

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 添-1-027 改0
提出年月日	2023年10月26日

#### VI-1-1-7-別添4 ブローアウトパネル関連設備の設計方針

2023年10月

東京電力ホールディングス株式会社

## 目 次

1. 概要	1
2. 設備分類	2
3. ブローアウトパネル関連設備の要求機能	3
4. 設計の基本方針	4
5. 要求機能及び性能目標	10
5.1 要求機能	10
5.2 性能目標	10
6. 機能設計	12
7. 構造強度設計	22
7.1 構造強度の設計方針	22
7.2 荷重及び荷重の組合せ	23
7.2.1 荷重の種類	23
7.2.2 荷重の組合せ	23
7.3 機能維持の方針	24
7.3.1 オペフロ BOP	24
7.3.2 MS トンネル室 BOP	28
7.3.3 オペフロ BOP 閉止装置	31
7.3.4 オペフロ BOP 強制開放装置（自主対策設備）	42

## 1. 概要

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、ブローアウトパネル関連設備が使用される条件の下における健全性について、必要な機能に対しての設計方針を示している。

本資料は、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」にて設定しているブローアウトパネル関連設備に係る設計方針を整理した上で各設計方針に対して、ブローアウトパネル関連設備の設備分類、要求機能及び性能目標を明確にし、各設備の機能設計等について説明するものである。

## 2. 設備分類

ブローアウトパネル関連設備は、以下のとおり、燃料取替床ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という。）、主蒸気系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。）、燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（以下「オペフロ BOP 閉止装置」という。）及び燃料取替床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。）に分類する。

オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP は、通常運転中は原子炉建屋原子炉区域の壁の一部となることから、2 次格納施設のバウンダリを構成する。また、重大事故等時にオペフロ BOP が開放し、オペフロ BOP 開口部を閉止する必要がある場合には、オペフロ BOP の外側に設置されたオペフロ BOP 閉止装置により閉止することで 2 次格納施設のバウンダリを構成する。なお、オペフロ BOP 閉止装置は大型 3 台と小型 1 台がそれぞれ設置される。以降では、大型と小型は区別をするときのみ明記する。

### (1) オペフロ BOP

オペフロ BOP は、原子炉建屋原子炉区域外壁（地上 4 階中間床）に配置され、差圧により開放するパネル本体部、パネルを建屋外壁内に設置する枠部及び差圧により曲げ変形する止板部より構成される設備である。

### (2) MS トンネル室 BOP

MS トンネル室 BOP は、原子炉建屋原子炉区域主蒸気系トンネル室（以下「MS トンネル室」という。）（地上 1 階）に配置され、差圧により開放するパネル本体部、MS トンネル室壁面内に設置する枠部及び差圧により曲げ変形する止板部より構成される設備である。

### (3) オペフロ BOP 閉止装置

オペフロ BOP 閉止装置は、扉、扉枠（扉を移動させるためのレールを含む）、扉を駆動する電動機及び扉を開状態又は閉状態で固定する門等から構成されており、通常運転中は、扉は開放した状態であり、オペフロ BOP が開放された状態で炉心損傷した場合において、門及び扉を電動機又は手動により動作させ、オペフロ BOP 開口部を閉止する設備である。

扉は、地震による扉閉方向の移動を制限するために、常時門により固定している。このため、開放状態にある扉の閉止操作は、門による扉固定の解除、扉の移動及び門による扉閉状態での扉固定の一連の動作を、中央制御室からの遠隔操作により実施する。

### (4) オペフロ BOP 強制開放装置（自主対策設備）

オペフロ BOP 強制開放装置は、電動ウインチ及びワイヤロープから構成され、ワイヤロープはオペフロ BOP に取り付けられている。電動ウインチによりワイヤロープを巻き取ることで、オペフロ BOP を開放する設備である。

### 3. ブローアウトパネル関連設備の要求機能

ブローアウトパネル及びその関連設備（オペフロ BOP 閉止装置及びオペフロ BOP 強制開放装置）について、「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」（以下「技術基準規則」という。）上の主な要求事項を以下に整理した。

#### (1) オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP の要求事項

設計基準対象施設及び重大事故等対処設備であるオペフロ BOP は、主蒸気管破断及びインターフェイスシステム LOCA を想定した場合並びに、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、主蒸気管破断を想定した場合の放出蒸気による圧力等から原子炉建屋等を防護することを目的に設置されている。

このため、原子炉建屋の内外差圧（オペフロ BOP：設計差圧 3.53kPa 以下、MS トンネル室 BOP：設計差圧 2.65kPa 以下）により自動的に開放する機能が必要となる。なお、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。

また、オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP は、原子炉建屋原子炉区域の壁の一部となることから、2 次格納施設のバウンダリとしての機能維持が必要であり、このため、オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP 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）に基づき、弾性設計用地震動  $S_d$  による地震荷重で開放しない設計とする必要がある。

なお、設計竜巻や弾性設計用地震動  $S_d$  を超える地震荷重により開放し、安全上支障のない期間内に復旧できない場合には、安全な状態に移行（運転中は冷温停止へ移行、停止中は使用済燃料に関連する作業の停止）することを保安規定に定め対応する。

#### (2) オペフロ BOP 閉止装置の要求事項

重大事故等対処設備であるオペフロ 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区域に設置されたオペフロ BOP 開口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、原子炉建屋原子炉区域の壁の一部となることから、2 次格納施設のバウンダリとして原子炉建屋原子炉区域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  $S_s$  が作用した後においても、作動性及び扉閉止後の原子炉建屋原子炉区域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、オペフロ BOP 閉止装置の 2 次格納施設のバウンダリとしての機能維持が必要な状況とは、オペフロ BOP 部が開放し、更に重大事故に至った場合である。オペフロ BOP は弾性設計用地震動  $S_d$  以上の地震で開放すること、技術基準規則第 74 条では、運転員の実効線量が 7 日間で 100mSv を超えないことが要求されていることを踏まえ、地震動に対する頑健性を有するように基準地震動  $S_s$  でも機能を維持する設計とする。

なお、オペフロ 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) 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、その損傷が安全上重要な他設備に影響を及ぼさないようにする必要がある。

4. 設計の基本方針

ブローアウトパネル関連設備の要求事項及び考慮すべき要因である自然現象、人為事象、溢水及び火災に対する設計方針について以下に示す。

(1) オペフロ BOP

オペフロ BOP は、主蒸気管破断及びインターフェイスシステム LOCA を想定した場合の放出蒸気により、原子炉建屋原子炉区域の圧力が上昇した場合において、外気との差圧（設計差圧 3.53kPa 以下）により自動的に開放し、原子炉建屋原子炉区域内の圧力及び温度を低下させることができる設計とするとともに、この機能は、基準地震動  $S_s$  による地震荷重により損なわれない設計とする。

オペフロ BOP は、原子炉建屋原子炉区域の壁の一部となることから、2 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ため、弾性設計用地震動  $S_d$  による地震荷重で開放しない設計とする。

また、オペフロ BOP は、考慮すべき自然現象等を考慮した設計とするとともに、開放時に他の設備に波及的影響を及ぼさない設計とする。

a. 自然現象及び人為事象

(a) 地震

自然現象のうち地震に関して、オペフロ BOP の開放機能は、基準地震動  $S_s$  による地震荷重により損なわれない設計とする。また、2 次格納施設である原子炉建屋原子炉区域のバウンダリを構成する設備であるため、弾性設計用地震動  $S_d$  による地震荷重で開放しない設計とする。

オペフロ BOP の耐震設計については、本資料に基づき実施する。

(b) 津波

自然現象のうち津波に関して、オペフロ BOP は津波の影響を受けない位置に設置されることから、設計上考慮しない。

(c) 風（台風）及び竜巻

自然現象のうち風（台風）及び竜巻に関して、オペフロ BOP は、風（台風）及び竜巻による風荷重を考慮して設置し、設計飛来物によりオペフロ BOP が破損した場合に、他の設備に波及的影響を及ぼさない設計とする。風（台風）の風荷重については、竜巻の風荷重に包絡される。

なお、設計竜巻の差圧は、オペフロ BOP 開放差圧より大きく、設計竜巻の差圧で開放しない設計とした場合、開放機能を阻害するため、設計竜巻により開放し、安全上支障

のない期間内に復旧できず，2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，停止中は使用済燃料に関連する作業の停止）することを保安規定に定める。

(d) 積雪及び火山の影響

自然現象のうち積雪及び火山の影響に関して，オペフロ BOP は，原子炉建屋壁面内に設置され，積雪及び降下火砕物の影響を受けないことから，設計上考慮しない。なお，原子炉建屋原子炉区域としては積雪及び降下火砕物を考慮した設計とする。

(e) その他自然現象及び人為事象

自然現象のうち低温（凍結），降水，落雷，地滑り及び生物学的事象並びに人為事象のうち火災・爆発（森林火災，近隣工場等の火災・爆発及び航空機墜落による火災），有毒ガス，船舶の衝突及び電磁的障害（以下「その他自然現象及び人為事象」という。）に関して，オペフロ BOP は，これら事象による影響を受けない設計とする。その他自然現象及び人為事象に対する設計については，VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき実施する。

b. 溢水

溢水に関して，オペフロ BOP は溢水の影響を受けない位置に設置されることから，設計上考慮しない。

c. 火災

火災に関しては，オペフロ BOP 近傍の屋内に有意な火源は存在しないため，設計上考慮しない。

d. その他

オペフロ BOP は，開放時に落下して他設備に影響を与えないよう，落下防止チェーンにて地上に落下しない設計とする。更に，落下防止チェーンがオペフロ BOP 閉止装置の作動に干渉しないためのガイドを設ける。

