

東海第二発電所

ブローアウトパネルについて

平成29年10月12日

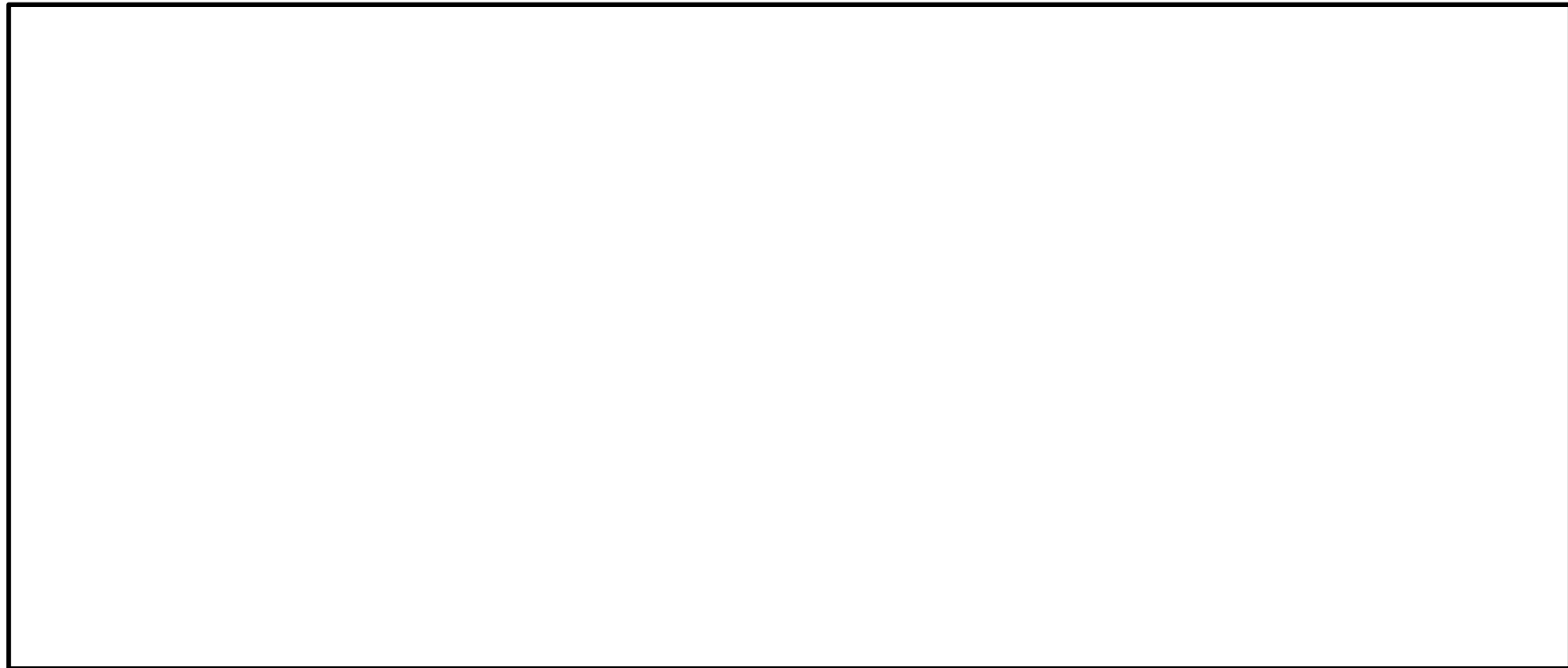
日本原子力発電株式会社

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。



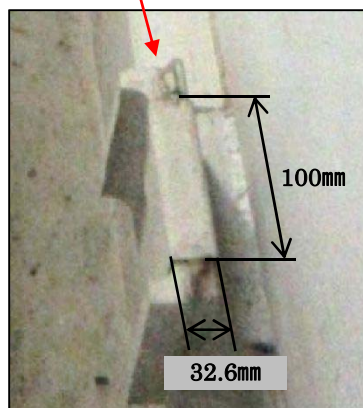
原子炉棟 6階
( : パネル(全8枚))

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

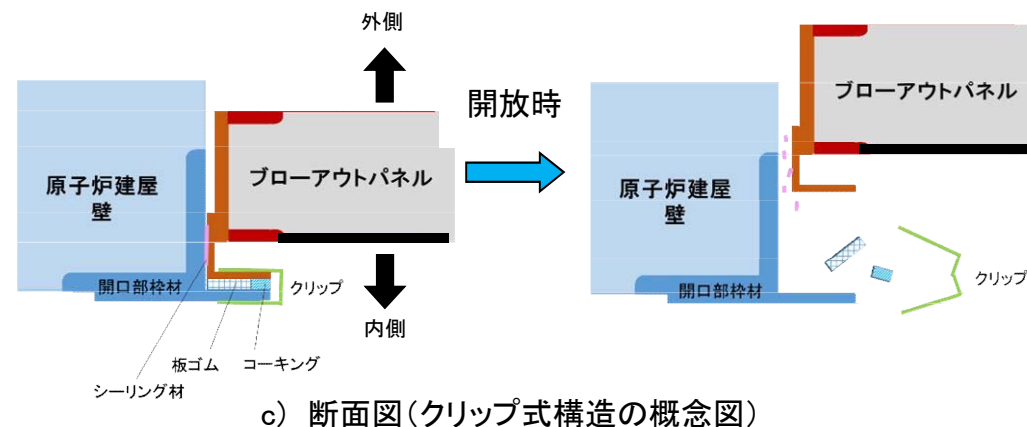
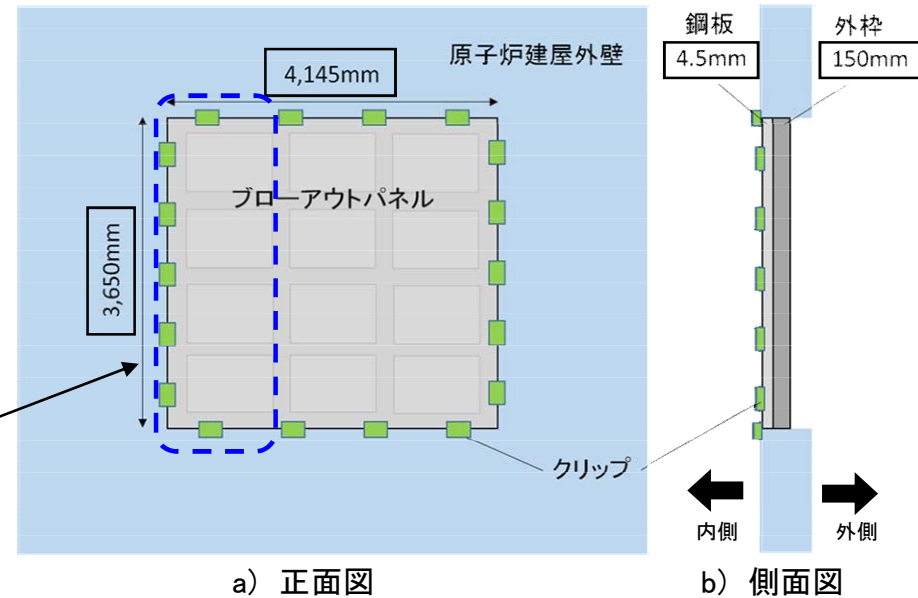


