

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-01-0014_改0
提出年月日	2021年2月18日

VI-1-1-6-別添4 ブローアウトパネル関連設備の設計方針

目次

1. 概要	別添 4-1
2. 設備分類	別添 4-1
3. ブローアウトパネル関連設備の要求機能	別添 4-1
4. 設計の基本方針	別添 4-2
5. 要求機能及び性能目標	別添 4-6
5.1 要求機能	別添 4-6
5.2 性能目標	別添 4-6
6. 機能設計	別添 4-7
7. 構造強度設計	別添 4-12
7.1 構造強度の設計方針	別添 4-13
7.2 荷重及び荷重の組合せ	別添 4-13
7.2.1 荷重の種類	別添 4-13
7.2.2 荷重の組合せ	別添 4-14
7.3 機能維持の方針	別添 4-14
7.3.1 原子炉建屋 BOP	別添 4-14
7.3.2 BOP 閉止装置	別添 4-18

1. 概要

添付書類「VI-1-1-6 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」（以下「VI-1-1-6」という。）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-1-1-6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、原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という。）及び原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）に分類する。

(1) 原子炉建屋 BOP

原子炉建屋 BOP は、原子炉建屋原子炉棟外壁（地上 3 階部分）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、差圧により変形する止め板及び地震による止め板の変形を防止するテンションリングにより構成される設備である。

(2) BOP 閉止装置

BOP 閉止装置は、扉、扉枠、扉を駆動する電動機、扉を開状態又は閉状態で固定する門等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、原子炉建屋 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、原子炉建屋 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、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。

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（BOP 閉止装置）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) 原子炉建屋 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原子炉建屋 BOP は、主蒸気管破断及びインターフェイスシステム LOCA を想定した場合に、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（設計差圧 4.4kPa 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、原子炉建屋 BOP は、原子炉建屋原子炉棟の壁の一部となることから、二次格納施設の

バウンダリとしての機能維持が必要であり、このため、原子炉建屋 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 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) BOP 閉止装置の要求事項

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

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

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

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

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) 原子炉建屋 BOP

原子炉建屋 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、原子炉建屋原子炉棟の圧力が上昇した場合において、外気との差圧（設計差圧 4.4kPa 以下）により自動的に開放し、原子炉建屋原子炉棟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 により損なわれない設計とする。

原子炉建屋 BOP は、原子炉建屋原子炉棟の壁の一部となることから、二次格納施設のバウンダリとしての機能維持が必要であるため、弾性設計用地震動 S d で開放しない設計とする。

また、原子炉建屋 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、原子炉建屋 BOP は、基準地震動 S_s にて開放機能を喪失しない設計とする。また、二次格納施設である原子炉建屋原子炉棟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 では開放しない設計とする。

原子炉建屋 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、原子炉建屋 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、原子炉建屋 BOP は、風（台風）及び竜巻による風荷重を考慮して設置し、設計飛来物により原子炉建屋 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、原子炉建屋 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、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、原子炉建屋 BOP は、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、原子炉建屋原子炉棟としては積雪及び降下火砕物を考慮した設計としている。

(e) その他自然現象及び人為事象

自然現象のうち凍結、降水、落雷、生物学的事象、森林火災及び高潮並びに人為事象のうち爆発、近隣工場等の火災（石油コンビナート施設等の火災、発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災、航空機墜落による火災、発電所敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災と航空機墜落による火災の重畳火災、二次的影響（ばい煙等）、有毒ガス、船舶の衝突、電磁的障害及び航空機の衝突（以下「その他自然現象及び人為事象」という。）に関して、原子炉建屋 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、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設²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-1-1-2-1-1 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、原子炉建屋 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、原子炉建屋 BOP 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。

d. その他

原子炉建屋 BOP は、パネルが開放した場合でも落下して他の設備に影響を与えない位置に設置されていることから波及的影響は考慮しない。

なお、開放時の落下を防止するため、落下防止チェーンを設置する。

(2) BOP 閉止装置

BOP 閉止装置は、重大事故等時、原子炉建屋 BOP 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棟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棟の壁の一部となり、建屋気密の維持機能を維持する必要があるため、基準地震動 S s で気密性を保持できる設計とする。

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、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、BOP 閉止装置は、基準地震動 S s 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、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。

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、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 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、BOP 閉止装置は、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、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設計については、添付書類「VI-

