

2.14 設計上の考慮

2.14.1 準拠規格及び基準への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

① 準拠規格及び基準

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，設計，材料の選定，製作及び検査について，それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によるものであること。

2.14.1.1 措置を講ずべき事項への適合性

ゼオライト土嚢等処理設備は，それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準を考慮して，設計，材料の選定，製作及び検査を実施する。

2.14.1.2 対応方針

施設の設計については、安全上の重要度を考慮して以下について適切に考慮したものとする。

(1) 準拠規格及び基準

安全機能を有する構築物、系統及び機器は、設計、材料の選定、製作及び検査について、それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(実施計画：II-1-14-1)

ゼオライト土嚢等処理設備を構成する構築物、系統及び機器の設計、材料の選定、製作及び検査については、発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSME)、日本産業規格 (JIS)、American Society of Mechanical Engineers (ASME 規格)、日本水道協会規格 (JWWA) 等を適用することにより信頼性を確保する。

(実施計画：II-2-51-1)

ゼオライト土嚢等処理設備を構成する主要な機器は、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において、廃棄物処理設備に相当すると位置付けられる。これに対する適用規格は、

「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(以下、「設計・建設

規格」という。)で規定され、機器区分クラス3の規定を適用することを基本とする。ま

た、主要な機器のうちゼオライト保管容器は、「ASME Boiler and Pressure Vessel Code(Sec VIII)」に準拠する。ゼオライト土嚢等を内包する容器及び鋼管については、発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSME S NC1) のクラス3機器の規定を適用する。

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。

具体的な規格及び基準は以下のとおり。

- ・ JIS G 3454 圧力配管用炭素鋼鋼管
- ・ JIS G 3457 配管用アーク溶接炭素鋼鋼管
- ・ JIS G 3459 配管用ステンレス鋼鋼管
- ・ JIS G 3468 配管用溶接大径ステンレス鋼鋼管
- ・ JWWA K 144 水道配水用ポリエチレン管
- ・ JIS A 8604 工事用水中ポンプ
- ・ JIS G 4304：熱間圧延ステンレス鋼板 (タンクの胴板、底板)
- ・ JIS G 3101：一般構造用圧延鋼材
- ・ JIS G 4304 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯
- ・ JIS G 4305 冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯
- ・ JIS G 5121 ステンレス鋼鋳鋼品
- ・ JIS G 4303 ステンレス鋼棒

- ・ JIS G 3101 一般構造用圧延鋼材
 - ・ JIS C 4210 一般用低圧三相かご形誘導電動機
 - ・ JEC-2137 誘導機
 - ・ JIS B 1178 基礎ボルト
 - ・ JIS B 2220 鋼製管フランジ
 - ・ JIS K6331;送水用ゴムホース (ウォーターホース)
 - ・ ASME BPVC Sec.VIII
 - ・ ASME BPVC Sec.II Part A (SA-240, SA-312)
- (実施計画 : II-2-51-添 2-2~3)

(2) ゼオライト土嚢等処理設備の構造強度評価

ゼオライト土嚢等処理設備を構成する構築物，系統及び機器は，「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」において，廃棄物処理設備等に相当するものと位置づけられることから，その設計，材料の選定，製作及び検査において，それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して，ゼオライト土嚢等および建屋滞留水を内包する容器及び鋼管については，発電用原子力設備規格 設計・建設規格（JSME S NC1）のクラス3機器の規定を適用して評価を行う。

ポリエチレン管はISO規格またはJWWA規格に準拠したものを，適用範囲内で使用することで，構造強度を有すると評価する。また，耐圧ホース，伸縮継手については，製造者仕様範囲内の圧力及び温度で使用することで構造強度を有すると評価する。なお，ゼオライト土嚢等処理設備におけるポリエチレン管，耐圧ホースの環境条件（最高使用温度・最高使用圧力）は以下のとおりであり，当該条件を満足する管を選定する。

（実施計画：II-2-51-添4-1）

ゼオライト土嚢等処理設備の系統・機器の概要

ゼオライト土嚢等処理設備における系統概略を「1.系統概略」に示す。また主要機器の機器概略を「2. 主要機器概略」に示す。

1. 系統概略

2.14.1.1-2

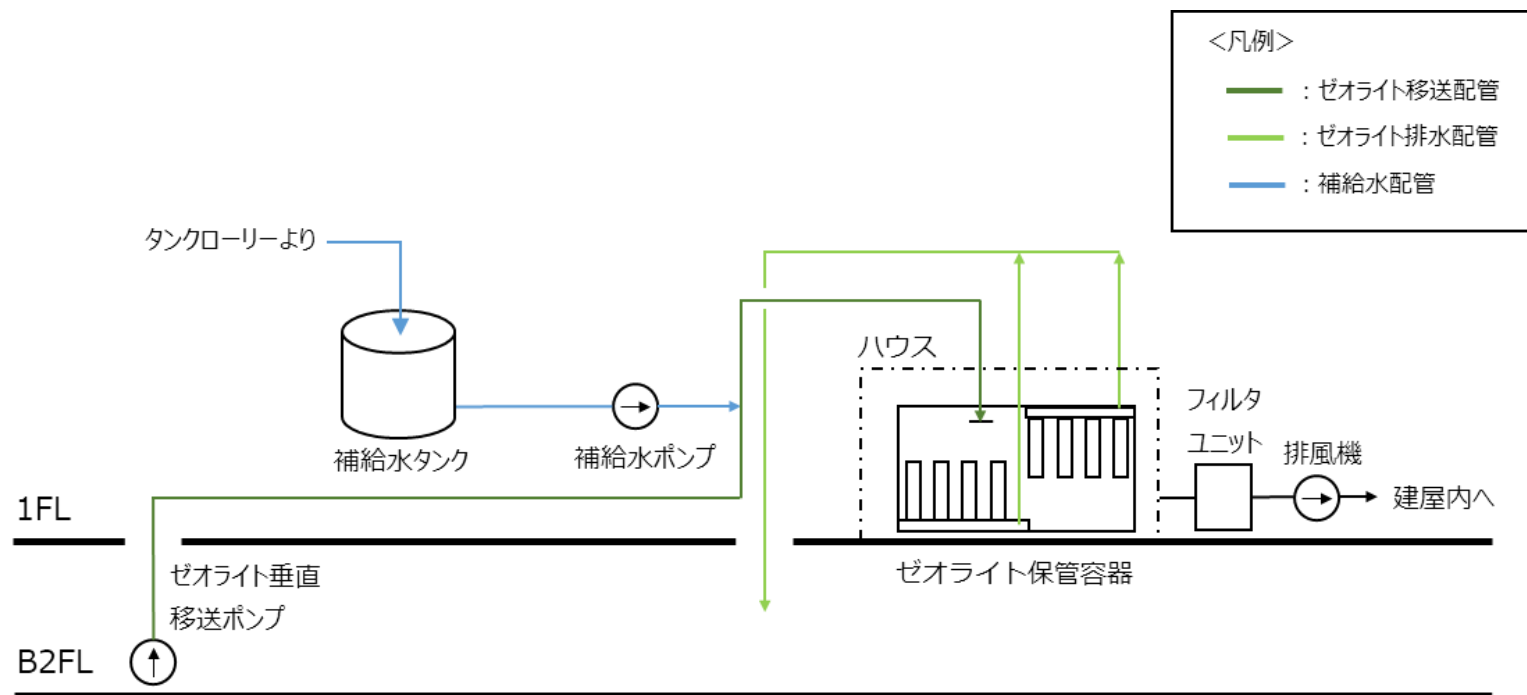


図 2.14.1-1 ゼオライト土囊等処理設備の全体概要図 (1 / 2)

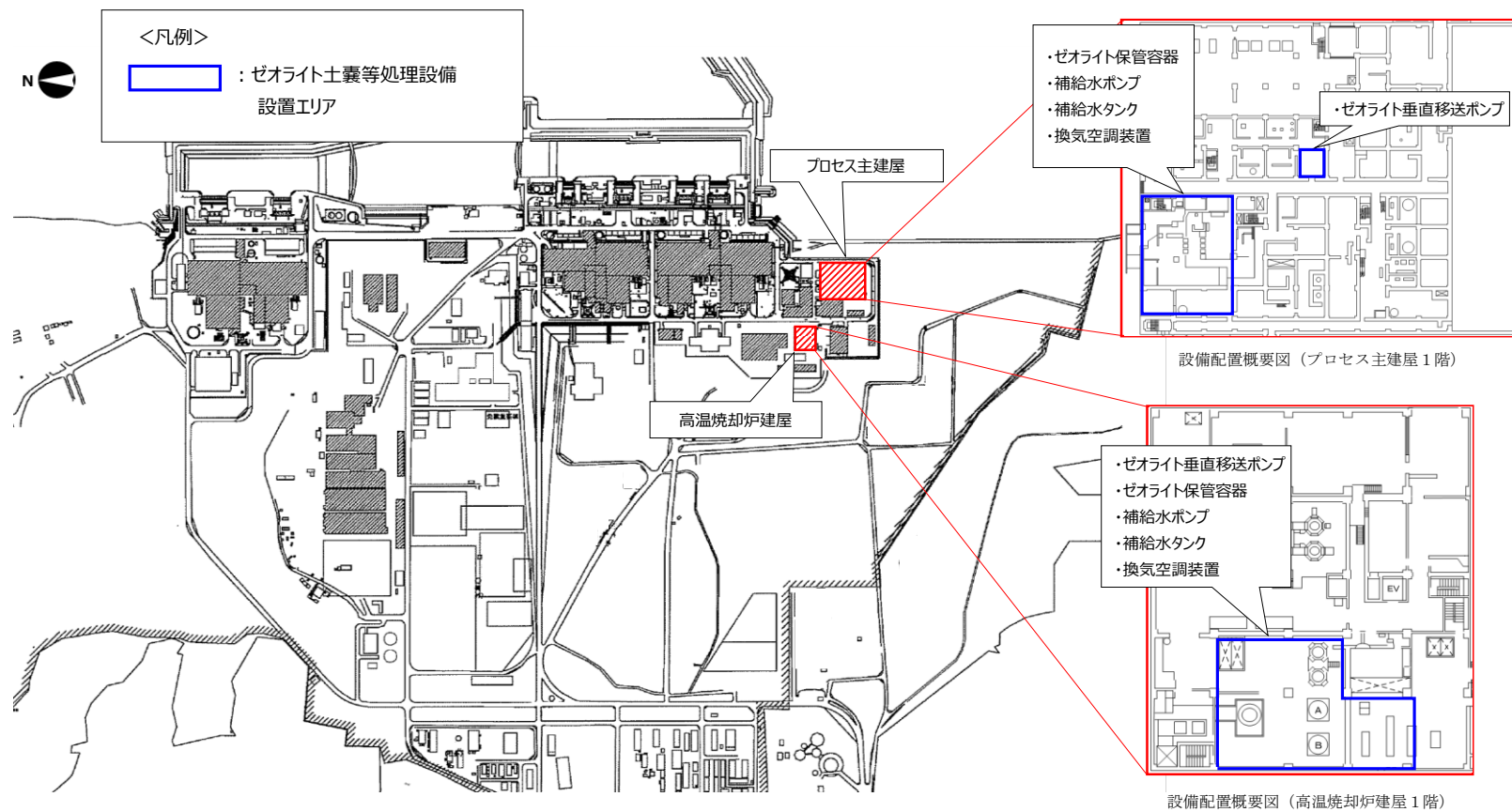


図 2.14.1-1 ゼオライト土囊等処理設備の全体概要図 (2 / 2)

2. 主要機器概略

2.1 ゼオライト土嚢等処理設備の主要仕様

2.1.1 ゼオライト土嚢等処理設備（プロセス主建屋）

(1) ポンプ

a. ゼオライト垂直移送ポンプ（完成品）

台数	1台
容量	13m ³ /h

b. 補給水ポンプ（完成品）

台数	1台
容量	20 m ³ /h

(2) ゼオライト保管容器

名称		ゼオライト保管容器	
種類		たて置円筒形	
容量	m ³ /基	2.88	
最高使用圧力	MPa	0.98	
最高使用温度	℃	100	
主要寸法	胴内径	mm	1244.6
	胴板厚さ	mm	12.7
	上部平板厚さ	mm	88.9
	下部平板厚さ	mm	88.9
	高さ	mm	3106.9
材料	胴板	-	ASME SA240 Type 316L
	上部平板	-	ASME SA240 Type 316L
	下部平板	-	ASME SA240 Type 316L
基数	基	1	

(3) 補給水タンク

名称		補給水タンク	
種類		たて置円筒形	
容量	m ³	7	
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	2500
	胴板厚さ	mm	9.0
	底板厚さ	mm	12.0
	高さ	mm	1821
材料	胴板	-	SUS304
	底板	-	SUS304
基数		基	1

(4) 換気空調装置

a. 排風機 (完成品)

台 数 2 台 (予備機含む)
容 量 3,500 m³/h (1 台あたり)

b. フィルタユニット (完成品)

台 数 1 台
容 量 3,500 m³/h

(5) 主配管

a. ゼオライト移送配管

主要配管仕様

名称	仕様	
ゼオライト垂直移送ポンプから ゼオライト保管容器まで (耐圧ホース)	呼び径	50A 相当
	材質	EPDM 合成ゴム
	最高使用圧力	0.98MPa
	最高使用温度	40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ	50A/Sch80
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.98MPa
	最高使用温度	40℃
(ポリエチレン管)	呼び径	50A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.98MPa
	最高使用温度	40℃

b. ゼオライト排水配管

主要配管仕様

名称	仕様	
ゼオライト保管容器からプロセ ス主建屋地下階まで (耐圧ホース)	呼び径	40A 相当 50A 相当
	材質	EPDM 合成ゴム
	最高使用圧力	0.98MPa
	最高使用温度	40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ	40A/Sch80 50A/Sch80
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.98MPa
	最高使用温度	40℃

c. 補給水配管

主要配管仕様

名称	仕様	
補給水タンク入口弁から補給水タンクまで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch40 STPT410 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	80A 相当 ポリエチレン 静水頭 40℃
補給水タンクから補給水ポンプまで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch40 STPT410 静水頭 40℃
補給水ポンプからゼオライト移送配管分岐部まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch80 80A/Sch40 STPT410 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	50A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃

2.1.2 ゼオライト土嚢等処理設備（高温焼却炉建屋）

(1) ポンプ

a. ゼオライト垂直移送ポンプ（完成品）

台数	1台
容量	13m ³ /h

b. 補給水ポンプ（完成品）

台数	1台
容量	20m ³ /h

(2) ゼオライト保管容器

名称		ゼオライト保管容器	
種類		たて置円筒形	
容量	m ³ /基	2.88	
最高使用圧力	MPa	0.98	
最高使用温度	℃	100	
主要寸法	胴内径	mm	1244.6
	胴板厚さ	mm	12.7
	上部平板厚さ	mm	88.9
	下部平板厚さ	mm	88.9
	高さ	mm	3106.9
材料	胴板	-	ASME SA240 Type 316L
	上部平板	-	ASME SA240 Type 316L
	下部平板	-	ASME SA240 Type 316L
基数	基	1	

(3) 補給水タンク

名称		補給水タンク	
種類		たて置円筒形	
容量	m ³	7	
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	2500
	胴板厚さ	mm	9.0
	底板厚さ	mm	12.0
	平板厚さ	mm	6.0
	高さ	mm	1821
材料	胴板	-	SUS304
	底板	-	SUS304
基数	基	1	

(4) 換気空調装置

a. 排風機 (完成品)

台 数 2 台 (予備機含む)
容 量 3,500m³/h (1 台あたり)

b. フィルタユニット (完成品)

台 数 1 台
容 量 3,500m³/h

(5) 主配管

a. ゼオライト移送配管

主要配管仕様

名称	仕様	
ゼオライト垂直移送ポンプから ゼオライト保管容器まで (耐圧ホース)	呼び径	50A 相当
	材質	EPDM 合成ゴム
	最高使用圧力	0.98MPa
	最高使用温度	40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ	50A/Sch80
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.98MPa
	最高使用温度	40℃
(ポリエチレン管)	呼び径	50A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.98MPa
	最高使用温度	40℃

b. ゼオライト排水配管

主要配管仕様

名称	仕様	
ゼオライト保管容器から高温焼 却炉建屋地下階まで (耐圧ホース)	呼び径	40A 相当 50A 相当
	材質	EPDM 合成ゴム
	最高使用圧力	0.98MPa
	最高使用温度	40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ	40A/Sch80 50A/Sch80
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.98MPa
	最高使用温度	40℃

c. 補給水配管

主要配管仕様

名称	仕様	
補給水タンク入口弁から補給水タンクまで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch40 STPT410 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	80A 相当 ポリエチレン 静水頭 40℃
補給水タンクから補給水ポンプまで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch40 STPT410 静水頭 40℃
補給水ポンプからゼオライト移送配管分岐部まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch80 80A/Sch40 STPT410 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	50A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃

