

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1
提出年月日	2021年4月6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	<u>ブローアウトパネル関連設備の要求機能について</u> ……………	補足1-1
補足2	<u>原子炉建屋ブローアウトパネルの配置と構造について</u> ……………	補足2-1
補足3	<u>止め板曲げ試験について</u> ……………	補足3-1
補足4	<u>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</u>	補足4-1
補足5	<u>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</u> ……………	補足5-1
補足6	<u>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</u> ……	補足6-1
補足7	<u>原子炉建屋ブローアウトパネルの飛出し挙動について</u> ……………	補足7-1
補足8	<u>原子炉建屋ブローアウトパネルの保安全管理について</u> ……………	補足8-1
補足9	<u>原子炉建屋ブローアウトパネル機能確認解析について</u> ……………	補足9-1
補足10	<u>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</u> ……………	補足10-1
補足11	<u>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</u> ……………	補足11-1
補足12	<u>原子炉建屋内圧力解析について</u> ……………	補足12-1
補足13	<u>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</u> ……………	補足13-1
補足14	<u>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</u> ……………	補足14-1
補足15	<u>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</u> ・	補足15-1
補足16	<u>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</u> ・	補足16-1
補足17	<u>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</u> ……………	補足17-1
補足18	<u>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</u> ……………	補足18-1
補足19	<u>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</u> ……………	補足19-1

## 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、容易に再閉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（閉状態）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 への蒸気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、SA 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: SA 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

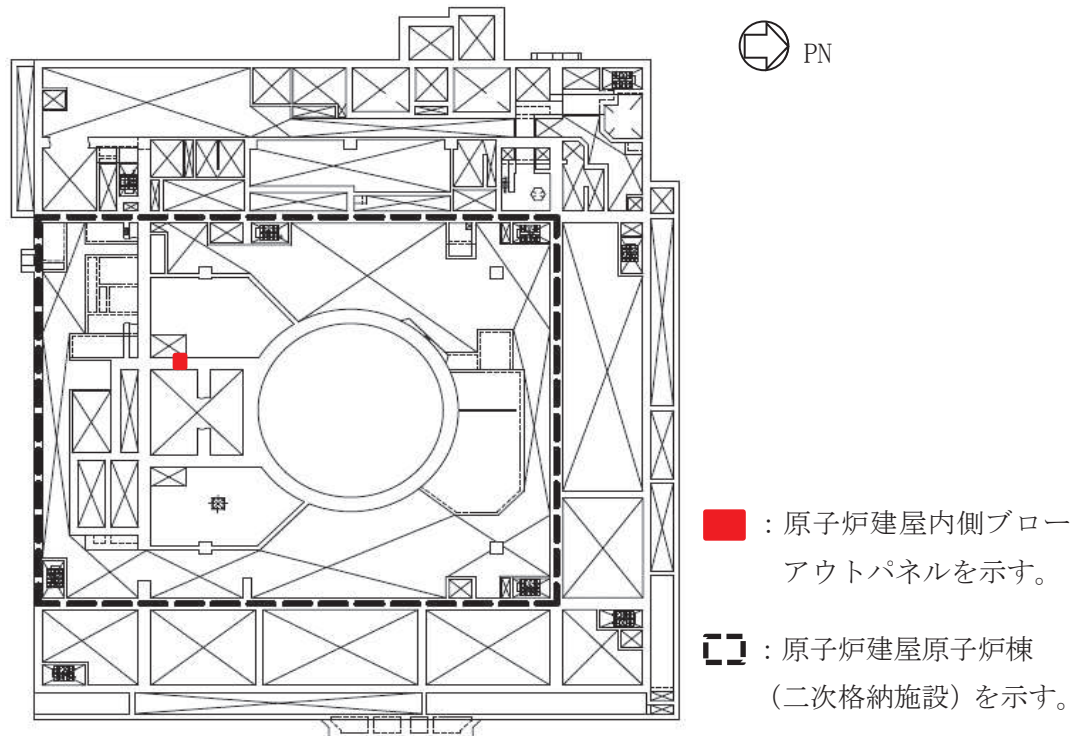
原子炉建屋内側ブローアウトパネルの配置と構造について

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。

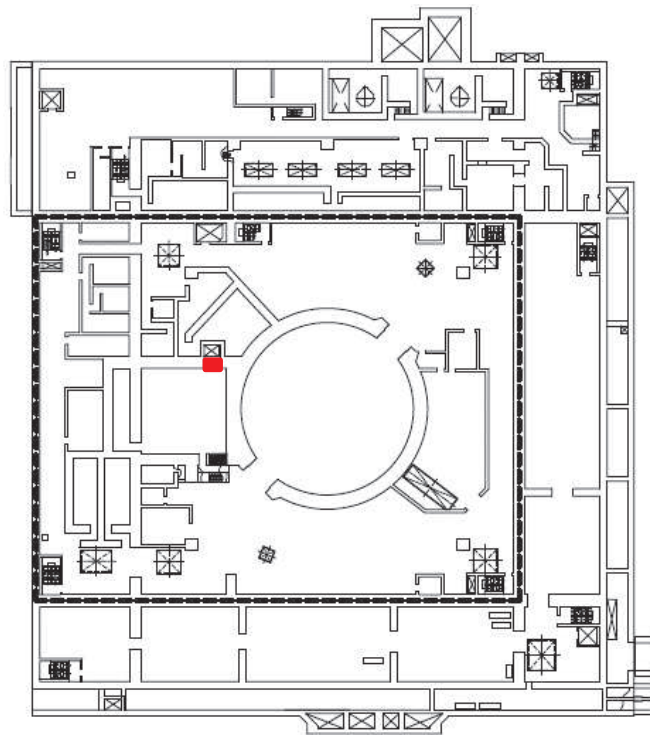
表 1-1 原子炉建屋内側ブローアウトパネルの主要仕様

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

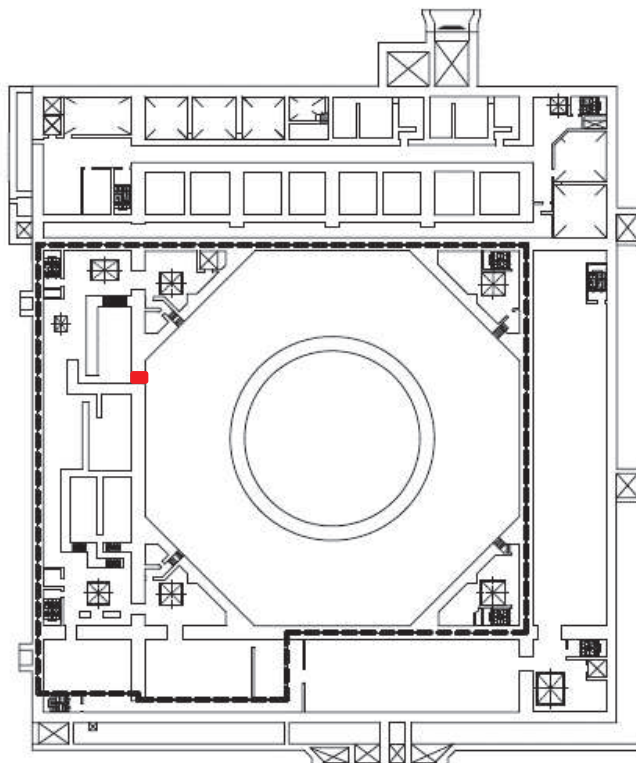
図 1-1 原子炉建屋内側ブローアウトパネル配置図 (1/3)



■ : 原子炉建屋内側ブローアウトパネルを示す。

□ : 原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設) を示す。

原子炉建屋原子炉棟地下1階 概略平面図

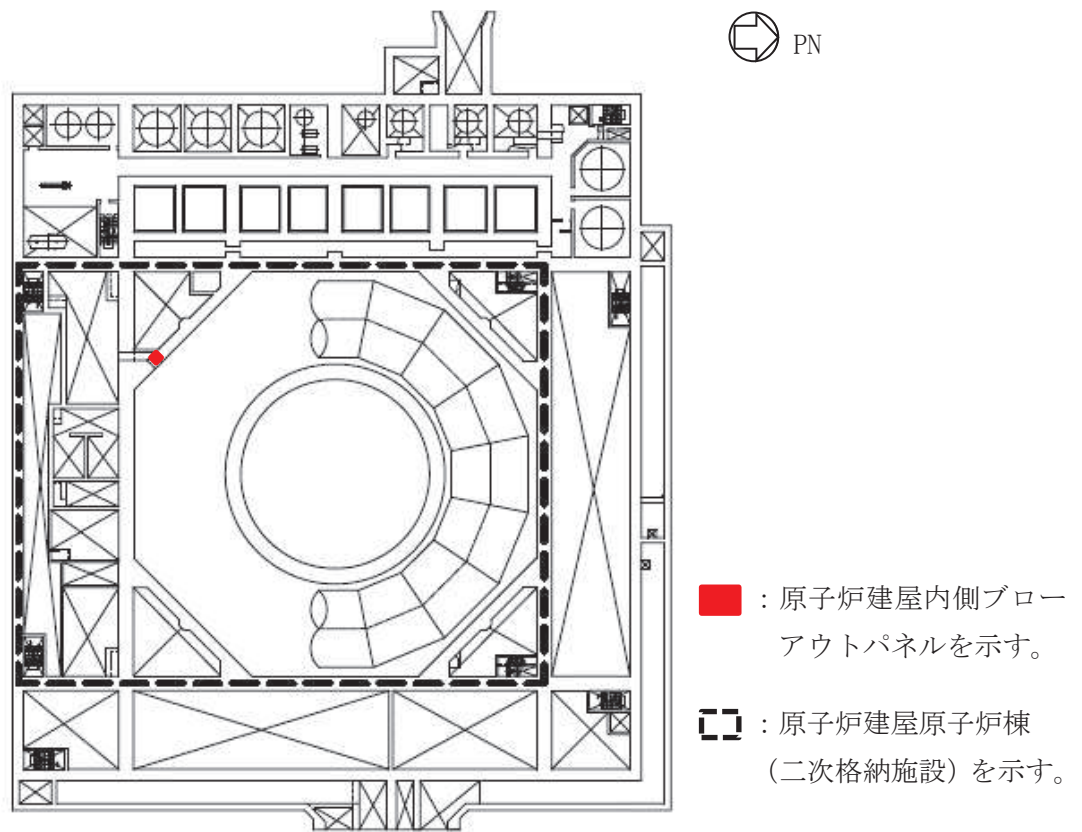


■ : 原子炉建屋内側ブローアウトパネルを示す。

□ : 原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設) を示す。

原子炉建屋原子炉棟地下2階 概略平面図

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

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。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。

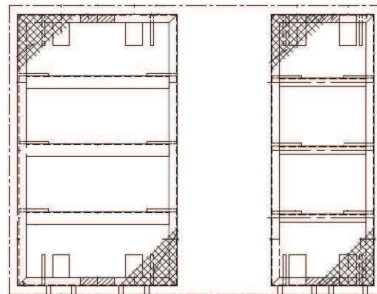
なお、構造については、原子炉建屋 BOP と同じ止め板方式としている。

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



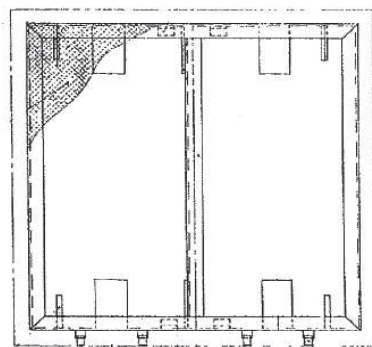
正面図



側面図

【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)



正面図



側面図

【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)

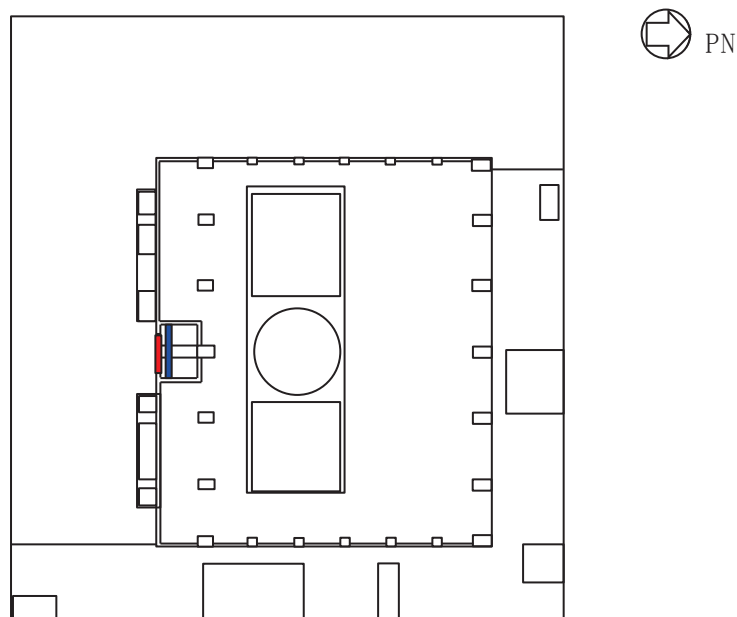
## 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の配置と構造について

