

東海第二発電所

ブローアウトパネルの要求機能の整理について

平成29年11月16日

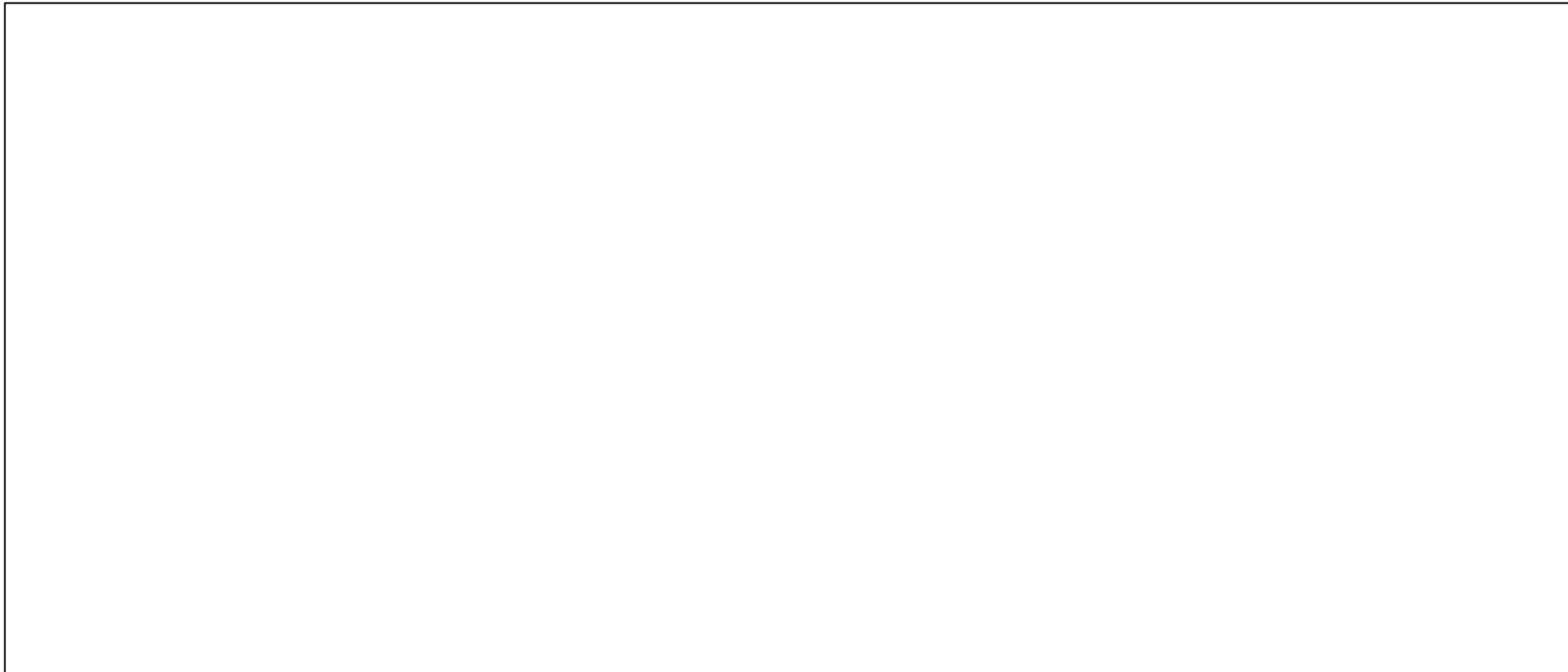
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

1. 東海第二発電所のブローアウトパネルについて



- ◆ 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ー)： 東西南北の壁面に各2か所の合計8か所
 - ・原子炉建屋5階： 東西南北の壁面に各1箇所の合計4か所
- ◆ ブローアウトパネルは、主蒸気配管破断を想定した場合の放出蒸気による圧力等から原子炉建屋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。



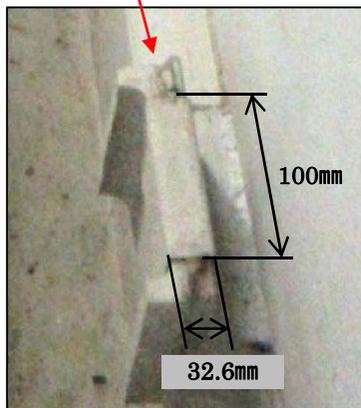
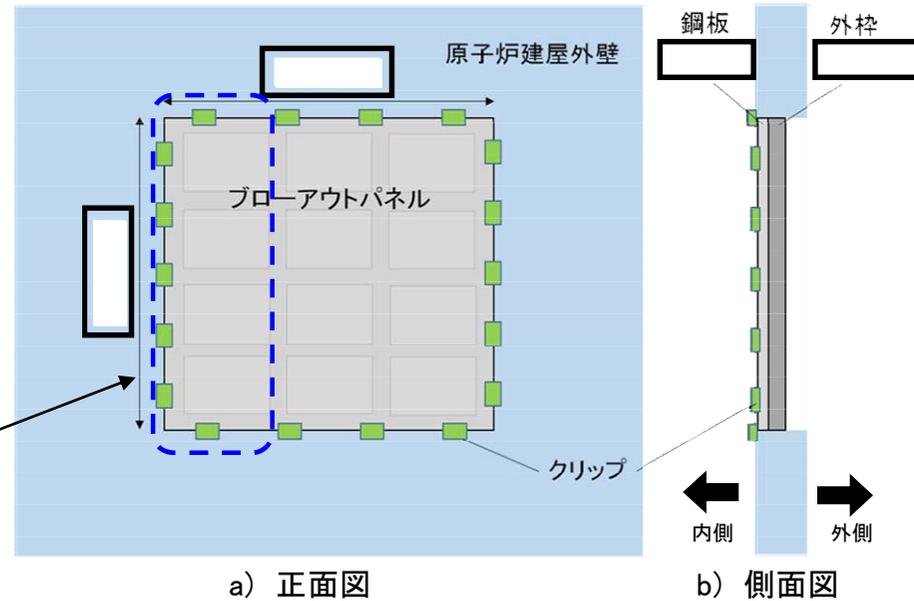
原子炉棟 6階
(— :パネル(全8枚))

原子炉棟 5階
(— :パネル(全4枚))

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で開放するように設計されている

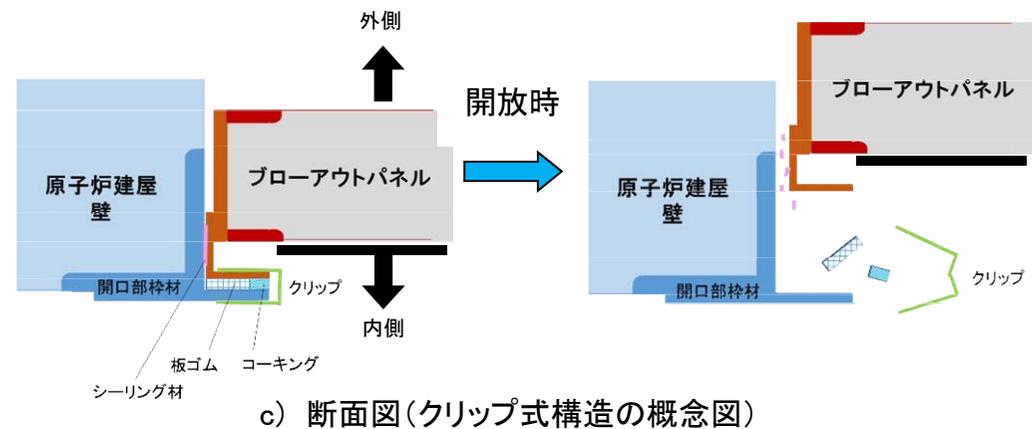


厚さ: 2.3mm

100mm

32.6mm

A-A' 矢視 (クリップ部拡大)



