

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業
秘密又は防護上の観点から公開でき
ません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足 40-16 改0
提出年月日	平成 30 年 9 月 11 日

補足-40-16 【ブローアウトパネル関連設備の設計方針】

目次

補足 16-1	原子炉建屋外側ブローアウトパネルの要求機能について	補足 16-1-1
補足 16-2	原子炉建屋外側ブローアウトパネルの配置と構造について	補足 16-2-1
補足 16-3	原子炉建屋外側ブローアウトパネル枚数の変更とその影響について	補足 16-3-1
補足 16-4	クリップ単体試験について	補足 16-4-1
補足 16-5	原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放機能を担保する設計条件について	補足 16-5-1
補足 16-6	原子炉建屋内側ブローアウトパネルの配置と構造について	補足 16-6-1
補足 16-7	クリップ破損時の他設備への影響について	補足 16-7-1
補足 16-8	原子炉建屋外側ブローアウトパネルの同時開放について	補足 16-8-1
補足 16-9	原子炉建屋外側ブローアウトパネル飛出し時の挙動について	補足 16-9-1
補足 16-10	原子炉建屋外側ブローアウトパネル開放時の他設備への影響について	補足 16-10-1
補足 16-11	原子炉建屋外側ブローアウトパネルの保安全管理方針について	補足 16-11-1
補足 16-12	原子炉建屋外側ブローアウトパネル機能確認試験について (試験要領書)	補足 16-12-1
補足 16-13	原子炉建屋外側ブローアウトパネル機能確認試験結果について	補足 16-13-1
補足 16-14	原子炉建屋外側ブローアウトパネル開放時の設計基準事故時被ばく評価への影響について	補足 16-14-1
補足 16-15	ブローアウトパネル閉止装置の配置と構造について	補足 16-15-1
補足 16-16	ブローアウトパネル閉止装置の技術基準規則第五十四条への適合性について	補足 16-16-1
補足 16-17	ブローアウトパネル閉止装置のパッキン耐久性試験について	補足 16-17-1
補足 16-18	ブローアウトパネル閉止装置の保安全管理について	補足 16-18-1
補足 16-19	ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験について (試験要領書)	補足 16-19-1
補足 16-20	ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験結果 (1 回目) について	補足 16-20-1
補足 16-21	ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験 (1 回目) 不具合の原因と対策について	補足 16-21-1
補足 16-22	ブローアウトパネル閉止装置の試験体の荷重伝達経路各部位の簡易強度計算について	補足 16-22-1
補足 16-23	ブローアウトパネル閉止装置の門ピンと門受の熱膨張による影響について	補足 16-23-1
補足 16-24	ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験結果 (2 回目) について	補足 16-24-1
補足 16-25	ブローアウトパネル強制開放装置 (自主対策設備) の配置と構造について	補足 16-25-1
補足 16-26	ブローアウトパネル閉止装置の開放を仮定した場合の中央制御室の被ばく評価への影響について	補足 16-26-1

原子炉建屋外側ブローアウトパネル関連設備の要求機能について

1. はじめに

ブローアウトパネル関連設備（原子炉建屋外側ブローアウトパネル、ブローアウトパネル閉止装置（以下「閉止装置」という。）、竜巻防護ネット及びブローアウトパネル強制開放装置（以下「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。

なお、竜巻防護ネットの要求事項については、V-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V-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」に整理した。

2. 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの要求事項

(1) 開放機能

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

設計基準対処設備である原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、待機状態（閉状態）にて、基準地震動 S_s により開放機能を損なわないようにする必要があるため、基準地震動 S_s に対する耐震健全性（建屋躯体の健全性）を確保することが必要である。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。なお、竜巻飛来物からは竜巻防護ネットにて防護する設計とする。

(2) 2次格納施設のバウンダリ機能

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、上記(1)の開放機能を満足させるため、原子炉建屋原子炉棟外壁に設置されており、原子炉建屋原子炉棟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。（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、設計基準対処設備である原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、待機状態（閉状態）にて、基準地震動 S_s により 2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、2次格納施設のバウンダリ機能維持に対しては、ブローアウトパネル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）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ため、原子炉建屋外側ブローアウトパネルは2次格納施設としてのバウンダリ機能を有するため、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、その設計差圧が原子炉建屋外側ブローアウトパネル開放の設計差圧より大きく、竜巻差圧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、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、速やかに安全な状態に移行（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。

3. 閉止装置の要求事項

(1) 閉止機能

技術基準第七十四条（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。

東海第二発電所の原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、構造上、開放した場合には、容易に再閉止操作を行うことが困難であるため、技術基準第七十四条要求に合致させるために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) 2次格納容器のバウンダリ機能

閉止装置は、原子炉建屋外側ブローアウトパネルに代わって原子炉建屋原子炉棟の壁の一部となることから、2次格納施設のバウンダリとしての機能（原子炉建屋原子炉棟の気密性能確保）が必要である。

一方、閉止装置の閉機能維持が必要な状況とは、原子炉建屋外側ブローアウトパネルが格納容器バイパス又は過渡事象（過渡事象のうち主蒸気隔離弁閉の隔離事象を想定している場合、主蒸気管破断は当該事象に含まれるとの整理をした場合）により開放し、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100 mSv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 S A 発生後の最大荷重の組合せの考え方を踏まえ、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 とする。

4. 強制開放装置（自主設備）への要求事項

ブローアウトパネル強制開放装置は、大規模損壊時の水素対策や使用済燃料プールへの放水手段の確保等の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構造強度を確保する必要がある。表 4-1 にブローアウトパネル関連設備に要求される機能の整理を示す。

表 4-1 ブローアウトパネル関連設備に要求される機能の整理

ブローアウトパネル関連設備		設計基準対処設備			重大事故等対処設備		
		5 条 地震	7 条 竜巻 (差圧)	7 条 竜巻 (飛来物)	50 条 地震	54 条 竜巻 (差圧)	54 条 竜巻 (飛来物)
原子炉建屋外側ブローアウトパネル	開機能 (12 条)	○ (S_s)	○ プラント停止にて対応	○ 竜巻防護ネット で防護	—	—	—
	閉維持 (建屋気密性) (38 条, 44 条)	○ (S_d)			—	—	—
閉止装置 (S A 緩和設備)	開機能 (74 条)	—	—	—	○ (S_s)	○ (影響なし)	—*1
	閉止後の建屋気密性 (74 条)	—	—	—	○ (S_s)	—*2	—*2
	閉止時の建屋気密性 (74 条)	—	—	—	○ (S_d)	—*2	—*2

注記 *1：閉止装置は、S A 緩和設備であるため共通要因故障としての考慮は不要（ブローアウトパネル本体を飛来物から防護）

*2：S A 後の閉止状態での設計竜巻は、事象の重ね合わせの頻度から組み合わせ不要

原子炉建屋外側ブローアウトパネルの配置と構造について

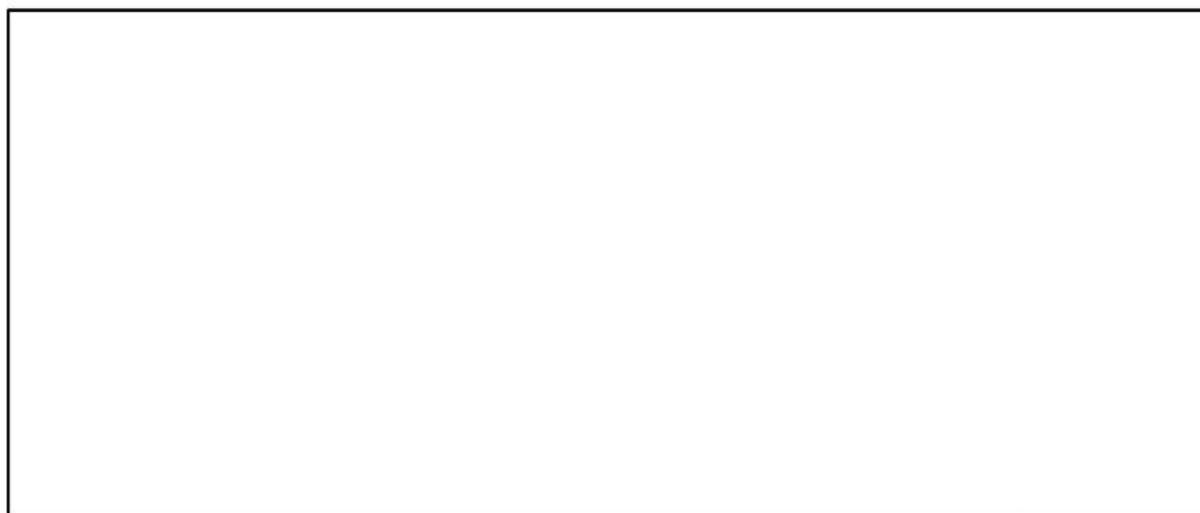
1. 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの配置について

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、原子炉建屋原子炉棟の外壁に建設時より合計 12 か所に設置されているが、今回、新規制基準対応（設計竜巻対応）として、原子炉棟 5 階の東側及び南側の 2 か所を閉鎖し合計 10 か所とする。

原子炉建屋外側ブローアウトパネルの配置について表 1-1 と図 1-1 に、設置状況の例（写真）を図 1-2 に示す。

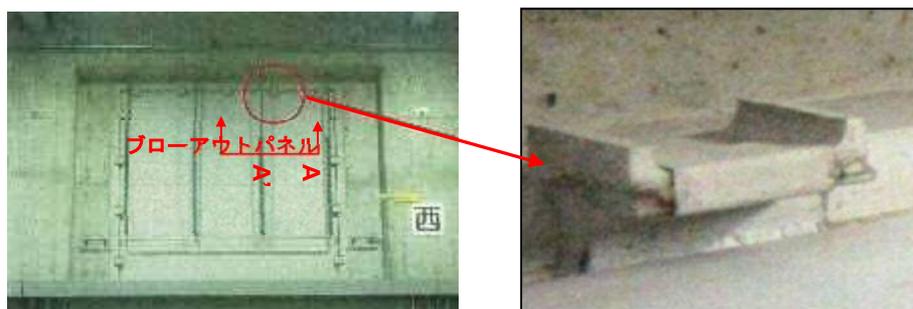
表 1-1 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの配置について

設置階	現状	新規制基準対応後	備考
原子炉棟 6 階	東西南北の壁面に各 2 箇所 の合計 8 箇所	同左	
原子炉棟 5 階	東西南北の壁面に各 1 箇所 の合計 4 箇所	西面及び北面に各 1 箇所 の合計 2 箇所	設計竜巻対策として 2 枚閉鎖



原子炉棟 6階 (— : パネル(全8枚)) 原子炉棟 5階 (— : パネル(全4枚)) □ : 竜巻防護対象

図 1-1 ブローアウトパネル配置図



建屋内側よりの状況（6 階西側）

クリップ部拡大（A-A' 矢視）

図 1-2 原子炉建屋外側ブローアウトパネル状況（建屋内より撮影）

2. 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの構造について

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、厚さ 2.3 mm のクリップと呼ばれる装置 18 個で原子炉建屋原子炉棟外壁に設置されており、原子炉格納容器の設計上の最高使用外圧 2 psi に対し、1 psi で開放するように設計されている。設置場所毎のパネル寸法と現状のクリップ数を表 2-1 に、構造概要を図 2-1 に示す。

現在、クリップはパネル 1 枚あたり 18 個が設置されているが、新規規制基準対応として、確実に設計圧力で開放させる観点からクリップ形状、数を最適化し、クリップは原子炉建屋外側ブローアウトパネル 1 枚あたり 10 個とする。

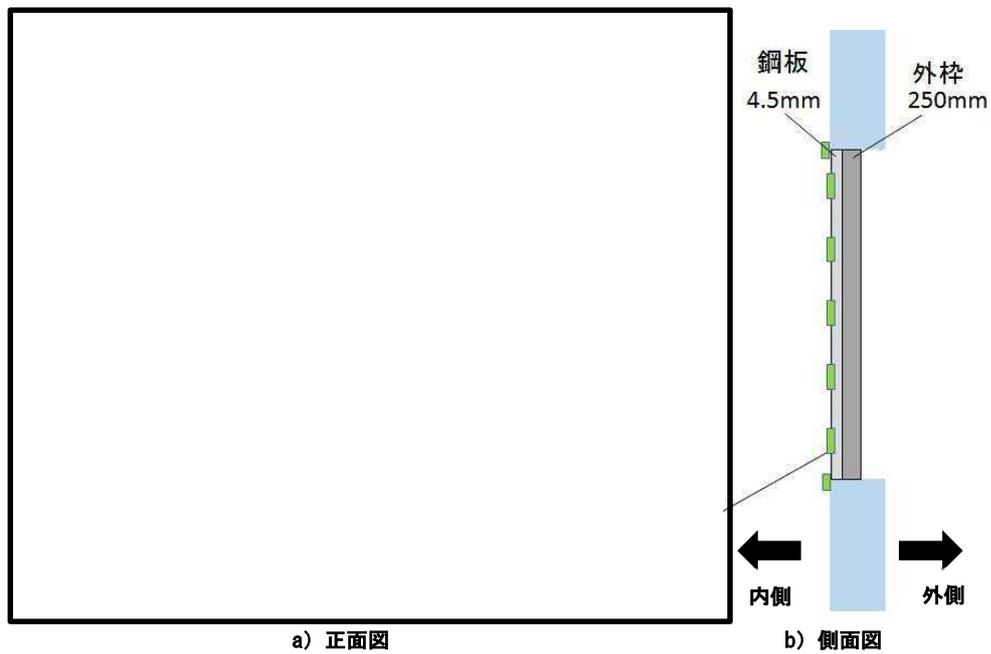
原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、このクリップだけで建屋躯体側の枠材に固定されている。また、パネル下部には、パネルと躯体の間に適切な間隙を確保し、パネル移動時（開放時）の摩擦による抗力を低減するためにスペーサが設置され、パネルと躯体の間隙にはシール材が充填され、原子炉建屋原子炉棟の 2 次格納施設としてのバウンダリ機能を確保する設計としている。

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、内圧によりパネル本体が外側に押され、このクリップが破損（外れ）し、更に内圧により外側に押されて開放する構造であり、原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、電源や空気源に頼ることなく、静的、且つ圧力上昇に対して確実に開放できる仕組みとして、クリップ構造が採用されており、この開放機構は、既設系統設備でも採用実績のある破壊板（ラプチャーディスク）と同様の考え方（差圧により部材を破壊）であり、構造が単純であることから、信頼性が高いものである。

表 2-1 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの主要仕様

設置場所		寸法（躯体開口部）	材質	クリップ数
5 階	北, 西	4000 mm×4000 mm	炭素鋼 (SS400)	10 個 (18 個)
6 階	北 1, 北 2, 南 1, 南 2	3680 mm×4170 mm		10 個 (18 個)
	西 1, 西 2, 東 1, 東 2	4170 mm×3680 mm		10 個 (18 個)

クリップ数の（ ）個数は、変更前の個数



○：新規制基準対応としてクリップ形状等を最適化した後のクリップ位置

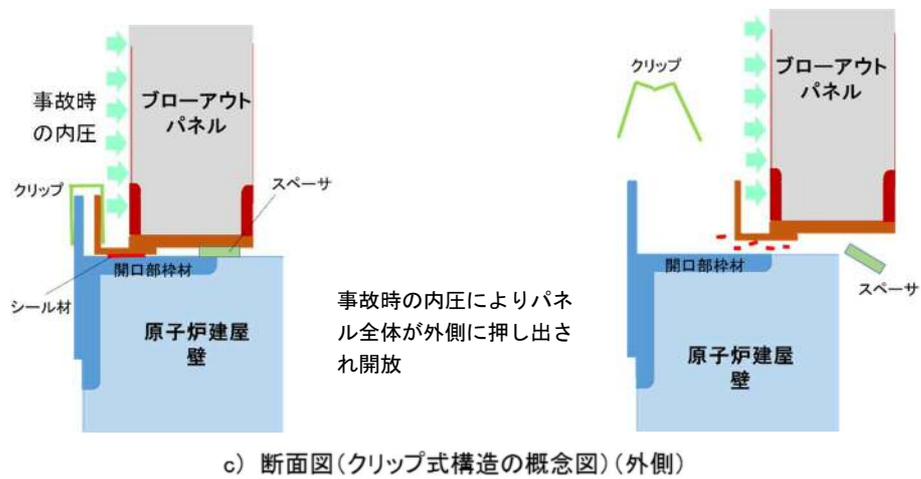


図 2-1 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの構造と作動原理

3. 原子炉建屋外側ブローアウトパネルが開放するための条件の整理

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

以上より、原子炉建屋外側ブローアウトパネルに要求される機能を満たすための条件は以下のとおりであり、本条件を満足するように設計する。

$$\begin{aligned} \text{弾性設計用地震動 } S_d < \text{パネルの開放に必要な荷重} < \text{建屋内圧力による荷重} \\ \text{(5)} & \qquad \qquad \qquad \text{(パネル開放時の抗力)} & \qquad \qquad \qquad \text{(4)} \\ & \qquad \qquad \qquad \text{(1+2+3)} \end{aligned}$$

ここで、

- ①：クリップを変形させる荷重×クリップ個数
 - ・クリップを変形されるための荷重はクリップ試験の結果を踏まえて保守的に設定
 - ・クリップ個数は弾性設計用地震動 S_d 、クリップ試験結果を踏まえて設定
- ②：パネルと躯体枠部の摩擦力
 - ・パネル鋼材 - 枠鋼材及び枠躯体間の摩擦係数 0.6（保守的に静止摩擦係数として考慮）
- ③：シール材の破断に必要な荷重（シール材メーカーカタログ値より保守的に設定）

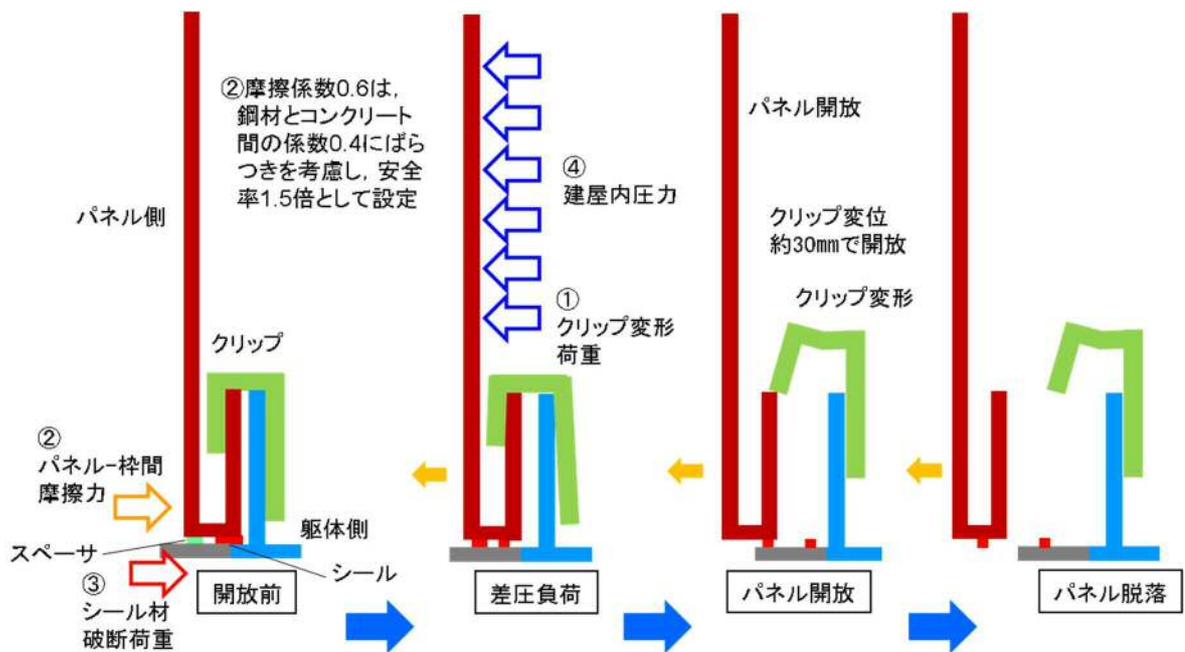


図 3-1 ブローアウトパネル開放のメカニズム

4. 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放の検知について

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

図 4-1 にブローアウトパネル開放検知用リミットスイッチ設置位置概要図を示す。開放検知用リミットスイッチは、原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放状況を確認できるように、パネル 1 枚について左右の上下方向に 2 個ずつ計 4 箇所、パネル枠材部へ設置し、開放時のパネル本体の移動により信号を発信する構造とする。

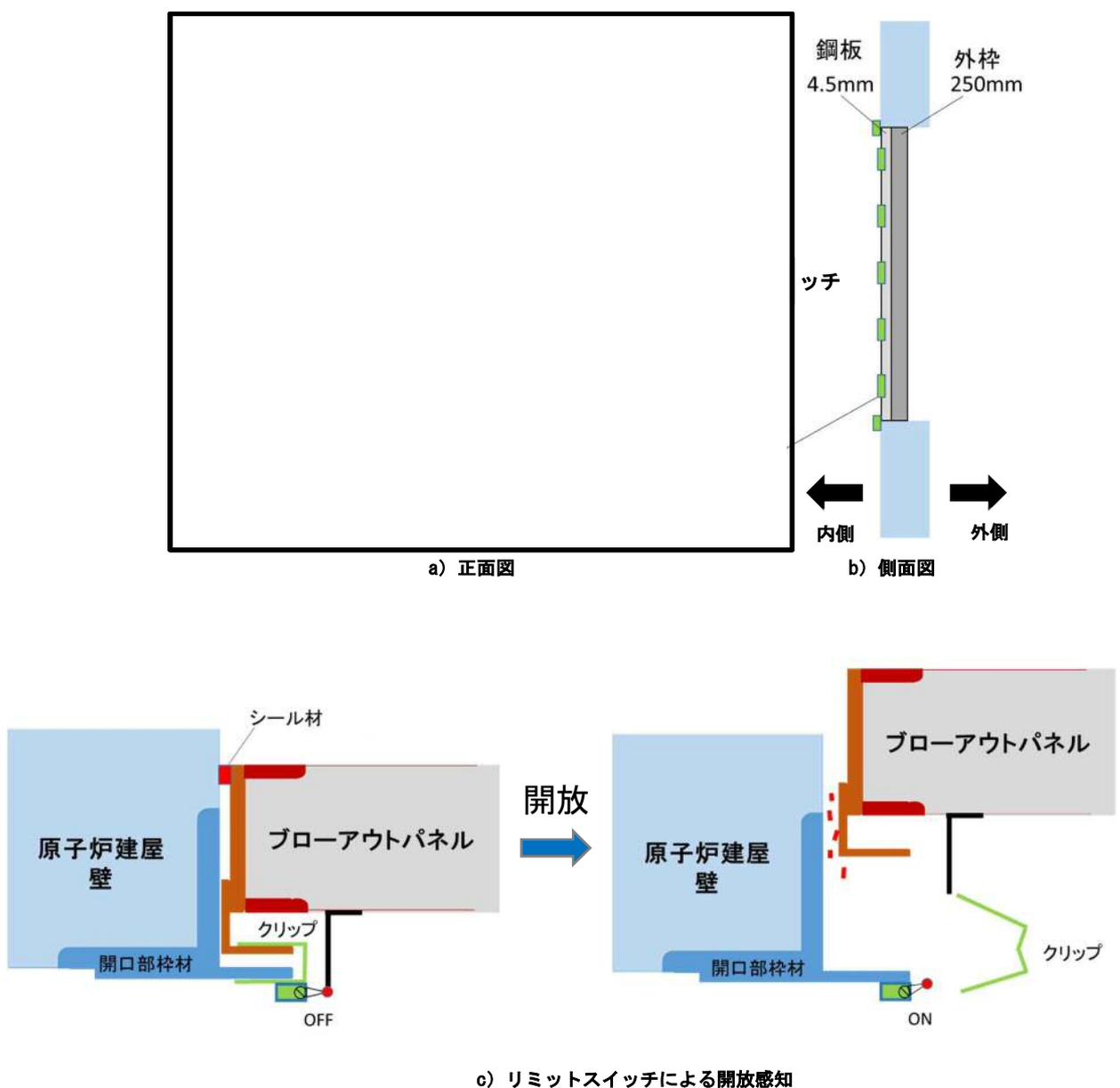


図 4-1 ブローアウトパネル開放検知用リミットスイッチ設置位置概要図

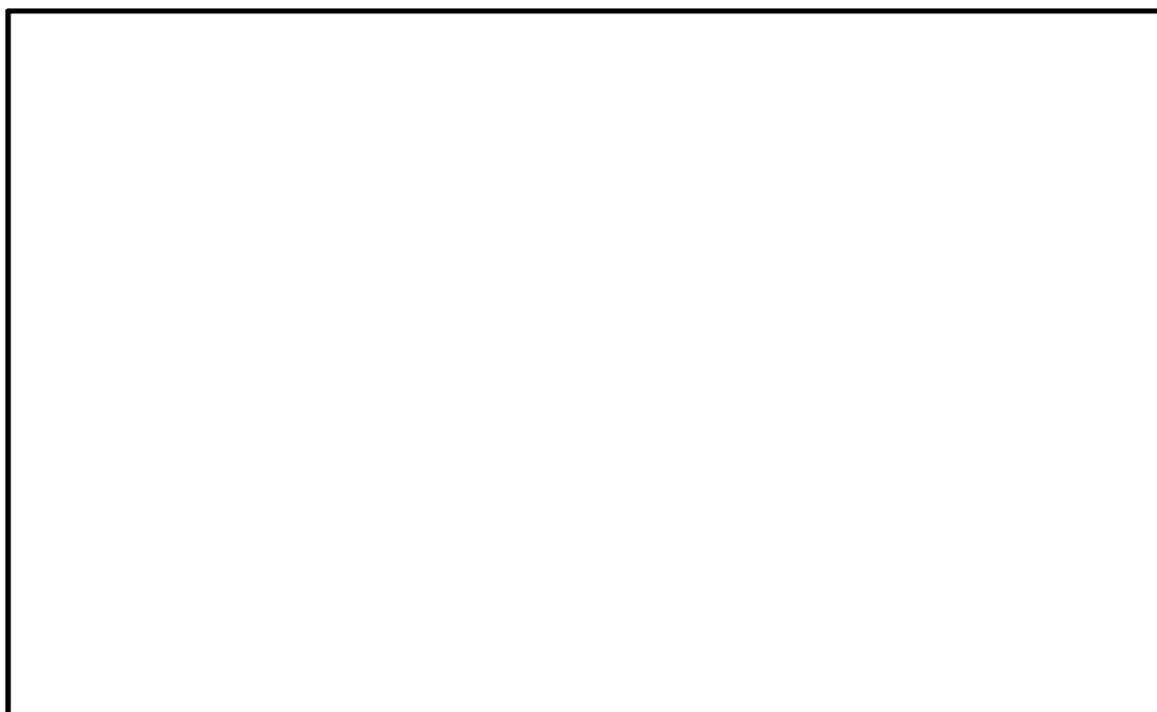
原子炉建屋外側ブローアウトパネル枚数の変更とその影響について

1. 背景・目的

設計竜巻の差圧は約 8.9 kPa と評価されており，原子炉建屋外側ブローアウトパネル開放のための設計最大差圧約 6.9 kPa を超えると評価されており，設計竜巻により原子炉建屋外側ブローアウトパネルが開放した場合，原子炉建屋原子炉棟内の安全上重要な機器が設計竜巻の影響を受けること懸念される。

原子炉棟 5 階には安全上重要な設備として，西側エリアにはほう酸水注入設備，東側エリアには非常用ガス処理系及び非常用ガス再循環系設備が設置されている。設計竜巻により原子炉建屋外側ブローアウトパネルが開放した場合，西側エリアについては竜巻による強風が通り抜ける範囲にほう酸水注入設備は配置されていないが，東側エリアでは強風の吹き抜ける範囲に非常用ガス処理系及び非常用ガス再循環系が配置されており，これらの設備への竜巻の影響を評価することは困難であるため，東側エリアのブローアウトパネル 2 枚を閉鎖する。

原子炉棟 5 階の安全上重要な設備と原子炉建屋外側ブローアウトパネルの配置とパネル開放時の強風影響範囲について，図 1-1 に示す。



 : 西側区画ブローアウトパネルから見通せる範囲
 : 開口部を繋ぐ風の流れ

図 1-1 原子炉棟 5 階の安全上重要な設備配置とパネル開放時の強風影響範囲

2. 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの一部閉鎖による影響

原子炉棟 5 階に設置されている原子炉建屋外側ブローアウトパネル 4 枚のうち、2 枚を閉鎖するため、この影響について確認する。

影響確認は、3次元流体解析コード (GOTHIC) により、ブローアウトパネル枚数を 10 枚に変更した場合の主蒸気管破断事故時の建屋内圧力、温度を評価し、これらが設計条件内にあることを確認した。解析結果を図 2-1 及び図 2-2 示す。

原子炉棟 5 階東南側のブローアウトパネル 2 枚を閉鎖し、原子炉建屋外側ブローアウトパネルが 10 枚としても、原子炉棟内の温度は設計条件を満足することを確認した (図 2-1)。また、同条件で原子炉棟 6 階面の圧力を確認した結果、6 階面のパネルが 4 枚以上開放することで、圧力は 1psi 以下にできることを確認した (図 2-2)。

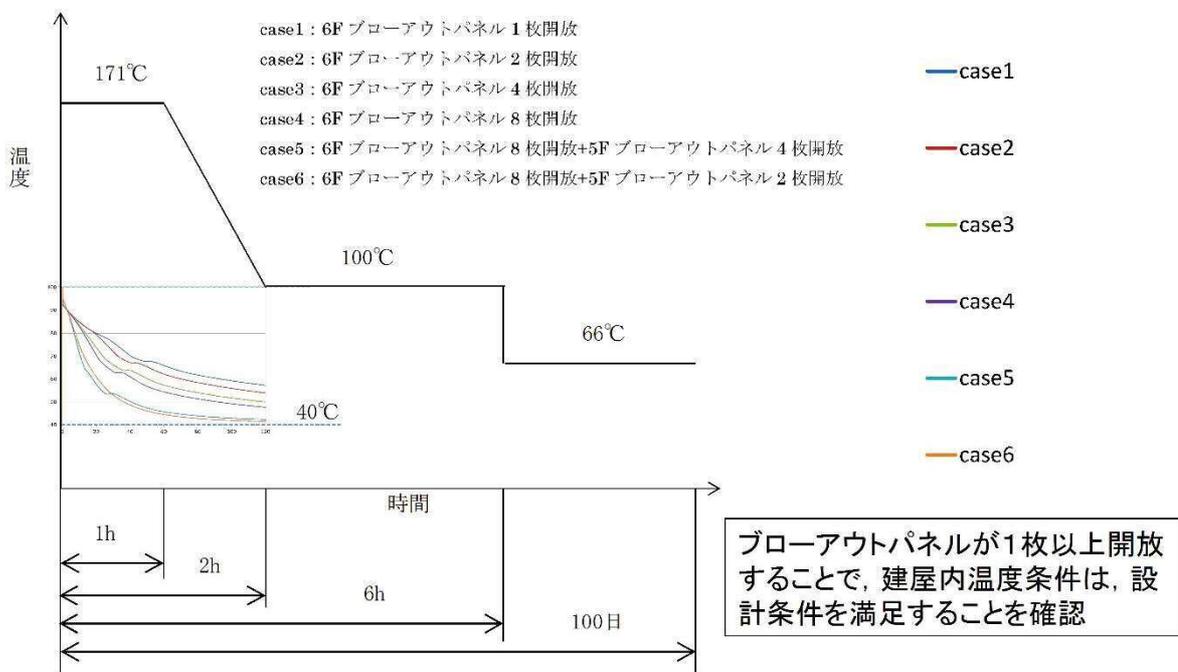


図 2-1 主蒸気管破断時の原子炉棟内温度の解析結果

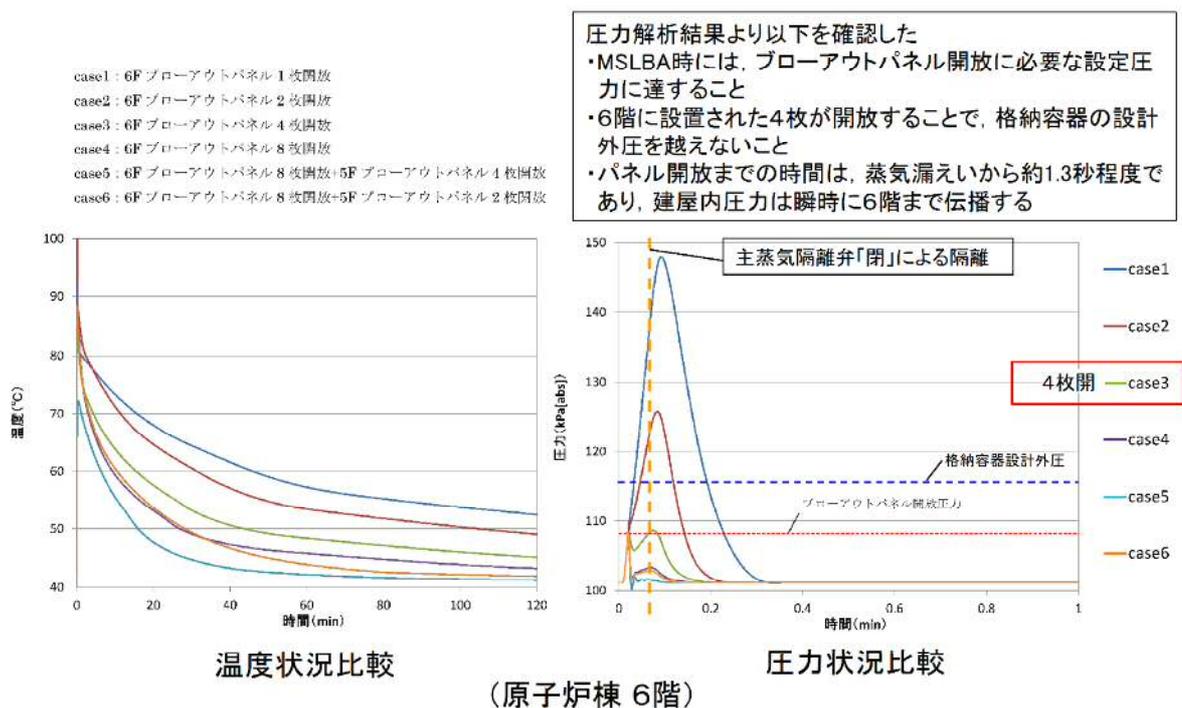


図 2-2 ブローアウトパネル作動枚数による温度及び圧力状況比較

3. 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの必要枚数について

原子炉格納容器の設計外圧に着目すると、主蒸気管破断事故時の開放必要枚数は 3 次元流体解析の結果から、必要な原子炉建屋外側ブローアウトパネル枚数は 4 枚以上となることを確認した。5 枚以上の開放は、建屋内雰囲気温度と圧力の更なる低下に寄与するものであり、設備防護上は考慮するものであるが必須ではない。

しかしながら、より裕度を確保する観点から建設時の考え方を踏襲し、できるだけ多くのブローアウトパネルを残す方針とした。

4. 原子炉建屋外側ブローアウトパネル 2 枚閉鎖後の建屋内温度評価の結果について

原子炉建屋外側ブローアウトパネルの 2 枚閉鎖後の建屋内温度評価の詳細を図 4-1 及び図 4-2 に示す。また、原子炉建屋外側ブローアウトパネルの作動枚数による建屋内温度状況の代表例として、原子炉棟 3 階の結果を図 4-3 及び図 4-4 に示す。

図 4-1 に示す原子炉建屋外側ブローアウトパネル開放後に温度が停滞する箇所は、蒸気が自然対流で上昇する流れと、外気から流入する下降気流がぶつかり、入れ替る際の停滞状況を示している。また、5 階東側及び南側の原子炉建屋外側ブローアウトパネルを閉鎖することにより、東側は大物搬入口を通じた上昇気流が発生し、6 階に高温の蒸気が抜ける流れが主となる。これに対し、西側エリアにおいては、5 階から取り入れられた外気の下降気流が主となり、主蒸気管室で西→東の流れができると考えられる。このため、原子炉建屋外側ブローアウトパネル 12 枚が開放する場合と比べて、5 階西側（ほう酸ポンプ設置側）の温度が下がる結果となっている。

原子炉建屋外側ブローアウトパネル開放後に一時温度低下が停滞するのは、漏えいした高温の蒸気が大物搬入口開口部を上昇する流れと、外気が流入する際の下降気流がぶつかり、入れ替る

ためと推定される。原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放枚数が多い方が蒸気漏えい後の早い段階でこの状況が現れる結果となる。また、5階、6階の原子炉建屋外側ブローアウトパネル全数12枚が開放する場合と比較して、5階の東側及び南側の2枚を閉鎖する方が温度低下が早くなる原因は、5階西側から取入れられた外気が、東側大物搬入口吹抜け部で発生する煙突効果により、主蒸気管室の西側から東側への流れとなり、原子炉棟内で大きな循環が発生することで、外気の流入が速やかに進むためである。これらの状況を図4-5及び図4-6に建屋の断面図と平面図により示す。

BOP開条件:全10枚「開」(6階 全8枚 + 5階西側 全2枚。5階東側「閉」)

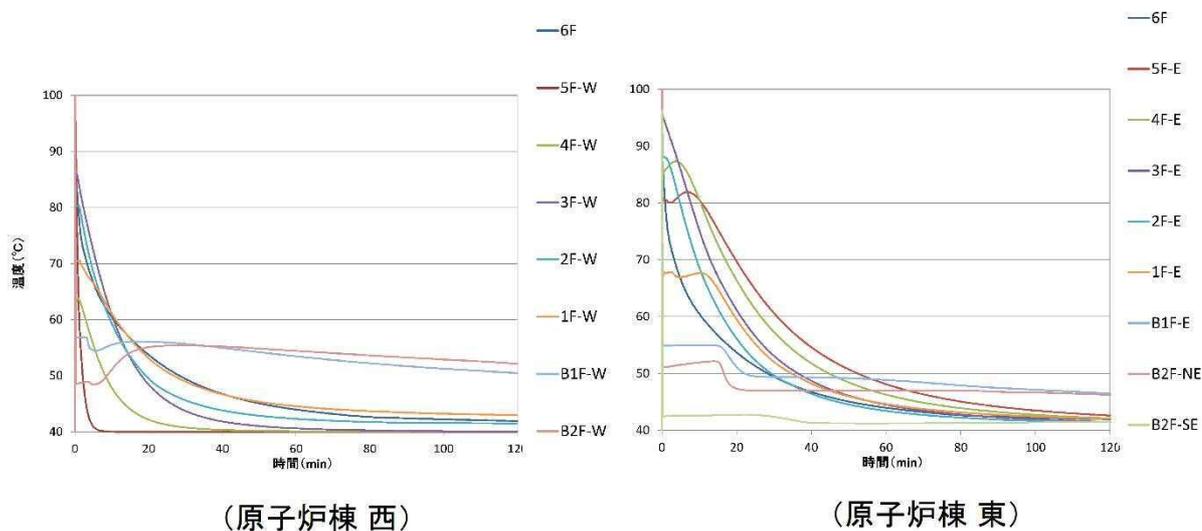


図 4-1 対策後の温度状況比較

BOP開条件:全10枚「開」(6階 全8枚 + 5階西側 全2枚。5階東側「閉」)

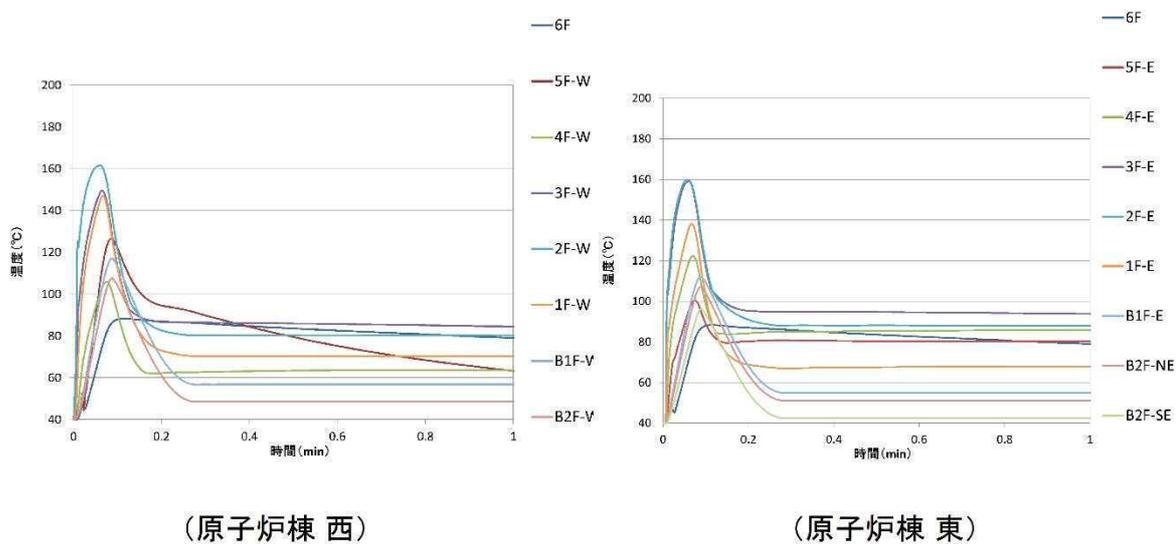
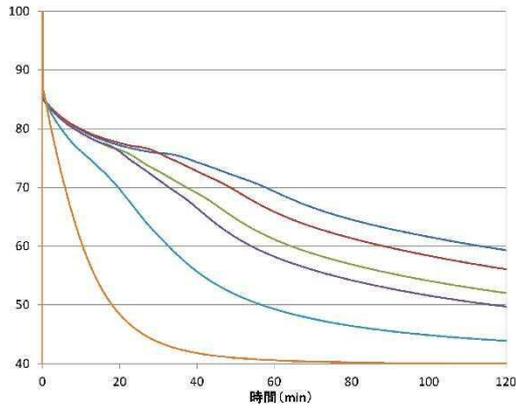
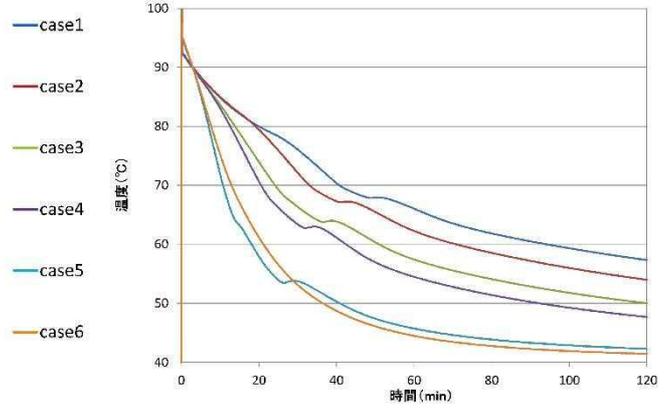


図 4-2 対策後の温度状況比較 (最高温度)

- case1 : 6F ブローアウトパネル 1 枚開放
- case2 : 6F ブローアウトパネル 2 枚開放
- case3 : 6F ブローアウトパネル 4 枚開放
- case4 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放
- case5 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放+5F ブローアウトパネル 4 枚開放
- case6 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放+5F ブローアウトパネル 2 枚開放



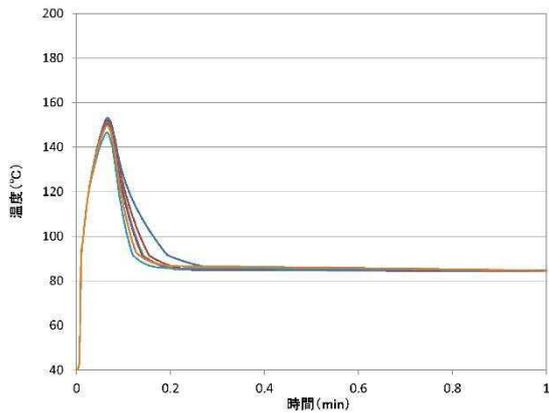
(原子炉棟 3階西)



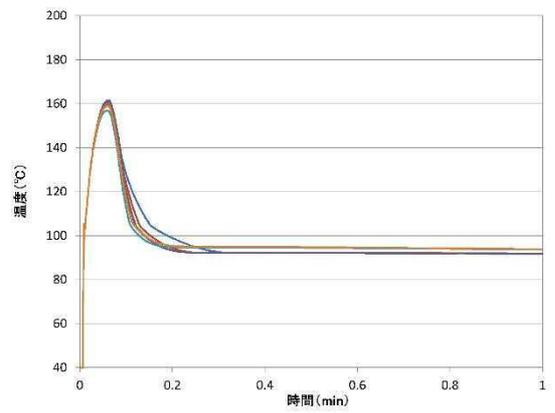
(原子炉棟 3階東)

図 4-3 ブローアウトパネル作動枚数による温度状況比較

- case1 : 6F ブローアウトパネル 1 枚開放
- case2 : 6F ブローアウトパネル 2 枚開放
- case3 : 6F ブローアウトパネル 4 枚開放
- case4 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放
- case5 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放+5F ブローアウトパネル 4 枚開放
- case6 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放+5F ブローアウトパネル 2 枚開放



(原子炉棟 3階西)



(原子炉棟 3階東)

図 4-4 ブローアウトパネル作動枚数による温度状況比較 (最高温度)

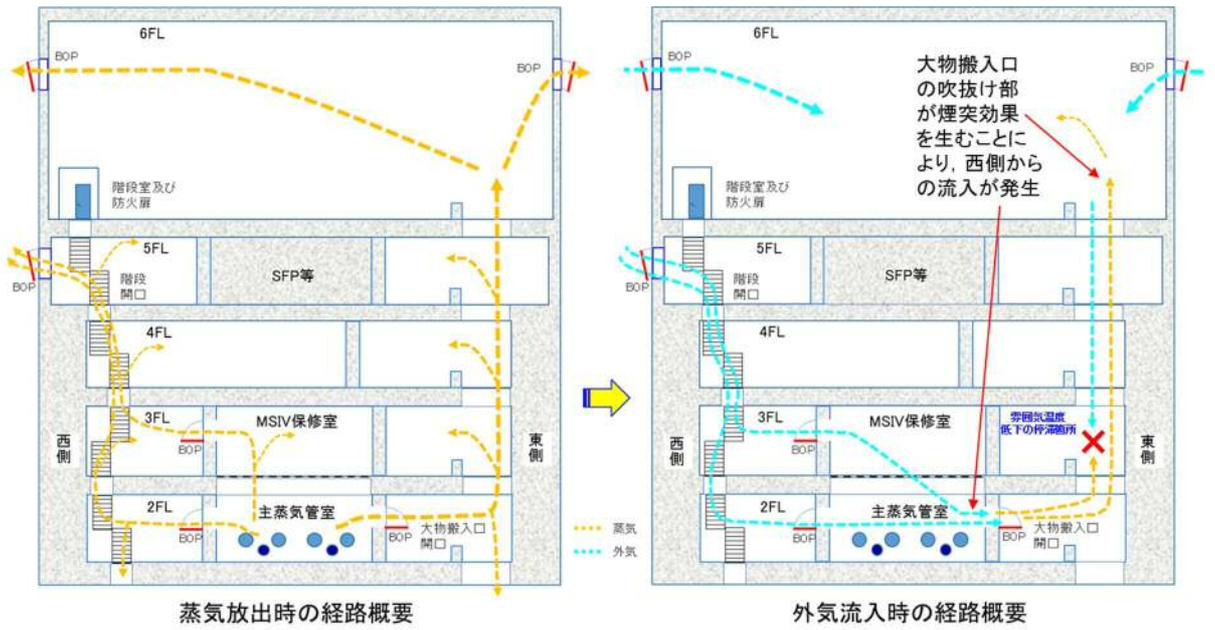


図 4-5 原子炉棟断面図

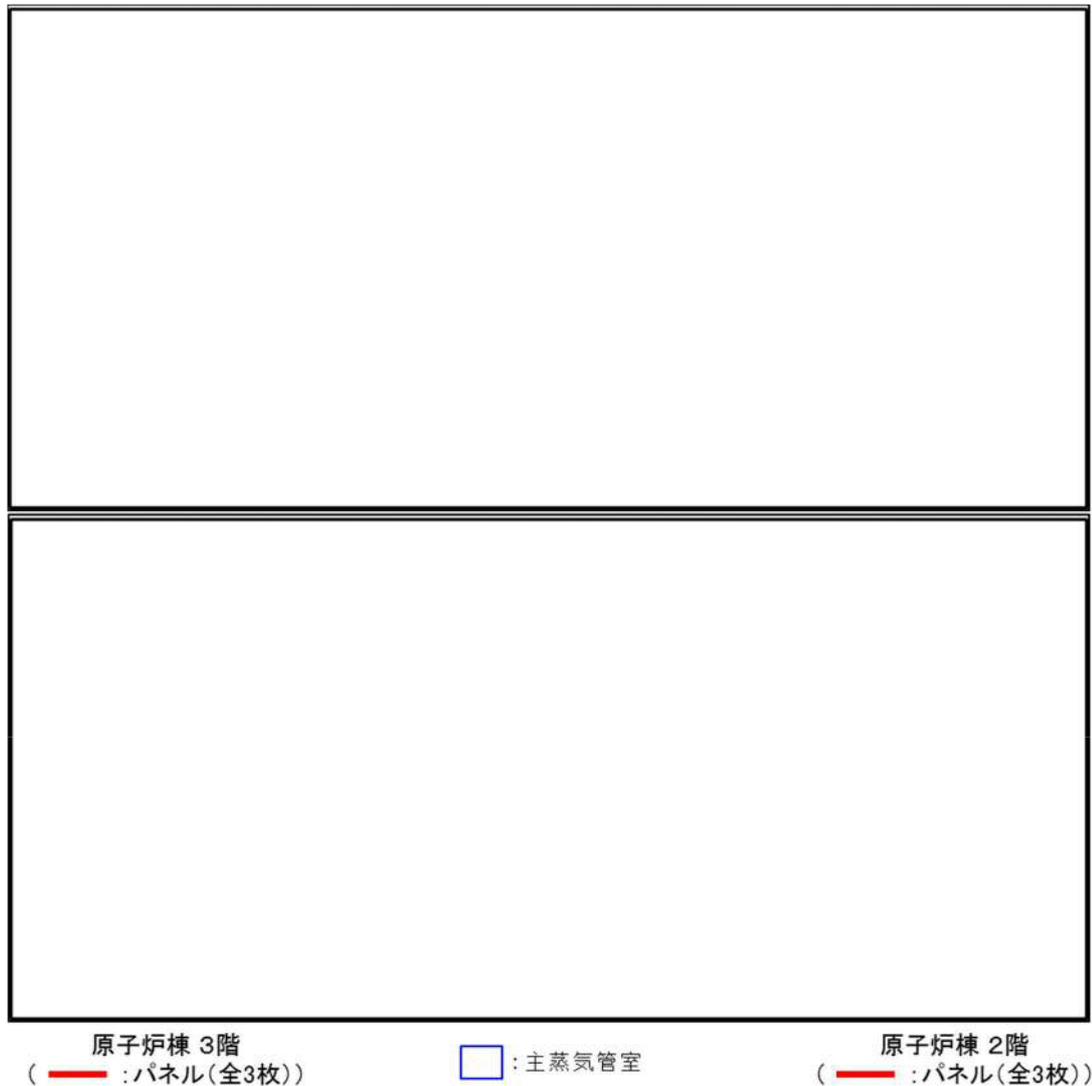


図 4-6 原子炉建屋平面図

5階東側及び南側の原子炉建屋外側ブローアウトパネルを閉止することにより、東側は大物搬入口を通じた上昇気流が発生し、6階に高温の蒸気が抜ける流れが主となる。(図中の )

これに対し、西側エリアにおいては、5階から取り入れられた外気の下降気流が主となり、主蒸気管室で西→東の流れができると考えられる。(図中の )

このため、原子炉建屋外側ブローアウトパネル全数12枚が開放する場合と比べて、5階西側(ほう酸ポンプ設置側)の温度が下がる結果となる。

クリップ単体試験について

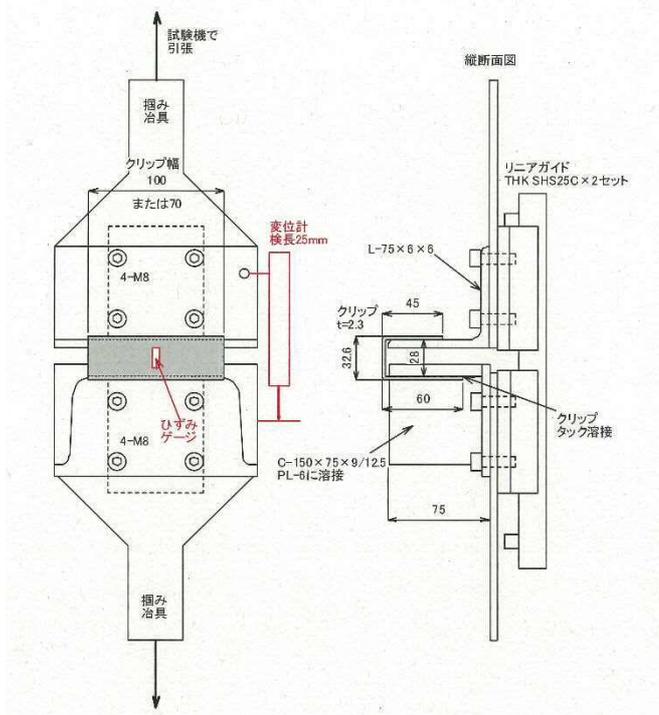
1. 目的

クリップは原子炉建屋外側ブローアウトパネルを建屋躯体に固定するとともに、原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放圧力を決定する主要な部品であるため、このため、設計差圧（1 psi=6.9 kPa）以下でパネルが確実に開放し、弾性設計用地震動 S_d では開放しないことを設計上担保し、今後のクリップの維持管理に資するため、クリップ単体での開放試験を実施する。

2. 試験方法

試験は、クリップ取付部を模擬した鋼材に試験体としてのクリップを取り付け、引張試験機にて鋼材を引っ張ることにより、クリップに付加される荷重、変位、ひずみ等を測定した。図 2-1 にクリップの引張試験概要図を示す。試験条件は以下のとおり。

- ・引張試験器：オートグラフ試験機（AG-50 kNB）
- ・制御方式：変位制御（引張速度 1 mm/min）



- ◆ 引張試験内容
クリップ単体を引張試験にてパネルの水平方向の荷重を模擬する
- 【測定項目】
- ①試験荷重,
- ②クリップ変位,
- ③クリップのひずみ
- 【測定結果の評価】
クリップの最大荷重と変位の試験結果より、クリップの作動時におけるばらつきを検証する
パネルが設定差圧にて確実に開放するための管理項目を検証する
- 【クリップの管理項目】
- ①材質,
- ②形状,
- ③クリップの寸法(板厚, 幅),
- ④取付方法と取付寸法

図 2-1 クリップの引張試験概要図

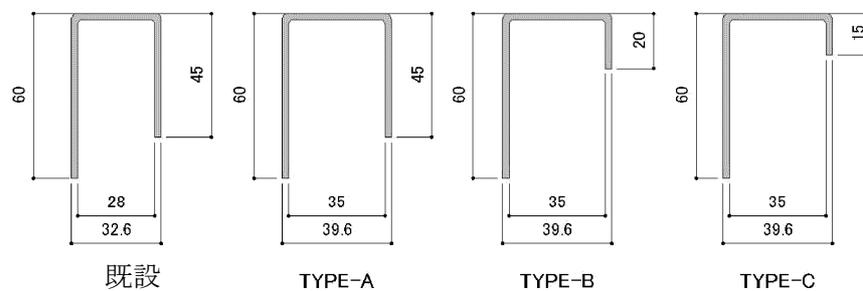
3. 基本試験結果

(1) 基本試験での試験体仕様

クリップ設計のための基本データを取得するため、材質は2種類、板厚は1種類（既設クリップと同厚）、クリップ幅は2種類、掛り寸法は3種類、曲げ加工後のクリップ幅は2種類を組合せて試験体を作成した。各項目の試験目的と具体的な仕様を表3-1、具体的な試験片寸法を図3-2、試験片のまとめを表3-2に示す。

表 3-1 試験確認項目，目的と具体的な仕様

項目	目的	具体的な仕様
材質	材質による強度のばらつき確認	SS400/SPCC
板厚	－（既設品と同じ）	2.3 mm
幅（a）	クリップ幅と強度の関係確認	100 mm/70 mm
掛り寸法（c）	掛り寸法による強度（クリップの外れ易さ）のばらつき確認	45 mm/20 mm/15 mm
曲げ加工後のクリップ幅（b）	曲げ加工後のクリップ幅と強度のばらつき確認	28 mm/35 mm



試験用クリップ形状

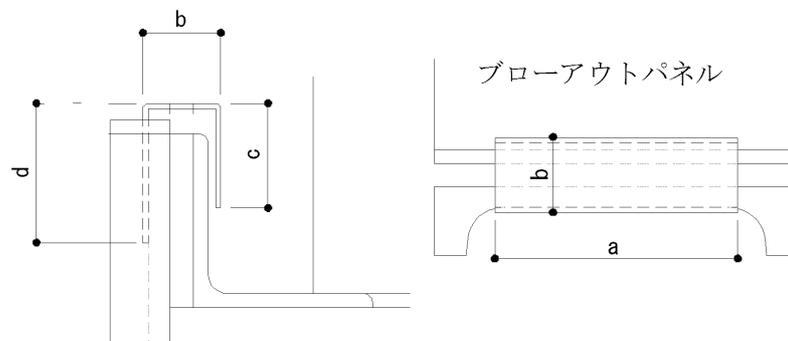


図 3-2 クリップの形状及び試験体寸法測定箇所

表 3-2 試験用クリップ一覧

区分	試験体 NO	材質	板厚	幅 (a)	掛り寸法 (c)	曲げ加工後幅 (b)	形状	変位速度	試験体数
試験 1	C70	SPCC* ¹	2.3 mm	70 mm	45 mm	28 mm	既設と同じ	1 mm/分	5
	C100			100 mm					5
	H70	70 mm		5					
	H100	100 mm		5					
試験 2	H100AP	SS400* ²		100 mm	45 mm	35 mm	TYPE-A		5
	H100BP				20 mm		TYPE-B		5
	H100CP				15 mm		TYPE-C		5

注記 *1：冷間圧延鋼板

*2：一般構造用圧延鋼材

(2) 基本試験結果及び考察

試験結果を最大耐力の測定値で整理した結果を表 3-3 にまとめる。材質を変えた試験結果（試験 1）から、SPCC に比べ SS400 は降伏点が明確でばらつきも低減できることを確認したため、クリップ材質は現行品と同じ SS400 を選定した。また、同じく、試験 1 の結果から、材料に関係なく、降伏荷重（平均値）はクリップ幅に比例することを確認した。（ $C70/C100 = H70/H100 \approx 0.69$ ）

材質を SS400 に限定し、クリップの掛り寸法を変化させた試験 2 の結果から、掛り寸法は、20 mm 程度（TYPE-B）が最もばらつきが小さく適切な形状であることを確認した。

SS400 で掛り寸法 20 mm（TYPE-B）のクリップの荷重と変位の関係を図 3-3 に示す。試験体は 5 つであるが、最大耐力に達したのち、クリップが降伏して開くことで荷重が低下する傾きはほぼ同じであり、クリップは約 11 mm 変位した状態で完全に外れることを確認した。

本試験結果をもとに適切なクリップ幅を設定し、実機適用するためのクリップ形状を確定したうえで、試験体数を増やしてクリップ単体試験を実施し、採用するクリップ形状を確定する。

表 3-3 測定結果（最大耐力の一覧）

試料番号	最大耐力 (N)	クリップ開放位置 (mm)	クリップが外れる位置 (mm)
H100BP-1	~6500	~5.0	~10.5
H100BP-2	~6500	~5.0	~10.5
H100BP-3	~6500	~5.0	~10.5
H100BP-4	~6500	~5.0	~10.5
H100BP-5	~6500	~5.0	~10.5

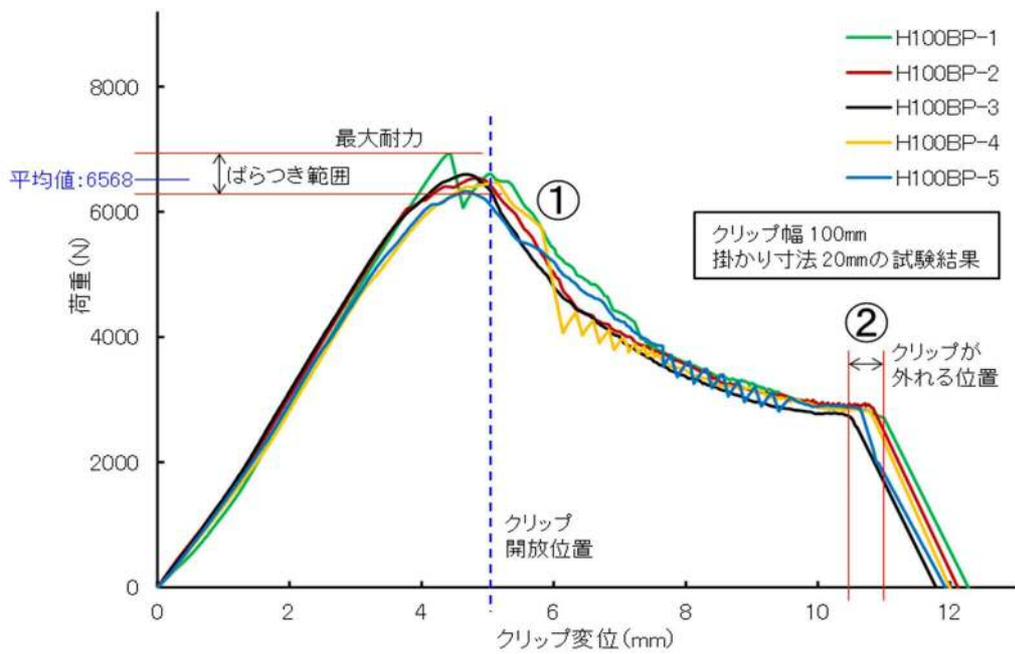


図 3-3 クリップの荷重・変位関係（材質 SS400，掛り寸法 20 mm の TYPE-B）

4. 実機適用クリップに対する試験結果

前項の基本試験結果等を踏まえて総合的に検討した結果、クリップ幅を基本試験の 100 mm から 80 mm に変更し、クリップ 1 個当たりが負担する荷重を下げることにより、設計差圧に対してより小さい差圧で確実に開放する設計とすることとし、ばらつきを考慮するため、30 個のクリップの開放試験を実施した。試験結果を表 4-1 に、クリップの荷重・変位の関係を図 4-1 に示す。

クリップの最大耐力の平均値は 6097 N、標準偏差 σ は 524 N であった。クリップ数の決定にあたっては、6.9 kPa 以下での開放が必要であることから、クリップ 1 個が開放するための必要荷重は、保守的に標準偏差の 3 倍を見込み、1 個当たり 7670 N として考慮する。また、クリップは約 11 mm 引っ張られるとクリップ取付部から外れる（クリップは開放の抵抗とならない）ことを確認した。

表 4-1 実機用クリップ試験結果

項目（試験体数は 30 個）		荷重 (N)
最大耐力	平均値	6097
	最大値	7231
	最小値	5192
標準偏差 σ		524
最大耐力（平均）+3 σ		7670
最大耐力（平均）-3 σ		4524

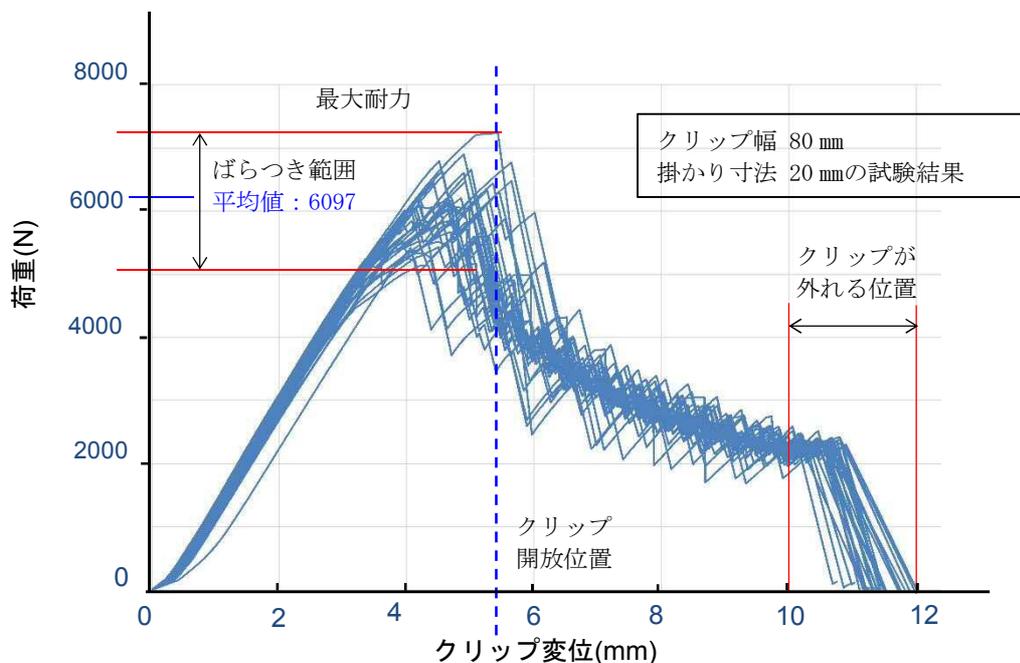


図 4-1 クリップの荷重・変位の関係

原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放機能を担保する設計条件について

原子炉建屋外側ブローアウトパネルの満たすべき開放条件について整理した。ブローアウトパネルを開放させるため満たすべき条件は以下の通りであり、抵抗力（②クリップの抗力、③パネル移動時の摩擦力による抗力、④パネルと躯体間のシール材の抗力の合計）が、⑤差圧による荷重以下（6.9kPa 以下）の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。

$$\boxed{\text{①弾性設計用地震動 } S_d \text{ による開放荷重}} < \boxed{\text{抵抗力 (②クリップの抗力+③摩擦による抗力+④シール材抗力)}} < \boxed{\text{⑤設計差圧 6.9kPa による開放荷重}}$$

各項目の考え方、根拠は以下のとおり。

(1) 基本パラメータ・条件

原子炉建屋外側ブローアウトパネルの重量は、2000 kgとして評価する。

弾性設計用地震動 S_d の加速度は、ブローアウトパネル設置位置より高く、地震加速度が大きい原子炉棟屋上（EL. 63.65 m）での基準地震動 S_s （最大応答加速度）である2.45G（ばらつき1.5倍を考慮した1.2ZPA）の1/2である1.23Gを用いて評価する。

(2) 設計差圧6.9 kPa時の開放荷重（上記⑤）

設計最大差圧以下でパネルを開放させるため設計最大差圧6.9 kPaとする。原子炉建屋外側ブローアウトパネルは大きさが2種類あるため、保守的に最も面積の小さいパネル（差圧による開放荷重が最も小さくパネル）に6.9 kPaが付加する場合の荷重として約110 kN（106 kN）と評価する。

(3) 弾性設計用地震動 S_d による開放荷重

弾性設計用地震動 S_d による地震力としては、約25 kN（2000 kg×1.23G×9.8 m/s²=24108 N）とする。

なお、パネルの固有振動数を両端ピン支持のりとして保守的に算出し、パネルは剛構造であることを確認するとともに、実機大モックアップ試験装置での固有振動数も測定し、1次固有振動数は約25 Hz、2次固有振動数は約50 Hzであり、剛構造として扱えることを確認した。

(4) クリップの個数と配置

クリップの抗力算定に使用するクリップ開放荷重は、30個のクリップ試験結果から、保守的に7670 N/個（クリップ開放試験での平均値+3 σ ）=約7.7 kNと評価した。

クリップはブローアウトパネルが傾くことを回避し、可能な限り平行移動するよう左右、上下での可能な限り同じ抵抗となるように配置する方針とする。この場合、パネル下側はパネル移動時に摩擦力が発生するが、パネル上側には摩擦が発生しないため、パネル上端側には摩擦相当分のクリップ（2枚）を増加して設置する。

このため、クリップは、の合計10個とする。クリッ

プ10個の場合の抗力は約77 kNとして設計する。なお、実機大モックアップ試験にて設計最大差圧6.9 kPaでの開放が確認できなかった場合には、クリップ配置の対称性を踏まえて、クリップは [] と開放に対する抗力を下げて対応する。

(5) 摩擦力 (摩擦係数)

摩擦力算定に用いる摩擦係数は静止摩擦係数0.6を採用して設計する。なお、パネル移動時に生じる摩擦抵抗についても、保守的に0.6を採用して設計する。この場合の摩擦による抗力は約12 kN ($2000 \text{ kg} \times 0.6 \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 11760 \text{ N}$) と評価した。

(6) シール材の抗力

シール材はシール材幅 [] として設計するため、シール材接触面積が約 [] (シール材面積が最大となるパネルは面積が最大となる $4000 \text{ mm} \times 4000 \text{ mm}$ のパネルであり、この周長は $4000 \text{ mm} \times 4 = 16000 \text{ mm}$ であるため、シール材接触面積は [] である。また、シール材メーカーのカタログによれば、最大引張応力は 0.36 N/mm^2 、最大荷重時の伸びは約600%であり、シール材の最大抗力は、 $0.36 \text{ N/mm}^2 \times []$ と評価される。一方、クリップ試験結果からクリップはパネルが約6 mm移動した際に最大耐力を示すが、約10 mm移動した際の耐力は最大値の1/3以下であり、11~12 mm程度でクリップは完全にブローアウトパネルから外れることが判明している。このためクリップの最大荷重時に重畳させるべきシール材の抗力として、 [] 幅のシール材が約 [] 伸びた場合 (伸びが100%) のシール材の抗力を考慮する。この場合、シール材幅は [] であるので、 [] の移動は100%の伸びに相当し、その際の荷重は [] である。

(7) まとめ

以上より、 S_a による地震荷重は約25 kN、クリップ抗力+摩擦による抗力+シール材の抗力の合計は約99 kN ($77 \text{ kN} + 12 \text{ kN} + []$)、設計差圧6.9 kPa時の開放荷重は約110 kNとなり、クリップ抗力等を保守的に見積もっても上限側の条件を満足できることを確認した。

また、クリップ試験の結果から、クリップの最大耐力 (平均値 -3σ) は約4524 Nであり、クリップ10個で約45 kNとなるため、クリップのみの抗力でも弾性設計用地震動 S_a による地震荷重を十分に上回り、下限側の条件を満足できることを確認した。

原子炉建屋内側ブローアウトパネルについて

1. 原子炉建屋内側ブローアウトパネルの配置について

原子炉建屋外側ブローアウトパネル以外に、原子炉棟内のブローアウトパネルとして主蒸気管室の壁面6箇所にブローアウトパネルが設置されている。原子炉建屋内側ブローアウトパネルの配置について表 1-1 と図 1-1 に、設置状況の例（写真）を図 2-1 に示す。

表 1-1 原子炉建屋内側ブローアウトパネルの主な仕様

設置場所		寸法（躯体開口部）	材質	パネル枚数	パネル1枚のクリップ数
2階	2F1, 2F3	2969 mm×1400 mm	炭素鋼 (SS400)	2枚	2個
	2F2	4031 mm×1400 mm		2枚	2個
3階	3F1	2250 mm×3000 mm		2枚	2個
	3F2, 3F3	4500 mm×3000 mm		4枚	2個

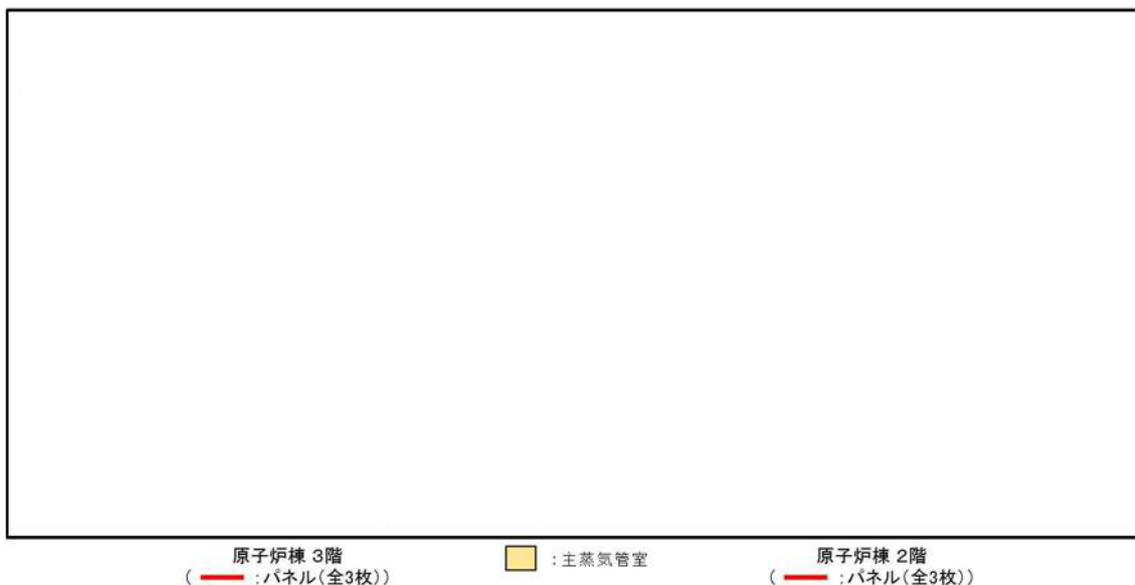
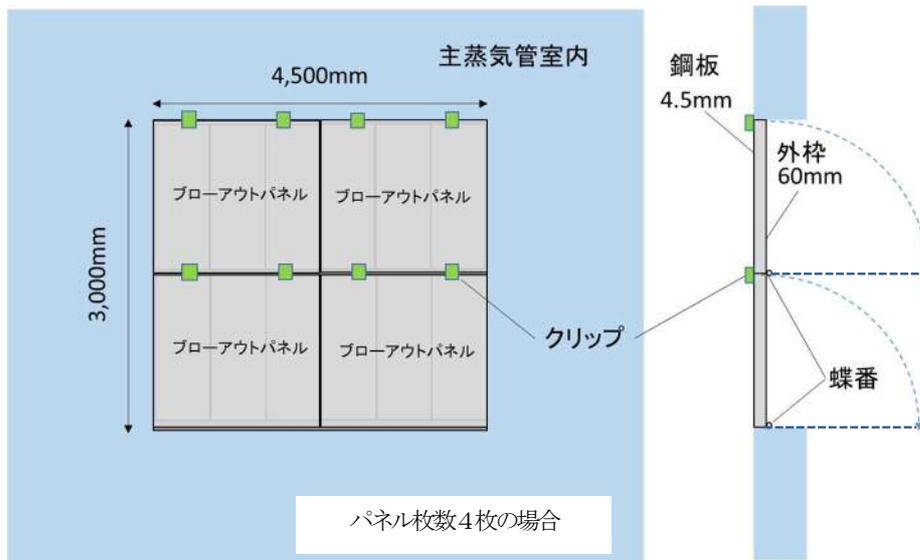


