

東海第二発電所

ブローアウトパネル及び関連設備の 必要機能と確認試験の方法について

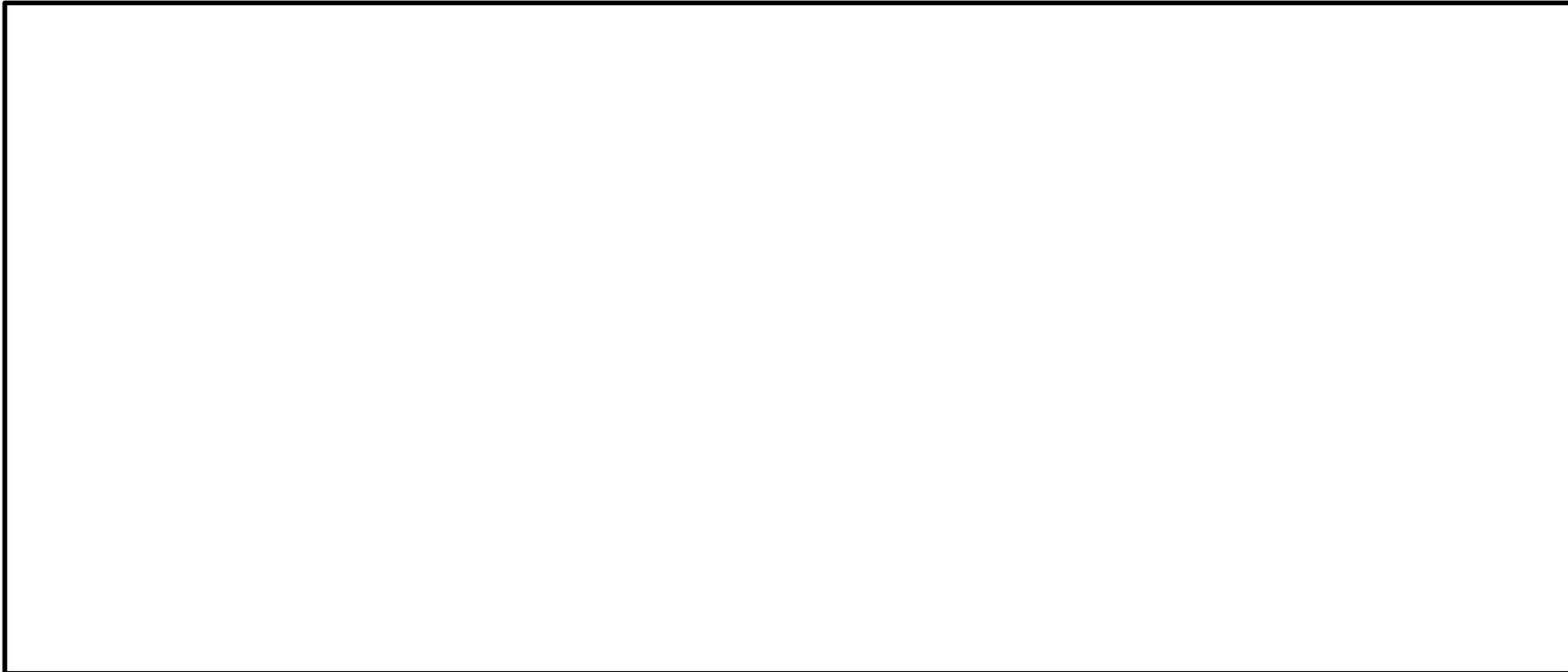
平成30年3月20日

日本原子力発電株式会社

1. 東海第二発電所のブローアウトパネルについて



- ◆ 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、原子炉建屋や建屋内機器等を防護するため、主蒸気管室壁に設置された内側ブローアウトパネルの作動と併せて、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。
- ◆ 東海第二発電所では、原子炉建屋原子炉棟の外壁に合計12枚のブローアウトパネル（大きさ 約4m×4m, 重さ 約1.5t）が設置されている。
 - ・原子炉建屋6階（オペレーティングフロア）： 東西南北の壁面に各2か所の合計8箇所
 - ・原子炉建屋5階： 東西南北の壁面に各1箇所の合計4箇所



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

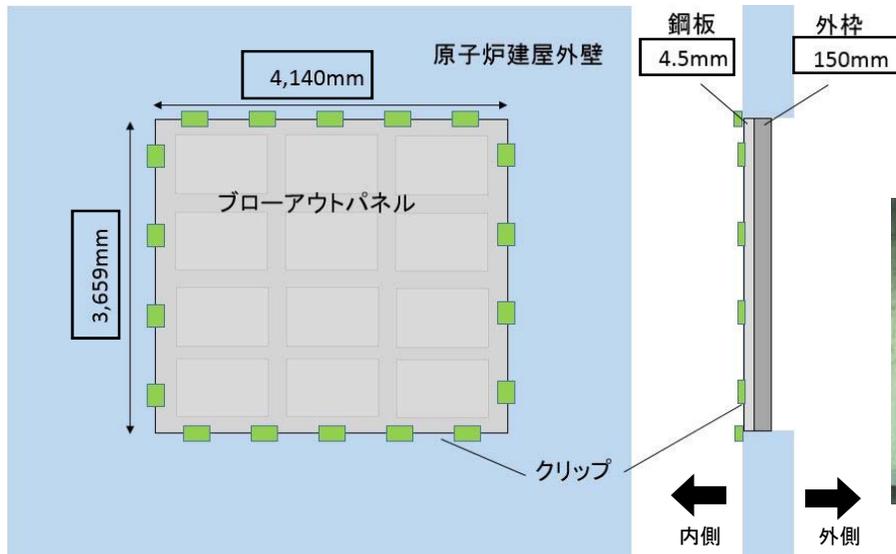
2. 東海第二発電所のブローアウトパネルの構造について



- ◆ 東海第二の原子炉建屋外側ブローアウトパネルは、厚さ2.3mmのクリップと呼ばれる装置18個で原子炉建屋外壁に設置されており、格納容器の設計上の最高使用外圧2psiに対し、1psiの差圧のみで自動開放するように設計されている

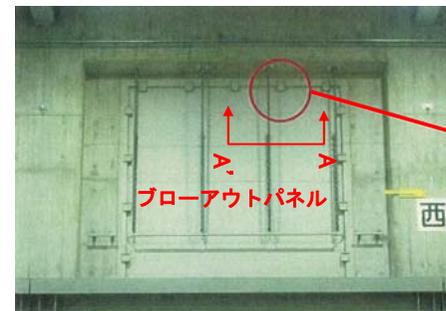
ブローアウトパネルは、電源や空気源に頼ることなく、静的、且つ圧力上昇に対して確実に開放できる仕組みとして、クリップを使用したパネルの開放機構を選定している。

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(圧力による負荷荷重により、部材を破壊させる)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。

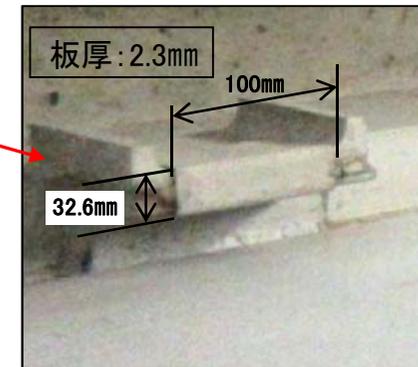


a) 正面図

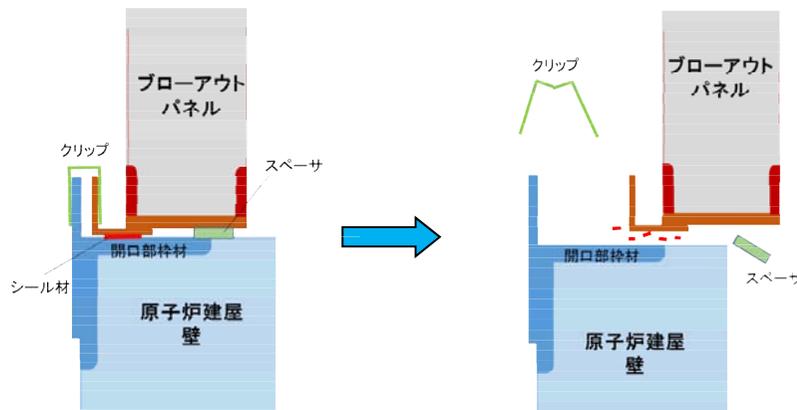
b) 側面図



建屋内側よりの状況
(6階西側)



クリップ部拡大
(A-A' 矢視)



c) 断面図(クリップ式構造の概念図)(外側)

設置場所		寸法(躯体開口部)	クリップ数
5階	北、西	4,000mm × 4,000mm	18個
6階	北1、北2、南1、南2	3,680mm × 4,170mm	18個
	西1、西2、東1、東2	4,170mm × 3,680mm	18個

- ◆ 設計差圧1psi(6.9kPa)によりクリップが壊れ、差圧によりパネルが外側に押し出され外れる仕組み

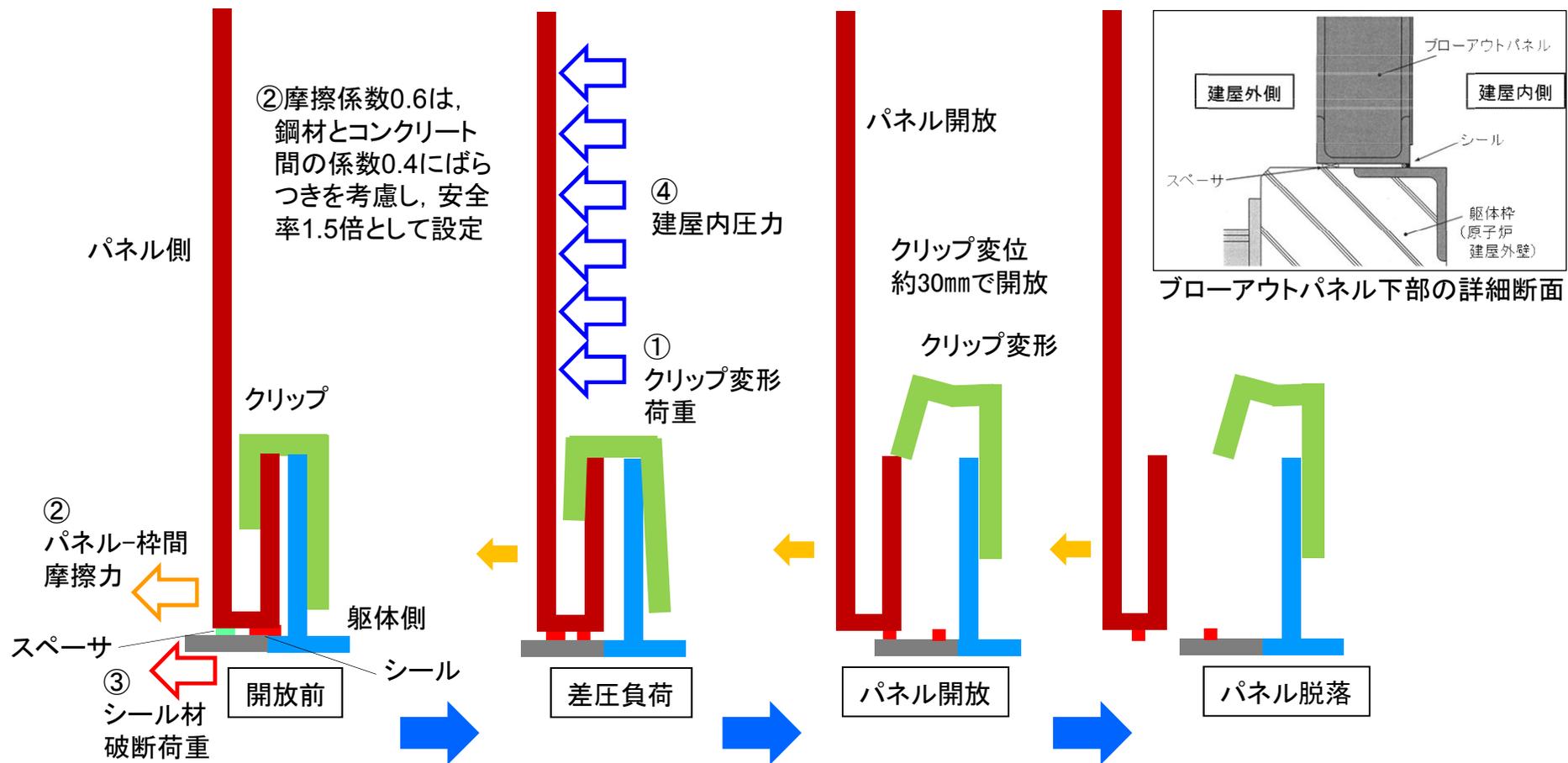
3. 差圧によるクリップの開放機構

【パネル開放の仕組み】

○建屋内圧力によるクリップの変形及びパネルの開放は、具体的には下図の流れとなる。

パネルの開放に必要な荷重(①+②+③) < 建屋内圧力による荷重(④)

