

補足説明

〔 島根原子力発電所第2号機
工事計画認可申請（補正）に係る論点整理について 〕

2022年3月

中国電力株式会社

目 次

NS2-補-020 改 05 「工事計画に係る補足説明資料（安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書）」	
資料 No. 4 ブローアウトパネル関連設備の設計方針に係る補足説明資料	
4-1 ブローアウトパネル関連設備の要求機能について	3
4-14 原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置の配置と構造について	8
4-15 原子炉建物内の圧力解析について	11
4-16 原子炉建物燃料取替階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	15
4-17 原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置の保安全管理について	18
4-18 原子炉建物燃料取替階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	19
4-19 原子炉建物燃料取替階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	43
4-21 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	61
NS2-補-011 改 06 「工事計画に係る補足説明資料（原子炉格納施設）」	
資料 No. 6 非常用ガス処理系吸込口の位置変更について	73
資料 No. 7 原子炉格納施設の水素濃度低減性能に関する説明書	
7. 原子炉ウェル排気ラインの閉止及び原子炉ウェル水張りラインにおけるドレン弁の閉運用について	81
NS2-補-009 改 06 「工事計画に係る補足説明資料（計測制御系統施設）」	
資料 No. 1 計測装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書に係る補足説明書（参考評価）ダクトにおける水素滞留評価について	
1. 原子炉格納容器内の酸素濃度及び水素濃度の監視	85
（参考）設置変更許可申請における審査資料からの変更内容について	107

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（原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロBOP」という。）、原子炉建物主蒸気管トンネル室ブローアウトパネル（以下「MSトンネル室BOP」という。）、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）及び原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル強制開放装置（以下「オペフロBOP強制開放装置」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. オペフロBOPの要求事項

(1) 開放機能

オペフロ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物や原子炉格納容器等を防護するため、放出蒸気を建物外に放出することを目的に設置されている。このため、建物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オペフロ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（建物躯体の健全性）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、設計竜巻は、その発生頻度が非常に小さく、設計基準事故との重畳は、判断基準の目安となる 10^{-7} 回/年を下回り十分小さいこと、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とから、安全上支障のない期間に補修が可能な設計とすることで安全機能を損なわない設計とする。

重大事故等対処設備であるオペフロ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物原子炉棟（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部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6.9kPa以下）で原子炉建物燃料取替階に設置したオペフロ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、開放したオペフロBOPの開口面（全面）を経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。

重大事故等対処設備であるオペフロ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（建物躯体の健全性）を確保する設計とする。

(2) 二次格納施設のバウンダリ機能

オペフロ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オペフロ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、オペフロ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、オペフロ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オペフロ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、設計竜巻の発生頻度は非常に小さく、設計基準事故との重畳は、判断基準の目安となる 10^{-7} 回/年を下回り十分小さいこと、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. MSトンネル室BOPの要求事項

(1) 開放機能

MSトンネル室BOPは、MSLBAを想定した場合の放出蒸気による圧力から原子炉建物や原子炉格納容器等を防護するため、放出蒸気を建物外に放出することを目的に設置されている。このため、主蒸気管トンネル室（以下「MSトンネル室」という。）内外の差圧（設計圧力12.26kPa以

下)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MSトンネル室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(建物躯体の健全性)を確保する設計とする。

(2) 二次格納施設のバウンダリ機能

MSトンネル室BOPは、上記(1)の開放機能を満足させるため、原子炉棟のMSトンネル室に設置されており、原子炉棟の壁の一部となるMSトンネル室BOPについては、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、第44条 原子炉格納施設及び第74条 運転員が原子炉制御室にとどまるための設備)

このため、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備であるMSトンネル室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、MSトンネル室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(JEAG4601・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、MSトンネル室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。

4. 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。

島根原子力発電所第2号機のオペフロBOPは、開放後、炉心損傷に至る事故が発生した場合には、作業員の被ばく防止の観点から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、オペフロBOPに代わって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（原子炉棟の気密性能確保）が必要である。

一方、BOP閉止装置の閉機能維持が必要な状況とは、基準地震動 S_s によりオペフロBOPが開放し、更に重大事故に至った場合である。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）では、7日間で100mSvを超えないことが要求されており、7日間で想定する地震動は、設置許可基準規則第39条（地震による損傷の防止）で整理するSA発生後の最大荷重の組合せの考え方を踏まえ、BOP閉止装置が閉状態で組み合わせるべき地震動は弾性設計用地震動 S_d であるが、長期の閉止機能維持を考慮して基準地震動 S_s とする。

5. オペフロBOP強制開放装置（自主対策設備）への要求事項

オペフロBOP強制開放装置は、仮に、重大事故等時に静的触媒式水素処理装置、格納容器フィルタベント系により原子炉建物内の水素濃度が低下しなかった場合に、原子炉建物内の水素濃度低減を目的にブローアウトパネルを強制的に開放する必要が発生した場合に用いる自主対策設備であるため、強制開放装置の損傷が安全上重要な他設備に波及的影響を及ぼさないようにする必要がある。

6. ブローアウトパネル関連設備の要求機能

表6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6 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)
オペフロ BOP	開放機能 (MSLBA) (12条)	○ (S s)	○ プラント停 止にて対応	○ 竜巻防護ネ ットで対応	—	—	—
	開放機能 (ISLOCA) (12条)	—	—	—	○ (S s)	—	—
	バウンダリ機能 (建物気密性) (38条, 44条)	○ (S d)	○ プラント停 止にて対応	○ 竜巻防護ネ ットで対応	—	—	—
MS トンネル室 BOP	開放機能 (MSLBA) (12条)	○ (S s)	—	—	—	—	—
	バウンダリ機能 (建物気密性) (38条, 44条)	○ (S d)	—	—	○*1 (S d)	—	—
BOP 閉止装置 (SA 緩和設備)	閉止機能 (74条)	—	—	—	○ (S s)	○ (影響なし)	—*2
	バウンダリ機能 (74条)	—	—	—	○ (S s)	—*3	—*3

注記 *1: S s でも閉維持が可能な実力を有する

*2: 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

*3: 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

原子炉建物燃料取替階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

原子炉建物燃料取替階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、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル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、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネルが開放した後の躯体の開口部を閉止し、原子炉建物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. 設置位置及び個数

BOP閉止装置は、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル開口部2箇所に対して原子炉建物原子炉棟4階内壁面に計48台（1箇所あたりダンパ24台）設置する。概略平面図を図2-1に示す。

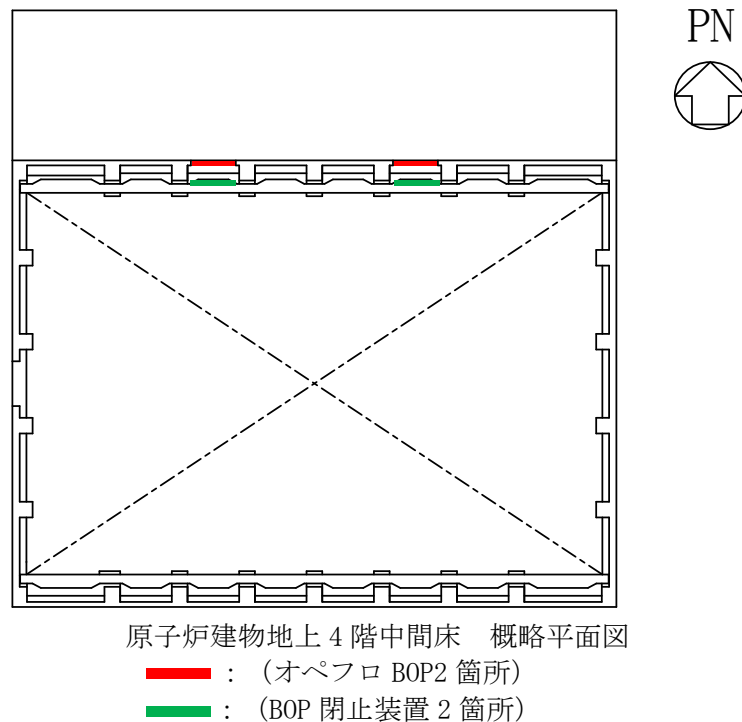


図2-1 原子炉建物原子炉棟地上4階 概略平面図

3. BOP閉止装置の構造

BOP閉止装置は、アクチュエータの回転をシャフトに伝達することで羽根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羽根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。

羽根は、補強リブにてシャフトとボルト締結された構造としており、閉止状態においては、羽根に取り付けられているパッキンをケーシング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。

なお、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネルが開放する際に、BOP閉止装置は干渉しない構造とする。

図3-1にBOP閉止装置の構造概要図（2連ダンパを例とする）を、図3-2に駆動概要図を、図3-3にBOP閉止装置を含めた関連設備の設置概要図を示す。

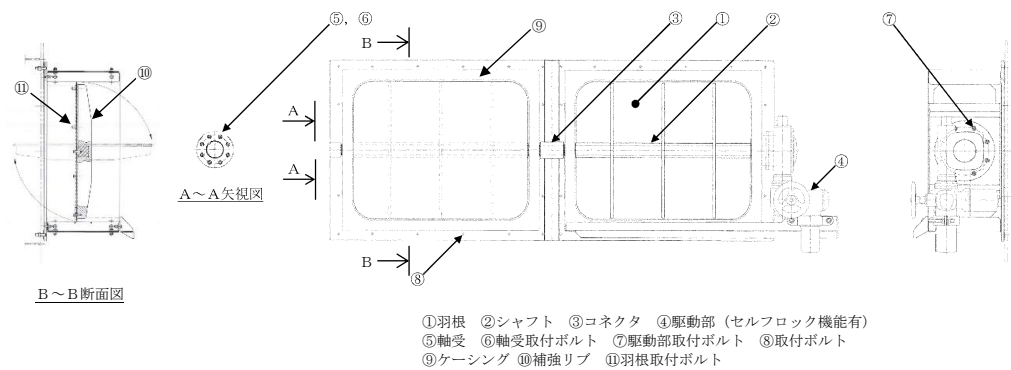


図3-1 BOP閉止装置（2連ダンパ）の構造概要図



図3-2 BOP閉止装置の駆動概要図（左：閉止，右：開放）

○駆動機構について

- ・羽根の動作は，シャフトに接続されているアクチュエータが駆動することで閉止又は開放する。

○手動操作について

- ・アクチュエータに取付けられている手動ハンドルを操作することで，シャフトを人力で回転させ開閉動作が可能。



図3-3 BOP閉止装置の設置概要図

原子炉建物内の圧力解析について

1. はじめに

島根原子力発電所第2号機の原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）は、原子炉建物原子炉棟内の原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロBOP」という。）への蒸气流路上に設置する。このため、待機時の羽根開状態において、主蒸気管破断等が発生した際に、オペフロBOPの開放機能に影響を及ぼさないよう、蒸気を建物外へ放出するために必要な流路を確保する必要がある。

上記を踏まえ、主蒸気管破断事故時における原子炉建物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閉止装置の設置が、オペフロ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として残留熱除去系熱交換器フランジ部及び残留熱除去系計器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閉止装置の設置による重大事故等時の原子炉建物内の設備の環境条件へ影響はない。

2. 解析方法

(1) 解析コード

汎用熱流動解析コードGOTHIC (Ver. 8.1)

(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結果を包絡する条件を用いる。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。流路圧損について、区画間の流路圧損に加え、BOP閉止装置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 (2)圧力 (3)湿度	10℃ 大気圧 相対湿度 100%	通常運転時の環境使用温度の最低値を設定
2	空間容積	原子炉建物地上 4 階 : 41300m ³ 原子炉建物地上 3 階 : 5920m ³ 原子炉建物地上 2 階 : 5190m ³ 原子炉建物地上 1 階 : 8240m ³ 原子炉建物地下 1 階・地下 2 階 (トールラス室) : 4410m ³ MS トンネル室 : 2682m ³ ペントハウス : 3223m ³ T/B : 24580m ³ PCV シェルギヤップ : 41m ³	空間容積は、躯体分、機器配管分を差し引いた値
3	流路面積 (1)BOP (2)区画間面積	オペフロ BOP : 20.97m ² (13.98m ² × 2 枚を保守的に 1.5 枚の面積として評価) MS トンネル室 BOP1 : 20.58m ² MS トンネル室 BOP2 : 20.58m ² MS トンネル室 BOP3 : 14.21m ² ペントハウス BOP : 30.02m ² タービン建物 BOP : 40.365m ² 原子炉建物地上 4 階-3 階 : 39m ² 原子炉建物地上 3 階-2 階 : 39m ² 原子炉建物地上 2 階-1 階 : 39m ² 原子炉建物地上 1 階-地下 1 階・地下 2 階 : 3.24m ² MS トンネル室 2 階-1 階 : 27m ² ペントハウス 3 階-2 階 : 20.24m ² PCV シェルギヤップ [°] -地上 2 階 : 0.173m ² PCV シェルギヤップ [°] -地上 1 階 : 1.912m ² PCV シェルギヤップ [°] -地下 1 階 : 0.749m ² T/B 地下 1 階~2 階-吹き抜け : 71.02m ²	BOP 閉止装置による圧損はオペフロ BOP 開口部で考慮。
4	BOP 開放圧力 (差圧)	オペフロ BOP : 6.9kPa MS トンネル室 BOP1 : 12.26kPa MS トンネル室 BOP2 : 12.26kPa MS トンネル室 BOP3 : 12.26kPa ペントハウス BOP : 3.5kPa タービン建物 BOP : 3.5kPa	ISLOCA 時及び MSLBA 時等に屋外へ開放 MSLBA 時に原子炉建物地上 1 階側へ開放 MSLBA 時にペントハウス側へ開放 MSLBA 時にタービン建物側へ開放 MSLBA 時に屋外へ開放 MSLBA 時に屋外へ開放

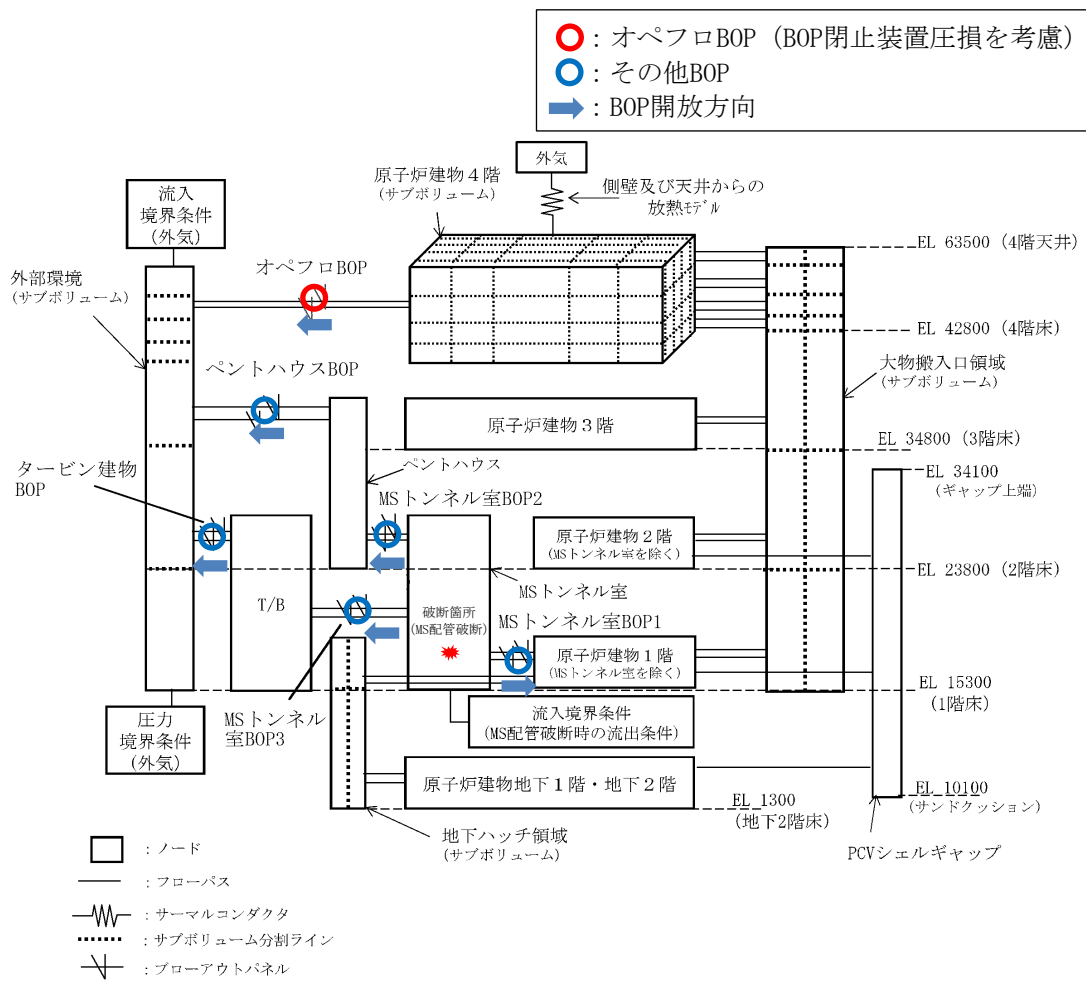


図2-1 解析モデル

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13.5kPa[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閉止装置の設置が、オペフロBOPの開放機能に影響を及ぼさないことを確認した。

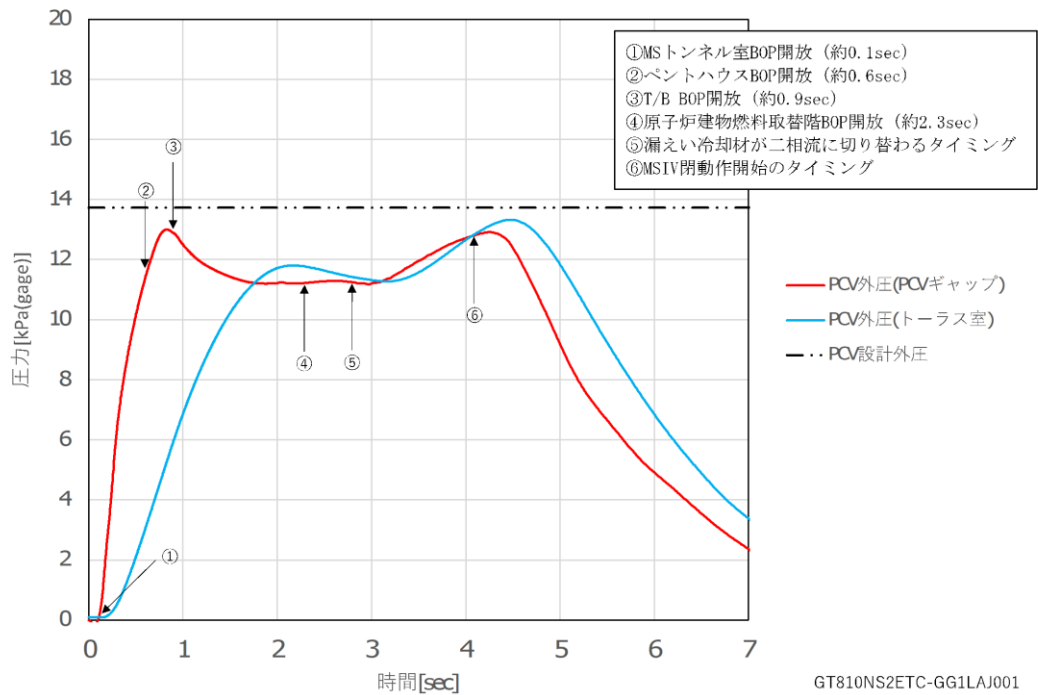


図3-1 主蒸気管破断時に原子炉格納容器外側に作用する圧力

原子炉建物燃料取替階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ものであること。

b. 適合性

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）は，屋内に設置するが，重大事故等時に原子炉建物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物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ものであること。

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試験又は検査ができるものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は，原子炉の運転中又は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気密性能に影響を及ぼす劣化がないことを確認する。
動作性能	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BOP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つては、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ものであること。

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ものであること。

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じたものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は、原子炉建物原子炉棟の壁面（屋内）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。

(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ものであること。

b. 適合性

BOP閉止装置は、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル開口部2箇所に対して原子炉建物原子炉棟4階内壁面に計48台（開口部1箇所あたりダンパ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こと。

(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するものでないこと。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は、共通要因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、適切な措置を講じたものであること。

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。

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置の保安全管理について

原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）の保全内容（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	動作性能	羽根の開閉機能確保	動作試験	・あらかじめ定めた施設定期検査時に、羽根の開閉試験（電動及び手動）にて確認
	気密性能	シール健全性確保	気密性能試験（建物）	・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、原子炉建物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（シール部）	・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	・定期的な交換
構造健全性	構造健全性確認	外観目視試験	・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	

原子炉建物燃料取替階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

原子炉建物燃料取替階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、重大事故等時におけるBOP閉止装置の機能維持確認を実施する。

2. 試験場所

場 所：鹿島建設株式会社 技術研究所 西調布実験場

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、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロ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、オペフロBOPの開放部を速やかに閉止し、原子炉建物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動作性を確保し、原子炉建物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。
- ・ 開放したオペフロ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、一定期間内に想定される地震が発生した場合においても、原子炉建物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 に基づき設定した加振波による加振）

BOP閉止装置の設置位置（最も高所の設置位置）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。

注記*：閉止状態のBOP閉止装置は、オペフロBOPと同等の弾性設計用地震動 S_d による荷重が作用した場合の気密性確保が求められるが、耐震裕度を確保するため、基準地震動 S_s に基づき設定した加振波を用いて加振を行う。

(2) BOP閉止装置の耐震裕度を確認するための加振（振動台性能限界加振波による加振）

BOP閉止装置の耐震裕度を確認するため、振動台の性能限界（基準地震動 S_s の α 倍相当*）での加振波を用いて加振を行う。

注記*：振動台を動かす油量等の制限により数値が上下する可能性がある。

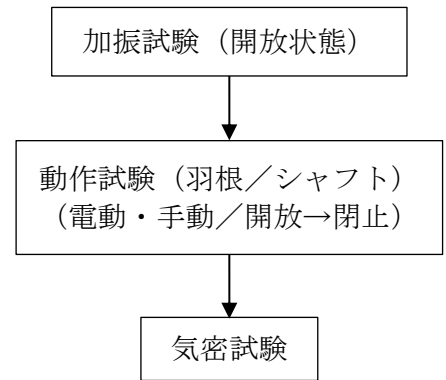
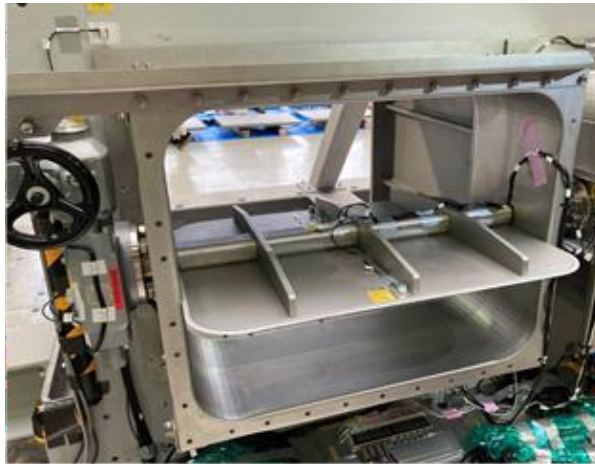
3.3 試験項目

基準地震動 S_s に基づき設定した加振波及び振動台性能限界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。

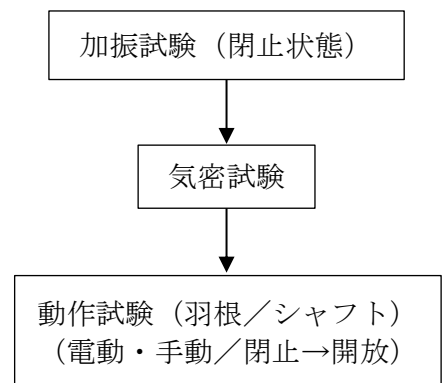
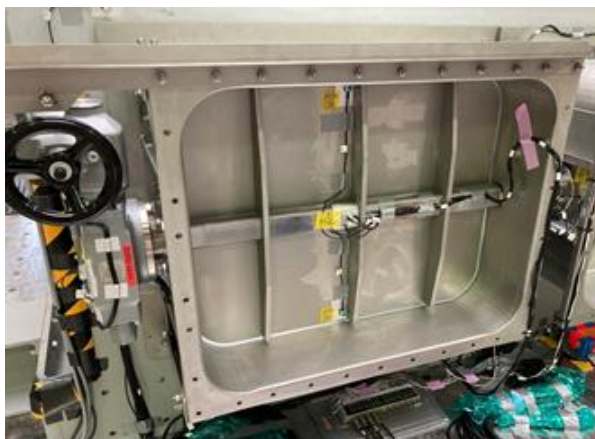
- ・加振後の動作確認 : BOP閉止装置が開放状態又は閉止状態において、加振後の羽根本体およびシャフトの作動性が確保されていることを確認する。
- ・加振後の気密性能試験 : BOP閉止装置が開放状態又は閉止状態において、加振後の気密性を確保していることを確認する。

図3-1に試験治具概念図を示す。

【羽根開放状態】



【羽根閉止状態】



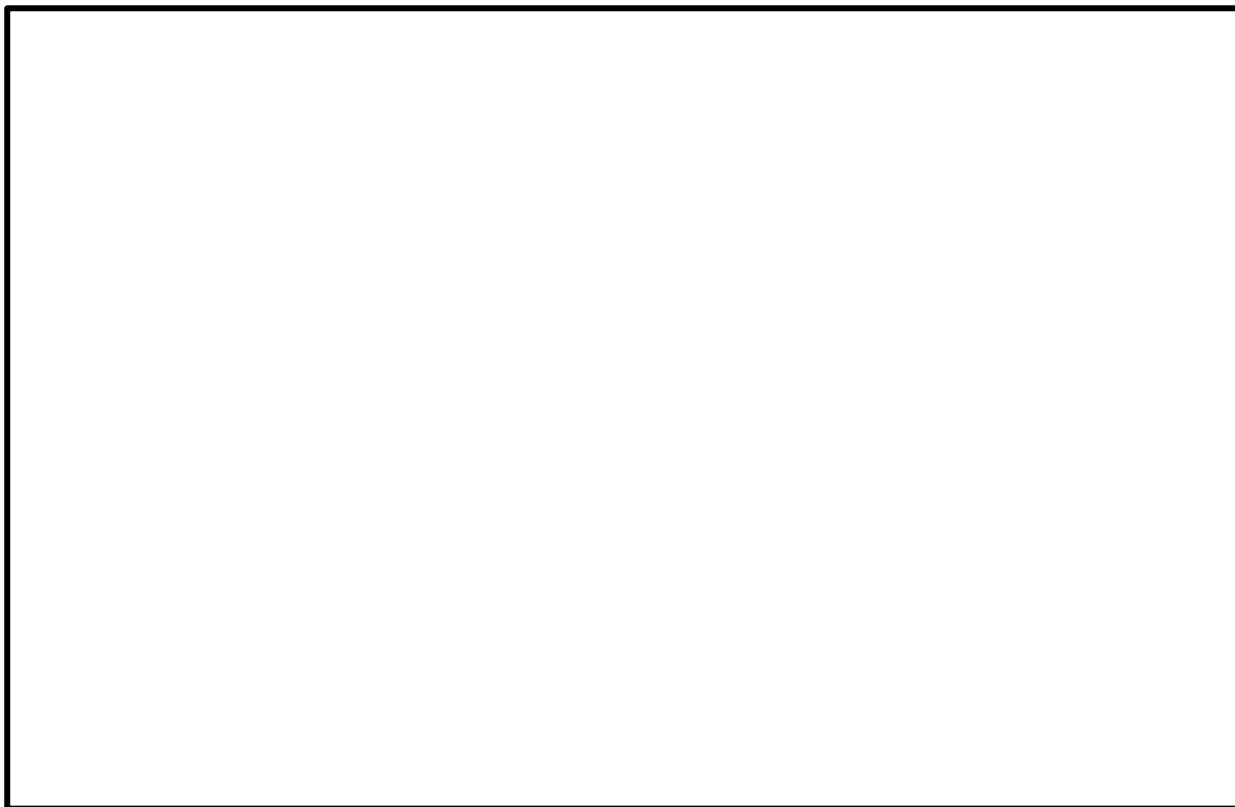


図3-1 試験治具概念図

4 加振試験

4.1 加振装置（三次元振動台）の概要

(1) 鹿島建設株式会社 技術研究所 西調布実験場

振動台の上に試験体を設置し、X、Y、Z方向の単軸加振を実施する。表4-1に振動台の仕様、図4-1に三次元振動台の概要図を示す。

表4-1 三次元振動台の仕様

テーブル	大きさ	5 m × 7 m
	重量	380 kN
搭載荷重	定格	600 kN
	最大	1000 kN
加振力	水平	2171 kN
	上下	3880 kN
最大加速度 (定格搭載時)	水平	± 2 g
	上下	± 2 g
最大速度	水平	± 2.0 m/s
	上下	± 1.0 m/s
最大変位	水平	X ± 0.5 m
		Y ± 0.7 m
	上下	Z ± 0.3 m
加振振動数範囲	DC ~ 50 Hz	
加振方式	電気・油圧サーボ方式	
制御方式	デジタル TVC 方式	

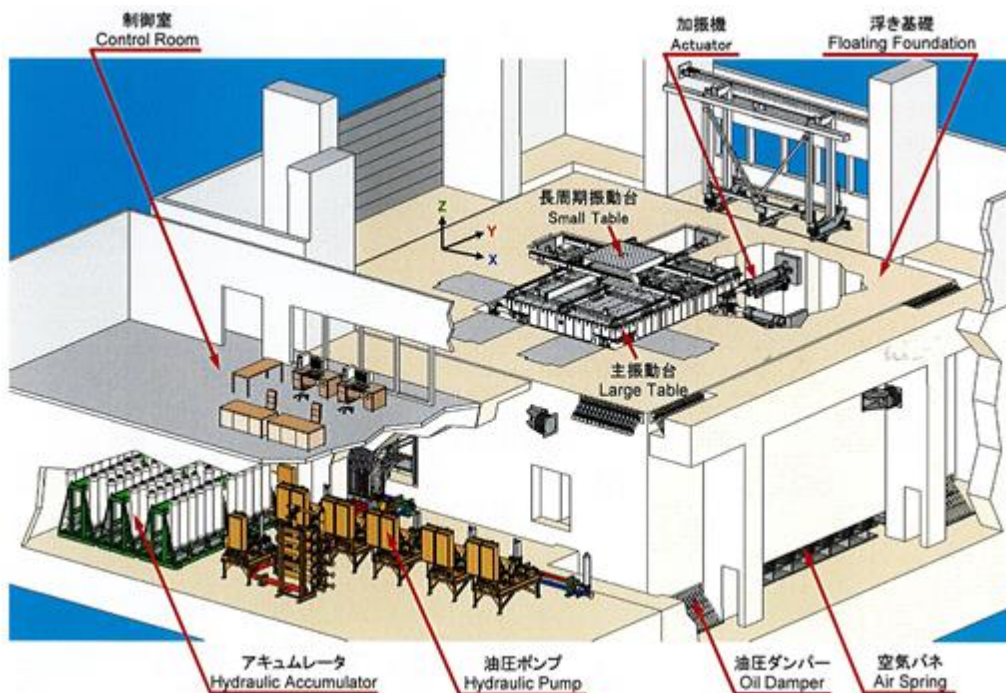


図4-1 三次元振動台の概要図（出典元：鹿島建設（株）技術研究所パンフレット）

4.2 加振波

加振試験用の模擬地震波は以下のとおりとする。VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき作成した設計用床応答スペクトル I を包絡する模擬地震波の時刻歴波形を図4-2、応答スペクトルを図4-3に示す。

- ・最大加速度及び応答スペクトルはBOP閉止装置の設置高さより上方の原子炉建物 EL. 63.5 mの床応答に基づき設定
- ・応答スペクトルは、基準地震動 S_s の設計用床応答スペクトル I を上回るように設定

