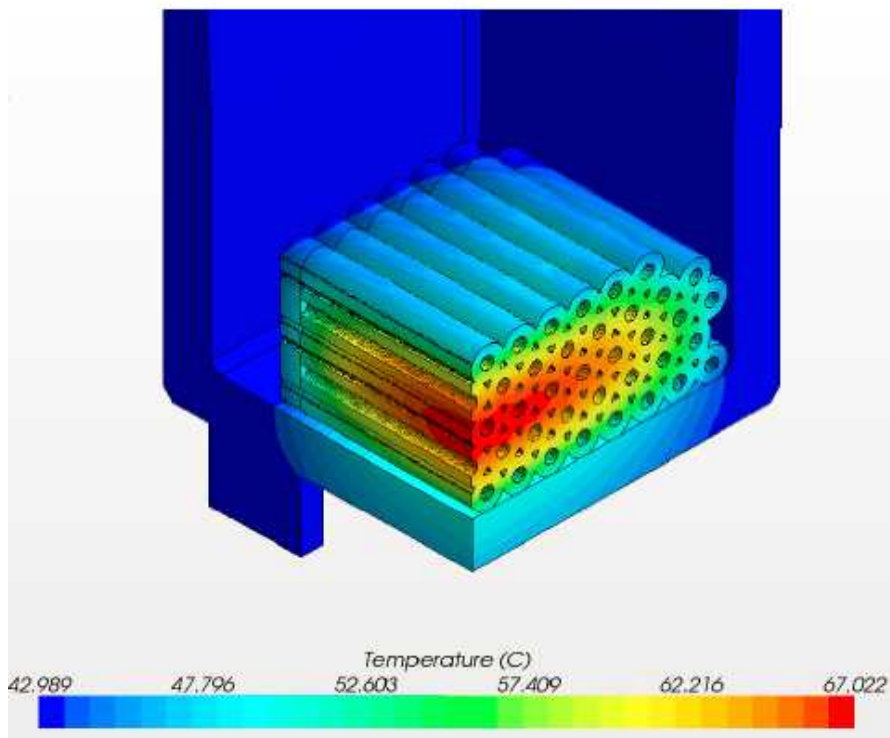


図3 フィルタ温度評価結果

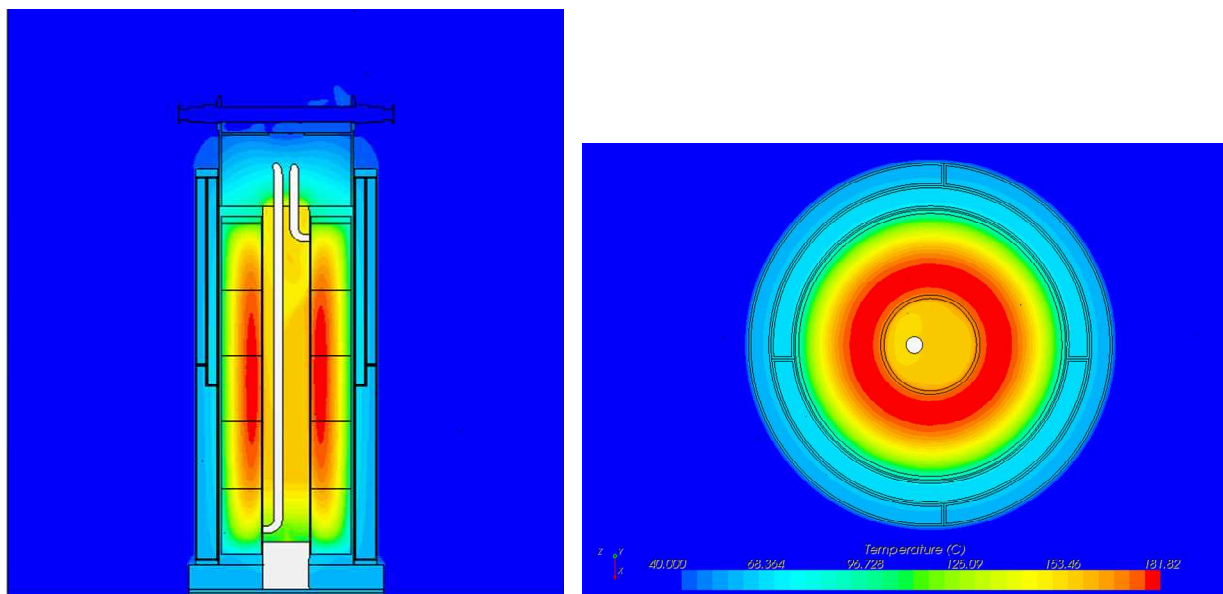


図4 吸着塔温度評価結果

水素発生量評価について

高性能多核種除去設備における水素発生量評価の結果を以下に示す。使用するフィルタ及び吸着材のうち、水素発生速度が最も高い吸着材を収容する吸着塔の評価結果を以下に示す。

1. 水素発生量評価

水素は、吸着した核種の崩壊エネルギーが容器内に残留する水に吸収され発生する。水素発生速度 $H(\text{mol/s})$ は次式により求めた。なお、水が吸収するエネルギーを算出する際に用いた吸着材に含まれる放射能濃度は、吸着塔の入口濃度から除去率、通水量（機器表面線量が 1mSv/h 以下となるよう設定）を考慮して算出した値に保守的に30%を加算して評価を行う。

$$H = G \times \alpha \times E \div A$$

H ：水素発生速度

G ：水が 100eV のエネルギーを吸収した際に発生する水素分子の個数， 0.45

α ：含水率， 1.0

E ：水が吸収するエネルギー： 5.44×10^{19} (100eV/s)

A ：アボガドロ数 (6.02×10^{23} 個/mol)

2. 水素到達濃度評価

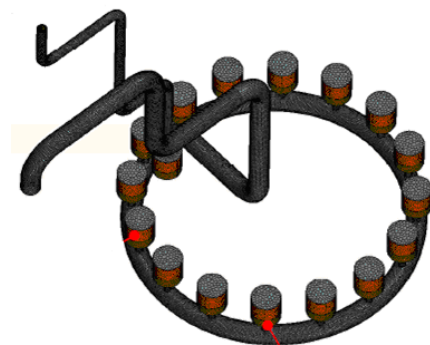
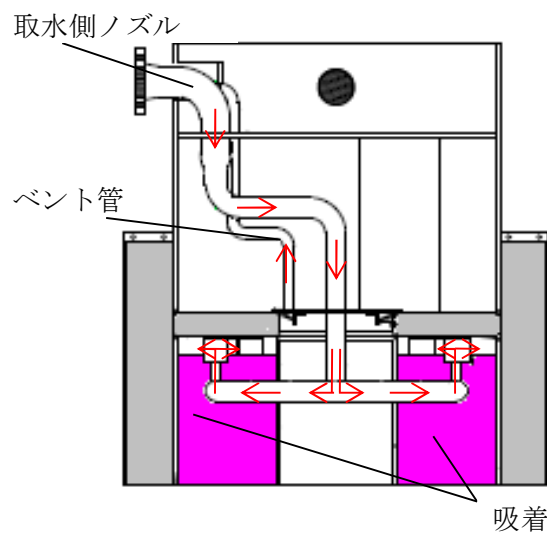
高性能容器内の水素到達濃度は、水素発生量と濃度勾配から生じる拡散による水素排出量を考慮し、以下の方法で評価する。

3. 水素到達濃度評価

吸着塔内の吸着材充填領域から発生した水素ガスは、吸着塔上部の空間部に排出される。吸着塔は、保管時にベント管と取水側のノズルを開放し、上部空間の水素は空気との密度差により上昇しベント管から排出される。また、排出された水素ガスの体積に応じて、取水側ノズルから空気が流入する（図1参照）。このときの水素の排出と空気の流入を流体解析コード(STAR-CCM+)により解析し、吸着塔内の水素濃度を評価した。

4. 評価結果

解析の結果、吸着塔内の到達水素濃度は2.5%となる（図2参照）。



ベント管及び取水側ノズルのモデル

図1 多核種吸着塔の評価体系

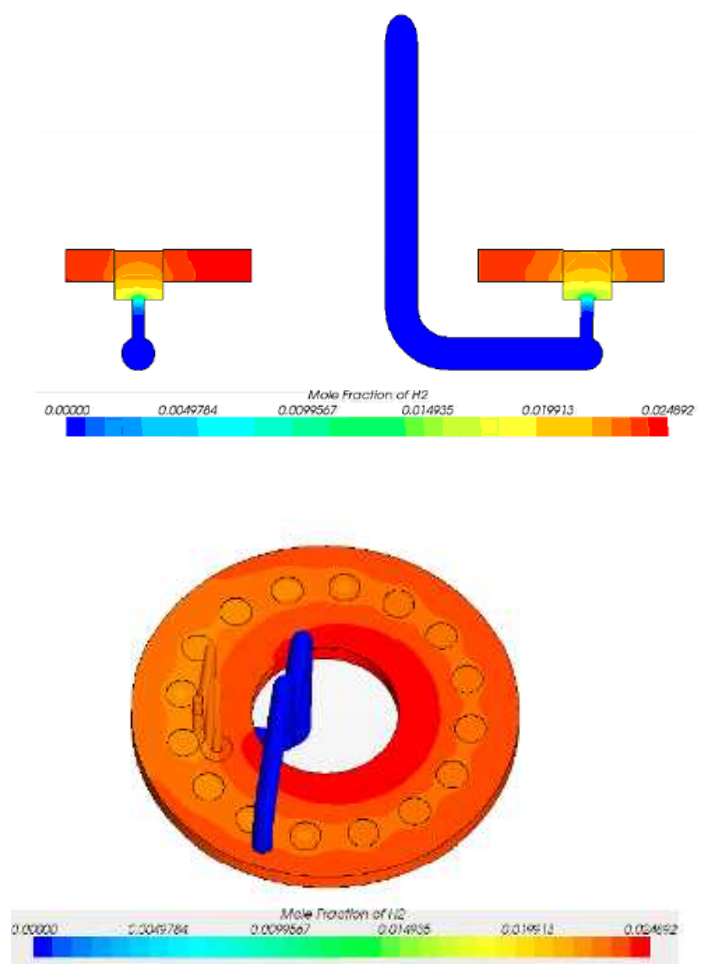


図2 評価結果

高性能多核種除去設備 汚染拡大防止対応状況について

1. 概要

多核種除去設備 B 系のクロスフローフィルタパッキン損傷に伴う炭酸塩スラリーの透過事象により、その下流の配管、多核種除去設備の処理済水を貯蔵する貯蔵タンク等において、全β濃度の上昇を確認した。

また、上記事象により、汚染拡大防止の観点から、運転中の A/C 系統の停止も余儀なくされた（その後、A/C 系統は健全であることが確認されたことから、汚染された系統の洗浄のため再起動を実施）。

高性能多核種除去設備は、クロスフローフィルタを用いない設備構成であるものの、当該事象を踏まえ、以下の対策を追加で実施することにより、上記と同様な事象発生時の汚染拡大を防止するとともに、健全な系統による浄化が可能な構成とする。

- ・ 処理済水移送設備（サンプルタンク、処理済水移送ポンプ）の導入
- ・ サンプルタンクが万一汚染した場合の再処理ラインの設置

2. 処理済水移送設備、再処理ライン等の設置

高性能多核種除去設備の処理済水は当初、移送ポンプから処理済水を貯蔵するタンク（多核種処理水貯槽）へ直接移送する計画でいたが、多核種除去設備で発生した貯蔵タンク等の汚染を踏まえ、サンプルタンク、処理済水移送ポンプを設置する。

また、処理済水移送ポンプの下流から高性能多核種除去設備の処理水受入タンクへの戻りラインを設置し、万一サンプルタンクまで汚染した場合は、当該汚染水を再処理する。

当該のライン設置により、損傷系統以外の系統は上記の汚染水の再処理を含めて運転継続することが可能となる。

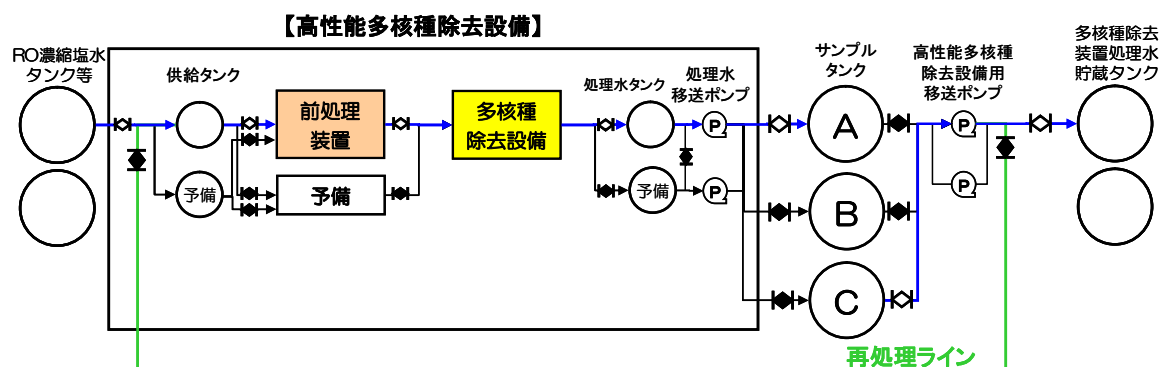


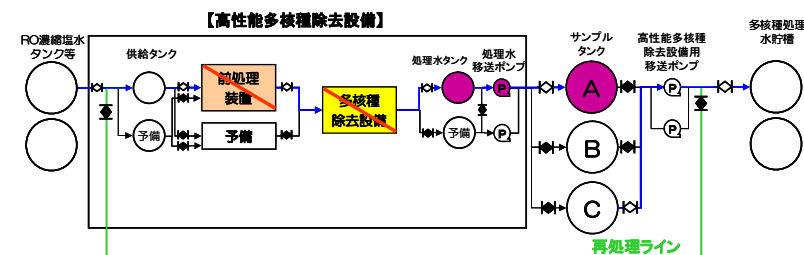
図1 処理済水移送設備、再処理ライン等の概要

3. 汚染発生時の対応の流れ

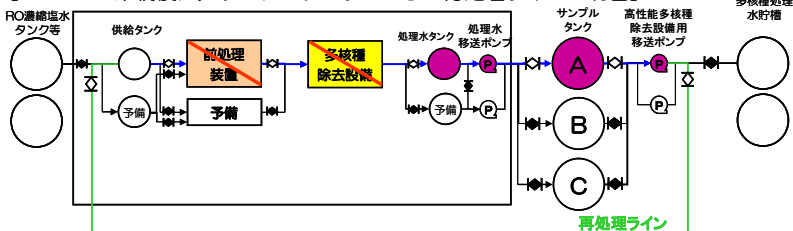
【評価条件】

- サンプルタンクはAが受入れ中、Cが払い出し中
- サンプルタンクAの分析にて汚染を確認。

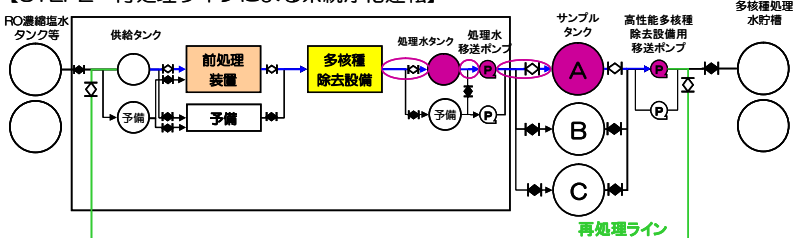
【STEP0：損傷発生】



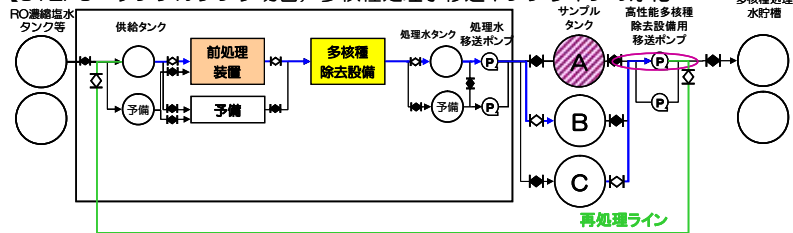
【STEP1：系統復旧，サンプルタンクAからの再処理ラインに切替】



【STEP2：再処理ラインによる系統浄化運転】



【STEP3：サンプルタンク切替，多核種処理水移送ポンプラインの浄化



【STEP4：連続処理，サンプルタンクA除染】

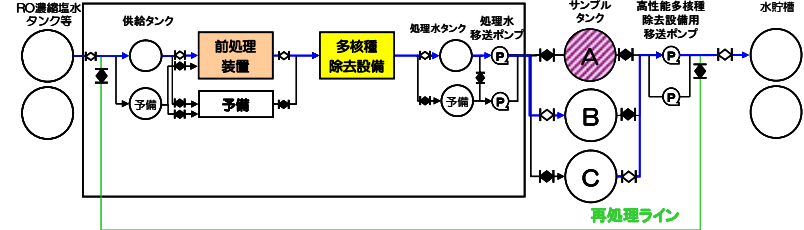


図2 汚染発生時の対応ステップ（1 / 2）

【STEP5：サンプルタンクA復旧】

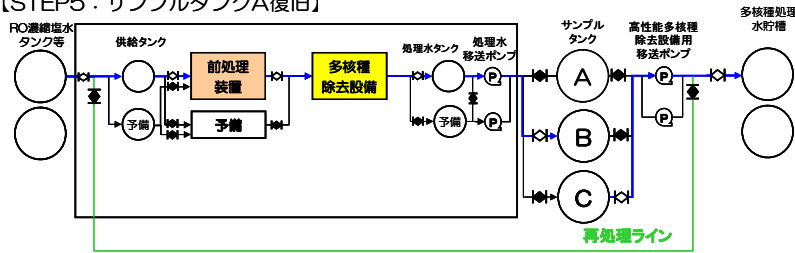


図2 汚染発生時の対応ステップ（2 / 2）

4. その他（ β モニタの概要）

- 更なる信頼性向上の観点から β モニタを今後、設置する。
- 運用としては、多核種除去設備からサンプルタンク出口ラインより処理水を抜き出し、モニタリングする。モニタリング後の水は、処理水タンクへ移送する。

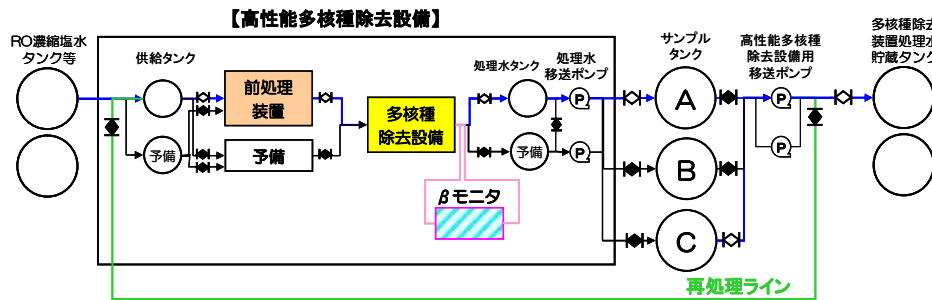


図3 β モニタシステムの概要

以上

高性能多核種除去設備に係る確認事項

高性能多核種除去設備に係る主要な確認事項を表－ 1 ～ 1 3 に示す。

なお、ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設と兼用する配管（鋼管，ポリエチレン管，耐圧ホース）に係る主要な確認事項は，「Ⅱ 2.50 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設」に示す。

表－ 1 確認事項（供給タンク，処理水タンク）

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主要寸法について記録を確認する。※ 1	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※ 1	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおりに据付られていることを確認する。	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	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。

※ 1：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－２ 確認事項（サンプルタンク）

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主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※ 1	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおりに据付られており、タンク基礎の不陸について確認する。また、支持力試験にて、タンク基礎の地盤支持力を確認する。※1	実施計画のとおり施工・据付されており、タンク基礎の不陸に異常がないこと。また、必要な支持力を有していること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを記録で確認する。 耐圧確認終了後、漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。
性能	監視確認	水位計について、免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御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及びシールド中央制御室にタンク水位が表示できること。
	寸法確認	基礎外周堰の高さを確認する。	必要容量に相当する高さがあること。
	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。

※1：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－３ 確認事項（前処理フィルタ 1, 2～4, 多核種吸着塔
（二相ステンレス製, ステンレス製））

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主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※ 1	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置, 据付状態について確認する。※1	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	確認圧力で保持した後, 確認圧力に耐えていることについて記録を確認する。 耐圧確認終了後, 漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え, かつ構造物の変形等がないこと。 また, 耐圧部から著しい漏えいがないこと。

※1：現地では実施可能な範囲とし, 必要に応じて記録を確認する。

表－４ 確認事項（供給ポンプ 1，昇圧ポンプ 1～4，
処理水移送ポンプ，高性能多核種除去設備用移送ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。※ 1	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態 について確認する。※1	実施計画のとおり施工・据付 されていること。
	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。

※1：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－５ 確認事項（主配管（鋼管））

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。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※ 1	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。※1	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	確認圧力で保持した後, 確認圧力に耐えていることについて記録を確認する。 耐圧確認終了後, 耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え, かつ構造物の変形等がないこと。 また, 耐圧部から著しい漏えいがないこと。

※1：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－6 確認事項（主配管（ポリエチレン管））

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※ ²	①主な材料について記録を確認する。	当該材料規格の規定のとおりであること。
		②実施計画に記載した材料について、製品検査成績書等により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	寸法確認※ ²	①主要寸法について記録を確認する。	製造者寸法許容範囲内であること。
		②実施計画に記載した主要寸法（外径相当）について、製品検査成績書等により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※ 1	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおりに据付していることを記録等により確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能・性能	通水確認	耐圧・漏えい確認	耐圧部から著しい漏えいがないこと。
		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。

※1：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

※2：①②は、いずれかとする。

表－７ 確認事項（主配管（耐圧ホース））

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について記録を確認する。	製造メーカー寸法許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※ 1	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。※1	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	最高使用圧力による耐圧漏えい確認を行う。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。

※1：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－８ 確認事項（漏えい検出装置及び警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
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	設定通りに警報が作動することを確認する。	漏えいを検知し，警報が作動すること。設定通りに、警報が作動すること。

表－９ 確認事項（エリア放射線モニタ）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
監視	構造確認	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	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画の通りに施工・据付されていること。
	機能確認	警報確認	設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。
	性能確認	線源校正確認	標準線源を用いて線量当量率を測定し，各検出器の校正が正しいことを確認する。	基準線量当量率に対する正味線量当量率が，許容範囲以内であること。
		校正確認	モニタ内のテスト信号発生部により，各校正点の基準入力を与え，その時の指示値が正しいことを確認する。	各指示値が許容範囲以内に入っていること。

表－１０ 確認事項（基礎）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	材料確認	構造体コンクリートの圧縮強度を確認する。	構造体コンクリート強度が、実施計画に記載されている設計基準強度に対して、JASS 5N の基準を満足すること。
		鉄筋の材質，強度，化学成分を確認する。	JIS G 3112 に適合すること。
	寸法確認	構造体コンクリート部材の断面寸法を確認する。	構造体コンクリート部材の断面寸法が，実施計画に記載されている寸法に対して，JASS 5N の基準を満足すること。
	据付確認	鉄筋の径，間隔を確認する。	鉄筋の径が実施計画に記載されている通りであること。鉄筋の間隔が実施計画に記載されているピッチにほぼ均等に分布していること。

表－１１ 確認事項（地盤）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	寸法確認	地盤改良範囲（深さ）を確認する。	地盤改良範囲（深さ）が，実施計画に記されている支持層に達していること。
	強度確認	地盤改良強度を確認する。	地盤改良土の一軸圧縮強さが，実施計画に記されている許容圧縮応力度を上回ること。

表－１２ 確認事項（堰その他の設備）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
漏えい防止	材料確認	実施計画に記載されている主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	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	堰その他の設備の据付位置，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。

表－１３ 確認事項（高性能多核種除去設備）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
性能	運転性能確認	実施計画に記載の容量が通水可能であることを確認する。	実施計画に記載した容量を通水することが可能であり、設備からの異音，異臭，振動等の異常がないこと。
	除去性能	処理済水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）について，除去対象とする 62 核種の放射能濃度を確認する。	『東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示』に定める周辺監視区域外の水中の濃度限界未満であること。

高性能多核種除去設備の溶接部に係る主要な確認事項を表－１４～１６に示す。

表－１４ 確認事項（供給タンク、主配管、多核種吸着塔（ステンレス製）の溶接検査）

確認事項	確認項目	対象設備	確認内容	判定基準
溶接検査	材料検査	①供給タンク ②供給タンク～吸着塔までの外径 61mm 以上の主配管 ③多核種吸着塔（ステンレス製）	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	①供給タンク ②供給タンク～吸着塔までの外径 61mm 以上の主配管 ③多核種吸着塔（ステンレス製）	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	①供給タンク ②供給タンク～吸着塔までの外径 61mm 以上の主配管 ③多核種吸着塔（ステンレス製）	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

溶接検査	非破壊試験	①供給タンク ②供給タンク～吸着塔までの外径 61mm 以上の主配管 ③多核種吸着塔（ステンレス製）	溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）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（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）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。
	機械試験	③多核種吸着塔（ステンレス製）	溶接部（突合せ溶接部）を代表する試験片で機械試験を行い、その試験方法およ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。	試験方法および結果が溶接規格等に適合するものであること。
	耐圧・漏えい確認 外観確認	①供給タンク ②供給タンク～吸着塔までの外径 61mm 以上の主配管 ③多核種吸着塔（ステンレス製）	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを確認する。※1	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと 及び外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと

※1：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－１５ 確認事項（供給タンクの汚染水入口ノズルと天板の溶接部）

確認事項	確認項目	対象設備	確認内容	判定基準
溶接検査	材料検査	①供給タンク	使用する材料が、溶接施工法の母材の区分に適合することを記録で確認する。	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	①供給タンク	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	①供給タンク	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記録で確認する。	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	①供給タンク	溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）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記録で確認する。	溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）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。

