

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-17-0031_改3
提出年月日	2021年9月7日

## VI-2-別添 1-4 ガスボンベ設備の耐震性についての計算書

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有値確認及び構造強度評価	4
3.1 固有値確認及び構造強度評価方法	4
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
3.3 解析モデル及び諸元	9
3.4 固有周期	11
3.5 設計用地震力	14
4. 機能維持評価	15
4.1 動的機能維持評価方法	15
5. 評価結果	16

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「別添 1-1」という。）に示すとおり、ガスボンベ設備が基準地震動  $S_s$  による地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有しており、火災を早期に消火する機能を維持することを確認するものである。

評価結果は、裕度（許容値／発生値）が最小となるものを代表として記載する。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

ガスボンベ設備の構造計画を表2-1、表2-2に、ガスボンベ設備及び容器弁の外観図を図2-1、図2-2に示す。

また、ガスボンベ設備は、火災が発生している火災区域又は火災区画からの火災の火炎及び熱による直接的な影響のみならず、煙、流出流体、爆発等の二次的影響を受けず、火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に悪影響を及ぼさないように設置する。

表2-1 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。                      ガスボンベはボンベラックに固定し，基礎ボルトによりボンベラックを建屋床のコンクリート躯体に据え付ける。</p>	<p>ガスボンベ及び                      容器弁                      （直立型）</p>	<p>図 2-1</p>



図2-1 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）外観図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2-2 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。 ガスボンベはボンベラックに固定し，基礎ボルトによりボンベラックを建屋床のコンクリート躯体に据え付ける。	ガスボンベ及び 容器弁 （直立型）	図 2-2