### 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、門と門受け(扉閉側)により扉本体をパッキンに押し付け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。

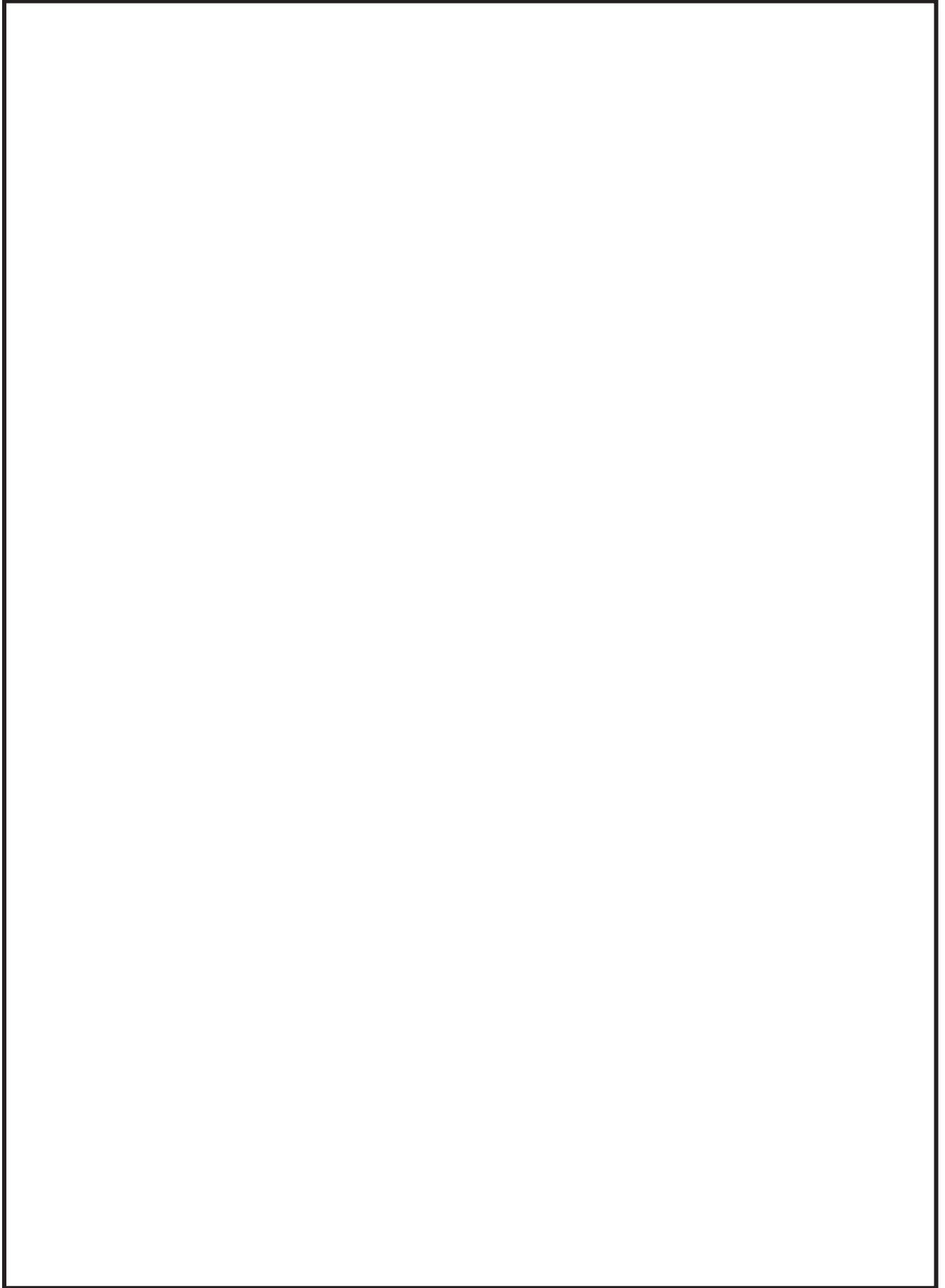


図 3-1 BOP 閉止装置の構造概要図

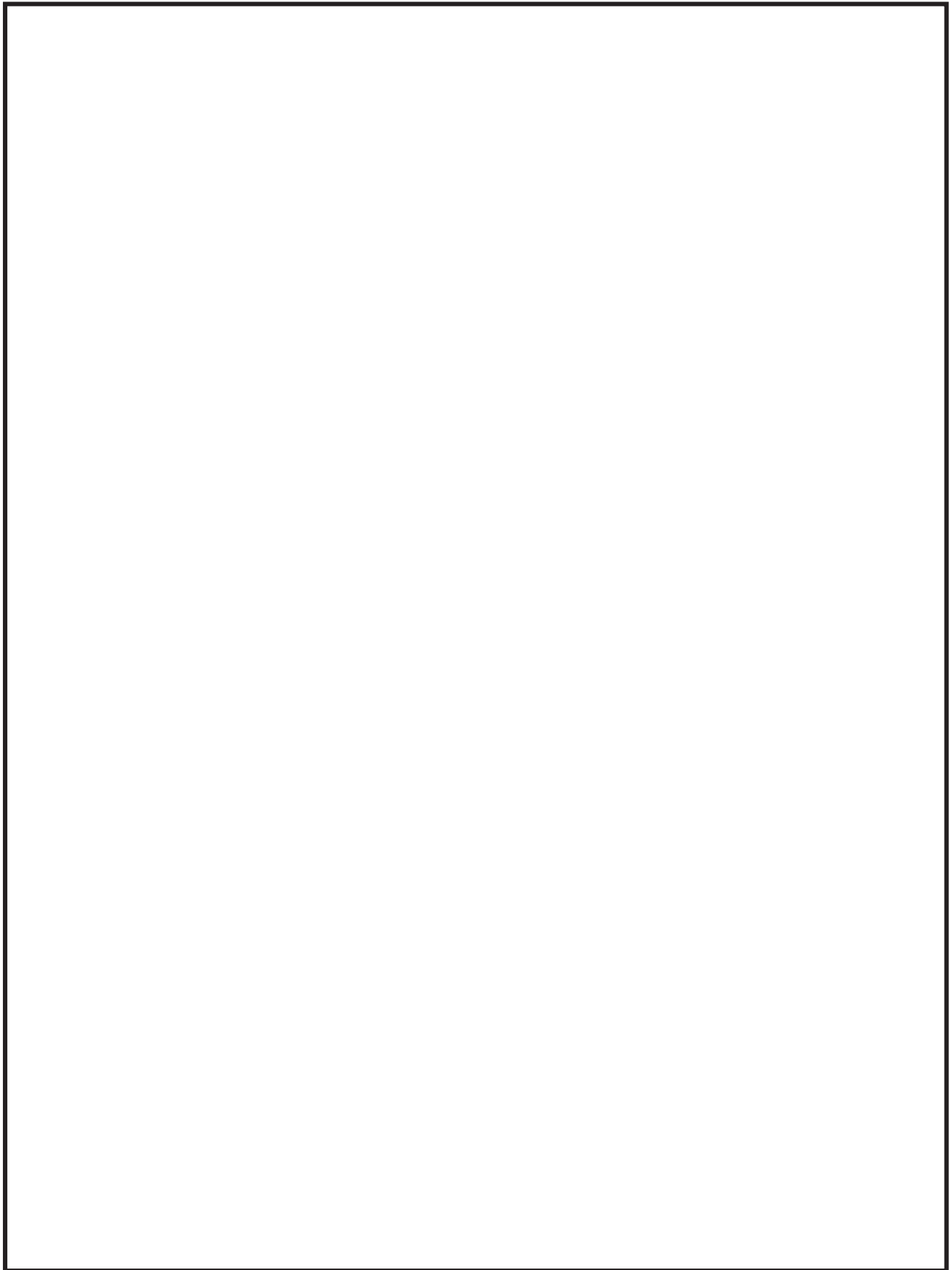


図 3-2 BOP 閉止装置の駆動機構概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

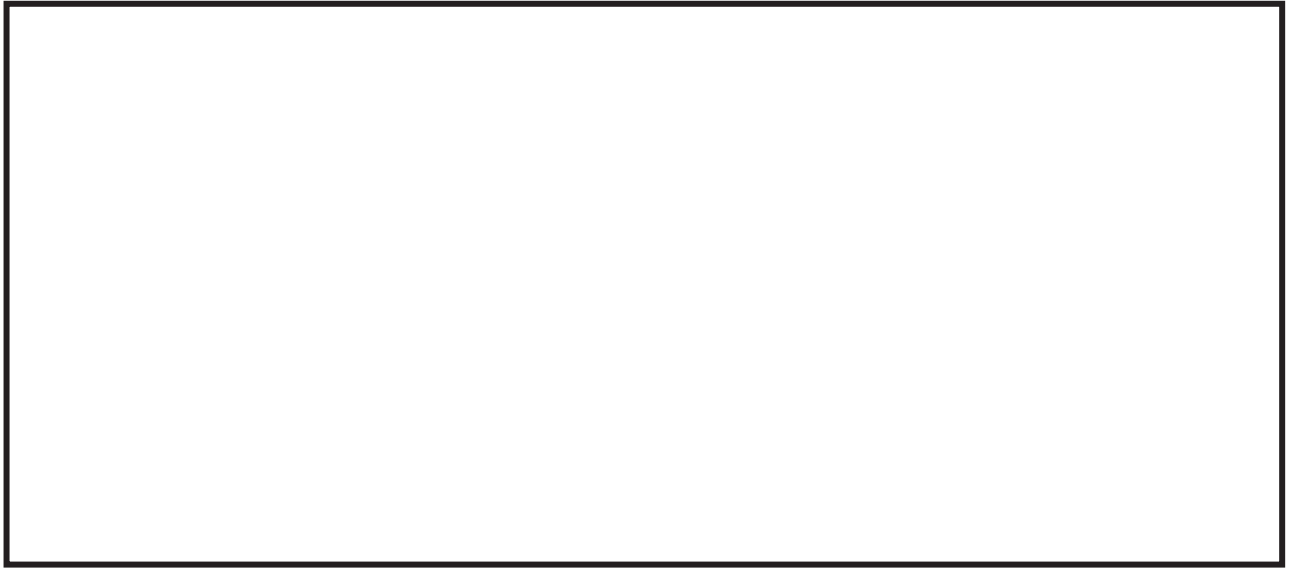


図 3-3 BOP 閉止装置の手動操作概念図

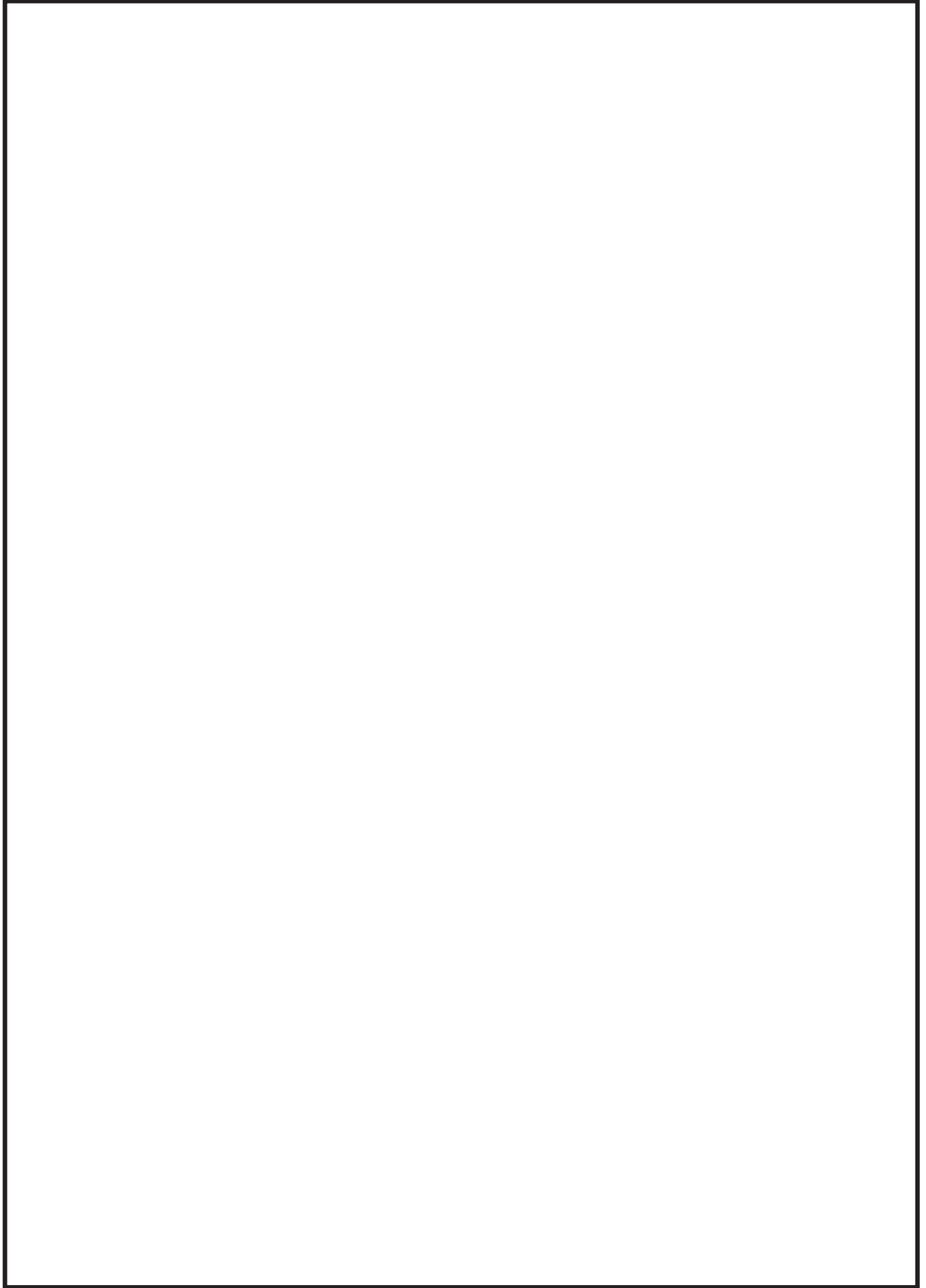


図 3-4 ブローアウトパネル関連設備の設置概要図

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。



## 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。また、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。

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 <sup>3</sup> MS トンネル室 (2) : 780m <sup>3</sup> PCV ギャップ : 130m <sup>3</sup> トーラス室 : 7470m <sup>3</sup> 原子炉建屋地下 3 階 : 790m <sup>3</sup> 原子炉建屋地下 2 階 : 1150m <sup>3</sup> 原子炉建屋地下 1 階 : 9300m <sup>3</sup> 原子炉建屋地上 1 階 : 4210m <sup>3</sup> 原子炉建屋地上 2 階 : 4720m <sup>3</sup> 原子炉建屋地上 3 階 (オペフロ) : 23470m <sup>3</sup> R-08 階段室 : 220m <sup>3</sup> R-09 階段室 : 130m <sup>3</sup> R-10 階段室 : 280m <sup>3</sup> RHR (A) 弁室 : 550m <sup>3</sup> RHR (B) 弁室 : 560m <sup>3</sup> RCIC タービンポンプ室 : 500m <sup>3</sup> CUW 再生熱交換器室 : 170m <sup>3</sup>	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 <sup>2</sup> BOP4 : 2.0m <sup>2</sup> BOP5 : 1.0m <sup>2</sup> BOP6 : 1.0m <sup>2</sup> BOP7 : 1.0m <sup>2</sup>  16.5 m <sup>2</sup>  PCV ギャップ-トーラス室 : 5.5m <sup>2</sup>  PCV ギャップ-MS トンネル室 (1) : 1.7m <sup>2</sup> PCV ギャップ-原子炉建屋地下 1 階 : 5.1m <sup>2</sup> PCV ギャップ-原子炉建屋地上 1 階 : 0.3m <sup>2</sup> PCV ギャップ-RHR (A) 弁室 : 0.9m <sup>2</sup> PCV ギャップ-RHR (B) 弁室 : 