

東海第二発電所工事計画審査資料	
資料番号	工認-506 改0
提出年月日	平成30年6月6日

V-2-別添1-4 ハロンボンベ設備の耐震計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格	4
3. 地震応答解析	6
3.1 基本方針	6
3.2 解析方法	6
3.3 設計用地震力	7
3.4 解析モデル及び諸元	8
3.5 固有値解析結果	11
4. 応力評価	13
4.1 基本方針	13
4.2 評価対象部位	13
4.3 荷重及び荷重の組合せ	13
4.4 評価方法	15
5. 機能維持評価	17
5.1 基本方針	17
5.2 評価対象部位	17
5.3 許容限界	17
5.4 評価方法	17
6. 評価条件	18
6.1 応力評価条件	18
6.2 機能維持評価条件	19
7. 耐震評価結果	20

1. 概要

本資料は、V-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、基準地震動 S_s による地震力に対し、ハロンボンベ設備が地震時及び地震後においても、火災を早期に消火する機能を保持するために、耐震性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

別添 1-1 の「2.1 評価対象設備」に示すハロンボンベ設備の構造計画を「2.1 位置」及び「2.2 構造概要」に示す。

2.1 位置

ハロンボンベ設備は、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、消火対象となる火災区域又は火災区画とは別のエリアに設置する。

2.2 構造概要

ハロンボンベ設備の構造計画を表 2-1 に、外観図を図 2-1 に、容器弁の外観図を図 2-2 に示す。

表 2-1 ハロンボンベ設備の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
ハロンボンベ設備	ガスボンベ及び容器弁	容器弁は、ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベはラックに固定し、基礎ボルトによりラックを建屋床のコンクリート躯体に据え付ける。	図 2-1 図 2-2

