

# 柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画認可申請に係る論点整理について

**TEPCO**

---

2020年3月26日  
東京電力ホールディングス株式会社

枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

## 【説明内容】

- 下記の第836回審査会合以降において抽出された工事計画認可申請の論点及び第830回審査会合での指摘について対応状況を説明する。

### 機械設計に関する論点整理・コメント回答（2件）

分類	No.	説明項目（論点/コメント回答）	関連する 主な説明事項
機械設計	1	竜巻設計飛来物の感度解析	[2]-5
	2	ブローアウトパネル及び関連設備【コメント回答】	[2]-6

### 耐震性に関する論点整理（1件）

分類	No.	説明項目（論点）	関連する 主な説明事項
耐震	3	地震荷重と風荷重の組み合わせについて	-

- なお、今後の審査にて論点として抽出されたものについても審査会合にて説明する。

機械設計に関する論点整理  
【論点1】竜巻設計飛来物の感度解析

# 【論点1】竜巻設計飛来物の感度解析（1/3）

## 1. 概要

- フジタモデルを適用した場合における竜巻感度解析を実施するとともに、解析結果より、フジタモデルの不確実性等を考慮した場合でも、竜巻影響評価全体としての保守性が確保されていることを確認する。

感度解析にてベースとした風速

## 2. 感度解析の方針

- 柏崎刈羽原子力発電所7号炉では、過去にF3竜巻が観測されていない日本海側ではあるが、設計竜巻の最大風速として、保守的にF3の風速範囲上限値である92m/sと設定している。本解析においては、当社が自主的に加えた保守性を排除した値である風速69m/sをベースに感度解析を実施し、その結果が設置変更許可申請書の添付書類八に示した設計竜巻（風速92m/s）における飛散評価結果を上回らないことを確認する方針とする。
- なお、風速69m/sは『原子力発電所における竜巻影響評価ガイド』を参照し、竜巻検討地域にて過去に発生した竜巻の最大風速（ $V_{B1}$ ）及び竜巻検討地域を対象に算出したハザード曲線の年超過確率 $10^{-5}$ における風速（ $V_{B2}$ ）のうち、大きい風速として設定したものである。

表1 設置許可で記載した各風速値の整理

竜巻検討地域にて過去に発生した竜巻の最大風速（ $V_{B1}$ ）	69m/s （過去の観測値最大はF2）
竜巻検討地域を対象に算出したハザード曲線の年超過確率 $10^{-5}$ における風速（ $V_{B2}$ ）	年超過確率 $10^{-5}$ 値は59m/sとなるが、保守的に年超過確率 $10^{-6}$ 値である76m/sと設定
設計竜巻（ $V_D$ ）	92m/s （将来的な気候変動による竜巻発生の不確実性を踏まえ、F3の風速範囲の上限値と設定）

## 3. 感度解析の手順

- フジタモデル固有のパラメータに対し、竜巻条件、飛来物の浮上・飛来モデル条件、飛来物条件から感度解析の対象パラメータとして流入層高さ、飛散高さを抽出し感度解析を実施する。
- 感度解析の結果より、風速69m/sを起点とした設計飛来物の最大速度（水平・鉛直）、最大飛散高さ、最大飛距離が設計竜巻（92m/s）における飛散評価結果と同等以下であることを確認する。

