

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4月26日

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

コメント:

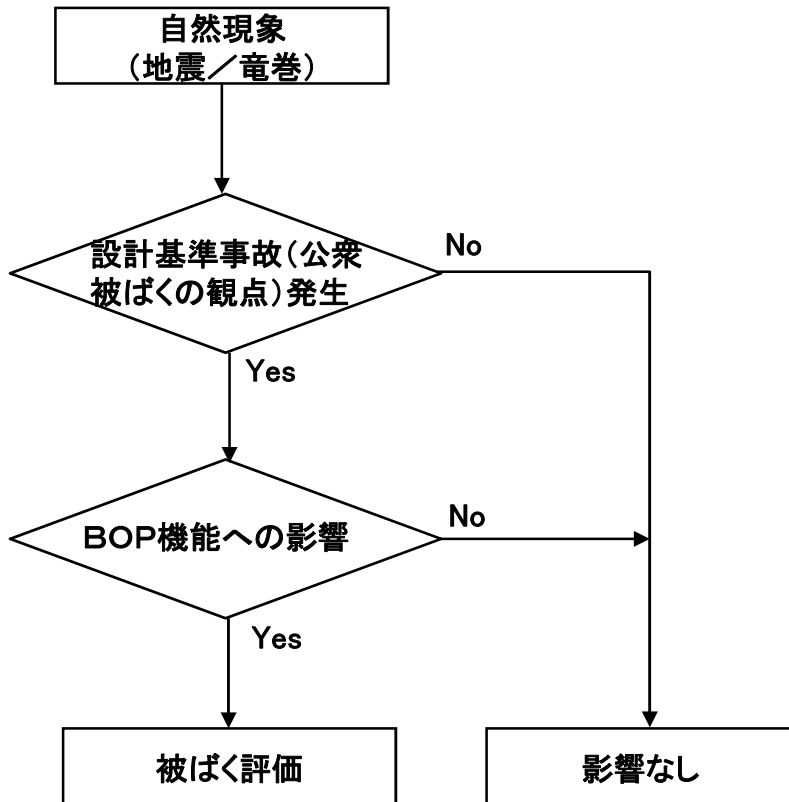
ブローアウトパネルの要求事項に対して、考慮すべき自然現象発生後に設計基準事故が発生する場合、逆に設計基準事故後に自然現象が発生する場合を整理し、公衆被ばくの影響の観点から整理すること。

回答1:

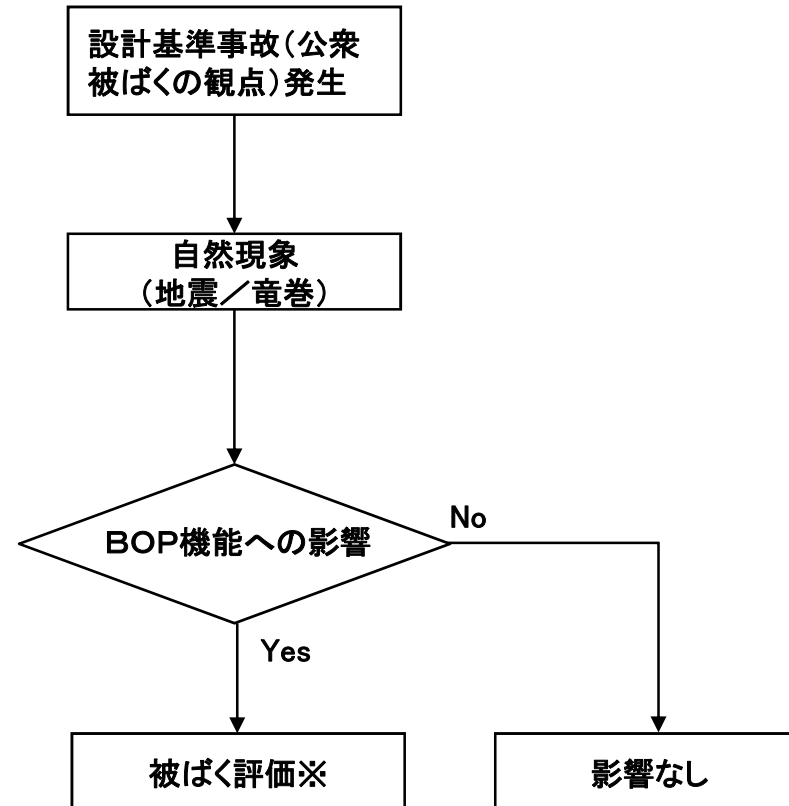
ブローアウトパネルに要求される機能、想定すべき自然現象、公衆被ばくの観点から考慮すべき設計基準事故(環境への放射性物質の異常な放出として想定される設計基準事故)の組み合わせから検討(次ページ参照)した結果、最も公衆被ばくに影響するLOCAの30日後にブローアウトパネルが開放した場合でも、実効線量は約 1.3×10^{-2} mSvであり、設計基準事故の基準値である5mSvを十分に下回ることを確認した。

<p><ブローアウトパネルに要求される機能></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆2次格納施設(原子炉建屋原子炉棟)の一部としての閉維持機能 ◆ブローアウトパネルとしての開放機能 	<p><想定すべき自然現象></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆地震 } ⇒ 考慮すべき事象 ◆竜巻 } ⇒ 考慮すべき事象 ◆風(台風) ⇒ 構造強度に反映 ◆津波, 洪水, 高潮, 凍結, 降水, 積雪, 落雷, 火山, 生物学的影響, 森林火災 ⇒ 設置高さや配置等からブローアウトパネルに影響しない 	<p><公衆被ばくの観点から考慮すべき設計基準事故(環境への放射性物質の異常な放出として想定される設計基準事故)></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆放射性気体廃棄物処理施設の破損 ◆主蒸気管破断 ◆燃焼集合体の落下 ◆原子炉冷却材喪失 ◆制御棒落下
---	--	---

①自然現象の従属事象として設計基準事故が発生する場合



②設計基準事故後に独立事象として自然現象が発生する場合



※設計基準事故後に自然現象発生時期は、航空機落下や設計基準対象施設の耐震設計のスクリーニング基準の 10^{-7} /年を参考に決定。具体的には以下のとおり。
 ・設計基準事故の発生頻度: 10^{-4} 回/年と仮定
 ・Sd地震の発生頻度: 10^{-2} 回/年⇒約0.1年(30日と仮定), Ss地震の発生頻度: 5×10^{-4} 回/年 ⇒約2年後, 設計竜巻の発生頻度: 5.2×10^{-6} 回/年 ⇒ 有意になるまでの時間は、約190年以上

(1) 基準地震動の場合

2次格納施設の一部としての閉維持機能に対する影響

設計基準事故	地震起因の従属事象として設計基準事故の発生と公衆被ばくへの影響	設計基準事故発生後の独立事象としての地震による公衆被ばくへの影響(Sd:10 ⁻¹ 年後, Ss:2年後)	備考
放射性物質気体廃棄物処理施設の破損	地震起因で発生するが、原子炉建屋外の事象であり、BOP閉じ込め機能は、被ばく評価に影響しない	影響なし (同左)	
主蒸気管破断	地震起因で発生するが、地上放出を仮定して被ばく評価済であり、BOP閉じ込め機能は評価に影響しない	影響なし (同左)	
燃料集合体の落下	地震起因で発生せず	影響なし ・燃料集合体落下の放出率は、約20日でゼロとなるため、事故30日以降のブローアウトパネル開放の被ばく評価に影響はない	
原子炉冷却材喪失	地震起因で発生せず	影響なし ・事故発生から30日までは添付十に記載される評価を行い、31日後は原子炉建屋から直接大気中に放出されると仮定して評価した結果、実効線量は約1.3×10 ⁻² mSvであり、設計基準事故の基準値である5mSvを十分に下回る。	添付十の被ばく評価で最も線量が高くなる主蒸気管破断時の線量は約1.8×10 ⁻¹ mSv
制御棒落下	地震起因で発生せず	影響なし (設計基準事故として復水器からタービン建屋への漏えいを仮定して評価済であり、ブローアウトパネルの影響を受けない)	

ブローアウトパネルの開放機能に対する影響

設計基準事故	地震起因の従属事象として設計基準事故の発生と公衆被ばくへの影響	設計基準事故発生後の独立事象としての地震による公衆被ばくへの影響(Sd:10 ⁻¹ 年後, Ss:2年後)	備考
放射性物質気体廃棄物処理施設の破損	地震起因で発生するが、原子炉建屋外の事象であり、BOP開放機能が喪失しても影響しない	影響なし (開放機能は要求されない)	
主蒸気管破断	地震起因で発生するため、地震により開放機能を喪失しないことを評価にて確認	影響なし (開放機能は要求されない)	
燃料集合体の落下	地震起因で発生せず	影響なし (開放機能は要求されない)	
原子炉冷却材喪失	地震起因で発生せず	影響なし (開放機能は要求されない)	
制御棒落下	地震起因で発生せず	影響なし (開放機能は要求されない)	

(2) 設計竜巻(差圧)の場合

2次格納施設の一部としての閉維持機能に対する影響

設計基準事故	設計竜巻の従属事象として設計基準事故の発生と公衆被ばくへの影響	設計基準事故発生後の独立事象としての設計竜巻による公衆被ばくへの影響(設計竜巻が有意となるは約190年後)	備考
放射性物質気体廃棄物処理施設の破損	竜巻起因で発生せず	原子炉建屋外の事象であり、ブローアウトパネルの閉じ込め機能は、被ばく評価に影響しない	
主蒸気管破断	竜巻起因で発生せず	地上放出を仮定して被ばく評価済であり、ブローアウトパネルの閉じ込め機能は評価に影響しない	
燃料集合体の落下	竜巻起因で発生せず	影響なし ・燃料集合体落下の放出率は、約20日でゼロとなるため、事故約190年後のブローアウトパネル開放の被ばく評価に影響はない	
原子炉冷却材喪失	竜巻起因で発生せず	影響なし ・事故発生から30日までは添付十に記載される評価を行い、31日後は原子炉建屋から直接大気中に放出されると仮定して評価した結果、実効線量は約 1.3×10^{-2} mSvであり、設計基準事故の基準値である5mSvを十分に下回るため、事故後約190年後のブローアウトパネル開放の影響はない	
制御棒落下	竜巻起因で発生せず	影響なし (DBAとして復水器からタービン建屋に漏えいしたFPの放出を評価済であり、ブローアウトパネルの影響を受けない)	

ブローアウトパネルの開放機能に対する影響

設計基準事故	設計竜巻の従属事象として設計基準事故の発生と公衆被ばくへの影響	設計基準事故発生後の独立事象としての設計竜巻による公衆被ばくへの影響(設計竜巻が有意となるは約190年後)	備考
放射性物質気体廃棄物処理施設の破損	竜巻起因で発生せず	影響なし (開放機能は要求されない)	
主蒸気管破断	竜巻起因で発生せず	影響なし (開放機能は要求されない)	
燃料集合体の落下	竜巻起因で発生せず	影響なし (開放機能は要求されない)	
原子炉冷却材喪失	竜巻起因で発生せず	影響なし (開放機能は要求されない)	
制御棒落下	竜巻起因で発生せず	影響なし (開放機能は要求されない)	

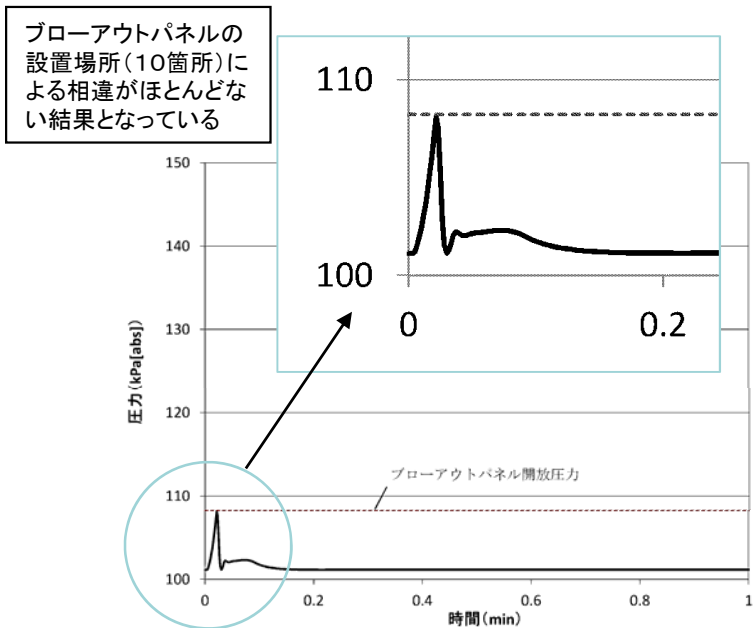
コメント：ブローアウトパネル全体の品質・施工管理，保守管理等について整理して説明すること。

回答：検討中の保守管理内容は以下のとおりです。なお，施工時の品質管理については，現在詳細設計中のため詳細設計確定後に別途説明します。

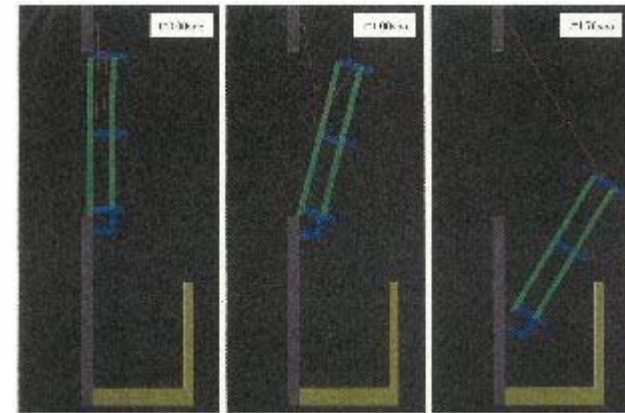
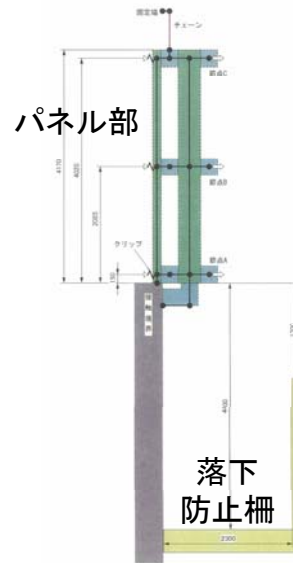
対象機器	必要な機能	保全項目	実施内容(案)
原子炉建屋外側ブローアウトパネル	気密性能	気密性能試験(建屋)	◆ 定期検査項目として定期検査毎の原子炉建屋気密性能検査にて確認
		外観目視(シール部)	◆ 構造健全性確認検査として目視点検
	作動性能	クリップの性能管理	◆ 定期事業者検査として，定期的に実機クリップを取り外し，クリップが所定荷重以下で変形することを確認 ◆ クリップは製造ロット毎に管理し，要求仕様を満足しない場合には当該ロットは全て取替
	構造健全性	外観目視試験	◆ 構造健全性確認検査として目視点検
ブローアウトパネル閉止装置	気密性能	シール部の取替	◆ パッキンの定期的な取替(パッキン確定後，メーカー推奨等に基づき設定)
	作動性能	作動試験	◆ 閉止装置が開閉できることを確認
	構造健全性	外観目視試験	◆ 閉止装置構成部品に有意な損傷が無いことを目視により確認
竜巻防護設備	構造健全性	外観目視試験	◆ 構造健全性確認検査として目視点検
強制開放装置(自主設備)	作動性能	シリンダ単体作動試験	◆ 単体作動試験
	構造健全性	外観目視試験	◆ 構造健全性確認検査として目視点検