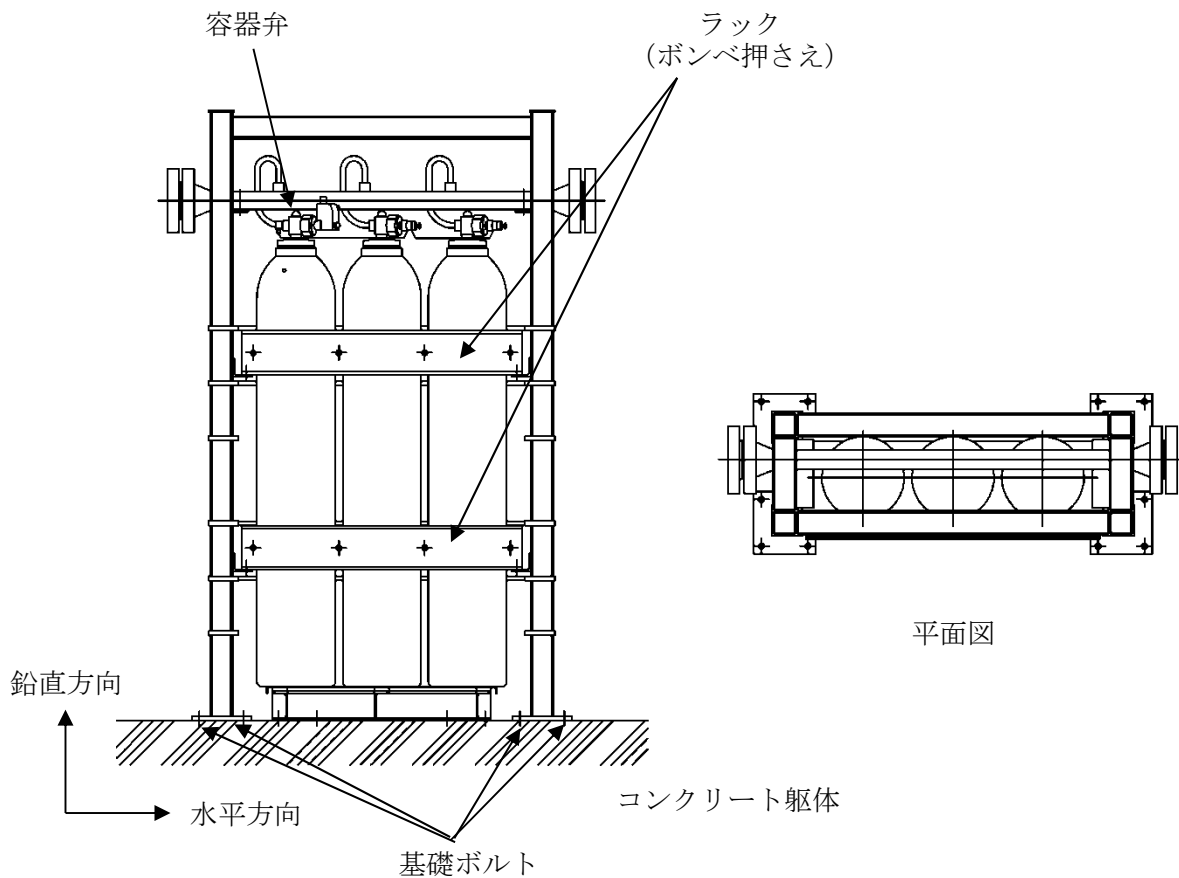


図 2-1 ハロンポンベ設備 外観図

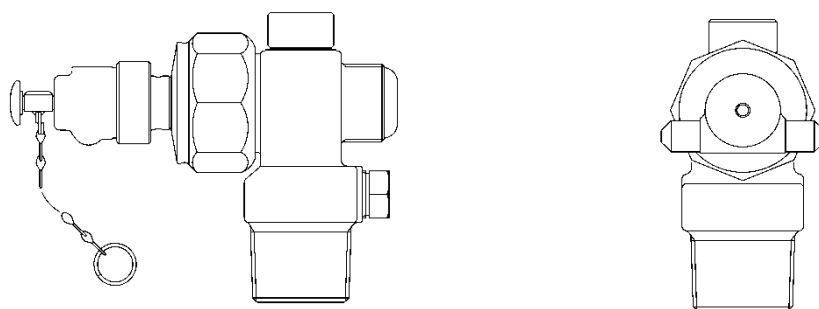


図 2-2 容器弁 外観図

2.3 評価方針

ハロンボンベ設備は、別添 1-1 の「4.2 応力評価」に示す応力評価の方針に従い、応力評価を実施する。

ハロンボンベ設備の応力評価は、「3. 地震応答解析」及び「4. 応力評価」に示す方法により、「6. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「7. 耐震評価結果」においてハロンボンベ設備の評価対象部位に発生する応力が許容限界に収まることを確認する。

ハロンボンベ設備の構成品である容器弁は、別添 1-1 の「4.3 機能維持評価」に示す機能維持評価の方針に従い、動的機能維持評価を実施する。

ハロンボンベ設備の容器弁の動的機能維持評価は、「3. 地震応答解析」及び「5. 機能維持評価」に示す方法により、「6. 評価条件」に示す評価条件を用い、「7. 耐震評価結果」において容器弁の最大床加速度が機能確認済加速度を超えないことを確認する。

ハロンボンベ設備の耐震評価（応力評価）フローを図 2-3 に、容器弁の耐震評価（機能維持評価）フローを図 2-4 に示す。

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（J S M E S N C 1 - 2005/2007）
（（社）日本機械学会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 - 1987）（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984）
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版）（（社）日本電気協会）