- ◆ 東海第二のブローアウトパネルは、厚さ2.3mmのクリップと呼ばれる装置18個で原子炉建屋外壁に設置されており、格納容器の設計上の最高使用外圧2psiに対し、1psiで開放するように設計されている



厚さ: 2.3mm

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】

- ◆ 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	主蒸気管破断事故(MSLBA)時には開放し、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	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	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。

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		
		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					
北面 (1枚)							
						同 上	



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。

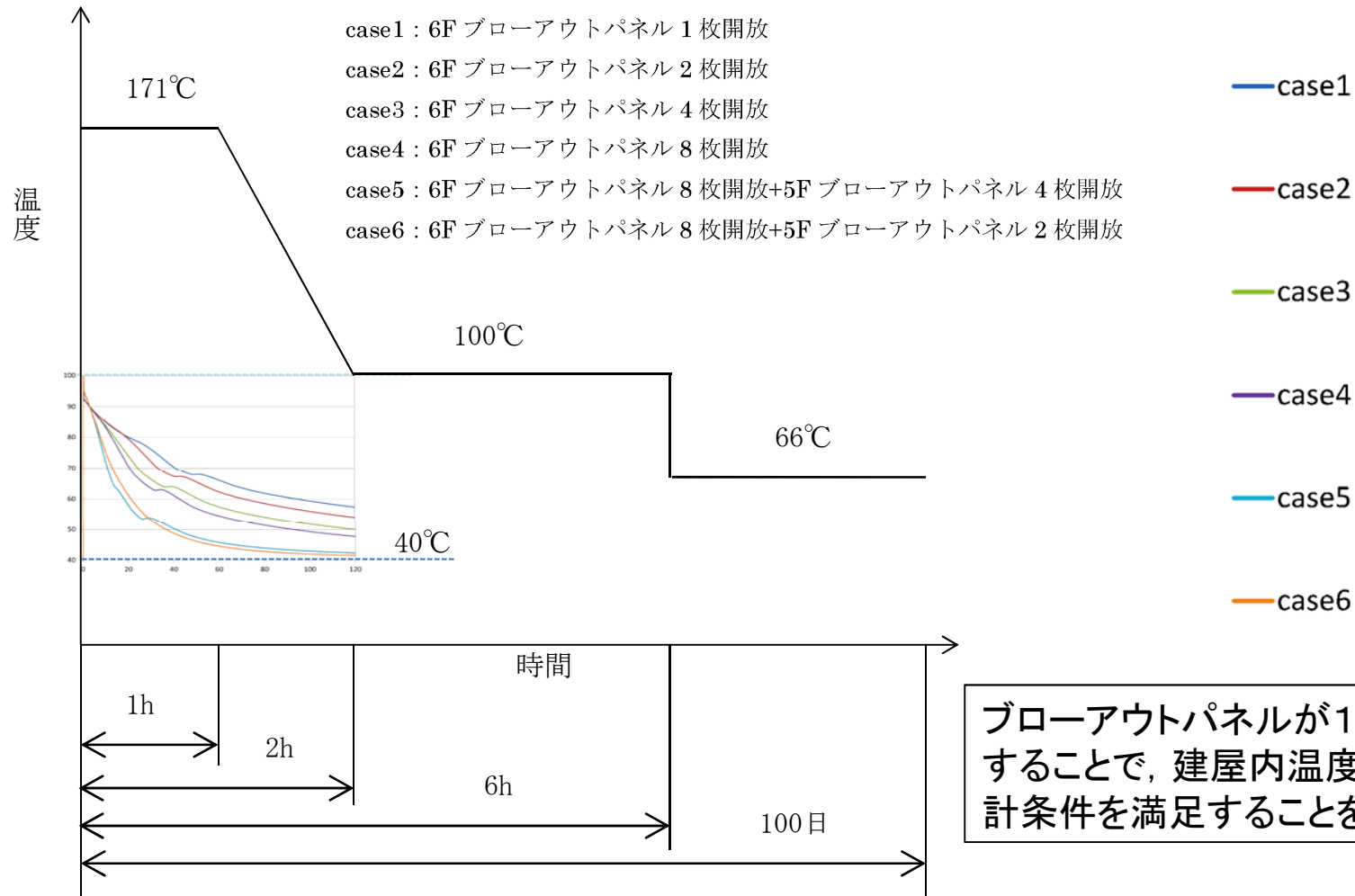
- ① ブローアウトパネルの機能(設計温度, 圧力)を確保するため, 4枚以上のブローアウトパネル機能を確保する
- ② 竜巻対策として, 開放可能性があるブローアウトパネル部には, 竜巻防護対策(防護ネット)を設置する
- ③ 開放状態で炉心損傷した場合を想定し, 速やかに閉止できる機能(遠隔及び手動)を設置する
- ④ 開放させる全てのブローアウトパネルに, 万一パネルが完全に開放せず, 再閉止できない状態を考慮して, 強制開放装置を設置する
- ⑤ 原子炉棟6階のブローアウトパネルのうち, 東西南の各1箇所(合計3か所)は, 放水砲による使用済燃料プールへの注水のため手動による開放機能を設置(④と兼用)を設置する
- 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	—	