1-1-2 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-1-1-2-1-1 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、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、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。

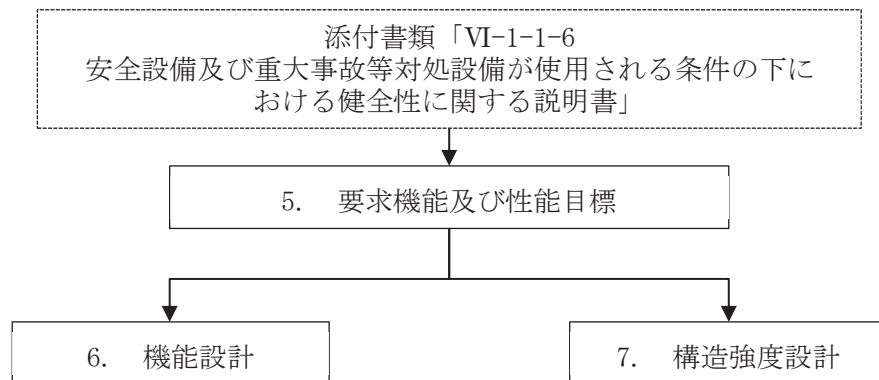
火災に対する BOP 閉止装置の設計については、添付書類「VI-1-1-7 発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書」に基づき実施する。

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、添付書類「VI-1-1-2 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-1-1-2-1-1 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」及び添付書類「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、添付書類「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、添付書類「VI-2-9-3-1-1 原子炉建屋ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」及び添付書類「VI-2-9-4-4-1-5 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書」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 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原子炉建屋 BOP 及び 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。

原子炉建屋 BOP は、建屋の内外差圧（設計差圧 4.4kPa 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 により損なわれないことが要求される。また、原子炉建屋 BOP は、原子炉建屋原子炉棟の壁の一部となることから、弾性設計用地震動 S_d で開放しない機能が要求される。

BOP 閉止装置は、原子炉建屋 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、原子炉建屋原子炉棟の壁の一部となることから、建屋気密の維持機能として原子炉建屋原子炉棟を負圧に維持できる気密性を保持できることが要求される。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、BOP 閉止装置は扉閉止後、原子炉建屋原子炉棟の壁の一部となることから、扉閉止状態においても、基準地震動 S_s に対して、原子炉建屋原子炉棟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、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) 原子炉建屋 BOP

原子炉建屋 BOP は、設計基準事故時及び重大事故時（インターフェイスシステム LOCA 時）において、原子炉建屋の内外差圧（設計差圧 4.4kPa 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 により損なわれないことが要求される。また、原子炉建屋 BOP は、設計基準事故時及び重大事故時において、原子炉建屋原子炉棟の壁の一部となることから、弾性設計用地震動 S_d で開放しないことも機能設計上の性能目標とする。

原子炉建屋 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

原子炉建屋 BOP は、基準地震動 S_s が作用した後も規定の圧力（設計差圧 4.4kPa 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 では開放しないこと。

b. 構造強度

原子炉建屋 BOP は、基準地震動 S_s による地震力に対し、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

原子炉建屋 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) BOP 閉止装置

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、原子炉建屋原子炉棟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 により損なわれないことが要求される。また、閉止後においても、基準地震動 S_s による地震力に対し、原子炉建屋原子炉棟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。

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。

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

BOP 閉止装置は、重大事故等に対し、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棟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棟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

BOP 閉止装置は、基準地震動 S_s が作用した後においても、主要な構造部材が閉止装置の作動性、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棟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。

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) 原子炉建屋 BOP の設計方針

a. 設計方針

原子炉建屋 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。

原子炉建屋 BOP は、設計基準事故時及び重大事故時(インターフェイスシステム LOCA 時)において、原子炉建屋の内外差圧(設計差圧 4.4kPa 以下)により自動的に開放できるように設計する。

また、原子炉建屋 BOP は、原子炉建屋原子炉棟の壁の一部となることから、弾性設計用地震動 S_d で開放しないように設計する。

原子炉建屋 BOP の基準地震動 S_s による地震力に対する機能保持の設計方針は「7.1(1) 原子炉建屋 BOP」に示す。

b. 原子炉建屋 BOP 詳細設計

原子炉建屋 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止め板の抗力、③テンションリングの抗力、④パネル移動時の摩擦力)が、⑤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、二次格納施設としての原子炉建屋原子炉棟のバウンダリ機能確保の観点から、①弾性設計用地震動 S d で開放しないように設計する。

