

2.39 第二モバイル型ストロンチウム除去装置等

2.39.1 基本設計

2.39.1.1 設置の目的

汚染水処理設備の処理済水を貯留する設備（タンク）のうち、逆浸透膜装置の廃液を貯留するRO濃縮水貯槽は、高濃度の放射性ストロンチウムを含むため、第二モバイル型ストロンチウム除去装置により放射性ストロンチウム濃度を低減する。第二モバイル型ストロンチウム除去装置は、CAエリア、CBエリア、G6南エリア及びG6北エリアのRO濃縮水貯槽のRO濃縮水を処理することとし、他エリアのタンクを処理する場合には、別途実施計画を申請するものとする。

なお、第二モバイル型ストロンチウム除去装置により放射性ストロンチウム濃度を低減した水は、多核種除去設備等により、放射性物質（トリチウムを除く）を十分低い濃度になるまで除去する。

平成28年3月現在、CAエリア、CBエリア、G6南エリア及びG6北エリアのRO濃縮水貯槽のRO濃縮水の放射性ストロンチウム濃度低減は終了しており、第二モバイル型ストロンチウム除去装置は運用を停止している。処理終了エリアの移送配管を撤去し、装置については必要に応じて移動する。

2.39.1.2 要求される機能

- (1) RO濃縮水貯槽に貯留される汚染水に内包される放射性核種のうち、ストロンチウムについて、濃度を低減する能力を有すること。
- (2) 漏えい防止機能を有すること。また、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、早期に検知し、施設からの漏えい拡大を防止できること。
- (3) 装置内で発生する可燃性ガスの管理が行える機能を有すること。

2.39.1.3 設計方針

(1) 処理能力

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等は、RO濃縮水貯槽に貯留している汚染水に含まれる放射性ストロンチウムの濃度を低減する能力を有する設計とする。なお、放射性ストロンチウムの除染係数の目標値を10から1000とする。

(2) 材料

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等は、処理対象水の性状を考慮した材料を用いた設計とする。

(3) 放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等の機器等は、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、万が一漏えいが発生した場合には停止するインターロックを設ける。
- 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、漏えいした液体の除去を行えるようにする。
- c. タンク水位、漏えい検知等の警報については、シールド中央制御室に表示し、監視できるようにする。
- d. 第二モバイル型ストロンチウム除去装置の機器等は、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。

(4) 被ばく低減

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等は、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。また、第二モバイル型ストロンチウム除去装置の運転監視員は、シールド中央制御室に配置する設計とする。

(5) 崩壊熱除去に対する考慮

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等は、放射性物質の崩壊熱による温度上昇を考慮し、崩壊熱を除去できる設計とする。

(6) 可燃性ガスの管理

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等は、水の放射線分解により発生する可燃性ガスの滞留を防止でき、排出できる設計とする。

(7) 誤操作の防止に対する考慮

第二モバイル型ストロンチウム除去装置は、運転操作手順書を整備し、教育を実施すると共に、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。

(8) 健全性に対する考慮

第二モバイル型ストロンチウム除去装置は、機器の重要度に応じた有効な保全ができるものとする。

2.39.1.4 主要な機器

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等は、第二モバイル型ストロンチウム除去装置および移送設備（配管等）で構成する。

(1) 第二モバイル型ストロンチウム除去装置

第二モバイル型ストロンチウム除去装置は、処理対象のタンクエリア毎にユニットを設置する。ユニットは前置フィルタ、吸着塔で構成する。

前置フィルタは、汚染水の浮遊物質の粗取りを行ない、後段の吸着材を充填した吸着塔は、ストロンチウムを除去する。

第二モバイル型ストロンチウム除去装置の主要な機器は、シールド中央制御室により運転状況の監視を行う。

第二モバイル型ストロンチウム除去装置で使用する前置フィルタは、ステンレス鋼製のフィルタハウジングに収容する。

また、吸着塔は、吸着材を充填したステンレス鋼製の容器の外側に鉛等の遮へいを設ける。使用済吸着塔は内部を淡水で置換し、使用済セシウム吸着塔仮保管施設等において内部の水抜きを行なう。使用済吸着塔は使用済セシウム吸着塔仮保管施設及び使用済セシウム吸着塔一時保管施設のコンクリート製ボックスカルバート内で貯蔵する。

なお、水抜きした水は、高温焼却炉建屋地下に排水する。

(2) 移送設備

R0 濃縮水貯槽に貯留した汚染水は、移送設備により第二モバイル型ストロンチウム除去装置に移送され、ストロンチウムを除去した後、移送設備により R0 濃縮水貯槽に移送する。移送配管は、ポリエチレン管等により構成される。

2.39.1.5 自然災害対策等

(1) 津波

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等は、アウターライズ津波が到達しないと考えられるタンクエリア近傍の T.P. 約 28m 以上の場所に設置する。

(2) 火災

火災発生を防止するため、不燃性または難燃性材料を使用する。また、初期消火のために第二モバイル型ストロンチウム除去装置近傍に消火器を設置する。放射性物質を吸着する吸着塔は遮へい付きであり、燃焼・延焼し難く、機器付配管はステンレス製であり、燃焼しない。なお、火災発生は、巡視点検、監視カメラにより確認できる。

万一の火災に対する対応については、予め定めたマニュアル等に従い実施する。

(3) 豪雨及び強風

第二モバイル型ストロンチウム除去装置は、雨水の浸入を防止し、強風に耐えうる構造とするため、鋼製のユニット内に設置する。また、ユニットは、30m/s^{*}の風荷重においても転倒しない設計とする。

万一、大雨警報等の予報、特別警報により、大量の雨水が浸入し、処理の停止に至る等の可能性がある場合は、装置を停止することで、装置の計画外停止に備える。また、暴風警報、竜巻警報等の予報、特別警報により、計器類・監視カメラが故障する等、運転継続に支障を来す可能性がある場合には、汚染水の漏えい防止を図るため、装置を停止する。豪雨及び強風に対する対応は、予め定めたマニュアル等に従い実施する。

※：建築基準法に基づく福島県の風荷重

2.39.1.6 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

第二モバイル型ストロンチウム除去装置を構成する主要な機器は、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」においては、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とから、前置フィルタ、吸着塔及び鋼管については、「JSME S NC1-2005 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下、「設計・建設規格」）」のクラス3機器の規定を適用することを基本とし、日本産業規格（JIS）等の国内外の民間規格も適用する。また、日本産業規格（JIS）、国内外の民間規格に適合した工業用品を採用し、ポリエチレン管については、日本水道協会（JWWA）規格に準拠する。

(2) 耐震性

第二モバイル型ストロンチウム除去装置を構成する主要機器のうち放射性物質を内包するものは、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のBクラス相当の設備と位置づけられる。耐震性を評価するにあたっては、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」に準拠して耐震評価を行うことを基本とするが、評価手法、評価基準については実態にあわせたものを採用する。ポリエチレン管及び耐圧ホースは、材料の可撓性により耐震性を確保し、第二モバイル型ストロンチウム除去装置の配管は変位による破壊を防止する構造（定ピッチスパン法による配管サポート間隔の設定、配管等に可撓性のある材料を使用）を用いる（鋼管の耐震性については添付資料－4参照）。

2.39.2 基本仕様

2.39.2.1 系統仕様

(1) 第二モバイル型ストロンチウム除去装置

処理方式	吸着材方式
系列数	4
処理量	480m ³ /日/系列

2.39.2.2 機器仕様

(1) 前置フィルタ

名 称		前置フィルタ	
種 類	—	縦置き円筒形	
容 量	m ³ /h/系列	20.0	
最 高 使 用 圧 力	MPa	0.98	
最 高 使 用 温 度	℃	40	
主 要 寸 法	胴内径	mm	350.0
	胴板厚さ	mm	20.0
	上部鏡板厚さ	mm	20.0
	下部鏡板厚さ	mm	24.0
	高さ	mm	915.0
材 料	胴板	—	SCS16A
	鏡板	—	SCS16A
個 数	個/系列	1	
系 列 数	系列	4	

(2) 吸着塔

名 称		吸着塔	
種 類	—	縦置き円筒形	
容 量	m ³ /h/系列	20.0	
最 高 使 用 圧 力	MPa	0.98	
最 高 使 用 温 度	℃	40	
主 要 寸 法	胴外径	mm	1020.0
	胴板厚さ	mm	10.0
	上部鏡板厚さ	mm	10.0
	下部鏡板厚さ	mm	10.0
	高さ	mm	1806.0
材 料	胴板	—	SUS316L
	鏡板	—	SUS316L
個 数	個/系列	2	
系 列 数	系列	4	

(3) 配管

主要配管仕様

名 称	仕 様	
第二モバイル型ストロンチウム除去装置入口取合から 第二モバイル型ストロンチウム除去装置出口取合まで (鋼管)	呼び径／厚さ	50A／Sch. 40 32A／Sch. 40
	材質	SUS316LTP
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 °C
(耐圧ホース)	呼び径	50A 相当
	材質	EPDM
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 °C