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

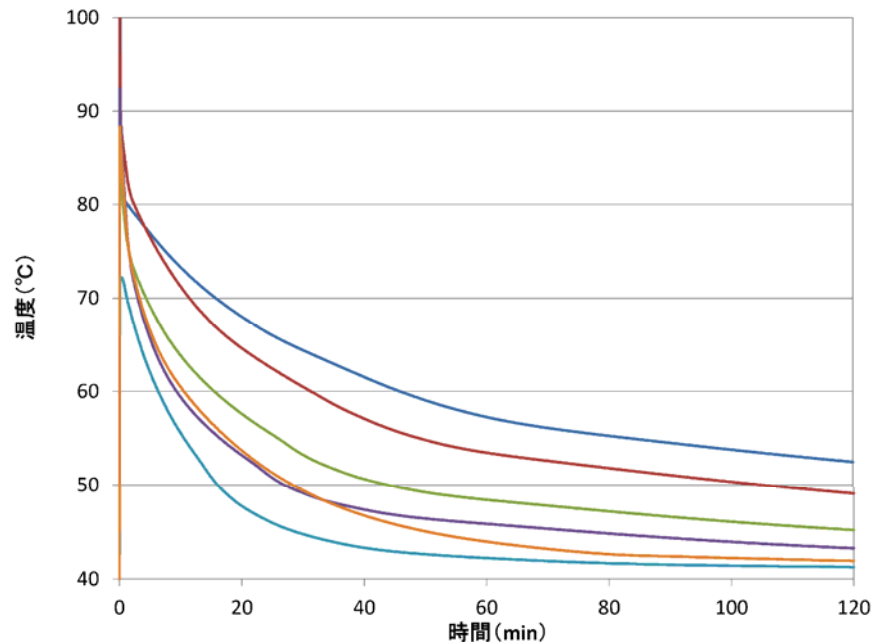


原子炉棟6階の温度及び圧力評価結果を示す。

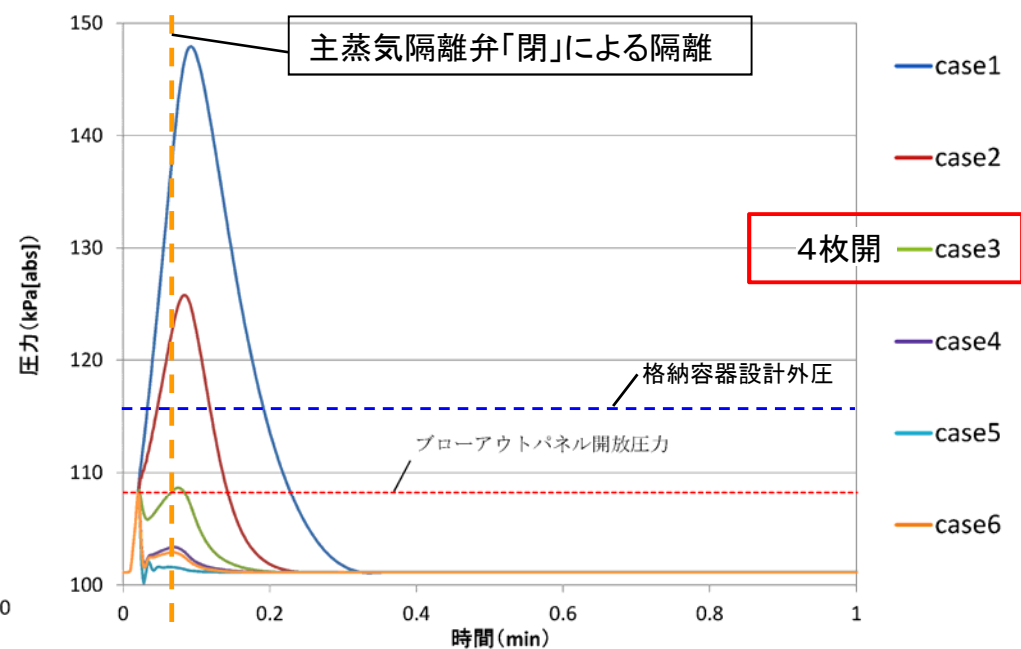
- case1 : 6F ブローアウトパネル 1 枚開放
- case2 : 6F ブローアウトパネル 2 枚開放
- case3 : 6F ブローアウトパネル 4 枚開放
- case4 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放
- case5 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放+5F ブローアウトパネル 4 枚開放
- case6 : 6F ブローアウトパネル 8 枚開放+5F ブローアウトパネル 2 枚開放