- ◆ 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. ブローアウトパネルに対する要求事項



【要求事項の整理】

	考慮する機能	BOP 【開 放】	スライド扉 【閉 止】	要求 条文	備考
D B	Ss時の耐性 【閉維持】	○ (MS-1)(耐震性)	—	4条	
	MSLBA時等 差圧による【開機能】	○ (MS-1)(PCV防護)	—	9条他	
	強制開放装置 【開機能】	○ (自 主)	—	—	
	竜巻防護	○ (PS)	—	6条	
S A	IS-LOCA時	—	—	46条	
	FP閉じ込め 【閉機能】	○ 閉じ込め機能維持	○ (耐震性:地震後)	59条	
	放水砲による SFP注水時【開機能】	○ ジャッキ	○ SA設備の流用	—	
	水素対策 排出時【開機能】	○ ジャッキ	○ SA設備の流用	—	

(1) 申請書への追加反映案

大項目	小項目	申請書への追加記載案
二次格納施設	バウンダリを構成する設備(放射性物質の閉じ込め機能)	<p>添付八 9.1.1.4.2 二次格納施設 9.1.1.4.2.1 原子炉建屋</p> <p>「原子炉建屋は、非常用ガス処理系により、内部の負圧を確保することができる設計とする。気密バウンダリの一部として原子炉建屋に設置する原子炉建屋ブローアウトパネルは、閉状態の維持又は開放時に再閉止が可能な設計とする。また、<u>原子炉建屋ブローアウトパネルは、高圧の原子炉冷却材が原子炉建屋原子炉棟に漏えいして蒸気となり、原子炉建屋原子炉棟の圧力が上昇した場合において、外気との差圧により自動的に開放し、原子炉建屋原子炉棟内の圧力及び温度を低下させることができる設計とする。</u>」</p> <p>・主要機器仕様 <u>原子炉建屋ブローアウトパネル</u> 個 数 10 取付箇所 原子炉建屋5階, 6階</p>
【第9条】 内部溢水	・蒸気の影響評価 主蒸気管破断時のブローアウトパネルの考慮 (開機能)	<p>・本文 五号 口(3)(i) a. 設計基準対処施設 (d) 溢水による損傷の防止 「溢水評価において、溢水影響を軽減するための壁、扉、堰等の浸水防護設備、床ドレンライン、防護カバー、<u>ブローアウトパネル</u>等の設備については、必要により保守点検や水密扉閉止等の運用を適切に実施することにより、溢水防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。」</p> <p>・添付八 1.7.5.3 (2) 蒸気放出の影響に対する防護設計方針 ① 溢水源又は溢水経路に対する対策 <u>f. 主蒸気管破断事故時等には、建屋内外の差圧によるブローアウトパネルの開放により、溢水防護区画内において蒸気影響を軽減する設計とする。</u></p>

(2) 申請書への追加反映案

大項目	小項目	申請書への追加記載案
【第6条】 竜巻	—	—
【第59条】	—	<ul style="list-style-type: none"> ・本文五号リ(4)(iv) 閉止装置(原子炉建屋ガス処理系の運転時に必要な設備)を記載 ・添付八 中央制御室の居住性(大規模損壊)における、BOP開放箇所の「閉止」を記載 <ul style="list-style-type: none"> 9.1.2.3 原子炉建屋 <ul style="list-style-type: none"> 9.1.2.3.1 概要 <p style="margin: 0;"><u>「原子炉建屋は、重大事故等時においても、非常用ガス処理系により、内部の負圧を確保することができる設計とする。原子炉建屋の気密バウンダリの一部として原子炉建屋に設置する原子炉建屋ブローアウトパネルは、閉状態の維持又は開放時に再閉止が可能な設計とする。また、原子炉建屋ブローアウトパネルは、高圧の原子炉冷却材が原子炉建屋原子炉棟に漏えいして蒸気となり、原子炉建屋原子炉棟の圧力が上昇した場合において、外気との差圧により自動的に開放し、原子炉建屋原子炉棟内の圧力及び温度を低下させることができる設計とする。」</u></p> 9.1.2.3.2.1 悪影響防止 <p style="margin: 0;">「また、ブローアウトパネルは、誤開放しない設計又は開放した場合においても速やかに閉止できる設計とし、他の設備に悪影響を及ぼさない設計とする。」</p> 9.1.2.3.2.3 操作性の確保 <p style="margin: 0;">「ブローアウトパネルは、遠隔又は現場において、手動で閉止できる設計とする。」</p>

3. ブローアウトパネルに対する要求事項



【要求事項】

- ◆ 設計基準事故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	具体的な検討内容
①	DB (第9条 内部溢水)	主蒸気管破断事故(MSLBA)時等には開放し、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 (第6条 竜巻)	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
③	SA (第59条 制御室の環境)	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
④	SA (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、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。
- ◆ 上記対策を実施することで、従来の評価に影響を与える場合は、再評価を行い影響の無いことを確認するとともに、対策が必要な場合は、必要な対策を実施する。

- ・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
- ・内部溢水の蒸気影響評価(環境温度の影響確認と必要な場合の防護対策)
- ・IS-LOCA時の環境条件(同上)

※ 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・温度ともに当初の設定値を超えることはなく影響はない。

4. ブローアウトパネルへの要求事項と対応方針



【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再開止	④放水砲		⑤水素対策	
		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, 速やかに再開 止(遠隔及び 手動)	何れか1箇所 は, 建屋外か ら強制開放	建屋外から強 制開放	・ブローアウト機能維持 +再開止装置の設置 ・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。

P9: 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

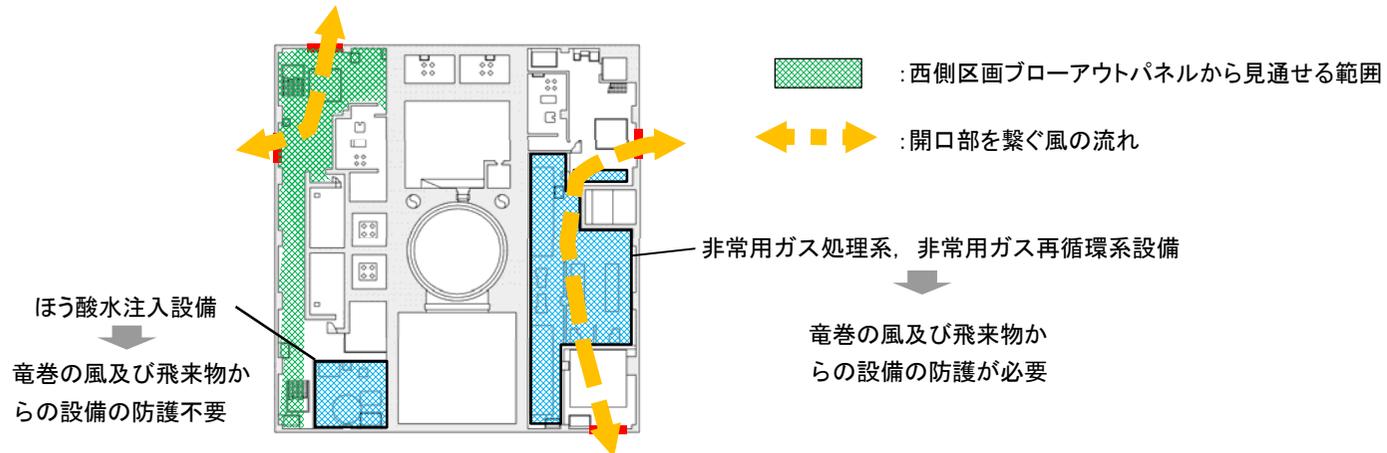
5枚以上の開放は, 建屋内雰囲気温度と圧力の更なる低下に寄与するものであり, 設備防護上は考慮するものであるが, 必須とはしていない。