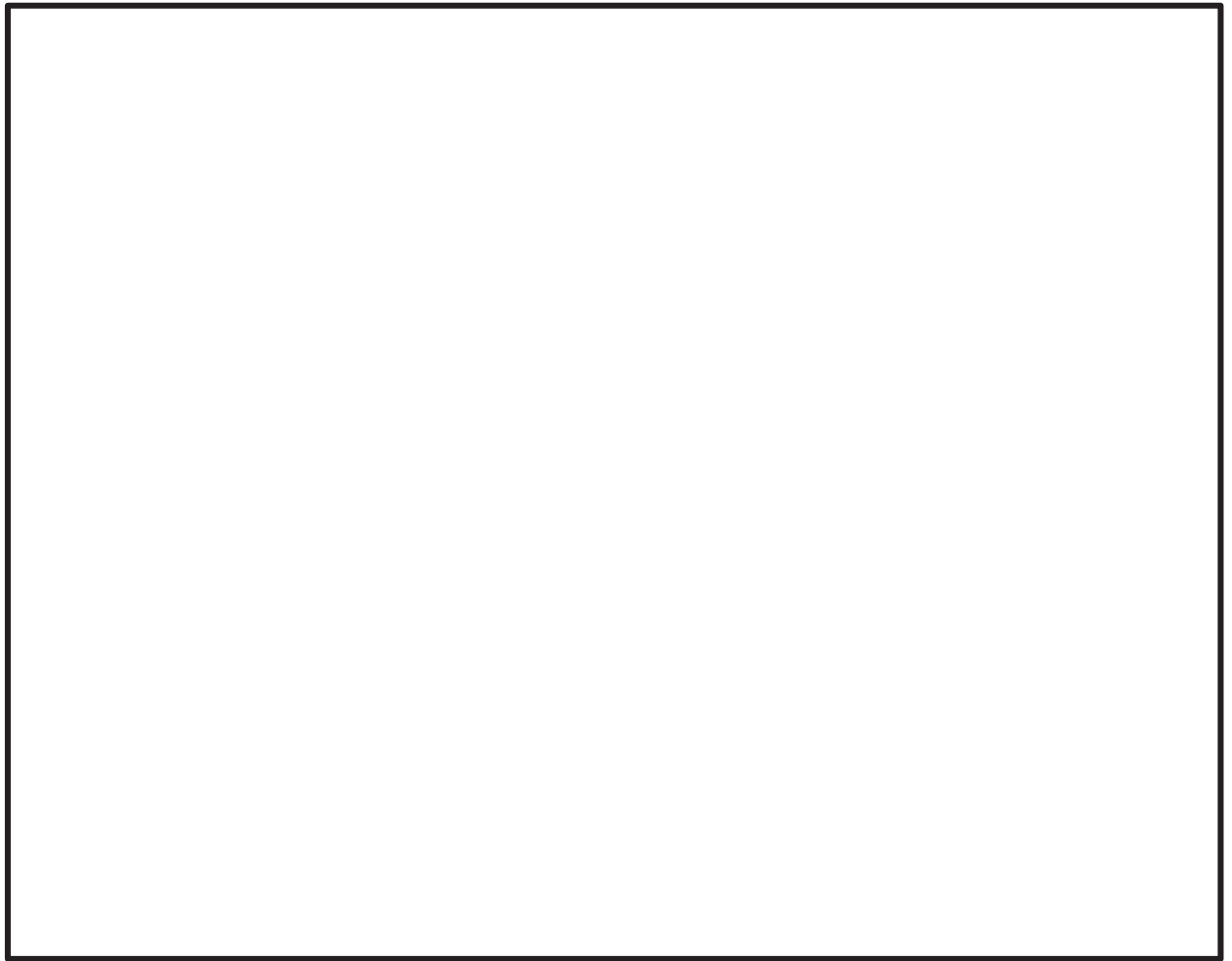


図2-2 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）外観図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 固有値確認及び構造強度評価

ガスボンベ設備の固有周期及び構造強度評価は、添付書類「別添1-1」の「4. 固有周期」及び「5.1 構造強度評価方法」に示す評価方針に基づき、3次元FEMモデルによる解析又は正弦波掃引試験により固有周期及び構造強度を評価する。

#### 3.1 固有値確認及び構造強度評価方法

##### 3.1.1 固有値確認方法

###### (1) ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）

###### ① ボンベラックの確認方法

対象部位であるボンベラックについて、3次元FEMモデルによる解析を実施する。

###### ② 容器弁の確認方法

容器弁は、正弦波掃引試験を実施する。

###### (2) ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）

###### ① ボンベラックの確認方法

対象部位であるボンベラックについて、正弦波掃引試験を実施する。

###### ② 容器弁の確認方法

容器弁は、正弦波掃引試験を実施する。

##### 3.1.2 構造強度評価方法

ガスボンベ設備の構造強度評価は、添付書類「別添1-1」の「5.1 構造強度評価方法」に示す評価方針に従い、構造強度評価を実施する。

### 3.2 荷重の組合せ及び許容応力

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「別添1-1」の「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

#### 3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態は、ガスボンベ設備の評価対象部位ごとに設定する。荷重の組合せ及び許容応力状態を表3-1に示す。

#### 3.2.2 許容応力及び許容応力評価条件

ガスボンベ設備における許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表3-2、表3-3に示す。また、ガスボンベ設備におけるボンベラック及び基礎ボルトの許容応力評価条件を表3-4、表3-5に示す。

表3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他の発電用原 子炉の附属施設	火災防護設備	ガスボンベ設備	C	—*	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_{AS}$

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。



表 3-2 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (部材)		許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	組合せ	引張り	せん断	
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$		$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表3-3 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表3-4 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)
ボンベラック	STKR400	40 (周囲環境温度)	245	400	280
	SS400 (径 ≤ 16 mm)	40 (周囲環境温度)	245	400	280
	SNB7	40 (周囲環境温度)	725	860	602
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16 mm)	40 (周囲環境温度)	245	400	280

∞

表3-5 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16 mm)	40 (周囲環境温度)	245	400	280

### 3.3 解析モデル及び諸元

「3.1.1 固有値確認方法」に示すガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の解析モデルを図3-1に、解析モデルの諸元を表3-6に、ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の外観図を図2-1に示す。

- (1) ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）を構成する部材をはり・シェル要素でモデル化したFEMモデルを用いる。
- (2) 基礎ボルト部の拘束条件として、並進3方向回転3方向固定とする。
- (3) ガスボンベは、はり要素でモデル化し、ボンベ及び消火剤の重量を分布重量として設定する。
- (4) ガスボンベ押さえはシェル要素でモデル化し、ガスボンベと押さえは水平2方向結合とする。
- (5) ガスボンベ底部の拘束条件として、鉛直方向固定として設定する。
- (6) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5-40 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。