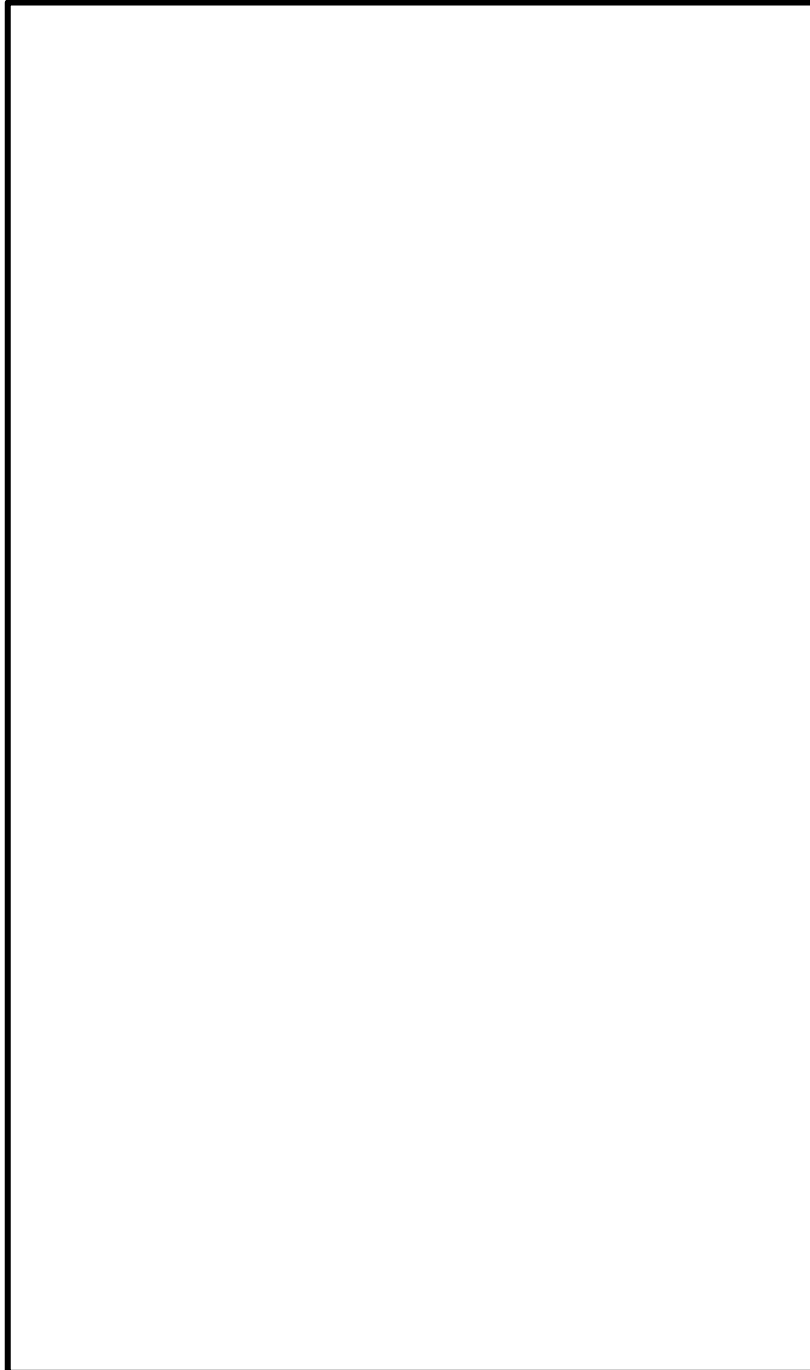


図4-2 模擬地震波の時刻歴波形

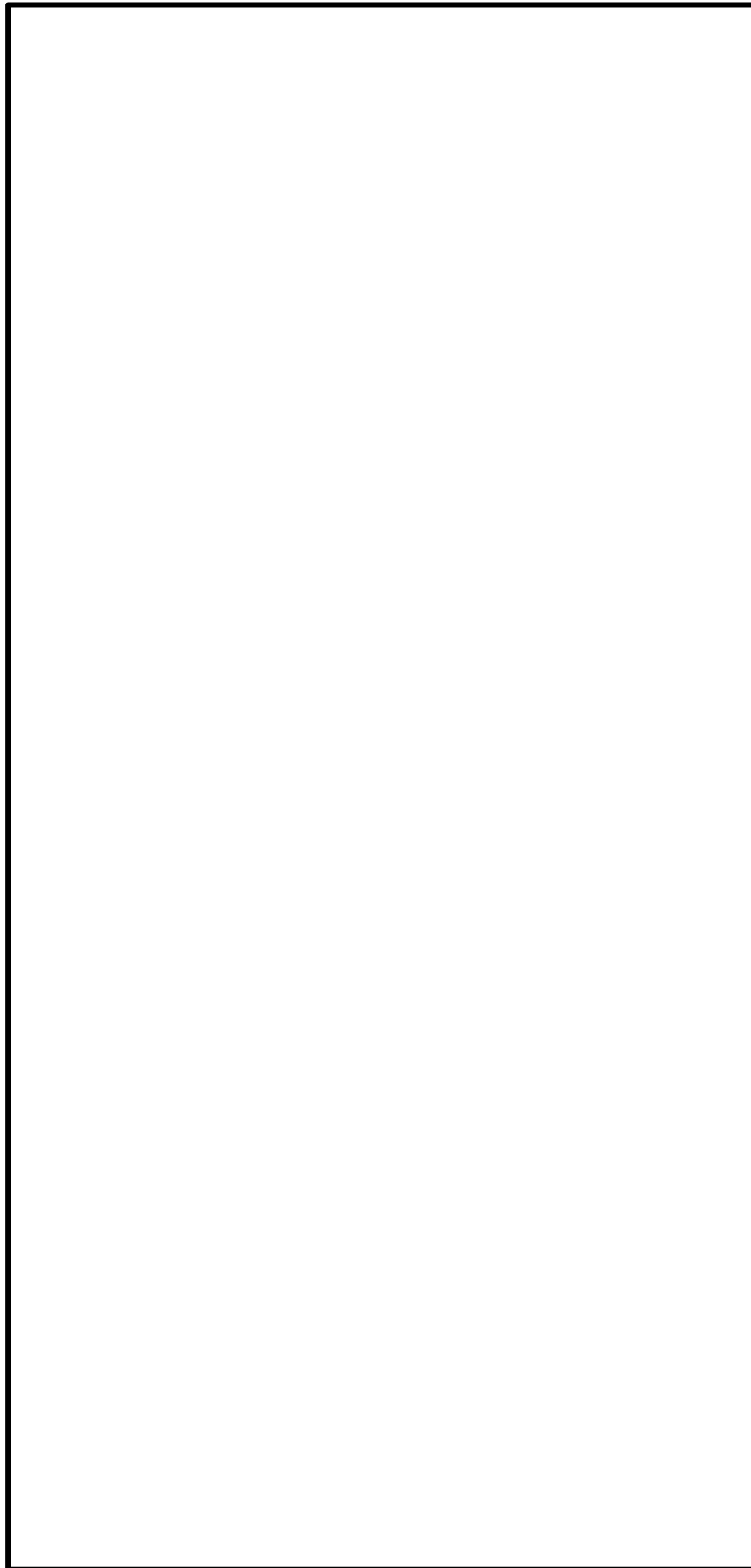


図4-3 模擬地震波の応答スペクトル

4.3 加振試験項目及び内容

加振試験の項目，概要は以下の通りである。各試験項目，加振波等を表4-2に示す。

(1) 計測系確認試験

計測機器の動作確認を行うために，入力加速度 2m/s^2 の正弦波により各方向の単軸加振を行う。

(2) 振動特性把握試験

試験体の共振振動数を確認するため，Hz～Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波を用いて，各方向の単軸加振を行う。

(3) 地震波加振試験

「4.2 加振波」にて設定した模擬地震波を用いて，X, Y, Z方向の単軸加振にて，地震波加振試験を実施する。島根2号機は，目標とする加振レベルが高いこと及び試験装置の加振限界から3方向（X, Y, Z）各方向の単軸加振試験を実施する。地震波加振試験の入力レベルは，図4-2及び図4-3に示す模擬地震波の0.5倍，1.0倍及び α 倍（振動台の加振限界）とする。振動台の加振限界における加振波の入力倍率（ α ）については，模擬地震波の入力レベル1.0倍の振動台応答の実績から，X(NS)=1.15倍，Y(EW)=1.20倍，Z(UD)=1.25倍とする。また，BOP閉止装置の3次元応答の確認を目的として，模擬地震波の0.5倍でのX, Y, Z方向の単軸加振及び3方向（X, Y, Z）同時の3次元加振試験を実施し，単軸加振試験の妥当性を確認する。

表4-2 2連ダンパ（開） 試験項目一覧（1/4）

No.	試験項目	入力波	加振方向	入力加速度 入力倍率
1	計測系確認試験	正弦波（ \square Hz）	X	2m/s ²
2			Y	
3			Z	
4	振動特性把握試験	ランダム波*1	X	6m/s ²
5			Y	
6			Z	
7	地震波加振試験 (3次元応答確認)	模擬地震波 NS*2	X	0.50 倍
8		模擬地震波 EW*2	Y	0.50 倍
9		模擬地震波 UD*2	Z	0.50 倍
10		模擬地震波 NS, EW, UD*2	X, Y, Z	0.50 倍
11	地震波加振試験 (基準適合性, 耐震裕度確認)	模擬地震波 NS*2	X	1.00 倍 1.15 倍
12		模擬地震波 EW*2	Y	1.00 倍 1.20 倍
13		模擬地震波 UD*2	Z	1.00 倍 1.25 倍

*1 : \square Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波

*2 : 水平, 鉛直方向毎に基準地震動 S s の設計用床応答スペクトル I を包絡する模擬地震波を作成して加振。

表4-2 2連ダンパ（閉） 試験項目一覧（2/4）

No.	試験項目	入力波	加振方向	入力加速度 入力倍率
1	計測系確認試験	正弦波（ <input type="text"/> Hz）	X	2m/s ²
2			Y	
3			Z	
4	振動特性把握試験	ランダム波*1	X	6m/s ²
5			Y	
6			Z	
7	地震波加振試験 (3次元応答確認)	模擬地震波 NS*2	X	0.50 倍
8		模擬地震波 EW*2	Y	0.50 倍
9		模擬地震波 UD*2	Z	0.50 倍
10		模擬地震波 NS, EW, UD*2	X, Y, Z	0.50 倍
11	地震波加振試験 (基準適合性, 耐震裕度確認)	模擬地震波 NS*2	X	1.00 倍 1.15 倍
12		模擬地震波 EW*2	Y	1.00 倍 1.20 倍
13		模擬地震波 UD*2	Z	1.00 倍 1.25 倍

*1 : Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波

*2 : 水平, 鉛直方向毎に基準地震動 S s の設計用床応答スペクトル I を包絡する模擬地震波を作成して加振。

表4-2 3連ダンパ（開） 試験項目一覧（3/4）

No.	試験項目	入力波	加振方向	入力加速度 入力倍率
1	計測系確認試験	正弦波（ <input type="text"/> Hz）	X	2m/s ²
2			Y	
3			Z	
4	振動特性把握試験	ランダム波*1	X	6m/s ²
5			Y	
6			Z	
7	地震波加振試験 (3次元応答確認)	模擬地震波 NS*2	X	0.50 倍
8		模擬地震波 EW*2	Y	0.50 倍
9		模擬地震波 UD*2	Z	0.50 倍
10		模擬地震波 NS, EW, UD*2	X, Y, Z	0.50 倍
11	地震波加振試験 (基準適合性, 耐震裕度確認)	模擬地震波 NS*2	X	1.00 倍 1.15 倍
12		模擬地震波 EW*2	Y	1.00 倍 1.20 倍
13		模擬地震波 UD*2	Z	1.00 倍 1.25 倍

*1 : Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波

*2 : 水平, 鉛直方向毎に基準地震動 S s の設計用床応答スペクトル I を包絡する模擬地震波を作成して加振。

表4-2 3連ダンパ（閉） 試験項目一覧（4/4）

No.	試験項目	入力波	加振方向	入力加速度 入力倍率
1	計測系確認試験	正弦波（ <input type="text"/> Hz）	X	2m/s ²
2			Y	
3			Z	
4	振動特性把握試験	ランダム波*1	X	6m/s ²
5			Y	
6			Z	
7	地震波加振試験 （3次元応答確認）	模擬地震波 NS*2	X	0.50 倍
8		模擬地震波 EW*2	Y	0.50 倍
9		模擬地震波 UD*2	Z	0.50 倍
10		模擬地震波 NS, EW, UD*2	X, Y, Z	0.50 倍
11	地震波加振試験 （基準適合性，耐震裕度確認）	模擬地震波 NS*2	X	1.00 倍 1.15 倍
12		模擬地震波 EW*2	Y	1.00 倍 1.20 倍
13		模擬地震波 UD*2	Z	1.00 倍 1.25 倍

*1： Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波

*2： 水平，鉛直方向毎に基準地震動 S s の設計用床応答スペクトル I を包絡する模擬地震波を作成して加振。

4.4 計測要領

(1) 計測項目

試験体の主要な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 計測項目

項目	計測点
加速度	<ul style="list-style-type: none">・振動台・支持架台・羽根・ケーシング・ギアボックス・アクチュエータ・リミットスイッチ・羽根回転軸・羽根回転軸継手
ひずみ	<ul style="list-style-type: none">・ケーシング・羽根・羽根回転軸・羽根回転軸継手

(2) 計測位置

計測点は、試験体の主要な挙動を評価できる位置に設置する。表4-4に計測項目の一覧表を示す。なお、振動台座標系 (X, Y, Z) と計測座標系 (X, Y, Z) は、羽根開、閉のいずれの状態においても一致している。

① 加速度

図4-4から図4-6に加速度計の設置位置を示す。

② ひずみ

図4-7, 図4-8にひずみゲージの設置位置を示す。

(3) 測定計器

試験に使用する測定計器を表4-5に示す。

表4-4 2連ダンパ 計測項目の一覧表 (1/2)

No.	項目	記号	計測位置	備考
1	加速度	A1X	振動台 (中央)	<ul style="list-style-type: none"> 振動台上加速度を計測 設計用床応答スペクトルI以上で加振試験が実施されたことの確認が目的
2		A1Y		
3		A1Z		
4		A2Y	振動台 (搬入口側)	
5		A2Z		
6		A3X	振動台 (制御室側)	
7		A3Z		
8	A5X	ダンパ支持架台 中央 下端	<ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持架上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
9	A5Y			
10	A5Z	ダンパ支持架台 アクチュエータ側 中央高さ	<ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持架上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
11	A6X			
12	A6Y	ダンパ支持架台 アクチュエータの反対側 中央高さ	<ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持架上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
13	A6Z			
14	A7X	ダンパ支持架台 アクチュエータ側 上端	<ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持架上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
15	A7Y			
16	A7Z	ダンパ支持架台 中央 上端	<ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持架上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
17	A8X			
18	A9X	ダンパ支持架台 中央 上端	<ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持架上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
19	A9Y			
20	A9Z	ダンパ支持架台 アクチュエータの反対側 上端	<ul style="list-style-type: none"> ダンパ支持架上加速度を計測 ダンパ支持架台の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
21	A10X			
22	A11X	ダンパケーシング 羽根端部	<ul style="list-style-type: none"> ダンパケーシングの振動特性, 地震応答の確認が目的 	
23	A11Y			
24	A11Z	ダンパケーシング (シャフト高さ)	<ul style="list-style-type: none"> ダンパケーシングの振動特性, 地震応答の確認が目的 	
25	A12X			
26	A12Y	ギアボックス	<ul style="list-style-type: none"> 駆動装置および付属機器の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
27	A12Z			
28	A13X	アクチュエータ中間部	<ul style="list-style-type: none"> 駆動装置および付属機器の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
29	A13Y			
30	A13Z	モーター	<ul style="list-style-type: none"> 駆動装置および付属機器の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
31	A14X			
32	A14Y	アクチュエータ頂部	<ul style="list-style-type: none"> 駆動装置および付属機器の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
33	A14Z			
34	A15X	リミットスイッチ	<ul style="list-style-type: none"> 駆動装置および付属機器の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
35	A15Y			
36	A15Z		<ul style="list-style-type: none"> 駆動装置および付属機器の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
37	A16X			
38	A16Y		<ul style="list-style-type: none"> 駆動装置および付属機器の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
39	A16Z			
40	A17X		<ul style="list-style-type: none"> 駆動装置および付属機器の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
41	A17Y			
42	A17Z			

表4-4 3連ダンパ 計測項目の一覧表 (2/2)

No.	項目	記号	計測位置	備考
1	加速度	A1X	振動台 (中央)	・振動台上加速度を計測 ・設計用床応答スペクトル I 以上で 加振試験が実施されたことの確認が 目的
2		A1Y		
3		A1Z		
4		A2Y	振動台 (縦入口側)	
5		A2Z		
6		A3X		
7		A3Z	振動台 (制御室側)	・ダンパ支持台上加速度を計測 ・ダンパ支持架台の振動特性, 地震 応答の確認が目的
8		A5X		
9		A5Y		
10		A5Z	ダンパ支持架台 中央 下端	
11		A6X		
12		A6Y		
13		A6Z	ダンパ支持架台 アクチュエータ側 中央高さ	・ダンパ支持台上加速度を計測 ・ダンパ支持架台の振動特性, 地震 応答の確認が目的
14		A7X		
15		A7Y		
16		A7Z	アクチュエータの反対側 中央高さ	
17		A8X		
18	A9X			
19	A9Y	ダンパ支持架台 中央 上端	・ダンパ支持台上加速度を計測 ・ダンパ支持架台の振動特性, 地震 応答の確認が目的	
20	A9Z			
21	A10X			
22	加速度	A11X	アクチュエータの反対側 上端	・ダンパケーシングの振動特性, 地 震応答の確認が目的
23		A11Y		
24		A11Z		
25		A12X		
26		A12Y		
27		A12Z		
28		A13X		
29	A13Y			
30	A13Z			
31	A14X	アクチュエータ 中間部		
32	A14Y			
33	A14Z			
34	A15X	モーター	・駆動装置および付属機器の振動特 性, 地震応答の確認が目的	
35	A15Y			
36	A15Z			
37	A16X	アクチュエータ 頂部		
38	A16Y			
39	A16Z			
40	A17X	リミットスイッチ		
41	A17Y			
42	A17Z			

No.	項目	記号	計測位置	備考
43	加速度	A18X	羽根回転軸継手部 (第1/第2羽根)	・羽根回転軸の振動特性, 地震応答 の確認が目的
44		A18Y		
45		A18Z		
46		A19X	羽根回転軸継手部 (第2/第3羽根)	
47		A19Y		
48		A19Z		
49		A20X	羽根回転軸先端	・第1羽根の振動特性, 地震応答の 確認が目的
50		A20Y		
51		A20Z		
52		A21X	第1羽根 (弁体) 中央リブ付根	
53		A21Y		
54		A21Z		
55		A22X	第1羽根 (弁体) 中央上端部・補強リブ付根 第1羽根 (弁体) 中央下端部・補強リブ付根	
56		A23X		
57		A24X		
58		A24Y	第2羽根 (弁体) 中央リブ付根	・第2羽根の振動特性, 地震応答の 確認が目的
59		A24Z		
60	A25X			
61	A26X	第2羽根 (弁体) 中央上端部・補強リブ付根 第2羽根 (弁体) 中央下端部・補強リブ付根		
62	A27X			
63	A27Y			
64	A27Z	第3羽根 (弁体) 中央リブ付根	・第3羽根の振動特性, 地震応答の 確認が目的	
65	A28X			
66	A29X			
67	A30Z	第1羽根 ダンパケーシング 上端	・第1羽根の振動特性, 地震応答の 確認が目的	
68	S1	第1羽根 ダンパケーシング 固定部	ひずみ	
69	S2	第2羽根 ダンパケーシング 固定部		
70	S3	第3羽根 ダンパケーシング 固定部		
71	S4	第2羽根端部 補強リブ中間		
72	S5	羽根回転軸継手部 (第1/第2羽根)		
73	S6	羽根回転軸継手部 (第2/第3羽根)		
74	S7	第2羽根シャフト近傍		
75	S8	第3羽根 ダンパケーシング回転軸近傍		

表4-5 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	動作確認 (変圧器電圧値測定)	デジタルクラ ンプメータ		
2	動作確認 (開閉試験, 気密試験 保持時間測定)	ストップウォ ッチ		
3		面積流量計		
4	気密試験	バージメータ		
5		質量流量計		
6	加振試験	加速度計		
7		ひずみゲージ		

注記* :

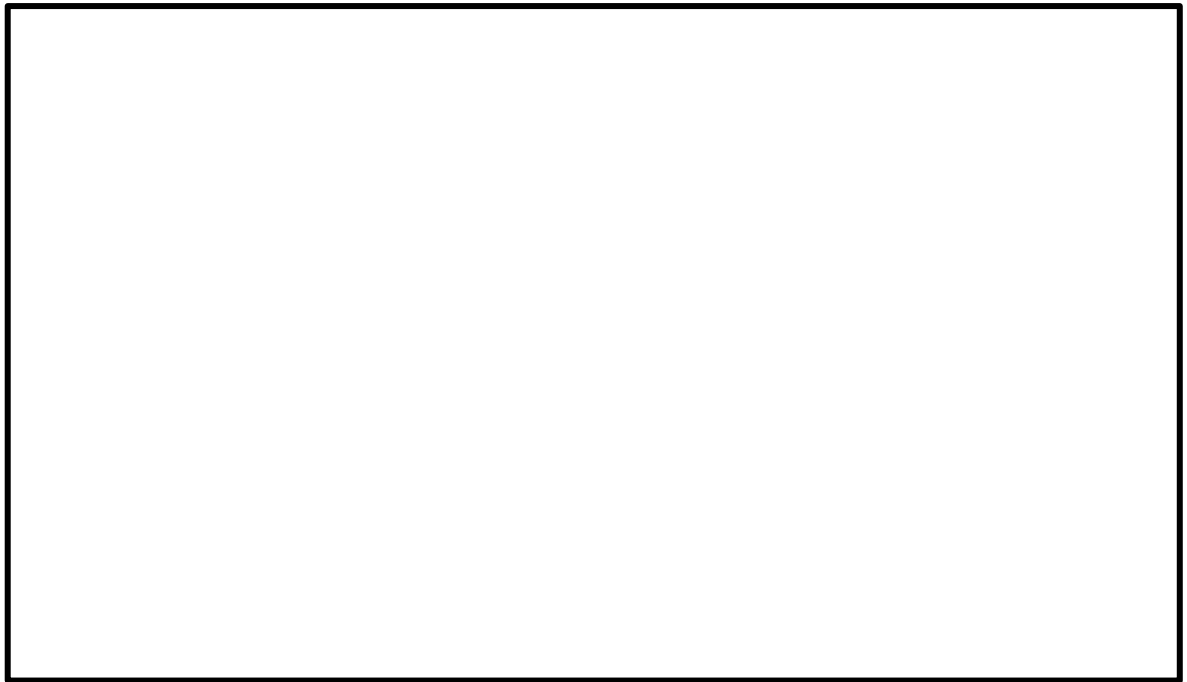


図4-4 加速度計の設置位置（振動台，支持架台）



図4-5 加速度計の設置位置（2連ダンパ）



図4-6 加速度計の設置位置 (3連ダンパ)

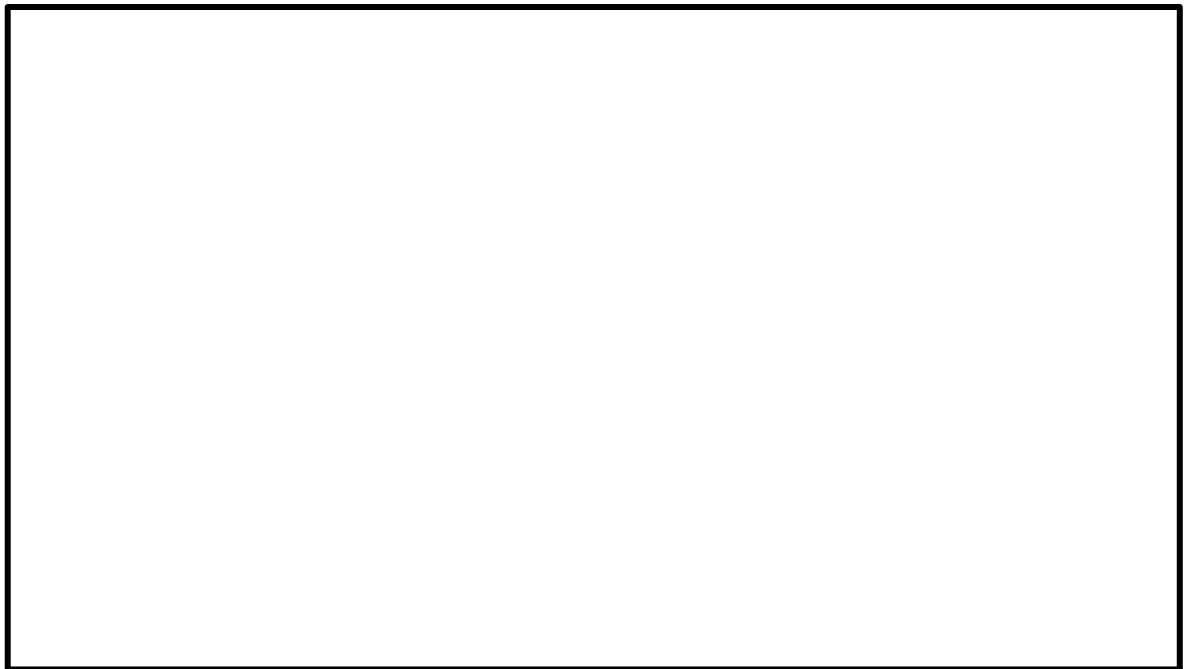


図4-7 ひずみゲージの設置位置 (2連ダンパ)

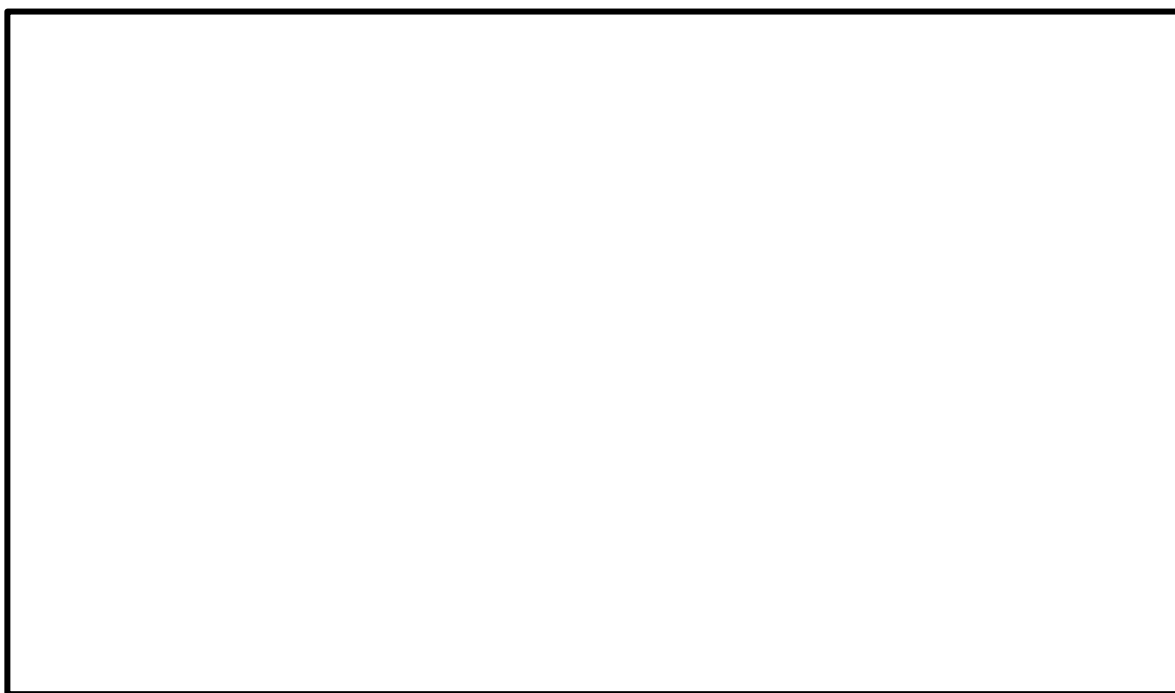


図4-8 ひずみゲージの設置位置 (3連ダンパ)

5 試験要領

5.1 試験手順

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動作試験、気密性能試験を実施する。

【BOP閉止装置の羽根開放状態における加振試験（2連，3連ダンパ）】

- (1) 加振試験の準備として、センサ（加速度計及びひずみゲージ）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) 計測系確認試験を以下の手順で実施する。
 - ① BOP閉止装置の羽根が開放状態であることを確認する。
 - ② 試験体の共振振動数より十分に離れた低振動数（ Hz）にて、加速度振幅 2m/s^2 の連続正弦波でX, Y, Z方向の単軸加振を行う。
 - ③ 各加速度計の振幅レベルと位相関係から、極性の確認とセンサ出力の異常の有無を確認する。
- (3) 振動特性把握試験を以下の手順で実施する。
 - ① BOP閉止装置の羽根が開放状態であることを確認する。
 - ② Hz～ Hzの振動数範囲でフーリエスペクトル一定となるランダム波を用いて、ランダム波の継続時間は約64秒、最大入力加速度は 6m/s^2 とし、X, Y, Z方向の単軸加振を行う。
 - 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おける固有振動数の有無を確認する。
- (4) 地震波加振試験（0.5倍及び1.0倍）を以下の手順で実施する。
 - ① BOP閉止装置の羽根が開放状態であることを確認する。
 - ② 模擬地震波にて、入力レベル0.5倍及び1.0倍でX、Y、Z方向の単軸加振を行う。
 - ③ 加振後、採取データを確認する。
 - ④ 取付及び外観確認を実施する。
- (5) 地震波加振試験（ α 倍）を以下の手順で実施する。
 - (4) ①～④と同じ。ただし、下記に読み替える。
 - ・入力レベルをX(NS)=1.15倍, Y(EW)=1.20倍, Z(UD)=1.25倍

【BOP閉止装置の羽根閉止状態における加振試験（2連，3連ダンパ）】

BOP閉止装置の羽根を閉止状態とし、加振試験を実施する。試験内容については、5.1

(1)～(5)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

A S T M E 283-4 (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。送風機により試験容器内へ空気を給気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に気密性能試験装置図を示す。

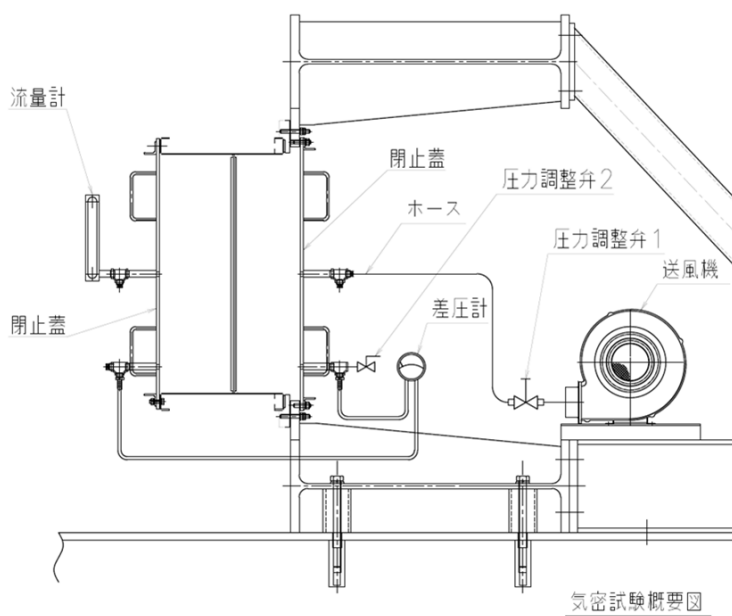


図5-1 気密性能試験装置図

試験手順は、「J I S 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。), 予備加圧を圧力500Pa×3回実施し、圧力差 Pa, Pa, Pa, Pa, Pa, Pa, Paと上げ, Pa, Pa, Pa, Paと下げていく (保持時間2分)。通気方向は1方向 (加圧) とする。(図5-2 差圧試験線図)