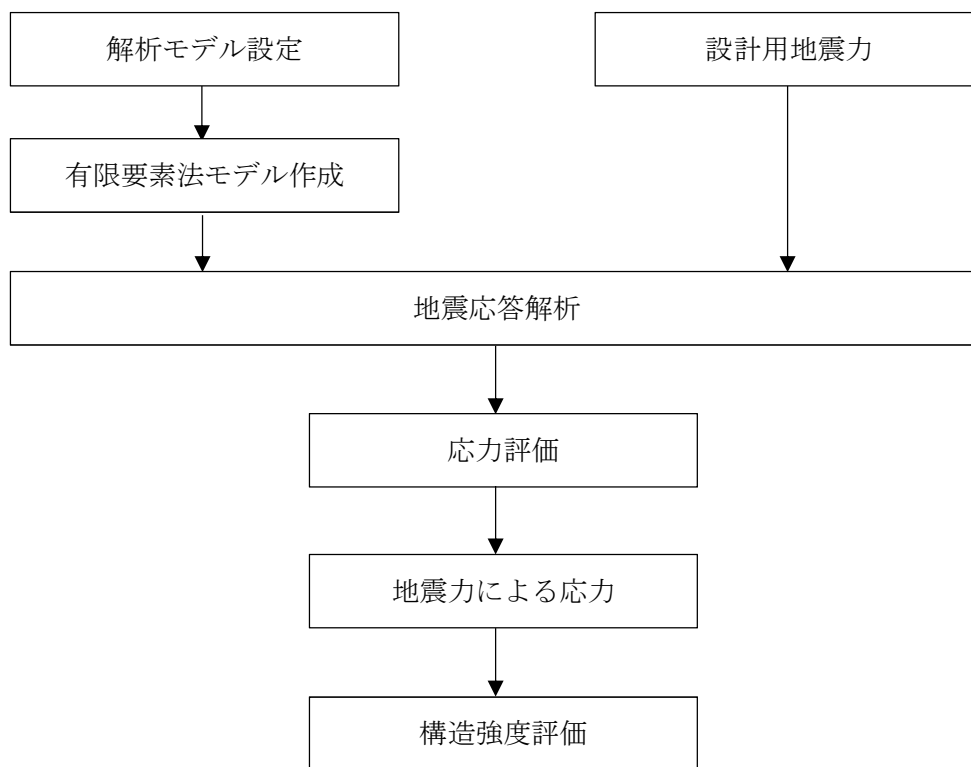


図 2-3 ハロンボンベ設備の耐震評価（応力評価）フロー

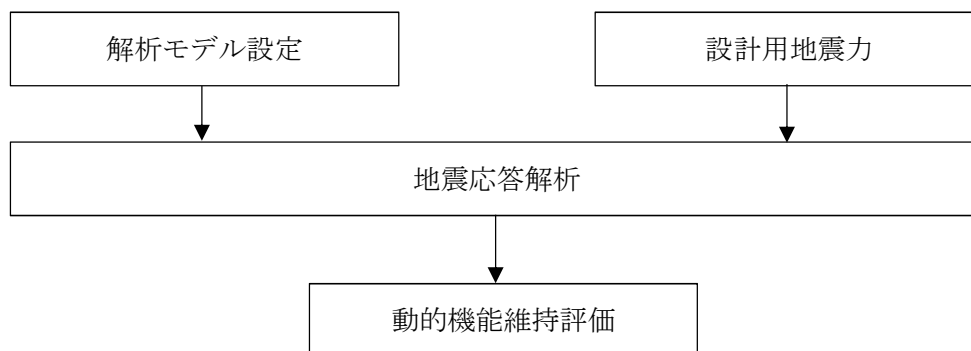


図 2-4 ハロンボンベ設備容器弁の耐震評価（機能維持評価）フロー

3. 地震応答解析

3.1 基本方針

ハロンボンベ設備は、別添 1-1 の「4.1 地震応答解析」に示す評価方針に従い、地震応答解析を実施する。

ハロンボンベ設備の地震応答解析は、「3.2 解析方法」に示す方法により、「3.3 設計用地震力」に示す設計用地震力及び「3.4 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いて計算し、「3.5 固有値解析結果」においてハロンボンベ設備の固有振動数を評価する。