ゼオライト土嚢等処理設備の構造強度評価について

ゼオライト土嚢等処理設備を構成する設備について、構造強度評価の基本方針に基づき、構造強度の評価を行う。

1. 強度評価の基本方針

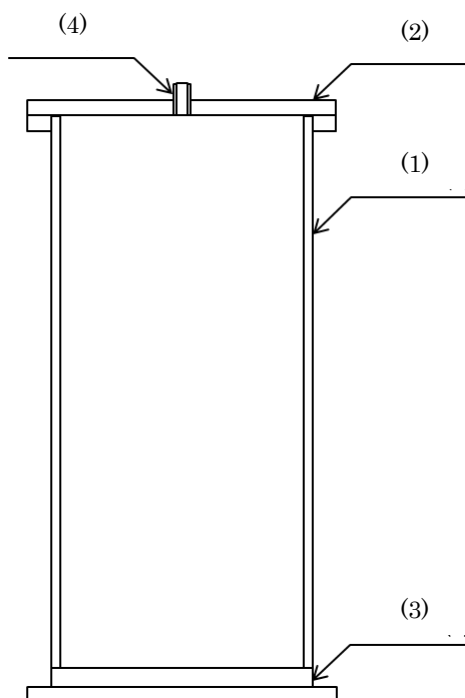
ゼオライト土嚢等処理設備のうち、ゼオライト土嚢等又は R0 処理水を内包する容器及び配管については、「JSME S NC1-2005/2007 追補版 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」のクラス 3 機器に準拠して評価を行う。

2. 強度評価の方法・結果

2.1 ゼオライト保管容器

2.1.1 評価箇所

強度評価箇所を図－１に示す。



図中の番号は、2.1.2, 2.1.3 の番号に対応する。

図－１ ゼオライト保管容器概要図

2.1.2 評価方法

(1) 胴板の評価

胴板の必要厚さは、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

胴板の最小厚さは、1.5mm とする。

b. 計算上必要な最小厚さ： t_2

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

t_2 : 必要厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

D_i : 胴の内径 (mm)

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(2) 上部平板の評価

上部平板の必要厚さは、次に掲げる値とする。

計算上必要な最小厚さ： t

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

t : 必要厚さ (mm)

d : 平板の径 (mm)

K : 取付方法による係数 (-)

P : 最高使用圧力 (MPa)

S : 許容引張応力 (MPa)

(3) 下部平板の評価

下部平板の必要厚さは、次に掲げる値とする。

計算上必要な最小厚さ： t

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

t : 必要厚さ (mm)

d : 平板の径 (mm)

- K : 取付方法による係数 (-)
- P : 最高使用圧力 (MPa)
- S : 許容引張応力 (MPa)

(4) 管台の厚さの評価

管台の必要厚さは、次に掲げる値とする。

計算上必要な厚さ： t

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

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

(5) 補強を必要としない穴の最大径の評価

平板の穴の径が d の値の 1/2 以下のため、補強を必要としない。

2.1.3 評価結果

評価結果を表-1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。

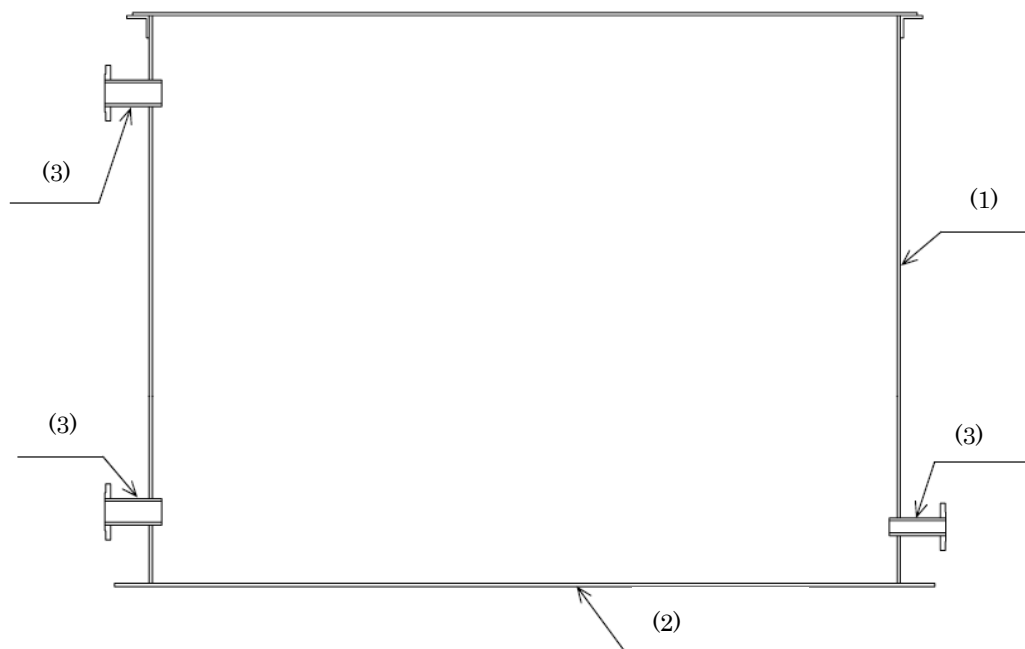
表-1 ゼオライト保管容器の評価結果 (板厚)

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
ゼオライト 保管容器	(1) 胴の厚さ	7.63	11.70
	(2) 上部平板の厚さ	73.83	87.90
	(3) 下部平板の厚さ	66.00	87.90
	(4) 管台の厚さ (N1 入口)	0.26	3.42
	(4) 管台の厚さ (N2 上部フィルタ出口)	0.21	3.22
	(4) 管台の厚さ (N3 下部フィルタ出口)	0.21	3.22
	(4) 管台の厚さ (N4 ベント)	0.14	2.96
	(4) 管台の厚さ (N5 液位計)	0.26	3.42
	(4) 管台の厚さ (N6 液位計)	0.26	3.42

2.2 補給水タンク

2.2.1 評価箇所

強度評価箇所を図-2に示す。



図中の番号は、2.2.2、2.2.3の番号に対応する。

図-2 補給水タンク概要図

2.2.2 評価方法

(1) 胴板の評価

胴板の必要厚さは、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

胴板の最小厚さは、1.5mmとする。

b. 計算上必要な最小厚さ： t_2

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

t_2 : 必要厚さ (mm)

D_i : 胴の内径 (m)

H : 水頭 (m)

ρ : 液体の比重。ただし、1未満の場合は1とする。

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(2) 底板の評価

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（PVD-3010 クラス 3 容器より）。

(3) 管台の厚さの評価

管台の必要厚さは、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 (mm) : t_1

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。

b. 計算上必要な最小厚さ : 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 : 管台の内径 (m)

H : 水頭 (m)

ρ : 液体の比重。ただし、1 未満の場合は 1 とする。

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(4) 補強を必要としない穴の最大径の評価

胴板の穴の径が 85mm 以下のため、補強を必要としない。

2.2.3 評価結果

評価結果を表-3, 4に示す。必要厚さ等を満足しており、十分な構造強度を有すると評価している。

表-3 補給水タンクの評価結果 (板厚)

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
補給水 タンク	(1) 胴の厚さ	1.50	6.56
	(2) 底板の厚さ	3.00	9.60
	(3) 管台の厚さ (補給水出口)	3.50	4.01
	(3) 管台の厚さ (ドレン)	2.40	2.60
	(3) 管台の厚さ (オーバーフロー)	3.50	4.01

表-4 補給水タンクの評価結果（胴の穴の補強計算要否確認）

機器名称	評価項目	補強の計算を要しない 穴の最大径 (mm)	穴の径 (mm)
補給水 タンク	(4) 胴（補給水出口管台）	85	81.08
	(4) 胴（ドレン管台）	85	55.30
	(4) 胴（オーバーフロー管台）	85	81.08

2.3 主配管（鋼管）

2.3.1

強度評価箇所を図-3～図-6に示す。

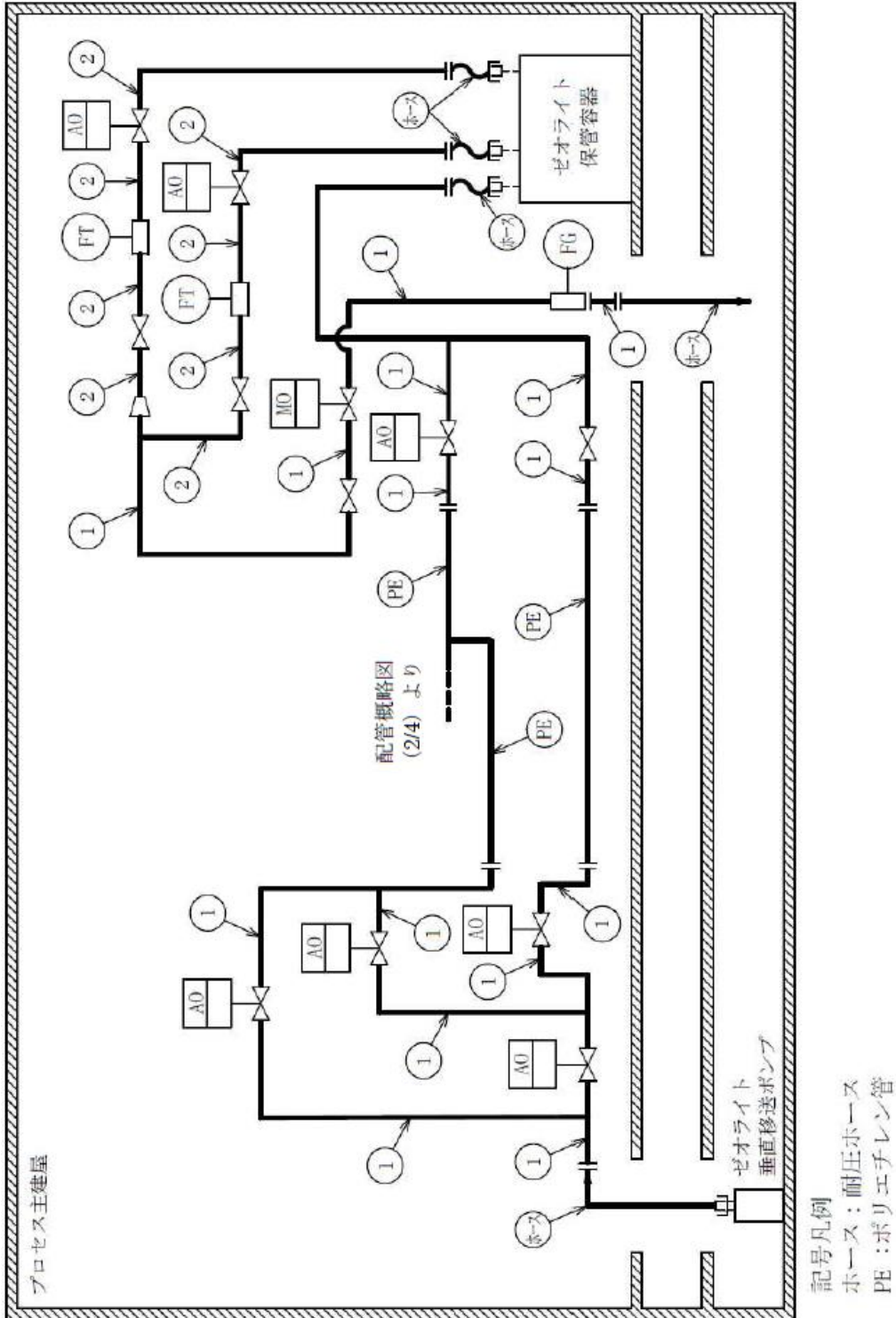
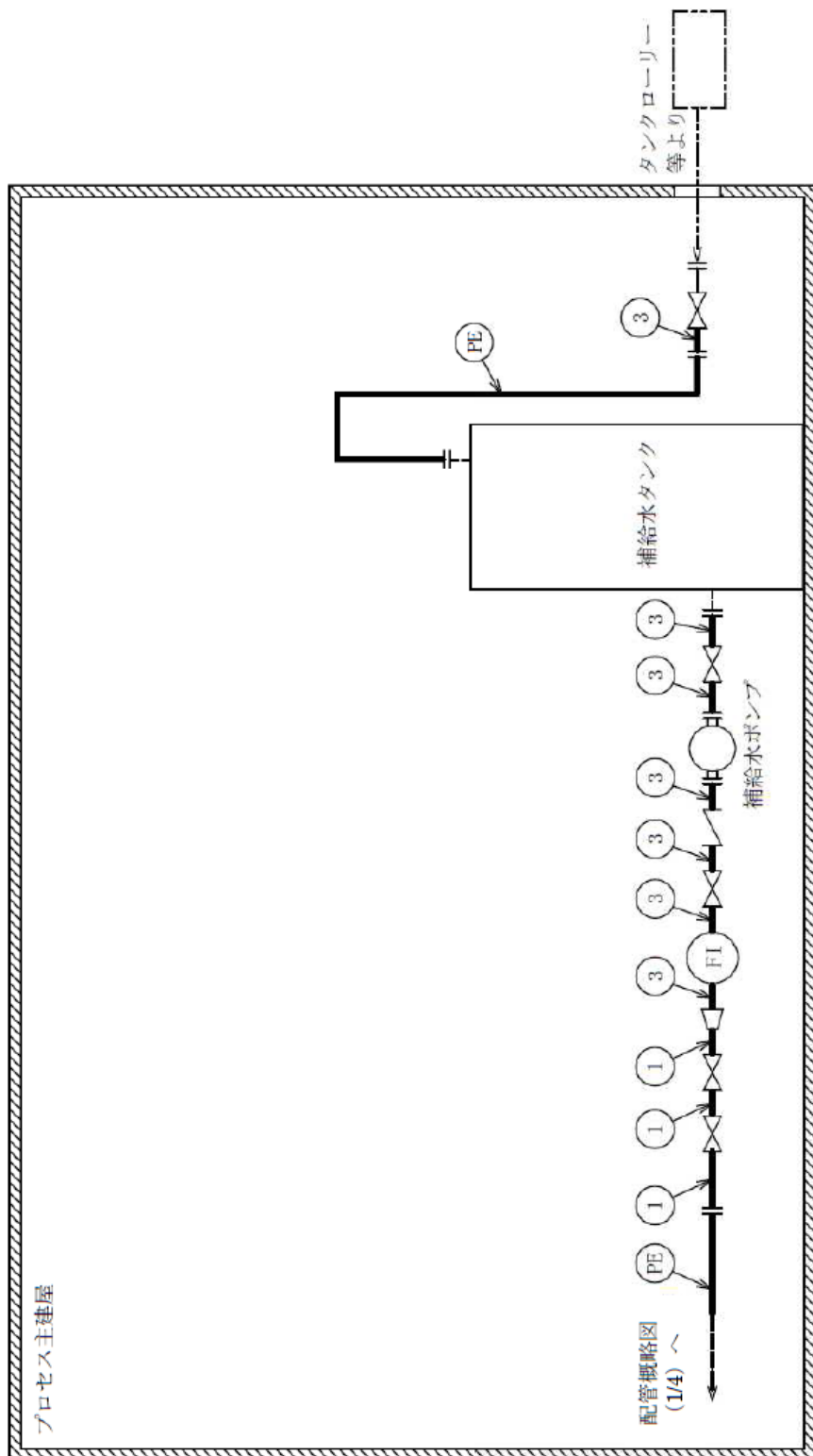
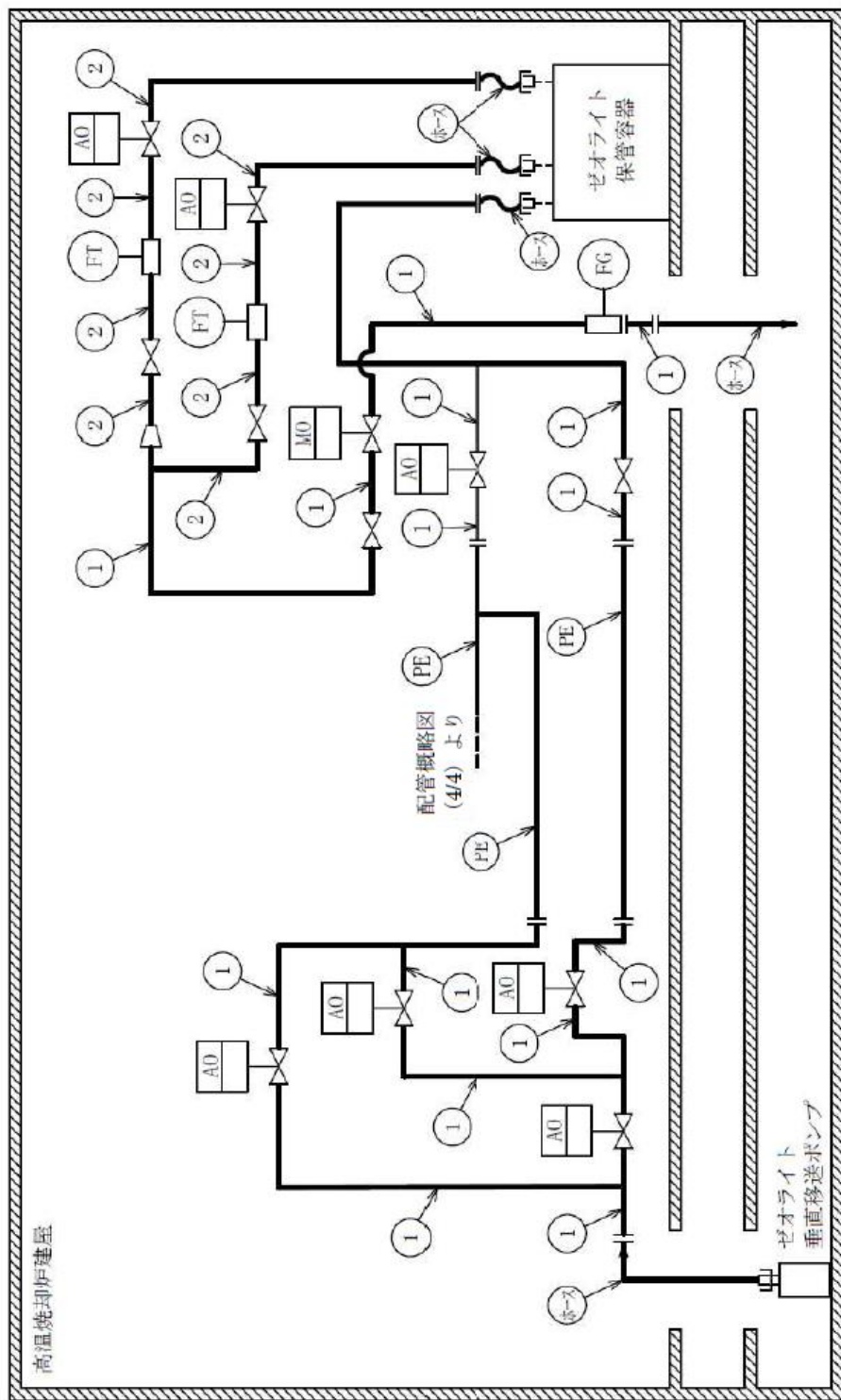