溶接検査	耐圧・ 漏えい検査 外観検査	①供給タンク	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを記録で確認する。	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと及び外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと
------	----------------------	--------	--	--

表－１６ 確認事項（海外製品溶接検査）

確認事項	確認項目	実施計画記載事項※１	確認内容	判定基準
溶接検査	材料検査	①多核種吸着塔（二相ステンレス製） ②吸着塔ユニット配管 ③前処理フィルタ ④前処理フィルタユニット配管 ⑤昇圧ポンプユニット配管 ⑥配管ユニット配管	溶接に使用する材料が、ASME Sec.VIII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記録で確認する。	溶接に使用する材料が、ASME Sec.VIII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
	開先検査	①多核種吸着塔（二相ステンレス製） ②吸着塔ユニット配管 ③前処理フィルタ ④前処理フィルタユニット配管 ⑤昇圧ポンプユニット配管 ⑥配管ユニット配管	開先形状等がASME Sec.VIII等に適合するものであることを記録で確認する。	開先形状等がASME Sec.VIII等に適合すること
	溶接作業検査	①多核種吸着塔（二相ステンレス製） ②吸着塔ユニット配管 ③前処理フィルタ ④前処理フィルタユニット配管 ⑤昇圧ポンプユニット配管 ⑥配管ユニット配管	ASME Sec.IX等にて定められた溶接施工法により溶接されていること及び溶接士の資格を有しているものにより溶接が行われていることを記録で確認する。	ASME Sec.IX等で定めら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	②吸着塔ユニット配管 ④前処理フィルタユニット配管 ⑤昇圧ポンプユニット配管 ⑥配管ユニット配管	溶接部について非破壊検査（目視検査）を行い、その結果が ASME B31.1 に適合するものであることを記録で確認する。	溶接部について非破壊検査（目視検査）を行い、その結果が ASME B31.1 に適合するものであること。
	耐圧・漏えい検査 外観検査	①多核種吸着塔（二相ステンレス製） ②吸着塔ユニット配管 ③前処理フィルタ ④前処理フィルタユニット配管 ⑤昇圧ポンプユニット配管 ⑥配管ユニット配管	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを確認する。	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと
	外観検査	①多核種吸着塔（二相ステンレス製） ②吸着塔ユニット配管 ③前処理フィルタ ④前処理フィルタユニット配管 ⑤昇圧ポンプユニット配管 ⑥配管ユニット配管	各部の外観を確認する。※2	外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと

※1：「表－16 確認事項（海外製品溶接検査）」の確認範囲は、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則」の第26条第4号に規定する範囲とする。なお、適用する規格で使用が認められている材料の溶接部に関わる確認は、適用する規格の条件に適合していることについて行う。

※2：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

高性能多核種除去設備の確認試験結果について

高性能多核種除去設備は、汚染水処理設備の処理済水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）を『東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示』に定める周辺監視区域外の水中の濃度限度（以下、「告示濃度限度」という。）を下回る濃度まで低減することを目的として設置した。

系統流量などの運転状態に関する使用前検査を実施し、平成 26 年 10 月より、高性能多核種除去設備の性能を確認する確認試験（ホット試験）を実施し、その後のホット試験において上記性能について確認してきた。

これまでのホット試験において、高性能多核種除去設備で使用する各吸着材が、一定の使用期間を経ても、上記性能を有する設備であることを確認した。

以上

2.36 雨水処理設備等

2.36.1 基本設計

2.36.1.1 設置の目的

汚染水タンクエリアの堰内に溜まった雨水のうち、その放射能濃度が排水基準（詳細は「Ⅲ 第3編 2.1.2 放射性液体廃棄物等の管理」を参照）を上回るもの（以下、『雨水』という）について逆浸透膜を利用し、処理することを目的とする。

2.36.1.2 要求される機能

- (1) 雨水処理設備等は、雨水の処理、貯留および管理等を行い、放射性物質の放射能濃度を低減し、排水する能力を有すること。
- (2) 雨水処理設備等は、漏えいに対して適切な拡大防止機能を有すること。

2.36.1.3 設計方針

2.36.1.3.1 雨水処理設備、貯留設備（タンク）、雨水移送用貯留設備（タンク）および関連設備（移送配管、移送ポンプ、雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニット）の設計方針

(1) 処理能力

雨水処理設備および関連設備（移送配管、移送ポンプ、雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニット）は、集水した雨水に対して適切な管理および処理が可能な処理量とする。貯留設備（タンク）は、雨水処理設備の運転に支障のない容量とする。

なお、関連設備（移送配管、移送ポンプ、雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニット）のうち、処理水移送ポンプ、雨水RO濃縮水を移送する場合のモバイルRO膜装置供給ポンプ、集水ピット抜出ポンプ、雨水回収タンク移送ポンプ、中継タンク移送ポンプ、中継タンク直送ポンプ及びその移送配管は、移送できれば良く処理量に関する要求はない。

(2) 材料

雨水処理設備等は、処理対象水の性状を考慮し、適切な材料を用いた設計とする。

(3) 放射性物質の漏えい防止および管理されない放出の防止

雨水処理設備等の機器等は、液体状の放射性物質の漏えい防止および敷地外への管理されない放出を防止するため、次の各項を考慮した設計とする。

- a. 雨水処理設備は、漏えいの発生を防止するため、機器等には適切な材料を使用する。
また、漏えいした場合の検知機能を設ける。なお、雨水処理設備運転中において、万一電源供給が遮断された場合は、漏えいを検知する機能を喪失するものの、供給ポンプが停止することとなる。その際には運転員は、供給ポンプの停止確認や弁の閉止により万一の漏えい拡大防止の措置を講ずるものとする。
- b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合は、漏えいした液体の除去を行えるようにする。
また、雨水処理設備および貯留設備（タンク）、雨水移送用貯留設備（タンク）、雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニットにおいては、漏えい水の拡大を抑制するための堰を設ける。
- c. 運転員は、運転中は常時現場で待機し、漏えい等の異常がないことの監視に加えタンク水位、逆浸透（以下、逆浸透を『RO』という。）膜出口流量およびRO膜入口圧力のパラメータを監視することにより、異常時には適切な措置をとれるようにする。また、定期的なパトロールによって漏えいの有無の確認ならびに漏えい時に適切な措置をとる。また、漏えい拡大防止が図れるよう運転操作手順書に反映する。

(4) 放射線遮へいに対する考慮

雨水処理設備等にて取り扱う液体は、放射能濃度を 100 Bq/cm³ 以下で管理している。
放射線遮へいの必要が生じた場合には、状況に応じて適切な放射線遮へいを行う。

(5) 誤操作防止に対する考慮

雨水処理設備等には誤操作を防止するために、操作バルブ等には銘板を設ける。
なお、運転にあたり運転操作手順書を整備し誤操作防止を図る。

(6) 検査に対する設計上の考慮

雨水処理設備等の性能を確認するための検査が可能である設計とする。

(7) 健全性に対する考慮

雨水処理設備等は、機器に応じた必要な保全が可能な設計とする。

(8) 規格・基準等

モバイルRO膜ユニット、RO膜ユニット、雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニット、移送ポンプ、移送配管およびタンクについては、日本産業規格、日本水道協会規格、設計・建設規格等に準拠した製品で構成される。

(9) 運用に関わる考慮

雨水受入タンクで扱う液体の放射能濃度は、100 Bq/cm³以下とする。

雨水処理設備は、雨水受入タンク内の液体を、処理水と濃縮水に分離する。処理水は、処理水タンクに移送される。処理水については、サンプリングを行い、放射能濃度を測定し、排水基準を満足することを確認した後、排水路に排水する。一方、濃縮水は、雨水受入タンクに戻すこととする。また、雨水受入タンク内の液体の放射能濃度が100 Bq/cm³以下となるよう、必要に応じて濃縮水をRO濃縮水貯槽※に移送する。1回の処理を完了した後、雨水受入タンクに雨水を追加して、再度、同様の雨水処理を進める。これらの操作において、適切な対応ができるよう運転操作手順書に反映する。

なお、処理水の排水路への排水は、関係箇所地了解なくしては行わないものとする。

また、対象核種を含めて排水基準については、堰内雨水及び雨水処理設備の処理水の詳細な核種分析をもとに平成27年度末までに別途見直すこととし、排水基準が確定するまでは、排水時と同様の確認を行い、処理水を構内散水する。

※2.5.2.1.1 汚染水処理設備、貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管、移送ポンプ等）

2.36.1.4 供用期間中に確認する項目

- (1) 雨水処理設備により、放射性核種が低減されていること及び運転状態に異常（異音、異臭、振動等）の無いこと
- (2) 雨水処理設備および雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニットの堰内に設置された漏えい検知器が所定の水位にて漏えいを検知し、警報ランプが点灯表示すること

2.36.1.5 主要な機器

雨水処理設備等は、雨水処理設備、貯留設備（タンク）、雨水移送用貯留設備（タンク）および関連設備（移送配管、移送ポンプ、雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニット）で構成する。電源は、所内高圧母線から受電できる構成とする。

また、貯留設備（タンク）内には水位計を設置し、貯留設備内の水位を確認できる構成とする。

2.36.1.5.1 雨水処理設備

(1) モバイルRO膜装置

モバイルRO膜装置は、5基のモバイルRO膜ユニットおよび配管で構成する。処理量の確認および性能を確認するためのサンプリングが可能な設計とする。2基のモバイルRO膜ユニットは、保安フィルタ、RO膜加圧ポンプ、RO膜、デミナーおよび配管から構成される。3基のモバイルRO膜ユニットは、保安フィルタ、RO膜加圧ポンプ、RO膜、

脱塩器および配管から構成される。保安フィルタは、大まかなゴミや鉄分等を捕捉する。RO膜は逆浸透圧を利用し、雨水中のイオンおよび微粒子等を除去する。デミナー、脱塩器に通水させることにより、RO膜通過後の雨水をさらに浄化する。

(2) 淡水化处理RO膜装置

淡水化处理RO膜装置は、4基のRO膜ユニット、脱塩器および配管で構成する。処理量の確認および性能を確認するためのサンプリングが可能な設計とする。2基のRO膜ユニットは、保安フィルタ、RO膜加圧ポンプ、RO膜および配管から構成される。2基のRO膜ユニットは、保安フィルタ、RO膜加圧ポンプ、RO膜、脱塩器および配管から構成される。保安フィルタは、大まかなゴミや鉄分等を捕捉する。RO膜は逆浸透圧を利用し、雨水中のイオンおよび微粒子等を除去する。脱塩器に通水させることにより、RO膜通過後の雨水をさらに浄化する。

2.36.1.5.2 貯留設備（タンク）

貯留設備は、雨水処理設備にて処理する雨水を受け入れる6基の雨水受入タンクと、雨水処理設備にて放射性物質が除去された処理水を受け入れる9基の処理水タンク、雨水受入タンクで濃縮された水を一時的に受け入れる2基の雨水RO濃縮水受入タンク、雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニットで浮遊物質濃度を低減されたるろ過処理水を一時的に受け入れるろ過処理水受入タンクで構成する。フランジ型タンク内部の底面は伸縮性の高いシーリング材にて全面塗装し、漏えい防止強化を図る。

なお、処理水タンクには散水箇所への移送設備を設ける。

2.36.1.5.3 雨水移送用貯留設備（タンク）

雨水移送用貯留設備は、汚染水タンクエリアの堰内雨水を受け入れる18基の雨水回収タンクと、必要に応じて処理前の雨水を雨水回収タンクから一時的に受け入れる5基の中継タンクで構成する。フランジ型タンク内部の底板については、漏えい防止対策としてフランジ部シーリングやシーリング材による底板全面塗装を行う。既に使用しているフランジ型タンクの内、上記対策が取れないものについては、汚染水タンクと同じ堰内に設置することで漏えい発生時の堰外への溢水を防止する。

また、必要に応じて雨水回収タンクに散水箇所への移送設備を設ける。

RO濃縮水貯槽※から用途変更するタンク（2.36.2.1.2（6）タンク型式：溶接型 容量：1,000m³が対象）については、RO濃縮水貯槽との連結管を取り外し、雨水とRO濃縮水等の混水を防止する。

※Ⅱ-2.5 汚染水処理設備等 2.5.2.1.1(39) RO濃縮水貯槽

実施計画の認可日以降に実施する検査において、既に雨水の受入に使用中のタンク

(2.36.2.1.2 (6)が対象)は、汚染水タンクエリアの堰内雨水の堰外への溢水を回避するために、雨水受入をし、雨水処理を継続することを最優先とし、雨水処理を継続しながら、タンクに係わる確認項目を確認するために、東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則第20条第1項に規定する使用前検査に準じた検査を受検する。

2.36.1.5.4 関連設備

(1) 移送配管

移送配管は、鋼管、伸縮継手、ポリエチレン管、合成ゴム管およびポリ塩化ビニル管で構成する。ポリ塩化ビニル管は、接続部をフランジ接続とするなどし、サポート等により配管を固定する。サポート等により接続部が外れないように処置する。

(2) 移送ポンプ

雨水処理用の移送ポンプは、モバイルRO膜装置供給ポンプ、RO膜装置供給ポンプ、雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニット供給ポンプ、ろ過処理水移送ポンプにて構成する。なお、モバイルRO膜装置供給ポンプは、モバイルRO膜装置雨水受入タンクから雨水RO濃縮水受入タンクへの移送にも使用する。

雨水移送用の移送ポンプは、集水ピット抜出ポンプ、雨水回収タンク移送ポンプ、中継タンク移送ポンプ、中継タンク直送ポンプにて構成する。

(3) 雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニット

雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニットは、コンテナ内に雨水RO濃縮水移送ラインフィルタおよび接続配管等を設置してユニット化したものである。雨水RO濃縮水移送ラインフィルタは浮遊物質濃度の低減を目的としたものを使用し、直列2基の2系列（合計4基）構成とする。

2.36.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

雨水処理設備等は、アウターライズ津波が到達しないと考えられる T.P. 約 28m 以上の場所に設置する。

(2) 台風

雨水処理設備および雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニットは、コンテナ内に設置する。コンテナは一般的に貨物輸送に使われる強固な鋼製のものであり、基本的に台風時にも横転することはないが、念のため基礎ボルト又はアンカーによってコンテナを固縛することで更なる横転防止を図る。暴風警報、竜巻警報等の予報、特別警報により、運転継

続に支障を来す可能性がある場合には、漏えい防止を図るため、装置を停止する。豪雨及び強風に対する対応は、予め定めたマニュアル等に従い実施する。

(3) 火災

雨水処理設備等は、原則として難燃性の材料を用いる。ポンプ本体、モーターは金属材料を用いており、ケーブルについても難燃性の材料を用いている。ＲＯ膜等は難燃性ではないものの常時湿潤状態にあることから火災の発生環境にはない。

雨水処理設備等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、設備・配管周辺から可能な限り可燃物を排除するため、燃焼・延焼し難い。

雨水回収タンク移送ポンプ、中継タンク移送ポンプ、中継タンク直送ポンプ、２台のモバイルＲＯ膜装置供給ポンプの運転操作は現場のみであり、運転時は定期的に現場で運転員が運転状態の確認をしていることから、早期に火災を検知することができる。雨水処理設備は、遠隔による監視カメラや運転監視パラメータの状況の確認により火災の早期検知に努める。また、運転停止中には動的機器は停止しており、空調機、漏えい検知器、制御盤等を除いて通電していない。

雨水処理設備のコンテナ、雨水回収タンク移送ポンプ、中継タンク移送ポンプ、中継タンク直送ポンプ、２台のモバイルＲＯ膜装置供給ポンプ、雨水ＲＯ濃縮水移送ラインフィルタユニットの近傍には消火器を設置する。更に、動力消防ポンプ（ポンプ車）を適切に配置することにより、初期消火の対応を可能にし、消火活動の円滑化を図る。

2.36.1.7 構造強度および耐震性

2.36.1.7.1 雨水処理設備等

(1) 構造強度

雨水処理設備等を構成する雨水処理設備、タンク、移送ポンプおよび移送配管は、日本産業規格、日本水道協会規格、設計・建設規格等に準拠する。

(2) 耐震性

雨水処理設備等を構成する主要な機器のうち、雨水処理設備、タンク、移送ポンプ、鋼管、雨水ＲＯ濃縮水移送ラインフィルタユニットについては、耐震性評価の基本方針に基づき耐震性の評価を実施し耐震性を確認している。また、伸縮継手、ポリエチレン管、合成ゴム管およびポリ塩化ビニル管は、材料の可撓性により耐震性を確保する。

2.36.2 基本仕様

2.36.2.1 主要仕様

2.36.2.1.1 雨水処理設備、貯留設備（タンク）、関連設備（移送配管、移送ポンプ、雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニット）

(1) モバイルRO膜ユニット（完成品）

基 数	5 基
処理量	1 5 m ³ / h / 基
材 料	FW, FRP (ROベッセル) FRP / PE (デミナー) SUS 304 (脱塩器)

(2) RO膜ユニット（完成品）

基 数	4 基
処理量	1 8 m ³ / h / 基 (2 基), 1 5 m ³ / h / 基 (2 基)
材 料	FW, FRP (ROベッセル) SUS 304 (脱塩器)

(3) モバイルRO膜装置供給ポンプ（完成品）

台 数	1 0 台
容 量	48 m ³ / h / 台 (8 台), 30 m ³ / h / 台 (2 台)

(4) RO膜装置供給ポンプ（完成品）

台 数	8 台
容 量	48 m ³ / h / 台

(5) 廃止（濃縮水移送ポンプ（完成品））

(6) 雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニット供給ポンプ

台 数	2 台
容 量	30 m ³ / h / 台

(7) ろ過処理水移送ポンプ

台 数	1 台
容 量	20 m ³ / h

(8) 雨水受入タンク（モバイルRO膜装置雨水受入タンク，淡水化处理RO膜装置雨水受入タンク）

タンク型式	フランジ型
合計容量（公称）	2400m ³
基 数	4 基
容 量（単基）	600m ³ ／基
材 料（胴板）	SS400
寸 法	天板直径
	高 さ
	厚 さ
	底板 12mm, 胴板 9mm, 12mm

タンク型式	溶接型
合計容量（公称）	2400m ³
基 数	2 基
容 量（単基）	1200m ³ ／基
材 料（胴板）	SM400A
寸 法	内 径
	高 さ
	厚 さ
	底板 12mm, 胴板 12mm

(9) 処理水タンク（モバイルRO膜装置処理水タンク，淡水化処理RO膜装置処理水タンク）

タンク型式	フランジ型
合計容量（公称）	3600m ³
基 数	6 基
容 量（単基）	600m ³ ／基
材 料（胴板）	SS400
寸 法 天板直径	9004mm
高 さ	10072mm
厚 さ	底板 12mm, 胴板 9mm, 12mm

タンク型式	溶接型
合計容量（公称）	2100m ³
基 数	3 基
容 量（単基）	700m ³ ／基
材 料（胴板）	SM400A
寸 法 内 径	9000mm
高 さ	12012mm
厚 さ	底板 12mm, 胴板 12mm

(10) 雨水RO濃縮水受入タンク

タンク型式	溶接型
合計容量（公称）	36m ³
基 数	2 基
容 量（単基）	18m ³ ／基
材 料（胴板）	SM400C
寸 法 内 径	2500mm
高 さ	4074mm
厚 さ	底板 12mm, 胴板 9mm

(11) ろ過処理水受入タンク

タンク型式	溶接型
合計容量（公称）	10m ³
基 数	1 基
容 量（単基）	10m ³ ／基
材 料（胴板）	SM400C
寸 法 内 径	2500mm
高 さ	2574mm
厚 さ	底板 12mm, 胴板 9mm

(12) 雨水R O濃縮水移送ラインフィルタユニット

基 数	1 基
材 料	SM400A（雨水R O濃縮水移送ラインフィルタ容器）

2. 36. 2. 1. 2 雨水移送用貯留設備（タンク）、関連設備（移送配管，移送ポンプ）

(1) 集水ピット拔出ポンプ（完成品）

台 数	63 台
容 量	36m ³ ／h／台
台 数	16 台
容 量	48m ³ ／h／台

(2) 雨水回収タンク移送ポンプ（完成品）

台 数	12 台
容 量	24m ³ ／h／台

(3) 中継タンク移送ポンプ（完成品）

台 数	2 台
容 量	24m ³ ／h／台

(4) 中継タンク直送ポンプ（完成品）

台 数	1 台
容 量	24m ³ ／h／台

(5) 雨水回収タンク

タンク型式 (名称)	フランジ型 (J 6 - 1 ~ 6)
合計容量 (公称)	3600m ³
基 数	6 基
容 量 (単基)	600m ³ / 基
材 料 (胴板)	SS400
寸 法	天板直径 9004mm
	高 さ 10072mm
	厚 さ 底板 12mm, 胴板 12mm

タンク型式 (名称)	溶接型 (H 1 - 1, H 1 - 2, J 1)
合計容量 (公称)	3600m ³
基 数	3 基
容 量 (単基)	1200m ³ / 基
材 料 (胴板)	SM400A
寸 法	内 径 12000mm
	高 さ 12012mm
	厚 さ 底板 12mm, 胴板 12mm

タンク型式 (名称)	溶接型 (K)
合計容量 (公称)	1160m ³
基 数	1 基
容 量 (単基)	1160m ³ / 基
材 料 (胴板)	SM400C
寸 法	内 径 11000mm
	高 さ 13000mm
	厚 さ 底板 12mm, 胴板 12mm

タンク型式 (名称)	溶接型 (H 6 (I), J 2, J 3)
合計容量 (公称)	2100m ³
基 数	3 基
容 量 (単基)	700m ³ / 基
材 料 (胴板)	SM400A
寸 法	内 径 9000mm
	高 さ 12012mm
	厚 さ 底板 12mm, 胴板 12mm

タンク型式 (名称)	溶接型 (B)
合計容量 (公称)	1330m ³
基 数	1 基
容 量 (単基)	1330m ³ ／基
材 料 (胴板)	SM400C
寸 法 内 径	11000mm
高 さ	14900mm
厚 さ	底板 12mm, 胴板 15mm

(6) 雨水回収タンク (平成 27 年 1 月 30 日以前から運用中)

タンク型式 (名称)	フランジ型 (H 9 - 1 ~ 3)
合計容量 (公称)	1800m ³
基 数	3 基
容 量 (単基)	600m ³ ／基 (3 基)
材 料 (胴板)	SS400
寸 法 天板直径	9004mm
高 さ	10072mm
厚 さ	底板 12mm, 胴板 9mm

タンク型式 (名称)	溶接型 (G 3 西 - D 7)
合計容量 (公称)	1,000m ³
基 数	1 基
容 量 (単基)	1,000m ³ ／基
材 料 (胴板)	SS400
寸 法 内 径	12,000mm
高 さ	10,537mm
厚 さ	底板 12mm, 胴板 12mm

(7) 廃止 (雨水回収タンク (RO処理水貯槽※から用途変更))

※Ⅱ-2.5 汚染水処理設備等 2.5.2.1.1(35) RO処理水貯槽

(8) 中継タンク

タンク型式	溶接型
合計容量 (公称)	5800m ³
基 数	5 基
容 量 (単基)	1160m ³ ／基
材 料 (胴板)	SM400C
寸 法 内 径	11,000mm
高 さ	13,000mm
厚 さ	底板 12mm, 胴板 12mm
連結管 呼び径	200A 相当
材質	合成ゴム
最高使用圧力	0.98MPa
最高使用温度	50℃

表 2. 3 6. 1 雨水処理設備等の主要配管仕様

(1) モバイルRO膜装置

名 称	仕 様	
①モバイルRO膜装置雨水受入タンクからモバイルRO膜装置入口まで	呼び径	80A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力 最高使用温度	0.5MPa 40℃
	呼び径	75A 相当, 100A 相当, 150A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力 最高使用温度	0.5MPa 40℃
	呼び径／厚さ	80A／Sch. 40 100A／Sch. 40 150A／Sch. 40 200A／Sch. 40
	材質	SUS304TP
	最高使用圧力 最高使用温度	0.5MPa, 0.74MPa 40℃
②モバイルRO膜装置入口からモバイルRO膜装置出口まで	呼び径／厚さ	25A／Sch. 10S 40A, 50A, 65A, 80A／ Sch. 10S, Sch. 20S, Sch. 40, Sch. 80
	材質	SUS304TP, SUS316LTP
	最高使用圧力	0.5MPa, 1.0MPa, 1.5MPa (RO膜加 圧ポンプからRO膜ま で, 濃縮水ラインのRO 膜出口から絞り弁まで)
	最高使用温度	40℃
	呼び径	25A 相当, 50A 相当, 65A 相当, 80A 相当
	材質	ポリ塩化ビニル
	最高使用圧力 最高使用温度	0.5MPa 40℃
	呼び径	25A 相当, 50A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力 最高使用温度	0.5MPa 40℃
	呼び径	75A 相当, 100A 相当, 150A 相当
	材質	ポリエチレン
③モバイルRO膜装置出口からモバイルRO膜装置処理水タンクまで	最高使用圧力 最高使用温度	0.5MPa 40℃
	呼び径	75A 相当, 100A 相当, 150A 相当
	材質	ポリエチレン

	呼び径／厚さ	100A／Sch. 40 150A／Sch. 40
	材質	SUS304TP
	最高使用圧力	0.5MPa, 0.74MPa
	最高使用温度	40℃

(2) 淡水化処理ＲＯ膜装置

名 称	仕 様	
④淡水化処理ＲＯ膜装置雨水受入タンクから淡水化処理ＲＯ膜装置入口まで	呼び径	80A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	0.5MPa
	最高使用温度	40℃
	呼び径	50A 相当, 75A 相当, 100A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.5MPa
	最高使用温度	40℃
	呼び径／厚さ	80A／Sch. 40 100A／Sch. 40
	材質	SUS304TP
	最高使用圧力	0.5MPa
	最高使用温度	40℃
	呼び径／厚さ	50A／Sch. 40 50A／Sch. 80
	材質	STPT370
	最高使用圧力	0.5MPa
	最高使用温度	40℃
⑤淡水化処理ＲＯ膜装置入口から淡水化処理ＲＯ膜装置出口まで	呼び径	25A 相当, 50A 相当, 65A 相当
	材質	ポリ塩化ビニル
	最高使用圧力	0.5MPa
	最高使用温度	40℃