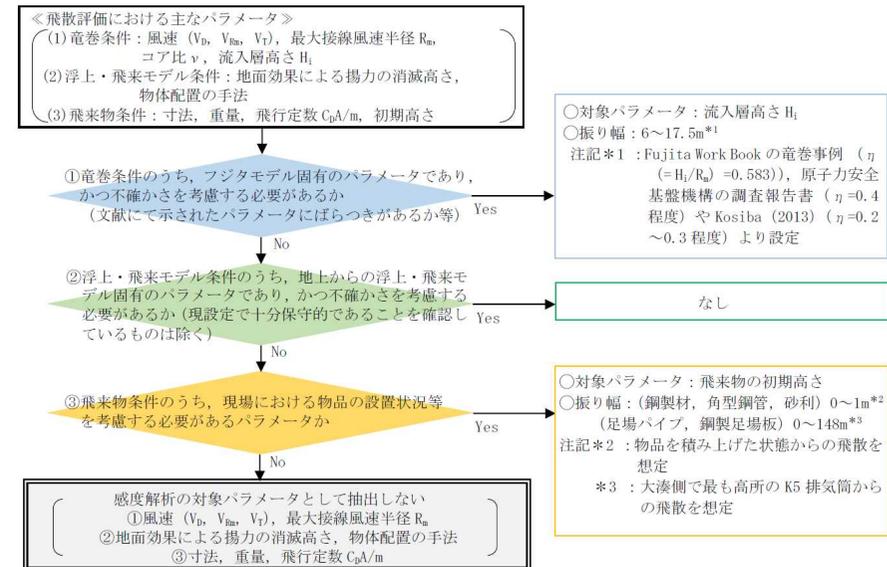


図1 竜巻感度解析の対象パラメータ抽出フロー

# 【論点1】竜巻設計飛来物の感度解析（2/3）



## 4. 竜巻感度解析の結果

- 流入層高さ $H_i$ 、初期高さのいずれも、飛散評価結果に与える感度は小さく、飛来物の最大速度（水平・鉛直）、最大飛散高さ、最大飛距離は、風速69m/sを起点とした感度解析値が設置変更許可申請書の添付書類八記載値と同等程度または同等以下であることを確認した。
- 表2、3に、例として鋼製材の感度解析の結果を示す。

表2 流入層高さ $H_i$ を変化させた場合の69m/sを起点とした感度解析値と設置変更許可申請書の添付書類八記載値の比較（鋼製材）  
     … 最大値

設計飛来物	69m/sを起点とした感度解析値 (流入層高さ $H_i$ を変化)			設置変更許可申請書の添付書類八記載値
	$H_i$ (m) *1 【感度解析値が最大となる】	初期高さ (m) 【固定】	69m/s感度解析値	
最大水平速度 (m/s)	6 ~ 17.5	0	0	10
最大鉛直速度 (m/s)	6 ~ 17.5	0	0	7
最大飛散距離 (m)	6 ~ 17.5	0	0	9
最大飛散高さ (m)	6 ~ 17.5	0	0	0.08

注記 \*1 : 6 ~ 17.5mの振り幅で確認 (2.5m刻み (6mは除く))

表3 初期高さを変化させた場合の69m/sを起点とした感度解析値と設置変更許可申請書の添付書類八記載値の比較（鋼製材）  
     … 最大値

設計飛来物	69m/sを起点とした感度解析値 (初期高さを変化)			設置変更許可申請書の添付書類八記載値
	$H_i$ (m) 【固定】	初期高さ (m) *1 【感度解析値が最大となる】	69m/s感度解析値	
最大水平速度 (m/s)	15	1	5	10
最大鉛直速度 (m/s)	15	1	8	7
最大飛散距離 (m)	15	1	3	9
最大飛散高さ (m) *2	15	1	0+(1)	0.08 *3

注記 \*1 : 0 ~ 1mの振り幅で確認 (0.1m刻み)

\*2 : ( ) 内の値は飛来物初期高さ (地面からの物品の高さ)

\*3 : 評価対象施設への高さ10m迄の衝突を考慮し設計しているため、69m/s感度解析値を包絡する

- 鋼製材、角型鋼管（大）、砂利は、初期高さを付与することで落下速度が増加するため、69m/sを起点とした感度解析値（8m/s）が設置変更許可申請書の添付書類八記載値（7m/s）を僅かに上回るが、その運動エネルギーや貫通力は、設計飛来物である足場パイプの運動エネルギーや貫通力に包絡されることを確認できたため、評価対象施設の設計の前提条件に影響を与えない（表4）。

表4 感度解析値とK7工認に用いる設計飛来物（足場パイプ）の運動エネルギー及び貫通力の比較

	感度解析値			設計飛来物
	鋼製材	角型鋼管（大）	砂利	足場パイプ
運動エネルギー（鉛直）(kJ)	4	1	0.01	8
鋼板貫通厚さ（鉛直）(mm)	3	2	0.06	15
コンクリート貫通厚さ（鉛直）(cm)	5	3	0.4	10

- なお、物品の設置状況を踏まえ飛散評価を実施し、設計飛来物より運動エネルギーまたは貫通力が大きい物品については、固縛、固定又は離隔等の飛来物の発生防止対策を実施し、確実に飛来物とならない運用とする。

# 【論点1】竜巻設計飛来物の感度解析（3/3）

## 【地表面付近の風速に関する考察】

### 1. 概要

- 先行電力の審査を踏まえ、竜巻の地表面付近の風速特性に関する文献に対して考察を行う。

### 2. ‘The Three-Dimensional Structure and Evolution of a Tornado Boundary Layer’について

- 竜巻の地表面付近の風速分布に関する研究として、Kosibaらは、図2の通り地上高さ約5mにおける強度は地上高さ約40mに比べて約25%大きな値が観測されたことを報告している(文献(1))。なお、地上から高さ3m迄は観測を行っていない。
- 同研究報告の結論として、地表面付近の竜巻特性として一般化するには、構造や強度について異なる種々の竜巻について更なる観察が必要であるとしている。