コメント: 強制開放装置の位置づけを明確にすること

回答 : 原子炉建屋外壁に設置されるブローアウトパネル10枚に作用する圧力は、音速で伝播するため、各パネルには、同時に圧力が付加され、ブローアウトパネルは開放する。
強制開放装置の主目的は大規模損壊時にブローアウトパネルを強制開放させることであることから、自主設備と考えている。



ブローアウトパネル10枚開放の場合の原子炉棟6階の圧力挙動(各ノードの圧力)



解析モデルを用いたパネル開放・落下状況の検証状況(例)

(2012年 自主的安全性向上の一環として、原子炉建屋6階北側強制開放装置設置時の解析例)

コメント:設計竜巻の差圧8.9kPaは V_{B2} のハザードカーブから算出していると思うが、 V_{B1} のハザードカーブから算出する必要はないか確認すること。

回 答:

- 東海第二発電所に対する竜巻のハザードカーブは、発電所の立地の特徴を踏まえ設定する竜巻検討地域内の過去の観測記録に基づき一意に設定されるものであり、「 V_{B1} のハザードカーブ」、「 V_{B2} のハザードカーブ」が個別に存在するわけではない。
(また、 V_{B1} は観測実績の最大風速から定める値であり、その定義上、ハザードカーブを作成出来るものではない)
- よって、設計竜巻やブローアウトパネルの開放圧に相当する差圧を発生する竜巻の確率は、上記のとおり、発電所毎に一意に定まるハザードカーブより算出することになる。
- なお、東海第二発電所のハザードカーブ設定に際しては、以下の様な検証も実施し、データに含まれる不確実さに対しても、その感度が小さく安定したものであることを検証している。
 - ・各パラメータに仮定する確率分布形の選択に対する感度(Jackknife法による)
 - ・最大クラスの竜巻(F3)が1つ見落とされていたと仮定した場合の感度
 - ・データセットそのものが有する不確実さに対する感度
- 以上より、発生差圧に対応する竜巻風速の確率を、上記のハザードカーブで算出することに問題は無いと考えている。

コメント:ブローアウトパネルの開放差圧を生じる風速89m/sの算出方法を示すこと。

回 答:BOPの開放差圧(1psi (6.9kPa))に相当する気圧低下量 ΔP を生じる竜巻の最大風速は、以下の様に設定した。

竜巻評価ガイドに示される ΔP の評価式は

$$\Delta P = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

であり、空気密度 $\rho = 1.22 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ に対し開放差圧6900 (Pa)を超える ΔP を生ずる竜巻の接線風速 V_{Rm} は、

$$V_{Rm} = 76 \text{ (m/s)}$$

となる。

次に、同様にガイドに示される接線風速と(移動速度を含めた)当該竜巻の最大風速 V の関係式から

$$V_{Rm} = 0.85V$$

となるため、

$$V = V_{Rm} / 0.85 \\ = \underline{89 \text{ (m/s)}}$$

となる。

竜巻ガイド抜粋 (解説 3.4.2.3 設計竜巻の特性値の設定)

(4) 設計竜巻の最大気圧低下量(ΔP_{max})の設定

設計竜巻の最大気圧低下量(ΔP_{max})は、米国 NRC の基準類^(*)を参考として、ランキン渦モデルによる風速分布に基づいて、最大気圧低下量(ΔP_{max})を設定する。

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2 \quad \dots \quad (3.4)$$

ここで、 ρ 及び V_{Rm} は、それぞれ空気密度、設計竜巻の最大接線風速を示す。

(1) 設計竜巻の移動速度(V_T)の設定

設計竜巻の移動速度(V_T)は、以下の算定式を用いて V_D から V_T を算定する。

$$V_T = 0.15 \cdot V_D \quad \dots \quad (3.1)$$

(2) 設計竜巻の最大接線風速(V_{Rm})の設定

設計竜巻の最大接線風速(V_{Rm})は、米国 NRC の基準類^(*)を参考として、以下の算定式を用いて V_{Rm} を算定する。

$$V_{Rm} = V_D - V_T = \underline{0.85V_D} \quad \dots \quad (3.2)$$

ここで、 V_D (m/s)及び V_T (m/s)は、設計竜巻の最大風速及び移動速度である。

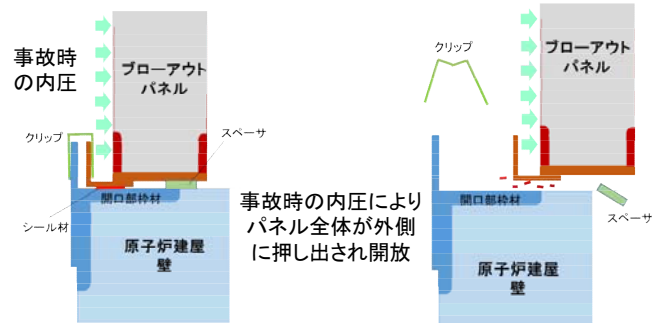
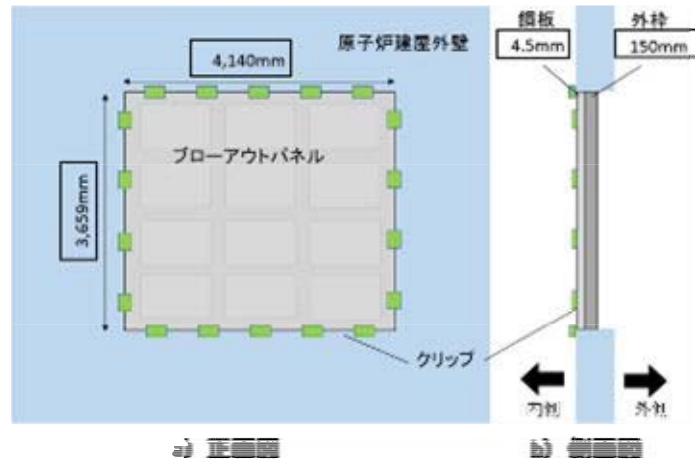
なお、上記の竜巻(89m/s)の年超過確率は、東海第二発電所に設定した竜巻検討地域で観測された竜巻に基づくハザード曲線の、当該風速における値(5.2×10^{-6})となる。

ここまで

1. 東海第二発電所のブローアウトパネルの構造について



【ブローアウトパネルの構造と配置状況】



c) 断面図(クリップ式構造の概念図)(外側)

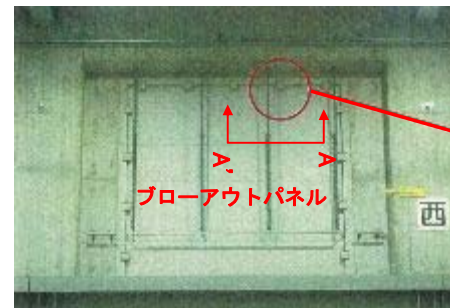
ブローアウトパネル主要仕様

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

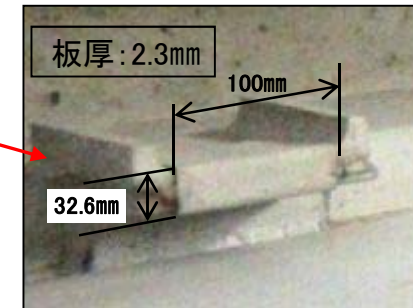
ブローアウトパネル重量 約1.5t/枚

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。



建屋内側よりの状況
(6階西側)



クリップ部拡大
(A-A' 矢視)



原子炉棟 6階
(— : パネル(全6枚))

原子炉棟 5階
(— : パネル(全4枚))

■ : 電害防護対象

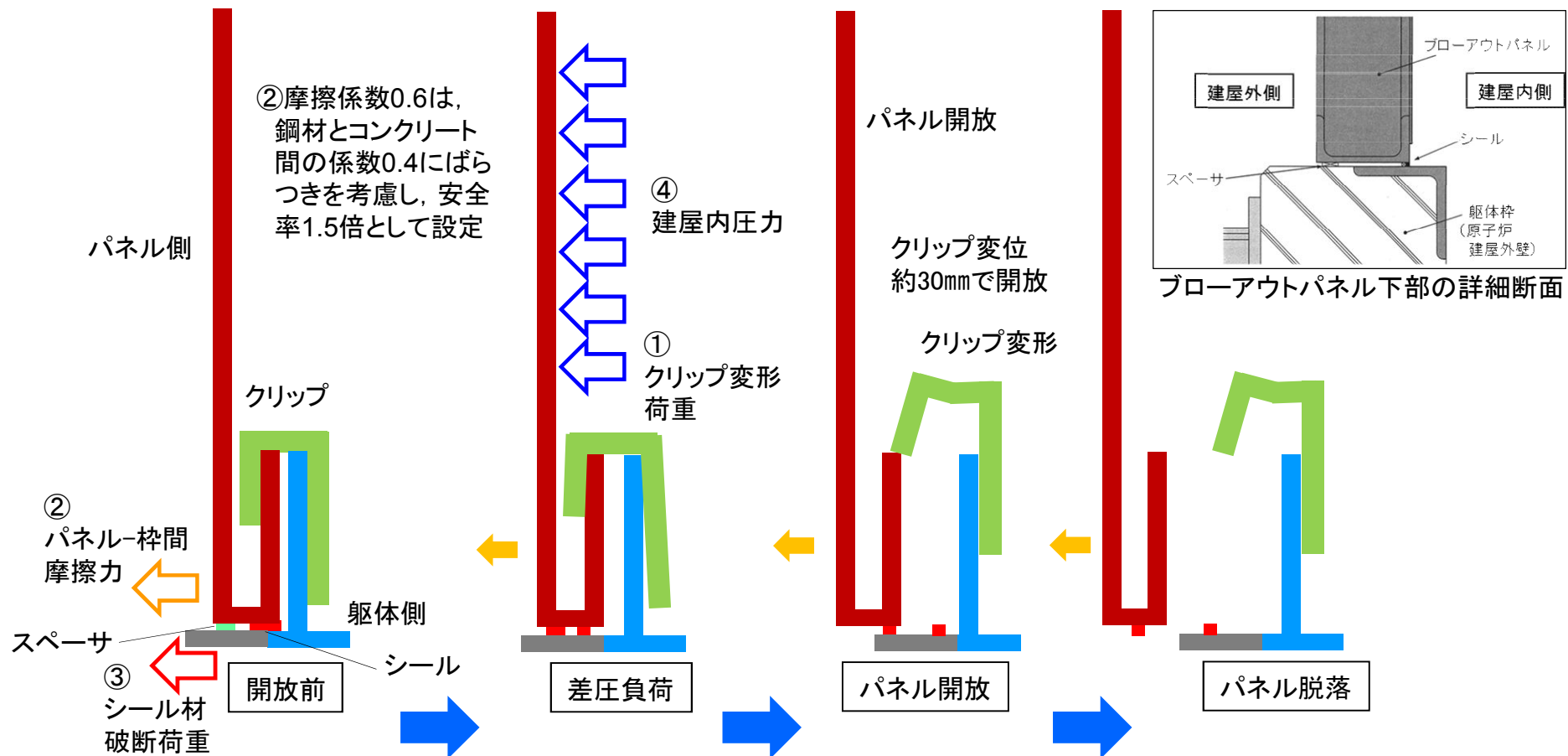
2. 差圧によるクリップの開放機構

【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)



3. ブローアウトパネルの要求機能と確認方法について



◆ブローアウトパネル及び関連設備への技術基準規則の主な要求事項(基準地震動と設計竜巻)と成立性確認方法について整理した。

防護すべき設備		DB			SA		
		5条 地震	7条 自然条件 竜巻差圧	7条 自然条件 竜巻飛来物	50条 地震	54条 自然条件 竜巻差圧	54条 自然現象 竜巻飛来物 (共通要因)
ブローアウトパネル	◎開機能 (12条)	○ (地震後)	プラント停止にて対応	○ (竜巻防護設備にて防護)	—	—	—
	△閉維持 (建屋気密性) (38条, 44条)	開放機能に影響を与えないよう耐震性を確保 開放時はプラント停止にて対応			—	—	—
ブローアウトパネル閉止装置 (SA緩和設備)	◎閉機能(SA前) (74条)	—	—	—	◎ (地震後)	○ (差圧発生せず影響なし)	—※1
	◎閉維持 (建屋気密性) (74条)	—	—	—	◎	—※2	—※1
竜巻防護設備	○飛来物からの防護機能 (7条)	○ (波及的影響)	○ (差圧発生せず影響なし)	○	—	—	—

◎:実機大の試験による確認 ○:解析評価による確認 △:実機での確認 —:機能要求なし

※1 ブローアウトパネル閉止装置は、SA緩和設備であるため、共通要因故障の考慮不要

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

4. 公衆被ばくの観点からのブローアウトパネルの必要機能について

- ◆ ブローアウトパネルの要求事項に対して、①考慮すべき自然現象発生後に設計基準事故が発生する場合、②逆に設計基準事故後に自然現象が発生する場合を整理し、公衆被ばくの影響の観点から整理した。
- ◆ ブローアウトパネルに要求される機能、想定すべき自然現象、公衆被ばくの観点から考慮すべき設計基準事故(環境への放射性物質の異常な放出として想定される設計基準事故)は以下のとおり

<p><ブローアウトパネルに要求される機能></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ 2次格納施設(原子炉建屋原子炉棟)の一部としての閉維持機能 ◆ ブローアウトパネルとしての開放機能 	<p><想定すべき自然現象></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ 地震 ◆ 竜巻 ◆ 風(台風) } ⇒ 考慮すべき事象 ◆ 津波, 洪水, 高潮, 凍結, 降水, 積雪, 落雷, 火山, 生物学的影響, 森林火災 <p>⇒ 設置高さや配置等からブローアウトパネルに影響しない</p>	<p><公衆被ばくの観点から考慮すべき設計基準事故(環境への放射性物質の異常な放出として想定される設計基準事故)></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ 放射性気体廃棄物処理施設の破損 ◆ 主蒸気管破断 ◆ 燃焼集合体の落下 ◆ 原子炉冷却材喪失 ◆ 制御棒落下
---	---	--