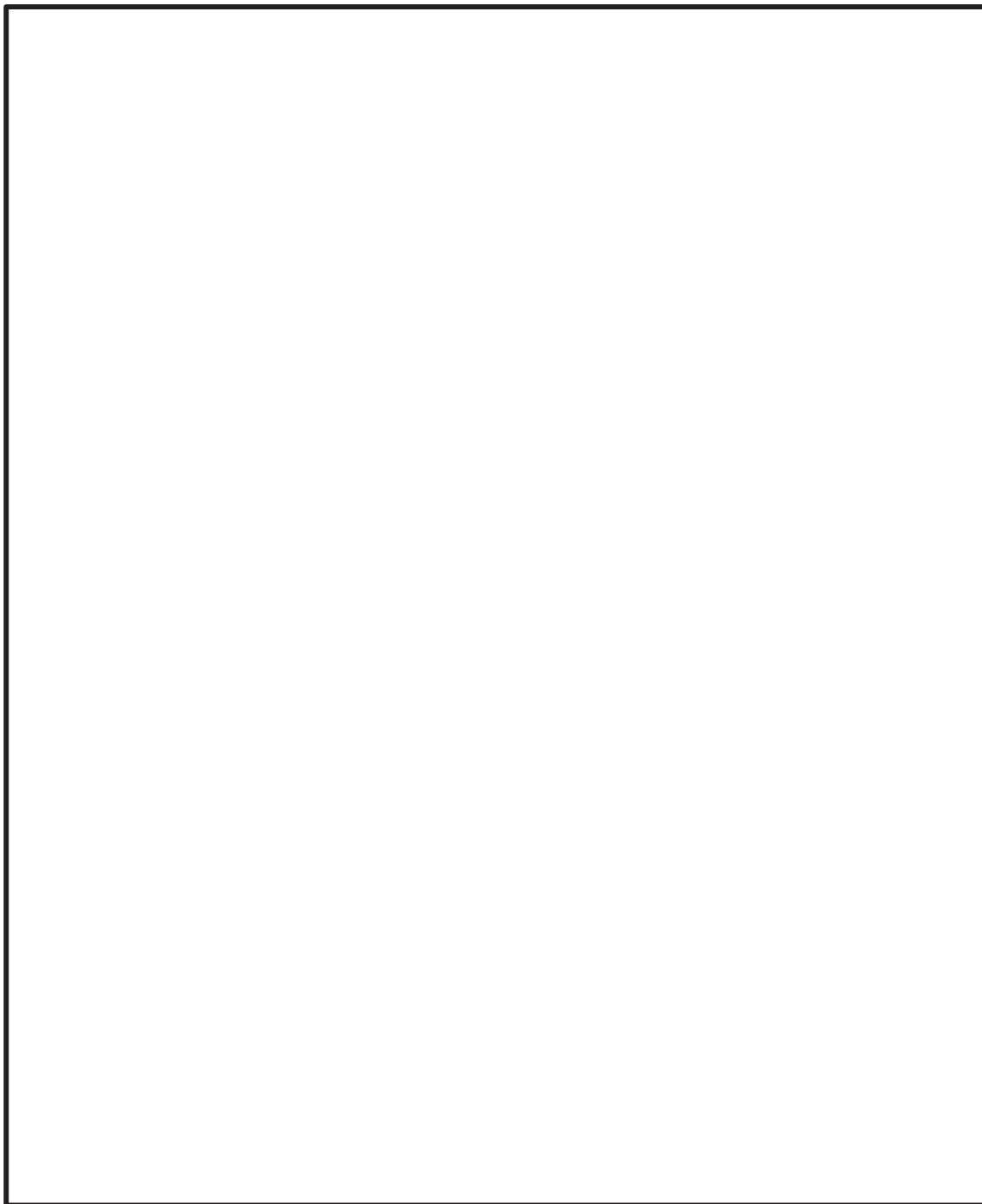


図 3-1 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-6 解析モデルの諸元

	番号	材料	諸元	縦弾性 係数 (MPa)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント (mm <sup>4</sup> )	
						強軸	弱軸
ボンベ ラック	①	STKR400		$2.02 \times 10^5$	$1.217 \times 10^3$	$9.860 \times 10^5$	$9.860 \times 10^5$
	②	SS400		$2.02 \times 10^5$	$1.953 \times 10^3$	$2.184 \times 10^6$	$1.091 \times 10^6$
	③	SS400		$2.02 \times 10^5$	$1.270 \times 10^3$	$6.440 \times 10^5$	$6.440 \times 10^5$
	④	SS400		$2.02 \times 10^5$	$1.044 \times 10^3$	$5.787 \times 10^5$	$2.054 \times 10^5$
	⑤	SNB7		$2.01 \times 10^5$	150.3	$1.798 \times 10^3$	$1.798 \times 10^3$
	⑥	SS400		$2.02 \times 10^5$	—	—	—
	⑦	SS400		$2.02 \times 10^5$	—	—	—
	⑧	SS400		$2.02 \times 10^5$	—	—	—
	⑨	SS400		$2.02 \times 10^5$	—	—	—
基礎 ボルト	⑩	SS400		—	—	—	—
温度条件 (°C)	—	—	40	—	—	—	—
質量 (kg)	—	—	2095	—	—	—	—
ポアソン 比	—	—	0.3	—	—	—	—