(4) ポンプ

a. 移送ポンプ（完成品）

台数	4台
容量	20.0 m ³ /h

なお、機器仕様に記載の寸法は公称値である。

2.39.3 添付資料

添付資料－1：配置概要，系統構成図等

添付資料－2：第二モバイル型ストロンチウム除去装置の強度に関する説明書

添付資料－3：第二モバイル型ストロンチウム除去装置の耐震性に関する説明書

添付資料－4：第二モバイル型ストロンチウム除去装置等に使用する配管の耐震に関する計算書

添付資料－5：第二モバイル型ストロンチウム除去装置等の具体的な安全確保策等

添付資料－6：第二モバイル型ストロンチウム除去装置等に係る確認事項

添付資料－7：工事工程表

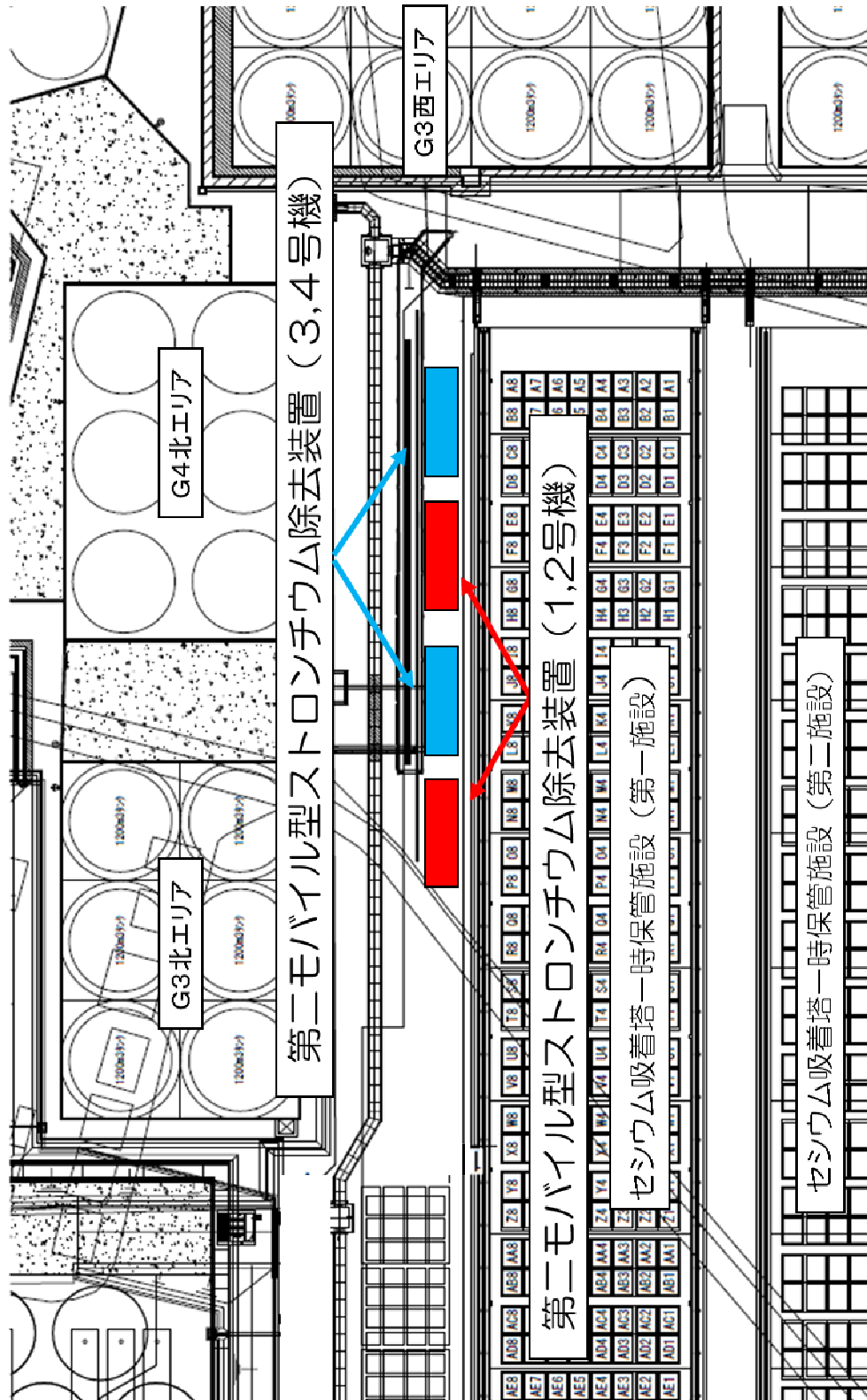


図-1 第二モバイル型ストロンチウム除去装置配置配置図

表-1 CAエリア, CBエリア, G6南エリア及びG6北エリアの
水質分析結果 (平成26年2月19日採取)

	放射能濃度 (Bq/cc)							性状		【参考】 貯蔵量※2 (m ³)
	Cs-134	Cs-137	Co-60	Mn-54	Sb-125	Ru-106	Sr-90	Cl (ppm)	Ca (ppm)	
CA1,2,3,5	7.7E+0	2.0E+1	<9.6E-1	<1.6E+0	3.7E+1	2.3E+1	7.2E+4	2200	157	5230
CA4 ※1	1.6E+0	4.9E+0	9.8E-1	<7.0E-1	1.3E+1	-	2.7E+4	3100	483	
CB	<2.2E+0	3.2E+0	<7.6E-1	<1.3E+0	2.3E+1	1.5E+1	4.3E+4	975	113	8400
G6南	<2.3E+0	2.1E+0	<1.9E+0	<1.2E+0	1.5E+1	2.0E+1	5.8E+4	600	88	9390
G6北	<6.7E-1	8.5E-1	<2.8E-1	<4.0E-1	4.0E+0	-	1.0E+4	230	38	9220

※1 : 平成26年12月26日採取

※2 : 平成27年1月22日時点

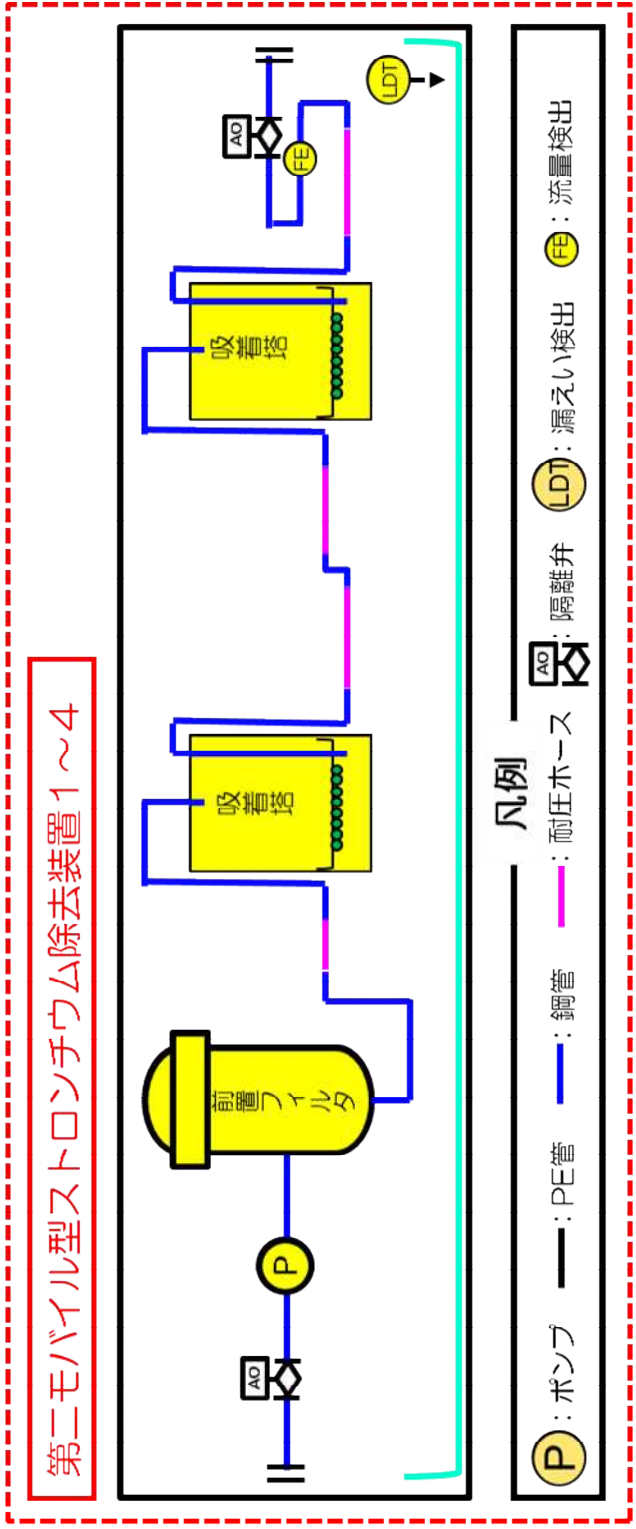
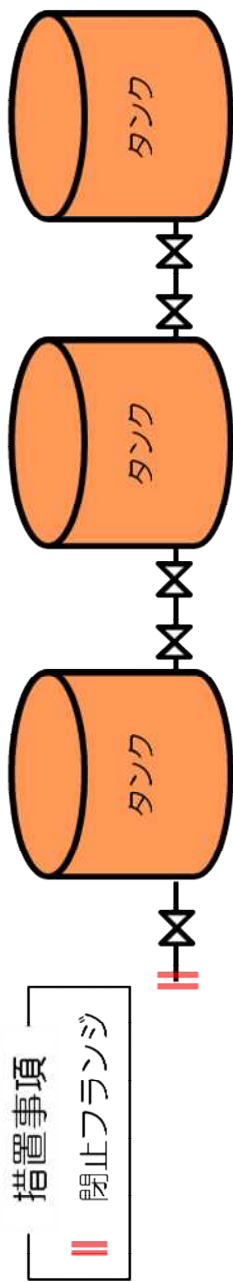


