

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-補-E-01-0200-16_改8
提出年月日	2021年10月26日

補足-200-16 ブローアウトパネル関連設備の設計方針

目次

補足1	ブローアウトパネル関連設備の要求機能について……………	補足1-1
補足2	原子炉建屋ブローアウトパネルの配置と構造について……………	補足2-1
補足3	止め板曲げ試験について……………	補足3-1
補足4	原子炉建屋ブローアウトパネルの開放機能を担保する設計条件について	補足4-1
補足5	原子炉建屋内側ブローアウトパネルの配置と構造について……………	補足5-1
補足6	原子炉建屋ブローアウトパネル取付枠内での物理的な干渉について……	補足6-1
補足7	原子炉建屋ブローアウトパネルの飛出し挙動について……………	補足7-1
補足8	原子炉建屋ブローアウトパネルの保安全管理について……………	補足8-1
補足9	原子炉建屋ブローアウトパネル機能確認解析について……………	補足9-1
補足10	原子炉建屋ブローアウトパネル開放時の設計基準事故時被ばく評価への 影響について……………	補足10-1
補足11	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の配置と構造について……………	補足11-1
補足12	原子炉建屋内圧力解析について……………	補足12-1
補足13	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の技術基準規則第五十四条への 適合性について……………	補足13-1
補足14	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の保安全管理について……………	補足14-1
補足15	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験要領について・	補足15-1
補足16	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験結果について・	補足16-1
補足17	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置加振試験体と実機との 差異について……………	補足17-1
補足18	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の門ピンと門受の熱膨張による 影響について……………	補足18-1
補足19	ブローアウトパネル関連設備の先行電力との差異について……………	補足19-1
補足20	止め板破損時の他設備への影響について……………	補足20-1
補足21	原子炉建屋ブローアウトパネルの機能確認試験要領について……………	補足21-1
補足22	原子炉建屋ブローアウトパネルの機能確認試験結果について……………	補足22-1
補足23	原子炉建屋ブローアウトパネル開放時の他設備への影響について……	補足23-1

ブローアウトパネル関連設備の要求機能について

1. はじめに

ブローアウトパネル関連設備（原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という。）及び原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）について、技術基準上の主な要求事項を整理した。

2. 原子炉建屋 BOP の要求事項

(1) 開放機能

原子炉建屋 BOP は、主蒸気管破断（以下「MSLBA」という。）を想定した場合の放出蒸気による圧力から原子炉建屋や原子炉格納容器等を防護するため、放出蒸気を建屋外に放出することを目的に設置されている。このため、建屋の内外差圧により自動的に開放する機能が必要である。（技術基準規則 第 12 条 溢水等による損傷の防止）

設計基準対象施設である原子炉建屋 BOP は、待機状態（閉状態）にて、基準地震動 S_s により開放機能を損なわないようにする必要があるため、基準地震動 S_s に対する耐震健全性（建屋躯体の健全性）を確保する設計とする。また、設計竜巻により開放機能を損なわないようにする必要があるが、設計竜巻と設計基準事故が同時に発生する頻度は十分小さいこと、プラント運転中又は停止中の設計竜巻を想定しても安全機能は維持されることから、機能喪失した場合には、安全な状態に移行（運転中は冷温停止へ移行、停止中は炉心変更時又は原子炉建屋原子炉棟で照射された燃料に係る作業の停止）することを保安規定に定める。

重大事故等対処設備である原子炉建屋 BOP は、格納容器バイパス（以下「ISLOCA」という。）発生を想定した場合の発生箇所を隔離するための操作等の活動ができるよう、所定の時間内に原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）の圧力及び温度を低下させるため、確実に開放する必要がある。（技術基準規則 第 61 条 原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備）

ISLOCA 発生時においては、原子炉格納容器外かつ原子炉棟で低圧設計配管が破断することを想定しているため、原子炉棟で瞬時に減圧沸騰して大量の水蒸気が発生する。このため、原子炉棟の圧力が急上昇するが、外気との差圧（設計圧力 4.4kPa 以下）で原子炉棟に設置した原子炉建屋 BOP が自動的に開放し、原子炉棟内を減圧する設計とする。また、開放した原子炉建屋 BOP の開口面（全面）を經由して外気と熱交換が行われることにより原子炉棟内でも人力で ISLOCA 発生箇所を隔離するための隔離弁が操作可能となる。なお、ISLOCA 発生時には、基本的に中央制御室で

隔離弁を閉操作するが、万が一中央制御室から操作できない場合には、現場で隔離弁を操作することとしている。

(2) 二次格納施設のバウンダリ機能

原子炉建屋 BOP は、上記(1)の開放機能を満足させるため、原子炉棟外壁に設置されており、原子炉棟の壁の一部となることから、二次格納施設のバウンダリとしての機能維持が必要である。(技術基準規則 第 38 条 原子炉制御室等及び第 44 条 原子炉格納施設)

このため、設計基準対象施設である原子炉建屋 BOP は、待機状態(閉状態)にて、基準地震動 S_s により二次格納施設としてのバウンダリ機能を損なわないようにする必要があるが、その一方で、地震動により開放しないように設計する場合、本来の差圧による開放機能を阻害する可能性がある。この 2 つの要求機能を考慮した結果、二次格納施設のバウンダリ機能維持に対しては、原子炉建屋 BOP の設置目的である差圧による開放機能を阻害しない範囲で耐震性を確保する設計とする。具体的には、原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1・補-1984) によれば、基準地震動 S_2 (S_s 相当) と運転状態 IV (設計基準事故) の組合せは不要であるが、基準地震動 S_1 (S_d 相当) と運転状態 IV (設計基準事故) の荷重の組合せは必要とされていることを踏まえ、原子炉建屋 BOP は二次格納施設としてのバウンダリ機能を有することから、長期にわたり事象が継続した場合も考慮し、弾性設計用地震動 S_d で開放しない設計とする。設計竜巻については、その最大気圧低下量が原子炉建屋 BOP 開放の設計差圧より大きく、設計竜巻の気圧差により開放の可能性を否定できないが、プラント運転中又は停止中の設計竜巻を想定してもプラント停止及び冷却に必要な設備は確保でき原子炉安全に影響しない。このため、万一、地震や竜巻により開放し、安全上支障のない期間に復旧できず、二次格納施設としてのバウンダリ機能が維持できない場合には、安全な状態に移行(運転中は冷温停止へ移行、停止中は炉心変更時又は原子炉建屋原子炉棟で照射された燃料に係る作業の停止)することを保安規定に定める。

3. BOP 閉止装置の要求事項

(1) 閉止機能

技術基準第 74 条(運転員が原子炉制御室にとどまるための設備)の解釈では、「原子炉制御室の居住性を確保するために原子炉建屋に設置されたブローアウトパネルを閉止する必要がある場合は、容易かつ確実に閉止操作ができること。また、ブローアウトパネルは、現場において人力による操作が可能なものとする。」が要求されている。

女川原子力発電所第 2 号機の原子炉建屋 BOP は、構造上、開放した場合には、容易に再開止操作を行うことが困難であるため、技術基準第 74 条要求に適合させる

ために BOP 閉止装置を設置する。

このため、重大事故等対処設備である BOP 閉止装置は、待機状態（開状態）にて、基準地震動 S_s により閉止機能を損なわないようにする必要があるため、基準地震動 S_s に対する耐震健全性を確保することが必要である。

(2) 二次格納施設のバウンダリ機能

BOP 閉止装置は、原子炉建屋 BOP に代わって原子炉建屋原子炉棟の壁の一部となることから、二次格納施設のバウンダリとしての機能（原子炉建屋原子炉棟の気密性能確保）が必要である。なお、この機能は、基準地震動 S_s により損なわれないことが要求される。

(3) 原子炉建屋ブローアウトパネルの開放機能に対する設計上の配慮事項

女川原子力発電所第 2 号機の BOP 閉止装置は、建屋構造上屋外への設置はできないことから、原子炉建屋原子炉棟内の原子炉建屋 BOP への蒸气流路上に設置する必要がある。このため、待機時の開状態において、主蒸気管破断や ISLOCA 発生時等の原子炉建屋 BOP の開放機能に影響を及ぼさないよう、蒸気を建屋外へ放出するために必要な流路を確保する必要がある。

4. ブローアウトパネル関連設備の要求機能

表 4-1 にブローアウトパネル関連設備に要求される機能の整理を示す。

表 4-1 ブローアウトパネル関連設備に要求される機能の整理

ブローアウトパネル関連設備	要求機能	設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
		5 条地震	7 条竜巻(差圧)	7 条竜巻(飛来物)	50 条地震	54 条竜巻(差圧)	54 条竜巻(飛来物)
原子炉建屋 BOP	開放機能 (MSLBA) (12 条)	○ (S_s)	○ プラント停止にて対応	○ プラント停止にて対応	—	—	—
	開放機能 (ISLOCA) (61 条)	—	—	—	○ (S_s)	—	—
	二次格納施設のバウンダリ機能 (38 条, 44 条)	○ (S_d)	○ プラント停止にて対応	○ プラント停止にて対応	—	—	—
BOP 閉止装置 (SA 緩和設備)	閉止機能 (74 条)	—	—	—	○ (S_s)	○ (影響なし)	—*1
	二次格納施設のバウンダリ機能 (74 条)	—	—	—	○ (S_s)	—*2	—*2

- 注記 *1: BOP 閉止装置は, S A 緩和設備であるため共通要因故障としての考慮は不要
*2: S A 後の閉止状態での設計竜巻は, 事象の重ね合わせの頻度から組み合わせ不要

原子炉建屋ブローアウトパネルの配置と構造について

1. 原子炉建屋ブローアウトパネルの配置について

原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という。）は、原子炉建屋原子炉棟の外壁に 1 箇所設置する。

原子炉建屋 BOP の配置について図 1-1 に示す。

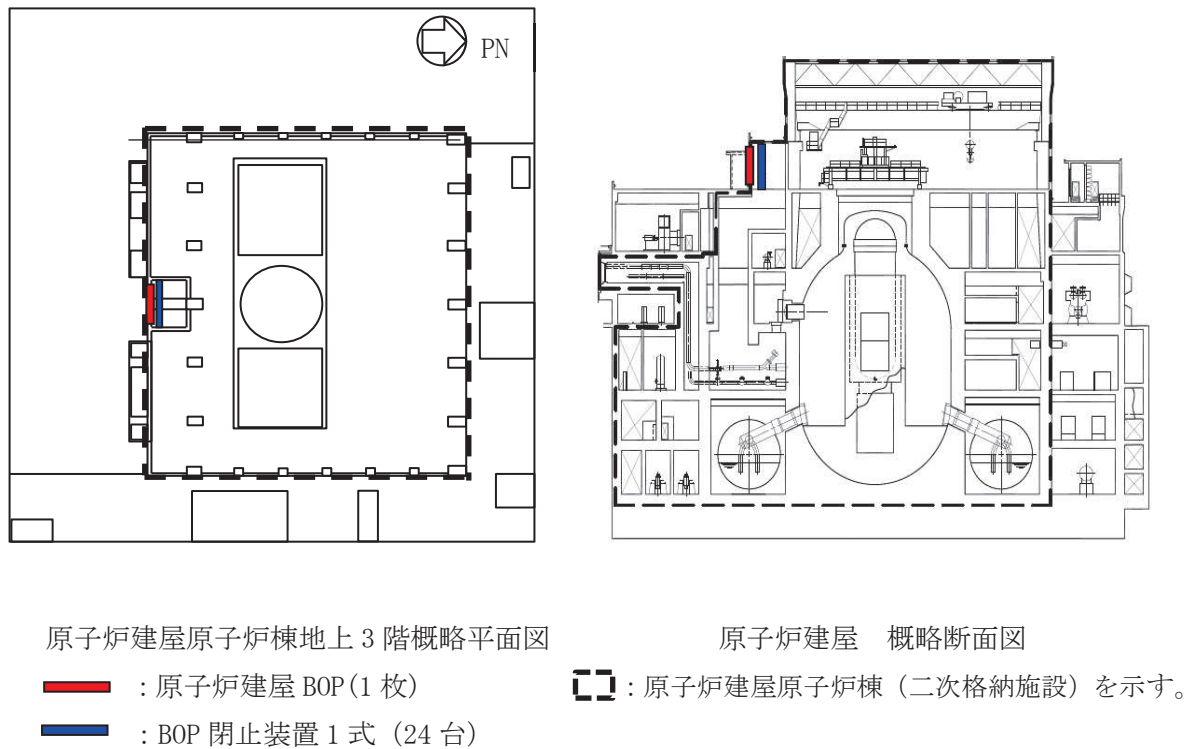


図 1-1 原子炉建屋 BOP 配置図

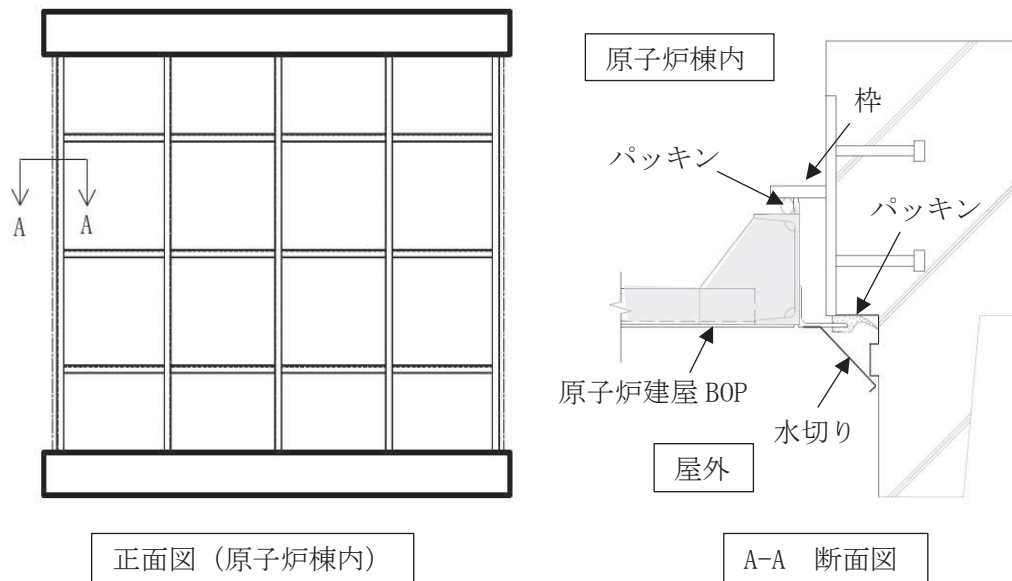
2. 原子炉建屋 BOP の構造について

原子炉建屋 BOP は、厚さ約 6 mm の止め板と呼ばれる装置 48 個で原子炉建屋原子炉棟外壁に設置されており、原子炉格納容器の設計上の最高使用外圧 13.7kPa に対し、4.4kPa 以下で開放するように設計されている。パネル下部には、パネル移動時（開放時）の摩擦による抗力を低減するための車輪が設置されている。また、パネルと躯体の間隙にはパッキンが設置され、原子炉建屋原子炉棟の二次格納施設としてのバウンダリ機能を確保する設計としている。パネル寸法と現状の止め板仕様を表 2-1 に、構造概要を図 2-1 に示す。

原子炉建屋 BOP の開放機構は、内圧がパネル本体に均等に作用することで外側に止め板が変形、更に内圧により外側に押されて開放する構造であり、電源や空気源に頼ることなく、静的かつ圧力上昇に対して確実に開放できる仕組みとして止め板構造を採用しており、この開放機構は構造が単純であることから信頼性が高いものである。なお、原子炉建屋 BOP は図 2-1 に示すように枠が設置されているため、屋内側には開放しない。

表 2-1 原子炉建屋 BOP の主要仕様

設置場所	原子炉建屋原子炉棟地上 3 階
パネル寸法	4100 mm×5100mm
パネル材質	SS400
止め板個数	48
止め板	SS400, 幅 100 mm, 高さ 103 mm, 厚さ 6 mm, 切欠幅 18.2 mm



□ : 止め板 (□ 48 個)

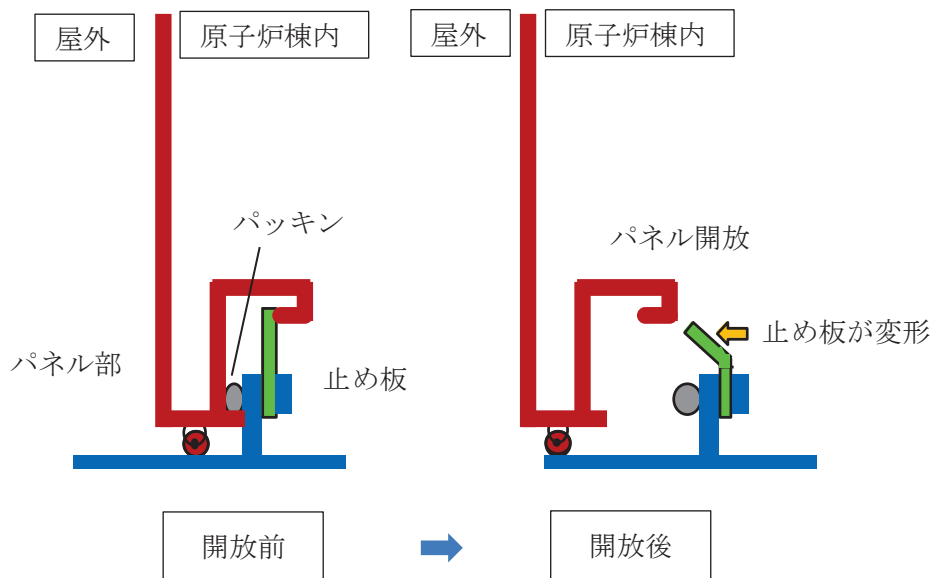


図 2-1 原子炉建屋 BOP の構造と作動原理

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 原子炉建屋 BOP が開放するための条件の整理

建屋内圧力による止め板の変形及びパネルの開放時の具体的な流れを図 3-1 に示す。パネルを規定差圧で開放させるためには、パネルの開放に対する抗力（下記①～②）を規定差圧による開放荷重より小さく設定する必要がある。また、原子炉建屋 BOP への要求機能（二次格納施設としてのバウンダリ機能）から、弾性設計用地震動 S_d による地震荷重では開放しない設計とする必要がある。

以上より、原子炉建屋 BOP に要求される機能を満たすための条件は以下のとおりであり、本条件を満足するように設計する。

$$\begin{array}{ccccc} \text{弾性設計用地震動 } S_d < & \text{パネルの開放に必要な荷重} < & \text{建屋内圧力による荷重} \\ \text{による地震荷重} & \text{(パネル開放時の抗力)} & & & \\ \text{(4)} & \text{(1, 2)} & & & \text{(3)} \end{array}$$

ここで、

① 止め板が変形する荷重 × 止め板個数

- ・ 止め板が変形する荷重は止め板試験の結果を踏まえて設定
- ・ 止め板個数は弾性設計用地震動 S_d による地震荷重及び止め板試験結果を踏まえて設定

② 車輪の摩擦力

- ・ 車輪の摩擦係数

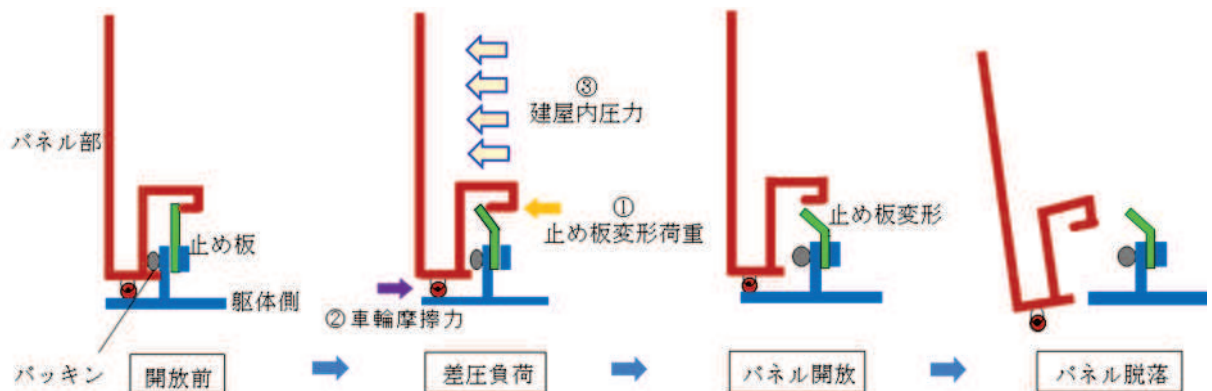


図 3-1 原子炉建屋 BOP 開放のメカニズム

4. 原子炉建屋 BOP の開放の検知について

原子炉建屋 BOP の開放を検知し、プラント停止や原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置による開口部の閉止等の対応措置を速やかに実施するため、原子炉建屋 BOP の開放を検知するリミットスイッチを設置し、中央制御室で状態を把握可能な設計とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

止め板曲げ試験について

1. 目的

止め板は、原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という。）を建屋躯体に固定するとともに、原子炉建屋 BOP の開放圧力を決定する主要な部品である。このため、設計差圧（4.4kPa）以下でパネルが確実に開放し、弾性設計用地震動 S d による地震荷重では開放しないことを設計上担保するため、機能確認試験で用いた止め板単体での曲げ試験を実施する。

2. 試験方法

試験は、試験治具に試験体としての止め板を取り付け、万能試験機にて鋼材を曲げることにより、止め板に付加される荷重、変位等を測定した。図 2-1 に止め板の曲げ試験概要図を示す。

試験条件は以下のとおり。

- ・曲げ試験機：定速型万能試験機
- ・制御方式：変位制御（載荷速度 5 mm/min）



- ◆曲げ試験内容
止め板単体の曲げ試験にてパネルの水平方向の荷重を模擬する
- 【測定項目】
 - ①試験荷重
 - ②止め板変位
- 【測定結果の評価】
止め板の最大荷重と変位の試験結果より、止め板の作動時におけるばらつきを検証する
パネルが設計差圧にて確実に開放するための管理項目を検証する
- 【止め板の管理項目】
 - ①材質
 - ②形状
 - ③止め板の寸法（板厚, 切欠幅）
 - ④取付方法と取付寸法

図 2-1 止め板の曲げ試験概要図

3. 試験結果

(1) 基本試験での試験体仕様

原子炉建屋 BOP を躯体に固定している止め板の特性を把握し、止め板数を確定させるため、実際に使用する止め板単体の曲げ試験を実施した。各項目の具体的な仕様を表 3-1、止め板形状を図 3-1 に示す。

表 3-1 試験確認項目，具体的な仕様

項目	具体的な仕様
材質	SS400* ¹
板厚	6.0 mm
切欠幅(b)	18.2 mm
形状	既設と同じ
変位速度	5 mm/分
試験体数	15

注記 *1：一般構造用圧延鋼材

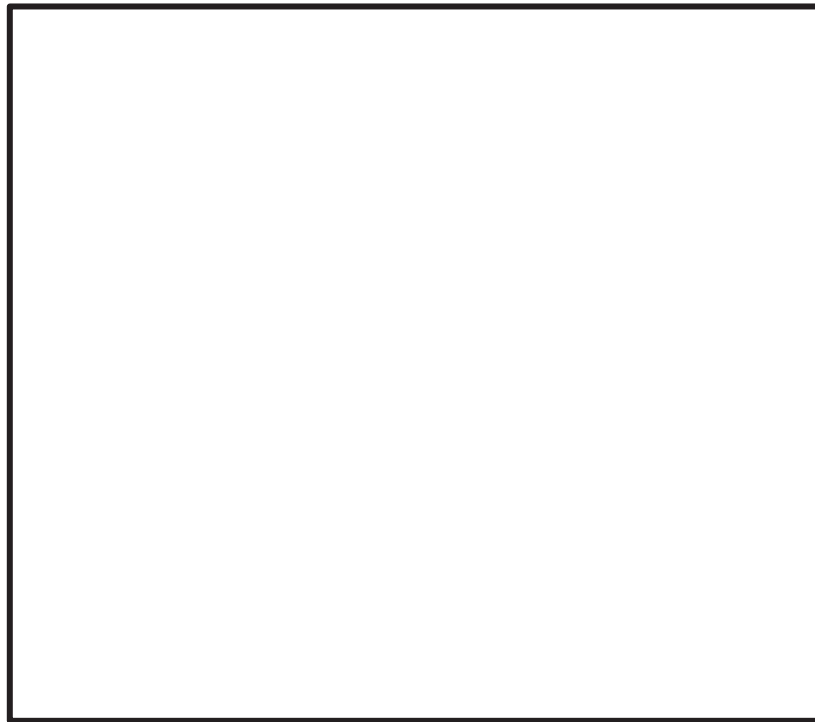


図 3-1 試験用止め板形状(正面図・断面図)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 試験結果及び考察

試験結果を表 3-2 に、止め板の荷重・変位の関係を図 3-2 に示す。

最大耐力の平均値は N、標準偏差 σ は N であった。なお、標準偏差については

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

s: 標準偏差、n: 試験回数、 x_i : 試験データ、 \bar{x} : 試験データの平均値により算定した。

止め板数の決定にあたっては、原子炉建屋の設計差圧により自動的に開放できること及び弾性設計用地震動 S d による地震荷重で開放しない必要があることから、この試験結果と、摩擦による抗力等も考慮し、止め板数を 48 個に設定した。

また、止め板は約 45 mm 曲げられると止め板取付部から外れる（止め板は開放の抵抗とならない）ことを確認した。

表 3-2 止め板試験結果

耐力 (試験体数は15個)		荷重 (N)
最大耐力	平均値	<input type="text"/>
	最大値	<input type="text"/>
	最小値	<input type="text"/>
標準偏差 σ		<input type="text"/>
最大耐力 (平均) + 3 σ		<input type="text"/>
最小耐力 (平均) - 3 σ		<input type="text"/>

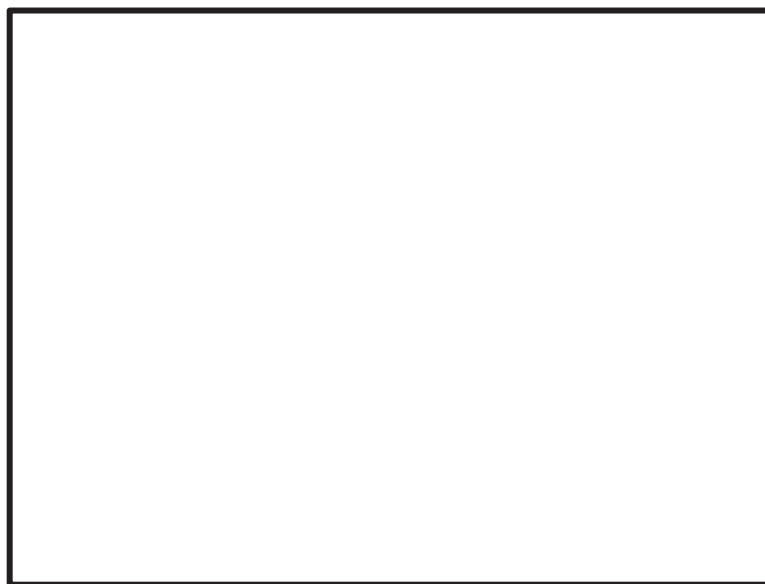


図 3-2 止め板の荷重・変位の関係

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

原子炉建屋ブローアウトパネルの開放機能を担保する設計条件について

1. 原子炉建屋ブローアウトパネル

原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という。）の満たすべき開放条件について整理した。原子炉建屋 BOP を開放させるために満たすべき条件は以下の通りであり，抵抗力（②止め板の抗力，③摩擦による抗力）が，④差圧による荷重以下（4.4kPa 以下）の条件を満足する必要がある。また，二次格納施設としての原子炉建屋原子炉棟のバウンダリ機能確保の観点から，①弾性設計用地震動 S d による地震荷重で開放しないように設計する。

$$\boxed{\text{①弾性設計用地震動 S d による地震荷重}} < \boxed{\text{抵抗力 (②止め板の抗力, ③摩擦による抗力)}} < \boxed{\text{④設計差圧 4.4kPa による開放荷重}}$$

各項目の考え方，根拠は以下のとおり。

(1) 基本パラメータ・条件

原子炉建屋 BOP の重量は，1800 kg として評価する。

弾性設計用地震動 S d の加速度は，原子炉建屋の地震応答解析結果の線形補間により求まる原子炉建屋 BOP 頂部 (O. P. 38.5m) の最大応答加速度に，原子炉建屋 BOP 1 次固有周期 (sec) により得られる応答増幅率を乗じて算出した応答水平震度 3.39G を用いて評価する。

(2) 設計差圧 4.4 kPa 時の開放荷重 (④)

設計差圧以下でパネルを開放させるため，設計差圧 4.4kPa とする。原子炉建屋 BOP に 4.4kPa が付加する場合の荷重として約 92.1 kN と評価する。

(3) 弾性設計用地震動 S d による地震荷重 (①)

弾性設計用地震動 S d による地震荷重としては，約 59.9kN ($1800 \text{ kg} \times 3.39\text{G} \times 9.80665\text{m/s}^2 = 59840 \text{ N}$) とする。なお，原子炉建屋 BOP の固有振動数は，モックアップ試験体の振動試験にて確認しており，1 次固有振動数は約 Hz である。このため，応答増幅を考慮して地震力を算出している。

(4) 止め板の個数と配置 (②)

止め板の抗力算定に使用する止め板開放荷重を，15 個の止め板曲げ試験結果から， N/個 (止め板曲げ試験での平均値) $\times 48$ 個 = 約 kN と評価した。

なお，止め板は原子炉建屋 BOP が傾くことを回避し，可能な限り平行移動するよう，上下での抵抗が可能な限り同じとなるように配置する方針とする。

このため，止め板は上部 個，下部 個の合計 48 個とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(5) 摩擦による抗力（摩擦係数）(③)

摩擦力算定に用いる摩擦係数は静止摩擦係数 を採用して設計する。なお、原子炉建屋 BOP 移動時に生じる摩擦による抗力についても、 を採用して設計する。この場合の摩擦による抗力は約 kN ($1800 \text{ kg} \times \text{} \times 9.806665 \text{ m/s}^2 = \text{ N}$) と評価した。

(6) まとめ

以上より、止め板抗力+摩擦による抗力の合計は約 79.8 kN(約 kN+約 kN=約 79.8 kN)となり、弾性設計用地震動 S_d による地震荷重である約 59.9 kN を上回ることを、設計差圧 4.4kPa 時の開放荷重約 92.1 kN を下回ることを確認したことから、原子炉建屋 BOP の要求機能は確保される。

さらに、止め板曲げ試験の結果から、止め板の最大耐力は、平均値+3σ の場合は約 N であり、止め板 48 個で約 kN となる。そのため、止め板抗力+摩擦による抗力の合計は約 83.8 kN(約 kN+約 kN=約 83.8 kN)となり、設計差圧 4.4 kPa 時の開放荷重約 92.1 kN を下回る。このため、止め板曲げ試験での平均値+3σ を考慮したとしても、原子炉建屋 BOP の要求機能は確保される。

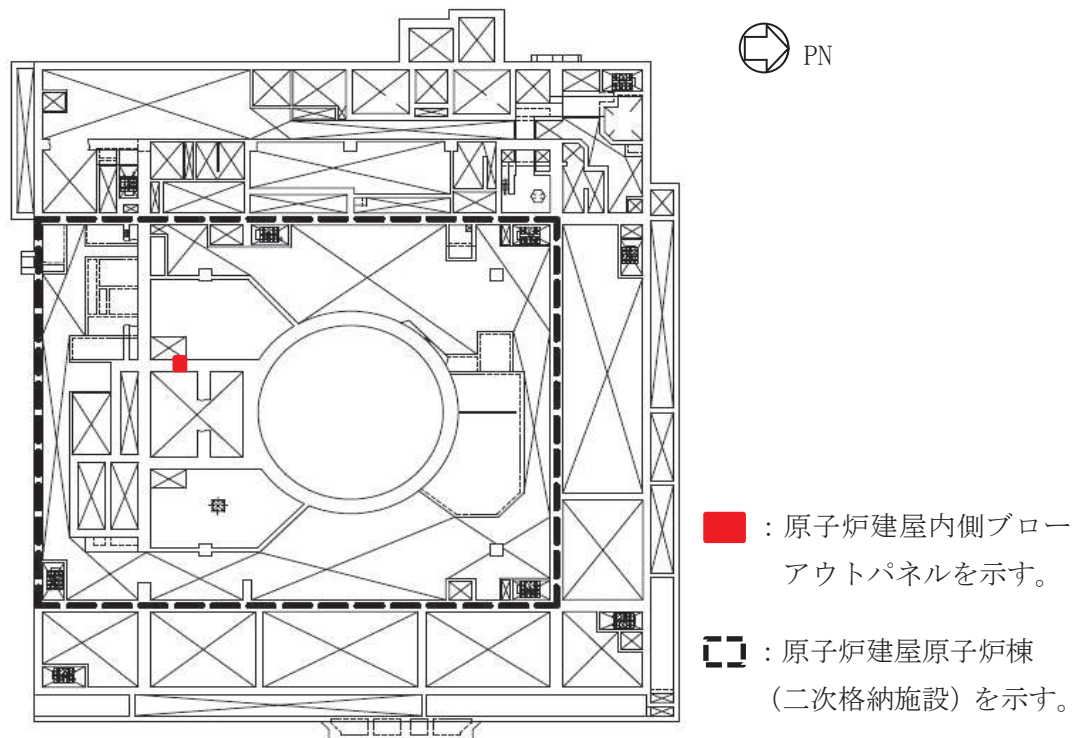
原子炉建屋内側ブローアウトパネルの配置と構造について

1. 原子炉建屋内側ブローアウトパネルの配置について

原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という。）以外に，原子炉棟内のブローアウトパネルとして 4 箇所設置されている。原子炉建屋内側ブローアウトパネルの配置について表 1-1 と図 1-1 に示す。

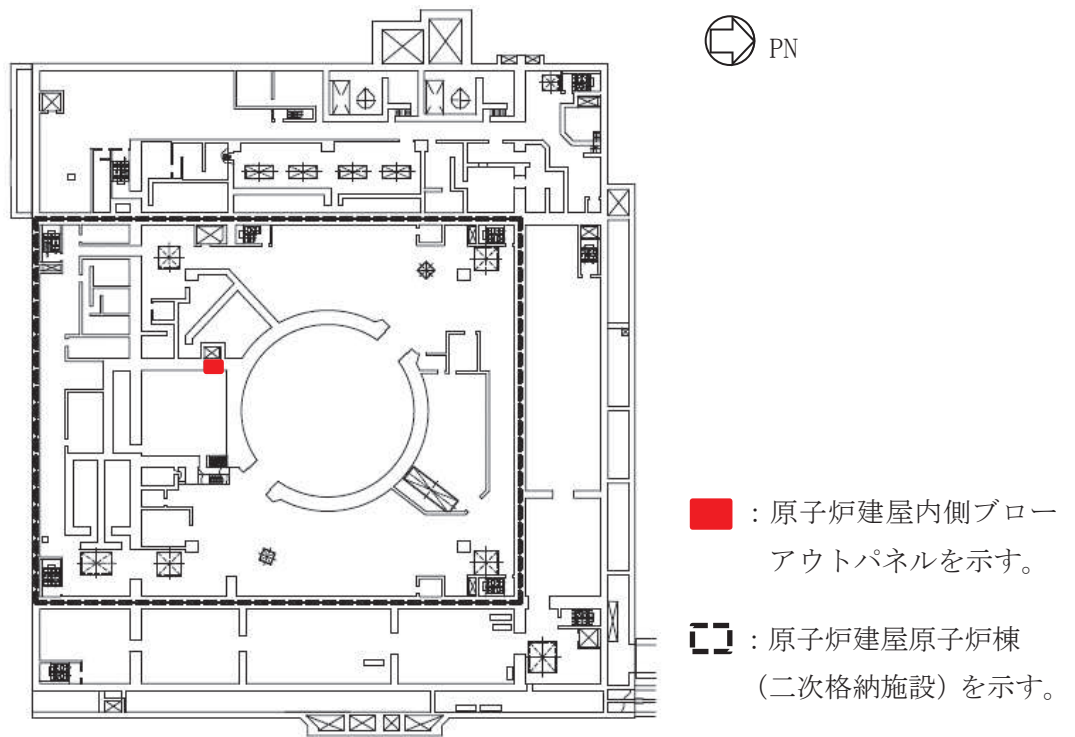
表 1-1 原子炉建屋内側ブローアウトパネルの主要仕様

設置場所	寸法	材質	パネル枚数	止め板数	開放圧力
中地下 1 階	1100 mm×1100 mm	炭素鋼 (SS400)	1	4	4.4kPa
地下 1 階	940 mm×1600 mm 610 mm×1600 mm		2	8	3.9kPa
地下 2 階	1100 mm×1100 mm		1	4	4.4kPa
中地下 3 階	1100 mm×1100 mm		1	4	4.4kPa

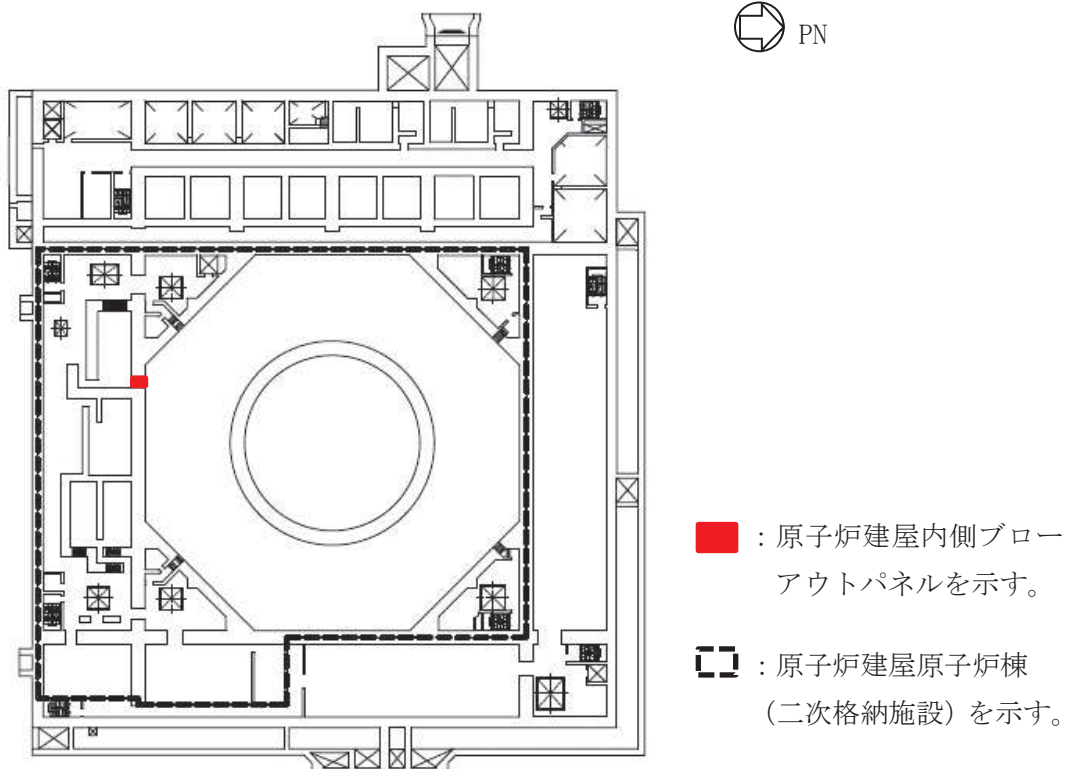


原子炉建屋原子炉棟中地下 1 階 概略平面図 (0. P. 11. 50m)

図 1-1 原子炉建屋内側ブローアウトパネル配置図 (1/3)

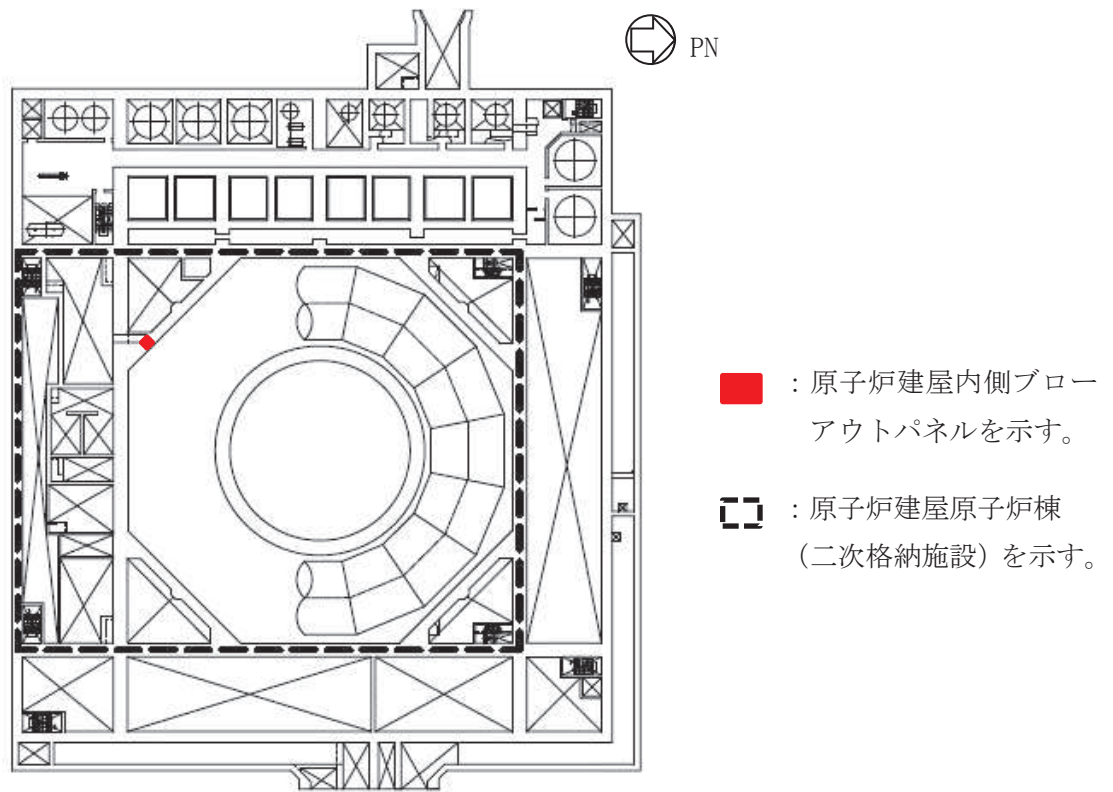


原子炉建屋原子炉棟地下1階 概略平面図 (O.P. 6.00m)



原子炉建屋原子炉棟地下2階 概略平面図 (O.P. -0.80m)

図 1-1 原子炉建屋内側ブローアウトパネル配置図 (2/3)



原子炉建屋原子炉棟中地下3階 概略平面図(0.P. -3.30m)

図 1-1 原子炉建屋内側ブローアウトパネル配置図 (3/3)