- ①クリップを変形させる荷重×クリップ個数
- 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 ⇒ 摩擦係数0.6)
- ③シール材の破断に必要な荷重(シール材の選定及び施工方法の検証により設定)



4. 要求機能と設置許可と工認との関連について(1/4)



設備	要求機能	設置許可基準規則	設置許可の記載	技術基準規則	工認での記載	確認事項
外側ブローアウトパネル	2次格納容器バウンダリ維持(閉じ込め機能)	Ss地震	4条 主要な機器として記載 二次格納容器を構成する原子炉建屋外壁(ブローアウトパネル付き)	5条	健全性に関する説明書にて各要求事項を記載 2. 原子炉建屋に係る事項 に以下を記載 ・「V-1-1-4-別添2 耐震性に関する説明書 R/B壁の一部として耐震評価	・バウンダリとして影響のある有意な変形を生じないことを机上評価
		竜巻	6条 防護設計方針を記載 (差圧による開放時は、安全上支障の無い期間に復旧) 飛来物防止対策を実施	7条	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 基本設計方針 →要求機能を記載する。 ◆ V-1-1-4-別添2「設定値根拠に関する説明書」 →個数の根拠を記載する ◆ V-1-1-6「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」 →要求事項を記載する ◆ V-1-1-6-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」 →設計の要求機能と性能目標を記載する。 →評価方針を記載する。 →構造図 ◆ V-1-1-2-3 竜巻への配慮に関する説明書(設置許可での竜巻に対する考え方) ◆ V-2-11-2 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書 ◆ V-3-別添-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書 	<ul style="list-style-type: none"> ・設計飛来物が防護ネット、防護鋼板で阻止できることを机上評価 ・ネット等を取り付ける架構が崩壊しないことを机上評価 ・架構が地震で落下しないことを机上評価

4. 要求機能と設置許可と工認との関連について(2/4)



設備	要求機能	設置許可基準規則	設置許可の記載	技術基準規則	工認での記載	確認事項
外側ブローアウトパネル	建屋内環境維持(開放機能)	MSLBA	<p>防護設計方針を記載 主蒸気管破断事故時等には、差圧により開放し、蒸気影響を軽減する設計</p> <p>仕様概略 開放方式(クリップ式) 概略構造 設計差圧 開放必要枚数を解析結果より確認</p>	12条	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 基本設計方針 →要求機能を記載する。 ◆ V-1-1-4-別添2「設定値根拠に関する説明書」 →個数の根拠を記載する ◆ V-1-1-6「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」 →要求事項を記載する ◆ V-1-1-6-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」 →設計の要求機能と性能目標を記載する。 →評価方針を記載する。 →構造図 ◆ 補足説明資料 「ブローアウトパネルの開放に関する説明書」(差圧による開放機能の説明として、クリップ試験の詳細と管理値について記載) 	<ul style="list-style-type: none"> ・クリップ試験 ・机上評価による開放荷重の評価 ・外観目視点検(現状の確認) ・モックアップ装置による実作動確認 ・動作試験(開放時の検知) ・建屋気密性の維持管理(シール状況) ・クリップの保守管理
		耐震健全性	二次格納容器を構成する原子炉建屋外壁(ブローアウトパネル付き)			

4. 要求機能と設置許可と工認との関連について(3/4)



設備	要求機能		設置許可基準規則	設置許可の記載	技術基準規則	工認での記載	確認事項
閉止装置	閉止機能	改正規則要求	59条	<p>6.10 制御室</p> <p>6.10.2 重大事故等時</p> <p>c. 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの閉止による居住性の確保</p> <p>重大事故等時において、炉心の著しい損傷が発生し、原子炉建屋ガス処理系を起動する際に、原子炉建屋外側ブローアウトパネルを閉止する必要がある場合には、ブローアウトパネル閉止装置を電動で閉操作し、原子炉建屋外側ブローアウトパネル開口部を閉止することで、原子炉建屋原子炉棟の放射性物質の閉じ込め機能を維持し、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設計とする。また、ブローアウトパネル閉止装置は、人力での閉操作も可能な設計とする。</p> <p>ブローアウトパネル閉止装置は、常設代替交流電源設備である常設代替高圧電源装置から給電が可能な設計とする。</p>	74条	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 原子炉格納施設の基本設計方針 →閉止装置の要求機能を記載する。 ◆ V-1-1-4-別添2「設定値根拠に関する説明書」 →閉止装置の個数の根拠を記載する。 ◆ V-1-1-6「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」 →要求事項を記載する ◆ V-1-1-6-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」 →設計の要求機能と性能目標を記載する。 →評価方針を記載する。 →構造図 ◆ V-2-9-5-2-4「ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書」 →評価方針に基づき評価方法と結果を記載する <p>・地震後の気密性能、作動性を加震試験結果に基づいて記載する。</p> <p>・竜巻及び降下火砕物による荷重により波及的影響を及ぼさない(落下しない)ことの計算結果を記載する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・地震後の気密性能試験 ・地震後の作動確認 ・加震試験

4. 要求機能と設置許可と工認との関連について(4/4)



設備	要求機能		設置許可基準規則	設置許可の記載	技術基準規則	工認での記載	確認事項
	開放機能	Ss地震					
強制開放装置 (自主設備)	開放機能	Ss地震	—	記載なし	—	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 原子炉格納施設の基本設計方針 →閉止装置の要求機能を記載する。 ◆ V-1-1-6「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」 →要求事項を記載する ◆ V-1-1-6-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」 →設計の要求機能と性能目標を記載する。 →評価方針を記載する。 →構造図 <p>自主設備であるため、方針のみ記載する。</p>	

5. 2次格納施設としてのブローアウトパネルの機能について



- ◆ ブローアウトパネルの開放による2次格納施設のバウンダリ維持機能に影響を与える可能性がある自然現象としては、竜巻と地震がある。
- ◆ この2つの事象に対する対応方針をブローアウトパネルの開放時に想定される事象を踏まえ検討した。検討の結果東海第二発電所では、竜巻に対しては安全上支障ない期間に補修が可能な設計とすること、地震に対しては、基準地震動 S_s では開放しないように設計することで、2次格納施設としてのバウンダリ機能は十分に維持できるものとする。

自然現象	設計値	プラント状態	自然現象発生時に想定される事象	対応策	対応策の妥当性
設計竜巻	8.9kPa	運転中	<p><自動停止></p> <ul style="list-style-type: none"> ・主タービン、発電機の損傷 ・補機冷却系(常用の海水、淡水系)の喪失 ・復水器真空度低下(循環水喪失) ・外部電源喪失 <p><手動停止></p> <ul style="list-style-type: none"> ・補給水喪失(復水貯蔵タンク喪失) 	<p>◆ 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</p>	<p>◆ プラント運転中には、プラントの停止を要する事象の発生が想定されるが、停止及び冷却に必要な設備は確保されており、原子炉安全に影響しない。</p> <p>◆ プラント停止中においても、残留熱除去系は維持されており、原子炉安全に影響しない。</p> <p>◆ 竜巻によるブローアウトパネル開放と設計基準事故との重畳頻度は、有意性の判断基準10^{-7}回/年を下回り、十分小さい</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ブローアウトパネル開放差圧を生じる竜巻(89m/s)の発生頻度:5.2×10^{-6}回/年 ・設計基準事故の発生頻度:$10^{-3} \sim 10^{-4}$回/年 <p style="text-align: center;">↓</p> <p>・竜巻によるブローアウトパネル開放と設計基準事故の重畳頻度:$< 10^{-8}$回/年*</p>
		停止中	<ul style="list-style-type: none"> ・外部電源喪失 ・補機冷却系(常用の海水、淡水系)の喪失 ・補給水系の喪失 		
基準地震動 S_s	据付レベルの加速度	運転中	<p>◆ ブローアウトパネルの設計開放差圧6.9kPaが発生した場合、ブローアウトパネルに付加される開放荷重(差圧×面積)は、約106～111kN程度</p> <p>一方、地震による開放荷重(自重×地震加速度)は、約32～33kN程度</p>	<p>◆ 以上より、地震荷重による開放荷重は、ブローアウトパネル開放荷重より小さく、基準地震動S_sによりブローアウトパネルは開放しない設計とすることが可能</p>	
		停止中			

6. ブローアウトパネルに対する要求事項



【要求事項】

- ◆ 設計基準対処設備及び重大事故等対処設備として、ブローアウトパネルに関連し要求される事項と対応方針を以下に整理した。

No	DB/SA	要求事項	具体的な設計内容
①	DB	主蒸気管破断事故(MSLBA)時等で開放し、建屋内環境を維持すること	必要枚数が内圧により開くこと
②	DB	地震後に開放に必要な機能を維持すること	地震後に設定差圧により開放すること
③	DB	基準竜巻で開放した場合、建屋内防護対象設備を防護できること	設計竜巻の差圧で開かないこと、もしくは、建屋内機器を竜巻の風速等から防護できること
④	SA	開放状態で炉心損傷した場合には、速やかに閉止できること	開放した場合は、速やかに閉止(遠隔及び手動)できること
⑤	大規模損壊	放水砲による使用済燃料プールへの放水のため、必要な箇所を開放できること	必要箇所が手動で開放できること

【対応の基本方針】

- ◆ 建設時の設計※を極力踏襲し、可能な限りブローアウトパネル枚数を多く確保した上で、3次元流体解析により、主蒸気管破断事故(MSLBA)時の建屋内圧力、温度が設計条件内にあることを確認した。この結果を踏まえ、竜巻に対する対応、重大事故等発生時の要求を考慮し、ブローアウトパネル枚数の最適化を図るため原子建屋原子炉棟の5階の東側2枚を閉鎖する。
- ◆ 上記対策を実施するため、内部溢水における蒸気評価の再評価を行い、従来の評価に影響の無いことを確認した。
 - ・添付十(安全解析)のMSLBA時の被ばく評価は、全量の地上放出を仮定しており、ブローアウトパネル枚数に影響しないため、ブローアウトパネル枚数変更の影響なし。
 - ・IS-LOCA時の環境条件(環境温度の影響確認と必要な場合の防護対策)
 - ・既工認にて記載が無い設備であることから、工認での記載や今後の管理項目について検討を実施
- ※ 建設時設計の設置数12枚については、建屋内圧力の上限值に対して裕度を持った開口面積として設定しており、圧力に着目した評価により十分とされた開口面積(約90m²)の約2倍(約185m²)を有している。また、これにより建屋内温度条件についても裕度を持った設計となっており、このうち2枚を閉とした場合においても、圧力・温度とも当初の設定値を超えることはなく影響はない。

7. ブローアウトパネルへの要求事項と対応方針(1/2)



【原子炉棟 6階面 のブローアウトパネル 全8枚】

設置 エリア	要求事項				左記条件を 包絡する 対策案		
	①MSLBA	②竜巻		③再閉止		④放水砲	
		気圧低下	飛来物				
東面 (2枚)	全8枚中4枚 以上開放で、 MSLBA時の 設計条件(圧 力, 温度)を 満足するため、 各壁面で1枚 以上を確保 根拠: GOTHICによ る解析結果※ (内部火災で の隔壁等を反 映)	開放を許容	飛来物の衝突、 貫通によるパネ ルの損傷、建屋 内への飛来物 侵入の防止	開放を想定する パネルは、速や かに再閉止(遠 隔及び手動)	何れか1箇所は、 建屋外から強制 開放	・ブローアウト機能維持 +再閉止装置の設置 ・竜巻飛来物防止対策 ・強制開放装置の設置 (万一パネルが完全に開放せず、再 閉止できない状態の対応を含む)	
南面 (2枚)					何れか1箇所は、 建屋外から強制 開放		同上
西面 (2枚)					何れか1箇所は、 建屋外から強制 開放		同上
北面 (2枚)					— (放水砲の設置 が想定されない ため)		同上

