

添説設 3-1-気 1-3-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-気 1-3-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所

3. 1. 2. 設計用地震力

3. 1. 2. 1. 剛構造判定

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の最大変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \div \square \cdots \div \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

3. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造とならない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 2 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 0.6G とする。

3. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

3. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

3. 2. 応力評価

3. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-気 1-3-4 表及び添説設 3-1-気 1-3-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-気 1-3-4 表 部材の評価結果（長期）

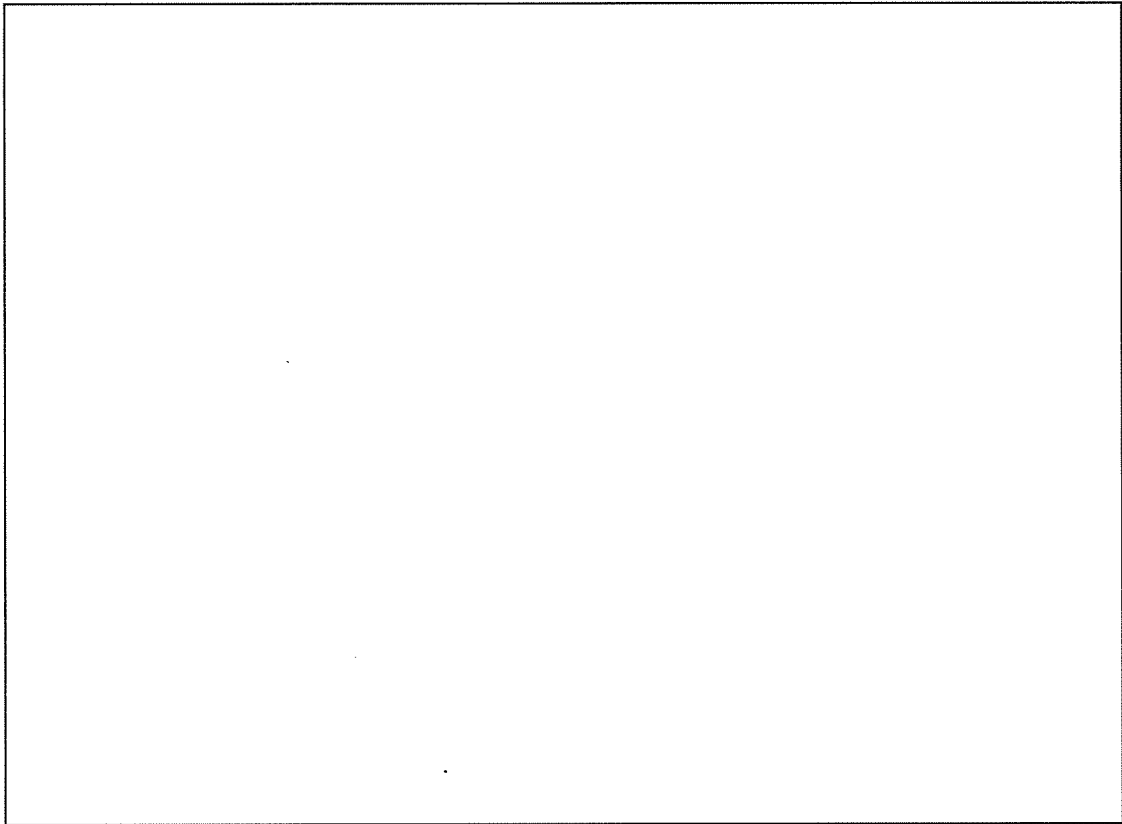
評価対象	地震方向	位置*	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	-	a			
圧縮応力度	-	b			
せん断応力度	-	c			
曲げ応力度	-	d			
組合せ応力度	-	d			
組合せ応力	-	d			

*：添説設 3-1-気 1-3-2 図参照

添説設 3-1-気 1-3-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	位置*	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 正	A			
圧縮応力度	X 正	B			
せん断応力度	Y 正	C			
曲げ応力度	Y 正	D			
組合せ応力度	Y 正	D			
組合せ応力	Y 正	D			

*：添説設 3-1-気 1-3-2 図参照



添説設 3-1-気 1-3-2 図 最大検定比発生位置

3. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。評価結果を添説設 3-1-気 1-3-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-気 1-3-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	位置*	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 負	α			
せん断応力度	Y 負	β			
引抜力	Y 負	α			

* : 添説設 3-1-気 1-3-2 図参照

4. スクラバ架台(2)の耐震計算

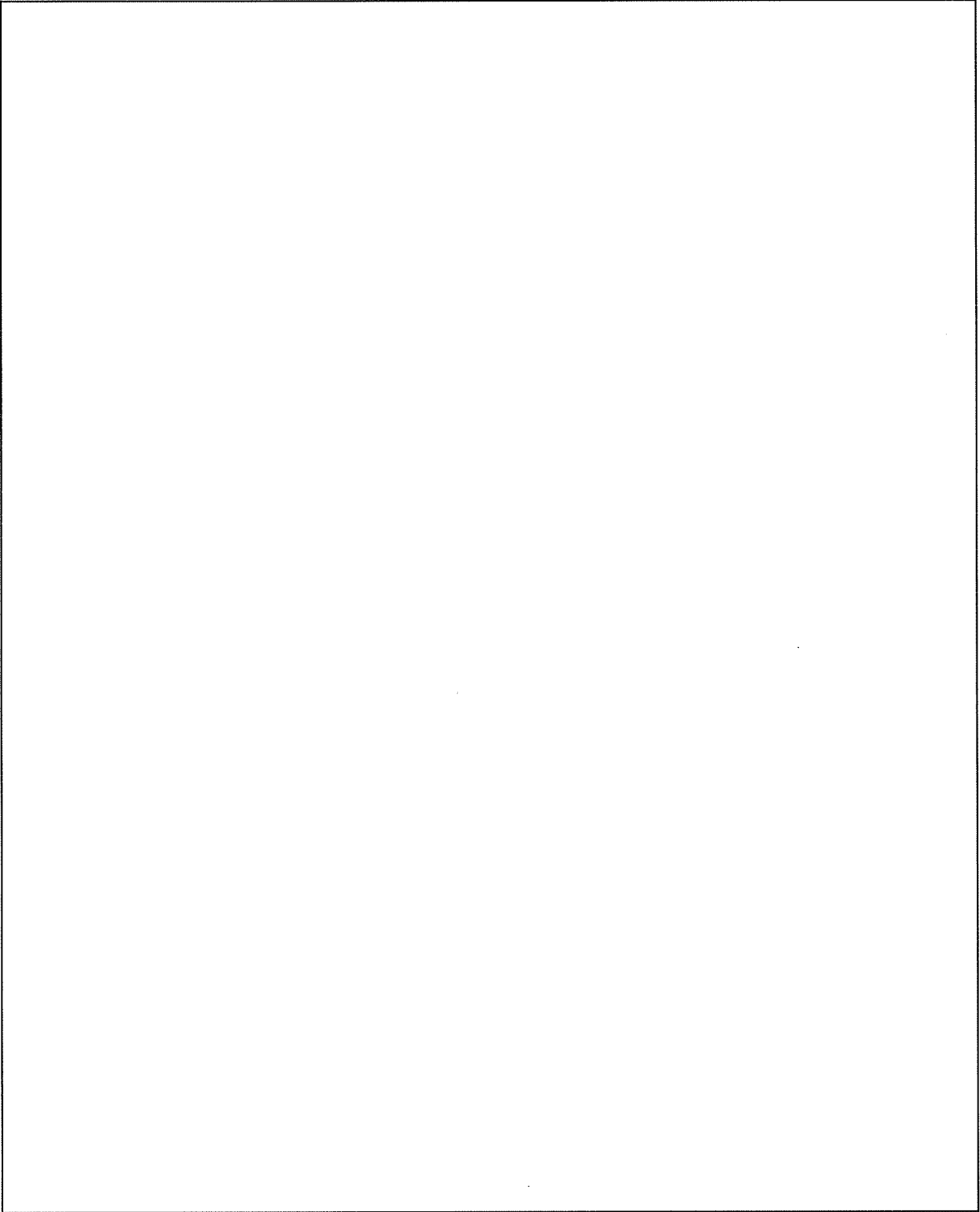
4. 1. 評価方法

スクラバ架台(2)の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

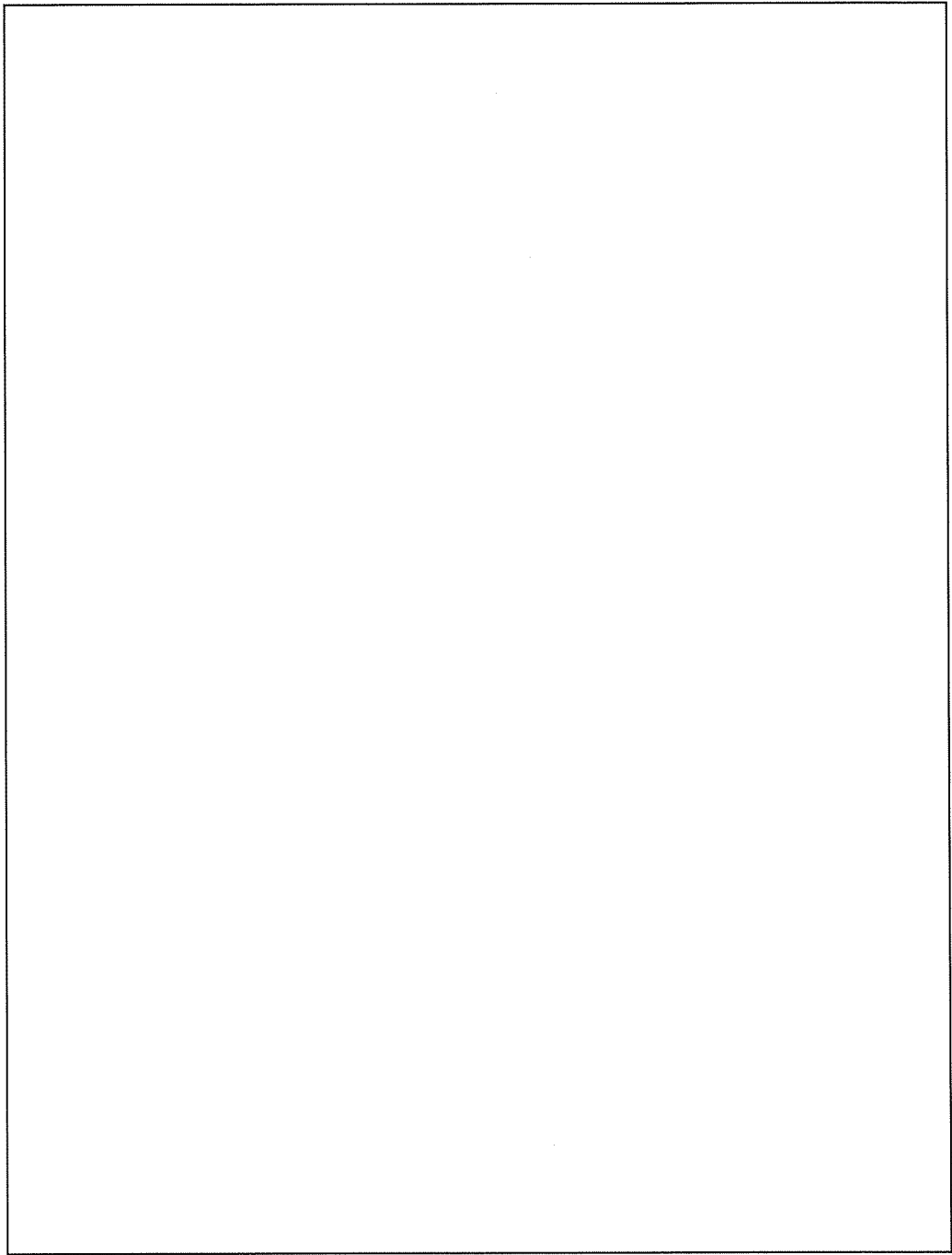
4. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-気 1-4-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-気 1-4-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-気 1-4-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-気 1-4-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-気 1-4-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-気 1-4-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-気 1-4-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
柱										JIS G3466
はり										JIS G3192
柱										JIS G3192
はり										JIS G3192
はり										JIS G3192
はり										JIS G3192
はり										JIS G3192

添説設 3-1-気 1-4-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-気 1-4-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

4. 1. 2. 設計用地震力

4. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \dots \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20 [Hz]未満であるので、剛構造とならない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

4. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造とならない設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 2 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 0.6G とする。

4. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

4. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

4. 2. 応力評価

4. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-気 1-4-4 表及び添説設 3-1-気 1-4-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-気 1-4-4 表 部材の評価結果 (長期)

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	02_089								
圧縮応力度	—	01_005								
せん断応力度	—	02_081								
曲げ応力度	—	02_055								
組合せ応力度	—	02_055								
組合せ応力	—	02_055								

添説設 3-1-気 1-4-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 負	02_042								
圧縮応力度	Y 負	01_001								
せん断応力度	X 負	02_087								
曲げ応力度	X 正	02_052								
組合せ応力度	Y 負	01_001								
組合せ応力	Y 負	01_001								

4. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-気 1-4-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-気 1-4-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [—]
引張応力度	Y 正	00_001						
せん断応力度	X 負	00_005						
引抜力	Y 正	00_001						

シェルモデルによるスクラバの計算について

1. はじめに

スクラバ{626}は、耐震解析に用いる有限要素の種類としてシェル要素を用いた評価としている。

設工認申請における耐震解析では、はり要素を用いるが、ここでは、シェル要素を用いた理由とスクラバ解析で考慮した注意事項をまとめた。

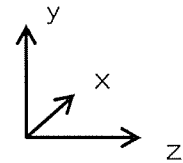
2. はり要素とシェル要素の違い

有限要素法のはり要素とシェル要素の違いを以下に示す。

(1) はり要素（3次元）

はり要素とは図1に示すような棒（柱）梁など、両端に力がかかる線として扱うことができる要素をいう。

材料や断面としての特性は、線状の要素内部で考慮される。



自由度

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_\theta \\ M_\phi \\ M_\psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ \theta \\ \phi \\ \psi \end{pmatrix}$$

x : x 軸方向のたわみ（曲げたわみ）

y : y 軸方向のたわみ（曲げたわみ）

z : z 軸方向のたわみ（引張、圧縮たわみ）

θ : x 軸まわりのたわみ角

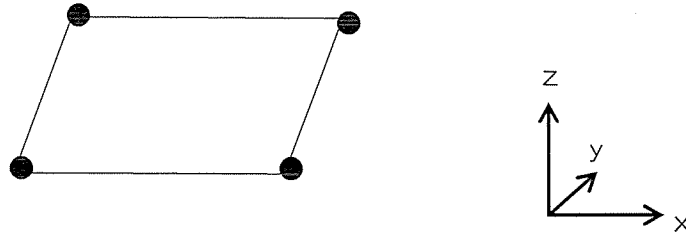
ϕ : y 軸回りのたわみ角

ψ : z 軸回りのねじり角

図1 はり要素の模式図

(2) シェル要素

シェル要素とは図2に示すような板厚が薄い面として扱うことができる要素をいう。



自由度

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_\theta \\ M_\phi \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ \theta \\ \phi \end{pmatrix}$$

x : x 軸方向のたわみ (シェル方向の引張・圧縮たわみ)

y : y 軸方向のたわみ (シェル方向の引張・圧縮たわみ)

z : z 軸方向のたわみ (シェルの面外たわみ)

θ : x 軸まわりのたわみ角 (シェルのたわみ角)

ϕ : y 軸まわりのたわみ角 (シェルのたわみ角)

※シェルは面に直交する軸の回転自由度はない。

図2 シェル要素の模式図

3. スクラバのモデル化

3.1 モデルの選定

塔槽類であるスクラバは、耐フッ酸性の観点から [] 製（鉄鋼に比べてヤング率が約 1/30）であり、断面の変形が比較的生じやすいと考えられるため、スクラバの変形による剛性の変化を模擬できるように、シェル要素を用いて評価する。

主として耐震解析に適用している FAP-3 では、シェル要素を備えていないため、同モデル解析で一般的に使用されている NASTRAN を使用した。シェル要素によるスクラバの解析モデル図を図 3 に示す。

* 1 []

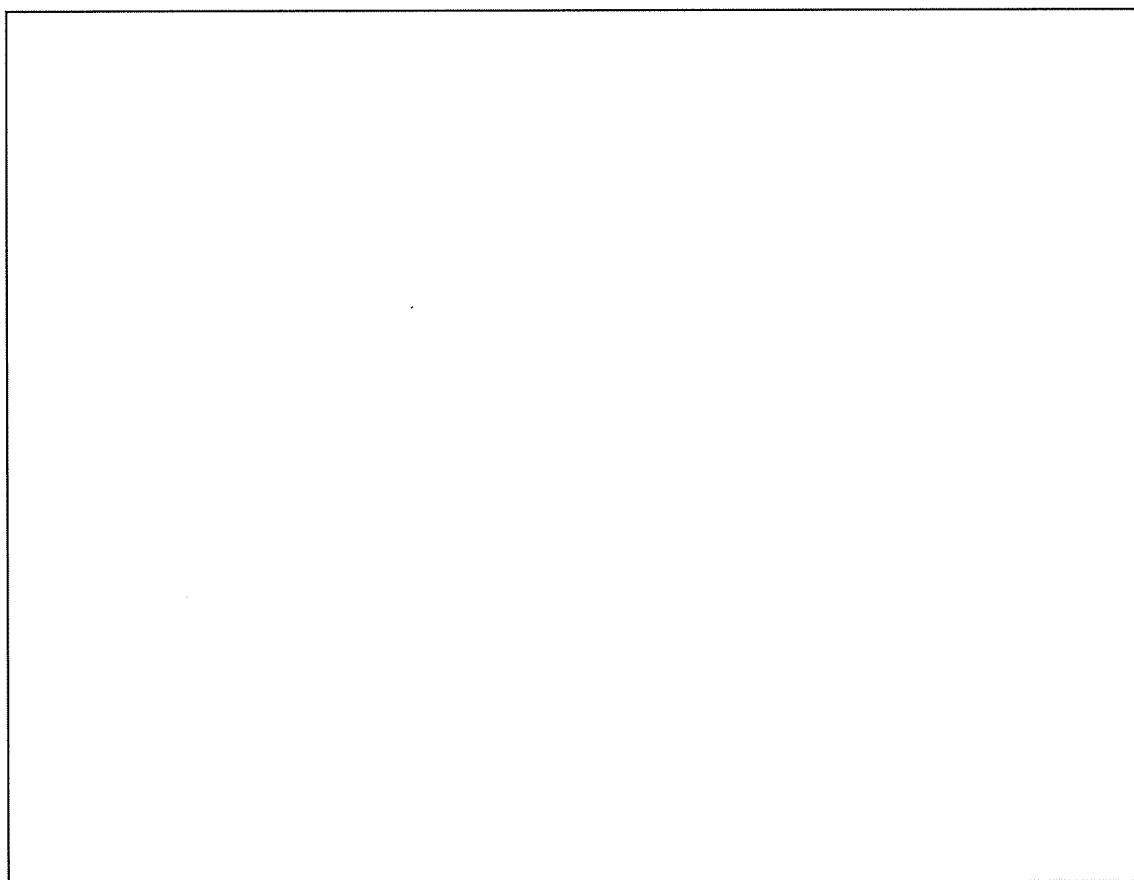


図 3 シェル要素によるスクラバの解析モデル図

3.2 モデル化の考え方

スクラバは円筒形の形状のものである。地震時の横方向の荷重によって曲げによる変形が生じる。評価結果は添付説明書一設 3-1-気 1 に記載しているが、ここでは、モデル化の考え方を模式的に図 4 に表す。

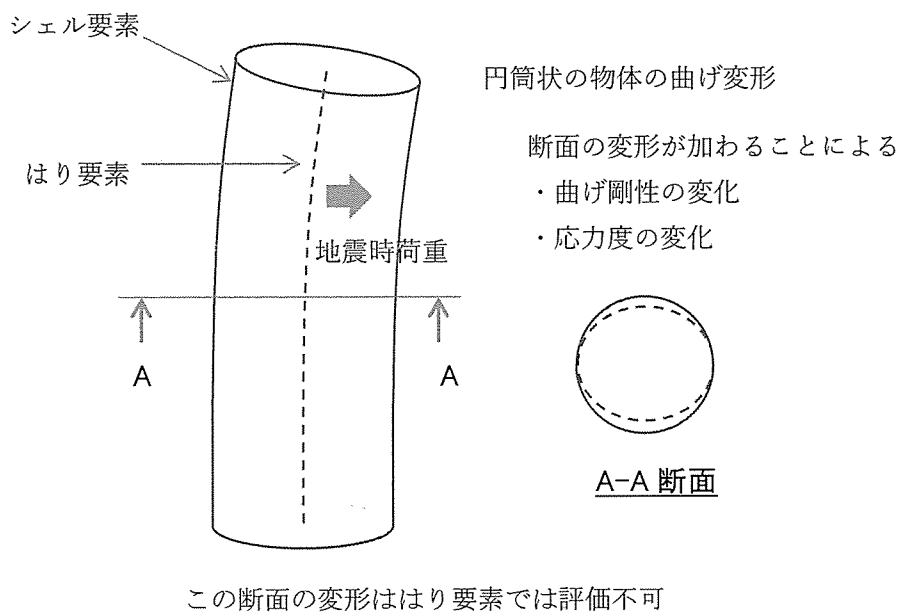


図 4 円筒形構造物の曲げ変形説明図

通常、円筒状の物体であっても、この断面変形は無視しうるほど小さいため、はり要素でモデル化するが、ヤング率の低い の場合変形の影響を確認することを兼ねて、念のためシェル要素でモデル化している。

4. その他の考慮事項

(1) 金属カバー

スクラバは[]製であり、火災荷重が大きいいため、火災発生源とならないように金属カバーで覆う設計としている。

この金属カバーは耐震強度上期待しないが、保守的に、質量のみをスクラバ本体に均質荷重として考慮し評価している。

(2) NASTRAN の過去の事例の確認

汎用解析コード NASTRAN を使用するにあたっては、原子力安全推進協会発行の「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン」に準じ、手計算結果と比較するなどして検証を行った上で使用している。また、この手順は、当社の保安品質保証計画書に準拠したものである。

なお、2018 年の発電用原子炉施設において、NASTRAN を用いた評価の中で誤りが認められた事例がある。当該事例は「解析プログラムの注意すべき計算式」を入力する必要のある「応答スペクトル解析」だが*1、本申請では NASTRAN を静的解析に用いており、当該事例の誤りの原因を含むものではない。

* 1 東京電力ホールディングス株式会社 HP (2018. 12. 3)

非常用ディーゼル発電機の耐震計算書

1. 設備・機器概要

1. 1. 耐震重要度分類

耐震重要度分類は第2類である。

1. 2. 設置位置

設置位置を添説設3-1-他1-1-1表に示す。

添説設3-1-他1-1-1表 対象設備 設置位置

機器名	建物名	区分	部屋名	参照図面
非常用ディーゼル発電機(1)、非常用ディーゼル発電機(2)	付属建物	発電機室	発電機室(1)、発電機室(2)	添付図 図リ配-1

1. 3. 構造

構造図を添説設3-1-他1-1-2表に示す。非常用ディーゼル発電機は安全機能を有する設備として、非常用ディーゼル発電機、潤滑油タンク、燃料油タンク、ラジエータ及び発電機始動盤を有する。

添説設3-1-他1-1-2表 対象設備 構造図

機器名	構造図
非常用ディーゼル発電機、潤滑油タンク、燃料油タンク、ラジエータ、発電機始動盤	添付図 図リ設-1

2. 非常用ディーゼル発電機の耐震計算

2. 1. 評価方法

非常用ディーゼル発電機の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として評価する。

2. 2. 本体の評価方法

一次固有振動数を算出する。本体の上端に自重相当の水平地震力 $P(=W)$ が作用した際の上端における変形量を算出する。ここで総重量 $W=$ [N]である。

$$P = W = \text{} \text{ [N]}$$

本体上端に発生する最大たわみは下式より算出される。

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I_y}$$

ここで、

- P : 水平方向作用荷重
- L : 評価長さ
- E : ヤング係数
- I_y : 断面二次モーメント

評価長さは重心高さから $L=$ [mm]、ヤング率は使用部材である鋳鉄から $E=$ [MPa]、断面二次モーメントは最小断面積となる断面から $I_y=$ [mm⁴]を用いると、たわみ量は以下の通りとなる。

$$\delta = \text{} \text{ [mm]} = \text{} \text{ [cm]}$$

算出したその変位量を下記の式に用いて一次固有振動数 f を算出する。

$$f = \frac{5}{\sqrt{\delta}}$$

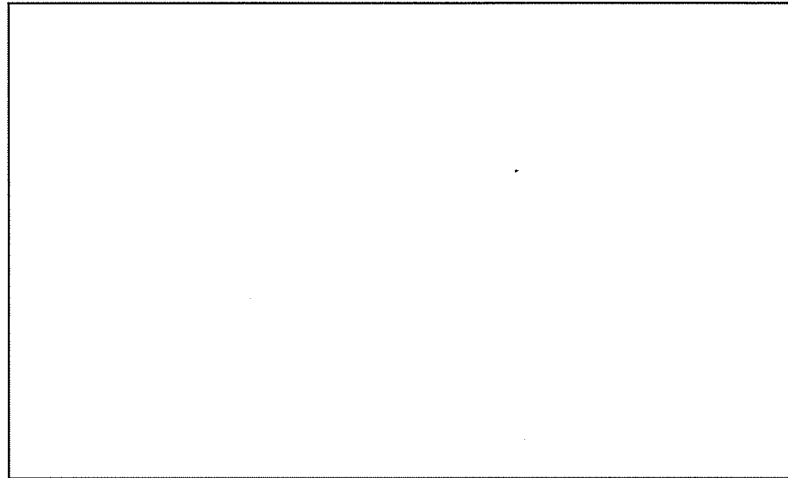
$$f = \frac{5}{\sqrt{\text{}}} = \text{} = \text{} \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は [Hz]となり、20 [Hz]以上であるので、剛構造となる。また、一次固有振動数が十分に大きいことから、本体は剛であると判断でき、据付ボルトの評価で代表する。

2. 3. 据付ボルトの評価方法

2. 3. 1. 構造解析モデル

据付ボルトの評価モデルは添説設 3-1-他 1-2-1 図に示すとおりであり、本体を質点としてモデル化し、重心位置に水平地震力 P が作用した際の転倒モーメント、安定モーメントを算出し、それらをもとにボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認する。許容限界は添付説明書—設 3-1-付 1 参照。



添説設 3-1-他 1-2-1 図 モデル図

2. 3. 2. 評価結果

非常用ディーゼル発電機は剛構造のため、重心位置に自重相当の水平地震力 $P (=W \cdot K_H)$ が作用した際の転倒モーメント M1、安定モーメント M2 を下式より算出する。ここで総重量 $W = \square$ [N]、設計用水平震度 $K_H = \square$ 、重心高さ $h = \square$ [mm]、ボルト支点間距離 $l_0 = \square$ [mm]、回転中心までの長さ $l_1 = \square$ [mm] を用いる。

$$M1 = P \cdot h = \square \text{ [N} \cdot \text{mm]}$$

$$M2 = W \cdot l_1 = \square \text{ [N} \cdot \text{mm]}$$

よって、ボルト本数 $n_t = \square$ 、引抜力に作用するボルト本数 $n_t' = \square$ より、引抜力 R_b 、引張応力度 σ_t 、せん断応力度 τ は以下の通りであり、添説設 3-1-他 1-2-1 表にまとめる。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

なお、本評価は、非常用ディーゼル発電機本体が据え付けられているベースプレートの据付ボルト（アンカーボルト）を対象とした。非常用ディーゼル発電機本体とベースプレートの据付ボルト（取付ボルト）の検定比は、添説設 3-1-他 1-2-1 表に示す検定比より小さくなるため、据付ボルトの評価は本評価で代表した。

$$R_b = \frac{M1 - M2}{l_0 \cdot nt'} = \boxed{} \text{ [N]}$$

$$\sigma_t = \frac{R_b}{A} = \boxed{} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\tau = \frac{P}{A \cdot nt} = \boxed{} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$A = \boxed{} = \boxed{} \text{ [mm}^2\text{]}$$

添説設 3-1-他 1-2-1 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度			
せん断応力度			
引抜力			

3. 潤滑油タンクの耐震計算

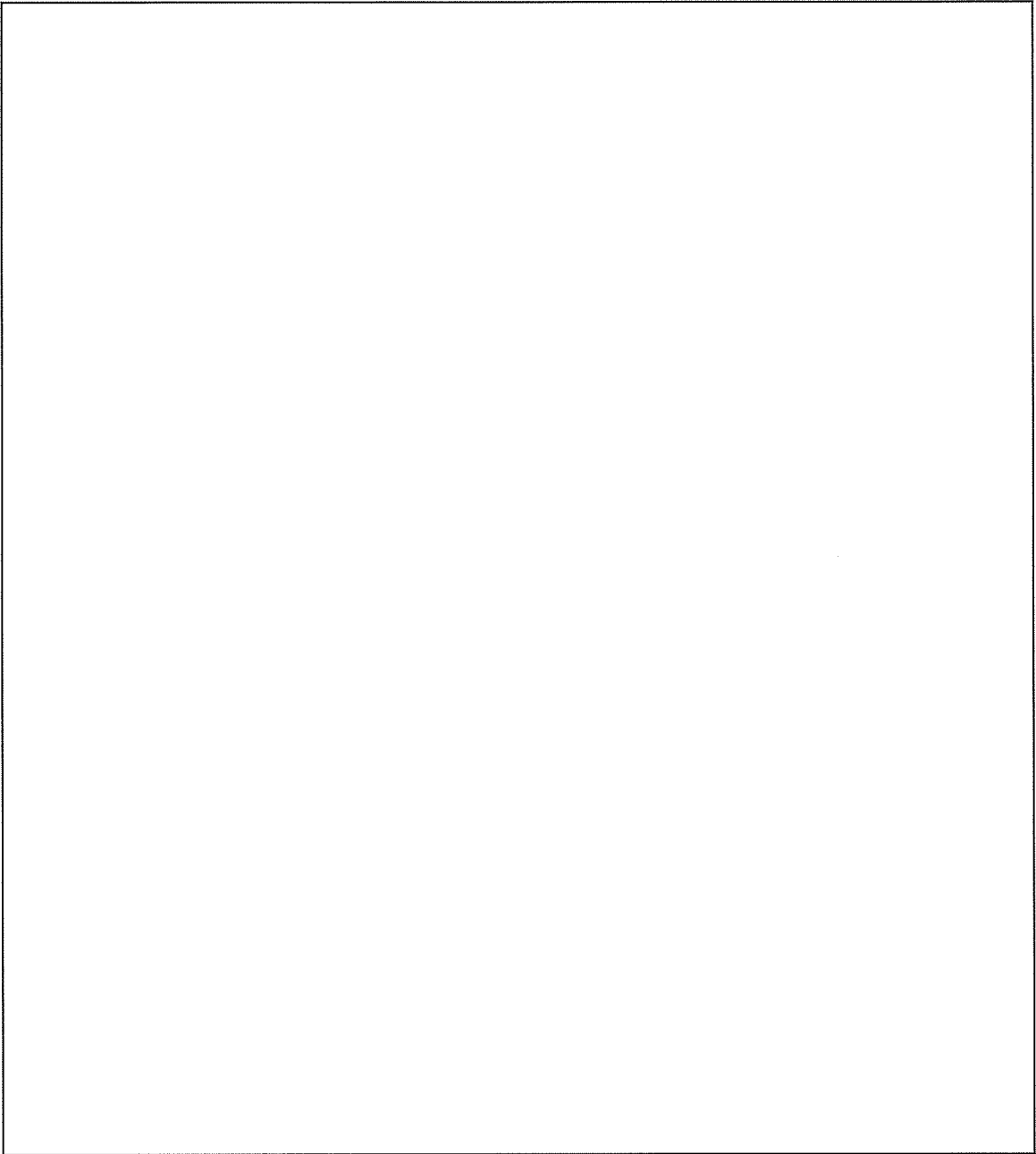
3. 1. 評価方法

潤滑油タンクの地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として評価する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

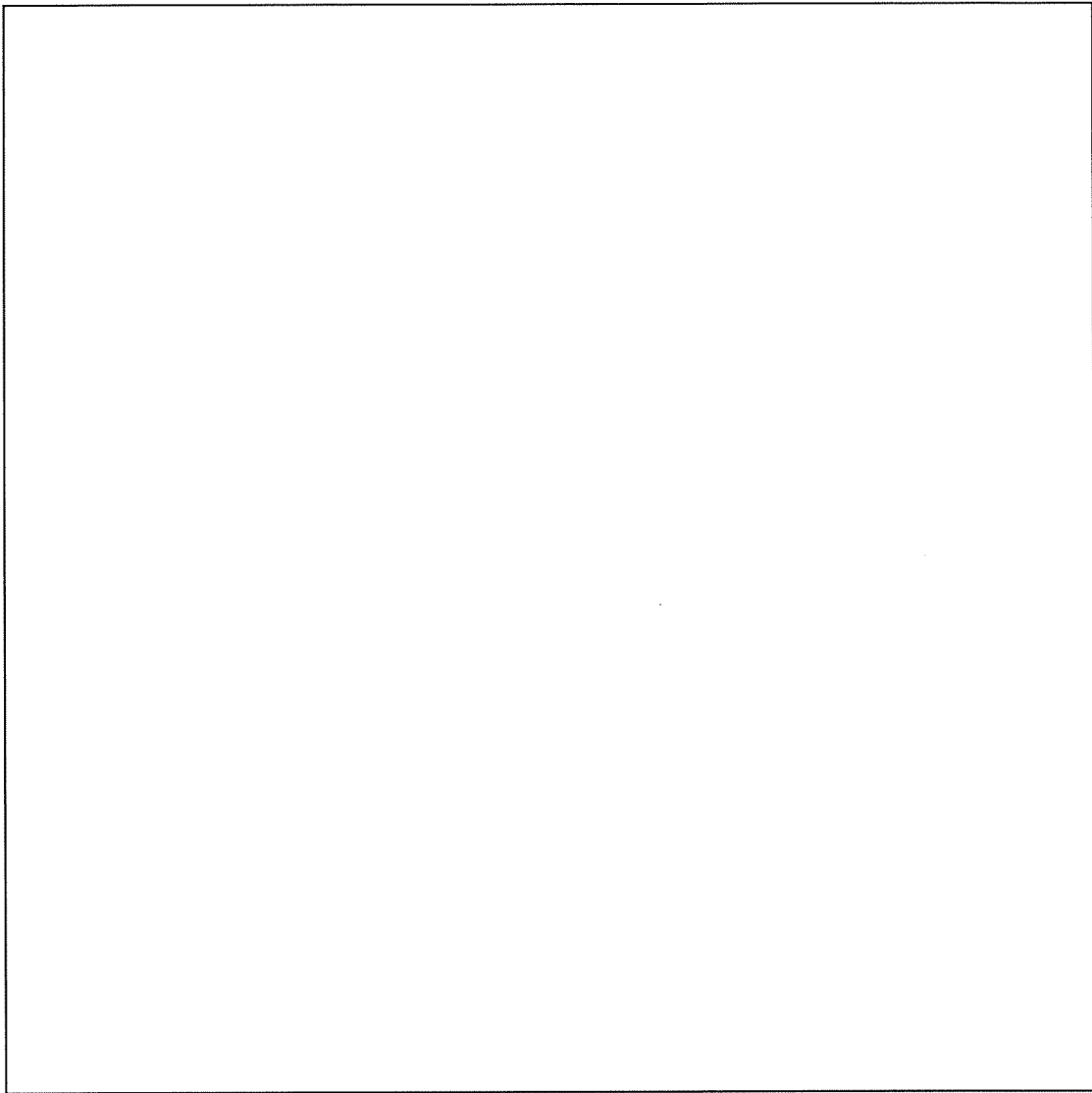
3. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-他 1-3-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-他 1-3-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-他 1-3-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-他 1-3-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-他 1-3-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-1-他 1-3-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-1-他 1-3-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] $\times 10^4$		断面係数 [mm ³] $\times 10^3$		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり									JIS G3192	
柱									JIS G3192	
その他									JIS G3192	

添説設 3-1-1-他 1-3-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-他 1-3-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*1

*1：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

*2：潤滑油及びそれを内包する設備を含む。

3. 1. 2. 設計用地震力

3. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdot \cdot \cdot \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

3. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造としない設備であり、発電機室 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 2 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 0.6G とする。

3. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

3. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書—設 3-1-付 1 に示す。

3. 2. 応力評価

3. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-他 1-3-4 表及び添説設 3-1-他 1-3-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-他 1-3-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	02_02								
圧縮応力度	—	00_01								
せん断応力度	—	00_02								
曲げ応力度	—	00_02								
組合せ応力度	—	00_02								
組合せ応力	—	00_02								

添説設 3-1-他 1-3-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	02_01								
圧縮応力度	Y 正	00_07								
せん断応力度	Y 正	00_08								
曲げ応力度	X 正	02_01								
組合せ応力度	X 正	02_01								
組合せ応力	X 正	02_01								

3. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-他 1-3-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-他 1-3-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	00_02						
せん断応力度	Y 正	00_08						
引抜力	Y 正	00_02						

4. 燃料油タンクの耐震計算

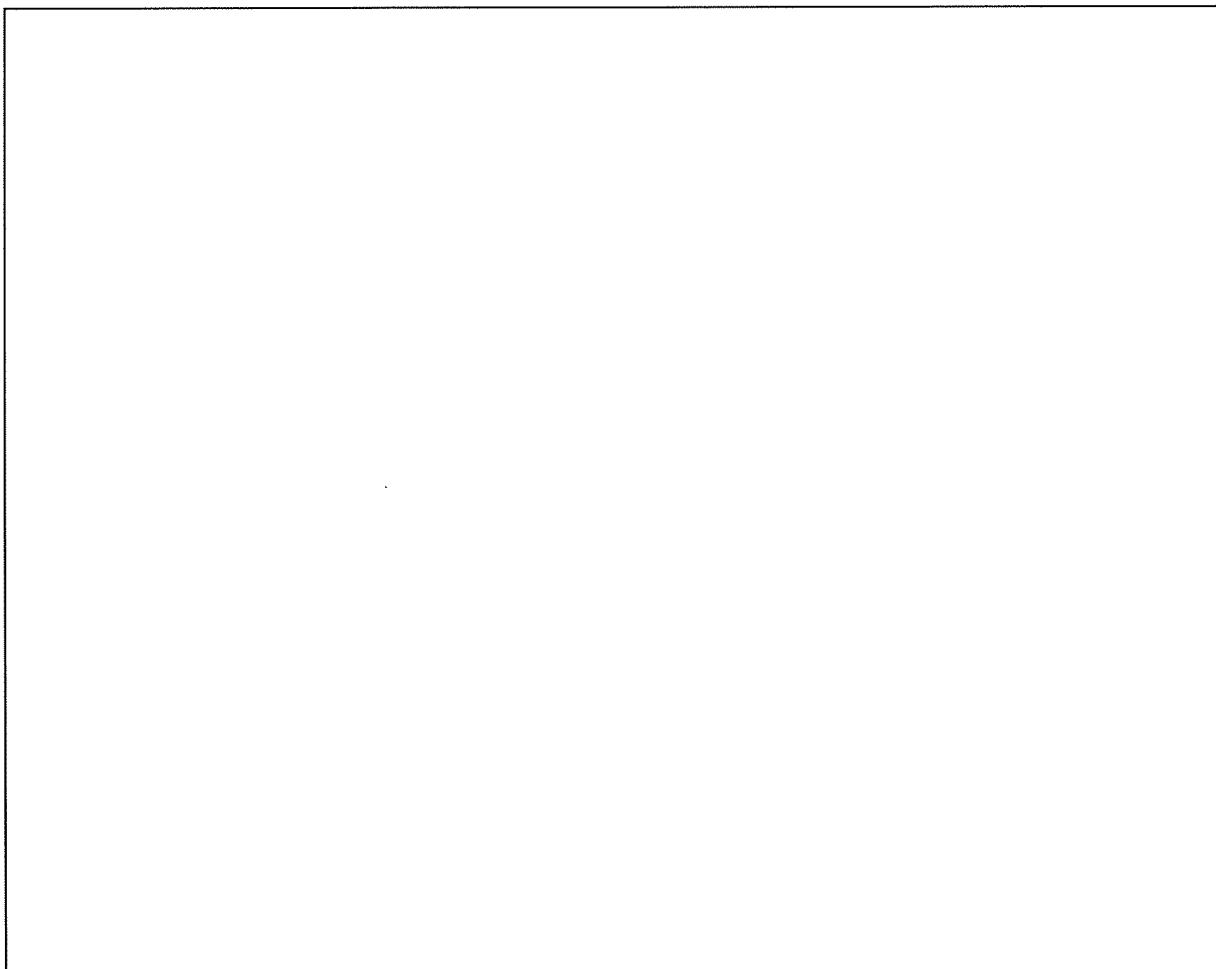
4. 1. 評価方法

燃料油タンクの地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

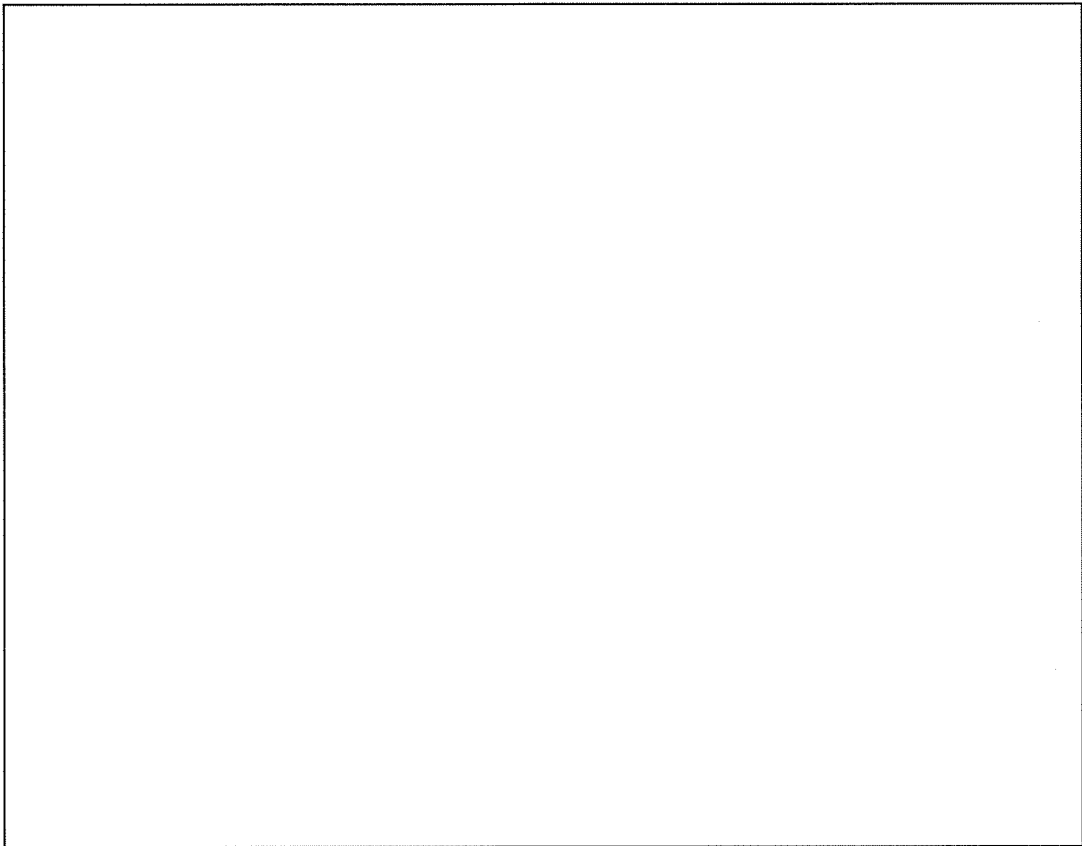
4. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-他 1-4-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-他 1-4-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-他 1-4-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-他 1-4-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-他 1-4-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-他 1-4-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-他 1-4-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] × 10 ⁴		断面係数 [mm ³] × 10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり									JIS G3192	
柱									JIS G3192	
その他									JIS G3192	

添説設 3-1-他 1-4-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-他 1-4-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*1

*1：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

*2：燃料油及びそれを内包する設備を含む。

4. 1. 2. 設計用地震力

4. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \div \square \cdot \cdot \cdot \div \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20 [Hz]未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

4. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造としない設備であり、発電機室 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 2 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 0.6G とする。

4. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

4. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書-設 3-1-付 1 に示す。

4. 2. 応力評価

4. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-他 1-4-4 表及び添説設 3-1-他 1-4-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-他 1-4-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	00_01								
圧縮応力度	—	00_01								
せん断応力度	—	00_02								
曲げ応力度	—	02_07								
組合せ応力度	—	02_01								
組合せ応力	—	02_07								

添説設 3-1-他 1-4-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	02_01								
圧縮応力度	Y 正	00_09								
せん断応力度	Y 正	00_10								
曲げ応力度	X 正	02_01								
組合せ応力度	X 正	02_01								
組合せ応力	X 正	02_01								

4. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-他 1-4-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-他 1-4-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	00_02						
せん断応力度	Y 正	00_10						
引抜力	Y 正	00_02						

5. ラジエータの耐震計算

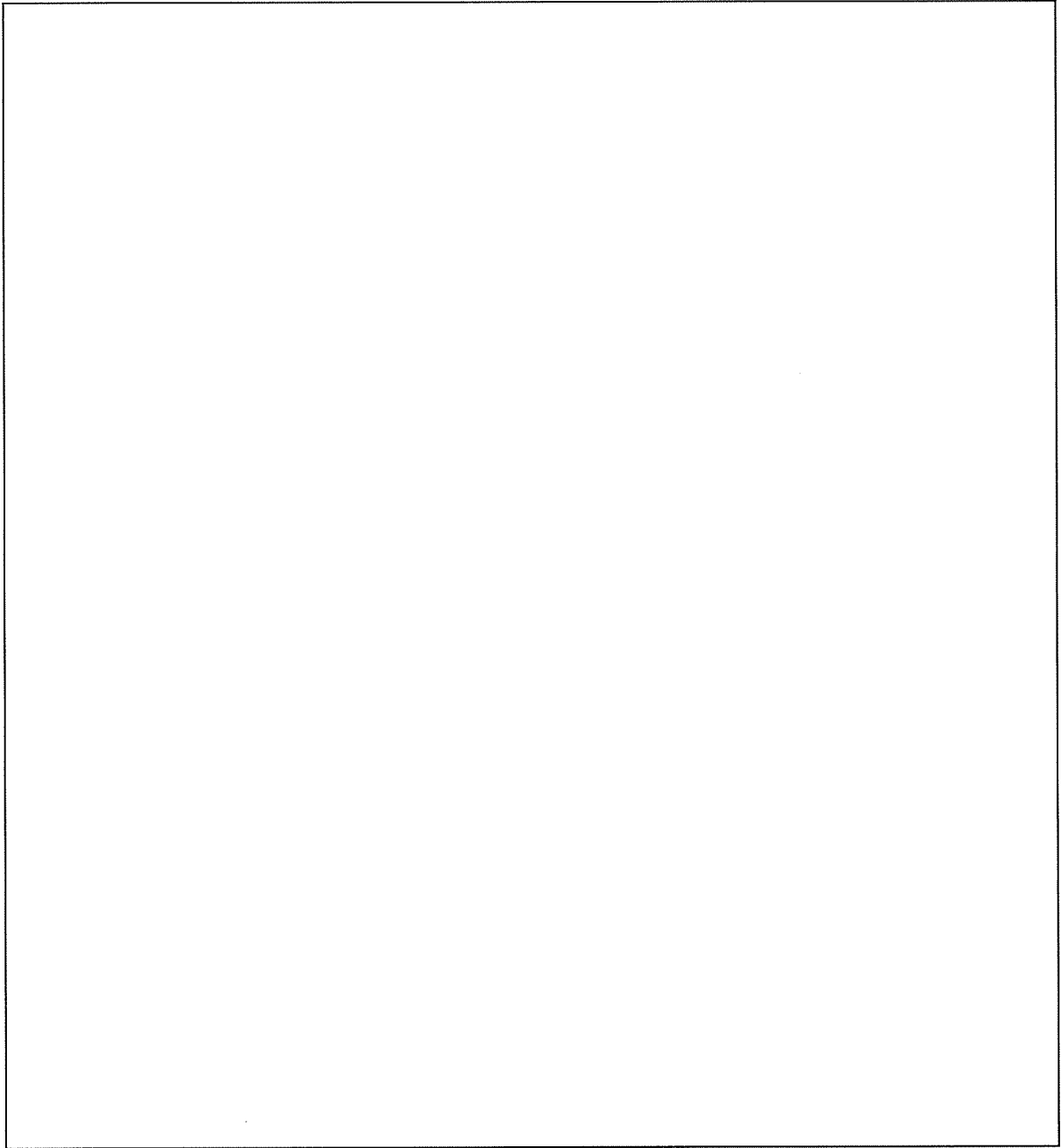
5. 1. 評価方法

ラジエータの地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

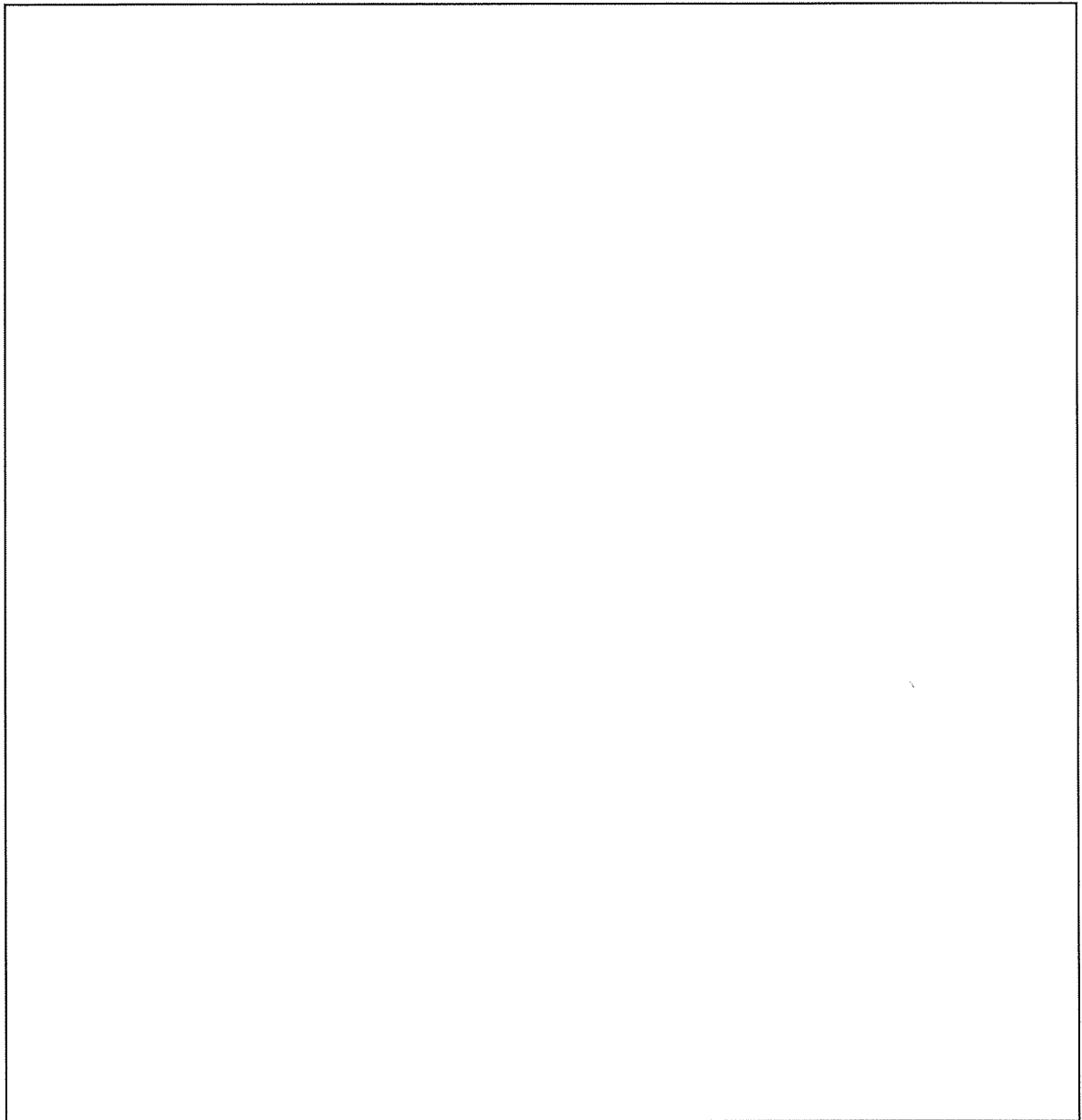
5. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-他 1-5-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-他 1-5-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-他 1-5-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-他 1-5-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-他 1-5-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-他 1-5-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-他 1-5-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] × 10 ⁴		断面係数 [mm ³] × 10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
柱										JIS G3192
その他										JIS G3192

添説設 3-1-他 1-5-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-他 1-5-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

*：節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

5. 1. 2. 設計用地震力

5. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \div \square \cdots \div \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

5. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造とならない設備であり、発電機室 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 2 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 0.6G とする。

5. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

5. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

5. 2. 応力評価

5. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-他 1-5-4 表及び添説設 3-1-他 1-5-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-他 1-5-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	—								
圧縮応力度	—	1								
せん断応力度	—	5								
曲げ応力度	—	5								
組合せ応力度	—	5								
組合せ応力	—	5								

添説設 3-1-他 1-5-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 正	5								
圧縮応力度	Y 正	7								
せん断応力度	X 正	2								
曲げ応力度	Y 正	9								
組合せ応力度	Y 正	9								
組合せ応力	Y 正	9								

5. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-他 1-5-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-他 1-5-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 正							
せん断応力度	Y 正							
引抜力	X 正							

6. 発電機始動盤の耐震計算

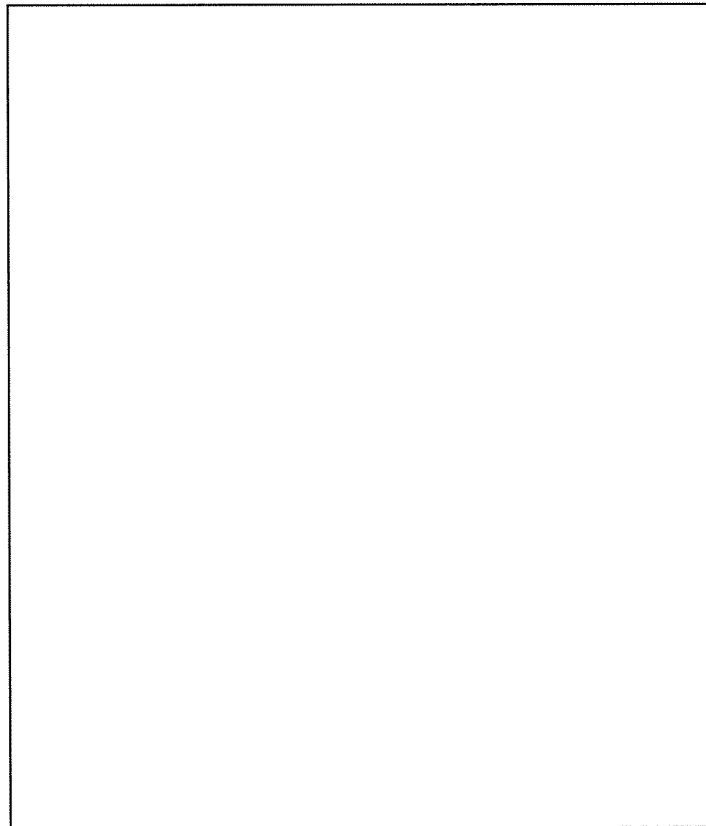
6. 1. 評価方法

発電機始動盤の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

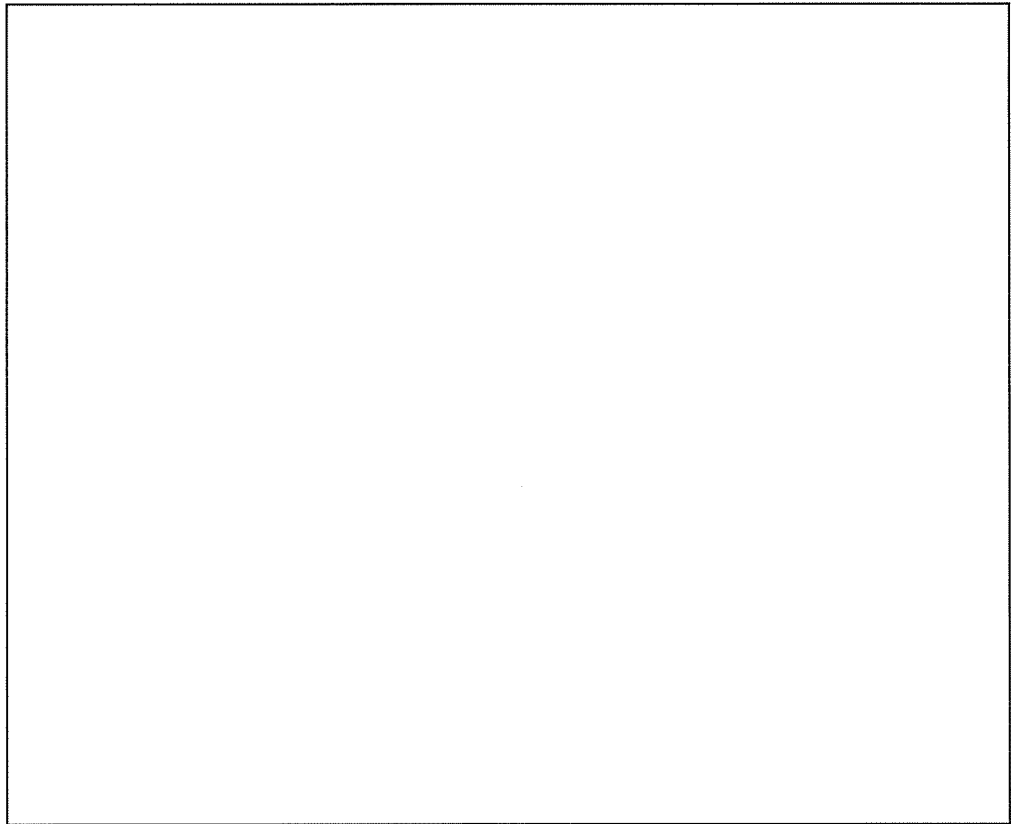
6. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-他 1-6-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-他 1-6-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-他 1-6-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な短期荷重の積載荷重は添説設 3-1-他 1-6-3 表の通りとする。なお、長期荷重の積載荷重はない。また、長期荷重の固定荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-他 1-6-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-他 1-6-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-他 1-6-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] × 10 ⁴		断面係数 [mm ³] × 10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	Iy	Iz	Zy	Zz	I	
はり										JIS G3466
柱										JIS G3466

添説設 3-1-他 1-6-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-他 1-6-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

* : 節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

6. 1. 2. 設計用地震力

6. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

$$\text{解析結果より、} \delta = \boxed{} \text{ [cm]}$$

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\boxed{}}} \div \boxed{} \cdot \cdot \cdot \div \boxed{} \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は $\boxed{}$ [Hz]となり、20[Hz]未満であるので、剛構造とならない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

6. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造とならない設備であり、発電機室1階に設置しており、耐震重要度分類第2類であることから、設計用地震力は静的地震力の0.6Gとする。

6. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

6. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書―設3-1-付1に示す。

6. 2. 応力評価

6. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書―設3-1-付2に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設3-1-他1-6-4表及び添説設3-1-他1-6-5表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-他 1-6-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	-	-								
圧縮応力度	-	00_01								
せん断応力度	-	01_03								
曲げ応力度	-	01_02								
組合せ応力度	-	01_01								
組合せ応力	-	00_01								

添説設 3-1-他 1-6-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 正	01_04								
圧縮応力度	X 負	00_03								
せん断応力度	X 負	01_04								
曲げ応力度	X 負	01_01								
組合せ応力度	X 負	01_01								
組合せ応力	X 正	01_05								

6. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-他 1-6-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-他 1-6-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 正							
せん断応力度	X 正							
引抜力	X 正							

地震インターロックの耐震計算書

1. 設備・機器概要

1. 1. 耐震重要度分類

耐震重要度分類は第1類である。

1. 2. 設置位置

設置位置を添説設3-1-制1-1-1表に示す。

添説設3-1-制1-1-1表 対象設備 設置位置

機器名	建物名	区分	部屋名	参照図面
地震インターロック	工場棟	転換工場	転換加工室	添付図 図イ設-2

1. 3. 構造

構造図を添説設3-1-制1-1-2表に示す。地震インターロックは安全機能を有する設備として地震計及び制御盤を有する。

添説設3-1-制1-1-2表 対象設備 構造図

機器名	構造図
地震計	添付図 図イ設-2
制御盤	添付図 図イ制-盤1

2. 地震計の耐震計算

地震計の地震力に対する安全機能の維持は、地震計本体及び据付ボルトを対象として評価する。

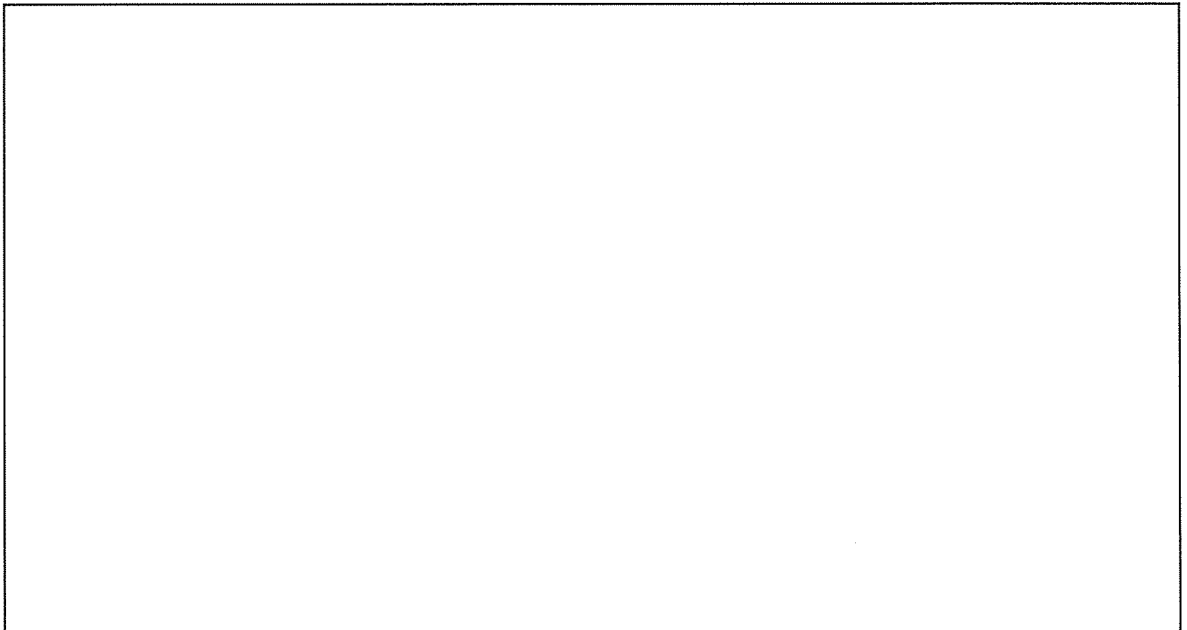
2. 1. 本体の評価方法

一次固有振動数については、地震計メーカーカタログ値より \square Hz 以上であることから剛構造となる。また、一次固有振動数が十分に大きいことから、本体は剛であると判断でき、据付ボルトの評価で代表する。

2. 2. 据付ボルト（地震計本体とベースプレートの据付ボルト）の評価方法

2. 2. 1. 構造解析モデル

据付ボルトの評価モデルは添説設 3-1-制 1-2-1 図に示すとおりである。許容限界は添付説明書-設 3-1 付 1 参照。



添説設3-1-制1-2-1図 地震計評価モデル図

2. 2. 2. 評価結果

地震計は剛構造のため、重心位置に水平地震力 $P(=W \cdot K_H)$ が作用した際の転倒モーメント $M1$ 、安定モーメント $M2$ を下式より算出する。ここで総重量 $W=$ [N]、設計用水平震度 $K_H=$ 、重心高さ $h=$ [mm]、ボルト-回転中心間距離 $l_0=$ [mm]、回転中心までの長さ $l_1=$ [mm]を用いる。

$$M1 = P \cdot h = \text{} [N \cdot mm]$$

$$M2 = W \cdot l_1 = \text{} [N \cdot mm]$$

よって、ボルト本数 $nt=$ 、引抜力に作用するボルト本数 $nt'=$ より、引抜力 R_b 、引張応力度 σ_t 、せん断応力度 τ は以下の通りであり、添説設 3-1-制 1-2-1 表にまとめる。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

$$R_b = \frac{M1 - M2}{l_0 \cdot nt'} = \text{} [N]$$

$$\sigma_t = \frac{R_b}{A} = \text{} = \text{} \rightarrow \text{} [N/mm^2]$$

$$\tau = \frac{P}{A \cdot nt} = \text{} = \text{} \rightarrow \text{} [N/mm^2]$$

$$A = \text{} = \text{} [mm^2]$$

A : ボルトの断面積

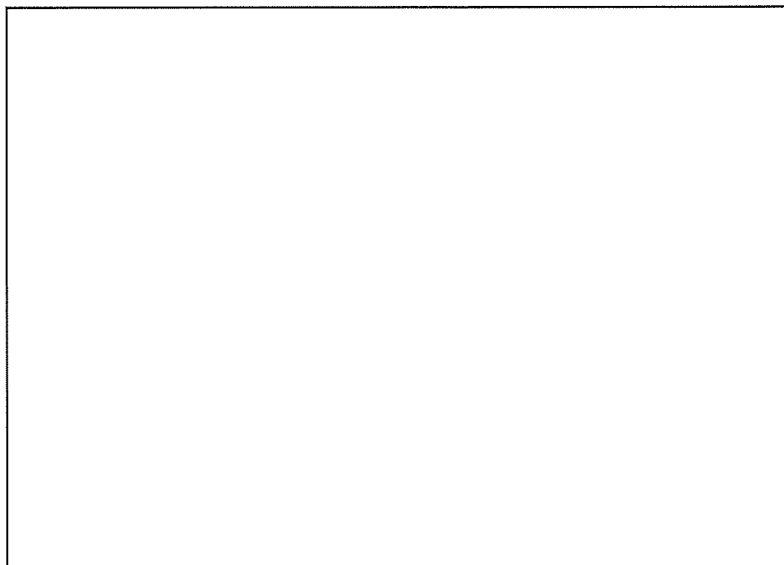
添説設3-1-制1-2-1表 据付ボルト（地震計本体とベースプレート）の評価結果

評価対象	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度			
せん断応力度			
引抜力			

2. 3. 据付ボルト（ベースプレート）の評価方法

2. 3. 1. 構造解析モデル

据付ボルト（ベースプレート）の評価モデルは添説設 3-1-制 1-2-2 図に示すとおりである。許容限界は添付説明書一設 3-1 付 1 参照。



添説設3-1-制1-2-2図 地震計評価モデル図

2. 3. 2. 評価結果

地震計は剛構造のため、重心位置に水平地震力 $P(=W \cdot K_H)$ が作用した際の転倒モーメント $M1$ 、安定モーメント $M2$ を下式より算出する。ここで総重量 $W=□[N]$ 、設計用水平震度 $K_H=□$ 、重心高さ $h=□[mm]$ 、ボルト支点間距離 $l_0=□[mm]$ 、回転中心までの長さ $l_1=□[mm]$ を用いる。

$$M1 = P \cdot h = □ [N \cdot mm]$$

$$M2 = W \cdot l_1 = □ [N \cdot mm]$$

よって、ボルト本数 $nt=□$ 、引抜力に作用するボルト本数 $nt'=□$ より、引抜力 R_b 、引張応力度 σ_t 、せん断応力度 τ は以下の通りであり、添説設 3-1-制 1-2-2 表にまとめる。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

$$R_b = \frac{M1-M2}{l_0 \cdot nt} = \boxed{} \rightarrow \boxed{} [\text{N}]$$

$$\sigma_t = \frac{R_b}{A} = \boxed{} = \boxed{} \rightarrow \boxed{} [\text{N}/\text{mm}^2]$$

$$\tau = \frac{P}{A \cdot nt} = \boxed{} = \boxed{} \rightarrow \boxed{} [\text{N}/\text{mm}^2]$$

$$A = \boxed{} = \boxed{} [\text{mm}^2]$$

A : ボルトの断面積

添説設3-1-制1-2-2表 据付ボルトの評価結果

評価対象	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度			
せん断応力度			
引抜力			

3. 制御盤の耐震計算

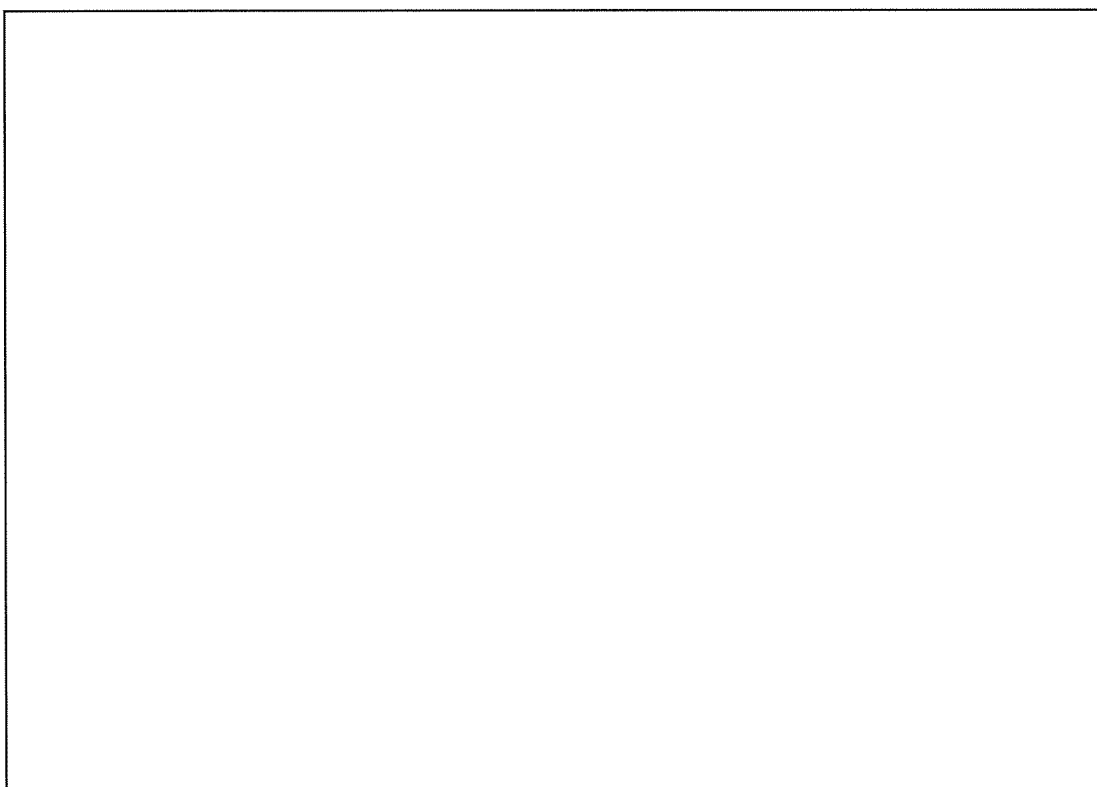
3. 1. 評価方法

制御盤の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

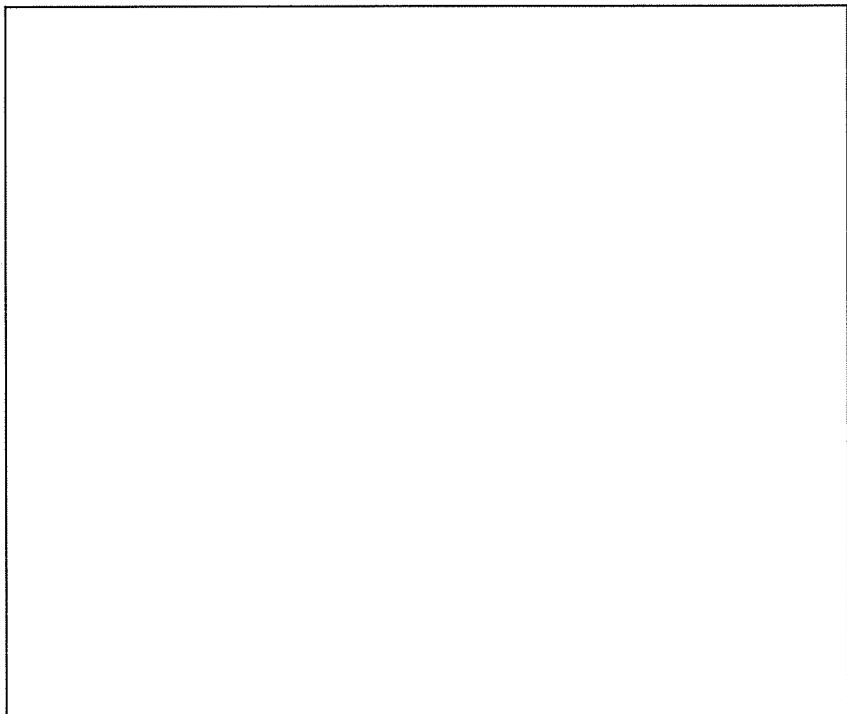
3. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-制 1-3-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-制 1-3-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-制 1-3-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-制 1-3-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-制 1-3-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-1 制 1-3-1 図 (2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-1 制 1-3-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] × 10 ⁴		断面係数 [mm ³] × 10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり										JIS G3192
柱										JIS G3192