1.0m <sup>2</sup> MS トンネル室 (1)-MS トンネル室 (2) : 2.0m <sup>2</sup> 原子炉建屋地上 1 階-原子炉建屋地上 2 階 : 35.7m <sup>2</sup> 原子炉建屋地上 2 階-原子炉建屋地上 3 階 (オペフロ) : 35.7m <sup>2</sup> 階段室開口面積 : 2.0m <sup>2</sup>	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 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

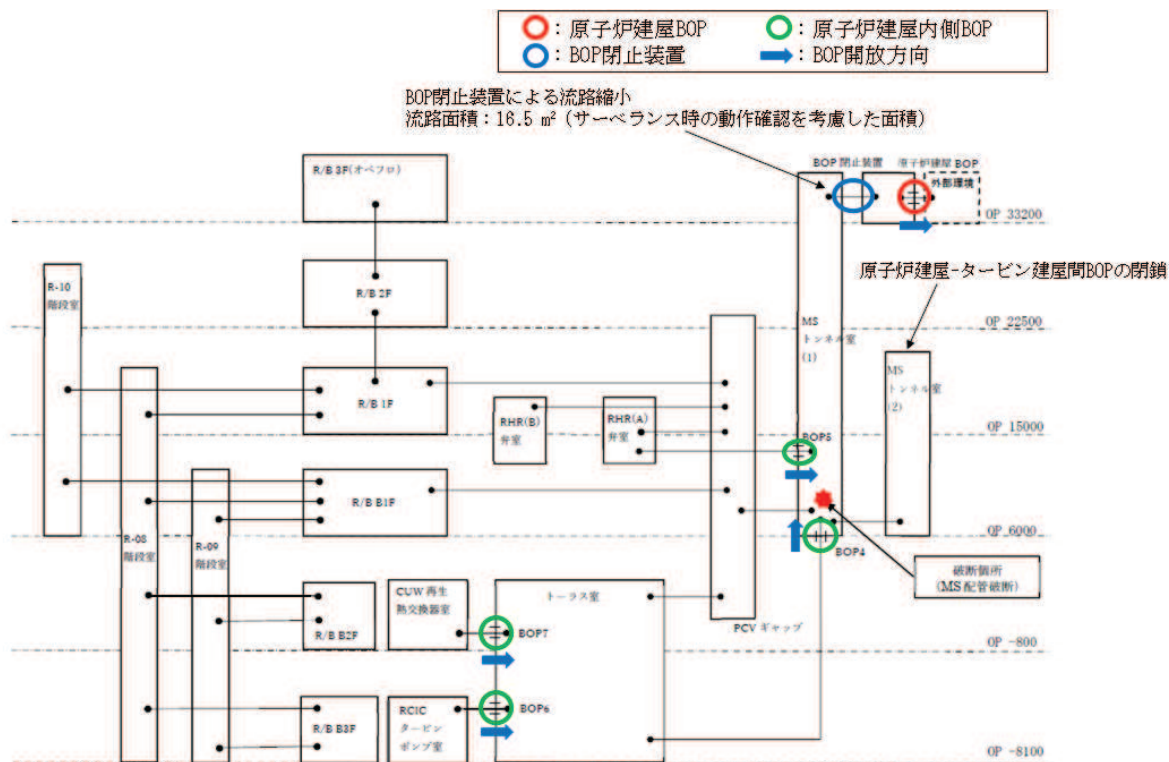


図 2-1 解析モデル

### 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。

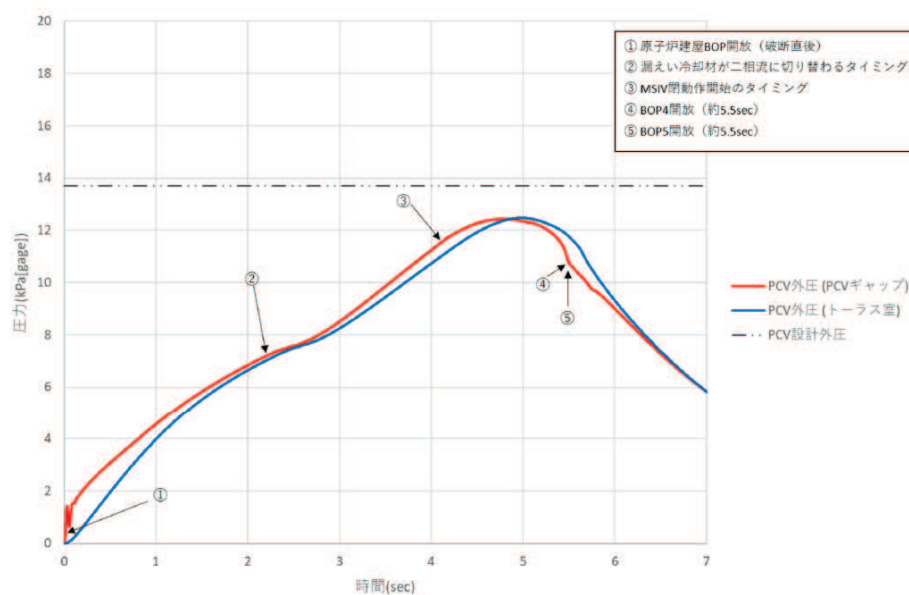


図 3-1 主蒸気管破断時に原子炉格納容器外側に作用する圧力

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"> <li>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</li> <li>通常運転時に，扉の開閉試験（電動）にて確認</li> </ul>
		門の引抜き，挿入機能確保	作動試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>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</li> </ul>
	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"> <li>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</li> </ul>
			外観目視点検（シール部）	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
			パッキン取替	<ul style="list-style-type: none"> <li>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）</li> </ul>
	構造健全性	構造健全性確認	外観目視点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>

## 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

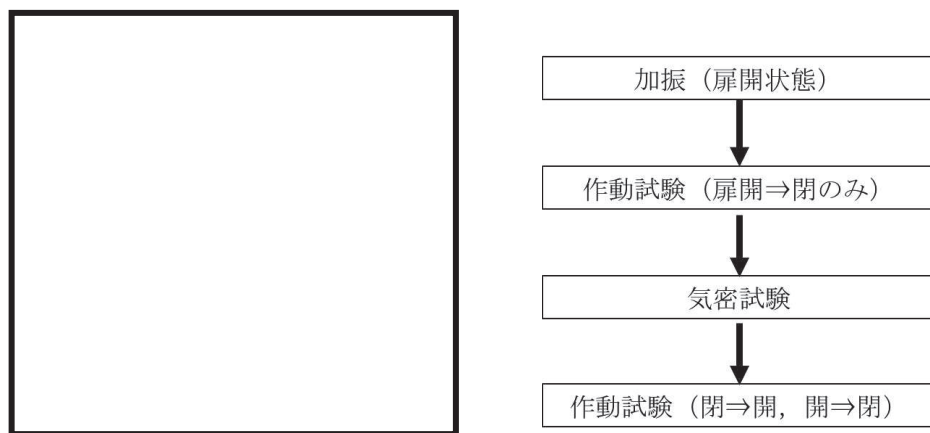
基準地震動  $S_s$  加振波による加振を行い、BOP 閉止装置に要求される機能が確保されていることを確認する。



- ・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】

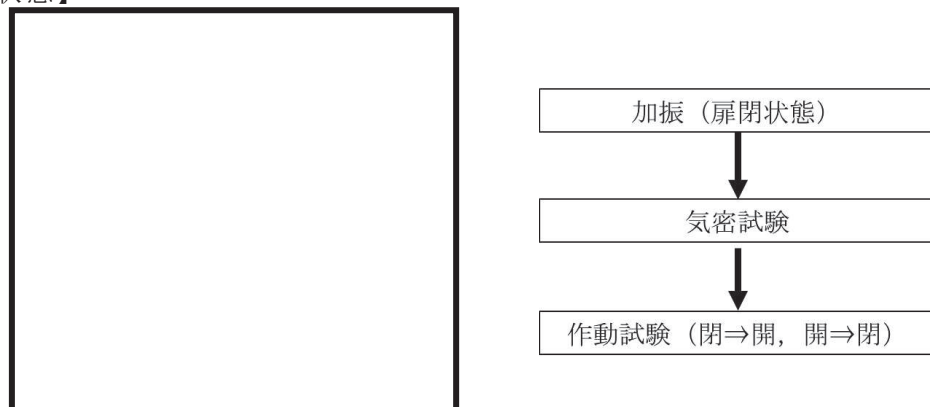


図 3-1 BOP 閉止装置試験治具概念図

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 <sup>2</sup>	2700 cm/s <sup>2</sup>	2200 cm/s <sup>2</sup>
最大速度	200 cm/s	200 cm/s	100 cm/s
最大変位	80 cm	80 cm	40 cm