※: 格納容器の設計外圧に着目すると、MSLBA時の開放必要枚数は3次元流体解析の結果から、4枚以上となる。
 P14: 第2図 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 参照
 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、必須とはしていない。

7. ブローアウトパネルへの要求事項と対応方針(2/2)



【原子炉棟 5階面 のブローアウトパネル 全4枚】

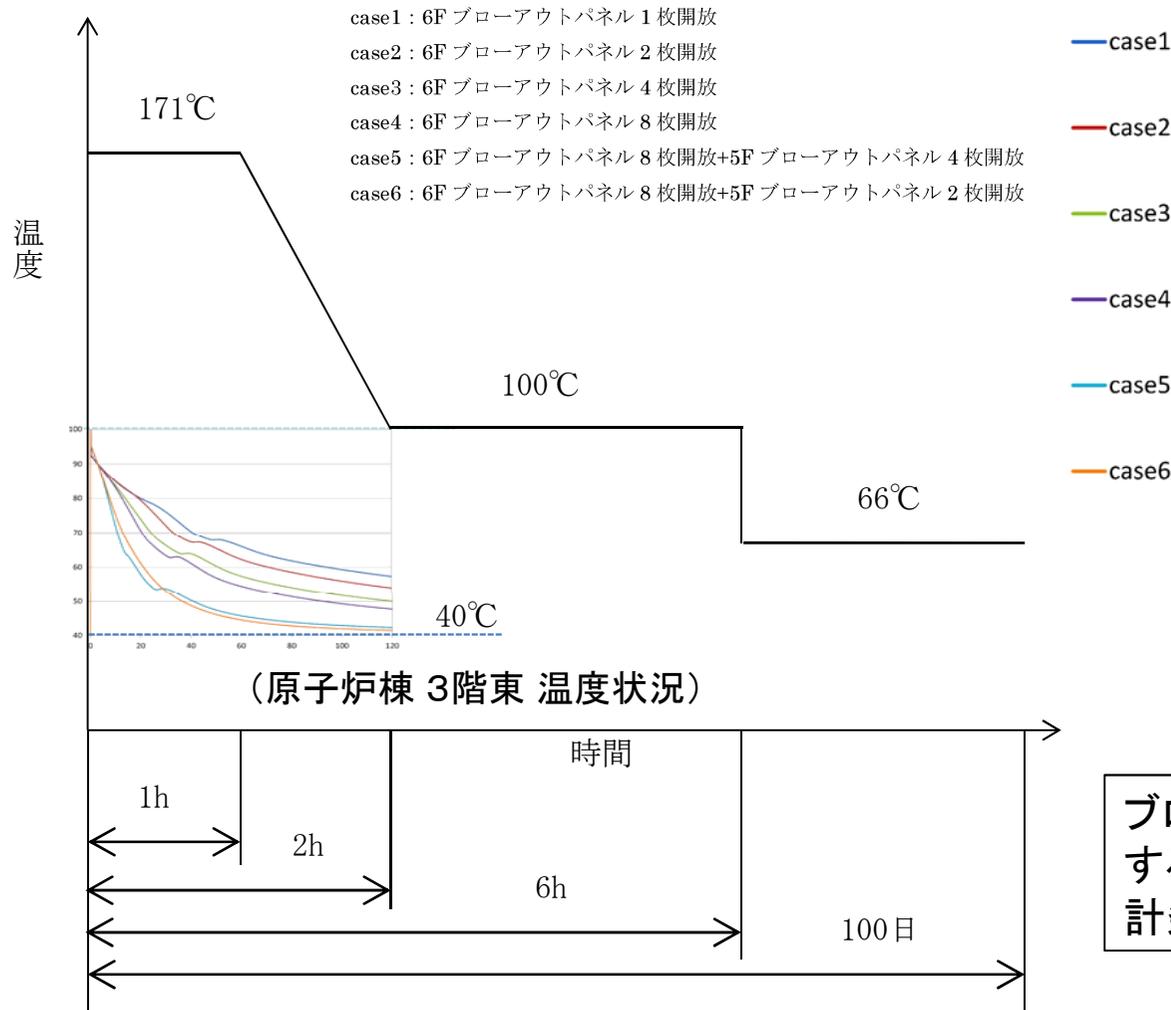
設置 エリア	要求事項				左記条件を 包絡する 対策案	
	①MSLBA	②竜巻		③再閉止		④放水砲
		気圧低下	飛来物			
東面 (1枚)	GOTHIC解析 結果によれば, 開放は必須で はない	5階東側には安全 機能を有する SGTS/FRVSが設置 されており, 風荷重 から防護	飛来物の衝突, 貫通によるパネ ルの損傷, 建屋 内への飛来物 侵入の防止	開放を想定す るパネルは, 速 やかに再閉止 (遠隔及び手 動)	— (5階面への放水 の必要性なし)	・竜巻対策を優先し, ブローアウトパネルは 閉鎖
南面 (1枚)						
西面 (1枚)		5階西側には安全 機能を有するほう酸 水注入ポンプ等が 設置されているが, パネルの配置から 風の影響なし				同 上
北面 (1枚)						



8. 蒸気影響評価におけるブローアウトパネル必要枚数の検証(1/2)



- ◆ 建設時設計で想定するMSLBA時の原子炉棟内の環境条件に対し、3次元流体解析により検証を行い以下を確認



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。

5階東側の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。

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、ブローアウトパネル全数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。

また、各溢水防護対象設備の設置位置と蒸気配管の設置位置を考慮し、蒸気漏えいの観点で、最も厳しい環境条件となると考えられるのは2階、3階の東側エリアである。

ブローアウトパネルが1枚以上開放することで、建屋内温度条件は、設計条件を満足することを確認

第1図 MSLBA時の原子炉棟内温度状態と解析結果の比較

8. 蒸気影響評価におけるブローアウトパネル必要枚数の検証(2/2)

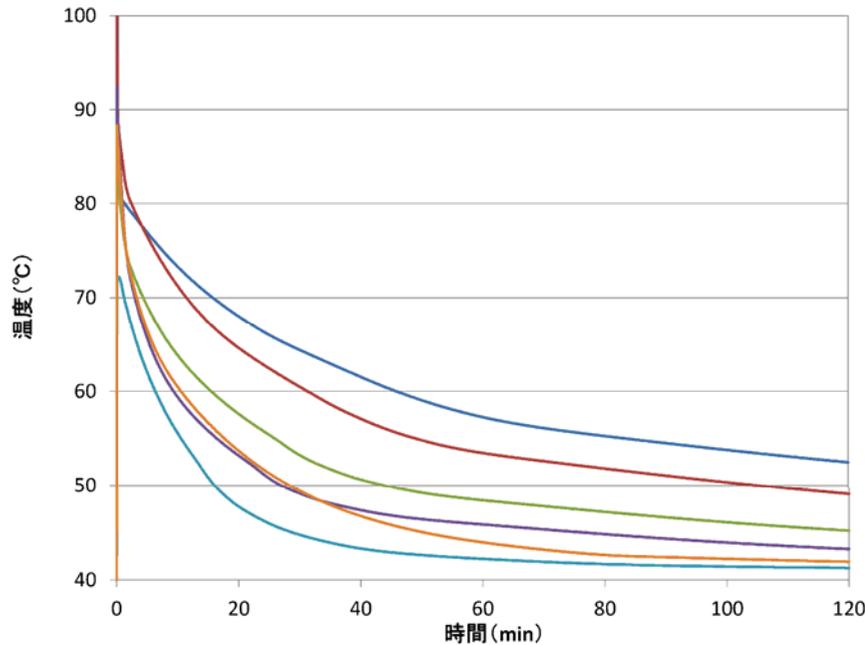


原子炉棟6階の温度及び圧力評価結果を示す。

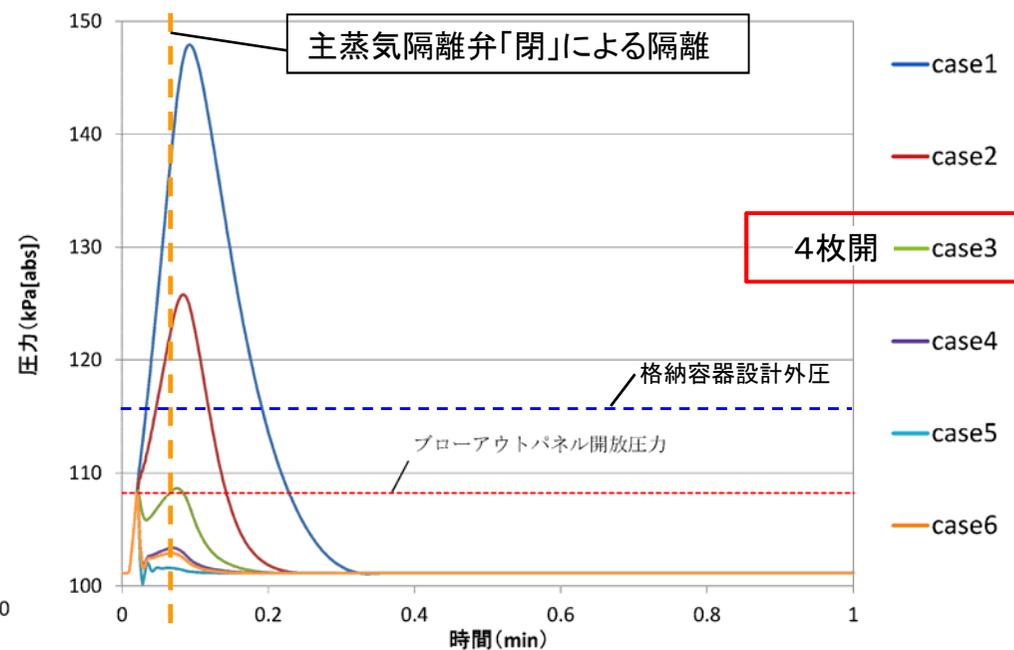
- case1 : 6F ブローアウトパネル 1 枚開放
- case2 : 6F ブローアウトパネル 2 枚開放
- case3 : 6F ブローアウトパネル 4 枚開放
- case4 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放
- case5 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放+5F ブローアウトパネル 4 枚開放
- case6 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放+5F ブローアウトパネル 2 枚開放

圧力解析結果より以下を確認した

- ・MSLBA時には、ブローアウトパネル開放に必要な設定圧力に達すること
- ・6階に設置された4枚が開放することで、格納容器の設計外圧を越えないこと
- ・パネル開放までの時間は、蒸気漏えいから約1.3秒程度であり、建屋内圧力は瞬時に6階まで伝播する



温度状況比較



圧力状況比較

(原子炉棟 6階)

第2図 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

9. ブローアウトパネル及び関連設備の必要機能と確認方法について(1/3)



対象機器	機能	機能詳細	設計	確認方法	確認時期
外側BOP	差圧による開放機能	主蒸気管破断事故時等の原子炉棟の圧力上昇時に、外気との差圧により自動的に開放し、原子炉棟内の圧力及び温度を低下させることができること	開放機能 規定の圧力にて自動的に開放すること	クリップ試験 クリップの材質、寸法、個数等の管理により、一定の圧力にて確実に作動すること	設計段階
			作動荷重の評価(パネルの摩擦力) 上記作動条件に影響のある項目の評価を実施し、適切な管理を行う	机上評価による開放荷重の評価	設計段階
			劣化状況の評価 上記作動条件に影響のある劣化状況の評価を実施し、適切な管理を行う	目視点検及び手入れ パネル下部の劣化状況、シール施工状況を確認し手入れ及び再施工を実施	施工段階
			実作動試験 規定の圧力に対応する荷重以下で開放すること	モックアップ装置による実作動確認を実施し、開放に必要な荷重が所定の差圧以下であることを確認	設計段階
			耐震健全性 基準地震動に対して規定圧力による作動機能が維持されること	机上評価 地震時に開放に影響のある有意な変形を生じないことを評価	設計段階
開放の検知機能	ブローアウトパネル開放時に、速やかに閉止できるよう、各ブローアウトパネルの開放が検知できること	中央制御室にて、各ブローアウトパネルの開閉状態を確認できること(開放パネルの特定)	動作試験 パネル作動を検知するリミットスイッチの動作確認	施工段階	