原子炉建屋 BOP は、テンションリングに張力を導入することにより常時パネルを内側に引張っておき、地震時には設定した地震力まではパネルの離れを生じさせず、設定を超える地震力が生じた場合も面外の抑えが大きくなることにより止め板の変形を生じにくくさせている。また、設計差圧がかかった場合は、その直前にテンションリングの切欠き部が破断することによりブローアウトパネル本来の機能を阻害しない設計とする。

$$\boxed{\text{①弾性設計用地震動 S d による開放荷重}} < \boxed{\text{抵抗力 (②止め板の抵抗力, ③テンションリングの抵抗力, ④パネル移動時の摩擦力)}} < \boxed{\text{⑤設計差圧 4.4kPa による開放荷重}}$$

このため、止め板試験にて実際に用いる止め板の抵抗力を確認し、設計時に確認したテンションリングによる抵抗力、摩擦係数から算出した摩擦による抵抗力を評価し、上記条件を十分に満足する止め板数として、止め板数を 48 個に設定する。

設計を基に 3 次元 FEM 解析を実施した結果、実機の開放圧力は kN であり、設計差圧 4.4kPa 時の開放荷重約 92.1kN に対し、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 d による地震荷重 (約 51.9kN) では開放しないことを確認した。なお、テンションリング破断時荷重は kN であり、弾性設計用地震動 S d による地震荷重で開放しないことを確認している。

止め板試験と 3 次元 FEM 解析の概要を以下に示す。

(a) 止め板試験

原子炉建屋 BOP が、設計差圧(4.4kPa 以下)により自動的に開放できる設計に対して、原子炉建屋 BOP を躯体に固定している止め板の耐力を確認し、止め板数を確定させるため、予備品として保管している止め板単体の曲げ試験を実施する。

試験体は、ばらつきを考慮し 15 個とし、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。

止め板の耐力は、平均 N/個であり、標準偏差は N であった。

この試験結果と、テンションリングによる耐力、摩擦による抵抗力も考慮し、止め板数を 48 個に設定した。

表 6-1 止め板試験結果の概要

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

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(b) 3次元 FEM 解析

原子炉建屋 BOP が、設計差圧(4.4kPa 以下)により自動的に開放することを、3次元 FEM モデルを用いた静的漸増解析により確認する。解析モデルを図 6-1 に示す。躯体は境界条件で模擬し、パネル、外枠、リブ及び治具は弾性体で、止め板はばね要素で、テンションリングの切欠き部は弾塑性体でモデル化した。自重及びテンションリングへの張力を導入した後、内圧荷重を 0kPa から 4.4kPa まで漸増させることで、開放にいたるまでの挙動を評価した。



図 6-1 (1/2) 解析モデル図(室内側全体図, レンダー表示)



図 6-1 (2/2) 解析モデル図(室内側立面図)

[赤丸：止め板を模擬したばね要素，単位:mm]

3次元 FEM 解析結果を表 6-2 に示す。3次元 FEM 解析にて確認した開放荷重は、 kN kPa 相当) であり、設計方針とした規定の圧力以下 (4.4kPa 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 時にパネル部に作用する慣性力は約 51.9kN であり開放荷重未満であるため、弾性設計用地震動 S d 時ではパネルは開放しないことを確認した。なお、テンションリング破断時荷重は kN であり、弾性設計用地震動 S d 時ではパネルは開放しないことを確認している。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6-2 原子炉建屋 BOP 3次元 FEM 解析結果

項目	解析値 (kN)	許容値 (kN) (設計差圧 4.4kPa 相当値)	判定値 (kN) (S d 荷重相当値)	判定	備考 解析値に相当する 差圧値 (kPa)
開放時	<input type="checkbox"/>	92.1	51.9	○	<input type="checkbox"/>
テンションリング 破断時	<input type="checkbox"/>	—	51.9	○	<input type="checkbox"/>

(2) BOP 閉止装置の設計方針

a. 設計方針

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。

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、原子炉建屋原子炉棟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。

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

b. 詳細設計

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。

- BOP 閉止装置は、中央制御室から電動にて開閉（門含む。）できる設計とする。この際、扉本体は丁番を軸として、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から給電可能な設計とする。
- 扉の開閉状態（門含む。）は中央制御室にて把握できる設計とする。