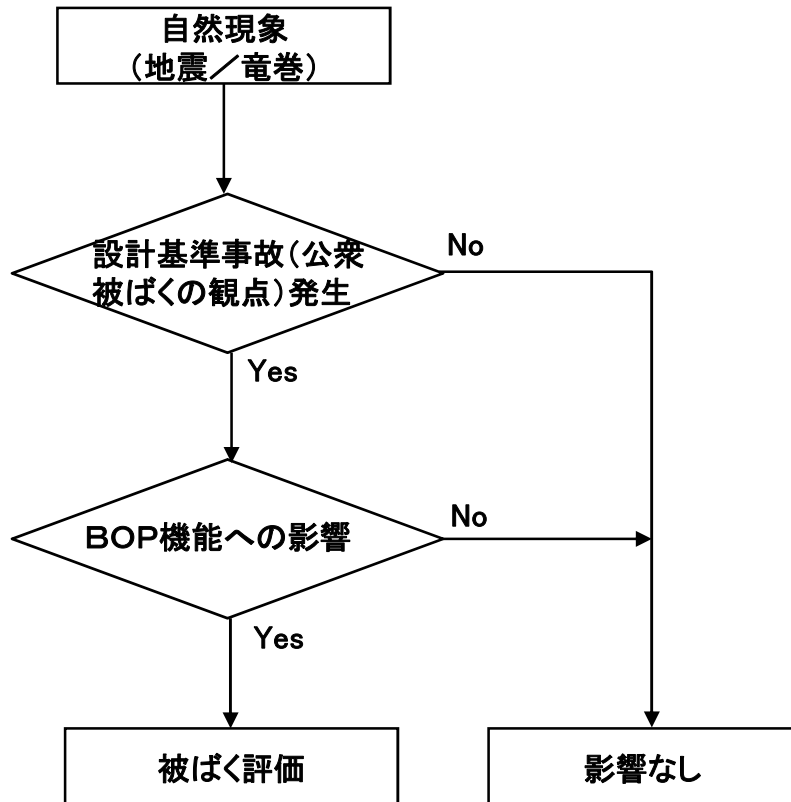
- ◆ 検討した結果、最も公衆被ばくに影響する事象として、LOCAの30日後にブローアウトパネルが開放を仮定した場合でも、実効線量は約 1.3×10^{-2} mSvであり、設計基準事故の基準値である5mSvを十分に下回ることを確認した。(次ページ以降参照)

<基準地震動及び設計竜巻に対する対応方針>

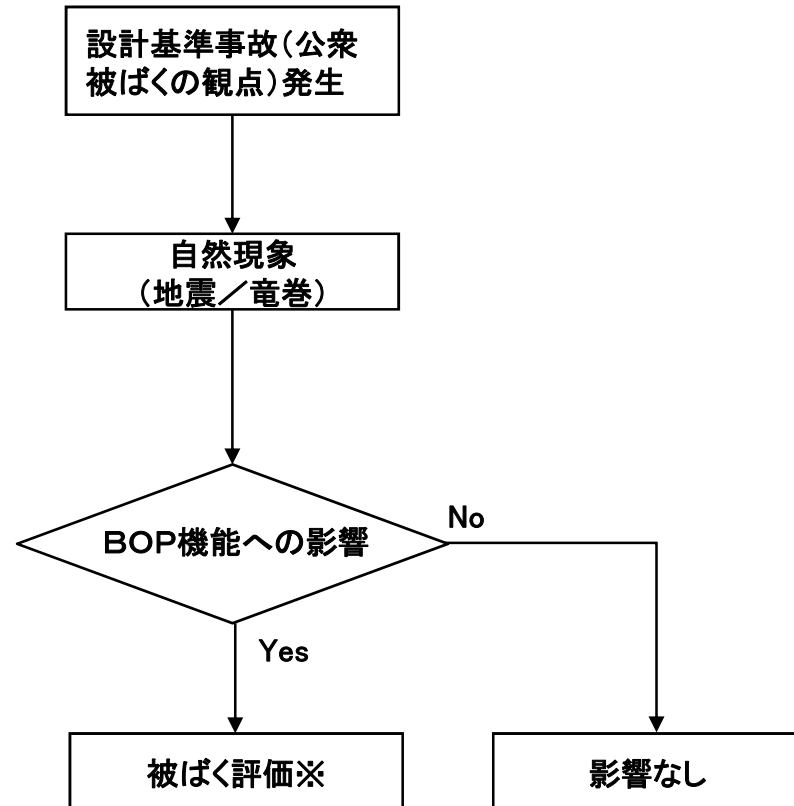
- ◆ 基準地震動に対する対応方針
 - ⇒ 開放機能に影響を与えないよう確保する。なお、開放した場合は、安全な状態(運転中は冷温停止へ移行、停止中は使用済燃料に関連する作業の停止)に移行することを保安規定に定める。
- ◆ 設計竜巻の差圧に対する対応方針
 - ⇒ 開放した場合は、安全な状態(運転中は冷温停止へ移行、停止中は使用済燃料に関連する作業の停止)に移行することを保安規定に定める。

4. 公衆被ばくの関連からのブローアウトパネルの必要機能について

① 自然現象の従属事象として設計基準事故が発生する場合



② 設計基準事故後に独立事象として自然現象が発生する場合



※設計基準事故後に自然現象発生時期は、航空機落下や設計基準対象施設の耐震設計のスクリーニング基準の 10^{-7} /年を参考に決定。具体的には以下のとおり。

- ・設計基準事故の発生頻度: 10^{-4} 回/年と仮定
- ・Sd地震の発生頻度: 10^{-2} 回/年 \Rightarrow 約0.1年(30日と仮定)
- ・Ss地震の発生頻度: 5×10^{-4} 回/年 \Rightarrow 約2年後
- ・設計竜巻の発生頻度: 5.2×10^{-6} 回/年 \Rightarrow 有意になるまでの時間は、約190年以上

4. 公衆被ばくの関連からのブローアウトパネルの必要機能について



(1) 基準地震動の場合

2次格納施設の一部としての閉維持機能に対する影響

設計基準事故	地震起因の従属事象として設計基準事故の発生と公衆被ばくへの影響	設計基準事故発生後の独立事象としての地震による公衆被ばくへの影響(Sd:10 ⁻¹ 年後, Ss:2年後)	備考
放射性物質気体廃棄物処理施設の破損	地震起因で発生するが、原子炉建屋外の事象であり、BOP閉じ込め機能は、被ばく評価に影響しない	影響なし (同左)	
主蒸気管破断	地震起因で発生するが、地上放出を仮定して被ばく評価済であり、BOP閉じ込め機能は評価に影響しない	影響なし (同左)	
燃料集合体の落下	地震起因で発生せず	影響なし ・燃料集合体落下の放出率は、約20日でゼロとなるため、事故30日以降のブローアウトパネル開放の被ばく評価に影響はない	
原子炉冷却材喪失	地震起因で発生せず	影響なし ・事故発生から30日までは添付十に記載される評価を行い、31日後は原子炉建屋から直接大気中に放出されると仮定して評価した結果、実効線量は約1.3×10 ⁻² mSvであり、設計基準事故の基準値である5mSvを十分に下回る。	添付十の被ばく評価で最も線量が高くなる主蒸気管破断時の線量は約1.8×10 ⁻¹ mSv
制御棒落下	地震起因で発生せず	影響なし (設計基準事故として復水器からタービン建屋への漏えいを仮定して評価済であり、ブローアウトパネルの影響を受けない)	

ブローアウトパネルの開放機能に対する影響

設計基準事故	地震起因の従属事象として設計基準事故の発生と公衆被ばくへの影響	設計基準事故発生後の独立事象としての地震による公衆被ばくへの影響(Sd:10 ⁻¹ 年後, Ss:2年後)	備考
放射性物質気体廃棄物処理施設の破損	地震起因で発生するが、原子炉建屋外の事象であり、BOP開放機能が喪失しても影響しない	影響なし (開放機能は要求されない)	
主蒸気管破断	地震起因で発生するため、地震により開放機能を喪失しないことを評価にて確認	影響なし (開放機能は要求されない)	
燃料集合体の落下	地震起因で発生せず	影響なし (開放機能は要求されない)	
原子炉冷却材喪失	地震起因で発生せず	影響なし (開放機能は要求されない)	
制御棒落下	地震起因で発生せず	影響なし (開放機能は要求されない)	

4. 公衆被ばくの関連からのブローアウトパネルの必要機能について



(2) 設計竜巻(差圧)の場合

2次格納施設の一部としての閉維持機能に対する影響

設計基準事故	設計竜巻の従属事象として設計基準事故の発生と公衆被ばくへの影響	設計基準事故発生後の独立事象としての設計竜巻による公衆被ばくへの影響(設計竜巻が有意となるは約190年後)	備考
放射性物質気体廃棄物処理施設の破損	竜巻起因で発生せず	原子炉建屋外の事象であり、ブローアウトパネルの閉じ込め機能は、被ばく評価に影響しない	
主蒸気管破断	竜巻起因で発生せず	地上放出を仮定して被ばく評価済であり、ブローアウトパネルの閉じ込め機能は評価に影響しない	
燃料集合体の落下	竜巻起因で発生せず	影響なし ・燃料集合体落下の放出率は、約20日でゼロとなるため、事故約190年後のブローアウトパネル開放の被ばく評価に影響はない	
原子炉冷却材喪失	竜巻起因で発生せず	影響なし ・事故発生から30日までは添付十に記載される評価を行い、31日後は原子炉建屋から直接大気中に放出されると仮定して評価した結果、実効線量は約 1.3×10^{-2} mSvであり、設計基準事故の基準値である5mSvを十分に下回るため、事故後約190年後のブローアウトパネル開放の影響はない	
制御棒落下	竜巻起因で発生せず	影響なし (DBAとして復水器からタービン建屋に漏えいしたFPの放出を評価済であり、ブローアウトパネルの影響を受けない)	

ブローアウトパネルの開放機能に対する影響

設計基準事故	設計竜巻の従属事象として設計基準事故の発生と公衆被ばくへの影響	設計基準事故発生後の独立事象としての設計竜巻による公衆被ばくへの影響(設計竜巻が有意となるは約190年後)	備考
放射性物質気体廃棄物処理施設の破損	竜巻起因で発生せず	影響なし (開放機能は要求されない)	
主蒸気管破断	竜巻起因で発生せず	影響なし (開放機能は要求されない)	
燃料集合体の落下	竜巻起因で発生せず	影響なし (開放機能は要求されない)	
原子炉冷却材喪失	竜巻起因で発生せず	影響なし (開放機能は要求されない)	
制御棒落下	竜巻起因で発生せず	影響なし (開放機能は要求されない)	

5. 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。

区分	機能	設置許可基準規則	技術基準規則	基準要求事項	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) 地震後でも設定差圧により開放すること	
		竜巻	6条	7条	(外部からの衝撃による損傷の防止) 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	
		原子炉格納施設 (原子炉建屋原子炉棟)	32条	38条 44条	(原子炉制御室等) (原子炉格納施設) 二次格納施設のバウンダリとして閉状態を維持し、放射性物質を閉じ込めること	
	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) 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	
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) 開放状態で炉心損傷した場合には、速やかに(遠隔及び手動)閉止できること	
	建屋内環境維持 (開放機能)	MSLBA IS-LOCA	37条	-	-※ IS-LOCA時の要求事項なし	・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開放枚数に影響しない。 ・IS-LOCA時の環境条件への影響なし。(開放する場合でも、開放しない場合でも評価に影響しない)
大規模損壊	SFPへの放水 (開放機能)	-	-	-	放水砲による使用済燃料プールへの放水のため、必要な箇所を手動で開放できること	

※ ブローアウトパネルはDB設備とし、SA設備とはしない。

主蒸気管破断事故発生直後の開放に期待するものであり、SAはその後事象が進展して発生することから、ブローアウトパネルはDBAの範囲での要求設備

6. 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 (万ー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。
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

6. 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】

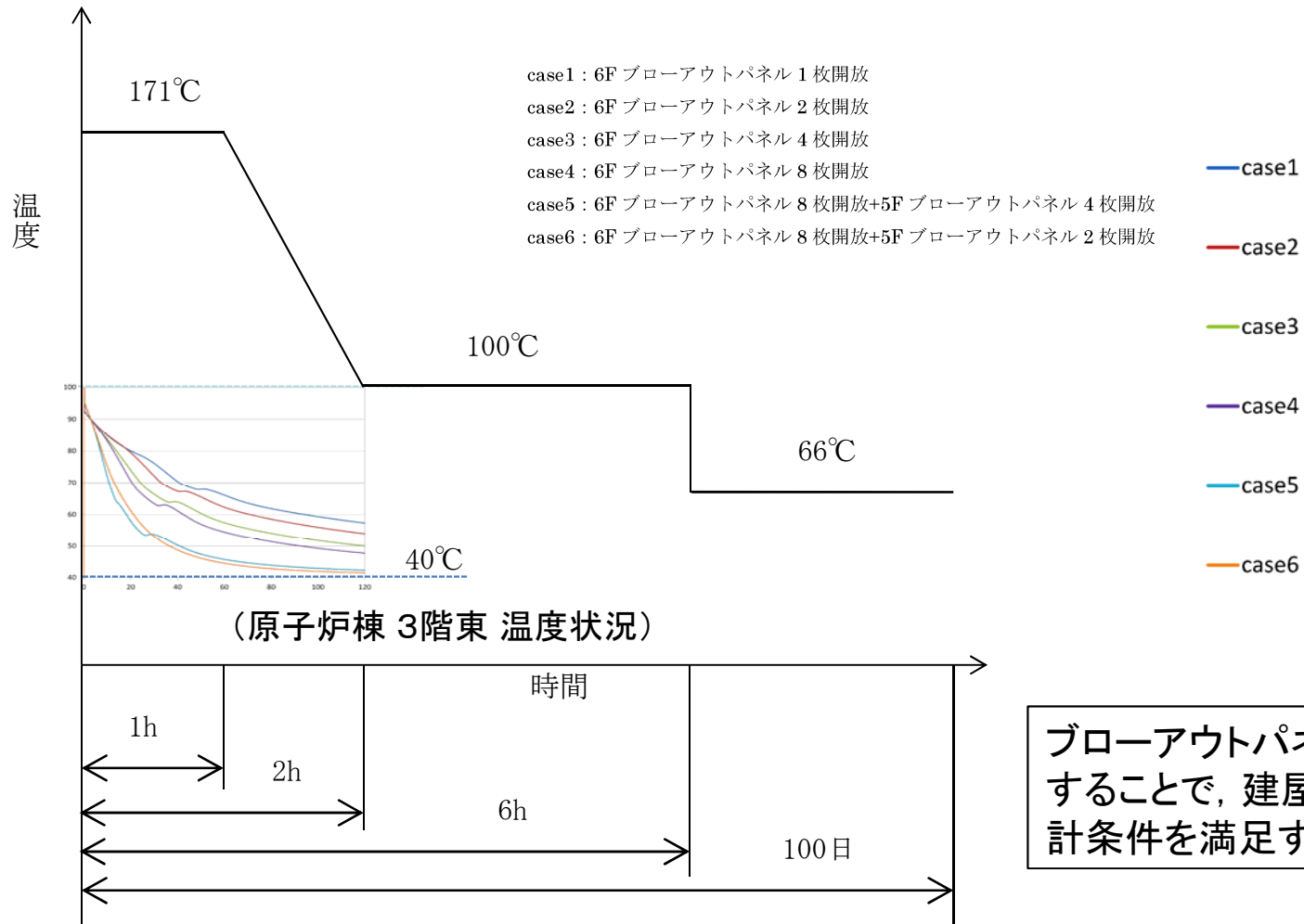
設置 エリア	要求事項				左記条件を 包絡する 対策案	
	①MSLBA	②竜巻		③再閉止		④放水砲
		気圧低下	飛来物			
東面 (1枚)	GOTHIC解析 結果によれば, 開放は必須で はない	5階東側には安全 機能を有する SGTS/FRVSが設置 されており, 風荷重 から防護	飛来物の衝突, 貫通によるパネ ルの損傷, 建屋 内への飛来物 侵入の防止	開放を想定す るパネルは, 速 やかに再閉止 (遠隔及び手 動)	— (5階面への放水 の必要性なし)	・竜巻対策を優先し, ブローアウトパネルは 閉鎖
南面 (1枚)						
西面 (1枚)		5階西側には安全 機能を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