図5-2 差圧試験線図

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、ダンパの流路面積 (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。

$$q = Q' / A$$

ここで、

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

A : ダンパの流路面積 (m^2)

Q' : 通過した空気量 (20°C , 1013hPa) (m^3/h)

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

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

差圧 63 Pa時の漏えい量が、許容漏えい量 ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$) 以下であること。ダンパ寸法と流路面積を図5-3に示す。

尚、流量計単位 L/min から $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ への換算は以下による。

[単位換算式] $X = V \div A \times 60 \div 1000$

X : 漏えい量 ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$)

V : 流量計読み値 (L/min)

1 [h] = 60 (min)

1 [m^3] = 1000 (L)

A : ダンパの流路面積 (=) (m^2)

ダンパの流路面積Aの算出方法を以下に示す。上記 [単位換算式] より、流路面積Aが小さくなった場合に漏えい量Xが大きい値として算出され、判定をする上で保守的となることから、流路面積Aは小数点第二位以下を切り捨てて算出した。

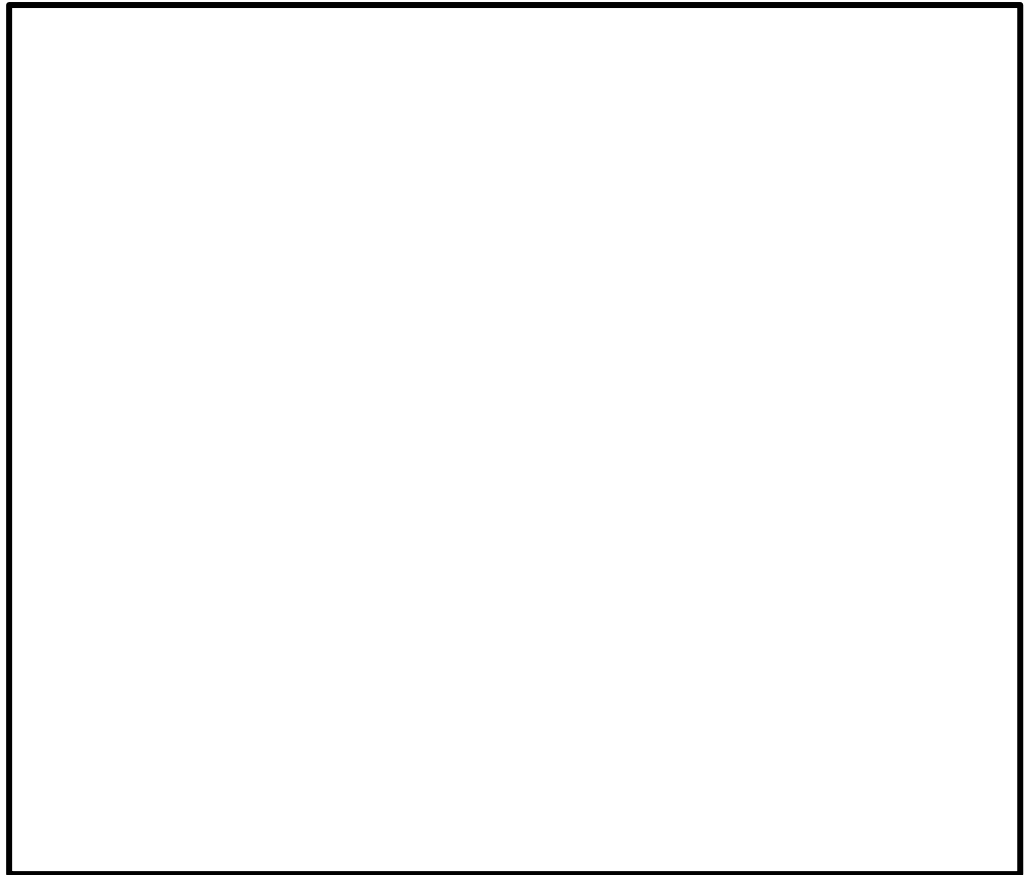


図5-3 ダンパ寸法と流路面積



5.3 動作試験について

(1) 動作試験

【電動動作確認】

操作箱のスイッチで全閉操作・全開操作を行い，リミットスイッチにて羽根が全閉位置・全開位置で自動停止することを確認する。なお，開閉の動作時間は，操作箱のスイッチ操作から，羽根が全開位置・全閉位置となるまでの時間とする。併せて仮設電源盤の電圧値および参考として開動作・閉動作の時間，電流値を測定する。

【手動動作確認】

ハンドルを回し，開閉がスムーズに行えることを確認し，ハンドルが回らなくなったときに羽根が全閉位置・全開位置にあることを確認する。図5-4に手動操作の概念図を示す。



図5-4 手動操作の概念図

(2) 判定基準

【電動動作確認】

- ・電動駆動により開閉できること。
- ・リミットスイッチにて羽根が全閉位置・全開位置にて自動停止すること。
- ・変圧器出口側の電圧を測定し，定格電圧値440V以下であること。

(動作試験時の動作時間および電流値は，動作不具合が発生した場合に，原因特定するための参考情報として取得する。)

【手動動作確認】

- ・開閉時に引っ掛かりがなく，スムーズに行えること。

原子炉建物燃料取替階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」に基づき実施した試験結果概要を以下の表1-1に示す。

表1-1 試験結果概要 (1/2)

No.	試験項目	試験体状態	目的	結果
1	計測系確認試験	2連ダンパ (開)	計測機器の動作確認	異常なし
2		2連ダンパ (閉)		異常なし
3		3連ダンパ (開)		異常なし
4		3連ダンパ (閉)		異常なし
5	振動特性把握試験	2連ダンパ (開)	試験体の共振振動数確認	共振点なし
6		2連ダンパ (閉)		共振点なし
7		3連ダンパ (開)		共振点なし
8		3連ダンパ (閉)		共振点なし

表1-1 試験結果概要 (2/2)

No.	試験項目	試験体状態	目的	結果
9	地震波加振試験 (入力レベル 1.0 倍)	2 連ダンパ (開)	基準適合性確認	異常なし
10		2 連ダンパ (閉)		異常なし
11		3 連ダンパ (開)		異常なし
12		3 連ダンパ (閉)		異常なし
13	地震波加振試験 (入力レベル α 倍)	2 連ダンパ (開)	耐震裕度確認	異常なし
14		2 連ダンパ (閉)		異常なし
15		3 連ダンパ (開)		異常なし
16		3 連ダンパ (閉)		異常なし
17	気密性能試験	2 連ダンパ (開)	機能維持確認 (加振後の気密性能確認)	異常なし
18		2 連ダンパ (閉)		異常なし
19		3 連ダンパ (開)		異常なし
20		3 連ダンパ (閉)		異常なし
21	動作試験	2 連ダンパ (開)	機能維持確認 (電動及び手動での羽 根開閉確認)	異常なし
22		2 連ダンパ (閉)		異常なし
23		3 連ダンパ (開)		異常なし
24		3 連ダンパ (閉)		異常なし

2. 計測系確認試験結果（2連ダンパ，3連ダンパ）

2連ダンパ，3連ダンパ共に，計測機器の動作確認のため，試験体の共振振動数より十分に離れた低振動数（ Hz）にて，加速度振幅 2m/s^2 の連続正弦波でX, Y, Z方向の単軸加振を行った。各加速度計の振幅レベルと位相関係から，極性の確認を行うとともに，センサ出力の異常が無いことを確認した。

3. 振動特性把握試験結果（2連ダンパ，3連ダンパ）

主要な加速度計測点として，2連ダンパについては第1羽根（弁体）中央リブ付根（記号：A21），3連ダンパについては第2羽根（弁体）中央リブ付根（記号：A24）の振動台（中央）（記号：A1）に対する伝達関数を図3-1～3-2に示す。2連ダンパ，3連ダンパ共に，各方向においてランダム波の入力振動数範囲である Hzまで緩やかに応答倍率が増加するものの，明確な共振点は確認されなかった。

本結果から，2，3連ダンパの固有振動数は Hz以上であり，十分剛な構造であることを確認した。

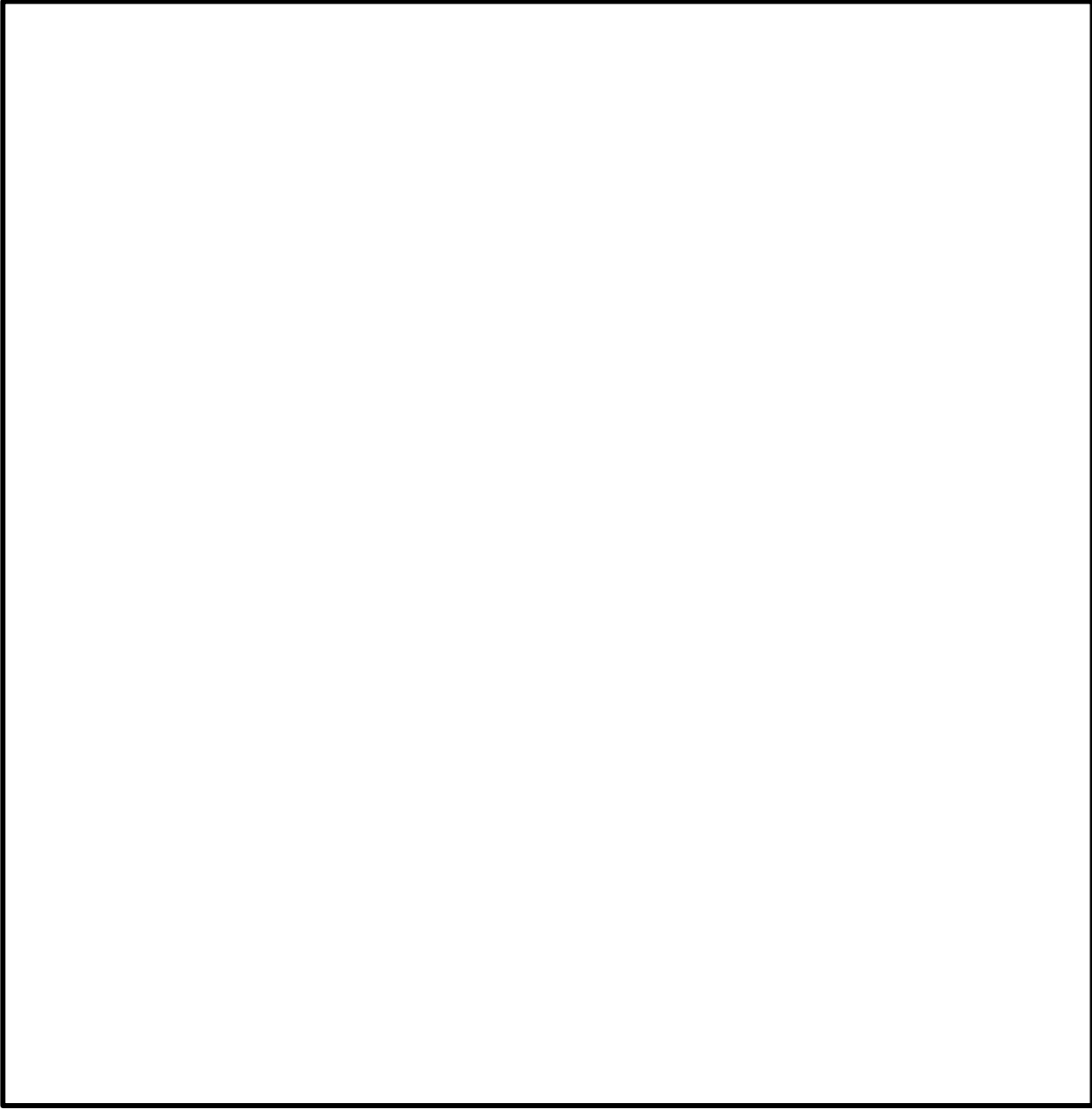


図3-1 振動特性把握試験結果 2連ダンパ

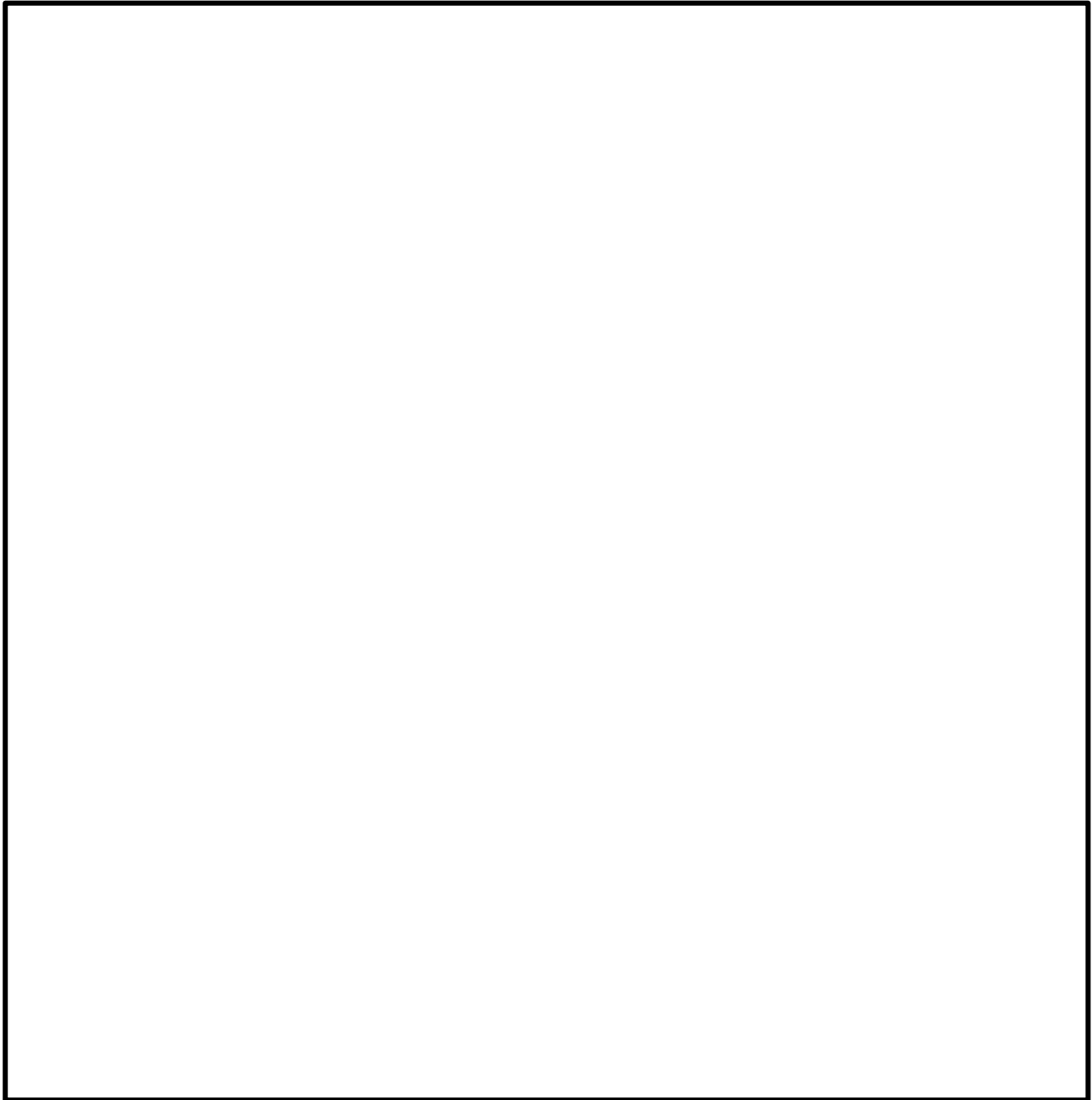


図3-2 振動特性把握試験結果 3連ダンパ

4. 地震波加振試験結果（2連ダンパ，3連ダンパ）

2連ダンパについて，振動台限界となる α 倍地震波加振時の最大加速度及び加速度応答スペクトルと設計用震度 I 及び設計用床応答スペクトル I の比較を実施した結果，加振実績の振動台最大加速度は設計用震度 I を上回った。また，加振実績はほぼ全ての振動数域で設計用床応答スペクトル I を上回ることを確認した。

3連ダンパについて，振動台限界となる α 倍地震波加振時の最大加速度及び加速度応答スペクトルと設計用震度 I 及び設計用床応答スペクトル I の比較を実施した結果，加振実績の振動台最大加速度は設計用震度 I を上回った。また，加振実績はほぼ全ての振動数域で設計用床応答スペクトル I を上回ることを確認した。

最大加速度の比較を表4-1，応答スペクトルの比較を図4-1～4-4に示す。

表4-1 地震波加振試験結果（2連ダンパ，3連ダンパ）

試験対象	開閉状態	方向	設計用震度 I ($\times 9.8\text{m/s}^2$) (基準地震動 S_s)	加振実績 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	判定結果
2連ダンパ	開	X			○
		Y			○
		Z			○
	閉	X			○
		Y			○
		Z			○
3連ダンパ	開	X			○
		Y			○
		Z			○
	閉	X			○
		Y			○
		Z			○

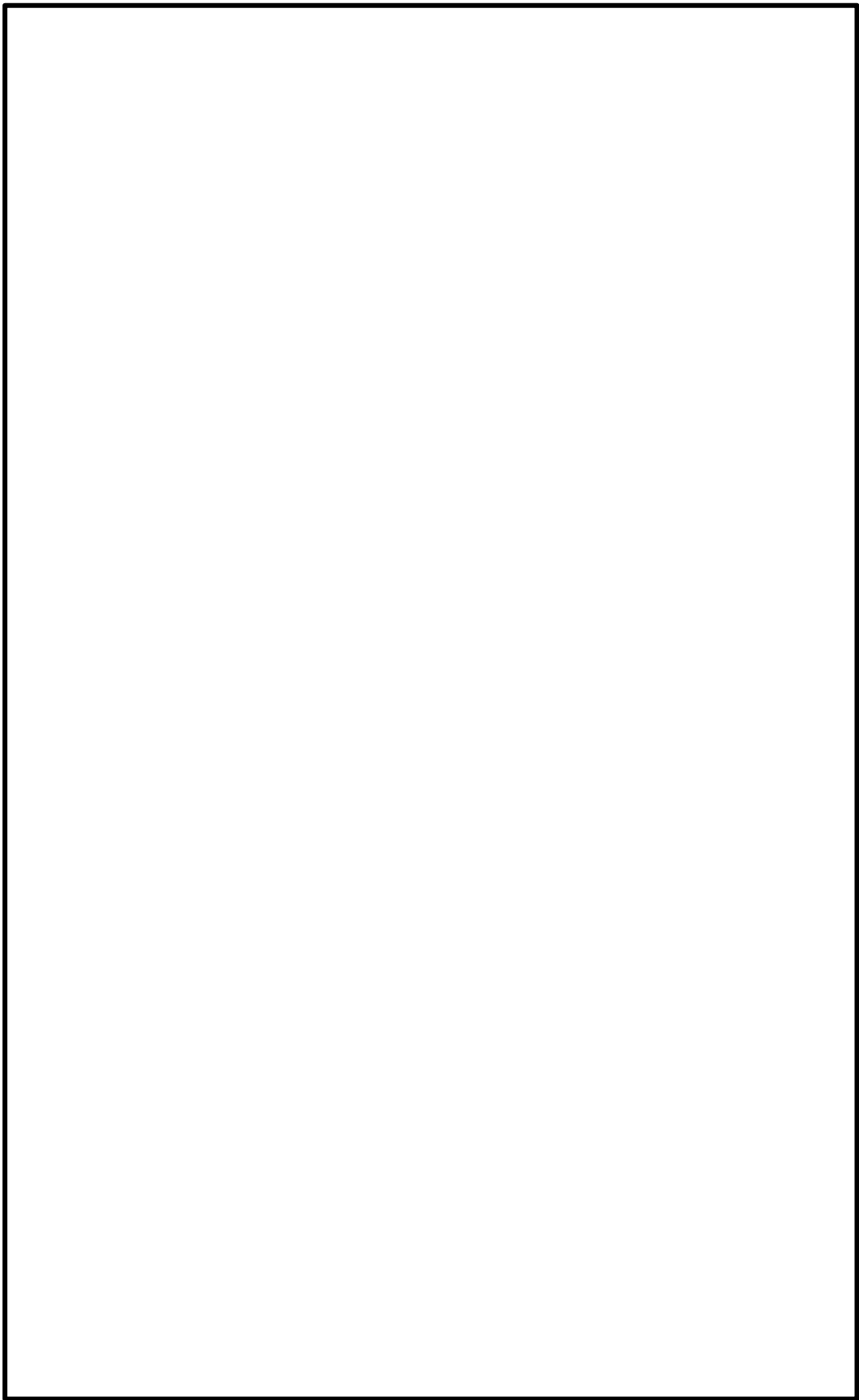


図4-1 地震波加振試験結果（2連ダンパ（開）） 加速度応答スペクトルの比較

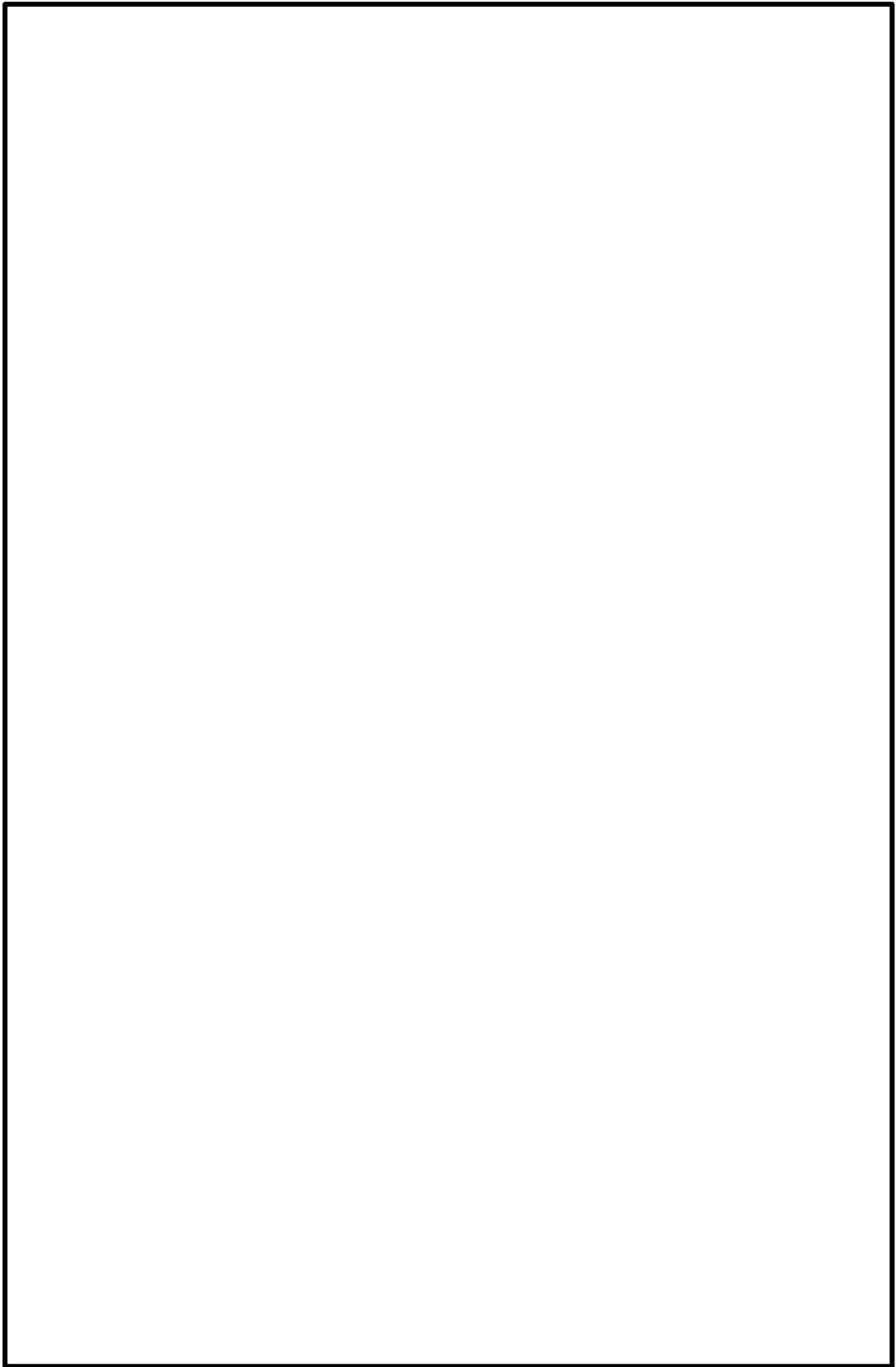


図4-2 地震波加振試験結果（2連ダンパ（閉）） 加速度応答スペクトルの比較

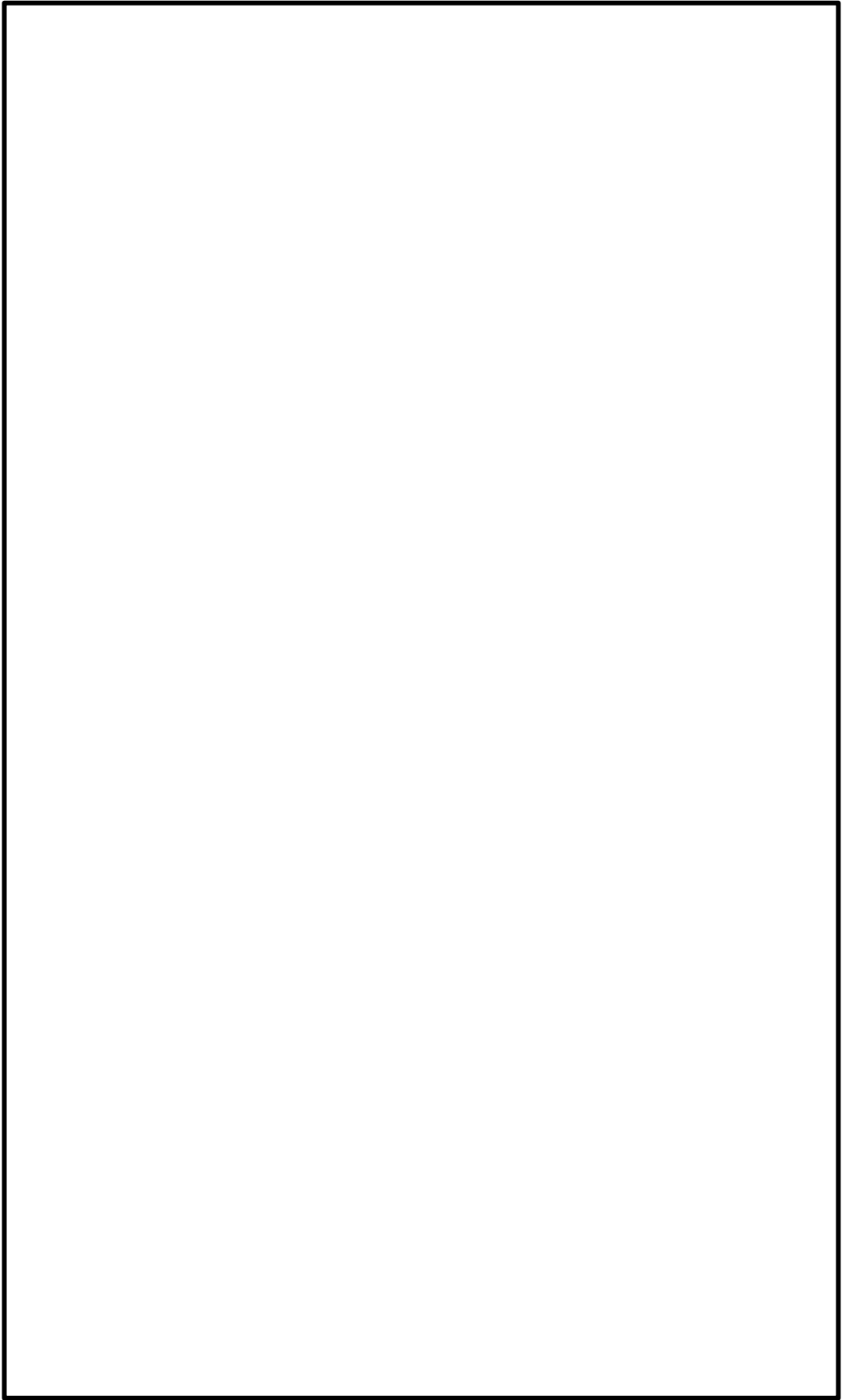


図4-3 地震波加振試験結果 (3連ダンパ (開)) 加速度応答スペクトルの比較

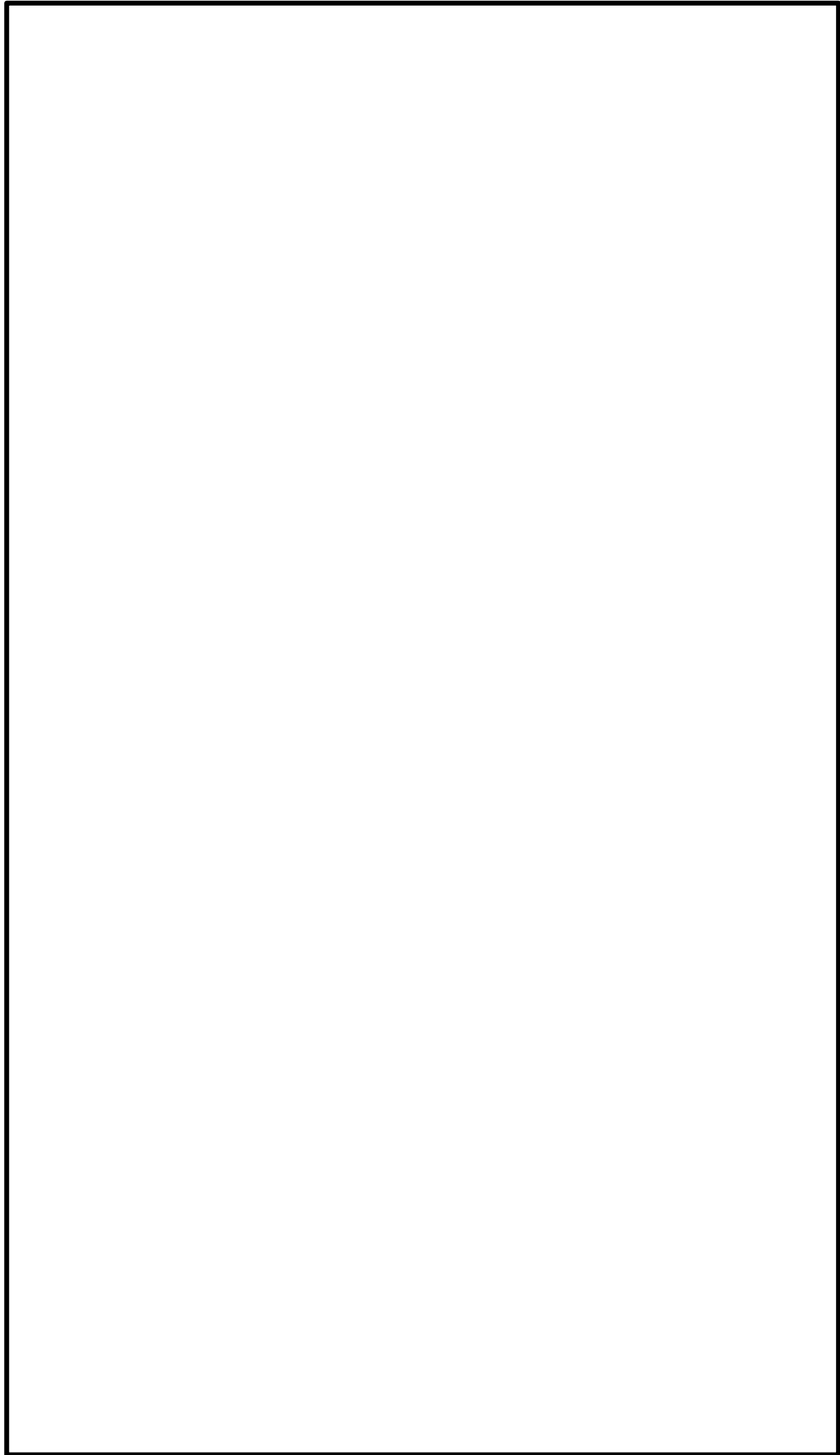


図4-4 地震波加振試験結果 (3連ダンパ (閉)) 加速度応答スペクトルの比較

主要な加速度計測点として、2連ダンパについては第1羽根（弁体）中央リブ付根（記号：A21）、3連ダンパについては第2羽根（弁体）中央リブ付根（記号：A24）の最大加速度と振動台（中央）（記号：A1）の最大加速度の関係を図4-5～図4-8に示す。加振方向以外の応答が小さく応答軸が明確であることが確認された。また、入力レベル0.50倍の3方向（X, Y, Z）同時の3軸加振試験結果からも単軸加振と3方向（X, Y, Z）同時の3次元加振試験での顕著な差がないことが確認された。本結果から、3次元加振試験と単軸加振試験は同等な試験方法であり、島根2号機BOP閉止装置の加振試験として、単軸で加振試験を実施することは妥当であることを確認した。