BOP 閉止装置は、扉閉止後において、原子炉建屋原子炉棟内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枠板側に押し付けられる設計とする。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、作動性及び原子炉建屋原子炉棟内を負圧に維持できる気密性を保持し、扉閉状態（閉止状態）においても、基準地震動 S_s において原子炉建屋原子炉棟内を負圧に維持できる気密性を保持する設計とする。

また、BOP 閉止装置は、現場にて人力により操作できるように、BOP 閉止装置の門に設置される駆動機構にレンチを設置可能な設計とし、扉を人力により開閉することで、手動操作

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

できる設計とする。具体的には門の場合、門に接続されている駆動機構にレンチを装着し、レンチ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、挿入はレンチ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、扉の電動機とチェーンの間にトルクリミッターを設置する構成とすることで、人力により扉が開閉できる設計とする。

これら詳細設計の成立性を確認するため、実機大モックアップを製作し機能確認を実施した。

(a) BOP 閉止装置の門及び扉の動作試験結果

門及び扉の動作試験結果を表 6-3 及び表 6-4 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。また、門及び扉の電動機は、温度耐性の向上を目的として、実機では電動機の仕様を変更している。仕様変更後の扉及び門についても、動作確認をした結果、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。仕様変更後の門及び扉の動作試験結果を表 6-5 及び表 6-6 に示す。

なお、扉の動作時間は、操作盤の自動開閉スイッチを押してから、門が引抜かれ、扉が開閉動作を行い、門が挿入され、操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間とする。

表 6-3 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	□秒以内	□秒	約□秒	□秒	—*
扉閉側		□秒		□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、7.3.2 項の表 7-5 に示す。

表 6-4 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	□秒以内	□秒	—*
閉止→開放		□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、7.3.2 項の表 7-6 に示す。また、手動操作は開放→閉止について実施した。

表 6-5 BOP 閉止装置の門の動作試験結果（電動機仕様変更後）

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	□秒以内	□秒	約□秒	□秒	—*
扉閉側					

注記*：電動機の単品加振後にのみ手動の動作試験を実施。単品加振後の動作試験結果は、7.3.2項の表 7-7 に示す。

表 6-6 BOP 閉止装置の扉の動作試験結果（電動機仕様変更後）

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

注記*：電動機の単品加振後にのみ手動の動作試験を実施。単品加振後の動作試験結果は、7.3.2項の表 7-8 に示す。また、手動操作は開放→閉止について実施した。

(b) BOP 閉止装置の気密性能試験結果

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、BOP 閉止装置を原子炉建屋原子炉棟に設置した場合には、既設原子炉建屋原子炉棟のインリーク量を考慮しても、原子炉建屋原子炉棟の気密性能は確保できることを確認した。

表 6-7 BOP 閉止装置の気密性能試験結果（加振前）

（単位：m³/(h・m²)

扉 (初期状態)	63Pa 時の通気量	備考
開	□	扉を電動にて閉止して試験実施

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、添付書類「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、添付書類「VI-2-9-3-1-1 原子炉建屋ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」及び添付書類「VI-2-9-4-4-1-5 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原子炉建屋 BOP 及び BOP 閉止装置ごとに示す。

(1) 原子炉建屋 BOP

原子炉建屋 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（設計差圧 4.4kPa 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 による地震力に対し、建屋躯体の変形が原子炉建屋 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) BOP 閉止装置

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棟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 による地震力に対し、主要な構造部材が閉止装置の作動性、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棟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 による地震力に対し、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。

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、添付書類「VI-1-1-2 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-1-1-2-1-1 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、添付書類「VI-1-1-2 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-1-1-2-1-1 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 に伴う地震力による荷重とする。

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、添付書類「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 原子炉建屋 BOP

(1) 構造設計

原子炉建屋 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。

原子炉建屋 BOP は、原子炉建屋外壁の開口部に設置し、パネル本体、枠、止め板、テンションリング等で構成する構造とする。

原子炉建屋 BOP の構造計画を表 7-1 に示す。また、テンションリングの詳細図を図 7-1、原子炉建屋 BOP の設置位置を図 7-2 に示す。

(2) 評価方針

原子炉建屋 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 による地震力に対し、設置場所における原子炉建屋原子炉棟躯体の層間変形角が止め板とアングル材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、原子炉建屋 BOP が設置されている原子炉建屋原子炉棟の耐震壁について、基準地震動 S_s による地震力に対し、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 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。