添説設 3-1-1 制 1-3-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計規準

添説設 3-1-1 制 1-3-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

* : 節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。

3. 1. 2. 設計用地震力

3. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

$$\text{解析結果より、} \delta = \boxed{} \text{ [cm]}$$

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\boxed{}}} \div \boxed{} \cdot \cdot \cdot \div \boxed{} \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は $\boxed{}$ [Hz]となり、20[Hz]未満であるので、剛構造としない設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

3. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造としない設備であり、転換工場1階に設置しており、耐震重要度分類第1類であることから、設計用地震力は静的地震力の1.0Gとする。

3. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

3. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書-設3-1-付1に示す。

3. 2. 応力評価

3. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書-設3-1-付2に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設3-1-制1-3-4表及び添説設3-1-制1-3-5表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-制 1-3-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	2								
圧縮応力度	—	8								
せん断応力度	—	14								
曲げ応力度	—	9								
組合せ応力度	—	9								
組合せ応力	—	9								

添説設 3-1-制 1-3-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	2								
圧縮応力度	Y 正	8								
せん断応力度	Y 正	14								
曲げ応力度	X 正	11								
組合せ応力度	X 正	11								
組合せ応力	Y 正	8								

3. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-制 1-3-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-制 1-3-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	13						
せん断応力度	X 正	16						
引抜力	Y 正	13						

UF₆漏えい警報設備の耐震計算書

1. 設備・機器概要

1. 1. 耐震重要度分類

耐震重要度分類は第1類である。

1. 2. 設置位置

設置位置を添説設3-1-制2-1-1表に示す。

添説設3-1-制2-1-1表 対象設備 設置位置

機器名	建物名	区分	部屋名	参照図面
UF ₆ 漏えい警報設備	工場棟	転換工場	原料倉庫	添付図 図イ設-2

1. 3. 構造

構造図を添説設3-1-制2-1-2表に示す。UF₆漏えい警報設備は安全機能を有する設備としてHF検出器(検出端、作動端)(屋内)、HF検出器(作動端)(屋外)を有する。

添説設3-1-制2-1-2表 対象設備 構造図

機器名	構造図
HF検出器(検出端、作動端)(屋内)	添付図 図イ設-2
HF検出器(作動端)(屋外)	添付図 図イ設-2

2. HF 検出器(検出端、作動端)(屋内)耐震計算

HF 検出器(検出端、作動端)(屋内)の地震力に対する安全機能の維持は、支柱本体及び据付ボルト対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。

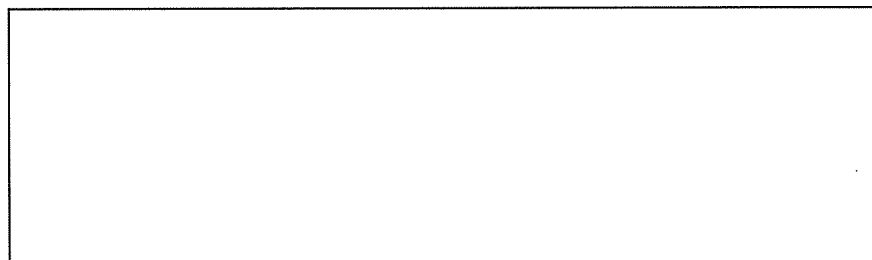
2. 1. 支柱の耐震計算

支柱の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、1本のはり要素による手計算で実施する。
- (2) 拘束条件として、据付ボルト部を固定する。

2. 1. 1. 構造解析モデル

添説設 3-1-制 2-2-1 図に示す。モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-制 2-2-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-制 2-2-2 表に示す。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重 (H) とする。



添説設3-1-制2-2-1図 支柱 モデル図

添説設 3-1-1 制 2-2-1 表 使用部材 断面性能

使用部材 材料	鋼材	断面積 [mm ²]	断面二次 モーメント [mm ⁴]×10 ⁴	断面係数 [mm ³]×10 ³	断面二次半径 [mm]	出典
		A	I	Z	I	
支柱						JIS G3192

添説設 3-1-1 制 2-2-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				鋼構造設計基準

2. 1. 2. 設計用地震力

2. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出をするために、はり先端に水平方向の荷重が付与された場合の変形量を算出する。はり先端に作用させた荷重Pは、支柱重量P_A=□[N]、HF 検出器(検出端、作動端)(屋内)本体重量P_W=□[N]を合わせた重量とする。

$$P = P_A + P_W = \square \text{ [N]}$$

柱に発生する最大たわみδは下式より算出される。

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

ここで、

P : 水平方向作用荷重

L : 支柱長さ

E : ヤング係数

I : 断面二次モーメント

使用部材の断面特性、材料定数は添説設 3-1-1 制 2-2-1 表及び添説設 3-1-1 制 2-2-2 表に示すとおりであるので、たわみ量は以下の通りとなる。

$$\delta = \square [\text{mm}] = \square [\text{cm}]$$

算出したその変位量を下記の式に用いて一次固有振動数 f を算出する。

$$f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} = \square [\text{Hz}]$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz] となり、20 [Hz] 以上であるので、剛構造の設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

2. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造の設備であり、転換工場 1 階または成型工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

2. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

2. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書—設 3-1-付 1 に示す。

2. 1. 5. 部材の評価

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。

長期状態での支柱に作用する荷重は、構造上支柱の自重のみであるため短期状態での評価とする。

短期状態での応力を手計算にて算出した結果を添説設 3-1-制 2-2-3 表に示す。短期状態での支柱に作用する荷重は、以下のとおりであり、下式にて応力度を算出した。

$$\text{水平荷重: } N = (P_A + P_W) \times K_h = \square [\text{N}]$$

$$M = N \times L = \square [\text{N} \cdot \text{mm}]$$

せん断応力度： $\tau = \frac{P}{A}$

曲げ応力度： $\sigma_b = \frac{M}{Z}$

組合せ応力度： $\sigma_{vm} = \sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2}$

組合せ応力： $\sigma_m = \frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$

添説設 3-1-制 2-2-3 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	評価値（柱）	許容限界	検定比[-]
引張応力度			
圧縮応力度			
せん断応力度			
曲げ応力度			
組合せ応力度			
組合せ応力			

2. 1. 6. 据付ボルトの評価

部材の評価より、ボルトには柱部に作用する、せん断力 P、モーメント M が作用する。

ボルト本数 $nt = \square$ 、引き抜き力に作用するボルト本数 $nt' = \square$ 、ベースプレートからボルト位置までの距離 $l = \square$ [mm] より、引抜力 R_b 、引張応力度 σ_t 、せん断応力度 τ は下式にて算出し、添説設 3-1-制 2-2-4 表にまとめる。

$$R_b = \frac{M}{l \cdot nt'}$$

$$\sigma_t = \frac{R_b}{A_b}$$

$$\tau = \frac{P}{A_b \cdot nt}$$

(ボルト断面積 $A_b = \square$ [mm²])

評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、十分な構造強度を有していることを確認した。

添説設 3-1-制 2-2-4 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	評価値	許容限界	検定比[-]
引張応力度			
せん断応力度			
引抜力			

3. HF 検出器（作動端）（屋外）の耐震計算

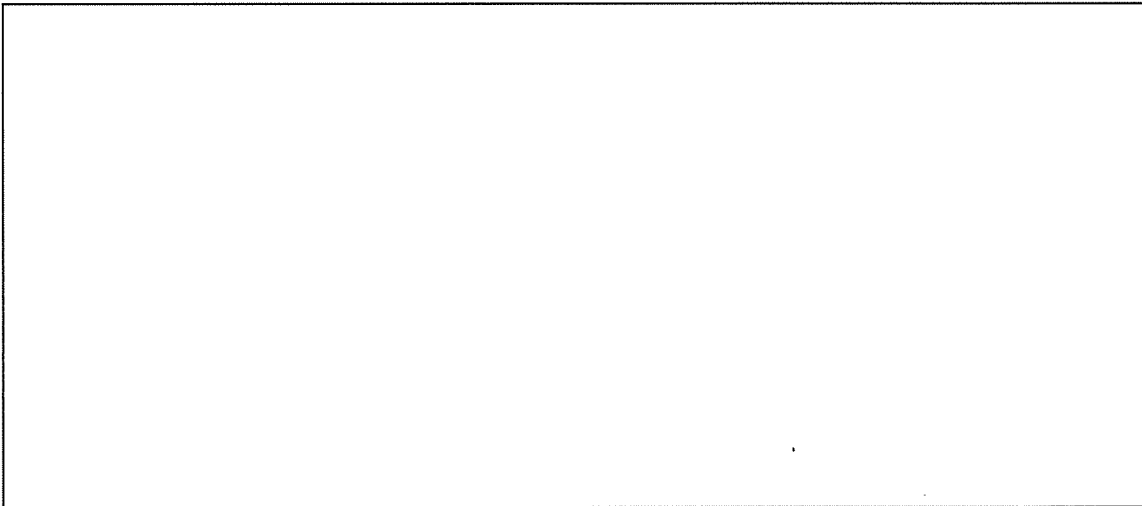
3. 1. 評価方法

HF 検出器（作動端）（屋外）の地震力に対する安全機能の維持は、本体及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

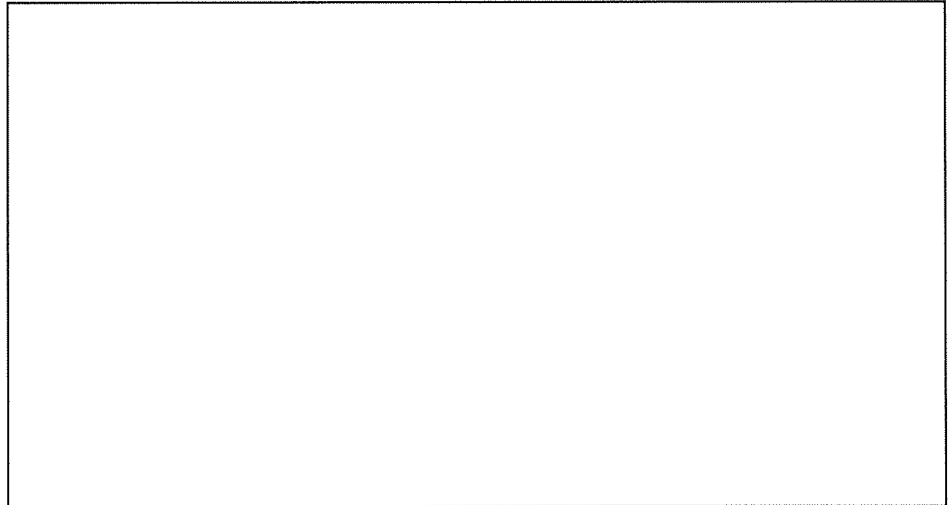
3. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-制 2-3-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-制 2-3-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-制 2-3-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-制 2-3-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-制 2-3-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-1 制 2-3-1 図(2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-1 制 2-3-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次モーメント [mm ⁴] × 10 ⁴		断面係数 [mm ³] × 10 ³		断面二次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり									JIS G4317	
柱									JIS G4317	
その他									JIS G4317	

添説設 3-1-1 制 2-3-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				JSME S NJ1-2012

添説設 3-1-1 制 2-3-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

* : 節点番号は数字または階層と番号を下線()で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン(-)でつないで示す。要素のコロン(:)の後に示す数字は、要素の始点の節点からの距離を示す。

3. 1. 2. 設計用地震力

3. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \doteq \square \cdots \doteq \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20 [Hz]以上であるので、剛構造の設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

3. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造の設備であり、転換工場 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 1 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 1.0G とする。

3. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

3. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

3. 2. 応力評価

3. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-制 2-3-4 表及び添説設 3-1-制 2-3-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-制 2-3-4 表 部材の評価結果 (長期)

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	9								
圧縮応力度	—	1								
せん断応力度	—	1								
曲げ応力度	—	3								
組合せ応力度	—	3								
組合せ応力	—	3								

添説設 3-1-制 2-3-5 表 部材の評価結果 (短期)

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 負	4								
圧縮応力度	Y 正	5								
せん断応力度	X 負	3								
曲げ応力度	Y 正	3								
組合せ応力度	Y 正	3								
組合せ応力	Y 正	3								

3. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-制 2-3-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-制 2-3-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	X 負	3						
せん断応力度	Y 正	7						
引抜力	—	—						

不純物分析設備の耐震計算書

1. 設備・機器概要

1. 1. 耐震重要度分類

耐震重要度分類は第2類である。

1. 2. 設置位置

設置位置を添説設3-1-1分1-1-1表に示す。

添説設3-1-1分1-1-1表 対象設備 設置位置

機器名	建物名	区分	部屋名	参照図面
不純物分析設備	付属建物	除染室・分析室	分析室	添付図 図リ配-3

1. 3. 構造

構造図を添説設3-1-1分1-1-2表に示す。不純物分析設備は安全機能を有する設備としてサンプル保管庫本体及びサンプル保管庫設置架台を有する。

添説設3-1-1分1-1-2表 対象設備 構造図

機器名	構造図
サンプル保管庫本体 サンプル保管庫設置架台	添付図 図リ設-4

2. サンプル保管庫本体の耐震計算

2. 1. 評価方法

サンプル保管庫本体の地震力に対する安全機能の維持は、サンプル保管庫本体及び据付ボルトを対象として評価する。

2. 2. 本体の評価方法

一次固有振動数を算出する。本体の上端に自重相当の水平力Pが作用した際の上端における変形量を算出する。ここで総重量 $W = \square$ [N]である。

$$P = W = \square \text{ [N]}$$

本体上端に発生する最大たわみは下式より算出される。

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I_y}$$

ここで、

P : 水平方向作用荷重

L : 評価長さ

E : ヤング係数

I_y : 断面二次モーメント

評価長さは重心高さから $L = \square$ [mm]、ヤング率は使用部材である炭素鋼から $E = \square$ [MPa]、断面二次モーメントは最小断面積となる断面から $I_y = \square$ [mm⁴]を用いると、たわみ量は以下の通りとなる。

$$\delta = \square \text{ [mm]} = \square \text{ [cm]}$$

算出したその変位量を下記の式に用いて一次固有振動数 f を算出する。

$$f = \frac{5}{\sqrt{\delta}}$$

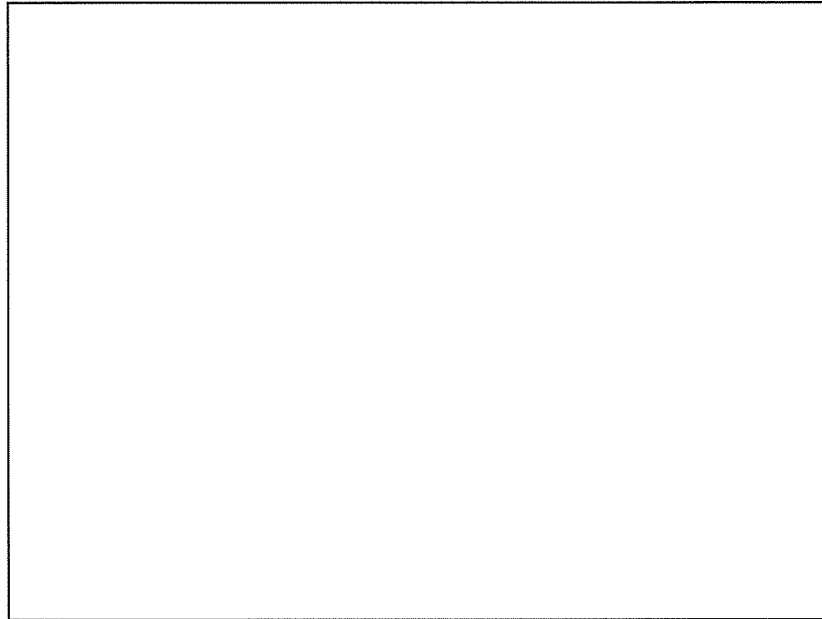
$$f = \frac{5}{\sqrt{\square}} = \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20[Hz]以上であるので、剛構造となる。また、一次固有振動数が十分に大きいことから、本体は剛であると判断でき、据付ボルトの評価で代表する。

2. 3. 据付ボルトの評価方法

2. 3. 1. 構造解析モデル

据付ボルトの評価モデルは添説設 3-1-1 分 1-2-1 図に示すとおりであり、本体を質点としてモデル化し、重心位置に水平地震力 P が作用した際の転倒モーメント、安定モーメントを算出し、それらをもとにボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。許容限界は添付説明書-設 3-1-1 付 1 参照。



添説設3-1-1分1-2-1図 サンプル保管庫本体 モデル図

2. 3. 2. 評価結果

サンプル保管庫本体は剛構造のため、重心位置に自重相当の水平地震力 P ($=W \cdot K_H$) が作用した際の転倒モーメント M1、安定モーメント M2 を下式より算出する。ここで総重量 $W = \square$ [N]、設計用水平震度 $K_H = \square$ 、重心高さ $h = \square$ [mm]、ボルト支点間距離 $l_0 = \square$ [mm]、回転中心までの長さ $l_1 = \square$ [mm] を用いる。

$$M1 = P \cdot h = \square \text{ [N} \cdot \text{mm]}$$

$$M2 = W \cdot l_1 = \square \text{ [N} \cdot \text{mm]}$$

よって、ボルト本数 $nt = \square$ 、引抜力に作用するボルト本数 $nt' = \square$ より、引抜力 R_b 、引張応力度 σ_t 、せん断応力度 τ は以下の通りであり、添説設 3-1-1 分 1-2-1 表にまとめる。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

$$R_b = \frac{M1 - M2}{l_0 \cdot nt'} = \boxed{} \rightarrow \boxed{} [\text{N}]$$

$$\sigma_t = \frac{R_b}{A} = \boxed{} = \boxed{} [\text{N/mm}^2]$$

$$\tau = \frac{P}{A \cdot nt} = \boxed{} = \boxed{} [\text{N/mm}^2]$$

$$A = \boxed{} \cdot \boxed{} = \boxed{} [\text{mm}^2]$$

添説設3-1-分1-2-1表 据付ボルトの評価結果

評価対象	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度			
せん断応力度			
引抜力			

3. サンプル保管庫設置架台の耐震計算

3. 1. 評価方法

サンプル保管庫設置架台の地震力に対する安全機能の維持は、それを支持する架台及び据付ボルトを対象として、部材及びボルトに発生する応力及び荷重が許容限界以下であることを確認することで実施する。評価に関しては下記の手法で実施する。

- (1) 部材及び据付ボルトは、重要度分類及び一次固有振動数の算出結果をふまえた設計用地震力を用いて、はり要素による 3 次元 FEM による静的解析を解析コードで実施する。
- (2) 解析コードは FAP-3 を使用する。
- (3) 拘束条件として、据付ボルト部の並進 3 方向を固定する。
- (4) 地震荷重は、水平 2 方向の荷重をそれぞれ考慮する。

3. 1. 1. 構造解析モデル

はり要素 3 次元構造解析モデルを添説設 3-1-1 分 1-3-1 図に示す。溶接構造などの接合部は、剛接合としている。構造解析モデルで使用した部材の断面性能を添説設 3-1-1 分 1-3-1 表に示す。また、材料定数を添説設 3-1-1 分 1-3-2 表に示す。柱、はりに作用させる主な長期荷重は添説設 3-1-1 分 1-3-3 表の通りとする。なお、長期荷重の固定荷重、積載荷重がかかる方向は鉛直方向であるが、地震力は長期時の荷重を水平方向に変換した荷重とする。



(1) 寸法及び節点

添説設 3-1-1 分 1-3-1 図(1/2) 構造解析モデル



(2) 作用荷重

添説設 3-1-1 分 1-3-1 図 (2/2) 構造解析モデル

添説設 3-1-1 分 1-3-1 表 使用部材 断面性能

使用部材	材料	鋼材	単位重量 [kg/m]	断面積 [mm ²]	断面二次 モーメント [mm ⁴]×10 ⁴		断面係数 [mm ³]×10 ³		断面二 次半径 [mm]	出典
				A	I _y	I _z	Z _y	Z _z	I	
はり										JIS G4317
柱										JIS G4317

添説設 3-1-1 分 1-3-2 表 材料定数

材料	ヤング係数 [N/mm ²]	せん断弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比 [-]	出典
				JSME S NJ1-2012

添説設 3-1-1 分 1-3-3 表 主な作用荷重

荷重値	作用場所*

* : 節点番号は数字または階層と番号を下線 () で結合して示し、要素は複数の節点番号をハイフン (-) でつないで示す。

3. 1. 2. 設計用地震力

3. 1. 2. 1. 一次固有振動数の算出

一次固有振動数の算出は、構造解析モデルの重量を水平に作用させた場合の頂部の変形量[cm]を得る。その変位量を下記の式に用いて一次固有振動数を算出する。

$$\text{一次固有振動数 } f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \text{ [Hz]}$$

解析結果より、 $\delta = \square$ [cm]

$$\text{一次固有振動数} = \frac{5}{\sqrt{\square}} \div \square \cdots \div \square \text{ [Hz]}$$

よって、一次固有振動数は \square [Hz]となり、20 [Hz] 以上であるので、剛構造の設備として設計用地震力、許容限界を設定する。

3. 1. 2. 2. 設計地震力の設定

剛構造の設備であり、除染室・分析室 1 階に設置しており、耐震重要度分類第 2 類であることから、設計用地震力は静的地震力の 0.6 G とする。

3. 1. 3. 荷重及び荷重の組合せ

長期状態

固定荷重及び積載荷重を鉛直方向へ与える。

短期状態

長期で与えた荷重と地震荷重を組み合わせる。地震荷重とは、長期の荷重を設計用地震力に変換し水平方向に与えた荷重を言う。

3. 1. 4. 許容限界

耐震評価で使用する許容限界を設定する。部材及び据付ボルトの許容限界を添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

3. 2. 応力評価

3. 2. 1. 部材

部材の評価については、引張応力度、圧縮応力度、せん断応力度、曲げ応力度、組合せ応力度、組合せ応力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-分 1-3-4 表及び添説設 3-1-分 1-3-5 表に示す。評価結果より、部材は設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-分 1-3-4 表 部材の評価結果（長期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	—	01_04								
圧縮応力度	—	00_04								
せん断応力度	—	01_16								
曲げ応力度	—	01_16								
組合せ応力度	—	01_16								
組合せ応力	—	01_16								

添説設 3-1-分 1-3-5 表 部材の評価結果（短期）

評価対象	地震方向	節点番号	N [N]	My [N・m]	Mz [N・m]	Qy [N]	Qz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	01_01								
圧縮応力度	Y 正	00_04								
せん断応力度	Y 正	01_16								
曲げ応力度	Y 正	01_16								
組合せ応力度	Y 正	01_16								
組合せ応力	Y 正	01_16								

3. 2. 2. 据付ボルト

据付ボルトの評価については、引張応力度、せん断応力度、引抜力が対象である。評価値算出方法は添付説明書一設 3-1-付 2 に示す。各々最大発生点の評価結果を添説設 3-1-分 1-3-6 表に示す。評価結果より、据付ボルトは設計用地震力に対して、許容限界を満足することを確認した。

添説設 3-1-分 1-3-6 表 据付ボルトの評価結果

評価対象	地震方向	節点番号	Px [N]	Py [N]	Pz [N]	評価値	許容限界	検定比 [-]
引張応力度	Y 正	00_01						
せん断応力度	Y 正	00_04						
引抜力	Y 正	00_01						

許容限界の設定

1. 許容限界の設定

許容限界は、日本産業規格（JIS）（日本規格協会）、建築設備耐震設計・施工指針 2014年版（日本建築センター）及び鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 —（日本建築学会）等、適切な基準類にもとづき設定する。耐震計算に用いた部材及びボルトの許容限界は以下の通り設定する。

2. 据付ボルトの許容限界

建築設備耐震設計・施工指針に従い、据付ボルトの許容限界を2.1節の表1のとおり設定する。長期状態では自重により引張、せん断が発生しないことから、短期状態についてのみ設定する。なお、引抜力はアンカーボルトに対する許容限界である。

建築設備耐震設計・施工指針を適用できないアンカーボルトについては、各種合成構造設計指針・同解説に従い、据付ボルトの許容限界を設定する。その手法については2.2節に示す。

2.1. 引張応力度及びせん断応力度

表1 ボルトの許容限界

材料	種類	許容限界	参照
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針

材料	種類	許容限界	参照
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針

2.2. 各種合成構造設計指針・同解説

2.2.1. 金属拡張アンカーボルト

各種合成構造設計指針・同解説に従い、金属拡張アンカーボルトの許容限界として、以下に示す許容引張荷重、許容せん断荷重を設定する。

金属拡張アンカーボルトの許容引張力 p_a は、下式にて算出される。

$$p_a = \min(p_{a1}, p_{a2})$$

ここで、 p_{a1} はアンカーボルトの降伏により決まる許容引張力、 p_{a2} はコンクリートのコーン破壊により決まる許容引張力で、それぞれ下式であらわされる。

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s\sigma_{pa} \cdot s c a$$

$$p_{a2} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c\sigma_t \cdot A_c$$

α_c : 施工のバラツキを考慮した低減係数で $\alpha_c = 0.75$ とする

ϕ_1, ϕ_2 : 低減係数(表 2 参照)

$s\sigma_{pa}$: アンカーボルトの引張強度で $s\sigma_{pa} = s\sigma_y$ とする

$s\sigma_y$: アンカーボルトの降伏点強度

$s c a$: アンカーボルトの最小断面積

$c\sigma_t$: コーン状破壊のコンクリートの割裂強度で $c\sigma_t = 0.31\sqrt{F_c}$ とする。軽量コンクリートの場合は、この 90%とする

F_c : コンクリートの設計基準強度

A_c : コーン状破壊面の有効水平投影面積(図 1 参照)

D : アンカーボルトの軸部の直径 (図 1 参照)

l : アンカーボルトの埋め込み長さ(図 1 参照)

l_{ce} : アンカーボルトの強度評価用埋め込み深さ(図 1 参照)

表 2 低減係数

	ϕ_1	ϕ_2
長期荷重用	2 / 3	1 / 3
短期荷重用	1.0	2 / 3

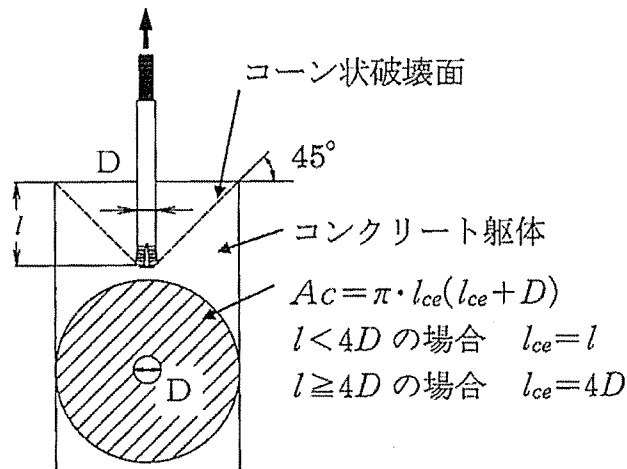


図 1 引張荷重作用時のアンカーボルト模式図

次に、金属拡張アンカーボルトの許容せん断力 q_a は、下式にて算出される。

$$q_a = \min(q_{a1}, q_{a2}, q_{a3})$$

ここで、 q_{a1} はアンカーボルトのせん断強度により決まる許容せん断力、 q_{a2} はコンクリートの支圧強度により決まる許容せん断力、 q_{a3} はコンクリートのコーン状破壊により決まる許容せん断力で、それぞれ下式であらわされる。

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s\sigma_{qa} \cdot sc^a$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c\sigma_{qa} \cdot sc^a$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c\sigma_t \cdot A_{qc}$$

α_c : 施工のバラツキを考慮した低減係数で $\alpha_c = 0.75$ とする

ϕ_1, ϕ_2 : 低減係数(表 2 参照)

$s\sigma_{qa}$: アンカーボルトのせん断強度で $s\sigma_{qa} = 0.7 \cdot s\sigma_y$ とする

$s\sigma_y$: アンカーボルトの降伏点強度

sc^a : アンカーボルトの断面積

$c\sigma_{qa}$: コンクリートの支圧強度で $c\sigma_{qa} = 0.5\sqrt{F_c \cdot E_c}$ とする

$c\sigma_t$: コーン状破壊のコンクリートの割裂強度で $c\sigma_t = 0.31\sqrt{F_c}$ とする。軽量コンクリートの場合は、この 90%とする

F_c : コンクリートの設計基準強度

E_c : コンクリートのヤング係数

A_{qc} : せん断力方向のコーン状破壊面の有効投影面積(図 2 参照)

c : へりあき寸法

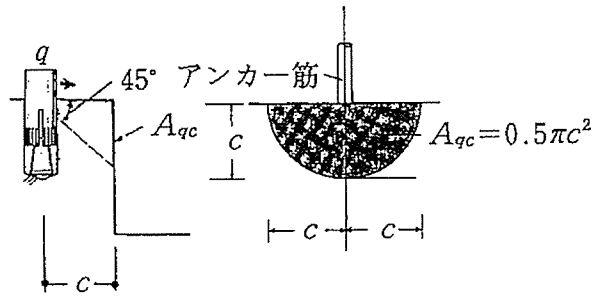


図2 せん断荷重作用時のアンカーボルト模式図

2.2.2. 接着系アンカーボルト

各種合成構造設計指針・同解説に従い、接着系アンカーボルトの許容限界として、以下に示す許容引張荷重、許容せん断荷重を設定する。

接着系アンカーボルトの許容引張力 p_a は、下式にて算出される。

$$p_a = \min(p_{a1}, p_{a3})$$

ここで、 p_{a1} はアンカーボルトの降伏により決まる許容引張力、 p_{a3} はコンクリートのコーン破壊により決まる許容引張力で、それぞれ下式であらわされる。

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s\sigma_{pa} \cdot s_c a$$

$$p_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce}$$

ϕ_1, ϕ_3 : 低減係数(表3参照)

$s\sigma_{pa}$: 接着系アンカーボルトの引張強度で $s\sigma_{pa} = s\sigma_y$ とする。降伏を保証する場合は、 $s\sigma_{pa} = \alpha_{yu} \cdot s\sigma_y$

$s\sigma_y$: 接着系アンカーボルトの規格降伏点強度

α_{yu} : 材料強度のバラツキを考慮した割増係数で $\alpha_c = 1.25$ とする

$s_c a$: 接着系アンカーボルトの最小断面積

d_a : 接着系アンカーボルトの径

l_{ce} : アンカーボルトの強度算定用埋め込み深さ(図3参照)

l_e : 接着系アンカーボルトの有効埋め込み長さ(図3参照)

τ_a : へりあき及びアンカーボルトのピッチを考慮した接着系アンカーボルトの引張力に対する付着強度。 $\tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg}$

α_n : へりあき、アンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数。
最も小さい寸法となる3面までを考慮する。

$$\alpha_n = 0.5 \cdot \frac{c_n}{l_e} + 0.5 \quad (n = 1, 2, 3)$$

τ_{bavg} : 接着系アンカーボルトの基本平均付着強度 (表4参照)

c_n : へりあき寸法、または、ボルトピッチ a の半分で $c_n = \frac{an}{2}$ ($n = 1, 2, 3$)。

最も小さい寸法となる3面までを考慮する。(図4参照)

表3 低減係数

	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
長期荷重用	2/3	1/3	1/3
短期荷重用	1.0	2/3	2/3

表4 基本平均付着強度

	カプセル方式		注入方式
	有機系	無機系	有機系
普通コンクリート	$10\sqrt{F_c/21}$	$5\sqrt{F_c/21}$	$7\sqrt{F_c/21}$
軽量コンクリート	$8\sqrt{F_c/21}$	$4\sqrt{F_c/21}$	$5.6\sqrt{F_c/21}$

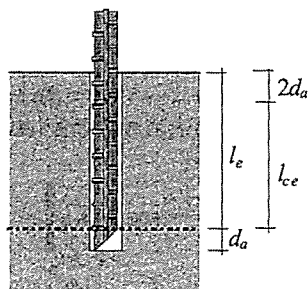


図3 引張荷重作用時のアンカーボルト模式図

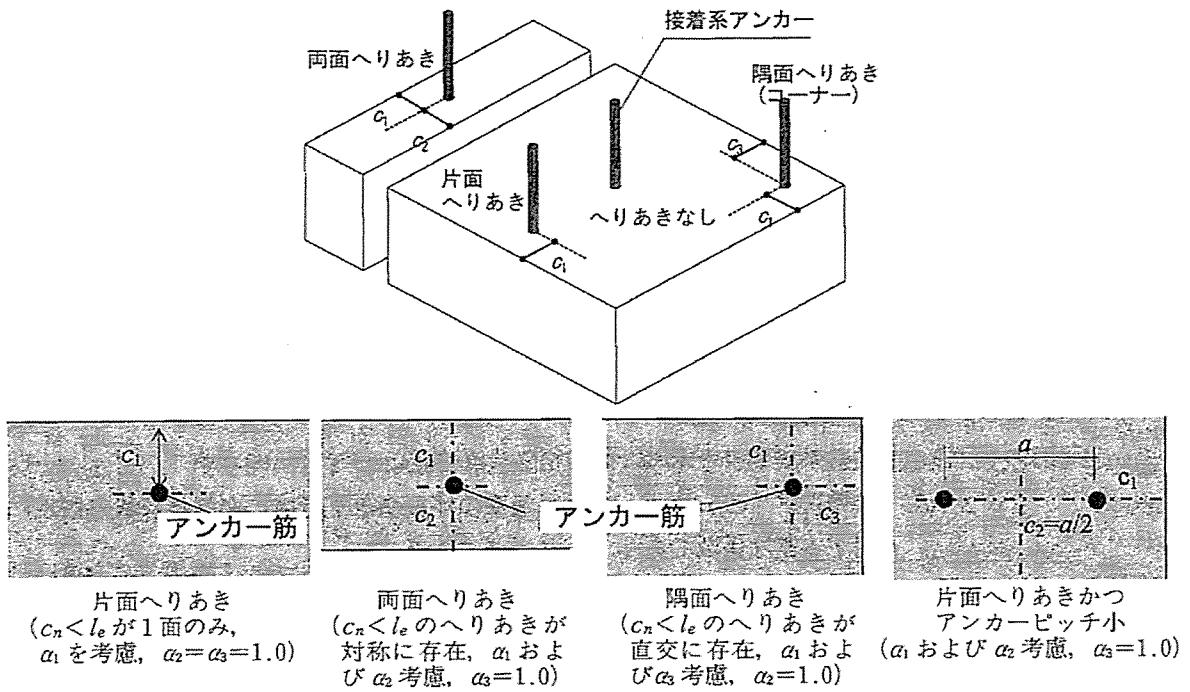


図4 へりあき面とへりあき寸法

次に、接着系アンカーボルトの許容せん断力 q_a は、下式にて算出される。

$$q_a = \min(q_{a1}, q_{a2}, q_{a3})$$

ここで、 q_{a1} はアンカーボルトのせん断強度により決まる許容せん断力、 q_{a2} は定着した躯体の支圧強度により決まる許容せん断力、 q_{a3} は定着した躯体のコーン状破壊により決まる許容せん断力で、それぞれ下式であらわされる。

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot c \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ϕ_1, ϕ_2 : 低減係数(表3参照)

$s \sigma_{qa}$: 接着系アンカーボルトのせん断強度で、 $s \sigma_{qa} = 0.7 \cdot s \sigma_y$ とする

$s \sigma_y$: 接着系アンカーボルトの規格降伏点強度

$s c a$: 接着系アンカーボルトの最小断面積

$c \sigma_{qa}$: コンクリートの支圧強度で、 $c \sigma_{qa} = 0.5 \sqrt{F_c \cdot E_c}$ とする

- $c\sigma_t$: コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度で、 $c\sigma_t = 0.31\sqrt{F_c}$ とする。軽量コンクリートの場合は、この90%とする
 F_c : コンクリートの設計基準強度(N/mm²)
 E_c : コンクリートのヤング係数(N/mm²)
 A_{qc} : せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積(図5参照)
 c : へりあき寸法

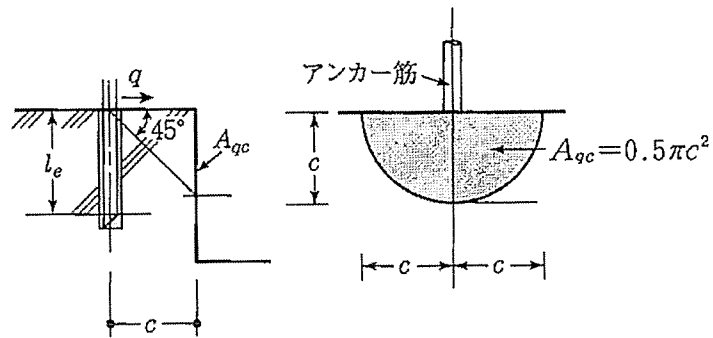


図5 せん断荷重作用時のアンカーボルト模式図

3. 部材の許容限界

長期状態、短期状態のそれぞれの部材の許容限界について、表5の通り設定する。

表5 部材の許容限界

材料	温度条件 [°C]	種類	許容限界			参照
			長期	短期	単位	
					[N/mm ²]	鋼構造設計規準
					[N/mm ²]	鋼構造設計規準
					[N/mm ²]	鋼構造設計規準
					[-]	鋼構造設計規準
					[N/mm ²]	JSME S NJ1-2012
					[N/mm ²]	JSME S NJ1-2012
					[N/mm ²]	JSME S NJ1-2012
					[-]	JSME S NJ1-2012
					[N/mm ²]	JSME S NJ1-2012
					[N/mm ²]	JSME S NJ1-2012
					[N/mm ²]	JSME S NJ1-2012
					[-]	JSME S NJ1-2012
					[N/mm ²]	JSME S NJ1-2012
					[N/mm ²]	JSME S NJ1-2012
					[N/mm ²]	JSME S NJ1-2012
					[-]	JSME S NJ1-2012
			[N/mm ²]	材料証明書 FRP 構造設計便覧		

□の許容限界は、材料証明書の引張強さに FRP 構造設計便覧に基づいて設定した安全係数を考慮し、設定した。

なお、圧縮応力度、曲げ応力度の許容限界に関しては鋼構造設計規準に準拠して下式にて算出する。

<圧縮応力度>

鋼構造設計規準 5章 5.1.(3)により以下の方法で算出される値。

$\lambda \leq \Lambda$ のとき

$$\text{許容圧縮応力度} = \frac{\left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} F}{\nu}$$

$\lambda > \Lambda$ のとき

$$\text{許容圧縮応力度} = \frac{0.277F}{\left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2}$$

短期状態に対する許容限界は鋼構造設計規準 5章 5.6により、上記の許容圧縮応力度に50[%]増しとする。

ここで、各記号は次の通り

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}、\nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

λ : 圧縮材の細長比、 Λ : 限界細長比
 F : 許容応力度を決定する場合の基準値 (降伏点)
 E : ヤング係数

<曲げ応力度>

鋼構造設計規準 5章 5.1.(4)により以下の方法で算出される値。

a) 強軸まわりに曲げを受ける材(中空断面を除く)

$\lambda_b \leq_p \lambda_b$ のとき

$$\text{許容曲げ応力度} = \frac{F}{\nu_b}$$

$_p \lambda_b < \lambda_b \leq_e \lambda_b$ のとき

$$\text{許容曲げ応力度} = \frac{\left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda_b - _p \lambda_b}{_e \lambda_b - _p \lambda_b} \right)^2 \right\} F}{\nu_b}$$

$_e \lambda_b < \lambda_b$ のとき

$$\text{許容曲げ応力度} = \frac{1}{\lambda_b^2} \frac{F}{2.17}$$

ここで、各記号は次の通り

$$\lambda_b = \sqrt{\frac{M_y}{M_e}}、_e \lambda_b = \frac{1}{\sqrt{0.6}}、_p \lambda_b = 0.3、\nu_b = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda_b}{_e \lambda_b} \right)^2$$

M_y : 降伏モーメント、 M_e : 弾性横座屈モーメント

b) 円形鋼管、矩形中空断面材及び荷重面内に対称軸を有し、弱軸まわりに曲げを受ける材

許容曲げ応力度 = 許容引張応力度

許容圧縮応力度及び許容曲げ応力度の短期状態に対する許容限界は鋼構造設計規準 5章 5.6により、上記の許容圧縮応力度に50[%]増しとする。

評価値算出方法

1. FEM 解析の座標軸

FAP-3 解析コードを用いた FEM 解析により、部材に生じる荷重 Q 及びモーメント M を算出する。
座標軸と荷重、モーメントの向きは図 1 に示す矢印の向きを正とする。

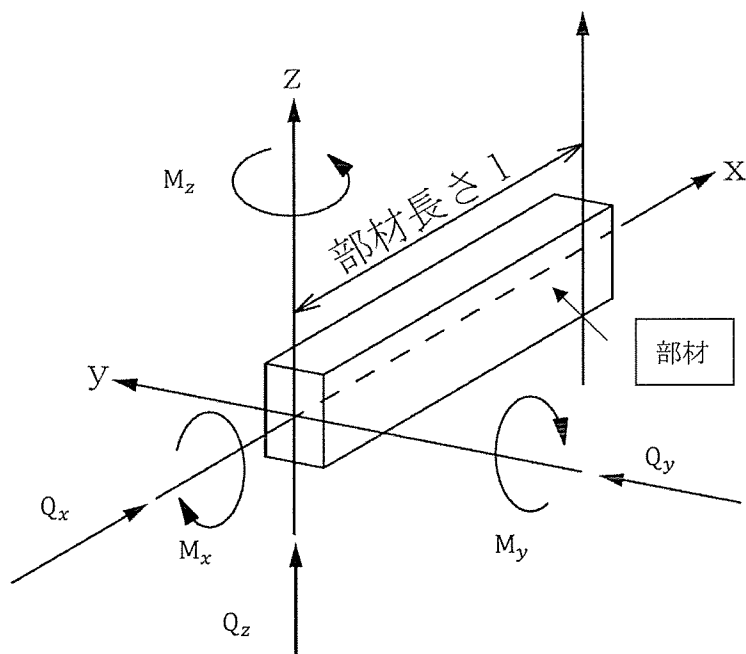


図 1 部材と座標軸

2. 部材の評価値

部材の評価値は、FEM 解析結果を用いて以下の通り算出した。

○圧縮応力度 σ_c 、引張応力度 σ_t

$$\sigma_c = \frac{N}{A} \quad (N \text{ が圧縮の場合})$$

$$\sigma_t = \frac{N}{A} \quad (N \text{ が引張の場合})$$

$N(= Q_x)$: 軸力

A : 断面積

○せん断応力度 τ

$$\tau = \sqrt{\tau_y^2 + \tau_z^2}$$

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_y}$$

$$\tau_z = \frac{Q_z}{A_z}$$

- τ_y : y 軸方向せん断応力
 Q_y : y 軸方向荷重
 A_y : y 軸方向せん断変形用断面積
 τ_z : z 軸方向せん断応力
 Q_z : z 軸方向荷重
 A_z : z 軸方向せん断変形用断面積

せん断変形用断面積は、全断面積のうち、せん断力と平行な部材の断面積。

○曲げ応力度 σ_b

$$\sigma_b = \sigma_{by} + \sigma_{bz}$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y}$$

$$\sigma_{bz} = \frac{M_z}{Z_z}$$

- σ_{by} : y 軸回りの曲げ応力
 M_y : y 軸回りのモーメント
 Z_y : y 軸回りの断面二次モーメント
 σ_{bz} : z 軸回りの曲げ応力
 M_z : z 軸回りのモーメント
 Z_z : z 軸回りの断面二次モーメント

○組合せ応力度 σ_{vm}

$$\sigma_{vm} = \sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \quad (\text{圧縮応力度が生じる場合})$$

$$\sigma_{vm} = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \quad (\text{引張応力度が生じる場合})$$

○組合せ応力 σ_{cm}

$$\sigma_{cm} = \frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \quad (\text{圧縮応力度が生じる場合})$$

$$\sigma_{cm} = \frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \quad (\text{引張応力度が生じる場合})$$

f_c : 許容圧縮応力度

f_b : 許容曲げ応力度

f_t : 許容引張応力度

3. 据付ボルトの評価値

3.1. 据付ボルトが並進3方向固定の場合

据付ボルトの評価値は、FEM 解析結果を用いて以下の通り算出した。尚、各作用荷重は図 2 に示す据付ボルトの据付方向に応じて表 2 に従う。

○引抜力T

$$T = \frac{P_3}{n}$$

P_3 : 引抜荷重、ただし値が負の場合は圧縮力となるため、評価対象外とする。

n : ボルト本数

○引張応力度 σ_{tb}

$$\sigma_{tb} = \frac{T}{A_b}$$

A_b : ボルト断面積

○せん断応力度 τ_b

$$\tau_b = \sqrt{\tau_{b1}^2 + \tau_{b2}^2}$$

$$\tau_{b1} = \frac{P_1}{A_b \cdot n}$$

$$\tau_{b2} = \frac{P_2}{A_b \cdot n}$$

τ_{b1} : せん断応力

P_1 : せん断に作用する荷重

τ_{b2} : P_1 の直交方向に作用するせん断応力

P_2 : P_1 の直交方向に作用する荷重

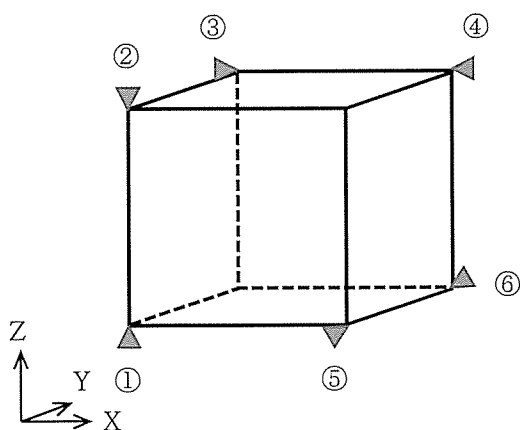


図 2 据付ボルト方向

表 2 据付方向に応じた作用荷重

据付位置	固定箇所	せん断力		引抜力
		P_1	P_2	
①	床固定	P_x	P_y	$-P_z$
②	天井固定	P_x	P_z	P_z
③	X-側壁固定	P_y	P_z	$-P_x$
④	X+側壁固定	P_y	P_z	P_x
⑤	Y-側壁固定	P_x	P_z	$-P_y$
⑥	Y+側壁固定	P_x	P_z	P_y

3.2. 据付ボルトが完全固定の場合

据付ボルトの評価値は、FEM 解析結果を用いて以下の通り算出した。引抜き力 T を評価する際の記号の取り扱いは図 3 による。また、各作用荷重は図 4 に示す据付ボルトの据付方向に応じて表 3 に従う。

○引抜き力T

$$T = \frac{P_3}{n} + \frac{M_1}{L_2 \cdot n_1} + \frac{M_2}{L_1 \cdot n_2}$$

- P_3 : 引抜き荷重、ただし値が負の場合は圧縮力となるため、評価対象外とする。
- M_1 : 1 軸回りのモーメント
- M_2 : 2 軸回りのモーメント
- L_1 : 1 軸方向のボルト間距離
- L_2 : 2 軸方向のボルト間距離
- n : ボルト本数
- n_1 : 1 軸回りのモーメントで引張を受けるボルト本数
- n_2 : 2 軸回りのモーメントで引張を受けるボルト本数

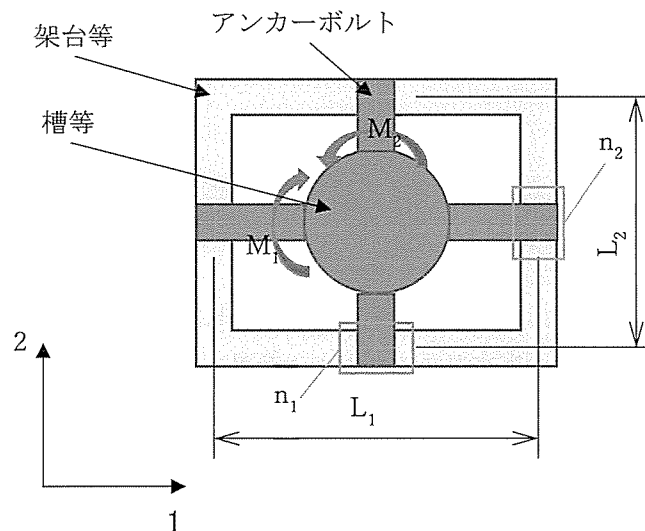


図 3 アンカーボルトに作用する曲げモーメント

○引張応力度 σ_{tb}

$$\sigma_{tb} = \frac{T}{A_b}$$

A_b : ボルト断面積

○せん断応力度 τ_b

$$\tau_b = \sqrt{\tau_{b1}^2 + \tau_{b2}^2}$$

$$\tau_{b1} = \frac{P_1}{A_b \cdot n}$$

$$\tau_{b2} = \frac{P_2}{A_b \cdot n}$$

τ_{b1} : せん断応力

P_1 : せん断に作用する荷重

τ_{b2} : P_1 の直交方向に作用するせん断応力

P_2 : P_1 の直交方向に作用する荷重

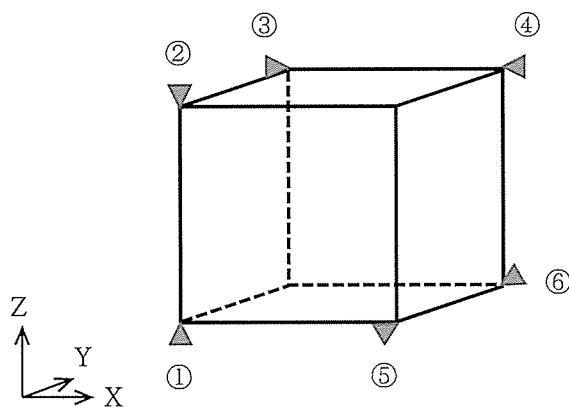


図4 据付ボルト方向

表3 据付方向に応じた作用荷重

据付位置	固定箇所	せん断力		引抜力	曲げモーメント	
		P_1	P_2		M_1	M_2
①	床固定	P_x	P_y	$-P_z$	M_x	M_y
②	天井固定	P_x	P_z	P_z	M_x	M_y
③	X-側壁固定	P_y	P_z	$-P_x$	M_y	M_z
④	X+側壁固定	P_y	P_z	P_x	M_y	M_z
⑤	Y-側壁固定	P_x	P_z	$-P_y$	M_x	M_z
⑥	Y+側壁固定	P_x	P_z	P_y	M_x	M_z

はり要素による 3 次元 FEM 解析モデルについて

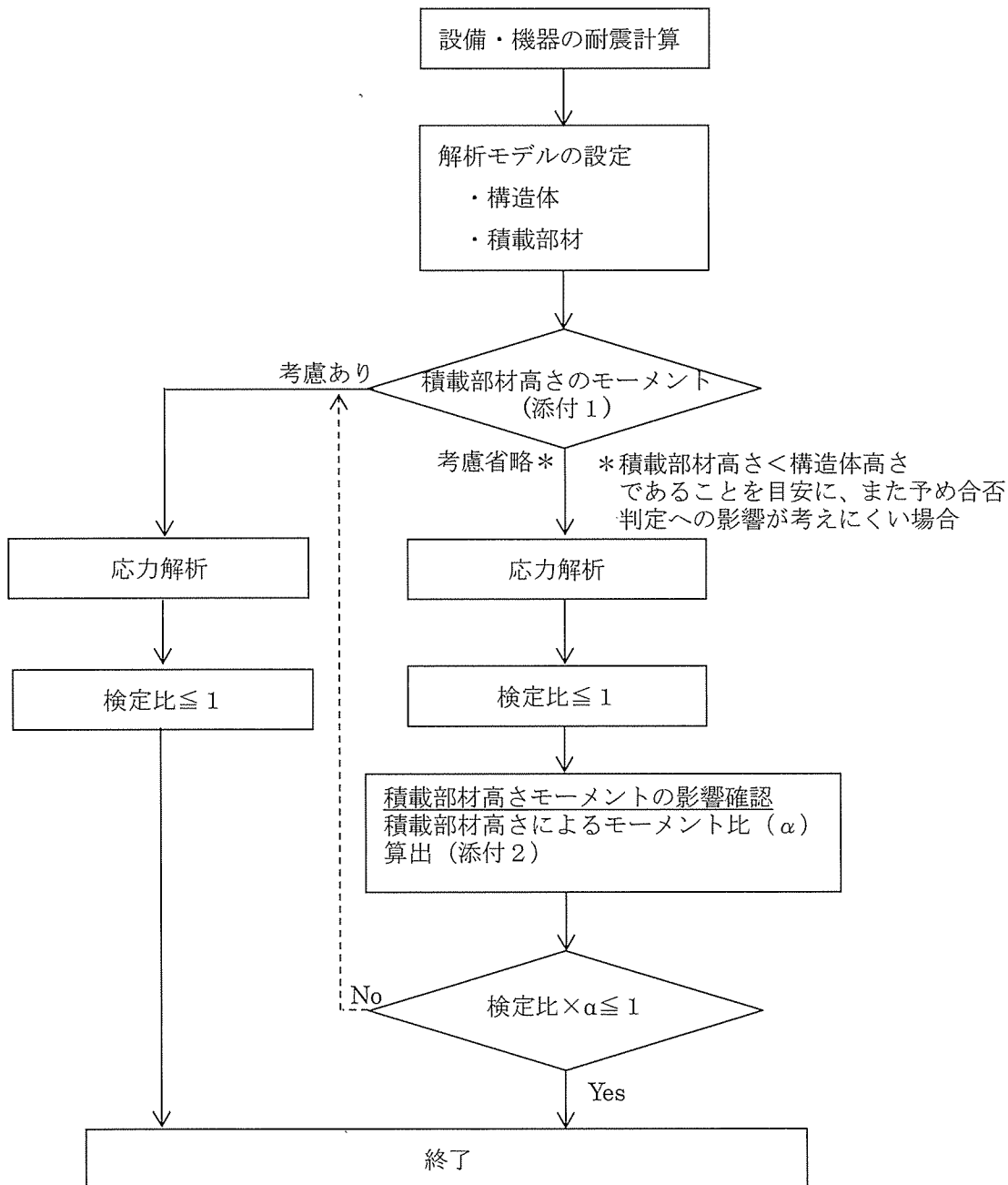
1. 積載部材のモデル化について

対象設備(以下、構造体と呼ぶ)の耐震計算のため、はり要素により3次元FEM解析モデルを構築するにあたり、構造強度に寄与しない部材(以下、積載部材と呼ぶ)については、長期荷重ではその積載部材の重量を鉛直方向荷重として、短期荷重ではその荷重による地震力を水平方向荷重として入力し、モデル化している。

ここで、積載部材高さによるモーメントは、積載部材の高さが低い場合は小さいものの、積載部材の高さが高くなるにつれて大きくなる。そのため本評価では以下のフローに基づき計算を行う。

2. 積載部高さによるモーメントの考慮について

耐震計算を実施するにあたり、積載部高さによるモーメントの考慮要否をまとめた表を添付3に示す。



積載部材のモーメントの考慮について

1. 解析モデルについて

対象設備(以下、構造体と呼ぶ)の耐震計算のため、はり要素による 3次元 FEM 解析のモデル化にあたっては、構造強度に寄与しない部材(以下、積載部材と呼ぶ)について、長期荷重ではその積載部材の重量を鉛直方向荷重として、短期荷重ではその荷重による地震力を水平方向荷重として入力し、モデル化している。

ここで、積載部材高さによるモーメントは、積載部材の高さが低い場合は小さいものの、積載部材の高さが高くなるにつれて大きくなる。そのため、以下の通り、積載物荷重負荷点位置に、モーメントを考慮して評価する。

2. 説明

下図の通り構造体を簡略化して一本のはり要素として考え、その上に高さ h の積載部材がある場合(図 1 (a))、構造体に発生するモーメントは、

$$FH+A(h+H) \cdots (1)$$

で与えられる。

F : 構造体の地震荷重、 H : 構造体の高さ

A : 積載部材の地震荷重、 h : 積載部材の重心高さ

これに対して、上述の通り積載部材の高さ h が十分小さい場合は構造体に対して、積載部材のモデル化を省略し、その水平方向の荷重のみを考慮する(図 1 (b))。その場合の発生モーメントは、

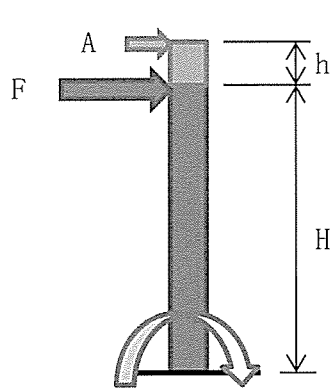
$$(F+A)H \cdots (2)$$

となるが、積載部材の高さ h が小さい場合は、 FH が Ah より十分大きい (F は A より十分大きい)ため、(1)式の結果と(2)式の結果に有意差はない。

一方、積載部材の高さ h が大きくなると、積載部材のモーメントの影響が大きくなり(1)式と(2)式の結果に差が大きくなる。そのため、本評価では、部材荷重による水平荷重とそれによるモーメント (Ah) を考慮する(図 1(c))。この場合、発生モーメントは、

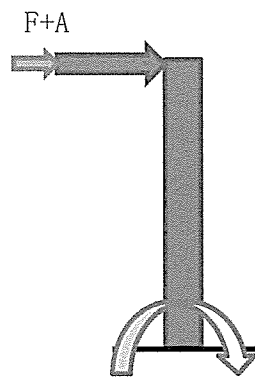
$$(F+A)H+Ah \cdots (3)$$

となり、(1)式と同じとなる。



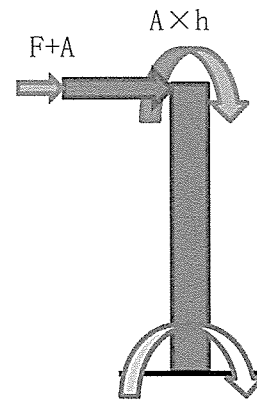
$$FH + A(h + H)$$

图 1(a)



$$(F + A)H$$

图 1(b)



$$(F + A)H + Ah$$

图 1(c)

積載部材によるモーメントの影響について

1. はじめに

積載部材のモデル化にあたっては、積載部材高さのモーメントの影響が小さいと考えられる場合はそれを省略して計算を行う。ただし、上記モーメントの考慮を省略した設備については、計算結果に積載部材高さのモーメントの影響を勘案し、以下の通り省略したことが健全性評価結果に影響しないことを確認する。

2. 説明

図 1 (a) に示すように、積載部材高さによるモーメントの考慮を省略した場合の発生モーメントは、下式にて与えられる。

$$(F_0 + F_1)h_0 \cdots (1)$$

F_0 : 構造体の地震荷重、 F_1 : 積載部材の地震荷重、 h_0 : 構造体の高さ

これに対して、積載部材高さによるモーメントを考慮した場合 (図 1 (b)) の発生モーメントは下式にて与えられる。

$$F_0h_0 + F_1(h_0 + l) \cdots (2)$$

l : 積載部材の重心高さ

以上より、(1)式と(2)式の比は下式で与えられ、積載部材高さを考慮することによるモーメントの影響を示す係数 α とする。

$$\alpha = \frac{F_0h_0 + F_1(h_0 + l)}{(F_0 + F_1)h_0} = 1 + \frac{F_1l}{(F_0 + F_1)h_0} \cdots (3)$$

以上より求めた α (発生モーメント係数) をもとに、下式を満足することを確認することで、積載部材高さによるモーメントを省略したことが健全性評価結果に影響しないことを確認する。

$$(\text{解析結果より算出される検定比}) \times \alpha \leq 1 \cdots (4)$$

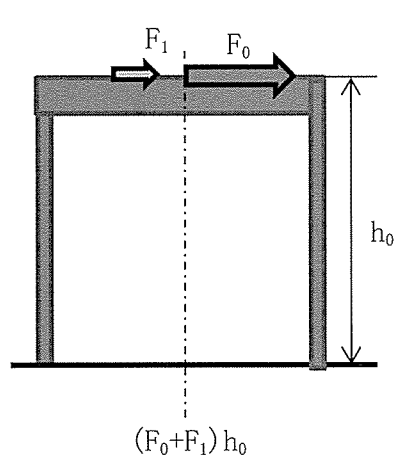


図 1 (a)

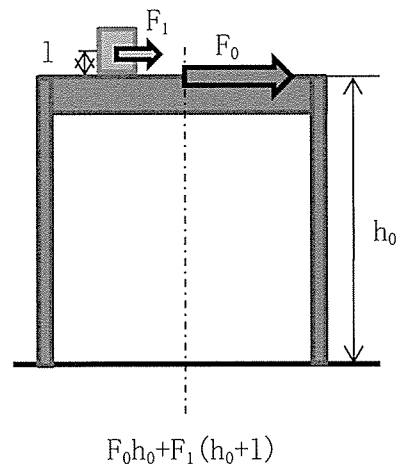


図 1 (b)

積載部材高さによるモーメントの考慮

1. 概要

積載部材高さによるモーメントの考慮について表 1～5 にまとめる。積載部材高さによるモーメントを考慮した部位は、考慮ありと記載している。

表 1 転換工場

機器名	部位名称	考慮
蒸発器	蒸発器	なし
UF ₂ フードボックス・環（循環貯槽） UF ₂ 防護カバー	UF ₂ フードボックス及び環	なし
	ガス溜めバッファ部1	なし
	ガス溜めバッファ部2	なし
	ガス溜めバッファ部3	なし
	ガス溜めバッファ部4	なし
	蒸発器用防護カバー	なし
	蒸発器用防護カバー架台	なし
	フードボックス用防護カバー	あり
	UF ₂ 配管用フードボックス	なし
	UF ₂ 配管用防護カバー	なし
コールドトラップ	コールドトラップ	あり
コールドトラップ（小）	コールドトラップ（小）	なし
循環貯槽及び熱交換器（循環貯槽）	循環貯槽	なし
	熱交換器	なし
	循環貯槽架台	あり
	UO ₂ F ₂ 配管用防護カバー（原料倉庫）	あり
	UO ₂ F ₂ 配管用防護カバー（原料倉庫）架台	あり
UO ₂ ブロータンク	UO ₂ ブロータンク	なし
	UO ₂ ブロータンク架台	なし
UO ₂ フィルタ及びUO ₂ バックアップフィルタ	UO ₂ フィルタ	あり
	フードボックス（UO ₂ フィルタ）	なし
	UO ₂ フィルタ架台	なし
	UO ₂ バックアップフィルタ	あり
UO ₂ 受けホッパ	UO ₂ 受けホッパ	なし
粉砕機	フードボックス（粉砕機）	なし
	充填設備共通架台	あり
充填装置	充填装置	なし
	フードボックス（充填装置）	なし
	充填装置架台	あり

表 2 気体廃棄設備

機器名	部位名称	考慮
スクラバ	スクラバ	なし
	スクラバ架台(1)	なし
	スクラバ架台(2)	あり

表 3 その他の加工施設（非発）

機器名	部位名称	考慮
非発用ディーゼル発電機	非発用ディーゼル発電機	なし
	潤滑油タンク	あり
	燃料油タンク	あり
	ラジエータ	なし
	汎用電動機	なし

表 4 その他の加工施設（インターロック）

機器名	部位名称	考慮
地震インターロック	地震計	なし
	前照灯	なし
UF ₂ 漏えい警報設備	HF検出器（検出線、作動線）（屋内）	なし
	HF検出器（作動線）（屋外）	あり

表 5 その他の加工施設（分析）

機器名	部位名称	考慮
不純物分析設備	サンプル保管庫本体	なし
	サンプル保管庫設置架台	あり

配管の耐震性に関する説明書

目 次

1. 概要
2. 基本方針
 2. 1. 設計方針
 2. 2. 設計手順
3. 配管の支持方針
 3. 1. 第1類、第2類配管の配管支持方針
 3. 2. 設計用地震力
4. 第1類、第2類配管の標準支持間隔法
 4. 1. 解析モデル
 4. 2. 解析方法
 4. 3. 解析条件
5. 標準支持間隔
6. 曲がり部の支持間隔
 6. 1. 解析モデル
 6. 2. 解析条件及び解析方法
 6. 3. 解析結果及び支持方針
7. 集中質量部の支持間隔
 7. 1. 解析モデル
 7. 2. 解析条件及び解析方法
 7. 3. 解析結果及び支持方針
8. 分岐部の支持間隔
 8. 1. 解析モデル
 8. 2. 解析条件及び解析方法
 8. 3. 解析結果及び支持方針
9. 支持構造物
 9. 1. 概要
 9. 2. 支持構造物の選定
 9. 3. 支持構造物の種類

1. 概要

本資料は、配管の耐震性について計算の基本方針を説明するものである。

配管の耐震設計を行う場合には、その配管の耐震重要度分類、仕様、形状、設置場所等を考慮して配管を分類し、定められた設計用地震力に対して、必要な機能が損なわれることが無いように耐震性を確保する。

配管の耐震性を確保する手法として、標準支持間隔法がある。標準支持間隔法とは、配管を直管部、曲がり部、分岐部及び集中質量を有する直管部の標準的な要素に分け、各要素の設計用地震力による応力等が許容限界を満足するように支持間隔を定め、この支持間隔以内に支持点を設定する方法である。

弁については、配管より厚肉構造のものを使用するため発生応力が小さくなる。一方、集中質量部の支持間隔を求める際には、弁も配管と同一仕様としたうえで、弁質量を付加することで安全側の評価を行っている。このため、弁の耐震計算は、弁質量を付加した配管の耐震計算により包絡される。

耐震重要度分類第3類配管については、4次申請書「添付説明書一設2-1 配管の耐震性に関する説明書」に従い「建築設備耐震設計・施工指針」の標準支持間隔以内に支持点を設定する。

2. 基本方針

2. 1. 設計方針

- (1) 配管は、適切な支持を講じることにより地震力による応力の低減を図るものとする。
- (2) 支持構造物は、配管の地震荷重、及び自重による荷重に対して十分な強度を持たせる。
- (3) 計算に用いる寸法は公称値を用いる。

2. 2. 設計手順

配管の耐震設計は、建物・構築物、機器・ダクト・トレイ等配管以外の設備との関連を十分に考慮した上で、総合的な調整をする。

3. 配管の支持方針

配管の支持方針は、定められた設計用地震力に対して、必要な機能が損なわれることが無いように、弾性域の許容応力以下となる標準支持間隔に基づき、配管の支持点を定めるものとする。

3. 1. 第1類、第2類配管の配管支持方針

標準支持間隔法は、配管を等分布荷重連続はりにモデル化し、配管を直管部、曲がり部、分岐部及び集中質量を有する直管部の標準的な要素に分け、各要素の設計用地震力による地震応力が添付説明書-設3-1-付1に示す許容限界を満足するように支持間隔を定め、配管の支持点を設定する。

なお、標準支持間隔法に基づき設計することが困難な場合には、当該配管固有の設計条件（圧力、温度、材質、口径、板厚、保温材の有無、内部流体及び単位長さ当りの質量）に基づき算出した支持間隔以内に支持点を設定する。または、3次元はりモデルとして解析を行い、支持方法を定める。

配管の耐震計算は、「原子力発電所耐震設計技術指針」（日本電気協会 JEAG4601-1987）に基づく。

3. 2. 設計用地震力

設計用地震力は、「建築設備耐震設計・施工指針」の局部震度法による「設備機器の設計用標準震度」に基づく水平地震力を用いる（添説設3-2-1表）。

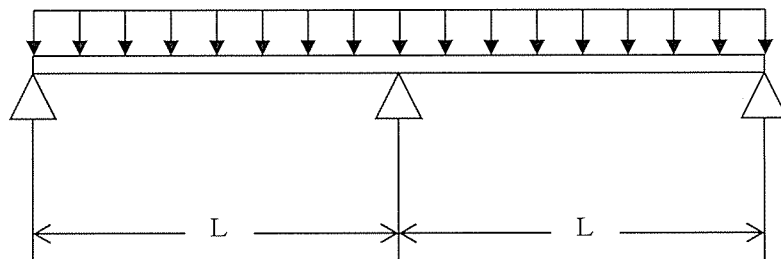
添説設3-2-1表 「設備機器の設計用標準震度」に基づく水平地震力

建物階層	耐震重要度分類		
	第1類	第2類	第3類
地階及び1階	1.0 G	0.6 G	0.4 G
中間層	1.5 G	1.0 G	0.6 G
上層階、屋上及び塔屋	2.0 G	1.5 G	1.0 G

4. 第1類、第2類配管の標準支持間隔法

4. 1. 解析モデル

各種配管を、下図のように支持間隔 L で3点支持した等分布荷重連続はりモデル化する。この場合、支持点は配管の軸直角方向のみを拘束するものとし、軸方向及び回転に対しては自由とする。



4. 2. 解析方法

当社工場で使用する各種配管について、設計用地震力による応力を算定するとともに、内圧及び自重による応力を加算した合計値が許容限界以下となるように支持間隔を算出する。

4. 3. 解析条件

(1) 配管設計条件

標準支持間隔の算定に必要な配管設計条件を添説設 3-2-2 表～添説設 3-2-3 表、添説設 3-2-12 表に示す。

配管の重量としては、内部流体がある場合は、配管自体の重量と内部流体の重量とを合計した値とする。さらに、保温材の付く配管については、その重量を考慮する。

(2) 許容限界

各部材の許容限界は添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

5. 標準支持間隔

第1類、第2類配管

添説設 3-2-2 表～添説設 3-2-3 表、添説設 3-2-12 表の各種配管の設計条件をもとに、各配管の許容限界を満足させるための直管部最大支持間隔及び応力を評価した結果を添説設 3-2-4 表～添説設 3-2-11 表、添説設 3-2-13 表～添説設 3-2-14 表に示す。最大支持間隔は、耐震重要度分類第1類、第2類それぞれに対し算定する。

なお、応力（長期）は内圧応力及び自重応力の和、応力（短期）は内圧応力、自重応力及び設計用地震力による応力の和とする。

添説設 3-2-2 表 配管設計条件 (オーステナイト系ステンレス鋼)

最高使用温度 (°C) : 150 最高使用圧力 (MPa) : 0.97
 内部流体比重 : 気体 (0.0) / 液体 (1.3) / 粉体 (2.5)

番号	配管仕様		単位長さあたり重量 (kg/m)					
	口径 (A)	板厚 (sch)	保温材無し			保温材有り		
			内部気体	内部液体	内部粉体	内部気体	内部液体	内部粉体
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								
46								
47								
48								
49								

添説設 3-2-3 表 配管設計条件 (炭素鋼)

最高使用温度 (°C) : 150 最高使用压力 (MPa) : 0.97

内部流体比重 : 気体 (0.0) / 液体 (1.3) / 粉体 (2.5)

番号	配管仕様		単位長さあたり重量 (kg/m)					
	口径 (A)	板厚 (sch)	保温材無し			保温材有り		
			内部気体	内部液体	内部粉体	内部気体	内部液体	内部粉体
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								

添設3-2-4表 第1期直管部最大支持間隔 (オーステナイト系ステンレス鋼 保温無し) 許容限界 長期:102 短期:154 (単位:MPa)

配管 口径 (φ) 及び壁厚	建物階層																	
	地階及び1階						中間階						上階階、屋上及び塔屋					
	気体		液体		粉体		気体		液体		粉体		気体		液体		粉体	
	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)

添設設 3-2-5 表 第 1 類直管部最大支持間隔 (オーステナイト系ステンレス鋼 保溫有り) 許容限界 長期: 102 短期: 154 (単位: MPa)

建物階層 内部流体 支持間隔 配管 口径 (φ) 及び板厚	地階及び1階						中間階						上階階、屋上及び塔屋					
	気体		液体		粉体		気体		液体		粉体		気体		液体		粉体	
	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)
	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)

表 3-2-6 第 1 号直管部最大支持間隔 (煤系鋼 保溫無し) 許容眼果 長期: 73 (SGP), 107 (煤系鋼) 短期: 110 (SGP), 161 (煤系鋼) (单位: MPa)

配管 口径 (A) 及壁厚	地階及び1階						中間階						上階階、屋上及び塔屋						
	気体		液体		粉体		気体		液体		粉体		気体		液体		粉体		
	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	
	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	
建物階層 内部流体 支持																			

添註表 3-2-7 表 第 1 類直管並最大支持間隔 (鍊素鋼 保溫有り) 許容吹界 長期 : 73 (SGP)、107 (鍊素鋼) 短期 : 110 (SGP)、161 (鍊素鋼) (單位 : MPa)

建物階層 内部流体 支持間隔 配管 口径 (φ) 及び壁厚	地階及び1階						中間層						上階階、屋上及び塔屋						
	気体			液体			物体			気体			液体			物体			
	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	

系統図 3-2-8 表 第 2 類直管部最大支持間隔 (オーステナイト系ステンレス鋼 保温無し) 許容限界 長期: 102 短期: 154 (単位: MPa)

配管 口径 (φ) 及び壁厚	地階及び 1 階						中間層						上階床、屋上及び屋頂											
	気体		液体		粉体		気体		液体		粉体		気体		液体		粉体							
	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)						
建物密着 内部流体 支持																								

表 3-2-9 表 第 2 類直管部成大支持間隔 (オーステナイト系ステンレス鋼 保温有り) 許容限界 長期: 102 短期: 154 (単位: MPa)

建物階層 内部流体 支持間隔 配管 口径 (A) 及び壁厚	地階及び1階						中間層						上階階、屋上及び塔屋					
	気体		液体		粉体		気体		液体		粉体		気体		液体		粉体	
	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)
	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)