図-3 配管概略図 (1/4)
 (主配管 (プロセス主建屋))



記号凡例
PE : ポリエチレン管

図-4 配管概略図 (2 / 4)
(主配管 (プロセス主建屋))



記号凡例
 ホース：耐圧ホース
 PE：ポリエチレン管

図-5 配管概略図 (3/4)
 (主配管 (高温焼却炉建屋))

2.3.2 評価方法

鋼管の最小厚さが設計・建設規格 PPD-3411 式(PPD-1.3)又は設計・建設規格 PPD-3411(3)の表 PPD-3411-1 によって求められる必要厚さを満足することを確認する。

管の必要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

$$t = \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

- t : 管の計算上の必要な厚さ (mm)
 P : 最高使用圧力 (MPa)
 D_0 : 管の外径 (mm)
 S : 許容引張応力 (MPa)
 η : 継手効率 (-)

b. 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小必要厚さ (mm) : t_r

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

2.3.3 評価結果

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

表-5 主配管（鋼管）の構造強度評価結果

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	60.50	STPT410	0.98	40	2.40	4.81
②	48.60	STPT410	0.98	40	2.20	4.46
③	89.10	STPT410	0.98	40	3.00	4.81

以上

ゼオライト土囊等処理設備の耐震重要度と機器クラスについて

ゼオライト土囊等処理設備の耐震重要度と機器クラスは表 2.14.1.3-1 の通り。耐震重要度については、令和 4 年度第 5 1 回原子力規制委員会にて、「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方」が示されたことを受け、耐震クラスを分類した（「2.14.2 自然現象に対する設計上の考慮への適合性」参照）。また、機器クラスについては、「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」に準じて設定した。

表 2.14.1.3-1 ゼオライト土囊等処理設備の耐震重要度と機器クラス

設備	機器	耐震重要度分類	機器クラス	
ゼオライト土囊等処理設備	充填・脱水設備（プロセス主建屋）	ゼオライト垂直移送ポンプ	—	※1
		ゼオライト保管容器	B	クラス 3
		ゼオライト移送配管（耐圧ホース）	B	※3
		ゼオライト移送配管（鋼管）	B	クラス 3
		ゼオライト移送配管（ポリエチレン管）	B	※3
		ゼオライト排水配管（耐圧ホース）	B	※3
		ゼオライト排水配管（鋼管）	B	クラス 3
		補給水ポンプ	B	※1
		補給水タンク	B	クラス 3
		補給水配管（鋼管）	B	クラス 3
		補給水配管（ポリエチレン管）	B	※3
		排風機	C	※4
		フィルタユニット	C	※4
		ダクト	C	※5
	ハウス	C	※6	
	圧縮空気供給装置	C	※7	
	充填・脱水設備（高温焼却炉建屋）	ゼオライト垂直移送ポンプ	—	※1
		ゼオライト保管容器	B	クラス 3
		ゼオライト移送配管（耐圧ホース）	B	※3
		ゼオライト移送配管（鋼管）	B	クラス 3
ゼオライト移送配管（ポリエチレン管）		B	※3	

設備	機器	耐震重要 度分類	機器 クラス	
	ゼオライト排水配管（耐圧ホース）	B	※3	
	ゼオライト排水配管（鋼管）	B	クラス 3	
	補給水ポンプ	B	※1	
	補給水タンク	B	クラス 3	
	補給水配管（鋼管）	B	クラス 3	
	補給水配管（ポリエチレン管）	B	※3	
	排風機	C	※4	
	フィルタユニット	C	※4	
	ダクト	C	※5	
	ハウス	C	※6	
	圧縮空気供給装置	C	※7	
	その他	電動弁・手動弁	B	※2
		堰	C	※8
漏えい検知器		C	※9	

※1：「発電用原子炉施設の工事計画に係る手続きガイド」に準じて、クラス 3 機器に接続するポンプについては「設計・建設規格」又は JIS を基にした強度に関する計算等を実施する。

※2：製造メーカー指定の方法で耐圧試験を実施する。

※3：クラス 3 に準じた構造強度評価および検査を実施する。

※4：その他支持構造物に準じた構造強度評価を実施する。

※5：JEAC および JEAG 等の規格規準に準じた設計を実施する。

※6：建築基準法及び同施行令の各構造計算基準に準拠した設計とする。

※7：ボイラー及び圧力容器安全規則、電気設備に関する技術基準を定める省令および日本産業規格 (JIS B 8341) 等に準拠し設計する。

※8：堰の構造・設計を具体化した後に定める（2023/9 頃）

※9：各種安全規格（UL508、C22.2 No. 14、EN55011、EN61000-6-2 他）に準拠した設計とする。

ゼオライト土嚢等処理設備の内、安全機能を有しない構造物、系統及び機器は表 2.14.1.3-2 の通り。

表 2.14.1.3-2 安全機能を有しない構造物、系統及び機器

機器
容器封入作業用 ROV
ケーブル整線用 ROV
ゼオライト中継容器（垂直移送用）
ゼオライト中継容器（水平移送用）
ゼオライト水平移送ポンプ
ゼオライト水平移送ホース

以上

「設計・建設規格」に記載のない非金属材料の信頼性確保について

ゼオライト土嚢等処理設備では、ポリエチレン管や耐圧ホースを使用している。これらについては、福島第一原子力発電所で使用実績があり、また規格の適用範囲もしくは、製造者使用範囲内の圧力温度で使用することで、構造強度を有すると評価しているが、それぞれの非金属配管の適用範囲は、表 2.14.1.3-3 の通り。

表 2.14.1.3-3 非金属配管の環境条件と適用範囲

管の種類	環境条件		適用範囲	
	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	使用可能圧力 (MPa)	使用可能温度 (°C)
ポリエチレン管	0.98	40	～0.98	～40
耐圧ホース	0.98	40	～0.98	～70

以上

2.14.2 自然現象に対する設計上の考慮 への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

②自然現象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して，耐震設計上の区分がなされるとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること。
- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，地震以外の想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）によって施設の安全性が損なわれない設計であること。重要度の特に高い安全機能を有する構築物，系統及び機器は，予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件，又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。

2.14.2.1 措置を講ずべき事項への適合方針

(1) 地震に対する設計上の考慮

ゼオライト土嚢等処理設備を構成する機器は，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。

(2) 地震以外に想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）に対する設計上の考慮

ゼオライト土嚢等処理設備は，地震以外の想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）によって施設の安全性が損なわれない設計とする。

2.14.2.2 対応方針

2.14.2.2.1 自然現象に対する設計上の考慮

施設の設計については、安全上の重要度を考慮して以下について適切に考慮したものと
する。

○自然現象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物、系統及び機器は、その安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で、核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。また、確保できない場合は必要に応じて多様性を考慮した設計とする。
- ・安全機能を有する構築物、系統及び機器は、地震以外の想定される自然現象（津波、豪雨、台風、竜巻等）によって施設の安全性が損なわれないものとする。その際、必要に応じて多様性も考慮する。重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮したものとす。

(実施計画：II-1-14-1)

2.14.2.2.2 自然現象に対するゼオライト土嚢等処理設備の設計上の考慮

2.14.2.2.2.1 地震に対するゼオライト土嚢等処理設備の設計上の考慮

ゼオライト土嚢等処理設備を構成する構築物、系統及び機器は、その安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で、核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。

なお、主要な機器の耐震性を評価するにあたっては、原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）等に準拠することを基本とするが、評価手法、評価基準について実態に合わせたものを採用する。

ポリエチレン管、耐圧ホース等は、材料の可撓性により耐震性を確保する。

（実施計画：II-2-50-3）

(1) 耐震性の基本方針

ゼオライト土嚢等処理設備は、耐震 B クラスの設備に要求される地震動に対して必要な強度を確保する。耐震性の評価においては原則、構築物（間接支持構造物含む）は 1.5Ci、機器は 1.8Ci の水平方向設計震度の静的地震力、および 1/2Sd225（共振時のみ）を動的地震力として適用する。また、主要な機器及び鋼管の耐震性を評価するにあたっては、原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）等に準拠して構造強度評価を行うことを基本とするが、評価手法、評価基準について実態に合わせたものを採用する。なお、ゼオライト土嚢等処理設備に使用する耐圧ホース、ポリエチレン管等については、材料の可撓性により耐震性を確保する。

（実施計画：II-2-51-添 3-1～7）

(2) ゼオライト土嚢等処理設備の影響緩和対策について

ゼオライト土嚢等処理設備は、建屋内に設置し、地震によりゼオライト土嚢等および建屋滞留水が漏えいするおそれがある場合又は漏えいした場合を想定した対策を講じ、漏えいの拡大による敷地外への影響を防止又は緩和する。

2.14.2.2.3 地震以外に想定される自然現象に対する設計上の考慮

ゼオライト土嚢等処理設備に対する地震以外に想定される自然現象に対する設計上の考慮は以下の通り。(実施計画：II-2-51-添2)

a. 津波

ゼオライト土嚢等処理設備は、アウターライズ津波による浸水を防止するため、仮設防潮堤内に設置する。また、アウターライズ津波を上回る津波の襲来に備え、設置する建屋壁面に開口するゼオライト保管容器の搬出入口に水密扉を設置する。

b. 豪雨

ゼオライト土嚢等処理設備は、豪雨による影響を受けにくい建屋内に設置する。

c. 積雪

ゼオライト土嚢等処理設備は、積雪による影響を受けにくい建屋内に設置する。

d. 落雷

ゼオライト土嚢等処理設備は、保安器やケーブルシールド等の設置により、落雷に伴う雷サージ侵入による設備の損傷を防止する設計とする。

e. 台風（強風，高潮）

ゼオライト土嚢等処理設備は、台風による影響を受けにくい建屋内に設置する。

f. 竜巻

竜巻の発生の可能性が予見される場合には、ゼオライト土嚢等処理設備の停止・隔離弁の閉止操作を行い、汚染水の拡大防止を図る。

g. 凍結

ゼオライト土嚢等処理設備は、建屋内に設置することから、凍結の恐れは小さいと考えるが、扉近傍等で外気の影響が懸念される機器には、保温材等を取付ける。

h. 紫外線

ポリエチレン管は、建屋内に設置することから、紫外線による劣化が無いものと考えられる。

i. 高温

ゼオライト土嚢等処理設備において、熱による劣化が懸念されるポリエチレン管につい

ては、処理対象水の温度がほぼ常温のため、熱による材料の劣化の可能性は十分低い。また、中心温度が高くなる可能性のあるゼオライト保管容器において、金属材料に有意な特性変化は生じる温度には達しない。

j. 生物学的事象

ゼオライト土嚢等処理設備は、建屋貫通孔等からの小動物の侵入が想定されるため、建屋貫通孔や電路端部等に対してシール材を施工することにより、侵入を防止する設計とする。

k. その他

ゼオライト土嚢等処理設備は、上記の自然現象の他、火山、森林火災等により設備損傷のおそれがある場合は、運転する者が手動により遠隔操作室から設備を停止できる設計とする。

ゼオライト土嚢等処理設備の耐震クラス分類に関する補足説明

1 耐震性の基本方針

ゼオライト土嚢等処理設備のうち、液体放射性物質を内包し、地上階に設置する設備については、2021年9月8日および2022年11月16日の原子力規制委員会で示された「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方」を踏まえ、その安全機能が喪失した場合における公衆への放射線影響を評価した結果、直接線・スカイシャイン線による外部被ばく線量と、漏えいしたゼオライト土嚢等の一部がダストとして大気中に拡散した場合の外部及び内部被ばく線量を合わせた場合、その実効線量は5mSv以下と評価されることから、耐震Bクラスと位置付けられる。また、ゼオライト土嚢等処理設備のうち、耐震上の安全機能に関わらない設備については耐震Cクラスと位置付けられる。

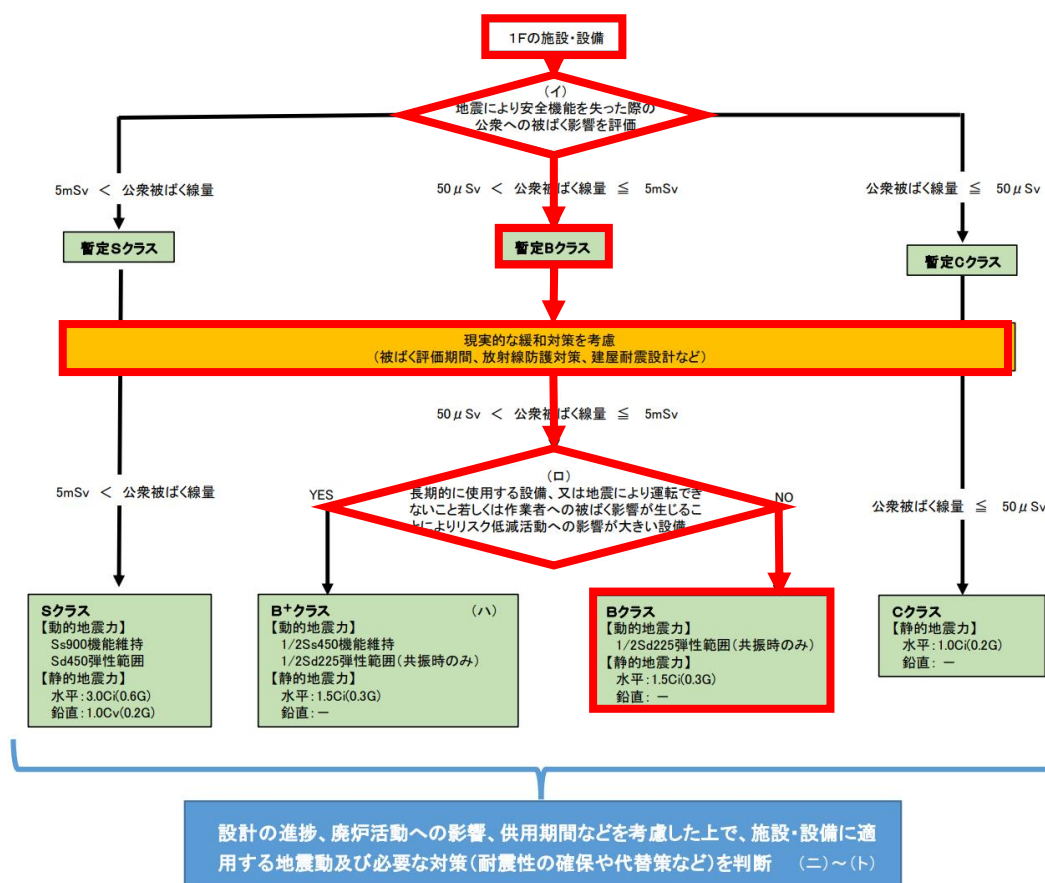


図 2.14.2.1-1 耐震クラス分類と施設・設備の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策を判断する流れ