また、3次元 FEM により、弾性設計用地震動 S_d による地震力に相当する荷重で原子炉建屋 BOP が開放しないことを確認する。

原子炉建屋 BOP の耐震強度評価の方法及び結果を、添付書類「VI-2-9-3-1-1 原子炉建屋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 による地震力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 による地震力に対し、原子炉建屋躯体の変形が原子炉建屋 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。

原子炉建屋 BOP の耐震強度評価の方法及び結果を、添付書類「VI-2-9-3-1-1 原子炉建屋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

原子炉建屋 BOP は、パネルが開放した場合でも落下して他の設備に影響を与えない位置に設置されていることから波及的影響は考慮しない。

表 7-1 原子炉建屋 BOP 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	
原子炉建屋 BOP	原子炉建屋 BOP は、パネル本体部、パネルを建屋外壁内に設置する枠部より構成される設備である。	原子炉建屋 BOP は、十分な強度を有する構造とし、取付枠により原子炉建屋原子炉棟の壁に据え付ける。	
設計差圧	4.4kPa		
主要寸法	4100×5100mm		
材 料	SS400		
止め板個数 作動方式	止め板式 (48 個/パネル)		
止め板仕様	材質 SS400, 幅 100 mm, 高さ 103mm, 厚さ 6 mm, 切欠幅 18.2mm		
テンション リング仕様	材質 SR235, 太さ 22 φ, 切欠部 9.5 φ, 切り欠き幅 3mm		
取付箇所	原子炉建屋原子炉棟地上 3 階		

