

福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 変更認可申請書の  
一部補正について

「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画」について、下記の箇所を別添の通りとする。

補正箇所、補正理由およびその内容は以下の通り。

○「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画」

増設多核種除去設備にて処理済水により生成した炭酸ソーダの多核種除去設備への供給に係る機器の追加に関する審査の進捗を踏まえ、下記の通り補正を行う。併せて、原規規発第1710307号にて認可された実施計画の反映を行う。

II 特定原子力施設の設計、設備

2.16 放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設

2.16.1 多核種除去設備

本文

- ・変更なし

添付資料－1

- ・変更なし

添付資料－2

- ・原規規発第1710307号にて認可された実施計画の反映
- ・記載の適正化

添付資料－4

- ・変更なし

添付資料－9

- ・変更なし

2.16.2 増設多核種除去設備

本文

- ・変更なし

添付資料－1

- ・変更なし

添付資料－3

- ・変更なし

添付資料－4

- ・原規規発第1710307号にて認可された実施計画の反映
- ・記載の適正化

添付資料－7

- ・漏えい発生防止に係る記載の追加

添付資料－9

- ・変更なし

別添

## 2.16 放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設

### 2.16.1 多核種除去設備

#### 2.16.1.1 基本設計

##### 2.16.1.1.1 設置の目的

放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設は、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）を十分低い濃度になるまで除去する多核種除去設備、多核種除去設備の処理済水を貯留するタンク、槽類から構成する。

多核種除去設備は、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いる。このことから、目的としている性能が十分に確認できない場合は、必要に応じて対策を講じる。

##### 2.16.1.1.2 要求される機能

- (1) 発生する液体状の放射性物質の量を上回る処理能力を有すること。
- (2) 発生する液体状の放射性物質について適切な方法によって、処理、貯留、減衰、管理等を行い、放射性物質等の濃度及び量を適切な値に低減する能力を有すること。
- (3) 放射性液体廃棄物が漏えいし難いこと。
- (4) 漏えい防止機能を有すること。
- (5) 放射性液体廃棄物が、万一、機器・配管等から漏えいした場合においても、施設からの漏えいを防止でき、又は敷地外への管理されない放出に適切に対応できる機能を有すること。
- (6) 施設内で発生する気体状及び固体状の放射性物質及び可燃性ガスの検出、管理及び処理が適切に行える機能を有すること。

##### 2.16.1.1.3 設計方針

###### (1) 放射性物質の濃度及び量の低減

多核種除去設備は、汚染水処理設備で処理した水を、ろ過、凝集沈殿、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

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

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

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. 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

多核種除去設備は、遮へい、機器の配置等によ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

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。

#### 2.16.1.1.4 供用期間中に確認する項目

多核種除去設備処理済水に含まれる除去対象の放射性核種濃度（トリチウムを除く）が『東京電力株式会社福島第一原子力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』に示される濃度限度（以下、「告示濃度限度」という）以下であること。

#### 2.16.1.1.5 主要な機器

多核種除去設備は、3系列から構成し、各系列は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、前処理設備から発生する沈殿処理生成物及び放射性核種を吸着した吸着材を収容して貯蔵する高性能容器、薬品を供給するための薬品供給設備、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、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。なお、2系列運転で定格処理容量を確保するが、RO濃縮塩水の処理を早期に完了させる観点から、3系列同時運転も可能な構成とする。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設備とする。

多核種除去設備は電源が喪失した場合、系統が隔離されるため、電源喪失による設備から外部への漏えいが発生することはない。

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。また、多核種除去設備の設置エリアには放射線レベル上昇が確認できるようエリア放射線モニタを設置し監視を行う。監視・制御装置は、故障により各設備の誤動作を引き起こさない構成とする。更に、運転員の誤操作、誤判断を防止するため、装置毎に配置する等の配慮を行うとともに、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。

多核種除去設備で処理された水は、処理済水貯留用タンク・槽類で貯留する。

##### (1) 多核種除去設備

###### a. 前処理設備

前処理設備は、アルファ核種、コバルト 60、マンガン 54 等の除去を行う鉄共沈処理設備及び吸着阻害イオン（マグネシウム、カルシウム等）の除去を行う炭酸塩沈殿処理設備で構成する。

鉄共沈処理は、後段の多核種除去装置での吸着材の吸着阻害要因となる除去対象核種の錯体を次亜塩素酸により分解すること及び処理対象水中に存在するアルファ核種を水酸化鉄により共沈させ除去することを目的とし、次亜塩素酸ソーダ、塩化第二鉄を添加した後、pH調整のために苛性ソーダを添加して水酸化鉄を生成させ、さらに凝集剤としてポリマーを投入する。

また、炭酸塩沈殿処理は、多核種除去装置での吸着材によるストロンチウムの除去を

阻害するマグネシウム、カルシウム等の 2 価の金属を炭酸塩により除去することを目的とし、炭酸ソーダと苛性ソーダを添加し、2 価の金属の炭酸塩を生成させる。

沈殿処理等により生成された生成物は、クロスフローフィルタにより濃縮し、高性能容器に排出する。

#### b. 多核種除去装置

多核種除去装置は、1 系列あたり 16 基の吸着塔及び 2 基の処理カラムで構成する。

多核種除去装置は、除去対象核種に応じて吸着塔、処理カラムに収容する吸着材（活性炭、キレート樹脂等）の種類が異なっており、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核種を分離・吸着処理する機能を有する。また、吸着塔、処理カラム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、高性能容器へ排出する。また、処理カラムに含まれる吸着材は、所定の容量を通水した後、処理カラムごと交換する。吸着材を収容した高性能容器あるいは使用済みの処理カラムは、使用済セシウム吸着塔一時保管施設にて貯蔵する。なお、使用済みの処理カラムは一年あたり 6 体程度発生する。

#### c. 高性能容器（HIC ; High Integrity Container）

高性能容器は使用済みの吸着材、沈殿処理生成物を貯蔵する。

使用済みの吸着材は、収容効率を高めるために脱水装置（SEDS ; Self-Engaging Dewatering System）により脱水処理される。

沈殿処理生成物の高性能容器への移送は自動制御で行い、使用済みの吸着材の移送は手動操作によって行う。なお、使用済み吸着材の移送は現場で輸送状況を確認し操作する。高性能容器内の貯蔵量は、水位センサにて監視する。

交換した使用済みの高性能容器は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設で貯蔵する。一時保管施設における貯蔵期間（約 20 年間）においては、高性能容器の健全性は維持されるものと評価している。なお、使用済みの高性能容器は、3 系列同時運転において、一年あたりタイプ 1 の場合において 733 体程度発生し、タイプ 2 の場合において 803 体程度発生する。

高性能容器取扱い時に落下による漏えいを発生させないよう高性能容器への補強体等を取り付ける。

#### d. 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、沈殿処理や pH 調整のため、ポンプにより薬品を前処理設備や多核種除去装置に供給する。添加する薬品は、次亜塩素酸ソーダ、苛性ソーダ、炭酸ソーダ、塩酸、塩化第二鉄、ポリマーである。

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。

e. 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。

f. 橋形クレーン

高性能容器、処理カラムを取り扱うための橋形クレーンを2基設ける。

g. 多核種移送設備

多核種移送設備は、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、多核種除去設備用処理済み水移送ポンプおよび移送配管で構成する。

(2) 多核種除去設備関連施設

a. 処理済水貯留用タンク・槽類

処理済水貯留用タンク・槽類は、多核種除去設備の処理済水を貯留する。

タンク・槽類は、鋼製の円筒形タンクを使用する。

2.16.1.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

多核種除去設備及び関連施設は、アウターライズ津波が到達しないと考えられるO.P.30m以上の場所に設置する。

(2) 台風

台風による設備の損傷を防止するため、上屋外装材は建築基準法施行令に基づく風荷重に対して設計している。

(3) 積雪

積雪による設備の損傷を防止するため、上屋外装材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している。

(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、汚染水の拡大防止を図る。また、車両などの飛来物によって、設備を破壊させることがないように、車両を設備から遠ざける措置をとる。

## (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。

### 2.16.1.1.7 構造強度及び耐震性

#### (1) 構造強度

多核種除去設備等を構成する機器は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号）」において、廃棄物処理設備に相当するクラス3機器と位置付けられる。この適用規格は、「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。）で規定される。ただし、増設する吸着塔 15, 16 を除き、福島第一原子力発電所構内の作業環境、機器等の設置環境等が通常時と大幅に異なっているため、設計・建設規格の要求を全て満足して設計・製作・検査を行うことは困難である。

このため、設備の健全性は、製品の試験データ、材料納品書、管理要領、作業記録、耐圧漏えい試験又は運転圧力による漏えい試験等の結果により確認している。

具体的には、国内製作機器については、JIS等の規格に適合した一般産業品の機器等や、設計・建設規格に定める材料と同等の信頼性を有する材料等を採用する。また、耐圧試験については、最高使用圧力以上の耐圧試験、気圧による漏えい試験、運転圧力による漏えい試験又は機器製造メーカーの規定による耐圧漏えい試験等の実施により、設備の健全性を確認する。溶接部については、溶接施工会社の管理要領や実施した施工法、施工者の資格、系統機能試験等による漏えい等の異常がないことの確認により、溶接部の健全性を確認するとともに、非破壊検査や耐圧漏えい検査の要求のある機器の一部溶接部では、外観検査等により溶接部に有意な欠陥等ないことをもって健全性を確認している。

なお、増設する吸着塔 15, 16 は、設計・建設規格のクラス3機器に準じた設計とする。

海外製作機器については、「欧州統一規格 (European Norm)」（以下、「EN規格」という。）、仏国圧力容器規格（以下、CODAP という。）等の海外規格に準拠した材料検査、耐圧漏えい検査等の結果により、健全性を確認している。クラス3機器に該当しない機器（耐圧ホース、ポリエチレン管等）については、日本工業規格 (JIS)、日本水道協会規格また

は ISO 規格等の適合品または、製品の試験データ等により健全性を確認している。

なお、構造強度に関連して経年劣化の影響を評価する観点から、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、経年劣化の影響についての評価を行う。なお、試験等の実施が困難な場合にあつては、巡視点検等による状態監視を行うことで、健全性を確保する。

## (2) 耐震性

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。

### 2.16.1.1.8 機器の故障への対応

#### (1) 機器の単一故障

多核種除去設備は、3つの処理系列を有し、電源についても多重化している。そのため、動的機器、電源系統の単一故障については、処理系列の切替作業等により、速やかな処理の再開が可能である。

#### (2) 除染能力の低下

放射性核種の濃度測定の結果、有意な濃度が確認された場合には、処理済水を再度多核種除去設備に戻す再循環処理を実施する。

#### (3) 高性能容器の落下

高性能容器については、多核種除去設備での運用を考慮した高さから落下しても容器の健全性に問題ないことが確認されているものを使用する。

また、万一の容器落下破損による漏えい時の対応として、回収作業に必要な吸引車等を配備し、吸引車を操作するために必要な要員を確保する。また、漏えい回収訓練及び吸引車の点検を定期的に行う。



## (4) 循環タンク

名称		循環タンク	
種類	—	たて置円筒形	
容量	m <sup>3</sup> /個	5.87	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	60	
主要寸法	胴内径	mm	1850
	胴板厚さ	mm	9
	下部鏡板厚さ	mm	9
	高さ	mm	3650
材料	胴板	—	SUS316L
	下部鏡板	—	SUS316L
個数	個	1 (1系列あたり)	

## (5) 循環ポンプ 1 (完成品)

台数	1台 (1系列あたり)
容量	191 m <sup>3</sup> /h

## (6) デカントポンプ (完成品)

台数	1台 (1系列あたり)
容量	120 m <sup>3</sup> /h

## (7) デカントタンク

名称		デカントタンク	
種類	—	たて置円筒形	
容量	m <sup>3</sup> /個	35.57	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	60	
主要寸法	胴内径	mm	3100
	胴板厚さ	mm	9
	下部鏡板厚さ	mm	9
	高さ	mm	5979
材料	胴板	—	SS400・内面ゴムライニング
	下部鏡板	—	SS400・内面ゴムライニング
個数	個	1 (1系列あたり)	

## (8) 供給ポンプ 1 (完成品)

台数	1台 (1系列あたり)
容量	12.5 m <sup>3</sup> /h

## (9) 共沈タンク

名称		共沈タンク	
種類	—	たて置円筒形	
容量	m <sup>3</sup> /個	3.42	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	60	
主要寸法	胴内径	mm	1400
	胴板厚さ	mm	6
	下部鏡板厚さ	mm	6
	高さ	mm	3921
材料	胴板	—	SS400・内面ゴムライニング
	下部鏡板	—	SS400・内面ゴムライニング
個数	個	1 (1系列あたり)	

## (10) 供給タンク

名称		供給タンク	
種類	—	たて置円筒形	
容量	m <sup>3</sup> /個	3.69	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	60	
主要寸法	胴内径	mm	1400
	胴板厚さ	mm	6
	下部鏡板厚さ	mm	6
	高さ	mm	3646
材料	胴板	—	SS400・内面ゴムライニング
	下部鏡板	—	SS400・内面ゴムライニング
個数	個	1 (1系列あたり)	

## (11) 供給ポンプ 2 (完成品)

台数	1台 (1系列あたり)
容量	12.5 m <sup>3</sup> /h

(12) 循環ポンプ 2 (完成品)

台 数 1 台 (1 系列あたり)  
容 量 313 m<sup>3</sup>/h

(13) 吸着塔入口バッファタンク

名称		吸着塔入口バッファタンク	
種類	—	たて置円筒形	
容量	m <sup>3</sup> /個	6.52	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	60	
主 要 寸 法	胴内径	mm	1500
	胴板厚さ	mm	9
	底板厚さ	mm	25
	高さ	mm	4135
材 料	胴板	—	SUS316L
	底板	—	SUS316L
個数	個	1 (1 系列あたり)	

(14) ブースターポンプ 1 (完成品)

台 数 1 台 (1 系列あたり)  
容 量 12.5 m<sup>3</sup>/h

(15) ブースターポンプ 2 (完成品)

台 数 1 台 (1 系列あたり)  
容 量 12.5 m<sup>3</sup>/h

## (16) 吸着塔 1~14

名称		吸着塔 1~14	
種類	—	たて置円筒形	
容量	m <sup>3</sup> /個	1	
最高使用圧力	MPa	1.37	
最高使用温度	℃	60	
主要寸法	胴内径	mm	1054
	胴板厚さ	mm	18
	上部鏡板厚さ	mm	20
	下部鏡板厚さ	mm	20
	高さ	mm	2046
材料	胴板	—	SUS316L
	上部鏡板	—	SUS316L
	下部鏡板	—	SUS316L
個数	基	14 (1系列あたり)	

## (17) 吸着塔 15, 16

名称		吸着塔 15, 16	
種類	—	たて置円筒形	
容量	m <sup>3</sup> /個	1	
最高使用圧力	MPa	0.70	
最高使用温度	℃	60	
主要寸法	胴内径	mm	890.4
	胴板厚さ	mm	12
	平板厚さ(蓋)	mm	55
	平板厚さ(底)	mm	60
	高さ	mm	3209
材料	胴板	—	SM490A・内面ゴムライニング
	平板(蓋)	—	SM490A・内面ゴムライニング
	平板(底)	—	SM490A・内面ゴムライニング
	胴フランジ	—	SM490A・内面ゴムライニング
個数	基	2 (1系列あたり)	

## (18) 処理カラム

名称		処理カラム	
種類	—	たて置円筒形	
容量	m <sup>3</sup> /個	3	
最高使用圧力	MPa	1.37	
最高使用温度	℃	60	
主要寸法	胴内径	mm	1354
	胴板厚さ	mm	20
	上部鏡板厚さ	mm	22
	下部鏡板厚さ	mm	22
	高さ	mm	2667
材料	胴板	—	SUS316L
	上部鏡板	—	SUS316L
	下部鏡板	—	SUS316L
個数	基	2 (1系列あたり)	

## (19) 移送タンク

名称		移送タンク	
種類	—	たて置円筒形	
容量	m <sup>3</sup> /個	4.12	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	60	
主要寸法	胴内径	mm	1400
	胴板厚さ	mm	6
	底板厚さ	mm	16
	高さ	mm	3006
材料	胴板	—	SS400・内面ゴムライニング
	底板	—	SS400・内面ゴムライニング
個数	個	1 (1系列あたり)	

## (20) 移送ポンプ (完成品)

台数	1台 (1系列あたり)
容量	12.5 m <sup>3</sup> /h

(21) 前段クロスフローフィルタ (完成品)  
台 数 2 台 (1 系列あたり)

(22) 後段クロスフローフィルタ (完成品)  
台 数 6 台 (1 系列あたり)

(23) 出口フィルタ (完成品)  
台 数 1 台 (1 系列あたり)

(24) 高性能容器 (タイプ 1) (完成品)  
基 数 12 基 (多核種除去設備での設置台数)  
容 量 2.86 m<sup>3</sup>

(25) 高性能容器 (タイプ 2) (完成品)  
基 数 12 基 (多核種除去設備での設置台数)  
容 量 2.61 m<sup>3</sup>

(26) 苛性ソーダ貯槽 (完成品)

名称		苛性ソーダ貯槽	
種類	—	たて置円筒形	
容量	m <sup>3</sup> /個	15	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	40	
主要寸法	胴外径	mm	2610
	胴板厚さ	mm	18
	高さ	mm	3315
材料	胴板	—	ポリエチレン
	底板	—	ポリエチレン
個数		個	1

## (27) 炭酸ソーダ貯槽 (完成品)

名称		炭酸ソーダ貯槽	
種類	—	たて置円筒形	
容量	m <sup>3</sup> /個	50	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	40	
主要寸法	胴外径	mm	3315
	胴板厚さ	mm	17
	高さ	mm	6200
材料	胴板	—	ポリエチレン
	底板	—	ポリエチレン
個数	個	2	

## (28) 次亜塩素酸ソーダ貯槽 (完成品)

名称		次亜塩素酸ソーダ貯槽	
種類	—	たて置円筒形	
容量	m <sup>3</sup> /個	3	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	40	
主要寸法	胴外径	mm	1620
	胴板厚さ	mm	7
	高さ	mm	1650
材料	胴板	—	ポリエチレン
	底板	—	ポリエチレン
個数	個	1	

## (29) 塩酸貯槽（完成品）

名称		塩酸貯槽	
種類	—	たて置円筒形	
容量	m <sup>3</sup> /個	30	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	40	
主要寸法	胴外径	mm	2905
	胴板厚さ	mm	14
	高さ	mm	4985
材料	胴板	—	ポリエチレン
	底板	—	ポリエチレン
個数	個	1	

## (30) 塩化第二鉄貯槽（完成品）

名称		塩化第二鉄貯槽	
種類	—	たて置円筒形	
容量	m <sup>3</sup> /個	4	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	40	
主要寸法	胴外径	mm	1815
	胴板厚さ	mm	6.5
	高さ	mm	1815
材料	胴板	—	ポリエチレン
	底板	—	ポリエチレン
個数	個	1	

(31) サンプルタンク

名称		サンプルタンク	
種類	—	たて置円筒形	
容量	m <sup>3</sup> /個	1100	
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	12000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	16
	高さ	mm	10822
材料	胴板	—	SS400
	底板	—	SS400
個数	個	4	

(32) 処理済水移送ポンプ

台数	2台
容量	40 m <sup>3</sup> /h

(33) 炭酸ソーダ供給ポンプ (完成品)

台数	3台
容量	0.2 m <sup>3</sup> /h

## (34) 配管

## 主要配管仕様 (1 / 4)

名 称	仕 様	
R O濃縮水移送ポンプ/ R O濃縮水貯槽移送ポンプ 配管分岐部から 多核種除去設備入口まで (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 1.15MPa 1.0MPa 0.98MPa 40℃
(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. 80 STPG370 1.15MPa 40℃
多核種除去設備入口から ブースターポンプ1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 STPG370 0.98MPa 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch. 40 32A/Sch. 40 50A/Sch. 40 65A/Sch. 40 100A/Sch. 40 125A/Sch. 40 150A/Sch. 40 200A/Sch. 40 250A/Sch. 40 300A/Sch. 40 SUS316L 0.98MPa 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A/Sch. 40 100A/Sch. 40 KS D 3576 STS 316L 0.98MPa 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 SUS316L 1.37MPa 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 0.98MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A 相当 EPDM 静水頭 60℃

主要配管仕様 (2 / 4)

名 称	仕 様	
ブースターポンプ1から 移送タンクまで (鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	32A/Sch. 40 50A/Sch. 40 80A/Sch. 40 SUS316L 1.37MPa 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 SUS316L 0.7MPa 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 100A/Sch. 40 STPG370+ライニング 0.7MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 1.37MPa 60℃
移送タンクから 多核種除去設備出口まで (鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	32A/Sch. 40 50A/Sch. 40 SUS316L 1.15MPa 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 80 STPG370 1.15MPa 60℃
(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. 80 STPG370 1.15MPa 40℃

主要配管仕様（3 / 4）

名称	仕様	
多核種除去設備出口から 処理済水貯留用タンク・槽類※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 1.0MPa 1.15MPa 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 150A 相当 200A 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	150A/Sch. 40 100A/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 SUS316L 1.0MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A/Sch. 40 65A/Sch. 40 100A/Sch. 40 150A/Sch. 40 200A/Sch. 40 STPG370+ライニング <sup>o</sup> 0.98MPa 40℃
多核種除去設備用移送ポンプ出口 から多核種除去設備入口まで (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	65A/Sch. 80 100A/Sch. 80 STPG370 1.15MPa 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 STPG370+ライニング <sup>o</sup> 0.98MPa 40℃

※多核種処理水貯槽，R0 濃縮水貯槽または Sr 処理水貯槽

主要配管仕様（4 / 4）

名称	仕様	
多核種除去設備建屋入口から 炭酸ソーダ貯槽まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A 相当 ポリエチレン 0.5MPa 60℃
炭酸ソーダ貯槽から 共沈タンクまで (鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	125A/Sch. 40 65A/Sch. 40 50A/Sch. 40 40A/Sch. 40 25A/Sch. 40 SUS316L 0.5MPa 40℃
(鋼管)	呼び径／厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch. 40 40A/Sch. 40 SUS316L 0.5MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A 相当 EPDM 0.5MPa 40℃ 60℃

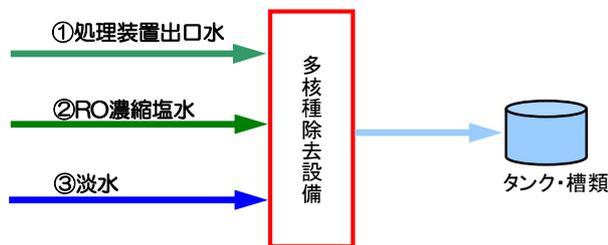
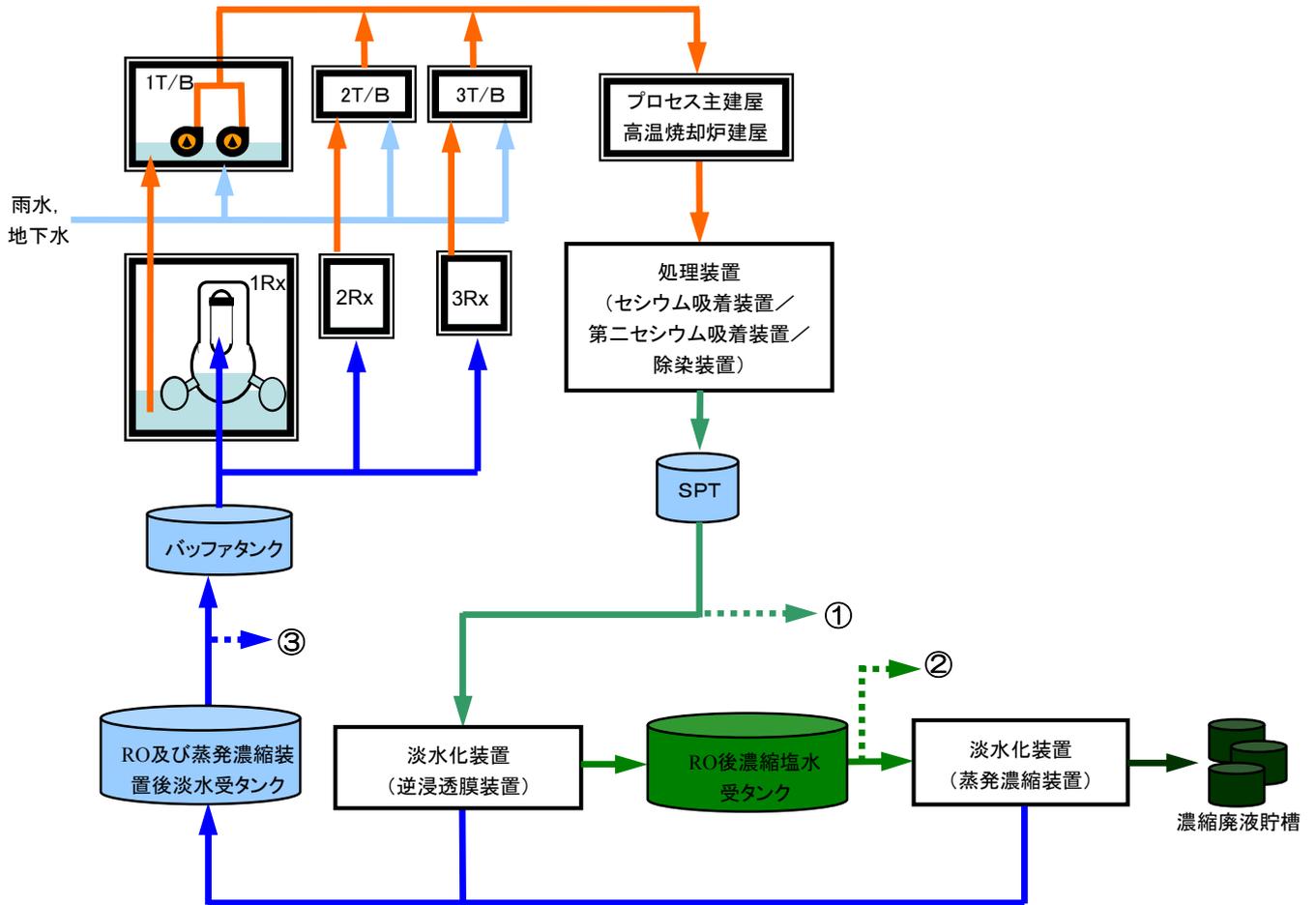
(35) 放射線監視装置

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	2基
種類	半導体検出器
取付箇所	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

2.16.1.3 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：放射性液体廃棄物処理設備等に関する構造強度及び耐震性等の評価結果
- 添付資料－3：多核種除去設備上屋の耐震性に関する検討結果
- 添付資料－4：多核種除去設備等の具体的な安全確保策
- 添付資料－5：高性能容器の健全性評価
- 添付資料－6：除去対象核種の選定
- 添付資料－7：高性能容器落下破損時の漏えい物回収作業における被ばく線量評価
- 添付資料－8：放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設の試験及び工事計画
- 添付資料－9：多核種除去設備に係る確認事項
- 添付資料－10：保管中高性能容器内水抜き装置の設置について



(a) 配置概要

図-1 汚染水処理設備並びに多核種除去設備等の全体概要図

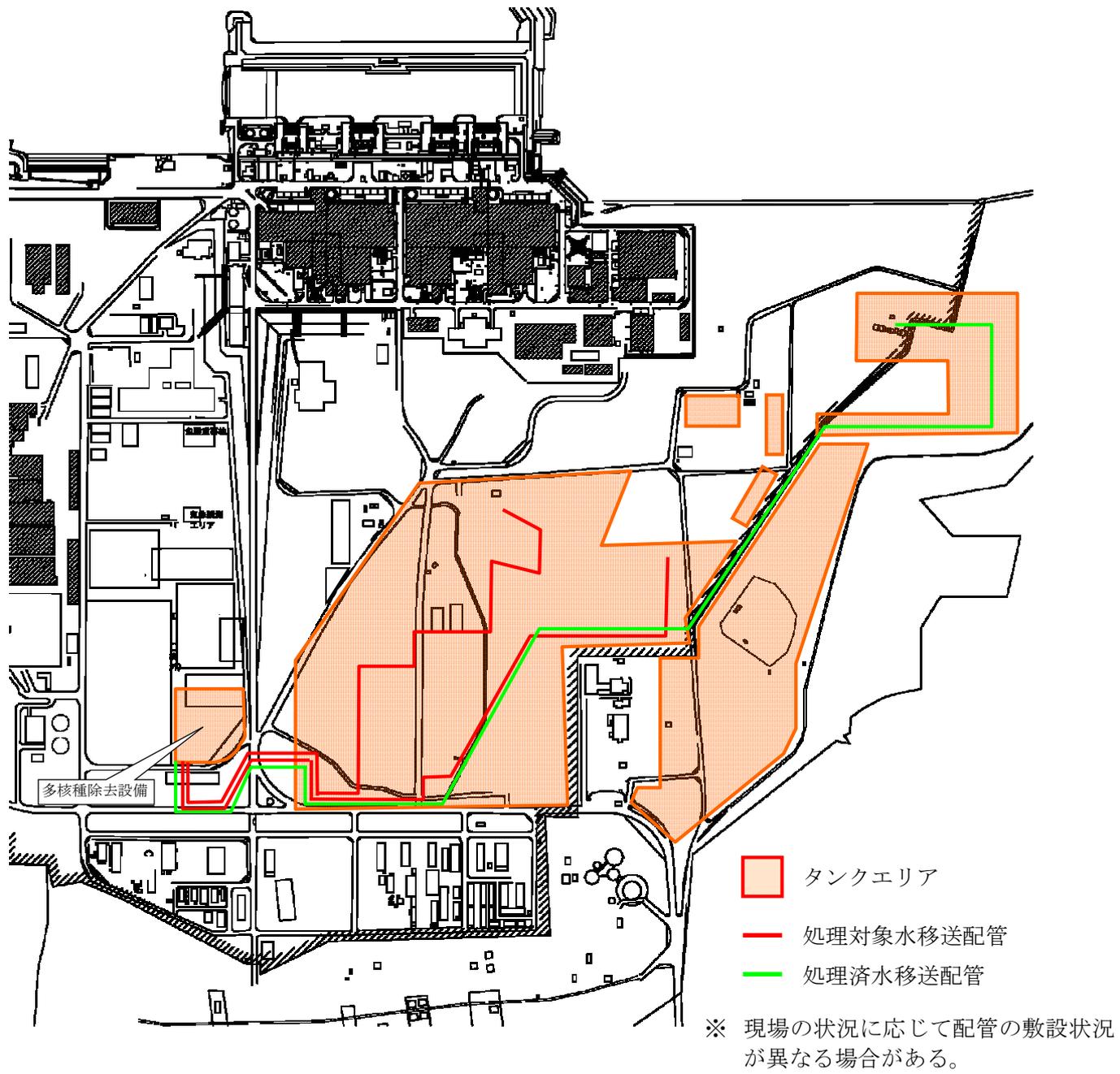


図-2 多核種除去設備の配置概要図



## 放射性液体廃棄物処理設備等に関する構造強度及び耐震性等の評価結果

放射性液体廃棄物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及び耐震性評価の基本方針に基づき構造強度及び耐震性等の評価を行う。

## 1.1 基本方針

## 1.1.1 構造強度評価の基本方針

多核種除去設備等を構成する機器は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成２５年６月２８日原子力規制委員会規則第６号）」において、廃棄物処理設備に相当するクラス３機器と位置付けられる。この適用規格は、「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。）で規定される。ただし、福島第一原子力発電所構内の作業環境、機器等の設置環境等が通常時と大幅に異なっているため、設計・建設規格の要求を全て満足して設計・製作・検査を行うことは困難である。従って、可能な限り設計・建設規格のクラス３機器相当の設計・製作・検査を行うものの、JIS等の規格に適合した一般産業品の機器等や、設計・建設規格に定める材料と同等の信頼性を有する材料・施工方法等を採用する。また、溶接部については、系統機能試験等を行い、漏えい等の異常がないことを確認する。

なお、構造強度に関連して経年劣化の影響を評価する観点から、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、経年劣化の影響についての評価を行う。なお、試験等の実施が困難な場合にあっては、巡視点検等による状態監視を行うことで、健全性を確保する。

## 1.1.2 耐震性評価の基本方針

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」（以下、「耐震設計技術規程」という。）等に準用する。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。

## 1.2 評価結果

## 1.2.1 ポンプ類

## (1) 構造強度評価

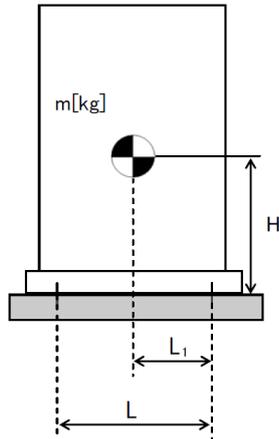
ポンプは一般産業品とするため、設計・建設規格の要求には必ずしも適合しない。しかしながら、以下により高い信頼性を確保した。

- ・ 公的規格に適合したポンプを選定する。
- ・ 耐腐食性（塩分対策）を有したポンプを選定する。
- ・ 試運転により、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。

(2)耐震性評価

a. 基礎ボルトの強度評価

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）。



- L : 基礎ボルト間の水平方向距離
- m : 機器重量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L<sub>1</sub> : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- n<sub>f</sub> : 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<sub>b</sub> : 基礎ボルトの軸断面積
- C<sub>H</sub> : 水平方向設計震度
- C<sub>V</sub> : 鉛直方向設計震度

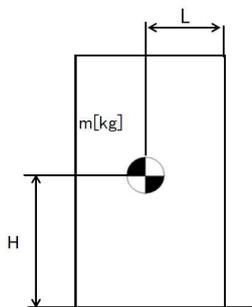
$$\text{基礎ボルトに作用する引張力} : F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1)$$

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

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

b. 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くことから，転倒しないことを確認した。また，地震による転倒モーメント > 自重による安定モーメントとなるものについては，a. での計算により基礎ボルトの強度が確保されることから転倒しないことを確認した(表1)。



- C<sub>H</sub> : 水平方向設計震度
- m : 機器重量
- 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

$$\text{地震による転倒モーメント} : M_1 = m \times g \times C_H \times H$$

$$\text{自重による安定モーメント} : M_2 = m \times g \times L$$

表1：ポンプ耐震評価結果（1／3）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
スラリー移送ポンプ	本体	転倒	0.36	$3.17 \times 10^5$	$6.71 \times 10^5$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	1	139	MPa
循環ポンプ1	本体	転倒	0.36	$2.34 \times 10^6$	$4.70 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	4	133	MPa
デカントポンプ	本体	転倒	0.36	$6.84 \times 10^5$	$1.32 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	2	139	MPa
供給ポンプ1	本体	転倒	0.36	$1.95 \times 10^5$	$4.80 \times 10^5$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	1	139	MPa
供給ポンプ2	本体	転倒	0.36	$3.28 \times 10^5$	$7.36 \times 10^5$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	2	139	MPa
循環ポンプ2	本体	転倒	0.36	$2.59 \times 10^6$	$5.21 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	4	133	MPa
ブースターポンプ1	本体	転倒	0.36	$4.85 \times 10^5$	$1.02 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	2	139	MPa
ブースターポンプ2	本体	転倒	0.36	$4.85 \times 10^5$	$1.02 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	2	139	MPa
移送ポンプ	本体	転倒	0.36	$1.95 \times 10^5$	$4.80 \times 10^5$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	1	139	MPa
処理済水移送ポンプ	本体	転倒	0.36	$8.30 \times 10^5$	$1.10 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	2	141	MPa

※引張評価の算出値「-」については、引張応力が作用していない。

表1：ポンプ耐震評価結果（2／3）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
スラリー移送ポンプ	本体	転倒	0.80	$7.04 \times 10^5$	$6.71 \times 10^5$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	1	180	MPa
		せん断	0.80	3	139	MPa
循環ポンプ1	本体	転倒	0.80	$5.18 \times 10^6$	$4.70 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	1	173	MPa
		せん断	0.80	8	133	MPa
デカントポンプ	本体	転倒	0.80	$1.52 \times 10^6$	$1.32 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	1	180	MPa
		せん断	0.80	5	139	MPa
供給ポンプ1	本体	転倒	0.80	$4.33 \times 10^5$	$4.80 \times 10^5$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	-	-	MPa
		せん断	0.80	2	139	MPa
供給ポンプ2	本体	転倒	0.80	$7.29 \times 10^5$	$7.36 \times 10^5$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	-	-	MPa
		せん断	0.80	3	139	MPa
循環ポンプ2	本体	転倒	0.80	$5.74 \times 10^6$	$5.21 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	1	173	MPa
		せん断	0.80	9	133	MPa
ブースターポンプ1	本体	転倒	0.80	$1.08 \times 10^6$	$1.02 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	1	180	MPa
		せん断	0.80	4	139	MPa
ブースターポンプ2	本体	転倒	0.80	$1.08 \times 10^6$	$1.02 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	1	180	MPa
		せん断	0.80	4	139	MPa
移送ポンプ	本体	転倒	0.80	$4.33 \times 10^5$	$4.80 \times 10^5$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	-	-	MPa
		せん断	0.80	2	139	MPa
処理済水移送ポンプ	本体	転倒	0.80	$1.90 \times 10^6$	$1.10 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	3	183	MPa
		せん断	0.80	5	141	MPa

※引張評価の算出値「-」については、引張応力が作用していない。

表 1 : ポンプ耐震評価結果 ( 3 / 3 )

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
炭酸ソーダ供給ポンプ	本体	転倒	0.36	$2.03 \times 10^5$	$1.28 \times 10^5$	N・mm
	基礎ボルト	引張	0.36	2	183	MPa
		せん断	0.36	2	141	MPa

※引張評価の算出値「-」については、引張応力が作用していない。

## 1.2.2 タンク類、吸着塔及び処理カラム

### (1) 構造強度評価

タンク類は、SUS316L（バッチ処理タンクについてはゴムライニング付）もしくは炭素鋼（ライニング付）とするが材料の調達において一般産業品とするため、材料証明がなく、設計・建設規格の要求には必ずしも適合しない。しかしながら、以下により高い信頼性を確保した。

- ・工場にて溶接を行い高い品質を確保する。
- ・水張りによる溶接部の漏えい確認等を行う。

また、吸着塔 1～14 及び処理カラムは、SUS316L とするが材料の調達において一般産業品とするため、材料証明がなく、設計・建設規格の要求には必ずしも適合しない。しかしながら、以下を考慮することで、高い信頼性を確保した。

- ・公的規格に適合した一般産業品の SUS316L を用いて吸着塔、処理カラムを製作する。
- ・溶接継手は、PT 検査、運転圧による漏えい確認等を行う。
- ・工場にて溶接を行い高い品質を確保する。

なお、吸着塔 15, 16 については、設計・建設規格のクラス 3 容器に準じた設計とする。

#### a. スカート支持たて置円筒形容器

スカート支持たて置円筒形容器については、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（開放型タンク）、最高使用圧力（密閉型タンク）に耐えられることを確認した（表 2）。

（開放型の場合）

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

t : 胴の計算上必要な厚さ

Di : 胴の内径

H : 水頭

$\rho$  : 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

$\eta$  : 長手継手の効率

(密閉型の場合)

(1) 胴の厚さ

$$t = \frac{PD_i}{2S\eta - 1.2P}$$

t : 胴の計算上必要な厚さ

Di : 胴の内径

P : 最高使用圧力

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  $t = 3.00$  [mm] 以上、その他の金属の場合は  $t = 1.50$  [mm] 以上とする。

(2) 平板の厚さ

$$t = d \sqrt{\frac{2KP}{S}}$$

t : 平板の計算上必要な厚さ

d : ボルト中心円の直径または平板の径

P : 最高使用圧力

S : 平板の許容引張応力

K : 平板の取付け方法による係数

(3) 胴フランジの厚さ

$$t = \sqrt{\frac{6M_0}{\sigma_f(\pi C - nd_h)}}$$

M<sub>0</sub> : フランジに作用するモーメント

σ<sub>f</sub> : 最高使用温度におけるフランジの許容引張応力

C : ボルト穴中心円の直径

n : ボルト本数

d<sub>h</sub> : ボルト穴直径

表 2：スカート支持たて置円筒形容器板厚評価結果

機器名称	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
バッチ処理タンク	胴板	1.50	7.80
	鏡板	2.67	7.80
循環タンク	胴板	1.50	7.80
	鏡板	1.14	8.35
デカントタンク	胴板	3.00	7.45
	鏡板	1.26	6.00
共沈タンク	胴板	3.00	4.60
	鏡板	0.31	3.90
供給タンク	胴板	3.00	4.60
	鏡板	0.32	3.90
吸着塔 1～14	胴板	9.57	16.50
	鏡板	10.18	18.50
吸着塔 15, 16	胴板	3.64	10.73
	平板（蓋）	47.07	54.00
	平板（底）	54.57	58.05
	胴フランジ	28.12	56.00
処理カラム	胴板	12.29	18.70
	鏡板	13.09	20.70

b. 平底たて置円筒形容器

平底たて置円筒形容器については、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3)。

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

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 = 3.00[mm]以上、その他の金属の場合は t = 1.50[mm]以上とする。

表 3：平底たて置円筒形容器板厚評価結果

機器名称	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
吸着塔入口バッファタンク	胴板	1.50	7.80
	底板	3.00	23.70
移送タンク	胴板	3.00	4.60
	底板	3.00	14.45
炭酸ソーダ貯槽	胴板	4.55	12.00
	底板	3.00	9.00

c. 三脚たて置円筒形容器

三脚たて置円筒形容器については、設計・建設規格に準拠し、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）。

$$t = \frac{PD_i}{2S\eta - 1.2P}$$

t：胴の計算上必要な厚さ  
 Di：胴の内径  
 P：最高使用圧力  
 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 = 3.00[mm]以上、その他の金属の場合は t = 1.50[mm]以上とする。

表 4：三脚たて置円筒形容器板厚評価結果

機器名称	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
出口フィルタ	胴板	1.92	3.50
	鏡板	1.34	3.10

d. 円筒型タンク

円筒型タンクについては、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5）。

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

t : 胴の計算上必要な厚さ

Di : 胴の内径

H : 水頭

$\rho$  : 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

$\eta$  : 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  $t = 3.00[\text{mm}]$  以上，その他の金属の場合は  $t = 1.50[\text{mm}]$  以上とする。

表5：円筒型タンク板厚評価結果

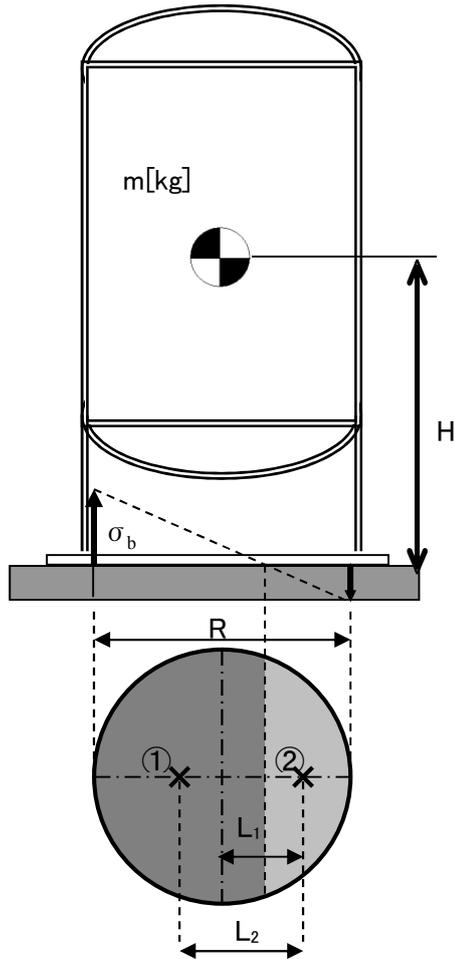
機器名称	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
サンプルタンク	タンク板厚	5.89	12.00

(2)耐震性評価

a. スカート支持たて置円筒形容器

(a) 基礎ボルトの強度評価

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6）。



- m : 機器重量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- 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
- $C_t$  : 中立軸の位置より求める係数
- $\sigma_b$  : 基礎ボルトに作用する引張応力
- $F_t$  : 基礎ボルトに作用する引張力
- ① : 基礎ボルトに作用する引張力の作用点
- ② : 基礎部に作用する圧縮力の作用点
- R : 基礎ボルトのピッチ円直径
- $L_1$  : 基礎ボルトのピッチ円中心から②までの距離
- $L_2$  : ①から②までの距離

$$\text{基礎ボルトに作用する引張力} : F_t = \frac{1}{L_2} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1)$$

$$\text{基礎ボルトに作用する引張応力} : \sigma_b = \frac{2\pi \times F_t}{n \times A_b \times C_t}$$

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

(b) 胴板の強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して、胴板の強度評価を実施した。

一次一般膜応力  $\sigma_0$  を下記の通り評価し、許容値を下回ることを確認した(表6)。

$$\sigma_0 = \text{Max}\{\sigma_{0t}, \sigma_{0c}\}$$

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

$$\sigma_{0c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

$\sigma_{0t}$  : 一次一般膜応力 (引張側)

$\sigma_{0c}$  : 一次一般膜応力 (圧縮側)

$\sigma_\phi$  : 胴の周方向応力の和

$\sigma_{xt}$  : 胴の軸方向応力の和 (引張側)

$\sigma_{xc}$  : 胴の軸方向応力の和 (圧縮側)

$\tau$  : 地震により胴に生じるせん断応力

(c) スカートの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して、スカートの強度評価を実施した。

組合せ応力  $\sigma_s$  を下記の通り評価し、許容値を下回ることを確認した(表6)。

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

$\sigma_1$  : スカートの質量による軸方向応力

$\sigma_2$  : スカートの鉛直方向地震による軸方向応力

$\sigma_3$  : スカートの曲げモーメントによる軸方向応力

$\tau$  : 地震によるスカートに生じるせん断応力

また、座屈評価を下記の式により行い、スカートに座屈が発生しないことを確認した(表6)。

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_1 + \sigma_2)}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_3}{f_b} \leq 1$$

$\sigma_1$  : スカートの質量による軸方向応力

$\sigma_2$  : スカートの鉛直方向地震による軸方向応力

$\sigma_3$  : スカートの曲げモーメントによる軸方向応力

$f_c$  : 軸圧縮荷重に対する許容座屈応力

$f_b$  : 曲げモーメントに対する許容座屈応力

$\eta$  : 座屈応力に対する安全率

表6：スカート支持たて置円筒形容器耐震評価結果（1／2）

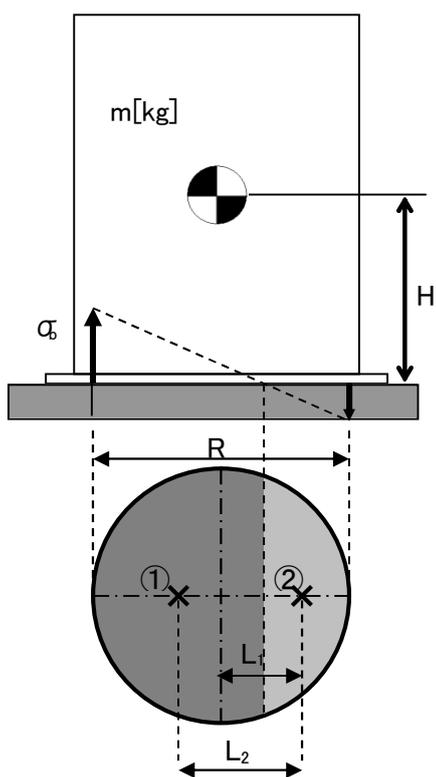
機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
バッチ処理 タンク	胴板	一次一般膜	0.36	15	163	MPa
	スカート	組合せ	0.36	10	205	MPa
		座屈	0.36	0.05	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.36	1	130	MPa
		せん断	0.36	33	101	MPa
循環タンク	胴板	一次一般膜	0.36	8	163	MPa
	スカート	組合せ	0.36	9	205	MPa
		座屈	0.36	0.04	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.36	1	131	MPa
		せん断	0.36	18	101	MPa
デカント タンク	胴板	一次一般膜	0.36	12	233	MPa
	スカート	組合せ	0.36	17	241	MPa
		座屈	0.36	0.10	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.36	1	440	MPa
		せん断	0.36	21	338	MPa
共沈タンク	胴板	一次一般膜	0.36	5	233	MPa
	スカート	組合せ	0.36	10	241	MPa
		座屈	0.36	0.05	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.36	11	180	MPa
		せん断	0.36	11	139	MPa
供給タンク	胴板	一次一般膜	0.36	6	233	MPa
	スカート	組合せ	0.36	11	241	MPa
		座屈	0.36	0.06	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.36	9	180	MPa
		せん断	0.36	13	139	MPa
吸着塔 1～14	胴板	一次一般膜	0.36	41	163	MPa
	スカート	組合せ	0.36	4	205	MPa
		座屈	0.36	0.02	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.36	2	131	MPa
		せん断	0.36	3	101	MPa
吸着塔 15, 16	胴板	一次一般膜	0.36	27	282	MPa
	スカート	組合せ	0.36	7	309	MPa
		座屈	0.36	0.03	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.36	9	158	MPa
		せん断	0.36	6	121	MPa
処理カラム	胴板	一次一般膜	0.36	48	163	MPa
	スカート	組合せ	0.36	4	205	MPa
		座屈	0.36	0.02	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.36	1	131	MPa
		せん断	0.36	12	101	MPa

表6：スカート支持たて置円筒形容器耐震評価結果（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
バッチ処理 タンク	胴板	一次一般膜	0.80	21	163	MPa
	スカート	組合せ	0.80	17	205	MPa
		座屈	0.80	0.08	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.80	75	131	MPa
		せん断	0.80	26	101	MPa
循環タンク	胴板	一次一般膜	0.80	12	163	MPa
	スカート	組合せ	0.80	16	205	MPa
		座屈	0.80	0.07	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.80	42	121	MPa
		せん断	0.80	39	101	MPa
デカント タンク	胴板	一次一般膜	0.80	20	233	MPa
	スカート	組合せ	0.80	32	241	MPa
		座屈	0.80	0.17	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.80	63	440	MPa
		せん断	0.80	47	338	MPa
共沈タンク	胴板	一次一般膜	0.80	8	233	MPa
	スカート	組合せ	0.80	20	241	MPa
		座屈	0.80	0.10	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.80	72	180	MPa
		せん断	0.80	25	139	MPa
供給タンク	胴板	一次一般膜	0.80	10	233	MPa
	スカート	組合せ	0.80	21	241	MPa
		座屈	0.80	0.10	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.80	73	180	MPa
		せん断	0.80	28	139	MPa
吸着塔 1～14	胴板	一次一般膜	0.80	41	163	MPa
	スカート	組合せ	0.80	8	205	MPa
		座屈	0.80	0.04	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.80	16	131	MPa
		せん断	0.80	7	101	MPa
吸着塔 15, 16	胴板	一次一般膜	0.80	27	282	MPa
	スカート	組合せ	0.80	14	309	MPa
		座屈	0.80	0.05	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.80	44	158	MPa
		せん断	0.80	13	121	MPa
処理カラム	胴板	一次一般膜	0.80	48	163	MPa
	スカート	組合せ	0.80	8	205	MPa
		座屈	0.80	0.03	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.80	39	131	MPa
		せん断	0.80	26	101	MPa

b. 平底たて置円筒形容器  
 (a) 基礎ボルトの強度評価

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7）。



- $m$  : 機器重量
- $g$  : 重力加速度
- $H$  : 据付面からの重心までの距離
- $n$  : 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
- $C_t$  : 中立軸の位置より求める係数
- $\sigma_b$  : 基礎ボルトに作用する引張応力
- $F_t$  : 基礎ボルトに作用する引張力
- ① : 基礎ボルトに作用する引張力の作用点
- ② : 基礎部に作用する圧縮力の作用点
- $R$  : 基礎ボルトのピッチ円直径
- $L_1$  : 基礎ボルトのピッチ円中心から②までの距離
- $L_2$  : ①から②までの距離

$$\text{基礎ボルトに作用する引張力} : F_t = \frac{1}{L_2} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1)$$

$$\text{基礎ボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{2\pi \times F_t}{n \times A_b \times C_t}$$

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

(b) 洞板の強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して、洞板の強度評価を実施した。

一次一般膜応力  $\sigma_0$  を下記の通り評価し、許容値を下回ることを確認した(表 7)。

$$\sigma_0 = \text{Max}\{\sigma_{0t}, \sigma_{0c}\}$$

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

$$\sigma_{0c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

$\sigma_{0t}$  : 一次一般膜応力 (引張側)

$\sigma_{0c}$  : 一次一般膜応力 (圧縮側)

$\sigma_\phi$  : 洞の周方向応力の和

$\sigma_{xt}$  : 洞の軸方向応力の和 (引張側)

$\sigma_{xc}$  : 洞の軸方向応力の和 (圧縮側)

$\tau$  : 地震により洞に生じるせん断応力

また、座屈評価を下記の式により行い、洞板に座屈が発生しないことを確認した(表 7)。

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_1 + \sigma_2)}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_3}{f_b} \leq 1$$

$\sigma_1$  : 洞の空質量による軸方向圧縮応力

$\sigma_2$  : 洞の鉛直方向地震による軸方向応力

$\sigma_3$  : 洞の水平方向地震による軸方向応力

$f_c$  : 軸圧縮荷重に対する許容座屈応力

$f_b$  : 曲げモーメントに対する許容座屈応力

$\eta$  : 座屈応力に対する安全率

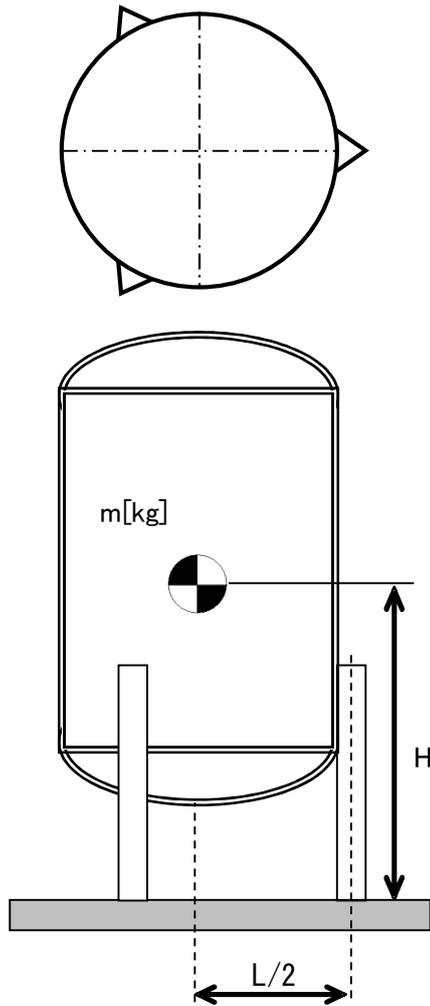
表 7 : 平底たて置円筒形容器耐震評価結果

機器名称	評価部位		水平震度	算出値	許容値	単位
吸着塔入口 バッファタ ンク	胴板	一次 一般膜	0.36	7	163	MPa
		座屈	0.36	0.04	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.36	6	131	MPa
		せん断	0.36	10	101	MPa
	胴板	一次 一般膜	0.80	14	163	MPa
		座屈	0.80	0.08	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.80	55	131	MPa
		せん断	0.80	21	101	MPa
移送タンク	胴板	一次 一般膜	0.36	5	233	MPa
		座屈	0.36	0.03	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.36	2	180	MPa
		せん断	0.36	12	139	MPa
	胴板	一次 一般膜	0.80	11	233	MPa
		座屈	0.80	0.05	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.80	52	180	MPa
		せん断	0.80	26	139	MPa
炭酸ソーダ 貯槽	胴板	一次 一般膜	0.36	6	15	MPa
		座屈	0.36	0.34	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	44	141	MPa

c. 三脚たて置円筒形容器

(a) 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程並びに「JPI-7R-71-96 石油学会規格 縦形容器用レグ」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8）。



- L : 脚断面の図心の描く円の直径
- m : 機器重量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- $A_b$  : 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

$$\text{基礎ボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{1}{3 \times A_b} \left( \frac{4 \times m \times g \times C_H \times H}{L} - m \times g \times (1 - C_V) \right)$$

$$\text{基礎ボルトのせん断応力} : \tau_b = \frac{1}{3 \times A_b} (m \times g \times C_H - 0.1 \times m \times g \times (1 - C_V))$$