	呼び径／厚さ	40A, 50A, 65A, 80A ／Sch. 10S, Sch. 20S, Sch. 40, Sch. 80 25A, 100A ／Sch. 10S
	材質 最高使用圧力	SUS304TP, SUS316LTP 0.5MPa 1.35MPa (R O膜加圧ポン プからR O膜まで) 1.5MPa (R O膜加圧ポン プからR O膜まで, 濃縮 水ラインのR O膜出口か ら絞り弁まで)
	最高使用温度	40℃
	呼び径	50A 相当, 75A 相当, 100A 相当
	材質 最高使用圧力 最高使用温度	ポリエチレン 0.5MPa 40℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 合成ゴム 0.5MPa 40℃
⑥ 淡水化処理 R O 膜装置出口から淡 水化処理 R O 膜装置処理水タンクま で	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	75A 相当, 100A 相当 ポリエチレン 0.5MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch. 40 STPT370 0.5MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch. 40 SUS304TP 0.5MPa 40℃

(3) 雨水移送

名 称	仕 様	
⑦ 集水ピット抜出ポンプから雨水回 収タンクまたは中継タンク入口ヘッ ダーまで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	75A 相当, 100A 相当, 150A 相当 ポリエチレン 0.5MPa, 0.74MPa 40℃

	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch. 40 100A／Sch. 40 150A／Sch. 40 SUS304TP 0. 5MPa, 0. 74MPa 40℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 SUS304 0. 74MPa 40℃ (伸縮継手)
⑧雨水回収タンクから集合ヘッダー または中継タンク入口ヘッダーまで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	75A 相当, 100A 相当 ポリエチレン 0. 74MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch. 40 100A／Sch. 40 200A／Sch. 40 SUS304TP 0. 74MPa 40℃
⑨集合ヘッダーから中継タンクまたは 雨水受入タンクまで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当, 150A 相当 ポリエチレン 0. 74MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch. 40 100A／Sch. 40 150A／Sch. 40 200A／Sch. 40 SUS304TP 0. 74MPa 40℃
⑩中継タンクから集合ヘッダーまで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	75A 相当, 100A 相当 ポリエチレン 0. 74MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch. 40 100A／Sch. 40 SUS304TP 0. 74MPa 40℃

(4) 雨水ＲＯ濃縮水移送

名 称	仕 様	
⑪モバイルＲＯ膜装置入口分岐から雨水ＲＯ濃縮水受入タンクまで	呼び径	75A 相当, 80A 相当, 100A 相当
	材質 最高使用圧力 最高使用温度	ポリエチレン 0.5MPa, 0.98MPa 40℃
⑫雨水ＲＯ濃縮水受入タンクから雨水ＲＯ濃縮水移送ラインフィルタユニット入口まで	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch. 40 STPT410 0.98MPa 40℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch. 40 STPT410 0.98MPa 40℃
⑬雨水ＲＯ濃縮水移送ラインフィルタユニット入口から雨水ＲＯ濃縮水移送ラインフィルタユニット出口まで	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A／Sch. 40 80A／Sch. 40 STPG370 0.98MPa 40℃
⑭雨水ＲＯ濃縮水移送ラインフィルタユニット出口からろ過処理水受入タンクまで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当, 80A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch. 80 80A／Sch. 40 STPT410 0.98MPa 40℃
⑮ろ過処理水受入タンクからＲＯ濃縮水貯槽※入口まで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 合成ゴム 0.98MPa 40℃

	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	75A 相当, 80A 相当 ポリエチレン 0.5MPa, 0.98MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch. 80 80A／Sch. 40 STPT410 0.98MPa 40℃

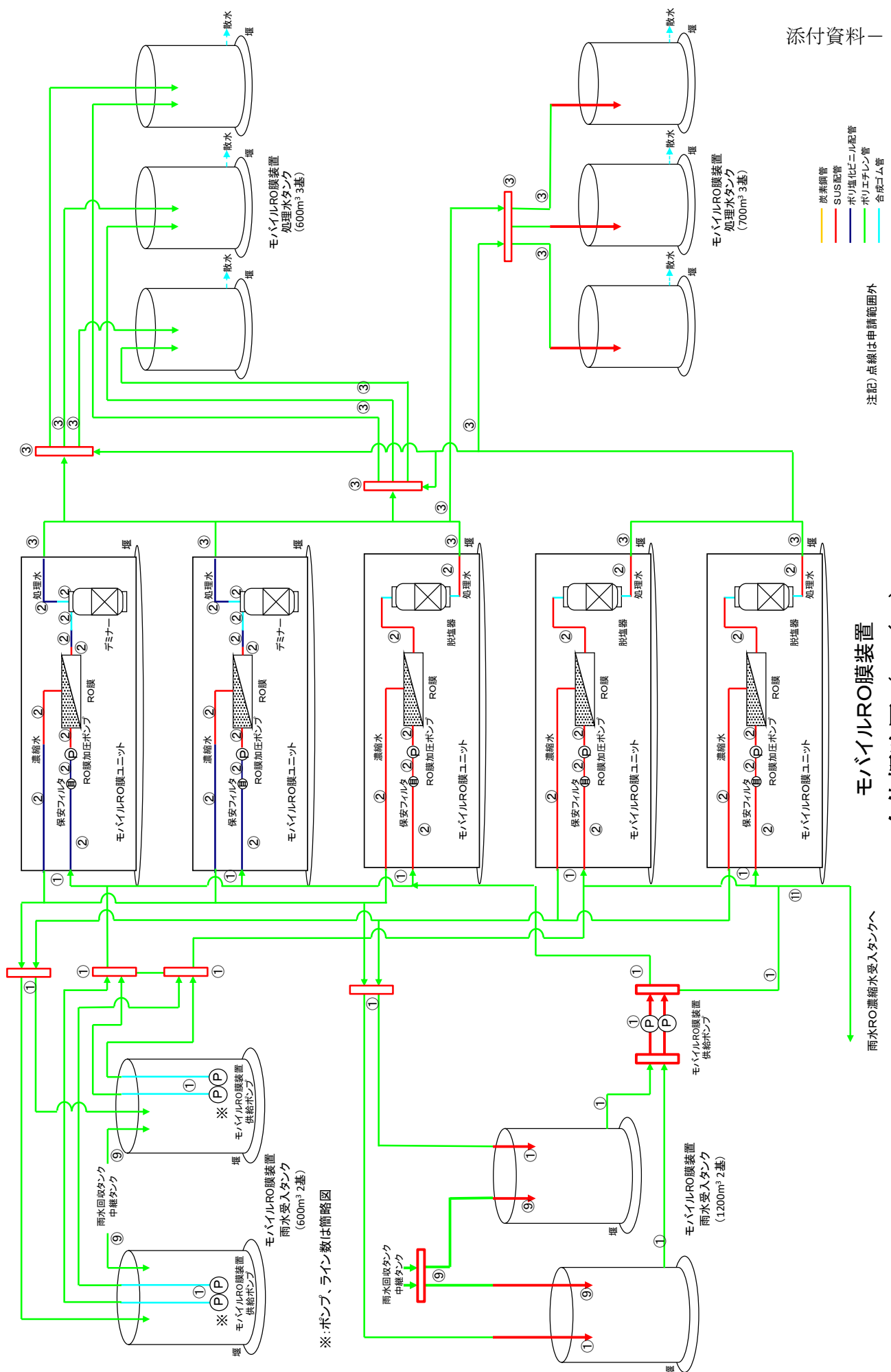
※ 2.5.2.1.1 汚染水処理設備，貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管，移送ポンプ等）

2. 36. 3 添付資料

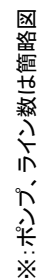
- 添付資料－１： 雨水処理設備等全体概略図
- 添付資料－２： 雨水処理設備等概略配置図
- 添付資料－３： 雨水処理設備等の構造強度・耐震性
- 添付資料－４： 雨水処理設備等の具体的な安全確保策
- 添付資料－５： 雨水処理設備等に係る確認事項
- 添付資料－６： 雨水処理設備等の先行運用について
- 添付資料－７： 雨水処理設備等の解体・撤去の方法について

2. 36. 4 参考資料

- 参考資料－１： 放射性固体廃棄物発生量に関する評価
- 参考資料－２： 雨水処理設備等の散水設備について
- 参考資料－３： 雨水処理設備等の円筒型タンクに関する計算書



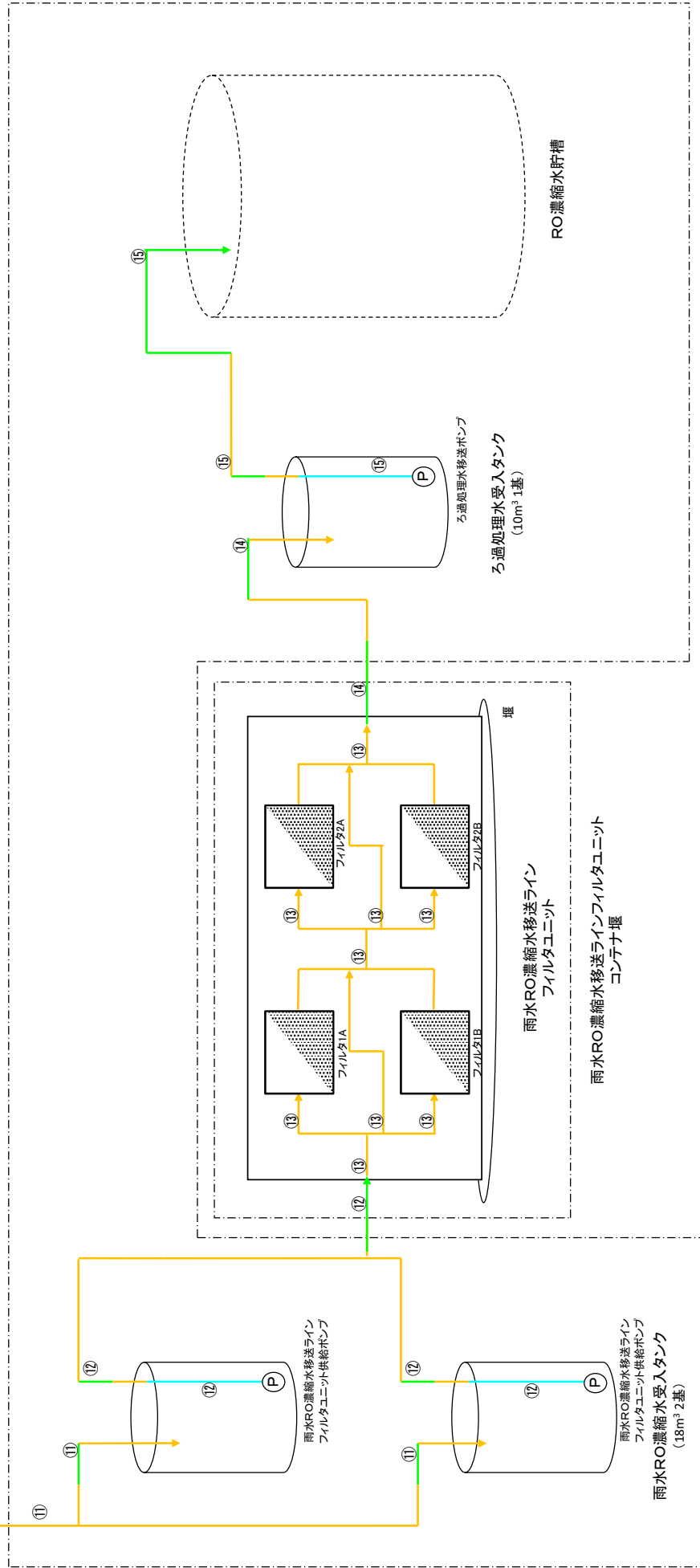
モバイルRO膜装置
全体概略図 (1 / 4)



全体概略図 (2/4)

モバイルRO膜装置
雨水受入タンクより

⑪

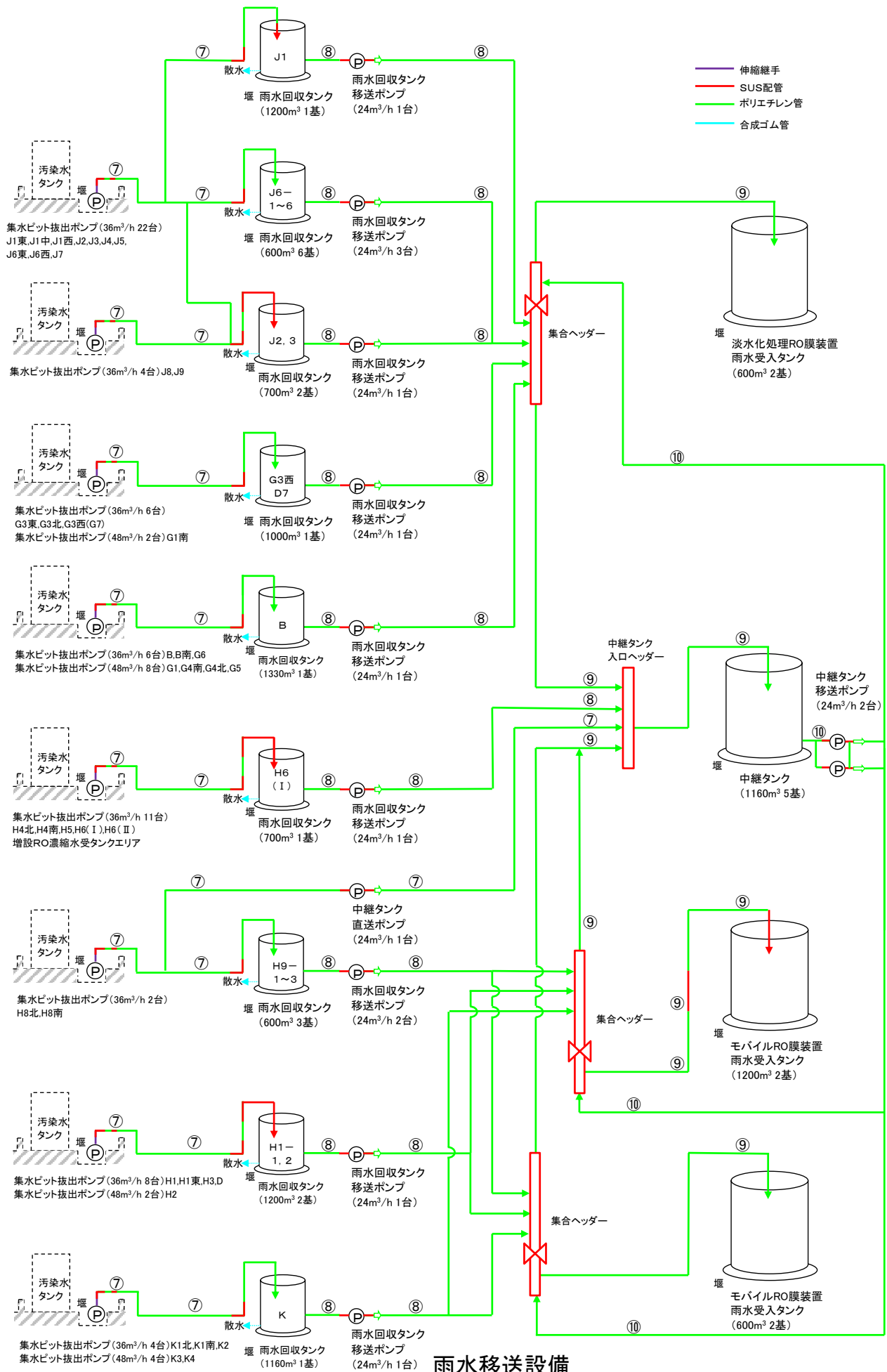


炭素鋼管
SUS配管
ポリ塩化ビニル配管
ポリエチレン管
合成ゴム管

注記) 点線は申請範囲外

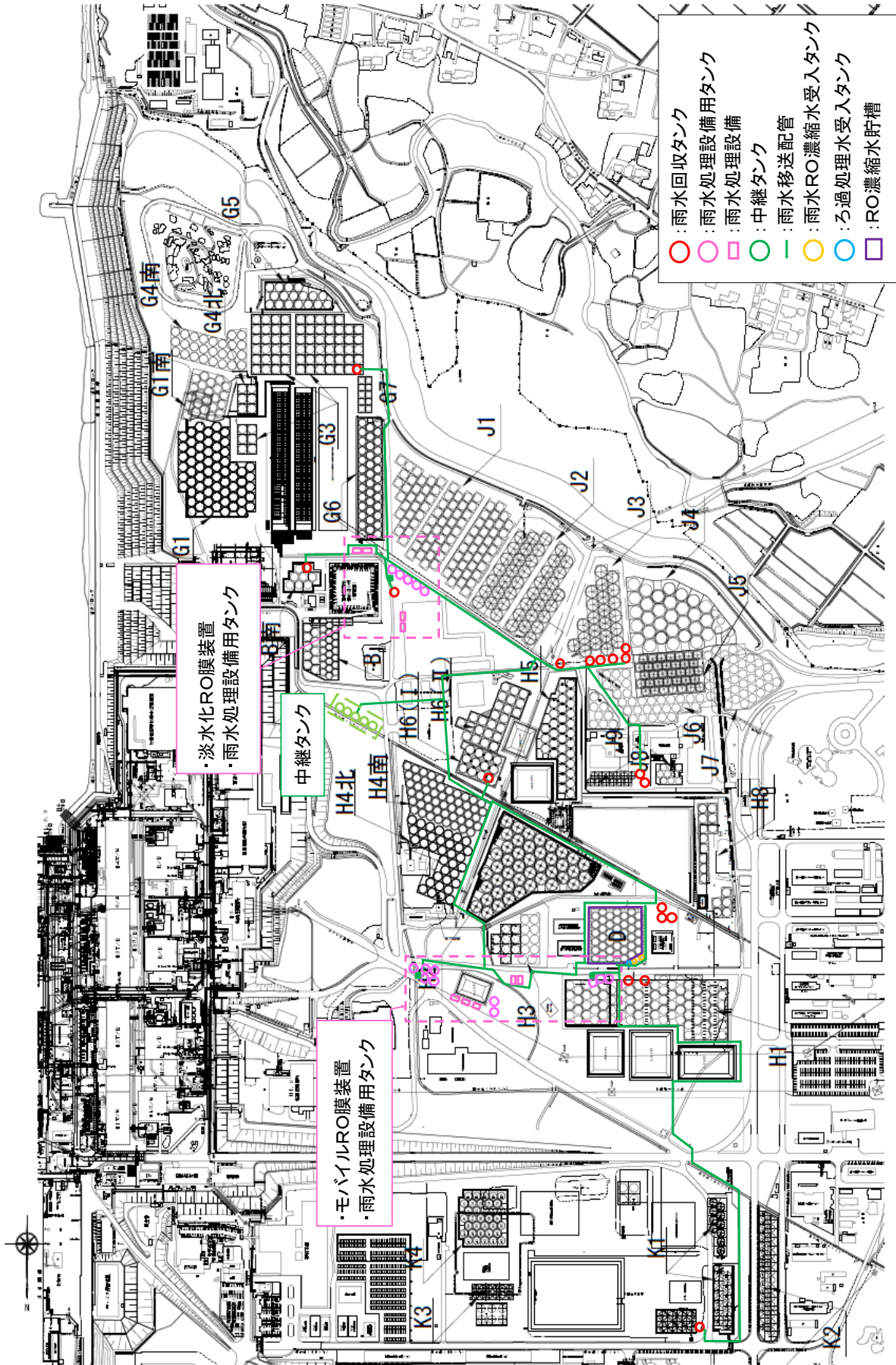
雨水RO濃縮水移送ライン

全体概略図 (3 / 4)

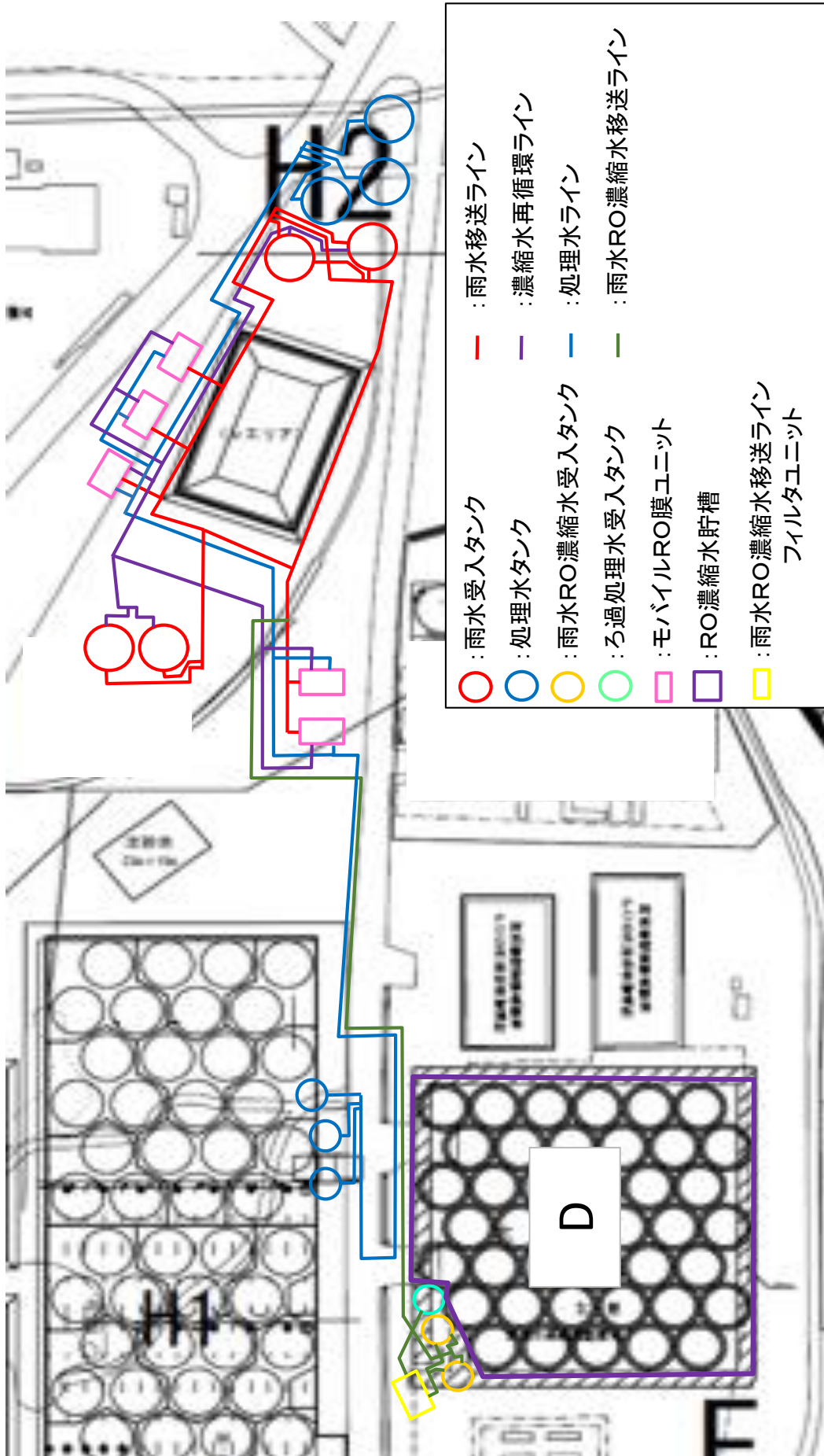


雨水移送設備
全体概略図 (4 / 4)