図-2 第二モバイル型ストロンチウム除去装置 系統構成図

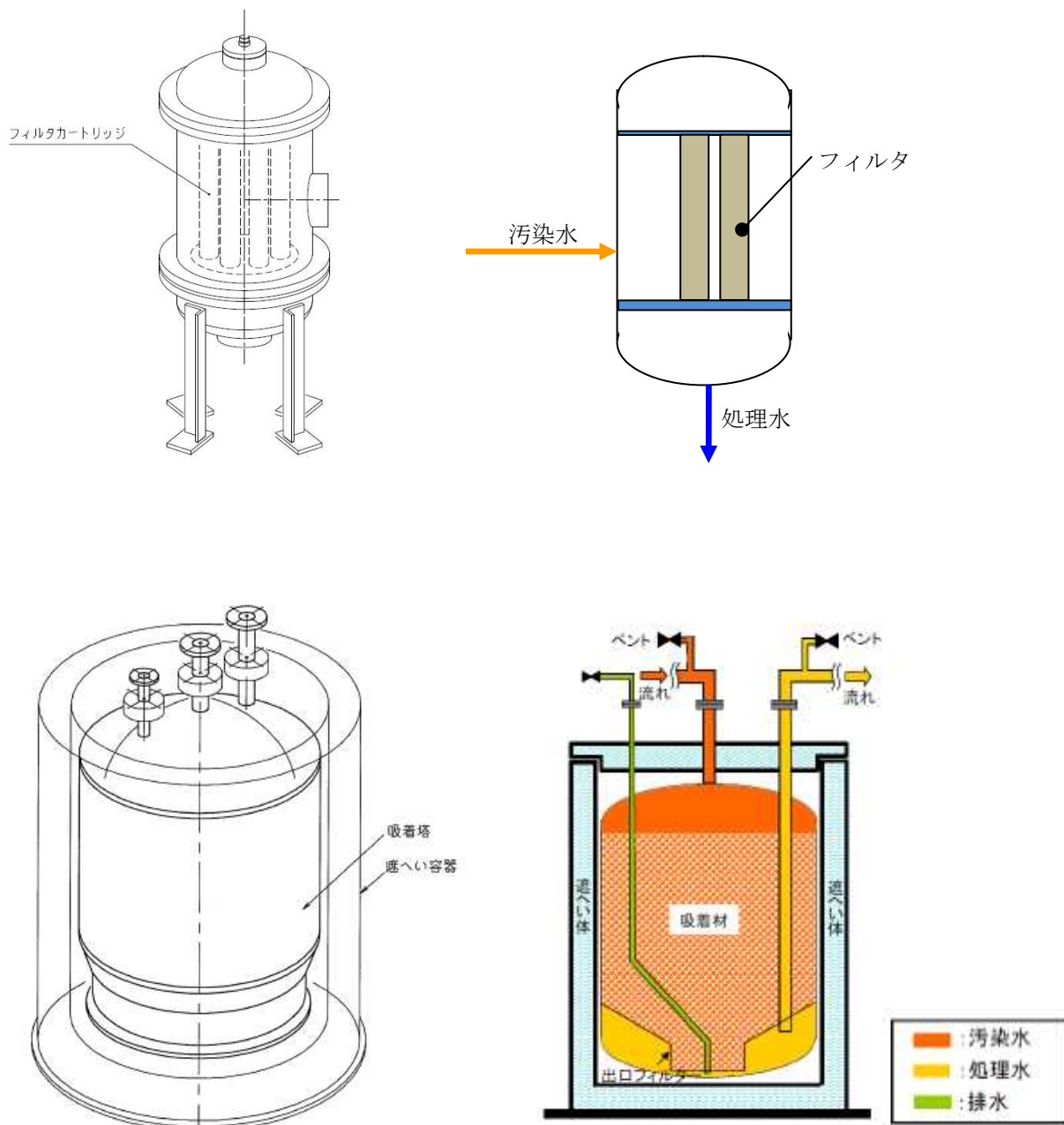


図-3 第二モバイル型ストロンチウム除去装置の前置フィルタ・吸着塔の概念図
(前置フィルタは上図, 吸着塔は下図)

第二モバイル型ストロンチウム除去装置の強度に関する説明書

1. 前置フィルタ, 及び吸着塔の強度評価

設計・建設規格に準拠し、板厚評価を行った。評価の結果、最高使用圧力に対して十分な厚さを有することを確認した（表－1）。

(a) 胴について、以下の計算式により必要な厚さを計算した。

(前置フィルタ, 吸着塔の場合)

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

ここで、

t : 胴の計算上必要な厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

Di : 胴の内径 (mm)

S : 最高使用温度における材料の許容引張応力

(前置フィルタ : 120 MPa, 吸着塔 : 111 MPa)

η : 長手継手の効率 (前置フィルタ : 1.0, 吸着塔 : 0.7)

(b) 鏡板について、以下の計算式により必要な厚さを計算した。

(前置フィルタ, 吸着塔の場合)

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

ここで、

t : 鏡板の計算上必要な厚さ (mm)

R : 鏡板の中央部の内半径 (前置フィルタ : 380mm, 吸着塔 : 1000 mm)

W : さら形鏡板の形状による係数で、以下の式により計算した値

$$W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

r : さら形鏡板のすみの丸みの半径 (前置フィルタ : 60.0 mm, 吸着塔 : 100.0 mm)

S : 最高使用温度における材料の許容引張応力

(前置フィルタ : 120 MPa, 吸着塔 : 111 MPa)

η : 長手継手の効率 (1.0)

P : 最高使用圧力 (MPa)

表-1 前置フィルタ, 吸着塔の強度評価

機器名称	評価部位	必要厚み [mm]	厚み [mm]
前置フィルタ	胴板	1.5	20.0
	上部鏡板	2.15	20.0
	下部鏡板	2.15	24.0
吸着塔	胴板	6.36	10.0
	鏡板	6.81	10.0

2. 配管の強度評価

設計・建設規格に準拠し、板厚評価を行った。評価の結果、最高使用圧力に対して十分な厚さを有することを確認した。(表-2)

内面に圧力を受ける配管について、以下の計算式により必要な厚さを計算した。

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

ここで、

t : 管の計算上必要な厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

D_o : 管の外径 (mm)

S : 最高使用温度における材料の許容引張応力 (111 MPa)

η : 長手継手の効率 (1.0)

表-2 配管の板厚評価結果

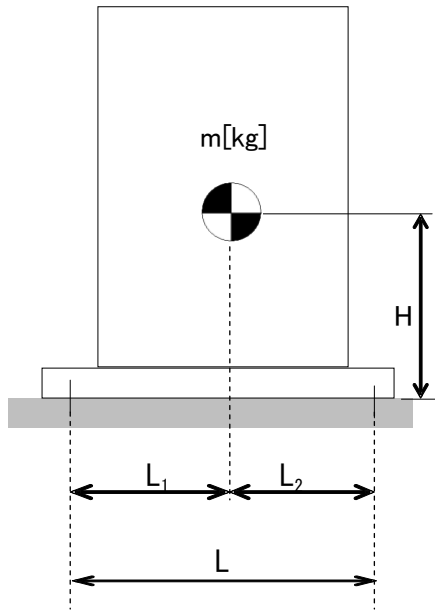
機器名称	必要板厚 [mm]	設計板厚 [mm]
配管 (50A/Sch. 40)	0.27	3.9
配管 (32A/Sch. 40)	0.19	3.6

第二モバイル型ストロンチウム除去装置の耐震性に関する説明書

1. 前置フィルタ

a. 前置フィルタ取付けボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠し、下記式にて評価を実施した。評価に用いた数値を括弧内に示す。



L : 取付けボルト間の水平方向距離 (367.7 mm)

m : 機器質量 (400.0 kg)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)

H : 据付面からの重心までの距離 (750.0 mm)

L₁ : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (173.85 mm)

L₂ : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (193.85 mm)

n_f : 引張力の作用する取付けボルトの評価本数 (2本)

n : 取付けボルトの本数 (4本)

A_b : 取付けボルトの軸断面積 (201.0 mm²)

C_H : 水平方向設計震度 (0.36)

$$\text{取付けボルトに作用する引張力} : F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times L_1) = 1,026 \text{ N}$$

$$\text{取付けボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b} = 2.6 \rightarrow 3 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトのせん断応力} : \tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b} = 1.8 \text{ MPa} \rightarrow 2 \text{ MPa}$$

また、許容応力は、以下の式で設定した。

$$\text{取付けボルトの許容引張応力} : f_{ts} = \min(1.4 \times f_{t0} - 1.6 \times \tau_b, f_{t0})$$

$$\text{取付けボルトの許容せん断応力} : f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3})$$

ここで、Fは設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8,表9に定める設計降伏点 Sy および設計引張強さ Su を用いて下記式にて設定した。

$$F = \min [S_y, 0.7S_u]$$

$S_y : 235 \text{ MPa}$

$S_u : 400 \text{ MPa}$

従って、 $F = \min[235, 0.7 \times 400] = 235 \text{ MPa}$

取付けボルトの許容引張応力： $f_{to} = 1.5 \times F / 2 = 176.2 \text{ MPa} \rightarrow 176 \text{ MPa}$

$f_{ts} = \min((1.4 \times 176.2 - 1.6 \times 2), 176.2) = 176.2 \text{ MPa} \rightarrow 176 \text{ MPa}$

取付けボルトの許容せん断応力： $f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3}) = 135.6 \text{ MPa} \rightarrow 135 \text{ MPa}$

b. 評価結果

評価結果を表-1に示す。評価の結果、取付けボルトの強度が確保されていることを確認した。

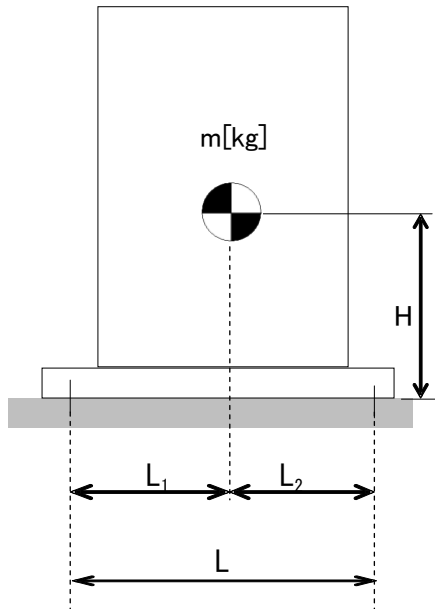
表-1 前置フィルタ耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
前置フィルタ	取付けボルト	引張	0.36	3	176	MPa
		せん断	0.36	2	135	MPa

2. 吸着塔

a. 吸着塔取付けボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠し、下記式にて評価を実施した。評価に用いた数値を括弧内に示す。



L : 取付けボルト間の水平方向距離 (1025.0 mm)

m : 機器質量 (16000.0 kg)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)

H : 据付面からの重心までの距離 (900.0 mm)

L_1 : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (512.5 mm)

L_2 : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (512.5 mm)

n_f : 引張力の作用する取付けボルトの評価本数 (2本)

n : 取付けボルトの本数 (4本)

A_b : 取付けボルトの軸断面積 (452.3 mm²)