図 1-1 原子炉建屋内側ブローアウトパネル配置図

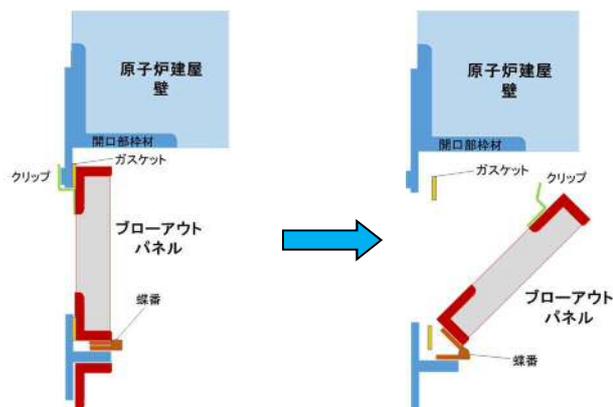
2. 原子炉建屋内側ブローアウトパネルの構造について

主蒸気管室のブローアウトパネルは、厚さ約 1 mm（原子炉建屋外側ブローアウトパネル用クリップの厚さは約 2.3 mm）のクリップと呼ばれる装置 2 個で壁に設置されており、差圧のみで自動開放し、主蒸気管室での漏えい蒸気を原子炉棟内に放出するよう設計されている。図 2-1 に原子炉建屋内側ブローアウトパネルの概要を示す。



a) 正面図

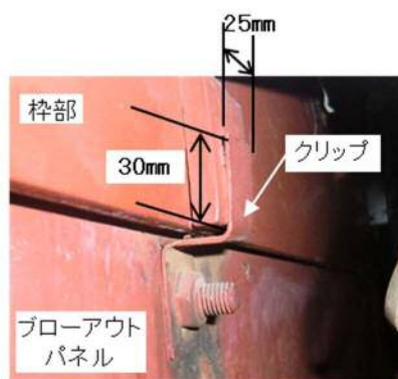
b) 側面図



c) 断面図 (クリップ式構造の概念図) (内側)



室内よりの状況
(3階 3F2)



クリップ部

図2-1 原子炉建屋内側ブローアウトパネルの構造

3. 原子炉建屋内側ブローアウトパネル用クリップの開放荷重について

内側ブローアウトパネルは、原子炉建屋外側ブローアウトパネル用クリップに比べて厚さが半分以下で幅も1/3程度である。また、クリップは建設時の試験結果より、外側ブローアウトパネルのクリップの約1/2以下の荷重で開放する構造であり、パネルの面積とクリップの個数より、容易に（1 psi 以下で）開放する構造である。

クリップ破損時の他設備への影響について

1. 概要

原子炉建屋外側ブローアウトパネルのクリップは、ボルトにて躯体側に固定する設計（実機用クリップ試験も模擬して固定）としており、容易に脱落することはないが、原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放時に、万一クリップが破損した場合を想定し、この影響について検討し、防護対象設備等への影響がないことを確認した。

2. 影響を考慮する範囲とパネル周辺の重要設備

原子炉建屋外側ブローアウトパネル配置に対し、クリップの飛散する水平距離を落下高さとした場合の飛散範囲と主な防護対象設備の配置を図 2-1 に示す。また、パネル周辺にあり防護すべき設備を表 2-1 に示す。

なお、原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、建屋壁内に設置され、固定用クリップもほぼ壁面に設置されており、大きく飛散することは考えられないため、床面からのクリップ設置高さの水平距離を飛散範囲と仮定して評価した。評価範囲内には使用済燃料プールの一部が含まれるが、クリップの重量は約 230 グラムであり、燃料集合体を損傷させることはない。

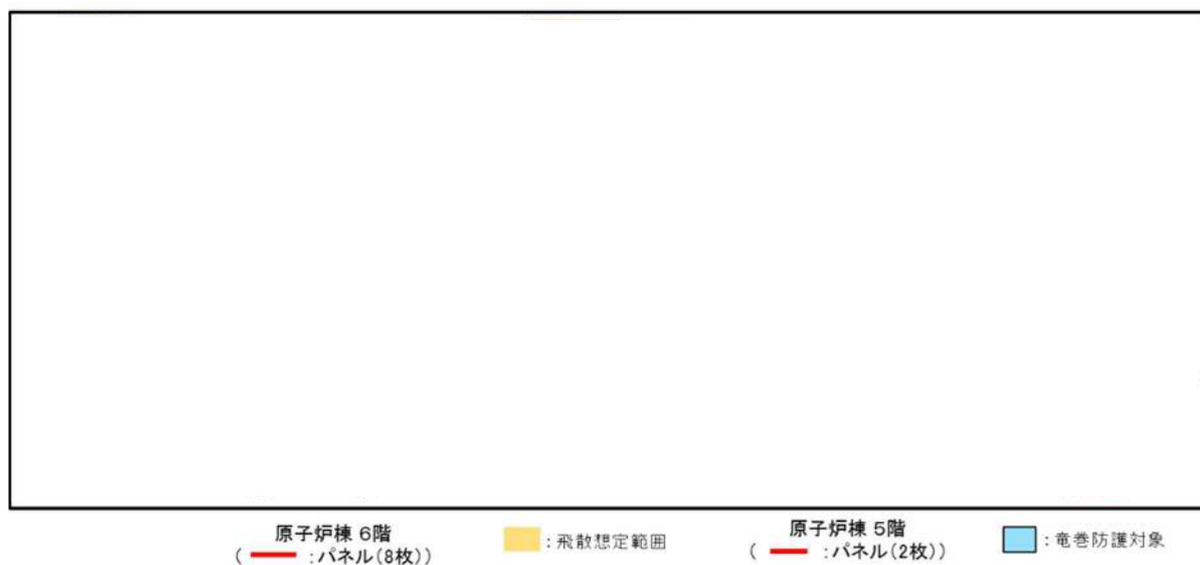


図 2-1 飛散想定範囲と防護対象設備位置図

表 2-1 影響を考慮する防護対象設備

原子炉棟 6 階の設備

No.	系統名称	機器名称
1	原子炉補機冷却系	RCW SURGE TANK LEVEL (スイッチ) (LSL-9-192)
2	原子炉補機冷却系	RCW SURGE TANK LEVEL (伝送器) (LT-9-192)
3	エリア放射線モニタ系	燃料取替フロア 燃料プール (検出器) (RE-D21-NS03)
4	エリア放射線モニタ系	燃料取替フロア 燃料プール (現場監視ユニット) (RIA-D21-NS03)
5	燃料プール冷却浄化系	FPC SKIMMER SURGE TANK LI (PNL-LCP-133)
6	燃料プール冷却浄化系	FUEL POOL TEMP (検出器) (TE-G41-N015)
7	プロセス放射線モニタ系	R/B REFUELING EXHAUST RADIATION MONITOR (A) (検出器) (D17-N300A)
8	プロセス放射線モニタ系	R/B REFUELING EXHAUST RADIATION MONITOR (B) (検出器) (D17-N300B)
9	プロセス放射線モニタ系	R/B REFUELING EXHAUST RADIATION MONITOR (C) (検出器) (D17-N300C)
10	プロセス放射線モニタ系	R/B REFUELING EXHAUST RADIATION MONITOR (D) (検出器) (D17-N300D)

原子炉棟 5 階の設備

No.	系統名称	機器名称
1	燃料プール冷却浄化系	SKIMMER SURGE TANK HI LEVEL (スイッチ) (LSH-G41-N004)
2	燃料プール冷却浄化系	SKIMMER SURGE TANK LO LEVEL (スイッチ) (LSL-G41-N005)
3	燃料プール冷却浄化系	SKIMMER SURGE TANK LO LO LEVEL (スイッチ) (LSLL-G41-N006)
4	燃料プール冷却浄化系	SKIMMER SURGE TANK HI LEVEL (伝送器) (LT-G41-N100)

3. 評価結果

以下のとおり評価し、万一、クリップが破損して飛散した場合でも影響はないことを確認した。

(1) 原子炉建屋 6 階の原子炉建屋外側ブローアウトパネル

原子炉建屋外側ブローアウトパネルの取付高さは床面より約 12.5 m にあるため、この位置からクリップが落下した場合の影響について評価した。

a. 使用済燃料プールへの影響

クリップの重量は約 230 g と軽いいため使用済燃料等への影響はない。

b. エリアモニタへの影響

エリアモニタは床面及びブローアウトパネル下部の壁面に設置されているが、保護カバーにより防護されており影響はない。

c. プロセスモニタへの影響

プロセスモニタはブローアウトパネル下部の壁面に設置されているが、他の構造物配置により直接の影響はない。

d. スキマサージタンクレベル計への影響

スキマサージタンクレベル計はブローアウトパネル下部の壁面に設置されているが、保護カバーにより防護されており影響はない。

(2) 原子炉建屋5階の原子炉建屋外側ブローアウトパネル

原子炉建屋外側ブローアウトパネルの取付高さは床面より約6.4 mであるが、主要な設備が飛散範囲内に無いため影響はない。

原子炉建屋外側ブローアウトパネルの同時開放について

1. 目的

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、原子炉棟 6 階に 8 か所、5 階に 2 か所の合計 10 箇所設置する設計としている。一方、技術基準規則 74 条では、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が要求されている。東海第二発電所では技術基準 74 条の要求に対して、原子炉建屋外側ブローアウトパネルとは別に、これが開放した場合には開口部を閉止するためのブローアウトパネル閉止装置を設置する設計としている。

原子炉建屋外側ブローアウトパネルが適切に開放しない場合、閉止装置に閉止操作に影響を及ぼす可能性があるため、3次元流体解析により、配置影響による時間遅れを考慮しても、10 箇所の原子炉建屋外側ブローアウトパネルに開放に必要な圧力が付加されること確認する。

2. 解析方法

(1) 解析コード

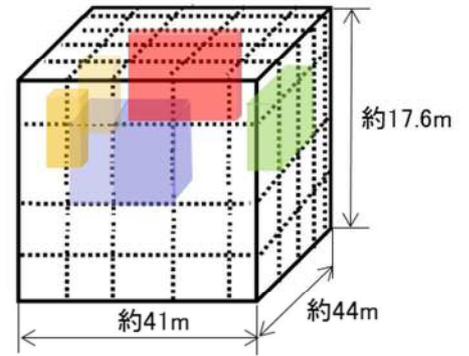
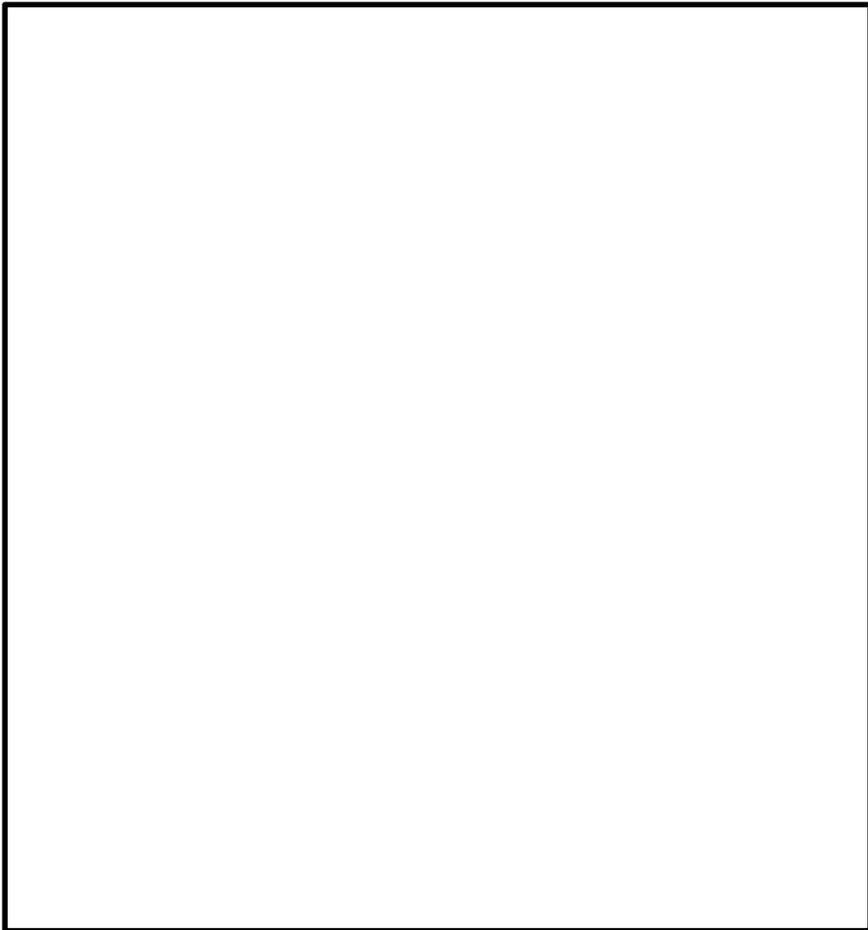
3次元流体解析コード GOTHC

(2) 想定事象

主蒸気管破断事故 (MSLBA)

(3) 解析条件・解析ノード

解析条件： 設置許可申請書添付書類十 主蒸気管破断事故解析のとおり。解析ノード：図 2-1 のとおり。原子炉建屋原子炉棟 6 階での時間差等を適切に考慮するため、6 階面を 100 個のメッシュに分割する。



6階部のノード分割(100分割)

 : ブローアウトパネルに対応するノード(5階西側)

図 2-1 GOTHIC解析によるノード分割図

3. 解析結果

圧力伝播とブローアウトパネルの位置関係を図3-1に示すとともに、解析結果を図3-2に示す。解析によれば、最初に主蒸気管室に近い原子炉棟5階のパネル2枚が開放するが、圧力は6階面全般に伝播しており、6階のブローアウトパネル8枚にほぼ同時に1 psi (6.9 kPa)を超える圧力が付加されている。

なお、解析上、ブローアウトパネルの開放圧力を6.9 kPaに設定しているが、実機大モックアップ試験結果によれば、実際の開放圧力は半分程度である。



図 3-1 圧力伝播とブローアウトパネルの位置関係



図 3-2 原子炉棟 5 階及び 6 階の解析結果

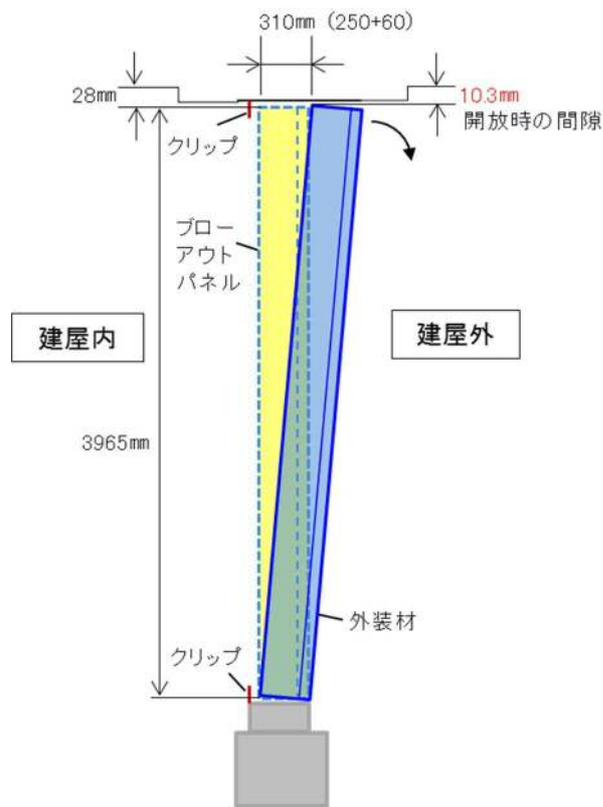
4. パネル取付枠内での物理的な干渉について

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

具体的には、ブローアウトパネル設置状態での取付枠との隙間は、上部 28 mm、下部 6 mm、左右 17.5 mm であり、開放時のパネルの移動を保守的に 0 mm（パネル下部若しくは側面が移動量なしで開放する）とした場合でのパネルの倒れこみを考慮しても、パネルと枠間には上部で約 10 mm、

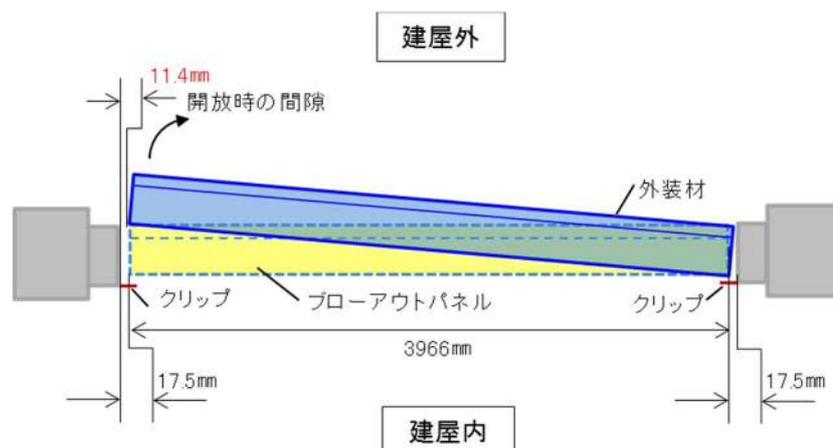
左右で約 11 mm の隙間を有した状態であり、パネルは取付枠に干渉せず開放に影響はない。この状況を図 4-1 及び図 4-2 に示す。なお、原子炉建屋外側ブローアウトパネルの寸法公差は、保守的に J I S による普通公差とした場合でも ± 4 mm 範囲であり、この分を考慮しても型枠と原子炉建屋外側ブローアウトパネル間には隙間は、上部で約 6 mm、左右で約 7 mm が確保されることから開放に影響はない。

このため、強制開放装置は、念のための装置であることから、自主設備と位置付けている。



縦断面図

図 4-1 ブローアウトパネル開放時の縦断面図



横断面図

図 4-2 ブローアウトパネル開放時の横断面図

補足 16-8-4

原子炉建屋外側ブローアウトパネルの飛出し挙動について

1. 目的

原子炉建屋原子炉棟 5, 6 階の原子炉建屋外側ブローアウトパネルが、設計圧力を受圧し、飛び出した際の挙動を検討した。

2. 検討条件

ブローアウトパネル周辺の概要及び評価に用いる寸法等を図 2-1 に示す。

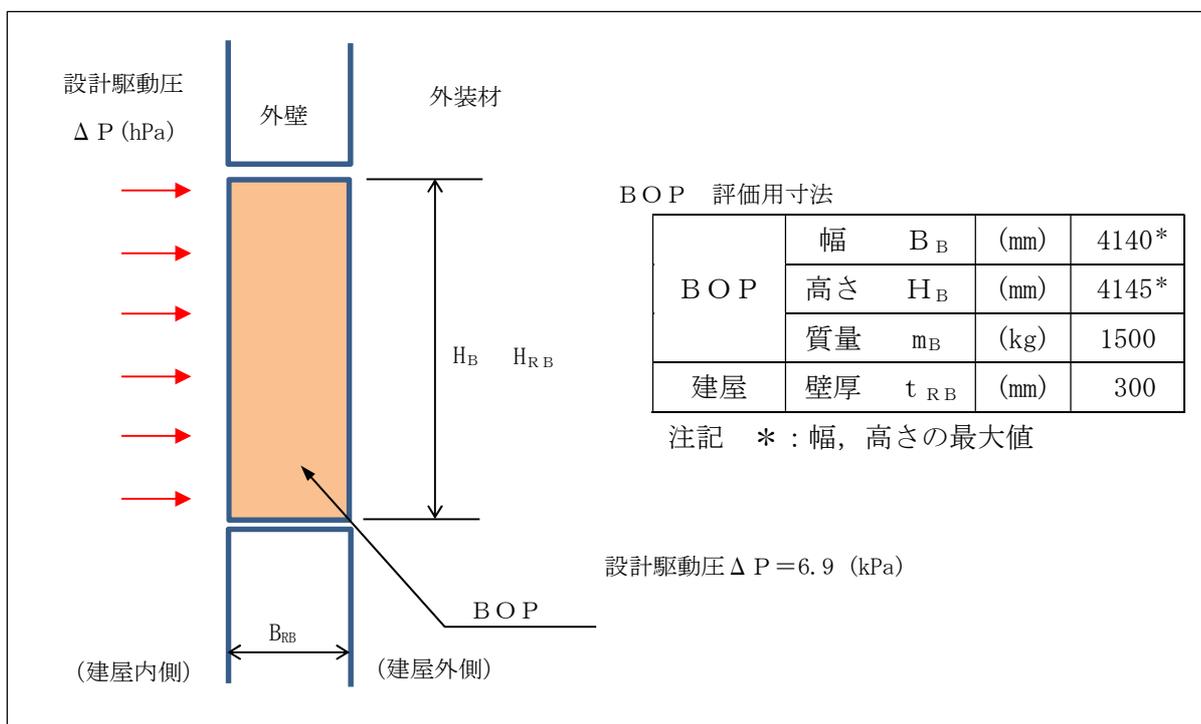


図 2-1 概略図及び寸法条件

3. 飛出し挙動

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、設計差圧 ΔP を受けて、クリップが外れ、図 3-1 に示すようにブローアウトパネル下端と外壁部が接する。そのため、接触面には摩擦が生じ、ブローアウトパネルの上端と下端の移動速度は異なることとなるが、その差は微小であり、ほぼ垂直状態で移動することを確認する。

図 3-1 のモデル図に示すとおり、ブローアウトパネルの上端が外壁の外縁に達した際の下端との移動量の差である dx を算出することにより、ブローアウトパネルの状態を確認する。

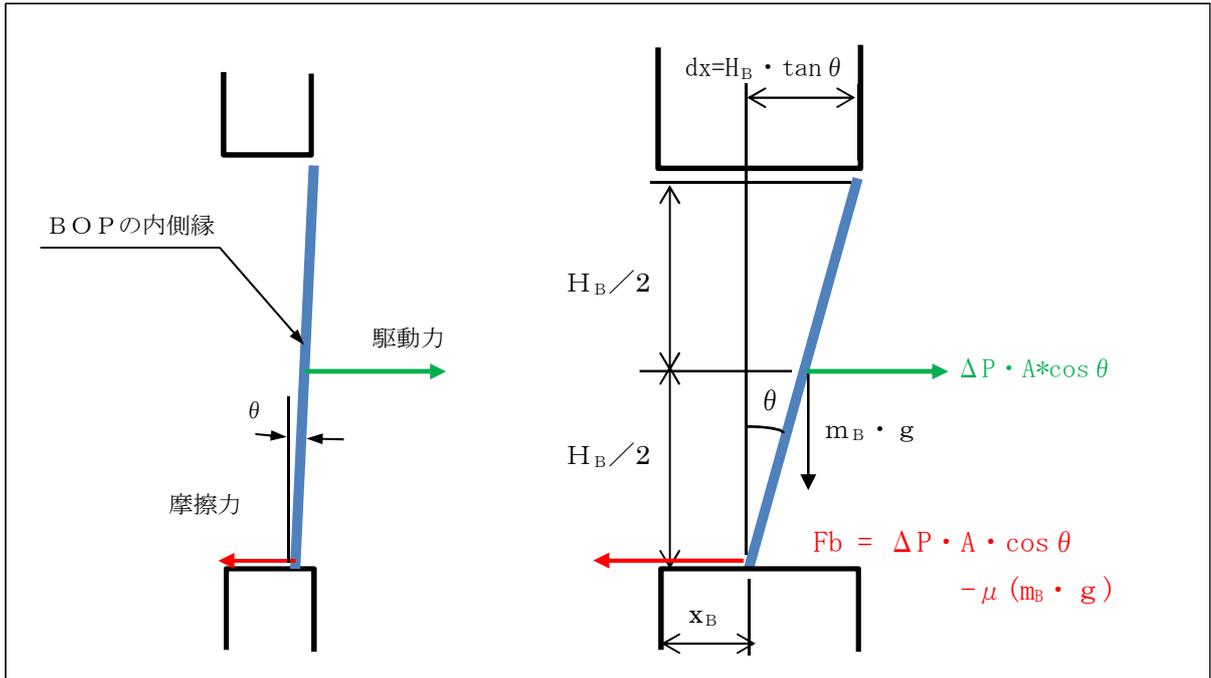


図 3-1 ブローアウトパネル飛出し挙動時の概略図及び検討モデル図

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

$$I = m_B \times H_B^2 / 3$$

- (2) ブローアウトパネルの回転に関する運動方程式は、次式のとおりである。

$$I \cdot \ddot{\theta} = \Delta P \cdot A \cdot \cos \theta \times \frac{H_B}{2} + m_B \cdot g \times \frac{H_B}{2} \tan \theta$$

ここで、 $\ddot{\theta}$ ：角加速度

- (3) ブローアウトパネルの並進に関する運動方程式は、次式のとおりである。

$$m_B \cdot \ddot{a} = \Delta P \cdot A \cdot \cos \theta - \mu \cdot m_B \cdot g$$

ここで、 \ddot{a} ：BOPの加速度
 μ ：摩擦係数（=0.6）

クリップが外れた瞬間を $t = 0$ とすると、初期条件 $\theta = 0$ より、初期角速度 $\dot{\theta}_0$ 及び初期並進加速度 \ddot{a}_0 が算出できる。また、初期の並進速度 $v_0 = 0$ である。

次に、任意の時刻から微小時間 Δt 後のブローアウトパネルの傾き角度の増加分 $\Delta\theta$ は以下のとおりとなる。

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

同様に、 Δt 後のブローアウトパネルの下端の移動速度の増分 Δv_t は以下のとおりとなる。

$$\Delta v_t = \ddot{a}_t \cdot \Delta t$$

また、 Δt 後のブローアウトパネルの下端の移動量 Δx_B は以下のとおりとなる。

$$\Delta x_B = v_t \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot \ddot{a}_t \cdot \Delta t^2$$

これらの関係を用いて、原子炉建屋外側ブローアウトパネルの上端が外壁外縁まで移動 ($x_B + dx = 300 \text{ mm}$) するまでの時間 t を求めると、

$$t = 0.090 \text{ (s)}$$

となり、このときの傾きと上端の先行変位は、

$$\theta = 0.00129 \text{ (rad)} (= 0.074^\circ)$$

$$dx = 5.4 \text{ (mm)}$$

であることから、上端が飛び出す時点で原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、ほぼ垂直状態を保っており、下端もほぼ外壁外縁に到達していることが分かる。

また、ブローアウトパネルの下端の速度は 6.7 m/s であることから、下端も 0.001 秒後には外壁の外縁に到達する。

4. 検討結果

以上の検討により、ブローアウトパネルは、クリップが開放したのち、開口部からほぼ垂直状態を保って飛び出すと考えられるため、「上端が傾いた状態で飛び出し、竜巻防護ネットに干渉し、下端が拘束されて動かなくなり、ブローアウトパネルが躯体枠から外れない」という事象は起こらない。

原子炉建屋外側ブローアウトパネル開放時の他設備への影響について

- (1) ブローアウトパネルのチェーンが、閉止装置に干渉しない設計
 パネル上部に設置する落下防止チェーンは、干渉防止ガイドを設置することで、閉止装置の上部レールに接触しない配置とする。
- (2) ブローアウトパネルの竜巻防護ネットに干渉しない設計
 ブローアウトパネル開放時に、パネルの竜巻防護ネットとの干渉を防止する目的で、ストッパーを設置する。
- (3) ブローアウトパネルのチェーンが落下の衝撃荷重に十分耐える設計
 十分な強度を有する落下防止チェーンを設置する。なお、過去の強制開放装置設置において実績のある落下防止チェーン、シャックル及び吊ピースとアンカー等の評価により、1本のチェーンで約5.5 tの重量物の高さ4.5 mからの落下を想定しても、衝撃荷重に耐えることを確認済みである。このチェーンを2本以上設置することで、開放時の衝撃に耐える設計とする。
- (4) ブローアウトパネル受け架台を設置
 ブローアウトパネルは落下防止チェーンにより開放時の落下防止を図る設計とするが、受け架台は落下したパネルを受け止め、ブローアウトパネル開放時のチェーンの衝撃を緩和させる役割及び、建屋外壁や他関連設備への波及的影響を防止する機能を果たす目的で設置する。

以上の対策案を図1-1にまとめる。

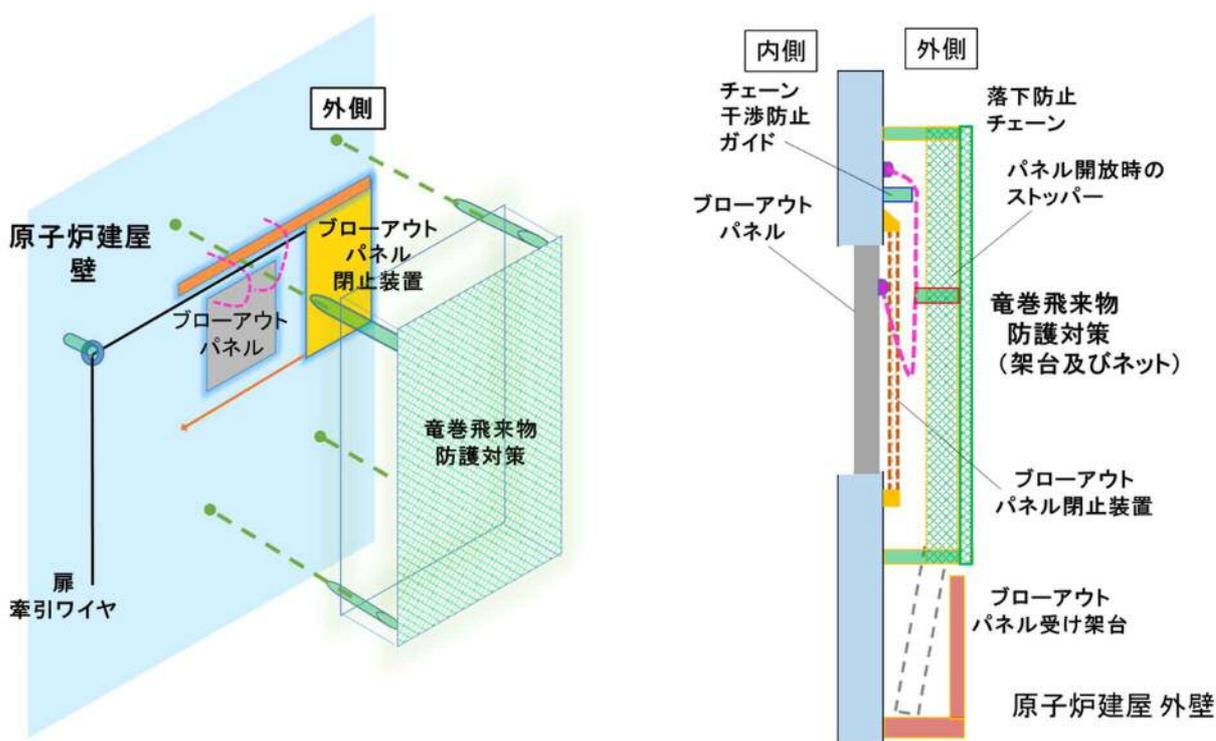


図1-1 ブローアウトパネル開放時等の干渉対策について

原子炉建屋外側ブローアウトパネルの保全管理方針について

1. 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの保全管理について

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、要求される機能（6.9 kPa 以下の差圧での開放機能及び弾性設計用地震動 S_d で開放しない機能を含む原子炉建屋原子炉棟としてのバウンダリ機能）を担保するため適切に保全管理することが必要である。

計画中の保全内容（案）は、表 1-1 のとおりである。なお、頻度については、今後、要素試験や産業界実績を踏まえ点検周期を決定し、保全計画に反映していく。

表 1-1 ブローアウトパネルの保全管理（案）

区分	必要な機能	目的	管理項目	実施内容
保守管理	開放機能	抗力を設計範囲内に確保	クリップの性能管理	◆ 定期的の実機クリップを取り外し、クリップが所定荷重以下で降伏することを引張試験にて確認。なお、クリップが要求仕様を満足しない場合には当該ロッドのクリップは全て取替
			型枠内面状況	◆ シール取替の合わせ型枠の内面（ブローアウトパネルとの間）に異常（有意な腐食やバリ等）がないことを目視にて確認
	気密性能	シール健全性確保	気密性能（建屋）	◆ 原子炉建屋気密性能検査にて、原子炉建屋としての気密性能が確保されることを確認
			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
			シール取替	◆ 定期的な交換。なお、当該シールは紫外線による劣化が想定されず、環境条件も緩やかであるため、シールメーカ等の知見などを踏まえて取替周期を設定
	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、異常のないこと目視にて確認

原子炉建屋外側ブローアウトパネル機能確認試験要領について

1. 目的

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

2. 試験期間

実施時期：平成 30 年 6 月 6 日（水）～22 日（金）

場 所：株式会社 根本鉄工 茨城県ひたちなか市十三奉行 2076-2

3. 試験項目

- (1) 作動確認 : ブローアウトパネルの開機能確認
- (2) 閉維持確認 : ブローアウトパネルの耐震性能の確認

ブローアウトパネルとその取付枠、並びに新たに設計したクリップを設置した実機大のモックアップ試験体を製作し、設計作動圧の 1 psi で確実に開放されることを確認するため、油圧ジャッキを用いた加力による開放試験を実施する。さらに、本試験にて実測する開放に必要な荷重より、シール材とパネル下部の摩擦による抗力を求め、クリップの条件を必要に応じて最適化する。

上記で求めたクリップ条件によりのブローアウトパネルの耐震性能を確認する。

本試験での確認事項を以下に示す。

【作動確認】

- ①ブローアウトパネルの開放動作の確認
- ②ブローアウトパネルの開放荷重の確認
- ③クリップ脱落荷重の確認*
- ④シール材と下部摩擦の開放荷重に与える影響の確認

【閉維持確認】

- ①固有周期測定
- ②ブローアウトパネルが S_d 相当荷重で開放しないこと（パネルの荷重曲線より評価）

注記 *：クリップは取付部材（溝形鋼）に固定されているため、脱落はしないが、クリップがブローアウトパネルに取り付けられた山形鋼から完全に外れて荷重を負担しなくなった時点を脱落とし、クリップのひずみ計測などから判断する。図3-1にクリップの固定状態及び脱落状態を示す。



図 3-1 クリップの固定状態及び脱落状態

4. 試験概要

4.1 試験場所概要

モックアップ試験は、ブローアウトパネル及び取付け架台を試験場で作成し実施する。図4-1に試験場の配置図を示す。

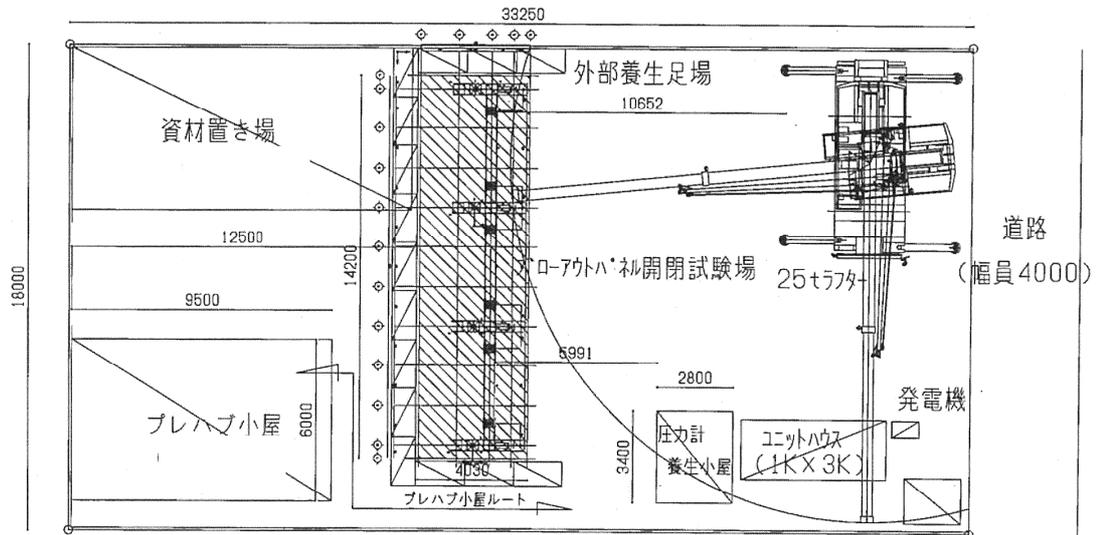


図4-1 試験場配置図

4.2 試験装置概要

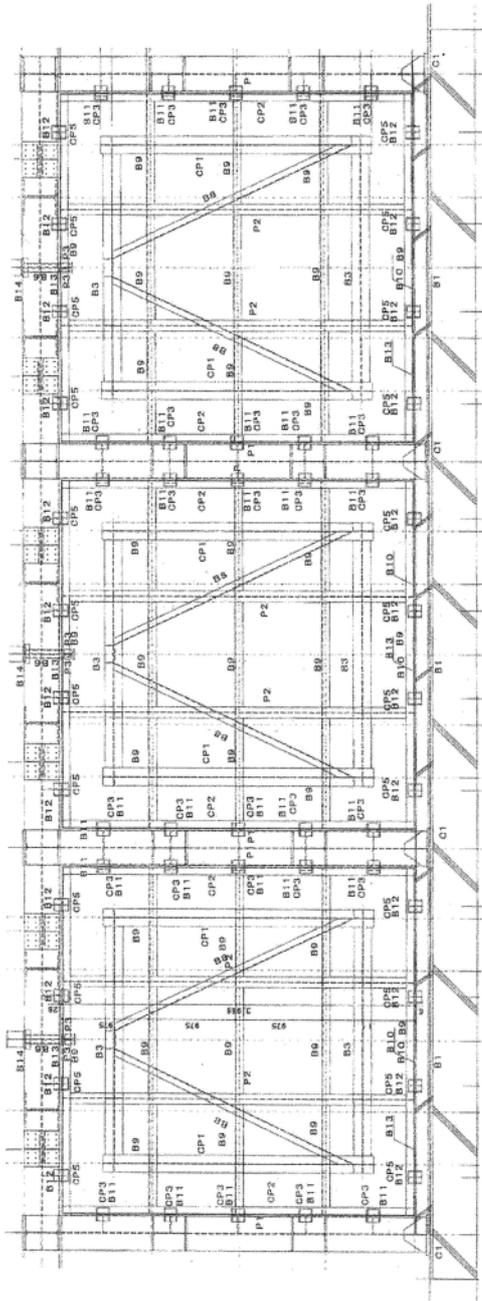
試験装置は、実機を模擬したブローアウトパネル、加力装置および躯体を再現するブローアウトパネル取付け部と加力装置取付け部を一体化した取付け架台で構成する。図4-2に試験で使用するブローアウトパネル及び取付け架台の概略図を示す。

ブローアウトパネルは実機に取り付けられているブローアウトパネルのうち最大のものを模擬して実施する。サイズは約4 m×約4 m、重量は約2.0 t*である。なお、試験体のブローアウトパネルは3体製作する。

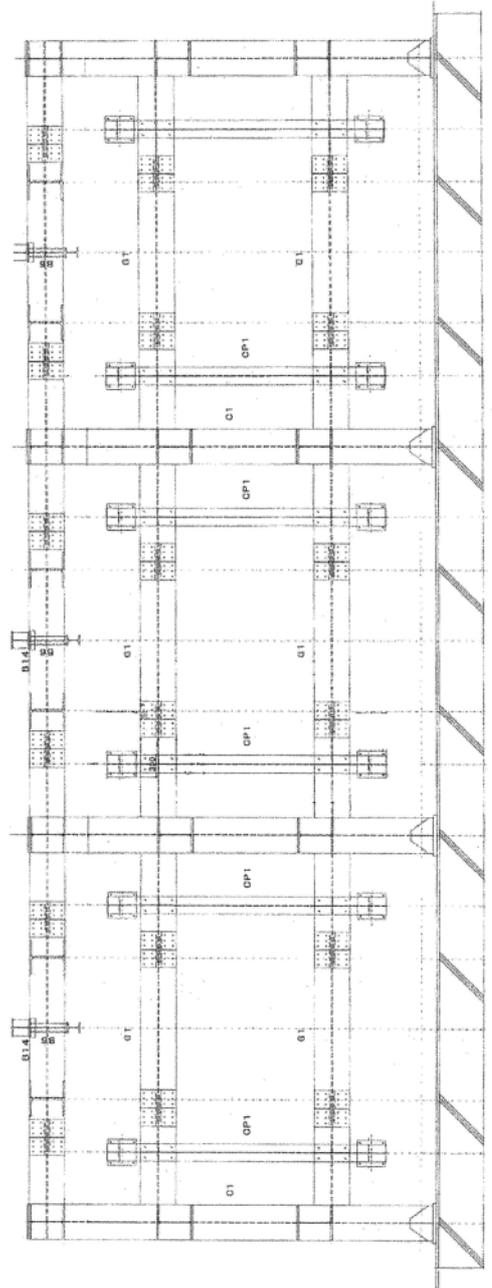
取付け架台は四方が鉄筋コンクリート造の原子炉建屋開口部を再現する。パネルとの接触により摩擦の影響を強く受ける開口部下部のみ鉄筋コンクリート造とし、開口部の側面および上面側はH形鋼によって再現する。

試験体のブローアウトパネルは、脱落時の損傷等を防止するために、クレーンとワイヤにて落下を防止し、復旧による複数回の試験を実施可能とするものとする。

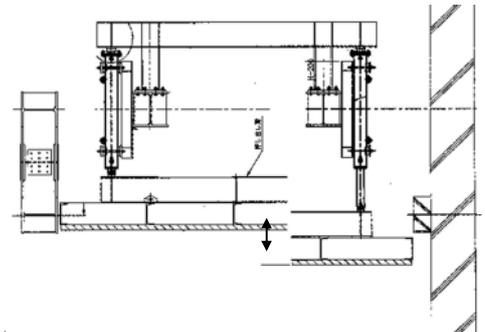
注記 * : 本体 : 約1.8 t, 保温材及び外装板 : 約0.2 t



パネル及び押し出し梁図



試験用架構図



側面図

図 4-2 ブローアウトパネル及び取付け架台の概略図

4.3 ブローアウトパネルの架台への取付け方法

ブローアウトパネルは、屋外側全周にシーリング材を施工する。シーリング材は、コニシボンド製「MSシール」とし、とする。ブローアウトパネルは、試験装置架台（実機では躯体）に取り付けられた溝形鋼と、ブローアウトパネルに取り付けられた山形鋼をクリップで挟むことにより固定する。クリップを取り付が可能な箇所は、上下に各4箇所、左右に各5箇所の計18箇所とする。

クリップの形状および溝形鋼への取付け位置を図4-3に、層間変形角を図4-4示す。クリップの材質はSS400とし、形状は図4-3に示すように、クリップ幅80 mm、アングル側のとし、溝形鋼の先端とのとして、M6ボルトにより溝形鋼に取付ける。ここで、溝形鋼とのとしたのは、ブローアウトパネル設置階における S_s に対する地震応答解析結果の層間変形角の最大値に十分な余裕を見込んだ層間変形角に対しても、アングル先端がクリップと干渉することを防ぐことを目的としている。



図 4-3 クリップ形状及び取付位置図

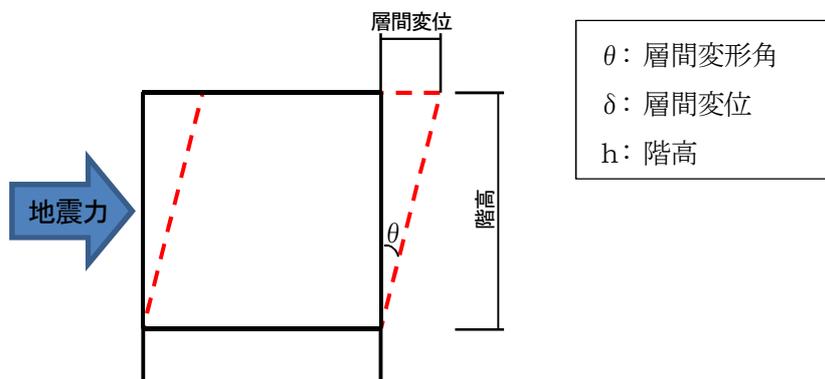


図 4-4 層間変形角

ブローアウトパネルの耐震強度評価結果の詳細については、添付資料「V-2-9-1-10 原子炉建屋原子炉棟の耐震性についての計算書」に示す算定及び結果を基に作成した、添付書類「V-2-9-1-10 別紙 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」に示す。

4.4 固有周期測定方法

ブローアウトパネル試験体に加速度計を取り付け、ブローアウトパネルの固有振動数をハンマーによる打撃，又は常時微動計測により測定し固有周期を求める。

注：地盤は常に僅かに揺れており，この微振動を常時微動という。常時微動は，風や波浪などの自然現象や，交通機関，工場の機械などの人工的振動など不特定多数の原因により励起される。この常時微動で地盤や構造物の振動特性を推定することができる。

試験概要

(1) ハンマーによる打撃：

ブローアウトパネル試験体中央部に設置した加速度計の傍をゴムハンマー（267.5 g）で打撃し，加速度を計測する。

常時微動計測：ブローアウトパネル試験体中央部に設置した加速度計により常時微動により励起された加速度を計測する。

(2) 計測機器

計測機器の取付位置を図4-5に示す。

a. 加速度計

メーカー名称：リオン，型番名称：PV85（振動数範囲：1～7000 Hz）

b. アンプ

メーカー名称：リオン，型番名称：UV16

c. マルチチャンネルデータステーション

メーカー名称：小野測器，型番名称：DS2108

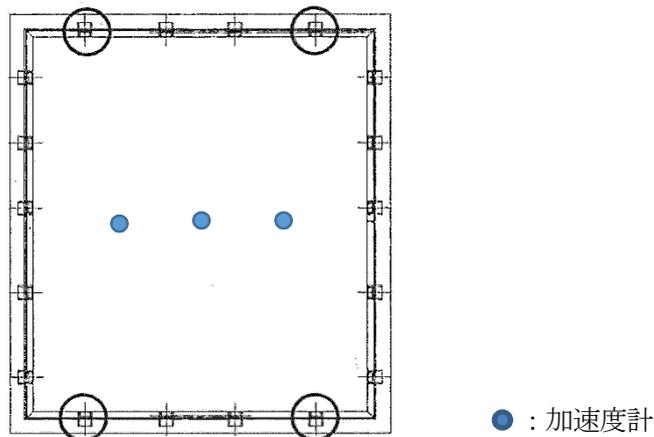


図4-5 計測機器取付位置図

5. 加力方法

5.1 試験機器構成及び加力方法概要

本試験に使用する機器の配置及び構成の概念図を図5-1に、試験用の架構の詳細を図5-2に示す。

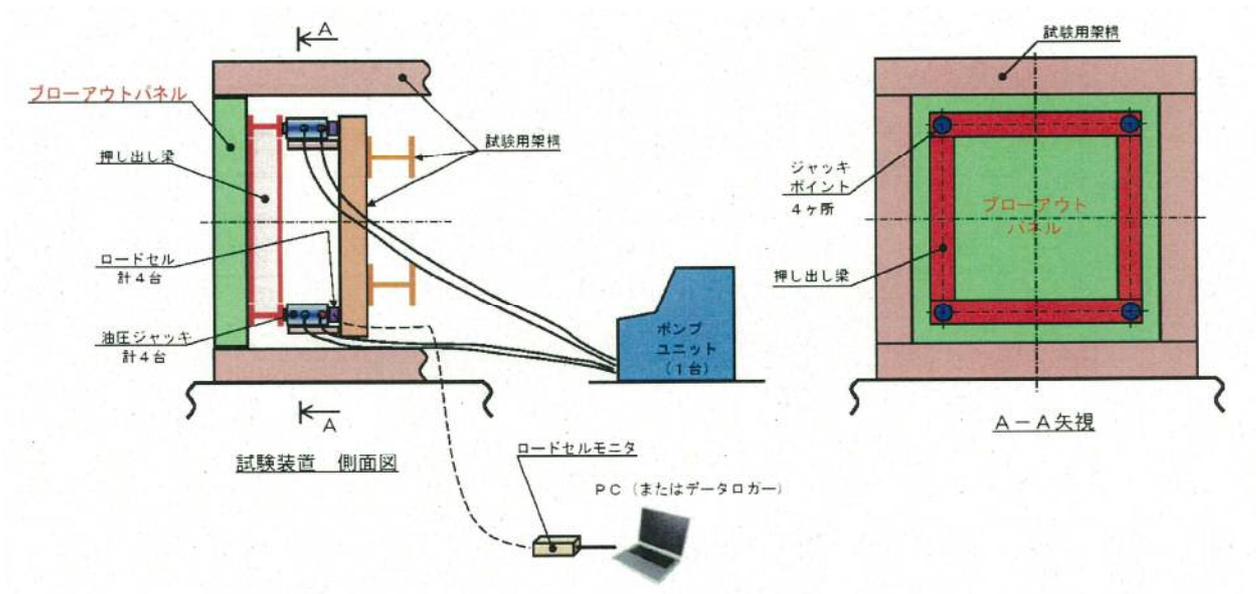


図 5-1 試験機器配置及び構成概念図

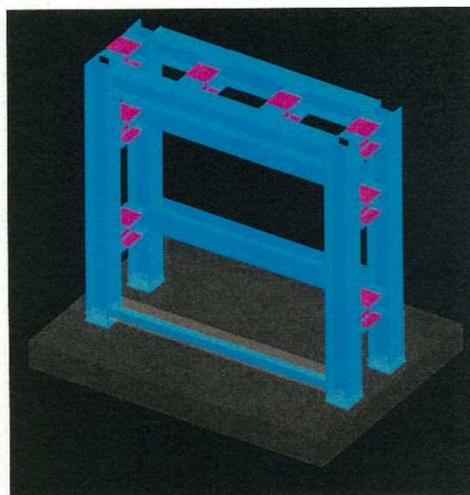


図 5-2 試験用架構詳細図

試験用架構にブローアウトパネル1面を取付する。当該パネルに「押し出し梁」を接触させ、その「押し出し梁」を4台の油圧ジャッキを使用して押し出すことにより、ブローアウトパネルを加力する。

「押し出し梁」はブローアウトパネルに対して独立しており、ブローアウトパネルの開放条件に影響を与えないものとする。

油圧ジャッキの反力は試験用架構で受ける構造とする。

また、各油圧ジャッキの反力側にはロードセルを取付し、各油圧ジャッキから試験体への負荷を測定するものとする。各ロードセルはロードセルモニタにて出力を抽出・変換し、それぞれの出力はPC（またはデータロガー等）で記録するものとする。

試験体は既設仕様に合わせて3体製作する。試験体仕様を表5-1に示す。

表5-1 試験体仕様（試験体1～3）

製 造	清水建設株式会社（株式会社根本鉄工）
型 式	既存パネル模擬
概算質量	2000 kg
数量	各1面
サイズ	幅 3965 mm×高さ 3966 mm
クリップ取付箇所	18箇所（既設設置位置と同様）*
シール材	シリコンシーラント

注記 *：クリップ個数及び形状は、試験体により変更する場合有り。

5.2 加力仕様

ブローアウトパネルを押し出し梁により加力するために、複動型油圧ジャッキ4台を使用する。ジャッキは1台のポンプユニットから加圧する。当該ポンプユニットは、4台のジャッキへの吐出油圧を一定とすることで、一定の加重にて作動を制御する。油圧ジャッキは、パネルの開放状況を詳細に確認するために、ストローク及び伸長速度の異なる2種類を準備する。

加力方法概要図を図5-3に、押し出し梁の支持装置を図5-4に示す。油圧ジャッキ及びポンプユニットの仕様を表5-2、表5-3、及び表5-4に示す。

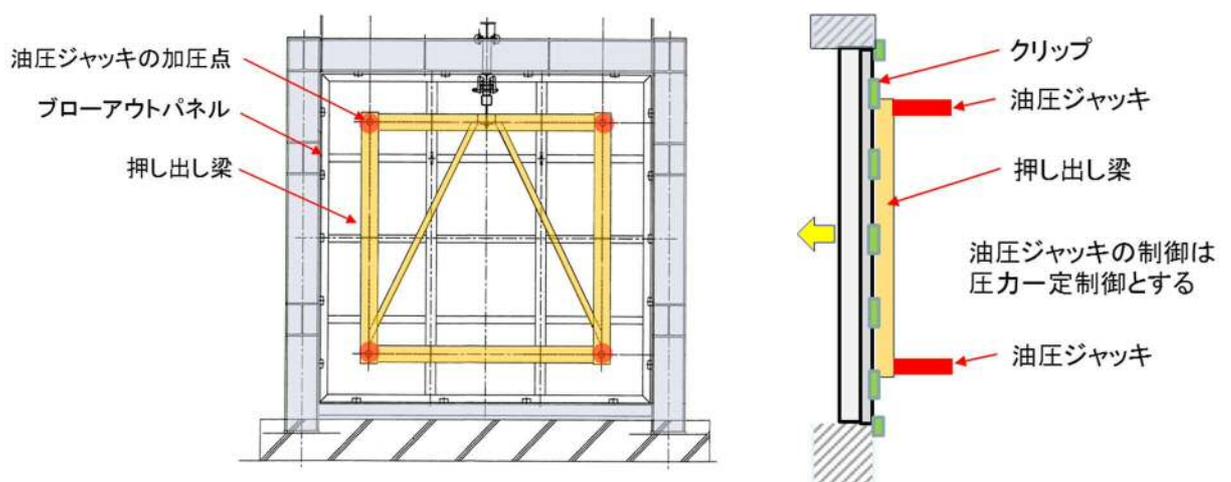


図5-3 加力方法概要図

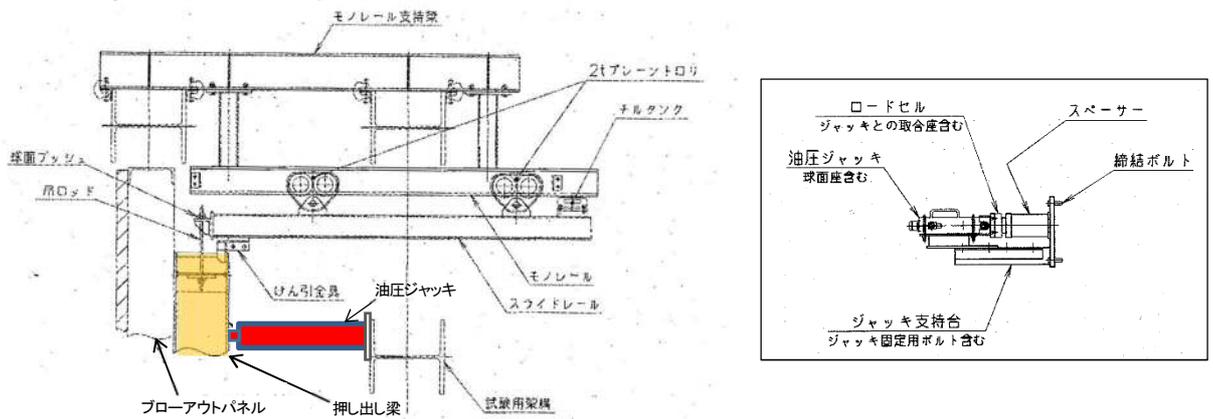


図5-4 押し出し梁と支持装置の概要図

表5-2 油圧ジャッキ仕様 (その1)

製造メーカー	オックスジャッキ株式会社
型 式	RM-1020
能力 (1台あたり)	100 kN
使用数量	4台
ストローク (最大)	200 mm
伸長速度 (理論値)	51.8 mm/s (50 Hz 時)

表5-3 油圧ジャッキ仕様 (その2)

製造メーカー	オックスジャッキ株式会社
型 式	SLP-20100
能力(1台あたり)	200 kN
使用数量	4台
ストローク(最大)	1000 mm
伸長速度(理論値)	11.6 mm/s (50 Hz 時)

表5-4 ポンプユニット仕様

製造メーカー	オックスジャッキ株式会社
型 式	4LH-7.5P
吐出量	6.1 ℓ/min (50 Hz時)
使用数量	1台
電 源	AC200V
電動機	7.5×4 kW
質 量	約2,100 kg

5.3 試験方法

(1) 試験手順

モックアップ試験は3ケース実施し、試験パラメータはクリップの配置（クリップを取付ける個数）とする。試験ケースを表5-5に示す。

試験体1のクリップ配置は、とする。これは、現状で予想されるシールの抗力とパネル下部の摩擦、クリップ1個あたりの耐力から、 S_d 地震時には開放せず、かつ、設定差圧の1 psiにて確実に開放するように設計された配置である。下側のクリップについては、摩擦による抗力分とほぼ同等となるようにクリップを2個減らしている。なお、この試験体1のクリップ配置については、モックアップ試験に先立ち実施される予定のクリップ耐力試験の結果を踏まえて見直しを実施する。試験体1のクリップ取付位置を図5-5に示す。

試験体2は、試験体1の結果を反映し、より最適化した開放荷重を得ることを目的とする。試験体1で所定の荷重以下での開放動作の機能が確認できた場合は、試験体2は同条件にて再現性を確認するものとする。

開放機能が確認できなかった場合は、試験体1のクリップ数を減して開放荷重の調整を図り試験を実施する。（クリップ数減の場合は、荷重の均一化の観点より左右のクリップ各1を減とする）試験体2のクリップ取付位置（案）を図5-6に示す。

実機では、これら2ケースの試験結果より、試験体1または試験体2の何れかのクリップ配置を採用することとし、設計の妥当性を確認する。

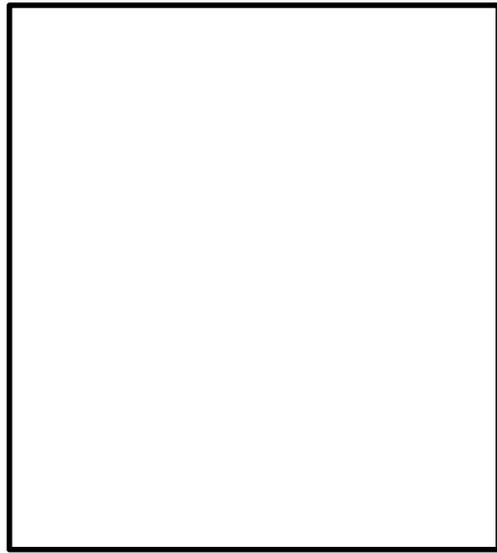
試験体3は、試験体2で所定の荷重以下での開放動作の機能が確認できた場合に、試験体2と同条件にて再現性を確認するものとする。

上記の開放試験を、2種類のジャッキにて実施する。最初に伸長速度の速い油圧ジャッキを用いて試験を行い、パネルの開放状況が確認できた段階で、クリップ等同じ条件にてパネル開放状況等を詳細に確認するために、伸長速度を遅くしたジャッキを用い、詳細に開放状況を確認する。必要に応じて測定機器等の追加を行う。

試験体1～3は、落下防止の目的でワイヤとクレーンを準備することから、必要に応じて復旧し再試験が可能な状態を保つこととする。

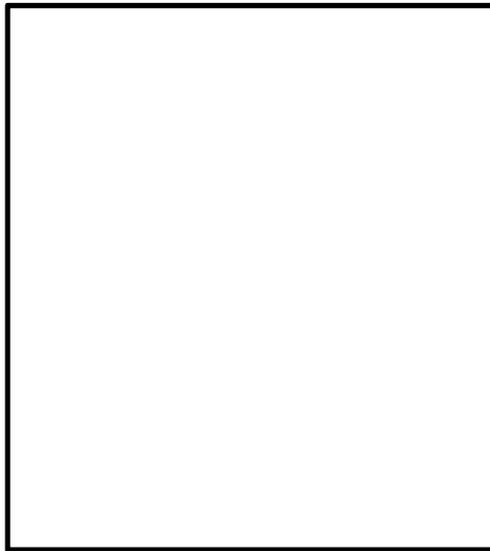
表 5-5 試験ケース

	クリップの配置及び個数				クリップ形状, 取付寸法			備考
	上	下	左	右	幅	内寸法	掛かり代	
試験体1			2	2	80 mm	 mm	 mm	
試験体2	試験体1と同条件				80 mm	 mm	 mm	試験体1で機能確認の場合
	試験体1の条件を踏まえ設定				80 mm	 mm	 mm	試験体1で機能確認できない場合
試験体3	試験体2と同条件				80 mm	 mm	 mm	



○ : クリップ取付位置

図 5-5 クリップ配置図 (ケース 1)



○ : クリップ取付位置

図 5-6 クリップ配置図 (案) (ケース 2)

5.4 測定内容及び方法

(1) 測定内容

各油圧ジャッキ負荷, 変位

(2) 測定方法

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

計測項目は, ジャッキによる加力荷重4点 (上記, 荷重計より取得), ブローアウトパネルの変位4点 (加力位置近傍の変位), クリップのひずみ4点 (上下の両側, 図5-7参照), ならびに試験時の開放状況を動画撮影する。荷重, 変位及び, ひずみ計測の機器構成を図5-8に示す。加力が短時間で終了する試験のため, 動的な計測システムを用い, サンプル時間は0.005 sec程度とする。

表5-6に計測機器等仕様を示す。ただし, 今後の詳細検討及び事前の作動確認状況等により, 必要に応じ変更の場合が有り。

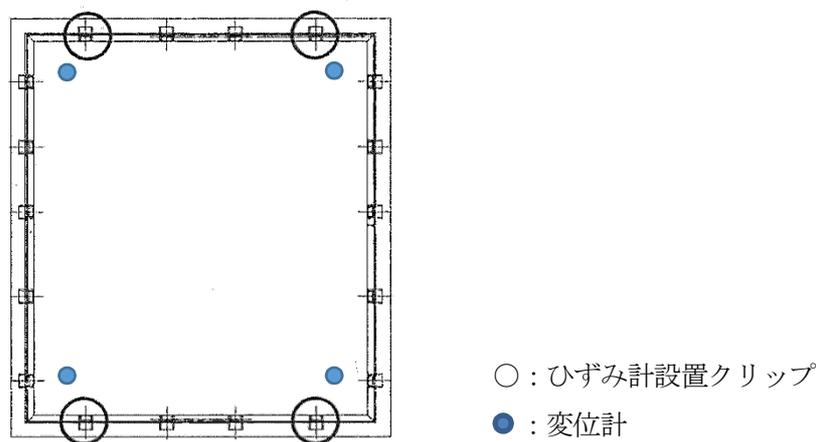
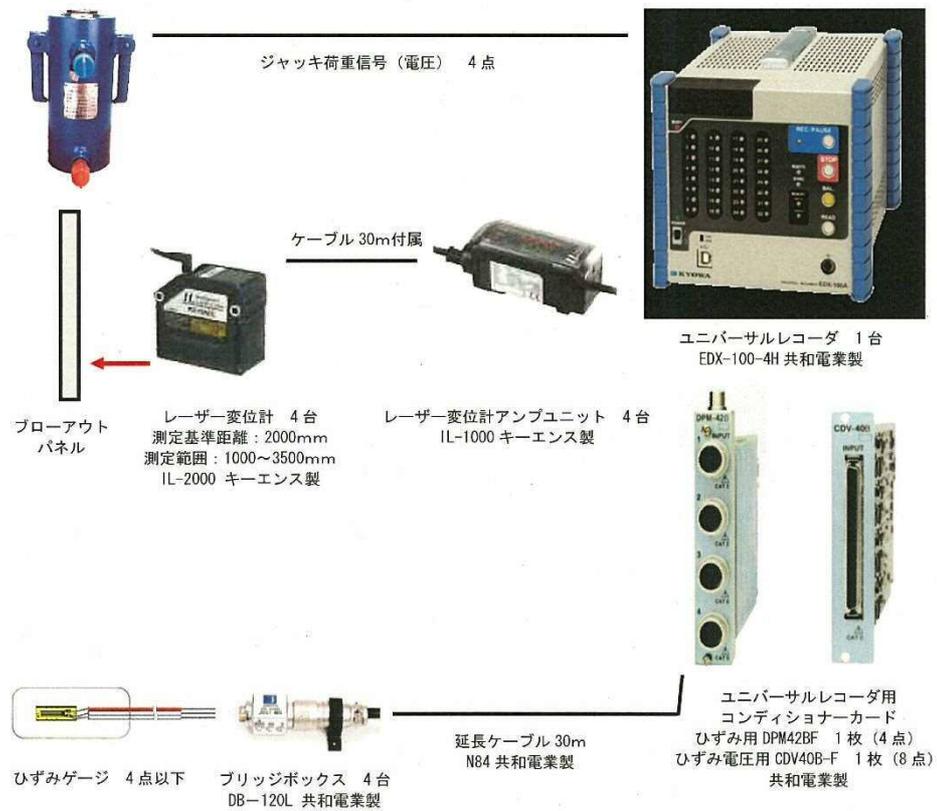


図5-7 計測器取付位置図

表5-6 計測機器等仕様 (又は相当品)

No.	機器名	員数	メーカー	型番
1	電動ポンプユニット	1台	オックスジャッキ	4LH-7.5P
2	複動型油圧ジャッキ	4台	オックスジャッキ	RM-1020
3	薄型圧縮型ロードセル	4台	共和電業	LCK-A-100KN
4	レーザ変位計	4台	キーエンス	IL-2000, 1000
5	動ひずみ測定器	4台	共和電業	DPM-911B
6	ユニバーサルレコーダ	1台	共和電業	EDX-100A-4H
7	コンディショナカード	1台	共和電業	CDV-40B-F
8	ノートパソコン	1台	-	-

注 : ケーブル等の付属品は省略



注 : 上記の他, パソコン1台と収録ソフト (DCS-100A共和電業製) を準備

図 5-8 計測システム構成

(3) 確認項目

開放試験における確認項目を以下に示すとともに、ブローアウトパネルの開放時の荷重と変位及び他の抗力との関係を求める。

開放試験にて得られる記録値とこの関係から、ブローアウトパネルの耐震性能を確認する。

- ・ジャッキ荷重 — 変位関係 (グラフ)
- ・ブローアウトパネルの開放荷重
- ・クリップの脱落時荷重
- ・シール材の抗力と下部の摩擦

原子炉建屋外側ブローアウトパネル機能確認試験結果について

試験要領書にしたがって実施した試験結果は以下のとおり。

1. 固有値確認結果

ハンマーによる打撃及び常時微動によるブローアウトパネル中央の加速度波形から高速フーリエ変換により算定したフーリエスペクトルを図1-1に示す。25 Hz並びに50 Hzに大きなピークがあり、それぞれが1次振動数、2次振動数である。

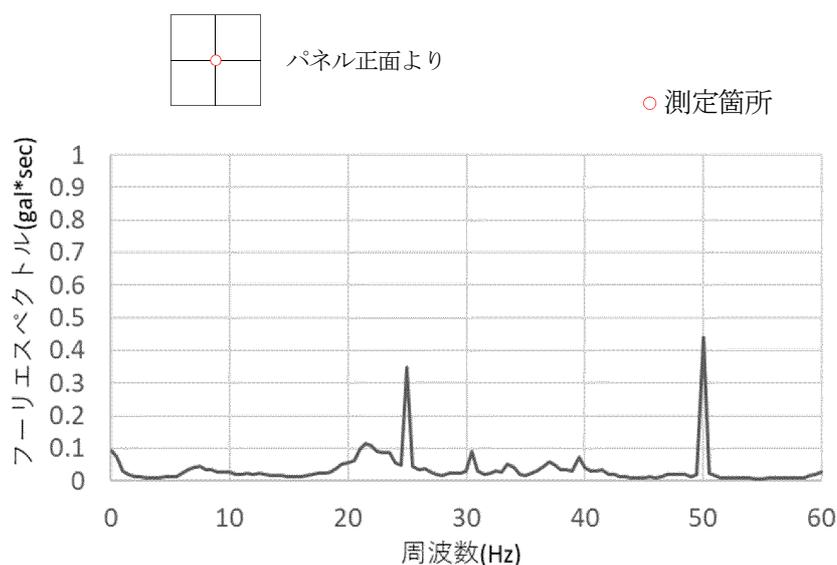


図1-1 ブローアウトパネルの固有振動数測定結果

2. 作動確認結果

(1) 開放機能確認

設計条件としたクリップ数10個（上部4か所，下部2か所，左右各2か所）の実機大モックアップ試験体に対して，4体の油圧ジャッキによる開放試験を実施し，ブローアウトパネルが設計条件（差圧6.9 kPa以下）の荷重にて開放することを確認した（試験体1）。同条件にて再試験を実施し再現性を確認した（試験体2）。試験結果を表2-1に，各油圧ジャッキの反力（ブローアウトパネルの抗力）を図2-1，図2-2及び図2-3，図2-4に示す。

表2-1 パネル開放荷重の最大値 (kN)

項目	試験日	測定値	許容値 (6.9 kPa相当値)	判定	備考 相当する差圧値
試験体1	6/9	59.6	106	○	3.8 (kPa)
試験体2	6/15	62.8	106	○	4.0 (kPa)

試験体 1

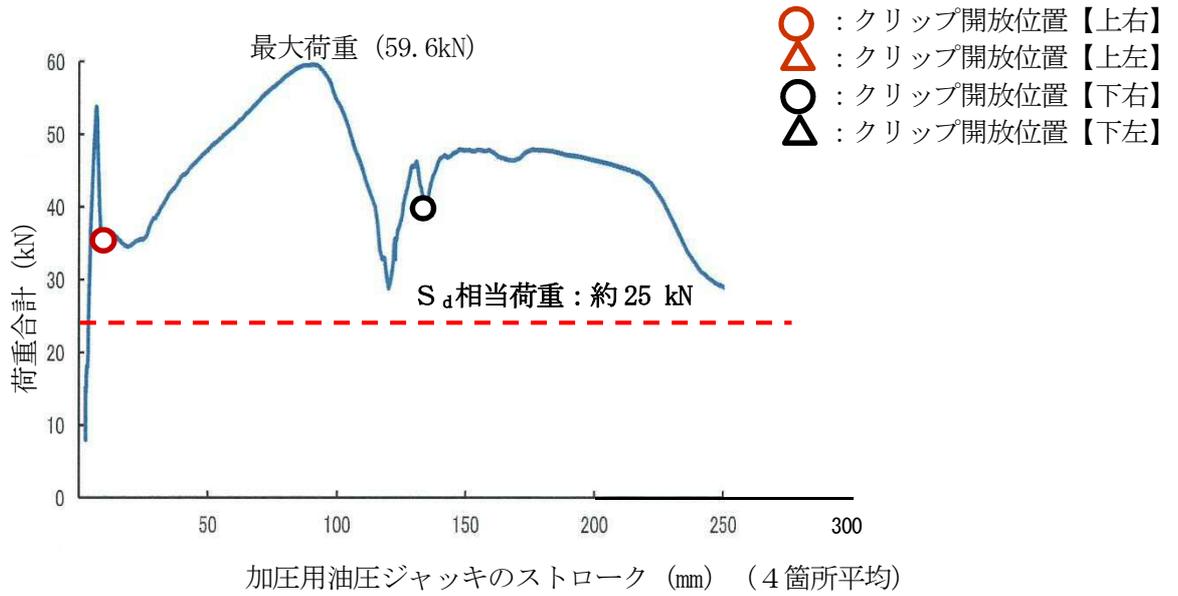


図 2-1 油圧ジャッキの荷重合計と変位図

試験体 1

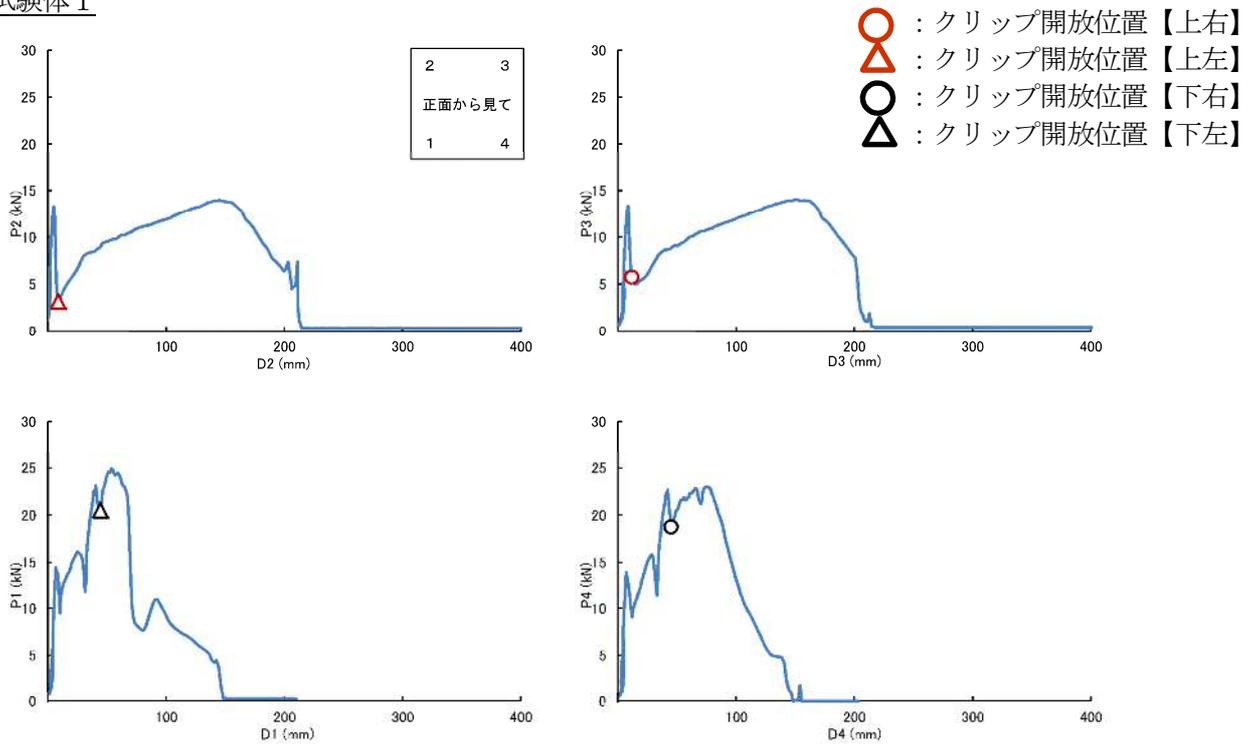


図 2-2 各油圧ジャッキの荷重と変位測定結果 (1回目)