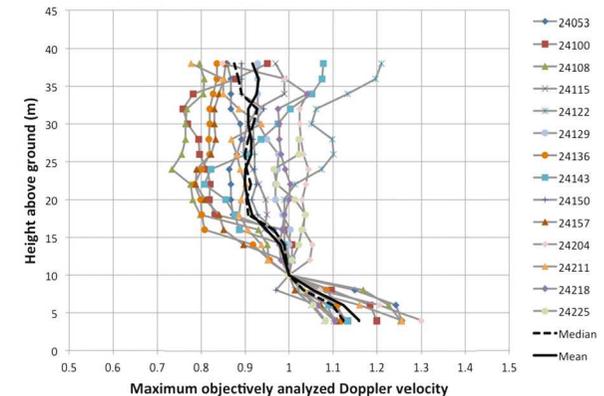


図2 地上高さとドップラー速度分布

- 図2は、竜巻をドップラーレーダを用いて測定した速度(ドップラー速度)を示しており、ドップラーレーダの照射方向の速度成分のみが抽出されたものであるため、実際に発生していた風速とは異なるものを観測していたと考えられる。このことから、ドップラー速度の極大点が必ずしも実際の風速の極大点と一致しない可能性がある。[参考参照]

### 3. その他の知見

- Kosibaらは、文献(1)以降の知見として文献(2)を公表しており、文献(2)では、「地上高さ1mにおける風速は、地上高さ20～30mにおけるドップラーレーダで測定した風の速度の60%～70%である」と報告している。

- 文献(2)を踏まえ、設計竜巻(最大風速92m/s)に当てはめるならば、設計竜巻(最大風速92m/s)におけるドップラー速度は、地上高さ25m(20～30mの中間値)で約86m/sと算出され、地上高さ1mにおける風速は約51～60m/sとなる。一方で、設計竜巻における地上高さ1mでは、水平風速のみで約76m/sとなるため、文献(2)で示されている関係性よりも設計竜巻の方が地上高さ1mで保守的な風速となっている。

### 4. 地表面付近の風速に関する考察

- 文献(1)及び文献(2)を考察した結果から、現行の設計竜巻は地表面付近においても一定の保守性を有していると考えられる。

(1) Karen A. Kosiba and Joshua Wurman, 2013: The Three-Dimensional Structure and Evolution of a Tornado Boundary Layer. Wea. Forecasting, 28, 1552–1561.

(2) Karen A. Kosiba and Joshua Wurman, 2017: The TWIRL (Tornado Winds from In-situ and Radars at Low-level) Project: Part 1: Project Overview and Combined Radar-in situ-damage analyses, 9th European Conference on Severe Storms.

## 1. フジタモデルの風速場とドップラーレーダでの観測の比較

- フジタモデルの風速場とドップラーレーダでの観測の差を把握するために、フジタモデルの風速場における風速をドップラーレーダで測定した際にどのようなドップラー速度が測定されるかを以下の方法で確認した。
- フジタモデルに与える竜巻条件としては、文献(1)で観測された竜巻の規模を参考にした。なお、竜巻風速が最大となる高さ(流入層高さ)は15mに設定した(表1)。
- 竜巻位置を原点とした場合のドップラーレーダの座標点を $(x_{obs}, y_{obs}, z_{obs})$ とする(図1)。ここでは、文献(1)に記載のあるドップラーレーダと竜巻との最短距離(130m)を参考に、点(120m, 50m, 3m)を観測点と設定した。

表1 評価に用いる竜巻条件

竜巻特性パラメータ	設計条件
最大接線風速 $V_m$	50m/s
最大接線風速半径 $R$	50m
流入層高さ $H_i$	15m
移動速度 $V_t$	10m/s

