

東海第二発電所

重大事故等対策の有効性評価

平成29年9月
日本原子力発電株式会社

原子炉建屋から大気中へ漏えいする Cs-137 の漏えい量評価について

本資料では、「原子炉建屋から大気中へ漏えいする Cs-137」の放出量評価について示す。

なお、本評価では、原子炉建屋ガス処理系（非常用ガス処理系及び非常用ガス再循環系で構成）が起動するまでの間、格納容器から原子炉建屋に漏えいした放射性物質は、瞬時に原子炉建屋から大気中へ漏えいするものとして、放出量を保守的に評価しているが、下記のとおり、格納容器の健全性が維持されており、原子炉建屋の換気空調系が停止している場合は、格納容器から原子炉建屋に漏えいした放射性物質の一部は、原子炉建屋内で沈着又は時間減衰するため、大気中への放出量は本評価結果より少なくなると考えられる。

- ・ 格納容器が健全な場合、格納容器内の放射性物質は、格納容器圧力に応じて原子炉建屋へ漏えいするものとしている。漏えいした放射性物質の一部は、原子炉建屋内での重力沈降等に伴い、原子炉建屋内に沈着すると考えられる。
- ・ 原子炉建屋内の換気空調系が停止している場合、原子炉建屋内外における圧力差が生じにくく、原子炉建屋内外での空気のやりとりは多くないと考えられるため、漏えいした放射性物質の一部は原子炉建屋内に滞留し、時間減衰すると考えられる。

1. 評価条件

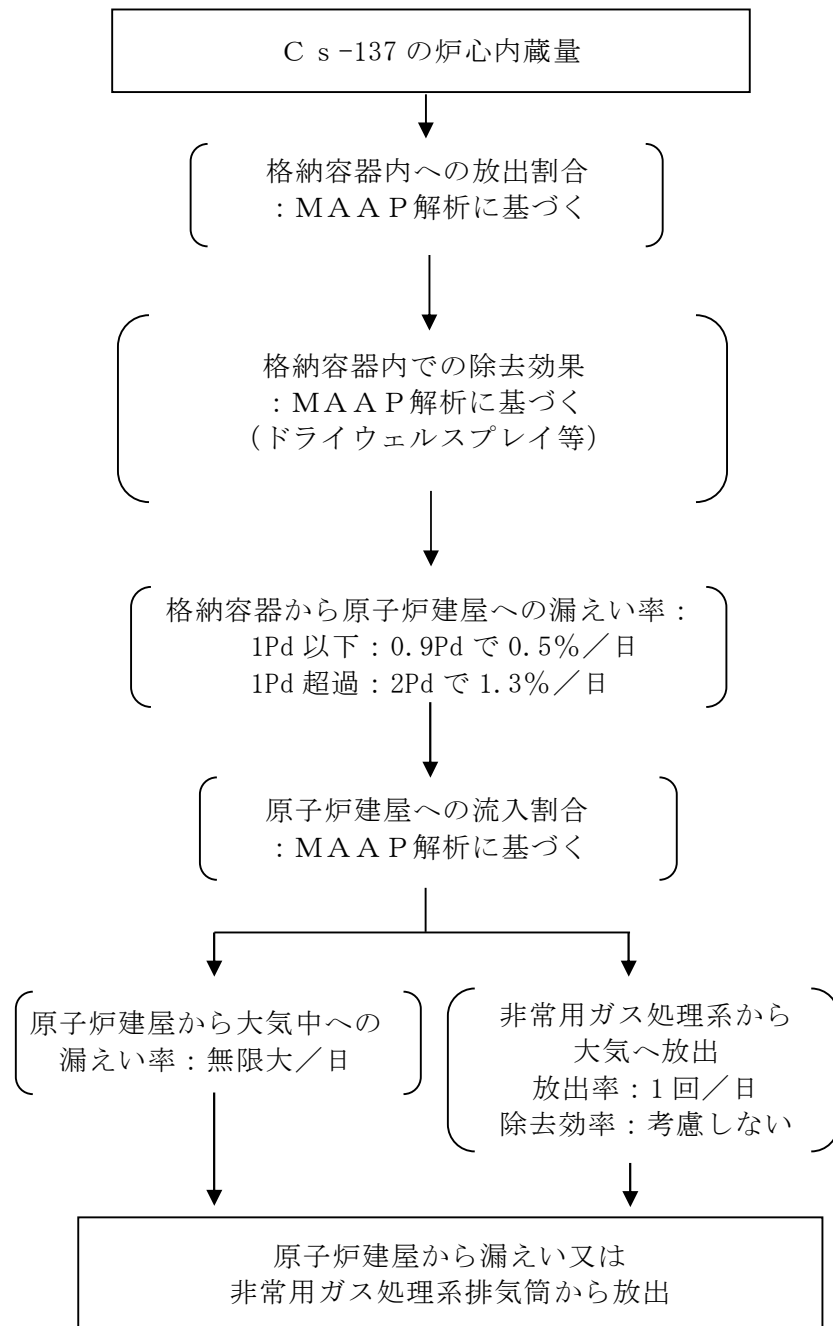
放出量評価条件を第 1 表、大気中への放出過程及び概略図を第 1 図及び第 2 図に示す。