試験体 2

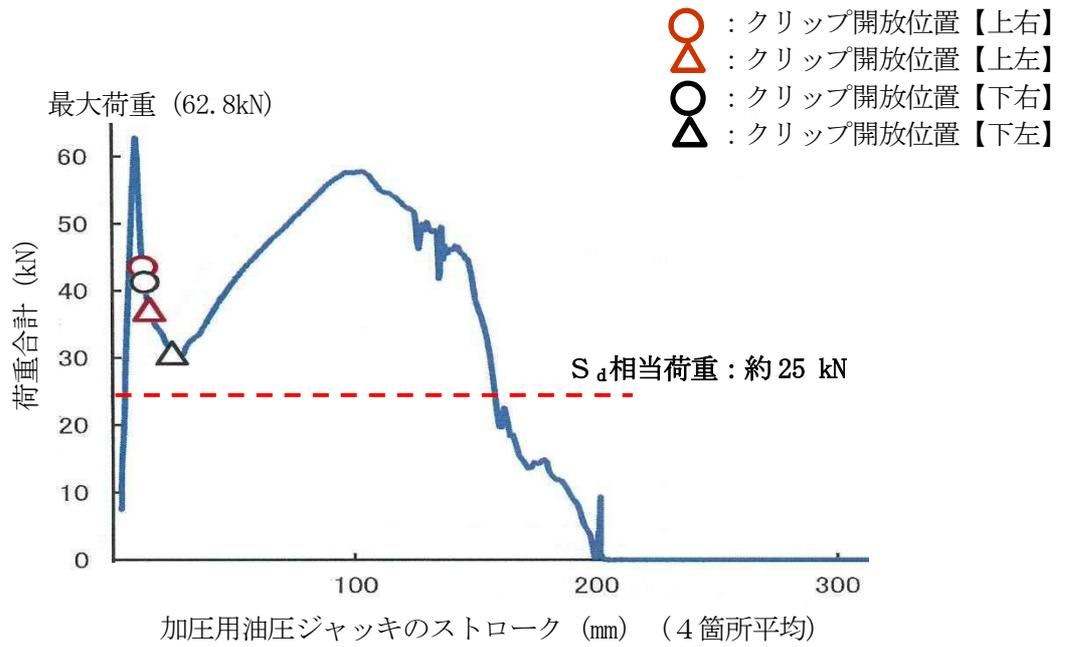


図 2-3 油圧ジャッキの荷重合計と変位図

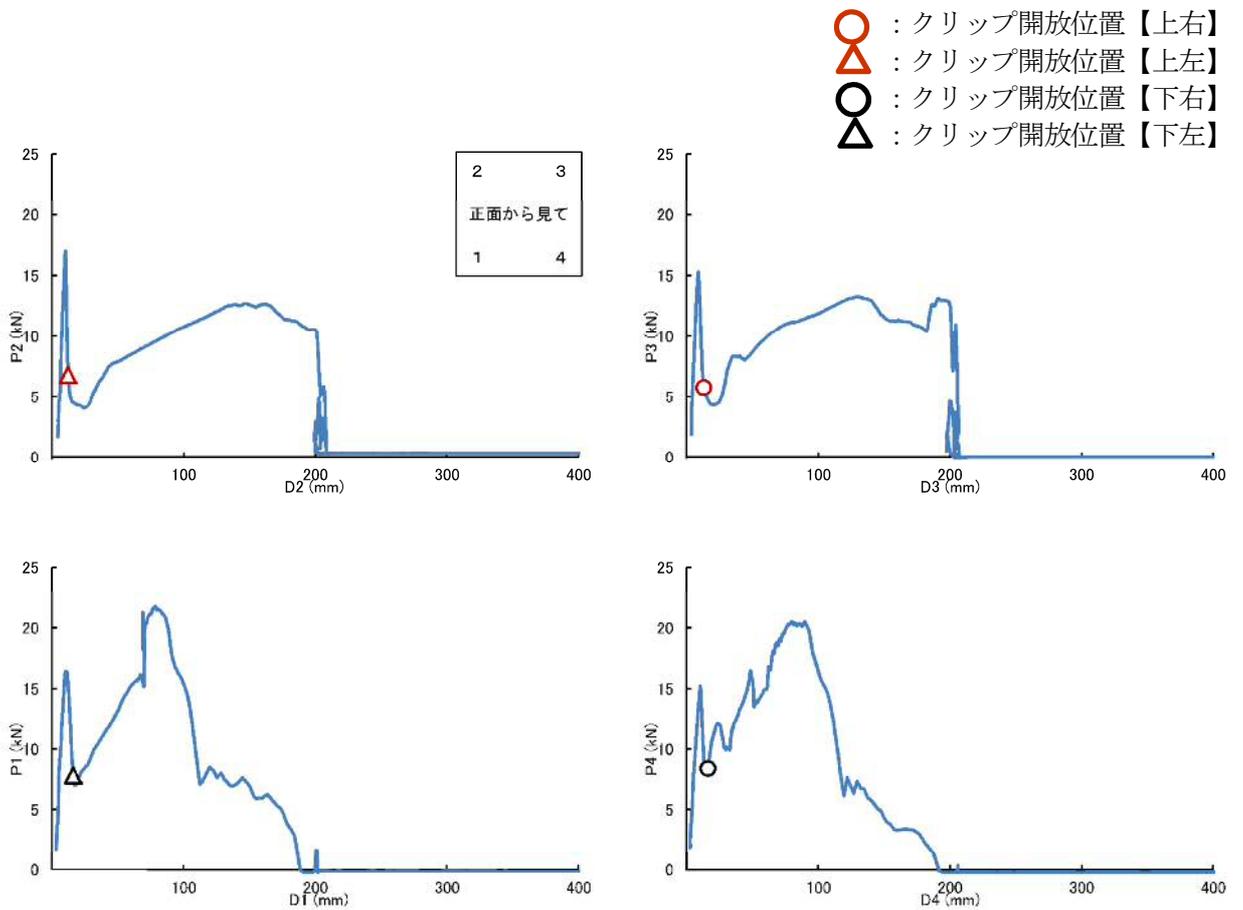


図 2-4 各油圧ジャッキの荷重と変位測定結果 (2回目)

(2) 閉維持確認結果

(1) 作動確認結果より、ブローアウトパネルの開放荷重は S_d 相当荷重値（約25 kN）以上であることを確認した。評価結果を表2-2に示す。

S_d 相当荷重値約25 kNの根拠は、以下のとおり。

ブローアウトパネル重量 : 2000kg

原子炉建屋外側ブローアウトパネル設置場所 (EL. 57 m) 最大応答加速度 (ZPA) $S_d : 1.23G$

S_d 相当荷重値 : $2000 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 1.23G = 24100 \text{ N}$

表2-2 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの耐震性能確認結果 (kN)

項目	試験日	測定値	判定値 (S_d 相当荷重)	判定
試験体 1	6/9	59.6	25以上	○
試験体 2	6/15	62.8	25以上	○

3. 実機大モックアップ試験の開放挙動に関する考察

クリップ単体試験により、クリップは変位約12 mmで脱落するため、グラフの最初のピークは、クリップ開放時の荷重である。シール材メーカーの仕様によれば、採用するシール材の最大伸び量は約600 %であるため、2度目の荷重のピークは、クリップ開放後、コーキングが約400 %~600 % (パネルの移動量にして40 mm~60 mmに相当) に伸長し、切断するまでの最大荷重とパネル下部の摩擦荷重の重畳によるものである。

シール材は使用環境により経年劣化するものであることから、接着力及びパネル開放時のシール材の切断荷重は、本試験結果より低下し、パネルが開放し易くなる傾向と想定される。また、上部と下部の荷重の相違は、パネルが上から倒れる状況における上下の速度の違いによるものである。

4. 試験結果（参考）

表1-1に示した開放試験に加え、ストローク及び伸長速度の異なる油圧ジャッキ*による開放試験（追加試験1～追加試験4）を実施した結果を表4-1に示す。

開放荷重に大きな差はなく、設計差圧（6.9 kPa）に対して十分に小さく、弾性設計用地震動 S_d 相当荷重（約25 kN）より十分に大きな荷重にて開放することを確認した。

表4-1 パネル開放荷重の最大値（kN）

項目	試験日	測定値	許容値 (6.9 kPa相当値)	判定	備考 相当する差圧値
試験体 1	6/9	59.6	106	○	3.8 (kPa)
試験体 2	6/15	62.8	106	○	4.0 (kPa)
追加試験 1	6/20	56.5	106	○	3.6 (kPa)
追加試験 2	6/21	64.4	106	○	4.1 (kPa)
追加試験 3	7/5	57.2	106	○	3.6 (kPa)
追加試験 4	7/6	53.4	106	○	3.4 (kPa)

注記 *：実現象は高速であり油圧ジャッキで模擬することは困難であるため、試験体 1, 2 は伸長速度（理論値）が速い 51.8 mm/s のジャッキ、追加試験は 11.6 mm/s の油圧ジャッキにて実施

ブローアウトパネル開放時の設計基準事故時被ばく評価への影響について

1. 概要

原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、2次格納施設のバウンダリとしての機能を有しているため、弾性設計用地震動 S_d で開放しない設計としている。このため、設計基準事故事象のうち、2次格納施設バウンダリ機能の健全性を前提としている事故事象に対して、これら事象との組合せ時期を考慮し、弾性設計用地震動 S_d を超える地震にてパネルが開放した場合の公衆の被ばく影響を確認する。

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

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

注記 *：重大事故の発生確率を 10^{-4} /年、弾性設計用地震 S_d の発生確率を 10^{-2} /年、重畳を考慮すべき基準を 10^{-7} /年（航空機落下、JEAG4601）とし、重畳を考慮すべき時期として、 $10^{-7}/(10^{-4} \times 10^{-2}) = 0.1$ 年（約36.5日）から30日を仮定

2. 放出量評価

事故発生から30日までは、設置許可申請書添付書類十に記載される評価に基づき放出量評価を行い、31日後は原子炉建屋から直接大気中に放射性物質が放出されると仮定し、非常用ガス処理系及び非常用ガス再循環系を通らずに地上放出されるものとし、非常用ガス処理系及び非常用ガス再循環系のよう素除去効果及び換気率を見込まずに放出量を評価する。

評価対象事故は、事故発生時に非常用ガス処理系排気筒から放射性物質が放出され、長期間放出が継続し、ブローアウトパネルが開放される影響が生じる「原子炉冷却材喪失」とする。具体的な放出量評価方法については別紙1に示す。

なお、燃料集合体の落下の放出率は、別紙1の別図1に示すように約20日でほぼゼロであり、事故発生から31日後以降のブローアウトパネル開放の影響はない。

放出量の評価結果を表2-1に示す。

表 2-1 原子炉冷却材喪失時の放出量の評価結果

項 目	評価期間	原子炉冷却材喪失	
		希ガス (0.5 MeV 相当値) (Bq)	よう素 (I-131 換算値) (Bq)
設置許可申請書 における放出量	無限期間	4.0×10^{12}	4.8×10^9
ブローアウトパネル開放 を想定した放出量	事故発生から 30 日まで	3.9×10^{12}	4.4×10^9
	事故発生から 31 日後以降	1.1×10^{11}	4.6×10^{10}
	合 計	4.0×10^{12}	5.1×10^{10}

3. 大気拡散条件

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

事故発生から 30 日までは排気筒放出，31 日後以降は地上放出を想定し大気拡散評価を行う。

また，ブローアウトパネルが開放した場合は原子炉建屋から瞬時に放出するものとし実効放出継続時間は 1 時間とする。

大気拡散条件の評価結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 原子炉冷却材喪失時の相対濃度及び相対線量の評価結果

項 目		実効放出 継続時間 (h)	相対濃度/相対線量		評価方位
設置許可申請書 における拡散条件		24	D/Q (Gy/Bq)	4.5×10^{-20}	W
		24	χ /Q (s/m ³)	8.0×10^{-7}	
ブローアウト パネル開放 を想定した 拡散条件	事故発生 から 30 日まで	24	D/Q (Gy/Bq)	3.5×10^{-20}	NW
		24	χ /Q (s/m ³)	7.6×10^{-7}	
	事故発生 から 31 日後 以降	1	D/Q (Gy/Bq)	4.0×10^{-19}	
		1	χ /Q (s/m ³)	2.9×10^{-5}	

4. 被ばく評価結果

ブローアウトパネルが開放した場合の設計基準事故時の被ばく評価結果を表 4-1 に示す。ブローアウトパネル開放を考慮した評価結果は、設計基準事故の基準である 5 mSv を十分に下回る結果となっている。また、設置許可申請書の本文十号に記載されている設計基準事故で最も線量が高くなる主蒸気管破断の線量 (1.8×10^{-1} mSv) と比べても十分に低い値となっており、設計基準事故に係る被ばく評価の結論に影響はない。

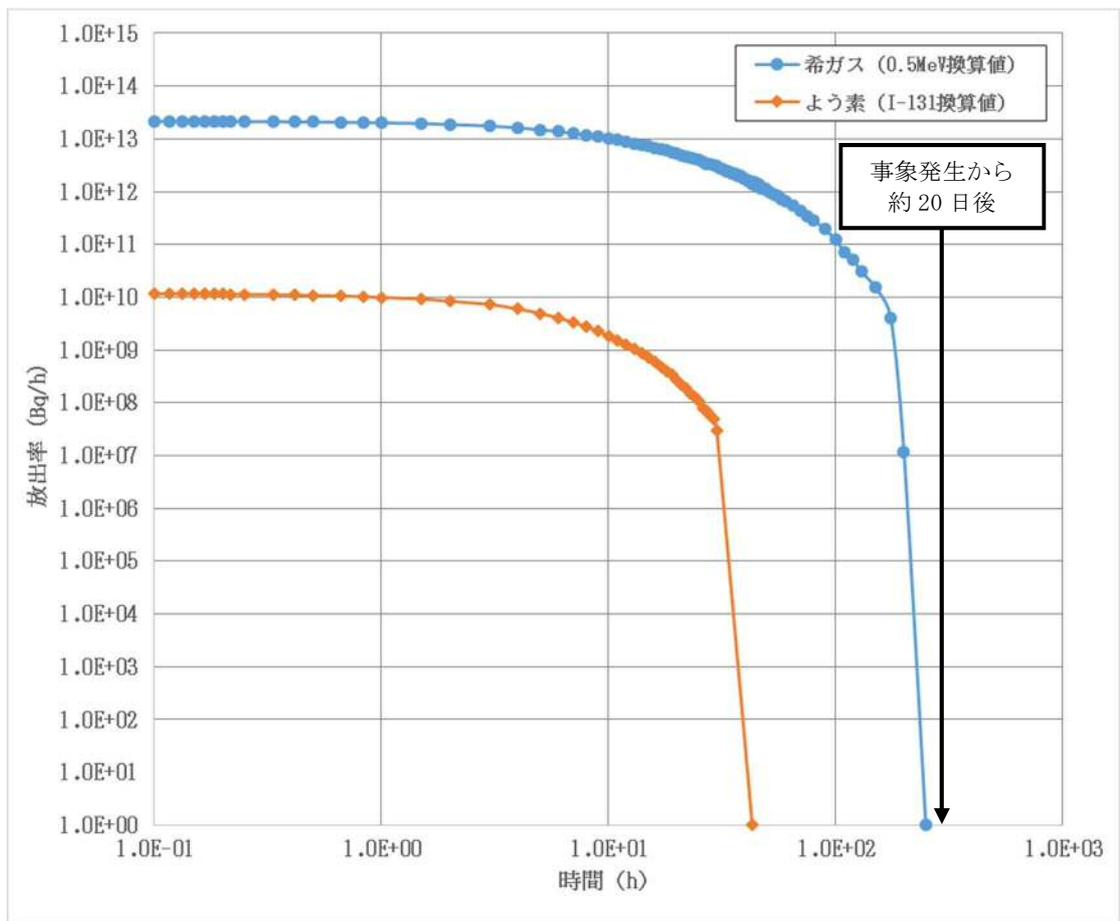
表 4-1 原子炉冷却材喪失時の被ばく評価結果

項 目		実効線量 (mSv)	
設置許可申請書 添付書類十記載値	希ガス	1.8×10^{-4}	
	よう素	3.6×10^{-5}	
	直接・スカイシャイン線	1.0×10^{-4}	
	合 計	3.2×10^{-4}	
ブローアウトパネル 開放を想定した場合	事故発生 から 30 日まで	希ガス	1.4×10^{-4}
		よう素	3.3×10^{-5}
	事故発生 から 31 日後以降	希ガス	4.4×10^{-5}
		よう素	1.3×10^{-2}
	直接・スカイシャイン線		1.0×10^{-4}
	合 計		1.3×10^{-2}

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

別表1 燃料集合体の落下時の非常用ガス処理系等の評価条件

	設置申請書添付書類十 における評価条件	ブローアウトパネルの開放を 考慮した場合の評価条件
F_1	希ガス F=100 % 有機よう素 F=1 % 無期よう素 F=99 %	同左
DF	希ガス DF=1 有機よう素 DF=1 無期よう素 DF=500	同左
λ LSGTS	1回/d	無限大
λ LFRVS	4.8回/d	0回/d
f_1	90 %	0 %
f_2	97 %	0 %
λ_R^i	(例) 希ガス (Xe-133) : 0.131 (d ⁻¹) よう素 (I-131) : 0.086 (d ⁻¹)	同左



別図1 燃料集合体の落下における放出率の時間推移

2. 原子炉冷却材喪失

原子炉冷却材喪失におけるブローアウトパネル開放時（事故発生から 31 日後以降）の放出量を評価するための補正係数は、②式で $(q_C^i + q_f^i \cdot g) \cdot K_0$ は定数とし、その他の係数は別表 2 に示す条件から求める。

補正前後のブローアウトパネル開放後（事故発生から 31 日後以降）を別表 3 に示すとおりであり、よう素は約 140 倍、希ガスは約 1.1 倍となっている。

$$Q_H^i = (q_C^i + q_f^i \cdot g) \cdot K_0 \cdot (1 - f_2) \cdot \frac{\lambda LPCV \cdot \lambda LSGTS}{(\lambda_R^i + \lambda LPCV \cdot F_3) \cdot (\lambda_R^i + \lambda LSGTS + \lambda LFRVS \cdot f_1)} \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

Q_H^i : 大気中に放出される放射性物質の放出量 (Bq)

q_C^i : 核種 i の冷却材中存在量 (Bq)

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

C_W^i : 核種 i の冷却材中存在量 (Bq/g)

M : 冷却材保有量 (g)

q_f^i : 核種 i の追加放出量

g : 組成構成比

$$\begin{cases} \text{希ガス} & g=1 \\ \text{有機よう素} & g=\text{全よう素中の有機よう素の割合} \\ \text{無機よう素} & g=\text{全よう素中の無機よう素の割合} \end{cases}$$

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

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

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

F_3 : 格納容器内の気相部に浮遊する割合

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

V_A : 格納容器内気相容積 (m³)

V_W : 格納容器内液相容積 (m³)

P : 気液分配係数 (-)

$\lambda LPCV$: 格納容器からの漏えい率 (s⁻¹)

$\lambda LSGTS$: 非常用ガス処理系による原子炉建屋内空気の換気率 (s⁻¹)

$\lambda LFRVS$: 非常用ガス再循環系による原子炉建屋内空気の再循環率 (s⁻¹)

f_1 : 非常用ガス再循環系フィルタのよう素除去効率 (-)

f_2 : 非常用ガス再循環系フィルタ及び非常用ガス処理系フィルタを経由した場合の総合よう素除去効率 (-)

λ_R^i : 核種 i の崩壊定数 (s⁻¹)

別表2 原子炉冷却材喪失時の非常用ガス処理系等の評価条件

	設置申請書添付書類十 における評価条件	ブローアウトパネルの開放を 考慮した場合の評価条件
C_W^i	4.6×10^3 Bq/g (I-131)	同左
M	289 t	同左
q_f^i	2.22×10^{14} Bq (I-131)	同左
g	希ガス F=100 % 有機よう素 F=4 % 無期よう素 F=96 %	同左
F_2	50 %	同左
V_A	9,800 m ³	同左
V_W	3,300 m ³	同左
P	希ガス P=1 有機よう素 P=1 無期よう素 P=100	同左
λ LPCV	0.5 %/d	同左
λ LSGTS	1 回/d	無限大
λ LFRVS	4.8 回/d	0 回/d
f_1	90 %	0 %
f_2	97 %	0 %
λ_R^i	希ガス (Xe-133) : 0.131 (d ⁻¹) よう素 (I-131) : 0.086 (d ⁻¹)	同左

別表3 ブローアウトパネル開放後（事故発生から31日後以降）の放出量

項目	補正前	補正後	補正後/補正前	
ブローアウト パネル開放後 の放出量 (Bq)	希ガス (0.5 MeV 相当値)	1.0×10^{11}	1.1×10^{11}	1.1 倍
	よう素 (I-131 換算値)	3.1×10^8	4.6×10^{10}	140 倍

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

ブローアウトパネル閉止装置（以下「閉止装置」という。）は、実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則及び規則の解釈の第74条で要求される設備であり、原子炉建屋外側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、原子炉建屋外側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、原子炉建屋原子炉棟の放射性物質の閉じ込め機能を確保するために設置する。

2. 設置位置及び個数

閉止装置は、原子炉建屋原子炉棟5階、6階に計10個設置する。設置位置を図2-1に示す。

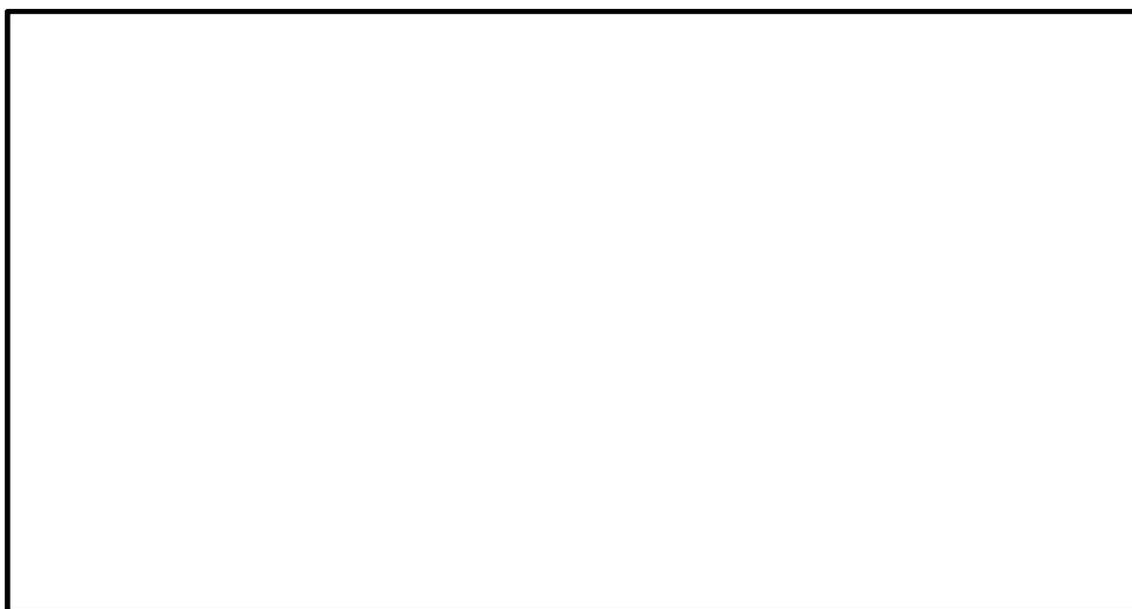


図2-1 ブローアウトパネル閉止装置設置位置図

3. 閉止装置の構造

閉止装置は、電動機の回転をハンガーローラに取り付けられているチェーンにより開閉方向の動作に変換することで扉本体の開閉が可能な構造としており、リミットスイッチにより扉本体の開閉状態を中央制御室にて確認できる構造としている。

扉本体は、ハンガーローラを介して上部レールに吊り下げられた構造としており、全開状態においては、テーパブロックとプッシュローラにより扉本体をフレームに押し付けて固定する構造としている。また、全閉状態においては、テーパブロックとプッシュローラにより扉本体をパッキンに押し付けることにより高い気密性を確保する構造としている。

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

図 3-1 に閉止装置の構造概要図を，図 3-2 に駆動機構概要図を，図 3-3 に手動操作概念図を，図 3-4 に閉止装置を含めた関連設備の設置概要図を示す。

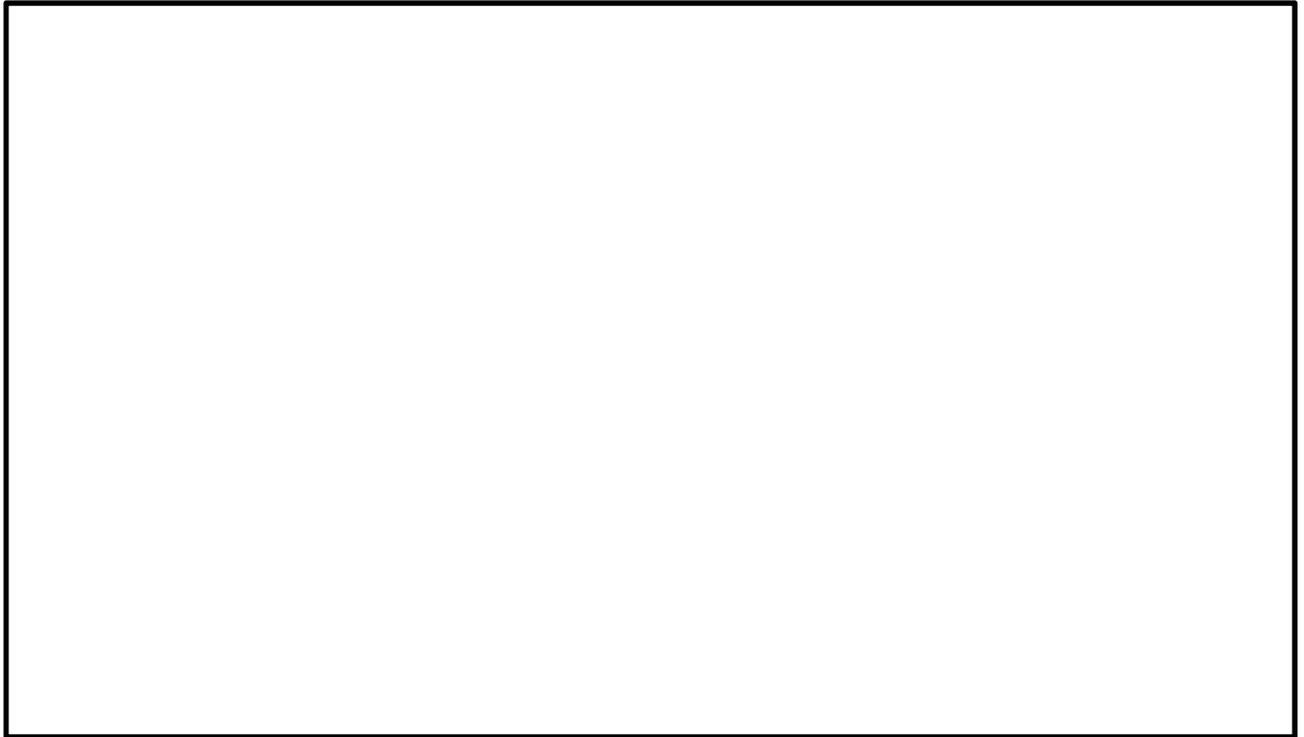


図 3-1 閉止装置の構造概要図

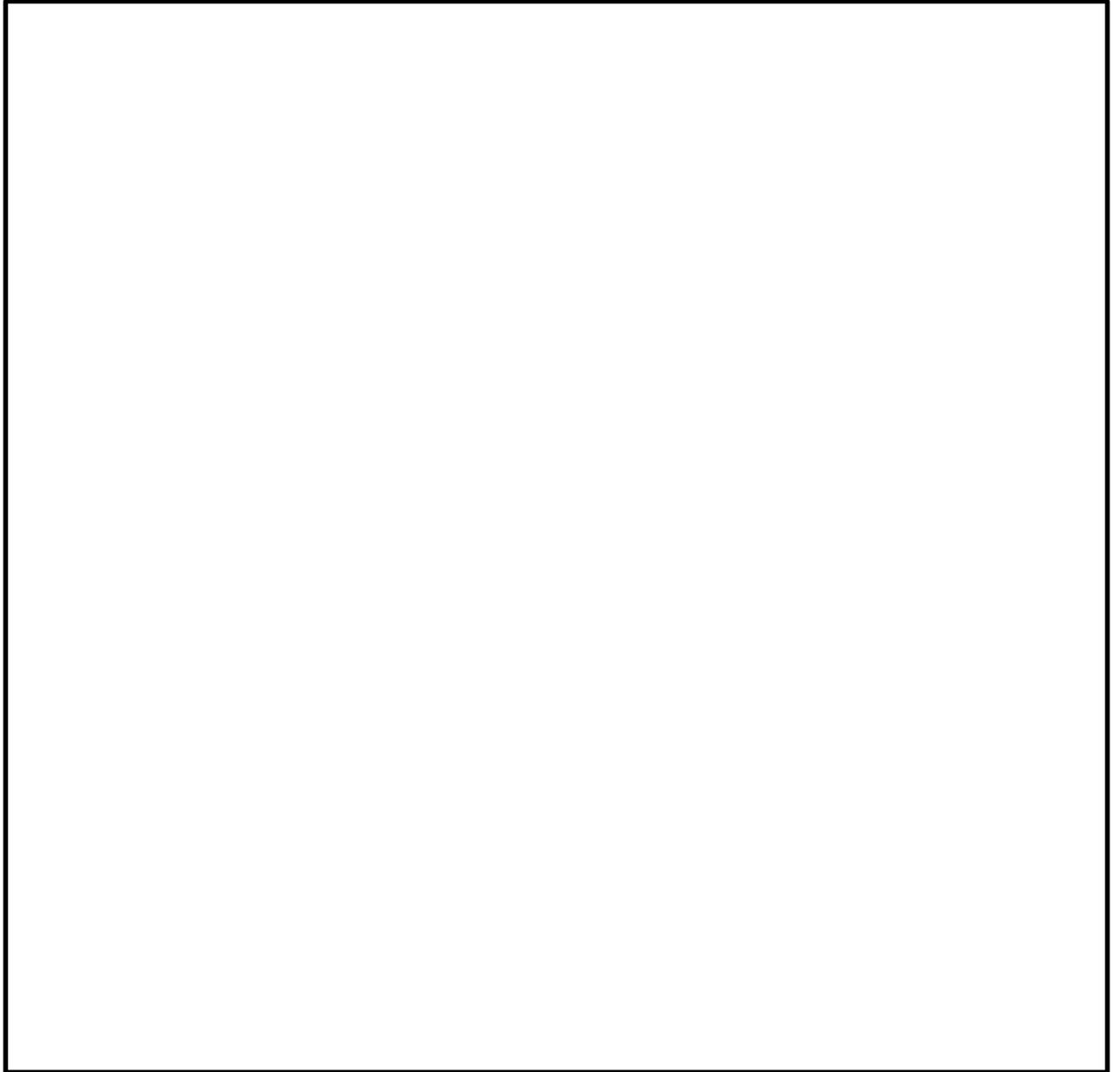


図3-2 閉止装置の駆動機構概要図

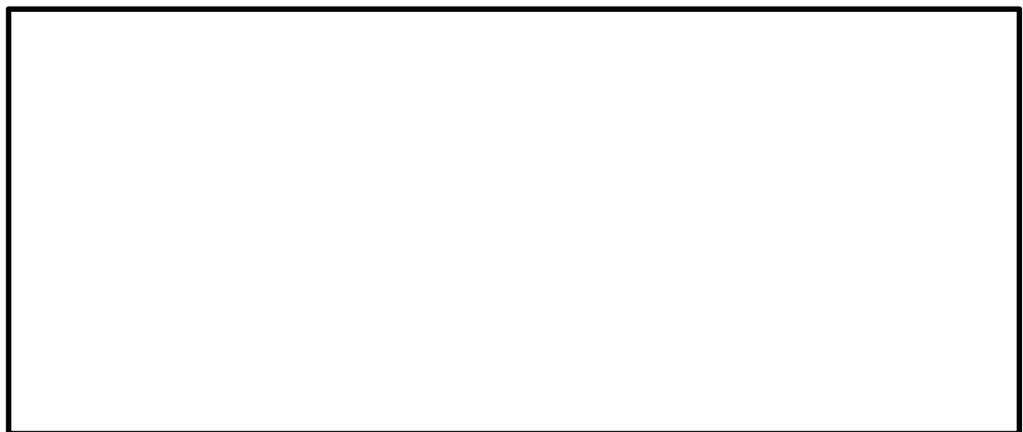


図3-3 閉止装置の手動操作概念図

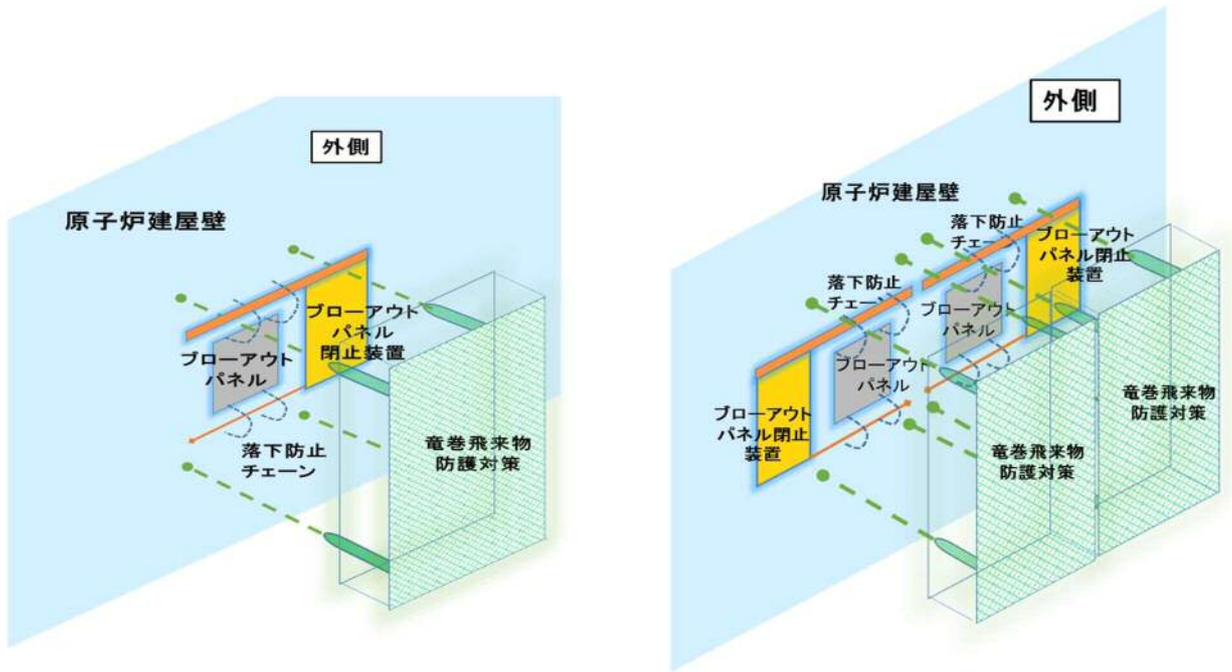
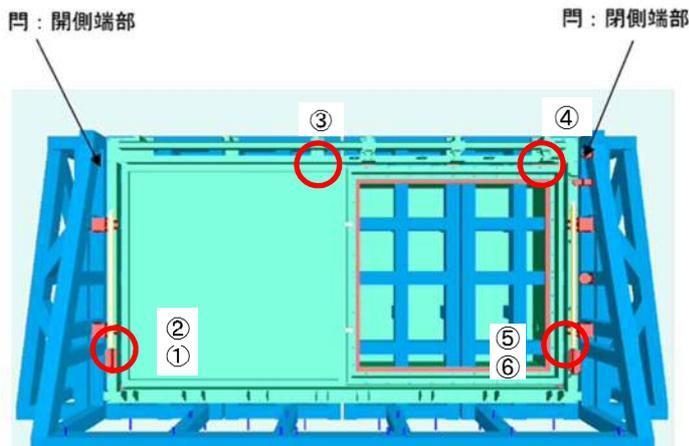


図3-4 ブローアウトパネル関連設備の設置概要図

4. 閉止装置の動作時のインターロックについて

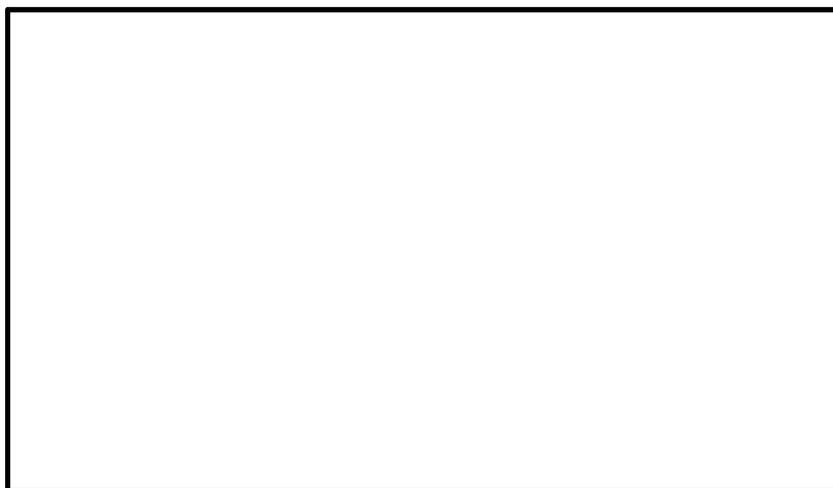
図4-1に閉止装置のインターロック概要を示す。

- ・リミットスイッチにて、門の押上げ及び挿入を検知する。
- ・門押上げ完了の信号を受け、扉作動の信号が投入される。
- ・扉停止信号を受け、門の下降の信号が投入される。
- ・門の押上げリミットスイッチが作動しない 検知しないと扉の動作が開始しないインターロックを設ける設計とする。



各リミットスイッチの目的

①	門の挿入検知
②	門の押上げ検知
③	扉の停止 (開確認)
④	扉の停止 (閉確認)
⑤	門の押上げ検知
⑥	門の挿入検知



各ステップ	扉状態	門状態	リミットスイッチ						
			扉開側			扉閉止側			
			① 門挿入	② 門引上げ	③ 扉開	④ 扉閉	⑤ 門引上げ	⑥ 門挿入	
待機状態	停止(開)	挿入	○		○				○
1. 閉操作投入	停止(開)	挿入	○		○				○
2. 門電動シリンダ上昇	停止(開)	上昇			○				
3. 門押上げ完了	停止(開)	押上げ		○	○			○	
4. 扉の閉止作動開始	移動(閉へ)	押上げ		○				○	
5. 扉閉止, 停止	停止(閉)	押上げ		○		○		○	
6. 門電動シリンダ下降	停止(閉)	下降				○			
7. 門挿入完了	停止(閉)	挿入	○			○			○

図4-1 閉止装置のインターロック概要

ブローアウトパネル閉止装置の技術基準規則第 54 条への適合性について

1. 技術基準規則 54 条への適合性について

(1) 環境条件 (技術基準規則第54条第1項第1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

ブローアウトパネル閉止装置は、屋外に設置するが、重大事故等時に原子炉建屋原子炉棟内の気密性を確保するために閉止する設備であることから、その機能を期待される重大事故等時における屋外又は原子炉建屋原子炉棟内の環境条件を考慮している。

(2) 操作性 (技術基準規則第54条第1項第2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

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54条第1項第3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

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、ブローアウトパネル閉止装置は、原子炉の停止中に機能・性能検査として動作状態の確認が可能な設計としている。

試験検査内容を表 1-1 に示す。

表 1-1 ブローアウトパネル閉止装置の試験検査内容

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

- (4) 切替えの容易性（技術基準規則第54条第1項第4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
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54条第1項第5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
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、ブローアウトパネル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54条第1項第6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
閉止装置は、原子炉建屋原子炉棟の壁面（屋外）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54条第2項第1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
閉止装置は、原子炉建屋外側ブローアウトパネルと同数の10個設置する。なお、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54条第2項第2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つて、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
施設内に二以上の発電用原子炉施設はないことから、閉止装置は、共用しない。
- (9) 設計基準事故対処設備との多様性（技術基準規則第54条第2項第3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

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。

ブローアウトパネル閉止装置のパッキン耐久性試験について

閉止装置の扉パッキンは屋外環境下に設置されるため、耐久性試験を実施し、この結果約 1 サイクルは問題なく使用できることを確認した。

1. 試験条件及び試験期間

屋外に設置するパッキンの耐久性試験として、J I S K 6266 に加硫ゴム及び熱可塑性ゴムの耐候性試験方法 (J I S K 6266) 基づく、オープンフレームカーボンアーク試験 (サンシャイン試験) にて耐久性を確認した。

・耐久性試験の条件 (J I S K 6266 SA 法 (直接屋外暴露の再現方法))

使用フィルタ : I 型

放射照度 : 300~700 nm において 255 W/m² (±10 %)

ブラックパネル温度 : 63±3 °C (水噴霧していない時)

試験層内空気温度 : 40±5 °C

相対湿度 : 50±5 %RH

試験片表面への水噴霧 : サイクルは 102 分間照射後、18 分間の照射及び水噴霧

2. 試験結果

試験結果を表 2-1 に示す。いずれの試験においても有意な変化は確認されていない。

表 2-1 耐久性試験結果

No.	暴露時間 (加速)	実機 相当時間	個数	試験結果					
	時間	時間		硬さ	強度 変化	伸び 変化	重量 変化率	体積 変化率	外観 異常
	h	年		point	%	%	%	%	
1	300	約 0.4	n=3	-1	-11	-1	1.5	1.5	無
2	600	約 1.0	n=3	0	3	-1	1.4	1.1	無
3	1200	約 2.4	n=3	-1	-7	-3	1.5	1.5	無

<試験結果についての見解>

- ・ 硬 度 : 測定誤差範疇のため、有意な変化ではない。
- ・ 強度変化 : 試料にばらつきがあるため、±10 %程度の変化が生じる可能性があり、一般に±20 %程度の変化を生じた段階で有意な変位があると判断するため、有意な変化ではない。
- ・ 伸び変化 : 強度変化と同様に有意な変化ではない。
- ・ 重量変化 : 水噴霧、乾燥の繰り返しによる微妙な重量増加であり、有意な変化ではない。
- ・ 体積変化 : 重量変化と同様に有意な変化ではない。
- ・ 外 観 : 変色、荒れ等の劣化はない。

ブローアウトパネル閉止装置の保安全管理について

ブローアウトパネル閉止装置の保全内容（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。

また、自主対策設備であるブローアウトパネル強制開放装置についても、開放用シリンダの単体動作試験や構造健全性確認のための外観目視点検等実施し、健全性を確保していく。

表 1-1 ブローアウトパネルの保安全管理（案）

区分	必要な機能	目的	管理項目	実施内容
保守管理	作動性能	扉の開閉機能確保	作動試験	<ul style="list-style-type: none"> 施設定期検査時に、扉の開閉試験（電動及び手動）にて確認 電流値及び動作時間の測定
		門の押上げ、挿入機能確保	作動試験	<ul style="list-style-type: none"> 施設定期検査時に、門の押上げ、挿入試験（電動及び手動）にて確認 通常運転時に、定期的な門の押上げ、挿入試験（電動）にて確認 電流値及び動作時間の測定
	気密性能	シール健全性確保	気密性能試験（建屋）	施設定期検査時に、閉止装置を閉状態とし、原子炉建屋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（開口部周りに施工するパッキンは、紫外線等による劣化が想定されることから、パッキンの耐久性試験結果を踏まえて取替頻度を決定）
	構造健全性	構造健全性確認	外観目視試験	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

ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験について

1. 目的

ブローアウトパネル閉止装置（以下「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閉止装置の機能維持確認を実施する。

また、機能確認試験時に発生した閉止装置の不具合に対する対策の効果を確認するため、対策を施した試験体を用いた加振試験を行い、対策の妥当性を確認する。

2. 試験期間及び場所

実施時期：平成 30 年 6 月 18 日（月）～ 22 日（金）

平成 30 年 7 月 24 日（火）～ 31 日（火）

場 所：国立研究開発法人 防災科学研究所 兵庫耐震工学研究センター
兵庫県三木市志染町三津田西亀屋 1501-21

3. 試験項目

3.1 閉止装置に要求される機能について

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

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

3.2 加振条件

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

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 *：閉止状態の閉止装置は、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、耐震裕度を確認するため、基準地震動 S_s 加振波を用いて加振を行う。

- (2) 閉止装置の耐震裕度を確保するための加振（基準地震動 S_s 加振波を超える加振波による加振）

閉止装置の耐震裕度を確保するため、振動台の性能限界（基準地震動 S_s の 1.1 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) 閉止装置の不具合対策の効果を確保するための追加加振

閉止装置の不具合対策（チェーンの強化等、門の設置）の効果及び他の部位へ悪影響を及ぼさないことを確保するため、3.2 (1)と同じ基準地震動 S_s 加振波による加振を行う。

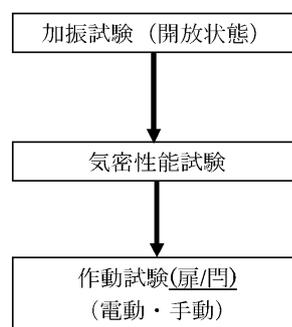
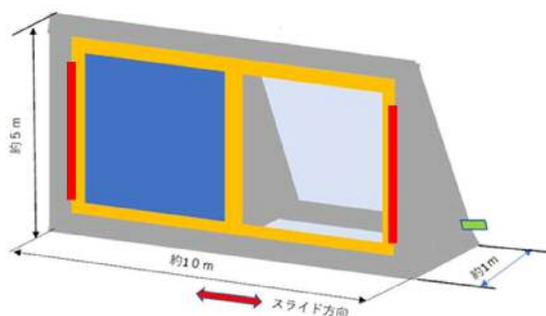
3.3 試験項目

基準地震動 S_0 加振波及び振動台性能限界加振波による加振を行い、閉止装置に要求される機能が確保されていることを確認する。

- ・加振後の作動確認 : 閉止装置が開放状態において、加振後の扉本体の作動性が確保されていることを確認する。また、扉本体の作動確認に合わせて、門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 : 閉止装置が開放状態において、加振後の気密性を確保していることを確認する。気密性能試験の準備段階で、扉本体を閉動作させる際に、門が作動することを確認する。
- ・加振後の気密性能試験 : 閉止装置が閉止状態において、加振後の気密性を確保していることを確認する。
- ・加振後の作動確認 : 閉止装置が閉止状態において、加振後の扉本体の作動性が確保されていることを確認する。扉本体の作動確認に合わせて、門の作動性が確保されていることを確認する。

図 3-1 に試験治具概念図を示す。

【扉開放状態】



【扉閉止状態】

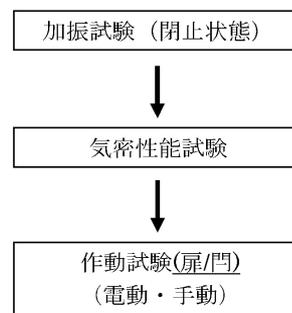
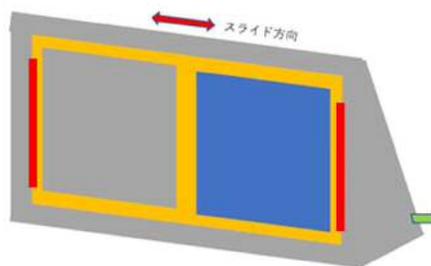


図 3-1 試験治具概念図

4 加振試験

4.1 加振装置（三次元振動台）の概要

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

表 4-1 三次元振動台の仕様

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

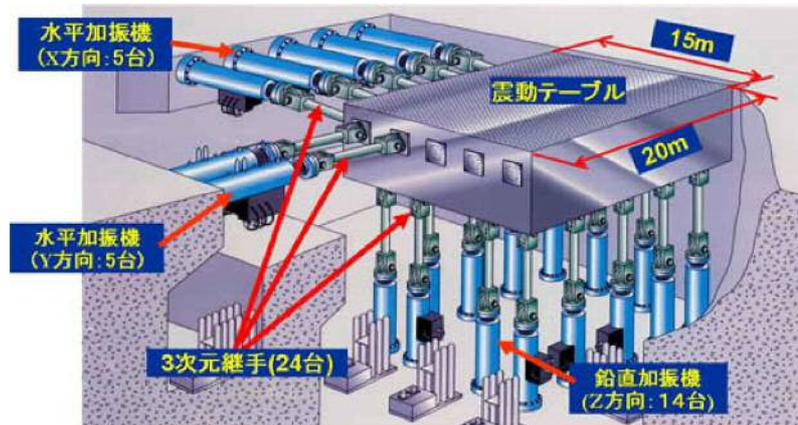


図 4-1 三次元振動台の概要図

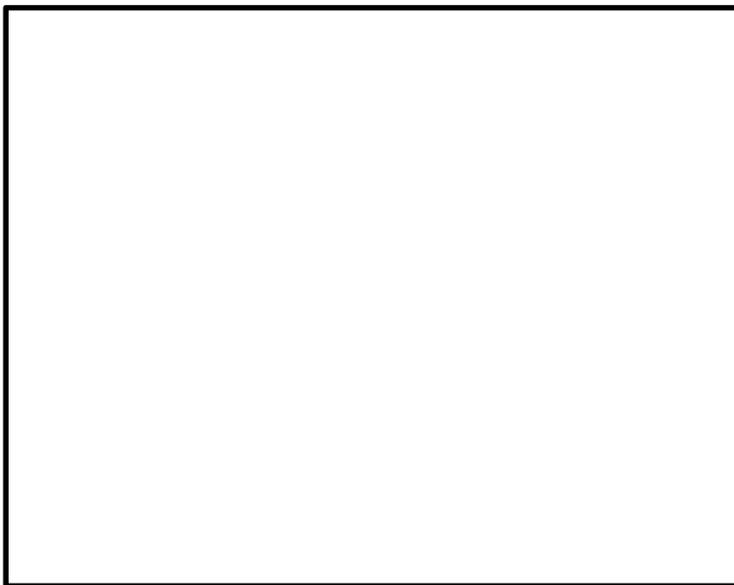
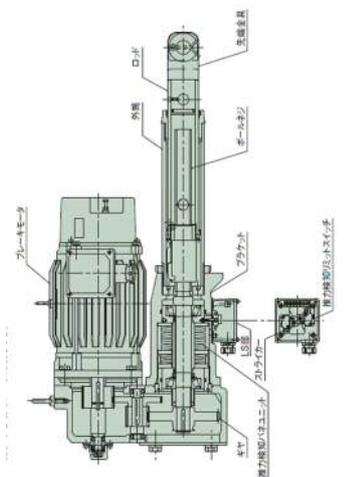


図 4-2 試験体の鳥瞰図



図



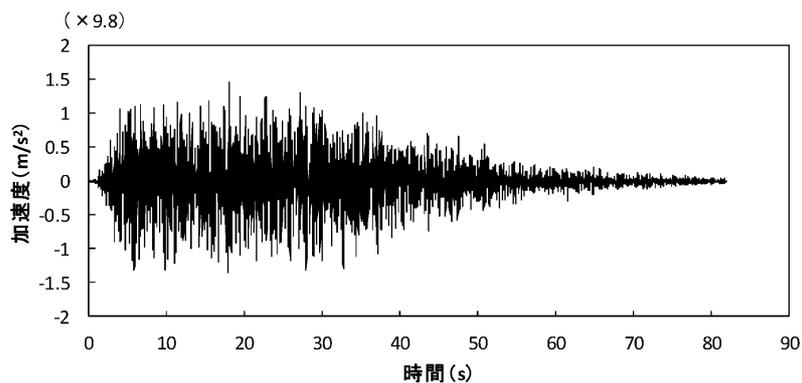
電動駆動シリンダ

4.2 加振波

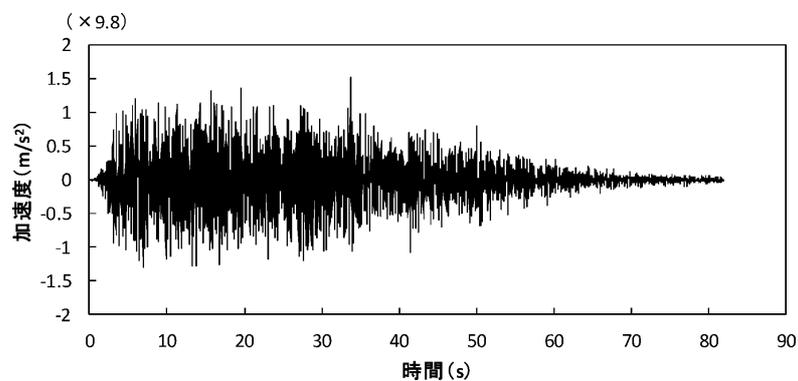
(1) 基準地震動 S_s 加振波

加振試験用の模擬地震波は以下のとおりとする。図 4-3、図 4-4 に、複数の基準地震動 S_s の床応答スペクトルを包絡する模擬地震波の時刻歴波形，床応答スペクトルを示す。

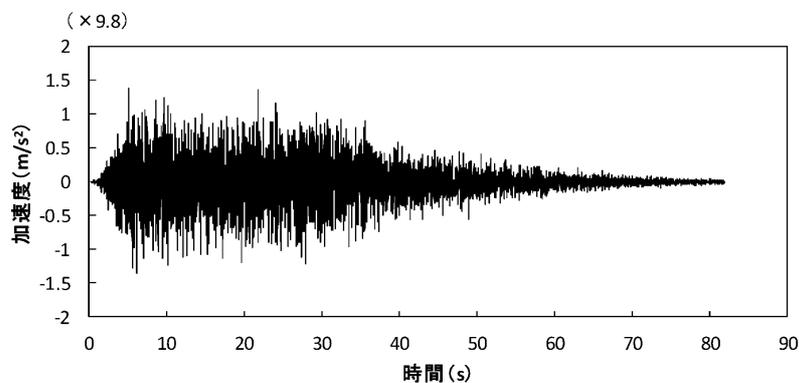
- ・ 閉止装置の設置高さより上方の原子炉建屋 EL. 63. 65 m
- ・ 基準地震動 S_s 8 波及び建屋影響評価で考慮するばらつきケースを包絡
- ・ 加振目標の包絡スペクトルは減衰定数 1.0 %で設定



(1) 水平 (NS) 方向

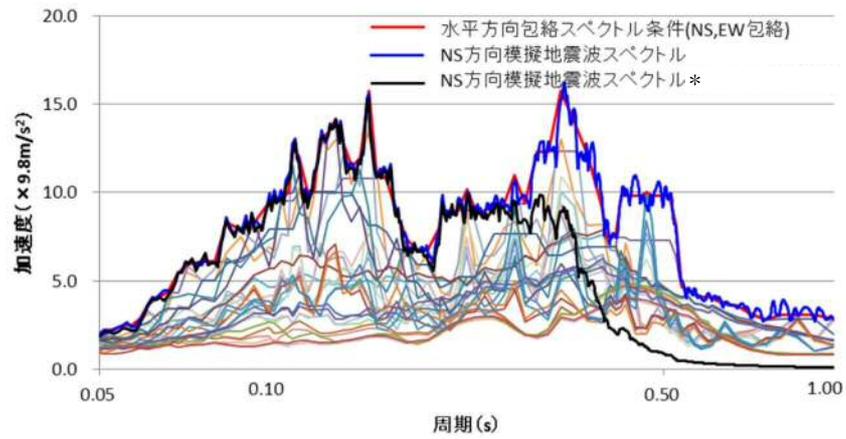


(2) 水平 (EW) 方向

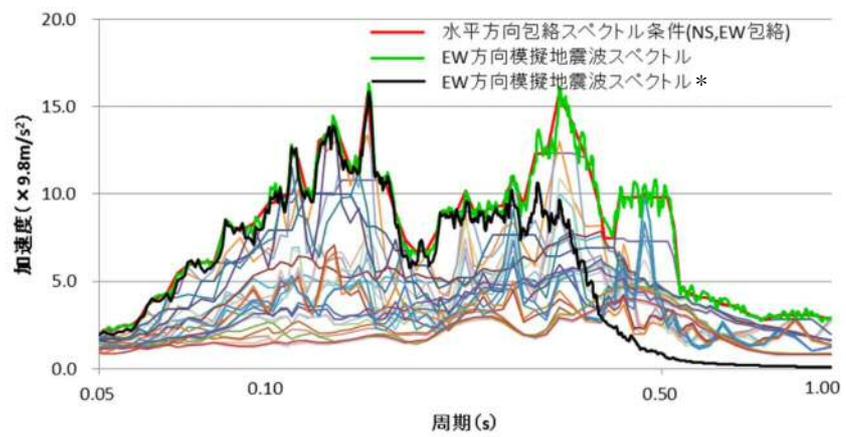


(3) 鉛直方向

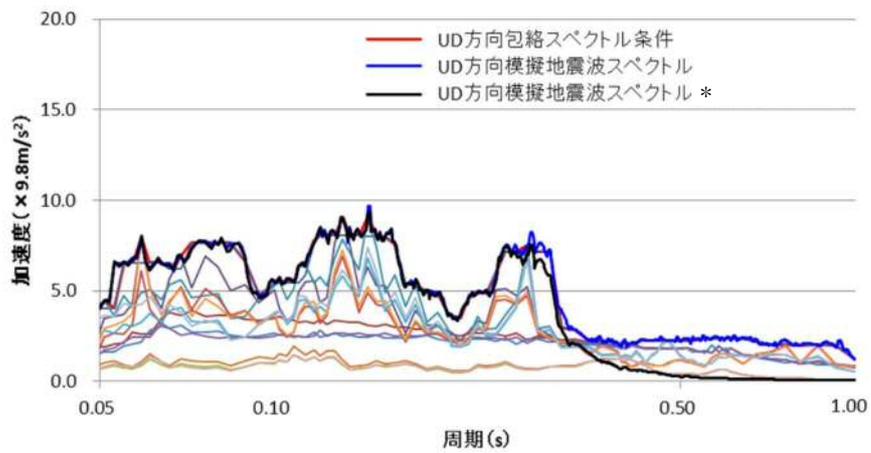
図 4-3 模擬地震波の時刻歴波形



(1) 水平 (NS) 方向



(2) 水平 (EW) 方向



(3) 鉛直方向

図 4-4 模擬地震波の床応答スペクトル (減衰定数 1%)

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

(2) 振動台性能限界加振波

振動台性能限界加振波は、4.2(1)の基準地震動 S_s 加振波の振幅を、振動台の性能限界付近(基準地震動 S_s の1.1倍相当)の加速度振幅になるよう等倍した加振波とする。

4.3 加振試験項目及び内容

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

(1) 振動台補償加振

目標とする入力波を精度よく振動台で再現するための振動台補償加振を行う。本試験は、試験体を振動台に搭載しない条件で行う。

(2) センサ確認試験

センサの取付方向、感度確認を行うために、各方向単独で正弦波加振を行う。

(3) 振動特性把握試験

試験体の振動特性を把握するため、0.1 Hz~30 Hz程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波による加振試験を行う。加振方向は各方向単独とし、扉の開状態及び閉状態の振動特性を確認する。なお、試験体の固有振動数が高い場合は、入力波の主要な振動数成分の範囲に固有振動数がないことを確認する。

(4) 地震波加振試験

加振レベルは4段階に分けて振動台の加振性能限界まで漸増させていく。加振方向は3方向同時とし、閉止装置の開状態、閉状態のそれぞれで実施する。

なお、基準地震動 S_s を超える加振試験として、振動台の性能限界である基準地震動 S_s の1.1倍相当をレベル4として実施し、閉止装置の耐震裕度を確認する。

表 4-2 試験ケース一覧

No	試験項目	試験体条件	加振方向	加振波	加振レベル	備考
—	振動台補償加振	—	X+Y+Z	—	—	—
1	センサ確認試験	扉閉	X	正弦波	0.5 m/s ² 程度	1~2 Hz で 実施
2			Y			
3			Z			
4	振動特性把握試 験	扉閉	X	ランダム波* ¹	2.0 m/s ² 程度	—
5			Y			
6			Z			
7	験	扉閉	X	ランダム波* ¹	2.0 m/s ² 程度	—
8			Y			
9			Z			
10	地震波加振	扉閉	X+Y+Z	包絡波* ²	0.3×S _s	レベル1
11					0.6×S _s	レベル2
12					1.0×S _s	レベル3
13					1.1×S _s	レベル4* ³
14		振動台性能限界				
15		扉閉	X+Y+Z	包絡波* ¹	0.3×S _s	レベル1
16					0.6×S _s	レベル2
17					1.0×S _s	レベル3
18	1.1×S _s				レベル4* ³	
19	振動台性能限界					

注記 *1 : 0.1 Hz~30 Hz 程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波で加振を行う。

*2 : 方向毎に複数の基準地震動S_sの床応答スペクトルを包絡する模擬地震波を作成して加振する。

*3 : 基準地震動S_sに対する裕度を確認するために実施する。

4.4 計測要領

(1) 計測項目

計測項目は、対策前の試験と同様とする。ただし、対策前の試験結果を参考に、加速度、ひずみ計測点を追加する。

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

表 4-3 計測項目

項目	計測点
加速度	・振動台 ・支持架台 ・扉 ・駆動装置
ひずみ	・プッシュローラ（開閉時に扉を押える部位） ・レール* ・チェーン* ・門周辺（門の荷重を伝達する部位）*

注記 *：対策後の加振試験に追加する計測点

(2) 計測位置

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

① 加速度

図 4-5、図 4-6 に加速度計の設置位置を示す。

② ひずみ

図 4-7 から図 4-9 にひずみゲージの設置位置を示す。扉の開時、閉時において扉を押える荷重が発生するプッシュローラのひずみを計測する。対策後の加振試験には、レール、チェーン、門周辺（門の荷重を伝達する部位）を追加して計測する。ただし今後の詳細検討、試験時の状況判断により、計測位置の見直し、追加の可能性がある。

③ その他

加速度、ひずみ以外に、加振試験時や扉の開閉動作の記録のため、動画撮影を実施する。なお、必要に応じ試験場に備え付けられているカメラも活用する。

- ・試験体全景：振動台外から、試験体全景を撮影
- ・扉近傍：振動台または支持架台上から、レール、プッシュローラ付近を撮影

(3) 測定計器

試験に使用する測定計器を表 5-1、表 5-2 に示す。

表 4-4 計測項目の一覧表 (1/2)

No	項目	記号	測定点	方向	備考		
1	加速度	A1	振動台	X	<ul style="list-style-type: none"> ・振動台上加速度を計測 ・計画条件の範囲内で加振試験が実施されたことの確認が目的 		
2				Y			
3				Z			
4				A2		X	
5						Y	
6						Z	
7		A3	扉上部(閉時)	X	<ul style="list-style-type: none"> ・閉時, 開時の扉上部の支持架台に設置 ・閉時, 開時の閉止装置の機能維持確認加速度の計測が目的 ・支持架台の振動特性確認も兼ねる 		
8				Y			
9				Z			
10		A4	扉上部(開時)	X			
11				Y			
12				Z			
13		A5	駆動装置本体	X	<ul style="list-style-type: none"> ・駆動装置単体の機能維持確認加速度の計測が目的 ・駆動装置の振動特性確認も兼ねる 		
14				Y			
15				Z			
16				A6		駆動装置の取付位置	X
17							Y
18							Z
19		A7	扉の中央部	X	<ul style="list-style-type: none"> ・扉の振動特性確認が目的 ・振動特性把握試験時に設置^{*1} 		
20				Y			
21				Z			
22		A8	扉の右・中央	X			
23		A9	扉の左・中央	X			
24		A10	扉の中央部	X		<ul style="list-style-type: none"> ・扉の振動特性, 地震応答の確認が目的 	
25				Y ^{*2}			
26		A12	扉の中央部	X	<ul style="list-style-type: none"> ・地震波加振, 扉閉, レベル3または4 (第1表のNo. 16または17) のケ 		
27				Y ^{*2}			

注記 *1: 扉の開閉による作動性能の確認の際にケーブルが試験体や他センサと干渉する恐れがあるため, 代表試験ケースのみでの計測とする。対策前の試験では, 計測点 A11 を設定していたが, 計測点 A7 で代表できるため対策後の試験では計測点 A11 は設定しない。

*2: 対策後の加振試験に追加する。

表 4-4 計測項目の一覧表 (2/2)

No	項目	記号	測定点	方向	備考	
28	ひずみ	S1	プッシュローラ	—	・扉の開放状態及び閉止状態での加振試験時に代表位置として、ひずみの計測が目的	
29		S2	(扉閉時) *1			
30		S3	プッシュローラ			
31		S4	(扉開時) *1			
32		S5*2	レール		レール	<ul style="list-style-type: none"> ・S5, S6 は、扉閉時のローラ付近の上部レールの加振試験時のひずみを計測 ・S7 は、扉開時のローラ付近の加振試験時のひずみを計測 ・S8 は、下部レール付近の加振試験時のひずみを計測
33		S6*2				
34		S7*2				
35		S8*2				
36		S9*2	チェーン		チェーン	・チェーンの固定端付近の加振試験時のひずみを計測
37		S10*2				
38		S11*2	門周辺 (扉閉時)		門周辺 (扉閉時)	門の荷重が伝達する部位の加振試験時のひずみを計測する。
39		S12*2				
40		S13*2	門周辺 (扉開時)		門周辺 (扉開時)	
41		S14*2				

注記 *1 : 扉の全閉時、全開時に扉に作用する荷重を代表する位置として計測

*2 : 対策後の加振試験で追加

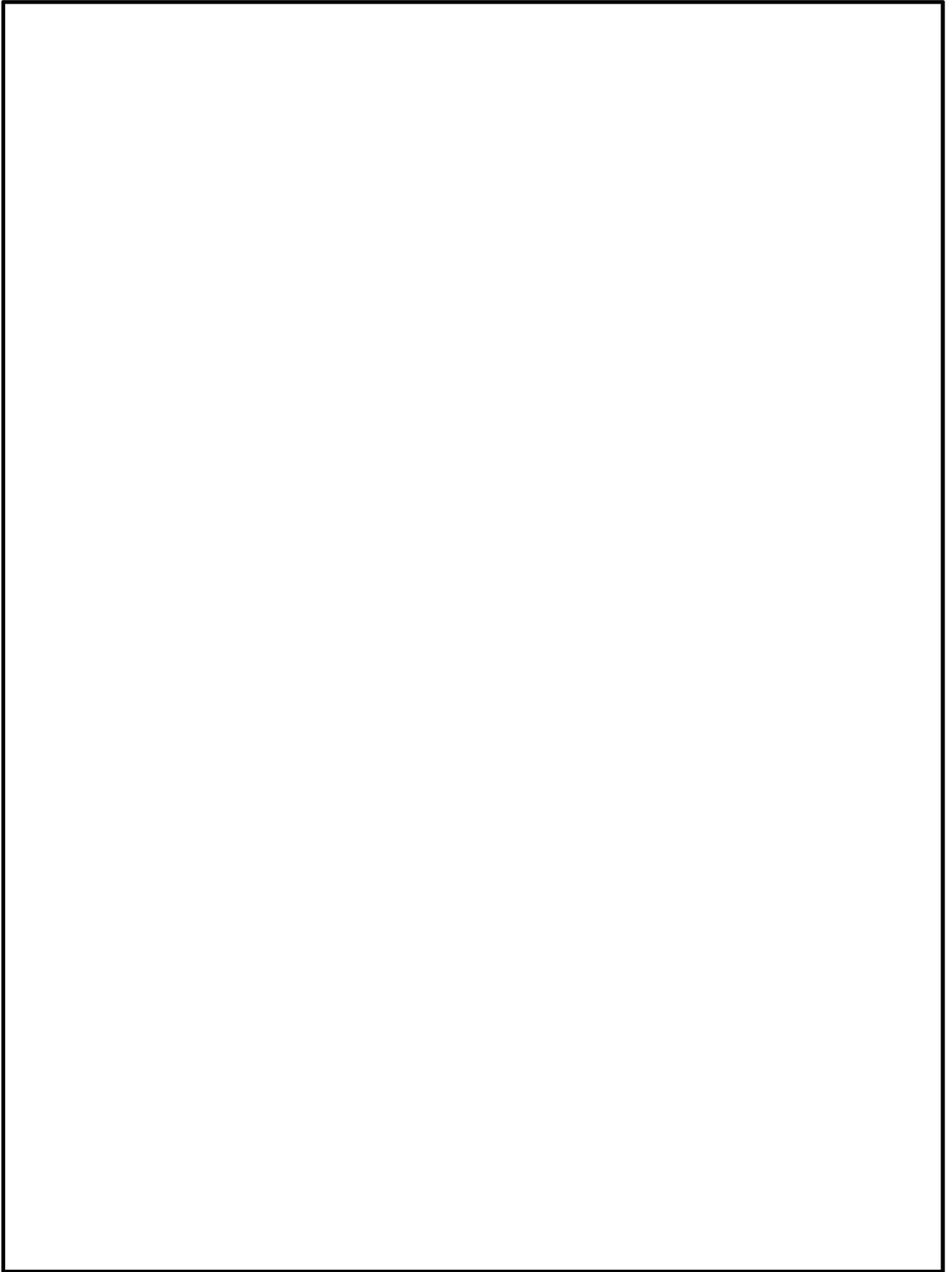


図 4-5 加速度計の設置位置（振動台，支持架台）

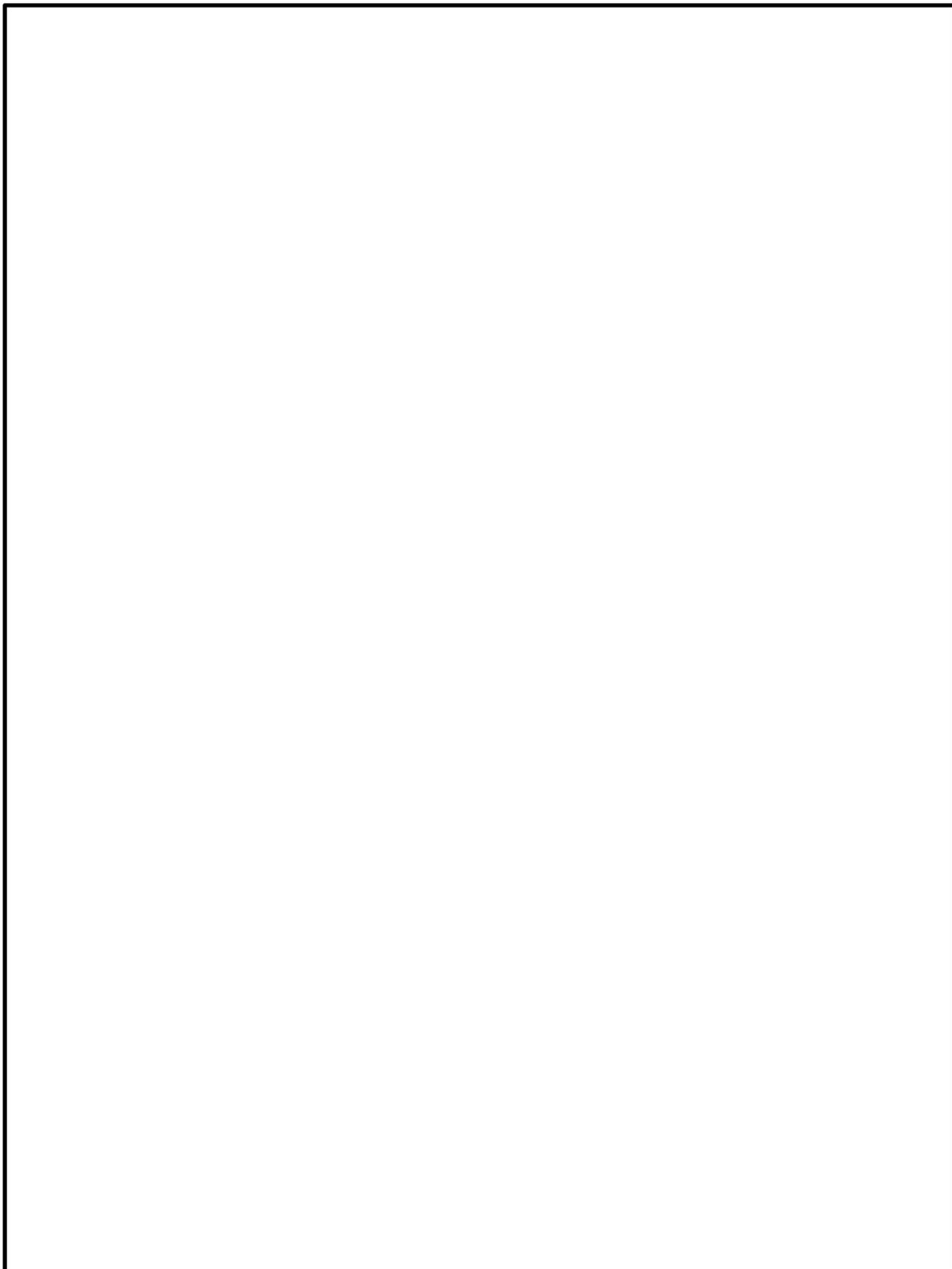


図 4-6 加速度計の設置位置（扉，駆動装置）

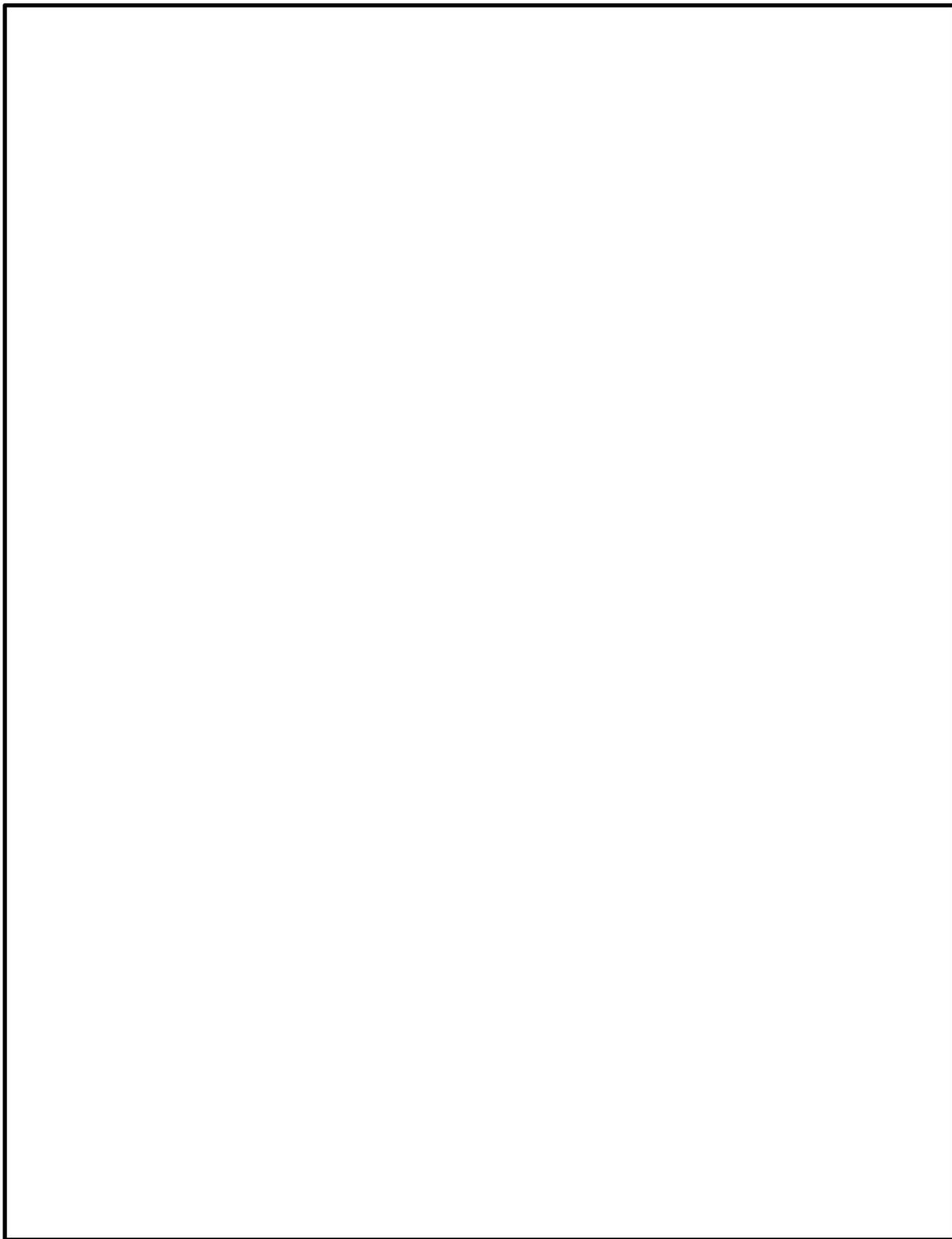


図 4-7 ひずみゲージの設置位置 (プッシュローラ)

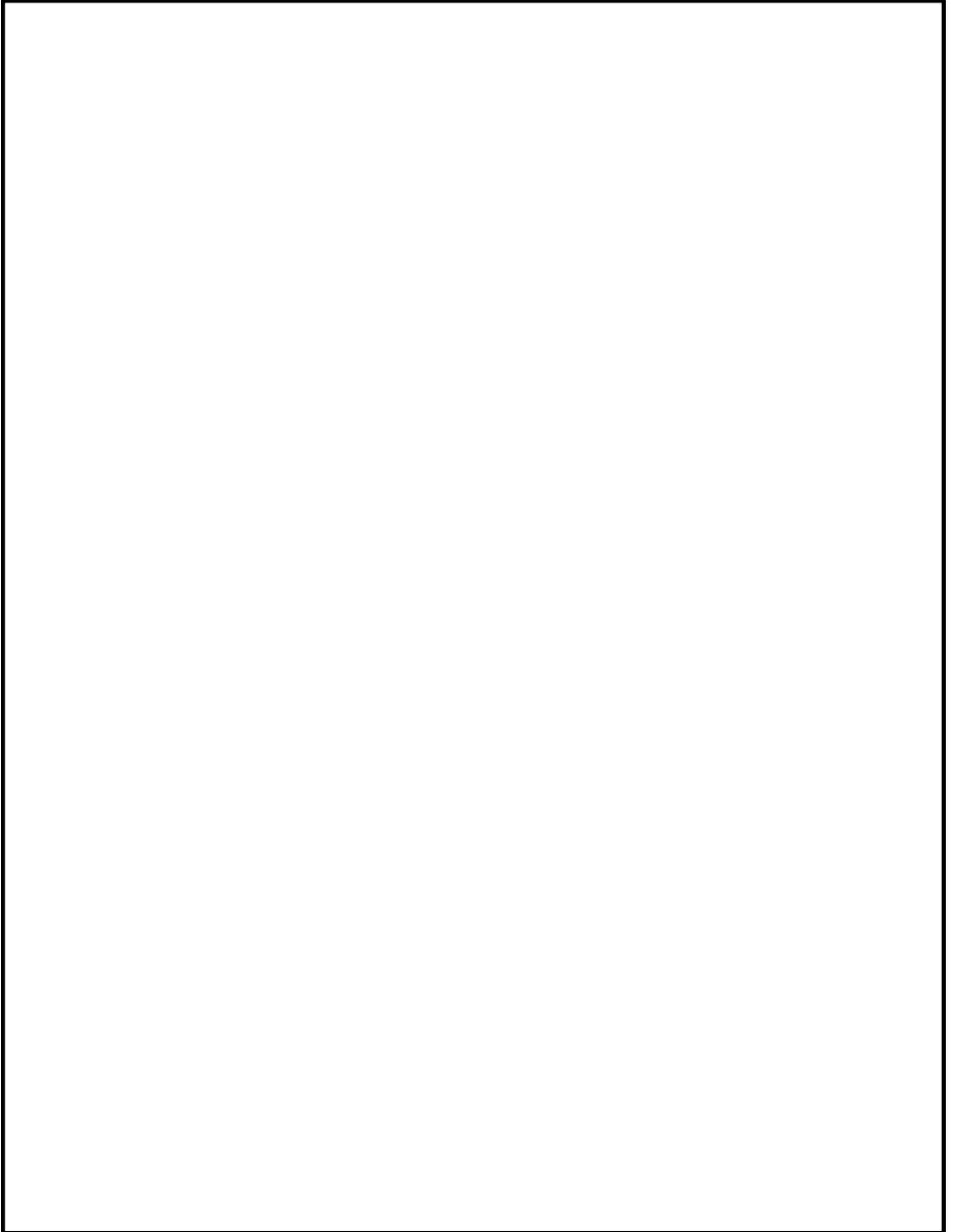


図 4-8 ひずみゲージの設置位置 (レール)