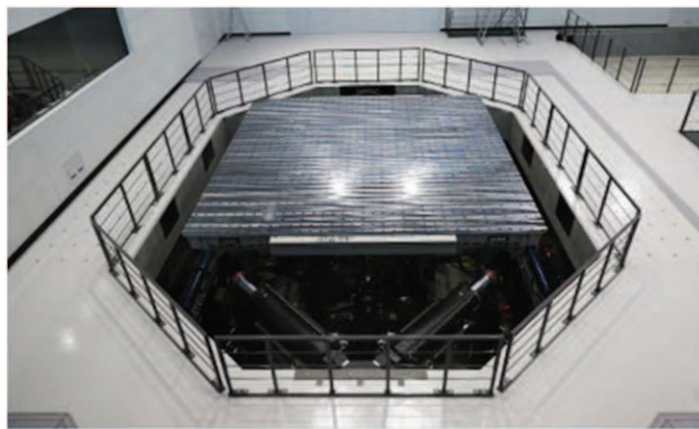


図 4-1 三次元振動台の概要図



(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

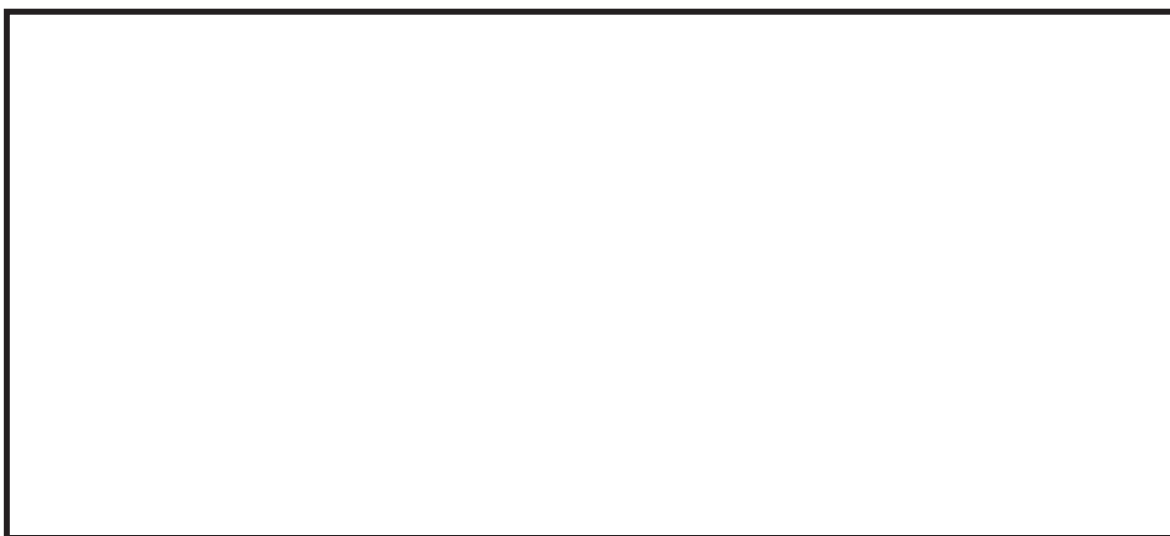
### (1) BOP 閉止装置の基準地震動 $S_s$ 加振波

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

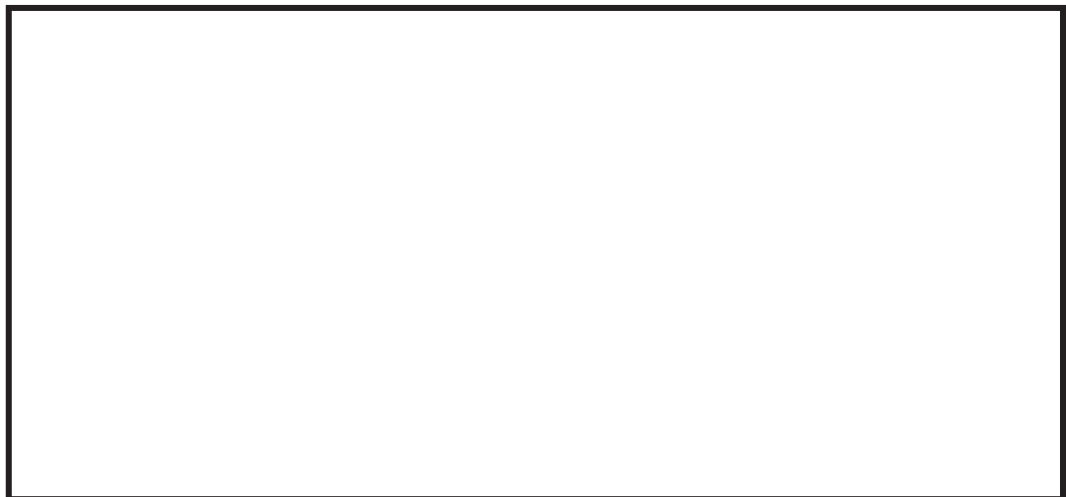
図 4-3 模擬地震波の時刻歴波形



(1) 水平 (NS) 方向



(2) 水平 (EW) 方向



(3) 鉛直方向

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 <sup>2</sup> 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* <sup>1</sup>	2.0m/s <sup>2</sup> 程度	—
5			Y			
6			Z			
7	振動特性把握試験	扉閉	X	ランダム波* <sup>1</sup>	2.0m/s <sup>2</sup> 程度	—
8			Y			
9			Z			
10	地震波加振試験	扉開	X+Y+Z	包絡波* <sup>2</sup>	1.0×S <sub>s</sub>	—
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<sub>s</sub> 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	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 振動台</li><li>・ 支持架台</li><li>・ 扉</li><li>・ 扉の駆動装置</li></ul>

##### 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"> <li>振動台上加速度を計測</li> <li>振動台上の応答の確認が目的</li> <li>測定点 A3, A4 の下の振動台上に設置</li> </ul>			
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"> <li>支持架台上加速度を計測</li> <li>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</li> <li>測定点 A3, A4 の下の支持架台上に設置</li> </ul>		
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"> <li>支持架台上加速度を計測</li> <li>支持架台による上部の応答増幅の確認が目的</li> <li>支持架台の振動特性確認を兼ねる</li> </ul>			
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"> <li>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</li> <li>駆動装置 1 及び 2 の振動特性確認も兼ねる</li> </ul>		
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"> <li>扉 1 の振動特性, 地震応答の確認が目的</li> </ul>			
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"> <li>扉 2 の振動特性, 地震応答の確認が目的</li> </ul>	
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"> <li>支持架台(駆動装置上の梁中央)の振動特性の確認が目的</li> </ul>
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。

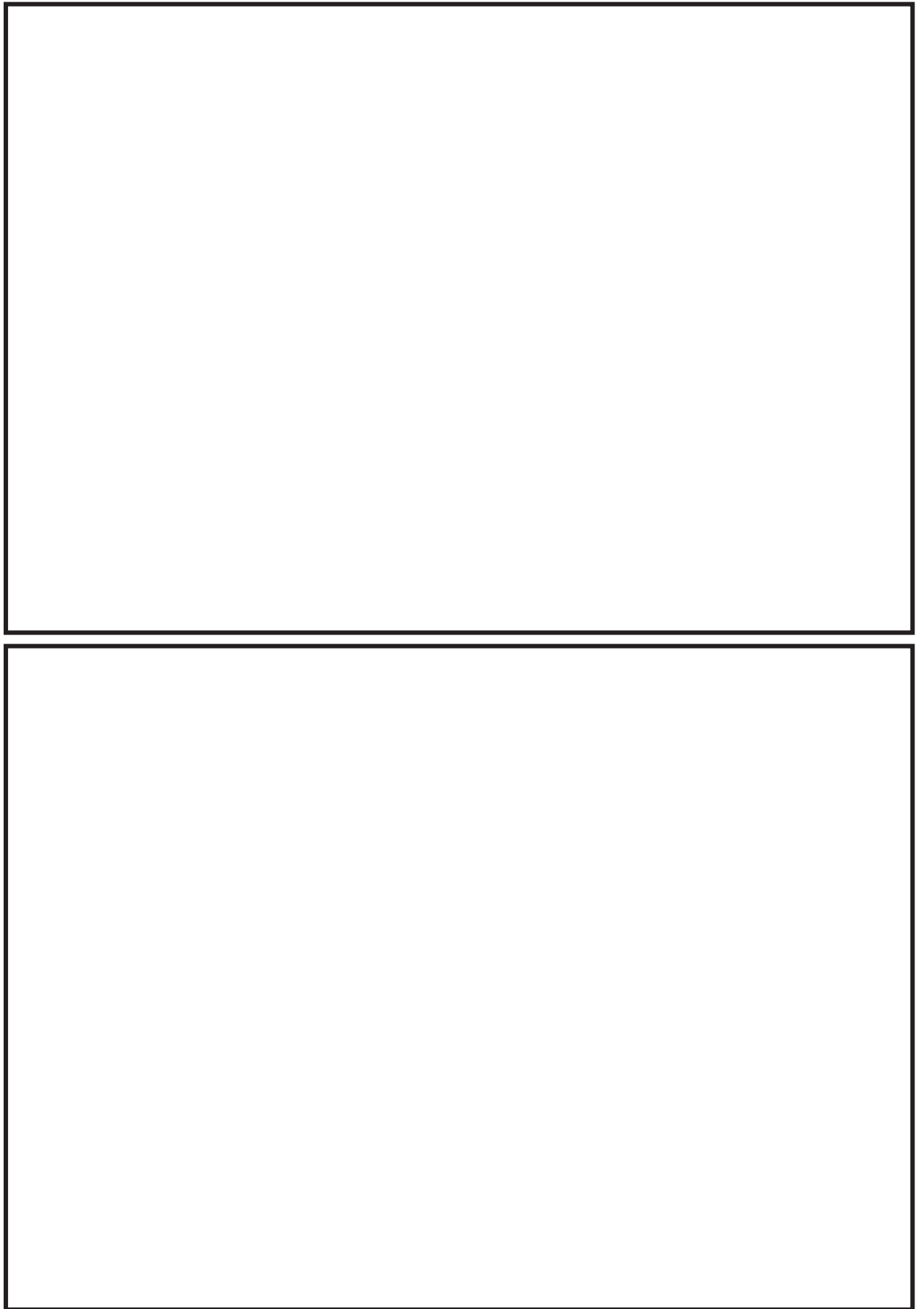


図 4-5 BOP 閉止装置加振試験加速度計の設置位置（振動台・支持架台，閉止装置）

## 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  $1.0\text{m/s}^2$  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  $2.0\text{m/s}^2$  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。

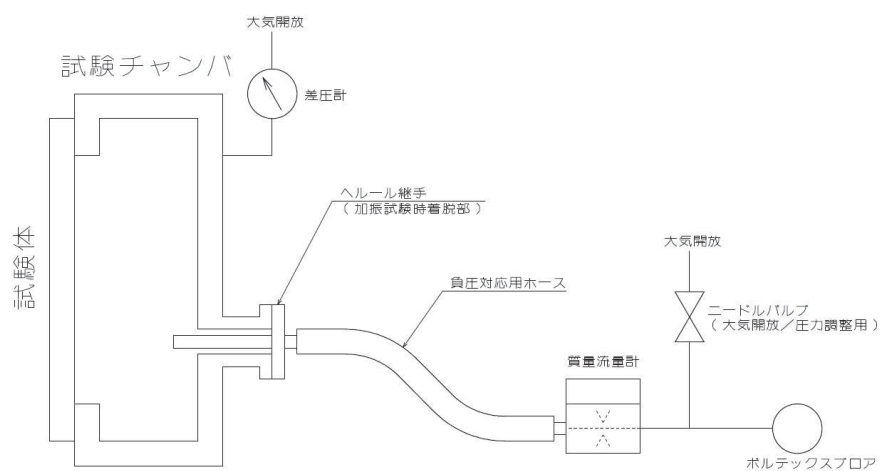


図 5-1 BOP 閉止装置気密性能試験装置図



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  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) は、風速計の風速  $V$  ( $\text{m}/\text{s}$ )、風量測定管の直径  $d$  ( $\text{m}$ ) 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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



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  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) を、標準状態 ( $20^\circ\text{C}$ ,  $1013\text{hPa}$ ) に換算し、扉の内側の面積 ( $\text{m}^2$ ) 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 ( $\text{m}^2$ )

$Q'$  : 通過した空気量 ( $20^\circ\text{C}$ ,  $1013\text{hPa}$  換算値) ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

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

$P$  : 試験容器内の気圧 ( $\text{hPa}$ )

$T$  : 試験時の空気温度 ( $^\circ\text{C}$ )

(2) 判定基準

通気量:  以下\*1 (差圧  $63\text{Pa}$ \*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 <sub>s</sub> (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 <sub>s</sub> (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/s<sup>2</sup>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。