(b)脚の強度評価

耐震設計技術規程並びに「JPI-7R-71-96 石油学会規格 縦形容器用レグ」の強度評価方法に準拠して、脚の強度評価を実施した。

組合せ応力  $\sigma_s$  を下記の通り評価し、許容値を下回ることを確認した(表8)。

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- $\sigma_1$  : 脚の質量による軸方向応力
- $\sigma_2$  : 脚の鉛直方向地震による軸方向応力
- $\sigma_3$  : 脚の曲げモーメントによる軸方向応力
- $\tau$  : 地震による脚に生じるせん断応力

また、座屈評価を下記の式により行い、脚に座屈が発生しないことを確認した(表8)。

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_1 + \sigma_2)}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_3}{f_b} \leq 1$$

- $\sigma_1$  : 脚の質量による軸方向応力
- $\sigma_2$  : 脚の鉛直方向地震による軸方向応力
- $\sigma_3$  : 脚の曲げモーメントによる軸方向応力
- $f_c$  : 軸圧縮荷重に対する許容座屈応力
- $f_b$  : 曲げモーメントに対する許容座屈応力
- $\eta$  : 座屈応力に対する安全率

(c)胴板の強度評価

耐震設計技術規程並びに「JPI-7R-71-96 石油学会規格 縦形容器用レグ」の強度評価方法に準拠して、胴板の強度評価を実施した。

一次一般膜応力  $\sigma_0$  を下記の通り評価し、許容値を下回ることを確認した(表8)。

$$\sigma_0 = \text{Max}\{\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}\}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x5} + \sigma_{x7}$$

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi1} + \sigma_{\phi7}$$

- $\sigma_{0\phi}$  : 一次一般膜応力 (周方向)
- $\sigma_{0x}$  : 一次一般膜応力 (軸方向)
- $\sigma_{\phi1}$  : 内圧による周方向応力
- $\sigma_{x1}$  : 内圧による軸方向応力
- $\sigma_{x2}$  : 運転時質量による軸方向応力
- $\sigma_{x5}$  : 地震力により生じる  
転倒モーメントによる軸方向応力
- $\sigma_{\phi7}$  : 胴の鉛直方向地震による周方向応力
- $\sigma_{x7}$  : 胴の鉛直方向地震による軸方向応力

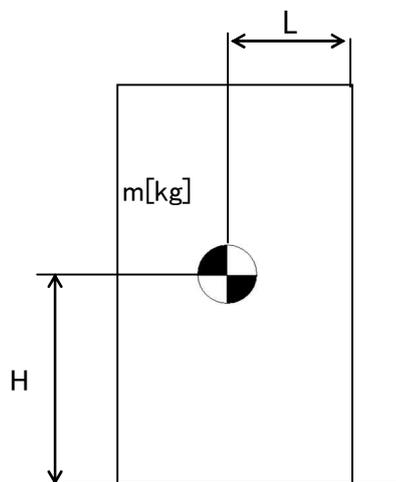
表 8 : 三脚たて置円筒形容器耐震評価結果

機器名称	評価部位		水平震度	算出値	許容値	単位
出口 フィルタ	胴板	一次一般膜	0.36	37	163	MPa
	脚	組合せ	0.36	57	205	MPa
		座屈	0.36	0.29	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.36	37	153	MPa
		せん断	0.36	3	118	MPa
	胴板	一次一般膜	0.80	37	163	MPa
	脚	組合せ	0.80	120	205	MPa
		座屈	0.80	0.61	1	-
	基礎 ボルト	引張	0.80	92	153	MPa
		せん断	0.80	6	118	MPa

d. 円筒型タンク

(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（表 9）。



$C_H$  : 水平方向設計震度

$m$  : 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

$$\text{地震による転倒モーメント} : M_1 = m \times g \times C_H \times H$$

$$\text{自重による安定モーメント} : M_2 = m \times g \times L$$

表9 : 円筒型タンク耐震評価結果

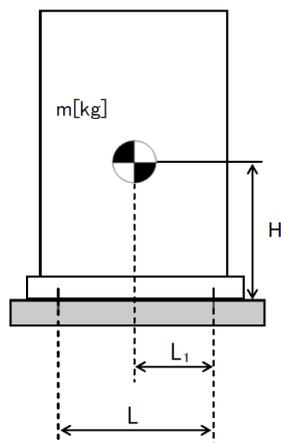
機器名称	評価部位	評価項目	水平地震動	算出値	許容値	単位
サンプルタンク	本体	転倒	0.36	$2.20 \times 10^{10}$	$7.20 \times 10^{10}$	N・mm
			0.80	$4.80 \times 10^{10}$		

### 1.2.3 スキッド

#### (1)耐震性評価

##### a. 基礎ボルトの強度評価

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10）。



- L : 基礎ボルト間の水平方向距離
- m : 機器重量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L<sub>1</sub> : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- n<sub>f</sub> : 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<sub>b</sub> : 基礎ボルトの軸断面積
- C<sub>H</sub> : 水平方向設計震度
- C<sub>V</sub> : 鉛直方向設計震度

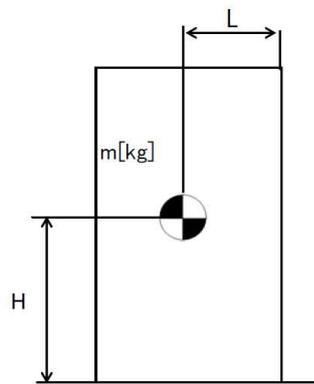
$$\text{基礎ボルトに作用する引張力} : F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1)$$

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

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

## b. 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く、転倒しないことを確認した。また、地震による転倒モーメント > 自重による安定モーメントとなるものについては、a. での計算により基礎ボルトの強度が確保されることから転倒しないことを確認した（表 10）。



$C_H$  : 水平方向設計震度

$m$  : 機器重量

$g$  : 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

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

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

表 10 : スキッド耐震評価結果 (1 / 5)

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
バッチ処理タンク スキッド	本体	転倒	0.36	$9.27 \times 10^8$	$1.08 \times 10^9$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	23	139	MPa
バッチ処理タンク 用弁スキッド	本体	転倒	0.36	$5.29 \times 10^6$	$1.85 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	6	139	MPa
循環タンク スキッド	本体	転倒	0.36	$4.04 \times 10^8$	$4.94 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	25	139	MPa
循環タンク 用弁スキッド	本体	転倒	0.36	$5.42 \times 10^6$	$1.16 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	8	139	MPa
スラリー移送ポンプ スキッド	本体	転倒	0.36	$1.80 \times 10^6$	$5.75 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	5	139	MPa
クロスフローフィルタ スキッド1	本体	転倒	0.36	$6.80 \times 10^7$	$1.40 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	16	139	MPa
デカントタンク スキッド	本体	転倒	0.36	$4.71 \times 10^8$	$7.95 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	50	139	MPa
共沈・供給タンク スキッド	本体	転倒	0.36	$9.16 \times 10^7$	$1.56 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	16	139	MPa
クロスフローフィルタ スキッド2	本体	転倒	0.36	$1.14 \times 10^8$	$2.11 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	25	139	MPa
吸着塔入口 バッファタンク スキッド	本体	転倒	0.36	$8.61 \times 10^7$	$1.04 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	13	139	MPa
ブースターポンプ1 スキッド	本体	転倒	0.36	$2.56 \times 10^6$	$7.62 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	5	139	MPa
ブースターポンプ2 スキッド	本体	転倒	0.36	$2.44 \times 10^6$	$8.36 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	5	139	MPa

※引張評価の算出値「-」については、引張応力が作用していない。

表 10 : スキッド耐震評価結果 (2 / 5)

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
吸着塔 1~14 スキッド 1	本体	転倒	0.36	$1.50 \times 10^8$	$2.28 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	21	139	MPa
吸着塔 1~14 スキッド 2	本体	転倒	0.36	$1.33 \times 10^8$	$1.91 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	19	139	MPa
吸着塔 1~14 スキッド 3	本体	転倒	0.36	$1.33 \times 10^8$	$1.91 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	19	139	MPa
吸着塔 1~14 スキッド 4	本体	転倒	0.36	$1.22 \times 10^8$	$1.88 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	18	139	MPa
吸着塔 15, 16 スキッド	本体	転倒	0.36	$9.14 \times 10^7$	$9.33 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	5	121	MPa
処理カラム スキッド	本体	転倒	0.36	$1.04 \times 10^8$	$1.43 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	13	139	MPa
出口移送 スキッド	本体	転倒	0.36	$3.12 \times 10^7$	$9.77 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	18	139	MPa
ALPS入口弁 スキッド (I)	本体	転倒	0.36	$1.89 \times 10^7$	$6.14 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	5	139	MPa
ALPS入口弁 スキッド (II)	本体	転倒	0.36	$3.13 \times 10^6$	$1.42 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	3	139	MPa
ALPS出口弁 スキッド	本体	転倒	0.36	$6.57 \times 10^6$	$2.27 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	3	139	MPa
排水タンク スキッド	本体	転倒	0.36	$2.90 \times 10^7$	$8.44 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	18	139	MPa
HIC遮へい体	本体	転倒	0.36	$9.28 \times 10^7$	$2.05 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	23	139	MPa

※引張評価の算出値「-」については、引張応力が作用していない。

表10：スキッド耐震評価結果（3／5）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
バッチ処理タンク スキッド	本体	転倒	0.80	$2.06 \times 10^9$	$1.08 \times 10^9$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	116	171	MPa
		せん断	0.80	51	139	MPa
バッチ処理タンク 用弁スキッド	本体	転倒	0.80	$1.18 \times 10^7$	$1.85 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	-	-	MPa
		せん断	0.80	13	139	MPa
循環タンク スキッド	本体	転倒	0.80	$8.97 \times 10^8$	$4.94 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	112	165	MPa
		せん断	0.80	55	139	MPa
循環タンク 用弁スキッド	本体	転倒	0.80	$1.21 \times 10^7$	$1.16 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	1	180	MPa
		せん断	0.80	17	139	MPa
スラリー移送ポンプ スキッド	本体	転倒	0.80	$4.00 \times 10^6$	$5.75 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	-	-	MPa
		せん断	0.80	10	139	MPa
クロスフローフィルタ スキッド1	本体	転倒	0.80	$1.52 \times 10^8$	$1.40 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	4	180	MPa
		せん断	0.80	36	139	MPa
デカントタンク スキッド	本体	転倒	0.80	$1.05 \times 10^9$	$7.95 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	44	73	MPa
		せん断	0.80	112	139	MPa
共沈・供給タンク スキッド	本体	転倒	0.80	$2.04 \times 10^8$	$1.56 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	11	180	MPa
		せん断	0.80	35	139	MPa
クロスフローフィルタ スキッド2	本体	転倒	0.80	$2.53 \times 10^8$	$2.11 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	14	166	MPa
		せん断	0.80	54	139	MPa
吸着塔入口 バッファタンク スキッド	本体	転倒	0.80	$1.92 \times 10^8$	$1.04 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	57	180	MPa
		せん断	0.80	27	139	MPa
ブースターポンプ1 スキッド	本体	転倒	0.80	$5.69 \times 10^6$	$7.62 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	-	-	MPa
		せん断	0.80	11	139	MPa
ブースターポンプ2 スキッド	本体	転倒	0.80	$5.41 \times 10^6$	$8.36 \times 10^6$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	-	-	MPa
		せん断	0.80	11	139	MPa

※引張評価の算出値「-」については、引張応力が作用していない。

表 10 : スキッド耐震評価結果 (4 / 5)

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
吸着塔 1~14 スキッド 1	本体	転倒	0.80	$3.32 \times 10^8$	$2.28 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	35	177	MPa
		せん断	0.80	47	139	MPa
吸着塔 1~14 スキッド 2	本体	転倒	0.80	$2.94 \times 10^8$	$1.91 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	34	180	MPa
		せん断	0.80	41	139	MPa
吸着塔 1~14 スキッド 3	本体	転倒	0.80	$2.94 \times 10^8$	$1.91 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	34	180	MPa
		せん断	0.80	41	139	MPa
吸着塔 1~14 スキッド 4	本体	転倒	0.80	$2.70 \times 10^8$	$1.88 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	27	180	MPa
		せん断	0.80	39	139	MPa
吸着塔 15, 16 スキッド	本体	転倒	0.80	$2.03 \times 10^8$	$9.33 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	18	158	MPa
		せん断	0.80	11	121	MPa
処理カラム スキッド	本体	転倒	0.80	$2.30 \times 10^8$	$1.43 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	31	180	MPa
		せん断	0.80	28	139	MPa
出口移送 スキッド	本体	転倒	0.80	$6.93 \times 10^7$	$9.77 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	-	-	MPa
		せん断	0.80	40	139	MPa
ALPS入口弁 スキッド (I)	本体	転倒	0.80	$4.19 \times 10^7$	$6.14 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	-	-	MPa
		せん断	0.80	10	139	MPa
ALPS入口弁 スキッド (II)	本体	転倒	0.80	$6.96 \times 10^6$	$1.42 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	-	-	MPa
		せん断	0.80	7	139	MPa
ALPS出口弁 スキッド	本体	転倒	0.80	$1.46 \times 10^7$	$2.27 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	-	-	MPa
		せん断	0.80	6	139	MPa
排水タンク スキッド	本体	転倒	0.80	$6.44 \times 10^7$	$8.44 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	-	-	MPa
		せん断	0.80	40	139	MPa
HIC遮へい体	本体	転倒	0.80	$2.07 \times 10^8$	$2.05 \times 10^8$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.80	1	173	MPa
		せん断	0.80	50	139	MPa

※引張評価の算出値「-」については、引張応力が作用していない。

表 10 : スキッド耐震評価結果 (5 / 5)

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
炭酸ソーダ供給ポンプ スキッド	本体	転倒	0.36	$3.86 \times 10^6$	$1.05 \times 10^7$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	7	141	MPa
共沈タンク用薬液弁 スキッド	本体	転倒	0.36	$7.05 \times 10^5$	$6.05 \times 10^5$	N・mm
	基礎 ボルト	引張	0.36	1	183	MPa
		せん断	0.36	2	141	MPa

#### 1.2.4 高性能容器

##### (1) 構造強度評価

高性能容器本体は、ポリエチレン製の容器であり設計・建設規格の要求に適合するものではない。しかしながら、高性能容器（タイプ 1）は、米国において低レベル放射性廃棄物の最終処分に使用されている容器であり、米国 NRC（Nuclear Regulatory Commission, 原子力規制委員会）から権限を委譲されたサウスカロライナ州健康環境局（S.C. Department of Health and Environmental Control）の認可を得ており、多数の使用実績がある。また、高性能容器（タイプ 1）から更に落下に対する強度を向上させた高性能容器（タイプ 2）を併せて使用する。

##### a. 重量に対する評価

- 高性能容器（タイプ 1）は設計収容重量約 4.5t で米国認可を受けており、多核種除去設備で使用する場合の収容物重量は最大 3.5t であることから設計収容重量に対して十分な裕度がある。高性能容器（タイプ 2）は多核種除去設備で使用する場合の収容物重量を最大 3.2t としている。

- 多核種除去設備で使用する場合の高性能容器の補強体等を含んだ総重量はタイプ 1 で約 5.2t、タイプ 2 で約 4.7t である。これに対し、設計総重量は裕度を考慮しタイプ 1 において 6.0t、タイプ 2 において 5.5t として、高性能容器の転倒評価及び吊り上げ時の吊り耳の構造強度確認を行っている。

高性能容器は、交換時にクレーンによる吊り上げ作業が発生するため、その際の吊り耳の強度評価を実施した。評価の結果、吊り耳の強度が確保されることを確認した（表 11）。

(a) 高性能容器 (タイプ 1)

吊り耳に作用する引張応力 :

$$\sigma_1 = \frac{m \times g}{A1 \times n}$$

但し,  $A1 = w1 \times t$

吊り耳に作用するせん断応力 :

$$\tau_1 = \frac{m \times g}{A2 \times n}$$

但し,  $A2 = w2 \times t$

吊り耳 (溶接部) に作用するせん断応力 :

$$\tau_2 = \frac{m \times g}{A3 \times n}$$

但し,  $A3 = \sum(al)$

$$= (w3+t) \times a \times 2$$

m : 機器重量

g : 重力加速度

n : 吊り耳考慮本数

w1 : 吊り耳幅

w2 : 吊り耳幅

t : 吊り耳厚さ

A1 : 引張荷重が作用する吊り耳断面積 / 本

A2 : せん断荷重が作用する吊り耳断面積 / 本

$\sigma_1$  : 吊り耳に作用する引張応力 (MPa)

$\tau_1$  : 吊り耳に作用するせん断応力 (MPa)

w3 : 吊り耳幅 (下端)

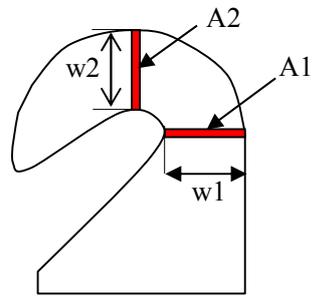
a : 各すみ肉溶接のど厚

l : 各すみ肉溶接の長さ

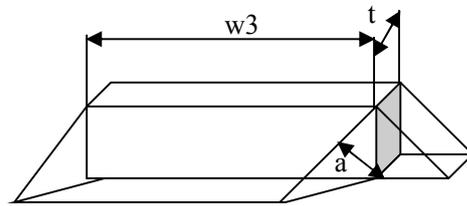
A3 : 吊り耳溶接部の面積

$\tau_2$  : 吊り耳溶接部に作用するせん断応力

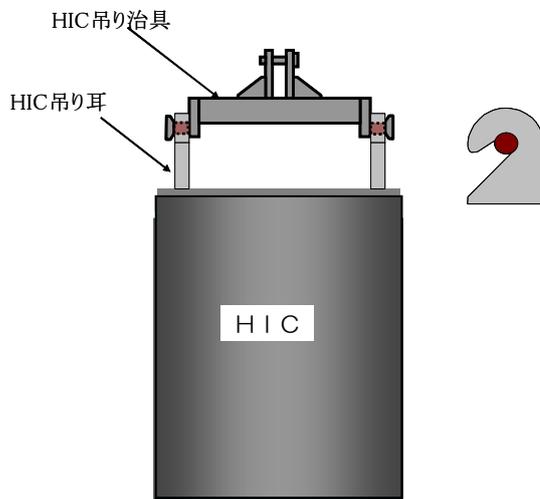
$\beta$  : 溶接部係数



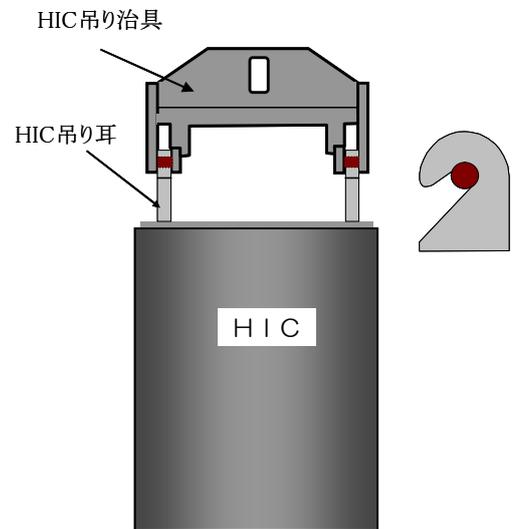
吊り耳



吊り耳 (溶接部)



HIC 吊り上げ条件  
(多核種除去設備設置エリア)



HIC 吊り上げ条件  
(一時保管施設)

(b) 高性能容器 (タイプ 2)

吊り耳に作用する引張応力：

$$\sigma_1 = \frac{m \times g}{A1 \times n}$$

但し,  $A1 = w1 \times t$

吊り耳に作用するせん断応力：

$$\tau_1 = \frac{m \times g}{A2 \times n}$$

但し,  $A2 = w2 \times t$

吊り耳 (溶接部) に作用するせん断応力：

$$\tau_2 = \frac{m \times g}{A3 \times n}$$

但し,  $A3 = \sum(al)$

$$= (w3+t) \times a \times 2$$

m : 機器重量

g : 重力加速度

n : 吊り耳考慮本数

w1 : 吊り耳幅

w2 : 吊り耳幅

t : 吊り耳厚さ

A1 : 引張荷重が作用する吊り耳断面積 / 本

A2 : せん断荷重が作用する吊り耳断面積 / 本

$\sigma_1$  : 吊り耳に作用する引張応力 (MPa)

$\tau_1$  : 吊り耳に作用するせん断応力 (MPa)

w3 : 吊り耳幅 (下端)

a : 各すみ肉溶接のど厚

l : 各すみ肉溶接の長さ

A3 : 吊り耳溶接部の面積

$\tau_2$  : 吊り耳溶接部に作用するせん断応力

$\beta$  : 溶接部係数

表 1 1 高性能容器 (タイプ 1, 2) 強度評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	算出値	許容値	単位
高性能容器 (タイプ 1)	吊り耳	引張	11	116	MPa
		せん断	12	67	
	吊り耳 (溶接部)	せん断	6	30	
高性能容器 (タイプ 2)	吊り耳	引張	7	136	MPa
		せん断	7	78	
	吊り耳 (溶接部)	せん断	5	35	

b. 圧力に対する評価

高性能容器（タイプ 1）の外圧に対する設計圧力は 25 kPa である。多核種除去設備で用いる高性能容器の外圧は屋外設置のため大気圧程度であることから、設計圧力を満足している。なお、高性能容器（タイプ 2）については外圧に対する設計要求はないが、高性能容器（タイプ 1）と同一の材質及び厚さであることから、同程度の強度を有していると考えられる。

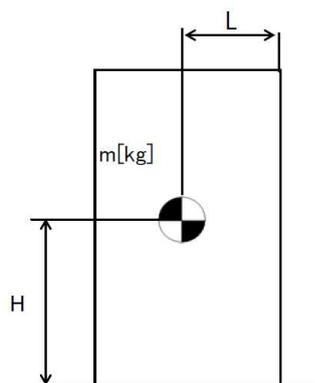
一方、内圧に対しては、高性能容器（タイプ 1）は、米国認可に当たり 50kPa で試験を行い、容器に歪みがないことを確認している。

また、高性能容器の工場製作段階において、タイプ 1, 2 とも最大 50kPa で試験を行い、容器に漏えいがないことを確認している。なお、これらの容器には、ベント機能を設けていることから、多核種除去設備で使用する際の内圧は、静水頭程度となるため、試験圧力を満足している。

(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く，転倒しないことを確認した（表12）。



$C_H$  : 水平方向設計震度

$m$  : 機器重量

$g$  : 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

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

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

表12 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
高性能容器（タイプ1） （補強体付き）	本体	転倒	0.36	$2.04 \times 10^7$	$4.56 \times 10^7$	N・mm
			0.80	$4.19 \times 10^7$		
高性能容器（タイプ2） （補強体付き）	本体	転倒	0.36	$1.91 \times 10^7$	$4.03 \times 10^7$	N・mm
			0.80	$3.84 \times 10^7$		

b. 滑動評価

一時保管施設（第二施設）貯蔵時の高性能容器について、地震時の水平荷重によるすべり力と接地面の摩擦力を比較することにより、滑動評価を実施した。評価の結果、地震時の水平荷重によるすべり力は、接地面の摩擦力より小さいことから、滑動しないことを確認した（表13）。なお、本評価は鋼製の補強体付き高性能容器をコンクリート製のボックスカルバート上に設置した際の評価であり、実際の高性能容器貯蔵時はボックスカルバート底面にゴム製の緩衝材を設置するため、滑動はさらに生じ難くなると考える。

水平震度を0.60まで拡張した評価では、地震時の水平荷重によるすべり力が設置面の摩擦力より大きくなり、滑動する結果となる。この結果高性能容器がボックスカルバート内面に、あるいは高性能容器が相互に接触することが想定されるが、地震応答加速度時刻歴をもとに算出した設置床に対する相対速度は最大でも0.5m/秒未満にとどまり、添付5に示す高さ4.5mから（タイプ1）あるいは高さ7.1mから（タイプ2）の落下試験における衝突速度（それぞれ9.3m/秒あるいは11.8m/秒）より十分小さな速度でしか接触しないと見込まれることから、高性能容器の健全性に影響を及ぼすことはない。

高性能容器とボックスカルバートの間隔が更に小さい第三施設においては接触時の速度は更に小さくなり、健全性評価は上記に内包される。

表13 滑動評価結果

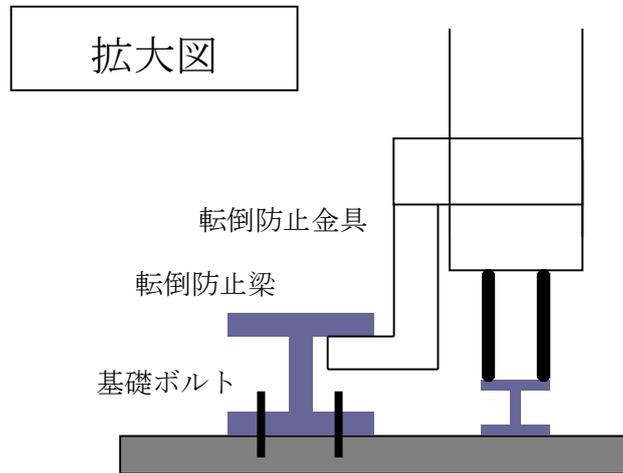
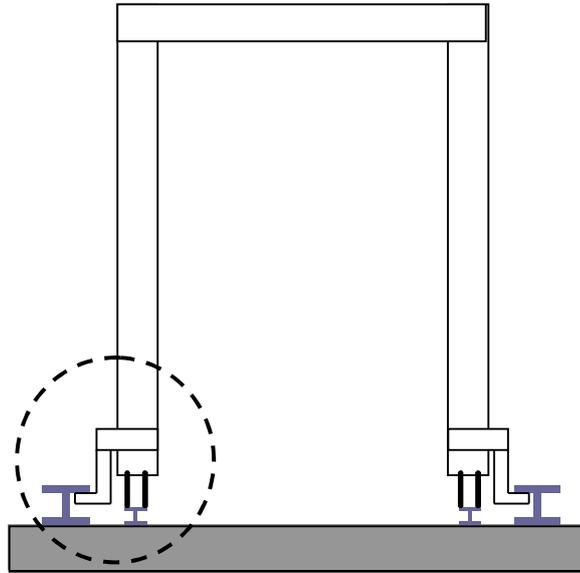
機器名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
高性能容器 (タイプ1及びタイプ2) (補強体付き)	滑動	0.36	0.36	0.40	—
		0.60	0.60	0.40	

### 1.2.5 クレーン類

#### (1)耐震性評価

##### a. 基礎ボルト等の強度評価

耐震設計技術規程並びに「クレーン構造規格」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・転倒防止金具・転倒防止梁の強度が確保されることを確認した（表14）。



b. 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が自重による安定モーメントより小さくなるものについては、転倒しないことを確認した。また、地震による転倒モーメントが自重による安定モーメントより大きくなるものについては、a. での計算により基礎ボルト・転倒防止金具・転倒防止梁の強度が確保されることから転倒しないことを確認した（表14）。

表14：クレーン類耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
高性能容器 交換用クレーン	本体	転倒	0.36	$5.47 \times 10^4$	$7.44 \times 10^4$	kg・m
	基礎ボルト	引張	0.36	-	-	Kg
	転倒防止金具	変形	0.36	-	-	N/mm <sup>2</sup>
	転倒防止梁	変形	0.36	-	-	N/mm <sup>2</sup>
	本体	転倒	0.80	$1.21 \times 10^5$	$7.44 \times 10^4$	kg・m
	基礎ボルト	引張	0.80	542	1435	kg
	転倒防止金具	変形	0.80	37.7	175	N/mm <sup>2</sup>
	転倒防止梁	変形	0.80	12.4	175	N/mm <sup>2</sup>
処理カラム 交換用クレーン	本体	転倒	0.36	$2.24 \times 10^4$	$2.25 \times 10^4$	kg・m
	基礎ボルト	引張	0.36	-	-	kg
	転倒防止金具	変形	0.36	-	-	N/mm <sup>2</sup>
	転倒防止梁	変形	0.36	-	-	N/mm <sup>2</sup>
	本体	転倒	0.80	$4.96 \times 10^4$	$2.25 \times 10^4$	kg・m
	基礎ボルト	引張	0.80	467	1435	kg
	転倒防止金具	変形	0.80	32.5	175	N/mm <sup>2</sup>
	転倒防止梁	変形	0.80	10.7	175	N/mm <sup>2</sup>

※ 算出値「-」については、引張荷重・応力が作用していない。

## 1.2.6 配管

### 1.2.6.1 構造強度評価

#### 1.2.6.1.1 配管（鋼管）

##### 1.2.6.1.1.1 評価箇所

強度評価箇所を図－1に示す。



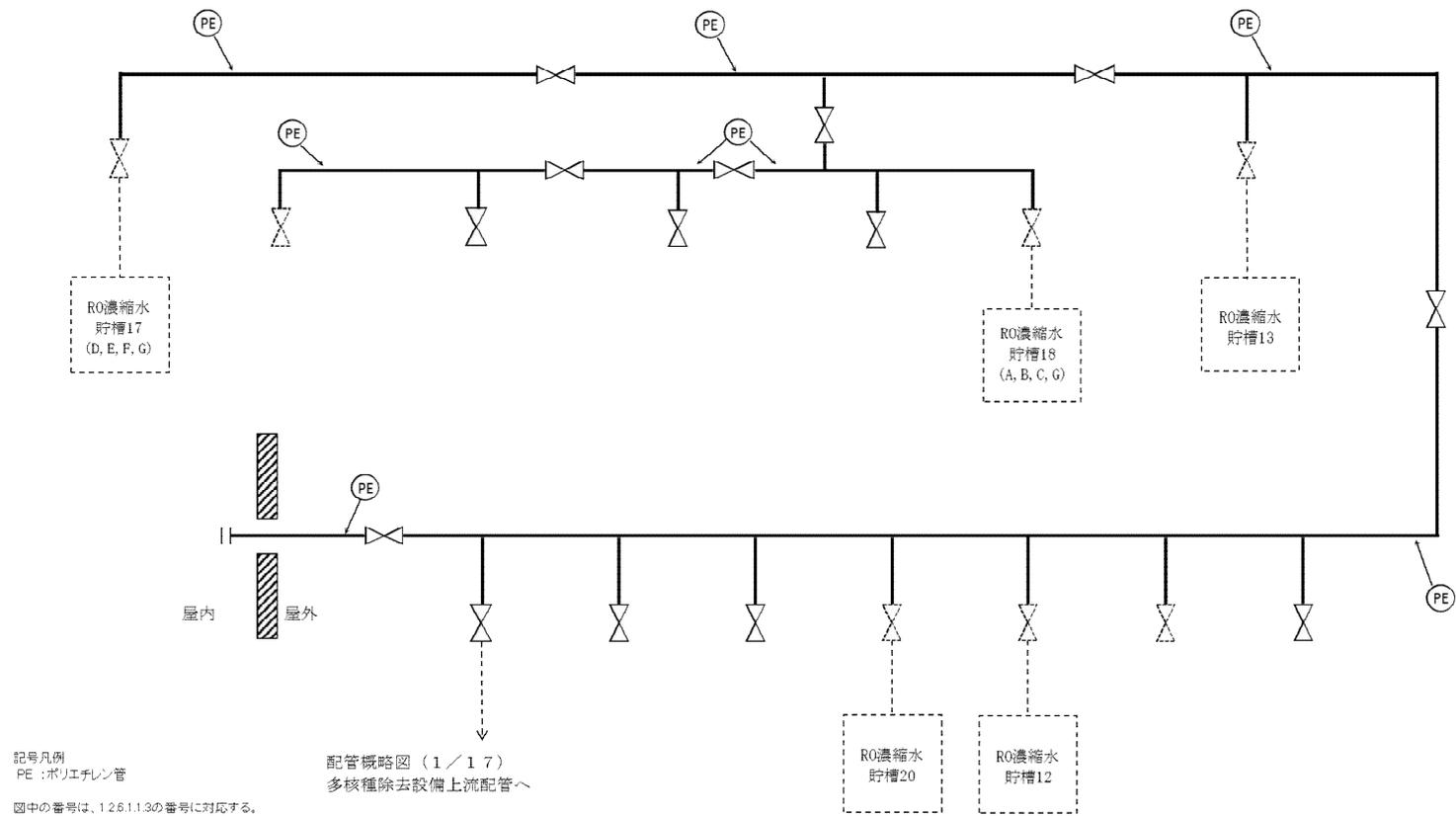
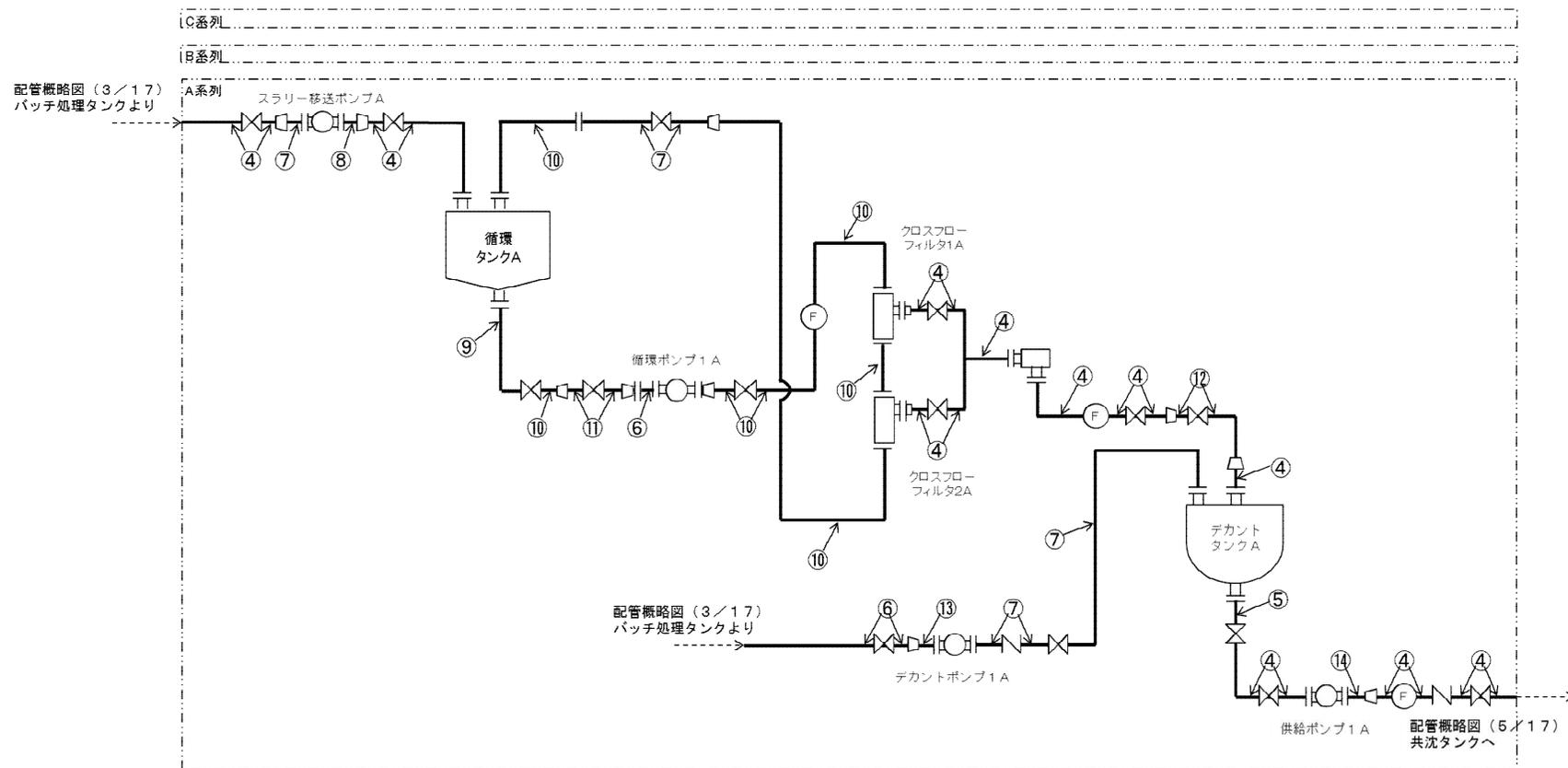


図-1 配管概略図 (2 / 17)





図中の番号は、12611.2の番号に対応する。

図-1 配管概略図(4/17)

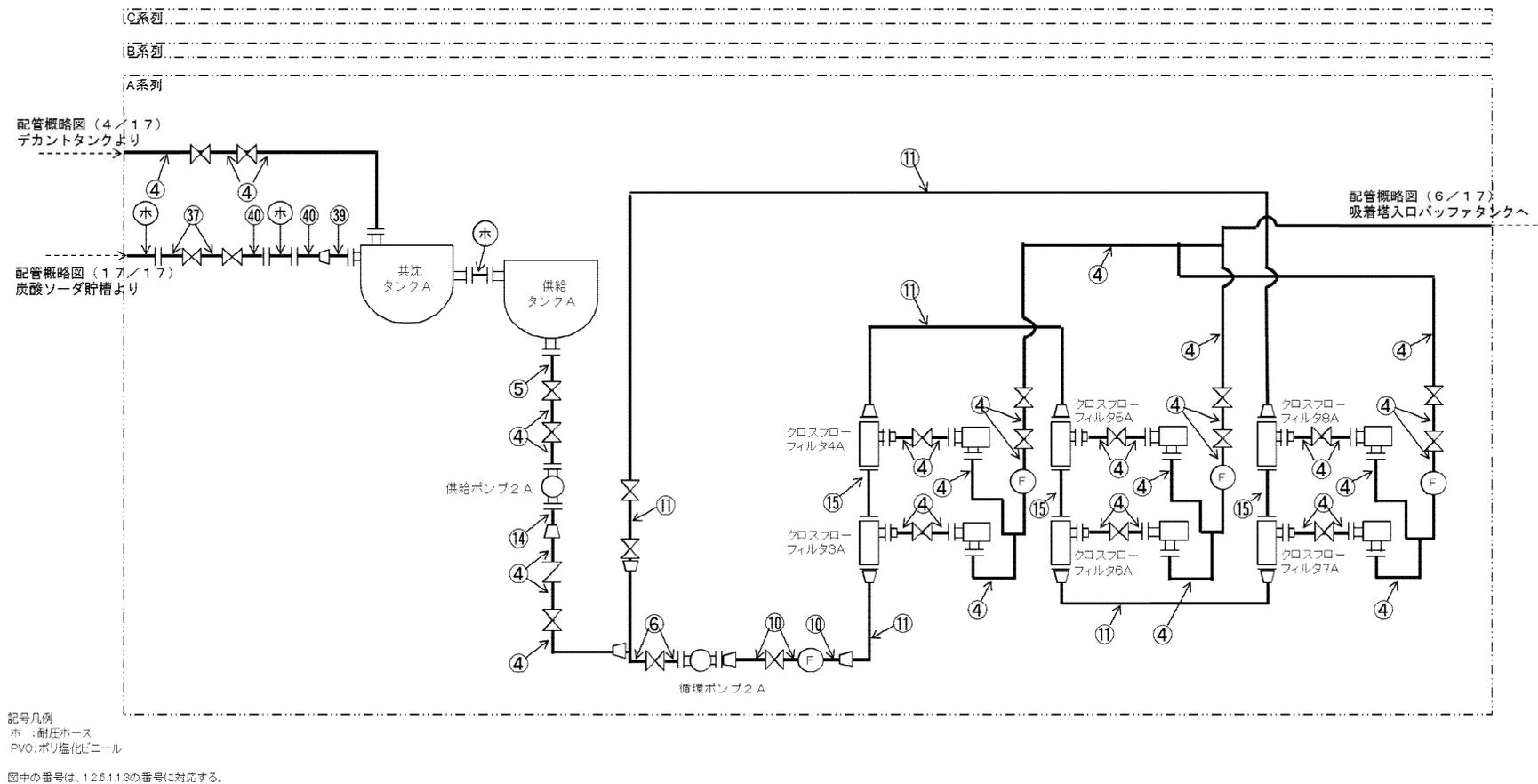
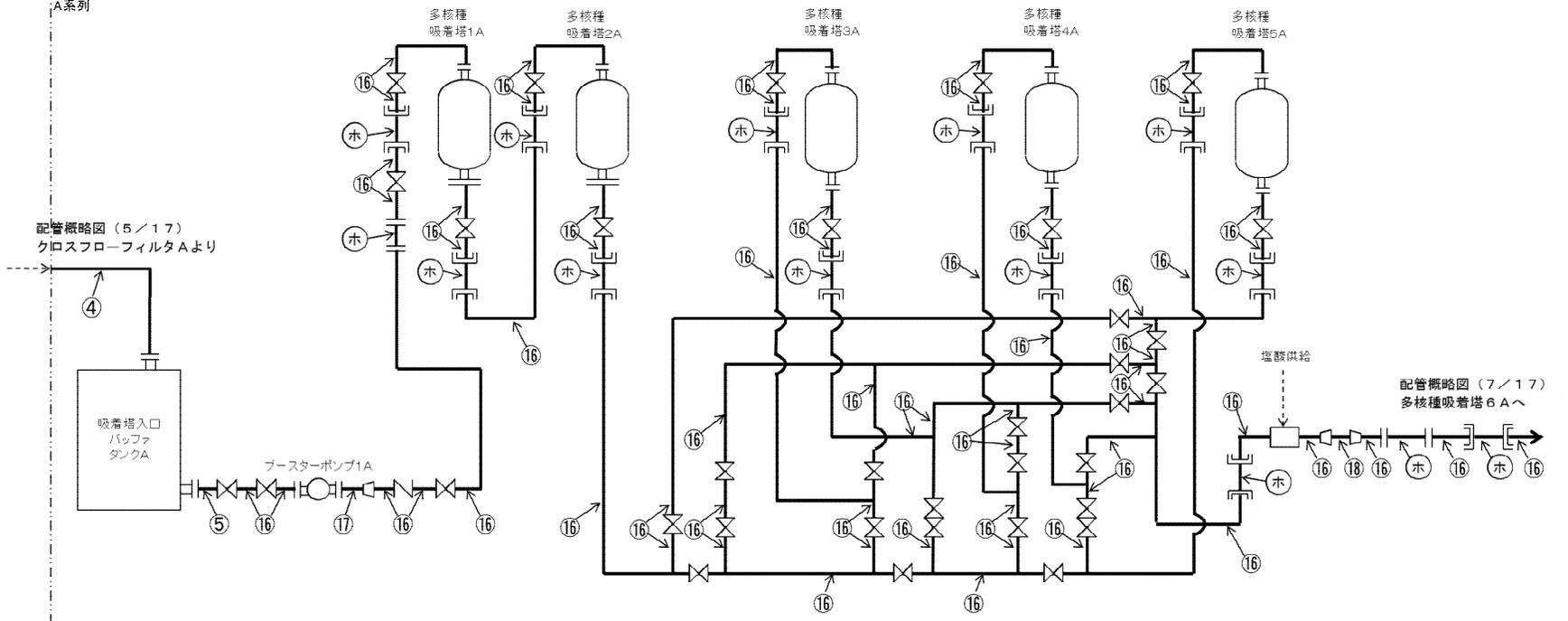


図-1 配管概略図(5/17)

C系列

B系列

A系列



配管概略図 (5 / 17)  
クロスフローフィルタAより

配管概略図 (7 / 17)  
多核種吸着塔 6 Aへ

記号凡例  
ホ : 耐圧ホース

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

図-1 配管概略図 (6 / 17)

II-2-16-1-添2-41

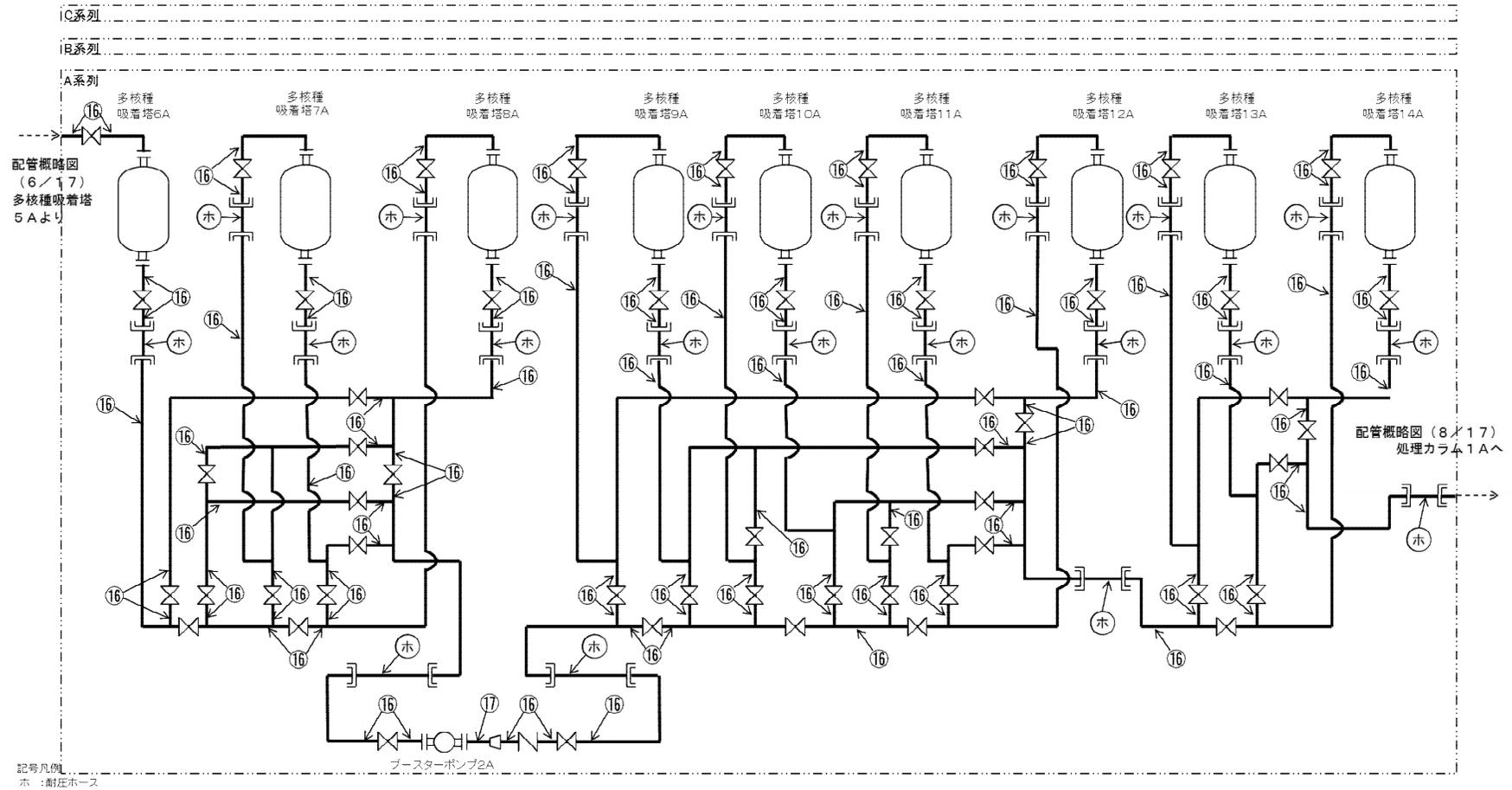


図-1 配管概略図 (7 / 17)

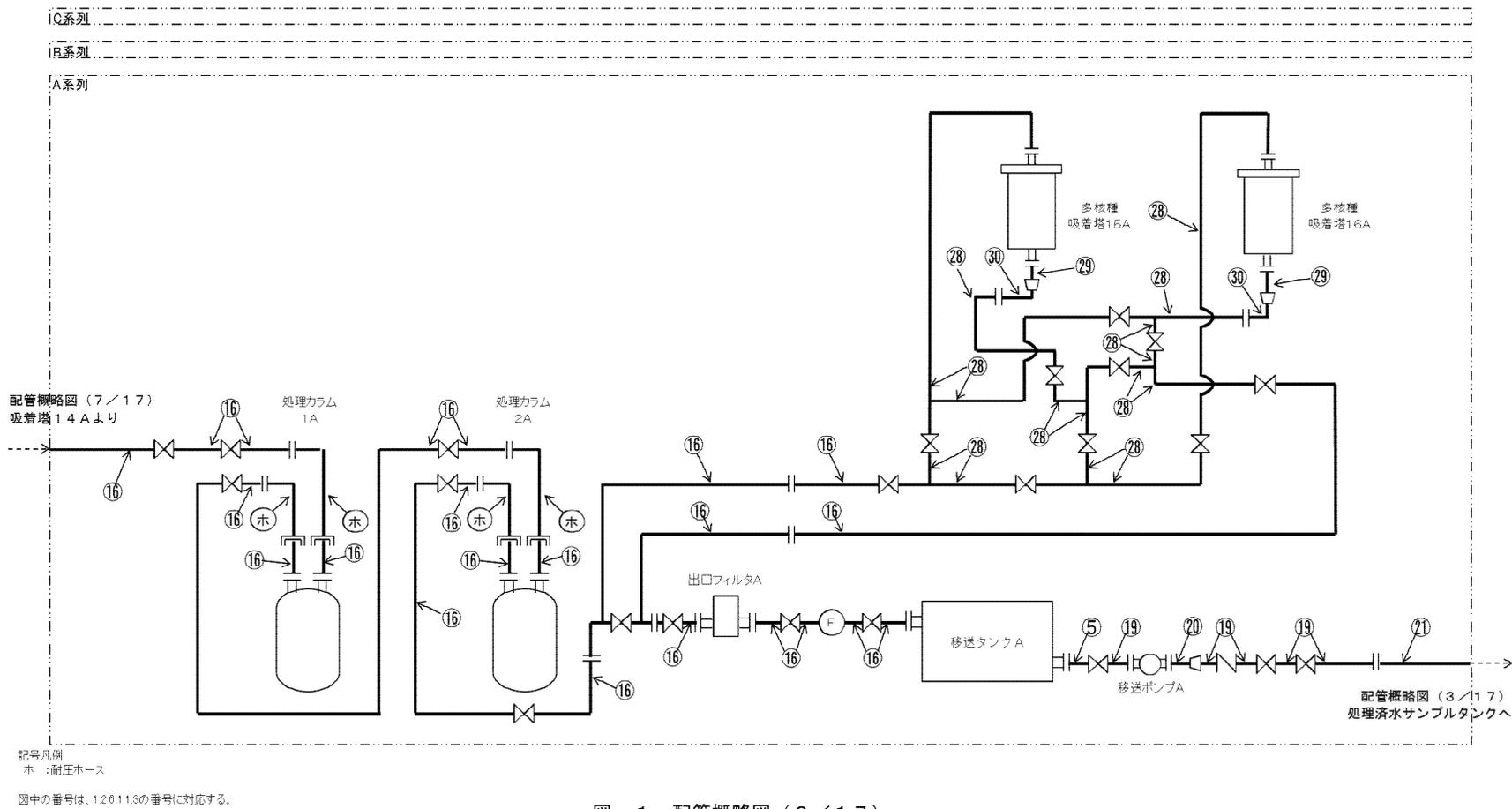
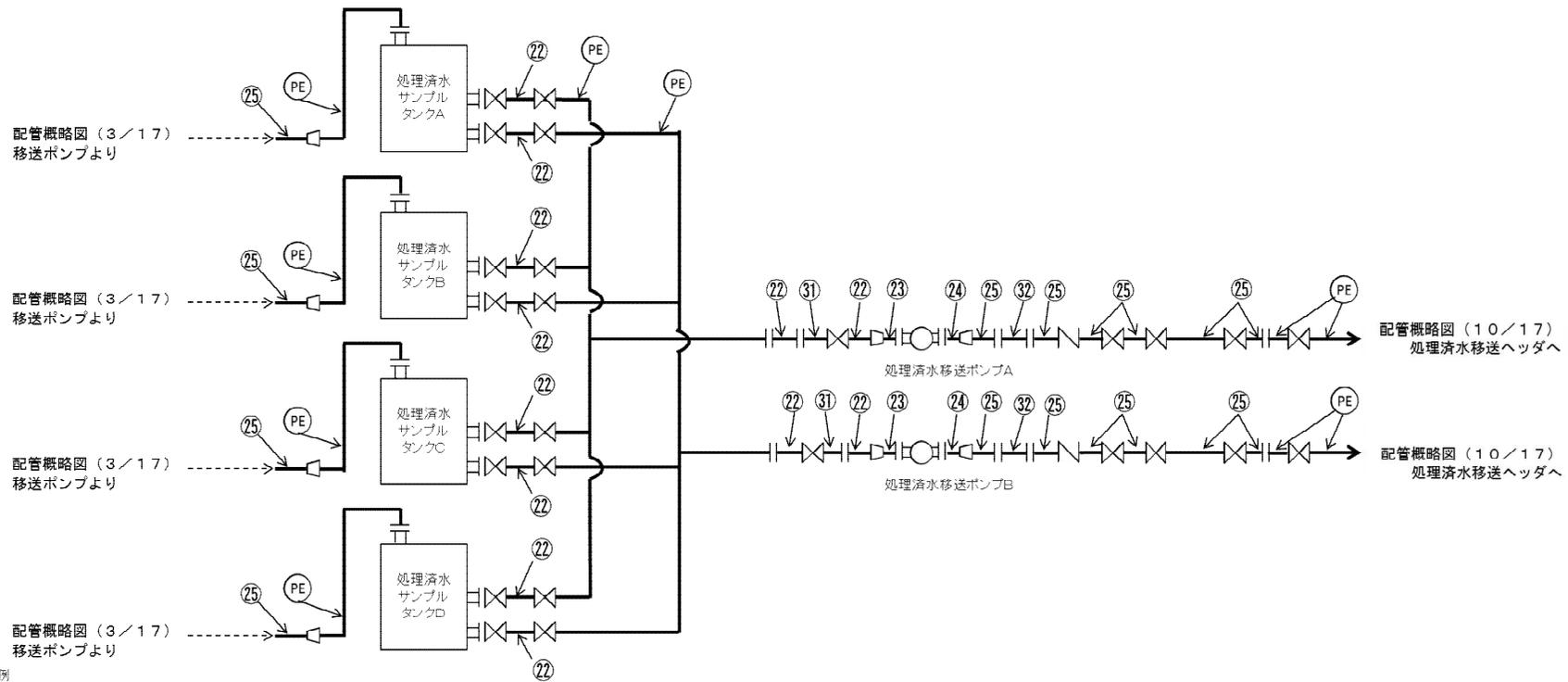


図-1 配管概略図 (8 / 17)



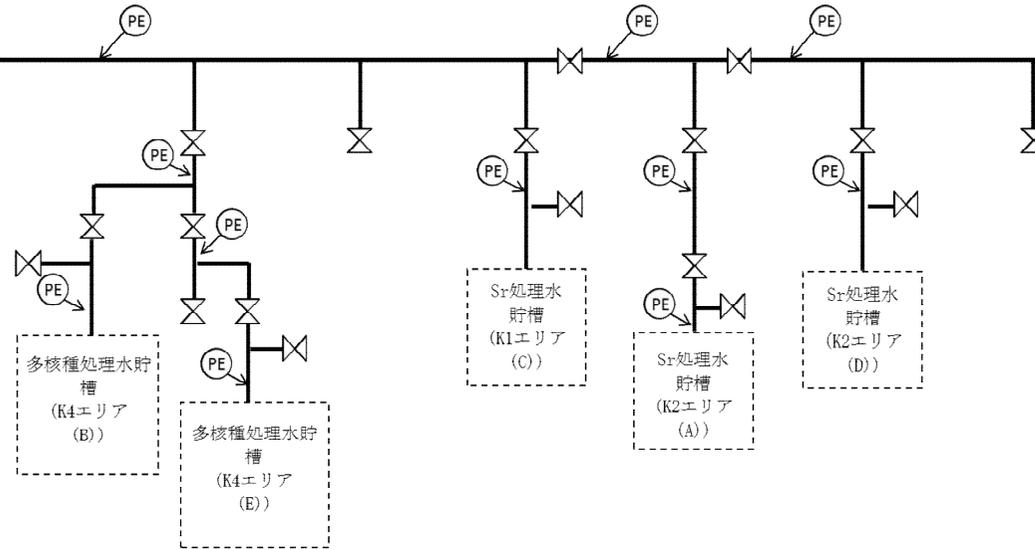
記号凡例  
PE :ポリエチレン管

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

図-1 配管概略図 (9 / 17)