添説書 3-2-10 表 第 2 類直管部最小支持間隔 (炭素鋼 保溫無し) 許容限界 長期 : 73 (SOP)、107 (炭素鋼) 短期 : 110 (SOP)、161 (炭素鋼) (単位 : MPa)

配管 口径 (A) 及び壁厚	地階及び1階						中間階						上階階、屋上及び塔屋						
	気体		液体		粉体		気体		液体		粉体		気体		液体		粉体		
	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	
	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	
建物階層 内部流体 支持 間隔																			

添地設 3-2-11 表 第 2 類直管部最大支持間隔 (炭素鋼 保溫有り) 許容限界 長期 : 73 (SGP)、107 (炭素鋼) 短期 : 110 (SGP)、161 (炭素鋼) (単位 : MPa)

配管 口径 (φ) 及び壁厚	地階及び 1 階						中間階						上階階、屋上及び塔屋											
	気体		液体		粉体		気体		液体		粉体		気体		液体		粉体							
	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)						
超物階階																								
内部流体																								
支持間隔																								

添説設 3-2-12 表 配管設計条件 (塩化ビニル) 最高使用温度 (°C) : 25 最高使用圧力 (MPa) : 0
 内部流体比重 : 気体 (0.0) / 液体 (1.0)

番号	配管仕様		単位長さあたり重量 (kg/m)	
	口径	板厚 (mm)	保温材無し	
			内部気体	内部液体
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				

添註表 3-2-13 表 第 1 類配管部最大支持間隔 (塩化ビニル 保溫無し) 許容限界 長期 : 30 短期 : 45 (単位 : MPa)

建物階層 内部流体 支持間隔 配管口径 及び壁厚	地階及び 1 階						中間階						上階棟、屋上及び密屋					
	気体			液体			気体			液体			気体			液体		
	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)

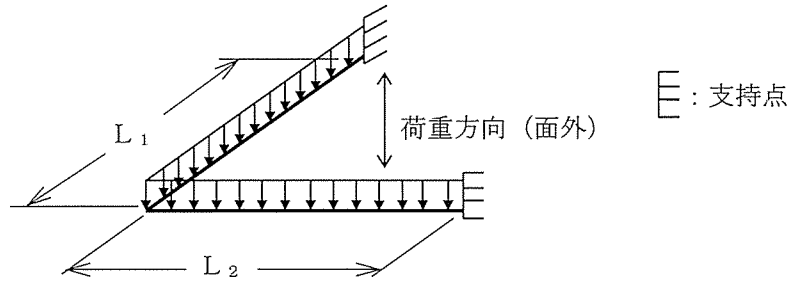
添設 3-2-14 表 第 2 類直管部最大支持間隔 (塩化ビニル 保溫無し) 許容限界 長期: 30 短期: 45 (単位: MPa)

建物階層 内部流体 支持 配管口径 及び壁厚	地階及び1階						中間階						上階棟、屋上及び塔屋					
	気体		液体		気体		液体		気体		液体		気体		液体			
	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (短期) (MPa)		

6. 曲がり部の支持間隔

6. 1. 解析モデル

配管の曲がり部は、下図に示すようにピン結合両端固定の等分布荷重のほりにモデル化する。



L_1, L_2 : 曲がり部から支持点までの長さ

L_E : 曲がり部支持間隔 ($L_E = L_1 + L_2$)

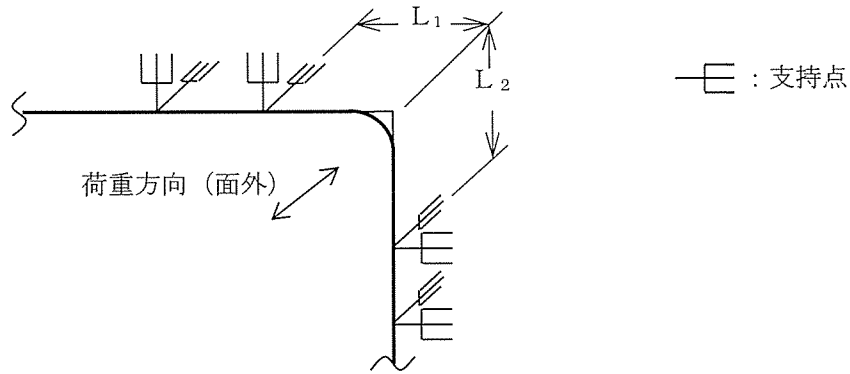
6. 2. 解析条件及び解析方法

- (1) 設計用地震力が作用した場合の曲げモーメントが、直管部最大支持間隔の設計用地震力による曲げモーメントより小さくなること。
- (2) 自重による曲げモーメントが、直管部最大支持間隔の自重による曲げモーメントより小さくなること。
- (3) (1), (2)の条件を満足する理論解を $\left[\frac{L_1}{L_E} \right]$ の関数として $\left[\frac{L_E}{L_0} \right]$ の最大値を求める。
ただし、 L_0 は直管部最大支持間隔。

6. 3. 解析結果及び支持方針

解析結果を添説設 3-2-1 図に示す。

本グラフは、曲がり部をはさむ支持構造物距離を直管部最大支持間隔に対する比として示すものであり、“許容領域”内に配管を支持するものとする。



$$L_1 + L_2 \leq L_E$$

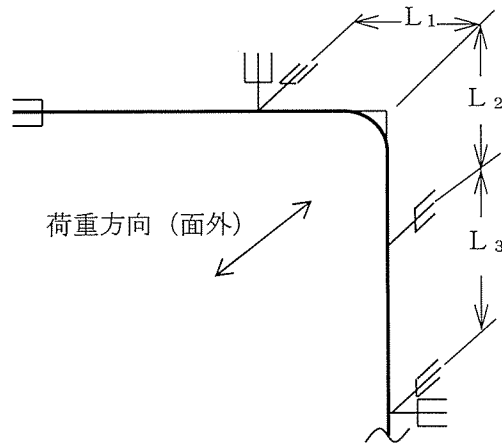
L_E は L_0 (直管部最大支持間隔) にグラフより求まる支持間隔比を乗じた長さ。

- また、配管及び支持構造物の設計上、曲がり部をはさむ支持構造物間距離を長くする必要がある場合は、面外振動を拘束する支持構造物は下式を満足するように設ける。

$$L_1 + L_2 \leq L_E$$

$$L_2 + L_3 \leq L_0$$

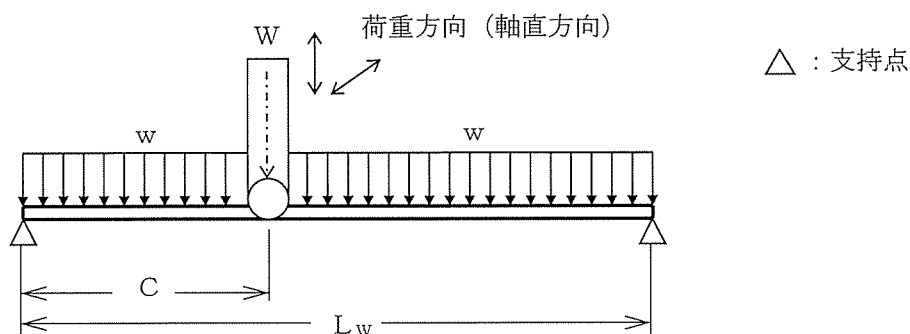
—E— : 支持点



7. 集中質量部の支持間隔

7. 1. 解析モデル

配管の弁等の重量物が付く場合については、下図のように任意の位置に集中質量を有する両端支持の連続はりにモデル化する。



- L_w : 集中質量部支持間隔
- C : 支持端から集中質量点までの長さ
- w : 配管の単位長さ当たり質量
- W : 集中質量

7. 2. 解析条件及び解析方法

- (1) 設計用地震力が作用した場合の集中荷重及び等分布荷重の合計曲げモーメントが、直管部最大支持間隔の設計用地震力による曲げモーメントより小さくなること。
- (2) 自重による集中荷重及び等分布荷重の合計曲げモーメントが、直管部最大支持間隔の自重による曲げモーメントより小さくなること。

- (3) (1), (2)の条件を満足する理論解を $\left(\frac{W}{w \cdot L_0}\right)$ の関数として $\left(\frac{L_w}{L_0}\right)$ の最大値を求める。

ただし、 L_0 は直管部最大支持間隔。

7. 3. 解析結果及び支持方針

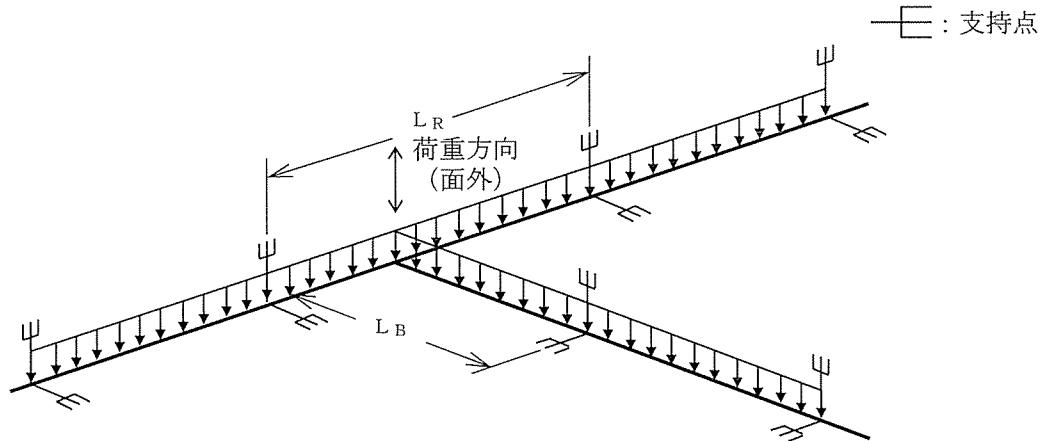
解析結果を添説設 3-2-2 図に示す。

本グラフは、弁等の重量物が取り付いた場合の配管の許容支持間隔を直管部最大支持間隔に対する比として示し、”許容領域”内に配管を支持するものとする。

8. 分岐部の支持間隔

8. 1. 解析モデル

配管の分岐部は、下図に示すようにT字部の3つの支持端を単純支持とする分布質量の連続はりにモデル化する。



L_R : T字部母管長さ

L_B : 枝管長さ

8. 2. 解析条件及び解析方法

(1) 設計用地震力が作用した場合の曲げモーメントが、直管部最大支持間隔の設計用地震力による曲げモーメントより小さくなること。

(2) 自重による曲げモーメントが、直管部最大支持間隔の自重による曲げモーメントより小さくなること。

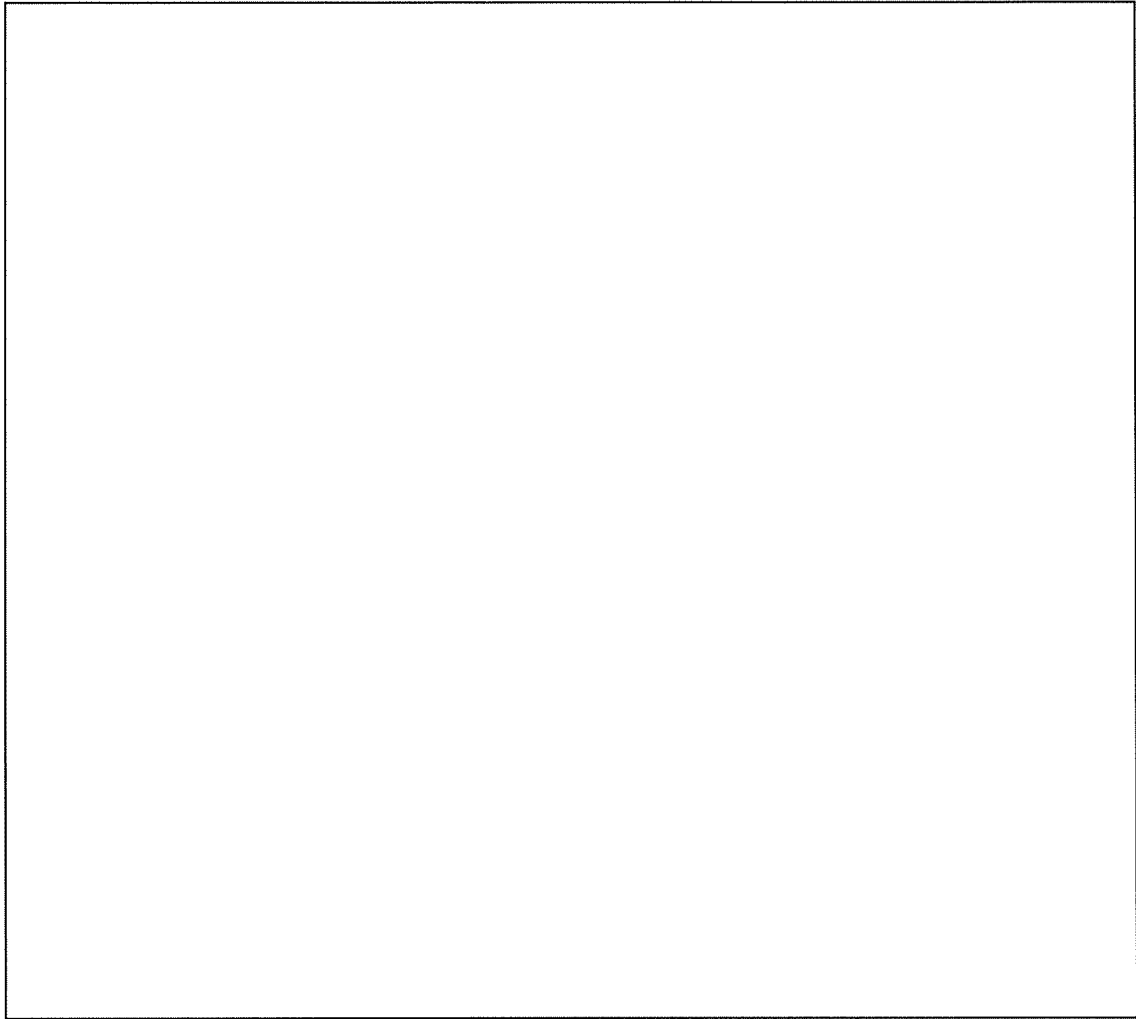
(3) (1), (2)の条件を満足する理論解を $\left(\frac{L_R}{L_0}\right)$ の関数として $\left(\frac{L_B}{L_0}\right)$ の最大値を求める。

解析結果は、分岐部の代表例として母管と枝管とが同一口径のものをまとめたものである。ただし、 L_0 は直管部最大支持間隔。

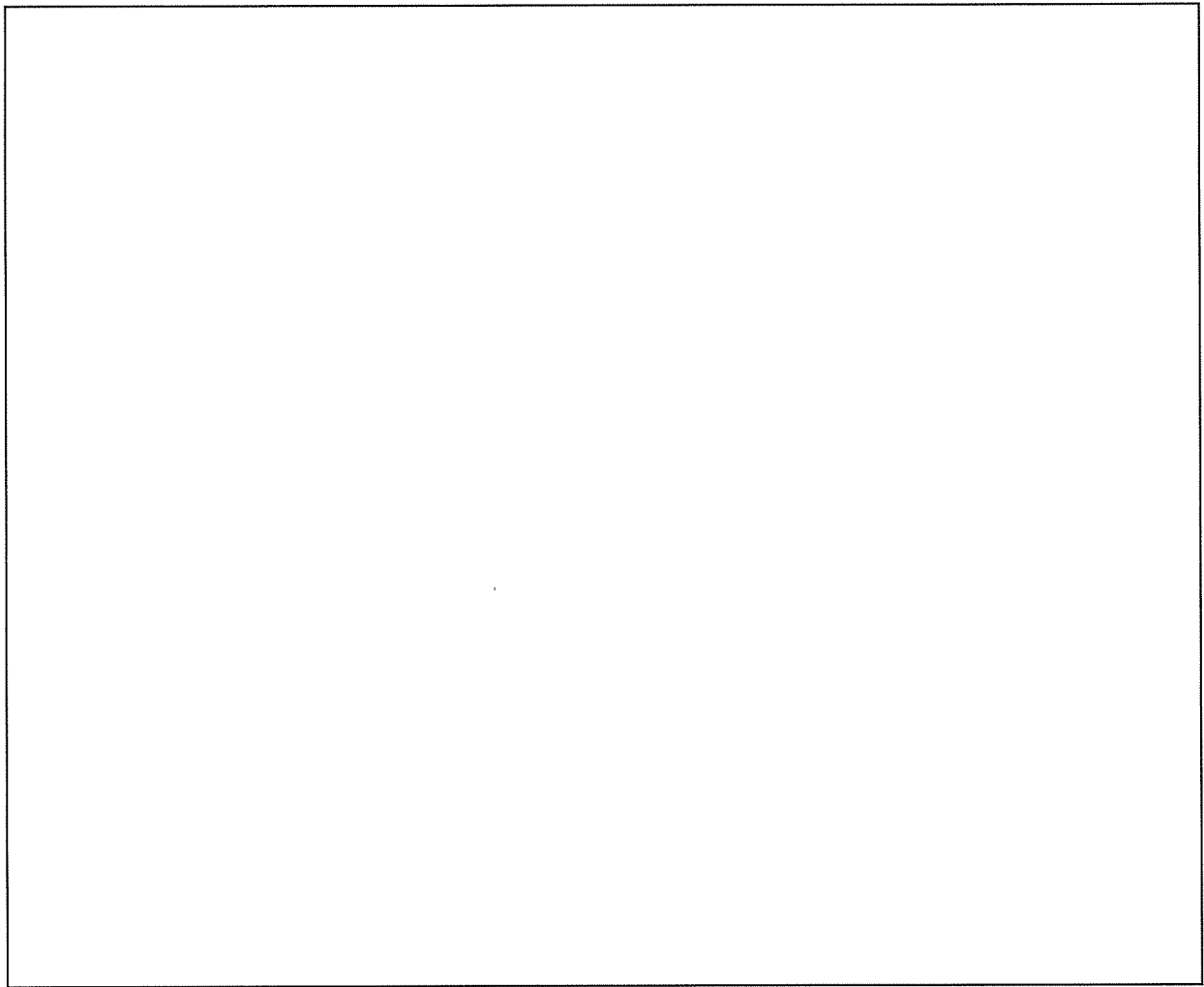
8. 3. 解析結果及び支持方針

解析結果を添説設 3-2-3 図に示す。

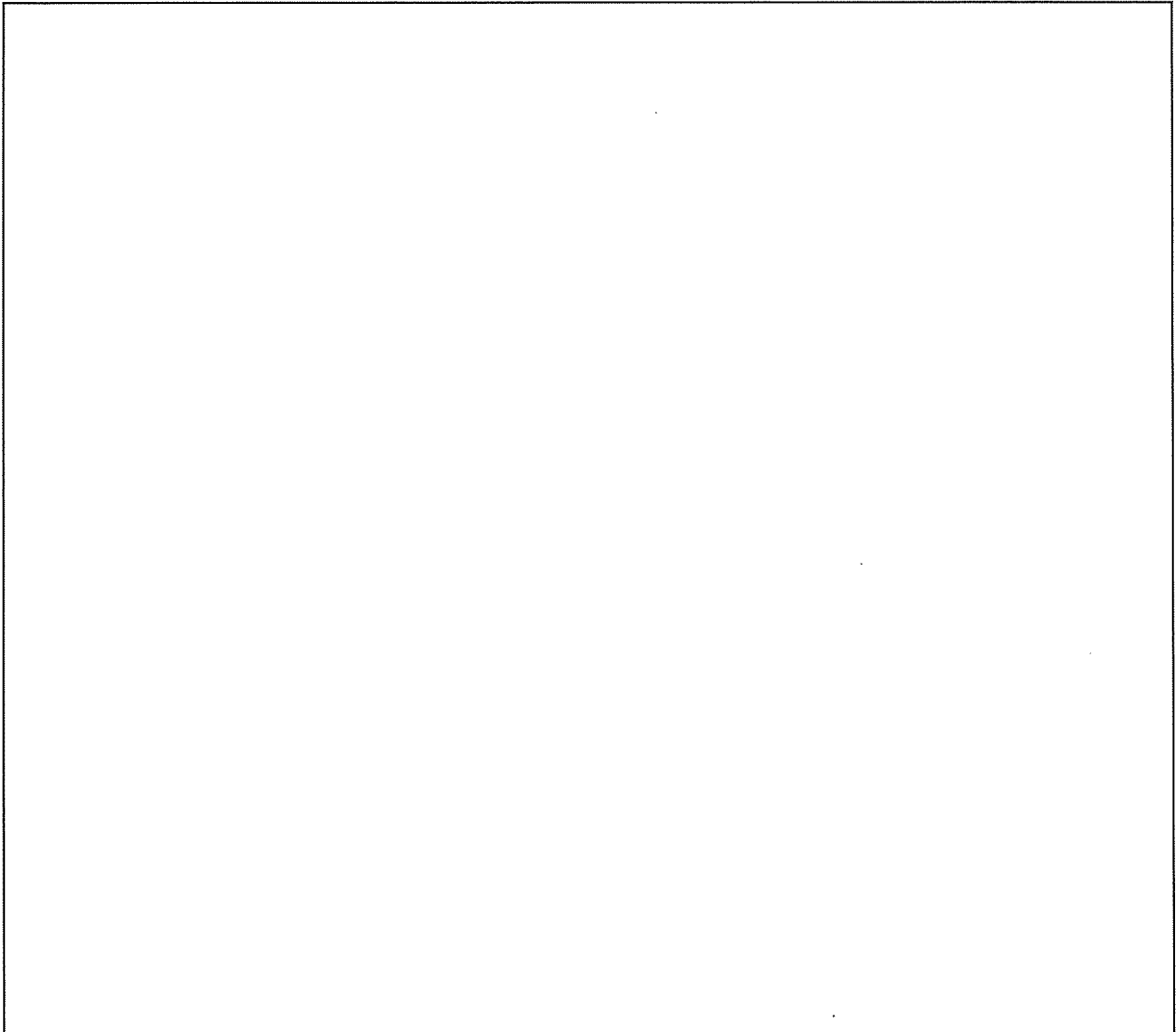
本グラフは、分岐部の許容支持間隔を直管部の最大支持間隔に対する比として示したもので、“許容領域”内に配管を支持するものとする。



添説設 3-2-1 図 曲がり部支持間隔グラフ



添説設3-2-2図 集中質量部支持間隔グラフ



添説設 3-2-3 図 分岐部支持間隔グラフ

9. 支持構造物

9. 1. 概要

配管の支持構造物は、その目的、設置場所等によって各種の形状、構造を考慮している。本章では、それらの支持構造物の選定及び支持構造物の代表的な種類について示す。

9. 2. 支持構造物の選定

(1) 支持ブラケット

支持ブラケットに際しては、ブラケット取り付け部形状及び荷重の方向等を考慮してその基本構造を決める。

ブラケット部材には原則として形鋼を用いるものとし、地震荷重、自重による荷重に対して、支持構造物に生ずる応力が弾性域の許容応力を満足するように形鋼の種類及びサイズ等を適切に選定する。

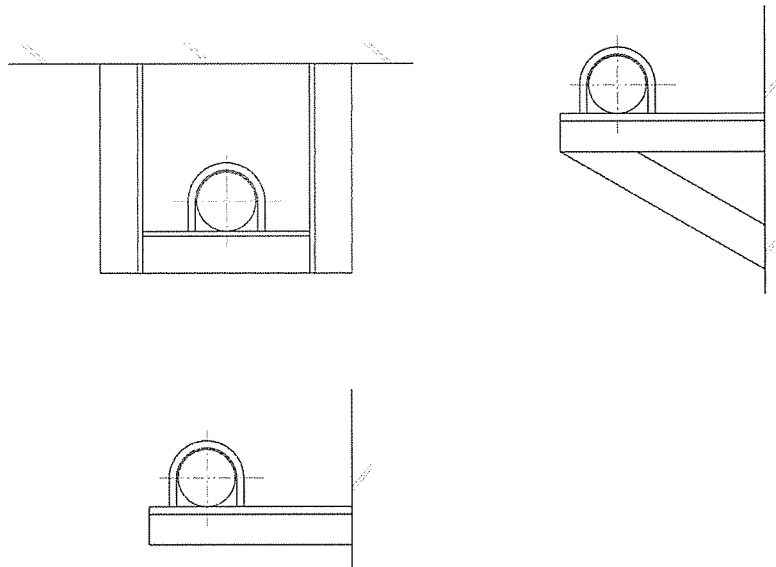
(2) 支持構造物部品

支持構造物に使用するUボルト等の部品は、支持点の荷重が各々の支持構造物部品の設計荷重以下になるように選定して使用する。

9. 3. 支持構造物の種類

(1) 支持ブラケット

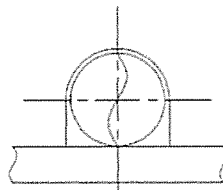
支持ブラケットの形状の代表例を添説設 3-2-4 図に示す。



添説設 3-2-4 図 支持ブラケットの代表例

(2) 支持構造物部品

支持構造物部品の形状の代表例を添説設 3-2-5 図に示す。



添説設 3-2-5 図 支持構造物部品の代表例

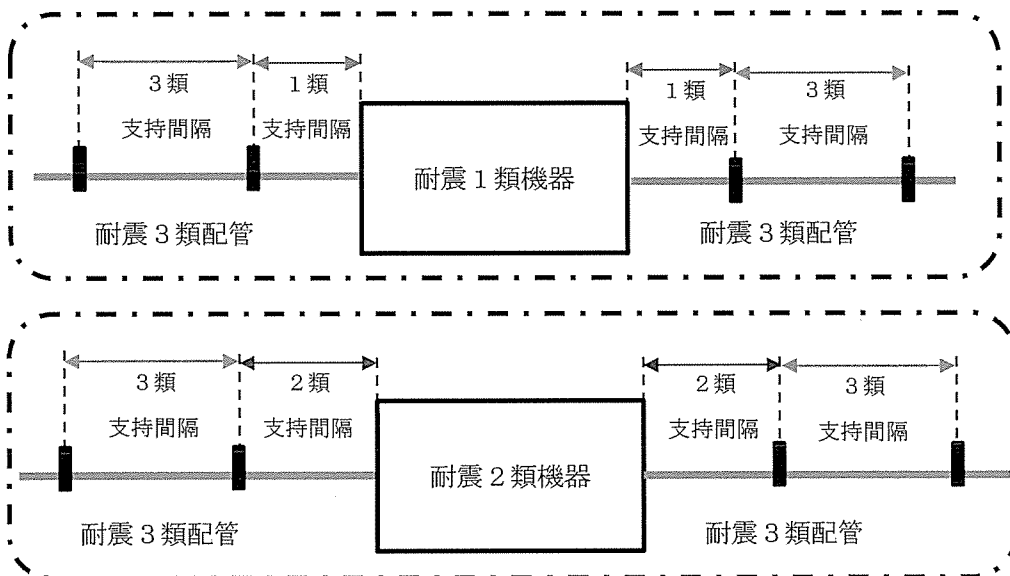
配管の波及的影響の考え方について

1. 波及的影響の考え方

耐震分類が異なる配管を接続する場合、接続部にはフレキシブルホースを設置し耐震区分を行うことを原則とする。

フレキシブルホースの設置が困難な配管については波及的影響を考慮して、耐震重要度分類が上位の機器に接続する箇所から一つ目の支持点までの間隔を、接続する機器の耐震重要度分類と同等として評価・設計をした。

耐震分類が異なる支持間隔の考え方



ダクトの耐震性に関する説明書

1. 概要

本資料は、ダクトの耐震性について計算の基本方針を説明するものである。

ダクトの耐震設計を行う場合には、そのダクトの耐震重要度分類、仕様、形状、設置場所等を考慮してダクトを分類し、定められた設計用地震力に対して、必要な機能が損なわれるおそれがないように耐震性を確保する。

ダクトの耐震性を確保する手法として、標準支持間隔法がある。標準支持間隔法とは、ダクトを直管部、曲がり部、分岐部及び集中質量を有する直管部の標準的な要素に分け、各要素の設計用地震力による応力等が許容限界を満足するように支持間隔を定め、この支持間隔以内に支持点を設定する方法である。

弁、ダンパ類については、ダクトより剛構造のものを使用するため発生曲げモーメントは小さくなる。一方、集中質量部の支持間隔を求める際には、弁、ダンパ類もダクトと同一仕様としたうえで、弁、ダンパ類の質量を付加することで安全側の評価を行っている。このため、弁、ダンパ類の耐震計算は、質量を付加したダクトの耐震計算により包絡される。

耐震重要度分類第3類ダクトについては「建築設備耐震設計・施工指針」の標準支持間隔以内に支持点を設定する。

2. 基本方針

2. 1. 耐震設計上の原則

- (1) ダクトは、適切な支持を講じることにより地震力による応力の低減を図るものとする。
- (2) 支持構造物は、ダクトの地震荷重、及び自重による荷重に対して十分な強度を持たせる。
- (3) 計算に用いる寸法は公称値を用いる。

2. 2. 設計手順

ダクトの耐震設計は、建物・構造物、機器・配管・トレイ等ダクト以外の設備との関連を十分に考慮した上で、総合的な調整をする。

3. ダクトの設計方針

3. 1. ダクトの構造

ダクトの構造は、溶接型、スパイラル型及びハゼ折型とし、その形状は角ダクト、丸ダクトを用いるものとする。更に、保温材を施工するものと施工しないものがあるが、いずれも薄板構造である。

3. 2. 解析方法

ダクトの耐震設計に関しては、薄板構造としての特殊性及びその形状を考慮して座屈評価を行い安全側に耐震計算を行う。ダクトの支持設計においては、施工方法、ダクトの周囲条件を考慮の上、標準支持間隔法により、設計地震力によりダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となる最大支持スパン以下となるように支持する。

標準支持間隔法は、ダクトを直管部、曲がり部、分岐部及び集中質量を有する直管部の標準的な要素に分け、各要素の設計用地震力による曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となるように支持間隔を定める。

3. 3. 設計用地震力

設計用地震力は、「建築設備耐震設計・施工指針」の局部震度法による「設備機器の設計用標準震度」に基づく水平地震力を用いる(添説設 3-3-1 表)。

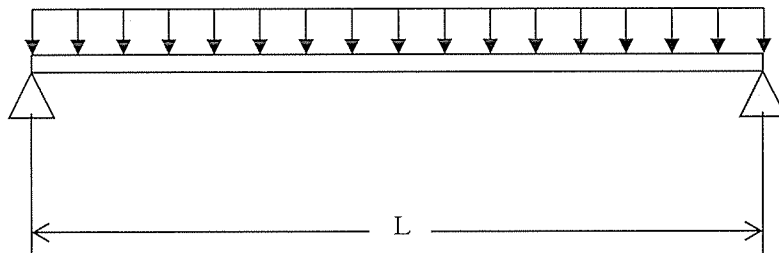
添説設 3-3-1 表 設備機器の設計用標準震度に基づく水平地震力

耐震重要度分類	第 1 類	第 2 類	第 3 類
地階及び 1 階	1.0 G	0.6 G	0.4 G
中間層	1.5 G	1.0 G	0.6 G
上層階、屋上及び塔屋	2.0 G	1.5 G	1.0 G

4. 第1類、第2類ダクトの標準支持間隔法

4. 1. 解析モデル

各種ダクトを、下図のように等分布荷重1スパンにモデル化する。この場合、支持点はダクトの軸直角方向のみを拘束するものとし、軸方向及び回転に対しては自由とする。



4. 2. 解析方法

当社工場で使用する各種ダクトについて、設計用地震力による曲げモーメントを算定すると共に、自重による曲げモーメントを算定し、これらの合成曲げモーメントが許容限界以下となるように支持間隔を算出する。

4. 3. 解析条件

(1) ダクト設計条件

標準支持間隔の算定に必要なダクト設計条件を添説設 3-3-2 表～添説設 3-3-5 表、添説設 3-3-14 表、添説設 3-3-15 表、添説設 3-3-20 表に示す。

ダクトの重量としては、補強材重量を含めた値とする。さらに、保温材の付くダクトについては、その重量を考慮する。

(2) 許容限界

各部材の許容限界は添付説明書一設 3-1-付 1 に示す。

地震及び自重による曲げモーメントの合成曲げモーメントに対する許容限界として許容座屈曲げモーメントを定める。以下に丸ダクト及び角ダクトの許容座屈曲げモーメント算出式を示す。

(a) 丸ダクト

$$M_R = K_R \cdot \frac{E}{1 - \nu^2} \cdot \frac{D}{2} \cdot t^2$$

ここで、 $K_R = 0.36$

丸ダクト許容座屈曲げモーメント式は、円筒殻の屈服座屈の式^(注1)を基に安全裕度を考慮して定めたものである。

(b) 角ダクト

$$M_s = K_s \sqrt{\frac{\pi^2 E \cdot S_y}{1 - \nu^2}} \cdot b \cdot t^2$$

ここで、 $K_s = 1/\sqrt{3}$

角ダクト許容座屈曲げモーメント式は、鶴戸口の式^(注2)を基に安全裕度を考慮して定めたものである。

(注1) 「新版機械工学便覧」(1987年4月日本機械学会編) A4-7.5.3a. iv項

(注2) 「薄肉長方形および箱形はりの座屈と強度」(1963年8月日本機械学会
Journal of the J. S. M. E., Vol. 66, No. 535)

記号

D	: 丸ダクト口径
E	: ダクト材の縦弾性係数
S_y	: ダクト材の設計降伏点
K_R 、 K_S	: 許容座屈曲げモーメント係数
M_R 、 M_S	: 許容座屈曲げモーメント
b	: 角ダクト辺長
t	: 板厚
ν	: ポアソン比

なお、塩化ビニルダクトについては、設計用地震力による曲げモーメントを算定すると共に、自重による曲げモーメントを算定し、これらの合成曲げモーメントにより発生する曲げ応力が許容応力以下となるように支持間隔を算出する。

許容応力、物性値については、「水道用硬質ポリ塩化ビニル管」に基づき設定する。

5. 標準支持間隔

5. 1. 第1類、第2類ダクト

添説設 3-3-2 表～添説設 3-3-5 表の各種ダクトの設計条件をもとに計算した直管部最大支持間隔、自重及び地震により発生する曲げモーメントと許容座屈曲げモーメントの比を添説設 3-3-6 表～添説設 3-3-13 表に示す。

なお、矩形断面の角ダクトの支持間隔については、短辺長さを基準とし、添説設 3-3-6 表、添説設 3-3-8 表、添説設 3-3-10 表及び添説設 3-3-12 表における角ダクトの支持間隔に添説設 3-3-1 図に示される支持間隔比を乗じた値を支持間隔とする。添説設 3-3-1 図は、基準となる正方形断面の角ダクトに比べて曲げモーメントが小さくなるように求めた辺長比及び板厚比と支持間隔比との関係を示すものである。

また、塩化ビニルダクトに関して、添説設 3-3-14 表及び添説設 3-3-15 表の各種ダクトの設計条件をもとに計算した直管部最大支持間隔、自重応力（長期）、自重及び地震により発生する応力を添説設 3-3-16 表～添説設 3-3-19 表に示す。なお、矩形断面の角ダクトの支持間隔については、短辺長さを基準とする。

FRPに関しても、添説設 3-3-20 表の各種ダクトの設計条件をもとに計算した直管部最大支持間隔、自重応力（長期）、自重及び地震により発生する応力（短期）を添説設 3-3-21 表、添説設 3-3-22 表に示す。

5. 2. 第3類ダクト

「建築設備耐震設計・施工指針」の標準支持間隔である「12 m」を用いる。

添説設 3-3-2 表 ダクトの設計条件 (ステンレス鋼角ダクト)

番号	ダクト幅×板厚(mm)	単位長さあたり重量 (kg/m)	
		保温材無	保温材有
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			

添説設 3-3-3 表 ダクトの設計条件 (ステンレス鋼丸ダクト)

番号	ダクト口径×板厚(mm)	単位長さあたり重量 (kg/m)	
		保温材無	保温材有
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

添説設 3-3-4 表 (1/2) ダクトの設計条件 (炭素鋼角ダクト)

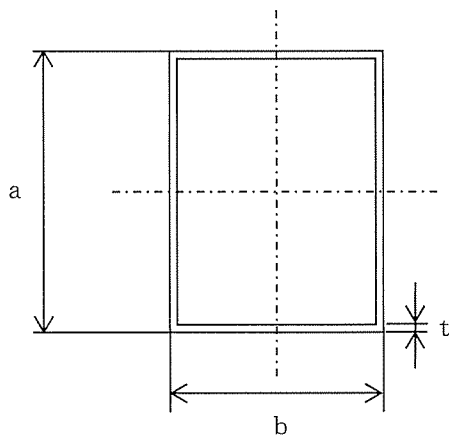
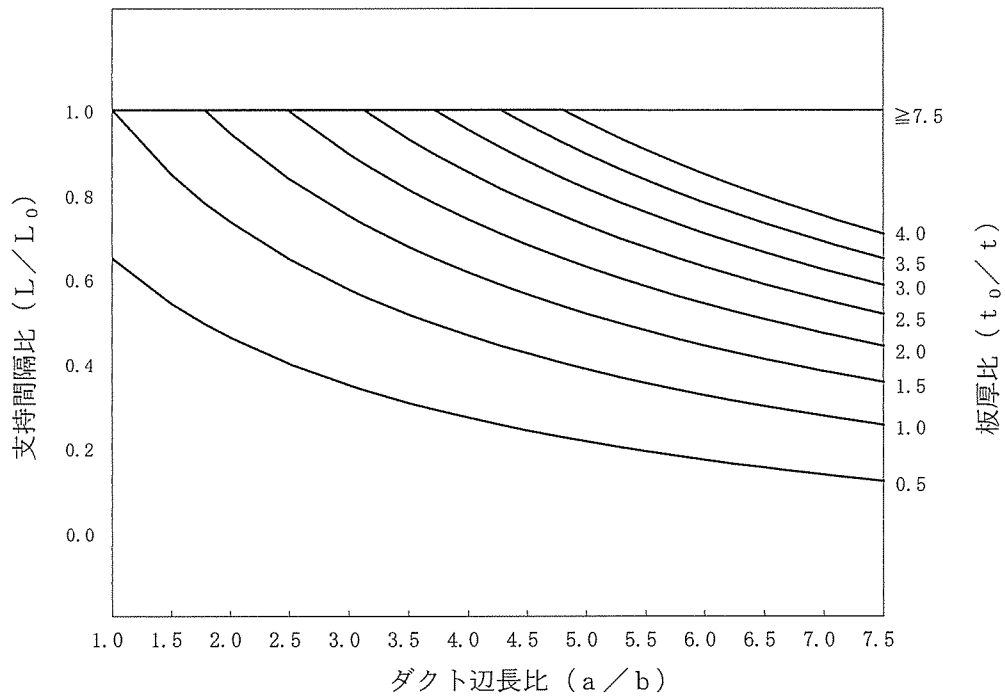
番号	ダクト幅×板厚(mm)	単位長さあたり重量 (kg/m)	
		保温材無	保温材有
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			

添説設 3-3-4 表 (2/2) ダクトの設計条件 (炭素鋼角ダクト)

番号	ダクト幅×板厚 (mm)	単位長さあたり重量 (kg/m)	
		保温材無	保温材有
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			

添説設 3-3-5 表 ダクトの設計条件 (炭素鋼丸ダクト)

番号	ダクト口径×板厚(mm)	単位長さあたり重量 (kg/m)	
		保温材無	保温材有
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			



- a : 角ダクト (矩形) 長辺
- b : 角ダクト (矩形) 短辺
- L : 角ダクト (矩形) の支持間隔
- L_0 : ダクト短辺を基にした支持間隔
- t : 角ダクト (矩形) の板厚
- t_0 : 支持間隔 L_0 のダクト板厚

添説設 3-3-1 図 矩形断面の角ダクトの支持間隔

添地設 3-3-6 表 第 1 類直管部最大支持間隔 (ステンレス鋼角ダクト)

建物密着 保温材 ダクト幅×壁厚 (mm)	地階及び1階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比

添議書 3-3-7 表 第 1 項直管部最大支持間隔 (ステンレス鋼丸ダクト)

建物階層	地階及び1階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
ダクト口径×板厚(mm)	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比

添付図 3-3-8 表 (1/2) 第 1 類直管部最大支持間隔 (炭素鋼角ダクト)

建物階層	地階及び1階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
ダクト幅×板厚(mm)	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比

施設 3-3-8 表 (2/2) 第 1 類直管部最大支持間隔 (屋梁端角ダクト)

建物階層	地階及び1階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
保温材	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比
ダクト幅×壁厚(mm)	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比

添設図 3-3-9 表 第 1 種直管部成大支持間隔 (炭素鋼丸ダクト)

建物階層	地階及び 1 階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
保溫材	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比
ダクト口径×板厚 (mm)												

添読表 3-3-10 表 第 2 類直管部最大支持間隔 (ステンレス鋼角ダクト)

建物階層	地階及び1階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
ダクト幅×板厚(mm)	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比

添付図3-3-11 表 第2種直管部成木支持間隔 (スチレンレス鋼丸ダクト)

建物階層	地階及び1階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
ダクト口径×壁厚(mm)	支持間隔 (mm)	モメント比	支持間隔 (mm)	モメント比	支持間隔 (mm)	モメント比	支持間隔 (mm)	モメント比	支持間隔 (mm)	モメント比	支持間隔 (mm)	モメント比

添設 3-3-12 表 (1/2) 第 2 類直管部最大支持間隔 (炭素鋼角ダクト)

建物階層	地階及び1階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
保温材	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比
ダクト幅×壁厚(mm)	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比

規格表 3-3-12 表 (2/2) 第 2 種直管部最大支持間隔 (炭素鋼角クワット)

建物階層	地階及び1階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
クワット幅×板厚(mm)	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比

添設表 3-3-13 表 第2種直管部最大支持間隔 (炭素鋼丸ダクト)

建物階層	地階及び1階				中間階				上層階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
保温材 ダクト口径×板厚(mm)	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比	支持間隔 (mm)	モーメント比

添説設 3-3-14 表 ダクトの設計条件 (塩化ビニル角ダクト)

番号	ダクト幅×板厚(mm)	単位長さあたり重量 (kg/m)	
		保温材無	保温材有
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			

添説設 3-3-15 表 ダクトの設計条件 (塩化ビニル丸ダクト)

番号	ダクト口径×板厚 (mm)	単位長さあたり重量 (kg/m)	
		保温材無	保温材有
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			

添設図 3-3-16 表 第 1 類直管部最大支持間隔 (酸化ビニル樹脂角ダクト) 許容限界 長期: 30 短期: 45 (単位: MPa)

建物階層	地階及び1階				中間層				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
保温材	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)
ダクト幅×壁厚 (mm)												

添設図 3-3-17 表 第 1 額直管部最大支持間隔 (酸化ビニルエナルダクト) 許容張力 長期: 30 短期: 45 (単位: MPa)

建物階層	地階及び 1 階						中間階						上階階、屋上及び塔屋						
	無			有			無			有			無			有			
	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	
保温材																			
ダクト口径×板厚(mm)																			

添説 3-3-18 表 第 2 類直管部最大支持間隔 (酸化ビニル角ダクト) 許容限界 長期: 30 短期: 45 (単位: MPa)

建築物階層	地階及び1階						中間層						上階階、屋上及び塔屋						
	無			有			無			有			無			有			
保温材 ダクト幅×壁厚 (mm)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	

添設図 3-3-19 表 第 2 種直管部最大支持間隔 (塩化ビニル系ダクト) 許容限界 長期: 30 短期: 45 (単位: MPa)

建物階層	地盤及び 1 階						中間階						上階階、屋上及び塔屋						
	無			有			無			有			無			有			
	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	
保温材																			
ダクト口径×板厚(mm)																			

添説設 3-3-20 表 ダクトの設計条件 (FRP)

番号	ダクト口径×板厚(mm)	単位長さあたり重量 (kg/m)	
		保温材無	保温材有
1			—
2			—
3			—
4			—
5			—

添附書 3-3-21 表 第 1 項直管部最大支持間隔 (FRP) 許容限界 長期: 36 短期: 54 (単位: MPa)

建物階層	階高及び1階						中間階						上階階、屋上及び塔屋						
	無			有			無			有			無			有			
保温材	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	
ダクト口径×板厚(mm)																			

表 3-22 第 2 種直管部最大支持間隔 (FRP) 許容限界 説明: 36 短期: 64 (単位: MPa)

建物階層	地盤及び 1 階				中間階				上階階、屋上及び塔屋			
	無		有		無		有		無		有	
保溫材	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)	支持 間隔 (mm)	応力 (長期) (MPa)	応力 (短期) (MPa)
ダクト口径×板厚(mm)												

6. 曲がり部の支持間隔

曲がり部の支持間隔を定めるための直管部標準支持間隔との比を求める解析モデル、解析条件、解析方法、解析結果及び曲がり部の支持方針については、添付説明書一設 3-2「配管の耐震性に関する説明書」に示す。

7. 集中質量部の支持間隔

集中質量部の支持間隔を定めるための直管部標準支持間隔との比を求める解析モデル、解析条件、解析方法、解析結果及び曲がり部の支持方針については、添付説明書一設 3-2「配管の耐震性に関する説明書」に示す。

8. 分岐部の支持間隔

分岐部の支持間隔を定めるための直管部標準支持間隔との比を求める解析モデル、解析条件、解析方法、解析結果及び曲がり部の支持方針については、添付説明書一設 3-2「配管の耐震性に関する説明書」に示す。

9. 個別解析モデルによる支持間隔の設定

前述の6. から8. に示した標準的な要素の支持間隔及びその組合せによってダクトの支持間隔を設定することが困難なダクト要素については、以下に示す方針によりダクト要素のモデル化及び個別解析を行い、支持間隔を設定する。

9. 1. 解析モデル

解析モデルは、当該ダクト要素の曲げモーメントが適切に評価できるように隣接するダクト要素の影響を考慮して、多質点系モデルにモデル化する。

9. 2. 解析条件及び解析方法

ダクトを多質点系モデル化し、有限要素法により曲げモーメント（自重＋設計用地震力）が許容座屈曲げモーメント以下となるように支持間隔を設定する。

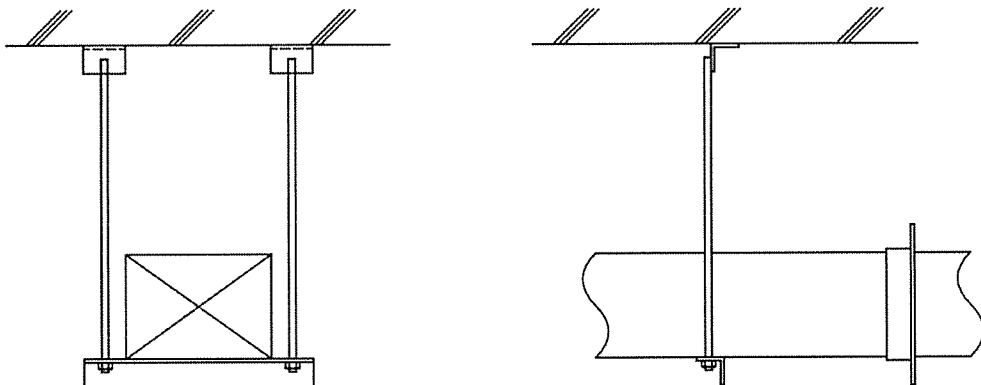
10. 支持構造物の設計方針

10. 1. 支持構造物の構造及び種類

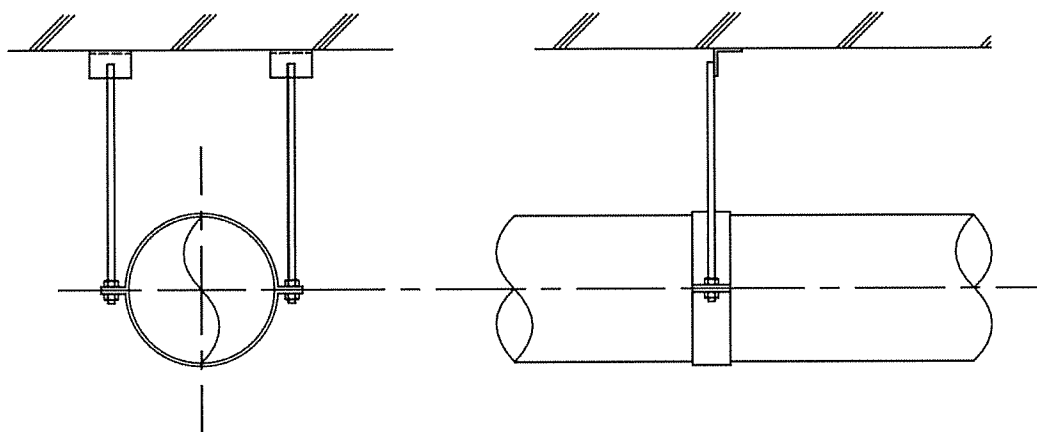
支持構造物の代表例を添説設 3-3-2 図～添説設 3-3-4 図に示す。

10. 2. 設計方針

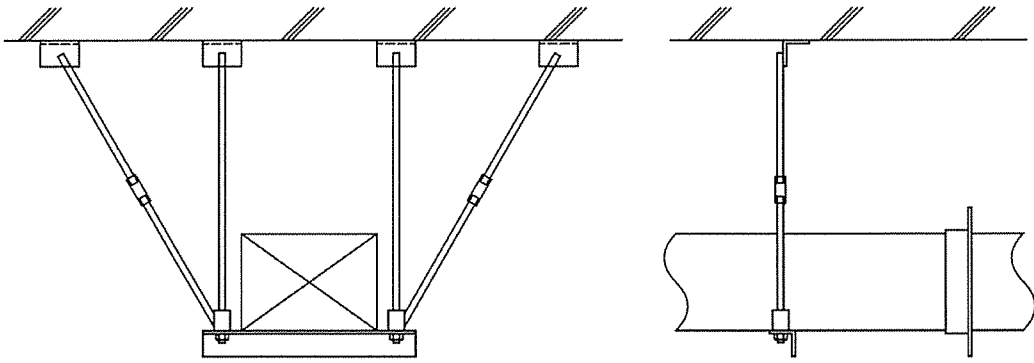
支持構造物は地震荷重、自重による荷重に対して、支持構造物に生ずる応力が弾性域の許容限界を満足するように支持構造物を適切に選定する。



添説設 3-3-2 図 角ダクト自重サポート（ロッド）の例



添説設 3-3-3 図 丸ダクト自重サポート（ロッド）の例



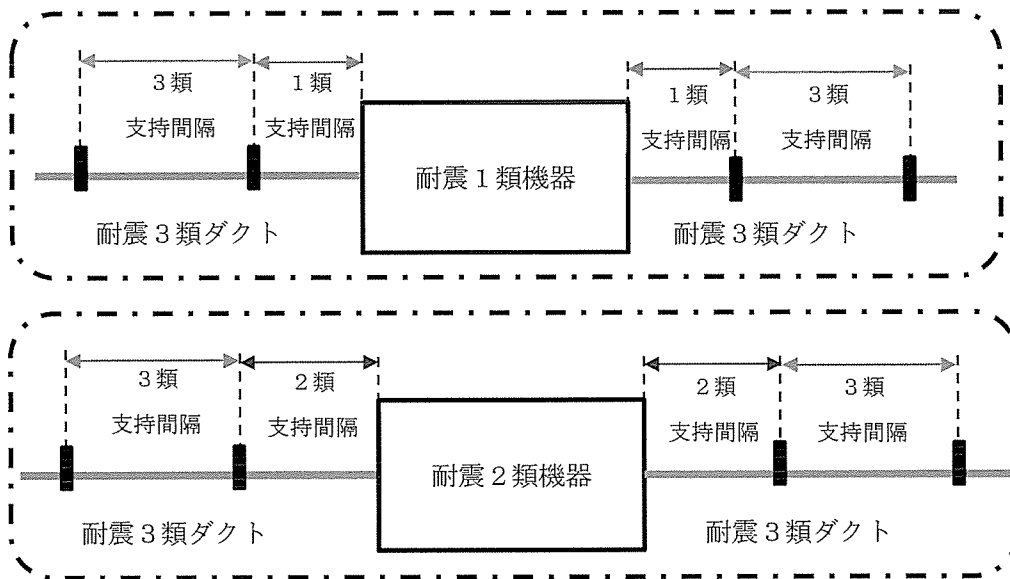
添説設 3-3-4 図 角ダクト水平方向拘束の例

気体廃棄設備の耐震重要度分類の考え方について

1. 波及的影響の考え方

気体廃棄設備において、給排気ダクト・ダンパについては波及的影響を考慮して、耐震重要度分類が上位の機器に接続する箇所から一つ目の支持点までの間隔を、接続する機器の耐震重要度分類と同等として評価・設計をした。

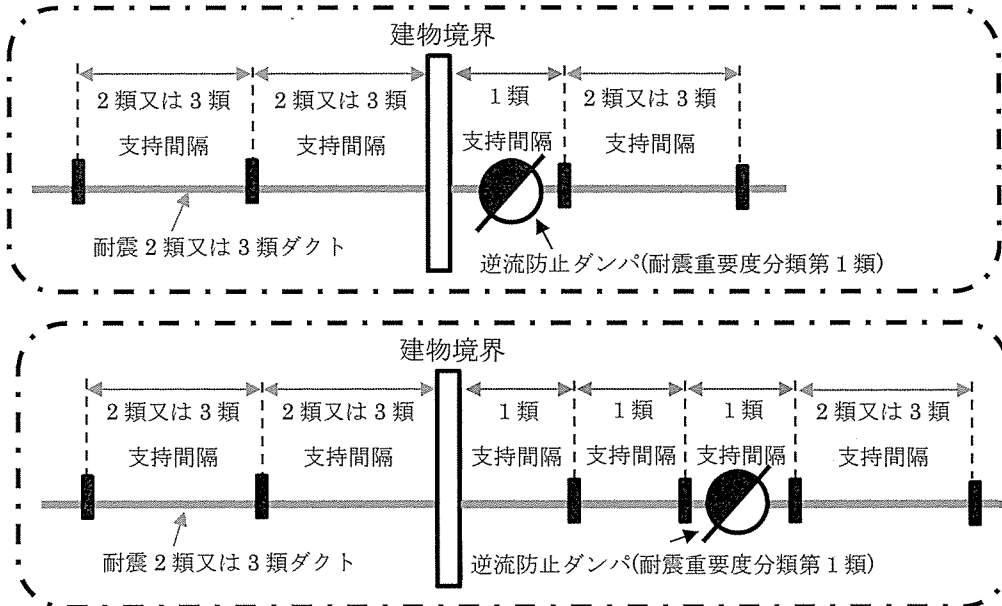
耐震分類が異なる標準支持間隔法の考え方



2. 建物境界部分の考え方

気体廃棄設備において、建物及び逆流防止ダンパを接続する給排気ダクト・ダンパについては、建物の耐震重要度分類と同等として評価・設計をした。

建物境界部の標準支持間隔法の考え方

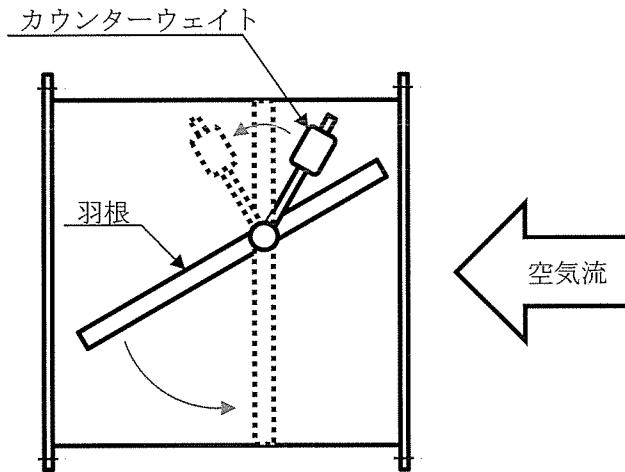


耐震評価におけるダンパ機能の健全性に関する考え方について

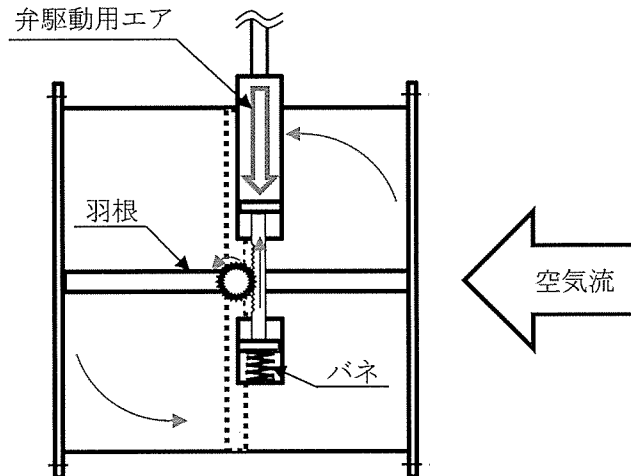
1. ダンパ機能の健全性に関する考え方

気体廃棄設備において、ダクトに接続するダンパ(耐震重要度分類が異なる逆流防止ダンパ及び地震連動ダンパ・切替ダンパを含む)はダクトより剛構造のものを使用するため発生応力が小さくなる。

したがって、ダンパの耐震計算は、質量を付加したダクトの耐震計算により包絡されるため、ダンパ機能(以下の図に示す作動)の健全性に問題はない。



給気・排気逆流防止ダンパ作動原理概略図
(空気流停止によりカウンターウェイトで自動閉止)



地震連動ダンパ・切替ダンパ作動原理概略図
(IL 作動(電源喪失)時には駆動用エア喪失、駆動用エア喪失によりバネで自動開放・閉止)

設備に対する竜巻防護に関する説明書

1. 竜巻防護設計の方針

1. 1. 基本方針

「原子力発電所の竜巻影響ガイド」⁽¹⁾（以下「竜巻ガイド」という。）を参考に算出した本加工施設が立地する地域での竜巻規模は、稀に発生する竜巻として年超過確率 10^{-4} に相当する風速は 41m/s であり、藤田スケールの F1 (33~49m/s) にあたる。このため、設計評価用竜巻として藤田スケールの F1 竜巻 (風速 49m/s) を設定する。設計評価用竜巻に対し、建物の壁及び屋根は損傷しないため、建物内の設備・機器に風圧力の作用を考慮する必要はなく、設備・機器の防護設計を要しない。

また、更なる安全裕度の向上策確認用の竜巻として、藤田スケールの F3 の最大風速 (92m/s) を設定する。この竜巻に対し、一部の建物の壁及び屋根は損傷するため、損傷箇所を經由する風の吹き込みに対して、建物内部の床、壁により設備・機器を防護する設計とするか、設備・機器に直接風圧力が作用する場合は、それら設備・機器 (転換工場の排気ダクトは除く) の固定が失われないことを確認する。転換工場の排気ダクトは、はり下に新設する飛散防護用ネットで設備・機器への落下を防止し、他の設備・機器を防護する設計とする。

一方、非常用設備の非常用ディーゼル発電機は、発電機室の建物の壁及び屋根が損傷しないため設備・機器の防護設計を要しないが、非常用ディーゼル発電機のラジエータが屋外に設置されることから、F1 竜巻に対して防護設計を行うとともに、F3 竜巻に対して固定が失われないことを確認する。

1. 2. 評価対象

更なる安全裕度の向上策確認用の F3 竜巻に対し、新規基準に基づき受けた事業許可より、RC 造及び SRC 造の建物は健全であることから、これらの建物に内包される設備・機器は、建物により竜巻から防護される。

RC 造及び SRC 造以外の建物は、更なる安全裕度の向上策確認用の竜巻に対し、屋根のみもしくは屋根と壁の両方が損傷するおそれがあるため、これらの施設の設備・機器については竜巻の影響を考慮する。

また、屋外に設置された設備・機器については、F1 竜巻、F3 竜巻両方に対して、竜巻の影響を考慮する。

転換工場、除染室・分析室は F3 竜巻に対して屋根が損傷するおそれがある。そのため、施設に内包される設備・機器である化学処理施設¹及び分析設備²が影響評価の対象となる。さらに、屋外に設置される非常用ディーゼル発電機のラジエータ及び UF₆漏えい警報設備の HF 検出器 (作動端) (屋外) が F1 竜巻、F3 竜巻に対する影響評価の対象となる。

¹ UF₆を正圧で取り扱う設備・機器(蒸発器、UF₆フードボックス、コールドトラップ、コールドトラップ(小)、循環貯槽、堰(循環貯槽))は、F3 竜巻に耐える防護カバー内に設置するため影響評価の対象外となる。

² 分析室及び分光分析室では、竜巻警報発報時、夜間休日不在時には分析サンプルをサンプル保管庫にて保護する。この管理については保安規定に規定する。

2. 評価手法

2. 1. 評価方針

竜巻により設備・機器に作用する設計竜巻荷重に対して評価を実施する。設備と竜巻の位置関係は、竜巻中心から竜巻半径距離離れた風速が最も大きい位置で評価する。F1 竜巻の最大風速 49m/s、F3 竜巻の最大風速 92m/s より、竜巻の特性を竜巻ガイド⁽¹⁾に従い以下のとおりとする。

<F1 竜巻>

$V_{Rm} = 42\text{m/s}$: 最大接線風速

$V_T = 7\text{m/s}$: 移動速度

$R_{Rm} = 30\text{m}$: 最大接線風速半径

<F3 竜巻>

$V_{Rm} = 78\text{m/s}$: 最大接線風速

$V_T = 14\text{m/s}$: 移動速度

$R_{Rm} = 30\text{m}$: 最大接線風速半径

2. 2. 評価用荷重

(a) 常時作用する荷重

常時作用する荷重としては、持続的に生じる荷重である自重及び上載荷重を考慮する。なお、運転状態により変化する荷重については保守的に考慮しない。

(b) 設計竜巻荷重

風速場のモデルは、屋根のみが損傷するおそれのある建物内でも、安全側に壁がないものとしてフジタモデルを用い、また、風圧力は飛来物と同じ手法で求めた飛行定数を用いて評価した揚力及び抗力を考慮する。風圧力評価は、飛来物評価手法 (TONBOS コード)⁽²⁾と同じ考えで評価することとする。

(1) 物体に作用する荷重

風圧力を受ける物体の運動方程式としては

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{\rho C_D A}{2 m} |\mathbf{V}_W - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_W - \mathbf{V}_M) - (g - L)\mathbf{k} \quad (1)$$

ここで、

\mathbf{V}_M : 物体の速度ベクトル

\mathbf{V}_W : 風速ベクトル

t : 時間

ρ : 空気密度

C_D : 抗力係数

A : 物体代表面積

m : 質量

g : 重力加速度

L : 揚力加速度

\mathbf{k} : 鉛直上向き単位ベクトル

$\frac{C_D A}{m}$: 飛行定数

ここで、設備は運動せず固定されているため、 $\mathbf{V}_M = \mathbf{0}$ であることから、設備への荷重 (加速度) はベクトルの成分ごとに記述すると次のようになる。

$$\alpha_1 = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{1}{2} \sqrt{V_{W1}^2 + V_{W2}^2 + V_{W3}^2} \cdot V_{W1} \quad (2)$$

$$\alpha_2 = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{1}{2} \sqrt{V_{W1}^2 + V_{W2}^2 + V_{W3}^2} \cdot V_{W2} \quad (3)$$

$$\alpha_3 = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{1}{2} \sqrt{V_{W1}^2 + V_{W2}^2 + V_{W3}^2} \cdot V_{W3} - (g - L) \quad (4)$$

(添え字の 1, 2, 3 はそれぞれ x 方向、y 方向、z 方向を示す。)

ここで、荷重方向を水平方向と軸方向に集約する。x 方向と y 方向を合成して水平方向とすると、

$$\alpha_h = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{1}{2} V_t \cdot V_h$$

$$\text{変形して、 } F_h = \alpha_h m = C_D A \frac{\rho}{2} V_t \cdot V_h \quad (5)$$

軸方向については、

$$\alpha_z = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{1}{2} V_t \cdot V_z - (g - L)$$

$$\text{変形して、 } F_z = \alpha_z m = C_D A \frac{\rho}{2} V_t \cdot V_z - (g - L)m \quad (6)$$

ここで、

α_h : 設備水平方向加速度

F_h : 設備水平方向荷重

α_z : 設備軸方向加速度

F_z : 設備軸方向荷重

$$V_t = \sqrt{V_{W1}^2 + V_{W2}^2 + V_{W3}^2} = \sqrt{V_h^2 + V_z^2} \quad : \text{風速の大きさ}$$

$$V_h = \sqrt{V_{W1}^2 + V_{W2}^2} \quad : \text{水平方向風速}$$

V_z : 軸方向風速

以上のとおり、竜巻の風圧力により設備水平方向荷重 F_h 、設備軸方向荷重 F_z が生じる。

(2) 物体に作用する揚力

揚力のモデルとしては、飛来物の揚力係数を抗力係数で代用した以下の式で評価する。

$$L = \frac{\rho C_D A}{2 m} \{ (V_{W1} - V_{M1})^2 + (V_{W2} - V_{M2})^2 \} \cdot f\left(\frac{Z}{d}\right) = \frac{C_D A \rho}{m} \frac{V_h^2}{2} \cdot f\left(\frac{Z}{d}\right) \quad (7)$$

$$f\left(\frac{Z}{d}\right) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{Z}{3d}\right) & (Z < 3d) \\ 1 + \left(\frac{Z}{d}\right) & \\ 0 & (Z \geq 3d) \end{cases} \quad (8)$$

ここで、

$$Z = z - \frac{d}{2}$$

d : 物体高さ

z : 軸方向の位置

(3) 飛行定数の算出方法

飛来物評価上の飛行定数は参考文献⁽³⁾⁽⁴⁾の評価手法に準じて、以下の式で評価する。

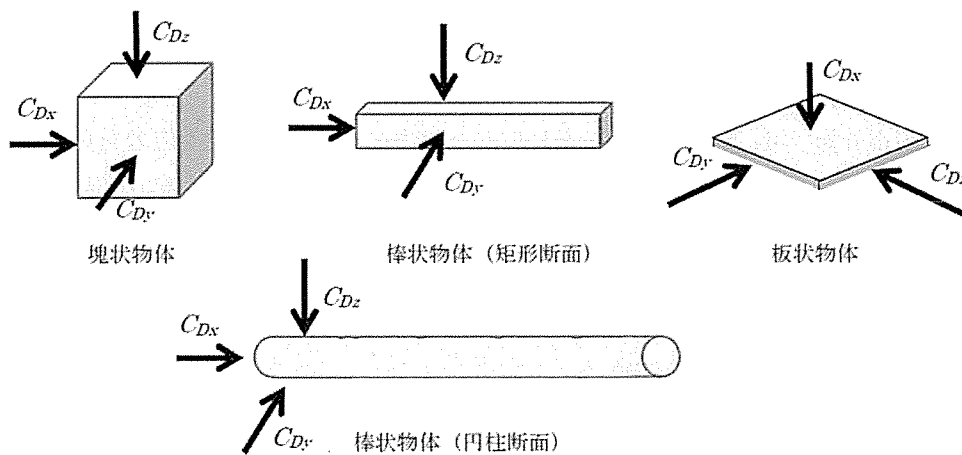
$$\frac{C_D A}{m} = \frac{c(C_{Dx} \cdot A_x + C_{Dy} \cdot A_y + C_{Dz} \cdot A_z)}{m} \quad (9)$$

ここで、

$$c = 0.33$$

A_x, A_y, A_z : それぞれ添説設 4-2-1 図に示す C_{Dx}, C_{Dy}, C_{Dz} に対する面の面積
(開口がある場合は、必要に応じて面積から開口部面積を除く。)

物体形状	C_{Dx}	C_{Dy}	C_{Dz}
塊状物体	2.0	2.0	2.0
板状物体 棒状物体 (矩形断面)	2.0	1.2	1.2
棒状物体 (円柱断面)	2.0	0.7	0.7



添説設 4-2-1 図 飛行定数算出パラメータ

2. 3. 許容限界

設計評価用の F1 竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、弾性範囲にとどまることを許容限界とする。このため、耐力を許容限界とする。耐力は、添付説明書一設 3-1-付 1 の短期条件での許容限界となる。

更なる安全裕度の向上策確認用の水平方向の設計竜巻荷重に対する評価では、設備・機器を固定しているアンカーボルトが部分的に塑性変形したとしても設備・機器の固定が失われないことを確認するため、アンカーボルト部材の引張強さを元に許容限界を設定する。軸方向の設計竜巻荷重に対しても、設備・機器が固定されていればよいが、軸方向については、アンカーボルト部材の引張強さによる許容引張荷重よりも、アンカーボルトの許容引抜荷重の方が小さいため、アンカーボルトの許容引抜荷重を許容限界として設定する（添付説明書一設 4-付 1 参照）。

2. 4. 評価の方法

2. 4. 1. 水平方向荷重に対する評価

最初に 2. 2 項に示す手法にて水平方向の設計竜巻荷重を算出する。設計竜巻荷重を算出するための飛行定数は、対象とする設備・機器の外形形状の面積、質量より設定する。

水平方向の設計竜巻荷重により設備・機器を固定しているアンカーボルトに発生する応力を「横方向の設計竜巻荷重/アンカーボルトの総断面積」により求め、それが許容値以下であることを確認する。

なお、耐震計算では、耐震重要度分類に応じた入力荷重に対する発生応力を算出し、耐震計算での許容限界以下であることを確認している。よって、設計竜巻荷重が地震時の荷重より小さい場合、設計竜巻荷重による発生応力は耐震計算結果に包含されるため、発生応力を評価することなく、耐風圧設計であることを確認できる。

2. 4. 2. 軸方向荷重に対する評価

2. 2 項に示す手法にて、軸方向の設計竜巻荷重を算出する。軸方向の設計竜巻荷重によりアンカーボルトに生じる引抜荷重は「軸方向の竜巻荷重 - (自重 + 上載荷重)」となり、アンカーボルトに発生する引抜荷重が許容値以下であることを確認する。（許容値については、添付説明書一設 4-付 1 参照）。

2. 4. 3. パネルに対する評価

2. 4. 1、2. 4. 2 項に算出した設計竜巻荷重をもとにパネルに作用する圧力を算出する。なお、フードボックス用防護カバーのパネル評価については事業許可（添五-268 ページ）に示す手法にて設計竜巻荷重を設定した。圧力が作用した際のパネルの変形を板の曲げと考え、発生応力が許容値以下であることを確認する。（許容値については、添付説明書一設 4-付 1 参照）

3. 評価結果のまとめ

1. 2項に示した対象設備に対して、2. 4項の水平方向及び軸方向の内、検定比が大きくなる評価結果を添説設 4-3-1 表～添説設 4-3-7 表に示す。いずれの設備も許容限界³を満足しており、竜巻による設計竜巻荷重に対して設備・機器の固定が失われないことを確認した⁴。なお、分析設備である ICP 質量分析装置、ICP 発光分光分析装置、自動水分分析装置、炭素・硫黄同時分析装置、比表面積測定装置、嵩密度測定装置では、架台に設置した拘束金具により設置架台と装置本体水平方向の移動を拘束しているが、軸方向は固定していない。ただし、事業許可（添五-232 ページ）に示した飛来物評価手法（TONBOS コード）⁽²⁾と同じ考えで当該装置の F3 竜巻時の飛来高さを評価すると、2mm 以下とわずかであり固定治具の高さより十分小さいため、F3 竜巻により飛散することはない⁵。

また、配管が F3 竜巻荷重に耐えるよう標準支持間隔を設定する必要があるが、F3 竜巻荷重による最大発生応力の許容限界に対する裕度は、地震荷重による裕度よりも大きい⁶。従って、地震荷重に対して標準支持間隔を設定しておけば、F3 竜巻に耐えることができる。

³ 検定比を算出する際に使用した許容限界を記載している。

⁴ 検定比は発生応力（荷重）を許容限界で除して小数点第 3 位以下を切上げた値とする。検定比算出に用いた発生応力は小数点以下を切り上げた値、許容限界は規格値もしくは規格値より算出して小数点以下を切り捨てた値とする。

⁵ 当該設備の 2. 4. 2 項に示した軸方向荷重による評価では、下向きの荷重として装置本体の荷重は考慮しない。

⁶ 代表として、断面性能が低い□配管(□)、スパン長□m、地震加速度 1G の場合、F3 竜巻荷重による最大発生応力は□[N/mm²]、許容限界は□[N/mm²]（引張強さ）で検定比□となる。地震荷重による最大発生応力は□[N/mm²]、許容限界は□[N/mm²]（耐力）で検定比□であり、竜巻評価の裕度は耐震評価の裕度に比べて十分大きいことが分かる。

添説設 4-3-1 表 F1 竜巻荷重に対するアンカーボルトの評価結果(屋外の設備)

名称	部位名称	竜巻荷重 [kN]		評価結果			許容限界 ³
		軸方向 [kN]	水平方向 [kN]	竜巻荷重方向	検定比 ¹ [-]	判定	
非常用ディーゼル発電機(ラジエータ)	ラジエータ					合格	
UF ₂ 漏えい警報設備	HF換出器(作動端)(屋外)					合格	

添説設 4-3-2 表 F3 竜巻荷重に対するアンカーボルトの評価結果(非常用設備)

名称	部位名称	竜巻荷重 [kN]		評価結果			許容限界 ³
		軸方向 [kN]	水平方向 [kN]	竜巻荷重方向	検定比 ¹ [-]	判定	
非常用ディーゼル発電機(ラジエータ)	ラジエータ					合格	

添説設 4-3-3 表 F3 竜巻荷重に対するアンカーボルトの評価結果(化学処理施設)