ハロンボンベ設備の構成品である容器弁の地震応答解析は、「3.2 解析方法」に示す方法により、「3.5 固有値解析結果」において容器弁の固有振動数を評価する。

3.2 解析方法

ハロンボンベ設備の解析方法を「3.2.1 ハロンボンベ設備」に、ハロンボンベ設備の構成品である容器弁の解析方法を「3.2.2 容器弁」に示す。

3.2.1 ハロンボンベ設備

- (1) ハロンボンベ設備の構成品であるガスボンベ及びラックをはり要素としてモデル化した 3次元 FEM モデルによる地震応答解析を実施する。
- (2) 解析コードは MSC NASTRAN を使用する。なお、評価に用いる解析コード MSC NASTRAN の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- (3) 拘束条件として、基礎ボルト点を並進 3 方向回転 3 方向固定として設定する。
- (4) 許容応力について J S M E S N C 1 - 2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が図表記載温度の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

3.2.2 容器弁

容器弁は、支持構造物も含めた容器弁の設置状態を模擬し、正弦波掃引試験を実施する。

3.3 設計用地震力

ハロンポンベ設備の耐震計算に用いる入力地震力には、V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、表3-1に示す条件により作成した設計用床応答曲線を使用する。また、減衰定数はV-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

ハロンポンベ設備の設置場所は1箇所限定されず複数箇所に設置されるため、設計用床応答曲線は、設置建屋の各場所における最大床加速度(S_s)のうち、最大の加速度となる場所を選定する。

表 3-1 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備考
		建屋 及び高さ (m)	方 向	減衰 定数 (%)	
基準 地震動 S_s	原子炉 建屋 EL. 38.8	原子炉 建屋 EL. 38.8	水 平	1.0	水平方向,鉛直方向とも に $S_s-1\sim 8$ の包絡曲 線を用いる。
		原子炉 建屋 EL. 38.8	鉛 直	1.0	

3.4 解析モデル及び諸元

「3.2.1 ハロンボンベ設備」に示すハロンボンベ設備の解析モデルを図 3-1 に、解析モデルの諸元を表 3-2 に、ハロンボンベ設備の外形図を図 3-2 に示す。