9. ブローアウトパネル及び関連設備の必要機能と確認方法について(2/3)



対象機器	機能	機能詳細	設計	確認方法	確認時期
閉止装置	閉止機能	ブローアウトパネル開放状態で炉心損傷が発生した場合に、ブローアウトパネル開放による原子炉建屋開口部を速やかに閉止できること	原子炉建屋の気密性能が確保できること (原子炉建屋ガス処理系運転時に必要な建屋の負圧を確保できること)	気密性能試験 建屋に必要な気密を確保できること	設計段階
			スライド扉が遠隔で閉止できること。 (電源からの給電により電動にて閉止できる設計)	動作試験 遠隔操作により作動できること	施工段階 (耐震健全性に含む)
			スライド扉が現場にて手動にて閉止できること (ワイヤをウインチにて引くこと等により、手動でも閉止できる設計)	動作試験 電源等の動力に依らず手動にて作動可能な機構であること	施工段階 (耐震健全性に含む)
			竜巻対策(竜巻飛来物からの防護)及びブローアウトパネル開放装置(大規模損壊対応等)と干渉しないこと	机上評価	設計段階
	閉止の検知機能	閉止装置の閉止状態が検知できること	中央制御室にて、各閉止装置の開閉状態が確認できること	動作試験 閉止状態を検知するリミットスイッチの動作確認	施工段階
	耐震健全性	地震後においても閉止機能及び気密性能を維持すること	基準地震動に対して閉止装置の作動機能が維持されること	加振試験(モックアップ)	設計段階
			地震後に閉止装置の気密性能が維持されること	気密性能試験 建屋に必要な気密を確保できること	設計段階

9. ブローアウトパネル及び関連設備の必要機能と確認方法について(3/3)



対象機器	機能	機能詳細	設計	確認方法	確認時期
竜巻防護設備	飛来物からの防護機能	ブローアウトパネル自体を飛来物による損傷から防護できること 気圧低下等によるブローアウトパネル開放後の、建屋内への飛来物侵入が阻止できること	ブローアウトパネルが飛来物から防護されること	机上評価 他設備との干渉等の評価を含む	設計段階
強制開放装置 (自主設備)	開放機能	原子炉建屋内側から油圧(エチレングリコール)ジャッキにより、ブローアウトパネルを強制的に開放できること	遠隔操作により、ブローアウトパネルを強制的に開放できること	遠隔操作により作動できる機構であること	施工段階

10. ブローアウトパネル開放の成立性について

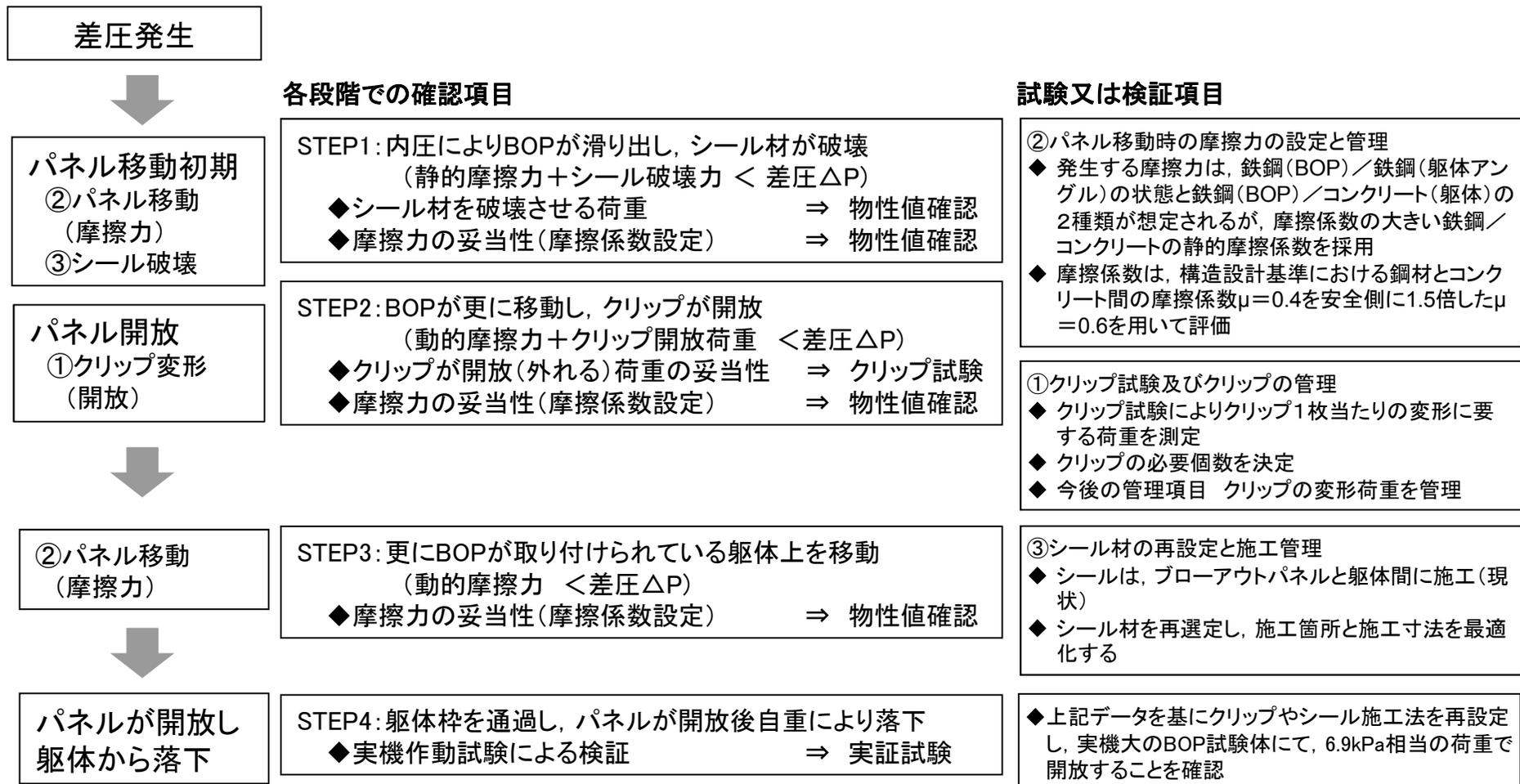


◆ ブローアウトパネル開放メカニズムと確認項目について

ブローアウトパネルが設計差圧 ΔP (1psi=約6.9KPa)により開放する場合のメカニズムは、以下のとおりである。各段階に対し、確認すべき項目を整理した。

ブローアウトパネルの開放条件

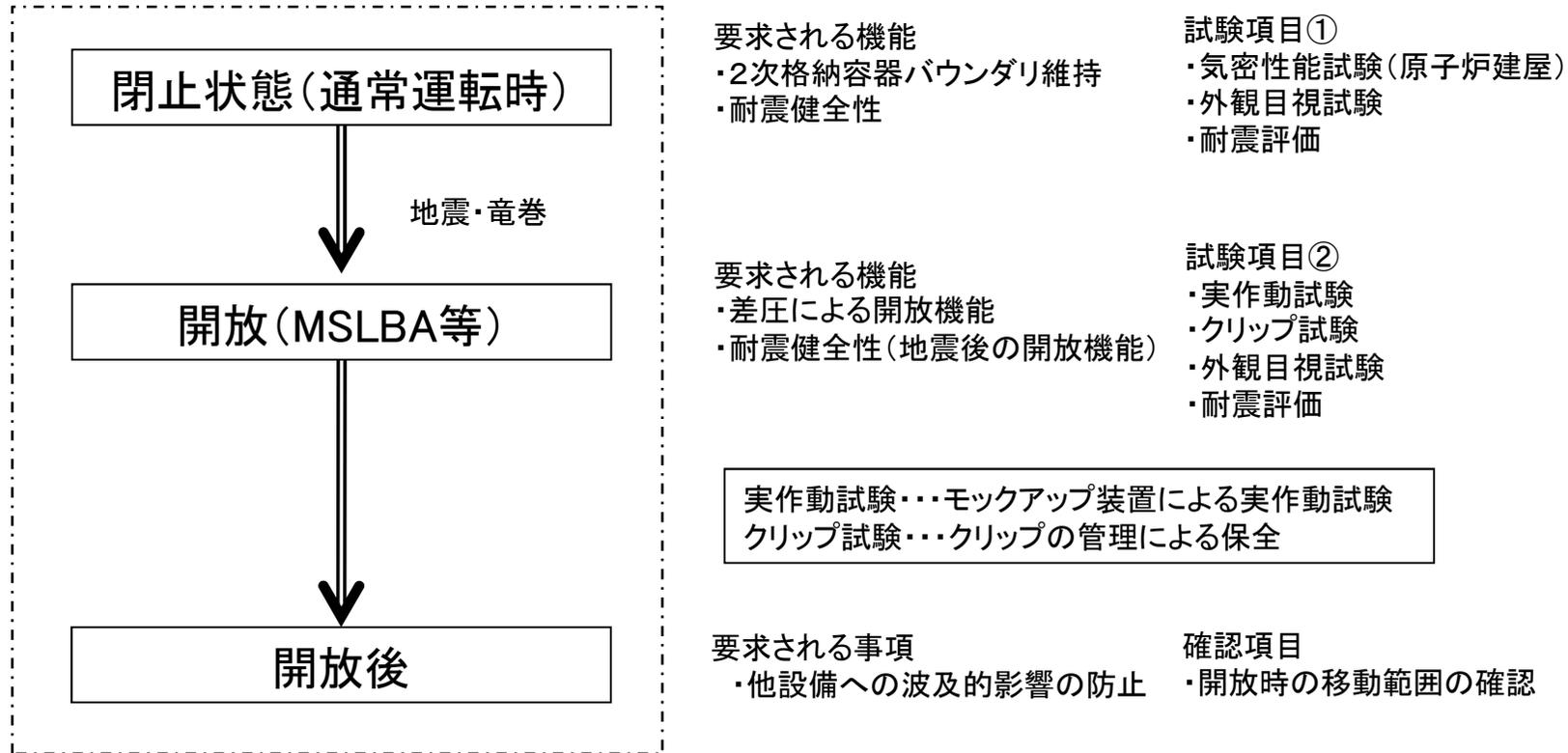
パネルに生じる差圧荷重 > ①クリップを開放させる荷重 + ②摩擦力 + ③シール材破壊力



10. ブローアウトパネル開放の成立性について



原子建屋外側ブローアウトパネルの必要機能に関する確認試験



◆ 実作動試験の代表性について

ブローアウトパネルは開口面積の違う3タイプが設置されている。

面積に応じて開放時に負荷される差圧による荷重に相違があるため、実作動試験の実施については、最大面積のパネルを用いて、最少面積のパネルに負荷される荷重により開放することを確認する。

11. クリップの信頼性(規定差圧により開放することの信頼性)(1/2)



【試験対象】

- ◆ 原子炉建屋外側ブローアウトパネル 計10枚

大きさ 約4m × 4m, 重さ 約1.5t, 開放差圧 約6.9kPs (1.0psi) 7000N/m², クリップ枚数 18枚

【試験目的】

- ・クリップ単体の引張試験を実施し, ブローアウトパネルの開放機能を担保するための, 適切なクリップの管理項目を設定する

【試験方法】

- ・オートグラフ試験機(AG-50kNB)による引張試験
- ・変位制御(引張速度 1mm/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クリップの歪