第1表 放出量評価条件 (1/2)

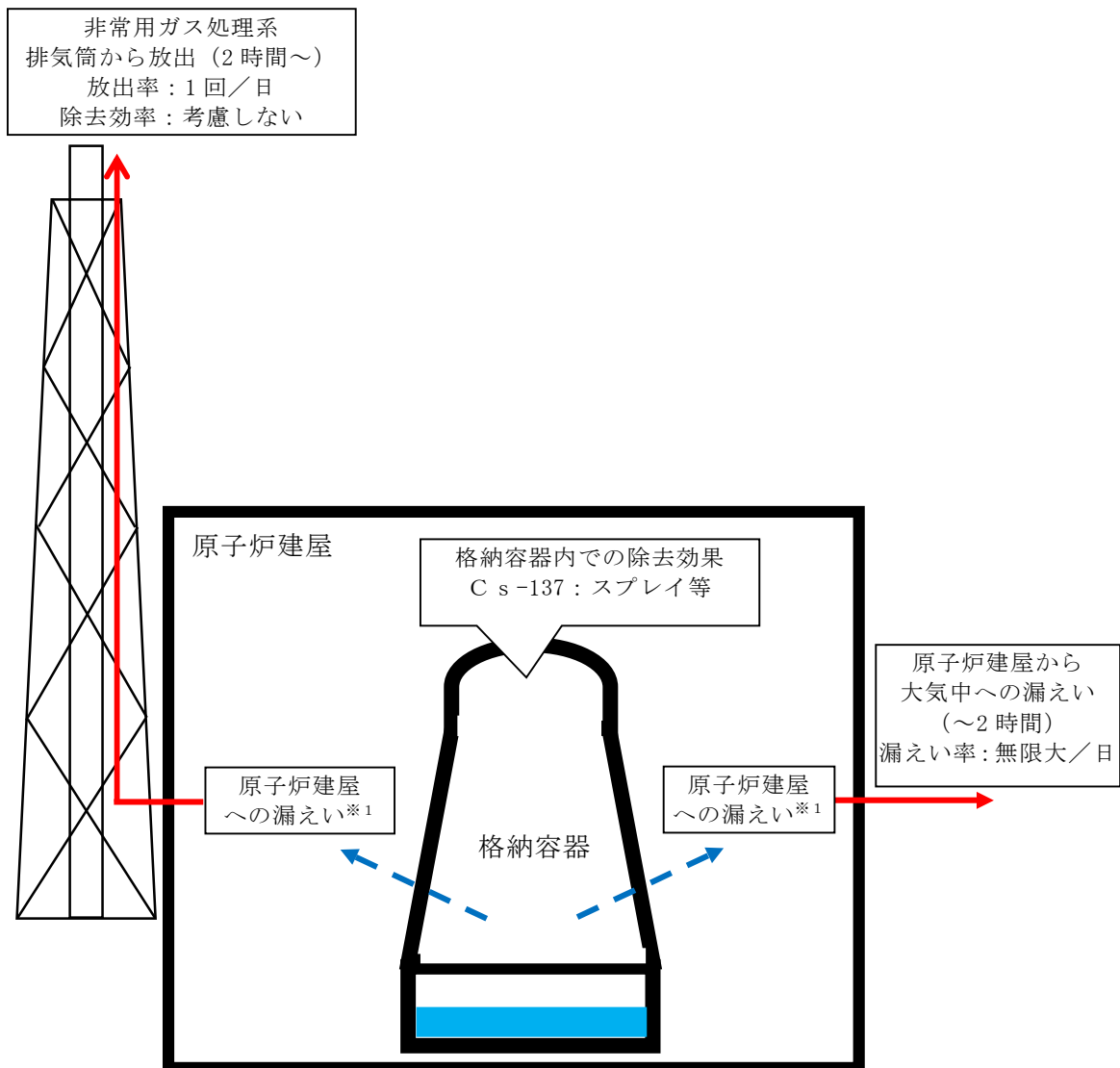
項目	評価条件	選定理由
評価事象	「大破断 L O C A + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗」(代替循環冷却系を使用する場合)(全交流動力電源喪失の重畳を考慮)	—
炉心熱出力	3,293MW	定格熱出力
運転時間	1 サイクル当たり 10,000 時間 (416 日)	1 サイクル 13 ヶ月 (395 日) を考慮して設定
取替炉心の燃料装荷割合	1 サイクル : 0.229 2 サイクル : 0.229 3 サイクル : 0.229 4 サイクル : 0.229 5 サイクル : 0.084	取替炉心の燃料装荷割合に基づき設定
炉心内蔵量 (C s -137)	約 4.36×10^{17} Bq	「単位熱出力当たりの炉心内蔵量 (Bq/MW)」 × 「3,293MW (定格熱出力)」 (単位熱出力当たりの炉心内蔵量 (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 (10,000 時間) で算出した A B W R のサイクル末期の値を使用)
放出開始時間	格納容器漏えい : 事象発生直後	M A A P 解析結果
格納容器内への放出割合 (C s -137)	0.49	M A A P 解析結果
格納容器内での除去効果	M A A P 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)	M A A P の F P 挙動モデル
格納容器内 p H 制御の効果	考慮しない	サプレッション・プール水 p H 制御設備は、重大事故等対処設備に位置付けていないため、保守的に設定