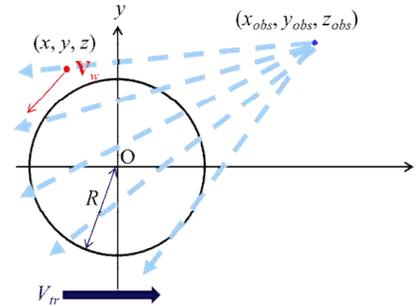


図1 x軸方向に移動速度  $V_t$  で移動する竜巻とドップラーレーダの位置関係

- 点 $(x_{obs}, y_{obs}, z_{obs})$ に位置するドップラーレーダが捉える点 $(x, y, z)$ のドップラー速度は以下の式で表される。

$$D = -(\mathbf{V}_w \cdot \mathbf{X})/|\mathbf{X}|$$

$\mathbf{X}$ は図1の水色で示すような方向ベクトル $\mathbf{X} = (x-x_{obs}, y-y_{obs}, z-z_{obs})$ を、 $\mathbf{V}_w$ は点 $(x, y, z)$ での風速ベクトルを表す。図2に表1の条件におけるフジタモデルの風速場( $V_x, V_y, V_z$ )が与えられるときの各高さでのドップラー速度の最大値を示す。

## 2. 考察

- 本解析での竜巻風速の極大値(最大値)は15mの高さに設定したが、ドップラー速度の極大値が約8m付近に発生することが示された(図2)。このことは、ドップラー速度の極大点が必要しも実際の風速の極大点と一致しないことを示唆するものである。

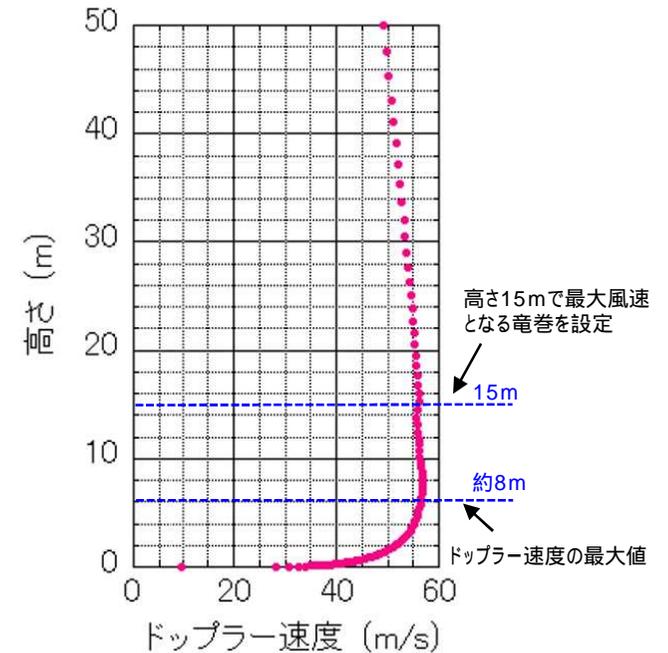


図2 評価に用いた竜巻のドップラー速度の高さ方向分布

機械設計に関する論点 コメント回答  
【論点2】ブローアウトパネル及び関連設備

## 【論点2】第830回審査会合での指摘（ブローアウトパネル関連）

NO	コメント内容	回答	ページ番号	備考
	ブローアウトパネル（以下「BOP」という。）のモックアップ試験やクリップ引っぱり試験等のこれまで実施した試験データを示すこと。また、それらの試験データや構造を踏まえて、BOPの開放、燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（以下「オペフロBOP閉止装置」という。）の成立性について説明すること。	燃料取替床ブローアウトパネル（以下「オペフロBOP」という。）、主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル（以下「MSトンネル室BOP」という。）、オペフロBOP閉止装置の機能確認試験の内容と結果についてまとめました。	10～18	
	オペフロBOPのクリップ引張り試験の試験体数を「建築構造部材の耐力試験等で一般的に用いられる3体」としているが、クリップ作動のばらつき等を踏まえて、試験体数の妥当性を整理して説明すること。	クリップ試験体数の妥当性についてまとめました。	19～20	
	燃料取替床ブローアウトパネル強制開放装置(自主設備)（以下「オペフロBOP強制開放装置」という。）について、詳細図面を示すこと。また、開放方法や開放の際にガイドレールに当たらないなどの悪影響を与えないことを説明すること。	オペフロBOP強制開放装置の試験内容及び、開放挙動と閉止装置に悪影響がないことについてまとめました。	21～24	
	オペフロBOP開放について、ISLOCA時の蒸気放出経路を示し、開放圧力（3.43kPa）に対するクリップの作動誤差、ばらつき等の評価を踏まえた上で、MSトンネル室BOPの開放圧力（9.81kPa）に対する裕度、影響（動作しないこと）を説明すること。	建屋の配置図（断面図）を用いて、蒸气流路／圧力伝播等を踏まえ、開放圧力に対するクリップ作動誤差・ばらつき等の評価結果を踏まえた上でMSトンネル室BOP開放圧力に対する裕度、影響を評価し、問題ないことをまとめました。	25	