配管概略図(10/17)  
処理済水移送配管より



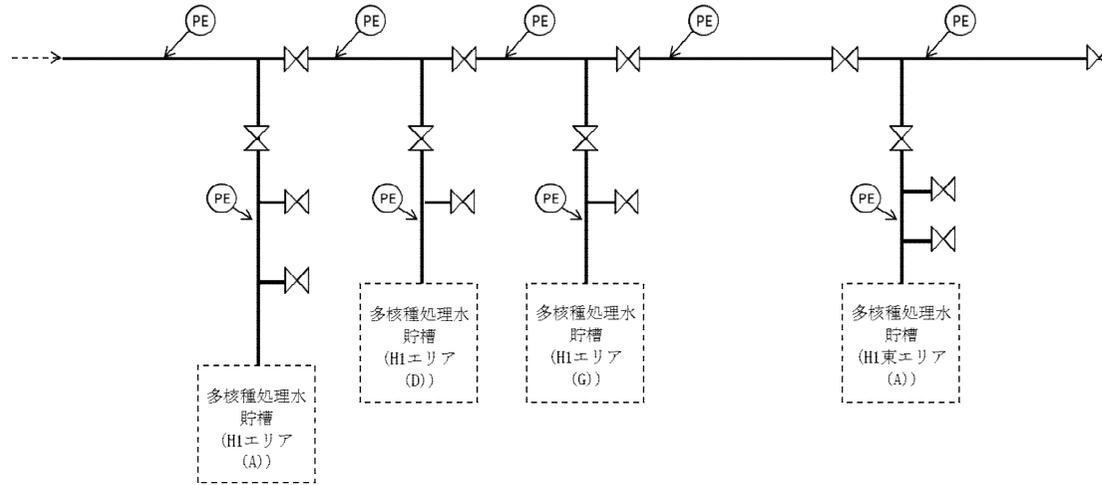
記号凡例  
PE : ポリエチレン管

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

※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-1 配管概略図 (11/17)

配管概略図(10/17)  
処理済水移送配管より



記号凡例  
PE : ポリエチレン管

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

※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-1 配管概略図(12/17)

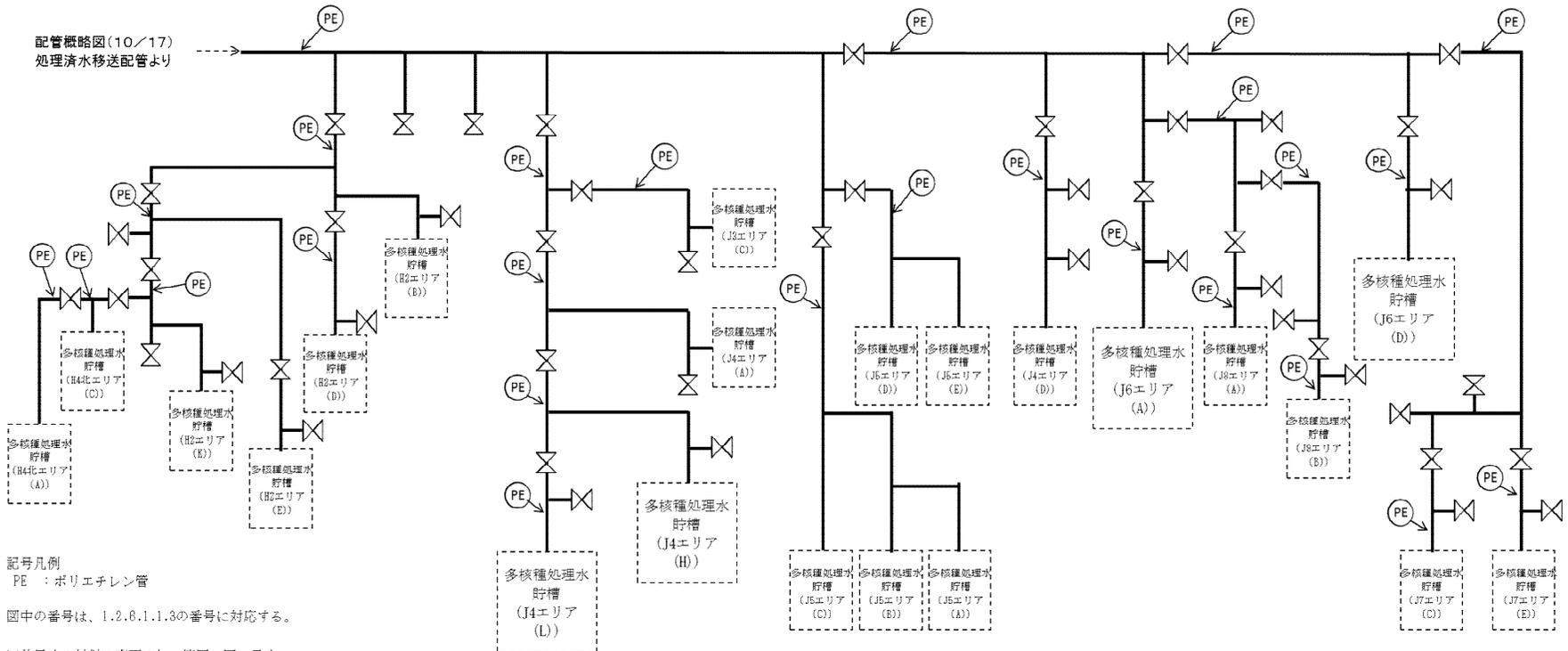
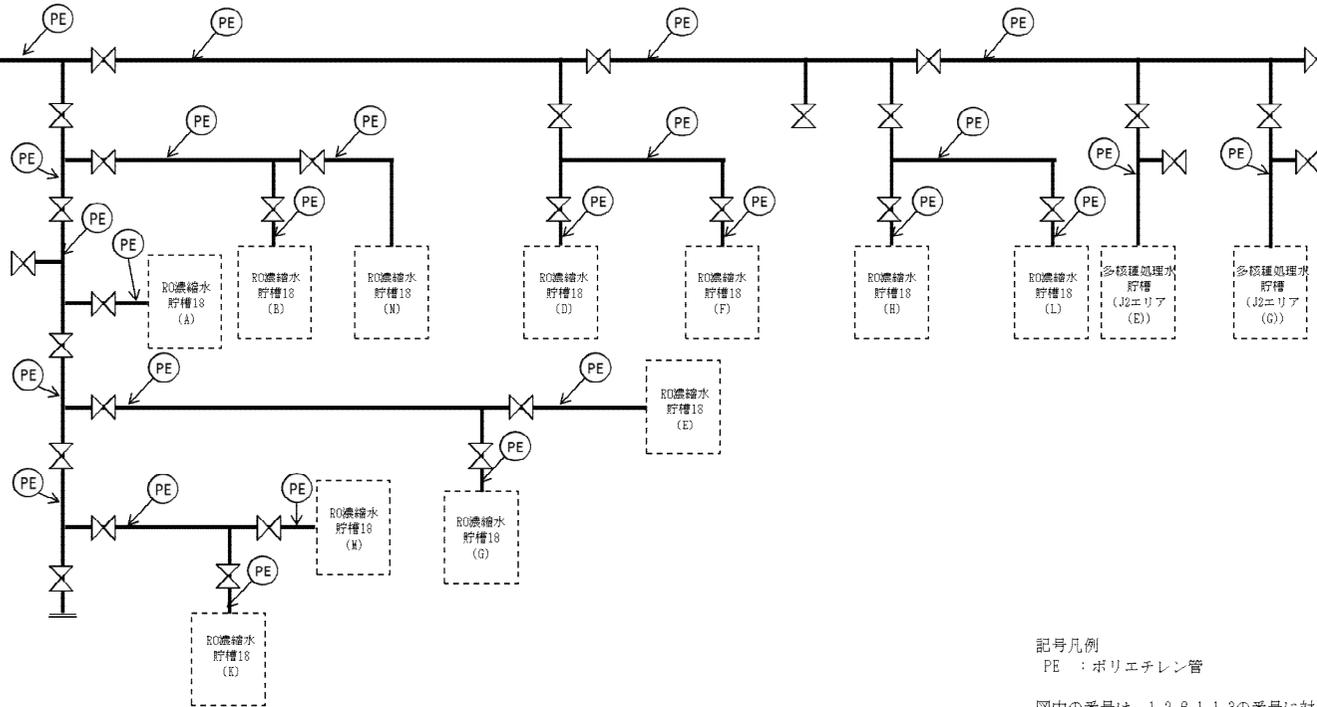


図-1 配管概略図 (13/17)

配管概略図(10/17)  
処理済水移送配管より

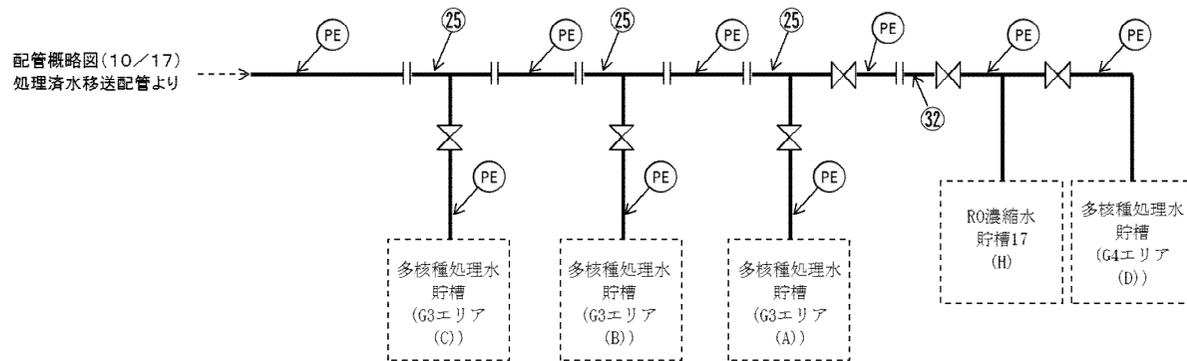


記号凡例  
PE : ポリエチレン管

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

※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-1 配管概略図(14/17)



II-2-16-1-添2-50

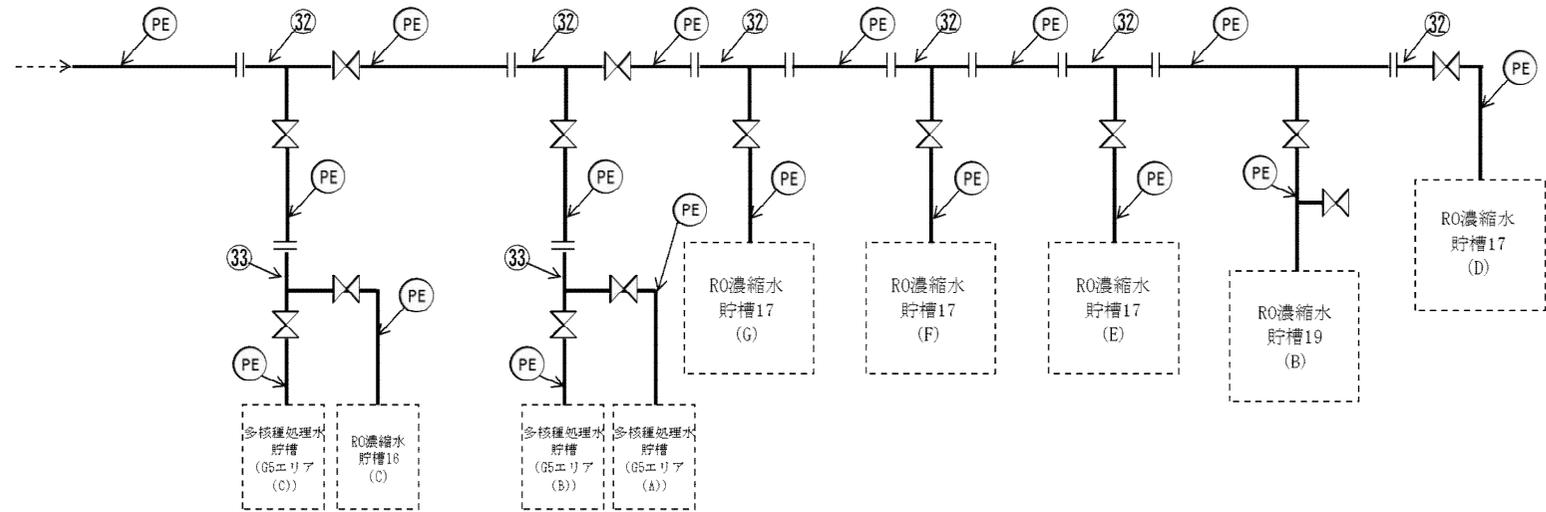
記号凡例  
PE : ポリエチレン管

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

※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-1 配管概略図 (15/17)

配管概略図(10/17)  
処理済水移送配管より



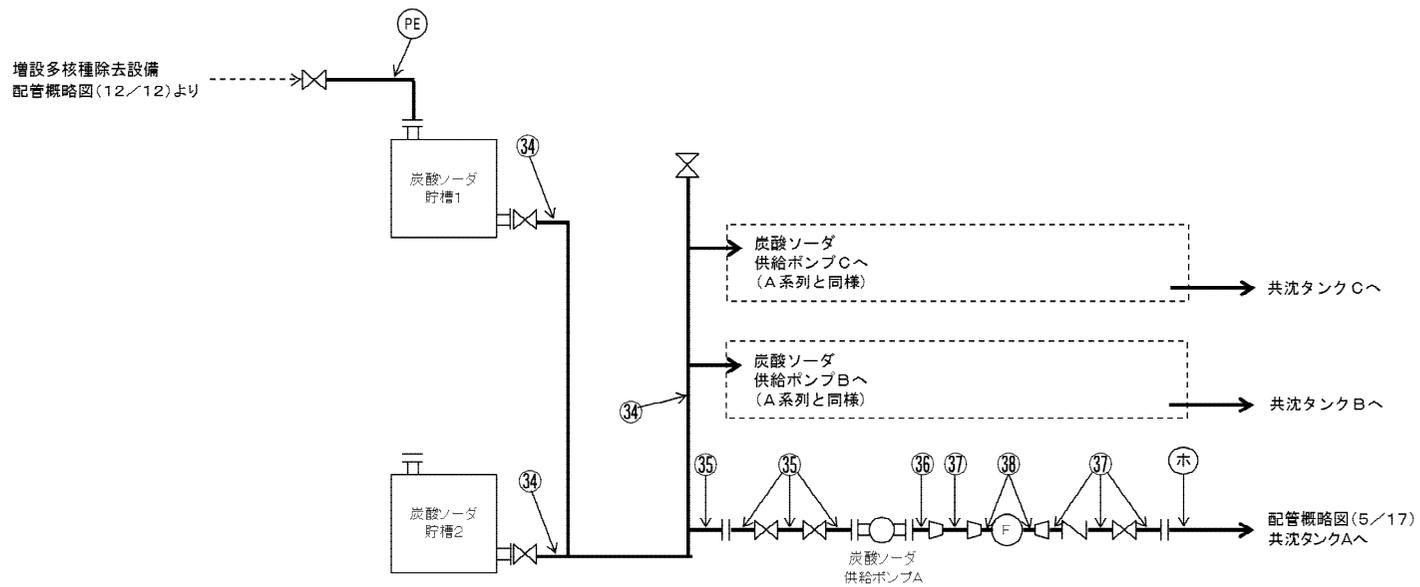
記号凡例

PE :ポリエチレン管

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

※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-1 配管概略図(16/17)



記号凡例  
PE : ポリエチレン管  
ホ : 耐圧ホース

図中の番号は、1.2.0.1.1.3の番号に対応する。

図-1 配管概略図 (17/17)

1.2.6.1.1.2 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)  
 $\eta$  : 継手効率 (-)

b. 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小必要厚さ :  $t_2$

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

1.2.6.1.1.3 評価結果

評価結果を表-15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-15 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	STPG370	1.15	40	3.40	7.52
2	60.50	STPG370	1.15	40	2.40	4.81
3	60.50	STPG370	0.98	60	2.40	4.81
4	60.50	SUS316L	0.98	60	0.28	3.40
5	60.50	SUS316L	静水頭	60	—	3.40
6	165.20	SUS316L	0.98	60	0.74	6.21
7	114.30	SUS316L	0.98	60	0.52	5.25
8	76.30	SUS316L	0.98	60	0.35	4.55
9	216.30	SUS316L	静水頭	60	—	7.17
10	216.30	SUS316L	0.98	60	0.97	7.17
11	267.40	SUS316L	0.98	60	1.20	8.13
12	34.00	SUS316L	0.98	60	0.16	2.90
13	139.80	SUS316L	0.98	60	0.63	5.77
14	42.70	SUS316L	0.98	60	0.20	3.10

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)
15	318.50	SUS316L	0.98	60	1.43	9.01
16	60.50	SUS316L	1.37	60	0.38	3.40
17	42.70	SUS316L	1.37	60	0.27	3.10
18	89.10	SUS316L	1.37	60	0.56	4.81
19	60.50	SUS316L	1.15	60	0.32	3.40
20	42.70	SUS316L	1.15	60	0.23	3.10
21	60.50	STPG370	1.15	60	2.40	4.81
22	165.20	STPG370	0.98	40	3.80	6.21
23	76.30	STPG370	0.98	40	2.70	4.55
24	48.60	STPG370	0.98	40	2.20	3.20
25	114.30	STPG370	0.98	40	3.40	5.25
26	216.30	STPG370	0.98	40	3.80	7.17
27	76.30	STPG370	1.15	40	2.70	6.12
28	60.50	SUS316L	0.7	60	0.20	3.40
29	114.30	STPG370	0.7	60	3.40	5.25
30	60.50	STPG370	0.7	60	2.40	3.40
31	165.20	SUS316L	0.98	40	0.73	6.21
32	114.30	SUS316L	0.98	40	0.51	5.25
33	114.30	SUS316L	1.00	40	0.52	5.25
34	139.80	SUS316L	0.5	40	0.32	5.77
35	76.30	SUS316L	0.5	40	0.18	4.55
36	60.50	SUS316L	0.5	40	0.14	3.40
37	48.60	SUS316L	0.5	40	0.11	3.20
38	34.00	SUS316L	0.5	40	0.08	2.90
39	76.30	SUS316L	0.5	60	0.18	4.55
40	48.60	SUS316L	0.5	60	0.12	3.20

注1) 継手類は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。

#### 1.2.6.1.2 配管（ポリエチレン管）

配管（ポリエチレン管）は鋼材ではなく、一般産業品であるため、設計・建設規格の要求に適合するものではない。しかしながら、配管（ポリエチレン管）は、一般に耐食性、電気特性（耐電気腐食）、耐薬品性を有しており、鋼管と同等の信頼性を有している。また、以下により高い信頼性を確保する。

- ・日本水道協会規格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。

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

#### 1.2.6.1.3 配管（耐圧ホース）

配管（耐圧ホース）は鋼材ではなく、一般産業品であるため、設計・建設規格の要求に適合するものではない。しかしながら、以下により高い信頼性を確保する。

- ・耐圧ホースで発生した過去の不適合のうち、チガヤによる耐圧ホースの貫通に関してはチガヤが生息する箇所においては鉄板敷き等の対策を施す。
- ・継手金属と樹脂の結合部（カシメ部）の外れ防止対策として、結合部に外れ防止金具を装着する。
- ・通水等による漏えい確認を行う。

### 1.2.6.2 耐震性評価

#### 1.2.6.2.1 配管（鋼管）

配管（鋼管）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等によりサポートスパンを確保する。

#### 1.2.6.2.2 配管（ポリエチレン管）

配管（ポリエチレン管）は、可撓性を有しており地震により有意な応力は発生しない。

#### 1.2.6.2.3 配管（耐圧ホース）

配管（耐圧ホース）は、可撓性を有しており地震により有意な応力は発生しない。

以上

## 多核種除去設備の具体的な安全確保策

多核種除去設備は、高濃度の放射能を扱う設備ため、漏えい防止対策、放射線遮へい・崩壊熱除去、可燃性ガス滞留防止について具体的に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防止等に対する考慮

## (1) 漏えい発生防止

- a. 処理対象水、処理済水の移送配管は、耐腐食性を有するポリエチレン管、ステンレスの鋼管もしくは十分な肉厚を有する炭素鋼の鋼管を基本とする。(別添－１)
- b. 放射性流体を内包する配管のうち、ポリエチレン管より可撓性を有する配管を使用する必要がある箇所（各スキッド間、各吸着塔間、吸着材排出ライン、処理カラム取合部、脱水装置）は、耐圧ホース（EPDM；エチレンプロピレンジエンモノマー）を使用する。ただし、福島第一原子力発電所で発生した耐圧ホース（PVC；ポリ塩化ビニル）と継手金属との結合部（カシメ部）の外れ事象に鑑み、耐圧ホース（EPDM）と継手金属の結合部（カシメ部）に外れ防止金具を装着する。
- c. 吸着塔、処理カラムは、耐腐食性を有する SUS316L または炭素鋼（ゴムライニング付）とする。(別添－１)
- d. 高性能容器本体は、強度、耐腐食性、耐久性、耐放射線性、耐薬品性に優れたポリエチレンとする。(別添－１)
- e. 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、継手部に漏えい拡大防止カバーを設置する。
- f. タンク・槽類には水位検出器を設け、オーバーフローを防止する。
- g. 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。
- h. バックパルスポットは、シリンダシール部、軸シール部からの微少にじみによる炭酸塩の析出及び固着による動作不良が発生した経緯を踏まえ、軸シールの多重化等によるシール性を向上させた改良型バックパルスポットを使用する。
- i. バッチ処理タンクの腐食による漏えい事象を踏まえ、すき間腐食の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すととも腐食環境の促進となる次亜塩素酸の注入はしない。
- j. クロスフローフィルタのガスケットは、耐放射線性に優れる合成ゴム（EPDM）を使用する。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止・混水防止

- a. 多核種除去設備はスキッド毎に漏えいパンを設け、エリア外への漏えいを防止するとともに、漏えい検知器を設ける。また、多核種除去設備設置エリアの最外周及びその内側にも漏えいの拡大を防止する堰を設ける（図1）。最外周堰の高さは、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高さとする。施設外漏えいを防止する。さらに、カメラを設けて免震重要棟集中監視室またはシールド中央制御室で漏えいを監視する。
- b. 継手部は、漏えい拡大防止カバーで覆った上で中に吸水シートを入れ、漏えい水の拡大防止に努める。
- c. 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に警報を発生し、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、緊急停止スイッチにより多核種除去設備の運転を停止する。
- d. 漏えい水のコンクリートへの浸透を防止するため、多核種除去設備設置エリアには床塗装を実施する。
- e. 万一漏えいが発生した場合でも構内排水路を通じて環境に汚染水が放出することがないように、排水路から可能な限り隔離して配管等を敷設するとともに、排水路を跨ぐ箇所は、ボックス鋼内等に配管を敷設する。また、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嚢を設ける。
- f. 多核種除去設備の設置エリアは、エリア放射線モニタにより連続的に監視し、放射線レベルが高い場合には免震重要棟集中監視室、シールド中央制御室及び現場に警報を発生する。
- g. ポリエチレン管とポリエチレン管の接合部は漏えい発生を防止するため融着構造とすることを基本とし、ポリエチレン管と鋼管の取合い等でフランジ接続となる箇所については養生を行い、漏えい拡大防止を図る。
- h. 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。
- i. 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。
- j. 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、上記の措置に加えて、以下の対応を行う。  
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。

- k. 配管取付・取外し運用時の漏えい拡大防止策については、以下の対応を行う。  
配管の取付・取外し時には、開放する閉止フランジ部については養生を行い、さらに受けパンを設置する。
- l. 多核種除去設備の処理済水と逆浸透膜装置の廃水等の混水防止策については、以下の対応を行う。  
多核種除去設備の処理済水を移送しない場合は、適宜配管を取り外す運用とする。  
また、配管を接続した状態で逆浸透膜装置の廃水等を移送した場合でも混水を防止するため、逆止弁を設置し、隔離弁については2つ以上設置する。

※k,l については多核種除去設備の処理済水の系統と逆浸透膜装置の廃水等の系統をやむを得ず接続し、多核種除去設備の処理済水をE、H5北、H6北エリアへ移送する場合に適用する。

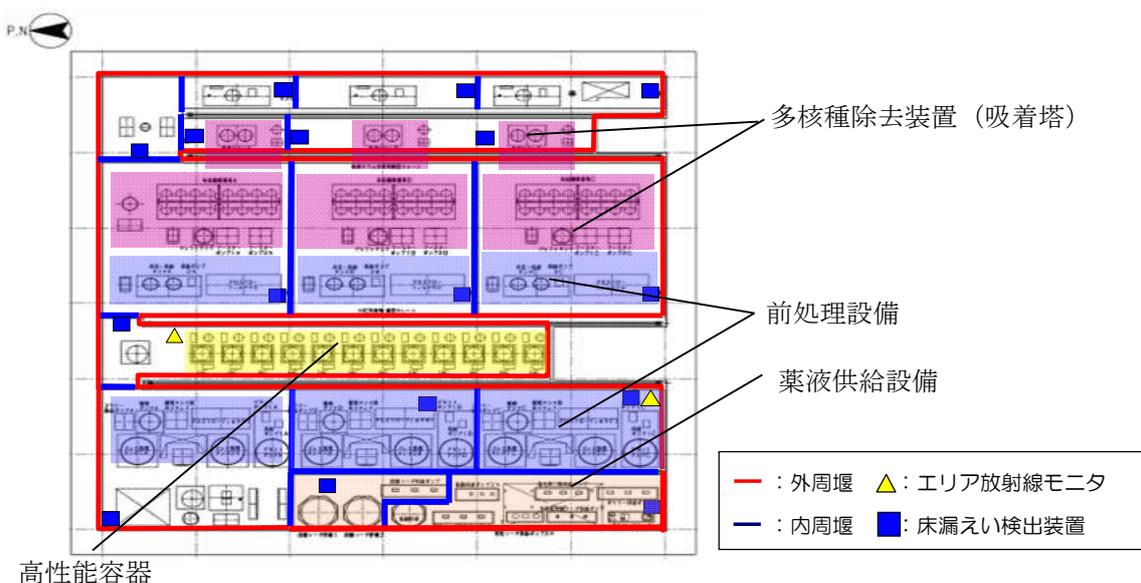


図1 堰及び床漏えい検出装置

## 2. 放射線遮へい・崩壊熱除去

### (1) 線源条件の設定

放射線遮へい・崩壊熱除去評価で必要となる高性能容器、各吸着塔での線源強度は、処理対象水の放射能濃度を、発電所構内で貯留しているR0濃縮塩水及び処理装置出口水のサンプリングデータから保守的に設定し、さらに、前処理設備、多核種除去装置での核種除去性能を考慮して決定する。

(2) 放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

- a. 多核種除去装置，高性能容器等からの放射線による雰囲気線量当量率（機器表面から1mの位置）が1mSv/h以下となるように遮へいを設ける（別添-2）。また，多核種除去設備からの直接線・スカイシャイン線による敷地境界での実効線量を低減するための遮へいをクロスフローフィルタスキッド及び循環弁スキッドに設ける。これらの対応により，最寄りの評価点(No. 66)における直接線・スカイシャイン線の評価結果は年間約0.30mSvとなる。

評価点	年間線量 (mSv/年)
No. 66	0.30
(参考) No. 70	0.14
(参考) No. 71	0.088

- b. ポンプ等の動的機器は，保守作業を考慮し遮へい体内が高線量雰囲気となる吸着塔スキッドとは区分して配置するとともに，作業スペースを確保する。さらに，保守作業時の放射線業務従事者の被ばく低減のため，機器のフラッシングが行える構成とする。
- c. 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に，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，運転操作等に係る放射線業務従事者の被ばく低減を図る。
- d. 高性能容器輸送時は，適切な遮へい機能を有する鋼製の容器に収容し，放射線業務従事者の被ばく低減を図る。

(3) 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，通水により熱除去する。
- b. 使用済みの吸着材あるいは沈殿処理生成物を収容する高性能容器，処理カラムのうち，最も発熱量が大きいストロンチウム吸着材を収容する高性能容器の貯蔵時においても，容器の健全性に影響を与えるものではない。

3. 可燃性ガスの滞留防止

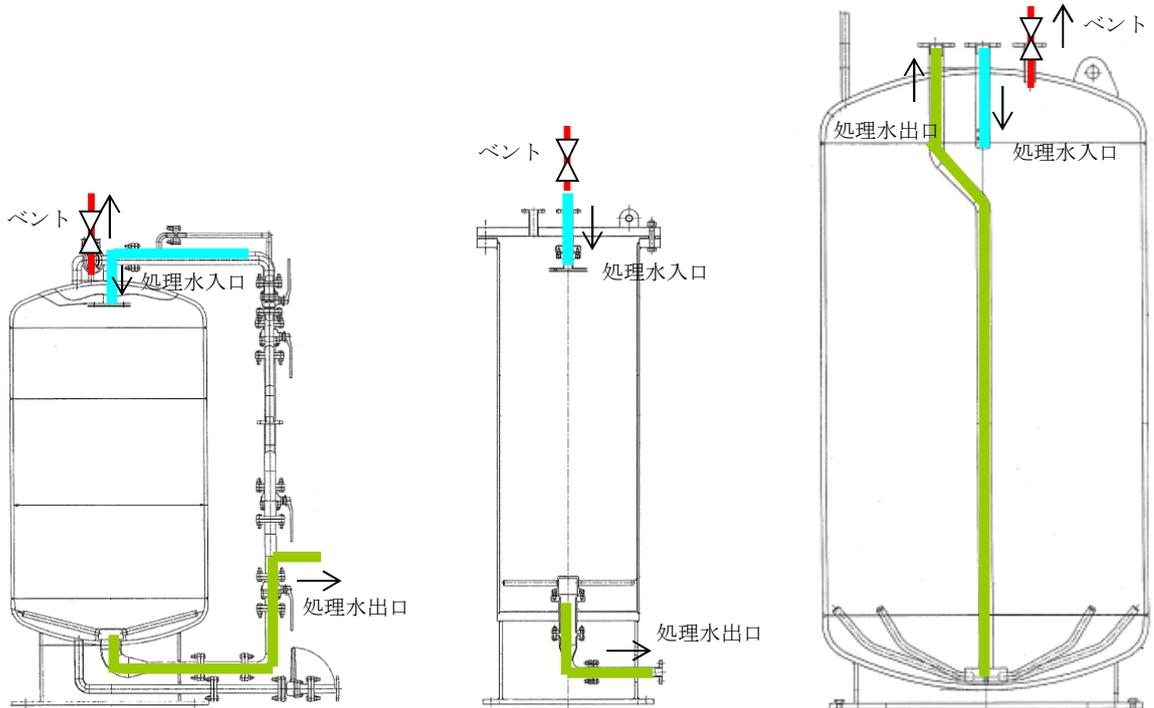
- a. 多核種除去設備では，水の放射線分解により発生する可燃性ガスは，通水時は処理対象水により排出される。また，多核種除去設備の運転停止時は，発熱量が大きいストロンチウム吸着材を収容している吸着塔のベントを開ける運用とする。
- b. 使用済みの吸着材，沈殿処理生成物を収容する高性能容器は，可燃性ガスの発生を考慮して圧縮活性炭高性能フィルタを介したベント孔を設ける。

#### 4. 誤操作の防止に対する考慮

運転操作員による誤操作により設備が自動停止した事象を受け、機器の選択操作をダブルアクションを要する設計とする。

#### 5. 不具合事象への対応

多核種除去設備でこれまでに確認された不具合事象に対し、必要となる対策を実施してきた。今後発生する不具合についても同様に、必要に応じた対策を適宜実施・反映していく。



a. 吸着塔 1~14 概要図

b. 吸着塔 15, 16 概要図

c. 処理カラム概要図

#### 6. その他

##### (1) 処理済水の保管容量

多核種除去設備等で処理した処理済み水を貯蔵する多核種処理水貯槽については、必要に応じて増設等を実施することとする。

## (2) 高性能容器の発生量

多核種除去設備において、高性能容器（タイプ2）は年間約803基（高性能容器（タイプ1）は年間約733基）発生すると想定される（2016.1.1～2016.12.31までの積算処理量及び高性能容器の発生量を基に処理量750m<sup>3</sup>/日×3系列運転（稼働率80%）における年間の高性能容器の発生数を評価）。

高性能容器（タイプ1）は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設のうち、第二施設（保管容量736基）に保管する。2017.8.30現在、未使用の高性能容器（タイプ1）は78基あり、新たな製作予定はない。

高性能容器（タイプ2）は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設のうち、第二施設（保管容量736基）及び第三施設（保管容量3,456基）に保管する。

なお、必要に応じて使用済セシウム吸着塔一時保管施設を増設する。

## 7. 環境条件を踏まえた対応

### (1) 腐食

多核種除去装置は、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、また薬液注入により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（別添-1）。

### (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、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、建屋内の配管については、40A以下の配管に対し、保温、ヒータを設置する。

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℃、内部流体の初期温度5℃、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℃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  $1 \text{Gy/h}$  と仮定すると、 $2 \times 10^5 \text{Gy}$  に到達する時間は  $2 \times 10^5$  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。

なお、系統バウンダリを構成するその他の部品には、ガスケット、グランドパッキンがあるが、他の汚染水処理設備等で使用実績のある材料を使用しており、数年程度の使用は問題ない。

#### (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。

## 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

多核種除去設備は、RO 濃縮塩水等を処理することから、系統内の塩化物イオン濃度が高く、また、前処理設備等での薬液注入により、pH が変動することから、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

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、SUS316L、炭素鋼に対する耐食性について評価を行った。

表 1 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
吸着塔及び 処理カラム	SUS316L 炭素鋼	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 SUS316L または炭素鋼（ゴムライニング付）を使用する。
高性能容器	ポリエチレン	収容するスラリー及び吸着材の脱水後の残水には、海水由来の塩分が含まれていることから、約 20 年の貯蔵期間を想定し、金属材料よりも耐食性に優れるポリエチレンを使用する。
タンク類	SUS316L 炭素鋼	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 SUS316L（バッチ処理タンクはゴムライニング付）及び炭素鋼（ゴムライニング付）を使用する。
配管 （鋼管）	SUS316L 炭素鋼	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 SUS316L を使用する。また、全面腐食の懸念はあるが、十分な肉厚が確保されている炭素鋼を使用する。
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。
配管 （耐圧ホース）	EPDM （エチレンプロピレンジエンモノマー）	可撓性のある配管を使用する必要がある箇所（各スキッド間（各スキッド間、各吸着塔間、吸着材排出ライン等））に使用する。

2.1 ステンレス鋼（SUS316L）及び炭素鋼の耐食性について

ステンレス鋼（SUS316L）及び炭素鋼の腐食モードを表 2 に示す。これら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。ただし、ガルバニック腐食については、絶縁パッキンや絶縁ボルト等を使用しており、異材溶接箇所はないことから、評価対象外とした。

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)	塩化物応力腐食割れ (SCC)
	すきま腐食
	孔食
	全面腐食
炭素鋼	全面腐食
	ガルバニック腐食※

※評価対象外

表 3 ステンレス鋼（SUS316L）及び炭素鋼を使用する範囲の環境

使用材料	使用範囲	塩化物イオン 濃度 [ppm]	常用温度 [°C]	最大流速 [m/s]	pH
ステンレス鋼 (SUS316L)	前処理ステージ I (バッチ処理タンク入口配管のみ)	13000	40	2.6	7
	前処理ステージ I (バッチ処理タンク入口配管以外)	13000	60	1.7	7.5~8.5
	前処理ステージ II	13000	60	2.8	11.8~12.2
	多核種吸着塔 1~5 塔目	13000	40	1.5	11.8~12.2
	多核種吸着塔 6~14 塔目 処理カラム~移送ポンプ	13000	40	1.5	6~7
炭素鋼	多核種吸着塔 15~16 塔目	13000	40	1.5	6~7
	ALPS 入口~前処理ステージ I 移送ポンプ~ALPS 出口	13000	40	1.7	6~7

a. ステンレス鋼の塩化物応力腐食割れ (SCC)

塩化物応力腐食割れ (SCC) の発生には、使用温度と塩化物イオン濃度が寄与する。塩化物イオン濃度が 10ppm を超える条件においては一般的に 316 系の SCC 発生限界温度は 100℃ といった値がよく用いられており、使用温度 60℃、塩化物イオン濃度 13000ppm の使用環境では、塩化物応力腐食割れ (SCC) が発生する可能性は低いと考えられる。

1)

1) 化学工学協会編: “多管式ステンレス鋼熱交換器の応力腐食割れ,” 化学工業社 (1984).

b. ステンレス鋼のすきま腐食

すきま腐食の発生には、使用温度と塩化物イオン濃度が寄与する。SUS316 において、使用温度 60℃、塩化物イオン濃度 13000ppm の使用環境下では、すきま腐食が発生する可能性は否定できない。<sup>1)</sup>このため、すきま腐食が発生する可能性のある箇所について定期的な点検・保守を行っていく。また、すきま腐食が発生する可能性が高いと考えられるバッチ処理タンクについてはゴムライニングを施工する。

c. ステンレス鋼の孔食

孔食の発生には、自然電位、使用温度、塩化物イオン濃度が寄与する。ステンレス鋼の自然電位は pH に依存し、pH が低いほど自然電位は高く孔食が発生する可能性が高くなるが多核種除去設備の使用環境 pH = 6 では 0.137 V vs. SCE 程度であり、使用温度 60℃、塩化物イオン濃度 13000ppm という条件は、孔食が発生する可能性が低い領域であることから、多核種除去設備の使用環境においては、孔食が発生する可能性は低いと考えられる。<sup>2) 3)</sup>

d. ステンレス鋼の全面腐食

全面腐食の発生には、pH 及び流速が寄与する。pH6~12.2 の使用環境では不動態皮膜は安定である。また、最大流速 2.8m/s (9.2feet/s) では、全面腐食が進行する速度は小さいと考えられる。<sup>4) 5)</sup>

e. 炭素鋼の全面腐食

使用温度 30℃、塩化物イオン濃度 12000ppm における腐食速度は 0.85mm/year 程度である。一般的に温度が高いほど腐食速度は増加傾向にあり、20℃に対して、40℃では 1.4 倍程度である。以上の点を考慮すると、使用温度 40℃、塩化物イオン濃度 13000ppm における腐食速度は、1.2mm/year 程度となる。<sup>6) 7)</sup>

多核種除去設備で使用する炭素鋼配管の肉厚は、50A のもので 5.5mm であり、2~3 年程度は使用上問題ないと判断できる。また、定期的な点検・保守についても併せて行っていく。

- 1) 宮坂松甫他, 「ポンプの高信頼性と材料」, ターボ機械 第36巻 第9号, 2008年9月
- 2) M. Akashi, G. Nakayama, T. Fukuda: CORROSION/98 Conf., NACE International, Paper No. 158 (1998).
- 3) ステンレス協会編: “ステンレス鋼データブック,” 日刊工業新聞社, p. 270 (2000).
- 4) ステンレス協会編, ステンレス鋼便覧 第3版, 日刊工業新聞社
- 5) 腐食防食協会編, 腐食・防食ハンドブック, 丸善
- 6) 木下ら, 防食技術, 32, 31-36(1983)
- 7) 腐食防食協会: “金属の腐食・防食 Q&A コロージョン 110 番”, 丸善, P10(1988)

## 2.2 腐食に対する対応方針

評価結果から、ステンレス鋼及び炭素鋼に対する対応方針を表4に示す。

表4 腐食に対する対応方針

使用材料	腐食モード	対応方針
ステンレス鋼 (SUS316L)	すきま腐食	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 運転中の巡視点検</li><li>・ 代表部位に対する定期的な分解点検等</li><li>・ 万一の漏えい対策として、当該部位のビニール養生および受けパン設置</li></ul>
炭素鋼	全面腐食	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 運転中の巡視点検</li><li>・ 代表部位に対する定期的な肉厚測定等</li></ul>

ステンレス鋼（SUS316L）は、海水ポンプ等の海水環境で使用される材質としては最も一般的であり、これまでの使用実績を考慮しても、運転開始直後に腐食が発生する可能性は低いと考えられる。しかしながら、腐食発生の可能性は否定できないことから、表4の対応方針を保全計画に反映する。

以 上

## 高性能容器に対する線量当量率評価結果

## 1. 概要

放射線遮へい・被ばく低減を考慮するにあたり，高性能容器（HIC）に対する線量当量率評価を実施した。

## 2. 評価条件

## (1) 線源

前処理で発生するスラリーと吸着材をそれぞれ線源として設定した。また，スラリー及び吸着材 1～6 は HIC 内に均一に充填されるものとした。

なお，吸着材 7 については，含まれる放射性物質の濃度が低く，また，処理カラムによる遮へい効果が高いため，線量当量率としては低くなることから評価対象から除外した。

## (2) 評価モデル

スラリーを充填する HIC の評価モデルを図 1 に，吸着材を充填する HIC の評価モデルを図 2 に示す。HIC は円柱形状でモデル化し，スラリー及び吸着材は均一に充填するものとした。なお，実際の運転状態を考慮し，スラリーを充填する HIC は，遮へい体の上部に開口部を設け，吸着材を充填する HIC は遮へい体の上部に開口部は設けないものとして評価を実施した。評価点は，水平方向（線源領域の中心位置）及び高さ方向に遮へい体表面から 1m に設定した。

## (3) 評価方法

線量評価では，制動エックス線を考慮した  $\gamma$  線線源強度を核種生成減衰計算コード ORIGEN-S により求め，線量当量率の計算には点減衰積分コード QAD-CGGP2R を使用した。

## 3. 評価結果

評価点における各々の HIC の線量当量率を表 1 に示す。また，HIC 容器表面の線量当量率を表 2 に示す。

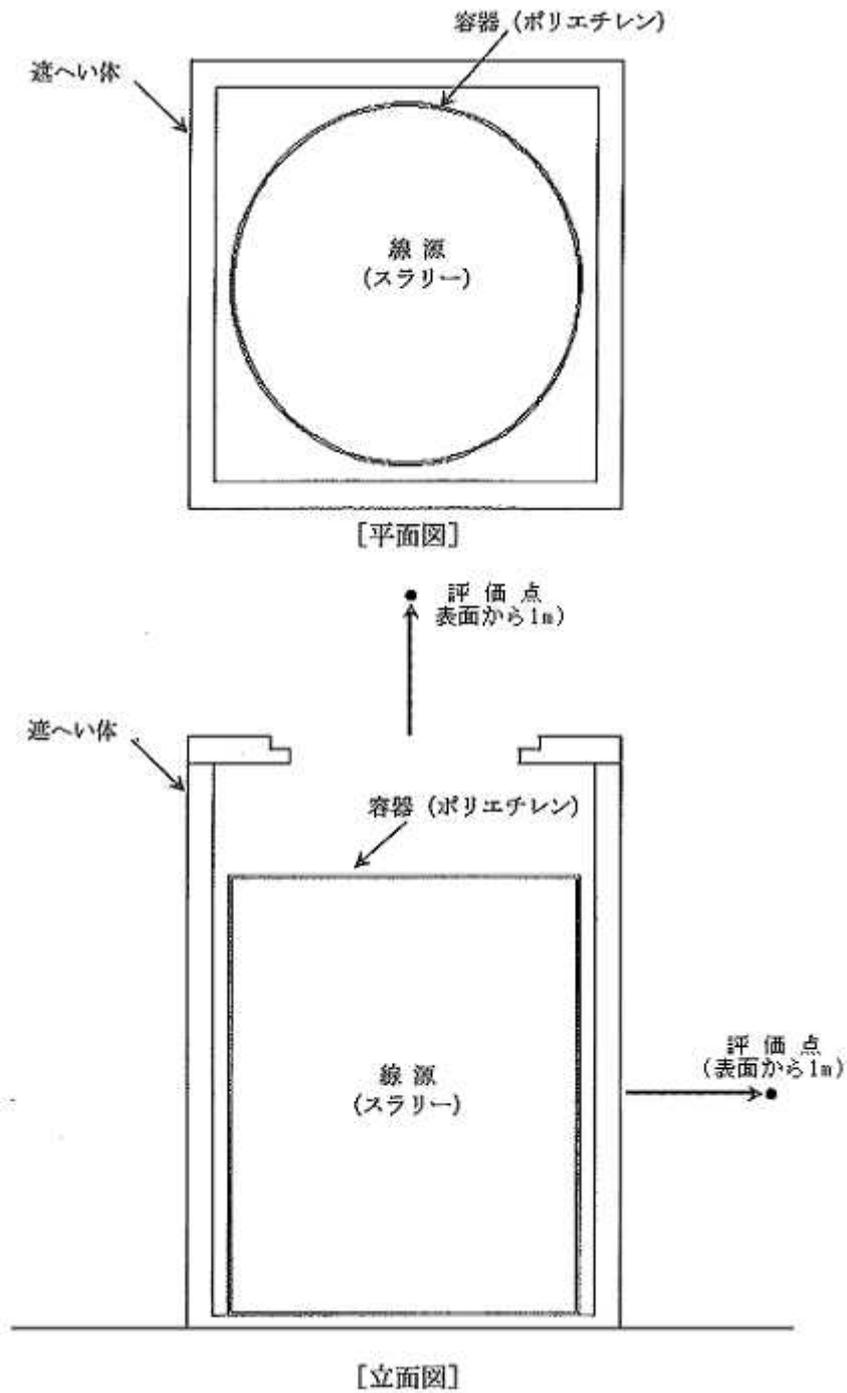


図1 スラリーを充填する HIC の評価モデル

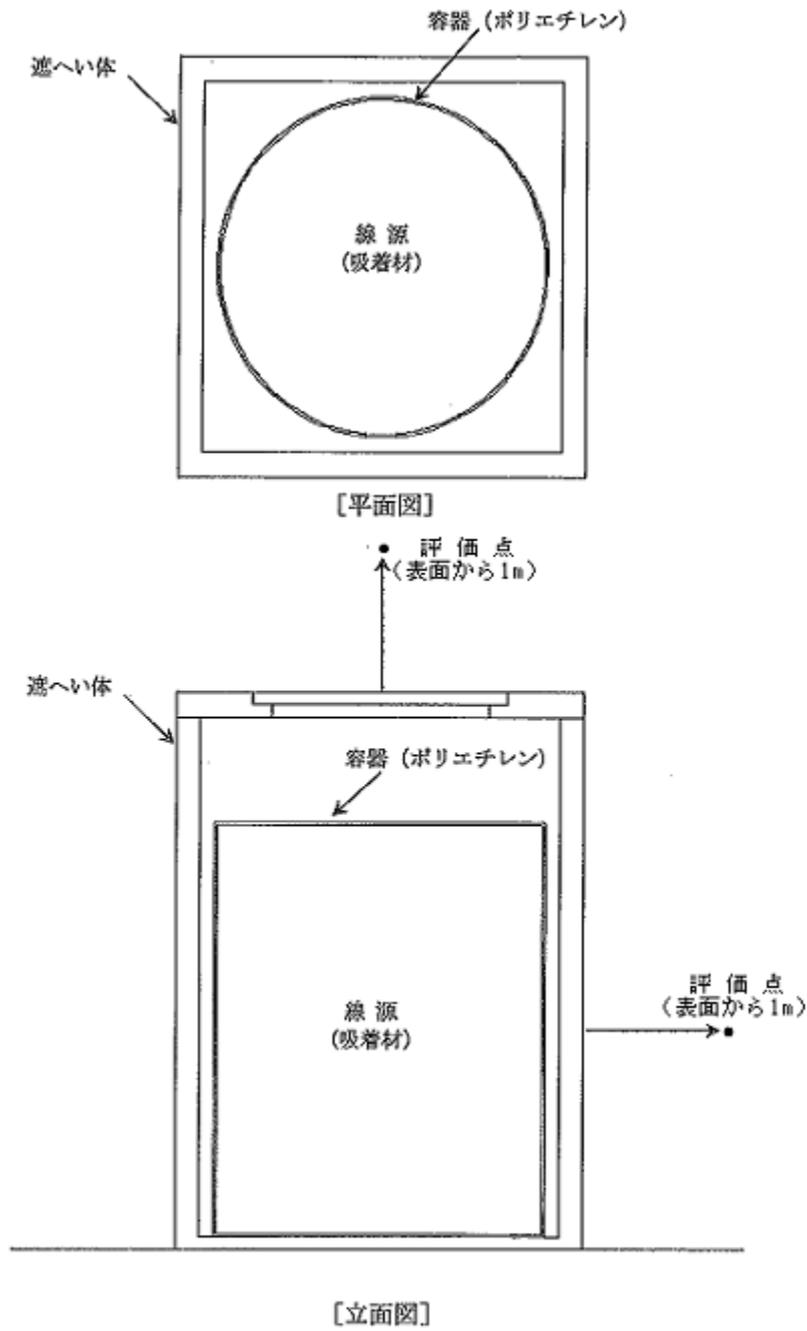


図2 吸着材を充填する HIC の評価モデル

表1 遮へい体表面から1mにおけるHICの線量当量率評価結果

HIC 充填物		遮へい体	線量当量率 (mSv/h) <sup>※1</sup>	
			水平方向	上部方向
スラリー	鉄共沈処理	鉄 112mm	9.1E-02	1.2E+01
	炭酸塩沈殿処理	鉄 112mm	1.2E-02	2.9E+00
吸着材	吸着材 1/4	鉄 112mm	2.8E-16	2.6E-16
	吸着材 2	鉄 112mm	5.9E-02	4.2E-02
	吸着材 3	鉄 112mm	4.5E-01	3.3E-01
	吸着材 6	鉄 112mm	4.1E-02	3.1E-02
	吸着材 5	鉄 112mm	5.3E-03	3.9E-03

※1 遮へい体表面から1mにおける線量当量率

表2 HIC 容器表面における線量当量率評価結果

HIC 充填物		線量当量率(mSv/h) <sup>※2</sup>	
		水平方向	上部方向
スラリー	鉄共沈処理	1.2E+02	1.3E+02
	炭酸塩沈殿処理	2.8E+01	3.0E+01
吸着材	吸着材 1/4	8.0E-01	8.4E-01
	吸着材 2	1.2E+02	1.3E+02
	吸着材 3	4.7E+02	5.1E+02
	吸着材 6	7.0E+01	7.6E+01
	吸着材 5	9.9E+00	1.1E+01

※2 HIC 容器表面における線量当量率

## 炭酸ソーダ供給に係る機器の具体的な安全確保策

炭酸ソーダ供給に係る下記の機器の具体的な安全確保策を以下の通り定め、実施する。  
なお、下記の機器については「添付資料－4 多核種除去設備の具体的な安全確保策」本文の対象範囲外とする。

- a. 炭酸ソーダ貯槽
- b. 炭酸ソーダ供給ポンプ
- c. 主要配管
  - ・多核種除去設備入口から炭酸ソーダ貯槽まで  
(ポリエチレン管)
  - ・炭酸ソーダ貯槽から共沈タンクまで  
(鋼管) (耐圧ホース)

## 1. 放射性物質の漏えい防止等に対する考慮

## (1) 漏えい発生防止

- a. 腐食による漏えい発生防止のため、液性等に応じて、ポリエチレン (PE) , ステンレス鋼等を採用する。(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. 鋼材の継手部は、可能な限り溶接構造とする。ポリエチレンの継手部は、可能な限り融着構造とする。
- d. ポンプは、軸封部が無く軸封部があるポンプと比較して漏えいリスクの低いダイヤフラムポンプを採用する。

## (2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

- a. 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、漏えいの拡大を防止する堰及び床面に漏えい検知器を設ける。
- 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。
- c. 漏えい水のコンクリートへの浸透を防止するため、設置エリアには床塗装を実施する。
- d. ポリエチレン管とポリエチレン管の接合部は漏えい発生を防止するため融着構造とすることを基本とし、ポリエチレン管と鋼管の取合い等でフランジ接続となる箇所については養生を行い、漏えい拡大防止を図る。

- ・移送配管から漏えいが確認された場合は、ポンプを停止し、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。

## 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. 機器からの放射線による雰囲気線の線量当量率が0.1mSv/h 以下（放射線業務従事者が作業を行う位置で、遮へい体を含む機器表面から1m の位置）となるよう適切な遮へいを設ける。
- 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。

### (2) 崩壊熱除去

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。

## 3. 可燃性ガスの滞留防止

水の放射線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。

## 4. 環境条件を踏まえた対応

### (1) 腐食

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、また薬液注入により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（別添－1）。

### (2) 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、凍結による破損が懸念される40A 以下の配管に対し、保温材もしくはヒータを設置する。

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 $-8^{\circ}\text{C}$ 、内部流体の初期温度 $5^{\circ}\text{C}$ 、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 $-8^{\circ}\text{C}$ 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%以下と推奨

### (3) 耐放射線性

ポリエチレンは、集積線量が $2 \times 10^5$ 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、 $2 \times 10^5$ Gyに到達する時間は $2 \times 10^5$ 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。

系統バウンダリを構成するガスケット、グランドパッキンについては、他の汚染水処理設備で使用実績のある材料を使用しており、数年程度の使用は問題ない。

### (4) 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、処理済水による炭酸ソーダ供給に係る機器で扱う水の温度がほぼ常温のため、劣化の可能性は十分低い。

## 5. 規格・基準等

「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」、日本工業規格(JIS規格)、ISO規格を準拠する。

## 6. 耐震性及び構造強度

### (1) 耐震性

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のBクラスに相当する設備と位置付ける。機器及び鋼管の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。評価の結果、各機器について算出応力に対し十分な強度を有することを確認した。また、鋼管については、定ピッチスパン法に基づき定められた間隔で支持することにより、地震応力が過大とならないようにする。

耐震性評価は、「添付資料-2 放射性液体廃棄物処理設備等に関する構造強度及び耐震性等の評価結果」参照。なお、ポリエチレン管、耐圧ホースについては、材料の可撓性により耐震性を確保する。

### (2) 構造強度

「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」に準拠し設計する。評価の結果、各機器について必要厚さを満足しており、十分な構造強度を有することを確認した。構造強度評価は、「添付資料-2 放射性液体廃棄物処理設備等に関する構造強度及び耐震性等の評価結果」を参照。なお、ポリエチレン管はISO規格、または、JISに準拠し耐圧ホースは、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。

以上

## 多核種除去設備に係る確認事項

多核種除去設備に係る主要な確認事項を表－1～14に示す。

表－1 確認事項

(デカントタンク, 共沈タンク, 供給タンク, バッチ処理タンク, 循環タンク  
移送タンク, 吸着塔入口バッファタンク, 吸着塔1～14, 処理カラム,  
高性能容器 (タイプ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	実施計画に記載した主な材料について, 材料証明書等により確認する。	実施計画の記載とおりにあること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について, 記録または材料証明書により確認する。	実施計画の記載とおりにあること。
	外観確認	各部の外観について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・据付していること。
	耐圧・ 漏えい確認	①確認圧力で一定時間保持した後, 確認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記録等により確認する。	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。
		②運転圧力で耐圧部からの漏えいのないことを記録等により確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。
③浸透探傷検査記録または外観検査記録による代替検査を実施し, 耐圧部に異常の無いことを確認する。		耐圧部に有意な欠陥等がないこと。	

注：①②③は, いずれかとする。

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、材料証明書により確認する。	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、記録または材料証明書により確認する。	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、記録を確認する。	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据付していることを記録により確認する。	実施計画のとおり施工・据付していること。
		タンク基礎の不陸を記録により確認する。また、支持力試験にて、タンク基礎の地盤支持力を記録により確認する。	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	運用水位以上で、一定時間保持後、確認圧力に耐えること、また漏えいがないことを記録により確認する。	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。

表－3 確認事項

(前段クロスフローフィルタ，後段クロスフローフィルタ，出口フィルタ)

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	各部の外観について，記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおりに据付していることを記録により確認する。	実施計画のとおり施工・据付していること。
	耐圧・漏えい確認	CODAP2005 等に基づき，確認圧力で一定時間保持した後，確認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記録等により確認する。	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。

表－4 確認事項

(苛性ソーダ貯槽，炭酸ソーダ貯槽，次亜塩素酸ソーダ貯槽，塩酸貯槽，塩化第二鉄貯槽)

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，製品検査記録等により確認する。	実施計画の記載とおりにあること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について，製品検査記録により確認する。	実施計画の記載とおりにあること。
	外観確認	各部の外観について，記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおりに据付していることを記録により確認する。	実施計画のとおり施工・据付していること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で一定時間保持した後，確認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記録等により確認する。	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。

表－5 確認事項

(スラリー移送ポンプ, 循環ポンプ 1 / 2, デカントポンプ, 供給ポンプ 1 / 2  
ブースターポンプ 1 / 2, 移送ポンプ, 処理済水移送ポンプ)

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	各部の外観について, 記録等により確認する。	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により確認する。	実施計画のとおり施工・据付していること。
	漏えい確認	運転圧力で耐圧部からの漏えいがないことを記録等により確認する。	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実施し, 異常のないことを記録により確認する。	異音, 振動等の異常がないこと。

表－6 確認事項 (吸着塔 15, 16)

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, 記録または材料証明書を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観について, 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。

表-7 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、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	各部の外観について、記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおり据付ていることを記録により確認する。	実施計画のとおり施工・据付ていること。
	耐圧・ 漏えい確認	①確認圧力で一定時間保持後、確認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記録等により確認する。	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。
②運転圧力で耐圧部からの漏えいのないことを記録等により確認する。※1		耐圧部から著しい漏えいがないこと。	

