

東海第二発電所

ブローアウトパネル及び関連設備の 工事計画認可申請に係る論点整理について (コメント回答)

平成30年5月2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。

4月5日審査会合時コメント回答 ブローアウトパネル関連(1)

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:

- ◆ 設計基準事故後に発生する自然現象に対するブローアウトパネルの機能について、公衆被ばくへの影響の観点から整理した結果、弾性設計用地震動Sdで開放しないように設計することにより、設計基準事故後にブローアウトパネルが開放した場合にも、公衆に対して過度な被ばくを与えないことを確認した。
- ◆ 自然現象の従属事象として発生する設計基準事故(放射性気体廃棄物処理施設の破損等)については、既許可にて評価済みであり、ブローアウトパネルの閉維持機能に影響しないことを確認した。

技術基準規則第44条 原子炉格納施設

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。

(1)ブローアウトパネルの機能と想定すべき設計基準事故、自然現象及び評価の考え方

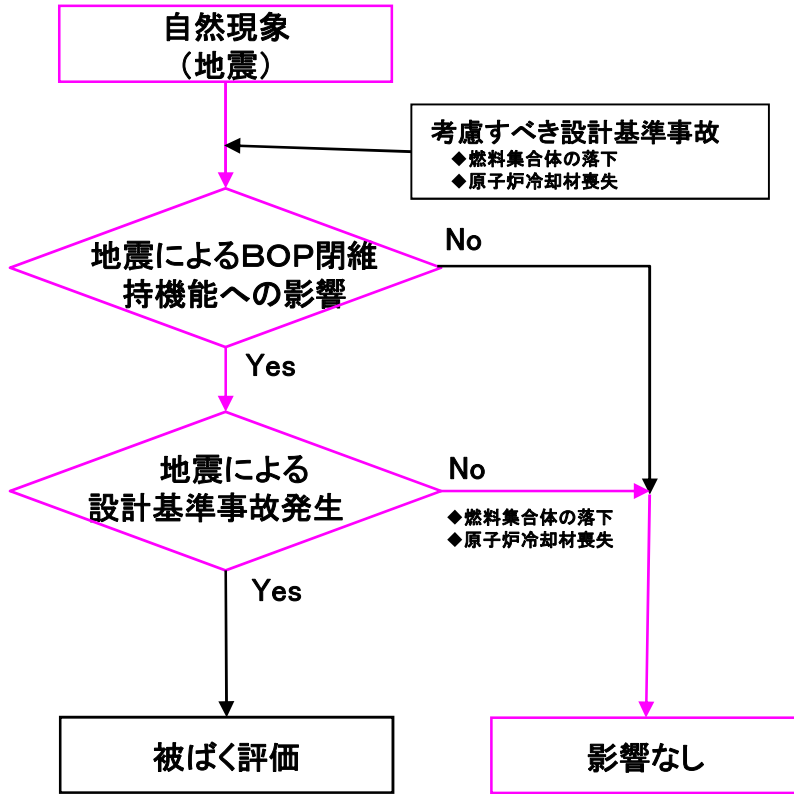
<p><公衆被ばくの観点から考慮すべき設計基準事故の選定></p> <ul style="list-style-type: none"> 環境への放射性物質の異常な放出として想定される設計基準事故のうち原子炉棟内で放射性物質が放出される事象は、以下の①,②の2つの事象である。 <p>①燃焼集合体落下 ②原子炉冷却材喪失 ③放射性気体廃棄物処理施設の破損 ⇒ 原子炉棟外の施設 ④主蒸気管破断 ⇒タービン建屋からの放射性物質放出 ⑤制御棒落下 ⇒タービン建屋(復水器等)からの放射性物質放出) </p>	<p><公衆被ばくの観点からブローアウトパネルに要求される機能></p> <ul style="list-style-type: 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(基準地震動等で機能喪失しないよう設計) <p><想定すべき自然現象></p> <ul style="list-style-type: none"> 地震 竜巻 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 ⇒ 設置高さ等から機能に影響しない 	<p>①自然現象後に設計基準事故が発生する場合の評価フロー</p> <pre> graph TD A[自然現象(地震)] --> B{地震によるBOP閉維持機能への影響} B -- No --> C[影響なし] B -- Yes --> D{地震による設計基準事故発生} D -- No --> C D -- Yes --> E[被ばく評価] </pre>	<p>②設計基準事故発生後に自然現象が発生する場合の評価フロー</p> <pre> graph TD A[設計基準事故(LOCA, 集合体落下)] --> B[自然現象(地震)] B --> C{地震によるBOP閉維持機能への影響} C -- No --> D[影響なし] C -- Yes --> E[被ばく評価] </pre>
--	--	---	---