4. ブローアウトパネルへの要求事項と対応方針



【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		⑤水素対策		
		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（遠隔及び自動）	— (5階面への放水の必要性なし)	建屋外から強制開放	・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							・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)
北面 (1枚)									



5. 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。

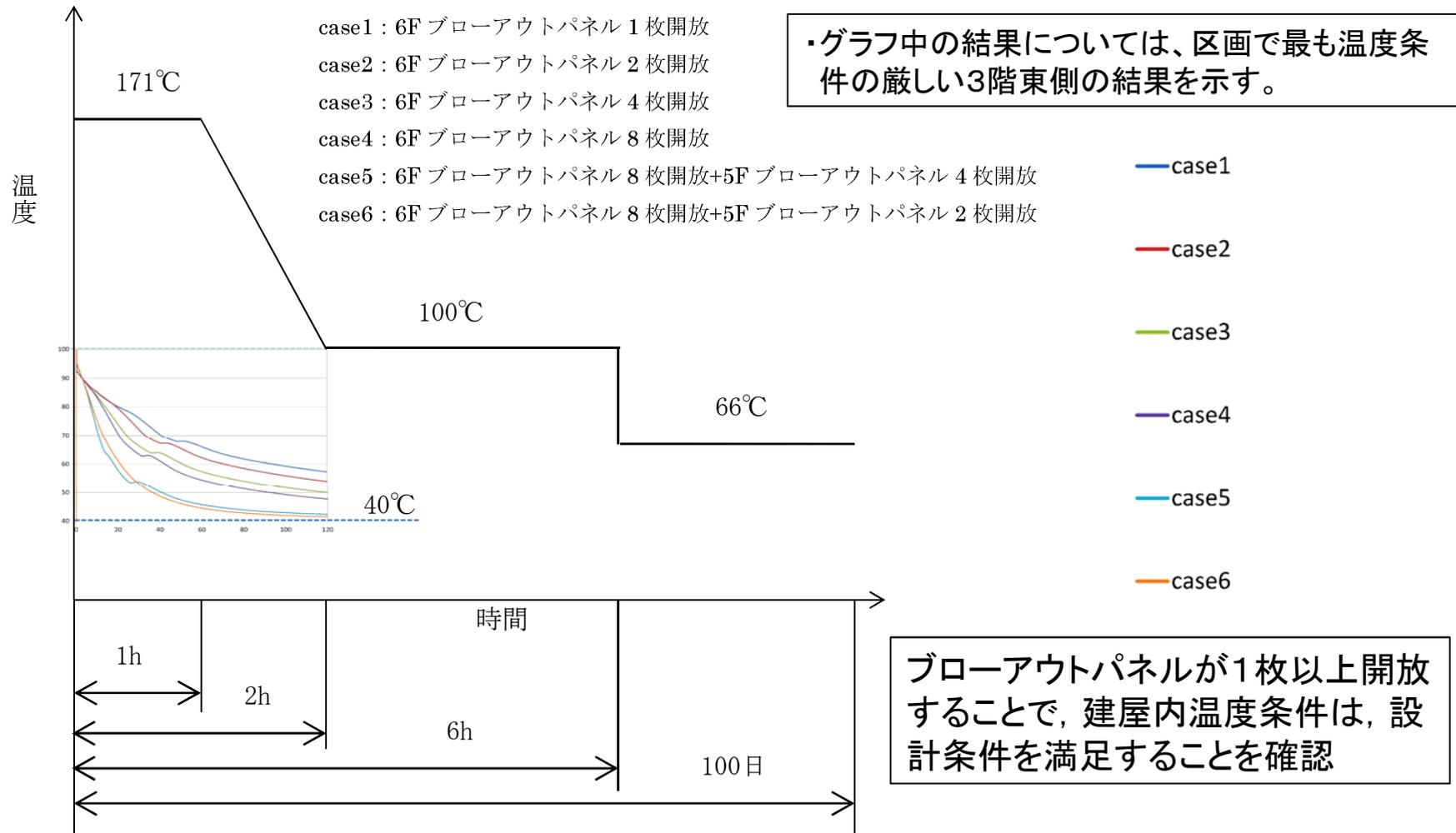
- ① ブローアウトパネルの機能(設計温度, 圧力)を確保するため, 4枚以上のブローアウトパネル機能を確保する
- ② 竜巻対策として, 開放可能性があるブローアウトパネル部には, 竜巻防護対策(防護ネット)を設置する
- ③ 開放状態で炉心損傷した場合を想定し, 速やかに閉止できる機能(遠隔及び手動)を設置する
- ④ 開放させる全てのブローアウトパネルに, 万ーパネルが完全に開放せず, 再閉止できない状態を考慮して, 強制開放装置を設置する
- ⑤ 燃料破損時に発生する水素を建屋より排出するために, 強制開放装置を設置する
- ⑥ 原子炉棟6階のブローアウトパネルのうち, 東西南の各1箇所(合計3か所)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
- ⑦ 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水素排出機能(大規模損壊)	⑥手動開放機能(大規模損壊)		
6階	北1	開	有	閉	開	開(④と兼用)	—	
	北2	開	有	閉	開	開(④と兼用)	—	
	東1	開	有	閉	開	開(④と兼用)	—	
	東2	開	有	閉	開	開(④と兼用)	同左	
	西1	開	有	閉	開	開(④と兼用)	—	
	西2	開	有	閉	開	開(④と兼用)	同左	
	南1	開	有	閉	開	開(④と兼用)	—	
	南2	開	有	閉	開	開(④と兼用)	同左	
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	開(④と兼用)	—	
	北	開	有	閉	開	開(④と兼用)	—	