【(イ)：地震により安全機能を失った際の公衆被ばく影響】

核燃料施設等の耐震クラス分類を参考にして、地震による安全機能喪失時の公衆被ばく線量により、S、B、Cを分類する。液体放射性物質を内包する施設・設備にあつては、液体の海洋への流出のおそれのない設計を前提とした線量評価によるものとする。

【(ロ)：通常のBクラスよりも高い耐震性が求められるB+クラスの対象設備の要件】

「運転できないこと若しくは作業員への被ばく影響が生じることによりリスク低減活動への影響が大きい設備」の具体例は以下のとおり。

- ・ 建屋滞留水・多核種除去設備などの水処理設備、使用済燃料をプールからより安定性の高い乾式キャスクへ移動させるために必要な燃料取出設備等。
- ・ 閉じ込め・遮へい機能喪失時の復旧作業における従事者被ばく線量が1日当たりの計画線量限度を超える設備等。

【(ハ)：B+クラスの1/2Ss450機能維持】

1/2Ss450に対して、運転の継続に必要な機能の維持や閉じ込め・遮へい機能の維持を求める。

令和4年3月16日の福島県沖地震の地震動が1/2Ss450を上回った周期帯に固有振動数を有する施設・設備は、当該地震動による施設・設備の機能への影響を評価する。

【(ニ)：耐震性の確保】

地震力の算定に際しては、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせる。

【(ホ)：耐震性の確保に対する代替策】

耐震性の確保の代替策として、耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させるための対策を講ずるとしてもよい。具体例は以下のとおり。

例：中低濃度タンクや吸着塔一時保管施設等の耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させる対策として、耐震性の高い建屋やタンクへの移替え及び移管、スラリー安定化処理設備や海洋放出設備による処理等を早期に行うことを想定。

【(ヘ)：上位クラスへの波及的影響】

上位クラスへの波及的影響がある場合、原則上位クラスに応じた地震動を念頭に置くが、耐震クラス分類の考え方と同様に、下位クラスによる波及的影響を起因とする敷地周辺の公衆被ばく線量も勘案し、適切な地震動を設定する。

【(ト)： 液体放射性物質を内包する設備】

多核種除去設備等で処理する前の液体等、放出による外部への影響が大きい液体を内包する設備については、Ss900 に対して、海洋に流出するおそれのない設計とすることを求める（滞留水が存在する建屋、ALPS 処理前の水や濃縮廃液を貯留するタンクの堰等）。これ以外の液体を内包する設備については、上位クラスの地震動に対する閉じ込め機能の確保又は漏えい時の影響緩和対策を求める※。

※：設備自体を耐震CクラスからBクラスに格上げ、周囲の堰等に上位クラスの地震動に対して閉じ込め機能を維持する、漏えい時に仮設ホースによる排水等の機動的対応を講ずる等により、海洋への流出を緩和する措置を想定。

2 安全機能喪失の影響評価

2.1 想定条件

ゼオライト土嚢等処理設備は、ゼオライト垂直移送ポンプ、補給水ポンプ、ゼオライト保管容器、補給水タンク、換気空調装置及び配管等により構成されるが、今回想定する条件は、最も取り扱い量の多い、ゼオライト保管容器を対象として評価を行う。

今回想定した事象は、地震によって、ゼオライト保管容器が滑動等により転倒及びゼオライト移送配管が損傷し、当該損傷部（ゼオライト保管容器入口配管）からゼオライトが漏えいすることを想定する。

2.2 機能喪失による公衆への放射線影響の程度について

ゼオライト土嚢等処理設備のゼオライト保管容器について、地震により安全機能を失った際の公衆被ばく影響が、1週間（7日間）継続した際の公衆被ばく評価を実施。評価条件については、ゼオライトの分析結果を放射能濃度として設定する（表 2.14.2.1-1）。

表 2.14.2.1-1 ゼオライト保管容器の放射能濃度と放射能物質量

核種	放射能濃度	量	放射能物質量
Cs-137	1.4E+8 Bq/g	2.87 m ³ (5.14 t)	7.2E+14 Bq
Cs-134	8.5E+6 Bq/g		4.4E+13 Bq

2.2.1 直接線・スカイシャイン線による被ばく評価

機能喪失した場合の直接線・スカイシャイン線の評価として、地震によってゼオライト保管容器の滑動等により転倒及びゼオライト移送配管等が損傷し、当該損傷部（ゼオライト保管容器入口配管）からゼオライト全てがゼオライト保管容器外に漏えいしたことを想定する。

(1) 条件

3 次元モンテカルロ計算コード MCNP を使用して敷地境界線上の直接線・スカイシャイン線进行评估する。ゼオライト保管容器が健全な場合、保管容器遮へい体（鉄厚さ 190mm 相当）により遮へいしているが、機能喪失した場合の評価として、ゼオライト保管容器の遮へい体がない評価を実施する。

- ・ 建屋躯体による遮へい効果は考慮しない。
- ・ 保守的にインベントリは全て暴露。
- ・ 評価期間については、安全機能の喪失を想定する期間として、7日間とする。

(2) 評価結果

最寄りの線量評価点（No. 7）における直接線・スカイシャイン線による被ばく量は 1.1mSv であることを確認した。

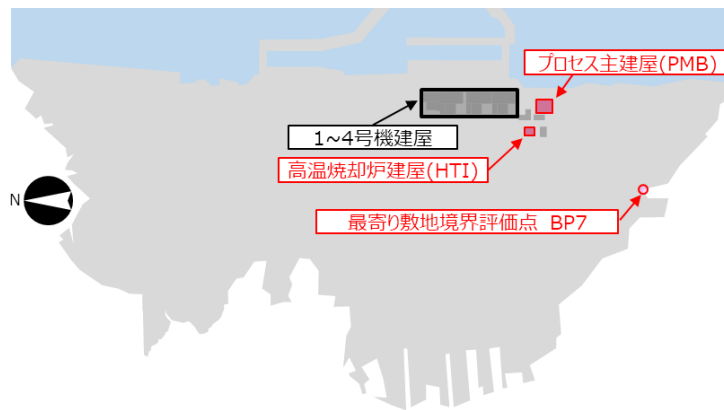


図 2.14.2.1-3 公衆被ばく線量評価における最寄りの線量評価点（No. 7）

2.2.2 大気中への拡散による被ばく評価

地震によってゼオライト保管容器の滑動等により転倒及びゼオライト移送配管等が損傷し、当該損傷部（ゼオライト保管容器入口配管）からゼオライト全てがゼオライト保管容器外に漏えいし、ゼオライトから放射性物質が拡散したことを想定する。

(1) 条件

地震によってゼオライト保管容器の滑動等により転倒及びゼオライト移送配管等が損傷し、当該損傷部（ゼオライト保管容器入口配管）からゼオライト全てがゼオライト保管容器外に漏えいし、ゼオライトから放射性物質が拡散。敷地境界（最寄り評価点）に居住する人が呼吸により摂取した放射性物質による内部被ばくを評価する。なお、ゼオライトを 1 週間以内に回収したと仮定した場合の放射線影響を評価する。

- 建屋躯体による遮へい効果は考慮しない。

- 保守的にインベントリは全て暴露。
- 建屋及び閉じ込め機能は考慮せず、すべて喪失するものとし、DFは1とする。
- 保守的に全てのゼオライトから飛散をするものとし、地震による倒壊時の飛散率は出典※1よりスラリー落下時の飛散率 $5 \times 10^{-5}[-]$ とする。また、地震から一定時間後静置した際の飛散率については、スラリー静置時の飛散率 $4 \times 10^{-7}[h^{-1}]$ とする。
- 評価期間については、安全機能の喪失を想定する期間として、7日間とする。
- 1979年4月1日～1980年3月31日（1979年度）の気象データを使用する。
- クラウドシャイン外部被ばく、グラウンドシャイン外部被ばく、クラウド吸入被ばくを評価する。
- 大気拡散の評価に用いている放射性物質の放出量は、DOE, NRCにおいても標準的な評価手法（DSA, ISA）として採用されている「五因子法」により評価した。

➤ 五因子法

$$\text{放射性物質放出量} = \text{MAR} \times \text{DR} \times \text{ARF} \times \text{RF} \times \text{LPF}$$

MAR：事象によって影響を受ける可能性のある放射性物質の総量（インベントリ）（Material At Risk）

DR：事象の影響を受ける割合（Damage Ratio）

ARF：事象の影響を受けたもののうち雰囲気中に放出され浮遊する割合（Airborne Release Fraction）

RF：肺に吸入され得る微粒子の割合（Respirable Fraction）

LPF：環境中へ漏えいする割合（Leak Path Factor）

表 2.14.2.1-2 ゼオライト保管容器の放射能濃度と放射能物質質量

	項目	単位	数値	注記
MAR	設備全体が保有する放射性物質質量	Cs-137	Bq	7.2E+14
		Cs-134	Bq	4.4E+13
		Sr-90	Bq	5.7E+13
DR		—	1	地震ではインベントリ全体が影響を受けるものとして1を設定
ARF	総放出割合	—	1.17E-04	落下時の飛散率+静置時の飛散率×放出期間
	落下時の飛散率	—	5.0E-05	出典※1よりゼオライトは砂状であるが、保守的にスラリーとして評価。
	静置時の飛散率	1/h	4.0E-07	出典※1より屋内における均質な堆積物として評価
	放出期間	h	168	放出期間(7day)×24(h)
RF		—	1	微粒子の大きさによる変数であるため1と設定
LPF		—	1	保守的に1と仮定
放射性物質放出量	Cs-137	Bq	8.44E+10	設備全体が保有する核種毎の放射性物質質量×総放出割合
	Cs-134	Bq	5.16E+09	
	Sr-90	Bq	6.68E+09	

※1：U. S. Department of Energy, AIRBORNE RELEASE FRACTIONS/RATES AND RESPIRABLE FRACTIONS FOR NONREACTOR NUCLEAR FACILITIES, Volume I - Analysis of Experimental Data, DOE-HDBK-3010-94 December 1994

（実際にはゼオライト等は濡れた砂状の物質であるが、保守的により粒子径が細かいス

ラリーの飛散率を使用)

(2) 結果

最寄りの線量評価点 (No. 7) における気中移行による被ばく量は 0.1mSv となった。

2.2.3 現実的な緩和策を考慮した被ばく評価

現実的な評価条件として、設備全体の最大放射性物質量となる以下の状態にて評価を行う。

- ・ ゼオライト保管容器からの漏出は、容器が横倒しになる場合を想定。保管容器上面中央にある、入口部から保管容器内の半量が漏出したと仮定する。

ゼオライト保管容器：半容量分

ゼオライト移送配管：0 (ゼオライト移送/脱塩/脱水後フラッシングを行うため)

- ・ 今後、8.5m 盤と 33.5m 盤の間のり面の遮蔽効果を含める予定であり、上記暫定値より評価値は低下する見込み。
- ・ PMB・HTI 建屋は既設の B クラス建屋であるが、Ss900 での耐震性について評価し、建屋による遮へい・閉じ込め機能を考慮することを検討中。

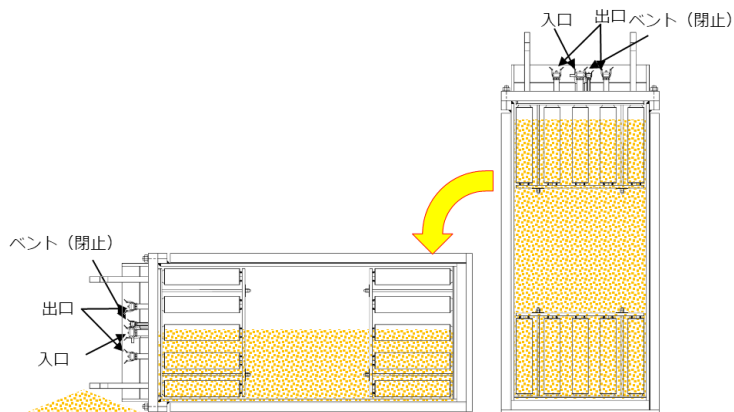


図 2.14.2.1-4 現実的な評価条件 (保管容器内の半量が漏出)

2.2.4 評価結果

遮蔽機能および閉じ込め機能の喪失による影響評価結果は下記の通り。施設・設備の特徴に応じた評価により、耐震クラスは『Bクラス』と設定する。

- 放射性物質量に基づく評価 (地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響)
地震により安全機能 (遮蔽機能・閉じ込め機能) を失った際の公衆被ばく影響が、1 週間 (7 日間) 継続した際の公衆被ばく評価を実施。
 - ・ 直接・スカイシャイン線量：1.1mSv (暫定値)
 - ・ 大気拡散による被ばく線量：0.1mSv (暫定値)

- ・ 公衆被ばく線量(上記合計) : 1.2mSv (暫定値)
 - $50 \mu\text{Sv} < \text{公衆被ばく線量} \leq 5\text{mSv}$
耐震クラス分類は、『暫定 B クラス』

○ 現実的な評価 (現実的な緩和対策を考慮)

現実的な緩和対策を考慮した際の公衆被ばく影響が、1週間(7日間)継続した際の公衆被ばく評価を実施。

- ・ 直接・スカイシャイン線量 : 0.5mSv (暫定値)
- ・ 大気拡散による被ばく線量 : 0.05mSv (暫定値)
- ・ 公衆被ばく線量(上記合計) : 0.55mSv (暫定値)
 - $50 \mu\text{Sv} < \text{公衆被ばく線量} \leq 5\text{mSv}$

線量評価への影響は濃度が高い Cs-137 の影響が支配的であり、現在 Sr-90 を加味した評価を進めている。評価結果については今後提示予定。なお、Cs, Sr で全核種線源強度の 99%以上を占めているため、他の核種を考慮しなくても線量率への影響はほぼ無いと考えられる。

○ 当該設備の供用期間とリスク低減活動への影響

『短期的』(各建屋半年, 合計1年程度)に使用することを見込んでいる。地震により運転できないこと、若しくは、作業員への被ばく影響が生じることによりリスク低減活動への影響は小さく、廃炉作業に大きな影響はない。

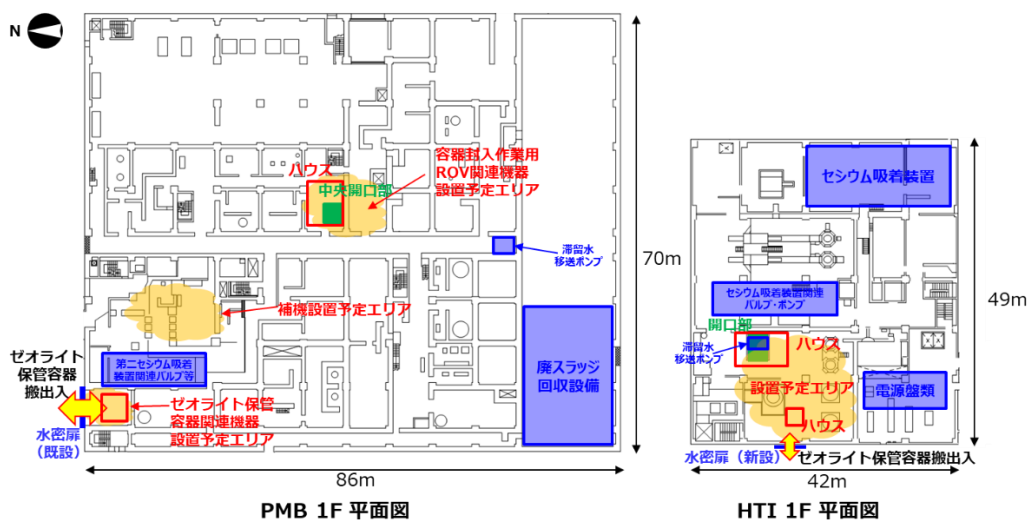


図 2.14.2.1-5 設置する設備の周辺環境

設置する設備の周辺には以下の機器が存在

PMB：第二セシウム吸着装置関連バルブ等

HTI：滞留水移送ポンプ・セシウム吸着装置関連バルブ・ポンプ・電源盤類

上記については、通常の運転時は人が立ち入ることは基本的になく、切り替え操作時等（約数ヶ月毎）のみ操作を行う。

- 当該設備は多核種除去設備等で処理前の液体等、放出による外部への影響が大きい液体を内包する設備であるが、建屋滞留水を貯留している建屋に設置することから、海洋へ漏出するおそれはない。