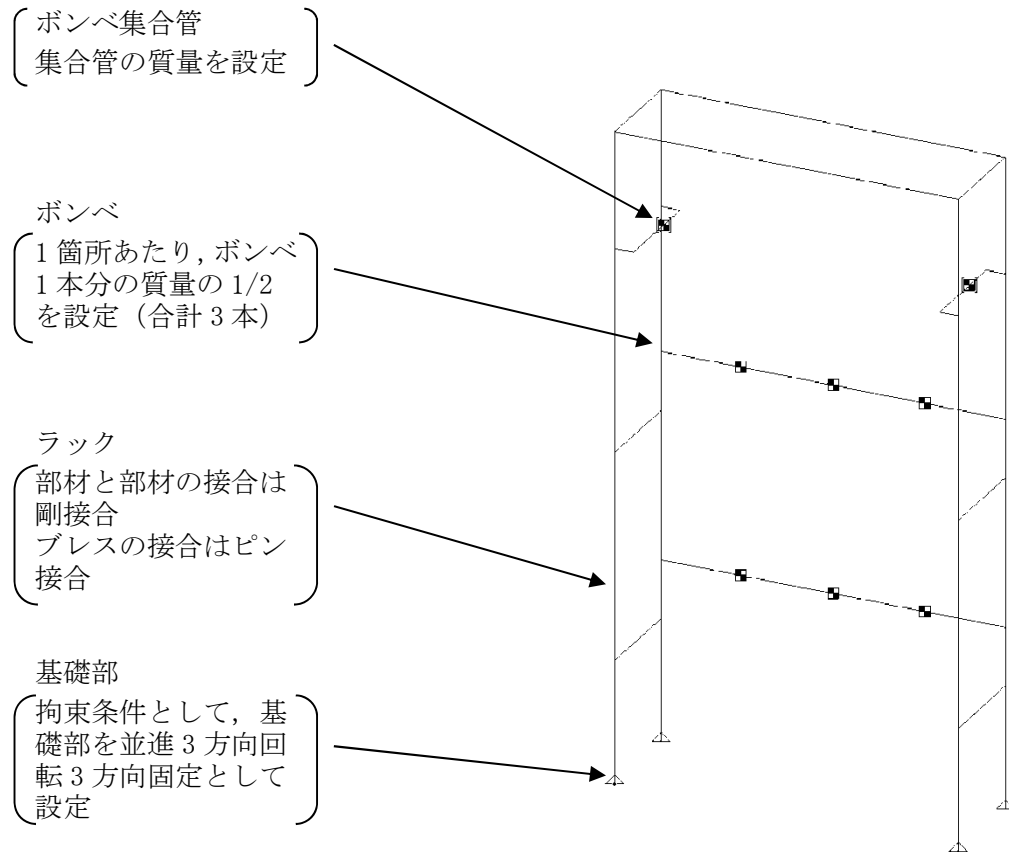


図 3-1 解析モデル

表 3-2 解析モデルの諸元

	材質 (数値)	諸元(数値)	縦弾数係数 (MPa)	断面積 (mm ²)	断面積二次モーメント (mm ⁴)	
					強軸	弱軸
ラック	SS400	L65×65×t6	2.02×10^5	752.7	2.940×10^5	2.940×10^5
	SS400	C200×90×8 ×t13.5	2.02×10^5	3865	2.490×10^7	2.770×10^6
	STKR400	□75×75×t4.5	2.02×10^5	1217	9.806×10^5	9.806×10^5
基礎 ボルト (mm)	SS400	M16×12本	—	—	—	—
温度条件 (°C)	—	40	—	—	—	—
質量(kg)	—	736	—	—	—	—
ポアソン 比	—	0.3	—	—	—	—