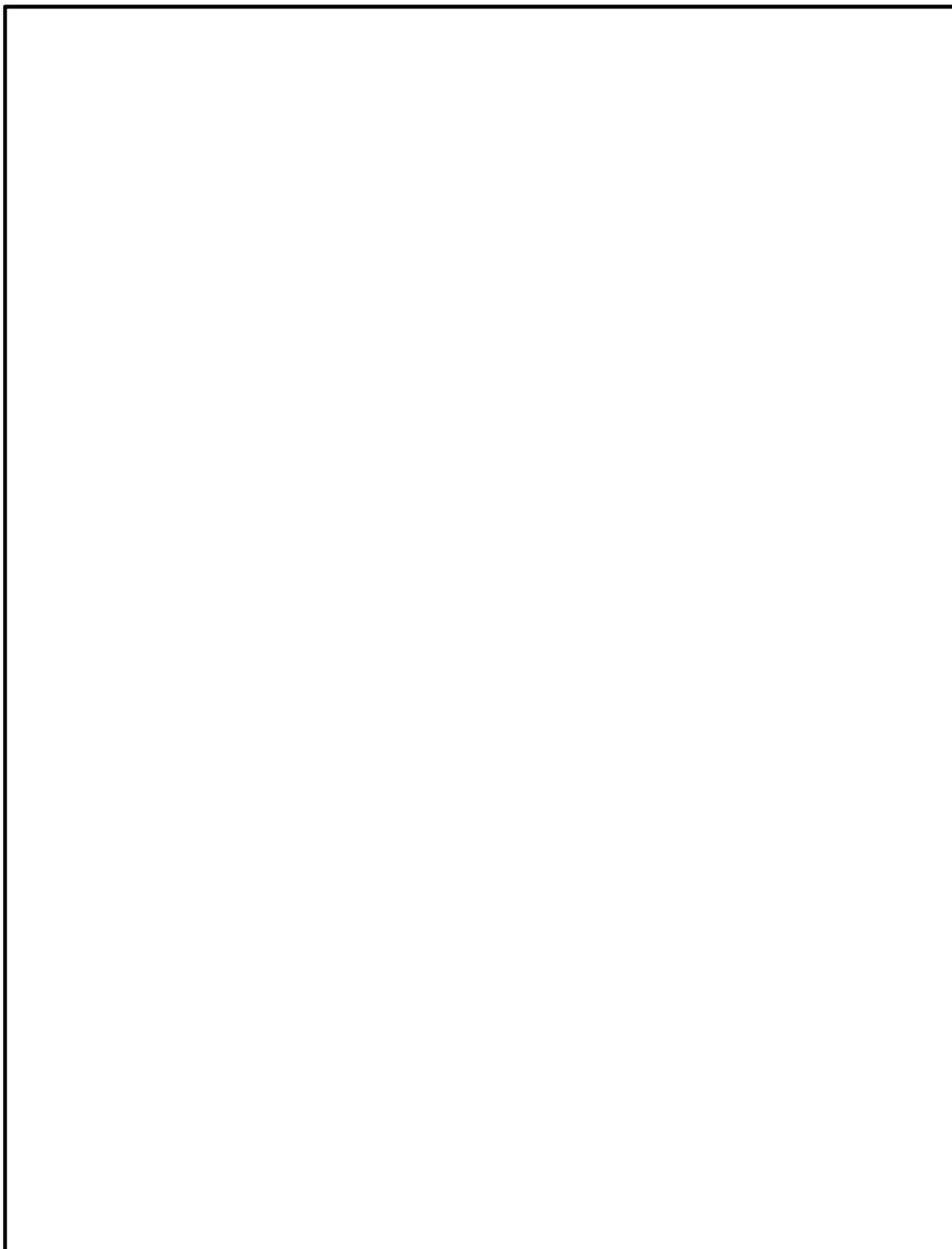


図 4-9 ひずみゲージの設置位置 (チェーン, 門)

5 試験要領

5.1 試験手順

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

なお，試験場との調整，現場の進捗状況等により，試験手順が変更となる場合もある。

- (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) センサ確認試験を以下の手順で実施する。
 - ① 閉止装置の扉が閉止状態であることを確認する。
 - ② 加振レベル 0.5 m/s^2 程度，振動数 $1\sim 2 \text{ Hz}$ にて，各方向単独で正弦波加振を行う。
 - ③ センサの取付方向，感度を確認する。
- (3) 振動特性把握試験を以下の手順で実施する。
 - ① 閉止装置の扉が閉止状態であることを確認する。
 - ② 加振レベル 2.0 m/s^2 程度にて，各方向単独で， $0.1 \text{ Hz}\sim 30 \text{ Hz}$ 程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波の加振を行う。
 - ③ 試験体の固有振動数を測定し，入力波の主要な振動数成分の範囲に固有振動数の有無を確認する。
 - ④ 閉止装置の扉を開放状態とし，(3) ②，③ を実施する。

【閉止装置の扉開放状態における加振試験】

- (4) 地震波 ($0.3 \times S_s$) 加振試験を以下の手順で実施する。
 - ① 閉止装置の扉を開放状態であることを確認する。
 - ② センサ取付状況及び試験体の外観目視点検を行い，異常のないことを確認する。
 - ③ 3方向同時加振の包絡波によるレベル1 ($0.3 \times S_s$) で加振する。
 - ④ 加振後，採取データを確認する。
- (5) 地震波 ($0.6 \times S_s$) 加振試験を実施する。
 - ① 閉止装置の扉が開放状態であることを確認する。
 - ② センサ取付状況及び試験体の外観目視点検を行い，異常のないことを確認する。
 - ③ 3方向同時加振の包絡波によるレベル2 ($0.6 \times S_s$) で加振する。
 - ④ 加振後，採取データを確認する。
 - ⑤ 気密性能試験を「5.2 (1) 気密性能試験」のとおり実施する。
 - ⑥ 作動試験を「5.3 (1) 作動試験」のとおり実施する。
- (6) 地震波 ($1.0 \times S_s$) 加振試験を実施する。
 - (5) ① ～ ⑥と同じ。ただし，下記に読み替える。
 - ・レベル2 ($0.6 \times S_s$) をレベル3 ($1.0 \times S_s$)
 - ・基準地震動 S_s の0.6倍を1.0倍
- (7) 地震波 ($1.1 \times S_s$) 加振試験を実施する。

- (8) ① ～ ⑥と同じ。ただし、下記に読み替える。
- ・レベル2 ($0.6 \times S_s$) をレベル4 ($1.1 \times S_s$)
 - ・基準地震動 S_s の 0.6 倍を 1.1 倍

【閉止装置の扉閉止状態における加振試験】

- 閉止装置の扉を閉止状態とし、5.1 (4)～(7)を実施する。ただし、下記に読み替える。
- ・扉の開放状態を閉止状態

【追加加振試験（閉止装置の扉開放状態）】

- ① 閉止装置の扉が開放状態、門（開側，閉側）が挿入状態であることを確認する。
- ② センサ取付状況及び試験体の外観目視点検を行い，異常のないことを確認する。
- ③ 3方向同時加振の包絡波によるレベル3 ($1.0 \times S_s$) で加振する。
- ④ 加振後，採取データを確認する。
- ⑤ 開側の門及び閉側の門を押し上げる。この際，門の電動駆動シリンダの電流及び作動時間の計測を行う。
- ⑥ 気密試験準備のため，扉閉動作させる。
- ⑦ 開側の門及び閉側の門を挿入する。この際，門の電動駆動シリンダの電流及び作動時間の計測を行う。
- ⑧ 気密性能試験を「5.2 (1) 気密性能試験」のとおり実施する。
- ⑨ 作動試験を「5.3 (1) 作動試験」のとおり実施する。併せて，門の押上げ及び挿入についても確認する。
- ⑩ 試験体の外観目視点検を行い，異常のないことを確認する。

【追加加振試験（閉止装置の扉閉止状態）】

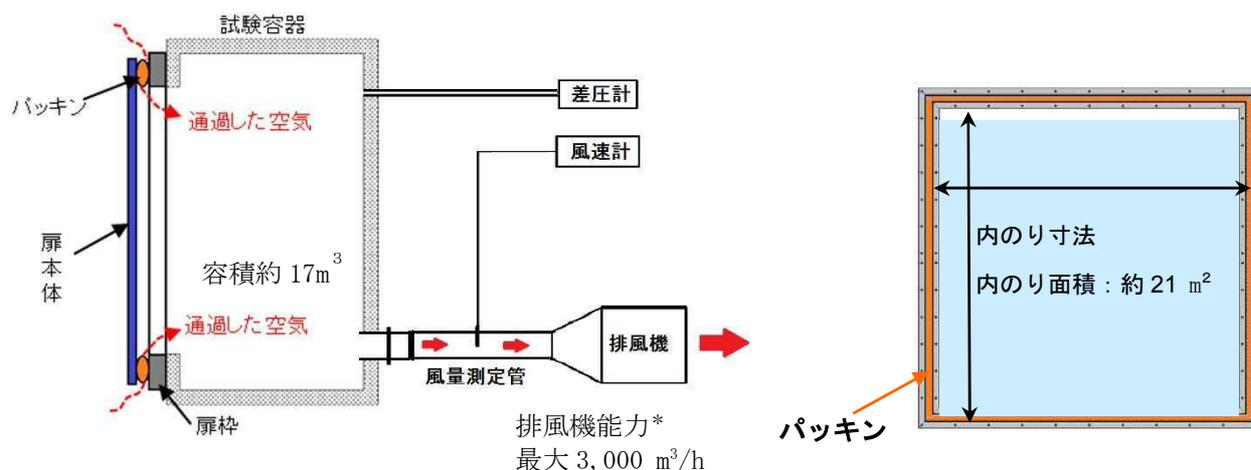
- ① 閉止装置の扉が閉止状態，門（開側，閉側）が挿入状態であることを確認する。
- ② センサ取付状況及び試験体の外観目視点検を行い，異常のないことを確認する。
- ③ 3方向同時加振の包絡波によるレベル3 ($1.0 \times S_s$) で加振する。
- ④ 加振後，採取データを確認する。
- ⑤ 気密性能試験を「5.2 (1) 気密性能試験」のとおり実施する。
- ⑥ 作動試験を「5.3 (1) 作動試験」のとおり実施する。併せて，門の押上げ及び挿入についても確認する。
- ⑦ 試験体の外観目視点検を行い，異常のないことを確認する。

5.2 気密性能試験について

(1) 気密性能試験

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

図 5-1 に気密性能試験装置図, 図 5-2 に試験体の内のり寸法図を示す。



風量測定管径：φ 50 mm
(通過した空気量が多い場合はφ 130 mmを使用)

注記 *：追加加振試験においては、排風機能力最大 7,200 m³/h

図 5-1 気密性能試験装置図

図 5-2 試験体の内のり寸法図

試験体を通過した空気量 Q (m³/h) は、風速計の風速 V (m/s), 風量測定管の直径 d (m) から算出する。

$$Q = V \times \frac{\pi \times d^2}{4} \times 3,600$$

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。), 負圧での圧力差 10 Pa, 30 Pa, 50 Pa, 63 Pa, 100 Pa, 150 Pa, 200 Pa と上げ, 150 Pa, 100 Pa, 63 Pa, 50 Pa, 30 Pa, 10 Pa と下げていく* (保持時間 1 分)。通気方向は 1 方向 (負圧) とする。(図 5-3 負圧試験線図)

注記 *：負圧を維持できる範囲で試験を実施する。

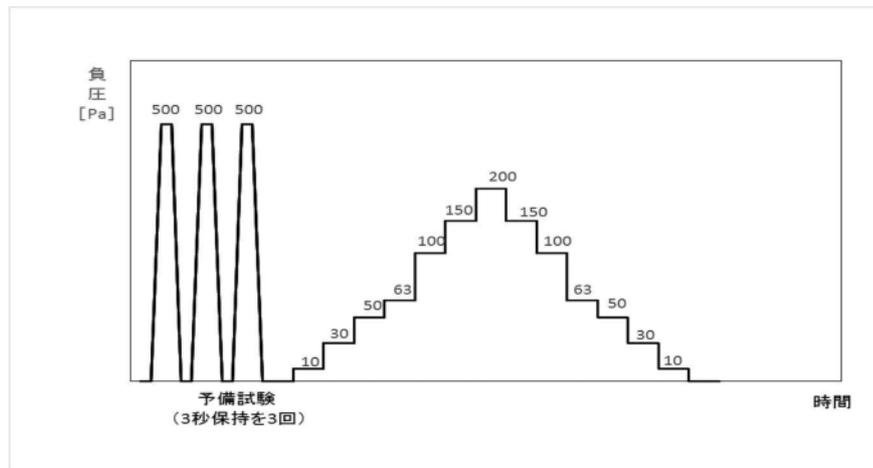


図 5-3 負圧試験線図

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

$$q = Q' / A$$

ここで、

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

A : 試験体の内のり面積 (m^2)

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

$$Q' = Q \cdot \frac{P}{1,013} \cdot \frac{273 + 20}{273 + T}$$

P : 試験容器内の気圧 (hPa)

T : 試験時の空気温度 ($^\circ\text{C}$)

(2) 判定基準

通気量 : $12.6\text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 以下* (差圧 63 Pa 時)

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

5.3 作動確認について

(1) 作動確認

【電動作動確認】

電動駆動により閉止装置が開閉できることを確認する。併せて電動機の電流測定及び開閉時間を測定する。なお、開操作と閉操作は原則各1回とするが、初期状態との差異があると判断した場合は、各5回を計測し、最も保守的な値を判定基準に用いる。

また、閉止装置の開閉に合わせ、閘を電動駆動シリンダの操作により押し上げ、挿入できることを確認する。なお、電動作動時間については次のとおりとする。

- ・ 閘押し上げ時間：電動駆動シリンダの起動から、閘押し上げ検知のリミットスイッチが作動するまでの時間
- ・ 閘挿入時間：電動駆動シリンダの起動から、閘挿入のリミットスイッチが作動したことを確認の後、電動シリンダの停止リミットスイッチが作動するまでの時間

【手動作動確認】

① 閉止装置の扉が開放状態での加振後

手動操作により閉止装置が閉止できることを確認する。(図5-4)

また、手動操作により閘を引抜き、挿入できることを確認する。ただし、電動作動確認結果から作動状況に変化がないと判断できる場合は、手動作動確認を省略する。

② 閉止装置の扉が閉止状態での加振後

手動操作により閉止装置が開放できることを確認する。

また、手動操作により閘を引上げ、挿入できることを確認する。ただし、電動作動確認結果から作動状況に変化がないと判断できる場合は、手動作動確認を省略する。

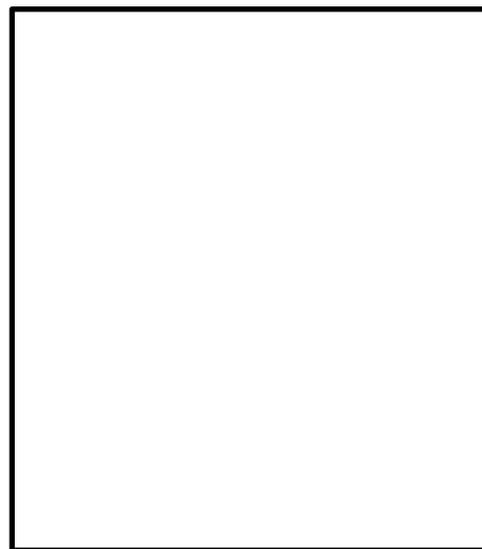


図5-4 手動操作概念図

(2) 判定基準

【電動作動確認】

○扉

電動駆動により開閉できること。

扉の閉止：全閉位置であること。

開閉時間：2分以内(参考値)

電流値：定格電流値以内であること。

○門

電動駆動シリンダにより門が押上げ，挿入できること。

門の位置 : 門が挿入又は押上げ位置であること。

開閉時間 : 15 秒以内 (参考値)

電流値 : 定格電流値以内であること。

【手動作動確認】

○扉

手動操作により閉止 (開放状態の加振後) 又は開閉 (閉止状態の加振後) できること。

扉の閉止 : 全閉位置又は全開位置であること。

○門

手動操作により門を引上げ又は自重により門挿入できること。

門の位置 : 門が物理的な上限位置までの引上げができること。また，門挿入時は，ピン頭部がフレーム側の門受の位置にあること。

図 5-5，図 5-6 に試験工程を示す。

図 5-5 試験工程

項目	6/15(金)		6/16(土)		6/17(日)		6/18(月)		6/19(火)		6/20(水)		6/21(木)		6/22(金)	
	AM	PM														
振動台補償加振	■															
センサ確認試験 3 方向(扉開)							■									
振動特性把握試験 3 方向							■									
振動特性把握試験 3 方向							■									
地震波加振 (扉開)									■							
地震波加振 (扉開)									■							
地震波加振 (扉開)									■							
地震波加振 (扉閉)											■					
地震波加振 (扉開)											■					
地震波加振 (扉閉)											■					
地震波加振 (扉閉)													■			
地震波加振 (扉閉)													■			
地震波加振 (扉開)															■	

振動台への試験体の据付け
 試験体へのセンサ等計測器類の取付け
 初期状態の気密性能試験
 等の作業

予備日

補足 16-19-23

注 1 : 試験場との調整により変更となる場合もある。

注 2 : 地震波加振のうちレベル 2, 3, 4 の加振後に, 健全性確認試験 (作動確認, 気密性能試験) を実施する。

注 3 : AMは 10:00~13:00, PMは 13:30~18:00 を想定している。

図 5-6 追加試験工程

項目	7/21(土)		7/22(日)		7/23(月)		7/24(火)		7/25(水)		7/26(木)		7/27(金)		7/28(土)		7/29(日)		7/30(月)		7/31(火)								
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM							
センサ確認試験 3 方向 (扉開)							■																						
振動特性把握試験 3 方向 (扉開)							■																						
振動特性把握試験 3 方向 (扉閉)							■																						
地震波加振 (扉開) レベル 3 (1.0×S _s)							■																						
気密性能試験	振動台への試験架台の据付け 試験架台へのセンサ等計測器類の 取付け 門の設置 等の作業								■	■																			
地震波加振 (扉閉) レベル 3 (1.0×S _s) *															■	■													
地震波加振 (扉閉) レベル 3 (1.0×S _s) *																	■	■											
地震波加振 (扉開) レベル 3 (1.0×S _s) *																												■	
地震波加振 (扉閉) レベル 3 (1.0×S _s) *																												■	
< 確認試験 (参考) > 地震波加振 (扉開) レベル 3 (1.0×S _s)																			■	■									

補足 16-19-24

注 1 : 試験場との調整により変更となる場合もある。
 注 2 : AMは 10:00~13:00, PMは 13:30~18:00 を想定している。
 注記 * : 加振後に、健全性確認試験 (作動確認, 気密性能試験) を実施する。

表 5-1 測定計測器一覧表 (1/2)

No.	用途	計測器名称	メーカー(型式)	仕様
1	絶縁抵抗測定	絶縁抵抗計	sanwa (PDM508S)	管理番号：HS01A667 定格測定電圧(V/MΩ)：500/100 精度：第一有効測定範囲(指示値の±5 %以内) 第二有効測定範囲(指示値の±10 %以内)
2	動作試験 (モータ電流値測定)	デジタルクランプ メータ	HIOKI (3282)	管理番号：HS01A509 交流電流(A)：レンジ 30 A, 300 A, 600 A 精度：30 A(40～1 kHz：±1 %rdg±0.7 %fs) 300 A/600 A(45～60 Hz：±1.0 %rdg±5 dgt, 40～45 Hz：±1.5 %rdg±5 dgt, 66～1 kHz：±1.5 %rdg±5 dgt)
3	動作試験 (扉開閉，門押上げ 挿入速度測定)	ストップウォッチ	SEIKO (S034-4000)	管理番号：HS01Z003 時間精度：±0.0012 % (月差±30 秒以内)
4	気密性能試験	熱式風速計	日本カノマックス(株) (6141)	製造番号：642361 3 レンジ：0～1 m/s(50 等分目盛。最小読取値 0.02 m/s) 0～10 m/s(50 等分目盛。最小読取値 0.2 m/s) 0～50 m/s(50 等分目盛。最小読取値 1 m/s) 精度：各レンジのメータフルスケールの±2 %
5		風量計測管	一般財団法人 建材試験センター	φ 50 mm (内径) φ 130 mm (内径)
6		デジタル圧力計 (絶対圧)	(株)サヤマトレーディング (マノエース 230-8110HP-B)	器物番号：2K43019 圧力レンジ：0～110 kPa, 200 kPa, 700 kPa 最大表示：700 kPa 精度：±0.35 %fs±1dgt
7		デジタル圧力計 (差圧計)	(株)コスモ計器 DM-3501 (200 Pa)	器物番号：311-1813-05B 圧力レンジ：0～±200 Pa 最大表示：220 Pa 精度：±0.15 %fs±1 dgt

表 5-1 測定計測器一覧表 (2/2)

No.	用途	計測器名称	メーカー(型式)	仕様
8	気密性能試験	デジタル圧力計 (差圧計)	(株)コスモ計器 DM-3501 (500 Pa)	器物番号 : 311-2144-07B 圧力レンジ : 0 ~ ±500 Pa 最大表示 : 550 Pa 精度 : ±0.15 %fs ±1 dgt
9		ガラス製単管温度計	日本計量器工業(株) (DF-201)	範囲 : -20 °C ~ 50 °C 以下 目盛 : 1 °C
10	加振試験	加速度計	株式会社共和電業 (AS-5GB, AS-10GB, AS-20GB)	定格容量 AS-5GB : ±49.03 m/s ² AS-10GB : ±98.07 m/s ² AS-20GB : ±196.1 m/s ² 精度 (非直線性/ヒステリシス) : ±1.0 %R0* 以内
11		ひずみゲージ	株式会社共和電業 (KFG-2-120-C1-11)	ひずみ限界 : 約 5 % (常温) 誤差 : 最大 10 % (ひずみ限界条件における最大誤差)

注記 * : R0 (Rated Output) : 定格出力

表 5-2 測定計測器一覧表 (1/2) 追加加振試験にて追加して使用する計器

No.	用途	計測器名称	メーカー(型式)	仕様
1	動作試験 (モータ電流値測定)	デジタルクランプ メータ	HIOKI (3281)	管理番号 : HS01A506 交流電流(A) : レンジ 30 A, 300 A, 600 A 精度 : 30 A(40~1 kHz : $\pm 1 \%$ rdg $\pm 0.7 \%$ fs) 300 A/600 A(45~60 Hz : $\pm 1.0 \%$ rdg ± 5 dgt, 40~45 Hz : $\pm 1.5 \%$ rdg ± 5 dgt, 66~1 kHz : $\pm 1.5 \%$ rdg ± 5 dgt
2			HIOKI (3282)	管理番号 : HS01A511 交流電流(A) : レンジ 30 A, 300 A, 600 A 精度 : 30 A(40~1kHz : $\pm 1 \%$ rdg $\pm 0.7 \%$ fs) 300 A/600 A(45~60 Hz : $\pm 1.0 \%$ rdg ± 5 dgt, 40~45 Hz : $\pm 1.5 \%$ rdg ± 5 dgt, 66~1 kHz : $\pm 1.5 \%$ rdg ± 5 dgt
3	動作試験 (扉開閉, 門押上げ 挿入速度測定)	ストップウォッチ	SEIKO (S051-4000)	管理番号 : HS01Z010 時間精度 : $\pm 0.0012 \%$ (月差 ± 30 秒以内)
4			SEIKO (S034-4000)	管理番号 : HS01Z013 時間精度 : $\pm 0.0012 \%$ (月差 ± 30 秒以内)

表 5-2 測定計測器一覧表 (2/2) 追加加振試験にて追加して使用する計器

No.	用途	計測器名称	メーカー (型式)	仕様
5	気密性能試験	熱式風速計	日本カノマックス(株) (6141)	製造番号：102215 3レンジ：0～1 m/s(50等分目盛。最小読取値0.02 m/s) 0～10 m/s(50等分目盛。最小読取値0.2 m/s) 0～50 m/s(50等分目盛。最小読取値1 m/s) 精度：各レンジのメータフルスケールの±2%
6		風量計測管	一般財団法人 日本建築総合試験所	φ53 mm (内径)
7		デジタル圧力計 (絶対圧)	横河電気(株) (7673-17)	製造番号：91L819634 圧力レンジ：0～130 kPa(abs) 最大表示：156 kPa(abs) 精度：±(0.03 %rdg+0.005 %fs+6 dgt)
8		デジタル圧力計 (差圧計)	横河電気(株) (7673-20)	製造番号：27EB13728 圧力レンジ：0～±1 kPa 最大表示：1.2 kPa 精度：±(0.02 %rdg+0.04 %fs)
9		ガラス製単管温度計	シンワ測定(株)	管理番号：HS01U110 範囲：-20℃～105℃以下 精度：±1.0℃
10	加振試験	加速度計	株式会社共和電業 (AS-5GA)	定格容量 AS-5GA：±49.03 m/s ² 精度(非直線性/ヒステリシス)：±1.0 %R0*以内
11		ひずみゲージ	株式会社共和電業 (KFGS-1-120-C1-11)	ひずみ限界：約5%(常温) 誤差：最大10%(ひずみ限界条件における最大誤差)

注記 *：R0 (Rated Output)：定格出力

「J I S A 1516 建具の気密性試験方法」抜粋

6.3 試験手順 試験は、図2に示す手順に従って行う。

a) 予備加圧 試験に先立ち試験圧力 P_{max} (1) より10%以上大きい圧力差を3秒以上保持し、3回加える。ただし、その圧力差は500 Pa以上とする。

なお、圧力を変化させる時間は、1秒以上とする。

b) 開閉確認 戸の開閉繰返しを5回行い、その後施錠する。

c) 加圧 加圧は、図2に示す試験手順に従い、正圧のもとで各段階ごとに最低10秒以上保持しながら、この試験で要求されている最高圧まで昇圧する。

なお、試験における圧力差の段階は、10、30、50、100、150、200、300、400、500及び600 Paとし(図2)、 P_{max} が600 Paを超える場合は、100 Paを超えない範囲の段階で圧力差を増加する(図3)。この圧力差は、降圧にも適用する。

d) 測定 個々の圧力差ごとに流量が定常になったときの流量を測定する。

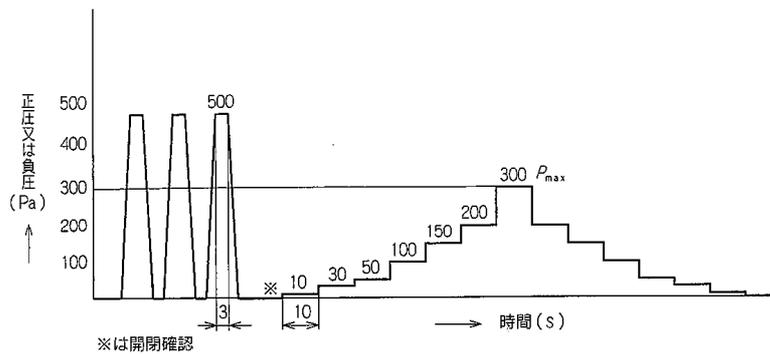


図2 加圧線図 (P_{max} が600 Pa以下の例)

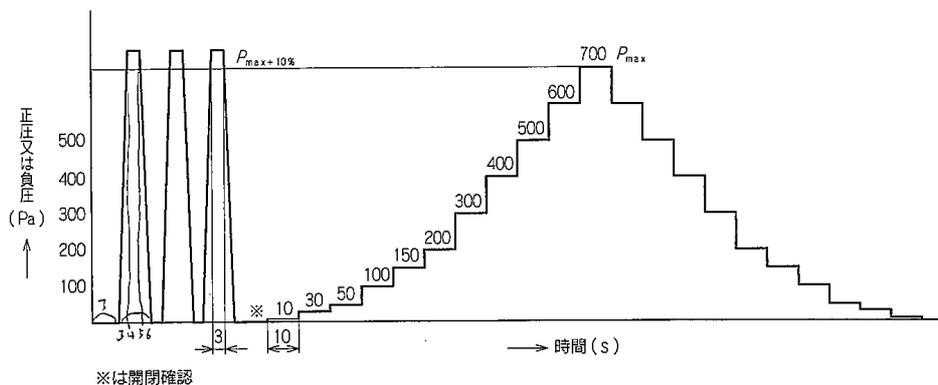


図3 加圧線図 (P_{max} が600 Paを超える例)

7. 試験結果の記録

7.1 通気量の表し方 通気量は、次のいずれか一つで表す。

- 建具面積の平方メートル当たり
- 可動部の平方メートル当たり
- すき間長さメートル当たり

7.2 通気量の算出 通気量は、それぞれの加圧時での通気面積 1 m^2 当たり (又は、すき間長さ 1 m 当たり)、1 時間当たりの流量で表し、JIS A 1513の5.で規定する基準状態の値に次の式を用いて換算する。

なお、換算結果は JIS Z 8401によって丸めて表す。

・通気面積当たりの換算式

$$q = \frac{Q}{A} \cdot \frac{P_1 \cdot T_0}{P_0 \cdot T_1}$$

・すき間長さ 1 m 当たりの換算式

$$q_1 = \frac{Q}{L} \cdot \frac{P_1 \cdot T_0}{P_0 \cdot T_1}$$

ここに、 q : 基準状態に換算した通気量 ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$)

q_1 : 基準状態に換算した通気量 ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$)

Q : 測定された流量 (m^3/h)

A : 通気面積 (m^2)

L : すき間長さ (m)

P_0 : 1013 (hPa)

P_1 : 試験室の気圧 (hPa)

T_0 : $273 + 20 = 293 \text{ (K)}$

T_1 : 測定空気温度 (K)

7.3 記録 7.2で求めた通気量の換算結果は、縦軸に通気量を、横軸に圧力差をとった両対数グラフ (通気量線図) で示す。

なお、通気量線図に示す通気量は、昇圧時の値と降圧時の値の両者のうち、大きい値を記入する。

ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験結果（1回目）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。加振時にチェーンの損傷や閉状態の扉の移動（開放）が確認された。また、チェーンの破損がなく扉を閉状態にできれば十分な気密性能が確保できることを確認した。チェーンの破損については対策を実施し、再度、実機大の加振試験を実施する。

表 1-1 試験結果概要（1/2）

試験 No	区分	扉状態	試験項目	目的／試験内容	結果
1	事前確認	—	センサ確認	・ 加速度センサの動作確認	完了
2		開／閉	振動特性試験	・ ランダム波による振動特性（固有値）確認	完了
3	気密性能確認	閉	気密性能試験	・ 気密性能確認	良好
4	加振試験 （レベル 1）	開	加振試験 0.3 S _s	・ 構造健全性確認	良好
5		閉	加振試験 0.3 S _s	・ 構造健全性確認	良好
6	加振試験 （レベル 2）	開	加振試験 0.6 S _s	・ 加振→扉閉操作→気密性能確認 ・ 電動での扉開閉確認	良好
7		閉	加振試験 0.6 S _s	・ 加振→気密性能確認 ・ 電動での扉開閉確認	・ 加振時に扉が 52 mm 開側に移動
8	加振試験 （レベル 3） （予備試験）	開	加振試験 1.0 S _s ・ 作動確認 ・ 気密性能試験	・ 加振→扉閉操作→気密性能確認 ・ 電動及び手動での扉開閉確認	良好

表 1-1 試験結果概要 (2/2)

9	加振試験 (レベル3) (本試験)	開	加振試験 1.0 S _s ・作動確認 ・気密性能試験	・加振→扉閉操作→気密性能確認 ・電動での扉開閉確認*	・チェーン (開側) 破損 ・閉操作可能であったため電動にて閉操作後, 気密試験実施
10		閉	加振試験 1.0 S _s ・作動確認 ・気密性能試験	・加振→気密性能確認 ・電動及び手動での扉開閉確認	・チェーン (閉側) 破損 ・扉は完全閉から約 300 mm 開方向に移動。手動にて再閉止後, 気密試験実施
11	加振試験 (レベル4) (参考: S _s を超える試験装置の加振限界を考慮した試験)	開	加振試験 1.1 S _s ・作動確認 ・気密性能試験	・加振→扉閉操作→気密性能確認 ・電動及び手動での扉開閉確認	・チェーン (開側) 破損確認 ・閉操作可能であったため電動にて閉操作後, 気密試験実施
12		閉	加振試験 1.1 S _s ・作動確認 ・気密性能試験	・加振→気密性能確認 ・電動及び手動での扉開閉確認	・チェーン (閉側) 破損はなかったが, 有意な伸び (約 38 mm)を確認 ・扉は完全閉から約 85 mm 開方向に移動。電動にて再閉止後, 気密試験実施

注記 * : 電動による扉作動確認の結果, 電流値, 開閉時間に異常がないため手動開閉操作は省略

2. 固有振動数

ブローアウトパネル閉止装置の固有振動数を確認するため、扉が開状態と閉状態時に、各方向（X, Y, Z 方向）単独で、0.1 Hz～30 Hz 程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波（加振レベル 2.0 m/s² 程度）で加振し、閉止装置の固有振動数を確認した。結果として、扉開状態では、X 方向、Y 方向、Z 方向ともに明確な振動数ピークは確認されず、扉の固有振動数は 20 Hz 以上と評価した。また、扉閉状態では、X 方向（面外方向）にのみピークが確認され、閉状態面外方向の固有振動数は、前回加振時と同様に約 16 Hz（約 0.0625 秒）と評価した。固有振動数を以下の表 2-1 に示す。

表 2-1 固有振動数

扉状態 (加振時)	固有振動数
開	<ul style="list-style-type: none">・面外方向：20 Hz 以上・面内方向：20 Hz 以上・鉛直方向：20 Hz 以上
閉	<ul style="list-style-type: none">・面外方向：約 16 Hz・面内方向：20 Hz 以上・鉛直方向：20 Hz 以上

3. 加振試験加速度の妥当性

閉止装置の上部及び下部の最大加速度は、 S_s 包絡条件を超えており、必要な加振がされていることを確認した。加振レベル $1.0 S_s$ の加速度結果を以下の表 3-1 から表 3-8 に示す。また、加振時の応答スペクトルが設計応答スペクトルを超えていることを確認した。応答スペクトルの測定結果を図 3-1 から図 3-4 に示す。

表 3-1 扉「開」上部の加速度評価 (試験 No. 9 6月20日 レベル 3)

方向	S_s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A4(扉上部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	1.66 <	4.09	○
Y		2.43	○
Z	1.21 <	2.02	○

表 3-2 扉「開」下部の加速度評価 (試験 No. 9 6月20日 レベル 3)

方向	S_s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A2(扉下部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	1.34 <	1.51	○
Y		1.56	○
Z	1.09 <	1.64	○

表 3-3 扉「閉」上部の加速度評価 (試験 No. 10 6月21日 レベル 3)

方向	S_s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A3(扉上部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	1.66 <	2.65	○
Y		2.01	○
Z	1.21 <	1.94	○

表 3-4 扉「閉」下部の加速度評価 (試験 No. 10 6月21日 レベル 3)

方向	S_s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A1(扉下部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	1.34 <	1.41	○
Y		1.60	○
Z	1.09 <	1.60	○

表 3-5 扉「開」上部の加速度評価 (試験 No. 11 6月22日 レベル4)

方向	S _s 包絡条件 (×9.8 m/s ²)	A4(扉上部)	判定結果
		計測結果 (×9.8 m/s ²)	
X	1.66 <	3.40	○
Y		2.06	○
Z	1.21 <	2.12	○

表 3-6 扉「開」下部の加速度評価 (試験 No. 11 6月22日 レベル4)

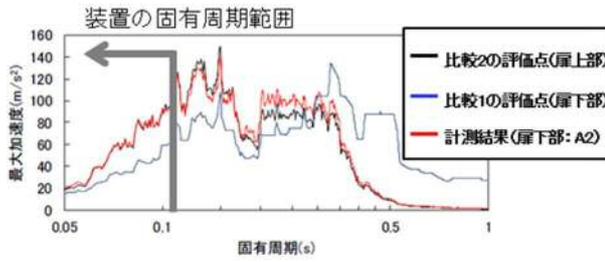
方向	S _s 包絡条件 (×9.8 m/s ²)	A2(扉下部)	判定結果
		計測結果 (×9.8 m/s ²)	
X	1.34 <	1.56	○
Y		1.57	○
Z	1.09 <	1.72	○

表 3-7 扉「閉」上部の加速度評価 (試験 No. 12 6月21日 レベル4)

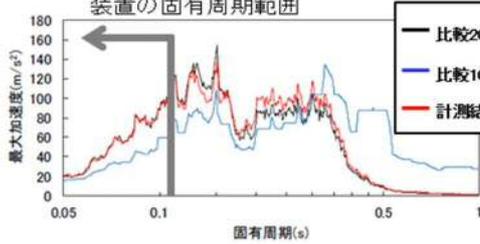
方向	S _s 包絡条件 (×9.8 m/s ²)	A3(扉上部)	判定結果
		計測結果 (×9.8 m/s ²)	
X	1.66 <	2.67	○
Y		2.04	○
Z	1.21 <	2.09	○

表 3-8 扉「閉」下部の加速度評価 (試験 No. 12 6月21日 レベル4)

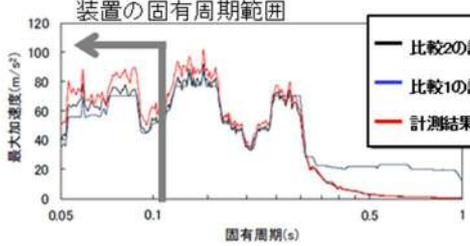
方向	S _s 包絡条件 (×9.8 m/s ²)	A1(扉下部)	判定結果
		計測結果 (×9.8 m/s ²)	
X	1.34 <	1.43	○
Y		1.58	○
Z	1.09 <	1.62	○



(a) 応答スペクトル (X方向)

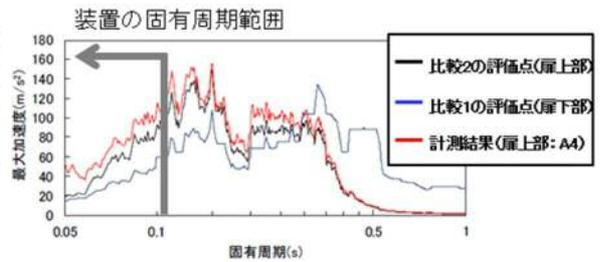


(b) 応答スペクトル (Y方向)

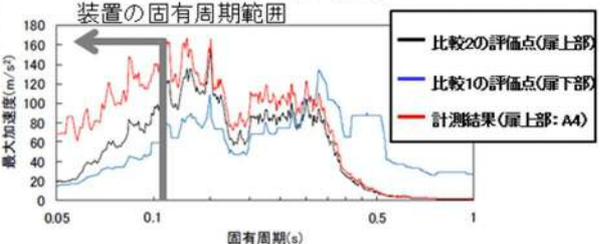


(c) 応答スペクトル (Z方向)

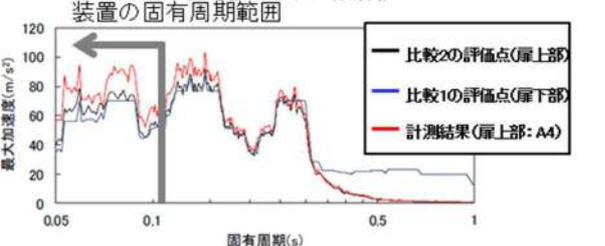
図 3-1 扉開 下部測定結果 (試験 No. 9)



(a) 応答スペクトル (X方向)

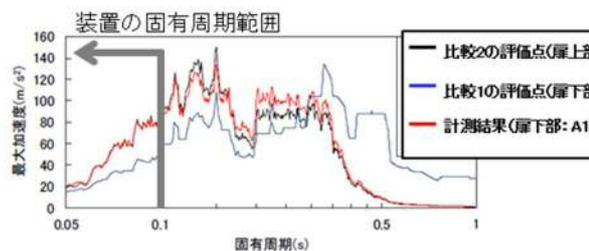


(b) 応答スペクトル (Y方向)

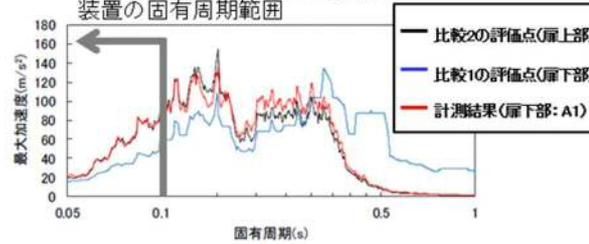


(c) 応答スペクトル (Z方向)

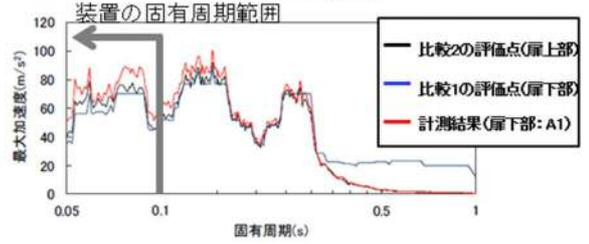
図 3-2 扉開 上部測定結果 (試験 No. 9)



(a) 応答スペクトル (X方向)

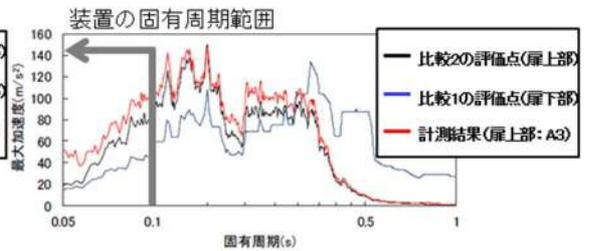


(b) 応答スペクトル (Y方向)

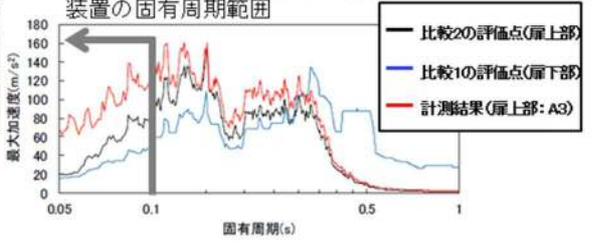


(c) 応答スペクトル (Z方向)

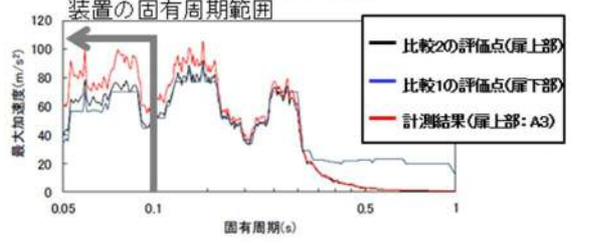
図 3-3 扉開 下部測定結果 (試験 No. 10)



(a) 応答スペクトル (X方向)



(b) 応答スペクトル (Y方向)



(c) 応答スペクトル (Z方向)

図 3-4 扉開 上部測定結果 (試験 No. 10)

4. 加振試験結果

4.1 チェーン等の破損確認

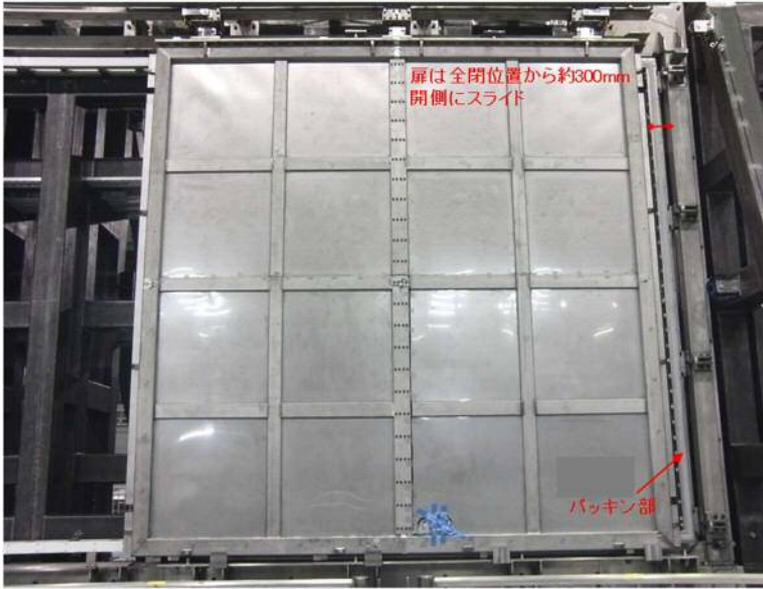
門を設置した結果、チェーン破損はなく、扉開放等の不具合は認められなかった。結果を以下の表 4-1、図 4-1 及び図 4-2 に示す。

表 4-1 加振後の外観目視点検結果

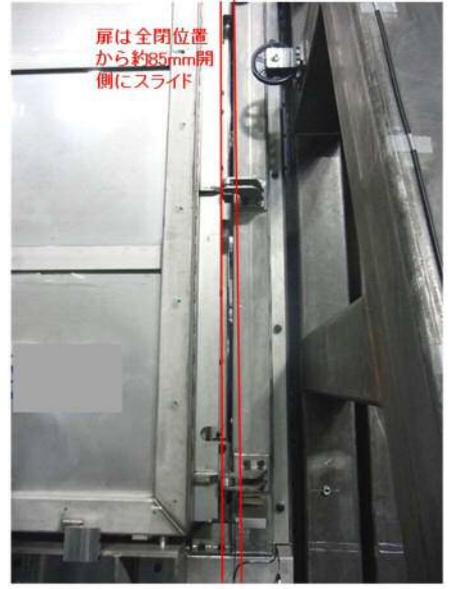
試験 No.	試験条件		外観目視点検結果等		
	扉状態	加振	チェーン	扉開放	その他部位
6	開	0.6 S _s	破損なし	—	異常なし
7	閉	0.6 S _s	破損なし	扉は約 52 mm 開放	異常なし
9	開	1.0 S _s	破損	—	異常なし
10	閉	1.0 S _s	破損	扉は約 300 mm 開放	異常なし
11	開	1.1 S _s	破損	—	異常なし
12	閉	1.1 S _s	破損なし (約 38 mm の伸びを確認)	扉は約 85 mm 開放	異常なし



図 4-1 加振後のチェーンの状態



扉閉レベル3(1.0Ss)後の扉状態(6月21日)



扉閉レベル4(1.1Ss)後の扉状態(6月21日)

図 4-2 加振後の扉の状態

4.2 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 4-2 のとおり。加振後の漏えい量も十分に小さく、原子炉建屋外壁のブローアウトパネル部に適用し、既設原子炉建屋のインリーク量を考慮した場合でも、原子炉建屋としての気密性能（負圧）は十分に確保できることを確認した。

表 4-2 加振後の気密性能試験

試験 No.	試験条件		通気量[m ³ /h・m ²] (63 Pa 時)	備考
	扉状態	加振		
3	閉	—	約 0.25	組立後の加振前
6	開	0.6 S _s	約 0.24	加振後に扉を閉止し試験
7	閉	0.6 S _s	約 0.24	扉閉状態での加振後の状態で試験
8	開	1.0 S _s	約 0.25	加振後に扉を閉止し試験
9	開	1.0 S _s	約 0.26	加振時にチェーン（開側）が破損したが電動で閉止後に気密性能試験を実施
10	閉	1.0 S _s	約 0.26	加振時にチェーン（閉側）が破損し、扉が約 300 mm 開放したため、手動にて閉止後に気密性能試験を実施
11	開	1.1 S _s	約 0.27	加振時にチェーン（開側）が破損したが電動で閉止後に気密性能試験を実施
12	閉	1.1 S _s	約 0.27	加振時にチェーンの破損は発生しなかったが、チェーンには約 38 mm の伸びが確認された。また、扉が約 85 mm 開放したため、電動にて閉止後に気密性能試験を実施

<原子炉建屋としての負圧達成について>

今回の閉止装置単体での気密性能試験結果から、本装置を原子炉建屋原子炉棟外壁のブローアウトパネル部に設置した場合の原子炉建屋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（3570 m³/h）は、推定漏えい量 1768 m³/h を十分に上回るため、非常用ガス処理系にて 63 Pa 以上の負圧達成可能である。

- ・既設原子炉建屋の推定インリーク量：約 1710 m³/h@63 Pa
- ・閉止装置 10 個の合計面積：約 213 m²
- ・閉止装置 10 個設置時の推定インリーク量：213 m²×0.27 m³/h・m²=58 m³/h@63 Pa
- ・非常用ガス処理系定格容量：3570 m³/h@63Pa
- ・閉止装置設置時の原子炉建屋原子炉棟の推定漏えい量：

$$1710 \text{ m}^3/\text{h} + 58 \text{ m}^3/\text{h} = 1768 \text{ m}^3/\text{h} @ 63 \text{ Pa} < 3570 \text{ m}^3/\text{h} @ 63 \text{ Pa}$$

(非常用ガス処理系定格容量の約 50 %)

4.3 扉作動試験

扉作動試験の結果は表 4-3 のとおり。チェーンが健全であれば扉の開閉に問題ないことを確認したが、チェーンが破損した場合には、電動による扉の開閉が不可能となる可能性があるため対策が必要である。

表 4-3 加振後の扉作動試験

試験 No.	扉 初期 状態	試験 条件	電動				手動	備考
			開放→閉止		閉止→開放			
			作動時間 目標 120 秒 以内	電流 目標 7.48 A 以内	作動時間 目標 120 秒 以内	電流 目標 7.48 A 以内		
6	開	0.6 S _s	約 99 秒	約 3.92 A	約 98 秒	約 3.90 A	異常なし	
7	閉	0.6 S _s	約 99 秒	約 3.95 A	約 97 秒	約 4.01 A	異常なし	
8	開	1.0 S _s	約 100 秒	約 4.00 A	約 98 秒	約 4.05 A	異常なし	
9	開	1.0 S _s	約 99 秒 (チェーン 取替後)	約 4.02 A (チェーン 取替後)	約 97 秒 (チェーン 取替後)	約 4.02 A (チェーン 取替後)	異常なし	加振時チェ ーン破損有
10	閉	1.0 S _s	約 99 秒 (チェーン 取替後)	約 3.86 A (チェーン 取替後)	約 97 秒 (チェーン 取替後)	約 3.90 A (チェーン 取替後)	異常なし	加振時チェ ーン破損有
11	開	1.1 S _s	約 99 秒 (チェーン 取替後)	約 3.69 A (チェーン 取替後)	約 97 秒 (チェーン 取替後)	約 3.74 A (チェーン 取替後)	異常なし	加振時チェ ーン破損有
12	閉	1.1 S _s	約 99 秒	約 4.10 A	約 98 秒	約 4.23 A	異常なし	加振時チェ ーンは破損 しなかった が約 38 mm の 伸びを確認

ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験（1回目）不具合の原因と対策について

加振試験にて確認された2つの不具合（①チェーンの破損，②チェーン破損による閉状態の扉開放時の再開止不可）の原因と対策は以下のとおりである。

1. 推定原因

1.1 チェーンの破損

当初設計において，閉止装置のカタログ値から算出される電動機ブレーキ力は，チェーンの許容引張強さより小さいため，ブレーキ力を超える荷重が付加された場合にはすべりが発生し，チェーンには許容引張強さ以上の荷重は付加されないと考えていた。

実際に引張試験にて電動機ブレーキに滑りが発生する荷重を確認した結果，チェーン張力換算で最大約 33 kN であり，カタログから算出される電動機ブレーキ荷重約 19.6 kN を超えていた。チェーン張力の概略を図 1-1 に示す。

○モータのブレーキトルクによる荷重

モータのブレーキの標準動摩擦トルク: $T_0 = 15 \text{ N}\cdot\text{m}$ (カタログ値)

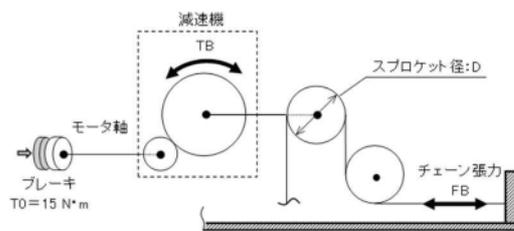
・実減速比: 78.57

・減速機の出力軸のブレーキトルク:

$$TB = 15 \times 78.57 = 1178 \text{ N}\cdot\text{m}$$

・スプロケット径: $D = 120 \text{ mm}$

・チェーン張力 FB : $FB = 2 \times TB / D = 2 \times 1178 / 0.12 = \underline{19.6 \text{ kN}}$



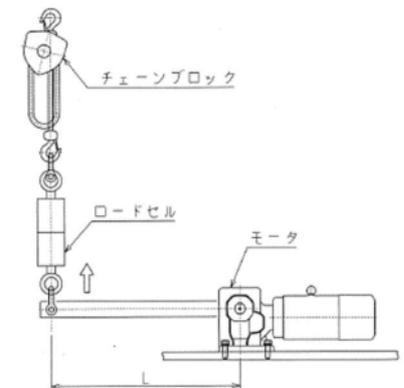
電動機ブレーキトルク体系図

○試験で得られたブレーキトルクによる荷重

最大トルク: $1934 \text{ N}\cdot\text{m}$

・チェーン張力 FB :

$$FB = 2 \times TB / D = 2 \times 1934 / 0.12 = \underline{33 \text{ kN}}$$



電動機ブレーキトルク試験概略図

図 1-1 チェーン張力の概略

電動機駆動軸からチェーン端部までを1自由度系に単純化して考える。電動機ブレーキがチェーンを介して受ける力は正弦波に近似できるが，ブレーキ力を超える荷重が付加された場合にはすべりが発生するため，この分の荷重は付加されない。このため，実際に電動機が受ける荷重は方形波パルス形状となると想定される。機械工学便覧によれば，ブレーキ荷重が方形波パルス形状の場合，チェーンに作用するブレーキ反力は，最大ブレーキ力の2倍となり得ることを確認したが，この影響は設計上，想定されていなかった。

チェーンに付加される荷重がブレーキ荷重の2倍になる場合、チェーン張力は、約66 kN（約33 kNの2倍）程度となり、実際に引張試験にて確認したチェーンの引張強さ（約41.4～44.8 kN）を超え、チェーンは破損することを確認した。加振試験時にチェーンが受ける力の概略を図1-2に、加振試験後のチェーンを図1-3に示す。

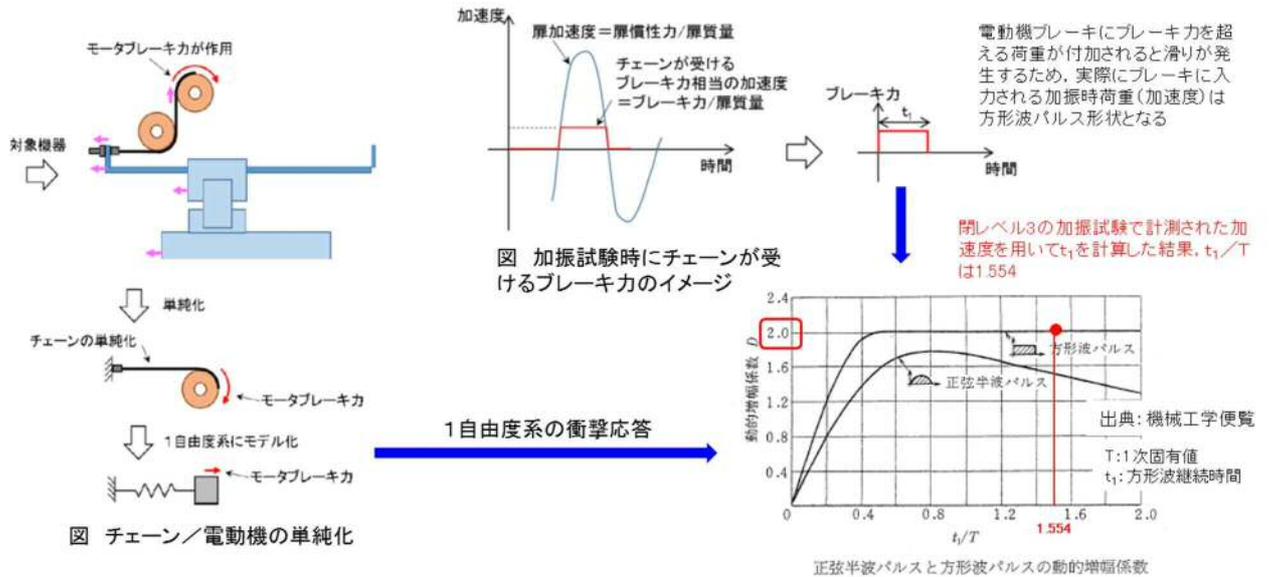


図 1-2 加振試験時にチェーンが受ける力の概略

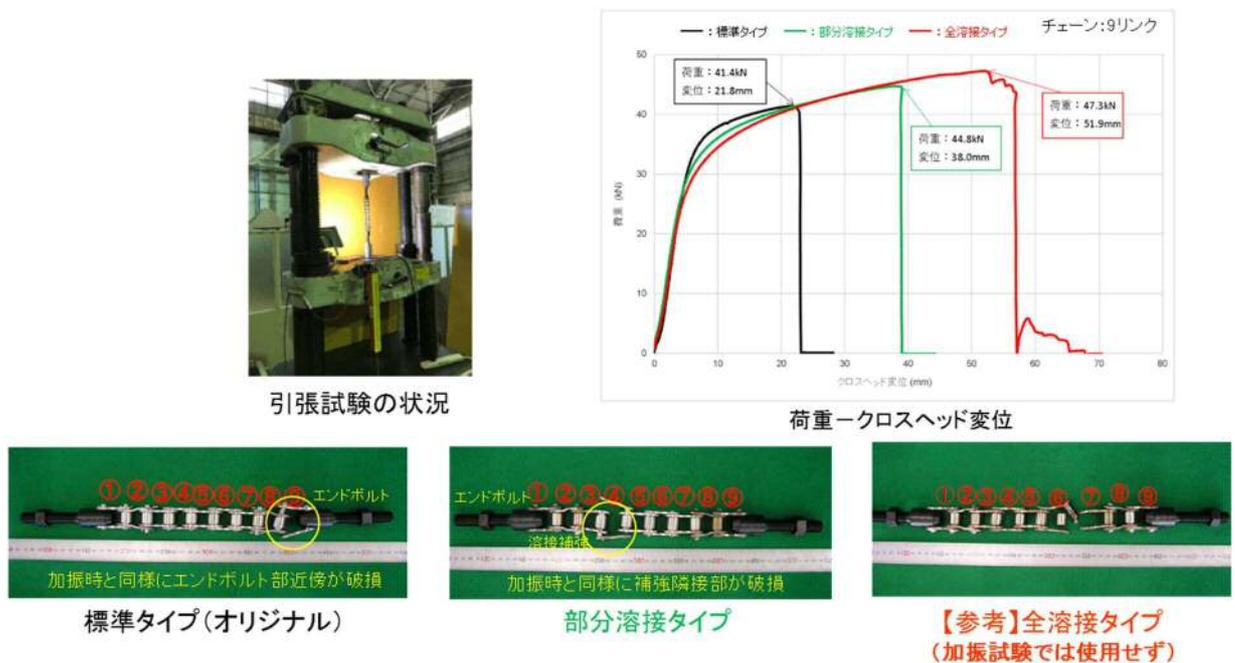
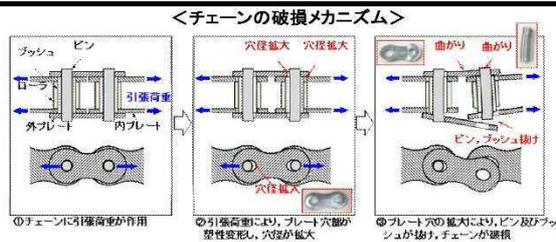
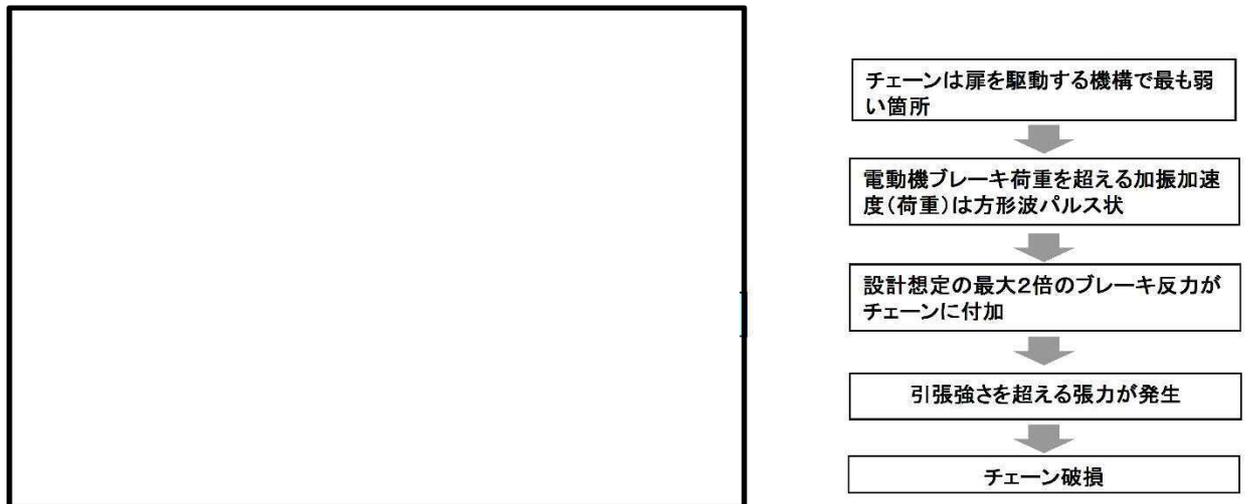


図 1-3 加振試験後のチェーン

以上より、加振試験時にチェーンが破損した原因は、加振試験により発生したスライド方向の慣性力の一部が、チェーン等を通じて電動機ブレーキに伝わり、その反力が動的に増倍されたことにより、チェーンに設計想定以上の過大な引張荷重が発生し、チェーンプレートが塑性変形してピン穴径が拡大した結果、ピンが抜け出てチェーンが破損したと推定した。図 1-4 にチェーン破損のメカニズムの概要を示す。



※図は扉閉状態のチェーン破損メカニズムであるが、扉開状態のチェーン破損メカニズムも同様。但し、扉が開状態であるためチェーン破損位置は扉を開ける側のチェーン端部近傍となる。

図 1-4 チェーン破損のメカニズムの概要

1.2 扉閉止時に扉の移動

扉閉止状態で扉が開方向に移動し、チェーンの破損により電動にて再閉止できなかった原因について検討した。

チェーンが破損すると扉の移動を抑制するための抗力が減少する。また、参考として実施した扉閉状態での1.1S₀加振（レベル4）時には、チェーンリンク孔の一部（端部から3リンク分）を溶接補強した結果、チェーンは破損しなかったが、チェーンには約38mmの伸びが確認された。また、この際の扉の移動量は約85mmであったことから、この差分である約47mm分は、モータ部でのすべりによるものと判断した。

以上より、扉閉状態での加振試験時に扉が開放し気密性能を維持できない状態となった原因は、以下の3つが重畳したものと推定した。

- (1) 電動機ブレーキ力を上回るチェーン引張力が作用したことによりチェーンが破損し、扉が開方向に移動
- (2) チェーンに降伏荷重を超える荷重が付加されたことによりチェーンが伸び、扉が開方向に移動
- (3) 電動機ブレーキ力を上回るチェーン引張力が作用したことによるチェーンの滑りにより扉が移動

図1-5に扉閉止状態から扉が開方向に移動する要因を示す。

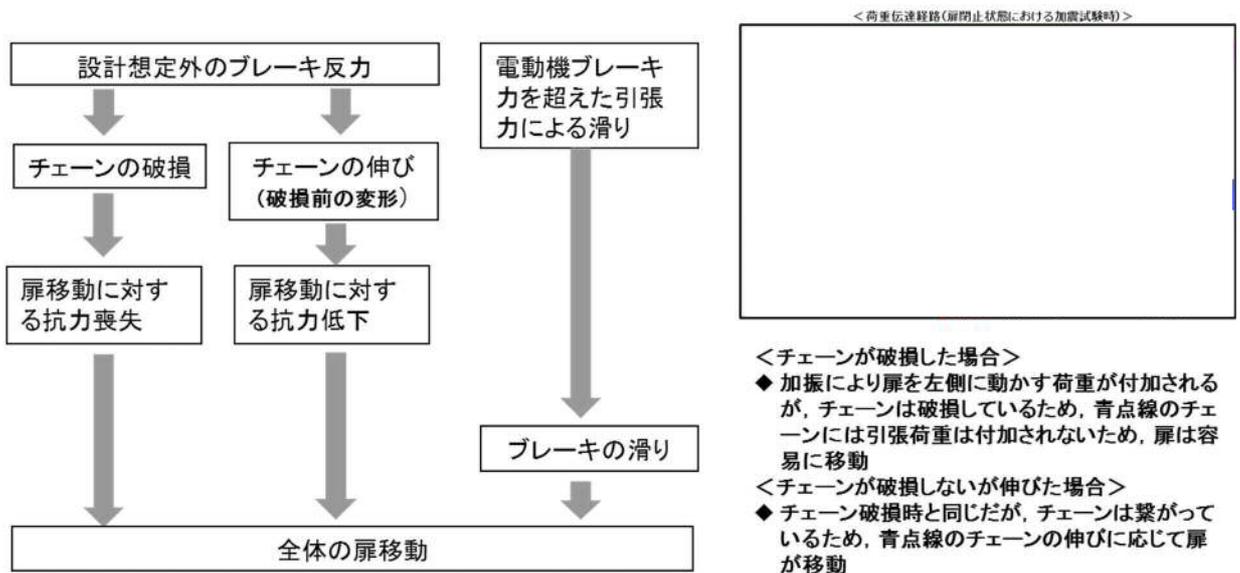


図1-5 扉閉止状態から扉が開方向に移動する要因

2. 対策

チェーン破損を防止するため、①加振時のチェーンへ付加される荷重及び変位の低減、②加振時の荷重に耐える対策、③チェーン部の荷重の低減の3つの観点から検討した。また、閉状態の扉移動に対する再閉止不可に対しては、加振試験時に扉が移動（開放）しない対策を講じることとし、その効果については、実機大の試験装置にて確認する。

2.1 チェーンの破損

(1) 加振時のチェーンへ付加される荷重及び変位の低減対策（門の設置）

扉開状態又は閉状態での加振時の扉の動きを拘束し、チェーンを含む駆動系に過度な荷重や変位が発生しないように門を設置する。門の概要を図2-1に示す。

この際、門部については、門が抜けなくなるリスクを最小限とするため、表2-1に示す門設計の検討項目を考慮した設計とする。

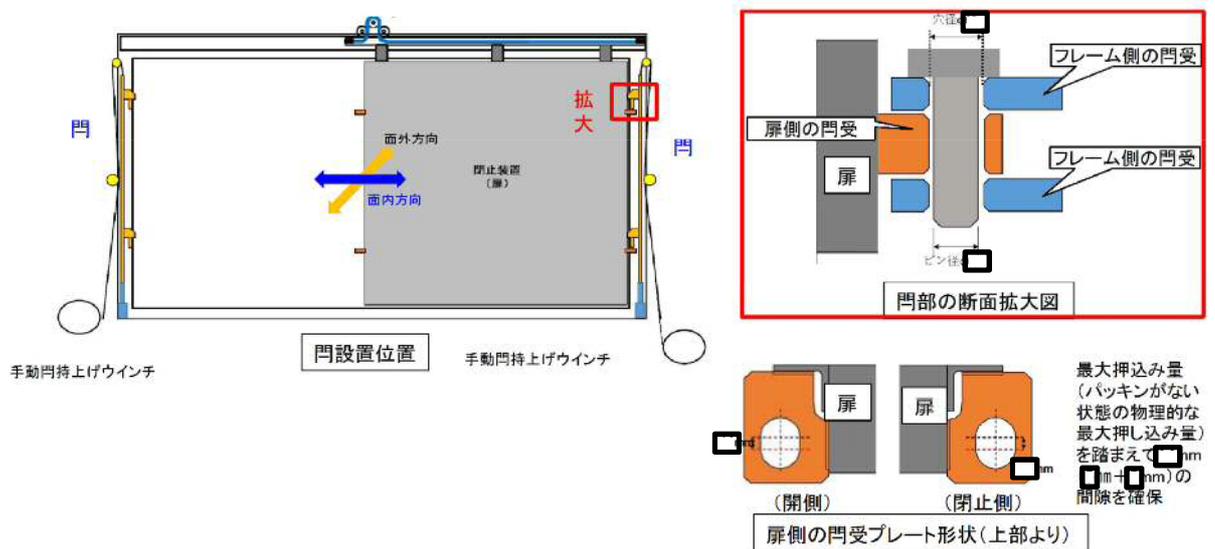
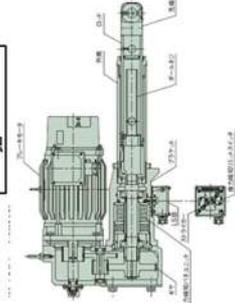


図 2-1 門の概要

表 2-1 門設計の検討項目

門が抜けなくなる要因	検討項目	対 策
固着, かじり	腐食防止	<ul style="list-style-type: none"> ・ ピン側：S45C（焼き入れ）＋メッキ ・ 門受側：ステンレス
	かじり防止	<ul style="list-style-type: none"> ・ 門ピンと門受の間隙を確保するため，門の芯が適切に設定できる工法を採用（治具を用いて門の芯をあわせた後，門受（プレート）を固定） ・ かじりが発生しないように門ピンと門受で異なる材料を使用（ピン側：S45C（焼き入れ）＋メッキ，門受側：SUS）
	寸法（熱膨張及び公差）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熱膨張及び製作公差を考慮しても，門ピンと門受の間隙を確保できる設計（公差＋熱膨張合計最大 <input type="text"/> mm に対して <input type="text"/> mmを確保する設計）
	異物対策	<ul style="list-style-type: none"> ・ 門ピン頂部の形状により上部からの異物が入らない構造 ・ 念のため定期的な動作確認を実施し健全性確認
門の変形・強度不足	門ピンの強度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 前回加振時の最大加速度の2倍の加速度(19.2G)が扉に付加されても塑性変形を起こさない強度を確保（門が歪まない設計）
門押上げ力不足	門ピンの自重による挿入	<ul style="list-style-type: none"> ・ 製作精度の確保及びピンの構造強度確保により，門ピンの傾きを想定しても門は自重で挿入（落下）する設計
	門ピンの過度な引き抜き防止	<ul style="list-style-type: none"> ・ 門ピンは物理的にプレート側門受から外れない設計
	門押上げ用電動機への過度な荷重付加の抑制	<ul style="list-style-type: none"> ・ 通常状態では，門は押上げ用電動機と連結されておらず，地震等の過度な荷重が電動機に付加されない設計 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>◆門挿入時は、電動駆動シリンダを下げる ◆門挿入中は、電動駆動シリンダと門は接触しない</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>電動駆動シリンダ仕様 (ストローク:300mm)</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">電動駆動シリンダ部</p>
	充分大きな門押上げ力	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電動機の押上げ力は，門重量約 50 kgの <input type="text"/> 倍の約 <input type="text"/> kgと十分な容量を確保
手動引抜き手段	<ul style="list-style-type: none"> ・ ウィンチの定格容量は 2000 kg，ワイヤーの許容荷重は 4000 kgと門重量 50 kgに対して十分な容量を確保 	
—	機能が維持されていることの確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定期的な動作確認による健全性確認

<熱膨張影響について>

① 閉状態（水平方向）の評価

閉止状態においてS A時の二次格納施設内の温度として100℃を想定し熱膨張を考慮した。図2-2に閉状態（水平方向）の評価を示す。扉の閉止動作は、チェーンガイドに取り付けられたストライカがリミットスイッチを作動させ扉を停止するため、リミットスイッチの位置を基準点とし、扉側門受の変位量はストライカと扉側門受の距離（下図 L_1 ）、架台側門受の変位量はリミットスイッチと架台側門受の距離（下図 L_2 ）に比例するため、扉側及び架台側門受について、それぞれの熱膨張率を使用して、各門受の位置の変位量を算出した。評価の結果、扉の閉止側で相対変位量 mm の変位が生じるものの、門ピンと門受の隙間 (mm) の範囲内であることを確認した。

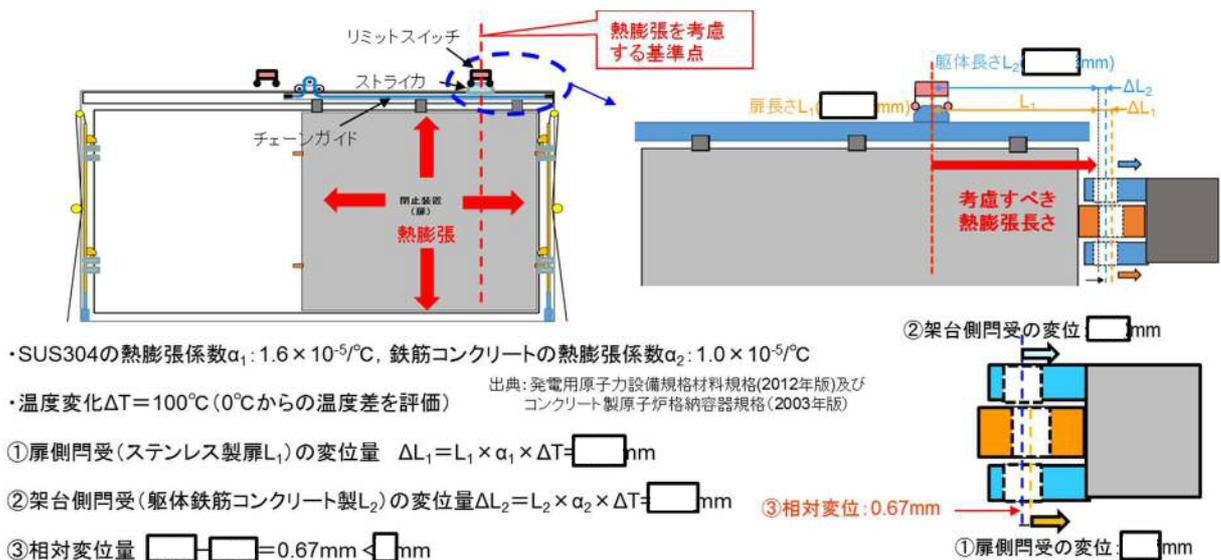


図 2-2 閉状態（水平方向）の評価

② 開状態（水平方向）の評価

開状態においては屋外であることを考慮して、50℃を想定し熱膨張を考慮した。図2-3に開状態（水平方向）の評価を示す。熱膨張による門受の位置の変位量は、リミットスイッチの位置を基準点とし、扉側門受の変位量はチェーンガイドに設置されているストライカと扉側門受の距離（下図 L_3 ）、架台側門受の変位量はリミットスイッチと架台側門受の距離（下図 L_4 ）に比例するため、それぞれの熱膨張率を使用して、各門受の位置の変位量を算出した。評価の結果、相対変位量 1.18 mm の変位が生じるものの、門ピンと門受の隙間 (mm) の範囲内であることを確認した。