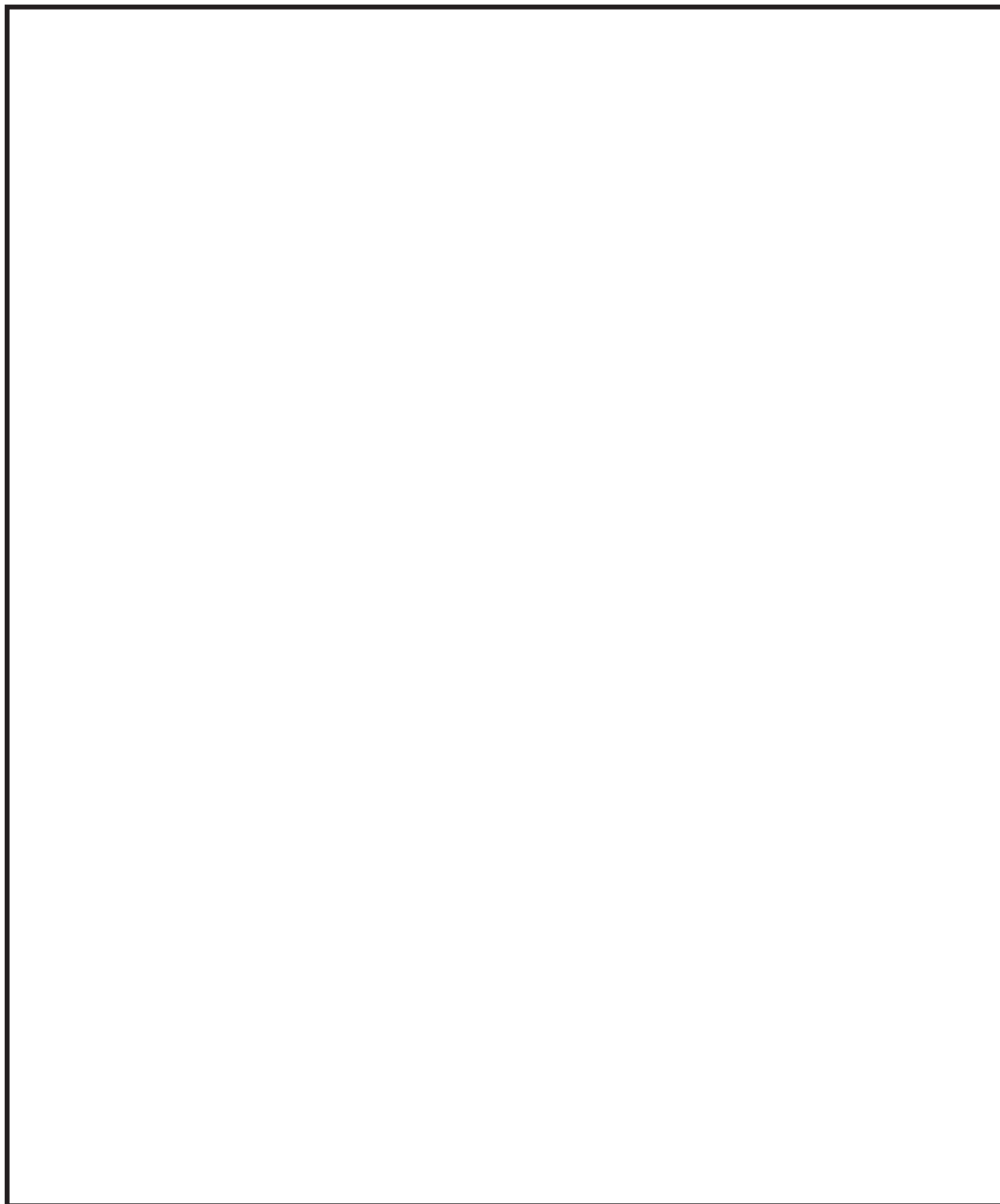


図 2-1 BOP 閉止装置の固有振動数

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

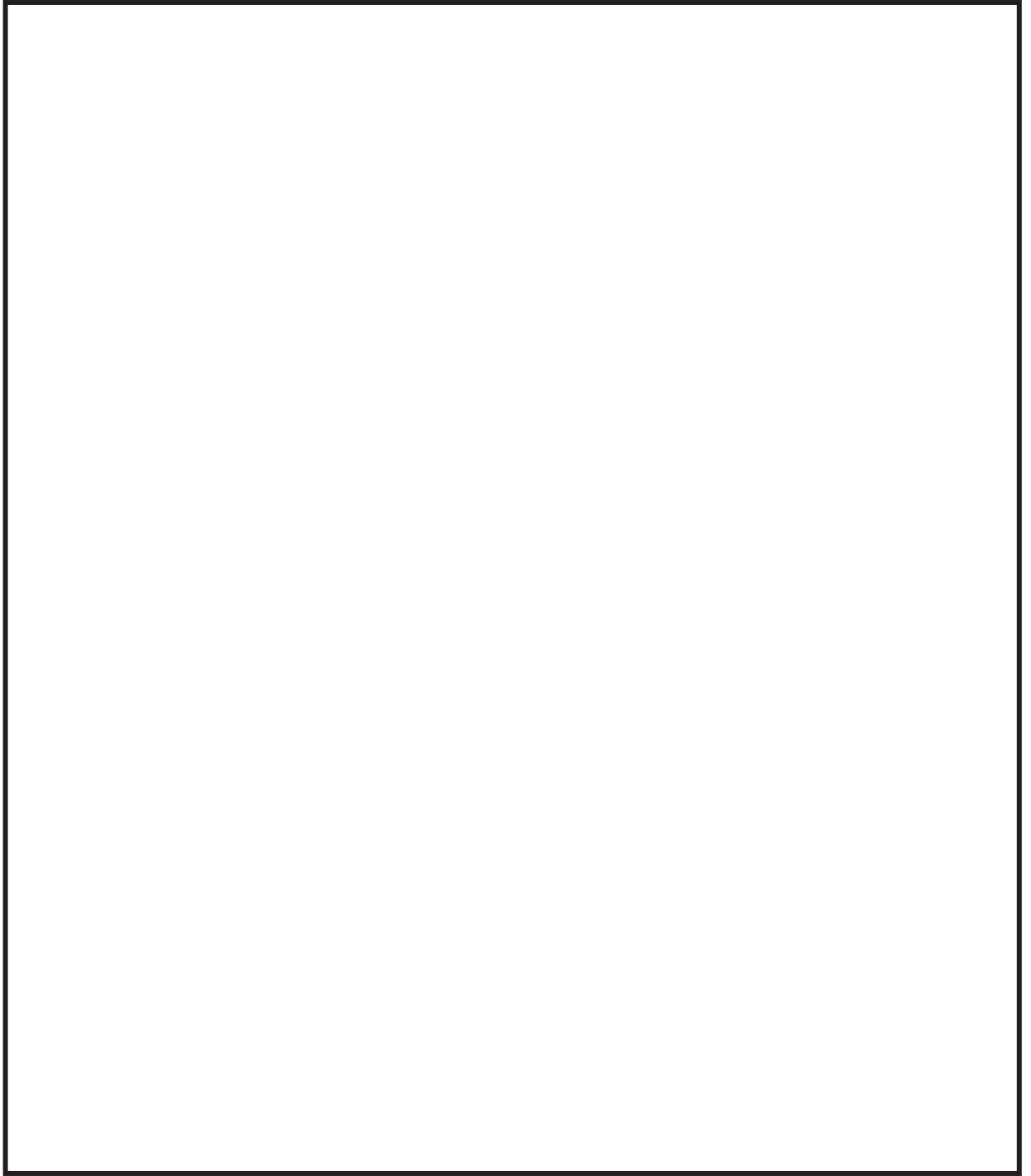


図 2-2 支持架台の固有振動数

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 <sub>s</sub> 包絡条件 (×9.8 m/s <sup>2</sup> )	A3 (扉上部)	判定結果
		計測結果 (×9.8 m/s <sup>2</sup> )	
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 <sub>s</sub> 包絡条件 (×9.8 m/s <sup>2</sup> )	A1 (扉下部)	判定結果
		計測結果 (×9.8 m/s <sup>2</sup> )	
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 <sub>s</sub> 包絡条件 (×9.8 m/s <sup>2</sup> )	A4 (扉上部)	判定結果
		計測結果 (×9.8 m/s <sup>2</sup> )	
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 <sub>s</sub> 包絡条件 (×9.8 m/s <sup>2</sup> )	A2 (扉下部)	判定結果
		計測結果 (×9.8 m/s <sup>2</sup> )	
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 <sub>s</sub> 包絡条件 (×9.8 m/s <sup>2</sup> )	A3 (扉上部)	判定結果
		計測結果 (×9.8 m/s <sup>2</sup> )	
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 <sub>s</sub> 包絡条件 (×9.8 m/s <sup>2</sup> )	A1 (扉下部)	判定結果
		計測結果 (×9.8 m/s <sup>2</sup> )	
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 <sub>s</sub> 包絡条件 (×9.8 m/s <sup>2</sup> )	A4 (扉上部)	判定結果
		計測結果 (×9.8 m/s <sup>2</sup> )	
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 <sub>s</sub> 包絡条件 (×9.8 m/s <sup>2</sup> )	A2 (扉下部)	判定結果
		計測結果 (×9.8 m/s <sup>2</sup> )	
X	2.55	<input type="checkbox"/>	○
Y		<input type="checkbox"/>	○
Z	1.53	<input type="checkbox"/>	○



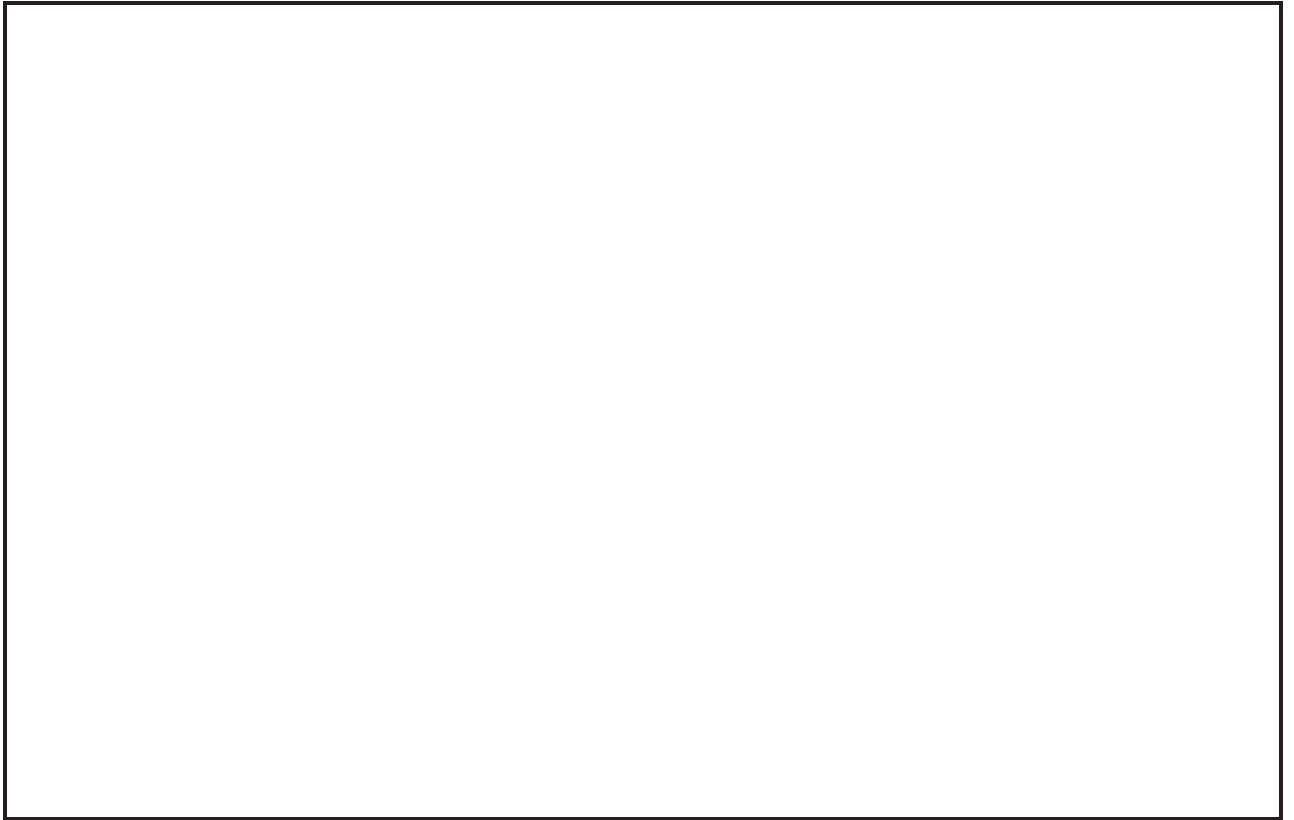


図 3-1 扉開 上部 (A3) 測定結果 (試験 No. 5)

図 3-2 扉開 下部 (A1) 測定結果 (試験 No. 5)