第 1 表 放出量評価条件 (2/2)

項 目	評価条件	選定理由
格納容器から原子炉建屋への漏えい率	1Pd以下：0.9Pdで0.5%/日 1Pd超過：2Pdで1.3%/日	M A A P 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A E Cの式等に基づき設定(添付資料 3.1.2.5 参照)
格納容器から原子炉建屋への漏えい割合	C s I 類 : 約 2.41×10^{-5} C s O H 類 : 約 1.66×10^{-5}	M A A P 解析結果
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、瞬時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)
非常用ガス処理系及び非常用ガス再循環系の起動時間	事象発生から2時間後	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内は負圧になるが、保守的に負圧達成時間として5分を想定)
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
ブローアウトパネルの開閉状態	閉状態	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がないため(別紙参照)



第1図 Cs-137の大気放出過程



※1 格納容器から原子炉建屋への漏えい率
 1Pd以下：0.9Pdで0.5%/日，1Pd超過：2Pdで1.3%/日

大気への放出経路	0h	▼2h ^{※2}	▼19h	168h▼
原子炉建屋から大気中への漏えい				
非常用ガス処理系排気筒から放出				

※2 非常用ガス処理系の起動により原子炉建屋内は負圧となるため，事象発生2時間以降は原子炉建屋から大気中への漏えいはなくなる。

第2図 大気放出過程概略図 (イメージ)

2. 評価結果

原子炉建屋から大気中へのC s -137 の漏えい量を第 2 表に示す。

原子炉建屋から大気中へのC s -137 の漏えい量は、約 7.5TBq（事象発生 7 日間）であり、評価項目の 100TBq を下回っている。

また、事象発生 7 日間以降の影響を確認するため評価した、事象発生 30 日間、100 日間における大気中へのC s -137 の漏えい量は、ともに約 7.5TBq であり、いずれの場合においても 100TBq を下回っている。

なお、事象発生 7 日以降の長期解析においては、事象発生約 40 日後に格納容器内水素燃焼防止の観点で格納容器圧力逃がし装置による格納容器ベントを実施し、事象発生 100 日まで格納容器ベント継続しているが、格納容器の除熱機能、格納容器への窒素供給機能及び格納容器内の可燃性ガスの濃度制御系機能が確保できた場合には、格納容器ベントを停止する運用とする。