機器	確認する機能性能	確認結果	備考
オペフロBOP	・開放機能及び耐震性能	・クリップ引張試験により、クリップの耐力を確認し、オペフロBOPに必要なクリップの設置枚数を確認した。 ・油圧ジャッキによる加力試験を実施し、主蒸気配管破断事故相当の開放圧力以下でオペフロBOPが開放することを確認した。 ・油圧ジャッキによる加力試験を実施し、弾性設計用地震動Sd相当の開放圧力でオペフロBOPが開放しないことを確認した。	P 11 ~ 13
MSトンネル室BOP	・開放機能	・空圧による破裂試験を実施し、主蒸気配管破断事故相当の開放圧力以下でMSトンネル室BOPが開放することを確認した。	P 14
	・耐震性能	・加振試験を実施し、弾性設計用地震動Sd及び基準地震動SsでMSトンネル室BOPが開放しないことを確認した。	P 15
オペフロBOP閉止装置	・加振後の作動性能 ・加振後の気密性能	・加振試験を実施し、加振試験後の動作試験で問題なく閉及びオペフロBOP閉止装置が動作することを確認した。 ・加振試験を実施し、加振試験後の気密性能試験で、オペフロBOP閉止装置に原子炉建屋原子炉区域の負圧維持に悪影響を及ぼさない気密性能であることを確認した。	P 16 ~ 18

上記内容の試験を実施し、各ブローアウトパネル関連設備の機能性能を確認し成立性があることを確認した。

## 1. 試験方法

試験は、クリップ取付部を模擬した鋼材にクリップを取り付け、引張試験機にて鋼材を引っ張ることにより、クリップの耐力を測定する。

なお、試験体数は、建築構造部材の耐力試験で一般的に用いられ、また建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説等の規格を踏まえて3体とする。

・引張試験機：オートグラフ試験機

・制御方式：変位制御（引張速度 2 mm/min）

表1 試験用クリップ一覧

試験体NO	材質	幅	形状	変位速度	試験体数
クリップ1	SUS304	約75 mm	既設と同じ	2 mm/min	3
クリップ2		約37.5 mm			3

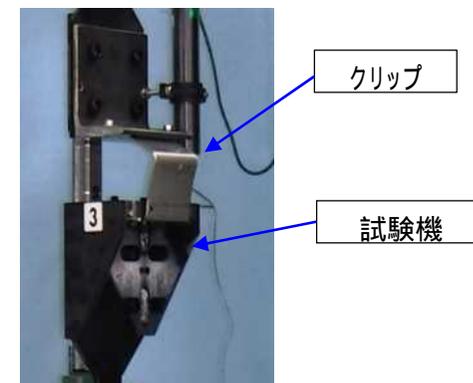


図1 クリップ引張試験概要図

## 2. 試験結果

クリップの最大耐力は表2の通り。なお、クリップは約  mm引っ張られるとクリップ取付部から外れる（クリップは開放の抵抗とならない）ことを確認した。

表2 クリップ引張試験結果

耐力 (試験体数は3個)		クリップ1 幅約75 mm	クリップ2 幅約37.5 mm
		荷重(N)	
最大耐力	1回目	1803	1206
	2回目	1807	1146
	3回目	1812	1115
	平均値	1807	1156
標準偏差		4	38
最大耐力(平均) + 3		1819	1270
最小耐力(平均) - 3		1795	1042

### 1. 試験方法

オペフロBOP（取付け枠及び新たに設計したクリップを含む）を設置した実機大のモックアップ試験体を製作し、開放荷重を確認するため、油圧ジャッキを用いた加力による開放試験を実施する。