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

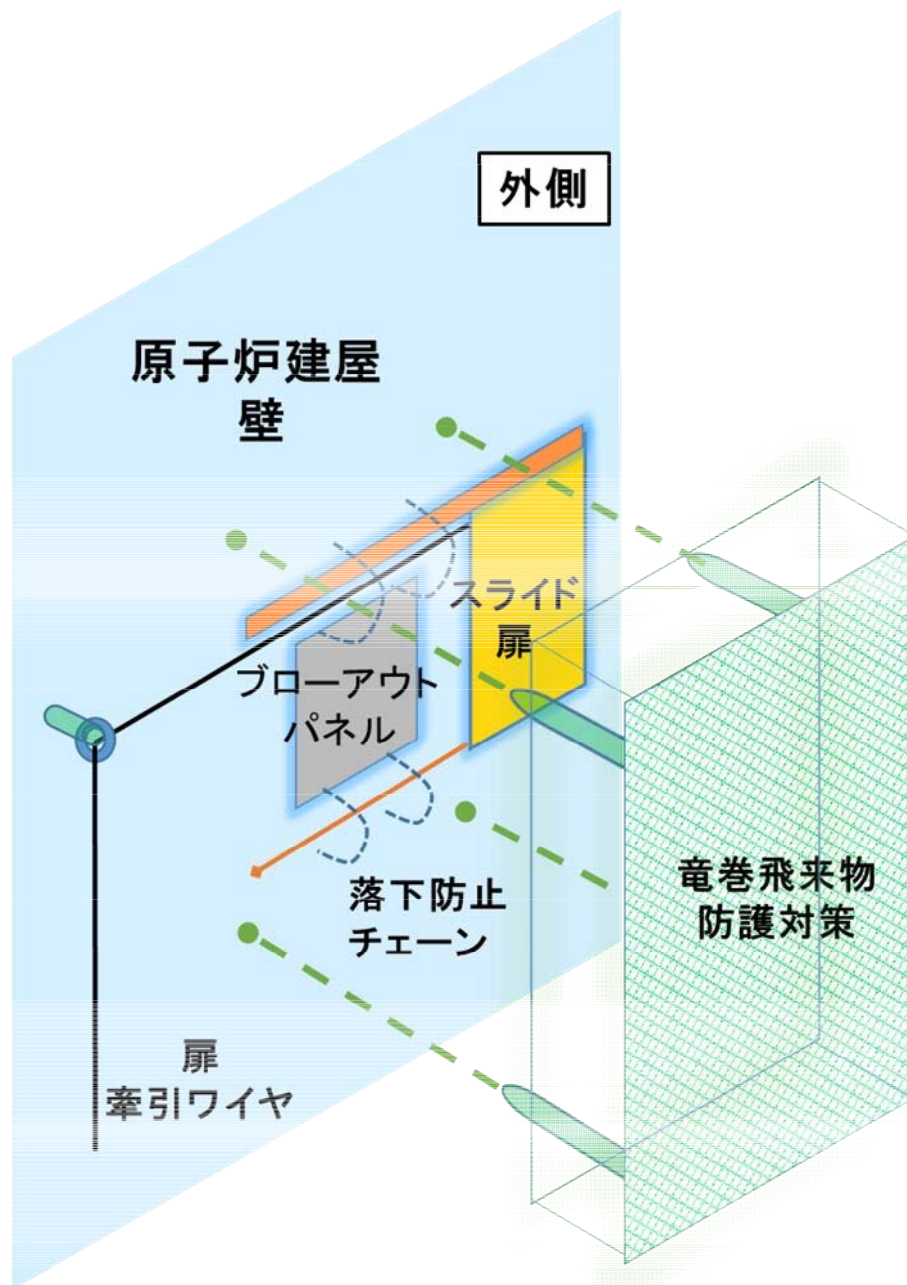


圧力状況比較

(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

7. 要求事項を満足させるための設備対策方針



【設備設計方針】

(1) 閉止機能付き扉

- ◆ 気密性の高いJIS等級(A4等級※¹)の建具を用いることで原子炉建屋の負圧を確保



パネル開口部へ当該扉・建具のセットを設置し、SGTS運転時に原子炉建屋の負圧が確保できることを計算にて確認

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。

- ◆ 遠隔及び手動による閉止機能を設置※²
 - ・遠隔閉鎖……電動扉方式(SA電源負荷)
 - ・手動閉鎖……スライド扉にワイヤを取付、これをウィンチにて引くことで閉止を検討

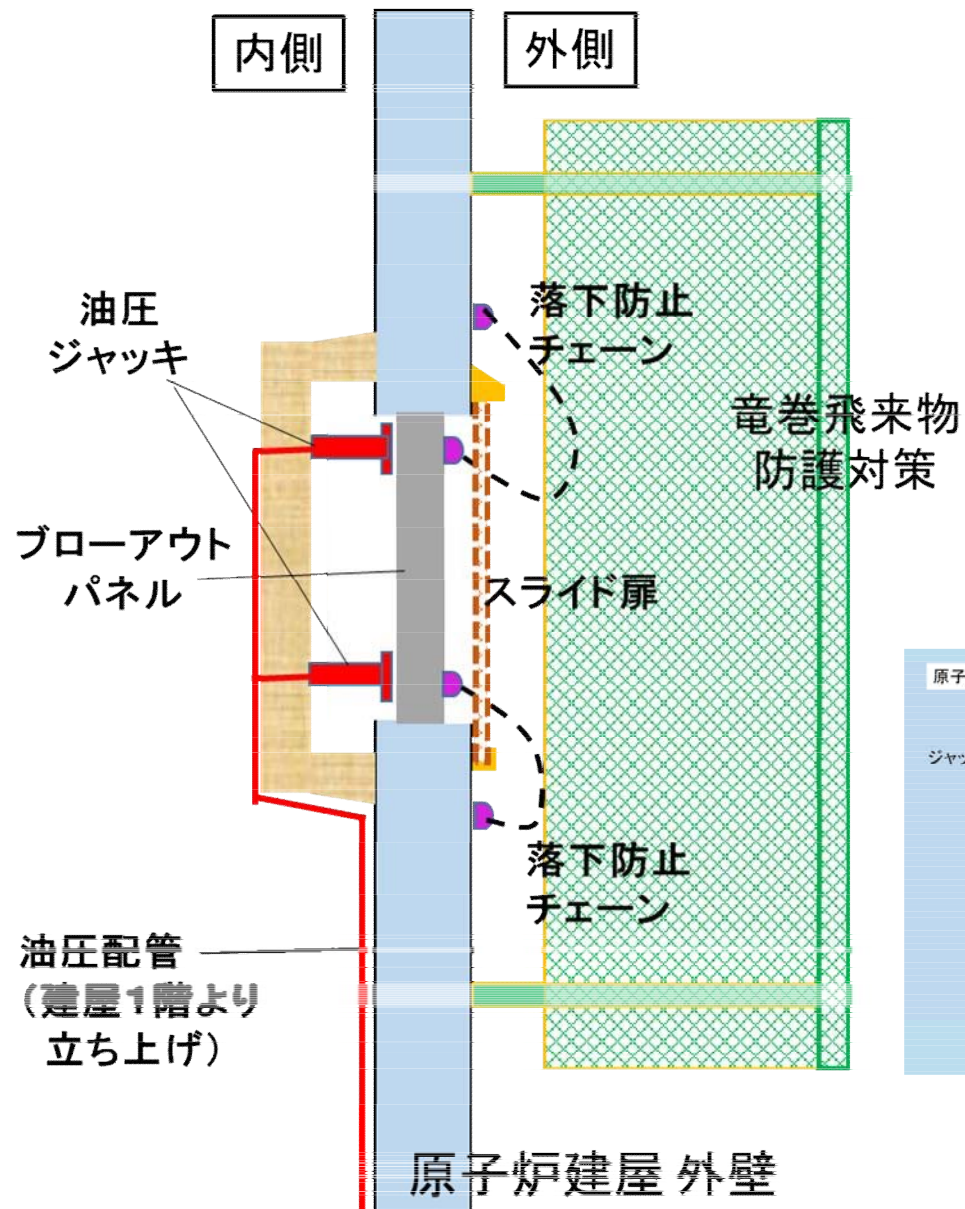
※¹: A4等級: JIS A 1561に規定される気密性等級線に合致する気密性能を有するもので、パーフェクトエアタイトと呼ばれる性能を有するもの