7. 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



第1図 MSLBA時の原子炉棟内温度状態と解析結果の比較

7. 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)

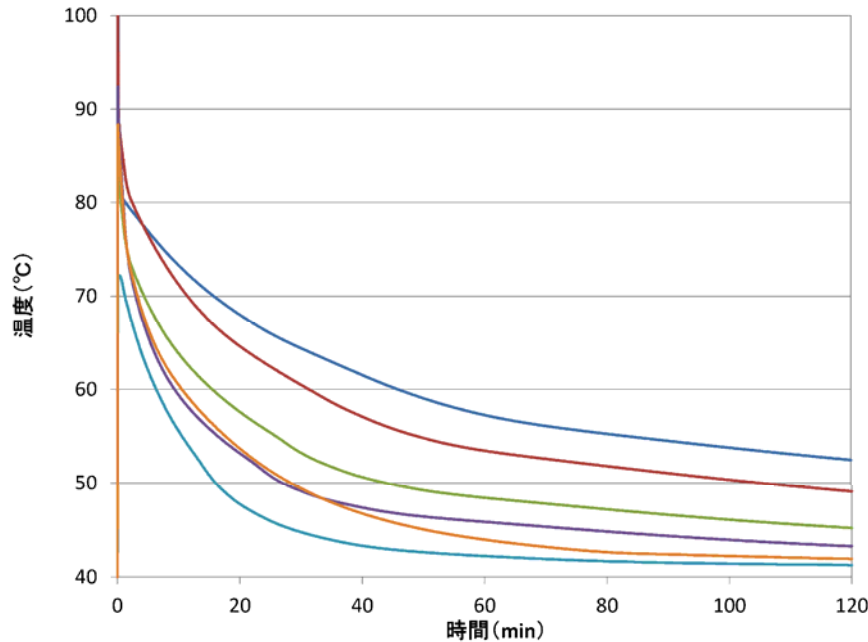


原子炉棟6階の温度及び圧力評価結果を示す。

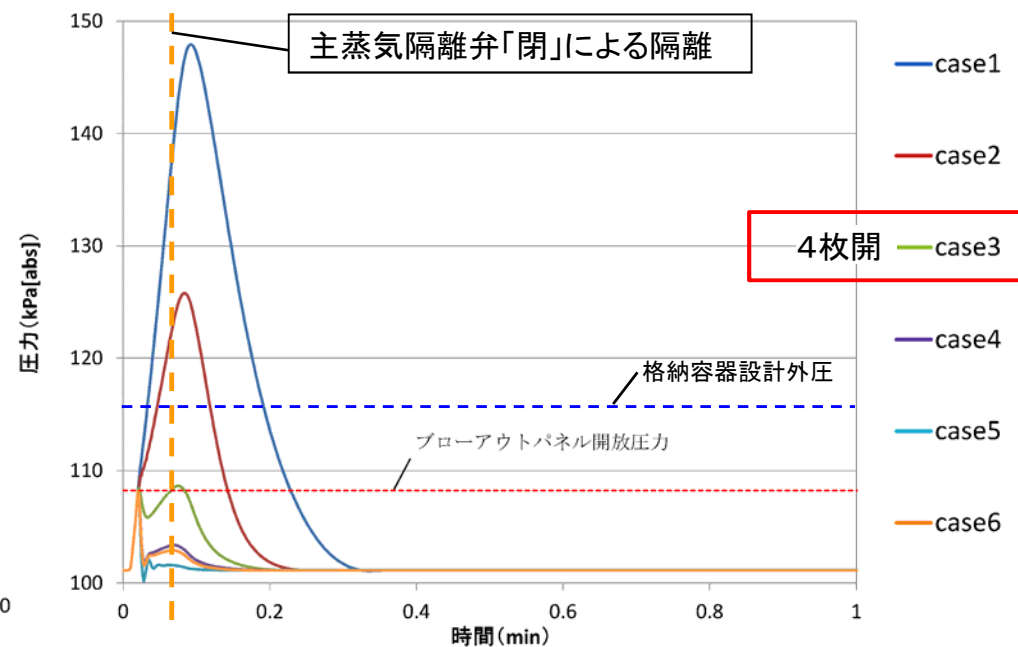
- case1 : 6F ブローアウトパネル 1 枚開放
- case2 : 6F ブローアウトパネル 2 枚開放
- case3 : 6F ブローアウトパネル 4 枚開放
- case4 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放
- case5 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放+5F ブローアウトパネル 4 枚開放
- case6 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放+5F ブローアウトパネル 2 枚開放

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

8. ブローアウトパネル及び関連設備の確認試験方法について(1/3)



対象機器	機能	機能詳細	設計方針	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	クリップ試験にてクリップの材質、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
				モックアップ装置による作動確認を実施し、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
			作動荷重の評価(パネルの摩擦力、シール材) 作動条件に影響のある項目の評価を実施し、保守的に考慮し設計する。	上記、作動試験時に確認	設計段階
			劣化状況の評価 作動条件に影響のある既設パネル取付面状態を確認し、必要に応じて修繕する。	既設パネル全数を取り外し、取り付け面の手入れ及び再施工を実施することにより設計状態を相違ないことを担保する。	施工段階
			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	地震時にパネル取付開口部が、パネル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
閉機能の維持	公衆被ばく影響を防止する観点から設計基準事故後の独立事象である自然現象に対してバウンダリ機能を維持できること	開放機能に影響を与えないよう耐震性を確保する。具体的には、独立事象の組み合わせの観点から、弾性設計用地震動Sdでも開放しないことを目標に設計する。なお、開放した場合は、安全な状態(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)に移行することを保安規定に定める。	モックアップ装置による作動確認時にSd相当の荷重では開放しないことを確認	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	

8. ブローアウトパネル及び関連設備の確認試験方法について(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

8. ブローアウトパネル及び関連設備の確認試験方法について(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

9. ブローアウトパネル開放の成立性について

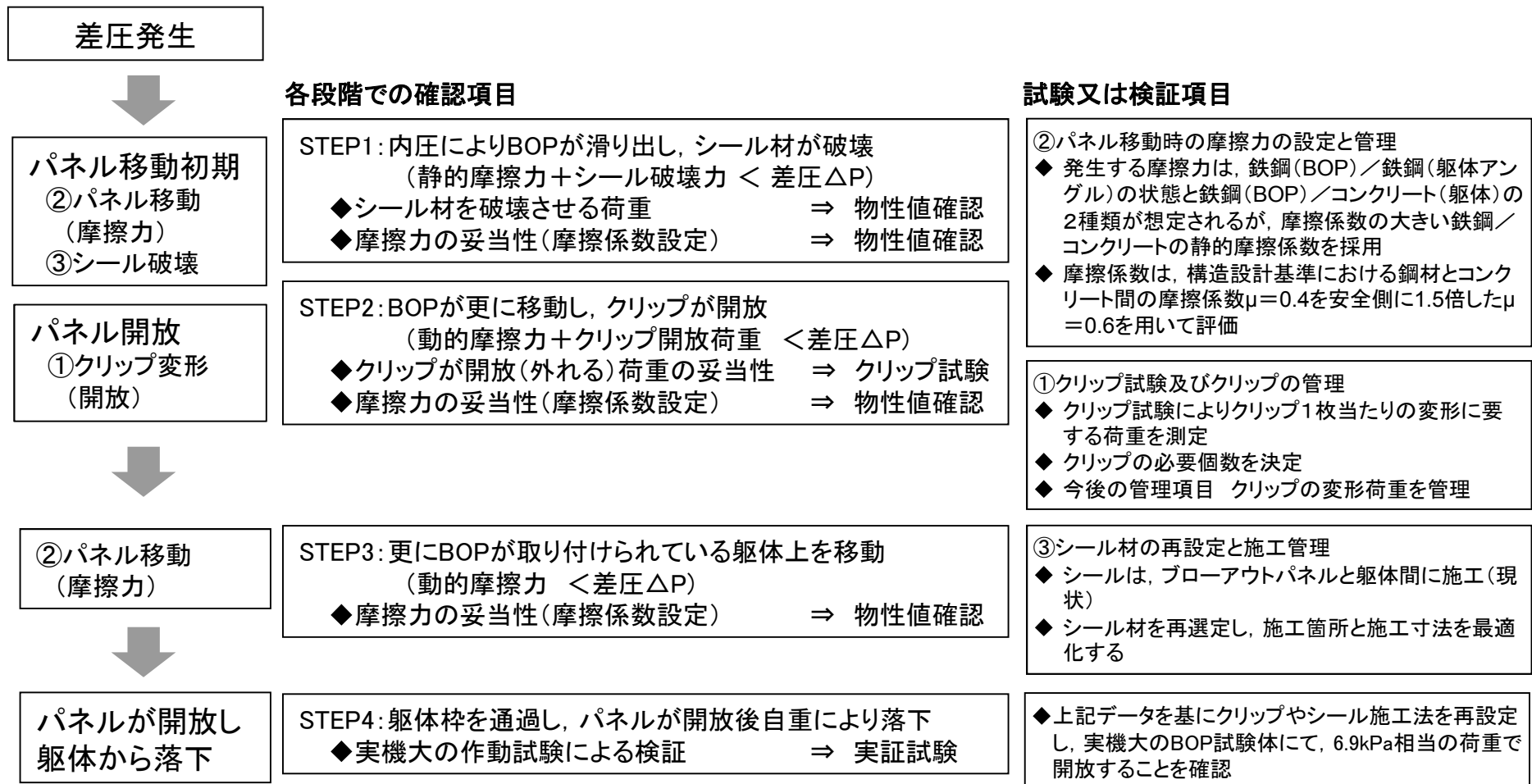


◆ ブローアウトパネル開放メカニズムと確認項目について

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

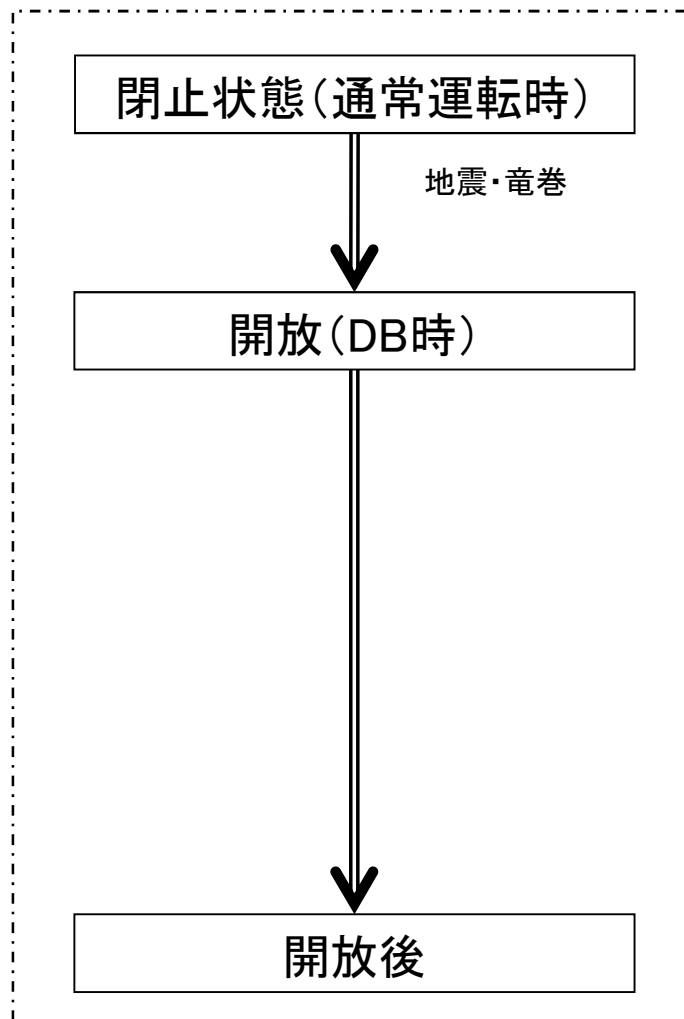
$$\text{パネルに生じる差圧荷重} > \text{①クリップを開放させる荷重} + \text{②摩擦力} + \text{③シール材破壊力}$$



9. 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に要求される機能と確認方法】



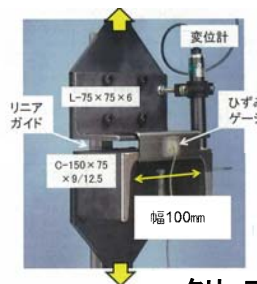
- ◆ 要求される機能
- ・原子炉建屋原子炉棟のバウンダリ維持

→ 東海第二の場合、基準地震動 S_s による地震荷重は差圧による開放荷重より小さいため、差圧による開放機能確認に合わせ、基準地震動 S_s 相当の荷重では開放しないことを確認
 (差圧による開放荷重(面積×差圧)は約110kN程度であり、基準地震動 S_s による開放荷重(質量×地震加速度)は約30kN程度であるため、地震力相当では開放しないことを確認)

- ◆ 要求される機能
- ・差圧による開放機能
- ・地震後の開放機能

試験項目

- ・固定用クリップの要素試験(どの程度の荷重でクリップが開放するかの確認)
- ・実機大モックアップによる開放試験
(油圧ジャッキにより差圧に相当する力で静的に付加し開放を確認)
- ・建屋の許容最大ひずみ量を生じた場合でも、変形は建屋取付枠とパネルの隙間にあるシール材の施工範囲内にあり、開放機能に影響しないことを評価により確認