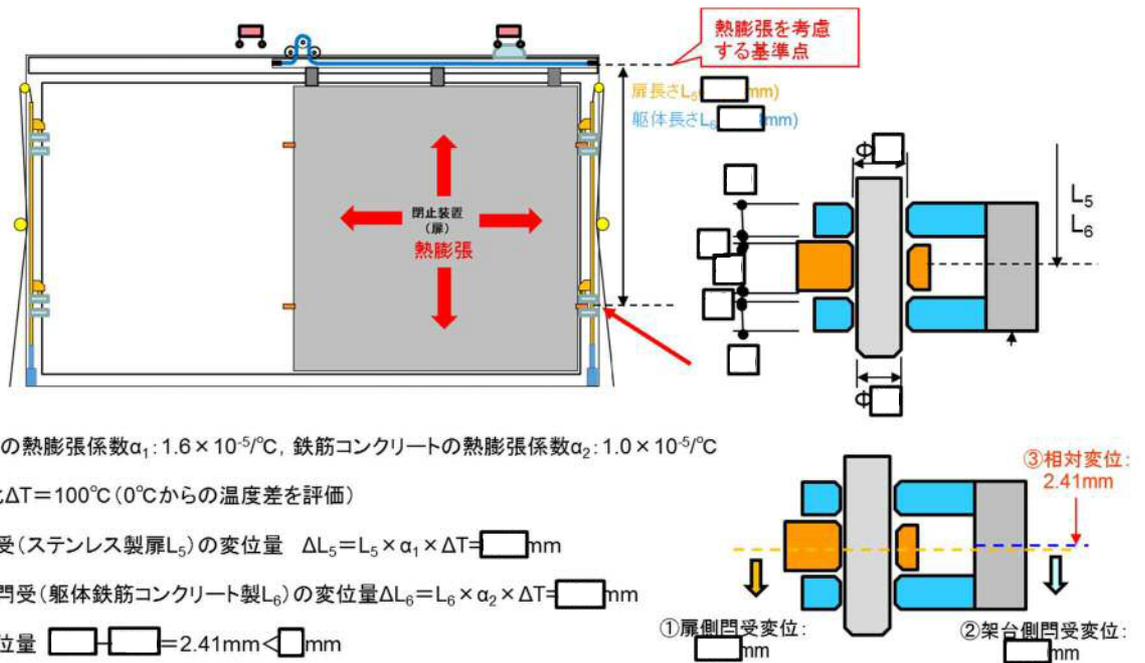


図 2-3 開状態（水平方向）の評価

③ 垂直方向の評価

閉止状態においてS A時の二次格納施設内の温度として100℃を想定し熱膨張を考慮した。垂直方向については、チェーンガイド部から下部門受までの距離が熱影響範囲である。評価の結果、扉側門受と架台側門受の相対変位量2.41mmが生じるが、架台側門受と扉側門受間の隙間(□mm)の範囲内であることを確認した。図2-4に垂直方向の評価を示す。

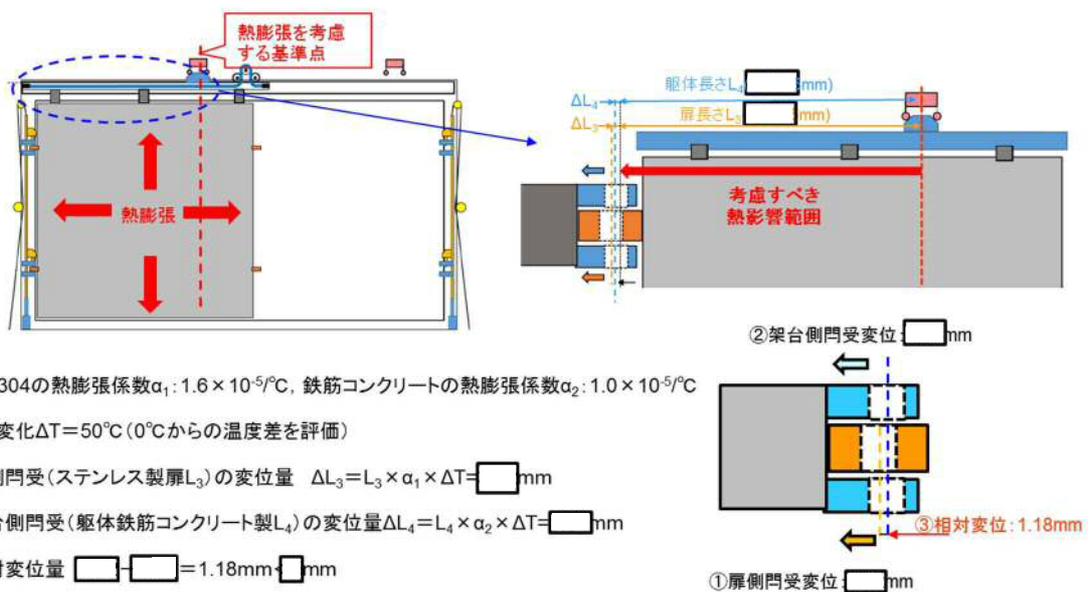


図 2-4 垂直方向の評価

④ 門の製作精度について

門については、製作公差を小さく製造したカラー（黄&緑）や仮ピン（灰色）を用いて位置決めを行い、架台受プレート及び扉受プレートを設置することで製作精度を確保する。この施工法により、門ピンと門受部に生じる変位量としては、ピン及び門受等の製作公差の合計 ± 0.1 mm及びリミットスイッチによる停止位置の誤差が ± 0.1 mmとなり、門ピンと門受の隙間（ 0.2 mm）の範囲内で製作可能である。図 2-5 にカラー取付け状況を、図 2-6 に門の組み立てステップを示す。

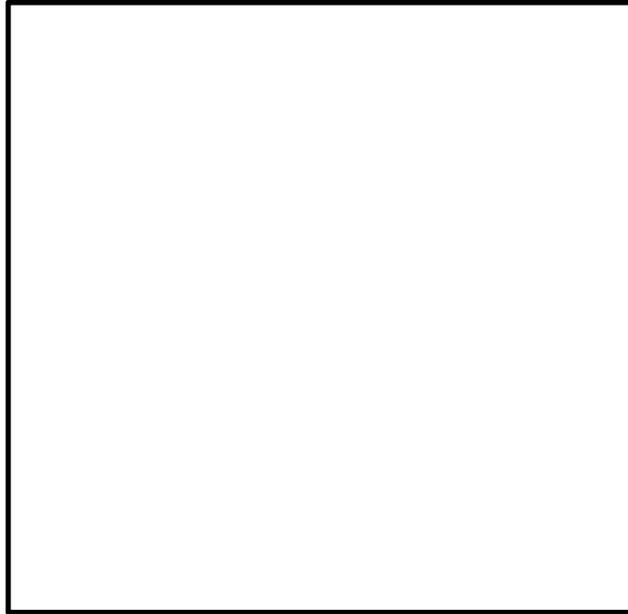


図 2-5 カラー取付け状況

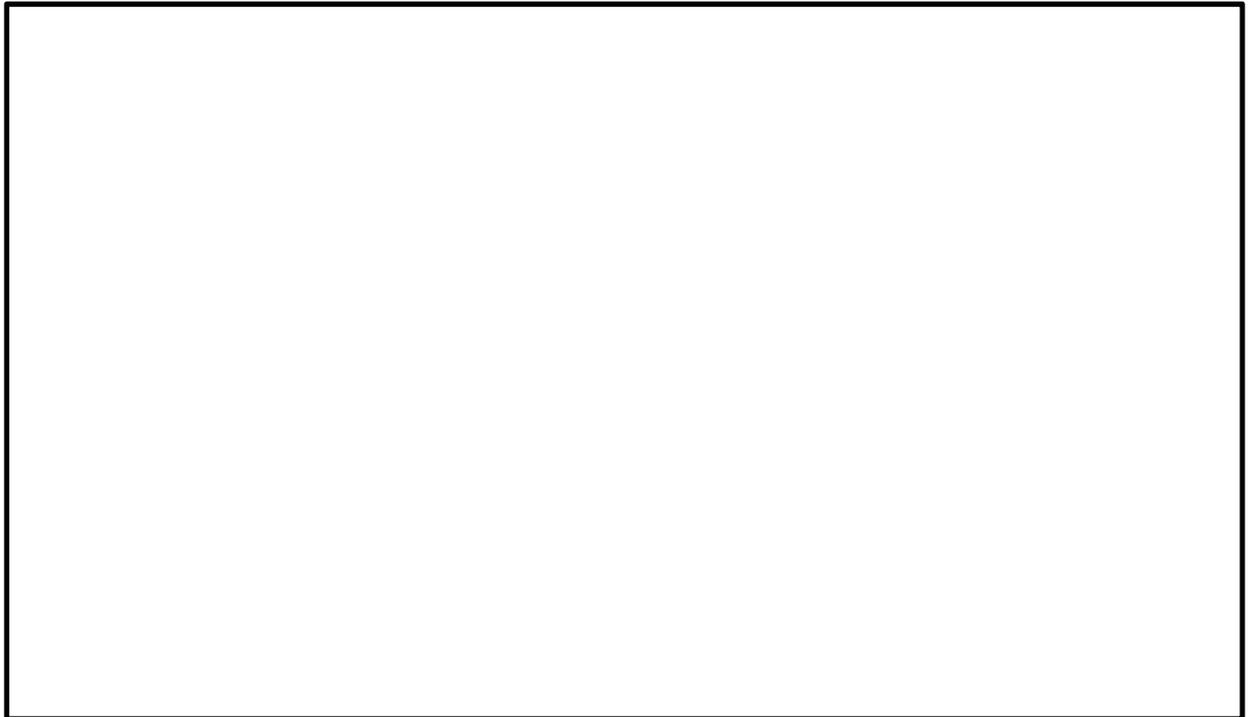


図 2-6 門の組み立てステップ

⑤ 製作精度のまとめ

扉各部の製作公差，扉のリミットスイッチによる位置決め精度，熱膨張による変形の合計は最大 mm 程度であるため，門（ピン）と門受けの隙間を mm とする。図 2-7 にリミットスイッチの設置位置及び公差を示す。

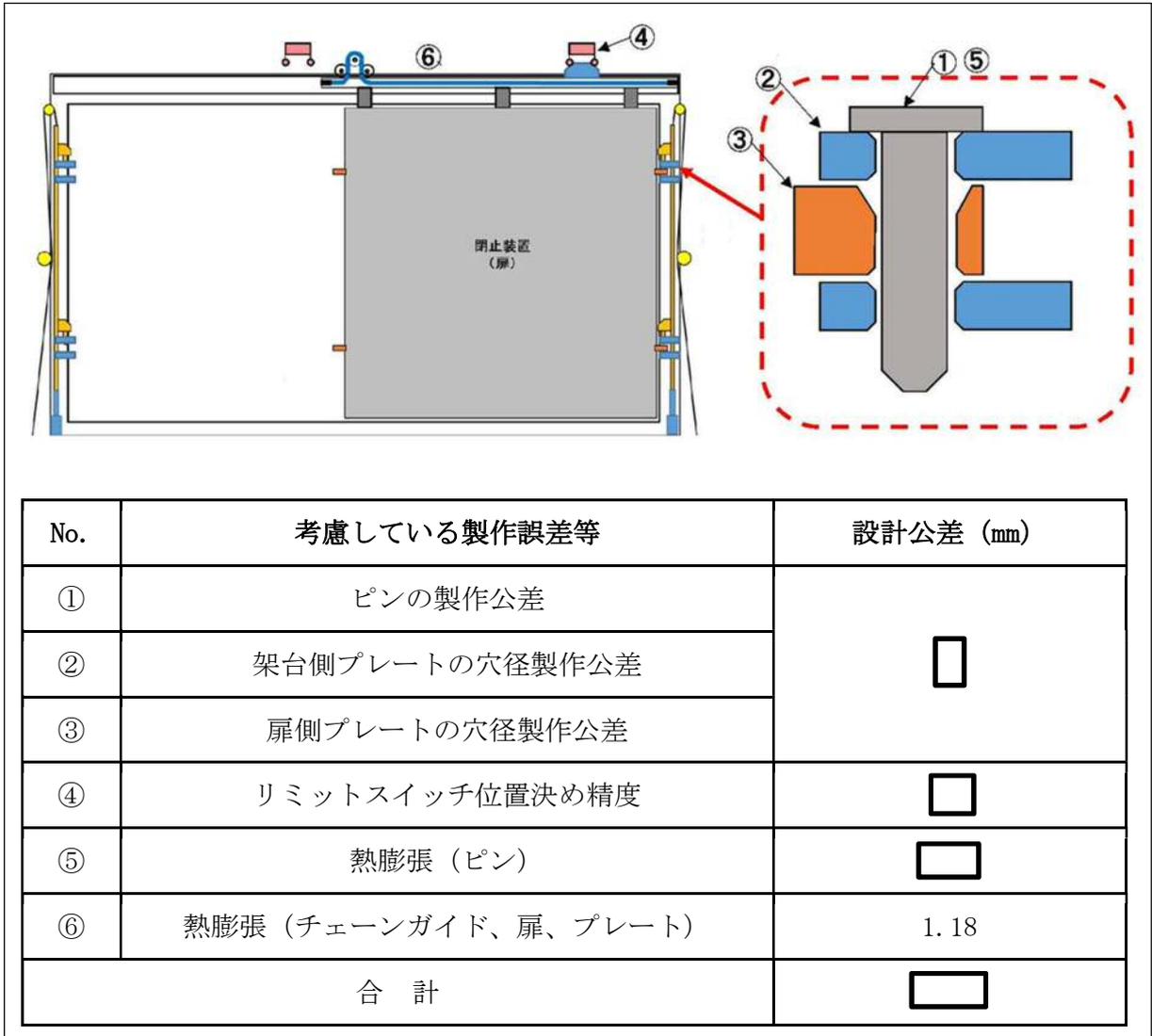


図 2-7 リミットスイッチの設置位置及び公差

(2) 加振時の荷重に耐える対策（チェーン材質の変更及びオフセットリンク構造の取止め）

チェーン破損防止のため、門構造を採用することにより、チェーンを含む扉の駆動系が、過大な加振荷重や変位を受けない設計とするが、電動機ブレーキ反力に関する知見を踏まえて、チェーンを高強度で耐候性を有する材質に変更する。材料強度を上げたチェーンについて、引張試験を実施し確認した結果を図2-8に示す。破断荷重は現行品の約1.8倍の約77 kN（扉開又は閉状態において、ブレーキとなる電動機駆動軸からチェーン端部までのリンク数は約15リンクであるため、15リンクでの試験データから評価）であり、電動機ブレーキ荷重の最大反力66 kNが発生しても破損しないこと、また、門部の間隙から推定されるチェーンの最大変位量 [] mm) が発生した場合でも、チェーンの変位は概ね弾性域であることを確認した。

なお、強度計算において使用するチェーンの引張強度は、実際の試験結果ではなく、チェーンメーカーのカタログ値である約71.6 kNを用いて設計する。

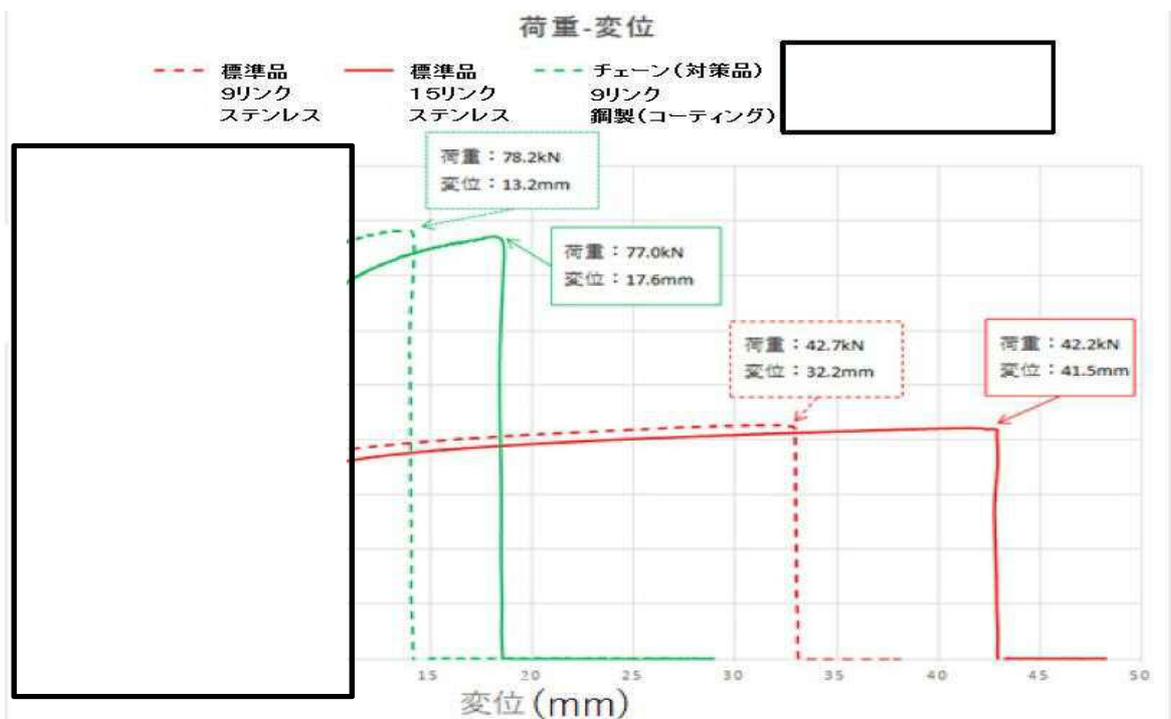


図2-8 材料強度を上げたチェーンの引張試験結果

併せて、現設計では、チェーン端部とエンドボルトの接続ためオフセットリンクが使用されているが、構造変化部となるため、エンドボルトのガイドレールへの固定位置を調整し、チェーン長さを調整することで、オフセットリンクを使用しない設計とする。図2-9に現設計チェーンと新設計のチェーンの比較を示す。

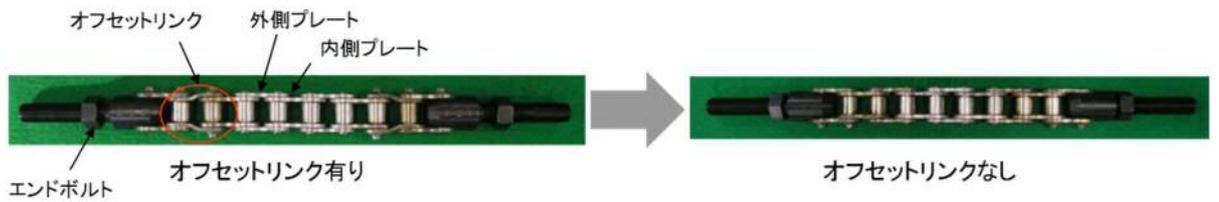


図 2-9 現設計チェーンと新設計のチェーンの比較

(3) チェーン部の荷重の低減対策（チェーンリンク数の増加）

チェーンに破損が発生する短尺部（扉開状態又は閉状態において、電動機駆動軸からチェーン端部までの距離が短い側）のチェーンの荷重低減策として、短尺部を延長し、チェーン1個あたりの伸び量を低減することで、地震荷重を緩和する効果を期待できるため、加振試験体形状の制限を踏まえて、短尺部について、開状態で約□ mm（4リンク分）、閉状態で約□ mm（2リンク分）を延長する。図2-10にチェーンの短尺部を示す。

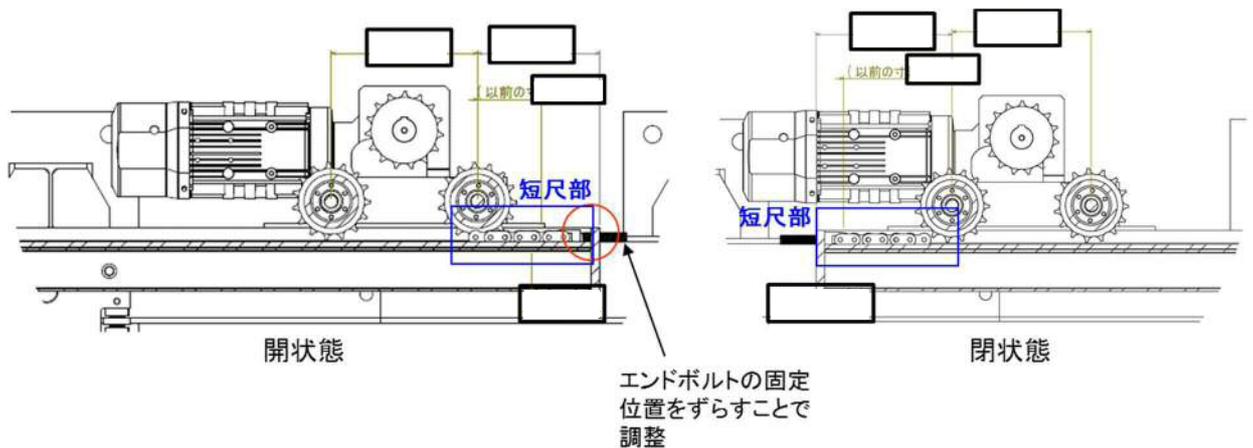


図 2-10 チェーンの短尺部

2.2 加振時の扉の移動

加振時に扉が移動（開放）しない対策として、加振時のチェーンへ付加される荷重及び変位の低減対策させる対策と同様に門を設置し、扉の移動（開放）をさせない設計とする。

2.3 その他

チェーン材質を変更し、高強度のものを採用した場合、荷重伝達経路上の最弱部がチェーンからスプロケット軸やモータ駆動軸に変更となる。このため、スプロケット軸及びモータ駆動軸の支持方法を1か所で支持する構造から2か所で支持する構造に変更し、設計裕度を確保することとする。図2-11にスプロケット軸及びモータ駆動軸の支持方法の比較を示す。

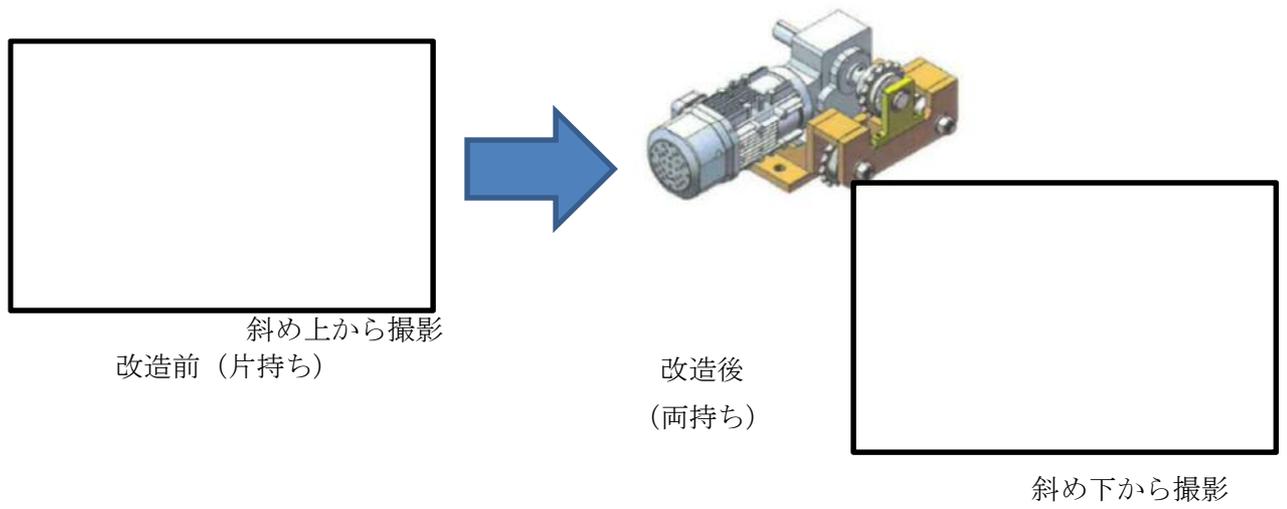


図 2-11 スプロケット軸及びモータ駆動軸の支持方法の比較

ブローアウトパネル閉止装置の試験体の荷重伝達経路各部位の簡易強度計算について

1. 概要

閉止装置の試験体が加振試験において発生した、チェーン切断事象の原因を特定するため、扉開閉方向の荷重伝達経路及び伝達経路上の各部材の開閉方向の荷重に対する強度上の裕度を簡易的に確認したものである。

2. 対象部位

開閉方向の荷重伝達経路となる部材を強度計算の対象とする。荷重の伝達経路及び計算対象部位を図 2-1 に示す。



図 2-1 荷重伝達経路及び計算対象部位

3. 強度計算

(1) 荷重

図 3-1 に荷重伝達経路の模式図を示す。応力評価に際し荷重は以下のケースを考慮した。

- a. 設計想定時：モータのブレーキ(カタログ値)による制動力が駆動系へ負荷*
- b. 加振試験時：ブレーキトルク試験結果から得られた推定荷重

加振試験で使用したモータのブレーキトルクを実測して得られたトルク値に動的効果を考慮して 2 倍した荷重

注記 *： モータのブレーキトルクによる荷重

- ・モータのブレーキの標準動摩擦トルク：

$$T_0 = 15 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- ・実減速比：78.57

- ・減速機の出力軸のブレーキトルク：

$$TB = 15 \times 78.57 = 1178 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- ・スプロケット径：

$$D = 120 \text{ mm}$$

- ・チェーン張力 FB：

$$FB = 2 \times TB / D = 2 \times 1178 / 0.12 = \underline{\underline{19.6 \text{ kN}}}$$

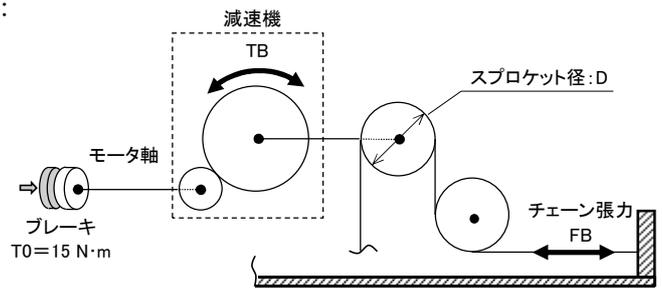


図 3-1 荷重伝達経路の模式図

(2) 応力計算

2. で示した荷重伝達経路上の部材に対し、扉開閉方向の荷重に対する応力を算出した。評価断面は強度上最も脆弱な部位とした。計算は単位荷重に対して行い、荷重値に対して比例倍して評価を行う。

(3) 評価

要因分析のための脆弱部位の特定が目的であるため、各部材の引張強さに対する算出応力の比を裕度として算出し評価した。

4. 計算結果

計算結果を各部位の裕度（＝許容値／組合せ応力）として整理し、表 4-1 に対策前の評価結果、表 4-2 に対策後の評価結果を示す。

表 4-1 対策前の計算結果まとめ

ブレーキトルク (カタログ値) より発生する荷重 : 19.6 kN

ブレーキトルク試験から得られた荷重 : 66 kN

No.	部品名		裕度*	No.	部品名		裕度*
1	ボルト1			1	ボルト1		
2	ハンガーローラ	ブラケット1					
3		リンク					
4		ブラケット2					
5	ボルト2						
6	ホルダ						
7	ボルト3						
8	チェーンガイド						
9	エンドボルト						
10	チェーン						
11	スプロケット(補助) 軸						
11'	モータ 出力軸						
12	-						
12'	減速機固定ボルト						
13	モーターベース						
14	ボルト4						
15	ハンガーレール						

注記 * : 裕度 = 許容値 / 評価値 (1 以上で成立) 許容値は Su (引張強さ) ベース

表 4-2 対策後の計算結果まとめ

<対策前>

<対策後 (門あり)>

【参考】 <対策後 (門なし)>

No.	部品名		裕度*1	No.	部品名		裕度*1	No.	部品名		裕度*1
1	ボルト1			1	ボルト1			1	ボルト1		
2	ハンガーローラ	ブラケット1									
3		リンク									
4		ブラケット2									
5	ボルト2										
6	ホルダ										
7	ボルト3										
8	チェーンガイド										
9	エンドボルト										
10	チェーン										
11	スプロケット(補助) 軸										
11'	モータ 出力軸										
12	-										
12'	減速機固定ボルト										
13	モーターベース										
14	ボルト4										
15	ハンガーレール										
16	門 (新規)										

注記 *1 : 裕度 = 許容値 / 評価値 (1 以上で成立) 許容値は Su (引張強さ) ベース

*2 : 許容値はカタログ値を使用。引張試験による実力値では、裕度 1.8

*3 : 許容値はカタログ値を使用。引張試験による実力値では、裕度 1.2

対策品のチェーン、スプロケット、モータ出力軸等について、閃のある場合は、閃受とピンのギャップ \square mmを用いて、チェーン（対策品）引張試験から得られた15リンク分のチェーンが \square mm伸びた時点での荷重（43.8 kN、図4-1参照）を用いて評価した。閃については、加振試験で得られた加速度に基づく荷重により評価した。

また、閃がない場合の裕度評価については、電動機ブレーキ荷重から得られた66 kNを用いて評価した。

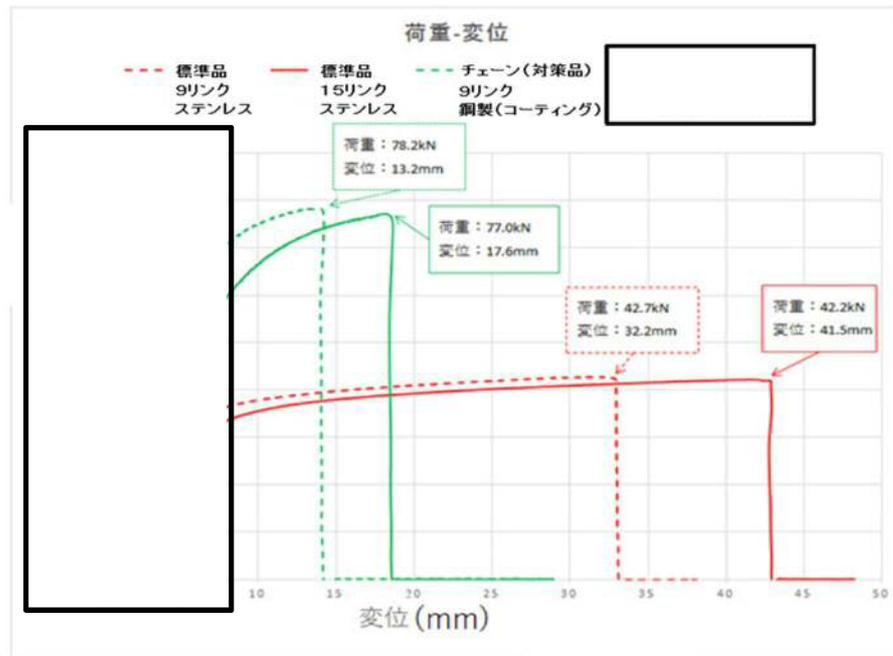
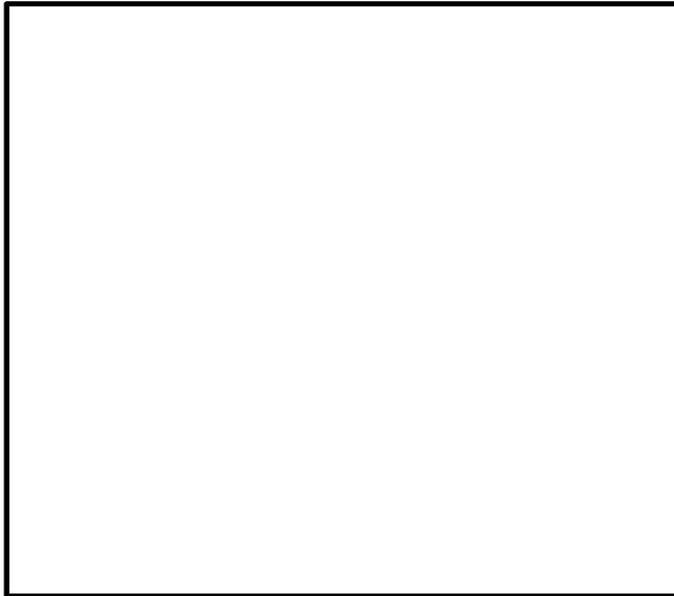


図 4-1 変位と荷重曲線

①ボルト 1

図 4-2 にボルト 1 の模式図を示す。



ボルトはブラケット 1 体につき 本。ブラケットが 体あるため、合計ボルト 本で荷重を受持つと考える。

注 : ボルトの設計として、ボルト自体でせん断荷重を受けるのではなく、締付けによる摩擦力で耐えるという思想であるが、ここでは仮にボルトがせん断力を受けたとして、どれくらいの裕度があるかを確認する。以降、ボルトについては同様の考えとする。

図 4-2 ボルト 1 の模式図

- (1) 断面特性：断面積A (mm²)

$$A = \pi / 4 \times \text{} \times \text{} = \text{} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

- (2) 荷重：W (kN)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

- (3) 評価断面に生じるせん断応力： τ (MPa)

$$\tau = W/A = 1000 / \text{} = \text{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (4) 組合せ応力： σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma^2 + 3 \times \tau^2)} = \sqrt{\text{} + 3 \times \text{}} = \text{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (5) 許容値（引張強さ）： S_u (MPa)

$$S_u = 520 \text{ (MPa)} \quad (\text{SUS304 (設計時) の値})$$

- (6) 裕度：K

$$K = S_u / \sigma_c = 520 / \text{} = \text{} \quad (\text{小数点第3位を切下げ})$$

②ハンガーローラ ブラケット1

図4-3にハンガーローラ ブラケット1の模式図を示す。



評価モデル

断面形状



ハンガーローラ 箇所で荷重を受けるものとする。

図4-3 ハンガーローラ ブラケット1の模式図

- (1) 断面特性：断面積A (mm²)，断面二次モーメントI (mm⁴)，断面係数Z (mm³)

$$A = \boxed{} \times \boxed{} \times \boxed{} \times \boxed{} = \boxed{} \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$I = \boxed{} \times \left\{ \boxed{} + \boxed{} \times \boxed{} + \boxed{} \times \boxed{} \right\} \times \boxed{} = \boxed{} \text{ (mm}^4\text{)}$$

$$Z = I / \left(\boxed{} \times \boxed{} + \boxed{} \right) = \boxed{} \text{ (mm}^3\text{)} \text{ (小数点第3位を四捨五入)}$$

- (2) 荷重：W (kN)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

- (3) 評価断面に生じるせん断応力：τ (MPa)

$$\tau = W/A = 1000 / \boxed{} = \boxed{} \text{ (MPa)} \text{ (小数点第3位を切上げ)}$$

- (4) 評価断面に生じる軸曲げ応力：σ_b (MPa)

$$\sigma_b = M/Z = W \times L/Z = 1000 \times \boxed{} \times \boxed{} = \boxed{} \text{ (MPa)} \text{ (小数点第3位を切上げ)}$$

- (5) 組合せ応力：σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma_b^2 + 3\tau^2)} = \sqrt{\boxed{} + 3 \times \boxed{}} = \boxed{} \text{ (MPa)} \text{ (小数点第3位を切上げ)}$$

(6) 許容値（引張強さ）： S_u (MPa)

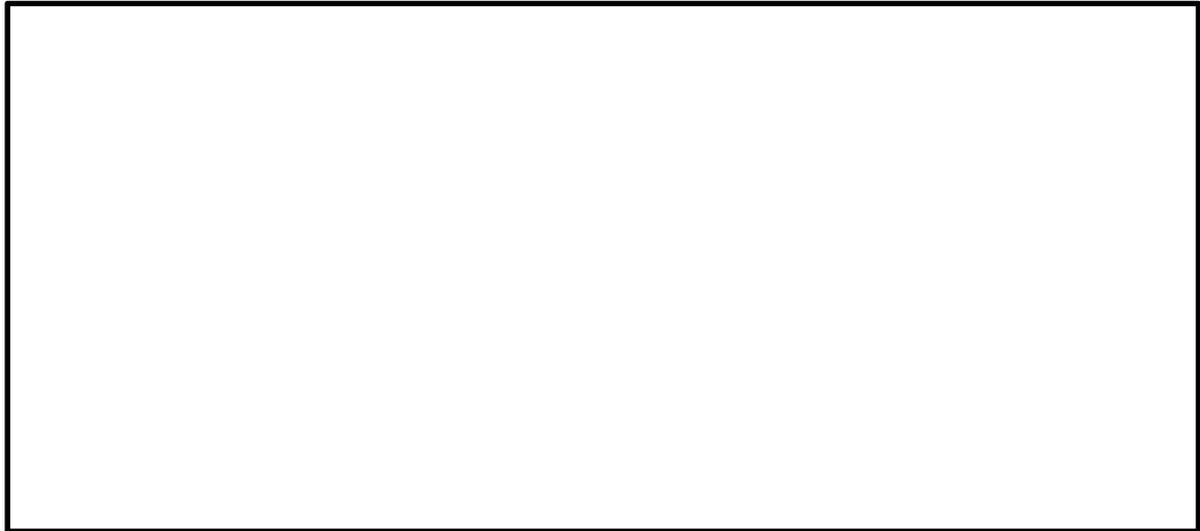
$S_u=520$ (MPa) (SUS304の値)

(7) 裕度：K

$K=S_u / \sigma_c=520$ $=$ (小数点第3位を切下げ)

③ハンガーローラ リンク

図 4-4 にハンガーローラ リンクの模式図を示す。



ハンガーローラ 箇所で荷重を受けるものとする。

図4-4 ハンガーローラ リンクの模式図

- (1) 断面特性：断面積A (mm²)

$$A = \square \times \square \times \square \times \square = \square \text{ (mm}^2\text{)}$$

- (2) 荷重：W (kN)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

- (3) 評価断面に生じるせん断応力： τ (MPa)

$$\tau = W/A = 1000 \square = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (4) 組合せ応力： σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma^2 + 3\tau^2)} = \sqrt{\square + 3 \times \square} = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (5) 許容値（引張強さ）： S_u (MPa)

$$S_u = 520 \text{ (MPa)} \quad (\text{SUS304の値})$$

- (6) 裕度：K

$$K = S_u / \sigma_c = 520 / \square = \square \text{ (小数点第3位を切下げ)}$$

④ハンガーローラ ブラケット2

図4-5にハンガーローラ ブラケット2の模式図を示す。



図4-5 ハンガーローラ ブラケット2の模式図

- (1) 断面特性：断面積A (mm²)，断面二次モーメントI (mm⁴)，断面係数Z (mm³)

$$A = \square \times \square \times \square \times \square = \square \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$I = \square \times \{ \square + \square \times \square \} + \square \times \square = \square \text{ (mm}^4\text{)}$$

$$Z = I / (\square / \square + \square) = \square \text{ (mm}^3\text{)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

- (2) 荷重：W (kN)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

- (3) 評価断面に生じるせん断応力： τ (MPa)

$$\tau = W/A = 1000 / \square = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (4) 評価断面に生じる軸曲げ応力： σ_b (MPa)

$$\sigma_b = M/Z = W \times L/Z = 1000 \times \square / \square = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

(5) 組合せ応力： σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma_b^2 + 3\tau^2)} = \sqrt{\boxed{} + 3 \times \boxed{}} = \boxed{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

(6) 許容値 (引張強さ)： S_u (MPa)

$$S_u = 520 \text{ (MPa)} \quad (\text{SUS304の値})$$

(7) 裕度：K

$$K = S_u / \sigma_c = 520 / \boxed{} = \boxed{} \quad (\text{小数点第3位を切下げ})$$

⑤ボルト 2

図 4-6 にボルト 2 の模式図を示す。



ボルトはブラケット 1 体につき 本。ブラケットが 本あるため、合計ボルト 本で荷重を受持つと考える。

図 4-6 ボルト 2 の模式図

- (1) 断面特性：断面積A (mm²)

$$A = \pi / 4 \times \text{} \times \text{} = \text{} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

- (2) 荷重：W (kN)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

- (3) 評価断面に生じるせん断応力： τ (MPa)

$$\tau = W/A = 1000 / \text{} = \text{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (4) 組合せ応力： σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma^2 + 3 \times \tau^2)} = \sqrt{\text{} + 3 \times \text{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (5) 許容値(引張強さ)： S_u (MPa)

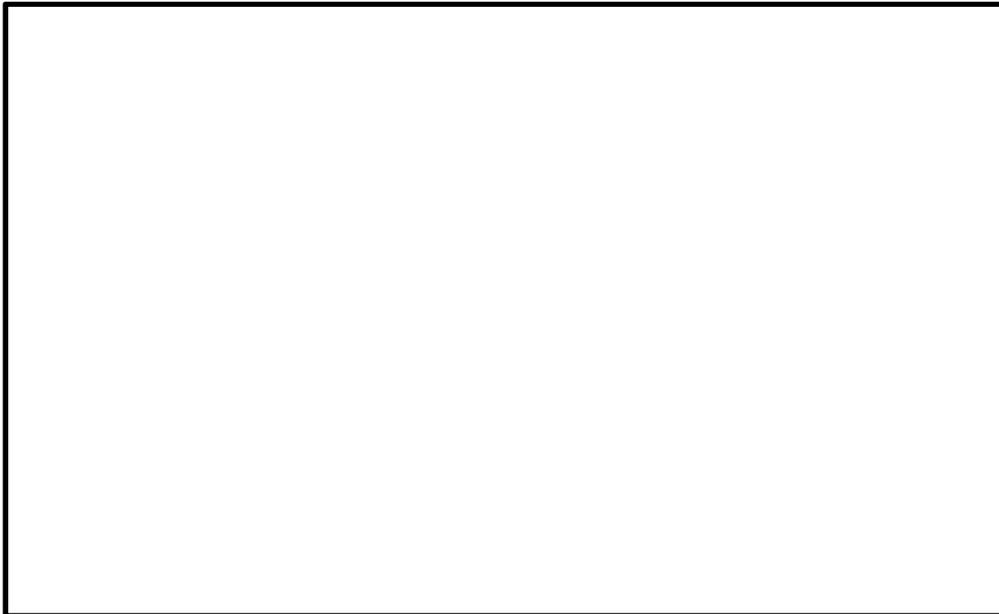
$$S_u = 520 \text{ (MPa)} \quad (\text{SUS304 (設計時) の値})$$

- (6) 裕度：K

$$K = S_u / \sigma_c = 520 / \text{} = \text{} \quad (\text{小数点第3位を切下げ})$$

⑥ホルダ

図4-7にホルダの模式図を示す。



ホルダ 箇所
 所で荷重を
 受けるもの
 とする。

図4-7 ホルダの模式図

- (1) 断面特性：断面積A (mm²) , 断面係数Z (mm³)

$$A = \square \times (\square - \square) \times \square = \square \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$Z = \square \times \square \times \square \times \square^3 \times \square (\square \times \square) = \square \text{ (mm}^3\text{)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

- (2) 荷重：W (kN)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

- (3) 評価断面に生じるせん断応力：τ (MPa)

$$\tau = W/A = 1000 / \square = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (4) 評価断面に生じる軸曲げ応力：σ_b (MPa)

$$\sigma_b = (W \times L_a / Z) = (1000 \times \square) / \square = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (5) 組合せ応力：σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \times \tau^2)} = \sqrt{\square + 3 \times \square} = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (6) 許容値 (引張強さ)：S_u (MPa)

$$S_u = 520 \text{ (MPa)} \quad (\text{SUS304の値})$$

- (7) 裕度：K

$$K = S_u / \sigma_c = 520 / \square = \square \text{ (小数点第3位を切下げ)}$$

⑦ボルト3

図4-8にボルト3の模式図を示す。

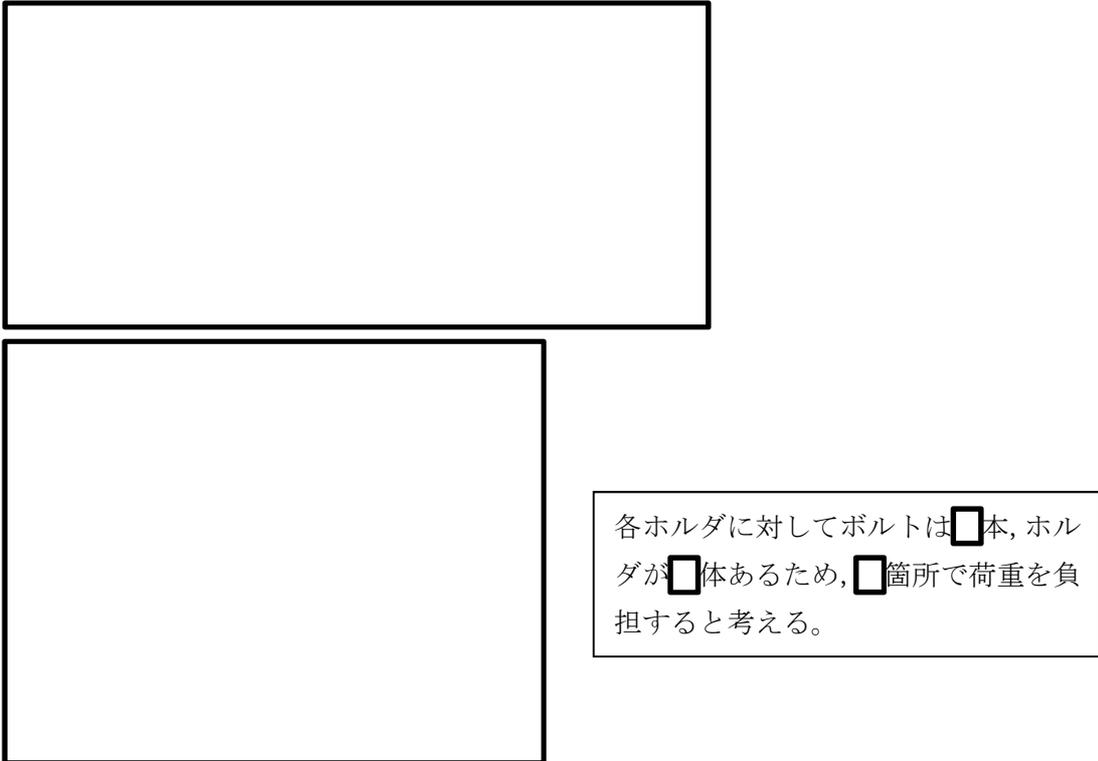


図 4-8 ボルト 3 の模式図

- (1) 断面特性：断面積A (mm²)

$$A = \pi / 4 \times \square \times \square = \square \text{ (mm}^2\text{)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

- (2) 荷重：W (kN)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

- (3) 評価断面に生じるせん断応力： τ (MPa)

$$\tau = W/A = 1000 / \square = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (4) 組合せ応力： σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma^2 + 3\tau^2)} = \sqrt{(\square + 3 \times \square)} = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (5) 許容値（引張強さ）： S_u (MPa)

$$S_u = 520 \text{ (MPa)} \quad (\text{SUS304 (設計時) の値})$$

- (6) 裕度：K

$$K = S_u / \sigma_c = 520 / \square = \square \quad (\text{小数点第3位を切下げ})$$

⑧チェーンガイド

図4-9にチェーンガイドの模式図を示す。

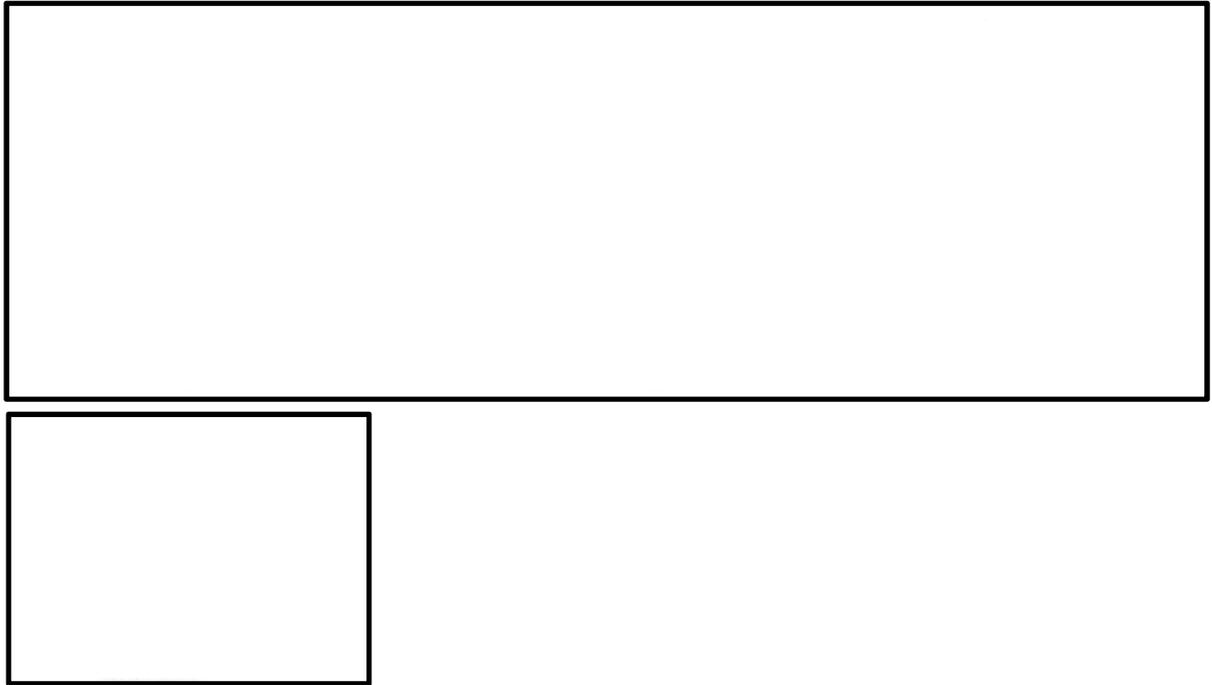


図4-9 チェーンガイドの模式図

- (1) 断面特性：断面積A (mm²)，断面係数Z (mm³)

$$A = (\square - \square) \times \square + \square \times \square - \square \times \square \times \square \times \square = \square \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$Z = \square \text{ (mm}^3\text{)}$$

- (2) 荷重：W (kN)，モーメント：M (kN・mm)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

$$M = 1 \times \square = \square \text{ (kN}\cdot\text{mm)}$$

- (3) 評価断面に生じる引張り応力： σ (MPa)

$$\sigma = W/A = 1000 \times \square = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (4) 評価断面に生じる軸曲げ応力： σ_b (MPa)

$$\sigma_b = M/Z = \square \times \square = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (5) 組合せ応力： σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \times \tau^2)} = \sqrt{(\square + \square)^2 + 3 \times \square} = \square \text{ (MPa)}$$

(小数点第3位を切上げ)

- (6) 許容値 (引張強さ)： S_u (MPa)

$$S_u = 520 \text{ (MPa)} \quad (\text{SUS304の値})$$

(7) 裕度 : K

$$K = S_u / \sigma_c = 520 \boxed{} = \boxed{} \text{ (小数点第3位を切下げ)}$$

⑨エンドボルト

図 4-10 にエンドボルトの模式図を示す。

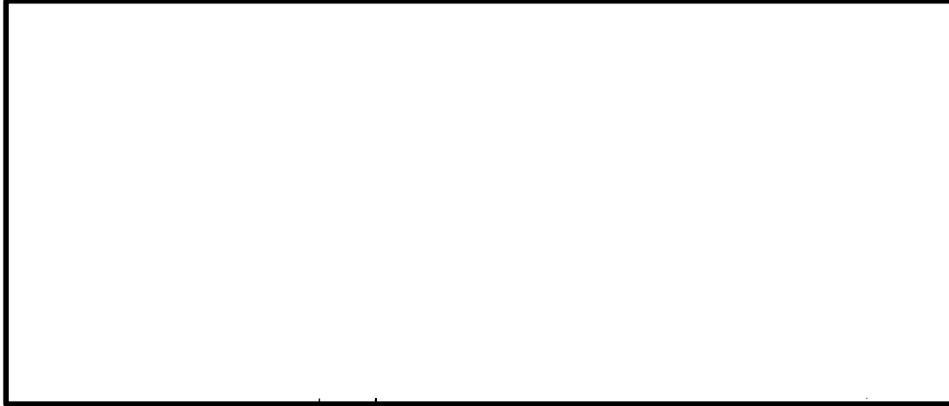


図4-10 エンドボルトの模式図

- (1) 断面特性：断面積A (mm²)

$$A = \pi / 4 \times \boxed{} = \boxed{} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

- (2) 荷重：W (kN)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

- (3) 評価断面に生じる引張り応力： σ (MPa)

$$\sigma = W/A = 1000 / \boxed{} = \boxed{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (4) 組合せ応力： σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma^2 + 3 \times \tau^2)} = \sqrt{(\boxed{}^2 + 3 \times \boxed{}^2)} = \boxed{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (5) 許容値（引張強さ）： S_u (MPa)

$$S_u = 930 \text{ (MPa)} \quad (\text{SCM435の値})$$

- (6) 裕度：K

$$K = S_u / \sigma_c = 930 / \boxed{} = \boxed{} \quad (\text{小数点第3位を切下げ})$$

⑩チェーン（対策前）

図 4-11 にチェーン（対策前）の模式図を示す。

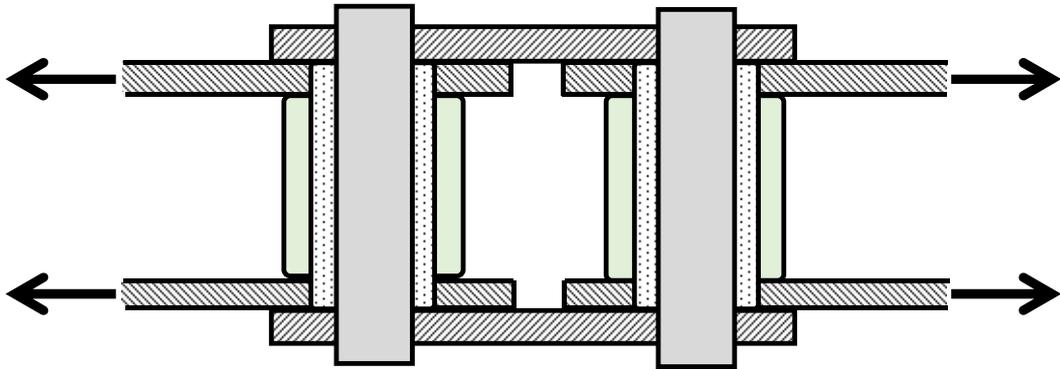


図 4-11 チェーン（対策前）の模式図

チェーンは応力ではなく、発生荷重とカタログ記載の最小引張強さの比較により評価する。図 4-12 にチェーンの引張試験結果を示す。

(1) 荷重：W (kN)

$$W=1 \text{ (kN)}$$

(2) 最小引張強さ：Wc (kN)

(カタログ値) $W_{c1}=53.4 \text{ kN}$ (参考値)

(引張試験での実測値) $W_{c2}=41.4 \text{ kN}$

(3) 裕度：K

$$K=W_{c2}/W=41.4$$

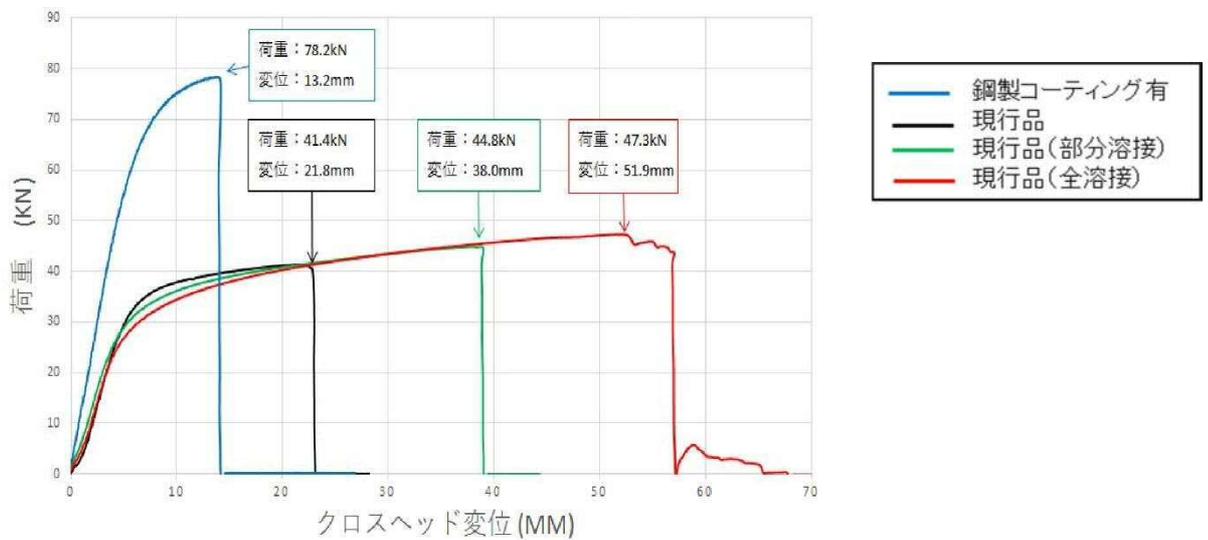


図 4-12 チェーンの引張り試験結果（荷重－変位線図）

⑩チェーン（対策後）

図 4-13 にチェーン（対策後）の模式図を示す。

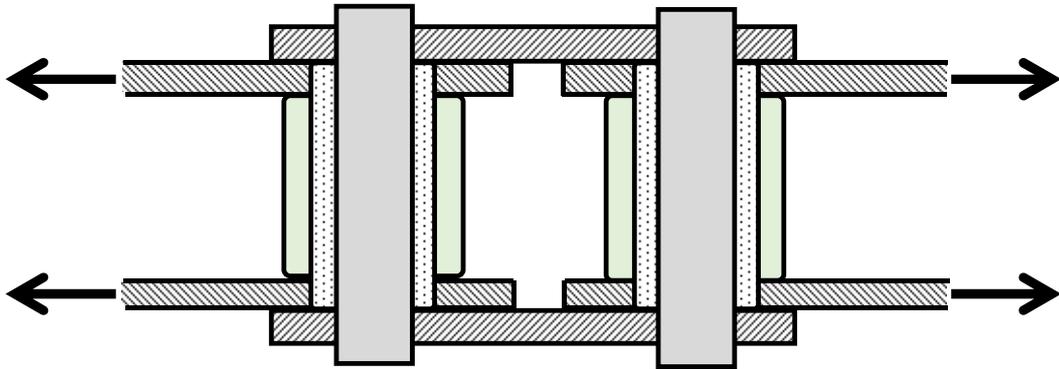


図 4-13 チェーン（対策後）の模式図

チェーンは応力ではなく、発生荷重とカタログ記載の最小引張強さの比較により評価する。

- (1) 荷重：W (kN)
W=1 (kN)
- (2) 最小引張強さ：Wc (kN)
(カタログ値) $W_{c1}=71.6$ kN (参考値)
(引張試験での実測値) $W_{c2}=78.2$ kN
- (3) 裕度：K
 $K=W_{c1}/W=71.6$

⑩スプロケット（補助）軸（対策前）

図 4-14 にスプロケット（補助）軸（対策前）の模式図を示す。

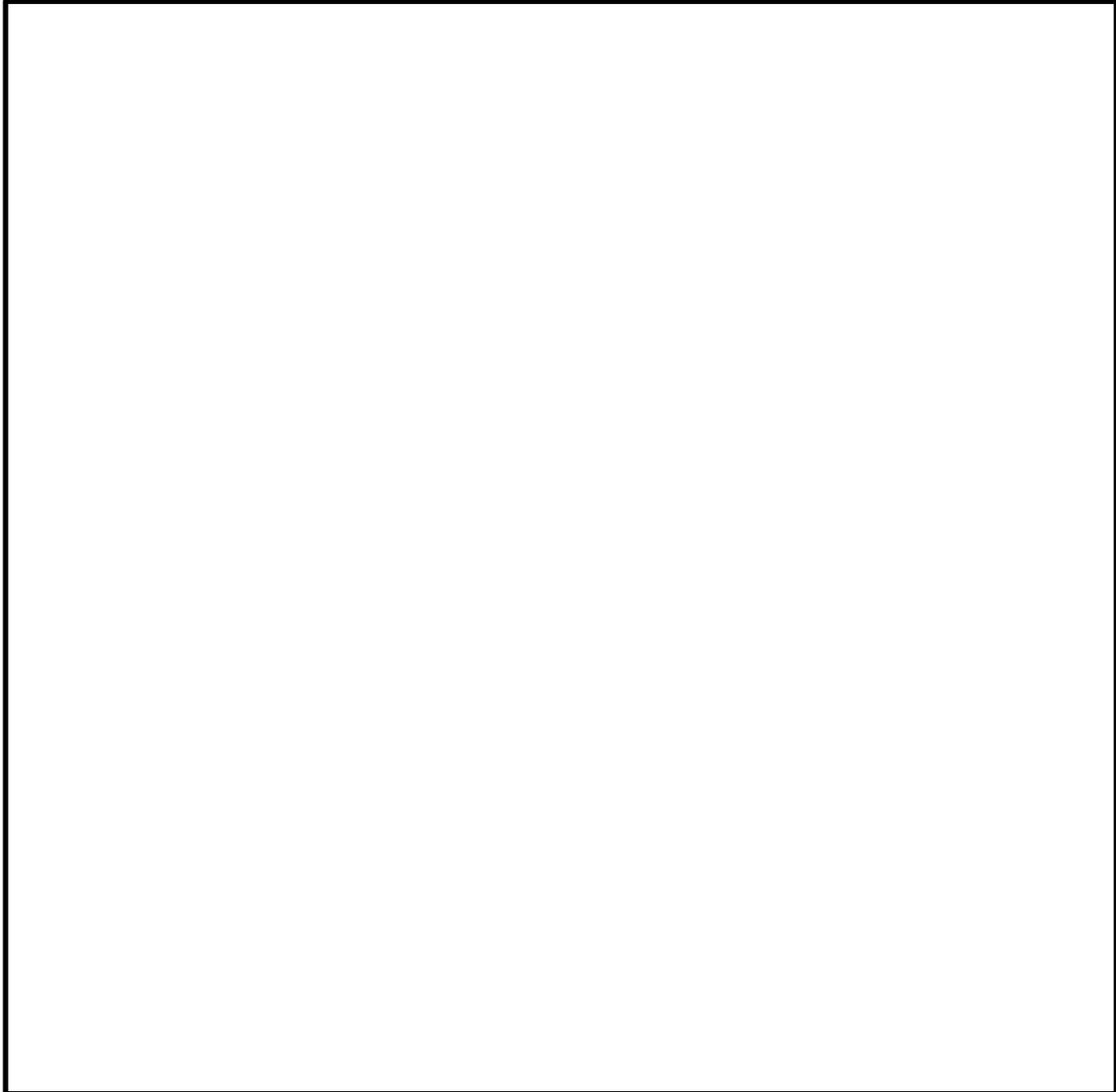


図4-14 スプロケット（補助）軸（対策前）の模式図

- (1) 断面特性：断面積A (mm²)，断面係数Z (mm³)

$$A = \pi / 4 \times \square = \square \text{ (mm}^2\text{)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

$$Z = \pi / 32 \times \square = \square \text{ (mm}^3\text{)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

- (2) 荷重：W (kN)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

- (3) 評価断面に生じるせん断応力： τ (MPa)

$$\tau = W/A = \sqrt{(1000^2 + 1000^2)} / \square = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

(4) 評価断面に生じる軸曲げ応力： σ_b (MPa)

$$\sigma_b = (W \times L) / Z = (\sqrt{1000^2 + 1000^2}) \times \boxed{} / \boxed{} = \boxed{} \text{ (MPa)}$$

(小数点第3位を切上げ)

(5) 組合せ応力： σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \times \tau^2)} = \sqrt{\boxed{} + 3 \times \boxed{}} = \boxed{} \text{ (MPa)}$$

(小数点第3位を切上げ)

(6) 許容値 (引張強さ) : S_u (MPa)

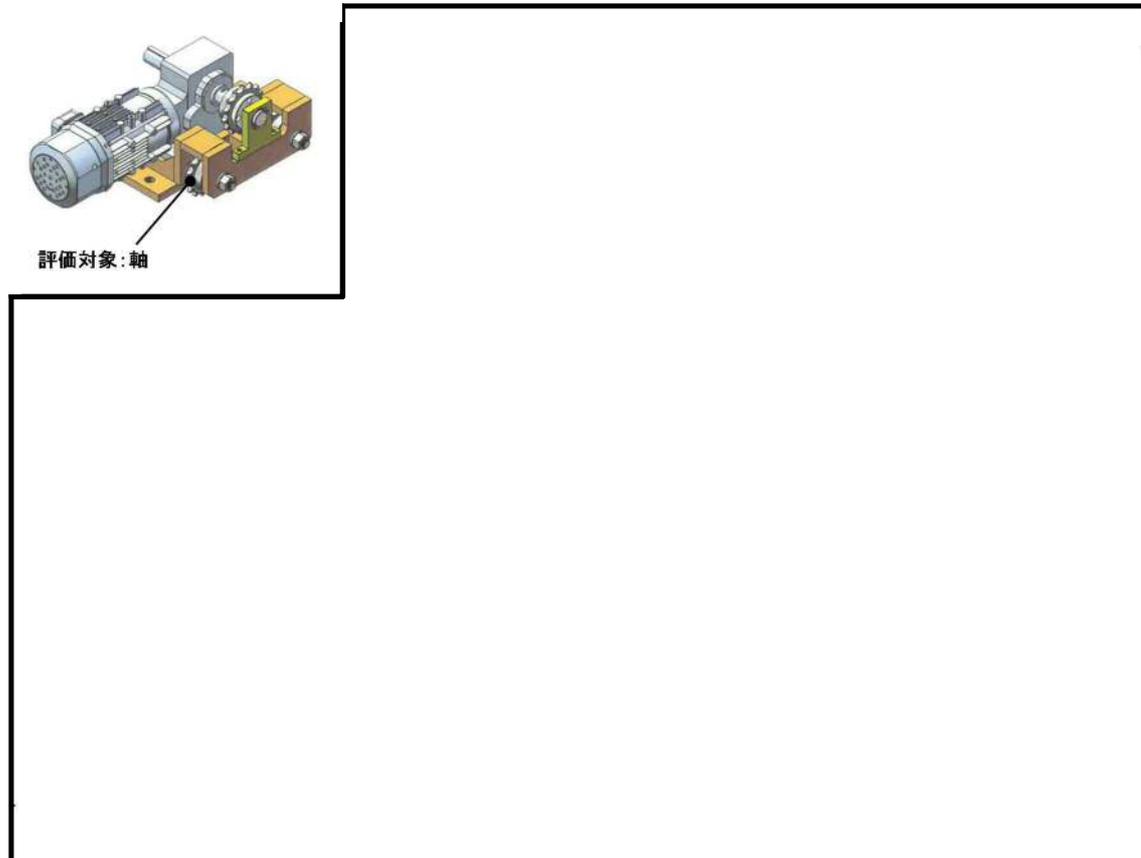
$$S_u = 570 \text{ (MPa)} \quad (\text{S45C (直径100mm以下) の値})$$

(7) 裕度：K

$$K = S_u / \sigma_c = 570 / \boxed{} = \boxed{} \text{ (小数点第3位を切下げ)}$$

⑪スプロケット（補助）軸（対策後）

図 4-15 にスプロケット（補助）軸（対策後）の模式図を示す。



2箇所のスプロケット軸で均等に全荷重を受け持つとする。

図4-15 スプロケット（補助）軸（対策後）の模式図

- (1) 断面特性：断面積A (mm²)，断面係数Z (mm³)

$$A = \pi / 4 \times \square \times 2 = \square \text{ (mm}^2\text{)} \text{ (小数点第3位を四捨五入)}$$

$$Z = \pi / 32 \times \square \times 2 = \square \text{ (mm}^3\text{)} \text{ (小数点第3位を四捨五入)}$$

- (2) 荷重：W(kN)，せん断力F(N)，モーメントM(Nmm)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

$$F = WL_2/L = \sqrt{(1000^2 + 1000^2)} \times \square \square \square = \square \text{ (N)} \text{ (小数点第3位を切上げ)}$$

$$M = WL_1L_2/L = \sqrt{(1000^2 + 1000^2)} \times \square \times \square \square \square = \square \text{ (Nmm)}$$

(小数点第3位を切上げ)

- (3) 評価断面に生じるせん断応力：τ (MPa)

$$\tau = F/A = \square \square \square = \square \text{ (MPa)} \text{ (小数点第3位を切上げ)}$$

(4) 評価断面に生じる軸曲げ応力： σ_b (MPa)

$$\sigma_b = M/Z = \boxed{} / \boxed{} = \boxed{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

(5) 組合せ応力： σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \times \tau^2)} = \sqrt{(\boxed{}^2 + 3 \times \boxed{}^2)} = \boxed{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

(6) 許容値 (引張強さ) : 引張強さ S_u (MPa)

$$S_u = 570 \text{ (MPa)} \quad (\text{S45C (直径100mm以下) の値})$$

(7) 裕度： K

$$K = S_u / \sigma_c = 570 / \boxed{} = \boxed{} \quad (\text{小数点第3位を切下げ})$$

⑪' モータ出力軸（対策前）

図 4-16 にモータ出力軸（対策前）の模式図を示す。

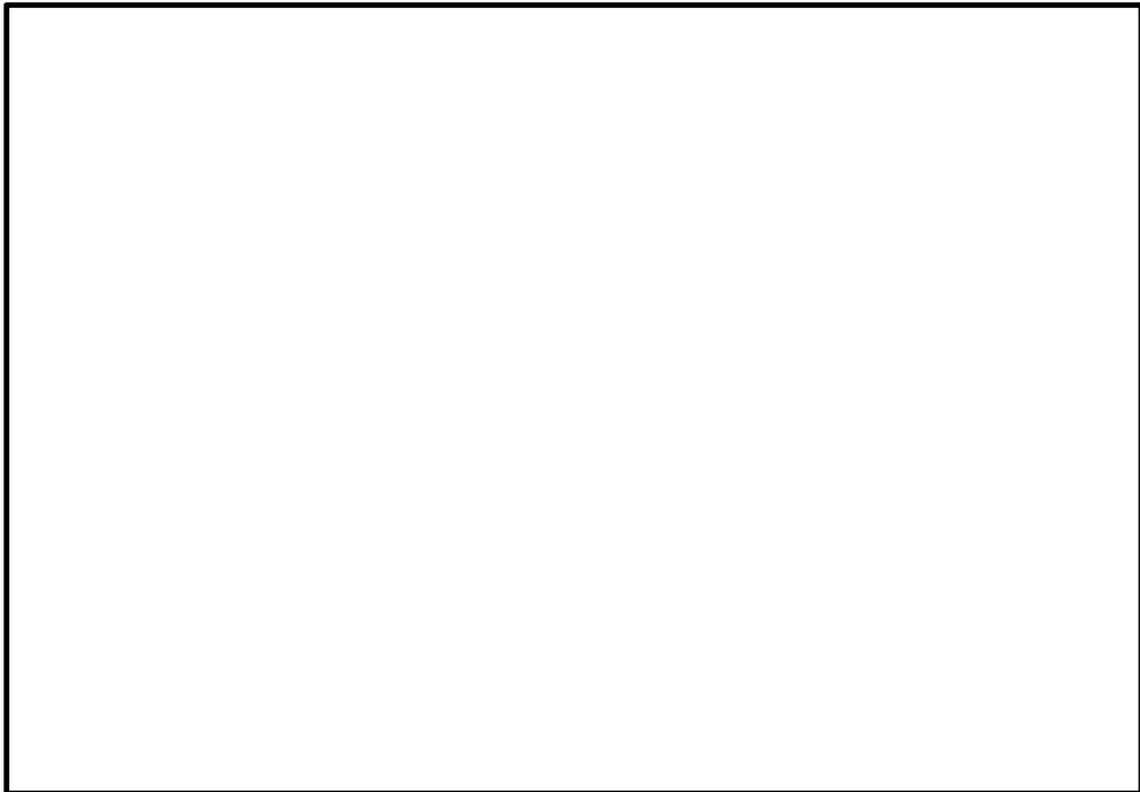


図4-16 モータ出力軸（対策前）の模式図

- (1) 断面特性：断面積 A (mm^2) ，断面係数 Z (mm^3)

$$A = \pi/4 \times \boxed{} \times \boxed{} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (\text{小数点第 3 位を四捨五入})$$

$$Z = \pi/32 \times \boxed{} \times \boxed{} \text{ (mm}^3\text{)} \quad (\text{小数点第 3 位を四捨五入})$$

- (2) 荷重： W (kN) ，せん断力 F (N) ，曲げモーメント M (Nmm) ，ねじりモーメント T (Nmm)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

$$F = W = 1000 \text{ (N)}$$

$$M = WL_1 = 1000 \times \boxed{} \times \boxed{} \text{ (Nmm)}$$

$$T = WD/2 = 1000 \times \boxed{}/2 = \boxed{} \text{ (Nmm)}$$

- (3) 評価断面に生じるせん断応力： τ_s (MPa)

$$\tau_s = F/A = 1000/\boxed{} \times \boxed{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第 3 位を切上げ})$$

- (4) 評価断面に生じる曲げ応力： σ_b (MPa)

$$\sigma_b = M/Z = \boxed{} \times \boxed{} \times \boxed{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第 3 位を切上げ})$$

- (5) 評価断面に生じるねじり応力： τ_t (MPa)

$$\tau_t = 16T/\pi d^3 = (16 \times \boxed{})/(\pi \times \boxed{}^3) = \boxed{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第 3 位を切上げ})$$

(6) 評価断面に生じる組み合わせ応力： σ (MPa)

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_b)^2 + 3 \times (\tau_s + \tau_t)^2} = \sqrt{(\quad)^2 + 3 \times (\quad + \quad)^2} = \quad (\text{MPa})$$

(小数点第3位を切上げ)

(7) 許容値 (引張強さ) : S_u (MPa)

$S_u = 690$ (MPa) (S45C (直径 40 mm 以下) の値)