(2) MS トンネル室 BOP

MS トンネル室 BOP は、主蒸気管破断を想定した場合の放出蒸気により、原子炉建屋原子炉区域の圧力が上昇した場合において、MS トンネル室内外の差圧（設計差圧 2.65kPa 以下）により自動的に開放し、原子炉建屋原子炉区域内の圧力及び温度を低下させることができる設計とするとともに、この機能は、基準地震動  $S_s$  による地震荷重で損なわれない設計とする。

MS トンネル室 BOP は、原子炉建屋原子炉区域の壁の一部となることから、2 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ため、弾性設計用地震動  $S_d$  による地震荷重で開放しない設計とする。

また、MS トンネル室 BOP は、考慮すべき自然現象等を考慮した設計とするとともに、開放時に他の設備に波及的影響を及ぼさない設計とする。

a. 自然現象及び人為事象

(a) 地震

自然現象のうち地震に関して、MS トンネル室 BOP の開放機能は、基準地震動  $S_s$  による地震荷重で損なわれない設計とする。また、2 次格納施設である原子炉建屋原子炉区域のバウンダリを構成する設備であるため、弾性設計用地震動  $S_d$  による地震荷重で開放しない設計とする。

MS トンネル室 BOP の耐震設計については、本資料に基づき実施する。

(b) 津波

自然現象のうち津波に関して、MS トンネル室 BOP は津波の影響を受けない位置に設置されることから、設計上考慮しない。

(c) 風（台風）及び竜巻

自然現象のうち風（台風）及び竜巻に関して、MS トンネル室 BOP は、風（台風）及び竜巻の影響を受けない位置に設置されることから、設計上考慮しない。

(d) 積雪及び火山の影響

自然現象のうち積雪及び火山の影響に関して、MS トンネル室 BOP は、積雪及び火山の影響を受けない位置に設置されることから、設計上考慮しない。

(e) その他自然現象及び人為事象

その他自然現象及び人為事象に関して、MS トンネル室 BOP は、これら事象による影響を受けない設計とする。その他自然現象及び人為事象に対する設計については、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき実施する。



- b. 溢水  
溢水に関して、MS トンネル室 BOP は、溢水の影響を受けない設計とすることから、設計上考慮しない。
- c. 火災  
火災に関しては、MS トンネル室 BOP 近傍の屋内に有意な火源は存在しないため、設計上考慮しない。
- (3) オペフロ BOP 閉止装置  
オペフロ BOP 閉止装置は、重大事故等時、オペフロ BOP 開口部を閉止する必要がある場合、容易かつ確実に閉止操作でき、閉止後に原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持できる設計とするとともに、この機能は、基準地震動  $S_s$  により損なわれない設計とする。  
扉閉止状態でも原子炉建屋原子炉区域の壁の一部となり、2 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ため、基準地震動  $S_s$  で気密性を保持できる設計とする。  
オペフロ BOP 閉止装置は、現場にて人力により門及び扉の操作が可能な設計とする。  
また、オペフロ BOP 閉止装置は、考慮すべき自然現象等を考慮した設計とする。
- a. 自然現象及び人為事象
- (a) 地震  
自然現象のうち地震に関して、オペフロ BOP 閉止装置は、基準地震動  $S_s$  が作用した後も容易かつ確実に閉止でき、閉止後の気密機能を維持できる設計とする。閉止状態においても、基準地震動  $S_s$  にて気密機能を維持できる設計とする。  
また、オペフロ BOP 閉止装置は、現場にて人力により門及び扉の操作が可能な設計とする。  
オペフロ BOP 閉止装置の耐震設計については、本資料に基づき実施する。
- (b) 津波  
自然現象のうち津波に関して、オペフロ BOP 閉止装置は津波の影響を受けない位置に設置されることから、設計上考慮しない。
- (c) 風（台風）及び竜巻  
自然現象のうち風（台風）に関してオペフロ BOP 閉止装置は、風（台風）による風荷重を考慮して設計する。また、自然現象のうち竜巻に関しては、竜巻による風荷重を考慮して他の設備に波及的影響を及ぼさない設計とする。
- (d) 積雪及び火山の影響  
自然現象のうち積雪及び火山の影響に関して、オペフロ BOP 閉止装置は、積雪及び降下火砕物の堆積の影響を受けない設計とする。

積雪及び火山の影響に対するオペフロ BOP 閉止装置の設計については、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき、オペフロ BOP 閉止装置の必要な機能を損なうおそれがない設計とする。

具体的には、待機状態（扉開状態）では、積雪や降下火砕物がオペフロ BOP 閉止装置に影響を及ぼさないように庇を設置する。

(e) その他自然現象及び人為事象

その他自然現象及び人為事象に関して、オペフロ BOP 閉止装置は、これら事象による影響を受けない設計とする。その他自然現象及び人為事象に対するオペフロ BOP 閉止装置の設計については、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき実施する。

b. 溢水

溢水に関して、オペフロ BOP 閉止装置は溢水の影響を受けない位置に設置されることから、設計上考慮しない。

c. 火災

火災に関しては、オペフロ BOP 閉止装置は火災により重大事故等に対処するために必要な機能を損なうおそれがないよう、火災発生防止、火災の感知及び消火のそれぞれを考慮した火災防護対策を講じる設計とする。

火災に対するオペフロ BOP 閉止装置の設計については、VI-1-1-8「発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書」に基づき実施する。

(4) オペフロ BOP 強制開放装置（自主対策設備）

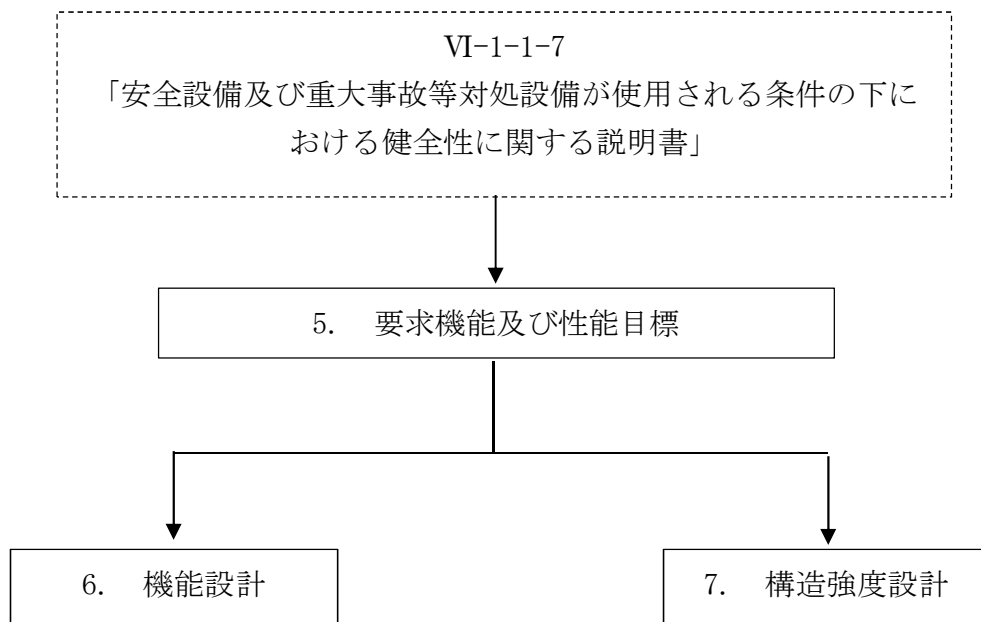
オペフロ BOP 強制開放装置は、安全上重要な他設備に悪影響を及ぼさないように設計する。

以上を踏まえ、ブローアウトパネル関連設備については、本資料にて要求機能を整理するとともに、機能設計上の性能目標と地震等による荷重を考慮した構造強度設計上の性能目標を定める。

また、ブローアウトパネル関連設備の構造強度設計上の性能目標を達成するため、構造強度設計上の方針を示した上で、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」及びVI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重条件及び荷重の組合せに従い、構造強度設計上に必要な考慮すべき荷重条件を設定し、その荷重の組合せの考え方を定める。

以上のブローアウトパネル関連設備の設計フローを図4-1に示す。

ブローアウトパネル関連設備の耐震計算については、VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき実施し、耐震計算の方法及び結果については、VI-2-9-3-1-1「燃料取替床ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」、VI-2-9-3-1-2「主蒸気系トンネル室ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」及びVI-2-9-5-5「燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書」に示す。



注：フロー中の番号は、本資料での記載箇所の章を示す。

図4-1 ブローアウトパネル関連設備の設計フロー

## 5. 要求機能及び性能目標

### 5.1 要求機能

ブローアウトパネル関連設備のうちオペフロ BOP、MS トンネル室 BOP 及びオペフロ BOP 閉止装置は、地震後においても必要な機能を損なわないことが要求される。また、オペフロ BOP 強制開放装置は、地震時において他設備へ波及的影響を及ぼさないことが要求される。

オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP は、原子炉建屋の内外差圧（オペフロ BOP：設計差圧 3.53kPa 以下、MS トンネル室 BOP：設計差圧 2.65kPa 以下）により自動的に開放する機能が要求される。なお、この機能は、基準地震動  $S_s$  による地震荷重により損なわれないことが要求される。また、オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP は、原子炉建屋原子炉区域の壁の一部となることから、弾性設計用地震動  $S_d$  による地震荷重で開放しない機能が要求される。

オペフロ BOP 閉止装置は、オペフロ BOP を閉止する必要がある場合、容易かつ確実に閉止操作する機能が要求され、閉止後は、原子炉建屋原子炉区域の壁の一部となることから、2 次格納施設のバウンダリとして原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持できることが要求される。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。また、オペフロ BOP 閉止装置は扉閉止後、原子炉建屋原子炉区域の壁の一部となることから、扉閉止状態においても、基準地震動  $S_s$  に対して、原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持できることが要求される。