試験項目は以下の通り

- (1) 開放機能確認：オペフロBOPの開放機能確認
- (2) 閉維持機能確認：オペフロBOPの閉維持機能の確認

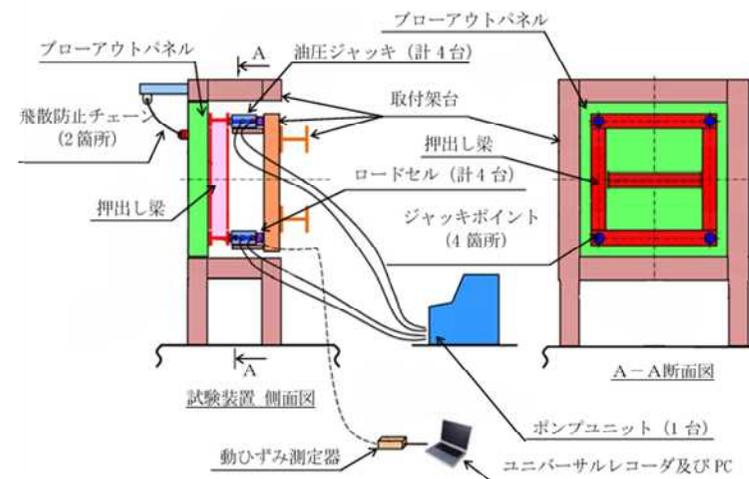


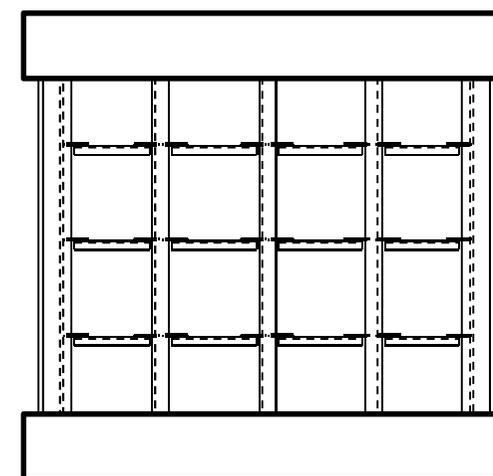
図2 試験装置概要図

表3 試験体仕様

型式	既存パネル模擬
概算質量	1500 kg
サイズ	幅4260 mm×高さ4160 mm
クリップ取付け箇所	18 箇所
シール材	シリコンシーラント

表4 クリップ取付状況

	クリップの配置及び個数		クリップ寸法	備考
	上	下	幅	
開放試験体 1～3			約37.5mm (  個 )	
			約75mm (  個 )	



：幅約75.0mmのクリップ  
：幅約37.5mmのクリップ

図3 クリップ取付状況

## 2. 試験結果

### (1) 開放機能の確認結果

設計条件としたクリップ数18個（幅約37.5 mmを□個，幅約75 mmを□個）の実機大モックアップ試験体に対して，油圧ジャッキによる開放試験を実施し，オペフロBOPが設計条件の荷重（52.2 kN）以下にて開放することを確認した。

表5 オペフロBOPの開放機能の確認結果

項目	測定値 (kN)	許容値 (kN) (3.43 kPa相当値)	判定	備考 相当する差圧値 (kPa)
開放試験体1		52.2		
開放試験体2				
開放試験体3				

### (2) 閉維持機能の確認結果

開放機能確認結果より，オペフロBOPの開放荷重は S d 荷重相当値（約19.2 kN）以上であることを確認した。

表6 オペフロBOPの閉維持機能の確認結果

項目	測定値 (kN)	判定値(kN) (S d 荷重相当)	判定
開放試験体1		19.2	
開放試験体2			
開放試験体3			

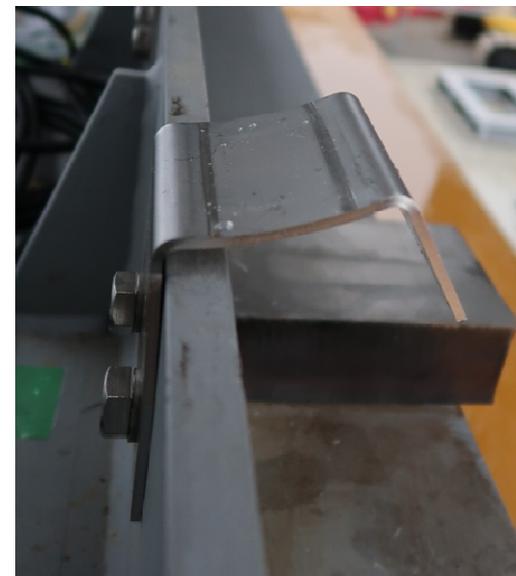


図4 クリップ開放状況

### 1. 試験方法

設計作動圧の9.81kPa以下で開放されることを確認するため、圧縮空気による破裂試験を実施する。

さらに、加振試験により、MSトンネル室BOPの耐震性能を確認する。

本試験での試験項目は以下の通り

- (1) 破裂試験 : MSトンネル室BOPの破裂圧力の確認
- (2) 加振試験 : MSトンネル室BOPの耐震性能の確認

### 2. 破裂試験概要

#### (1) 試験概要

MSトンネル室BOPが、設計差圧（9.81kPa）により自動的に開放できることを破裂試験にて確認する。

破裂試験装置の概要を図5に示す。ラプチャーパネルは、実機に取り付けられているもの（サイズは約780mm×約780mm、密度は材料であるアルミの約 $2.7 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ）と同一仕様を使用する。