O 2 ③ VI-2-別添 1-4 R 4

### 3.4 固有周期

ガスボンベ設備の固有値確認結果を「3.4.1 ガスボンベ設備」に、ガスボンベ設備の容器弁の固有値確認結果を「3.4.2 容器弁」に示す。

#### 3.4.1 ガスボンベ設備

ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の固有値確認結果を表3-7に、振動モード図を図3-2に示す。ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の固有値確認結果を表3-8に示す。固有周期は0.050秒以下であり剛であることを確認した。

#### 3.4.2 容器弁

容器弁（ハロンガス消火設備）の固有値確認結果を表3-9、容器弁（ケーブルトレイ消火設備）の固有値確認結果を表3-10に示す。固有周期は0.050秒以下であり剛であることを確認した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表3-7 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の固有周期

機器名称	方向	固有周期 (s)
ガスボンベ設備 (ハロンガス消火設備)	水平	
	鉛直	

表3-8 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の固有周期

機器名称	方向	固有周期* (s)
ガスボンベ設備 (ケーブルトレイ消火設備)	水平	0.050以下
	鉛直	0.050以下

注記\*：正弦波掃引試験により 33Hz まで共振振動数がないことを確認。

表3-9 容器弁（ハロンガス消火設備）の固有周期

機器名称	方向	固有周期* (s)
容器弁 (ハロンガス消火設備)	水平	0.050以下
	鉛直	0.050以下

注記\*：正弦波掃引試験により 33Hz まで共振振動数がないことを確認。

表3-10 容器弁（ケーブルトレイ消火設備）の固有周期

機器名称	方向	固有周期* (s)
容器弁 (ケーブルトレイ消火設備)	水平	0.050以下
	鉛直	0.050以下

注記\*：正弦波掃引試験により 33Hz まで共振振動数がないことを確認。

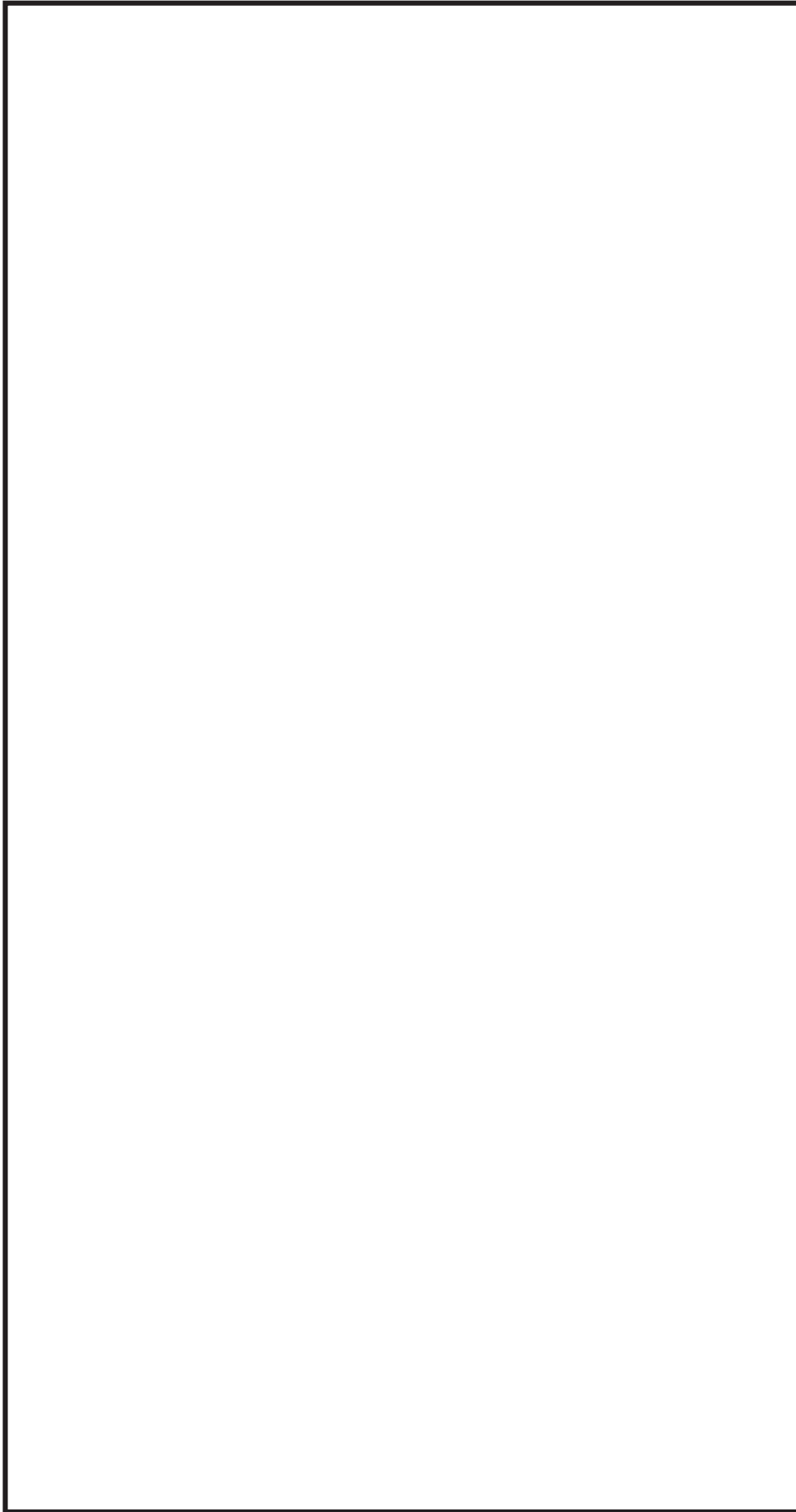


図3-2 振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.5 設計用地震力

ガスボンベ設備の耐震計算に用いる設計用地震力については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。



#### 4. 機能維持評価

##### 4.1 動的機能維持評価方法

ガスボンベ設備は、添付書類「別添1-1」の「6. 機能維持評価」に示す評価方針に従い、機能維持評価を実施する。

なお、機能確認済加速度には、対象機器の加振試験において動的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

## 5. 評価結果

ガスボンベ設備の構造強度評価結果及び機能維持評価結果を以下に示す。なお、発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	設置場所及び床面 高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
ガスボンベ設備 (ハロンガス消火設備)	C	原子炉建屋 0.P. 22.50*			C <sub>H</sub> =2.12	C <sub>V</sub> =1.56	40

注記\*：基準床レベルを示す。

1.2 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	F <sub>b</sub> (N)	Q <sub>b</sub> (N)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
基礎ボルト	1.416×10 <sup>4</sup>	1.494×10 <sup>4</sup>	201.1

1.3 結論

1.3.1 固有周期 (単位：s)

水平方向	
鉛直方向	