6. 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



- ◆ 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

6. 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

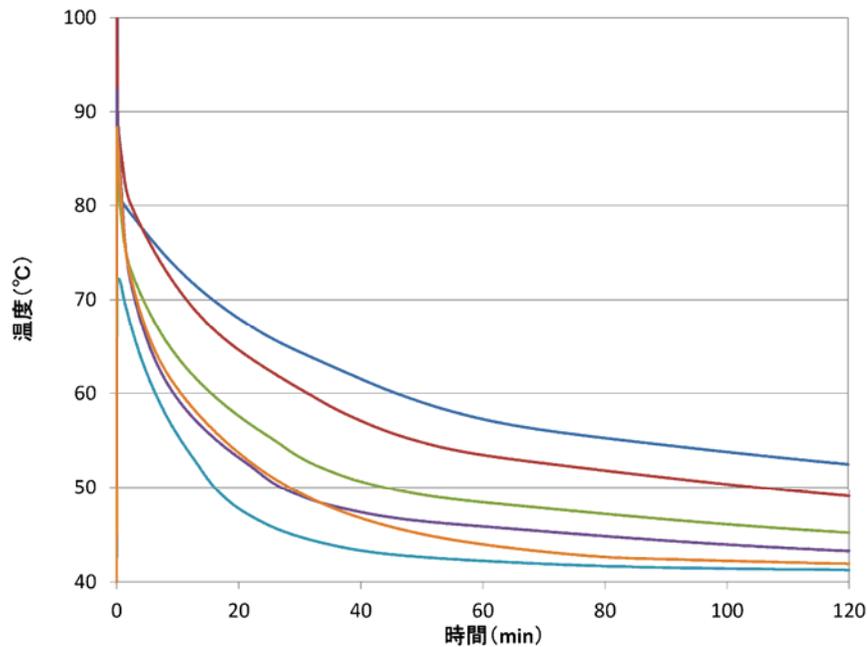


原子炉棟6階の温度及び圧力評価結果を示す。

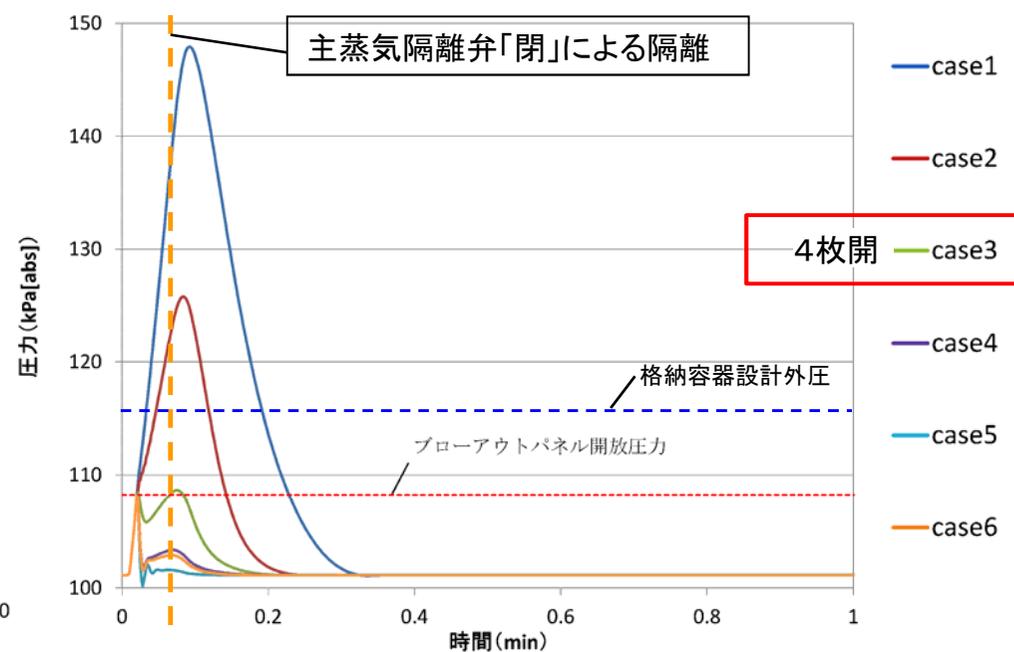
- case1 : 6F ブローアウトパネル 1 枚開放
- case2 : 6F ブローアウトパネル 2 枚開放
- case3 : 6F ブローアウトパネル 4 枚開放
- case4 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放
- case5 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放+5F ブローアウトパネル 4 枚開放
- case6 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放+5F ブローアウトパネル 2 枚開放

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（圧力の伝播速度は、空気中で約300m/s）



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

①内圧によるブローアウトパネル開放機能(DB)

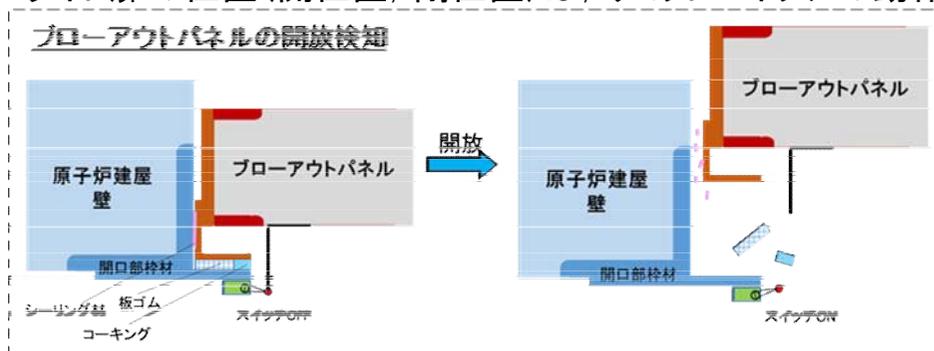
- ✓ 主蒸気管破断事故時に開放するパネルについては、パネル上下に設置される脱落防止チェーンの長さを調節することで、開放後に竜巻飛来物防護対策やスライド扉の動作機構に干渉しないよう設計
- ✓ 各パネルにリミットスイッチを設置し、開放したパネルを速やかに中央制御室にて特定できるよう設計

②基準竜巻によるブローアウトパネル開放を想定した竜巻飛来物防護対策(DB)

- ✓ 竜巻対策として開放可能性があるパネル部には、竜巻防護対策(防護ネット)を設置
 - スライド扉の動作機構やパネルの開放機能に干渉しないよう、防護ネットと固定フレームを配置

③FP閉じ込めのためのブローアウトパネル開口部閉止機能(SA)

- ✓ パネル開放状態で炉心損傷した場合、原子炉建屋開口部を速やかに閉止できるよう、建屋外側にスライド扉を設置
- ✓ スライド扉の動作機構は、竜巻飛来物防護対策やパネル開放機能に干渉しないよう配置設計
- ✓ 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



パネル開口面積とA4等級規定の通気量より1時間あたりの気密扉全体の通気量を算出し、SGTSの排気容量と比較

※1:A4等級:JIS A 1561に規定される気密性等級線に合致する気密性能を有するもので、パーフェクトエアタイトと呼ばれる性能を有するもの

- ✓ スライド扉は以下の機能を有するものとする。
 - 原子炉建屋の機密性能が確保できる機能
 - ➔ 扉閉止後の原子炉建屋ガス処理系運転時に、必要な原子炉建屋負圧を確保できる設計
 - ➔ 高気密性能を有するJIS 等級(A4等級※¹)のスライド扉を使用
 - ➔ 扉はローラーにガイドされスライドし、開口部「閉止」位置で建屋側に押し込まれる構造
 - 遠隔で閉止できる機能
 - ➔ 緊急用電源からの給電による電動スライドにて閉止できる設計
 - ➔ 扉に取り付けたワイヤを操作時にウィンチにて牽引することで、手動でも閉止可能な設計