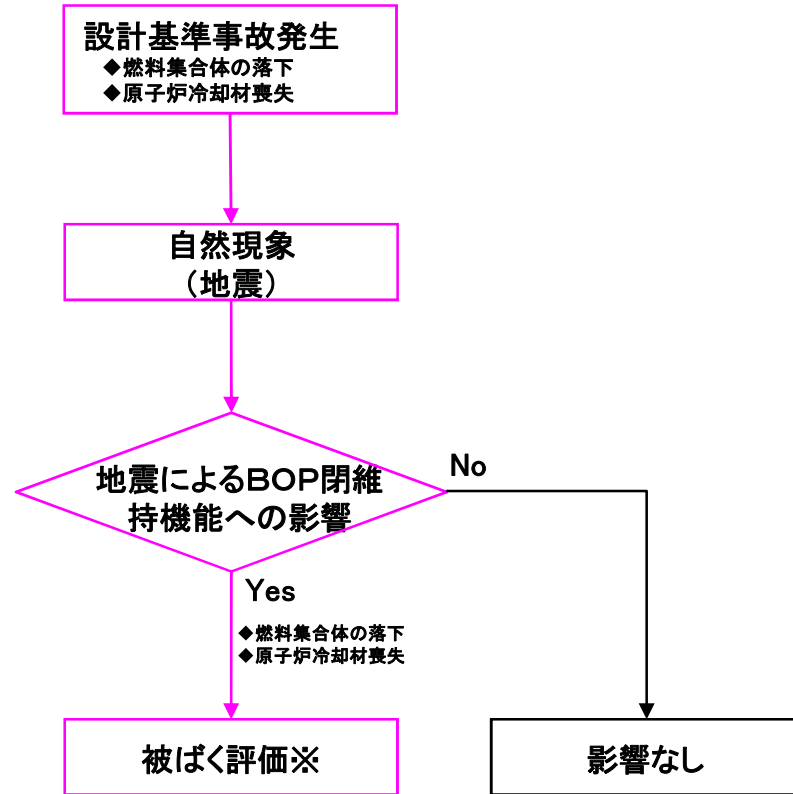
4月5日審査会合時コメント回答 ブローアウトパネル関連(1)

(2)地震の場合の評価結果

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



※:<被ばく評価の考え方>

- ◆ ブローアウトパネルを開放させる可能性がある自然現象(地震)に対して、設計基準事故との事象の組み合わせの観点から、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 10^{-7} /年を参考に、地震が有意となる時期を評価
- ◆ この時期にブローアウトパネルの閉維持機能が喪失すると仮定し影響評価

<被ばく評価結果>

- ◆ LOCA発生頻度: 3×10^{-4} /年(PSA)
- ◆ Sdの発生頻度: 10^{-2} /年

⇒ Sdを考慮すべき時期は事故後13日であるが、保守的に事故後3日目に原子炉建屋原子炉棟が機能を喪失すると仮定し被ばく評価を実施した結果、被ばく量は 1.5×10^{-1} mSvであり、判定基準5mSv及びMSLBA時の被ばく量 1.8×10^{-1} mSvを下回ることを確認