C_H : 水平方向設計震度 (0.36)

$$\text{取付けボルトに作用する引張力} : F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times L_1) = -28,855 \text{ N}$$

$$\text{取付けボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b} \rightarrow \text{引張応力は発生しない}$$

$$\text{取付けボルトのせん断応力} : \tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b} = 31.2 \text{ MPa} \rightarrow 32 \text{ MPa}$$

また、許容応力は、以下の式で設定した。

$$\text{取付けボルトの許容引張応力} : f_{ts} = \min(1.4 \times f_{t0} - 1.6 \times \tau_b, f_{t0})$$

$$\text{取付けボルトの許容せん断応力} : f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3})$$

ここで、 F は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8,表9に定める設計降伏点 S_y および設計引張強さ S_u を用いて下記式にて設定した。

$$F = \min [S_y, 0.7S_u]$$

$S_y : 235 \text{ MPa}$

$S_u : 400 \text{ MPa}$

従って、 $F = \min[235, 0.7 \times 400] = 235 \text{ MPa}$

取付けボルトの許容引張応力： $f_{to} = 1.5 \times F / 2 = 176.2 \text{ MPa} \rightarrow 176 \text{ MPa}$

$f_{ts} = \min ((1.4 \times 176.2 - 1.6 \times 32), 176.2) = 176.2 \text{ MPa} \rightarrow 176 \text{ MPa}$

取付けボルトの許容せん断応力： $f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3}) = 135.6 \text{ MPa} \rightarrow 135 \text{ MPa}$

b. 評価結果

評価結果を表-2に示す。評価の結果、取付けボルトの強度が確保されていることを確認した。

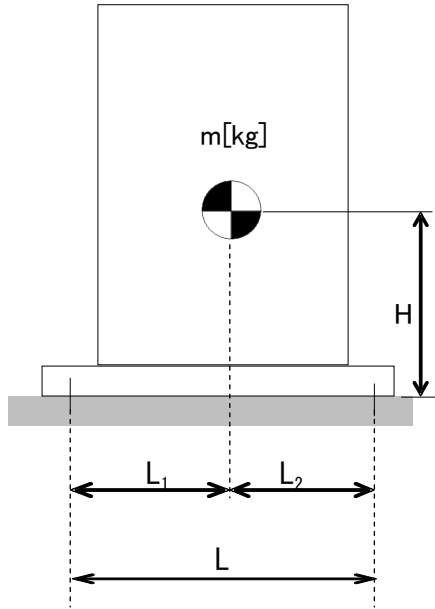
表-2 吸着塔耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
吸着塔	取付けボルト	引張	0.36	-	176	MPa
		せん断	0.36	32	135	MPa

3. 移送ポンプ

a. ポンプ取付けボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠し、下記式にて評価を実施した。評価に用いた数値を括弧内に示す。



- L : 取付けボルト間の水平方向距離 (550.0 mm)
- m : 機器質量 (410.0 kg)
- g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)
- H : 据付面からの重心までの距離 (360.0 mm)
- L₁ : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (275.0 mm)
- L₂ : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (275.0 mm)
- n_f : 引張力の作用する取付けボルトの評価本数 (2本)
- n : 取付けボルトの本数 (4本)
- A_b : 取付けボルトの軸断面積 (201.0mm²)
- C_H : 水平方向設計震度 (0.36)
- C_p : ポンプ振動による震度 (0.31)

$$\text{取付けボルトに作用する引張力} : F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times (C_H + C_p) \times H - m \times g \times L_1)$$

$$= 365.7 \text{ N}$$

$$\text{取付けボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b} = 0.9 \text{ MPa} \rightarrow 1 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトのせん断応力} : \tau_b = \frac{m \times g \times (C_H + C_p)}{n \times A_b} = 3.3 \text{ MPa} \rightarrow 4 \text{ MPa}$$

また、許容応力は、以下の式で設定した。

$$\text{取付けボルトの許容引張応力} : f_{ts} = \min(1.4 \times f_{t0} - 1.6 \times \tau_b, f_{t0})$$

$$\text{取付けボルトの許容せん断応力} : f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3})$$

ここで、Fは設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8,表9に定める設計降伏点 Sy および設計引張強さ Su を用いて、下記式にて設定した。

$$F = \min [1.75S_y, 0.7S_u, S_y(40^\circ\text{C})]$$

$$S_y : 205 \text{ MPa}$$

$$S_u : 520 \text{ MPa}$$

$$\text{従って, } F = \min[1.75 \times 205, 0.7 \times 520, 205] = 205 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトの許容引張応力: } f_{to} = 1.5 \times F / 2 = 153.7 \text{ MPa} \rightarrow 153 \text{ MPa}$$

$$f_{ts} = \min((1.4 \times 153.7 - 1.6 \times 4), 153.7) = 153.7 \text{ MPa} \rightarrow 153 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトの許容せん断応力: } f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3}) = 118.3 \text{ MPa} \rightarrow 118 \text{ MPa}$$

b. 評価結果

評価結果を表-3に示す。評価の結果、取付けボルトの強度が確保されていることを確認した。

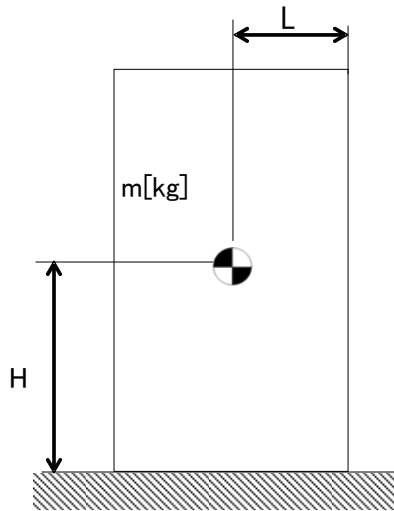
表-3 ポンプ耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
移送ポンプ	取付けボルト	引張	0.36	1	153	MPa
		せん断	0.36	4	118	MPa

4. 第二モバイル型ストロンチウム除去装置を搭載するユニットの安定性

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下記式にて算出し、それらと比較することにより転倒評価を実施した。評価に用いた数値を括弧内に示す。



C_H : 水平方向設計震度 (0.36)

m : ユニットの合計質量 (47,800 kg)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)

H : 地面からユニットまでの距離 (1.20 m)

L : 転倒支点から重心までの距離 (1.34 m)

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

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

b. 評価結果

評価結果を表-4に示す。評価の結果、転倒しないことを確認した。

表-4 ユニット耐震評価結果

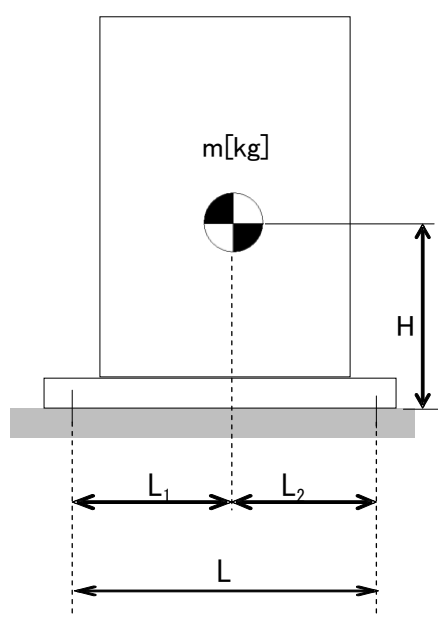
機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
第二モバイル型 ストロンチウム除去装置-1	ユニット	転倒	0.36	203	628	kN・m
第二モバイル型 ストロンチウム除去装置-2	ユニット	転倒	0.36	203	628	kN・m
第二モバイル型 ストロンチウム除去装置-3	ユニット	転倒	0.36	203	628	kN・m
第二モバイル型 ストロンチウム除去装置-4	ユニット	転倒	0.36	203	628	kN・m

第二モバイル型ストロンチウム除去装置の主要な機器について、参考評価として、耐震Sクラス相当の水平震度に対して、耐震性を評価し、転倒しないことを確認した。

1. 前置フィルタ

a. 前置フィルタ取付けボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠し、下記式にて評価を実施した。評価に用いた数値を括弧内に示す。



L : 取付けボルト間の水平方向距離 (367.7 mm)

m : 機器質量 (400.0 kg)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)

H : 据付面からの重心までの距離 (750.0 mm)

L_1 : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (173.85 mm)

L_2 : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (193.85 mm)

n_f : 引張力の作用する取付けボルトの評価本数 (2本)

n : 取付けボルトの本数 (4本)

A_b : 取付けボルトの軸断面積 (201.0 mm²)

C_H : 水平方向設計震度 (0.6)

$$\text{取付けボルトに作用する引張力} : F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times L_1) = 2,946 \text{ N}$$

$$\text{取付けボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b} = 7.4 \rightarrow 8 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトのせん断応力} : \tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b} = 3.0 \text{ MPa} \rightarrow 3 \text{ MPa}$$

また、許容応力は、以下の式で設定した。

$$\text{取付けボルトの許容引張応力} : f_{ts} = \min(1.4 \times f_{t0} - 1.6 \times \tau_b, f_{t0})$$

$$\text{取付けボルトの許容せん断応力} : f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3})$$

ここで、Fは設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8, 表 9 に定める設計降伏点 Sy および設計引張強さ Su を用いて下記式にて設定した。

$$F = \min [S_y, 0.7S_u]$$

Sy : 235 MPa

Su : 400 MPa

$$\text{従って, } F = \min[235, 0.7 \times 400] = 235 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトの許容引張応力: } f_{to} = 1.5 \times F / 2 = 176.2 \text{ MPa} \rightarrow 176 \text{ MPa}$$

$$f_{ts} = \min((1.4 \times 176.2 - 1.6 \times 3), 176.2) = 176.2 \text{ MPa} \rightarrow 176 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトの許容せん断応力: } f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3}) = 135.6 \text{ MPa} \rightarrow 135 \text{ MPa}$$

b. 評価結果

評価結果を表-1に示す。評価の結果、取付けボルトの強度が確保されていることを確認した。

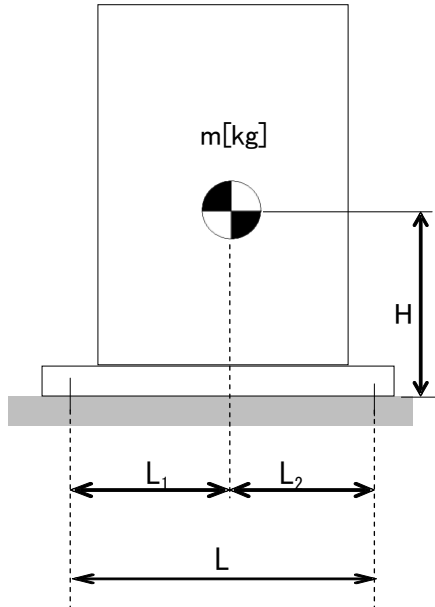
表-1 前置フィルタ耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
前置フィルタ	取付けボルト	引張	0.6	8	176	MPa
		せん断	0.6	3	135	MPa