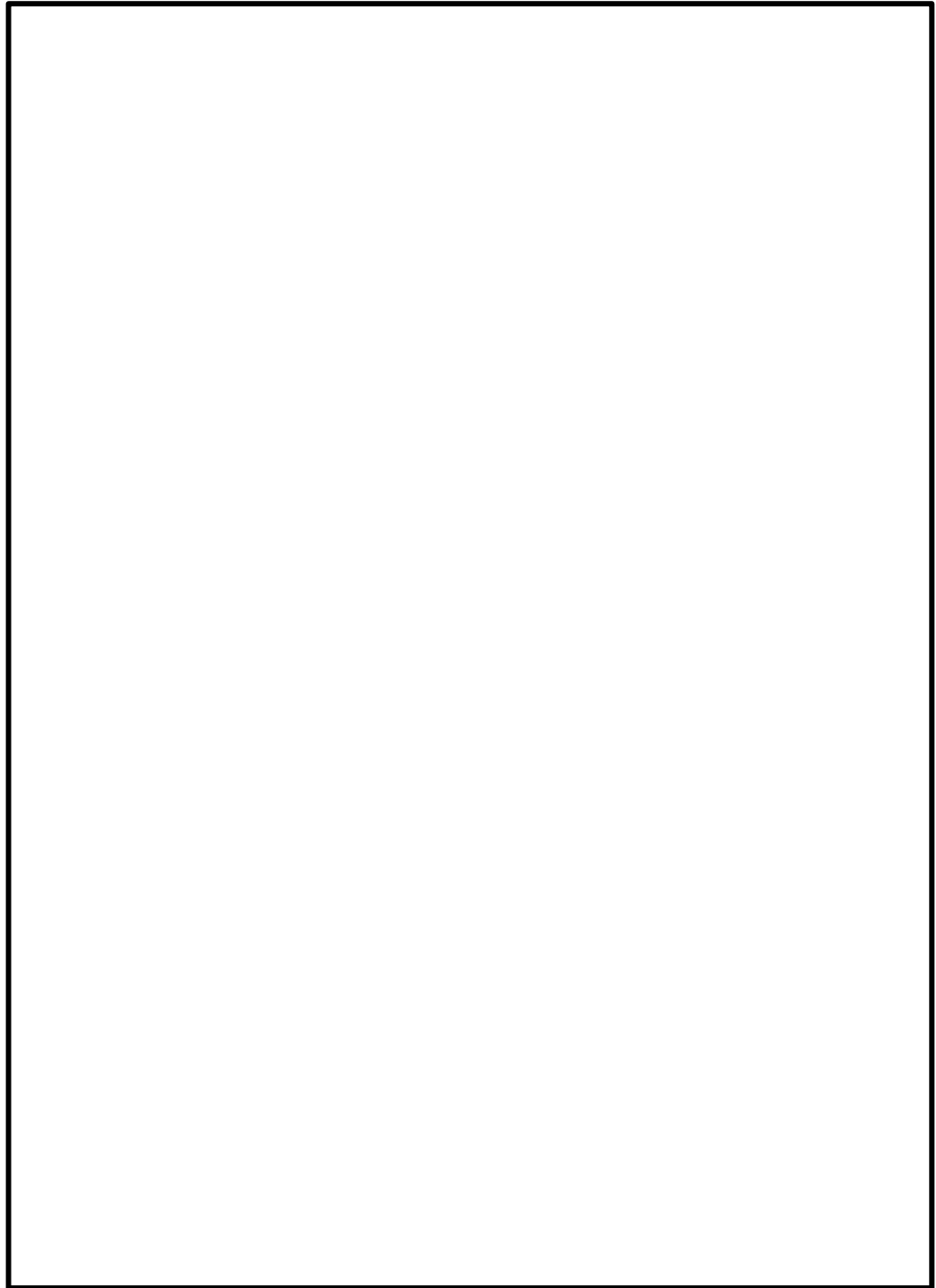


図4-5 2連ダンパ（開）地震波加振時の代表点最大加速度

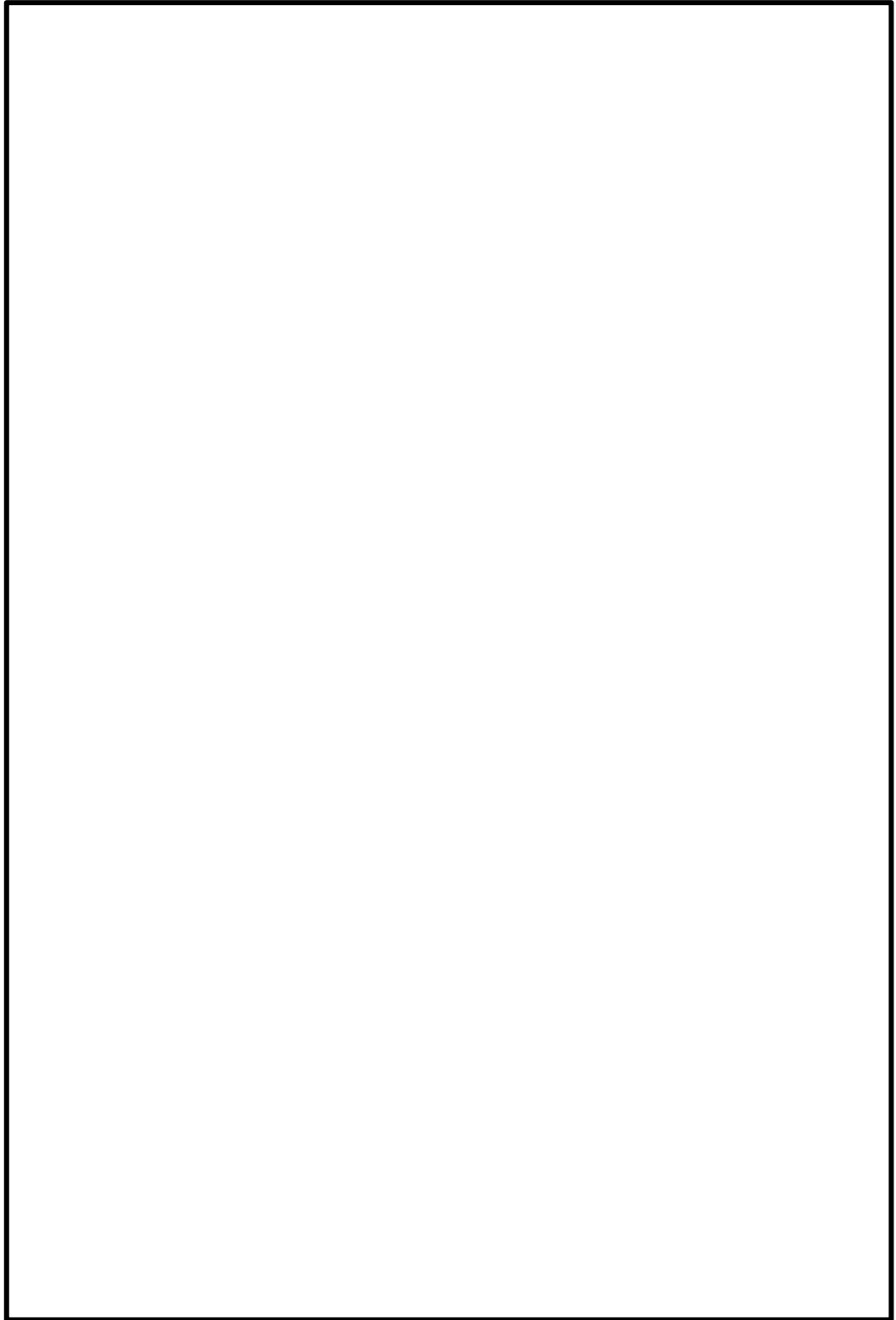


図4-6 2連ダンパ（閉）地震波加振時の代表点最大加速度

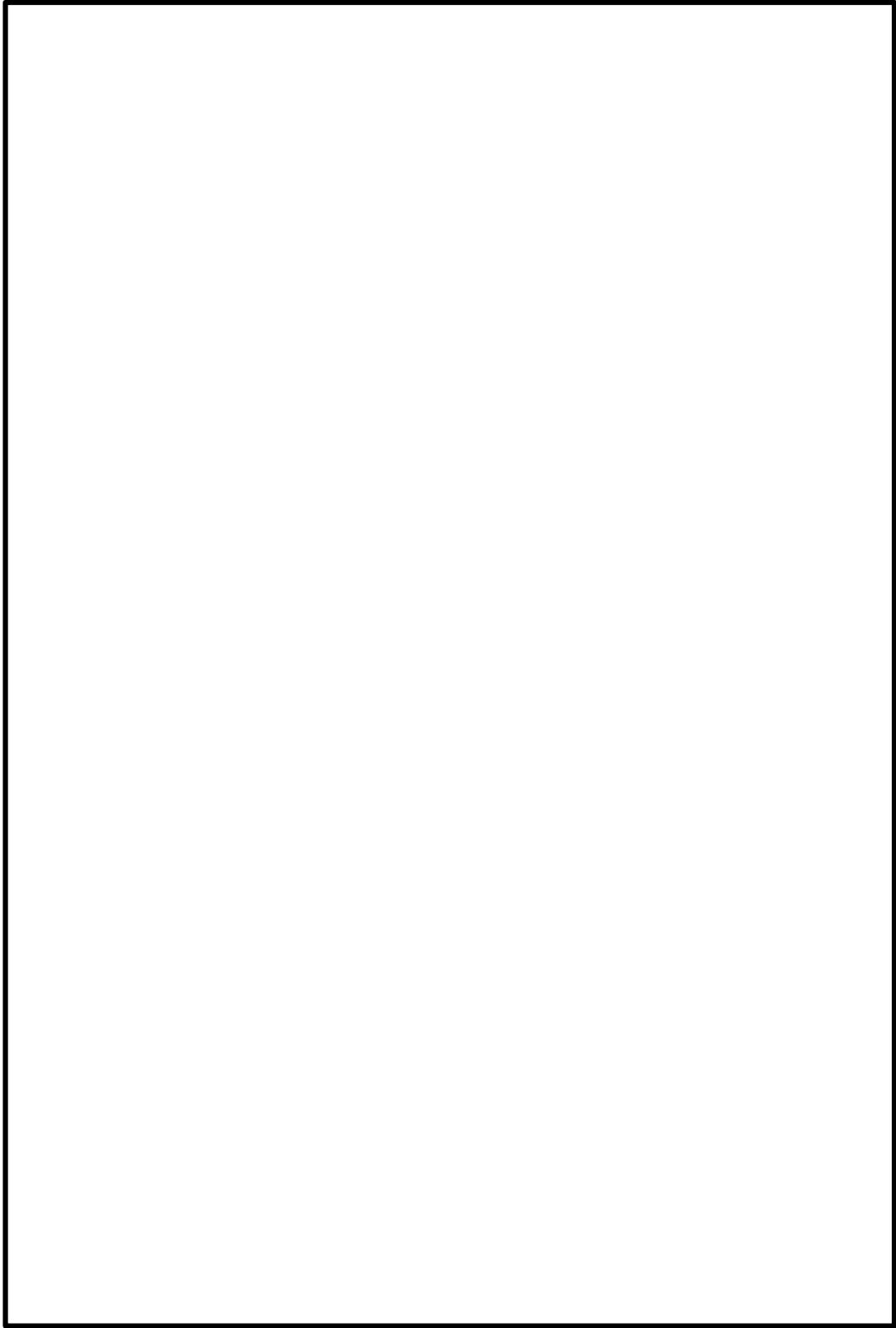


図4-7 3連ダンパ（開）地震波加振時の代表点最大加速度

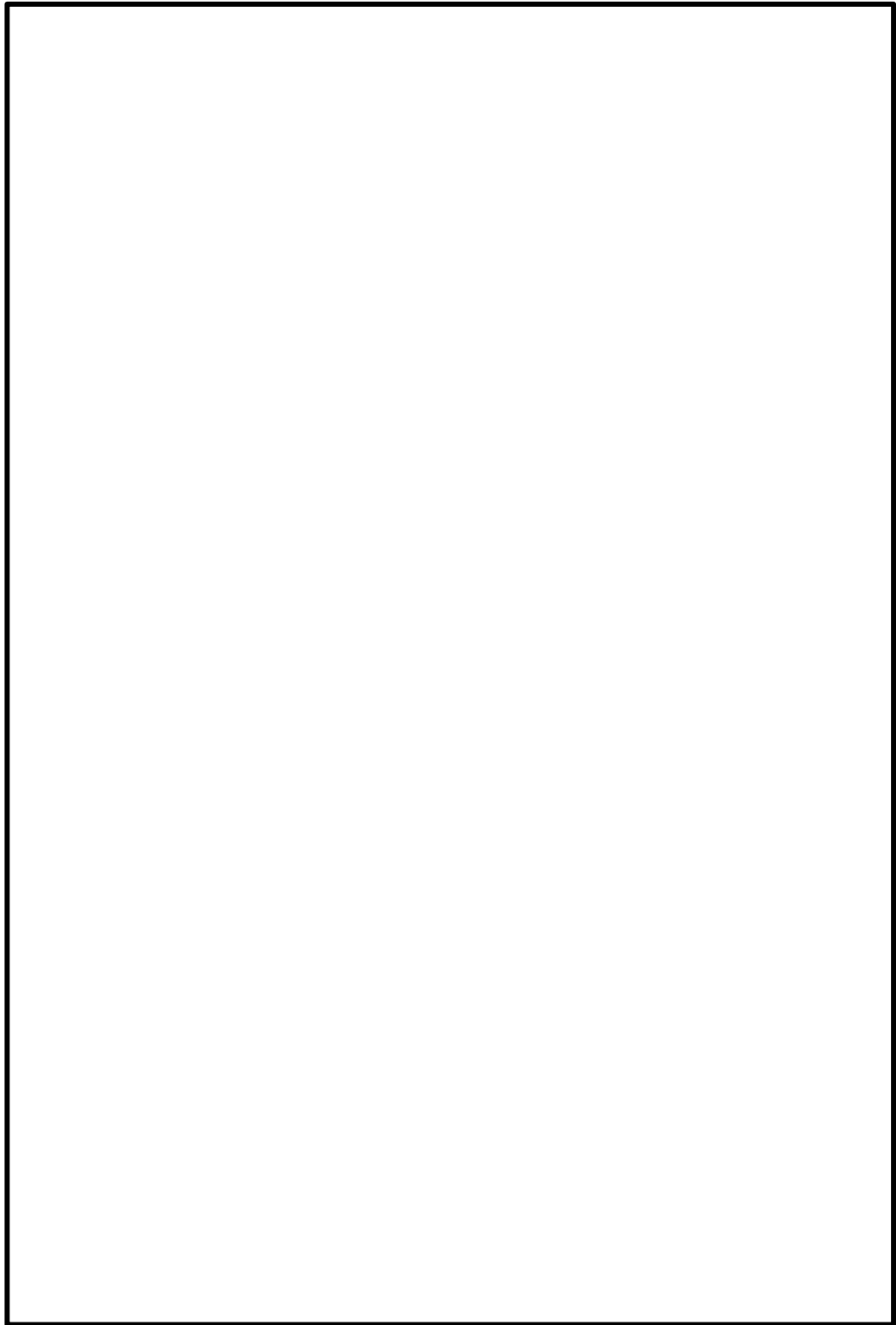


図4-8 3連ダンパ（閉）地震波加振時の代表点最大加速度

5. 健全性確認結果

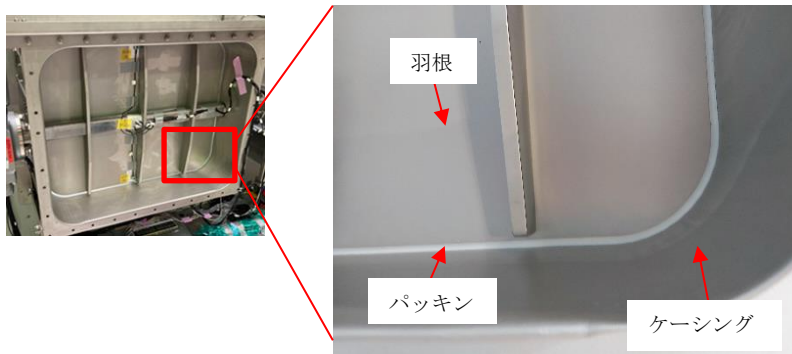
5.1 気密性能試験結果

気密性能試験の初期状態及び加振後については表5-1に示す。加振後の漏えい量も十分に小さく、原子炉建物燃料取替階のブローアウトパネル部に適用し、既設原子炉建物のインリーク量を考慮した場合でも、原子炉建物としての気密性能（負圧）は十分に確保できることを確認した。なお、漏えい量が \square $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2 \sim \square$ $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ とばらつきがあるが、加振によって悪影響が発生したのではなく、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）のシール方法に起因するものであり、また、許容漏えい量（ \square $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ）に対して非常に少ない範囲でのばらつきであることから問題ないと考える。シール方法の概要については図5-1に示す。

表5-1 加振後の気密性能試験

試験対象	加振倍率	加振時の羽根開閉状態	通気量@63Pa ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$)	備考
事前確認	—	—		加振前に羽根を閉止して試験
2連ダンパ	1.0倍	開		加振後に羽根を閉止し試験
		閉		羽根閉止状態での加振後に試験
	α 倍*	開		加振後に羽根を閉止し試験
		閉		羽根閉止状態での加振後に試験
事前確認	—	—		加振前に羽根を閉止して試験
3連ダンパ	1.0倍	開		加振後に羽根を閉止し試験
		閉		羽根閉止状態での加振後に試験
	α 倍*	開		加振後に羽根を閉止し試験
		閉		羽根閉止状態での加振後に試験

注記*：入力倍率(α)については、模擬地震波の入力レベル1.0倍の振動台応答の実績から、X(NS)=1.15倍、Y(EW)=1.20倍、Z(UD)=1.25倍



羽根の淵に取り付けられたパッキン（シリコンタイプ）が、羽根を閉めることでケーシングに押し付けられる構造。パッキンは柔軟性があり、閉止の都度、同じようにはケーシングに圧着されず、漏えい量にばらつきはあるものの、許容漏れ量に比べれば非常に小さく問題はない。

図5-1 シール方法の概要

<原子炉建物としての負圧達成について>

今回の BOP 閉止装置（ダンパ）単体での気密性能試験結果から、本装置を原子炉建物燃料取替階のブローアウトパネル部に設置した場合の原子炉建物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（4400m³/h/台）は、推定インリーク量 \square m³/h 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。

- ・既設原子炉建物原子炉棟の推定インリーク量：約 2035m³/h（63Pa 時の漏えい量）
- ・BOP 閉止装置（ダンパ）の合計台数：48 台
- ・BOP 閉止装置（ダンパ）48 台設置時の推定インリーク量：
 \square m²×48 台× \square m³/h・m²≒ \square m³/h（63Pa 時の漏えい量）
- ・非常用ガス処理系定格容量：4400m³/h/台（63Pa 時の通気量）
- ・BOP 閉止装置設置を含めた原子炉建物原子炉棟の推定漏えい量：2035m³/h + \square m³/h = \square m³/h（63Pa 時の漏えい量） < 4400m³/h/台（63Pa 時の通気量）（非常用ガス処理系定格容量）

仮に気密性能試験上の判定基準としている許容漏えい量 \square m³/h・m² がダンパ 1 台あたりから漏えいした場合を想定しても、 \square m²×48 台× \square m³/h・m²≒ \square m³/h（63Pa 時の漏えい量）となり、原子炉建物原子炉棟の推定漏えい量 2035m³/h と足し合わせても \square m³/h であり、非常用ガス処理系定格風量 4400m³/h/台（63Pa 時の通気量）を大きく下回っており、原子炉建物原子炉棟は負圧に保たれることから余裕のある許容漏えい量を設定している。

5.2 動作試験結果

動作試験の結果を表5-2、表5-3に示す。操作箱のスイッチで全閉操作・全開操作を行い、リミットスイッチにて羽根が全閉位置・全開位置で問題なく自動停止することを確認した。

表5-2 加振後の動作試験（開閉動作）

試験対象	加振倍率	開閉状態	試験結果		判定
			手動操作	電動操作	
事前確認	—	開放→閉止 閉止→開放	異常なし	異常なし	合格
2連ダンパ	1.0倍	開放→閉止	異常なし	異常なし	合格
		閉止→開放	異常なし	異常なし	合格
	α倍*	開放→閉止	異常なし	異常なし	合格
		閉止→開放	異常なし	異常なし	合格
事前確認	—	開放→閉止 閉止→開放	異常なし	異常なし	合格
3連ダンパ	1.0倍	開放→閉止	異常なし	異常なし	合格
		閉止→開放	異常なし	異常なし	合格
	α倍*	開放→閉止	異常なし	異常なし	合格
		閉止→開放	異常なし	異常なし	合格

注記*：入力倍率（α）については、模擬地震波の入力レベル1.0倍の振動台応答の実績から、X(NS)=1.15倍、Y(EW)=1.20倍、Z(UD)=1.25倍

表 5-3 加振後の動作試験（動作時間および電流値）

試験対象	加振倍率	開閉状態	電動操作（参考値）*2	
			時間（秒）	電流値（A）
事前確認	—	開放→閉止	45.53	0.7
2連ダンパ	1.0倍	開放→閉止	45.36	0.7
		閉止→開放	45.28	0.7
	α 倍*1	開放→閉止	45.30	0.7
		閉止→開放	45.36	0.7
事前確認	—	開放→閉止	47.21	0.7
3連ダンパ	1.0倍	開放→閉止	46.96	0.7
		閉止→開放	47.19	0.7
	α 倍*1	開放→閉止	47.05	0.7
		閉止→開放	46.96	0.7

注記*1：入力倍率（ α ）については、模擬地震波の入力レベル1.0倍の振動台応答の実績から、X(NS)=1.15倍、Y(EW)=1.20倍、Z(UD)=1.25倍

注記*2：動作試験時の動作時間および電流値は、動作不具合が発生した場合に原因特定するための参考情報として取得した。

5.3 外観目視点検結果

実施した加振試験後の点検結果を表5-4に示す。基準地震動S_sを包絡する加振でも設備に損傷はなく、ひずみ測定による有意なひずみも確認されなかったことから、健全であることを確認した。

表 5-4 BOP 閉止装置加振試験後の外観点検結果

試験条件		外観目視点検結果			
加振条件	開閉状態	羽根 (パッキン含む)	シャフト	ケーシング	その他
S _s 包絡波	開	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
	閉	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし

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（以下「BOP」という。）関連設備の先行電力との差異について説明する。

2. BOP 関連設備の構成比較

BOP 関連設備の構成比較について表 2-1 に示す。

表 2-1 BOP 関連設備の構成比較

東海第二	柏崎 7 号	女川 2 号	島根 2 号	差異の有無
原子炉建屋外側 BOP	燃料取替床 BOP	原子炉建屋 BOP	原子炉建物燃料取替階 BOP	無
—	主蒸気配管トンネル室 BOP	—	原子炉建物主蒸気管トンネル室 BOP	有
BOP 閉止装置	燃料取替床 BOP 閉止装置	原子炉建屋 BOP 閉止装置	原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置	無
BOP 強制開放装置（自主対策設備）	燃料取替床 BOP 強制開放装置（自主対策設備）	—	原子炉建物燃料取替階 BOP 強制開放装置（自主対策設備）*	有

注記 *：重大事故等時に静的触媒式水素処理装置，格納容器フィルタベント系により原子炉建物内の水素濃度が低下しなかった場合に，強制的に開放する設備（「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」第 68 条「原子炉建屋等の水素爆発を防止するための設備」）である。

2.1 差異箇所の詳細について










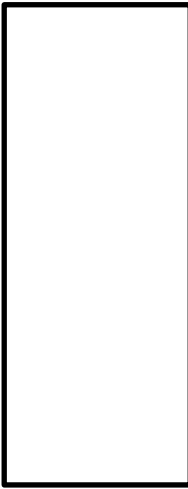

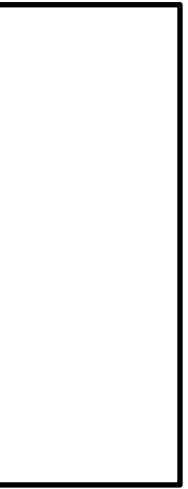

柏崎刈羽 7 号機及び島根 2 号機には主蒸気管トンネル室に BOP が設置されているが，東海第二及び女川 2 号機には設置されていない。東海第二と女川 2 号機では，主蒸気管破断事故時に発生する蒸気を全て原子炉建物から屋外へ通ずる BOP により，原子炉建物外へ逃がす設計としているが，柏崎刈羽 7 号機と島根 2 号機は原子炉建物燃料取替階から屋外へ通ずる BOP に加え主蒸気管トンネル室からタービン建物等へ通ずる BOP により，主蒸気管破断事故時に発生する蒸気を原子炉建物外へ逃がす設計としていることから，相違しているものである。

また，島根 2 号機の原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置は，屋内に設置されており，原子炉建物燃料取替階 BOP の開放状態によらず閉止動作が可能な設計のため，東海第二および柏崎刈羽 7 号機と同じ目的での強制開放装置は設置していない。

3. 原子炉建物燃料取替階 BOP の詳細設計に関する比較

先行電力で設置されている原子炉建屋 BOP 等と島根 2 号機で設置する原子炉建物燃料取替階 BOP の設備詳細比較を表 3-1 に示す。

表 3-1 原子炉建物燃料取替階 BOP の詳細設備比較

項目	東海第二	柏崎 7 号	女川 2 号	島根 2 号	差異の有無
パネル枚数				2 枚	有
設計差圧				6.9kPa	有
材料				SS400, SUS304	有
作動方式				クリップ式 個数：16 個 (幅約 140 mm /パネル) 材質：SUS304 幅：約 140 mm 厚さ：約  mm	有
すべり台, 車輪	無	すべり台	車輪	すべり台	有
コーキング 有無	パネル 4 辺を シール材によ りコーキング	パネル上部及 び左右に水切 り板を設置 し、その周辺 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	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) 作動方式について

□では□としているが、島根2号機では□及び□と同様にクリップ式としている。

クリップの個数については、弾性設計用地震動による地震力や設計差圧を考慮してクリップを左右対称に上部□個（幅約140mm）、下部□個（幅約140mm）としている。

クリップ材質については□では材質を□としているが、耐食性の向上を目的として島根2号機では□と同様にSUS304としている。

(3) すべり台、車輪について

パネルと躯体の摩擦力を低減させるため、柏崎刈羽7号機と同様にパネル及び躯体にステンレス製のすべり台を設置している。

(4) コーキングについて

島根2号機では、女川2号機と同様に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. クリップ引張試験に関する比較

先行電力で実施されているクリップ引張試験等と島根2号機で実施しているクリップ引張試験の比較を表4-1に示す。

表4-1 クリップ引張試験等の比較

項目	東海第二	柏崎7号	女川2号*	島根2号	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） []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） []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） []変位：変位計にて測定	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	有
試験体数	30体	幅約75mm:3体 幅約37.5mm:3体	15体	30体	有

注記*：女川2号機は、[]

4.1 差異箇所の詳細について

(1) 試験方法について

[]であるため曲げ試験を実施しているが、島根2号機は[]と[]と同じクリップ式であるため引張試験を実施している。

(2) 試験体数について

試験体数は島根2号機では、ばらつきを考慮して30体としている。

5. 原子炉建物燃料取替階 BOP の試験に関する比較

先行電力で実施されている BOP の開放確認試験と島根 2 号機で実施した原子炉建物燃料取替階 BOP の開放確認試験に関する比較を表 5-1 に示す。

表 5-1 原子炉建物燃料取替階 BOP の開放確認試験比較

項目	東海第二	柏崎 7 号	女川 2 号	島根 2 号	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	油圧ジャッキ 4 体にて加力	無
試験回数	2 回	3 回	3 回	3 回	有
試験体数	3 体	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	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	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

東海第二では、開放試験の 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。島根 2 号機では柏崎刈羽 7 号機及び女川 2 号機と同様に 3 回の試験を実施している。

(2) 試験用パネルについて

東海第二では、実機に設置されているパネルサイズが数種類あり、そのうちの最大のものを採用しているのに対して、島根 2 号機ではパネルサイズが 1 種類であることから実機と同一としている。

6. 原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の設計に関する比較

先行電力で設置されている BOP 閉止装置と島根 2 号機で設置する原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の設計比較を表 6-1 に示す。

表 6-1 原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の設備設計比較

項目	東海第二	柏崎 7 号	女川 2 号	島根 2 号	差異の有無
方式	スライド扉方式		扉方式	ダンパ方式	有
設置場所	屋外		屋内	屋内	有
閉維持機構	門			ウォームギアによるセルフロック	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	ハンドル	有

6.1 差異箇所の詳細について

(1) 方式及び設置場所について

東海第二及び柏崎 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、島根 2 号機は女川 2 号機と同様に原子炉建物原子炉棟内の BOP への蒸气流路上に設置する。設置にあたっては、BOP の開放機能へ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加え、欧州の原子力発電所 (EPR) にて原子炉格納容器のバウンダリに使用されているダンパをベースとしたダンパ方式の BOP 閉止装置とした。

EPR では LOCA 等の事故時においてダンパを開放させることに対し、BOP 閉止装置は SA 時にダンパを閉止させるため開閉動作方向に相違はあるものの、事故時環境において動作機能を期待しているという共通点から、当該ダンパを BOP 閉止装置設計のベースとすることは妥当と考えており、BOP 閉止装置として、島根 2 号機における事故時環境にて閉止動作及び気密性能が維持されるよう設計している。島根 2 号機の原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の概要を図 6-1 に示す。