なお、オペフロ 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。

### 5.2 性能目標

#### (1) オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP

オペフロ BOP は、設計基準事故時及び重大事故等時（インターフェイスシステム LOCA 時）、MS トンネル室 BOP は、設計基準事故時において、原子炉建屋の内外差圧（オペフロ BOP：設計差圧 3.53kPa 以下、MS トンネル室 BOP：設計差圧 2.65kPa 以下）により自動的に開放できることを機能設計上の性能目標とする。なお、この機能は、基準地震動  $S_s$  による地震荷重により損なわれないことが要求される。また、オペフロ BOP は、設計基準対象施設として、MS トンネル室 BOP は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備として、原子炉建屋原子炉区域の壁の一部となることから、弾性設計用地震動  $S_d$  による地震荷重で開放しないことも機能設計上の性能目標とする。

オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP は、地震力に対し、以下の内容を構造強度設計上の性能目標とする。

#### a. 機能維持

オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP は、基準地震動  $S_s$  による地震荷重が作用した後にも規定の圧力（オペフロ BOP：設計差圧 3.53kPa 以下、MS トンネル室 BOP：設計差圧 2.65kPa 以下）にて自動的に開放できること、及び弾性設計用地震動  $S_d$  による地震荷重では開放しないこと。

- b. 構造強度  
オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP は、基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対し、パネル本体、枠等の主要な構造部材が開放機能を保持可能な構造強度を有すること。
- c. 波及的影響  
オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP は、当該設備の損傷等による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないこと。
- (2) オペフロ BOP 閉止装置  
オペフロ BOP 閉止装置は、重大事故等に対し、容易かつ確実に閉止操作できること、閉止後においては、原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持することを機能設計上の性能目標とする。なお、この機能は、基準地震動  $S_s$  による地震荷重により損なわれないことが要求される。  
また、現場にて人力により操作できることを機能設計上の性能目標とする。  
オペフロ BOP 閉止装置は、地震力に対し、以下の内容を構造強度設計上の性能目標とする。
- a. 機能維持  
オペフロ BOP 閉止装置は、重大事故等に対し、基準地震動  $S_s$  による地震荷重が作用した後においても、作動性及び原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持し、閉止後においても、基準地震動  $S_s$  において原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持すること。  
また、現場にて人力により操作ができること。
- b. 構造強度  
オペフロ BOP 閉止装置は、基準地震動  $S_s$  による地震荷重が作用した後においても、主要な構造部材がオペフロ BOP 閉止装置の作動性、気密性を保持可能な構造強度を有すること。閉止後においても、基準地震動  $S_s$  において原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持可能な構造強度を有すること。
- c. 波及的影響  
オペフロ BOP 閉止装置は、当該設備の損傷等による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないこと。
- (3) オペフロ BOP 強制開放装置（自主対策設備）  
オペフロ BOP 強制開放装置は、自主対策設備であるため、悪影響を防止する必要がある他の設備に対して悪影響を及ぼさないことを機能設計上の性能目標とする。

6. 機能設計

「5. 要求機能及び性能目標」で設定している、ブローアウトパネル関連設備の機能設計上の性能目標を達成するために、各設備の機能設計の方針を定める。

(1) オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP の設計方針

a. 設計方針

オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP は、「5. 要求機能及び性能目標」の「5.2 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

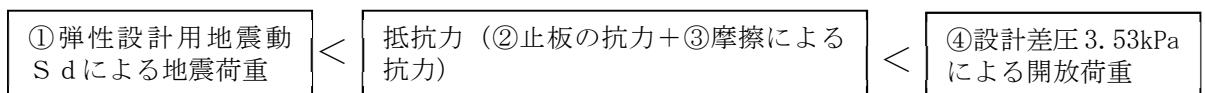
オペフロ BOP は、設計基準事故時及び重大事故等時（インターフェイスシステム LOCA 時）、MS トンネル室 BOP は、設計基準事故時において、原子炉建屋の内外差圧（オペフロ BOP：設計差圧 3.53kPa 以下、MS トンネル室 BOP：設計差圧 2.65kPa 以下）により自動的に開放できるように設計する。

また、オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP は、原子炉建屋原子炉区域の壁の一部となることから、弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> による地震荷重で開放しないように設計する。

オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP の基準地震動 S<sub>s</sub> による地震荷重に対する機能保持の設計方針は「7.1(1) オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP」に示す。

b. オペフロ BOP 詳細設計

オペフロ BOP を開放させるため満足すべき条件は以下のとおりであり、抵抗力（②止板の抗力、③パネル移動時の摩擦による抗力の合計）が、④差圧による荷重以下となる条件を満足する必要がある。また、2 次格納施設としての原子炉建屋原子炉区域のバウンダリ機能確保の観点から、①弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> による地震荷重で開放しないように設計する。



このため、止板曲げ試験にて実際に用いる止板の抗力を確認し、摩擦係数から算出した摩擦による抗力を評価し、上記条件を十分に満足する止板数として、止板数を   個に設定する。

設計を基に実機大モックアップ装置を製作し開放試験を実施した結果、実機の抗力の合計は   kN～  kN であり、設計差圧 3.53kPa 時の開放荷重約 28.1kN に対して、十分に小さい開放圧力で開放すること、また、弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> による地震荷重（約 8.8kN）では開放しないことを確認した。

止板曲げ試験及び実機大モックアップ試験の概要を以下に示す。

(a) 止板曲げ試験

オペフロ BOP が、設計差圧（3.53kPa 以下）により自動的に開放できる設計に対して、オペフロ BOP を躯体に固定している止板の特性を把握し、止板数を確定させるため、実

際に使用する止板単体の曲げ試験を実施する。

止板は1種類（くびれ幅9.6mm）で、3個の試験体について曲げ試験を実施した。試験結果を表6-1に示す。試験は、変位制御（1分間に5mmの変位速度）で実施した。

止板の曲げ荷重は、平均1397Nであり、標準偏差は19Nであった。

これらの結果と摩擦による抗力も考慮し、止板数を□個に設定した。

表6-1 止板曲げ試験結果

耐力 (試験体数は3個)		荷重 (N)	止板概略図  
		くびれ幅9.6mm	
最大耐力	平均値	1397	
	最大値	1416	
	最小値	1371	
標準偏差 $\sigma$		19	
最大耐力 (平均) $+3\sigma$		1454	
最大耐力 (平均) $-3\sigma$		1340	

(b) 実機大モックアップ試験

オペフロBOPが、設計差圧（3.53kPa以下）により自動的に開放できることを実機大のモックアップ試験にて確認する。実機大モックアップ試験の概要を図6-1に示す。試験装置は、実機を模擬したオペフロBOP、加力装置及び躯体を再現するオペフロBOP取付け部と加力装置取付け部を一体化した取付け架台で構成し、オペフロBOPは、実機に取り付けられているものと同形状のもの（サイズは2920mm×2730mm、質量は約868kg）を実機での施工を模擬して設置する。

加力は油圧ジャッキ4台を用いて準静的に加力し、ジャッキの荷重から開放圧力を評価した。

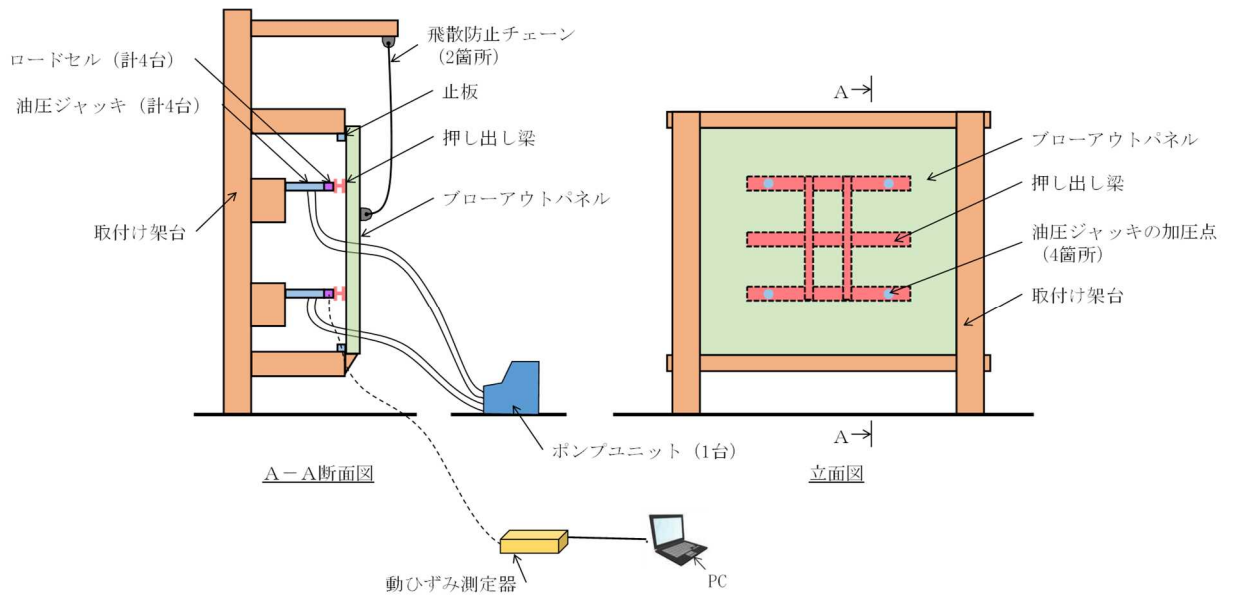


図 6-1 オペフロ BOP 実機大モックアップ試験装置の概要

実機大モックアップ試験結果を表6-2に示す。試験は再現性確認のため3回実施した。油圧ジャッキを用いた実機大モックアップ試験にて確認した開放荷重は、 kN～ kN ( kPa～ kPa相当)であり、設計方針とした規定の圧力以下 (3.53kPa以下) にて開放することを確認した。また、弾性設計用地震動 S d による地震荷重は約 8.8kNであり開放荷重未満であるため、弾性設計用地震動 S d による地震荷重でオペフロBOPは開放しないことを確認した。