2.3 機動的対応等

ゼオライト土嚢等処理設備において、地震の影響により安全機能を喪失するような事象が発生した場合には、以下のような対策を実施し、7日以内で事象を収束させる計画。

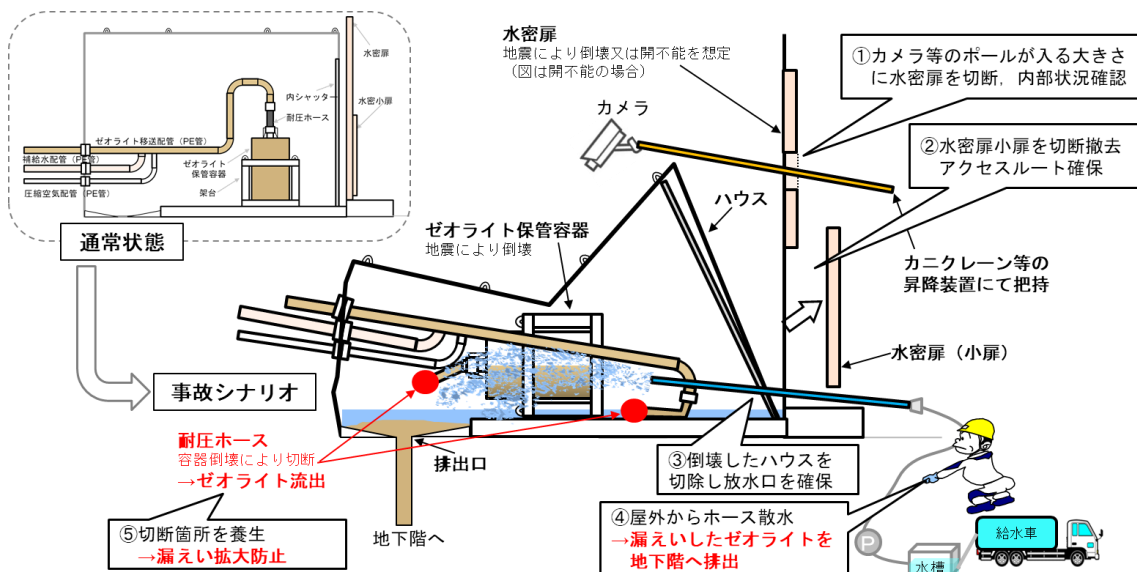


図 2.14.2.1-6 現実的な緩和対策 概念図

2.4 個別機器の耐震クラス設定について

ゼオライト土嚢等処理設備の安全機能（遮蔽機能・閉じ込め機能）については、前述までの評価で耐震クラス『B』と設定している。その他設備の耐震クラス設定については、その他設備が機能喪失した場合の公衆被ばく線量により設定する。

設備名称	耐震上の安全機能	耐震クラス	当該設備が機能喪失した場合の公衆被ばく線量（7日間）
主要ライン (地上階の配管・ゼオライト保管容器)	・遮蔽機能 ・閉じ込め機能 ・隔離機能	B	<input type="checkbox"/> 直接・スカイシャイン線量：0.5mSv (暫定値) <input type="checkbox"/> 大気拡散による被ばく線量：0.05mSv (暫定値) <input type="checkbox"/> 公衆被ばく線量(上記合計)：0.55mSv (暫定値) 50 μ Sv < 公衆被ばく線量 \leq 5mSv
ハウス	・なし	C	耐震上の安全機能に関わらない設備*。 耐震上の要求以外に、作業時の安全確保の為に備える機能（閉じ込め・隔離機能）の耐震クラス分類は、『C』とする。 なお、地震により損傷を受けた場合にも主要ラインに影響を及ぼさない設計とする。
換気空調設備 (隔離ダンパ含む)	・なし	C	耐震上の安全機能に関わらない設備*。 耐震上の要求以外に、作業時の安全確保の為に備える機能（閉じ込め・隔離機能・放出管理）の耐震クラス分類は、『C』とする。
電源・計装設備	・なし	C	耐震上の安全機能に関わらない設備*。 耐震上の要求以外に、作業時の安全確保の為に備える機能（閉じ込め・放出管理）の耐震クラス分類は、『C』とする。
その他、安全機能に関わらない設備 (圧縮空気・ろ過水供給)	・なし	C	安全機能に関わらない設備*。 耐震クラス分類は、『C』とする。

※当該設備はゼオライト土嚢等処理設備の耐震クラス設定時の事故時評価上考慮していない

以上

ゼオライト土嚢等処理設備の耐震性に関する説明書

ゼオライト土嚢等処理設備を構成する設備について、耐震性の基本方針に基づき、構造強度の評価を行う。

1.耐震性の基本方針

ゼオライト土嚢等処理設備のうち、液体放射性物質を内包し、地上階に設置する設備については、2021年9月8日および2022年11月16日の原子力規制委員会で示された「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方」を踏まえ、その安全機能が喪失した場合における公衆への放射線影響を評価した結果、直接線・スカイシャイン線による外部被ばく線量と、漏えいしたゼオライト土嚢等の一部がダストとして大気中に拡散した場合の外部及び内部被ばく線量を合わせた場合、その実効線量は5mSv以下と評価されることから、耐震Bクラスと位置付けられる。また、ゼオライト土嚢等処理設備のうち、耐震上の安全機能に関わらない設備については耐震Cクラスと位置付けられる。

ゼオライト土嚢等処理設備は、耐震Bクラスまたは耐震Cクラスの設備に要求される地震動に対して必要な強度を確保する。主要な機器及び鋼管の耐震性を評価するにあたっては、「原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）等」に準拠して構造強度評価を行うことを基本とするが、評価手法、評価基準について実態に合わせたものを採用する。なお、ゼオライト土嚢等処理設備に使用する耐圧ホース、ポリエチレン管等については、材料の可撓性により耐震性を確保する。

また、ゼオライト土嚢等処理設備は、原子炉設置許可申請書及び工事計画認可申請書において、発災前に耐震Bクラスとして許可及び認可を受けたプロセス主建屋および高温焼却炉建屋に設置する。

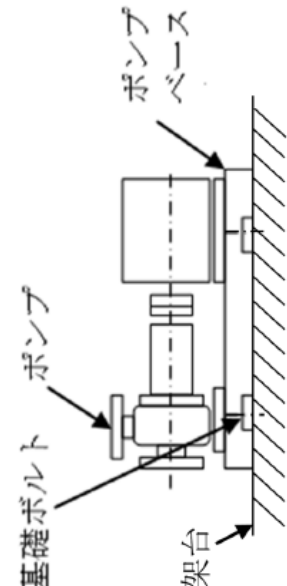
1.1 設備重要度による耐震クラス分類

設備 \ 耐震クラス	B	C
ゼオライト土嚢等処理設備※ (1) ポンプ (2) ゼオライト保管容器 (3) 補給水タンク (4) 換気空調装置 (5) 配管	○補給水ポンプ ○ゼオライト保管容器 ○補給水タンク ○主配管	○排風機 ○フィルタユニット

※ 耐震クラス分類は、プロセス主建屋と高温焼却炉建屋で共通

1.2 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(1) 平底たて置円筒形容器	床面に設けた架台に、底板を基礎ボルトで固定する。	下面に底板を有するたて置円筒形		補給水タンク
	床面に設けたエリア架台に、転倒防止架台を基礎ボルトで固定する。	下面に底板を有するたて置円筒形		ゼオライト保管容器

<p>(2)横軸うず巻ポンプ</p>	<p>ポンプはポンプベースに固定し、床面に設けた架台に、ポンプベースを基礎ボルトで固定する。</p>	<p>うず巻形</p>		<p>補給水ポンプ</p>
--------------------	--	-------------	--	---------------

架台は設置床にアンカーボルトで固定されていることから、アンカーボルトの応力評価を実施中。今後提示予定。

1.3 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 ($1.8 \times C_i^*$)	—	静的地震力

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

1.4 荷重の組合せと許容限界

荷重の組合せと許容限界は、以下の通りとする。

記号の説明

- D : 死荷重
- P_d : 当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
- M_d : 当該設備に設計上定められた機械的荷重
- S_B : Bクラスの設備に適用される地震動より求まる地震力又は静的地震力
- C_s : Bクラスの設備の地震時の供用状態
- S_y : 設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5表8に規定される値
- S_u : 設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5表9に規定される値
- S : 許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5表5～7に規定される値
- f_t : 許容引張応力 支持構造物(ボルト等を除く。)に対して設計・建設規格SSB-3121.1により規定される値。ボルト等に対して設計・建設規格SSB-3131により規定される値
- f_s : 許容せん断応力 同上
- f_c : 許容圧縮応力 支持構造物(ボルト等を除く。)に対して設計・建設規格SSB-3121.1により規定される値。
- f_b : 許容曲げ応力 同上
- f_p : 許容支圧応力 同上
- τ_b : ボルトに生じるせん断応力

(1) 機器

耐震クラス	荷重の組合せ	供用状態	許容限界	
			一次一般膜応力	一次応力
B	$D + P_d + M_d + S_B$	C s	$\min[S_y, 0.6 \cdot S_u]$ 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ついては、 $1.2 \cdot S$ とすることができる。	S_y 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ついては、 $1.2 \cdot S$ とすることができる。

(2) 支持構造物(ボルト等以外)

応力分類	許容限界(ボルト等以外)									
	一次応力				一次+二次応力範囲					
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 ⁽¹⁾ 圧縮	せん断 ⁽¹⁾	曲げ ⁽¹⁾	支圧	座屈
C s	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s$ ⁽²⁾	$3 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$1.5 \cdot f_b$ ⁽³⁾ , $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$

注(1):地震荷重のみによる応力範囲について評価する。

注(2):すみ肉溶接部にあつては、最大応力を $1.5 f_s$ 以下に制限する。

注(3):自重により常時作用する荷重に、地震による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

(3) 支持構造物(ボルト等)

応力分類	許容限界(ボルト等)		
	一次応力		
供用状態	引張	せん断	組合せ
C s	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\min[1.5 \cdot f_t, 2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b]$

2. 耐震性評価の方法・結果

2.1 ゼオライト土嚢等処理設備（プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋）

2.1.1 補給水ポンプ

(1) 評価方法

基礎ボルトの耐震評価は「4.1 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の計算書作成の基本方針」（以下、「基本方針」という。）に準じて行う。応力評価箇所を図-1に示す。

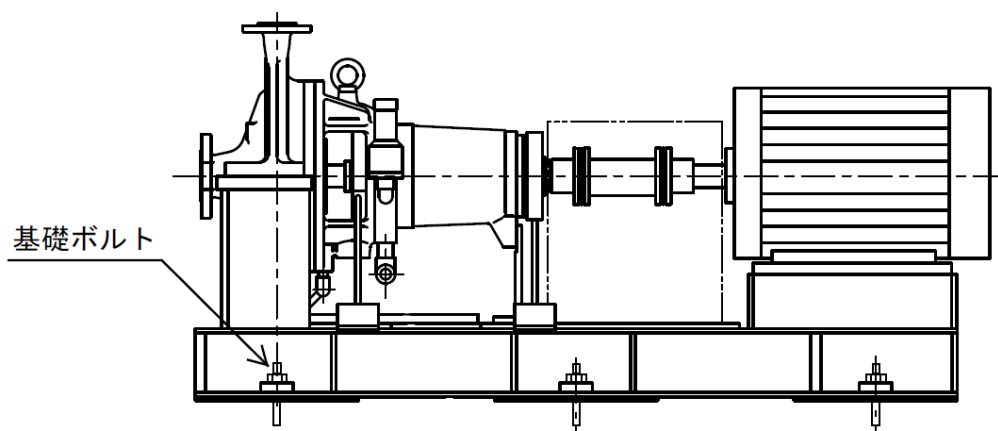


図-1 補給水ポンプ評価箇所

(2) 評価結果

基礎ボルトに生じる最大応力が許容応力以下であることを確認した。（表-1）

表-1 基礎ボルトの応力評価結果

機器名称	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
補給水ポンプ	SS400	せん断	3	124
		引張	1	161

2.1.2 ゼオライト保管容器

(1) 評価方法

本評価は、「4.2 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の計算書作成の基本方針」（以下、「基本方針」という。）に準じて行う。応力評価箇所を図-2に示す。

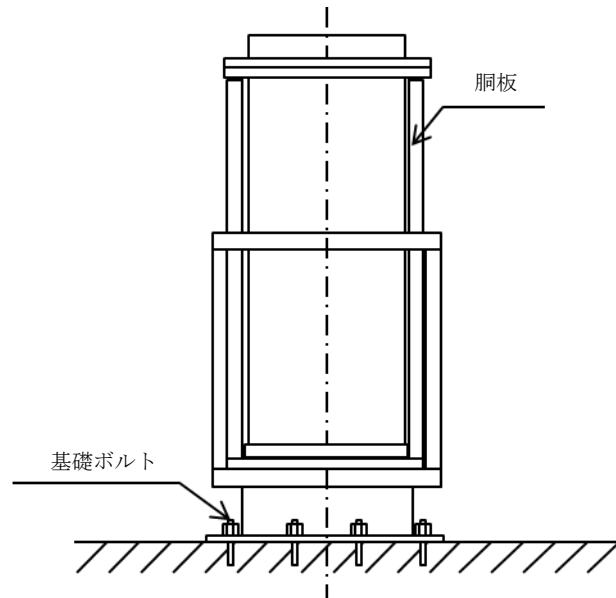


図-2 ゼオライト保管容器評価箇所

(2) 評価結果

各部材に生じる最大応力が許容応力以下であることを確認した。（表-2）

表-2 本体，基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	ASME SA240 Type 316L	一次一般膜	49	172
		一次応力 (膜+曲げ)	49	172
基礎ボルト	JIS G 3101 SS400	引張り	—	176
		せん断	21	135

2.1.3 補給水タンク

(1) 評価方法

本評価は、「4.2 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」（以下、「基本方針」という。）に準じて行う。応力評価箇所を図-3に示す。

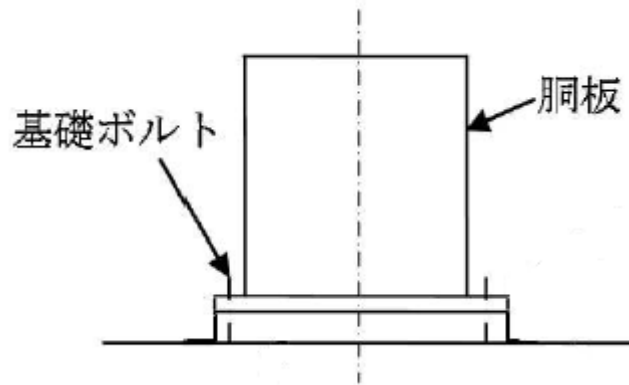


図-3 補給水タンク評価箇所

(2) 評価結果

各部材に生じる最大応力が許容応力以下であることを確認した。（表-3）

表-3 本体，基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜	3	205
		一次応力 (膜+曲げ)	3	205
		圧縮と曲げの 組合せ (座屈の評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$ 0.01 (無次元)	
基礎ボルト	SS400	引張り	—	161
		せん断	11	124

2.1.4 主配管（鋼管）

(1) 評価条件及び評価方法

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はりモデル（図-4）とする。

次に、当該設備における主配管（鋼管）について、各種条件を表-4に示す。

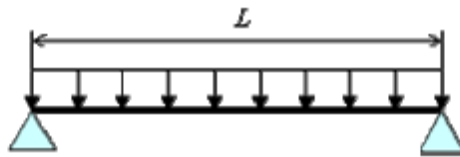


図-4 等分布荷重 両端単純支持はりモデル

表-4 配管系における各種条件

配管分類	主配管（鋼管）		
配管クラス	クラス3相当		
耐震クラス	Bクラス		
設計温度（℃）	40		
配管材質	STPT410		
配管口径	40A	50A	80A
Sch	80	80	40
設計圧力（MPa）	0.98		

b. 評価方法

1次固有振動数20Hzのサポートスパンを求め、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。

20Hz固有振動数基準定ピッチスパン L は、下記の式で示される。

$$L = \sqrt{\frac{\lambda^2}{2 \cdot \pi \cdot f}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{w}}$$

- L : 支持間隔 (mm)
- λ : π (一次固有振動数の場合) (-)
- f : 一次固有振動数 (Hz)
- E : 縦弾性係数 (N/mm²)
- I : 断面二次モーメント (mm⁴)
- g : 重力加速度 (mm/s²)
- w : 等分布荷重 (N/mm)

自重による応力 S_w は、下記式で示される。

$$S_w = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

- 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力による応力 S_s は、自重による応力 S_w の震度倍で下記の式で示される。

$$S_s = \alpha \cdot S_w$$

- S_s : 地震による応力 (MPa)
- α : 想定震度値 (-)

また、評価基準として JEAC4601-2008 に記載の供用応力状態 C_s におけるクラス 3 配管の一次応力制限を用いると、地震評価としては下記の式で示される。

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

- S : 内圧，自重，地震力による発生応力 (MPa)
- S_p : 内圧による応力 (MPa)
- S_y : 許容応力値 (設計降伏点) (MPa)

(2) 評価結果

両端単純支持はりモデルで、一次固有振動数 f が 20Hz 以上の支持スパンとなる配管サポート配置を設定し、各応力を計算した結果を表-5に示す。表-5より、一次固有振動数 f が 20Hz 以上の支持スパンとなる配管サポートの配置を設定することで、これらの配管の発生応力は、許容応力値を満足することを確認した。

表-5 応力評価結果（主配管（鋼管））

配管分類	主配管（鋼管）		
設計温度（℃）	40		
配管材質	STPT410		
配管口径	40A	50A	80A
Sch	80	80	40
設計圧力（MPa）	0.98		
内圧，自重，地震による発生応力 S （MPa）	14	15	17
供用状態 C_s における一次応力許容値（MPa）	245		
最大支持間隔（m）	2.3	2.6	3.1