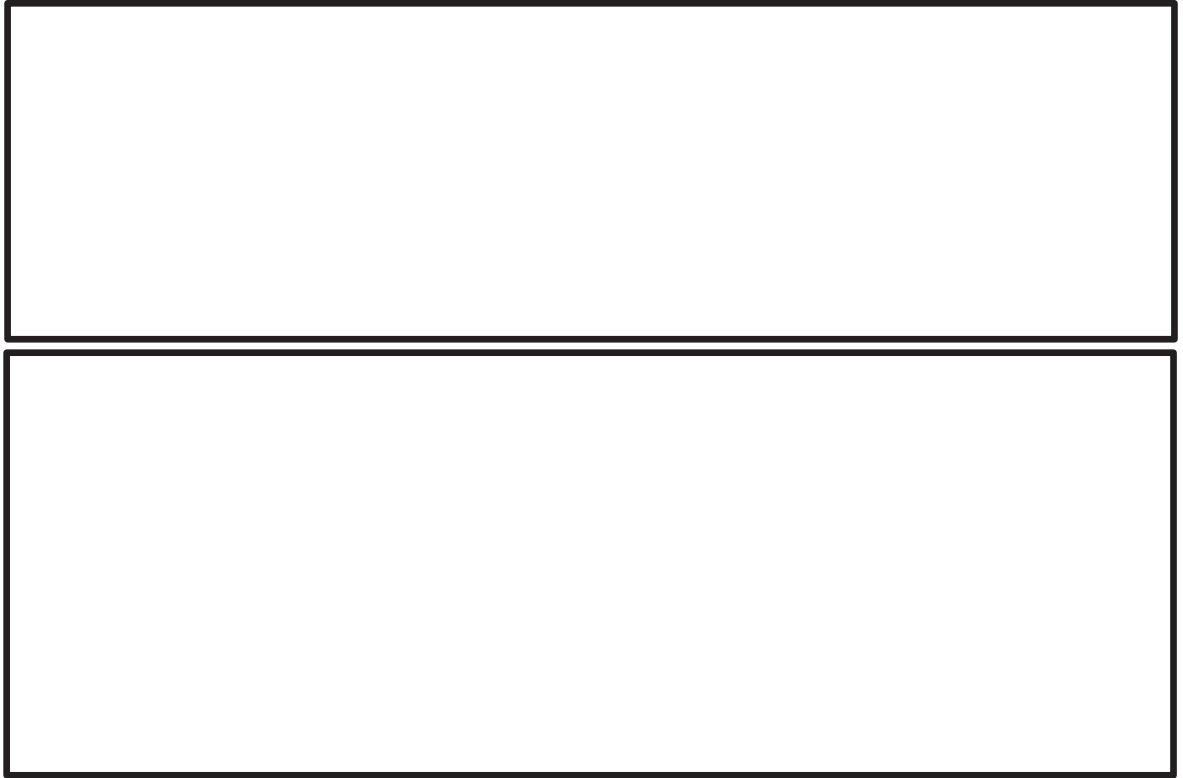
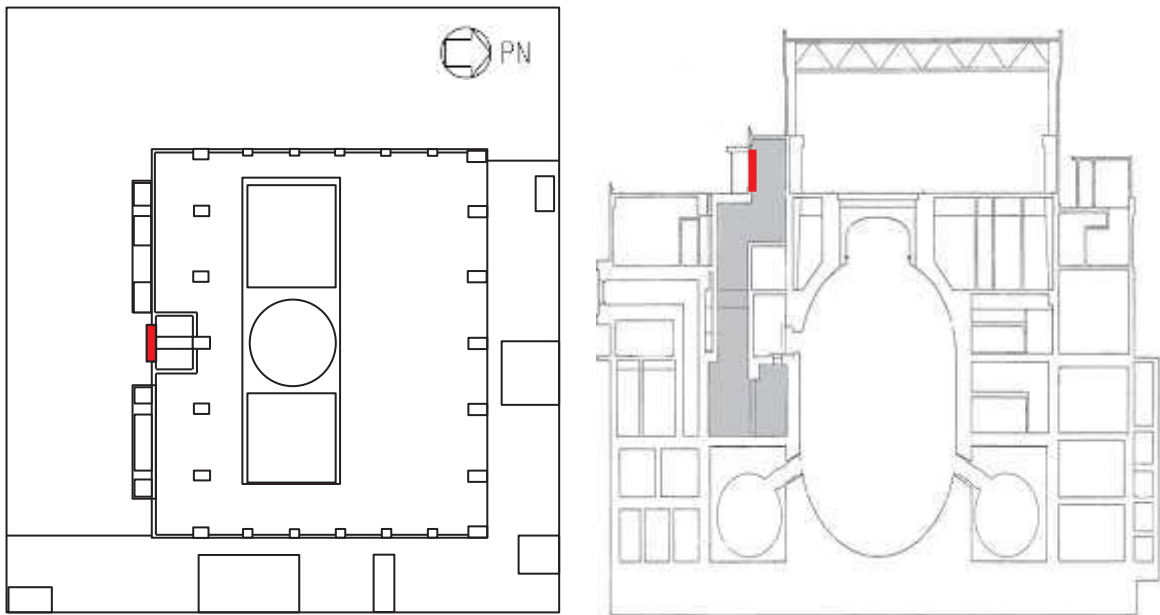


図 7-1 テンションリング詳細図



原子炉建屋原子炉棟地上3階概略平面図

原子炉建屋原子炉棟断面図

(— : ブローアウトパネル(1枚))

図 7-2 原子炉建屋 BOP の設置位置

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7.3.2 BOP 閉止装置

(1) 構造設計

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、原子炉建屋原子炉棟に据え付けし、扉は門及び丁番により枠板に支持される構造とする。

BOP 閉止装置の構造計画を表 7-2 に示す。また、設置位置を図 7-3 に示す。

(2) 評価方針

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

BOP 閉止装置は、扉開状態（待機状態）では基準地震動 S_s による地震力に対し、設置場所における最大加速度が、加振試験により 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。