2. 吸着塔

a. 吸着塔取付けボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠し、下記式にて評価を実施した。評価に用いた数値を括弧内に示す。



L : 取付けボルト間の水平方向距離 (1025.0 mm)

m : 機器質量 (16000.0 kg)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)

H : 据付面からの重心までの距離 (900.0 mm)

L₁ : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (512.5 mm)

L₂ : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (512.5 mm)

n_f : 引張力の作用する取付けボルトの評価本数 (2本)

n : 取付けボルトの本数 (4本)

A_b : 取付けボルトの軸断面積 (452.3 mm²)

C_H : 水平方向設計震度 (0.6)

$$\text{取付けボルトに作用する引張力} : F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times L_1) = 4,210 \text{ N}$$

$$\text{取付けボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b} = 4.7 \rightarrow 5 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトのせん断応力} : \tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b} = 52.0 \text{ MPa} \rightarrow 52 \text{ MPa}$$

また、許容応力は、以下の式で設定した。

$$\text{取付けボルトの許容引張応力} : f_{ts} = \min(1.4 \times f_{t0} - 1.6 \times \tau_b, f_{t0})$$

$$\text{取付けボルトの許容せん断応力} : f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3})$$

ここで、Fは設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8,表9に定める設計降伏点 Sy および設計引張強さ Su を用いて下記式にて設定した。

$$F = \min [S_y, 0.7S_u]$$

$S_y : 235 \text{ MPa}$

$S_u : 400 \text{ MPa}$

従って、 $F = \min[235, 0.7 \times 400] = 235 \text{ MPa}$

取付けボルトの許容引張応力： $f_{to} = 1.5 \times F / 2 = 176.2 \text{ MPa} \rightarrow 176 \text{ MPa}$

$f_{ts} = \min ((1.4 \times 176.2 - 1.6 \times 52), 176.2) = 163.5 \text{ MPa} \rightarrow 163 \text{ MPa}$

取付けボルトの許容せん断応力： $f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3}) = 135.6 \text{ MPa} \rightarrow 135 \text{ MPa}$

b. 評価結果

評価結果を表-2に示す。評価の結果、取付けボルトの強度が確保されていることを確認した。

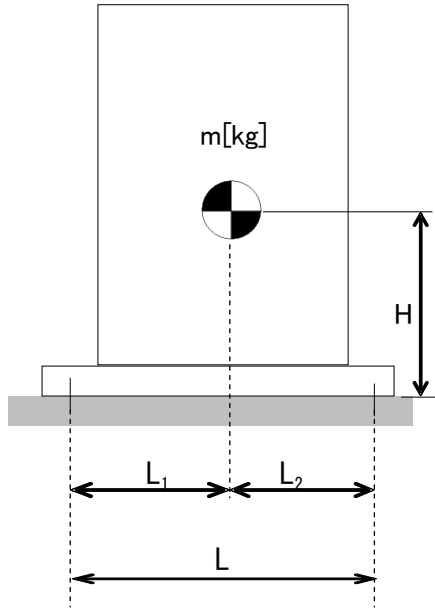
表-2 吸着塔耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
吸着塔	取付けボルト	引張	0.6	5	163	MPa
		せん断	0.6	52	135	MPa

3. 移送ポンプ

a. ポンプ取付けボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠し、下記式にて評価を実施した。評価に用いた数値を括弧内に示す。



- L : 取付けボルト間の水平方向距離 (550.0 mm)
- m : 機器質量 (410.0 kg)
- g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)
- H : 据付面からの重心までの距離 (360.0 mm)
- L₁ : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (275.0 mm)
- L₂ : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (275.0 mm)
- n_f : 引張力の作用する取付けボルトの評価本数 (2本)
- n : 取付けボルトの本数 (4本)
- A_b : 取付けボルトの軸断面積 (201.0mm²)
- C_H : 水平方向設計震度 (0.6)
- C_p : ポンプ振動による震度 (0.31)

$$\text{取付けボルトに作用する引張力} : F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times (C_H + C_p) \times H - m \times g \times L_1)$$

$$= 997.3 \text{ N}$$

$$\text{取付けボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b} = 2.5 \text{ MPa} \rightarrow 3 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトのせん断応力} : \tau_b = \frac{m \times g \times (C_H + C_p)}{n \times A_b} = 4.5 \text{ MPa} \rightarrow 5 \text{ MPa}$$

また、許容応力は、以下の式で設定した。

$$\text{取付けボルトの許容引張応力} : f_{ts} = \min(1.4 \times f_{t0} - 1.6 \times \tau_b, f_{t0})$$

$$\text{取付けボルトの許容せん断応力} : f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3})$$

ここで、Fは設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8,表9に定める設計降伏点 Sy および設計引張強さ Su を用いて、下記式にて設定した。

$$F = \min [1.75S_y, 0.7S_u, S_y(40^\circ\text{C})]$$

$$S_y : 205 \text{ MPa}$$

$$S_u : 520 \text{ MPa}$$

$$\text{従って, } F = \min[1.75 \times 205, 0.7 \times 520, 205] = 205 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトの許容引張応力: } f_{to} = 1.5 \times F / 2 = 153.7 \text{ MPa} \rightarrow 153 \text{ MPa}$$

$$f_{ts} = \min((1.4 \times 153.7 - 1.6 \times 5), 153.7) = 153.7 \text{ MPa} \rightarrow 153 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトの許容せん断応力: } f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3}) = 118.3 \text{ MPa} \rightarrow 118 \text{ MPa}$$

b. 評価結果

評価結果を表-3に示す。評価の結果、取付けボルトの強度が確保されていることを確認した。

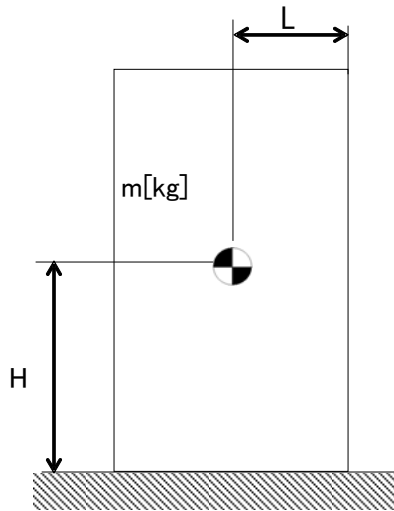
表-3 ポンプ耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
移送ポンプ	取付けボルト	引張	0.6	3	153	MPa
		せん断	0.6	5	118	MPa

4. 第二モバイル型ストロンチウム除去装置を搭載するユニットの安定性

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下記式にて算出し、それらと比較することにより転倒評価を実施した。評価に用いた数値を括弧内に示す。



- C_H : 水平方向設計震度 (0.6)
- m : ユニットの合計質量 (47,800 kg)
- g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)
- H : 地面からユニットまでの距離 (1.20 m)
- L : 転倒支点から重心までの距離 (1.34 m)

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

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

b. 評価結果

評価結果を表-4に示す。評価の結果、転倒しないことを確認した。

表-4 ユニット耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
第二モバイル型 ストロンチウム除去装置-1	ユニット	転倒	0.6	338	628	kN・m
第二モバイル型 ストロンチウム除去装置-2	ユニット	転倒	0.6	338	628	kN・m
第二モバイル型 ストロンチウム除去装置-3	ユニット	転倒	0.6	338	628	kN・m
第二モバイル型 ストロンチウム除去装置-4	ユニット	転倒	0.6	338	628	kN・m

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等に使用する配管の耐震に関する計算書

配管支持の位置を決定するにあたっては、定ピッチスパン法により適正な支持間隔を確保する。定められた間隔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。また集中質量部、曲り部、分岐部に発生する応力及び固有周期は、直管部における値を上回らないものとする。

(1) 設計用地震動

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・建築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

(2) 荷重の組み合わせと許容限度

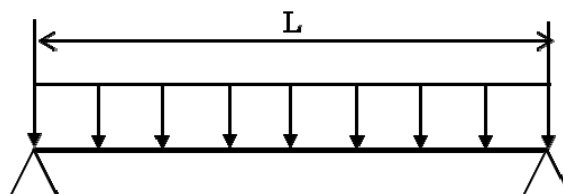
荷重の組み合わせと許容限度は、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984, JEAG4601-1987 及び JEAG4601-1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）（以下「JEAG4601」という。）及び発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC1-2005（2007 年追補版含む））（日本機械学会 2005 年 9 月, 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）に準拠する。

(3) 耐震性評価

a. 評価条件

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

図-1 等分布荷重両端単純支持はりモデル



次に，当該設備における主配管（鋼管）について，各種条件を表－1に示す。

表－1 配管系における各種条件

配管分類	主配管（鋼管）
配管クラス	クラス3相当
耐震クラス	クラスB相当 (参考評価：クラスS相当)
最高使用温度[°C]	40
配管材質	SUS316LTP
配管口径	50A
Sch	40
最高使用圧力[MPa]	0.98
配管支持間隔[m]	5.3

b. 評価方法

水平方向震度による管軸直角方向の配管応力を評価する。

自重による応力 S_w は，下記の式で示される。

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

ここで S_w ：自重による応力[MPa]

L ：支持間隔[mm]