※1：運転圧力による耐圧部の漏えい検査実施ができない配管フランジ部については、トルク確認等の代替検査を実施する。

注1：①②は、いずれかとする。

表-8 確認事項 (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	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	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	各部の外観について記録等により確認する。	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・据付していること。
	耐圧・漏えい確認	①最高使用圧力以上で一定時間保持後、確認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記録等により確認する。 ②気圧により、耐圧部からの漏えいのないことを記録等で確認する。 ③運転圧力で耐圧部からの漏えいがないことを記録等で確認する。	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。  耐圧部から著しい漏えいがないこと。

注1：①②③は、いずれかとする。

表－9 確認事項（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にあること。
	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、製品検査成績書等により確認する。	実施計画の記載とおりにあること。
	外観確認	各部の外観について、記録等により確認する。	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・据付していること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で一定時間保持した後、確認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記録等により確認する。	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。

表－10 確認事項 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	実施計画に記載の処理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処理容量が通水可能であり、設備からの異音、振動等の異常がないこと。

表－１１ 確認事項（漏えい検出装置および警報装置※２）

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	各部の外観について、記録等により確認する。	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、記録等により確認する。	実施計画のとおり施工・据付していること。
機能	漏えい警報確認	設定とおりに警報が作動することを記録等により確認する。	漏えいを検知し、警報が作動すること。設定とおりに警報が作動すること。

※２：漏えい検出装置および警報装置については、最新の点検データにより、健全性を確認する。

表－１２ 確認事項（エリア放射線モニタ※３）

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	各部の外観について、記録等により確認する。	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、記録等により確認する。	実施計画のとおり施工・据付していること。
	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記録等により確認する。	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記録等により確認する。	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記録等により確認する。	各指示値が許容範囲以内に入っていること。	

※３：エリア放射線モニタ等の機器については、最新の点検データにより、健全性を確認する。

表－１３ 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記録等により確認する。	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、化学成分を記録等により確認する。	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記録等により確認する。	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、間隔を記録等により確認する。	鉄筋の径が実施計画に記載されているとおりであること。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－１４ 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記録により確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	漏えいの防止のための外周堰の高さ490mm※4以上であることを記録等により確認する。	外周堰の高さが490mm以上あること。
	外観確認	外周堰の各部の外観について、記録等により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	外周堰その他の設備の据付位置、据付状態について、記録等により確認する。	実施計画のとおり施工・据付していること。

※4：設備保有水量から算出した値

多核種除去設備の溶接部に係る主要な確認事項を表－15，表－16に示す。

表－15 確認事項

(デカントタンク，共沈タンク，供給タンク，バッチ処理タンク，循環タンク，  
吸着塔入口バッファタンク，吸着塔 1～14)

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査 (1/3)	材料検査	使用材料が JIS 規格に適合していることを材料証明書又は納品書等により確認する。	使用材料が JIS 規格に適合していること。
	開先検査	①開先面に溶接に悪影響を及ぼす欠陥等ないことを溶接施行記録等により確認する。	開先面に溶接に悪影響を及ぼす欠陥等ないこと。
		②開先形状の管理が行われていることを溶接施行記録または管理要領等により確認する。	開先形状の管理が行われていること。
	溶接作業 検査 (1/2)	①溶接施工法が次のいずれかであることを施工法認可証，確認試験記録等により確認する。 ・溶接規格第 2 部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの ・電気事業法に基づき実施された検査において適合性が確認されたもの ・溶接施工法認証標準と同等の施工会社社内認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの ・ASME 規格に基づく確認試験を実施し合格したものであること。	溶接施工法が次のいずれかであること。 ・溶接規格第 2 部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの ・電気事業法に基づき実施された検査において適合性が確認されたもの ・溶接施工法認証標準と同等の施工会社社内認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの ・ASME 規格に基づく確認試験を実施し合格したものであること。

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査 (2/3)	溶接作業 検査 (2/2)	<p>また、溶接士は、実作業が可能となる次のいずれかの資格を有していることを有資格者証明書等により確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・溶接規格第3部に定める溶接士技能認証標準に基づく有資格者</li> <li>・JIS規格に基づく有資格者</li> <li>・溶接士技能認証標準と同等の施工会社社内技能認証標準に基づく有資格者</li> <li>・ASME規格に基づき認定された有資格者</li> </ul>	<p>溶接士は、実作業が可能となる次のいずれかの資格を有していること。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・溶接規格第3部に定める溶接士技能認証標準に基づく有資格者</li> <li>・JIS規格に基づく有資格者</li> <li>・溶接士技能認証標準と同等の施工会社社内技能認証標準に基づく有資格者</li> <li>・ASME規格に基づき認定された有資格者</li> </ul>
		<p>②溶接が、あらかじめ決められた溶接施工法であり、溶接士が保有する資格範囲内で溶接されていることを溶接記録又は管理要領等により確認する。</p>	<p>溶接が、あらかじめ決められた溶接施工法であり、溶接士が保有する資格範囲内で溶接されていること。</p>
	非破壊検査	<p>①非破壊検査（浸透探傷検査※5）を実施し、溶接部に欠陥指示模様がないことを記録等により確認する。</p>	<p>溶接部に欠陥指示模様がないこと。</p>
		<p>②外観検査記録による代替検査を実施し、溶接部に有意な欠陥等がないことを記録等により確認する。</p>	<p>溶接部に有意な欠陥がないこと。</p>

※5：浸透探傷検査に使用する探傷剤は必要によりメーカーカタログにて確認する。

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査 (3/3)	耐圧・ 漏えい検 査	①確認圧力で一定時間保持した 後、確認圧力に耐えていること、 また耐圧部からの漏えいがない ことを記録等により確認する。	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。
		②運転圧力で漏えい検査を実施 し、漏えい等が無いことを記録 等により確認する。	耐圧部から著しい漏えいがない こと。
		③浸透探傷検査記録または外観 検査記録による代替検査を実施 し、耐圧部に異常の無いことを 確認する。※6	溶接部に有意な欠陥等がないこ と。
	外観検査	①溶接部の外観確認を行い、異 常のないことを記録等により確 認する。 ②浸透探傷検査記録による代替 検査を実施し、溶接部に異常の 無いことを確認する。	溶接部に有意な欠陥がないこ と。

※6：タンクの汚染水入口ノズルと天板の溶接部等

注1：①②③は、いずれかとする。

表-16 確認事項（主配管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査 (1/3)	材料検査	使用材料が JIS 規格等に適合していることを材料証明書又は納品書等により確認する。※7	使用材料が JIS 規格等に適合していること。
	開先検査	①開先面に溶接に悪影響を及ぼす欠陥等ないことを溶接施行記録等により確認する。	開先面に溶接に悪影響を及ぼす欠陥等ないこと。
		②開先形状の管理が行われていることを溶接施行記録または管理要領等により確認する。	開先形状の管理が行われていること。
	溶接作業 検査 (1/2)	①溶接施工法が次のいずれかであることを施工法認可証，確認試験記録等により確認する。 ・溶接規格第 2 部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの ・電気事業法に基づき実施された検査において適合性が確認されたもの ・溶接施工法認証標準と同等の施工会社社内認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの	溶接施工法が次のいずれかであること。 ・溶接規格第 2 部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの ・電気事業法に基づき実施された検査において適合性が確認されたもの ・溶接施工法認証標準と同等の施工会社社内認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの

※7：素材メーカー及び継手メーカーによる溶接構造の配管等は，JIS 規格及び「配管用ステンレス鋼製スタブエンド」（日本金属継手協会規格）に基づき，製作されていることを材料証明書により確認する。

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査 (2/3)	溶接作業 検査 (2/2)	<p>また、溶接士は、実作業が可能となる次のいずれかの資格を有していることを有資格者証明書等により確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・溶接規格第 3 部に定める溶接士技能認証標準に基づく有資格者</li> <li>・JIS 規格に基づく有資格者</li> <li>・溶接士技能認証標準と同等の施工会社社内技能認証標準に基づく有資格者</li> </ul>	<p>溶接士は、実作業が可能となる次のいずれかの資格を有していること。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・溶接規格第 3 部に定める溶接士技能認証標準に基づく有資格者</li> <li>・JIS 規格に基づく有資格者</li> <li>・溶接士技能認証標準と同等の施工会社社内技能認証標準に基づく有資格者</li> </ul>
		②溶接が、あらかじめ決められた溶接施工法であり、溶接士が保有する資格範囲内で溶接されていることを溶接施工記録又は管理要領等により確認する。	溶接が、あらかじめ決められた溶接施工法であり、溶接士が保有する資格範囲内で溶接されていること。
	非破壊検査	①非破壊検査（浸透探傷検査※8）を実施し、溶接部に欠陥指示模様がないことを記録等により確認する。	溶接部に欠陥指示模様がないこと。
		②外観検査記録による代替検査を実施し、溶接部に有意な欠陥等がないことを記録等により確認する。	溶接部に有意な欠陥がないこと。

※8：浸透探傷検査に使用する探傷剤は必要によりメーカーカタログにて確認する。

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査 (3/3)	耐圧・ 漏えい検 査	①確認圧力で一定時間保持した後、確認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記録等により確認する。	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。
		②運転圧力で耐圧部からの漏えい検査を実施し、漏えい等がないことを記録等により確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。
	外観検査	溶接部の外観確認を行い、異常の無いことを記録等により確認する。	溶接部に有意な欠陥がないこと。

注1：①②は、いずれかとする。

多核種除去設備の溶接部（海外製品溶接検査）に係る主要な確認事項を表－１７，１８に示す。

表－１７ 確認事項（クロスフローフィルター）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査	材料検査	使用材料が，EN 規格等の海外規格に準拠していることを材料証明書により確認する。	使用材料が，EN 規格等の海外規格に準拠していること。
	開先検査	開先形状が，EN 規格等に準拠していることを製作図等により確認する。	開先形状が，EN 規格等に準拠していること。
	溶接作業検査	EN 規格に定められた溶接施工法及び溶接士の資格を有していることを記録等により確認する。	EN 規格に基づく，溶接施工法及び溶接士により溶接施工されていること。
	非破壊試験	長手溶接部について，非破壊検査（放射性透過試験）を実施し，試験方法及び結果が CODETI2006 等に適合していることを記録により確認する。	非破壊検査（放射性透過試験）の試験方法及び結果が CODETI2006 等に適合していること。
	耐圧漏えい検査	CODAP2005 等に基づき確認圧力で保持した後，確認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記録等により確認する。	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。
	外観検査	溶接部の外観確認を行い，異常のないことを記録等により確認する。	溶接部に有意な欠陥がないこと。

表－１８ 確認事項（主配管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査	材料検査	使用材料が、ASTM 規格等の海外規格に準拠していることを材料証明書により確認する。※9	使用材料が、ASTM 規格等の海外規格等に準拠していること。
	開先検査	開先形状の管理が行われていることを管理要領等により確認する。	開先形状の管理が行われていること。
	溶接作業検査	ASME 規格に定められた溶接施工法及び溶接士の資格を有していることを記録等により確認する。	ASME 規格に基づく、溶接施工法及び溶接士により溶接施工されていること。
	耐圧漏えい検査	確認圧力で一定時間保持した後、確認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記録等により確認する。	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。
	外観検査	溶接部の外観確認を行い、異常の無いことを記録等により確認する。	溶接部に有意な欠陥がないこと。

※9：素材メーカーによる溶接構造の配管等は、海外材料規格に基づき製作されていることを材料証明書により確認する。

注2：「表－１７， １８ 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。

添付資料－２ 1.2.6.1.1.1 図－１ 配管概略図(9/15)に記載のあるE, H5北, H6北エリアへの多核種処理設備処理済水移送配管に関する確認事項を表－19に示す。

表－19 確認事項 (Eエリア等への多核種処理設備処理済水移送配管)

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	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	各部の外観について記録等により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	取付・取外し運用を行う配管の接続前および接続後において、機器が系統構成図とおりに据付され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。
	耐圧・漏えい確認	取付・取外し運用を行う配管の接続前および接続後において、最高使用圧力以上で一定時間保持後、確認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記録等により確認する。	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。

R0 濃縮水処理設備から用途変更する機器に関する確認事項を表-20に示す。

R0 濃縮水処理設備から他設備へ用途変更する機器は、用途変更に伴い、構造強度・耐震性、機能及び性能について変更はないことから、用途変更後も機器を継続使用する。なお、用途変更する機器に係わる確認事項については、継続使用しながら確認を実施する。

表-20-1 確認事項（主配管（PE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	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	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。
	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	現場状況を考慮し製造者指定方法・圧力による漏えい有無を確認する。	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-20-2 確認事項（主配管（閉止部））

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・据付確認	配管閉止部の外観，据付状態について確認する。	実施計画の通りであること。
機能	機能確認	配管が実施計画の通り施工されていることを確認する。	実施計画の通りであること。

多核種除去設備の薬品供給設備に係る主要な確認事項を表-21～24に示す。

表-21 確認事項（炭酸ソーダ供給ポンプ）

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。	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記録で確認する。	耐圧部から漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	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, 異常振動等がないこと。

表-22 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材料証明書等を確認する。	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, 厚さについて記録または材料証明書等を確認する。	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記録で確認する。耐圧確認終了後, 耐圧部分からの漏えいの有無を記録で確認する。	確認圧力に耐え, かつ構造物の変形等がないこと。また, 耐圧部から漏えいがないこと。

表－２３ 確認事項（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検査成績書等を確認する。	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（外径相当）について検査成績書等を確認する。	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記録で確認する。耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無を記録で確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。また、耐圧部から漏えいがないこと。

表－２４ 確認事項（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	実施計画に記載した主な材料について材料証明書等を確認する。	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，厚さについて記録または材料証明書等を確認する。	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。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	最高使用圧力以上の圧力で保持した後、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、耐圧部分からの漏えいの有無を記録で確認する。	最高使用圧力以上の圧力に耐え、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。

以上

## 2.16.2 増設多核種除去設備

### 2.16.2.1 基本設計

#### 2.16.2.1.1 設置の目的

増設多核種除去設備は、『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。

なお、増設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、増設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。

#### 2.16.2.1.2 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。

#### 2.16.2.1.3 設計方針

『2.16.1 多核種除去設備 2.16.1.1.3 「設計方針」』に同じ。

#### 2.16.2.1.4 供用期間中に確認する項目

増設多核種除去設備処理済水に含まれる除去対象の放射性核種濃度（トリチウムを除く）が告示濃度限度未満であること。

#### 2.16.2.1.5 主要な機器

増設多核種除去設備は、3系列から構成し、各系列は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、前処理設備及び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、放射性物質を吸着した吸着材等を収容して貯蔵する高性能容器、増設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。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。

増設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－6』と同じとする。

増設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、特に重要な運転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、増設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。

増設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、多核種除去装置での吸着材によるストロンチウムの除去を阻害するマグネシウム、カルシウム等の2価の金属を炭酸塩沈殿処理により除去することを目的とし、炭酸ソーダと苛性ソーダを添加する。

炭酸塩沈殿処理による生成物は、クロスフローフィルタにより濃縮し、高性能容器に排出する。

#### (2) 多核種除去装置

多核種除去装置は、1系列あたり18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。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。また、吸着材は、所定の容量を通水した後、高性能容器へ排出する。

なお、吸着塔は2塔分の増設が可能である。

#### (3) 高性能容器 (HIC ; High Integrity Container)

高性能容器は、使用済みの吸着材、沈殿処理生成物を収容するもので、『2.16.1 多核種除去設備』で使用する高性能容器と同じである。高性能容器の仕様及び健全性評価等を『2.16.1 多核種除去設備 添付資料-5』に示す。

使用済みの吸着材は、収容効率を高めるために脱水装置 (SEDS ; Self-Engaging Dewatering System) により脱水処理される。脱水した水は増設多核種除去設備の系統内に移送する。

沈殿処理生成物の高性能容器への移送は自動制御で行い、使用済みの吸着材の移送は現場で状況を確認しながら手動操作によって行う。高性能容器への収容量は、水位センサにて監視する。

沈殿処理生成物及び使用済みの吸着材を収容した高性能容器は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設で貯蔵する。

また、高性能容器は、取扱い時の落下による漏えいを防止するため、補強体等を取り付ける。

#### (4) 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、沈殿処理やpH調整のため、ポンプにより薬品を前処理設備や多核種除去装置へ供給する。添加する薬品は、苛性ソーダ、炭酸ソーダ、塩酸とするが、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。なお、炭酸ソーダについては、増設多核種除去設備の処理済み水に粉体を溶解させ生成することも可能な設計とする。

#### (5) 多核種移送設備

多核種移送設備は、増設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、増設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、増設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。

#### (6) 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。

#### (7) 橋形クレーン

高性能容器を取り扱うための橋形クレーンを設ける。

#### (8) 増設多核種除去設備基礎

増設多核種除去設備基礎は、平面が約6.1m（南北方向）×約8.1m（東西方向）、厚さ約0.3mの鉄筋コンクリート造で、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1.6mの鉄骨造で、構造上、基礎から独立した構造となっている。

### 2.16.2.1.6 自然災害対策等

#### (1) 津波

増設多核種除去設備は、アウターライズ津波が到達しないと考えられるO.P.30m以上の場所に設置する。

#### (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。

## 2.16.2.1.7 構造強度及び耐震性

### (1) 構造強度

増設多核種除去設備を構成する主要な機器は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則(平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号)」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。設計・建設規格の適用が困難な機器については、設計・建設規格適用品と同等の構造強度を有することを基本とする。溶接部については、「JSME S NB-1 発電用原子力設備規格 溶接規格」(以下、「溶接規格」という。)の規定を適用することを基本とし、一部の国内製作機器については、JIS や高圧ガス保安協会基準等に準拠する。また、一部の海外製作機器については、「欧州統一規格(European Norm)」(以下、「EN 規格」という。)、CODAP(仏国圧力容器規格)等に準拠する。

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。

### (2) 耐震性

増設多核種除去設備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、検討地震動および同津波対策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。

## 2.16.2.1.8 機器の故障への対応

### (1) 機器の単一故障

増設多核種除去設備は、3つの処理系列を有し、電源についても多重化している。そのため、動的機器、電源系統の単一故障が発生した場合においても、その他の処理系列の運転による処理が可能である。

### (2) 高性能容器の落下

万一の高性能容器からの漏えい時の対応として、回収作業に必要な吸引車等を配備し、吸引車を操作するために必要な要員を確保する。また、漏えい回収訓練及び吸引車の点検を定期的に行う。

2.16.2.2 基本仕様

2.16.2.2.1 系統仕様

(1) 増設多核種除去設備

処理方式 沈殿方式+吸着材方式  
 処理容量・処理系列 250m<sup>3</sup>/日 /系列×3 系列 ※

※ 構内に貯留している RO 濃縮塩水を早期に処理するため、運用上可能な範囲（最大で 1.1 倍程度）において処理量を増加して運転する。

2.16.2.2.2 機器仕様

(1) 容器

a. 処理水受入タンク

名 称		処理水受入タンク	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m <sup>3</sup> /個	25	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	60	
主要寸法	胴 内 径	mm	3100
	胴 板 厚 さ	mm	9
	下 部 鏡 板 厚 さ	mm	9
	高 さ	mm	4740
材 料	胴 板	—	SS400・内面ゴムライニング
	下 部 鏡 板	—	SS400・内面ゴムライニング
個 数	個	2	

b. 共沈タンク

名 称		共沈タンク	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m <sup>3</sup> /個	5	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	60	
主要寸法	胴 内 径	mm	1750
	胴 板 厚 さ	mm	6
	下 部 鏡 板 厚 さ	mm	6
	高 さ	mm	4257
材 料	胴 板	—	SS400・内面ゴムライニング
	下 部 鏡 板	—	SS400・内面ゴムライニング
個 数	個	1 (1 系列あたり)	

c. 供給タンク

名 称		供給タンク	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m <sup>3</sup> /個	5	
最 高 使 用 圧 力	MPa	静水頭	
最 高 使 用 温 度	℃	60	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	1750
	胴 板 厚 さ	mm	6
	下 部 鏡 板 厚 さ	mm	6
	高 さ	mm	3837
材 料	胴 板	—	SS400・内面ゴムライニング
	下 部 鏡 板	—	SS400・内面ゴムライニング
個 数	個	1 (1系列あたり)	

d. 吸着塔入口バッファタンク

名 称		吸着塔入口バッファタンク	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m <sup>3</sup> /個	6	
最 高 使 用 圧 力	MPa	静水頭	
最 高 使 用 温 度	℃	60	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	2000
	胴 板 厚 さ	mm	6
	底 板 厚 さ	mm	20
	高 さ	mm	2826
材 料	胴 板	—	SUS316L
	底 板	—	SUS316L
個 数	個	1 (1系列あたり)	

e. 多核種吸着塔 1～18

名 称		多核種吸着塔 1～5	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m <sup>3</sup> /個	1	
最 高 使 用 圧 力	MPa	1.37	
最 高 使 用 温 度	℃	60	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	1054
	胴 板 厚 さ	mm	18
	上 部 ・ 下 部 鏡 板 厚 さ	mm	20
	高 さ	mm	2550
材 料	胴 板	—	SUS316L
	鏡 板	—	SUS316L
個 数	個	5 (1 系列あたり)	

名 称		多核種吸着塔 6～14	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m <sup>3</sup> /個	1	
最 高 使 用 圧 力	MPa	1.37	
最 高 使 用 温 度	℃	60	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	1050
	胴 板 厚 さ	mm	16
	さ ら 形 ふ た 板 厚 さ	mm	16
	下 部 鏡 板 厚 さ	mm	16
	高 さ	mm	2553
材 料	胴 板	—	SM490A・内面ゴムライニング
	さ ら 形 ふ た 板	—	SM490A・内面ゴムライニング
	下 部 鏡 板	—	SM490A・内面ゴムライニング
個 数	個	9 (1 系列あたり)	

名 称			多核種吸着塔 15～18
種 類	—		たて置円筒形
容 量	m <sup>3</sup> /個		2.4
最高使用圧力	MPa		1.37
最高使用温度	℃		60
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	1350
	胴 板 厚 さ	mm	16
	さら形ふた板厚さ	mm	19
	下部鏡板厚さ	mm	19
	高 さ	mm	3011
材 料	胴 板	—	SM490A・内面ゴムライニング
	さら形ふた板	—	SM490A・内面ゴムライニング
	下 部 鏡 板	—	SM490A・内面ゴムライニング
個 数	個		4 (1系列あたり)

f. 移送タンク

名 称			移送タンク
種 類	—		たて置円筒形
容 量	m <sup>3</sup> /個		27
最高使用圧力	MPa		静水頭
最高使用温度	℃		60
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	3100
	胴 板 厚 さ	mm	9
	底 板 厚 さ	mm	22
	高 さ	mm	4131
材 料	胴 板	—	SS400・内面ゴムライニング
	底 板	—	SS400・内面ゴムライニング
個 数	個		2

g. サンプルタンク（増設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 <sup>3</sup> /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	

h. 炭酸ソーダ溶解槽

名 称		炭酸ソーダ溶解槽	
種 類	—	角形	
容 量	m <sup>3</sup> /個	1.3	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	60	
主要寸法	内 寸	mm	1188 × 1188
	側 板 厚 さ	mm	6
	底 板 厚 さ	mm	6
	高 さ	mm	1200
材 料	側 板	—	SS400・内面ゴムライニング
	底 板	—	SS400・内面ゴムライニング
個 数	個	3	

i. 炭酸ソーダ貯槽

名 称		炭酸ソーダ貯槽	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m <sup>3</sup> /個	33	
最 高 使 用 圧 力	MPa	静水頭	
最 高 使 用 温 度	℃	60	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	3100
	胴 板 厚 さ	mm	9
	底 板 厚 さ	mm	22
	高 さ	mm	5022
材 料	胴 板	—	SUS316L
	底 板	—	SUS316L
個 数	個	2	

(2) ポンプ

a. 供給ポンプ 1 (完成品)

台数	1台 (1系列あたり)
容量	10.5 m <sup>3</sup> /h

b. 供給ポンプ 2 (完成品)

台数	1台 (1系列あたり)
容量	11.0 m <sup>3</sup> /h

c. 循環ポンプ (完成品)

台数	1台 (1系列あたり)
容量	313 m <sup>3</sup> /h

d. ブースタポンプ 1 (完成品)

台数	1台 (1系列あたり)
容量	11.0 m <sup>3</sup> /h

e. ブースタポンプ 2 (完成品)

台数	1台 (1系列あたり)
容量	11.5 m <sup>3</sup> /h

f. 移送ポンプ (完成品)

台数	2台
容量	35 m <sup>3</sup> /h

g. 増設多核種除去設備用移送ポンプ (完成品)

台数	2台
容量	50 m <sup>3</sup> /h

h. 炭酸ソーダ溶解槽移送ポンプ (完成品)

台数	3台
容量	1.8 m <sup>3</sup> /h

i. 炭酸ソーダ貯槽 1 供給ポンプ (完成品)

台数	3台
容量	0.2 m <sup>3</sup> /h

j. 炭酸ソーダ貯槽 2 移送ポンプ (完成品)

台 数	2 台
容 量	20 m <sup>3</sup> /h

(3) その他機器

a. クロスフローフィルタ

台 数	6 台 (1 系列あたり)
-----	---------------

b. 出口フィルタ

台 数	1 台 (1 系列あたり)
-----	---------------

## (4) 配管

## 主要配管仕様

名 称	仕 様	
R O後濃縮塩水系受タンク移送流路分岐部から処理水受入タンク入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 0.98MPa 60℃ 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℃
処理水受入タンク出口から共沈タンク入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 50A/Sch. 40 32A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 0.98MPa 60℃
共沈タンク出口から供給タンク入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
供給タンク出口からクロスフローフィルタ循環ラインまで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 32A/Sch. 40 SUS316L 0.98MPa 60℃
クロスフローフィルタ循環ライン (鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	125A/Sch. 40 150A/Sch. 40 200A/Sch. 40 250A/Sch. 40 300A/Sch. 40 300A 相当/3mm SUS316L 0.98MPa 60℃
クロスフローフィルタ出口から吸着塔入口バッファタンク入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 50A/Sch. 80 SUS316L 0.98MPa 60℃

主要配管仕様

名 称	仕 様	
吸着塔入口バッファタンク出口から 多核種吸着塔5下流 塩酸供給点まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	32A/Sch. 40 50A/Sch. 40 SUS316L 1. 37MPa 60℃
多核種吸着塔5下流 塩酸供給点から 移送タンクまで (鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	32A/Sch. 40 50A/Sch. 40 50A/Sch. 80 80A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 1. 37MPa 60℃
移送タンク出口から サンプルタンク入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A/Sch. 40 65A/Sch. 40 80A/Sch. 40 100A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 0. 98MPa 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 SUS316L 0. 98MPa 60℃
(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

名 称	仕 様	
サンプルタンク出口から 多核種処理水貯槽, RO 濃縮水貯槽また は Sr 処理水貯槽まで (鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 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 SUS316L 0.98MPa 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPG370 + 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	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℃
増設多核種除去設備用移送ポンプスキ ッドから 増設多核種除去設備入口弁スキッドま 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℃

主要配管仕様

名 称	仕 様	
移送ポンプ出口分岐部から 炭酸ソーダ溶解槽まで (鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch. 40 40A/Sch. 40 20A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 0.98MPa 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	20A/Sch. 40 15A/Sch. 40 SUS316L 0.98MPa 60℃
炭酸ソーダ溶解槽から 炭酸ソーダ貯槽まで (鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 40A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A/Sch. 40 40A/Sch. 80 15A/Sch. 40 SUS316L 0.5MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力  最高使用温度	40A 相当 PTFE 静水頭 0.5MPa 60℃
炭酸ソーダ貯槽から 共沈タンクまで (鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	125A/Sch. 40 65A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch. 40 40A/Sch. 40 25A/Sch. 40 SUS316L 0.5MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	125A 相当 PTFE 静水頭 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A 相当 PTFE 0.5MPa 60℃

主要配管仕様

名 称	仕 様	
炭酸ソーダ貯槽から 多核種除去設備建屋入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch. 40 SUS316L 静水頭 60℃
(鋼管)	呼び径/厚さ  材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch. 40 65A/Sch. 40 50A/Sch. 40 SUS316L 0.5MPa 60℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A 相当 PTFE 静水頭 60℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	75A 相当 ポリエチレン 0.5MPa 60℃

※ 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。

(5) 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	2基
種類	半導体検出器
取付箇所	増設多核種除去設備設置エリア
計測範囲	10 <sup>-3</sup> mSv/h ~ 10 <sup>1</sup> mSv/h

2.16.2.3 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：増設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：増設多核種除去設備の耐震性に関する説明書
- 添付資料－4：増設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：増設多核種除去設備の具体的な安全確保策

添付資料－８： 増設多核種除去設備の確認試験結果について

添付資料－９： 増設多核種除去設備に係る確認事項



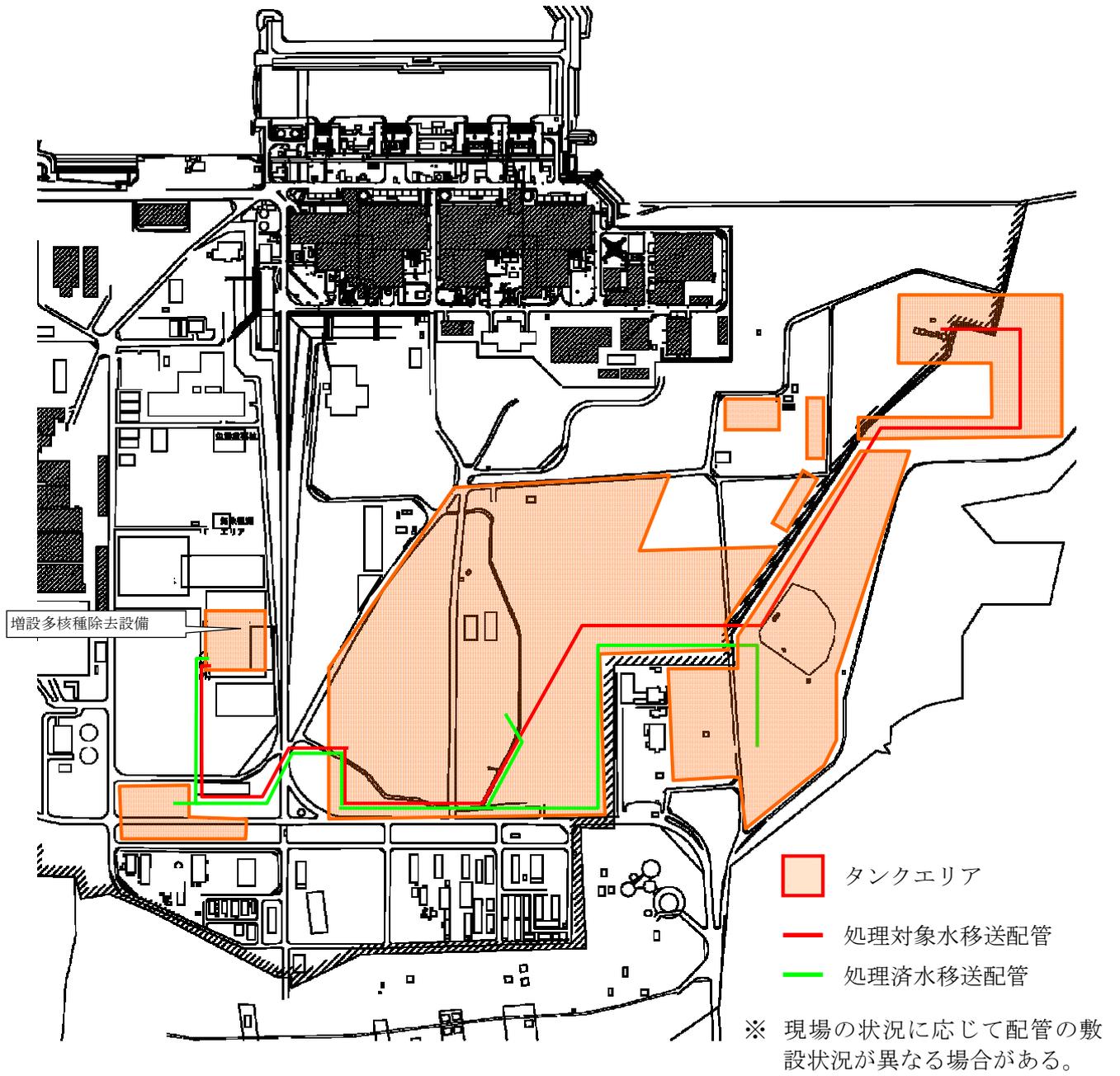


図-2 増設多核種除去設備の配置概要図

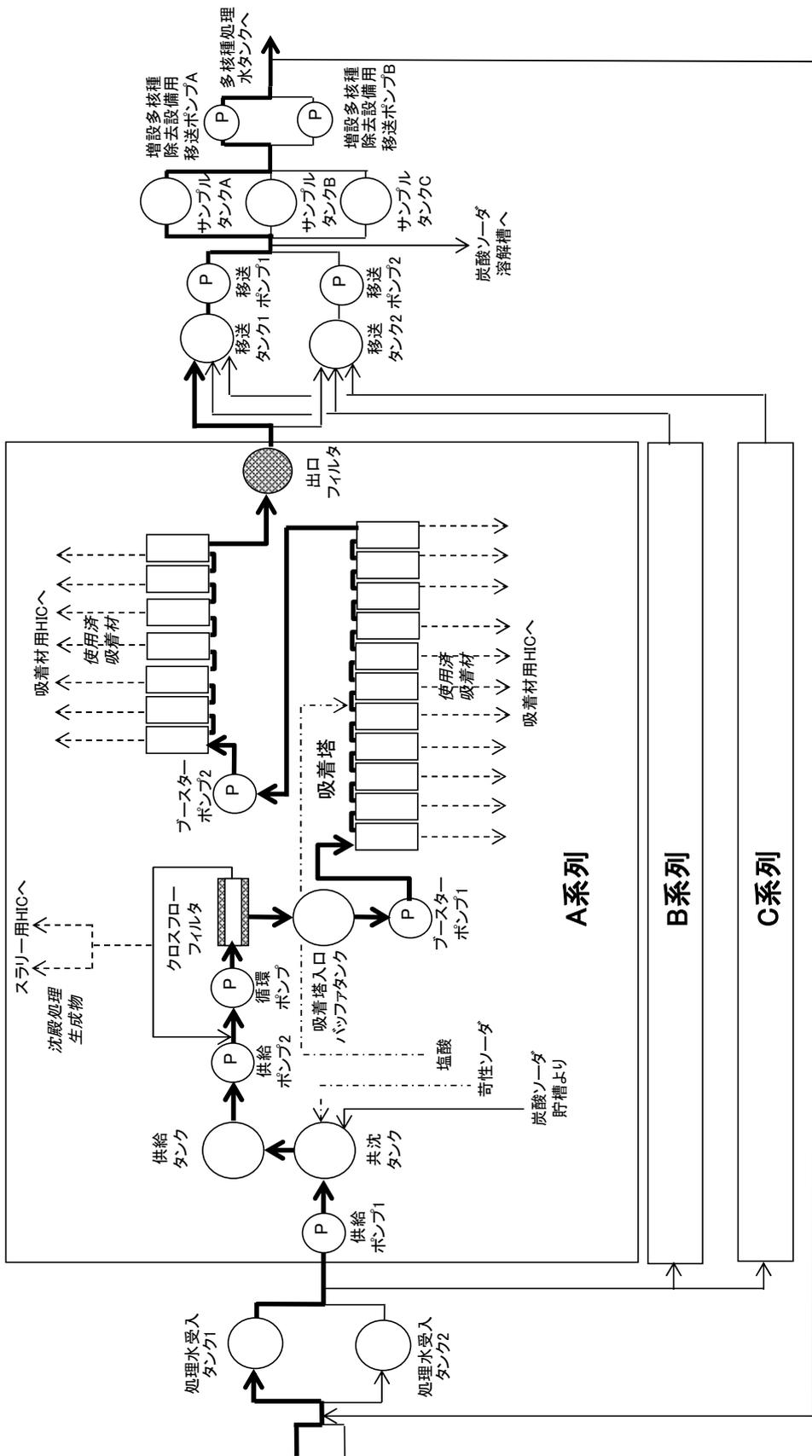


図-3 増設多核種除去設備の系統構成図 (1/2)

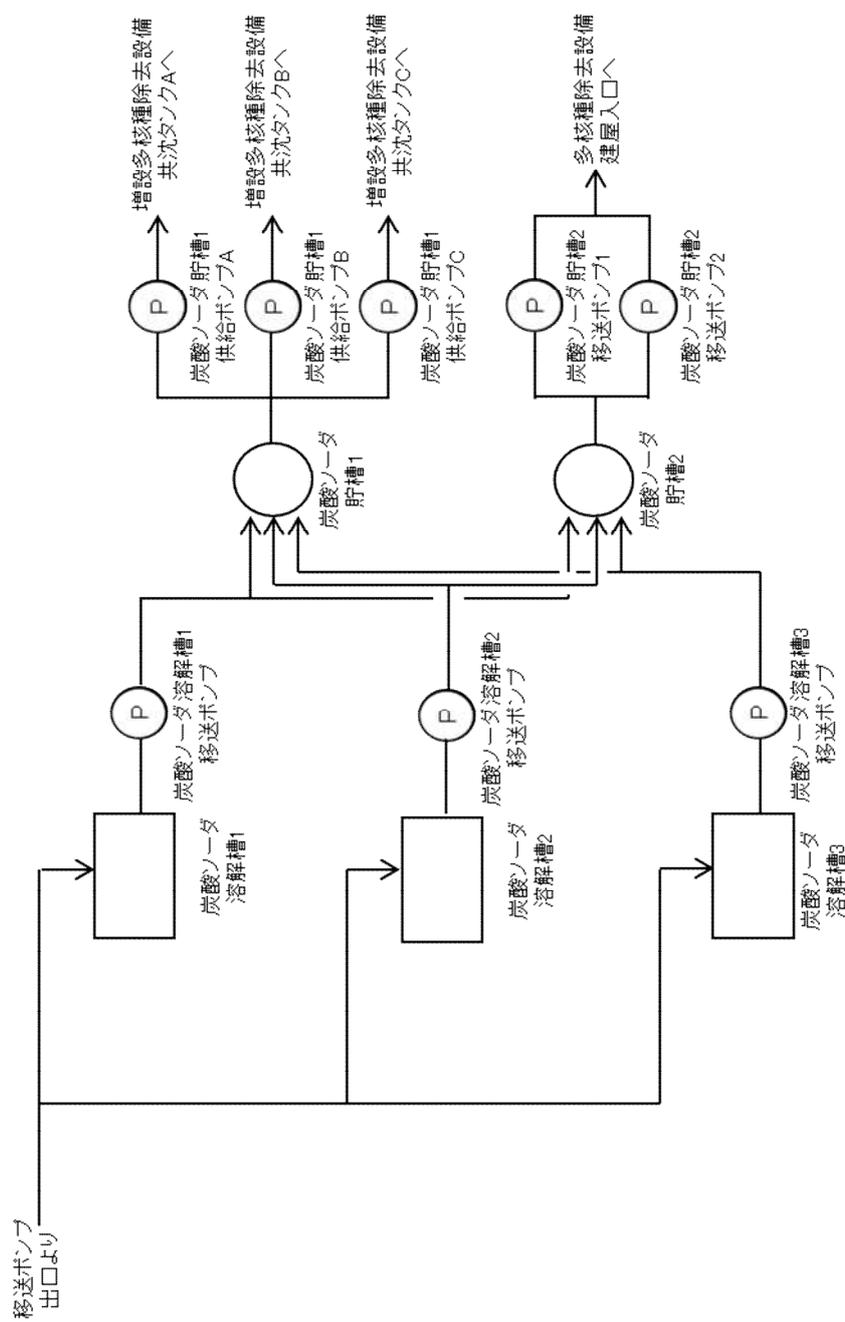


図-3 増設多核種除去設備の系統構成図 (2 / 2)

## 増設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
2.16.2 増設多核種除去設備			
(1) 容器	処理水受入タンク 1, 2	処理水受入タンク 1, 2 スキッド	S <sub>B</sub>
	共沈タンク A, B, C	共沈タンク A, B, C スキッド	S <sub>B</sub>
	供給タンク A, B, C	供給タンク A, B, C スキッド	S <sub>B</sub>
	吸着塔入口バッファタンク A, B, C	吸着塔入口バッファタンク A, B, C スキッド	S <sub>B</sub>
	多核種吸着塔 1～18 A, B, C	多核種吸着塔 A, B, C スキッド 1～6	S <sub>B</sub>
	移送タンク 1, 2	移送タンク 1, 2 スキッド	S <sub>B</sub>
	サンプルタンク A, B, C	サンプルタンクエリア	S <sub>B</sub>
	炭酸ソーダ溶解槽 1, 2, 3	炭酸ソーダ製造スキッド 1, 2, 3	S <sub>B</sub>
	炭酸ソーダ貯槽 1, 2	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
(2) ポンプ	供給ポンプ 1 A, B, C	供給ポンプ 1 スキッド	S <sub>B</sub>
	供給ポンプ 2 A, B, C	供給ポンプ 2 A, B, C スキッド	S <sub>B</sub>
	循環ポンプ A, B, C	クロスフローフィルタ A, B, C スキッド	S <sub>B</sub>

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)	ブースターポンプ 1 A,B,C	ブースターポンプ 1 A,B,C スキッド	S <sub>B</sub>	
	ブースターポンプ 2 A,B,C	ブースターポンプ 2 A,B,C スキッド	S <sub>B</sub>	
	移送ポンプ 1, 2	出口移送スキッド	S <sub>B</sub>	
	増設多核種除去設備用移送 ポンプ A,B	増設多核種除去設備用移送 ポンプ用スキッド	S <sub>B</sub>	
	炭酸ソーダ溶解槽 1, 2, 3 移送ポンプ	炭酸ソーダ溶解槽 1, 2, 3 移送スキッド	S <sub>B</sub>	
	炭酸ソーダ貯槽 1 供給ポンプ A,B,C	炭酸ソーダ貯槽 1 供給スキッド	S <sub>B</sub>	
	炭酸ソーダ貯槽 2 移送ポンプ 1, 2	炭酸ソーダ貯槽 2 移送スキッド	S <sub>B</sub>	
	(3)その他機器	出口フィルタ A,B,C	出口フィルタスキッド	S <sub>B</sub>
	(4)配管	主配管	増設多核種除去設備基礎 ,スキッド等	S <sub>B</sub>
	(5)スキッド	増設多核種除去設備入口弁 スキッド	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
		処理水受入タンク 1, 2 スキッド	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
		供給ポンプ 1 スキッド	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
		共沈タンク A,B,C スキッド	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
		供給タンク A,B,C スキッド	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
		供給ポンプ 2 A,B,C スキッド	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
		供給ポンプ 2 弁 A,B,C スキッド	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
クロスフローフィルタ A,B,C スキッド		増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>	

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:スキッド)	吸着塔入口バッファタンク A,B,Cスキッド	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
	ブースターポンプ1 A, B, C スキッド	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
	多核種吸着塔A,B,Cスキッド 1~6	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
	ブースターポンプ2 A, B, C スキッド	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
	出口フィルタスキッド	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
	移送タンク1, 2スキッド	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
	出口移送スキッド	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
	増設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 <sub>B</sub>
	炭酸ソーダ製造スキッド 1,2,3	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
	炭酸ソーダ溶解槽1,2,3移送 スキッド	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>
炭酸ソーダ貯槽1供給スキッド	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>	
炭酸ソーダ貯槽2移送スキッド	増設多核種除去設備基礎	S <sub>B</sub>	
備考	<ul style="list-style-type: none"> <li>増設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。</li> </ul>		

(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) スカート支持たて置円筒形容器	胴をスカートで支持たて置円筒形容器を有するたて置円筒形容器に据え付ける。	上面に平板,下面に鏡板を有するたて置円筒形  上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 処理水受入タンク 1, 2</li> <li>・ 共沈タンク A, B, C</li> <li>・ 供給タンク A, B, C</li> <li>・ 多核種吸着塔 1 ~ 18 A, B, C</li> </ul>

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) 平底たて置円筒形容器	<p>底板を取付ボルトでスキッドに据え付ける。</p> <p>b. 自立 (非固定)</p>	<p>下面に底板を有するたて置円筒形</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・吸着塔入口バッファタンク A, B, C</li> <li>・移送タンク 1, 2</li> <li>・炭酸ソーダ溶解槽 1, 2, 3</li> <li>・炭酸ソーダ貯槽 1, 2</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サンプルタンク A, B, C</li> </ul>

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) 三脚たて置円筒形容器	胴を3個の脚で支持し,脚を取付ボルトでスキッドに据え付ける。	上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 出口フィルタ A, B, C</li> </ul>

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スキッドに据え付ける。	うず巻形		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 供給ポンプ 1 A, B, C</li> <li>・ 供給ポンプ 2 A, B, C</li> <li>・ 循環ポンプ A, B, C</li> <li>・ ブースターポンプ 1 A, B, C</li> <li>・ ブースターポンプ 2 A, B, C</li> <li>・ 移送ポンプ 1, 2</li> <li>・ 増設多核種除去設備用移送ポンプ A, B</li> <li>・ 炭酸ソーダ溶解槽 1, 2, 3 移送ポンプ</li> <li>・ 炭酸ソーダ貯槽 1 供給ポンプ A, B, C</li> <li>・ 炭酸ソーダ貯槽 2 移送ポンプ 1, 2</li> </ul>

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) スキッド	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		<ul style="list-style-type: none"> <li>・増設多核種除去設備入口弁スキッド</li> <li>・処理水受入タンク 1, 2 スキッド</li> <li>・供給ポンプ 1 スキッド</li> <li>・共沈タンク A, B, C スキッド</li> <li>・供給タンク A, B, C スキッド</li> <li>・供給ポンプ 2 A, B, C スキッド</li> <li>・供給ポンプ 2 弁 A, B, C スキッド</li> <li>・クロスフローフィルタ A, B, C スキッド</li> <li>・吸着塔入口バフファタンク A, B, C スキッド</li> <li>・ブースターポンプ 1 A, B, C スキッド</li> <li>・多核種吸着塔 A, B, C スキッド 1~6</li> <li>・ブースターポンプ 2 A, B, C スキッド</li> <li>・出口フィルタスキッド</li> <li>・移送タンク 1, 2 スキッド</li> <li>・出口移送スキッド</li> <li>・増設多核種除去設備用移送ポンプスキッド</li> <li>・炭酸ソーダ製造スキッド 1, 2, 3</li> <li>・炭酸ソーダ溶解槽 1, 2, 3 移送スキッド</li> <li>・炭酸ソーダ貯槽 1 供給スキッド</li> <li>・炭酸ソーダ貯槽 2 移送スキッド</li> </ul>

b. 配管系

a) 配管（鋼管）

配管はサポートにより建屋（建屋で支持されるスキッドを含む）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 JEAG 4601・補-1984, JEAG 4601-1987及びJEAG 4601-1991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「JEAG 4601」という。）及び発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC 1-2005（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 <sub>d</sub>	: 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 <sub>d</sub>	: 当該設備に設計上定められた機械的荷重
S <sub>B</sub>	: 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 <sub>AS</sub>	: Bクラス設備の地震時許容応力状態
S <sub>y</sub>	: 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
S <sub>u</sub>	: 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
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。
f <sub>t</sub>	: 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 <sub>s</sub>	: 許容せん断応力 同 上
f <sub>c</sub>	: 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 <sub>b</sub>	: 許容曲げ応力 同 上
τ <sub>b</sub>	: 取付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 $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。 ただし、ASS及びHNAについては上記の値と $1.2 \cdot S$ 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 $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	<ul style="list-style-type: none"> <li>処理水受入タンク1, 2</li> <li>共沈タンクA, B, C</li> <li>供給タンクA, B, C</li> <li>多核種吸着塔1~18A, B, C</li> <li>吸着塔入口バッファタンクA, B, C</li> <li>移送タンク1, 2</li> <li>炭酸ソーダ貯槽1, 2</li> </ul>

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+SB	C (BAS)	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\text{Min}\{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>基礎ボルト</li> <li>取付ボルト</li> <li>スカート</li> <li>脚</li> </ul>

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 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」、「付録 2. 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」及び「付録 3 横軸ポンプ及びスキッド（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) 処理水受入タンク 1, 2
- (2) 共沈タンク A, B, C
- (3) 供給タンク A, B, C
- (4) 吸着塔入口バッファタンク A, B, C
- (5) サンプルタンク A, B, C
- (6) 多核種吸着塔 1～5 A, B, C
- (7) 多核種吸着塔 6～14 A, B, C
- (8) 多核種吸着塔 15～18 A, B, C
- (9) 移送タンク 1, 2
- (10) 供給ポンプ 1 A, B, C
- (11) 供給ポンプ 2 A, B, C
- (12) 循環ポンプ A, B, C
- (13) ブースターポンプ 1 A, B, C
- (14) ブースターポンプ 2 A, B, C
- (15) 移送ポンプ 1, 2
- (16) 増設多核種除去設備用移送ポンプ A, B
- (17) 出口フィルタ A, B, C

……………「JPI-7R-71-96 石油学会規格 縦形容器用レグ」に準拠し評価する。

- (18) 増設多核種除去設備入口弁スキッド
- (19) 処理水受入タンク 1, 2 スキッド
- (20) 供給ポンプ 1 スキッド
- (21) 共沈タンク A, B, C スキッド
- (22) 供給タンク A, B, C スキッド
- (23) 供給ポンプ 2 A, B, C スキッド
- (24) 供給ポンプ 2 弁 A, B, C スキッド
- (25) クロスフローフィルタ A, B, C スキッド
- (26) 吸着塔入口バッファタンク A, B, C スキッド
- (27) ブースターポンプ 1 A, B, C スキッド
- (28) 多核種吸着塔 A, B, C スキッド 1
- (29) 多核種吸着塔 A, B, C スキッド 2
- (30) 多核種吸着塔 A, B, C スキッド 3
- (31) 多核種吸着塔 A, B, C スキッド 4
- (32) 多核種吸着塔 A, B, C スキッド 5

- (33) 多核種吸着塔A, B, Cスキッド6
- (34) ブースターポンプ2 A, B, Cスキッド
- (35) 出口フィルタスキッド
- (36) 移送タンク1, 2スキッド
- (37) 出口移送スキッド
- (38) 増設多核種除去設備用移送ポンプスキッド
- (39) 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。
- (40) 炭酸ソーダ溶解槽1, 2, 3
- (41) 炭酸ソーダ貯槽1, 2
- (42) 炭酸ソーダ溶解槽1, 2, 3移送ポンプ
- (43) 炭酸ソーダ貯槽1供給ポンプA, B, C
- (44) 炭酸ソーダ製造スキッド1, 2, 3
- (45) 炭酸ソーダ溶解槽1, 2, 3移送スキッド
- (46) 炭酸ソーダ貯槽1供給スキッド
- (47) 炭酸ソーダ貯槽2移送ポンプ1, 2
- (48) 炭酸ソーダ貯槽2移送スキッド

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、以下では剛体として扱う。

(1) 処理水受入タンク

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 (m)	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
処理水受入タンク 1, 2	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	静水頭	60	40	1.00

注記 \* : 基準床レベルを示す。

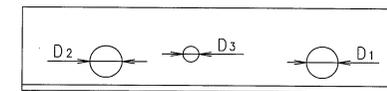
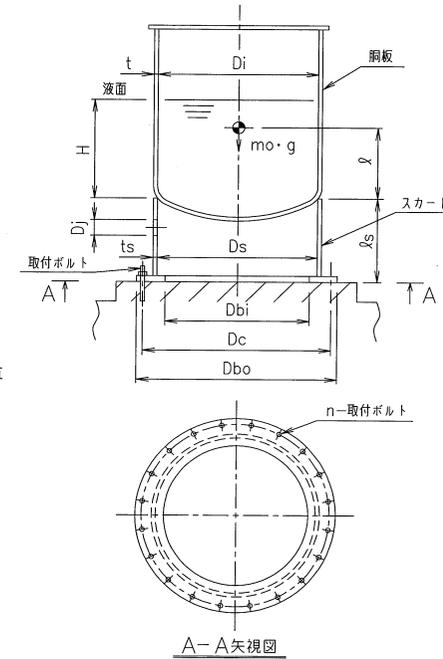
b. 評価結果

(単位: MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SS400	組合せ	$\sigma_o = 9$	$S_o = 233$
スカート	SS400	組合せ	$\sigma_s = 12$	$f_t = 245$
		圧縮と曲げの組合せ (坐屈の評価)	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s1}}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$ 0.07 (無次元)	
取付ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = -$	$f_{ts} = 176*$
		せん断	$\tau_b = 13$	$f_{sb} = 135$

注記 \* : (3.2.3.2) 式より算

すべて許容応力以下である。



スカート開口部の形状を示す。

(2) 共沈タンク

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 (m)	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
共沈タンク A, B, C	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	C <sub>H</sub> =0.36	—	静水頭	60	40	1.01

注記 \* : 基準床レベルを示す。

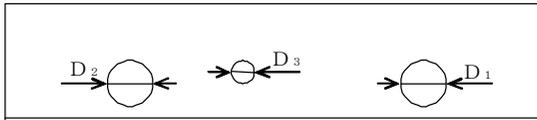
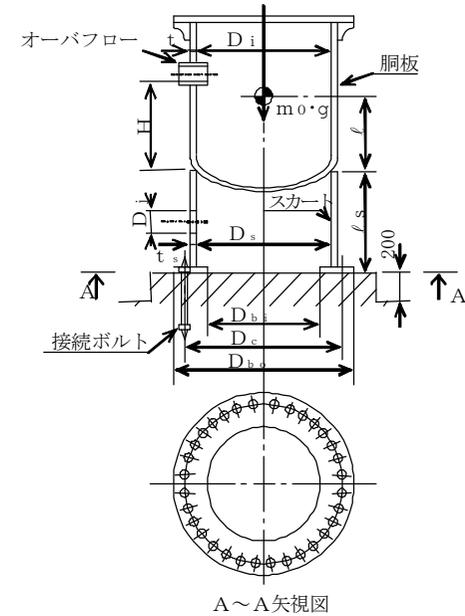
b. 評価結果

(単位 : MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SS400	組合せ	$\sigma_0 = 7$	$S_a = 233$
スカート	SS400	組合せ	$\sigma_s = 12$	$f_t = 245$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s1}}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	0.1 (無次元)
接続ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 6$	$f_{ts} = 176*$
		せん断	$\tau_b = 6$	$f_{sb} = 135$

注記 \* : (3.2.3.2) 式より算出

すべて許容応力以下である。



スカート開口部の形状を示す。

(3) 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 (m)	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
供給タンク A, B, C	B	増設多種除去設備建屋 O.P. 37.7*	C <sub>H</sub> = 0.36	—	静水頭	60	40	1.17

注記 \* : 基準床レベルを示す。

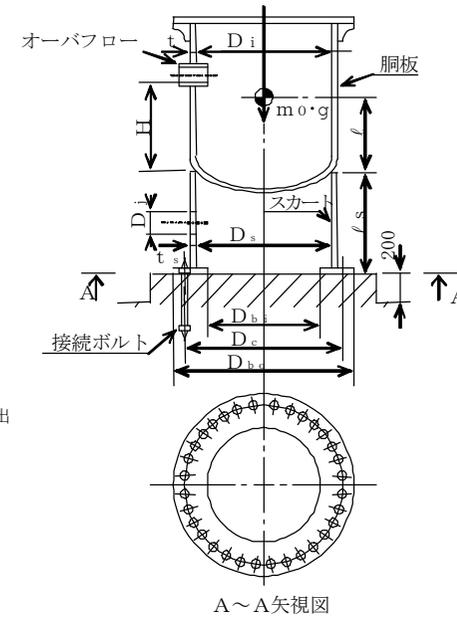
b. 評価結果

(単位 : MPa)

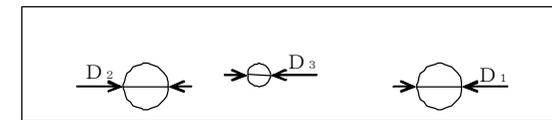
部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SS400	組合せ	$\sigma_0 = 7$	$S_a = 233$
スカート	SS400	組合せ	$\sigma_s = 11$	$f_t = 245$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s1}}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$ 0.1 (無次元)	
接続ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 4$	$f_{ts} = 176*$
		せん断	$\tau_b = 6$	$f_{sb} = 135$

すべて許容応力以下である。

注記 \* : (3.2.3.2) 式より算出



A~A矢視図



スカート開口部の形状を示す。

(4) 吸着塔入口バッファタンク

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 (m)	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
吸着塔入口 バッファタンク A, B, C	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	静水頭	60	40	1.00