(8) 裕度 : K

$$K = S_u / \sigma = 690 / \quad = \quad (\text{小数点第3位を切下げ})$$

⑪' モータ出力軸（対策後）

図 4-17 にモータ出力軸（対策後）の模式図を示す。

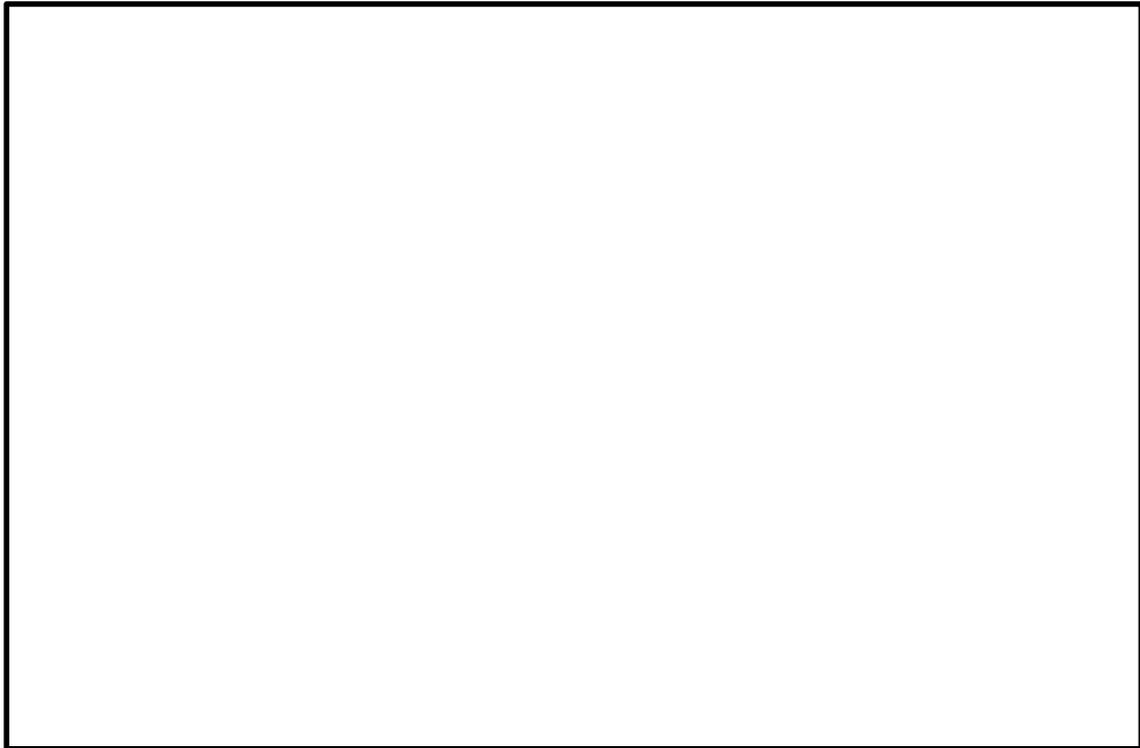


図 4-17 モータ出力軸（対策後）の模式図

- (1) 断面特性：断面積A (mm²)，断面係数Z (mm³)

$$A = \pi/4 \times \square = \square \text{ (mm}^2\text{)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

$$Z = \pi/32 \times \square = \square \text{ (mm}^3\text{)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

- (2) 荷重：W (kN)，せん断力F (N)，曲げモーメントM (Nmm)，ねじりモーメントT (Nmm)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

$$F = WL_2/L = 1000 \times \square \square = \square \text{ (N)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

$$M = WL_1L_2/L = 1000 \times \square \times \square \square = \square \text{ (Nmm)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

$$T = WD/2 = 1000 \times \square^2 = \square \text{ (Nmm)}$$

- (3) 評価断面に生じるせん断応力： τ_s (MPa)

$$\tau_s = F/A = \square \square = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (4) 評価断面に生じる曲げ応力： σ_b (MPa)

$$\sigma_b = M/Z = \square \square = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (5) 評価断面に生じるねじり応力： τ_t (MPa)

$$\tau_t = 16T/\pi d^3 = (16 \times 60000)/(\pi \times \square) = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

(6) 評価断面に生じる組み合わせ応力： σ (MPa)

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \times (\tau_s + \tau_t)^2)} = \sqrt{\square + 3 \times \square^2} = \square \text{ (MPa)}$$

(小数点第3位を切上げ)

(7) 許容値 (引張強さ)： S_u (MPa)

$S_u = 690$ (MPa) (S45C (直径40 mm以下) の値)

(8) 裕度： K

$$K = S_u / \sigma = 690 / \square = \square \text{ (小数点第3位を切下げ)}$$

⑫軸補強部材（対策後）

図 4-18 に軸補強部材（対策後）の模式図を示す。

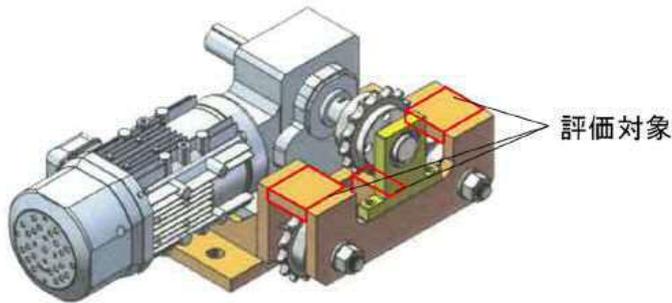


図 4-18 軸補強部材（対策後）の模式図

- (1) 断面特性：断面積A (mm²)，断面二次モーメントI (mm⁴)，断面係数Z (mm³)

$$A = \square \times \square \times 2 + \square \times \square = \square \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$e = \square \times \square \times 2 \times \square + \square + \square / 2 + \square \times \square \times \square / 2 / (\square \times \square \times 2 + \square \times \square) = \square \text{ (mm)}$$

$$I = \square \times 203 / 12 + \square \times \square \times \square + \square + \square / 2 - \square \times 2 + \square \times 703 / 12 + \square \times \square \times \square - \square / 2 \times 2 = \square \text{ (mm}^4\text{)}$$

$$Z_1 = I / (\square + \square + \square \times \square) = \square \text{ (mm}^3\text{)} \text{ (小数点第3位を四捨五入)}$$

$$Z_2 = I / \square = \square \text{ (mm}^3\text{)} \text{ (小数点第3位を四捨五入)}$$

- (2) 荷重：荷重W (kN)，せん断力F (N)，曲げモーメントM (Nmm)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

$$F = \sqrt{1000^2 + 1000^2} = 1414.22 \text{ (N)} \text{ (小数点第3位を切上げ)}$$

$$M = \sqrt{1000^2 + 1000^2} \times \square = \square \text{ (Nmm)} \text{ (小数点第3位を切上げ)}$$

- (3) 評価断面に生じるせん断応力：τ (MPa)

$$\tau = F / A = 1414.22 / \square = \square \text{ (MPa)} \text{ (小数点第3位を切上げ)}$$

- (4) 評価断面に生じる軸曲げ応力：σ_b (MPa)

$$\sigma_b = M / Z_2 = \square / \square = \square \text{ (MPa)} \text{ (小数点第3位を切上げ)}$$

(5) 組合せ応力： σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \times \tau^2)} = \sqrt{(\square + 3 \times \square)} = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

(6) 許容値 (引張強さ)： S_u (MPa)

$$S_u = 520 \text{ (MPa)} \quad (\text{SUS304の値})$$

(7) 裕度：K

$$K = S_u / \sigma_c = 520 / \square = \square \quad (\text{小数点第3位を切下げ})$$

⑫' 減速機固定ボルト

図 4-19 に減速機固定ボルトの模式図を示す。

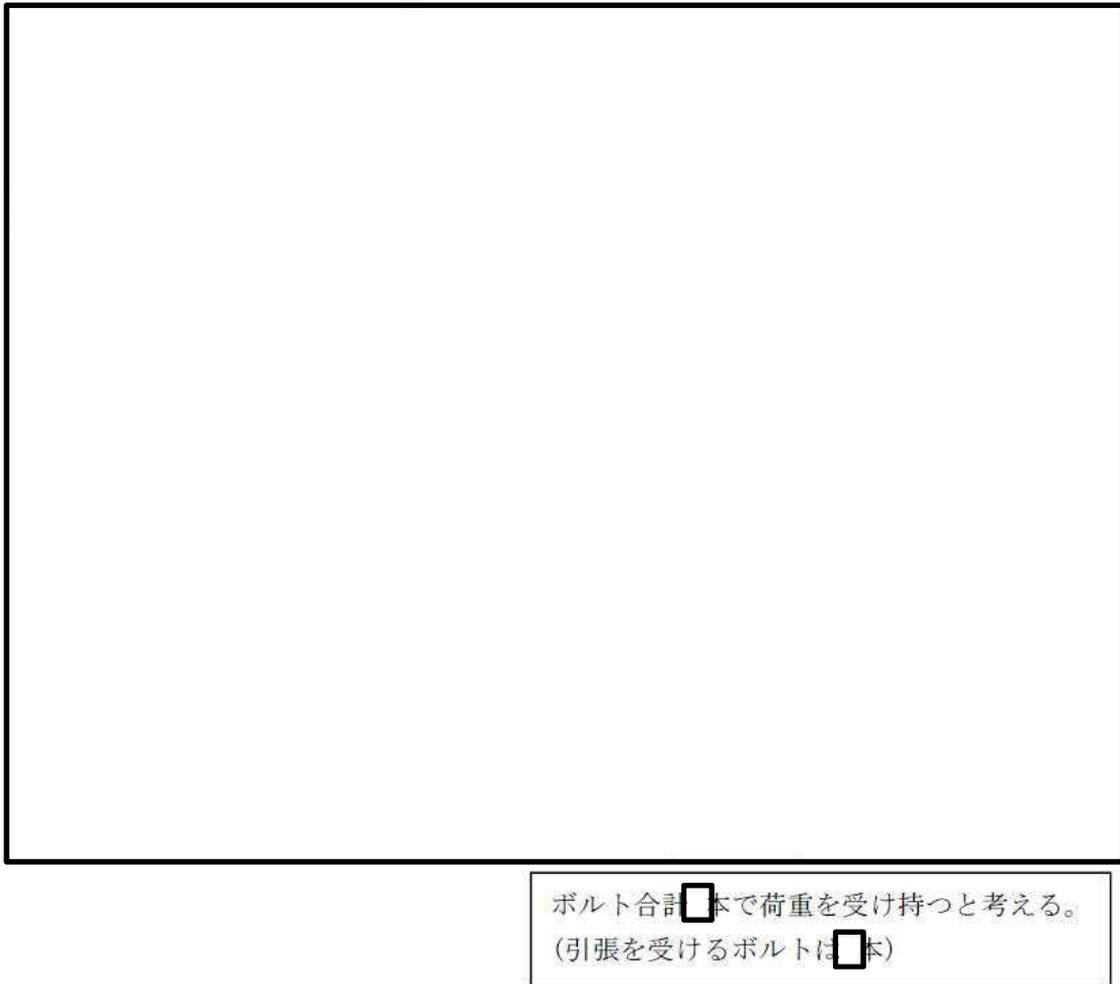


図 4-19 減速機固定ボルトの模式図

- (1) 断面特性：断面積 A (mm^2)，断面二次モーメント I (mm^4)，断面係数 Z (mm^3)

$$A = \pi/4 \times \boxed{}^2 \times 4 = \boxed{} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

$$I = (\pi \times \boxed{}^4 / 4 \times \boxed{}^2) \times 4 = \boxed{} \text{ (mm}^4\text{)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

[ボルト断面内に関する項は無視]

$$Z = I / \boxed{} + \boxed{} / 2 = \boxed{} \text{ (mm}^3\text{)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

- (2) 荷重：荷重 W (kN)，曲げモーメント M (Nmm)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

$$M = W \times L = 1000 \times \boxed{} = \boxed{} \text{ (Nmm)}$$

- (3) 引張応力： σ (MPa)

$$\sigma = M/Z = \boxed{} \boxed{} = \boxed{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

(4) 組合せ応力： σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma^2 + 3 \times \tau^2)} = \sqrt{\square + 3 \times \square} = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

(5) 許容値 (引張強さ)： S_u (MPa)

$$S_u = 930 \text{ (MPa)} \quad (\text{SCM435の値})$$

(6) 裕度：K

$$K = S_u / \sigma_c = 930 \square \square \text{ (小数点第3位を切下げ)}$$

⑬モータベース

図 4-20 にモータベースの模式図を示す。

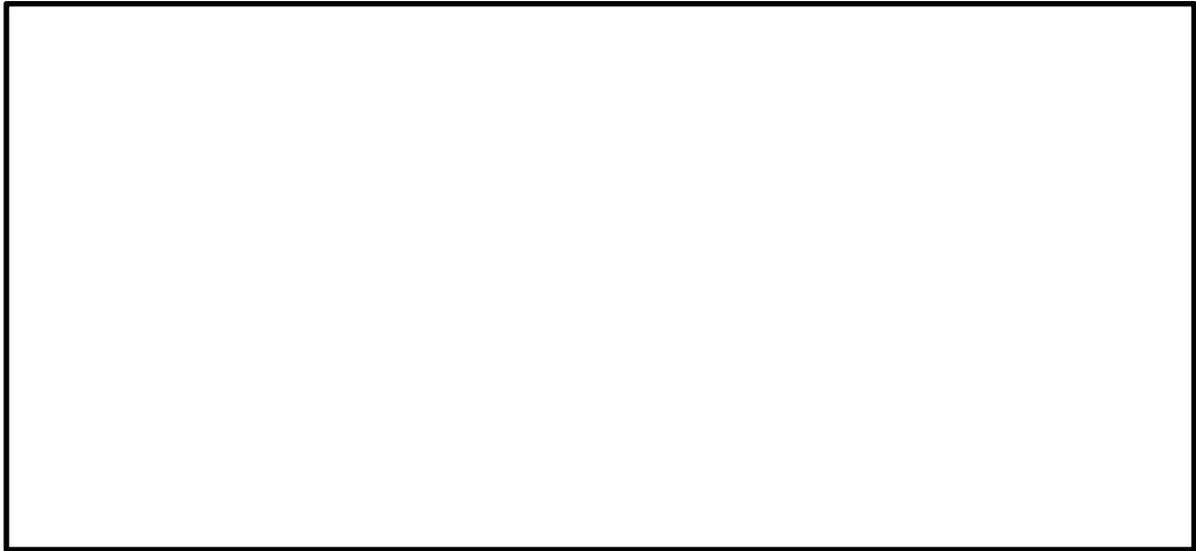


図 4-20 モータベースの模式図

- (1) 断面特性：断面積A (mm²)，断面二次モーメントI (mm⁴)，断面係数Z (mm³)

$$A = \square \times \square \times \square = \square \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$I = \square \times \left\{ \square + \square \times \square + \square \right\} / \square = \square \text{ (mm}^4\text{)}$$

$$Z = I / \left(\square + \square \right) = \square \text{ (mm}^3\text{)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

- (2) 荷重：W (kN)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

- (3) 評価断面に生じるせん断応力： τ (MPa)

$$\tau = W/A = 1000 \square = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (4) 評価断面に生じる曲げ応力： σ_b (MPa)

$$\sigma_b = M/Z = W \times L/Z = 1000 \times \square \square = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (5) 組合せ応力： σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma_b^2 + 3\tau^2)} = \sqrt{\square + 3 \times \square} = \square \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (6) 許容値 (引張強さ)： S_u (MPa)

$$S_u = 520 \text{ (MPa)} \quad (\text{SUS304の値})$$

- (7) 裕度：K

$$K = S_u / \sigma_c = 520 / \square = \square \quad (\text{小数点第3位を切下げ})$$

⑭モータベース用ボルト（ボルト4）

図4-21にモータベース用ボルト（ボルト4）の模式図を示す。



合計ボルト 本で荷重を受
持つと考える。

図 4-21 モータベース用ボルト（ボルト 4）の模式図

- (1) 断面特性：断面積A (mm²)

$$A = \pi/4 \times \boxed{} \times 4 = \boxed{} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (\text{小数点第3位を四捨五入})$$

- (2) 荷重：W (kN)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

- (3) 評価断面に生じるせん断応力： τ (MPa)

$$\tau = W/A = 1000 / \boxed{} = \boxed{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (4) 組合せ応力： σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma^2 + 3 \times \tau^2)} = \sqrt{\boxed{} + 3 \times \boxed{}} = \boxed{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

- (5) 許容値（引張強さ）： S_u (MPa)

$$S_u = 690 \text{ (MPa)} \quad (\text{S45C (直径40 mm以下) の値})$$

- (6) 裕度：K

$$K = S_u / \sigma_c = 690 / \boxed{} = \boxed{} \quad (\text{小数点第3位を切下げ})$$

⑮ハンガーレール

図4-22にハンガーレールの模式図を示す。

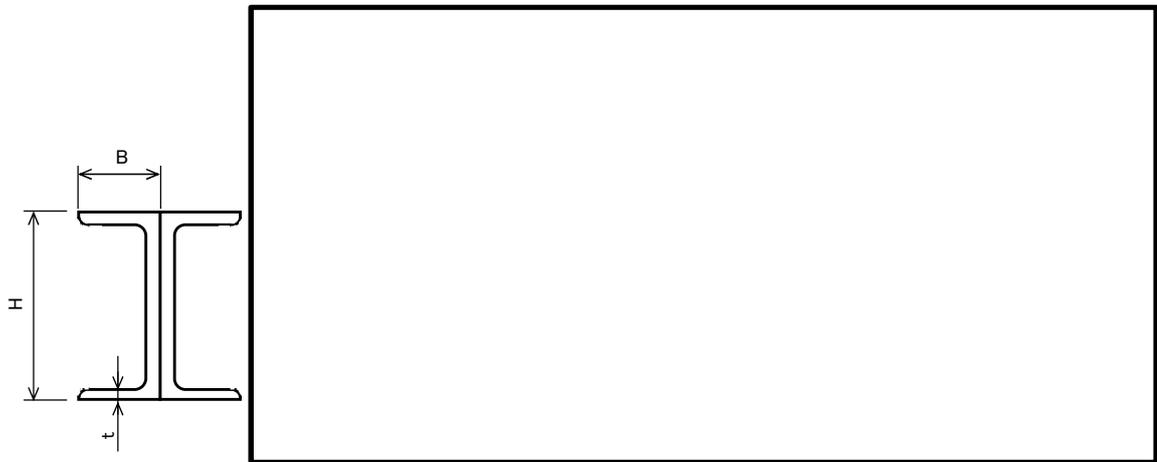


図4-22 ハンガーレールの模式図

(1) 断面特性：断面積：A (mm²)

荷重が伝達する面積は、断面の1/4で伝達するものとする。

$$A = \boxed{} / 4 = \boxed{} \text{ (mm}^2\text{)}$$

断面積はJIS G 4321:2000より引用

(2) 荷重：W (kN)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

(3) 評価断面に生じる軸方向応力： σ (MPa)

$$\sigma = W/A = 1000 / \boxed{} = \boxed{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

(4) 組合せ応力： σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma^2 + 3 \times \tau^2)} = \sqrt{(\boxed{})^2 + 3 \times (\boxed{})^2} = \boxed{} \text{ (MPa)} \quad (\text{小数点第3位を切上げ})$$

(5) 許容値（引張強さ）： S_u (MPa)

$$S_u = 520 \text{ (MPa)} \quad (\text{SUS304 の値})$$

(6) 裕度：K

$$K = S_u / \sigma_c = 520 / \boxed{} = \boxed{} \quad (\text{小数点第3位を切下げ})$$

⑩門

図 4-23 に門の模式図を示す。

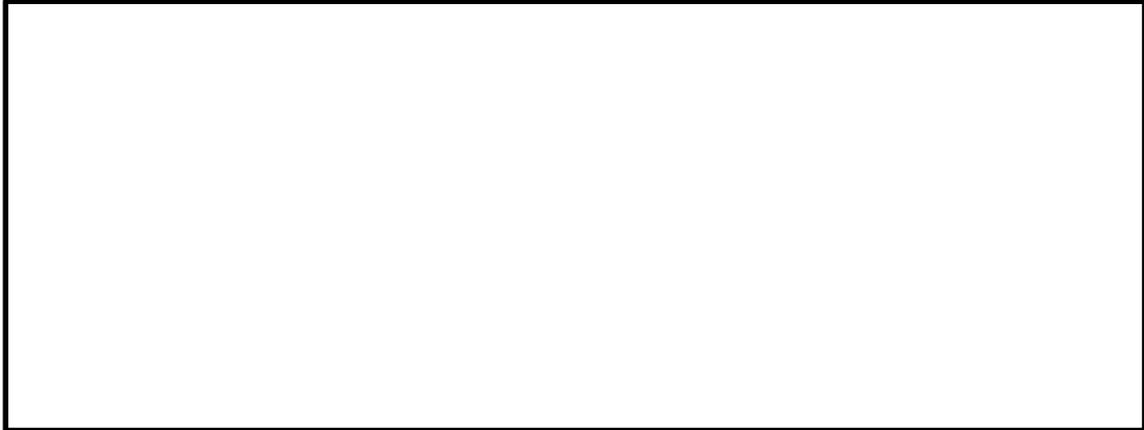


図4-23 門の模式図

- (1) 断面特性：断面積A (mm²)，断面係数Z (mm³)

$$A = \pi/4 \times \square \times \square = \square \text{ (mm}^2\text{)} \text{ (小数点第3位を四捨五入)}$$

$$Z = \pi/32 \times \square \times \square = \square \text{ (mm}^3\text{)} \text{ (小数点第3位を四捨五入)}$$

- (2) 荷重：W (kN)

$$W = 1 \text{ (kN)}$$

$$F = (WL_1 + W(L_1 + L_2)) / L = 1000 \times \square + 1000 \times (\square + \square) / \square \\ = \square \text{ (N)} \text{ (小数点第3位を四捨五入)}$$

$$M = WL_1(L_2 + L_3) / L + WL_1L_3 / L \\ = 1000 \times \square \times (\square + \square) / \square + 1000 \times \square \times \square / \square \\ = \square \text{ (N)} \text{ (小数点第3位を四捨五入)}$$

- (3) 評価断面に生じるせん断応力： τ (MPa)

$$\tau = F/A = \square / \square = \square \text{ (MPa)} \text{ (小数点第3位を切上げ)}$$

- (4) 評価断面に生じる軸曲げ応力： σ_b (MPa)

$$\sigma_b = M/Z = \square / \square = \square \text{ (MPa)} \text{ (小数点第3位を切上げ)}$$

- (5) 組合せ応力： σ_c (MPa)

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma_b^2 + 3 \times \tau^2)} = \sqrt{\square + 3 \times \square} = \square \text{ (MPa)} \text{ (小数点第3位を切上げ)}$$

- (6) 許容値 (引張強さ)： S_u (MPa)

$$S_u = 570 \text{ (MPa)} \text{ (S45C (直径100 mm以下) の値)}$$

- (7) 裕度：K

$$K = S_u / \sigma_c = 570 / \square = \square \text{ (小数点第3位を切下げ)}$$

以上の計算結果をまとめると、表4-3となる。

表4-3 荷重伝達経路各部位の簡易強度計算結果

No.	部品名	荷重1kN に対する 裕度	荷重66kN に対する 裕度	荷重43.8kN に対する 裕度	備考	
			<対策前(門なし)>	<対策後(門有り)>		
1	ボルト1					
2	ブラケット1					
3	ハンガーローラ					
4	リンク					
	ブラケット2					
5	ボルト2					
6	ホルダ					
7	ボルト3					
8	チェーンガイド					
9	エンドボルト					
10	チェーン		対策前			材質変更
			対策後			
11	スプロケット軸		対策前			支持方法変更
			対策後			
11'	モータ出力軸		対策前			支持方法変更
			対策後			
12	スプロケット軸補強部材				新規設置	
12'	減速機固定ボルト					
13	モータベース					
14	ボルト4					
15	ハンガーレール					
16	門※				新規設置	

※ 門については、加振試験時の扉の最大加速度(9.6G)の2倍の荷重で評価した値(236kN)

ブローアウトパネル閉止装置の閥ピンと閥受の熱膨張による影響について

1. 概要

閥ピン及び閥受プレートが熱膨張した場合においても、閥ピンの熱膨張は閥ピンと閥受プレートの隙間の範囲内であり、閥の押上げ、挿入に影響がないことを確認する。

2. 評価結果

閥部の材質は、閥受プレート材がステンレス、ピンが炭素鋼である。ステンレス鋼の線膨張係数は炭素鋼の約 1.5 倍あるため、熱膨張によりピン径が増加するよりもプレート穴が大きくなる割合が大きいため、熱膨張は問題とはならない。

3. 線膨張係数による詳細評価

(1) 閥ピン及び閥受プレートの寸法は図3-1のとおり。

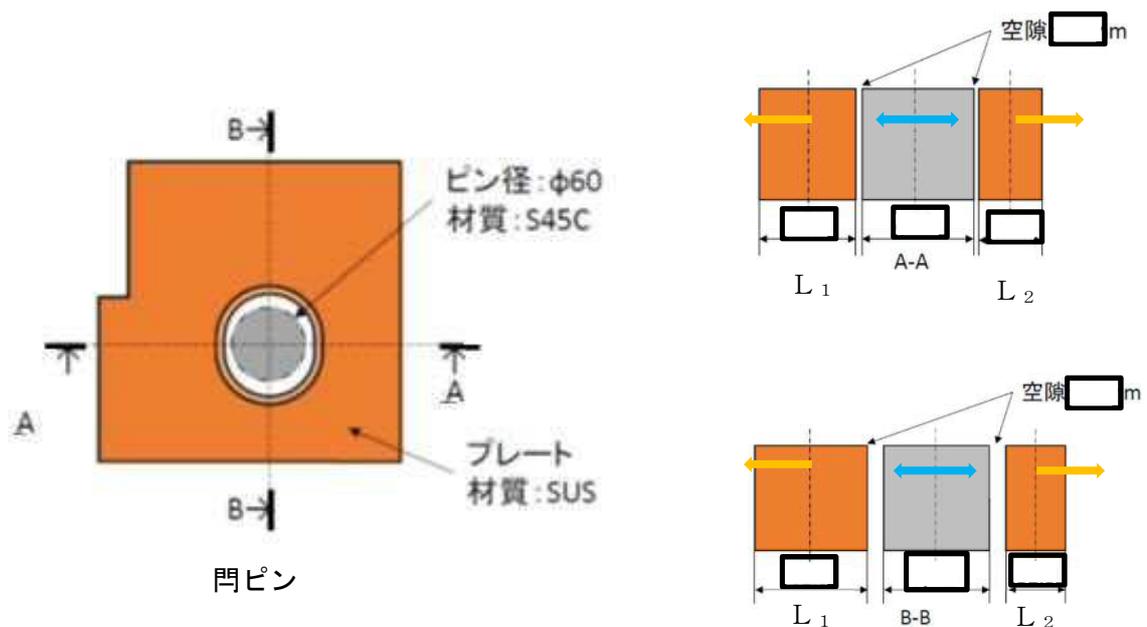


図3-1 閥ピン及び閥受プレート

(2) 評価条件・評価結果

- ✓ 閉止装置が閉止状態において、S A時の二次格納施設内の温度が100 °Cになると仮定し、0 °Cからの $\Delta T=100$ Kにて評価
- ✓ 線膨張係数は次のとおり（出典：発電用原子力設備規格材料規格(2012年版)）
 - ステンレス（プレート）線膨張係数 α_1 ： $1.6 \times 10^{-5}/K$ ・・・プレート部
 - 炭素鋼（閥ピン）線膨張係数 α_2 ： $1.0 \times 10^{-5}/K$ ・・・ピン部
- ✓ 熱による変位量 $\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$ により、各変位量を評価
評価条件及び評価結果を表3-1に示す。

表3-1 評価条件及び評価結果

	温度変化 ΔT (K)	L 1 (mm)	L 2 (mm)	ΔL (mm)	熱膨張による門ピンと門受 プレート間の隙間変位量 (mm)
プレートA-A	100	52.5	32.5	0.0696575	0.0041375
プレートB-B	100	62.5	32.5	0.0778525	0.0123325
門ピン	100	$\phi 60$		0.06552	—

ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験結果（2回目）について

1. 試験結果（追加試験）

「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

区分	No	試験項目	目的／試験内容	門 有無	結果
事前確認	1	センサ確認	加速度センサの動作確認	—	完了
	2	振動特性試験	ランダム波による門状態での振動特性（固有値）確認	有	完了
要素試験 （門単体）	3	加振試験 1.0 S _s （扉開） ・ 門作動確認	加振後の門動作確認	有	良好
気密性能 確認（加振 無）	4	気密性能試験	気密性能確認（門間隙を考慮し扉位置を変えて実施）	有	良好
加振試験 （予備試 験）	5	加振試験 1.0 S _s （扉開） ・ 作動確認 ・ 気密性能試験	・ 加振→扉閉操作（門含む） →気密性能確認 ・ 電動での扉開閉確認（門含む） ・ 手動での扉開閉確認（門含む）	有	良好
	6	加振試験 1.0 S _s （扉閉） ・ 作動確認 ・ 気密性能試験	・ 加振→気密性能確認 ・ 電動での扉開閉確認（門含む） ・ 手動での開閉操作（門含む）	有	良好
加振試験 （本試験）	7	加振試験 1.0 S _s （扉開） ・ 作動確認 ・ 気密性能試験	・ 加振→扉閉操作（門含む） →気密性能確認 ・ 電動での扉開閉確認（門含む）	有	良好
	8	加振試験 1.0 S _s （扉閉） ・ 作動確認 ・ 気密性能試験	・ 加振→気密性能確認 ・ 電動での扉開閉確認（門含む） ・ 手動での開閉操作（門含む）*	有	良好
その他 確認試験	参 考	加振試験 1.0 S _s （扉開） ・ 扉開閉試験	強度を増加させたチェーンでの加振試験	無	良好

注記 *：電動による扉及び門の作動確認の結果，電流値，開閉時間に異常はないが，念のため手動開閉操作も実施

2. 固有振動数

ブローアウトパネル閉止装置の固有振動数を確認するため、扉が開状態と閉状態時に、各方向（X, Y, Z方向）単独で、0.1 Hz～30 Hz 程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波（加振レベル 2.0 m/s² 程度）で加振し、閉止装置の固有振動数を確認した。結果として、扉開状態では、X方向、Y方向、Z方向ともに明確な振動数ピークは確認されず、扉の固有振動数は20 Hz 以上と評価した。また扉閉状態では、X方向（面外方向）にのみピークが確認され、閉状態面外方向の固有振動数は、前回加振時と同様に約 16 Hz（約 0.0625 秒）と評価した。固有振動数を図 2-1 に示す。

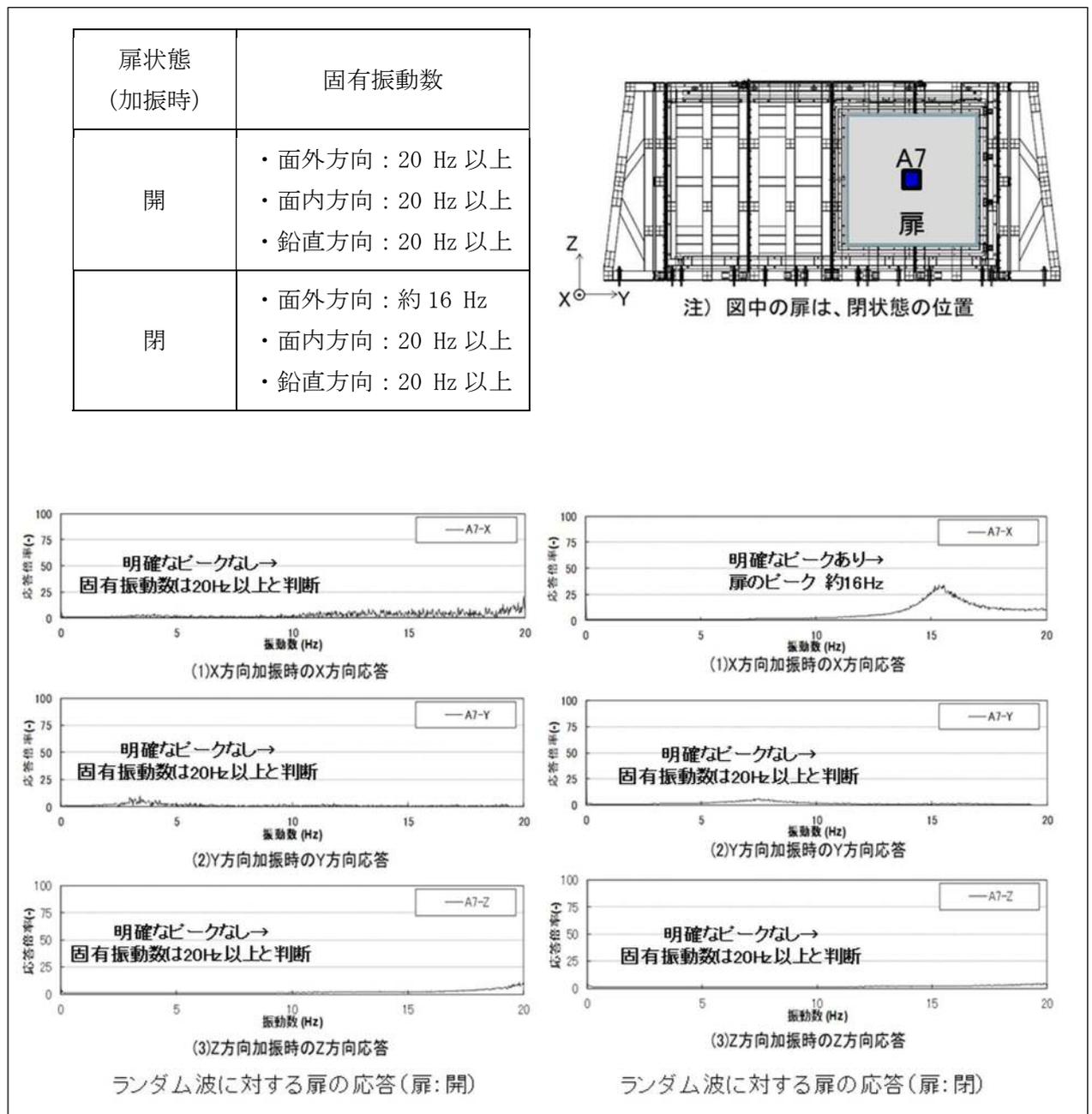


図 2-1 固有振動数

3. 加振試験加速度の妥当性

閉止装置の上部及び下部の最大加速度は、 S_s 包絡条件を超えており、必要な加振がされていることを確認した。加振レベル $1.0 S_s$ の加速度結果を以下の表 3-1 から表 3-8 に示す。また加振時の応答スペクトルが設計応答スペクトルを超えていることを確認した。応答スペクトルの測定結果を図 3-1 から図 3-8 に示す。

表 3-1 扉「開」上部の加速度評価 (試験 No. 5)

方向	S_s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A4(扉上部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	1.66 <	3.72	○
Y		3.12	○
Z	1.21 <	2.39	○

表 3-2 扉「開」下部の加速度評価 (試験 No. 5)

方向	S_s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A2(扉下部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	1.34 <	1.46	○
Y		1.52	○
Z	1.09 <	1.70	○

表 3-3 扉「閉」上部の加速度評価 (試験 No. 6)

方向	S_s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A3(扉上部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	1.66 <	3.32	○
Y		2.66	○
Z	1.21 <	2.27	○

表 3-4 扉「閉」下部の加速度評価 (試験 No. 6)

方向	S_s 包絡条件 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	A1(扉下部)	判定結果
		計測結果 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
X	1.34 <	1.39	○
Y		1.59	○
Z	1.09 <	1.67	○

表 3-5 扉「開」上部の加速度評価 (試験 No. 7)

方向	S _s 包絡条件 (×9.8 m/s ²)	A4(扉上部)	判定結果
		計測結果 (×9.8 m/s ²)	
X	1.66 <	3.96	○
Y		3.25	○
Z	1.21 <	2.32	○

表 3-6 扉「開」下部の加速度評価 (試験 No. 7)

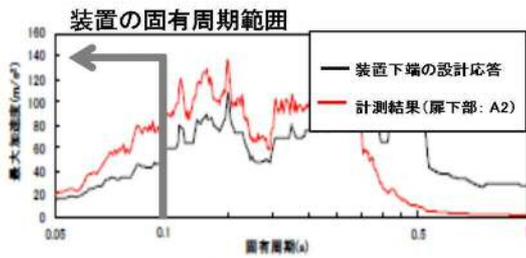
方向	S _s 包絡条件 (×9.8 m/s ²)	A2 (扉下部)	判定結果
		計測結果 (×9.8 m/s ²)	
X	1.34 <	1.49	○
Y		1.50	○
Z	1.09 <	1.65	○

表 3-7 扉「閉」上部の加速度評価 (試験 No. 8)

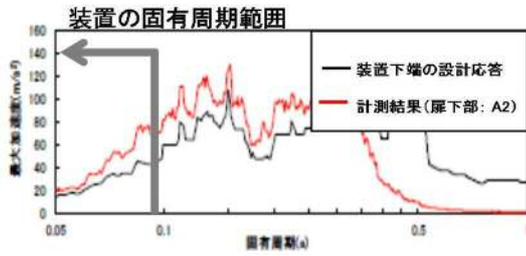
方向	S _s 包絡条件 (×9.8 m/s ²)	A3(扉上部)	判定結果
		計測結果 (×9.8 m/s ²)	
X	1.66 <	3.27	○
Y		2.73	○
Z	1.21 <	2.24	○

表 3-8 扉「閉」下部の加速度評価 (試験 No. 8)

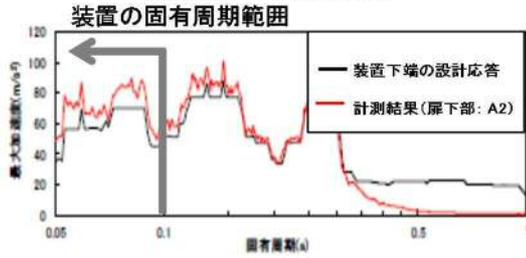
方向	S _s 包絡条件 (×9.8 m/s ²)	A1 (扉下部)	判定結果
		計測結果 (×9.8 m/s ²)	
X	1.34 <	1.43	○
Y		1.54	○
Z	1.09 <	1.66	○



(a) 応答スペクトル(X方向)

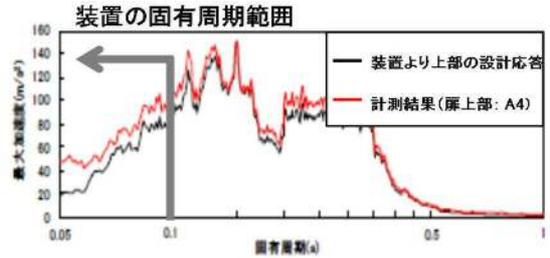


(b) 応答スペクトル(Y方向)

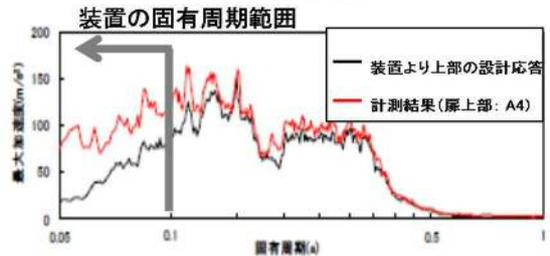


(c) 応答スペクトル(Z方向)

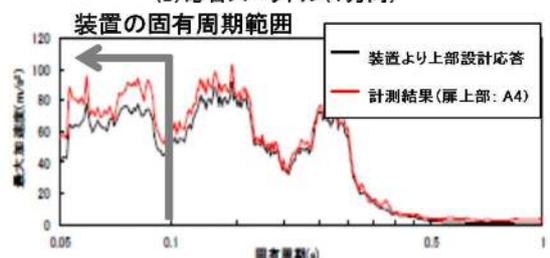
図 3-1 扉開 下部測定結果 (試験 No. 5)



(a) 応答スペクトル(X方向)

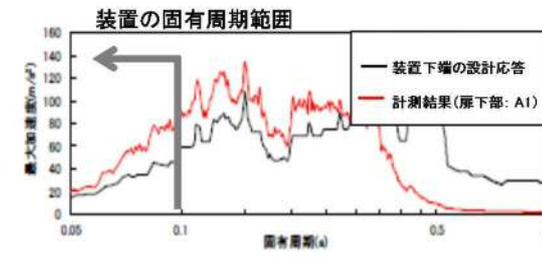


(b) 応答スペクトル(Y方向)

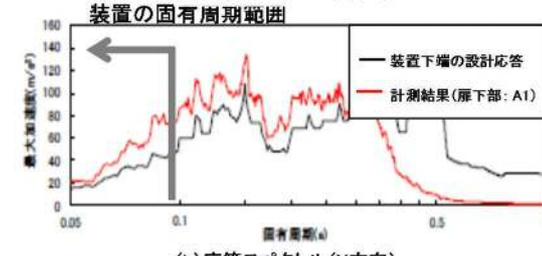


(c) 応答スペクトル(Z方向)

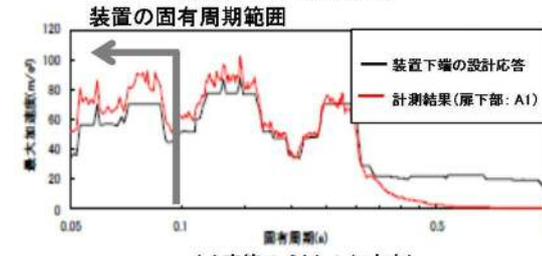
図 3-2 扉開 上部測定結果 (試験 No. 5)



(a) 応答スペクトル(X方向)

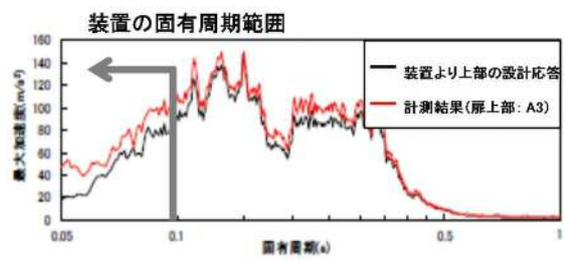


(b) 応答スペクトル(Y方向)

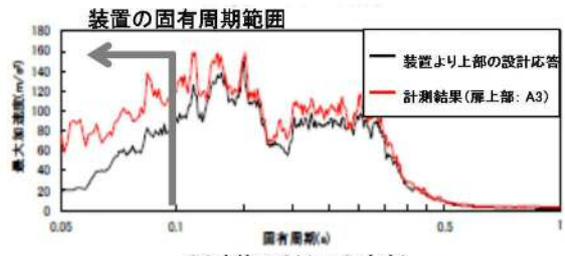


(c) 応答スペクトル(Z方向)

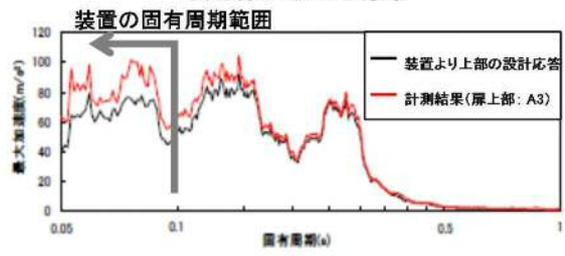
図 3-3 扉開 下部測定結果 (試験 No. 6)



(a) 応答スペクトル(X方向)



(b) 応答スペクトル(Y方向)



(c) 応答スペクトル(Z方向)

図 3-4 扉開 上部測定結果 (試験 No. 6)

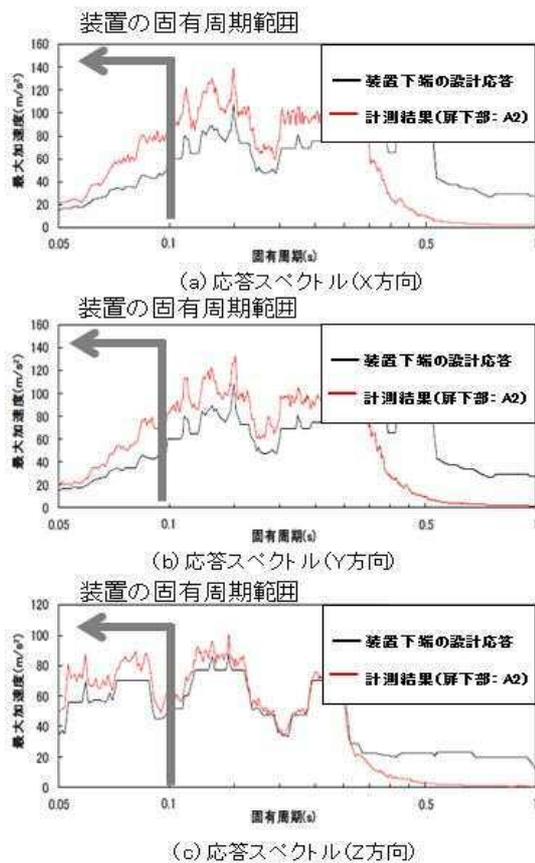


図 3-5 扉開 下部測定結果 (試験 No. 7)

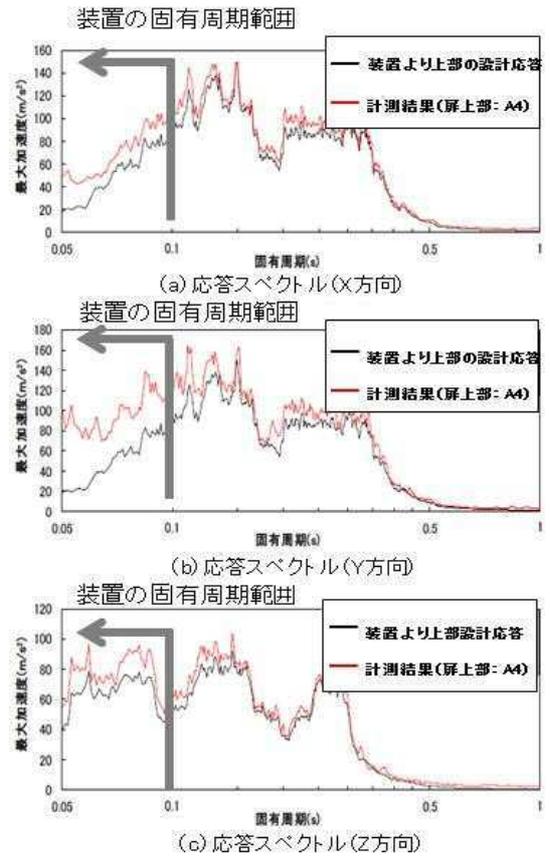


図 3-6 扉開 上部測定結果 (試験 No. 7)

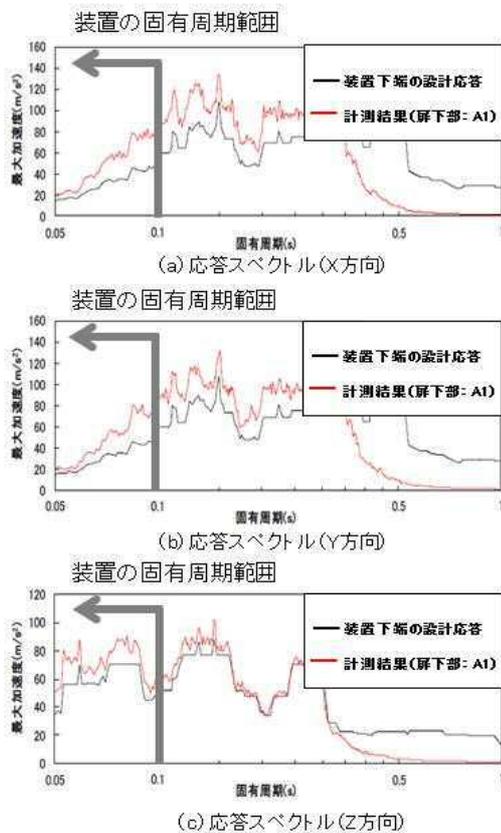


図 3-7 扉開 下部測定結果 (試験 No. 8)

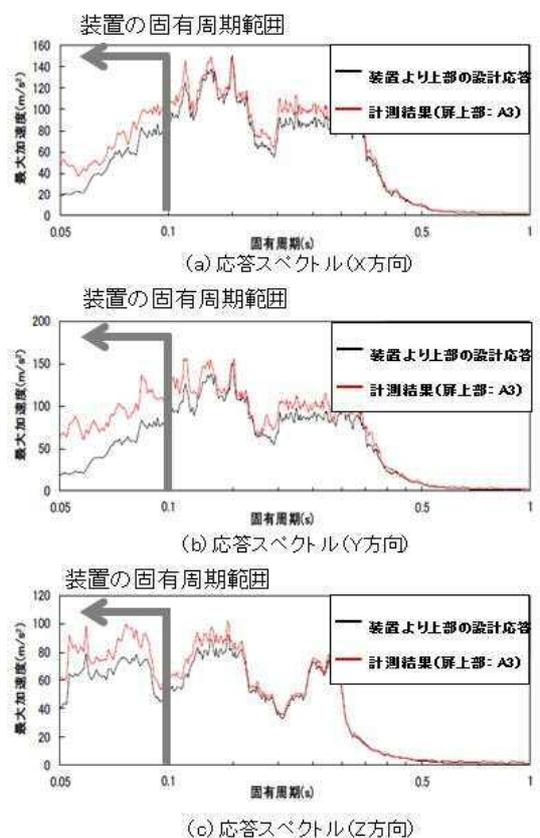


図 3-8 扉開 上部測定結果 (試験 No. 8)

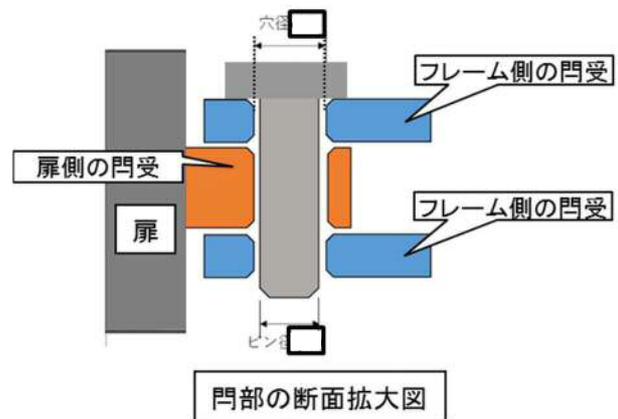
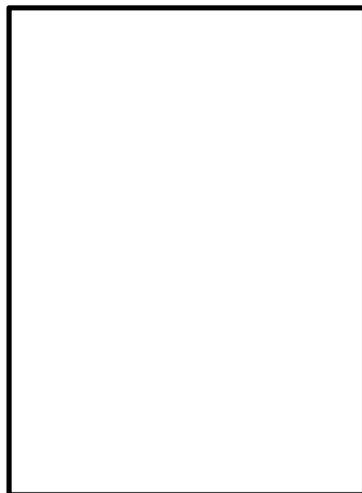
4. 加振試験結果

4.1 チェーン破損確認

門を設置した結果、チェーン破損はなく、扉開放等の不具合は認められなかった。結果を以下の表 4-1 に、擦れ跡発生メカニズムを図 4-1 に示す。

表 4-1 加振後の外観目視点検結果

試験条件		外観目視点検結果			
加振	扉	チェーン	扉開閉止	門	その他部位
1.0 S _s (予備試験)	開	破損なし	異常なし	異常なし (擦れ跡有)	異常なし
	閉	破損なし	異常なし	異常なし (擦れ跡有)	異常なし
1.0 S _s (本試験)	開	破損なし	異常なし	異常なし (擦れ跡有)	異常なし
	閉	破損なし	異常なし	異常なし (擦れ跡有)	異常なし



<擦れ跡発生メカニズム>

門ピンと門受の間隙は、設計上、面内方向で約□mm、面外方向で約□mmである。扉は閉止状態では、テーパブロックとプッシュローラによりシート面に密着した状態にあるため面外方向に揺らされることはないが、面内方向には間隙分は自由に移動できるため、加振に伴い門ピンが門受けと接触し、門ピン等の表面(主に面内方向)に擦れ跡が発生する。

図 4-1 擦れ跡発生メカニズム

<チェーンの伸びについて>

加振によりチェーンには1~4 mmの伸びが計測された。この伸びに対する見解は以下のとおりであり、チェーンの機能に影響を及ぼすような有意なものではないと評価した。

- ・ 今回使用した炭素鋼チェーン（コーティング有）の引張試験結果によると、門部の最大間隙から推定されるチェーンの最大変位量 \square mm) が発生した場合でも、チェーンの変位は概ね弾性域であることを確認
- ・ チェーン製造メーカーによると、チェーンは組立歪と初期なじみにより初期伸びが発生する。その量は通常 0.1 %程度だが、今回のチェーンの製造メーカーでは部品精度の向上等により、初期伸び量を 0.05 %程度に抑えているため、今回のチェーンは全長約 6000 mm であり、この 0.05 %は約 3 mm に相当するため、今回確認されたチェーンの伸びは、この初期伸びに相当するものであり、有意なものではないと評価した。

4.2 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 4-2 のとおり。追加試験に先立って消耗品であるパッキンの交換を実施しているが、初期状態においても前回試験とほぼ同じ気密性能が確保できている。加振後の漏えい量も十分に小さく、原子炉建屋外壁のブローアウトパネル部に適用し、既設原子炉建屋のインリーク量を考慮した場合でも、原子炉建屋としての気密性能（負圧）は十分に確保できることを確認した。

表 4-2 加振後の気密漏洩試験

試験条件		通気量 [m ³ /h・m ²] (63 Pa 時)	備考	【参考】 前回 試験通気量 [m ³ /h・m ²]
扉	加振			
閉	初期状態	0.28	<ul style="list-style-type: none"> ・ 門穴の間隙による扉移動（最大±5 mm）を考慮して試験実施 ・ 数値は上から扉停止位置，閉側に 5 mm 移動させた位置，開側に 8 mm（設計最大量 5 mm+保守的に 3 mm）移動させた位置での試験結果 	0.25
		0.28		—
		0.32		—
開	1.0 S _s	0.28	加振後に扉を閉止し試験	0.25
閉	(予備試験)	0.32	扉閉状態での加振後の状態で試験	—
開	1.0 S _s	0.28* ¹	加振後に扉を閉止し試験	0.26
閉	(本試験)	0.35* ²	扉閉状態での加振後の状態で試験	0.26

注記 *1：風速計指示の振れ幅の最大値では，0.70 m³/h・m²

*2：風速計指示の振れ幅の最大値では，0.95 m³/h・m²

<原子炉建屋としての負圧達成について>

今回の閉止装置単体での気密性能試験結果から、本装置を原子炉建屋原子炉棟外壁のブローアウトパネル部に設置した場合の原子炉建屋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（3570 m³/h）は、推定漏えい量 1785m³/h を十分に上回るため、非常用ガス処理系にて 63 Pa 以上の負圧達成可能である。

- ・ 既設原子炉建屋の推定インリーク量：約 1710 m³/h@63 Pa
- ・ 閉止装置 10 個の合計面積：約 213 m²
- ・ 閉止装置 10 個設置時の推定インリーク量： 213 m²×0.35 m³/h・m²=75 m³/h@63 Pa
- ・ 非常用ガス処理系定格容量：3570 m³/h@63 Pa
- ・ 閉止装置設置時の原子炉建屋原子炉棟の推定漏えい量：

$$1710 \text{ m}^3/\text{h} + 75 \text{ m}^3/\text{h} = 1785 \text{ m}^3/\text{h}@63 \text{ Pa} < 3570 \text{ m}^3/\text{h}@63 \text{ Pa}$$

(非常用ガス処理系定格容量の約 50 %)

<原子炉建屋としての負圧達成について（気密性能試験時の風速の振れを考慮）>

今回の閉止装置単体での気密性能試験はJ I Sに基づき実施しているが、風速測定時には風速の振れが伴っているため、試験時の振れ幅の最大値（0.95 m³/h・m²）を考慮し、原子炉建屋の負圧達成可否について評価した。この結果、非常用ガス処理系定格容量（3570 m³/h）は、推定漏えい量 1913 m³/h を十分に上回るため、非常用ガス処理系にて 63 Pa 以上の負圧達成可能である。

- ・ 既設原子炉建屋の推定インリーク量：約 1710 m³/h@63 Pa
- ・ 閉止装置 10 個の合計面積：約 213 m²
- ・ 閉止装置 10 個設置時の推定インリーク量：213 m²×0.95 m³/h・m²=203 m³/h@63 Pa
- ・ 非常用ガス処理系定格容量：3570 m³/h@63 Pa
- ・ 閉止装置設置時の原子炉建屋原子炉棟の推定漏えい量：

$$1710 \text{ m}^3/\text{h} + 203 \text{ m}^3/\text{h} = 1913 \text{ m}^3/\text{h}@63 \text{ Pa} < 3570 \text{ m}^3/\text{h}@63 \text{ Pa}$$

（非常用ガス処理系定格容量の約 54 %）

4.3 扉作動試験

加振前後の扉作動試験の結果は表 4-3、表 4-4 とおり。作動時間、電流値ともに設計目標値を満足しており、問題ないことを確認した。

表 4-3 加振前の扉作動試験結果

扉 (初期状態)	電動		手動
	時間	電流値	
	120秒以内 (目標値)	7.48 A以内 (定格値)	
開放→閉止	約99秒	約4.39 A	異常なし
閉止→開放	約97秒	約4.44 A	異常なし

表 4-4 加振後の扉作動試験結果

試験条件	扉 (初期状態)	電動				手動
		開放→閉止		閉止→開放		
		時間	電流値	時間	電流値	
		120秒以内 (目標値)	7.48 A以内 (定格値)	120秒以内 (目標値)	7.48 A以内 (定格値)	
1.0 S _s (予備試験)	開	約99秒	約4.35 A	約97秒	約4.39 A	開→閉 異常なし
	閉	約99秒	約4.45 A	約96秒	約4.46 A	閉→開 異常なし
1.0 S _s	開	約99秒	約4.21 A	約97秒	約4.15 A	—
	閉	約99秒	約4.50 A	約97秒	約4.60 A	開→閉 異常なし*

注記 *：予備試験結果と電動動作試験結果から省略可能であるが、最終確認として実施

4.4 門作動試験

加振前後の門作動試験の結果は表 4-5, 表 4-6 のとおり。作動時間, 電流値ともに設計目標値を満足しており, 問題ないことを確認した。

表4-5 加振前の門作動試験結果

門位置	電動				手動	
	押上げ時		挿入時		押上げ時	挿入時
	時間	電流値	時間	電流値		
	15秒以内 (目標値)	2.1 A以内 (定格値)	15秒以内 (目標値)	2.1 A以内 (定格値)		
扉開側	約8秒	約1.64 A	約8秒	約1.46 A	異常なし	異常なし
扉閉側	約8秒	約1.60 A	約8秒	約1.45 A	異常なし	異常なし

表4-6 加振後の門作動試験結果

試験条件	扉 (初期状態)	門位置	電動				手動	
			押上げ時		挿入時		押上げ時	挿入時
			時間	電流値	時間	電流値		
			15秒以内 (目標値)	2.1 A以内 (定格値)	15秒以内 (目標値)	2.1 A以内 (定格値)		
1.0 S _s (予備試験)	開	扉開側	約8秒	約1.62 A	約8秒	約1.44 A	異常なし	異常なし
		扉閉側	約8秒	約1.64 A	約8秒	約1.47 A	異常なし	異常なし
	閉	扉開側	約8秒	約1.60 A	約8秒	約1.49 A	異常なし	異常なし
		扉閉側	約8秒	約1.61 A	約8秒	約1.48 A	異常なし	異常なし
1.0 S _s	開	扉開側	約8秒	約1.63 A	約8秒	約1.41 A	-	-
		扉閉側	約8秒	約1.60 A	約8秒	約1.43 A	-	-
	閉	扉開側	約8秒	約1.66 A	約8秒	約1.48 A	異常なし*	異常なし*
		扉閉側	約8秒	約1.66 A	約8秒	約1.50 A	異常なし*	異常なし*

注記 * : 予備試験結果と電動動作試験結果から省略可能であるが, 最終確認として実施

門がない状態での加振試験

1. チェーン破損確認

1 回目の加振試験では、チェーンに損傷が発生し、扉の操作機能を喪失する事象が発生した。このため、本不具合の再発防止策として、前述のように門の設置やチェーン材質の変更等を実施することとした。

また、門がない状態での加振試験を実施し、主にチェーンの材質変更（強度増加）の効果について確認し、門がない状態でもチェーンに破損等は発生せず、扉の開閉機能が確保できることを確認した。

2. 試験結果

扉は閉方向に約 30 mm 移動したが、チェーンに破損、有意な伸びはなく、扉の開閉に問題はなかった。また、本加振前後でチェーンの伸びを測定した結果、チェーンの伸びは約 3 mm (5919 mm → 5922 mm) であったが、本伸びは、組立歪や初期なじみにより使用開始時に発生する伸びであり、チェーンメーカーによる見解である全長に対して 0.05 % 程度（約 3 mm）であり、有意な伸びではないと評価した。表 2-1 に門がない状態での加振後の扉作動試験結果を、図 2-1 に門がない状態での加振試験時の状況を示す。

表 2-1 門がない状態での加振後の扉作動試験結果

試験条件		電動			
扉	加振	開放→閉止		閉止→開放	
		作動時間 目標 120 秒 以内	電流 目標 7.48 A 以内	作動時間 目標 120 秒 以内	電流 目標 7.48 A 以内
開*	1.0 S _s	約 100 秒	4.31 A	約 97 秒	4.39 A

注記 *：これまでの加振試験結果から、電動機スプロケットからチェーンガイド端部までの距離が短く、チェーンが損傷を受けやすい扉開状態にて試験を実施

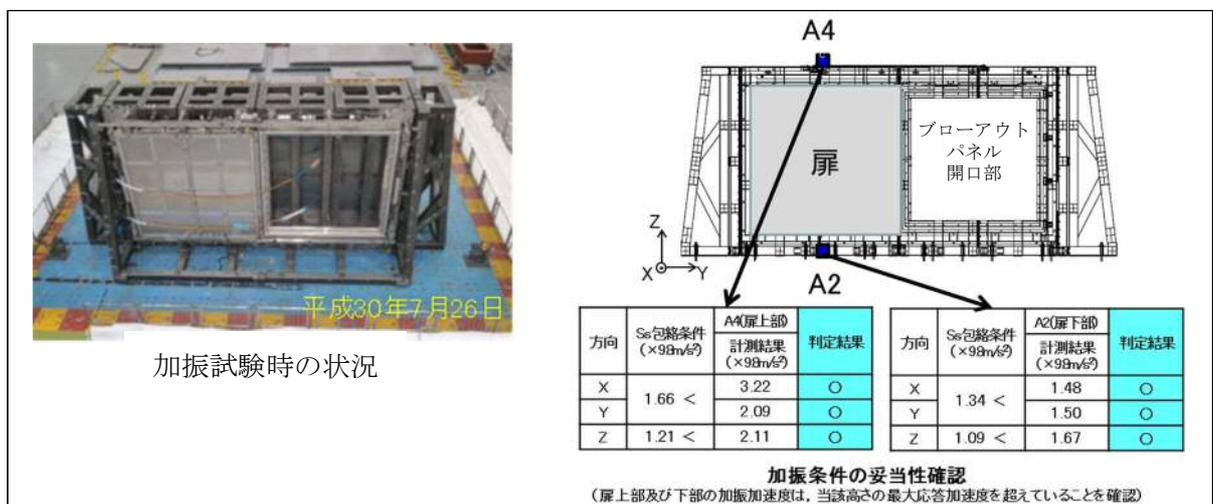


図 2-1 門がない状態での加振試験時の状況

ブローアウトパネル強制開放装置（自主対策設備）の配置と構造について

1. 概要

ブローアウトパネル強制開放装置（以下「強制開放装置」という。）は、炉心の著しい損傷が発生し閉止装置の気密機能が必要な状況において、仮に原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放が途中で止まった場合を想定して、強制的に原子炉建屋外側ブローアウトパネルを開放させるために設置する。本設備は、自主対策設備として設置する。

2. 設置位置及び個数

強制開放装置は、各ブローアウトパネルに配備することとし、原子炉建屋原子炉棟5階、6階に計10個設置する。

設置位置を図2-1に系統概要図を図2-2に示す。



図2-1 強制開放装置設置位置図



図2-2 強制開放装置系統概要図

3. 設備概要

本設備は、シリンダ、窒素ガスポンプ、アキュムレータ等から構成され、アキュムレータを介してシリンダに作動液（水-グリコール）を供給する一次側、窒素ガスポンプからアキュムレータに窒素を供給する二次側に分かれる。

本設備は、中央制御室から操作可能とし、操作スイッチにより窒素ガスポンプの出口に設置された空気作動弁を開動作させ、窒素をアキュムレータに供給することにより、アキュムレータ内のピストンを押し上げ、ピストンの押し上げに伴い作動液がシリンダに供給され、シリンダを伸ばすことにより、ブローアウトパネルを建屋内側から外側に押し出す設計としている。

ブローアウトパネル閉止装置の開放を仮定した場合の中央制御室の被ばく評価への影響について

1. 評価方針

(1) 評価の概要

ブローアウトパネルが開放し炉心の著しい損傷が発生した場合の評価事象を選定し、ブローアウトパネル閉止装置の短期的な開放を仮定した場合、そのソースタームの設定により、被ばく経路ごとに中央制御室の居住性を確保するための設備及び運用面の対策を考慮した線量評価を行い、中央制御室に入り、とどまる運転員の実効線量の計算結果を、ブローアウトパネル閉止装置が開放しない場合と比較する。

具体的な居住性に係る被ばく評価の手順は以下のとおりであり、図 1-1 に示す。

- a. 評価事象は、炉心の著しい損傷が発生した場合についてブローアウトパネル閉止装置が短期的に開放することを考慮し、運転員の線量評価結果が厳しくなるよう選定する。なお、ブローアウトパネル閉止装置が開放しない場合についても評価を行う。
- b. 評価事象に対して、原子炉施設に滞留する又は放出される放射性物質によって、中央制御室に入り、とどまる運転員の放射線被ばくをもたらず経路を選定する。
- c. 評価事象に対して、建屋内の放射性物質の存在量分布及び大気中への放出量を計算する。
- d. 原子炉建屋内の放射性物質の存在量分布から線源強度を計算する。
- e. 発電用敷地内の気象データを用いて、大気拡散を計算して相対濃度及び相対線量を計算する。
- f. 中央制御室内及び入退域時の運転員の被ばくを計算する。被ばく経路ごとに評価期間中の積算線量を計算し、これを運転員の中央制御室内の滞在時間及び入退域に要する時間の割合で配分して計算する。
 - (a) 中央制御室内での被ばく
 - イ. d. の結果を用いて、建屋内の放射性物質からのガンマ線による被ばくを、中央制御室遮蔽による遮蔽効果を考慮して計算する。
 - ロ. c. 及び e. の結果を用いて、大気中へ放出された放射性物質からのガンマ線による被ばくを、中央制御室遮蔽による遮蔽効果を考慮して計算する。
 - ハ. c. 及び e. の結果を用いて、中央制御室内に外気から取り込まれた放射性物質の濃度を、中央制御室換気系設備による室内放射性物質の低減効果を考慮して計算し、放射性物質による被ばく（ガンマ線による外部被ばく及び呼吸による吸入摂取による内部被ばく）を計算する。
 - (b) 入退域時の被ばく
 - イ. d. の結果を用いて、建屋内の放射性物質からのガンマ線による被ばくを計算する。
 - ロ. c. 及び e. の結果を用いて、大気中へ放出された放射性物質による被ばく（ガンマ線による外部被ばく及び呼吸による吸入摂取による内部被ばく）を計算する。
- g. f. の被ばく経路ごとの線量を合算し、判断基準と比較する。

(2) 評価事象の選定

炉心の著しい損傷が発生した場合において、原子炉施設の構造及び特性並びに安全上及び格納容器破損防止の諸対策の観点から、評価事象を選定する。具体的には以下のとおりとする。

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第37条の「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」の想定する格納容器破損モードのうち、起因事象としてブローアウトパネルが開放し、ブローアウトパネル閉止装置に期待する事故シーケンスを想定する。

事故シーケンスとしては、起因事象としてブローアウトパネルが開放する主蒸気管破断を含む過渡事象起因であり、炉心損傷が早く、また、原子炉格納容器内の圧力が高く推移する「高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱」とし、全交流動力電源喪失の重畳を考慮する。

また、評価期間は、解釈に従い事故後7日間とする。

評価事象に係る条件を表1-1に示す。

(3) 被ばく経路の選定

炉心の著しい損傷が発生した場合において、運転員は、中央制御室にとどまり必要な操作、措置を行う。この時、大気中に放出された放射性物質が中央制御室内に取り込まれることなどにより、中央制御室内に滞在している運転員は被ばくする。また、運転員の当直交替に伴い入退域の移動が生じ、この入退域時にも運転員は被ばくする。

以上より、運転員の被ばく経路は、以下の被ばく経路①～⑤を考慮する。

また、評価事象ごとの対象とする被ばく経路は、それぞれの事故の形態、規模、事象進展、運転員の交替要員体制等を考慮して選定する。

運転員の被ばく経路及び中央制御室の居住性に係る被ばく経路イメージを図1-2及び図1-3に示す。

a. 中央制御室内での被ばく

(a) 被ばく経路① 建屋内の放射性物質からのガンマ線による被ばく

想定事故時に建屋内に放出された放射性物質から直接的に施設周辺に到達してくるガンマ線（以下「直接ガンマ線」という。）及び空気中で散乱されて施設周辺に到達してくるガンマ線（以下「スカイシャインガンマ線」という。）が、中央制御室遮蔽を透過して中央制御室内の運転員に与える線量。

(b) 被ばく経路② 大気中へ放出された放射性物質からのガンマ線による被ばく

大気中へ放出された放射性物質が大気中を拡散して生ずる放射性雲からのガンマ線（以下「クラウドシャインガンマ線」という。）及び大気中へ放出され地表面に沈着した放射性物質からのガンマ線（以下「グランドシャインガンマ線」という。）が、中央制御室遮蔽を透過して中央制御室内の運転員に与える線量。

(c) 被ばく経路③ 外気から室内に取り込まれた放射性物質による被ばく

大気中へ放出された放射性物質が、中央制御室内に取り込まれて中央制御室内の運転員に与える線量（ガンマ線による外部被ばく及び呼吸による吸入摂取による内部被ばく）。

b. 入退域時の被ばく

(a) 被ばく経路④ 建屋内の放射性物質からのガンマ線による被ばく

直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線が、入退域時の運転員に与える線量。

(b) 被ばく経路⑤ 大気中へ放出された放射性物質による被ばく

クラウドシャインガンマ線及びグラウンドシャインガンマ線が、入退域時の運転員に与える線量及び吸入摂取による内部被ばく線量。

(4) 建屋内の放射性物質の存在量分布及び大気中への放出量の計算

建屋内の放射性物質の存在量分布及び大気中への放出量の計算は、炉心の著しい損傷が発生した場合において、事故の形態、規模により、運転員の被ばくへの影響度合いを考慮して適切に設定する。

a. 事故発生直前の状態

事象発生直前まで、原子炉は定格出力の 105 %で長期間にわたって運転されていたものとする。炉心内蓄積量計算条件を表 1-2 に示す。

炉心の著しい損傷が発生した場合の評価で使用する炉心内蓄積量は、ウラン燃料の 9×9 燃料炉心を条件に、燃焼計算コード OR I G E N 2 コードにより算出する。事故発生直前の炉心内蓄積量を表 1-3 に示す。

計算にあたっては、9×9 燃料炉心の代表的な燃焼度、比出力、初期濃縮度及び運転履歴を考慮する。

- ・ 燃焼度 : 55000 MWd/t (燃焼期間は、5 サイクルの平衡炉心を想定)
- ・ 比出力 : 26 MW/t
- ・ 初期濃縮度 : 3.8 %
- ・ 核データライブラリ : JENDL3.2 (BWR STEP-3 VR=0 %, 60 Gwd/t)

b. 評価の対象とする放射性核種

運転員の被ばくに有意に寄与すると考えられる放射性希ガス (以下「希ガス」という。) 及び放射性よう素 (以下「よう素」という。) を対象とする。よう素は、有機よう素及び無機よう素を考慮する。また、粒子状放射性物質も含めた放射性核種を対象とする。よう素は、有機よう素、無機 (元素状) よう素及び粒子状よう素を考慮する。

c. 大気中への放出過程

対象核種ごとに、大気中への放出過程上における放射性物質の低減効果を適切に考慮し、大気中への放出量を計算する。

(5) 建屋内の線源強度の計算

建屋内の放射性物質の存在量分布から計算する線源強度及びその計算結果を用いた被ばく経路①の計算については、審査ガイドを参照する。

(6) 大気拡散の計算

炉心の著しい損傷が発生した場合の中央制御室の居住性に係る被ばく評価に使用する相対濃度及び相対線量は、「被ばく評価手法について (内規)」及び「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針 (昭和57年1月28日 原子力安全委員会決定、一部改訂 平成13年3月29日 原子力安全委員会)」 (以下「気象指針」という。) に基づき評価する。

a. 大気拡散評価モデル

放出点から放出された放射性物質が大気中を拡散して評価点に到達するまでの計算は、ガウスプルームモデルを適用する。

(a) 相対濃度

相対濃度は、毎時刻の気象項目と実効的な放出継続時間をもとに評価点ごとに以下の式のとおり計算する。

$$\chi/Q = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (\chi/Q)_i \cdot \delta_i^d$$

ここで、

χ/Q : 実効放出継続時間中の相対濃度 (s/m³)

T : 実効放出継続時間 (h)

$(\chi/Q)_i$: 時刻 i における相対濃度 (s/m³)

δ_i^d : 時刻 i において風向が当該方位 d にあるとき $\delta_i^d = 1$

: 時刻 i において風向が他の方位にあるとき $\delta_i^d = 0$

(高所放出の場合)

$$(\chi/Q)_i = \frac{1}{2\pi \cdot \Sigma_{yi} \cdot \Sigma_{zi} U_i}$$

$$\Sigma_{yi} = \sqrt{\sigma_{yi}^2 + \frac{CA}{\pi}} \quad , \quad \Sigma_{zi} = \sqrt{\sigma_{zi}^2 + \frac{CA}{\pi}}$$

(地上放出の場合)

$$(\chi/Q)_i = \frac{1}{\pi \Sigma_{yi} \Sigma_{zi} U_i}$$

ここで、

U_i : 時刻 i の放出源を代表する風速 (m/s)

Σ_{yi} : 時刻 i の建屋の影響を加算した濃度の水平方向 (y 方向) の拡がりのパラメータ (m)

Σ_{zi} : 時刻 i の建屋の影響を加算した濃度の水平方向 (z 方向) の拡がりのパラメータ (m)

σ_{yi} : 時刻 i の濃度の y 方向の拡がりパラメータ (m)

σ_{zi} : 時刻 i の濃度の z 方向の拡がりパラメータ (m)

C : 建屋の風向方向の投影面積 (m²)

A : 形状係数 (—)

上記のうち、気象項目 (風向、風速及び σ_{yi} 、 σ_{zi} を求めるために必要な大気安定度) につ

いては、「b. 気象データ」に示すデータを、建屋の投影面積については「a. 建屋投影面積」に示す値を、形状係数については「f. 形状係数」に示す値を用いることとする。実効放出継続時間及び放出源高さは事故シーケンスに応じて求める条件であることから、個別に設定する。

σ_{yi} 及び σ_{zi} については、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」（昭和 57 年 1 月 28 日原子力安全委員会決定，平成 13 年 3 月 29 日一部改訂）における相関式を用いて計算する。

(b) 相対線量

クラウドシャインガンマ線量を計算するために、空気カーマを用いた相対線量を毎時刻の気象項目と実効放出継続時間をもとに、評価点ごとに以下の式で計算する。

$$D/Q = (K_1/Q)E\mu_0 \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{e^{-\mu r}}{4\pi r^2} B(\mu r)\chi(x', y', z') dx' dy' dz'$$

ここで、

D/Q : 評価地点 $(x, y, 0)$ における相対線量 (μ Gy/Bq)

(K_1/Q) : 単位放出率当たりの空気カーマ率への換算係数 $\left(\frac{\text{dis}\cdot\text{m}^3\cdot\mu\text{Gy}}{\text{MeV}\cdot\text{Bq}\cdot\text{s}}\right)$

E : ガンマ線の実効エネルギー (MeV/dis)

μ_0 : 空気に対するガンマ線の線エネルギー吸収係数 (1/m)

μ : 空気に対するガンマ線の線減衰係数 (1/m)

r : (x', y', z') から $(x, y, 0)$ までの距離 (m)

$B(\mu r)$: 空気に対するガンマ線の再生係数 (-)

$$B(\mu r) = 1 + \alpha(\mu r) + \beta(\mu r)^2 + \gamma(\mu r)^3$$

ただし、 $\mu_0, \mu, \alpha, \beta, \gamma$ については、0.5 MeV のガンマ線に対する値を用い、以下のとおりとする。

$$\mu_0 = 3.84 \times 10^{-3}(\text{m}^{-1}), \quad \mu = 1.05 \times 10^{-2}(\text{m}^{-1})$$

$$\alpha = 1.000, \quad \beta = 0.4492, \quad \gamma = 0.0038$$

$\chi(x', y', z')$: 放射性雲中の点 (x', y', z') における濃度 (Bq/m³)

b. 気象データ

2005 年 4 月～2006 年 3 月の 1 年間における気象データを使用する。なお、当該データの使用に当たっては、風向、風速データが不良標本の棄却検定により、過去 10 年間の気象状態と比較して異常でないことを確認している。

c. 相対濃度及び相対線量の評価点

相対濃度及び相対線量の評価点は以下とする。

(a) 中央制御室内滞在時

換気系設備は事故検知後、通常運転時の排風機が停止し、中央制御室給気隔離弁、中央制御室排気隔離弁及び排煙装置隔離弁が閉止する。その後、フィルタユニット入口隔離弁が開き、チャコールフィルタを介して中央制御室内の空気を再循環する閉回路循環運転に切り替わることを前提とする。中央制御室が属する建屋の屋上面を代表面として選定し、建屋巻き込みの影響を受ける場合には、中央制御室が属する建屋表面での濃度は風下距離の依存性は小さくほぼ一様であるので、相対濃度の評価点は中央制御室中心を代表とする。