<対応>

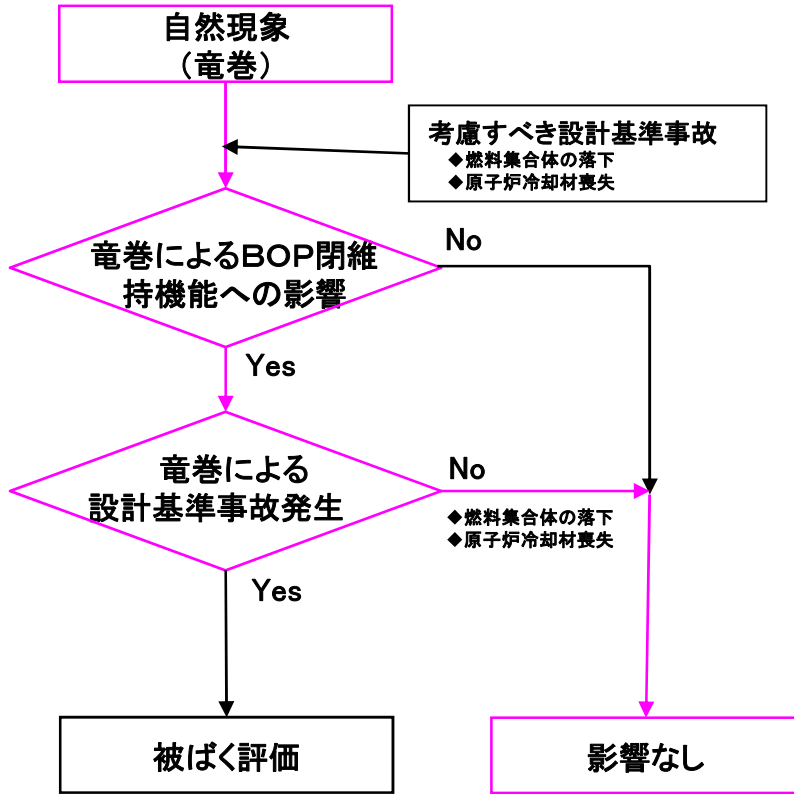
弾性設計用地震動Sdで開放しないように設計することで、公衆被ばくに与える影響はない



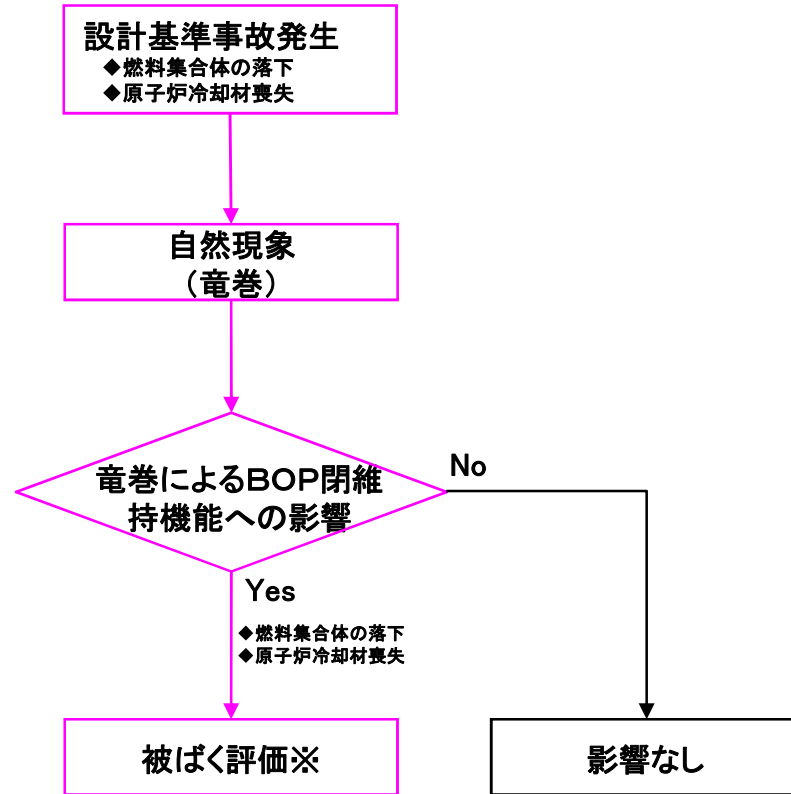
4月5日審査会合時コメント回答 ブローアウトパネル関連(1)

(3) 竜巻の場合の評価結果

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



※: <被ばく評価の考え方>
 ◆ ブローアウトパネルを開放させる可能性がある自然現象(地震)に対して、設計基準事故との事象の組み合わせの観点から、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 10^{-7} /年を参考に、竜巻が有意となる時期を評価
 ◆ この時期にブローアウトパネルの閉維持機能が喪失すると仮定し影響評価