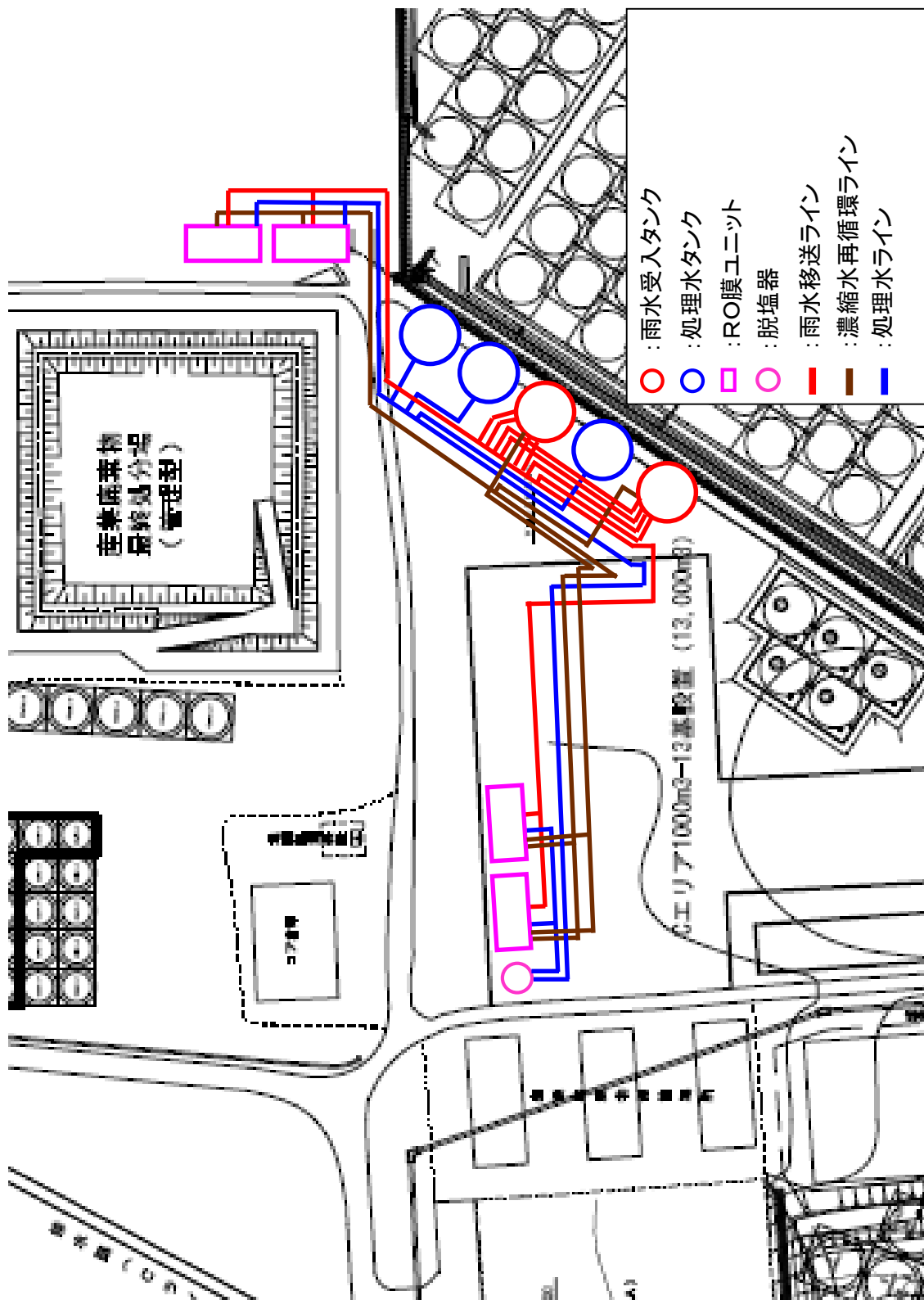
注記) 点線は申請範囲外
必要に応じて雨水回収タンクに排水設備を設ける



雨水処理設備等概略配置図（全体）



雨水処理設備等概略配置図
 (モバイルRO膜装置周り)



雨水処理設備等概略配置図
(淡水化処理RO膜装置周り)

雨水処理設備等の構造強度・耐震性

雨水処理設備等を構成する設備について、構造強度評価の基本方針および耐震性評価の基本方針に基づき構造強度および耐震性等の評価を行う。

1. 基本方針

1.1 構造強度評価の基本方針

雨水処理設備等を構成する機器は、一般産業品を使用する。

鋼材を使用しているタンクおよび鋼管については、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」における、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 2005(2007 追補)」のクラス 3 機器に準じた評価を行う。また、モバイルRO膜装置及び淡水化处理RO膜装置は、製造者仕様範囲内の圧力および温度で運用することで構造強度を有すると評価する。

ポリエチレン管は、日本水道協会規格に適合したものを適用範囲内で使用することで、構造強度を有すると評価する。また、ポリ塩化ビニル管、合成ゴム管および伸縮継手については、製造者仕様範囲内の圧力および温度で運用することで構造強度を有すると評価する。

1.2 耐震性評価の基本方針

雨水処理設備等を構成する機器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。耐震性を評価するにあたっては、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠して構造強度評価を行うことを基本とするが、評価手法、評価基準について実態にあわせたものを採用する。支持部材がない等の理由によって、耐震性に関する評価ができない設備を設置する場合においては、可撓性を有する材料を使用するなどし、耐震性を確保する。

また、各機器は必要な耐震性を確保するために、原則として以下の方針に基づき設計する。

- ・倒れ難い構造（機器等の重心を低くする、基礎幅や支柱幅を大きくとる）
- ・動き難い構造、外れ難い構造（機器をアンカ、溶接等で固定する）
- ・座屈が起り難い構造
- ・変位による破壊を防止する構造（定ピッチスパン法による配管サポート間隔の設定、配管等に可撓性のある材料を使用）

2. 評価結果

2.1 雨水処理設備および雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニット

(1) 構造強度評価

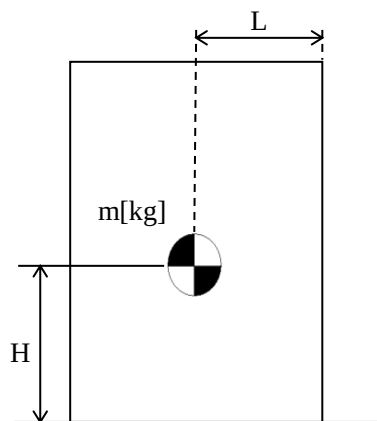
モバイルRO膜ユニット，RO膜ユニットおよび雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニットはJIS規格に準拠しているほか，製造者仕様範囲内の圧力及び温度の運用とすることで構造強度を有すると評価した。

具体的には，モバイルRO膜装置の製造者仕様範囲は，圧力0.5MPa以内（ただし，RO膜加圧ポンプからRO膜間は圧力1.0MPa又は1.5MPa以内），温度40℃以下である。淡水化处理RO膜装置の製造者仕様範囲は，圧力0.5MPa以内（ただし，RO膜加圧ポンプからRO膜間は圧力1.35MPa又は1.5MPa以内），温度40℃以下である。雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニットの製造者仕様範囲は，圧力0.98MPa以内，温度40℃以下である。

(2) 耐震性評価

a. 転倒評価

雨水処理設備および雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニットについて，地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することで転倒評価を行った。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した（表－1）。



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

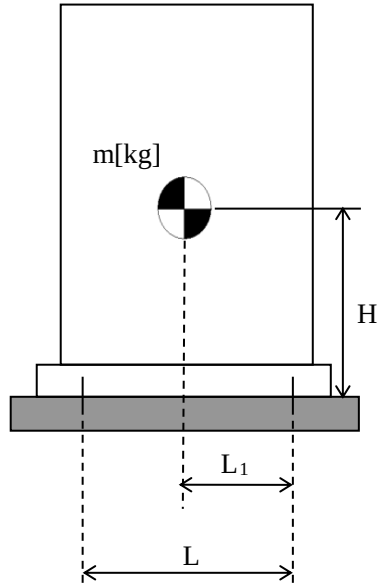
地震による転倒モーメント： $M_1[N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

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

b. 基礎ボルトの強度評価

原子力発電所耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果、基礎ボルト※の強度が確保されることを確認した（表－１）。

※コンテナ内にあるものはコンテナとユニットの固定ボルト



- 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 : 基礎ボルト間の水平方向距離
- L₁ : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
- n : 基礎ボルトの本数
- A_b : 基礎ボルトの軸断面積
- C_H : 水平方向設計震度
- C_V : 鉛直方向設計震度

$$\text{基礎ボルトに作用する引張力： } F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1)$$

$$\text{基礎ボルトの引張応力： } \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$$

$$\text{基礎ボルトのせん断応力： } \tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$$

表－１ 雨水処理設備および雨水ＲＯ濃縮水移送ラインフィルタユニット耐震評価結果

機器名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
モバイルＲＯ膜装置	転倒	0.36	26	79	kN・m
	転倒	0.36	69	184	kN・m
モバイルＲＯ膜ユニット 基礎ボルト	せん断	0.36	5	135	MPa
	引張	0.36	<0	176	MPa
	せん断	0.36	10	135	MPa
	引張	0.36	<0	176	MPa
淡水化处理ＲＯ膜装置	転倒	0.36	22	65	kN・m
	転倒	0.36	69	184	kN・m
淡水化处理ＲＯ膜ユニット 基礎ボルト	せん断	0.36	5	135	MPa
	引張	0.36	<0	176	MPa
	せん断	0.36	10	135	MPa
	引張	0.36	<0	176	MPa
雨水ＲＯ濃縮水移送ライン フィルタユニット	転倒	0.36	81	211	kN・m
雨水ＲＯ濃縮水移送ライン フィルタ１基礎ボルト	せん断	0.36	14	135	MPa
	引張	0.36	<0	176	MPa
雨水ＲＯ濃縮水移送ライン フィルタ２基礎ボルト	せん断	0.36	14	135	MPa
	引張	0.36	<0	176	MPa

2.2 タンク

(1) 構造強度評価

モバイルRO膜装置雨水受入タンク，モバイルRO膜装置処理水タンク，淡水化处理RO膜装置雨水受入タンク，淡水化处理RO膜装置処理水タンク，雨水RO濃縮水受入タンク，ろ過処理水受入タンク，雨水回収タンク，中継タンクについては，水頭圧による漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認する。また，これらのタンクは全て大気開放のため，水頭圧以上の内圧が作用することはない。

JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した。評価の結果，水頭圧に耐えられることを確認した。（表－2）

$$t = \frac{D_i H \rho}{0.204 S \eta}$$

t : 胴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材料の許容引張応力
η : 長手継手の効率

ただし，tの値は炭素鋼，低合金鋼の場合はt=3[mm]以上，その他の金属の場合はt=1.5[mm]以上とする。また，内径の区分に応じた必要厚さを考慮する。

表－２ 円筒型タンク板厚評価結果

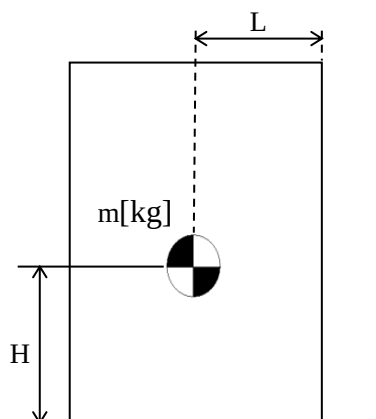
機器名称		評価部位	必要肉厚 [mm]	肉厚 [mm]	
モバイルＲＯ膜装置 雨水受入タンク	600m ³ 容量	タンク板厚	4.5	9.0	
	600m ³ 容量	タンク板厚	4.5	12.0	
	1200m ³ 容量	タンク板厚	10.9	12.0	
モバイルＲＯ膜装置 処理水タンク	600m ³ 容量	タンク板厚	4.5	9.0	
	600m ³ 容量	タンク板厚	4.5	12.0	
	700m ³ 容量	タンク板厚	8.2	12.0	
淡水化処理ＲＯ膜装置 雨水受入タンク	600m ³ 容量	タンク板厚	4.5	9.0	
	600m ³ 容量	タンク板厚	4.5	12.0	
淡水化処理ＲＯ膜装置 処理水タンク	600m ³ 容量	タンク板厚	4.5	9.0	
	600m ³ 容量	タンク板厚	4.5	12.0	
雨水ＲＯ濃縮水受入タンク		18m ³ 容量	タンク板厚	3.0	9.0
ろ過処理水受入タンク		10m ³ 容量	タンク板厚	3.0	9.0
雨水回収タンク	H9-1～3	600m ³ 容量	タンク板厚	4.5	9.0
	J6-1～6	600m ³ 容量	タンク板厚	4.5	12.0
	H6(Ⅰ), J2, J3	700m ³ 容量	タンク板厚	8.2	12.0
	G3 西-D7	1000m ³ 容量	タンク板厚	9.6	12.0
	K	1160m ³ 容量	タンク板厚	11.7	12.0
	H1-1, H1-2, J1	1200m ³ 容量	タンク板厚	10.9	12.0
	B	1330m ³ 容量	タンク板厚	11.5	15.0
中継タンク		1160m ³ 容量	タンク板厚	11.7	12.0

(2) 耐震性評価

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し、それらと比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果、地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから、転倒しないことを確認した。(表-3)

なお、地震によるスロッシングの影響を避けるため、タンクの運用は運転操作手順書により別途定める水位で行う。



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 : $M_2 [N \cdot m] = m \times g \times L$

表－3 円筒型タンク耐震評価結果

機器名称			評価 部位	評価 項目	水平 震度	算出値	許容値	単位
モバイルRO膜装置 雨水受入タンク		600m ³ 容量	本体	転倒	0.36	11829	29426	kN・m
		600m ³ 容量	本体	転倒	0.36	11814	29389	kN・m
		1200m ³ 容量	本体	転倒	0.36	30466	85608	kN・m
モバイルRO膜装置 処理水タンク		600m ³ 容量	本体	転倒	0.36	11829	29426	kN・m
		600m ³ 容量	本体	転倒	0.36	11814	29389	kN・m
		700m ³ 容量	本体	転倒	0.36	17380	36802	kN・m
淡水化処理RO膜装置 雨水受入タンク		600m ³ 容量	本体	転倒	0.36	11829	29426	kN・m
		600m ³ 容量	本体	転倒	0.36	11814	29389	kN・m
淡水化処理RO膜装置 処理水タンク		600m ³ 容量	本体	転倒	0.36	11829	29426	kN・m
		600m ³ 容量	本体	転倒	0.36	11814	29389	kN・m
雨水RO濃縮水受入タンク		18m ³ 容量	本体	転倒	0.36	169	327	kN・m
ろ過処理水受入タンク		10m ³ 容量	本体	転倒	0.36	65	200	kN・m
雨水回収 タンク	H9-1～3	600m ³ 容量	本体	転倒	0.36	11829	29426	kN・m
	J6-1～6	600m ³ 容量	本体	転倒	0.36	11814	29389	kN・m
	H6(Ⅰ), J2, J3	700m ³ 容量	本体	転倒	0.36	17380	36802	kN・m
	G3 西-D7	1000m ³ 容量	本体	転倒	0.36	23265	73597	kN・m
	K	1160m ³ 容量	本体	転倒	0.36	29957	71204	kN・m
	H1-1, H1-2, J1	1200m ³ 容量	本体	転倒	0.36	30333	78027	kN・m
	B	1330m ³ 容量	本体	転倒	0.36	39563	80905	kN・m
中継タンク		1160m ³ 容量	本体	転倒	0.36	29957	71204	kN・m

2.3 配管

(1) 構造強度評価

a. 配管（鋼管）

配管の主要仕様から JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格に基づき板厚評価を実施した。評価の結果，最高使用圧力に耐えられることを確認した（表－4）。

$$t = \frac{PD_0}{2S_{\eta} + 0.8P}$$

t : 管の計算上必要な厚さ

D₀ : 管の外径

P : 最高使用圧力 [MPa]

S : 最高使用温度における
材料の許容引張応力 [MPa]

η : 長手継手の効率

表－４ 配管（鋼管）板厚評価結果

評価機器	口径	Sch.	材質	最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (℃)	必要肉厚 (mm)	肉厚 (mm)
配管 1	25A	10S	SUS304TP	0.5	40	0.11	2.8
配管 2	40A	10S	SUS304TP	0.5	40	0.16	2.8
配管 3	40A	20S	SUS304TP	1.35	40	0.42	3.0
配管 4	50A	10S	SUS304TP	0.5	40	0.20	2.8
配管 5	50A	20S	SUS304TP	1.35	40	0.52	3.5
配管 6	65A	10S	SUS304TP	0.5	40	0.26	3.0
配管 7	65A	20S	SUS304TP	1.35	40	0.66	3.5
配管 8	80A	10S	SUS304TP	0.5	40	0.30	3.0
配管 9	80A	20S	SUS304TP	1.0	40	0.58	4.0
配管 10	100A	10S	SUS304TP	0.5	40	0.38	3.0
配管 11	50A	80	STPT370	0.5	40	0.28	5.5
配管 12	100A	40	STPT370	0.5	40	0.52	6.0
配管 13	50A	40	STPT370	0.5	40	0.28	3.9
配管 14	80A	20S	SUS316LTP	0.5	40	0.20	4.0
配管 15	65A	20S	SUS316LTP	0.5	40	0.18	3.5
配管 16 設備の設置計画を中止したため削除							
配管 17	65A	20S	SUS316LTP	1.5	40	0.52	3.5
配管 18	65A	80	SUS316LTP	1.5	40	0.52	7.0
配管 19	50A	80	SUS316LTP	1.5	40	0.41	5.5
配管 20	40A	80	SUS304TP	0.5	40	0.10	5.1
配管 21	50A	80	SUS304TP	0.5	40	0.12	5.5
配管 22	50A	20S	SUS304TP	0.5	40	0.12	3.5
配管 23	50A	40	SUS304TP	0.5	40	0.12	3.9
配管 24	80A	20S	SUS304TP	0.5	40	0.18	4.0
配管 25	80A	40	SUS304TP	0.5	40	0.18	5.5
配管 26	100A	40	SUS304TP	0.5	40	0.23	6.0
配管 27	80A	40	SUS304TP	0.74	40	0.26	5.5
配管 28	100A	40	SUS304TP	0.74	40	0.33	6.0
配管 29	150A	40	SUS304TP	0.74	40	0.48	7.1
配管 30	200A	40	SUS304TP	0.74	40	0.62	8.2
配管 31	150A	40	SUS304TP	0.5	40	0.32	7.1
配管 32	65A	40	STPG370	0.98	40	0.41	5.2
配管 33	80A	40	STPG370	0.98	40	0.47	5.5
配管 34	50A	80	STPT410	0.98	40	0.29	5.5
配管 35	80A	40	STPT410	0.98	40	0.43	5.5

b. 配管（ポリエチレン管）

ポリエチレン管は、一般に耐食性，電気特性（耐電気腐食），耐薬品性を有しているとともに以下により信頼性を確保している。

- ・ 日本水道協会規格等に適合したポリエチレン管を採用する。
- ・ 継手は可能な限り融着構造とする。
- ・ 敷設時に漏えい試験等を行い，運転状態に異常がないことを確認する。

以上のこと及び製造者仕様範囲内の圧力および温度の運用とすることで，ポリエチレン管は，必要な構造強度を有するものと評価した。（表－５）

表－５ 配管（ポリエチレン管）製造者仕様範囲（上限値）

評価機器	口径	材質	最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (℃)
配管①	75A 相当	ポリエチレン	0.5	40
配管②	100A 相当	ポリエチレン	0.5	40
配管③	50A 相当	ポリエチレン	0.5	40
配管④	75A 相当	ポリエチレン	0.74	40
配管⑤	100A 相当	ポリエチレン	0.74	40
配管⑥	150A 相当	ポリエチレン	0.5	40
配管⑦	150A 相当	ポリエチレン	0.74	40
配管⑧	50A 相当	ポリエチレン	0.98	40
配管⑨	80A 相当	ポリエチレン	0.98	40

c. 配管（合成ゴム管）

製造者仕様範囲内の圧力および温度の運用とすることで構造強度を有すると評価した。（表－６）

表－６ 配管（合成ゴム管）製造者仕様範囲（上限値）

評価機器	口径	材質	最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (℃)
配管①	25A 相当	合成ゴム	0.5	40
配管②	80A 相当	合成ゴム	0.5	40
配管③	50A 相当	合成ゴム	0.5	40
配管④	80A 相当	合成ゴム	0.74	40
配管⑤	200A 相当	合成ゴム	0.98	50
配管⑥	80A 相当	合成ゴム	0.98	40
配管⑦	50A 相当	合成ゴム	0.98	40

※⑤は中継タンク連絡管

d. 配管（ポリ塩化ビニル管）

製造者仕様範囲内の圧力および温度の運用とすることで構造強度を有すると評価した。（表－７）

表－７ 配管（ポリ塩化ビニル管）製造者仕様範囲（上限値）

評価機器	口径	材質	最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (℃)
配管①	25A 相当	ポリ塩化ビニル	0.5	40
配管②	50A 相当	ポリ塩化ビニル	0.5	40
配管③	65A 相当	ポリ塩化ビニル	0.5	40
配管④	80A 相当	ポリ塩化ビニル	0.5	40

e. 配管（伸縮継手）

製造者仕様範囲内の圧力および温度の運用とすることで構造強度を有すると評価した。（表－８）

表－８ 配管（伸縮継手）製造者仕様範囲（上限値）

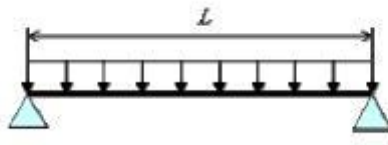
評価機器	口径	材質	最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (℃)
配管①	80A 相当	SUS304	0.74	40

(2)耐震性評価

a. 配管（鋼管）

主要配管（鋼管）の耐震性評価を実施した。評価の結果、自重による応力 S_w を 30 [MPa]以下になるような支持間隔とすることで、配管は十分な強度を有するものと評価する。
（表－9）

評価条件として配管は、配管軸直角 2 方向拘束サポートにて支持される両端単純支持のはりモデルとする。



等分布荷重 両端単純支持はりモデル

水平方向震度による管軸直角方向の配管応力を評価する。

自重による応力 S_w は、下記の式で示される。

$$S_w = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8Z}$$

S_w	： 自重による応力	[MPa]
L	： 支持間隔	[mm]
M	： 曲げモーメント	[N・mm]
Z	： 断面係数	[mm ³]
w	： 等分布荷重	[N/mm]

管軸直角方向の地震による応力 S_s は、自重による応力 S_w の震度倍で下記の式で示される。

$$S_s = \alpha \cdot S_w$$

S_s	： 地震による応力	[MPa]
α	： 想定震度値	[-]

また、評価基準値として JEAC4601-2008 に記載の供用応力状態 C_s におけるクラス 3 配管の一次応力制限を用いると、地震評価としては下記の式で示される。

$$S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha \cdot S_w = S_p + (1 + \alpha) \cdot S_w \leq 1.0 S_y$$

S	： 内圧，自重，地震による発生応力	[MPa]
S_p	： 内圧による応力	[MPa]
S_y	： 設計降伏点	[MPa]

表－ 9 応力評価結果

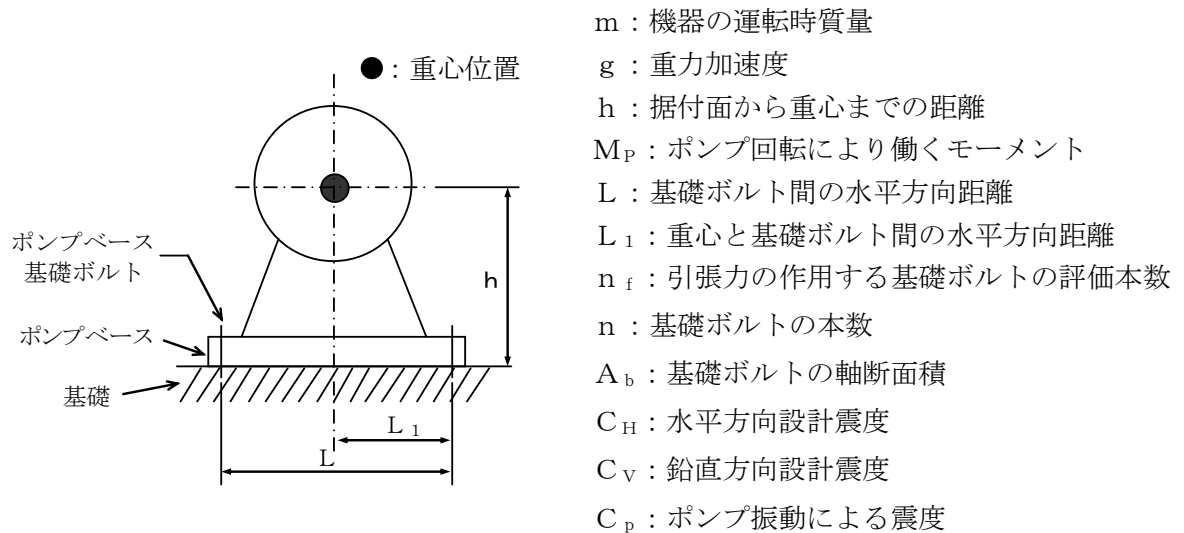
評価機器	口径	Sch.	材質	設計圧力 (MPa)	内圧, 自重, 地震による 発生応力 S (MPa)	供用状態 Cs における一 次許容応力 (MPa)
配管 1	25A	10S	SUS304TP	0. 5	46	205
配管 2	40A	10S	SUS304TP	0. 5	48	205
配管 3	40A	20S	SUS304TP	1. 35	59	205
配管 4	50A	10S	SUS304TP	0. 5	50	205
配管 5	50A	20S	SUS304TP	1. 35	60	205
配管 6	65A	10S	SUS304TP	0. 5	52	205
配管 7	65A	20S	SUS304TP	1. 35	65	205
配管 8	80A	10S	SUS304TP	0. 5	53	205
配管 9	80A	20S	SUS304TP	1. 0	59	205
配管 10	100A	10S	SUS304TP	0. 5	57	205
配管 11	50A	80	STPT370	0. 5	46	215
配管 12	100A	40	STPT370	0. 5	49	215
配管 13	50A	40	STPT370	0. 5	47	215
配管 14	80A	20S	SUS316LTP	0. 5	47	175
配管 15	65A	20S	SUS316LTP	0. 5	47	175
配管 16 設備の設置計画を中止したため削除						
配管 17	65A	20S	SUS316LTP	1. 5	57	175
配管 18	65A	80	SUS316LTP	1. 5	49	175
配管 19	50A	80	SUS316LTP	1. 5	49	175
配管 20	40A	80	SUS304TP	0. 5	43	205
配管 21	50A	80	SUS304TP	0. 5	44	205
配管 22	50A	20S	SUS304TP	0. 5	45	205
配管 23	50A	40	SUS304TP	0. 5	45	205
配管 24	80A	20S	SUS304TP	0. 5	47	205
配管 25	80A	40	SUS304TP	0. 5	45	205
配管 26	100A	40	SUS304TP	0. 5	46	205
配管 27	80A	40	SUS304TP	0. 74	47	205
配管 28	100A	40	SUS304TP	0. 74	48	205
配管 29	150A	40	SUS304TP	0. 74	50	205
配管 30	200A	40	SUS304TP	0. 74	51	205
配管 31	150A	40	SUS304TP	0. 5	49	205
配管 32	65A	40	STPG370	0. 98	48	215
配管 33	80A	40	STPG370	0. 98	49	215
配管 34	50A	80	STPT410	0. 98	46	245
配管 35	80A	40	STPT410	0. 98	49	245