また、相対線量の評価点も同様に中央制御室中心とする。

(b) 入退域時

入退域時の運転員の実効線量の評価に当たっては、周辺監視区域境界から中央制御室出入口までの運転員の移動経路を対象とし、入退域時の評価点は、線量評価結果が厳しくなる様、運転員の入退域時のアクセスルート中において原子炉建屋原子炉棟に近接する屋外（建屋入口）とする。

炉心の著しい損傷が発生した場合の放射性物質の放出源と評価点の位置関係を図 1-4 に示す。

d. 評価対象方位

中央制御室のように、事故時の放射性物質の放出点から比較的近距离の場所では、建屋の風下側における風の巻き込みによる影響が顕著になると考えられる。そのため、放出点と巻き込みを生じる建屋及び評価点との位置関係によっては、建屋の影響を考慮して拡散の計算を行う。

中央制御室の被ばく評価においては、放出点と巻き込みを生じる建屋及び評価点との位置関係について、以下の条件すべてに該当した場合、放出点から放出された放射性物質は建屋の風下側で巻き込みの影響を受け拡散し、評価点に到達するものとする。放出点から評価点までの距離は、保守的な評価となるように水平距離を用いる。

(a) 放出源の高さが建屋の高さの 2.5 倍に満たない場合

(b) 放出源と評価点を結んだ直線と平行で放出源を風上とした風向 n について、放出源の位置が風向 n と建屋の投影形状に応じて定まる一定の範囲（図 1-5 の領域 A_n ）の中にある場合

(c) 評価点が、巻き込みを生じる建屋の風下にある場合

巻き込みを生じる代表建屋として、放出源から最も近く、影響が最も大きいと考えられる原子炉建屋を選定する。そのため評価対象とする方位は、放出された放射性物質が原子炉建屋の巻き込み現象の影響を受けて拡散する方位及び原子炉建屋の巻き込み現象の影響を受けて拡散された放射性物質が評価点に届く方位の両方に該当する方位とする。具体的には、全 16 方位のうち以下の (a)～(b) の条件に該当する方位を選定し、すべての条件に該当する方位を評価対象とする。

- (a) 放出点が評価点の風上にあること。
- (b) 放出点から放出された放射性物質が、原子炉建屋の風上側に巻き込まれるような範囲に放出点が存在すること。
- (c) 原子炉建屋の風下側で巻き込まれた大気が評価点に到達すること。

評価対象とする方位は、原子炉建屋を見込む方位の範囲の両端が、それぞれの方位に垂直な投影形状の左右に0.5L(Lは対象となる複数の方位の投影面積の中の最小面積とする)だけ幅を広げた部分を見込む方位を仮定する。

上記選定条件(b)の条件に該当する風向の方位の選定には、放出点が評価点の風上となる範囲が対象となるが、放出点は原子炉建屋に近接し、0.5Lの拡散領域の内部にあるため、放出点が風上となる180°を対象とする。その上で、選定条件(c)の条件に該当する風向の方位の選定として、評価点から原子炉建屋+0.5Lを含む方位を対象とする。

以上より、選定条件(a)～(c)の条件にすべて該当する方位は、本評価においては、評価点が中央制御室中心の場合で、放出源が原子炉建屋の場合は、9方位(S, SSW, SW, WSW, W, WNW, NW, NNW, N)となる。また、評価点が建屋入口の場合で、放出源が原子炉建屋の場合は、9方位(S, SSW, SW, WSW, W, WNW, NW, NNW, N)となる。

なお、放出源が非常用ガス処理系排気筒の場合においては、放出源の高さが原子炉建屋の高さの2.5倍以上となることから建屋の影響を受けないものとして評価し、評価点が中央制御室中心及び建屋入口ともにW方位となる。評価対象とする風向を図1-6～図1-9に示す。

e. 建屋投影面積

建屋投影面積は小さい方が厳しい結果となるため、対象となる複数の方位の投影面積の中で最小面積を全ての方位の計算の入力として共通に適用する。

原子炉建屋の投影面積を図1-10に示す。

f. 形状係数

建屋の形状係数は1/2*とする。

g. 累積出現頻度

中央制御室の居住性に係る被ばく評価に用いる相対濃度と相対線量は、大気拡散の評価に従い、実効放出継続時間を基に計算した値を年間について小さい方から順に並べたとき累積出現頻度97%*に当たる値を用いる。

注記 * : 「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」昭和57年1月28原子力安全委員会決定、平成13年3月29日一部改訂

大気拡散評価条件を表1-4に示す。

(7) 線量計算

炉心の著しい損傷が発生した場合の線量計算に当たっては、被ばく線量が最も厳しくなる運転員の勤務体系を踏まえて、中央制御室内の滞在期間及び入退域に要する時間を考慮して評価する。想定する勤務体系を表 1-5 に示す。

入退域時の運転員の実効線量の評価に当たっては、周辺監視区域境界から中央制御室出入口までの移動を考慮して、線量評価結果が厳しくなるように建屋入口に 15 分間滞在するものとする。

a. 中央制御室内での被ばく

(a) 被ばく経路① 建屋内の放射性物質からのガンマ線による被ばく

原子炉建屋内に浮遊する放射性物質からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による運転員の実効線量は、施設の位置、建屋の配置及び形状等から評価する。

イ. 評価条件

(イ) 線源強度

炉心の著しい損傷が発生した場合における想定事故時の線源強度は、次のとおりとする。

炉心の著しい損傷が発生した場合に炉心から格納容器内に放出された放射性物質は、格納容器から原子炉建屋（二次格納施設）内に放出され、二次格納施設内の自由空間内に均一に分布するものとする。この二次格納施設内の放射性物質を直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の線源とする。

評価に使用する積算線源強度を表 1-6 に示す。

ガンマ線エネルギー群構造は、評価済核データライブラリ JENDL-3.3^{*1} から作成した輸送計算用ライブラリ MATXSLIB-J33^{*2} の 42 群とする。

注記 *1: K. Shibata, et al., "Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3: JENDL-3.3", J. Nucl. Sci. Technol., 39, 1125 (2002)

*2: K. Kosako, N. Yamano, T. Fukahori, K. Shibata and A. Hasegawa, "The Libraries FSXLIB and MATXSLIB based on JENDL-3.3", JAERI-Data/Code 2003-011 (2003)

(ロ) 幾何条件

中央制御室内での被ばく評価に係る直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の評価モデルを、それぞれ図 1-11 及び図 1-12 に示す。直接ガンマ線の線源範囲は、原子炉建屋の地下 1 階以上^{*1} とし、保守的に各階の二次格納施設の東西南北最大幅をとることとする。スカイシャインガンマ線の線源範囲は、原子炉建屋運転階のみ^{*2} とする。

原子炉建屋は保守的に二次遮蔽及び中央制御室遮蔽を考慮する。二次遮蔽及び中央制御室遮蔽において、評価で考慮する壁及び天井は、公称値からマイナス側許容差（-5 mm）を引いた値とする。

注記 *1: 地下階は外壁厚さが厚く、地面にも遮られるため、十分無視できる。
ただし、原子炉建屋に関しては、中央制御室が隣接するため、保守的に地下1階を考慮する。

*2: 原子炉建屋運転階の床はコンクリート厚さが厚く、下層階からの放射線を十分に遮蔽している。したがって、建屋天井から放射されるガンマ線を線源とするスカイシャインガンマ線の評価では、下層階に存在する放射性物質からの放射線の影響は十分小さいため、線源として無視できる。

直接ガンマ線の線源範囲は、原子炉建屋の地上1階以上*3とし、保守的に各階の管理区域の東西・南北最大幅をとることとする。

中央制御室は中央制御室遮蔽を考慮する。

なお、中央制御室遮蔽及び二次遮蔽は鉄筋コンクリートであるが、評価上コンクリートのみとし、コンクリート密度は東海第二発電所建設時の骨材(砂, 砂利)配合記録より、日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説「原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事(JASS 5N)」に基づき乾燥単位容積質量として評価した 2.0 g/cm^3 とする。また、評価で考慮する壁は、公称値からマイナス側許容差(-5 mm)を引いた値とする。

注記 *3: 地下階は外壁厚さが厚く、地面にも遮られるため、十分無視できる。

(ハ) 評価点

室内作業時の評価点は、線量評価結果が厳しくなる様、線源領域である原子炉建屋原子炉棟に囲まれる図1-13に示す位置とした。

(ニ) 計算機コード

直接ガンマ線については、QAD-CGGP2Rコードを用い、スカイシャインガンマ線は、ANISN及びG33-GP2Rコードを用いる。

(b) 被ばく経路②(クラウドシャインガンマ線)

大気中に放出された放射性物質からのガンマ線による中央制御室内での運転員の外部被ばくは、以下により計算する。

イ. 線量計算

大気中放射性物質からの直接ガンマ線による中央制御室内作業時の実効線量は、以下により評価する。

$$H_{\gamma} = \int_0^T K \cdot D/Q \cdot Q_{\gamma}(t) \cdot F dt$$

ここで、

H_{γ} : 時刻 T までの放射性物質からの直接ガンマ線による外部被ばく (Sv)

- K : 空気カーマから実効線量への換算係数 (1 Sv/Gy)
 D/Q : 相対線量 (Gy/Bq)
 $Q_{\gamma}(t)$: 時刻 t における大気への放射能放出率 (Bq/s)
 (ガンマ線実効エネルギー 0.5 MeV 換算値)
 F : 中央制御室遮蔽厚さにおける減衰率 (－)

(c) 被ばく経路③

中央制御室内へ外気から取り込まれた放射性物質からのガンマ線による外部被ばく及び放射性物質の吸入による内部被ばく線量は以下により評価する。

イ. 中央制御室内の放射性物質濃度計算

(イ) 計算式

中央制御室内の放射性物質濃度の計算に当たっては、以下の式を用いて、中央制御室換気系設備等を考慮した評価を実施する。

$$\frac{d(V \cdot C_i(t))}{dt} = (1 - \eta) \cdot C_i^0(t) \cdot f_1 + C_i^0(t) \cdot f_2 - C_i(t) \cdot (f_1 + f_2 + \eta \cdot F_F) - \lambda_i \cdot V \cdot C_i(t)$$

ここで、

- V : 中央制御室内容積 (m^3)
 $C_i(t)$: 時刻 t における中央制御室内の核種 i の濃度 (Bq/m^3)
 η : チャコールフィルタの除去効率 (－)
 $C_i^0(t)$: 時刻 t における中央制御室換気系給気口での核種 i の濃度 (Bq/m^3)

$$C_i^0(t) = Q_i(t) \cdot \chi / Q$$

- $Q_i(t)$: 時刻 t における大気への核種 i の放出率 (Bq/s)
 χ / Q : 相対濃度 (s/m^3)
 f_1 : 中央制御室への外気取込量 (m^3/s)
 f_2 : 中央制御室への外気インリーク量 (m^3/s)
 F_F : 再循環フィルタを通る流量 (m^3/s)
 λ_i : 核種 i の崩壊定数 (s^{-1})

(ロ) 事故時運転

炉心の著しい損傷が発生した場合においては、全交流動力電源喪失を想定し、電源復旧の時間を考慮し、事故発生から 2 時間後に中央制御室フィルタ系ファンが起動する想定としている。また、外気を取り入れる場合は、事故後運転員による外気取入れモード操作により隔離弁が開き、フィルタを介して外気を取り込む設計となっている。

- (ハ) 中央制御室バウンダリ体積
中央制御室バウンダリ体積は、中央制御室、運転員控室等の中央制御室換気系設備の処理対象となる区画の体積を合計して保守的に 2800 m³ とする。
- (ニ) フィルタ除去効率
- i. 中央制御室換気設備のよう素フィルタの効率は、設計上 97 % 以上期待できるが、評価上保守的に 95 % とする。
 - ii. 中央制御室換気系設備の高性能粒子フィルタの効率は、設計上 99.97 % 以上期待できるが、評価上保守的に 99 % とする。
- (ホ) 中央制御室換気設備フィルタユニットのフィルタ流量
中央制御室非常用給気ファンの起動により、流量は設計上期待できる値として 5100 m³/h とする。
- (ヘ) 空気流入量
中央制御室へのフィルタを通らない空気流入量は、換気率換算で設計上期待できる値として 1.0 回/h とする。

中央制御室内放射性物質濃度評価条件を表 1-7 に示す。

ロ. 線量計算

中央制御室内の放射能濃度により、以下の式を用いて外部被ばく及び内部被ばく線量を計算する。

(イ) 中央制御室内の放射性物質による外部被ばく

中央制御室は、容積が等価な半球状とし、半球の中心に運転員がいるものとする。中央制御室内に取り込まれた放射性物質のガンマ線による実効線量は、次式で計算する。

$$H_{\gamma} = \int_0^T 6.2 \times 10^{-14} \cdot E_{\gamma} \cdot C_{\gamma}(t) \cdot \{1 - e^{-\mu r}\} dt$$

ここで、

H_{γ} : 時刻 T までの放射性物質からのガンマ線による外部被ばく線量 (Sv)

E_{γ} : ガンマ線エネルギー (0.5 MeV)

$C_{\gamma}(t)$: 時刻 t における中央制御室内の放射能濃度 (Bq/m³)

(ガンマ線実効エネルギー 0.5 MeV 換算値)

μ : 空気に対するガンマ線のエネルギー吸収係数 ($3.9 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$)

r : 中央制御室内空間と等価な半球の半径 (m)

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V}{2 \cdot \pi}}$$

- (ロ) 中央制御室内の放射性物質の吸入による内部被ばく
中央制御室内の放射性物質の吸入による内部被ばくは、次式で計算する。

$$H_I = \int_0^T R \cdot H_{\infty} \cdot C_I(t) dt$$

ここで、

H_I : よう素の内部被ばくによる実効線量 (Sv)

R : 呼吸率 (m^3/s)

(成人活動時の呼吸率 $1.2 m^3/h$)

H_{∞} : よう素 (I-131) を 1 Bq 吸入した場合の成人の実効線量
($2.0 \times 10^{-8} Sv/Bq$)

$C_I(t)$: 時刻 t における中央制御室内の放射能濃度 (Bq/m^3)
(I-131 等価量-成人実効線量係数換算)

b. 入退域時の被ばく

(a) 被ばく経路④

入退域時における建屋内の放射性物質からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による外部被ばくの評価方法は、被ばく経路①と同様である。ただし、入退域時は屋外を移動するため、スカイシャインガンマ線の評価には中央制御室遮蔽及び二次遮蔽のガンマ線の遮蔽効果を考慮しない。

(b) 被ばく経路⑤

入退域時における大気中へ放出された放射性物質からのガンマ線による外部被ばく及び放射性物質の吸入による内部被ばくは以下により計算する。

イ. 線量計算

(イ) 放射性物質からのガンマ線による外部被ばく

大気中へ放出された放射性物質からのガンマ線による外部被ばくは、以下により計算する。

$$H_{\gamma} = \int_0^T K \cdot D/Q \cdot Q_{\gamma}(t) dt$$

ここで、

H_{γ} : 時刻 T までの放射性物質からの直接ガンマ線による外部被ばく線量 (Sv)

K : 空気カーマから実効線量への換算係数 (1 Sv/Gy)

D/Q : 相対線量 (Gy/Bq)

$Q_{\gamma}(t)$: 時刻 t における大気への放射能放出率 (Bq/s)
(ガンマ線実効エネルギー 0.5 MeV 換算値)

(ロ) 放射性物質の吸入による内部被ばく

大気中へ放出された放射性物質の吸入による内部被ばくは、次式で計算する。

$$H_I = \int_0^T R \cdot H_\infty \cdot \chi/Q \cdot Q_I(t) dt$$

ここで、

H_I : 時刻 T までの放射性物質の吸入による内部被ばく (Sv)

R : 呼吸率 (m^3/s)

(成人活動時の呼吸率 $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$)

H_∞ : よう素 (I-131) を 1 Bq 吸入した場合の成人の実効線量

($2.0 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$)

χ/Q : 相対濃度 (s/m^3)

$Q_I(t)$: 時刻 t における大気への放射性物質の放出率 (Bq/s)

(I-131 等価量-成人実効線量係数換算)

線量計算条件を表 1-8 に示す。

(8) 線量の合算及び判断基準との比較

被ばく経路ごとの線量を合算し、居住性に係る被ばく評価の判断基準 100 mSv と比較する。

2. 評価条件及び評価結果

炉心の著しい損傷が発生した場合における条件は、「1. 評価方針」に示すとおりであり、大気中への放射性物質の放出過程、中央制御室内の滞在期間及び入退域に要する時間並びに中央制御室換気空調設備の起動時間等の条件を考慮して、以下のとおり線量を評価する。

(1) 大気中への放出量の評価

大気中に放出される放射性物質の量は、審査ガイドに従い設定する。放射性物質の大気放出過程を図 2-1～図 2-4 に示す。放射性物質の大気中への放出量評価に関する条件を表 2-1 に示す。

a. 有効性評価におけるソースターム解析結果

有効性評価におけるソースターム解析結果として、1. (2) 項の想定事象で示した事故シーケンス「過渡事象+高圧炉心冷却失敗+原子炉減圧失敗+炉心損傷後の原子炉減圧失敗 (+DCH)」（全交流動力電源喪失の重畳を考慮）を想定し、格納容器から原子炉建屋への漏えい及び原子炉建屋から大気中への放出を考慮して実施したMAAP解析結果を使用する。表 2-2 に大気中への放出量評価結果を示す。

被ばく評価においては、本評価から得られるMAAP解析結果の、格納容器への放出割合、格納容器から原子炉建屋への漏えい割合及び格納容器圧力逃がし装置への放出割合のトレンドを使用する。

b. よう素の化学形態

よう素の化学形態は、表 2-3 を使用する。

表 2-3 よう素の化学形態

	よう素の化学形態*1
有機よう素	4 %
無機よう素	91 %
粒子状よう素	5 %

注記 *1: R. G. 1.195 “Methods and Assumptions for Evaluating Radiological Consequences of Design Basis Accidents at Light Water Nuclear Power Reactors”

c. 格納容器内での自然沈着

CSE 実験*2に基づき、無機よう素の格納容器内での自然沈着率を 9×10^{-4} (1/s) と設定し、カットオフ DF200 後は自然沈着の効果を見込まない評価とする。本事故シーケンスでは、格納容器内の無機よう素の存在量が 1/200 になる時間は、事故後 4.6 時間となるため、4.6 時間までは自然沈着率 9×10^{-4} (1/s) を適用し、それ以降は無機よう素の自然沈着がないものとして評価する。

注記 *2: R. K. HILLIARD, A. K. POSTMA, J. D. McCORMACK and L. F. COLEMAN, “Removal of iodine and particles by sprays in the containment systems experiment”, Nuclear Technology, Vol. 10, p.499-519, April 1971

d. サプレッション・チェンバのプール水による除去

サプレッション・チェンバのプール水による無機よう素の除染係数は、NUREG-0800*3を参考としてDF=10を仮定する。

注記 *3: NUREG-0800 Standard Review Plan 6.5.5, “Pressure Suppression Pool as a Fission Product Cleanup System”, Rev.1, 3/2007.

(2) 大気拡散の評価

放射性物質の大気拡散評価に関する条件を以下に示す。

- a. 実効放出継続時間は、評価結果が厳しくなるように、全核種1時間とする。
- b. 放出源高さは、事故シーケンスに応じて、非常用ガス処理系排気筒放出時は排気筒高さ、原子炉建屋漏えい時は地上とする。

大気拡散評価条件の詳細について、表2-4に示す。

また、これら条件による相対濃度及び相対線量の評価結果を表2-5に示す。

(3) 線量評価

運転員勤務体系としては、5直2交替とし、被ばく線量が最も厳しくなる運転員の勤務体系を踏まえて、中央制御室の滞在期間及び入退域に要する時間を考慮して評価する。想定する勤務体系を表1-5に示す。

a. 中央制御室内での被ばく

- (a) 被ばく経路① 建屋からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による外部被ばく
直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の評価に使用する線源強度を表1-6に示す。
- (b) 被ばく経路② 大気中に放出された放射性物質からのガンマ線による外部被ばく（クラウドシャインガンマ線）

大気中へ放出される放射性物質を線源として、中央制御室遮蔽厚さ（コンクリート39.5cm）における減衰率を考慮し計算する。減衰率は、QAD-CGGP2Rコードにより計算する。

- (c) 被ばく経路② 大気中に放出された放射性物質からのガンマ線による外部被ばく（グラウンドシャインガンマ線）

大気中へ放出され地表面に沈着した放射性物質からのガンマ線（グラウンドシャイン）による中央制御室内での運転員の実効線量は、評価期間中の大気中への放射性物質の放出量を基に、大気拡散効果、地表沈着効果及び中央制御室遮蔽による減衰効果を考慮して評価する。

イ. 地表面沈着濃度の計算

(イ) 計算式

$$S_o^i(t) = \frac{V_G \cdot \chi / Q \cdot f \cdot Q_i(t)}{\lambda_i} \cdot (1 - e^{-\lambda_i t})$$

ここで、

$S_0^i(t)$: 時刻 t における核種 i の地表面沈着濃度 (Bq/m²)

V_G : 沈着速度 (m/s)

χ/Q : 相対濃度 (s/m³)

f : 沈着した放射性物質のうち残存する割合 (1.0)

$Q_i(t)$: 時刻 t における核種 i の大気への放出率 (Bq/s)

λ_i : 核種 i の崩壊定数 (s⁻¹)

(ロ) 地表面への沈着速度

放射性物質の地表面への沈着評価では、地表面への乾性沈着及び降雨による湿性沈着を考慮して地表面沈着濃度を計算する。地表面への沈着速度の条件を表 2-6 に示す。

沈着速度は、有機よう素は NRPB-R322*1 を参考として 0.001 cm/s、有機よう素以外は NUREG/CR-4551*2 を参考として 0.3 cm/s と設定し、湿性沈着を考慮した沈着速度は、線量目標値評価指針の記載 (降水時における沈着率は乾燥時の 2~3 倍大きい値となる。)を参考に、保守的に乾性沈着速度の 4 倍として、有機よう素は 0.004 cm/s、有機よう素以外は 1.2 cm/s を設定する。

注記 *1 : NRPB-R322-Atmospheric Dispersion Modelling Liaison Committee Annual Report, 1998-99

*2 : J.L. Sprung 等 : Evaluation of severe accident risks: quantification of major input parameters, NUREG/CR-4551 Vol.2 Rev.1 Part 7, 1990

ロ. 線量計算

(イ) 線源強度

炉心の著しい損傷が発生した場合に、大気中へ放出され建屋屋上に沈着した放射性物質を線源とし、線源は建屋屋上に均一分布しているものとする。

なお、評価に使用する積算線源強度は表 2-7 に示す。

(ロ) 幾何条件

グランドシャイン評価モデルを図 2-5 に示す。グランドシャインの線源は、中央制御室と隣接建屋の屋上に沈着した放射性物質である。この線源の大きさは 800 m×800 m* とする。なお、地表面の線源は、建屋の床・天井・壁で遮蔽され影響は小さいが、屋上面に線源が存在するものとして取り扱う。

中央制御室遮蔽で考慮する天井及び壁は、公称値からマイナス側許容差 (-5 mm) を引いた値とする。

(ハ) 評価点

評価点は、遮蔽効果が小さく線源からの距離が近い位置として、線量が最も厳しくなる天井の線源の影響が最大となり、かつ同一フロアの線源に最も近接する位置とする。

(二) 計算コード

グラントシャインは、QAD-CGGP2Rコードを用い評価する。

(d) 被ばく経路③ 外気から室内に取り込まれた放射性物質による被ばく

評価期間中に大気中へ放出された放射性物質の一部は、外気から中央制御室内に取り込まれる。中央制御室内に取り込まれた希ガスのガンマ線による外部被ばく及びよう素の吸入摂取による内部被ばくの和として実効線量を評価する。

中央制御室内の放射性物質濃度の計算に当たっては、以下に示す中央制御室換気系設備等の効果を考慮して評価を実施する。中央制御室換気系設備等条件を表 2-8 に示す。

イ. 中央制御室非常用給気ファンの起動時間については、全交流電力電源喪失及び電源回復操作並びに現場での手動によるダンパ開操作を想定した起動遅れ(事故発生後 120 分)を考慮し、流量 3400 m³/h の中央制御室非常用給気ファンの起動を想定する。

ロ. 炉心損傷が予測される状態となった場合又は炉心損傷の徴候が見られた場合は、全面マスク等を着用するため、一部の期間についてマスク着用しているものとして評価する。このとき、マスクの除染係数は 50 とする。

b. 入退域時の被ばく

(a) 被ばく経路④ 建屋からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による外部被ばく
直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の評価に使用する線源強度を表 2-9 に示す。

(b) 被ばく経路⑤ 大気中に放出された放射性物質からのガンマ線による外部被ばく(グラントシャインガンマ線)

入退域時における大気中へ放出され地表面に沈着した放射性物質からのガンマ線(グラントシャイン)による外部被ばくの評価方法は、被ばく経路②と同様であるが、入退域時は中央制御室遮蔽外を移動するため、中央制御室遮蔽を含めた建屋壁のガンマ線の遮蔽効果は考慮しない。異なる条件を以下に示す。

① 大気中へ放出され地表面に沈着した放射性物質を線源とし、線源は地表面に均一分布しているものとする。

なお、評価に使用する積算線源強度は表 2-10 に示す。

② 各建屋によるグラントシャインの遮蔽効果を期待しない。

③ 評価点は図 2-6 に示す線源領域の中心上とする。

注記 * : JAEA-Technology 2011-026 「汚染土壌の除染領域と線量低減効果の検討」において評価対象から 400 m 離れた位置の線源が及ぼす影響度は 1 %以下である。これより、評価点から片側 400 m まで線源領域とし、グラントシャインを面線源からの被ばくと想定する場合は、全体の線源領域として 800 m×800 m を設定した。

(4) 被ばく評価結果

炉心の著しい損傷が発生した場合にブローアウトパネルの開放を考慮し、炉心損傷時及びブローアウトパネル開放時に中央制御室に滞在する場合(A班)における中央制御室の居住性に

係る被ばく評価結果を表 2-11 に示す。

この結果、炉心の著しい損傷が発生した場合の中央制御室の運転員に及ぼす実効線量は、ブローアウトパネル閉止装置の開放を考慮した場合で約 31 mSv であり、ブローアウトパネル閉止装置の開放を考慮しない場合の約 28 mSv に対して有意な上昇はない。また、実効線量への寄与としては、室内に外気から取り込まれた放射性物質による被ばくのうち内部被ばくの影響が大きく、大気中へ放出された放射性物質による実効線量への影響は軽微である。

さらに、居住性評価の対象ケース（大破断 L O C A）の評価結果に包絡されており、本評価では、保守的に 1 時間の開放を仮定しているが、実際の再閉止操作時間は速やかに実施可能なため、中央制御室の運転員に及ぼす実効線量はさらに緩和されることから、ブローアウトパネル閉止装置が開放した場合においても、速やかに閉止操作を行うことで、中央制御室の居住性への影響は軽減できる。

表 1-1 評価事象に係る条件

項目	評価条件	選定理由	備考
事故の評価期間	事故後 7 日間	解釈に基づき評価期間を設定	解釈 1 b) ④ 判断基準は、運転員の実効線量が 7 日間で 100 mSv を超えないこと。
評価事象	過渡事象時に高圧炉心冷却及び低圧炉心冷却失敗に失敗する事故 全交流電力電源喪失を考慮する。	起因事象としてブローアウトパネルが開放する主蒸気管破断を含む事故シーケンスとして選定	ブローアウトパネル閉止装置の開放影響を評価するため。

表 1-2 炉心内蓄積量計算条件

項目	評価条件	選定理由	備考
炉心熱出力	3293 MWt	定格値	審査ガイド 4.3.(1)a. 原子炉格納容器内への放射性物質の放出割合は、4.1.(2)a で選定した事故シーケンスのソースターム解析結果を基に設定する。
運転時間	1 サイクル：10000 h 2 サイクル：20000 h 3 サイクル：30000 h 4 サイクル：40000 h 5 サイクル：50000 h	1 サイクル 13 ヶ月（395 日）を考慮して、燃料の最高取出燃焼度に余裕を持たせ長めに設定	—
取替炉心の燃料装荷割合	1 サイクル：0.229 2 サイクル：0.229 3 サイクル：0.229 4 サイクル：0.229 5 サイクル：0.084	取替炉心の燃料装荷割合に基づき設定	—

表 1-3 炉心内蓄積量

核種グループ	炉内蓄積量 (Bq) (gross 値)
希ガス類	約 2.2×10^{19}
よう素類	約 2.8×10^{19}
C s OH類	約 1.1×10^{18}
S b 類	約 1.3×10^{18}
T e O ₂ 類	約 6.7×10^{18}
S r O類	約 1.2×10^{19}
B a O類	約 1.2×10^{19}
M o O ₂ 類	約 2.4×10^{19}
C e O ₂ 類	約 7.4×10^{19}
L a ₂ O ₃ 類	約 5.5×10^{19}

表 1-4 大気拡散評価条件 (1/6)

項目	評価条件	選定理由	備考
<p>大気拡散 評価 モデル</p>	<p>ガウスプルームモデル</p>	<p>気象指針を参考として、放射線雲は風下に直線的に流され、放射線雲の軸のまわりに正規分布に拡がっていくと仮定するガウスプルームモデルを適用</p>	<p>被ばく評価手法 (内規) 5.1.1(1)a)1) 放射性物質の空气中濃度は、放出源高さ、風向、風速、大気安定度に応じて、空間濃度分布が水平方向、鉛直方向ともに正規分布になると仮定した次のガウスプルームモデルを適用して計算する。</p> <p>審査ガイド 4.2(2)a. ・放射性物質の空气中濃度は、放出原高さ及び気象条件に応じて、空間濃度分布が水平方向及び鉛直方向ともに正規分布になると仮定したガウスプルームモデルを適用して計算する。</p>
<p>気象資料</p>	<p>東海第二発電所における1年間の気象資料 (2005.4~2006.3) (地上風を代表する標高 18 m 及び排気筒付近を代表する標高 148 m の気象データ)</p>	<p>建屋影響を受ける大気拡散評価を行う場合は保守的に地上 (標高 18 m) の気象データを使用 非常用ガス処理系排気筒からの放出の場合は、建屋影響を受けないため標高 148 m の気象データを使用 過去 10 年間の気象状態と比較して異常がなく、気象データの代表性が確認された 2005 年 4 月~2006 年 3 月の 1 年間の気象データを使用</p>	<p>被ばく評価手法 (内規) 5.1.1(1)c) 風向、風速、大気安定度の観測項目を、現地において少なくとも 1 年間観測して得られた気象資料を拡散式に用いる。</p> <p>5.1.1(2)d) 建屋影響は、放出源高さから地上高さに渡る気象条件の影響を受けるため、地上高さに相当する比較的 低風速の気象データ (地上 10m 高さで測定) を採用するのは保守的かつ適切である。</p> <p>審査ガイド 4.2(2)a. ・風向、風速、大気安定度及び降雨の観測項目を、現地において少なくとも 1 年間観測して得られた気象資料を大気拡散式に用いる。</p>

表 1-4 大気拡散評価条件 (2/6)

項目	評価条件	選定理由	備考
累積出現頻度	小さい方から 97 %	気象指針を参考として、年間の相対濃度又は相対線量を昇順に並べ替え、累積出現頻度が 97 %に当たる値を設定	<p>被ばく評価手法 (内規) 5.2.1(2) 評価・の相対濃度は、毎時刻の相対濃度を年間について小さい方から累積した場合、その累積出現頻度が 97 %に当たる相対濃度とする。</p> <p>審査ガイド 4.2(2)c. ・評価点の相対濃度又は相対線量は、毎時刻の相対濃度又は相対線量を年間について小さい方から累積した場合、その累積出現頻度が 97 %に当たる値とする。</p>
建屋影響	考慮する	放出点から近距離の建屋の影響を受けるため、建屋による巻き込み現象を考慮	<p>被ばく評価手法 (内規) 5.1.2(1)a) 中央制御室のように、事故時の放射性物質の放出点から比較的近距離の場所では、建屋の風下側における巻き込みによる影響が顕著となると考えられる。そのため、放出点と巻き込みを生じる建屋及び評価点との位置関係によっては、建屋の影響を考慮して大気拡散の計算をする必要がある。</p> <p>審査ガイド 4.2(2)a. ・原子炉制御室/緊急時制御室/緊急時対策所の居住性評価で特徴的な放出点から近距離の建屋影響を受ける場合には、建屋による巻き込み現象を考慮した大気拡散によるパラメータを用いる。</p>

表 1-4 大気拡散評価条件 (3/6)

項目	評価条件	選 定 理 由	備 考													
<p>巻き込みを生じる代表建屋</p>	<p>原子炉建屋</p>	<p>放出源から最も近く、巻き込みの影響が最も大きいと考えられる一つの建屋として選定 また、建屋投影面積が小さい方が保守的な結果を与えるため、単独建屋として設定</p>	<p>被ばく評価手法 (内規) 5.1.2(3)a)3) 巻き込みを生じる代表的な建屋として、表 5.1 に示す建屋を選定することは適切である。</p> <p>表 5.1 放射性物質の巻き込み対象とする代表建屋の選定例</p> <table border="1" data-bbox="1129 712 1436 1915"> <tr> <td data-bbox="1129 712 1193 891">原子炉施設</td> <td data-bbox="1193 712 1268 891">想定事故</td> <td data-bbox="1268 712 1436 891">建屋の種類</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1129 891 1193 1258" rowspan="2">BWR型原子炉施設</td> <td data-bbox="1193 891 1268 1041">原子炉冷却材喪失</td> <td data-bbox="1268 891 1436 1041">原子炉建屋 (建屋影響がある場合)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1193 1041 1268 1258">主蒸気管破断</td> <td data-bbox="1268 1041 1436 1258">原子炉他建屋又はタービン建屋 (結果が厳しい方で代表)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1129 1258 1193 1585" rowspan="2">PWR型原子炉施設</td> <td data-bbox="1193 1258 1268 1585">原子炉冷却材喪失</td> <td data-bbox="1268 1258 1436 1585">原子炉格納容器 (原子炉格納施設) 原子炉格納容器 (原子炉格納施設) 及び原子炉建屋</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1193 1585 1268 1915">蒸気発生器伝熱管破損</td> <td data-bbox="1268 1585 1436 1915">原子炉格納容器 (原子炉格納施設) 原子炉格納容器 (原子炉格納施設) 及び原子炉建屋</td> </tr> </table> <p>審査ガイド 4.2(2)b. ・巻き込みを生じる代</p>	原子炉施設	想定事故	建屋の種類	BWR型原子炉施設	原子炉冷却材喪失	原子炉建屋 (建屋影響がある場合)	主蒸気管破断	原子炉他建屋又はタービン建屋 (結果が厳しい方で代表)	PWR型原子炉施設	原子炉冷却材喪失	原子炉格納容器 (原子炉格納施設) 原子炉格納容器 (原子炉格納施設) 及び原子炉建屋	蒸気発生器伝熱管破損	原子炉格納容器 (原子炉格納施設) 原子炉格納容器 (原子炉格納施設) 及び原子炉建屋
			原子炉施設	想定事故	建屋の種類											
BWR型原子炉施設	原子炉冷却材喪失	原子炉建屋 (建屋影響がある場合)														
	主蒸気管破断	原子炉他建屋又はタービン建屋 (結果が厳しい方で代表)														
PWR型原子炉施設	原子炉冷却材喪失	原子炉格納容器 (原子炉格納施設) 原子炉格納容器 (原子炉格納施設) 及び原子炉建屋														
	蒸気発生器伝熱管破損	原子炉格納容器 (原子炉格納施設) 原子炉格納容器 (原子炉格納施設) 及び原子炉建屋														

			<p>表建屋</p> <p>2) 巻き込みを生じる建屋として、原子炉格納容器、原子炉建屋、原子炉補助建屋、タービン建屋、コントロール建屋及び燃料取扱い建屋等、原則として放出源の近隣に存在する全ての建屋が対象となるが、巻き込みの影響が最も大きいと考えられる一つの建屋を代表建屋とすることは、保守的な結果を与える。</p>
--	--	--	---

表 1-4 大気拡散評価条件 (4/6)

項目	評価条件	選定理由	備考
<p>放射性物質濃度の評価点</p>	<p>【中央制御室内】 中央制御室中心</p> <p>【入退域時】 建屋入口</p>	<p>【中央制御室内】 換気設備により外気間欠取入れ運転を前提とするが、フィルタを通らない空気が直接室内へ流入すると設定 評価期間中はフィルタを通らない空気が直接室内へ流入することを前提とするため、中央制御室が属する建屋の屋上面を代表面として選定し、建屋の巻き込みの影響を受ける場合には、中央制御室の属する建屋表面での濃度は風下距離の依存性は小さくほぼ一様であるので、中央制御室中心を代表点として設定</p> <p>【入退域時】 入退域時の移動経路に従った適切な評価点を設定</p>	<p>被ばく評価手法 (内規) 【中央制御室内】 5.1.2(3)b)3) i) 建屋の巻き込みの影響を受ける場合には、中央制御室の属する建屋表面での濃度は風下距離の依存性は小さくほぼ一様と考えられるので、評価点は厳密に定める必要はない。屋上面を代表とする場合、例えば中央制御室の中心を評価点とするのは妥当である。</p> <p>【入退域時】 7.5.1(5)b) 入退域時の移動経路及び入退域に要する時間をプラントごとに計算し、移動経路に従った適切な評価点及び滞在時間を設定する。この場合、移動に伴って、複数の評価点を設定してもよい。</p> <p>審査ガイド 【中央制御室内】 4.2(2)b. 点放射性物質濃度の評価点 3) i) 建屋の巻き込みの影響を受ける場合には、原子炉制御室／緊急時制御室／緊急時対策所の属する建屋表面での濃度は風下距離の依存性は小さくほぼ一様と考えられるので、評価点は厳密に定める必要はない。</p> <p>【入退域時】 —</p>

表 1-4 大気拡散評価条件 (5/6)

項目	評価条件	選定理由	備考
着目方位	<p>原子炉建屋漏えい 中央制御室 S, SSW, SW, WSW, W, WNW, NW, N NW, N (9 方位) 建屋入口 S, SSW, SW, WSW, W, WNW, NW , NNW, N (9 方位)</p> <p>非常用ガス処理系排気筒 からの放出 中央制御室 W (1 方位) 建屋入口 W (1 方位)</p>	<p>原子炉建屋の建屋後流での巻き込みが生じる条件としては、放出点と巻き込みが生じる建屋及び評価点との位置関係について、次に示す条件すべてに該当した場合、放出点から放出された放射性物質は建屋の風下側で巻き込みの影響を受け拡散し、評価点に到達するものとする。</p> <p>(a) 放出源の高さが建屋の高さの 2.5 倍に満たない場合</p> <p>(b) 放出源と評価点を結んだ直線と平行で放出源を風上とした風向について、放出源の位置が風向と建屋の投影形状に応じて定まる一定の範囲の中にある場合</p> <p>(c) 評価点が巻き込みを生じる建屋の風下側にある場合</p> <p>建屋風下側の巻き込みによる拡がりを考慮し、以下の i)～iii)の条件に該当する方位を選定し、建屋の後流側の拡がりの影響が評価点に及ぶ可能性のある複数の方位を選定</p> <p>i) 放出点が評価点の風上にあること</p> <p>ii) 放出点から放出された放射性物質が、建屋の風下側に巻き込まれるような範囲に放出点が存在すること</p> <p>iii) 建屋の風下側で巻き込まれた大気が評価点に到達すること</p>	<p>被ばく評価手法 (内規) 5.1.2(3)c)1) 中央制御室の被ばく評価の計算では、代表建屋の風下後流側での広範囲に及ぶ乱流混合域が顕著であることから、放射性物質濃度を計算する当該着目方位としては、放出源と評価点とを結ぶラインが含まれる 1 方位のみを対象とするのではなく、図 5.4 に示すように、代表建屋の後流側の拡がりの影響が評価点に及ぶ可能性のある複数の方位を対象とする。</p> <p>審査ガイド 4.2(2)a. 原子炉制御室/緊急時制御室/緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価では、建屋の風下後流側での広範囲に及ぶ乱流混合域が顕著であることから、放射性物質濃度を計算する当該着目方位としては、放出源と評価点とを結ぶラインが含まれる 1 方位のみを対象とするのではなく、図 5 に示すように、建屋の後流側の拡がりの影響が評価点に及ぶ可能性のある複数の方位を対象とする。</p>

表 1-4 大気拡散評価条件 (6/6)

項目	評価条件	選定理由	備考
建屋投影面積	3000 m ³	建屋投影面積は小さい方が厳しい結果となるため、対象となる複数の方位の投影面積の中で最小面積（原子炉建屋，短手方向）となる南（北）方向の断面積を切り下げた数値を全ての方位の計算の入力として共通に適用する。	<p>被ばく評価手法（内規） 5.1.2(3)d)1) 図 5.9 に示すとおり，風向に垂直な代表建屋の投影面積を求め，放射性物質の濃度を求めるために大気拡散の入力とする。</p> <p>審査ガイド 4.2(2)b. ・建屋投影面積 1) 図 10 に示すとおり，風向に垂直な代表建屋の投影面積を求め，放射性物質の濃度を求めるために大気拡散の入力とする。</p>
形状係数	1/2	気象指針を参考として設定	<p>被ばく評価手法（内規） 5.1.1(2)d) 形状係数 c の値は，特に根拠が示されるもののほかは原則として 1/2 を用いる。</p> <p>審査ガイド —</p>

表 1-5 運転員交替考慮条件（炉心の著しい損傷が発生した場合）

	中央制御室の滞在時間
1 直	8:00～21:45
2 直	21:30～8:15

	1 日目	2 日目	3 日目	4 日目	5 日目	6 日目	7 日目
A 班*	1 直						
B 班			1 直	1 直		2 直	2 直
C 班	2 直				1 直	1 直	
D 班		2 直	2 直				1 直
E 班*		1 直		2 直	2 直		

注記 *：被ばくの平均化のため，事故直後に中央制御室に滞在している班（A班）に代わり，2 日目以降は日勤勤務の班（E班）が滞在するものとする。

イベント		▽炉心損傷発生						
		▽ブローアウトパネル閉止装置開放						
		▽ブローアウトパネル閉止装置再閉止						
経過時間 (h)		0	2					
時刻		8:00	10:00	10:20	21:30	3:00	8:00	21:30
1直		A 班				E 班		
2直			C 班					D 班

表 1-6 直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線評価用線源強度（室内作業時）

群	エネルギー (MeV)	ガンマ線積算線源強度(-) (A班滞在時:事象発生直後~13.75h)	
		ブローアウトパネル閉止装置 開放なし	ブローアウトパネル閉止装置 開放あり (事象発生2時間後から20分間開放)
1	0.01	約2.9E+18	約2.8E+18
2	0.02	約3.2E+18	約3.1E+18
3	0.03	約3.6E+18	約3.5E+18
4	0.045	約4.7E+19	約4.5E+19
5	0.06	約1.7E+17	約1.7E+17
6	0.07	約1.2E+17	約1.1E+17
7	0.075	約6.6E+18	約6.4E+18
8	0.1	約3.3E+19	約3.2E+19
9	0.15	約1.3E+17	約1.2E+17
10	0.2	約2.0E+19	約2.0E+19
11	0.3	約4.0E+19	約3.9E+19
12	0.4	約2.5E+18	約2.3E+18
13	0.45	約1.3E+18	約1.2E+18
14	0.51	約4.1E+18	約3.8E+18
15	0.512	約1.4E+17	約1.3E+17
16	0.6	約6.0E+18	約5.6E+18
17	0.7	約6.8E+18	約6.4E+18
18	0.8	約1.9E+18	約1.8E+18
19	1.0	約3.9E+18	約3.5E+18
20	1.33	約2.0E+18	約1.8E+18
21	1.34	約6.1E+16	約5.6E+16
22	1.5	約9.8E+17	約8.9E+17
23	1.66	約3.8E+17	約3.5E+17
24	2.0	約8.1E+17	約7.4E+17
25	2.5	約2.8E+18	約2.7E+18
26	3.0	約8.4E+16	約7.7E+16
27	3.5	約9.7E+14	約8.6E+14
28	4.0	約9.7E+14	約8.6E+14
29	4.5	約1.8E+01	約1.8E+01
30	5.0	約1.8E+01	約1.8E+01
31	5.5	約1.8E+01	約1.8E+01
32	6.0	約1.8E+01	約1.8E+01
33	6.5	約2.1E+00	約2.1E+00
34	7.0	約2.1E+00	約2.1E+00
35	7.5	約2.1E+00	約2.1E+00
36	8.0	約2.1E+00	約2.1E+00
37	10.0	約6.4E-01	約6.4E-01
38	12.0	約3.2E-01	約3.2E-01
39	14.0	約0.0E+00	約0.0E+00
40	20.0	約0.0E+00	約0.0E+00
41	30.0	約0.0E+00	約0.0E+00
42	50.0	約0.0E+00	約0.0E+00

注 : 被ばく評価上最も厳しいA班における線源強度（炉心損傷時及びブローアウトパネル開放時に中央制御室に滞在）

表 1-7 中央制御室内放射性物質濃度評価条件 (1/3)

項目	評価条件	選 定 理 由	備 考
<p>事故時におけるフィルタを通した外気取り込み</p>	<p>[非常時運転モード] 外気間欠取入 (27 時間隔離, 3 時間取入)</p> <p>[外気取り込み量] (通常時) 3400m³/h (事故時) 3400m³/h</p> <p>[非常時運転モードへの切り替え時間] 事故後 2 時間</p>	<p>事故後, 中央制御室換気系設備による外気間欠取入れを前提とし, さらに換気設備を通らずに直接室内に流入することを考慮する。</p>	<p>被ばく評価手法 (内規) 7.3.2(1) 建屋の表面空気中から, 次の a) 及び b) の経路で放射性物質が外気から取り込まれることを想定する。 a) 中央制御室の非常用換気空調によって室内に取り入れること b) 中央制御室内に直接, 流入すること</p> <p>審査ガイド 4.2(2)e. ・原子炉制御室/緊急時制御室/緊急時対策所の建屋の表面空気中から, 次の二つの経路で放射性物質が外気から取り込まれることを仮する。 一) 原子炉制御室/緊急時制御室/緊急時対策所の非常用換気空調設備によって室内に取り込まれること (外気取入) 二) 原子炉制御室/緊急時制御室/緊急時対策所内に直接流入すること (空気流入)</p>
<p>中央制御室 バウンダリ 体積</p>	<p>2800 m³</p>	<p>中央制御室, 運転員控室等の中央制御室換気空調設備の処理対象となる区画の体積を合計して保守的に大きめに設定 (図 1-14, 15 参照)</p>	<p>被ばく評価手法 (内規) 7.3.2(7)a) 中央制御室内への取り込み空気放射能濃度に基づき, 空調システムの設計に従って中央制御室内の放射能濃度を求める。</p> <p>審査ガイド 4.2(2)e. ・原子炉制御室/緊急時制御室/緊急時対策所内に取り込まれる放射性物質の空気流入量は, 空気流入率及び原子炉制御室/緊急時制御/緊急時対策所バウンダリ体積 (容積) を用いて計算する。</p>

表 1-7 中央制御室内放射性物質濃度評価条件 (2/3)

項目	評価条件	選定理由	備考
外部ガンマ線による全身に対する線量評価時の自由体積	2800 m ³	保守的に中央制御室バウンダリ体積を設定	被ばく評価手法 (内規) 7.3.4(3)b) ガンマ線による被ばくの計算では、中央制御室と異なる階層部分のエンベロープについて、階層間の天井等による遮へいがあるので、中央制御室の容積から除外してもよい。 審査ガイド 4.2(2)e. ・原子炉制御室/緊急時制御室/緊急時対策所内に取り込まれる放射性物質の空気流入量は、空気流入率及び原子炉制御室/緊急時制御室/緊急時対策所バウンダリ体積 (容積) を用いて計算する。
中央制御室換気系チャコールフィルタによる除去効率	[炉心の著しい損傷が発生した場合] 95 %	設計値 (97 %以上) に余裕を見込んだ値として設定	審査ガイド 4.2(1)a. よう素類及びエアロゾルのフィルタ効率は、使用条件での設計値を基に設定する。 なお、フィルタ効率の設定に際しては、ヨウ素類の性状を適切に考慮すう。
中央制御室換気系高性能粒子フィルタによる除去効率	[炉心の著しい損傷が発生した場合] 99 %	設計値 (99.97 %以上) に余裕を見込んだ値として設定	
中央制御室換気設備フィルタユニットのフィルタ流量	5100 m ³ /h	設計上期待できる値を設定	被ばく評価手法 (内規) 7.3.2(7)a) 中央制御室内への取り込み空気放射能濃度に基づき、空調システムの設計に従って中央制御室内の放射能濃度を求める。 審査ガイド 4.2(2)e. ・原子炉制御室/緊急時制御室/緊急時対策所内への外気取入による放射性物質の取り込みについては、非常用換気空調設備の設計及び転条件に従って計算する。

表 1-7 中央制御室内放射性物質濃度評価条件 (3/3)

項目	評価条件	選定理由	備考
空気流入率	1.0 回/h	設計上期待できる値を設定	被ばく評価手法 (内規) 7.3 (1) なお, 中央制御室の空気流入率については, 「原子力発電所の中央制御室の空気流入率測定試験手法」に従うこと。 審査ガイド 4.2(2)e. 既設の場合では, 空気流入率は, 気流入率測定試験結果を基に設定する。

表 1-8 線量計算条件

項目	評価条件	選定理由	備考
線量換算係数	成人実効線量換算係数を使用 (主な核種を以下に示す) I-131 : 2.0×10^{-8} Sv/Bq I-132 : 3.1×10^{-10} Sv/Bq I-133 : 4.0×10^{-9} Sv/Bq I-134 : 1.5×10^{-10} Sv/Bq I-135 : 9.2×10^{-10} Sv/Bq Cs-134 : 9.2×10^{-10} Sv/Bq Cs-134 : 9.2×10^{-10} Sv/Bq Cs-134 : 9.2×10^{-10} Sv/Bq 上記以外の核種は ICRP Pub. 71, 72 に基づく	ICRP Publication 71, 72 に基づく	—
呼吸率	1.2 m ³ /h	成人活動時の呼吸率を設定 ICRP Publication 71 に基づく	被ばく評価手法 (内規) 7.3.3(4) 吸入摂取による運転員の内部被ばく線量は, 次のとおり計算する。 $H_I = \int_0^T R \cdot H_\infty \cdot C_I(t) dt$ H_I : よう素の吸入摂取の内部被ばくによる実効線量 (Sv) R : 呼吸率 (成人活動時) (m ³ /s) H_∞ : よう素 (I-131) 吸入摂取時の成人の実効線量への換算係数 (Sv/Bq) $C_I(t)$: 時刻 t における中央制御室内の放射能濃度 (I-131 等価量) (Bq/m ³) T : 計算期間 (30 日間) (S)

表 2-1 大気中への放出量評価条件 (1/4)

項目	評価条件	選定理由	審査ガイドの記載
評価事象	「過渡事象+高圧炉心冷却失敗+原子炉減圧失敗+炉心損傷後の原子炉減圧失敗(+DCH)」(全交流電力電源喪失の重畳を考慮)	起因事象としてブローアウトパネルが開放する主蒸気管破断を含む事故シーケンスとして選定	ブローアウトパネル閉止装置の開放影響を評価するため
炉心熱出力	3293 MW	定格熱出力	—
運転時間	1 サイクルあたり 10000 時間 (約 416 日)	1 サイクル 13 ヶ月 (395 日) を考慮して設定	—
取替炉心の装荷割合	1 サイクル : 0.229 2 サイクル : 0.229 3 サイクル : 0.229 4 サイクル : 0.229 5 サイクル : 0.084	取替燃料炉心の燃料装荷割合に基づき設定	
炉心内蔵量	希ガス類 : 2.2×10^{19} Bq CsI 類 : 2.9×10^{19} Bq CsOH 類 : 1.2×10^{18} Bq Sb 類 : 1.3×10^{18} Bq TeO ₂ 類 : 6.8×10^{18} Bq SrO 類 : 1.3×10^{19} Bq BaO 類 : 1.2×10^{19} Bq MoO ₂ 類 : 2.5×10^{19} Bq CeO ₂ 類 : 7.5×10^{19} Bq La ₂ O ₃ 類 : 5.5×10^{19} Bq (核種毎の炉心内蓄積量を核種グループ毎に集約して記載)	「単位熱出力当たりの炉心内蓄積量 (Bq/MW)」×「3293 MW (定格熱出力)」 (単位熱出力当たりの炉心蓄積量 (Bq/MW) は、BWR 共通条件として、東海第二と同じ装荷燃料 (9×9 燃料 (A 型))、運転時間 (10000 時間) で算出した ABWR のサイクル末期の値を使用)	4.3. (1)a. 希ガス類, ヨウ素類, Cs 類, Te 類, Ba 類, Ru 類, Ce 類及び La 類を考慮する。
放出開始時間	事故発生直後	MAAP 解析結果	4.3. (4)a. 放射性物質の大気中への放出開始時刻及び放出継続時間は、4.1(2)a. で選定した事故シーケンスのソースターム解析結果を基に設定する。

表 2-1 大気中への放出量評価条件 (2/4)

項目	評価条件	選定理由	審査ガイドの記載
格納容器内 pH制御の効果	考慮しない	格納容器内 pH制御設備は、重大事故等対処設備と位置付けていないため、保守的に設定	4.3(1)a. 原子炉格納容器への放出割合の設定に際し、ヨウ素の性状を適切に考慮する。
よう素の形態	粒子状よう素：5 % 無機よう素：91 % 有機よう素：4 %	R. G. 1. 195*1 に基づき設定	4.3(1)a. 原子炉格納容器への放出割合の設定に際し、ヨウ素類の性状を適切に考慮する。
格納容器から原子炉建屋への漏えい率 (希ガス, エアロゾル及び有機よう素)	1Pd 以下： 0.9Pd で 0.5 %/日 1Pd 超過： 2Pd で 1.3 %/日	MAAP 解析にて格納容器の開口面積を設定し格納容器圧力に応じ漏えい率が変化するものとし、格納容器の設計漏えい率 (0.9pd で 0.5 %/日) 及び AEC の式等に基づき設定	4.3(1)e. 原子炉格納容器漏えい率は、4.1(2)a. で選定した事故シーケンスの事故進展解析結果を基に設定する。
格納容器から原子炉建屋への漏えい率 (無機よう素)	5.5h 後～10h 後： 1.3 %/日 上記以外の時間： 0.5 %/日	格納容器の設計漏えい率及び AEC の式等に基づき設定 (格納容器圧力が 0.9Pd を超える期間を包絡するように 1.3 %/日の漏えい率を設定)	
格納容器内での除去効果 (エアロゾル)	MAAP 解析に基づく (沈着, サプレッション・プールでのスクラビング及びドライウェルスプレイ)	MAAP の FP 挙動モデル	4.3(3)c. 原子炉格納容器スプレイの作動については、4.1(2)a. で選定した事故シーケンスの事故進展解析条件を基に設定する。 4.3(3)d. 原子炉格納容器内の自然沈着率については、実験等から得られた適切なモデルを基に設定する。
格納容器内での除去効果 (有機よう素)	考慮しない	保守的に設定	—
格納容器内での除去効果 (無機よう素)	自然沈着率： 9×10^{-4} (1/s) (格納容器内の最大存在量から 1/200 まで)	CSE 実験及び Standard Review Plan 6.5.2*2 に基づき設定	4.3(3)d. 原子炉格納容器内の自然沈着率については、実験等から得られた適切なモデルを基に設定する。
	サプレッション・プールのスクラビングによる除去効果：10	Standard Review Plan 6.5.5*3 に基づき設定	—

表 2-1 大気中への放出量評価条件 (3/4)

項目	評価条件	選定理由	審査ガイドの記載
格納容器から原子炉建屋への漏えい割合	希ガス類 : 4.3×10^{-3} CsI類 : 6.3×10^{-5} CsOH類 : 3.2×10^{-5} Sb類 : 6.8×10^{-6} TeO ₂ 類 : 6.8×10^{-6} SrO類 : 2.7×10^{-6} BaO類 : 2.7×10^{-6} MoO ₂ 類 : 3.4×10^{-7} CeO ₂ 類 : 6.8×10^{-8} La ₂ O ₃ 類 : 2.7×10^{-8}	MAAP解析結果及び NUREG-1465*4の知見に基づき設定	—
原子炉建屋から大気への漏えい率(非常用ガス処理系及び非常用ガス再循環系の起動前)	無限大/日(地上放出) (格納容器から原子炉建屋へ漏えいした放射性物質は、即座に大気へ漏えいするものとして評価)	保守的に設定	—
原子炉建屋から大気への放出率(非常用ガス処理系及び非常用ガス再循環系の起動後)	1回/日(排気筒放出)	設計値に基づき設定 (非常用ガス処理系のファン容量)	4.3(3)a. 非常用ガス処理系(BWR)又はアニュラス空気浄化設備(PWR)の作動については、4.1(2)a.で選定した事故シーケンスの事故進展解析条件を基に設定する。
非常用ガス処理系及び非常用ガス再循環系の起動時間	ブローアウトパネル閉止装置の開放を仮定する場合： 事故発生から2時間20分 ブローアウトパネル閉止装置の開放を仮定しない場合： 事故発生から2時間	起動操作時間(115分)＋負圧達成時間(5分)(起動に伴い原子炉建屋は負圧になるが、保守的に負圧達成時間として5分を想定) ブローアウトパネル閉止装置開放時には再開止までの時間として20分を考慮*5	4.3(3)b. ヨウ素類及びエアロゾルのフィルタ効率は、使用条件での設計値を基に設定する。なお、フィルタ効率の設定に際し、ヨウ素類の性状を適切に考慮する。
非常用ガス処理系及び非常用ガス再循環系のフィルタ除去効率	考慮しない	保守的に設定	4.3(3)b. ヨウ素類及びエアロゾルのフィルタ効率は、使用条件での設計値を基に設定する。なお、フィルタ効率の設定に際し、ヨウ素類の性状を適切に考慮する。
ブローアウトパネルの開閉状態	開状態	原子炉建屋の急激な圧力上昇等によるブローアウトパネルの開放を考慮	—

表 2-1 大気中への放出量評価条件 (4/4)

項目	評価条件	選定理由	審査ガイドの記載
事故の評価期間	7日間	審査ガイドに示す7日間における運転員の実効線量を評価する観点から設定	3. (解釈) 第74条 (原子炉制御室) 1 b) ④判断基準は、運転員の実効線量が7日間で100 mSvを超えないこと。

- 注記 *1: R. G. 1.195 “Methods and Assumptions for Evaluating Radiological Consequences of Design Basis Accidents at Light Water Nuclear Power Reactors”
- *2: Standard Review Plan 6.5.2, “Containment Spray as a Fission Product Cleanup System”, March 2007
- *3: Standard Review Plan 6.5.5, “Pressure Suppression Pool as a Fission Product Cleanup System”, March 2007
- *4: NUREG-1465 “Accident Source Terms for Light-Water Nuclear Power Plants”, 1995
- *5: ブローアウトパネル開放時にブローアウトパネル閉止装置を閉止するまでの時間は約17分であり、再閉止時にはさらに短期間で閉止が可能となるが、影響評価として20分の開放を考慮している。

表 2-2 大気中への放出量評価結果（事故後 7 日間積算）

（単位：Bq）

核種グループ	原子炉建屋から大気中へ放出	
	ブローアウトパネル閉止装置が開放する場合	ブローアウトパネル閉止装置が開放しない場合
希ガス類	約 1.2×10^{17}	約 1.2×10^{17}
よう素類	約 5.2×10^{15}	約 5.2×10^{15}
CsOH類	約 8.1×10^{10}	約 8.1×10^{10}
Sb類	約 4.4×10^{10}	約 4.2×10^{10}
TeO ₂ 類	約 8.5×10^{10}	約 8.4×10^{10}
SrO類	約 1.1×10^8	約 1.1×10^8
BaO類	約 4.4×10^8	約 4.4×10^8
MoO ₂ 類	約 3.7×10^9	約 3.7×10^9
CeO ₂ 類	約 1.9×10^8	約 1.9×10^8
La ₂ O ₃ 類	約 3.6×10^7	約 3.5×10^7

表 2-4 大気拡散評価条件

項目	評価条件	選定理由	審査ガイドでの記載
実効放出 継続時間	全核種：1時間	保守的に最も短い実効放出継続時間を設定	4.2(2)c. 相対濃度は、短時間放出又は長時間放出に応じて、毎時刻の気象項目と実効的な放出継続時間を基に評価点ごとに計算する。
放出源及び 放出源高さ	原子炉建屋漏えい（地上放出） 地上：0 m 非常用ガス処理系排気筒からの放出 地上：95 m	排気筒放出は有効高さ、地上放出時は地上高さを使用	4.3(4)b. 放出原高さは、4.1(2)a. で選定した事故シーケンスに応じて放出口からの放出を仮定する。4.1(2)a. で選定した事故シーケンスのソースターム解析結果を基に放出エネルギーを考慮してもよい。
大気拡散評価 地点及び評価 距離	原子炉建屋漏えい 中央制御室中心 評価距離：10 m 建屋入口 評価距離：15 m 非常用ガス処理系排気筒からの放出 中央制御室中心 評価距離：100 m 建屋入口 評価距離：110 m	放出源から評価点までの距離は、保守的な評価となるように水平距離として設定	—

表 2-5 相対濃度及び相対線量の評価結果

放出位置		中央制御室中心	建屋入口
原子炉建屋	χ / Q (s/m ³)	8.3×10^{-4}	8.2×10^{-4}
	D / Q (Gy/Bq)	2.9×10^{-18}	2.9×10^{-18}
非常用ガス処理系 排気筒	χ / Q (s/m ³)	3.0×10^{-6}	3.0×10^{-6}
	D / Q (Gy/Bq)	8.8×10^{-20}	9.0×10^{-20}

表 2-6 地表面への沈着速度の条件

項目	評価条件	選定理由	審査ガイドでの記載
地表面への 沈着速度	1.2 cm/s	線量目標値評価指針*1 を参考に、湿性沈着を 考慮して乾性沈着速度 (0.3 cm/s) の4倍を 設定 乾性沈着速度は NUREG/CR-4551 Vol.2*2 より設定	4.3(3)f. 原子炉制御室の非常 用換気空調設備の作動につい ては、非常用電源の作動状態を基 に設定する。

注記 *1：発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針（原子力安全委員会）

*2：米国 NUREG/CR-4551 Vol.2 “Evaluation of Severe Accident Risks:
Quantification of Major Input Parameters”，February 1994

表 2-7 グランドシャイン線評価用線源強度（室内作業時）

群	エネルギー (MeV)	ガンマ線積算線源強度(-) (A班退域時:事象発生13.75h~14.00h)	
		ブローアウトパネル閉止装置 開放なし	ブローアウトパネル閉止装置 開放あり (事象発生2時間後から20分間開放)
1	0.01	約1.2E+17	約1.2E+17
2	0.02	約1.4E+17	約1.4E+17
3	0.03	約1.6E+17	約1.6E+17
4	0.045	約2.4E+18	約2.3E+18
5	0.06	約7.5E+15	約7.4E+15
6	0.07	約5.0E+15	約4.9E+15
7	0.075	約3.3E+17	約3.3E+17
8	0.1	約1.7E+18	約1.6E+18
9	0.15	約4.9E+15	約4.8E+15
10	0.2	約9.4E+17	約9.3E+17
11	0.3	約1.9E+18	約1.9E+18
12	0.4	約9.1E+16	約8.8E+16
13	0.45	約4.5E+16	約4.4E+16
14	0.51	約1.6E+17	約1.5E+17
15	0.512	約5.2E+15	約5.1E+15
16	0.6	約2.3E+17	約2.2E+17
17	0.7	約2.6E+17	約2.5E+17
18	0.8	約6.9E+16	約6.7E+16
19	1.0	約1.4E+17	約1.3E+17
20	1.33	約6.0E+16	約5.8E+16
21	1.34	約1.8E+15	約1.8E+15
22	1.5	約2.9E+16	約2.8E+16
23	1.66	約8.3E+15	約8.1E+15
24	2.0	約1.8E+16	約1.7E+16
25	2.5	約4.8E+16	約4.8E+16
26	3.0	約7.1E+14	約7.0E+14
27	3.5	約1.9E+12	約1.9E+12
28	4.0	約1.9E+12	約1.9E+12
29	4.5	約4.3E-01	約4.2E-01
30	5.0	約4.3E-01	約4.2E-01
31	5.5	約4.3E-01	約4.2E-01
32	6.0	約4.3E-01	約4.2E-01
33	6.5	約4.9E-02	約4.9E-02
34	7.0	約4.9E-02	約4.9E-02
35	7.5	約4.9E-02	約4.9E-02
36	8.0	約4.9E-02	約4.9E-02
37	10.0	約1.5E-02	約1.5E-02
38	12.0	約7.6E-03	約7.5E-03
39	14.0	約0.0E+00	約0.0E+00
40	20.0	約0.0E+00	約0.0E+00
41	30.0	約0.0E+00	約0.0E+00
42	50.0	約0.0E+00	約0.0E+00

注 : 被ばく評価上最も厳しいA班における線源強度（炉心損傷時及びブローアウトパネル開放時に中央制御室に滞在）

表 2-8 中央制御室換気系設備等条件

項目	評価条件	選定理由	審査ガイドでの記載
中央制御室非常用換気系の起動時間	事象発生から2時間	全交流電力電源喪失を考慮し、代替電源からの電源供給開始時間から保守的に設定	4.3(3)f. 原子炉制御室の非常用換気空調設備の作動については、非常用電源の作動状態を基に設定する。

表 2-9 直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線評価用線源強度（入退域時）

群	エネルギー (MeV)	ガンマ線積算線源強度(-) (A班退域時:事象発生13.75h~14.00h)	
		ブローアウトパネル閉止装置 開放なし	ブローアウトパネル閉止装置 開放あり (事象発生2時間後から20分間開放)
1	0.01	約1.2E+17	約1.2E+17
2	0.02	約1.4E+17	約1.4E+17
3	0.03	約1.6E+17	約1.6E+17
4	0.045	約2.4E+18	約2.3E+18
5	0.06	約7.5E+15	約7.4E+15
6	0.07	約5.0E+15	約4.9E+15
7	0.075	約3.3E+17	約3.3E+17
8	0.1	約1.7E+18	約1.6E+18
9	0.15	約4.9E+15	約4.8E+15
10	0.2	約9.4E+17	約9.3E+17
11	0.3	約1.9E+18	約1.9E+18
12	0.4	約9.1E+16	約8.8E+16
13	0.45	約4.5E+16	約4.4E+16
14	0.51	約1.6E+17	約1.5E+17
15	0.512	約5.2E+15	約5.1E+15
16	0.6	約2.3E+17	約2.2E+17
17	0.7	約2.6E+17	約2.5E+17
18	0.8	約6.9E+16	約6.7E+16
19	1.0	約1.4E+17	約1.3E+17
20	1.33	約6.0E+16	約5.8E+16
21	1.34	約1.8E+15	約1.8E+15
22	1.5	約2.9E+16	約2.8E+16
23	1.66	約8.3E+15	約8.1E+15
24	2.0	約1.8E+16	約1.7E+16
25	2.5	約4.8E+16	約4.8E+16
26	3.0	約7.1E+14	約7.0E+14
27	3.5	約1.9E+12	約1.9E+12
28	4.0	約1.9E+12	約1.9E+12
29	4.5	約4.3E-01	約4.2E-01
30	5.0	約4.3E-01	約4.2E-01
31	5.5	約4.3E-01	約4.2E-01
32	6.0	約4.3E-01	約4.2E-01
33	6.5	約4.9E-02	約4.9E-02
34	7.0	約4.9E-02	約4.9E-02
35	7.5	約4.9E-02	約4.9E-02
36	8.0	約4.9E-02	約4.9E-02
37	10.0	約1.5E-02	約1.5E-02
38	12.0	約7.6E-03	約7.5E-03
39	14.0	約0.0E+00	約0.0E+00
40	20.0	約0.0E+00	約0.0E+00
41	30.0	約0.0E+00	約0.0E+00
42	50.0	約0.0E+00	約0.0E+00

注：被ばく評価上最も厳しいA班における線源強度（炉心損傷時及びブローアウトパネル開放時に中央制御室に滞在）

表 2-10 グランドシャイン線評価用線源強度（入退域時）

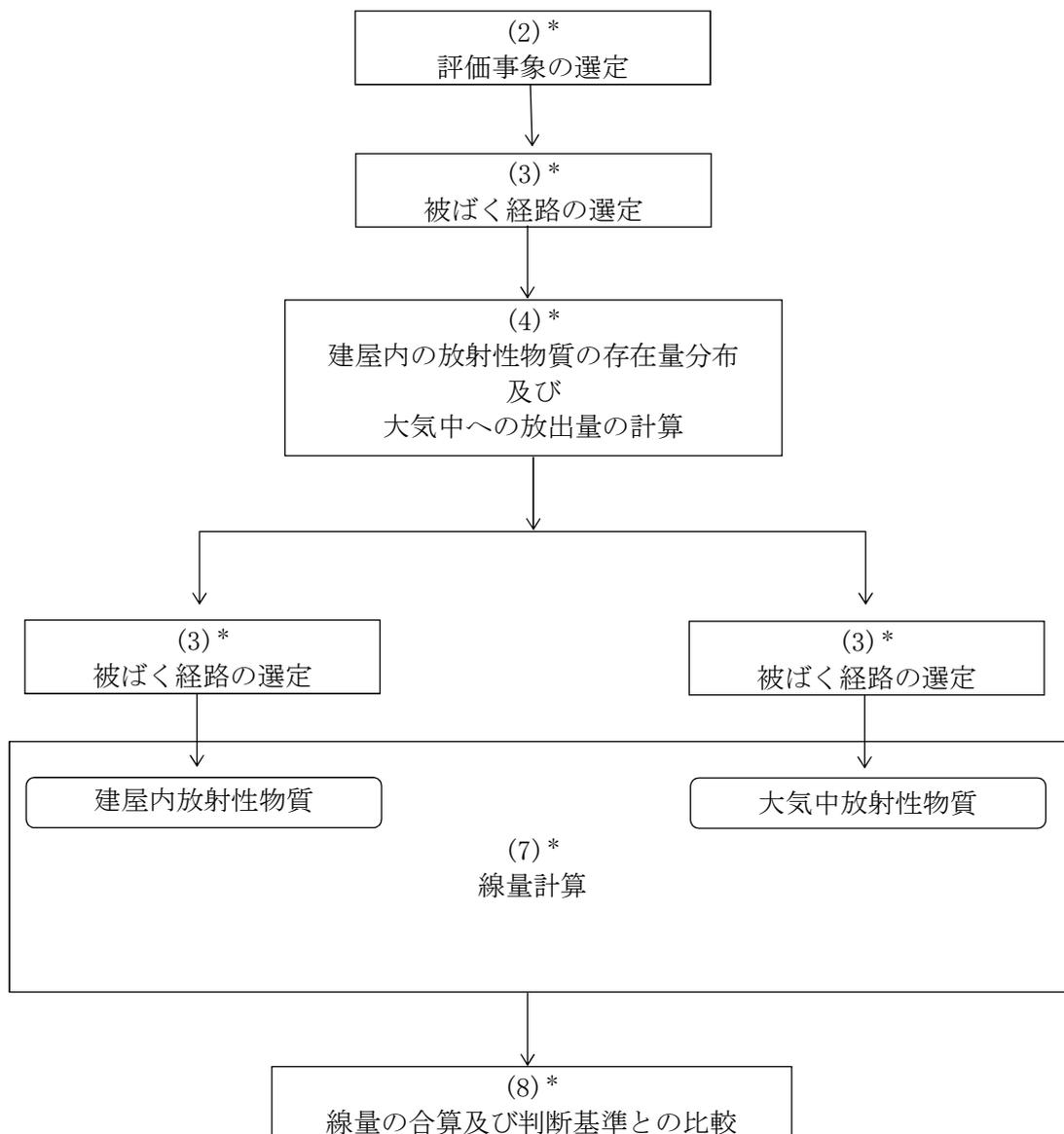
群	エネルギー (MeV)	ガンマ線積算線源強度 (cm ⁻²) (A班退域時: 事象発生13.75h~14.00h)	
		ブローアウトパネル閉止装置 開放なし	ブローアウトパネル閉止装置 開放あり (事象発生2時間後から20分間開放)
1	0.01	約2.8E+06	約3.0E+06
2	0.02	約3.1E+06	約3.3E+06
3	0.03	約5.3E+06	約5.7E+06
4	0.045	約1.5E+06	約1.6E+06
5	0.06	約6.5E+05	約6.9E+05
6	0.07	約4.3E+05	約4.6E+05
7	0.075	約4.0E+05	約4.2E+05
8	0.1	約2.0E+06	約2.1E+06
9	0.15	約7.6E+05	約8.1E+05
10	0.2	約4.0E+06	約4.2E+06
11	0.3	約7.9E+06	約8.5E+06
12	0.4	約4.1E+07	約4.4E+07
13	0.45	約2.1E+07	約2.2E+07
14	0.51	約6.0E+07	約6.4E+07
15	0.512	約2.0E+06	約2.1E+06
16	0.6	約8.8E+07	約9.4E+07
17	0.7	約1.0E+08	約1.1E+08
18	0.8	約3.9E+07	約4.2E+07
19	1.0	約7.8E+07	約8.3E+07
20	1.33	約3.4E+07	約3.7E+07
21	1.34	約1.0E+06	約1.1E+06
22	1.5	約1.7E+07	約1.8E+07
23	1.66	約3.3E+06	約3.5E+06
24	2.0	約7.0E+06	約7.5E+06
25	2.5	約2.5E+06	約2.7E+06
26	3.0	約4.0E+04	約4.3E+04
27	3.5	約1.3E-04	約1.3E-04
28	4.0	約1.3E-04	約1.3E-04
29	4.5	約9.2E-11	約9.7E-11
30	5.0	約9.2E-11	約9.7E-11
31	5.5	約9.2E-11	約9.7E-11
32	6.0	約9.2E-11	約9.7E-11
33	6.5	約1.1E-11	約1.1E-11
34	7.0	約1.1E-11	約1.1E-11
35	7.5	約1.1E-11	約1.1E-11
36	8.0	約1.1E-11	約1.1E-11
37	10.0	約3.2E-12	約3.4E-12
38	12.0	約1.6E-12	約1.7E-12
39	14.0	約0.0E+00	約0.0E+00
40	20.0	約0.0E+00	約0.0E+00
41	30.0	約0.0E+00	約0.0E+00
42	50.0	約0.0E+00	約0.0E+00