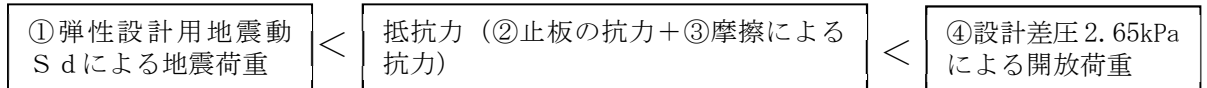
表6-2 オペフロBOP実機大モックアップ試験結果

項目	①測定値 (kN)	②設計差圧 3.53kPa相当値 (kN)	③弾性設計用地震動 S d による地震荷重 (kN)	判定 (③<①<②)	備考 相当する差圧値 (kPa)
試験1	<input type="text"/>	28.1	8.8	○	<input type="text"/>
試験2	<input type="text"/>			○	<input type="text"/>
試験3	<input type="text"/>			○	<input type="text"/>



## c. MSトンネル室BOP詳細設計

MSトンネル室BOPを開放させるため満足すべき条件は以下のとおりであり、抵抗力（②止板の抗力、③パネル移動時の摩擦による抗力の合計）が、④差圧による荷重以下となる条件を満足する必要がある。また、2次格納施設としての原子炉建屋原子炉区域のバウンダリ機能確保の観点から、①弾性設計用地震動S<sub>d</sub>による地震荷重で開放しないように設計する。



MSトンネル室BOPはサイズの異なるパネルが8種類存在するが、止板曲げ試験及び実機大モックアップ試験は、設計差圧による開放荷重が最も大きくなる面積が最大のパネルで、かつ固有振動数が最小のパネル1種類で実施する。

止板曲げ試験にて、止板の抗力を確認し、摩擦係数から算出した摩擦による抗力を評価し、各種パネルごとに上記条件を十分に満足する止板仕様及び個数を設定する。

設計を基に代表パネル1種類の実機大モックアップ装置を製作し開放試験を実施した結果、実機の抗力の合計は□kN～□kNであり、設計差圧2.65kPa時の開放荷重約10.1kNに対して、十分に小さい開放圧力で開放すること、また、弾性設計用地震動S<sub>d</sub>による地震荷重（約2.4kN）では開放しないことを確認した。

止板曲げ試験及び実機大モックアップ試験の概要を以下に示す。

## (a) 止板曲げ試験

MSトンネル室BOPが、設計差圧（2.65kPa以下）により自動的に開放できる設計に対して、MSトンネル室BOPを躯体に固定している止板の特性を把握し、止板数を確定させるため、実際に使用する止板単体の曲げ試験を実施する。

止板はパネル上部とパネル下部で寸法の異なる2種類（くびれ幅8.1mm及びくびれ幅6.1mm）があり、それぞれ3個の試験体について曲げ試験を実施した。試験結果を表6-3に示す。試験は、変位制御（1分間に5mmの変位速度）で実施した。

くびれ幅8.1mmの止板の曲げ荷重は、平均1227Nであり、標準偏差は9Nであった。また、くびれ幅6.1mmの止板の曲げ荷重は、平均903Nであり、標準偏差は12Nであった。

これらの結果と摩擦による抗力も考慮し、止板数を□個（くびれ幅8.1mmを□個、くびれ幅6.1mmを□個）に設定した。

表6-3 止板曲げ試験結果

耐力 (試験体数は各3個)		荷重 (N)		止板概略図
		くびれ幅8.1mm	くびれ幅6.1mm	
最大耐力	平均値	1227	903	
	最大値	1238	920	
	最小値	1216	893	
標準偏差 $\sigma$		9	12	
最大耐力 (平均) $+3\sigma$		1254	939	
最大耐力 (平均) $-3\sigma$		1200	867	

(b) 実機大モックアップ試験

MSトンネル室BOPが、設計差圧 (2.65kPa以下) により自動的に開放できることを実機大のモックアップ試験にて確認する。実機大モックアップ試験の概要を図6-2に示す。試験装置は、実機を模擬したMSトンネル室BOP、加力装置及び躯体を再現するMSトンネル室BOP取付け部と加力装置取付け部を一体化した取付け架台で構成し、MSトンネル室BOPは、実機に取り付けられているものと同形状のもの (サイズは1750mm×2182mm, 質量は約375kg) を実機での施工を模擬して設置する。

加力は油圧ジャッキ4台を用いて準静的に加力し、ジャッキの荷重から開放圧力を評価した。

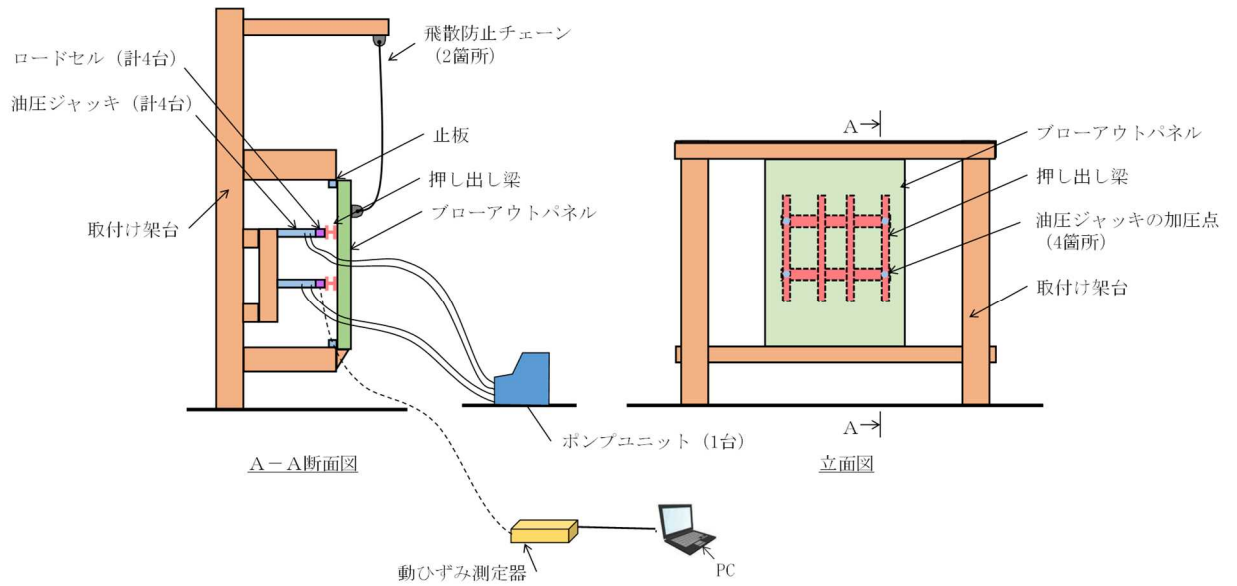


図6-2 MSトンネル室実機大モックアップ試験装置の概要

実機大モックアップ試験結果を表6-4に示す。試験は再現性確認のため3回実施した。油圧ジャッキを用いた実機大モックアップ試験にて確認した開放荷重は、 kN～ kN ( kPa～ kPa相当)であり、設計方針とした規定の圧力以下 (2.65kPa以下)にて開放することを確認した。また、弾性設計用地震動S dによる地震荷重は約2.4kNであり開放荷重未満であるため、弾性設計用地震動S dによる地震荷重でMSトンネル室BOPは開放しないことを確認した。

表6-4 MSトンネル室BOP実機大モックアップ試験結果

項目	①測定値 (kN)	②設計差圧 2.65kPa相当値 (kN)	③弾性設計用地震動S dによる地震荷重 (kN)	判定 (③<①<②)	備考 相当する差圧値 (kPa)
試験1	<input type="text"/>	10.1	2.4	○	<input type="text"/>
試験2	<input type="text"/>			○	<input type="text"/>
試験3	<input type="text"/>			○	<input type="text"/>

(2) オペフロBOP閉止装置の設計方針

a. 設計方針

オペフロ BOP 閉止装置は、「5. 要求機能及び性能目標」の「5.2 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

オペフロ BOP 閉止装置は、重大事故等に対し、容易かつ確実に閉止操作できるように設計する。また、閉止後においては、枠板側に設置されているパッキンに扉を機械的に押し付けることによって原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持するように設計する。また、現場にて人力により操作できるように設計する。

オペフロBOP閉止装置の基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対する機能保持の設計方針は「7.1(2) オペフロBOP閉止装置」に示す。

b. 詳細設計

オペフロ BOP 閉止装置は、容易かつ確実に閉止操作できるよう以下の設計とする。なお、開閉機能は基準地震動  $S_s$  で維持できる設計とする。

- ・ オペフロ BOP 閉止装置は、中央制御室から電動にて開閉（閉含む）できる設計とする。この際、扉本体はハンガーにより吊り下げられ、チェーンを介して電動機により開閉する構造であることから、地震時の扉本体に作用する慣性力によるチェーンの損傷を防止するため、扉は開状態又は閉状態では門により動きを拘束し、過大な地震荷重がチェーン等の駆動系に作用しない設計とする。
- ・ 電源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可能な設計とする。
- ・ 扉の開閉状態（閉含む）は中央制御室にて把握できる設計とする。

オペフロ BOP 閉止装置は、扉閉止後において、原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持できるように、扉閉状態では扉は機械的にパッキンが設置されている扉枠側（躯体側）に押し付けられる設計とする。なお、基準地震動  $S_s$  が作用した後においても、作動性及び原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持し、閉止後においても、基準地震動  $S_s$  において原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持する設計とする。

また、オペフロ BOP 閉止装置は、現場にて人力により操作できるように、オペフロ BOP 閉止装置の扉及び門に設置される電動機にクランクを設置可能な設計とし、クランクにより手動操作できる設計とする。具体的には門の場合、門の軸の下部の電動機にクランクハンドルを装着し、クランクを反時計回りに回転させることにより門ピンが引抜かれる設計とする。なお、挿入はクランクを時計回りに回転させることにより門ピンが挿入される設計とする。扉の場合、扉の上部中央に設置される電動機にクランクハンドルを装着し、クランクハンドルを回転させることにより扉が開閉する設計とする。