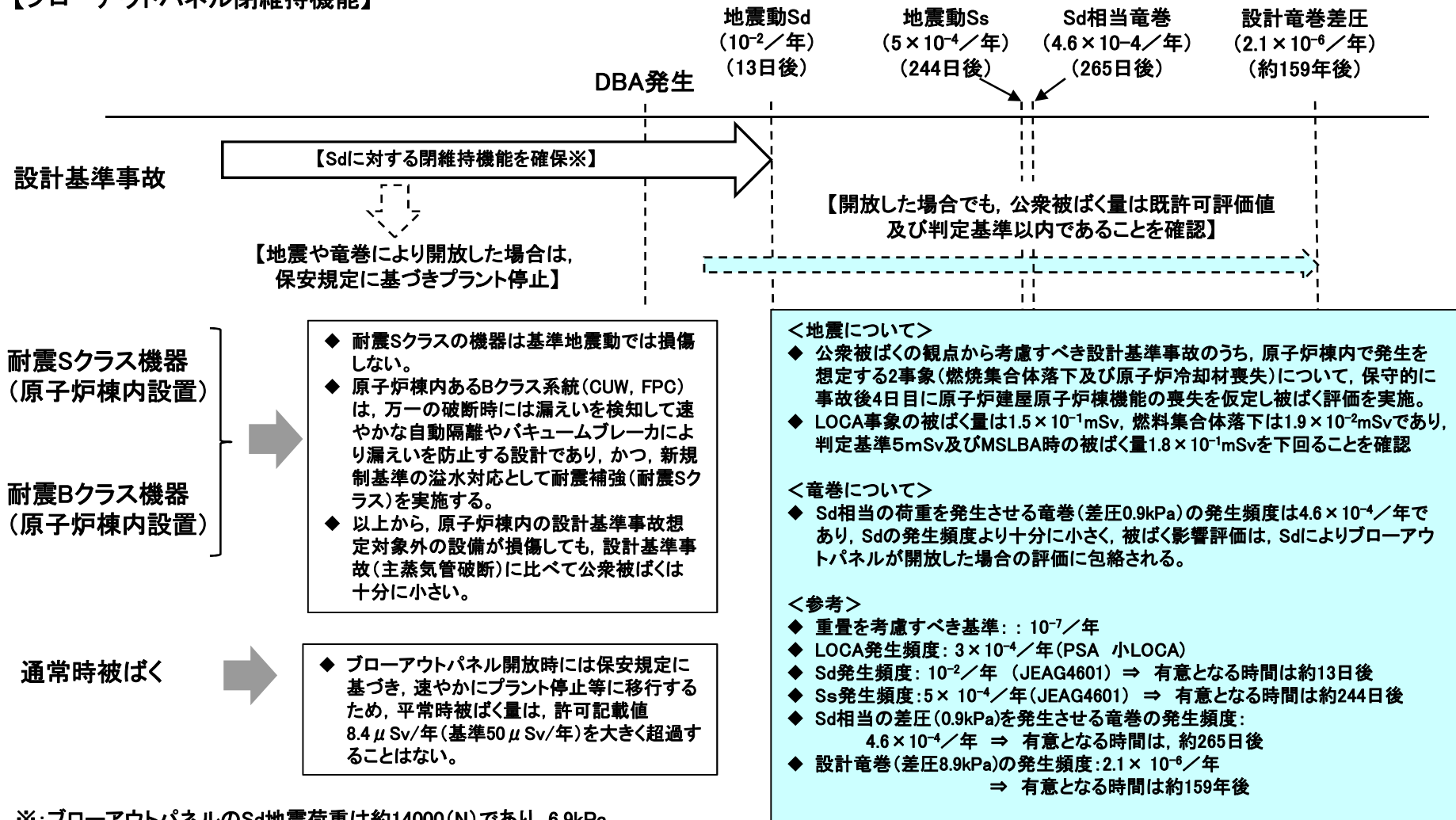
<被ばく評価結果>
 ◆ LOCA発生頻度: 3×10^{-4} /年(PSA)
 ◆ Sd相当の差圧を発生させる竜巻の発生頻度: 4.6×10^{-4} /年
 ⇒ Sdレベルの差圧を発生させる竜巻の発生頻度は、Sdの発生頻度より十分に小さく、有意となる時期は事故後264日後であるため、被ばく評価はSdの評価に包絡される。

<対応>
 弾性設計用地震動Sdで開放しないように設計することで、公衆被ばくに与える影響はない



4月5日審査会合時コメント回答 ブローアウトパネル関連(2)