2. 原子炉建屋内側ブローアウトパネルの構造等について

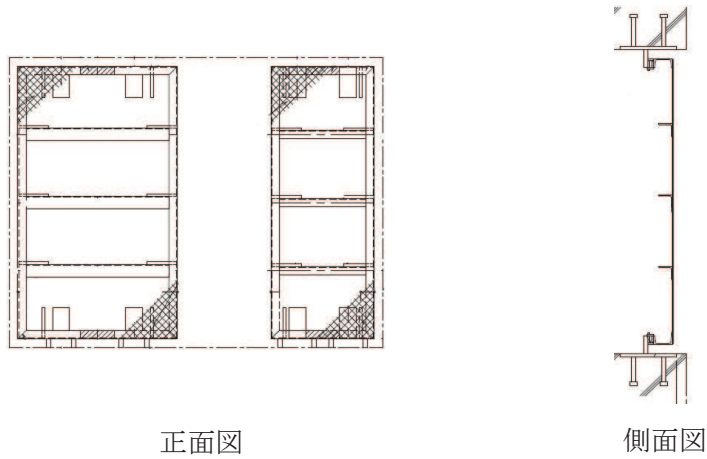
原子炉建屋内側ブローアウトパネルは、原子炉建屋 BOP と同様に差圧のみで自動開放し、漏えい蒸気を主蒸気トンネル室へ放出するよう設計されている。また、主蒸気トンネル室に放出された蒸気は原子炉建屋 BOP の開口部から屋外に放出されるよう設計されている。原子炉建屋内側ブローアウトパネルの設置目的について表 2-1 に示す。なお、原子炉建屋内側ブローアウトパネルは内部溢水評価において、経路として見込んでいる。

また、構造については、原子炉建屋 BOP と同じ止め板方式としている。

図 2-1 に原子炉建屋内側ブローアウトパネルの構造を示す。

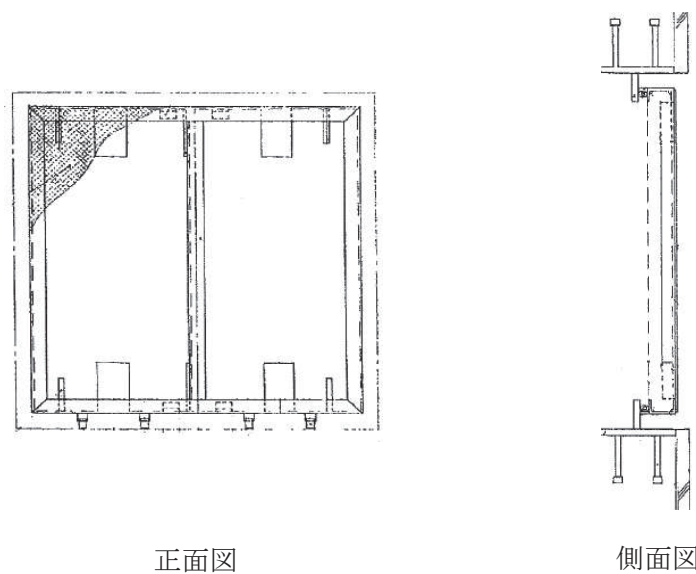
表 2-1 原子炉建屋内側ブローアウトパネルの設置目的

設置場所	設置目的
中地下 1 階	RHR バルブ (A) 室内での原子炉隔離時冷却系蒸気配管の破断を想定
地下 1 階	トールス室での、原子炉冷却材浄化系配管及び原子炉隔離時冷却系蒸気配管の破断を想定
地下 2 階	CUW 再生熱交換器室内での原子炉冷却材浄化系配管の破断を想定
中地下 3 階	RCIC タービンポンプ室内での原子炉隔離時冷却系蒸気配管の破断を想定



【原子炉建屋原子炉棟地下 1 階】

図 2-1 原子炉建屋内側ブローアウトパネルの構造 (立面図) (1/2)

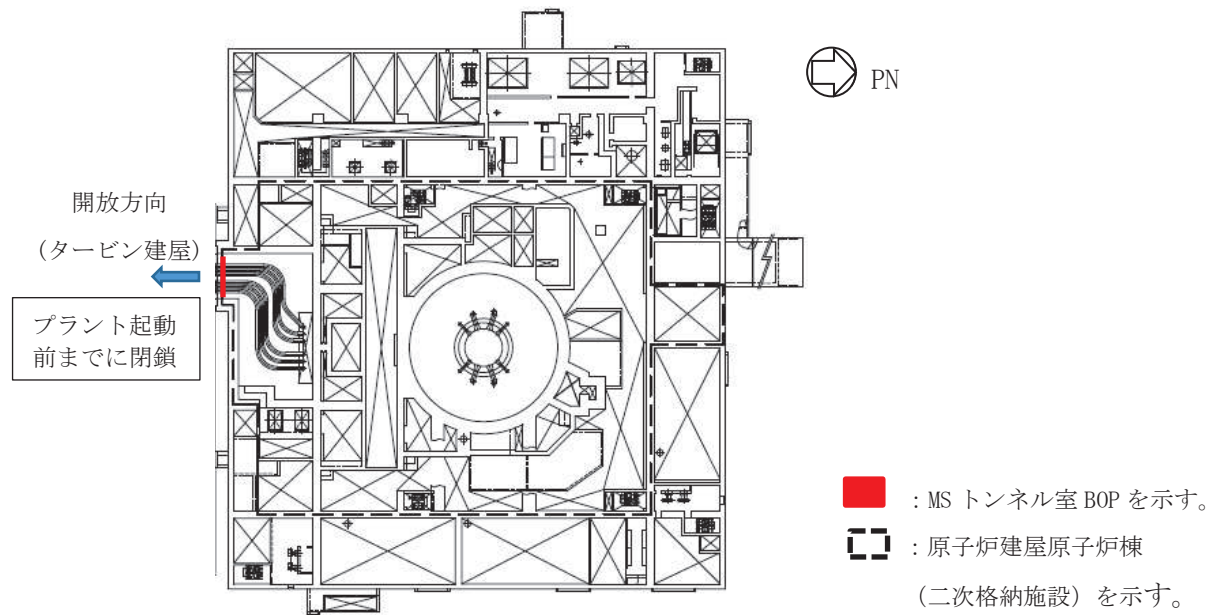


【原子炉建屋原子炉棟中地下 1 階，地下 2 階，中地下 3 階】

図 2-1 原子炉建屋内側ブローアウトパネルの構造 (立面図) (2/2)

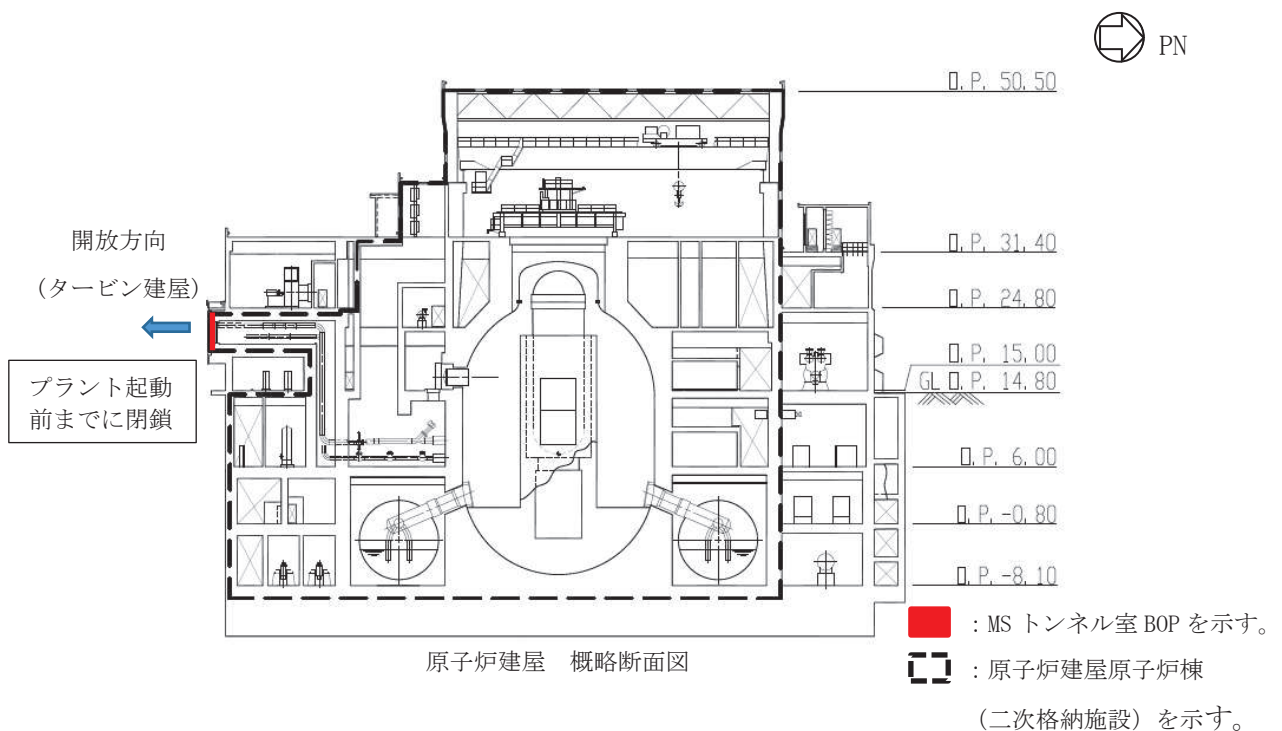
3. 原子炉建屋とタービン建屋間のブローアウトパネルの閉鎖の影響について

原子炉建屋とタービン建屋間のブローアウトパネル（以下、「MS トンネル室 BOP」という。）は、原子炉建屋内で主蒸気管破断事故等が発生した際に開放し、蒸気をタービン建屋側に放出することを目的で設置されている。MS トンネル室 BOP については、重大事故等時において、開放した場合に再開止することが配置制約上困難であるため、プラント起動前までに閉鎖する方針としている。配置図を図 3-1 に示す。



原子炉建屋原子炉棟地上中 2 階 概略平面図 (O. P. 19. 10m)

図 3-1 MS トンネル室 BOP 配置図 (閉鎖) (1/2)



原子炉建屋 概略断面図

図 3-1 MS トンネル室 BOP 配置図 (閉鎖) (2/2)

MS トンネル室 BOP を閉鎖することによる影響として、主蒸気管破断事故時の原子炉格納容器外圧への影響、許認可への影響、火災及び溢水への影響が挙げられる。このため、それぞれへの影響について問題のないことを確認した。以下に確認結果を示す。

(1) 主蒸気管破断事故時における原子炉格納容器外圧への影響

MS トンネル室 BOP は、原子炉建屋内で主蒸気管破断事故が発生した際に原子炉建屋 BOP とともに開放し、蒸気を原子炉建屋外に放出することで、原子炉格納容器の外圧を最高使用外圧以下とする設計としている。このため、MS トンネル室 BOP を閉鎖した場合の影響としては、主蒸気管破断事故時の原子炉格納容器の外圧への影響が考えられる。

上記を踏まえ、補足 12 にて MS トンネル室 BOP を閉鎖した場合における、原子炉建屋内で主蒸気管破断事故が発生した際の原子炉建屋内圧力解析を実施した。解析の結果、MS トンネル室 BOP を閉鎖した場合においても、主蒸気管破断事故発生時には、蒸気を原子炉建屋 BOP から屋外に放出することにより、原子炉格納容器の外圧が最高使用外圧を上回らないことを確認した。

以上により、主蒸気管破断事故時における MS トンネル室 BOP 閉鎖の影響はないことを確認した。

(2) 許認可への影響

MS トンネル室 BOP を閉鎖することによる許認可への影響としては、主蒸気配管破断事故時の線量評価への影響及び有効性評価におけるインターフェイスシステム LOCA 発生時の建屋内温度評価への影響が挙げられる。

主蒸気配管破断事故が起きた場合、主蒸気管の破断場所(原子炉建屋内又はタービン建屋内)により原子炉建屋地上 3 階 (O.P. 34.3m) の原子炉建屋ブローアウトパネル又はタービン建屋地上 2 階 (O.P. 25.3m) のブローアウトパネルから放射性物質が放出されるが、線量評価においては、大気拡散影響の観点で保守的となるように、放射性物質の放出高さを地上 (O.P. 14.8m (タービン建屋)) と想定していることから、評価への影響はない。

また、有効性評価におけるインターフェイスシステム LOCA 発生時の建屋内温度評価については、MS トンネル室 BOP の開放に期待していないことから、評価への影響はない。

(3) 火災及び溢水への影響

上記以外で MS トンネル室 BOP を閉鎖することによる影響としては、火災及び溢水への影響が挙げられる。

火災及び溢水の評価上、MS トンネル室 BOP の開放に期待しておらず、MS トンネル室 BOP の閉鎖を前提として評価及び対策検討を実施していることから、MS トンネル室 BOP の閉鎖の影響はない。

4. 原子炉建屋内側ブローアウトパネルの波及的影響について

原子炉建屋内側ブローアウトパネルについては、開放方向側に干渉する上位クラス施設がないこと、また、開放方向と反対側へは枠と干渉することから倒れこむこともないため、上位クラス施設に波及的影響を与えることはない。

原子炉建屋ブローアウトパネル取付枠内での物理的な干渉について

原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という。）の傾き等が発生した場合、パネル本体が取付枠に物理的に干渉し、移動が拘束される可能性について評価した。その結果、本体の寸法と取付枠の寸法との関係より上端、下端、若しくは左端（又は右端）を固定した状態でも、上端、若しくは右端（又は左端）は、取付枠に干渉せずに開放することを確認した。

具体的には、パネル設置状態での取付枠との隙間は、上下左右全て50mmであり、開放時のパネルの移動を保守的に0mm（パネル下部若しくは側面が移動量なしで開放する）とした場合でのパネルの倒れこみを考慮しても、パネルと取付枠間には上部で約43mm、左右で約44mmの隙間を有した状態であり、パネルは取付枠に干渉せず開放に影響はない。この状況を図1-1に示す。なお、パネルの寸法公差は、保守的に J I S による普通公差とした場合でも±4mm範囲であり、この分を考慮しても取付枠とパネルの隙間は、上部で約39mm、左右で約40mm確保されることから開放に影響はない。

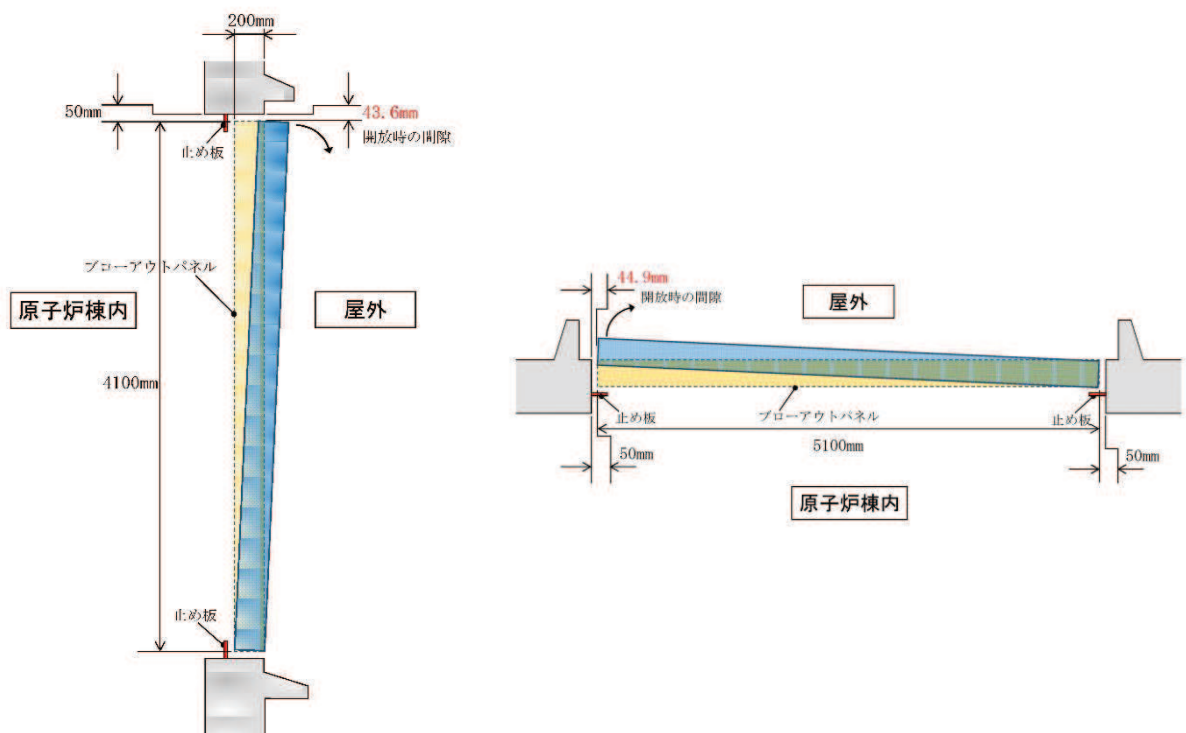


図1-1 原子炉建屋BOP開放時の縦・横断面図

原子炉建屋ブローアウトパネルの飛出し挙動について

1. 目的

原子炉建屋地上 3 階のブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という。）が，設計差圧（4.4 kPa 以下）を受け，飛び出した際の挙動を検討した。

2. 検討条件

原子炉建屋 BOP 周辺の概要図を図 2-1 に，評価に用いる寸法条件を表 2-1 に示す。原子炉建屋 BOP の上部の建屋内側には飛散防止チェーンが設置され，原子炉建屋 BOP の下端は車輪が設置され，鉛直方向に支持されている。

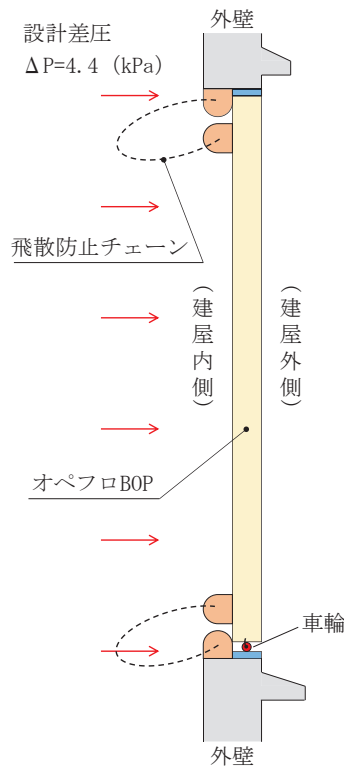


図 2-1 原子炉建屋 BOP 概略図

表 2-1 寸法条件

BOP	幅	B_B	(mm)	5100
	高さ	H_B	(mm)	4100
	質量	m_B	(kg)	1800
建屋	幅	t_{RB}	(mm)	200

3. 飛出し挙動

図 3-1 に原子炉建屋 BOP 飛出し挙動時の概略図及び検討モデル図を示す。原子炉建屋 BOP は，設計差圧 ΔP を受けて止め板が外れた後，下端の車輪には摩擦が生じ，原子炉建屋 BOP の上端と下端の移動速度は異なることとなるが，その差は微小であり，ほぼ垂直状態で移動することを確認する。

図 3-1 のモデル図に示すとおり，原子炉建屋 BOP の下端が建屋外壁の外縁に達した際の上端と下端の移動量の差である d_{XT} を算出することにより，原子炉建屋 BOP の状態を確認する。

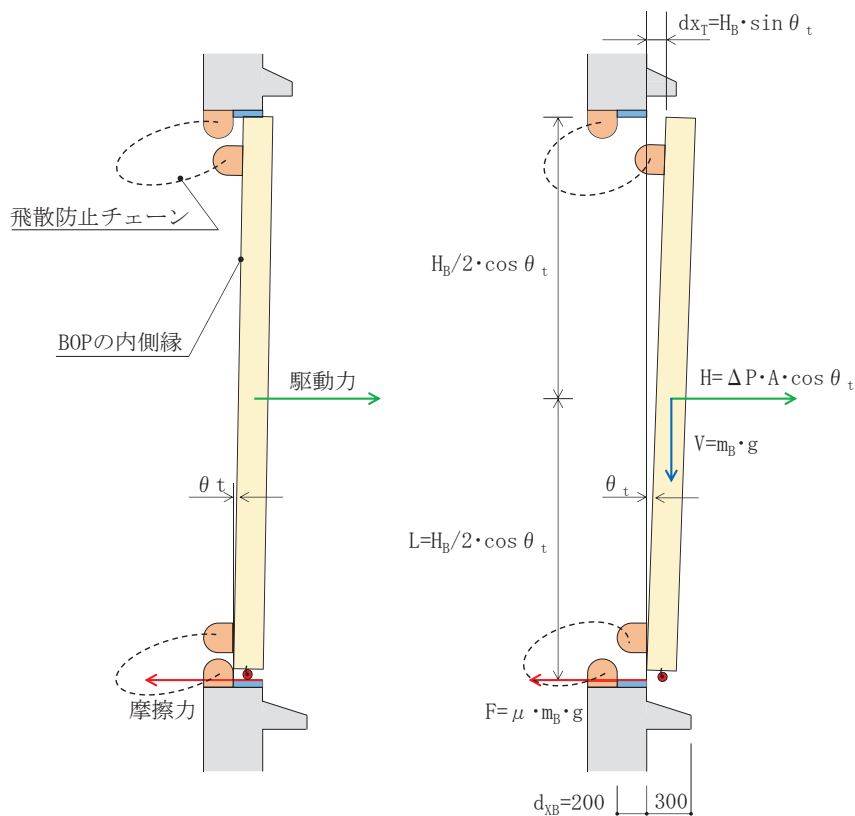


図 3-1 原子炉建屋 BOP 飛出し挙動時の概略図及び検討モデル図

- (1) 下端を中心とする回転時の慣性モーメント (I) は、次式により求める。

$$I = \frac{m_B \times H_B^2}{3}$$

ここで、 m_B : 原子炉建屋 BOP の質量

H_B : 原子炉建屋 BOP の高さ

- (2) 原子炉建屋 BOP の回転に関する運動方程式は、次式のとおりである。ただし、水平力 H は原子炉建屋 BOP の回転傾き θ_t により水平透視面積が低下する分を考慮している。

$$I \cdot \ddot{\theta}_t = H \cdot L + V \cdot dx_t$$

$$= \Delta P \cdot A \cdot \cos \theta_t \times \frac{H_B}{2} \cos \theta_t + m_B \cdot g \times \frac{H_B}{2} \sin \theta_t$$

ここで、H : 原子炉建屋 BOP に作用する水平力 ($\Delta P \cdot A \cdot \cos \theta_t$)

L : 水平力の作用する距離 ($H_B/2 \cdot \cos \theta_t$)

V : 原子炉建屋 BOP に作用する鉛直力 ($m_B \cdot g$)

dx_t : 鉛直力の作用する距離 ($H_B/2 \cdot \sin \theta_t$)

$\ddot{\theta}_t$: BOP の時刻 t における角加速度

θ_t : BOP の時刻 t における回転角

A : BOP の面積 ($B_B \times H_B$)

g : 重力加速度

(3) 原子炉建屋 BOP の並進に関する運動方程式は、次式のとおりである。

$$m_B \cdot \ddot{x}_t = H + F$$

$$= \Delta P \cdot A \cdot \cos \theta_t - \mu \cdot m_B \cdot g$$

ここで、F : BOP に作用する摩擦力 ($-\mu \cdot m_B \cdot g$)
 \ddot{x}_t : BOP の水平加速度
 μ : 摩擦係数

止め板が外れた瞬間を $t=0$ とすると、初期条件 $\theta=0$ より、初期角加速度 $\ddot{\theta}_0$ 及び初期並進加速度 \ddot{x}_0 が算出できる。また、初期角速度 $\dot{\theta}_0=0$ 、初期並進速度 $\dot{x}_0=0$ である。

次に、任意の時刻 t から微小時間 Δt 後の原子炉建屋 BOP の傾き角度の増加分 $\Delta \theta_t$ は以下のとおりとなる。

$$\Delta \theta_t = \dot{\theta}_t \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot \ddot{\theta}_t \cdot \Delta t^2$$

ここで、 $\dot{\theta}_t = \dot{\theta}_{t-\Delta t} + \ddot{\theta}_{t-\Delta t} \cdot \Delta t$

同様に、任意の時刻 t から微小時間 Δt 後の原子炉建屋 BOP の下端の移動量の増分 Δx_t は以下のとおりとなる。

$$\Delta x_t = \dot{x}_t \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot \ddot{x}_t \cdot \Delta t^2$$

ここで、 $\dot{x}_t = \dot{x}_{t-\Delta t} + \ddot{x}_{t-\Delta t} \cdot \Delta t$

これらの関係を用いて、原子炉建屋 BOP の下端が建屋外壁の外縁まで移動 ($dx_B=200$ mm) するまでの時間 t を求めると、

$$t = 0.089 \text{ (s)}$$

となり、このときの傾きと上端の変位は、

$$\theta = 0.0743 \text{ (rad) } (=4.3^\circ)$$

$$dx_T = 304 \text{ (mm)}$$

である。

また、下端ブローアウトパネルの下端の速度は 4.5m/s であることから、 0.1 秒後には建屋外壁の外縁に到達する。

4. 検討結果

以上の検討により、原子炉建屋 BOP は、止め板が開放したのち、パネルの上端が建屋外側にやや傾斜するものの、ほぼ垂直状態で移動し建屋外壁の外縁から飛び出すことを確認した。

原子炉建屋ブローアウトパネルの保全管理について

原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という。）は、要求される機能（設計差圧 4.4 kPa 以下での開放機能及び弾性設計用地震動 S d による地震荷重で開放しない機能を含む原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の壁の一部としてのバウンダリ機能）を担保するため、適切に保全管理することが必要である。計画中の保全管理（案）を表 1-1 に示す。

表 1-1 原子炉建屋 BOP の保全管理（案）

区分	必要な機能	目的	管理項目	実施内容
保守管理	開放機能	開放機能確保	パネル本体部・枠部の劣化状況	・変形, 損傷の有無, 発錆状況の確認, 塗装劣化状態の確認
			止め板の劣化状況	・変形, 損傷の有無, 止め板取付状態の確認, 発錆状況の確認
	気密性能	気密性能確保	気密性能 (建屋)	・原子炉建屋気密性能検査にて, 原子炉建屋としての気密性能が確保されることを確認
	構造健全性	構造健全性確認	外観目視点検	・構造・機能に影響を及ぼすような損傷, 異常のないことを目視にて確認

原子炉建屋ブローアウトパネルの機能確認解析について

1. 目的

原子炉建屋地上 3 階のブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という。）の機能設計上の性能目標である，原子炉建屋の設計差圧により自動的に開放できること，及び弾性設計用地震動 S_d による地震荷重で開放しないことを確認するため，実機規模の試験体を用いた開放試験を実施した。

ここでは，機能確認試験の検証として 3 次元 FEM モデルを用いた解析を実施する。

2. 確認項目

- (1) 作動確認 : 原子炉建屋 BOP の開機能確認
- (2) 閉維持確認 : 原子炉建屋 BOP の耐震性能の確認

原子炉建屋 BOP が設計差圧の 4.4 kPa 以下で確実に開放されることを確認するため，3 次元 FEM モデルを用いた準静的解析（動的解析であるが，慣性力の影響が解析結果に有意な影響を与えない範囲で，ゆっくりと荷重を作用させる解析）を実施する。

また，原子炉建屋 BOP の耐震性能を確認する。

本解析での確認事項を以下に示す。

【作動確認】

- ① 原子炉建屋 BOP の開放荷重の確認

【閉維持確認】

- ① 固有値の確認
- ② 原子炉建屋 BOP が弾性設計用地震動 S_d による地震荷重で開放しないこと（荷重－変位関係より評価）

3. 解析概要

原子炉建屋 BOP の解析概要は以下のとおり。

3.1 解析モデル

解析モデル図を図 3-1 及び図 3-2 に示す。また，各部材のモデル化方法を表 3-1 に示す。パネルはシェル要素，外枠及びリブは梁要素でモデル化し，弾性体とする。止め板はばね要素でモデル化し，止め板曲げ試験結果から荷重－変位関係を設定する。

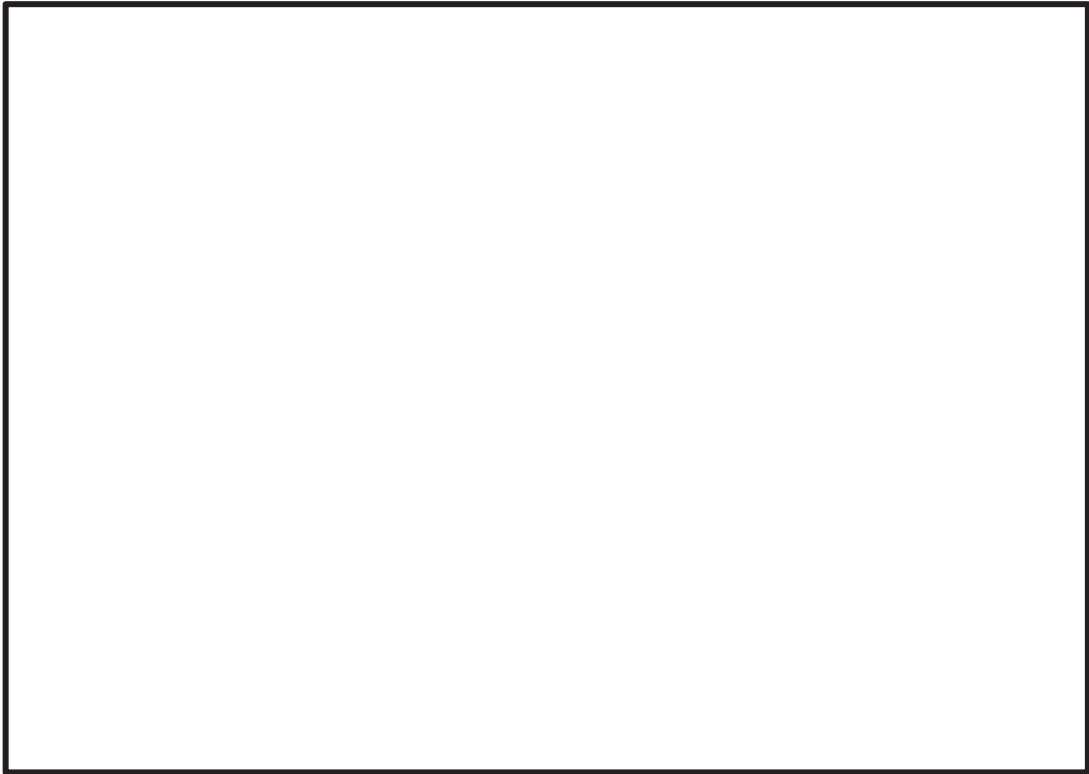


図 3-1 解析モデル図（室内側全体図）

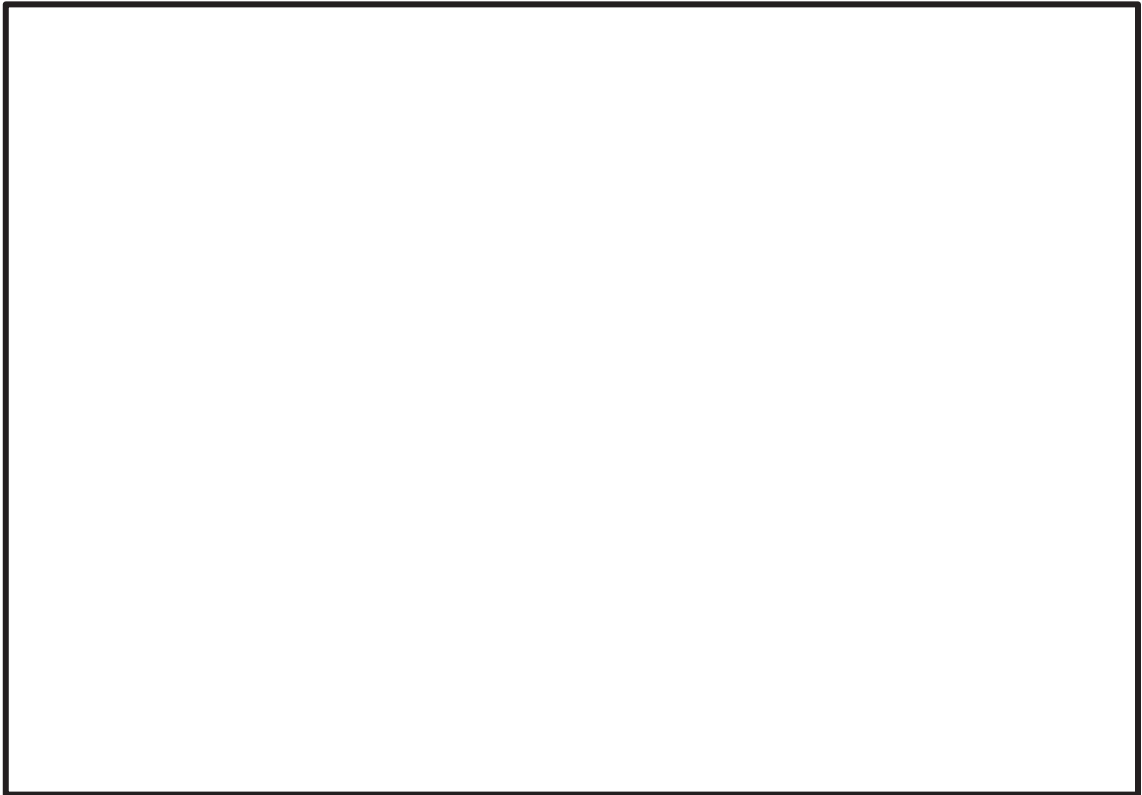


図 3-2 解析モデル図（室内側立面図）

[赤丸：止め板を模擬したばね要素，単位:mm]

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-1 モデル化方法

モデル化部材	使用要素	材質	材料モデル
パネル	シェル要素	SS400	弾性
外枠, リブ	梁要素	SS400	弾性
止め板	ばね要素	—	弾塑性

解析モデルの材料定数を表 3-2 に示す。

表 3-2 材料定数

材質	降伏応力 σ_y (N/mm ²)	縦弾性係数 E (N/mm ²)	ポアソン比
SS400	245	205000	0.3

止め板のばね特性を図 3-3 及び表 3-1 に示す。止め板のばね特性は、止め板曲げ試験結果に基づいて設定する。止め板の材料特性は、止め板曲げ試験から得られた荷重及び変位の 15 体の平均値から折れ点を設定することとし、止め板曲げ試験結果における荷重－変位関係の最大荷重までの挙動を精度よく模擬するよう 5 折れ線で表すこととする。5 折れ線の第一折れ点は弾性限界点とし、第二折れ点は変位 2mm 時、第三折れ点は変位 10mm 時、第四折れ点は最大荷重点とする。

なお、止め板曲げ試験結果における $+3\sigma$ の最大荷重は 1728N であり、平均値(1643N)と比べて 5%程度の変動であることから、止め板のばらつきによって最大荷重が上振れしても、ブローアウトパネル開放への影響は小さいと考えられる。



図 3-3 止め板のばね特性

表 3-1 止め板のばね特性

	止め板曲げ試験結果 平均値	
	荷重 (N)	変位 (mm)
第一折れ点	□	1.42
第二折れ点	□	2.00
第三折れ点	□	10.00
第四折れ点	□	22.23
第五折れ点	0	45.39

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.2 境界条件

パネルの境界条件を図 3-4 に示す。パネル下部の車輪位置に相当する節点には、 z 方向 ($-z$) の接触を考慮する。また、同節点には内圧荷重作用時に摩擦挙動を考慮する(内圧荷重作用前は摩擦を考慮しない)。パネル下部の車輪及び上下端の止め板による拘束として、パネル上下端ともに中央の節点は x 方向の並進を拘束とする。

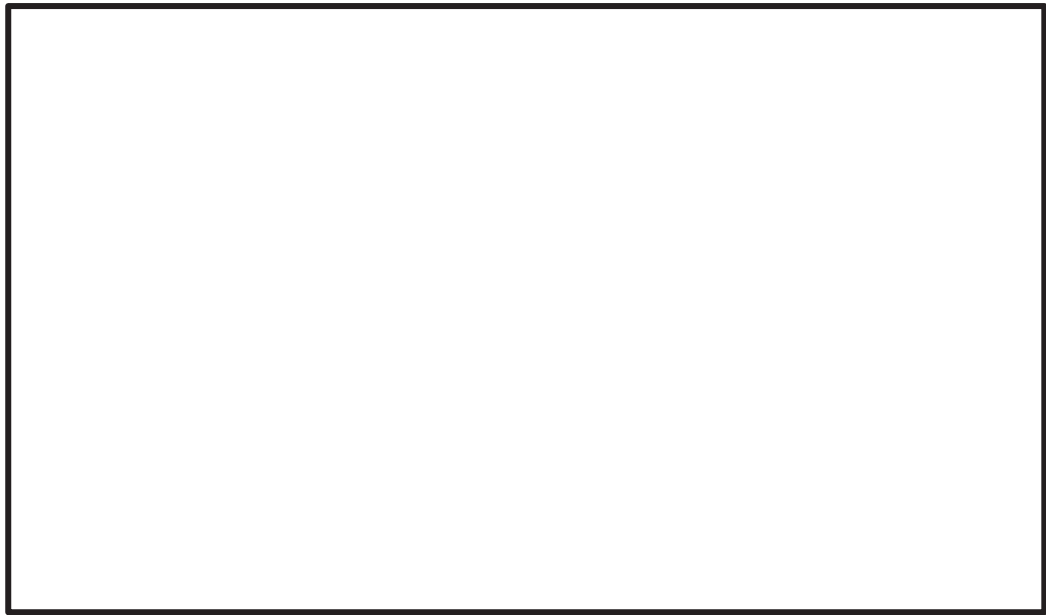


図 3-4 パネル境界条件

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.3 荷重条件

考慮する荷重は，初期状態として，自重1800kgを考慮する。その後，荷重制御で内圧荷重を0kPaから4.4kPaまで漸増させることで，開放にいたるまでの挙動を確認する。

3.4 解析手法

本解析では，止め板が最大耐力を経験し，その後ブローアウトパネルが開放していく挙動を確認するために，解析コード「ABAQUS」を用いた準静的解析を実施する。

4. 評価方法

機能維持確認解析における荷重－変位関係から開放荷重を確認し，以下の判定基準に対する評価を行う。

【作動確認】

原子炉建屋BOPが設計差圧（4.4kPa）以下の圧力にて開放すること

【閉維持確認】

原子炉建屋BOPの開放荷重が弾性設計用地震動 S_d による地震荷重（約59.9kN）以上であること

5. 固有値解析結果

3次元FEMモデルを用いた原子炉建屋BOPの固有値解析結果について、表5-1に固有振動数及び固有周期を、図5-1にNS方向1次モード図を示す。原子炉建屋BOPの1次振動数は□ Hzであった。モード形状がやや非対称となっているのは、パネル中央の縦リブ（C型鋼）の向きに見られる構造上の非対称性が原因と考えられる。なお、機能確認試験による原子炉建屋BOP試験体の振動試験より得られた固有周期は □ Hzであり、概ね整合していることを確認した。

表 5-1 原子炉建屋 BOP の固有値解析結果

方向	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
NS 方向	□ (□)	□ (□)
EW 方向	390.7	0.003
鉛直方向	294.4	0.003

注記*：() 内は機能確認試験にて確認した値を示す。

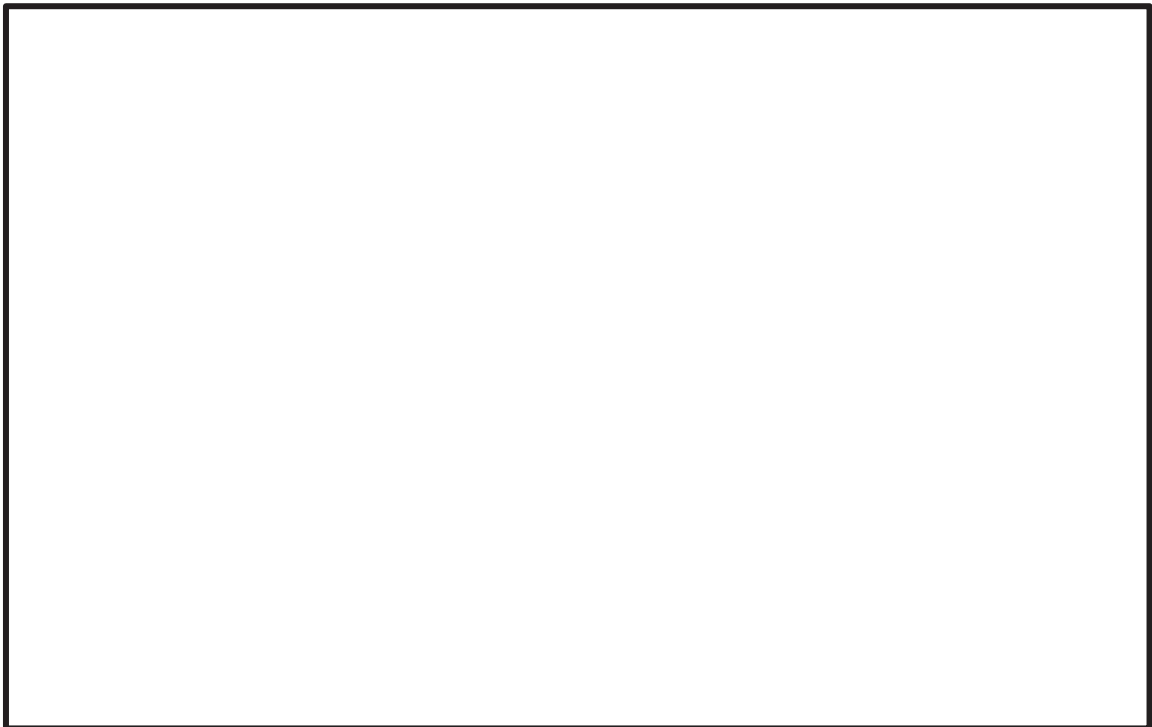


図5-1 原子炉建屋BOPのNS方向1次モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

6. 機能確認結果

(1) 作動確認結果

設計条件とした止め板数48個の3次元FEMモデルに対して、内圧荷重を0 kPaから4.4 kPaまで漸増させる準静的解析を実施し、原子炉建屋BOPが設計条件（差圧4.4 kPa以下）の荷重にて開放することを確認した。確認結果を表6-1に、開放時の面外変位コンター図を図6-1に、荷重（原子炉建屋BOPの抗力）と面外変位の関係を図6-2に示す。

表6-1 作動確認結果

①解析における 開放荷重 (kN)	②設計差圧 4.4 kPa 相当値 (kN)	判定 (①<②)	備考 解析値に相当する 差圧値 (kPa)
□ (□)	92.1	○	□ (□)

注記*：() 内は機能確認試験にて確認した値を示す。(3試験体の平均値)



図 6-1 面外変位コンター図（開放時，差圧値 □ kPa）[単位:mm]

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 6-2 荷重－面外変位関係

内圧の増加に伴い面外変形が進み，設計差圧以下の 78.9kN で，上端及び下端の止め板に作用している荷重がほぼ同時に最大耐力となり，面外変位のみ進んでいる。ここで，ブローアウトパネル上端及び下端が止め板から外れ，開放に至っているものと考えられる。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 閉維持確認結果

6. (1) 作動確認結果より，原子炉建屋BOPの開放荷重は弾性設計用地震動 S d による地震荷重（約59.9kN）以上であることを確認した。確認結果を表6-2に示す。

弾性設計用地震動 S d による地震荷重約59.9kNの根拠は，以下のとおり。

原子炉建屋BOP質量 : 1800 kg

原子炉建屋BOP頂部 (O.P. 38.5 m) 応答水平震度 : 3.39*

注記* : 機能確認試験による原子炉建屋BOP試験体の振動試験より得られた原子炉建屋BOPの固有振動数 (Hz) を考慮した震度

弾性設計用地震動 S d による地震荷重

$$: 1800 \text{ kg} \times 9.80665 \text{ m/s}^2 \times 3.39 = 59840 \text{ N} \doteq 59.9 \text{ kN}$$

表6-2 原子炉建屋BOPの耐震性能確認結果

①解析における開放荷重 (kN)	②弾性設計用地震動 S d による地震荷重 (kN)	判定 (① > ②)
<input type="text"/>	59.9	○