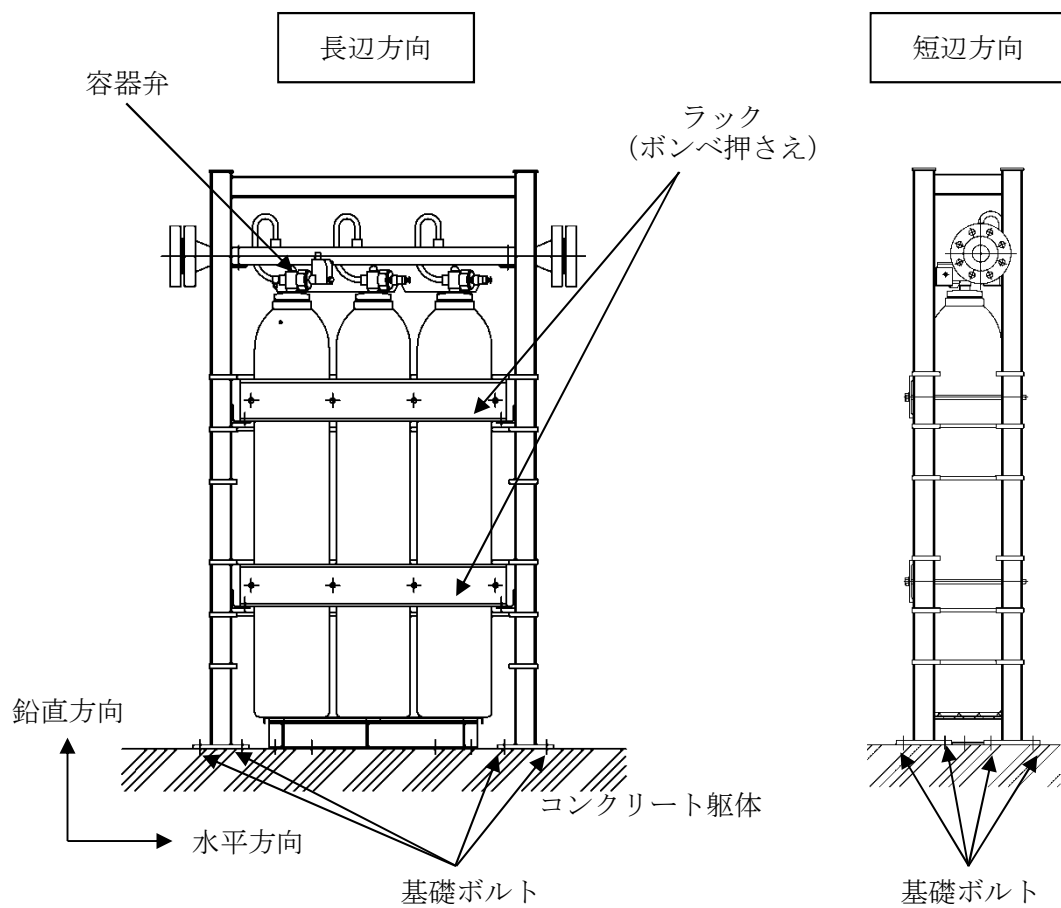


図 3-2 ハロンボンベ設備 外形図

3.5 固有値解析結果

ハロンポンベ設備の固有値解析結果を「3.5.1 ハロンポンベ設備」に、ハロンポンベ設備の容器弁の固有値解析結果を「3.5.2 容器弁」に示す。

3.5.1 ハロンポンベ設備

ハロンポンベ設備の固有値解析結果を表 3-3 に、振動モード図を図 3-3 に示す。

3.5.2 容器弁

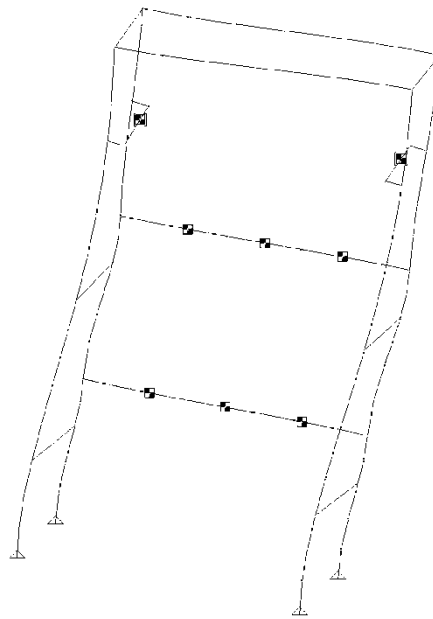
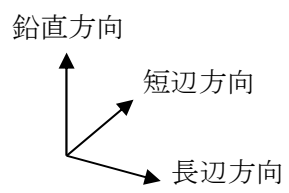
容器弁の固有値解析結果を表 3-4 に示す。表 3-4 より、容器弁は、剛構造である。

表 3-3 ハロンポンベ設備の固有振動数 (単位: Hz)

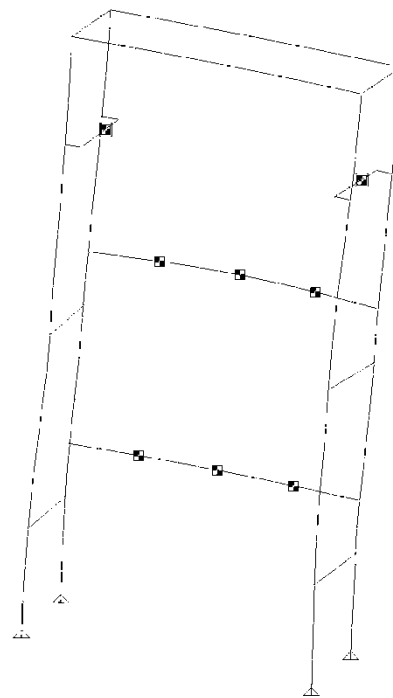
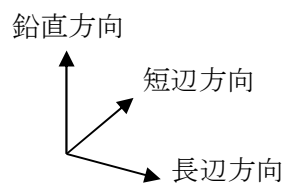
設備名称	方向	固有振動数
ハロンポンベ設備	長辺方向	20 以上
	短辺方向	20 以上