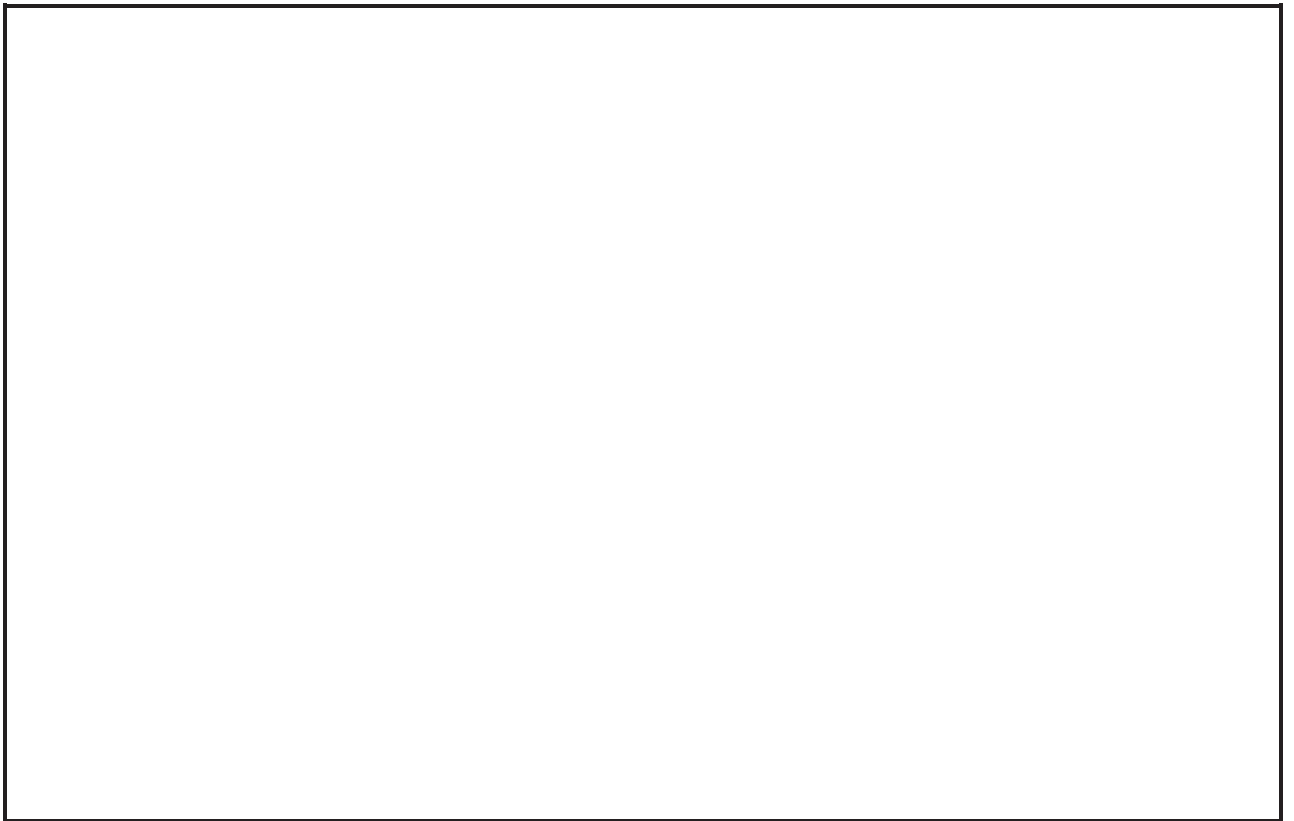


図 3-3 扉開 上部 (A4) 測定結果 (試験 No. 5)

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。

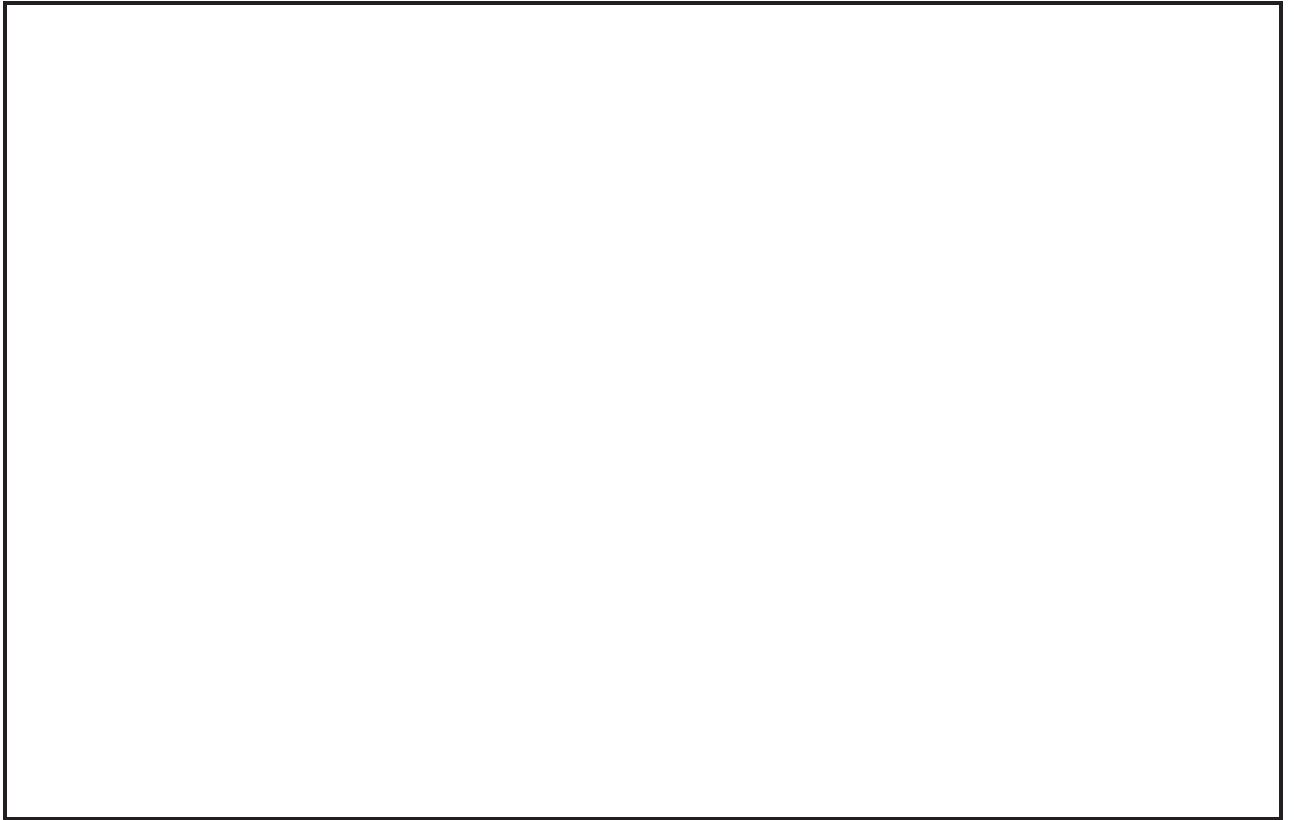


図 3-5 扉閉 上部 (A3) 測定結果 (試験 No. 6)

図 3-6 扉閉 下部 (A1) 測定結果 (試験 No. 6)

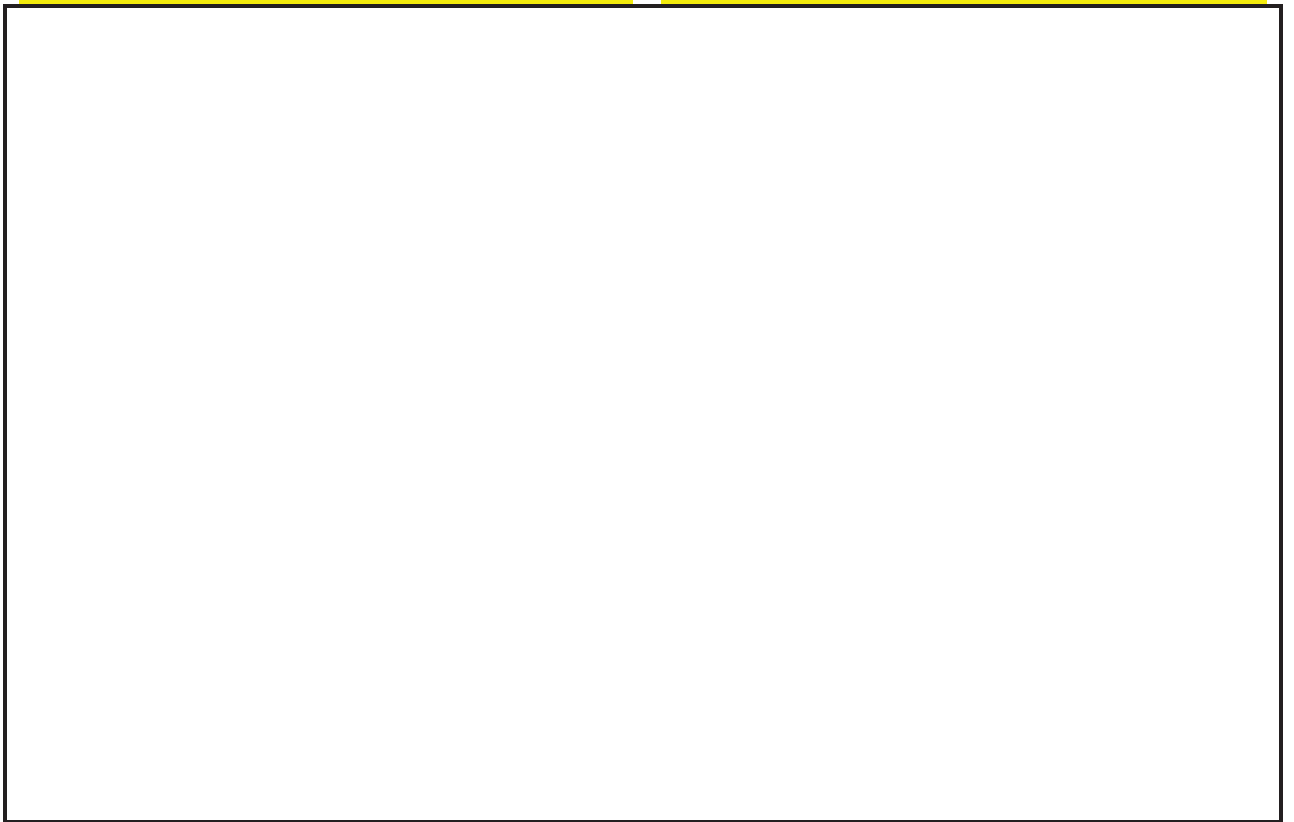


図 3-7 扉閉 上部 (A4) 測定結果 (試験 No. 6)

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 <sup>3</sup> /(h・m <sup>2</sup> )] (63Pa*時)	備考
扉	加振		
開	初期状態	<input type="text"/>	扉を閉止して試験実施
開	S s	<input type="text"/>	加振後に扉を閉止し試験
閉		<input type="text"/>	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（2500m<sup>3</sup>/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。

・既設原子炉建屋原子炉棟の推定インリーク量\*：約 2130m<sup>3</sup>/h@63Pa

・BOP 閉止装置一式（24 台）設置時の推定インリーク量：

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

・非常用ガス処理系定格容量：2500m<sup>3</sup>/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：

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

（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* <sup>1</sup>	時間	電流値* <sup>1</sup>	
		<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* <sup>2</sup>
	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	過熱保護装置 なし
	門駆動用電動機 仕様	過熱保護装置 あり	過熱保護装置 なし
門部	門ピン受	☐	☐
	門ピン受 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。