7. 機能確認解析の開放挙動

荷重の増加に伴い面外変形が進み，設計差圧以下の kN で，パネルが上端及び下端の止め板から外れて開放に至っている。

原子炉建屋ブローアウトパネル開放時の設計基準事故時

被ばく評価への影響について

1. 概要

原子炉建屋ブローアウトパネルは、二次格納施設のバウンダリとしての機能を有しているため、弾性設計用地震動 S d で開放しない設計としている。このため、設計基準事故事象のうち、二次格納施設バウンダリ機能の健全性を前提としている事故事象に対して、これら事象との組合せ時期を考慮し、弾性設計用地震動 S d を超える地震にてパネルが開放した場合の公衆への被ばく影響を確認する。

設計基準事故のうち「燃料集合体の落下」及び「原子炉冷却材喪失」では、放射性物質は非常用ガス処理系で処理された後、排気筒から放出される想定としているが、原子炉建屋ブローアウトパネルが開放した場合は、二次格納施設の負圧維持ができなくなり、原子炉建屋ブローアウトパネル開放部から直接大気中に放射性物質が放出される可能性がある。

本評価では事故発生から 30 日*後以降に地震により原子炉建屋ブローアウトパネルが開放されると想定したときの設計基準事故時の被ばく評価への影響について以下のとおり確認した。

注記*：重大事故の発生確率を 10^{-4} /年、弾性設計用地震 S d の発生確率を 10^{-2} /年、重畳を考慮すべき基準を 10^{-7} /年（航空機落下、J E A G 4601）とし、重畳を考慮すべき時期として、 $10^{-7}/(10^{-4} \times 10^{-2}) = 0.1$ 年（約 36.5 日）から 30 日を仮定

2. 放出量評価

事故発生から 30 日後までは、設置許可申請書添付書類十に記載される評価に基づき放出量評価を行い、事故発生 30 日後からは非常用ガス処理系を經由せずに原子炉建屋から直接大気中に放射性物質が放出されると仮定し、非常用ガス処理系によるよう素除去効果及び換気率を見込まずに、放射性物質が地上放出されるものとして放出量を評価する。

評価対象事故は、非常用ガス処理系に期待しており、原子炉建屋ブローアウトパネルの開放によって影響が生じる「原子炉冷却材喪失」を選定する。具体的な放出量評価方法については別紙 1 に示す。

なお、燃料集合体の落下の放出率は、別紙 1 の別図 1 に示すように約 20 日でほぼゼロであり、事故発生から 30 日後以降の原子炉建屋ブローアウトパネル開放の影響はない。

放出量の評価結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 原子炉冷却材喪失時の放出量の評価結果

項目	評価期間	原子炉冷却材喪失	
		希ガス (0.5MeV換算値) (Bq)	ヨウ素 (I-131等価量) (Bq)
設置許可申請書 における放出量	無限期間	約 5.6×10^{11}	約 1.2×10^9
原子炉建屋ブローアウトパネル 開放を想定した放出量	事故発生から 30日後まで*	約 5.4×10^{11}	約 1.0×10^9
	事故発生から 30日後以降*	約 2.1×10^{10}	約 1.0×10^{10}
	合計	約 5.6×10^{11}	約 1.1×10^{10}

注記*：原子炉建屋ブローアウトパネル開放は事故発生から 720 時間後を想定し、その前後で評価期間を分けている。

3. 大気拡散条件

大気拡散評価は、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に基づき行う。

事故発生から 30 日後までは排気筒放出，30 日後以降は地上放出を想定し大気拡散評価を行う。また，原子炉建屋ブローアウトパネルが開放した場合は原子炉建屋から瞬時に放出するものとし実効放出継続時間は 1 時間とする。

大気拡散条件の評価結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 原子炉冷却材喪失時の相対濃度及び相対線量の評価結果

項目		放出位置	実効放出 継続時間 (h)	相対濃度/相対線量		評価方位
設置許可申請書 における拡散条件		排気筒	24	D/Q (Gy/Bq)	9.3×10^{-20}	NNW
			24	χ/Q (s/m ³)	2.4×10^{-6}	
原子炉建屋ブローアウトパネル 開放を想定した 拡散条件	事故発生から 30日後 まで*	排気筒	24	D/Q (Gy/Bq)	4.9×10^{-20}	ESE
			24	χ/Q (s/m ³)	7.1×10^{-7}	
	事故発生から 30日後 以降*	地上 放出	1	D/Q (Gy/Bq)	3.0×10^{-18}	
			1	χ/Q (s/m ³)	6.4×10^{-4}	

注記*：原子炉建屋ブローアウトパネル開放は事故発生から 720 時間後を想定し、その前後で評価期間を分けている。

4. 被ばく評価結果

原子炉建屋ブローアウトパネルが開放した場合の設計基準事故時の被ばく評価結果を表 4-1 に示す。原子炉建屋ブローアウトパネル開放を考慮した評価結果は、設計基準事故の基準である 5mSv を十分に下回る結果となっており、設計基準事故に係る被ばく評価の結論に影響はない。

なお、設置許可申請書の本文十号に記載されている設計基準事故で最も線量が高くなる主蒸気管破断の線量（約 $9.9 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ）と比べても低い値となっていることを確認している。

表 4-1 原子炉冷却材喪失時の被ばく評価結果

項 目		実効線量 (mSv)	
設置許可申請書 添付書類十記載値	希ガス	約 5.2×10^{-5}	
	よう素	約 2.6×10^{-5}	
	直接・スカイシャイン線* ¹	約 1.9×10^{-6}	
	合 計	約 8.0×10^{-5}	
原子炉建屋ブロー アウトパネル開放 を想定した場合	事故発生から 30 日後まで* ²	希ガス	約 2.7×10^{-5}
		よう素	約 7.0×10^{-6}
	事故発生から 30 日後以降* ²	希ガス	約 6.5×10^{-5}
		よう素	約 6.3×10^{-2}
	直接・スカイシャイン線* ¹		約 1.9×10^{-6}
	合 計		約 6.3×10^{-2}

注記*1：原子炉建屋ブローアウトパネル開放後は原子炉建屋原子炉棟内の放射性物質は大気中へ放出されるため、原子炉建屋からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線は無くなるが本評価においては考慮しない。

*2：原子炉建屋ブローアウトパネル開放は事故発生から 720 時間後を想定し、その前後で評価期間を分けている。

原子炉建屋ブローアウトパネルの開放を考慮した放出量評価について

「燃料集合体の落下」及び「原子炉冷却材喪失」の放出量評価においては非常用ガス処理系によるよう素除去効果及び換気率を考慮して式①及び式②により放出量評価を行っている。

原子炉建屋ブローアウトパネルが開放した場合には、非常用ガス処理系によるよう素除去効果及び換気率が期待できなくなる。このため、別表 1 及び別表 2 に示す条件の違いを考慮して、原子炉建屋ブローアウトパネル開放後の放出量を評価した。

1. 燃料集合体の落下

燃料集合体の落下における原子炉建屋ブローアウトパネル開放前の放出量は、式①により求める。原子炉建屋ブローアウトパネル開放後の放出量は別表 1 に示す条件の違いを考慮して放出量を評価する。

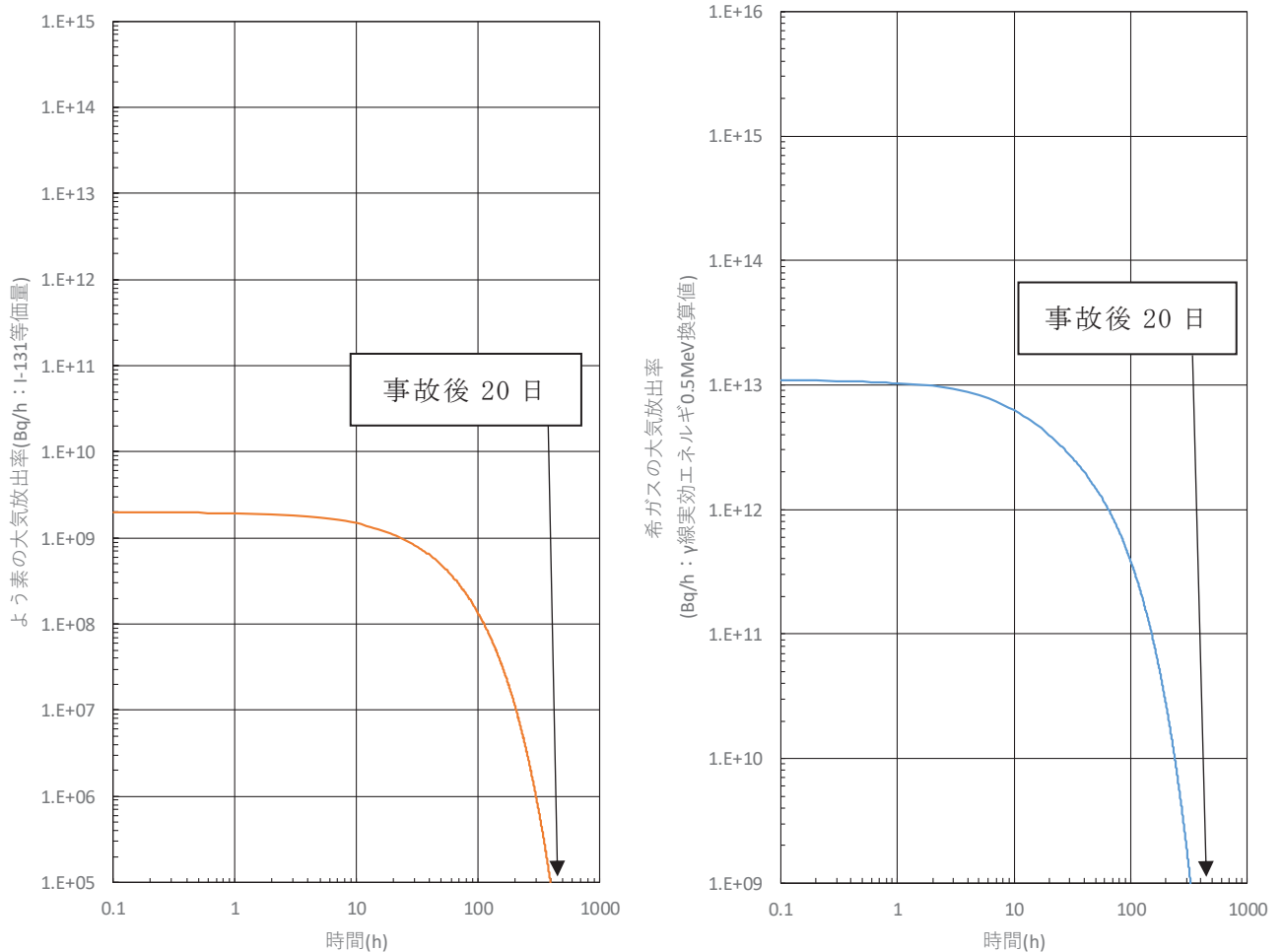
ただし、燃料集合体の落下の放出率は別図 1 に示すように約 20 日で ≈ 0 であり、事故発生から 30 日後以降の原子炉建屋ブローアウトパネル開放の影響はない。

$$Q_i = \frac{\lambda_{LSGTS} \cdot (1 - f_{SGTS}) \cdot \frac{F}{DF} \cdot Q_p^i}{\lambda_R^i + \lambda_{LSGTS}} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

- Q_i : 大気中に放出される核分裂生成物の放出量 (Bq)
 Q_p^i : 事故直前に燃料ギャップ部に存在する核分裂生成物の量 (Bq)
 F : 核分裂生成物の存在割合
 $\left[\begin{array}{ll} \text{希ガス} & F=1 \\ \text{有機よう素} & F=\text{全よう素中の有機よう素の割合} \\ \text{無機よう素} & F=\text{全よう素中の無機よう素の割合} \end{array} \right.$
 DF : 無機よう素のプール水による除去係数 (DF=500)
(希ガス及び有機よう素は DF=1)
 λ_{LSGTS} : 非常用ガス処理系による原子炉建屋内空気の換気率 (d^{-1})
 f_{SGTS} : 非常用ガス処理系フィルタのよう素除去効率 (-)
 λ_R^i : 核種 i の崩壊定数 (d^{-1})

別表 1 燃料集合体の落下時の非常用ガス処理系等の評価条件

	設置許可申請書添付書類十 における評価条件	原子炉建屋ブローアウトパネルの 開放を考慮した場合の評価条件
F	希ガス $F=100\%$ 有機よう素 $F=1\%$ 無機よう素 $F=99\%$	同左
DF	希ガス $DF=1$ 有機よう素 $DF=1$ 無機よう素 $DF=500$	同左
λ_{LSGTS}	0.5 回/d	無限大
f_{SGTS}	99 %	0 %
λ_R^i	(例) 希ガス (Xe-133) : 0.131 (d ⁻¹) よう素 (I-131) : 0.086 (d ⁻¹)	同左



別図 1 燃料集合体の落下におけるよう素及び希ガスの放出率の時間推移

2. 原子炉冷却材喪失

原子炉冷却材喪失における原子炉建屋ブローアウトパネル開放前の放出量は、式②により求める。原子炉建屋ブローアウトパネル開放後の放出量は別表 2 に示す条件の違いを考慮して放出量を評価する。

$$Q_H^i = (q_C^i + q_f^i \cdot g) \cdot K_0 \cdot (1 - f_{SGTS}) \cdot \frac{\lambda_{LPCV} \cdot \lambda_{SGTS}}{(\lambda_R^i + \lambda_{LPCV} \cdot F_3) \cdot (\lambda_R^i + \lambda_{LSGTS})} \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

Q_H^i : 大気中に放出される核分裂生成物の放出量 (Bq)

q_C^i : 核種 i の冷却材中存在量 (Bq)

$$q_C^i = C_W^i \cdot M$$

C_W^i : 核種 i の冷却材中存在量 (Bq/g)

M : 冷却材保有量 (g)

q_f^i : 核種 i の追加放出量

g : 組成構成比

$$\left[\begin{array}{ll} \text{希ガス} & g=1 \\ \text{有機よう素} & g=\text{全よう素中の有機よう素の割合} \\ \text{無機よう素} & g=\text{全よう素中の無機よう素の割合} \end{array} \right.$$

K_0 : 原子炉格納容器気相部に存在する核分裂生成物の原子炉格納容器全存在量に対する割合

$$K_0 = (1 - F_2) \cdot F_3$$

F_2 : 無機よう素の原子炉格納容器内の壁面等に付着する割合 (希ガス及び有機よう素はこの効果を見捨てる。)

F_3 : 原子炉格納容器内の気相中に浮遊する核分裂生成物の割合で、有機よう素と希ガスは 1、無機よう素については次式で計算する。

$$F_3 = \frac{V_A}{V_A + V_W \cdot P}$$

V_A : 原子炉格納容器内気相容積 (m³)

V_W : 原子炉格納容器内液相容積 (m³)

P : 気液分配係数 (-)

λ_{LPCV} : 原子炉格納容器からの漏えい率 (d⁻¹)

λ_{LSGTS} : 非常用ガス処理系による原子炉建屋内空気の換気率 (d⁻¹)

f_{SGTS} : 非常用ガス処理系フィルタのよう素除去効率 (-)

λ_R^i : 核種 i の崩壊定数 (d⁻¹)

別表2 原子炉冷却材喪失時の非常用ガス処理系等の評価条件

	設置許可申請書添付書類十 における評価条件	原子炉建屋ブローアウトパネルの 開放を考慮した場合の評価条件
C_W^i	1.8×10^3 Bq/g (I-131)	同左
M	200 t	同左
q_f^i	3.7×10^{13} Bq (I-131)	同左
g	希ガス $g=100$ % 有機よう素 $g=4$ % 無機よう素 $g=96$ %	同左
F_2	50 %	同左
V_A	12600 m ³	同左
V_W	2800 m ³	同左
P	無機よう素 $P=100$	同左
λ_{LPCV}	0.5 %/d	同左
λ_{LSGTS}	0.5 回/d	無限大
f_{SGTS}	99 %	0 %
λ_R^i	(例) 希ガス (Xe-133) : 0.131 (d ⁻¹) よう素 (I-131) : 0.086 (d ⁻¹)	同左

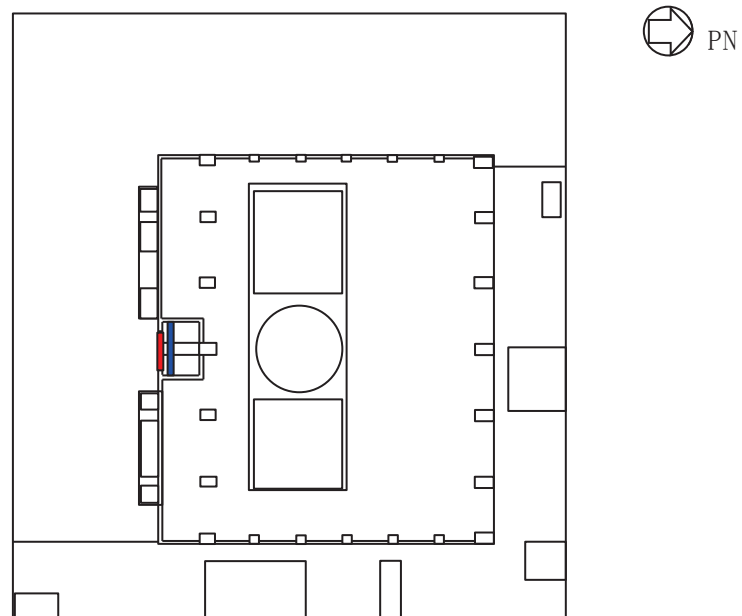
原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の配置と構造について

1. 概要

原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）は，実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則及び規則の解釈の第 74 条で要求される設備であり，原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という。）が開放した状態において，炉心の著しい損傷が発生した場合に中央制御室にとどまる運転員を過度の被ばくから防護するため，原子炉建屋 BOP が開放した後の躯体の開口部を閉止し，原子炉建屋原子炉棟の放射性物質の閉じ込め機能を確保するために設置する。

2. 設置位置及び台数

BOP 閉止装置は，原子炉建屋原子炉棟地上 3 階に 1 式（24 台）設置する。設置位置を図 2-1 に示す。



原子炉建屋原子炉棟地上 3 階 概略平面図

- : BOP 閉止装置 1 式（24 台）
- : 原子炉建屋 BOP

図 2-1 BOP 閉止装置の設置位置図

3. BOP 閉止装置の構造

BOP 閉止装置は、駆動部の回転を、チェーンを介して丁番の軸の回転動作に変換することで扉本体の開閉が可能な構造としており、リミットスイッチにより扉本体の開閉状態を中央制御室にて確認できる構造としている。

扉本体は、全開状態においては、門と門受け(扉開側)により扉本体を戸当たりに押し付けて固定する構造としている。また、全閉状態においては、閉止動作により、扉本体をパッキンに押し付けて、その状態を門と門受け(扉閉側)で保持することにより高い気密性を確保する構造としている。

扉本体の開閉は、丁番を軸に回転する構造となっている。

また、扉は、開状態又は閉状態での地震による扉の慣性力の伴う過度な荷重が、チェーン等の駆動系に付加されチェーンが破損することを防ぐ目的と、扉閉状態で地震により扉が開方向に移動し扉の気密性能に影響を与えないようにする目的で、扉の面外方向の動きを拘束する門により扉を固定する構造としている。

なお、既設の原子炉建屋BOPが開放する際に、BOP閉止装置は干渉しない構造とする。

BOP 閉止装置の構造概要図を図 3-1 に、駆動機構概要図を図 3-2 に、手動操作概念図を図 3-3 に、ブローアウトパネル関連設備の設置概要図を図 3-4 に示す。

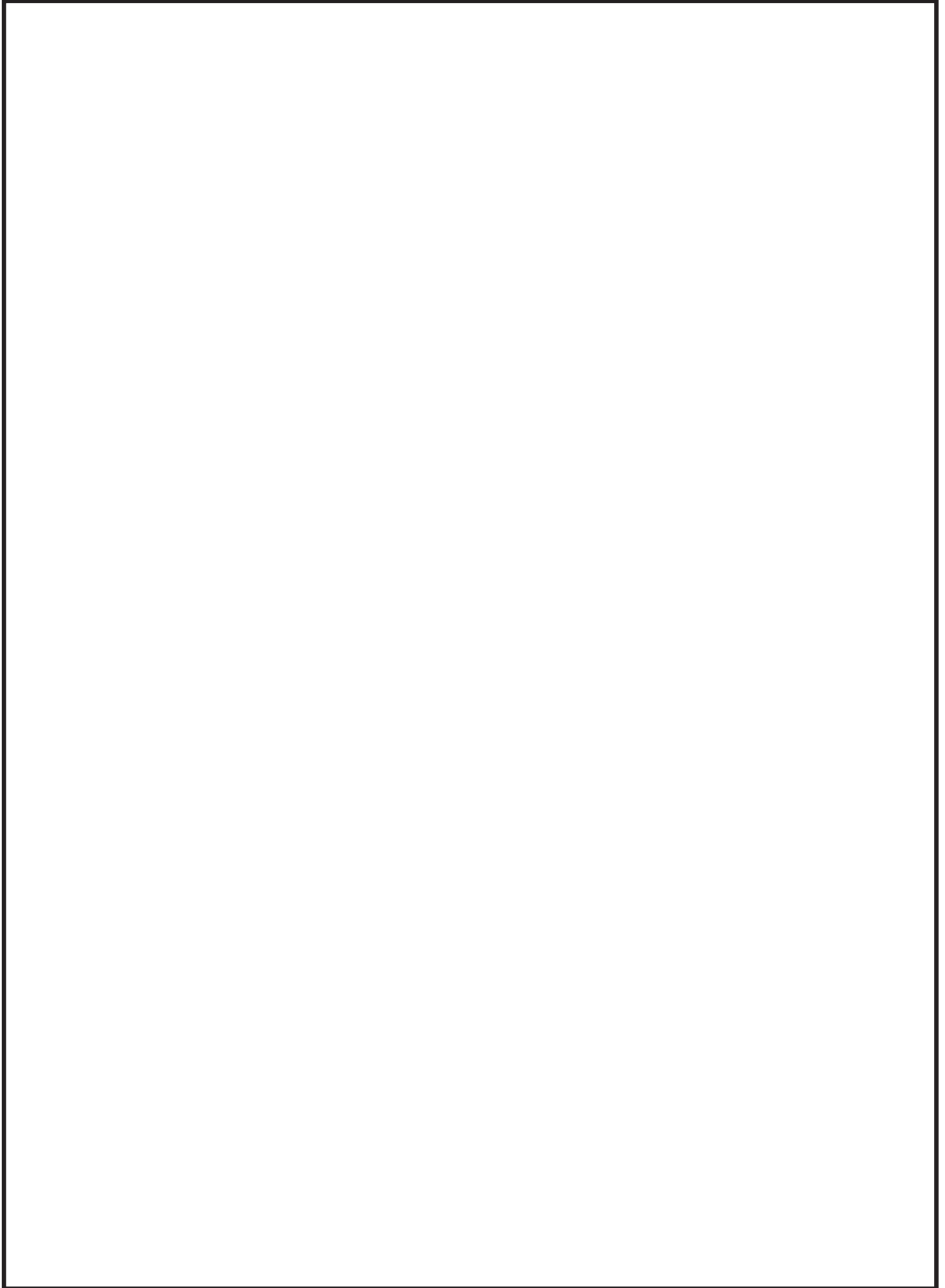


図 3-1 BOP 閉止装置の構造概要図

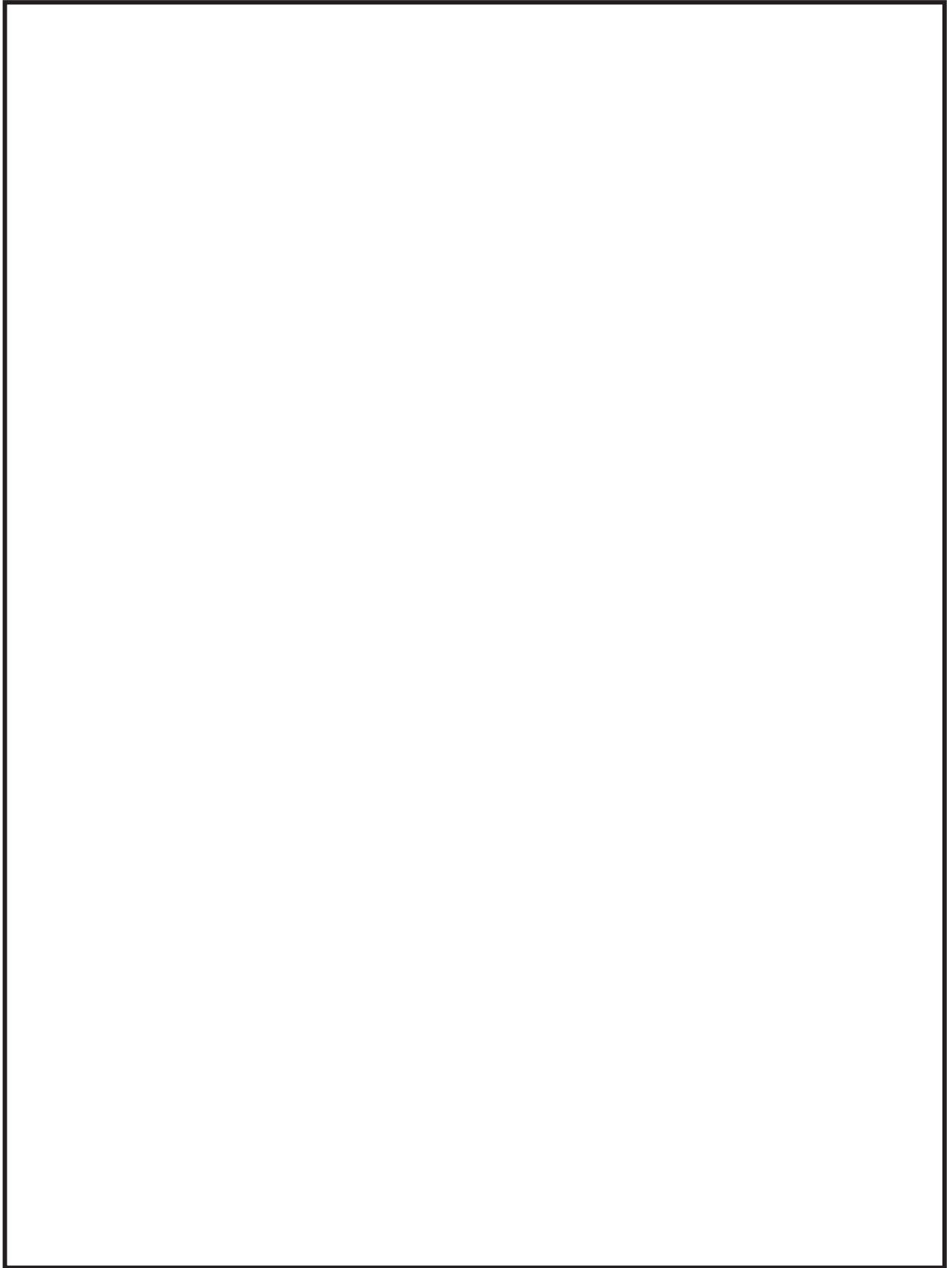


図 3-2 BOP 閉止装置の駆動機構概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 3-3 BOP 閉止装置の手動操作概念図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

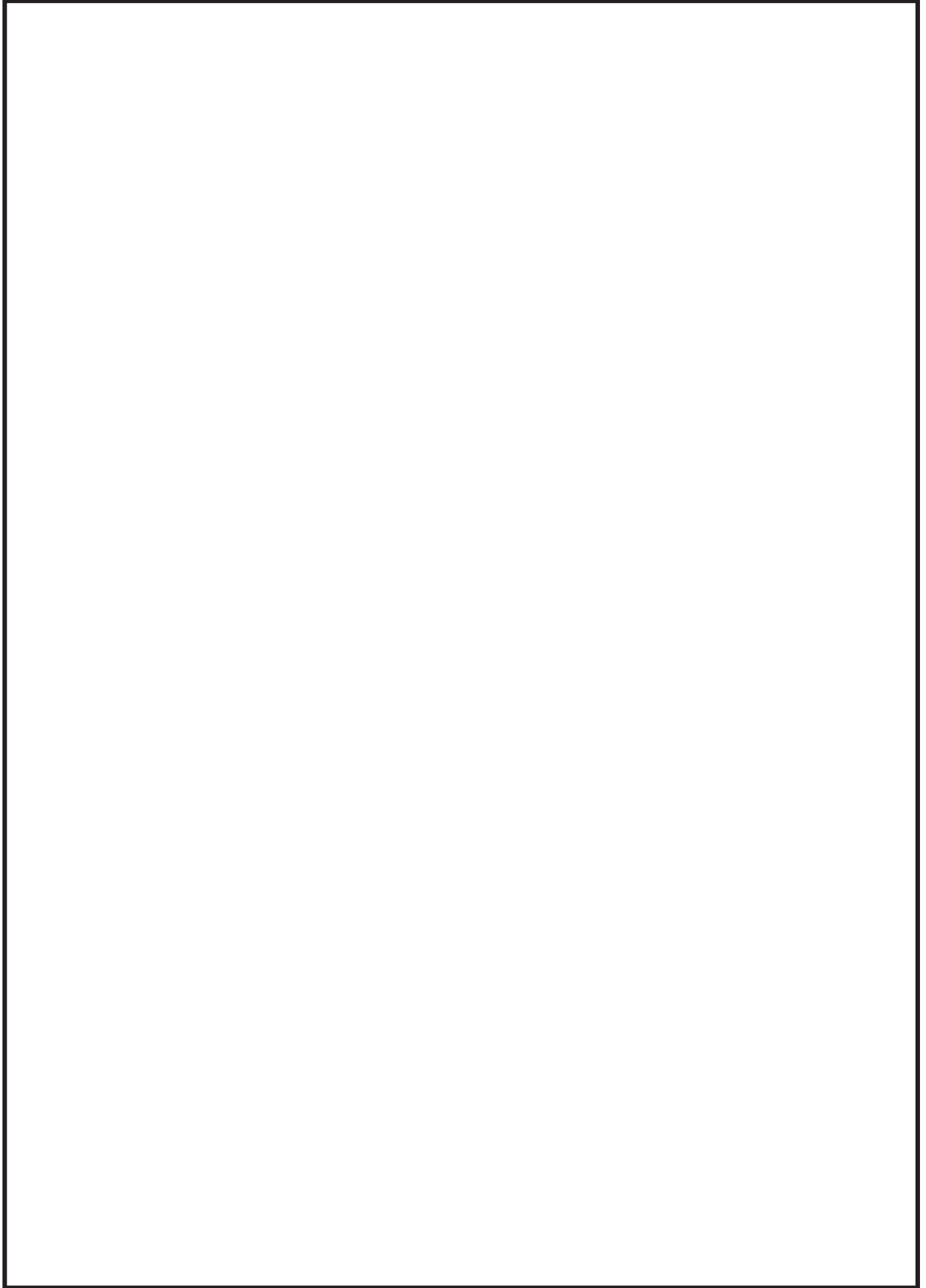


図 3-4 ブローアウトパネル関連設備の設置概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. BOP 閉止装置の動作時のインターロックについて

図 4-1 に BOP 閉止装置のインターロック概要を示す。

- ・リミットスイッチにて，門の挿入を検知する。
- ・門引抜き完了の信号を受け，扉作動の信号が投入される。
- ・扉停止信号を受け，門の挿入の信号が投入される。



各リミットスイッチの目的

①	
②	
③	
④	

各ステップ	扉 状態	門 状態	リミットスイッチ			
			① 門挿入	② 門引抜き	③ 扉開	④ 扉閉

図 4-1 BOP 閉止装置のインターロック概要

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. アクセス用の足場による他の設備への悪影響について

BOP 閉止装置は、扉、扉枠、扉を駆動する電動機、扉を開状態又は閉状態で固定する門等で構成し、装置取付架台に固定される。また、BOP 閉止装置が中央制御室からの遠隔操作ができない等、現場での人力による操作を行う必要がある際に、BOP 閉止装置にアクセスできるように足場を設置する。全体構成を図 5-1 に示す。

足場は、BOP 閉止装置の要求機能である閉止機能及び二次格納施設のバウンダリ機能に直接関連するものではなく、現場での人力による操作時に BOP 閉止装置にアクセスするための付帯的な設備として BOP 閉止装置の近傍に設置する。このため、足場は、基準地震動 S_s に対して、十分な構造強度を有する設計とし、BOP 閉止装置及び原子炉建屋 BOP の機能に悪影響を及ぼさない設計とする。

添付 1 に足場に基準地震動 S_s が作用した場合においても、BOP 閉止装置及び原子炉建屋 BOP への悪影響を及ぼさないことを示す。

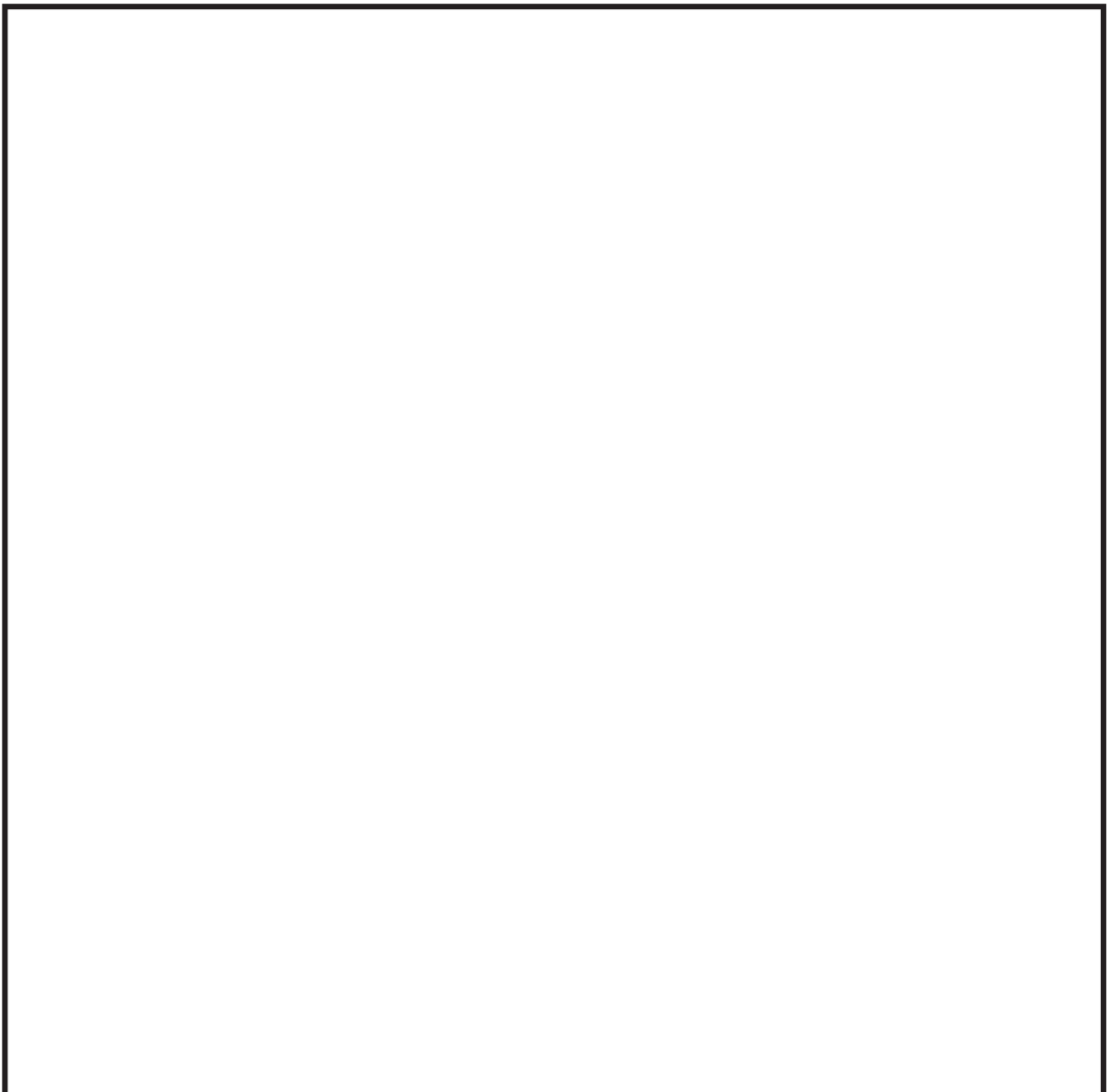


図 5-1 BOP 閉止装置の全体構成

足場に基準地震動 S_s が作用した場合における
BOP 閉止装置及び原子炉建屋 BOP への悪影響について

1. 概要

足場は、BOP 閉止装置の機能に直接関連するものではないものの、現場での人力による操作時に BOP 閉止装置にアクセスするための付帯的な設備として BOP 閉止装置の近傍に設置することから、BOP 閉止装置及び原子炉建屋 BOP に悪影響を及ぼさない設計としている。

本資料は、足場に基準地震動 S_s が作用した場合においても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、BOP 閉止装置及び原子炉建屋 BOP へ悪影響を及ぼさないことを、説明するものである。

2. 足場の構造及び評価部位

足場は、装置取付架台及び原子炉建屋原子炉棟の壁に固定された梁にグレーチング等を設置することで構成される。評価部位は、BOP 閉止装置及び原子炉建屋 BOP へ悪影響を及ぼす可能性のある範囲を考慮して、図 2-1 に示す BOP 閉止装置及び原子炉建屋 BOP に最も近い部材から選定する。このうち、主要な構造部材である梁に着目して、梁の長さ及びグレーチング等を含めた足場の質量の条件が厳しい部位を代表として評価する。

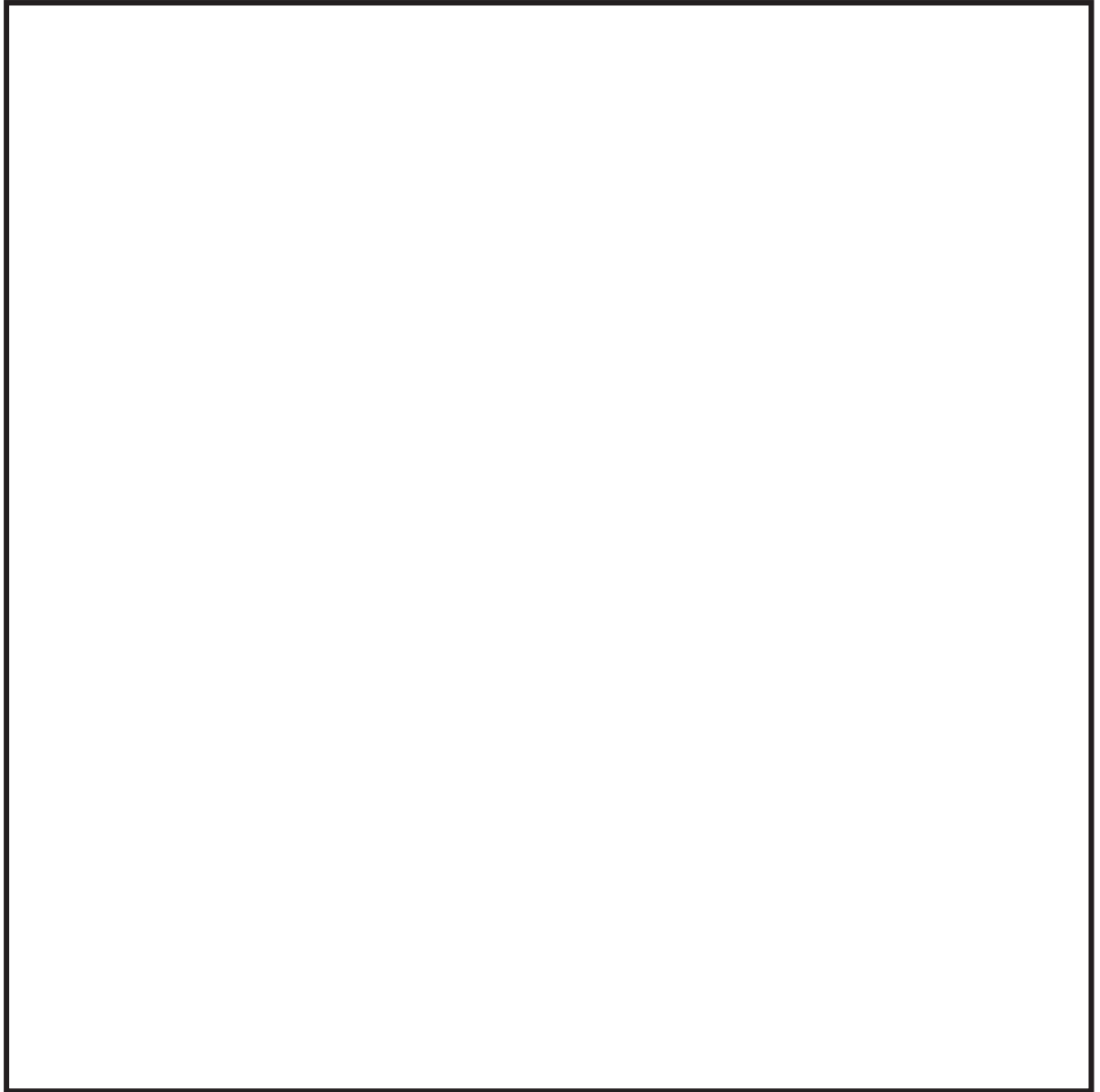


図 2-1 足場の構造及び評価部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算方法

足場の梁の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 足場の質量は、梁に等分布に作用するものとする。
- b. 足場の梁は、剛であることを確認した装置取付架台に固定されており、固定端とする。
- c. 評価する際の温度条件は、重大事故等時の環境温度の 66 °C とする。
- d. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

足場の梁は、図 3-1 に示す両端固定梁の横振動モデルとして考える。



図 3-1 固有周期の計算モデル

(2) 諸元

足場の梁の諸元を表 3-1 に示す。

表 3-1 足場の梁の諸元

項目	記号	単位	値
足場の質量	m	t	<input type="text"/>
足場の梁の長さ	L	mm	<input type="text"/>
縦弾性係数	E	MPa	<input type="text"/>
断面二次モーメント	I	mm ⁴	<input type="text"/>

(3) 固有周期

固有周期 T は次式で求める。ここで、水平方向の剛性は、鉛直方向の剛性と同様と考えられるため、鉛直方向の固有周期のみを求める。

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{4.73^2} \cdot \sqrt{\frac{m \cdot L^3}{E \cdot I}}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.2 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05s 以下であり、剛であることを確認した。

表 3-2 固有周期 (単位：s)

鉛直方向	0.005
------	-------

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

3.1 項 a. ~d. のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は足場に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 足場は、図 4-1 に示す等分布荷重が作用する両端固定支持梁モデルとして考える。



図 4-1 足場の梁の計算モデル

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

荷重の組合せは、自重及び地震力を組合せるものとする。許容応力状態及び許容応力については、添付書類「VI-2-9-4-4-1-5 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書」と同様とする。

4.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-1 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-1 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 O.P. 33.20* (O.P. 41.20)	0.05 以下	0.005	—	—	C _H =3.43	C _V =1.89

注記*：基準床レベルを示す。

4.4 応力の計算方法

(1) 引張応力

a. 水平方向設計震度による引張応力

水平方向設計震度により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_h = W_h \cdot L^2 / 12$$