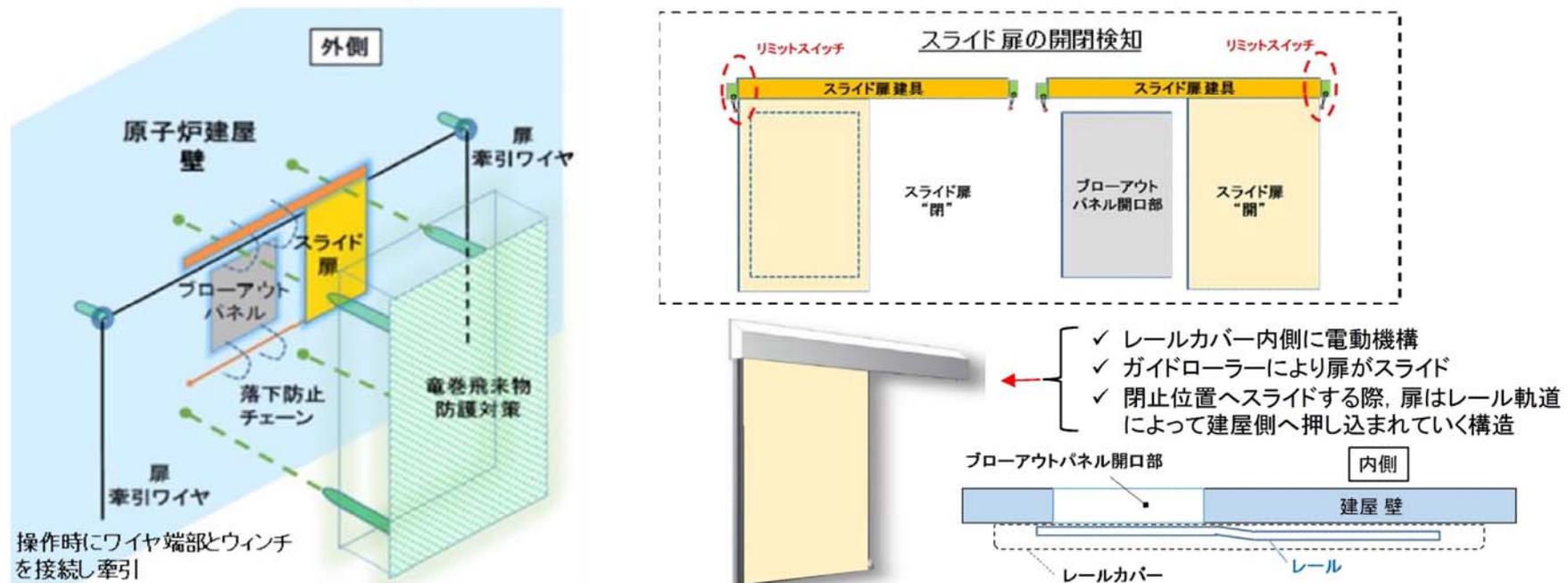
7-2 ブローアウトパネルに関する設備対策方針

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、再度スライド扉の「開」が要求されるケースとして、下記(1)(2)の場合が挙げられる。

- (1) 大規模損壊時に、放水砲による屋外からの注水確保が必要となる場合
- (2) 原子炉建屋内からの水素排出が必要となる場合

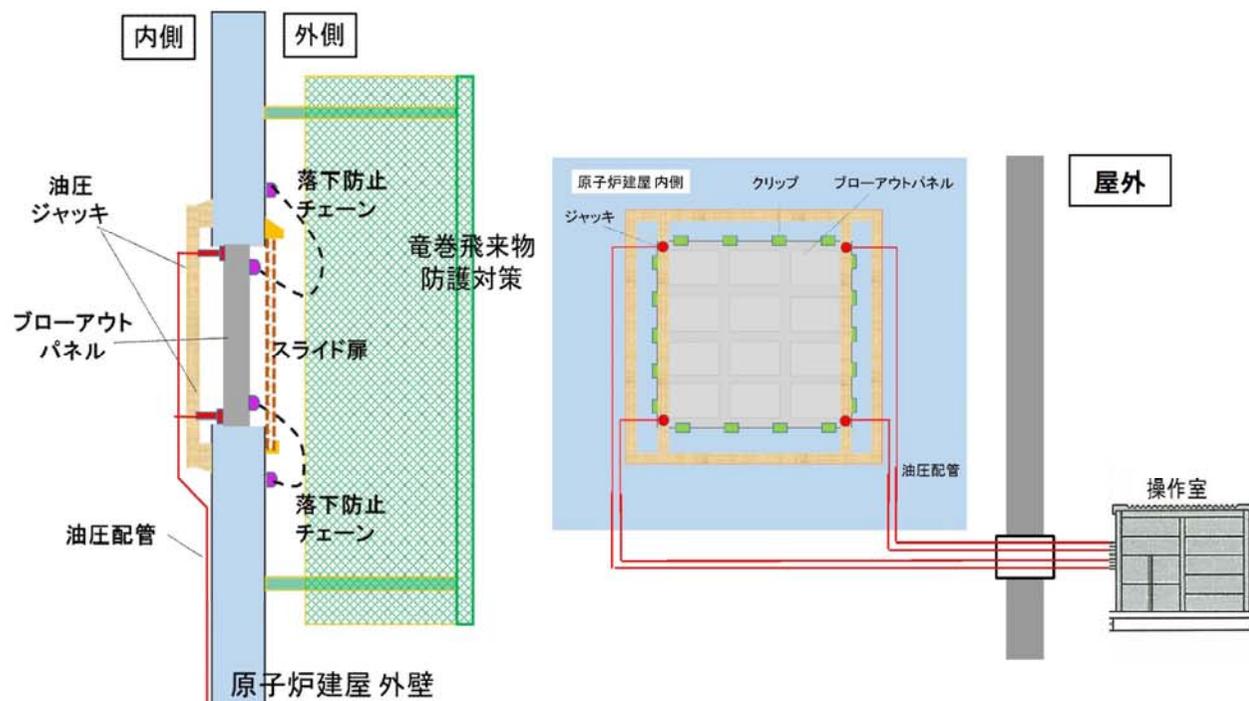
ここでは、スライド扉の開放方法について説明するが、上記(1)(2)の場合にはブローアウトパネルが「閉」であるケースも考えられるため、パネルの開放方法についても説明する。

- ✓ **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操作時に牽引用ウィンチと接続して「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



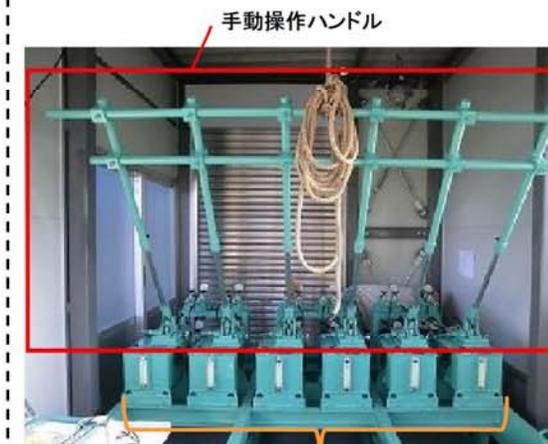
7-3 ブローアウトパネルに関する設備対策方針

- ✓ **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



手動油圧ポンプ 1台

8. クリップの信頼性(差圧により開放することの信頼性)



【検証試験】

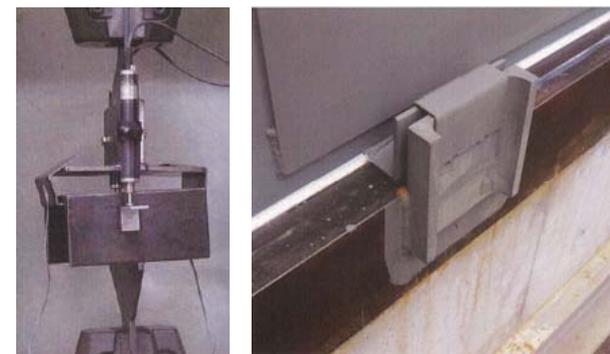
○ブローアウトパネルは、電源や空気源に頼ることなく、静的、且つ圧力上昇に対して確実に開放できる仕組みとして、クリップを使用したパネルの開放機構を選定している。

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。

○今後、クリップの確認試験を実施し、ブローアウトパネル開放機構の作動性能を担保する。

3次元流体解析コードにおいては、ブローアウトパネルの開放時間遅れも解析上考慮し、設定圧力でパネルが開放すると評価している。これに対し、実際に必要とする4枚開放まで、同時に作動しない場合を想定すると、この場合は、開放面積が少ないため、建屋内圧力は再度設定圧力に到達する評価であり、4枚目までは確実に開放すると判断できる。

また、実際の蒸気噴出時の圧力伝播速度は、ほぼ4枚同時に作用すると想定されることから、作動圧力に影響を与えるような、時間差は発生しないと評価している。



モックアップ試験(例)