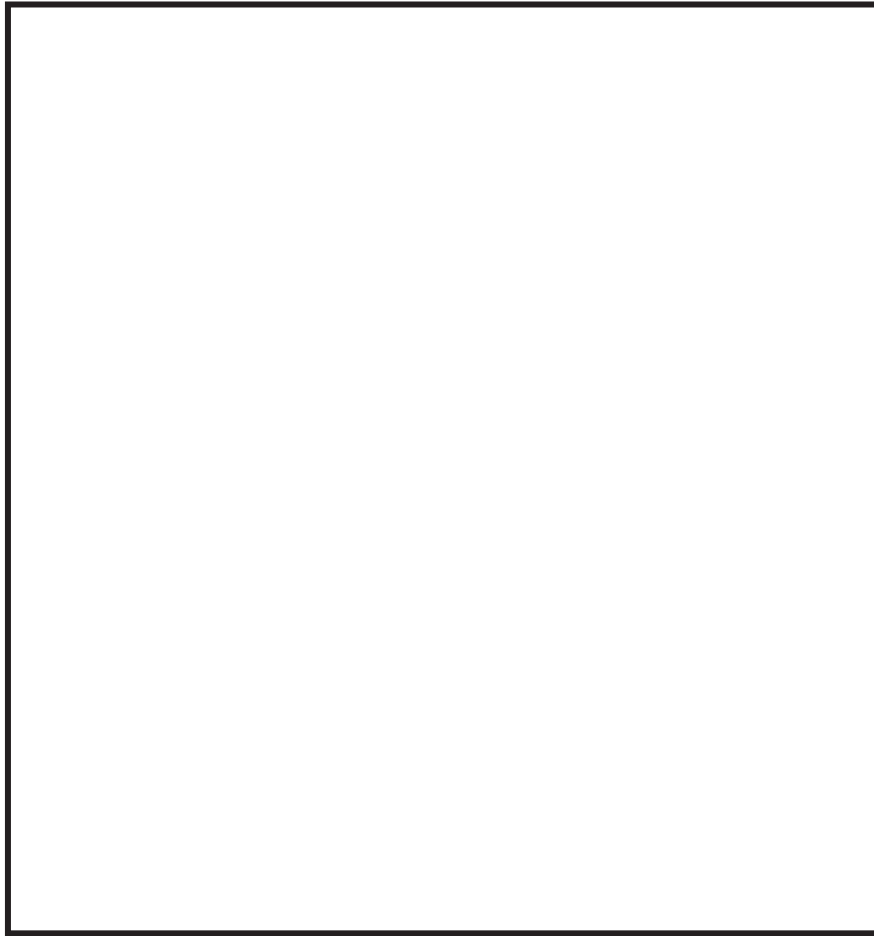


図 3-1 扉駆動部及び手動操作用カバーの概要図

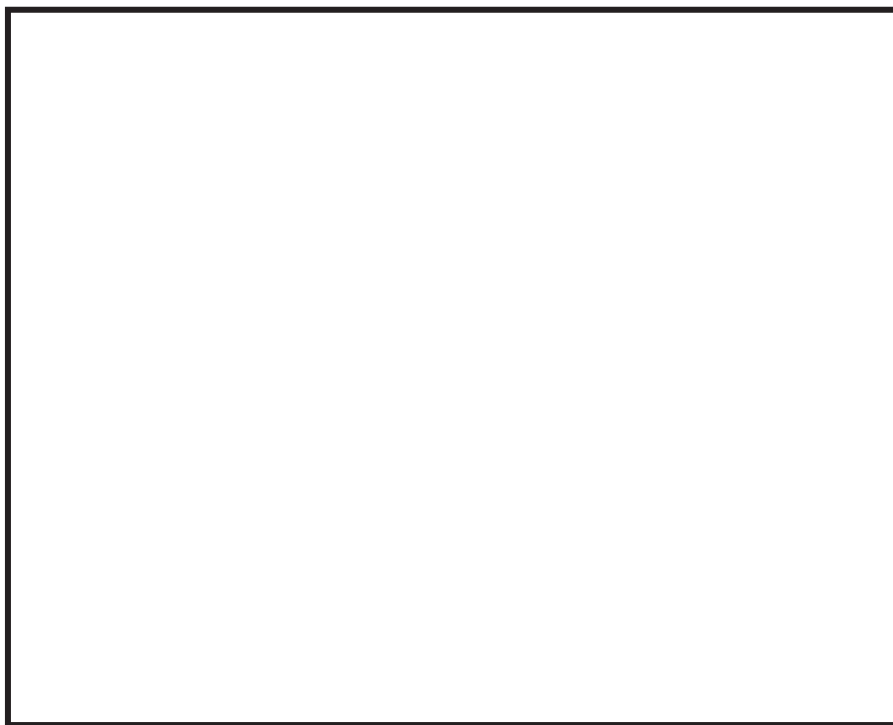


図 3-2 扉駆動部の取付構造の概要図

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。別紙に電動機の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。別紙に電動機の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

## 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。

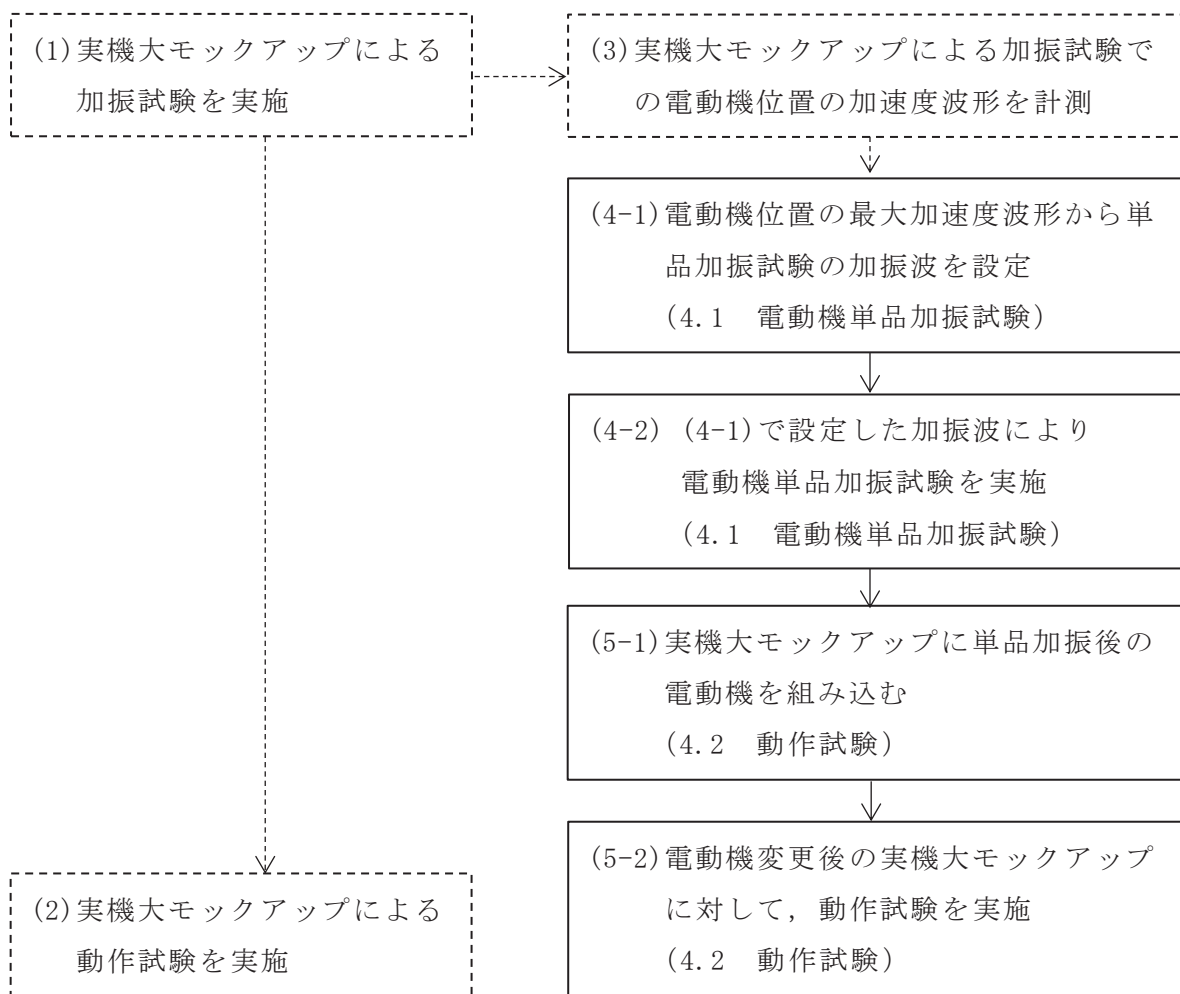


図 4-1 実機大モックアップ試験と今回実施した試験の関係性について

#### 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 <sup>2</sup> ・ ランダム波 600m/s <sup>2</sup> rms ・ ショック波* 1714m/s <sup>2</sup> 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

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

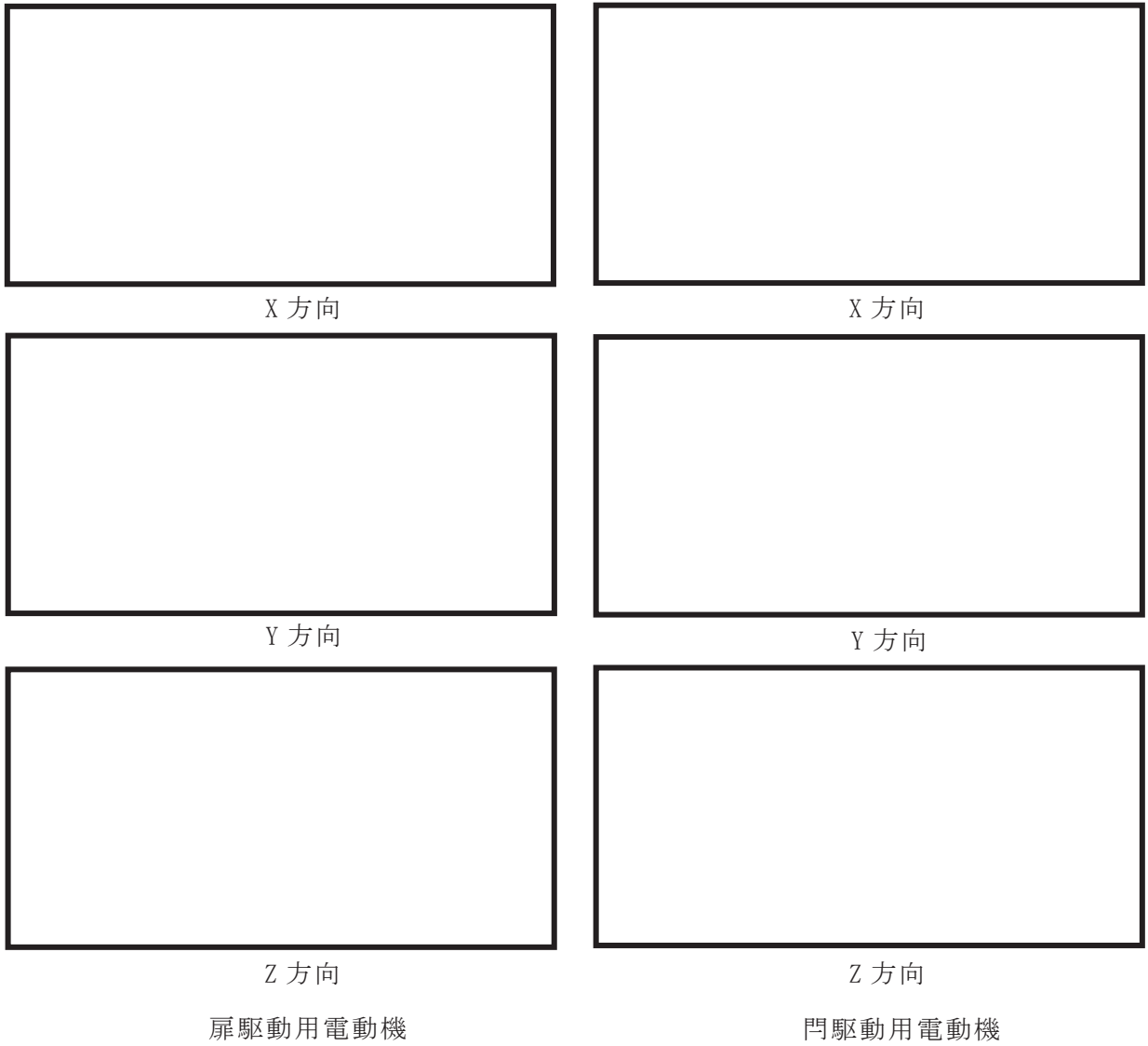


図 5-3 模擬地震波の時刻歴波形

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 <sup>2</sup> 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	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 試験治具</li><li>・ 扉駆動用電動機又は門駆動用電動機</li></ul>

##### (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。

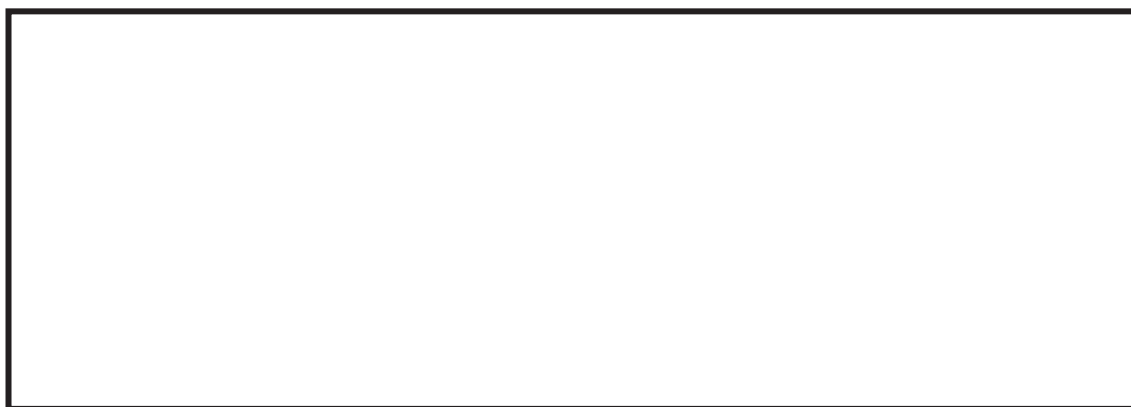


図 5-4 加速度計設置位置

(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 (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  $0.98\text{m/s}^2$  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。