これら詳細設計の成立性の確認を、柏崎刈羽原子力発電所第7号機で実施した実機大モックアップによる機能確認結果を用いて実施した。

(a) オペフロBOP閉止装置の門及び扉の動作試験結果

柏崎刈羽原子力発電所第7号機で実施した実機大モックアップによる門及び扉の動作試験結果を表6-5及び表6-6に示す。実機大モックアップを製作し、動作確認した結果、各動作に問題はなく、動作時間は機能目標を満足していることを確認した。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、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6-5 オペフロBOP閉止装置の門の動作試験結果（加振前）

門位置	電動（動作時間）				手動
	引抜き時		挿入時		
	性能目標	結果	性能目標	結果	
扉開側	約20秒	20秒	約20秒	20秒	—*
扉閉側		20秒		20秒	

注記\*：加振後にのみ手動の動作試験を実施。加振後の動作試験結果は、7.3.3項の表7-6に示す。

表6-6 オペフロBOP閉止装置の扉の動作試験結果（加振前）

扉動作	電動（動作時間）		手動
	性能目標	結果	
開放→閉止	120秒以内	87秒	—*
閉止→開放		87秒	

注記\*：加振後にのみ手動の動作試験を実施。加振後の動作試験結果は、7.3.3項の表7-7に示す。また、手動操作は開放→閉止について実施した。

(b) オペフロBOP閉止装置の気密性能試験結果

柏崎刈羽原子力発電所第7号機で実施した実機大モックアップによるオペフロBOP閉止装置の気密性能試験結果を表6-7に示す。この試験結果を基に、オペフロBOP閉止装置を原子炉建屋原子炉区域に設置した場合には、既設原子炉建屋原子炉区域のインリーク量を考慮しても、原子炉建屋原子炉区域の気密性能は確保できることを確認した。

表6-7 オペフロBOP閉止装置の気密性能試験結果（加振前）

扉 (初期状態)	63Pa*時の通気量 ( $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ )	備考
開	<input type="text"/>	扉を電動にて閉止して試験実施

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

(3) オペフロBOP強制開放装置（自主対策設備）の設計方針

オペフロBOP強制開放装置は、「5. 要求機能及び性能目標」の「5.2 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

a. 設計方針

オペフロ BOP 強制開放装置は、自主対策設備であるため、悪影響を防止する必要がある他の設備に対して悪影響を及ぼさない設計とする。

## 7. 構造強度設計

「5. 要求機能及び性能目標」で設定している、ブローアウトパネル関連設備の構造強度上の性能目標を達成するために、「6. 機能設計」で設定している各設備が有する機能を踏まえて、構造強度設計の設計方針を設定する。

各設備の構造強度の設計方針を設定し、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、各設備の構造強度を保持するよう構造強度設計と評価方針を設定する。

ブローアウトパネル関連設備の耐震計算については、VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき実施し、耐震計算の方法及び結果については、VI-2-9-3-1-1「燃料取替床ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」、VI-2-9-3-1-2「主蒸気系トンネル室ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」及びVI-2-9-5-5「燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書」に示す。

### 7.1 構造強度の設計方針

「5. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するための設計方針をオペフロ BOP、MS トンネル室 BOP、オペフロ BOP 閉止装置及びオペフロ BOP 強制開放装置ごとに示す。

#### (1) オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP

オペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP は、「5. 要求機能及び性能目標」の「5.2 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、基準地震動  $S_s$  が作用した後にも規定の圧力（オペフロ BOP：設計差圧 3.53kPa 以下、MS トンネル室 BOP：設計差圧 2.65kPa 以下）にて自動的に開放できる設計とするため、基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対し、建屋躯体の変形がオペフロ BOP 及び MS トンネル室 BOP の開放機能に影響しない構造強度を有する設計とする。

#### (2) オペフロ BOP 閉止装置

オペフロ BOP 閉止装置は、「5. 要求機能及び性能目標」の「5.2 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、開状態では、基準地震動  $S_s$  による地震後においても、作動性及び閉止後の原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持する設計とするため、基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対し、主要な構造部材がオペフロ BOP 閉止装置の作動性、気密性を保持可能な構造強度を有する設計とする。また、閉状態においても、基準地震動  $S_s$  において原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持する設計とするため、基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対し、主要な構造部材が気密性を保持可能な構造強度を有する設計とする。

#### (3) オペフロ BOP 強制開放装置（自主対策設備）

自主対策設備であるオペフロ BOP 強制開放装置は、「5. 要求機能及び性能目標」の「5.2 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、悪影響を防止する必要がある他の設備に対して悪影響を及ぼさない設計とする。



## 7.2 荷重及び荷重の組合せ

「5. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、考慮すべき荷重条件を設定し荷重の組合せの考え方を示す。

### 7.2.1 荷重の種類

#### (1) 常時作用する荷重

常時作用する荷重は持続的に生じる荷重であり、自重とする。

#### (2) 風荷重

風荷重に対する考慮については、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき実施する。

#### (3) 積雪荷重

積雪荷重に対する考慮については、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき実施する。

#### (4) 圧力荷重

圧力荷重は、原子炉建屋内外差圧を考慮する。

#### (5) 地震荷重

地震荷重は、基準地震動 $S_s$ 又は弾性設計用地震動 $S_d$ に伴う地震荷重による荷重とする。

### 7.2.2 荷重の組合せ

ブローアウトパネル関連設備の耐震計算の荷重の組合せの考え方については、VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す。

### 7.3 機能維持の方針

「5. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、「7.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ、「7.2 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重条件を考慮して、各設備の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

#### 7.3.1 オペフロ BOP

##### (1) 構造設計

オペフロ BOP は、「7.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「7.2 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

オペフロ BOP は、原子炉建屋外壁の開口部に設置し、パネル本体、枠部、止板等で構成する構造とする。

オペフロ BOP の構造計画を表 7-1 に示す。また、オペフロ BOP の設置位置を図 7-1 に示す。

##### (2) 評価方針

オペフロ BOP は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

##### a. 機能維持

基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対し、設置場所における原子炉建屋原子炉区域躯体の層間変形角がパネル本体と枠が接触する層間変形角より小さいことを確認する。具体的には、オペフロ BOP が設置されている原子炉建屋原子炉区域の耐震壁について、基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対し、最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認する。

また、実機大モックアップ試験により、弾性設計用地震動  $S_d$  による地震荷重でオペフロ BOP が開放しないことを確認する。

オペフロ BOP の耐震強度評価の方法及び結果を、VI-2-9-3-1-1「燃料取替床ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」に示す。

##### b. 構造強度

基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対しても開放機能が維持できる構造強度が確保されていることを確認するため、基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対し、原子炉建屋原子炉区域躯体の変形がオペフロ BOP の開放機能に影響しない構造強度を有する設計とする。

オペフロ BOP の耐震強度評価の方法及び結果を、VI-2-9-3-1-1「燃料取替床ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」に示す。

##### c. 波及的影響

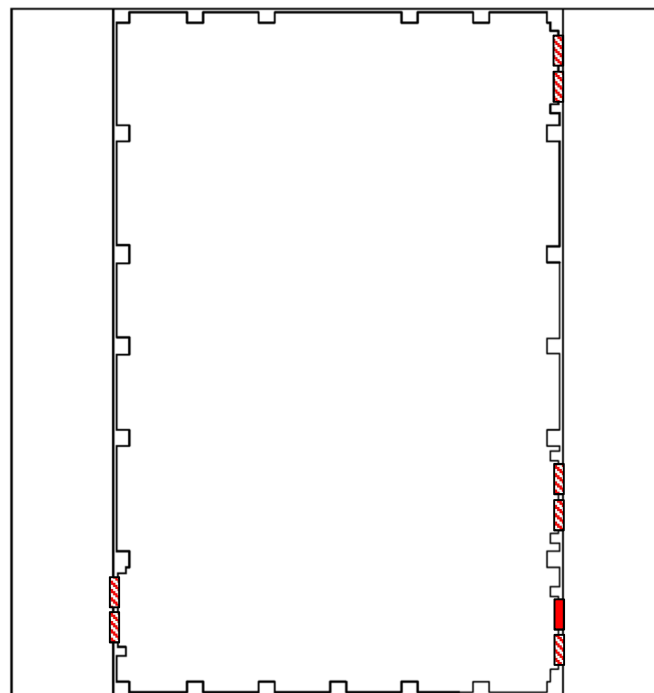
オペフロ BOP は、パネルが開放した場合でも落下して他の設備に悪影響を与えないよう十分な強度を有するチェーンによる波及的影響防止（落下防止対策）が取られていることを確認する。

オペフロ BOP の落下防止に使用するチェーンは、オペフロ BOP 実機大モックアップ試


験において、オペフロ BOP が落下しても破断しないことを確認済みである。

表7-1 オペフロBOPの構造計画

設備分類	計画の概要		説明図
	支持構造	主体構造	
オペフロ BOP	オペフロBOPは、十分な強度を有する構造とし、枠部により原子炉建屋原子炉区域の壁に据え付ける。	オペフロBOPは、パネル本体部、パネルを原子炉建屋外壁内に設置する枠部より構成される設備である。	<p>(左右対称に計 <input type="text"/> 個/パネル)</p> <p>止板形状 概略図</p>
設計差圧	3.53kPa		
主要寸法 (幅×高さ)	2920mm×2730mm		
材 料	SS400		
枚 数	7枚		
作動方式	止板式 ( <input type="text"/> 個/パネル)		
止板仕様	材質 SHY685, くびれ幅9.6mm, 厚さ6.0mm		
取付箇所	原子炉建屋原子炉区域地上4階中間床		