【測定結果の評価】

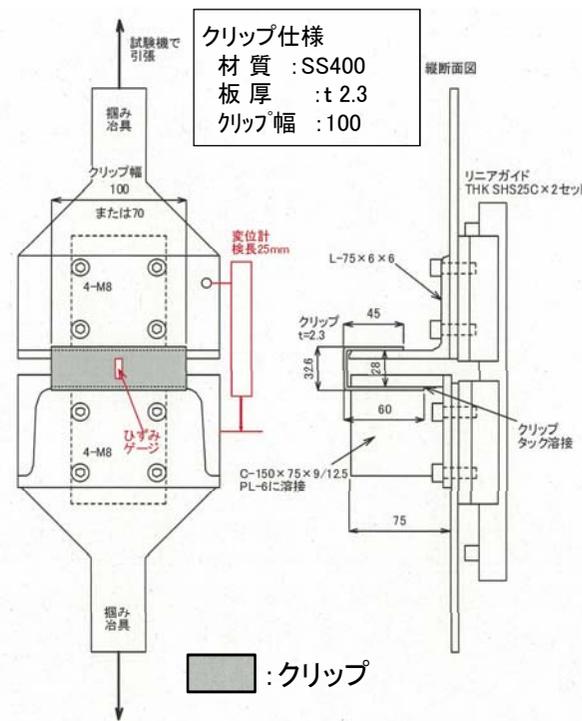
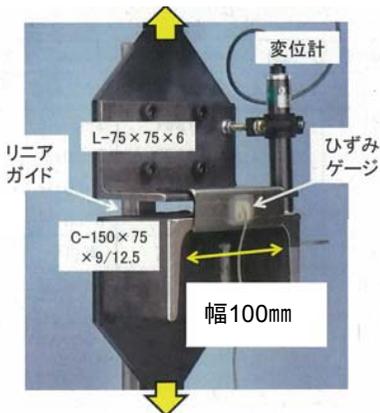
クリップの最大荷重と変位の試験結果より, クリップの作動時におけるばらつきを検証する
 パネルが設定差圧にて確実に開放するための管理項目を検証する

【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



クリップ取付状況



試験体(クリップ+治具)詳細寸法図

11. クリップの信頼性(規定差圧により開放することの信頼性)(2/2)

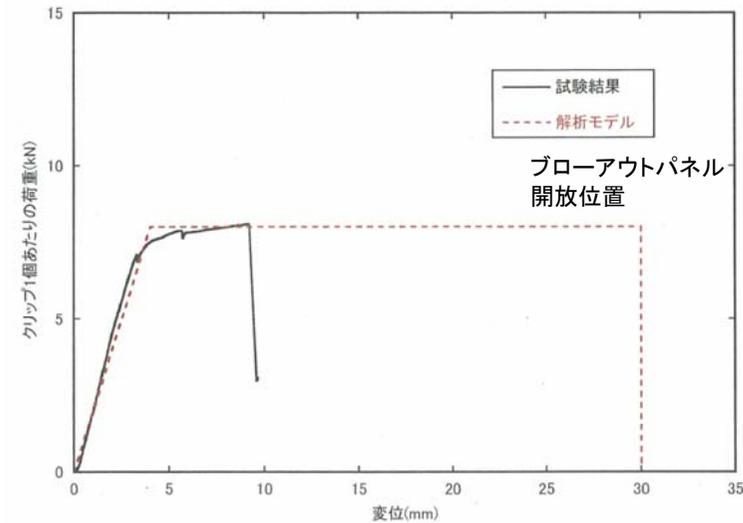


【試験による検証内容】

○クリップ試験の結果より, ブローアウトパネルの作動性能と信頼性を担保する管理項目を決定する。

引張試験での確認項目

- ・パネルの確実な開放
 - 一定荷重以下でクリップの変形によりパネルの支持部が開放されること
- ・規定圧力による作動, ばらつきの管理
 - 一定荷重以下でクリップの変形が生じること



クリップの荷重と変位の関係グラフ(例)

- ◆ パネル開放に必要な荷重を算定
 - ①クリップを開放させる荷重 + ②摩擦力 + ③シール材破壊力
- ◆ 試験結果よりクリップ1個当たりの荷重を設定 ⇒ クリップの必要個数を確認

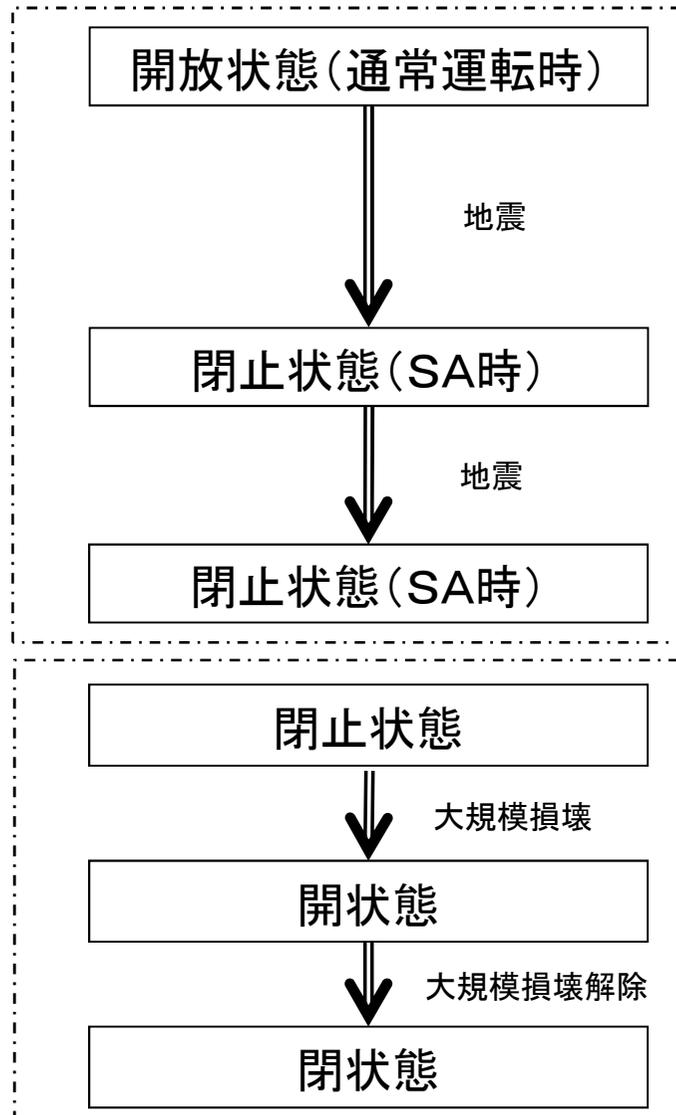


規定差圧によりパネル開放に至る

12. ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験について(1/3)



ブローアウトパネル閉止装置の必要機能に関する確認試験



要求される機能
・機器に異常がないこと

試験項目①
・気密性能試験
・外観目視試験
・作動確認(自動・手動にて開閉)

加振試験実施・・・閉止装置は「開」状態

要求される機能
・閉機能
・気密性

試験項目②
・気密性能試験
・外観目視試験
・作動確認(自動・手動にて開閉)

加振試験実施・・・閉止装置は「閉」状態

要求される機能
・気密性

試験項目③
・気密性能試験
・外観目視試験

要求される機能
・開閉機能

試験項目④
・作動確認(自動・手動にて開閉)

各試験の目的

試験項目①: 初期状態の確認

試験項目②: 地震発生後の機能の健全性の確認

試験項目③: SA後の余震を考慮した機能の健全性の確認

試験項目④: 大規模損壊を考慮した開閉機能の健全性の確認

12. ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験について(2/3)



ブローアウトパネル閉止装置(扉、レール、扉枠等)を一体として、躯体部への取付状態を模擬した状態で加振試験を実施し、下記の試験を実施する。

○気密性能試験

・試験方法

試験体両側に圧力差を生じさせ、試験体の隙間からの漏えい量を測定する。

・実施時期

加振試験前後に実施する。

○外観目視試験

・試験方法

閉止装置の構成部品を目視点検を実施する。

・実施時期

加振試験前後に実施する。

○作動試験

・試験方法

電動による自動操作及び手動操作により閉止装置が開閉できることを確認する。

・実施時期

加振試験前後に実施する。

12. ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験について(3/3)



ブローアウトパネル閉止装置の気密性能試験内容

排風機により試験容器内の空気を排出することにより、試験容器に取り付けた扉本体に圧力差を生じさせ、圧力差を確認しながらパッキンを通る空気の漏えい量を測定する。

・試験方法

ASTM E283-4等に準じて実施する。

・試験内容

加振試験前に気密性能試験を実施し気密性能を確認する。
加振試験後に気密性能試験を実施し気密性能を確認する。

・試験体大きさ

約4,200mm × 約4,200mm

(躯体開口部を包絡する大きさ)

・気密性評価

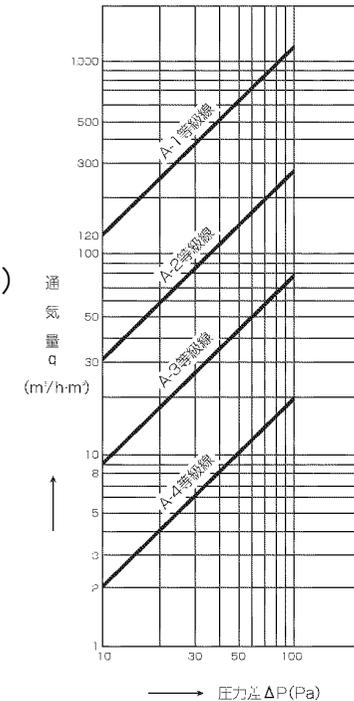
$$q = Q / A$$

q: 通気量 (m³/h・m²)

Q: 通過した空気量 (m³/h)

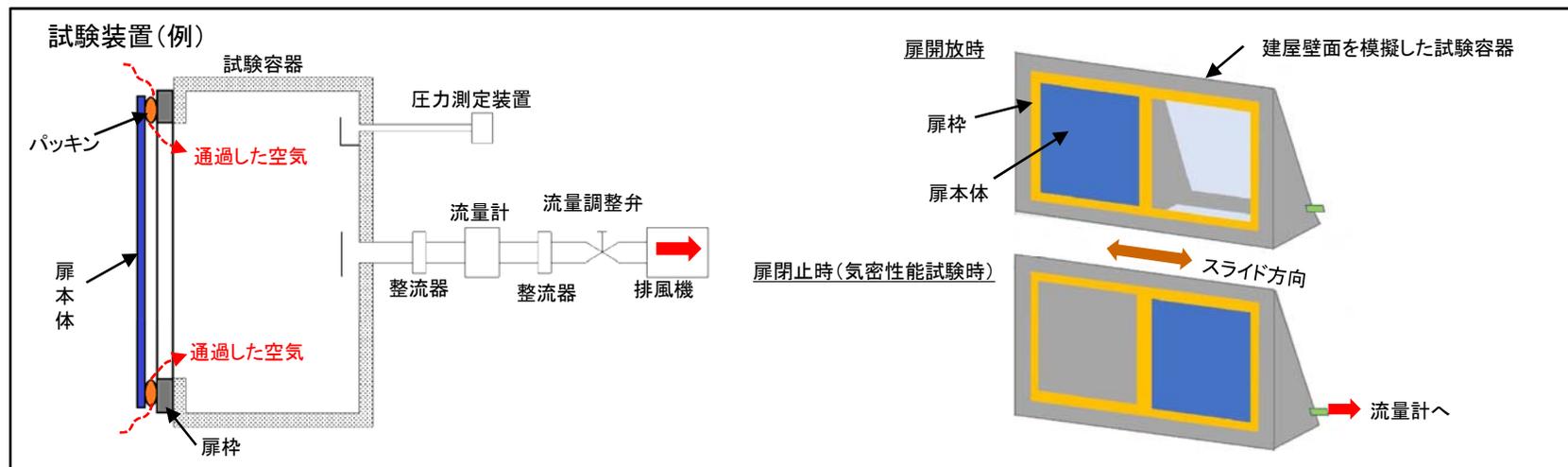
A: 扉の内法面積 (m²)

JIS A 4706 気密等級線図



ブローアウトパネル躯体開口部寸法

設置場所		寸法 (躯体開口部)
5階	北、西	4,000mm × 4,000mm
6階	北1、北2、南1、南2	3,680mm × 4,170mm
	西1、西2、東1、東2	4,170mm × 3,680mm