3. 耐震クラス分類に関する考え方

ゼオライト土嚢等処理設備のうち、液体放射性物質を内包し、地上階に設置する設備については、その安全機能が喪失した場合における公衆への放射線影響を評価した結果、直接線・スカイシャイン線による外部被ばく線量と、漏えいしたゼオライト土嚢等の一部がダストとして大気中に拡散した場合の外部及び内部被ばく線量を合わせた場合、その実効線量は 5mSv 以下と評価されることから、耐震 B クラスと位置付けられる。

3.1 機能喪失による公衆への放射線影響の程度について

ゼオライト土嚢等処理設備について、機能喪失による公衆への放射線影響を確認するため、線量評価を実施した。評価条件については、高温焼却炉建屋、プロセス主建屋の順で作業を実施し、2 建屋同時に実施しないことから 1 建屋における評価とし、最大放射線量となる以下の条件にて設定する。評価条件における放射性物質量を表-6に示す。

・ゼオライト保管容器：1基全容量分^{※1}

・ゼオライト移送配管：0^{※2}

※1 建屋には1基のみ設置し、全量充填した時点で建屋外に搬出する

※2 ゼオライト移送/脱塩/脱水後、配管のフラッシングを行う

表-6 評価条件における放射性物質質量

核種	濃度 (Bq/g)	容積及び重量	放射性物質質量 (Bq)
Cs-137	1.4E+8	2.87 (m ³)	7.2E+14
Cs-134	8.5E+6	5.14 (t)	4.4E+13

3.1.1 漏えいした放射性物質の直接線・スカイシャイン線による被ばく評価

地震により安全機能（遮へい機能・閉じ込め機能）を失った際の公衆被ばく影響が、1週間（7日間）継続したことを想定する。最寄りの線量評価点（BP7）における直接線・スカイシャイン線による被ばく量は5mSv以下である。

3.1.2 漏えいした放射性物質の大気中への拡散による被ばく評価

地震により安全機能（遮へい機能・閉じ込め機能）を失った際に、漏えいした放射性物質がダストとして放出したことを想定する。実効放出継続時間を2時間と仮定した場合の、最寄り線量評価点（BP7）におけるクラウドシャイン線、グランドシャイン線による外部被ばくおよびクラウドの吸入による内部被ばく量は5mSv以下である。

3.2 機動的対応等の影響を緩和する措置について

地震によりゼオライト土嚢等処理設備から液体又は固体の放射性物質が漏えいするおそれがある場合又は漏えいした場合を想定し、漏えいの拡大による敷地外への影響を防止又は緩和するため、以下の対策を講じる。

- ・震度5弱以上の地震発生時、遠隔操作室からの遠隔操作によりゼオライト土嚢等処理設備の運転を停止するとともに、タンク及び容器水位、漏えい検知器及び監視カメラによる漏えい確認を実施するとともに、ゼオライト土嚢等処理設備の重点パトロールを行い、設備の異常の有無を確認する。
- ・地震により耐震Bクラスの機器が損傷し、液体又は固体の放射性物質の漏えいが著しく拡大することを防止するために漏えい拡大防止堰を設置する。
- ・液体又は固体の放射性物質が漏えいし、堰内に滞った場合には、水洗等により建屋地下階へ排出を行う。
- ・ゼオライト土嚢等処理設備の配管に使用するポリエチレン管は、ポリエチレン管の外側にトラフを設置することで、漏えい拡大を防止する施工を行う。

4. 耐震性についての計算の計算書作成の基本方針

4.1 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の計算書作成の基本方針

4.1.1 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。

4.1.1.1 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規程 JEAC4601-2008（社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会）に準拠する。

但し、材料強度に関する規準は、JSME S NC1-2005/2007 による。

4.1.1.2 計算条件

- (1) 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) ポンプ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- (3) 地震力はポンプに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (4) ポンプは基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- (5) 転倒方向は図1-1及び図1-2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（許容値/発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

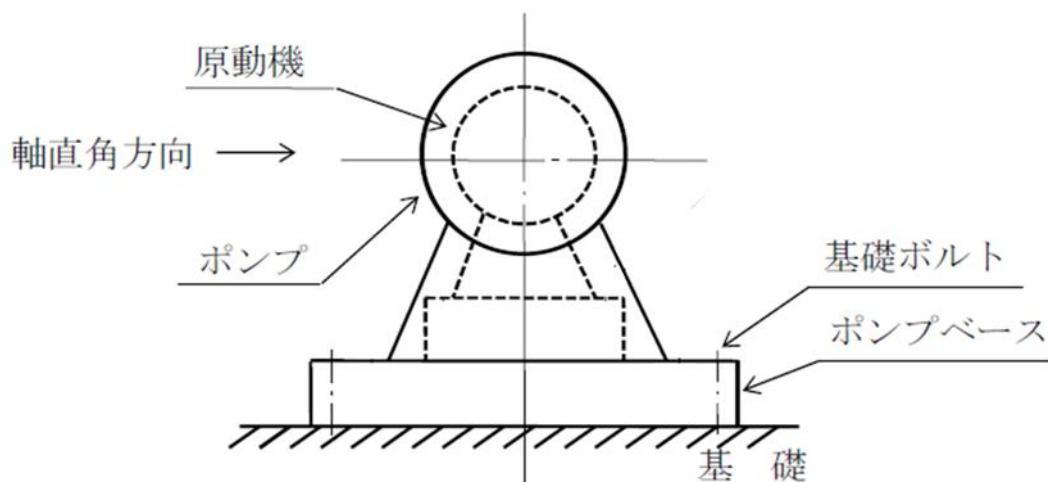


図1-1 概要図（横型ポンプ軸方向）

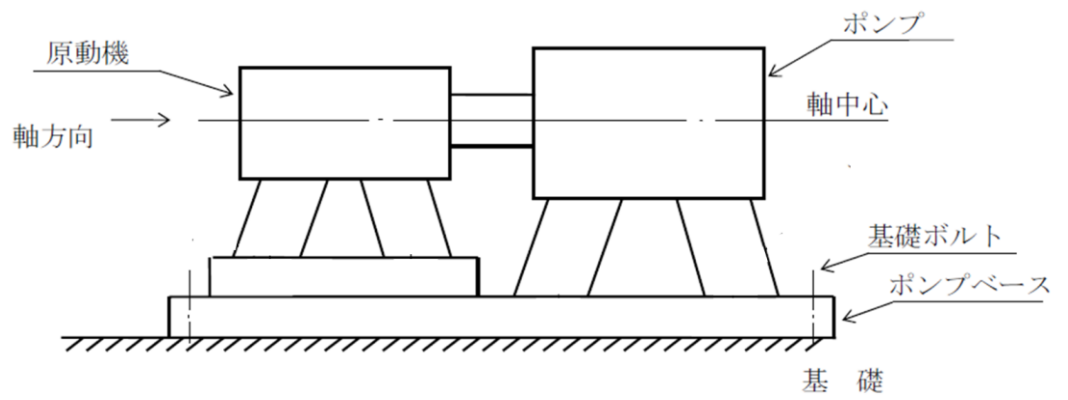


図 1 - 2 概 要 図 (横型ポンプ軸直角方向)

4.1.1.3 記号の定義

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_p	ポンプ振動による震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値*1	MPa
$F_{i'}$	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値*1	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
H_p	予想最大両振幅	μm
h_i	据付面から重心までの距離*2	mm
l_1	重心とボルト間の水平方向距離*2	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離*2	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*2	kg
N	回転数 (原動機の同期回転数)	rpm
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
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
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記*1: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: ポンプ取付面

$i = 3$: 原動機取付面

なお、ポンプと原動機間に減速機がある場合は、次のように定義する。

$i = 4$: 減速機取付面

*2: $l_1 \leq l_2$

4.1.2 評価部位

横軸ポンプの耐震評価は「1.2 計算条件」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて評価を実施する。

4.1.3 構造強度評価

4.1.3.1 計算方法

4.1.3.1.1 応力の計算方法

(1) ボルトに加わる荷重の計算モデル

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。

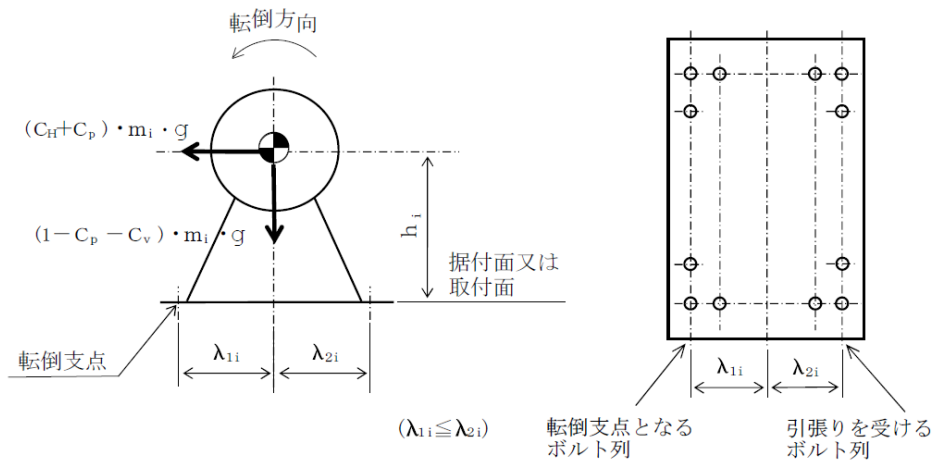


図3-1 計算モデル

(軸直角方向転倒の場合)

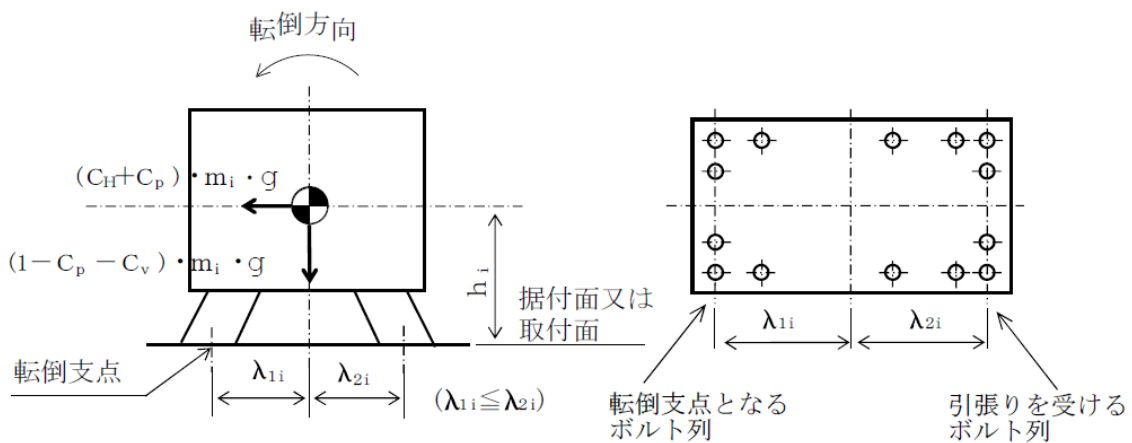


図3-2 計算モデル

(軸方向転倒の場合)

(2) 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3-1及び図3-2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3-2の場合のボルト (i=1~4) 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

計算モデル図3-1及び図3-2の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_b = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p - m_i \cdot g \cdot (1 - C_p - C_v) \cdot l_1}{n_{f,i} \cdot (l_1 + l_2)}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot l_1) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + l_1) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_1}{n_{f,i} \cdot (l_1 + l_2)}$$

..... (3. 1-1)

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。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P$$

(1kW=10⁶N・mm/s)

..... (3. 1-2)

また、C_pはポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転数を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \right)^2}{g \cdot 1000}$$

..... (3. 1-3)

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

..... (3. 1-4)

ここで、ボルトの軸断面積A_{b i}は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

..... (3. 1-5)

ただし、F_b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。

(3) 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

$$Q_b = (C_H + C_p) \cdot m_i \cdot g \quad \dots\dots\dots (3. 1 - 6)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (3. 1 - 7)$$

4.1.3.2 応力の評価

4.1.3.2.1 ボルトの応力評価

4.1.3.1.1 で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は次式による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (3. 2 - 1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は表 3-1 による。

表 3-1 基礎ボルトの許容応力

耐震クラス	供用状態	許容引張応力 f_{to}	許容せん断応力 f_{sb}
B	C_s	$1.5 \left(\frac{F}{2} \right)$	$1.5 \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right)$

以上

4.2 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の計算書作成の基本方針

4.2.1 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。

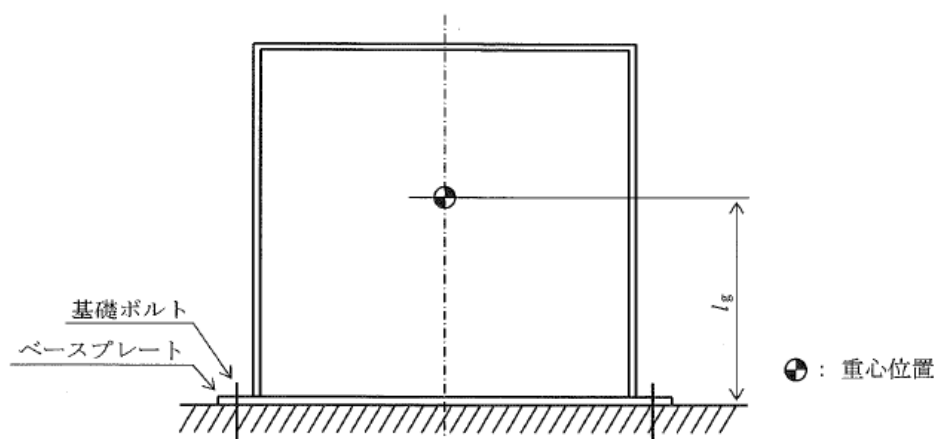
4.2.1.1 適用基準

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規程 JEAC4601-2008（社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会）に準拠する。

但し、材料強度に関する規準は、JSME S NC1-2005/2007 による。

4.2.1.2 計算条件

- (1) 容器及び内容物の質量を重心位置に集中させる。
- (2) 容器下端は固定とする。
- (3) 容器は鉛直方向に剛とみなす。
- (4) 水平方向については、容器を梁と考えて曲げ変形及びせん断変形を考慮する。
- (5) 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させて応力を計算し、強度評価において各応力を組み合わせる。



4.3 記号の定義

記号	記号の定義	単位
A	胴の軸断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
C_c	基礎ボルト計算における係数	—
C_t	基礎ボルト計算における係数	—
D_{bi}	ベースプレートの内径	mm
D_{bo}	ベースプレートの外径	mm
D_c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 1 に定める値	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	—
F	材料の許容応力を決定する場合の基準値。なお、支持構造物の許容応力は、設計・建設規格 SSB-3121.1 又は SSB-3131 に定める値。	MPa
F_c	基礎に作用する圧縮力	N
F_t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f_{sb}	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_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
K_H	水平方向ばね定数	N/mm
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
L	胴長	mm
l_1, l_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離	mm
l_g	基礎から容器重心までの距離	mm
M	胴に作用する転倒モーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_e	容器の空質量	kg
m_o	容器の運転時質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
P	胴の軸圧縮荷重	N

記号	記号の定義	単位
P_r	最高使用圧力	MPa
R	胴の平均半径	mm
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	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	断面係数	mm ³
z	基礎ボルト計算における係数	—
a	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
α_B	座屈応力に対する安全率	—
$\eta, \eta_1, \eta_2, \eta_3$	座屈計算における係数	—
ν	ポアソン比	—
π	円周率	—
ρ	液体の比重	—
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ一次一般膜応力（圧縮側）	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ一次一般膜応力（引張側）	MPa
σ_2	地震力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
$\sigma_{2\phi}$	地震力のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震力のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値 （圧縮側）	MPa
σ_{2t}	地震力のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値 （引張側）	MPa
σ_{2xc}	地震力のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{2xt}	地震力のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和（引張側）	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	静水頭又は内圧により胴に生じる軸方向応力，周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	鉛直方向地震力による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震力による胴の軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa

記 号	記 号 の 定 義	単 位
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり、胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注：「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007）（日本機械学会 2005年9月及び2007年9月）を言う。

4.2.2. 計算方法

4.2.2.1 固有周期の計算

(1) 計算モデル

本容器は、1.2 項より図 2-1 に示す構造をもつ平底たて置円筒形容器に適用する。

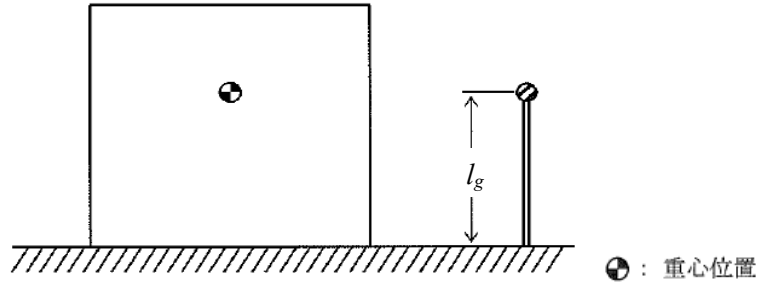


図 2-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

固有周期は、次による。

$$T_H = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{10^3 \cdot K_H}} \dots\dots\dots (2-1)$$