2.4 移送ポンプ

(1) 耐震性評価

a. 基礎ボルトの強度評価

移送ポンプの基礎ボルトについて、耐震性評価を実施した。評価の結果、基礎ボルトの強度が確保されることを確認した。(表－10)



$$\text{基礎ボルトに作用する引張力： } F_b = \frac{1}{L} (m g (C_H + C_P) h + M_P - m g (1 - C_V) L_1)$$

$$\text{基礎ボルトの引張応力： } \sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

$$\text{基礎ボルトに作用するせん断力： } Q_b = m g (C_H + C_P)$$

$$\text{基礎ボルトのせん断応力： } \tau_b = \frac{Q_b}{n A_b}$$

表－１０ 移送ポンプ耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
雨水回収タンク 移送ポンプ	基礎ボルト	引張	0.36	6	153	MPa
		せん断	0.36	3	118	MPa
	基礎ボルト	引張	0.36	14	153	MPa
		せん断	0.36	4	118	MPa
中継タンク移送 ポンプ	基礎ボルト	引張	0.36	6	153	MPa
		せん断	0.36	3	118	MPa
中継タンク直送 ポンプ	基礎ボルト	引張	0.36	14	153	MPa
		せん断	0.36	4	118	MPa
モバイルＲＯ膜 装置供給ポンプ	基礎ボルト	引張	0.36	18	153	MPa
		せん断	0.36	4	118	MPa

雨水処理設備等の具体的な安全確保策

雨水処理設備等にて取り扱う液体に含まれている放射性物質は 100 Bq/cm³ 以下の液体であるが、漏えい防止対策、放射線遮へい、環境条件対策について具体的な安全確保策を以下の通り定め実施する。

1. 放射性物質漏えい防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

雨水処理設備等の移送配管は、耐食性を有するポリエチレン管とし、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のため融着構造とすることを基本とする。ポリエチレン管と鋼管との取合い等で、フランジ接続となる接合部が堰外となる箇所については遮水特殊ポリマー又は、シール材等による止水強化を行い、漏えい発生防止を図る。

汎用品であるモバイルRO膜ユニット、RO膜ユニット等の内部の狭隘部にある配管の一部は、ポリ塩化ビニル管とする。このうちポンプ取合い等金属部材との接合部は鋼管とする。ポリ塩化ビニル管は、接続部をフランジ接続とするなどし、サポート等により配管を固定することで取合部が外れないように処置する。また、タンク内に設置した水中ポンプとの取合配管は、可撓性を有する合成ゴム管とする。

移送配管は、使用開始までに漏えい確認等を実施し、施工不良等による大規模な漏えいの発生を防止する。

移送ポンプの軸封部は、漏えいの発生し難いメカニカルシール構造とする。

なお、屋外敷設箇所のうち重機による作業や車両の通行がある箇所について、道路跨ぎ部の配管は地中に設置したU字溝内に敷設することで車両の通過時に損傷しないようにし、地上の配管は区画表示やバリケード等により注意喚起を行う。

汚染水を内包している配管及びポンプ等の開放作業は、隔離処置及び水抜き後に実施する。

また、運転操作手順書により別途定める水位以下でタンクの運用を行うとともに、タンク水位計に指示値異常と疑われる事象が発生した場合には、ただちに移送を停止し、タンク内部の実水位を目視確認し、タンクからの溢水による漏えい発生防止を図る。

万一漏えいが発生した場合には、復旧手順を定めた運転操作手順書に従い、異常状態の復旧を図る。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

屋外敷設箇所等については、巡視点検により漏えいの有無等を確認する。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、系統の隔離及び土のうの設置等により漏えいの拡大防止を図る。万一、漏えいしても排水路を通じて環境に放出することがないように、排水路から可能な限り隔離するとともに、排水路を跨ぐ箇所はボックス鋼内等に配管を敷設する。

ポリエチレン管と鋼管との取合い等で、フランジ接続となる接合部が堰外となる箇所については、遮水特殊ポリマー又は、シール材等による止水強化および導水受けパンの設置等を行うことで漏えい拡大防止を図る。また、当該部には簡易濡れ感知器を設置し、漏えいの早期検知を図る。

移送ポンプは堰内に設置されていることから移送ポンプから漏えいした場合でも、堰内に収まり堰外へ漏えいすることはない。なお、漏えいが確認された場合には、ポンプを停止し漏えい拡大防止を図る。

雨水処理設備等の運転中には、運転員のパトロールにてタンクからの漏えいの有無並びにタンクの水位を確認することにより、漏えい検知を行う。なお水位は免震重要棟等で遠隔監視できるタンクと現場でのみ確認できるタンクがある。免震重要棟等で遠隔監視できる水位計が未設置のタンクについては、設備停止中の早期漏えい検知のため、免震重要棟等でタンク水位を監視できる水位計を今後、設置する。

また、モバイルRO膜ユニット、RO膜ユニット、雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニットには漏えいした場合の検知機能を設ける。漏えい拡大防止の堰は、モバイルRO膜ユニット、RO膜ユニット、雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニットならびにタンクに設置する。

汚染水を内包している配管及びポンプ等は、開放時に受けパン及び飛散防止カバー等の漏えい拡大防止策を実施する。

モバイルRO膜ユニット、RO膜ユニットの個別に設置した堰は、ユニットが内包する雨水を受けられる容量を確保していることから、装置内部に内包する雨水が漏えいした場合でも、堰内に収まり、堰外へ漏えいすることはない（表－１）。また、雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニットも同様にユニット内部に内包する雨水RO濃縮水が漏えいした場合でも、堰内に収まり、堰外へ漏えいすることはない（表－２）。

表－１ モバイルＲＯ膜ユニット，ＲＯ膜ユニット漏えい拡大防止 堰仕様（設計値）

対象設備		縦幅(m)	横幅(m)	高さ(m)	容積(m ³)	保有水量(m ³)
モバイルＲＯ膜ユニット※１，２，３	(a)	2.32	5.81	0.16	2.1	1.7
	(b) ＲＯ膜	2.2	5.8	0.2	2.5	0.9
	(b) 脱塩器	2.2	3.8	0.3	2.5	1.3
ＲＯ膜ユニット ※１，２，３	(b) ＲＯ膜	2.2	5.8	0.2	2.5	0.9
	(b) 脱塩器	2.2	3.8	0.3	2.5	1.3
	(c)	2.33	5.80	0.16	2.1	0.8

※１ 漏えい検知器の検出位置（底面からの水位）： 10mm

※２ 漏えい検知器の個数： 図－１参照

※３ 堰には伸縮性の高いシーリング材を塗装する

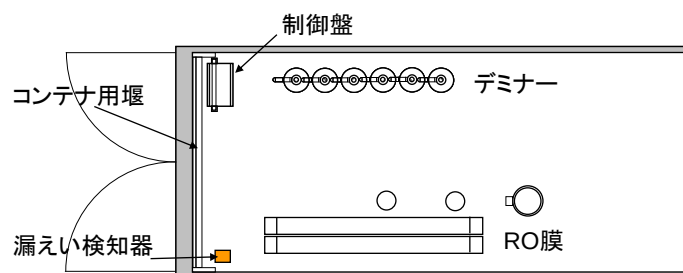
表－２ 雨水ＲＯ濃縮水移送ラインフィルタユニット漏えい拡大防止 堰仕様（設計値）

対象設備	縦幅(m)	横幅(m)	高さ(m)	容積(m ³)	保有水量(m ³)
雨水ＲＯ濃縮水移送ラインフィルタユニット ※１，２，３	2.2	8.95	0.2	3.9	2.0

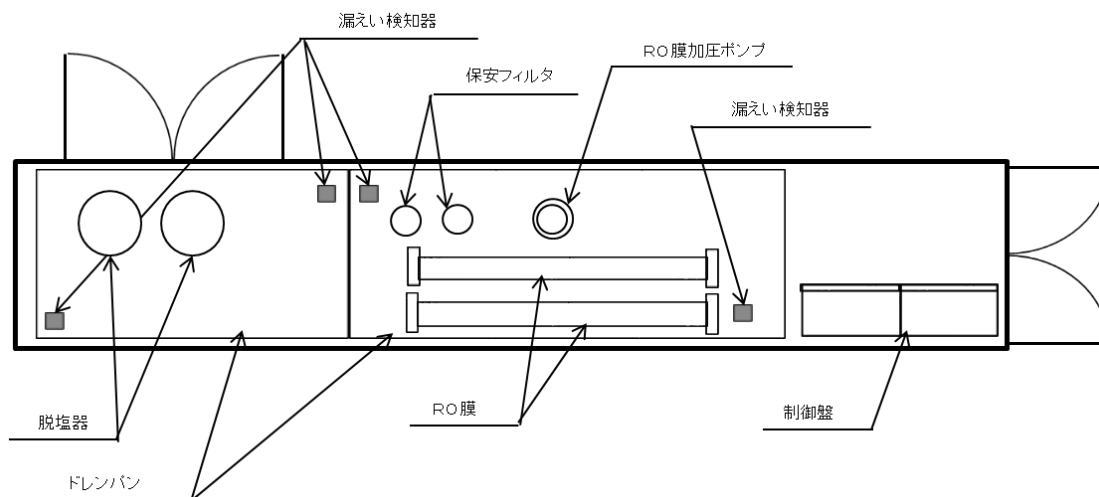
※１ 漏えい検知器の検出位置（底面からの水位）： 10mm

※２ 漏えい検知器の個数： 図－２参照

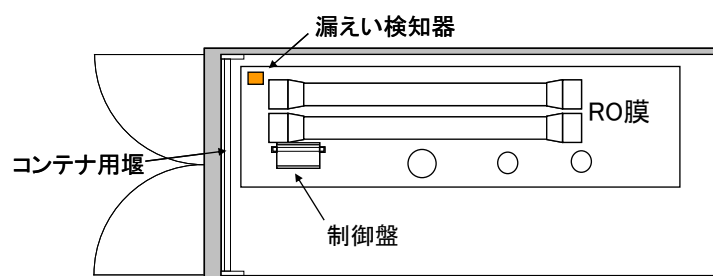
※３ 堰には伸縮性の高いシーリング材を塗装する



(a) モバイルRO膜ユニット

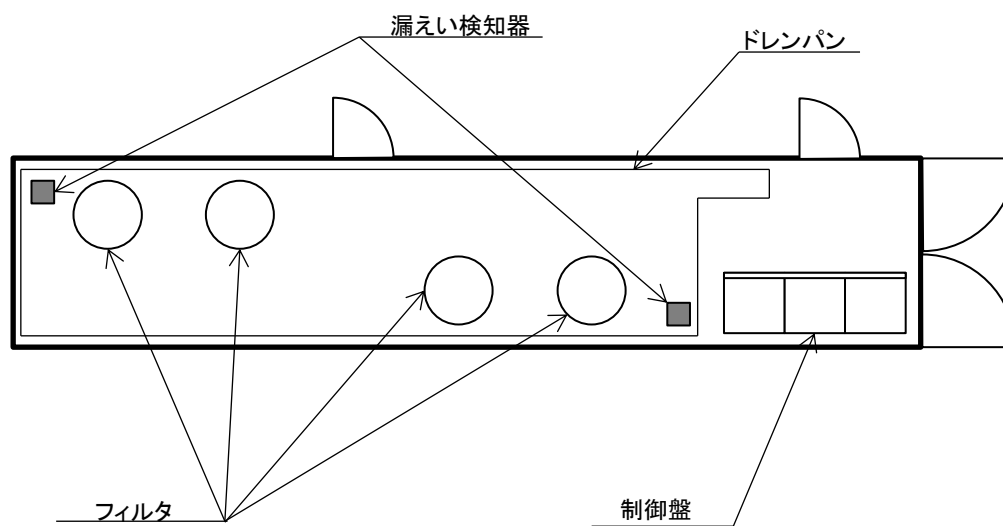


(b) モバイルRO膜ユニット／RO膜ユニット



(c) RO膜ユニット

図－1 漏えい検知器の設置場所



図ー 2 漏えい検知器の設置場所（雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニット）

一方、タンクの堰※は、タンク 1 基の保有水を受けられる容量ではない。ただし、以下の対策により漏えい水を堰内に収めるようにする。

雨水処理設備等で使用するフランジ型タンクは、分析して散水するまでに一時的に使用するものであり、漏えいリスクは低い。また、フランジ部の漏えい防止を強化したタンクを使用しており、基本的には漏えいは発生しない。更に、平成 27 年 1 月 30 日以降に設置するフランジ型タンクについては、タンク内部の底面を伸縮性の高いシーリング材にて全面塗装し、漏えい防止強化を図る。

タンクからの漏えいを検知または確認した場合は、タンク内についてはタンク内の水中ポンプ、堰内については予め準備しておいた移送ポンプを堰内に配置することで、速やかにタンク内の雨水を隣接されたもう一方のタンクに移送する等により、漏えい拡大防止を図る。なお、漏えい時には、運転操作手順書により、異常状態の復旧を図る。

※Sr 処理水、多核種処理水等を貯留する中低濃度タンクは、汚染水を貯留する目的で設置することから、漏えいが生じた際に漏えい水の拡大を抑制するための基礎外周堰の高さは、タンク 20 基当たり 1 基分の貯留容量（20 基以上の場合には 20 基あたり 1 基分の割合の容量、20 基に満たない場合でも 1 基分）を確保できる高さに、大雨時の作業等を考慮した余裕高さ（20cm 程度）を加えた高さとする。

一方、雨水処理設備等で使用するタンクは処理プロセス内のタンクであり、散水するまでに一時的に使用することから、タンク堰高さは、設置済みのタンクについては 0.2m 以上確保することとし、今後は施工性を考慮し全てのタンクについて運用管理に支障のない範囲で可能な限り高さを確保する。また、設置済みのタンクについて平成 27 年度内に堰のかさ上げが完了できなかったタンクの堰内には水中ポンプを常設しており、万一のタンクからの漏えい時には近傍の汚染水タンク堰内もしくは自タンク内へ移送可能である。これらのタンクについては、現状の運用を継続することとし、汚染水タンクのリプレイスに合わせてフランジ型タンクから溶接型タンクへのリプレイスを計画し、これに合わせて運用管理に支障の無い範囲の高さの堰を設置する。施工にあたっては、堰内に伸縮性の高いシーリング材を塗装する。

(3)放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

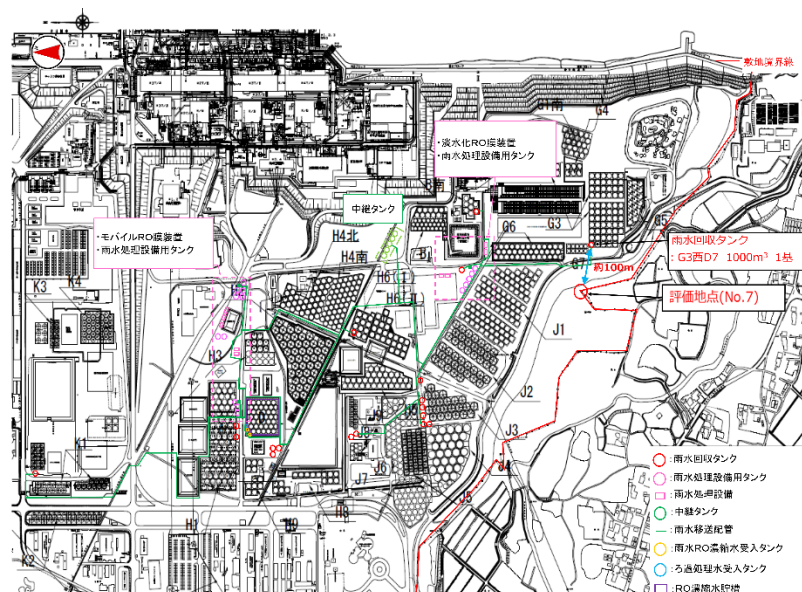
a. 雨水処理設備等にて取り扱う雨水は，含まれている放射性物質は 100 Bq/cm³ 以下である。なお，放射線遮へいの必要が生じた場合には，状況に応じて適切な放射線遮へいを行う。

b. 雨水処理設備等で使用するタンクは，放射能濃度が低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さいと考えられるが，雨水タンクに貯留する雨水による敷地境界での評価を実施する。評価条件は以下のとおり。

- ・中低濃度タンクと異なり，汚染水を貯留する目的ではなく，回収，RO 処理，散水までの処理プロセス中に使用するものであるが，保守的に雨水タンクに貯留するものとして評価を行う。
- ・雨水処理設備にて取り扱う液体は，100,000 Bq/L 以下で管理することを勘案し評価条件を設定する（表－3）。なお，トリチウムについては線量に与える影響が小さいため評価条件からは除外する。また，以下の条件をタンク内保有水の放射能濃度として設定し，評価対象タンク群を等価面積の大型円柱形状としてモデル化する。
- ・雨水処理設備等のうち，敷地境界に最も近い機器は，雨水回収タンク：G3 西 D7 雨水タンクで，評価点 No.7 より約 100m である（図－3）。

表－3 雨水処理設備敷地境界の評価条件

核種	Cs-134	Cs-137	Sr-90（全β）	H-3	合計
濃度[Bq/L]	100	200	99,700	0	100,000



図－3 敷地境界に最も近い雨水タンクと評価点の位置関係

評価の結果、最寄りの線量評価点【No. 7】における直接線・スカイシャイン線の評価結果は 10^{-3} mSv/y 未満であることから、敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

(4) 崩壊熱除去

雨水処理設備等にて取り扱う雨水は、含まれている放射性物質は 100 Bq/cm^3 以下であることから崩壊熱を考慮する必要はない。

(5) 可燃性ガスの滞留防止

雨水処理設備等にて取り扱う雨水は、含まれている放射性物質は 100 Bq/cm^3 以下であることから、水の放射線分解による可燃性ガスの発生を考慮する必要はない。

2. 環境条件対策

(1) 腐食

雨水であることから、金属材料の腐食のリスクは低いものの、タンク内面は防錆塗装を行うとともに、ほとんどの配管には耐食性に優れるステンレス系の材料を用いる。一部、炭素鋼管を使用しているものの高温配管用炭素鋼鋼管であり、十分な耐食性を有している。鋼管の他、配管を構成するポリエチレン配管、ポリ塩化ビニル、合成ゴムについても耐食性に優れていることを確認している。また、雨水RO濃縮水移送ラインの鋼管にはポリエチレンライニングを実施しており、耐食性を有している。

ROベッセルはFRP材、保安フィルタ容器、RO膜加圧ポンプ、脱塩器、デミナーはステンレス鋼、雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニットのフィルタ容器はゴムライニングを実施しており、耐食性を有していることから、RO膜ユニット、モバイルRO膜ユニット、雨水RO濃縮水ラインフィルタユニットについても、耐食性の問題はない。

雨水回収タンク移送ポンプ、中継タンク直送ポンプ、中継タンク移送ポンプ、モバイルRO膜装置供給ポンプ、RO膜装置供給ポンプについても、耐食性を有したステンレス材料を使用していることから、耐食性の問題はない。集水ピット拔出ポンプ、雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニット供給ポンプ、ろ過処理水移送ポンプについては、鋳鉄品を使用している。雨水であることから金属材料の腐食のリスクは低いものの、定期的な点検により腐食の状況を確認し、交換・手入れ等を実施する。

(2) 熱による劣化

雨水の温度はほぼ常温のため、金属材料の劣化の懸念はない。また、高分子系の材料についても本装置の最高使用温度 40°C で最高使用圧力に耐えられる材料を用いる。

(3) 凍結

雨水を移送している過程では、水が流れているため凍結の恐れはない。雨水の移送を停止した場合、屋外に敷設されているポリエチレン管等は、凍結による破損が懸念される。そのため、雨水を移送している屋外敷設のポリエチレン管等に保温材を取り付ける。また、モバイルRO膜ユニット、RO膜ユニット、雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニット等のコンテナ内については、空調設備を設置し、0℃を下回らないようにして凍結防止を図る。雨水回収タンク移送ポンプ、中継タンク移送ポンプ、中継タンク直送ポンプ、2台のモバイルRO膜装置供給ポンプについては、凍結防止対策として、ポンプケーシング部に保温材を設置する。

(4) 生物汚染

雨水を移送している上では有意な微生物腐食等は発生しないと考えられる。

(5) 耐放射線性

雨水処理設備等にて取り扱う液体に含まれている放射性物質は 100 Bq/cm³ 以下であることから、機器（電気・計装品含む）類および配管の耐放射線性は考慮する必要はない。

(6) 紫外線

屋外敷設箇所のポリエチレン管等には、紫外線による劣化を防止するための耐紫外線性を有する保温材等で覆う処置を実施する。また、供用期間中、保温材等の劣化を確認した場合には、必要に応じて補修を計画する。

(7) 長期停止中の措置

装置を長期停止する場合は、必要に応じてフラッシングを行い放射線量を低減するとともに、内部の水抜きを実施することで、腐食および凍結を防止する。

雨水処理設備等に係る確認事項

雨水処理設備等に係る主要な確認事項を表－ 1 ～ 1 2 に示す。雨水処理設備等にて取り扱う液体に含まれている放射性物質は $100\text{Bq}/\text{cm}^3$ 以下である。

なお、雨水処理設備等の主要設備であるモバイルRO膜装置、淡水化处理RO膜装置を構成する機器の一部は、製造から 1 0 年程度経過している汎用品であり、タンクを含め過去に使用履歴のある中古品により構成されている。このことから、本確認事項の通り最大限可能な範囲の確認を実施することにより、使用可能と判断する。

表－１ 確認事項（RO 膜，デミナー，脱塩器）※1

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	材料証明書等により使用材料を確認する。	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	機器の据付状態について確認する。	実施計画のとおり据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを記録等により確認する。 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。	確認圧力に耐え，構造物の変形がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	RO 膜 1 基あたりの処理量を通水する。 ただし，処理する水の水温により通水量が変化することから，必要に応じ換算した結果を確認する。	モバイル RO 膜処理量 15m ³ /h および RO 膜処理量 15m ³ /h または 18 m ³ /h を通水できること。 また，異音，異臭，振動等の異常がないこと。 RO 膜の処理により，放射性核種が低減されていること。

※1：雨水処理設備等に関わる主要な確認事項を確認するため，本施設の処理対象となる堰内雨水を用いた通水試験を実施した上で，使用前検査を受検する

表－２ 確認事項

(雨水受入タンク，処理水タンク，雨水ＲＯ濃縮水受入タンク，ろ過処理水受入タンク，雨水回収タンク※^１，中継タンク※^２)

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	使用材料を材料証明書により確認する。	実施計画に記載の材料が使用されていること。
	寸法確認	主要寸法（板厚，内径，高さ）を確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	タンク本体（塗装状態含む）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。
	耐圧・漏えい確認	設計・建設規格に基づき耐圧・漏えい試験を行う。	各部からの有意な漏えいおよび水位の低下がないこと。

※１：本文 2.36.2.1.2(5)のタンク

※２：連結管を含む

表－３ 確認事項
(雨水回収タンク) ※¹

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	納品書等に添付されている図面，カタログ等又は材料証明書により使用材料を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	納品書等に添付されている図面，カタログ等により，主要寸法を確認する。	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	据付位置について確認する。	実施計画のとおり据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを記録等により確認する。 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。	確認圧力に耐え，構造物の変形がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

※¹：本文 2.36.2.1.2(6)のタンク

表－４ 確認事項

(モバイル R0 膜装置供給ポンプ※¹，R0 膜装置供給ポンプ※¹，集水ピット拔出ポンプ※²，雨水回収タンク移送ポンプ※¹，中継タンク直送ポンプ，中継タンク移送ポンプ，雨水 R O 濃縮水移送ラインフィルタユニット供給ポンプ※¹，ろ過処理水移送ポンプ※¹) ※³

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
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。
性能	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。

※¹：タンク内部に設置されているものは，耐圧・漏えい及び運転性能確認は可能な範囲で実施する。

※²：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。

※³：雨水処理設備等に関わる主要な確認事項を確認するため，本施設の処理対象となる堰内雨水を用いた通水試験を実施した上で，使用前検査を受検する

表－５ 確認事項（鋼管）※１

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、材料証明書または納品書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について、材料証明書または納品書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	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していることを立会いまたは記録により確認する。	図面のとおりに施工・据付していること。
	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	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：雨水処理設備等に関わる主要な確認事項を確認するため、本施設の処理対象となる堰内雨水を用いた通水試験を実施した上で、使用前検査を受検する

表－6 確認事項（ポリエチレン管）※1

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。	実施計画の記載とおりであること。
	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。	実施計画の記載とおりであること。
	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していることを立会いまたは記録により確認する。	図面のとおりに施工・据付していること。
	耐圧・漏えい確認	製品の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。	製品の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。

※1：雨水処理設備等に関わる主要な確認事項を確認するため、本施設の処理対象となる堰内雨水を用いた通水試験を実施した上で、使用前検査を受検する

表－７ 確認事項（ポリ塩化ビニル管）※１

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	納品書等に添付されている図面，カタログ等により使用材料を確認する。	確認書類に示される使用材料が，実施計画の通りであること。
	寸法確認	納品書等に添付されている図面，カタログ等により確認する。	確認書類に示される寸法が，実施計画の通りであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	耐圧・漏えい確認	定格運転で耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。 定格運転： モバイルRO膜ユニットRO膜処理量 15 m³/h およびRO膜ユニットRO膜処理量 18m³/h ただし，処理する水の水温により通水量が変化することから，換算した結果を確認する。	耐圧部から漏えいがないこと。

※１：雨水処理設備等に関わる主要な確認事項を確認するため，本施設の処理対象となる堰内雨水を用いた通水試験を実施した上で，使用前検査を受検する

表－８ 確認事項（合成ゴム管）※１

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。	実施計画の記載とおりであること。
	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。	実施計画の記載とおりであること。
	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	製品の最高使用圧力の 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。	製品の最高使用圧力の 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	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：雨水処理設備等に関わる主要な確認事項を確認するため、本施設の処理対象となる堰内雨水を用いた通水試験を実施した上で、使用前検査を受検する。