13. ブローアウトパネル関連設備の保全について



ブローアウトパネル及び関連設備の保全内容について

※詳細は、検討中

対象機器	必要な機能	保全内容※
原子炉建屋外側ブローアウトパネル	気密性能	気密性能試験(建屋)
		外観目視(シール部)
	作動性能	クリップの性能管理
	構造健全性	外観目視試験
ブローアウトパネル閉止装置	気密性能	シール部の取替
	作動性能	作動試験
	構造健全性	外観目視試験
竜巻防護設備	構造健全性	外観目視試験
強制開放装置 (自主設備)	作動性能	シリンダ単体作動試験
	構造健全性	外観目視試験

14. 設計段階における機能確認試験スケジュール



項目	2月		3月		4月		5月		6月	
	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬
原子炉建屋外側 ブローアウトパネル	試験計画策定 [Bar]		引張試験1(材質, 幅変更) [Bar]		引張試験2(寸法変更) [Bar]		試験装置製作 [Bar]		実作動試験 [Bar]	
	試験条件 ▽		試験体製作 [Bar]		試験結果 ▽		試験結果 ▽			
ブローアウトパネル 閉止装置	試験計画作定 [Bar]		試験体及び試験装置製作 [Bar]							
	試験条件 ▽		加振試験、作動試験、気密試験 [Bar]							
			試験結果 ▽							
全体工程及び成立性	全体計画作定 [Bar]		追加検討及び詳細検討範囲確認 [Bar]							
									成立性の確認 [Bar]	

【参考】東海第二発電所のブローアウトパネルについて



- ◆ 原子炉建屋外壁の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、タービン建屋側へのブローアウトパネルは設置していない。
 - ・原子炉建屋3階：主蒸気管室上部の保守点検室北側壁面に2箇所、西の壁面に1箇所の合計3箇所
 - ・原子炉建屋2階：主蒸気管室西側壁面に1箇所、東側壁面に2箇所の合計3箇所



原子炉棟 3階
(— :パネル(全3枚))

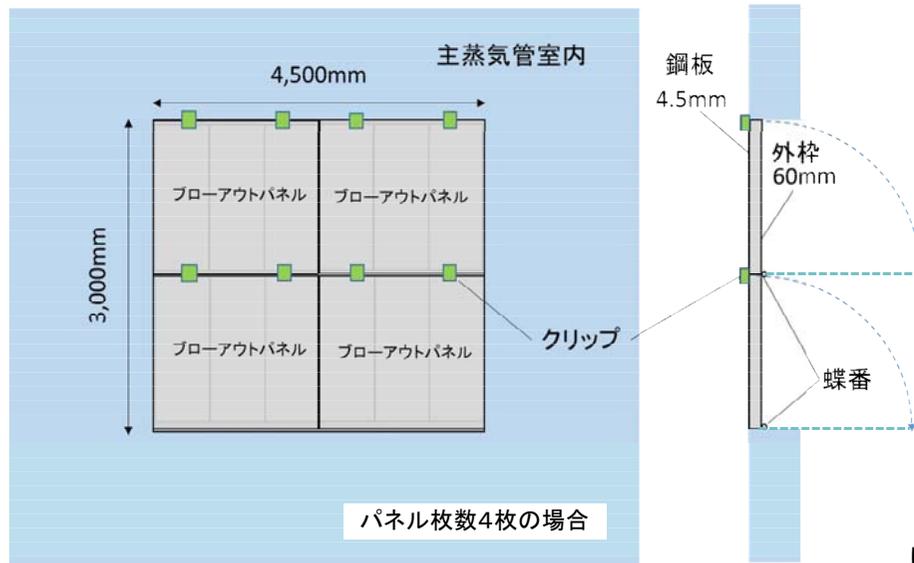
 :主蒸気管室

原子炉棟 2階
(— :パネル(全3枚))

【参考】東海第二発電所の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1mm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。

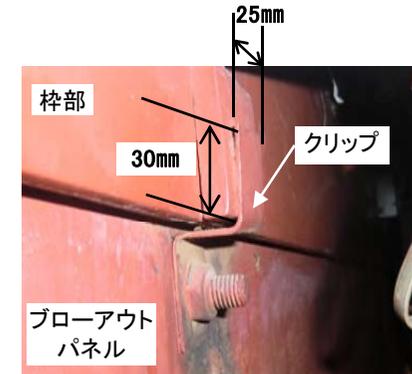


a) 正面図

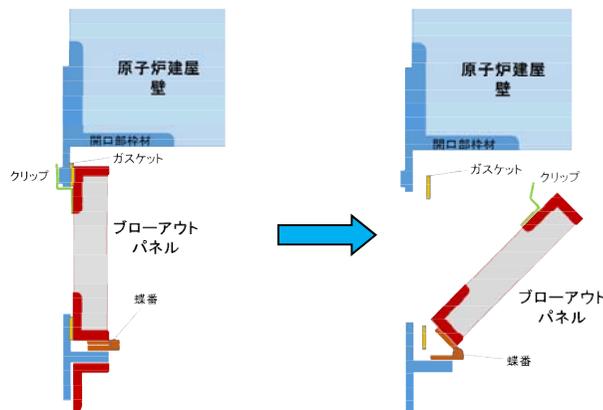
b) 側面図



室内よりの状況
(3階 3F2)



クリップ部



c) 断面図(クリップ式構造の概念図)(内側)

主蒸気配管破断時に主蒸気管室のブローアウトパネルが開放しない場合は、構造的に弱い、タービン建屋側の配管貫通部や主蒸気管室入口扉が圧力により破損することが考えられる。

設置場所		寸法(躯体開口部)	パネル枚数	パネル1枚のクリップ数
2階	2F1、2F3	2,969mm × 1,400mm	2枚	2個
	2F2	4,031mm × 1,400mm	2枚	2個
3階	3F1	2,250mm × 3,000mm	2枚	2個
	3F2、3F3	4,500mm × 3,000mm	4枚	2個

【参考】モックアップ試験による開放荷重の検証例

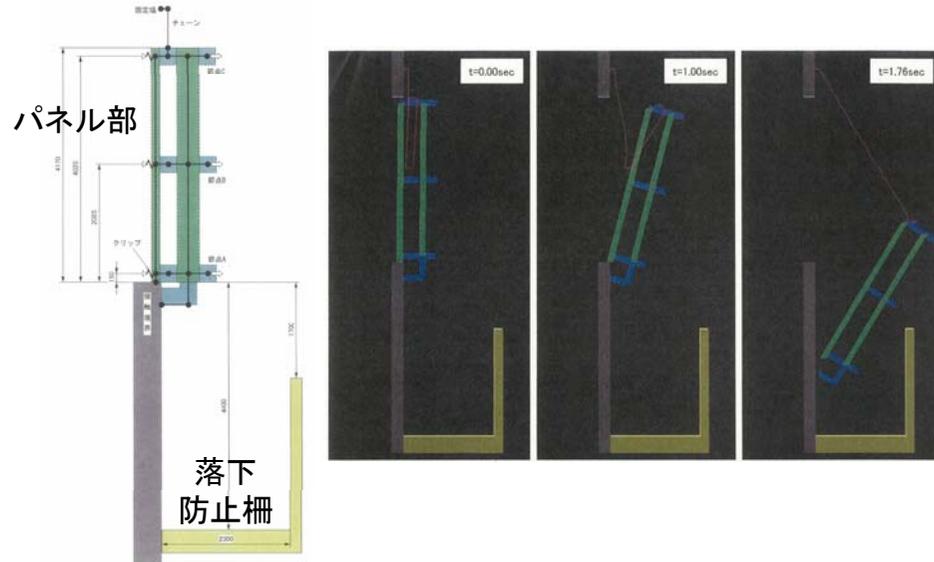


◆強制開放装置設置時(2012年)に油圧装置により実物大モックアップ試験を実施、開放荷重を検証した(机上で検討した開放荷重と測定した開放荷重を比較)



パネル開放試験状況

試験体重量は、加力フレームを含むことから、ブローアウトパネルより重量増(約5.5t)



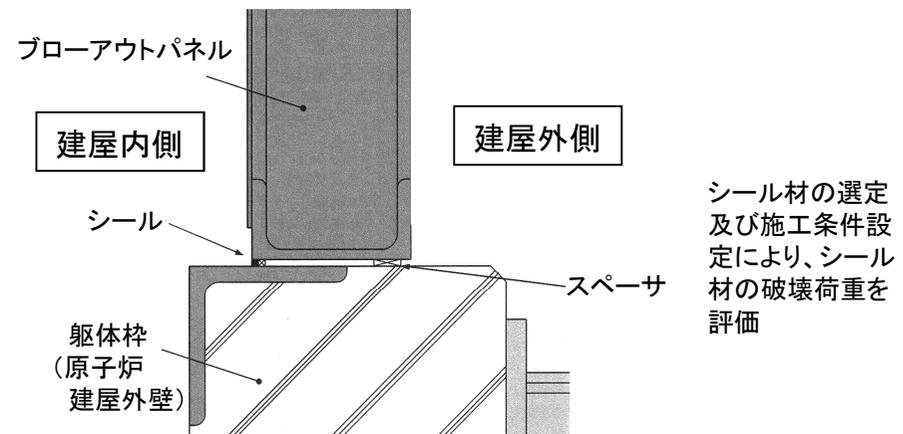
解析モデルを用いたパネル開放・落下状況の検証状況



パネル開放前

パネル開放後

クリップ部詳細

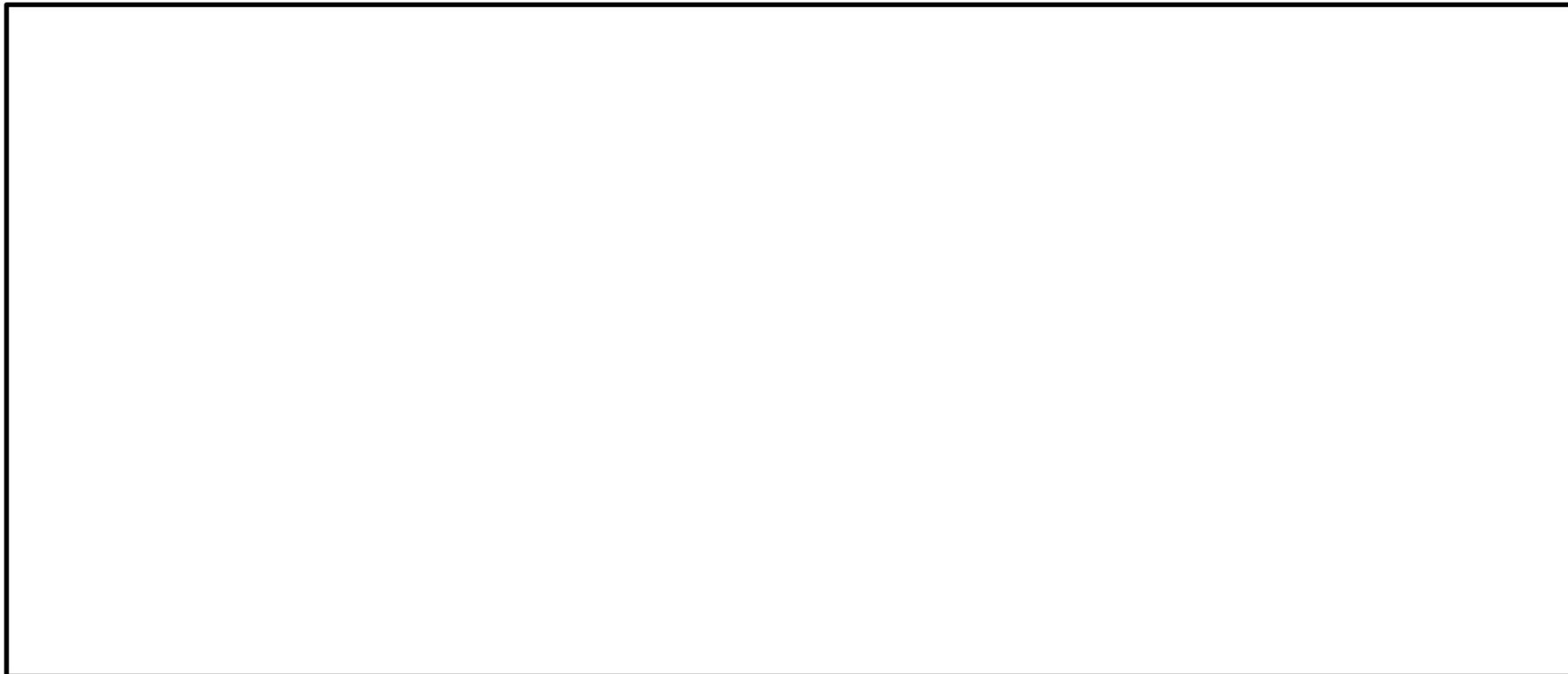


ブローアウトパネル下部の詳細断面

【参考】クリップの飛散影響について



- ◆以下のブローアウトパネル配置に対して、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を図に示す。
 - ・原子炉建屋6階： 取付高さ 床面より 12.5m
⇒ 一部燃料プールへの影響が考えられるが重量的に影響なしの評価
 - ・原子炉建屋5階： 取付高さ 床面より 6.4m
⇒ 主要な設備への影響なし