原子炉建屋原子炉区域地上4階中間床 概略平面図

 : (オペフロ BOP 7枚)


 : (オペフロ BOP 閉止箇所 1枚)

図 7-1 オペフロ BOP の設置位置

### 7.3.2 MS トンネル室 BOP

#### (1) 構造設計

MS トンネル室 BOP は、「7.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「7.2 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

MS トンネル室 BOP は、MS トンネル室のタービン建屋境界部に設置し、パネル本体及び枠部、止板等で構成する構造とする。

MS トンネル室 BOP の構造計画を表 7-2 に示す。また、MS トンネル室 BOP の設置位置を図 7-2 に示す。

#### (2) 評価方針

MS トンネル室 BOP は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

##### a. 機能維持

基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対し、設置場所における原子炉建屋原子炉区域躯体の層間変形角がパネル本体と枠が接触する層間変形角より小さいことを確認する。具体的には、MS トンネル室 BOP が設置されている MS トンネル室の耐震壁について、基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対し、最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認する。

また、実機大モックアップ試験により、弾性設計用地震動  $S_d$  による地震荷重で MS トンネル室 BOP が開放しないことを確認する。

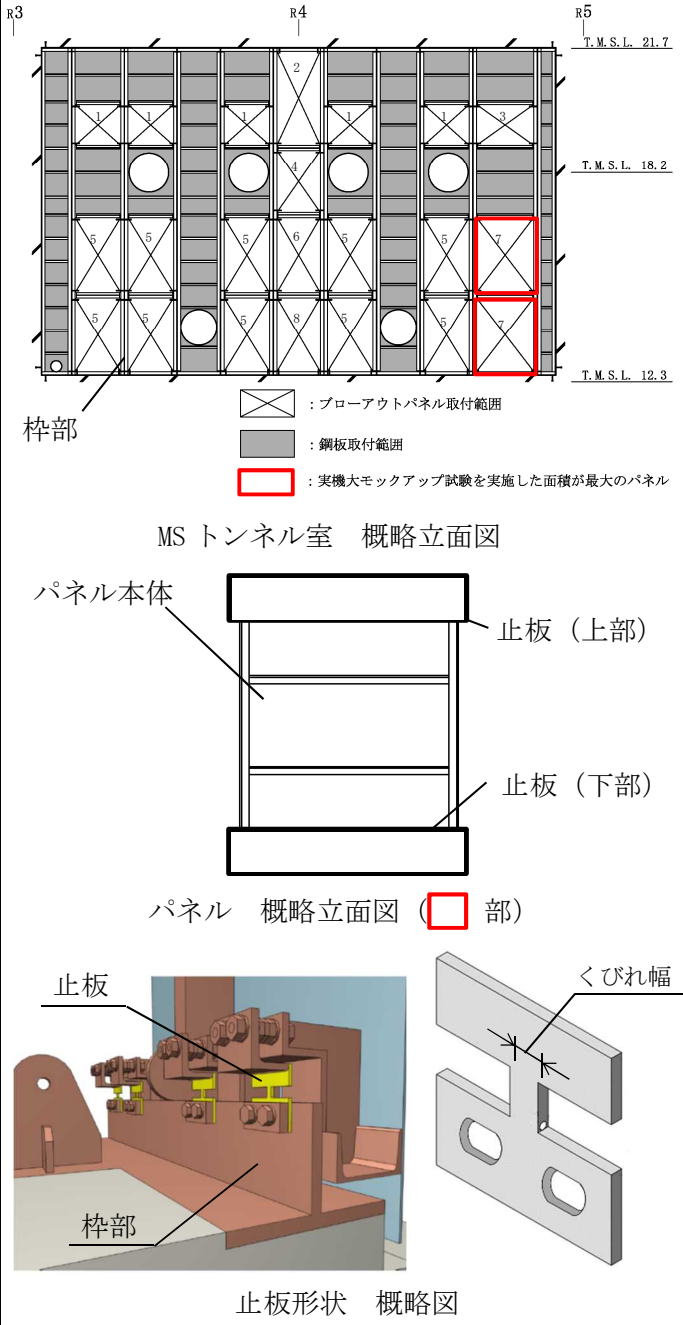
MS トンネル室 BOP の耐震強度評価の方法及び結果を、VI-2-9-3-1-2「主蒸気系トンネル室ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」に示す。







##### b. 構造強度

基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対しても開放機能が維持できる構造強度が確保されていることを確認するため、基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対し、原子炉建屋原子炉区域躯体の変形が MS トンネル室 BOP の開放機能に影響しない構造強度を有する設計とする。

MS トンネル室 BOP の耐震強度評価の方法及び結果を、VI-2-9-3-1-2「主蒸気系トンネル室ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」に示す。

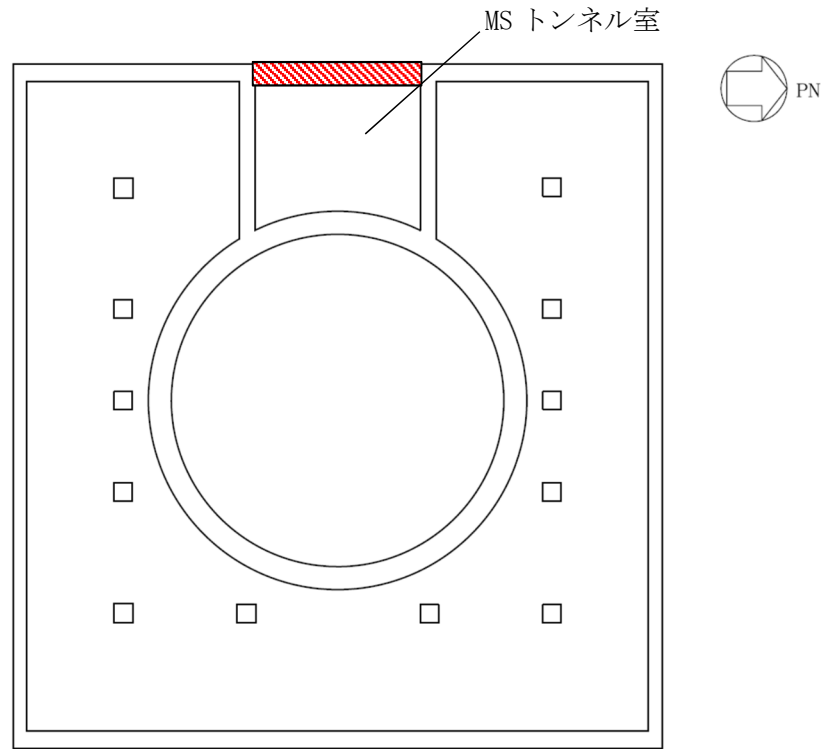
表7-2 MSトンネル室BOPの構造計画

設備分類	計画の概要		説明図
	支持構造	主体構造	
MSトンネル室BOP	MSトンネル室BOPは、十分な強度を有する構造とし、枠部によりMSトンネル室の壁に据え付ける。	MSトンネル室BOPは、パネル本体部、パネルをMSトンネル室壁面内に設置する枠部より構成される設備である。	 <p>The diagram shows a structural plan of the MS Tunnel Room BOP. It features a grid of panels with various components labeled: R3, R4, R5, T.M.S.L. 21.7, T.M.S.L. 18.2, and T.M.S.L. 12.3. A legend indicates:         <ul style="list-style-type: none"> <li>Diagonal hatching: フローアウトパネル取付範囲 (Flow-out panel installation range)</li> <li>Grey shading: 鋼板取付範囲 (Steel plate installation range)</li> <li>Red outline: 実機大モックアップ試験を実施した面積が最大のパネル (Panel with the largest area tested in full-scale mock-up)</li> </ul>         Below the plan are three detail views:         <ul style="list-style-type: none"> <li><b>MS トンネル室 概略立面図</b>: A side view showing the panel body (パネル本体) between upper (止板(上部)) and lower (止板(下部)) stop plates.</li> <li><b>パネル 概略立面図 (□部)</b>: A side view of the panel with a red square indicating the tested area.</li> <li><b>止板形状 概略図</b>: A 3D perspective of the stop plate (止板) showing its shape and the flange width (くびれ幅).</li> </ul> </p>
設計差圧	2.65kPa		

主要寸法* (幅×高さ)	(No. 1) 1420mm×1224mm (No. 2) 1360mm×2732mm (No. 3) 1750mm×1224mm (No. 4) 1360mm×1824mm (No. 5) 1420mm×2182mm (No. 6) 1360mm×2174mm (No. 7) 1750mm×2182mm (No. 8) 1360mm×2182mm
材 料	SS400
枚 数	22枚
作動方式*	止板式 (No. 1, 3, 4)  個/パネル (上部  個, 下部  個) (No. 2, 5, 6, 7, 8)  個/パネル (上部  個, 下部  個)
止板仕様*	材質 SHY685 (No. 1) <びれ幅5.2mm (上部) , 3.9mm (下部) , 厚さ6.0mm (No. 2, 4, 7) <びれ幅8.1mm (上部) , 6.1mm (下部) , 厚さ6.0mm (No. 3, 5, 6, 8) <びれ幅6.5mm (上部) , 4.9mm (下部) , 厚さ6.0mm
取付箇所	原子炉建屋原子炉区域地上1階 (MSトンネル室)

注記\* : No. は MS トンネル室概略立面図のパネルに記載の番号に対応。





原子炉建屋原子炉区域地上1階 概略平面図

: (MS トンネル室 BOP 22 枚)

図 7-2 MS トンネル室 BOP の設置位置

### 7.3.3 オペフロ BOP 閉止装置

#### (1) 構造設計

オペフロ BOP 閉止装置は、「7.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「7.2 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、原子炉建屋原子炉区域に据え付けし、扉はハンガーローラ及び吊具によりハンガーレールに支持される構造とする。