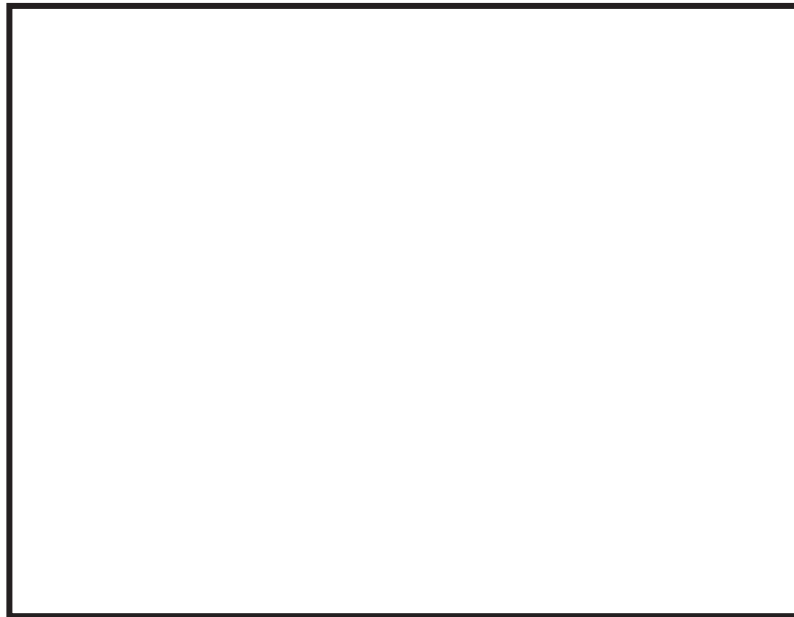


図 6-1 BOP 閉止装置手動操作概念図

## 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、 <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span> 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。

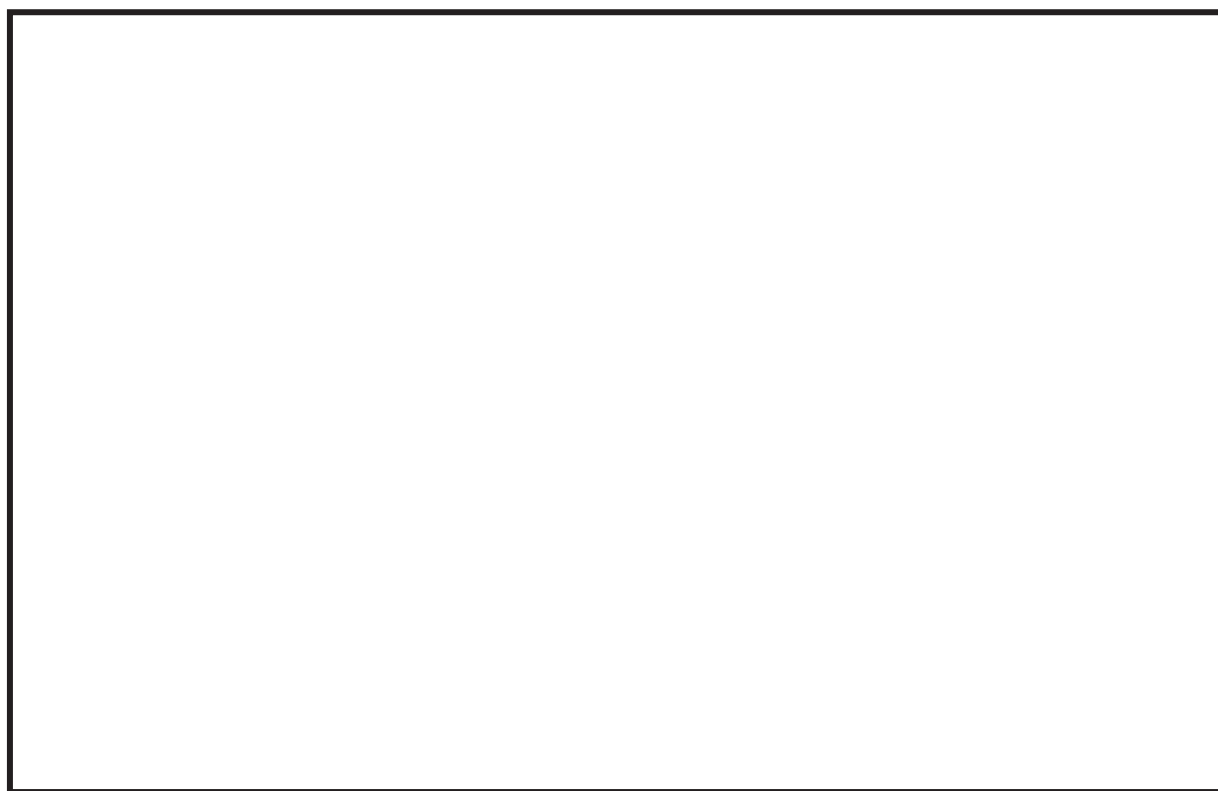


図3-1 閂ピン及び閂受

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  $\Delta T = [ ]$  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  $\alpha_1$  : [ ]

門受 [ ] : 熱膨張係数  $\alpha_2$  : [ ]

- ✓ 各部材の熱膨張量  $\Delta L$  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  $\delta$  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
テンションリング	無	無	有	有
仕様	—	—	材質 SR235, 太さ 22φ, 切欠部 9.5φ, 切欠幅 3mm	—
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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(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。

(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) テンションリングについて

地震による止め板の変形を防止する観点から、女川原子力発電所第2号機ではテンションリングを設置している。

(6) 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。

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 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 2 mm/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 5 mm/min） 止め板変位：変位計にて測定	有
試験体数	30 体	幅約 75 mm：3 体 幅約 37.5 mm：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。

##### (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	—	有
試験回数	2 回	3 回	—	有
試験体数	3 体	3 体	—	有

5.1 差異箇所の詳細について

女川原子力発電所第 2 号機では、3 次元 FEM 解析により機能確認を実施している。

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への蒸気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、蒸気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。

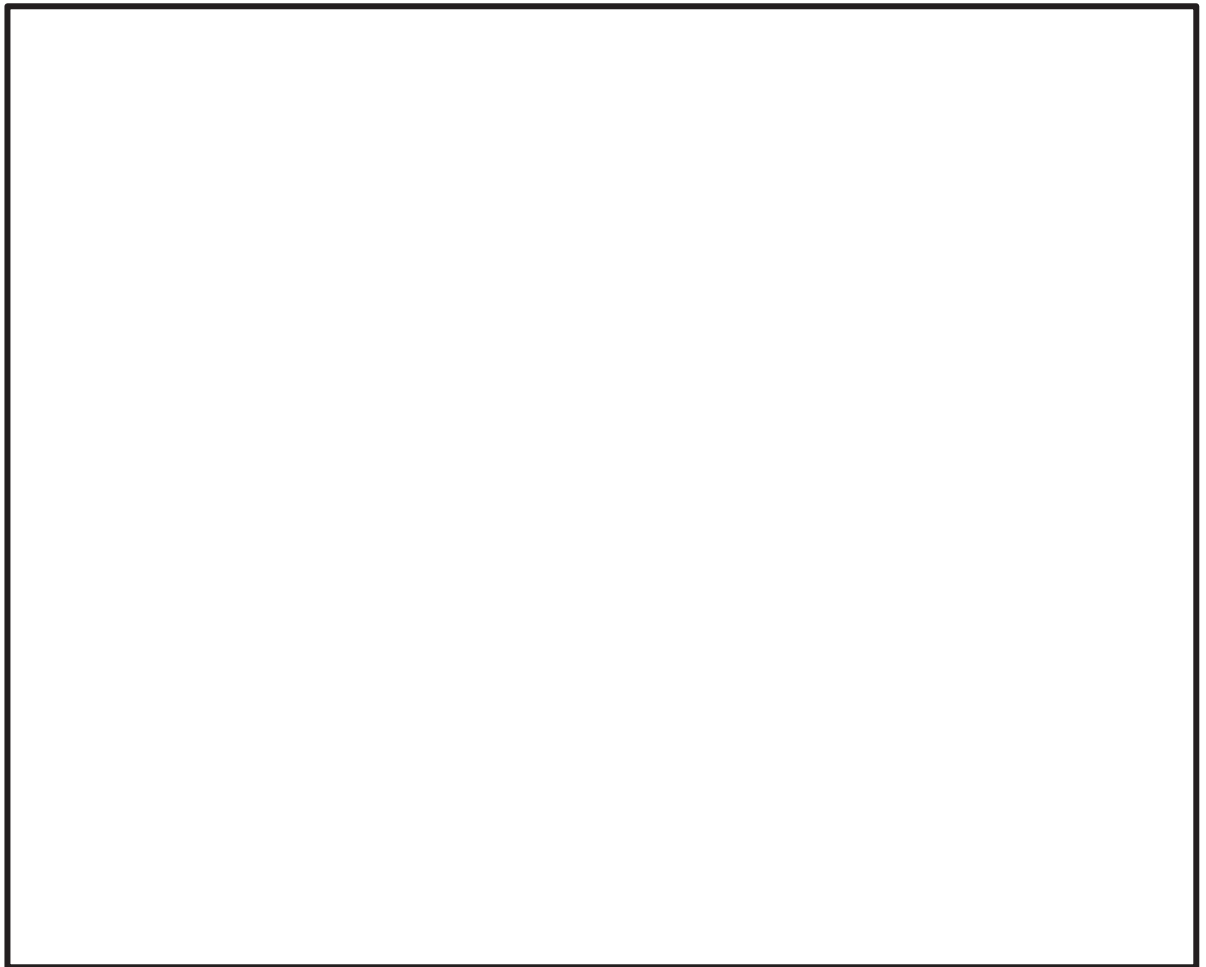


図6-1 先行電力及び女川原子力発電所第2号機のBOP閉止装置の構造概要

### (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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 門の構造について

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号機の門の構造を図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/下降させることで門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号機では門駆動用電動機の動力により門ピンを引抜/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，門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。



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。

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

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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
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	・ 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。		・ 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: <input type="text"/>	通気量: <input type="text"/>	通気量: <input type="text"/>	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 <sup>2</sup>	900 cm/s <sup>2</sup>	1500 cm/s <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>	2700 cm/s <sup>2</sup>	2200 cm/s <sup>2</sup>
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指し、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。

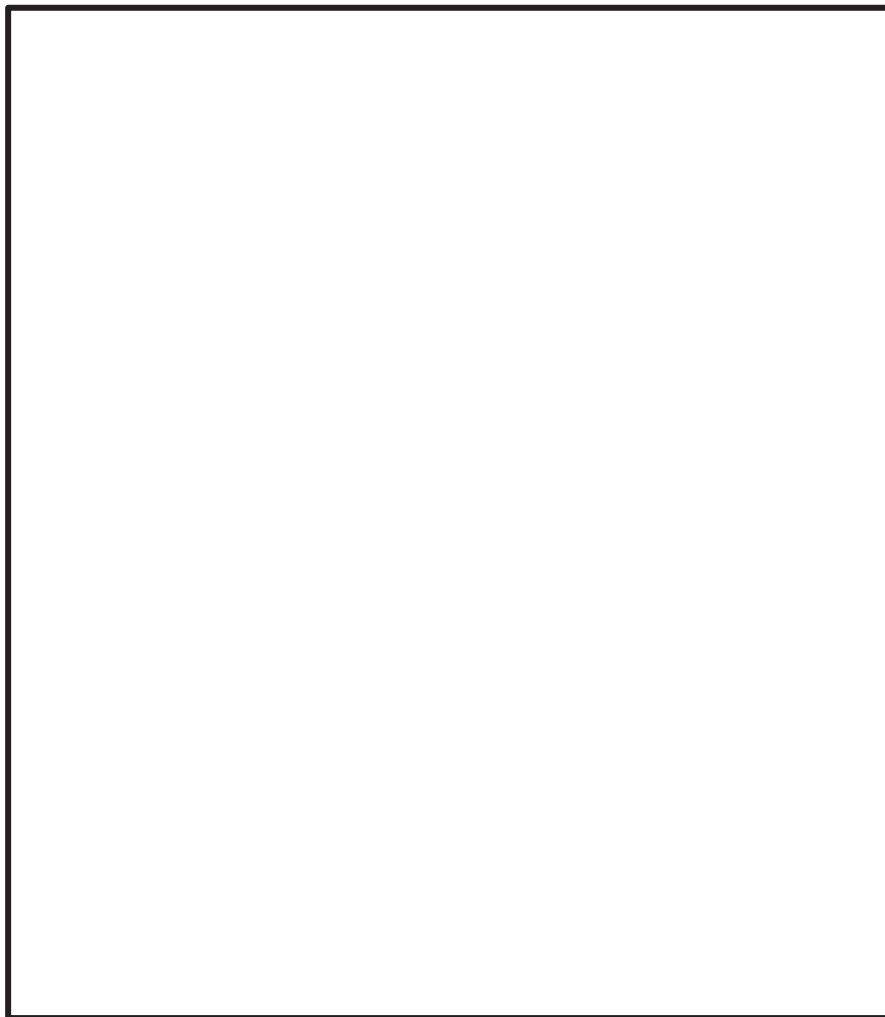


図 7-1 丁番部の概形図

(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。