第 2 表 大気中へのC s -137 の漏えい量

事象発生 7 日間	事象発生 30 日間	事象発生 100 日間
約 7.5TBq	約 7.5TBq	約 7.5TBq*

※格納容器圧力逃がし装置から大気中への放出量を含む（事象発生約 40 日後～事象発生 100 日まで格納容器ベント実施）

ブローアウトパネルの重大事故等対策としての機能について

1. はじめに

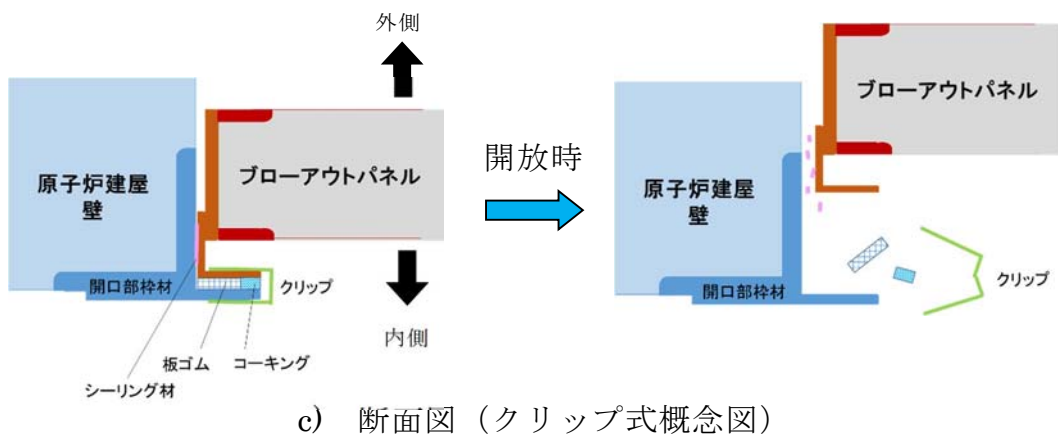
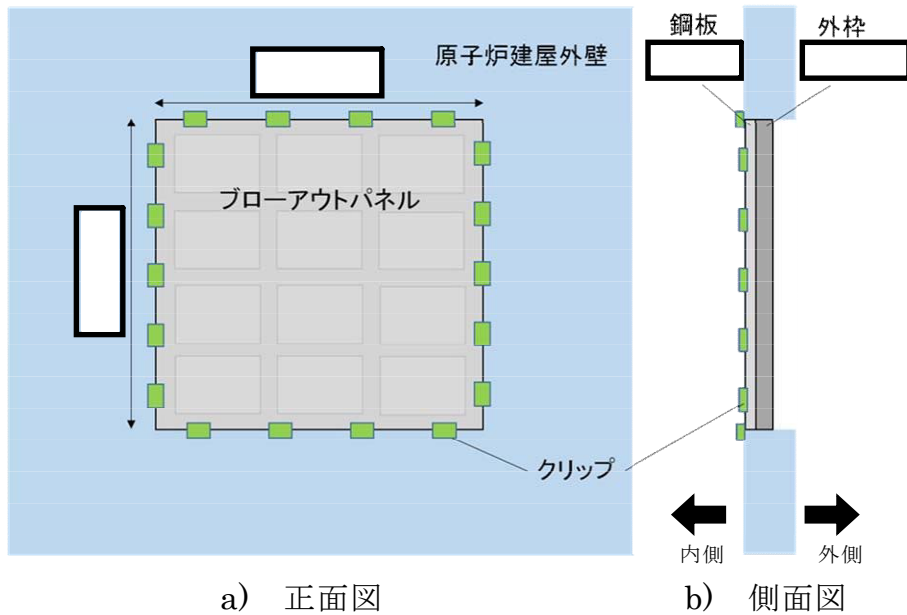
ブローアウトパネルは、主蒸気管破断のようにプラント運転中に格納容器外で配管が破断した場合等に、高圧の蒸気が原子炉建屋内に漏えい・浸入することにより生じる建屋内の圧力上昇によって建屋内の天井・外壁等が破損することを防止するため、建屋内に損傷箇所（圧力開放箇所）を限定して発生させる目的で、原子炉建屋オペレーティングフロア等に設置している。