名称	部位名称	竜巻荷重 [kN]		評価結果			許容限界 ³
		軸方向 [kN]	水平方向 [kN]	竜巻荷重方向	検定比 ¹ [-]	判定	
UF ₂ 防護カバー	蒸発器用防護カバー					合格	
UF ₂ 防護カバー	フードボックス用防護カバー					合格	
UF ₂ 防護カバー	UF ₂ 配管用防護カバー					合格	
熱交換器(循環貯槽)	熱交換器					合格	
循環貯槽	UO ₂ 配管用防護カバー					合格	
循環貯槽	UO ₂ 配管用防護カバー-架台					合格	
UO ₂ プロータンク	UO ₂ プロータンク					合格	
UO ₂ プロータンク	UO ₂ プロータンク架台					合格	
UO ₂ フィルタ	UO ₂ フィルタ					合格	
UO ₂ フィルタ	フードボックス(UO ₂ フィルタ)					合格	
UO ₂ フィルタ	UO ₂ フィルタ架台					合格	
UO ₂ バックアップフィルタ	UO ₂ バックアップフィルタ					合格	
UO ₂ 受ホッパ	UO ₂ 受ホッパ					合格	
粉砕機	フードボックス(粉砕機)					合格	
充填装置	充填設備共通架台					合格	
充填装置	充填装置					合格	
充填装置	フードボックス(充填装置)					合格	
充填装置	充填装置架台					合格	

添説設 4-3-4 表 F3 竜巻荷重に対するアンカーボルトの評価結果(分析設備)

名称	部位名称	竜巻荷重 [kN]		評価結果			許容限界 ²
		軸方向 [kN]	水平方向 [kN]	竜巻荷重方向	検定比 ¹ [-]	判定	
不純物分析設備	廃水タンク					合格	
不純物分析設備	サンプル保管庫本体					合格	
不純物分析設備	サンプル保管庫設置架台					合格	
試料回収ボックス(不純物分析設備付帯設備)	試料回収ボックス					合格	
同位体分析設備	表面電離型質量分析装置(1)					合格	
同位体分析設備	表面電離型質量分析装置(2)					合格	
不純物分析設備	固体発光分光分析装置					合格	
不純物分析設備	ICP質量分析装置					合格	
不純物分析設備	ICP発光分光分析装置					合格	
不純物分析設備	自動水分分析装置					合格	
不純物分析設備	炭素・硫黄同時分析装置					合格	
不純物分析設備	自動ハロゲン分析装置					合格	
不純物分析設備	α線スペクトル分析装置					合格	
物性測定設備	比表面積測定装置					合格	
物性測定設備	嵩密度測定装置					合格	
物性測定設備	平均粒径測定装置					合格	
不純物分析設備	自動ハロゲン分析装置(本体)					合格	
物性測定設備	平均粒径測定装置(本体)					合格	

添説設 4-3-5 表 F3 竜巻荷重に対するアンカーボルトの評価結果(気体廃棄設備)

名称	部位名称	竜巻荷重 [kN]		評価結果			許容限界 ²⁾
		軸方向 [kN]	水平方向 [kN]	竜巻荷重方向	検定比 ⁴⁾ [-]	判定	
スクラバ	スクラバ						合格
スクラバ	スクラバ架台(1)						合格
スクラバ	スクラバ架台(2)						合格

添説設 4-3-6 表 F3 竜巻荷重に対するアンカーボルトの評価結果(インターロック・警報)

名称	部位名称	竜巻荷重 [kN]		評価結果			許容限界 ²⁾
		軸方向 [kN]	水平方向 [kN]	竜巻荷重方向	検定比 ⁴⁾ [-]	判定	
地震インターロック	地震計						合格
地震インターロック	制御盤						合格
UF ₆ 漏えい警報設備	HF検出器 (検出端、作動端) (屋内)						合格
UF ₆ 漏えい警報設備	HF検出器 (作動端) (屋外)						合格

添説設 4-3-7 表 F3 竜巻荷重に対するパネルの評価結果

名称	部位名称	材質	圧力 [N/mm ²]	発生応力 [N/mm ²]	許容応力 [N/mm ²]	検定比 [-]	結果
UF ₆ 防護カバー	蒸発器用防護カバー	SUS304					合格
UF ₆ 防護カバー	フードボックス用防護カバー	SUS304					合格
UF ₆ 防護カバー	UF ₆ 配管用防護カバー	SUS304					合格
循環貯槽	UO ₂ F ₂ 配管用防護カバー	SUS304					合格

4. 参考文献

- (1) 原子力規制委員会 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド 平成 25 年 6 月
- (2) 電力中央研究所報告 竜巻による物体の浮上・飛来解析コード TONBOS の開発 研究報告：N14002 平成 26 年 6 月
- (3) 東京工芸大学 平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度） 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究 平成 23 年 2 月
- (4) 日本保全学会 原子力規制関連事項検討会 軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速および飛来物速度の設定に関するガイドライン 平成 27 年 1 月

竜巻設計で使用する許容限界の設定

1. 竜巻設計で使用する許容限界の設定

竜巻設計で使用する許容限界は、建築設備耐震設計・施工指針 2014年版（日本建築センター）及び鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 —（日本建築学会）、JSME S NJ1-2012（日本機械学会）にもとづき設定する。

2. 据付ボルトの許容限界

水平方向及び軸方向の F3 竜巻設計荷重に対するアンカーボルトの評価結果に対する許容限界を添説設 4-付 1-1 表及び添説設 4-付 1-2 表にそれぞれ示す。F3 竜巻設計荷重に対しては、設備・機器を固定しているアンカーボルトが部分的に塑性変形したとしても設備・機器の固定が失われないことを確認するため、アンカーボルト部材の引張強さを元に許容限界を設定する。なお、F1 竜巻設計荷重に対しては弾性範囲にとどまることを許容限界とするため、耐力を許容限界とする。したがって、F1 竜巻設計荷重に対する許容限界は耐震評価の短期条件での許容限界（添付説明書—設 3-1-付 1 参照）と同じである。

添説設4-付1-1表 水平方向F3竜巻設計荷重に対するアンカーボルトの許容限界

材料	種類	許容限界	参照
	せん断応力度		鋼構造設計規準、 建築設備耐震設計・施工指針
	せん断応力度		JSME S NJ1-2012、鋼構造設計規準、 建築設備耐震設計・施工指針

添説設 4-付 1-2 表 軸方向 F3 竜巻設計荷重に対するアンカーボルトの許容限界
(許容引抜荷重)

材料	径	許容限界	参照
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針
			建築設備耐震設計・施工指針

3. パネルの許容限界

F3 竜巻設計荷重に対するパネルに対する許容限界を添説設 4-付 1-3 表に示す。F3 竜巻設計荷重に対しては、部分的に塑性変形したとしても破断しないことを確認するため、許容限界として引張強さを元に設定する。

添説設 4-付 1-3 表 F3 竜巻設計荷重に対するパネルの許容限界

材料	種類	許容限界	参照
	曲げ応力度		JSME S NJ1-2012、鋼構造設計規準

設備の溢水による損傷の防止に関する説明書

1. 概要

本資料は、「加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第十一条及び「加工施設の技術基準に関する規則」第十二条にて適合することが要求されている事項に対し、安全機能を有する施設が加工施設内における溢水の発生によりその安全機能を損なう恐れがある場合に、防護処置その他の適切な処置を講じることを説明するものである。

2. 溢水等による損傷防止の基本方針

事業許可基準規則第十一条（溢水による損傷の防止）に基づき、加工施設内部で溢水の発生を想定しても、加工施設の閉じ込め、臨界防止の安全機能を損なわないようにするとともに、溢水による火災の発生を防止するため、以下の設計とする。

① 閉じ込めの観点

- ・第1種管理区域の境界から外部へ溢水が流入出しない設計とする。なお、第2種管理区域では、密封したウランを取り扱うため汚染がないことから、第2種管理区域からの溢水の漏えい防止に関しては考慮しない。
- ・建物内の負圧を維持するため、被水又は没水により放射性廃棄物の廃棄施設（気体廃棄設備）の機能を喪失しない設計とする。

② 臨界防止の観点

- ・ウランを内包する設備・機器が、被水又は没水によって臨界とならない設計とする。

③ 火災の発生防止の観点

- ・被水又は没水による設備・機器における電気火災の発生を防止する設計とする。

④ 全般

- ・溢水源となる配管は、耐震重要度分類第1類に求められる地震力を超えない程度の地震加速度（150ガル＝0.15G）を検知した時点で、送液を停止する設計とする。

3. 対象設備

対象設備は、工場棟転換工場に設置する化学処理施設、放射性廃棄物の廃棄施設、核燃料物質の貯蔵施設及びその他の加工施設、附属建物 発電機室に設置するその他の加工施設並びに附属建物 除染室・分析室に設置するその他の加工施設、附属建物 原料貯蔵所に設置する核燃料物質の貯蔵施設を対象とする。対象となる機器は添付説明書一設1付録1に示す。

なお、附属建物 廃棄物管理棟に設置する放射性廃棄物の廃棄施設（ドラム缶ウラン量測定装置）は、臨界管理対象外で溢水防護区画外に設置する設備のため、溢水評価対象外とする。

4. 適合性の説明

本章に該当する適合性の対象は、以下となる

- ・加工施設の技術基準に関する規則第十二条

(加工施設内における溢水による損傷の防止)

第十二条 安全機能を有する施設は、加工施設内における溢水の発生によりその安全性を損なうおそれがある場合において、防護措置その他の適切な措置が講じられたものでなければならない。

◆ 事業許可の内容 (2-11、2-12、11-1～11-21)

3章で示した設備を対象とすることから、事業許可の内容のうち該当する以下の項目を適合性説明の対象とする。

【化学処理施設、核燃料物質の貯蔵施設、その他の加工施設の溢水による損傷防止 (4.1章)】

- ・ 核的制限値を設定する設備・機器は没水しない設計(2-11)
- ・ 減速度で管理する設備・機器は消火水等が浸入しない対策(2-12)
- ・ 被水又は没水によって臨界とならない設計(11-4)
- ・ 被水又は没水による電気火災の発生を防止する設計(11-5)
- ・ 被水による電気火災の発生を防止するため、被水防止カバー、又は配線用遮断器を設置する設計(11-9)
- ・ ウランへの水の浸入を考慮した最適減速度状態を想定した設計と、水の侵入を想定しない減速度を管理する設計(11-11)
- ・ ウランが被水しないような設計、及び没水による水の浸入を防止する設計(11-12)
- ・ 制御盤には配線用遮断器を設置する設計(11-16)

【放射性廃棄物の廃棄施設(気体廃棄設備(1))の溢水による損傷防止 (4.2章)】

- ・ 被水又は没水による電気火災の発生を防止する設計(11-5)
- ・ 被水による電気火災の発生を防止するため、被水防止カバー、又は配線用遮断器を設置する設計(11-9)
- ・ 制御盤には配線用遮断器を設置する設計(11-16)

【非常用ディーゼル発電機の溢水による損傷防止 (4.3章)】

- ・ 被水又は没水による電気火災の発生を防止する設計(11-5)
- ・ 被水による電気火災の発生を防止するため、被水防止カバー、又は配線用遮断器を設置する設計(11-9)
- ・ 制御盤には配線用遮断器を設置する設計(11-16)

4. 1. 化学処理施設、核燃料物質の貯蔵施設、その他の加工施設の溢水による損傷防止

4. 1-1 臨界の防止

化学処理施設、核燃料物質の貯蔵施設、その他の加工施設を対象に、溢水防護対象設備・機器の臨界防止に係わる設計について説明する。各設計番号に対応する設備の溢水防護区画、通常ウランが存在する最低部の高さ、臨界防止の処置方法を添説設 5-1 表に示す。なお、各設備の堰については、溶液漏えい時の拡大防止設備のため、溢水による臨界防護対象外とする。

溢水防護区画、臨界評価用区域の設定及びその溢水水位の評価結果については、第 2 回設工認申請書（三原燃 第 18-0268 号）、第 4 回設工認申請書（三原燃 第 18-1174 号）の添付説明書-建 6 のⅡ. 各建物の溢水設計に示す。なお、付帯設備室（溢水防護区画番号 2）に設置する冷媒用タンク及び配管は、転換工場チェックタンク室（溢水防護区画番号 2）の溢水評価に含む。また、冷媒は付帯設備室と原料倉庫（溢水防護区画番号 1）間を循環するが、原料倉庫内の冷媒配管は耐震 1 類とすることで、冷媒は原料倉庫内での溢水量には含んでいない。

なお、原料倉庫地下ピットへの溢水流入を防止するため、原料倉庫に設置する UF₆ 蒸発・加水分解設備には、原料倉庫の溢水水位 100 mm に対し mm の堰を設置する。

核的制限値を設定する設備・機器は、内部溢水に対し没水しない設計とする。(2-11)

臨界防止の観点から、核燃料物質を内包する設備・機器が、被水又は没水によって臨界とならない設計とする。(11-4)

➤ ①[12.1-設1]

形状寸法を管理する設備・機器である加水分解装置（エジェクタ）、循環貯槽、UO₂ブロータンクなどは、水の浸入を考慮し、最適減速度状態を想定した形状寸法を管理することで、被水又は没水による臨界の恐れがない設計とする。(11-4)

➤ ②[12.1-設2]

転換工場の分光分析室及び付属建物除染室・分析室の分析室は、水の浸入を考慮し、最適減速度状態を想定したウラン質量を部屋全体で合算管理することで、被水又は没水による臨界の恐れがない設計とする。(11-4)

➤ ③[12.1-設3]

核的制限値を設定する設備・機器は、内部溢水に対し没水しないようにウランが存在する部位を防護区画内で想定される溢水水位より高く設置するか、ウランが存在する部位への水の浸入がないよう容器、ケーシング、堰等で覆う設計とする。(2-11)(11-4)

上記設計番号の対象設備は、添説設 5-1 表の臨界防止の処置方法に示す①、②、③に対応する。なお、減速度で管理する設備・機器は、後述する臨界防止処置を講じることにより、被水又は没水による臨界の恐れはない。

減速度で管理する設備・機器については、火災時の消火水等が浸入しない対策を講じる。

(2-12)

ウランの減速度管理を適用する設備・機器は、ウランが被水しないよう設備・機器内（フードボックス、容器を含む）で取り扱う設計とし、没水による水の浸入を防止するため、空気取入れ口等の開口を水位より高くする設計とする。(11-12)

➤ ④[12.1-設5]

ウランの減速度管理を適用する蒸発器、コールドトラップ、コールドトラップ（小）、UO₂バックアップフィルタ、UF₆シリンダは、ウランが被水しないように、設備・機器内（フードボックス、容器を含む）で取り扱う設計とする。(2-12)(11-12)

上記設計番号の対象設備は、添説設 5-1 表の臨界防止の処置方法に示す④に対応する。なお、申請対象設備で空気取入れ口等の開口を有する減速度管理を適用する設備はない。

ウランを内包する設備・機器は、形状寸法又は質量を管理する設計でウランに水の浸入を考慮し最適減速状態を想定した設計とするか、ウランに水の浸入を想定しないウランの減速度を管理する設計とする。(11-11)

添付説明書一設1の[4.1-設1]に示す。

添説設 5-1 表 溢水による防護対象設備・機器及び臨界防止処置方法

設置場所	溢水防護 区画番号	防護対象 機器名	通常ウラン 存在部高さ	臨界防止 処置方法
工場棟転換工場 原料倉庫	1 溢水に よる水位 (100mm) *1	蒸発器 (1)-A、(1)-B、(2)-A、(2)-B		③*2④
		UF ₆ シリンダ		③*2④
		コールドトラップ(1)、(2)		③*2④
		コールドトラップ (小) (1)、(2)		③*2④
		循環貯槽(1)、(2)		①③*2
工場棟転換工場 転換加工室	2 溢水に よる水位 (160mm) *1	熱交換器 (循環貯槽) (1)、(2)		①③
		UO ₂ プロータンク (1)、(2)		①③*2
		UO ₂ フィルタ (1)、(2)		①③
		UO ₂ バックアップフィルタ (1)、(2)		③④
		UO ₂ 受けホッパ(1)、(2)		①③
		粉砕機(1)、(2)	①③	
		充填装置(1)、(2)	①③	
工場棟転換工場 分光分析室		分析設備 同位体分析設備		②③*3
付属建物 除染室・分析室		分析設備 不純物分析設備 (廃水タンクを除く)		②③*3
分析室		分析設備 物性測定設備		②③*3
		分析設備 試料回収ボックス		②③

*1：溢水防護区画及び溢水水位の設定については4次申請の添付説明書-建6を参照。

*2：ウランが存在する部位への水の浸入がないよう容器やケーシング、堰等で覆う構造。

*3：複数設備のウラン存在部の最低高さ。

4. 1-2 火災の防止

化学処理施設、核燃料物質の貯蔵施設、その他の加工施設を対象に、溢水防護対象設備・機器の溢水による電気火災防止に係わる設計について説明する。下記の設計に対応する設備の設置場所、溢水防護区画及び電気火災防止方法を添説設 5-2 表に示す。

被水又は没水による設備・機器における電気火災の発生を防止する設計とする。(11-5)

被水による設備・機器の電気火災の発生を防止するため、配線用遮断器を設置する。
被水による設備・機器における電気火災の発生を防止するため、被水防止カバーを設置するか、配線用遮断器を設置する設計とする。(11-9)

使用電圧が高い幹線動力用ケーブルに接続する制御盤の設備高さについては、設備高さを没水許容高さより高くする設計とし、それ以外の制御盤は配線用遮断器を設置する設計とする。(11-16)

溢水防護区画に設置する電気を使用する設備・機器は、被水又は没水による電気火災の発生を防止するため、以下の設計としている。

➤ ⑤[12.1-設 7]

水配管等の破断や消火水による被水及び没水が原因による電気系統を有する設備・機器の短絡火災の発生を防止するため、溢水防護区画に設置する設備・機器の動作制御に使用する制御盤又は分電盤には、電気系統に異常な過電流が流れたときに電路を開放し電源供給を遮断する配線用遮断器を設置する。(11-5)(11-9)(11-16)

添説設 5-2 表 溢水による電気火災防止対象設備・機器及び防止方法

設置場所	溢水防護 区画番号	電気火災防止対象機器名 (機器のインターロック及び警報設備を含む)	電気火災 防止方法	
工場棟転換工場 原料倉庫	1 溢水に よる水位 (100mm) *	蒸発器(1)-A、(1)-B、(2)-A、(2)-B	⑤	
		UF ₆ フードボックス	⑤	
		UF ₆ 防護カバー	⑤	
		コールドトラップ(1)、(2)	⑤	
		コールドトラップ(小) (1)、(2)	⑤	
		循環貯槽(1)、(2)	⑤	
		堰(循環貯槽)	⑤	
工場棟転換工場 転換加工室	2 溢水に よる水位	UO ₂ フィルタ(1)、(2)	⑤	
		粉砕機(1)、(2)	⑤	
		充填装置(1)、(2)	⑤	
工場棟転換工場 分光分析室	(160mm) *	分析設備 同位体分析設備	表面電離型質量分析装置(1)、(2)	⑤
		分析設備 不純物分析設備	固体発光分光分析装置	⑤
		ICP 質量分析装置	⑤	
		ICP 発光分光分析装置	⑤	
		自動水素分析装置	⑤	
		炭素・硫黄同時分析装置	⑤	
		自動ハロゲン分析装置	⑤	
		α線スペクトル分析装置	⑤	
		廃水タンク	⑤	
		分析設備 物性測定設備	比表面積測定装置	⑤
		嵩密度測定装置	⑤	
		平均粒径測定装置	⑤	
付属建物 除染室・分析室 分析室				

* 溢水防護区画及び溢水水位の設定については4次申請の添付説明書-建6を参照

4. 2 放射性廃棄物の廃棄施設（気体廃棄設備(1)）の溢水による損傷防止

放射性廃棄物の廃棄施設における気体廃棄設備(1)を対象に、溢水による電気火災防止に対する設計について説明する。

被水又は没水による設備・機器における電気火災の発生を防止する設計とする。(11-5)

被水による設備・機器の電気火災の発生を防止するため、配線用遮断器を設置する。
被水による設備・機器における電気火災の発生を防止するため、被水防止カバーを設置するか、配線用遮断器を設置する設計とする。(11-9)

使用電圧が高い幹線動力用ケーブルに接続する制御盤の設備高さについては、設備高さを没水許容高さより高くする設計とし、それ以外の制御盤は配線用遮断器を設置する設計とする。(11-16)

電気を使用して動作制御している気体廃棄設備(1)のスクラバは、被水又は没水による電気火災の発生を防止するため、以下の設計としている。

➤ [12.1-設7]

溢水防護区画に設置する気体廃棄設備(1)スクラバの動作制御に使用する制御盤又は分電盤には、水配管等の破断や消火水による被水及び没水が原因による短絡火災の発生を防止するため、電気系統に異常な過電流が流れたときに電路を開放し電源供給を遮断する配線用遮断器を設置する。(11-5)(11-9)(11-16)

4. 3 非常用ディーゼル発電機の溢水による損傷防止

非常用ディーゼル発電機を対象に、溢水による電気火災防止に対する設計について説明する。

被水又は没水による設備・機器における電気火災の発生を防止する設計とする。(11-5)

被水による設備・機器の電気火災の発生を防止するため、配線用遮断器を設置する。
被水による設備・機器における電気火災の発生を防止するため、被水防止カバーを設置するか、配線用遮断器を設置する設計とする。(11-9)

使用電圧が高い幹線動力用ケーブルに接続する制御盤の設備高さについては、設備高さを没水許容高さより高くする設計とし、それ以外の制御盤は配線用遮断器を設置する設計とする。(11-16)

非常用ディーゼル発電機は、屋外（管理区域外）の発電機室に設置されており、溢水防護区画対象外である。非常用ディーゼル発電機の冷却水が漏えいした場合も、建物構造的に閉じ込め機能を持たないため、発電機室内で水が滞留しないことから溢水によって没水することはない。

被水による非常用ディーゼル発電機における電気火災の発生を防止するため、以下の設計としている。

➤ [12.1-設7]

非常用ディーゼル発電機の制御盤には、水配管等の破断や消火水による被水が原因による、電気系統を有する設備・機器の短絡火災の発生を防止するため、電気系統に異常な過電流が流れたときに電路を開放し電源供給を遮断する配線用遮断器を設置する。(11-5)(11-9)(11-16)

設備の閉じ込め機能及び廃棄施設に関する説明書

1. 概要

本資料は、「加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第四条及び「加工施設の技術基準に関する規則」第十条に適合することが要求されている事項に対し、加工施設の安全性が損なわれることのないよう、放射性物質を限定された区域に閉じ込める対策を行うことを説明するものである。

2. 基本方針

放射性物質を限定された区域に閉じ込めるため、閉じ込めの機能に係る施設設計の基本方針を以下のとおりとする。

(1) 飛散又は漏えい防止及び拡大防止・影響緩和設計

ウランを収納する設備・機器は飛散又は漏えいのない設計とし、ウランを取り扱う設備・機器は、取り扱うウランの物理的・化学的性質に応じて耐食性を有する材料を用いるとともに空気中への飛散又は漏えいを防止する設計とする。

UF₆を取り扱う設備は、万が一の漏えいに備えてフードボックスまたは蒸発器内に収納し、UF₆の漏えいを検知し、警報を発する設計とする。また、それに連動したインターロック機構により、自動的にウランの供給の停止や弁の閉止等を行う設計とする。

ウラン粉末を取り扱う設備・機器は飛散又は漏えいを起こさないように開口部のない構造とし、開口部を設ける場合はフードボックスを設置する。このフードボックスはその開口部風速を0.5m/秒以上に維持するか、その内部を室内に対して9.8Pa以上の負圧に維持する。また、加圧状態でウラン粉末を取り扱う設備は、万が一の漏えいに備え、局所排気系統に接続したフードボックスまたは配管カバーに収納する設計とする。なお、ウラン粉末の室内漏えい検知はエアスニファにより室内雰囲気を捕集し、放射能濃度を測定・監視することと、定期的に運転員が巡視点検することにより漏えいを早期に検知する。

(2) 第1種管理区域に関する設計

管理区域は、汚染の発生する恐れのない区域（第2種管理区域）と、汚染の発生する恐れのある区域（第1種管理区域）とに区分する。

第1種管理区域において、ウランを取り扱う工程の設備・機器のうち、ウランが設備・機器から空気中へ飛散する恐れがあるものについては、局所排気系統に接続することによりウランの空気中への飛散を防止する設計とする。

第1種管理区域は、無窓構造とするとともに、室内の圧力を外気に対して負圧に維持する設計とする。また、同区域の建物の内部の床及び人が触れる恐れがある壁は、表面をウランが浸透しにくく、除染が容易で、腐食しにくい樹脂系塗料等で仕上げる。

第1種管理区域の室内空気は、ウラン粉末が室内に漏えいした場合に備え、高性能エアフィルタ、排気ファン及びダクトから構成される室内排気系統により排気し、空気中のウランを除去する設計とする。なお、排気系統の一部については、高性能エアフィルタにより処理して部屋へ再循環給気を行う系統を設ける。ただし、作業環境中の空気中の

ウラン濃度に異常が発生した場合は、再循環給気を中止し、手動によりワンスルー方式に切り換えるように管理する。

第1種管理区域に係る建物の接続部に設けるエキスパンションジョイントは、建物外壁との接合部をシーリング等により漏えいの少ない設計とする。

給気ファンと排気ファンとの間にインターロック機構を設け、排気ファンが運転されない限り給気ファンが運転されない設計及び排気ファンが停止した時に給気ファンが停止する設計とする。

設計基準事故時において、公衆に対して著しい放射線被ばくを及ぼす恐れがないよう、事故に起因して環境に放出される放射性物質の量を低減させるため、局所排気系統及び室内排気系統には高性能エアフィルタを設置する。

設計基準事故として想定している閉じ込め機能の不全においても、第1種管理区域は、局所排気系統及び室内排気系統により負圧を維持する設計とするとともに、それらの系統に設置する高性能エアフィルタにより、環境に放出される放射性物質の量を低減させる設計とする。なお、UF₆の漏えいに対しては、上記のほか、スクラバによる処理を行い、二段の高性能エアフィルタ（後段は耐HF性）を通して排出する設計とする。また、局所排気系統については、外部電源が喪失した場合には非常用ディーゼル発電機による給電を行い、第1種管理区域の負圧維持ができる設計とする。

3. 対象設備

対象設備は、工場棟転換工場に設置する化学処理施設、核燃料物質の貯蔵施設、放射性廃棄物の廃棄施設及びその他の加工施設、付属建物 廃棄物管理棟に設置する放射性廃棄物の廃棄施設、付属建物 発電機室に設置するその他の加工施設及び付属建物 除染室・分析室に設置するその他の加工施設、付属建物 原料貯蔵所に設置する核燃料物質の貯蔵施設を対象とする。対象となる機器は添付説明書一設1付録1に示す。

4. 閉じ込めのための設計

本章に該当する適合性の対象は、以下となる。

◆ 加工施設の技術基準に関する規則第十条

3章に示す設備・機器には以下を含まない。

- ・ プルトニウム等を扱う設備

したがって、以下に示す「加工施設の技術基準に関する規則」第十条、第二十条のうち、破線で囲んだ部分の7項を適合性説明の対象とする。

(閉じ込めの機能)

第十条 安全機能を有する施設は、次に掲げるところにより、核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物（以下「核燃料物質等」という。）を限定された区域に閉じ込める機能を保持するように設置されたものでなければならない。

一 流体状の核燃料物質等を内包する容器又は管に核燃料物質等を含まない流体を導く管を接続する場合には、流体状の核燃料物質等が核燃料物質等を含まない流体を導く管に逆流するおそれがない構造であること。

二 六ふっ化ウランを取り扱う設備であって、六ふっ化ウランが著しく漏えいするおそれがあるものは、漏えいの拡大を適切に防止し得る構造であること。

三 プルトニウム及びその化合物並びにこれらの物質の一又は二以上を含む物質（以下この条において「プルトニウム等」という。）を取り扱うグローブボックスは、その内部を常時負圧状態に維持し得るものであり、かつ、給気口及び排気口を除き、密閉することができる構造であること。

四 液体状のプルトニウム等を取り扱うグローブボックスは、当該物質がグローブボックス外に漏えいするおそれがない構造であること。

五 密封されていない核燃料物質等を取り扱うフードは、その開口部の風速を適切に維持し得るものであること。

六 プルトニウム等を取り扱う室（保管廃棄する室を除く。）及び核燃料物質等による汚染の発生のおそれがある室は、その内部を負圧状態に維持し得るものであること。

七 液体状の核燃料物質等を取り扱う設備が設置される施設（液体状の核燃料物質等の漏えいが拡大するおそれがある部分に限る。）は、次に掲げるところによるものであること。

イ 施設内部の床面及び壁面は、液体状の核燃料物質等が漏えいし難いものであること。

ロ 液体状の核燃料物質等を取り扱う設備の周辺部又は施設外に通ずる出入口若しくはその周辺部には、液体状の核燃料物質等が施設外へ漏えいすることを防止するための堰が設置されていること。ただし、施設内部の床面が隣接する施設の床面又は地表面より低い場合であって、液体状の核燃料物質等が施設外へ漏えいするおそれがないときは、この限りでない。

ハ 工場等の外に排水を排出する排水路（湧水に係るものであって核燃料物質等により汚染するおそれがある管理区域内に開口部がないものを除く。）の上に施設の床面がないようにすること。ただし、当該排水路に核燃料物質等により汚染された排水を安全に廃棄する設備及び第十九条第二号に掲げる事項を計測する設備が設置されている場合は、この限りでない。

◆ 加工施設の技術基準に関する規則第二十条
(廃棄施設)

第二十条 放射性廃棄物を廃棄する設備（放射性廃棄物を保管廃棄する設備を除く。）は、次に掲げるところによるものでなければならない。

一 周辺監視区域の外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の濃度が、それぞれ原子力規制委員会の定める濃度限度以下になるように加工施設において発生する放射性廃棄物を廃棄する能力を有するものであること。

二 放射性廃棄物以外の廃棄物を廃棄する設備と区別して設置すること。ただし、放射性廃棄物以外の流体状の廃棄物を流体状の放射性廃棄物を廃棄する設備に導く場合において、流体状の放射性廃棄物が放射性廃棄物以外の流体状の廃棄物を取り扱う設備に逆流するおそれがないときは、この限りでない。

三 気体状の放射性廃棄物を廃棄する設備は、排気口以外の箇所において気体状の放射性廃棄物を排出することがないものであること。

四 気体状の放射性廃棄物を廃棄する設備にろ過装置を設ける場合にあつては、ろ過装置の機能が適切に維持し得るものであり、かつ、ろ過装置の核燃料物質等による汚染の除去又はろ過装置の取替えが容易な構造であること。

五 液体状の放射性廃棄物を廃棄する設備は、排水口以外の箇所において液体状の放射性廃棄物を排出することがないものであること。

◆ 事業許可の内容（4-1～4-34、11-1～11-21、12-1～12-4、14-1～14-8、15-1～15-7、17-1～17-13、22-1～22-11）

3章で示した設備を対象とすることから、事業許可の内容のうち該当する以下の項目を適合性説明の対象とする。

【UF₆を限定された区域に閉じ込める機能（4.1章）】（第十条2関連）

- ・ UF₆を収納する設備・機器の材料に関する事項（4-1）
- ・ UF₆を正圧で取り扱う設備・機器の集約設置に関する事項（4-2）
- ・ UF₆を加熱して取り扱う設備・機器の圧力/温度異常に関する事項（4-3、4-33）
- ・ UF₆の加水分解条件担保に関する事項（4-4）
- ・ UF₆の冷却捕集設備・機器の冷却不足に対する対処に関する事項（4-5）
- ・ 蒸発器に求める機能に関する事項（4-6、14-7、15-2、15-3）
- ・ UF₆の漏えい対処に関する事項（4-7、4-8、4-23、4-30、14-7、15-1、17-6、17-13、22-2）
- ・ 地震検知に対するUF₆の取り扱いに関する事項（4-9、7-11、14-7）

- ・ UF₆配管切り替えに対する誤操作防止に関する事項 (12-4)

【粉末状のウランを限定された区域に閉じ込める機能 (4.2章)】(第十条5 関連)

- ・ 粉末状のウランを収納する設備・機器に関する事項 (4-10)
- ・ 非密封のウランを取り扱うフードボックス、粉末状のウランを取り扱う混合機、プレス、研削装置等に設けるフード等に関する事項 (4-12、4-23)
- ・ 粉末状のウランを加圧状態で取り扱う設備・機器に関する事項 (4-13)

【液体状のウランを限定された区域に閉じ込める機能 (4.3章)】(第十条1、7 関連)

- ・ 液体状のウラン及び放射性液体廃棄物を収納する設備・機器に関する事項 (4-15)
- ・ 槽上部開口部のオーバーフロー対策に関する事項 (4-16)
- ・ 液体状の放射性物質の施設外への漏えい防止に関する事項 (4-17)
- ・ UO₂F₂溶液を取り扱う設備・機器に必要な対策に関する事項 (4-19)
- ・ 第1種管理区域の境界から外部へ溢水が流入出しない対策に関する事項(11-2)

【ウランを限定された区域に閉じ込める機能 (4.4章)】(第十条全般関連)

- ・ 気体又は液体の放射性物質を内包する設備・機器の逆流による拡散防止に関する事項 (4-22)
- ・ 容器等の落下を防止することに関する事項 (4-32)

【第1種管理区域の閉じ込めに関わる機能 (4.5章)】(第十条6、第二十条1、4 関連)

- ・ 気体廃棄設備における給排気経路確保及び経路維持に関する事項 (4-25、4-29、17-1、17-3、17-4、17-13)
- ・ 外部電源喪失時の第1種管理区域の負圧維持に関する事項 (4-31)

4. 1. UF₆を限定された区域に閉じ込める機能（第十条2）

4. 1. 1 通常運転時に対する閉じ込め機能

UF₆（ガス、固体）を収納する設備・機器は、UF₆に対し耐食性を有する材料を用い、耐圧・気密設計とする。（4-1）

今回の申請機器において、UF₆（ガス、固体）に対して耐腐食性を考慮する機器とその主要使用材料を添説設 6-1 表に示す。また、今回の申請機器でUF₆（ガス、固体）を取り扱う範囲、UF₆（ガス、固体）に対して耐腐食性を考慮する機器及び耐圧・気密設計を考慮する機器を添説設 6-1 図に示す。

なお、以下の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設 6-1 表 UF₆（ガス、固体）耐腐食性を考慮する機器とその主要使用材料

施設区分	機器名		主要使用材料	備考		
化学処理施設	蒸発器(1)-A	脱着式 UF ₆ 配管		{1}		
	蒸発器(1)-B	UF ₆ 配管				
	蒸発器(2)-A					
	蒸発器(2)-B	窒素配管				
	コールドトラップ(1)	コールドトラップ本体			{14}	
	コールドトラップ(2)	UF ₆ 配管				
		窒素配管				
	コールドトラップ(小)	コールドトラップ本体			{17}	
		(小)(1)				UF ₆ 配管
		コールドトラップ(小)(2)				窒素配管
真空配管						
循環貯槽(1)	加水分解装置（エジェクタ）		{21}			
循環貯槽(2)						
核燃料物質の貯蔵施設	UF ₆ シリンダ			{2}		
				{488}		
				{492}		

※：ANSI N14.1 で規定される 30B シリンダ

添説設 6-1 図に示す通り、蒸発器内で UF₆ シリンダを水蒸気で加熱することにより UF₆ シリンダ内の UF₆ を気化し、UF₆ シリンダから循環貯槽の加水分解装置（エジェクタ）部に供給する。UF₆ シリンダ内の UF₆ が空（UF₆ の供給ガス圧力値で判断）に近づいたら、使用する UF₆ シリンダを切り替えるとともに、使用した UF₆ シリンダ中の残留 UF₆ はコールドトラップへ、UF₆ 配管中の残留 UF₆

はコールドトラップ（小）へ回収する。また、UF₆使用前には窒素によるUF₆配管中の掃気を行う。

なお、残留UF₆をコールドトラップへ移送した後のUF₆シリンダは貯蔵施設（原料貯蔵設備シリンダ貯蔵架台、シリンダ貯蔵ピット）に戻し、ウラン回収設備（第4系列）で空になったUF₆シリンダ内部の洗浄を行う。洗浄後のUF₆シリンダは再びUF₆を充填するために施設外へ払い出す。UF₆シリンダの貯蔵施設（原料貯蔵設備シリンダ貯蔵架台、シリンダ貯蔵ピット）及びウラン回収設備（第4系列）は次回以降申請する。

このUF₆取り扱い状況を踏まえて、UF₆を取り扱う機器、配管は事故事象の発生防止のため、以下を考慮した設計とする。

▶ [10.1-設8]耐腐食性材料を使用する。

UF₆（ガス、固体）に対して耐腐食性を考慮する機器（添説設6-1図の青色部：UF₆（ガス、固体）に直接接触する部位、密封により閉じ込めを期待する部位）はUF₆に対して耐腐食性を有する材料を使用するため、腐食によりUF₆（ガス、固体）が機器外へ漏えいする恐れはない。

▶ [10.1-設55] 使用状態において漏えいのない構造とし、使用条件に耐えうる耐圧強度を有する構造とする。

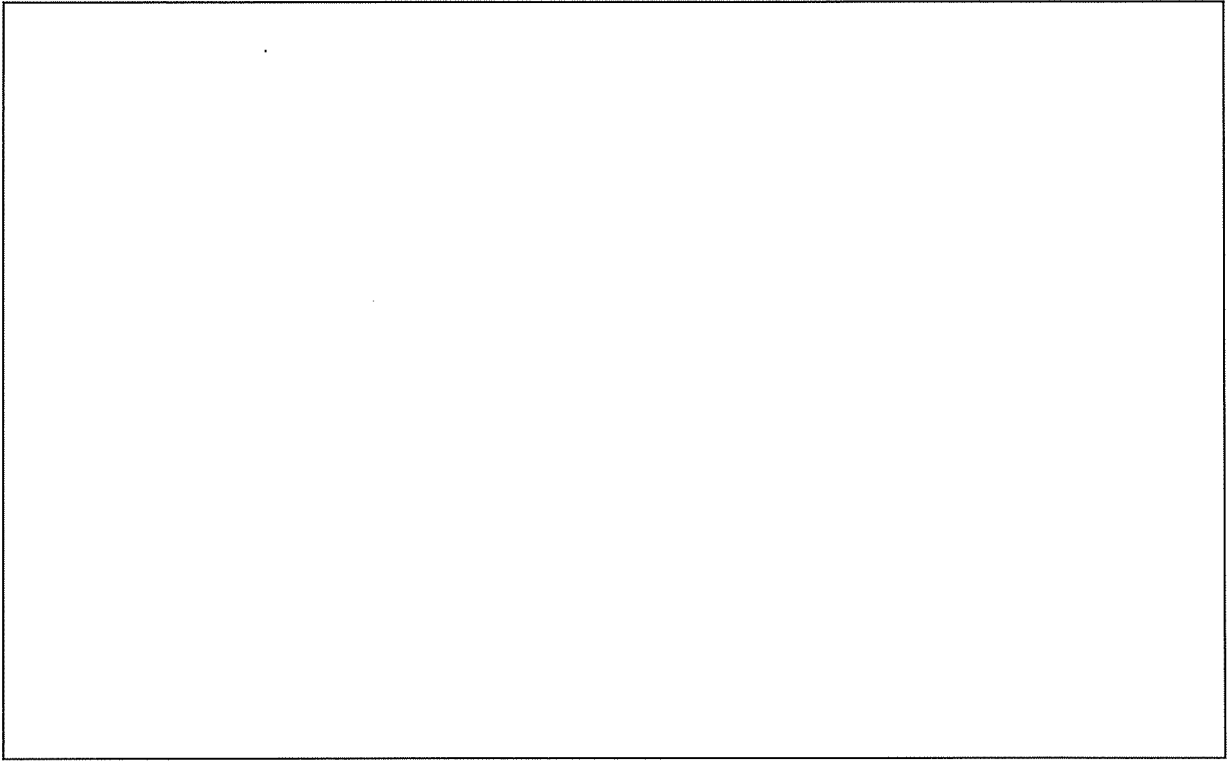
UF₆（ガス、固体）を収納する設備・機器（UF₆シリンダ、コールドトラップ、コールドトラップ（小））は使用条件に対して耐圧強度を持つ構造とするため、破損によりUF₆（ガス、固体）が機器外へ漏えいする恐れはない。その詳細については、加工施設の技術基準への適合に関する説明書（資料12）及び添付説明書-設7 耐圧強度計算書に示す。

また、通常使用時に着脱を可能としている蒸発器とUF₆シリンダの接続については、適切にガスケットを使用し、内部のガスが設備・機器や配管の外に漏えいしない構造とする。さらに、万が一のUF₆の漏えいに備え、{5}UF₆漏えい拡大防止（電導度）インターロックを設置する。

なお、UF₆シリンダは再びUF₆を充填する前にANSI規格を満足することを確認するために定期的に耐圧試験を実施し、その密閉性能を事業者検査として確認する。また、UF₆シリンダにUF₆が充填されている期間中は定期的にUF₆シリンダの汚染検査を実施し、その密封性能を事業者検査として確認する。

蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）は定期的に漏えい試験を実施することで、その密封性能を確認する。

また、定常的なUF₆シリンダの交換、メンテナンス等によりUF₆取り扱い設備を取り外した場合には、使用前にそのシステムの漏えい確認を行うことで、密封性能が維持されていることを確認した上で、設備を使用する。



添説設 6-1 図 UF₆ (ガス、固体) を取り扱う範囲

UF₆を正圧で取り扱う設備・機器は、より限定した区域に閉じ込めるため、工場棟転換工場原料倉庫に集約して設置する設計とする。(4-2)

今回の申請設備において、工場棟転換工場原料倉庫に集約して設置する機器を添説設 6-2 表に示す。添説設 6-2 表において下線部が UF₆を正圧で取り扱う機器である。

なお、備考欄で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設 6-2 表 工場棟転換工場原料倉庫に集約して設置する機器

施設区分	機器名		備考
化学 処理 施設	蒸発器(1)-A	蒸発器本体	{1}
	蒸発器(1)-B	脱着式 UF ₆ 配管	
	蒸発器(2)-A	UF ₆ 配管	
	蒸発器(2)-B	窒素配管	
		UF ₆ シリンダ	{2}
	コールドトラップ(1)	コールドトラップ本体	{14}
	コールドトラップ(2)	UF ₆ 配管	
		窒素配管	
	コールドトラップ(小)(1)	コールドトラップ(小) 本体	{17}
	コールドトラップ(小)(2)	UF ₆ 配管	
	窒素配管		
	真空配管		
循環貯槽(1)	貯槽本体	{22}	
循環貯槽(2)	送液ポンプ		
	UO ₂ F ₂ 溶液配管	{21}	
	加水分解装置(エジェクタ)		

注：下線部が UF₆を正圧で取り扱う機器である。

UF₆を正圧で取り扱う設備・機器とは気化した UF₆を取り扱う設備・機器であり、添説設 6-1 図の青色部である。

UF₆を正圧で取り扱う設備・機器は、事故事象の拡大防止・影響緩和のため、以下を考慮した設計とする。

- [10.1-設 9]UF₆を正圧で取り扱う設備・機器は工場棟転換工場原料倉庫に集約設置する。
UF₆を正圧で取り扱う機器は工場棟転換工場原料倉庫に集約して設置する。具体的な機器配置は図イ配-1 に示す。

UF₆フードボックス、UF₆防護カバー、スクラバ（原料倉庫局所排気系統）、切替ダンパ（原料倉庫局所排気系統）、地震連動閉止ダンパ（原料倉庫局所排気系統）はUF₆を正圧で取り扱う機器には該当しない（UF₆を直接取り扱う機器ではない）が、UF₆を正圧で取り扱う蒸発器、コールドトラップ、コールドトラップ（小）からのUF₆の漏えい拡大防止・影響緩和を図る機器として、工場棟転換工場原料倉庫に集約して設置する。

UF ₆ を加熱して取り扱う設備・機器は、圧力異常／温度異常を検知した場合は、自動的にUF ₆ の供給を停止し、警報を発するとともに加熱を停止する設計とする。(4-3)
設備・機器の過加熱を防止する設計(可燃性ガスを取り扱う設備・機器以外)(4-33)

今回の申請設備に関わるインターロック及び警報の設置目的とインターロック及び警報との関係を添付説明書一設6付録1に示す。添付説明書一設6付録1には検出端、作動端、制御部の耐震重要度分類についても示す。

今回の申請設備において、UF₆を加熱して取り扱う機器を添説設6-3表に示す。また、加熱によりUF₆を気化して移送するケースと各ケースにおける圧力異常、温度異常発生時のインターロックの概要を添説設6-2図に示す。

なお、以下の記述及び表中で{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設6-3表 UF₆を加熱して取り扱う機器

施設区分	機器名	該当ケース	備考 (インターロック)
化学処理施設	蒸発器(1)-A	ケース1	{3} シリンダ過加熱防止インターロック
	蒸発器(1)-B	ケース2	
	蒸発器(2)-A	ケース3	{4} シリンダ圧力高インターロック
	蒸発器(2)-B		
	コールドトラップ(1)	ケース3	{15} コールドトラップ温度高インターロック
	コールドトラップ(2)		{16} コールドトラップ圧力高インターロック
コールドトラップ(小)(1)	ケース4	{18} コールドトラップ(小)温度高インターロック	
コールドトラップ(小)(2)		{19} コールドトラップ(小)圧力高インターロック	

UF₆を加熱により気化して移送するケースは以下の4ケースがある。

ケース1: UF₆シリンダを加熱して、循環貯槽へUF₆を移送する。

ケース2: UF₆シリンダを加熱して、コールドトラップへUF₆を移送する。

ケース3: コールドトラップを加熱して、循環貯槽へUF₆を移送する。

ケース4: コールドトラップ(小)を加熱して、コールドトラップへUF₆を移送する。

各移送ケースの概要は添説設6-2図に示す。

ケース 1、2 の場合、蒸発器は、運転温度として 100℃～106℃の温度範囲で加熱し、運転圧力として 0.32MPaG～0.38MPaG の圧力範囲になるように UF₆ シリンダ加熱温度を制御し、送り先である循環貯槽又はコールドトラップへ UF₆ を供給している。

ケース 3 の場合、コールドトラップは CT 仕切弁を閉とした状態で運転温度として 100℃～120℃で加熱し、CT 仕切弁を開とした時点で運転圧力として 0.32MPaG～0.38MPaG の圧力範囲で送り先である循環貯槽へ UF₆ を供給している。

ケース 4 の場合、コールドトラップ（小）は CT（小）仕切弁を閉とした運転温度として 100℃～120℃で加熱し、CT（小）仕切弁を開とした時点で運転圧力として 0.32MPaG～0.38MPaG の圧力範囲で送り先であるコールドトラップへ UF₆ を供給している。

UF₆ を加熱気化して移送する各ケースでは、UF₆ の加熱異常により機器・配管が損傷し、漏えいする事故事象発生を防止するため、

- ① UF₆ シリンダの加熱温度が過加熱により UF₆ の液化膨張による UF₆ シリンダの破損を起こさない（熱的制限値を超えない）^注
- ② コールドトラップ、コールドトラップ（小）の加熱温度が過加熱により、最高使用温度を超えない（機器・配管を損傷させない）

ように、UF₆ の加熱温度と圧力（UF₆ 圧力は UF₆ 温度と相関があり、加熱温度監視状況の判断因子となる）を監視する。

注：UF₆ シリンダは『核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則』第十二条の 2 項の二号において過圧防止効果を有する装置を備えないこととなっている。

この対応として、UF₆ を加熱して取り扱う機器は以下を考慮した設計とする。

なお、以下説明において機能・性能に係る事項は次回以降申請とする。

- ▶ [10.1-設 6][18.2-設 2]過加熱を防止するため、{3}シリンダ過加熱防止インターロックを設置する。
- ▶ [10.1-設 6][18.2-設 2]過加熱を防止するため、{15}コールドトラップ温度高インターロックを設置する。
- ▶ [10.1-設 6][18.2-設 2]過加熱を防止するため、{18}コールドトラップ（小）温度高インターロックを設置する。
- ▶ [10.1-設 34][18.2-設 7]過加熱を防止するため、{4}シリンダ圧力高インターロックを設置する。
- ▶ [10.1-設 34][18.2-設 7]過加熱を防止するため、{16}コールドトラップ圧力高インターロックを設置する。
- ▶ [10.1-設 34][18.2-設 7]過加熱を防止するため、{19}コールドトラップ（小）圧力高インターロックを設置する。

UF₆ を加熱する機器は UF₆ 加熱中に機器内の圧力異常、温度異常を検知した場合、速やかにその加熱を停止するインターロック（添説設 6-2 図中の青色部）を設置する。

上記インターロック動作のトリガーとなる検出端は、蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）本体又は本体近傍に取り付ける。

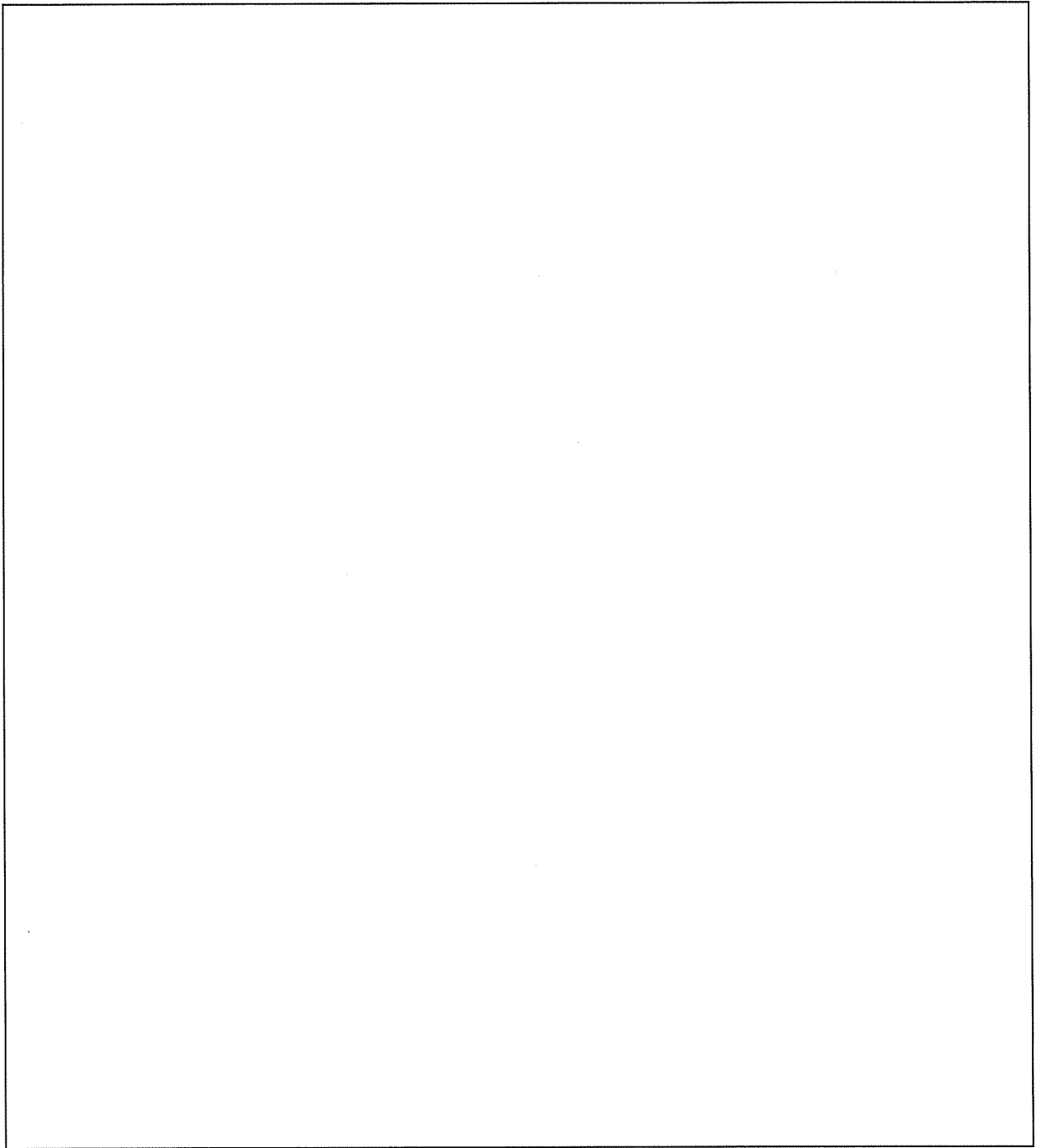
設置するインターロック設定値の考え方は添付説明書一設 6 付録 2 に示すとおりである。

なお、蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）のUF₆配管には運転管理上の目的から配管を保温（UF₆固化防止）するために、電気ヒータを設置している。この電気ヒータによる配管保温が機能しない場合、UF₆配管内でUF₆固化が起こり、UF₆移送機能を損なうが、その状況は圧力計指示値にあらわれる。また、UF₆配管内でUF₆固化が起ってもUF₆自体は配管内に保持されるため、漏えいする恐れはない。また、電気ヒータは配管保温を目的に設置するため、電気ヒータ自体の加熱容量が小さく、過加熱が起こってもUF₆配管が損傷する温度に至る恐れはない。

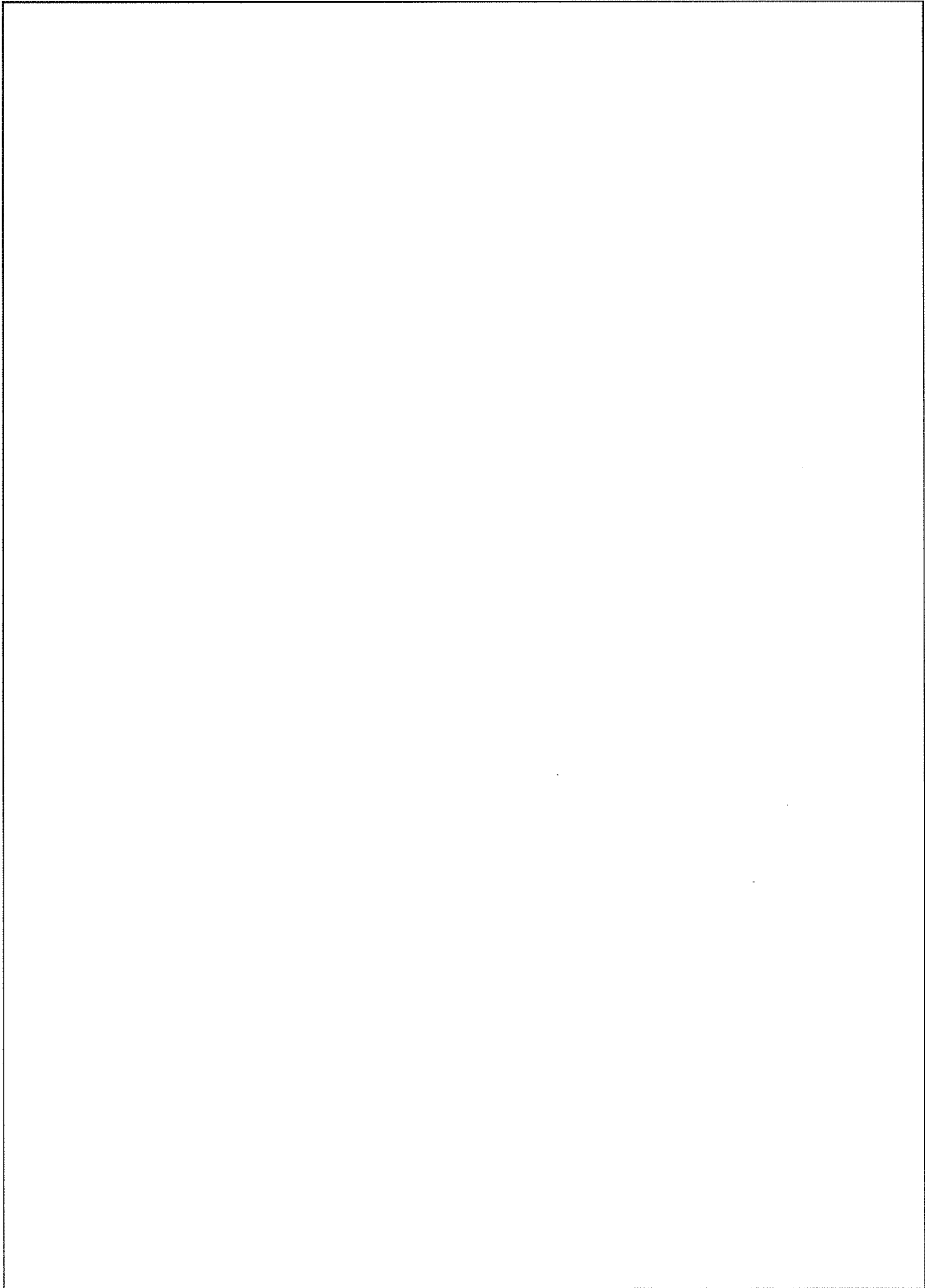
よって、UF₆配管に設置する電気ヒータに安全機能は期待してない。

補足：

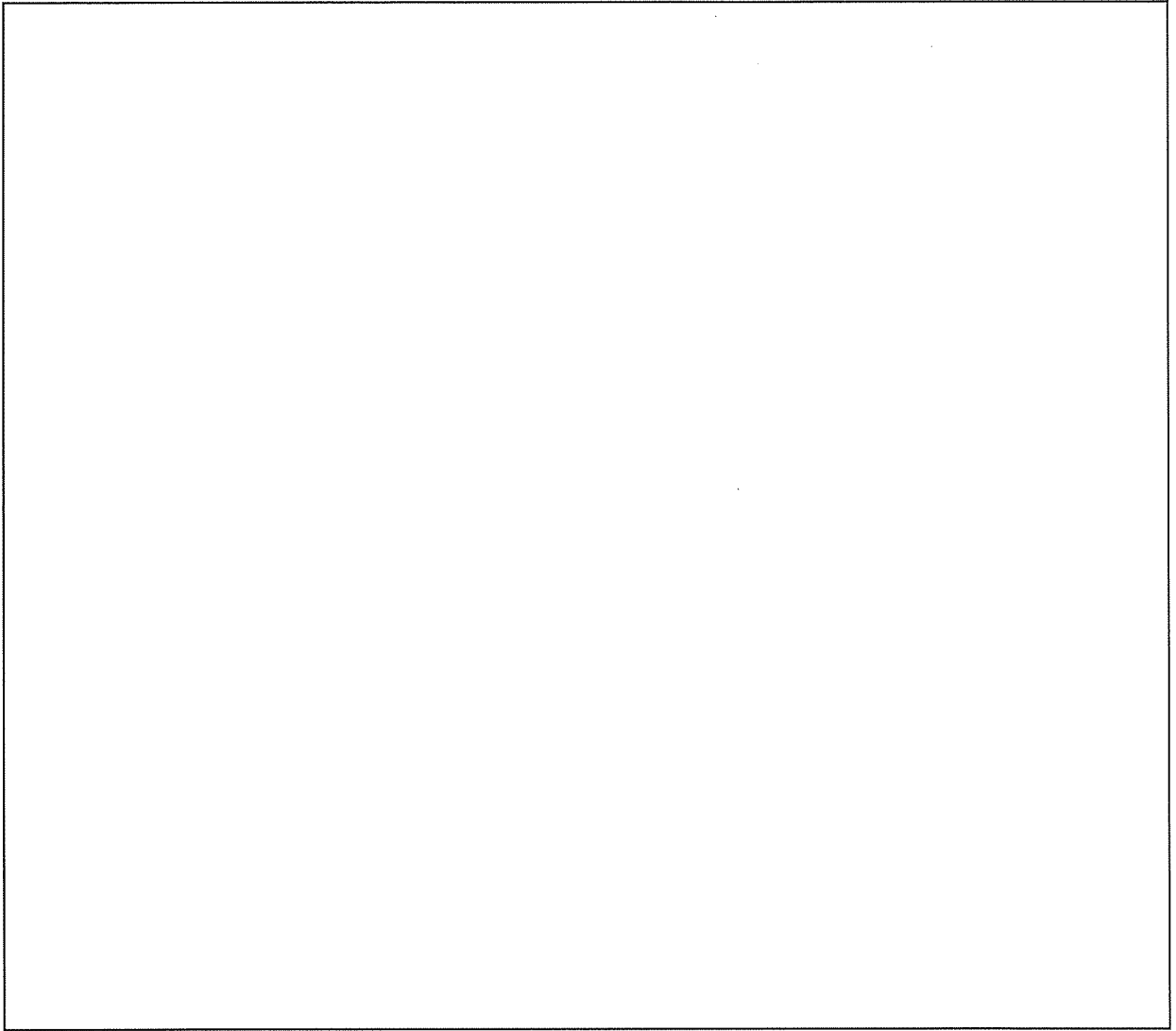
蒸発器の加熱源は蒸気であり、蒸気は建物外から供給する。この蒸気配管の転換工場外壁（付帯設備室外壁）貫通部の配管と壁の隙間には不燃材（ロックウール）を充填し、鋼板（）：厚さmm以上）でふさぐことにより、建物は漏えいの少ない構造とする。



添説設 6-2 図 UF₆を加熱して取り扱う機器における圧力異常／温度異常に対する加熱停止概要 (1/3)



添説設 6-2 図 UF₆ を加熱して取り扱う機器における圧力異常／温度異常に対する加熱停止概要 (2/3)



添説設 6-2 図 UF₆を加熱して取り扱う機器における圧力異常／温度異常に対する加熱停止概要 (3/3)

UF₆ガスを加水分解する設備・機器は、未反応のUF₆ガスが後段に流出することを防止するため、水とUF₆ガスの反応のために十分な水を供給できる設計とする。(4-4)

今回の申請設備に関わるインターロック及び警報の設置目的とインターロック及び警報との関係を添付説明書一設6付録1に示す。添付説明書一設6付録1には検出端、作動端、制御部の耐震重要度分類についても示す。

今回の申請設備において、UF₆を加水分解する機器は循環貯槽(1)(2)である。また、循環貯槽(1)(2)においてUF₆と水との加水分解反応が確実に行われることを担保する設計の概要を添説設6-3図に示す。

なお、以下の丸囲み数値は添説設6-3図中の該当部を示す。また、以下の記述の中で、{ }内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

UF₆シリンダ又はコールドトラップで加熱気化したUF₆は循環貯槽へ供給する。通常運転時は循環貯槽、UO₂F₂貯槽(1)(2)(3)のうち1槽、液受槽に合計約500Lの水を保有しており、循環貯槽、UO₂F₂貯槽(1)(2)(3)のうち1槽、液受槽を1つの閉ループとして水を循環する。UF₆は循環貯槽の加水分解装置(エジェクタ)部で槽内を循環する水と混合接触し、UF₆と水の化学反応によりウランをUO₂F₂の化学形態(液体)で処理する。この処理は液中のウラン濃度が約200gU/Lになるまで行い、目標ウラン濃度に到達後は、UO₂F₂貯槽を切り替える。

注：UO₂F₂貯槽(1)(2)(3)、液受槽は次回以降申請。

この運転過程の中で、循環貯槽において、加水分解反応が確実に行われることを担保(UF₆が水と接触せず、未反応UF₆が発生し、拡散することを防止)するために、

- ① 加水分解装置(エジェクタ)で循環する水は、供給するUF₆量に対して反応当量以上の水量を確保する。
- ② 加水分解装置(エジェクタ)から循環貯槽本体に通じるノズルが確実に水没(UF₆と水が確実に接触)することを監視する。

この対応として、循環貯槽は以下を考慮した設計とする。

なお、以下説明において機能・性能に係る事項は次回以降申請とする。

➤ [10.1-設10][18.2-設4]{25}液貯槽ポンプ停止インターロックを設置する。(検出端となる循環ポンプは次回以降申請)

- ① 循環貯槽において、未反応のUF₆が発生し、拡散することを防止するため、供給するUF₆量(約1000gU/分)に対し、加水分解反応に必要な循環水量(0.15L/分以上)が得られることを循環ポンプが起動していること(定格流量)で確保する(定量式ポンプである循環ポンプは起動すれば、定格流量で約15L/分の水量を確保できる)。

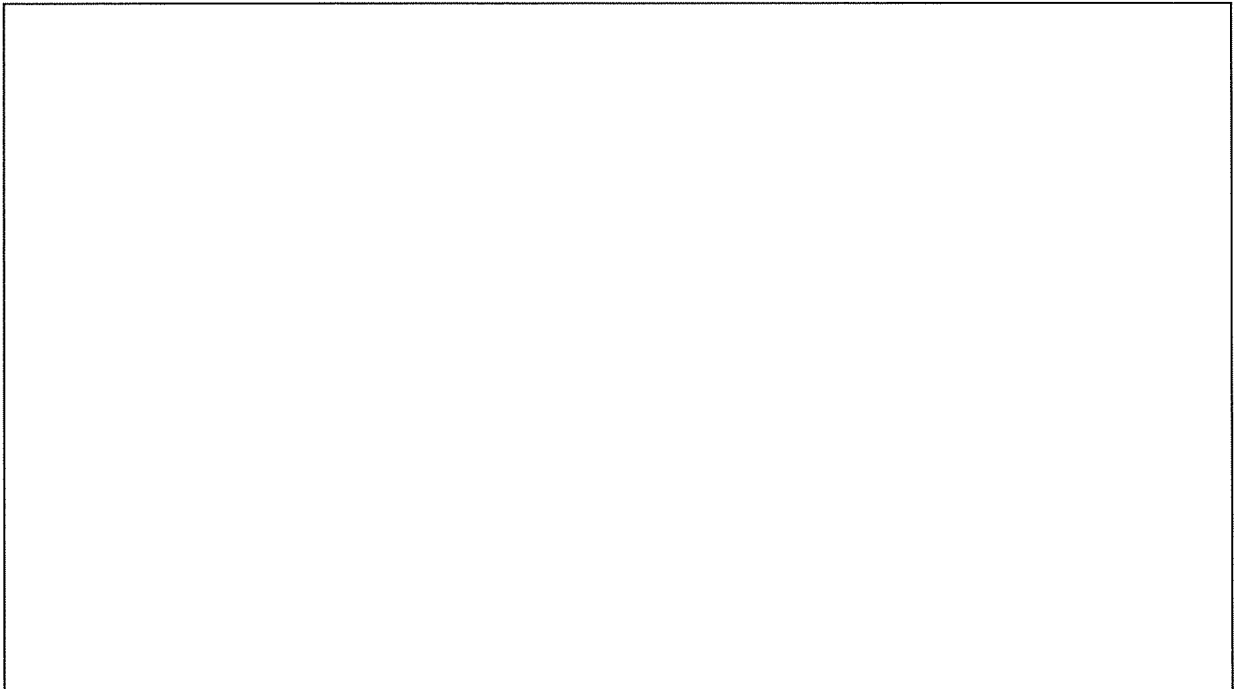
この循環ポンプが停止した場合は、循環貯槽へのUF₆供給を停止するインターロックを設置する。このインターロックにより循環貯槽での未反応UF₆生成を防止する。

設置するインターロック設定値の考え方は添付説明書一設6付録3に示すとおりである。

➤ [10.1-設10][18.2-設4]{27}循環貯槽液位低インターロックを設置する。

② 供給する UF_6 を常に加水分解反応用の水と接触させるため、循環貯槽の貯槽本体内部液位は加水分解装置（エジェクタ）部からの接続位置より上位に維持（エジェクタからのノズル位置（循環貯槽上面より 690mm）の水没を確保できるように、運転液位（下限値）として槽上面より 680mm 以内の位置に液位を維持）するために循環貯槽の槽部液位低検出位置を設定する。循環貯槽の槽部内液位低を検出した場合に加水分解装置（エジェクタ）部への UF_6 供給を停止するインターロックを設置する。このインターロックにより循環貯槽内での未反応 UF_6 生成を防止する。

設置するインターロック設定値の考え方は添付説明書一設6付録4に示すとおりである。



添説設 6-3 図 UF_6 と水との加水分解反応に必要な水量担保の概要

UF₆を冷却して捕集する設備・機器では、冷却不足によりUF₆ガスを固化できないことによるUF₆ガスの漏えいを防止するため、冷却不足を検知した場合に真空配管系統の弁を自動閉止するインターロック機構を設置する設計とする。(4-5)

今回の申請設備に関わるインターロック及び警報の設置目的とインターロック及び警報との関係を添付説明書一設6付録1に示す。添付説明書一設6付録1には検出端、作動端、制御部の耐震重要度分類についても示す。

今回の申請設備において、冷却不足によるUF₆ガスの漏えいを防止する機器はコールドトラップとコールドトラップ(小)である。また、この機器においてUF₆を冷却捕集する系統の概要とUF₆冷却捕集系統における冷却温度担保の概要(図中の青色太線部)を添説設6-4図に示す。

なお、以下の丸囲み数値は添説設6-4図中の該当部を示す。また、以下の記述の中で、{ }内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

UF₆シリンダからのUF₆排出後、UF₆シリンダや配管に残留するUF₆は、あらかじめ真空ポンプで内部を負圧にしたコールドトラップ及びコールドトラップ(小)へ圧力差を利用して回収する。添説設6-4図に示す通り真空ポンプはコールドトラップ(小)と接続しており、コールドトラップ内を真空引きする場合は、コールドトラップ(小)を介して行う(添説設6-4図(a)参照)。

なお、コールドトラップ及びコールドトラップ(小)の運転には、コールドトラップを加熱してUF₆を移送中にコールドトラップ(小)を冷却して真空引きを行うケース(添説設6-4図(b)参照)がある。

コールドトラップ(小)が冷却不足の場合、気体廃棄設備(1)へUF₆が漏えいする(温度が高い場合、固体UF₆が冷却固化できない)ため、気体廃棄設備(1)へUF₆が漏えいするのを防止するためにコールドトラップ(小)と真空ポンプを接続する真空配管に設置している真空弁を閉止する。また、コールドトラップの温度が高い場合は、コールドトラップとコールドトラップ(小)を接続するUF₆配管に設置しているCT仕切弁、CT(小)仕切弁の同時開を不可とする。

この対応として、コールドトラップ、コールドトラップ(小)は以下を考慮した設計とする。なお、以下説明において機能・性能に係る事項は次回以降申請とする。

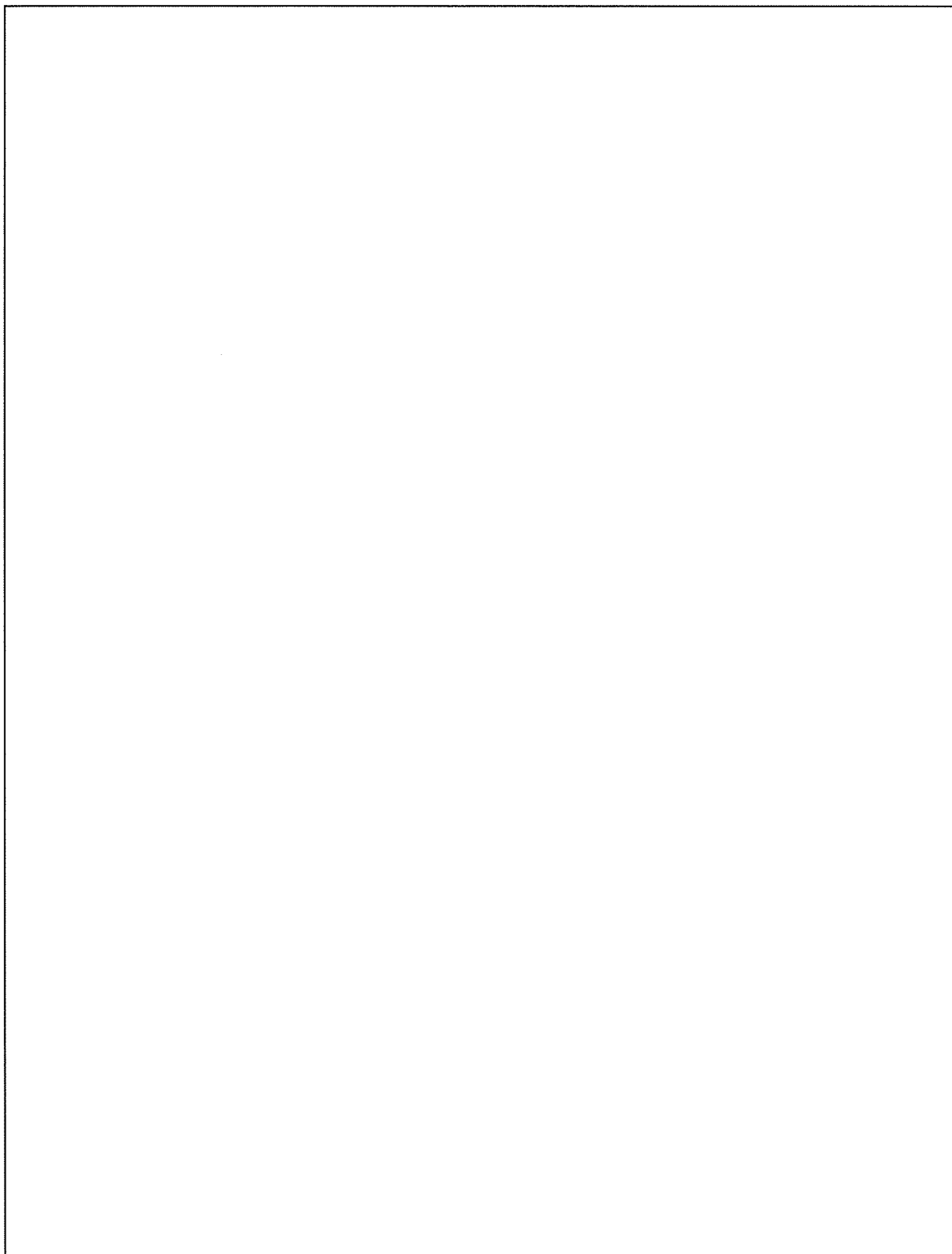
➤ [10.1-設11][18.2-設8]{20}コールドトラップ(小)捕集中の温度高インターロックを設置する。