表 3-4 容器弁の固有振動数 (単位: Hz)

機器名称	固有振動数
容器弁	20 以上



(a) 長辺方向モード



(b) 短辺方向モード

図 3-3 振動モード図

4. 応力評価

4.1 基本方針

ハロンボンベ設備は、別添 1-1 の「4.2 応力評価」に示す評価方針に従い、応力評価を実施する。

ハロンボンベ設備の応力評価は、「4.2 評価対象部位」に示す評価対象部位が、「4.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せに対し「4.4 許容限界」に示す許容限界に収まることを、「4.5 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 評価対象部位

ハロンボンベ設備の評価対象部位は、別添 1-1 の「3.2 許容限界」に示すとおり、評価対象部位であるラック及び基礎ボルトとする。

4.3 荷重及び荷重の組合せ

応力評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、別添 1-1 の「3.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

4.3.1 荷重の種類

応力評価に用いる荷重は、以下の荷重を使用する。

(1) 死荷重(D)

死荷重は、ハロンボンベ設備の自重とする。

(2) 地震荷重(S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による地震力とする。

4.3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

応力評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態は、ハロン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 4-1 に示す。

4.3.3 許容応力

ハロンボンベ設備の基礎ボルトの許容応力を表 4-2 に示す。

表 4-1 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
その他発電 用原子炉の 附属施設	火災防護 設備	ハロンボンベ設備	C (S _s 機能維持)	—*	D + S _s	IV _A S

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 4-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界（ボルト等）*1, *2	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A 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。

4.4 評価方法

ハロンポンベ設備ポンベ設備の応力評価は、別添 1-1 の「4.2 応力評価」に示すラックの評価式により評価対象部位の発生応力を計算し、許容応力以下となることを確認する。

4.4.1 記号の定義

応力評価に使用する記号の定義を表 4-4 に示す。

表 4-4 ラック及び基礎ボルトの応力評価に使用する記号の定義

記号	単位	記号の定義
A	mm ²	基礎ボルト断面積
F _s	N	基礎ボルトのせん断力
F _t	N	基礎ボルトの引張力
σ	MPa	ラックの組合せ応力
σ _a	MPa	ラックの軸応力
σ _b	MPa	ラックの曲げ応力
σ _{bt}	MPa	基礎ボルトに発生する引張応力
τ	MPa	ラックのせん断応力
τ _b	MPa	基礎ボルトに発生するせん断応力
τ _t	MPa	ねじりモーメントによるせん断応力

4.4.2 応力評価モデル及び評価式

ハロンポンベ設備は、3次元 FEM モデルによる地震応答解析から求めた荷重を用いて応力評価を実施する。

ハロンポンベ設備は、「2.2 構造概要」の表 2-1 に示すとおり、ポンベをラックに固定し、ラックを基礎ボルトにより据え付けるため、ラック及び基礎ボルト、それぞれに対し応力評価を実施する。

(1) ラックの構造強度評価

「3. 地震応答解析」にて算出するラックの軸応力、曲げ応力及びせん断応力を用いて、以下の式によりラックの組合せ応力を算出する。

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_b)^2 + 3(\tau + \tau_t)^2}$$

(2) 基礎ボルトの構造強度評価

a. 基礎ボルトに発生する引張応力の算出

「3. 地震応答解析」にて算出する基礎ボルトの引張力及び基礎ボルトの断面積を用いて、以下の式により基礎ボルトの引張応力を算出する。

$$\sigma_{bt} = \frac{F_t}{A}$$

b. 基礎ボルトに発生するせん断応力の算出

「3. 地震応答解析」にて算出する基礎ボルトのせん断力及び基礎ボルトの断面積を用いて、以下の式により基礎ボルトのせん断応力を算出する。

$$\tau_b = \frac{F_s}{A}$$

5. 機能維持評価

5.1 基本方針

ハロンボンベ設備は、別添 1-1 の「4.3 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。

ハロンボンベ設備の機能維持評価は、「5.2 評価対象部位」に示す評価対象部位が、「5.3 許容限界」に示す許容限界に収まることを、「5.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