クリップ開放荷重のばらつき確認
 ↓
 クリップ数の最適化

クリップ要素試験
 (クリップ単体の引張試験)

- ◆ 要求される事項
- ・他設備への波及的影響の防止

↓
 パネル落下防止チェーンの強度確認



実機大ブローアウトパネル開放試験のイメージ
 (2012年 自主的安全性向上の一環として、原子炉建屋6階北側強制開放装置設置時の試験例)

◆ 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2タイプ(開口面積4m×4m, 3.68m×4.17m)が設置されており、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(4m×4mの場合:約110kN, 3.68m×4.17mの場合:約106kN)とがある。このため、実作動試験の実施については、最大面積のパネル(自重最大)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。

10. 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用クリップ クリップ枚数 18枚/1パネル(既設)
開放差圧 約6.9kPs (1.0psi) 7000N/m²

【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】

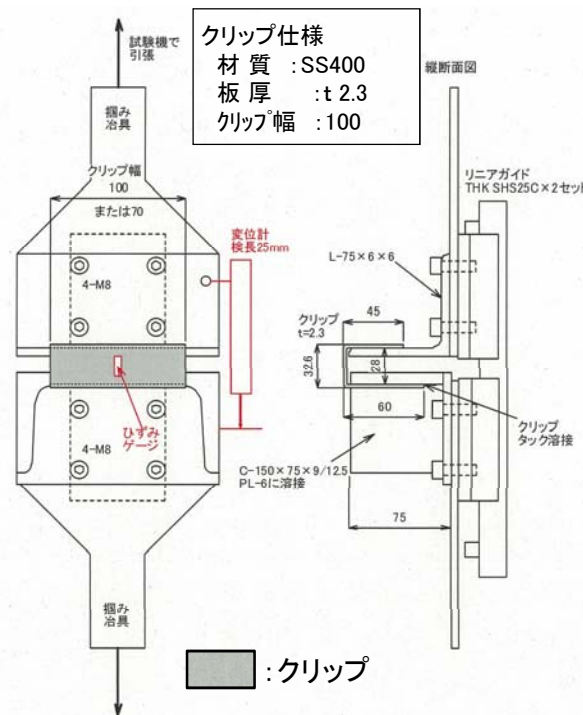
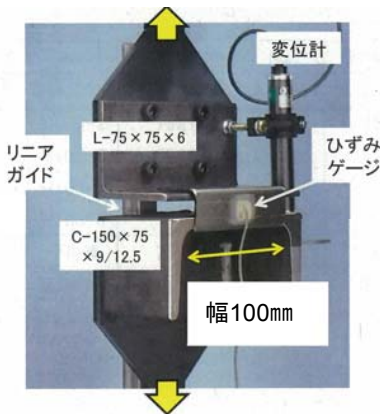
- クリップの最大荷重と変位の試験結果より、クリップの作動時におけるばらつきを検証する
- パネルが設定差圧にて確実に開放するための管理項目を検証する

【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



クリップ取付状況



試験体(クリップ+治具)詳細寸法図

10. 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。

引張試験結果

クリップ1個の変形荷重を測定

測定結果： 最大荷重はクリップの固定方法や取付寸法にてのばらつきが有り、今後の管理を考慮した測定を実施した結果、値は過去の試験より高めの結果となった

- ・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

◆ パネル開放に必要な荷重を算定

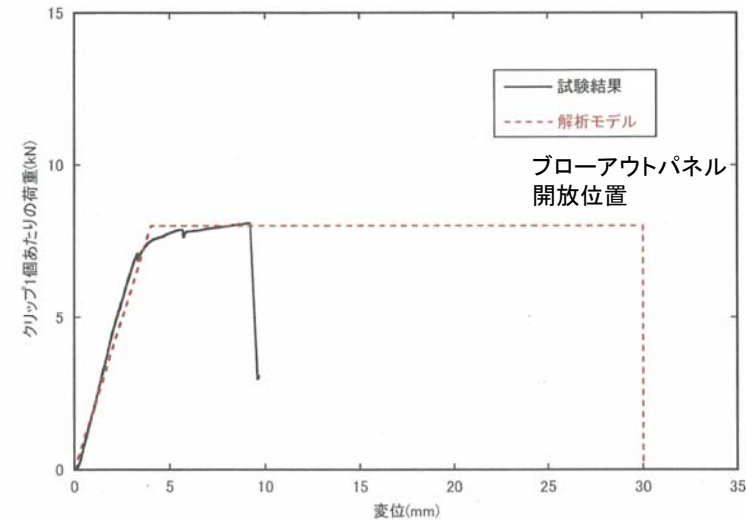
①クリップを開放させる荷重 + ②摩擦力 + ③シール材破壊力

◆ 試験結果よりクリップ1個当たりの荷重を再設定 ⇒ 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

上記データを基にクリップ数やシール施工法を再設定し、実機大のBOP試験体にて、6.9kPa相当の荷重で開放することを確認



クリップの荷重と変位の関係グラフ(例)

11. クリップの信頼性(クリップ試験の結果整理)(1/3)

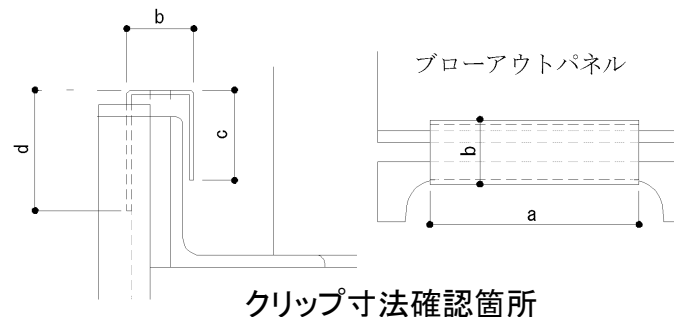
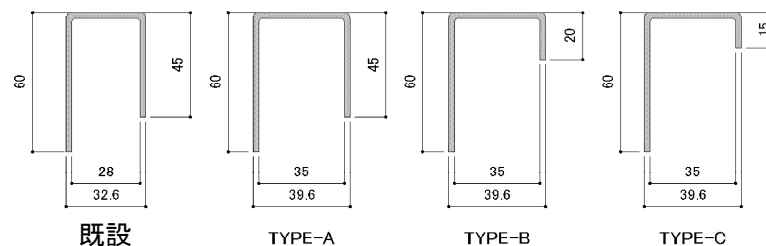


1. 目的

ブローアウトパネルの開放圧力を決定する大きな因子となるクリップについて、性能に影響する材質、クリップ板厚、クリップ幅、クリップ掛り寸法、曲げ加工後のクリップ幅について組合せを検討し、最も安定した性能を確保できるクリップ仕様を特定する。

2. 供試体の組み合わせ

項目	目的	具体的な仕様
材質	材質による強度のばらつきを確認	SS400, SPCC
板厚	一定(既設と同じ)	2.3mm
幅(a)	クリップ幅と強度の関係を確認	100mm, 70mm
掛り寸法(c)	掛り寸法による強度(外れ易さ)のばらつきを確認	45mm, 20mm, 15mm
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を確認	28mm, 35mm



試験用クリップ一覧

試験体名称	クリップ材質	クリップ板厚	クリップ幅	クリップ掛り寸法	クリップ形状	変位速度	試験体数
C70	SPCC (冷間圧延鋼板)	2.3mm	70 mm	45mm	既設と同じ	1 mm/分	5
C100			100 mm				5
H70	SS400 (一般構造用圧延鋼材)		70 mm				5
H100			100 mm				5
H100AP	SS400 (一般構造用圧延鋼材)		100 mm	45mm	TYPE-A		5
H100BP				20mm	TYPE-B		5
H100CP				15mm	TYPE-C		5

11. クリップの信頼性(クリップ試験の結果整理)(2/3)



【クリップ試験結果】



- ◆ 試験1の結果から, SS400の降伏点の明確でばらつきも低減できることを確認 ⇒ 材質はSS400を選定
- ◆ 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($C70/C100=H70/H100 \approx 0.69$)
- ◆ 試験2の結果から, 掛り寸法は, 20mm程度(TYPE-B)が最もばらつきが小さく適切な形状と判断

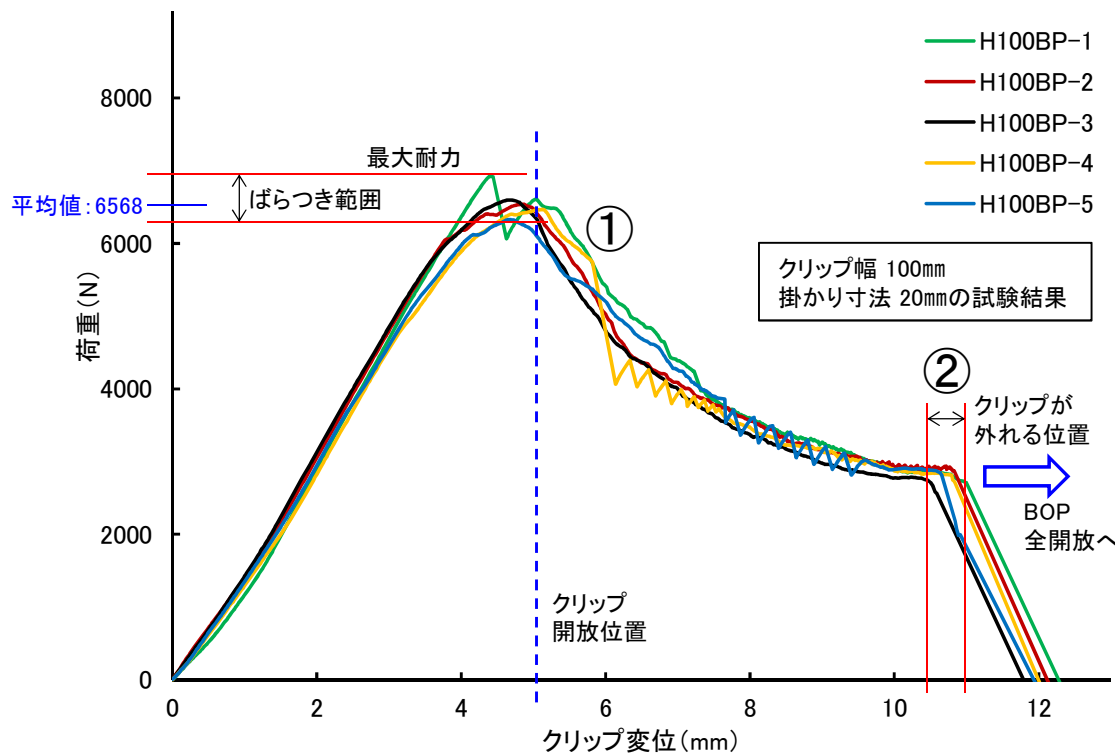
材料SS400のTYPE-Bをクリップの基本形状に選定

11. クリップの信頼性(クリップ試験の結果整理)(3/3)



【クリップ試験結果】

基本形状に選定したTYPE-B H100BPの試験結果を示す。



【試験結果よりの対応1】
最大耐力のばらつきの範囲を管理すると共に、最大耐力の値でも確実にクリップが開放できるようにクリップの幅を低減させる。100mm⇒70mm

【試験結果よりの対応2】
最大耐力の値でも1psi以下で確実にクリップが開放できるように、クリップの個数を最適化する。

クリップの荷重・変位関係

- ①最大耐力に達してクリップが降伏し、荷重が低下していることをクリップ部のひずみ測定により確認した。
- ②クリップの掛かり長さが20mm(H100BP)では変位11mmでクリップが完全に外れることを確認した。

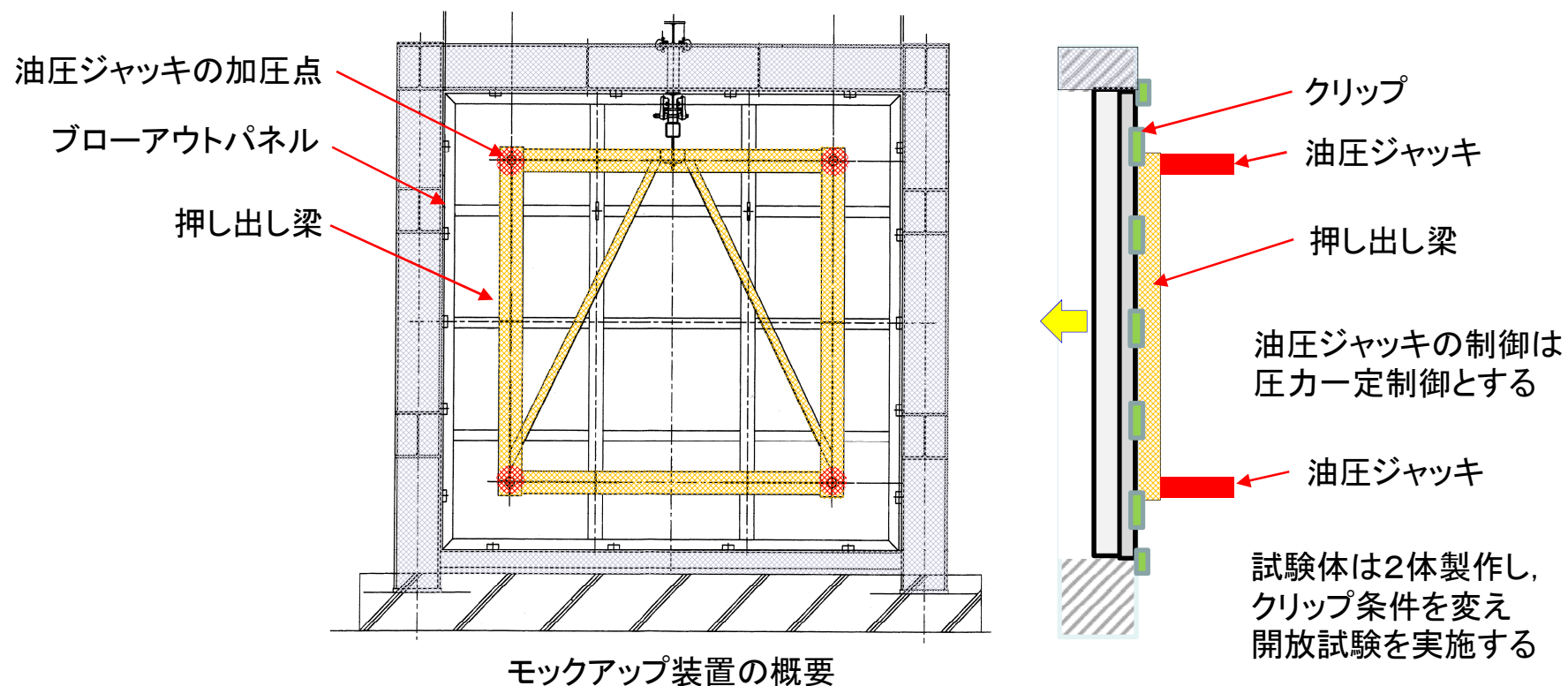
11. クリップの信頼性(モックアップによる開放試験)