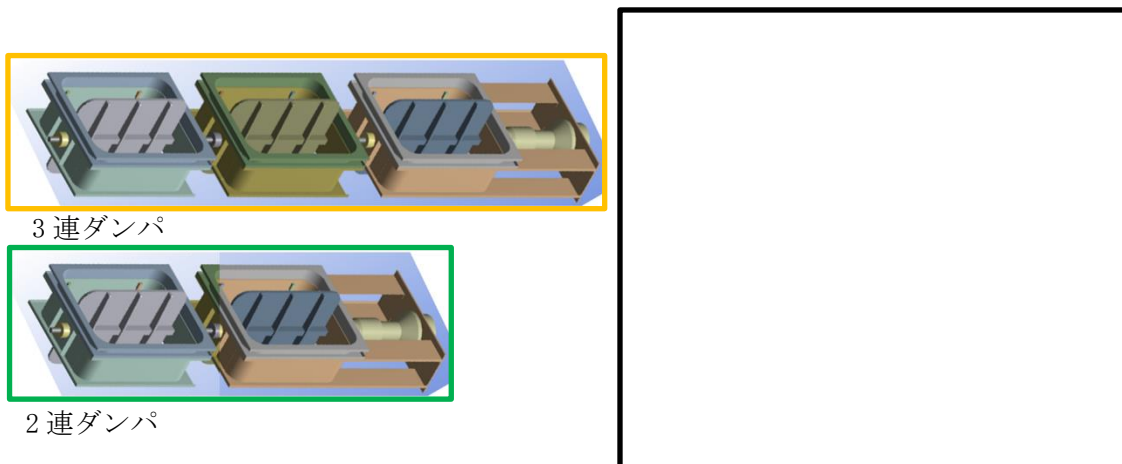


図 6-1 原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の概要図

(2) 閉維持機構について

先行電力では、BOP 閉止装置を閉止後に扉に対して門を挿入することにより、閉状態を維持する設計としている。一方で、島根2号機の原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置は、駆動機構にあるウォームギアによりセルフロックがかかる設計となっている。構造の概要を図6-2に示す。

島根2号機の基準地震動 S_s 相当による加振試験の際も、このセルフロックによって加振中にダンパが開方向へ動くことなく、閉維持されていたことを目視で確認している。

ウォームギアの構造について

ネジ型の歯があるウォームが回転することで、かみ合っているウォームホイールが従動する仕組み。

逆にウォームホイールから駆動させてウォームを従動させることは、摩擦の関係により出来ない構造となる（セルフロック）。

島根2号のBOP閉止装置の場合、ウォームが電動又は手動により回転させる軸で、ウォームホイール側がダンパの軸となる。このため、地震等でダンパへ開方向の力が加わったとしてもセルフロックにより開放しない。

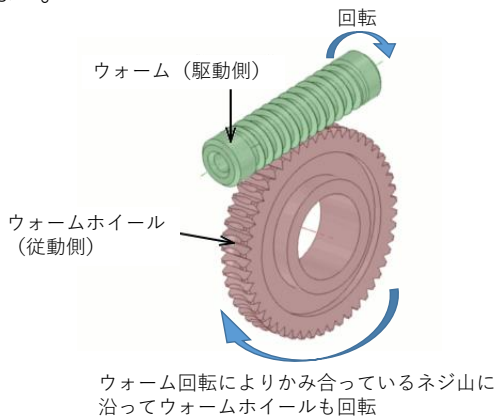


図1 ウォームギア通常動作

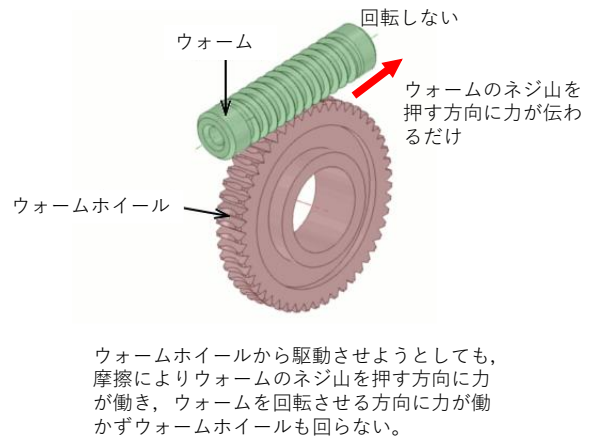


図2 セルフロック状態

図6-2 ウォームギアによるセルフロックの概要

(3) 手動操作方式について

東海第二ではBOP 閉止装置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ているが、島根2号機は柏崎7号機及び女川2号機と同様に、BOP 閉止装置の近傍へアクセスし、アクチュエータ（以下「駆動部」という。）に設置されたハンドルにて操作する手動操作方式としている。BOP 閉止装置のハンドル設置箇所を図6-3に示す。

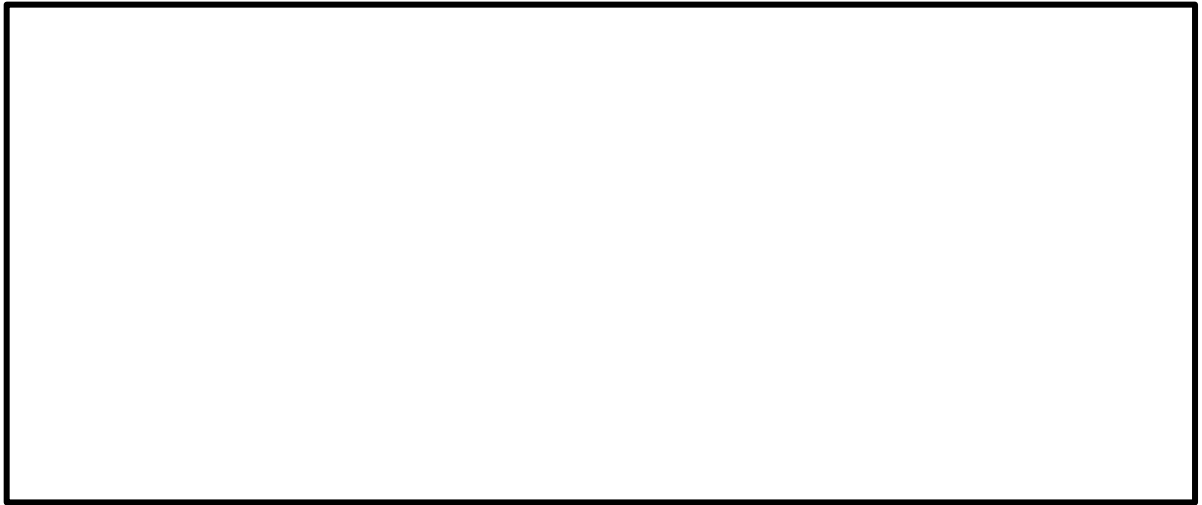


図 6-3 BOP 閉止装置のハンドルの設置位置

ハンドルを使用した手動による閉止操作時間は駆動部 1 つあたり約 2 分／人で実施可能な設計としている。オペフロ BOP1 箇所あたりに取り付けられる BOP 閉止装置のハンドルは 10 個（2 連ダンパ 6 台及び 3 連ダンパ 4 台の駆動部毎に設置）であることから、想定される手動操作時間は約 20 分／人となる。

BOP 閉止装置の手動による閉止操作は、現場へのアクセス 1 時間を含め、オペフロ BOP1 箇所あたり緊急時対策要員 2 名で 2 時間以内に対応することとしており、オペフロ BOP 1 箇所あたりの閉操作に約 20 分／人を要しても問題ない。

オペフロ BOP1 箇所あたりの BOP 閉止装置手動操作による閉止時間を図 6-4 に示す。

必要な要員と作業項目		経過時間 (分)												備考	
		20	40	60	80	100	120	140	180	200	220	240	260		
手順の項目	要員(数)	120分 原子炉建機燃料取替階ブローアウトパネル部の閉止完了 (1箇所あたり)													
原子炉建機燃料取替階ブローアウトパネル部の閉止手順 (現場での原子炉建機燃料取替階ブローアウトパネル部の閉止)	緊急時対策要員	2	移動			▽									
			原子炉建機燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置操作												

図 6-4 オペフロ BOP1 箇所あたりの BOP 閉止装置手動操作による閉止時間

7. 原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の加振試験・気密性能試験に関する比較

先行電力で実施されている BOP 閉止装置の加振試験及び気密性能試験と島根 2 号機で実施した原子炉建物燃料取替階 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 原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の加振試験・気密性能試験比較

項目	東海第二 柏崎 7 号	女川 2 号	島根 2 号	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 先端耐震防災研究棟)	3 次元振動台 (鹿島建設株式会社 技術研究所 西調布実験場)	有
加振波	①BOP 閉止装置設置高さより上方の床応答 ②建屋影響等のばらつきを包絡	①最大加速度は BOP 閉止装置と同程度の設置高さ, 床応答スペクトルは 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	①BOP 閉止装置設置高さより上方の床応答 ②建物影響評価等のばらつきを包絡	有
振動特性把握試験	実施	実施	実施	無
加振試験方法 (開状態)	【3 次元加振】 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	【3 次元加振】 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	【単軸加振】 ①羽根開状態加振後に羽根閉動作 ②羽根閉状態で気密性能試験 ③羽根開動作・閉動作	有
加振試験方法 (閉状態)	【3 次元加振】 ①扉閉状態加振 ②気密性能試験 ③扉開動作・閉動作	【3 次元加振】 ①扉閉状態加振 ②気密性能試験 ③扉開動作・閉動作	【単軸加振】 ①羽根閉状態加振 ②気密性能試験 ③羽根開動作・閉動作	有
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	①振動台 ②支持架台 ③ダンパ 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 ③チェーン ④門周辺	—	①ダンパケーシング ②羽根 ③ダンパ連結継手	有

項目	東海第二 柏崎7号	女川2号	島根2号	差異の 有無
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	・ダンパの開閉を確認 ・電動機の電流値, ダンパ動作時間を測定	有
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	・ダンパの開閉を確認	有
加振後の 気密性能 試験方法	・ASTM E283-4 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。	・ASTM E283-4 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。	・ASTM E283-4 に準じた装置を用いる。 ・送風機により設置架台とダンパ間の空間を加圧することによりダンパ前後に圧力差を生じさせ, ダンパのシール部から漏えいする通気量を測定する。	有

7.1 差異箇所の詳細について

(1) 試験装置について

島根2号機は試験体重量等を考慮した結果, 先行電力と異なる鹿島建設株式会社 技術研究所 西調布実験場の試験装置を用いて加振試験を実施している。

(2) 加振波について

東海第二, 柏崎7号機及び島根2号機はBOP閉止装置の設置高さより上方の床応答を目標として設定している。女川2号機のBOP閉止装置は設置高さより上方の床応答を目標とした場合, 振動台性能の制約から加振試験が不可能であったことから, 支持架台の応答増幅を考慮して設計用震度を超えるように加振波を設定している。

(3) 加振試験方法について

東海第二, 柏崎7号機及び女川2号機は, 3方向(X, Y, Z)同時の3次元加振試験を実施している。島根2号機は, 目標とする加振レベルが高いこと及び試験装置の加振限界から3方向(X, Y, Z)各方向の単軸加振試験を実施している。BOP閉止装置の機能確認試験結果に示すとおり, 島根2号機のBOP閉止装置は剛構造であり, かつ応答軸が明確であることから, 3次元加振試験と単軸加振試験は同等な試験方法である。

(4) ひずみ測定箇所について

6.1 項で先述のとおり、BOP 閉止装置の方式が異なり、島根 2 号機の原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の構造上、ひずみの発生が考えられる位置にひずみゲージを設置している。

(5) 加振後の作動確認について

6.1 項で先述のとおり、島根 2 号機は原子炉建物燃料取替階 BOP 閉止装置の閉維持機構に門を用いていないため、ダンパの作動確認に関するもののみとなる。

(6) 加振後の気密性能試験方法について

先行電力の排風機によって試験装置内を負圧とする方法と異なり、島根 2 号機は「J I S A 1516 (建具の気密性能試験方法)」に示されている試験構成が加圧式であることに倣い、試験装置内を送風機によって加圧する方法を採用している。なお、図 7-1 に示すとおり、当該試験は試験体前後に発生させた圧力差による漏れ量を測定するものであり、試験体に対して加圧する方向 (現場取付状態で屋外から屋内方向) 及び試験圧力を試験体前後の差圧で管理することに先行電力との相違はなく、試験結果の妥当性に影響を与えるものではない。

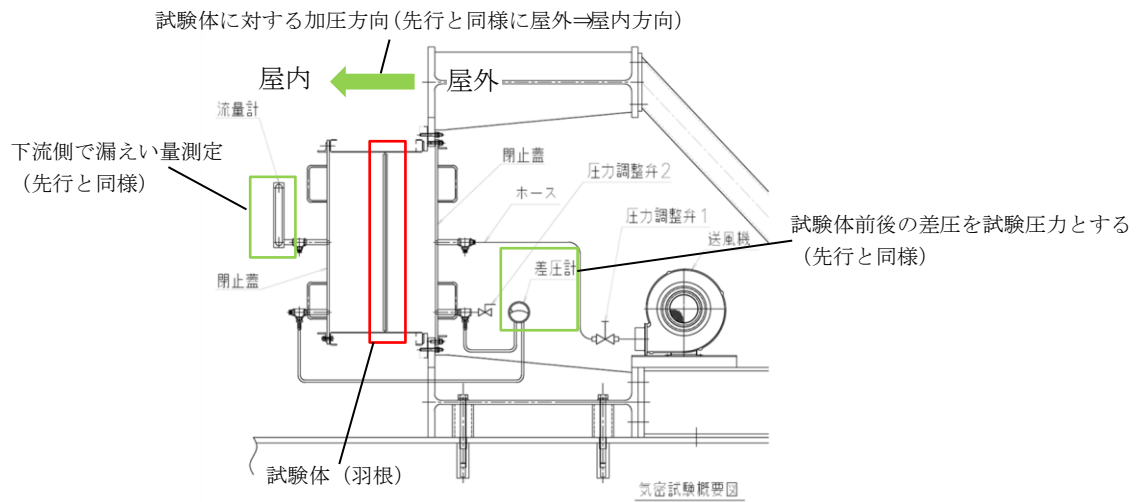


図 7-1 気密性能試験装置図

8. 原子炉建物燃料取替階 BOP 強制開放装置（自主対策設備）に関する比較

先行電力で実施されている BOP 強制開放装置と島根 2 号機で設置されている原子炉建物燃料取替階 BOP 強制開放装置に関する比較を表 8-1 に示す。

表 8-1 強制開放装置の仕様比較

項目	東海第二	柏崎 7 号	女川 2 号	島根 2 号	差異の有無
作動方式	油圧	電動駆動	—	手動	有
設置場所	屋内	屋外	—	屋外	有

8.1 差異箇所の詳細について

(1) 作動方式について

島根 2 号機は、全交流動力電源喪失時に操作ができ、かつ、通常時の誤動作防止を考慮し、レバースロック及びワイヤーロープ等の開放治具を用いた手動方式による設計としている。

なお、本装置は、重大事故等対処設備である静的触媒式水素処理装置及び格納容器ベントにより水素の処理又は排出を行っても原子炉建物内の水素濃度が低下しない場合に、オペプロ BOP を開放し、原子炉建物内の水素を排出することを目的として設置している。

(2) 設置場所について

島根 2 号機の開放治具は、通常時は原子炉建物屋外外壁の保管箱に収納する設計としている。

非常用ガス処理系吸込口の位置変更について

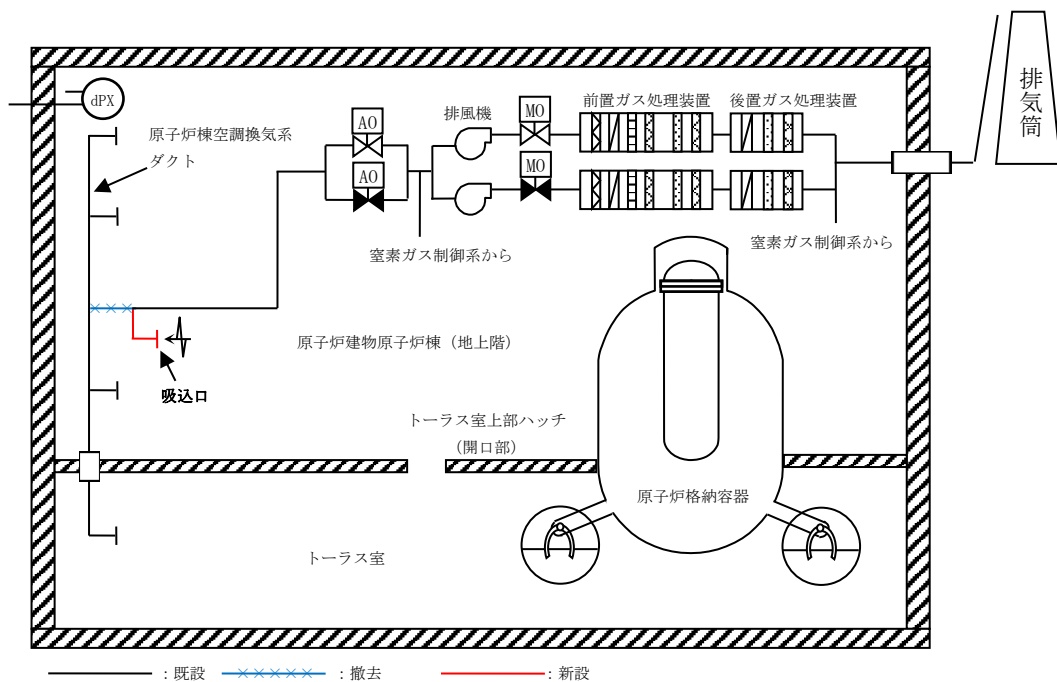
1. はじめに

島根原子力発電所第2号機の非常用ガス処理系は、よう素用チャコールフィルタ等を含む非常用ガス処理系前置ガス処理装置フィルタ及び非常用ガス処理系後置ガス処理装置フィルタ並びに非常用ガス処理系排風機等から構成される。放射性物質の放出を伴う設計基準事故時には、非常用ガス処理系で原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）内を負圧（約6mmAq）に保ちながら、原子炉格納容器から漏えいした放射性物質をガス処理装置フィルタに通して除去・低減した後、排気筒（非常用ガス処理系用）より放出できる設計としている。また、重大事故等時には、非常用ガス処理系排風機により原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）内を負圧（約6mmAq）に維持するとともに、原子炉格納容器から原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）内に漏えいした放射性物質を含む気体を排気筒（非常用ガス処理系用）から排気し、原子炉格納容器から漏えいした空気中の放射性物質の濃度を低減させることで、中央制御室にとどまる運転員の被ばくを低減することができる設計としている。

そのうち、非常用ガス処理系の吸込口については、空気の流れを適切に保ち原子炉建物原子炉棟内の汚染拡大を防止する観点から、原子炉棟空調換気系排気ダクトに接続し、原子炉建物原子炉棟全体から空気を吸引する構成としていたが、重大事故等時にトーラス室が100℃以上の高温となった場合*、内部流体温度が非常用ガス処理系の設計温度（66℃）を超える可能性があることから、吸込口を当該ダクトから切り離し、トーラス室の高温の空気を直接吸引しないよう変更することとした。非常用ガス処理系の系統概要図を図1に、差圧計の検出点配置を図2に示す。

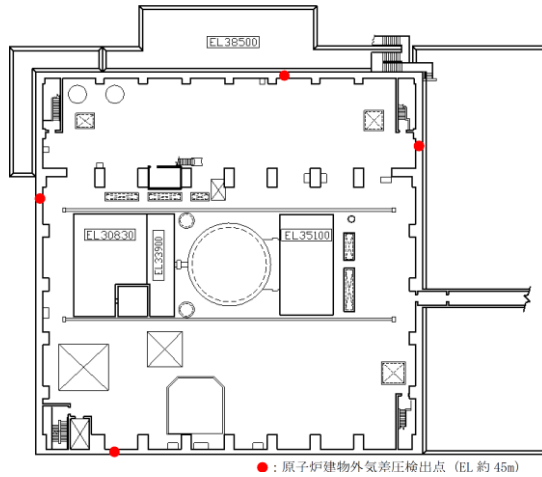
吸込口を原子炉棟空調換気系排気ダクトから切り離す変更により、非常用ガス処理系の系統機能に影響がないことを以下に示す。

注記*：重大事故等時の温度については「VI-1-1-7 安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」にて説明



注：差圧計は原子炉建物原子炉棟燃料取替階と大気との差圧を監視するものであり、4個設置している。

図1 非常用ガス処理系系統概要図



原子炉建物 4 階

図 2 原子炉建物原子炉棟-大気間の差圧計検出点 配置概要図

2. 変更概要

非常用ガス処理系の吸込口は、原子炉建物原子炉棟 2 階（周回通路）にある原子炉棟空調換気系排気ダクトに接続していたが、当該ダクトから切り離し、原子炉建物原子炉棟 2 階（周回通路）天井付近（設置レベルは原子炉建物原子炉棟中 2 階）から直接吸引する構成に変更した。見直し前後の吸込口の構造を図 3 に示す。

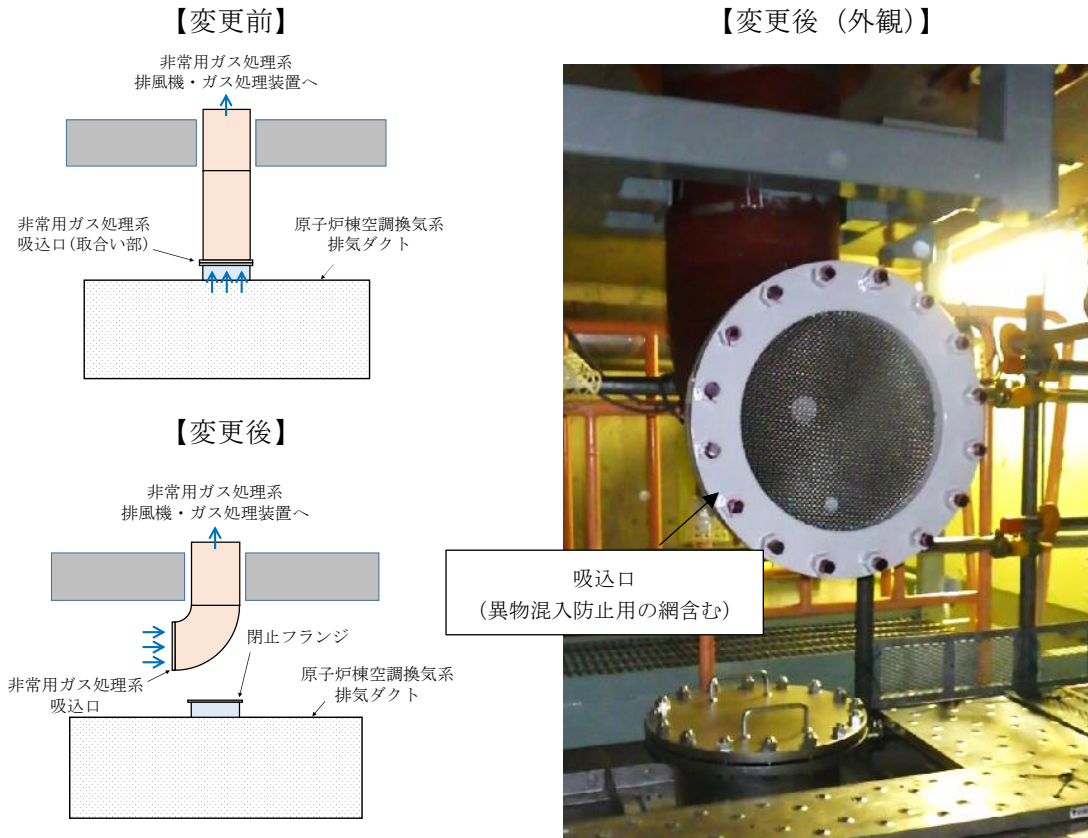


図 3 非常用ガス処理系吸込口の位置変更前後の構造及び外観

3. 系統機能の整理

技術基準規則第 26 条（燃料取扱設備及び燃料貯蔵設備）、44 条（原子炉格納施設）及び 74 条（運転員が原子炉制御室にとどまるための設備）において、非常用ガス処理系に要求される系統機能を表 1 に示す。

表 1 非常用ガス処理系の系統機能

系統機能	
①原子炉建物原子炉棟内の負圧維持機能	原子炉冷却材喪失事故時等に、原子炉建物原子炉棟内の圧力を規定の負圧（約 6mmAq）に維持する。
②放出放射能低減機能	原子炉冷却材喪失事故時等に、原子炉棟からの放出空気中に含まれる放射性物質を除去*し、環境への放出放射能を低減する。

注記*：重大事故等時においては、高所放出による大気拡散効果のみを期待している。

4. 系統機能への影響

吸込口の位置変更に伴う各系統機能への影響について、以下のとおり評価した。

① 原子炉建物原子炉棟内の負圧維持

図 4 に示すとおり、原子炉建物原子炉棟 2 階は大物搬入口へ向かう周回通路で構成され、大物搬入口は原子炉建物原子炉棟 1 階から燃料取替階までの吹き抜け構造であり、原子炉建物原子炉棟 1 階と原子炉建物原子炉棟地下階は開口部であるトラス室上部ハッチで連絡されている（図 5、6 参照）。

このため、原子炉棟空調換気系排気ダクトから切り離し、原子炉建物原子炉棟 2 階（周回通路）に吸込口を設けた場合でも、原子炉建物原子炉棟地上階の空気は周回通路や大物搬入口を経由し、地下階の空気は原子炉棟空調換気系排気ダクト（地下階）の流路面積より大きい開口面積であるトラス室上部ハッチを経由すること（図 5 参照）により、これまでと同様、原子炉建物原子炉棟全体から空気を吸引することが可能であること、及び排風機までの吸込み配管の長さ・ルートの大きな変更はなく、非常用ガス処理系排風機の容量に影響を与えないことから、原子炉建物原子炉棟内の負圧維持機能に影響を与えることはない。

なお、非常用ガス処理系起動による負圧達成時間について、机上評価では起動後約 250 秒と評価しているのに対して、実機においては、吸込口の位置変更によらず約 5 分であり、影響がないことを確認している（図 7 参照）。

また、非常用ガス処理系排風機が 2 台起動した場合であっても、原子炉建物原子炉棟 2 階（周回通路）の大物搬入口へ向かう通路の最も狭隘な箇所（図 4 参照）に発生する気流は風速 0.5m/s 未満*であり、設備へ影響を与えることはない。

注記*：「建築物における衛生的環境の確保に関する法律施行令」の居室における気流の基準値

《気流の評価》

- ・ 狭隘部の開口面積 $8.1(\text{m}^2)$ (=幅 $3.0(\text{m}) \times$ 高さ $2.7(\text{m})$)
- ・ 非常用ガス処理系排風機流量 (2台起動時) $8,800(\text{m}^3/\text{h})$
 $8,800(\text{m}^3/\text{h}) \div 8.1(\text{m}^2) \div 3600(\text{s}/\text{h}) \doteq 0.3(\text{m}/\text{s}) < 0.5(\text{m}/\text{s})$

② 放出放射能低減

非常用ガス処理系は、原子炉建物原子炉棟内の空気を吸込口から吸引したのち、排風機、ガス処理装置フィルタ及び排気管を経由し放出する系統構成のため、吸込口を原子炉棟空調換気系排気ダクトから切り離しても系統構成の変更はないため、放出放射能の低減機能に影響を与えることはない。



图 4 原子炉建物 2 階 配置図

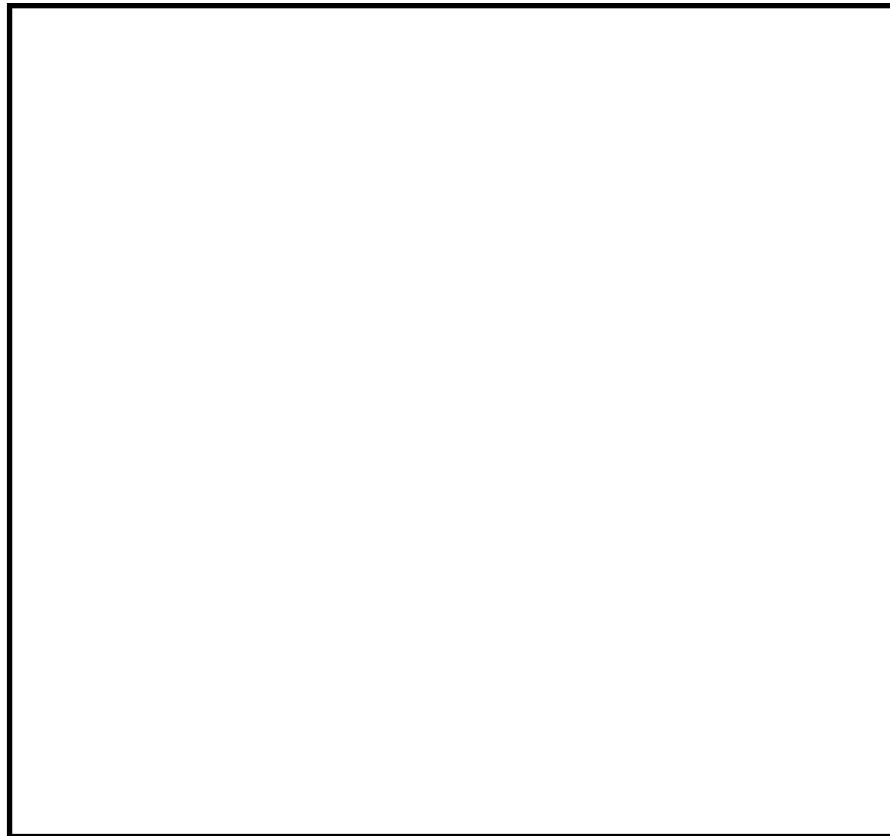


图 5 原子炉建物 1 階 配置図

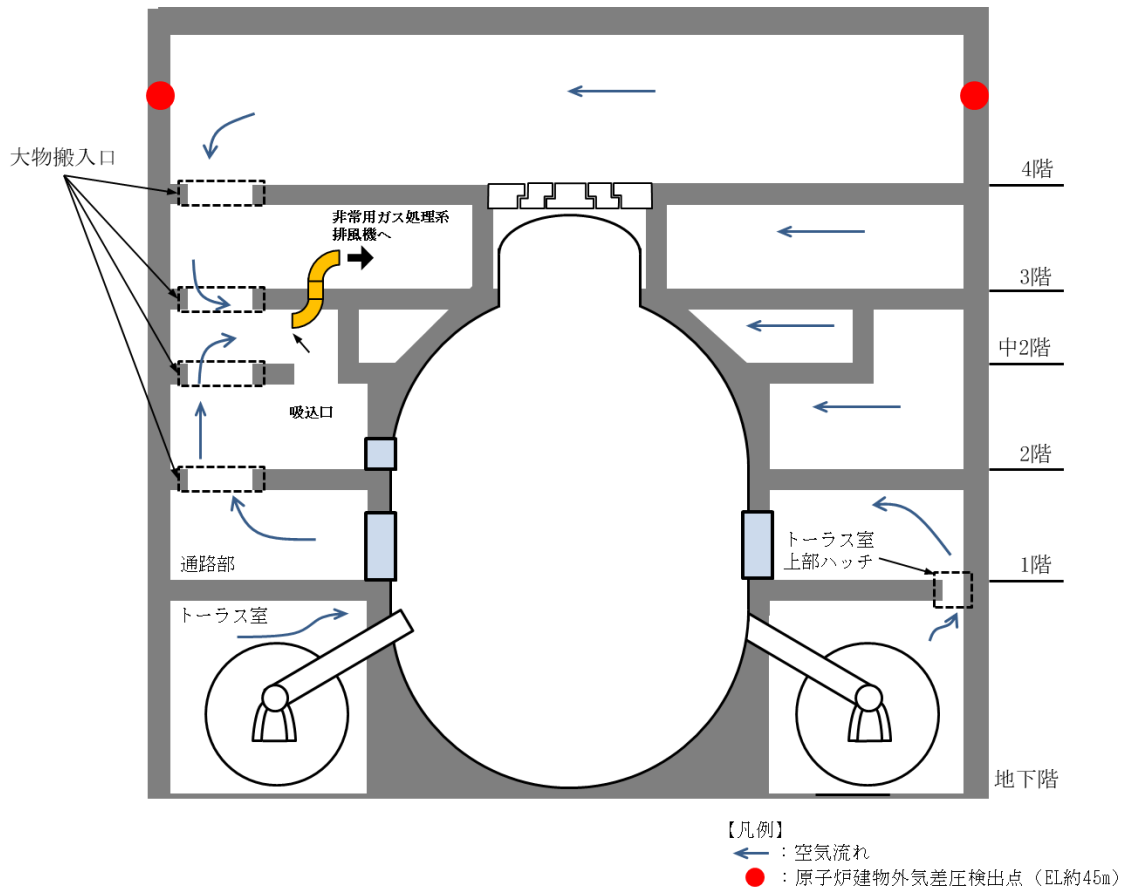
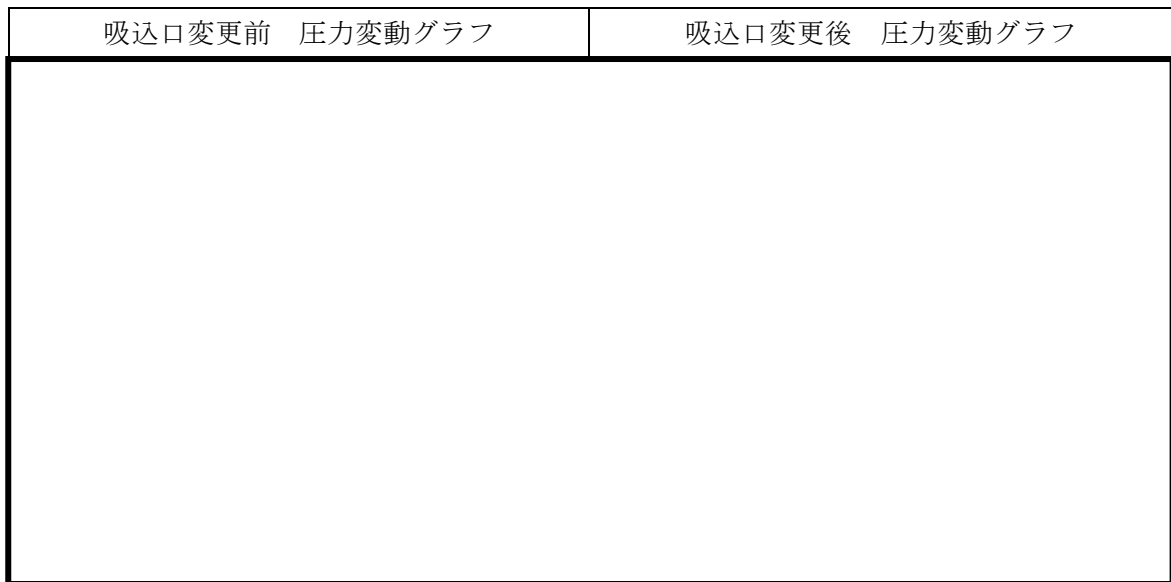