ここで、

$$W_h : \text{単位長さ当たりの地震荷重} = m_d \cdot g \cdot C_h$$

m_d : 足場の梁の単位当たりの質量

C_h : 水平方向設計震度

水平方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_h = M_h / Z$$

ここで、

Z : 足場の梁の断面係数

b. 鉛直方向設計震度による引張応力

鉛直方向設計震度により作用する曲げモーメントは次式により求める。

$$M_v = W_v \cdot L^2 / 12$$

ここで、

$$W_v : \text{単位長さ当たりの地震荷重} = m_d \cdot g \cdot (1 + C_v)$$

C_v : 鉛直方向設計震度

鉛直方向設計震度により生じる引張応力は次式により求める。

$$\sigma_v = M_v / Z$$

c. 足場の梁に生じる引張応力

$$\sigma = \sigma_h + \sigma_v$$

(2) せん断応力

a. 水平方向設計震度によるせん断応力

水平方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_h = W_h \cdot L / 2$$

水平方向設計震度により作用するせん断応力は次式により求める。

$$\tau_h = Q_h / A$$

ここで、

A：足場の梁の断面積

b. 鉛直方向設計震度によるせん断力

鉛直方向設計震度により作用するせん断力は次式により求める。

$$Q_v = W_v \cdot L / 2$$

鉛直方向設計震度により作用するせん断応力は次式により求める。

$$\tau_v = Q_v / A$$

c. 足場の梁に生じるせん断力

$$\tau = \sqrt{(\tau_h^2 + \tau_v^2)}$$

(3) 組合せ応力

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2)}$$

5. 評価部位の許容応力

評価部位の許容応力は、部位の材質及び設計・建設規格 付録材料図表 Part5 に規定される各温度の設計降伏点（ S_y ）及び設計引張強さ（ S_u ）から設定する。材質及び許容応力を表 5-1 に示す。

表 5-1 許容応力

評価部位	材料	温度 (°C)	許容 応力 状態	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	許容限界	
							$1.5 f_t^*$ (MPa)	$1.5 f_s^*$ (MPa)
足場		55	IV _A S					
		66	V _A S					

6. 評価結果

足場の梁の応力評価結果を表 6-1 に示す。算出応力は許容応力を満足しており、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。

以上より、BOP 閉止装置の足場は基準地震動 S_s が作用した場合において、足場近傍に設置されている BOP 閉止装置及び原子炉建屋 BOP へ悪影響を及ぼさない。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6-1 応力評価結果（基準地震動 S s）

材料	温度 (°C)	許容 応力 状態	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度*
	55	IV _A S	引張り	7.50		
			せん断	0.59		
			組合せ	7.57		
	66	V _A S	引張り	7.50		
			せん断	0.59		
			組合せ	7.57		

注記* : 裕度 = (許容応力) / (算出応力)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

原子炉建屋内圧力解析について

1. はじめに

女川原子力発電所第2号機の原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）は、建屋構造上屋外への設置はできないことから、原子炉建屋原子炉棟内の原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という。）への蒸気流路上に設置する必要がある。このため、待機時の扉開状態において、主蒸気管破断等が発生した際に、原子炉建屋 BOP の開放機能に影響を及ぼさないよう、蒸気を建屋外へ放出するために必要な流路を確保する必要がある。

また、原子炉建屋とタービン建屋間に設置されているブローアウトパネルについては、再閉止することが配置制約上困難であるため、閉鎖することとしている。

上記を踏まえ、主蒸気管破断事故時における原子炉建屋内圧力解析を実施し、原子炉格納容器の設計外圧未満となることを確認することで、BOP 閉止装置の設置等が、原子炉建屋 BOP の開放機能に影響を及ぼさないことを確認する。

なお、重大事故等対策の有効性評価において、インターフェイスシステム LOCA として高圧炉心スプレイ系のポンプ吸込配管の破断を想定しているが、破断面積は主蒸気管破断事故と比較し非常に小さく、主蒸気管破断事故に評価は包絡される。また、BOP 閉止装置設置による重大事故等時の原子炉建屋内の設備の環境条件への影響はない。

2. 解析方法

(1) 解析コード

汎用熱流体解析コード GOTHIC (Ver. 8.3)

(2) 想定事象

主蒸気管破断事故 (MSLBA)

(3) 解析条件・解析モデル

解析条件 : 事故時の冷却材流出量については、設置許可申請書添付書類十主蒸気管破断事故解析のとおり。その他の解析条件は表 2-1 のとおり。

解析モデル : 図 2-1 のとおり。BOP 閉止装置の設置による流路縮小及び原子炉建屋とタービン建屋間の BOP の閉鎖を考慮したモデルとした。流路圧損についても、区画間の流路圧損に加え、BOP 閉止装置の流路縮小による圧損、BOP 閉止装置通過時の圧損及び BOP 閉止装置通過後の流路拡大による圧損を考慮したモデルとした。

また、ヒートシンクについては、PCV ギャップ壁面での凝縮熱伝達を考慮したモデルとした。

表 2-1 解析条件

No.	項目	解析条件	備考
1	初期条件 (1) 温度 (MS トンネル室) (2) 温度 ((1) 以外) (3) 圧力 (4) 湿度	55℃ 40℃ 大気圧 90%	通常運転時の環境仕様温度の最大値として設定
2	空間容積	MS トンネル室(1) : 1410m ³ MS トンネル室(2) : 780m ³ PCV ギャップ : 130m ³ トーラス室 : 7470m ³ 原子炉建屋地下3階 : 790m ³ 原子炉建屋地下2階 : 1150m ³ 原子炉建屋地下1階 : 9300m ³ 原子炉建屋地上1階 : 4210m ³ 原子炉建屋地上2階 : 4720m ³ 原子炉建屋地上3階 (オペフロ) : 23470m ³ R-08 階段室 : 220m ³ R-09 階段室 : 130m ³ R-10 階段室 : 280m ³ RHR(A) 弁室 : 550m ³ RHR(B) 弁室 : 560m ³ RCIC タービンポンプ室 : 500m ³ CUW 再生熱交換器室 : 170m ³	空間容積は、容積×0.7とする。 (躯体分、機器配管分を差し引いた値)
3	流路面積 (1) ブローアウトパネル (2) BOP 閉止装置 (3) 区画間面積	原子炉建屋 BOP : 20.0m ² BOP4 : 2.0m ² BOP5 : 1.0m ² BOP6 : 1.0m ² BOP7 : 1.0m ² 16.5 m ² PCV ギャップ-トーラス室 : 5.5m ² PCV ギャップ-MS トンネル室(1) : 1.7m ² PCV ギャップ-原子炉建屋地下1階 : 5.1m ² PCV ギャップ-原子炉建屋地上1階 : 0.3m ² PCV ギャップ-RHR(A) 弁室 : 0.9m ² PCV ギャップ-RHR(B) 弁室 : 1.0m ² MS トンネル室(1)-MS トンネル室(2) : 2.0m ² 原子炉建屋地上1階-原子炉建屋地上2階 : 35.7m ² 原子炉建屋地上2階-原子炉建屋地上3階 (オペフロ) : 35.7m ² 階段室開口面積 : 2.0m ²	原子炉建屋 BOP の開口面積 BOP4 の開口面積 BOP5 の開口面積 BOP6 の開口面積 BOP7 の開口面積 BOP 閉止装置の開口面積(サーベランス時の1台閉を考慮) 当該区画に連通するペネギャップの面積 同上 同上 同上 同上 同上 躯体図より算出 同上 同上 同上
4	BOP 開放圧力(差圧)	原子炉建屋 BOP : 4.4kPa BOP4 : 3.9kPa BOP5 : 4.4kPa BOP6 : 4.4kPa BOP7 : 4.4kPa	MS トンネル室での主蒸気管破断時等に屋外へ開放 トーラス室での原子炉冷却材浄化系配管及び原子炉隔離時冷却系蒸気配管の破断時に MS トンネル室側へ開放 RHR(A) 弁室での原子炉隔離時冷却系蒸気配管の破断時に MS トンネル室側へ開放 RCIC タービンポンプ室での原子炉隔離時冷却系蒸気配管の破断時にトーラス室側へ開放 CUW 再生熱交換器室での原子炉冷却材浄化系配管の破断時にトーラス室側へ開放

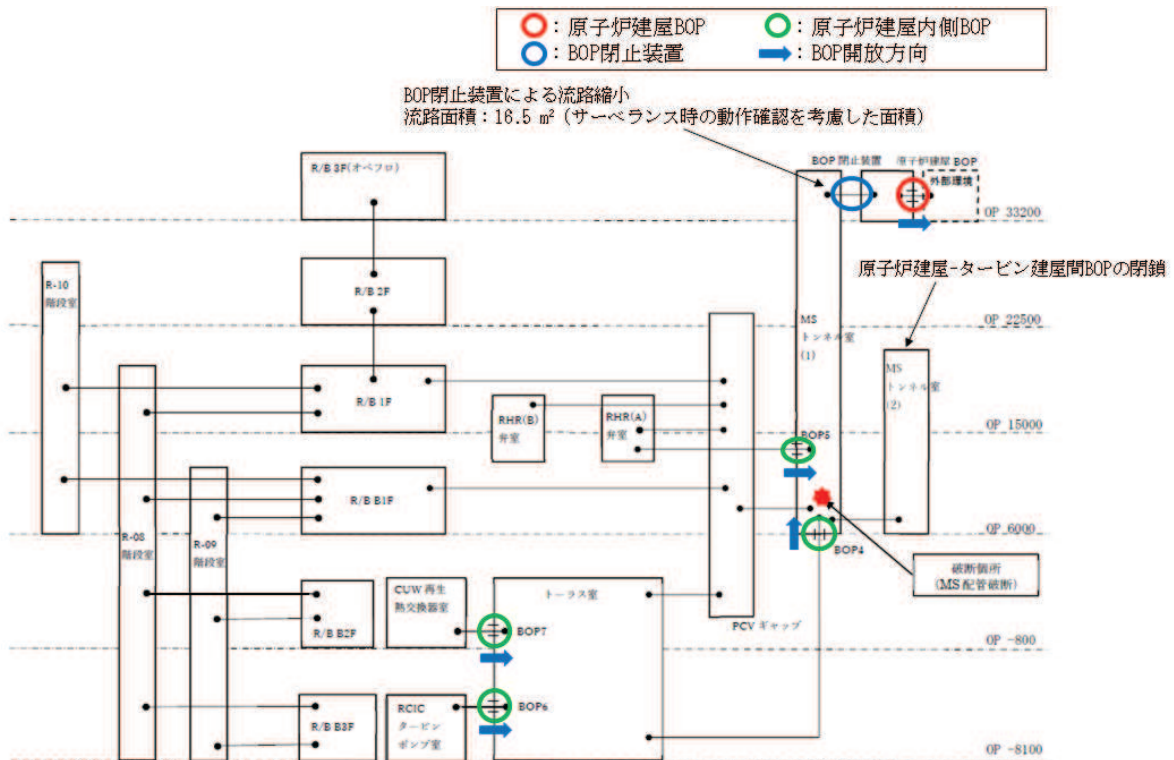


図 2-1 解析モデル

3. 解析結果

解析結果を図 3-1 に示す。主蒸気管破断事故時において、原子炉格納容器外側に作用する圧力の最大値は 12.5kPa[gage]となり、原子炉格納容器の設計外圧 (13.7kPa[gage]) 以下であることを確認した。この結果より、BOP 閉止装置の設置等が、原子炉建屋 BOP の開放機能に影響を及ぼさないことを確認した。なお、表 2-1 に記載した配管破断事象についても、BOP 閉止装置の設置等が原子炉建屋 BOP の開放機能に影響を及ぼさないことを確認したうえで、主蒸気管破断事故を代表ケースとしている。

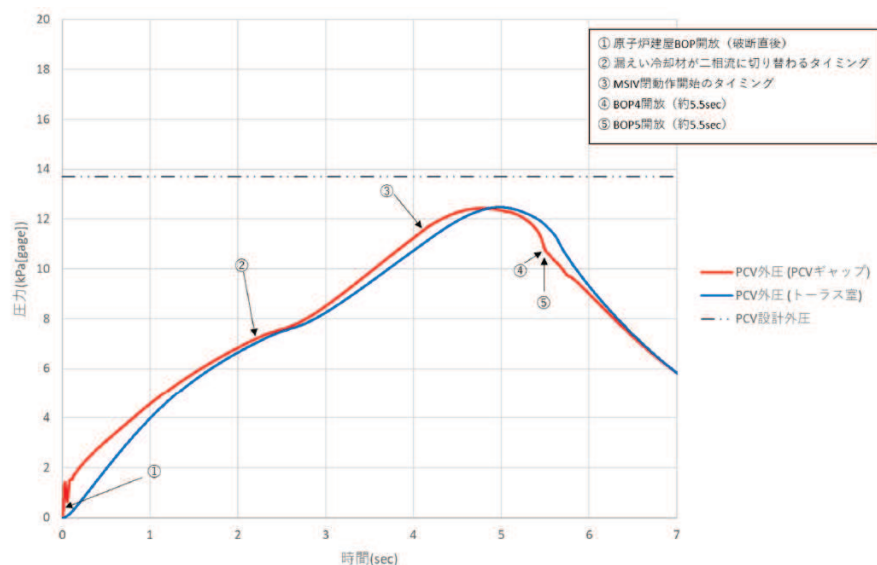


図 3-1 主蒸気管破断時に原子炉格納容器外側に作用する圧力

原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の技術基準規則第五十四条への適合性について

1. 技術基準規則第五十四条への適合性について

(1) 環境条件（技術基準規則第五十四条第一項第一号）

a. 要求事項

想定される重大事故等が発生した場合における温度，放射線，荷重その他の使用条件において，重大事故等に対処するために必要な機能を有効に発揮すること。

b. 適合性

原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）は，原子炉建屋原子炉棟内に設置するが，重大事故等時に原子炉建屋ブローアウトパネルが開放している場合に，原子炉建屋原子炉棟内の気密性を確保するために閉止する設備であることから，その機能を期待される重大事故等時における屋外又は原子炉建屋原子炉棟内の環境条件を考慮している。

(2) 操作性（技術基準規則第五十四条第一項第二号）

a. 要求事項

想定される重大事故等が発生した場合において確実に操作できること。

b. 適合性

BOP 閉止装置は，中央制御室の操作盤のスイッチで遠隔による開閉が可能な設計とするとともに，現場においても人力により開閉操作が可能な設計としている。

(3) 試験検査（技術基準規則第五十四条第一項第三号）

a. 要求事項

健全性及び能力を確認するため，発電用原子炉の運転中又は停止中に必要な箇所の保守点検（試験及び検査を含む。）ができること。

b. 適合性

BOP 閉止装置は，原子炉の停止中に構造健全性のため外観検査が可能な設計としている。また，BOP 閉止装置は，原子炉の停止中に機能・性能検査として動作状態の確認が可能な設計としている。

試験検査内容を表 1-1 に示す。

表 1-1 BOP 閉止装置の試験検査内容

必要な機能	検査内容
気密性能	パッキンの外観点検によりシール性能に影響を及ぼす劣化がないことを確認する。
作動性能	BOP閉止装置を電動による遠隔操作及び現場での手動操作により開閉が可能なことを確認する。
構造健全性	外観目視検査による閉止装置構成部品の健全性を確認する。

(4) 切替えの容易性（技術基準規則第五十四条第一項第四号）

a. 要求事項

本来の用途以外の用途として重大事故等に対処するために使用する設備にあっては、通常時に使用する系統から速やかに切り替えられる機能を備えること。

b. 適合性

BOP 閉止装置は、本来の用途以外の用途として使用しない設計としている。

(5) 悪影響の防止（技術基準規則第五十四条第一項第五号）

a. 要求事項

工場等内の他の設備に対して悪影響を及ぼさないこと。

b. 適合性

BOP 閉止装置は、他の設備から独立して使用が可能であり、他の設備に悪影響を及ぼさない設計としている。また、BOP 閉止装置の開閉動作が他の設備に悪影響を及ぼさない設計としている。

(6) 設置場所（技術基準規則第五十四条第一項第六号）

a. 要求事項

想定される重大事故等が発生した場合において重大事故等対処設備の操作及び復旧作業を行うことができるよう、放射線量が高くなるおそれが少ない設置場所の選定、設置場所への遮蔽物の設置その他の適切な措置を講ずること。

b. 適合性

BOP 閉止装置は、原子炉建屋原子炉棟内に設置し、重大事故等時において放射線量が高くなるおそれの少ない中央制御室から操作が可能な設計としている。また、現場操作においては、必要に応じて遮蔽物の設置その他の適切な措置を講ずる設計としている。

(7) 容量（技術基準規則第五十四条第二項第一号）

a. 要求事項

想定される重大事故等の収束に必要な容量を有すること。

b. 適合性

BOP 閉止装置は、原子炉建屋ブローアウトパネルと同数の 1 式（計 24 台）設置する。
なお、BOP 閉止装置は、重大事故等時において中央制御室の運転員の居住性を確保するために必要な気密性能を有している。

(8) 共用の禁止（技術基準規則第五十四条第二項第二号）

a. 要求事項

二以上の発電用原子炉施設において共用しないこと。ただし、二以上の発電用原子炉施設と共用することによって当該二以上の発電用原子炉施設の安全性が向上する場合であって、同一の工場等内の他の発電用原子炉施設に対して悪影響を及ぼさない場合は、この限りでない。

b. 適合性

BOP 閉止装置は、二以上の発電用原子炉施設において共用しない設計としている。

(9) 設計基準事故対処設備との多様性（技術基準規則第五十四条第二項第三号）

a. 要求事項

常設重大事故防止設備には、共通要因（設置許可基準規則第二条第二項第十八号に規定する共通要因をいう。以下同じ。）によって設計基準事故対処設備の安全機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講ずること。

b. 適合性

BOP 閉止装置は、常設重大事故緩和設備であるため、多様性を考慮する必要はない。

原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の保安全管理について

原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）の保安全管理（案）は表 1-1 のとおり。なお，点検周期については，今後，試験や産業界実績を踏まえ決定し，保全計画に反映していく。

表 1-1 BOP 閉止装置の保安全管理（案）

区分	必要な機能	目的	管理項目	実施内容
保安全管理	作動性能	扉の開閉機能確保	作動試験	<ul style="list-style-type: none"> あらかじめ定めた施設定期検査時に，扉の開閉試験（電動及び手動）にて確認 通常運転時に，扉の開閉試験（電動）にて確認
		門の引抜き，挿入機能確保	作動試験	<ul style="list-style-type: none"> あらかじめ定めた施設定期検査時に，門の引抜き，挿入試験（電動）にて確認 通常運転時に，定期的な門の引抜き，挿入試験（電動）にて確認
	気密性能	シール健全性確保	気密性能試験（建屋）	<ul style="list-style-type: none"> あらかじめ定めた施設定期検査時に，BOP 閉止装置を閉状態とし，原子炉建屋原子炉棟気密性能検査と同様の手法で気密性能試験を実施
			外観目視点検（シール部）	<ul style="list-style-type: none"> 構造健全性確認検査として，シール部に異常がないことを目視にて確認
			パッキン取替	<ul style="list-style-type: none"> 定期的な交換（開口部周りに施工するパッキンは，放射線・熱等による劣化が想定されることから，パッキンの耐久性試験結果を踏まえて取替頻度を決定）
	構造健全性	構造健全性確認	外観目視点検	<ul style="list-style-type: none"> 構造・機能に影響を及ぼすような損傷，異常のないことを目視にて確認

原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験要領について

1. 目的

原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）に要求される機能を確認するため、実機規模の試験体を用いた加振試験を行い、重大事故等における BOP 閉止装置の機能維持確認を実施する。なお、実機は加振試験実施時から一部構造を変更している。変更箇所の詳細を補足 17 に示す。

2. 試験場所

(1) BOP 閉止装置

場 所：清水建設株式会社 技術研究所 先端地震防災研究棟

3. 試験項目

3.1 BOP 閉止装置に要求される機能について

BOP 閉止装置は、原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「BOP」という。）が開放状態で炉心損傷が発生した場合に、運転員等の中央制御室での居住性確保のため、BOP の開放部を速やかに閉止し、原子炉建屋原子炉棟の気密性を維持することが求められる。具体的には下記の機能が求められる。

- ・ 地震後においても、容易かつ確実に閉止でき、また現場において人力による操作できる作動性を確保し、原子炉建屋原子炉棟を負圧に維持できる気密性を確保していること。
- ・ 開放した BOP を復旧するまでの期間において BOP 閉止装置を使用するため、重大事故後、地震が発生した場合においても、原子炉建屋原子炉棟を負圧に維持できる気密性を確保していること。

3.2 加振条件

(1) 基準適合性を確認するための加振（基準地震動 S_s 加振波による加振）

BOP 閉止装置の設置位置における基準地震動 S_s に対する設計用震度を上回るように設定された加振波を用いて加振を行う。

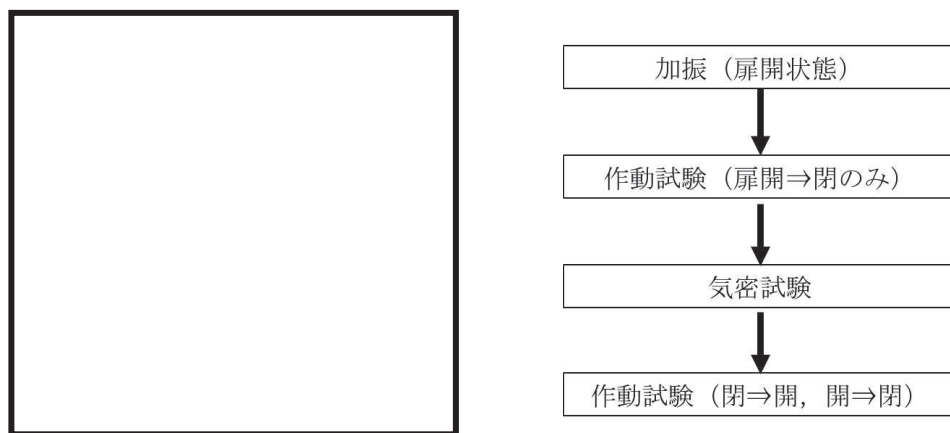
3.3 試験項目

基準地震動 S_s 加振波による加振を行い、BOP 閉止装置に要求される機能が確保されていることを確認する。

- ・加振後の作動確認 : BOP 閉止装置が開放状態又は閉止状態において、加振後の扉本体の作動性が確保されていることを確認する。また、扉本体の作動確認に合わせて、閘の作動性が確保されていることを確認する。
- ・加振後の気密性能試験 : BOP 閉止装置が開放状態又は閉止状態において、加振後の気密性を確保していることを確認する。

図 3-1 に BOP 閉止装置試験治具概念図を示す。

【扉開放状態】



【扉閉止状態】

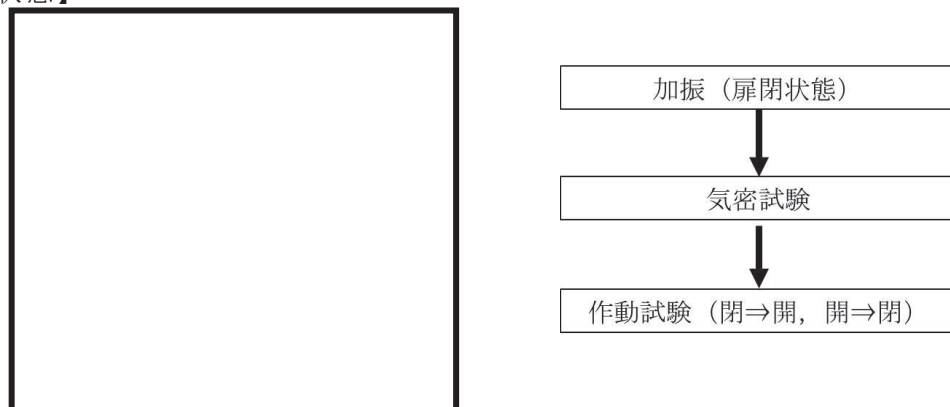


図 3-1 BOP 閉止装置試験治具概念図

4. 加振試験

4.1 加振装置（三次元振動台）の概要

(1) 清水建設株式会社 技術研究所 先端地震防災研究棟

振動台の上に試験体を設置し、水平方向と鉛直方向を同時に加振する。表 4-1 に振動台の仕様、図 4-1 に三次元振動台の概要図、図 4-2 に試験体の鳥瞰図を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-1 三次元振動台の仕様

加振自由度	3軸6自由度		
振動台寸法	7 m×7 m		
最大積載質量	70 t		
加振方向	X方向	Y方向	Z方向
最大加速度	2700 cm/s ²	2700 cm/s ²	2200 cm/s ²
最大速度	200 cm/s	200 cm/s	100 cm/s
最大変位	80 cm	80 cm	40 cm

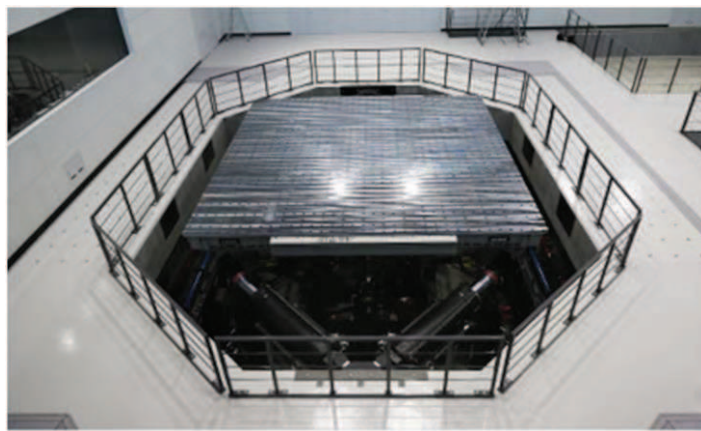
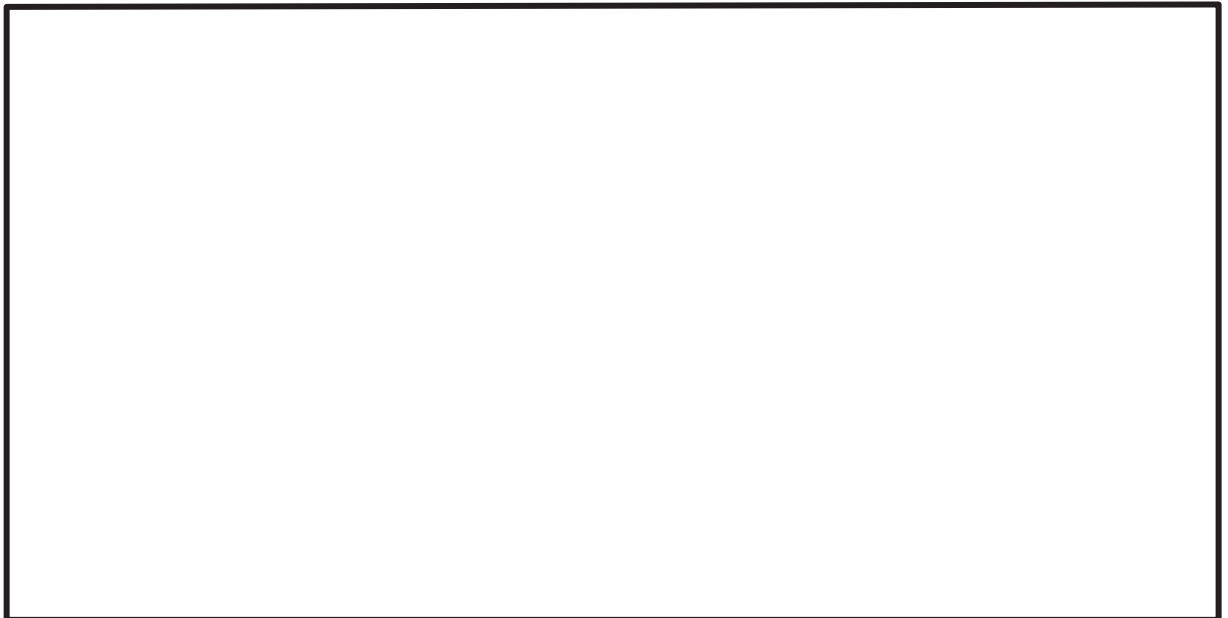


図 4-1 三次元振動台の概要図



(1) 全体図

(2) 断面図

図 4-2 試験体の鳥瞰図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 加振波

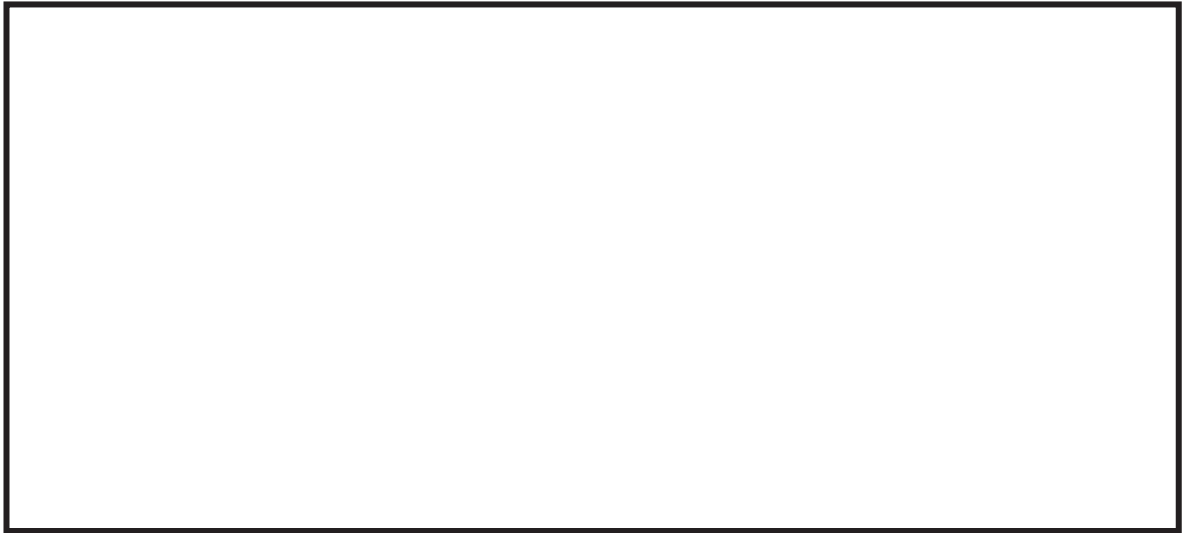
(1) BOP 閉止装置の基準地震動 S_s 加振波

加振試験用の模擬地震波は以下のとおりとする。添付書類「VI-2 耐震性に関する説明書」のうち添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき複数の基準地震動 S_s の床応答スペクトルを包絡する模擬地震波の時刻歴波形を図 4-3、床応答スペクトルを図 4-4 に示す。

- ・最大加速度（ZPA）は振動台性能（加速度）の制約から、既設 BOP 上端位置 O.P. 38.50m での ZPA を超えるように設定
- ・応答スペクトルは BOP 閉止装置の設置高さより上方の原子炉建屋 O.P. 41.2m の床応答スペクトルを目標に設定
- ・基準地震動 S_s 7 波及び建屋影響評価で考慮するばらつきケースを包絡
- ・加振目標の包絡スペクトルは減衰定数 1.0% で設定



(1) 水平（NS）方向



(2) 水平 (EW) 方向



(3) 鉛直方向

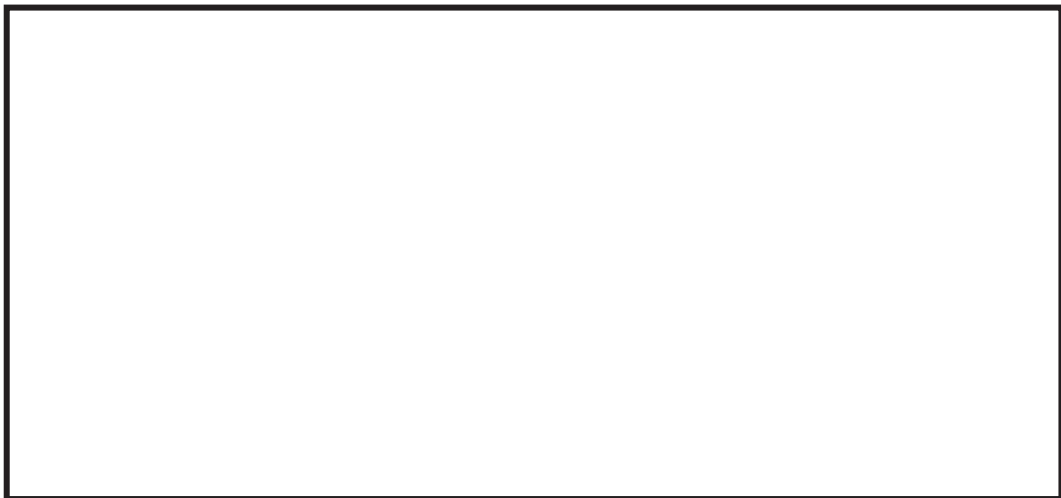
図 4-3 模擬地震波の時刻歴波形



(1) 水平 (NS) 方向 減衰定数 1.0%



(2) 水平 (EW) 方向 減衰定数 1.0%



(3) 鉛直方向 減衰定数 1.0%

図 4-4 入力波の応答スペクトル (減衰定数 1.0%)

注記* : 振動台の性能を考慮し, BOP 閉止装置の固有周期近傍の加速度に影響を及ぼさない長周期側の加速度を低減処理した入力地震動にて試験を実施する。

4.3 加振試験項目及び内容

加振試験ケースの項目，概要は以下のとおりである。各試験ケースの扉の試験体条件（BOP 閉止装置の開閉状態），加振波等を表 4-2 に示す。

(1) 振動台補償加振

目標とする入力波を精度よく振動台で再現するための振動台補償加振を行う。本試験は，重心位置と試験体重量を簡易的に模擬した試験体を搭載して行う。

(2) センサ確認試験

センサの取付方向，感度確認を行うために，各方向単独で正弦波加振を行う。

(3) 振動特性把握試験

試験体の振動特性を把握するため，～程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波による加振試験を行う。加振方向は各方向単独とし，扉の開状態及び閉状態の振動特性を確認する。なお，試験体の固有振動数が高い場合は，入力波の主要な振動数成分の範囲に固有振動数がないことを確認する。

(4) 地震波加振試験

加振方向は 3 方向同時とし BOP 閉止装置の扉の開状態及び閉状態のそれぞれで実施する。

表 4-2 試験ケース一覧 (BOP 閉止装置)

No	試験名称	試験体 条件	加振 方向	加振波	加振 レベル	備考
—	振動台補償加振	—	X+Y+Z	—	—	—
1	センサ確認試験	扉閉	X	正弦波	1.0m/s ² 程度	1~2Hz で 実施
2			Y			
3			Z			
4	振動特性把握試験	扉開	X	ランダム波* ¹	2.0m/s ² 程度	—
5			Y			
6			Z			
7	振動特性把握試験	扉閉	X	ランダム波* ¹	2.0m/s ² 程度	—
8			Y			
9			Z			
10	地震波加振試験	扉開	X+Y+Z	包絡波* ²	1.0×S _s	—
11		扉閉				—

注記*1: ～程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波で加振試験を行う。

*2: 水平, 鉛直方向毎に, 複数の基準地震動 S_s の床応答スペクトルを包絡するよう
4.2 項に示す方法にて事前に作成した模擬地震波を用いて加振試験を行う。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.4 計測要領

4.4.1 計測項目

(1) BOP 閉止装置の計測項目

計測項目は、試験体の代表的挙動を評価するための項目を計測する。計測項目を表 4-3 に示す。

表 4-3 BOP 閉止装置の計測項目

項目	計測点
加速度	・ 振動台 ・ 支持架台 ・ 扉 ・ 扉の駆動装置

4.4.2 計測位置

(1) BOP 閉止装置の計測位置

計測点は、試験体の代表的な挙動を評価する位置に設置する。表 4-4 に計測項目の一覧表を示す。

① 加速度

図 4-5 に加速度計の設置位置を示す。

4.4.3 測定計器

BOP 閉止装置の試験に使用する測定計器を表 4-5 に示す。

表 4-4 BOP 閉止装置加振試験計測項目(加速度)の一覧表 (1/2)

No.	項目	記号	測定点	方向	備考
1	加速度	A1-1	振動台 (扉 1 の下部)	X	<ul style="list-style-type: none"> 振動台上加速度を計測 振動台上の応答の確認が目的 測定点 A3, A4 の下の振動台上に設置
2				Y	
3				Z	
4		A2-1	振動台 (扉 2 の下部)	X	
5				Y	
6				Z	
7		A1-2	支持架台 (扉 1 の下部)	X	<ul style="list-style-type: none"> 支持架台上加速度を計測 ターゲットスペクトル以上で加振試験が実施されたことの確認が目的 測定点 A3, A4 の下の支持架台上に設置
8				Y	
9				Z	
10		A2-2	支持架台 (扉 2 の下部)	X	
11				Y	
12				Z	
13		A3	支持架台 (扉 1 の上部)	X	<ul style="list-style-type: none"> 支持架台上加速度を計測 支持架台による上部の応答増幅の確認が目的 支持架台の振動特性確認を兼ねる
14				Y	
15				Z	
16		A4	支持架台 (扉 2 の上部)	X	
17				Y	
18				Z	
19		A5	駆動装置 1	X	<ul style="list-style-type: none"> 駆動装置 (電動機 1 及び 2) 単体の機能維持確認済加速度の取得が目的 駆動装置 1 及び 2 の振動特性確認も兼ねる
20				Y	
21				Z	
22		A6	駆動装置 2	X	
23				Y	
24				Z	
25		A7	扉 1 の中央	X	<ul style="list-style-type: none"> 扉 1 の振動特性, 地震応答の確認が目的
26				Y	
27				Z	
28		A8	扉 1 の右上 (外梁)	X	
29				Y	
30		A9	扉 1 の左上 (外梁)	X	
31		A10	扉 1 の右下 (外梁)	X	
32				Y	

注記: 「扉 1」「扉 2」については図 4-5 に示す。

表 4-4 BOP 閉止装置加振試験計測項目(加速度)の一覧表 (2/2)

No.	項目	記号	測定点	方向	備考	
33	加速度	A11	扉 2 の中央	X	<ul style="list-style-type: none"> 扉 2 の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
34				Y		
35				Z		
36		A12	扉 2 の左上 (外梁)	X		
37				Y		
38		A13	扉 2 の右上 (外梁)	X		
39		A14	扉 2 の左下 (外梁)	X		
40				Y		
41		A15	支持架台 (駆動装置上の 梁中央)	X		<ul style="list-style-type: none"> 支持架台(駆動装置上の梁中央)の振動特性の確認が目的
42				Y		
43	Z					

表 4-5 BOP 閉止装置加振試験測定計測器一覧表

No.	用途	計測器名称	メーカー (型式)	仕様
1	動作試験 (扉開閉, 門引抜き 挿入時間測定)	ストップウォッチ		
2	動作試験 (電動機電流値測定)	クランプメータ		
3	気密性能試験	デジタル圧力計 (差圧計)		
4		デジタル圧力計 (差圧計)		
5		ガラス製 単管温度計		
6		圧力計 (絶対圧)		
7		小型流量センサ		
8		フローメータ		
9	加振試験	加速度計		
10		加速度計		

注記* : RO (Rated Output) : 定格出力

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

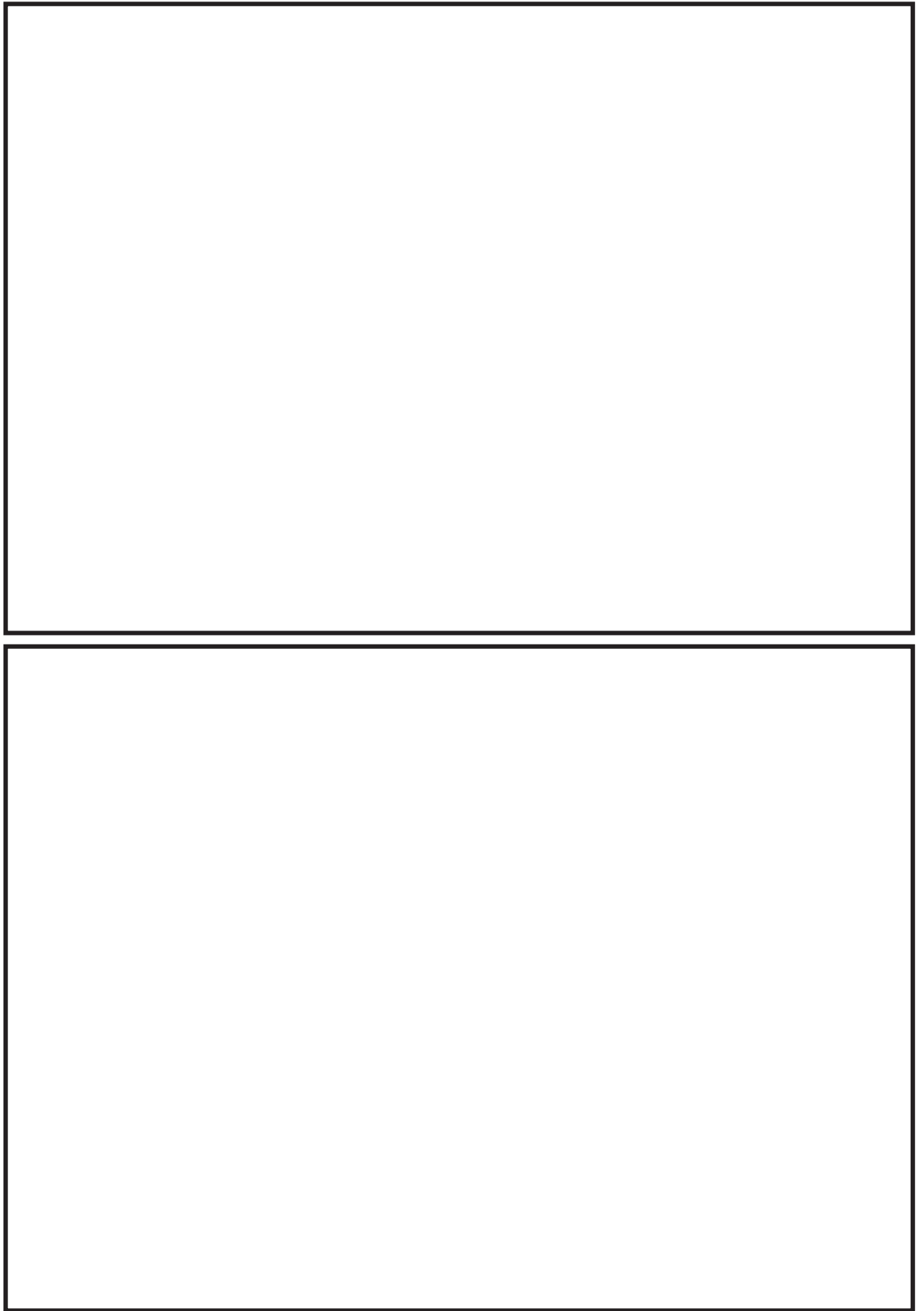


図 4-5 BOP 閉止装置加振試験加速度計の設置位置（振動台・支持架台，閉止装置）

5. 試験要領

5.1 BOP 閉止装置試験手順

目標とする入力波を精度よく振動台で再現するための振動台補償加振の後、試験体を振動台に搭載し、下記の手順で加振及び加振後の作動試験、気密性能試験を実施する。

- (1) 加振試験の準備として、センサ（加速度計）が所定の位置に設置されていることを確認する。また、測定計器の仕様が適切であることを確認する。
- (2) センサ確認試験を以下の手順で実施する。
 - ① BOP 閉止装置の扉が閉止状態であることを確認する。
 - ② 加振レベル 1.0m/s^2 程度、振動数 ～ にて、各方向単独で正弦波加振を行う。
 - ③ センサの取付方向、感度を確認する。
- (3) 振動特性把握試験を以下の手順で実施する。
 - ① BOP 閉止装置の扉が閉止状態であることを確認する。
 - ② 加振レベル 2.0m/s^2 程度にて、各方向単独で、 ～ 程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波の加振を行う。
 - ③ 試験体の固有振動数を測定し、入力波の主要な振動数成分の範囲に固有振動数の有無を確認する。
 - ④ BOP 閉止装置の扉を開放状態とし、(3)②、③を実施する。