該当設備{20}

コールドトラップ、コールドトラップ(小)の冷却不足によりUF₆が固化せず、気体廃棄設備(1)へ漏えいするのを防止するため、①コールドトラップ(小)の運転温度(上限値)*が-15℃以下でなければ、コールドトラップ(小)と真空ポンプを接続する真空配管に設置している真空弁を閉止するとともに、②コールドトラップの運転温度(上限値)*が-15℃以下でない場合は、コールドトラップとコールドトラップ(小)を接続するUF₆配管に設置しているCT仕切弁、CT(小)仕切弁の同時開を不可とするインターロックを設置する。

※運転温度(上限値)とは安全機能維持上、許容できると考える温度である。

設置するインターロック設定値の考え方は添付説明書一設 6 付録 5 に示すとおりである。
なお、 UF_6 （揮発性を有する物質）の物性上、どの温度領域にも蒸気圧分だけ、 UF_6 は気体として存在する。 -15°C の温度下で蒸気圧分の気体として存在する微量の UF_6 は真空ポンプの排気先である気体廃棄設備(1)の高性能エアフィルタで捕集する。



添説設 6-4 図 UF_6 冷却捕集システムにおける冷却温度担保の概要

コールドトラップ等は第1種圧力容器として設計・管理することに加え、容器と遮断弁までの配管部分を強化する。(15-3)

今回の申請設備において該当する機器は蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ(小)である。

なお、以下の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [10.1-設12]第1種圧力容器とする。

該当設備{1, 14, 17}

UF₆シリンダを収納する蒸発器は、UF₆の閉じ込めに対する異常の拡大防止機能(2次バウンダリ)として第1種圧力容器とする。

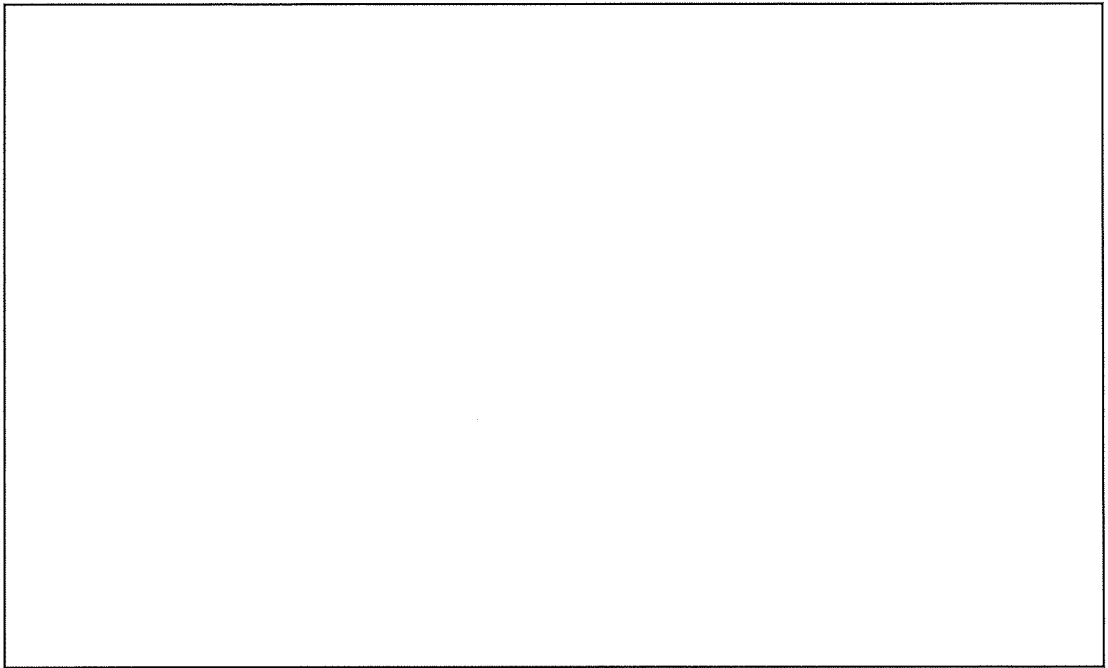
同じくUF₆を収納するコールドトラップ及びコールドトラップ(小)も第1種圧力容器とする。また、コールドトラップ及びコールドトラップ(小)から遮断弁までの配管を添説設6-5図に示す。以下の丸囲み数値は添説設6-5図中の該当部を示す。

これらの配管は以下の考え方により強化する。

コールドトラップは第1種圧力容器であり、安全弁の設置が必要となる。しかし、安全弁の機能確保の点から安全弁とコールドトラップの間には遮断弁を設置することができない(コールドトラップの管台に遮断弁の直付けができない)。

このような条件があるため、コールドトラップの管台から遮断弁及び安全弁までの範囲(現状図の点線範囲)をコールドトラップの管台と同じ仕様とし、以下の対策を図る。

- ① 配管径をコールドトラップ管台と同じ仕様とする(管台に合わせて太くする。)ことで剛性を高める。
- ② 配管の継手部は溶接化し一体とすることで、漏えいに対する信頼性を向上させる。
- ③ 管台から遮断弁と安全弁までの配管は短くし、配管サポートはコールドトラップと同じ架台から取ることにより、地震時はコールドトラップと一体で揺れる構造とすることで、耐震性を向上させる。



添説設 6-5 図 遮断弁（コールドトラップ）取り付け部までの強化の概要

UF₆シリンダ及び脱着式UF₆配管は、労働安全衛生法に基づく第1種圧力容器である蒸発器内に収納されており、蒸発器内でUF₆が漏えいした場合は、漏えいを検知し、加熱蒸気供給弁及びドレン排出弁を自動で停止する。(15-2)

今回の申請設備において、上記事業許可要求事項の下線部に該当する機器は蒸発器である。下線部以外については、4.1.2項で説明する。

なお、以下の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [10.1-設15] UF₆シリンダ及び脱着式UF₆配管は蒸発器内に設置する。

該当設備{1、2}

UF₆を取り扱うUF₆シリンダ及び脱着式UF₆配管は、UF₆漏えい時の拡大を防止するため、第1種圧力容器である蒸発器内に設置する。

蒸発器内のUF₆シリンダ及び脱着式UF₆配管の収納状況は図イ設-1に示す。

<p>UF₆を正圧で取り扱う設備・機器は、耐震重要度分類第1類に求められる地震力を超えない程度の地震加速度(0.15G)を検知した時点で、遮断弁を自動閉止することにより、UF₆ガスの供給を停止する設計とする。(4-9)</p>
<p>六ふっ化ウランを正圧で取り扱う設備は、耐震重要度分類第1類とし、水平地震力1.0Gで弾性範囲の設計とする。</p> <p>耐震重要度 第1類</p> <p>UF₆ガス取扱設備(大きな地震時に閉じ込めを期待する設備)及び著しく大きな地震力が作用する前に大きな地震を検知した場合に作動を期待するインターロック機構(7-11)</p>
<p>インターロック機構は、損傷時の影響度に応じて、多重性又は多様性、耐震性による高い信頼性を確保する設計とする。</p> <p>UF₆漏えい検知、地震検知により動作するインターロック機構については、独立二系統とし、水素ガス漏えい検知により動作するインターロック機構については、複数の検出端を設置する設計とする。(14-7)</p>

今回の申請設備に関わるインターロック及び警報の設置目的とインターロック及び警報との関係を添付説明書一設6付録1に示す。添付説明書一設6付録1には検出端、作動端、制御部の耐震重要度分類についても示す。

今回の申請設備において該当する機器は蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ(小)である。これらの機器に設置する地震加速度(0.15G)を検知した時点で遮断弁を自動閉止するインターロックの概要を添説設6-6図に示す。

なお、以下の記述の中で、{ }内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

UF₆を正圧で取り扱うUF₆シリンダ、コールドトラップ、コールドトラップ(小)において、UF₆移送中に耐震重要度分類第2類/3類に求められる地震力を超える地震発生によりUF₆シリンダ、コールドトラップ、コールドトラップ(小)に設置するインターロック(耐震重要度分類第3類)が機能しないことを想定して、事故事象の発生防止のため、耐震重要度分類第1類に求められる地震力を超えない程度の地震加速度(0.15G)で、大きな地震に対して閉じ込めを期待できる耐震重要度分類第1類の機器にUF₆を収納する。

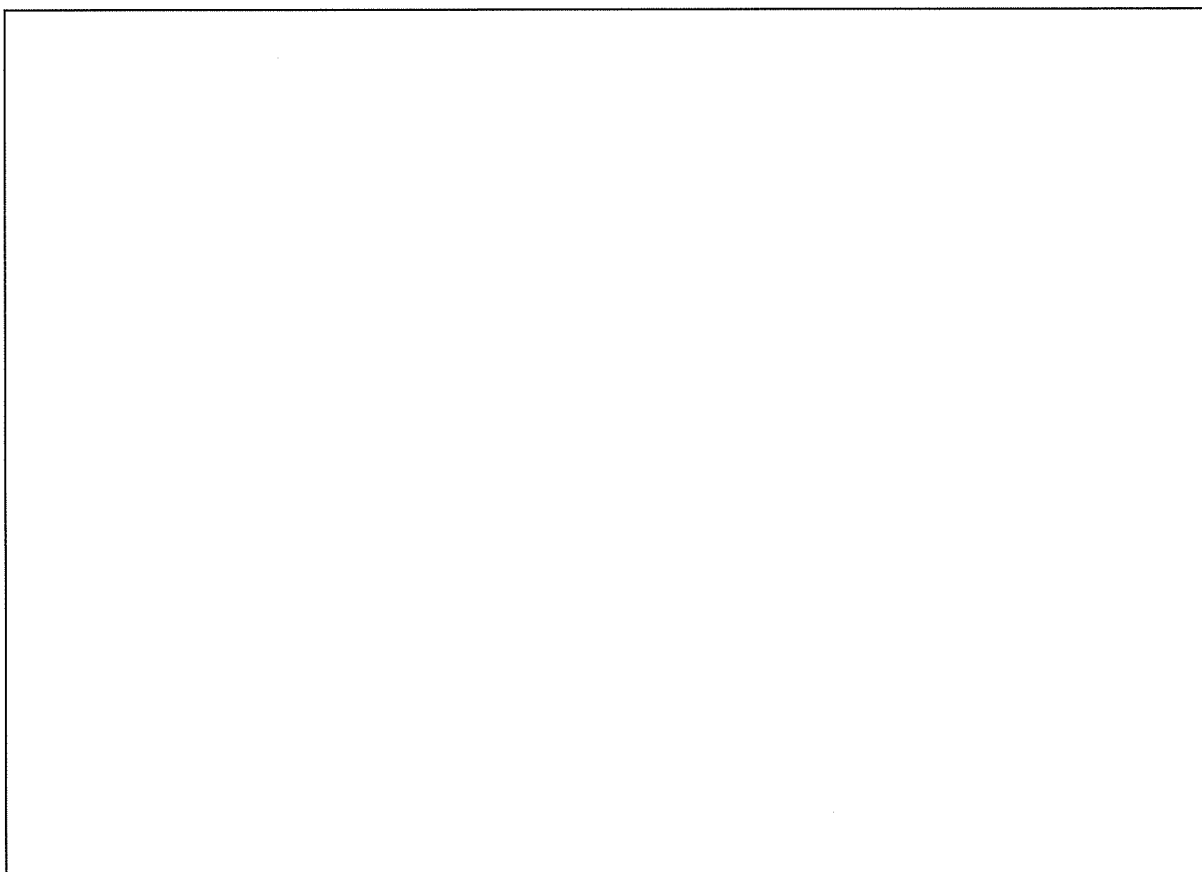
この対応として、蒸発器、コールドトラップ、コールドトラップ(小)は以下を考慮した設計とする。

なお、以下説明において機能・性能に係る事項は次回以降申請とする。

- [10.1-設10][18.2-設4]地震時のUF₆供給を停止する{6}地震インターロックを設置する(独立二系統)。
- [10.1-設45][18.2-設5]{6}{621}地震インターロックに連動し、防護カバーフード部給気口及びフードボックス排気口を閉鎖する(独立二系統)。

蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）の運転操作に関わる制御盤を設置する部屋（転換加工室）には地震計を設置し、この地震計が異常な地震加速度（0.15G）を検知した時点でUF₆の移送を停止するとともに、蒸発器の加熱用蒸気ライン及びドレン排出ラインを閉止、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）の加熱用ヒータ切、フードボックスの排気ラインを閉止及び防護カバーの給気ラインを閉止するインターロック（添説設 6-6 図中の紫色点線及び青色点線部）を設置する。

このインターロックは検出端、作動端の不作動、回路の異常を想定して独立二系統（検出端、回路、作動端とも 2 系統）で設置する。



添説設 6-6 図 地震計による UF₆供給停止等に関わるインターロックの概要

UF₆配管の弁を自動閉止するインターロック機構を設置する設計とする。(12-4)

今回の申請設備に関わるインターロック及び警報の設置目的とインターロック及び警報との関係を添付説明書一設6付録1に示す。添付説明書一設6付録1には検出端、作動端、制御部の耐震重要度分類についても示す。

今回の申請設備において、該当する機器は蒸発器である。蒸発器における作業員の誤操作防止インターロックの概要を添説設6-7図に示す。

なお、以下の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

UF₆シリンダから循環貯槽へUF₆を移送する場合、2基の蒸発器から交互にUF₆を移送することから、2基の蒸発器はUF₆配管の一部を共用する。また、UF₆シリンダからコールドトラップへUF₆を移送、コールドトラップから循環貯槽へUF₆を移送する時もUF₆配管の一部を共用する。

このため、これらのUF₆移送作業時にはUF₆移送ルートを確実に確保する必要がある。

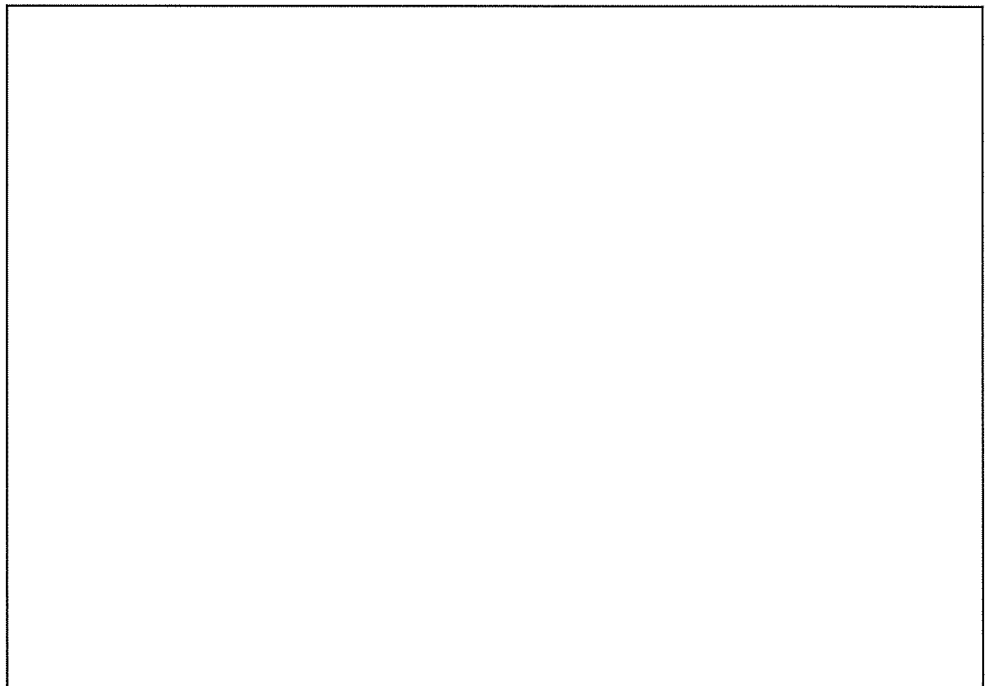
この対応として、蒸発器、事故事象の発生防止のため、以下を考慮した設計とする。

なお、以下説明において機能・性能に係る事項は次回以降申請とする。

- [10.1一設27][18.2一設9]UF₆移送ラインを確保するため、{7}シリンダ取外しインターロックを設置する。

該当設備{7}

UF₆シリンダからのUF₆供給中に、作業員の誤操作により、UF₆を供給していないラインにUF₆が漏えいすることを防止するため、UF₆を供給するラインの切り替え弁同士(A同士、B同士)の同時開を不可とするインターロックを設置する。



添説設6-7図 蒸発器における作業員の誤操作防止インターロックの概要

4. 1. 2 異常時に対する閉じ込め機能

UF ₆ シリンダを収納する蒸発器は、閉じ込めに関し、異常の発生防止機能を有する2次バウンダリとして耐圧・気密設計とし、蒸発器のドレン排出系統にUF ₆ の漏えい検知設備を設け、漏えい検知時に自動的にドレン排出弁を閉止する設計とする。また、過加熱によるUF ₆ シリンダの損傷によるUF ₆ の漏えいを防止するため、熱的制限値を設定し、これを超えることのないようインターロック機構を設置する設計とする。(4-6)
インターロック機構は、損傷時の影響度に応じて、多重性又は多様性、耐震性による高い信頼性を確保する設計とする。 UF ₆ 漏えい検知、地震検知により動作するインターロック機構については、独立二系統とし、水素ガス漏えい検知により動作するインターロック機構については、複数の検出端を設置する設計とする。(14-7)
UF ₆ シリンダ及び脱着式UF ₆ 配管は、労働安全衛生法に基づく第1種圧力容器である蒸発器内に収納されており、蒸発器内でUF ₆ が漏えいした場合は、漏えいを検知し、加熱蒸気供給弁及びドレン排出弁を自動で停止する。(15-2)

今回の申請設備に関わるインターロック及び警報の設置目的とインターロック及び警報との関係を添付説明書一設6付録1に示す。添付説明書一設6付録1には検出端、作動端、制御部の耐震重要度分類についても示す。

今回の申請設備において該当する機器は、蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ(小)である。

なお、以下の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

蒸発器はUF₆シリンダを加熱して、UF₆シリンダ内のUF₆を気化し、循環貯槽へ移送する機器である。蒸発器におけるUF₆シリンダの加熱は水蒸気の熱を利用して行っている。具体的には蒸発器内でUF₆シリンダに水蒸気を吹き付けて加熱している。蒸発器内ではこの水蒸気によるUF₆シリンダ加熱に伴って、水蒸気はその保有熱を失い、ドレン水が連続的に発生するが、ドレン水は、常時、蒸発器底部から廃液処理設備(1)へ排水している。

蒸発器内でUF₆の漏えいが発生した場合、UF₆と水との反応性からドレン水をモニタリングすれば、蒸発器内でのUF₆漏えい発生の有無を監視できる。

この対応として、蒸発器は、事故事象拡大防止・影響緩和のため、以下を考慮した設計とする。
なお、以下説明において機能・性能に係る事項は次回以降申請とする。

➤ [10.1-設13][18.2-設3]UF₆漏えいを検知するため、{5}UF₆漏えい拡大防止(電導度)インターロックを設置する。

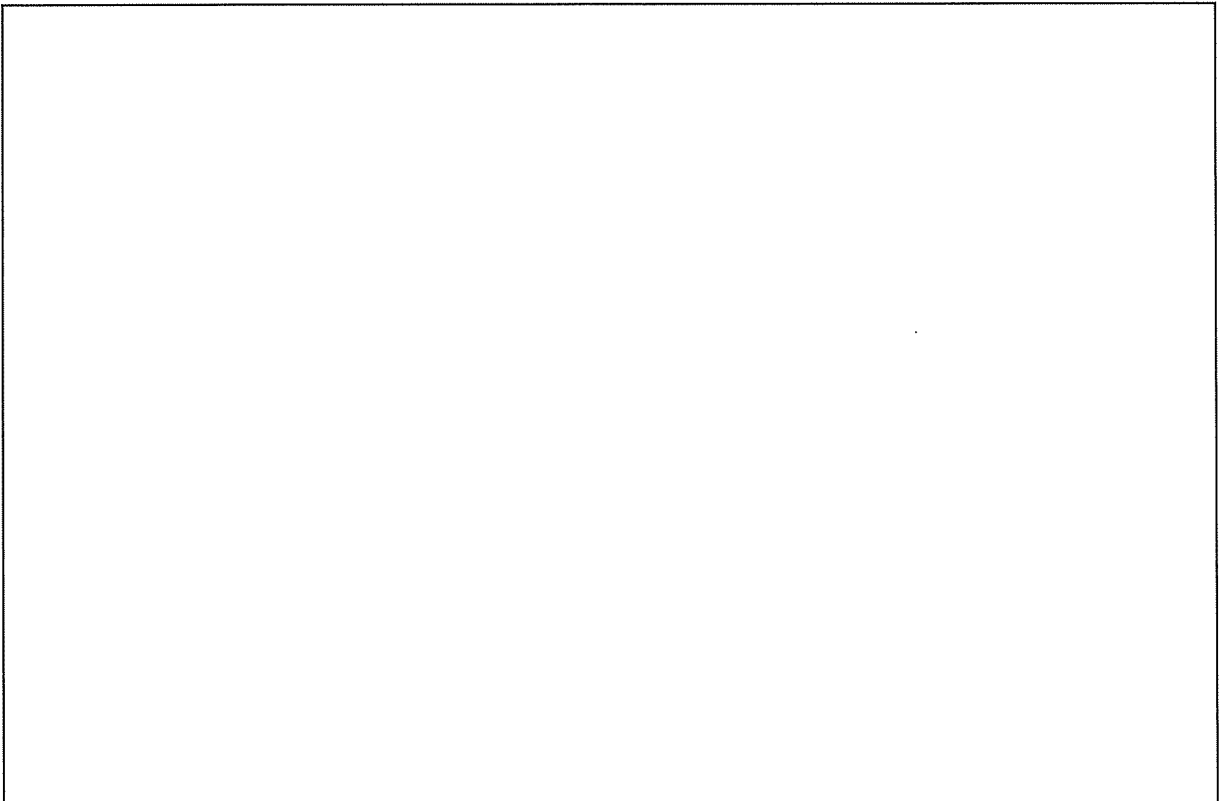
該当設備{5}

蒸発器からのUF₆の漏えいを防止するために設置するインターロックの概要を添説設6-8図に示す。

UF₆ シリンダを収納する蒸発器から発生するドレン水を廃液処理設備(1)へ排水するラインには、UF₆の漏えいを検知する検知器を設置し、自動的にドレン排出弁を閉止し、蒸発器の加熱を停止するインターロックを設置する。

このインターロックは検出端、作動端の不作動、回路の異常を想定して独立二系統（検出端、回路、作動端とも2系統）で設置する。

設置するインターロック設定値の考え方は添付説明書一設6付録6に示すとおりである。



添説設 6-8 図 蒸発器内の UF₆ 漏えい検知の概要

上述のとおり、蒸発器内で UF₆ の漏えいが発生した場合においても、蒸発器の最高使用圧力が 0.49MPaG であり、UF₆ の運転圧力（上限値）が 0.44MPaG であることから、漏えいした UF₆ の蒸発器内での閉じ込めに期待できる。

※運転圧力（上限値）は閉じ込めの安全機能維持上、許容できると想定する上限温度である。

一方、蒸発器内で UF₆ の漏えいが発生した場合、漏えいした UF₆ は蒸発器からのドレン水に混じって蒸発器外へ排出することとなるが、ドレン水配管にはドレン水中の UF₆ 漏えいを検知するインターロック（電導度）を設置しており、250 μS/cm という少量のウラン含有で漏えいを検知し、蒸発器外へのドレン水排出を停止する。また、これとともに蒸発器の加熱を速やかに停止することから漏えいした UF₆ は蒸発器内に留まり、蒸発器外へ漏えいする恐れはない。

UF₆漏えいの拡大防止のため、フードボックス内に UF₆漏えい検知設備を設置し、漏えい検知時に自動的に UF₆の供給を停止するとともに、UF₆シリンダの加熱を停止する設計とする。また、影響緩和のため、UF₆の漏えい検知に伴い局所排気系統を切替え、ガス溜めバッファ機能を有するフードボックスを経由して、排気中の UF₆をスクラバにより処理を行うインターロック機構を設置する設計とする。なお、ガス溜めバッファ部はインターロックが作動するまでの時間に漏えいする UF₆ガスを貯留できる容量を持つ設計とする。

UF₆シリンダ以外の UF₆ガスを取り扱う設備・機器は、閉じ込めに関し事故の拡大防止機能を有する 2 次バウンダリであるフードボックス内に設置する設計とする。フードボックスは負圧維持のため局所排気系に接続するとともに排気系統には UF₆の漏えい検知設備を設置し、漏えいの検知時に自動的に警報を発し、UF₆の供給を停止するとともに、加熱を停止するインターロック機構を設置する設計とする。さらに、建物外への UF₆の漏えいによる影響を緩和するため、UF₆の漏えい検知に伴い排気系統を切替え、フードボックス内のガス溜めバッファを経由して、排気中の UF₆をスクラバにより処理してから二段の高性能エアフィルタ（後段は耐 HF 性）を通して排出する設計とする。なお、ガス溜めバッファはインターロックが作動するまでの時間に漏えいする UF₆ガスを貯留できる容量を持つ設計とする。（4-7）

蒸発器又はフードボックスからの室内への漏えいの拡大防止及び影響緩和のため、UF₆を正圧で取り扱う設備・機器を UF₆に対して耐食性がある材料を用いた防護カバーで覆うとともに、カバー内部及び原料倉庫室内に警報音発報機能及びバッテリーを備えた UF₆漏えい警報設備を設置する設計とする。

UF₆ガスの閉じ込め性を強化するために、2 次バウンダリである蒸発器、フードボックスの外側に 3 次バウンダリとしての防護カバーを設け、防護カバーの内側及び外側に UF₆の漏えい検知設備を設ける設計とする。（4-8）

第 1 種管理区域において、ウランを取り扱う工程の設備・機器のうち、ウランが設備・機器から空気中へ飛散するおそれがあるものについては、局所排気系統に接続することによりウランの空気中への飛散を防止する設計とする。（4-23）

UF₆の漏えいに対しては、スクラバによる処理を行い、二段の高性能エアフィルタ（後段は耐 HF 性）を通して排出する設計とする。（4-30）

インターロック機構は、損傷時の影響度に応じて、多重性又は多様性、耐震性による高い信頼性を確保する設計とする。

UF₆漏えい検知、地震検知により動作するインターロック機構については、独立二系統とし、水素ガス漏えい検知により動作するインターロック機構については、複数の検出端を設置する設計とする。（14-7）

UF₆の漏えいの検知に伴う遮断弁の閉止までの 40 秒間の漏えいとした。

漏えい検知してから遮断弁閉止までの 40 秒間の漏えいを仮定

(15-1)

(次ページに続く)

(前ページの続き)

HF を含む気体廃棄物が高性能エアフィルタの性能に影響を与える事故時にはスクラバにより処理してから2段の高性能エアフィルタ（後段は耐HF性）により処理して排出する設計とする。(17-6)

気体廃棄物の廃棄設備は、第1種管理区域で発生する気体廃棄物を処理することが十分に可能な能力を有するものとする。(17-13)

それら^{*}による情報把握ができなかった場合に備えて、事故の状況を推定するために有効な情報把握ができるよう原料倉庫内のUF₆漏えい検知設備による監視を成型工場一時退避場所及び転換工場の外においても可能とする。(22-2)

(※) 転換工場の監視設備や放射線業務従事者（実施組織に所属）の巡視点検により事故事象の状況を常に把握する。(人的対応)

今回の申請設備に関わるインターロック及び警報の設置目的とインターロック及び警報との関係を添付説明書一設6付録1に示す。添付説明書一設6付録1には検出端、作動端、制御部の耐震重要度分類についても示す。

今回の申請設備において該当する機器はUF₆を取り扱う機器や配管を収納するフードボックスである。UF₆を取り扱う機器や配管を収納するフードボックス、その排気系統との配置概要を添説設6-9図に示す。また、UF₆の漏えい事象を検知するインターロックの概要を添説設6-10図に示す。

なお、以下の丸囲み数値は添説設6-9、10図中の該当部を示す。また、以下の記述の中で、{ }内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

UF₆を正圧で取り扱う設備・機器（1次バウンダリ）が損傷した場合、UF₆は設備・機器（1次バウンダリ）外へ漏えいする。この事故事象拡大防止・影響緩和を図るため、UF₆を正圧で取り扱う設備・機器には2次バウンダリ機能を有する設備・機器を設置する。

この対応として、UF₆を正圧で取り扱う設備・機器は以下を考慮した設計とする。

なお、以下説明において機能・性能に係る事項は次回以降申請とする。

- [10.1-設15]UF₆を取り扱う設備・機器はフードボックス内に設置する。
- [10.1-設3]開口部は風速0.5m/秒以上を維持する。(局所排気系統は次回以降申請)
- [10.1-設4]排気は局所排気系統に接続する。(局所排気系統は次回以降申請)

該当設備{8}

- ① UF₆シリンダ以外のUF₆を取り扱う機器及び配管（添説設6-9図中の青色部）はUF₆漏えい時の拡大を防止するため、局所排気系統に接続したフードボックス（添説設6-9図中の紫色太2点鎖線部）内に設置し、その開口部は風速0.5m/秒以上に維持する。

- [10.1-設16]UF₆の漏えい拡大遅延用ガス溜めバッファを設置する。(排気ファンは次回以降申請)

該当設備{8}

② ガス溜めバッファ部は、フードボックス排気風量とインターロックの動作時間を考慮し、フードボックスの排気先を切り替えるインターロックが作動するまでの間に漏えいするUF₆を含む排気を貯留できる容量*とする。(添説設 6-9 図中の水色太 2 点鎖線部)

* ガス溜めバッファ容量及び選定材料の考え方：

フードボックス排気風量 (60m³/min)、UF₆漏えい検知 (HF 検知) からフードボックス排気経路の切替までの作動時間 (40 秒)、漏えいした UF₆ と空気中の水分との反応による到達温度 (85℃) を考慮して、フードボックス内のガス溜めバッファ容量は m³ に設定する。また、ガス溜めバッファ部は ライニングとする。UF₆ フードボックスについても同様に考慮して 、 とする。

なお、フードボックス排気風量 (60m³/min) を確保する排気ファンは、気体廃棄設備 (1) として次回以降申請する。

なお、UF₆ フードボックスは蒸発器 (1) からの UF₆ 配管、コールドトラップ (1)、コールドトラップ (小) (1)、循環貯槽 (1) を収納する部分と堰部、蒸発器 (2) からの UF₆ 配管、コールドトラップ (2)、コールドトラップ (小) (2)、循環貯槽 (2) を収納する部分と堰部、これにガス溜めバッファ部を合わせた構成の機器を 1 基の UF₆ フードボックスとして設計する。これは堰 (循環貯槽) についても同様 (堰部 2 部分を合わせて 1 基の堰とする) である。

➤ [10.1-設 17][20.1-設 76]{9}UF₆漏えい拡大防止 (HF 検知) インターロックの信号を受けて、排気中の UF₆ を処理するスクラバ (スクラバポンプ (作動端) とスクラバ排風機 (作動端) は独立二系統) と高性能エアフィルタ 2 段 (2 段目は耐 HF 性) を設置する。(高性能エアフィルタ 2 段 (2 段目は耐 HF 性) は次回以降申請)

該当設備 {618、623}

③ UF₆ の漏えいに対してスクラバと高性能エアフィルタ 2 段 (2 段目は耐 HF 性) を有する排気経路を確保して排出する。高性能エアフィルタ 2 段 (2 段目は耐 HF 性) は次回以降申請する (添説設 6-10 図参照)。

スクラバの捕集効率については、添付説明書一設 6 付録 7 に示す。

➤ [10.1-設 8][20.1-設 75]耐腐食性材料を使用する。

防護カバー、スクラバ (原料倉庫排気系統) のウランと接触する部位はその腐食性を考慮し、主要使用材料は耐腐食性を有する材料を使用する。このため、腐食によりその安全機能が損なわれる恐れはない。

防護カバー、スクラバ (原料倉庫排気系統) の主要使用材料を添説設 6-4 表に示す。

添説設 6-4 表 防護カバー及びスクラバの主要使用材料

施設区分	設備名称	機器名	使用主材料	備考
化学処理施設	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	防護カバー		{11}
放射性廃棄物の廃棄施設	気体廃棄物の廃棄設備	スクラバ (原料倉庫局所排気系統)		{618}

- ▶ [10.1-設 50][20.1-設 84] 排気中のUF₆を処理するスクラバは非常用ディーゼル発電機に接続する。

該当設備 {618、888}

- ④ 排気中のUF₆を処理するスクラバは外部電源喪失時にもその機能を維持できるようにスクラバポンプとスクラバ排風機（独立二系統）を非常用ディーゼル発電機に接続する。

非常用ディーゼル発電機において、スクラバポンプ及びスクラバ排風機の起動に必要な電源負荷の確保状況は資料 21 設 非常用電源設備に示す。

なお、気体廃棄設備の高性能エアフィルタ 2 段（2 段目は耐 HF 性）下流側に位置する排気ファンも外部電源喪失時にその機能を維持できるように非常用ディーゼル発電機から給電する。当該排気ファンは次回以降申請する。

さらに、UF₆を正圧で取り扱う設備・機器は、2 次バウンダリとして設置する設備・機器の機能が働かなかつた場合を想定して、さらなる事故事象拡大防止・影響緩和を図るため、3 次バウンダリ機能を有する設備・機器を設置する。

この対応として、UF₆を正圧で取り扱う設備・機器は以下を考慮した設計とする。

- ▶ [10.1-設 18]防護カバーを設置する。

該当設備 {11}

- ⑤ 蒸発器又はフードボックスから室内への漏えいの拡大防止及び影響緩和のため、UF₆を正圧で取り扱う機器及び配管（添説設 6-9 図中の青色太線部）は、UF₆に対して耐腐食性がある材料（添説設 6-1 表に示す）を用いた防護カバーで覆う。（添説設 6-9 図中の茶色太 1 点鎖線部）

UF₆を正圧で取り扱う設備・機器は、2 次バウンダリとしてUF₆フードボックスを設け、その中に設置する。UF₆フードボックスの排気は気体廃棄設備(1)へ排気する。

UF₆を正圧で取り扱う設備・機器から、UF₆が漏えいした場合、漏えいしたUF₆はフードボックス内に拡散し、UF₆フードボックスの排気の流れに沿って、気体廃棄設備(1)へ拡散する。

したがって、UF₆フードボックスには事故事象拡大防止・影響緩和を図るため、UF₆の漏えいを検知する HF 検知器を設置する。この信号をトリガーにして、UF₆フードボックスからの排気の流れを、直接、気体廃棄設備(1)へ流れるルートからスクラバを介して気体廃棄設備(1)へ流れるルー

トに切り替えることにより、漏えいしたUF₆をスクラバで回収するとともに、気体廃棄設備(1)へのUF₆拡散を防止できる。

この対応として、UF₆フードボックスは以下を考慮した設計とする。

なお、以下説明において機能・性能に係る事項は次回以降申請とする。

- [10.1-設 13][18.2-設 3]UF₆漏えいを検知するため、{9} UF₆漏えい拡大防止 (HF 検知) インターロックを設置する。
- [10.1-設 44][20.1-設 77]{9}UF₆漏えい拡大防止(HF 検知)インターロックの信号を受けて、排気経路を切り替える (独立二系統)。

⑥ UF₆を取り扱う機器や配管を収納するフードボックス内には、HF 検知器を設置し、UF₆と空気中の水分が反応して発生する HF を検知 (3ppm 以上) 時には 40 秒以内で UF₆の供給を停止するとともに、UF₆シリンダの加熱を停止する。また、フードボックスの排気経路は切替ダンパによりスクラバを経由した排気経路に切り替える。

このインターロックは検出端、作動端の不作動、回路の異常を想定して独立二系統 (検出端、回路、作動端とも 2 系統) で設置する。(添説設 6-10 図中の青色太点線部及び緑色太点線部)

なお、HF 検知器は 1 系列に 2 基 (2 系列で計 4 基) 設置^{*1}し、1, 2 系列の HF 検知器 1 基ずつを 1 ペア (全体としては 2 ペア) として、このペアのいずれかの検知器で HF を検知した場合 (OR 条件) はインターロック動作する (図イ制-6 参照)。

※1: HF 検知器は、漏えいした UF₆が UF₆フードボックス内の空気の流れに沿って移動することを想定して、UF₆フードボックスの排気口近くに設置する。

UF₆を正圧で取り扱う設備・機器に設置する 2 次バウンダリ、3 次バウンダリ、室内には、電源喪失状態が発生しても防災組織による事故事象拡大防止・影響緩和が図れるように UF₆の漏えい状況をモニタリングできる機能を設置する。

この対応として、UF₆フードボックス (2 次バウンダリ) 内、防護カバー (3 次バウンダリ) 内、原料倉庫内は以下を考慮した設計とする。

なお、以下説明において機能・性能に係る事項は次回以降申請とする。

- [10.1-設 19][18.1-設 1]{10}UF₆漏えい警報設備 (フードボックス内) を設置する。
- [10.1-設 19][18.1-設 1]{12}{13}UF₆漏えい警報設備 (防護カバー内、防護カバー外) を設置する。

⑦ UF₆フードボックス内部、防護カバー内部及び原料倉庫室内には警報音発報機能及びバッテリーを備えた HF 検出器を 1 個ずつ設置^{*2}し、成型工場一時退避場所、転換工場中央制御室及び転換工場の外で監視可能とする。

バッテリーを備えた HF 検出器の設置場所と、表示器の設置場所を添説設 6-11 図に示す。

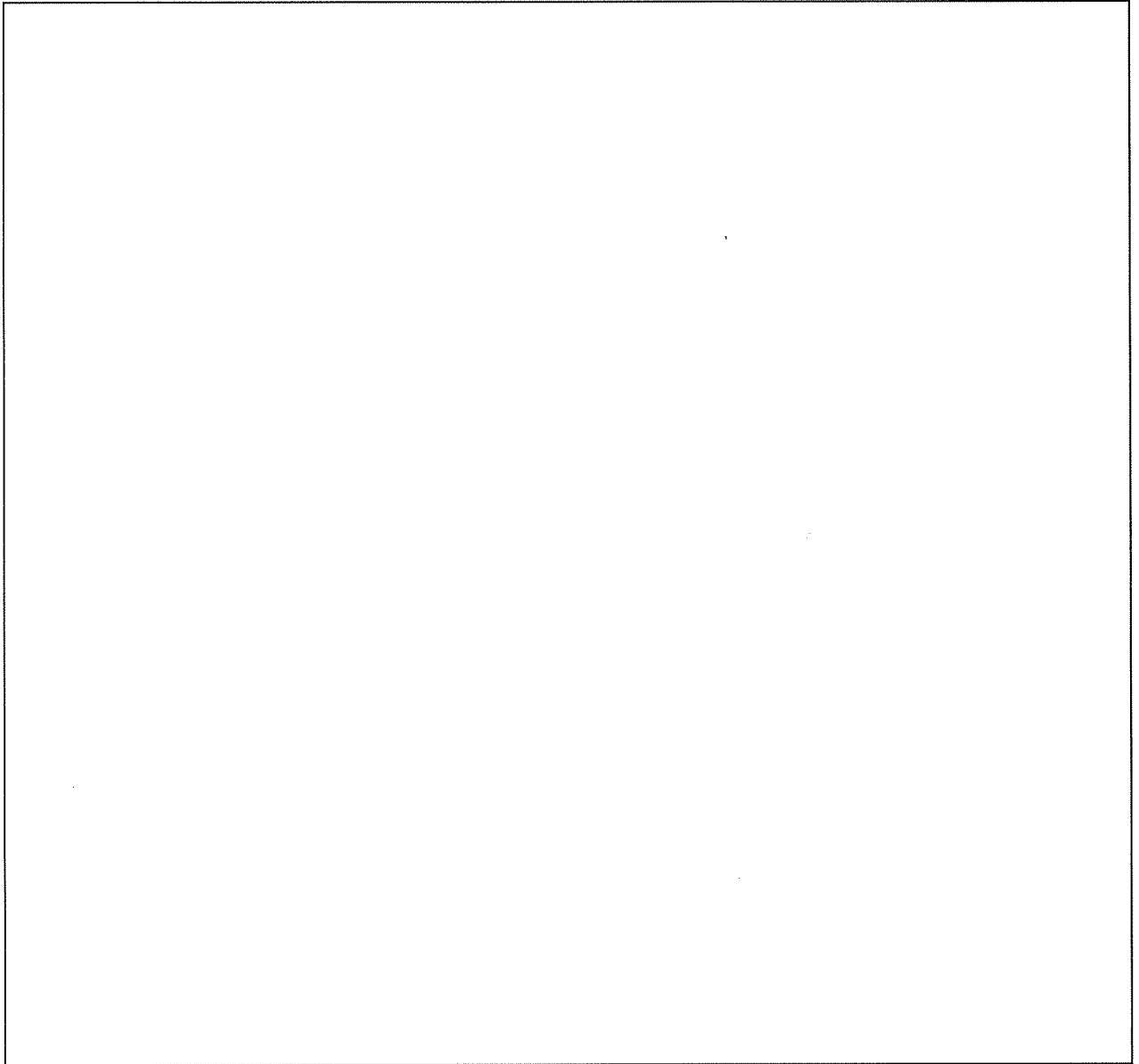
HF 検出器と表示器の概要を添説設 6-12 図に示す。

HF 検出器は、検出器同士を有線で接続することにより、接続した検出器の測定値を別の検出器で表示する。

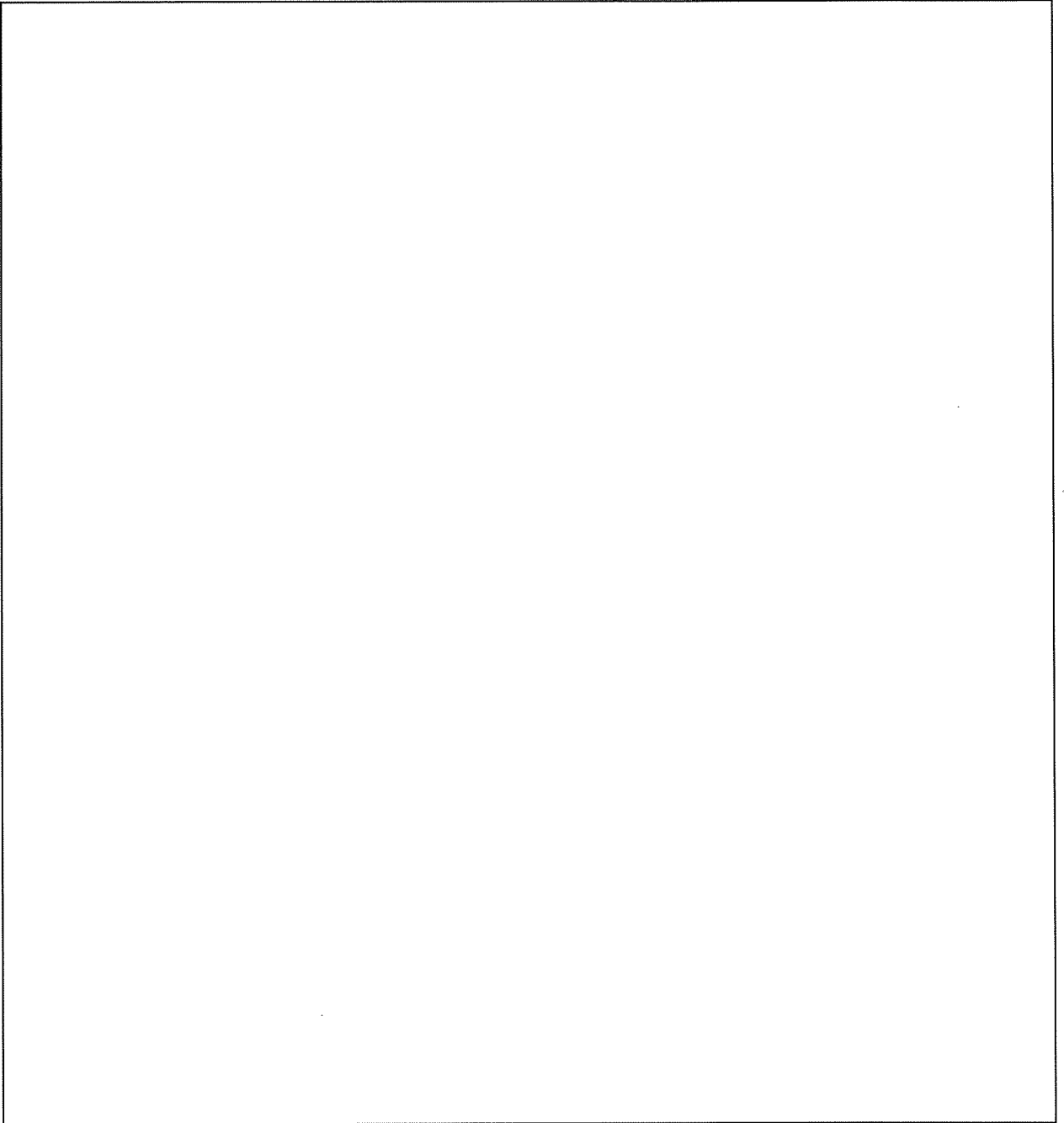
なお、UF₆漏えい警報設備は速やかにアクションを促す目的から、その警報設定値はUF₆漏えいを検知するインターロック（HF濃度）と同じ値（3ppm以上）^{※3}に設定する。
設置するインターロック設定値の考え方は添付説明書一設6付録6に示すとおりである。

※2：HF検出器は、設計基準事故事象を超える事故時の局所排気停止状態で漏えいしたUF₆がUF₆フードボックス、防護カバー内に拡がることを想定して、UF₆フードボックス、防護カバーの床面に設置する。

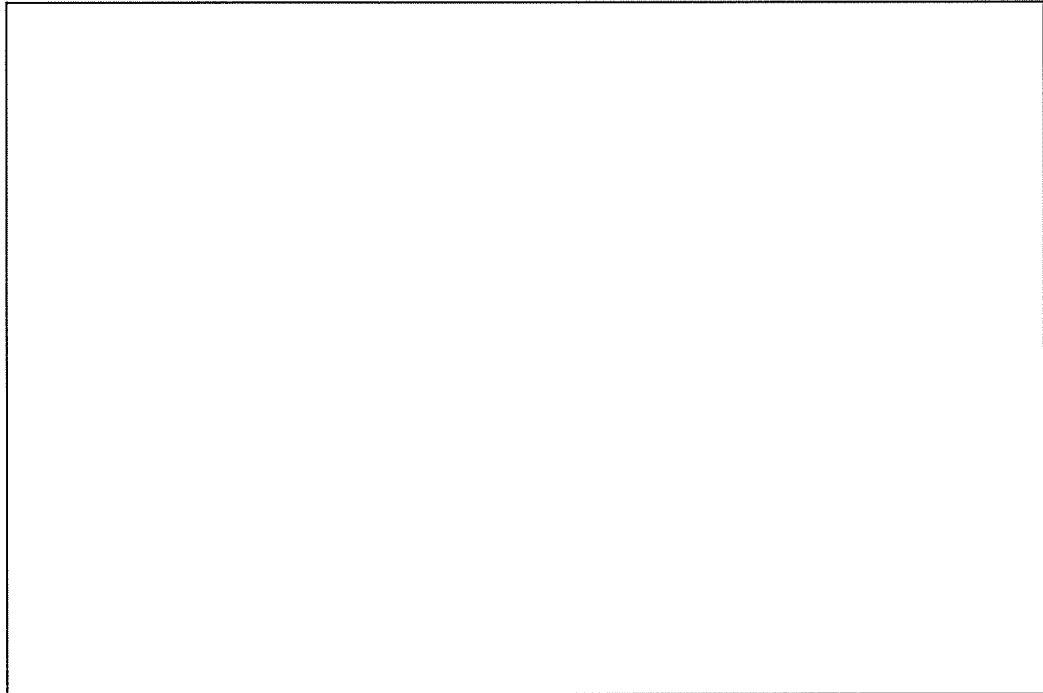
※3：HF検出器は設計基準事故事象を超える事故に対応する機器である。
設計基準事故発生後、設計基準事故を超える事故に至るまでの間に、速やかに事故に備える体制を構築する点から、その設定値はHF検知器（設計基準事故事象に対応するUF₆漏えい検知インターロックの検出端）の設定値と同じ値とした。



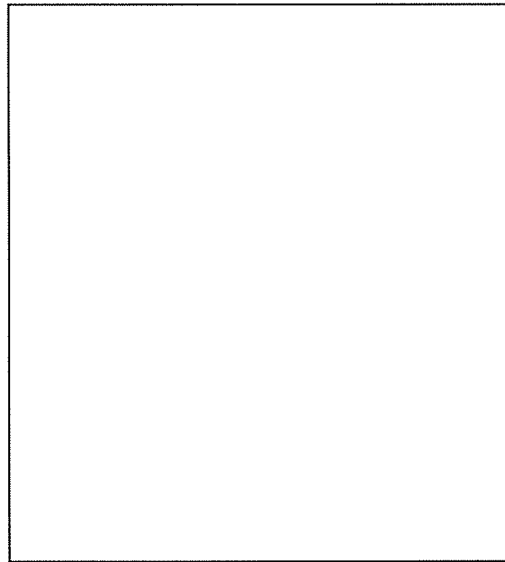
添説設 6-9 図 UF₆を取り扱う機器や配管とそれを収納するフードボックスとその排気系統概要



添説設 6-10 図 UF₆漏えいに関連するインターロックと警報の概要



添説設 6-11 図 UF₆漏えい警報設備（HF 検出器、表示器）設置場所



添説設 6-12 図 UF₆漏えい警報設備（HF 検出器、表示器）の概要

4. 2. 粉末状のウランを限定された区域に閉じ込める機能（第十条5）

4. 2. 1 通常運転時に対する閉じ込め機能

粉末状のウランを収納する設備・機器は、ウランの飛散のない設計とする。（4-10）

今回の申請機器において、粉末状のウランを収納する機器とその閉じ込め対策を添説設 6-5 表に示す。

なお、表中の丸囲み数字は以下文章中の丸囲み数字に該当する。また、{ } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設 6-5 表 粉末状のウランを収納する機器

施設区分	設備名称	機器名	閉じ込め対策	備考
化学処理施設	焙焼還元設備	UO ₂ ブロータンク(1)	①	{106}
		UO ₂ ブロータンク(2)		
	焙焼還元設備	UO ₂ フィルタ(1)	①	{107}
		UO ₂ フィルタ(2)		
	焙焼還元設備	UO ₂ バックアップフィルタ(1)	①	{108}
		UO ₂ バックアップフィルタ(2)		
	焙焼還元設備	UO ₂ 受けホッパ(1)	①	{110}
UO ₂ 受けホッパ(2)				
粉砕・充填設備	粉砕機	(1)	①	{112}
		(2)		{113}
粉砕・充填設備	充填装置	(1)	①、②	{115}
		(2)		
その他の加工施設	分析設備	試料回収ボックス	③	{909}

粉末状のウランを収納する設備・機器は、1次バウンダリとして、設備・機器外に粉末状のウランが漏えいしない構造とする。

この対応として、粉末状のウランを収納する設備・機器は以下を考慮した設計とする。

- ▶ ①[10.1-設 1]機器本体部（フードボックスを除く）は開口部のない構造とする。
粉末状のウランを直接取り扱う設備・機器は、設備・機器外へ粉末状のウランが飛散しないように設備・機器本体部は開口部のない構造とする。
- ▶ ②[10.1-設 51]容器取り出し部は開口部のない構造とする。（次回以降申請）
粉末状のウランを直接取り扱う設備・機器から大型粉末容器、SUS 容器及び金属容器（粉末）などの容器に粉末を充填する時は、容器の口が機器充填口に密着する構造とする。

なお、この設計対応は添説設 6-5 表に機器のうち、充填装置(1)(2)が該当するが、充填装置(1)(2)の取り扱い機器は大型粉末容器と金属容器(粉末)である。大型粉末容器は次回以降申請する。金属容器(粉末)は原規規発第 1908222 号で認可済である。

また、充填装置(1)(2)から金属容器(粉末)に充填する際、補助器具を使用するが、これは次回以降申請する。

➤ ③[10.1-設 36]ウラン粉末を取り扱うフードボックスを設置する。

粉末状のウランを直接取り扱う場合は、設備・機器外へ粉末状のウランが飛散しないように気体廃棄設備に接続するフードボックスを設置する。

今回の申請設備において、安全機能を有する施設の安全機能一覧の閉じ込め機能として、ウランを取り扱う機器は単体でウランの閉じ込めを行うが、粉末を気流輸送する系統についてもその排気に含まれるウランの除去対策を行う。

今回の申請設備において、排気に含まれるウランの除去対策を行う機器を添説設 6-6 表に示す。

なお、表中の丸囲み数字は以下文章中の丸囲み数字に該当する。また、以下の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

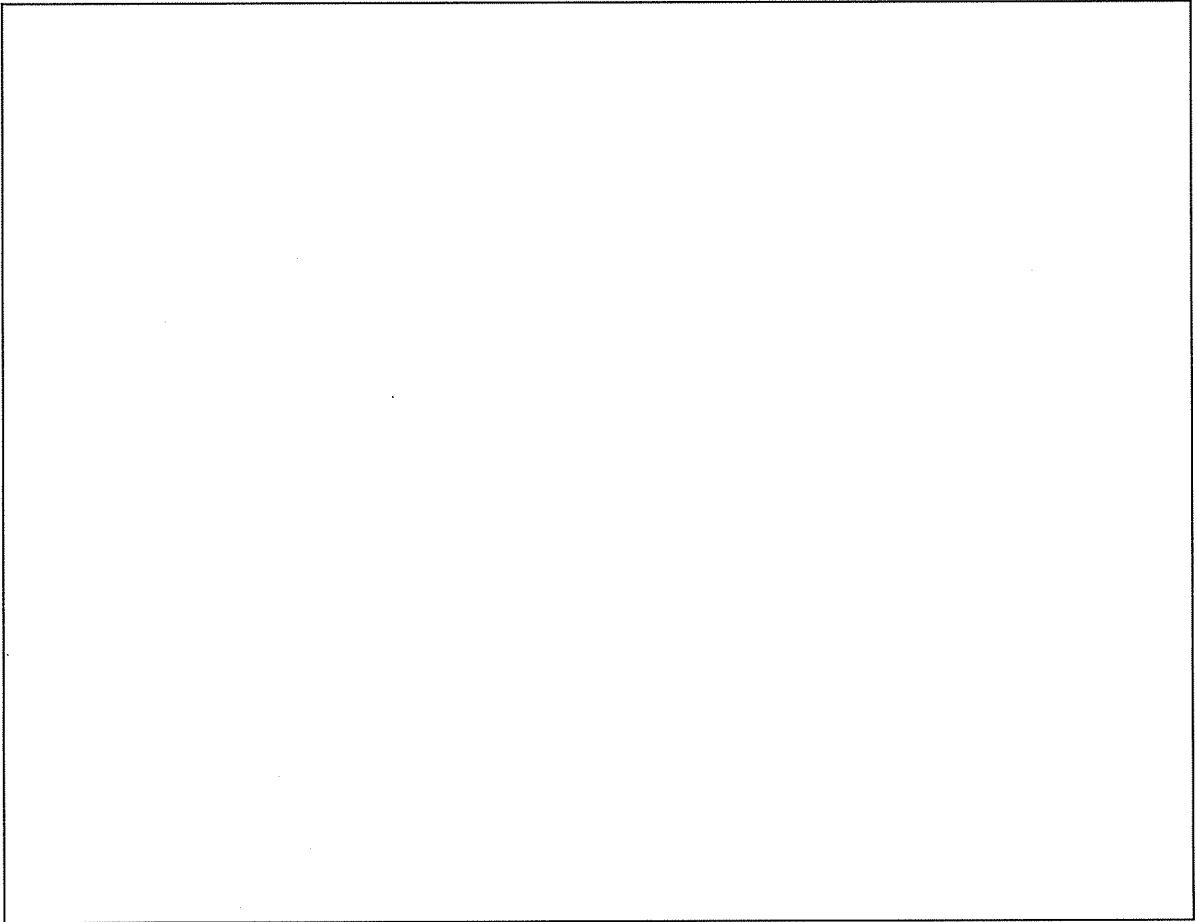
添説設 6-6 表 排気中のウラン除去対策を図る機器

施設区分	設備名称	機器名	閉じ込め対策	添説設 6-13 図該当部	備考
化学処理施設	焙焼還元設備	UO ₂ フィルタ (1)	①	(a) -A	{107}
		UO ₂ フィルタ (2)			
	焙焼還元設備	UO ₂ バックアップフィルタ (1) UO ₂ バックアップフィルタ (2)	(a) -B	{108}	
	粉碎・充填設備	粉碎機 (1) 粉碎機 (2)	②	(b) -C	{113}

▶ [10.1-設 23] ウラン捕集用フィルタを設置する。

排気中のウラン除去対策は以下の①、②の 2 ケース、下記①、②に関する概要を一例として添説設 6-13 図に示す。

- ① 粉末を気流輸送する系統にはフィルタ（バグフィルタ）を設置（添説設 6-13 図 (a)A 部）して気流中に含まれるウランを除去する。このフィルタによるウラン捕集バックアップとしてバックアップフィルタ（高性能エアフィルタ）を設置（添説設 6-13 図 (a)B 部）する。
- ② 粉碎機にはフィルタ（バグフィルタ）を設置（添説設 6-13 図 (b)C 部）して、粉碎機の排気中に含まれるウランを除去する。



添説設6-13図 排気に含まれるウランの除去に関する一例
(粉末を気流輸送する系統及び粉砕機の排気系統)

非密封のウランを取り扱うフードボックスは、局所排気システムにより、開口部の風速を0.5m/秒以上とするか、その内部を室内に対して9.8Pa以上の負圧を維持できる設計とする。

第1種管理区域の設備・機器のうち、粉末状のウランを取り扱う混合機、プレス、研削装置等に設けるフード等は、内部を排気することにより開口部の風速を0.5m/秒以上とするか、内部を室内に対して9.8Pa以上の負圧となるように管理する。(4-12)

今回の申請設備において、粉末状のウランを非密封で取り扱うフードボックス、及び粉末状のウランを取り扱う機器に設置するフードボックスと閉じ込め機能としての用途を添説設6-7表に示す。

なお、以下の記述及び表中で{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設6-7表 フードボックスの閉じ込め機能用途

施設区分	設備名称	機器名		閉じ込め用途	備考
その他の加工施設	分析設備	試料回収ボックス		1次バウンダリ	{909}
化学処理施設	焙焼還元設備	UO ₂ ブロータンク(1)	フードボックス (ロータリーキルン(1))	2次バウンダリ	{96} ※
		UO ₂ ブロータンク(2)	フードボックス (ロータリーキルン(2))		
	焙焼還元設備	UO ₂ フィルタ(1)	フードボックス (UO ₂ フィルタ(1))		{109}
		UO ₂ フィルタ(2)	フードボックス (UO ₂ フィルタ(2))		
	焙焼還元設備	UO ₂ 受けホッパ(1)	フードボックス (UO ₂ 受けホッパ(1))		{111}
		UO ₂ 受けホッパ(2)	フードボックス (UO ₂ 受けホッパ(2))		
	粉砕・充填設備	粉砕機(1)	フードボックス (粉砕機(1))		{114}
		粉砕機(2)	フードボックス (粉砕機(2))		
	粉砕・充填設備	充填装置(1)	フードボックス (充填装置(1))		{116}
		充填装置(2)	フードボックス (充填装置(2))		

※ フードボックス (ロータリーキルン(1))、フードボックス (ロータリーキルン(2)) は次回以降申請する。

- [10.1-設3] フードボックスの開口部の風速0.5 m/秒以上を維持する。（局所排気系統は次回以降申請）

粉末状のウランを非密封で取り扱うフードボックスは気体廃棄設備に接続し、フードボックスの使用状態における開口部風速を0.5m/秒以上に維持するため、粉末状のウランがフードボックス外に飛散する恐れはない。

第1種管理区域において、ウランを取り扱う工程の設備・機器のうち、ウランが設備・機器から空气中へ飛散するおそれがあるものについては、局所排気系統に接続することによりウランの空气中への飛散を防止する設計とする。(4-23)

今回の申請設備において、第1種管理区域でウランを取り扱う工程の機器のうち、ウランが機器から空气中へ飛散する恐れがある機器とそのウラン飛散防止対策を添説設6-8表に示す。

なお、表中の丸囲み数字は以下文章中の丸囲み数字に該当する。また、以下の記述の中で、表中で{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設6-8表 ウランの空气中への飛散防止を要する機器とその飛散防止対策

施設区分	設備名称	機器名	飛散防止対策	備考
化学処理施設	焙焼還元設備	UO ₂ ブロータンク(1)	②	{96}※
		UO ₂ ブロータンク(2)		
	焙焼還元設備	UO ₂ フィルタ(1)	②	{109}
		UO ₂ フィルタ(2)		
	焙焼還元設備	UO ₂ 受けホッパ(1)	②	{111}
UO ₂ 受けホッパ(2)				
粉砕・充填設備		粉砕機(1)	②	{114}
		粉砕機(2)		
粉砕・充填設備		充填装置(1)	②	{116}
		充填装置(2)		
その他の加工施設	分析設備	試料回収ボックス	①	{909}

※ 該当するフードボックスであるロータリーキルン(1)、(2) (フードボックス部)は次回以降申請する。

➤ [10.1-設4]排気は局所排気系統に接続する。(局所排気系統は次回以降申請)

- ① 粉末状のウランを非密封で取り扱い、その閉じ込めを開口部風速維持で担保する機器
- ② 粉末状のウランを取り扱う機器に設置するフードボックス
- ③ 気流輸送、掃気用ガス供給により排気の発生する機器

は局所排気に接続するため、空气中へ粉末状のウランが飛散する恐れはない。

4. 2. 2 異常時に対する閉じ込め機能

粉末状のウランを加圧状態で取り扱う設備は、局所排気系に接続したフードボックス又は配管カバー内に収納する設計とする。(4-13)

今回の申請設備において、粉末状のウランを加圧状態で取り扱う機器とその収納部を添説設 6-9 表に示す。また、粉末状のウランを加圧状態で取り扱う設備の概要を添説設 6-14 図に示す。

なお、以下表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設6-9表 粉末状のウランを加圧状態で取り扱う機器とその収納部

施設区分	設備名称	機器名	収納部	備考		
化学処理施設	焙焼還元設備	UO ₂ ブロータンク(1)	本体部	フードボックス(ロータリーキルン(1)) 配管カバー	{96}※	
		UO ₂ ブロータンク(2)	配管部			
			本体部	フードボックス(ロータリーキルン(2)) 配管カバー		
			配管部			
	焙焼還元設備	UO ₂ フィルタ(1)	本体部	フードボックス(UO ₂ フィルタ(1))		{109}
		UO ₂ フィルタ(2)	配管部			
		本体部	フードボックス(UO ₂ フィルタ(2))			
		配管部				
焙焼還元設備	UO ₂ 受けホッパ(1)	本体部	フードボックス(UO ₂ 受けホッパ(1))	{111}		
	UO ₂ 受けホッパ(2)	配管部				
		本体部	フードボックス(UO ₂ 受けホッパ(2))			
		配管部				

※ フードボックス(ロータリーキルン(1))、フードボックス(ロータリーキルン(2))は次回以降申請する。

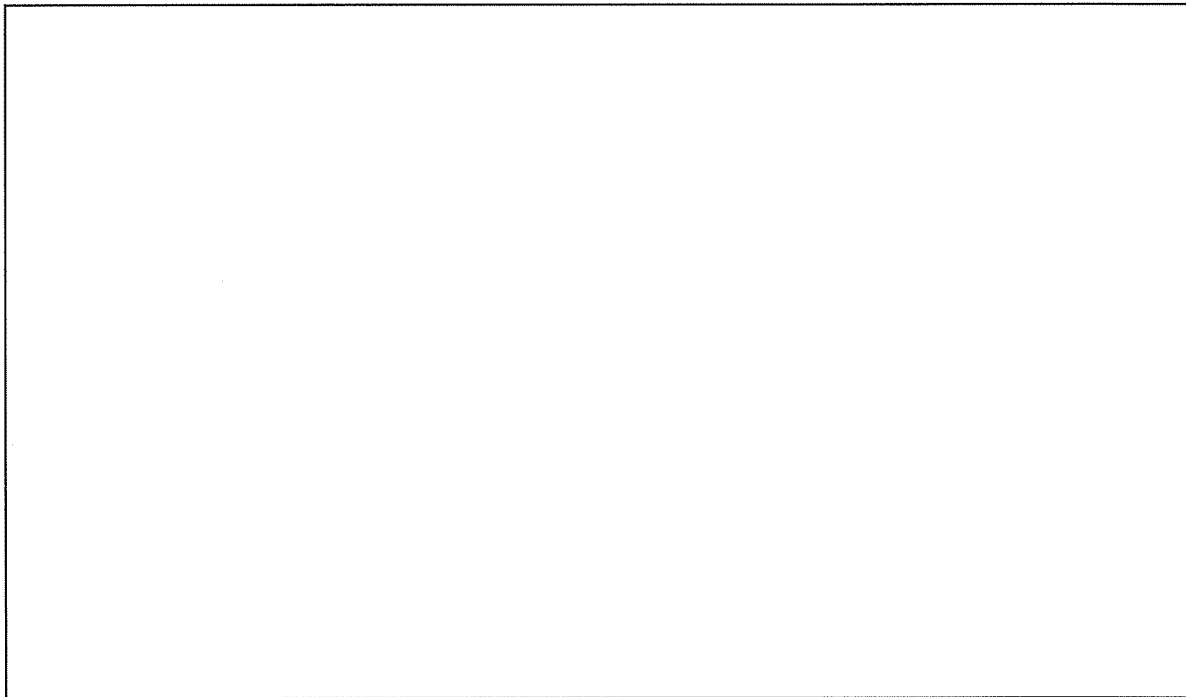
UO₂ブロータンク内のウラン粉末は、ブロワから送り出される加圧窒素気流に乗って、気流輸送し、UO₂フィルタで固気分離して、ウラン粉末はUO₂受けホッパに回収する。

この時、以下の①～③により、ウラン粉末を加圧で取り扱う範囲は添説設 6-14 図中の青色部に限定される。

- ① ロータリーキルンとUO₂ブロータンク間、UO₂受けホッパと粉砕機間は、気流輸送時に弁閉として加圧窒素雰囲気縁切りする。
- ② UO₂フィルタ以降の排気ラインも加圧窒素雰囲気となるが、UO₂フィルタでウラン粉末を固気分離するため、ウラン粉末は移行しない。
- ③ UO₂ブロータンクとブロワ間は、逆止弁機能により、ウラン粉末はブロワ側へ移行しない。

加圧状態で取り扱う設備の損傷によるウラン粉末の漏えいを想定して、ウラン粉末を加圧状態で取り扱う範囲（添説設 6-14 図中の青色部）に対しては、以下を考慮した設計とする。

- [10.1-設 20]粉末状のウランを加圧状態で取り扱う機器は局所排気系統に接続したフードボックス又は配管カバー内に設置する。（局所排気系統は次回以降申請）
粉末状のウランを加圧状態で取り扱う機器（添説設 6-14 図中の青色部）は局所排気に接続したフードボックス（添説設 6-14 図中の緑色 2 点鎖線 A 部）に収納し、これらの機器を接続する配管も局所排気に接続したフードボックスを経由して局所排気に接続するカバー（添説設 6-14 図中の緑色 2 点鎖線 B 部）に収納する。



添説設6-14図 粉末状のウランを加圧状態で取り扱う系統概要

4. 3. 液体状のウランを限定された区域に閉じ込める機能（第十条1、7）

4. 3. 1 通常運転時に対する閉じ込め機能

液体状のウラン及び液体廃棄物を収納する設備・機器は、閉じ込めに関し、異常の発生防止機能を有する1次バウンダリとしてウランの漏えいを防止するため、収納するウランの形態に応じて耐食性を有する材料を用いる設計とする。また、接液部は必要に応じてライニング等により腐食による漏えいを防止する設計とする。さらに、運転条件において漏えいのない設計とする。（4-15）

今回の申請設備において、液体状のウランを収納する機器で漏えいのない構造を考慮する機器と接液部の使用主材料を添説設6-10表に示す。

なお、表中で{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設6-10表 液体状のウラン及び液体廃棄物を収納する機器と接液部の使用材質

施設区分	設備名称	機器名		漏えいのない構造	接液部 使用主材料	備考
化学 処理 施設	UF ₆ 蒸発・ 加水分解 設備	循環貯槽(1)	循環貯槽内面	○		{22}
		循環貯槽(2)	加水分解装置（エ ジェクタ）内面			{21}
			ポンプ内面			{22}
			配管（UO ₂ F ₂ 溶液配 管）内面			
		熱交換器 （循環貯槽）(1) 熱交換器 （循環貯槽）(2)	熱交換器内面	○		{28}
その 他 の 加 工 施 設	分析設備 不純物分 析設備	廃水タンク	タンク内面	○		{907}
			配管			

液体状のウランを収納する設備・機器は1次バウンダリとして、設備・機器外に液体状のウランが漏えいしない構造とする。

この対応として、液体状のウランを収納する設備・機器は以下を考慮した設計とする。

- ▶ [10.1-設1] 液体を内包する部位は漏えいのない構造とする。

添説設 6-10 表に示す機器のうち、作業時に常時、液体状のウラン及び放射性液体廃棄物を内包する機器は、室内への漏えいを防止するため、液体を保持して漏えいを起こさない構造とする。

➤ [10.1-設 8]耐腐食性材料を使用する。

添説設 6-10 表に示す機器は、液体状のウラン及び放射性液体廃棄物の漏えいを防止するため、接液部は収納するウランの形態に対して耐腐食性を有する材料を主材料として用いるため、腐食によりウランが漏えいする恐れはない。

液体状のウラン及び液体廃棄物の貯槽で上部に開口部がある場合、オーバーフローによる漏えいを防止するため、それらの貯槽に液位計を設置し、液位異常を運転員に知らせる警報設備を設置する設計とし、液体状のウランの貯槽には液位異常の検知に連動し、給液を自動的に停止するインターロック機構を設置する設計とする。(4-16)

今回の申請設備に関わるインターロック及び警報の設置目的とインターロック及び警報との関係を添付説明書一設6付録1に示す。添付説明書一設6付録1には検出端、作動端、制御部の耐震重要度分類についても示す。

今回の申請設備において、液体状のウランの貯槽で上部に開口部があり、オーバーフローによる漏えいをインターロックにより防止する機器は循環貯槽(1)(2)である。また、循環貯槽(1)(2)の高さと液位計検出位置との関係、オーバーフローを防止するために設置するインターロック動作の概要を添説設6-15図に示す。

なお、以下の記述及び表中で{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

液体状のウランを槽間で液移送を行う場合、液送り元の槽から送り先の槽へはポンプによる液移送を行う。

液体状のウランを取り扱う貯槽で上部に開口部がある場合は、オーバーフローによる漏えいを防止するため、送り先の槽において、オーバーフローを引き起こしそうな液位を検知した場合は、送り先槽への液移送を停止する機能を設置する。

この対応として、液体状のウラン送液を行う槽間は以下を考慮した設計とする。

なお、以下説明において機能・性能に係る事項は次回以降申請とする。

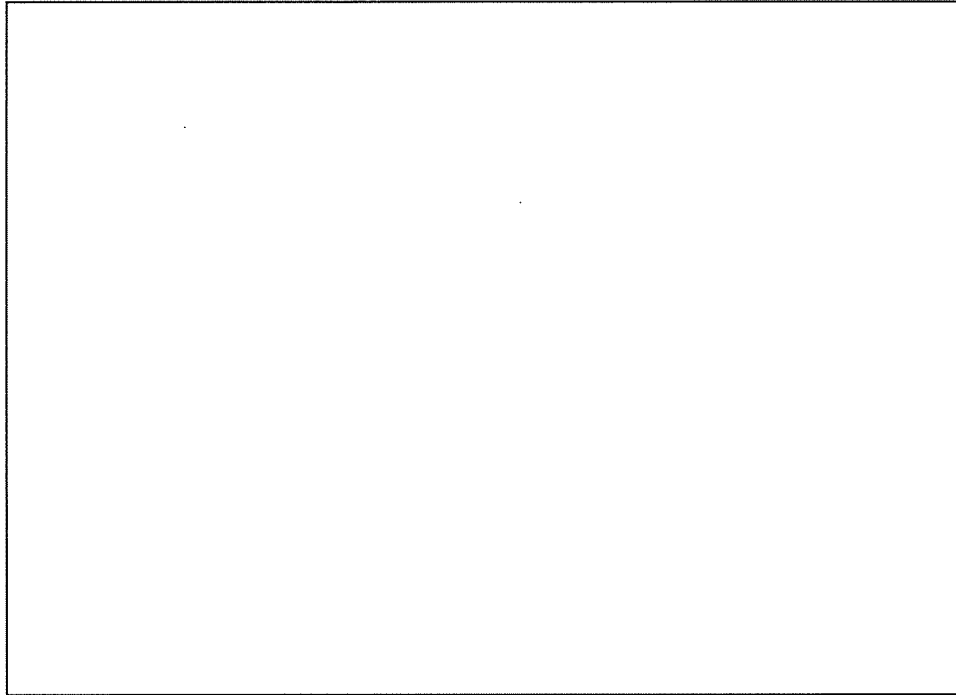
- ▶ [10.1-設21][18.2-設10] オーバーフローを防止するため、{26}循環貯槽液位高インターロックを設置する（{26}循環貯槽液位高インターロックにより停止する（循環ポンプは次回以降申請））。