※²: 今後、詳細設計を実施

(2) 竜巻飛来物防護対策

- ・ スライド扉の開閉機能、ブローアウトパネルの開放機能に干渉しないよう防護ネット(40mmメッシュ)設置
- ・ 防護ネットは、ブローアウトパネル正面のみならず、上下左右にも設置し、極力、原子炉建屋外壁との間隙を防護
- ・ 運用中は予備ネットを常に確保しておき、パネル開放等で損傷した場合は速やかに修繕対応

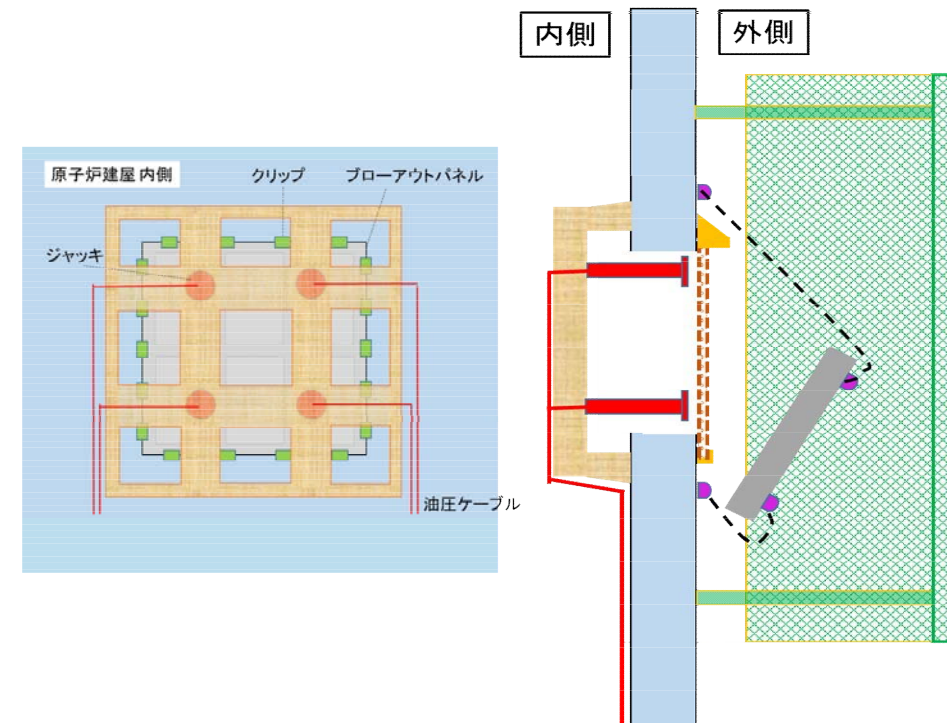
7. 要求事項を満足させるための設備対策方針



【設備設計方針】

(3) 手動開放装置

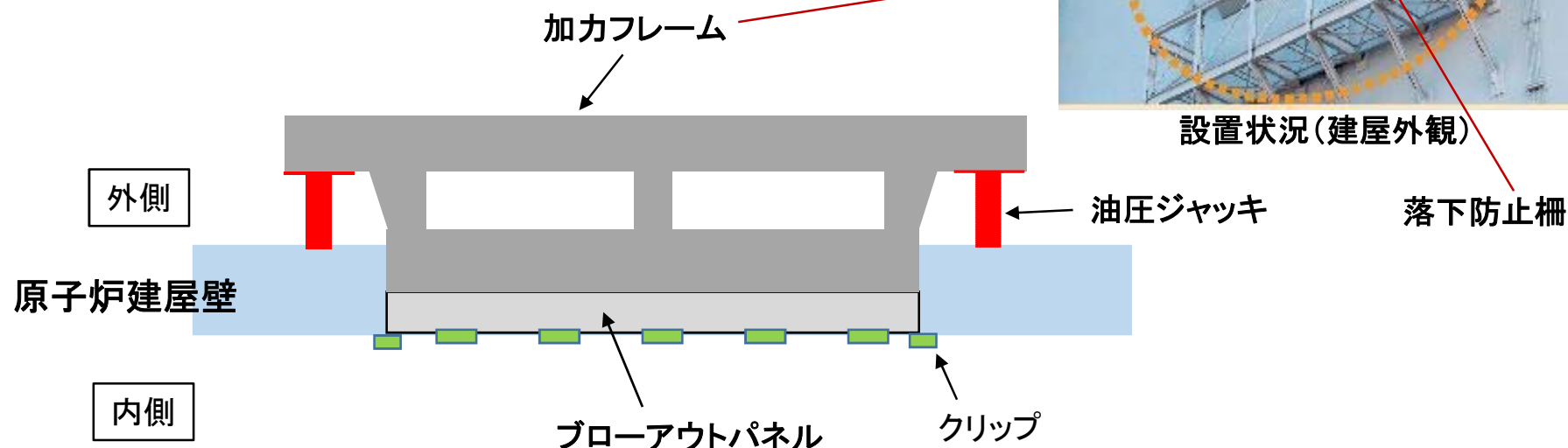
- ◆ 原子炉建屋内側から油圧ジャッキにより、ブローアウトパネルを強制的に開放
- ◆ 油圧配管は屋内に敷設し、原子炉建屋1階面から屋外に油圧発生装置を敷設し、対象とするブローアウトパネル開放装置用油配管に加圧された油を供給
- ◆ 開放機構を建屋内に設置することにより、スライド扉、竜巻飛来物防護対策との干渉を回避
- ◆ 詳細は、設計段階にて検討



8. 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】

- 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、「加力フレーム」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

9. 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: $4.145\text{m} \times 3.650\text{m} \Rightarrow 15.129\text{m}^2$

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

$15.129\text{m}^2 \times 6.9 = 104.392\text{kN} \Rightarrow$ パネル1枚当たり, $10.65 \times 10^3\text{kg}$ の荷重

◆ クリップは18個設置 $\Rightarrow$ クリップ1個当たり 約591kg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