原子炉棟 6階
( :パネル(全8枚))

 :飛散想定範囲

原子炉棟 5階
( :パネル(全4枚))

 :竜巻防護対象

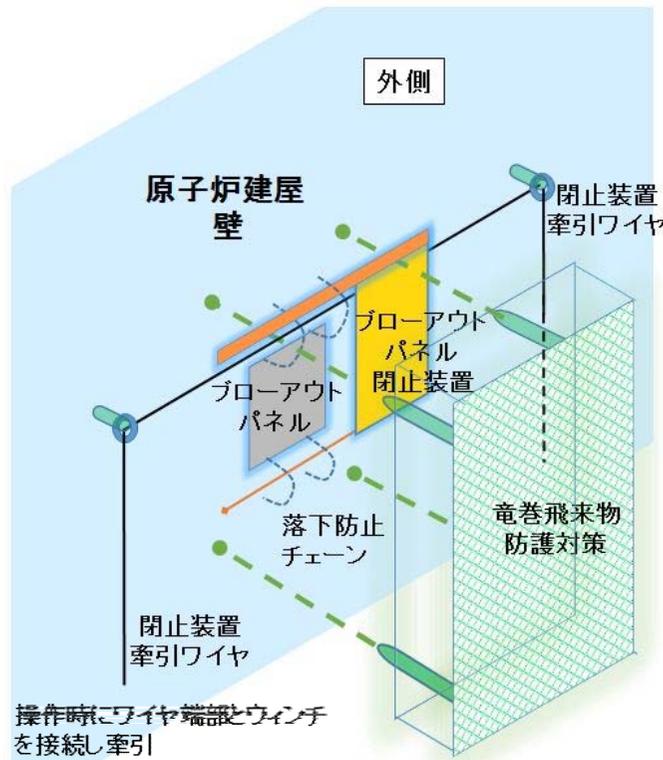
【参考】ブローアウトパネル及び関連設備の設置計画



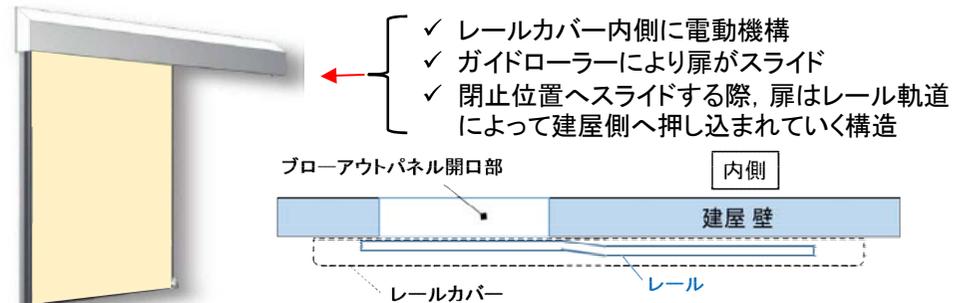
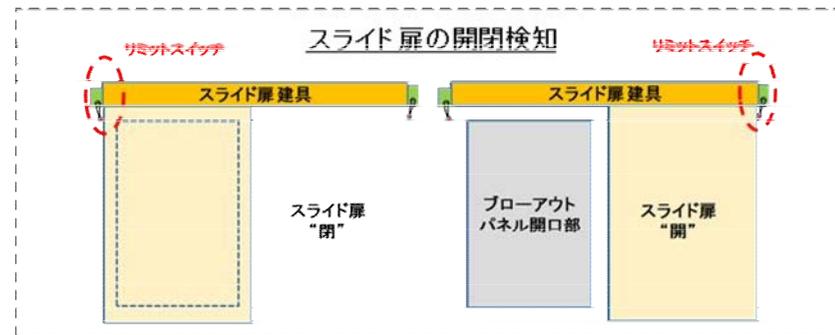
(1) 閉止装置の概要

ブローアウトパネルが開放した状態で炉心損傷した場合、FP閉じ込めのためにパネル開口部を建屋外側のスライド扉で速やかに閉止する。その後のスライド扉の開放方法についても以下に示す。

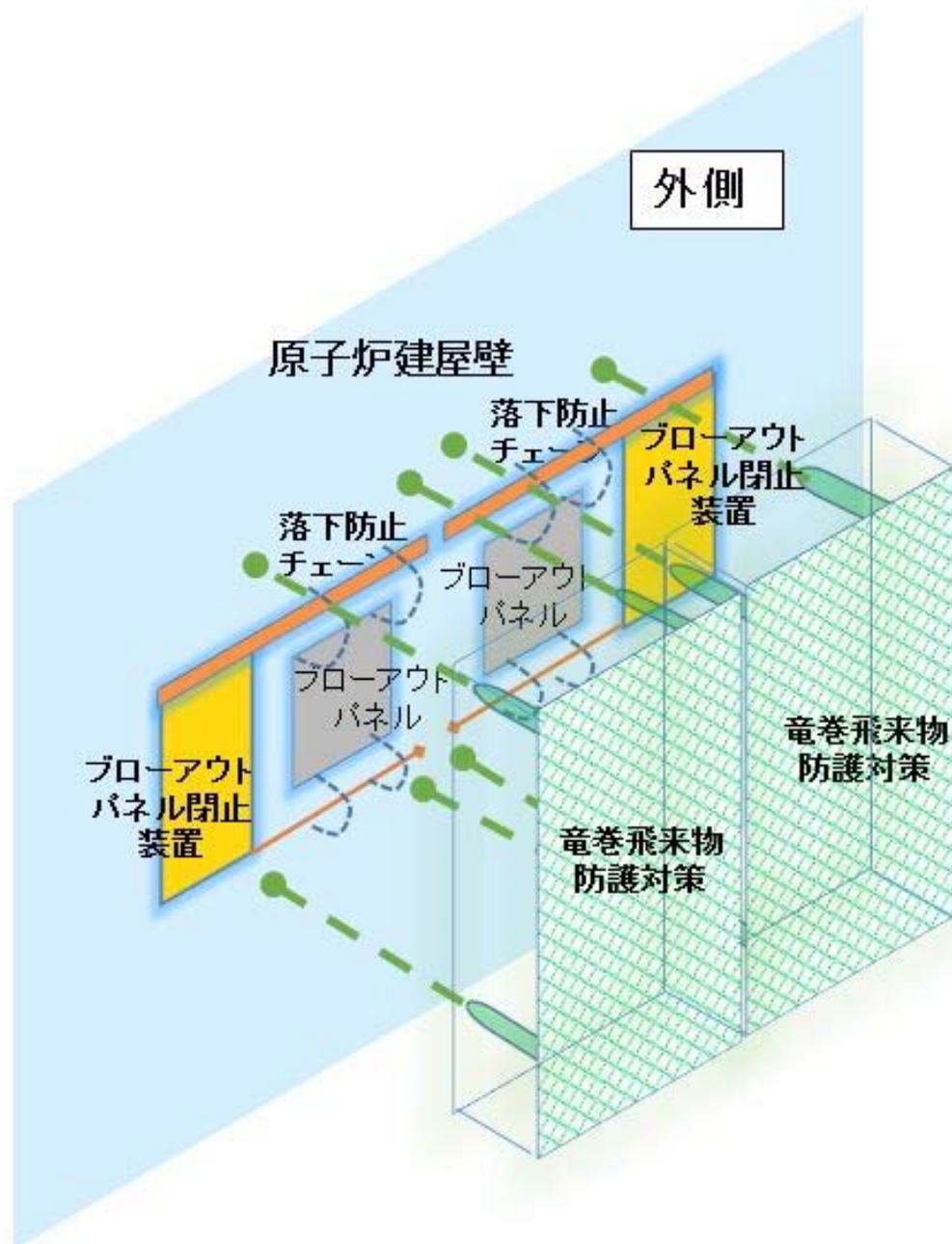
- ✓ スライド扉「閉」時は、開放が必要な位置のスライド扉を開放
 - 緊急用電源又は人力により開可能な設計
 - 人力の場合、扉に取り付けたワイヤを牽引又は遠隔人力操作機構を接続して「開」
 - スライド扉の位置(開位置, 閉位置)は, リミットスイッチの動作にて中央制御室で検知できるよう設計



牽引ワイヤーによる開閉概念図(例)



【参考】ブローアウトパネルが近接している場合の設置計画

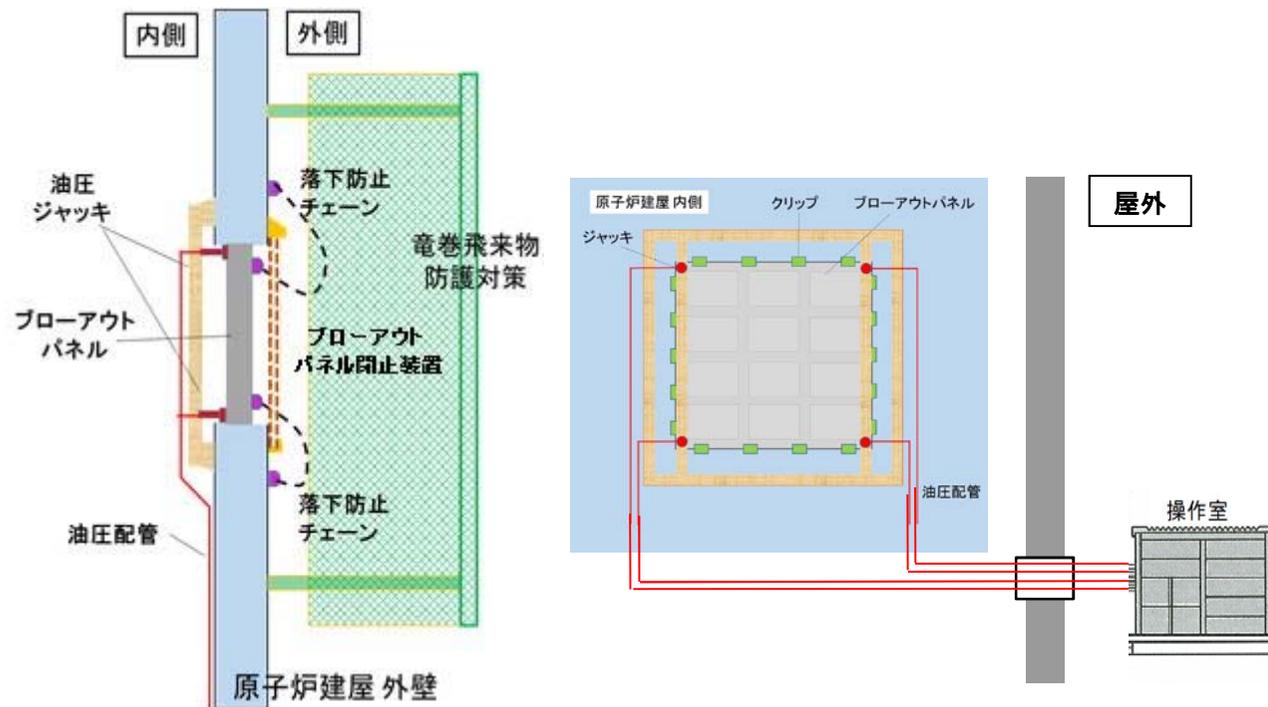


【参考】ブローアウトパネル及び関連設備の設置計画



(1) 強制開放装置の概要

- ✓ ブローアウトパネル「閉」時は、開放が必要な位置のパネルを、原子炉建屋内側より油圧ジャッキで押し出して開放
 - ブローアウトパネル1枚ごとに手動油圧ポンプで開放する設計
 - ジャッキ駆動部から敷設される油圧配管は、手動油圧ポンプと常時接続
 - 油圧配管は、手動油圧ポンプからジャッキ駆動部まで耐震性を考慮して敷設
 - 手動油圧ポンプは屋外に設置し、設備の保護等を目的として別途設ける操作室内に格納
 - 共通要因で一度に多数の開放装置が操作不能となることを避けるため、操作室は複数個所に分散配置
 - 火災発生防止や、万一火災が発生した際の影響低減を図るため、
 - ➡ 配管系接続部はフランジでなく溶接構造を採用し、火災防護対象設備に影響を与えないようルーティングを決定
 - ➡ 手動油圧ポンプのまわりに堰を設置等の対応を実施