◆ ブローアウトパネルの仕様

寸法: ⇒

開放時の設計差圧: 約6.9kPa

クリップ: 厚さ2.3mm, 幅100mmの鋼板をU字型にプレス加工

◆ 設計差圧が負荷される際にブローアウトパネルが受ける荷重

× 6.9 = ⇒ パネル1枚当たり, の荷重

◆ クリップは18個設置 ⇒ クリップ1個当たり の荷重が負荷



クリップは上記荷重で変形し、パネル開放に至る

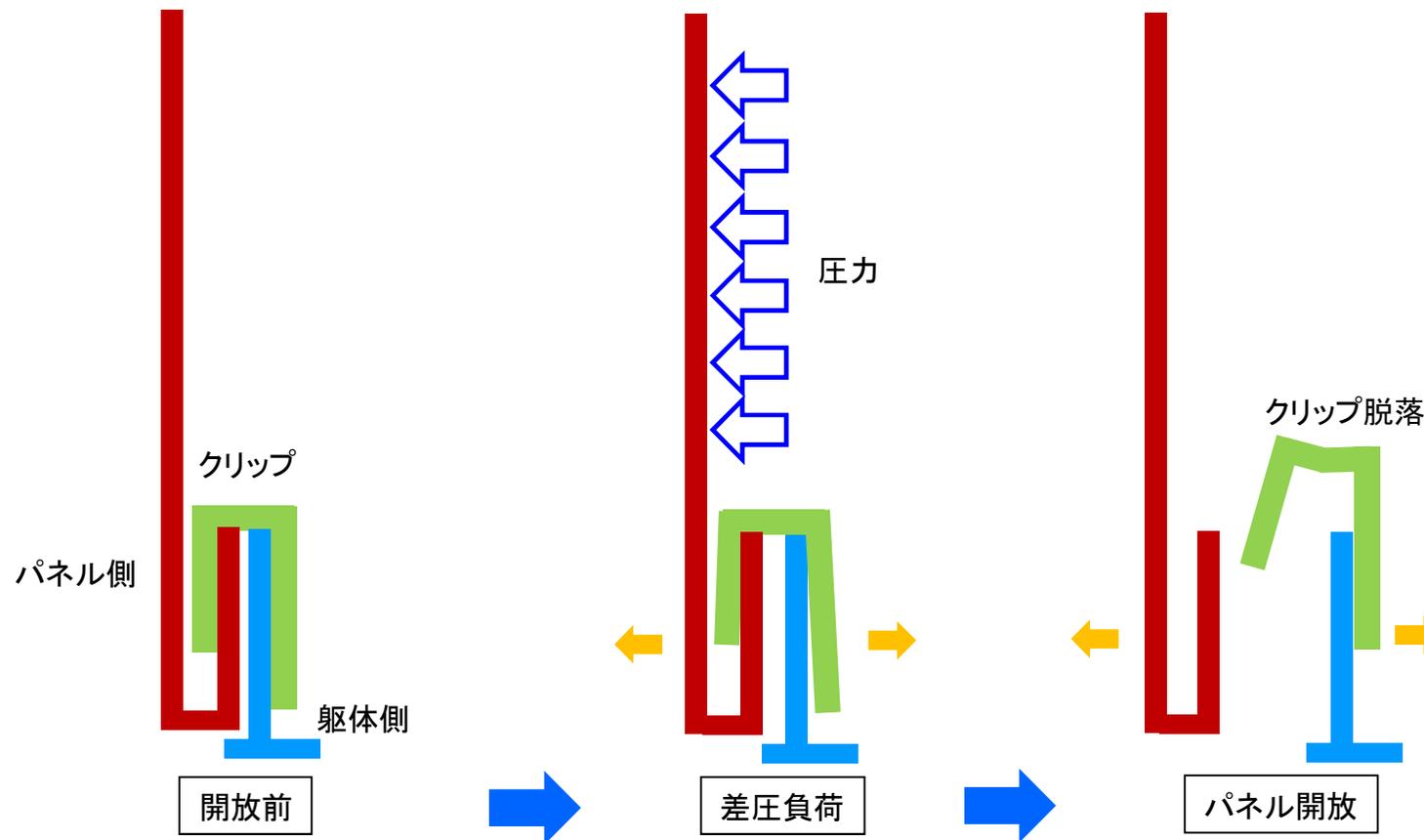
8. クリップの信頼性(差圧により開放することの信頼性)



【パネル開放の仕組み】

○クリップの変形によるパネルの開放は、具体的に図の流れとなる。

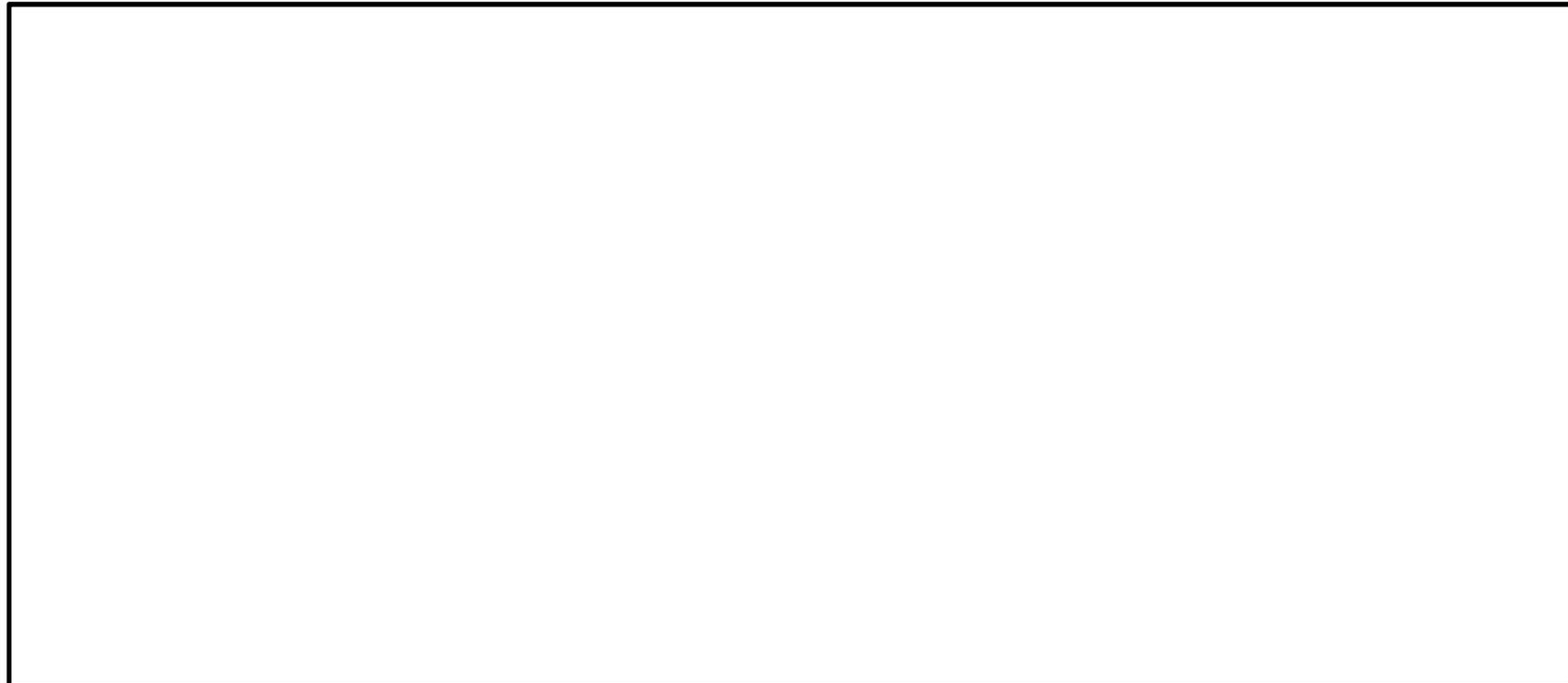
板厚2.3mmのクリップに、約600kgの荷重が負荷されるため、クリップは容易に変形し、パネル開放となる。