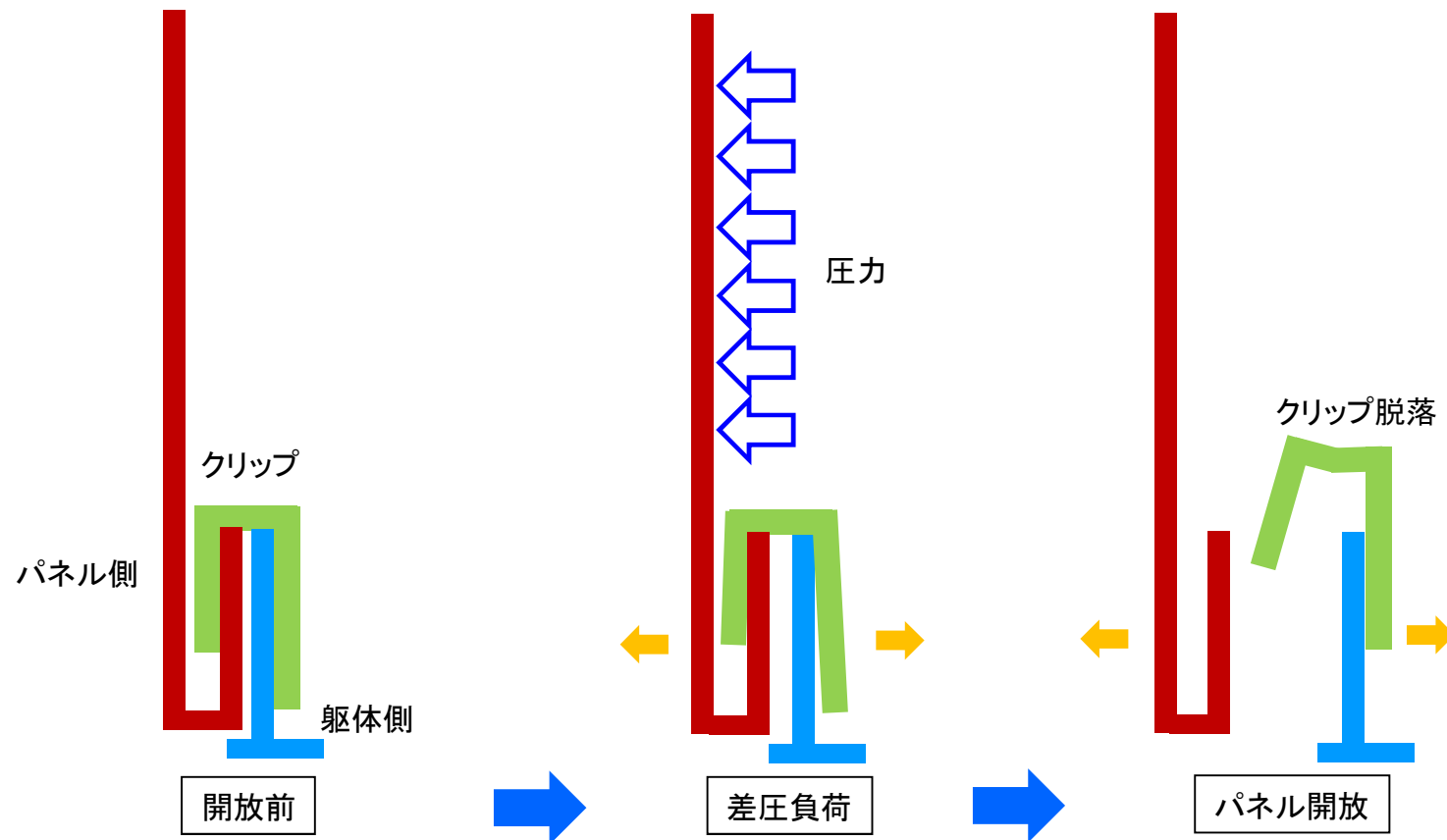
9. クリップの信頼性(差圧により開放することの信頼性)