手動油圧ポンプの例

現在、北側パネル2枚を開放するために設置されているもの

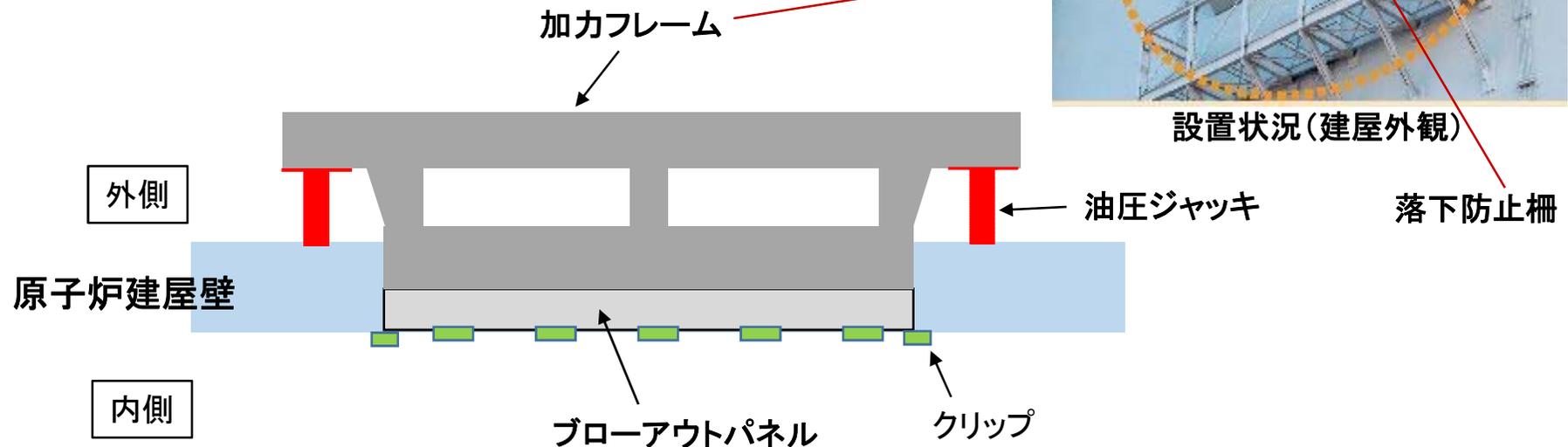


【参考】強制開放装置設置済のブローアウトパネルについて



【既設の強制開放装置設置状況】(新規制対応として改造予定)

- 設置場所: 原子炉建屋6階北側ブローアウトパネル2枚
- 設置経緯: 2012年に緊急安全対策の一環として設置
- ◆ 本装置についても, 他のパネル同様の改造を実施する。



【概要】

- ・既設のブローアウトパネルに, 「加カフレーム」を取付た構造
- ・パネル1枚につき, 油圧ジャッキ6個が作用
- ・ジャッキ作用により, パネルは外側方向へ引き出され, やがてクリップが変形し, 強制的にパネルが開放される仕組み
- ・油圧ジャッキには各々, 操作場所から建屋壁外面に敷設されている耐震クラスSの油圧配管を通じて油圧が供給される

- ◆ 設計基準対象施設としては、設置許可基準規則第4条から第6条の要求を踏まえ、地震、津波に加え第6条にて選定した自然現象11事象（洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、火山の影響、生物学的事象、森林火災、高潮）及び外部人為事象7事象（航空機落下、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突、電磁的障害）の設計荷重に対し、上記の機能を（特定の事象に対し限定することなく）維持出来るように設計
- ◆ なお、竜巻（最大瞬間風速100m/s）による外気の気圧低下に対しては、建屋内の空気との間にブローアウトパネルの開放圧力を上回る差圧を生じ得るため、パネルが開放し閉じ込め機能を喪失するケースが考えられるが、ブローアウトパネルの作動圧に至る風速の竜巻（89m/s、約 5.1×10^{-6} /年）と設計基準事故（ 10^{-3} /年 ※¹）の重畳が有意となるまでの期間は約20年※²であり、十分な補修期間が確保できると考えられることから、閉じ込め機能への影響は無いと評価

※1:「発電用軽水型原子炉施設に係る新安全基準骨子案に対する意見募集の結果について」（平成25年4月3日原子力規制庁技術基盤課）にて、『設計基準事故については、それよりも低頻度であることから、 10^{-3} /年～ 10^{-4} /年程度の発生頻度を念頭においています。』との記述あり。

※2: 有意な重畳確率を、航空機落下や耐震設計のスクリーニング基準として用いられる 10^{-7} /年として、 $10^{-7} / (5.1 \times 10^{-6}) / 10^{-3} = 19.6$ 年

【参考】外部事象を起因とした重大事故等の発生に対するブローアウトパネルの防護方針



事象		防護方針
自然現象	地震	<ul style="list-style-type: none"> ・(設計ベースの要求として、)基準地震動S_sによる荷重に対し安全機能を維持できるよう設計されるため、設計レベルの地震とSAは独立事象となる。 ・S_s地震後にSAが発生し得るまでの時間余裕(約73日)は十分と判断し難いため、S_sによる地震力に対し、開放及び閉じ込め機能を確保する設計とする
	竜巻	<ul style="list-style-type: none"> ・(設計ベースの要求として、)設計竜巻による荷重に対し安全機能を維持できるよう設計されるため、設計レベルの竜巻とSAは独立事象となる。 ・気圧低下による開放に対しては、ブローアウトパネルが開放し得る風速以上の竜巻の後にSAが発生し得るまでの時間余裕(約20年)は十分と考えられるため、当該モードは許容する。
	風(台風)	竜巻(設計ベース)の評価に包絡される。
	津波	ブローアウトパネルに到達しない。
	洪水	
	高潮	
	凍結	ブローアウトパネルの機能に影響する事象ではない。ブローアウトパネルは防火帯内側に設置をしていることから、機能に影響はない。
	降水	
	積雪	
	落雷	
	火山の影響	
	生物学的事象	
	森林火災	ブローアウトパネルは防火帯内側に設置をしていることから、機能に影響はない。
外部人為事象	航空機落下	ブローアウトパネル近傍での航空機落下火災の熱影響に対し、機能を確保する設計とする。
	近隣工場等の火災	航空機落下の評価に包絡される。
	ダムの崩壊	ブローアウトパネルに到達しない。
	船舶の衝突	
	爆発	
	有毒ガス	ブローアウトパネルの機能に影響する事象ではない。
	電磁的障害	

【参考】ブローアウトパネル対応方針 まとめ



- ◆ ブローアウトパネル毎に要求事項を満足させるための対応方針を以下にまとめる。
 - ① ブローアウトパネルの機能(設計温度, 圧力)を確保するため, 5枚のブローアウトパネル機能を確保する
 - ② 竜巻対策として, 開放可能性があるブローアウトパネル部には, 竜巻防護対策(防護ネット)を設置する
 - ③ 開放状態で炉心損傷した場合を想定し, 速やかに閉止できる機能(遠隔及び手動)を設置する
 - ④ 開放させる全てのブローアウトパネルに, 万一パネルが完全に開放せず, 再閉止できない状態を考慮して, 強制開放装置を設置する
 - ⑤ 原子炉棟6階のブローアウトパネルのうち, 南の2箇所は, 放水砲による使用済燃料プールへの注水のため手動による開放機能を設置(④と兼用)を設置する
 - ⑥ その他: 閉止措置においては, 竜巻飛来物の侵入防止, 耐震性にも配慮した設計とする

設置エリア		対策方針					備考
		①差圧開放機能	②竜巻飛来物防護機能	③閉止機能(SA時)	④強制開放機能	⑤手動開放機能(大規模損壊)	
6階	北1	開	有	閉	開	—	
	北2	開	有	閉	開	—	
	東1	開	有	閉	開	—	
	東2	開	有	閉	開	開(④と兼用)	
	西1	開	有	閉	開	—	
	西2	開	有	閉	開	開(④と兼用)	
	南1	開	有	閉	開	—	
	南2	開	有	閉	開	開(④と兼用)	
5階	東	閉止	—	—	—	—	竜巻による風荷重からのSGTS等の防護
	南	閉止	—	—	—	—	
	西	開	有	閉	開	—	
	北	開	有	閉	開	—	

【参考】ブローアウトパネル閉止装置の設置許可基準43条への適合方針

条文		要求	適合性
第43条	第1項	第1号 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。	屋外の環境条件を考慮した設計とする。
		第2号 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。	中央制御室の操作盤のスイッチでの操作が可能な設計とする。また、ブローアウトパネル閉止装置は、電源供給ができない場合においても、現場で人力により容易かつ確実に操作が可能な設計とする。
		第3号 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。	原子炉の運転中又は停止中に外観検査が可能な設計とする。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する。
		第4号 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。	本来の用途以外の用途として使用しない設計とする。
		第5号 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。	他の設備から独立して使用が可能なことで、他の設備に悪影響を及ぼさない設計とする。また、閉動作により他の設備に悪影響を及ぼさない設計とする。
		第6号 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	原子炉建屋原子炉棟の壁面(屋外)に設置し、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する。
第2項	第1号 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。	重大事故等時において、運転員を過度の被ばくから防護するために必要な容量を有する設計とする。	
	第2号 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。	施設内に二以上の発電用原子炉施設はないことから、共用しない。	
	第3号 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。	ブローアウトパネル閉止装置は重大事故緩和設備であるが、ブローアウトパネル閉止装置の気密機能が設計基準対象施設であるブローアウトパネルの気密機能と同時に損なわれない設計とする。	

【参考】 技術基準からの要求事項



区分	機能		設置許可基準規則	技術基準規則	技術基準	備考
DB	2次格納容器バウンダリ維持 (閉じ込め機能)	Ss地震	4条	5条	(地震による損傷の防止) 第五条 設計基準対象施設は、これに作用する地震力(設置許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。)による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないように施設しなければならない。 2 耐震重要施設(設置許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。)は、基準地震動による地震力(設置許可基準規則第四条第三項に規定する基準地震動による地震力をいう。以下同じ。)に対してその安全性が損なわれるおそれがないように施設しなければならない。	
		竜巻	6条	7条	(外部からの衝撃による損傷の防止) 第七条 設計基準対象施設が想定される自然現象(地震及び津波を除く。)によりその安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置、基礎地盤の改良その他の適切な措置を講じなければならない。	
	建屋内環境維持 (開放機能)	MSLBA	9条	12条	(発電用原子炉施設内における溢水等による損傷の防止) 第十二条 設計基準対象施設が発電用原子炉施設内における溢水の発生によりその安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置その他の適切な措置を講じなければならない。 2 設計基準対象施設が発電用原子炉施設内の放射性物質を含む液体を内包する容器、配管その他の設備から放射性物質を含む液体があふれ出るおそれがある場合は、当該液体が管理区域外へ漏えいすることを防止するために必要な措置を講じなければならない。	
SA	2次格納容器バウンダリ維持 (閉じ込め機能)	改正規則要求	59条	74条	(運転員が原子炉制御室にとどまるための設備) 第七十四条 発電用原子炉施設には、炉心の著しい損傷が発生した場合(重大事故等対処設備(特定重大事故等対処施設を構成するものを除く。))が有する原子炉格納容器の破損を防止するための機能が損なわれた場合を除く。)においても運転員が第三十八条第一項の規定により設置される原子炉制御室にとどまるために必要な設備を施設しなければならない。	