【ブローアウトパネル閉維持機能】



※:ブローアウトパネルのSd地震荷重は約14000(N)であり、6.9kPaの差圧時開放荷重約106000(N)の約1/8

ブローアウトパネルは、弾性設計用地震動Sdで開放しないように設計することにより、被ばく評価に影響を与えないことを確認



【参考】4月5日審査会合時コメント回答 ブローアウトパネル関連(1)

(1)地震に対するブローアウトパネルの閉維持機能の整理結果

- ◆ 弾性設計用地震Sdとの組み合わせを保守的に考慮し、冷却材喪失事故後の4日後にブローアウトパネルが開放した場合でも、被ばく量は $1.5 \times 10^{-1} \text{mSv}$ であり、許容値である5mSv及び安全解析で最も厳しい主蒸気管破断時の評価結果である $1.8 \times 10^{-1} \text{mSv}$ を下回ることを確認した。
- ◆ このため、ブローアウトパネルは、弾性設計用地震動Sdで開放しない設計とする。

	放射性物質を内蔵する設備等	地震従属事象としての設備損傷			DBAの独立事象としての地震			備考
		BOP開放可能性	損傷等発生可能性	公衆被ばく影響	損傷等発生可能性	BOP開放可能性 -:閉維持必要なし	公衆被ばく影響	
通常時	Sクラス	有	無	無	—	—	—	
	B, Cクラス	有	有	有 (※3)	—	—	—	◆ ※3:原子炉棟内あるBクラス系統(CUW, FPC)は、万一の破断時には漏えいを検知して速やかな自動隔離やバキュームブレーカにより漏えいを防止する設計であり、かつ、新規制基準の溢水対応として耐震補強(耐震Sクラス)を実施することから、設計基準事故(主蒸気管破断)時と比べて十分に小さい。
事故時の代表例 (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)	放射性気体廃棄物処理設備損傷	有	有	無 (添+ 地上放出にて評価済)	有 (DBA)	—	無 (添+ 地上放出にて評価済)	◆ ブローアウトパネルの開閉に関係なく、地上放出するとして評価
	主蒸気管破断	有	有	無 (添+ 地上放出にて評価済)		—	無 (添+ 地上放出にて評価済)	◆ ブローアウトパネルの開閉に関係なく、地上放出するとして評価
	燃料集合体落下	有	無	無		有	確認中	
	LOCA	有	無	無		有	無 (※1)	※2:事故後4日後のBOP開放を仮定し、被ばく評価を実施。 $1.5 \times 10^{-1} \text{mSv}$ で5mSvを十分下回ることを確認
	制御棒落下	有	無	無		—	無 (添+ 地上放出にて評価済)	◆ タービンから復水器を通して地上放出するとして評価

※1: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} /年を参考に事象が有意となる時期を決定。

・LOCAの発生頻度: 3×10^{-4} 回/年と仮定

・Sd地震の発生頻度: 10^{-2} 回/年 \Rightarrow 13日後(保守的に4日後と仮定して評価), Ss地震の発生頻度: 5×10^{-4} 回/年 \Rightarrow 約244日後

【参考】4月5日審査会合時コメント回答 ブローアウトパネル関連(1)

(2) 竜巻に対するブローアウトパネルの閉維持機能の整理結果

- ◆ 竜巻による損傷により、環境への放射性物質の異常な放出につながる設備はない。
- ◆ 弾性設計用地震動Sdに相当する差圧を発生させる竜巻の発生頻度は、 4.6×10^{-4} / 年程度であり、Sdの発生頻度 10^{-2} / 年より十分小さく、公衆の被ばく評価は、Sdにより事故後13日目にパネルが開放した場合(保守的に4日後に開放と仮定)の評価に包絡

	放射性物質を内蔵する設備等	設計竜巻の従属事象としての設備損傷			DBAの独立事象としての設計竜巻			備考
		BOP開放可能性	損傷等発生可能性	公衆被ばく影響	損傷等発生可能性	BOP開放可能性 -:閉維持必要なし	公衆被ばく影響	
通常時	Sクラス	有	無 (防護設備設置)	無	—	—	—	
	B, Cクラス	有	無 (防護設備設置)	無	—	—	—	
事故時の代表例 (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)	放射性気体廃棄物処理設備損傷	有	無 (屋内)	無	有 (DBA)	—	無 (添+ 地上放出にて評価済)	◆ ブローアウトパネルの開閉に関係なく、地上放出するとして評価
	主蒸気管破断	有	無 (屋内)	無		—	無 (添+ 地上放出にて評価済)	◆ ブローアウトパネルの開閉に関係なく、地上放出するとして評価
	燃料集合体落下	有	無 (屋内)	無		有	確認中	
	LOCA	有	無 (屋内)	無		有	無 (※1)	Sd相当の差圧を発生する竜巻の発生頻度は、 4.6×10^{-4} / 年で、Sdの発生頻度 10^{-2} / 年より十分小さく、公衆の被ばく評価は、地震動の評価に包絡される。
	制御棒落下	有	無 (屋内)	無		—	無 (添+ 地上放出にて評価済)	◆ タービンから復水器を通して地上放出するとして評価