表－ 9 確認事項（堰※1，漏えい検知器）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
漏えい防止	寸法確認	実施計画に記載されている 堰の主要寸法を確認する。	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	堰，漏えい検知器の据付位 置，据付状態について確認す る。	実施計画のとおり据付さ れていること。
性能	機能確認	堰の外観を確認する。 漏えい検知器に漏えい水を 模擬し検出器の動作状況を 確認する。	堰に有意な欠陥がないこ と。 水の漏えいが検知でき，警 報ランプが点灯表示され ること

※ 1：添付資料－ 4 表-1, 表-2 のユニット漏えい拡大防止堰

表－１０ 確認事項（伸縮継手）※１

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、材料証明書または納品書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について、材料証明書または納品書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	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していることを立会いまたは記録により確認する。	図面のとおりに施工・据付していること。
	耐圧・漏えい確認	製品の最高使用圧力の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。※２	製品の最高使用圧力の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	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：雨水処理設備等に関わる主要な確認事項を確認するため、本施設の処理対象となる堰内雨水を用いた通水試験を実施した上で、使用前検査を受検する。

※２：集水ピット内部に設置されており、耐圧・漏えい確認は可能な範囲で実施する。

表－１１ 確認事項（堰※¹その他の設備）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	寸法確認※ ²	基礎外周堰の高さを確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	据付確認	タンク基礎の不陸について確認する。	異常な不陸がないこと。
	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。
	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。	必要な支持力を有していること。

※¹：実施計画の変更認可（2018年5月）から新設する範囲の2.36.2.1.1(8),(9),(10),(11)および2.36.2.1.2(5)のタンク堰。

※²：寸法確認の対象となる各タンク設置エリアの基礎外周堰高さを別表－１に示す。

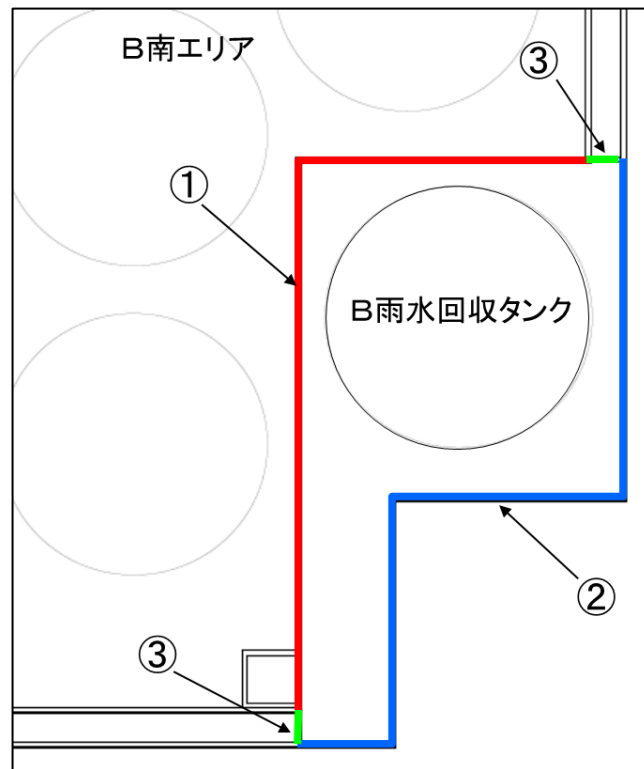
別表－１ 各タンク設置エリアの基礎外周堰の高さ

タンク名称	基礎外周堰高さ (mm)
H 6（I）雨水回収タンク	1080 以上
B 雨水回収タンク※ ³	① 1917 以上 ② 1700 以上 1917 未満 ③ 1500 以上 1700 未満
J 2， J 3 雨水回収タンク	1000 ±50
モバイルRO膜装置雨水受入タンク	1000 ±50
モバイルRO膜装置処理水タンク※ ⁴	① 959 以上 ② 870 以上 959 未満 ③ 770 以上 870 未満
雨水RO濃縮水受入タンク ろ過処理水受入タンク	998 以上

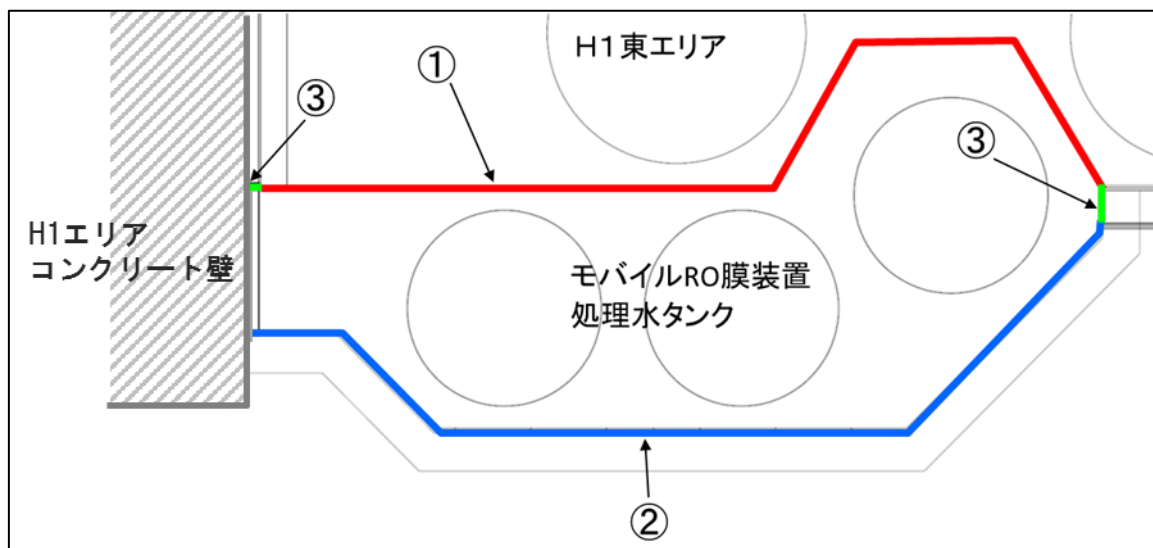
※³：別図-1 参照

※⁴：別図-2 参照

別図－1 B雨水回収タンク堰詳細図



別図－2 モバイルRO膜装置処理水タンク堰詳細図



表－１２ 確認事項（雨水ＲＯ濃縮水移送ラインフィルタ容器）

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	使用材料を材料証明書により確認する。	実施計画に記載の材料が使用されていること。
	寸法確認	主要寸法（板厚，内径，高さ）を確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	容器本体（塗装状態含む）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。
	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。

雨水処理設備等の先行運用について

雨水処理設備等は、汚染水タンク堰内に溜まった雨水を雨水回収タンクに回収した以降、その放射能濃度が排水基準を上回るものについて、モバイルRO膜装置（以下『モバイルRO』という）、淡水化处理RO膜装置（以下『淡水化RO』という）に移送し、処理する設備である。

タンク増設の際には、タンク設置後に仮堰でかつ雨水抑制用の堰カバーも無い状態で、タンク・堰の運用を開始している。このため、雨水の溢水を回避するためにタンク設置に合わせて短期で移送ラインを設置し、運用を開始しなければならない状況である。また、タンク設置やタンク解体、撤去との干渉を回避するために、随時移設、撤去が必要となる。

このような状況を鑑み、雨水の溢水、汚染水タンク漏えい検知性の低下、タンク漏えい時の堰からの溢水等のリスクを低減するため、雨水処理設備等の設備が完成するまでの間は、その一部および一時的な設備を用いた運用（以下、「先行運用」という）を行うこととする。また、先行運用においても、雨水処理設備等で扱う液体の放射能濃度は 100Bq/cm^3 以下となるよう管理する。

なお、一時的な設備については事業者の自主管理として運用を行う。

1. 雨水処理設備等の設備概要

本格運用時と先行運用時の設備の相違を表1に示す。

集水ピット抜出ポンプから雨水回収タンクを経由し、集合ヘッダーまたは中継タンク入口ヘッダーまでのポンプ及び移送配管（以下『雨水移送ライン』という）について先行運用を行う。タンク解体・撤去を実施する堰エリアについても、タンクの撤去が完了するまでの間は、設備の一部および一時的な設備を用いた同様の運用を実施する。

それぞれの設備の設置完了目途については、表2の通りである。なお、今後のタンク増設、リプレイスに伴う設計変更または新設する範囲については、タンクエリアの設置完了後1年以内目途に設備を設置する。

2. 先行運用時における具体的な安全確保策

先行運用時は、漏えいの早期検知、拡大防止の観点から、以下の事項について遵守する。

- ・ タンクへの雨水移送時には、移送前後でタンク水位の変動を確認し移送されていることを確実にすると共に、運転操作手順書により別途定める水位以下で運用を行う。
- ・ また、各タンクの水位をパトロールにて確認すると共に、順次、遠隔で水位監視可能な設備に切り替えていく。
- ・ 移送配管については、現場監視の下で移送作業を行う。合成ゴム管においては使用の都度、全てのラインで移送中に巡視を行う。また排水路に直接流れ込む恐れのある箇所については、側溝から離隔あるいは受け等の対策を図る。対策を講じることができない箇所については、監視人を配置した上で移送を実施する。
- ・ 移送配管のうち合成ゴム管については、ポリエチレン管に取替をするまで定期点検を実施する。また、点検結果に基づき対策を実施する。

表 1 雨水処理設備等における本格運用および先行運用の相違

設備		主要仕様	本格運用	先行運用
雨水移送ライン	ポンプ	集水ピット抜出ポンプ	本設ポンプ	仮設ポンプ
		雨水回収タンク移送ポンプ		仮設水中ポンプ
	配管	⑦集水ピット抜出ポンプから雨水回収タンクまたは中継タンク入口ヘッダーまで	ポリエチレン管，鋼管，伸縮継手	ポリエチレン管 合成ゴム管 鋼管
		⑧雨水回収タンクから集合ヘッダーまたは中継タンク入口ヘッダーまで	ポリエチレン管，鋼管	合成ゴム管 鋼管 ポリエチレン管

表 2 設備の設置完了目途

設備		設置完了目途
雨水移送ライン	実施計画の変更認可 (2018 年 5 月) 範囲	設置完了
	実施計画の変更認可 (2018 年 5 月) から 設計変更または新設する範囲	設置完了
	実施計画の変更認可 (2019 年 7 月) から 設計変更または新設する範囲	タンクエリア設置完了後 1 年以内目途
	実施計画の変更認可 (2020 年 7 月) から 設計変更または新設する範囲	タンクエリア設置完了後 1 年以内目途

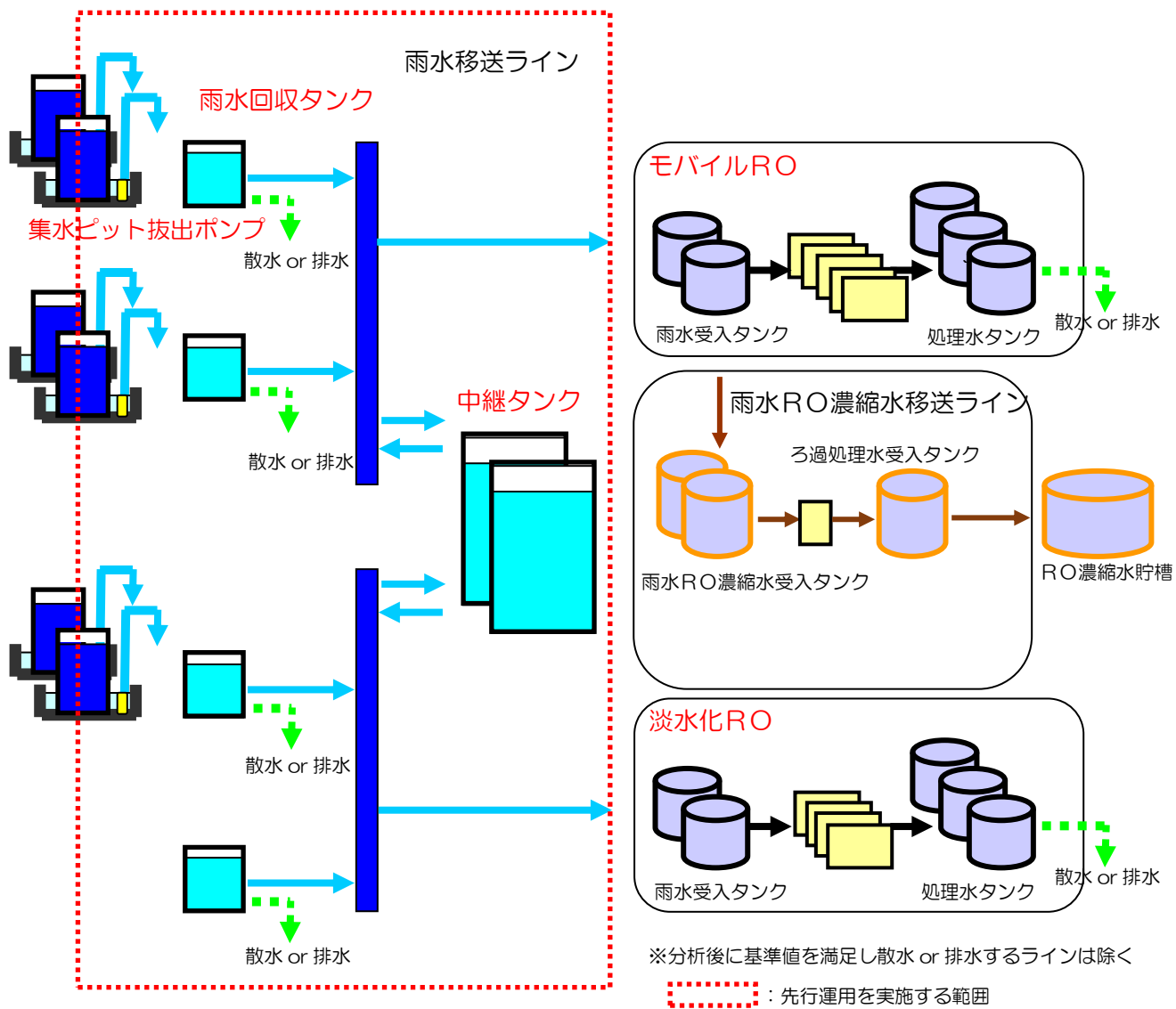


図1 雨水処理設備等の概要図

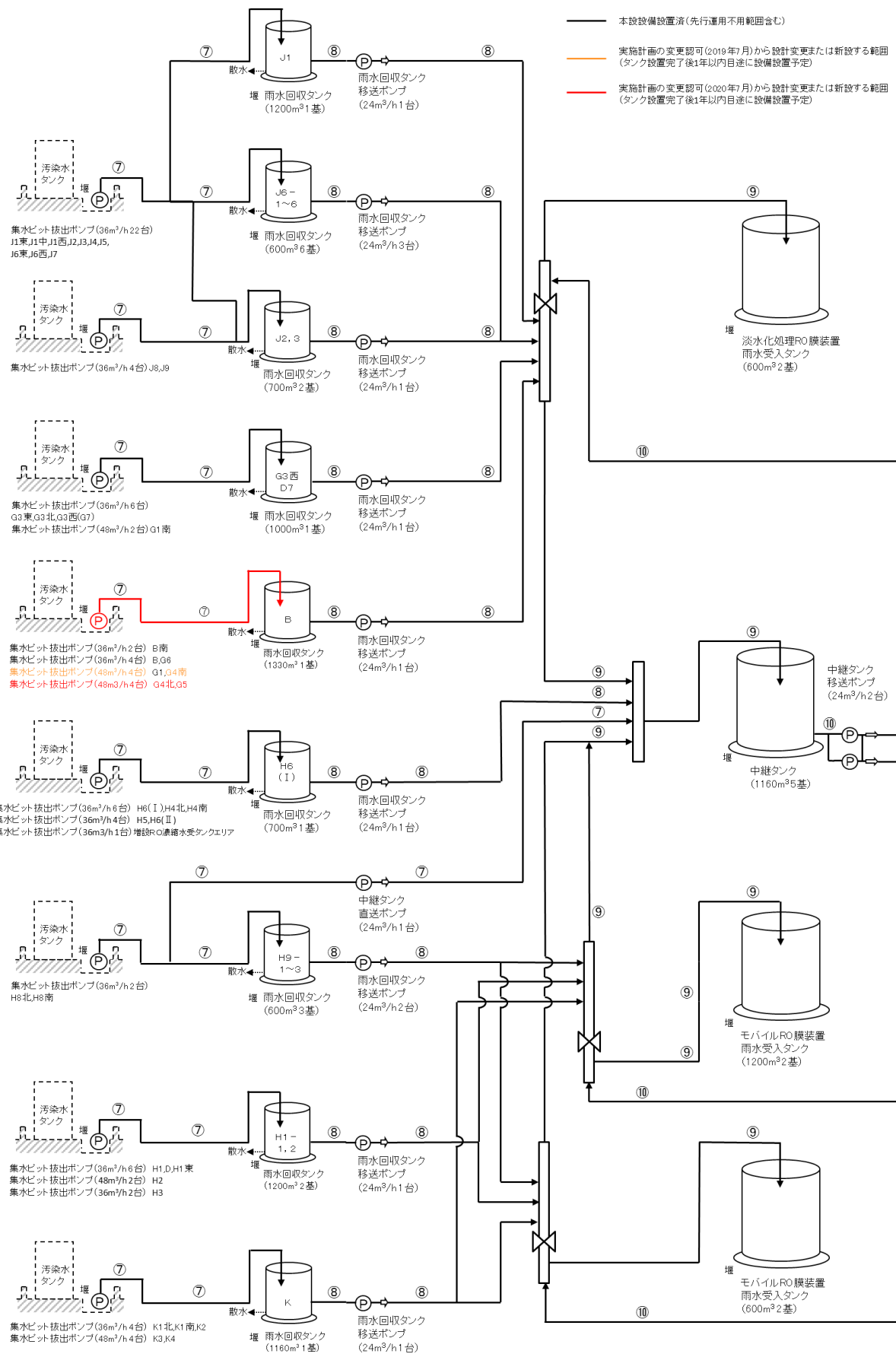


図2 雨水移送ラインの設置範囲図

(先行運用の例)

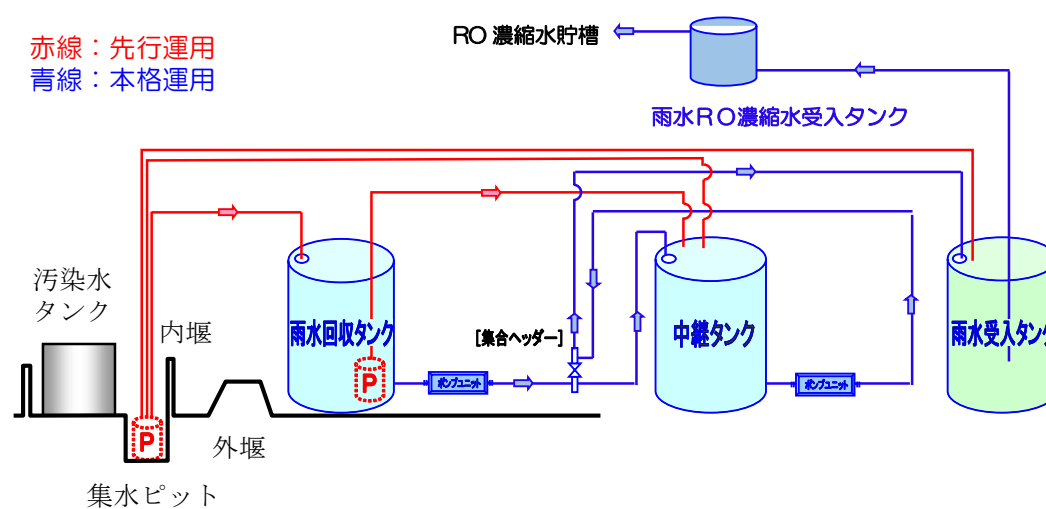


図3 雨水処理設備等の先行運用例

雨水処理設備等の解体・撤去の方法について

雨水処理設備等の解体・撤去に伴い、核燃料物質その他の放射性物質に汚染されている可能性のあるタンク、ポンプ、移送配管の解体・撤去作業※の方法について定める。

※実施計画上の撤去作業には仮置き作業を含む

1. 雨水処理設備等

a. タンク

雨水回収タンク（フランジタンク）は、受入している堰内雨水を雨水処理設備により処理した後に、必要に応じて汚染拡大防止を図った上で解体・切断し、構内で保管する。

b. ポンプ

集水ピット拔出ポンプは、内包する堰内雨水を水抜きし、雨水処理設備により処理した後に、汚染拡大防止を図った上でポンプとケーブルを解体・分別し、ポンプ全体を養生し、構内で保管する。

c. 移送配管

移送配管を取り外す前には、配管内部の水抜きを実施し、雨水処理設備により処理を行う。また、残水がある場合に備えて、配管取り外し部には受け養生を実施し、汚染拡大防止を図った上で取り外し・切断し、端部養生を行い構内で保管する。

1.1. 残水処理作業時（残水処理前の仮設ポンプによる水抜き作業を含む）の漏えい防止策及び漏えい拡大防止策

堰内雨水の処理後にタンク底部に残る残水の回収処理作業では、仮設ホース、仮設ポンプ、バキュームカー及び底部残水回収装置等を使ってタンク底部より残水を回収し、雨水処理設備等により処理する。残水の回収処理作業は、タンク内の空間線量率を測定し、閾値（ γ 線：0.4mSv/h または β 線：2.5mSv/h）を基準にして残水回収処理方法を判断する。

なお、解体前にタンク内部のダスト濃度測定を行い、閾値（ $5 \times 10^{-5} \text{Bq/cm}^3$ ）を超過している場合は、タンク内表面に散水を行うが、散水により発生する残水（1 回に 1m^3 程度）についても回収処理作業で回収を行い雨水処理設備等により処理を行う。また、作業中のダスト濃度上昇に伴う追加対策として実施する追加散水を考慮しても最大でタンク 1 基あたり 5m^3 程度であるため雨水処理設備等による処理に影響を及ぼすことはない。

当該作業を行う際の、漏えい防止策及び漏えい拡大防止策は以下の通り。

- a. 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。また、タンクの撤去にあたり実施する残水回収処理作業にバキュームカーを使用する場合には、バキ

ュームカーとホースの接続にロック機構を有するものを使用し、確実にロックされていることを確認する。

- b. 漏えい拡大防止策として、仮設ホースの接続部に水受けをもうけることにより、漏えい水を受けられるようにした上で、残水移送中には作業員による常時監視を行う。

1.2. 解体作業時の汚染拡大防止策

解体作業時における汚染拡大防止対策の可否については、解体前にタンク内部のダスト濃度測定を行い、閾値（ $5 \times 10^{-5} \text{Bq/cm}^3$ ）を超過する場合は、汚染拡大防止を図った上で作業を実施する。

解体作業手順の概要を図—1に示す。

- a*. タンク上部のマンホールからタンク内表面に散水し、表面の汚染をできるだけ洗い流すことにより、放射性物質の飛散のリスクを低減する。
- b*. 局所排気装置を設置し、タンク下部のマンホールからタンク内部の空気を吸引し、フィルタでろ過することにより、タンク上部から放射性物質が飛散するリスクを抑制する。
- c. タンク解体片は、地面に降ろした後、周辺の汚染レベルを上昇させないように養生等を実施し運搬する。
- d. 最下段の側板及び底板の解体は、残水が完全に除去されていることを確認した後に着手する。
- e. 解体作業の期間中は、タンク上部の空気中の放射性物質濃度を定期的に確認する。なお、測定値が閾値を超過している場合は、作業を中断し、追加散水や集塵の強化等の対策を実施し、測定値が閾値未満に戻ったことを確認してから再開する。
- f. 追加散水や集塵の強化等の対策を施しても測定値が閾値未満に戻らない場合には、作業を中止し、タンク上部に仮天板を取り付ける。その後、原因を調査し、必要に応じて対策を施した上で再開する。

※ a. b についてはタンク内部のダスト濃度が閾値を超えた場合にのみ実施する。

1.3. 減容作業・保管時の汚染拡大防止策

「2.5 汚染水処理設備等 添付資料-13 中低濃度タンク及び高濃度滞留水受タンクの解体・撤去の方法について 5.3. 減容作業・保管時の汚染拡大防止策」に同じ。

1.4. 作業員の被ばく低減

- a. タンクの解体においては、必要に応じてゴムマット等の養生を行い、被ばく低減を図る。
- b. タンク切断では、可能な限り遠隔作業により、被ばくの低減を図る。
- c. 解体作業中にダスト濃度が万が一上昇した場合に備えて、念のため全面マスクを着

用する。

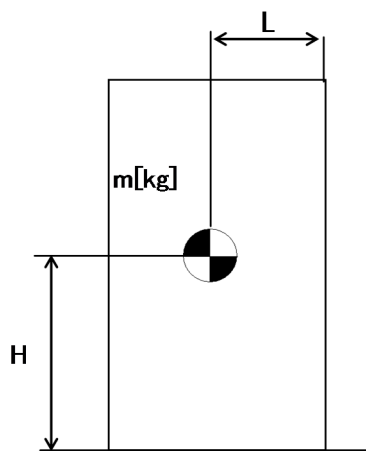
ポンプおよび配管の開放作業時においても、全面マスクを着用して作業を実施する。なお、開放作業時におけるダストの舞い上がりは少ないと考えるものの、適宜、空气中の放射性物質濃度を測定し、必要に応じて遮へい、局所排風機、ハウスを設置する。また、機器の取り外しまたは切断時においては、開放端部をゴム質のキャップ等で養生し、作業時の被ばく低減を図る。