注記 \* : 基準床レベルを示す。

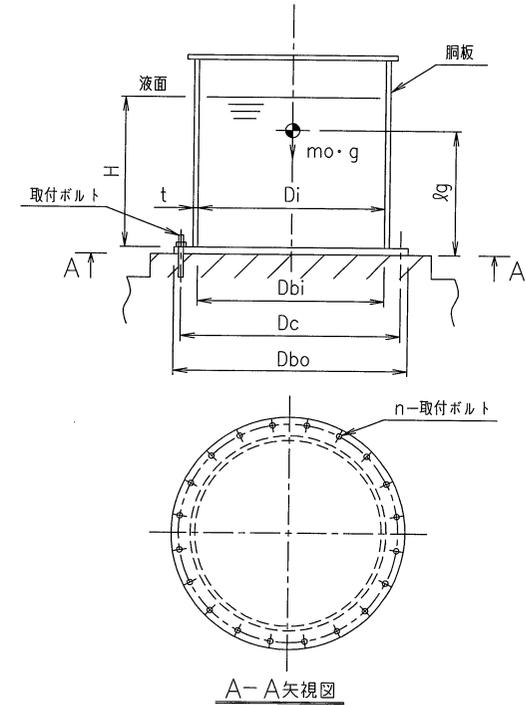
b. 評価結果

(単位: MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	組合せ	$\sigma_0 = 6$	$S_a = 163$
		圧縮と曲げの組合せ (坐屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$ 0.03 (無次元)	
取付ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = -$	$f_{ts} = 176*$
		せん断	$\tau_b = 8$	$f_{sb} = 135$

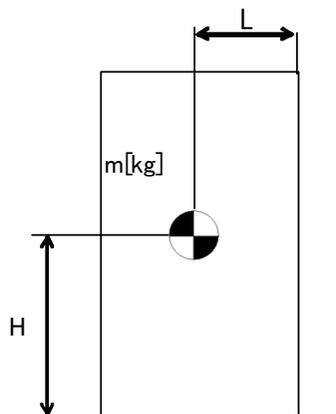
注記 \* : (3.2.3.2) 式より算出

すべて許容応力以下である。



(5) 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<sub>H</sub> : 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	$3.1 \times 10^4$	$7.1 \times 10^4$	kN・m

(6) 多核種吸着塔 1～5

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 (m)	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
多核種吸着塔 1～5 A, B, C	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H=0.36$	—	1.37	60	40	—

注記 \* : 基準床レベルを示す。

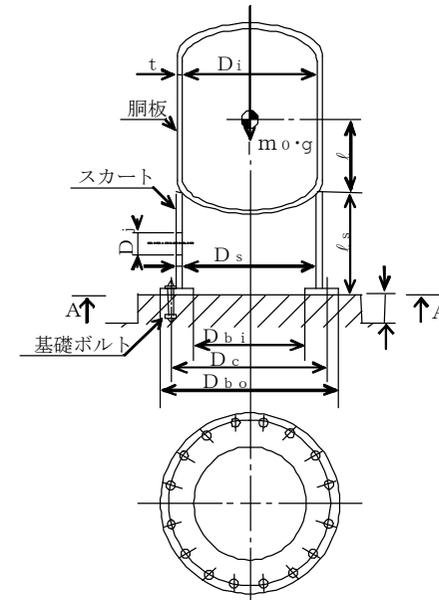
b. 評価結果

(単位 : MPa)

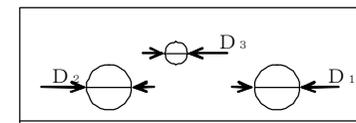
部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	組合せ	$\sigma_o=41$	$S_a=163$
スカート	SUS304	組合せ	$\sigma_s=7$	$f_t=205$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s1}}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$ 0.03 (無次元)	
基礎ボルト	SUS316L	引張り	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=131^*$
		せん断	$\tau_b=4$	$f_{sb}=101$

すべて許容応力以下である。

注記 \* : (3.2.3.2) 式より算出



A～A矢視図



スカート開口部の形状を示す。

(7) 多核種吸着塔 6～14

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 (m)	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
多核種吸着塔 6～14 A, B, C	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H=0.36$	—	1.37	60	40	—

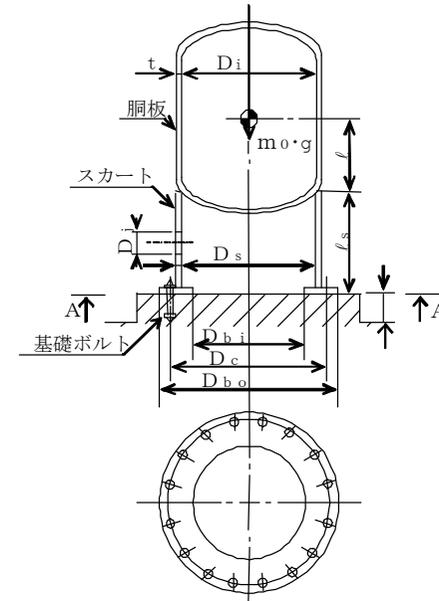
注記 \* : 基準床レベルを示す。

b. 評価結果

(単位: MPa)

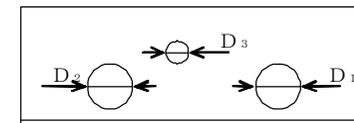
部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SM490A	組合せ	$\sigma_o=46$	$S_o=313$
スカート	SM490A	組合せ	$\sigma_s=14$	$f_t=325$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s1}}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$ 0.05 (無次元)	
基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=161^*$
		せん断	$\tau_b=4$	$f_{sb}=124$

すべて許容応力以下である。



注記 \* : (3.2.3.2) 式より算出

A～A矢視図



スカート開口部の形状を示す。

(8) 多核種吸着塔 15～18

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(m)	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(°C)	周囲環境温度(°C)	比重
多核種吸着塔 15～18 A, B, C	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	C <sub>H</sub> =0.36	—	1.37	60	40	—

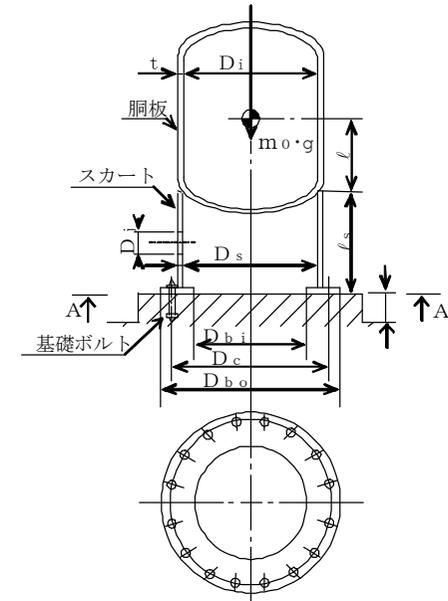
注記 \* : 基準床レベルを示す。

b. 評価結果

(単位 : MPa)

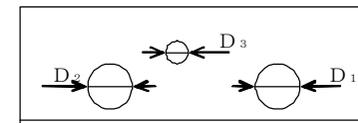
部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SM490A	組合せ	$\sigma_o = 59$	$S_a = 313$
スカート	SM490A	組合せ	$\sigma_s = 8$	$f_t = 325$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s1}}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$ 0.03 (無次元)	
基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 2$	$f_{ts} = 161^*$
		せん断	$\tau_b = 7$	$f_{sb} = 124$

すべて許容応力以下である。



注記 \* : (3.2.3.2) 式より算出

A～A矢視図



スカート開口部の形状を示す。

(9) 移送タンク

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 (m)	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
移送タンク 1, 2	B	増設多核種除去設備建屋 O. P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	静水頭	60	40	1.00

注記 \* : 基準床レベルを示す。

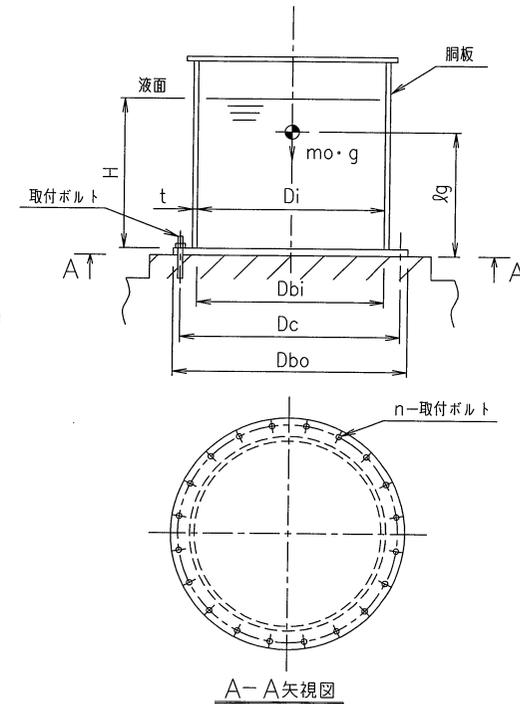
b. 評価結果

(単位: MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SS400	組合せ	$\sigma_0 = 8$	$S_a = 233$
		圧縮と曲げの組合せ (坐屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$ 0.03 (無次元)	
取付ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = -$	$f_{ts} = 176*$
		せん断	$\tau_b = 14$	$f_{sb} = 135$

注記 \* : (3.2.3.2) 式より算出

すべて許容応力以下である。



(10) 供給ポンプ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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
供給ポンプ1 A, B, C	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H=0.36$	—	$C_P=0.18$	60	40

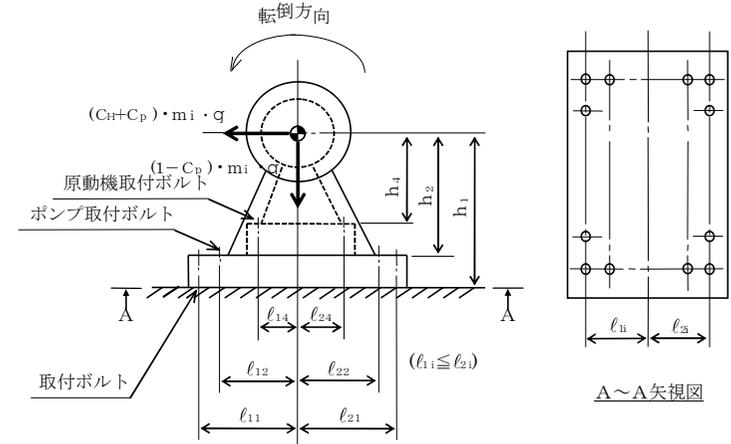
注記 \* : 基準床レベルを示す。

b. 評価結果

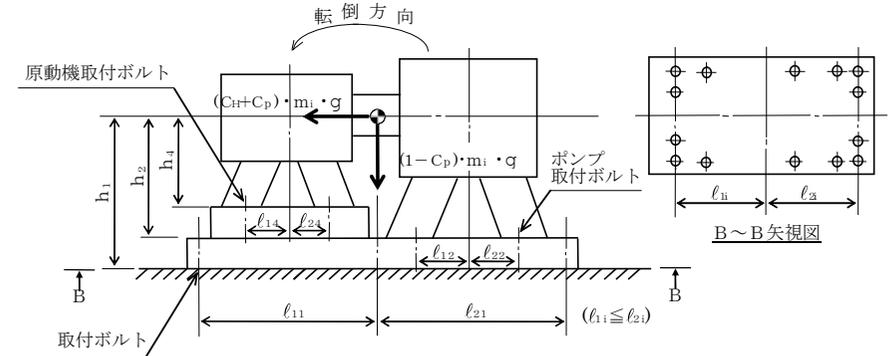
(単位: MPa)

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	—	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	$\tau_{b1}=2$	$f_{sb1}=118$
ポンプ取付ボルト ( $i = 2$ )	SUS304	引張り	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=153^*$
		せん断	$\tau_{b2}=1$	$f_{sb2}=118$
原動機取付ボルト ( $i = 4$ )	SUS304	引張り	$\sigma_{b4}=1$	$f_{ts4}=153^*$
		せん断	$\tau_{b4}=1$	$f_{sb4}=118$

すべて許容応力以下である。



注記\* : (3.1.2) 式より算出



(11) 供給ポンプ2

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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
供給ポンプ2 A, B, C	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H=0.36$	—	$C_P=0.26$	60	40

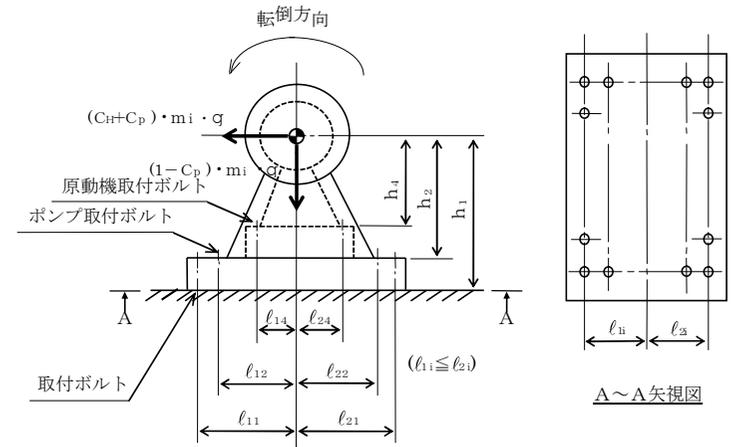
注記 \* : 基準床レベルを示す。

b. 評価結果

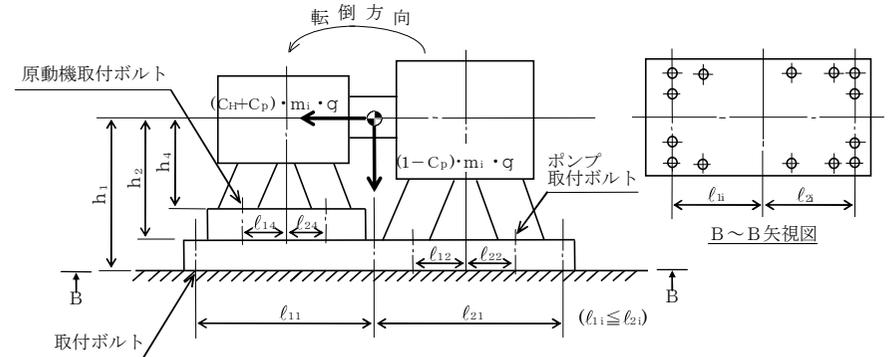
(単位: MPa)

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	—	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	$\tau_{b1}=2$	$f_{sb1}=118$
ポンプ取付ボルト ( $i=2$ )	SUS304	引張り	$\sigma_{b2}=7$	$f_{ts2}=153^*$
		せん断	$\tau_{b2}=1$	$f_{sb2}=118$
原動機取付ボルト ( $i=4$ )	SUS304	引張り	$\sigma_{b4}=1$	$f_{ts4}=153^*$
		せん断	$\tau_{b4}=2$	$f_{sb4}=118$

すべて許容応力以下である。



注記\* : (3.1.2) 式より算出



(12) 循環ポンプ

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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
循環ポンプ A, B, C	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H=0.36$	—	$C_P=0.10$	60	40

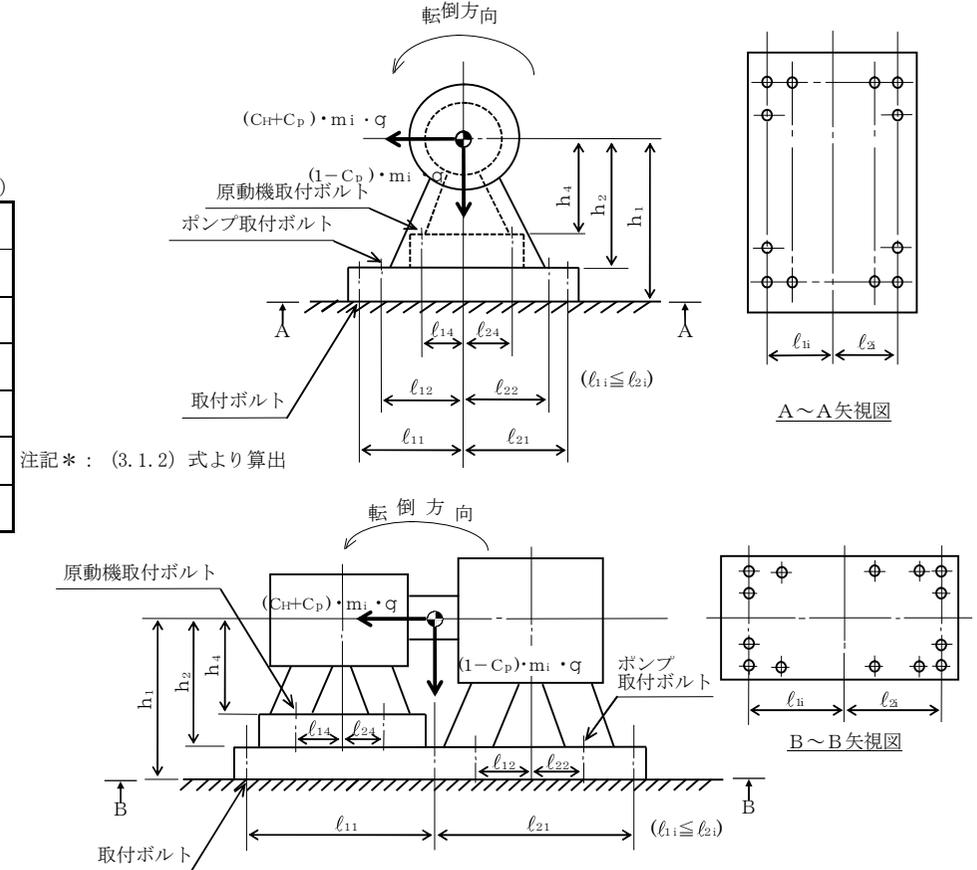
注記 \* : 基準床レベルを示す。

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	—	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=118$
ポンプ取付ボルト ( $i=2$ )	SUS304	引張り	$\sigma_{b2}=4$	$f_{ts2}=153^*$
		せん断	$\tau_{b2}=1$	$f_{sb2}=118$
原動機取付ボルト ( $i=4$ )	SUS304	引張り	$\sigma_{b4}=1$	$f_{ts4}=153^*$
		せん断	$\tau_{b4}=3$	$f_{sb4}=118$

すべて許容応力以下である。



(13) ブースタポンプ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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
ブースターポンプ1 A, B, C	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H=0.36$	—	$C_P=0.26$	60	40

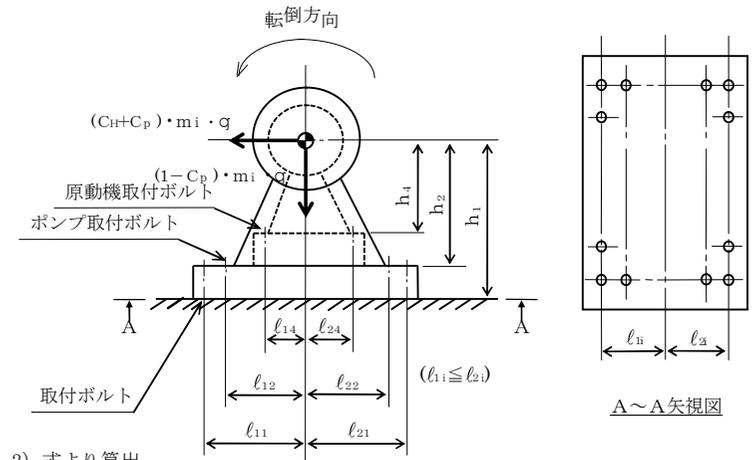
注記 \* : 基準床レベルを示す。

b. 評価結果

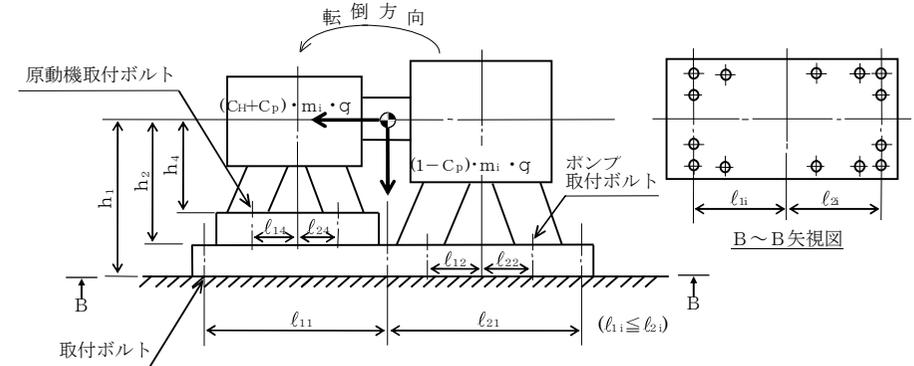
(単位: MPa)

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	$\tau_{b1}=3$	$f_{sb1}=118$
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	$\sigma_{b4}=1$	$f_{ts4}=153^*$
		せん断	$\tau_{b4}=2$	$f_{sb4}=118$

すべて許容応力以下である。



注記\* : (3.1.2) 式より算出



(14) ブースタポンプ2

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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
ブースターポンプ2 A, B, C	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H=0.36$	—	$C_P=0.26$	60	40

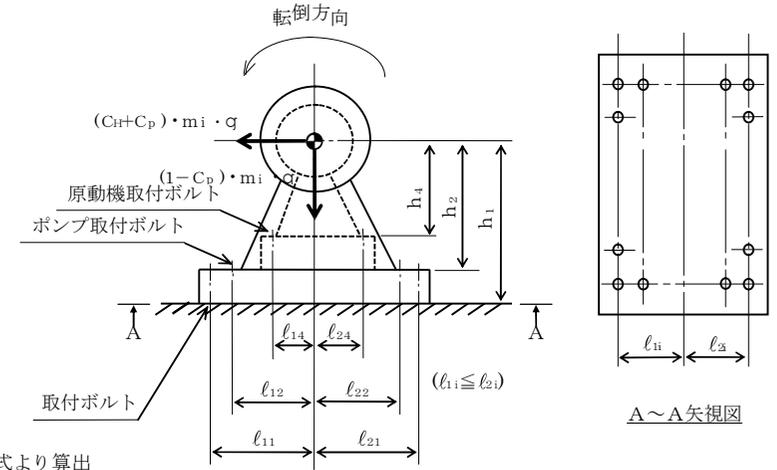
注記 \* : 基準床レベルを示す。

b. 評価結果

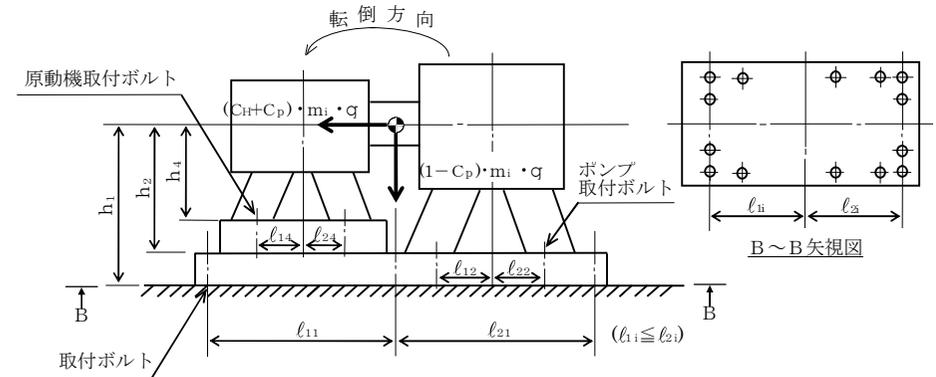
(単位: MPa)

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	$\tau_{b1}=3$	$f_{sb1}=118$
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	$\sigma_{b4}=1$	$f_{ts4}=153^*$
		せん断	$\tau_{b4}=2$	$f_{sb4}=118$

すべて許容応力以下である。



注記 \* : (3.1.2) 式より算出



(15) 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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
移送ポンプ1, 2	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H=0.36$	—	$C_P=0.26$	60	40

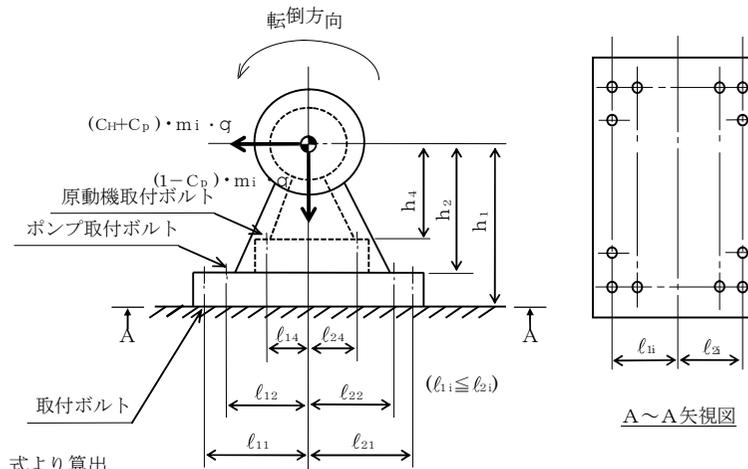
注記 \* : 基準床レベルを示す。

b. 評価結果

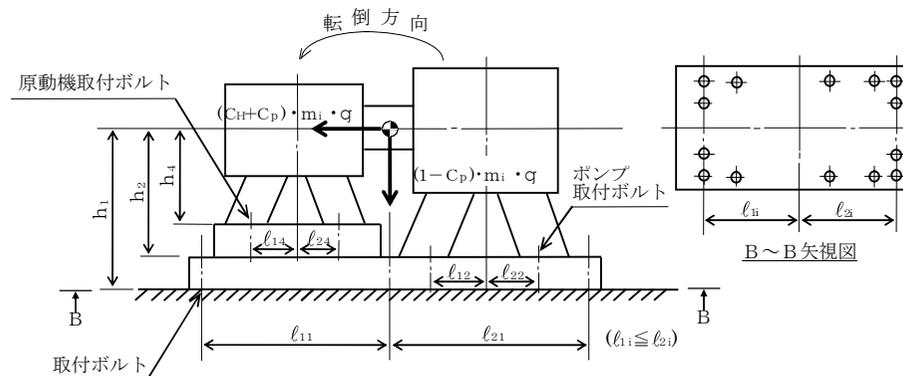
(単位: MPa)

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	—	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	$\tau_{b1}=3$	$f_{sb1}=118$
ポンプ取付ボルト ( $i=2$ )	SUS304	引張り	$\sigma_{b2}=7$	$f_{ts2}=153^*$
		せん断	$\tau_{b2}=1$	$f_{sb2}=118$
原動機取付ボルト ( $i=4$ )	SUS304	引張り	$\sigma_{b4}=1$	$f_{ts4}=153^*$
		せん断	$\tau_{b4}=3$	$f_{sb4}=118$

すべて許容応力以下である。



注記\* : (3.1.2) 式より算出



(16) 増設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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
増設多核種除去設備用移送ポンプA, B	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H=0.36$	—	$C_P=0.18$	40	40

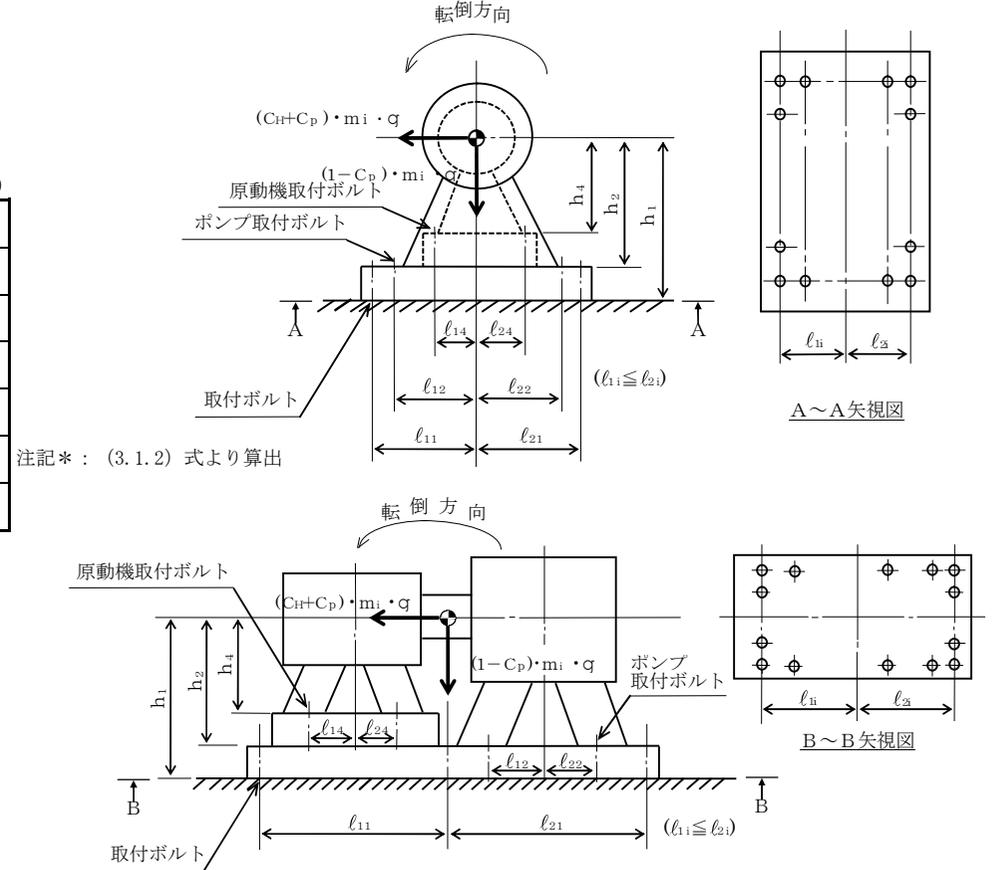
注記 \* : 基準床レベルを示す。

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。



(17) 出口フィルタ

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 (m)	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
出口フィルタA, B, C	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	C <sub>H</sub> =0.36	—

注記 \* : 基準床レベルを示す。

b. 評価方法

三脚たて置き円筒型容器

(a) 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程並びに「JPI-7R-71-96 石油学会規格 塹形容器用レグ」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。

$$\text{基礎ボルトの引張応力: } \sigma_b = \frac{1}{3 \times A_b} \left( \frac{4 \times m \times g \times C_H \times H}{L} - m \times g \times (1 - C_H) \right)$$

$$\text{基礎ボルトのせん断応力: } \tau_b = \frac{1}{3 \times A_b} (m \times g \times C_H - 0.1 \times m \times g \times (1 - C_H))$$

(b) 脚の強度評価

耐震設計技術規程並びに「JPI-7R-71-96 石油学会規格 塹形容器用レグ」の強度評価方法に準拠して、脚の強度評価を実施した。

組合せ応力  $\sigma_s$  を下記の通り評価し、許容値を下回ることを確認した。

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- $\sigma_1$  : 脚の質量による軸方向応力
- $\sigma_2$  : 脚の鉛直方向地震による軸方向応力
- $\sigma_3$  : 脚の曲げモーメントによる軸方向応力
- $\tau$  : 地震による脚に生じるせん断応力

また、座屈評価を下記の式により行い、脚に座屈が発生しないことを確認した。

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_1 + \sigma_2)}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_3}{f_b} \leq 1$$

- $\sigma_1$  : 脚の質量による軸方向応力
- $\sigma_2$  : 脚の鉛直方向地震による軸方向応力
- $\sigma_3$  : 脚の曲げモーメントによる軸方向応力
- $f_c$  : 軸圧縮荷重に対する許容座屈応力
- $f_b$  : 曲げモーメントに対する許容座屈応力
- $\eta$  : 座屈応力に対する安全率

(c) 胴板の強度評価

耐震設計技術規程並びに「JPI-7R-71-96 石油学会規格 塹形容器用レグ」の強度評価方法に準拠して、胴板の強度評価を実施した。

一次一般膜応力  $\sigma_0$  を下記の通り評価し、許容値を下回ることを確認した。

$$\sigma_0 = \text{Max}\{\sigma_{0\theta}, \sigma_{0x}\}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x5} + \sigma_{x7}$$

$$\sigma_{0\theta} = \sigma_{\theta1} + \sigma_{\theta7}$$

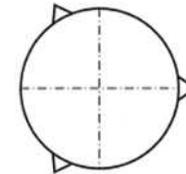
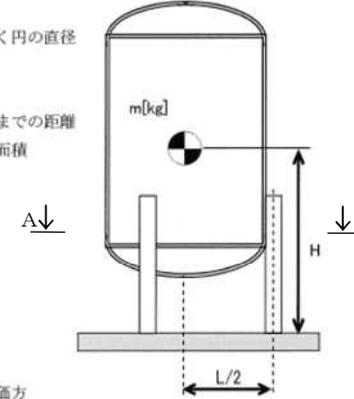
- $\sigma_{0\theta}$  : 一次一般膜応力 (周方向)
- $\sigma_{0x}$  : 一次一般膜応力 (軸方向)
- $\sigma_{x1}$  : 内圧による周方向応力
- $\sigma_{x2}$  : 内圧による軸方向応力
- $\sigma_{x5}$  : 運転時質量による軸方向応力
- $\sigma_{x7}$  : 地震により生じる  
転倒モーメントによる軸方向応力
- $\sigma_{\theta1}$  : 胴の鉛直方向地震による周方向応力
- $\sigma_{\theta7}$  : 胴の鉛直方向地震による軸方向応力

c. 評価結果

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	一次一般膜	$\sigma_0 = 37$	163
脚	SUS304	組合せ	$\sigma_s = 57$	205
		座屈	0.29 (無次元)	1 (無次元)
基礎ボルト	SUS304	引張り	$\sigma_b = 37$	153
		せん断	$\tau_b = 3$	118

すべて許容応力以下である。

- L : 脚断面の図心の描く円の直径
- m : 機器重量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- A<sub>b</sub> : 基礎ボルトの軸断面積
- C<sub>H</sub> : 水平方向設計震度



A~A 矢視図

(単位: MPa)

(18) 増設多核種除去設備入口弁スキッド

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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
増設多核種除去設備入口弁スキッド	B	増設多核種除去設備建屋 0.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

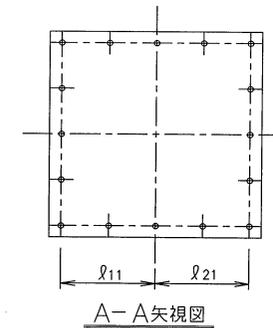
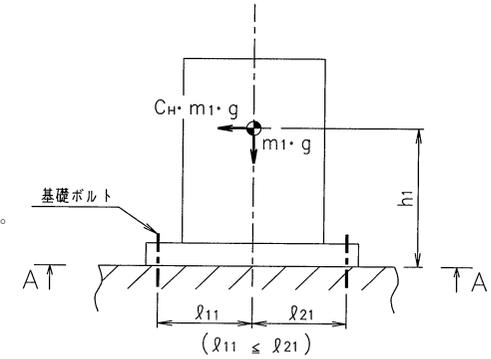
b. 評価結果

(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	$\tau_{b1} = 16$	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。



(19) 処理水受入タンク 1, 2 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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
処理水受入タンク 1, 2 スキッド	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

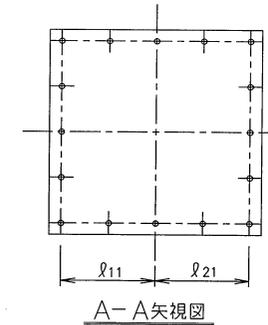
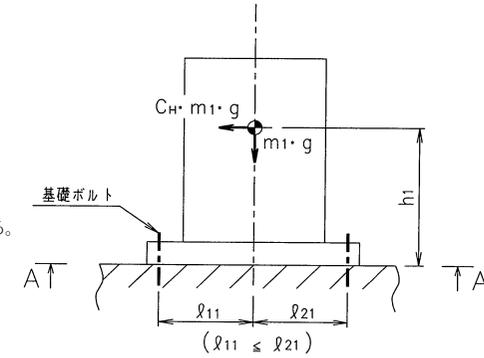
b. 評価結果

(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	$\sigma_{b1} = -$	65 *
		せん断	$\tau_{b1} = 24$	70 *

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。



(20) 供給ポンプ1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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
供給ポンプ1スキッド	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

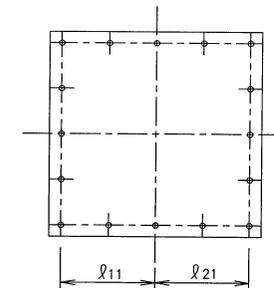
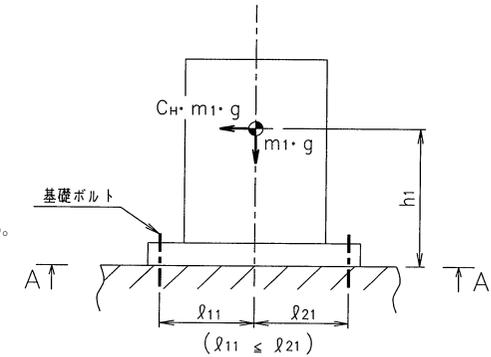
b. 評価結果

(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	$\tau_{b1} = 8$	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。



A-A矢視図

(2 1) 共沈タンク A, B, C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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
共沈タンク A, B, C スキッド	B	増設多種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H=0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

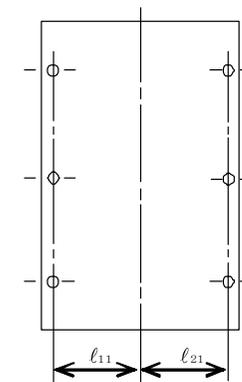
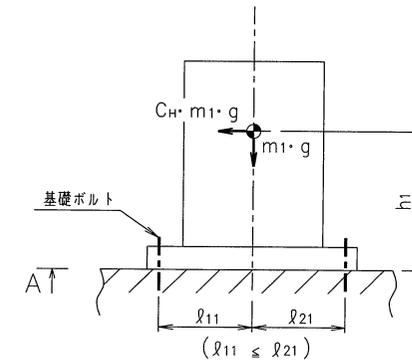
b. 評価結果

(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	$\sigma_{t1} = -$	65 *
		せん断	$\tau_{t1} = 16$	70 *

注記 \* : 後打ちアンカー耐力による。

すべて許容応力以下である。



A~A 矢視図

(22) 供給タンクA, B, C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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
供給タンクA, B, Cスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H=0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

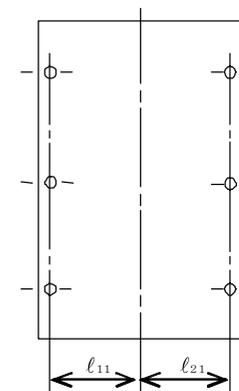
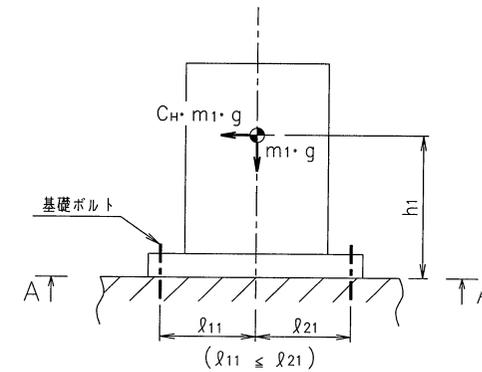
b. 評価結果

(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	$\sigma_{b1} = -$	65 *
		せん断	$\tau_{b1} = 16$	70 *

注記 \* : 後打ちアンカー耐力による。

すべて許容応力以下である。



A~A矢視図

(23) 供給ポンプ2 A, B, C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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
供給ポンプ2 A, B, Cスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

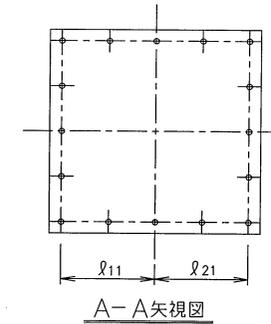
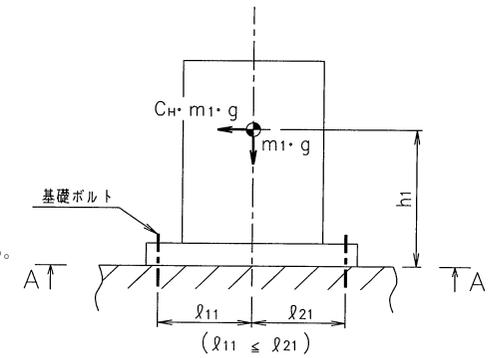
b. 評価結果

(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	$\tau_{b1} = 6$	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。



(24) 供給ポンプ2弁A, B, C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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
供給ポンプ2弁A, B, Cスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

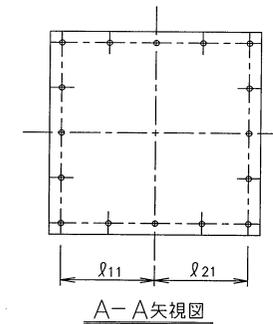
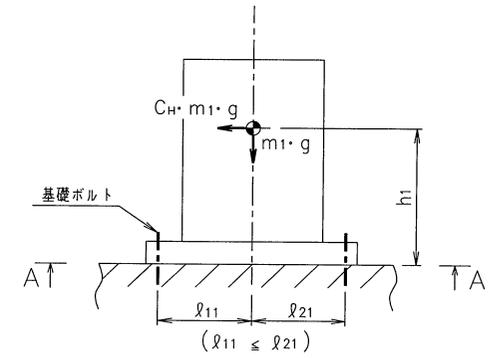
b. 評価結果

(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	$\tau_{b1} = 4$	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。



(25) クロスフローフィルタA, B, C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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
クロスフローフィルタ A, B, Cスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H=0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

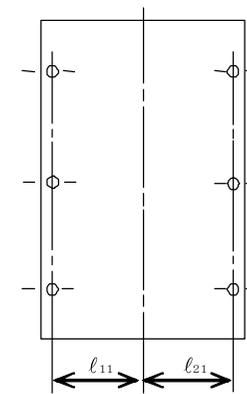
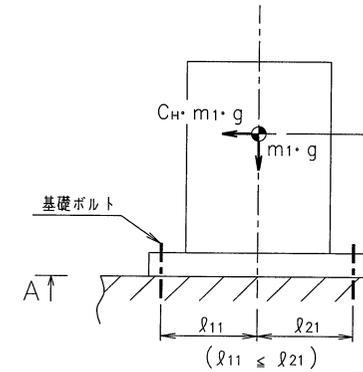
b. 評価結果

(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	$\sigma_{b1} = -$	65 *
		せん断	$\tau_{b1} = 31$	70 *

注記 \* : 後打ちアンカー耐力による。

すべて許容応力以下である。



A~A矢視図

(26) 吸着塔入口バッファタンク A, B, C 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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
吸着塔入口バッファタンク A, B, C スキッド	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

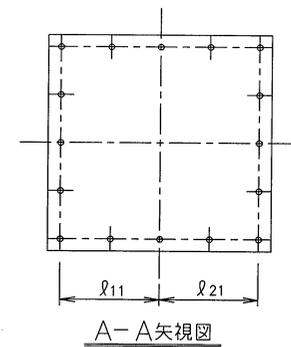
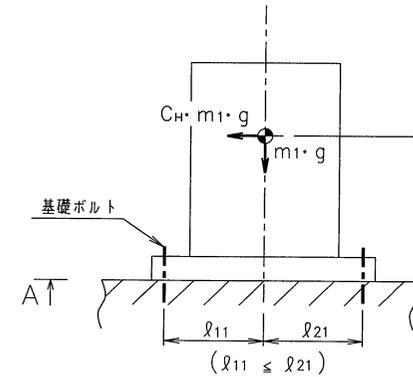
b. 評価結果

(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	$\sigma_{b1} = -$	65 *
		せん断	$\tau_{b1} = 13$	70 *

注記 \* : 後打ちアンカー耐力による。

すべて許容応力以下である。



(27) ブースターポンプ1 A, B, C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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
ブースターポンプ1 A, B, Cスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

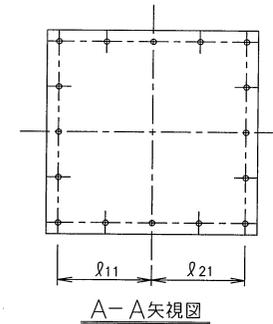
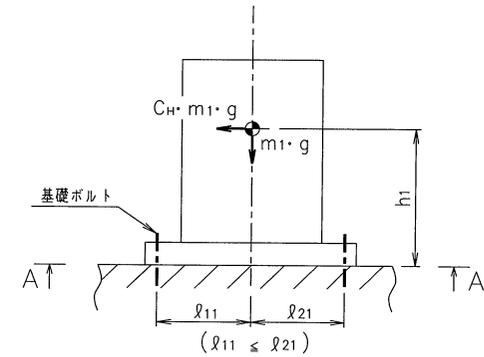
b. 評価結果

(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	$\tau_{b1} = 6$	38 *

注記 \* : 後打ちアンカー耐力による。

すべて許容応力以下である。



(28) 多核種吸着塔 A, B, C スキッド 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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
多核種吸着塔 A, B, C スキッド 1	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

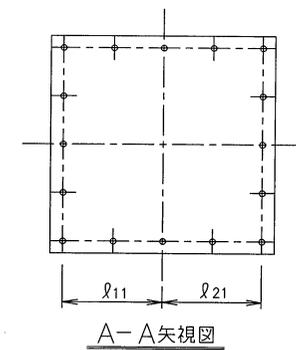
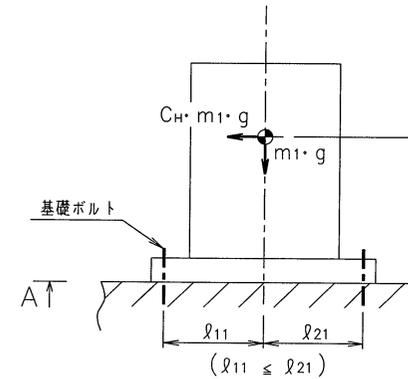
b. 評価結果

(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	$\sigma_{b1} = -$	65 *
		せん断	$\tau_{b1} = 21$	70 *

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。



(29) 多核種吸着塔 A, B, C スキッド 2

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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
多核種吸着塔 A, B, C スキッド 2	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

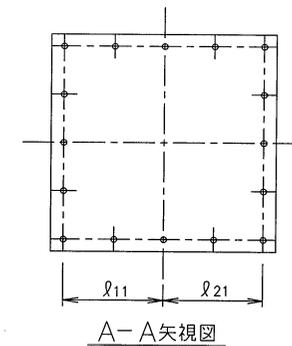
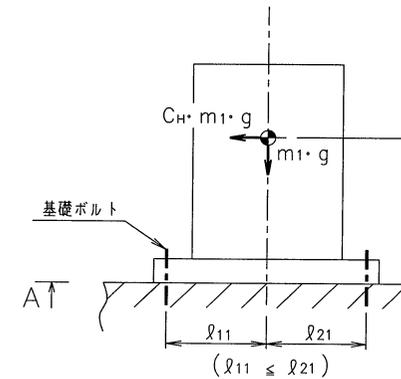
b. 評価結果

(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	$\sigma_{b1} = -$	65 *
		せん断	$\tau_{b1} = 19$	70 *

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。



(30) 多核種吸着塔 A, B, C スキッド 3

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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
多核種吸着塔 A, B, C スキッド 3	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

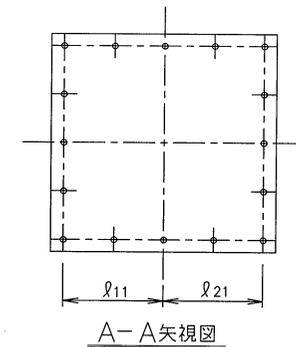
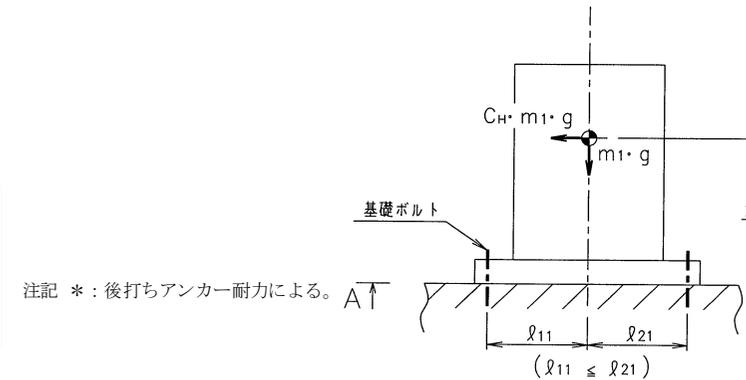
注記 \* : 基準床レベルを示す。

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	$\sigma_{b1} = -$	65 *
		せん断	$\tau_{b1} = 17$	70 *

すべて許容応力以下である。



(31) 多核種吸着塔 A, B, C スキッド 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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
多核種吸着塔 A, B, C スキッド 4	B	増設多核種除去設備建屋 0. P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

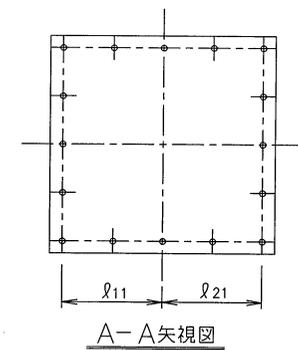
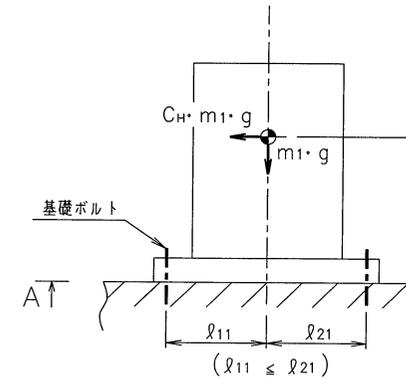
b. 評価結果

(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	$\sigma_{b1} = -$	65 *
		せん断	$\tau_{b1} = 18$	70 *

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。



(32) 多核種吸着塔 A, B, C スキッド 5

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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
多核種吸着塔 A, B, C スキッド 5	B	増設多核種除去設備建屋 0. P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

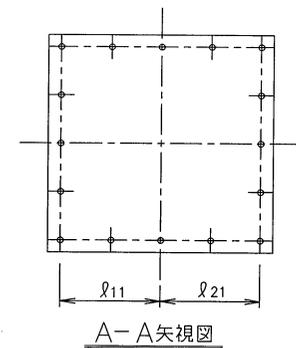
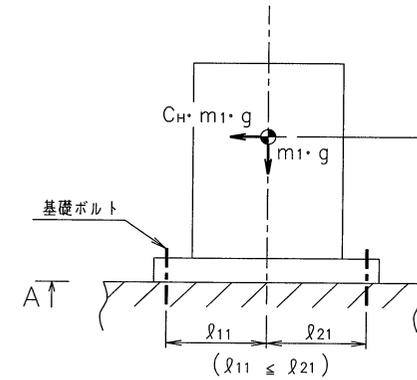
b. 評価結果

(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	$\sigma_{b1} = -$	65 *
		せん断	$\tau_{b1} = 22$	70 *

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。



(33) 多核種吸着塔 A, B, C スキッド 6

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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
多核種吸着塔 A, B, C スキッド 6	B	増設多核種除去設備建屋 0. P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

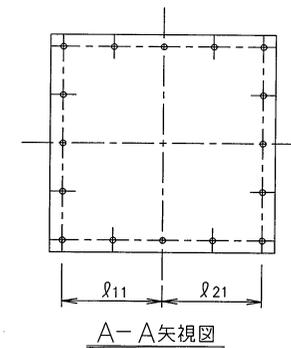
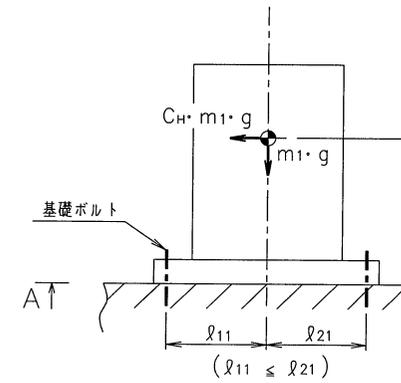
b. 評価結果

(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	$\sigma_{b1} = -$	65 *
		せん断	$\tau_{b1} = 22$	70 *

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。



(34) ブースターポンプ2 A, B, C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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
ブースターポンプ2 A, B, Cスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

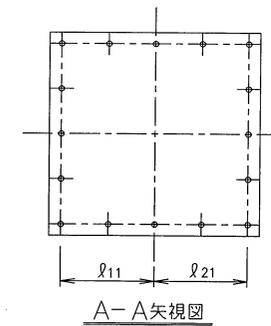
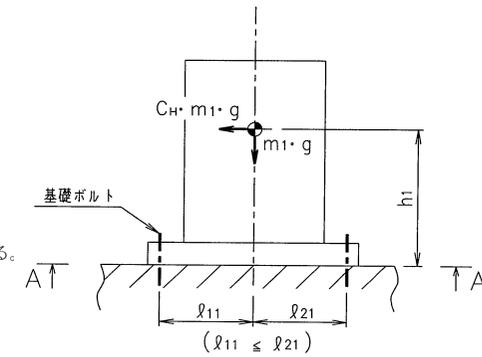
b. 評価結果

(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	$\tau_{b1} = 5$	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。



(35) 出口フィルタスキッド

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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
出口フィルタスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

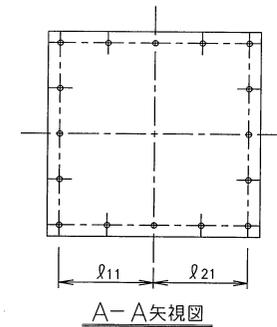
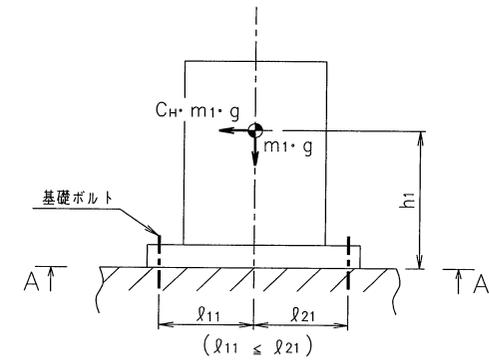
b. 評価結果

(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	$\tau_{b1} = 9$	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。



(36) 移送タンク 1, 2 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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
移送タンク 1, 2 スキッド	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

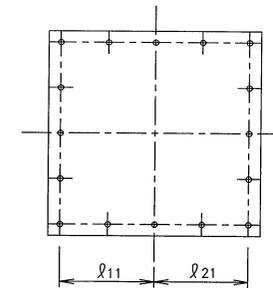
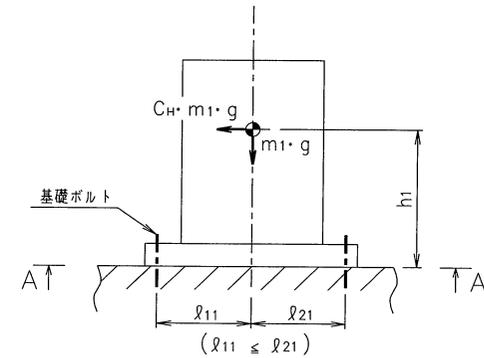
b. 評価結果

(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	$\sigma_{b1} = -$	65 *
		せん断	$\tau_{b1} = 25$	70 *

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。



A-A 矢視図

### (37) 出口移送スキッド

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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
出口移送スキッド	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	60	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

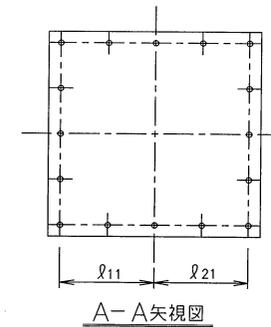
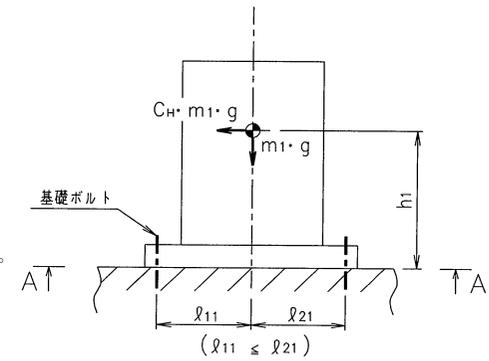
b. 評価結果

(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	$\tau_{b1} = 10$	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。



(38) 増設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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
増設多核種除去設備用 移送ポンプスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	$C_H = 0.36$	—	—	40	40