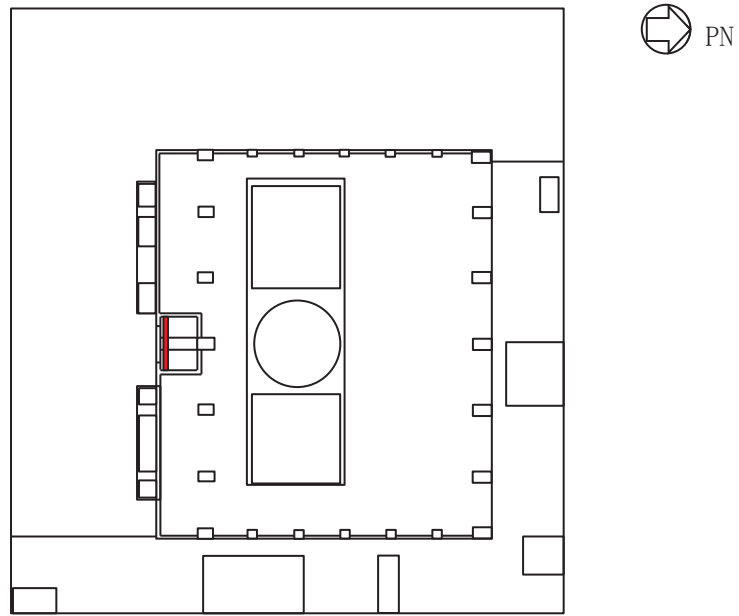
なお、扉閉状態（閉止状態）においても、基準地震動 S_s による地震力に対し、設置場所における最大加速度が、加振試験により BOP 閉止装置の気密性を保持できることを確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

BOP 閉止装置の耐震強度評価の方法及び結果を、添付書類「VI-2-9-4-4-1-5 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書」に示す。

表 7-2 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	
BOP 閉止装置	BOP 閉止装置は、扉、門、丁番、枠板及び扉を駆動する駆動部から構成される。	枠板は、装置取付架台に据え付ける。扉は門及び丁番により枠板に支持される。	
主要寸法	扉 <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>		
材 料	扉 <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>		
個 数	1 式 (24 台)		
作動方式	電動 (手動)		
取付箇所	原子炉建屋原子炉棟地上 3 階		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



原子炉建屋原子炉棟地上3階 概略平面図

— : BOP 閉止装置 1 式 (24 台)

図 7-3 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棟内を負圧に維持できる気密性を保持可能なことを確認するため、実機大モックアップを用いて、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 次元加振試験を実施し、加振後の電動及び手動による門及び扉の開閉動作試験、扉閉止後の気密性能試験を実施した。

また、扉閉状態（閉止状態）でも基準地震動 S_s が作用した後において、原子炉建屋原子炉棟内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確認するため、実機大モックアップを用いて、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 次元加振試験を実施し、加振後の気密性能試験、電動及び手動による門及び扉の開閉動作試験を実施した。

イ. BOP 閉止装置加振試験の妥当性

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 7-3 に示す。扉開状態及び扉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 BOP 閉止装置加振試験時の加振加速度の測定位置

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 7-3 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

(単位 : $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

方向	① S s 包絡条件	② 計測結果 (A3 部)	判定結果 (① < ②)
X	2.71	<input type="text"/>	○
Y		<input type="text"/>	○
Z	1.56	<input type="text"/>	○

扉開状態 扉上部 (A4) の加振加速度

(単位 : $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

方向	① S s 包絡条件	② 計測結果 (A4 部)	判定結果 (① < ②)
X	2.71	<input type="text"/>	○
Y		<input type="text"/>	○
Z	1.56	<input type="text"/>	○

扉開状態 扉下部 (A1) の加振加速度

(単位 : $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

方向	① S s 包絡条件	② 計測結果 (A1 部)	判定結果 (① < ②)
X	2.55	<input type="text"/>	○
Y		<input type="text"/>	○
Z	1.53	<input type="text"/>	○

扉開状態 扉下部 (A2) の加振加速度

(単位 : $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

方向	① S s 包絡条件	② 計測結果 (A2 部)	判定結果 (① < ②)
X	2.55	<input type="text"/>	○
Y		<input type="text"/>	○
Z	1.53	<input type="text"/>	○

扉閉状態 扉上部(A3)の加振加速度

(単位：×9.8 m/s²)

方向	① S s 包絡条件	② 計測結果 (A3 部)	判定結果 (①<②)
X	2.71	<input type="text"/>	○
Y		<input type="text"/>	○
Z	1.56	<input type="text"/>	○

扉閉状態 扉上部(A4)の加振加速度

(単位：×9.8 m/s²)

方向	① S s 包絡条件	② 計測結果 (A4 部)	判定結果 (①<②)
X	2.71	<input type="text"/>	○
Y		<input type="text"/>	○
Z	1.56	<input type="text"/>	○

扉閉状態 扉下部(A1)の加振加速度

(単位：×9.8 m/s²)

方向	① S s 包絡条件	② 計測結果 (A1 部)	判定結果 (①<②)
X	2.55	<input type="text"/>	○
Y		<input type="text"/>	○
Z	1.53	<input type="text"/>	○