1.3.2 構造強度評価結果 (単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力分類	計算応力	許容応力
ガスボンベ設備 (ハロンガス消火設備)	ボンベラック	SS400	組合せ応力		$f_t = 280$
	基礎ボルト	SS400	引張応力		$f_{ts} = 168^*$
			せん断応力		$f_{sb} = 129$

すべて許容応力以下である。

注記\*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.3.3 動的機能維持評価結果 (単位：×9.8 m/s<sup>2</sup>)

機器名称	据付場所及び 床面高さ(m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		機能維持評価用 加速度*	機能確認済加速度	機能維持評価用 加速度*	機能確認済加速度
容器弁	原子炉建屋 O.P. 22.50	1.77	10.00	1.30	5.00

注記\*：基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

【ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	設置場所及び床面 高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
ガスボンベ設備 (ケーブルトレイ消火設備)	C	原子炉建屋 O.P. 23.60* <sup>1</sup>	0.050以下	0.050以下	C <sub>H</sub> =2.65* <sup>2</sup>	C <sub>V</sub> =1.77* <sup>2</sup>	40

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：建屋中間階に設置されるため、評価対象フロアの上下階のうちいずれか大きい方の基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる応答加速度を用いる。

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ <sub>1</sub> * (mm)	ℓ <sub>2</sub> * (mm)	d (mm)	n	n <sub>f</sub> * (mm)
基礎ボルト							

注記\*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、  
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	F <sub>b</sub> (N)	Q <sub>b</sub> (N)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
基礎ボルト	4.694 × 10 <sup>3</sup>	5.276 × 10 <sup>3</sup>	201.1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

水平方向	0.050以下
鉛直方向	0.050以下

1.4.2 構造強度評価結果 (単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力分類	計算応力	許容応力
ガスボンベ設備 (ケーブルトレイ消火設備)	基礎ボルト	SS400	引張応力		$f_{ts} = 168^*$
			せん断応力		$f_{sb} = 129$

すべて許容応力以下である。

注記\*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.3 動的機能維持評価結果 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )

機器名称	据付場所及び 床面高さ(m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		機能維持評価用 加速度*	機能確認済加速度	機能維持評価用 加速度*	機能確認済加速度
容器弁	原子炉建屋 O.P. 23.60	2.21		1.47	

注記\*：基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。