注記 \* : 基準床レベルを示す。

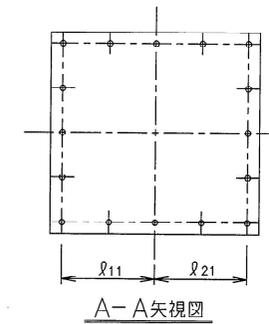
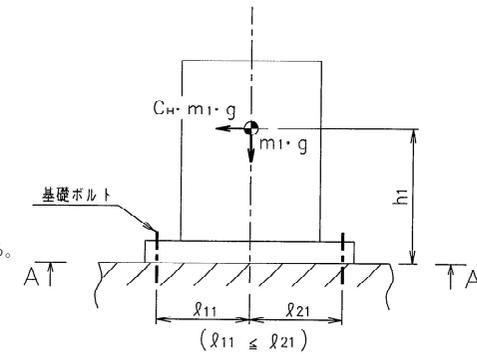
b. 評価結果

(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。



### (39) 主配管

配管標準支持間隔評価 (定ピッチスパン法)

#### 1. 評価方法

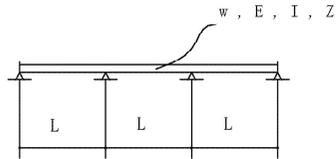
配管系を定められたピッチで支持することにより、配管系の固有周期を設定し、地震応力が過大とならないようにする。

応力基準による定ピッチスパンの設定方法 (耐震Bクラス配管)

##### (1) 直管部スパン

###### ①一次応力評価

3スパン連続梁において発生する一次応力が許容値以下であることを確認する。



###### ②自重応力の制限

自重による応力は39MPaを超えないものとする。

###### ③1次固有周期の制限

支持スパンは建屋の一次固有周期より短周期側となるように設定する。

上記による直管部 最大支持間隔を、2. 評価結果に示す。

##### (2) 集中質量部

集中質量部に発生する応力 及び 固有周期が、直管部における値を上回らないものとする。

##### (3) 曲り部

曲り部の面外方向について、応力 及び 固有周期が直管部のそれを上回らない支持スパンとする。

曲り部の面内方向は、上記の縮小率を超えず、且つ(2)集中質量部の方法を準用し縮小率を決定するものとする。

##### (4) 分岐部

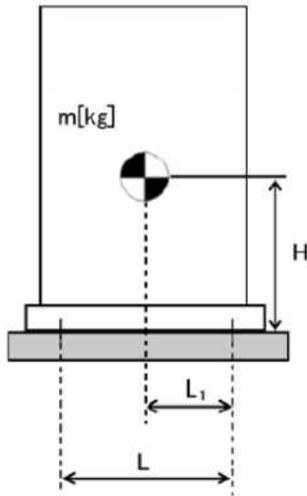
分岐部に発生する応力 及び 固有周期が、直管部における値を上回らないものとする。

#### 2. 評価結果

		配管設計条件						
耐震クラス		B	B	B	B	B	B	
保温		有	無	無	無	無	有	無
しゃへい		無	無	無	無	有	無	無
流体		液体	液体	液体	気体	液体	液体	液体
内圧 (MPa)		静水頭~1.37	静水頭	静水頭~1.37	大気圧	0.98	静水頭~1.37	静水頭~1.37
最高使用温度 (°C)		~60	~60	~60	~60	~60	~60	~60
比重(g/cm3)		1.00~1.17	~1.00	1.00~1.17	0.001	1.17	1.00	1.00~1.05
材質		ステンレス鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	炭素鋼	炭素鋼
直管部 最大支持間隔	口径	sch	(mm)					
	10A	40	2570	2520	-	-	-	-
	15A	40	3210	2940	3690	-	-	3240
	20A	40	3770	3420	-	-	-	3820
	25A	40	4430	3960	4610	-	-	4500
	32A	40	5070	4590	-	-	-	5170
	40A	40	5420	4980	5460	-	-	5540
	50A	40	6060	5700	6030	6630	-	-
	65A	40	6930	6680	-	-	-	-
	80A	40	7470	-	-	-	-	-
	100A	40	8400	-	8170	9170	-	-
	125A	40	-	-	8950	-	-	-
150A	40	-	-	9640	-	-	-	
200A	40	-	-	10890	-	-	-	
250A	40	-	-	11990	-	9600	-	
300A	40	-	-	12970	-	-	-	

(40) 炭酸ソーダ溶解槽 1, 2, 3

原子力発電所耐震設計技術指針の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。



- m : 機器質量
- g : 重力加速度 (9.80665 m/s<sup>2</sup>)
- 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
- L<sub>1</sub> : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- n<sub>r</sub> : 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<sub>b</sub> : 基礎ボルトの軸断面積
- C<sub>H</sub> : 水平方向設計震度
- C<sub>V</sub> : 鉛直方向設計震度

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

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

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

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 (m)	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
炭酸ソーダ溶解槽 1, 2, 3	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7 <sup>*1</sup>	C <sub>H</sub> =0.36	—	60	40	1.05

注記 \*1: 基準床レベルを示す。

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)	SUS304	引張り	σ <sub>b</sub> =—	f <sub>t1</sub> =153
		せん断	τ <sub>b</sub> =26	f <sub>s1</sub> =118

すべて許容応力以下である。

(41) 炭酸ソーダ貯槽 1, 2

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 (m)	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
炭酸ソーダ貯槽 1, 2	B	増設多核種除去設備建屋 O.P. 37.7*	0.36	-	静水頭	60	40	1.05

注記 \* : 基準床レベルを示す。

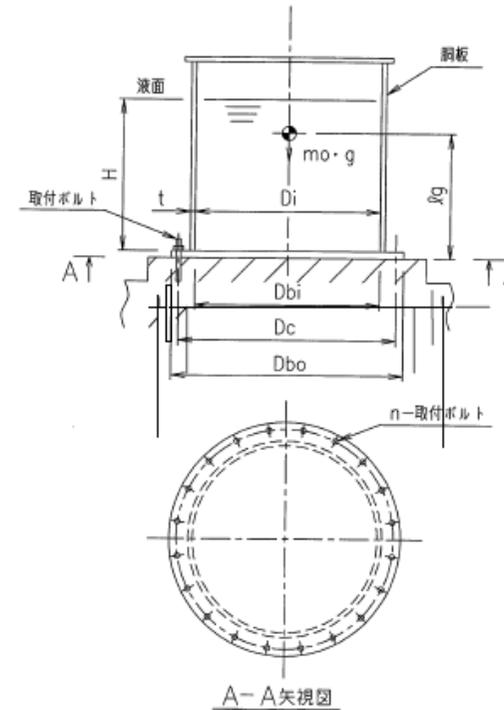
b. 評価結果

(単位 : MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	組合せ	$\sigma_o = 11$	$S_a = 278$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{n \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{n \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$ 0.04 (無次元)	
取付ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = -$	$f_{ts} = 176^*$
		せん断	$\tau_b = 18$	$f_{sb} = 135$

注記 \* : (3.2.2.2) 式より算出

すべて許容応力以下である。



(42) 炭酸ソーダ溶解槽 1, 2, 3 移送ポンプ

a. 条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	取付場所及び床面高さ (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
炭酸ソーダ溶解槽 1, 2, 3 移送ポンプ	B	増設多相循環施設標準量 0. P. 37.7 <sup>※1</sup>	$C_B=0.36$	—	$C_P=0.30$	60	40

注記 ※1: 基準床レベルを示す。

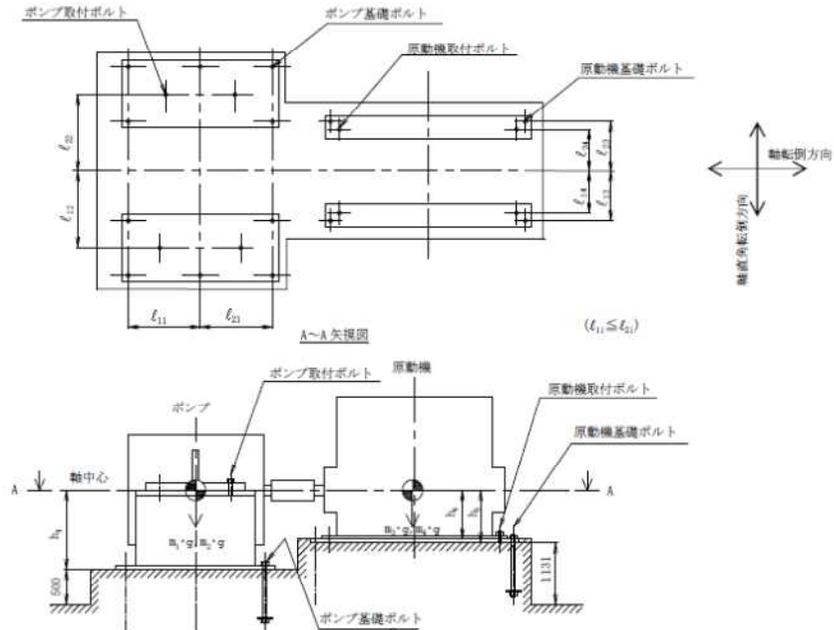
b. 評価結果

(単位: MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
ポンプ基礎ボルト (i=1)	SUS304	引張り	$\sigma_{11}=2$	$f_{t11}=153^*$
		せん断	$\tau_{11}=1$	$f_{s11}=118$
ポンプ取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{12}=4$	$f_{t12}=183^*$
		せん断	$\tau_{12}=2$	$f_{s12}=141$
原動機基礎ボルト (i=3)	—	引張り	—	$f_{t13}=—$
		せん断	$\tau_{13}=—$	$f_{s13}=—$
原動機取付ボルト (i=4)	—	引張り	—	$f_{t14}=—$
		せん断	$\tau_{14}=—$	$f_{s14}=—$

すべて許容応力以下である。

注記\*: (3.1.2) 式より算出



(43) 炭酸ソーダ貯槽1 供給ポンプA, B, C

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 (a)	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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
炭酸ソーダ貯槽1 供給ポンプA,B,C	B	増設多核種廃止設備棟屋 O.P. 37.7 <sup>1</sup>	$C_H=0.36$	—	$C_P=0.00$	60	40

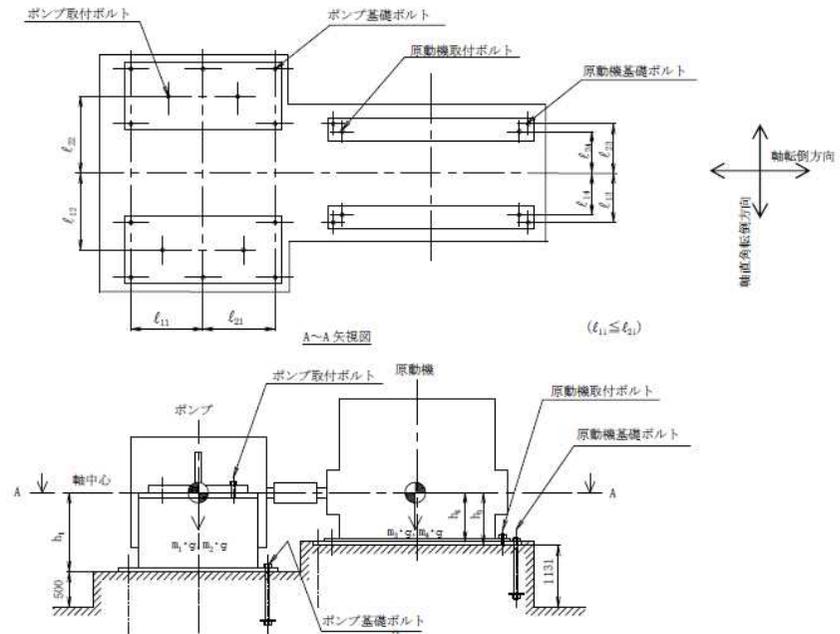
注記 \*1: 基準床レベルを示す。

b. 評価結果

部 材	材 料	応 力	(単位: MPa)	
			算出応力	許容応力
ポンプ基礎ボルト (i=1)	SUS304	引張り	$\sigma_{s1}=9$	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	$\tau_{s1}=3$	$f_{ts1}=116$
ポンプ取付ボルト (i=2)	—	引張り	—	$f_{ts2}=—$
		せん断	$\tau_{s2}=—$	$f_{ts2}=—$
原動機基礎ボルト (i=3)	—	引張り	—	$f_{ts3}=—$
		せん断	$\tau_{s3}=—$	$f_{ts3}=—$
原動機取付ボルト (i=4)	—	引張り	—	$f_{ts4}=—$
		せん断	$\tau_{s4}=—$	$f_{ts4}=—$

すべて許容応力以下である。

注記\*: (3.1.2) 式より算出



(44) 炭酸ソーダ製造スキッド1, 2, 3

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 (m)	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
炭酸ソーダ製造スキッド1, 2, 3	B	増設多核型除去設備据付 O.P. 37.7 <sup>#1</sup>	$C_H=0.36$	—	60	40

注記 #1: 基準床レベルを示す。

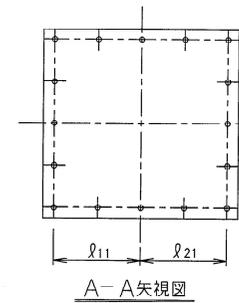
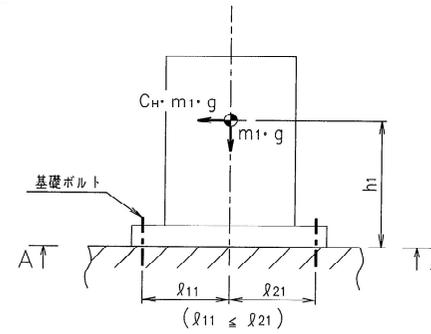
b. 評価結果

(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	$\sigma_{t1} = -$	$f_{t1} = 39^*$
		せん断	$\tau_{s1} = 19$	$f_{s1} = 49^*$

注記 \*: 後打ちアンカー耐力による

すべて許容応力以下である。



(45) 炭酸ソーダ溶解槽 1, 2, 3 移送スキッド

a. 条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	取付場所及び床面高さ (m)	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
炭酸ソーダ溶解槽 1, 2, 3 移送スキッド	B	増設多核種廃止設備建屋 O.P. 37.7 <sup>*1</sup>	$C_h=0.36$	—	60	40

注記 \*1: 基準床レベルを示す。

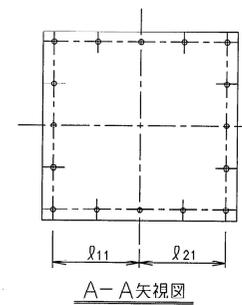
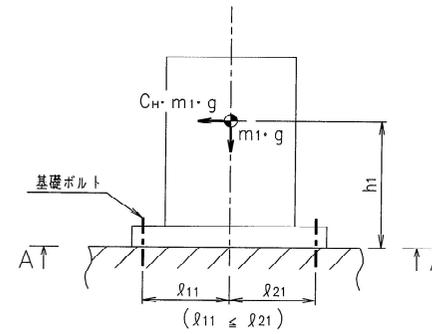
b. 評価結果

(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	$\sigma_{s1} = -$	$f_{t1} = 39^*$
		せん断	$\tau_{s1} = 3$	$f_{v1} = 49^*$

注記 \*: 後打ちアンカー耐力による

すべて許容応力以下である。



(46) 炭酸ソーダ貯槽1 供給スキッド

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 (m)	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
炭酸ソーダ貯槽1 供給スキッド	B	増設多核種除去設備建屋 O. P. 37.7 <sup>*1</sup>	$C_H=0.36$	—	60	40

注記 \*1: 基準床レベルを示す。

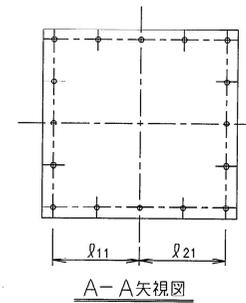
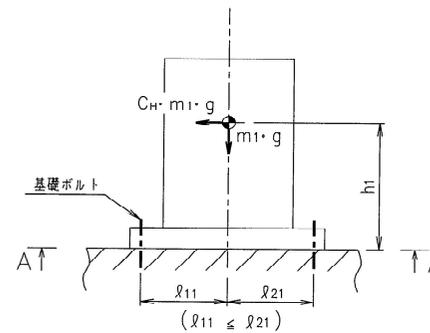
b. 評価結果

(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	$\sigma_{s1} = -$	$f_{ts1} = 39^*$
		せん断	$\tau_{s1} = 5$	$f_{ss1} = 49^*$

注記 \*: 後打ちアンカー耐力による

すべて許容応力以下である。



(47) 炭酸ソーダ貯槽2 移送ポンプ1, 2

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 (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 (°C)	周囲環境温度 (°C)
炭酸ソーダ貯槽2 移送ポンプ1, 2	B	増設多相種除去設備建屋 O.P. 37.7 <sup>1</sup>	$C_H=0.36$	—	$C_P=0.30$	60	40

注記 \*1: 基準床レベルを示す。

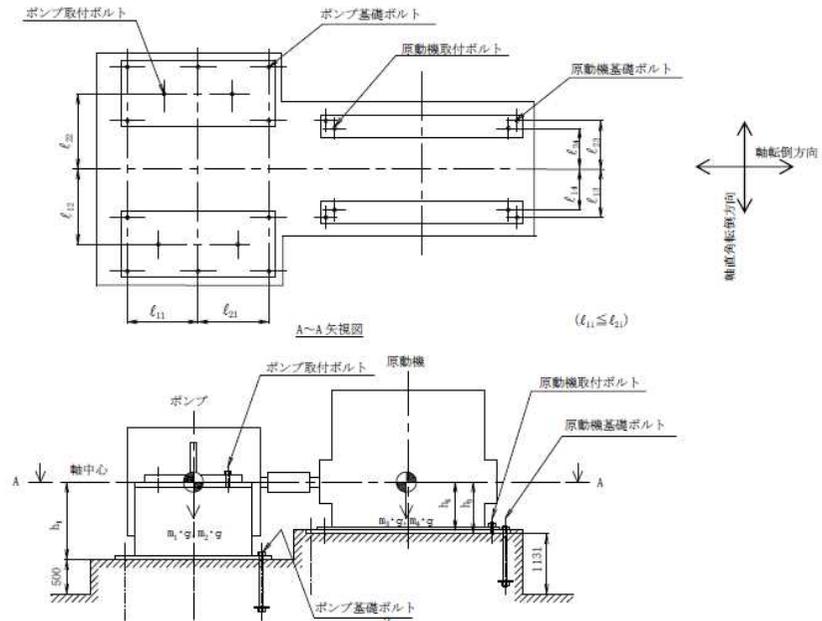
b. 評価結果

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	算出応力	許容応力
ポンプ基礎ボルト (i=1)	SUS304	引張り	$\sigma_{b1}=2$	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	$\tau_{b1}=2$	$f_{sb1}=118$
ポンプ取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=2$	$f_{ts2}=183^*$
		せん断	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=141$
原動機基礎ボルト (i=3)	—	引張り	—	$f_{ts3}=—$
		せん断	$\tau_{b3}=—$	$f_{sb3}=—$
原動機取付ボルト (i=4)	—	引張り	—	$f_{ts4}=—$
		せん断	$\tau_{b4}=—$	$f_{sb4}=—$

すべて許容応力以下である。

注記\*: (3.1.2) 式より算出



(48) 炭酸ソーダ貯槽2移送スキッド

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(m)	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用温度(℃)	周囲環境温度(℃)
炭酸ソーダ貯槽2移送スキッド	B	増設多核種除去設備建屋 O. P. 37.7 <sup>*1</sup>	$C_H=0.36$	—	60	40

注記 \*1: 基準床レベルを示す。

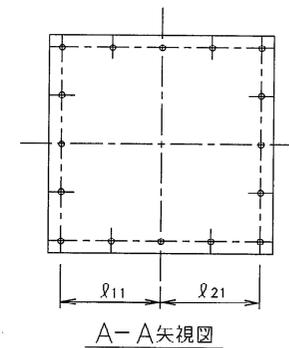
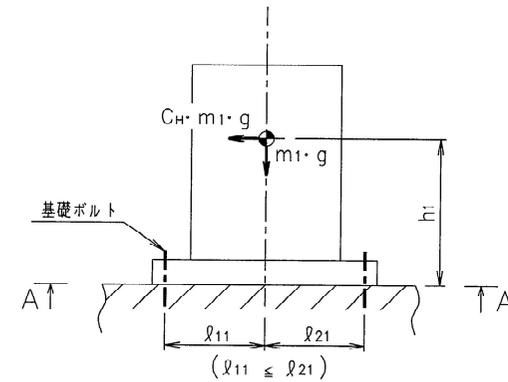
b. 評価結果

(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	$\sigma_{b1} = -$	$f_{t1} = 39^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 4$	$f_{sh1} = 49^*$

注記 \*: 後打ちアンカー耐力による

すべて許容応力以下である。



増設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 増設多核種除去設備 各機器に対する耐震評価結果 (1 / 4)

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
処理水受入れタンク 1, 2	取付ボルト	引張	0.8	19	176	MPa
		せん断	0.8	29	135	MPa
共沈タンク A, B, C	取付ボルト	引張	0.8	32	176	MPa
		せん断	0.8	12	135	MPa
供給タンク A, B, C	取付ボルト	引張	0.8	27	176	MPa
		せん断	0.8	13	135	MPa
吸着塔入口バッファ タンク A, B, C	取付ボルト	引張	0.8	5	176	MPa
		せん断	0.8	16	135	MPa
サンプルタンク A, B, C	本体	転倒	0.8	$6.7 \times 10^4$	$7.1 \times 10^4$	kN・m
多核種吸着塔 1 ~ 5 A, B, C	取付ボルト	引張	0.8	18	131	MPa
		せん断	0.8	8	101	MPa
多核種吸着塔 6 ~ 14 A, B, C	取付ボルト	引張	0.8	21	158	MPa
		せん断	0.8	9	121	MPa
多核種吸着塔 15 ~ 18 A, B, C	取付ボルト	引張	0.8	32	158	MPa
		せん断	0.8	16	121	MPa
移送タンク 1, 2	取付ボルト	引張	0.8	6	176	MPa
		せん断	0.8	31	135	MPa
供給ポンプ 1 A, B, C	取付ボルト	引張	0.8	1	153	MPa
		せん断	0.8	3	118	MPa
	ポンプ取付 ボルト	引張	0.8	8	153	MPa
		せん断	0.8	2	118	MPa
	原動機取付 ボルト	引張	0.8	2	153	MPa
		せん断	0.8	2	118	MPa

表1 増設多核種除去設備 各機器に対する耐震評価結果 (2/4)

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
供給ポンプ2A, B, C	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
循環ポンプA, B, C	取付ボルト	引張	0.8	3	153	MPa
		せん断	0.8	9	118	MPa
	ポンプ取付ボルト	引張	0.8	8	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	5	118	MPa
ブースターポンプ1 A, B, C	取付ボルト	引張	0.8	3	153	MPa
		せん断	0.8	5	118	MPa
	ポンプ取付ボルト	引張	0.8	15	153	MPa
		せん断	0.8	3	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
ブースターポンプ2 A, B, C	取付ボルト	引張	0.8	3	153	MPa
		せん断	0.8	5	118	MPa
	ポンプ取付ボルト	引張	0.8	15	153	MPa
		せん断	0.8	3	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
移送ポンプ1, 2	取付ボルト	引張	0.8	2	153	MPa
		せん断	0.8	5	118	MPa
	ポンプ取付ボルト	引張	0.8	10	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	4	118	MPa

表1 増設多核種除去設備 各機器に対する耐震評価結果 (3 / 4)

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
増設多核種除去設備用 移送ポンプ A, B	取付ボルト	引張	0.8	4	153	MPa
		せん断	0.8	6	118	MPa
	ポンプ取付 ボルト	引張	0.8	14	153	MPa
		せん断	0.8	3	118	MPa
	原動機取付 ボルト	引張	0.8	5	153	MPa
		せん断	0.8	5	118	MPa
出口フィルタ A, B, C	取付ボルト	引張	0.8	92	153	MPa
		せん断	0.8	6	118	MPa
増設多核種除去設備 入口弁スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	—	30	MPa
		せん断	0.8	36	38	MPa
処理水受入タンク 1, 2スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	37	65	MPa
		せん断	0.8	52	70	MPa
供給ポンプ1スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	—	30	MPa
		せん断	0.8	16	38	MPa
共沈タンク A, B, C スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	44	65	MPa
		せん断	0.8	34	70	MPa
供給タンク A, B, C スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	32	65	MPa
		せん断	0.8	36	70	MPa
供給ポンプ2A, B, C スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	—	30	MPa
		せん断	0.8	12	38	MPa
供給ポンプ2弁 A, B, Cスキッド	基礎ボルト	引張	0.8	—	30	MPa
		せん断	0.8	9	38	MPa
クロスフローフィルタ A, B, Cスキッド	基礎ボルト	引張	0.8	34	65	MPa
		せん断	0.8	68	70	MPa
吸着塔入口バッファ タンク A, B, C スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	5	65	MPa
		せん断	0.8	28	70	MPa
ブースターポンプ1 A, B, Cスキッド	基礎ボルト	引張	0.8	—	30	MPa
		せん断	0.8	13	38	MPa
多核種吸着塔 A, B, C スキッド1	基礎ボルト	引張	0.8	36	65	MPa
		せん断	0.8	45	70	MPa
多核種吸着塔 A, B, C スキッド2	基礎ボルト	引張	0.8	31	65	MPa
		せん断	0.8	41	70	MPa
多核種吸着塔 A, B, C スキッド3	基礎ボルト	引張	0.8	27	65	MPa
		せん断	0.8	37	70	MPa

表1 増設多核種除去設備 各機器に対する耐震評価結果 (4 / 4)

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
多核種吸着塔 A, B, C スキッド4	基礎ボルト	引張	0.8	32	65	MPa
		せん断	0.8	39	70	MPa
多核種吸着塔 A, B, C スキッド5	基礎ボルト	引張	0.8	20	65	MPa
		せん断	0.8	49	70	MPa
多核種吸着塔 A, B, C スキッド6	基礎ボルト	引張	0.8	20	65	MPa
		せん断	0.8	49	70	MPa
ブースターポンプ2 A, B, C スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	—	30	MPa
		せん断	0.8	10	38	MPa
出口フィルタスキッド	基礎ボルト	引張	0.8	—	30	MPa
		せん断	0.8	18	38	MPa
移送タンク1, 2 スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	—	65	MPa
		せん断	0.8	55	70	MPa
出口移送スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	—	30	MPa
		せん断	0.8	22	38	MPa
増設多核種除去設備用 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 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 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に作用するものとする。
- (3) 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。
- (5) 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。
- (6) 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。

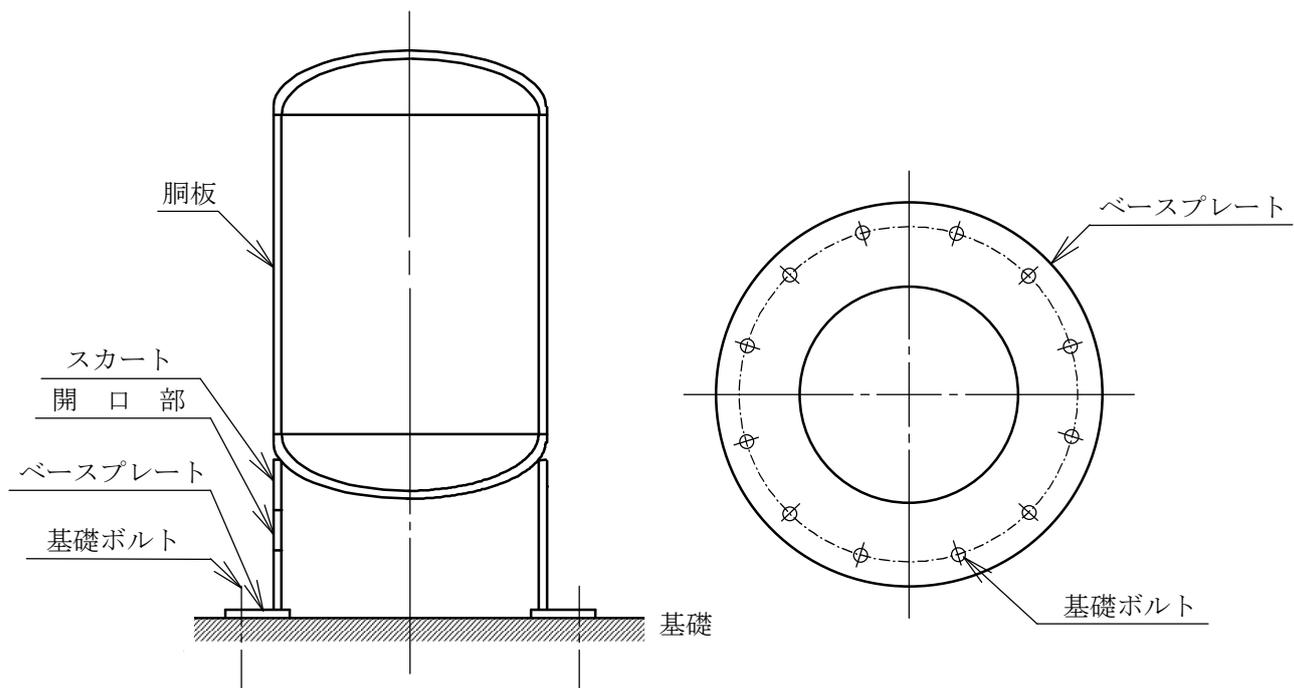


図1-1 概要図

### 1.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	胴の軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	基礎ボルトの軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>e</sub>	胴の有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub>	スカートの軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s e</sub>	スカートの有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>c</sub>	基礎ボルト計算における係数	—
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>t</sub>	基礎ボルト計算における係数	—
C <sub>v</sub>	鉛直方向設計震度	—
D <sub>b i</sub>	ベースプレートの内径	mm
D <sub>b o</sub>	ベースプレートの外径	mm
D <sub>c</sub>	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D <sub>i</sub>	胴の内径	mm
D <sub>j</sub>	スカートに設けられた各開口部の穴径 (j = 1, 2, 3… j <sub>1</sub> )	mm
D <sub>s</sub>	スカートの内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E <sub>s</sub>	スカートの縦弾性係数	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 <sub>c</sub>	基礎に作用する圧縮力	N
F <sub>t</sub>	基礎ボルトに作用する引張力	N
f <sub>b</sub>	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f <sub>c</sub>	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f <sub>s b</sub>	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 <sub>t</sub>	スカートの許容引張応力	MPa
f <sub>t o</sub>	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f <sub>t s</sub>	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 <sub>s</sub>	スカートのせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
I <sub>s</sub>	スカートの断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
j <sub>1</sub>	スカートに設けられた開口部の穴の個数	—

記号	記号の説明	単位
$K_H$	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	—
$l$	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 (図2-4に示す距離)	mm
$l_r$	容器の重心から上端支持部までの長さ	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	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
$s$	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
$t_s$	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	—
$\alpha$	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
$\delta$	荷重Qによる容器の上端での変位量	mm
$\delta'$	荷重Q'による容器の上端での変位量	mm
$\delta_o$	荷重Q, Q'による容器の重心での変位量	mm
$\eta$	座屈応力に対する安全率	—
$\pi$	円周率	—

記号	記号の説明	単位
$\rho'$	液体の密度 (=比重 $\times 10^{-6}$ )	kg/mm <sup>3</sup>
$\sigma_o$	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{oc}$	胴の組合せ圧縮応力	MPa
$\sigma_{ot}$	胴の組合せ引張応力	MPa
$\sigma_b$	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_c$	基礎に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_s$	スカートの組合せ応力	MPa
$\sigma_{s1}$	スカートの運転時質量による軸方向応力	MPa
$\sigma_{s2}$	スカートの曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
$\sigma_{s3}$	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
$\sigma_{x2}$	胴の運転時質量による軸方向引張応力	MPa
$\sigma_{x3}$	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
$\sigma_{x4}$	地震により胴に生じる軸方向応力	MPa
$\sigma_{x5}$	胴の鉛直方向地震による軸方向引張応力	MPa
$\sigma_{x6}$	胴の鉛直方向地震による軸方向圧縮応力	MPa
$\sigma_{xc}$	胴の軸方向応力の和 (圧縮側)	MPa
$\sigma_{xt}$	胴の軸方向応力の和 (引張側)	MPa
$\sigma_{\phi}$	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
$\tau$	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
$\tau_b$	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_s$	地震によりスカー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。

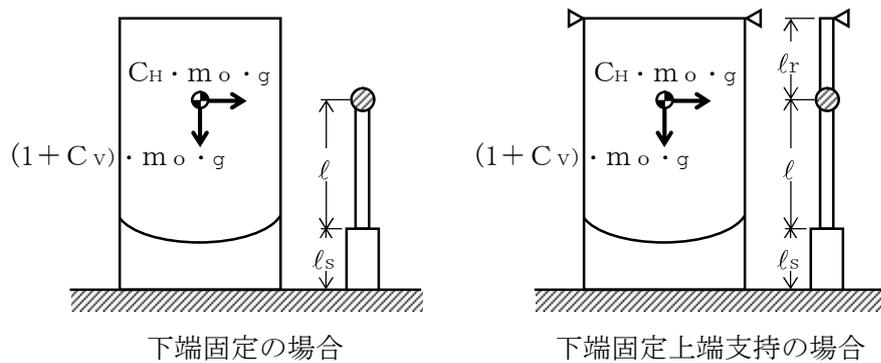


図2-1 固有周期の計算モデル

(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。

$$K_H = 1000 \left\{ \frac{l^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{1}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot (3 \cdot l^2 \cdot l_s + 3 \cdot l \cdot l_s^2 + l_s^3) + \frac{l}{G \cdot A_e} + \frac{l_s}{G_s \cdot A_{s_e}} \right\} \dots \dots \dots (2.1.1)$$

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

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

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

スカートの断面性能は

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

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 $T_H$ は次式で求める。

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

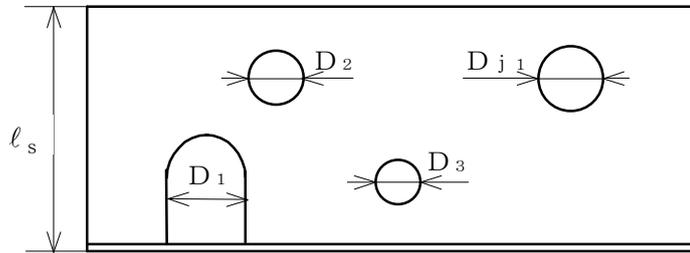


図2-2 スカート開口部の形状

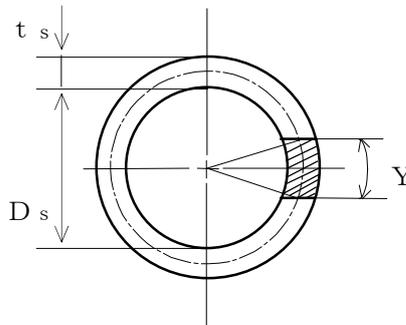


図2-3 スカート開口部の水平断面における最大円周長さ

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。

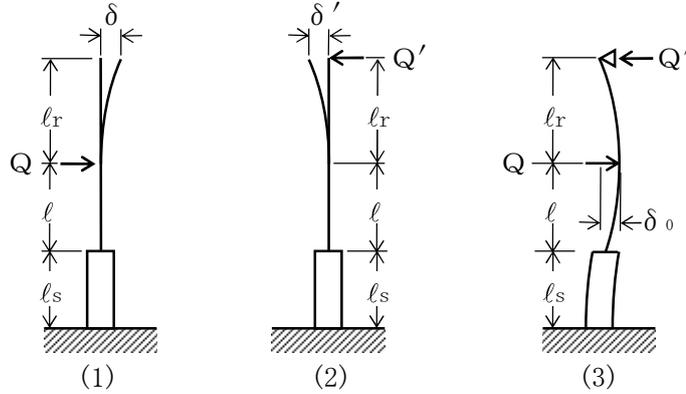


図2-4 下端固定上端支持の場合の変形モデル

図2-4の(1)の場合

$$\delta = \frac{Q \cdot l^2}{6 \cdot E \cdot I} \cdot (2 \cdot l + 3 \cdot l_r) + \frac{Q}{6 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot \{2 \cdot l_s^3 + 3 \cdot l_s^2 \cdot l_r + 6 \cdot l_s \cdot l \cdot (l_s + l + l_r)\} + \frac{Q \cdot l}{G \cdot A_e} + \frac{Q \cdot l_s}{G_s \cdot A_{se}} \dots \dots \dots (2.1.8)$$

図2-4の(2)の場合

$$\delta' = \frac{Q' \cdot (l + l_r)^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{Q'}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot \{3 \cdot (l + l_r)^2 \cdot l_s + 3 \cdot (l + l_r) \cdot l_s^2 + l_s^3\} + \frac{Q' \cdot (l + l_r)}{G \cdot A_e} + \frac{Q' \cdot l_s}{G_s \cdot A_{se}} \dots \dots \dots (2.1.9)$$

(2.1.8) 式と (2.1.9) 式を等しく置くことにより、

$$Q' = Q \cdot \left\{ \frac{l^2 \cdot (2 \cdot l + 3 \cdot l_r)}{6 \cdot E \cdot I} + \frac{2 \cdot l_s^3 + 3 \cdot l_s^2 \cdot l_r + 6 \cdot l_s \cdot l \cdot (l_s + l + l_r)}{6 \cdot E_s \cdot I_s} + \frac{l}{G \cdot A_e} + \frac{l_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \cdot \left\{ \frac{(l + l_r)^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{3 \cdot (l + l_r)^2 \cdot l_s + 3 \cdot (l + l_r) \cdot l_s^2 + l_s^3}{3 \cdot E_s \cdot I_s} + \frac{l + l_r}{G \cdot A_e} + \frac{l_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \dots \dots \dots (2.1.10)$$

したがって、図 2-4 の(3)に示す重心位置での変位量  $\delta_0$  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。

$$K_H = \frac{Q}{\delta_0} = 1000 \left/ \left\{ \frac{l^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{3 \cdot l^2 \cdot l_s + 3 \cdot l \cdot l_s^2 + l_s^3}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \right. \right. \\ \left. \left. + \left( 1 - \frac{Q'}{Q} \right) \cdot \left( \frac{l}{G \cdot A_e} + \frac{l_s}{G_s \cdot A_{se}} \right) - \frac{Q'}{Q} \cdot \left( \frac{2 \cdot l^3 + 3 \cdot l^2 \cdot l_r}{6 \cdot E \cdot I} \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \frac{3 \cdot l_s^2 \cdot l + l_s^3 + 3 \cdot l_s \cdot l^2 + 3 \cdot l_s \cdot l \cdot l_r + \frac{3}{2} \cdot l_s^2 \cdot l_r}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \right) \right\} \right. \quad \dots \quad (2.1.11)$$

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。

$$K_V = 1000 \left/ \left\{ \frac{l}{A \cdot E} + \frac{l_s}{A_s \cdot E_s} \right\} \right. \quad \dots \quad (2.1.12)$$

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

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

したがって、固有周期  $T_V$  は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_V}} \quad \dots \quad (2.1.15)$$

## 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、SRSS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。）

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

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

$$\sigma_{x1} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.2.1.3)$$

内圧による場合

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

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

$$\sigma_{x1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.6)$$

#### (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

$$\sigma_{x2} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.7)$$

$$\sigma_{x5} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.8)$$

上部の胴について

$$\sigma_{x3} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.9)$$

$$\sigma_{x6} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.10)$$

(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

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.11)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.12)$$

b. 下端固定上端支持の場合

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell + \ell_r) \right|}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.13)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q}\right)}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.14)$$

(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】

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

【SRS 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

$\sigma_{xc}$ が正の値（圧縮側）のとき、次の組合せ圧縮応力を求める。

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

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

ここで、

【絶対値和】

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

【SRSS法】

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

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、

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

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。

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

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

#### (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式で求める。

##### a. 下端固定の場合

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

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

ここで、

$$M_s = C_H \cdot m_o \cdot g \cdot (l_s + l) \quad \dots\dots\dots (2.2.2.5)$$

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。

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

$$M_{s2} = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| l_s + l - \frac{Q'}{Q} \cdot (l_s + l + l_r) \right| \dots\dots\dots (2.2.2.7)$$

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

(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.  $\sigma_b$ 及び $\sigma_c$ 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 $\alpha$ を求める。

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

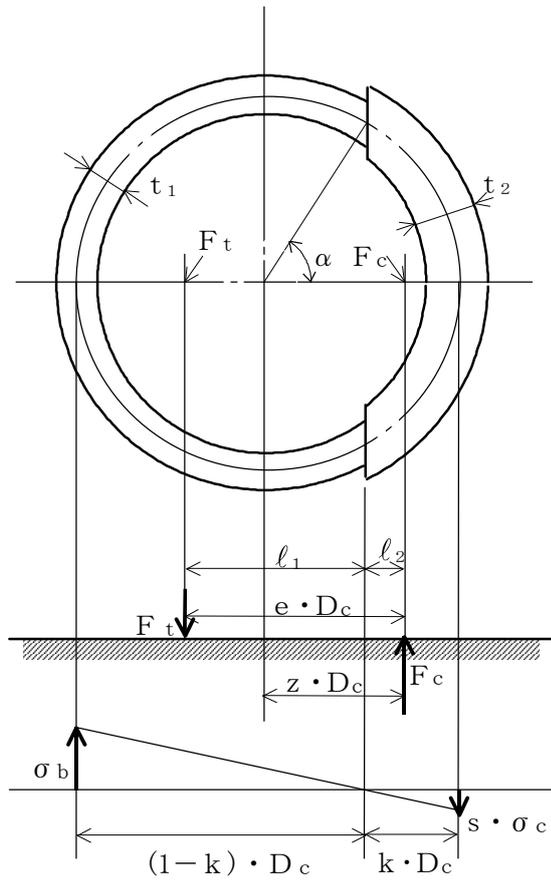


図2-5 基礎の荷重説明図

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】**

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

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

**【SRS法】**

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

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

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 $\alpha$  が  $\pi$  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  $\alpha$  を  $\pi$  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.  $\sigma_b$  及び  $\sigma_c$  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、

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

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

$\sigma_b$  及び  $\sigma_c$  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  $\sigma_b$  及び  $\sigma_c$  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

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

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、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。

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

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

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

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

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

$$f_c = \phi_1\left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s}\right) \dots\dots\dots (3.2.2.5)$$

ただし、 $\phi_1(x)$ は次の関数とする。

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

また、 $f_b$ は次による。

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

$$f_b = F \dots\dots\dots (3.2.2.7)$$

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

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

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

$$f_b = \phi_2\left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s}\right) \dots\dots\dots (3.2.2.9)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

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

$\eta$ は安全率で次による。

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

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

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

$$\eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left( \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \dots\dots\dots (3.2.2.12)$$

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

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

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  $\sigma_b$  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  $\tau_b$  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2. 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 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。

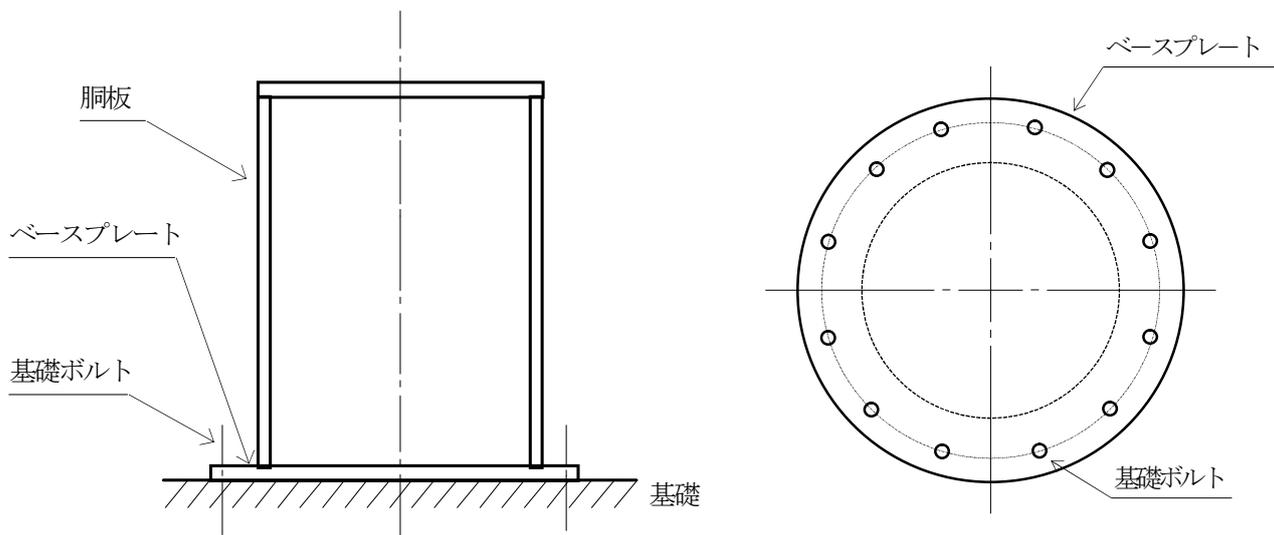


図1-1 概要図

### 1.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	胴の軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	基礎ボルトの軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>e</sub>	胴の有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>c</sub>	基礎ボルト計算における係数	—
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>t</sub>	基礎ボルト計算における係数	—
C <sub>v</sub>	鉛直方向設計震度	—
D <sub>b i</sub>	ベースプレートの内径	mm
D <sub>b o</sub>	ベースプレートの外径	mm
D <sub>c</sub>	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D <sub>i</sub>	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 <sup>*</sup>	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F <sub>c</sub>	基礎に作用する圧縮力	N
F <sub>t</sub>	基礎ボルトに作用する引張力	N
f <sub>b</sub>	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f <sub>c</sub>	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f <sub>s b</sub>	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 <sub>t o</sub>	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f <sub>t s</sub>	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 <sup>2</sup>
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
K <sub>H</sub>	水平方向ばね定数	N/m
K <sub>V</sub>	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 <sub>1</sub> , l <sub>2</sub>	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 <sub>g</sub>	基礎から容器重心までの距離	mm
M <sub>s</sub>	基礎に作用する転倒モーメント	N・mm
m <sub>o</sub>	容器の運転時質量	kg
m <sub>e</sub>	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 <sub>a</sub>	胴の許容応力	MPa
S <sub>u</sub>	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	—
$\alpha$	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
$\eta$	座屈応力に対する安全率	—
$\pi$	円周率	—
$\rho'$	液体の密度 (=比重 $\times 10^{-6}$ )	kg/mm <sup>3</sup>
$\sigma_0$	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0c}$	胴の組合せ圧縮応力	MPa
$\sigma_{0t}$	胴の組合せ引張応力	MPa
$\sigma_2$	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
$\sigma_{2c}$	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
$\sigma_{2t}$	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
$\sigma_{2xc}$	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
$\sigma_{2xt}$	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
$\sigma_b$	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_c$	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
$\sigma_{x2}$	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
$\sigma_{x3}$	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
$\sigma_{x4}$	胴の水平方向地震による軸方向応力	MPa
$\sigma_{xc}$	胴の軸方向応力の和 (圧縮側)	MPa
$\sigma_{xt}$	胴の軸方向応力の和 (引張側)	MPa
$\sigma_{\phi}$	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
$\tau$	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
$\tau_b$	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。

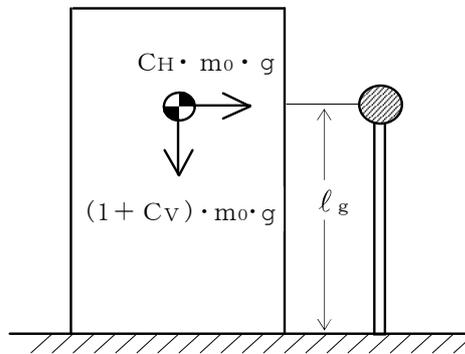


図2-1 固有周期の計算モデル

(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。

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

ここで、胴の断面性能は次のように求める。

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

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

したがって、固有周期 $T_H$ は次式で求める。

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

(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。

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

ここで、胴の断面性能は次のように求める。

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

したがって、固有周期 $T_V$ は次式で求める。

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

## 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

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

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

$$\sigma_{x1} = 0 \dots\dots\dots (2.2.1.3)$$

#### (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。

$$\sigma_{x2} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{x3} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.5)$$

#### (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。

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell_g}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.6)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.7)$$

#### (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

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

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

ここで、

**【絶対値和】**

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

**【SRSS法】**

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

(b) 組合せ圧縮応力

$\sigma_{xc}$ が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

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

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

ここで，

【絶対値和】

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

【SRSS法】

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

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，

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

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。

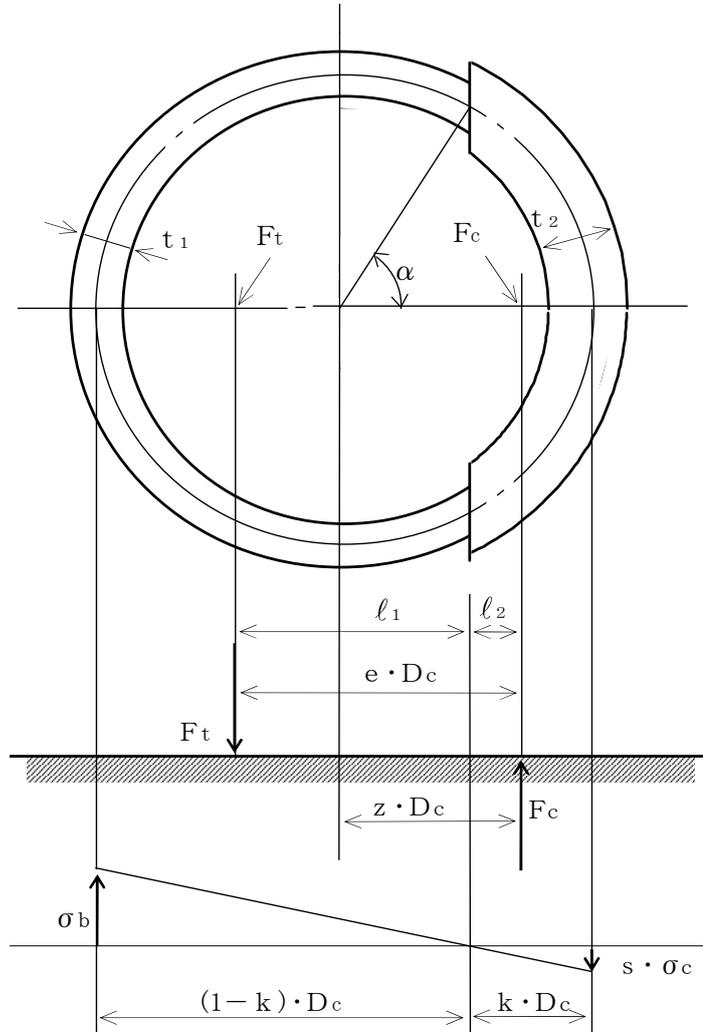


図2-2 基礎の荷重説明図

- a.  $\sigma_b$  及び  $\sigma_c$  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。

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

b. 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度  $\alpha$  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。

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

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

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

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

d. 各定数を用いて  $F_t$  及び  $F_c$  を求める。

**【絶対値和】**

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

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

**【SRSS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,

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

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 $\alpha$  が  $\pi$  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  $\alpha$  を  $\pi$  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.  $\sigma_b$  及び  $\sigma_c$  を求める。

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

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

ここで,

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

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

$\sigma_b$  及び  $\sigma_c$  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  $\sigma_b$  及び  $\sigma_c$  を基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2) せん断応力

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

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。

- (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。

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

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

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

$$f_b = F \cdot \left[ 1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2 \left( \frac{9600 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left( \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right]$$

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

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

$$f_b = \phi_2 \left( \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (3.2.1.8)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

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

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

$\eta$ 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  $\sigma_b$  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  $\tau_b$  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3 横軸ポンプ及びスキッド（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、本基本方針はスキッドにも適用する。（その場合は、ポンプをスキッドと読み替える。）

### 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 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）（以下「指針」という。）に準拠する。

### 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。

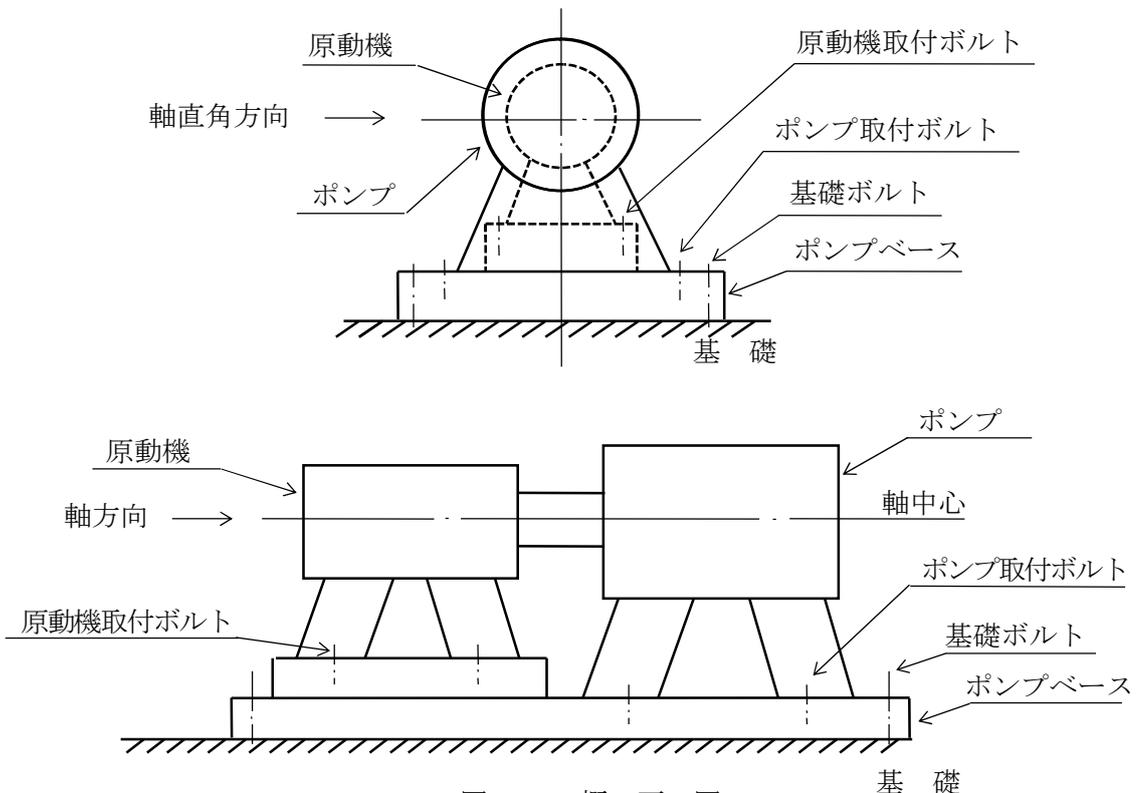


図 1-1 概要図

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	$\text{mm}^2$
$C_H$	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本あたり)	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)	$\text{m/s}^2$
$H_m$	原動機予想最大両振幅	$\mu\text{m}$
$H_p$	ポンプ予想最大両振幅	$\mu\text{m}$
$h_i$	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)	$\text{min}^{-1}$
$N_p$	ポンプ回転速度	$\text{min}^{-1}$
$n_i$	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
$\pi$	円周率	—
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau_{bi}$	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 JSME S-NC1-2005 (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:  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_i$ ,  $F_{bi}$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{toi}$ ,  $f_{tsi}$ ,  $l_{1i}$ ,  $l_{2i}$ ,  $n_i$ ,  $n_{fi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $S_{ui}$ ,  $S_{yi}$ ,  $\sigma_{bi}$ 及び $\tau_{bi}$ 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\* :  $l_{1i} \leq l_{2i}$