液体状のウランを取り扱う貯槽で上部に開口部がある場合は、オーバーフローによる漏えいを防止するため、液位計を設置する。検出端は槽内液位が槽高さを超えないように槽上面に対して設置し、液位上昇を検知した場合、連動して送り先槽への液移送を停止するインターロックを設置する。

具体的には循環貯槽の場合、液受槽から循環ポンプにより循環貯槽へ送液している（添説設6-15図）。循環貯槽にはオーバーフロー防止用の液位計を槽上面から約50mmの位置に設置し、液位上昇を検知した場合、循環ポンプを自動停止する（添説設6-15図青線部）。

これにより循環貯槽において液体状のウランが漏えいする恐れはない。

設置するインターロック設定値の考え方は添付説明書一設6付録4に示すとおりである。



添説設 6-15 図 液位高インターロック検出端設置位置とインターロック動作の概要

また、放射性液体廃棄物の貯槽で上部に開口部があり、オーバーフローによる漏えいを防止する機器としては、不純物分析設備の廃水タンクがある。

なお、以下の記述で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

不純物分析設備 廃水タンク

該当設備 {907}

▶ 液位を監視する。(保安規定)

放射性液体廃棄物を貯留する廃水タンクの液位は操作中、作業員がオーバーフローする恐れのない液位*1に維持されていることを確認することによりオーバーフローによる漏えいを防止するため、放射性液体廃棄物が漏えいする恐れはない。

また、休業時は操業しないことから、放射性液体廃棄物が廃水タンクから漏えいする恐れはない。

廃水タンクの液位点検については保安規定で規定する。

*1 オーバーフローの恐れがない液位としての廃水タンク上部から液面までの距離(空き容積)は約120mm(容積約94L)とする。これは廃水口から廃水タンクまでの配管中の残留液約47Lの2倍相当を考慮したものである。

UO₂F₂ 溶液を取り扱う設備・機器は、漏えい時に UO₂F₂ 溶液が飛散して運転員へ被液しないようにするとともに、漏えいした UO₂F₂ 溶液から揮発する HF の拡散を緩和するため、飛散防止カバーを設置するとともに、局所排気系統へ接続する設計とする。(4-19)

今回の申請設備において、UO₂F₂ 溶液を取り扱う機器とその被液及び拡散緩和対策を添説設 6-11 表に示す。

なお、以下の記述及び表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設 6-11 表 UO₂F₂ 溶液を取り扱う機器に設置する飛散防止カバー

施設区分	設備名称	機器名		被液及び拡散緩和対策	備考
化学 処理 施設	UF ₆ ・ 蒸発 加水 分解 設備	循環貯槽(1)	貯槽本体	UF ₆ フードボックス (配管養生部を含む)	{22}
		循環貯槽(2)	送液ポンプ		
			UO ₂ F ₂ 溶液配管		
			加水分解装置 (エジェクタ)		
		熱交換器 (循環貯槽) (1)		保温カバー	{28}
		熱交換器 (循環貯槽) (2)			

▶ [10.1-設 22] UO₂F₂ 溶液を取り扱う設備・機器は UO₂F₂ 飛散防止カバーを設置する。

▶ [10.1-設 22] 保温カバーにより UO₂F₂ 溶液の飛散を防止する。

▶ [10.1-設 4] 排気は局所排気系統に接続する。

UO₂F₂ 溶液を取り扱い開口部がある循環貯槽(1)(2)は液受け入れ時に槽内空気を排気したり、蒸気圧分相当の HF を含む排気を UF₆ フードボックス内に拡散するのを防止する点から、循環貯槽(1)(2)は難燃性材料の配管で局所排気系統に接続して槽内雰囲気常時、気体廃棄設備へ排気し、運転員の HF 雰囲気接触低減を図る。

また、循環貯槽(1)(2)と局所排気系統の接続部にはフィルタを設置して、ウラン含有ミストの捕集を図る。

一方、循環貯槽(1)(2)の破損を想定し、UO₂F₂ 溶液が漏えい時に飛散して運転員が被液しないようにするとともに、漏えいした UO₂F₂ 溶液から揮発する HF の拡散を緩和するため、局所排気系統に接続する UO₂F₂ 飛散防止カバーを設置する。

今回の申請範囲においては、

▶ 循環貯槽(1)(2)、加水分解装置(エジェクタ)(1)(2)及びその配管系統は、UF₆ フードボックス及び UO₂F₂ 配管用防護カバー内に収納(共用)するとともに、UF₆ フードボックス及び UO₂F₂ 配管用防護カバーは局所排気系統へ接続する。

▶ 熱交換器(循環貯槽)の1次バウンダリ部(熱交換器本体、ウラン溶液閉じ込め部)をカバーする保温カバーに UO₂F₂ 飛散防止カバーの機能を持たせる。

1次バウンダリを喪失したとしても、容易にUO₂F₂溶液が室内へ漏えい、拡散することはない構造とすることから、事業許可の方針に変更はない。

保温カバーは飛散防止カバー（次回以降申請）を介して局所排気系統に接続する。

ことにより、UO₂F₂溶液が漏えい時に飛散して運転員が被液しないようにするとともに、漏えいしたUO₂F₂溶液から揮発するHFの拡散を緩和する。

なお、循環貯槽(1)(2)、加水分解装置（エジェクタ）(1)(2)で漏えいした場合は、堰（循環貯槽）で回収するが、UO₂F₂配管及び熱交換器内で漏えいした場合の対応は以下の通りである。

原料倉庫内のUO₂F₂配管用防護カバー内で漏れ出したUO₂F₂溶液は、UO₂F₂漏液トレイを介して、堰（循環貯槽）へ排出する。

また、熱交換器（循環貯槽）(1)(2)内で漏れ出したUO₂F₂溶液は、ドリフトレイを介して、堰（UO₂F₂貯槽）（次回以降申請）へ排出する。

4. 3. 2 異常時に対する閉じ込め機能

液体状の放射性物質を取り扱う施設では、当該放射性物質が施設外へ漏えいするおそれがある場合には、想定される漏えい量を考慮し、施設外への漏えいを防止するための堰又は段差を設け、漏えいを検知するために堰漏水検知警報設備を設けることとする。(4-17)

今回の申請設備において、液体状の放射性物質を取り扱う機器とその漏えいに備えて設置する堰との関係を添説設 6-12 表と添説設 6-13 表に示す。

溢水源として考慮する対象機器は耐震重要度分類第 2 類、第 3 類機器の破損により生じる溢水を想定する（事業許可 p (添 5) -89 参照）。

今回申請する設備では液体状の放射性物質を取り扱う機器のうち、気体廃棄設備 (1) のスクラバ（原料倉庫局所排気系統）と耐震重要度分類第 3 類となる不純物分析設備の廃水タンクの破損を施設外への漏えい防止の対象とする。

一方、液体状の放射性物質を取り扱い、耐震重要度分類第 1 類で設計する UF₆ 蒸発・加水分解設備の循環貯槽 (1) (2) や熱交換器（循環貯槽）(1) (2) は、事故や誤操作による液体状の放射性物質の漏えい拡大防止の観点から堰と漏水検知器を設置する。

添説設 6-12 表 ウラン溶液を取り扱う機器に対して設置する堰

施設区分	機器名	カバーエリア		堰高さ (制限値)	備考
		カバー機器	耐震 重要度 分類		
化学 処理 施設	堰 (循環貯槽)	循環貯槽 (1) 循環貯槽 (2)	第 1 類	12.7cm 以下	{24}
	堰 (UO ₂ F ₂ 貯槽) (1) ※	熱交換器 (循環貯槽) (1)	第 1 類	12.7cm 以下	{32}
		UO ₂ F ₂ 貯槽 (1) -A ※	第 1 類		
		UO ₂ F ₂ 貯槽 (1) -B ※			
		UO ₂ F ₂ 貯槽 (1) -C ※			
		液受槽 (1) ※	第 1 類		
		調液貯槽 (1) -A ※	第 1 類		
		調液貯槽 (1) -B ※			
	堰 (UO ₂ F ₂ 貯槽) (2) ※	熱交換器 (循環貯槽) (2)	第 1 類	12.7cm 以下	
		UO ₂ F ₂ 貯槽 (2) -A ※	第 1 類		
		UO ₂ F ₂ 貯槽 (2) -B ※			
		UO ₂ F ₂ 貯槽 (2) -C ※			
		液受槽 (2) ※	第 1 類		
		調液貯槽 (2) -A ※	第 1 類		
調液貯槽 (2) -B ※					
	熱交換器 (UO ₂ F ₂ 貯槽) (2) ※	第 1 類			

※次回以降申請

添説設 6-13 表 内部溢水止水用の堰により漏えい拡大を防止する機器

施設区分	機器名	カバー機器	耐震 重要度 分類	備考
放射性廃棄物の 廃棄施設	堰 (内部溢水止水用)	スクラバ (原料倉庫局所排気系統)	第 2 類	{834}
その他の加工施 設	堰 (内部溢水止水用)	廃水タンク	第 3 類	{853}

添説設 6-12 表に示す機器には、ウラン溶液が施設外へ漏えいするのを防止するため、堰を設置する。設置する堰の概要を添説設 6-18 図に示す。

以下の記述の中及び表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [10.1-設 28]漏えい拡大防止用の堰（堰漏水検知警報設備付き）を設置する。

➤ [18.1-設 4]堰には漏水検知器を設置する。

添説設 6-12 表に示すウラン溶液を取り扱う機器における漏えいに対して、漏えい拡大防止の観点から堰を設置する。

設置する堰の高さは、

① 取り扱うウラン溶液の種類に応じて設定する核的制限値（厚み）以下（添説設 6-18 図青色部）

② 堰の必要面積は漏えい拡大防止を図るエリア内にあるウラン溶液を内包する全機器の有効容量（有効容量とは、通常時の操業中に保有しうる最大液量）分の漏えいを上記①の高さ制限下で順守できる面積

となるように設定する。

また、堰には漏えいを検知するために漏水検知器を設置する。

堰の必要容量の必要数値設定に関わる詳細については、添付説明書一設 6 付録 8 に示す。

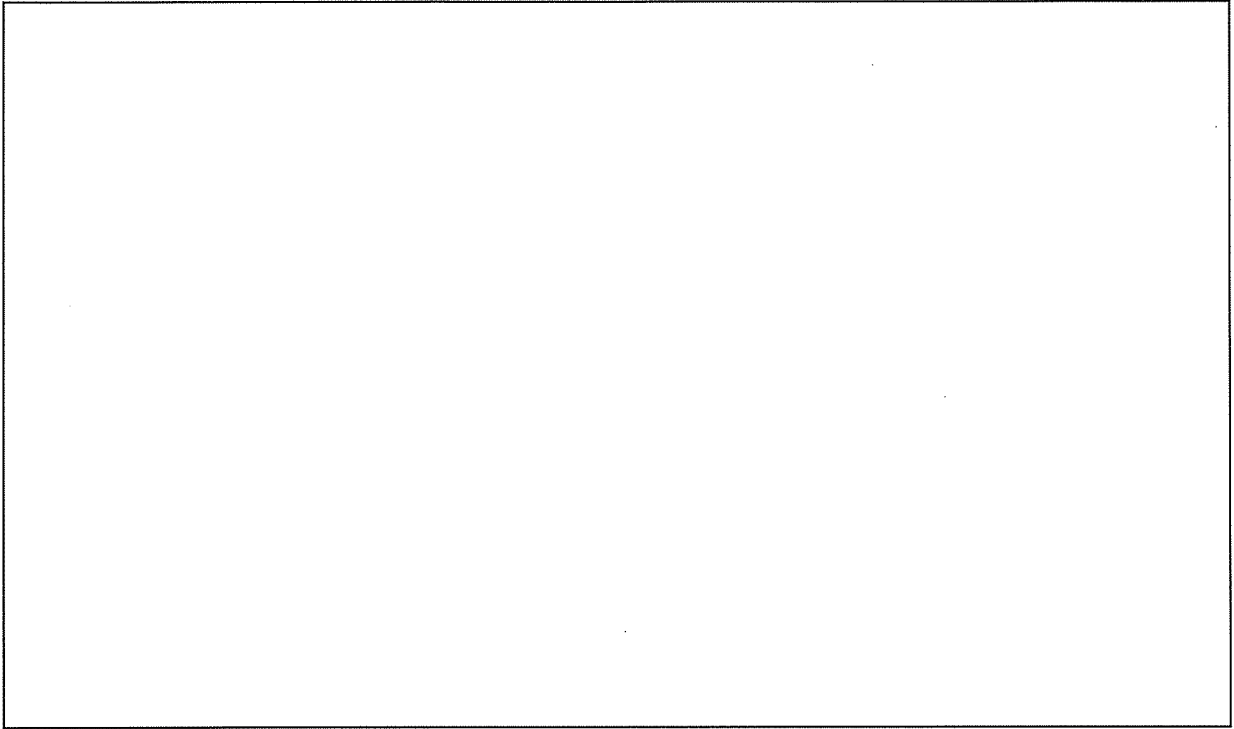
漏水検知器の設置高さは、堰高さよりも低い位置で、堰内の清掃水や自然発生する結露水（約 20mm の液高さを想定）などにより誤動作するのを防止し、一方で漏えいを早期に検知するために床面より約 50mm の位置に検出端を設定する。

なお、熱交換器（循環貯槽）における液体状の放射性物質漏えいをカバーする堰と漏水検知器は次回以降申請である。

堰（循環貯槽）は UF₆ フードボックスと一体構造であるが、漏えいが起こってもその漏えい液厚みが 100mm を超えない（堰の核的制限値は厚み 127mm 以下）ように堰（循環貯槽）の面積を設定する。

➤ [10.1-設 8]耐腐食性材料を使用する。

添説設 6-12 表に示す機器は、液体状のウランの漏えいを防止するため、接液部は収納するウランの形態に対して耐腐食性を有する塗料を主材料に塗布する。これにより腐食でウランが堰外へ漏えいする恐れはない。



添説設 6-18 図 施設外への漏えいを防止するために設置する堰の概要

添説設 6-13 表に示す機器は放射性液体廃棄物が施設外へ漏えいするのを防止するため、堰を設置する。

以下の記述の中及び表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [7.1-建 5(4次)]第 1 種管理区域から第 2 種管理区域または非管理区域への溢水の漏えいを防止するため、工場棟転換工場の 1 階、及び付属建物除染室・分析室には高さ 160mm 以上の緊急対策設備 (3) (堰 (内部溢水止水用)) を設置する ({852} {834} 堰 (内部溢水止水用) は原規規発第 2003279 号で認可済)。

➤ [13.1-建 1(4次)]液体状の放射性物質を収納する機器には、施設外への漏えいを防止するための堰に漏水検知警報設備(次回以降申請)を設置する。(三原燃第 19-0801 号の 13.1-建 1 参照) 該当設備 {618、907}

気体廃棄設備(1)のスクラバ(原料倉庫局所排気系統)及び不純物分析設備の廃水タンクにおける漏えいに対しては、転換工場及び付属建物に設置する堰(内部溢水止水用、{834}及び{852})と漏水検知器({835}及び{853})を共用する。なお、堰に設置する漏水検知器は次回以降申請する。

気体廃棄設備(1)のスクラバ(原料倉庫局所排気系統)及び不純物分析設備の廃水タンクがそれぞれ設置される工場棟転換工場原料倉庫及び付属建物除染室・分析室の溢水評価結果の詳細を三原燃第 19-0801 号の添付説明書-建 6 に示す。

添付説明書-建 6 付録 1 で示す通り気体廃棄設備(1)のスクラバ(原料倉庫局所排気系統)からの溢水量は溢水防護区画 1 の設備・機器からの漏えい量 4m^3 の一部(スクラバ(容量 1.9m^3) 2 基)として見込んで評価している。

一方、不純物分析設備の廃水タンクの容量は少量 ($\leq 1\text{m}^3$) であり、溢水防護区画 2 の溢水水位の裕度 (2.6mm^*1) の範囲内で設計している。具体的には、廃水タンクの容量は $\leq 1\text{m}^3$ であることから、本設備による溢水防護区画 2 の水位への影響は 0.5mm 未満 *1 となり上記裕度の範囲となる。

* 1 廃水タンクを設置する溢水防護区画 2 の溢水水位の裕度

4 次申請に記載の溢水水位 *2 : 70mm (事業許可では 80mm)

流入量合計による溢水水位(防護区画への流入量の合計/滞留面積) *2
: $138.8\text{m}^3 \div 2060\text{m}^2 = 67.4\text{mm}$

溢水水位の裕度 : $70\text{mm} - 67.4\text{mm} = 2.6\text{mm}$

廃水タンクによる溢水防護区画 2 の水位への影響

: $1\text{m}^3 \div 2060\text{m}^2 = 0.49\text{mm}$

* 2 4 次申請書添付説明書-建 6 付録 1

第1種管理区域から第2種管理区域又は非管理区域への溢水の漏えいを防止する設計とする。

第1種管理区域の境界から外部へ溢水が流入出しない設計とする。(11-2)

- [7.1-建5(4次)]原料倉庫外への溢水の拡大防止のため、堰を設置する。
スクラバからの溢水は、建物に設置された堰により原料倉庫内に閉じ込める。
スクラバ及び堰の配置は図ト配-1に記載する。堰については原規規発第2003279号で認可済であり、漏水検知警報設備は次回以降申請する。

4. 4. ウランを限定された区域に閉じ込める機能（第十条全般）

気体又は液体の放射性物質を内包する設備・機器については逆止弁、液封等を設け、放射性物質を内包しない設備・機器への逆流による拡散を防止する設計とする。また、換気設備においても同様とする。（4-22）

今回の申請設備において、気体、液体又は粉体の放射性物質、放射性液体廃棄物を内包する機器と逆流拡散防止方法を添説設 6-14 表に示す。また、UF₆蒸発・加水分解設備、粉碎・充填設備における気体又は粉体の放射性物質を内包する設備・機器に供給する非放射性気体への逆流防止対策を添説設 6-19 図に示す。

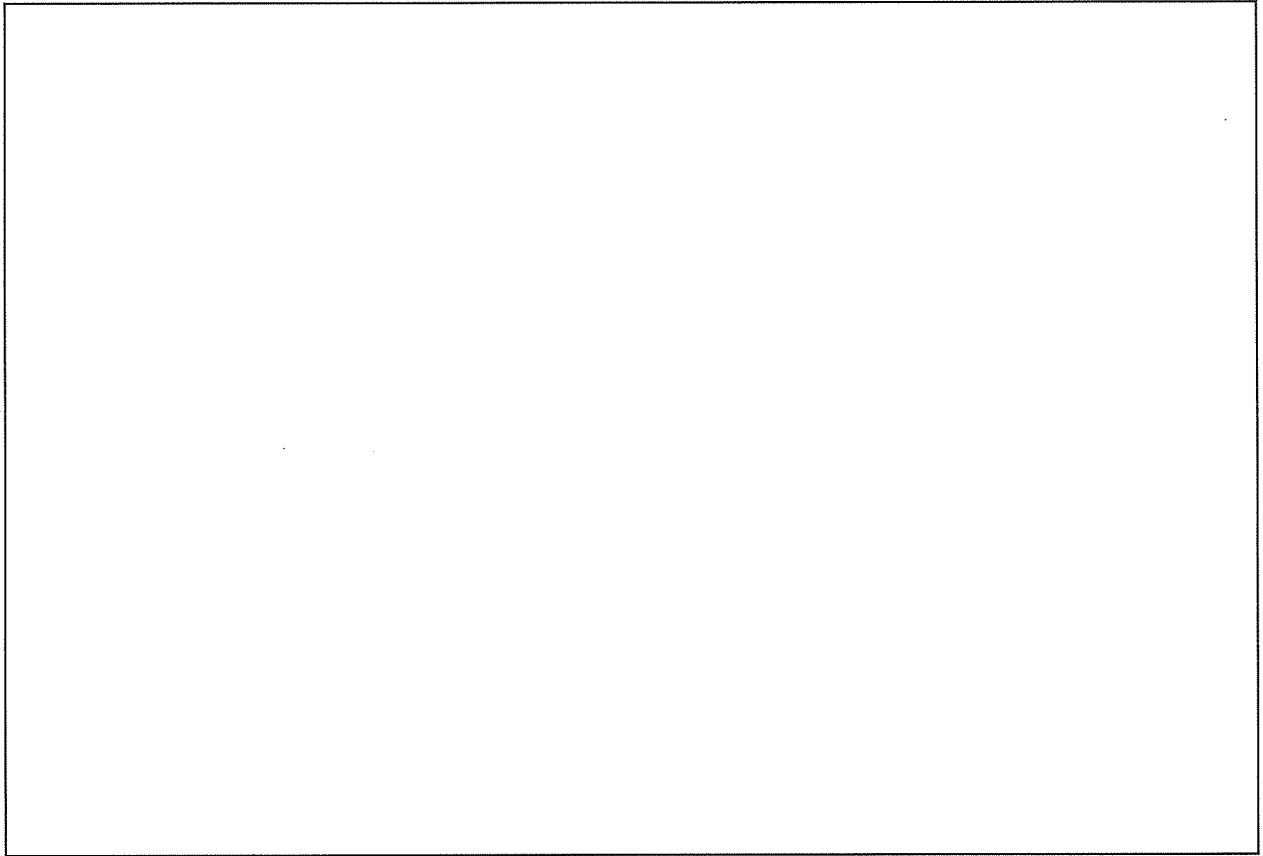
なお、以降の記述並びに表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設 6-14 表 放射性物質を内包しない機器への逆流拡散を防止する機器

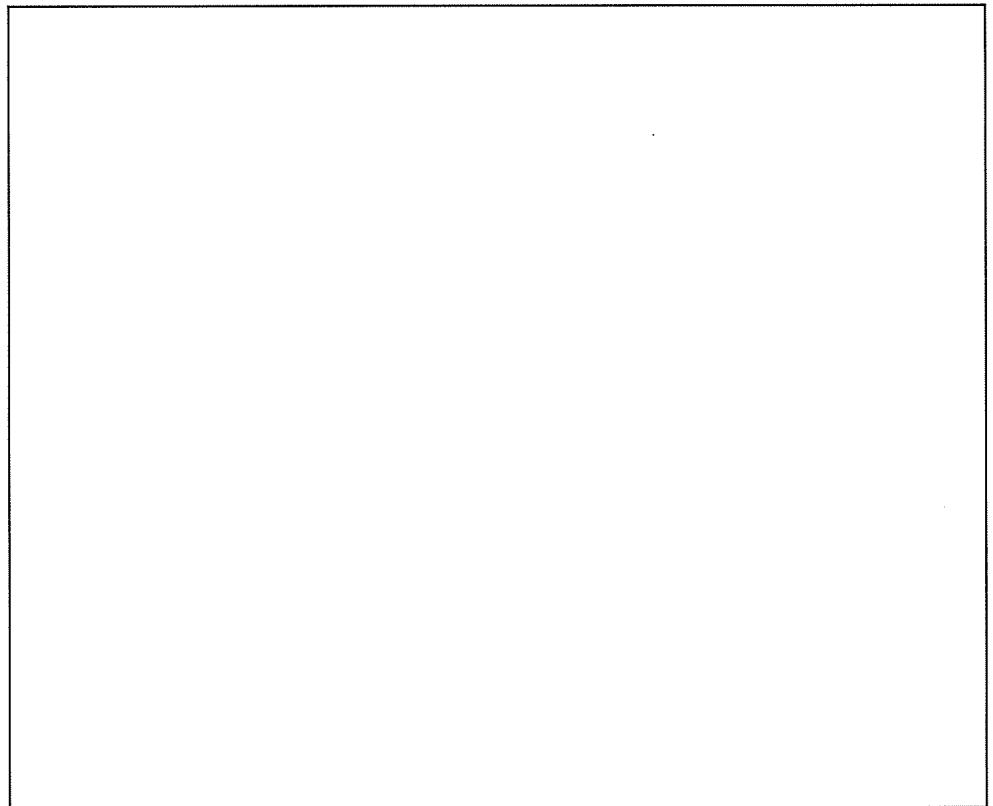
施設区分	設備名称	機器名	供給流体	用途	逆流拡散防止方法	備考	
化学処理施設	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	蒸発器(1)-A 蒸発器(1)-B 蒸発器(2)-A 蒸発器(2)-B	窒素ガス配管系統	窒素	▶UF ₆ 通気前のUF ₆ 配管内漏えい確認用 ▶UF ₆ 通気終了後の配管内掃気用	逆止弁①	{1}
	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	コールドトラップ(1) コールドトラップ(2)	窒素ガス配管系統	窒素		逆止弁②	{14}
	UF ₆ 蒸発・加水分解設備	コールドトラップ(小)(1) コールドトラップ(小)(2)	窒素ガス配管系統	窒素			{17}
	粉碎・充填設備	UO ₂ 受けホッパ(1)(2)	窒素ガス配管系統	窒素	▶酸化防止用	逆止弁③	{110}
	粉碎・充填設備	充填装置(1)(2)	窒素ガス配管系統	窒素		逆止弁④	{115}

- [10.1-設38] 気体ウランの逆流を防止するため、窒素配管に逆止弁を設置する。
 - ・ UF₆蒸発・加水分解設備ではUF₆配管にUF₆を通気する前に漏えい確認を目的に窒素パージを行う。
 - また、UF₆の通気完了後にUF₆配管内に残留している可能性のあるUF₆の掃気を目的に窒素パージを行う。
- UF₆配管と窒素配管は直接接続する構造である。運転上、UF₆と窒素を同時に供給することはないが、窒素配管には逆止弁を設置し、UF₆供給中（窒素供給は停止中）の逆流による窒素配管への拡散を防止する（添説設6-19図(a)青色部参照）。

- [10.1-設38] 粉体ウランの逆流を防止するため、窒素配管に逆止弁を設置する。
 - UO₂受けホッパ(1)(2)、充填装置(1)(2)にはUO₂粉末の酸化防止を目的に窒素パージを行う。窒素配管には逆止弁を設置し、UO₂受けホッパ(1)(2)、充填装置(1)(2)内雰囲気逆流による窒素配管への拡散を防止する（添説設6-19図(b)青色部参照）。



(a) UF_6 蒸発・加水分解設備



添説設 6-19 図 非放射性気体への逆流防止対策

容器等の落下を防止する設計 (4-32)

今回の申請範囲で対象となる機器とその落下防止対策（容器・サンプルの保持含む）を添説設 6-15 表に示す。また、落下防止設計の考え方を添付説明書-設 6-1 に示す。

なお、表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設 6-15 表 落下防止（容器・サンプルの保持）対策を図る機器とその対策方法

施設区分	設備名称	機器名	保持（落下防止）対策方法	備考	
その他の加工施設	分析設備	表面電離型質量分析装置(1)	本体内に収納する。	{906}	
	同位体分析設備	表面電離型質量分析装置(2)			
	分析設備 不純物分析設備	分析設備 不純物分析設備	固体発光分光分析装置	サンプルを保持する。	{907}
			ICP 質量分析装置		
			ICP 発光分光分析装置		
			自動水分分析装置		
			炭素・硫黄同時分析装置		
			自動ハロゲン分析装置		
			α線スペクトル分析装置		
	サンプル保管庫				
分析設備 物性測定設備	分析設備 物性測定設備	比表面積測定装置		{908}	
		高密度測定装置			
		平均粒径測定装置			
放射性廃棄物の廃棄施設	保管廃棄設備	ドラム缶ウラン量測定装置	ドラム缶ガイド	{826}	

➤ [10.1-設 5]核燃料物質の落下を防止する。

該当設備 {906、907、908}

ウラン分析を行う分析装置はサンプルを本体内に収納する構造、サンプルを保持できる構造であることから、分析中にサンプルが落下する恐れはない。また、不純物分析設備のサンプル保管庫もサンプルを保持できる構造であることから、サンプル保管中にサンプルがサンプル保管庫外に落下する恐れはない。

なお、分析装置の外力（地震力）に対するサンプル保持の健全性（サンプルが床に落ちない）は人の管理により行う。また、人による作業となる分析サンプルの前処理、後処理に関わる作業に対するサンプル保持の健全性（サンプルが床に落ちない）も人の管理により行う。

人の管理によるサンプルの保持については保安規定で規定する。

該当設備 {826}

ドラム缶ウラン量測定装置では固体廃棄物を収納したドラム缶を床に落とさない構造とする。

ドラム缶ウラン量測定装置で取り扱うドラム缶は高さが幅に比べて大きいことから、外力（地震力）に対する転倒防止と水平移動防止設計に基づく専用の収納枠（ドラム缶ガイド）を設置するため、ドラム缶が床に落下する恐れはない。

専用の収納枠（ドラム缶ガイド）はその高さ、厚さ、材料により転倒防止、水平方向移動防止を図る。

4. 5. 第1種管理区域の閉じ込めに関わる機能（第十条6、第二十条1、4）

<p>第1種管理区域の室内空気は、ウラン粉末が室内に漏えいした場合に備え、高性能エアフィルタ、排気ファン及びダクトから構成される室内排気系統により排気し、空気中のウランを除去する設計とする。なお、排気系統の一部については、高性能エアフィルタにより処理して部屋へ再循環給気を行う系統を設ける設計とする。(4-25)</p>
<p>設計基準事故として想定している閉じ込め機能の不全においても、第1種管理区域は、局所排気系統及び室内排気系統により負圧を維持する設計とする</p> <p>第1種管理区域は、気体廃棄設備によって負圧に維持することにより閉じ込めを管理する。事故時においても、ウランの飛散するおそれのある部屋は、当該区域の室内の圧力を外気に対して負圧に維持するように可能な限り管理する。</p> <p>第1種管理区域は、換気設備によって負圧に維持することにより閉じ込めを管理する。事故時においても、ウランの飛散するおそれのある部屋は、当該区域の室内の圧力を外気に対して19.6Pa以上の負圧に維持するように可能な限り管理する。(4-29)</p>
<p>通常時において、第1種管理区域からの排気を処理するため、気体廃棄物の廃棄設備である排気ダクトを通して高性能エアフィルタによって処理後、排気口から大気へ放出する設計とする。気体廃棄物は、プレフィルタ、高性能エアフィルタ等を通して排気中の放射性物質を除去したのち排気口から屋外に排出する。(17-1)</p>
<p>室内排気系の排気は、排気ダクトを通して高性能エアフィルタにより処理して排気塔より屋外へ排出する設計とする。なお、一部については高性能エアフィルタにより処理して部屋へ再循環する設計とする。(31)</p> <p>気体廃棄物は、気体廃棄設備を通して排気中の放射性物質を除去したのち排気口から屋外に排出する。(236) (17-3)</p>
<p>局所排気系の排気は、排気ダクトを通して高性能エアフィルタにより処理して排気塔より屋外へ排出する設計とする。(31)</p> <p>気体廃棄物は、気体廃棄設備を通して排気中の放射性物質を除去したのち排気口から屋外に排出する。(236) (17-4)</p>
<p>気体廃棄物の廃棄設備は、第1種管理区域で発生する気体廃棄物を処理することが十分に可能な能力を有するものとする。(17-13)</p>

今回の申請設備において、室内給気系の給気経路確保、室内排気系及び局所排気系の排気経路の確保に該当する機器は給気ダクト・ダンパ、排気ダクト・ダンパ（部屋、設備～高性能エアフィルタ）である。

気体廃棄設備(1)とUF₆蒸発・加水分解設備との取り合いを添説設6-20図に示す。また、今回の気体廃棄設備(1)の申請範囲を青色部で示す。

なお、上述の{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [23.1-設6]給気ファンにつながるダクト・ダンパに接続し、給気経路を確保する。

原料倉庫室内へ給気を行う給気ダクトは、給気ファンに接続するダクト・ダンパに接続して、屋外からの空気取入口からの給気経路を確保する。

- [23.1-設4]高性能エアフィルタにつながるダクト・ダンパに接続し、排気経路を確保する。
(高性能エアフィルタは次回以降申請)

なお、気体廃棄設備のダクト材料の選定は、基本的に以下の方針とする。

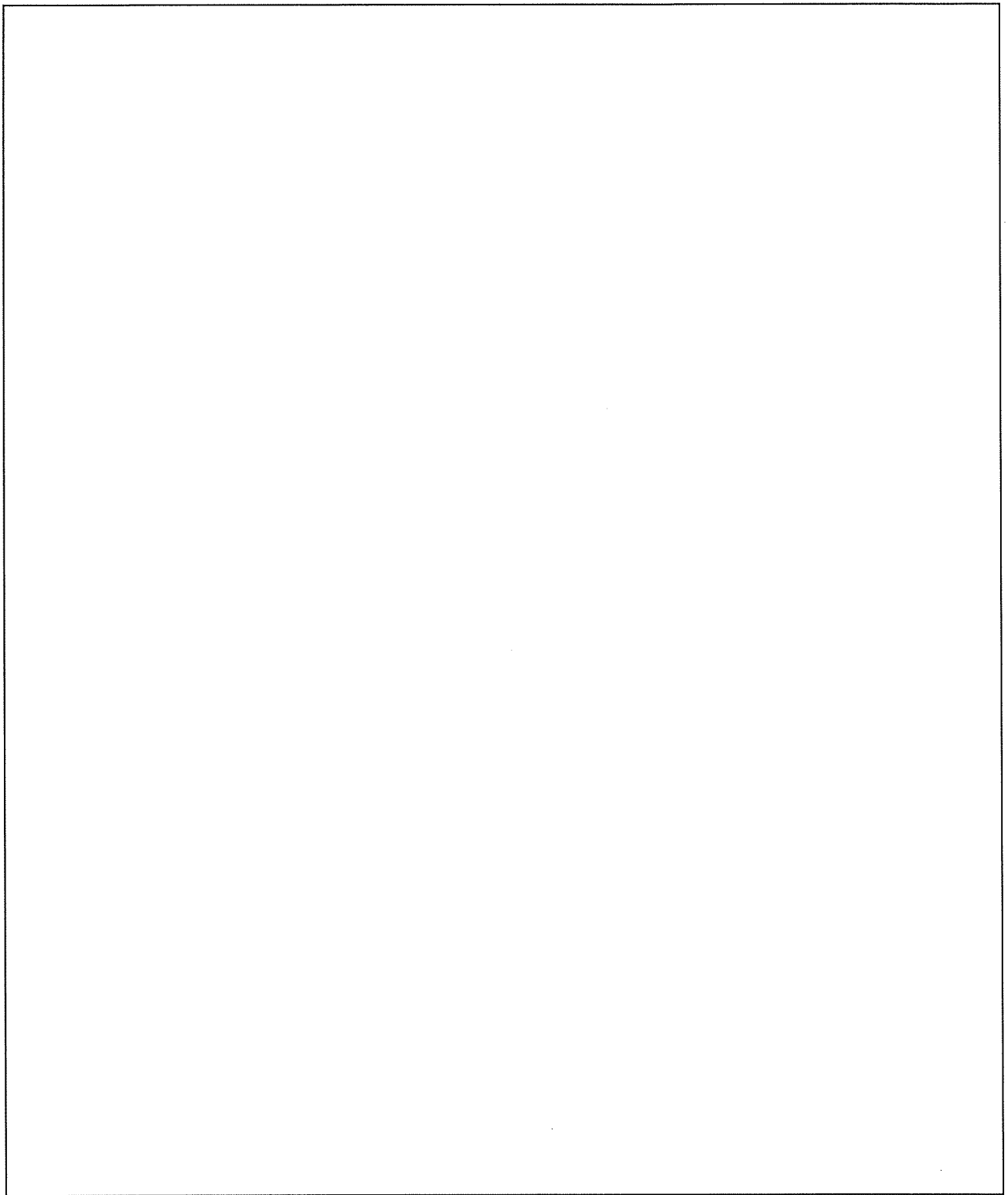
- ・ダクトの材料には基本的に[]を使用する。
- ・耐食性を考慮する場合は、[]を使用する。
- ・耐食性に加え、特殊な要求がある場合は必要に応じ[]を使用する。
- ・耐食性に加え、耐震性等の構造要求がある場合は[]を使用する。

HFに対する耐食性を考慮する必要がある排気系統には、[]を使用する。

また、スクラバ内のダクト及びスクラバからの排気ダクトは、[10.1-設8]及び[20.1-設75]で述べたHFに耐食性に加え耐震性を考慮した構造とする必要があるため、強度を高める[]製ダクトとし、HFに対する耐食性に対しては内面を[]としている。

- [20.1-設80]UF₆の漏えいに対して、排気中のUF₆を処理するスクラバと高性能エアフィルタ2段(2段目は耐HF性)への排気経路を確保する。(高性能エアフィルタ2段(2段目は耐HF性)は次回以降申請)

原料倉庫室内、原料倉庫内の設備・機器を排気するダクトは屋外への排気口まで、高性能エアフィルタ、高性能エアフィルタに接続するダクト・ダンパに接続して、原料倉庫室内、原料倉庫内の設備・機器から排気する気流ラインを確保する。



添説設6-20図 気体廃棄設備(1)とUF₆蒸発・加水分解設備との取り合い

局所排気系統については、外部電源が喪失した場合には非常用ディーゼル発電機による給電を行い、第1種管理区域の負圧維持ができる設計とする。(4-31)

今回の申請設備では非常用ディーゼル発電機が該当する。非常用ディーゼル発電機の給電容量と第1種管理区域の負圧維持に必要な排気ファンの駆動に必要な負荷容量を図り系-2に示す。

▶ [10.1-設41]第1種管理区域の負圧維持に必要な給電量を有する非常用ディーゼル発電機を設置する。

加工施設第1種管理区域の負圧維持に必要な排気ファンの給電量に対して、1基に必要な給電量を十分カバーする非常用ディーゼル発電機2基(1基は予備機)を設置する。これにより、外部電源喪失時も加工施設第1種管理区域の負圧は維持できる。

なお、加工施設第1種管理区域の負圧維持に必要な排気ファンは次回以降申請する。

フードボックスにつながる局所排気系統(原料倉庫局所排気系統)は、今回申請範囲の後段に高性能エアフィルタと排気ファンを有している。原料倉庫局所排気系統は、通常運転時はフードボックス内の放射性気体廃棄物を、高性能エアフィルタを通して排気塔から排出し、UF₆漏えい時には高性能エアフィルタ前の経路を切り替えてUF₆をスクラバで処理した後、高性能エアフィルタを通して排気塔から排出するものとなっている。

これに対し、外部電源喪失時には、加工施設第1種管理区域の負圧を維持するために、当該の排気ファンを含む加工施設第1種管理区域の負圧維持に必要な排気ファンが非常用ディーゼル発電機からの給電を受けて起動する。この時に、給気ファンはすべて停止していることから、排気ファンにより加工施設第1種管理区域の負圧に保たれることとなる。なお、非常用ディーゼル発電機にて起動する排気ファンは次回以降申請する。

UF₆漏えい時には上記に加えてスクラバも運転しており、外部電源を喪失した場合はこれらの排気ファンに加えて、4.1.2項[10.1-設50][20.1-設84]にて説明の通り、スクラバ(スクラバポンプ、スクラバ排風機)にも、非常用ディーゼル発電機により給電され、運転が維持される。

落下防止設計について

1. 概要

本資料は、ウランを収納した容器を取り扱う、または搬送、貯蔵する設備・機器の落下防止について説明するものである。

2. 基本方針

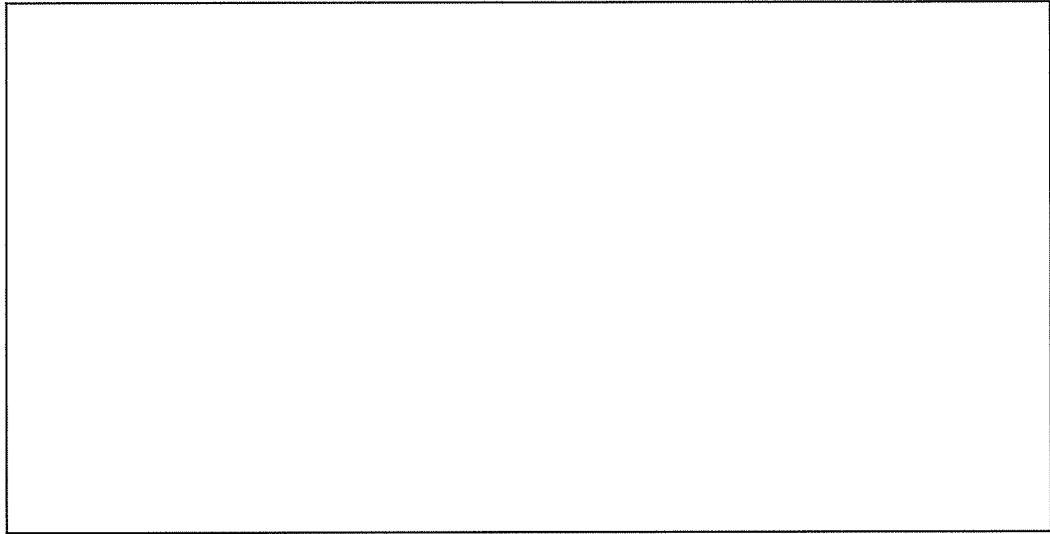
{826} ドラム缶ウラン量測定装置落下防止設計は取り扱う対象の形状を考慮して以下の方針により行う。

{826} ドラム缶ウラン量測定装置のように落下防止をすべき容器の縦横比により水平方向の加速度を想定しても転倒することはないため¹、外力（地震力）による水平方向の移動を防止するためのストッパーまたはガイドを設置する。

3. 設計

{826} ドラム缶ウラン量測定装置の場合、落下防止のためにドラム缶ガイドを設ける（以下ガイドと略）。のガイドに対して、ガイドの強度を確保するために板厚の下限値はmm以上とする。材料の要求に加え、収納物であるドラム缶の下端には高さ方向に約mm未満の範囲に湾曲部があるため（添設6-1-1図参照）、ガイドが十分ドラム缶を保持できるように高さの下限値はmm以上とする。また、ドラム缶高さは約mmと高いため、ガイドがドラム缶から受ける水平方向荷重によるモーメントに対してガイドの強度が確保できるようにガイド高さの上限値はmm以下とする。

¹ 評価対象機器の耐震重要度分類に応じて加速度を設定し、転倒モーメント<安定モーメントであれば転倒しない



添説設6-1-1図 ドラム缶ウラン量測定装置のドラム缶の落下防止設計

過加熱防止・温度高・圧力高インターロック設定値の考え方

以下説明において機能・性能に係る事項は次回以降申請とする。

対象とするインターロック

- [10.1一設 6][18.2一設 2]過加熱を防止するため、{3}シリンダ過加熱防止インターロックを設置する。
- [10.1一設 6][18.2一設 2]過加熱を防止するため、{15}コールドトラップ温度高インターロックを設置する。
- [10.1一設 6][18.2一設 2]過加熱を防止するため、{18}コールドトラップ（小）温度高インターロックを設置する。
- [10.1一設 34][18.2一設 7]過加熱を防止するため、{4}シリンダ圧力高インターロックを設置する。
- [10.1一設 34][18.2一設 7]過加熱を防止するため、{16}コールドトラップ圧力高インターロックを設置する。
- [10.1一設 34][18.2一設 7]過加熱を防止するため、{19}コールドトラップ（小）圧力高インターロックを設置する。

閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げた UF₆ を加熱する機器である蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）に関する上記インターロック設定値の考え方を以下に示す。

蒸発器、コールドトラップまたはコールドトラップ（小）でインプット物質として取り扱うウランは固体状の UF₆ である。蒸発器では UF₆ シリンダに収納された UF₆、コールドトラップまたはコールドトラップ（小）では中に直接収納された UF₆ を加熱してガス化し、循環貯槽（加水分解装置部）、コールドトラップ^注に供給する。

注：コールドトラップ（小）を加熱してガス化し、コールドトラップへ供給する。

蒸発器、コールドトラップまたはコールドトラップ（小）の温度に対するインターロックの設定値は以下の通りである。

- ▶ 蒸発器は通常運転時、100℃～106℃の温度範囲で加熱し、UF₆ のガス化処理をする。これに対して、蒸発器加熱制御の上限は、以下①、②を比較して安全側の設定となる②とする。
 - ① 蒸発器に装荷する UF₆ シリンダの熱的制限値 121℃を守る必要があることから、UF₆ シリンダの熱的制限値 121℃に対して下位側
 - ② 蒸発器の最高使用圧力は 0.49MPaG であり、安全弁が作動する恐れがある圧力 0.44MPaG 以下となる温度 110℃*1 に対して下位側
 よって、シリンダ過加熱防止インターロック設定値は 110℃以下とする。

これを踏まえたインターロックセット値の設定範囲は、インターロック設定値 110℃の下位側、運転上の管理値上限温度 106℃より上位側で、計器誤差、動作裕度を十分考慮し、106℃～108℃とする。

なお、設計基準事故『UF₆ガスの漏えい』では UF₆ を 108℃(通常運転温度上限)まで加熱した場合の UF₆ 運転圧力 0.407MPaG で UF₆ 配管から漏えいすることを想定しており、同観点からもシリンダ過加熱防止インターロックセット値の設定範囲の上限は 108℃以下とすることと整合している。

*1：UF₆の平衡状態における蒸気圧と温度の相関については、以下の関係*2がある。

$$\text{Log}_{10}P = 6.99464 - \frac{1126.288}{(t + 221.963)}$$

P：UF₆の平衡蒸気圧 (mmHg) t：UF₆の温度 (℃)

ただし、tは 64℃<t<116℃の範囲

UF₆が蒸発器内で漏えいした場合、蒸発器による閉じ込めを期待する。よって、UF₆蒸気圧は、蒸発器の安全弁が作動する恐れがある圧力 0.44MPaG 以下に維持する必要がある。UF₆蒸気圧が 0.44MPaG となる温度は、前述の式より、110.6℃であるので、その下位側の 110℃が蒸発器による2次閉じ込めを期待できる上限温度となる。

- ▶ コールドトラップは通常運転時、100℃～120℃の温度範囲で加熱し、UF₆のガス化处理をする。これに対して、コールドトラップの最高使用圧力は 0.98MPaG であり、UF₆圧力 0.81MPaG (UF₆温度 134℃*1) で安全弁が作動する恐れがあることから、コールドトラップ温度高インターロック設定値は 134℃以下とする。これを踏まえたインターロックセット値の設定範囲は、インターロック設定値 134℃の下位側、運転上の管理値上限温度 120℃より上位側で、計器誤差、動作裕度を十分考慮し、120℃～130℃とする。

*1：UF₆の平衡状態における蒸気圧と温度の相関については、以下の関係*2がある。

$$\text{Log}_{10}P = 7.69069 - \frac{1683.165}{(t + 302.148)}$$

P：UF₆の平衡蒸気圧 (mmHg) t：UF₆の温度 (℃)

ただし、tは 116℃<tの範囲

大きな地震時やフードボックス内での UF₆漏えい時に、コールドトラップによる閉じ込めを期待する。よって、UF₆蒸気圧は、コールドトラップの安全弁が作動する恐れがある圧力 0.81MPaG 以下に維持する必要がある。UF₆蒸気圧が 0.81MPaG となる温度は、前述の式より、134.4℃であるので、その下位側の 134℃がコールドトラップによる閉じ込めを期待できる上限温度となる。

- ▶ コールドトラップ（小）は通常運転時、100℃～120℃の温度範囲で加熱し、UF₆のガス化処理をする。

これに対して、コールドトラップ（小）の最高使用圧力は0.98MPaGであり、UF₆圧力0.81MPaG（UF₆温度134℃）で安全弁が作動する恐れがあることから、コールドトラップ（小）温度高インターロック設定値は134℃以下とする。

これを踏まえたインターロックセット値の設定範囲は、インターロック設定値134℃の下位側、運転上の管理値上限温度120℃より上位側で、計器誤差、動作裕度を十分考慮し、120℃～130℃とする。

蒸発器、コールドトラップまたはコールドトラップ（小）の圧力に対するインターロックの設定値根拠は以下の通りである。

- ▶ 蒸発器は、通常運転時、0.32MPaG～0.38MPaG（100℃～106℃のUF₆蒸気圧）の圧力範囲でUF₆圧力制御し、UF₆のガス化処理をする。

シリンダ圧力高インターロック設定値は、以下①、②を比較して安全側の設定となる②とする。

- ① 蒸発器に装荷するUF₆シリンダの熱的制限値121℃相当のUF₆圧力値0.58MPaG*1を守る必要があることから、UF₆シリンダの熱的制限値121℃相当のUF₆圧力値0.58MPaGに対して下位側

- ② 蒸発器の最高使用圧力は0.49MPaGであり、安全弁が作動する恐れがある圧力0.44MPaGに対して下位側

よって、シリンダ圧力高インターロック設定値は0.44MPaG以下とする。

これを踏まえたインターロックセット値の設定範囲は、インターロック設定値0.44MPaGの下位側、運転上の管理値上限圧力0.38MPaGより上位側で、UF₆シリンダから圧力計までの圧力損失、計器誤差、動作裕度を十分考慮し、0.33MPaG～0.39MPaGとする。

なお、配管（脱着式UF₆配管、UF₆配管）の最高使用圧力は0.98MPaGであり、上記インターロックにより最高使用圧力を超えないように管理する仕様である。

*1：前述のとおり、UF₆シリンダは加熱温度110℃が加熱できる温度の上限となり、この時のUF₆圧力は0.44MPaGとなるため、蒸発器の最高使用圧力を超えることはない。

- ▶ コールドトラップ及びコールドトラップ（小）は通常運転時、CT仕切弁、CT（小）仕切弁を閉として加熱する。所定の圧力となった時にCT仕切弁、CT（小）仕切弁を開として、0.32MPaG～0.38MPaGの圧力範囲でUF₆を供給する。

これに対して、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）の最高使用圧力は0.98MPaGであり、UF₆圧力0.81MPaGで安全弁が作動する恐れがあることから、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）圧力高インターロック設定値は0.81MPaG以下とする。

これを踏まえたインターロックセット値の設定範囲は、インターロック設定値0.81MPaGの下位側、運転上の管理値上限圧力0.38MPaGより上位側で、計器誤差、動作裕度を十分考慮し、0.38MPaG～0.407MPaGとする。

なお、設計基準事故『UF₆ガスの漏えい』ではUF₆を108℃（通常運転温度上限）まで加熱した場合のUF₆運転圧力0.407MPaGでUF₆配管から漏えいすることを想定しており、同観点から

もコールドトラップ及びコールドトラップ（小）圧力高インターロックセット値の設定範囲の上限は0.407MPaG以下とすることと整合している。

また、コールドトラップ、コールドトラップ（小）に関わる配管（UF₆配管）の最高使用圧力は0.98MPaGであり、上記インターロックにより最高使用圧力を超えないように管理する仕様である。

[参考文献]

*2 : Gmelin Handbuch der Anorganischen Chemie (1980), p95

液貯槽ポンプ停止インターロック設定値の考え方

以下説明において機能・性能に係る事項は次回以降申請とする。

対象とするインターロック

- [10.1一設 10][18.2一設 4]{25}液貯槽ポンプ停止インターロックを設置する。（検出端となる循環ポンプは次回以降申請）

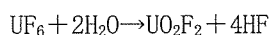
閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げた未反応 UF_6 が後段に流出することを防止するため、供給する UF_6 量に対して、化学反応上、必要とする水量を確保するインターロックに関わる設定値の設定根拠を以下に示す。

UF_6 シリンダ又はコールドトラップで加熱気化した UF_6 は約 1000gU/分の質量速度で循環貯槽へ供給する。通常運転時は循環貯槽、 UO_2F_2 貯槽(1)(2)(3)のうち1槽、液受槽に合計約 500L の水を保有しており、循環貯槽、 UO_2F_2 貯槽(1)(2)(3)のうち1槽、液受槽を1つの閉ループとして水を循環する。 UF_6 は循環貯槽の加水分解装置(エジェクタ)部で、化学反応上の必要量を満足する水と混合接触し、 UF_6 と水の化学反応によりウランを UO_2F_2 の化学形態(液体)で処理する。この処理は液中のウラン濃度が約 200gU/L になるまで行い、目標ウラン濃度に到達後は、 UO_2F_2 貯槽を切り替える。

加水分解装置(エジェクタ)部において UF_6 の供給速度約 1000gU/分に対して化学反応当量上必要となる水を確保することにより、未反応 UF_6 の生成を防止する。

加水分解装置(エジェクタ)部の1基当たりの UF_6 供給量は 1000gU/分である。

UF_6 と水との化学反応は、以下の化学反応式であり、



UF_6 供給量 1000gU/分を反応させるために理論上必要な水量は、

$$1000\text{gU/分} \div 238\text{gU/mol} \times 2 \text{ (反応当量)} = 8.4\text{mol/分}$$

これを重量換算 (H_2O : 18g/mol) して、

$$8.4\text{mol/分} \times 18 \text{ g/mol} = 151.2\text{g/分}$$

供給する水の密度 (15°C時) $0.999 \times 10^3\text{g/L}$ より

$$151.2\text{g/分} \div 0.999 \times 10^3\text{g/L} \approx 0.15\text{L/分}$$

となり、0.15L/分以上の水流量が確保されていれば、 UF_6 供給量分の化学反応は理論上完結する。よって、加水分解装置(エジェクタ)部では 0.15L/分以上の水量を確保(循環ポンプ作動により担保)するインターロックを設置する。

なお、循環ポンプは定量式ポンプであり、これが起動していれば(インターロック設定値は 0A でなければ)、約 15L/分以上の水量を確保できる。

循環貯槽液位低インターロック及び液位高インターロック設定値の考え方

以下説明において機能・性能に係る事項は次回以降申請とする。

対象とするインターロック

- ▶ [10.1-設 10][18.2-設 4]{27}循環貯槽液位低インターロックを設置する。
- ▶ [10.1-設 21][18.2-設 10]オーバーフローを防止するため、{26}循環貯槽液位高インターロックを設置する（{26}循環貯槽液位高インターロックにより停止する循環ポンプは次回以降申請）。

閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げた循環貯槽内で UF_6 を常に加水分解反応用の水と接触させるため、循環貯槽内の最低液位を確保するために設置するインターロック、循環貯槽内に包するウラン溶液がオーバーフローを起こすことを防止するために設置するインターロックに関わる設定値の設定根拠を以下に示す。

循環貯槽の貯槽本体部と加水分解装置（エジェクタ）部の位置関係、通常運転における液位の範囲を添設設 6 付録 4-1 図に示す。

{27} 循環貯槽液位低インターロック

通常運転では液位 H-L 間で液位が変動する。これに対して、循環貯槽内で UF_6 が加水分解反応用の水と常に接触しない状態となるのは、貯槽内の液位が下がり、加水分解装置（エジェクタ）からのノズル口が貯槽内で露出する場合である。これを防止するためには、貯槽内の液位を加水分解装置（エジェクタ）からのノズル口が水没する液位に維持（加水分解装置（エジェクタ）からのノズル位置（貯槽上面からみて約 \square mm の位置）に対して、循環動作による液位の波立ちを考慮して約 \square mm の裕度を持たせた約 \square mm 以内の位置に液位を維持）する必要がある。

したがって、循環貯槽液位低インターロック設定値は、貯槽上面からみて \square mm 以下とする。

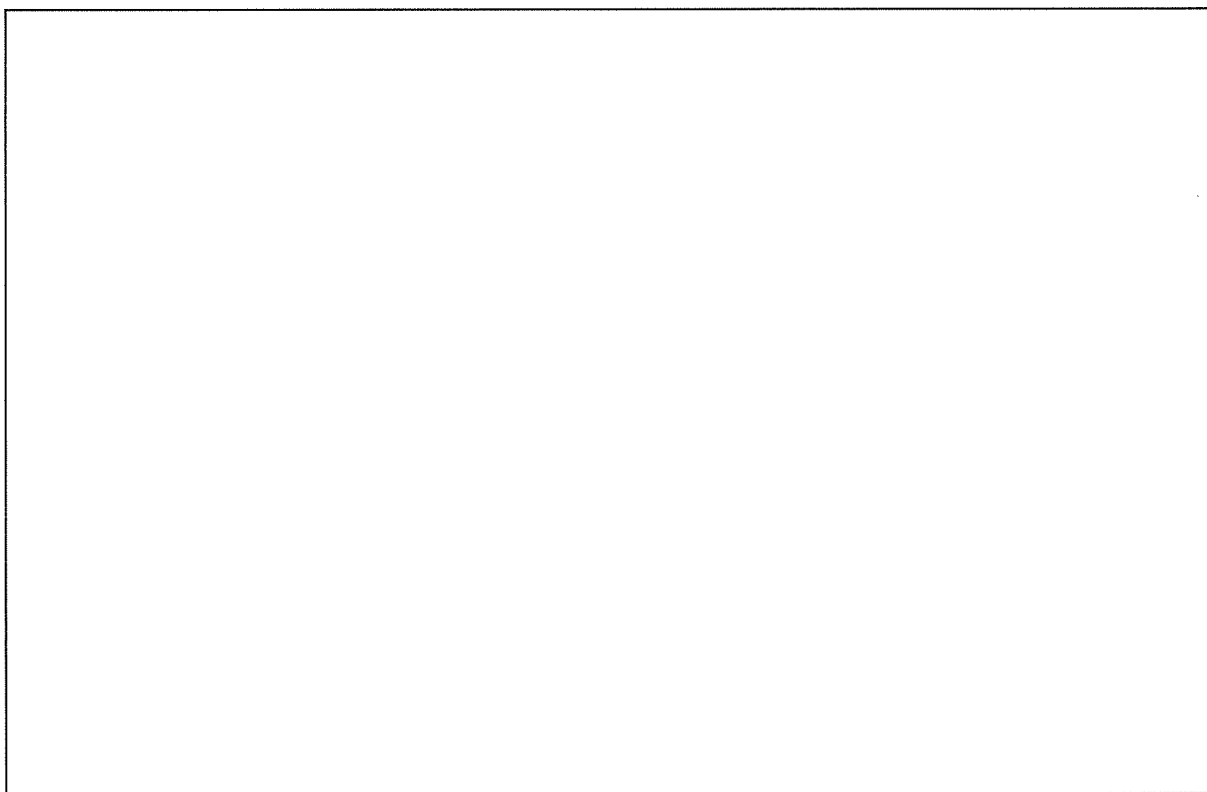
これを踏まえたインターロックセット値の設定範囲は、貯槽上面からみてインターロック設定値 \square mm の下位側、通常の運転の中で管理する液位 L となる \square mm の上位側の範囲に検出端を設置する。

{26} 循環貯槽液位高インターロック

通常運転では液位 H-L 間で液位が変動する。これに対して、貯槽から内包するウラン溶液がオーバーフローするのは貯槽内の液位が上がリ、貯槽上面から流出する場合である。これを防止するには貯槽内の液位は貯槽上面を超えない液位（貯槽上面に対して、循環動作による液位の波立ちを考慮して約 \square mm の裕度を持たせる）に抑える必要がある。

したがって、オーバーフローを防止する循環貯槽液位高インターロック設定値は、貯槽上面からみて \square mm 以上とする。

これを踏まえたインターロックセット値の設定範囲は、貯槽上面からみてインターロック設定値 mm の上位側、通常の運転の中で管理する液位 H となる mm の下位側の範囲に検出端を設置する。



添説設 6 付録 4-1 図 循環貯槽における液位計設置位置

コールドトラップ（小）捕集中の温度高インターロック設定値の考え方

以下説明において機能・性能に係る事項は次回以降申請とする。

対象とするインターロック

- [10.1一設 11][18.2一設 8]{20} コールドトラップ（小）捕集中の温度高インターロックを設置する。

閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げたコールドトラップ（小）捕集中の温度高インターロックに関わる設定値の設定根拠を以下に示す。

コールドトラップ及びコールドトラップ（小）は、UF₆ シリンダ内に残留する UF₆ を圧力差により吸引（真空引き）し、捕集する機器である。UF₆ を吸引する前にあらかじめコールドトラップ及びコールドトラップ（小）を真空ポンプで負圧に真空引きした後、真空ポンプを停止（真空ポンプとコールドトラップ（小）間の弁を閉として、雰囲気縁切り）して、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）の負圧を利用して UF₆ シリンダや UF₆ 配管中の UF₆ を捕集する。この吸引（真空ポンプによる真空引き）の際、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）は運転上-30℃～-25℃の範囲で冷却を行うが、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）の冷却が不十分な場合、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）内の残留 UF₆ が気化して排気系に漏えいすることになる。

このため、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）の冷却不足による残留 UF₆ の排気系への過度な漏えいを防止するため、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）内の雰囲気温度の上限値を設け、この温度以上では排気系に接続できないようにするインターロックを設置する。

コールドトラップ及びコールドトラップ（小）は通常-30℃～-25℃の範囲で冷却を行っており、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）の運転温度（上限値）は-15℃とする。

よって、コールドトラップ（小）捕集中の温度高インターロック設定値は-15℃以下とする。

これを踏まえたインターロックセット値の設定範囲は、インターロック設定値-15℃と通常の運転温度範囲上限に対して計器誤差、動作裕度を考慮し、-25℃～-20℃とする。

なお、インターロック設定温度で、UF₆ 捕集操作により気体廃棄設備(1)へ移行した場合、15g 程度^{*1}の UF₆ が気体廃棄設備(1)に移行し、気体廃棄設備(1)の高性能エアフィルタで捕集されることとなる。

*1：UF₆ の固気平衡状態における蒸気圧と温度の相関については、以下の関係^{*2}がある。

$$\text{Log}_{10}P = 6.38353 + 0.0075377 \times t - \frac{942.76}{(t + 183.416)}$$

P：UF₆ の平衡蒸気圧（mmHg） t：UF₆ の温度（℃）

ただし、t は < 64℃ の範囲

上記式からインターロック設定温度-15°Cの温度下で0.0007MPa・Abs程度のUF₆蒸気圧となり、コールドトラップ、コールドトラップ(小)の容積約150Lを考慮すると15gUF₆程度となる。

[参考文献]

*2 : Gmelin Handbuch der Anorganischen Chemie (1980), p94

UF₆漏えい拡大防止インターロック設定値の考え方

以下説明において機能・性能に係る事項は次回以降申請とする。

対象とするインターロック

- [10.1一設 13][18.2一設 3]UF₆漏えいを検知するため、{5}UF₆漏えい拡大防止（電導度）インターロックを設置する。

閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げた蒸発器のドレン系における UF₆漏えい拡大防止インターロックに関わる設定値の設定根拠を以下に示す。

蒸発器内で UF₆が漏えいした場合、UF₆シリンダを加熱するために供給する水蒸気のドレンに混入する。このため、蒸発器内のドレン排水ライン上に電導度計を設け、電導度計の異常値検知により蒸発器の加熱を停止するインターロックを設置する。

この電導度に対するインターロック設定値の設定根拠は以下の通りである。

一般的な水（例えば水道水）の電導度は 100 μS/cm～200 μS/cm の範囲であり、実際に蒸発器で発生するドレン水の電導度も約 100 μS/cm である。ドレン水に漏えいした UF₆が混入・溶解し、UO₂F₂溶液となった場合、その電導度は水の電導度から上昇する。

よって、UF₆漏えい拡大防止（電導度）インターロック設定値は 250 μS/cm とする。

なお、弊社実績値で電導度 250 μS/cm は 100ppmU 相当のウラン濃度となる。通常転換工程内の廃液のウラン濃度は約 1gU/L であり、100ppmU はこの 10 分の 1 程度のウラン濃度に相当するレベルである。なお、このウラン濃度であれば、ドレン水取り扱い機器の形状に関係なく、臨界が起きる恐れはない。

対象とするインターロック

- [10.1一設 13][18.2一設 3]{9} UF₆漏えい拡大防止（HF 検知）インターロックを設置する。
- [10.1一設 44][20.1一設 77]UF₆漏えい時に排気経路を切り替える（切替ダンパによる排気経路切替動作）（独立二系統）。

閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げた UF₆フードボックス内での UF₆漏えい検知インターロックに関わる設定値の設定根拠を以下に示す。

UF₆フードボックス内で UF₆が漏えいした場合、UF₆フードボックス内雰囲気中の水分と反応し HF を発生する。このため、UF₆フードボックス内に HF 検知器を設け、HF 検知器の異常値検知により、UF₆フードボックスの排気経路を切り替え、漏えいした UF₆を回収するインターロックを設置する。この UF₆漏えい拡大防止（HF 検知）インターロック設定値は 3ppm（日本産業衛生学会による許容濃度勧告値）とする。

また、UF₆漏えい警報のみの検出器である HF 検出器（運転員が活動するエリア中の UF₆/HF 濃度監視）の設定値も 3ppm とする。

スクラバの UF₆ 捕集効率

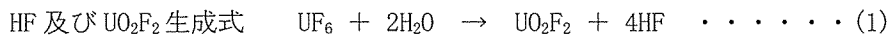
スクラバは、同一形状のスクラバを図ト系-1(2/2)に示すとおり直列 2 段で配置している。スクラバ排風機はスクラバの下流側に 2 台 (A、B) 並列に設置されており、各スクラバにはスクラバポンプが 1 段目に 2 台 (A、B)、2 段目に 2 台 (A、B)、各々並列に設置されている。

通常運転時、フードボックスの排気は切替ダンパによりスクラバを経由せずに気体廃棄設備 (1) へ直接排気されているが、スクラバ 1 段目のスクラバポンプ A のみが常時、循環運転を行っている。なお、他のスクラバポンプ及びスクラバ排風機は停止している。

設計基準事故時、フードボックスの排気は切替ダンパによりスクラバを経由した後に気体廃棄設備 (1) へ排気される。この際、HF 検知器の検知信号によりスクラバ 2 段目のスクラバポンプ A 及びスクラバ排風機 A が起動する。起動されない各スクラバのスクラバポンプ B 及びスクラバ排風機 B は故障時の予備として待機状態にある。(各 2 台の同時運転は行われない。)

このような運転条件下におけるスクラバの UF₆ (HF 及び UO₂F₂) 捕集効率を以下に示す。

設計基準事故時、漏えいした UF₆ は空気中の水分と反応して以下の (1) 式に示されるように HF と UO₂F₂ が生成される。



スクラバの HF 捕集効率及びウラン (UO₂F₂) 捕集効率は以下に記載される通りであり、UF₆ (HF 及び UO₂F₂) 捕集効率は 99% 以上を満足することが可能である。

1. HF 捕集効率

本スクラバは、HF の捕集効率が 99.5% 以上となるように充填材の充填高さが設計されている。以下に設計計算根拠を示す。

(1) 前提条件

UF₆ 漏えい発生時の排気中組成を添説設 6 付録 7-1 表のとおりとする。(Air は 35℃、湿度 80% とする。)

添説設 6 付録 7-1 表 UF₆ 漏えい発生時の排気中組成 (40 秒間分)

UF ₆ 漏えい発生時 (40 秒間)	UF ₆	27mol	0.6Nm ³
	Air	1690mol	37.8Nm ³
	H ₂ O	69mol	1.6Nm ³

なお、スクラバ排風機の風量は 60Nm³/min、スクラバポンプの水量は 280ℓ/min としている。

また、漏えいした UF₆ は空気中の水分と反応し、添説設 6 付録 7-2 表の組成で 1 段目のスクラバに導入されるものとする。

添説設 6 付録 7-2 表 スクラバ直前での排気中組成 (反応考慮)

スクラバ 1 段目 入口到達時 (40 秒間)	UO ₂ F ₂	27mol	(固体)
	HF	108mol	2.4Nm ³
	Air	1690mol	37.8Nm ³
	H ₂ O	16mol	0.4Nm ³

(2) 捕集効率計算

前提条件の時、入口ガスの HF 濃度は、

$$2.4\text{Nm}^3 / (2.4\text{Nm}^3 + 37.8\text{Nm}^3 + 0.4\text{Nm}^3) = 5.9\%$$

出口ガスの HF 濃度は、スクラバ 1 段目の HF 捕集効率を 99% とし、同じスクラバを直列に設置することでトータル HF 捕集効率を 99.5% 以上とする。

スクラバ 1 段目における出口 HF 濃度は HF 捕集効率を 99% とすると以下のとおりである。

スクラバ 1 段目出口 HF 濃度=

$$(2.4\text{Nm}^3 \times (1 - 0.99)) / ((2.4\text{Nm}^3 \times (1 - 0.99)) + 37.8\text{Nm}^3) = 0.063\%$$

このとき、要求される N_{OG} (移動単位係数) は以下のとおり。

$$N_{OG} = \ln(5.9 / 0.063) = 4.6$$

また、月島環境エンジニアリング製のテラレット S-0 型の HF-H₂O ガスのデータより、H_{OG} (移動単位高さ) = 0.35 であるため、充填高さ Z は以下のとおりとなる。

$$Z = N_{OG} \times H_{OG} = 4.6 \times 0.35 = 1.61 [\text{m}]$$

これに約 30% 余裕を見て、充填部高さを 2m とする。

次にスクラバ 1 段目の出口ガスがそのままスクラバ 2 段目に導入されるとし、トータル HF 捕集効率を 99.5% 以上としたときのスクラバ 2 段目出口 HF 濃度は以下のとおりである。

スクラバ 2 段目出口 HF 濃度

$$= (2.4\text{Nm}^3 \times (1 - 0.995)) / (2.4\text{Nm}^3 \times (1 - 0.995) + 37.8\text{Nm}^3) = 0.03\%$$

このときスクラバ 2 段目入口 HF 濃度は 0.063% であるため、要求される N_{OG} は以下のとおり。

$$N_{OG} = \ln(0.063 / 0.03) = 0.75$$

H_{OG} は同じであるため、要求される充填高さ Z は以下のとおりとなる。

$$Z = N_{OG} \times H_{OG} = 0.75 \times 0.35 = 0.27\text{m}$$

これより、HF 捕集効率 99.5% を達成させるためには、スクラバ 2 段目は 0.3m で十分であるが、実際にはスクラバ 1 段目と同じ 2m の充填高さを持っているため、十分な裕度のある設備となっており、HF 捕集効率は 99.5% 以上を確保できている。

2. ウラン (UO₂F₂) 捕集効率

本スクラバは、ウランの捕集効率が 97% 以上となるように充填高さが設計されている。以下に設計計算根拠を示す。

(1) 前提条件

スクラバ1段目に導入されるガス組成は1.より、添説設6付録7-3表のとおりとする。スクラバ1段目に供給されるガス温度は85℃とする。

添説設6付録7-3表 スクラバ1段目に導入されるガス組成

スクラバ1段目 入口到達時 (40秒間)	UO ₂ F ₂	27mol	(固体)
	HF	108mol	2.4Nm ³
	Air	1690mol	37.8Nm ³
	H ₂ O	16mol	0.4Nm ³

なお、スクラバ2段目に導入されるガス組成は、1.のスクラバ1段目のHF捕集効率(99%)を考慮し、添説設6付録7-4表のとおりとする。スクラバ2段目に供給されるガス温度は40℃とする。

添説設6付録7-4表 スクラバ2段目に導入されるガス組成

スクラバ2段目 入口到達時 (40秒間)	UO ₂ F ₂	(スクラバ1段目の未捕集分)	(固体)
	HF	1.1mol	0.02Nm ³
	Air	1690mol	37.8Nm ³

(2) 捕集効率計算

漏えいしたUF₆が全量UO₂F₂微粒子となり、スクラバを流下する水により集塵(捕集)されたとしたUO₂F₂捕集効率の計算を以下に行う(計算式の出典:井伊谷編著,集塵装置の性能,産業技術センター)。

Calvertの導いた式より

$$E = 1 - \exp(-B_3 \cdot (H_R/D_R) \cdot \Psi)$$

ここに、

E : 集塵率(捕集効率)

B₃ : 充填物による係数

H_R : 充填高さ[m]

D_R : 充填物の特性値[m]

ただし、

$$\Psi = \rho_p \cdot d_p^2 \cdot u_{gs} / (9 \cdot \mu_g \cdot \delta)$$

Ψ : 慣性パラメータ

ρ_p : 粒子密度[kg/m³]

d_p : 粒子径[m]

u_{gs} : ガス流速[m/s]

μ_g : ガス粘度[kg/m・s]

δ : 充填物の代表長さ[m]

ここで、各入力値を添説設6付録7-5表に示す。

添説設 6 付録 7-5 表 吸収率評価に用いた各物性値

項目	諸量	備考
充填物による係数 B_3	10	
充填高さ H_R	2m	
充填物の特性値 D_R	0.025m	
粒子密度 ρ_p	$6.37 \times 10^3 \text{kg/m}^3$	J. J. katz, The Chemistry of Uranium
粒子径 d_p	$1.6 \times 10^{-6} \text{m}$	等表面積球相当径*
ガス流速 u_{gs}	1.18m/s (1 段目) 0.96m/s (2 段目)	
ガス量	1.33m ³ /s (1 段目) 1.09m ³ /s (2 段目)	=40.6Nm ³ /40sec × (85+273) K/273K =37.9Nm ³ /40sec × (40+273) K/273K
塔内径	1.2m	
ガス粘度 μ_g	$1.3 \times 10^{-5} \text{kg/m} \cdot \text{s}$	HF 40°C, Gmelin Handbook
充填物の代表長さ δ	0.025m	
充填物	テラレット	

*: UO_2F_2 微粒子は、一次粒子として粒径 $0.5 \mu\text{m}$ 、実際には一次粒子が鎖状に凝集し長さ $5 \mu\text{m}$ の二次粒子になるとした。

上記の条件で計算（安全側に捕集効率の小数点第 2 位以下切り捨てとする）すると、 UO_2F_2 微粒子の捕集効率はスクラバ 1 段目で 99.4%、スクラバ 2 段目で 98.6%となるため、2 段トータルの除去率は 99%以上となる。