ここで、曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は、次による。

$$K_H = \frac{I}{\frac{l_g^3}{3EI} + \frac{l_g}{GAe}} \dots\dots\dots (2-2)$$

胴の断面性能は、次による。

$$I = \frac{\pi}{8} (Di + t)^3 t \dots\dots\dots (2-3)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \pi (Di + t) t \dots\dots\dots (2-4)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向については、剛構造とみなす。

4.2.2.2 応力の計算

4.2.2.1 項の計算で得られた固有周期から，耐震クラスに応じた設計震度及び地震力を決定し，応力計算を行う。

静的地震力を用いる場合は絶対値和を適用する。なお，B，Cクラスに対する応力を計算する場合には，一次＋二次応力を計算することを要しない。また，鉛直地震力は考慮しない。

4.2.2.2.1 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）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{10^{-6} \cdot g \rho H D_i}{2t} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{10^{-6} \cdot g \rho H D_i C_v}{2t} \dots\dots\dots (2-6)$$

$$\sigma_{x1} = 0 \dots\dots\dots (2-7)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (2-8)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \dots\dots\dots (2-9)$$

$$\sigma_{x1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (2-10)$$

(2) 運転時質量による応力及び鉛直方向地震時の運転時質量による応力

胴のベースプレートと接合する点に生じる軸方向応力は，次のように求める。

$$\sigma_{x2} = \frac{m_e g}{\pi (D_i + t) t} \dots\dots\dots (2-11)$$

$$\sigma_{x3} = \frac{C_v m_e g}{\pi (D_i + t) t} \dots\dots\dots (2-12)$$

(3) 水平方向地震力による応力

水平方向地震力による胴のベースプレート結合部に作用する曲げモーメントにより生じる軸方向応力及び水平方向地震力により生じるせん断応力は，次のように求める。

$$\sigma_{x4} = \frac{4 C_H m_0 g l_g}{\pi (D_i + t)^2 t} \dots\dots\dots (2-13)$$

$$\tau = \frac{2 C_H m_0 g}{\pi(D_i + t)t} \dots\dots\dots (2-14)$$

(4) 組合せ応力

(1)~(3)項によって算出される胴の応力は、次により組み合わせる。

a. 一次一般膜応力【絶対値和】

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_\phi = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (2-15)$$

$$\sigma_{x t} = \sigma_{x 1} - \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} \dots\dots\dots(2-16)$$

$$\sigma_{0 t} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{x t} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{x t})^2 + 4 \tau^2} \right\} \dots\dots\dots(2-17)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_\phi = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (2-18)$$

$$\sigma_{x c} = -\sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} \dots\dots\dots (2-19)$$

$\sigma_{x c}$ が正の値（圧縮側）の場合は、組合せ圧縮応力は次による。

$$\sigma_{0 c} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{x c} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{x c})^2 + 4 \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (2-20)$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は、次による。

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0 t}, \sigma_{0 c}] \dots\dots\dots(2-21)$$

b. 一次応力（膜+曲げ）

一次応力（膜+曲げ）は「a. 一次一般膜応力」に示す式により組合せ応力として算出した値と同じである。

4.2.2.2.2 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 は、次による。

$$M = C_H m_0 g l_g \quad \dots\dots\dots (2-22)$$

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条件を考慮する。(図2-2参照)

以下にその手順を示す。

$$t_1 = \frac{n A_b}{\pi D_c} \quad \dots\dots\dots (2-23)$$

$$t_2 = \frac{1}{2}(D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \quad \dots\dots\dots (2-24)$$

- a. σ_b , σ_c を仮定して、中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k = \frac{l}{l + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \quad \dots\dots\dots (2-25)$$

- b. 中立軸を定める角度 a を求める。

$$a = \cos^{-1}(1 - 2k) \quad \dots\dots\dots (2-26)$$

- c. 各定数 e , z , C_t , C_c を計算する。

$$e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\pi - a) \cos^2 a + \frac{1}{2}(\pi - a) + \frac{3}{2} \sin a \cos a}{(\pi - a) \cos a + \sin a} + \frac{\frac{1}{2}a - \frac{3}{2} \sin a \cos a + a \cos^2 a}{\sin a - a \cos a} \right\} \quad \dots\dots\dots (2-27)$$

$$z = \frac{1}{2} \left\{ \cos a + \left(\frac{\frac{1}{2}a - \frac{3}{2} \sin a \cos a + a \cos^2 a}{\sin a - a \cos a} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots (2-28)$$

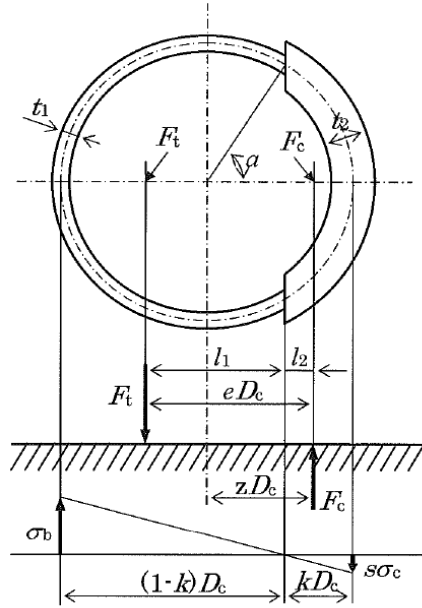


図2-2 基礎の荷重説明図

$$C_t = \frac{2\{(\pi - a)\cos a + \sin a\}}{1 + \cos a} \dots\dots\dots (2-29)$$

$$C_c = \frac{2(\sin a - a \cos a)}{1 - \cos a} \dots\dots\dots (2-30)$$

d. 各定数を用いて F_t , F_c を求める。【絶対値和】

$$F_t = \frac{M - (1 - C_V) m_0 g z \cdot D_c}{e \cdot D_c} \dots\dots\dots (2-31)$$

$$F_c = F_t + (1 - C_V) m_0 g \dots\dots\dots (2-32)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 a が π に等しくなったときであるので、式 (2-31) 及び式 (2-32) において a を π に近づけた場合の値 $e=0.75$, $z=0.25$ を式 (2-35) 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。
- ・ $F_t > 0$ ならば引張力は作用しているので以降の計算を行う。

e. σ_b , σ_c を求める。

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。

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 D_c C_t} \dots\dots\dots (2-33)$$

$$\sigma_c = \frac{2F_c}{(t_2 + s t_1) D_c C_c} \dots\dots\dots (2-34)$$

(2) せん断応力

$$\tau_b = \frac{C_H m_o g}{n A_b} \dots\dots\dots (2-35)$$

4.2.3 強度評価

4.2.3.1 胴の応力

4.2.2.1(4)項で求めた組合せ応力が、胴の最高使用温度における表3-1に示す許容応力 S_a 以下であること。

なお、一次応力（膜+曲げ）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。

表3-1 胴の許容応力

耐震クラス	供用状態	許容応力 S_a	
		一次一般膜応力	一次応力(膜+曲げ)
B, C	C s	$\min[S_y, 0.6S_u]$ 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は、 $1.2S$ とする。	S_y 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は、 $1.2S$ とする。

4.2.3.2 胴の座屈

座屈に対する評価が必要な場合は、「JEAC4601-2008 4.2.3.1(1)c クラスMC容器の座屈防止」に規定する評価式によることができる。軸圧縮荷重と曲げモーメントが負荷されるクラスMC容器は、共用状態C s及びD sにおいて次の不等式を満足しなければならない。

$$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

式(3-1)は $L/R \leq 5$ の場合に適用できる。ただし、強め輪等により $L/R \leq 0.5$ となる場合は、強め輪の効果を考慮することができる。

ここで、 f_c : 軸圧縮荷重に対する許容座屈応力は次による。

$$f_c = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left\{ 1 - \frac{1}{6800g} (F - \Phi_c \{ \eta_2 \}) (\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ \Phi_c \{ \eta \} & (\eta_2 \leq \eta \leq 800) \end{cases} \quad \dots\dots (3-2)$$

$$\Phi_c\{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.901 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta}\right) \right\} \right] \dots\dots\dots (3-3)$$

また、 f_b : 曲げモーメントに対する許容座屈応力は次による。

$$f_b = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left\{ 1 - \frac{1}{8400g} (F - \Phi_b\{\eta_3\})(\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_3) \quad \dots (3-4) \\ \Phi_b\{\eta\} & (\eta_3 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

$$\Phi_b\{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.731 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta}\right) \right\} \right] \dots\dots\dots (3-5)$$

α_B は安全率で、次による。

$$\alpha_B = \begin{cases} 1.0 & (\eta \leq \eta_1) \\ 1.0 + \frac{F}{13600g} (\eta - \eta_1) & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \quad \dots\dots\dots (3-6) \\ 1.5 & (\eta_2 \leq \eta) \end{cases}$$

ここで、 $\eta, \eta_1, \eta_2, \eta_3$ は座屈計算における係数で、次による。

$$\eta = R/t \quad \dots\dots\dots (3-7)$$

$$\eta_1 = 1200 \text{ g}/F \quad \dots\dots\dots (3-8)$$

$$\eta_2 = 8000 \text{ g}/F \quad \dots\dots\dots (3-9)$$

$$\eta_3 = 9600 \text{ g}/F \quad \dots\dots\dots (3-10)$$

4.2.3.3 基礎ボルトの応力

4.2.2.2 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は表 3-2 による。

$$f_{ts} = \min [1.4f_{to} - 1.6\tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (3-11)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は表 3-2 による。

表 3-2 基礎ボルトの許容応力

耐震 クラス	供用 状態	許容引張応力 f_{to}	許容せん断応力 f_{sb}
B, C	C _s	$1.5 \left(\frac{F}{2} \right)$	$1.5 \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right)$

以上

プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋の構造強度及び耐震性に関する検討結果

ゼオライト土嚢等処理設備が設置される建屋（プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋）について、基準地震動 S_s に対する地下滞留水を考慮した地震応答解析を実施し、耐震壁の最大せん断ひずみが、評価基準値（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認する。

評価結果については今後提示予定

以上

2.14.3 外部人為事象に対する設計上の 考慮への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

③外部人為事象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，想定される外部人為事象によって，施設の安全性を損なうことのない設計であること。
- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器に対する第三者の不法な接近等に対し，これを防御するため，適切な措置を講じた設計であること。

2.14.3.1 措置を講ずべき事項への適合方針

ゼオライト土嚢等処理設備は，想定される外部人為事象によって，施設の安全性を損なうことのない設計とする。

ゼオライト土嚢等処理設備に対する第三者の不法な接近等に対し，これを防御するため，適切な措置を講じた設計とする。

2.14.3.2 対応方針

○ 施設の設計については、安全上の重要度を考慮して以下について適切に考慮したものとする。

(1) 外部人為事象に対する設計上の考慮

- ・ 想定される外部人為事象としては、航空機落下、ダムの崩壊及び爆発、漂流した船舶の港湾への衝突等が挙げられる。本特定原子力施設への航空機の落下確率は、これまでの事故実績等をもとに、民間航空機、自衛隊機及び米軍機を対象として評価した（原管発管 21 第 270 号 実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の再評価結果について（平成 21 年 10 月 30 日））。その結果は約 3.6×10^{-8} 回/炉・年であり、 1.0×10^{-7} 回/炉・年を下回る。したがって、航空機落下を考慮する必要はない。また、特定原子力施設の近くには、ダムの崩壊により特定原子力施設に影響を及ぼすような河川並びに爆発により特定原子力施設の安全性を損なうような爆発物の製造及び貯蔵設備はない。また、最も距離の近い航路との離隔距離や周辺海域の流向を踏まえると、航路を通行する船舶の衝突により、特定原子力施設が安全機能を損なうことはない。
- ・ 安全機能を有する構築物、系統及び機器に対する第三者の不法な接近、妨害破壊行為（サイバーテロ等の不正アクセス行為を含む）及び核物質の不法な移動を未然に防止するため、下記の措置を講ずる。
 - ① 安全機能を有する構築物、系統及び機器を含む区域を設定し、それを取り囲む物的障壁を持つ防護された区域を設けて、これらの区域への接近管理、入退域管理を徹底する。
 - ② 探知施設を設け、警報、映像監視等、集中監視する設計とする。
 - ③ 外部との通信設備を設ける。

(実施計画：II-1-14-1~2)

ゼオライト土嚢等処理設備は、想定される外部人為事象によって、施設の安全性を損なうことのない設計とする。また、第三者の不法な接近等に対し、これを防御するため、適切な措置を講じた設計とする。

(実施計画：II-2-51-2)

(2) 電磁的障害

ゼオライト土嚢等処理設備は、電磁的障害による擾乱に対して、制御盤へ入線する電源受電部へのラインフィルタや絶縁回路の設置、外部からの信号入出力部へのラインフィルタや絶縁回路の設置、通信ラインにおける光ケーブルの適用等により、影響を受けない設計とする。

(実施計画：II-2-51-添2-4)

(3) 不正アクセス行為（サイバーテロを含む）

不正アクセス行為（サイバーテロを含む）を未然に防止するため、ゼオライト土嚢等処理設備の操作に係る監視・制御装置が、電気通信回線を通じて不正アクセス行為（サイバーテロを含む）を受けないように、外部からの不正アクセスを遮断する設計とする。

（実施計画：II-2-51-添2-5）

2.14.4 火災に対する設計上の考慮への 適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

④火災に対する設計上の考慮

火災発生防止，火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせて，火災により施設の安全性を損なうことのない設計であること。

2.14.4.1 措置を講ずべき事項への適合方針

ゼオライト土嚢等処理設備は，火災発生防止，火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせて，火災により施設の安全性を損なうことのない設計とする。

2.14.4.2 対応方針

ゼオライト土嚢等処理設備は、火災発生防止及び火災影響軽減のため、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用するとともに設備周辺から可能な限り可燃物を排除する。

また、初期消火の対応ができるよう、設備近傍に消火器を設置する。なお、火災発生は監視カメラ等により確認可能な設計とする。

(実施計画：II-2-51-添2-5)

ゼオライト土嚢等処理設備は、火災の発生を防止し、火災の検知及び消火を行い、並びに火災の影響を軽減するため、以下の対策を講じることにより、火災により施設の安全性を損なうことのない設計とする。

- ・火災の発生を防止し、火災の影響を軽減するため、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する※とともに、設備周辺には可能な限り可燃物を排除する。
- ・本設備では監視カメラ等により火災の早期検知に努める。また、各設備の近傍に消火器を設置し、初期消火の対応を可能にし、消火活動の円滑化を図る。

※：配管の一部に使用する可燃性材料を不燃性又は難燃性材料で養生することを含む。

(実施計画：II-2-51-添2-5)

ゼオライト土嚢等処理設備の火災対策の補足説明

(1) 火災の発生防止

配管の一部に使用する可燃性材料については、周囲を不燃物又は難燃性材料で養生することで対策を行うとともに、最外周が可燃性材料となっているポリエチレン管の周辺には、可能な限り可燃物（配管敷設箇所周囲の草木等の可燃物を除去含む）を排除することで火災の発生を防止する。

(2) 火災の検知及び消火

ゼオライト土嚢等処理設備については、監視カメラ等により火災の早期発見を図る。
また、初期消火の対応ができるよう、設備近傍に消火器を設置する。

(3) 火災の影響軽減

ポリエチレン管に関しては可燃であるが、内部はゼオライト土嚢等を含む建屋滞留水を通水している状態であるため、通常の運用中は火災になりにくい。

また、前述した、可能な限り可燃物を排除する対策にて、火災の影響軽減も図る計画としている。

ゼオライト土嚢等処理設備及び関連施設を構成する構築物及び機器について設置場所及び可燃物、難燃物、不燃物を整理した結果は今後提示予定

2.14.5 環境条件に対する設計上の考慮 への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

⑤環境条件に対する設計上の考慮

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，経年事象を含むすべての環境条件に適合できる設計であること。特に，事故や地震等により被災した建造物の健全性評価を十分に考慮した対策を講じること。

2.14.5.1 措置を講ずべき事項への適合方針

ゼオライト土壌等処理設備の構築物，系統及び機器は，経年事象を含むすべての環境条件に適合できる設計とする。

2.14.5.2 対応方針

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，それぞれの場所に応じた圧力，温度，湿度，放射線等に関する環境条件を考慮し，必要に応じて換気空調系，保温，遮へい等で維持するとともに，そこに設置する安全機能を有する構築物，系統及び機器は，これらの環境条件下で期待されている安全機能が維持できるものとする。

(実施計画：II-1-14-2)