装置内へ圧縮空気を送り、開放圧力を確認する。なお、再現性確認のため3回実施する。

#### (2) 試験結果

破裂試験結果を以下に示す。破裂圧力は7.53kPa～7.85kPaであり、設計差圧以下（9.81kPa以下）にて開放することを確認した。

表7 破裂試験結果

項目	測定値 (kPa)	許容値 (kPa)	判定
MSトンネル室BOP試験体1	7.74	9.81	
MSトンネル室BOP試験体2	7.85		
MSトンネル室BOP試験体3	7.53		

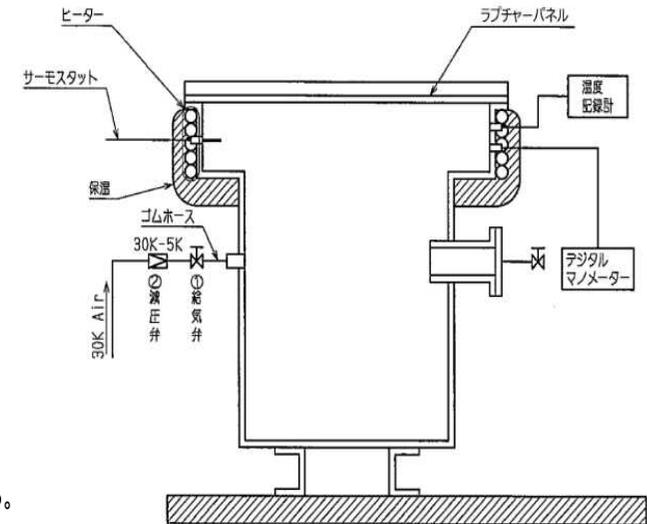


図5 破裂試験装置概要図

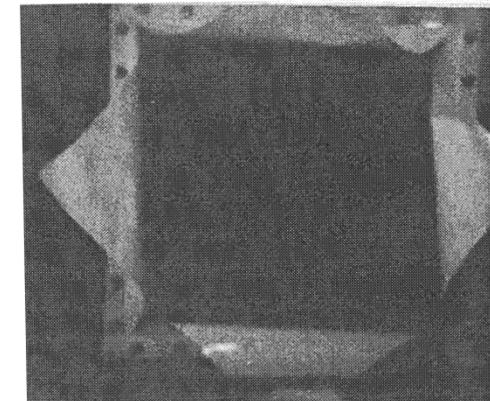


図6 MSトンネル室BOP開放試験状況

### 3. 加振試験概要

#### (1)入力加振波

弾性設計用地震動  $S_d$  を包絡する模擬地震波 ( X , Y , Z の三方向 ) 及び基準地震動  $S_s$  を包絡する模擬地震波 ( X , Y , Z の三方向 )

#### (2) 試験手順

加振試験用枠体に固定した実機相当のMSトンネル室BOPを振動台に設置し, 加振試験を実施する。加振後, MSトンネル室BOPの亀裂等の有無を目視で確認すると共に, 測定された加速度と重量から算定される荷重が判定値以下であることを確認する。

#### (3) 加振試験結果

加振試験後, MSトンネル室BOPに亀裂等の異常はなかった。

加振試験による  $S_d$  荷重の測定値は   $\text{kN/m}^2$  ~   $\text{kN/m}^2$  であり, MSトンネル室BOPの開放荷重 (  $5.89 \text{ kN/m}^2$  ) 以下であることを確認した。

また, 加振試験による  $S_s$  荷重の測定値は   $\text{kN/m}^2$  ~   $\text{kN/m}^2$  であり, MSトンネル室BOPの開放荷重 (  $5.89 \text{ kN/m}^2$  ) 以下であることを確認した。

表8 MSトンネル室BOPの加振試験結果

項目		測定値 ( $\text{kN/m}^2$ )	判定値 ( $\text{kN/m}^2$ ) (設計開放荷重)	判定
Sd	MSトンネル室BOP試験体 1	<input type="text"/>	5.89	
	MSトンネル室BOP試験体 2			
	MSトンネル室BOP試験体 3			
Ss	MSトンネル室BOP試験体 1	<input type="text"/>	5.89	
	MSトンネル室BOP試験体 2			
	MSトンネル室BOP試験体 3			