図6 原子炉建物原子炉棟 断面図



注：原子炉棟空調換気系（HVR）停止から非常用ガス処理系（SGTS）起動までの操作時間が異なるため、圧力挙動に多少の相違はあるものの、変動傾向は同様であり吸込口変更による影響はない

図7 非常用ガス処理系の吸込口変更前後の圧力挙動比較

5. 構造健全性への影響

吸込口は非常用ガス処理系の主配管の一部であり、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての機能を有する。

表2に示すとおり、それぞれの設備分類や評価条件を踏まえ、吸込口の構造強度に影響がないことを、耐震計算書及び強度計算書にて示すこととしている。

表2 非常用ガス処理系吸込口（主配管）の設備区分

設計基準対象施設		重大事故等対処設備	
耐震重要度分類	機器クラス	設備分類	重大事故等 機器クラス
Sクラス	クラス4管	常設重大事故緩和設備	重大事故等クラス2管

7. 原子炉ウェル排気ラインの閉止及び原子炉ウェル水張りラインにおけるドレン弁の閉運用について

7.1 系統設置目的及び構成

7.1.1 原子炉ウェル排気ライン

通常運転時のドライウェル主フランジからの万一のリークを考慮し、原子炉ウェル内を負圧に保つことを目的に設置しているものであり、原子炉ウェル下部に吸込口を設け、原子炉ウェルを原子炉棟空調換気系ダクトに接続し、そこから排気する構成としている。

7.1.2 原子炉ウェル水張りライン

燃料交換時におけるプール水の効率的循環、プール内の温度の均一化を目的に設置している。

また、外部接続口に繋がるラインを新たに追設し、重大事故等時に大量送水車により原子炉ウェルに注水を行い、ドライウェル主フランジシール材を原子炉格納容器外側から冷却する原子炉ウェル代替注水系（自主対策設備）としても使用する。

原子炉ウェル水張りラインについては、通常運転時は隔離弁により燃料プール冷却ラインと隔離しているが、万一、隔離弁からシートパスした場合に原子炉ウェルへ漏えい水が流入しないよう、隔離弁の下流に設置しているドレン弁（V216-512）を「開」運用としていた。しかし、原子炉ウェル代替注水系により原子炉ウェルに注水する際には当該ドレン弁（V216-512）の「閉」操作が必要となることから、運用性を考慮し、通常運転時から「閉」運用に変更する。

7.2 閉止方法

7.2.1 原子炉ウェル排気ライン

GOTHIC コードを用いた水素濃度解析では、ドライウェル主フランジから漏えいする水素ガスは原子炉ウェル上部から原子炉ウェルシールドプラグ（図 7-1 参照）の隙間を通して原子炉建物原子炉棟 4 階に流出する条件で解析を実施しているが、原子炉ウェル排気ライン及び原子炉ウェル水張りラインのドレン弁（V216-512）を通じて原子炉建物原子炉棟 4 階以外に水素ガスが流出する可能性が考えられることから、原子炉ウェル排気ラインについては原子炉ウェル内側の吸込口を閉止（溶接構造）するとともに、原子炉ウェル外側については、原子炉ウェル外側から原子炉棟空調換気系ダクトまでのラインを撤去し、開口部については閉止する。

7.2.2 原子炉ウェル水張りラインにおけるドレン弁

原子炉ウェル水張りラインのドレン弁（V216-512）については、上述のように通常運転時の運用を「開」運用から「閉」運用に変更することで、原子炉建物原子炉棟 4 階以外に水素ガスの流出を防ぐことができることから、運用の見直しのみとし、撤去等の対策は行わない。

対策イメージを図 7-2 に示す。

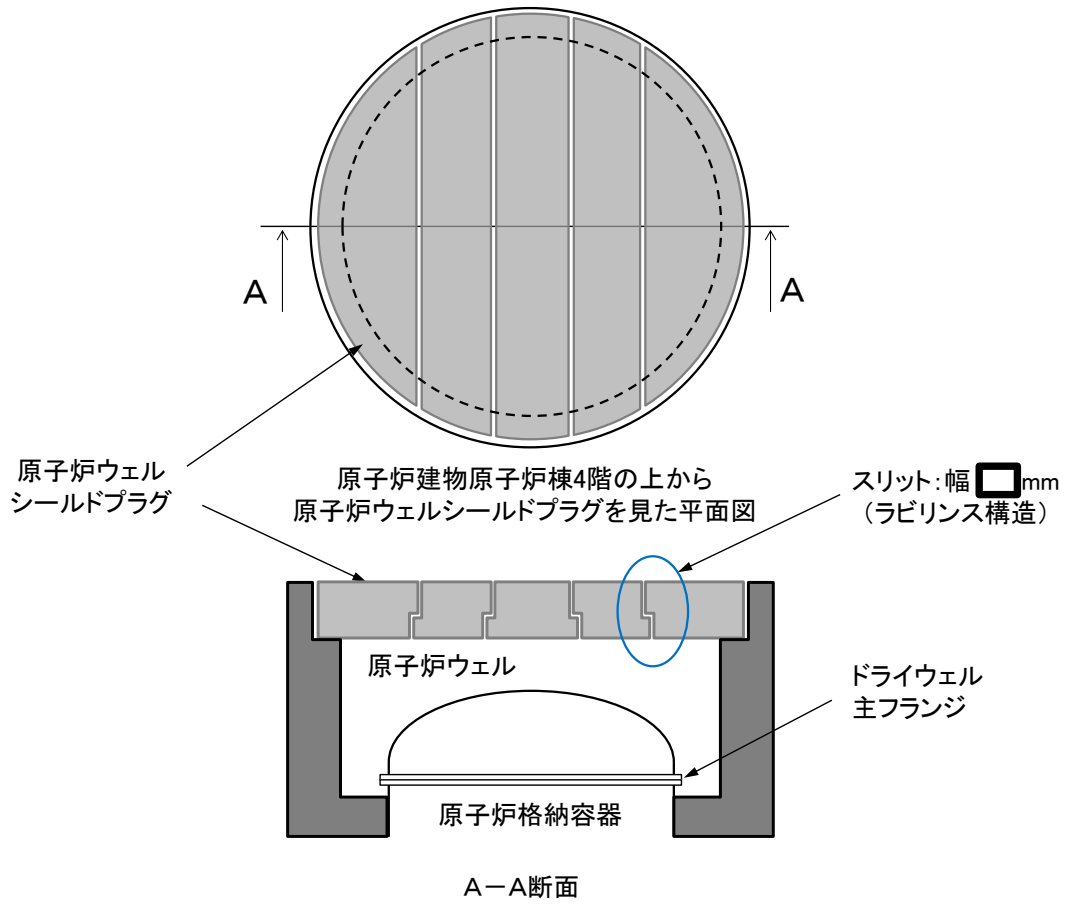
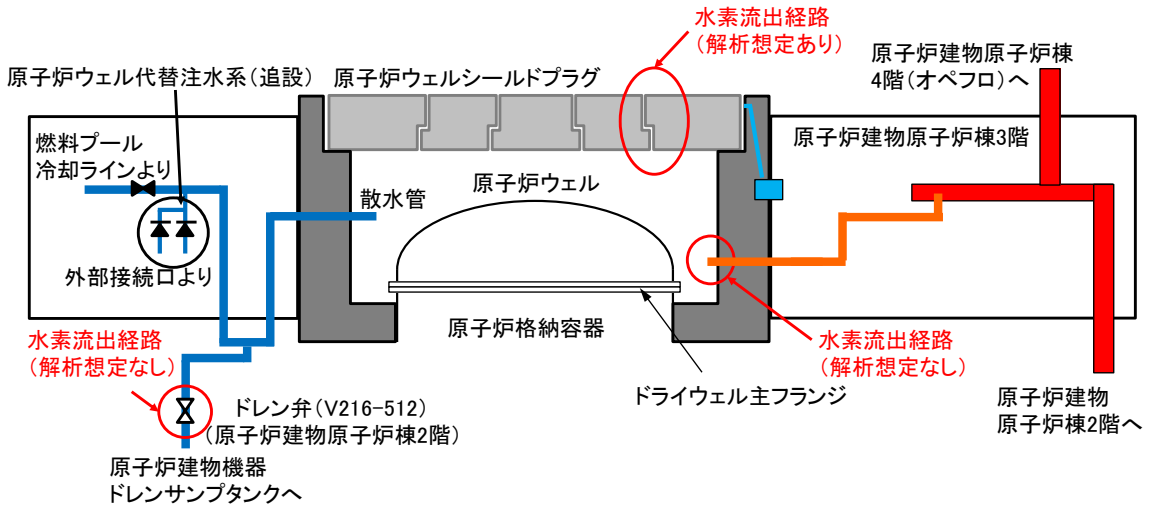
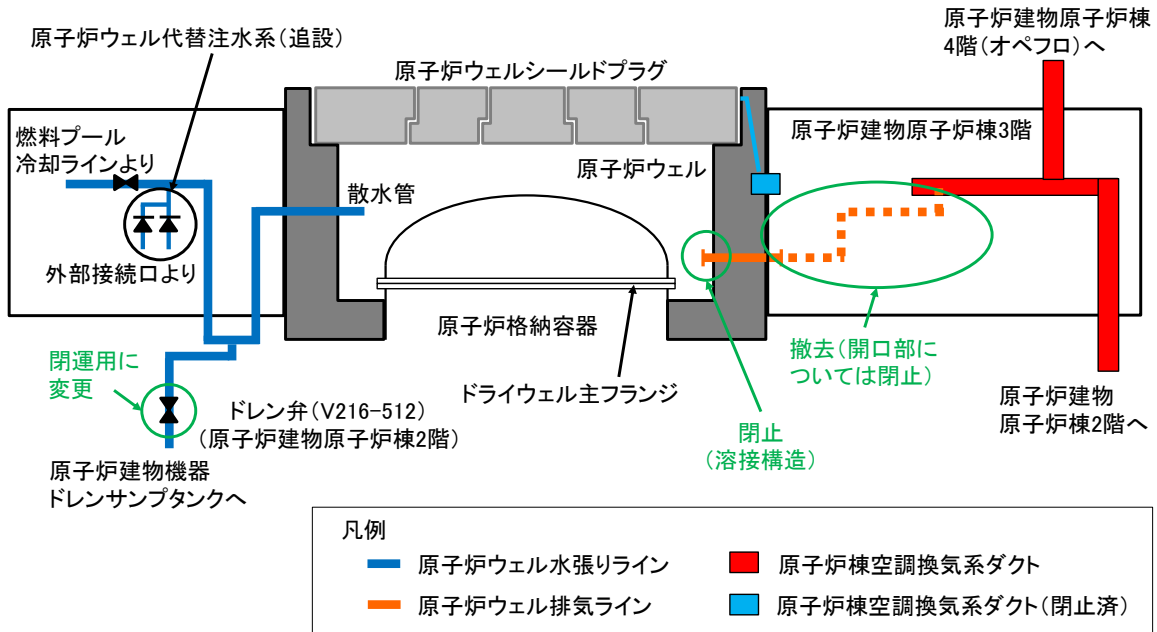


図 7-1 原子炉ウェルシールドプラグの構造

【対策前】



【対策後】



凡例	
— 原子炉ウエル水張りライン	— 原子炉棟空調換気系ダクト
— 原子炉ウエル排気ライン	— 原子炉棟空調換気系ダクト(閉止済)

図 7-2 対策イメージ

7.3 閉止による影響

7.3.1 原子炉ウェル排気ラインの吸込口閉止による影響

通常運転中は、原子炉棟空調換気系により原子炉建物原子炉棟 4 階が適切に負圧維持されているため、原子炉ウェル排気ラインを閉止した場合であっても、ドライウェル主フランジから漏えいしたガスは原子炉ウェル内に溜まることなく、原子炉ウェルシールドプラグに設けられた隙間を通過して原子炉建物原子炉棟 4 階に排出された後、原子炉棟空調換気系を通過して適切に処理される。

また、各設備の排気風量は表 7-1 に示すとおりであり、原子炉ウェル排気ラインの排気風量は、原子炉建物原子炉棟全体及び 4 階の排気風量に対し、ごく僅かであり、当該ラインを閉止したことにより、原子炉ウェル排気ラインの排気風量が 0m³/h（成り行き）から完全に 0m³/h になったとしても空調バランスへの影響はほとんど無いと考えられるため、当該ラインの吸込口閉止による悪影響はない。

表 7-1 各設備の排気風量（原子炉ウェル排気ライン閉止前）

設備	排気風量[m ³ /h]
原子炉建物原子炉棟全体	225000
原子炉建物原子炉棟 4 階	76500
原子炉ウェル排気ライン	0（成り行き）

7.3.2 原子炉ウェル水張りラインのドレン弁（V216-512）「閉」運用への変更による影響

通常運転時に、定期的にドレン弁を「開」することにより、燃料プール冷却ラインとの隔離弁からのシートパスの監視及びドレンの排出が可能であることから、「閉」運用による悪影響はない。

7.4 構造健全性

原子炉ウェル排気ライン及び原子炉ウェル水張りラインは、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」別表第二に該当する設備ではないことから、工事計画認可申請対象設備ではないが、原子炉ウェル排気ラインは、より確実に原子炉建物原子炉棟の水素爆発を防止するため、原子炉ウェル水張りラインは、原子炉ウェル代替注水系の設置に伴い、耐震性を確保することとしている。

1. 原子炉格納容器内の酸素濃度及び水素濃度の監視

1.1 原子炉格納容器内の酸素・水素濃度計測装置について

原子炉格納容器内の酸素・水素濃度計測装置は、著しい炉心の損傷が発生した場合に、原子炉格納容器内に発生する酸素及び水素を監視する目的で、酸素濃度及び水素濃度が変動する可能性のある範囲で測定できる設計とする。

原子炉格納容器内の酸素濃度は、解析上は事象発生から 12 時間後に原子炉格納容器への窒素供給を実施することで、事象発生から 168 時間後まで酸素濃度が可燃限界である 5vol% を超えることは無く、原子炉格納容器内での水素燃焼は生じない。

しかしながら、徐々にではあるが、水の放射線分解により酸素濃度及び水素濃度は上昇し続けることから、格納容器酸素濃度（SA）及び格納容器水素濃度（SA）起動後（事象発生から約 2 時間）、酸素濃度及び水素濃度を測定できる設計としている。

また、168 時間以降に水の放射線分解によって発生する酸素によって酸素濃度が再び上昇し、ドライ条件において 4.4vol% に到達した場合には、原子炉格納容器内での水素燃焼を防止する観点で格納容器ベントを実施するため、原子炉格納容器内で可燃限界に到達することはなく、原子炉格納容器内での水素爆発は生じない。

このために、原子炉格納容器内の酸素・水素濃度計測装置は、事故初期に容易に準備対応ができ、炉心損傷時の環境条件に対応できるものであることが求められ、中央制御室にて原子炉格納容器内の酸素濃度及び水素濃度の傾向（トレンド）を監視できることが重要となる。島根原子力発電所第 2 号機では、重大事故等時の原子炉格納容器内の酸素濃度及び水素濃度を格納容器酸素濃度（B 系）、格納容器水素濃度（B 系）、格納容器酸素濃度（SA）及び格納容器水素濃度（SA）によって監視することとしている。

格納容器酸素濃度（SA）及び格納容器水素濃度（SA）については、常設代替交流電源設備による給電後に格納容器酸素濃度（SA）及び格納容器水素濃度（SA）を起動した時点で使用可能となるが、有効性評価シナリオ「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）」におけるこの時点での原子炉格納容器内の酸素濃度は 5vol% に到達しない。また、格納容器酸素濃度（B 系）及び格納容器水素濃度（B 系）については、原子炉補機代替冷却系が使用可能となった時点で使用可能となるが、有効性評価シナリオ「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）」における原子炉補機代替冷却系が使用可能となる時点での原子炉格納容器内の酸素濃度は 5vol% に到達しない。

格納容器酸素濃度（B 系）は、酸素分子が常磁性体であることを利用した熱磁気風式の酸素検出器である。酸素は強い磁化率を有しており、測定において水素や窒素のような弱い反磁性を有する他ガスの影響は受けない。

格納容器酸素濃度（SA）は、酸素分子が常磁性体であることを利用した磁気力式の酸素検出器である。酸素は強い磁化率を有しており、測定において水素や窒素のような弱い反磁性を有する他ガスの影響は受けない。

格納容器水素濃度（B 系）及び格納容器水素濃度（SA）は、水素の熱伝導率が空気、窒素、酸素等と大きく異なることを利用した熱伝導式の水素検出器である。熱伝導式は、事故時に酸素濃度等のガス成分に変動があっても熱伝導率が水素と大きく異なるため、

水素濃度測定に対して大きな誤差にはならない。

1.2 格納容器酸素濃度（B系）及び格納容器水素濃度（B系）の概要

1.2.1 測定原理

(1) 格納容器酸素濃度（B系）

原子炉格納容器内の酸素濃度を測定するために用いる格納容器酸素濃度（B系）は、熱磁気風式のものをを用いる。熱磁気風式の酸素検出器は、図1-1「酸素濃度検出回路の概要図」に示すとおり、サーミスタ温度素子（発風側素子、受風側素子）及び2つの固定抵抗でブリッジ回路が構成されており、検出素子及び補償素子は一定温度で保温されている。

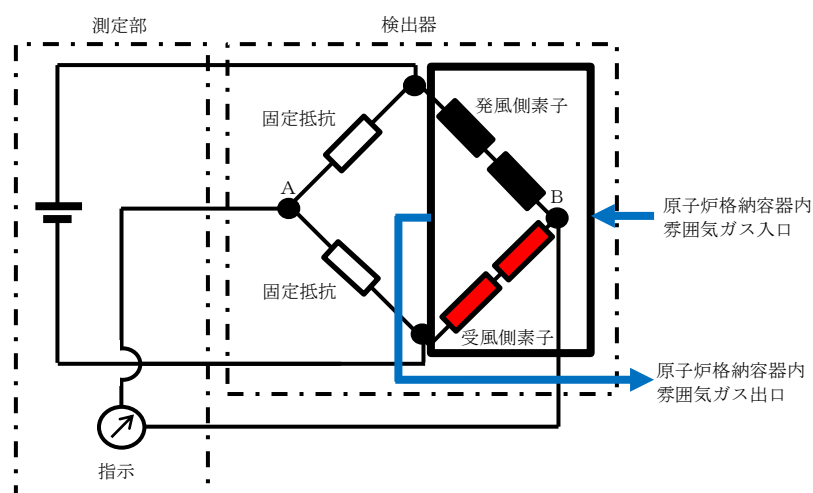


図1-1 酸素濃度検出回路の概要図

格納容器酸素濃度（B系）の測定原理を図1-2「格納容器酸素濃度（B系）の測定原理」に示す。酸素検出器は2層構造のチャンバーで構成されており、サンプル入口より下部流入チャンバー内にサンプルガスが流入する。サンプルガスの大部分は下部流入チャンバーを通過しサンプル出口へ流出するが、少量のサンプルガスは上部測定チャンバー内に流入する。酸素は極めて強い常磁性体であることから、上部測定チャンバーに流入したサンプルガスは磁界中心部に引き寄せられ、加熱された発風側素子により温度が上昇する。磁化率は温度に反比例することから、後から流入してくる低温のサンプルガスにより、高温となったサンプルガスは磁界中心部から追い出されることとなる。発風側素子は低温のサンプルガスに熱を奪われることで冷やされることとなり、磁界外の受風側素子は発風側素子が奪われた熱を受け取り、暖められることとなる。

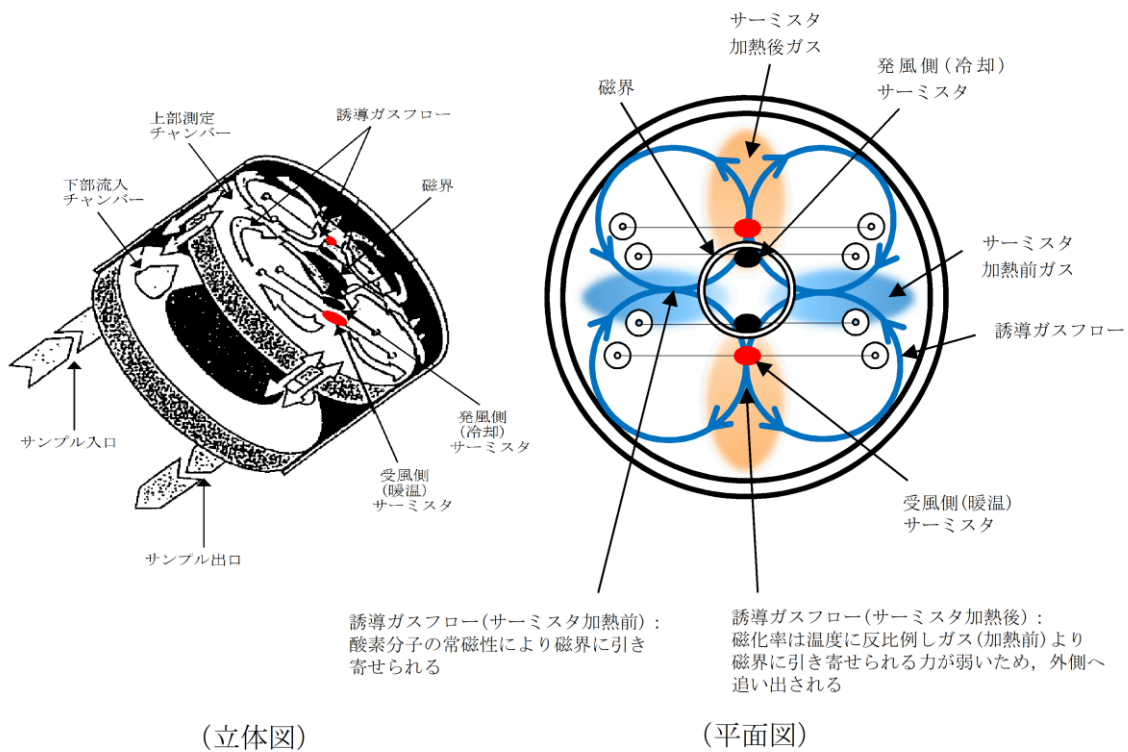


図 1-2 格納容器酸素濃度 (B系) の測定原理

チャンバー内に酸素を含むサンプルガスを流すと、磁気風により発風側素子の温度が下がることで、発風側素子の抵抗は小さくなる。一方、受風側素子の温度が上がることで、受風側素子の抵抗は大きくなる。発風側素子と受風側素子の抵抗値が変化することで、ブリッジ回路の平衡が変化し、図 1-1 の A B 間に電位差 (電流) が生じる。この電位差が酸素濃度に比例する原理を用いて、酸素濃度を測定する。

なお、格納容器酸素濃度 (B系) の計測範囲 0~10vol%/0~25vol%において、計測装置仕様は最大 $\pm 0.32\text{vol}\%$ / $\pm 0.80\text{vol}\%$ (ウェット), $\pm 0.25\text{vol}\%$ / $\pm 0.63\text{vol}\%$ (ドライ) の誤差を生じる可能性があるが、この誤差があることを理解した上で、原子炉格納容器内の酸素濃度の推移、傾向 (トレンド) を監視していくことができる。

(2) 格納容器水素濃度 (B系)

原子炉格納容器内の水素濃度を測定するために用いる格納容器水素濃度 (B系) は、熱伝導式のものを用いる。熱伝導式の水素検出器は、図 1-3「水素濃度検出回路の概要図」に示すとおり、検知素子と補償素子 (サーミスタ) 及び 2つの固定抵抗でブリッジ回路が構成されている。検知素子の部分に、サンプリングされたガスが流れるようになっており、補償素子には基準となる標準空気が密閉されておりサンプルガスとは接触しない構造になっている。

水素検出器へ電圧を印加して検知素子と補償素子の両方のサーミスタを一定温度に加熱した状態で、検知素子側に水素を含むサンプルガスを流すと、サンプルガスが熱を奪い、検知素子の温度が低下することにより抵抗が低下する。この検知素子の抵抗が低下するとブリッジ回路の平衡が失われ、図 1-3 の A B 間に電位差が生じる。この電位差が水素濃度に比例する原理を用いて、水素濃度を測定する。

なお、格納容器水素濃度 (B系) の計測範囲 0~20vol%/0~100vol%において、計測装置仕様は最大 $\pm 0.64\text{vol\%}/\pm 3.2\text{vol\%}$ (ウェット)、 $\pm 0.50\text{vol\%}/\pm 2.5\text{vol\%}$ (ドライ) の誤差を生じる可能性があるが、この誤差があることを理解した上で、原子炉格納容器内の水素濃度の推移、傾向 (トレンド) を監視していくことができる。

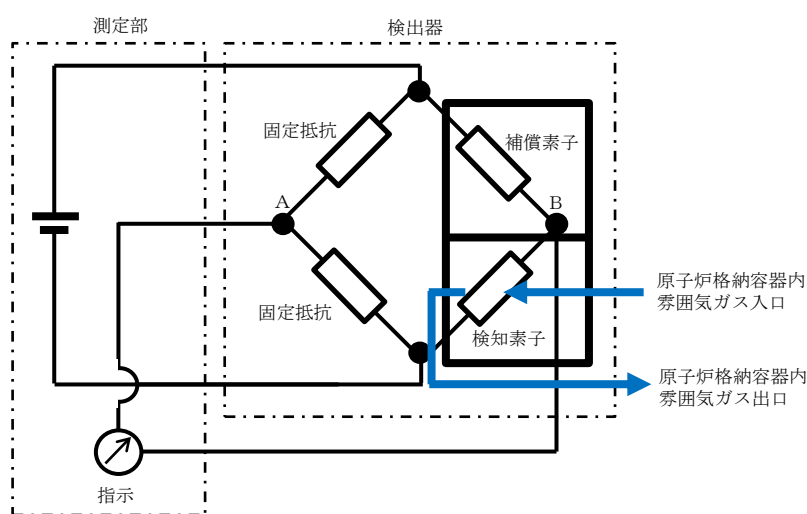


図 1-3 水素濃度検出回路の概要図

1.2.2 システム構成

原子炉格納容器内の酸素濃度及び水素濃度の測定においては、格納容器ガスサンプリング装置にて原子炉格納容器内の雰囲気ガスを原子炉建物原子炉棟内へ導き、検出器で測定することで、原子炉格納容器内の酸素濃度及び水素濃度を中央制御室より監視できる設計とする。格納容器ガスサンプリング装置の構成を図1-4「格納容器ガスサンプリング装置の構成」に示す。

(1) 配管ヒータ

配管ヒータは、サンプルガスが配管途中で放熱することにより管内でドレンが発生することを避けるため、加熱保温することを目的として設置している。

(2) 格納容器ガスサンプリング装置

格納容器ガスサンプリング装置は酸素濃度及び水素濃度の測定を行うことを目的として設置している。格納容器ガスサンプリング装置は、酸素検出器、水素検出器、冷却器、除湿器等で構成され、大きさは幅約4m、奥行き約0.6m、高さ約1.8mである。

各構成機器の概要について以下に示す。

a. 冷却器

冷却器はガス濃度を測定するための前処理としてサンプルガスを冷却するために設置する。

b. 除湿器

除湿器はガス濃度を測定するための前処理としてサンプルガスを除湿するために設置する。

c. ドレン計量部

ドレン計量部は冷却・除湿した際に発生するドレンを測定し湿分補正のパラメータとして用いるために設置する。

d. 減圧弁

減圧弁はサンプルガスを390kPa以下に減圧するために設置する。

e. 酸素検出器

酸素検出器はサンプルガス中の酸素濃度を測定するために設置する。

f. 水素検出器

水素検出器はサンプルガス中の水素濃度を測定するために設置する。

g. サンプリングポンプ

サンプリングポンプはサンプルガスを原子炉格納容器に戻す際に昇圧するために設置する。

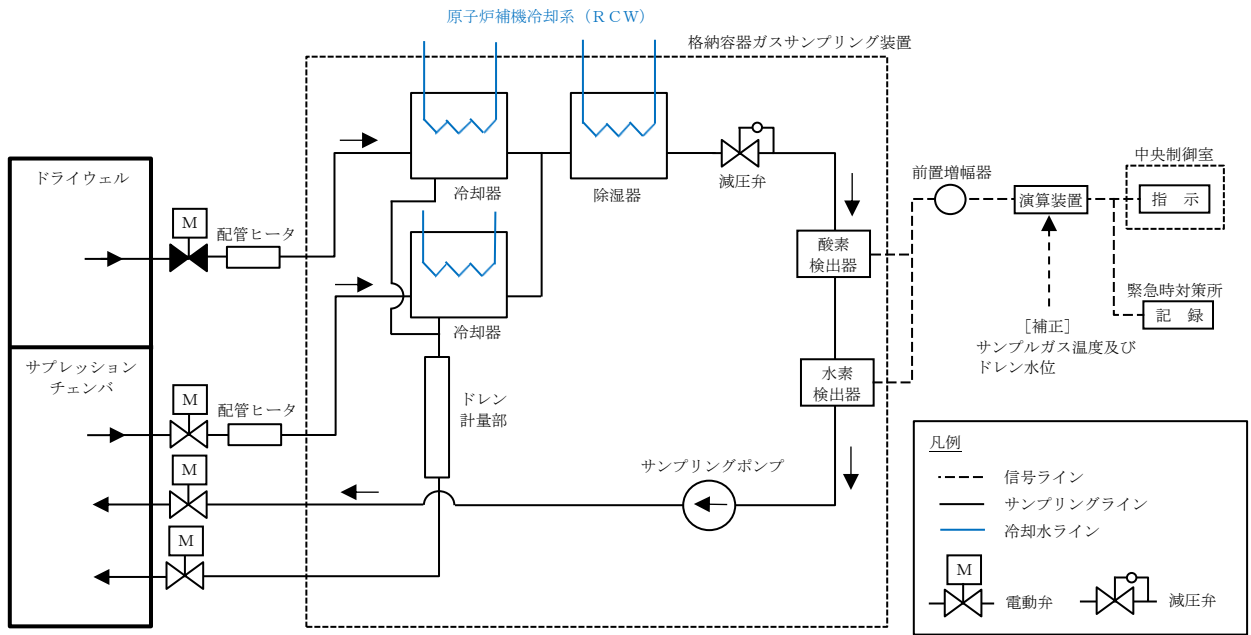


図 1-4 格納容器ガスサンプリング装置の構成

1.3 格納容器酸素濃度（S A）及び格納容器水素濃度（S A）の概要

1.3.1 測定原理

(1) 格納容器酸素濃度（S A）

原子炉格納容器内の酸素濃度を測定するために用いる格納容器酸素濃度（S A）は、磁気力式のものをを用いる。磁気力式の酸素検出器は、図 1-5「格納容器酸素濃度（S A）の測定原理」に示すとおり、2つの球体、くさび型状の磁極片、LEDからの光を受光素子へ反射する鏡等で構成されている。また、格納容器酸素濃度（S A）の検出回路を図 1-6「格納容器酸素濃度（S A）検出回路図」に示す。