【モックアップによる開放試験の概要】

実機同等のブローアウトパネル及びパネルフレーム枠の試験体を製作し、シール施工及び新たに設定するクリップを設置した状態で、油圧ジャッキを用いた加力試験により以下の項目を確認する。

確認項目：
設計差圧以下でブローアウトパネルが開放すること
クリップが外れること
ブローアウトパネルが躯体より脱落すること



12. ブローアウトパネル開放荷重の考え方



(1) ブローアウトパネルを開放させるための荷重の関係

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 < ④差圧による荷重

(2) 各項目に対する考え方

①クリップを開放させる荷重

- ◆クリップ試験結果からクリップ1個あたりの開放に必要な荷重として、試験結果の最大値に約50%のマーヅンを見込み設定
 $6924\text{N} \times 1.5 = 10386\text{N} \Rightarrow 10000\text{N}$ として設計に反映
- ◆クリップ数をX個とすると、全部のクリップを開放させるために必要な荷重は、 $10000X(\text{N})$

②摩擦力

- ◆コンクリートと鉄鋼の静止摩擦係数0.4に50%のマーヅンを見込み0.6を、保守的に動摩擦係数としても採用
- ◆最も重いブローアウトパネル重量は約1650kgであるため、これを動かすために必要な力は、 $1650\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 \times 0.6 = 9702\text{N}$

③シール材破壊力

- ◆シール材メーカーと調整中。シール材を破壊するための荷重をY(N)とする。

④差圧による荷重

- ◆ブローアウトパネル設置場所の基準地震動Ssによる水平方向地震加速度は1.74G
- ◆公衆被ばくの観点からLOCA後にSs発生が有意になるのは約2年後であり、Sdが有意になるのは約1か月後であるため、Sdでも開放せず、確実に1psi以下で開放させるために設計目標値を、Z(kPa)を設定
- ◆最も面積の小さいブローアウトパネル(最も差圧による開放荷重が小さいもの)面積は、 15.346m^2 であるため保守的に 15m^2 と設定
- ◆以上より、満足すべきブローアウトパネルの設計条件は、以下のとおりであり、これを満足するX(クリップ数)を決定する。
- ◆なお、最終的には実機大のモックアップ試験結果を踏まえて決定する。



$$1650(\text{kg}) \times 1.74/2 \times 9.8(\text{m/s}^2) < 10000X(\text{N}) + 9702(\text{N}) + Y < Z(\text{kPa}) \times 1000 \times 15\text{m}^2$$

下限値(Sdでの開放防止)

最も重い(大きい)パネルを開放させるために必要な荷重(クリップ+摩擦+シール材)

最も小さい面積のパネルに対して安全側に設定した設計目標値

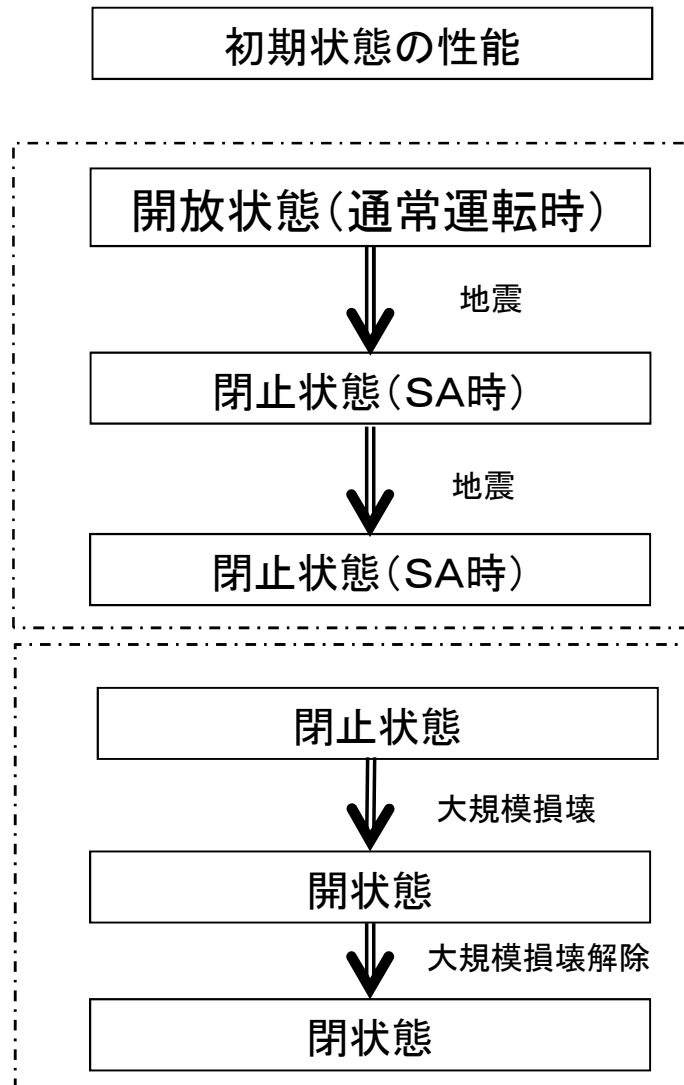
12. ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験について(1/3)



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

各試験の目的

- 試験項目①: 初期状態の確認
- 試験項目②: 地震発生後の作動・気密機能維持の確認
- 試験項目③: SA後の気密機能維持の確認
- 試験項目④: 開閉機能の確認(大規模損壊時に使用)



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(電動・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(電動・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(電動・手動にて開閉)

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, 当該装置の設置高さにおける床応答スペクトルを包絡する条件(当該装置の固有振動数近傍)※の試験用地震波にて加振試験を実施し, 下記の試験を実施する。

※ 固有振動数が20Hz以上の場合, ZPA(当該位置の最大床応答加速度)を包絡する条件とする。

○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の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

建屋壁面を模擬した実機大の試験容器に排風機により試験容器内の空気を排出し、試験容器に取り付けた扉本体に圧力差を生じさせ、規定の圧力差(10Pa, 30Pa等)にて、パッキンから通過した空気の漏れ量を測定する。

・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4,800mm × 約4,800mm

(躯体開口部を包絡※する大きさ)

※躯体開口部寸法についても包絡する
大きさ(約4,200mm × 約4,200mm)とする

・気密性評価

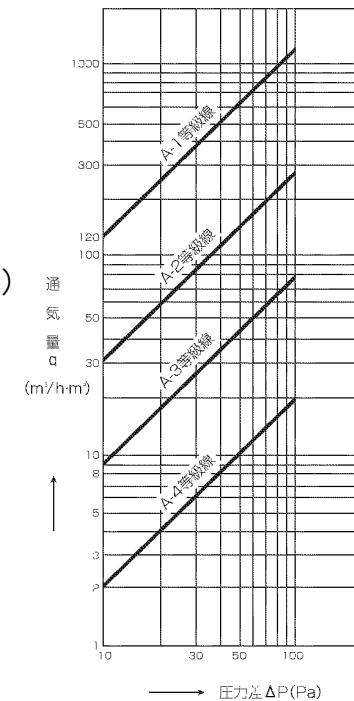
$$q = Q / A$$

q: 通気量 (m³/h・m²)

Q: 通過した空気量 (m³/h)

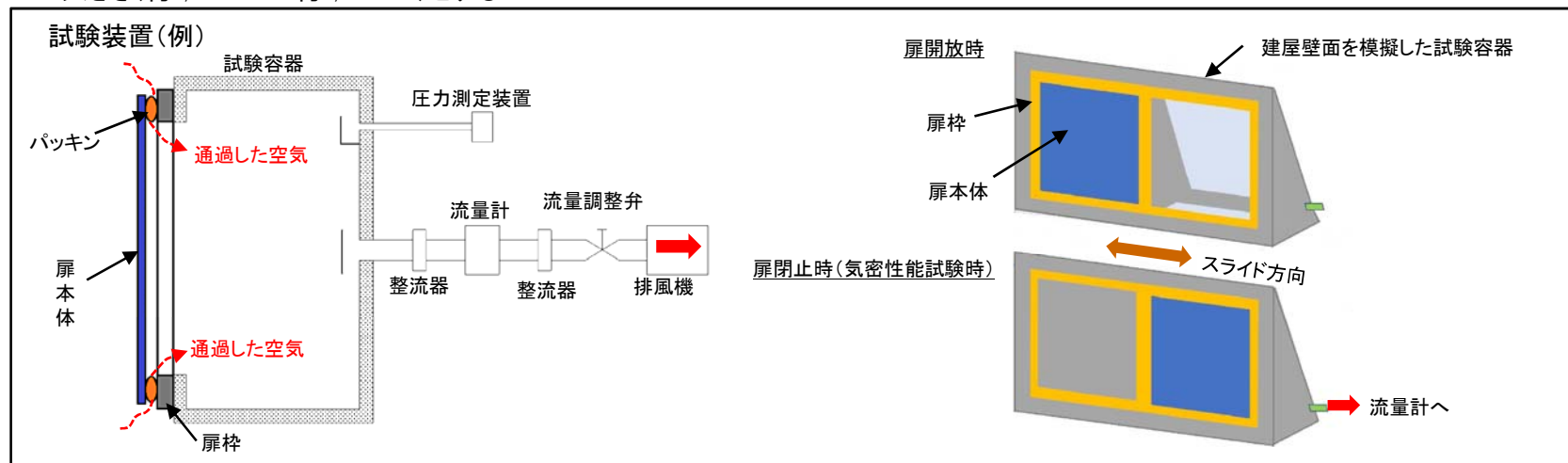
A: 扉の内法面積 (m²)

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

現在、検討中の保守管理内容は以下のとおりです。

対象機器	必要な機能	保全項目	実施内容(案)
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)	◆ 定期検査項目として定期検査毎の原子炉建屋気密性能検査にて確認
		外観目視(シール部)	◆ 構造健全性確認検査として目視点検
	作動性能	クリップの性能管理	◆ 定期事業者検査として、定期的に実機クリップを取り外し、クリップが所定荷重以下で変形することを確認 ◆ クリップは製造ロット毎に管理し、要求仕様を満足しない場合には当該ロットは全て取替
	構造健全性	外観目視試験	◆ 構造健全性確認検査として目視点検
ブローアウトパネル閉止装置	気密性能	シール部の取替	◆ パッキンの定期的な取替(パッキン確定後、メーカー推奨等に基づき設定)
	作動性能	作動試験	◆ 閉止装置が開閉できることを確認
	構造健全性	外観目視試験	◆ 閉止装置構成品に有意な損傷が無いことを目視により確認
竜巻防護設備	構造健全性	外観目視試験	◆ 構造健全性確認検査として目視点検
強制開放装置(自主設備)	作動性能	シリンダ単体作動試験	◆ 単体作動試験
	構造健全性	外観目視試験	◆ 構造健全性確認検査として目視点検

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]		実機大作動試験(開放試験) [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))

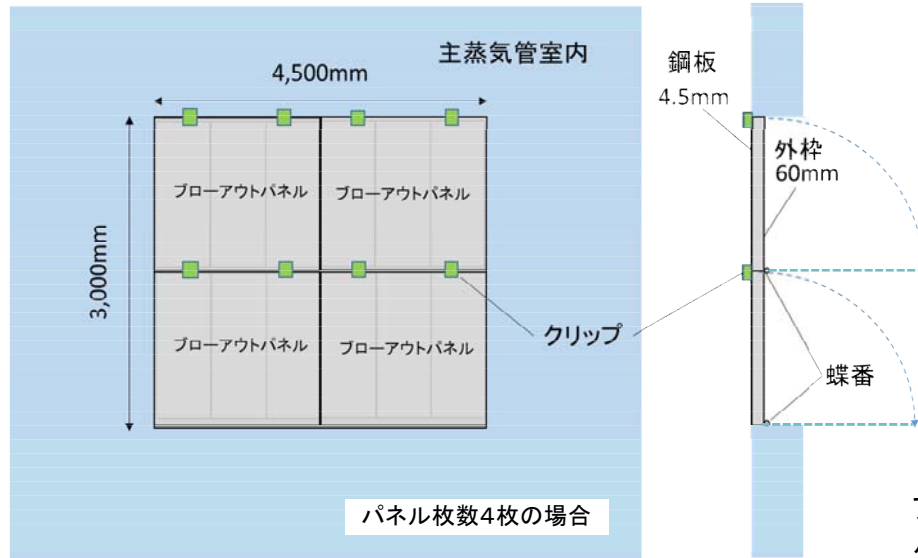
 :主蒸気管室

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。

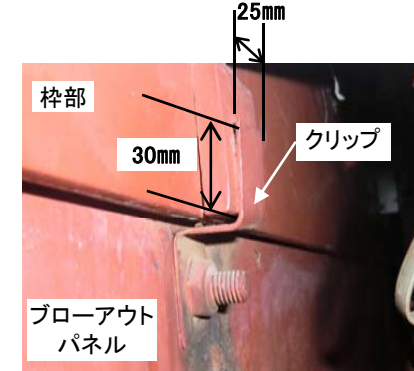


a) 正面図

b) 側面図



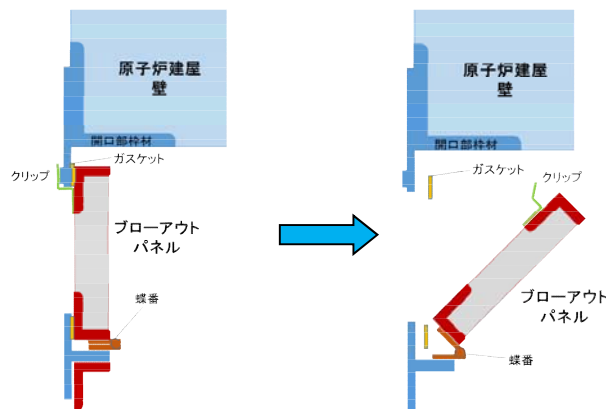
室内よりの状況
(3階 3F2)



クリップ部

内側ブローアウトパネルの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(1psi以下)で開放する構造である。