1.5. 瓦礫類発生量

- a. タンクの解体・撤去に伴い、B エリア：約 250m³、H5 エリア：約 250m³、G6 エリア：約 500 m³、H4 エリア：約 500 m³、G4 南エリア：約 250m³の瓦礫類が発生する見込みである。
- b. ポンプ、移送配管の解体・撤去に伴い、C エリア：約 20m³、E エリア：約 10m³、G4 北エリア：約 20m³、G5 エリア：約 20m³、H9 エリア：約 20m³、H9 西エリア：約 20m³の瓦礫類が発生する見込みである。（先行運用分含む）
- c. 瓦礫類は 0.1mSv/h 以下の表面線量率であり、表面線量率に応じて定められた屋外の一時保管エリア（受入目安表面線量率 0.1mSv/h 以下のエリア（一時保管エリア C, N, O, P1, AA））へ搬入する。
ただし、表面線量率 0.1mSv/h を超えた瓦礫類は、エリア E1, P2, W, X へ保管し、タンク減容片を保管した容器については、一時保管エリア P1 または AA へ搬入する。
また、表面線量率 1mSv/h を超えて 30mSv/h 以下の瓦礫類は、固体廃棄物貯蔵庫第 6, 7, 8, 9 棟へ搬入する。
- d. 今後発生する瓦礫類の保管容量が逼迫する場合は、受入目安表面線量率を満足する他の線量区分のエリアに瓦礫類を一時保管することにより保管容量を確保する。また、固体廃棄物貯蔵庫の追設等を行うことにより容量不足を解消していく。

1.6. 保管時の安定性評価

「2.5 汚染水処理設備等 添付資料-13 中低濃度タンク及び高濃度滞留水受タンクの解体・撤去の方法について 5.8. 保管時の安定性評価」に同じ。



m : 機器質量

g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)

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 (0.24)

地震による転倒モーメント :

$$M1[N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$$

自重による安定モーメント :

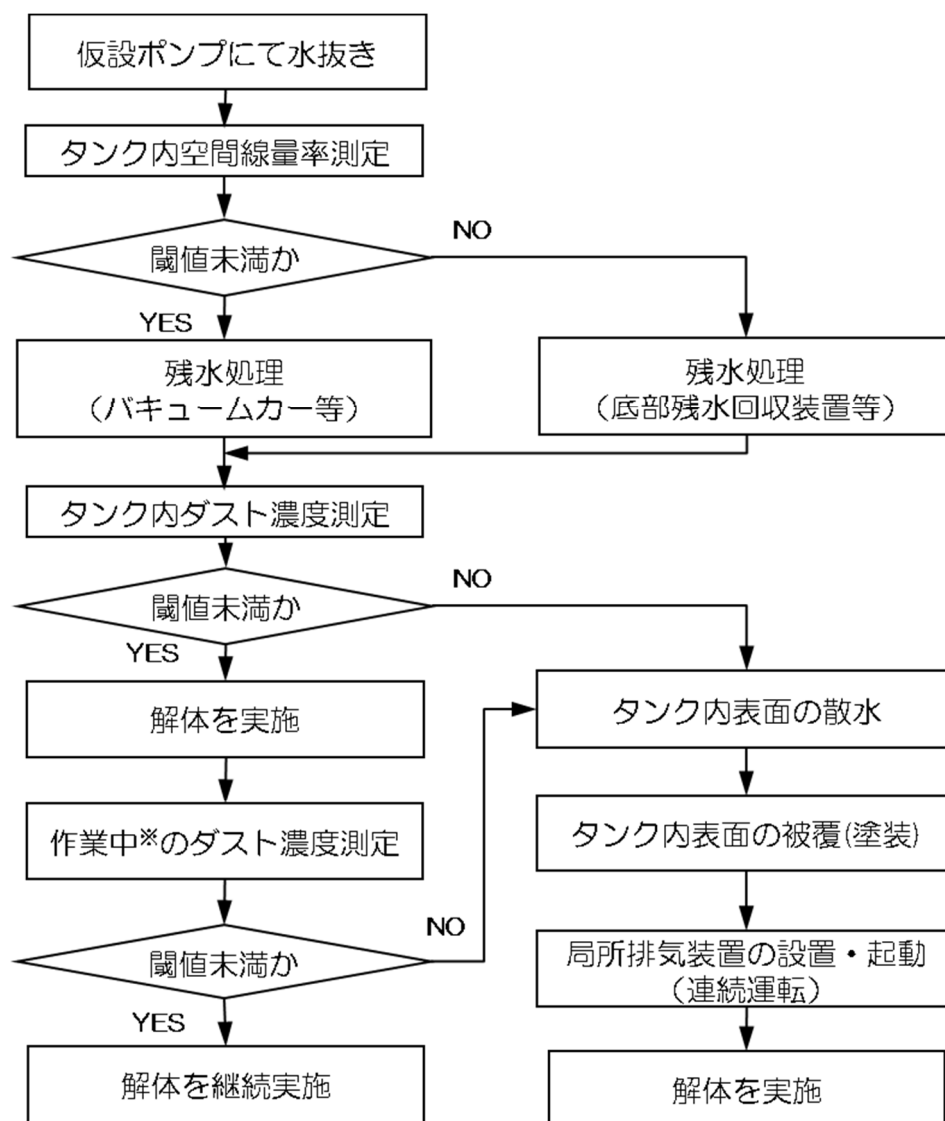
$$M2[N \cdot m] = m \times g \times L$$

表－ 1 転倒評価結果

機器名称	評価 部位	評価 項目	水平方向 設計震度 C _H	算出値 M1	許容値 M2	単位
容器 (20ft コンテナ) 1 ブロック	本体	転倒	0.24	4.60×10^3	1.80×10^4	kN・m

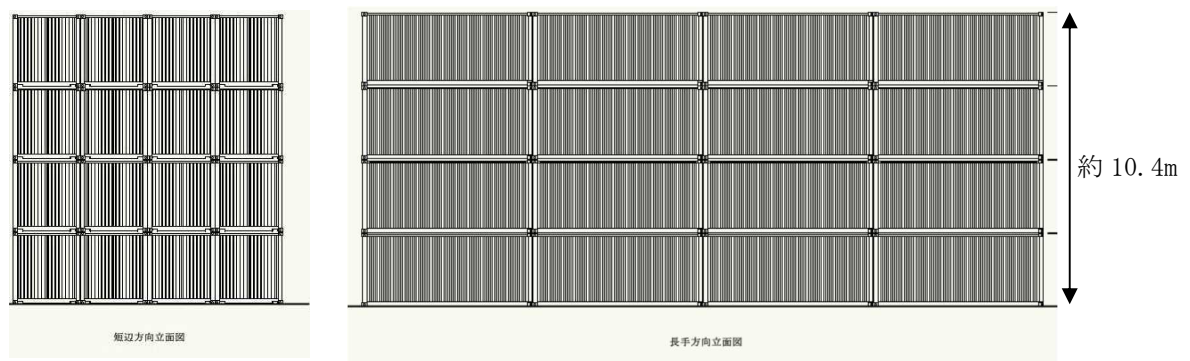
表－ 2 転倒評価結果

機器名称	評価 部位	評価 項目	水平方向 設計震度 C _H	算出値 M1	許容値 M2	単位
容器 (20ft コンテナ) 1 ブロック	本体	転倒	0.24	1.15×10^3	2.79×10^3	kN・m

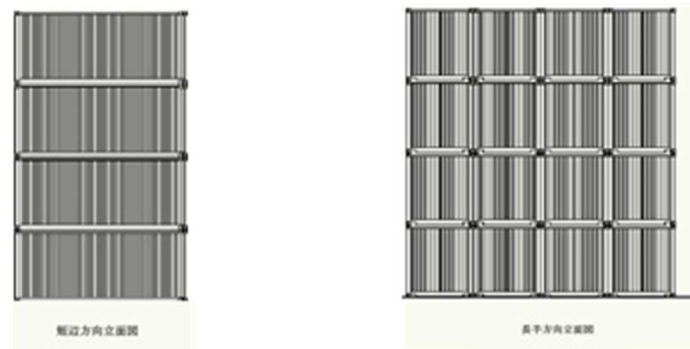


※作業中は1回/日以上測定する。

図ー1 解体作業のフロー



図一 2 容器の保管状態



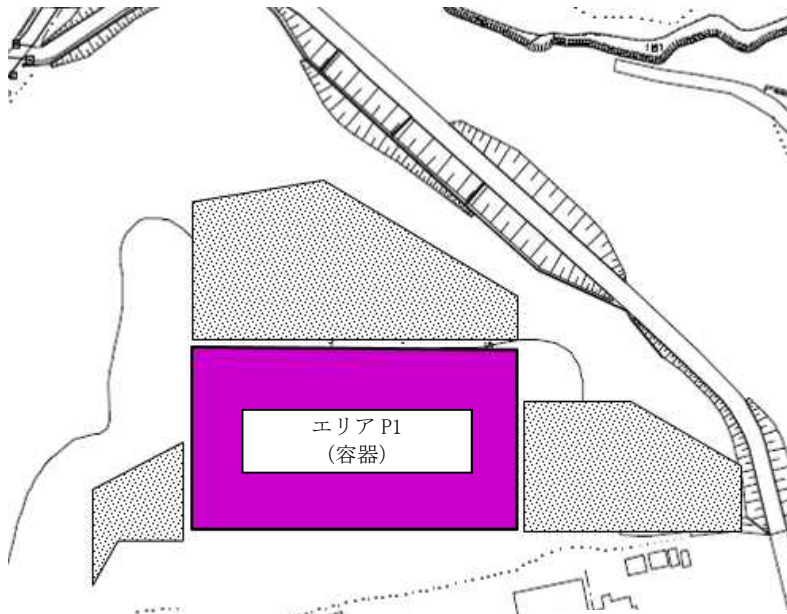
図一 3 容器の保管状態



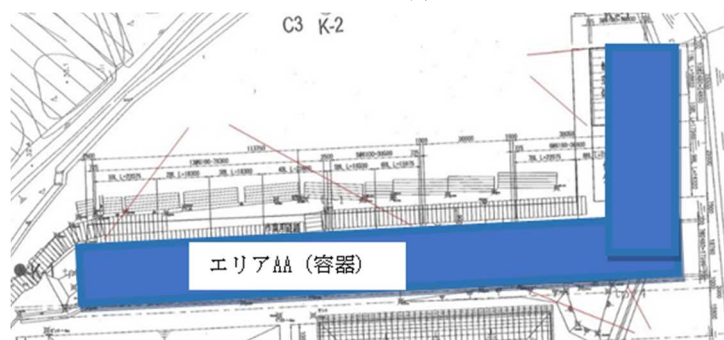
図一 4 容器の保管状態



一時保管エリア（エリア P1, AA）



エリア P1 詳細
C3 K-2
H28 年 11 月現在



エリア AA 詳細
H30 年 2 月現在

図ー 5 容器を保管する一時保管エリア（エリア P1, AA）

以上

放射性固体廃棄物発生量に関する評価

雨水処理設備等の運用に伴い、保安フィルタ、ＲＯ膜、デミナー及び脱塩器（脱塩樹脂含む）、雨水ＲＯ濃縮水移送ラインフィルタから、放射性固体廃棄物が発生する。雨水処理設備等で堰内雨水を処理した場合の放射性固体廃棄物発生量について、以下の計算条件にて評価を行った。

＜計算条件＞

・年間降雨量から試算した１年間の雨水処理量※ 42,000m³

※ 発電所周辺の年間降雨量 1,500mm（平均）が降雨したと仮定し、保守的に全量処理とした場合、堰の面積等から推定し約 42,000m³となる。

＜評価結果＞

（１）保安フィルタ

保安フィルタの交換頻度は、雨水回収タンクの水質により変動するが平成 29 年度実績として約 1 年間の運転（約 25,000m³処理）で約 5.4m³の廃棄物が発生していることから、今後想定される廃棄物発生量は保守的に年間約 10m³とする。

（２）ＲＯ膜

平成 29 年度実績として約 1 年間の運転（約 25,000m³処理）で約 11.7m³の廃棄物が発生していることから、今後想定される廃棄物発生量は保守的に年間約 20m³とする。

（３）デミナー及び脱塩器（脱塩樹脂含む）

ミナー及び脱塩器は、保安フィルタ及びＲＯ膜で処理された水を通水する。よって、デミナー及び脱塩器の性能低下はほとんど想定されないことから、デミナー及び脱塩器の交換の可能性はほとんどない。保守的に各デミナー及び脱塩器の脱塩樹脂を年 2 回交換すると想定した場合、廃棄物発生量は約 15m³となる。

（４）雨水ＲＯ濃縮水移送ラインフィルタ

移送する濃縮水量は年間約 420m³となる。その場合のフィルタの交換頻度は、年 3 回と想定される。フィルタの廃棄物量は 0.14m³/回で、年間 0.42m³となり、今後想定される廃棄物発生量は保守的に年間約 1m³とする。

＜結論＞

雨水処理設備等で発生する固体廃棄物は、固体廃棄物貯蔵庫に貯蔵する。貯蔵する際は、金属製の保管容器に収納後、保管容器表面の線量率を測定する。処理対象の放射性物質濃度が低く、処理後はそのほとんどが濃縮水中に含まれることから、ＲＯ膜等の固体廃棄物への遮へいは不要である。また、雨水処理設備で発生する廃棄物は、最大でも上述（１）～（４）の合計 約 46m³である。

放射性液体廃棄物発生量に関する評価

雨水処理設備等の運用に伴い、RO膜装置雨水受入タンク内の液体は、処理水と濃縮水に分離される。濃縮水については、10 倍程度に濃縮されるまでRO膜装置雨水受入タンクに戻され、雨水受入タンク内の液体の放射能濃度が 100 Bq/cm³ 以下となるよう、必要に応じて濃縮水を雨水RO濃縮水移送ラインフィルタを通してRO濃縮水貯槽に移送する。雨水処理設備等で堰内雨水を処理した場合の放射性液体廃棄物の発生量について、以下の計算条件にて評価を行った。

<計算条件>

- ・処理する雨水の放射能濃度 1.0 Bq/cm³（堰内雨水分析結果）
- ・処理する雨水の量 42,000m³（現在の雨水貯水量と年間降雨量から試算した1年間の雨水処理量の和）
- ・濃縮水の放射能濃度が 100 Bq/cm³ 以下となるよう、RO膜装置雨水受入タンク内の濃縮水を液体廃棄物としてRO濃縮水貯槽に移送

<評価結果>

上記の雨水を処理した場合、雨水受入タンク内の液体の放射能濃度を 100 Bq/cm³ 以下とするには、濃縮率を約 100 倍以下に抑える必要がある。年間 42,000m³ の雨水を処理するため、RO濃縮水貯槽に移送する濃縮水は約 420m³ となる。

<結論>

雨水処理設備等で発生する液体廃棄物は、年間約 420m³ であり、RO濃縮水貯槽に移送する。

以上

雨水処理設備等の散水設備について

雨水処理設備等の散水設備は汚染水タンクエリアの堰内に溜まった雨水のうち、その放射能濃度が排水基準を満足した液体を構内散水するために設置された設備であり、既に運用を開始している。なお、本設備については、排水基準を満足した液体を扱う設備であることから、事業者の自主管理として設備の設置、運用を行う。

散水設備は、排水基準を満足した液体を散水するための設備である。ただし、排水路への排水は関係箇所了解なくして行わないこととしており、排水路への流入防止の観点から、以下の事項に配慮し運用を行う。

- ・移送配管については、現場監視の下で移送作業を行う。合成ゴム管においては使用の都度、全てのラインで移送中に巡視を行う。また排水路に流れ込む恐れのある箇所については、側溝から離隔あるいは受け等の対策を図る。対策を講じることができない箇所については、監視人を配置した上で移送を実施する。
- ・移送配管のうち合成ゴム管については、定期点検を実施する。また、点検結果に基づき対策を実施する。

1. 基本設計

1.1 設置の目的

汚染水タンクエリアの堰内に溜まった雨水のうち、その放射能濃度が排水基準を満足した液体を構内散水することを目的とする。図－１に散水設備概略図を、図－２に散水箇所概略図を示す。

1.2 設計方針

仕様

a. 散水ポンプ（完成品）

台 数 9 台

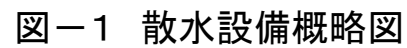
b. 散水ラインポンプ（完成品）

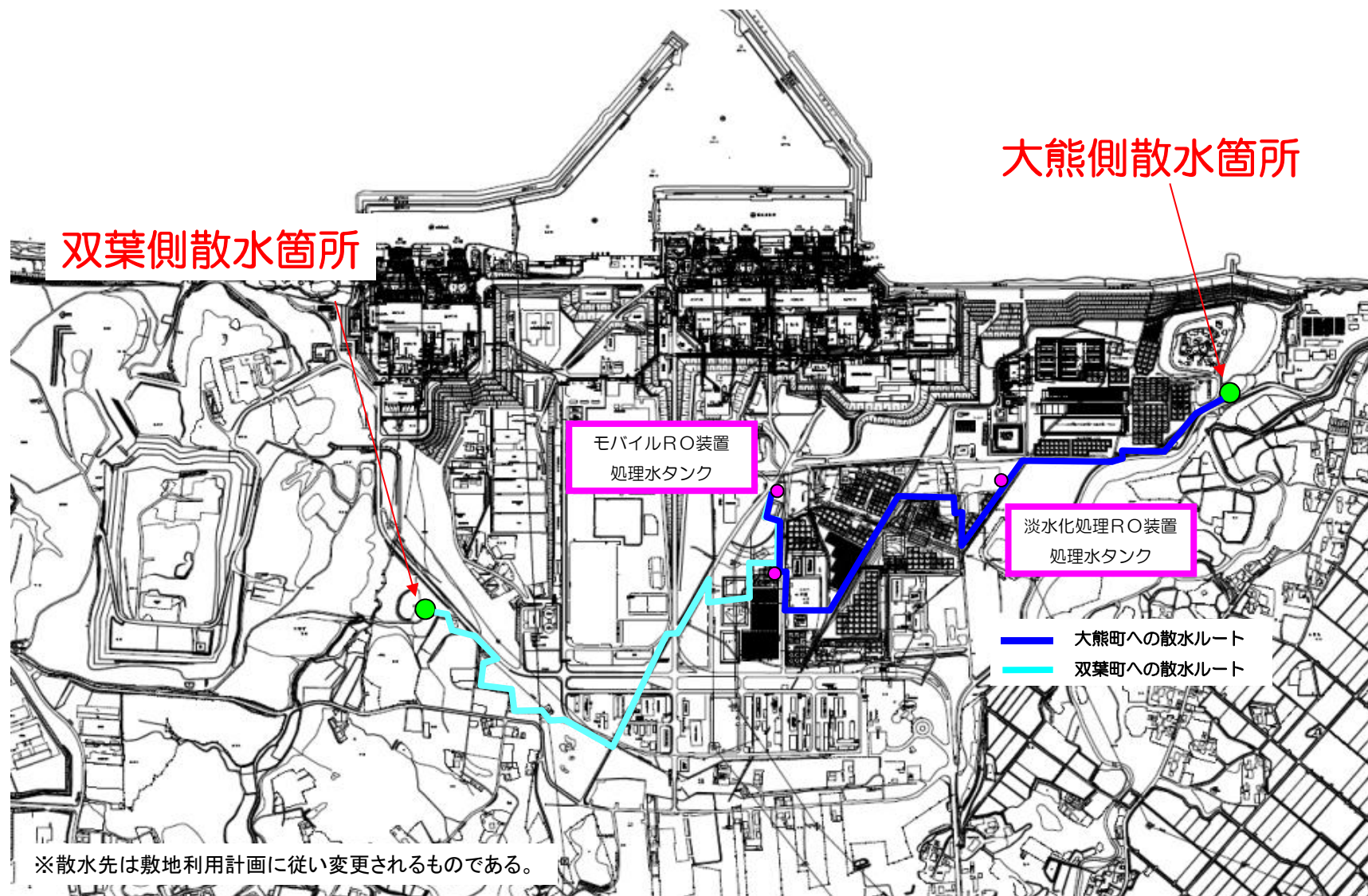
台 数 16 台

表 1 主要配管仕様

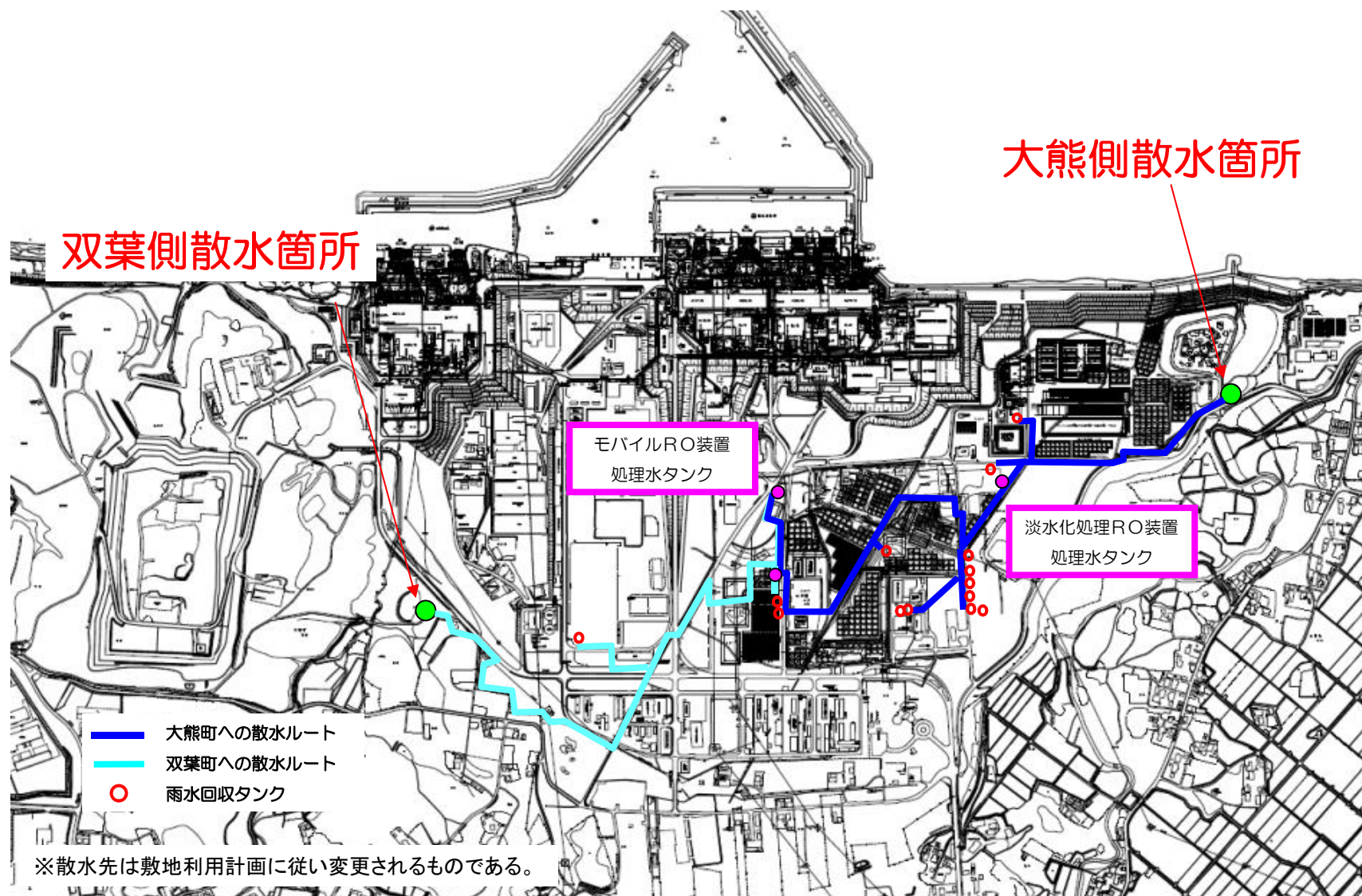
名 称	仕 様	
処理水タンクから 散水箇所まで	呼び径	80A 相当 100A 相当
	材質	合成ゴム
	呼び径／厚さ	80A／Sch. 40
	材質	SUS304
	呼び径	75A 相当 100A 相当
	材質	ポリエチレン
雨水回収タンクから 散水箇所まで	呼び径	80A 相当 100A 相当
	材質	合成ゴム
	呼び径／厚さ	80A, 100A／Sch. 40
	材質	SUS304／SGP
	呼び径	75A 相当 100A 相当
	材質	ポリエチレン

※散水先は敷地利用計画に従い都度変更が必要であり，移送距離等に応じて設備仕様は変わるものである。





図ー2 散水箇所概略図（1／2）【処理水タンク】



図ー2 散水箇所概略図（2／2）【雨水回収タンク】

雨水処理設備等の円筒型タンクに関する計算書

雨水処理設備等を構成する機器のうち円筒型タンクについては、以下の通り貯留機能維持について評価する。

『JEAC4601-2008 原子力発電所耐震設計技術規定』に基づき、タンク胴板の応力評価及び座屈評価により、発生する応力が許容値を超えないことを確認する。

円筒型タンクの地震発生時のタンク内包水のスロッシング評価については、速度ポテンシャル理論に基づきスロッシング波高を算出し、スロッシング時のタンク内の液位がタンク天板または、オーバーフロー管に到達しないことを確認する。

タンク基礎については、タンクの鉛直荷重と極限支持力を比較して評価を行う。

評価結果については以下の通り。

1. 評価

1.1. 胴の応力評価

- a. 組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。また、継手効率を考慮すること。

応力の種類	許 容 応 力 S_a
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。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

応力計算において、静的地震力を用いる場合は、絶対値和を用いる。

- (1) 静水頭及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t}$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t}$$

$$\sigma_{x 1} = 0$$

- (2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がベースプレートと接合する点には、胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

$$\sigma_{x 3} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

- (3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はベースプレート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{x 4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \ell_g}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t}$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

- (4) 組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

- a. 一次一般膜応力

- (a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2}$$

$$\sigma_{ot} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \}$$

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} - \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4}$$

(b) 組合せ圧縮応力

σ_{xc} が正の値（圧縮側）のとき、次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi1} - \sigma_{\phi2}$$

$$\sigma_{oc} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \}$$

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4}$$

したがって、胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は、

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{ot}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{oc}) \} \text{ と}$$