※1: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} / 年を参考に事象が有意となる時期を決定。

・LOCAの発生頻度: 3×10^{-4} 回 / 年と仮定

・設計竜巻(差圧8.9kPa)の発生頻度: 2.1×10^{-6} 回 / 年 ⇒ 有意になるまでの時間は、約150年以上、Sd相当の差圧(0.9kPa)を発生させる竜巻の発生頻度: 4.6×10^{-4} 回 / 年 ⇒ 約265日後

【参考】4月5日審査会合時コメント回答 ブローアウトパネル関連(1)

2次格納施設の一部としての閉維持機能に対する地震及び竜巻の影響評価(被ばく影響)

基準地震動の場合

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が有意となるのは13日後だが、4日後に開放すると仮定)	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 ・事故後4日後のBOP開放を仮定し、被ばく評価を実施。 1.9×10^{-2} mSvで5mSvを十分下回ることを確認	添付十の被ばく評価で最も評価値が大きい主蒸気管破断時の線量は約 1.8×10^{-1} mSv
原子炉冷却材喪失	地震起因で発生せず	影響なし ・事故後4日後のBOP開放を仮定し、被ばく評価を実施。 1.5×10^{-1} mSvで5mSvを十分下回ることを確認	
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)	

設計竜巻の場合

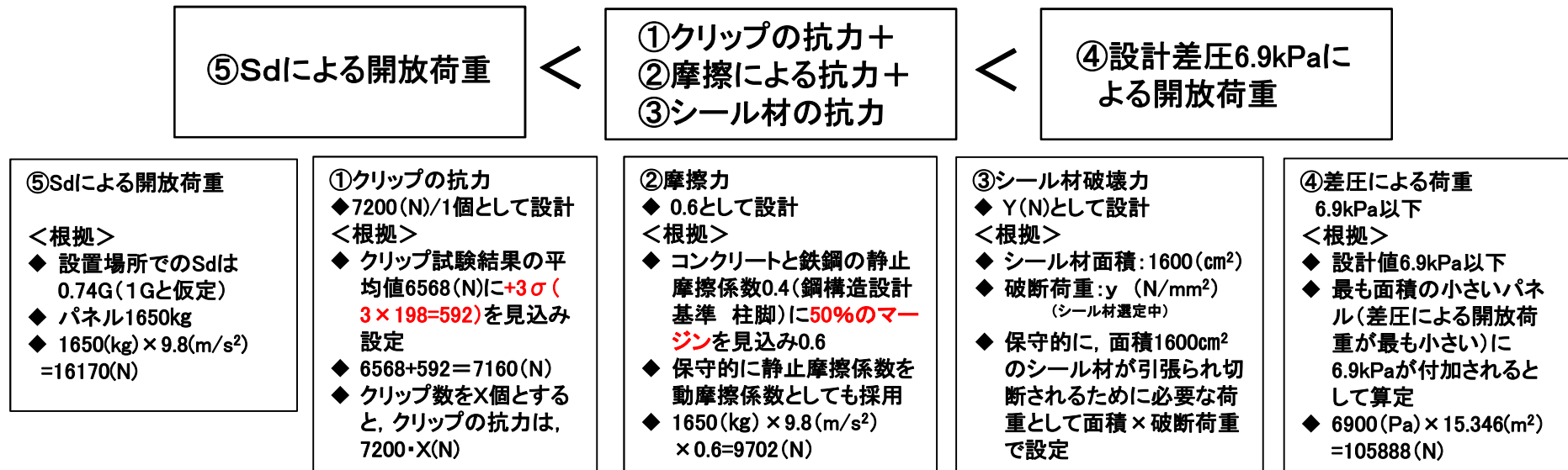
設計基準事故	設計竜巻の従属事象として設計基準事故の発生と公衆被ばくへの影響	設計基準事故発生後の独立事象としての設計竜巻による公衆被ばくへの影響(Sdと同等の差圧を発生する竜巻の発生頻度は 4.6×10^{-4} /年で、有意となるのは事故後約265日後)	備考
放射性物質気体廃棄物処理施設の破損	竜巻起因で発生せず	原子炉建屋外の事象であり、ブローアウトパネルの閉じ込め機能は、被ばく評価に影響しない	
主蒸気管破断	竜巻起因で発生せず	地上放出を仮定して被ばく評価済であり、ブローアウトパネルの閉じ込め機能は評価に影響しない	
燃料集合体の落下	竜巻起因で発生せず	影響なし ・Sd相当の差圧を発生する竜巻の発生頻度は、 4.6×10^{-4} /年で、Sdの発生頻度 10^{-2} /年より十分小さく、公衆の被ばく評価は、Sdにより評価に包絡される。	
原子炉冷却材喪失	竜巻起因で発生せず		
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)	