オペフロ BOP 閉止装置の構造計画を表 7-3 に示す。また、設置位置を図 7-3 に示す。なお、閉止後においては、枠板側に設置されているパッキンに扉を機械的に押し付けることによって、気密性を保持する。

#### (2) 評価方針

オペフロ BOP 閉止装置は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

##### a. 機能維持

##### (a) 設計方針

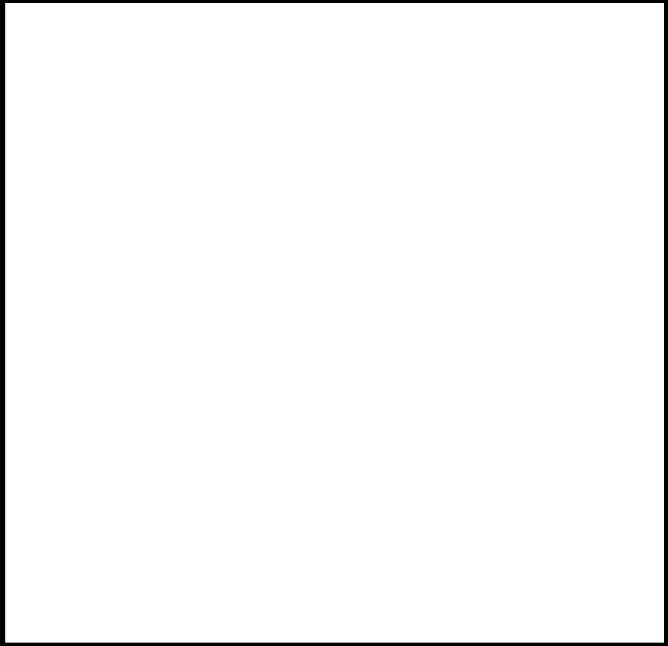



オペフロ BOP 閉止装置は、基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対し、設置場所における最大加速度が、柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機で実施した実機大モックアップを用いた加振試験によりオペフロ BOP 閉止装置の作動性、気密性を保持できることを確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

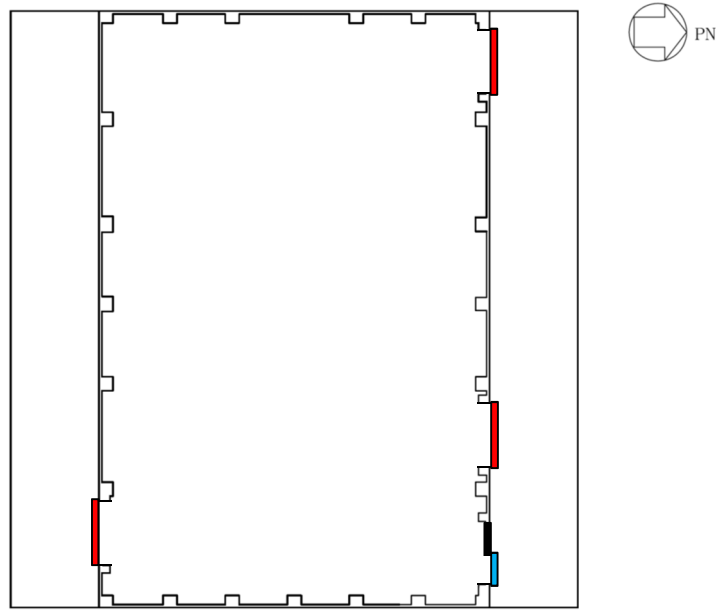
なお、扉閉状態においても、基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対し、設置場所における最大加速度が、柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機で実施した実機大モックアップを

用いた加振試験によりオペフロ BOP 閉止装置の気密性を保持できることを確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

オペフロ BOP 閉止装置の耐震強度評価の方法及び結果を，VI-2-9-5-5「燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書」に示す。

表7-3 オペフロBOP閉止装置の構造計画

設備分類	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
オペフロ BOP閉止 装置	<p>オペフロBOP閉止装置は、扉、門、扉枠（扉を移動させるためのハンガーレールを含む）及び扉を駆動する電動機から構成する。また、閉止後においては、枠板側に設置されているパッキンに扉を機械的に押し付けることによつて、気密性を保持する。</p>	<p>扉枠（ハンガーレール含む）は、原子炉建屋原子炉区域の壁に据え付ける。扉はハンガーローラ、吊具によりハンガーレールに支持される。</p>	
主要寸法	<p>扉（大型） </p> <p>扉（小型） </p>		
材 料	<p>扉 </p>		
個 数	<p>扉（大型） 3台</p> <p>扉（小型） 1台</p>		
作動方式	<p>電動（手動）</p>		
取付箇所	<p>原子炉建屋原子炉区域地上4階中間床</p>		



原子炉建屋原子炉区域地上 4 階中間床 概略平面図

- : (オペフロ BOP 閉止装置 (大型) : 3 台)
- : (オペフロ BOP 閉止装置 (小型) : 1 台)
- : (オペフロ BOP 閉止箇所)

図 7-3 オペフロ BOP 閉止装置の設置位置

(b) 詳細設計

扉開状態（待機状態）では基準地震動  $S_s$  が作用した後においても、作動性及び扉閉止後の原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持可能なことを、柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機で実施した実機大モックアップを用いた、オペフロ BOP 閉止装置の設置位置での基準地震動  $S_s$  による地震応答加速度を包絡した加振波による 3 次元加振試験結果、加振後の電動及び手動による門及び扉の開閉動作試験結果及び扉閉止後の気密性能試験結果により確認した。

また、扉閉止状態でも基準地震動  $S_s$  が作用した後において、原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持可能なこと及び作動性を、柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機で実施した実機大モックアップを用いた、オペフロ BOP 閉止装置の設置位置での基準地震動  $S_s$  による地震応答加速度を包絡した加振波による 3 次元加振試験結果、加振後の気密性能試験結果及び、電動及び手動による門及び扉の開閉動作試験結果により確認した。

イ. オペフロ BOP 閉止装置加振試験の妥当性

柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機で実施した実機大モックアップによる加振試験時の加振加速度の測定位置を図 7-4 に、測定結果を表 7-4 に示す。扉開状態及び閉状態での扉上部及び扉下部の 3 方向 (X, Y, Z) の加振加速度は、設計上必要な加速度を超えており、適切な加振がされていることを確認した。

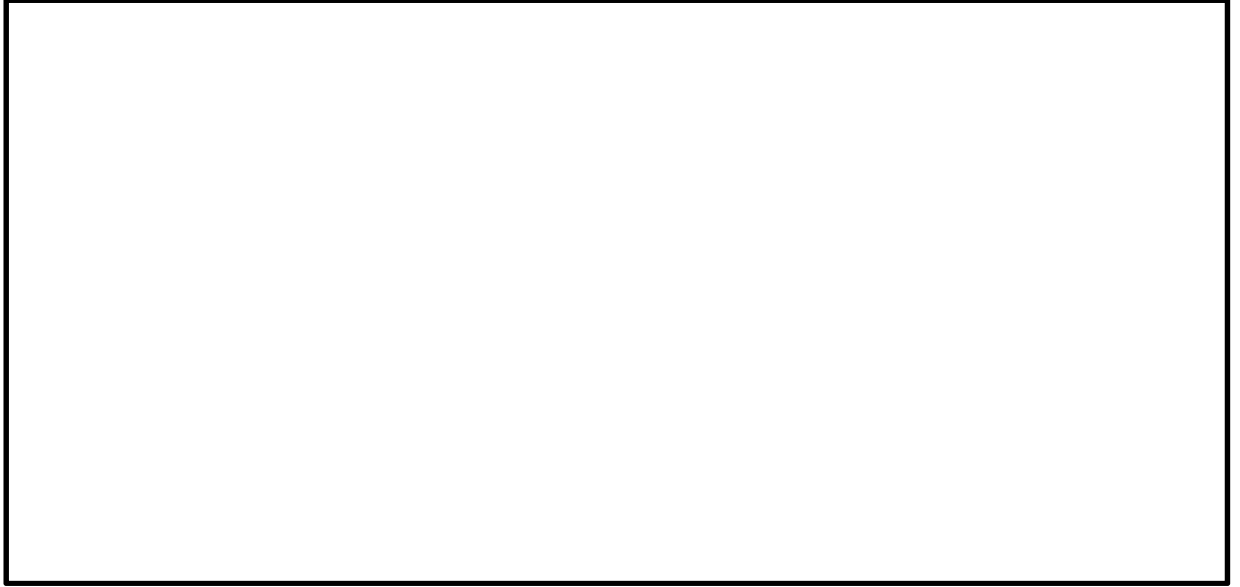


図 7-4 オペフロ BOP 閉止装置加振試験時の加振加速度の測定位置

表 7-4 オペフロ BOP 閉止装置加振試験時の加振加速度の測定結果

扉開状態 扉上部 (A3) の加振加速度

方向	① S s 包絡条件 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )		②計測結果 (A3部) ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )	判定結果 (①<②)
	柏崎刈羽原子力 発電所第7号機	柏崎刈羽原子力 発電所第6号機		
X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	○
Y	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	○
Z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	○

扉開状態 扉下部 (A1) の加振加速度

方向	① S s 包絡条件 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )		②計測結果 (A1部) ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )	判定結果 (①<②)
	柏崎刈羽原子力 発電所第7号機	柏崎刈羽原子力 発電所第6号機		
X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	○
Y	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	○
Z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	○

扉閉状態 扉上部 (A4) の加振加速度

方向	① S s 包絡条件 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )		②計測結果 (A4部) ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )	判定結果 (①<②)
	柏崎刈羽原子力 発電所第7号機	柏崎刈羽原子力 発電所第6号機		
X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	○
Y	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	○
Z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	○

扉閉状態 扉下部 (A2) の加振加速度

方向	① S s 包絡条件 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )		②計測結果 (A2部) ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )	判定結果 (①<②)
	柏崎刈羽原子力 発電所第7号機	柏崎刈羽原子力 発電所第6号機		
X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	○
Y	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	○
Z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	○