【BOP 閉止装置の扉開放状態における加振試験】

- (4) 地震波加振試験を以下の手順で実施する。
 - ① BOP 閉止装置の扉が開放状態であることを確認する。
 - ② センサ取付状況及び試験体の外観目視点検を行い、異常のないことを確認する。
 - ③ 3方向同時加振の包絡波による地震波で加振する。
 - ④ 加振後、採取データを確認する。
 - ⑤ 作動試験（扉開から閉操作のみ）を「5.3.1 作動確認」のとおり実施する。
 - ⑥ 気密性能試験を「5.2(1) 気密性能試験」のとおり実施する。
 - ⑦ 作動試験を「5.3.1 作動確認」のとおり実施する。

【BOP 閉止装置の扉閉止状態における加振試験】

BOP 閉止装置の扉を閉止状態とし、加振試験を実施する。試験内容については 5.1(4)と同様である。

5.2 気密性能試験について

(1) 気密性能試験

ASTM E283-4 (Standard Test Method for Determining Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen) に準じた装置を用いて実施する。排風機により試験容器内の空気を排出することにより試験体前後に圧力差を生じさせ、試験体のシール部から試験容器へ流入する通気量を測定する。

図 5-1 に BOP 閉止装置気密性能試験装置図、図 5-2 に BOP 閉止装置試験体の内のり寸法図を示す。

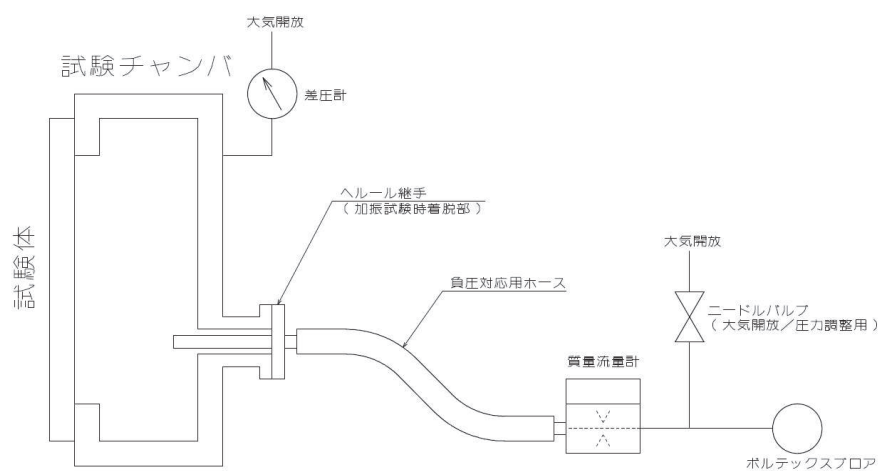


図 5-1 BOP 閉止装置気密性能試験装置図



図 5-2 BOP 閉止装置試験体の内のり寸法図

試験体を通過した空気量 Q (m^3/h) は、風速計の風速 V (m/s)、風量測定管の直径 d (m) から算出する。

$$Q = V \times \frac{\pi \times d^2}{4} \times 3600$$

試験手順は、「JIS A 1516 (建具の気密性試験方法) 6.3 試験手順」に準じて (ただし、予備加圧後の開閉確認は省略する。), 負圧での圧力差 , , , , , と上げ, , , , , と下げていく* (保持時間 1 分)。通気方向は 1 方向 (負圧) とする。(図 5-3 負圧試験線図)

注記* : 負圧を維持できる範囲で試験を実施する。



図 5-3 負圧試験線図

試験により得られた試験体を通過した空気量 Q (m^3/h) を、標準状態 (20°C , 1013hPa) に換算し、扉の内側の面積 (m^2) で除すことにより、単位面積当たり、1 時間当たりの通気量 ($\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$) として算出する。圧力差に応じた通気量の推移を確認する。

$$q = Q' / A$$

ここで、

q : 通気量 ($\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$)

A : 試験体の内側の面積 (m^2)

Q' : 通過した空気量 (20°C , 1013hPa 換算値) (m^3/h)

$$Q' = Q \cdot \frac{P}{1013} \cdot \frac{273+20}{273+T}$$

P : 試験容器内の気圧 (hPa)

T : 試験時の空気温度 ($^\circ\text{C}$)

(2) 判定基準

通気量 : 以下*¹ (差圧 63Pa *² 時)

注記*¹: 閉止装置単体の判定基準 (設計目標) としては、JIS A 1516 で示される A4 等級以上とする。なお、原子炉建屋原子炉棟全体としての気密性能は確保できることを確認する。試験体は、実機に取り付ける全ての閉止装置を考慮し、各々の縦・横寸法を包絡する大きさと製作することにより試験の保守性を確保する。

*²: 非常用ガス処理系の運転により維持される、原子炉建屋原子炉棟内の負圧値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.3 作動確認について

5.3.1 作動確認

(1) BOP 閉止装置

【電動作動確認】

BOP 閉止装置の門引抜きから扉開閉，門挿入の一連の動作を扉の作動確認として，動作可能であることを確認する。併せて，作動時に電動機が定格電流値以下であることを確認するため，電流値及び開閉時間を測定する。なお，開操作と閉操作は原則各 1 回とするが，初期状態との差異があると判断した場合は，各 5 回計測し，最も保守的な値を判定基準に用いる。なお，電動作動時間については次のとおりとする。

- ・連動動作(扉閉):操作盤の自動閉スイッチを押してから，門が引抜かれ，扉が閉止動作を行い，門が挿入され，操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間
- ・連動動作(扉開):操作盤の自動開スイッチを押してから，門が引抜かれ，扉が開放動作を行い，門が挿入され，操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間

また，BOP 閉止装置の門が引抜き，挿入できることを確認する。併せて，作動時に電動機が定格電流値以下であることを確認するため，電流値及び開閉時間を測定する。なお，開操作と閉操作は原則各 1 回とするが，初期状態との差異があると判断した場合は，各 5 回計測し，最も保守的な値を判定基準に用いる。なお，電動作動時間については次のとおりとする。

- ・門引抜き時間 :操作盤の門引抜きのスイッチを押してから門が引抜かれ，操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間
- ・門挿入時間 :操作盤の門挿入のスイッチを押してから門が挿入され，操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間

【手動作動確認】

BOP 閉止装置の扉が開放状態での加振後、手動操作により門を引抜き、扉閉止、門を挿入できることを確認する。



図 5-4 BOP 閉止装置手動操作概念図

5.3.2 判定基準

(1) BOP 閉止装置

【電動作動確認】

○扉

電動駆動により開閉できること。

扉の閉止 : 全閉位置であること。

開閉時間 : 秒以内

電流値 : 定格電流値以内であること。

※作動試験時の電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に、原因特定するための参考情報として取得する。

○門

門駆動用電動機により門が引抜き、または挿入できること。

門の位置 : 門が挿入又は引抜き位置であること。

動作時間 : 秒以内

電流値 : 定格電流値以内であること。

※作動試験時の電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に、原因特定するための参考情報として取得する。

【手動作動確認】

手動操作により、門を引抜き、扉の閉止又は開放、門を挿入の一連の動作ができること。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験結果について

1. 試験結果

「試験要領」に基づき実施した原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）の試験結果概要を表 1-1 に示す。

表 1-1 BOP 閉止装置試験結果概要

区分	No	試験項目	目的／試験内容	結果
事前確認	1	センサ確認	加速度センサの動作確認	完了
	2	振動特性試験	ランダム波による振動特性確認	完了
作動確認 (加振無)	3	作動試験	電動での閉止装置作動確認	良好
気密性能確認 (加振無)	4	気密性能試験	気密性能確認	良好
加振試験	5	加振試験 S _s (扉開) ・作動確認 ・気密性能試験	・加振→扉閉操作 (門含む。) →気密性能確認 ・電動での扉開閉確認 (門含む。) ・手動での開閉操作	良好
	6	加振試験 S _s (扉閉) ・作動確認 ・気密性能試験	・加振→気密性能確認 ・電動での扉開閉確認 (門含む。)	良好

2. 固有振動数

BOP 閉止装置及び支持架台の固有振動数を確認するため、扉が開状態と閉状態時に、各方向 (X, Y, Z 方向) 単独で、～程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波 (加振レベル 2.0m/s²程度) で加振し、BOP 閉止装置及び支持架台の固有振動数を確認した。BOP 閉止装置及び支持架台の固有振動数確認結果として、扉開状態及び扉閉状態では、面外方向、面内方向及び鉛直方向ともに明確な振動数ピークは確認されず、扉及び支持架台の固有振動数は 以上と評価した。扉の固有振動数を図 2-1、支持架台の固有振動数を図 2-2 に示す。

なお、左右の扉及び支持架台の振動特性はほぼ同等であるため、向かって左側の扉及

び支持架台（扉：加速度計 A7，支持架台：加速度計 A3）の振動特性把握結果を代表として示す。

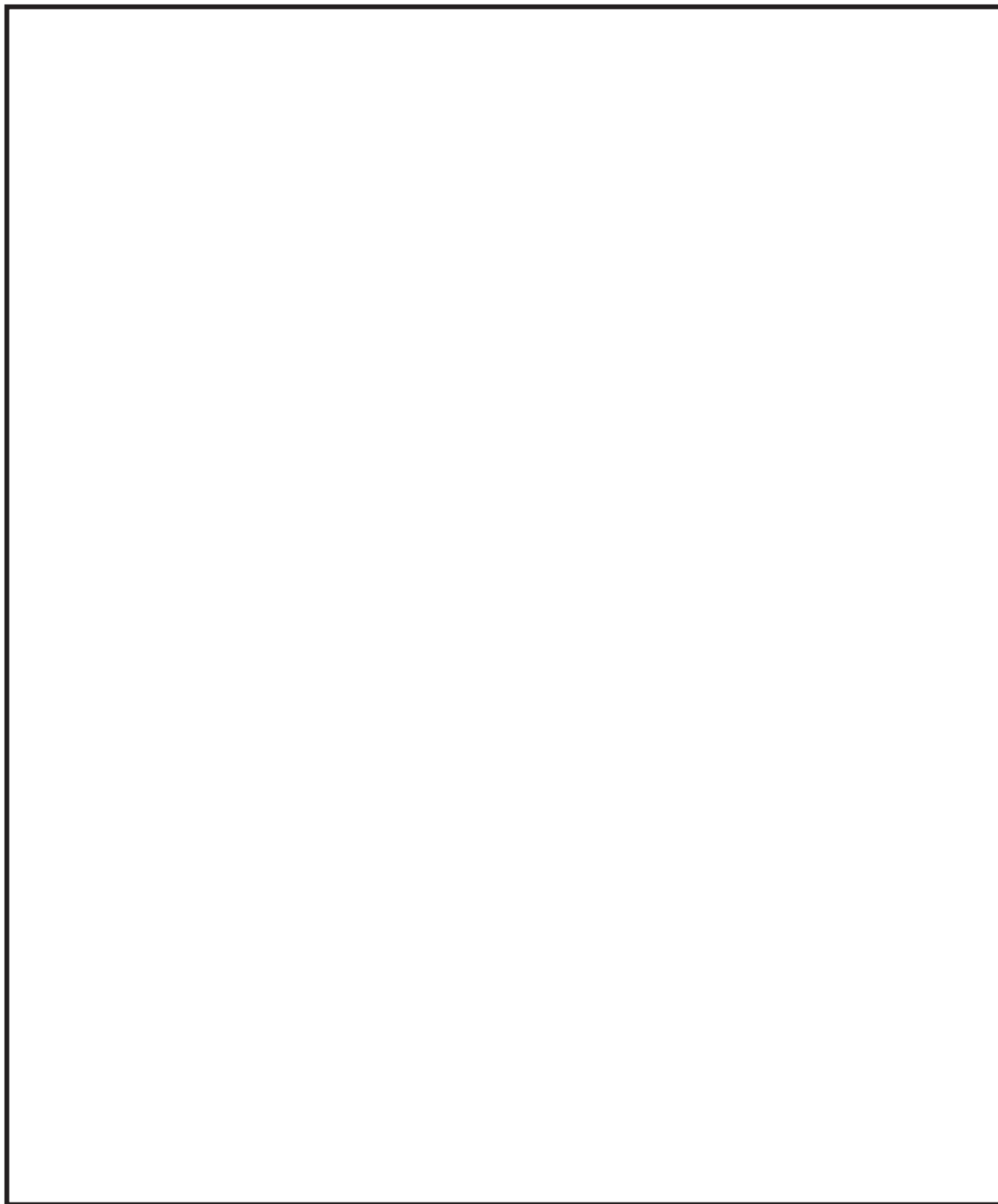


図 2-1 BOP 閉止装置の固有振動数

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

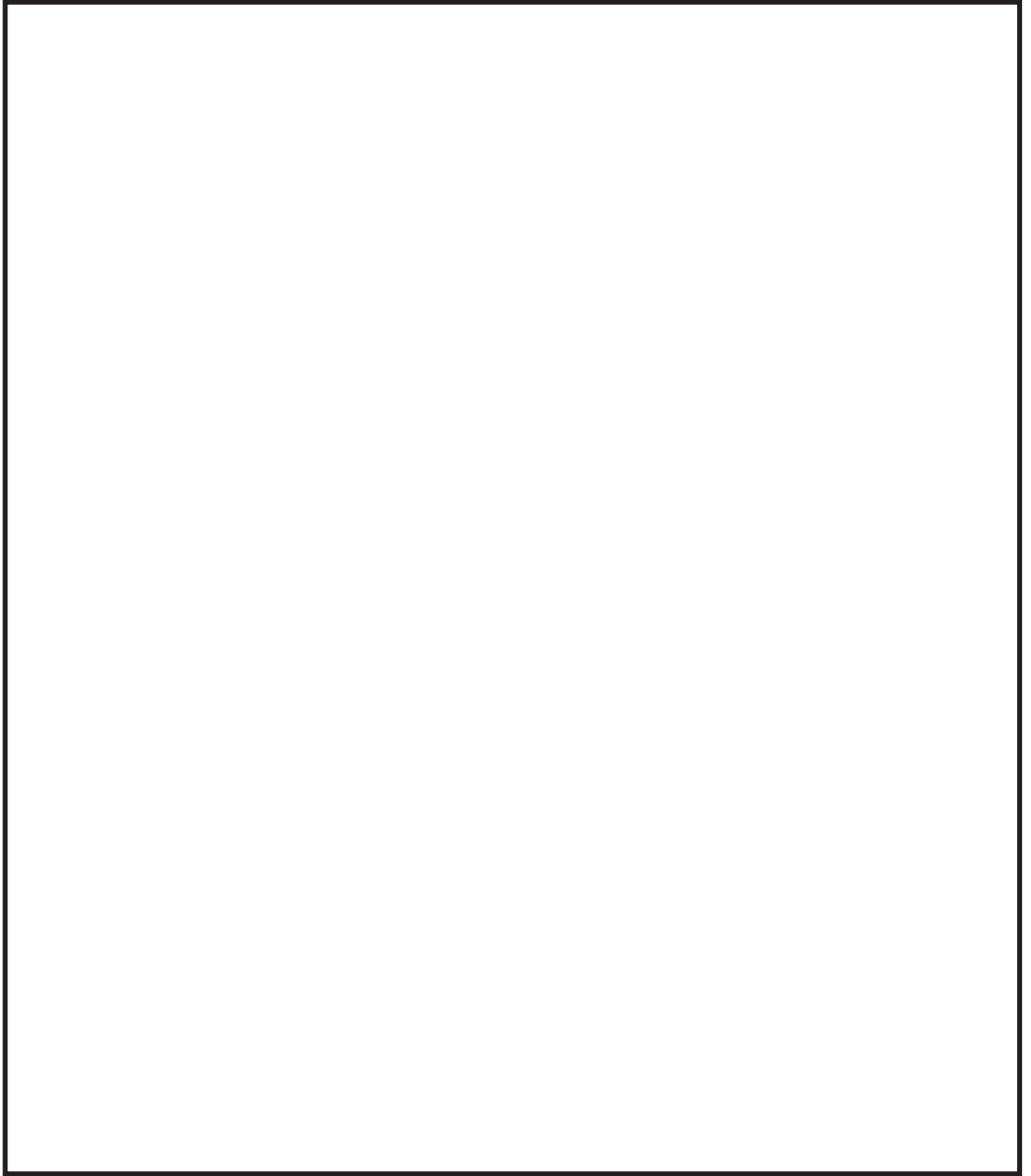


図 2-2 支持架台の固有振動数

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 加振試験加速度の妥当性

(1) BOP 閉止装置

BOP 閉止装置の上部及び下部の最大加速度は、S s 包絡条件を超えており、必要な加振がされていることを確認した。加振レベル S s の加速度結果を以下の表 3-1 から表 3-8 に示す。また加振時の応答スペクトルが設計応答スペクトルを概ね超えていることを確認した。短周期側では設計応答スペクトルを包絡していない僅かな周期帯があるが、BOP 閉止装置は固有振動数が 以上の剛構造であり、表 3-1 から表 3-8 に示す最大加速度が S s 包絡条件を上回っているから問題ない。応答スペクトルの測定結果を図 3-1 から図 3-8 に示す。

表 3-1 扉「開」上部の加速度評価 (試験 No. 5)

方向	S s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A3 (扉上部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	2.71	<input type="checkbox"/>	○
Y		<input type="checkbox"/>	○
Z	1.56	<input type="checkbox"/>	○

表 3-2 扉「開」下部の加速度評価 (試験 No. 5)

方向	S s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A1 (扉下部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	2.55	<input type="checkbox"/>	○
Y		<input type="checkbox"/>	○
Z	1.53	<input type="checkbox"/>	○

表 3-3 扉「開」上部の加速度評価 (試験 No. 5)

方向	S s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A4 (扉上部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	2.71	<input type="checkbox"/>	○
Y		<input type="checkbox"/>	○
Z	1.56	<input type="checkbox"/>	○

表 3-4 扉「開」下部の加速度評価 (試験 No. 5)

方向	S s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A2 (扉下部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	2.55	<input type="checkbox"/>	○
Y		<input type="checkbox"/>	○
Z	1.53	<input type="checkbox"/>	○

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-5 扉「閉」上部の加速度評価（試験 No. 6）

方向	S s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A3 (扉上部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	2.71	<input type="checkbox"/>	○
Y		<input type="checkbox"/>	○
Z	1.56	<input type="checkbox"/>	○

表 3-6 扉「閉」下部の加速度評価（試験 No. 6）

方向	S s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A1 (扉下部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	2.55	<input type="checkbox"/>	○
Y		<input type="checkbox"/>	○
Z	1.53	<input type="checkbox"/>	○

表 3-7 扉「閉」上部の加速度評価（試験 No. 6）

方向	S s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A4 (扉上部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	2.71	<input type="checkbox"/>	○
Y		<input type="checkbox"/>	○
Z	1.56	<input type="checkbox"/>	○

表 3-8 扉「閉」下部の加速度評価（試験 No. 6）

方向	S s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A2 (扉下部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	2.55	<input type="checkbox"/>	○
Y		<input type="checkbox"/>	○
Z	1.53	<input type="checkbox"/>	○

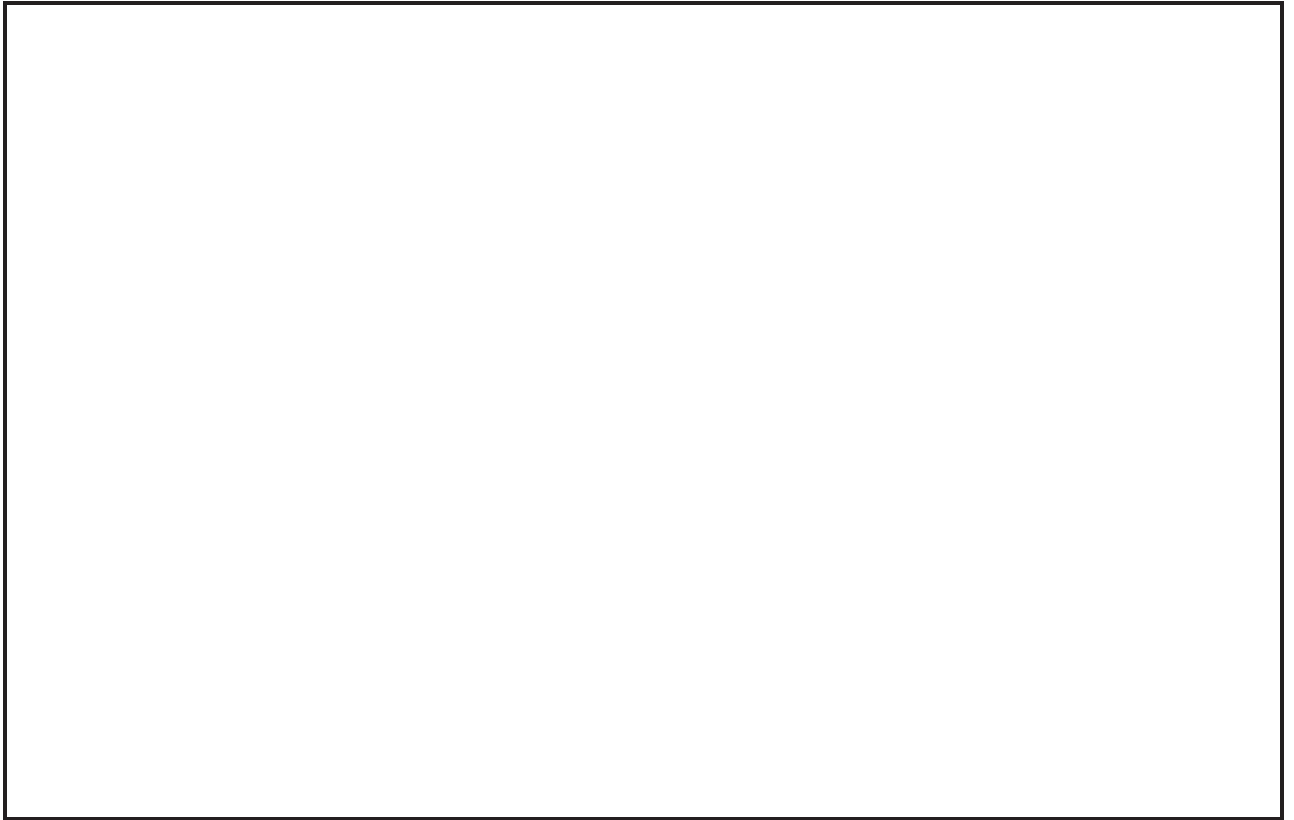


図 3-1 扉開 上部 (A3) 測定結果 (試験 No. 5) 図 3-2 扉開 下部 (A1) 測定結果 (試験 No. 5)

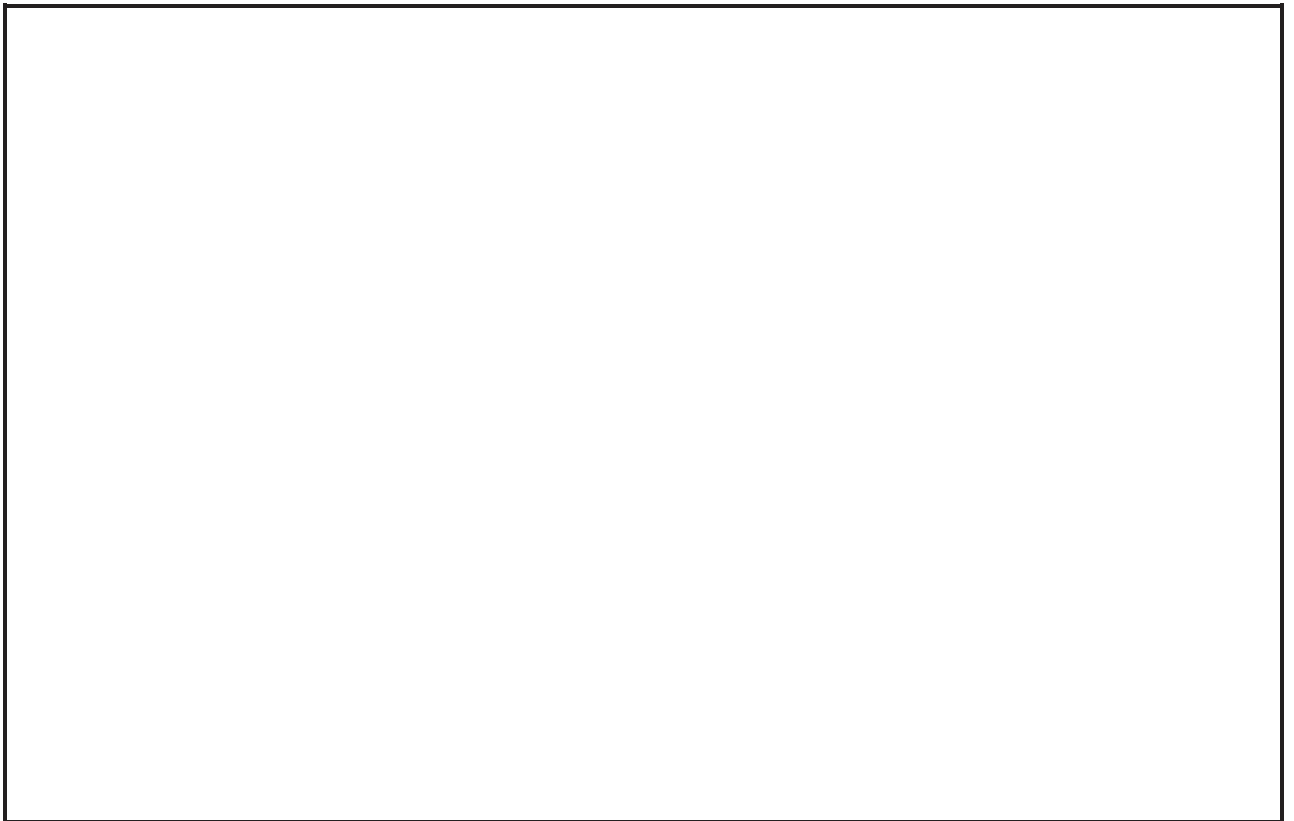


図 3-3 扉開 上部 (A4) 測定結果 (試験 No. 5) 図 3-4 扉開 下部 (A2) 測定結果 (試験 No. 5)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

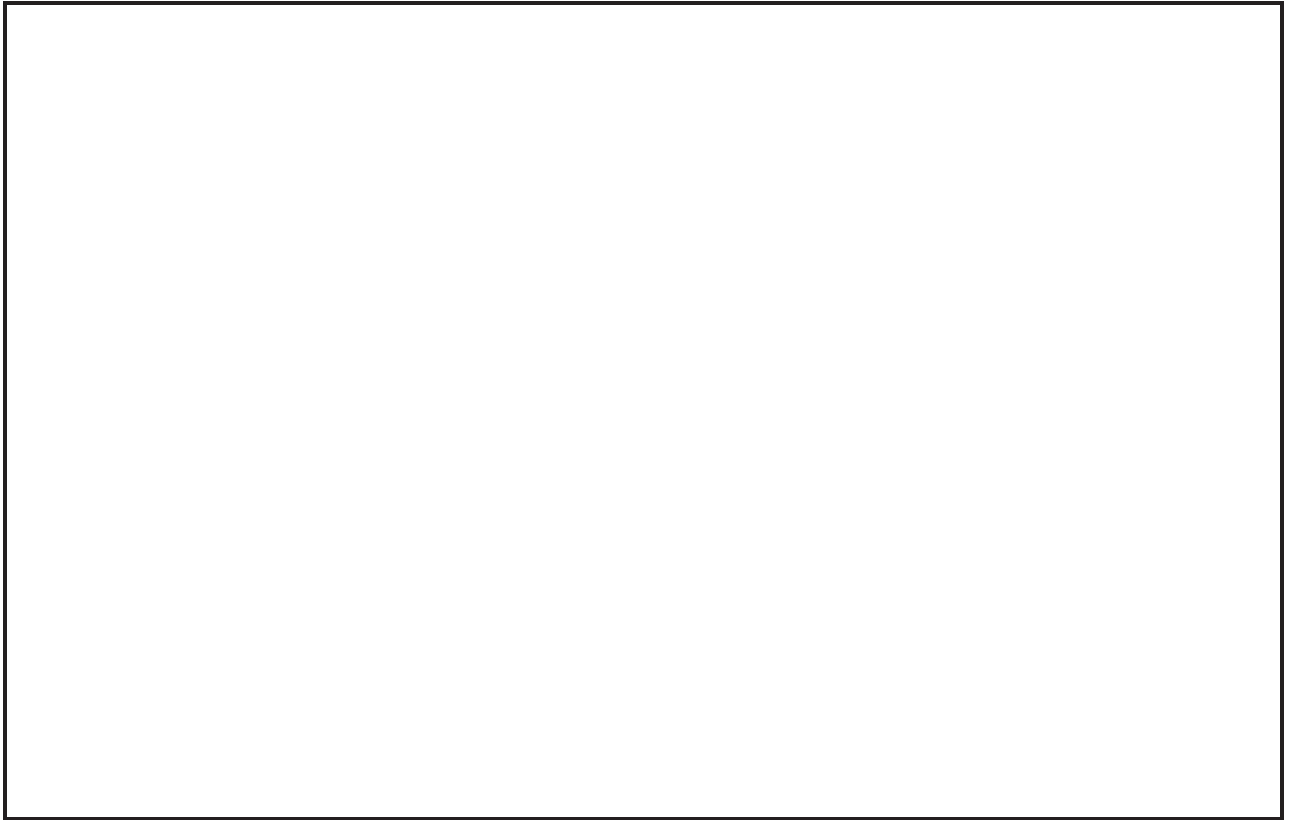


図 3-5 扉閉 上部 (A3) 測定結果 (試験 No. 6) 図 3-6 扉閉 下部 (A1) 測定結果 (試験 No. 6)

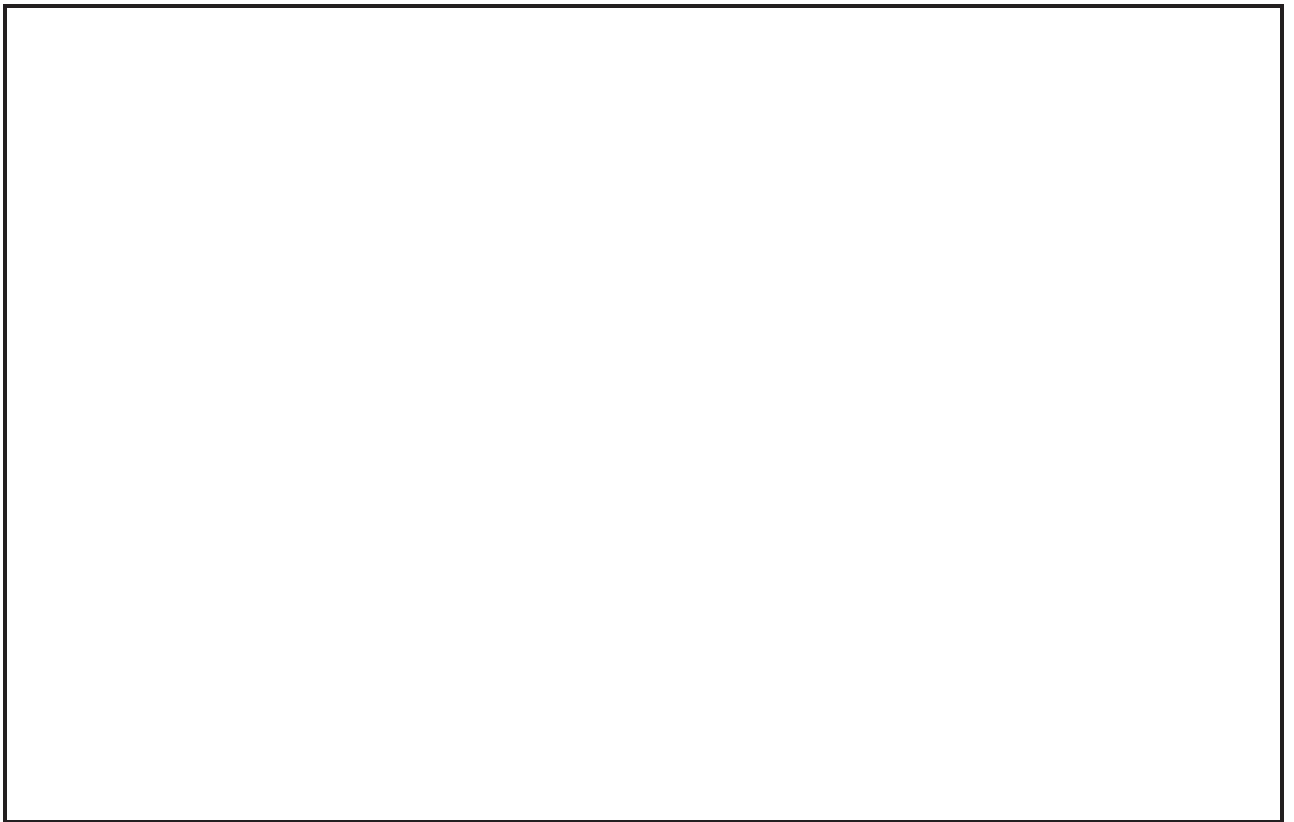


図 3-7 扉閉 上部 (A4) 測定結果 (試験 No. 6) 図 3-8 扉閉 下部 (A2) 測定結果 (試験 No. 6)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 加振試験結果

4.1 気密性能試験結果

BOP 閉止装置気密性能試験の初期状態及び加振後については表 4-1 のとおり。加振後の漏えい量も十分に小さく、原子炉建屋ブローアウトパネル部に適用し、既設原子炉建屋原子炉棟のインリーク量を考慮した場合でも、原子炉建屋原子炉棟としての気密性能（負圧）は十分に確保できることを確認した。

表 4-1 BOP 閉止装置の気密性能試験

試験条件		通気量 [m ³ /(h・m ²)] (63Pa*時)	備考
扉	加振		
開	初期状態	□	扉を閉止して試験実施
開	S s	□	加振後に扉を閉止し試験
閉		□	扉閉状態での加振後の状態で試験

注記*：非常用ガス処理系の運転により維持される、原子炉建屋原子炉棟内の負圧値を示す。

<原子炉建屋原子炉棟としての負圧達成について>

今回の BOP 閉止装置の気密性能試験結果から、本装置を原子炉建屋ブローアウトパネル部に設置した場合の原子炉建屋原子炉棟の負圧達成可否について評価した結果、非常用ガス処理系定格容量（2500m³/h）は、推定インリーク量□を十分に上回るため、非常用ガス処理系にて 63Pa 以上の負圧達成可能である。

また、設置許可において、非常用ガス処理系による原子炉建屋原子炉棟の負圧達成評価を実施しており、SGTS 排風機流量 2500m³/h に対し、□（原子炉建屋内部空間容積の 50%/日）の原子炉建屋原子炉棟へのインリーク量を想定しても、非常用ガス処理系排風機起動後、10 分以内に 63Pa 以上の負圧達成可能なことを確認している。今回算出した想定インリーク量□は、この評価に包絡されるため、10 分以内に 63Pa 以上の負圧達成可能である。

・既設原子炉建屋原子炉棟の推定インリーク量*：約 2130m³/h@63Pa

・BOP 閉止装置一式（24 台）設置時の推定インリーク量：

$$\square \times 24 \text{ 台} \times \square = \square @ 63\text{Pa}$$

・非常用ガス処理系定格容量：2500m³/h@63Pa

・BOP 閉止装置設置時の原子炉建屋原子炉棟の推定漏えい量：

$$2130\text{m}^3/\text{h} + \square = \square @ 63\text{Pa} < 2500\text{m}^3/\text{h} @ 63\text{Pa}$$

（非常用ガス処理系定格容量）

注記*：既設原子炉建屋原子炉棟の推定インリーク量については定期検査時の原子炉建屋原子炉棟気密性能検査時の記録のなかで、最もインリーク量が多かったものを採用した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 扉作動試験

(1) BOP 閉止装置

BOP 閉止装置加振前後の扉作動試験の結果は表 4-2, 表 4-3 のとおり。作動時間, 電流値ともに設計目標値を満足しており, 問題ないことを確認した。なお, 扉の動作時間は, 操作盤の自動開閉スイッチを押してから, 門が引抜かれ, 扉が開閉動作を行い, 門が挿入され, 操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間とする。

表 4-2 BOP 閉止装置加振前の扉作動試験結果

扉 (初期状態)	電動		手動
	時間	電流値*	
	<input type="text"/> 秒以内 (目標値)	<input type="text"/> A以内 (定格値)	
開放→閉止	<input type="text"/> 秒	<input type="text"/>	—
閉止→開放	<input type="text"/> 秒	<input type="text"/>	

注記*: 電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に, 原因特定するための参考情報として取得した。

表 4-3 BOP 閉止装置加振後の扉作動試験結果

試験 条件	扉 (初期状態)	電動				手動
		開放→閉止		閉止→開放		
		時間	電流値* ¹	時間	電流値* ¹	
		<input type="text"/> 秒以内 (目標値)	<input type="text"/> A以内 (定格値)	<input type="text"/> 秒以内 (目標値)	<input type="text"/> A以内 (定格値)	
S s	開	<input type="text"/> 秒	<input type="text"/>	<input type="text"/> 秒	<input type="text"/>	異常なし* ²
	閉	<input type="text"/> 秒	<input type="text"/>	<input type="text"/> 秒	<input type="text"/>	

注記*1: 電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に, 原因特定するための参考情報として取得した。

*2: 手動操作は開放→閉止について実施した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 門作動試験

(1) BOP 閉止装置

BOP 閉止装置加振前後の門作動試験の結果は表 4-4、表 4-5 のとおり。作動時間、電流値ともに設計目標値を満足しており、問題ないことを確認した。

表4-4 BOP閉止装置加振前の門作動試験結果

扉位置	電動				手動	
	引抜き時		挿入時		引抜き時	挿入時
	時間	電流値*	時間	電流値*		
	□ 秒以内 (目標値)	□ A以内 (定格値)	□ 秒以内 (目標値)	□ A以内 (定格値)		
扉開側	□ 秒	□	□ 秒	□	—	
扉閉側	□ 秒	□	□ 秒	□		

注記*：電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に、原因特定するための参考情報として取得した。

表4-5 BOP閉止装置加振後の門作動試験結果

試験条件	扉 (初期状態)	扉位置	電動				手動	
			引抜き時		挿入時		引抜き時	挿入時
			時間	電流値*	時間	電流値*		
			□ 秒以内 (目標値)	□ A以内 (定格値)	□ 秒以内 (目標値)	□ A以内 (定格値)		
S s	開	扉開側	□ 秒	□	□ 秒	□	異常なし	
		扉閉側	□ 秒	□	□ 秒	□		
	閉	扉開側	□ 秒	□	□ 秒	□	—	
		扉閉側	□ 秒	□	□ 秒	□		

注記*：電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に、原因特定するための参考情報として取得した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置 加振試験体と実機との差異について

1. 概要

原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）の加振試験体と実機との差異について説明する。

2. 加振試験体と実機との差異

BOP 閉止装置の加振試験体と実機との差異を表 2-1 に示す。

表 2-1 BOP 閉止装置の加振試験体と実機との差異

項目		加振試験体	実機	
駆動部	扉駆動部	取付位置	扉と同一側に設置	
		サイズ	☐	
	手動操作用カバー取付位置	扉正面側 (屋外)	扉反対側 (原子炉建屋原子炉棟内)	
	扉駆動用電動機仕様	過熱保護装置	あり	なし
		閘駆動用電動機仕様	過熱保護装置 あり	過熱保護装置 なし
閘部	閘ピン受	☐	☐	
	閘ピン受取付ボルト	☐	☐	
丁番部	丁番ブラケット	☐	☐	
	丁番ブラケット取付ボルト	☐	☐	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 差異の詳細について

3.1 駆動部について

3.1.1 扉駆動部及び手動操作用カバー

扉駆動部及び手動操作用カバーの概要図を図 3-1 に示す。メンテナンス性の向上を目的として、加振試験体では屋外に取り付けている扉駆動部及び手動操作用カバーを、実機では原子炉建屋原子炉棟内に取付位置を変更している。

また、メンテナンス性の向上を目的として、加振試験体では別に設置していた電気配線の中継ボックス（端子台）を、実機では扉駆動部内に移して一体化したことにより、扉駆動部の高さを変更している。

図 3-2 に示すように加振試験体及び実機について扉駆動部の内部の電動機及び減速機の取付構造には変更がなく、扉駆動部カバーのサイズのみの変更であるため、荷重伝達経路の違いはない。また手動操作用カバーに関しても、図 3-1 に示すように取付構造には変更がなく、取付位置のみの変更であるため、荷重伝達経路の違いはない。なお、扉駆動部カバーは枠板を介して架台に直接取り付けられており扉に影響ないこと、及び手動操作用カバーの質量の増加は 1kg 未満であり、扉の重心位置への影響も小さいことから、BOP 閉止装置全体の振動特性への影響は小さい。