初期状態において球体は上から見て右回りに傾いた位置で静止している。ガラス管内に強い磁化率を持つ酸素分子が流れ込むと、磁界に引き寄せられ、磁極片の先端部に酸素分子が引き寄せられる。磁極片先端部に引き寄せられた酸素分子により2つの球体が磁極片先端部から端部へ押し出され、右回りに回転することにより、LEDから受光素子への光量が増加する。増幅器は受光素子への光量の変化を検知するとフィードバック電流を増加させ、フィードバック電流がコイルに流れることで発生するカウンターモーメントが球体に働き、光量が一定となる初期位置で静止する。このフィードバック電流が酸素濃度に比例する原理を用いて酸素濃度の測定を行う。（図 1-7「格納容器酸素濃度（S A）の測定原理イメージ」参照。）

なお、格納容器酸素濃度（S A）の計測範囲 0～25vol%において、計測装置仕様は最大±0.75vol%（ウェット）、±0.50vol%（ドライ）の誤差を生じる可能性があるが、この誤差があることを理解した上で、原子炉格納容器内の酸素濃度の推移、傾向（トレンド）を監視していくことができる。

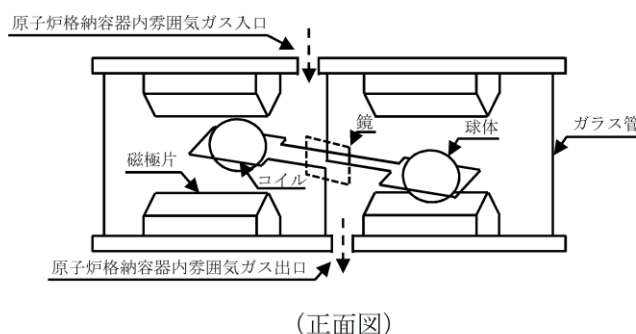
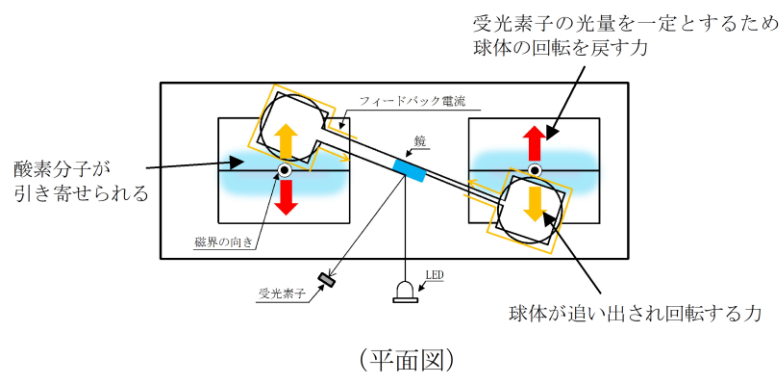


図 1-5 格納容器酸素濃度（S A）の測定原理

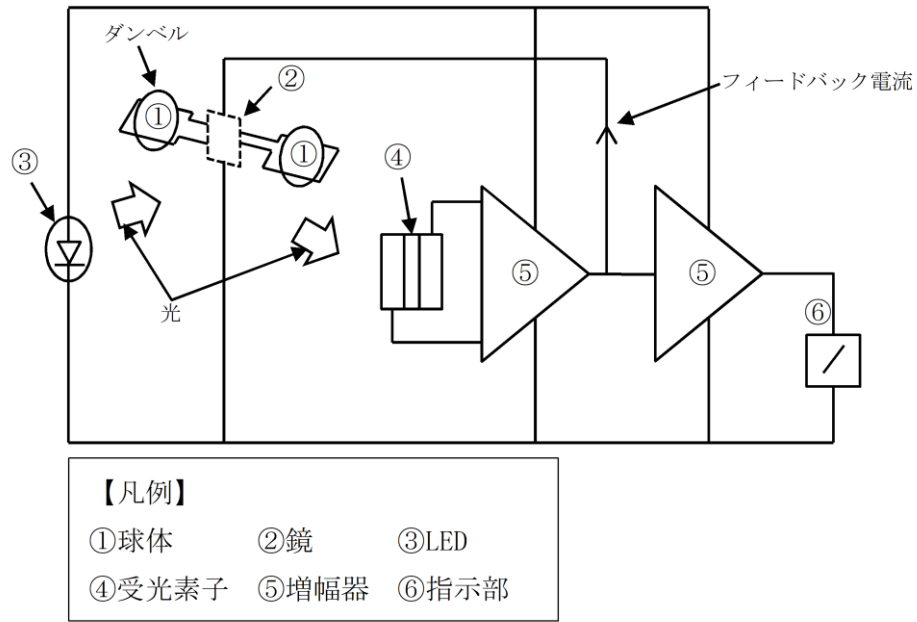


図 1-6 格納容器酸素濃度 (S A) の検出回路図

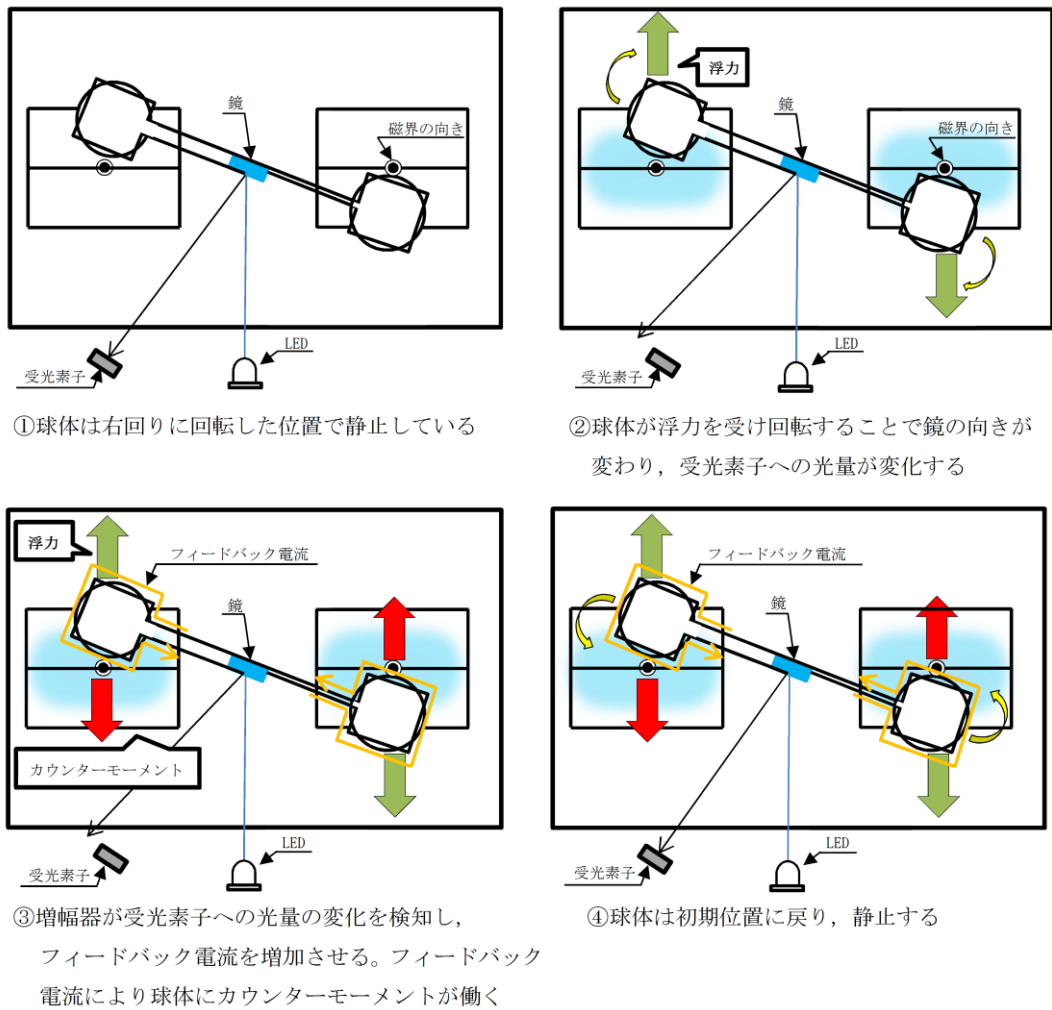


図 1-7 格納容器酸素濃度 (S A) の測定原理イメージ

(2) 格納容器水素濃度 (SA)

原子炉格納容器内の水素濃度を測定するために用いる格納容器水素濃度 (SA) は、熱伝導式のものを用いる。熱伝導式の水素検出器は、図 1-8「水素濃度検出回路の概要図」に示すとおり、検知素子と補償素子 (サーミスタ) でブリッジ回路が構成されている。検知素子の部分のみにサンプルガスが流れ、補償素子の部分にサンプルガスが流れない構造としている。

水素検出器へ電圧を印加して検知素子と補償素子の両方のサーミスタを一定温度に加熱した状態で、検知素子側に水素を含むサンプルガスを流すと、サンプルガスが熱を奪い、検知素子の温度が低下することにより抵抗が低下する。この検知素子の抵抗が低下するとブリッジ回路の平衡が失われ、図 1-8 の A B 間に電位差が生じる。この電位差が水素濃度に比例する原理を用いて、水素濃度を測定する。

なお、格納容器水素濃度 (SA) の計測範囲 0~100vol%において、計測装置仕様は最大±2.0vol% (ウェット) の誤差を生じる可能性があるが、この誤差があることを理解した上で、原子炉格納容器内の水素濃度の推移、傾向 (トレンド) を監視していくことができる。

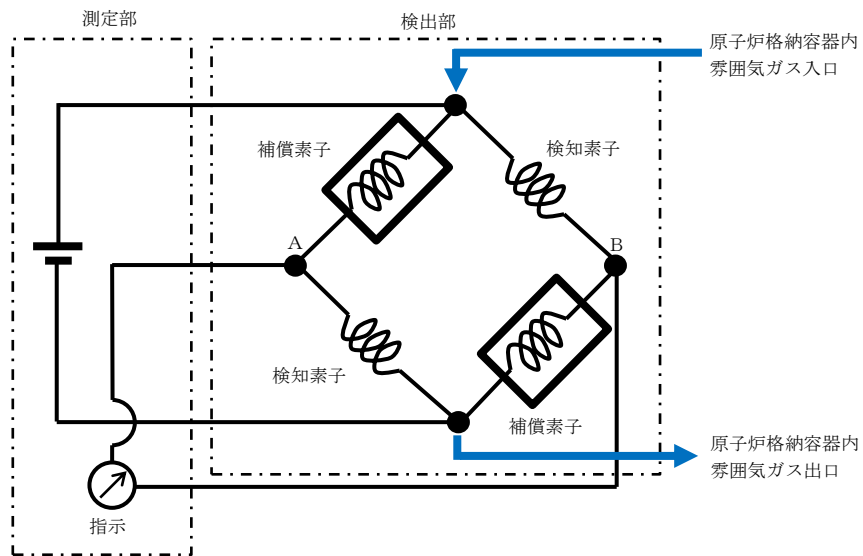


図 1-8 水素濃度検出回路の概要図

1.3.2 システム構成

原子炉格納容器内の酸素濃度及び水素濃度の測定においては、格納容器ガスサンプリング装置にて原子炉格納容器内の雰囲気ガスを原子炉建物原子炉棟内へ導き、検出器で測定することで、原子炉格納容器内の酸素濃度及び水素濃度を中央制御室より監視できる設計とする。格納容器ガスサンプリング装置の構成を図1-9「格納容器ガスサンプリング装置の構成（通常待機状態）」に示す。

(1) ガスサンプル

ガスサンプルは金属フィルタとスロットルオリフィスから構成され、サンプルガスの吸入口として原子炉格納容器内に設置される。サンプルガスを吸入する際には、ガスサンプル内部のスロットルを通過する際、ガスの流れが制限されることでサンプルガスは原子炉格納容器内の圧力から装置内の圧力まで減圧され、サンプリング配管下流での蒸気凝縮を防止する。ガスサンプルの構造については図1-10に示す。

(2) サンプリング配管用トレースヒータ

サンプリング配管用トレースヒータはサンプルガスの蒸気凝縮の防止を目的として設置している。サンプリング配管用トレースヒータは、原子炉格納容器外から格納容器ガスサンプリング装置までのサンプリング配管にトレースヒータを敷設する。サンプリング配管の温度を該当ヒータにより130℃に制御し、蒸気凝縮を防止する。

(3) 格納容器ガスサンプリング装置

格納容器ガスサンプリング装置は酸素濃度及び水素濃度の測定を行うことを目的として設置している。格納容器ガスサンプリング装置は、酸素検出器、水素検出器、湿度検出器、キャビネットヒータ、冷却器等で構成され、大きさは幅約1.6m、奥行き約0.9m、高さ約2.1mである。

水素濃度の測定においては、サンプルガスの蒸気凝縮を防止するため、サンプルガスの露点条件に達しないように温度・圧力を一定レベルに制御後、ウェット条件の水素濃度を測定する。水素濃度は、演算装置にて湿度測定の数値を用いてサンプルガス内湿度値が算出され、水素濃度をドライ条件に補正し、演算装置から中央制御室にウェット条件及びドライ条件の値が同時に出力される。

酸素濃度の測定では、水素濃度及び湿度測定後のサンプルガスを冷却器により一定温度に冷却し、蒸気凝縮後のドライ条件の酸素濃度を測定する。酸素濃度は、演算装置にて湿度測定の数値を用いてサンプルガス内湿度値が算出され、酸素濃度をウェット条件に補正し、演算装置から中央制御室にウェット条件及びドライ条件の値が同時に出力される。

なお、格納容器ガスサンプリング装置によるサンプリングは、サンプルガスを一定時間検出器ラインに保持する方式とする。

各構成機器の概要について以下に示す。

a. コイル

コイルは格納容器ガスサンプリング装置内のサンプルガス温度を120℃に保つために設置する。

b. 湿度検出器

湿度検出器は酸素検出器による酸素濃度の測定において蒸気濃度を考慮した値に補正するために設置する。

c. 水素検出器

水素検出器はサンプルガス中の水素濃度を測定するために設置する。

d. 冷却器

冷却器は酸素検出器へのサンプルガスの冷却及びサンプルガス中に含まれる蒸気を凝縮し、除去するために設置する。サンプルガスは冷却器で5秒間保持され、5°Cまで冷却される。

e. 酸素検出器

酸素検出器はサンプルガス中の酸素濃度を測定するために設置する。

f. タンク

タンクは、サンプルガスを格納容器ガスサンプリング装置内へ引き込む際の圧力変動及び流量変動を防止するために設置する。タンクの容量は20Lである。

g. 圧縮機

圧縮機はタンクの容量20Lにサンプル配管の容量1Lを含めた合計21Lの空間体積内を規定圧力90~110kPa [abs] から少なくとも70kPa [abs] まで減圧するため及び原子炉格納容器内にサンプルガスに戻すために設置する。圧縮機による減圧は当該装置の要求時間40秒以内に実施される。

h. キャビネットヒータ

キャビネットヒータはサンプルガス中に含まれる蒸気の凝縮を防止するため、装置内温度を120°Cに制御するために設置する。

i. 窒素ポンペ

窒素ポンペは格納容器ガスサンプリング装置内の空気作動弁の駆動源及び検出器中へサンプルガスを押し込むための窒素の供給に必要な容量を原子炉建物付属棟に設置する。なお、サンプルガスを検出器へ押し込む際の窒素消費量はサンプリング1回当たり1Lである。

重大事故等時に使用する格納容器ガスサンプリング装置の窒素ポンペは、高圧ガス保安法の適合品である一般汎用型の窒素ポンペを使用する。このため、本ポンペの容量は一般汎用型の窒素ポンペの標準容量46.7L/個となる。格納容器ガスサンプリング装置の窒素ポンペの個数は、格納容器ガスサンプリング装置を7日間運転するために必要な個数を確保する。

格納容器ガスサンプリング装置について、1日当たりの窒素消費量は以下の通りとなる。なお、サンプリングは3分間に1回の頻度で実施するため、1日当たりの窒素消費量はサンプリング480回分の消費量とする。

①格納容器ガスサンプリング装置の検出ラインにサンプルガスを押し込むための消費量=480NL/日

②格納容器ガスサンプリング装置の空気作動弁を駆動させるための消費量
=143NL/日

③格納容器ガスサンプリング装置の冷却器にて発生した凝縮水を原子炉格納容器内に押し込むための消費量=1000NL/日

上記①～③より合計は 1623NL/日であり、7 日間の運転における窒素消費量は 11361NL である。

窒素ポンベ 1 個当たりの供給量 S_b は、ポンベ使用下限圧力 P_2 を設定し、ポンベ初期充填圧力 P_1 及びポンベ容量 V_b の関係から下記の式で求める。なお、ポンベ使用下限圧力 P_2 は重大事故等時における原子炉格納容器の使用圧力 0.853MPa を考慮し、1.2MPa [abs] に設定する。

$$\begin{aligned} S_b &= \frac{P_1 - P_2}{P_N} \cdot V_b \\ &= \frac{14.7 - 1.2}{0.1013} \times 46.7 \\ &= 6224 \text{NL/個} \end{aligned}$$

S_b : ポンベによる供給量 (NL)

P_1 : ポンベ初期充填圧力=14.7MPa [abs]

P_2 : ポンベ使用下限圧力=1.2MPa [abs]

P_N : 大気圧=0.1013MPa [abs]

V_b : ポンベ容量=46.7L/個

M : 必要ポンベ個数

上記より、格納容器ガスサンプリング装置を 7 日間運転するために必要な窒素ポンベの個数 M は以下となる。

$$S_b \cdot M > 11361$$

上記の関係式より、

$$6224 \times M > 11361$$

$$M > 1.83$$

よって、格納容器ガスサンプリング装置の窒素ポンベの個数は 1.83 となることから、必要な個数は 2 個となるため、窒素ポンベは 2 個を上回る 3 個以上とする。



図 1-9 格納容器ガスサンプリング装置の構成（通常待機状態）

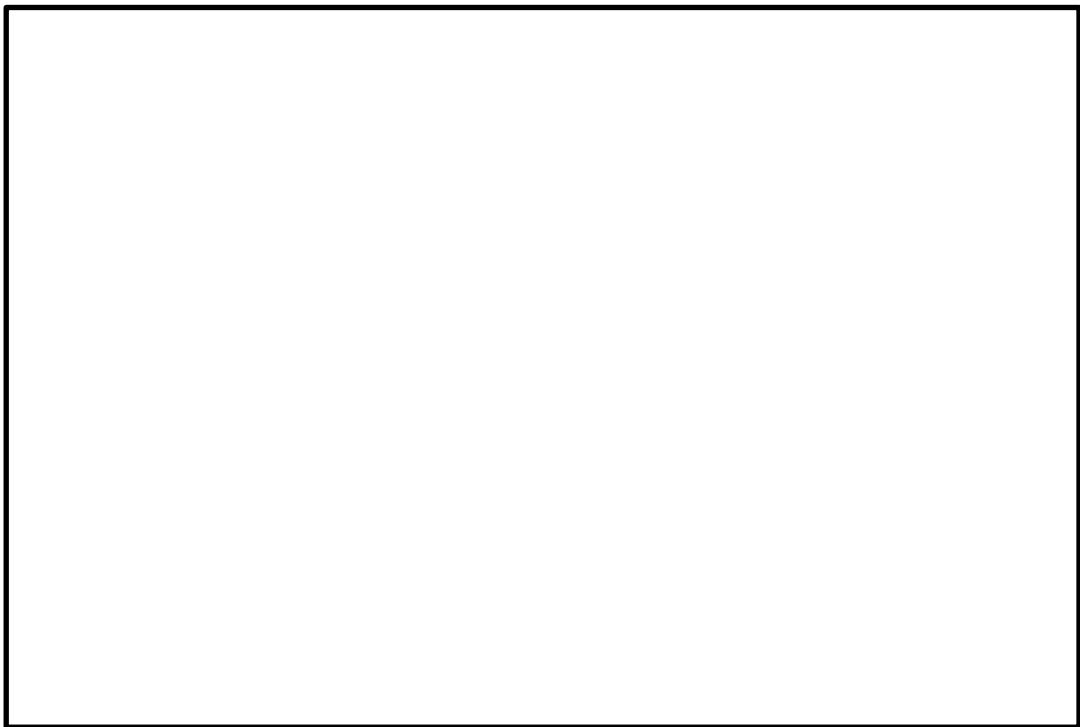


図 1-10 ガスサンプラの構造図

1.4 格納容器酸素濃度（S A）及び格納容器水素濃度（S A）の認証について

1.4.1 環境試験

格納容器酸素濃度（S A）及び格納容器水素濃度（S A）の構成機器である格納容器ガスサンプリング装置の環境試験の条件及び評価結果について以下に示す。なお、ガスサンプラについては評価結果に仕様を記載する。

(1) 気候負荷試験

気候負荷試験において格納容器ガスサンプリング装置を温度：66℃、圧力：大気圧、湿度：98%の環境で管理される気候チャンバー内に10日間設置し、気候チャンバー内から取り出した後で、格納容器ガスサンプリング装置の機能的な健全性が確保されていることを確認している。

(2) 放射線負荷試験

放射線負荷試験において格納容器ガスサンプリング装置の各機器に対し、放射線負荷（表1-1を参照。）を照射し、照射時及び照射後において格納容器ガスサンプリング装置の機能的な健全性が確保されていることを確認している。

表1-1 格納容器ガスサンプリング装置内の機器における放射線負荷について

機器	機器仕様
サンプルガスが流れる機器	2.1～31.3kGy
パージガスのみが流れる機器	2.1～20.6kGy

(3) 評価結果

a. 酸素検出器の評価結果

	環境条件 (原子炉棟内)	機器仕様
温度	66℃	66℃
圧力	大気圧相当	大気圧相当
湿度	100%	100%
放射線	0.92kGy/7日間	2.1kGy

b. 水素検出器の評価結果

	環境条件 (原子炉棟内)	機器仕様
温度	66℃	66℃
圧力	大気圧相当	大気圧相当
湿度	100%	100%
放射線	1.5kGy/7日間	20.6kGy

c. ガスサンプラの仕様

	環境条件 (原子炉格納容器内)	機器仕様
温度	200°C	250°C
圧力	853kPa	1600kPa
湿度	蒸気	蒸気
放射線	740kGy/7 日間	—*

注記*：検出部は無機物で構成しており，放射線による影響はない。

(4) 200°C，853kPa [gage] における使用について

格納容器ガスサンプリング装置の性能確認として，サンプルガスの温度を 60°C ~140°C，圧力を 100~630kPa [abs] の範囲に変化させ，水素濃度の測定が正常に行えることを確認している。

[Redacted content]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

b. 温度について

サンプルガスはサンプリング配管用のトレースヒータによって 130℃に温度制御されてから格納容器ガスサンプリング装置内へ吸引される。格納容器ガスサンプリング装置は性能確認により、サンプルガスの温度が 140℃において測定可能であることを確認しているが、原子炉格納容器内においてサンプルガス温度が 200℃であったとしても、小口径のサンプリング配管を通過する際の熱損失により 130℃まで冷却されるため、原子炉格納容器内の温度が 200℃の場合においても測定は可能である。

1.4.2 耐震試験

耐震試験において、格納容器ガスサンプリング装置及びガスサンプラを加振台に設置し、表 1-2 に示す加速度を加えた後で格納容器ガスサンプリング装置及びガスサンプラの機能的な健全性が確保されていることを確認している。

表 1-2 格納容器ガスサンプリング装置及びガスサンプラの地震負荷について

方向	格納容器ガス サンプリング装置	ガスサンプラ
X 方向	37.6m/s ²	33.6m/s ²
Y 方向	38.1m/s ²	35.2m/s ²
Z 方向	34.7m/s ²	32.7m/s ²

< 関連する原子炉冷却系統施設の耐震性に関する説明書 >

- VI-2-6-5-33 : 格納容器酸素濃度 (S A) の耐震性についての計算書
- VI-2-6-5-35 : 格納容器水素濃度 (S A) の耐震性についての計算書
- VI-2-6-7-1-12 : 格納容器ガスサンプリング装置 (格納容器水素濃度 (S A) 及び格納容器酸素濃度 (S A)) の耐震性についての計算書

1.5 格納容器酸素濃度（B系），格納容器水素濃度（B系），格納容器酸素濃度（SA）及び格納容器水素濃度（SA）の電源供給について

格納容器酸素濃度（B系）及び格納容器水素濃度（B系）は，常設代替交流電源設備から給電できる設計とする。

格納容器酸素濃度（SA）及び格納容器水素濃度（SA）は，常設代替交流電源設備又は可搬型代替交流電源設備から給電できる設計とする。

電源供給については図1-11「格納容器酸素濃度（B系），格納容器水素濃度（B系），格納容器酸素濃度（SA）及び格納容器水素濃度（SA）の電源概略構成図」に示す。

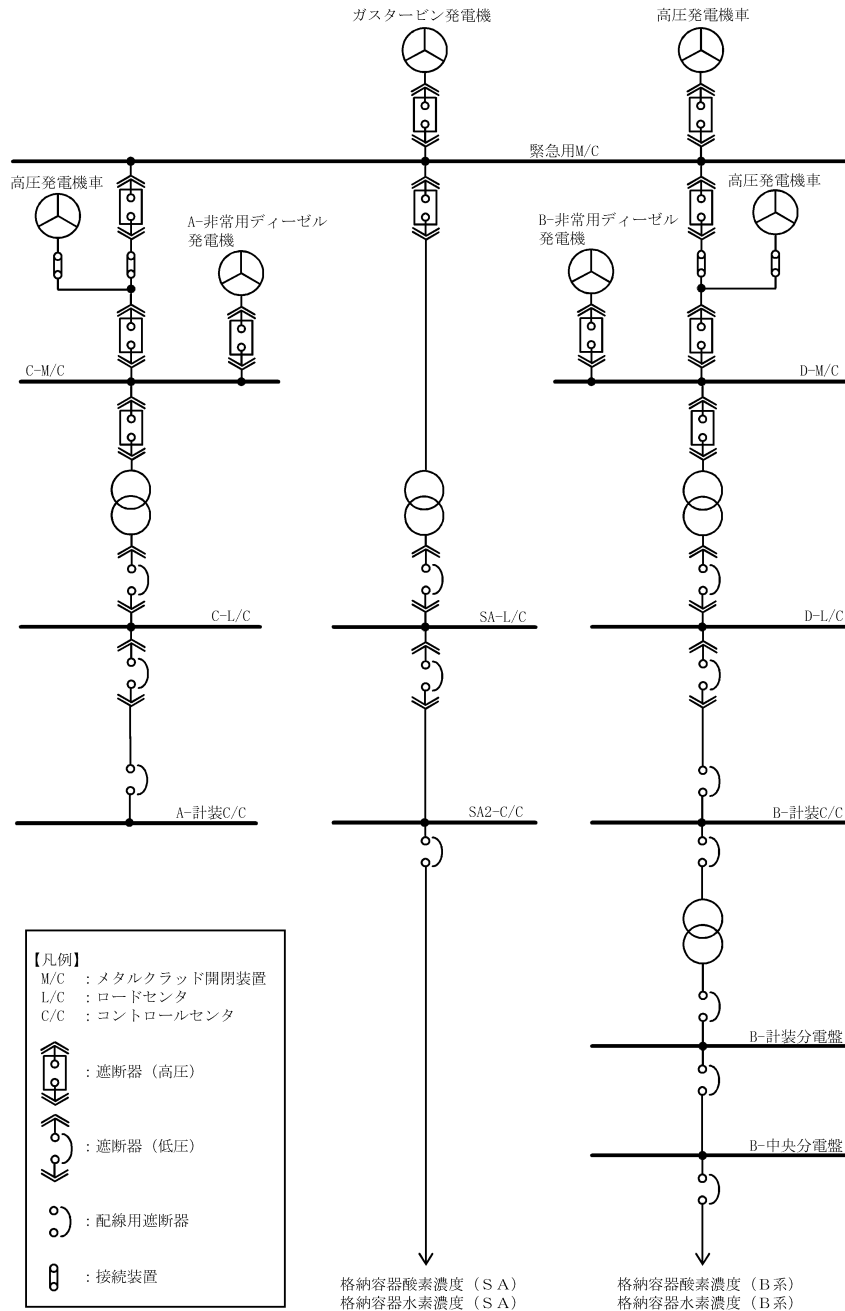


図1-11 格納容器酸素濃度（B系），格納容器水素濃度（B系），格納容器酸素濃度（SA）及び格納容器水素濃度（SA）の電源概略構成図

1.6 格納容器酸素濃度，格納容器水素濃度の計測範囲

格納容器酸素濃度及び格納容器水素濃度は，設計基準対象施設として設計基準事故が発生した場合の状況を把握し及び対策を講ずるために十分な測定範囲で監視し，重大事故等対処設備*として著しい炉心の損傷が発生した場合に変動する可能性のある範囲で原子炉格納容器内に発生する水素及び酸素を監視する目的で設置する。また，格納容器酸素濃度は，プラント停止中における原子炉格納容器内の空気置換により流入する酸素及び通常運転中において原子炉格納容器内が窒素置換により保安規定で定める濃度以下に酸素が維持されていることを把握するために十分な測定範囲で監視する目的にも使用する。

注記*：A系：重要監視パラメータの常用計器

B系：重要監視パラメータの重要計器

1.6.1 計測範囲の考え方

格納容器酸素濃度の計測範囲は，格納容器内の酸素が変動する可能性のある範囲としてプラント停止中に格納容器内を空気置換した際の空気中の酸素割合約 21%を最大値として考慮し，状況を把握し及び対策を講ずるための測定範囲として有効性評価のうち格納容器破損モード「水素燃焼」における酸素濃度の初期条件 2.5vol%と格納容器ベントを行うまでの期間に上昇しうる可燃領域 5vol%前後の濃度において必要な監視能力を有した設計とする。

格納容器水素濃度の計測範囲は，格納容器内の水素が変動する可能性のある範囲並びに状況を把握し及び対策を講ずるための測定範囲として重大事故等対策の有効性評価のうち格納容器破損モード「水素燃焼」におけるドライウエルの気相濃度最大値約 90.4%，格納容器ベントを行うまでの期間に上昇しうる可燃領域 4vol%及び爆轟領域 13vol%を一定程度上回る濃度において必要な監視能力を考慮した設計とする。