9. 大規模損壊対応 放水砲のプール注水について



- 水素排出時の放水砲の設置位置については、低耐震性の構造物損壊時の影響を受けない南側から西側の設置エリアを優先する。
- 水素排出時は、ブローアウトパネル(スライド扉)の開口部出口前面の空間部を上部から覆えるように放水する。



第1図 強制開放装置設置箇所

第2図 SFP注水時の放水砲設置箇所

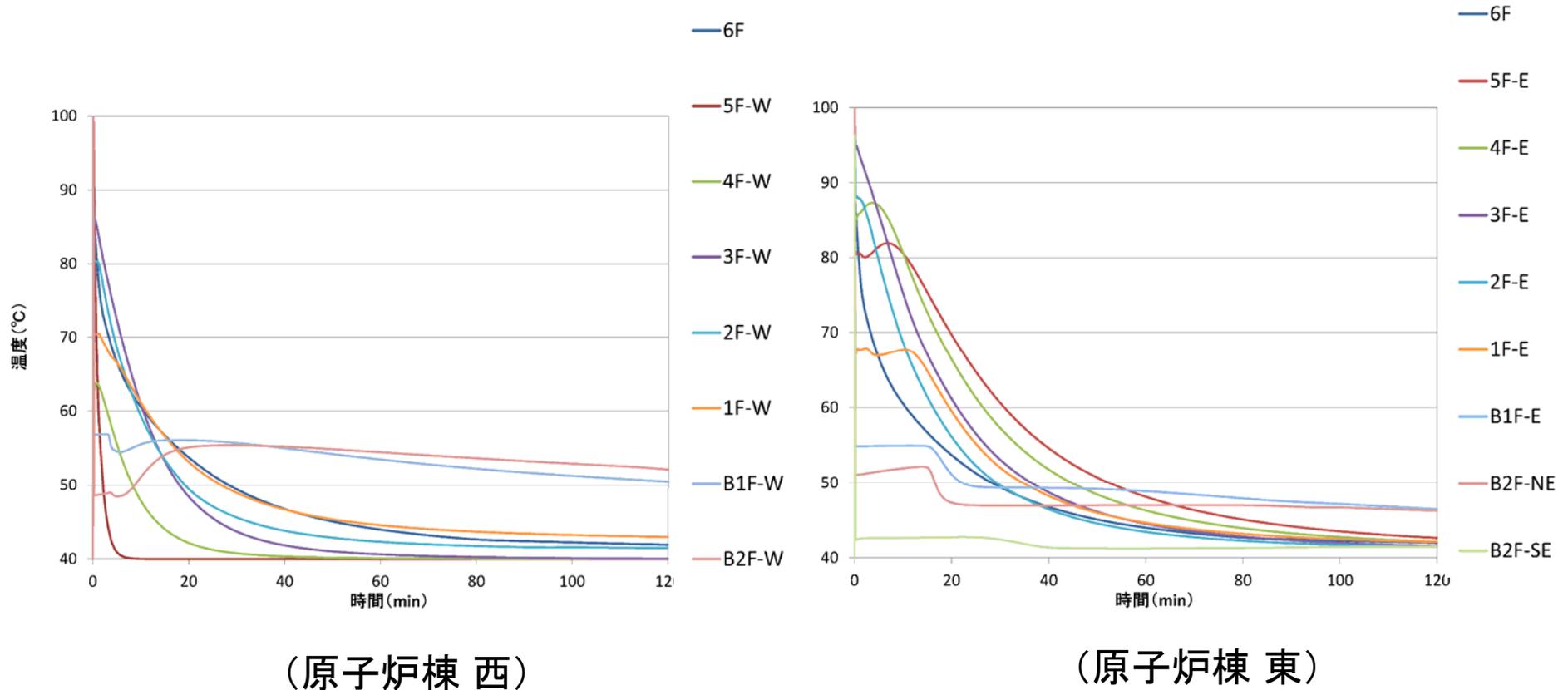
添 付 資 料

10. 蒸気影響評価結果【添付資料1】



対策実施後の建屋内温度状況を以下に示す。

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」)



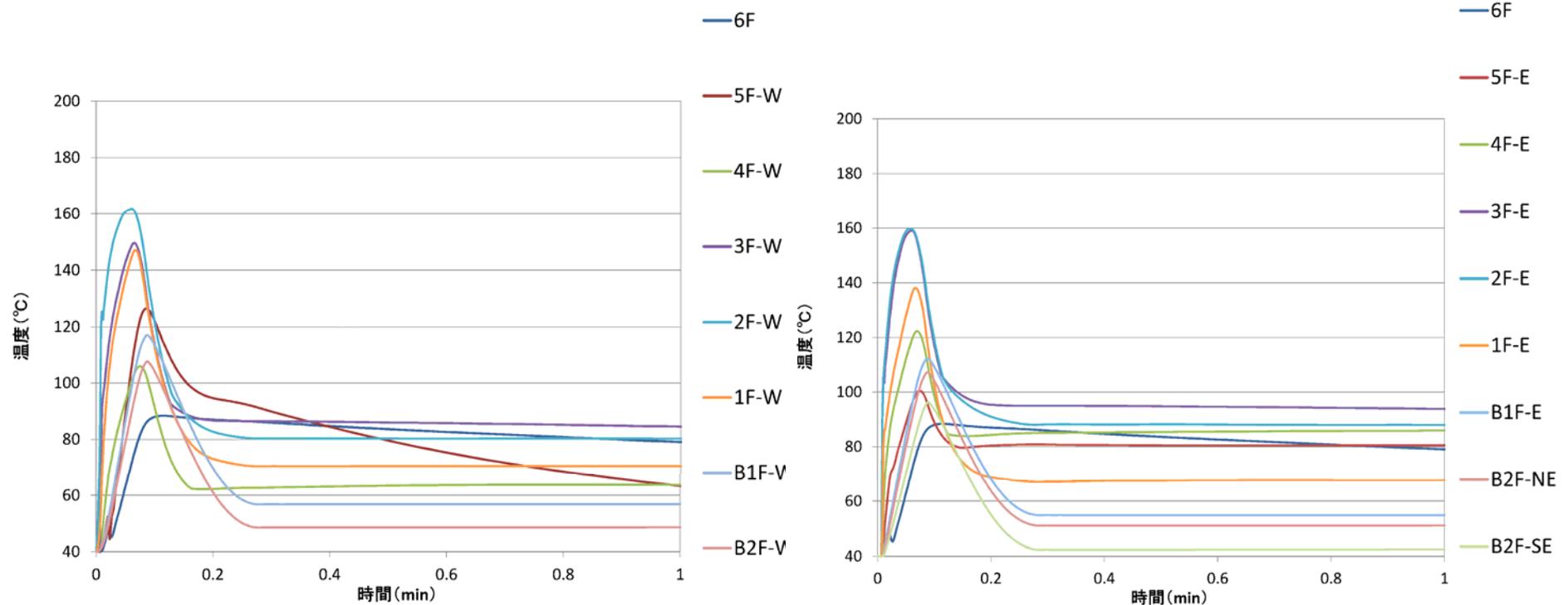
第2図 対策後の温度状況比較

10. 蒸気影響評価結果【添付資料1】



対策実施後の建屋内温度状況を以下に示す。

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」)



(原子炉棟 西)