M ：曲げモーメント[N・mm]

Z ：断面係数[mm³]

w ：等分布荷重[N/mm]

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

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

S_s ：地震による応力[MPa]

α ：想定震度値[－]

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

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

ここで S : 内圧, 自重, 地震による発生応力 [MPa]

S_p : 内圧による応力 [MPa]

S_y : 設計降伏点 [MPa]

c. 評価結果

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

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

表-2 応力評価結果

配管分類	主配管 (鋼管)
配管材質	SUS316LTP
配管口径	50A
Sch	40
最高使用圧力 [MPa]	0.98
内圧, 自重, 地震による発生応力 S [MPa]	48 *
供用状態 Cs における一次応力許容値 [MPa]	175

* 添付資料-3 「第二モバイル型ストロンチウム除去装置の耐震性に関する説明書」において、水平方向の静的震度 0.36 と 0.60 の耐震評価を実施している。静的震度 0.60 の場合は発生応力を評価すると S=55 [MPa] となり、一次許容応力を下回る。

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等の具体的な安全確保策等

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等は、高レベルの放射性物質を扱うため、漏えい防止、放射線遮へい、崩壊熱除去、可燃性ガス滞留防止、環境条件を踏まえた対応、使用済吸着塔の貯蔵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. 処理対象水及び処理済水の移送配管は、耐食性を有するポリエチレン管を基本とする。また、第二モバイル型ストロンチウム除去装置内の配管は、耐食性を有する SUS316L 材を基本とし、フィルタ及び吸着塔等は、耐食性を有するよう SUS316L 材同等品とする。第二モバイル型ストロンチウム除去装置内の配管のうち可撓性を要する部分は、耐食性を有する合成ゴム（EPDM）製耐圧ホースとする。なお、福島第一原子力発電所で発生した耐圧ホースと継手金属との結合部（カシメ部）の外れ事象に鑑み、耐圧ホースと継手金属の結合部（カシメ部）は外れを防止する設計とする。
- b. 処理終了後の各タンクエリアと第二モバイル型ストロンチウム除去装置との間の移送配管は、処理後に水を抜くことにより、漏えいを防止する。
- c. 装置運転中の処理対象タンクの水位管理については、シールド中央制御室にてタンク水位の監視を実施し、タンク溢水による放射性物質の漏えい発生を防止する。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

- a. 漏えいの早期検知として、ユニット毎に漏えいパンを設けるとともに、漏えい検知器を設ける（図－1）。各ユニットの機器の取合点は、漏えいパン内に設置し、漏えい水は漏えいパンに受ける設計とする。
- b. 上記漏えいを検知した場合には、シールド中央制御室に警報を発するとともに、第二モバイル型ストロンチウム除去装置のポンプが自動停止し、装置内の隔離弁が自動閉止する。運転操作員は、移送ポンプの停止確認や漏えい拡大防止等の必要な措置を講ずる。
- c. 第二モバイル型ストロンチウム除去装置は、運転開始までに漏えい確認等を実施し、施工不良、装置の初期欠陥等による大規模な漏えいの発生を防止する。また、第二モバイル型ストロンチウム除去装置は、内包水が漏えいした場合でもユニット内の漏えいパン内に収まることから、系外へ漏えいが拡大することはない。（表－1）
- d. 移送配管は、運転開始までに漏えい確認等を実施し、施工不良、装置の初期欠陥等による大規模な漏えいの発生を防止する。また、移送配管は、可能な限り堰内に配置し、運転中は定期的なパトロールを実施して、漏えい検知、漏えい拡大防止を図る。堰内に設置が困難な場所においては、移送配管を堰外に設置するが、堰外の接合部は融着

構造とすることで、漏えい発生を防止する。タンク等との接合部、装置との接合部は、フランジ接合とするが、フランジ接合部は養生を行うとともにタンク堰内やユニット内に設置することで、漏えい拡大を防止する。移送配管は、サポートにより地表面から離すことにより、漏えい検知を容易にする。また、移送配管は、タンク堰内やユニット内を除き二重構造の移送配管を使用し、内管であるポリエチレン管の内包水が漏えいした場合でも、外管を通じタンク堰内やユニット内に流入する構造とすることで、漏えい拡大防止を図るとともに漏えい検知も可能とする。

- e. 運転中の第二モバイル型ストロンチウム除去装置の流量は、常時監視する。異常の場合は速やかに現場の状況を確認し、タンク止め弁の閉操作等適切な対応を取る。
- f. 堰外の移送配管の更なる漏えい拡大防止対策については、速やかに検討し、RO 濃縮水処理によるリスク低減効果、漏えい拡大防止対策の有効性や工期等を踏まえ、可能なものから実施する。

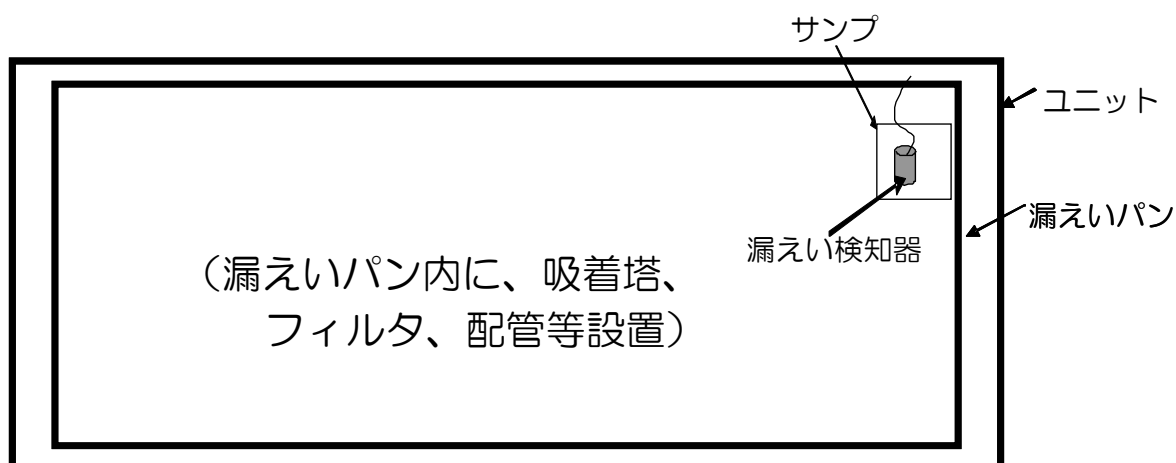


図-1 漏えいパンの概念図

表-1 第二モバイル型ストロンチウム除去装置各ユニットの漏えいパン仕様

対象設備	縦幅 (m)	横幅 (m)	高さ (m)	容積 (m ³)	容器単体の 最大容量 (m ³)
第二モバイル型 ストロンチウム除去装置-1	10.651	2.751	0.125	3.23	2.80
第二モバイル型 ストロンチウム除去装置-2	10.651	2.751	0.125	3.23	2.80
第二モバイル型 ストロンチウム除去装置-3	10.651	2.751	0.125	3.23	2.80
第二モバイル型 ストロンチウム除去装置-4	10.651	2.751	0.125	3.23	2.80

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. 第二モバイル型ストロンチウム除去装置は、通常運転時は、シールド中央制御室から遠隔での運転操作を可能とする。
- b. 吸着塔は装置内で表面線量が最大となるため適切な遮へいを設け、被ばく低減を図る。吸着塔の表面線量当量率を表－2に示す。
- c. 使用済吸着塔の交換時は、可能な限り遠隔作業とする。また、交換作業の待機時間は、作業エリアの中の低線量箇所に退避することなどにより、無用な被ばくを防止する。
- d. 使用済吸着塔の輸送時は、表面線量当量率に応じて鋼製の容器等で遮へいし、放射線業務従事者の被ばくを低減する。
- e. 第二モバイル型ストロンチウム除去装置からの直接線・スカイシャイン線による敷地境界線量への影響は、運転位置において、敷地境界に最も近い地点及び合算値が最大となる地点において評価する（別添－1）。

(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、通水により熱除去する。
- b. 吸着塔の貯蔵時においては、使用済セシウム吸着塔一時保管施設のボックスカルバート内に貯蔵した場合、吸着塔の最高温度は、329℃と想定される（別添－2）。一方、吸着塔内の吸着材の耐熱温度は、600℃であることから、材料の健全性に影響を与えるものではない（表－2）。

表－2 第二モバイル型ストロンチウム除去装置の吸着塔の
吸着量，最大表面線量率および最高温度

機器名称	捕捉・吸着 主要核種	捕捉・吸着量 (Bq/体) ※1	最大表面 線量率 (mSv/h) ※2	最大表面 線量率 (mSv/h) ※3	最高温度 (℃) ※4	耐熱 温度 (℃)
吸着塔	Cs-134	5.0×10^{11}	0.016	0.028	342	600
	Cs-137	1.5×10^{12}				
	Sr-90	2.0×10^{15}				

※1 捕捉・吸着する主要核種の放射能濃度（処理対象水中の放射能濃度を高めに設定し、主要核種が吸着塔に偏って捕捉・吸着された場合を想定した保守的な設定値）

※2 水抜き前の表面線量率

※3 貯蔵時を想定した水抜き後の表面線量率

※4 貯蔵時を想定したコンクリート製ボックスカルバート内での夏場の最高温度

(3) 交換作業時の考慮

- a. 吸着塔の交換時には、使用済吸着塔は、平成 23 年 6 月から実施している実績のあるセシウム吸着装置の吸着塔と同様の要領により、クレーンとトレーラを用いて、使用済セシウム吸着塔仮保管施設等に搬入される。吸着塔は鋼製であり、鉛を充填した鋼製の遮へい容器と一体で搬入・貯蔵されるため、万一の落下時等にも損傷し難い構造となっているが、落下等の発生防止の観点で、クレーン操作は経験を積んだ操作者が行うこととする。
- b. 吸着塔は、運搬時に落下することを防止するため、トレーラに固縛した専用容器にて輸送する。なお、運搬にあたっては、先導車等と共に低速で走行することで安全性を確保する。