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。



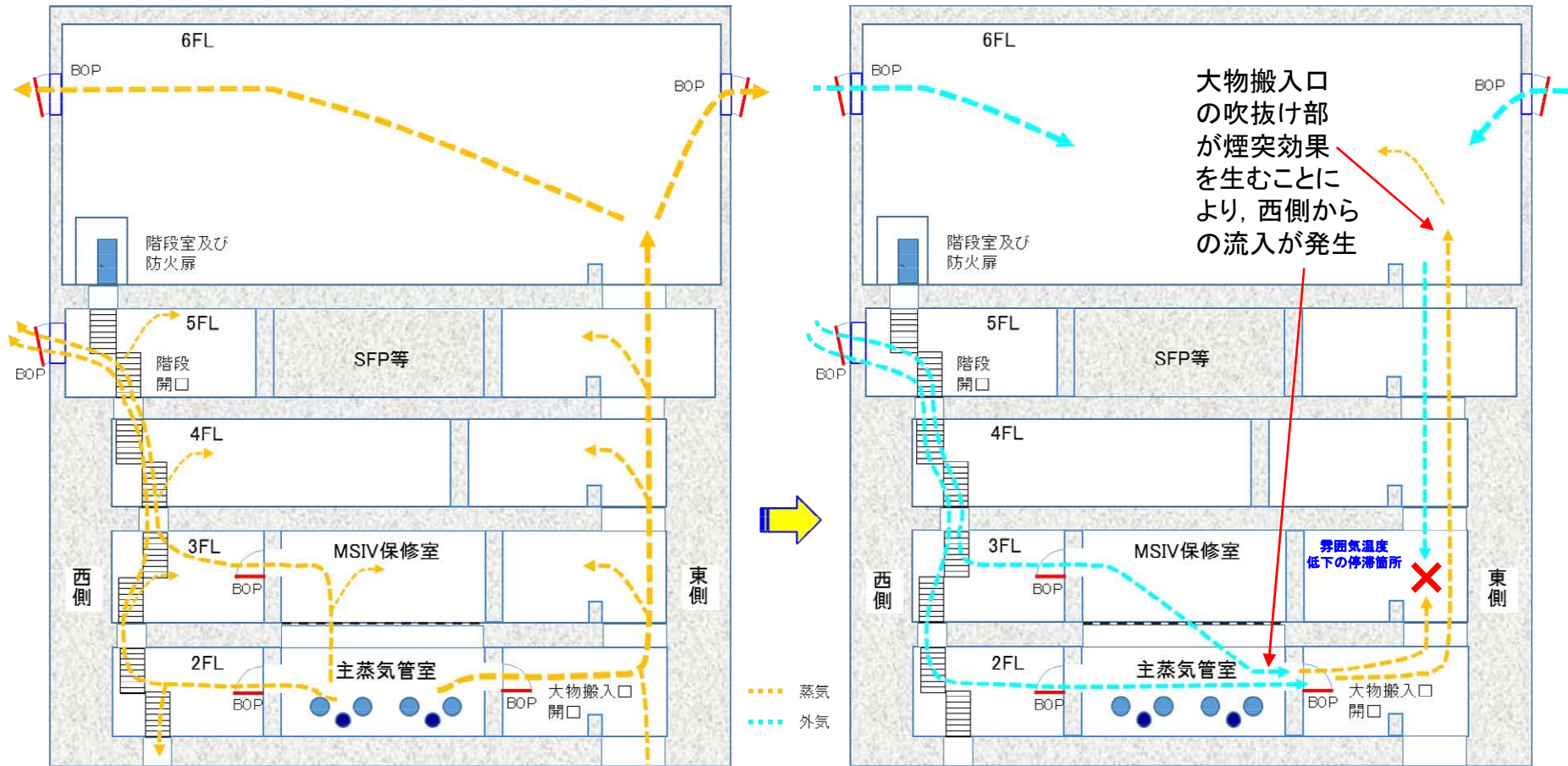
c) 断面図(クリップ式構造の概念図)(内側)

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】蒸気放出時と外気取り入れ時の流路について



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、入れ替る状況を示している。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階のブローアウトパネル全数が開放する場合と比較して、5階の東側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。



蒸気放出時の経路概要

原子炉棟断面図

外気流入時の経路概要

【参考】蒸気放出時と外気取り入れ時の流路について



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。(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、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。

原子炉棟 3階
(■ : パネル(全3枚))

□ : 主蒸気管室

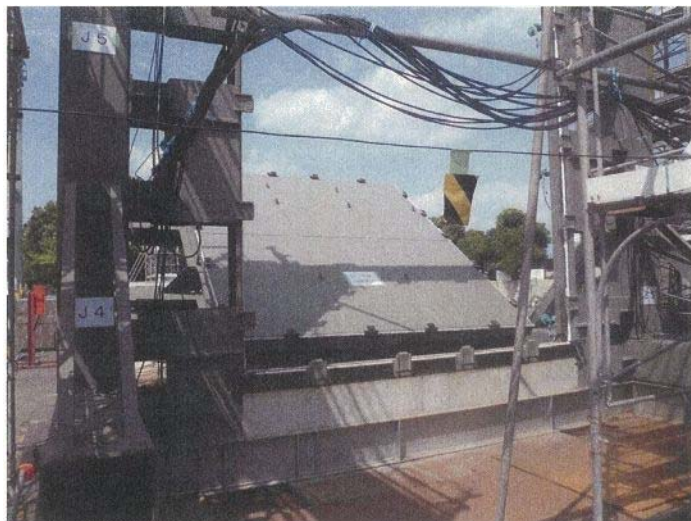
原子炉棟 2階
(■ : パネル(全3枚))

■ : 主な開口部

【参考】モックアップ試験による開放荷重の検証例

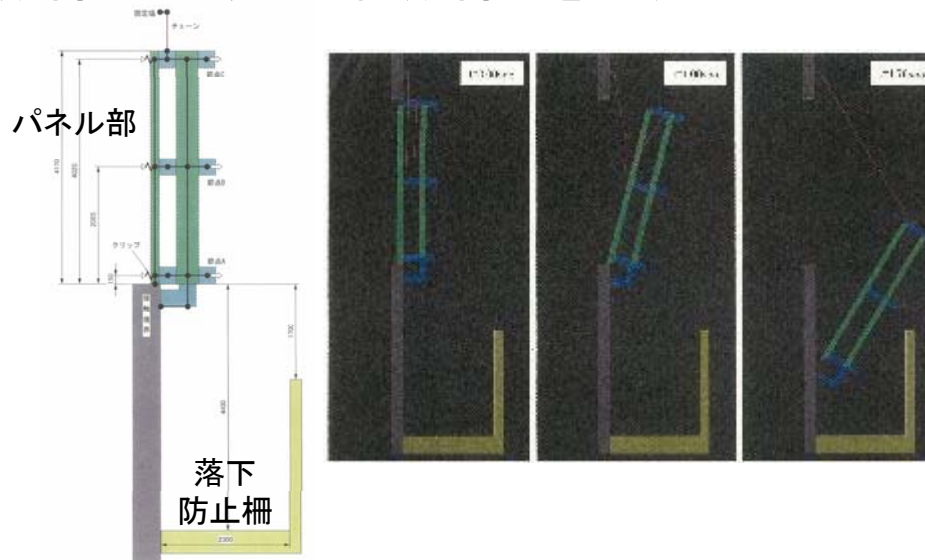


◆強制開放装置設置時(2012年)に油圧装置により実物大モックアップ試験を実施、開放荷重を検証した(机上で検討した開放荷重と測定した開放荷重を比較)



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)



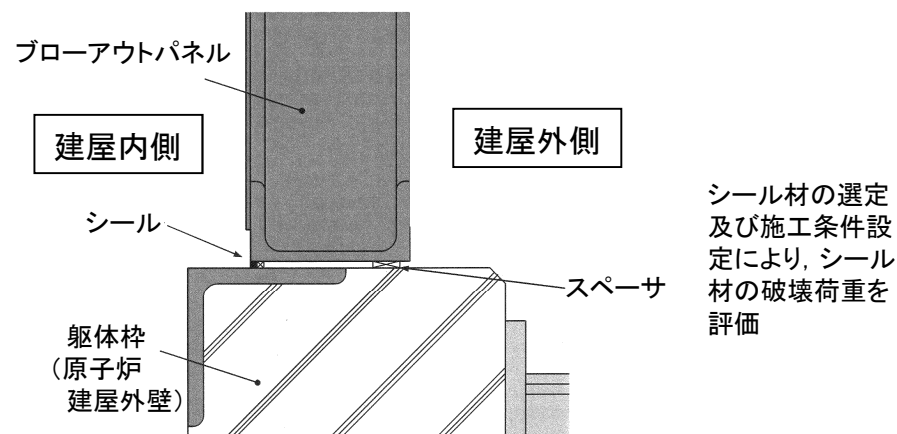
解析モデルを用いたパネル開放・落下状況の検証状況



パネル開放前

パネル開放後

クリップ部詳細



シール材の選定及び施工条件設定により、シール材の破壊荷重を評価

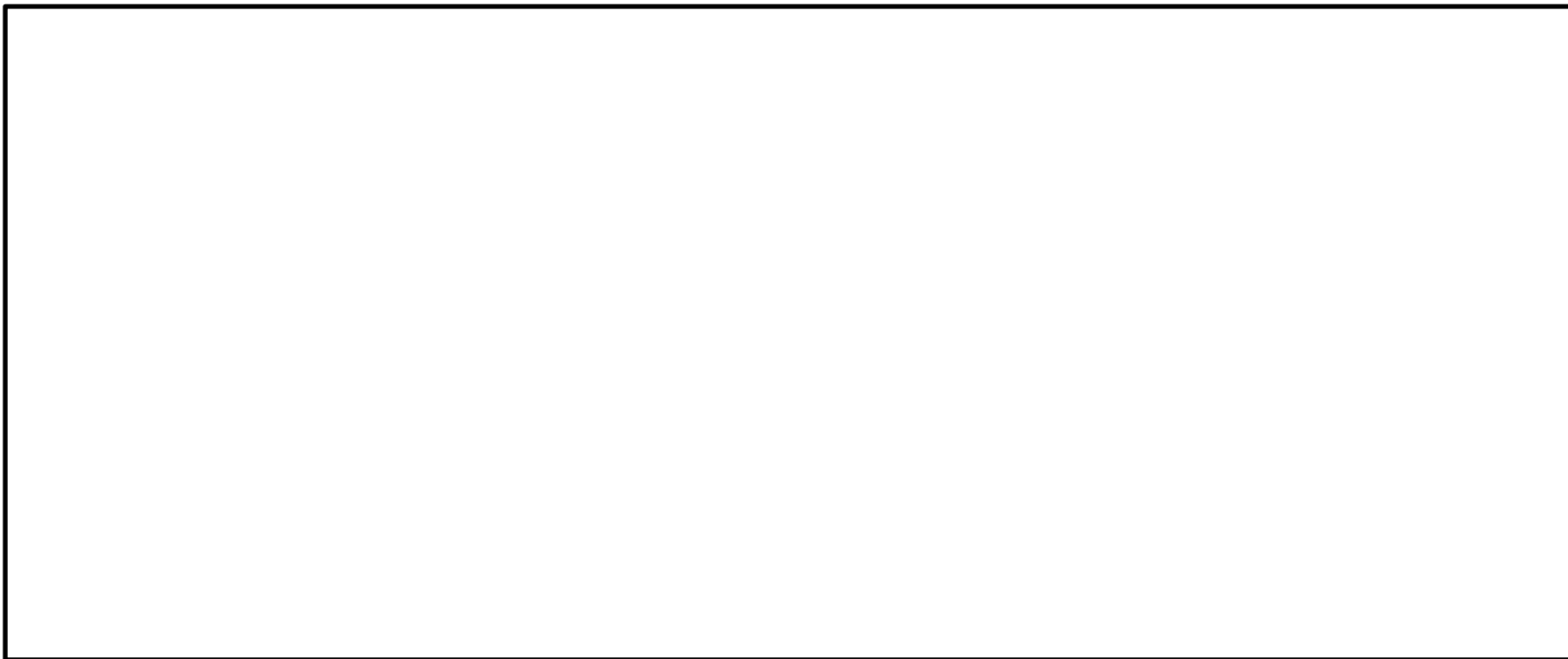
ブローアウトパネル下部の詳細断面


【参考】クリップの飛散影響について





◆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及び主な防護対象設備の配置を図に示す。


- ・原子炉建屋6階：ブローアウトパネルの取付高さ 床面より 12.5m
 - ⇒ 使用済燃料プールへの落下による影響が考えられるが、クリップの重量(約230g)より影響なしの評価となる
 - ⇒ エリアモニタが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、保護カバーを有しており影響なし
 - ⇒ プロセスモニタが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影響はなし
 - ⇒ スキマサージタンクレベル計がブローアウトパネル下部の壁面に設置されているが、保護カバーを有しており影響なし
- ・原子炉建屋5階：ブローアウトパネルの取付高さ 床面より 6.4m
 - ⇒ 主要な設備が飛散範囲内に無いため影響なし



原子炉棟 6階
( :パネル(8枚))

 :飛散想定範囲

原子炉棟 5階
( :パネル(2枚))