3. UF_6 捕集効率

設計基準事故時、漏えいした UF_6 から HF 及びウラン (UO_2F_2) が生成されるが、直列 2 段で配置したスクラバで捕集することにより、以下のとおり、HF 及びウラン (UO_2F_2) の捕集効率が 99%以上確保されているため、スクラバの UF_6 捕集効率は 99%以上であることを確認した。

- ・HF 捕集効率は、設計基準事故の際に漏えいする HF 組成量からスクラバ充填高さに十分な余裕を持たせており、99.5%以上を確保。
- ・ UO_2F_2 捕集効率は、設計基準事故の際に漏えいする UO_2F_2 組成量に対して捕集効率の計算から、99%以上を確保。

堰必要容量の考え方（核的制限値を伴う場合）

1. はじめに

液体状の核燃料物質を取り扱う貯槽には、貯槽から液が漏えいした際、漏えいを限定した区域に閉じ込めるための堰を設置する。本資料では、各堰に必要な容量の算出方法について説明する。

2. 方法

必要容量は以下の方法により算出し、その容積よりも大きくなるような堰を設置するものとする。

- ① 設備に設置する堰は、投影面内に収納するウラン溶液を取扱う貯槽の合計液量 (Q) を貯留できる容量とする。
- ② 堰高さ (H) はウラン溶液漏えい時にも臨界安全を確保可能とするよう核的制限値（厚み制限値）以下の高さとする。このため、堰高さは UO_2F_2 溶液の核的制限値 12.7cm 以下である \square cm (\square m) とする。
- ③ 堰内に設置する貯槽類の架台等により滞留容量とできない部分があることを考慮し、堰面積のうち、設備占有率 α 分は、堰有効容量に考慮しないものとする。 α は 30% とする。

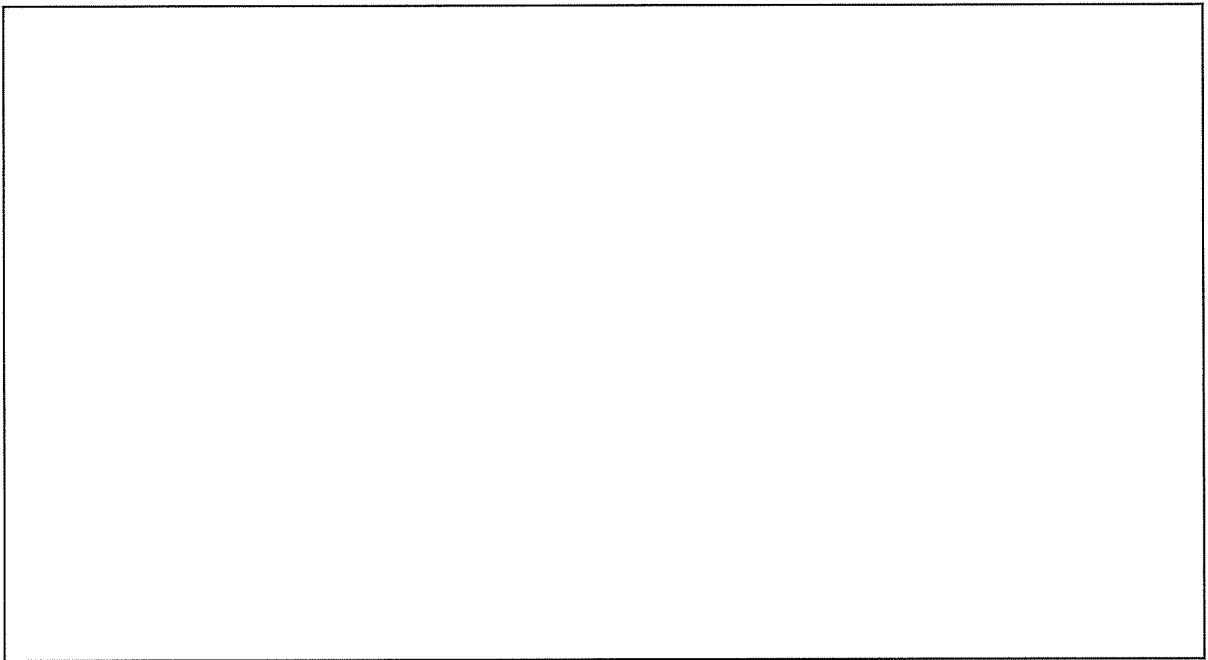
以上の条件を考慮し、以下の式により各堰の必要面積 A を算出した。

$$\text{堰必要面積 } A[\text{m}^2] = \text{合計液量 } Q[\text{m}^3] \div \text{堰高さ } H[\text{m}] \div (1 - \alpha \text{ 設備占有率兼裕度})$$

3. 必要面積 A 算出結果

今回申請対象の安全機能を有する施設の堰毎に保有を想定する合計液量 Q と必要面積 A を算出した結果を以下に示す。なお、「{ }」には安全機能有する施設番号を示している。

堰高さ及び面積設定の考え方を添説設 6 付録 8-1 図に示す。添説設 6 付録 8-1 図の通り、堰（循環貯槽）はフードボックス形状に合わせて 2 面にわかれるので、堰 1 面あたりの必要面積 A を算出している。



添説設 6 付録 8-1 図 堰高さ及び面積設定の考え方

① {23} 堰（循環貯槽）（1）の堰必要面積

安全機能 No.	対象設備	貯留液量 [m ³]	考え方
{21}	加水分解装置（エジェクタ）（1） 〔UO ₂ F ₂ 溶液配管系統を含む〕	—	貯留液量が循環貯槽の液量に比べ、十分少量であり、また循環貯槽側で保守的に設定しているため、考慮不要とした。
{22}	循環貯槽（1） 〔UO ₂ F ₂ 溶液配管系統を含む〕	0.5	循環貯槽、配管分（50L）＋液受槽、配管分（120L）＋UO ₂ F ₂ 貯槽 1 本、配管分（250L）＋熱交換器、配管分（80L）とする ^注 。
—	合計液量 Q①	0.5	
—	必要面積 A① [m ²]	7.2	0.5 ÷ 0.1 ÷ (1 - 0.3)

注：原料倉庫に設置する、堰（循環貯槽）に収納する貯槽は循環貯槽のみであるが、保守的に転換加工室に設置する UO₂F₂ 貯槽及び熱交換器内に滞留するウラン溶液も保有できるだけの容量を有する堰とした。

なお、実際に設計する堰面積は、図イ設-7 から堰材が を使用している点を踏まえ、堰として機能する面積は、

$$(2,200\text{mm} - \text{}) \times (5,300\text{mm} - \text{}) = 10,200,000\text{mm}^2 (=10.2\text{m}^2)$$

となり、堰に必要とする面積 7.2m² を満たす面積を確保している。

熱交換器（循環貯槽）の設置理由について

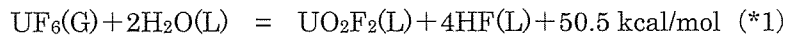
1. はじめに

今回申請する熱交換器（循環貯槽）は UF₆ と水との化学反応を行った後の液（UO₂F₂ 溶液）を冷却する機器である。この熱交換器はプロセス設計上、化学処理施設で UO₂ 粉末の製品品質上の粉末性状を確保するために設置しているもので、UF₆ と水の化学反応に伴う反応熱による機器損傷防止を目的にしたものではない（安全機能維持上の要求ではない）。

その根拠について、以下に展開する。

2. UF₆ と水の化学反応式

UF₆ と水の化学反応式は以下のとおりである。



UF₆ と水の化学反応はガス状の UF₆ と水が反応することにより、ウランは液体状の UO₂F₂ となる。この化学反応は上記反応式のとおり、発熱反応であり、1 mol 当たり 50.5 kcal の熱量が発生する。

[参考文献]

*1 : J.W. Arednt, A Brief Guide to UF₆ Handling (1956)

3. UF₆ と水の化学反応モデル

循環貯槽（加水分解装置）における UF₆ と水の化学反応モデルを添説設 6 付録 9-1 図に示す。

循環貯槽（加水分解装置）において、UF₆ と水の化学反応はプロセス設計上、500 L の水量に対して、そのウラン濃度が 200 gU/L になるまで、UF₆ と水の化学反応を行い、ウラン濃度が 200 gU/L に到達したら、吹き込む水を次の槽に切り替えるバッチ運転処理としている。

また、500 L の水量に吹き込む UF₆ 流量は約 1 kgU/min としている。

4. 2 の化学反応モデル下における温度上昇

500 L の水を用い 200 gU/L の UO₂F₂ 溶液を生成するために必要な UF₆ 量は

$$200 \text{ gU/L} \times 500 \text{ L} \div 238 \text{ gU/mol} = 420.2 \text{ molU}$$

となる。この mol 数分の総発熱量 Q は、2 項に示す化学反応式から、

$$\begin{aligned} Q &= 420.2 \text{ molU} \times 50.5 \text{ kcal/mol} \\ &= 21220 \text{ kcal} \end{aligned}$$

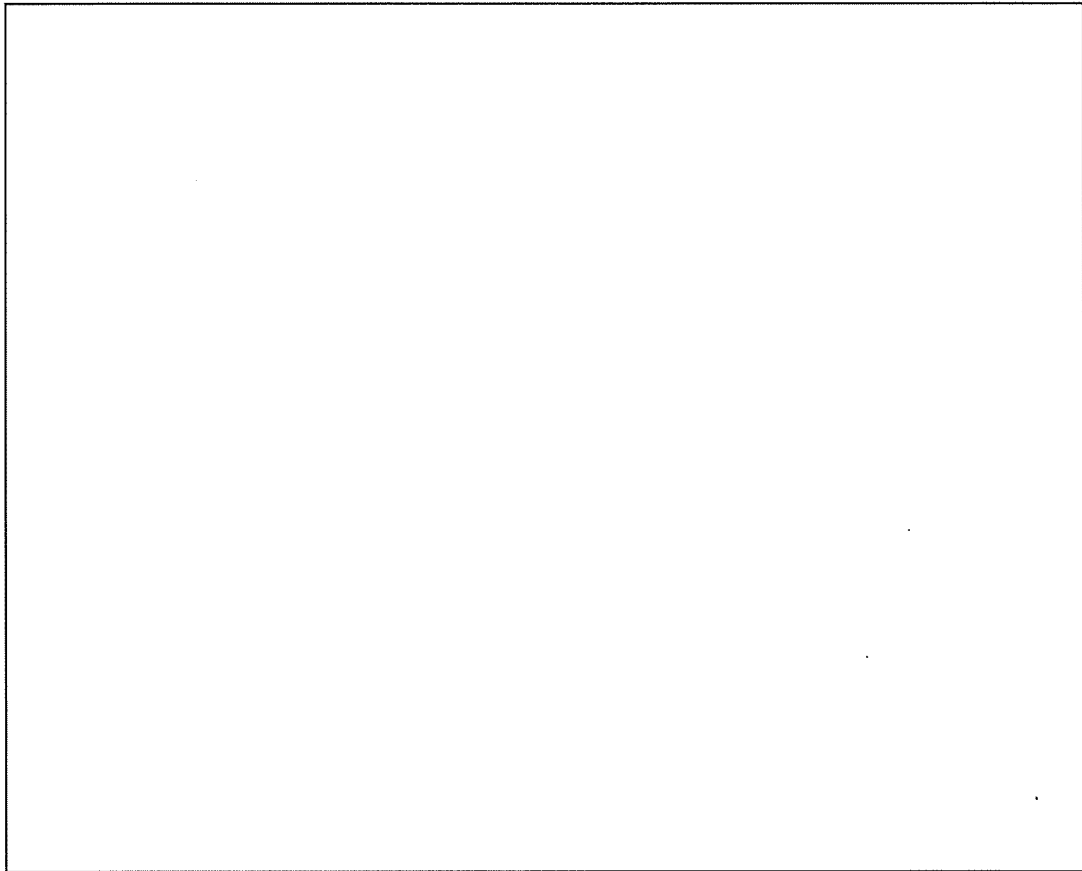
となる。ここでは保守的にこの総発熱量 Q を水が全量吸熱したと仮定すると、その温度上昇は次のとおりとなる。

$$\Delta T = \text{総発熱量 } Q / (\text{液量} \times \text{水の比熱})$$

$$\begin{aligned}
&= 21220 \text{ kcal} \div (500 \text{ L} \times 4.2 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}) \\
&= 21220 \times 10^3 \text{ cal} \div (500 \times 10^3 \text{ g} \times 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}) \\
&= 42.5 \text{ }^\circ\text{C}
\end{aligned}$$

注：水 1 L=1 kg、水の比熱を 4.2 J/g・°C ⇔ 1 cal/g・°C として計算した。

したがって、プロセス設計上想定する UF₆ と水の化学反応モデルでは、水温が約 42.4 °C 上昇する。



添説設 6 付録 9-1 図 UF₆ と水の化学反応モデル

5. 温度変化による比重（ウラン濃度）影響

循環貯槽では 1 バッチ 500 L で 200 gU/L の UO₂F₂ 溶液を調整するが、熱交換器による冷却機能を期待しない場合、UO₂F₂ 溶液の比重が変化（通常より液温が上がる）することにより、ウラン濃度測定への影響が考えられる。

ウラン濃度が変化することで、次工程の沈殿設備において、ウラン濃度変化に伴う ADU 沈殿未反応が発生し、廃液処理工程へ UO₂F₂ 溶液が流出するリスクが想定されるが、沈殿工程では UO₂F₂ 溶液のウラン量に対して反応当量以上のアンモニア水を添加することを担保するインターロックを設置することから、未反応の UO₂F₂ 溶液が流出する恐れはない。

15℃から 60℃での液体の液温変化に伴う比重変化で、ウラン濃度が約 20g/L 程度変動する可能性がある。

仮に UO_2F_2 溶液の液温が冷却されず、そのウラン濃度が 200gU/L から 220gU/L に変化したとしても、次工程の沈殿工程の沈殿槽（次回以降申請）では、この増加分を十分カバーできるアンモニア水を添加して ADU 沈殿を生成する。 UO_2F_2 とアンモニア水により $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$ [ADU] が形成される化学反応式は以下の通り。



ADU 沈殿生成上はこの反応当量に対してアンモニア投入量を監視する{44}沈殿槽流量比インターロック（次回以降申請）を設置し、化学反応上の必要量（反応当量 7 に対して 14）を確実に確保する設計としている。

通常、 UO_2F_2 溶液の流量は約 1000 gU/min で供給している。この UO_2F_2 溶液流量に対して、反応当量上必要なアンモニア水量は、

$$1000\text{gU/min} / 238\text{gU/mol} \times 7 \times 35\text{g/mol} = 1029.4\text{gNH}_4\text{OH} / \text{min}$$

となる。

これに対して、アンモニア水は最低でもモル比で 14 のアンモニア水

$$1000\text{gU/min} / 238\text{gU/mol} \times 14 \times 35\text{g/mol} = 2058.8\text{gNH}_4\text{OH} / \text{min} ※$$

を供給する。

UO_2F_2 溶液の液温が冷却されず、そのウラン濃度が 200 gU/L から 220 gU/L に変化（ウラン量が 10%増）した場合、 UO_2F_2 溶液の流量は約 1100 gU/min となる。

この UO_2F_2 溶液流量に対して、反応当量上必要なアンモニア水量は、

$$1100\text{gU/min} / 238\text{gU/mol} \times 7 \times 35\text{g/mol} = 1132.4\text{gNH}_4\text{OH} / \text{min}$$

であり、※のアンモニア水量を十分下回ることから、比重変化によるウラン量増加をカバーできる。

6. まとめ

循環貯槽（加水分解装置）に供給する水の温度（反応前の水の温度）は室温（15℃）であり、仮に熱交換器（循環貯槽）による熱交換を行わなくても、その温度は最大で 60℃程度となる。循環貯槽から UO_2F_2 貯槽までに選定している材料は であり、 の耐熱温度は約 260℃であることから、この液温上昇を受けても機器・配管が損傷する恐れはない。ウラン濃度が変化しても UO_2F_2 溶液を取り扱う機器は全濃度未臨界を担保する形状寸法で設計されており、臨界管理上の影響もない。

また、熱交換器（循環貯槽）による熱交換を行わずに下流工程に UO_2F_2 溶液を供給しても ADU 沈殿反応でカバーするため、 UO_2F_2 溶液のウランが ADU 沈殿を形成せずに廃液に流出する可能性はない。

なお、 UO_2F_2 貯槽が設定濃度に到達するまでの時間（ UO_2F_2 貯槽切り替わり間隔）、製品重量変化率、沈殿反応温度、定期的な UO_2F_2 溶液の比重測定等の運転監視により、異常を検知可能であることから、冷却異常及びウラン濃度異常が長期間継続する恐れはない。

耐圧強度計算書

目 次

1. 概 要
 - 1.1 基本方針
 - 1.2 評価対象設備
 - 1.3 耐圧強度計算の方法

2. 蒸発器
 - 2.1 構造・寸法及び材質
 - 2.2 計算条件
 - 2.3 耐圧強度計算

3. UO_2 ブロータンク
 - 3.1 構造・寸法及び材質
 - 3.2 計算条件
 - 3.3 耐圧強度計算

4. UO_2 フィルタ
 - 4.1 構造・寸法及び材質
 - 4.2 計算条件
 - 4.3 耐圧強度計算

5. UO_2 受けホッパ
 - 5.1 構造・寸法及び材質
 - 5.2 計算条件
 - 5.3 耐圧強度計算

6. UF_6 シリンダ
 - 6.1 構造・寸法及び材質
 - 6.2 計算条件
 - 6.3 耐圧強度計算

7. コールドトラップ
 - 7.1 構造・寸法及び材質
 - 7.2 計算条件
 - 7.3 耐圧強度計算

8. コールドトラップ (小)

8.1 構造・寸法及び材質

8.2 計算条件

8.3 耐圧強度計算

1. 概要

本資料は、「加工施設の技術基準」第 15 条にて適合することが要求されている、加工施設の安全性を確保する上で重要なものについて、設計上要求される強度が確保されていることを説明するものである。

1.1 基本方針

加圧状態でウランを取り扱う設備・機器は、閉じ込め機能を確保するための耐圧強度設計を行う。

1.2 評価対象設備

加工施設の安全性を確保する上で、閉じ込め機能を有する設備のうち、正圧でウランを取り扱う機器及び UF_6 が漏えいした際の閉じ込めを期待する機器を重要なものとし、これに該当する機器である蒸発器、コールドトラップ、コールドトラップ(小)、 UO_2 ブロータンク、 UO_2 フィルタ、 UO_2 受けホッパ、 UF_6 シリンダについて耐圧強度計算を行う。

なお、これらの設備において、計算が必要となる伸縮継手は含まれない。

1.3 耐圧強度計算の方法

(1) 評価方法

圧力容器の構造規定である日本産業規格「圧力容器の構造—一般事項 (JIS B 8265 (2017 年改正版))」に基づき、蒸発器、コールドトラップ、コールドトラップ(小)、 UO_2 ブロータンク、 UO_2 受けホッパ、 UF_6 シリンダについて評価する。

非円筒形状である UO_2 フィルタは、日本産業規格「圧力容器の構造—一般事項 (JIS B 8265 (2017 年改正版))」と共に、「非円形胴の圧力容器 (JIS B 8280 (2003 年改正版))」を準用して評価する。

なお、 UF_6 シリンダについては、ANSI 規格に基づき ASME 又は ASTM 規格材料で製作されているが、JIS 相当材の ASME 材として JIS 規格に基づく耐圧強度計算を行い、適合性を評価する。

また、コールドトラップ、コールドトラップ(小)、 UF_6 シリンダについては、内部が負圧状態となり、外圧を受けることがあるので、JIS B 8265 の外圧による円筒胴の評価により負圧状態で座屈が生じない構造であることを示す。

(2) 評価条件

評価で用いる設計条件は、機器仕様である最高使用温度、最高使用圧力又は最低使用圧力 (JIS 規定の設計温度及び設計圧力相当) とし、既認可済みのコールドトラップ、コールドトラップ(小)は、圧力容器構造に変更はないが、最高使用温度、最低使用圧力の定義統一に伴う変更条件にて再評価を行う。

また、評価で用いる寸法は、実際の機器の呼び寸法を基準に、耐圧部材の腐食等、設計上の裕度として考慮する腐れ代を除いた寸法にて評価を行う。

(3) 計算結果の評価

耐圧部の厚さは、機器の腐れ代を考慮した設計厚さが必要計算厚さ以上であることを確認し、管台部等穴の強め材として算入できる部分の面積は腐れ代を考慮して計算し、穴補強に必要な強め材の最小面積以上であることを確認する。

また、材料強度（許容応力）は、JIS B 8265 規定の最小引張強さの $1/4$ 、降伏点の $1/1.5$ の小さい方を採用して判定することで、設計上の余裕を含めた保守的な評価とし、設計上要求される閉じ込め機能に必要な強度が確保されていることを確認する。

2. 蒸発器

2.1 構造・寸法及び材質

1) 構造・寸法

蒸発器の構造・寸法を「添説設 7-2-1 図 蒸発器（正面）」、「添説設 7-2-2 図 蒸発器（上面）」及び「添説設 7-2-3 図 ⑩、⑭、⑮、⑯ノズル詳細」に示す。

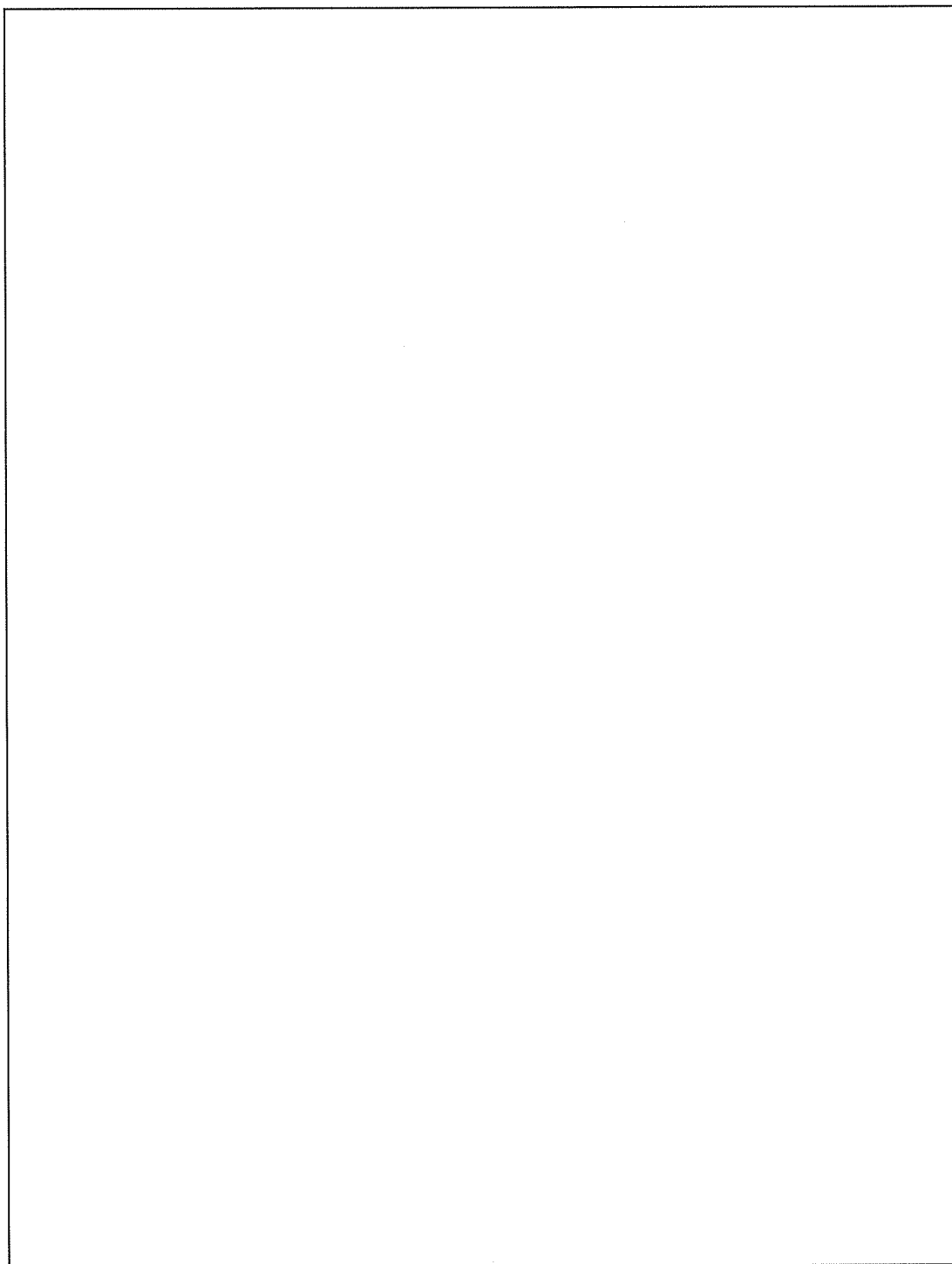
2) 材 質

蒸発器の材質を「添説設 7-2-1 表 蒸発器 材質一覧表」に示す。

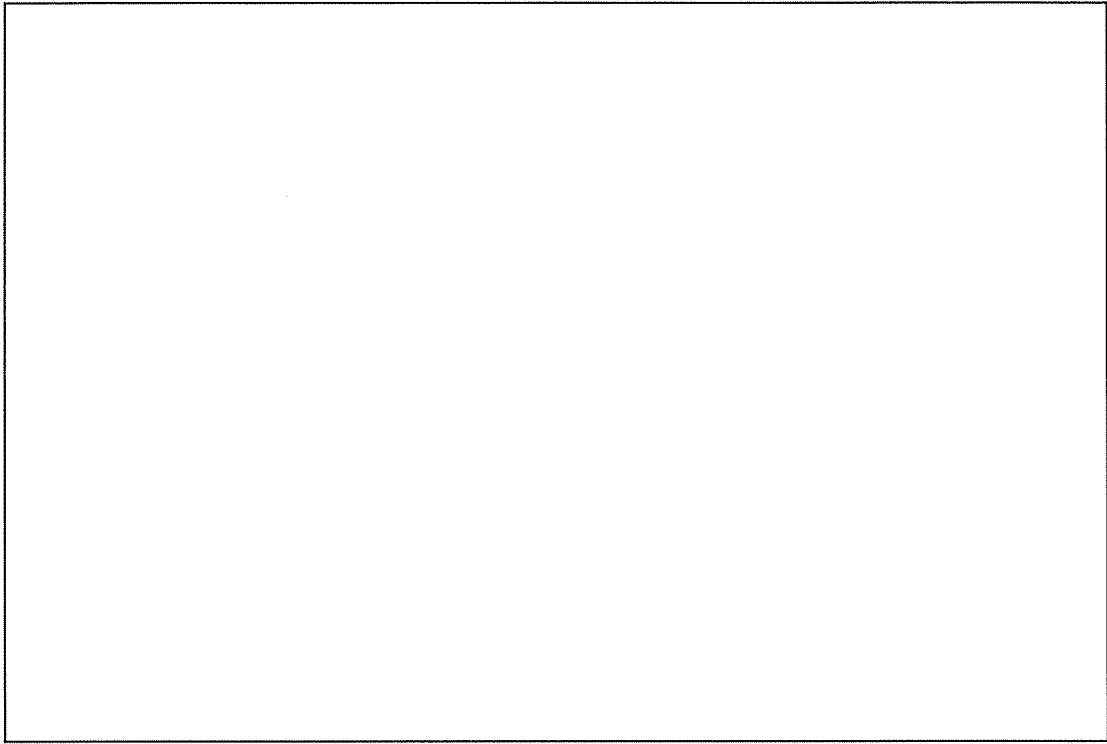
添説設 7-2-1 表 蒸発器 材質一覧表

品番	名 称	材 質	ガスケット ボルト 情報(*1)	耐圧強 度計算	計算対象外の理由
①	胴板			対象	
②	鏡板(底部)			対象	
③	鏡板(蓋)			対象	
④	ノズル			対象	
⑤	ノズル			対象	
⑥	ノズル			対象	
⑦	ノズル			対象	
⑧	ノズル			対象	
⑨	ノズル			対象	
⑩	ノズル			対象	
⑪	ノズル			対象	
⑫	ノズル			対象	
⑬	ノズル			対象	
⑭	ノズル			対象	
⑮	ノズル			—	ノズル内面に内圧が作用しないため
⑯	ノズル			—	ノズル内面に内圧が作用しないため

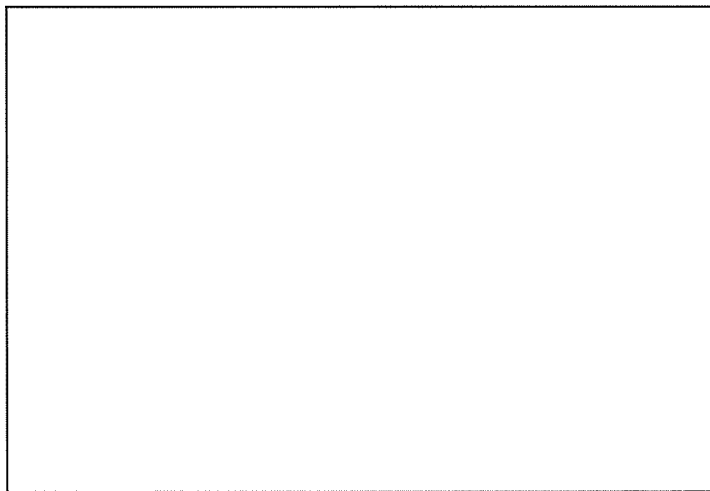
(*1) 凡例 、。また、() 内はボルト材料を示す。



添説設 7-2-1 図 蒸発器 (正面)



添説設 7-2-2 図 蒸発器(上面)



添説設 7-2-3 図 ⑩、⑭、⑮、⑯ノズル詳細

2.2 計算条件

イ) 最高使用圧力及び最高使用温度

蒸発器の最高使用圧力及び最高使用温度を「添説設 7-2-2 表 蒸発器計算条件」に示す。

添説設 7-2-2 表 蒸発器計算条件

品番	①	②	③	④～⑭
名称	胴板	鏡板(底部)	鏡板(蓋)	ノズル
最高使用圧力(MPaG)				
最高使用温度(°C)				

(注) 運転圧力、温度に裕度を考慮した数値とする。

ロ) 設計厚さ

計算に用いる各部材の設計厚さは、公称厚さから設計上の裕度 (1.0mm) を差し引いた値とする。

$$(\text{設計厚さ}) = (\text{公称厚さ}) - (1.0\text{mm})$$

ハ) 溶接継手効率

胴板部分の溶接継手効率(η)は、JIS B 8265「6.2 溶接継手効率」の20%の放射線透過試験を実施しているが、保守的に放射線透過試験を行わない完全溶け込みの突合せ両側溶接継手の継手効率($\eta = 0.7$)とする。

鏡板は継目がないため、溶接継手効率(η)は、 $\eta = 1$ とする。

2) ②、③鏡板 (JIS B 8265 附属書 E E.3 内圧を保持する鏡板)

$$t_{②③} = \frac{PRM}{2\sigma_{a②③}\eta - 0.2P}$$

$t_{②③}$: 皿形鏡板の計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

R : 皿形鏡板の中央の球形部の内半径 $R = \boxed{\quad} = \boxed{\quad}$ (mm)

M : 皿形鏡板の形状による係数で次の式による

$$M = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r_0}} \right)$$

r_0 : 皿形鏡板のすみの丸みの内半径 $r_0 = \boxed{\quad} = \boxed{\quad}$ (mm)

$\sigma_{a②③}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a②③} = \boxed{\quad}$
(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$M = \boxed{\quad}$$

$$= \boxed{\quad}$$

$$t_{②③} = \boxed{\quad}$$

$$= \boxed{\quad} \text{ (mm)}$$

3) 管台 (JIS B 8265 附属書 E E.2 内圧を保持する胴)

イ) ④ノズル

$$t_{④} = \frac{PD_{o④}}{2\sigma_{a④}\eta + 0.8P}$$

$t_{④}$: ノズルの計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{o④}$: ノズルの外径 (mm)

$\sigma_{a④}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a④} = \square$
(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$t_{④} = \square$$
$$= \square \text{ (mm)}$$

ロ) ⑤ノズル

$$t_{⑤} = \frac{PD_{o⑤}}{2\sigma_{a⑤}\eta + 0.8P}$$

$t_{⑤}$: ノズルの計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{o⑤}$: ノズルの外径 (mm)

$\sigma_{a⑤}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a⑤} = \square$
(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$t_{⑤} = \square$$
$$= \square \text{ (mm)}$$

ハ) ⑥ノズル

$$t_{\text{⑥}} = \frac{PD_{\text{o⑥}}}{2\sigma_{\text{a⑥}}\eta + 0.8P}$$

$t_{\text{⑥}}$: ノズルの計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{\text{o⑥}}$: ノズルの外径 (mm)

$\sigma_{\text{a⑥}}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{\text{a⑥}} = \square$

(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$t_{\text{⑥}} = \square$$
$$= \square \text{ (mm)}$$

ニ) ⑦ノズル

$$t_{\text{⑦}} = \frac{PD_{\text{o⑦}}}{2\sigma_{\text{a⑦}}\eta + 0.8P}$$

$t_{\text{⑦}}$: ノズルの計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{\text{o⑦}}$: ノズルの外径 (mm)

$\sigma_{\text{a⑦}}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{\text{a⑦}} = \square$

(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$t_{\text{⑦}} = \square$$
$$= \square \text{ (mm)}$$

ホ) ⑧ノズル

$$t_{\text{⑧}} = \frac{PD_{\text{o⑧}}}{2\sigma_{\text{a⑧}}\eta + 0.8P}$$

$t_{\text{⑧}}$: ノズルの計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{\text{o⑧}}$: ノズルの外径 (mm)

$\sigma_{\text{a⑧}}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{\text{a⑧}} = \square$
(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$t_{\text{⑧}} = \square$$
$$= \square \text{ (mm)}$$

へ) ⑨ノズル

$$t_{\text{⑨}} = \frac{PD_{\text{o⑨}}}{2\sigma_{\text{a⑨}}\eta + 0.8P}$$

$t_{\text{⑨}}$: ノズルの計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{\text{o⑨}}$: ノズルの外径 (mm)

$\sigma_{\text{a⑨}}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{\text{a⑨}} = \square$
(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$t_{\text{⑨}} = \square$$
$$= \square \text{ (mm)}$$

ト) ⑩⑭ノズル

$$t_{⑩⑭} = \frac{PD_{o⑩⑭}}{2\sigma_{a⑩⑭}\eta + 0.8P}$$

$t_{⑩⑭}$: ノズルの計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{o⑩⑭}$: ノズルの外径 (mm)

$\sigma_{a⑩⑭}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a⑩⑭} = \square$
(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$t_{⑩⑭} = \square$$
$$= \square \text{ (mm)}$$

チ) ⑫ノズル

$$t_{⑫} = \frac{PD_{o⑫}}{2\sigma_{a⑫}\eta + 0.8P}$$

$t_{⑫}$: ノズルの計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{o⑫}$: ノズルの外径 (mm)

$\sigma_{a⑫}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a⑫} = \square$
(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$t_{⑫} = \square$$
$$= \square \text{ (mm)}$$

リ) ⑪⑬ノズル

$$t_{⑪⑬} = \frac{PD_{o⑪⑬}}{2\sigma_{a⑪⑬}\eta + 0.8P}$$

$t_{⑪⑬}$: ノズルの計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{o⑪⑬}$: ノズルの外径 (mm)

$\sigma_{a⑪⑬}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a⑪⑬} = \square$
(N/mm²)

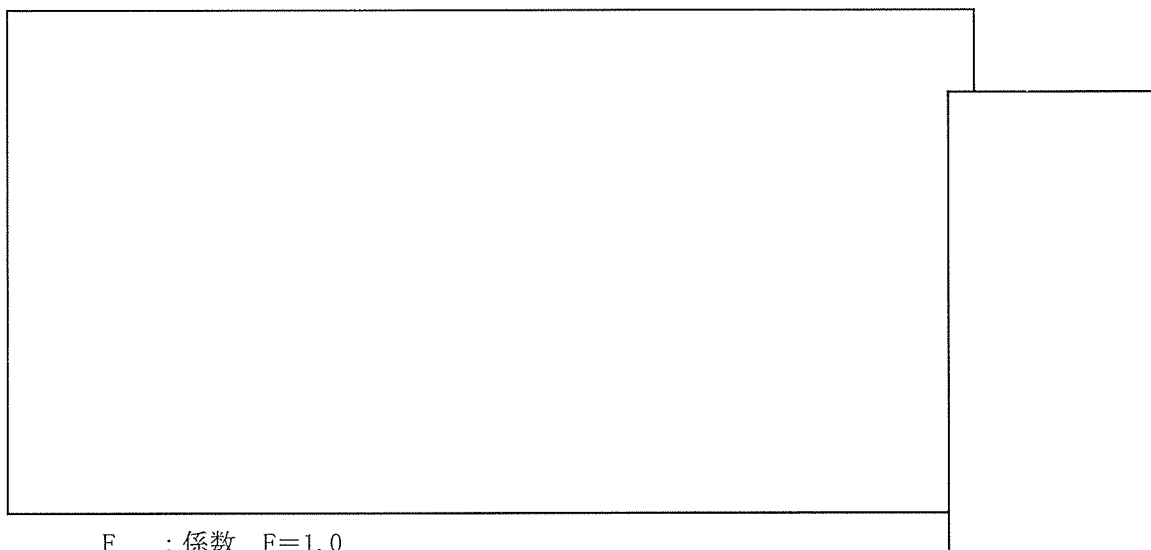
JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$t_{⑪⑬} = \square$$
$$= \square \text{ (mm)}$$

4) 上部蓋 (JIS B 8265 附属書 F F.6, F.7, F.8, F.11 圧力容器の穴補強)

上部蓋に設ける穴は、隣接する2個の中心間距離全てが $2.5(d_1+d_2)$ の値以下となるので上部蓋に取付く管台は全て補強を要す。最も厳しい隣接する管台を代表して補強計算を行う。



F : 係数 $F=1.0$

η : 溶接継手効率 $\eta=1.0$

必要な強め材の最小面積

$$A = dt_r F + dt_r F$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (mm}^2 \text{)}$$

t_r : 鏡板の計算厚さ (= $t_{②③}$)

補強の有効な面積

$$d_1 = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$A_1 = 2d_1(\eta t - Ft_r)$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (mm}^2 \text{)}$$

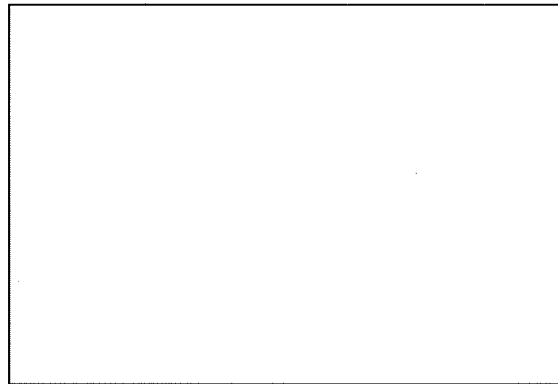
5) ⑨ノズル (平ふた板)

代表例として、ガスケット、ボルトの妥当性評価を以下に示す。

イ) ボルト荷重の計算 (JIS B 8265 附属書 G G.4.1 ボルト荷重)

平ふた板の計算に用いるボルトの荷重には、使用状態におけるボルト荷重とガスケット締付時のボルト荷重の2種類がある。

以下にその計算を示す。



使用状態でのボルト荷重 : W_{m1}

$$W_{m1} = \frac{\pi GP}{4} (G + 8bm)$$

G : ガスケット反力円の直径 $G =$ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

b : ガスケット座の有効幅 (mm)

$$b =$$
 $=$ $=$ (mm)

b_0 : ガスケット座の基本幅 (mm)

附属書 G 表 G.3 による

$$b_0 = \frac{N}{2} =$$
 $=$ (mm)

m : ガスケット係数 $m =$

メーカーカタログによる

$$W_{m1} =$$

$$=$$
 (N)

ガスケット締付時のボルト荷重 : W_{m2}

$$W_{m2} = \pi bGy$$

y : 最小設計締付圧力 $y =$ (N/mm²)

メーカーカタログによる

$$W_{m2} = \pi \times \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ (N)}$$

使用状態でのボルトの総有効断面積： A_{m1}

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ (mm}^2\text{)}$$

σ_b ：最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 $\sigma_b = 78$
(N/mm²)

JIS B 8265 解説 3「表 B.5 のボルト材料の許容引張応力」に従って、計算する。なお、最小降伏点又は 0.2%耐力については JIS B 8265 表 D.3 に記載の値とし、引張強さについては JIS B 8265 に記載がないため JSME S NJ1-2012 Part3 第 1 章 表 7 材料の各温度における設計引張強さの値とする

ガスケット締付時のボルトの総有効断面積： A_{m2}

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ (mm}^2\text{)}$$

σ_a ：常温におけるボルト材料の許容引張応力 $\sigma_a = 78$ (N/mm²)

JIS B 8265 解説 3「表 B.5 のボルト材料の許容引張応力」に従って、計算する。なお、最小降伏点又は 0.2%耐力については JIS B 8265 表 D.3 に記載の値とし、引張強さについては JIS B 8265 に記載がないため JSME S NJ1-2012 Part3 第 1 章 表 7 材料の各温度における設計引張強さの値とする

ボルトの総有効断面積： A_m

$$A_m = \max(A_{m1}, A_{m2}) = \max(\boxed{}) \\ = \boxed{} \text{ (mm}^2\text{)}$$

平ふた板の計算に用いるボルトの荷重

使用状態でのボルト荷重： $W_0 = W_{m1}$

ガスケット締付時のボルト荷重： $W_g = \frac{A_m + A_b}{2} \sigma_a$

A_b ：ボルトの総有効断面積

ロ) 評 価

各部材の設計厚さは計算上必要な厚さよりも厚く、補強の有効な面積は強め材の最小面積より大きいので、耐圧強度上の安全性は確認された。

また、ノズルの耐圧強度上の安全評価より、配管に必要な計算厚さは□mm以下であり、接続する配管についても必要な耐圧強度を満足している。

3. UO₂ブロータンク

3.1 構造・寸法及び材質

1) 構造・寸法

UO₂ブロータンクの構造・寸法を「添説設 7-3-1 図 UO₂ブロータンク」に示す。

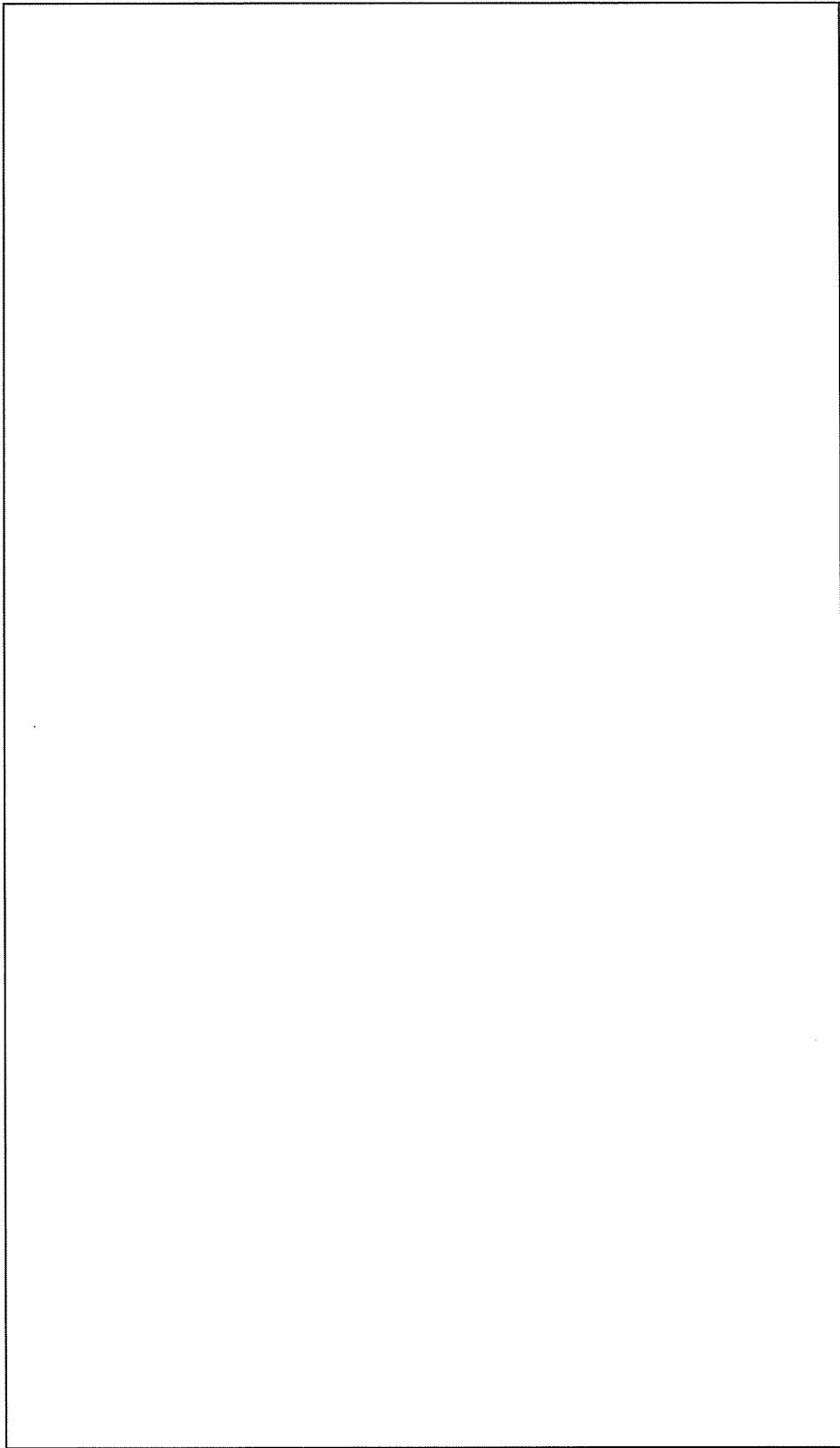
2) 材 質

UO₂ブロータンクの材質を「添説設 7-3-1 表 UO₂ブロータンク 材質一覧表」に示す。

添説設 7-3-1 表 UO₂ブロータンク 材質一覧表

品番	名称	材質	ガスケット ボルト 情報(*1)	耐圧強度 計算	計算対象外の理由
①	胴板			対象	
②	平鏡板			対象	
③	フランジ部			対象	
④	ノズル			対象	
⑤	ノズル			対象	
⑥	ノズル			—	胴板の評価に包絡されるため
⑦	ノズル			対象	
⑧	ノズル			—	胴板の評価に包絡されるため
⑨	ノズル			対象	

(*1) 凡例 。また、() 内はボルト材料を示す。



添説設 7-3-1 図 UO₂ブロータンク

3.2 計算条件

イ) 最高使用圧力及び最高使用温度

UO₂ブロータンクの最高使用圧力及び最高使用温度を「添説設 7-3-2 表 UO₂ブロータンク計算条件」に示す。

添説設 7-3-2 表 UO₂ブロータンク計算条件

品番	①	②	③	④～⑨
名称	胴板	平鏡板	フランジ部	ノズル
最高使用圧力 (MPaG)				
最高使用温度 (°C)				

(注) 運転圧力、温度に裕度を考慮した数値とする。

ロ) 設計厚さ

計算に用いる各部材の設計厚さは、公称厚さから設計上の裕度 (1.5mm) を差し引いた値とする。

$$(\text{設計厚さ}) = (\text{公称厚さ}) - (1.5\text{mm})$$

3.3 耐圧強度計算

1) ①胴板

(内圧) (JIS B 8265 附属書 E E.2 内圧を保持する胴)

$$t_{\text{①}} = \frac{PD_{i\text{①}}}{2\sigma_{a\text{①}}\eta - 1.2P}$$

$t_{\text{①}}$: 胴板の計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{i\text{①}}$: 胴の内径 $D_{i\text{①}} = \boxed{} = \boxed{}$ (mm)

$\sigma_{a\text{①}}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a\text{①}} = \boxed{}$
(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$t_{\text{①}} = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (mm)}$$

2) ②平鏡板(円形平鏡板)

(JIS B 8265 附属書 E E.3 内圧を保持する鏡板)

$$t_{\text{②}} = d \sqrt{\frac{CP}{\sigma_{a\text{②}}\eta}}$$

$t_{\text{②}}$: 平鏡板の計算厚さ (mm)

d : 内径、又は円形以外の平板の最小スパン

$$d = \boxed{} = \boxed{} \text{ (mm)}$$

C : 平板の取付方法による定数

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$\sigma_{a\text{②}}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a\text{②}} = \boxed{}$
(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$t_{\text{②}} = \boxed{} = \boxed{} \text{ (mm)}$$

③平鏡板(フランジ部)

(内圧) (JIS B 8265 附属書 E E.2 内圧を保持する胴)

$$t_{\text{③}} = \frac{PD_{i\text{③}}}{2\sigma_{a\text{③}}\eta - 1.2P}$$

$t_{\text{③}}$: フランジ部の計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{i\text{③}}$: フランジ部の内径 $D_{i\text{③}} = \boxed{} = \boxed{}$ (mm)

$\sigma_{a\text{③}}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a\text{③}} = \boxed{}$
(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$t_{\text{③}} = \boxed{} = \boxed{} \text{ (mm)}$$

5) 計算結果及び評価

イ) 計算結果

UO₂ブロータンクの耐圧強度計算の結果を添説設 7-3-3 表に示す。

添説設 7-3-3 表 UO₂ブロータンク 耐圧強度計算結果

品番	名称	計算上 必要な厚さ (mm)	設計厚さ※1 (mm)	穴補強に必要な 強め材の最 小面積 (mm ²)	強め材として 算入できる 部分の面積 (mm ²)
①	胴板				
②	平鏡板				
③	フランジ部				
④	ノズル				
⑤	ノズル				
⑦	ノズル				
⑧	ノズル				
⑨	ノズル				

※1：設計厚さ＝公称厚さ－（1.5mm） （1.5mm は設計上の裕度）

ロ) 評価

各部材の設計厚さは計算上必要な厚さよりも厚く、耐圧強度上の安全性は確認された。また、強め材として算入できる部分の面積は穴補強に必要な面積よりも大きいため、耐圧強度上の安全性は確認された。

また、ノズルの耐圧強度上の安全評価より、配管に必要な計算厚さは 1.0mm 以下であり、接続する配管についても必要な耐圧強度を満足している。

4. UO₂フィルタ

4.1 構造・寸法及び材質

1) 構造・寸法

UO₂フィルタの構造・寸法を「添説設 7-4-1 図 UO₂フィルタ」に示す。

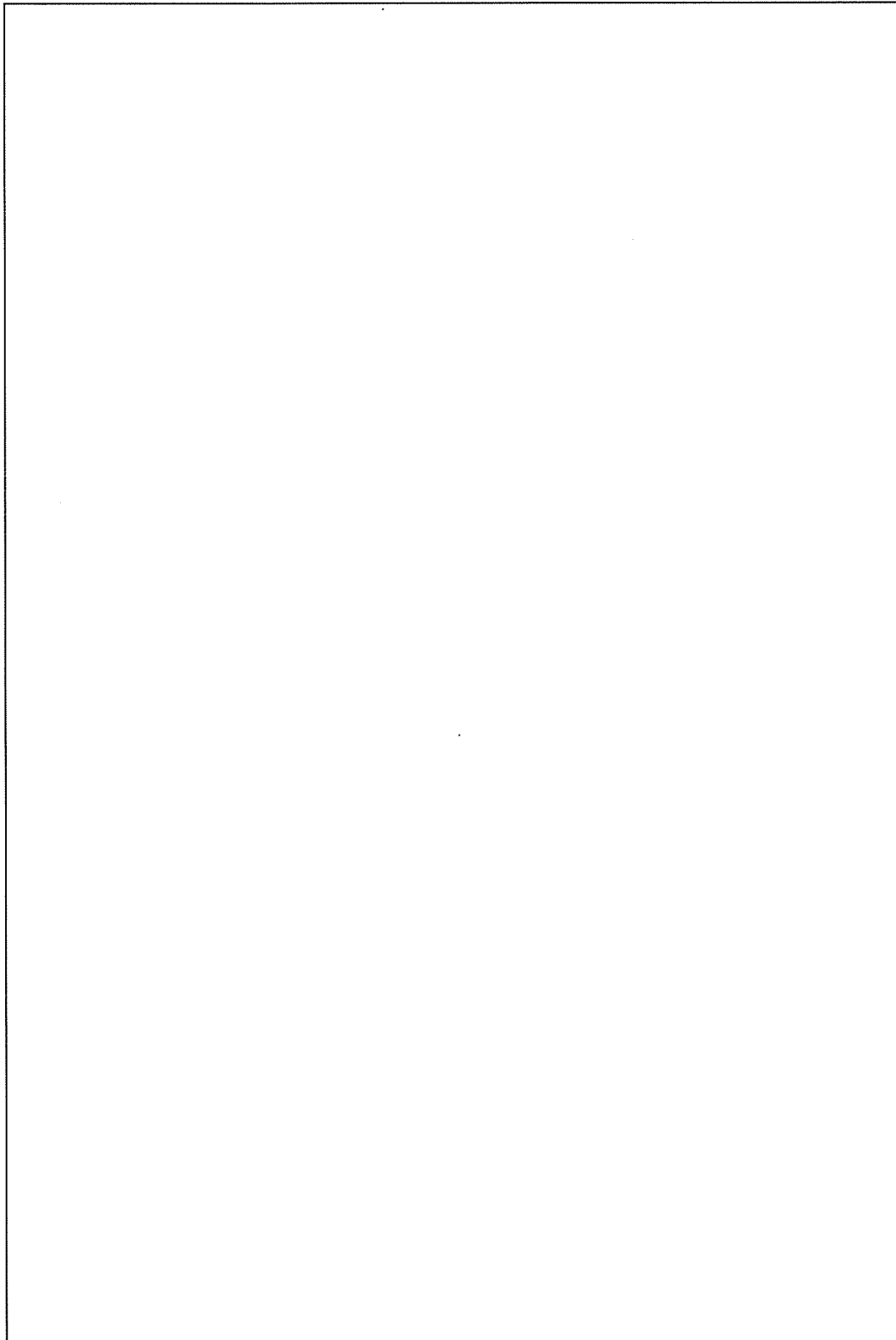
2) 材 質

UO₂フィルタの材質を「添説設 7-4-1 表 UO₂フィルタ 材質一覧表」に示す。

添説設 7-4-1 表 UO₂フィルタ 材質一覧表

品番	名称	材質	ガスケット ボルト 情報(*1)	耐圧強度 計算	計算対象外の理由
①	胴板			対象	
②	フランジ			対象	
③	上部ケーシング (胴板)			対象	
④	上部ケーシング (フランジ)			対象	
⑤	下部ケーシング (胴板)			—	上記①に評価は包絡されることから省略する。
⑥	下部ケーシング (フランジ)			—	②を代表として評価する。
⑦	仕切板			—	強度を確保する材料ではないため。
⑧	ノズル			対象	
⑨	ノズル			対象	
⑩	ノズル			対象	
⑪	ノズル			対象	

(*1) 凡例 , また、() 内はボルト材料を示す。



添説設 7-4-1 図 UO₂ フィルタ

4.2 計算条件

イ) 最高使用圧力及び最高使用温度

UO₂ フィルタの最高使用圧力及び最高使用温度を「添説設 7-4-2 表 UO₂ フィルタ計算条件」に示す。

添説設 7-4-2 表 UO₂ フィルタ計算条件

品番	①、②	③、④	⑧～⑪
名称	胴板、 フランジ	上部 ケーシング (胴板)、 (フランジ)	ノズル
最高使用圧力 (MPaG)			
最高使用温度 (°C)			

(注) 運転圧力、温度に裕度を考慮した数値とする。

ロ) 設計厚さ

計算に用いる各部材の設計厚さは、公称厚さから設計上の裕度 (1.0 mm) を差し引いた値とする。

$$(\text{設計厚さ}) = (\text{公称厚さ}) - (1.0 \text{ mm})$$

ハ) 溶接継手効率

溶接継手は、存在しないことから、 $\eta=1.0$ とする。

4.3 耐圧強度計算

1) ①胴板(JIS B 8280 7.2.1 項)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

H : 添説設 7-4-2 図に示す非円形胴の一辺の長さ H = =
(mm)

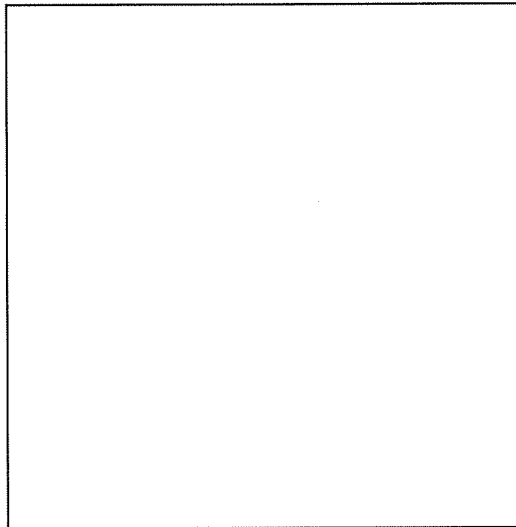
h : 添説設 7-4-2 図に示す非円形胴の一辺の長さ h = =
(mm)

t₁ : 添説設 7-4-2 図に示す胴板の厚さ t₁ = = (mm)

t₂ : 添説設 7-4-2 図に示す胴板の厚さ t₂ = = (mm)

c : 部材断面の中立面から表面までの長さ (mm)

η : 溶接継手効率



添説設 7-4-2 図 胴部寸法図

イ) 部材 ④～⑥間の応力

a) 膜応力

$$\sigma_m = \frac{Ph}{2t_1\eta}$$

$$= \text{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

b) 曲げ応力

$$(\sigma_b)_N = \pm \frac{Ph^2c}{2t_1^3\eta} \left\{ \frac{2 - (K+3)\alpha^2}{K+1} \right\}$$

$$= \text{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

ここに、

$$\alpha = \frac{H}{h} = \boxed{}, \quad K = \alpha \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^3 = \boxed{}$$

2) ③、④上部ケーシング（胴板）及び上部ケーシング（フランジ）

（JIS B 8280 附属書 1 5. を準用）

胴板及びフランジに生じる膜応力、曲げ応力及び合成応力の計算を以降に示す。ただし、応力計算は、使用状態及びガスケット締付時の両方の場合について行う。上部ケーシング（胴板）の計算に係る寸法記号を添説設 7-4-3 図に示し、上部ケーシング（フランジ）の計算に係る寸法記号を添説設 7-4-4 図に示す。

イ) ボルト荷重

a) 使用状態でのボルト荷重

$$W_{m1} = H' + H_p$$

W_{m1} : 使用状態でのボルト荷重 (N/mm)

H' : フランジに加わる内圧による単位長さ当たりの荷重 (N/mm)

H_p : 気密を十分保つために、ガスケット又は継手接触面における単位長さ当たりの圧縮力 (N/mm)

G : ガスケットの反力のかかる位置を結ぶ最少スパン

$$G = \boxed{} = \boxed{} \text{ (mm)}$$

b : ガスケット座の有効幅 (mm) JIS B 8265 「附属書 G」による。

$$b = 2.5\sqrt{b_0} = \boxed{} = \boxed{} \text{ (mm)}$$

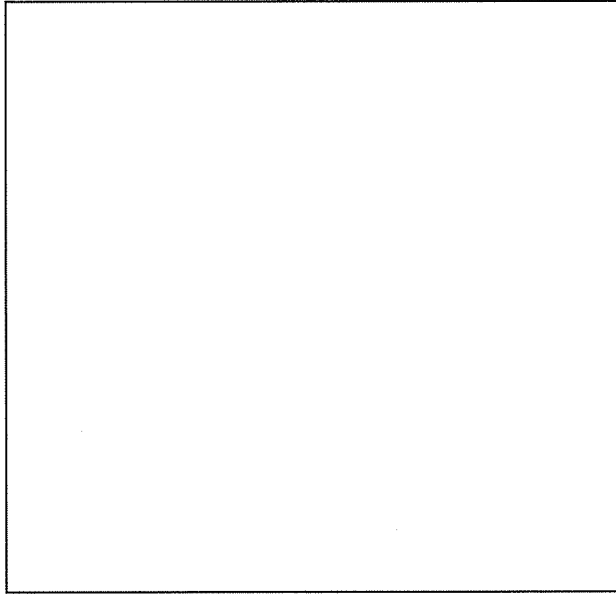
b_0 : ガスケット座の基本幅 (mm)

附属書 G 表 G.3 による

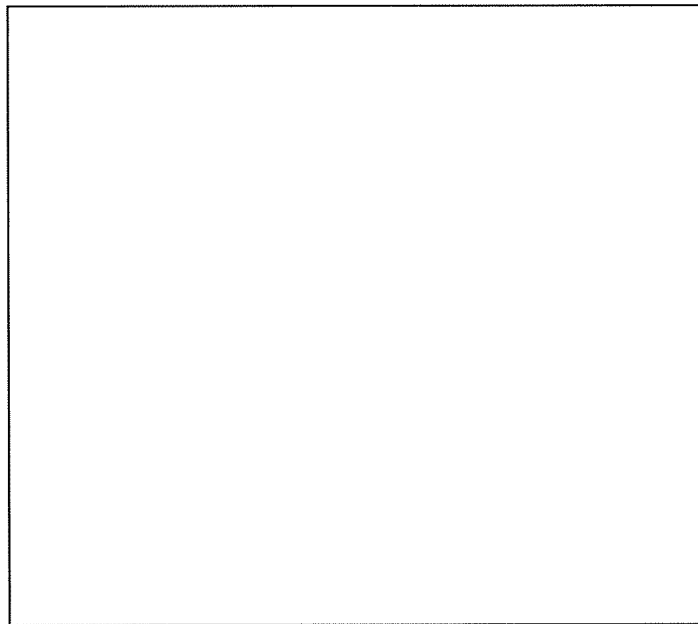
N : ガスケット接触面の幅 (mm)

$$b_0 = \frac{N}{2} = \boxed{} = \boxed{} \text{ (mm)}$$


m : ガスケット係数で、JIS B 8265 「附属書 G 表 G.2」による。



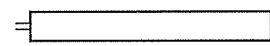
添説設 7-4-3 図 U₀₂フィルタ上部ケーシングの寸法記号



添説設 7-4-4 図 フランジ計算に用いる寸法記号

$$H' = \frac{GP}{2}$$


$$= \text{[] (N/mm)}$$

$$H_p = 2bmP$$


$$= \text{[] (N/mm)}$$

$$W_{m1} = \text{[] (N/mm)}$$

b) ガスケット締付時のボルト荷重

$$W_{m2} = by$$

W_{m2} : ガスケット締付時のボルト荷重 (N/mm)

y : ガスケット又は継手接触面の最小設計締付圧力 (N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 G 表 G. 2」による。

$$W_{m2} = \text{[]}$$

$$= \text{[] (N/mm)}$$

ロ) 単位長さ当りのボルトの総断面積及び実際のボルトの総断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_{b0}}$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_{a0}}$$

A_{m1} : 使用状態での単位長さ当りのボルトの必要有効断面積
(mm²/mm)

A_{m2} : ガスケット締付時の単位長さ当りのボルトの必要有効断面積
(mm²/mm)

σ_{b0} : 最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 $\sigma_{b0} =$
[] (N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B. 5 ボルト材料の許容引張応力」
による。

σ_{a0} : 常温におけるボルト材料の許容引張応力 $\sigma_{a0} =$ [] (N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.5 ボルト材料の許容引張応力」
による。

$$A_{m1} = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ (mm}^2\text{/mm)}$$

$$A_{m2} = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ (mm}^2\text{/mm)}$$

ハ) フランジの計算に用いるボルト荷重

a) 使用状態での単位長さ当たりのボルト荷重

$$W_0 = W_{m1}$$

W_0 : 使用状態での単位長さ当たりのボルト荷重 (N/mm)

$$W_0 = \boxed{} \text{ (N/mm)}$$

b) ガasket縮付時の単位長さ当たりのボルト荷重

$$W_g = \frac{A_m + A_b}{2} \sigma_{a0}$$

W_g : ガasket縮付時の単位長さ当たりのボルト荷重 (N/mm)

A_m : 使用状態及びガasket縮付時の両方に対して必要なフランジ
の単位長さ当たりのボルトの総断面積 (mm²/mm)

A_m は A_{m1} と A_{m2} の値のうち大きい方をとる

A_b : 実際に使用するボルトの単位長さ当たりの総断面積 (mm²/mm)

$$A_b = \frac{\pi \times d_b^2}{4 P_b} = \boxed{} = \boxed{} \text{ (mm}^2\text{/mm)}$$

P_b : ボルト間隔 (mm)

d_b : ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部のいずれか小さい
方の径 (mm)

$$W_g = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ (N/mm)}$$

ニ) フランジに作用するモーメント

a) 使用状態でフランジに作用する単位長さ当たりの全モーメント

$$M_0 = M_D + M_G + M_T$$

M_0 : 使用状態でフランジに作用する単位長さ当たりの全モーメント
(Nmm/mm)

M_D : 内圧によってフランジの最小スパン面に加わる単位長さ当たりのモーメント (Nmm/mm)

R : 添説設 7-4-4 図に示す距離 (mm)

t_1 : 胴板の厚さ (mm)

H_D : フランジの最小スパン面に加わる荷重 (N/mm)

h : 非円形胴の内径 (mm)

h_D : モーメントアーム (mm)

M_G : ガasket荷重によるモーメントで、フランジのボルト荷重とフランジに加わる内圧による荷重との差による単位長さ当たりのモーメント (Nmm/mm)

H_G : ガasket荷重(ボルト荷重 W_0 とフランジに加わる内圧による荷重 H' との差) (N/mm)

h_G : モーメントアーム (mm)

C : ボルト穴の中心を結ぶ最小スパン (mm)

M_T : フランジに加わる内圧による荷重とフランジの最小スパン面に加わる荷重との差による単位長さ当たりのモーメント (Nmm/mm)

H_T : フランジに加わる内圧による荷重 H' とフランジの最小スパン面に加わる単位長さ当たりの荷重 H_0 との差 (N/mm)

h_T : モーメントアーム (mm)

$$h_D = R + 0.5t_1$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$H_D = \frac{Ph}{2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm)}$$

$$M_D = H_D h_D$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (Nmm/mm)}$$

$$H_G = W_0 - H'$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm)}$$

$$h_G = \frac{C - G}{2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$M_G = H_G h_G$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (Nmm/mm)}$$

$$H_T = H' - H_D$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm)}$$

$$h_T = \frac{1}{2}(R + t_1 + h_G)$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$M_T = H_T h_T$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (Nmm/mm)}$$

$$M_0 = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (Nmm/mm)}$$

b) ガasket縮付時にフランジに作用する単位長さ当たりのモーメント

$$M_g = W_g \frac{C - G}{2}$$

M_g : ガasket締付時にフランジに作用する単位長さ当たりのモーメント (Nmm/mm)

$$M_g = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ (Nmm/mm)}$$

ホ) 部材 A~B の応力 (附属書 1 2. を準用)

a) 使用時

a. 1) 膜応力

$$\sigma_m = \frac{Ph}{2t_1\eta}$$

σ_m : 膜応力 (N/mm²)

h : 非円形胴の内径 $h = \boxed{} = \boxed{} \text{ (mm)}$

P : 最高使用圧力 (MPaG)

t_1 : 胴板の厚さ $t_1 = \boxed{} = \boxed{} \text{ (mm)}$

η : 溶接継手効率

$$= \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

a. 2) 曲げ応力

$$(\sigma_b)_A = \pm \frac{6M_A}{t_1^2\eta}$$

σ_b : 曲げ応力 (N/mm²)

M_A : 添説設 7-4-3 図に示す A 点においてフランジに作用する単位長さ当たりの曲げモーメント (Nmm/mm)

$$(\sigma_b)_A = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

$$(\sigma_b)_B = \pm \frac{6M_{Bj}}{t_1^2\eta}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \square \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

$$(\sigma_b)_{A-B} = \pm \frac{6}{t_1^2 \eta} \left(M_A + \frac{R_{Cj}^2}{2P} \right)$$

$$= \square$$

$$= \square \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

M_{Bj} : 隅角部 B 点にかかる単位長さ当たりの曲げモーメント
(Nmm/mm)

$$M_{Bj} = \frac{\frac{1}{4}P(Q_1 H^2 + Q_2 h^2) + M_A Q_1}{2Q_1 + 3Q_2}$$

$$= \square$$

$$= \square$$

H : 添説設 7-4-3 図に示す非円形洞の内り H = $\square = \square$
(mm)

Q_1 : 非円形洞の内り H を単位長さ当たりの洞板厚さ t_1 部の断面 2 次モーメントで除したもの (mm/mm³)

$$Q_1 = \frac{12H}{t_1^3} = \square = \square$$

Q_2 : 非円形洞の内り h を単位長さ当たりの洞板厚さ t_2 部の断面 2 次モーメントで除したもの (mm/mm³)

$$Q_2 = \frac{12h}{t_2^3} = \square = \square$$

R_{Cj} : フランジ取付部 A 部にかかる単位長さ当たりの反力 (N/mm)

$$R_{Cj} = \frac{\frac{P}{2} \left(\frac{3}{2} Q_1 H^2 + 3Q_2 H^2 - \frac{1}{2} Q_2 h^2 \right) - 3M_A (Q_1 + Q_2)}{(2Q_1 + 3Q_2)H}$$

$$= \square$$

$$= \square$$

a. 3) 合成応力

$$\begin{aligned}
 (\sigma_T)_A &= \sigma_m + (\sigma_b)_A \\
 &= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\sigma_T)_B &= \sigma_m + (\sigma_b)_B \\
 &= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\sigma_T)_{A-B} &= \sigma_m + (\sigma_b)_{A-B} \\
 &= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}
 \end{aligned}$$

b) 縮付時

b. 1) 膜応力

$$\begin{aligned}
 \sigma_m &= \frac{Ph}{2t_1\eta} \\
 &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}
 \end{aligned}$$

b. 2) 曲げ応力

$$\begin{aligned}
 (\sigma_b)_A &= \pm \frac{6M_A}{t_1^2\eta} \\
 &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\sigma_b)_B &= \pm \frac{6M_{Bj}}{t_1^2\eta} \\
 &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}
 \end{aligned}$$

$(\sigma_b)_{A-B}$ は、 R_{Cj} が負のため考慮しなくてもよい。

$$M_{Bj} = \frac{\frac{1}{4}P(Q_1H^2 + Q_2h^2) + M_A Q_1}{2Q_1 + 3Q_2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

$$(\sigma_b)_C = \pm \frac{cM_{Cj}}{I_2\eta}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

ここに、 c : 断面の中立軸から外表面までの長さ (mm)

I_2 : 単位長さ当たりの胴板厚さ t_2 部の断面 2 次モーメント
(mm^4/mm)

$$I_2 = \frac{t_2^3}{12} = \boxed{} = \boxed{}$$

M_{Cj} : 中央 C 点に作用する単位長さ当たりの曲げモーメント
(Nmm/mm)

$$M_{Cj} = M_{Bj} - \frac{Ph^2}{8}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

a. 3) 合成応力

$$(\sigma_T)_B = \sigma_m + (\sigma_b)_B$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

$$(\sigma_T)_C = \sigma_m + (\sigma_b)_C$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

b) 締付時

b. 1) 膜応力

$$\sigma_m = \frac{R_{tj}}{t_2\eta}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

$$R_{tj} = PH - R_{Cj}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

b. 2) 曲げ応力

$$(\sigma_b)_B = \pm \frac{cM_{Bj}}{I_2\eta}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

$$(\sigma_b)_C = \pm \frac{cM_{Cj}}{I_2\eta}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

$$M_{Cj} = M_{Bj} - \frac{Ph^2}{8}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

b. 3) 合成応力

$$(\sigma_T)_B = \sigma_m + (\sigma_b)_B$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

$$(\sigma_T)_C = \sigma_m + (\sigma_b)_C$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

ト) フランジの応力

a) 使用時

$$\sigma_F = \frac{6C_F M}{t_F^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

M : フランジに作用する単位長さ当たりのモーメント (Nmm/mm)

$$M = M_0 = \boxed{} \quad (\text{Nmm/mm})$$

C_F : 荷重修正係数

$$C_F = \sqrt{\frac{P_b}{2d_b + \frac{6t_F}{m+0.5}}} \quad (C_F \geq 1.0 \text{ とする})$$

t_F : フランジの使用厚さから腐れ代を引いた値 $t_F = \boxed{} = \boxed{} \quad (\text{mm})$

$$C_F = \boxed{}$$

$$= \boxed{}$$

$$\sigma_F = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \quad (\text{N/mm}^2)$$

b) 締付時

$$M = M_g = \boxed{} \quad (\text{Nmm/mm})$$

$$\sigma_F = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \quad (\text{N/mm}^2)$$

3) ②フランジ (JIS B 8280 附属書 1 5. を準用)

胴板及びフランジに生じる膜応力、曲げ応力及び合成応力の計算を以降に示す。ただし、応力計算は、使用状態及びガスケット締付時の両方の場合について行う。

イ) ボルト荷重

a) 使用状態でのボルト荷重

$$W_{m1} = H' + H_P$$

$$G = \boxed{} = \boxed{} \quad (\text{mm})$$

$$b = 2.5\sqrt{b_0} = \boxed{} = \boxed{} \quad (\text{mm})$$

$$b_0 = \frac{N}{2} = \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$H' = \frac{GP}{2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm)}$$

$$H_p = 2bmP$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm)}$$

$$W_{m1} = \boxed{} = \boxed{} \text{ (N/mm)}$$

b) ガスケット締付時のボルト荷重

$$W_{m2} = by$$

$$W_{m2} = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm)}$$

ロ) 単位長さ当たりのボルトの総断面積及び実際のボルトの総断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_{b0}}$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_{a0}}$$

$$A_{m1} = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (mm}^2\text{/mm)}$$

$$A_{m2} = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (mm}^2\text{/mm)}$$