3. 可燃性ガスの滞留防止

- a. 第二モバイル型ストロンチウム除去装置では、吸着塔で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（水素ガス）は、通水時に処理水とともに排出される。通水停止時には、ベント弁を開放してユニット外に排出する運用とする。
- b. 吸着塔は、エアブロー等により水抜きして貯蔵する。使用済吸着塔は、処理水の入口、出口及びベント弁を開放し、発生する可燃性ガス（水素ガス）の濃度が可燃限界を超えない設計とする（別添-3）。なお、エアブロー等により水抜きした水は、高温焼却炉建屋地下に排水する。

4. 環境条件対策

(1) 腐食

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等は、汚染水処理設備の処理済水を処理するため塩化物イオン濃度が高いことから、耐食性を有する材料を選定する（別添-4）。

(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及び耐圧ホースについては、処理対象水の温度がほぼ常温であることから、劣化の可能性は十分低い。

(3) 凍結

処理対象水を移送している過程では、水が流れているため凍結の恐れはない。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ため、保温材等を取り付ける。

ユニット内については、ヒータにより暖房されるため凍結することはない。

(4) 耐放射線性

移送配管等に使用されるポリエチレンは、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。しかしながら、ポリエチレン管の照射線量率を 1Gy/h （タービン建屋滞留水と同等）と仮定しても、 $2 \times 10^5 \text{Gy}$ に到達する時間は 2×10^5 時間（22.8 年）と評価されるため、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考慮する必要はないと考えられる。なお、第二モバイル型ストロンチウム除去装置等において、系統バウンダリを構成するその他の部品には、耐圧ホース、ガスケット、グランドパッキングが挙げられるが、他の汚染水処理設備等で使用実績のある材料（EPDM 等）を使用しており、運転実績により、数年程度の使用は問題ないと考えられる。

(5) 紫外線

屋外敷設箇所のポリエチレン管には、紫外線による劣化を防止するための耐紫外線性を有する保温材等で覆う処置を実施する。

5. 長期停止中の措置

CA エリア、CB エリア、G6 南エリア及び G6 北エリアタンクの処理を終了した後、処理の計画がない場合等、第二モバイル型ストロンチウム除去装置を長期停止する場合は、必要に応じて装置をフラッシングすると共に、内部の水抜きを実施することで、被ばく線量の低減、腐食及び凍結を防止する。また、必要に応じて、吸着塔の搬出、所定の場所への移動を行う。長期に使用する予定のない移送配管は、水抜きを実施し必要に応じて撤去を実施する。第二モバイル型ストロンチウム除去装置等の長期停止中は巡視により状態を確認

する。(別添-5)

6. 使用済吸着塔の発生量

第二モバイル型ストロンチウム除去装置から発生する使用済吸着塔は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設、第四施設）のコンクリート製ボックスカルバート内に貯蔵する。処理対象とするタンクエリアのR0濃縮水の処理により第二モバイル型ストロンチウム除去装置から発生する使用済吸着塔の発生量は、4ユニット合計で22体程度と想定され、ボックスカルバートを11基使用すると想定される。平成27年5月末までに、第二モバイル型ストロンチウム除去装置から発生する使用済吸着塔により、ボックスカルバートを11基使用すると想定される。

使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設、第四施設）のボックスカルバートの空き保管容量は353基（平成26年12月末時点）であり、第二モバイル型ストロンチウム除去装置の他にセシウム吸着装置の吸着塔（平成27年5月末まで12基程度※と想定）、モバイル式処理装置の吸着塔（平成27年5月末まで0基程度※と想定）、サブドレン他浄化装置の吸着塔（平成27年5月末まで5基程度※と想定）、高性能多核種除去設備検証試験装置の吸着塔（平成27年5月末まで5基程度※と想定）及びモバイル型ストロンチウム除去装置の吸着塔及びフィルタ（平成27年5月末まで110基程度※と想定）を考慮しても、これらの設備から発生する吸着塔等は平成27年5月末まで143基程度※であり、平成27年5月末まで貯蔵に支障をきたすことはない。また、平成27年6月以降は、セシウム吸着装置を除く設備からの廃棄物発生量の低減が見込まれるが、必要に応じてセシウム吸着塔一時保管施設を増設する。

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

※ボックスカルバートの使用数を示す。

第二モバイル型ストロンチウム除去装置の敷地境界線量評価

第二モバイル型ストロンチウム除去装置から近傍の敷地境界に対する直接線・スカイシャイン線の寄与を評価する。(平成30年11月現在、第二モバイル型ストロンチウム除去装置は運用を停止しているため、運転を再開する際に下記の方針にて評価する。)

1. 評価概要

○ 評価手法：

- ・ 解析コード MCNP を用いて評価

○ 評価条件：

- ・ 第二モバイル型ストロンチウム除去装置1～4から最寄りの敷地境界及び敷地境界線量の合算値が最大となる評価地点を評価する。
- ・ 評価上考慮する機器は、吸着塔を2塔ずつとする。
- ・ 吸着塔は、処理に伴い吸着量が増大し、交換する際に最大値に達する。また、吸着塔は、2塔同時交換とし、最大吸着量100%を線源条件とする。なお、吸着塔については、主要な核種である Sr-90 のみ考慮する。
- ・ 評価点における直接線・スカイシャイン線の評価値は、吸着塔1基あたりの評価値を合算して算出する。

使用済吸着塔の温度評価について

温度評価は、使用済吸着塔の収容物からの発熱を入熱条件とし、1次元の定常温度評価により使用済吸着塔の最高温度を評価した。

1. 概要

使用済吸着塔を対象に、コンクリート製ボックスカルバート内に乾燥状態で貯蔵される場合の温度評価を行った。各吸着塔に捕捉・吸着した放射性物質による発熱を入熱条件とし、1次元の定常温度評価を行い、太陽光からの入熱によるボックスカルバート上蓋の温度上昇を考慮した場合の各吸着塔の温度が許容温度以下となることを確認した。

2. 吸着塔の温度評価

2. 1 評価方法

○評価手法：1次元定常温度評価

○温度条件：

- ・外気温度：40℃（福島県の過去最高気温 39.1℃（1942年8月15日）を切上げ）
- ・太陽光による温度上昇：13℃

○入熱条件：

- ・吸着塔2体をボックスカルバート内に設置
- ・吸着塔発熱量：360W/体

○放熱条件：

- ・ボックスカルバートの側面のうち1面からの放熱を考慮し、他のボックスカルバートに面する3面からの放熱は考慮しない。
- ・上蓋および床からの放熱は考慮しない。
- ・通気孔からの放熱は考慮しない。
- ・熱輻射による放熱は考慮しない。

2. 2 評価結果

評価の結果、コンクリートカルバート内に乾燥状態で貯蔵される場合、吸着塔の発熱により吸着塔の温度は約329℃となった。また、太陽光からの入熱による温度上昇を考慮すると、約342℃となり、吸着材の耐熱温度600℃より低いことから安全上の問題はないと判断する。

使用済吸着塔の水素到達濃度評価

1. 概要

使用済吸着塔をコンクリート製ボックスカルバート内に貯蔵する場合の水素濃度評価を行った。吸着塔の水素濃度は最大で約 1.7% となり、水素可燃領域の 4% を下回ったことから安全上の問題はないと判断する。

2. 吸着塔の水素濃度評価

2. 1 評価方法

○評価手法：

- ・吸着塔において、捕捉・吸着される放射能濃度が最大となる条件での水素発生量を計算する。
- ・吸着材領域が水で満たされている条件での水素発生量を計算する。
- ・給気側配管と排気側配管の温度差および水素濃度差による気体密度差および流動抵抗に基づき、評価式により自然対流により流入する空気量を計算する。
- ・流入空気量と水素発生量の割合から水素濃度を計算する。
- ・拡散による水素排出は保守的に考慮しない。

○水素発生条件：

- ・水素の発生量：0.74[L/h/個]（発熱量 360[W/体]，水素分子の G 値 0.0045[/eV] より計算。吸着塔 1 塔あたりの水素発生量。）

○温度条件：

- ・給気側配管温度：約 40℃
- ・排気側配管温度：約 40℃

○流入空気量：

- ・流入する空気量：43.5[L/h/塔]（給気側配管と排気側配管の温度差及び水素濃度差及び流動抵抗により計算。）

○水素濃度

- ・空気により希釈された水素濃度：1.7%（流入空気量と水素の発生量の割合から計算。）

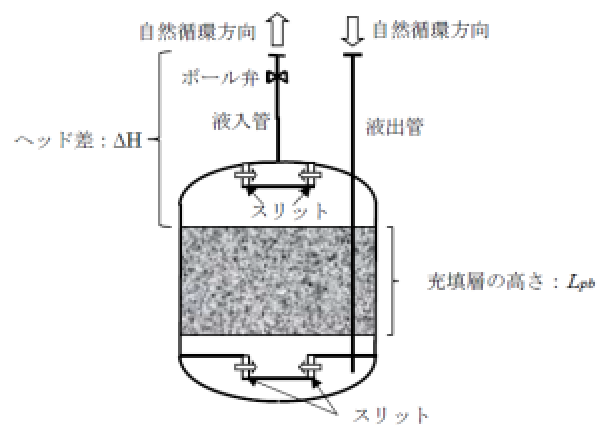


図1 評価体系の概念図

3. 評価結果

評価の結果，吸着塔内の水素濃度は最大で約 1.7% となり，水素可燃領域の 4% を下回ったことから安全上の問題はないと判断する。

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等に使用する材料の適合性評価

１．はじめに

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等は、RO 濃縮水等进行处理するため、系統内の塩化物イオン濃度が高いことから、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

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等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の耐食性について評価を行った。

表－１ 第二モバイル型ストロンチウム除去装置等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
前置フィルタ	SCS16A	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 SCS16A（耐食性は SUS316L と同等）を使用する。
吸着塔	SUS 316L	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。
配管 (鋼管)	SUS316LTP	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから、耐食性に優れる SUS316LTP 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、屋外配管に使用する。
配管 (耐圧ホース)	EPDM	可撓性のある配管を使用する必要がある箇所（吸着塔接続部等）において、耐食性のある EPDM を使用する。

ステンレス鋼（SUS316L）の主たる腐食モードは局部腐食である。その主要因は塩化物イオン（Cl⁻）による攻撃であり、Cl⁻濃度が高いほど局部腐食が起こりやすい。局部腐食（すきま腐食、孔食、SCC）のうち、最も穏和な環境で発生するのはすきま腐食であるため、すきま腐食の発生限界が材料の耐食限界に相当する。

淡水や海水などの通常の中性塩化物溶液中において、316系ステンレス鋼にすきま腐食が発生する下限界のCl⁻濃度は、30℃で約16,000 ppm程度¹⁾との報告例がある。また、セシウ

ム吸着装置，第二セシウム吸着装置の主配管，吸着塔等に使用されており，1万数千 ppm～数百 ppm の塩化物イオン濃度での使用実績があるが，次亜塩素酸注入等の腐食加速因子がない場合においては，腐食事象は見られていない。

今回の処理対象の RO 濃縮水の Cl⁻濃度は最大 2,300ppm 程度であり，すきま腐食の発生下限界の Cl⁻濃度を下回っているため，隙間腐食発生の可能性は低い。また，第二セシウム吸着装置，多核種除去設備で見られた SUS316L の腐食事象においては，次亜塩素酸注入や低 pH 条件，活性炭の使用により腐食が加速される要因となっていたが，本装置においてはこれらの腐食加速要因はないことから，腐食発生の可能性は低いと考えられる。

1) L. F. Plock and H. B. Bomberger: CORROSION/68, NACE International, Paper No. 36 (1968).