【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。



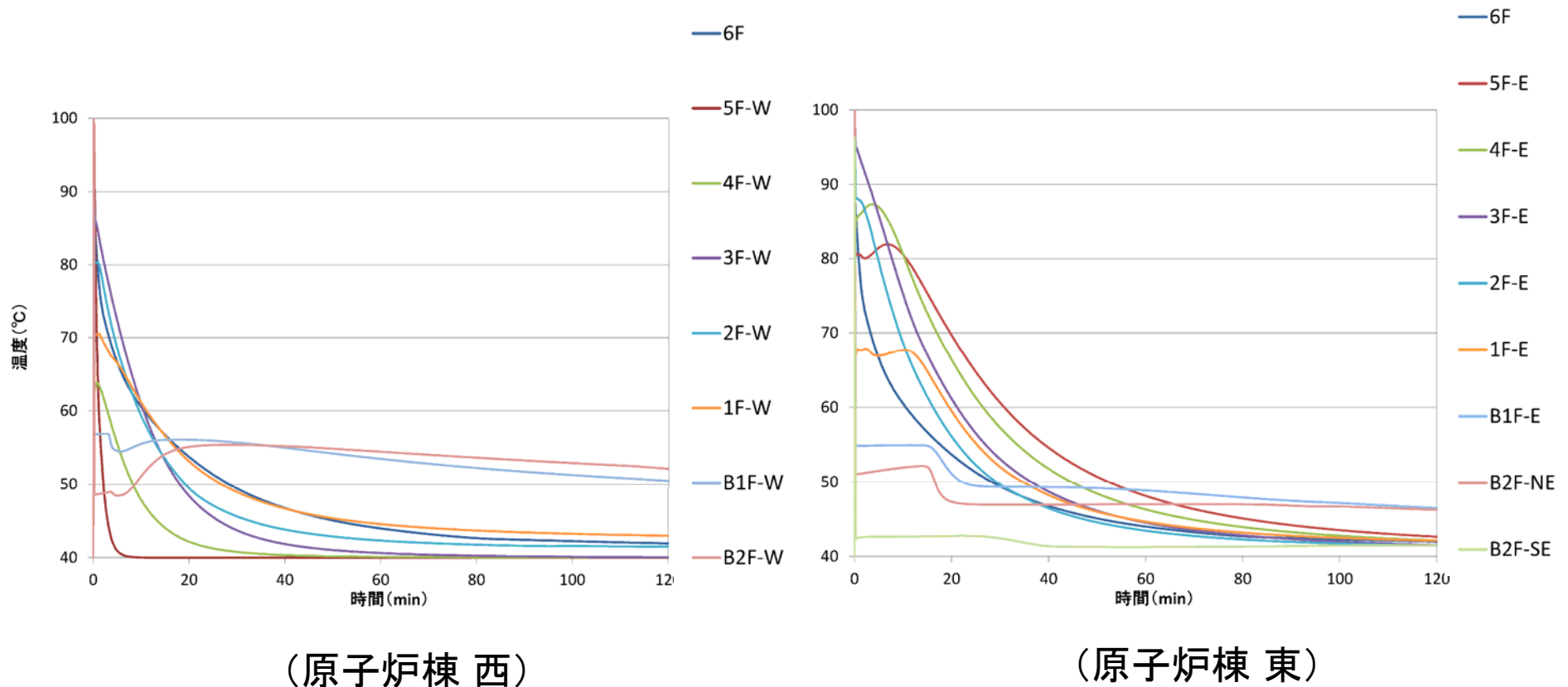
添 付 資 料

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」)



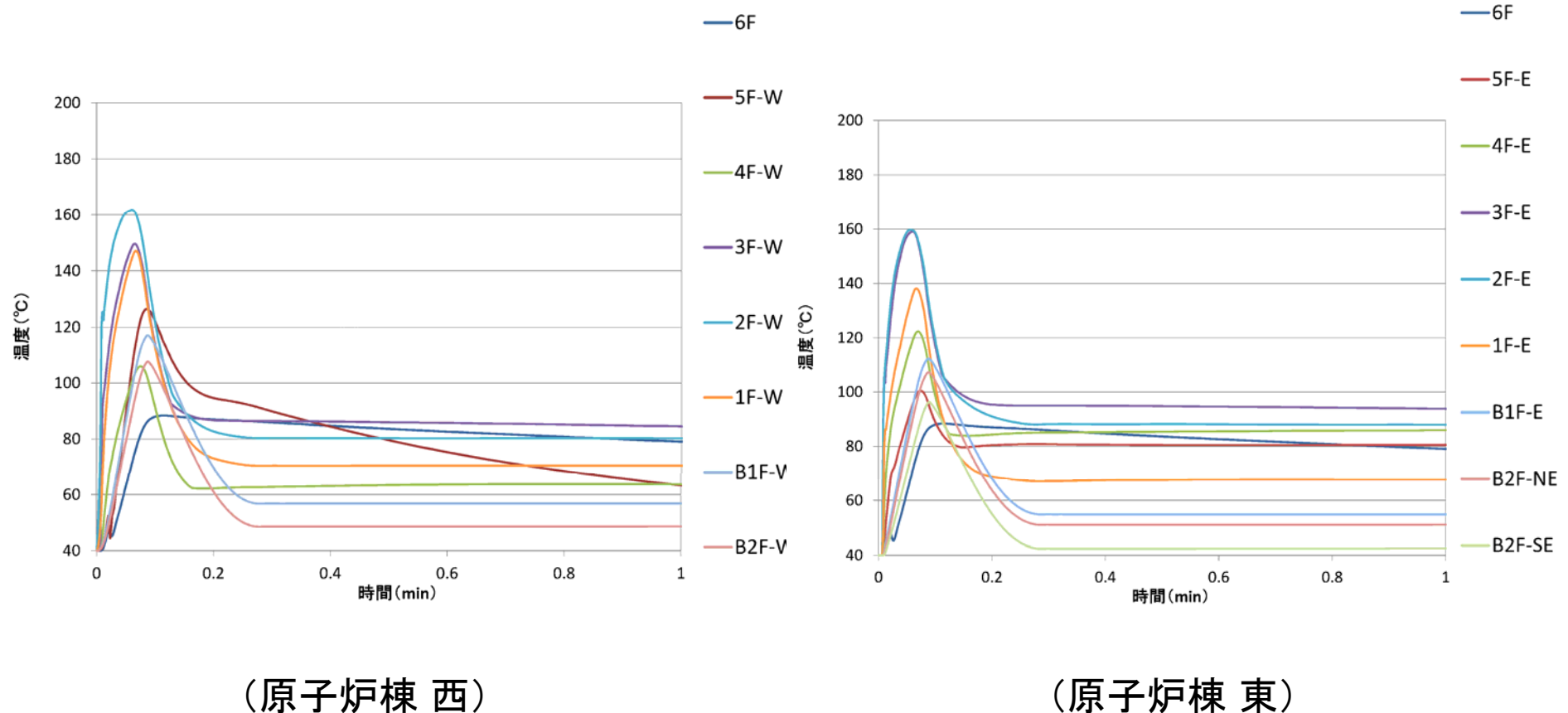
第2図 対策後の温度状況比較

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」)



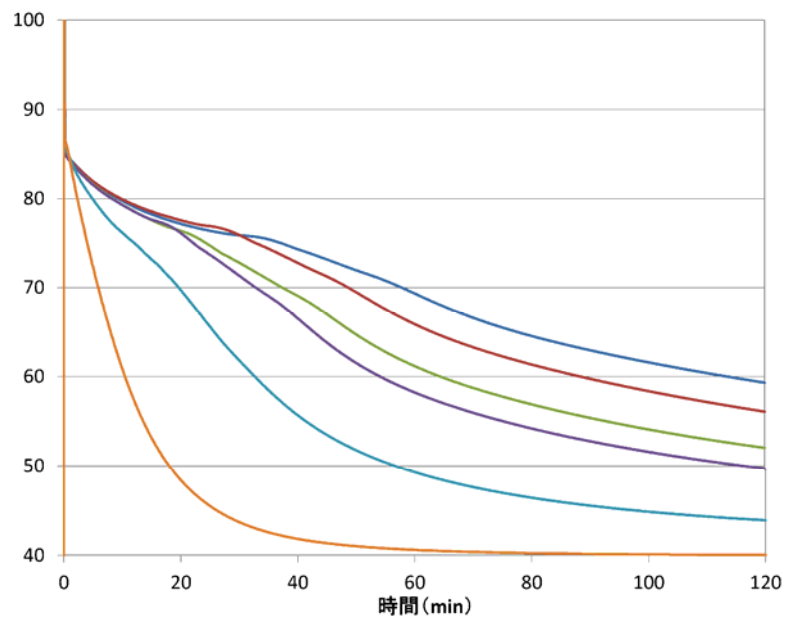
第3図 対策後の温度状況比較(最高温度)