表 1-3 格納容器酸素濃度，格納容器水素濃度の想定される変動範囲

	停止中 (原子炉格納容器 開放時)	通常運転* ¹	設計基準事故* ²	重大事故等* ³
酸素濃度	約 21 vol%	～2.5 vol% (ドライ)	～4.3 vol%	～4.4vol% (ドライ)
水素濃度	0 vol%	0 vol%	～2.0 vol%	～約 20vol%* ⁴ (ドライ)

注記*¹：有効性評価「格納容器破損モード（水素燃焼）」解析初期値

*²：安全評価「原子炉格納容器内圧力，雰囲気等の異常な変化（可燃性ガスの発生）」解析最大値

*³：有効性評価「格納容器破損モード（水素燃焼）」解析 格納容器冷却後～格納容器ベント前

*⁴：格納容器冷却前にドライウエルで最大約 90.4vol%（ドライ）まで上昇する。

変動しうる範囲の濃度と比較して、格納容器雰囲気ガス濃度の把握が特に重要となる可燃領域付近では低濃度の推移を監視することになるため、計器誤差等により低濃度における監視性が損なわれないようワイドレンジとナローレンジの2つの計測範囲を設けている。また、中央制御室の指示及び記録におけるワイドレンジとナローレンジの計測範囲切り替えは、検出器が計測した酸素濃度又は水素濃度の値に応じて自動で切り替わる設計とする。格納容器酸素濃度及び格納容器水素濃度の2つの計測範囲及びその考え方を表1-4に一覧で示す。

表1-4 計測範囲及び考え方

名称	計測範囲		計測範囲の考え方
格納容器 酸素濃度	ワイド レンジ	0 ~ 25 vol%	原子炉格納容器内を空気置換した際の空气中酸素割合約21%を包含する範囲
	ナロー レンジ	0 ~ 10 vol%	有効性評価解析初期条件 2.5vol%と格納容器ベントまでに上昇する可燃領域 5vol%未満を包含し必要な計測精度で計測可能な範囲
格納容器 水素濃度	ワイド レンジ	0 ~ 100 vol%	有効性評価解析の最大値約 90.4%を包含する範囲
	ナロー レンジ	0 ~ 20 vol%	格納容器ベントまでに上昇する可燃領域 4vol%及び爆轟領域 13vol%を一定程度上回る濃度を必要な計測精度で計測可能な範囲

1.6.2 ナローレンジの計測範囲の変更について

計測範囲の自動切替えは、ナローレンジからワイドレンジに切り替える設定値(以下「ワイド切替設定値」という。)とワイドレンジからナローレンジに切り替える設定値(以下「ナロー切替設定値」という。)の2つを設け、雰囲気ガス濃度の上昇に伴いワイド切替設定値を超えたとき、又は、下降に伴いナロー切替設定値を下回ったときに行っている。

ワイド切替設定値は、雰囲気ガス濃度がナローレンジの上限を超えて上昇する際にワイドレンジへの切り替えが遅れることなく連続的に監視可能とするためナローレンジ上限値未満とし、また、雰囲気ガス濃度の微小変化等によりワイドレンジとナローレンジの切替えが短期間に連続するチャタリング*1が発生しないよう、ワイド切替設定値とナロー切替設定値の間には計測装置の計器誤差及び切断差*2を踏まえて適切な幅を持たせた値に設定する必要がある。そのため、雰囲気ガス濃度がナローレンジの上限付近及び一度ワイドレンジに切り替わった後にナロー切替設定値以下となるまでは、実質ワイドレンジを使用した計測となる。(図1-12参照。)

注記*1：電気的接点の動作状態と復帰状態が繰り返し切替わること。ここではレンジの自動切替えが繰り返し行われ安定しないことも含む。

*2：設定値における動作値と復帰値の差。切断差が小さい場合、チャタリングを生じる恐れがある。

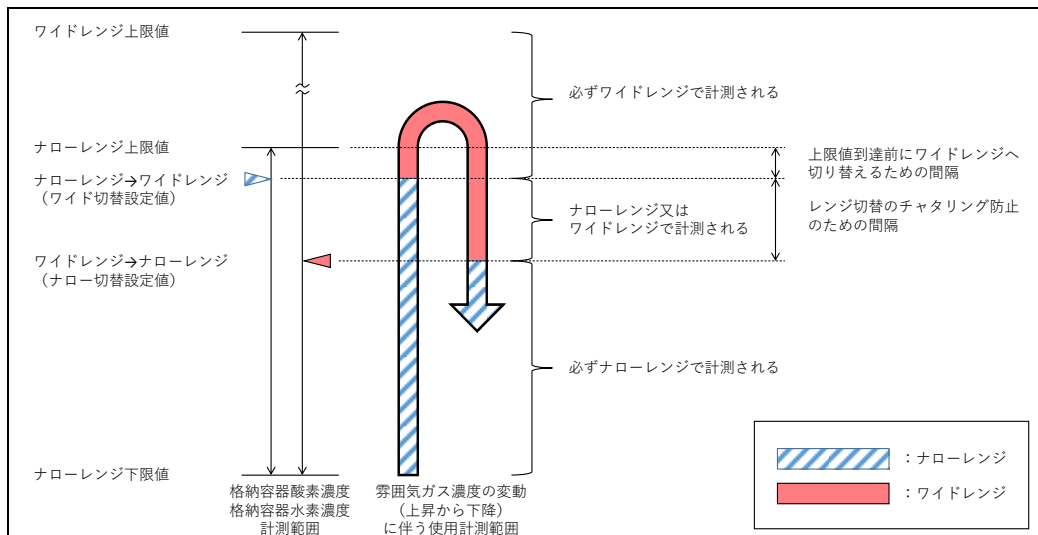


図 1-12 雰囲気ガス濃度変動に伴う使用計測範囲イメージ

設置（変更）許可申請時は、格納容器酸素濃度の重大事故等時の格納容器ベント判断基準である 4.4vol%，格納容器水素濃度の可燃限界である 4.0vol%前後をナローレンジの計測範囲 0～5vol%にて既存設備の設計を変更せずに計測する計画であったが、設計進捗において、ナローレンジの計測範囲上限値が 5vol%の場合のナローレンジ切替設定値は、酸素濃度 4.4vol%，水素濃度 4.0vol%以上に設定できず実質ワイドレンジを使用した計測となる可能性があることが分かった。

ワイドレンジはナローレンジに比べて計器誤差が大きく、格納容器ベント判断や可燃限界付近の監視を行う際の適切な監視能力が確保できないと判断したことからナローレンジの計測範囲を既存設計から変更する。

変更後のナローレンジの計測範囲は、設計基準対象施設としての監視性を損なわずに重大事故等時の監視性を更に向上できる計測範囲として、格納容器酸素濃度を 0～10vol%，格納容器水素濃度を 0～20vol%とする。格納容器酸素濃度、格納容器水素濃度の計測範囲及びそれに伴う誤差の変更内容を表 1-5 に示し、変更後の各運転状態における監視性について表 1-6 に示す。

表 1-5 格納容器酸素濃度、格納容器水素濃度の計測範囲及び誤差

名称	変更前			変更後		
	計測範囲	切替設定値	誤差	計測範囲	切替設定値	誤差*1
格納容器 酸素濃度	0～5vol%/ 0～25vol%	ワイド切替 4.6vol% ナロー切替 3.2vol%	ウェット： ±0.16vol%/ ±0.80vol% ドライ： ±0.13vol%/ ±0.63vol%	0～10vol%/ 0～25vol%	ワイド切替 設計検討中*2 ナロー切替 設計検討中*2	ウェット： ±0.32vol%/ ±0.80vol% ドライ： ±0.25vol%/ ±0.63vol%
格納容器 水素濃度	0～5vol%/ 0～100vol%	ワイド切替 4.8vol% ナロー切替 3.0vol%	ウェット： ±0.16vol%/ ±3.2vol% ドライ： ±0.13vol%/ ±2.5vol%	0～20vol%/ 0～100vol%	ワイド切替 設計検討中*2 ナロー切替 設計検討中*2	ウェット： ±0.64vol%/ ±3.2vol% ドライ： ±0.5vol%/ ±2.5vol%

注記*1：検出器～S P D S 表示装置等の誤差（現状計画）

*2：酸素濃度 4.4vol%，水素濃度 4.0vol%以上で計器設計上可能なナローレンジ上限に近い値に設定する。

表 1-6 計測範囲変更後の各運転状態における監視性

	停止中 (原子炉格納容器開放時)	通常運転	設計基準事故	重大事故等
酸素濃度	<p>空気中の酸素濃度（約21vol%）の監視はワイドレンジ（0～25vol%）であり計器誤差に変更は生じないため監視性に影響はない。</p>	<p>有効性評価における初期酸素濃度（2.5vol%（ドライ））未達であることを、ナローレンジ（0～10vol%）で監視する。変更後のドライ誤差（±0.25vol%）を考慮した上で運転することにより、その後に必要な対策を実施することが可能であるため監視性に影響はない。</p>	<p>酸素濃度が可燃領域（5.0vol%）に到達していないことをナローレンジ（0～10vol%）で監視する。安全評価上の原子炉格納容器内酸素濃度上昇は最大4.3vol%であるため、変更後のウエット誤差（±0.32vol%）を踏まえても可燃領域未達の監視性に影響はない。</p>	<p>酸素濃度の可燃領域（5.0vol%）への到達有無をナローレンジ（0～10vol%）で監視し、格納容器ベントの準備及び実施判断を行う。格納容器ベントの判断基準*1には計器誤差として±0.5vol%を考慮しており、変更後のドライ誤差（±0.25vol%）でも監視性及び判断に影響はない。なお、格納容器ベント停止時に酸素濃度が可燃領域未満に低下したことを監視する上でも問題ない。</p>
水素濃度	<p>水素濃度は0vol%であり、計器誤差の変更が監視性に影響しない。</p>	<p>水素濃度は0vol%であり、計器誤差の変更が監視性に影響しない。</p>	<p>水素濃度が可燃領域（4.0vol%）に到達していないことをナローレンジ（0～20vol%）で監視する。安全評価上の原子炉格納容器内水素濃度上昇は最大2.0vol%であるため、変更後のウエット誤差（±0.64vol%）を踏まえても可燃領域未達の監視性に影響はない。</p>	<p>水素濃度の可燃領域（4.0vol%）及び爆轟領域（13vol%）への到達有無をナローレンジ（0～20vol%）で監視する。重大事故等時における水素濃度は、操作等の判断基準ではないことから、考慮すべき計器誤差の基準値等は存在しないが、監視性向上の観点から可能な限り計器誤差を縮小することが望ましく、変更後のナローレンジ（0～20vol%）によるドライ誤差（±0.5vol%）での監視は、変更前のワイドレンジ（0～100vol%）によるドライ誤差（±2.5vol%）での監視*2より計器誤差が縮小するため監視性に影響はない。なお、格納容器ベント停止時に水素濃度が可燃領域未満に低下したことを監視する上でも問題ない。</p>

注記*1：酸素濃度の可燃限界である5.0vol%に到達することを防止するため、計器誤差（±0.5vol%）並びに水素及び酸素排出操作所要時間における上昇分（約0.1vol%）を考慮して設定

*2：変更前におけるナローレンジは3.0vol%であるため、事故初期の水素濃度上昇以降、可燃領域（4.0vol%）及び爆轟領域（13vol%）はワイドレンジ（0～100vol%）による監視であった。

(参考)

設置変更許可申請における審査資料からの変更内容について

設置変更許可申請における審査資料に記載の内容について、設計変更を行ったものを表1に示す。

表1 設置変更許可申請における審査資料からの変更内容

No.	項目	変更内容	設置許可 審査資料	設工認図書における 記載箇所	備考
1	計測装置の 構成	概略構成の変更 ・原子炉圧力 ・原子炉水位（広帯域） ・原子炉水位（燃料域）	まとめ資料 （58条補 説）	VI-1-5-1「計測装置の構 成に関する説明書並びに 計測範囲及び警報動作範 囲に関する説明書」 工事計画に係る補足説明 資料（計測制御系統施設）	別紙1
2	放射線管理 用計測装置 の構成	概略構成の変更 ・格納容器雰囲気放射線 モニタ（ドライウエル） ・格納容器雰囲気放射線 モニタ（サブプレッション チェンバ）	まとめ資料 （58条補 説）	VI-1-7-1「放射線管理用 計測装置の構成に関する 説明書並びに計測範囲及 び警報動作範囲に関する 説明書」 工事計画に係る補足説明 資料（放射線管理施設）	別紙2
3	連絡通路 （地上部） の構造	ボックスカルバート構造 からH鋼組みの構造に変 更	まとめ資料 （保管アク セス別紙 （38））	工事計画に係る補足説明 資料（安全設備及び重大 事故等対処設備が使用さ れる条件の下における健 全性に関する説明書）	別紙3
4	浸水範囲	漏えい検知高さを変更し たことに伴い、循環水系 からの溢水量が低減した こと等を踏まえ、タービ ン建物（復水器を設置す るエリア）の浸水範囲を 変更	まとめ資料 （5条）	VI-1-1-3-2 津波への配 慮に関する説明書	別紙4

表 9-1 設置 (変更) 許可申請における審査資料からの変更 (1/3)

原子炉圧力

既工認における構成* (参考)	設置 (変更) 許可申請	設工認補正申請 (今回)
<p>弾性圧力検出器</p> <p>中央制御室 指示*2</p> <p>中央制御室外 原子炉停止装置 指示</p> <p>*1</p> <p>注記*1: 区分Ⅱのみ *2: 記録計</p> <p>設計基準対象施設</p>	<p>弾性圧力検出器</p> <p>中央制御室 指示(注2)</p> <p>指示(注3)</p> <p>記録(注1)</p> <p>緊急時対策所 記録(注4)</p> <p>中央制御室外 原子炉停止装置 指示(注3)</p> <p>(注1) 記録計 (注2) 区分Ⅰのみ (注3) 区分Ⅱのみ (注4) 安全パラメータ表示システム (SPDS) (SPDS伝送サブ)</p> <p>設計基準対象施設 重大事故等対処設備 設計基準対象施設及び 重大事故等対処設備</p>	<p>弾性圧力検出器</p> <p>中央制御室 指示*2</p> <p>指示*2</p> <p>緊急時対策所 記録*3</p> <p>中央制御室外 原子炉停止装置 指示</p> <p>*1</p> <p>注記*1: 区分Ⅱのみ *2: 記録計 *3: 安全パラメータ表示システム (SPDS)</p> <p>設計基準対象施設 重大事故等対処設備 設計基準対象施設及び 重大事故等対処設備</p>
<p><変更点></p> <p>設置 (変更) 許可申請における審査資料では、重大事故等時の原子炉圧力を監視するため、区分Ⅰは重大事故等対処設備として兼用する設計基準対象施設の指示計を中央監視操作盤に、区分Ⅱは重大事故等対処設備の指示計を重大事故操作盤にそれぞれ新たに設けることとしていた。今回の設工認補正申請では設計統一の観点から行なった設計進捗を反映し、区分Ⅰについても区分Ⅱと同様に重大事故等対処設備の指示計を重大事故操作盤に設ける構成に見直している。</p> <p>本変更により重大事故等対処設備として兼用する設計基準対象施設の指示計を設置しない構成となるが、従来、設計基準対象施設として中央監視操作盤に設けている記録計の指示による監視は維持されており、設計基準対象施設としての構成に既工認からの変更は生じない。</p> <p>注記* : 既工認では概略構成図は記載していないため、記載内容は設計図書による。</p>		

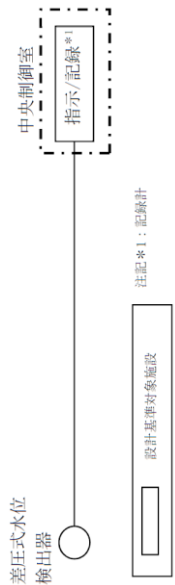
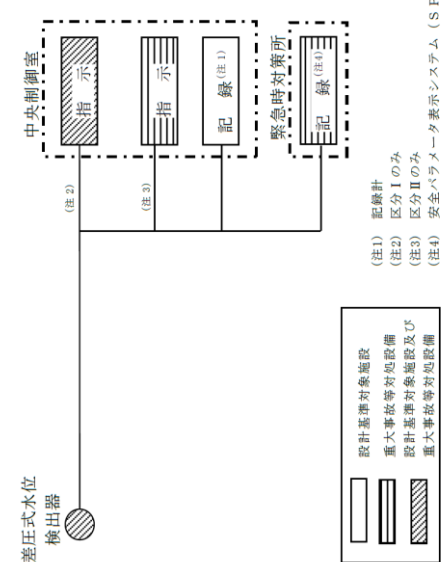
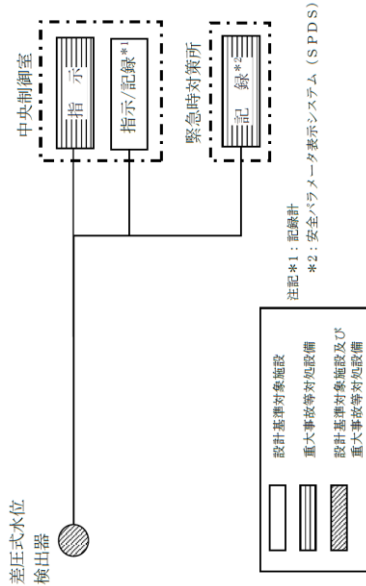
表 9-1 設置 (変更) 許可申請における審査資料からの変更 (2/3)

原子炉水位 (広帯域)

既工認における構成* (参考)	設置 (変更) 許可申請	設工認補正申請 (今回)
<p>注記*1: 区分Ⅱのみ *2: 記録計</p>	<p>(注1) 記録計 (注2) 区分Ⅰのみ (注3) 区分Ⅱのみ (注4) 安全パラメータ表示システム (SPDS) (SPDSS伝送サーバ)</p>	<p>注記*1: 区分Ⅱのみ *2: 記録計 *3: 安全パラメータ表示システム (SPDS)</p>
<p><変更点></p> <p>設置 (変更) 許可申請における審査資料では、重大事故等時の原子炉水位 (広帯域) を監視するため、区分Ⅰは重大事故等対処設備として兼用する設計基準対象施設の指示計を中央監視操作盤に、区分Ⅱは重大事故等対処設備の指示計を重大事故操作盤にそれぞれ新たに設けることとしていた。今回の設工認補正申請では設計統一の観点から行なった設計進捗を反映し、区分Ⅰについても区分Ⅱと同様に重大事故等対処設備の指示計を重大事故操作盤に設ける構成に見直している。</p> <p>本変更により重大事故等対処設備として兼用する設計基準対象施設の指示計を設置しない構成となるが、従来、設計基準対象施設として中央監視操作盤に設けている記録計の指示による監視は維持されており、設計基準対象施設としての構成に既工認からの変更は生じない。</p> <p>注記*: 既工認では概略構成図は記載していないため、記載内容は設計図書による。</p>		

表 9-1 設置（変更）許可申請における審査資料からの変更（3/3）

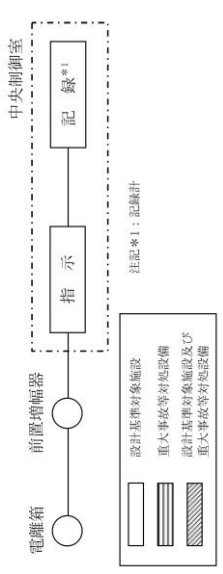
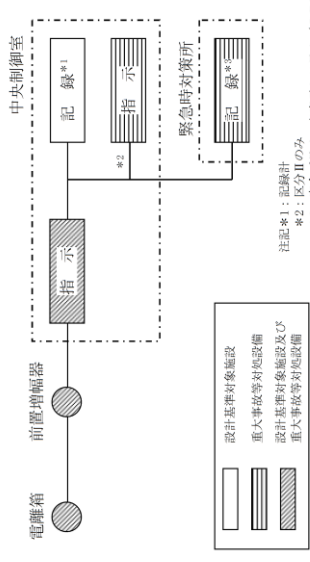
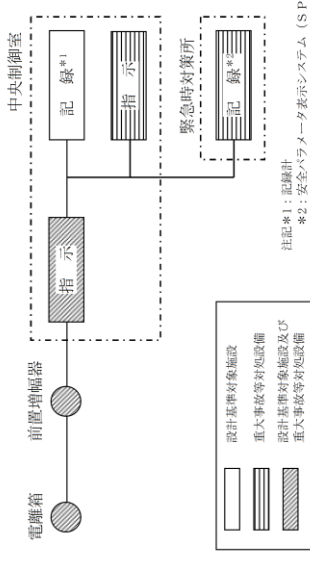
原子炉水位（燃料域）

既工認における構成*（参考）	設置（変更）許可申請	設工認補正申請（今回）
 <p>注記*1：記録計</p>	 <p>注記*1：記録計 *2：安全パラメータ表示システム（SPDS）</p> <p>注記*1：記録計 *2：安全パラメータ表示システム（SPDS）</p>	 <p>注記*1：記録計 *2：安全パラメータ表示システム（SPDS）</p>
<p><変更点></p> <p>設置（変更）許可申請における審査資料では、重大事故等時の原子炉水位（燃料域）を監視するため、区分Ⅰは重大事故等対処設備として兼用する設計基準対象施設の指示計を中央監視操作盤に、区分Ⅱは重大事故等対処設備の指示計を重大事故操作盤にそれぞれ新たに設けることとしていた。今回の設工認補正申請では設計統一の観点から行なった設計進捗を反映し、区分Ⅰについても区分Ⅱと同様に重大事故等対処設備の指示計を重大事故操作盤に設ける構成に見直している。</p> <p>本変更により重大事故等対処設備として兼用する設計基準対象施設の指示計を設置しない構成となるが、従来、設計基準対象施設として中央監視操作盤に設けている記録計の指示計による監視は維持されており、設計基準対象施設としての構成に既工認からの変更は生じない。</p> <p>注記*：既工認では概略構成図は記載していないため、記載内容は設計図書による。</p>		

【設置（変更）許可申請における審査資料からの変更（1/2）】
格納容器雰囲気放射線モニタ（ドライウエル）

既工認における構成*（参考）	設置（変更）許可申請	設工認補正申請（今回）
<p>注記*1：記録計</p>	<p>注記*1：記録計 *2：区分Ⅱのみ *3：安全パラメータ表示システム（SPDS）</p>	<p>注記*1：記録計 *2：安全パラメータ表示システム（SPDS）</p>
<p><変更点></p> <p>設置（変更）許可申請における審査資料では、重大事故時の格納容器雰囲気放射線モニタ（ドライウエル）を監視するため、区分Ⅱのみ重大事故等対処設備の指示計を重大事故操作盤に設けることとしていた。今回の設工認補正申請では設計統一の観点から行なった設計進捗を反映し、区分Ⅰについても区分Ⅱと同様に重大事故等対処設備の指示計を重大事故操作盤に設ける構成に見直している。</p> <p>設計基準対象施設としての指示機能は、重大事故等対処設備として兼用する設計基準対象施設のその他制御盤（プロセス放射線モニタ系）の指示計により監視ができるため、本変更による設計基準対象施設としての構成に既工認からの変更は生じない。</p> <p>注記*：既工認では概略構成図は記載していないため、記載内容は設計図書による。</p>		

【設置（変更）許可申請における審査資料からの変更（2/2）】
格納容器雰囲気放射線モニタ（サブレシジョンチェンバ）

既工認における構成*（参考）	設置（変更）許可申請	設工認補正申請（今回）
 <p>注記*1：記録計</p>	 <p>注記*1：記録計 *2：区分Ⅱのみ *3：安全パラメータ表示システム（SPDS）</p>	 <p>注記*1：記録計 *2：安全パラメータ表示システム（SPDS）</p>
<p><変更点></p> <p>設置（変更）許可申請における審査資料では、重大事故等時の格納容器雰囲気放射線モニタ（サブレシジョンチェンバ）を監視するため、区分Ⅱのみ重大事故等対処設備の指示計を重大事故操作盤に設けることとしていた。今回の設工認補正申請では設計統一の観点から行なった設計進捗を反映し、区分Ⅰについても区分Ⅱと同様に重大事故等対処設備の指示計を重大事故操作盤に設ける構成に見直している。</p> <p>設計基準対象施設としての指示機能は、重大事故等対処設備として兼用する設計基準対象施設のその他制御盤（プロセス放射線モニタ系）の指示計により監視ができるため、本変更による設計基準対象施設としての構成に既工認からの変更は生じない。</p> <p>注記*：既工認では概略構成図は記載していないため、記載内容は設計図書による。</p>		

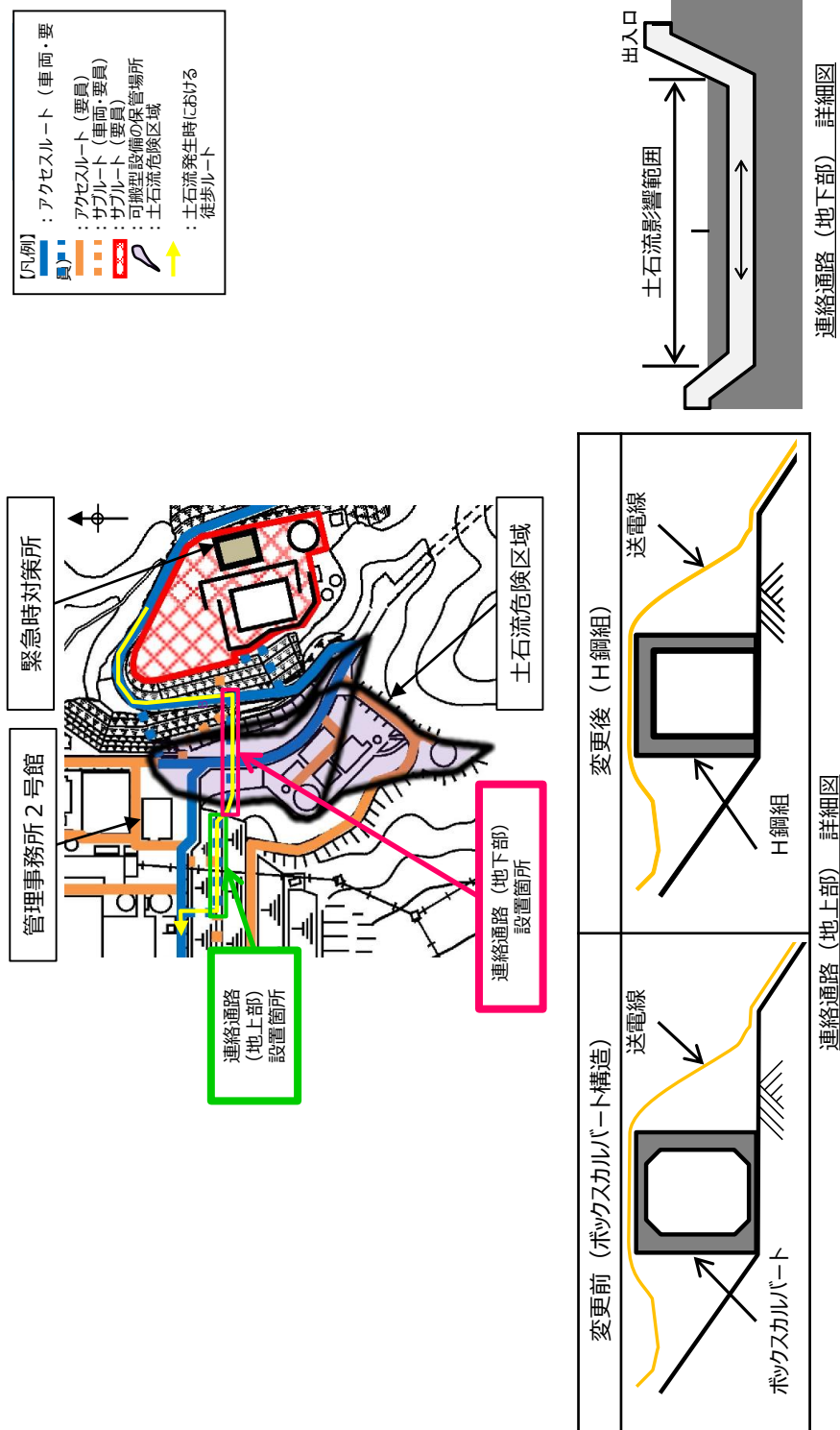
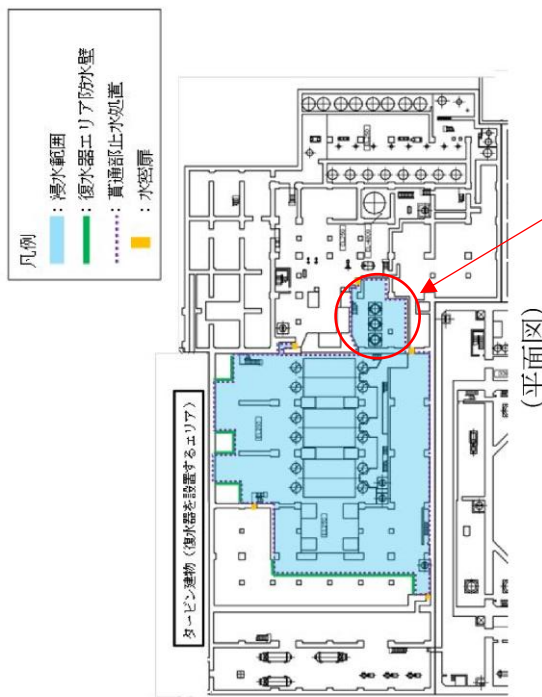
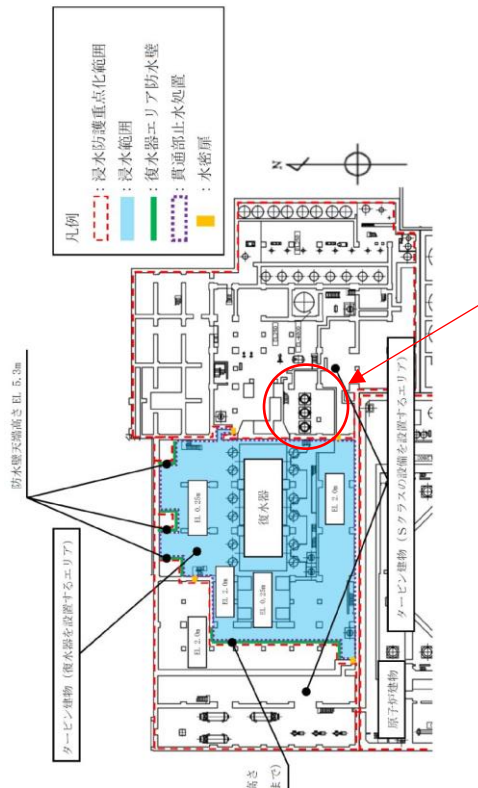


図 1 連絡通路 (地上部) の構造

タービン建物（復水器を設置するエリア）における浸水範囲の変更

設置（変更）許可申請	設工認補正申請
 <p>凡例 ■：溢水範囲 —：復水器エリア防水壁 ■：貫通部止水処置 ■：水密扉</p> <p>タービン建物（復水器を設置するエリア）</p> <p>（平面図）</p> <p style="color: red;">復水ポンプ室</p>	 <p>凡例 ■：浸水範囲 —：浸水防護重点化範囲 ■：復水器エリア防水壁 ■：貫通部止水処置 ■：水密扉</p> <p>タービン建物（復水器を設置するエリア）</p> <p>防水壁高さを確保するエリア</p> <p>防水壁高さを確保するエリア (大井高きまで)</p> <p>タービン建物（Sワフスの設備を復元するエリア）</p> <p>原子炉建屋</p> <p style="color: red;">復水ポンプ室</p>
<p><変更点></p> <p>循環水系配管等からの溢水によるタービン建物（復水器を設置するエリア）の浸水高さが上階に到達しないよう復水ポンプ室を同エリアに含め滞留可能容積を確保することとしていたが、津波対策として設置するタービン補機海水系の弁閉止インターロックに係る詳細設計において漏えい検知高さを変更（100mm→50mm）したことにより循環水系配管からの溢水量が低減したことから等を踏まえ、タービン建物（復水器を設置するエリア）に復水ポンプ室を含めないこととした。</p>	