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等の長期停止に係る措置事項

1. CAエリア, CBエリア, G6南エリア及びG6北エリアの処理終了後の長期停止時の措置事項

(1) 移送配管の撤去

以下の配管について、水抜き実施後、撤去する。

- ・R0濃縮水貯槽から装置への移送配管
- ・装置からR0濃縮水貯槽への移送配管

(2) 第二モバイル型ストロンチウム除去装置の移動

CAエリア, CBエリアの処理を実施した1号機, 2号機及びG6北エリア, G6南エリアの処理を実施した3号機, 4号機について、添付資料1 図-1で示す場所に移動する。

同装置1号機, 2号機ユニットの移動先及び3号機, 4号機ユニットの移動先の周辺において、地震時における各ユニットからの波及的影響を受ける可能性のある施設はない。

(3) 廃棄物発生量

移送配管の撤去作業に伴い、以下の廃棄物が発生する。

発生する廃棄物は、瓦礫類として表面線量率に応じて定められた屋外の一時保管エリアに保管する。

表－1 廃棄物発生予定量

項目	発生量	表面線量率
配管類	約 19m ³	30mSv/h 以下

(4) 移送配管撤去に係る確認事項について

移送配管撤去後の配管の端部への構造強度、機能に関する確認事項を表－2に示す。

表－2 構造強度及び機能の確認事項（移送配管）

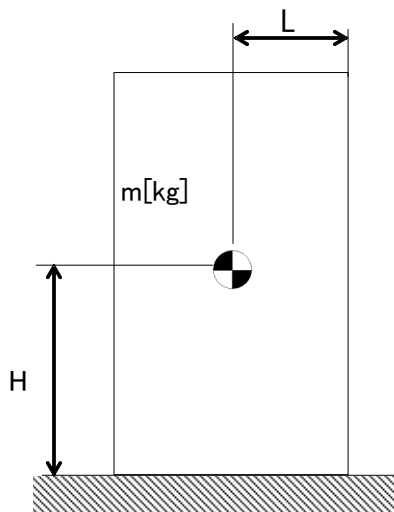
確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	外観・据付確認	配管端部の外観・据付状態について確認する。	実施計画の通りであること。
機能	機能確認	配管端部が実施計画の通り施工されていることを確認する。	実施計画の通りであること。

2. 長期停止時の耐震性について

第二モバイル型ストロンチウム除去装置について、長期停止時の装置内の水抜き、吸着塔の搬出後における耐震Bクラスでの転倒評価を示す。

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下記式にて算出し、それらと比較することにより転倒評価を実施した。



- m : ユニットの合計質量 (15,500kg)
- g : 重力加速度 (9.80665m/s²)
- H : 地面からユニット重心までの距離 (1.01m)
- L : 転倒支点からユニット重心までの距離 (1.53m)
- C_H : 水平方向設計震度 (0.36)

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

評価結果を表-3に示す。評価の結果、転倒しないことを確認した。

表-3 ユニット転倒評価結果

機器名称	評価部位	水平震度	算出値	許容値	単位
第二モバイル型 ストロンチウム除去装置-1	ユニット	0.36	56	232	kN・m
第二モバイル型 ストロンチウム除去装置-2	ユニット	0.36	56	232	kN・m
第二モバイル型 ストロンチウム除去装置-3	ユニット	0.36	56	232	kN・m
第二モバイル型 ストロンチウム除去装置-4	ユニット	0.36	56	232	kN・m

3. 長期停止中の線量評価について

長期停止中の第二モバイル型ストロンチウム除去装置 1～4 からの直接線・スカイシャイン線による敷地境界線量への影響について、添付資料 1 図 1 の位置において、最寄りの敷地境界評価地点（敷地境界評価地点 No. 7, 距離約 240m）及び敷地境界線量の合算値が最大となる評価点（敷地境界評価地点 No. 70, 距離 1,000m 以上）を評価した。

評価の結果, No. 7 及び No. 70 への直接線・スカイシャイン線の寄与は No. 7 及び No. 70 でそれぞれ約 $2.6\text{E-}4\text{mSv/年}$ 及び約 $1.2\text{E-}7\text{mSv/年}$ となった（現在第二モバイル型ストロンチウム除去装置 1～4 は停止中及び移動済みのため線量評価の値は 4 基の合計値とした。）

平成 30 年 9 月 11 日現在, 評価地点 No. 7 及び No. 70 において, 実効線量はそれぞれ約 0.82mSv/年 及び約 0.90mSv/年 となっており, 移動後の第二モバイル型ストロンチウム除去装置による寄与を加えても, 1mSv/年 は下回る。

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等に係る確認事項

第二モバイル型ストロンチウム除去装置等に係る主要な確認事項を表－1～6に示す。
溶接検査に関する確認事項を表－7に示す。

なお、寸法許容範囲については製作誤差等を考慮の上、確認前に定める。

表－1 確認事項（前置フィルタ，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	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・据付 確認	各部の外観を確認する。 また、据付状態について確認する。 ※1	有意な欠陥がないこと。
	耐圧・ 漏えい確認	確認圧力で保持した後、漏えいの有無を確認する。 ※1	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。

※1：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－2 確認事項（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・据付確認	各部の外観を確認する。 また、据付状態について確認する。 ※1	有意な欠陥がないこと。
	漏えい確認	運転圧力で漏えいの有無を確認する。	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-3-1 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	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	外径，厚さについて記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観・据付 確認	各部の外観を確認する。 また，据付状態について確認する。 ※1	有意な欠陥がないこと。
	耐圧・漏えい 確認	確認圧力で保持した後，漏えいの有無を確認する。 ※1	確認圧力に耐え，構造物の変形がないこと。 また，耐圧部から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-3-2 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	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。	製造メーカー寸法許容範囲内であること。
	外観・据付確認	各部の外観を確認する。 また、据付状態について確認する。 ※1	有意な欠陥がないこと。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、漏えいの有無を確認する。 ※1	確認圧力に耐え、構造物の変形がないこと。 また、耐圧部から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-3-3 確認事項（主配管（耐圧ホース））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	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。
	外観・据付確認	各部の外観を確認する。 また、据付状態について確認する。 ※1	有意な欠陥がないこと。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力により漏えい有無を確認する。 ※1	著しい漏えいがないこと。

※1：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－４ 確認事項（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・据付 確認	各部の外観を確認する。 また、据付状態について確認する。 ※１	有意な欠陥がないこと。
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。 ※１	許容範囲以内で警報が作動すること。
	インターロ ック検査	インターロック通り作動することを確認する。 ※１	インターロックにより、ポンプ停止、弁が閉動作すること。

※１：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－５ 確認事項（漏えいパン）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・ 機能	寸法確認	パン寸法よりパン容量を確認する。 ※１	パン寸法により求めたパン容量が実施計画に記載の容器単体の最大容量以上であること。
	外観・据付 確認	各部の外観を確認する。 また、据付状態について確認する。 ※１	有意な欠陥がないこと。

※１：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－６ 確認事項（第二モバイル型ストロンチウム除去装置等）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
性能	運転性能 確認	定格容量を通水する。 ※１	実施計画に記載した容量にて運転し、異音、異臭等の異常がないこと。

※１：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－7 確認事項（溶接検査）

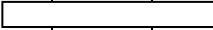
確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査 ※3	材料確認	溶接に使用する材料が、規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合するものとする。	使用する材料が、規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査	開先形状等が規格等に適合するものであることを確認する。	開先形状等が規格等に適合するものであること。
	溶接作業検査	あらかじめ確認された溶接施工法または実績のある溶接施工法または管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。 あらかじめ確認された溶接士による溶接が行われていることを確認する。	あらかじめ確認された溶接施工法または実績のある溶接施工法または管理されたプロセスを有する溶接施工法であること。 あらかじめ確認された溶接士による溶接が行われていること。
	非破壊検査	溶接部について非破壊検査を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接部について非破壊検査を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。
	耐圧・漏えい検査	規定圧力で保持した後、その圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを確認する。※1※2	規定圧力で保持した後、その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	各部の外観を確認する。 ※1	外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと。


※1：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

※2：溶接規格等に規定された圧力による耐圧検査が困難な箇所については、代替となる非破壊検査を行う。

※3：モバイル式処理装置にて溶接検査を終了した吸着塔を使用する場合、あらためての溶接検査は要しない。

工事工程表

	平成 26 年		平成 27 年		
	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
第二モバイル型ストロンチウム除去装置				△ ①	△ ③

 : 現地据付組立

① : 構造, 強度又は漏えいに係る試験をすることができる状態になった時

③ : 原子力施設の工事の計画に係る工事が完了した時