する。一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

表－１ 円筒型タンク応力評価結果

機器名称			部材	材料	水平方向 設計震度	応力	算出応力 [MPa]	許容応力 [MPa]
モバイルＲＯ膜装置雨水受入タンク		600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	一次一般膜	58	237
		600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	一次一般膜	44	237
		1200m ³ 容量	胴板	SM400A	0.36	一次一般膜	70	236
モバイルＲＯ膜装置処理水タンク		600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	一次一般膜	58	237
		600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	一次一般膜	44	237
		700m ³ 容量	胴板	SM400A	0.36	一次一般膜	54	236
淡水化处理ＲＯ膜装置雨水受入タンク		600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	一次一般膜	58	237
		600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	一次一般膜	44	237
淡水化处理ＲＯ膜装置処理水タンク		600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	一次一般膜	58	237
		600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	一次一般膜	44	237
雨水ＲＯ濃縮水受入タンク		18m ³ 容量	胴板	SM400C	0.36	一次一般膜	7	240
ろ過処理水受入タンク		10m ³ 容量	胴板	SM400C	0.36	一次一般膜	4	240
雨水回収タンク	H9-1～3	600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	一次一般膜	58	237
	J6-1～6	600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	一次一般膜	44	237
	H6(Ⅰ), J2, J3	700m ³ 容量	胴板	SM400A	0.36	一次一般膜	54	236
	G3 西-D7	1000m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	一次一般膜	61	154
	K	1160m ³ 容量	胴板	SM400C	0.36	一次一般膜	70	142
	H1-1, H1-2, J1	1200m ³ 容量	胴板	SM400A	0.36	一次一般膜	70	154
	B	1330m ³ 容量	胴板	SM400C	0.36	一次一般膜	65	235
中継タンク		1160m ³ 容量	胴板	SM400C	0.36	一次一般膜	70	142

- b. 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。
（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$$

ここで、 f_c は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right]$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c = \phi_1 \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \right)$$

ただし、 $\phi_1(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x} \right) \right\} \right]$$

また、 f_b は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{9600 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2 \left(\frac{9600 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right]$$

$$\frac{9600 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b = \phi_2 \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \right)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x} \right) \right\} \right]$$

η は安全率で次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1.5$$

表－２ 円筒型タンク座屈評価

機器名称		部材	材料	水平方向 設計震度	座屈評価結果	
モバイルRO膜装置 雨水受入タンク	600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	0.30 < 1	
	600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	0.23 < 1	
	1200m ³ 容量	胴板	SM400A	0.36	0.35 < 1	
モバイルRO膜装置 処理水タンク	600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	0.30 < 1	
	600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	0.23 < 1	
	700m ³ 容量	胴板	SM400A	0.36	0.11 < 1	
淡水化处理RO膜装置 雨水受入タンク	600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	0.30 < 1	
	600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	0.23 < 1	
淡水化处理RO膜装置 処理水タンク	600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	0.30 < 1	
	600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	0.23 < 1	
雨水RO濃縮水受入タンク		18m ³ 容量	胴板	SM400C	0.36	0.03 < 1
ろ過処理水受入タンク		10m ³ 容量	胴板	SM400C	0.36	0.01 < 1
雨水回収 タンク	H9-1～3	600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	0.30 < 1
	J6-1～6	600m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	0.23 < 1
	H6(Ⅰ), J2, J3	700m ³ 容量	胴板	SM400A	0.36	0.11 < 1
	G3 西-D7	1000m ³ 容量	胴板	SS400	0.36	0.27 < 1
	K	1160m ³ 容量	胴板	SM400C	0.36	0.36 < 1
	H1-1, H1-2, J1	1200m ³ 容量	胴板	SM400A	0.36	0.31 < 1
	B	1330m ³ 容量	胴板	SM400C	0.36	0.27 < 1
中継タンク		1160m ³ 容量	胴板	SM400C	0.36	0.36 < 1

記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
C_H	水平方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	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
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	水頭	mm
ℓ_g	基礎から容器重心までの距離	mm
m_o	容器の運転時質量	kg
m_e	容器の空質量	kg
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
t	胴板の厚さ	mm
η	座屈応力に対する安全率	—
π	円周率	—
ρ'	液体の密度 (=比重 $\times 10^{-6}$)	kg/mm ³
σ_o	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{oc}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{ot}	胴の組合せ引張応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi1}$	静水頭により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
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応力	MPa
σ_{x4}	胴の水平方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和 (引張側)	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

1. 2. スロッシング評価

- ・ 速度ポテンシャル理論に基づき、スロッシング固有周期（水面の一次固有周期）を算出する。
- ・ タンク設置エリアの地表面における基準地震動：Ss-1, 2, 3 に対する速度応答スペクトルから、スロッシング固有周期に応じた速度応答値を求める。
- ・ 速度ポテンシャル理論に基づき、速度応答値からスロッシング波高を算出する。
- ・ スロッシング波高がタンク高さを超えないことを確認する。

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

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

D : タンク内径 [m]

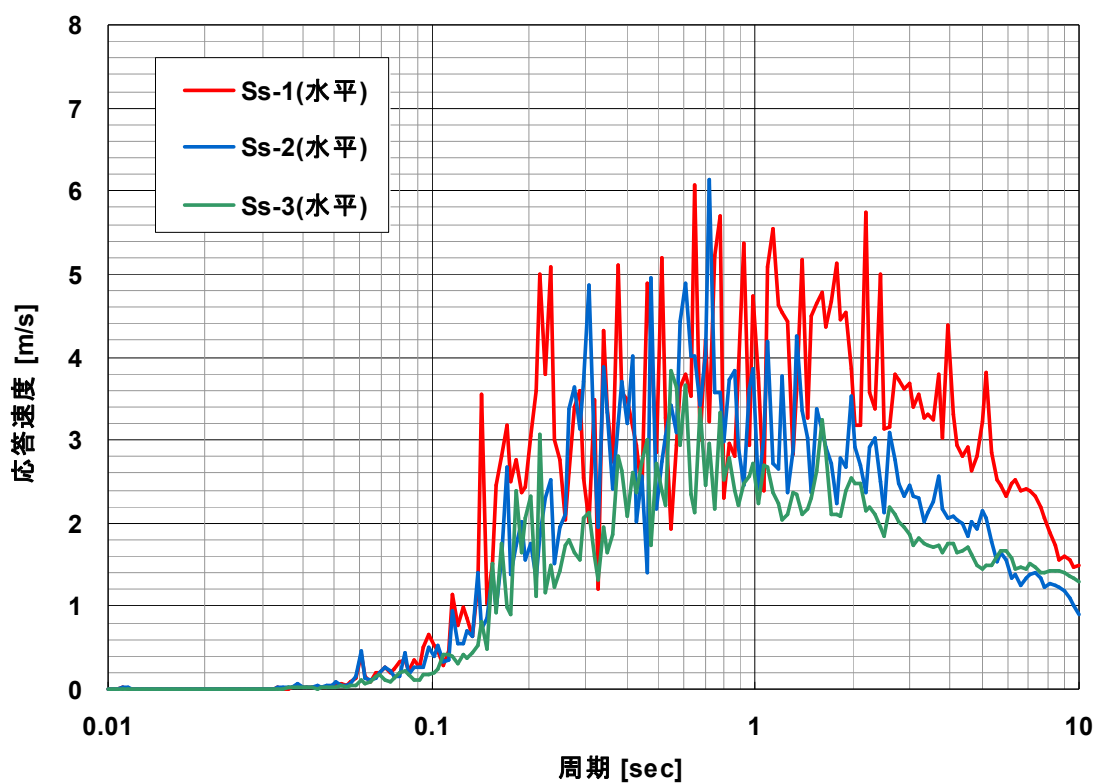
H : タンク液位 [m]

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]



速度応答スペクトル（水平方向・減衰なし）

表－3 円筒型タンクスロッシング評価結果

機器名称		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]
モバイルRO膜装置 雨水受入タンク	600m ³ 容量	654	8,712	10,054
	600m ³ 容量	653	8,711	10,054
	1200m ³ 容量	799	11,410	12,012
モバイルRO膜装置 処理水タンク	600m ³ 容量	654	8,712	10,054
	600m ³ 容量	653	8,711	10,054
	700m ³ 容量	667	11,677	12,012
淡水化処理RO膜装置 雨水受入タンク	600m ³ 容量	654	8,712	10,054
	600m ³ 容量	653	8,711	10,054
淡水化処理RO膜装置 処理水タンク	600m ³ 容量	654	8,712	10,054
	600m ³ 容量	653	8,711	10,054
雨水RO濃縮水受入タンク	18m ³ 容量	449	3,679	3,750
ろ過処理水受入タンク	10m ³ 容量	440	2,240	2,250
雨水回収 タンク	H9-1～3	600m ³ 容量	654	8,712
	J6-1～6	600m ³ 容量	653	8,711
	H6(Ⅰ), J2, J3	700m ³ 容量	667	11,677
	G3 西-D7	1000m ³ 容量	802	10,502
	K	1160m ³ 容量	702	12,908
	H1-1, H1-2, J1	1200m ³ 容量	799	11,410
	B	1330m ³ 容量	701	14,696
中継タンク	1160m ³ 容量	702	12,908	13,000

1.3 タンク基礎の支持力

(1) 評価方法

タンクの鉛直荷重と極限支持力を比較して評価を行う。支持力の算定式は「社団法人日本道路協会（2002）：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」に基づき次式を用いる。計算した結果、①タンクの鉛直荷重<②タンク基礎底面地盤の極限支持力であり、安全性を有していることを確認する。

①タンクの鉛直荷重： $W = m \times g$

②タンク基礎底面地盤の極限支持力： $Q_u = A_e \left(\alpha k c N_c S_c + k q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \beta B_e N_r S_r \right)$

m : 機器質量

g : 重力加速度

A_e : 有効載荷面積

α, β : 基礎の形状係数

k : 根入れ効果に対する割増し係数

c : 地盤の粘着力

N_c, N_q, N_r : 荷重の傾斜を考慮した支持力係数

S_c, S_q, S_r : 支持力係数の寸法効果に関する補正係数

q : 上載荷重 ($q = \gamma_2 D_f$)

γ_1, γ_2 : 支持地盤及び根入れ地盤の単位重量 ($\gamma_1, \gamma_2 = 15.9 \text{ kN/m}^3$)

D_f : 基礎の有効根入れ深さ

B_e : 荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅 ($B_e = B - 2e_B$)

B : 基礎幅

e_B : 荷重の偏心量

(2) 管理

地盤改良後、簡易支持力測定器（キャスポル）※により地盤の強度を測定し、上記式により必要な極限支持力を有していることを確認する。

※ ランマー（重鎮）を一定の高さから地盤に自由落下させたときに生ずる衝撃加速度の最大値と地盤強度特性値と相関させる衝撃加速度法を基本原理とした簡易な測定器。

1.4 タンク基礎の不陸

(1) 評価方法

タンクの設置高さが、設計高さに対して許容値以内※であることを確認する。

※ 設計高さ±30mm（社内基準値）

(2) 管理

タンク基礎高さ（レベル）を測量し、当該高さが設計高さに対して±30mm以内であることを確認する。

5 放射性物質分析・研究施設に係る補足説明

5.1 放射性物質分析・研究施設における保安管理体制及び保安管理について

5.1.1 放射性物質分析・研究施設における保安管理体制について

放射性物質分析・研究施設は、福島第一原子力発電所で発生する瓦礫等の性状を把握することにより、廃棄物を安全に処理・処分するための研究開発を目的に国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構（以下「JAEA」という）が運営し分析・試験を行う。一方、保安管理に関しては、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」第 64 条の 2 に基づく特定原子力施設として東京電力の統括管理のもと JAEA が実施する。

5.1.2 放射性物質分析・研究施設における保安管理について

放射性物質分析・研究施設の保安管理においては、東京電力が実施計画を遵守するために必要な要求事項を JAEA に示し、JAEA は要求事項を満足するための具体的な管理手順を定めて運用する。また、緊急時の役割分担及び連絡体制をあらかじめ明確にして緊急事態の拡大防止・収束に務める。

なお、東京電力は JAEA による保安活動について管理手順の確認や運用状況の定期的な確認、不適合管理の確認等を通じて管理・監督する。

別冊 1 4

雨水処理設備等に係わる補足説明

I 雨水処理設備等の構造強度・耐震性に係わる補足説明

1. 雨水処理設備および雨水RO濃縮水移送ラインフィルタユニット

1.1 耐震性評価

1.1.1 転倒評価

1.1.1.1 設計条件

(1) 転倒評価

	重力加速度	水平方向設計震度
モバイルRO膜装置	$g=9.80$	$C_H=0.36$
淡水化处理RO膜装置	$g=9.80$	$C_H=0.36$
雨水RO濃縮水移送 ラインフィルタユニット	$g=9.80$	$C_H=0.36$

(2) 基礎ボルトの強度評価

	重力加速度	水平方向設計震度	垂直方向設計震度
モバイルRO膜装置	$g=9.80$	$C_H=0.36$	-
淡水化处理RO膜装置	$g=9.80$	$C_H=0.36$	-
雨水RO濃縮水移送 ラインフィルタユニット	$g=9.80$	$C_H=0.36$	-

1.1.1.2 機器要目

(1) 転倒評価

	機器質量 m (kg)	据付面からの重心 までの距離 H (m)	転倒支点から機器 重心までの距離 L (m)
モバイルRO膜装置			
淡水化处理RO膜装置			
雨水RO濃縮水移送 ラインフィルタユニット			

(2) 基礎ボルトの強度評価

	機器質量 m (k g)	据付面からの重心 までの距離 H (m)	基礎ボルト間の水平方向距離 L (m)	重心と基礎ボルト間の水平方向距離 L ₁ (m)	引張力の作用する基礎ボルトの評価 本数 n _f (本)	基礎ボルトの本数 n (本)	基礎ボルトの軸断面積 A _b (mm ²)
モバイルRO膜ユニット							
淡水化处理RO膜ユニット							
雨水RO濃縮水移送ライン フィルタ1							
雨水RO濃縮水移送ライン フィルタ2							

2. タンク

2.1 構造強度評価

2.1.1 設計条件

(1) 板厚評価

		水頭 H(m)	液体の比重 ρ (kg/m ³)	長手継手の効率 η	最高使用温度における材料の許容引張応力 S (MPa)	胴の内径 Di (m)
モバイルRO膜装置 雨水受入タンク						
モバイルRO膜装置 処理水タンク						
淡水化処理RO膜装置 雨水受入タンク						
淡水化処理RO膜装置 処理水タンク						
雨水RO濃縮水受入タンク						
ろ過処理水受入タンク						
雨水回収 タンク	H9-1～3					
	J6-1～6					
	H6(I), J2, J3					
	G3 西-D7					
	K					
	H1-1, H1-2, J1					
	B					
中継タンク						

2.2 耐震性評価

2.2.1 転倒評価

2.2.1.1 設計条件

(1) 転倒評価

	重力加速度	水平方向設計震度
モバイルRO膜装置 雨水受入タンク	$g=9.80$	$C_H=0.36$
モバイルRO膜装置 処理水タンク	$g=9.80$	$C_H=0.36$
淡水化处理RO膜装置 雨水受入タンク	$g=9.80$	$C_H=0.36$
淡水化处理RO膜装置 処理水タンク	$g=9.80$	$C_H=0.36$
雨水RO濃縮水受入タンク	$g=9.80$	$C_H=0.36$
ろ過処理水受入タンク	$g=9.80$	$C_H=0.36$
雨水回収タンク	$g=9.80$	$C_H=0.36$
中継タンク	$g=9.80$	$C_H=0.36$

2.2.1.2 機器要目

(1) 転倒評価

		機器質量 m (k g)	据付面からの重心 までの距離 H (m)	転倒支点から機器 重心までの距離 L (m)
モバイルRO膜装置 雨水受入タンク				
モバイルRO膜装置 処理水タンク				
淡水化处理RO膜装置 雨水受入タンク				
淡水化处理RO膜装置 処理水タンク				
雨水RO濃縮水受入タンク				
ろ過処理水受入タンク				
雨水回収 タンク	H9-1~3			
	J6-1~6			
	H6(1), J2, J3			
	G3 西-D7			
	K			
	H1-1, H1-2, J1			
	B			
中継タンク				

3. 配管

3.1 構造強度評価

3.1.1 配管（鋼管）

3.1.1.1 設計条件

(1) 板厚評価

	最高使用温度における材料の 許容引張応力 S (MPa)	長手継手の 効率 η	管 の 外 径 D ₀ (mm)	最高使用 圧力 P (MPa)
配管 1				0.5
配管 2				0.5
配管 3				1.35
配管 4				0.5
配管 5				1.35
配管 6				0.5
配管 7				1.35
配管 8				0.5
配管 9				1.0
配管 10				0.5
配管 11				0.5
配管 12				0.5
配管 13				0.5
配管 14				0.5
配管 15				0.5
配管 16 設備の設置計画を中止したため削除				
配管 17				1.5
配管 18				1.5
配管 19				1.5
配管 20				0.5
配管 21				0.5
配管 22				0.5
配管 23				0.5
配管 24				0.5
配管 25				0.5
配管 26				0.5
配管 27				0.74
配管 28				0.74
配管 29				0.74
配管 30				0.74
配管 31				0.5
配管 32				0.98
配管 33				0.98
配管 34				0.98
配管 35				0.98

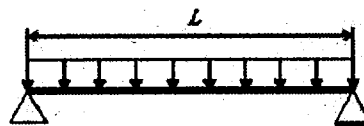
3.2 耐震性評価

3.2.1 配管

3.2.1.1 計算条件

(1) 評価条件として配管は、配管軸直角 2 方向拘束サポートにて支持される両端単純支持のはりモデル（図－1）とする。

次に、当該設備における主配管（鋼管）について、各種条件を表－1に示す。表－1より管軸方向については、サポート設置フロアの水平震度 0.36 が鉄と鉄の静止摩擦係数 0.52 より小さいことから、地震により管軸方向は動かないものと仮定する。



図－1 等分布荷重 両端単純支持はりモデル

表-1 配管系における各種条件

評価 機器	配管 クラス	耐震 クラス	設計 温度 (℃)	口径	Sch.	材質	設計 圧力 (MPa)	配管 支持間隔 (m)
配管 1	クラス 3 相当	B クラス 相当	40	25A	10S	SUS304TP	0.5	4.1
配管 2				40A	10S	SUS304TP	0.5	4.7
配管 3				40A	20S	SUS304TP	1.35	4.8
配管 4				50A	10S	SUS304TP	0.5	5.1
配管 5				50A	20S	SUS304TP	1.35	5.3
配管 6				65A	10S	SUS304TP	0.5	5.6
配管 7				65A	20S	SUS304TP	1.35	5.8
配管 8				80A	10S	SUS304TP	0.5	5.9
配管 9				80A	20S	SUS304TP	1.0	6.2
配管 10				100A	10S	SUS304TP	0.5	6.3
配管 11				50A	80	STPT370	0.5	5.5
配管 12				100A	40	STPT370	0.5	7.2
配管 13				50A	40	STPT370	0.5	5.4
配管 14				80A	20S	SUS316LTP	0.5	6.2
配管 15				65A	20S	SUS316LTP	0.5	5.7
配管 16 設備の設置計画を中止したため削除								
配管 17	クラス 3 相当	B クラス 相当	40	65A	20S	SUS316LTP	1.5	5.7
配管 18				65A	80	SUS316LTP	1.5	6.2
配管 19				50A	80	SUS316LTP	1.5	5.5
配管 20				40A	80	SUS304TP	0.5	5.0
配管 21				50A	80	SUS304TP	0.5	5.5
配管 22				50A	20S	SUS304TP	0.5	5.3
配管 23				50A	40	SUS304TP	0.5	5.3
配管 24				80A	20S	SUS304TP	0.5	6.2
配管 25				80A	40	SUS304TP	0.5	6.5
配管 26				100A	40	SUS304TP	0.5	7.2
配管 27				80A	40	SUS304TP	0.74	6.5
配管 28				100A	40	SUS304TP	0.74	7.2
配管 29				150A	40	SUS304TP	0.74	8.4
配管 30				200A	40	SUS304TP	0.74	9.4
配管 31				150A	40	SUS304TP	0.5	8.4
配管 32				65A	40	STPG370	0.98	6.1
配管 33				80A	40	STPG370	0.98	6.5
配管 34				50A	80	STPT410	0.98	5.5
配管 35				80A	40	STPT410	0.98	6.5

3.2.2 ポンプ

3.2.2.1 設計条件

基礎ボルトの強度評価

	重力加速度	水平方向 設計震度	垂直方向 設計震度	振動による震度
雨水回収タンク 移送ポンプ	$g=9.80$	$C_H=0.36$	—	$C_P=0.17$
中継タンク 移送ポンプ	$g=9.80$	$C_H=0.36$	—	$C_P=0.17$
中継タンク 直送ポンプ	$g=9.80$	$C_H=0.36$	—	$C_P=0.17$
モバイルRO膜 装置供給ポンプ	$g=9.80$	$C_H=0.36$	—	$C_P=0.17$

3.2.2.2 機器要目

(1) 基礎ボルトの強度評価

	機器質量 m (kg)	据付面 からの 重心ま での距 離 H (m)	基礎ボ ルト間 の水平 方向距 離 L (m)	重心と基 礎ボルト 間の水平 方向距離 L_1 (m)	引張力の 作用する 基礎ボルト の評価 本数 n_f (本)	基礎ボ ルトの 本数 n (本)	基礎ボ ルトの 軸断面積 A_b (mm^2)
雨水回収タンク 移送ポンプ	■	■	■	■	■	■	■
中継タンク 移送ポンプ	■	■	■	■	■	■	■
中継タンク 直送ポンプ	■	■	■	■	■	■	■
モバイルRO膜 装置供給ポンプ	■	■	■	■	■	■	■

Ⅱ 雨水処理設備等の寸法許容範囲について

1. 設備仕様

1.1 雨水回収タンク

(1) B

	主要寸法[mm]	寸法許容範囲
内径	11,000	JSME による公差 (1.0%) *1
胴板厚さ	15.0	メーカー基準 (+1.60mm, -1.20mm)
底板厚さ	12.0	メーカー基準 (+1.60mm, -1.20mm)
高さ	14,900	メーカー基準 (±10mm)

(2) J 2, J 3

	主要寸法[mm]	寸法許容範囲
内径	9,000	JSME による公差 (1.0%) *1
胴板厚さ	12.0	メーカー基準 (±0.65mm)
底板厚さ	12.0	メーカー基準 (±0.65mm)
高さ	12,012	メーカー基準 (±5mm)

(3) H 6 (I)

	主要寸法[mm]	寸法許容範囲
内径	9,000	JSME による公差 (1.0%) *1
胴板厚さ	12.0	メーカー基準 (±0.65mm)
底板厚さ	12.0	メーカー基準 (±0.65mm)
高さ	12,012	メーカー基準 (±5mm)

1.2 雨水受入タンク

(1) モバイルRO膜装置雨水受入タンク 溶接型

	主要寸法[mm]	寸法許容範囲
内径	12,000	JSME による公差 (1.0%) *1
胴板厚さ	12.0	メーカー基準 (±0.65mm)
底板厚さ	12.0	メーカー基準 (±0.65mm)
高さ	12,012	メーカー基準 (±5mm)

* 1 最大内径と最小内径との差が当該断面の呼び内径の 1%以下

1.3 処理水タンク

(1) モバイルRO膜装置処理水タンク 溶接型

	主要寸法[mm]	寸法許容範囲
内径	9,000	JSMEによる公差 (1.0%) *1
胴板厚さ	12.0	メーカー基準 (±0.65mm)
底板厚さ	12.0	メーカー基準 (±0.65mm)
高さ	12,012	メーカー基準 (±5mm)

1.4 雨水RO濃縮水受入タンク

	主要寸法[mm]	寸法許容範囲
内径	2,500	JSMEによる公差 (1.0%) *1
胴板厚さ	9.0	メーカー基準 (+0.9mm, -2.4mm)
底板厚さ	12.0	メーカー基準 (+1.0mm, -2.5mm)
高さ	4,074	メーカー基準 (±27mm)

1.5 ろ過処理水受入タンク

	主要寸法[mm]	寸法許容範囲
内径	2,500	JSMEによる公差 (1.0%) *1
胴板厚さ	9.0	メーカー基準 (+0.9mm, -2.4mm)
底板厚さ	12.0	メーカー基準 (+1.0mm, -2.5mm)
高さ	2,574	メーカー基準 (±27mm)

1.6 雨水RO濃縮水移送ラインフィルタ容器

	主要寸法[mm]	寸法許容範囲
内径	750	JSMEによる公差 (1.0%) *1
胴板厚さ	9.0	メーカー基準 (+0.8mm, -2.4mm)
鏡板厚さ	12.0	メーカー基準 (+2.6mm, -3.5mm)
高さ	941	メーカー基準 (+25.3mm, -19.6mm)

* 1 最大内径と最小内径との差が当該断面の呼び内径の 1%以下

Ⅲ 雨水処理設備等の耐圧検査条件について

1. 耐圧検査条件

検 査 範 囲		最高使用 圧力 (MPa)	耐圧検査圧力 漏えい検査圧力 (MPa)	耐圧検査保持 時間 (分)	水圧・気 圧の区分
主要配管	鋼管	0.5	0.75	10	水圧
		0.74	1.11		
		0.98	1.47		
	鋼管（伸縮継 手）	0.74	1.50	10	水圧
	ポリエチレン管	0.5	1.0	60	水圧
		0.74			
0.98					
合成ゴム管	0.98	1.47	10	水圧	
雨水受入タンク		静水頭	静水頭	10	水圧
処理水タンク					
雨水RO濃縮水受入タンク					
ろ過処理水受入タンク					
雨水回収タンク					
雨水RO濃縮水移送ライン フィルタ容器		0.98	1.47	10	水圧