扉閉状態 扉下部(A2)の加振加速度

(単位：×9.8 m/s²)

方向	① S s 包絡条件	② 計測結果 (A2 部)	判定結果 (①<②)
X	2.55	<input type="text"/>	○
Y		<input type="text"/>	○
Z	1.53	<input type="text"/>	○

ロ. BOP 閉止装置加振試験結果 (外観目視点検結果)

実施した加振試験後の点検結果を表 7-4 に示す。基準地震動 S s 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 7-4 BOP 閉止装置加振試験時の外観目視点検結果

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 s	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. BOP 閉止装置加振試験結果（門及び扉の動作試験結果）

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 7-5 及び表 7-6 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。また、仕様変更後の門及び扉の電動機も単品で加振試験を実施し、加振試験後に動作試験体に組み込み、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。動作試験結果を表 7-7 及び表 7-8 に示す。

なお、扉の動作時間は、操作盤の自動開閉スイッチを押してから、門が引抜かれ、扉が開閉動作を行い、門が挿入され、操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間とする。

表 7-5 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	□秒以内	□秒	□秒以内	□秒	異常なし	
		扉閉側		□秒		□秒		
	閉	扉開側		□秒		□秒		
		扉閉側		□秒		□秒		

表 7-6 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	□秒以内	□秒	□秒以内	□秒	異常なし*
	閉		□秒		□秒	

注記*：手動操作は開放→閉止について実施した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 7-7 加振後の門の動作試験結果（電動機仕様変更後）

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	□秒以内	□秒	□秒以内	□秒	異常なし	
		扉閉側						
	閉	扉開側					—	
		扉閉側						

表 7-8 加振後の扉の動作試験結果（電動機仕様変更後）

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	□秒以内	□秒	□秒以内	□秒	異常なし*
	閉					

注記*：手動操作は開放→閉止について実施した。

二. BOP 閉止装置加振試験結果（気密性能試験結果）

BOP 閉止装置の加振試験後の気密性能試験結果を表 7-9 に示す。

表 7-9 BOP 閉止装置加振試験時の気密性能試験結果

(単位：m³/(h・m²))

扉 (初期状態)	63Pa 時の通気量	備考
閉	□	扉閉状態の加振試験後に気密性能試験を実施

<原子炉建屋原子炉棟としての負圧達成について>

今回の BOP 閉止装置の気密性能試験結果から、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棟の負圧達成可否について評価した結果、非常用ガス処理系定格容量 (2500m³/h) は、推定インリーク量□を十分に上回るため、非常用ガス処理系にて 63Pa 以上の負圧達成可能である。

- ・ 既設原子炉建屋原子炉棟の推定インリーク量：約 2130m³/h (63Pa 時の漏えい量)
- ・ BOP 閉止装置の合計台数：1 式 (24 台)
- ・ BOP 閉止装置 1 式 (24 台) 設置時の推定インリーク量：□ × 24 台 × □ = □ (63Pa 時の漏えい量)
- ・ 非常用ガス処理系定格容量：2500m³/h (63Pa 時の通気量)
- ・ BOP 閉止装置設置を含めた原子炉建屋原子炉棟の推定漏えい量：
2130m³/h + □ = □ (63Pa 時の漏えい量) < 2500m³/h (63Pa 時の通気量)
(非常用ガス処理系定格容量)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ホ. BOP 閉止装置機能確認済加速度

BOP 閉止装置の機能確認済加速度を表 7-10 に示す。BOP 閉止装置の機能維持性能に関わる扉及び駆動部は、BOP 閉止装置の重心位置に集約していることから、機能確認済加速度は、BOP 閉止装置の重心位置で定義する。

表 7-10 BOP 閉止装置の機能確認済加速度

(単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$)

方向	機能確認済加速度
X	<input type="text"/>
Y	<input type="text"/>
Z	<input type="text"/>

b. 構造強度

扉開状態（待機状態）では基準地震動 S_s による地震後においても、作動性及び原子炉建屋原子炉棟内を負圧に維持できる気密性を保持し、扉閉状態（閉止状態）についても、基準地震動 S_s において原子炉建屋原子炉棟内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 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。

BOP 閉止装置の耐震強度評価の方法及び結果を、添付書類「VI-2-9-4-4-1-5 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書」に示す。