10. 蒸気影響評価結果【添付資料1】

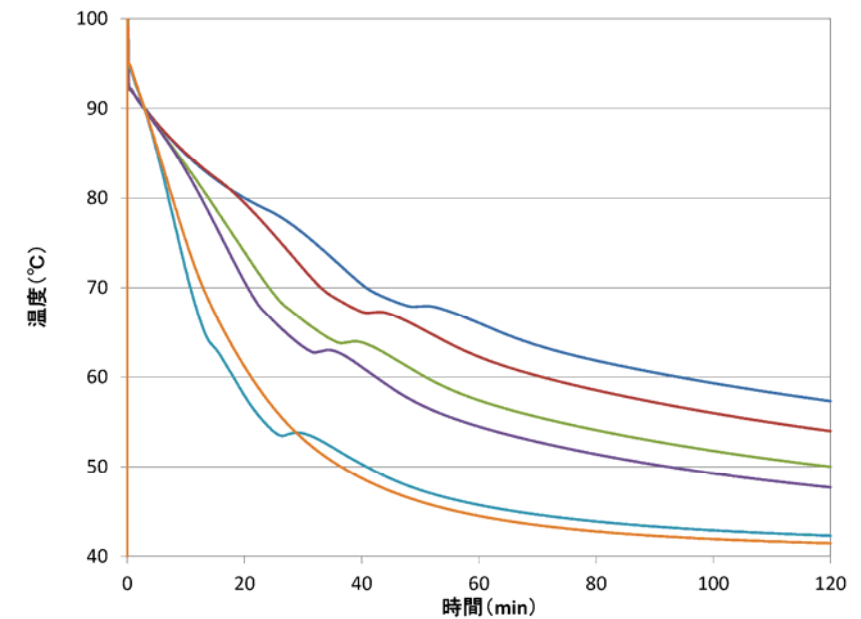


内部溢水影響評価において、防護対象設備への影響が大きい原子炉棟3階の解析結果を示す。

- 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)

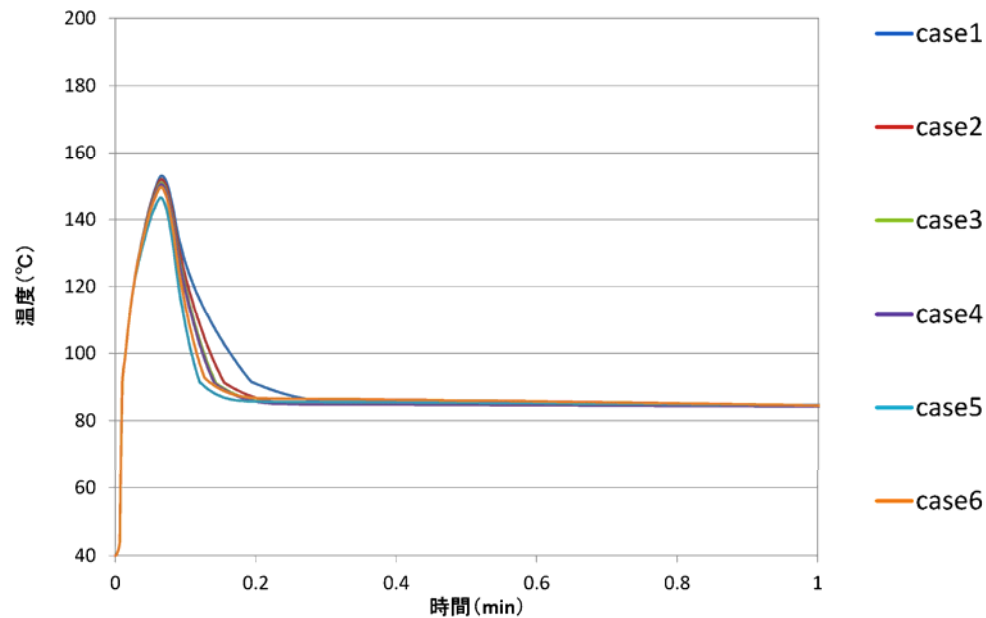
第2図 ブローアウトパネル作動枚数による温度状況比較

10. 蒸気影響評価結果【添付資料1】

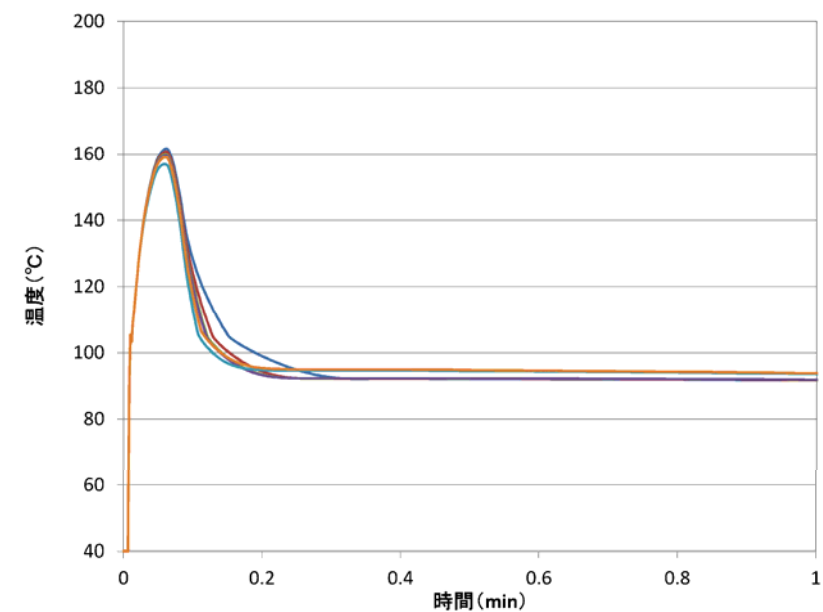


原子炉棟3階の解析結果の詳細(最高温度)を示す。

- 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)