注 : 被ばく評価上最も厳しいA班における線源強度（炉心損傷時及びブローアウトパネル開放時に中央制御室に滞在）

表 2-11 中央制御室の居住性に係る被ばく評価結果

被ばく経路		実効線量 (7日間)		
		高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱		居住性評価の対象ケース「大破断LOCA+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗」
		ブローアウトパネル閉止装置開放あり	ブローアウトパネル閉止装置開放なし	
中央制御室内作業時	①建屋からのガンマ線による被ばく	約 5.7×10^{-1}	約 6.0×10^{-1}	約 7.8×10^{-1}
	②大気中へ放出された放射性物質のガンマ線による被ばく	約 2.2×10^{-1}	約 2.0×10^{-1}	約 9.6×10^{-1}
	③室内に外気から取り込まれた放射性物質による被ばく	約 2.2×10^1	約 2.0×10^1	約 4.6×10^1
	(内訳) 内部被ばく 外部被ばく	約 2.1×10^1 約 1.4×10^0	約 1.8×10^1 約 1.3×10^0	約 4.0×10^1 約 5.3×10^0
	②大気中へ放出され、地表面に沈着した放射性物質のガンマ線による被ばく	約 3.0×10^0	約 2.8×10^0	約 4.7×10^0
	小計 (①+②+③)	約 2.6×10^1	約 2.3×10^1	約 5.2×10^1
入退域時	④建屋からのガンマ線による被ばく	約 1.7×10^{-1}	約 1.7×10^{-1}	約 2.6×10^{-1}
	⑤大気中へ放出された放射性物質による被ばく	約 4.3×10^{-3}	約 4.4×10^{-3}	約 6.9×10^{-3}
	(内訳) 内部被ばく 外部被ばく	約 6.9×10^{-4} 約 3.6×10^{-3}	約 7.1×10^{-4} 約 3.7×10^{-3}	約 1.3×10^{-3} 約 5.6×10^{-3}
	⑤大気中へ放出され、地表面に沈着した放射性物質のガンマ線による被ばく	約 5.1×10^0	約 4.7×10^0	約 8.0×10^0
	小計 (④+⑤)	約 5.2×10^0	約 4.9×10^0	約 8.3×10^0
合計 (①+②+③+④+⑤)		約 3.1×10^1	約 2.8×10^1	約 6.0×10^1

注 : 被ばく評価上最も厳しいA班における被ばく評価結果 (炉心損傷時及びブローアウトパネル閉止装置開放時に中央制御室に滞在)



注記 * : 「1. 評価方針」の項番号を示す。

図 1-1 居住性に係る被ばく評価の手順

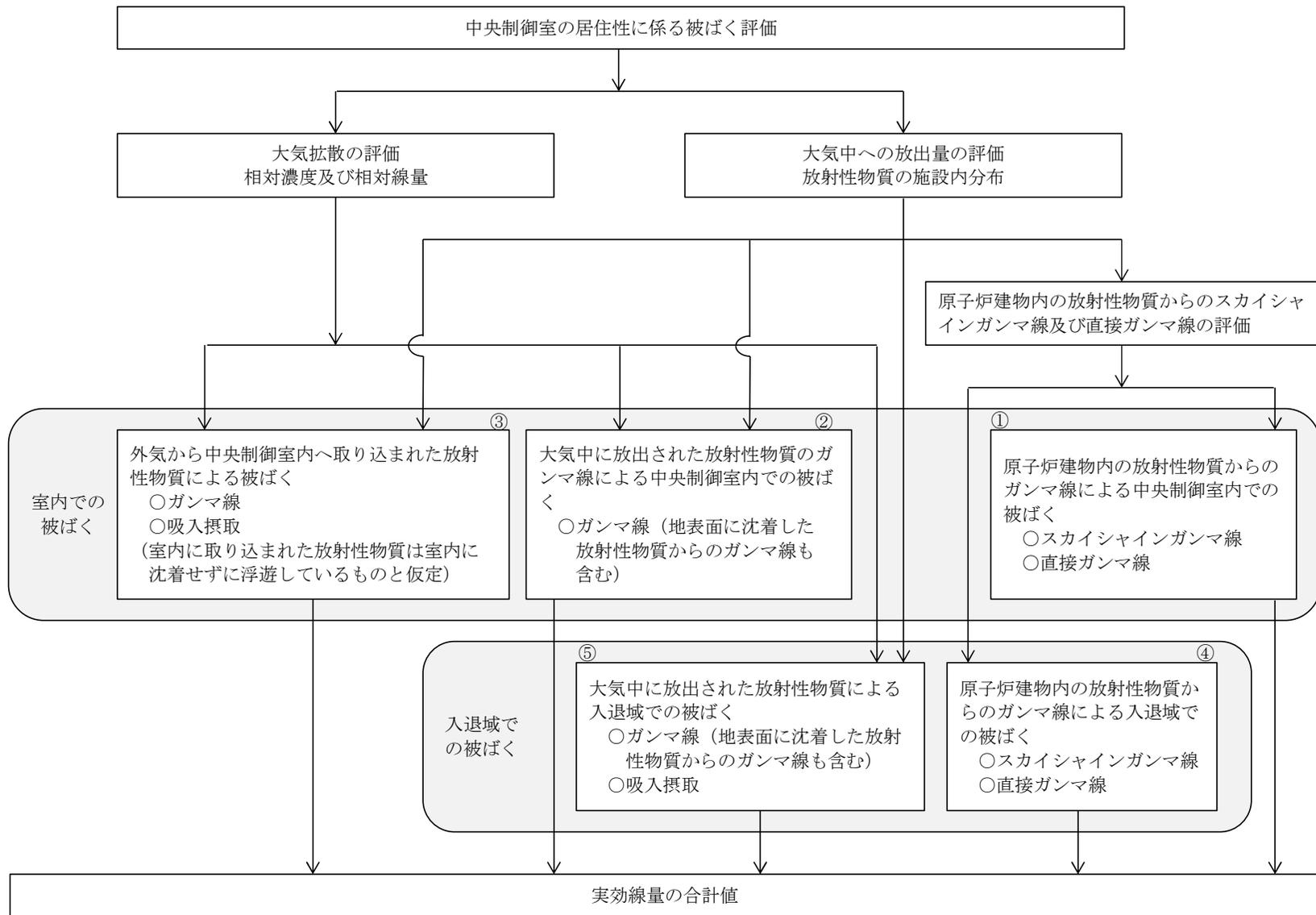


図 1-2 中央制御室の運転員の被ばく経路

中央制御室内での被ばく	①建屋内の放射性物質からのガンマ線による被ばく (直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による外部被ばく)
	②大気中へ放出された放射性物質からのガンマ線による被ばく (クラウドシャインガンマ線及びグラウンドシャインガンマ線による外部被ばく)
	③外気から室内に取り込まれた放射性物質による被ばく (吸入摂取による内部被ばく及び室内に浮遊している放射性物質からのガンマ線による外部被ばく)
入退域時の被ばく	④建屋内の放射性物質からのガンマ線による被ばく (直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による外部被ばく)
	⑤大気中へ放出された放射性物質による被ばく (クラウドシャインガンマ線及びグラウンドシャインガンマ線による外部被ばく並びに吸入摂取による内部被ばく)

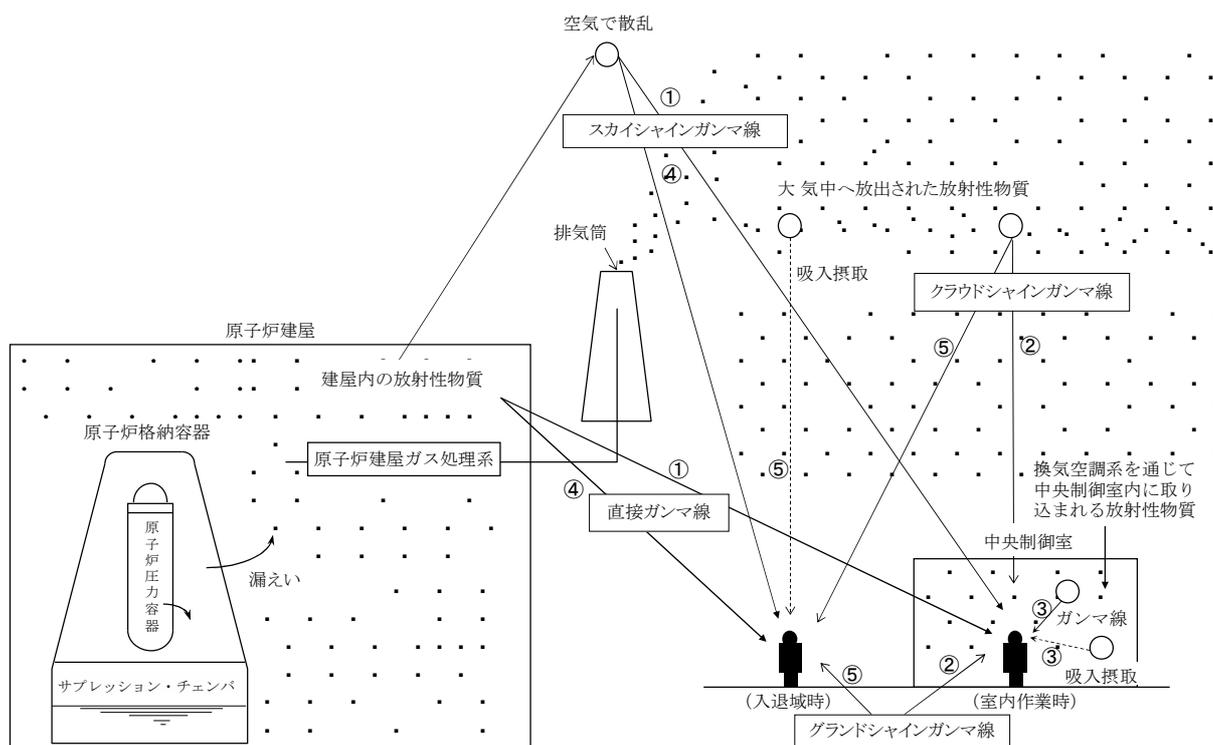


図 1-3 中央制御室の居住性に係る被ばく経路イメージ

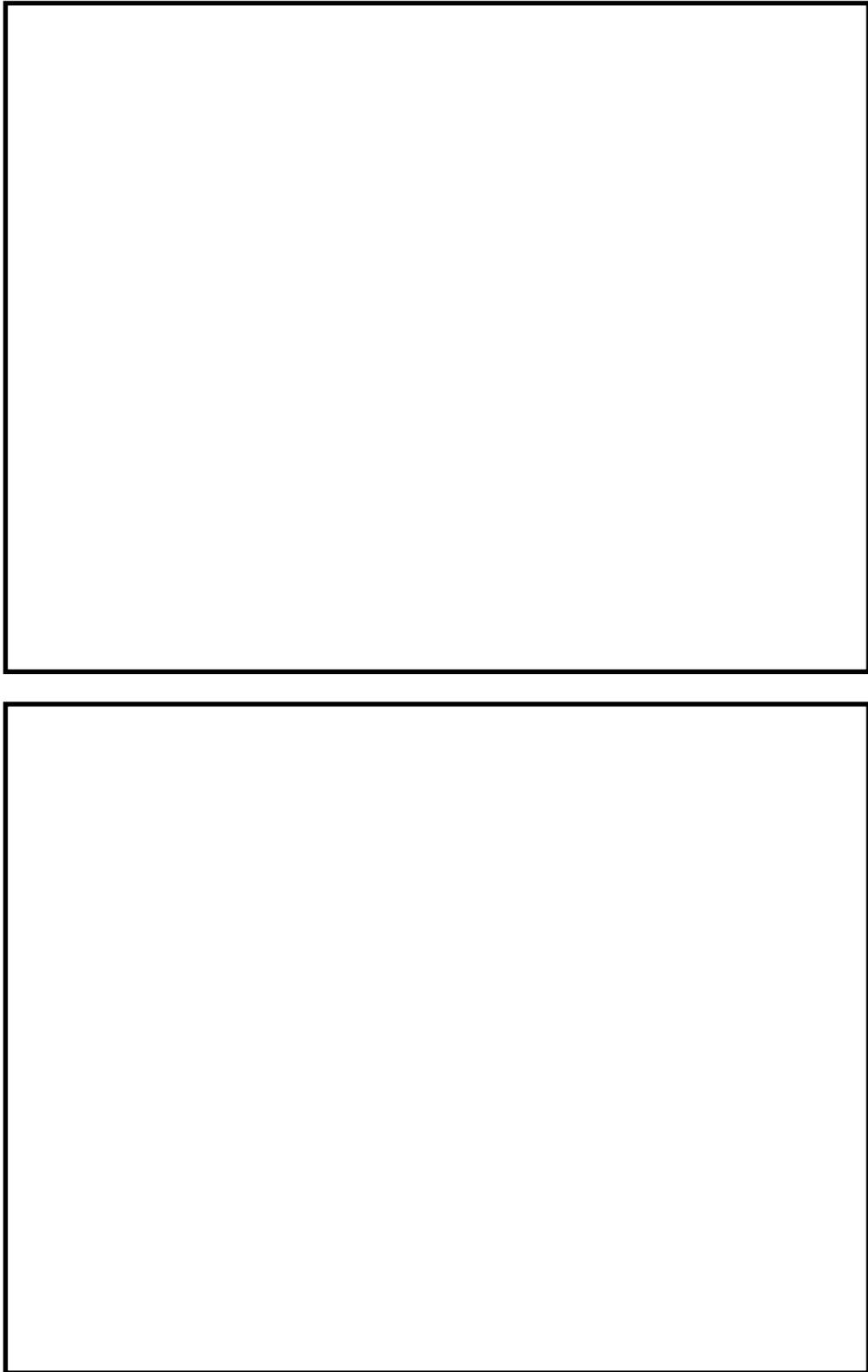
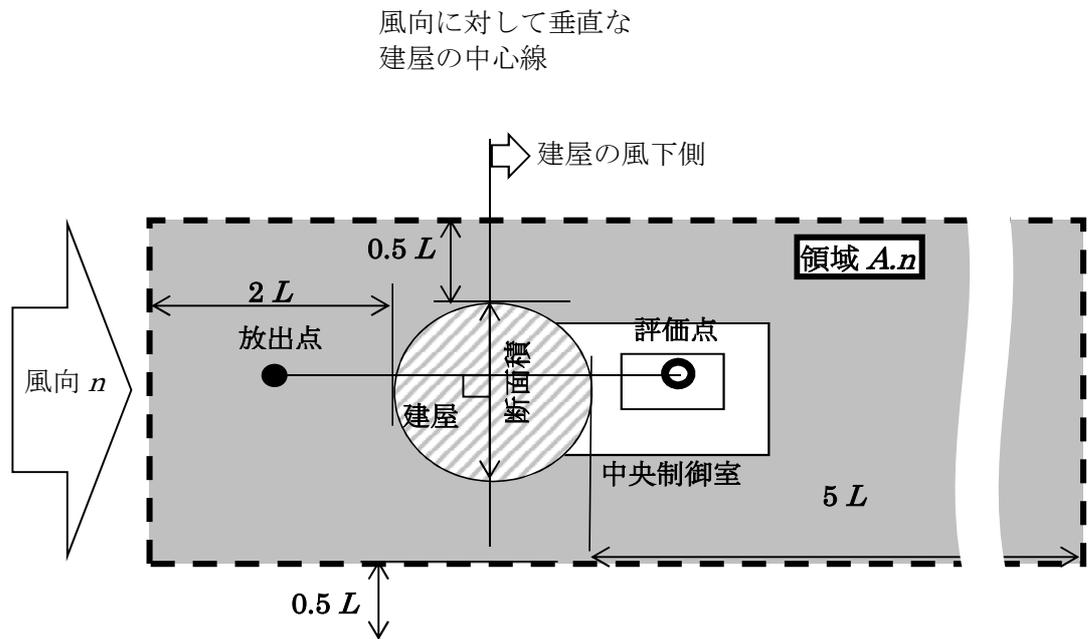


図 1-4 放射性物質の放出源と評価点の位置関係



注： L は風向に垂直な建屋又は建屋群の、投影面高さ又は投影幅の小さい方

図 1-5 建屋影響を考慮する条件（水平断面での位置関係）

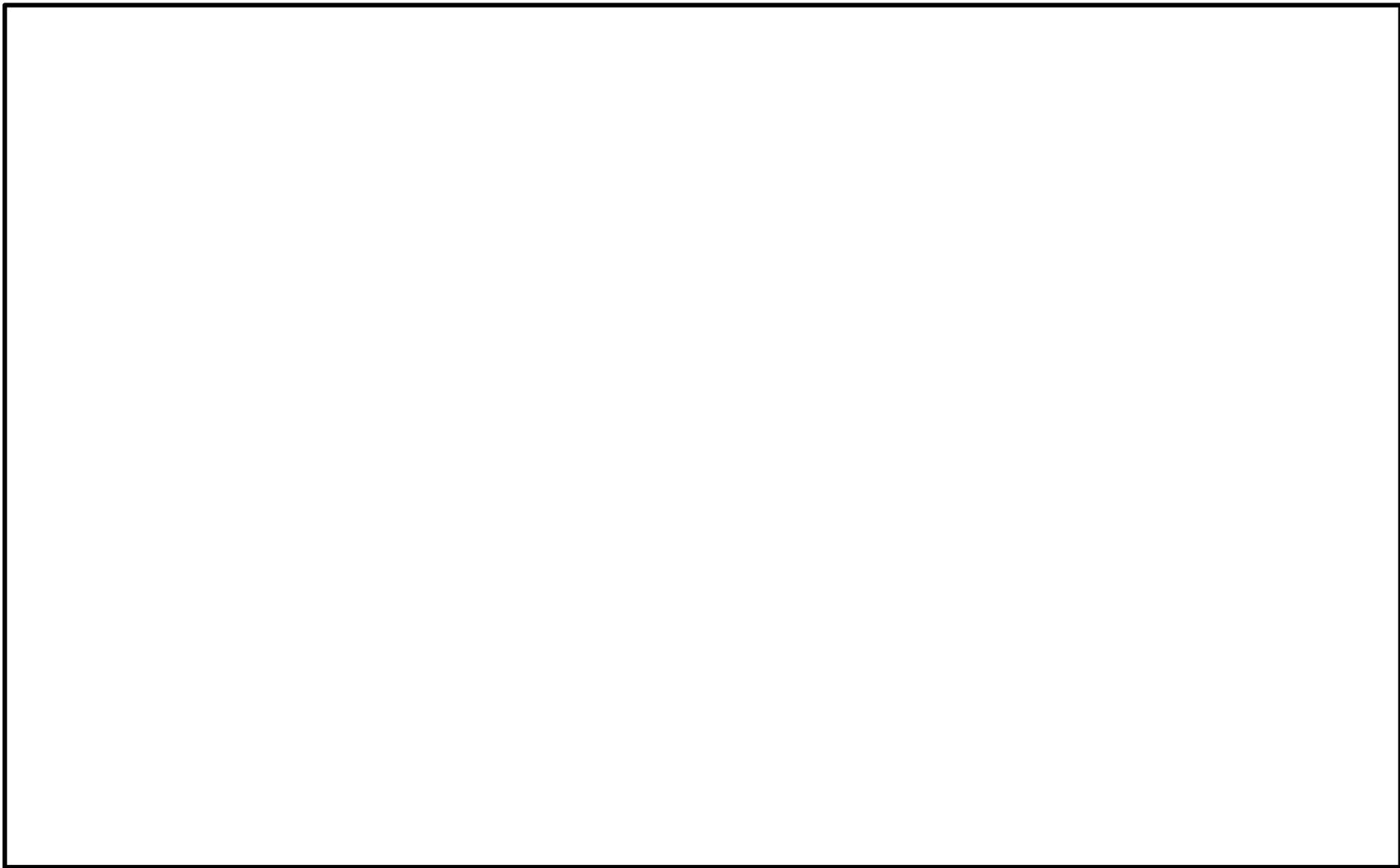


図 1-6 非常用ガス処理系排気筒放出時の評価方位（評価点：中央制御室中心）

補足 16-26-50

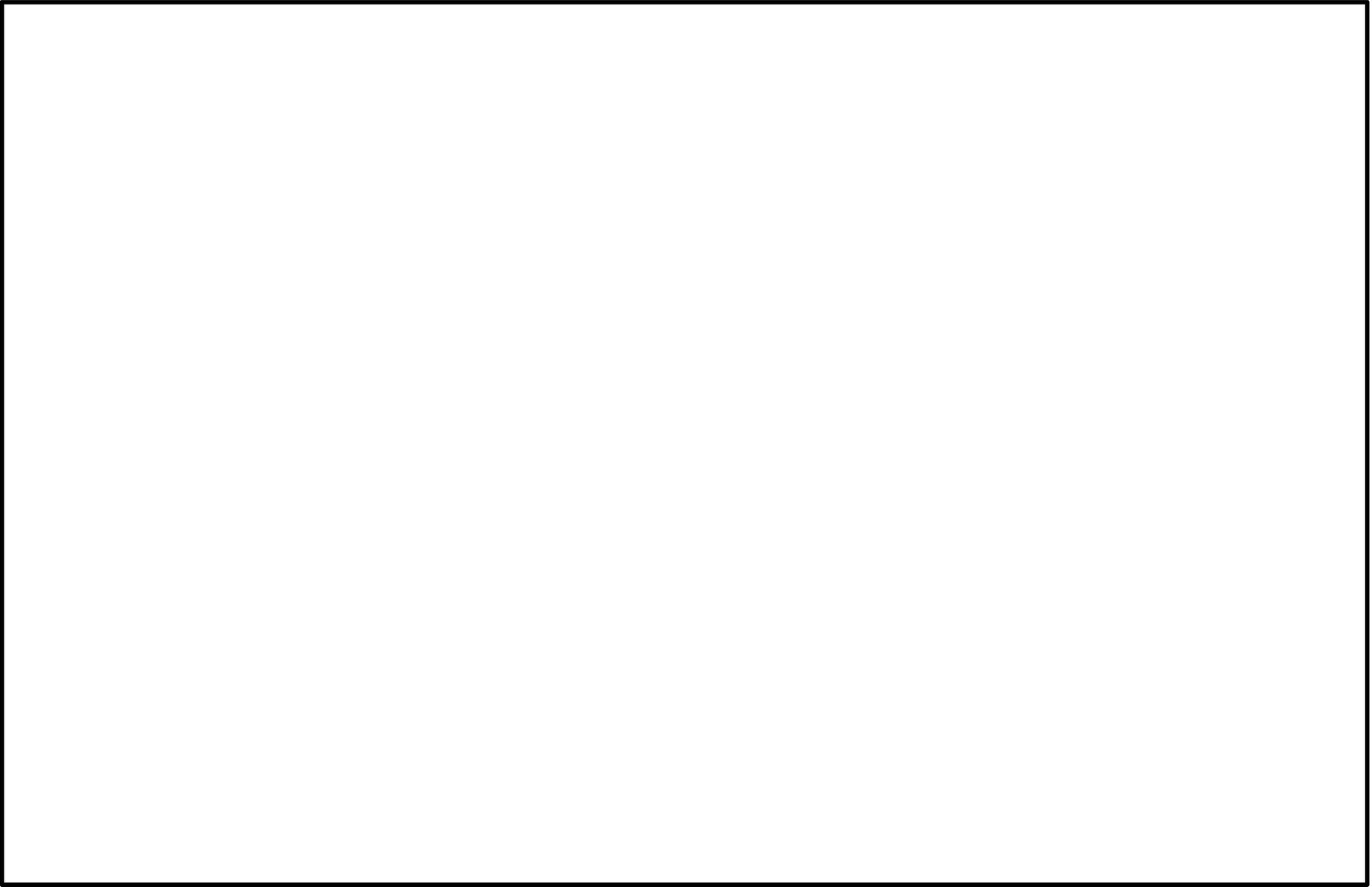


図 1-7 原子炉建屋漏えい時の評価方位（評価点：中央制御室中心）

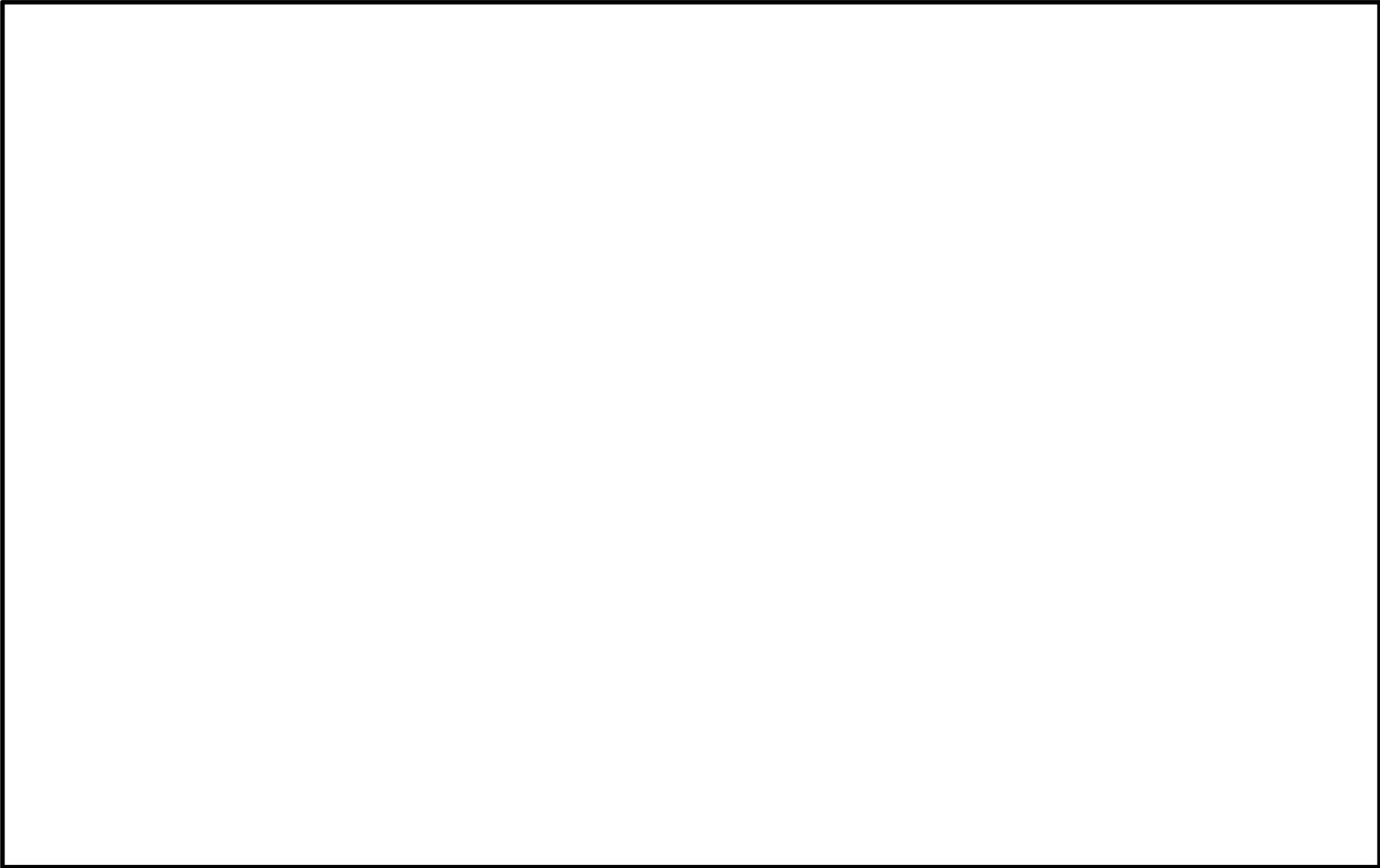


図 1-8 非常用ガス処理系排気筒からの放出時の評価方位（評価点：建屋入口）

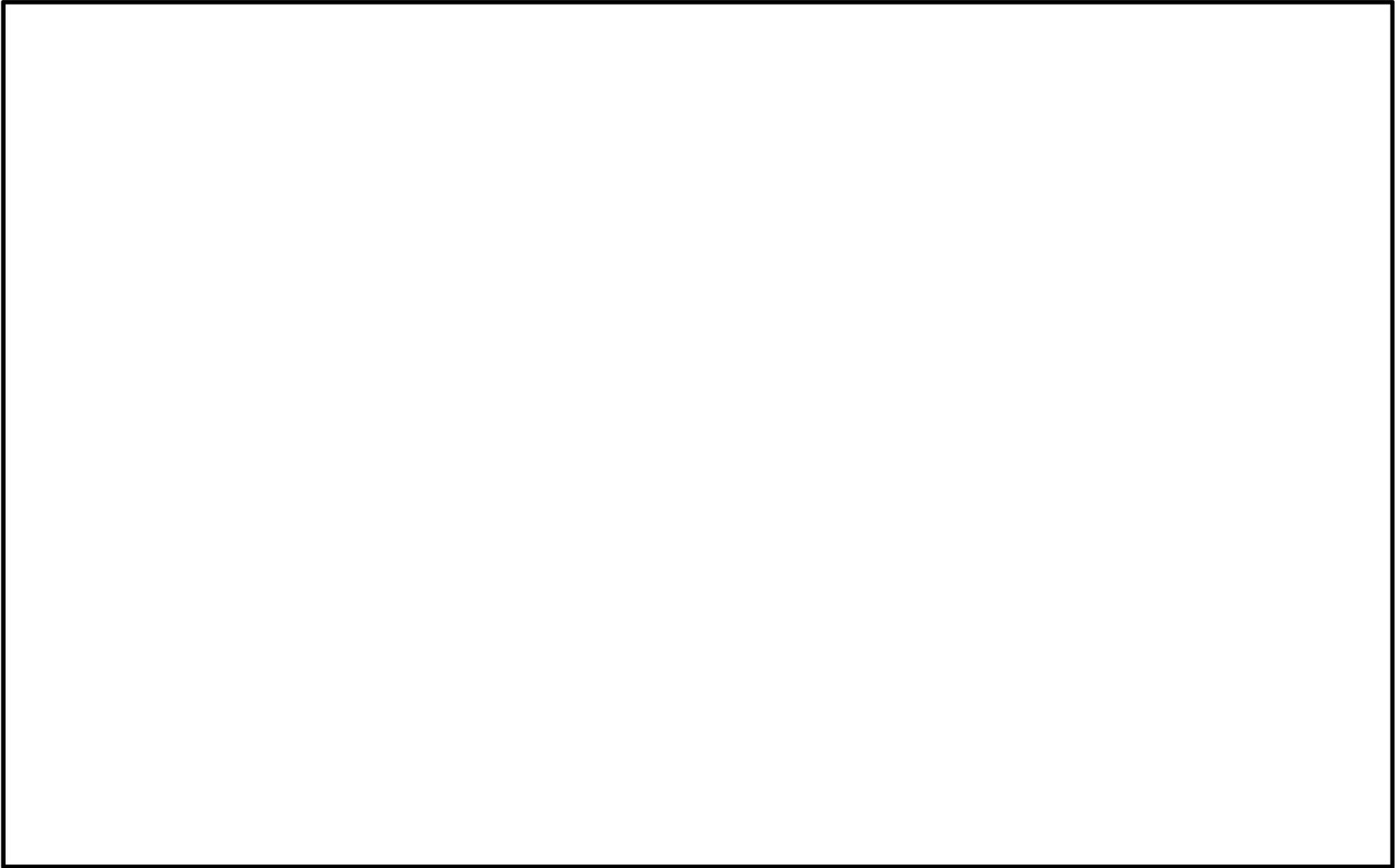


図 1-9 原子炉建屋漏えい時の評価方位（評価点：建屋入口）

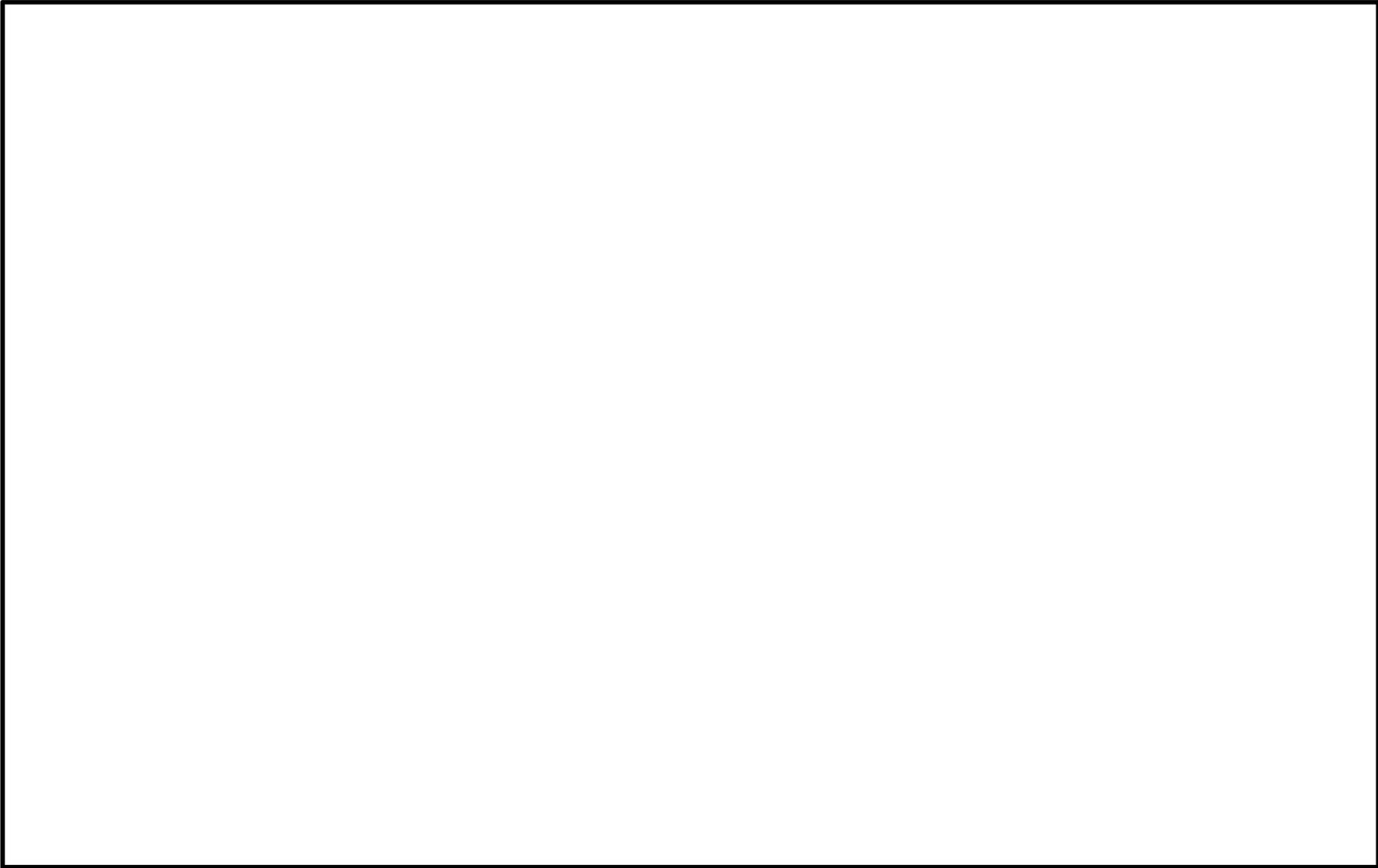


图 1-10 原子炉建屋断面積（投影面積）

補足 16-26-54

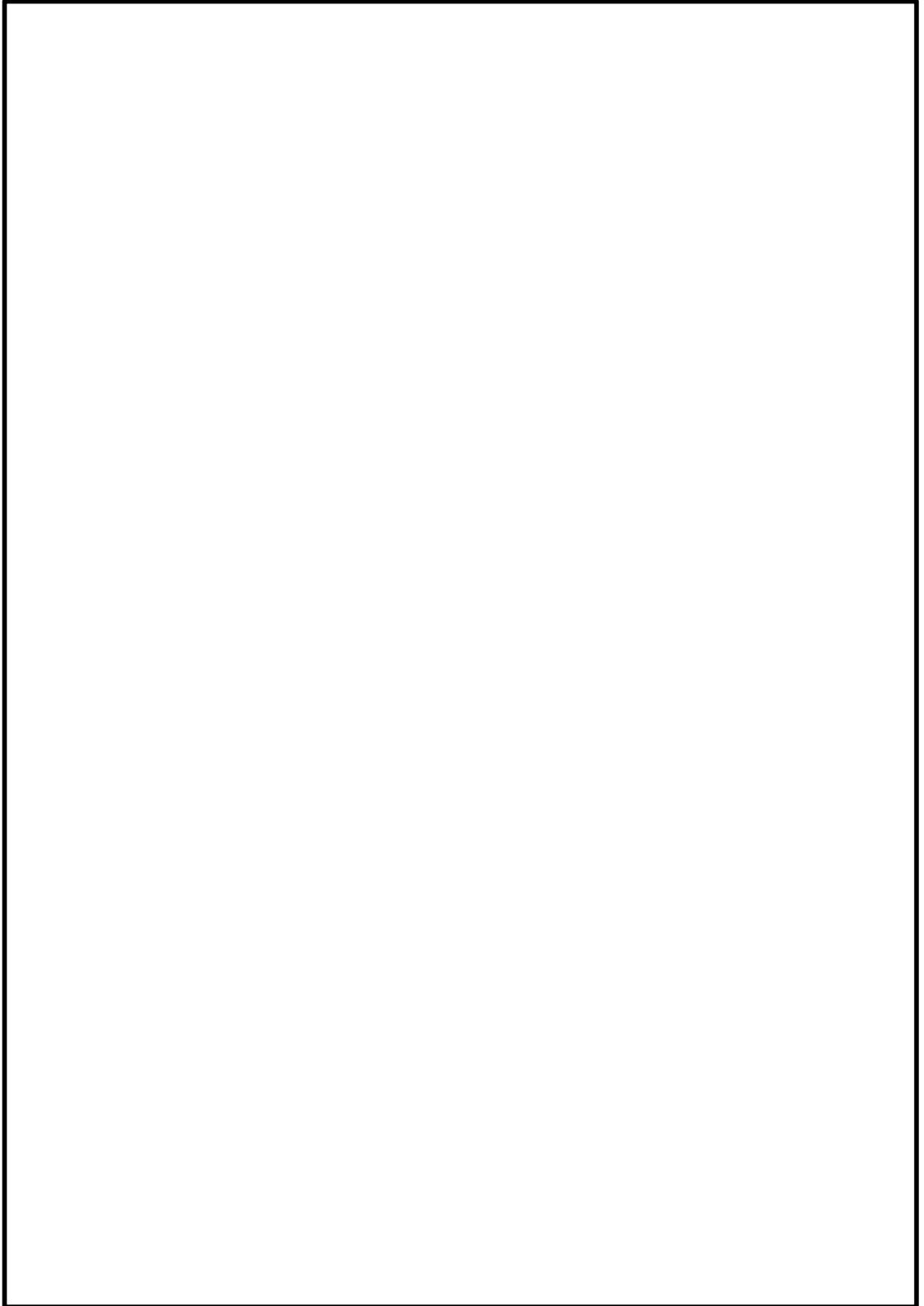


図 1-11 直接ガンマ線評価モデル

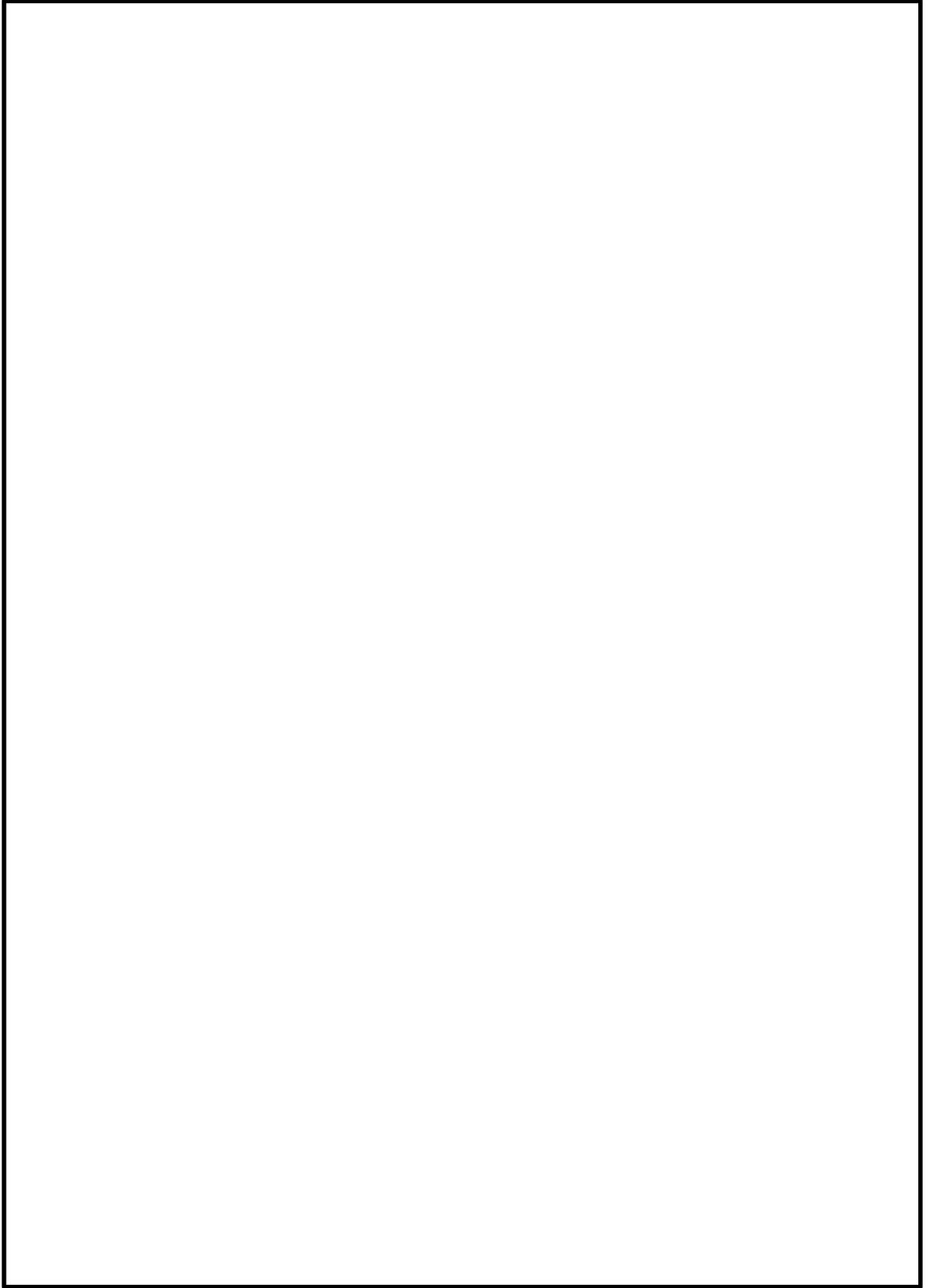


図 1-12 直接ガンマ線評価モデル

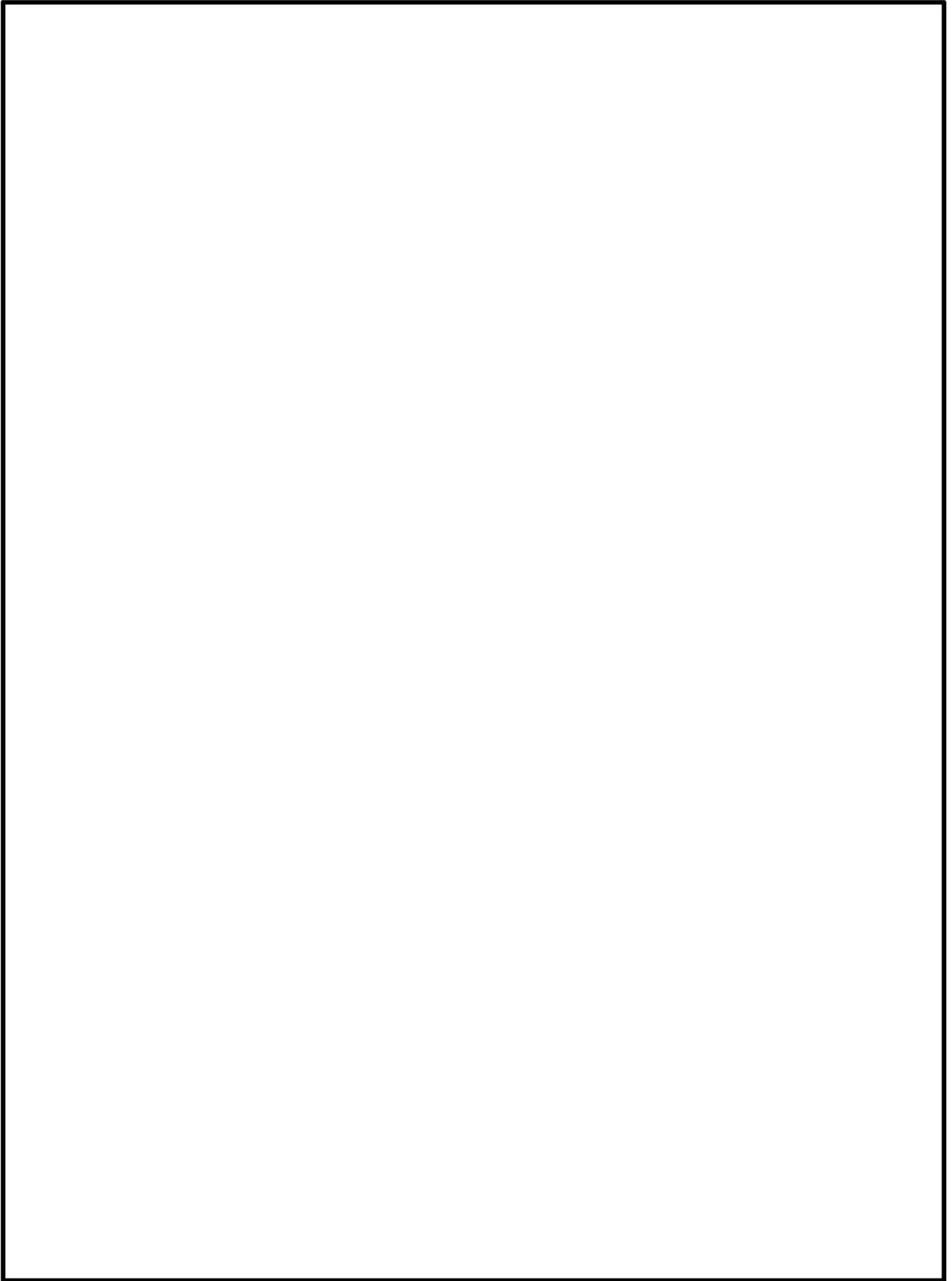


図 1-13 スカイシャインガンマ線評価モデル



图 1-14 中央控制室換氣系系統図

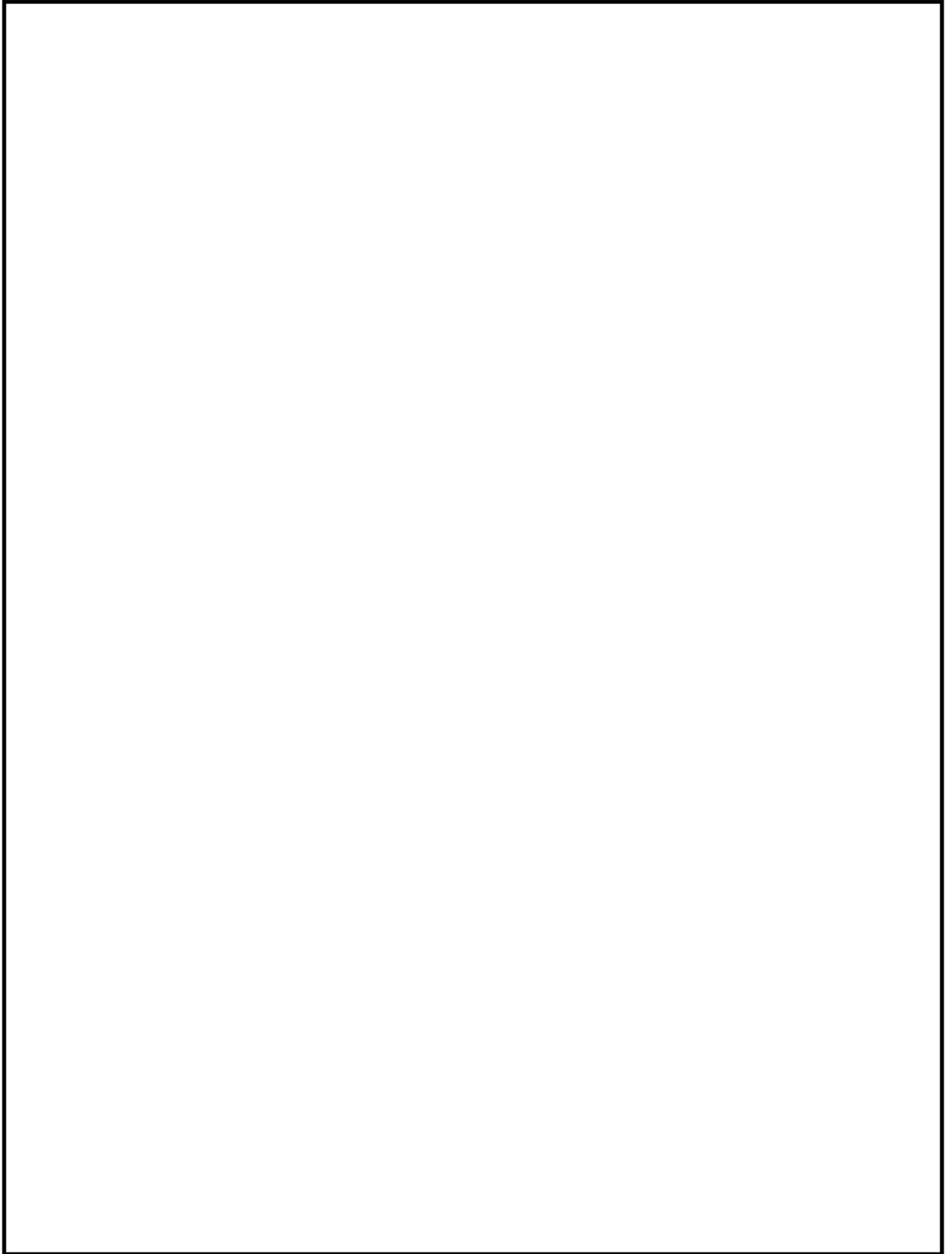


図 1-15 中央制御室容積

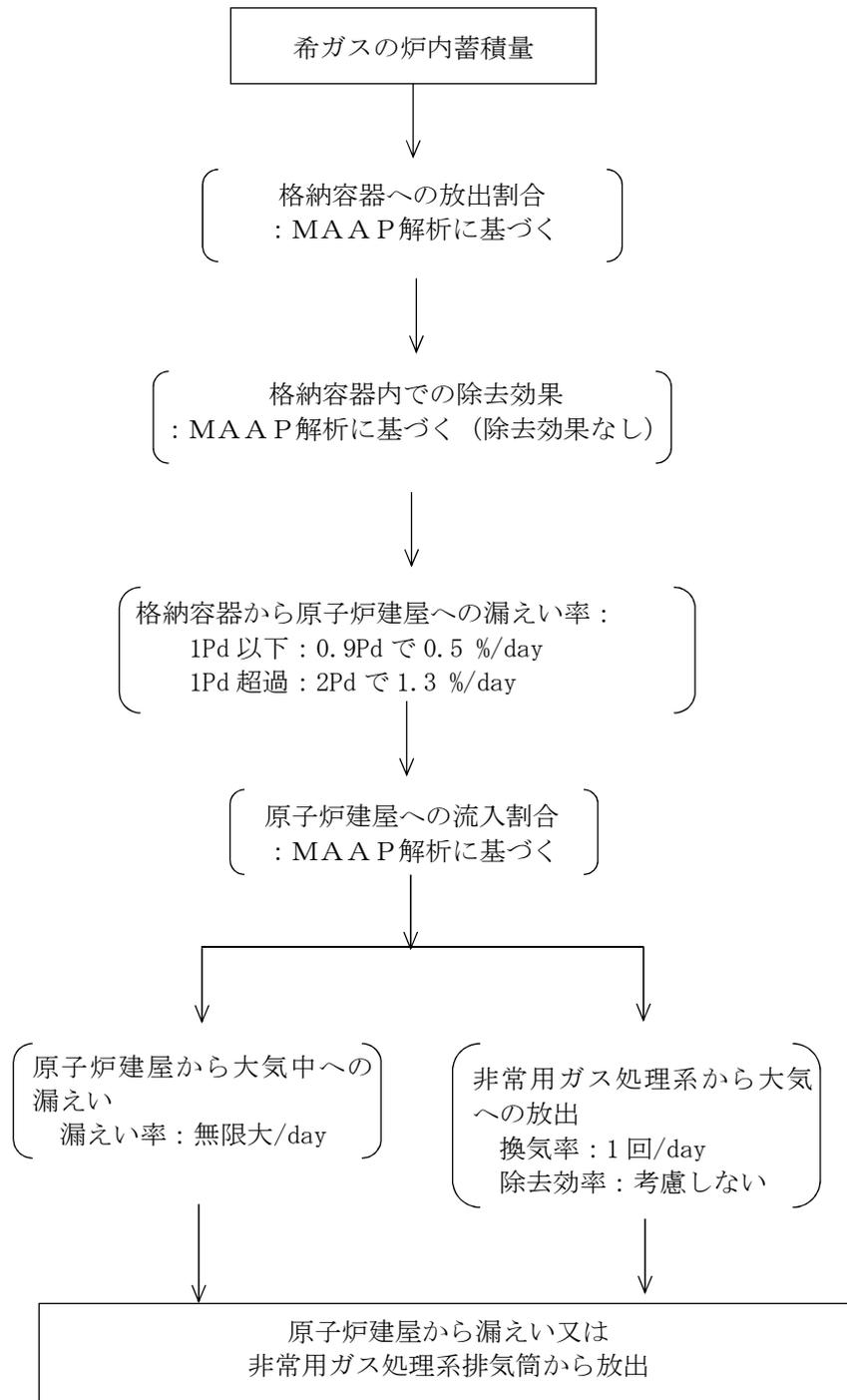


図 2-1 希ガスの大気放出過程

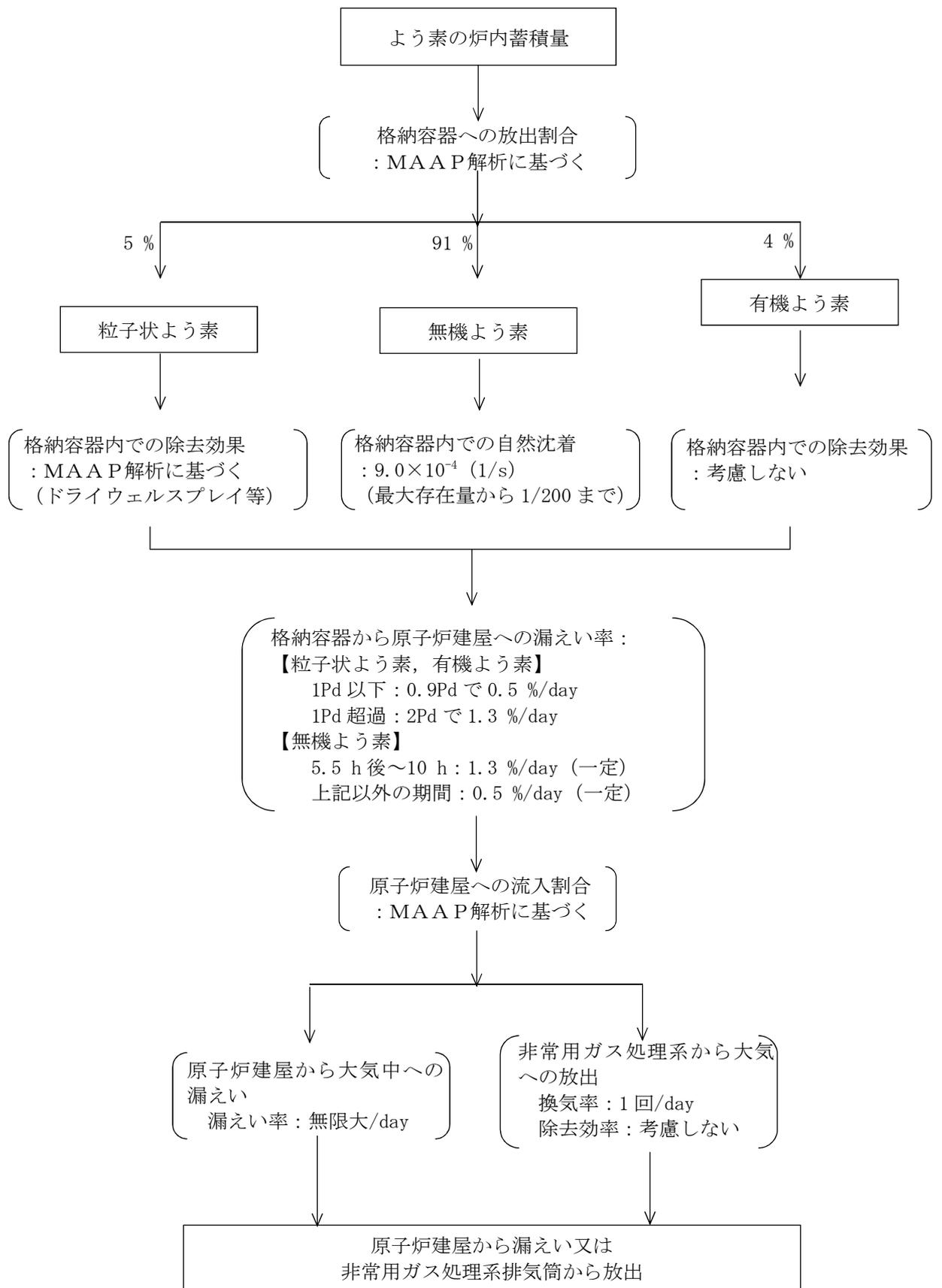


図 2-2 よう素の大気放出過程

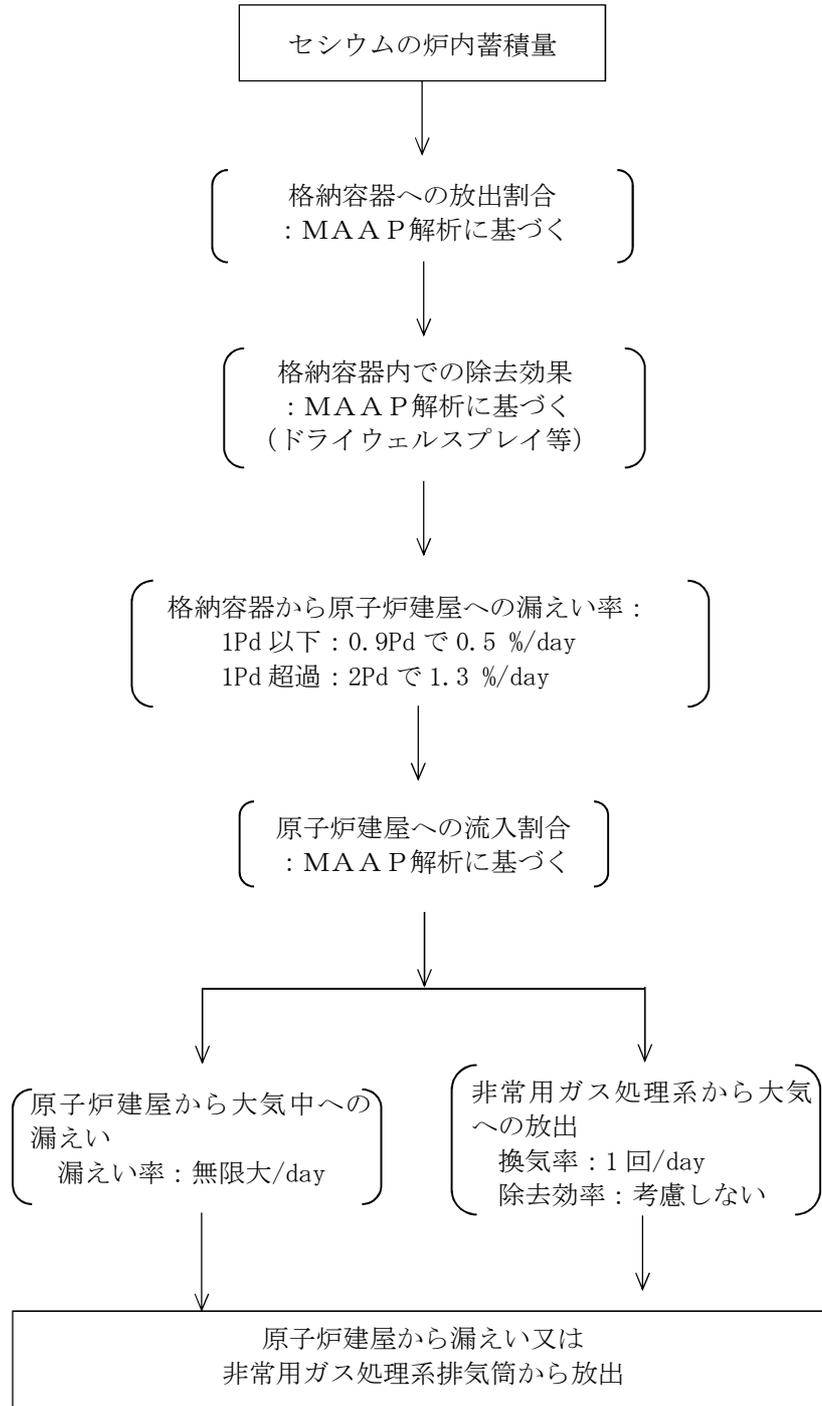


図 2-3 セシウムの大気放出過程

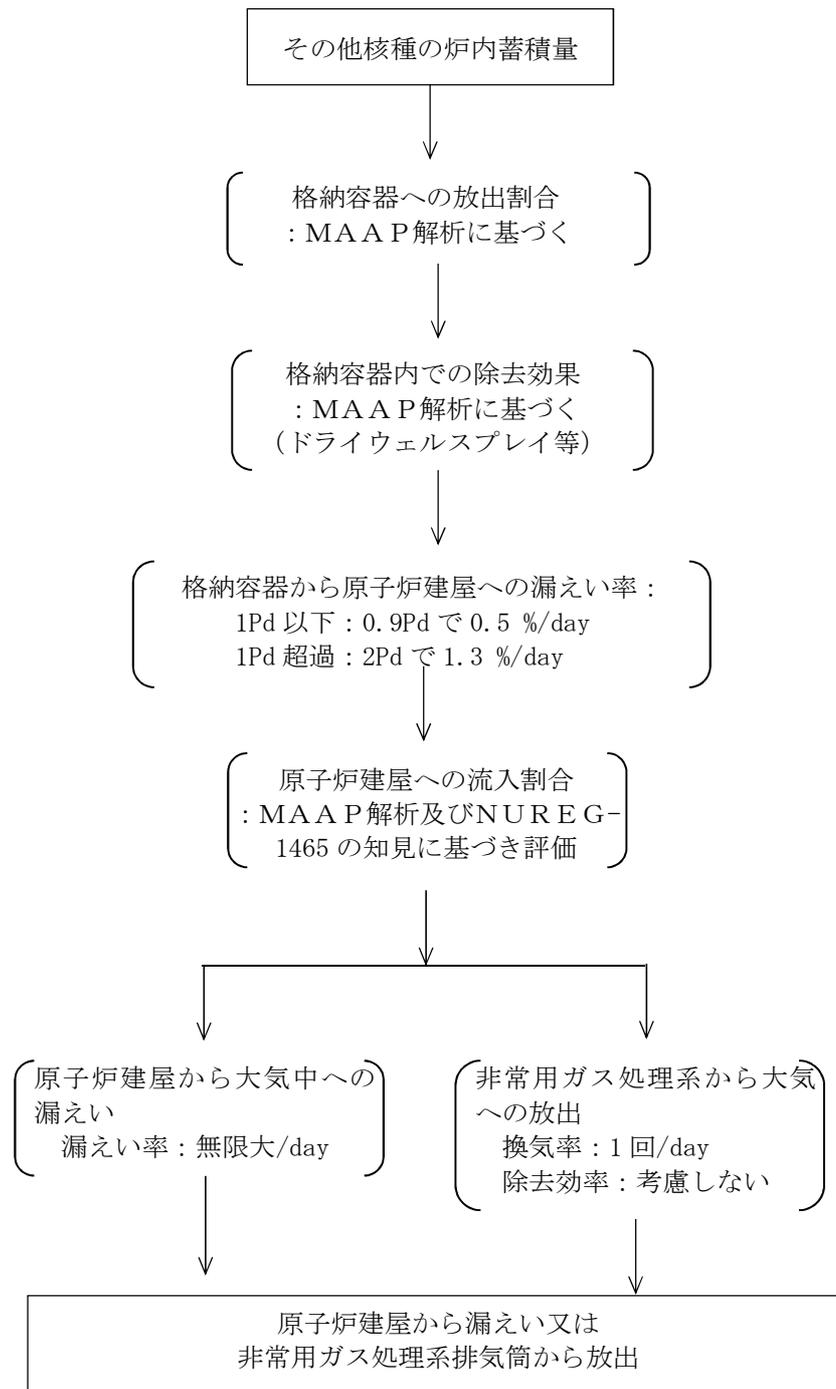


図 2-4 その他核種の大気放出過程

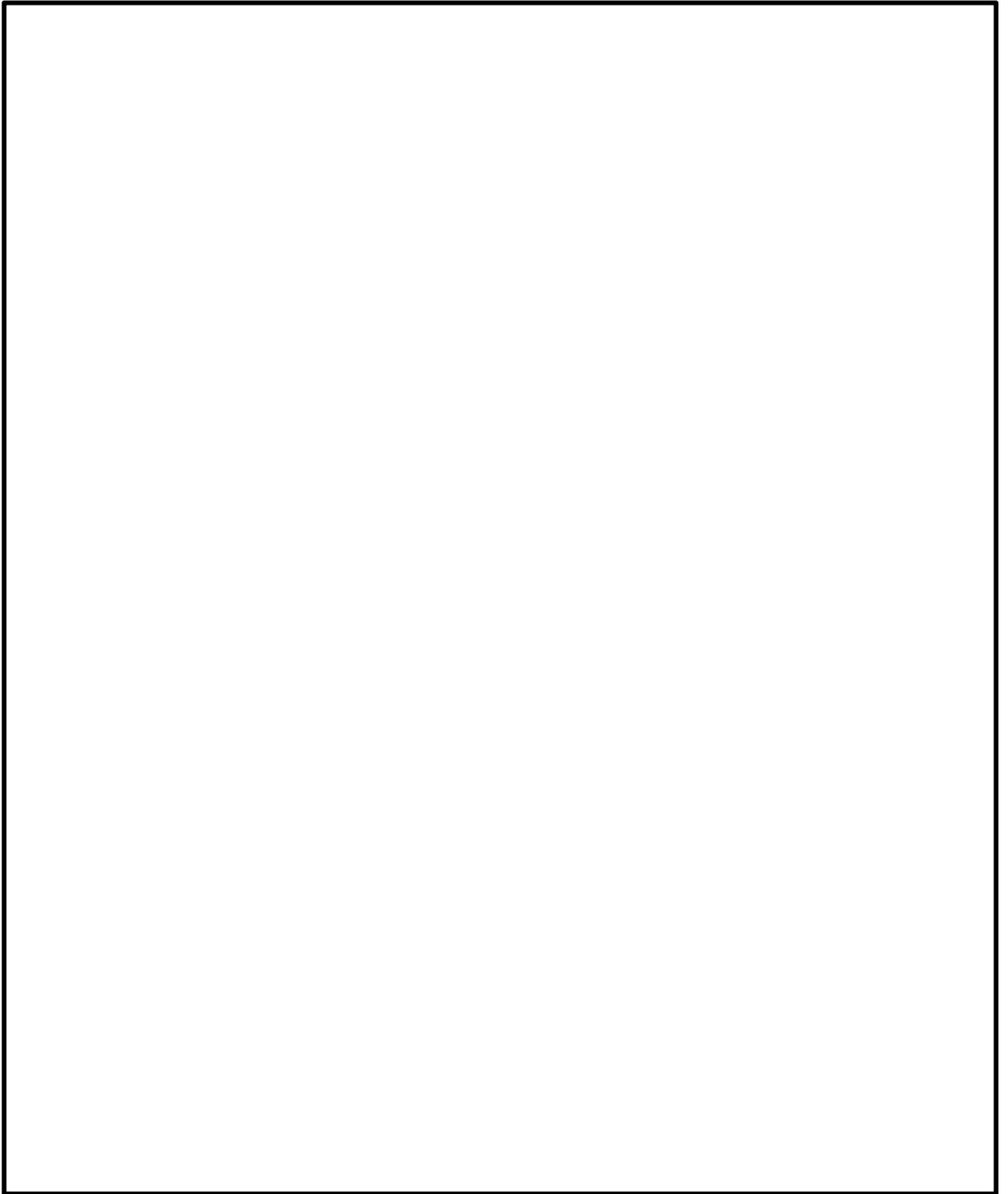


図 2-5 中央制御室内被ばく評価時のグランドシャイン評価モデル(1/2)

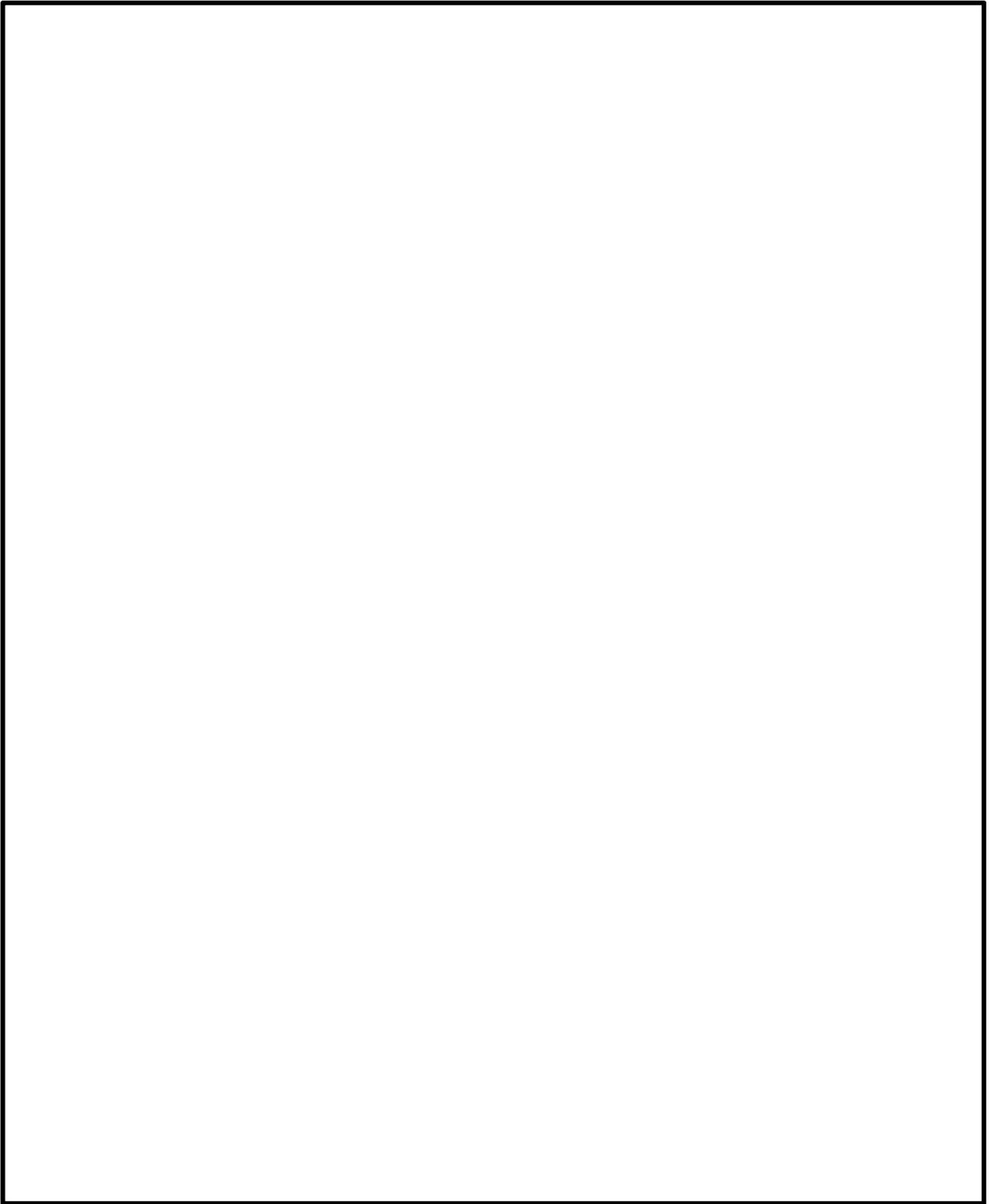


図 2-5 中央制御室内被ばく評価時のグランドシャイン評価モデル(2/2)

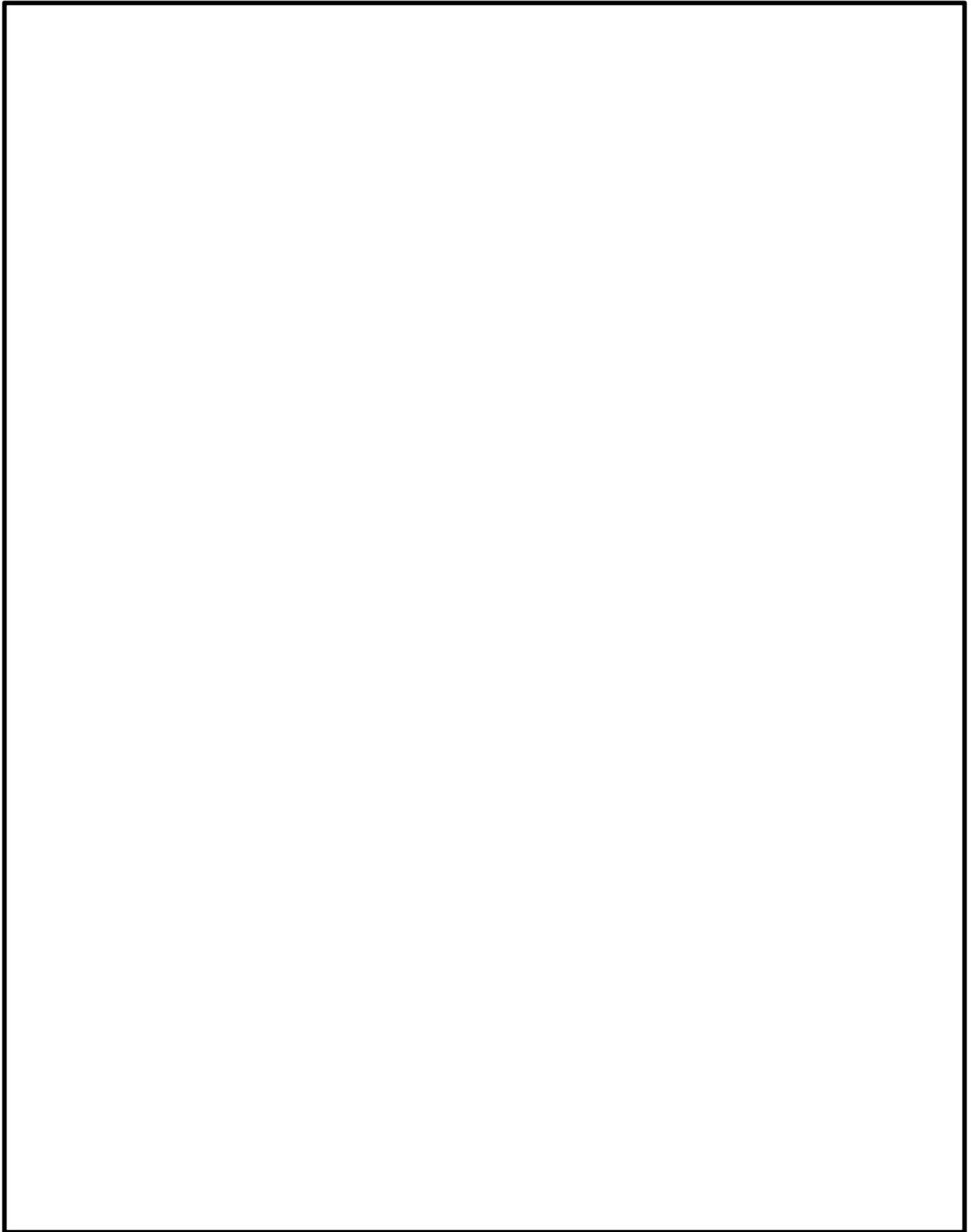


図 2-6 入退域被ばく評価時のグランドシャイン評価モデル