以上より、本変更に伴う耐震性への影響はない。

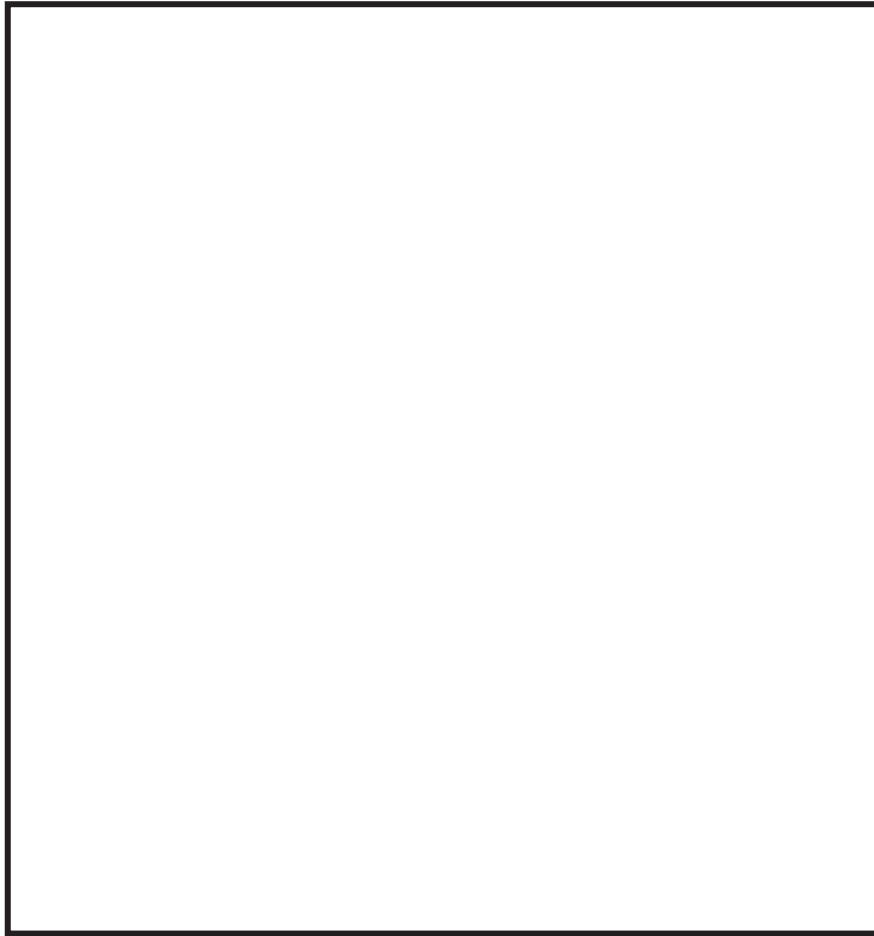


図 3-1 扉駆動部及び手動操作用カバーの概要図

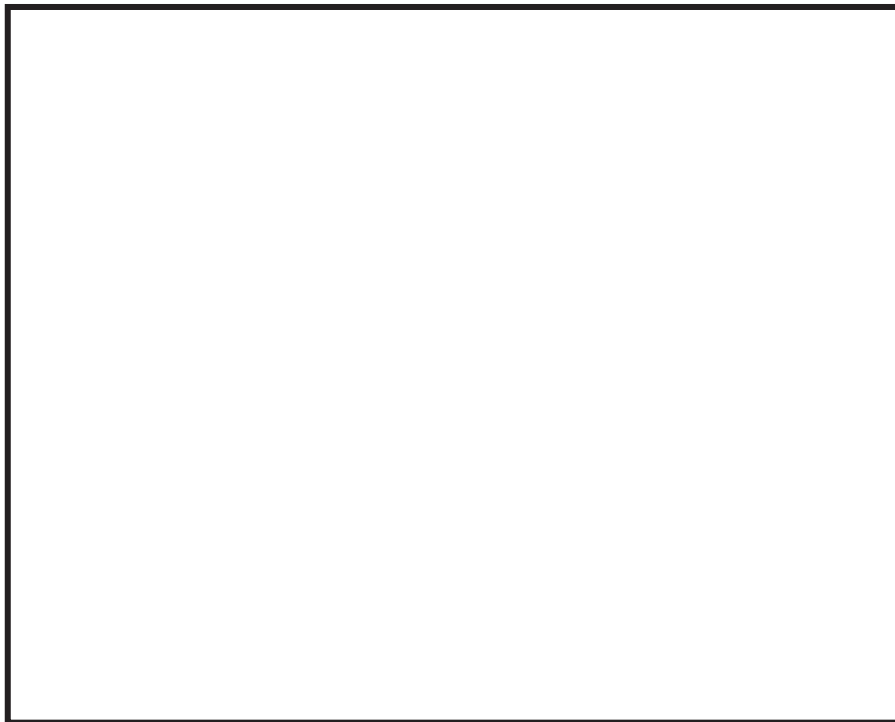


図 3-2 扉駆動部の取付構造の概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.1.2 電動機の仕様について

(1) 扉駆動用電動機について

扉駆動用電動機の温度耐性の向上を目的として、実機では加振試験体から電動機の過熱保護装置の仕様を変更している。

加振試験体及び実機での取付構造には変更がなく、荷重伝達経路の違いはない。また、電動機変更に伴う質量の増加はなく、扉の重心位置への影響は小さいため、BOP 閉止装置全体の振動特性への影響は小さい。そのため、電動機変更による構造強度への影響はない。また、別途加振試験を実施して、電動機変更に伴う動的機能への影響がないことを確認した。別紙に電動機に加振試験の詳細を示す。

以上より、本変更に伴う耐震性への影響はない。

(2) 門駆動用電動機について

門駆動用電動機の温度耐性及び作動性向上を目的として、実機では加振試験体から電動機の過熱保護装置及び減速比の仕様を変更している。

加振試験体及び実機での取付構造には変更がなく、荷重伝達経路の違いはない。また、電動機変更に伴う質量の増加はなく、扉の重心位置への影響は小さいため、BOP 閉止装置全体の振動特性への影響は小さい。そのため、電動機変更による構造強度への影響はない。また、別途加振試験を実施して、電動機変更に伴う動的機能への影響がないことを確認した。別紙に電動機に加振試験の詳細を示す。

以上より、本変更に伴う耐震性への影響はない。

また、減速比の変更により、実機の門及び扉の性能目標時間が加振試験体から変更になっている。表 3-1 に加振試験体と実機での性能目標時間を示す。減速比の変更により、性能目標時間は長くなっているが、閉止要求時間である 5 分に対しては十分に余裕があるために、動作性能への影響はない。

表 3-1 加振試験体と実機の性能目標時間の差異

電動機種別	加振試験体	実機
扉	□秒以内	□秒以内
門	□秒以内	□秒以内

3.2 門部について

門部の構造を図 3-3 に示す。構造強度の向上を目的として、実機では門ピン受の長さ及び門ピン受取付ボルトの材料を加振試験体から変更している。

加振試験体及び実機ともに、門ピン受は門ピン受取付ボルトを介して、扉に取付けられているため、取付構造に差異はなく、荷重伝達経路の違いはない。また、構造変

更に伴う質量の増加は1箇所当たり1kg程度であり、扉の重心位置への影響も小さいことから、BOP閉止装置全体の振動特性への影響は小さい。

以上より、本変更に伴う耐震性への影響はない。



図 3-3 門部の構造

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.3 丁番部について

丁番部の構造を図 3-4 に示す。構造強度の向上を目的として、実機では丁番ブラケット取付ボルトのボルト径を加振試験体から変更している。また、ボルト径の変更に伴い、実機では丁番ブラケットの厚さも変更している。

加振試験体及び実機ともに、丁番ブラケットは丁番ブラケット取付ボルトを介して、扉に取付けられているため、取付構造に差異はなく、荷重伝達経路の違いはない。また、構造変更に伴う質量の増加は 1 箇所当たり 1kg 未満であり、扉の重心位置への影響も小さいことから、BOP 閉止装置全体の振動特性への影響は小さい。

以上より、本変更に伴う耐震性への影響はない。



図 3-4 丁番部の構造

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置 電動機仕様の変更による影響について

1. 概要

原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）に使用する扉駆動用電動機及び門駆動用電動機は、温度耐性の向上を目的として仕様を変更している。本書では、仕様の変更による影響を確認するために実施した各電動機の単品加振試験及びそれらを組み込んだ BOP 閉止装置の実機大モックアップによる動作試験の要領並びに結果を示す。

2. 試験場所

2.1 電動機単品加振試験

I M V 株式会社 東京テストラボ 上野原サイト 高度試験センター
山梨県上野原市八ツ沢 2193-28 東京西工業団地

2.2 動作試験

株式会社 熊平製作所
広島県広島市南区宇品東 2-1-42

3. 試験項目

3.1 BOP 閉止装置の要求機能

重大事故等対処設備である BOP 閉止装置は、重大事故等時に、中央制御室の居住性を確保するために原子炉建屋原子炉棟に設置された原子炉建屋 BOP 部を閉止する必要がある場合、この開口部を容易かつ確実に閉止操作することを目的に設置されている。

このため、容易かつ確実に閉止操作する機能が必要であり、閉止後は、原子炉建屋原子炉棟の壁の一部となることから、非常用ガス処理系により原子炉建屋原子炉棟を負圧に維持できる気密性を保持できることが必要である。なお、扉開状態（待機状態）では基準地震動 S s 後においても、作動性及び扉閉止後の原子炉建屋原子炉棟を負圧に維持できる気密性を保持できるようにする必要がある。

また、BOP 閉止装置は扉閉止後、原子炉建屋原子炉棟の壁の一部となることから、必要な気密性を確保し閉止状態を維持する機能が必要である。この機能は、基準地震動 S s により損なわないようにする必要がある。

なお、BOP 閉止装置は現場において人力による操作が可能なものとする必要がある。

3.2 電動機の要求機能

3.1 項に示す BOP 閉止装置の要求機能のうち、扉駆動用電動機及び門駆動用電動機に対して要求される機能は、地震後に正常に動作することである。

3.3 加振条件

BOP 閉止装置の設置位置における基準地震動 S_s に対する設計用震度を上回るように設定された加振波を用いて加振を行う。

4. 試験概要

3.3 項にて示す方針に基づき設定した加振波による電動機の単品加振試験を実施し、単品加振後の電動機を BOP 閉止装置の実機大モックアップに組み込んだ状態で、電動及び手動による動作試験において電動機の機能目標を満足していることを確認することで、電動機変更後も BOP 閉止装置は要求機能を満足していることを確認する。添付書類「VI-1-1-6 別添 4 ブローアウトパネル関連設備の設計方針」（以下「別添 4」という。）に記載した実機大モックアップによる加振試験及び動作試験と今回実施した試験の関係性について図 4-1 に示す。

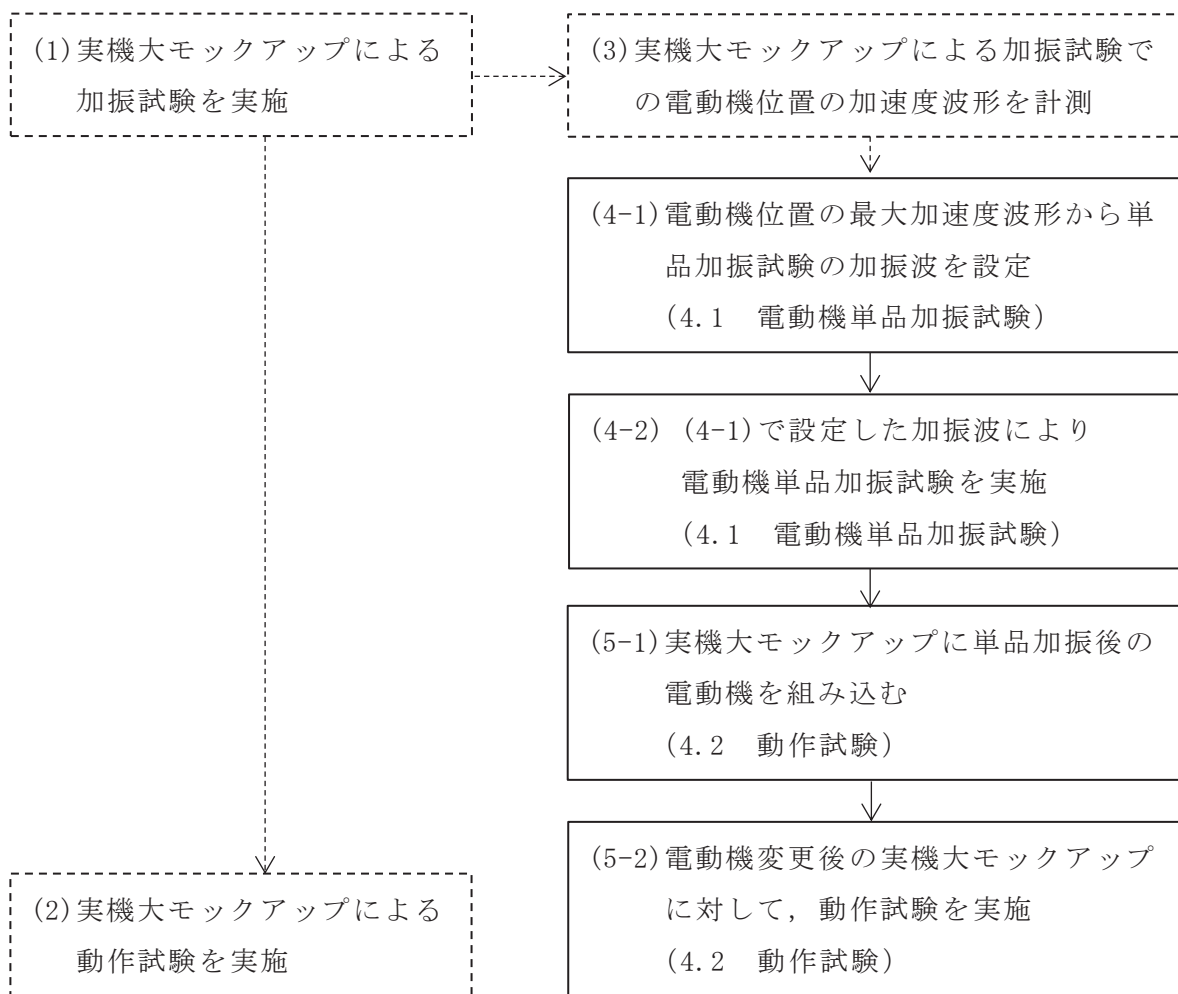


図 4-1 実機大モックアップ試験と今回実施した試験の関係性について

4.1 電動機単品加振試験

扉駆動用電動機単品加振試験の概要を図 4-2 に、門駆動用電動機単品加振試験の概要を図 4-3 に示す。試験体は、電動機及び電動機取付用の試験治具で構成し、振動台に設置する。



図 4-2 扉駆動用電動機単品加振試験の概要

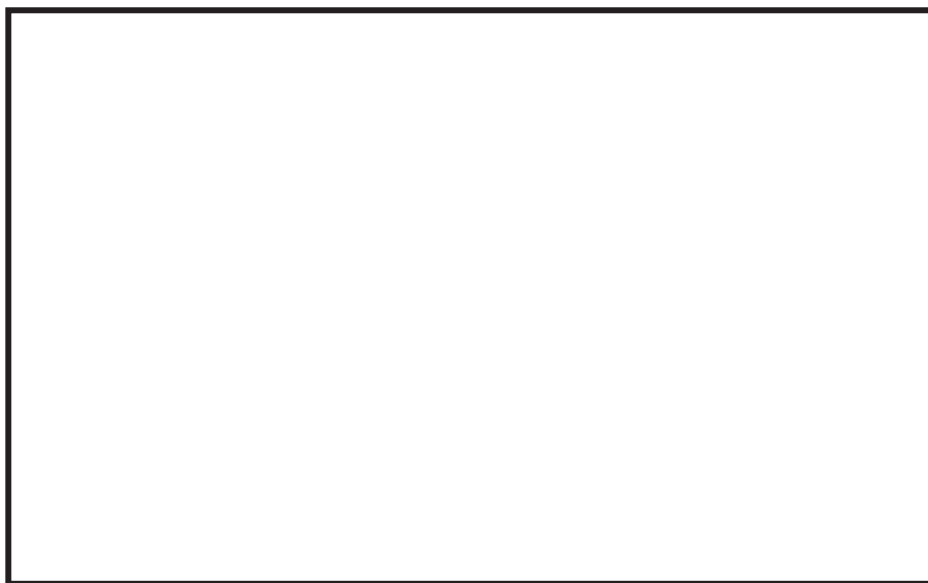


図 4-3 門駆動用電動機単品加振試験の概要

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 動作試験

4.1 項に示す電動機単品加振試験実施後，BOP 閉止装置の実機大モックアップに扉駆動用電動機及び門駆動用電動機を組み込み，動作試験を実施することで扉本体及び門の作動性が確保されていることを確認する。BOP 閉止装置の実機大モックアップの概要図を図 4-4 に示す。ここで，動作試験は電動及び手動にて実施する。



図 4-4 BOP 閉止装置の実機大モックアップの概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 加振試験

5.1 加振装置の概要

振動台の上に試験体を設置し、加振する。表 5-1 に振動台の仕様、図 5-1 に振動台の概要図を示す。

表 5-1 振動台の仕様

振動台寸法	1m×1m
最大積載質量	1000kg
最大加速度	・ 正弦波 857m/s ² ・ ランダム波 600m/s ² rms ・ ショック波* 1714m/s ² peak
最大速度	・ 正弦波 2.4m/s ・ ショック波* 4m/s peak
最大変位	100mmp-p

注記*：JIS C 60068-2-27：2011「環境試験方法－電気・電子－第 2-27 部：衝撃試験方法」に示されている衝撃振動試験で用いるパルス波等を総称してショック波と記載している。



図 5-1 振動台の概要図

5.2 加振波

単品加振試験は、別添4に記載した実機大モックアップによる加振試験において、各電動機近傍で計測された加速度波形を加振波として用いることで、別添4に示す加振試験で各電動機に入力された加速度と同等以上の加速度（基準地震動 S_s を超える加振波）が試験体に入力されたとして、電動機の健全性を確認する。

扉駆動用電動機及び門駆動用電動機の加振試験用の模擬地震波は、別添4に記載した実機大モックアップによる加振試験にて測定された加速度波形を基に設定する。実機大モックアップによる加振試験時の測定位置を図5-2に、同試験にて測定された加速度波形を基に設定した模擬地震波の時刻歴波形を図5-3に示す。

ここで、扉駆動用電動機用の加振波は、扉駆動用電動機的位置近傍に設置された加速度計（A5及びA6）で計測された加速度波形のうち最大のものを用いて設定する。また、門駆動用電動機用の加振波は、扉に取付けた加速度計（A7からA14）で計測された加速度波形のうち最大のものを用いて設定する。

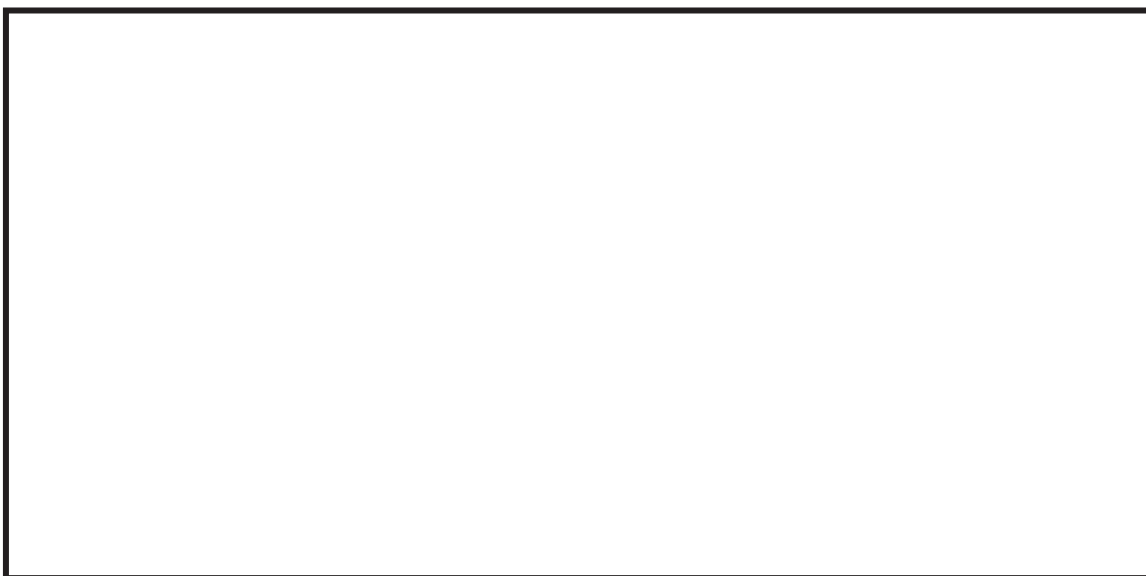


図 5-2 実機大モックアップによる加振試験時の加速度測定位置



X 方向



X 方向



Y 方向



Y 方向



Z 方向



Z 方向

扉駆動用電動機

門駆動用電動機

図 5-3 模擬地震波の時刻歴波形

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.3 単品加振試験項目及び内容

単品加振試験ケースの項目及び概要は以下の通りである。各試験ケースの試験体条件及び加振波等を表 5-2 に示す。

5.3.1 振動特性把握試験

各試験体の振動特性を把握するため、～の範囲で正弦波掃引加振を実施する。なお、試験体の固有振動数が高い場合は、入力波の主要な振動数成分の範囲に固有振動数がないことを確認する。

5.3.2 地震波加振試験

基準地震動 S_s を超える加振波で加振試験を実施し、各電動機の耐震性を確認する。

表 5-2 試験ケース一覧

No	試験名称	試験体	加振方向	加振波	加振レベル
1	振動特性 把握試験	扉駆動用電動機	X	正弦波	0.98m/s ² 程度
2			Y		
3			Z		
4		門駆動用電動機	X		
5			Y		
6			Z		
7	地震波加振試験	扉駆動用電動機	X	模擬地震波	基準地震動 S_s を超える加振
8			Y		
9			Z		
10		門駆動用電動機	X		
11			Y		
12			Z		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.4 計測要領

(1) 計測項目

計測項目は、試験体の代表的挙動を評価するための項目を計測する。計測項目を表 5-3 に示す。

表 5-3 BOP 閉止装置計測項目

項目	計測点
加速度	・ 試験治具 ・ 扉駆動用電動機又は門駆動用電動機

(2) 計測位置

計測点は、試験体の代表的な挙動を評価する位置に設置する。図 5-4 に加速度計の設置位置を示す。

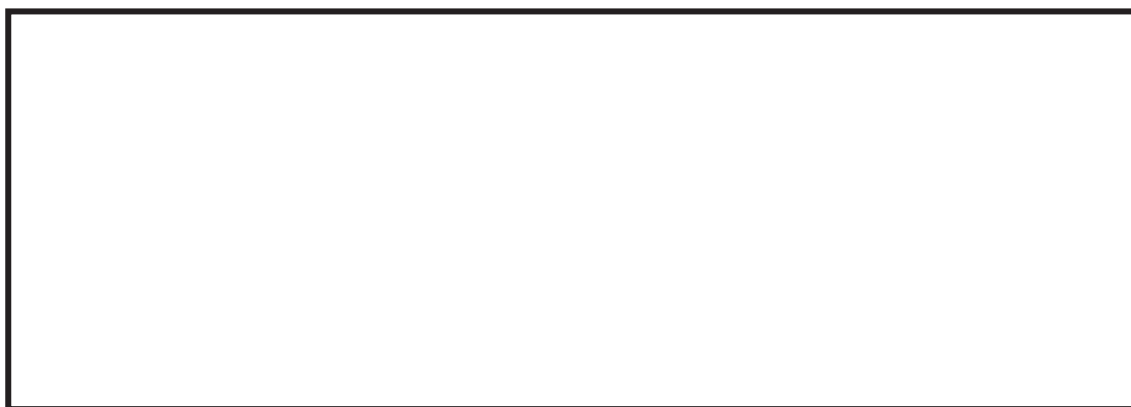


図 5-4 加速度計設置位置

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 測定計器

BOP 閉止装置の試験に使用する測定計器を表 5-4 に示す。

表 5-4 測定計器

No	用途	計測器名称	メーカー(型式)	仕様
1	動作試験 (扉開閉, 門引抜き 挿入時間測定)	ストップ ウォッチ		
2	動作試験 (電動機電流値 測定)	クランプ メータ		
3	加振試験	加速度計		

6. 試験要領

加振試験体を振動台に搭載し、下記の手順で単品加振及び単品加振後電動機を BOP 閉止装置の実機大モックアップに組込んだ状態での動作試験を実施する。

- (1) 加振試験の準備として、加速度計が所定の位置に設置されていることを確認する。
また、測定計器の仕様が適切であることを確認する。
- (2) 振動特性把握試験を以下の手順で実施する。
 - ① 加振レベル 0.98m/s^2 程度にて、各方向単独で、～の範囲での正弦波掃引加振を実施する。
 - ② 試験体の固有振動数を測定し、入力波の主要な振動数成分の範囲に固有振動数の有無を確認する。
- (3) 地震波加振試験を実施する。
 - ① センサ取付状況及び試験体の外観目視点検を行い、異常のないことを確認する。

- ② 各方向単独で 5.2 項で設定した基準地震動 S_s を超える加振波にて加振する。
- ③ 各加振後，採取データを確認する。

6.1 動作確認について

6.1.1 動作確認

(1) 電動動作確認

各電動機を BOP 閉止装置の実機大モックアップに組み込み，BOP 閉止装置の閘引抜きから扉開閉，閘挿入までの一連の動作が可能であることを確認する。併せて，動作時に各電動機が定格電流値以下であることを確認するため，扉開閉の動作時間に加え，各電動機の電流値を測定する。なお，電動動作時間については次のとおりとする。

- ・連動動作（扉閉）：操作盤の自動閉スイッチを押してから，閘引抜き，扉が閉止動作を行い，閘が挿入され，操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間
- ・連動動作（扉開）：操作盤の自動開スイッチを押してから，閘引抜き，扉が開放動作を行い，閘が挿入され，操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間

また，閘が引抜き，挿入できることを確認する。併せて，作動時に各電動機が定格電流値以下であることを確認するため，閘の引抜き，挿入の動作時間に加え，電動機の電流値を測定する。なお，電動動作時間については次のとおりとする。

- ・閘引抜き時間：操作盤の閘引抜きのスイッチを押してから閘が引抜かれ，操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間
- ・閘挿入時間：操作盤の閘挿入のスイッチを押してから閘が挿入され，操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間

(2) 手動動作確認

手動操作により，BOP 閉止装置の閘を引抜き，扉を閉止し，閘が挿入できることを確認する。BOP 閉止装置の手動操作概念図を図 6-1 に示す。

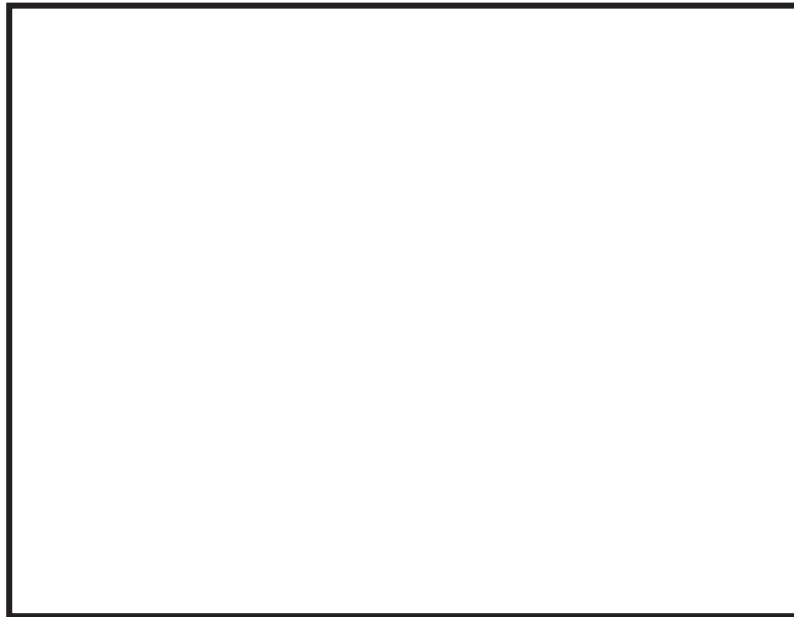


図 6-1 BOP 閉止装置手動操作概念図

6.2 判定基準

6.2.1 電動動作確認

(1) 扉

電動駆動により開閉できること。

扉の閉止 : 全閉位置であること。

開閉時間 : 秒以内

電流値* : 定格電流値以内であること。

注記* : 動作試験時の電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に、
原因特定するための参考情報として取得する。

(2) 門

門駆動用電動機により門が引抜き、または挿入できること。

門の位置 : 門が挿入又は引抜き位置であること。

動作時間 : 秒以内

電流値* : 定格電流値以内であること。

注記* : 動作試験時の電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に、
原因特定するための参考情報として取得する。

6.2.2 手動動作確認

手動操作により、門を引抜き、扉を閉止し、門を挿入するまでの一連の動作ができること。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7. 試験結果

6章までに示す内容に基づき実施した試験結果概要を表 7-1 に示す。試験の結果、電動機仕様の変更について地震後の BOP 閉止装置の電動及び手動での作動性を確認することができた。

表 7-1 BOP 閉止装置の試験結果概要

No	区分		試験項目	目的／試験内容	結果
1	電動機 単品 加振 試験	振動特性 把握試験	振動特性試験	正弦波掃引加振を実施し、 以下の共振点の有無を確認する。	完了
2		地震波 加振試験	基準地震動 S_s を 超える加振 ・扉駆動用電動機 ・門駆動用電動機	・試験の妥当性確認（目標とする最大加速度が各電動機に 入力されたことを確認する） ・各電動機の耐震性を確認する。	良好
3	動作 試験	動作確認 (非加振)	電動及び手動動作 確認 ・扉駆動用電動機 ・門駆動用電動機	加振後の動作確認結果との比較 のために実施する（門含む）。	良好
4		動作確認 (加振後)	電動及び手動動作 確認 ・扉駆動用電動機 ・門駆動用電動機	加振後においても BOP 閉止装置 が問題なく動作することを確認 する。	良好

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7.1 振動特性把握試験結果

各電動機の振動特性を確認するため、正弦波掃引加振を実施し、以下の共振点の有無を確認した。各電動機の固有振動数測定結果として、X, Y 及び Z 方向ともに明確な振動数ピークは確認されず、各電動機の固有振動数は以上であると評価した。各電動機の固有振動数測定結果を図 7-1 に示す。

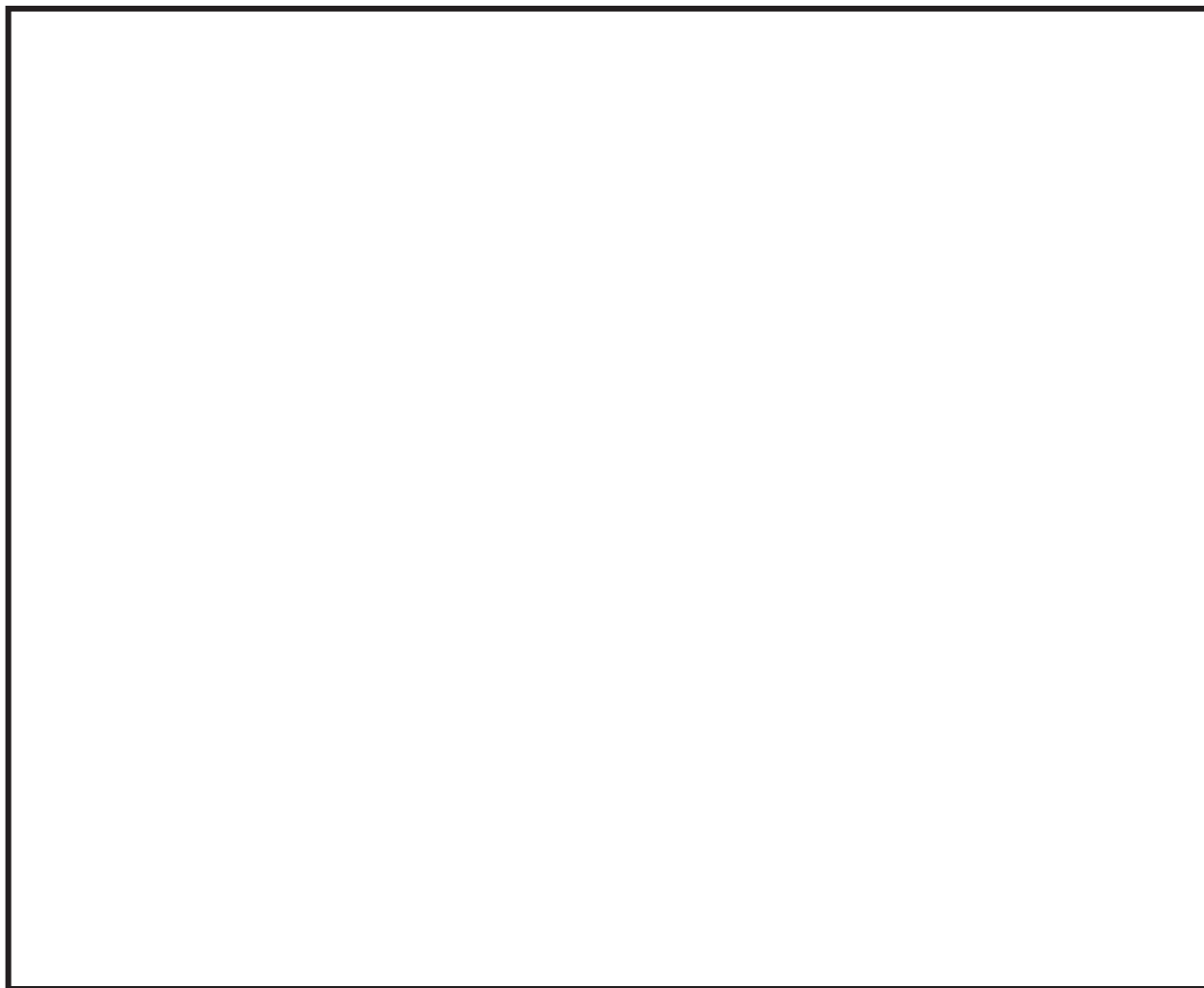


図 7-1 固有振動数測定結果

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7.2 地震波加振試験結果

地震波加振試験における扉駆動用電動機の加速度測定結果を表 7-2 に、門駆動用電動機の加速度測定結果を表 7-3 に示す。地震波加振試験の結果、最大応答加速度は S s 包絡条件を超えており、必要な加振がされていることを確認した。

表 7-2 扉駆動用電動機の加速度測定結果

方向	S s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	測定結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	判定結果
X	<input type="text"/>	<input type="text"/>	○
Y	<input type="text"/>	<input type="text"/>	○
Z	<input type="text"/>	<input type="text"/>	○

表 7-3 門駆動用電動機の加速度測定結果

方向	S s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	測定結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	判定結果
X	<input type="text"/>	<input type="text"/>	○
Y	<input type="text"/>	<input type="text"/>	○
Z	<input type="text"/>	<input type="text"/>	○

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7.3 動作試験結果

7.3.1 扉動作試験

BOP 閉止装置の扉動作試験結果を表 7-4(非加振)及び表 7-5(加振後)に示す。動作時間及び電流値ともに設計目標値を満足しており、問題ないことを確認した。

表 7-4 BOP 閉止装置の扉動作試験結果(非加振)

試験条件	電動			
	開放→閉止		閉止→開放	
	時間	電流値*	時間	電流値*
	□ 秒以内 (目標値)	□ A以内 (定格値)	□ 秒以内 (目標値)	□ A以内 (定格値)
非加振	□ 秒	□ A	□ 秒	□ A

注記*：電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に、原因特定するための参考情報として取得した。

表 7-5 BOP 閉止装置の扉動作試験結果(加振後)

試験条件	電動				手動
	開放→閉止		閉止→開放		
	時間	電流値*	時間	電流値*	
	□ 秒以内 (目標値)	□ A以内 (定格値)	□ 秒以内 (目標値)	□ A以内 (定格値)	
基準地震動 S s を超える加振	□ 秒	□ A	□ 秒	□ A	開放→閉止 異常なし

注記*：電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に、原因特定するための参考情報として取得した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7.3.2 門動作試験

BOP 閉止装置の門動作試験結果を表 7-6(非加振)及び表 7-7(加振後)に示す。動作時間及び電流値ともに設計目標値を満足しており、問題ないことを確認した。

表 7-6 BOP 閉止装置の門動作試験結果(非加振)

試験条件	電動			
	引抜き時		挿入時	
	時間	電流値*	時間	電流値*
	□ 秒以内 (目標値)	□ A以内 (定格値)	□ 秒以内 (目標値)	□ A以内 (定格値)
非加振	□ 秒	□ A	□ 秒	□ A

注記* : 電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に、原因特定するための参考情報として取得した。

表 7-7 BOP閉止装置の門動作試験結果(加振後)

試験条件	電動				手動	
	引抜き時		挿入時			
	時間	電流値*	時間	電流値*	引抜き時	挿入時
	□ 秒以内 (目標値)	□ A以内 (定格値)	□ 秒以内 (目標値)	□ A以内 (定格値)		
基準地震動 S s を超える加振	□ 秒	□ A	□ 秒	□ A	異常なし	

注記* : 電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に、原因特定するための参考情報として取得した。

原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の閂ピンと閂受の熱膨張による影響について

1. 概要

原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）の閂ピン及び閂ブラケット（以下「閂受」という。）が熱膨張した場合においても、閂ピンの熱膨張量が、閂ピンと閂受の隙間の範囲内であり、閂ピンの挿入性に影響しないことを確認する。

2. 簡易評価結果

BOP 閉止装置の閂部は、閂ピン及び閂受から構成される。閂ピン及び閂受の材質は である。両部材の熱膨張係数は同一であり、熱膨張による増加の割合には差がないために、熱膨張による閂ピンの挿入性には影響がない。

3. 詳細評価結果

(1) 閂ピンと閂受の寸法

BOP 閉止装置の閂ピン及び閂受の寸法を図 3-1 に示す。

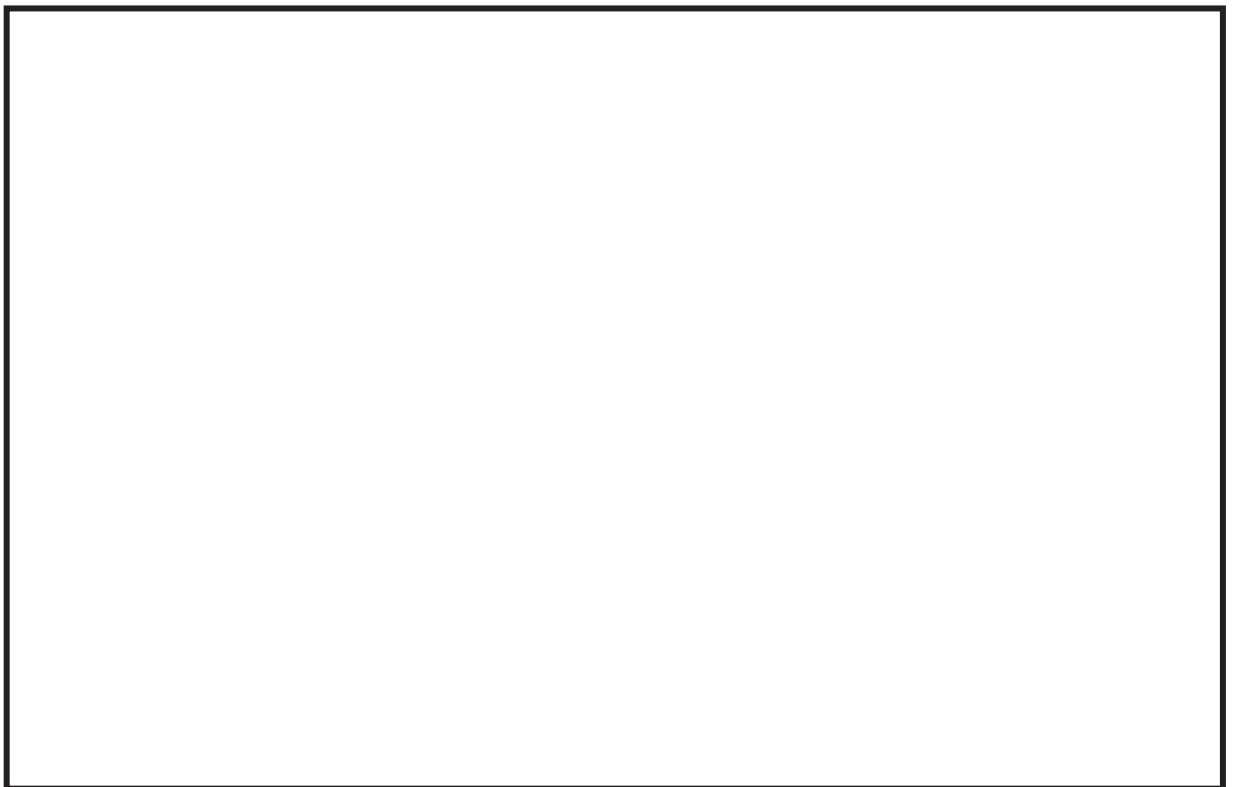


図3-1 閂ピン及び閂受

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 評価条件・評価結果

以下に熱膨張量の計算過程について示す。

- ✓ BOP閉止装置の閉止状態において、SA時の温度が□□□□になると仮定し、室温□□□□からの温度差 $\Delta T = \square\square\square$ にて評価を実施する。
- ✓ 各部の熱膨張係数は以下に示す値を使用する。
□□□□の熱膨張係数は、□□□□と□□□□の熱膨張係数を比例法により補間した値とする。))

(出典：発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社)日本機械学会, 2005/2007))

門ピン □□□□ : 熱膨張係数 α_1 : □□□□□□□□

門受 □□□□ : 熱膨張係数 α_2 : □□□□□□□□

- ✓ 各部材の熱膨張量 ΔL を $\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$ により評価する。
- ✓ 門ピンと門受の間の熱膨張量の差 δ を $\delta = \Delta L(\text{門受}) - \Delta L(\text{門ピン})$ により評価する。
- ✓ $\delta > 0$ となる場合は、門受の熱膨張量が門ピンの熱膨張量よりも大きく、熱膨張による門挿入性への影響はないと判断できる。

評価条件及び評価結果を表3-1に示す。両ケースとも $\delta > 0$ であり熱膨張による影響はない。

表3-1 評価条件及び評価結果

	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	L(mm)	$\Delta L(\text{mm})$	$\delta(\text{mm})$
門受 A-A	□□□□	□□□□	□□□□□□□□	□□□□□□□□
門受 B-B	□□□□	□□□□	□□□□□□□□	□□□□□□□□
門ピン	□□□□	□□□□	□□□□□□□□	—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ブローアウトパネル関連設備の先行電力との差異について

1. 概要

ブローアウトパネル関連設備の先行電力との差異について説明する。

2. ブローアウトパネル関連設備の構成比較

ブローアウトパネル関連設備の構成比較について表 2-1 に示す。

表 2-1 ブローアウトパネル関連設備の構成比較

項目	東海第二発電所	柏崎刈羽原子力発電所 第 7 号機	女川原子力発電所 第 2 号機	差異の 有無
ブローアウト パネル	原子炉建屋外側ブ ローアウトパネル	燃料取替床ブローアウ トパネル	原子炉建屋ブロー アウトパネル	無
	—	主蒸気配管トンネル室 ブローアウトパネル	—	有
ブローアウトパネ ル閉止装置	ブローアウトパネ ル閉止装置	燃料取替床ブローアウ トパネル閉止装置	原子炉建屋ブロー アウトパネル閉止 装置	無
ブローアウトパネ ル強制開放装置	ブローアウトパネ ル強制開放装置 (自主対策設備)	燃料取替床ブローアウ トパネル強制開放装置 (自主対策設備)	—	有

2.1 差異箇所の詳細について

柏崎刈羽 7 号機には主蒸気配管トンネル室ブローアウトパネルが設置されており、原子炉建屋 4 階に設置される燃料取替床ブローアウトパネル 4 枚及び原子炉建屋 1 階に設置される MS トンネル室 BOP79 枚により、主蒸気管破断事故時に発生する蒸気を原子炉建屋外へと逃がす設計としているが、女川原子力発電所第 2 号機では、原子炉建屋地上 3 階に設置される原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という。）1 枚により、主蒸気管破断事故時に発生する蒸気を原子炉建屋外へ逃がす設計としていることから、相違しているものである。

また、女川の BOP 閉止装置は、屋内に設置されており、屋外設置の原子炉建屋 BOP の開放状態によらず閉止動作が可能な設計のため、強制開放装置を設置していない。

3. 原子炉建屋 BOP の詳細設計に関する比較

東海第二発電所で設置の原子炉建屋外側ブローアウトパネル及び柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機で設置されている燃料取替床ブローアウトパネルと女川原子力発電所第 2 号機で設置する原子炉建屋 BOP の設備詳細比較を表 3-1 に示す。

表 3-1 原子炉建屋 BOP の設備詳細比較

項目	東海第二発電所	柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機	女川原子力発電所第 2 号機	差異の有無
パネル枚数	□	□	1 枚	有
設計差圧	□	□	4.4kPa	有
材料	□	□	SS400	無
作動方式	□	□	止め板式 (48 個 (幅約 18.2mm/パネル))	有
仕様	□ □	□	材質 SS400, 幅約 18.2 mm, 厚さ約 6.0 mm	有
車輪	無	無	有	有
コーキング有無	パネル 4 辺をシーリング材によりコーキング	パネル上部及び左右に水切り板を設置し, その周囲 3 辺をコーキング	パネル上下部及び左右に水切り板を設置し, コーキングはしない	有