ロ. オペフロ BOP 閉止装置加振試験結果（外観目視点検結果）

柏崎刈羽原子力発電所第7号機で実施した実機大モックアップによる加振試験後の点検結果を表7-5に示す。基準地震動S<sub>s</sub>相当による加振でも設備に損傷はなく健全であることを確認した。

表7-5 オペフロBOP閉止装置加振試験時の外観点検結果

試験条件		外観目視点検結果			
加振条件	扉状態	チェーン	扉開閉状態	門	その他
S <sub>s</sub>	開	破損なし	異常なし	異常なし	異常なし
	閉	破損なし	異常なし	異常なし	異常なし

ハ. オペフロ BOP 閉止装置加振試験結果（門及び扉の動作試験結果）

柏崎刈羽原子力発電所第7号機で実施した実機大モックアップによるオペフロBOP閉止装置の加振試験後の門及び扉の動作試験結果を表7-6及び表7-7に示す。また、柏崎刈羽原子力発電所第6号機でのオペフロBOP閉止装置の門動作及び扉動作の評価結果を表7-8及び表7-9に示す。扉開状態及び扉閉状態にて基準地震動 S s 相当の加振力で加振し、扉及び門の動作を確認した結果、動作に問題はなく、動作時間は機能目標を満足していることを確認した。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、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 7-6 オペフロ BOP 閉止装置加振後の門の動作試験結果

加振条件	扉の初期状態	門位置	電動（動作時間）				手動	
			引抜き時		挿入時		引抜き時	挿入時
			性能目標	結果	性能目標	結果		
S s	開	扉開側	約20秒	20秒	約20秒	20秒	異常なし	
		扉閉側		20秒		20秒		
	閉	扉開側		20秒		20秒	—	
		扉閉側		20秒		20秒		

表7-7 オペフロBOP閉止装置加振後の扉の動作試験結果

加振条件	扉の初期状態	電動（動作時間）				手動
		開放→閉止		閉止→開放		
		性能目標	結果	性能目標	結果	
S s	開	120秒以内	87秒	120秒以内	87秒	異常なし*
	閉		87秒		87秒	

注記\*：手動操作は開放→閉止について実施した。



表7-8 柏崎刈羽原子力発電所第6号機でのオペフロBOP閉止装置の門動作の試験結果

電動（動作時間）			
引抜き時		挿入時	
大型/小型	大型/小型	大型/小型	大型/小型
性能目標	試験結果	性能目標	試験結果
約20秒	24秒	約20秒	24秒

表7-9 柏崎刈羽原子力発電所第6号機でのオペフロBOP閉止装置の扉動作の試験結果

対象	扉作動距離	電動（動作時間）	
		性能目標	試験結果
加振試験体	4,800mm	120 秒以内	87 秒
実機（大型）	6,820mm	145 秒以内	113 秒
実機（小型）	3,600mm	107 秒以内	78 秒

ニ. オペフロBOP閉止装置加振試験結果（気密性能試験結果）

柏崎刈羽原子力発電所第7号機で実施した実機大モックアップによるオペフロBOP閉止装置の加振試験後の気密性能試験結果を表7-10に示す。また、柏崎刈羽原子力発電所第6号機でのオペフロBOP閉止装置の通気量の評価値を表7-11に示す。

表7-10 オペフロBOP閉止装置加振試験時の気密性能試験結果

扉 (初期状態)	63Pa*時の 通気量 (m <sup>3</sup> /h・m <sup>2</sup> )	備考
開	□	扉を電動にて閉止して試験実施

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

表7-11 柏崎刈羽原子力発電所第6号機でのオペフロBOP閉止装置の通気量の評価値

63Pa*時の通気量 (m <sup>3</sup> /h・m <sup>2</sup> )	
大型	小型
□	□

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

<原子炉建屋原子炉区域としての負圧達成について>

柏崎刈羽原子力発電所第7号機で実施した実機大モックアップによるオペフロBOP閉止装置単体での気密性能試験結果から、柏崎刈羽原子力発電所第6号機でのオペフロBOP閉止装置を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区域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（2000m<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区域の推定インリーク量：約1260m<sup>3</sup>/h（63Pa時の漏えい量）
- ・オペフロBOP閉止装置の合計台数：4台（大型3台，小型1台）
- ・オペフロBOP閉止装置4台設置時の推定インリーク量：

$$\square \times 3 \text{台} + \square \times 1 \text{台} = \square$$

(63Pa時の漏えい量)

- ・非常用ガス処理系定格容量：2000m<sup>3</sup>/h（63Pa時の通気量）
- ・オペフロBOP閉止装置設置を含めた原子炉建屋原子炉区域の推定漏えい量：  
1260m<sup>3</sup>/h + □ = □ (63Pa時の漏えい量) < 2000m<sup>3</sup>/h (63Pa時の通気量)（非常用ガス処理系定格容量）

ホ. オペフロ BOP 閉止装置機能確認済加速度

オペフロ BOP 閉止装置の機能確認済加速度を表 7-12 に示す。オペフロ BOP 閉止装置の扉は、オペフロ BOP 閉止装置上部のハンガーレールから吊り下げる方式であり、開閉するための電動機等の駆動系もオペフロ BOP 閉止装置の上部に設置されていることから、機能確認済加速度は、オペフロ BOP 閉止装置上端の最大応答加速度となる。

表7-12 オペフロBOP閉止装置の機能確認済加速度

方向	機能確認済加速度 (×9.8m/s <sup>2</sup> )
X (面外方向)	□
Y (面内方向)	□
Z (鉛直方向)	□

b. オペフロ BOP 閉止装置構造強度

基準地震動  $S_s$  による地震後においても、作動性及び原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持し、閉止後についても、基準地震動  $S_s$  において原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を保持可能な構造強度を有することを確認するため、構造強度評価を実施する。また、「a. 機能維持」で記載した柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機で実施した実機大モックアップによる 3 次元加振台を用いた加振試験により、設備に損傷等はなく機能を維持するための構造強度が確保できることを確認する。

オペフロ BOP 閉止装置の耐震強度評価の方法及び結果を、VI-2-9-5-5「燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書」に示す。

c. 波及的影響

オペフロ BOP 閉止装置は、基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対し、設置場所における最大加速度が、加振試験により主要部材が健全であることを確認した加振台の加速度以下であることにより確認する。

オペフロ BOP 閉止装置の耐震強度評価の方法及び結果を、VI-2-9-5-5「燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書」に示す。

#### 7.3.4 オペフロ BOP 強制開放装置（自主対策設備）

##### (1) 構造設計

オペフロ BOP 強制開放装置は、「7.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「7.2 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、原子炉建屋地上 4 階中間床に据え付けし、床から支持される構造とし、オペフロ BOP 強制開放装置が待機状態において、オペフロ BOP とは干渉しない設計とする。

オペフロ BOP 強制開放装置の構造計画を表 7-13 に示す。また、オペフロ BOP 強制開放装置の設置位置を図 7-5 に示す。

##### (2) 評価方針

オペフロ BOP 強制開放装置は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

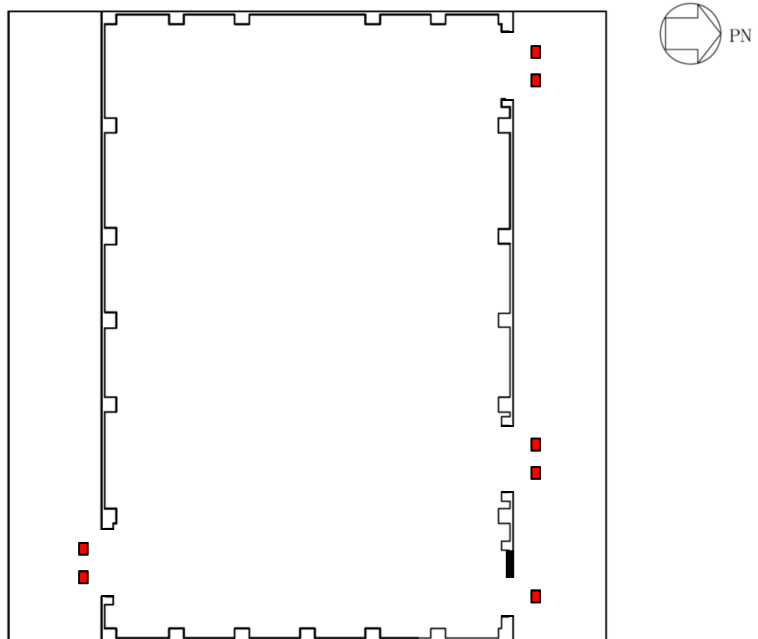
##### a. 構造強度及び波及的影響

自主対策設備であるオペフロ BOP 強制開放装置は、悪影響を防止する必要がある他の設備に対して悪影響を及ぼさない設計とする。

表7-13 オペフロBOP強制開放装置の構造計画

設備分類	計画の概要		説明図（代表箇所）
	主体構造	支持構造	
オペフロ BOP強制開 放装置	オペフロBOP 強制開放装 置は、電動 ウインチ及 びワイヤロ ープから構 成される。	オペフロBOP 強制開放装置 は、原子炉建 屋地上4階中 間床に据え付 ける。	<p>側面図</p> <p>正面図</p>
材 料	ウインチ（ドラムホイール） <input type="text"/> ワイヤロープ <input type="text"/>		
個 数	ウインチ 7台		
取付箇所	ウインチ部 原子炉建屋地上4階中間床		

K6 ① VI-1-1-7-別添4 R0



原子炉建屋地上 4 階中間床 概略平面図

■ : (オペフロ BOP 強制開放装置 7 台)

— : (オペフロ BOP 閉止箇所)

図 7-5 オペフロ BOP 強制開放装置の設置位置