5.2 評価対象部位

ハロンボンベ設備の評価対象部位は、別添 1-1 の「4.3 機能維持評価」の評価方針に示すとおり、地震時及び地震後に動的機能の保持が必要な容器弁とする。

5.3 許容限界

ハロンボンベ設備の許容限界は、別添 1-1 の「4.3 機能維持評価」に示す機能確認済加速度とする。

容器弁の機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 容器弁の機能確認済加速度 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

機器名称	方向	機能確認済加速度
容器弁	水平	4.00
	鉛直	2.00

5.4 評価方法

容器弁の機能維持評価は、別添 1-1 の「4.3 機能維持評価」に示す評価方針に従い、容器弁の評価用加速度が機能確認済加速度以下となることを確認する。

6. 評価条件

「4. 応力評価」及び「5. 機能維持評価」に用いる評価条件を以下に示す。

6.1 応力評価条件

6.1.1 許容応力評価条件

ハロンポンベ設備の許容応力評価条件を表 6-1 に示す。

表 6-1 ハロンポンベ設備の許容応力評価条件

評価対象 部位	材 料	評価用温度 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
ラック	STKR400	40 (雰囲気温度)	245	400	280
	SS400	40 (雰囲気温度)	245	400	280
基礎ボルト	SS400	40 (雰囲気温度)	245	400	280

6.1.2 応力評価に用いる設計震度

ハロンポンベ設備は、固有振動数が 20 Hz 以上で、剛構造であることを確認しているため、応力評価に用いる設計震度は、最大床加速度の 1.2 倍を使用する。

ハロンポンベ設備の応力評価に用いる設計震度を表 6-2 に示す。

表 6-2 ハロンポンベ設備の応力評価に用いる設計震度 (単位：－)

項目	設計震度
水平方向設計震度	1.67
鉛直方向設計震度	1.44

6.2 機能維持評価条件

6.2.1 設計用地震力

容器弁の耐震計算に用いる入力地震力には、V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、表 3-1 に示す条件により作成した設計用床応答曲線を使用する。また、減衰定数はV-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

容器弁の設置場所は1箇所に限定されず複数箇所に設置されるため、設計用床応答曲線は、設置建屋の各場所における最大床加速度(S_s)のうち、最大の加速度となる場所を選定する。

6.2.2 評価用加速度

容器弁の機能維持評価に用いる評価用加速度は、「6.2.1 設計用地震力」に示す設計用床応答曲線及び固有値解析結果より、ハロンボンベ設備の頂部における応答加速度を使用する。

容器弁の評価用加速度を表 6-3 に示す。

表 6-3 容器弁の評価用加速度 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

機器名称	方向	評価用加速度
容器弁	水平	1.40
	鉛直	1.20

7. 耐震評価結果

ハロンボンベ設備の応力評価結果及び動的機能維持評価結果を表 7-1 及び表 7-2 に示す。

ラック及び基礎ボルトの発生応力は許容応力以下であり、容器弁の評価用加速度は機能確認済加速度以下である。

したがって、ハロンボンベ設備は、地震時及び地震後においても、基準地震動 S_s による地震力に対し、火災を早期に消火する機能を保持するため、耐震性を有する。

表 7-1 ハロンボンベ設備の応力評価結果

(単位 : MPa)

設備名称	評価部位	応力分類	発生応力	許容応力
ハロンボンベ設備	ラック	組合せ応力	64	280
	基礎ボルト	引張応力	32	210
		せん断応力	5	161

表 7-2 容器弁の動的機能維持評価結果

(単位：×9.8 m/s²)

設備名称	機能確認済加速度との比較				
	加速度確認箇所	水平		鉛直	
		評価用加速度	機能確認済加速度	評価用加速度	機能確認済加速度
ハロンポンベ設備 容器弁	加振台への 取付位置	1.40	4.00	1.20	2.00