3.1 差異箇所の詳細について

(1) パネル枚数及び設計差圧について

パネルの枚数及び設計差圧については、主蒸気管破断事故等が発生した際に、原子炉格納容器の外側に作用する圧力が設計外圧以下となるよう、プラント毎に設定しているため、相違しているものである。

(2) 止め板の個数について

止め板の個数については、弾性設計用地震動による地震力や設計差圧を考慮して止め板を上下対称に配置する観点から、上部□個、下部□個としている。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 止め板仕様について

止め板仕様については、東海第二発電所では [] と称し材質を [] とし、柏崎刈羽原子力発電所第7号機では同じく [] であり材質を [] としている。女川原子力発電所第2号機はSS400を使用している。

(4) 車輪について

パネルと躯体の摩擦力を低減させるため、パネル下部に8箇所設置している。

(5) コーキングについて

女川原子力発電所第2号機では、パネル周囲に水切り板を設置し、劣化による不具合防止の観点からシール材によるコーキングはしない。

4. 止め板曲げ試験に関する比較

東海第二発電所及び柏崎刈羽原子力発電所第7号機で実施されているクリップ引張試験と女川原子力発電所第2号機で実施されている止め板曲げ試験の比較を表4-1に示す。

表 4-1 止め板の曲げ試験比較

項目	東海第二発電所	柏崎刈羽原子力発電所第7号機	女川原子力発電所第2号機	差異の有無
試験方法	オートグラフ試験機 変位制御（引張速度1mm/min） クリップ変位：変位計にて測定 ひずみ：ひずみゲージにて測定	オートグラフ試験機 変位制御（引張速度2mm/min） クリップ変位：変位計にて測定 ひずみ：ひずみゲージにて測定	定速型万能試験機 変位制御（載荷速度5mm/min） 止め板変位：変位計にて測定	有
試験体数	30体	幅約75mm：3体 幅約37.5mm：3体	15体	有

4.1 差異箇所の詳細について

(1) 試験方法について

東海第二発電所と柏崎刈羽原子力発電所第7号機はクリップ式のため引張試験をしているが、女川原子力発電所第2号機は止め板式であるため曲げ試験を実施している。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 試験体数について

試験体数は女川原子力発電所第2号機では、建設時の試験体数5体を基本とし、ばらつきを考慮して5体×3=15体としている。

5. 原子炉建屋 BOP の試験に関する比較

東海第二発電所で実施されている原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放確認試験と柏崎刈羽原子力発電所第7号機で実施されている燃料取替床ブローアウトパネルの開放確認試験と女川原子力発電所第2号機に関する比較を表5-1に示す。

表 5-1 原子炉建屋 BOP の開放確認試験比較

項目	東海第二発電所	柏崎刈羽原子力発電所第7号機	女川原子力発電所第2号機	差異の有無
試験装置	油圧ジャッキ4体にて加力	油圧ジャッキ4体にて加力	油圧ジャッキ4体にて加力	無
試験回数	2回	3回	3回	有
試験体数	3体	3体	3体	無
試験用パネル	実機に設置されているパネルのうち、最大の物と同一	実機と同一	実機と同一	有
動作確認	目視にて開放を確認	目視にて開放を確認	目視にて開放を確認	無

5.1 差異箇所の詳細について

(1) 試験回数について

東海第二発電所では、開放確認の1回とその再現性を確認するための1回の合計2回としている。女川原子力発電所第2号機では柏崎刈羽原子力発電所第7号機と同様に3回の試験を実施している。

6. BOP 閉止装置の詳細設計に関する比較

東海第二発電所及び柏崎刈羽原子力発電所第7号機で設置されているブローアウトパネル閉止装置と女川原子力発電所第2号機で設置するBOP閉止装置の設備詳細比較を表6-1に示す。

表 6-1 BOP 閉止装置の設備詳細比較

項目	東海第二発電所	柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機	女川原子力発電所第 2 号機	差異の有無
方式	スライド扉方式		扉方式	有
材料（扉）	□		□	無
台数	□	□	一式（24 台）	有
門の構造	電動シリンダ	電動シリンダ+シャフト □	門駆動用電動機	有
門の作動方式（挿入時）	自重	自重+電動	電動	有
門のギャップ	□	□	□	有
チェーン材料	□	□	□	有*
作動方式	電動（手動）		電動（手動）	無
手動操作方式	ワイヤー	クランクハンドル	レンチ	有

注記*：柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機とのみ差異がある。

6.1 差異箇所の詳細について

(1) 方式について

東海第二発電所、柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機及び女川原子力発電所第 2 号機の構造概要を図 6-1 に示す。東海第二発電所及び柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機では屋外にスライド扉方式の BOP 閉止装置を設置するが、女川原子力発電所第 2 号機では、原子炉建屋原子炉棟の構造上、BOP 閉止装置を原子炉建屋原子炉棟内の BOP への蒸气流路上に設置する必要がある。したがって、設置にあたっては BOP の開放機能に悪影響を及ぼさないよう、蒸气流路の確保に対する考慮により、扉方式の BOP 閉止装置を原子炉建屋原子炉棟内に設置する。

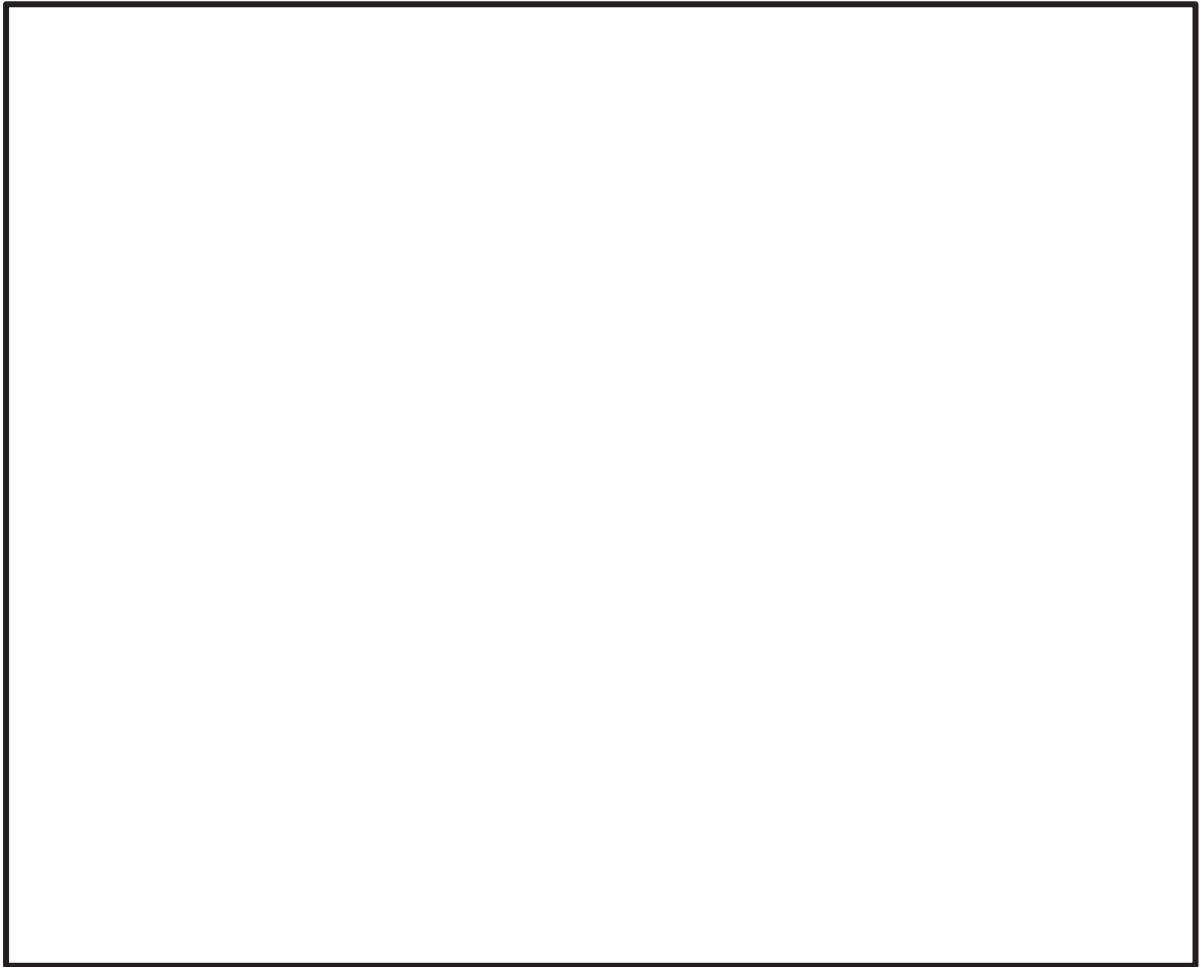


図 6-1 先行電力及び女川原子力発電所第 2 号機の BOP 閉止装置の構造概要

(2) 台数について

台数については、女川原子力発電所第 2 号機の BOP の枚数は 1 枚であるが、BOP 閉止装置は複数枚の扉の組合せにより構成するものとして、メンテナンス性及び個々の BOP 閉止装置の耐震性を考慮し、一式（24 台）となっている。

(3) 閘の構造について

東海第二発電所、柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機及び女川原子力発電所第 2 号機の閘の構造を図 6-2 に示す。東海第二発電所及び柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機では電動シリンダを上昇/下降させることで閘機構部を動作させる構造としているが、女川原子力発電所第 2 号機では閘駆動用電動機の動力により閘ピンを引抜/挿入する構造としている。また、東海第二発電所及び柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機から方式を変更したことに伴い、閘のギャップも東海第二発電所の 及び柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の から女川原子力発電所第 2 号機では となっている。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

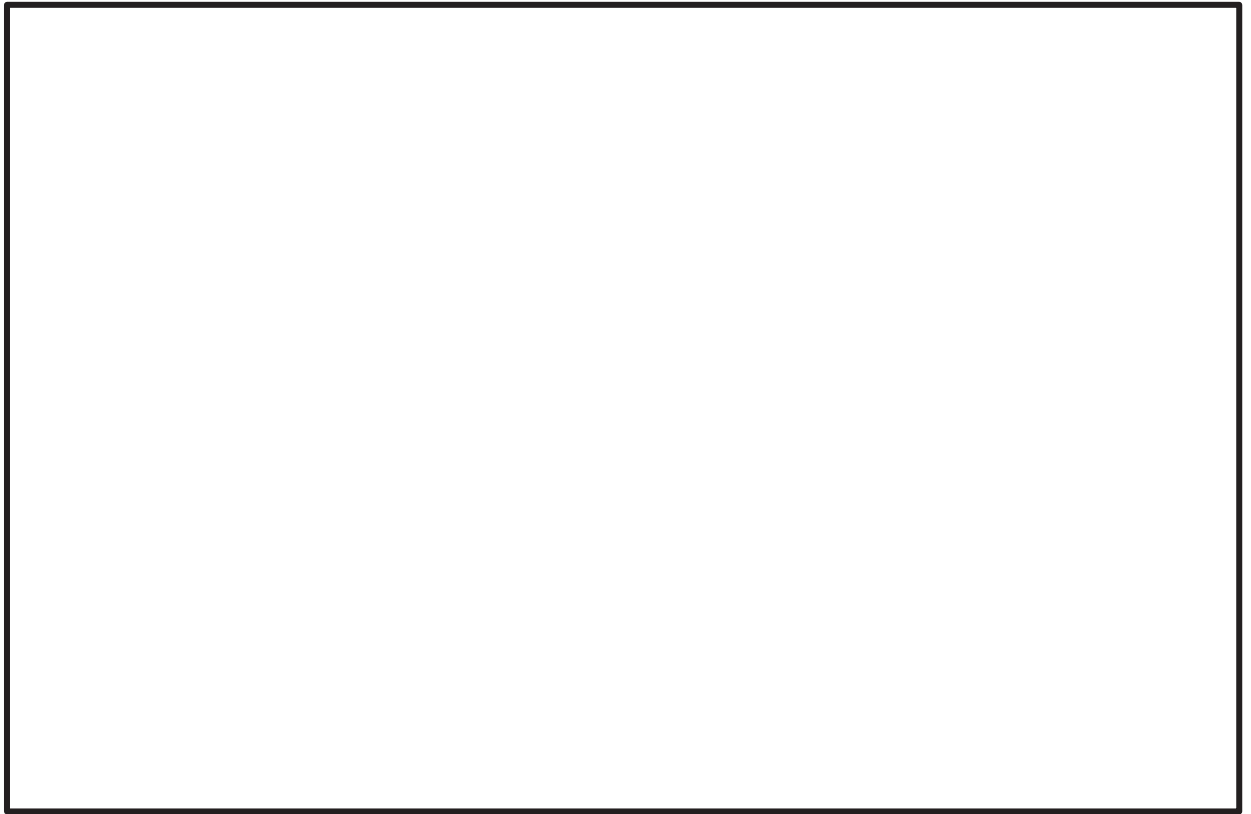


図 6-2 先行電力及び女川原子力発電所第 2 号機の門の構造

(4) チェーンの方法について

チェーンに使用した材料は、柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機では屋外に配置するため、耐候性を考慮して [] としていたが、女川原子力発電所第 2 号機では BOP 閉止装置を原子炉建屋原子炉棟内に設置することから [] に変更している。

(5) 手動操作方式について

東海第二発電所では BOP 閉止装置の近傍にアクセスが難しいことからワイヤーを用いた遠隔操作による手動操作方式とし、柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機では電動機を直接クランクハンドルを用いて操作する手動操作方式としているが、女川原子力発電所第 2 号機では門に設置される駆動機構をレンチを用いて操作する手動操作方式としている。

7. BOP 閉止装置の加振試験・気密性能試験に関する比較

東海第二発電所及び柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機で実施されている BOP 閉止装置の加振試験及び気密性能試験と女川原子力発電所第 2 号機で実施されている BOP 閉止装置の加振試験及び気密性能試験に関する比較を表 7-1 に示す。

[] 枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 7-1 BOP 閉止装置の加振試験・気密性能試験比較

項目	東海第二発電所	柏崎刈羽原子力 発電所第 7 号機	女川原子力発電所第 2 号機	差異の 有無
試験装置	3次元振動台 (兵庫耐震工学研究センター)		3次元振動台 (清水建設株式会社 技術研究所 先端地震防災研究棟)	有
加振波	① BOP 閉止装置設置高さより上方の床応答 ② 建屋影響評価等のばらつきを包絡 ③ 減衰定数 <input type="text"/> %		① 最大加速度は BOP 閉止装置と同程度の設置高さ、応答スペクトルは BOP 閉止装置設置高さより上方の床応答 ② 建屋影響評価等のばらつきを包絡 ③ 減衰定数 <input type="text"/> %	有
振動特性 把握試験	実施		実施	無
加振試験方法 (扉開状態)	① 扉開状態加振後に扉閉動作 ② 扉閉状態で気密性能試験 ③ 扉開動作・閉動作		① 扉開状態加振後に扉閉動作 ② 扉閉状態で気密性能試験 ③ 扉開動作・閉動作	無
加振試験方法 (扉閉状態)	① 扉閉状態加振 ② 気密性能試験 ③ 扉開動作・閉動作		① 扉閉状態加振 ② 気密性能試験 ③ 扉開動作・閉動作	無
加速度 測定箇所	① 振動台 ② 支持架台 ③ 扉 ④ 駆動装置		① 振動台 ② 支持架台 ③ 扉 ④ 駆動装置	無

ひずみ 測定箇所	① プッシュローラ ② レール (ハンガーレール, 下部ガイドレール) ③ チェーン (エンドボルト) ④ 門周辺	—	有
加振後の作動 確認 (電動)	・扉の開閉, 門の引抜/挿入を確認 ・電動機の電流値, 扉及び門の動作時間を測定	・扉の開閉, 門の引抜/ 挿入を確認 ・電動機の電流値, 扉及び 門の動作時間を測定	無

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

加振後の作動確認（手動）	・扉の開閉，門の引抜/挿入を確認		・扉の開閉，門の引抜/挿入を確認	無
加振後の気密性能試験方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ A S T M E 283-4 に準じた装置を用いる。 ・ 排風機により試験容器内の空気を排出することにより試験体前後に圧力差を生じさせ，試験体のシール部から試験容器へ流入する通気量を測定する。 		<ul style="list-style-type: none"> ・ A S T M E 283-4 に準じた装置を用いる。 ・ 排風機により試験容器内の空気を排出することにより試験体前後に圧力差を生じさせ，試験体のシール部から試験容器へ流入する通気量を測定する。 	無
気密性能試験結果	通気量： []	通気量： []	通気量： []	有

7.1 差異箇所の詳細について

(1) 試験装置について

東海第二発電所及び柏崎刈羽原子力発電所第7号機は兵庫耐震工学研究センターの試験装置を用いて加振試験を実施した。兵庫耐震工学研究センターの試験装置の仕様を表7-2に示す。先行プラントは目標とする最大加速度が約[]に対し、女川原子力発電所第2号機は目標とする最大加速度が[]を超過しており、それを満足する振動台を選定したことから、清水建設株式会社 技術研究所 先端地震防災研究棟の試験装置を用いて加振試験を実施している。清水建設株式会社 技術研究所 先端地震防災研究棟の試験装置の仕様を表7-3に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 7-2 先行電力で用いた三次元振動台の仕様（兵庫耐震工学研究センター）

加振自由度	3 軸 6 自由度		
振動台寸法	20 m×15 m		
最大積載重量	1200 tf		
加振方向	X 方向	Y 方向	Z 方向
最大加速度	900 cm/s ²	900 cm/s ²	1500 cm/s ²
最大速度	200 cm/s	200 cm/s	70 cm/s
最大変位	±100 cm	±100 cm	±50 cm

表 7-3 女川原子力発電所第 2 号機で用いた三次元振動台の仕様
（清水建設株式会社 技術研究所 先端地震防災研究棟）

加振自由度	3 軸 6 自由度		
振動台寸法	7 m×7 m		
最大積載質量	70 t		
加振方向	X 方向	Y 方向	Z 方向
最大加速度*	2700 cm/s ²	2700 cm/s ²	2200 cm/s ²
最大速度	200 cm/s	200 cm/s	100 cm/s
最大変位	80 cm	80 cm	40 cm

注記*：積載質量 35t の条件

(2) 加振波について

東海第二発電所及び柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機は BOP 閉止装置の設置高さより上方の最大加速度及び応答スペクトルを目標としても、振動台性能（加速度）内で加振試験が可能であった。一方、女川原子力発電所第 2 号機の BOP 閉止装置は設置高さより上方の最大加速度を目標とした場合、その応答加速度は約 であり、定格振動台性能（加速度）を超過することから加振試験が不可能となる可能性があった。よって、最大加速度は BOP 閉止装置と同程度の設置高さを目標とし、応答スペクトルは設置高さより上方を目標として加振波を設定している。なお、定格振動台積載質量に比べ試験体質量が 1/3 程度に軽減されることによる加振加速度の増加と、先行電力同様に振動台から支持架台及び BOP 閉止装置に至る過程の微小な応答増幅による加振加速度の増加を含めて、加振試験を実施した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) ひずみ測定箇所について

加振試験において、ひずみゲージを設置する目的は、加振試験時に扉に発生する加速度に対して強度評価を実施する際に、扉に作用する慣性力を設定するためである。

東海第二発電所及び柏崎刈羽原子力発電所第7号機では、扉の荷重を受ける部材及びチェーンにひずみゲージを設置して、計測したひずみから算出した荷重を扉に作用する慣性力として設定する方法を採用している。女川原子力発電所第2号機においても、扉の荷重を受ける部材へのひずみゲージを設置することを検討したが、図7-1に示すように丁番部では荷重作用点が丁番ブロック内にあり、丁番部でのひずみを計測するためには、丁番ブラケットと丁番ブロック間の丁番軸（図7-1の斜線部）にひずみゲージを設置することが適切と考えられたが、当該部分は狭隘部かつ摺動部であるために、ひずみゲージの設置が困難と判断した。他の箇所についても荷重伝達経路が複雑となり、ひずみの適切な計測が困難であると考えられた。また、チェーンについては構造上、扉の荷重を受けないために、ひずみゲージの設置は不要と判断した。

上記を踏まえ、女川原子力発電所第2号機では、加速度計により計測された加速度から扉に作用する慣性力を設定して扉の強度評価を実施している。扉の強度評価結果を「補足-600-20 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の耐震性について」に示す。なお、加振試験後の目視確認から有意な変形がないこと及び扉に作用する慣性力に対する強度評価結果により、構造健全性を確認している。

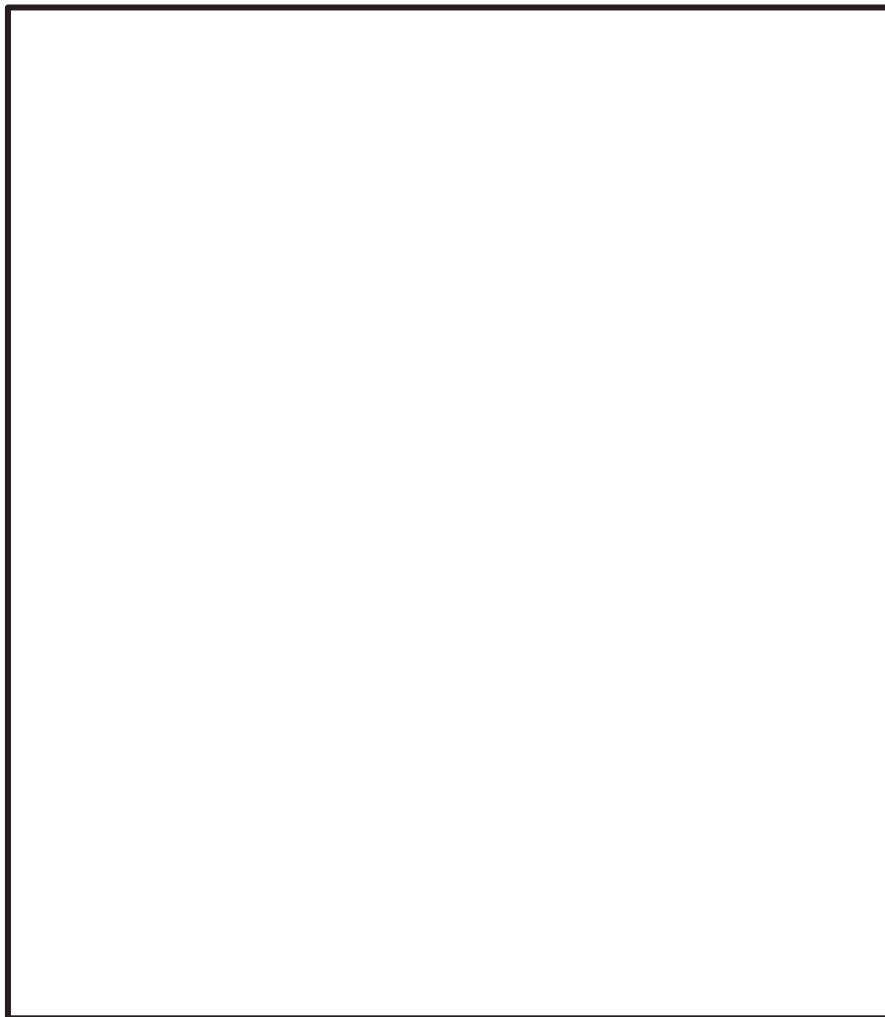


図 7-1 丁番部の概形図

(4) 気密性能試験結果について

東海第二発電所及び柏崎刈羽原子力発電所第7号機と方式が異なるため、気密性能試験結果が異なっているが、いずれも原子炉建屋原子炉棟の負圧達成評価に影響を与える結果ではない

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

止め板破損時の他設備への影響について

1. 概要

原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という。）の止め板は，ボルトにて躯体側に固定する設計（止め板試験も模擬して固定）としており，容易に脱落することはないが，原子炉建屋 BOP の開放時に，止め板が脱落した場合を想定し，主蒸気トンネル室に設置されている設備への影響がないことを確認した。

2. 評価方法

原子炉建屋 BOP より建屋内側の主蒸気トンネル室に設置されている設備への影響を図 1-1 により確認する。

3. 評価結果

以下の図 1-1 のとおり，万一，止め板が脱落した場合でも，主蒸気トンネル室に設置されている設備へ垂直に落下する位置関係ではないことから影響がないことを確認した。

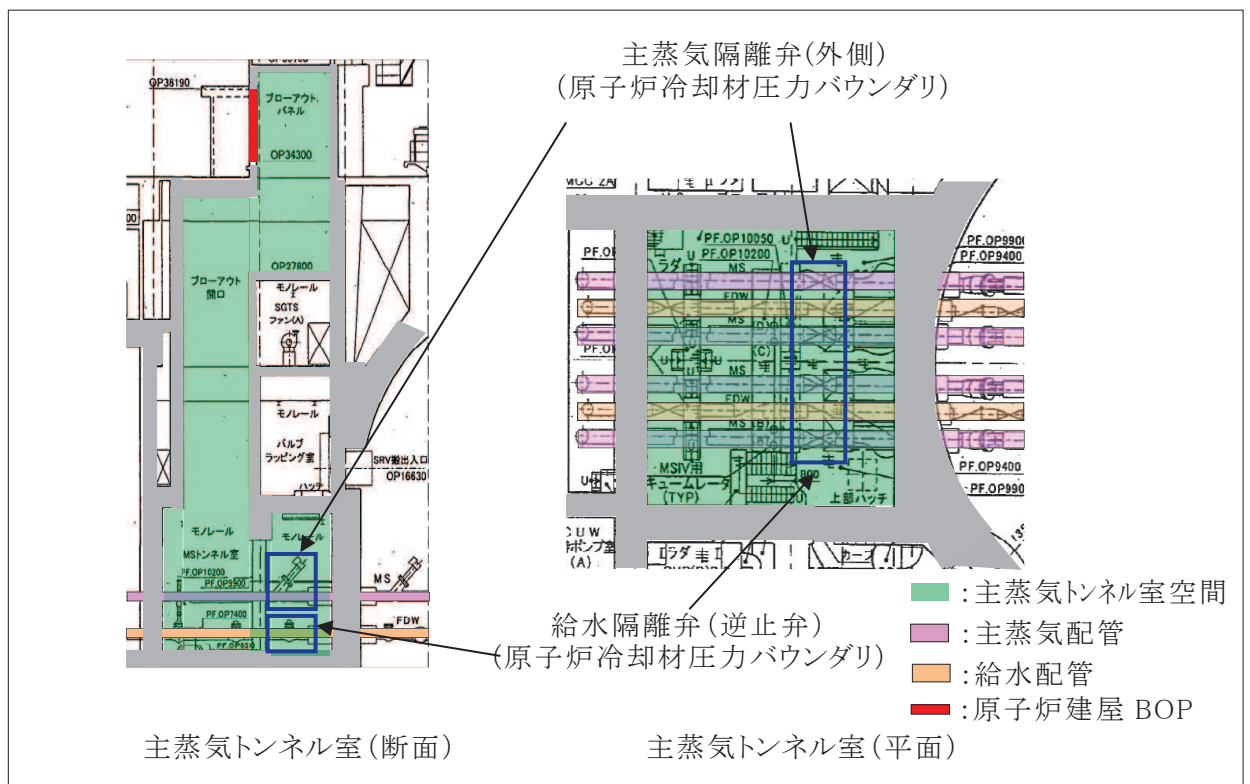


図 1-1 主蒸気トンネル室内状況図

原子炉建屋ブローアウトパネルの機能確認試験要領について

1. 目的

原子炉建屋地上 3 階のブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という。）の機能を確認するため、実機規模の試験体を用いた開放試験を行い、機能維持確認を実施する。

2. 試験場所及び試験項目

2.1 試験場所

試験装置等を設置し新たに試験会場として設定

2.2 試験項目

- (1) 作動確認 : 原子炉建屋 BOP の開機能確認
- (2) 閉維持確認 : 原子炉建屋 BOP の耐震性能の確認

原子炉建屋BOP(取付け枠及び止め板を含む)を設置した実機大のモックアップ試験体を製作し、設計作動圧の4.4 kPa以下で確実に開放されることを確認するため、油圧ジャッキを用いた加力による開放試験を実施する。さらに、本試験にて実測する開放に必要な荷重より、パネル下部(車輪)の摩擦による抗力を求め、止め板の条件を必要に応じて最適化する。

また、原子炉建屋 BOP の耐震性能を確認する。

本試験での確認事項を以下に示す。

【作動確認】

- ①原子炉建屋BOPの開放動作の確認
- ②原子炉建屋BOPの開放荷重の確認
- ③下部摩擦による抗力の開放荷重に与える影響の確認

【閉維持確認】

- ①固有周期測定
- ②原子炉建屋BOPが弾性設計用地震動 S_d による地震荷重で開放しないこと（パネルの荷重曲線より評価）



図 2-1 止め板の固定状態及び開放後の状態

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 原子炉建屋BOP試験概要

3.1 試験場所概要

モックアップ試験は、原子炉建屋BOP及び取付け架台を試験場で作成し実施する。図3-1に試験場の配置図を示す。

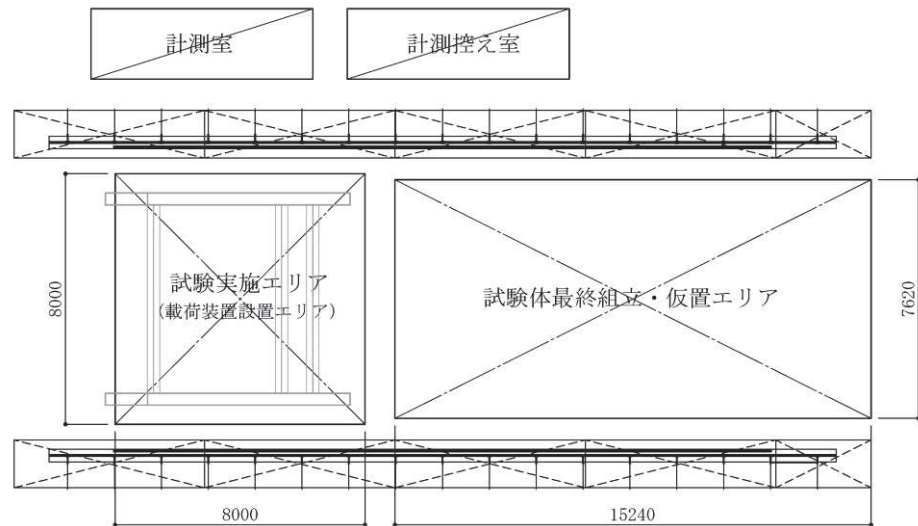


図3-1 試験場配置図（平面図）

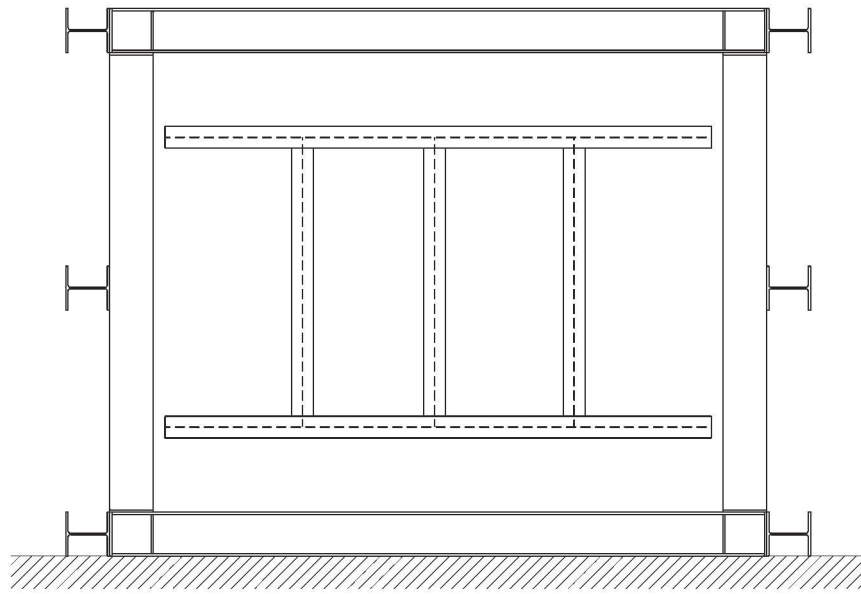
3.2 試験装置概要

試験装置は、実機を模擬した原子炉建屋BOP、加力装置及び躯体を再現する原子炉建屋BOP取付け部と加力装置取付け部を一体化した取付け架台で構成する。図3-2に試験で使用する原子炉建屋BOP及び取付け架台の概略図を示す。

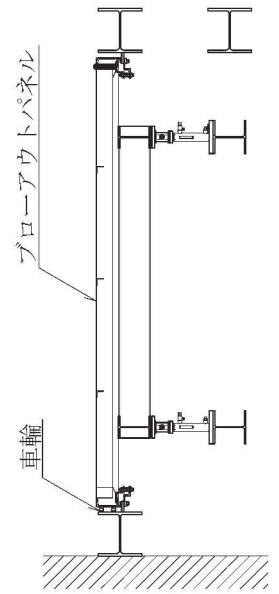
原子炉建屋BOPは実機に取り付けられている原子炉建屋BOPを模擬して実施する。サイズは約5.10 m×約4.10 m、重量は約1.8 tである。なお、原子炉建屋BOPは3体製作する。

取付け架台は四方が鉄筋コンクリート造の原子炉建屋開口部を再現する。開口部下部は実機同様車輪とし、開口部の側面および上面側はH形鋼によって再現する。

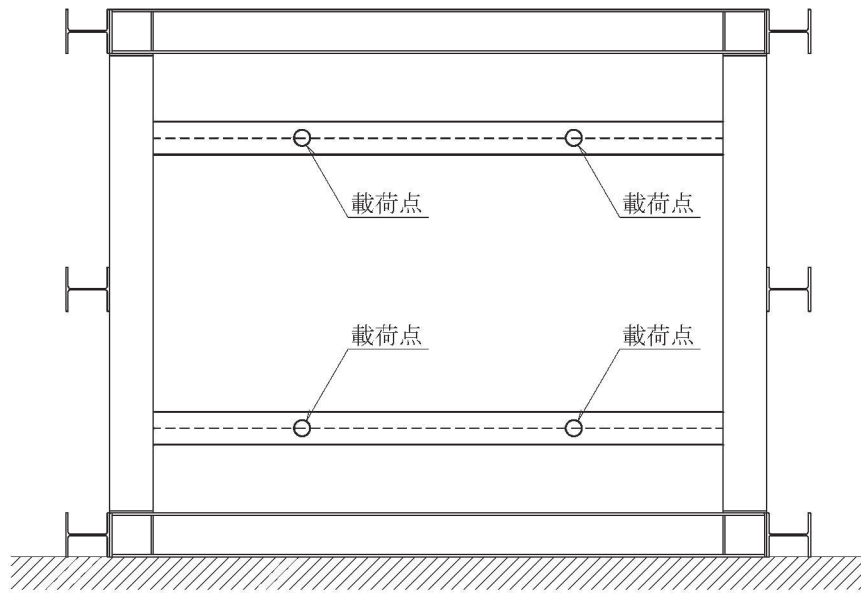
試験体の原子炉建屋BOPは、脱落時の損傷等を防止するために、8本のチェーンにて落下を防止する。



パネル及び押し出し梁図



側面図



試験用架構図

図3-2 原子炉建屋BOP及び取付け架台の概略立面図

3.3 原子炉建屋BOPの架台への取付け方法

原子炉建屋BOPは、試験装置架台（実機では躯体）に取り付けられた止め板と、原子炉建屋BOPに取り付けられた山形鋼により固定する。止め板を取り付け可能な箇所は、上部□個、下部□個の計48箇所とする。

止め板の形状および山形鋼への取付け位置を図3-3に示す。止め板の材質はSS400とし、形状は図3-3に示すように、止め板幅約18.2mm、厚み約6.0mm、山形鋼への掛り代約□mmとし、M16ボルトにより取付け枠の22mmプレートに取付ける。

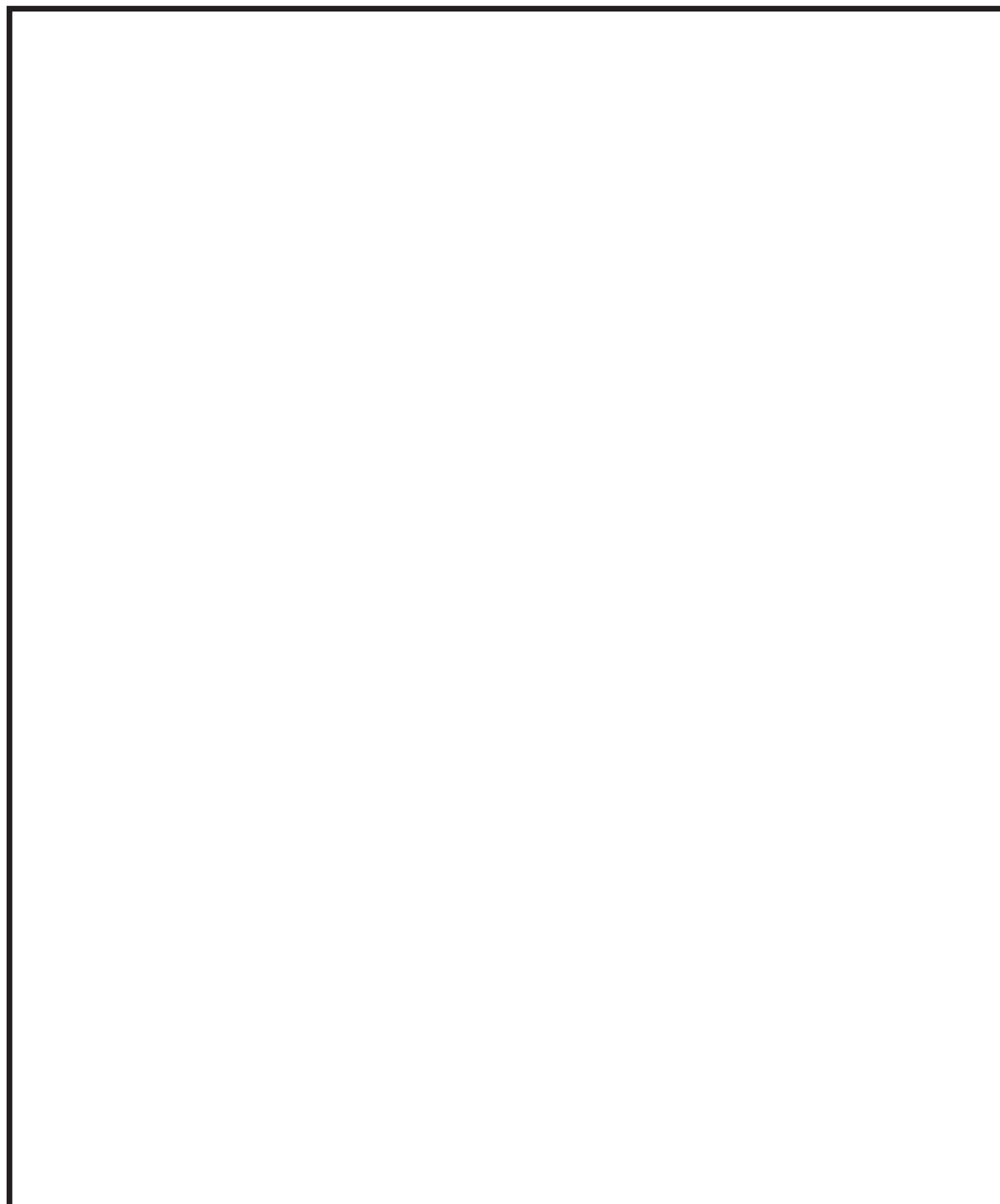


図 3-3 止め板形状及び取付け位置図（正面図・断面図）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 固有周期測定方法

原子炉建屋 BOP 試験体に加速度計を取り付け、原子炉建屋 BOP の固有振動数をハンマーによる打撃、又は常時微動計測により測定し固有周期を求める。

試験概要

(1) 計測方法

a. ハンマーによる打撃

原子炉建屋 BOP 試験体中央部に設置した加速度計の傍をインパクトハンマーで打撃し、加速度を計測する。

(2) 計測機器

計測機器の取付け位置を図 3-5 に示す。

a. 加速度計

メーカー名称：, 型番名称：

b. データレコーダ

メーカー名称：, 型番名称：

c. 多機能計測システム

メーカー名称：, 型番名称：

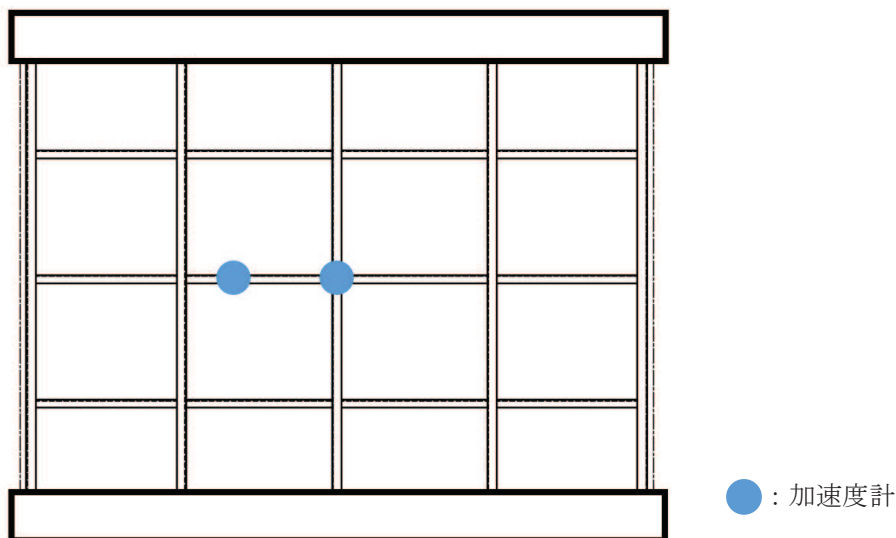


図3-4 計測機器取付け位置図（立面図）

4. 原子炉建屋BOPの加力方法

4.1 試験機器構成及び加力方法概要

本試験に使用する機器の配置及び構成の概念図を図4-1に示す。

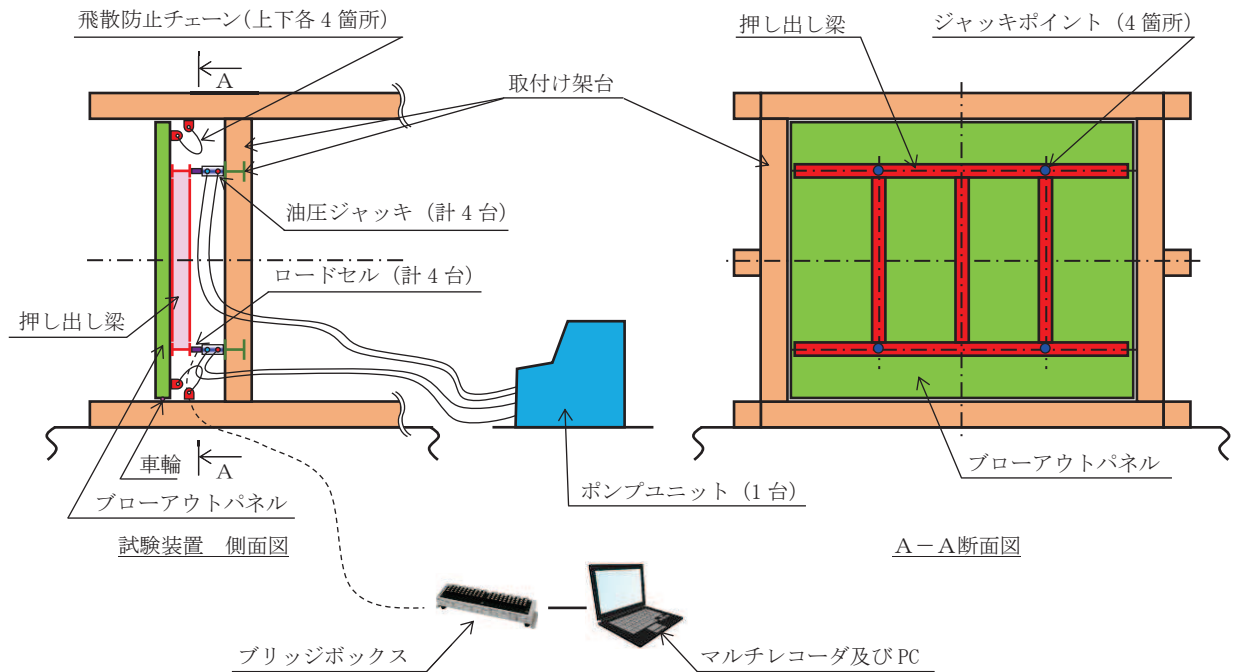


図 4-1 試験機器配置及び構成概念図

試験用架構に原子炉建屋BOP試験体1面を取り付ける。当該パネルに「押し出し梁」を接触させ、その「押し出し梁」を4台の油圧ジャッキを使用して均等に押し出すことにより、原子炉建屋BOP試験体を加力する。