4月5日審査会合時コメント回答 ブローアウトパネル関連(3)

コメント: 設計差圧(6.9kPa)以下で開放する設計(設定値)について、クリップ開放試験結果等を踏まえた考え方について説明すること。

回答:

- ◆ 6.9kPa以下で確実にパネルを開放させるため、パネル開放の抵抗力(①クリップの抗力, ②パネル移動時の摩擦力による抗力, ③パネルと躯体間のシール材の抗力)を保守的に考慮し、この合計が④差圧による荷重以下とする。
- ◆ 設計基準事故と自然現象によるパネルの開放の重量について、公衆の被ばく防止の観点から、⑤弾性設計用地震動Sdで開放しないように設計する。
- ◆ クリップは、パネルの左右、上下で対象となるように設置し、負荷される差圧に対し可能な限り、抵抗が均一になるように配慮する。



$$\textcircled{5}16170(\text{N}) < \textcircled{1}7200 \cdot X(\text{N}) + \textcircled{2}9702(\text{N}) + \textcircled{3} Y(\text{N}) < \textcircled{4}105888(\text{N})$$

※: 設計の妥当性は実機大のモックアップ試験にて確認

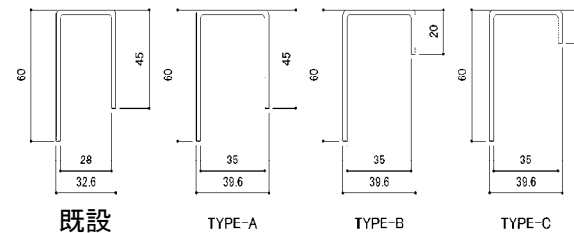
【参考】クリップ開放試験の概要(1/3)

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

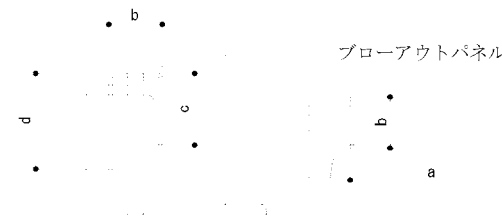
項目	目的	具体的な仕様
材質	材質による強度のばらつきを確認	SS400, SPCC
板厚	一定(既設と同じ)	2.3mm
幅(a)	クリップ幅と強度の関係を確認	100mm, 70mm
掛り寸法(c)	掛り寸法による強度(外れ易さ)のばらつきを確認	45mm, 20mm, 15mm
曲げ加工後のクリップ幅(b)	曲げ加工後のクリップ幅と強度のばらつきを確認	28mm, 35mm



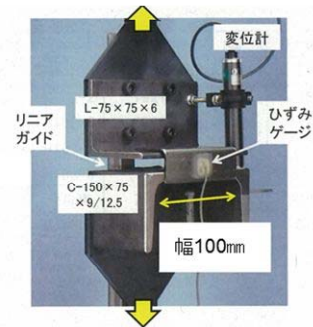
試験用クリップ



クリップ取付状況



クリップ寸法確認箇所



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	70 mm		5				
H100	SS400 (一般構造用圧延鋼材)		100 mm	45mm	TYPE-A		5
H100AP			100 mm	20mm	TYPE-B		5
H100BP				15mm	TYPE-C		5
H100CP							