ゼオライト土嚢等処理設備の構築物，系統及び機器は，経年事象を含む想定されるすべての環境条件に適合できる設計とする。

(実施計画：II-2-51-添2-3)

ゼオライト土嚢等処理設備において使用する材料等に対して，環境条件に対する設計上の考慮は以下の通り。

(1) 圧力及び温度

ゼオライト土嚢等処理設備は通常運転時及び異常事象発生時に想定される圧力・温度を踏まえて，適切な最高使用圧力・最高使用温度を有する機器等を選定する。

(2) 腐食に対する考慮

ゼオライト土嚢等処理設備については，耐腐食性を有するステンレス鋼，ポリエチレン，合成ゴム，十分な肉厚を有する炭素鋼等を使用する。

(3) 放射線

ゼオライト土嚢等処理設備の材質として使用するポリエチレン等については，放射線による材料特性に有意な変化がない期間を評価した上で，当該期間を超えて使用する場合には，あらかじめ交換等を行う。

回収対象のゼオライト土嚢等の現状についての補足説明

ゼオライト土嚢等処理設備が扱うゼオライト土嚢等についての現状は以下の通り。

1. ゼオライト土嚢等の設置の経緯と現状

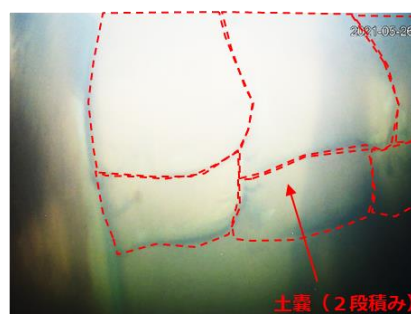
東北地方太平洋沖地震発生後、プロセス主建屋、高温焼却炉建屋は建屋滞留水の浄化を目的に、ゼオライト土嚢・活性炭土嚢を最下階に敷設した後、建屋滞留水の受け入れを実施しており、現在は高線量化している。

これまでの調査により判明した最下階の状況は以下の通り。

- PMB, HTI の最下階の敷設状況を ROV で目視確認済（下図参照）。
- 土嚢袋は概ね原形を保っているが、劣化傾向があり、一部の袋に破損がみられる状況。
- 確認された土嚢表面の線量は PMB で最大約 3,000mSv/h, HTI で最大約 4,400mSv/h。
- 空間線量は、水深 1.5m 程度の水面で、PMB は最大約 410mSv/h, HTI は最大約 180mSv/h。
- ゼオライト土嚢は主に廊下に敷設され、セシウムを主として吸着しているため表面線量が非常に高い状況。活性炭土嚢は主に階段に敷設されており、多核種を吸着。



① 最下階の様子 (PMB) (水上)



② 最下階の様子 (HTI) (水中)

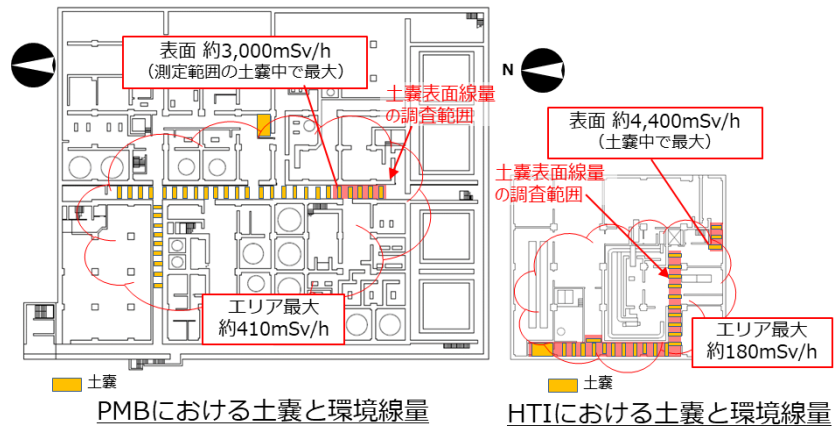


ゼオライトの外観 (敷設した物と同製品)



活性炭の外観 (敷設した物と同製品)

2. ゼオライト土嚢等の敷設状態



3. ゼオライト土嚢等推定敷設量と放射性物質質量

建屋	種類	放射性物質質量 (Cs-134, Cs-137, Sr-90)	評価に使用した設置量 (記録による)	評価に使用した分析データ			サンプリング日
				Cs-134	Cs-137	Sr-90	
PMB	ゼオライト	2.6E15 Bq	16t	8.5E6 Bq/g	1.4E8 Bq/g	1.1E7 Bq/g	2020/2/12
	活性炭	9.2E12 Bq	8t	3.3E4 Bq/g	5.4E5 Bq/g	5.8E5 Bq/g	2020/11/27
HTI	ゼオライト	1.6E15 Bq	10t	PMB同等と仮定	PMB同等と仮定	PMB同等と仮定	-
	活性炭	8.7E12 Bq	7.5t	PMB同等と仮定	PMB同等と仮定	PMB同等と仮定	-
合計		4.2E15 Bq	-	-	-	-	-

4. ゼオライトの分析結果

分析項目	放射性物質濃度 [Bq/g]		【参考】 建屋滞留水放射性物質濃度 [Bq/cc] (採取日 : 2020/2/25)
	ゼオライト (採取日 : 2020/2/12)	活性炭 (採取日 : 2020/2/27)	
Mn-54	ND	ND	-
Co-60	ND	(1.0 ± 0.1) E+3	-
Sr-90	(1.1 ± 0.1) E+7	(5.8 ± 0.1) E+5	5.4E+3
Nb-94	ND	ND	-
Sb-125	ND	(7.9 ± 1.0) E+2	-
Cs-134	(8.5 ± 0.1) E+6	(3.3 ± 0.1) E+4	1.7E+3
Cs-137	(1.4 ± 0.1) E+8	(5.4 ± 0.1) E+5	2.8E+4
Eu-154	ND	ND	-
Pu-238	ND	(1.6 ± 0.1) E+0	-
Pu-239+240	ND	(5.2 ± 0.3) E-1	-
Am-241	(2.4 ± 0.6) E-1	(5.6 ± 0.1) E+0	-
Cm-244	ND	(1.8 ± 0.1) E+0	-

本データは廃炉・汚染水対策事業による成果

<https://clads.jaea.go.jp/jp/rd/tech-info.html>

<https://frandli-db.jaea.go.jp/FRAnDLi/>

ゼオライト土嚢等処理設備の環境条件に対する設計上の考慮の補足説明

ゼオライト土嚢等処理設備において使用する材料等に対して、環境条件に対する設計上の考慮を下記の通り確認している。

1. 圧力・温度

1.1 圧力

最高使用圧力を 0.98MPa と設定しているが、従来から福島第一原子力発電所において実績のある材料を使用しているため、妥当な設計である。

1.2 温度

福島県の小名浜気象台の気象観測記録で過去に計測された気温は、最高で 37.7℃であり、これを超えない温度として、ゼオライト保管容器を除いて 40℃と設定している。なお、ゼオライト保管容器は崩壊熱の影響も考慮して、100℃と設定している。

2. 腐食に対する考慮

ゼオライト土嚢等及び建屋滞留水を扱うポンプ・配管に関して材料選定理由を表 2.14.5.1-1 に示す。表 2.14.5.1-1 のうち、炭素鋼、ステンレス鋼に対する耐腐食性について評価を行った。

表 2.14.5.1-1 ゼオライト土嚢等処理設備の漏えい発生防止（腐食）

機器	対象	材料	選定理由
容器	ゼオライト保管容器	ステンレス鋼 (SUS316L)	建屋滞留水に、海水由来等の塩分が若干含まれることから、耐腐食性に優れたステンレス鋼 (SUS316L) を使用する。
タンク	補給水タンク	ステンレス鋼 (SUS304)	淡水を扱うが、念のため耐腐食性のある SUS304 を使用する。また、設計寿命 36 ヶ月程度で短期の使用である。
ポンプ	垂直移送ポンプ	鋳鉄（塗装あり）	建屋滞留水に、海水由来等の塩分が若干含まれることから、塗装された鋳鉄を使用する。また、設計寿命 36 ヶ月程度で短期の使用である。
	補給水ポンプ	ステンレス鋼	淡水を扱うが、念のため耐腐食性のあるステンレス鋼を使用する。また、設計寿命 36

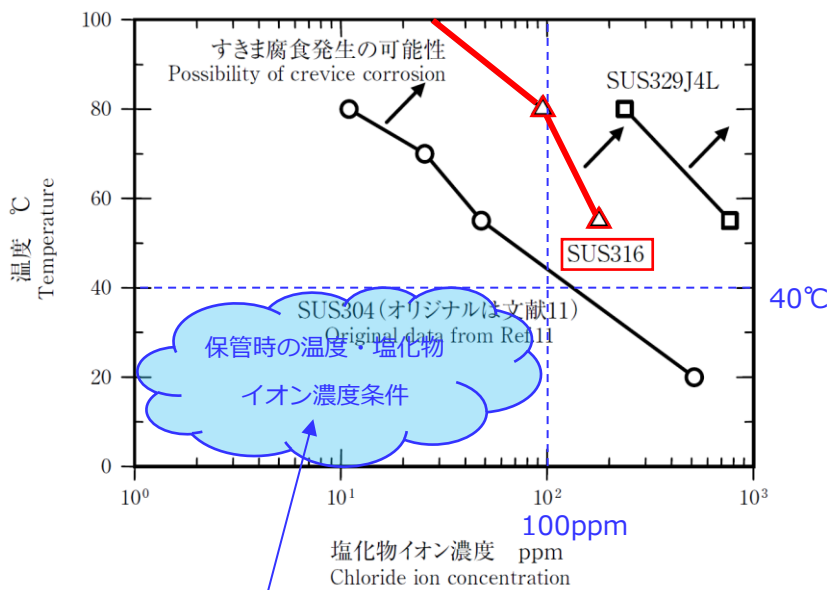
			ヵ月程度で短期の使用である。
配管	循環配管 移送配管	ポリエチレン管	施工性及び、耐腐食性に優れることから使用する。
		炭素鋼鋼管	加工性に優れる炭素鋼を使用する。海水由来等の塩分が若干含まれることから、腐食代を見込む。また、設計寿命 36 ヶ月程度で短期の使用である。
		合成ゴム (EPDM)	可撓性を要する箇所（保管容器連結部）において、耐腐食性のある合成ゴム（EPDM）製ホースを使用する。また、敷設のしやすさから、地下階から地上階への移送配管として使用する。また、設計寿命 36 ヶ月程度で短期の使用である。

保管時の環境条件（表 2.14.5.1-2）である温度～40℃及び塩化物イオン濃度～100ppm の条件では、ステンレス鋼の局部腐食形態（孔食、すきま腐食、SCC）のうち、最も発生しやすいすきま腐食でも発生する可能性は低いことから、耐腐食性に優れた SUS316L を選定する。ゼオライト保管容器に回収したゼオライト等については、表面に建屋滞留水が付着しているため、補給水（RO 処理水又はろ過水）を容器内に通水して表面を洗い流して脱塩して保管する。

なお、塩分濃度については、3 回洗浄で 10ppm 程度まで低減できていることを確認している。

また、回収まで又は回収時にサンプル採取等により情報を収集するため、サンプリング設備設置を検討している。

※現状、建屋滞留水の塩化物イオン濃度は 100ppm 程度



- ✓ SUS316 は、保管時の環境条件である温度～40℃及び塩化物イオン濃度～100ppm の条件では、すきま腐食が発生する可能性は低い。
- ✓ なお、ステンレス鋼の局部腐食形態（孔食，すきま腐食，SCC）のうち、最も発生しやすいのは「すきま腐食」であるため、「すきま腐食」が発生しない環境条件では、「孔食」も「SCC」も発生しない。

図 2.14.5.1-2 耐すきま腐食可使用限界温度及び塩化物イオン濃度条件(SUS316 の例)*

*宮坂 松甫 「腐食防食講座－海水ポンプの腐食と対策技術－」 第5報：ステンレス鋼及びニレジスト鋳鉄の腐食と対策技術

表 2.14.5.1-2 ゼオライト保管容器保管条件

	温度	湿度	酸素濃度	塩化物イオン濃度	内容物
保管時の環境条件	～40℃	～100%	大気同等	～100ppm	ゼオライト/活性炭

3. 放射線

ゼオライト土嚢等処理設備の材質として使用するポリエチレンについては、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。このため、ゼオライト土嚢等や建屋滞留水の放射線による材料特性に有意な変化がない期間を評価した上で、当該期間を超えて使用する場合には、あらかじめ交換等を行う。

以上

ゼオライト土嚢等処理設備の配置計画

ゼオライト土嚢等処理設備はプロセス主建屋、高温焼却炉建屋に設置する（図-1 参照）。

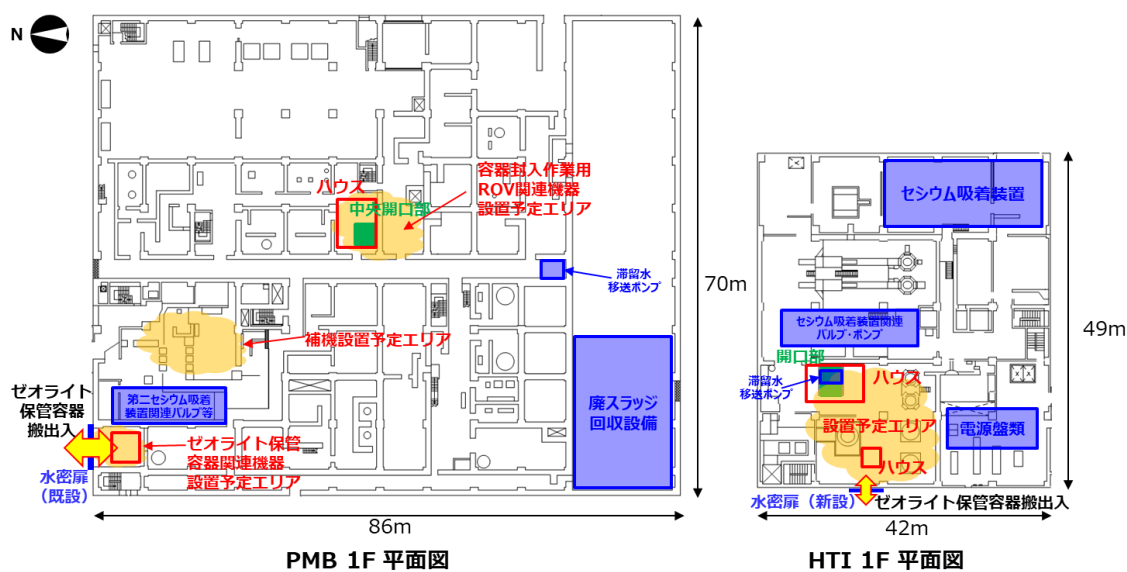


図-1 ゼオライト土嚢等処理設備の配置計画

高温焼却炉建屋については、建屋西側に保管容器搬出入のために、新規に開口を設置する。開口には水密扉を設置し、通常は閉とすることで、津波の襲来に備えるほか、建屋内の放射性物質の拡散を防ぐ。

以上

2.14.7 運転員操作に対する設計上の考慮 への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

⑦運転員操作に対する設計上の考慮

運転員の誤操作を防止するための適切な措置を講じた設計であること。

2.14.7.1 措置を講ずべき事項への適合方針

ゼオライト土嚢等処理設備は，運転する者の誤操作を防止するための適切な措置を講じた設計とする。

2.14.7.2 対応方針

運転員の誤操作を防止するため、盤の配置、操作器具等の操作性に留意するとともに、計器表示及び警報表示により施設の状態が正確、かつ、迅速に把握できるものとする等、適切な措置を講じた設計とする。また、保守点検において誤りを生じにくいよう留意したものとする。

(実施計画：II-1-14-2)

ゼオライト土嚢等処理設備は、運転員による誤操作を防止できる設計とするとともに、異常事象や設備の運転に影響を及ぼしうる自然現象等が発生した状況下においても、運転員がこれらの事象に対処するために必要な設備を容易に操作できる設計とする。

(実施計画：II-2-51-添2-6)

(1)ゼオライト土嚢等処理設備の運転する者の操作に対する設計上の考慮は以下の通り。
本設備の起動・停止などの運転操作および機器の運転状態、遠隔操作可能な各弁の開閉状態、液位、流量、圧力等の監視は、原則としてスラッジ貯蔵建屋に設置する遠隔操作室内にて実施する。

(2)弁操作や運転モードの切替等の操作は全てダブルアクションとし、誤操作防止に配慮した設計とする。

(3)本設備は、プロセス計器だけでなく、監視カメラを多用し、現場の状況を映像で確認することが可能な設計とする（多様性を考慮）。

(4)漏えい検知器の作動により警報が発生した場合は、運転員の手動停止操作にて運転停止が可能な構成（遠隔でのポンプ停止・隔離弁閉止機能）とする。

(5)遠隔操作室の操作端末にて、一連の操作・監視が可能な設計とする。