2. ブローアウトパネルの仕様

ブローアウトパネルの設置図を別図 1，機器仕様を別表 1 に示す。

別表1 ブローアウトパネル機器仕様（原子炉建屋オペレーティングフロア）

仕 様		備 考
台 数	12台 (6階：8台, 5階：4台)	原子炉建屋と外気の境界として設置
重量		1枚当たり
開口面積		1枚当たり
開放差圧	約 6.9kPa[dif] (1psi)	格納容器の最高使用外圧(2psi)に対して余裕のある設定
保持方式	クリップ式	別図1参照 開放差圧はクリップ強度によって設定



別図1 ブローアウトパネル設置概念図

3. ブローアウトパネルの機能要求

(1) 設計基準事故対策としての機能

① 放射性物質の閉じ込め機能

「第三十二条 原子炉格納施設」において原子炉建屋ガス処理系の設置要求があり、ブローアウトパネルの閉じ込め機能は原子炉建屋ガス処理系運転時の負圧達成に必要な機能であることから、設計基準事故対策として当該機能を有しているものと整理する。

② 差圧による開放機能

「第九条 溢水による損傷の防止等」における原子炉建屋内環境条件評価として、主蒸気管等の高エネルギー配管に対して大規模な破断が生じた際には速やかにブローアウトパネルの開放によって建屋外に圧力を排出することで原子炉建屋内の圧力が著しく上昇することはないとしていることから、設計基準事故対策として当該機能を有しているものと整理する。

(2) 重大事故等対策としての機能

① 放射性物質の閉じ込め機能

ブローアウトパネルの放射性物質の閉じ込め機能は、原子炉建屋ガス処理系（非常用ガス処理系及び非常用ガス再循環系で構成）により原子炉建屋内の放射性物質を排気筒から放出するとともに、原子炉建屋内の負圧達成に必要な機能となる。そのため、「第五十九条 原子炉制御室」における居住性評価の条件として必要な機能となることから、重大事故等対策として必要な機能として整理する。ただし、第2表に示すとおり、建屋内圧力上昇等によりブローアウトパネルが開放される状態で、放射性物質の閉じ込め機能として評価上の影響がない事象においては、当該機能の要求はないものとする。

② 差圧による開放機能

差圧による開放機能は、インターフェイスシステム L O C A（以下、「I S - L O C A」という。）が発生した場合に原子炉建屋内に漏えいした水蒸気等を排出し、I S - L O C Aによる破断箇所の隔離のための現場操作時の環境条件（温度、圧力等）を緩和する機能を有している。ただし、東海第二発電所においては、炉心損傷防止対策の有効性評価「2.7 格納容器バイパス（インターフェイスシステム L O C A）」において、ブローアウトパネルが開放した場合、閉維持した場合の両ケースについて現場での隔離操作の成立性を確認していることから、「第四十六条 原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備」としては、当該機能が重大事故等対策として必要な機能とはならないものと整理する。

なお、高エネルギー配管の破断を想定した場合の環境条件については設計基準事故に包絡される。

4. ブローアウトパネルの機能確保のための設計条件

3.で整理した各機能を確保するための設計条件は下記のとおり。

(1) 放射性物質の閉じ込め機能

閉維持又は再閉止によって、原子炉建屋ガス処理系運転時の原子炉建屋内の負圧を維持すること。ただし、別表2に示すとおり、I S - L O C A等の閉じ込め機能に期待しない事象を除く。

(2) 差圧による開放機能

設計差圧 6.9kPa[dif]においてブローアウトパネルが開放し、原子炉建屋内の水蒸気等を外気に排出することで、原子炉建屋内の環境条件を設計基準事故で想定している範囲に抑えること。

5. まとめ

ブローアウトパネルが有する機能と設計基準事故対策及び重大事故等対策としての位置付けについて別表 3 に示す。また、閉じ込め機能の対象となるブローアウトパネルについて別表 4 に示す。ブローアウトパネルについては、設計基準事故及び重大事故等対策に必要な設備として、放射性物質の閉じ込め機能及び差圧による開放機能が維持可能な設計とする。