【参考】 クリップ開放試験の概要(2/3)

【クリップ試験結果】



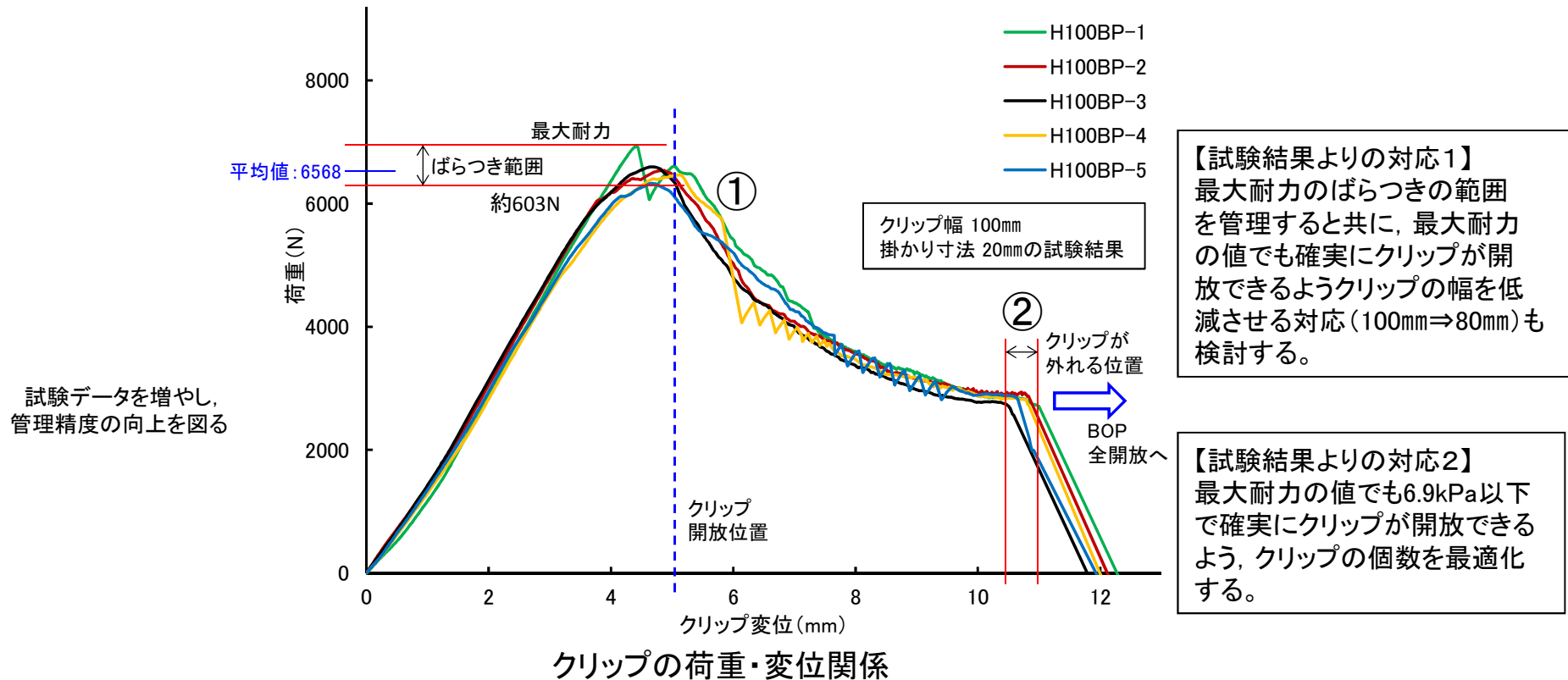
- ◆ 試験1の結果から, SS400の降伏点は明確で, ばらつきも低減できることを確認 ⇒ 材質はSS400を選定
- ◆ 試験1の結果から, 材料に関係なく, 降伏荷重(平均値)はクリップ幅に比例することを確認($C70/C100=H70/H100 \approx 0.69$)
- ◆ 試験2の結果から, 掛り寸法は, 20mm程度(TYPE-B)が最もばらつきが小さく適切な形状と判断

材料SS400のTYPE-Bをクリップの基本形状に選定

【参考】 クリップ開放試験の概要(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。



- 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。

【参考】 実機大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