## 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。

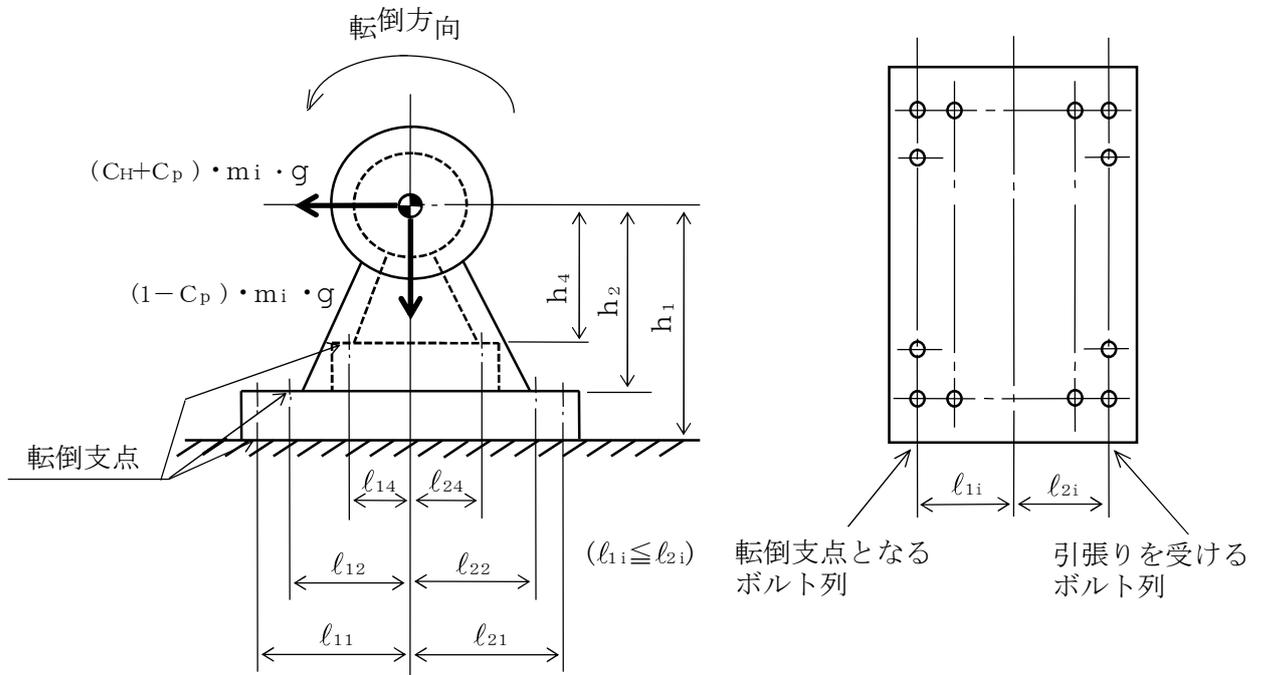


図 2-1 計算モデル (軸直角方向転倒)

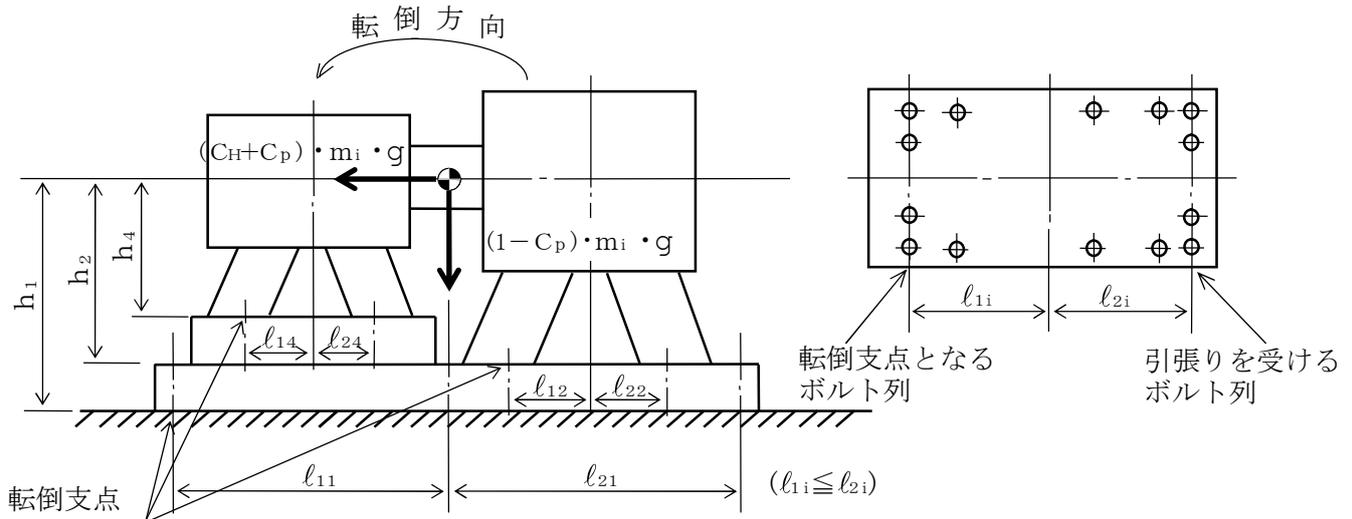


図 2-2 計算モデル（軸方向転倒）

(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

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

$l_{1i}$  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。）

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

(1kW = 10<sup>6</sup> 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。）

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

引張応力

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

ここで、ボルトの軸断面積  $A_{bi}$  は

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

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) せん断応力

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

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

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

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

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  $\sigma_{bi}$  は次式より求めた許容引張応力  $f_{t si}$  以下であること。

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

$$f_{t si} = 1.4 \cdot f_{t oi} - 1.6 \cdot \tau_{bi} \dots\dots\dots (3.1.1)$$

かつ、

$$f_{t si} \leq f_{t oi} \dots\dots\dots (3.1.2)$$

ただし、 $f_{t oi}$  及び  $f_{s bi}$  は下表による。

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

増設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

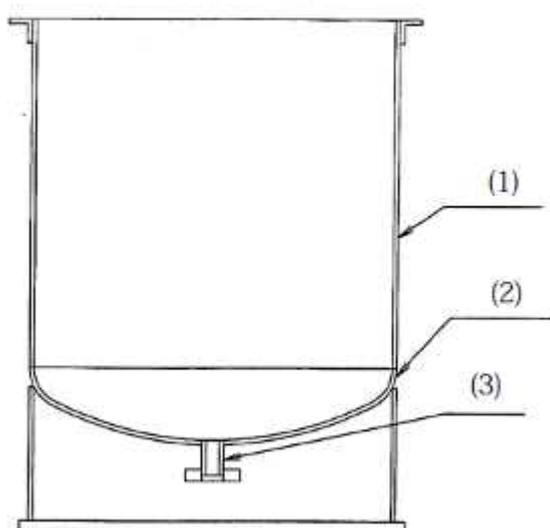
増設多核種除去設備を構成する主要な機器及び主配管（鋼管）は、強度評価においては、「JSME S NC-1 電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下、「設計・建設規格」という。）のクラス 3 機器またはクラス 3 配管に準じた評価を行う。

2. 強度評価

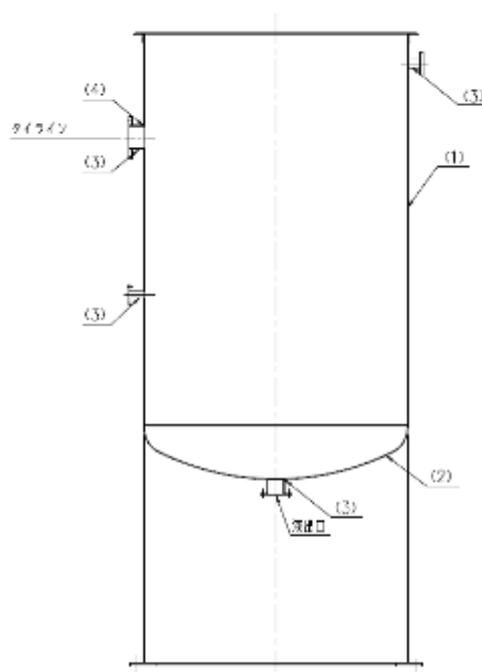
2.1 処理水受入タンク，共沈タンク，供給タンク

2.1.1 評価箇所

強度評価箇所を図－ 1－ 1、図－ 1－ 2 に示す。



図－ 1－ 1 処理水受入タンク 概要図



図－ 1－ 2 共沈タンク，供給タンク 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)

$\rho$ ：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)

$\eta$ ：継手効率 (-)

### (2) 下部鏡板の厚さの評価

さら形鏡板の場合で、中低面に圧力を受ける物については、下記式により計算した値以上の厚さとする。

#### a. 鏡板の計算上必要な厚さ： $t$

$$t = \frac{P \cdot R \cdot W}{2S \cdot \eta - 0.2P}$$

$t$ ：必要厚さ (mm)

$P$ ：最高使用圧力 (MPa)

$R$ ：鏡板の中央部における内面の半径 (mm)

$W$ ：さら形鏡板の形状による係数

$\eta$ ：継手効率(-)

$S$ ：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. 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)

$\rho$ ：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)

$\eta$ ：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) 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-1～2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 処理水受入タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
処理水受入タンク 1, 2	(1) 胴板の厚さ	3.00	7.27
	(2) 下部鏡板の厚さ	0.98	6.00
	(3) 管台の厚さ（液出口）	3.50	4.35

表-2-1 共沈タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
共沈タンク A, B, C	(1) 胴板の厚さ	3.00	3.72
	(2) 下部鏡板の厚さ	3.00	3.69
	(3) 管台の厚さ（液出口）	3.50	3.75
	(3) 管台の厚さ（タイライン）	3.50	4.72
	(3) 管台の厚さ（液入口）	2.40	2.40
	(3) 管台の厚さ（苛性ソーダ入口）	2.20	2.20
	(3) 管台の厚さ（炭酸ソーダ入口）	2.20	2.20
	(3) 管台の厚さ（pH計スキッド行き）	2.20	2.20
	(3) 管台の厚さ（pH計スキッド戻り）	1.70	1.90

表-2-2 共沈タンクの評価結果（胴の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
		補強に必要な面積 (mm <sup>2</sup> )	補強に有効な総面積 (mm <sup>2</sup> )
共沈タンク A, B, C	(4) 胴 (タイライン)	40.95	663.63
		大きな穴の補強を 要しない最大径 (mm)	穴の径 (mm)
		583.33	167.20
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所の 強さ (N)
		-47353	— ※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 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 A, B, C	(1) 胴板の厚さ	3.00	3.72
	(2) 下部鏡板の厚さ	3.00	3.69
	(3) 管台の厚さ (液出口)	3.50	3.75
	(3) 管台の厚さ (タイライン)	3.50	4.72
	(3) 管台の厚さ (クロフフローフィルタ戻り)	2.20	2.20
	(3) 管台の厚さ (デカント水戻り)	2.20	2.20

表-3-2 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	
		補強に必要な面積 (mm <sup>2</sup> )	補強に有効な総面積 (mm <sup>2</sup> )
供給タンク A, B, C	(4) 胴 (タイライン)	48.54	656.11
		大きな穴の補強を 要しない最大径 (mm)	穴の径 (mm)
		583.33	167.20
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所 の強さ (N)
		-45765	— ※2

※2 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

## 2.2 吸着塔

### 2.2.1 評価箇所

強度評価箇所を図-2に示す。

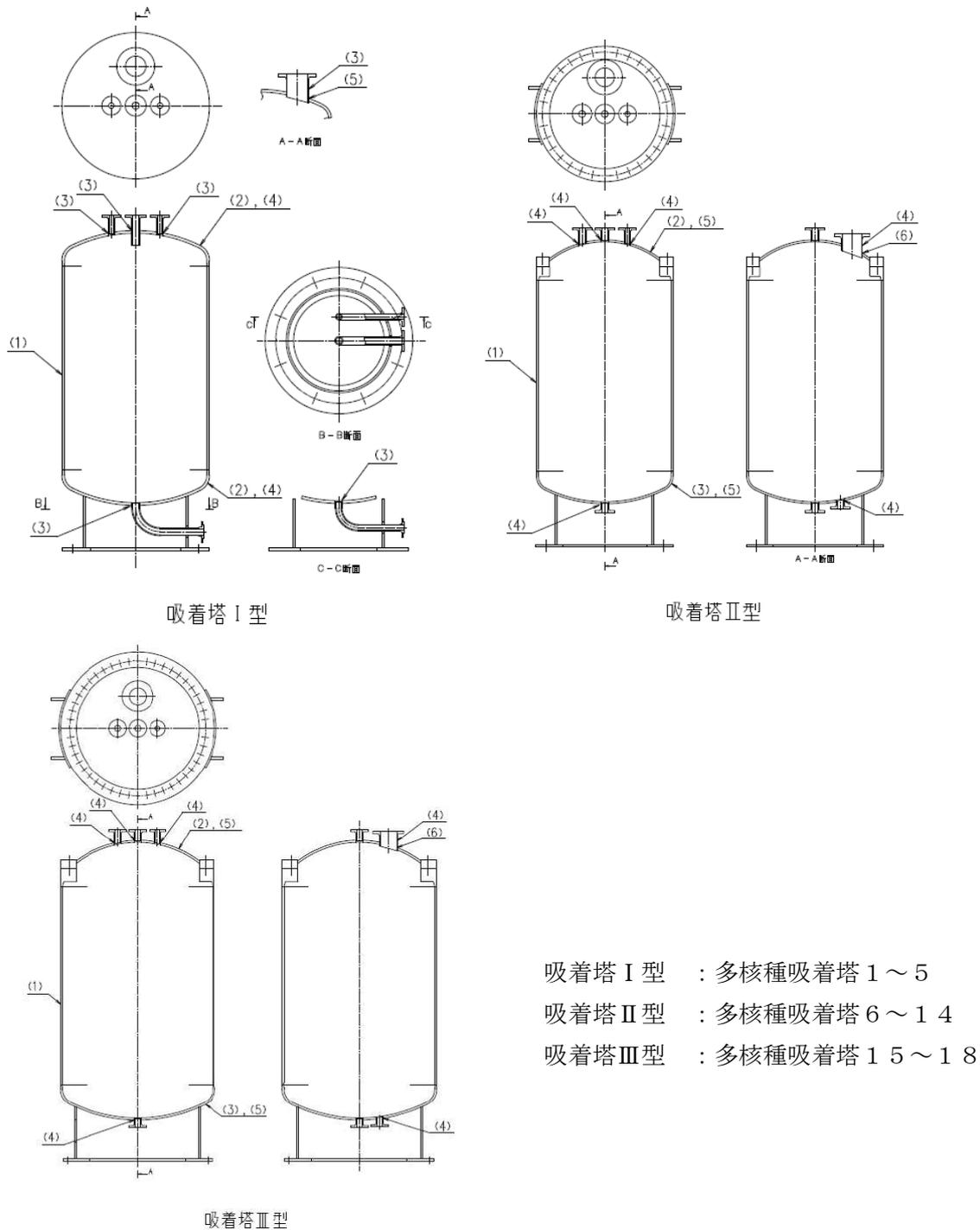


図-2 吸着塔 概要図

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)

$\eta$ ：継手効率 (-)

### (2) 鏡板の厚さの評価

さら形鏡板に必要な厚さは、以下で計算した値のうちいずれか大きい方の値とする。

#### a. フランジ部： $t_1$

$$t_1 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

$t_1$ ：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)

$\eta$ ：継手効率 (-)

#### b. 鏡板： $t_2$

$$t_2 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2P}$$

$t_2$ ：必要厚さ (mm)

P：最高使用圧力 (MPa)

R：鏡板の中央部における内面の半径 (mm)

W：さら形鏡板の形状による係数 (-)

S：許容引張応力 (MPa)

$\eta$ ：継手効率 (-)

ここで、Wは以下の式により計算した値とする。

$$W = \frac{1}{4} \cdot \left[ 3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right]$$

R：鏡板の中央部における内面の半径 (mm)

r：さら形鏡板のすみの丸みの内半径 (mm)

(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)

$\eta$ ：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) 鏡板の補強を要しない穴の最大径の評価

鏡板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。

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

$d_{r1}$ ：補強を要しない穴の最大径 (mm)

D：鏡板のフランジ部の外径 (mm)

$t_c$ ：鏡板の最少厚さ (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。

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

$d_{r2}$ ：補強を要しない穴の最大径 (mm)

D：鏡板のフランジ部の外径 (mm)

$t_c$ ：鏡板の最少厚さ (mm)

K：係数 (-)

ここで、K は、さら形鏡板の場合、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。

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

P：最高使用圧力 (MPa)

D：鏡板のフランジ部の外径 (mm)

S：許容引張応力 (MPa)

$\eta$ ：継手効率の値 (-)

$t_c$ ：鏡板の最少厚さ (mm)

(5) 鏡板の穴の補強計算

- 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。

2.2.3 評価結果

評価結果を表-4~6に示す。必要厚さ等を満足しており、十分な構造強度を有すると評価している。

表-4-1 吸着塔の評価結果(板厚)

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
多核種吸着塔 1~5 A, B, C	(1) 胴板の厚さ	9.57	14.80
	(2) 上部・下部鏡板の厚さ	10.18	15.50
	(3) 管台の厚さ (清掃口)	1.04	5.80
	(3) 管台の厚さ (液出口)	0.38	2.40
	(3) 管台の厚さ (液入口)	0.38	3.00
	(3) 管台の厚さ (吸着材入口)	0.31	2.90
	(3) 管台の厚さ (吸着材出口)	0.31	2.30
	(3) 管台の厚さ (ベント)	0.31	2.90

表-4-2 吸着塔の評価結果（鏡板の補強要否確認）

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)
吸着塔 1～5 A, B, C	(4) 上部鏡板 (清掃口)	165.50	165.20 ※3
	(4) 下部鏡板 (液出口)	165.50	60.50
	(4) 上部鏡板 (液入口)	165.50	60.50
	(4) 上部鏡板 (吸着材入口)	165.50	48.60
	(4) 下部鏡板 (吸着材出口)	165.50	48.60
	(4) 上部鏡板 (ベント)	165.50	48.60

※3 管台の外径は 165.2mm であるものの、鏡板に加工する穴の径は最大 168.5mm であり、補強を要しない穴の最大径を上回ることから鏡板の穴の補強計算を行う。

表-4-3 吸着塔の評価結果（鏡板の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
		補強に必要な面積 (mm <sup>2</sup> )	補強に有効な総面積 (mm <sup>2</sup> )
吸着塔 1～5 A, B, C	(5) 上部鏡板 (清掃口)	1.015 × 10 <sup>3</sup>	1.723 × 10 <sup>3</sup>
		大きな穴の補強を要しない最大径 (mm)	穴の径 (mm)
		500.00	153.60
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所 の強さ (N)
		-2.992 × 10 <sup>4</sup>	— ※4

※4 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-5-1 吸着塔の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
多核種吸着塔 6～14 A, B, C	(1) 胴板の厚さ	8.44	13.60
	(2) さら形ふた板	6.50	11.70
	(3) 下部鏡板の厚さ	9.02	11.80
	(4) 管台の厚さ (清掃口)	3.80	5.80
	(4) 管台の厚さ (液出口)	2.40	3.00
	(4) 管台の厚さ (液入口)	2.40	3.00
	(4) 管台の厚さ (吸着材入口)	2.40	3.00
	(4) 管台の厚さ (吸着材出口)	2.40	3.00
	(4) 管台の厚さ (ベント)	2.20	2.90

表-5-2 吸着塔の評価結果（鏡板・さら形ふた板の補強要否確認）

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)
多核種吸着塔 6~14 A, B, C	(5) さら形ふた板（清掃口）	142.05	165.20 ※5
	(5) 下部鏡板（液出口）	142.98	60.50
	(5) さら形ふた板（液入口）	142.05	60.50
	(5) さら形ふた板（吸着材入口）	142.05	60.50
	(5) 下部鏡板（吸着材出口）	142.98	60.50
	(5) さら形ふた板（ベント）	142.05	48.60

※5 さら形ふた板の穴の補強計算を行う

表-5-3 吸着塔の評価結果（さら形ふた板の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
		補強に必要な 面積 (mm <sup>2</sup> )	補強に有効な 総面積 (mm <sup>2</sup> )
多核種吸着塔 6~14 A, B, C	(6) さら形ふた板 (清掃口)	610.5	$1.438 \times 10^3$
		大きな穴の補強を 要しない最大径 (mm)	穴の径 (mm)
		437.00	153.60
		溶接部の負う べき荷重 (N)	予想される破断箇所の強さ (N)
		$-6.530 \times 10^4$	— ※6

※6 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-6-1 吸着塔の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
多核種吸着塔 15~18 A, B, C	(1) 胴板の厚さ	10.85	13.60
	(2) さら形ふた板	8.36	14.40
	(3) 下部鏡板の厚さ	11.60	14.60
	(4) 管台の厚さ（清掃口）	3.80	5.80
	(4) 管台の厚さ（液出口）	2.40	3.00
	(4) 管台の厚さ（液入口）	2.40	3.00
	(4) 管台の厚さ（吸着材入口）	2.40	3.00
	(4) 管台の厚さ（吸着材出口）	2.40	3.00
(4) 管台の厚さ（ベント）	2.20	2.90	

表-6-2 吸着塔の評価結果（鏡板・さら形ふた板の補強要否確認）

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)
多核種吸着塔 15~18 A, B, C	(5) さら形ふた板（清掃口）	162.41	165.20 ※7
	(5) 下部鏡板（液出口）	164.21	60.50
	(5) さら形ふた板（液入口）	162.41	60.50
	(5) さら形ふた板（吸着材入口）	162.41	60.50
	(5) 下部鏡板（吸着材出口）	164.21	60.50
	(5) さら形ふた板（ベント）	162.41	48.60

※7 さら形ふた板の穴の補強計算を行う

表-6-3 吸着塔の評価結果（さら形ふた板の穴の補強計算）

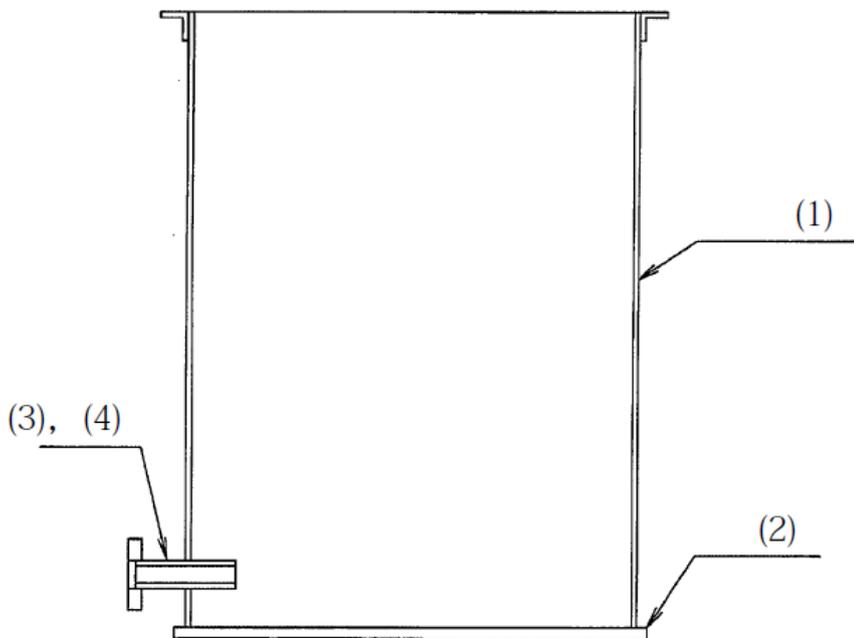
機器名称	評価項目	評価結果	
		補強に必要な 面積 (mm <sup>2</sup> )	補強に有効な 総面積 (mm <sup>2</sup> )
多核種吸着塔 15~18 A, B, C	(6) さら形ふた板 (清掃口)	784.9	$1.687 \times 10^3$
		大きな穴の補強を 要しない最大径 (mm)	穴の径 (mm)
		500.00	153.60
		溶接部の負う べき荷重 (N)	予想される破断箇所 の強さ (N)
		$-7.203 \times 10^4$	— ※8

※8 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

## 2.3 吸着塔入口バッファタンク，移送タンク，サンプルタンク

### 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 吸着塔入口バッファタンク，移送タンク 概要図

### 2.3.2 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)

$\rho$ ：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)

$\eta$ ：継手効率 (-)

c. 胴の内径に応じた必要厚さ：  $t_3$

胴の内径が 5m を超えるものについては、胴の内径の区分に応じ設計・建設規格 表 PVC-3920-1 より求めた胴の厚さとする。

(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，3mm 以上であること。

(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. 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)

$\rho$ ：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)

$\eta$ ：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) 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。

### 2.3.3 評価結果

評価結果を表ー7～9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。

表ー7ー1 吸着塔入口バッファタンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最少厚さ (mm)
吸着塔入口バッファ タンク A, B, C	(1) 胴の厚さ	1.50	3.48
	(2) 底板の厚さ	3.00	17.80
	(3) 管台の厚さ（液出口）	2.40	3.91

表ー7ー2 吸着塔入口バッファタンクの評価結果（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)
吸着塔入口バッファ タンク A, B, C	(4) 胴（液出口）	85.00	85.00 以下

表ー8ー1 移送タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最少厚さ (mm)
移送タンク 1, 2	(1) 胴の厚さ	3.00	7.47
	(2) 底板の厚さ	3.00	20.35
	(3) 管台の厚さ（液出口）	3.50	3.91

表ー8ー2 移送タンクの評価結果（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)
移送タンク 1, 2	(4) 胴（液出口）	85.00	85.00 以下

表-9-1 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	12.0
	(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-9-2 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 <sup>2</sup> ]	補強に有効な総面積 [mm <sup>2</sup> ]
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-9-3 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	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	W <sub>6</sub>
		[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[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

## 2.4 主配管

### 2.4.1 評価箇所

強度評価箇所を図-4に示す。

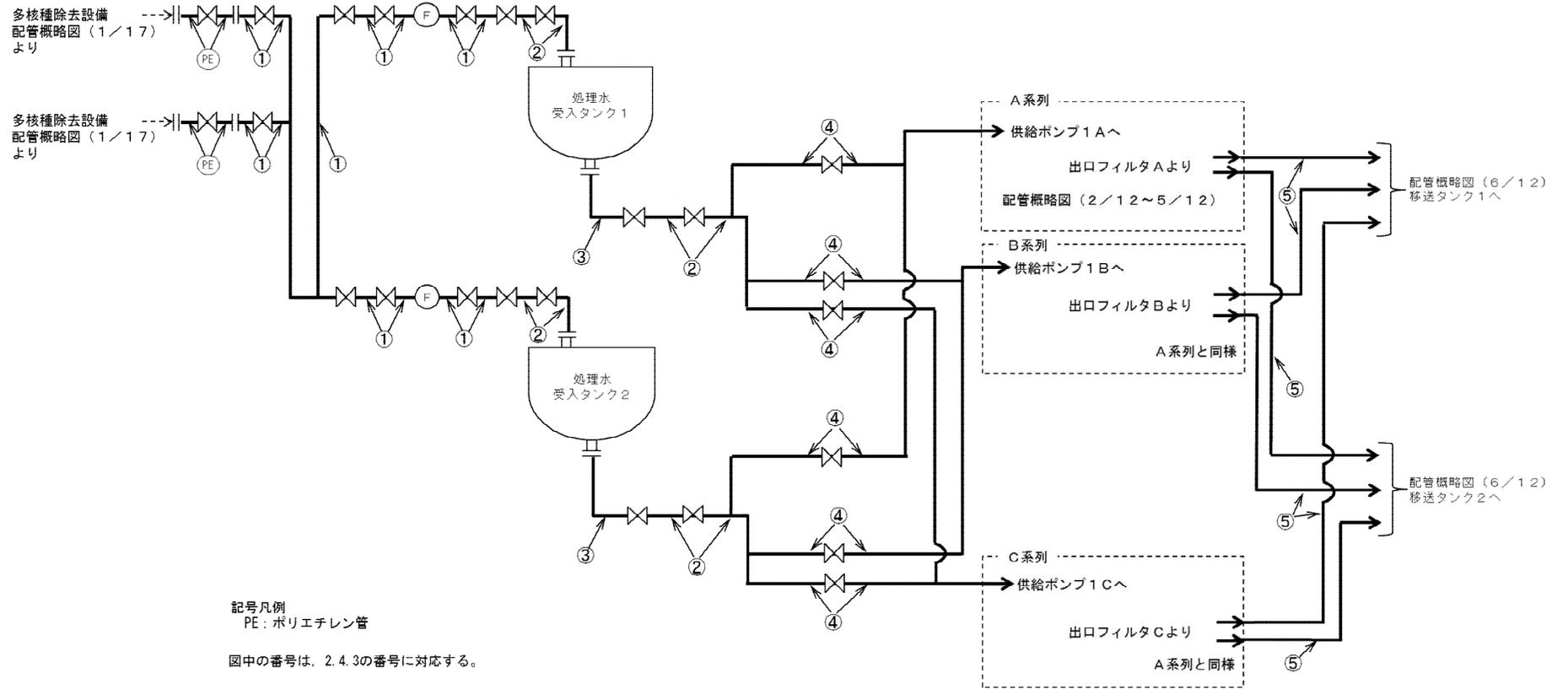
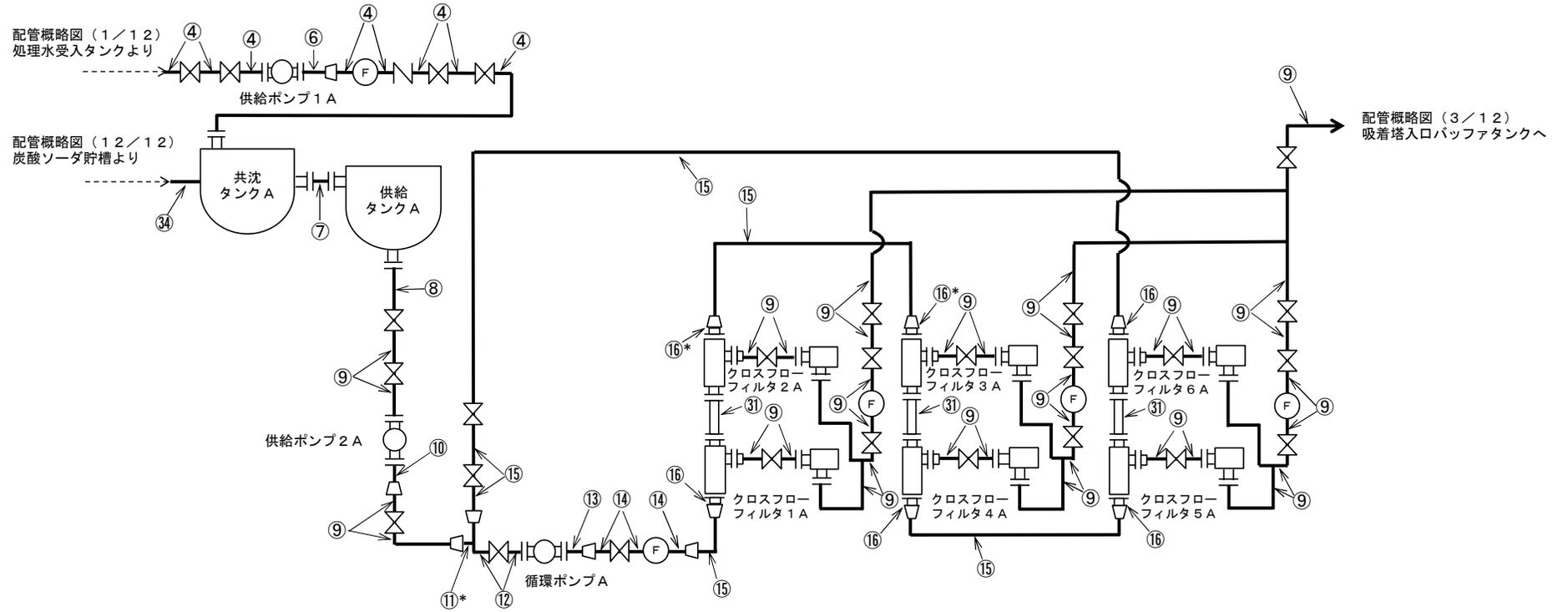


図-4 配管概略図 (1/12)

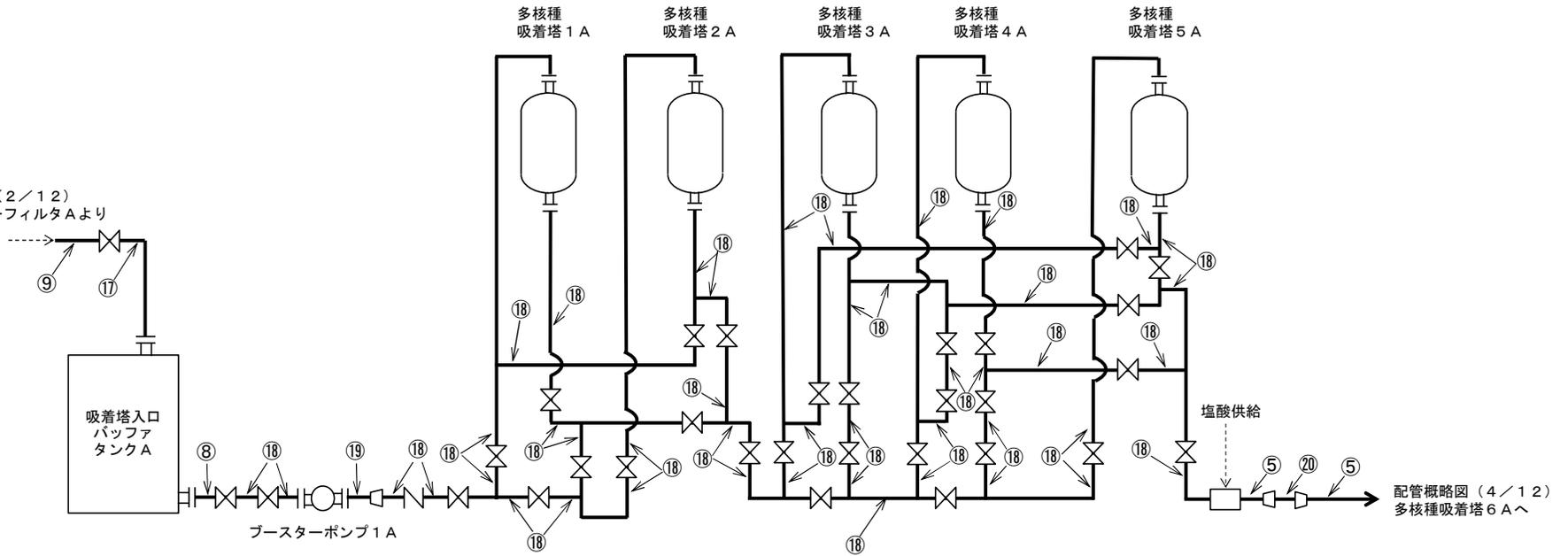


図中の番号は、2.4.3の番号に対応する。

注記\* : 管継手

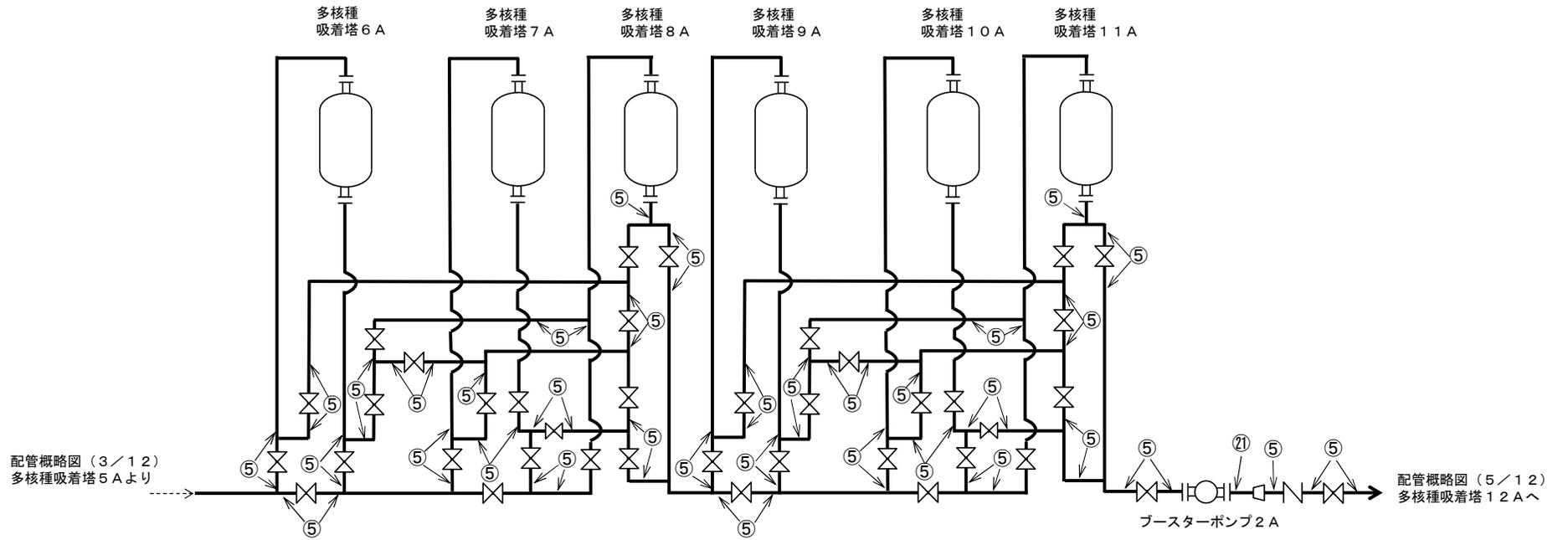
図-4 配管概略図 (2/12)

配管概略図 (2 / 12)  
クロスフローフィルタAより



図中の番号は、2.4.3の番号に対応する。

図-4 配管概略図 (3 / 12)



図中の番号は、2. 4. 3の番号に対応する。

図-4 配管概略図 (4 / 12)

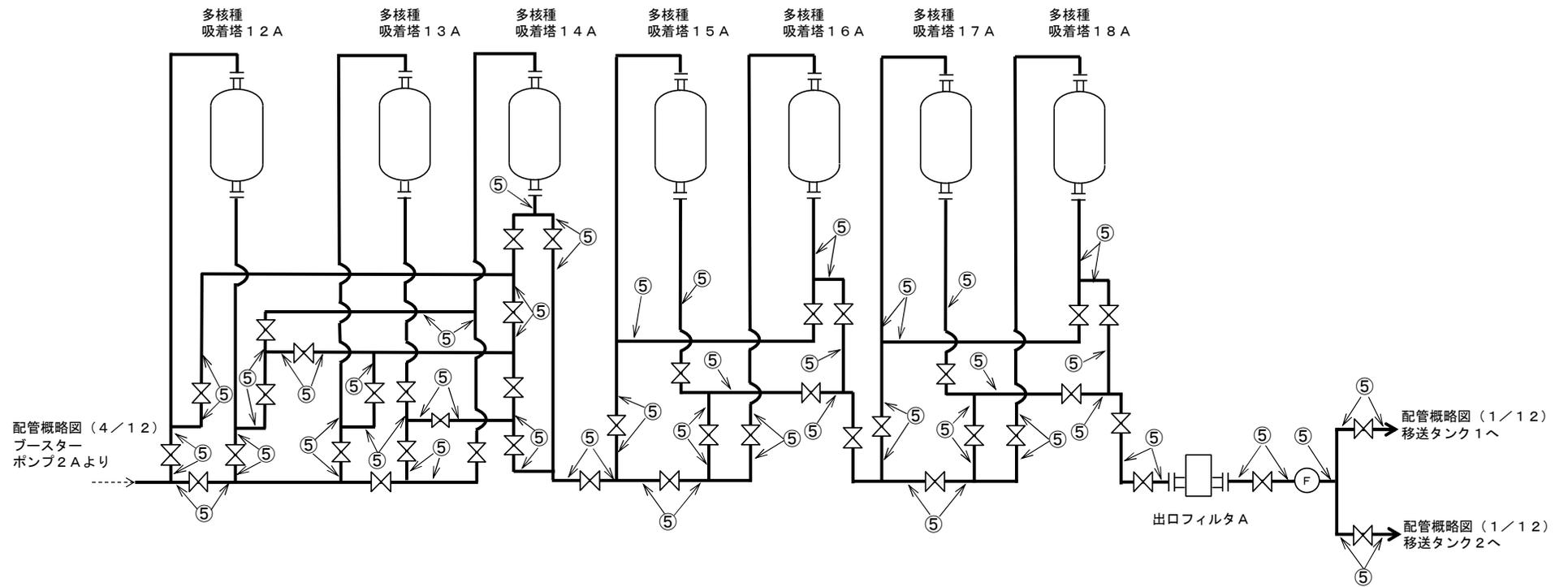


図-4 配管概略図 (5/12)

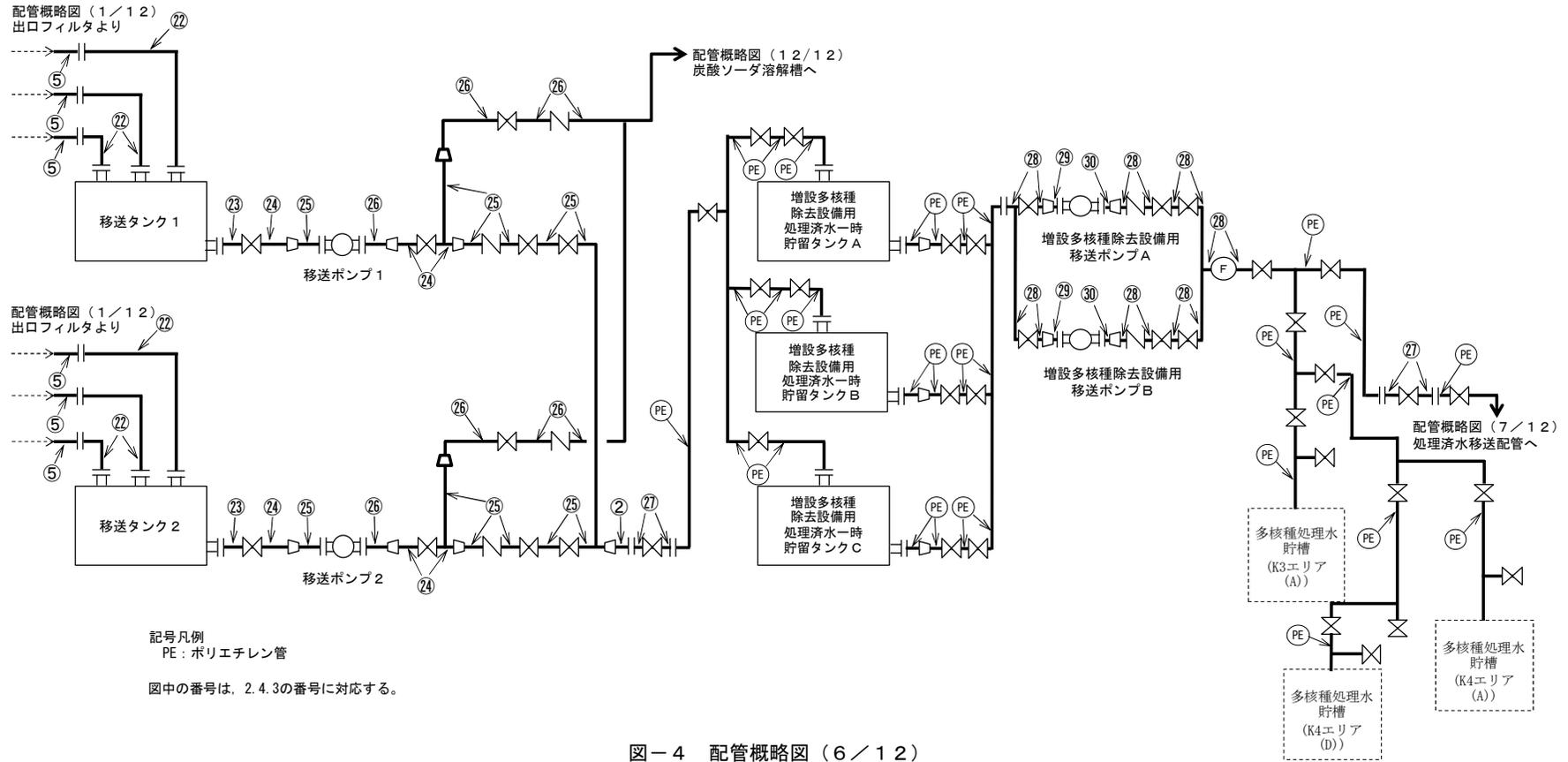
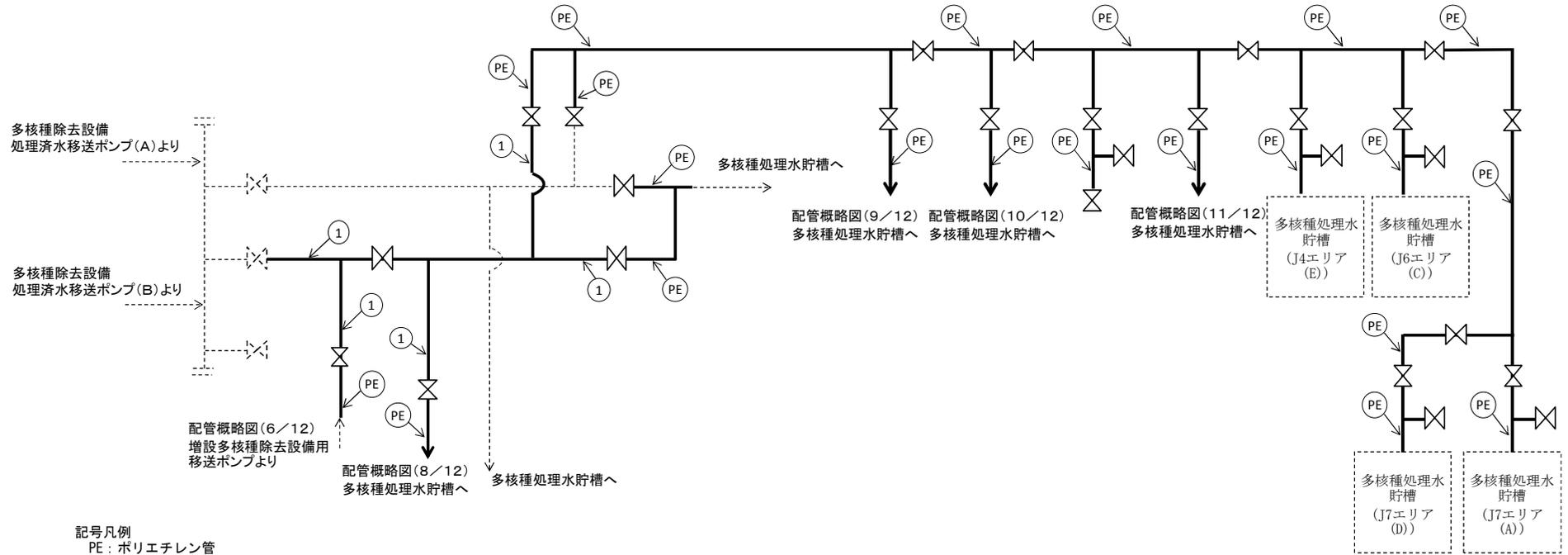


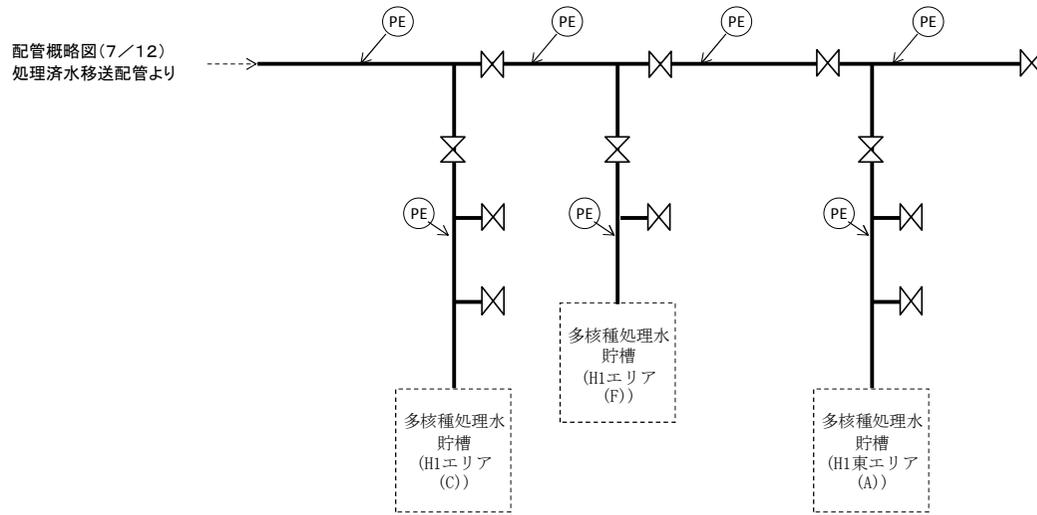
図-4 配管概略図 (6/12)



図中の番号は、2.4.3の番号に対応する。

※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(7/12)

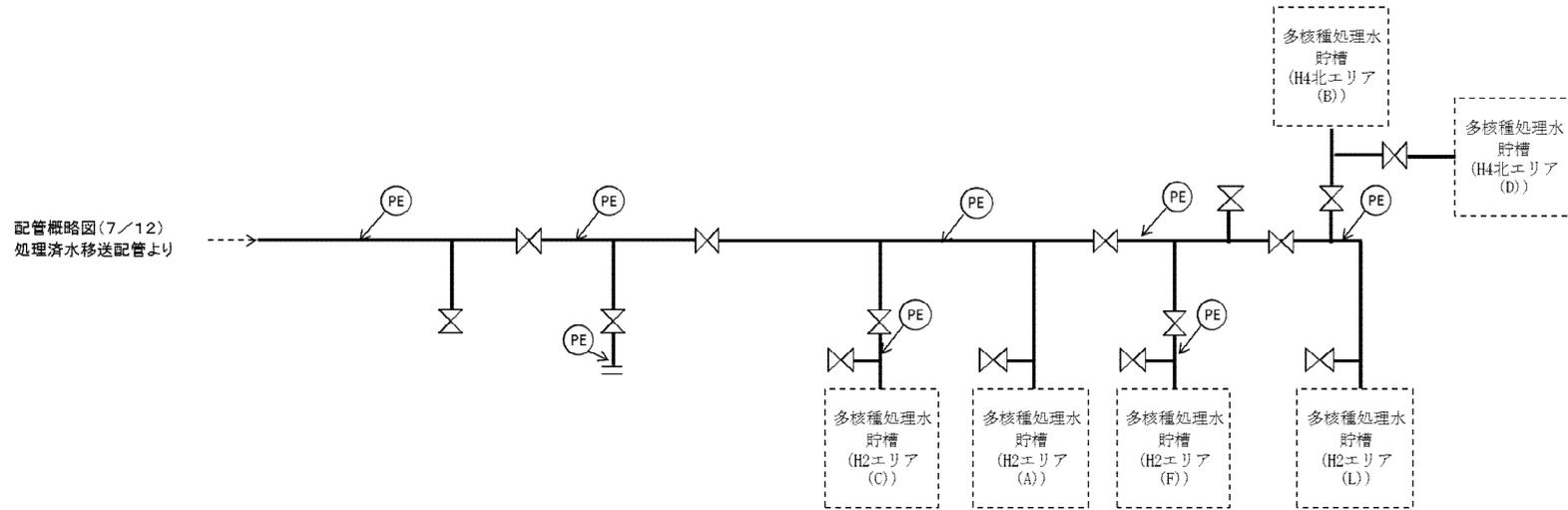


記号凡例  
PE: ポリエチレン管

図中の番号は、2.4.3の番号に対応する。

※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 (8/12)

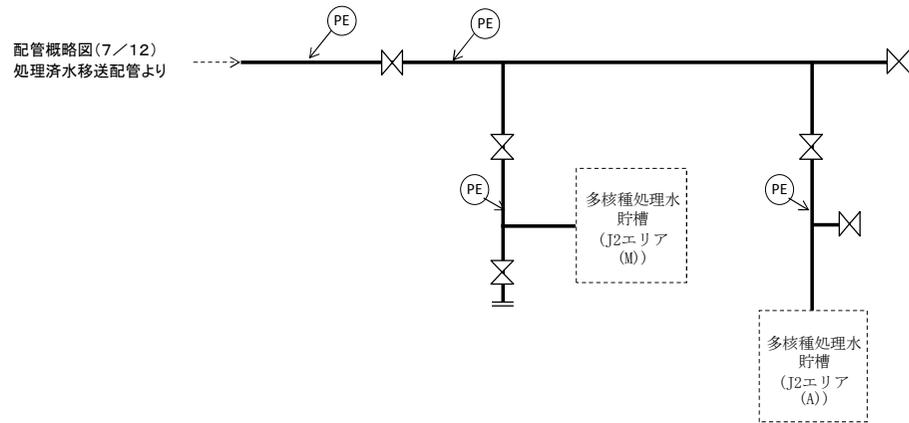


記号凡例  
PE: ポリエチレン管

図中の番号は、2.4.3の番号に対応する。

※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 (9 / 12)

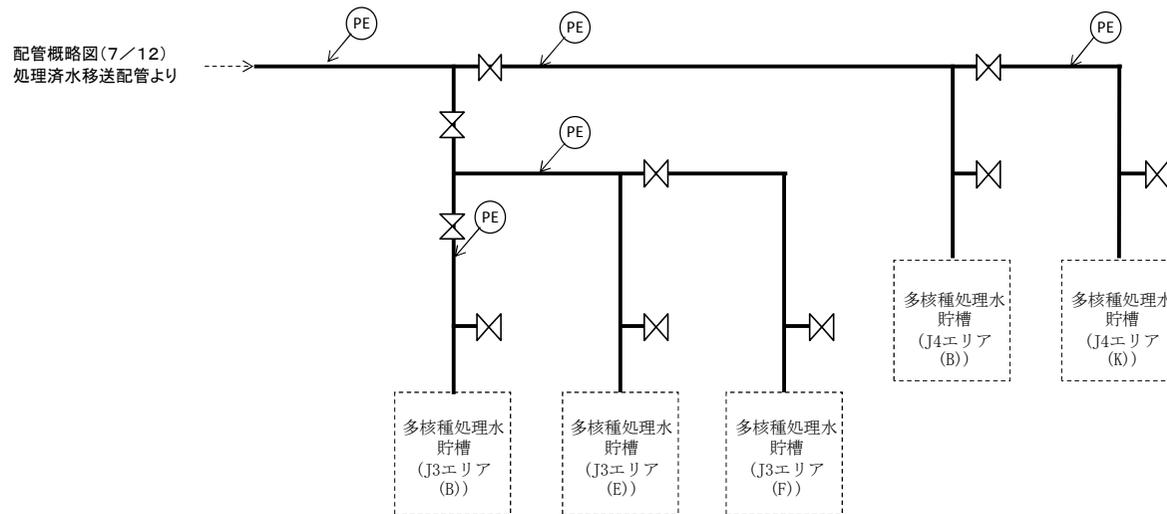


記号凡例  
PE：ポリエチレン管

図中の番号は、2.4.3の番号に対応する。

※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(10/12)



記号凡例  
PE : ポリエチレン管

図中の番号は、2.4.3の番号に対応する。

※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 ( 1 1 / 1 2 )

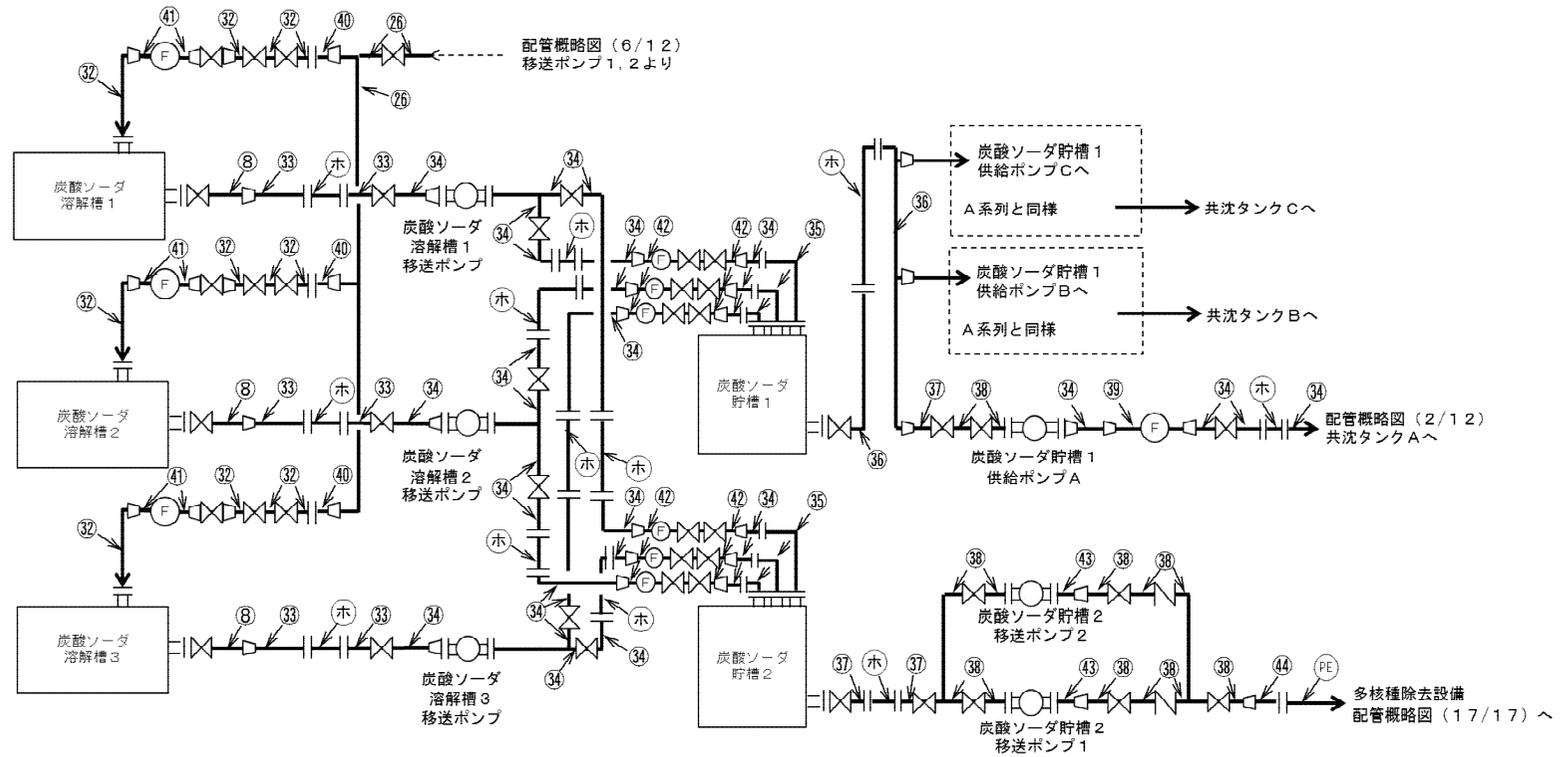


図-4 配管概略図 (12 / 12)