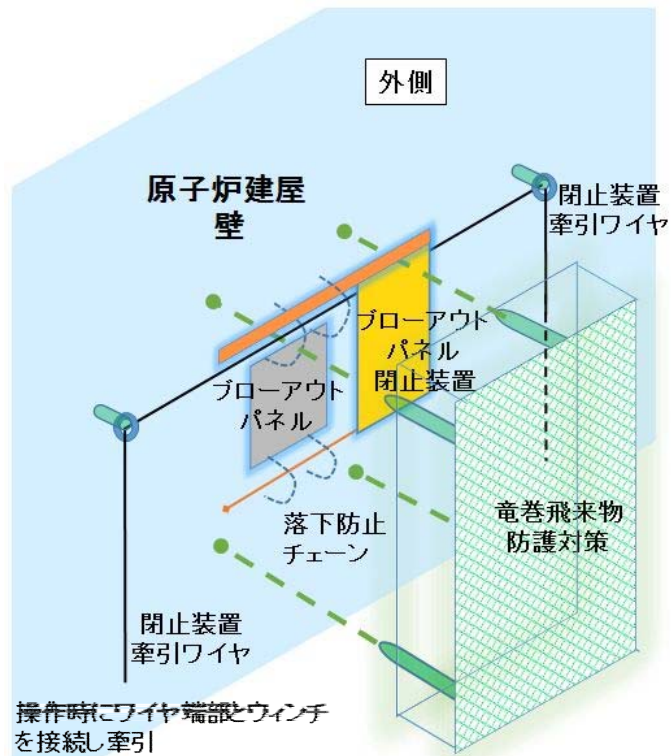
 :竜巻防護対象

【参考】ブローアウトパネル及び関連設備の設置計画

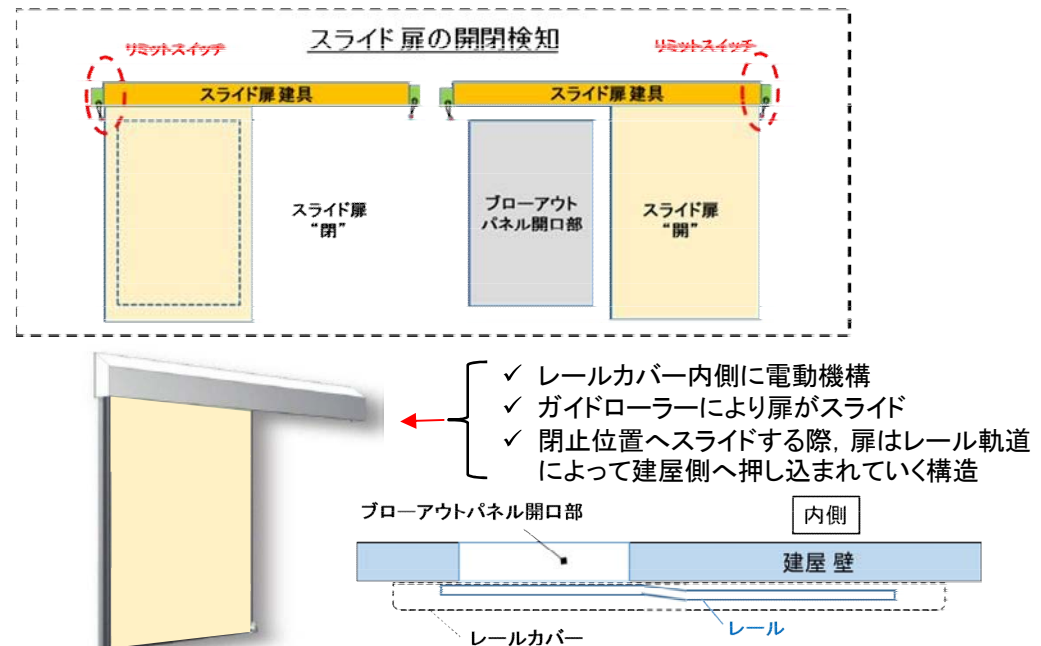
(1) 閉止装置の概要

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。

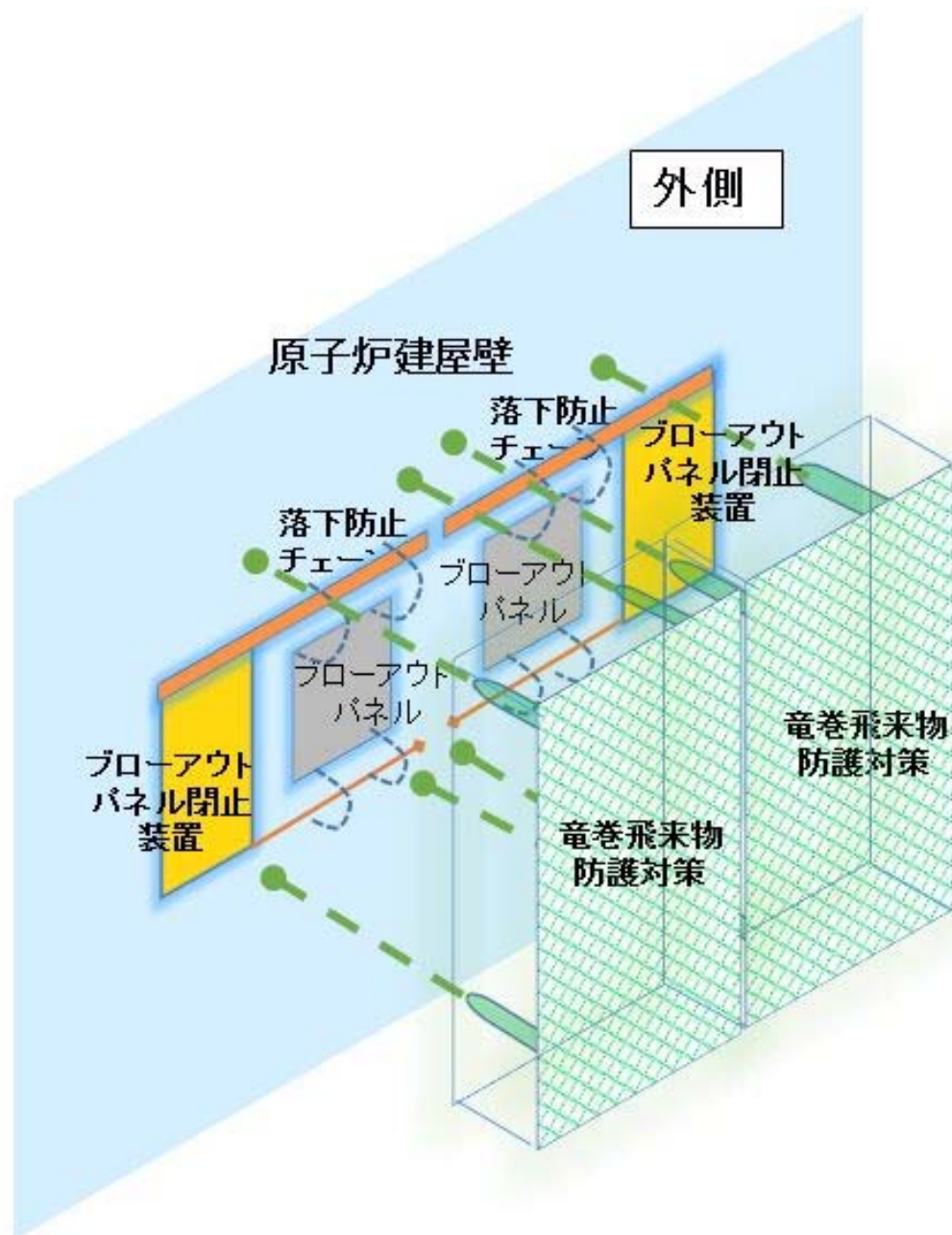
- ✓ スライド扉「閉」時は、開放が必要な位置のスライド扉を開放
 - 緊急用電源又は人力により開可能な設計
 - 人力の場合、扉に取り付けたワイヤを牽引又は遠隔人力操作機構を接続して「開」
 - スライド扉の位置(開位置, 閉位置)は, リミットスイッチの動作にて中央制御室で検知できるよう設計



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



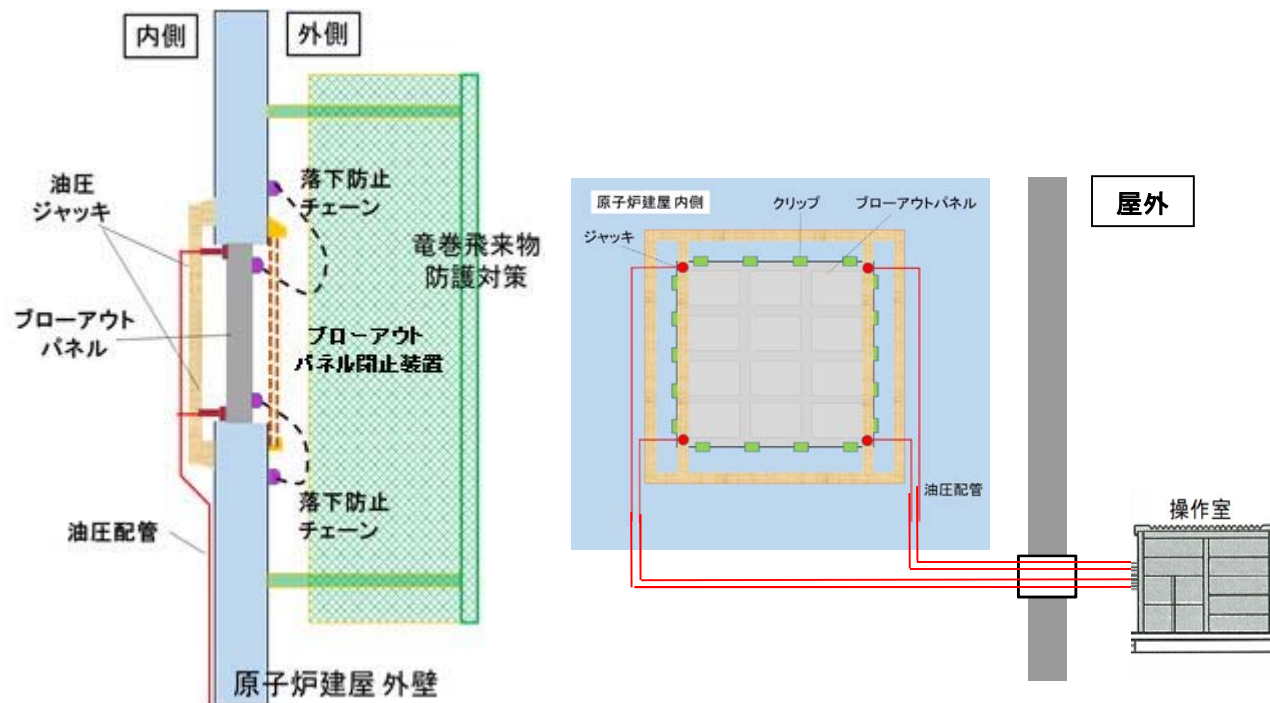
(1) 強制開放装置の概要(例)

<目的>

- ◆ブローアウトパネルが閉状態にある時に、開放が必要な位置のパネルを原子炉建屋内側より不燃性流体を用いた油圧ジャッキで押し出して開放する。

<検討方針>

- ・ブローアウトパネルを遠隔及び現場で開放する設計
- ・作動流体配管は、耐震性を考慮して敷設(波及的影響防止)



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



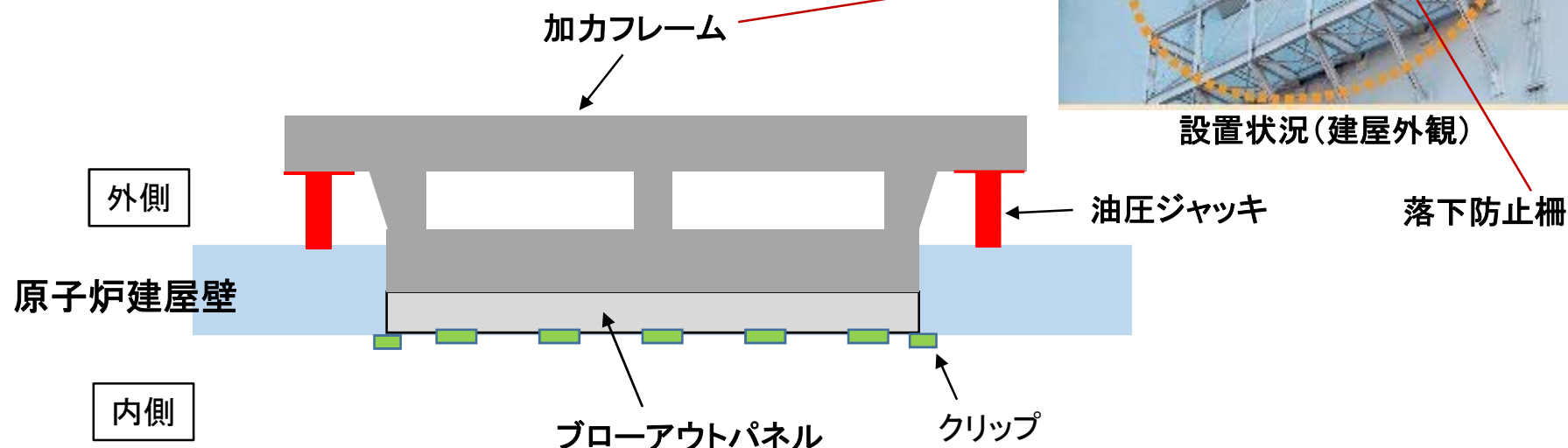
手動油圧ポンプ 1台

【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	・基準地震動 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。
	竜巻	・ブローアウトパネルは設計竜巻による荷重にて有意な変形等を生じない構造とする。 ・(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。
	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。
	船舶の衝突	ブローアウトパネルに到達しない。
	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

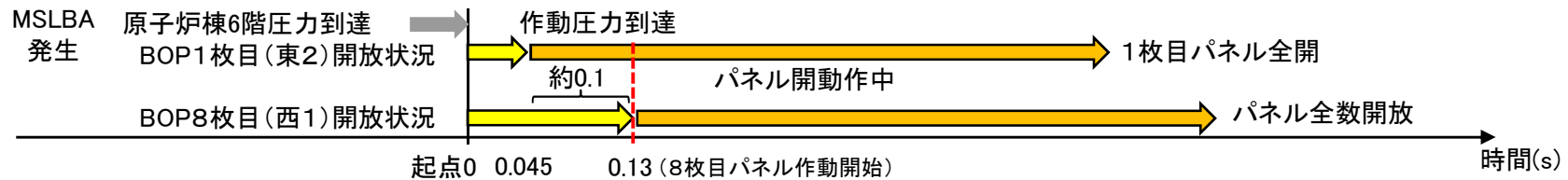



区分	機能	設置許可基準規則	技術基準規則	技術基準 (一部抜粋)	備考
DB	2次格納容器バウンダリ維持 (閉じ込め機能)	Ss地震	4条	5条 (地震による損傷の防止) 第五条 設計基準対象施設は、これに作用する地震力(設置許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。)による損壊により公衆に放射線障害を及ぼさないように施設しなければならない。 2 耐震重要施設(設置許可基準規則第三条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。)は、基準地震動による地震力(設置許可基準規則第四条第三項に規定する基準地震動による地震力をいう。以下同じ。)に対してその安全性が損なわれるおそれがな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。	
		原子炉格納施設 (原子炉建屋原子炉棟)	32条	44条 (原子炉格納施設) 第四十四条 発電用原子炉施設には、一次冷却系統に係る発電用原子炉施設の損壊又は故障の際に漏えいする放射性物質が公衆に放射線障害を及ぼすおそれがないよう、次に定めるところにより原子炉格納施設を施設しなければならない。 四 一次冷却系統に係る発電用原子炉施設の損壊又は故障の際に原子炉格納容器から気体状の放射性物質が漏えいすることにより公衆に放射線障害を及ぼすおそれがある場合は、当該放射性物質の濃度を低減する設備(当該放射性物質を格納する設備を含む。)を施設すること。	
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。	


【参考】ブローアウトパネルの開放に係る同時性について





- ・MSLBA時の圧力が原子炉棟6階に伝播しパネルが開放するまでの時間は、空気中の蒸気漏えいによる圧力伝播速度を音速同等とすると、最も遠い(西1)パネル位置でも約0.13秒程度である。最も近い(東2)位置との差で、約0.1秒。
- ・ブローアウトパネルの開放時間遅れ(開放圧力に到達してからパネルが開放する時間)はこれに比べると十分長い。
- ・各ブローアウトパネルが開放する際の時間差を、原子炉棟6階において蒸気圧伝播に掛かる時間差と考えると、最初の1枚が作動を開始し、開放時間遅れの間、他のパネルについても0.1秒程度で圧力が伝播することで作動を開始するため、ほぼ同時に開放が可能といえる。



原子炉棟 6階
( :パネル(全8枚))

 :圧力伝播箇所

原子炉棟 5階
( :パネル(全2枚))

 :竜巻防護対象