別表 2 ブローアアウトパネルが開放する事象における閉じ込め機能の要求

事象	開放条件	閉じ込め機能	考え方
インターフェイスシステムLOCA	建屋内圧力上昇による開放	要求なし	「2.7 格納容器バイパス (インターフェイスシステムLOCA)」において、ブローアウトパネルが開放した場合、閉維持した場合の両ケースについて線量評価を実施し、非居住区域境界外の線量が 5mSv 未満であることを確認していることから、当該機能が重大事故等対策として必要な機能とはならないものと整理する。
主蒸気管破断等の高エネルギー配管の破断によってブローアウトパネルが開放する運転時の異常な過渡変化	建屋内圧力上昇による開放	要求あり (格納容器破損防止対策において)	<p>【設計基準】</p> <p>設計基準における線量評価では原子炉建屋からの地上放出を想定しており、ブローアウトパネルの閉閉状態の影響はない。</p> <p>【重大事故等】</p> <p>① 炉心損傷防止対策 非居住区域境界外の線量評価においては格納容器圧力逃がし装置からの放出量を元に評価している。そのため、ブローアウトパネルの閉閉状態の影響は軽微であるため考慮していない。その場合、ブローアウトパネルの閉閉状態の影響はない。なお、起因事象を主蒸気管破断とした場合の非居住区域境界外の線量として、耐圧強化イベントからの放出による線量 0.62mSv に、設計基準における評価線量 0.18mSv を加えた場合でも、5mSv を下回る。</p> <p>② 格納容器破損防止対策 大破断LOCA以外の起因事象においては炉心損傷防止可能であることを確認しているため、主蒸気管破断においても炉心損傷に至らない。</p> <p>ただし、「3.2 高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱」「3.3 原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用」「3.5 溶融炉心・コングリメント相互作用」の評価上の起因事象として主蒸気管破断を考慮した場合においても中央制御室の居住性評価を満足する条件として、ブローアウトパネル開放後にも再閉止等の設備対策によって原子炉建屋ガス処理系使用時の原子炉建屋内負圧達成が可能な設計とする。</p> <p>設計竜巻(100m/s)による荷重に対して安全機能を維持する設計としているが、竜巻によって外部電源喪失が発生する場合を想定する。</p> <p>ブローアウトパネルの設計作動圧に等しい最大気圧低下量を生じる竜巻風速(約 89m/s)が発生する年超過確率は約 5.1×10^{-6}/年である。</p> <p>また、竜巻による外部電源喪失が想定されるが、外部電源喪失が発生した場合の条件付き炉心損傷確率は、3.6×10^{-4}/年である。</p> <p>以上から、竜巻によってブローアウトパネルが開放した状態で、外部電源喪失により炉心損傷する確率は十分低い値となることから、竜巻を起因事象とした重大事故等が発生し、ブローアウトパネルの機能が必要となる可能性は十分低いものと考えられる。</p>
竜巻	ブローアウトパネルの設計作動圧に等しい最大気圧低下量を生じる竜巻風速(約 89m/s)による開放	—	
地震	地震動による開放	要求あり	重大事故等対処設備として、地震時においても閉じ込め機能を有する設計とする。

別表3 ブローアウトパネルの機能の整理

	放射性物質の閉じ込め機能	差圧による開放機能
設計基準事故対策としての機能	有 (第三十二条)	有 (第九条)
重大事故等対策としての機能	有 (第五十九条)	無

別表4 ブローアウトパネルの設置位置と閉じ込め機能の整理

設置個所			閉じ込め機能
設置位置	台数	境界	
原子炉建屋 6階 (EL45680)	8台 東西南北各2台	原子炉建屋 オペレーティング フロア ⇔ 外気	○
原子炉建屋 5階 (EL38800)	4台 東西南北各1台		○
主蒸気管 トンネル室 (EL20300)	3台	原子炉建屋 主蒸気管 トンネル室 ⇔ 原子炉建屋内 通路	—※
主蒸気管 トンネル室 (EL14000)	3台		—※

※ 当該パネルの境界は原子炉建屋間となっているため、開閉状態によって原子炉建屋ガス処理系運転時の負圧達成に与える影響はない