## 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)

$\eta$  : 継手効率 (-)

#### b. 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小必要厚さ : $t_2$

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－9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－9 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(℃)	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
1	114.30	STPG370	0.98	40	3.40	5.25
2	114.30	STPG370	0.98	60	3.40	5.25
3	114.30	STPG370	静水頭	60	—	5.25
4	60.50	STPG370	0.98	60	2.40	3.40
5	60.50	STPG370	1.37	60	2.40	3.40
6	42.70	STPG370	0.98	60	1.90	3.10
7	165.20	SUS316L	静水頭	60	—	6.21
8	60.50	SUS316L	静水頭	60	—	3.40
9	60.50	SUS316L	0.98	60	0.28	3.40
10	42.70	SUS316L	0.98	60	0.20	3.10
11	76.30	SUS316L	0.98	60	0.35	4.55
12	165.20	SUS316L	0.98	60	0.74	6.21
13	139.80	SUS316L	0.98	60	0.63	5.77
14	216.30	SUS316L	0.98	60	0.97	7.17
15	267.40	SUS316L	0.98	60	1.20	8.13
16	318.50	SUS316L	0.98	60	1.43	9.01
17	60.50	SUS316L	0.98	60	0.28	4.81
18	60.50	SUS316L	1.37	60	0.38	3.40
19	42.70	SUS316L	1.37	60	0.27	3.10
20	89.10	STPG370	1.37	60	3.00	4.81
21	42.70	STPG370	1.37	60	1.90	3.10
22	60.50	STPG370	1.37	60	2.40	4.81
23	89.10	STPG370	静水頭	60	—	4.81
24	89.10	STPG370	0.98	60	3.00	4.81
25	76.30	STPG370	0.98	60	2.70	4.55

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)
26	48.60	STPG370	0.98	60	2.20	3.20
27	114.30	SUS316L	0.98	60	0.52	5.25
28	114.30	SUS316L	0.98	40	0.51	5.25
29	89.10	SUS316L	0.98	40	0.40	4.81
30	60.50	SUS316L	0.98	40	0.27	3.40
31	323.90	SUS316L	0.98	60	1.45	2.70
32	27.20	SUS316L	0.98	60	0.21	2.61
33	48.60	SUS316L	静水頭	60	—	3.20
34	48.60	SUS316L	0.50	60	0.12	3.20
35	48.60	SUS316L	0.50	60	0.12	4.46
36	139.80	SUS316L	静水頭	60	—	5.77
37	76.30	SUS316L	静水頭	60	—	4.55
38	76.30	SUS316L	0.50	60	0.18	4.55
39	34.00	SUS316L	0.50	60	0.08	2.90
40	27.20	STPG370	0.98	60	1.70	2.40
41	21.70	SUS316L	0.98	60	0.17	2.52
42	21.70	SUS316L	0.50	60	0.05	2.52
43	60.50	SUS316L	0.50	60	0.14	3.40
44	89.10	SUS316L	0.50	60	0.21	4.81

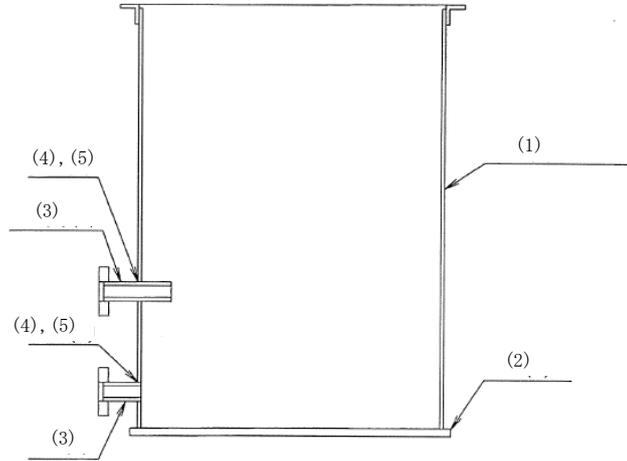
注1) 継手類はJIS等の規格品を適用することで、管に対し十分な厚さを有し、管の強度評価に包絡される。

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。

## 2.5 炭酸ソーダ貯槽

### 2.5.1 評価箇所

強度評価箇所を図-5に示す。



図中の番号は、2.5.2、2.5.3の番号に対応する。

図-5 炭酸ソーダ貯槽 概要図

### 2.5.2 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)

$\rho$ ：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)

$\eta$ ：継手効率 (-)

##### c. 胴の内径に応じた必要厚さ： $t_3$

胴の内径が5mを超えるものについては、胴の内径の区分に応じ設計・建設規格 表 PVC-3920-1より求めた胴の厚さとする。

(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，3mm 以上であること。

(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. 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)

$\rho$ ：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)

$\eta$ ：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) 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，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。

### 2.5.3 評価結果

評価結果を表-10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-10-1 炭酸ソーダ貯槽の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最少厚さ (mm)
炭酸ソーダ貯槽 1	(1) 胴の厚さ	1.50	6.87
	(2) 底板の厚さ	3.00	19.60
	(3) 管台の厚さ (125A)	3.50	4.87
	(3) 管台の厚さ (100A)	3.50	4.35
炭酸ソーダ貯槽 2	(1) 胴の厚さ	1.50	6.87
	(2) 底板の厚さ	3.00	19.60
	(3) 管台の厚さ (65A)	2.70	3.65
	(3) 管台の厚さ (100A)	3.50	4.35

表-10-2 炭酸ソーダ貯槽の評価結果（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)
炭酸ソーダ貯槽 1	(4) 胴板 (125A)	85.00	85を超える※9
	(4) 胴板 (100A)	85.00	85を超える※9
炭酸ソーダ貯槽 2	(4) 胴板 (65A)	85.00	85.00以下
	(4) 胴板 (100A)	85.00	85を超える※9

※9 胴板の穴の補強計算を行う

表-10-3 炭酸ソーダ貯槽の評価結果 (胴の穴の補強計算)

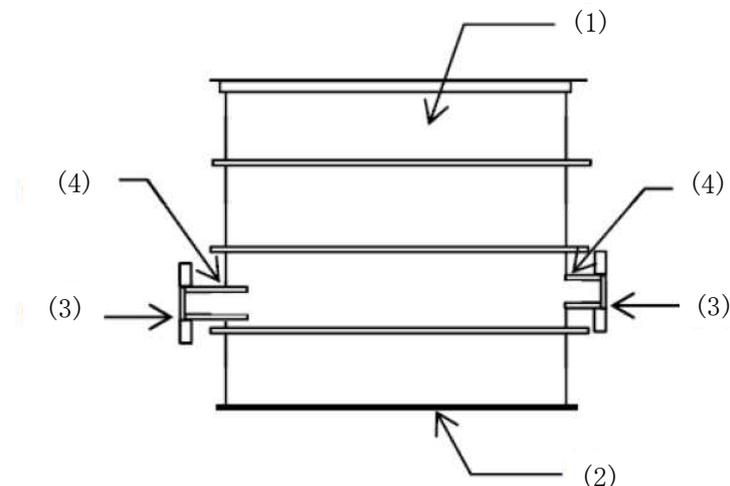
機器名称	評価項目	評価結果	
炭酸ソーダ貯槽 1	(5) 胴 (125A)	補強に必要な面積 (mm <sup>2</sup> )	補強に有効な総面積 (mm <sup>2</sup> )
		87.58	1.130×10 <sup>3</sup>
		大きな穴の補強を要しない最大径 (mm)	穴の径 (mm)
		1000	130.06
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所の強さ (N)
-7.759×10 <sup>4</sup>	—※10		
炭酸ソーダ貯槽 1, 2	(5) 胴 (100A)	補強に必要な面積 (mm <sup>2</sup> )	補強に有効な総面積 (mm <sup>2</sup> )
		71.11	7.845×10 <sup>2</sup>
		大きな穴の補強を要しない最大径 (mm)	穴の径 (mm)
		1000	105.60
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所の強さ (N)
-6.294×10 <sup>4</sup>	—※10		

※10 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

## 2.6 炭酸ソーダ溶解槽

### 2.6.1 評価箇所

強度評価箇所を図-6に示す。



図中の番号は、2.6.2、2.6.3の番号に対応する。

図-6 炭酸ソーダ溶解槽 概要図

### 2.6.2 評価方法

#### (1) 側板、底板の評価

炭酸ソーダ溶解槽の側板の必要厚さは、等分布荷重、4辺固定での最大曲げ応力 $\sigma_{max}$ が材料の許容引張応力となる場合( $S = \sigma_{max}$ )の厚さを必要な厚さとして算出する。

$$t = a (\beta_2 \cdot p / S)^{1/2}$$

$$p = \rho g H$$

t : 最小必要厚さ (mm)

a : 平板の短辺長さ (mm)

$\beta_2$  : 長方形板の最大応力の係数

(機械工学便覧(第5章 平板の曲げ表 28)より)

p : 等分布荷重 (MPa)

S : 許容引張応力 (MPa)

g : 重力加速度 (9.80665m/s<sup>2</sup>)

H : 水頭 (m)

$\rho$  : 液体の比重

ただし、1未満の場合は1とする。

(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，3mm 以上であること。

(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. 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)

$\rho$ ：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)

$\eta$ ：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) 側板の穴の補強計算

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 以下の側板に設ける穴の径が側板の内径の 2 分の 1 (500mm を超える場合は，500mm) 以下および内径が 1500mm を超える側板に設ける穴の径が側板の内径の 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。

### 2.5.3 評価結果

評価結果を表-11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-11-1 炭酸ソーダ溶解槽の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最少厚さ (mm)
炭酸ソーダ溶解槽 1, 2, 3	(1) 側板の厚さ	2.11	5.5
	(2) 底板の厚さ	3.0	5.5
	(3) 管台の厚さ (液出口)	2.7	3.6
	(3) 管台の厚さ (ヒータ取付座)	3.5	3.6

表-11-2 炭酸ソーダ貯槽の評価結果（側板の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
		補強に必要な面積 (mm <sup>2</sup> )	補強に有効な総面積 (mm <sup>2</sup> )
炭酸ソーダ溶解槽 1, 2, 3	(4) 側板 (液出口)	補強に必要な面積 (mm <sup>2</sup> )	補強に有効な総面積 (mm <sup>2</sup> )
		149.5	293.6
		大きな穴の補強を要しない最大径 (mm)	穴の径 (mm)
		500	68.95
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所の強さ (N)
	-3.274×10 <sup>3</sup>	—※11	
	(4) 側板 (ヒータ取付座)	補強に必要な面積 (mm <sup>2</sup> )	補強に有効な総面積 (mm <sup>2</sup> )
		176.5	286.0
		大きな穴の補強を要しない最大径 (mm)	穴の径 (mm)
		500	81.76
溶接部の負うべき荷重 (N)		予想される破断箇所の強さ (N)	
-4.828×10 <sup>3</sup>	—※11		

※11 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

## 増設多核種除去設備の具体的な安全確保策

増設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、漏えい防止対策、放射線遮へい・崩壊熱除去及び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防止等に対する考慮

## (1) 漏えい発生防止

- a. 増設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のため、液性等に応じて、炭素鋼（内面ライニング）、ステンレス鋼、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。

## (2) 漏えい検知・漏えい拡大防止・混水防止

- a. 増設多核種除去設備は、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、増設多核種除去設備設置エリアの最外周及び系統毎に、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）。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に警報を発生し、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。
- c. 漏えい水のコンクリートへの浸透を防止するため、増設多核種除去設備設置エリアには床塗装を実施する。
- d. 増設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するため融着構造とすることを基本とし、ポリエチレン管と鋼管の取合い等でフランジ接続となる箇所については養生を行い、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。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嚢を設ける。

- ・ 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。
- f. タンク増設に合わせて、追加で敷設する屋外移送配管については、d.の措置に加えて、以下の対応を行う。
- ・ 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。
- g. 配管取付・取外し運用時の漏えい拡大防止策については、以下の対応を行う。
- ・ 配管の取付・取外し時には、開放する閉止フランジ部については養生を行い、さらに受けパンを設置する。
- h. 増設多核種除去設備の処理済水と逆浸透膜装置の廃水等の混水防止策については、以下の対応を行う。
- ・ 増設多核種除去設備の処理済水を移送しない場合は、適宜配管を取り外す運用とする。また、配管を接続した状態で逆浸透膜装置の廃水等を移送した場合でも混水を防止するため、逆止弁を設置し、隔離弁については2つ以上設置する。

※g, hについては増設多核種除去設備の処理済水の系統と逆浸透膜装置の廃水等の系統をやむを得ず接続し、増設多核種除去設備の処理済水をE, H5北, H6北エリアへ移送する場合に適用する。

## 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. 増設多核種除去設備からの放射線による雰囲気線の線量当量率が0.1mSv/h以下（放射線業務従事者が作業を行う位置で、遮へい体を含む機器表面から1mの位置）となるよう適切な遮へいを設ける。また、最寄りの評価点(No.70)における直接線・スカイシャイン線の評価結果は年間約0.03mSvとなる。

評価点	年間線量 (mSv/年)
No. 70	0.03
(参考) No. 66	0.024
(参考) No. 71	0.023

- 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. 増設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に、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. 使用済みの吸着材あるいは沈殿処理生成物を収容する高性能容器の貯蔵時は、伝導、対流、輻射により熱除去される。最も発熱量の大きい収容物を貯蔵する場合においても、容器の健全性に影響を与えるものではない。（『2.16.1 多核種除去設備』添付資料-5 別添-1 参照）

## 3. 可燃性ガスの滞留防止

- a. 増設多核種除去設備では、水の放射線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。
- b. 増設多核種除去設備の運転停止時は、満水状態であれば可燃性ガスの滞留の可能性はないが、念のため吸着塔のベント弁を開操作し、可燃性ガスの滞留を防止する。なお、増設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。
- c. 使用済みの吸着材、沈殿処理生成物を収容する高性能容器は、発生する可燃性ガスの濃度が可燃限界を超えないようベント孔を設ける（『2.16.1 多核種除去設備』添付資料-5 参照）。高性能容器内の可燃性ガスの水素濃度を評価した結果、約2.3%程度となり、可燃限界を超えることはない（別添-2）。

## 4. 環境条件を踏まえた対応

### (1) 腐食

増設多核種除去設備は、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、また薬液注入により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（別添-1）。

## (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、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、建屋内の配管については、40A以下の配管に対し、保温、ヒータを設置する。

今後、タンク増設に合わせて、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 $-8^{\circ}\text{C}$ 、内部流体の初期温度 $5^{\circ}\text{C}$ 、保温材厚さ $21.4\text{mm}$ 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 $-8^{\circ}\text{C}$ 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%以下と推奨

## (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 $1\text{Gy/h}$ と仮定すると、 $2\times 10^5\text{Gy}$ に到達する時間は $2\times 10^5$ 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。

なお、系統バウンダリを構成するその他の部品には、ガスケット、グランドパッキンがあるが、他の汚染水処理設備等で使用実績のある材料を使用しており、数年程度の使用は問題ない。

## (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<sup>3</sup>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<sup>3</sup>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) 高性能容器の発生量

増設多核種除去設備において、高性能容器（タイプ2）は年間約545基（高性能容器（タイプ1）は年間約498基）発生すると想定される（2016.1.1～2016.12.31までの積算処理量及び高性能容器の発生量を基に処理量750m<sup>3</sup>/日×3系列運転（稼働率80%）における年間の高性能容器の発生数を評価）。

高性能容器（タイプ1）は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設のうち、第二施設（保管容量736基）に保管する。2017.8.30現在、未使用の高性能容器（タイプ1）は78基あり、新たな製作予定はない。

高性能容器（タイプ2）は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設のうち、第二施設（保管容量736基）及び第三施設（保管容量3,456基）に保管する。

なお、必要に応じて使用済セシウム吸着塔一時保管施設を増設する。

### (3) 増設多核種除去設備設置エリアにおける高性能容器の落下対策

高性能容器の落下試験で健全性が確認された範囲で取り扱うため、増設多核種除去設備設置エリアでは、以下の落下対策を実施する。

#### a. 傾斜落下防止架台

- ・ トレーラエリアに門型の傾斜落下防止架台を設け、移動ルートを制限することにより、傾斜落下の可能性を排除する。

#### b. クレーン上下方向、東西南北方向の移動制限

- ・ 高性能容器の落下試験で健全性が確認された落下高さ、落下姿勢で取扱うため、リミットスイッチによりクレーン上下方向の移動範囲、東西南北方向の移動範囲を制限する。（図3）

また、万一の高性能容器の落下破損時における漏えい物回収作業での放射線業務従事者の被ばく線量は、『2.16.1 多核種除去設備 添付資料ー7 高性能容器落下破損時の漏えい物回収作業における被ばく線量評価』に示す通りである。また、増設多核種除去設備エリアから一時保管施設までの高性能容器の移送についても、多核種除去設備エリアにおける作業と同様の管理（トレーラ上に高性能容器を収容する遮へい体を設置することにより放射線業務従事者の被ばくを低減、遮へい体の固縛により高性能容器の車両上からの落下・転倒を防止等）を実施する。

#### 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増設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、増設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。

##### (2) バックパルスポットからの漏えい事象

バックパルスポットのシリンダシール部、軸シール部からの微小にじみによる炭酸塩の析出及び固着により、バックパルスポットの動作不良等が発生した。対策として軸シールの多重化等によるシール性を向上させた改良型バックパルスポットに交換しており、増設多核種除去設備においても同様に改良型バックパルスポットを採用する。

##### (3) 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の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。増設多核種除去設備では以下の対応を実施する。

- ・次亜塩素酸の注入の停止
- ・中性領域の機器は、ゴムライニングを施工
- ・アルカリ領域の機器は、SUS316L 材を採用するが、活性炭を収容する吸着塔は腐食電位の上昇が懸念されるため、吸着塔廻りのフランジにガスケット型犠牲陽極を施工

#### (4) クロスフローフィルタからのスラリー透過事象

クロスフローフィルタ（以下、「CFF」という。）のガスケット（PTFE 製）が $\beta$ 線照射により脆化し、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。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 へ交換しており、増設多核種除去設備においても、同様の対応を実施する。

また、多核種除去設備下流側まで高い放射能濃度の水が流出したことを受け、増設多核種除去設備では、以下の汚染拡大防止対策を図る（別添-3）。

- ・多核種移送設備（サンプルタンク、増設多核種除去設備用移送ポンプ）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
- ・当面の間、炭酸塩スラリーの透過がないことを、クロスフローフィルタ出口において Ca 濃度を測定することで確認

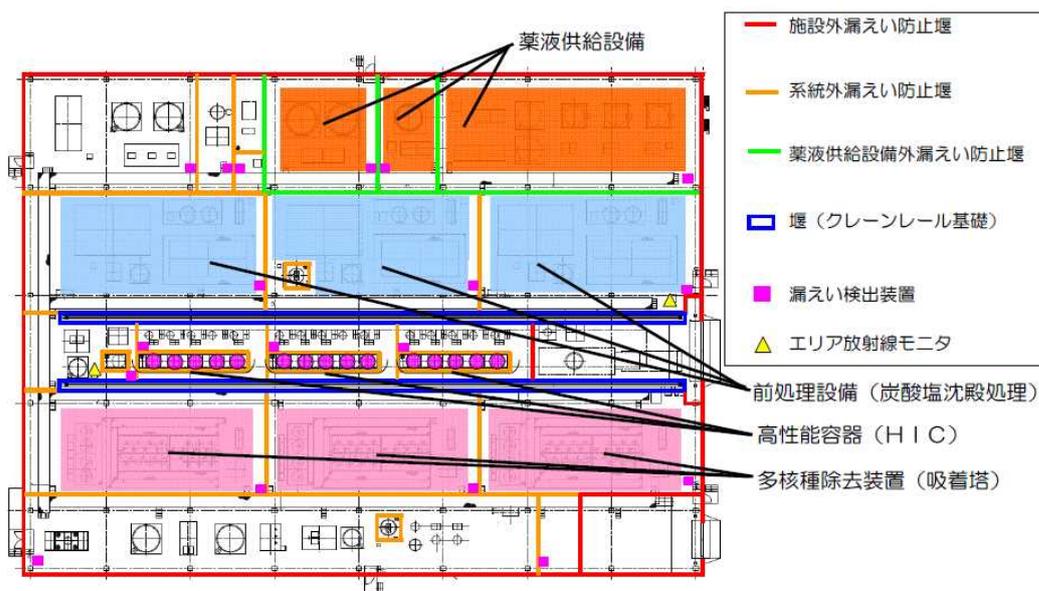


図1 堰及び漏えい検出装置

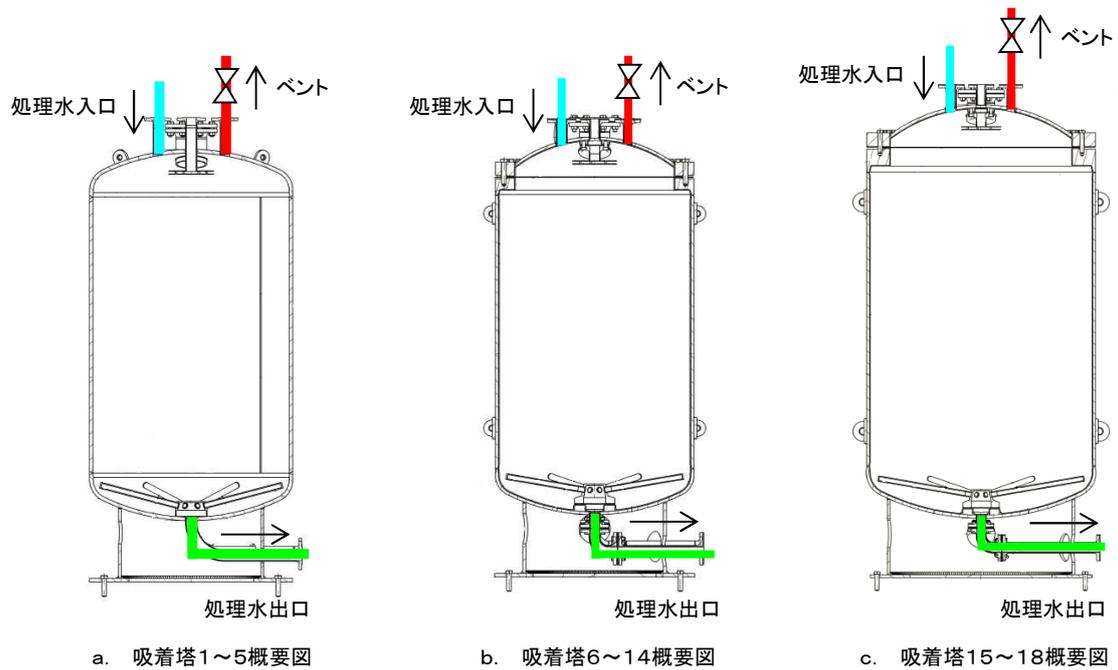


図2 吸着塔概要図

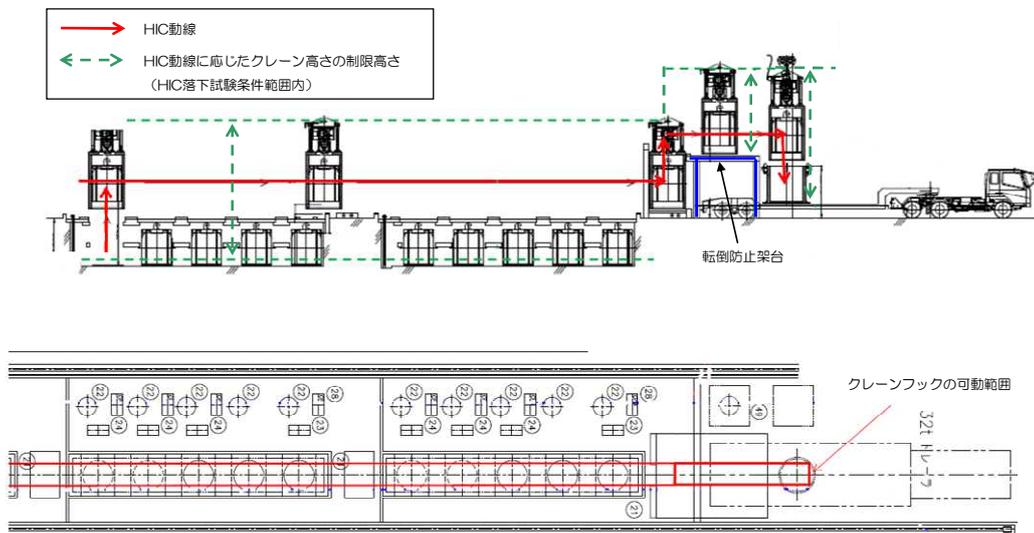


図3 増設多核種除去設備 HIC用クレーンの動作概要図

## 増設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

増設多核種除去設備は、処理対象水（RO濃縮塩水）の性状から、系統内の塩化物イオン濃度が高く、また、前処理設備等での薬液注入によりpHが変動する。そのため、増設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

増設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、SUS316Lに対する耐食性について評価を行った。

表1 増設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
吸着塔	SUS316L 炭素鋼	処理対象水に海水由来の塩分が含まれており、腐食が懸念されることから、中性領域においてはゴムライニング付の炭素鋼を使用する。アルカリ性領域においては、中性領域よりも腐食の発生の可能性が低いことから、耐食性に優れるSUS316Lを使用する。ただし、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、当該箇所においてはガスケット型犠牲陽極を設置する。
高性能容器	ポリエチレン	収容するスラリー及び吸着材の脱水後の残水には、海水由来の塩分が含まれていることから、約20年の貯蔵期間を想定し、金属材料よりも耐食性に優れるポリエチレンを使用する。
タンク類	SUS316L 炭素鋼	処理対象水に海水由来の塩分が含まれており、腐食が懸念されることから、中性領域においてはゴムライニング付の炭素鋼を使用する。アルカリ性領域においては、中性領域よりも腐食の発生の可能性が低いことから、耐食性に優れるSUS316Lを使用する。
配管 (鋼管)	SUS316L 炭素鋼	処理対象水に海水由来の塩分が含まれており、腐食が懸念されることから、中性領域においてはゴムライニング付の炭素鋼を使用する。アルカリ性領域においては、中性領域よりも腐食の発生の可能性が低いことから、耐食性に優れるSUS316L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 ステンレス鋼（SUS316L）及び炭素鋼の耐食性について

炭素鋼は、ゴムライニング施工するため腐食の発生の可能性はない。

ステンレス鋼（SUS316L）の腐食モードを表2に示す。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
ステンレス鋼 (SUS316L)	塩化物応力腐食割れ (SCC)
	すきま腐食
	孔食
	全面腐食

表3 ステンレス鋼（SUS316L）を使用する範囲の環境

使用材料	使用範囲	塩化物イオン 濃度 [ppm]	常用温度 [°C]	最大流速 [m/s]	pH
ステンレス鋼 (SUS316L)	前処理設備	13000	60	2.8	11.8～12.2
	多核種吸着塔 1～5 塔目	13000	40	1.5	11.8～12.2

### 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寄与する。塩化物イオン濃度が 10ppm を超える条件においては一般的に 316 系の SCC 発生限界温度は 100°C といった値がよく用いられており、使用温度 60°C、塩化物イオン濃度 13000ppm の使用環境では、塩化物応力腐食割れ (SCC) が発生する可能性は低いと考えられる。

1)

1) 化学工学協会編：“多管式ステンレス鋼熱交換器の応力腐食割れ，” 化学工業社（1984）.

### b. ステンレス鋼のすきま腐食

すきま腐食の発生には、使用温度と塩化物イオン濃度等が寄与し、増設多核種除去設備の環境下では、すきま腐食が発生する可能性は否定できない。<sup>1)</sup>このため、すきま腐食が発生する可能性のある箇所についてガスケット型犠牲陽極を設置するとともに、定期的な点検・保守を行っていく。

### c. ステンレス鋼の孔食

孔食の発生には、自然電位、使用温度、塩化物イオン濃度が寄与する。ステンレス鋼の自然電位は pH に依存し、pH が低いほど自然電位は高く孔食が発生する可能性が高く

なるが、増設多核種除去設備の環境下では、孔食が発生する可能性は低いと考えられる。

2) 3)

d. ステンレス鋼の全面腐食

全面腐食の発生には、pH及び流速が寄与する。pH11.8~12.2の使用環境では不動態皮膜は安定である。また、最大流速2.8m/s(9.2feet/s)では、全面腐食が進行する速度は小さいと考えられる。<sup>4) 5)</sup>

- 1) 宮坂松甫他, 「ポンプの高信頼性と材料」, ターボ機械 第36巻 第9号, 2008年9月
- 2) M. Akashi, G. Nakayama, T. Fukuda: CORROSION/98 Conf., NACE International, Paper No. 158 (1998).
- 3) ステンレス協会編: “ステンレス鋼データブック,” 日刊工業新聞社, p. 270 (2000).
- 4) ステンレス協会編, ステンレス鋼便覧 第3版, 日刊工業新聞社
- 5) 腐食防食協会編, 腐食・防食ハンドブック, 丸善

3. 腐食への対応方針

増設多核種除去設備で使用しているステンレス鋼(SUS316L)の腐食モードとして、すきま腐食が想定される。対応方針として、すきま腐食が発生する可能性のある箇所についてガスケット型犠牲陽極を設置するとともに、定期的な点検・保守を行っていく。

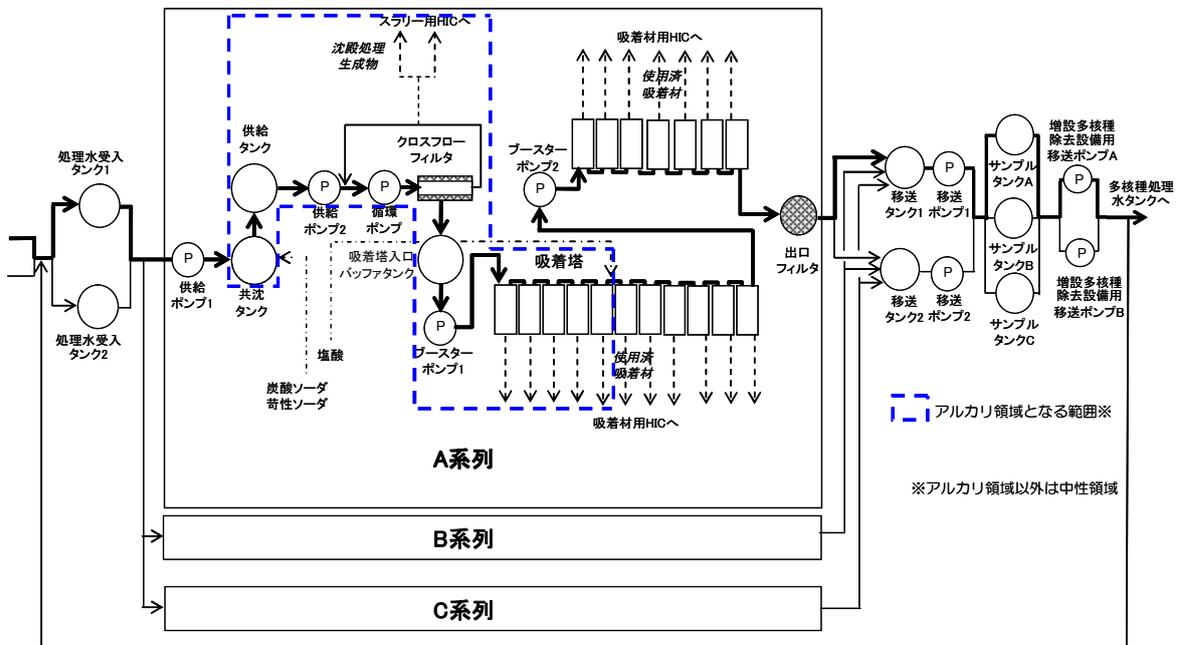


図1 増設多核種除去設備における液性

以上

## 高性能容器の水素到達濃度評価

高性能容器に収容するスラリー及び吸着材のうち、容器内の水素到達濃度が最も高くなるスラリーを収容する高性能容器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 $H$ (mol/s)は次式により算出する。

$$H = G \times \alpha \times V \times 6.24 \times 10^{19} \times D \div A$$

$H$  : 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

$\alpha$  : 含水率、1.0 (スラリー)

$V$  : H I C内充填物体積、2.61m<sup>3</sup> (高性能容器タイプ2)

$D$  : 吸収熱量、1.3E-05 (W/cm<sup>3</sup>)

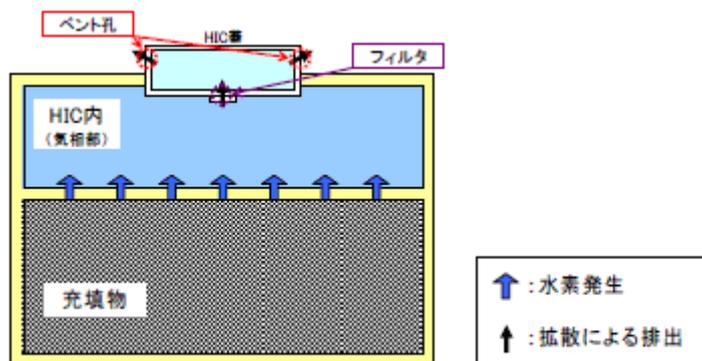
$A$  : アボガドロ数 (6.02×10<sup>23</sup>個/mol)

## 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。

## 2.1 評価体系

評価体系を図1に示す。



## 2.2 高性能容器の拡散係数

ベント孔及びフィルタの拡散係数から、高性能容器の拡散係数を算出する。

$$D_{total} = \frac{1}{\frac{1}{D_{hole}} + \frac{1}{D_{filter}}}$$

$D_{total}$  : 高性能容器の拡散係数

$D_{hole}$  : ベント孔の拡散係数、 $m \times 8.36 \times 10^{-8} \text{ (m}^3/\text{s)}$ 、

$m$  : ベント孔の個数、32 (個)

$D_{filter}$  : フィルタの拡散係数、 $n \times 3.66 \times 10^{-7} \text{ (m}^3/\text{s)}$ 、 $n=13$

$n$  : フィルタの個数、13 (個)

## 2.3 水素の到達濃度評価結果

高性能容器内の水素濃度  $C_{HIC}$  [%] は以下の式から算出される。

$$C_{HIC} = 2.45 \times \frac{H}{D_{total}}$$

評価の結果、H I C内の水素到達濃度は約 2.3% となり、可燃限界を下回る濃度となる。

以上

## 増設多核種除去設備 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）。

そのため、増設多核種除去設備においては、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。

- ・ 多核種移送設備（サンプルタンク、増設多核種除去設備用移送ポンプ）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

また、当面の間、クロスフローフィルタ出口においてCa濃度測定を実施し、炭酸塩スラリーの透過がないことを確認する。

## 2. 多核種移送設備、再処理ライン等の設置

増設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、増設多核種除去設備用移送ポンプを設置する。

また、増設多核種除去設備用移送ポンプの下流から増設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。

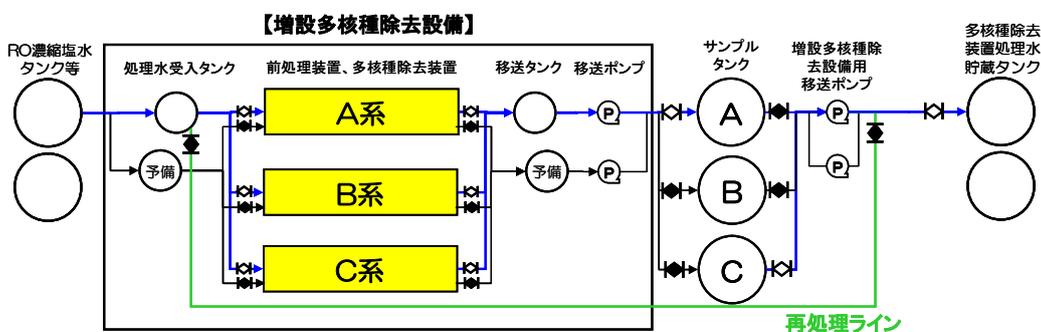


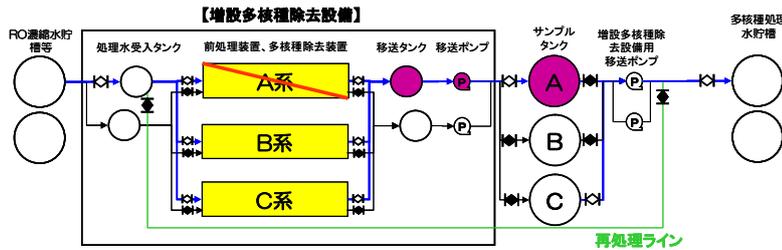
図1 多核種移送設備、再処理ライン等の概要

### 3. 汚染発生時の対応の流れ

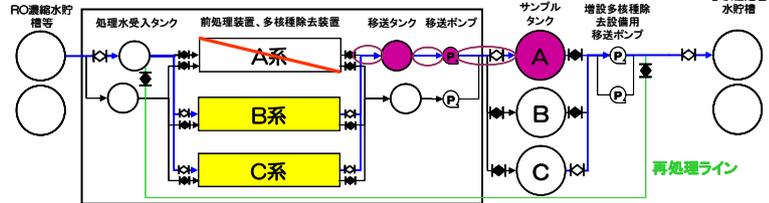
#### 【評価条件】

- 運転系統：A～C系の3系列運転
- 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。調査の結果、A系が損傷したことを確認

【STEP0：A系にて損傷発生】

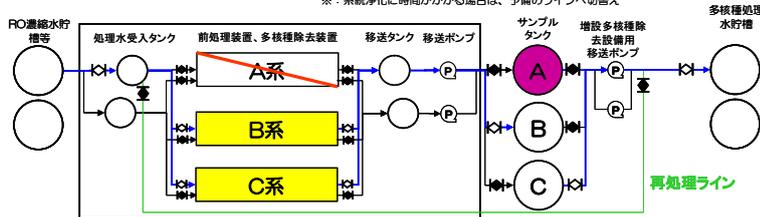


【STEP1：A系隔離、B/C系による系統洗浄】

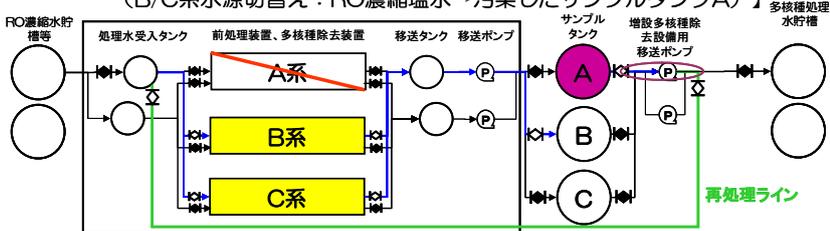


【STEP2：系統浄化確認後※にサンプルタンクA隔離&Bへ切替え】

※：系統浄化に時間がかかる場合は、予備のラインへ切替え



【STEP3：再処理ラインによるサンプルタンクの浄化  
(B/C系水源切替え：RO濃縮塩水→汚染したサンプルタンクA)】



【STEP4：多核種処理水移送ポンプラインの浄化、サンプルタンクA除染】

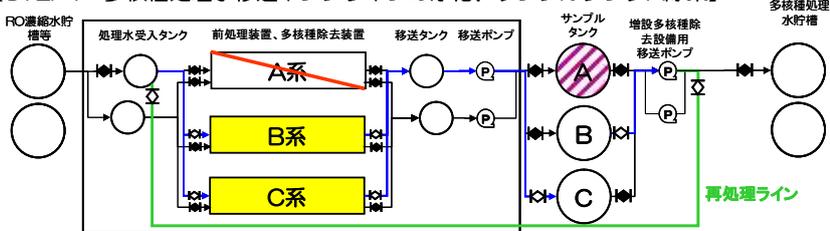
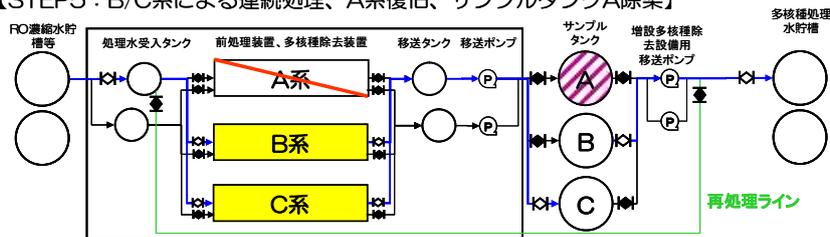


図2 汚染発生時の対応ステップ (1 / 2)

【STEP5：B/C系による連続処理、A系復旧、サンプルタンクA除染】



【STEP6：A系、サンプルタンクA復旧】

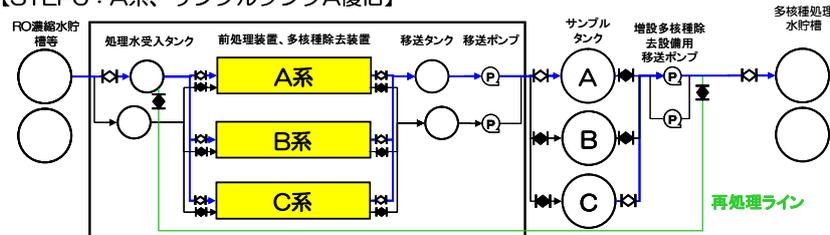


図2 汚染発生時の対応ステップ (2 / 2)

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への移送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、処理水移送タンクへ移送する。
- 万一、βモニタで汚染が確認された場合、系統毎のラインに切替え、損傷発生系統を特定することができるライン構成となっている。

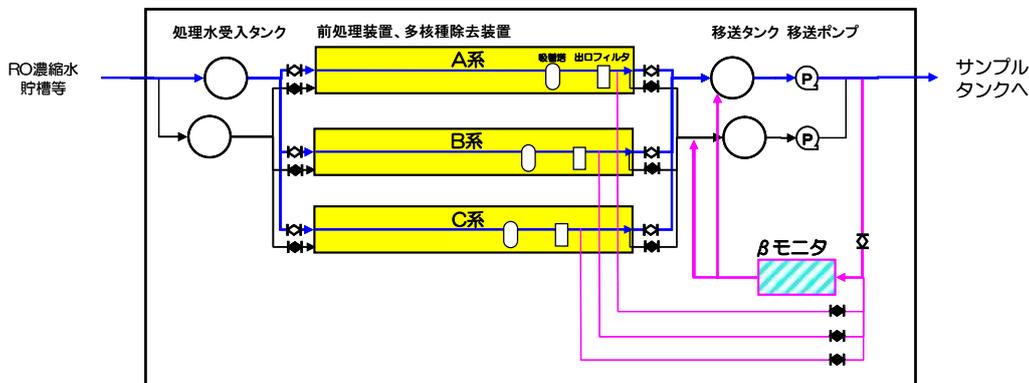


図3 βモニタシステムの概要

以上

## 処理済水による炭酸ソーダ生成・供給に係る機器の具体的な安全確保策

処理済水による炭酸ソーダ生成・供給に係る下記の機器の具体的な安全確保策を以下の通り定め、実施する。なお、下記の機器については「添付－７ 増設多核種除去設備の具体的な安全確保策」の対象範囲外とする。

- a. 炭酸ソーダ溶解槽
- b. 炭酸ソーダ貯槽
- c. 炭酸ソーダ溶解槽移送ポンプ
- d. 炭酸ソーダ貯槽 1 供給ポンプ
- e. 主要配管
  - ・移送ポンプ出口分岐部から炭酸ソーダ溶解槽まで（鋼管）
  - ・炭酸ソーダ溶解槽から炭酸ソーダ貯槽まで（鋼管），（耐圧ホース）
  - ・炭酸ソーダ貯槽から共沈タンクまで（鋼管），（耐圧ホース）
  - ・炭酸ソーダ貯槽から多核種除去設備建屋入口まで（鋼管），（耐圧ホース），（ポリエチレン管）

## 1. 放射性物質の漏えい防止等に対する考慮

## (1) 漏えい発生防止

- a. 腐食による漏えい発生防止のため、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. 鋼材の継手部は、可能な限り溶接構造とする。ポリエチレンの継手部は、可能な限り融着構造とする。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、シール材又は発泡剤の充填を実施し漏えい防止カバーを設置する。
- d. ポンプは、軸封部が無く軸封部があるポンプと比較して漏えいリスクの低いダイヤフラムポンプ及びキャンドポンプを採用する。

## (2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

- a. 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、漏えいの拡大を防止する堰及び床面に漏えい検知器を設ける。

- 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。
- c. 漏えい水のコンクリートへの浸透を防止するため、設置エリアには床塗装を実施する。
- d. ポリエチレン管とポリエチレン管の接合部は漏えい発生を防止するため融着構造とすることを基本とし、ポリエチレン管と鋼管の取合い等でフランジ接続となる箇所については養生を行い、漏えい拡大防止を図る。
  - ・移送配管から漏えいが確認された場合は、ポンプを停止し、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。
  - ・建屋内の移送配管において漏えい検知器が設置されていない箇所に敷設する場合は、漏えいした水を漏えい検知器が設置されている箇所に導くために配管下部に受けを設置する。

## 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. 機器からの放射線による雰囲気線の線量当量率が 0.1mSv/h 以下（放射線業務従事者が作業を行う位置で、遮へい体を含む機器表面から 1m の位置）となるよう適切な遮へいを設ける。
- 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。

### (2) 崩壊熱除去

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。

## 3. 可燃性ガスの滞留防止

水の放射線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。

## 4. 環境条件を踏まえた対応

### (1) 腐食

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、また薬液注入により 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（別添－1）。

## (2) 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、凍結による破損が懸念される 40A 以下の配管に対し、保温材もしくはヒータを設置する。屋外に敷設されているポリエチレン管は、水の移送を停止した場合に凍結による破損が懸念されるため、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 $-8^{\circ}\text{C}$ 、内部流体の初期温度  $5^{\circ}\text{C}$ 、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 $-8^{\circ}\text{C}$ 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%以下と推奨

## (3) 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  $1 \text{Gy/h}$  と仮定すると、 $2 \times 10^5 \text{Gy}$  に到達する時間は  $2 \times 10^5$  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。

系統バウンダリを構成するガスケット、グランドパッキンについては、他の汚染水処理設備で使用実績のある材料を使用しており、数年程度の使用は問題ない。

## (4) 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、処理済水による炭酸ソーダ生成・供給に係る機器で扱う水の温度がほぼ常温のため、劣化の可能性は十分低い。

## (5) 紫外線

屋外に敷設されているポリエチレン管は、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. 規格・基準等

「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」，日本工業規格（JIS 規格），ISO 規格を準拠する。

## 6. 耐震性及び構造強度

### (1) 耐震性

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の B クラスに相当する設備と位置付ける。機器及び鋼管の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。評価の結果、各機器について算出応力に対し十分な強度を有することを確認した。また、鋼管については、定ピッチスパン法に基づき定められた間隔で支持することにより、地震応力が過大とならないようにする。

耐震性評価は、「添付資料－3 増設多核種除去設備の耐震性に関する計算書」参照。  
なお、ポリエチレン管，耐圧ホースについては，材料の可撓性により耐震性を確保する。

### (2) 構造強度

「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」に準拠し設計する。評価の結果、各機器について必要厚さ等を満足しており、十分な構造強度を有することを確認した。

構造強度評価は、「添付資料－4 増設多核種除去設備の強度に関する計算書」を参照。

なお、ポリエチレン管は ISO 規格，または，JIS に準拠し，耐圧ホースは，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。

以上

## 増設多核種除去設備に係る確認事項

増設多核種除去設備に係る主要な確認事項を表－1～12に示す。

表－1 確認事項（処理水受入タンク，共沈タンク，供給タンク，  
吸着塔入口バッファタンク，移送タンク）

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。	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。

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。	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。	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。

表－3 確認事項（吸着塔）

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。	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。

表－４ 確認事項（供給ポンプ１，２，循環ポンプ，ブースターポンプ１，２，移送ポンプ，増設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。	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。

表－５ 確認事項（その他機器（出口フィルタ，クロスフローフィルタ））

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	各部の外観について記録にて確認する。	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。

表－6 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。	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記録で確認する。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。

表－7 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※ <sup>1</sup>	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※ <sup>1</sup>	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。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
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。	

※1：①②は、いずれかとする。

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，その時のデータ収集装置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 5 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 5 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（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－１２ 確認事項（増設多核種除去設備）

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度未満であること。

増設多核種除去設備の溶接部に係る主要な確認事項を表-13～16に示す。

表-13 確認事項（タンク、吸着塔、主配管の溶接検査）

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処理水受入タンク ②共沈タンク ③供給タンク ④吸着塔入口バッファタンク ⑤吸着塔 ⑥処理水受入タンク～吸着塔までの外径61mm以上の主配管	溶接に使用する材料が、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ことを確認する。	溶接に使用する材料が、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ことであること。
	開先検査	①処理水受入タンク ②共沈タンク ③供給タンク ④吸着塔入口バッファタンク ⑤吸着塔 ⑥処理水受入タンク～吸着塔までの外径61mm以上の主配管	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処理水受入タンク ②共沈タンク ③供給タンク ④吸着塔入口バッファタンク ⑤吸着塔 ⑥処理水受入タンク～吸着塔までの外径61mm以上の主配管	あらかじめ確認された溶接施工法又は実績のある溶接施工法又は管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。あらかじめ確認された溶接士により溶接が行われていることを確認する。	あらかじめ確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。

	非破壊試験	①処理水受入タンク ②共沈タンク ③供給タンク ④吸着塔入口バッファタンク ⑤吸着塔 ⑥処理水受入タンク～吸着塔までの外径 61mm 以上の主配管	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	⑤吸着塔	溶接部を代表する試験片にて機械試験を行い、当該試験片の機械的性質が溶接規格等に適合しているものであることを確認する。	溶接部を代表する試験片にて機械試験を行い、当該試験片の機械的性質が溶接規格等に適合しているものであること。
	耐圧・漏えい検査 外観検査	①処理水受入タンク ②共沈タンク ③供給タンク ④吸着塔入口バッファタンク ⑤吸着塔 ⑥処理水受入タンク～吸着塔までの外径 61mm 以上の主配管	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及び外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと。

表-14 確認事項（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処理水受入タンク1 ②処理水受入タンク2 ③吸着塔入口バッファタンク	溶接に使用する材料が、溶接検査申請書に記載したものであり、溶接施工法の母材の区分に準拠することを記録で確認する。	溶接に使用する材料が、溶接規格等に準拠するものであり、溶接施工法の母材の区分に準拠するものであること。
	開先検査	① 処理水受入タンク1 ② 処理水受入タンク2 ③ 吸着塔入口バッファタンク	溶接検査申請書に記載した開先形状等であることを記録で確認する。	開先形状等が溶接規格等に準拠するものであること。
	溶接作業検査	①処理水受入タンク1 ②処理水受入タンク2 ③吸着塔入口バッファタンク	溶接検査申請書に記載した溶接施工法であり、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。	溶接検査申請書に記載した溶接施工法および溶接士により溶接施工されていること。
	非破壊試験	①処理水受入タンク1 ②処理水受入タンク2 ③吸着塔入口バッファタンク	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準拠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準拠するものであること。

	耐圧・漏えい検査 外観検査	①処理水受入タンク1 ③吸着塔入口バッファタンク	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
		②処理水受入タンク2		

表-15 確認事項（海外製品溶接検査）

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クロスフローフィルタ	使用する材料が、EN規格等に準拠するものであることを記録で確認する。	使用する材料が、EN規格等に準拠するものであること。
	開先検査	①クロスフローフィルタ	開先形状がEN規格等に準拠していることを製作図等で確認する。	EN規格等に準拠していること。
	溶接作業検査	①クロスフローフィルタ	EN規格に定められた溶接施工法及び溶接士の資格を有していることを記録で確認する。	EN規格に基づく、溶接施工法及び溶接士により溶接施工されていること。
	非破壊試験	①クロスフローフィルタ	長手溶接部について非破壊検査（放射線透過試験）を行い、その試験方法及び結果がCODETI2006等に適合するものであることを記録で確認する。	長手溶接部について、非破壊検査（放射線透過試験）を行い、試験方法及び結果がCODETI2006等に適合するものであること。

	耐圧・漏えい検査	①クロスフローフィルタ	CODAP2005 等に基づき、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。	CODAP2005 等に基づく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クロスフローフィルタ	本体の外観及び溶接部の施工状況等を確認する。	外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと。また、溶接部の溶接施工状況に異常がないこと。

表-16 確認事項（クロスフローフィルタ接続管の溶接部）

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クロスフローフィルタ接続管	溶接に使用する材料が、溶接検査申請書に記載したものであることを記録で確認する。	溶接に使用する材料が、溶接規格等に準拠するものであること。
	開先検査	①クロスフローフィルタ接続管	溶接検査申請書に記載した開先形状であることを記録で確認する。	開先形状等が溶接規格等に準拠するものであること。
	溶接作業検査	①クロスフローフィルタ接続管	溶接検査申請書に記載した溶接施工法であり、管理されたプロセスを有する溶接施工法及び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。	溶接検査申請書に記載した溶接施工法および溶接士（JIS や高圧ガス保安協会基準等）により溶接施工されていること

	非破壊試験	①クロスフロー フィルタ接続管	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準拠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準拠するものであること。
	耐圧・ 漏えい検査 外観検査	①クロスフロー フィルタ接続管	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。また、溶接部の施工状況等を確認する。	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及び外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと。また、溶接部の溶接施工状況に異常がないこと。

増設多核種除去設備の薬品供給設備に係る主要な確認事項を表-17～22に示す。

表-17 確認事項 (炭酸ソーダ溶解槽, 炭酸ソーダ貯槽)

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、材料証明書等を確認する。	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、記録または材料証明書等を確認する。	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		①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、漏えいの有無を記録で確認する。
②運用水位以上で、一定時間保持後、確認圧力に耐えること、また漏えいがないことを記録により確認する。			確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。また、耐圧部から漏えいがないこと。

注1：①②は、いずれかとする。

表-18 確認事項 (炭酸ソーダ溶解槽移送ポンプ、炭酸ソーダ貯槽1供給ポンプ、炭酸ソーダ貯槽2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。	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。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認	運転圧力(ポンプ実施計画記載容量時)で耐圧部分からの漏えいの有無を記録で確認する。	耐圧部から漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	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、異常振動等がないこと。

表－１９ 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材料証明書等を確認する。	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，厚さについて記録または材料証明書等を確認する。	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。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・ 漏えい確認	①最高使用圧力以上の圧力で保持した後，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，耐圧部分からの漏えいの有無を記録で確認する。	最高使用圧力以上の圧力に耐え，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。
②運転圧力（ポンプ実施計画記載容量時）で耐圧部からの漏えいがないことを記録等により確認する。		耐圧部から漏えいがないこと。	

注１：①②は，いずれかとする。

表－２０ 確認事項（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検査成績書等を確認する。	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（外径相当）について検査成績書等を確認する。	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。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	最高使用圧力以上の圧力で保持した後、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、耐圧部分からの漏えいの有無を記録で確認する。	最高使用圧力以上の圧力に耐え、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。

表－２１ 確認事項（薬品供給設備）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
性能	運転性能確認	系統通水が可能であることを確認する。	通水可能であること。

表-22 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	実施計画に記載した主な材料について材料証明書等を確認する。	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，厚さについて記録または材料証明書等を確認する。	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。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	最高使用圧力以上の圧力で保持した後，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，耐圧部分からの漏えいの有無を記録で確認する。	最高使用圧力以上の圧力に耐え，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。