ハ) フランジの計算に用いるボルト荷重

a) 使用状態での単位長さ当たりのボルト荷重

$$W_0 = W_{m1}$$

$$M_G = H_G h_G$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (Nmm/mm)}$$

$$H_T = H' - H_D$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm)}$$

$$h_T = \frac{1}{2} (R + t_1 + h_G)$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$M_T = H_T h_T$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (Nmm/mm)}$$

$$M_0 = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (Nmm/mm)}$$

b) ガasket締付時にフランジに作用する単位長さ当たりのモーメント

$$M_g = W_g \frac{C - G}{2}$$

$$M_g = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (Nmm/mm)}$$

ホ) 部材 A の応力 (附属書 1 2. を準用)

a) 使用時

a. 1) 膜応力

$$\sigma_m = \frac{Ph}{2t_1\eta}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

a. 2) 曲げ応力

$$(\sigma_b)_A = \pm \frac{6M_A}{t_1^2 \eta}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

a. 3) 合成応力

$$(\sigma_T)_A = \sigma_m + (\sigma_b)_A$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

b) 締付時

b. 1) 膜応力

$$\sigma_m = \frac{Ph}{2t_1 \eta}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

b. 2) 曲げ応力

$$(\sigma_b)_A = \pm \frac{6M_A}{t_1^2 \eta}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

b. 3) 合成応力

$$(\sigma_T)_A = \sigma_m + (\sigma_b)_A$$

$$= \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

へ) フランジの応力

a) 使用時

$$\sigma_F = \frac{6C_F M}{t_F^2} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

$$M = M_0 = \boxed{} \text{ (Nmm/mm)}$$

JIS B 8265 「表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

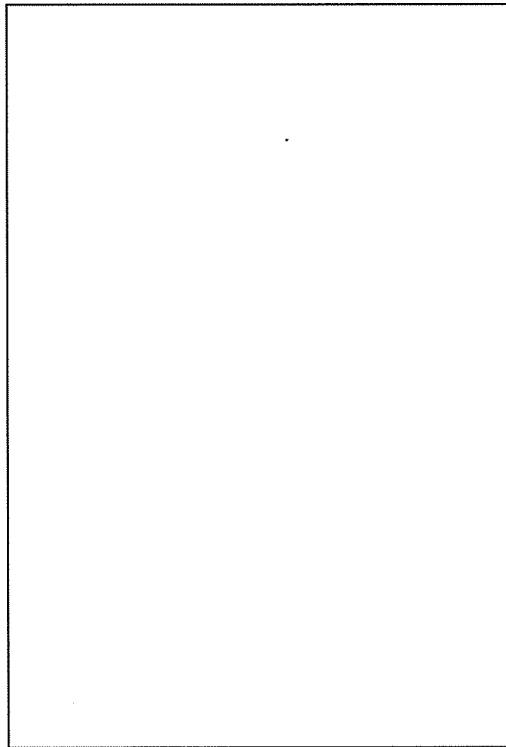
η : 溶接継手効率

$$t_{\text{⑩}} = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ (mm)}$$

8) 穴の補強 (JIS B 8280 7.1 e) 及び JIS B 8265 附属書 F F.6, F.7, F.8 圧力容器の穴補強)

上部ケーシング及び下部ケーシングに設ける穴は、その径がそれぞれ $\boxed{}\text{mm}$ 及び $\boxed{}\text{mm}$ となり補強を要す。最も厳しい管台を代表して補強計算を行う。

なお、保守側に穴の計算上の板厚は全板厚 $\boxed{}\text{mm}$ とし、管の計算厚さは $\boxed{}\text{mm}$ として計算する。計算に用いた上部ケーシングに係る寸法を添説設 7-4-5 図に示す。



添説設 7-4-5 図 穴の補強 (上部ケーシング)

F : 係数 F=1.0

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

a) 穴補強に必要な面積

$$\begin{aligned} A &= dt_r F \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{ (mm}^2 \text{)} \end{aligned}$$

t_r : 胴板の計算厚さ(保守側に全板厚とする) $t_r = \boxed{}$ (mm)

b) 強め材として算入できる面積

$$\begin{aligned} A_1 &= d_1(\eta t - Ft_r) \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{ (mm}^2 \text{)} \end{aligned}$$

d_1 : 強め材として算入できる範囲(保守側にねじ部の内側までの距離として片側 $d_1 = \boxed{}$ (mm) とする)

9) 計算結果及び評価

イ) 計算結果

UO₂フィルタの耐圧強度計算の結果を添説設 7-4-3 表に示す。

添説設 7-4-3 表 UO₂フィルタ 評価結果一覧

品番	名称		発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	計算上 必要な 厚さ (mm)	設計厚 さ※1 (mm)	穴補強 に必要な強め 材の最小面積 (mm ²)	強め材 として 算入で きる部 分の面 積(mm ²)	
①	胴板	膜応力							
		合成応力							
②	フランジ	使用時							
		締付時							
③	上部ケーシング (胴板)	使用時							膜応力
									合成応力
		締付時							膜応力
									合成応力
④	上部ケーシング (フランジ)	使用時							
		締付時							
⑧	ノズル								
⑨	ノズル								
⑩	ノズル								
⑪	ノズル								

※1：設計厚さ＝公称厚さ－（1.0mm） （1.0mm は設計上の裕度）

ロ) 評 価

各部材の発生応力は許容応力よりも小さく、設計厚さは計算上必要な厚さよりも厚く、また、強め材として算入できる部分の面積は穴補強に必要な面積よりも大きいため、耐圧強度上の安全性は確認された。

また、ノズルの耐圧強度上の安全評価より、配管に必要な計算厚さは□mm以下であり、接続する配管についても必要な耐圧強度を満足している。

5. UO₂受けホッパ

5.1 構造・寸法及び材質

1) 構造・寸法

UO₂受けホッパの構造・寸法を「添説設 7-5-1 図 UO₂受けホッパ」に示す。

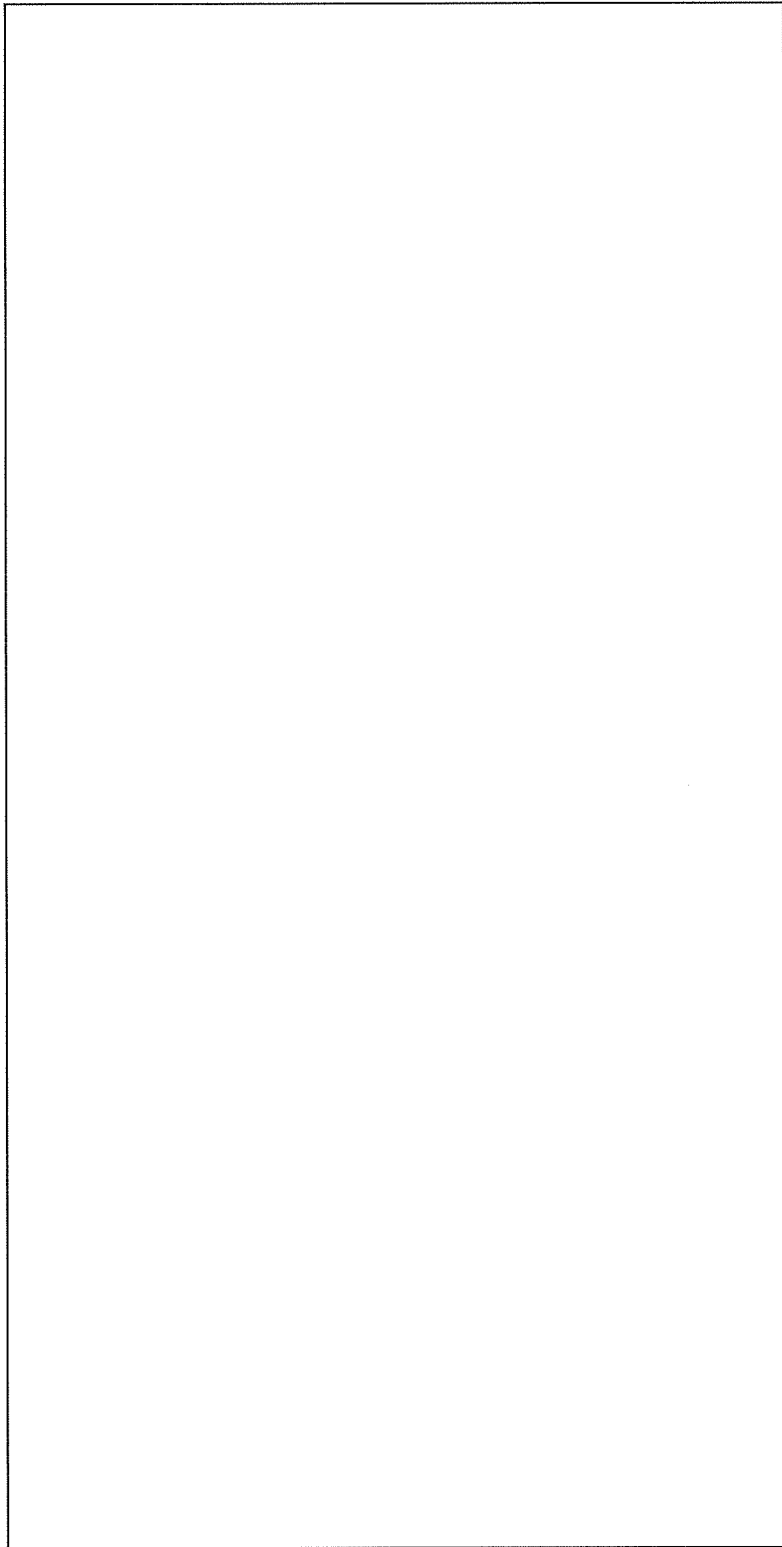
2) 材 質

UO₂受けホッパの材質を「添説設 7-5-1 表 UO₂受けホッパ 材質一覧表」に示す。

添説設 7-5-1 表 UO₂受けホッパ 材質一覧表

品番	名称	材質	ガスケット ボルト 情報(*1)	耐圧強度 計算	計算対象外の理由
①	胴板			対象	
②	平ふた板			対象	
③	ノズル			対象	
④	ノズル			対象	
⑤	ノズル			対象	
⑥	ノズル			対象	
⑦	ノズル			対象	
⑧	ノズル			—	③ノズルの評価に 包絡されるため
⑨	ノズル			—	③ノズルの評価に 包絡されるため

(*1) 凡例 。また、() 内はボルト材料を示す。



添説設 7-5-1 図 UO₂ 受けホツパ

5.2 計算条件

イ) 最高使用圧力及び最高使用温度

UO₂受けホッパの最高使用圧力及び最高使用温度を「添説設7-5-2表 UO₂受けホッパ計算条件」に示す。

添説設7-5-2表 UO₂受けホッパ計算条件

品番	①	②	③～⑦
名称			
最高使用圧力 (MPaG)			
最高使用温度 (°C)			

(注) 運転圧力、温度に裕度を考慮した数値とする。

ロ) 設計厚さ

計算に用いる各部材の設計厚さは、公称厚さから設計上の裕度(1.5mm)を差し引いた値とする。

$$(\text{設計厚さ}) = (\text{公称厚さ}) - (1.5\text{mm})$$

$$t_{\text{②}} = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ (mm)}$$

3) 管台 (胴の計算の内径基準)

(JIS B 8265 附属書 E E.2 内圧を保持する胴)

イ) ③、④ノズル

$$t_{\text{③,④}} = \frac{PD_{i\text{③,④}}}{2\sigma_{a\text{③,④}}\eta - 1.2P}$$

$t_{\text{③,④}}$: ノズルの計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{i\text{③,④}}$: ノズルの内径 $D_{i\text{③,④}} = \boxed{} = \boxed{}$ (mm)

$\sigma_{a\text{③,④}}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a\text{③,④}} = \boxed{}$ (N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$t_{\text{③,④}} = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ (mm)}$$

ロ) ⑤ノズル

$$t_{\text{⑤}} = \frac{PD_{i\text{⑤}}}{2\sigma_{a\text{⑤}}\eta - 1.2P}$$

$t_{\text{⑤}}$: ノズルの計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{i\text{⑤}}$: ノズルの内径 $D_{i\text{⑤}} = \boxed{} = \boxed{}$ (mm)

$\sigma_{a\text{⑤}}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a\text{⑤}} = \boxed{}$ (N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$t_{\text{⑤}} = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ (mm)}$$

ハ) ⑥、⑦ノズル

$$t_{\text{⑥,⑦}} = \frac{PD_{i\text{⑥,⑦}}}{2\sigma_{a\text{⑥,⑦}}\eta - 1.2P}$$

$t_{\text{⑥,⑦}}$: ノズルの計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{i\text{⑥,⑦}}$: ノズルの内径 $D_{i\text{⑥,⑦}} = \boxed{} = \boxed{} \text{ (mm)}$

$\sigma_{a\text{⑥,⑦}}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a\text{⑥,⑦}} = \boxed{}$
(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$t_{\text{⑥,⑦}} = \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ (mm)}$$

4) 平ふた板

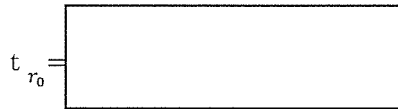
(JIS B 8265 附属書 F F.11 2 個以上の穴を隣接して設ける場合の穴補強)

隣接する 2 個の中心間距離の全てが $2.5(d_1+d_2)$ の値以下となるので、平ふた板(蓋)に設ける穴は、補強の検討が必要となる。

平ふた板に設ける全ての穴の直径が平ふた板の直径の $1/2$ 以下で、隣接する 2 つの穴の平均径も平ふた板の直径の $1/4$ 以下であり、隣接する二つの穴の中心間距離が穴の平均径の $5/4$ 倍以上で 2 倍未満の場合の補強を考える。

円形平ふたの計算厚さ t_{r0} は、以下により算出される。

$$t_{r0} = d \sqrt{\frac{0.25P}{\sigma_a \eta}}$$



ノズル径が大きく、ノズル間距離が近い、③ノズルと⑥ノズルについて、以下の係数 h を算出する。

$$h = \sqrt{\frac{0.5}{e}}$$

$$e = \frac{(p - d_{ave})}{p}$$

ここで、

- d_{ave} : 隣接する穴の平均径 (mm)
- e : 全ての隣接する穴のリガメント効率のうち最小値
- h : 平板の厚さに乗じる係数
- p : 隣接する穴の中心間距離 (mm)

それぞれ、数字を入力すると

$$e = \text{[]}$$

$$h = \text{[]}$$

円形平ふたの計算厚さ t_{r0} に、 $\sqrt{2}$ 及び、 h を乗じた平ふた板の設計厚さ t_r は、

$$t_r = \text{[]}$$

以上より、穴を考慮した平ふた板の計算厚さ $t_r = \text{[]} \text{ mm} <$ 平ふた板の設計厚さ $\text{[]} \text{ mm}$ (公称厚さ $\text{[]} \text{ mm}$ から設計上の裕度 $\text{[]} \text{ mm}$ 減じた値) であることから、補強は不要である。

5) 計算結果及び評価

イ) 計算結果

UO₂受けホッパの耐圧強度計算の結果を添説設 7-5-3 表に示す。

添説設 7-5-3 表 UO₂受けホッパ 耐圧強度計算結果

品番	名称	計算上必要な厚さ (mm)	設計厚さ※1 (mm)
①	胴板		
②	平ふた板		
③	ノズル		
④	ノズル		
⑤	ノズル		
⑥	ノズル		
⑦	ノズル		

※1: 設計厚さ = 公称厚さ - (1.5mm) (1.5mm は設計上の裕度)

ロ) 評価

各部材の設計厚さは計算上必要な厚さよりも厚く、耐圧強度上の安全性は確認された。

また、ノズルの耐圧強度上の安全評価より、配管に必要な計算厚さは 1.0mm 以下であり、接続する配管についても必要な耐圧強度を満足している。

6. UF₆ シリンダ

6.1 構造・寸法及び材質

1) 構造・寸法

UF₆ シリンダの構造・寸法を「添説設 7-6-1 図 UF₆ シリンダ」に示す。

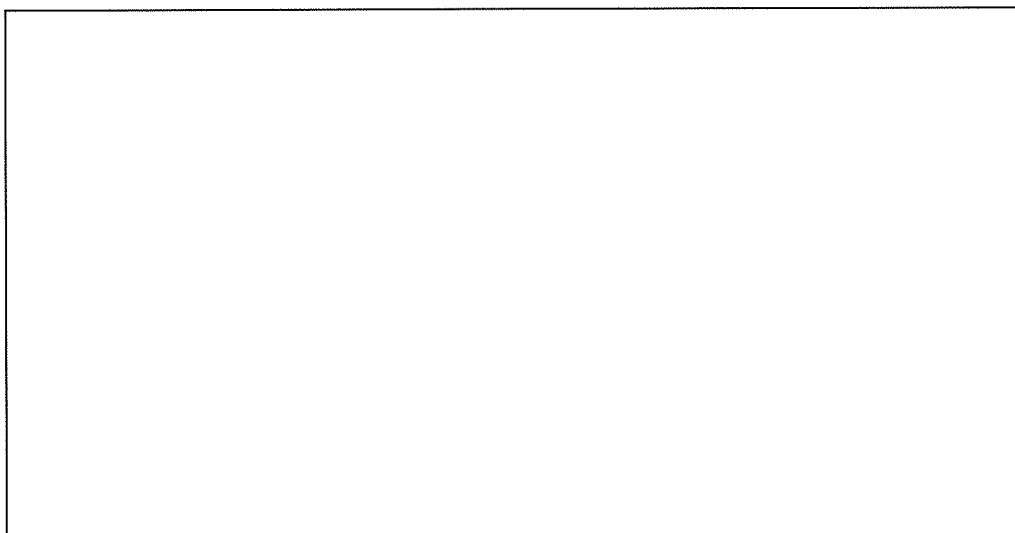
2) 材 質

UF₆ シリンダの材質を「添説設 7-6-1 表 UF₆ シリンダ 材質一覧表」に示す。

添説設 7-6-1 表 UF₆ シリンダ 材質一覧表

品番	名称	材質	耐圧強度 計算	計算対象外の理由
①	胴板		対象	
②	鏡板		対象	
③	弁		—	最高使用圧力、最低使用圧力を満足する弁を選定するため。
④	閉止栓		—	最高使用圧力、最低使用圧力を満足する閉止栓を選定するため。

(注) 評価は にて実施している。



添説設 7-6-1 図 UF₆ シリンダ

6.2 計算条件

イ) 最高使用圧力、最低使用圧力及び最高使用温度

UF₆シリンダの最高使用圧力、最低使用圧力及び最高使用温度を「添説設 7-6-2 表 UF₆シリンダ計算条件」、「添説設 7-6-3 表 UF₆シリンダ計算の評価条件(内圧に対する強度評価)」及び「添説設 7-6-4 表 UF₆シリンダ計算の評価条件(外圧に対する強度評価)」に示す。

添説設 7-6-2 表 UF₆シリンダ計算条件

品番	①	②
名称	胴板	鏡板
最高使用圧力 (MPaG)		
最低使用圧力 (MPaG)		
最高使用温度 (°C)		

添説設 7-6-3 表 UF₆ シリンダ計算の評価条件(内圧に対する強度評価)

記号	説明	値
t	胴板、鏡板の厚さ(mm) ANSI 規格 30B 型の仕様より	
D ₀	円筒胴、鋼板の外径(mm) ANSI 規格 30B 型の仕様 (ノミナル値)より $D_0 = \square \text{ in} \times 25.4 \text{ mm/in}$	
D _i	円筒胴、鏡板の内径(mm) $D_i = D_0 - 2t$	
h	鏡板の高さ(mm) 鏡板のタンジェントラインから鏡板の最深部までの距離 $h = D_i / 4$	

添説設 7-6-4 表 UF₆ シリンダ計算の評価条件(外圧に対する強度評価)

記号	説明	値
t	胴板、鏡板の最小肉厚(mm) ANSI 規格 30B 型の仕様の最小値を基に設定	
D ₀	円筒胴、鋼板の外径(mm) ANSI 規格 30B 型の仕様 (ノミナル値)より $D_0 = \square \text{ in} \times 25.4 \text{ mm/in}$	
D _i	円筒胴、鏡板の内径(mm) $D_i = D_0 - 2t$	
H	UF ₆ シリンダの外高さ(mm) ANSI 規格 30B 型の仕様 (ノミナル値)より $H = \square \text{ in} \times 25.4 \text{ mm/in}$	
h	鏡板の高さ(mm) 鏡板のタンジェントラインから鏡板の最深部までの距離 $h = D_i / 4$	
T _L	直管部長さ $T_L = H - 2(h+t)$	
L	胴の設計長さ(mm) $L = T_L + 2h/3$	

ロ) 設計厚さ

計算に用いる各部材の設計厚さは、公称厚さから設計上の裕度 (1.0 mm) を差し引いた値とする。

$$(\text{設計厚さ}) = (\text{公称厚さ}) - (1.0 \text{ mm})$$

ハ) 溶接継手効率

溶接継手効率(η)は、 $\eta=0.65$ とする。

6.3 耐圧強度計算

1) ①胴板

イ) 内圧に対する強度評価 (JIS B 8265 附属書 E E.2 内圧を保持する胴)

$$t_{①} = \frac{PD_{i①}}{2\sigma_{a①}\eta - 1.2P}$$

$t_{①}$: 胴板の計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{i①}$: 胴の内径 $D_{i①} = \text{[]} = \text{[]}$ (mm)

$\sigma_{a①}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a①} = \text{[]}$ (N/mm²)

「ASME Boiler&Pressure Vessel Code Sec. II Materials」より [] の引張強さ S_T 及び降伏点 S_Y (「添説設 7-6-5 表 [] の引張強さ S_T 及び降伏点 S_Y 」より) を求め、「JIS B 8265 補足事項 許容引張応力の設定基準」より許容引張応力を計算した結果を「添説設 7-6-6 表 許容引張応力の設定(最小値を許容引張応力とする)」に示す。

添説設 7-6-5 表 [] の引張強さ S_T 及び降伏点 S_Y

温度	引張強さ S_T (N/mm ²)	降伏点 S_Y (N/mm ²)
121°C		

添説設 7-6-6 表 許容引張応力の設定(最小値を許容引張応力とする)

温度	引張強さ S_T (N/mm ²)	降伏点 S_Y (N/mm ²)
121°C		

η : 溶接継手効率 $\eta = 0.65$

$$t_{①} = \text{[]} = \text{[]} \text{ (mm)}$$

ロ) 外圧に対する強度評価

(JIS B 8265 附属書 E E.4 外圧を保持する胴及び鏡板)

$$P_{a①} = \frac{4B t_{①}}{3D_o}$$

$t_{①}$: 胴の最小厚さ (mm)

L : 胴の設計長さ (mm)

D_o : 円筒胴の外径 (mm)

$$\frac{L}{D_o} = \frac{\square}{\square}$$

$$\frac{D_o}{t_{①}} = \frac{\square}{\square}$$

A : 「JIS B 8265 附属書 E 圧力容器の胴及び鏡板

図 E.9 外圧又は圧縮荷重を受ける円筒胴の形状曲線(すべての材料)」により \square

B : 「JIS B 8265 附属書 E 圧力容器の胴及び鏡板

図 E.10 外圧を保持する円筒胴及び球形胴の計算に用いる材料曲線(2)炭素鋼及び低合金鋼(材料規格の降伏点 205N/mm² 以上, 設計温度 150℃を超える場合に適用)並びに 405 系及び 410 系ステンレス鋼」により \square

$P_{a①}$: 許容外圧 (MPa (abs))

$$P_{a①} = \frac{\square}{\square} \text{ (MPa(abs))}$$

2) ②鏡板

イ) 内圧に対する強度評価 (JIS B 8265 附属書 E E.3 内圧を保持する鏡板)

$$t_{②} = \frac{PD_{i②}K}{2\sigma_{a②}\eta - 0.2P}$$

$t_{②}$: 半だ円形鏡板の計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{i②}$: 半だ円形鏡板のだ円の内長径 $D_{i②} = \frac{\square}{\square}$ (mm)

K : 半だ円形鏡板の形状による係数で次の式による

$2h$: 半だ円形鏡板のだ円の内短径 \square (mm)

$$K = \frac{1}{6} \left\{ 2 + \left(\frac{D_{i(2)}}{2h} \right)^2 \right\}$$

$\sigma_{a(2)}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a(2)} = \square$
(N/mm²)

「ASME Boiler&Pressure Vessel Code Sec. II Materials」より \square の引張強さ S_T 及び降伏点 S_Y (「添説設 7-6-5 表 \square の引張強さ S_T 及び降伏点 S_Y 」より) を求め、「JIS B 8265 補足事項 許容引張応力の設定基準」より許容引張応力を計算した結果を「添説設 7-6-6 表 許容引張応力の設定(最小値を許容引張応力とする)」に示す。

η : 溶接継手効率 $\eta = 0.65$

$$K = \frac{1}{6} \left\{ 2 + \left(\square \right)^2 \right\}$$

$$= \square$$

$$t_{(2)} = \square$$

$$= \square \text{ (mm)}$$

ロ) 外圧に対する強度評価

(JIS B 8265 附属書 E E.4 外圧を保持する胴及び鏡板)

a) 鏡板が内圧を保持するものとした場合

(鏡板が内圧を保持するものとみなし、設計外圧を 1.67 倍として「JIS B 8265 附属書 E 圧力容器の胴及び鏡板」より許容外圧を計算する。)

$$t_{(2)} = \frac{1.67 P_{(2)} D_o K}{2 \sigma_{a(2)} \eta + 2 \times 1.67 P_{(2)} (K - 0.1)}$$

$t_{(2)}$: 板厚の最小肉厚 (mm)

$P_{(2)}$: 最高使用圧力 (MPa(abs))

D_o : 鏡板外径 (mm)

K : 半だ円形鏡板の形状による係数

$$K = \frac{1}{6} \left\{ 2 + \left(\frac{D}{2h} \right)^2 \right\}$$

$$= \square$$

$\sigma_{a(2)}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a(2)} = \square$
(N/mm²)

「ASME Boiler&Pressure Vessel Code Sec. II Materials」より の引張強さ S_T 及び降伏点 S_Y (「添説設 7-6-5 表 の引張強さ S_T 及び降伏点 S_Y 」より) を求め、「JIS B 8265 補足事項 許容引張応力の設定基準」より許容引張応力を計算した結果を「添説設 7-6-6 表 許容引張応力の設定(最小値を許容引張応力とする)」に示す。

η : 溶接継手効率 $\eta = 1.0$

$$P_{\text{②}} = \frac{2\sigma_a \eta t_{\text{②}}}{1.67D_o K - 2 \times 1.67t_{\text{②}}(K - 0.1)}$$

$$= \text{$$

$$= \text{ (MPa(abs))}$$

b) 球形胴と同じ手順で D_o を $2K_o D_o$ に読み替えて許容外圧を求める場合

$$P_{\text{③}} = \frac{2Bt_{\text{③}}}{2K_o D_o}$$

$t_{\text{③}}$: 板の最小厚さ (mm)

h : 鏡板の高さ (mm)

D_o : 円筒胴の外径 (mm)

$$\frac{D_o}{2h_o} = \text{$$

($h_o = h + t_{\text{③}}$)

K_o : 「JIS B 8265 附属書 E 圧力容器の胴及び鏡板 表 E. 4 半だ円形鏡板の K_o の値」により

A : 「JIS B 8265 附属書 E 圧力容器の胴及び鏡板 E. 4.3 球形胴の計算厚さ」による。

$$A = \frac{0.25t_{\text{③}}}{D_o} = \frac{0.25t_{\text{③}}}{2K_o D_o}$$

$$= \text{$$

$$= \text{$$

B : 「JIS B 8265 附属書 E 圧力容器の胴及び鏡板

図 E. 10 外圧を保持する円筒胴及び球形胴の計算に用いる材料曲線(2) 炭素鋼及び低合金鋼(材料規格の降伏点 205N/mm^2 以上, 設計温度 150°C を超える場合に適用)並びに 405 系及び 410 系ステンレス鋼」により

$P_{\text{③}}$: 許容外圧 (MPa (abs))

$$P_{\text{③}} = \frac{2Bt_{\text{③}}}{2K_0D_0}$$
$$= \boxed{}$$
$$= \boxed{} \text{ (MPa (abs))}$$

c) 鏡板の許容外圧

上記 a) 又は b) のうち小さい値として、許容外圧は 1.06 (MPa (abs)) と
なる。

3) 計算結果及び評価

イ) 計算結果

UF₆シリンダの耐圧強度計算の結果を添説設 7-6-7 表に示す。

添説設 7-6-7 表 UF₆シリンダ耐圧強度計算結果

品番	名称	計算上必要な厚さ (mm)	規格上の必要厚さ (mm)	設計厚さ※ ¹ (mm)	許容外圧 (MPa (abs))	設計外圧※ ² (MPa (abs))
①	胴板					
②	鏡板					

※1：設計厚さ＝公称厚さ－（1.0mm）（1.0mm は設計上の裕度）

※2：大気圧（0.1013 MPa（abs））であるが切り上げて MPa（abs）とした。

ロ) 評価

各部材の設計厚さは計算上必要な厚さよりも厚く、許容外圧は設計外圧より高いことから、耐圧強度上の安全性は確認された。

7. コールドトラップ

7.1 構造・寸法及び材質

1) 構造・寸法

コールドトラップの構造・寸法を「添説設 7-7-1 図 コールドトラップ」に示す。

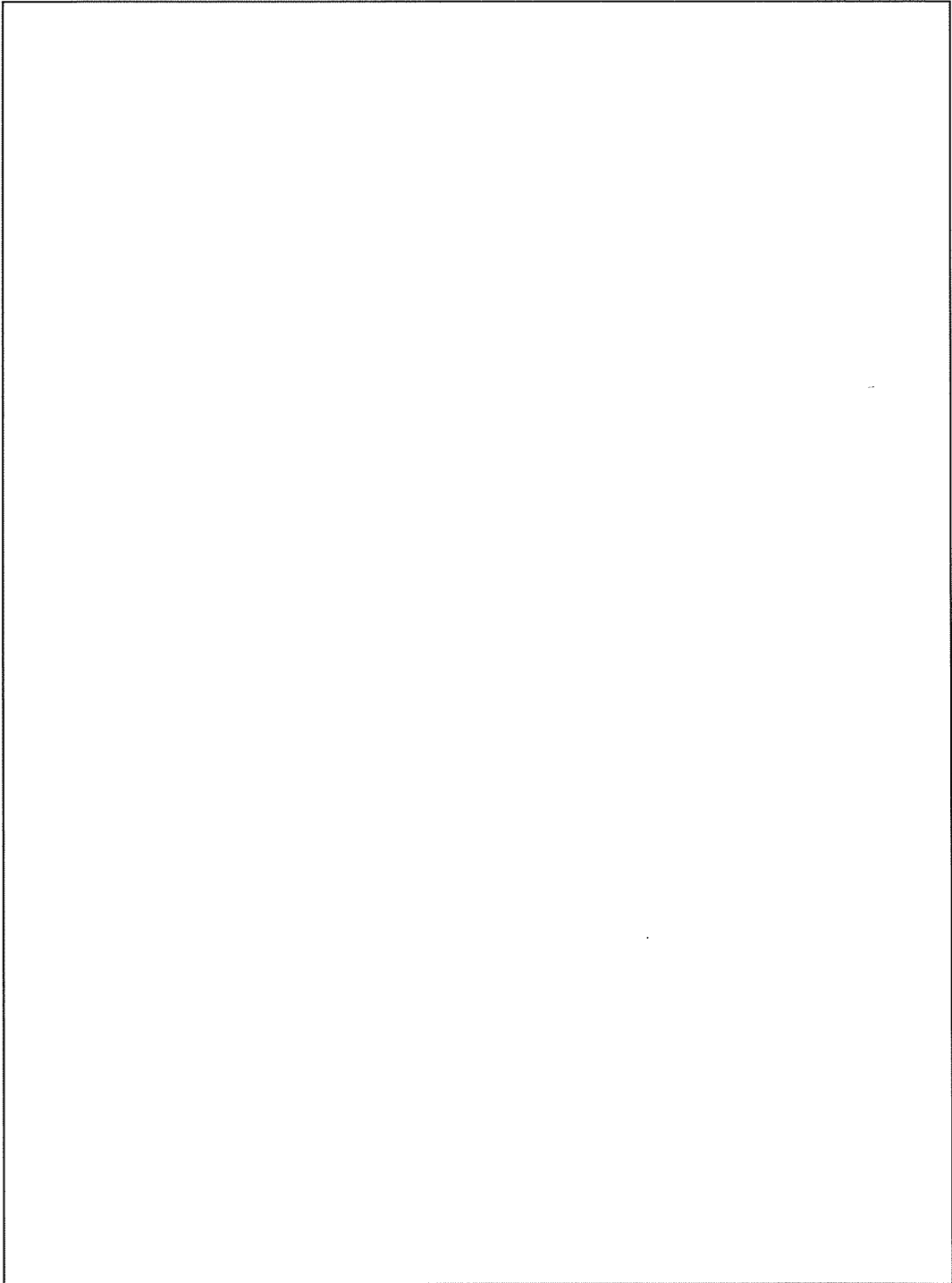
2) 材 質

コールドトラップの材質を「添説設 7-7-1 表 コールドトラップ 材質一覧表」に示す。

添説設 7-7-1 表 コールドトラップ 材質一覧表

品番	名 称	材 質	ガスケット ボルト 情報(*1)	耐圧強度 計算	計算対象外の理由
①	胴板			対象	
②	平鏡板(胴板)			対象	
③	平ふた板			対象	
④	フランジ			—	最高使用圧力以上の圧力に耐える JIS20K フランジを使用するため
⑤	冷却管(外管)			対象	
⑥	平鏡板(冷却管)			対象	
⑦	冷却管(内管)			—	放射性物質の圧力境界ではないため
⑧	管台(UF ₆ , N ₂)			対象	
⑨	管台(温度計)			対象	
⑩	ガスケット			—	圧力を確保する材料ではないため
⑪	フランジ			—	最高使用圧力以上の圧力に耐える JIS10K フランジを使用するため
⑫	フランジ			—	最高使用圧力以上の圧力に耐える JIS10K フランジを使用するため

(*1) 凡例 また、() 内はボルト材料を示す。



添説設 7-7-1 図 コールドトラップ

7.2 計算条件

イ) 最高使用圧力、最低使用圧力、最高使用温度及び最低使用温度

コールドトラップの最高使用圧力、最低使用圧力、最高使用温度及び最低使用温度を「添説設 7-7-2 表 コールドトラップ計算条件」に示すとともに、圧力条件の概略を「図 7-7-2 コールドトラップ圧力条件概略図」に示す。

添説設 7-7-2 表 コールドトラップ計算条件

品番	①	②	③	⑤	⑥	⑧	⑨
名称	胴板 ^{※1}	平鏡板 (胴板) ^{※2}	平ふた板 ^{※2}	冷却管 (外管) ^{※1}	平鏡板 (冷却管) ^{※2}	管台 (UF ₆ , N ₂) ^{※1}	管台 (温度計) ^{※1}
最高/最低 使用圧力 ^{※3} (MPaG)	加熱時						
	冷却時						
最高/最低 使用温度 (°C)	加熱時						
	冷却時						

注 記

- ※1：①胴板・⑤冷却管（外管）・⑧管台（UF₆, N₂）・⑨管台（温度計）については、内圧による最少必要厚さ及び外圧による許容外圧を算出し評価する。
- ※2：②平鏡板（胴板）・③平ふた板・⑥平鏡板（冷却管）の最高使用圧力は、加熱時最高使用圧力と冷却時最低使用圧力の絶対値が大きい値として円形平板モデルで評価する。
- ※3：最高使用圧力、最低使用圧力のうち正数は内圧を示し、負数は外圧を示す。
- ※4：胴内部の圧力と冷媒の圧力を考慮する。

ロ) 設計厚さ

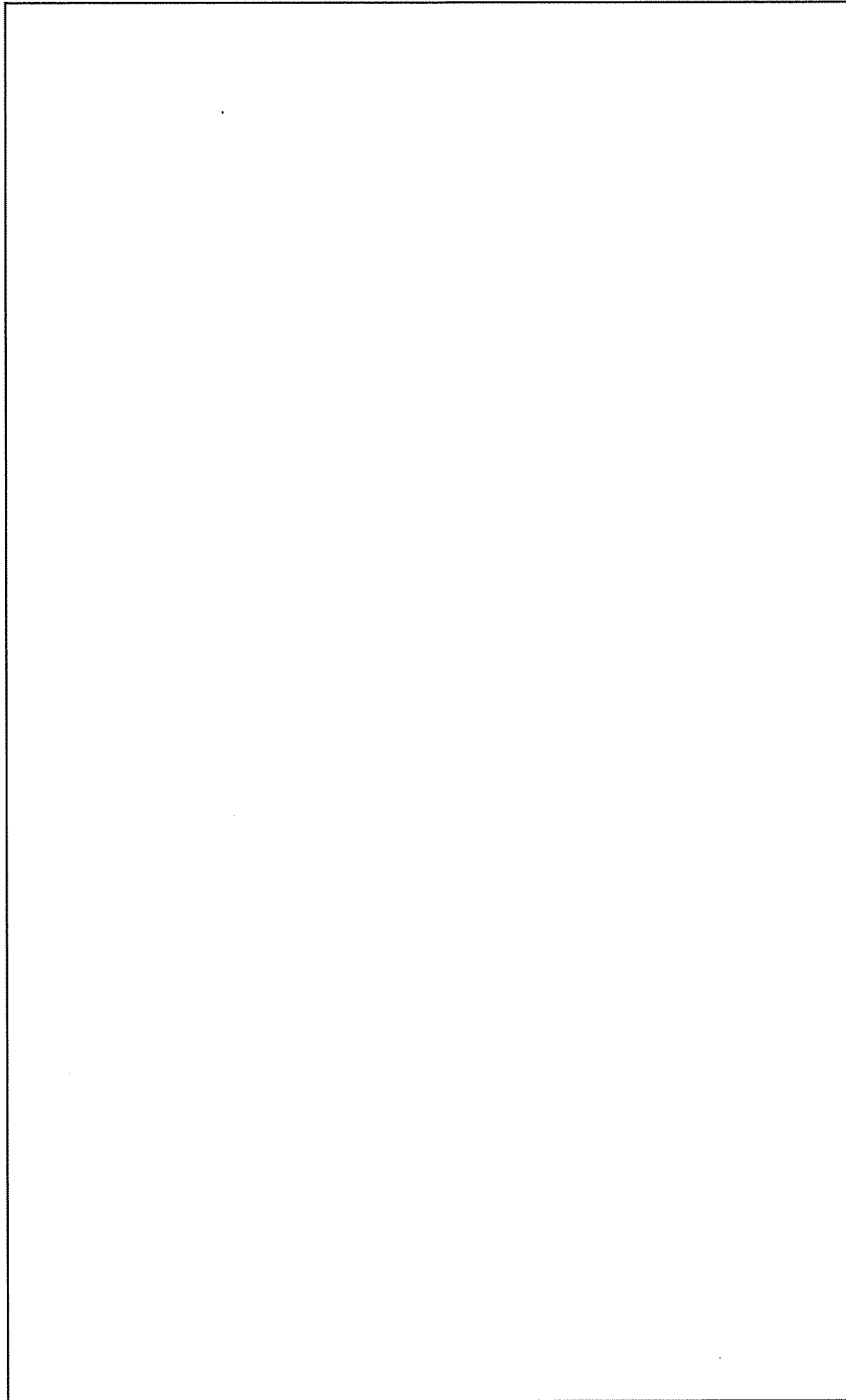
計算に用いる各部材の設計厚さは、公称厚さから設計上の裕度（1.5mm）を差し引いた値とする。

$$(\text{設計厚さ}) = (\text{公称厚さ}) - (1.5\text{mm})$$

ハ) 溶接継手効率

胴板部分等の溶接継手効率(η)は、100%の放射線透過試験を実施しているが、保守的に JIS B 8265 「6.2 溶接継手効率」の放射線透過試験を行わない裏当てを用いない突合せ片側溶接継手の継手効率($\eta = 0.6$)とする。

平ふた板部分の溶接継手効率(η)は、 $\eta = 1$ とする。



添説設 7-7-2 図 コールドトラップ圧力条件概略図

7.3 耐圧強度計算

1) ①胴板

イ) 加熱時 (内圧) (JIS B 8265 附属書 E E.2.2 円筒胴の計算厚さ)

$$t_{\text{①}} = \frac{PD_{i\text{①}}}{2\sigma_{a\text{①}}\eta - 1.2P}$$

$t_{\text{①}}$: 胴板の計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{i\text{①}}$: 胴の内径 $D_{i\text{①}} = \text{[]}$ (mm)

$\sigma_{a\text{①}}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a\text{①}} = \text{[]}$
(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形は許容しない。

η : 溶接継手効率 $\eta = 0.6$

$$t_{\text{①}} = \text{[]}$$

$$= \text{[]} \text{ (mm)}$$

ロ) 冷却時 (外圧) (JIS B 8265 附属書 E E.4.2 円筒胴の計算厚さ)

$$Pa_{\text{①}} = \frac{4Bt_{\text{①}}}{3D_{o\text{①}}}$$

$Pa_{\text{①}}$: 許容外圧 (MPaG)

B : JIS B 8265 附属書 E 図 E.10 の使用する材料に該当する

図において、 A の値と最低使用温度に対する材料線から求める値 $B = \text{[]}$ (N/mm²)

A : 外径・厚さ及び長さから附属書 E 図 E.9 により求める値
 $A = \text{[]}$

$t_{\text{①}}$: 胴板の計算厚さ $t_{\text{①}} = \text{[]}$ (mm)

$D_{o\text{①}}$: 胴の外径 (mm)

$$Pa_{\text{①}} = \text{[]}$$

$$= \text{[]} \text{ (MPaG)}$$

2) ②平鏡板 (胴板)

(JIS B 8265 附属書 E E. 3. 6 平鏡板及び平板の計算厚さ)

$$t_{\text{②}} = d_{\text{②}} \sqrt{\frac{CP}{\sigma_{a\text{②}} \eta}}$$

$t_{\text{②}}$: 平鏡板の計算厚さ (mm)

$d_{\text{②}}$: 円形平鏡板の計算に用いる内径

$d_{\text{②}} =$ (mm)

C : 平鏡板の取付方法によって定める定数, 附属書 E 図 E. 8 による。 $C=0.2$

P : 最高使用圧力 (MPaG)

η : 溶接接手効率 $\eta = 0.6$

$\sigma_{a\text{②}}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a\text{②}} =$
(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B. 1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形は許容しない。

$t_{\text{②}} =$

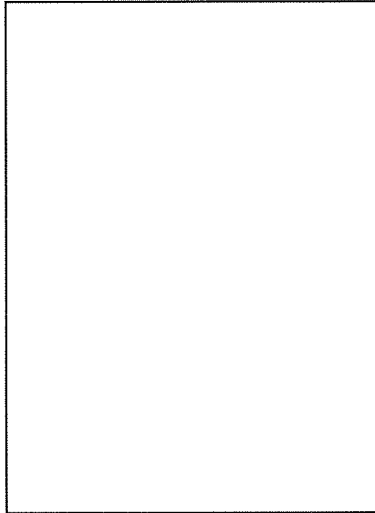
$=$ (mm)

3) ③平ふた板

イ) ボルト荷重の計算 (JIS B 8265 附属書 G G.4.1 ボルト荷重)

平ふた板の計算に用いるボルトの荷重には、使用状態におけるボルト荷重とガスケット締付時のボルト荷重の2種類がある。

以下にその計算を示す。



使用状態でのボルト荷重 : W_{m1}

$$W_{m1} = \frac{\pi GP}{4} (G + 8bm)$$

G : ガスケット反力円の直径 G = (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

b : ガスケット座の有効幅 (mm)

$$b = \text{} \text{ (mm)}$$

b_0 : ガスケット座の基本幅 (mm)

附属書 G 表 G.3 による

$$b_0 = \frac{N}{2} = \text{} = \text{} \text{ (mm)}$$

m : ガスケット係数 m =

メーカーカタログによる

$$W_{m1} = \text{}$$

$$= \text{} \text{ (N)}$$

ガスケット締付時のボルト荷重 : W_{m2}

$$W_{m2} = \pi b G y$$

$$y : \text{最小設計締付圧力 } y = \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

メーカーカタログによる

$$W_{m2} = \pi \times \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ (N)}$$

使用状態でのボルトの総有効断面積 : A_{m1}

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (mm}^2 \text{)}$$

$$\sigma_b : \text{最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 } \sigma_b = \boxed{} \\ \text{(N/mm}^2 \text{)}$$

JIS B 8265 附属書 B 「表 B.5-ボルト材料の許容引張応力」
による

ガスケット締付時のボルトの総有効断面積 : A_{m2}

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (mm}^2 \text{)}$$

$$\sigma_a : \text{常温におけるボルト材料の許容引張応力 } \sigma_a = \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

JIS B 8265 附属書 B 「表 B.5-ボルト材料の許容引張応力」
による

ボルトの総有効断面積 : A_m

$$A_m = \max(A_{m1}, A_{m2}) = \max(\boxed{})$$

$$= \boxed{} \text{ (mm}^2 \text{)}$$

平ふた板の計算に用いるボルトの荷重

使用状態でのボルト荷重： $W_0=W_{m1}$

ガスケット締め時のボルト荷重： $W_g=\frac{A_m+A_b}{2}\sigma_a$

A_b : ボルトの総有効断面積 $A_b=n\frac{\pi}{4}d_b^2=$ (mm^2)

n : ボルト本数 本

d_b : のボルト谷径 (mm)

$W_g=$ (N)

ロ) 使用状態での平ふた板の計算厚さ

(JIS B 8265 附属書 L L.3.2 ボルト締め平ふた板の計算厚さ)

$$t_{\text{③0}}=d\sqrt{\text{$$

$t_{\text{③0}}$: 使用状態での平ふた板の計算厚さ (mm)

d : ガスケット反力円の直径 (mm)

W_0 : 使用状態でのボルト荷重 (N)

h_g : モーメントアーム (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

σ_{a0} : 最高使用温度における平ふた板の材料の許容引張応力

$\sigma_{a0}=$ (N/mm^2)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1—鉄鋼材料の許容引張応力」

による。ただし、材料の変形を許容しない。

η : 平ふた板の溶接接手効率 $\eta=1.0$

$$t_{\text{③0}}=$$

 $\times\sqrt{\text{$

$$=$$

 (mm)

ロ) 加熱時 (外圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 4.2 円筒胴の計算厚さ)

$$Pa_{\text{㉕}} = \frac{4Bt_{\text{㉕}}}{3Do_{\text{㉕}}}$$

$Pa_{\text{㉕}}$: 許容外圧 (MPaG)

B : JIS B 8265 附属書 E 図 E. 10 の使用する材料に該当する

図において, A の値と最高使用温度に対する材料線から求める値 $B = \square$ (N/mm²)

A : 外径・厚さ及び長さから附属書 E 図 E. 9 により求める値
 $A = \square$

$t_{\text{㉕}}$: 冷却管の計算厚さ $t_{\text{㉕}} = \square$ (mm)

$Do_{\text{㉕}}$: 冷却管の外径 (mm)

$$Pa_{\text{㉕}} = \square$$

$$= \square \text{ (MPaG)}$$

5) ㉖平鏡板 (冷却管)

(JIS B 8265 附属書 E E. 3.6 平鏡板及び平板の計算厚さ)

$$t_{\text{㉖}} = d_{\text{㉖}} \sqrt{\frac{CP}{\sigma_{a\text{㉖}} \eta}}$$

$t_{\text{㉖}}$: 平鏡板の計算厚さ (mm)

$d_{\text{㉖}}$: 円形平鏡板の計算に用いる内径

$d_{\text{㉖}} = \square$ (mm)

C : 平鏡板の取付方法によって定める定数, 附属書 E 図 E. 8 による。 $C = \square$

P : 最高使用圧力 (MPaG)

η : 平鏡板の溶接接手効率 $\eta = 0.6$

$\sigma_{a\text{㉖}}$: 最低使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a\text{㉖}} = \square$ (N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B. 1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形を許容しない。

$$t_{\text{㉖}} = \square \times \sqrt{\square}$$

$$= \square \text{ (mm)}$$

6) ⑧管台 (UF₆, N₂)

イ) 加熱時 (内圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 2.2 円筒胴の計算厚さ)

$$t_{\text{⑧}} = \frac{PD_{\text{o⑧}}}{2\sigma_{\text{a⑧}}\eta + 0.8P}$$

$t_{\text{⑧}}$: 管台の計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{\text{o⑧}}$: 管台の外径 (mm)

$\sigma_{\text{a⑧}}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{\text{a⑧}} = \square$
(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B. 1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形を許容しない。

η : 溶接継手効率 $\eta = 0.6$

$$t_{\text{⑧}} = \square$$

$$= \square \text{ (mm)}$$

ロ) 冷却時 (外圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 4.2 円筒胴の計算厚さ)

$$Pa_{\text{⑧}} = \frac{4Bt_{\text{⑧}}}{3D_{\text{o⑧}}}$$

$Pa_{\text{⑧}}$: 許容外圧 (MPaG)

B : JIS B 8265 附属書 E 図 E. 10 の使用する材料に該当する

図において、 A の値と最低使用温度に対する材料線から求める値 $B = \square$ (N/mm²)

A : 外径・厚さ及び長さから附属書 E 図 E. 9 により求める値

$$A = \square$$

$t_{\text{⑧}}$: 胴板の計算厚さ $t_{\text{⑧}} = \square$ (mm)

$D_{\text{o⑧}}$: 管台の外径 (mm)

$$Pa_{\text{⑧}} = \square$$

$$= \square \text{ (MPaG)}$$

7) ⑨管台 (温度計)

イ) 加熱時 (内圧) (JIS B 8265 附属書 E E.2.2 円筒胴の計算厚さ)

$$t_{\text{⑨}} = \frac{PD_{\text{o⑨}}}{2\sigma_{\text{a⑨}}\eta + 0.8P}$$

$t_{\text{⑨}}$: 管台の計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{\text{o⑨}}$: 管台の外径 (mm)

$\sigma_{\text{a⑨}}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{\text{a⑨}} = \square$
(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形を許容しない。

η : 溶接継手効率 $\eta = 0.6$

$$t_{\text{⑨}} = \square$$

$$= \square \text{ (mm)}$$

ロ) 冷却時 (外圧) (JIS B 8265 附属書 E E.4.2 円筒胴の計算厚さ)

$$Pa_{\text{⑨}} = \frac{4Bt_{\text{⑨}}}{3D_{\text{o⑨}}}$$

$Pa_{\text{⑨}}$: 許容外圧 (MPaG)

B : JIS B 8265 附属書 E 図.10 の使用する材料に該当する図において, A の値と最低使用温度に対する材料線から求める値 $B = \square$ (N/mm²)

A : 外径・厚さ及び長さから附属書 E 図 E.9 により求める値
 $A = \square$

$t_{\text{⑨}}$: 胴板の計算厚さ $t_{\text{⑨}} = \square$ (mm)

$D_{\text{o⑨}}$: 管台の外径 (mm)

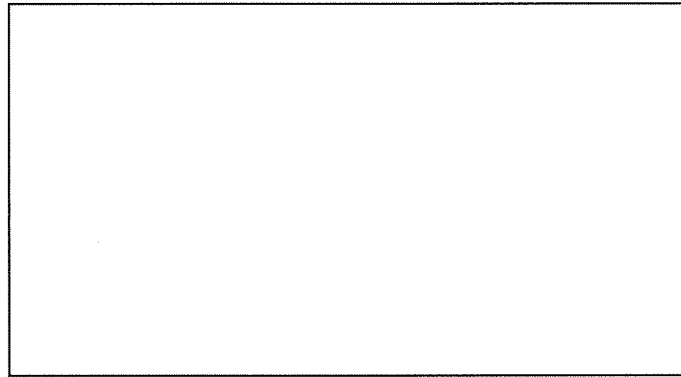
$$Pa_{\text{⑨}} = \square$$

$$= \square \text{ (MPaG)}$$

8) 管台（穴の補強）（JIS B 8265 附属書 F 圧力容器の穴補強）

平ふた板に設ける穴は，穴径がガスケットの反力円直径の 1/4 以上であることから，補強を要す。（JIS B 8265 附属書 F F.3 補強を必要としない穴）

なお，保守的となる加熱時を代表として計算する。



強め材の最小面積（JIS B 8265 附属書 F.10.1 平板に設ける単独の穴の直径が平板の直径の半分以下の場合の補強）

$$A = 0.5dt_r = \boxed{} \text{ (mm}^2 \text{)}$$

t_r : 平板の計算厚さ (mm)

F : 係数 $F=1.0$

η : 溶接継手効率 $\eta=1.0$

f_{r1} : 材料強度による低減係数

$$f_{r1} = \frac{\sigma_n}{\sigma_v} = \boxed{} = \boxed{}$$

d : 穴の直径 $d = \boxed{} \text{ (mm)}$

σ_n : 最高使用温度における管台の材料の許容引張応力 $\sigma_n = \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし，材料の変形を許容しない。

σ_v : 最高使用温度における胴又は鏡板の材料の許容引張応力 $\sigma_v = \boxed{} \text{ (N/mm}^2 \text{)}$

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし，材料の変形を許容しない。

t : 平板の厚さ $t = \boxed{} = \boxed{} \text{ (mm)}$

補強の有効な面積（JIS B 8265 附属書 F F.8 強め材として算入できる部分の面積）

9) 計算結果及び評価

イ) 計算結果

コールドトラップの耐圧強度計算の結果を添説設 7-7-3 表に示す。

添説設 7-7-3 表 コールドトラップ 耐圧強度計算結果

品番	名称		計算上必要な厚さ (mm)	設計厚さ (mm)	許容外圧 (MPaG)	設計外圧 (MPaG)	穴補強に必要な強め材の最小面積 (mm ²)	強め材として算入できる部分の面積 (mm ²)
①	胴板	加熱時 (内圧)						
		冷却時 (外圧)						
②	平鏡板 (胴板)	—						
③	平ふた板	使用状態						
		ガスケット締付時						
⑤	冷却管 (外管)	冷却時 (内圧)						
		加熱時 (外圧)						
⑥	平鏡板 (冷却管)	—						
⑧	管台 (UF ₆ , N ₂)	加熱時 (内圧)						
		冷却時 (外圧)						
⑨	管台 (温度計)	加熱時 (内圧)						
		冷却時 (外圧)						
③	管台 (穴の補強)	加熱時 (内圧)						

※1: 設計厚さ = 公称厚さ - (1.5mm) (1.5mm は設計上の裕度)

※2: 設計厚さ = 公称厚さ - (1.5mm) × 2

ロ) 評 価

各部材の設計厚さは計算上必要な厚さよりも厚く、許容外圧は設計外圧よりも高く、かつ、穴の補強について強め材の最小面積より補強の有効な面積の方が大きいことから、耐圧強度上の安全性は確認された。

また、ノズルの耐圧強度上の安全評価より、配管に必要な計算厚さは 1.0mm 以下であり、接続する配管についても必要な耐圧強度を満足している。

8. コールドトラップ（小）

8.1 構造・寸法及び材質

1) 構造・寸法

コールドトラップ（小）の構造・寸法を「添説設 7-8-1 図 コールドトラップ（小）」に示す。

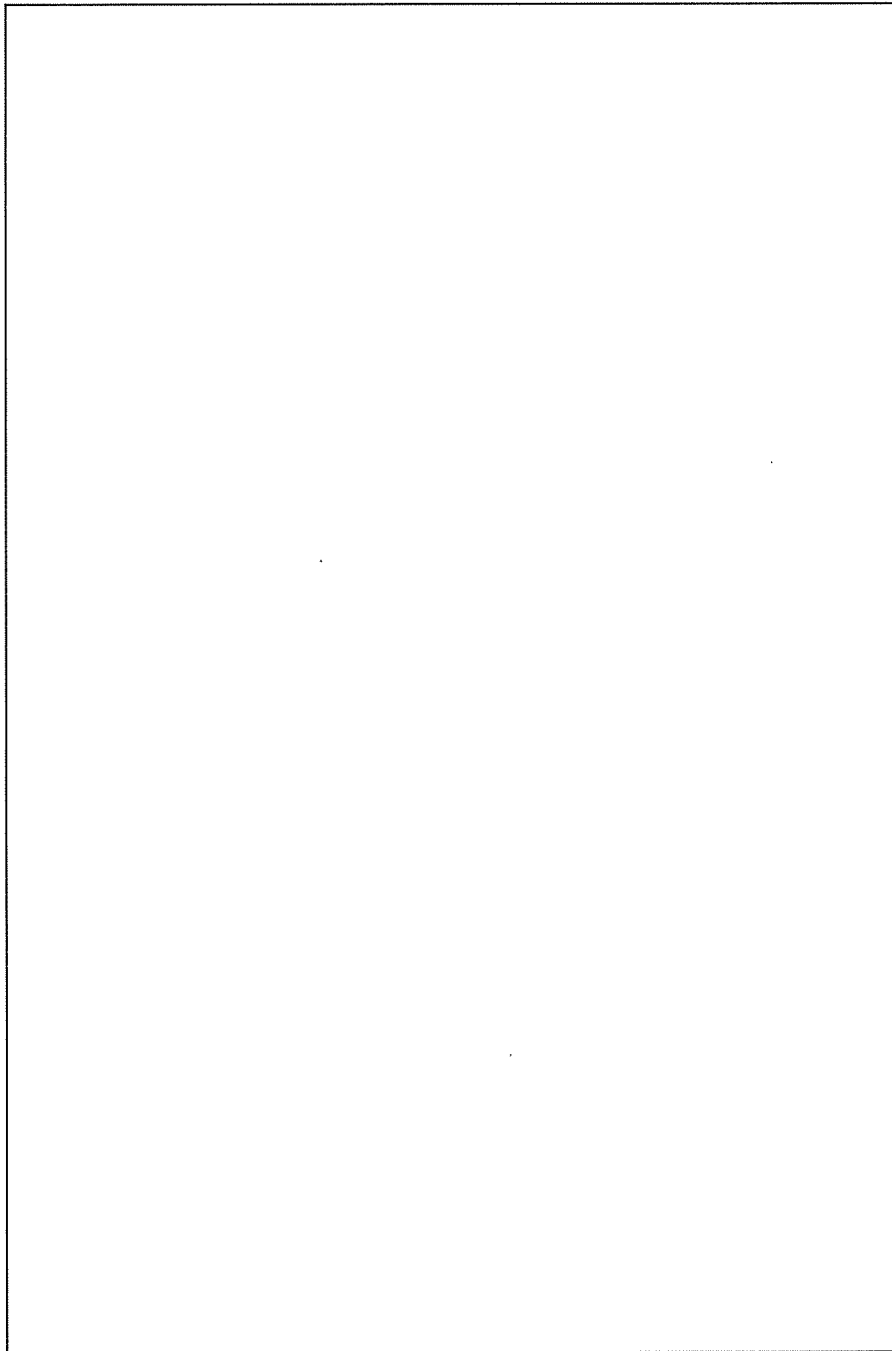
2) 材 質

コールドトラップ（小）の材質を「添説設 7-8-1 表 コールドトラップ（小） 材質一覧表」に示す。

添説設 7-8-1 表 コールドトラップ（小） 材質一覧表

品番	名 称	材 質	ガスケット ボルト 情報(*1)	耐圧強度 計算	計算対象外の理由
①	胴板			対象	
②	鏡板			対象	
③	平ふた板			対象	
④	フランジ			—	最高使用圧力以上の圧力に耐える JIS20K フランジを使用するため
⑤	管台 (UF ₆ 排気)			対象	
⑥	管台 (温度計)			対象	
⑦	ガスケット			—	圧力を確保する材料ではないため
⑧	フランジ			—	最高使用圧力以上の圧力に耐える JIS10K フランジを使用するため
⑨	フランジ			—	最高使用圧力以上の圧力に耐える JIS10K フランジを使用するため

(*1) 凡例 PTFE：フッ素樹脂。また、() 内はボルト材料を示す。



添説設 7-8-1 図 コールドトラップ (小)

8.2 計算条件

イ) 最高使用圧力、最低使用圧力、最高使用温度及び最低使用温度

コールドトラップ (小) の最高使用圧力、最低使用圧力、最高使用温度及び最低使用温度を「添説設 7-8-2 表 コールドトラップ (小) 計算条件」に示すとともに、圧力条件の概略を「図 7-8-2 コールドトラップ (小) 圧力条件概略図」に示す。

添説設 7-8-2 表 コールドトラップ (小) 計算条件

品 番		①	②	③	⑤	⑥
名 称		胴板 ^{※1}	鏡板 ^{※2}	平ふた板 ^{※3}	管台 ^{※1} (UF ₆ , 排気)	管台 ^{※1} (温度計)
最高/最低 使用圧力 ^{※4} (MPaG)	加熱時					
	冷却時					
最高/最低 使用温度 (°C)	加熱時					
	冷却時					

注 記

- ※1：①胴板・⑤管台 (UF₆, 排気)・⑥管台 (温度計) については、内圧による最少必要厚さ及び外圧による許容外圧を算出し評価する。
- ※2：②鏡板は、内圧による最少必要厚さ及び外圧による最少必要厚さを算出し評価する。外圧による最少必要厚さは以下の値のうち大きい方とする。
 - i) 外圧を 1.67 倍の内圧として計算した厚さ
 - ii) 球形胴と同じ手順により D_0 を $2K_0D_0$ に読み替えて計算した厚さ
- ※3：③平ふた板の最高使用圧力は、加熱時最高使用圧力と冷却時最低使用圧力の絶対値が大きい値として円形平板モデルで評価する。
- ※4：最高/最低使用圧力のうち正数は内圧を示し、負数は外圧を示す。
- ※5：胴内部の圧力と冷却ジャケットの圧力を考慮した圧力にて評価する。

ロ) 設計厚さ

計算に用いる各部材の設計厚さは、公称厚さから設計上の裕度 (1.5mm) を差し引いた値とする。

$$(\text{設計厚さ}) = (\text{公称厚さ}) - (1.5\text{mm})$$

ハ) 溶接継手効率

胴板部分等の溶接継手効率(η)は、100%の放射線透過試験を実施しているが、保守的に JIS B 8265「6.2 溶接継手効率」の放射線透過試験を行わない裏当てを用いない突合せ片側溶接継手の継手効率($\eta = 0.6$)とする。

平ふた板部分の溶接継手効率(η)は、 $\eta = 1$ とする。



添説設 7-8-2 図 コールドトラップ (小) 圧力条件概略図

8.3 耐圧強度計算

1) ①胴板

イ) 加熱時 (内圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 2. 2 円筒胴の計算厚さ)

$$t_{①} = \frac{PD_{i①}}{2\sigma_{a①}\eta - 1.2P}$$

$t_{①}$: 胴板の計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{i①}$: 胴の内径 $D_{i①} = \text{[]}$ (mm)

$\sigma_{a①}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a①} = \text{[]}$
(N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B. 1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形は許容しない。

η : 溶接継手効率 $\eta = 0.6$

$$t_{①} = \text{[]}$$

$$= \text{[]} \text{ (mm)}$$

ロ) 冷却時 (外圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 4. 2 円筒胴の計算厚さ)

$$Pa_{①} = \frac{4Bt_{①}}{3Do_{①}}$$

$Pa_{①}$: 許容外圧 (MPaG)

B : JIS B 8265 附属書 E 図 E. 10 の使用する材料に該当する

図において、 A の値と最低使用温度に対する材料線から求める値 $B = \text{[]}$ (N/mm²)

A : 外径・厚さ及び長さから附属書 E 図 E. 9 により求める値

$$A = \text{[]}$$

$t_{①}$: 胴板の計算厚さ $t_{①} = \text{[]}$ (mm)

$Do_{①}$: 胴の外径 (mm)

$$Pa_{①} = \text{[]}$$

$$= \text{[]} \text{ (MPaG)}$$

2) ②鏡板

イ) 加熱時 (内圧) (JIS B 8265 附属書 E E.3.4 半だ円形鏡板の計算厚さ)

$$t_{②} = \frac{PD_{i②}K}{2\sigma_{a②}\eta - 0.2P}$$

$t_{②}$: 半だ円鏡板の計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{i②}$: 半だ円形鏡板のだ円の内長径

$$D_{i②} = \boxed{} \text{ (mm)}$$

K : 半だ円形鏡板の形状による係数で次の式による

$2h$: 半だ円形鏡板のだ円の内短径

$$h = \frac{1}{4}D_{i②} = \boxed{} \text{ (mm)}$$

$$K = \frac{1}{6} \left\{ 2 + \left(\frac{D_{i②}}{2h} \right)^2 \right\} = \boxed{}$$

$\sigma_{a②}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a②} = \boxed{}$
(N/mm²)

「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形は許容しない。

η : 溶接継手効率 $\eta = 0.6$

$$t_{②} = \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ (mm)}$$

ロ) 冷却時 (外圧) (JIS B 8265 附属書 E E.4.5 鏡板の計算厚さ)

外圧を受ける半だ円鏡板の計算厚さは、次によって計算した値のうち、いずれか大きい方とする。

i) 鏡板が内圧を受けるものとみなし設計外圧を 1.67 倍として計算した厚さ

$$t_{②G} = \frac{PD_{i②}K}{2\sigma_{a②}\eta - 0.2P}$$

$t_{②G}$: 半だ円鏡板の計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{i②}$: 半だ円形鏡板の半だ円の内長径

$D_{i②} =$ (mm)

K : 半だ円形鏡板の形状による係数 $K=1.0$

$\sigma_{a②}$: 最低使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{a②} =$
(N/mm²)

「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形は許容しない。

η : 溶接継手効率 $\eta = 0.6$

$$t_{②G} =$$

 $=$ (mm)

ii) 球形胴と同じ手順により D_0 を $2K_0D_0$ に読み替えて計算した厚さ

$$Pa_{\text{②}} = \frac{2Bt_{\text{②}}}{D_{0\text{②}}}$$

ここで、 D_0 を $2K_0D_0$ に読み替えれば

$$Pa_{\text{②}} = \frac{2Bt_{\text{②}}}{2K_0D_{0\text{②}}}$$

$Pa_{\text{②}}$: 許容外圧 (MPaG)

B : JIS B 8265 附属書 E 図 E.10 の使用する材料に該当する

図において、 A の値に対して最低使用温度に対する材料線から求める値 (N/mm^2)

$t_{\text{②}}$: 鏡板の厚さ (mm) と仮定する。

$D_{0\text{②}}$: 胴の外径 $D_{0\text{②}} =$ (mm)

K_0 : 附属書 E 表 E.4 より求める値

$$\frac{D_{0\text{②}}}{2h_0} = 2.0 \text{ より } K_0 =$$

ここで、 B の値を求めるため A の値を計算する。

$$A = \frac{0.25t_{\text{②}}}{2K_0D_{0\text{②}}} =$$

 $=$

附属書 E 図 E.10 より $B =$ (N/mm^2) となる。したがって、鏡板の許容外圧は以下となる。

$$Pa_{\text{②}} =$$

 $=$ (MPaG) > (MPaG)

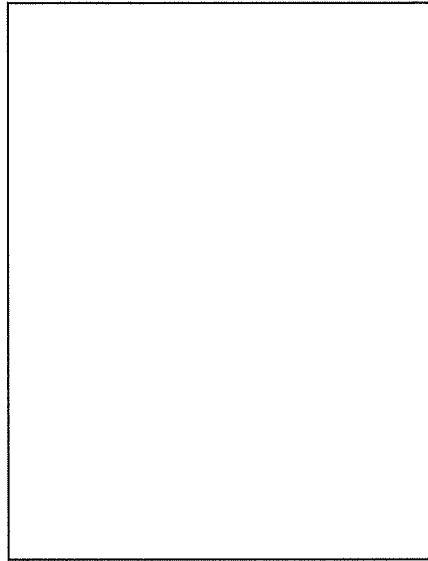
よって、鏡板の計算上必要な厚さは mm となる。

3) ③平ふた板

イ) ボルト荷重の計算 (JIS B 8265 附属書 G G.4.1 ボルト荷重)

平ふた板の計算に用いるボルトの荷重には、使用状態におけるボルト荷重とガスケット締付時のボルト荷重の2種類がある。

以下にその計算を示す。



使用状態でのボルト荷重 : W_{m1}

$$W_{m1} = \frac{\pi GP}{4} (G + 8bm)$$

G : ガスケット反力円の直径 $G =$ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

b : ガスケット座の有効幅 (mm)

$$b = 2.5\sqrt{b_0} =$$
 (mm)

b_0 : ガスケット座の基本幅 (mm)

附属書 G 表 G.3 による

$$b_0 = \frac{N}{2} =$$
 = (mm)

m : ガスケット係数 $m =$

メーカーカタログによる

$$W_{m1} =$$

$$=$$
 (N)

ガスケット締付時のボルト荷重： W_{m2}

$$W_{m2} = \pi b G y$$

y ：最小設計締付圧力 $y = \square$ (N/mm²)

メーカーカタログによる

$$W_{m2} = \pi \times \square \\ = \square \text{ (N)}$$

使用状態でのボルトの総有効断面積： A_{m1}

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} = \square \\ = \square \text{ (mm}^2 \text{)}$$

σ_b ：最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 $\sigma_b = \square$
(N/mm²)

JIS B 8265 附属書 B 「表 B.5—ボルト材料の許容引張応力」
による

ガスケット締付時のボルトの総有効断面積： A_{m2}

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} = \square \\ = \square \text{ (mm}^2 \text{)}$$

σ_a ：常温におけるボルト材料の許容引張応力 $\sigma_a = \square$ (N/mm²)

JIS B 8265 附属書 B 「表 B.5—ボルト材料の許容引張応力」
による

ボルトの総有効断面積： A_m

$$A_m = \max(A_{m1}, A_{m2}) = \max(\square) \\ = \square \text{ (mm}^2 \text{)}$$

ロ) 冷却時 (外圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 4. 2 円筒胴の計算厚さ)

$$Pa_{\text{㉕}} = \frac{4Bt_{\text{㉕}}}{3D_{\text{o}\text{㉕}}}$$

$Pa_{\text{㉕}}$: 許容外圧 (MPaG)

B : JIS B 8265 附属書 E 図 E. 10 の使用する材料に該当する

図において、 A の値と最低使用温度に対する材料線から求める値 $B = \square$ (N/mm²)

A : 外径・厚さ及び長さから附属書 E 図 E. 9 により求める値

$$A = \square$$

$t_{\text{㉕}}$: 胴板の計算厚さ $t_{\text{㉕}} = \square$ (mm)

$D_{\text{o}\text{㉕}}$: 管台の外径 (mm)

$$Pa_{\text{㉕}} = \square$$

$$= \square \text{ (MPaG)}$$

5) ㉖管台 (温度計)

イ) 加熱時 (内圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 2. 2 円筒胴の計算厚さ)

$$t_{\text{㉖}} = \frac{PD_{\text{o}\text{㉖}}}{2\sigma_{\text{a}\text{㉖}}\eta + 0.8P}$$

$t_{\text{㉖}}$: 管台の計算厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPaG)

$D_{\text{o}\text{㉖}}$: 管台の外径 (mm)

$\sigma_{\text{a}\text{㉖}}$: 最高使用温度における材料の許容引張応力 $\sigma_{\text{a}\text{㉖}} = \square$ (N/mm²)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B. 1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形を許容しない。

η : 溶接継手効率 $\eta = 0.6$

$$t_{\text{㉖}} = \square$$

$$= \square \text{ (mm)}$$

ロ) 冷却時 (外圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 4. 2 円筒胴の計算厚さ)

$$Pa_{\text{㉔}} = \frac{4Bt_{\text{㉔}}}{3D_{o\text{㉔}}}$$

$Pa_{\text{㉔}}$: 許容外圧 (MPaG)

B : JIS B 8265 附属書 E 図 E. 10 の使用する材料に該当する

図において, A の値と最低使用温度に対する材料線から求める値 $B = \square$ (N/mm²)

A : 外径・厚さ及び長さから附属書 E 図 E. 9 により求める値

$$A = \square$$

$t_{\text{㉔}}$: 胴板の計算厚さ $t_{\text{㉔}} = \square$ (mm)

$D_{o\text{㉔}}$: 管台の外径 (mm)

$$Pa_{\text{㉔}} = \square = \square \text{ (MPaG)}$$

6) 計算結果及び評価

イ) 計算結果

コールドトラップ (小) の耐圧強度計算の結果を添説設 7-8-3 表に示す。

添説設 7-8-3 表 コールドトラップ (小) 耐圧強度計算結果

品番	名称	計算上必要な厚さ (mm)	設計厚さ (mm)	許容外圧 (MPaG)	設計外圧 (MPaG)
①	胴板	加熱時(内圧)			
		冷却時(外圧)			
②	鏡板	加熱時(内圧)			
		冷却時(外圧)			
③	平ふた板	使用状態			
		ガスケット締付時			
⑤	管台 (UF ₆ , 排気)	加熱時(内圧)			
		冷却時(外圧)			
⑥	管台 (温度計)	加熱時(内圧)			
		冷却時(外圧)			

※1 : 設計厚さ = 公称厚さ - (1.5mm) (1.5mm は設計上の裕度)

※2 : 設計厚さ = 公称厚さ - (1.5mm) × 2

ロ) 評 価

各部材の設計厚さは計算上必要な厚さよりも厚く、かつ、許容外圧は設計外圧よりも高いことから、耐圧強度上の安全性は確認された。

また、ノズルの耐圧強度上の安全評価より、配管に必要な計算厚さは 1.0mm 以下であり、接続する配管についても必要な耐圧強度を満足している。