「押し出し梁」は原子炉建屋BOP試験体に対して独立しており原子炉建屋BOP試験体の開放条件に影響を与えないものとする。

油圧ジャッキの反力は取付け架台で受ける構造とする。

また、各油圧ジャッキのブローアウトパネル側にはロードセルを取り付け、各油圧ジャッキから原子炉建屋BOP試験体への負荷を測定するものとする。各ロードセルはロードセルモニタにて出力を抽出・変換し、それぞれの出力はマルチレコーダ及びPCで記録するものとする。

原子炉建屋 BOP 試験体は既設仕様に合わせて3体製作する。原子炉建屋 BOP 試験体仕様を表4-1に示す。

表4-1 原子炉建屋BOP試験体仕様（試験体1～3）

製 造	鹿島建設株式会社
型 式	既存パネル模擬
概算質量	1800 kg
数量	各 1 面
サイズ	幅 5100 mm×高さ 4100 mm
止め板取付け箇所	48 箇所

4.2 加力仕様

原子炉建屋BOP試験体を押し出し梁により加力するために、複動型油圧ジャッキ4台を使用する。ジャッキは1台のポンプユニットから加圧する。当該ポンプユニットは、4台のジャッキへの吐出油圧を一定とすることで、一定の荷重にて作動を制御する。

加力方法概要図を図4-2に、押し出し梁の支持装置を図4-3に示す。油圧ジャッキ及びポンプユニットの仕様を表4-2、表4-3に示す。

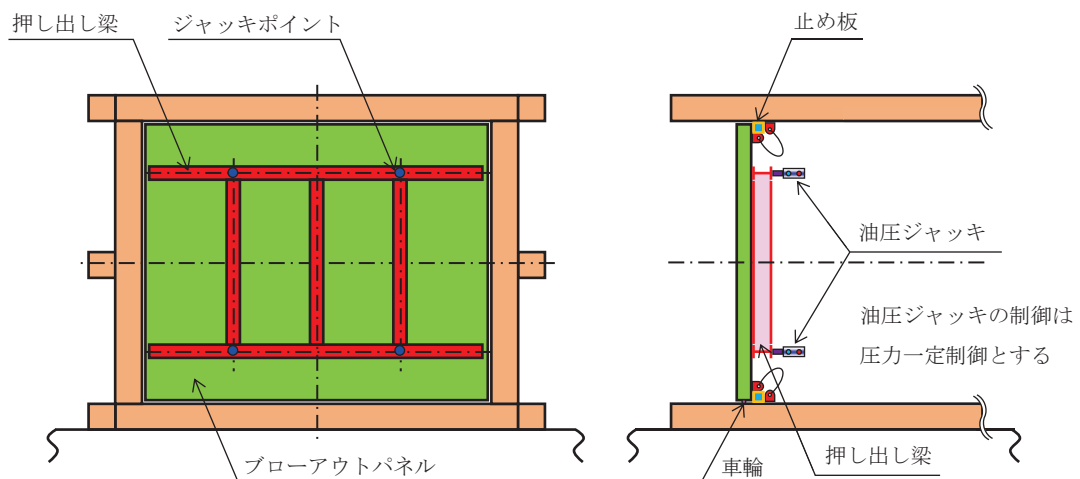


図 4-2 加力方法概要立面図

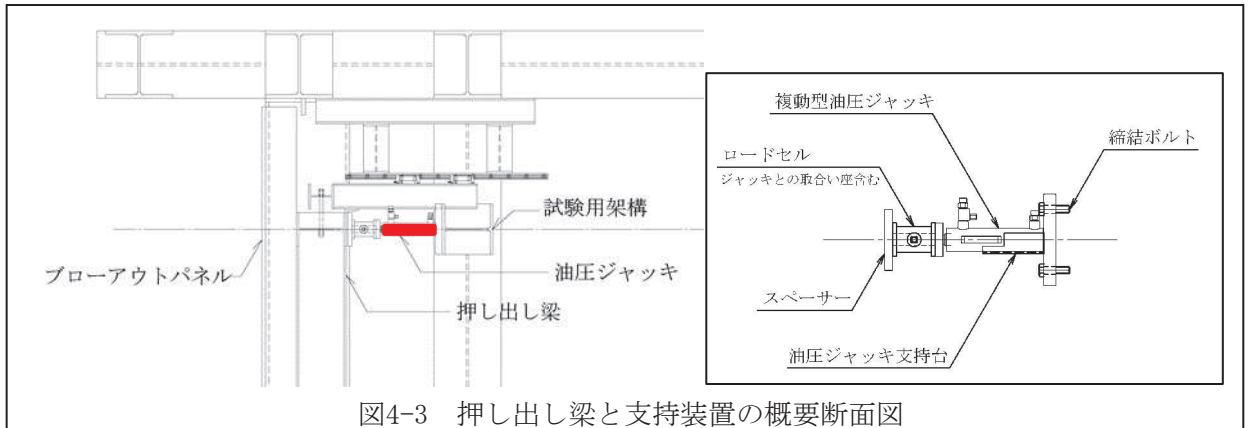


表4-2 油圧ジャッキ仕様

製造メーカー	
型 式	
能力 (1台あたり)	
使用数量	4台
ストローク (最大)	
伸長速度 (理論値)	

表4-3 ポンプユニット仕様

製造メーカー	
型 式	
吐出量	
使用数量	1台
電 源	
電動機	
質 量	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 原子炉建屋BOP試験方法

(1) 試験手順

モックアップ試験は3ケース実施した。試験ケースを表4-4に示す。

試験体1の止め板配置は上部 個，下部 個とする。これは，パネル下部の摩擦，止め板1個あたりの耐力から，S d 地震時には開放せず，かつ，設定差圧の4.4 kPa以下にて確実に開放するように設計された配置である。試験体1の止め板取付け位置を図4-4に示す。また，試験体2,3は，試験体1と同条件にて再現性を確認する。

表 4-4 試験ケース

	止め板の配置及び個数		止め板形状，取付け寸法			備考
	上	下	幅	厚み	掛かり代	
試験体 1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	約 18.2 mm	約 6.0 mm	約 <input type="text"/> mm	
試験体 2			約 18.2 mm	約 6.0 mm	約 <input type="text"/> mm	
試験体 3			約 18.2 mm	約 6.0 mm	約 <input type="text"/> mm	

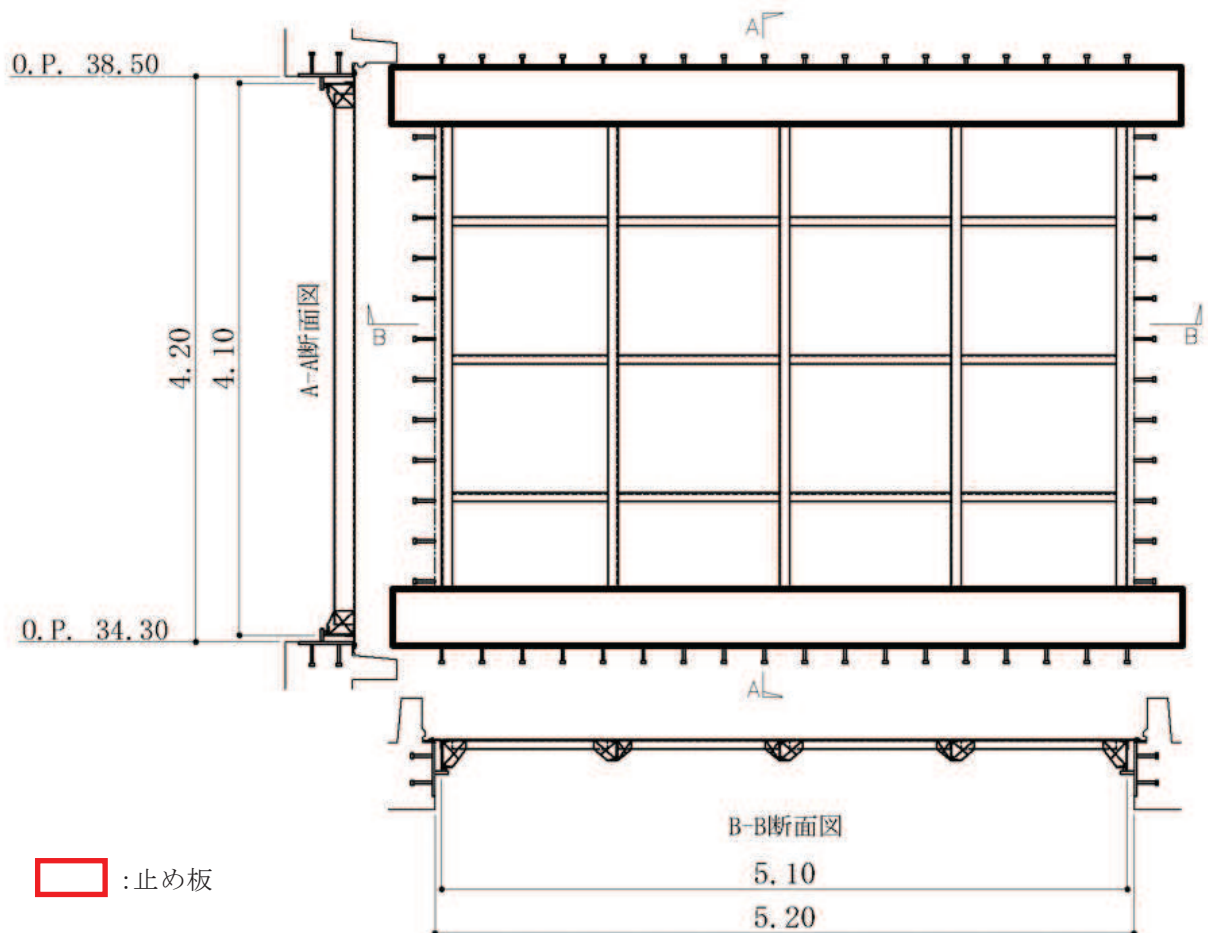


図 4-4 止め板配置図 (立面図)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.4 測定内容及び方法

(1) 測定内容

各油圧ジャッキ負荷，変位

(2) 測定方法

各油圧ジャッキに1台ずつ配置したロードセルを使用する。その他の測定項目と連動し，時刻歴測定とする。

計測項目は，ジャッキによる加力荷重4点（上記，荷重計より取得），ブローアウトパネルの変位6点（中央及び左右の変位）とする。（試験時の開放状況を動画撮影）荷重及び変位計測の機器構成を図4-6に示す。加力が短時間で終了する試験のため，動的な計測システムを用い，サンプリング時間は□秒程度とする。

表4-5に計測機器等仕様を示す。

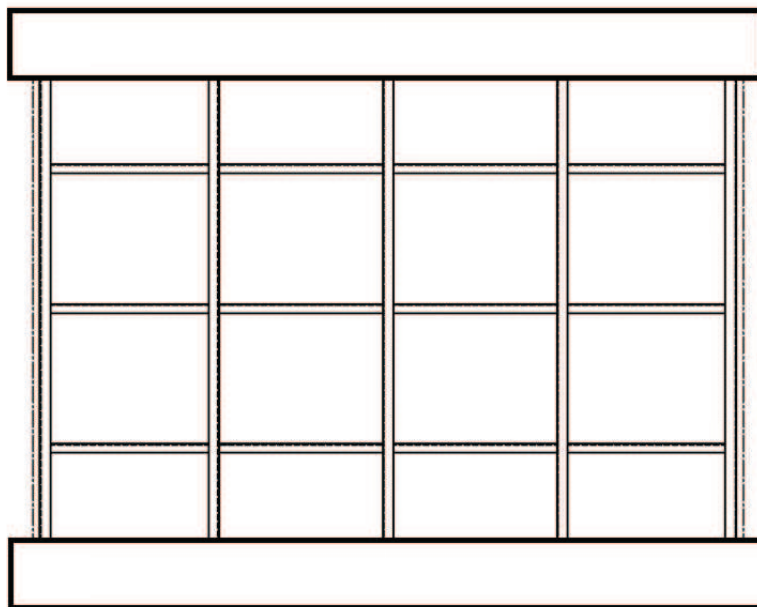


図4-5 計測器取付け位置図（立面図）

●：変位計

表4-5 計測機器等仕様（又は相当品）

No.	機器名	員数	メーカ	型番
1	電動ポンプユニット			
2	複動型油圧ジャッキ			
3	圧縮型ロードセル			
4	変位計			
5	ブリッジボックス			
6	マルチレコーダ			
7	ノートパソコン			

注：ケーブル等の付属品は省略

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

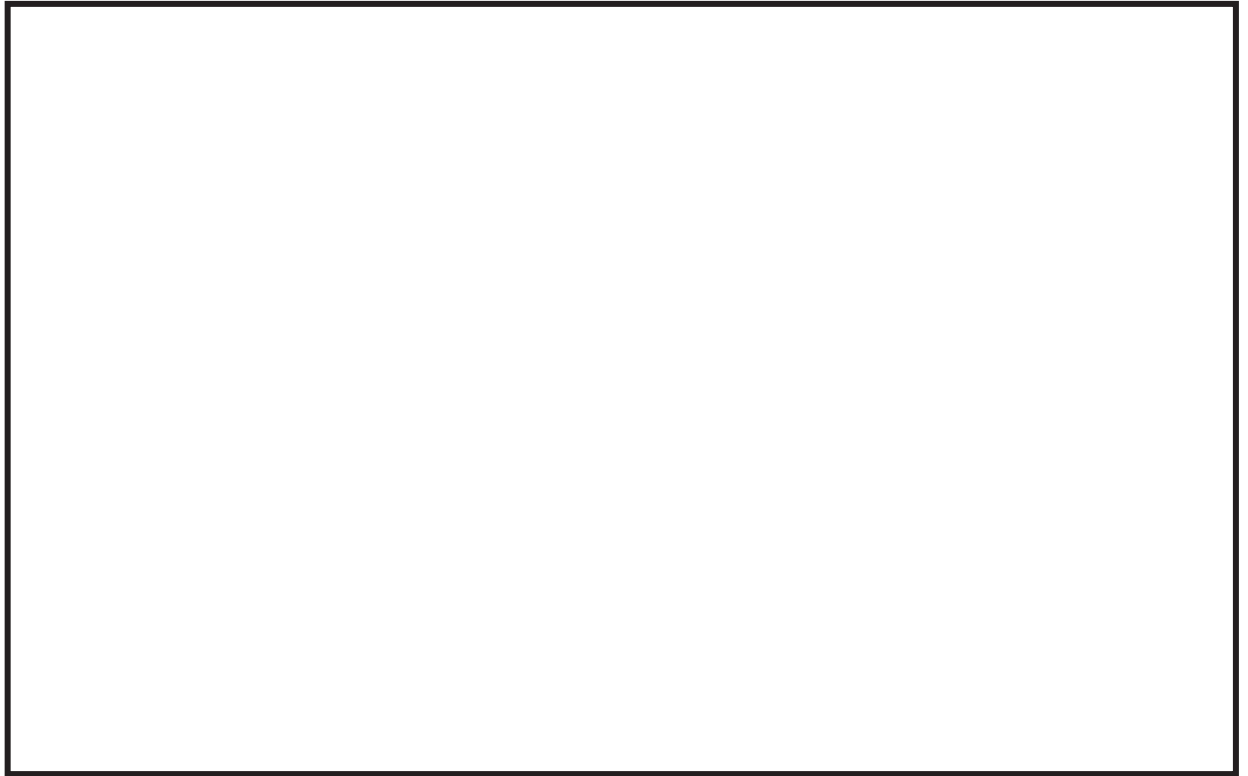


図 4-6 計測システム構成

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 確認項目

開放試験における確認項目を以下に示すとともに、原子炉建屋BOP試験体の開放時の荷重と変位及び他の抗力との関係を求める。

開放試験にて得られる記録値とこの関係から、原子炉建屋BOPの耐震性能を確認する。

- ・ ジャッキ荷重 — 変位関係 (グラフ)
- ・ 原子炉建屋BOP試験体の開放荷重
- ・ 下部の摩擦

(4) 判定基準

【作動確認】

原子炉建屋BOP試験体が設計差圧 (4.4 kPa以下) の圧力にて開放すること

【閉維持確認】

原子炉建屋BOP試験体の開放時の荷重が弾性設計用地震動 S_d による地震荷重 (約59.9 kN) 以上であること

原子炉建屋ブローアウトパネルの機能確認試験結果について

試験要領書に従って実施した試験結果は以下のとおり。

1. 原子炉建屋BOP試験体の固有値確認結果

インパクトハンマーの打撃による原子炉建屋BOP試験体中央の加速度波形から高速フーリエ変換により算定したフーリエスペクトルを図1-1に示す。 Hz近傍に大きなピークがあり、原子炉建屋BOPの1次振動数である。

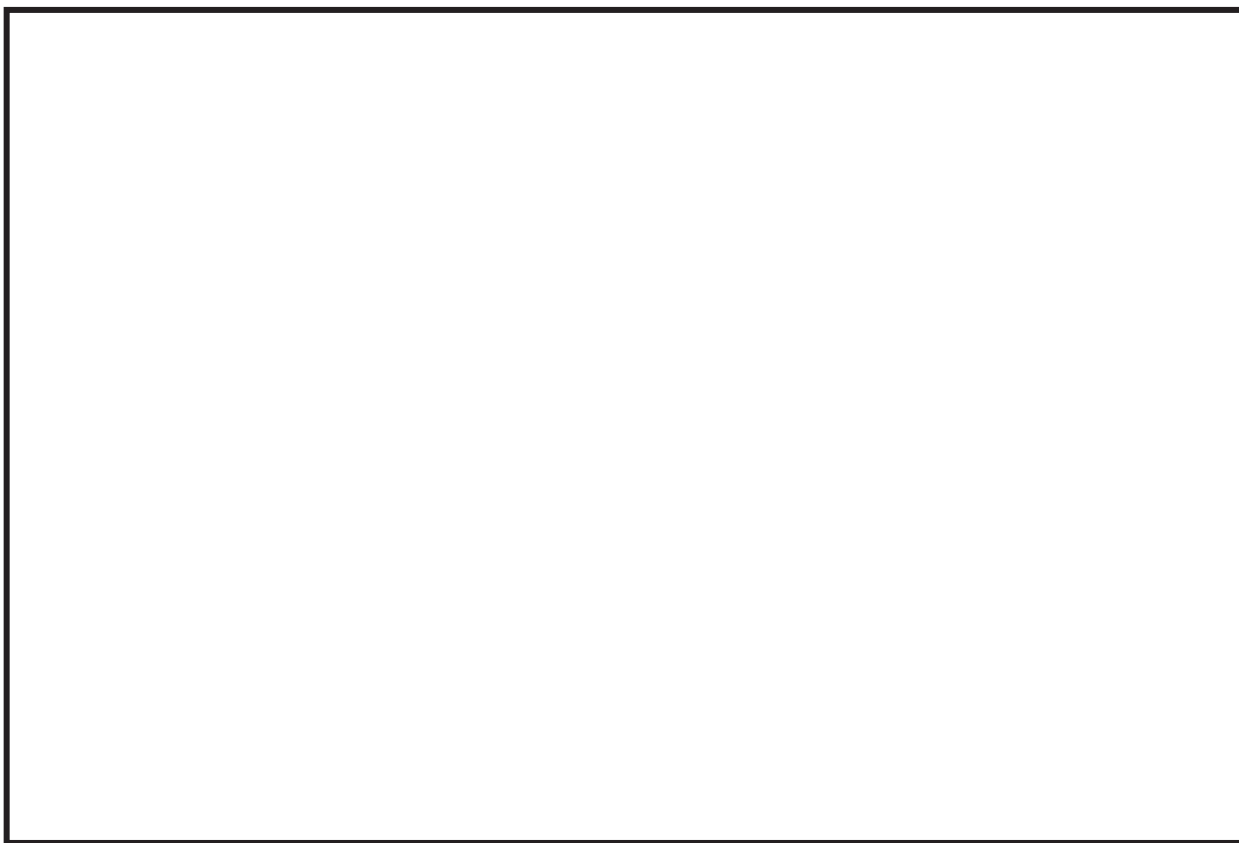


図1-1 原子炉建屋BOPの固有振動数測定結果

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2. 原子炉建屋BOP作動確認結果

(1) 開放機能確認結果

設計条件とした止め板数48個の実機大モックアップ試験体に対して、4体の油圧ジャッキによる開放試験を実施し、原子炉建屋BOPが設計条件（差圧4.4 kPa以下）の荷重にて開放することを確認した（試験体1）。同条件にて再試験を実施し再現性を確認した（試験体2,3）。試験結果を表2-1に、各油圧ジャッキの反力（原子炉建屋BOPの抗力）を図2-1から図2-6に示す。

表2-1 原子炉建屋BOPの開放荷重試験結果

項目	試験日	①測定値 (kN)	②設計差圧 4.4 kPa 相当値 (kN)	判定 (①<②)	備考 相当する差圧値 (kPa)
試験体1	2021/6/11	<input type="text"/>	92.1	○	<input type="text"/>
試験体2	2021/6/22	<input type="text"/>		○	<input type="text"/>
試験体3	2021/6/30	<input type="text"/>		○	<input type="text"/>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

試験体 1

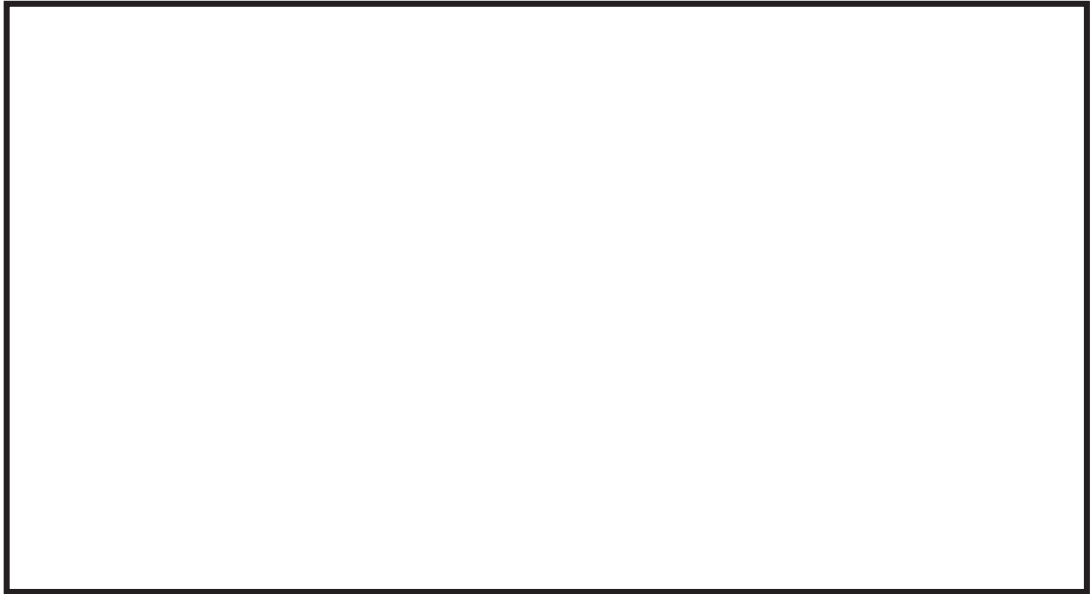


図 2-1 油圧ジャッキの合計荷重の変位の関係

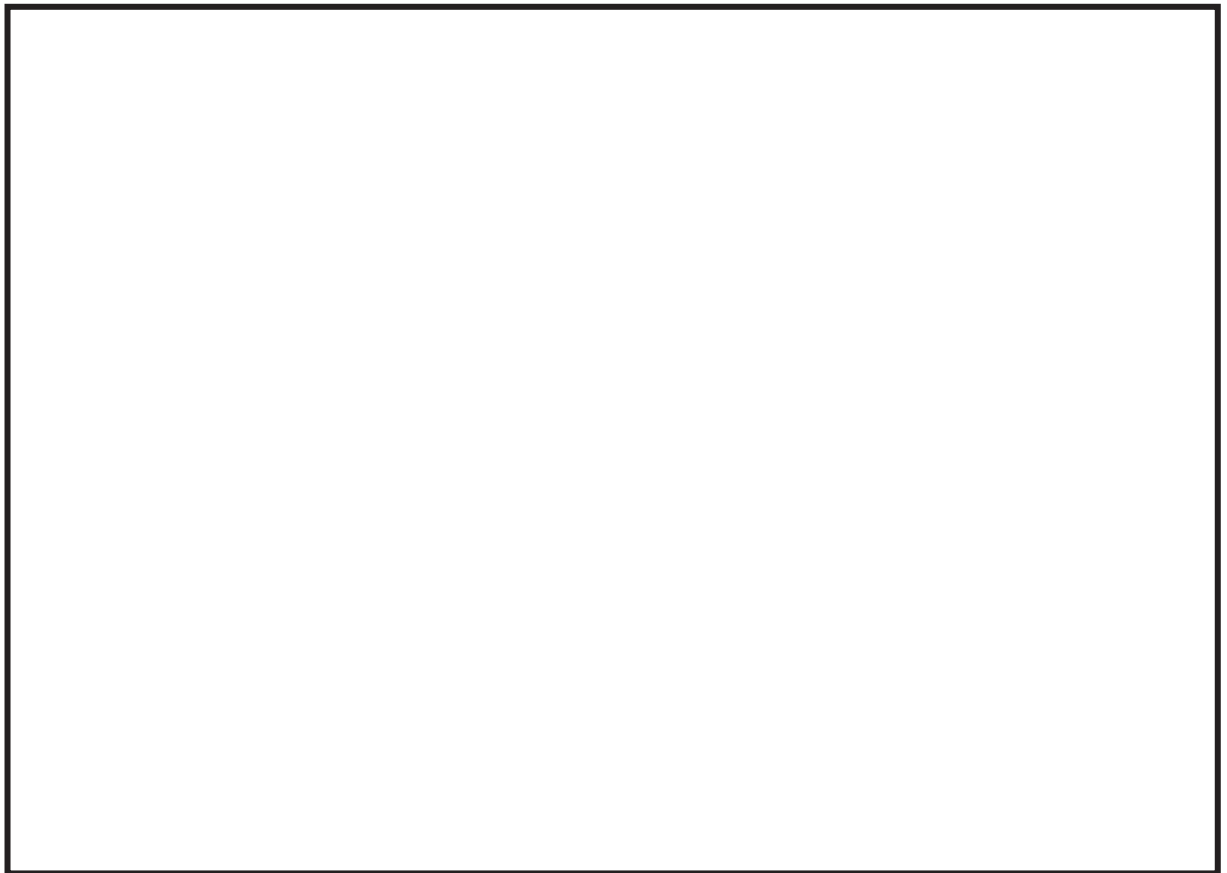


図 2-2 各油圧ジャッキの荷重と変位の関係（試験体 1）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

試験体 2

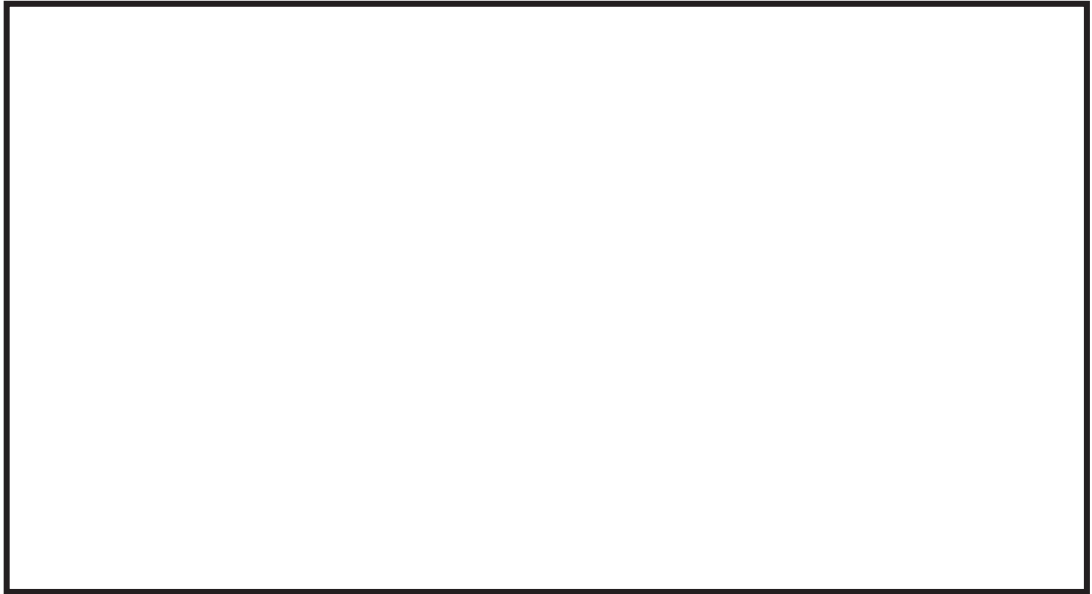


図 2-3 油圧ジャッキの合計荷重の変位の関係

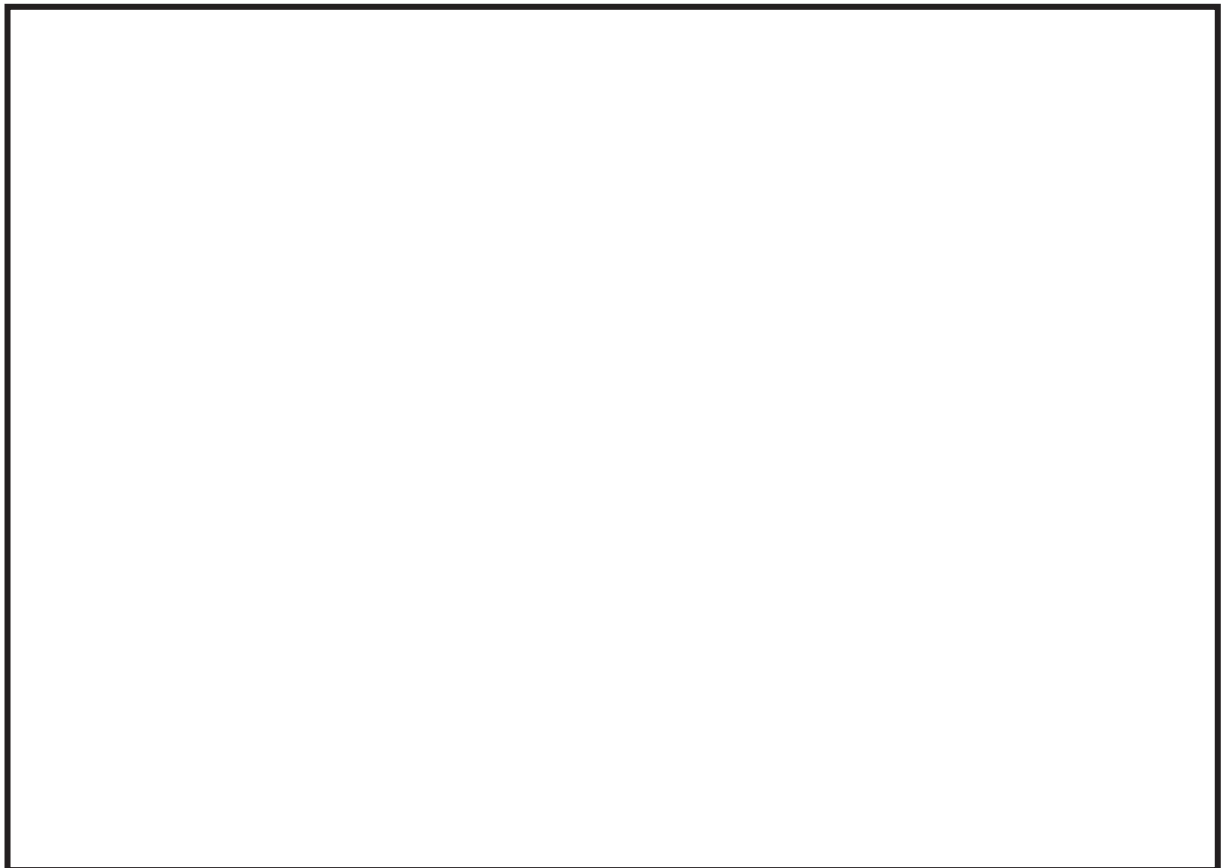


図 2-4 各油圧ジャッキの荷重と変位の関係 (試験体 2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

試験体 3

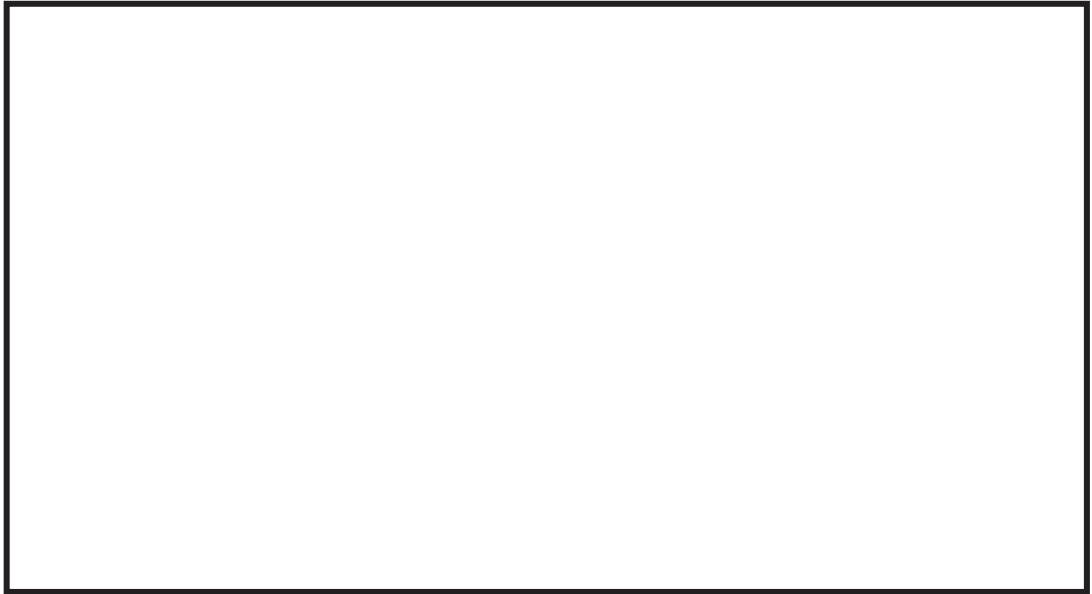


図 2-5 油圧ジャッキの合計荷重の変位の関係

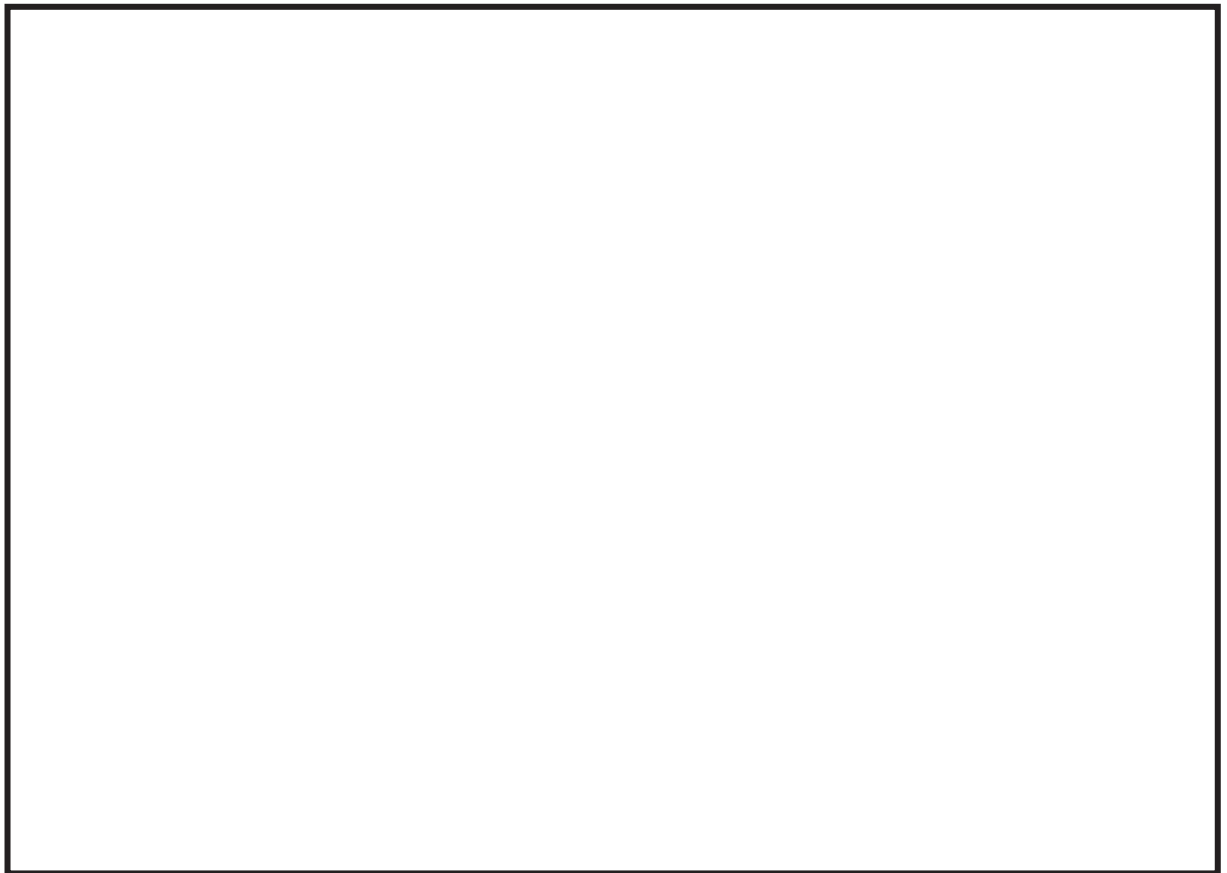


図 2-6 各油圧ジャッキの荷重と変位の関係 (試験体 3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 閉維持確認結果

(1)開放機能確認結果より、原子炉建屋BOPの開放荷重は弾性設計用地震動 S d による地震荷重（約59.9 kN）以上であることを確認した。評価結果を表2-2に示す。

弾性設計用地震動 S d による地震荷重約59.9 kNの根拠は、以下のとおり。

原子炉建屋BOP重量 : 1800 kg

原子炉建屋BOP設置場所 (O.P. 38.5 m) 応答水平震度 : 3.39*

注記* : 原子炉建屋BOPの固有振動数 (Hz) を考慮した震度
弾性設計用地震動 S d による地震荷重

$$: 1800 \text{ kg} \times 9.80665 \text{ m/s}^2 \times 3.39 = 59840 \text{ N} \approx 59.9 \text{ kN}$$

表2-2 原子炉建屋BOPの耐震性能確認結果

項目	試験日	①測定値 (kN)	② 弾性設計用地震動 S d による地震荷重 (kN)	判定 (①>②)
試験体1	2021/6/11	<input type="text"/>	59.9	○
試験体2	2021/6/22	<input type="text"/>		○
試験体3	2021/6/30	<input type="text"/>		○

3. 実機大モックアップ試験の開放挙動に関する考察

実機大モックアップ試験では、上部及び下部止め板の開放による最大荷重に到達した後、取付け枠からパネル本体が完全に脱落することを確認している。なお、ジャッキ荷重は上下左右で同程度の荷重値となっており、パネル本体を均等に載荷することができている。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

原子炉建屋ブローアウトパネル開放時の他設備への影響について

1. 原子炉建屋ブローアウトパネルと原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の配置について

原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「原子炉建屋BOP」という。）は屋外方向に開放する設計としており、屋外方向には他設備は存在しない。また、原子炉棟内については、原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）が設置されているが原子炉建屋BOPに設置している落下防止チェーンは、下部よりも上部を長くし、かつ、原子炉建屋BOPが屋外の屋根スラブに接地しない設計としていることから、原子炉建屋BOP開放時は原子炉棟内に倒れこむことはなく、BOP閉止装置に干渉することはない。配置の関係を図1-1に示す。

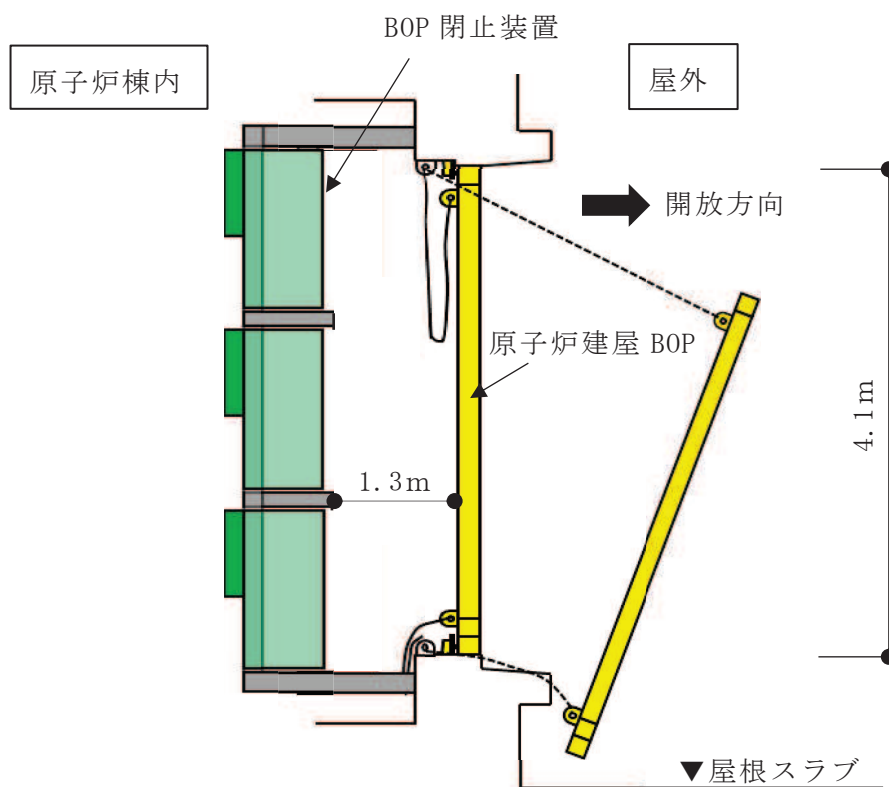


図1-1 原子炉建屋BOPとBOP閉止装置の配置関係