(原子炉棟 東)

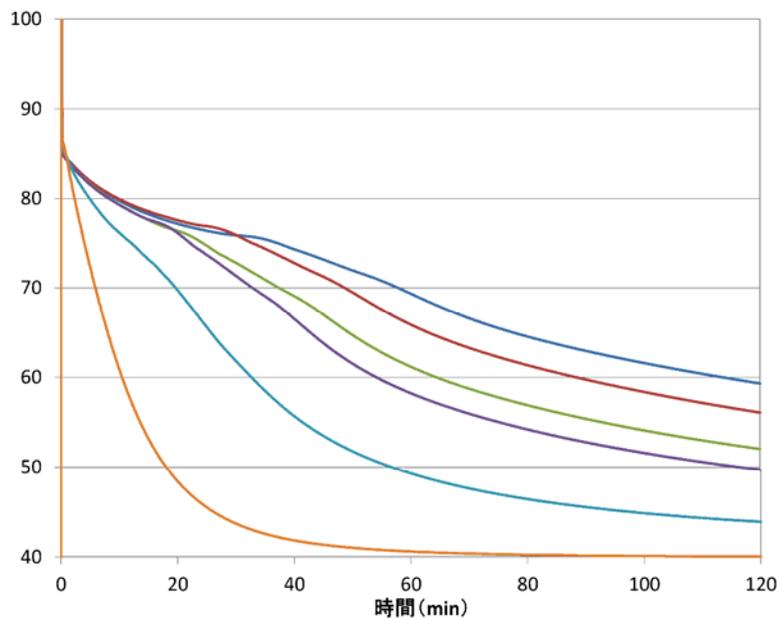
第3図 対策後の温度状況比較(最高温度)

10. 蒸気影響評価結果【添付資料1】

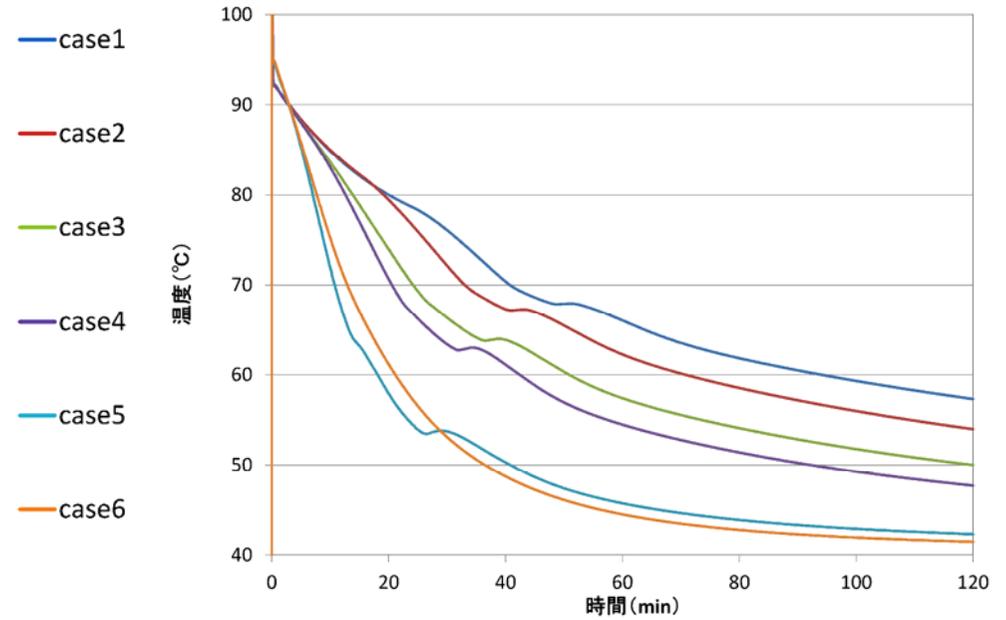


内部溢水影響評価において、防護対象設備への影響が大きい原子炉棟3階の解析結果を示す。

- 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



(原子炉棟 3階西)



(原子炉棟 3階東)

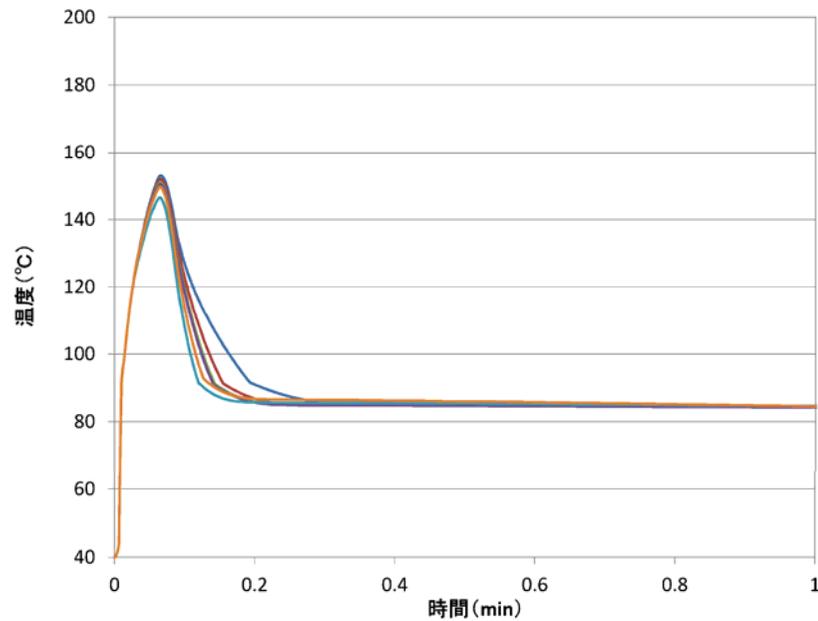
第2図 ブローアウトパネル作動枚数による温度状況比較

10. 蒸気影響評価結果【添付資料1】

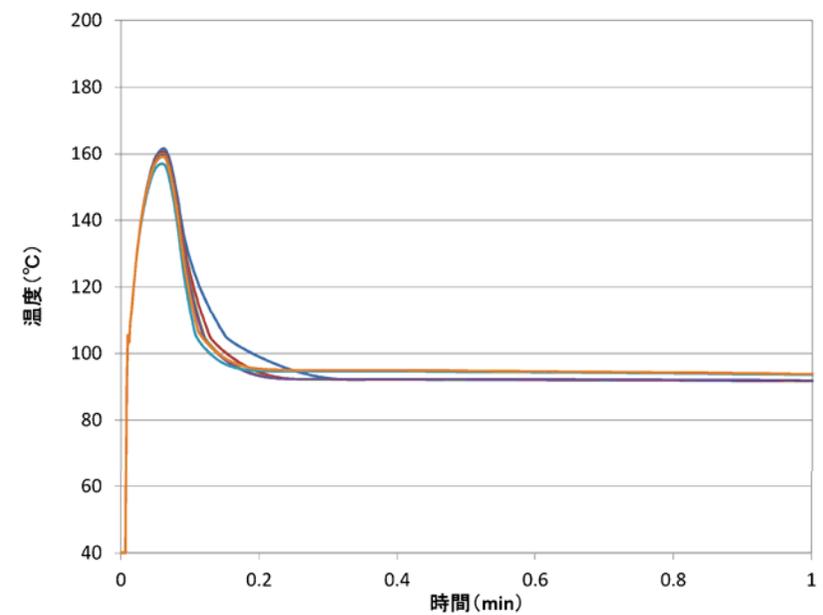


原子炉棟3階の解析結果の詳細(最高温度)を示す。

- 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



(原子炉棟 3階西)



(原子炉棟 3階東)

第3図 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)