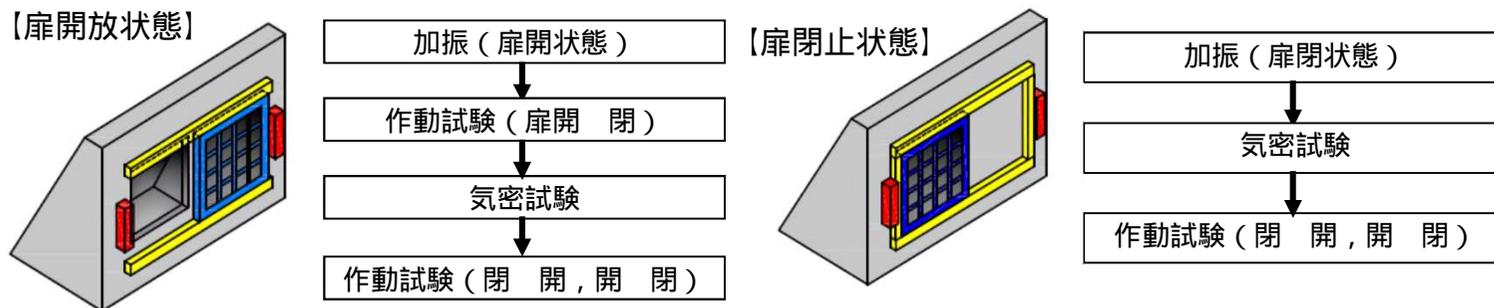
図7 MSトンネル室BOP加振試験概要図

## 1. 試験方法

基準地震動  $S_s$  加振波による加振を行い、オペフロBOP閉止装置に要求される機能が確保されていることを確認する。  
 加振後の動作確認試験：オペフロBOP閉止装置が開放状態及び閉止状態において、動作可能であることを確認する。  
 加振後の気密性能試験：オペフロBOP閉止装置が閉止状態において、気密性を確保していることを確認する。

## 2. 試験概要

- (1)入力加振波：基準地震動  $S_s$  を包絡する模擬地震波（X，Y，Zの三方向）  
 以下のフローに従い、動作確認及び気密性能の確認を行う。
- (2)加振試験手順：



### (3)気密性能試験

JIS A 1516「建具の気密性試験方法」に準拠して実施する。排風機により試験容器内の空気を排出することにより試験体前後に圧力差を生じさせ試験体のシール部から試験容器へ流入する通気量を測定する。

$q = Q / A$   
 $q$ ：通気量（ $m^3/h \cdot m^2$ ）  
 $Q$ ：通過した空気量（ $m^3/h$ ）  
 （20，1,013hPa換算値）  
 $A$ ：試験体の内のり面積（ $m^2$ ）  
 JIS A 1516「建具の気密性試験方法」に準拠

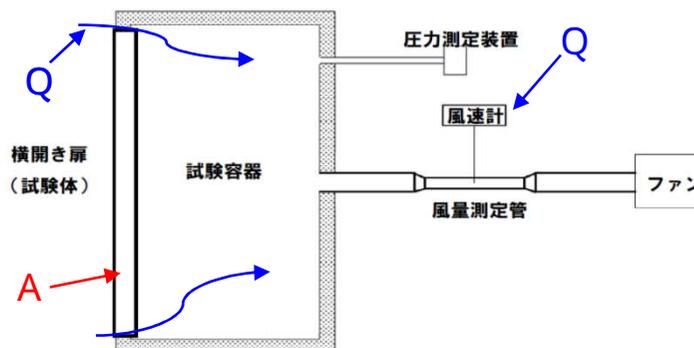


図8 気密試験装置概要図

### 3.試験結果

#### (1) 加振後の動作確認試験結果

扉開状態及び扉閉状態にて基準地震動  $S_s$  相当の加振力で加振し、扉及び門の動作を確認した結果、動作に問題はなく、動作時間は性能目標を満足していることを確認した。また、手動動作においても、問題なく動作することを確認した。

表9 オペフロBOP閉止装置加振後の扉の動作試験結果

加振条件	電動（動作時間）				手動
	開放 閉止		閉止 開放		
	性能目標	結果	性能目標	結果	
$S_s$	120秒以内 <sup>1</sup>	87秒	120秒以内 <sup>1</sup>	87秒	異常なし <sup>2</sup>

- 1 門ロック解除開始から扉動作完了まで
- 2 開放→閉止について実施

表10 オペフロBOP閉止装置加振後の門の動作試験結果

加振条件	扉の初期状態	門位置	電動（動作時間）				手動	
			引抜き時		挿入時		引抜き時	挿入時
			性能目標	結果	性能目標	結果		
$S_s$	開	扉開側	約20秒	20秒	約20秒	20秒	異常なし	
		扉閉側		20秒		20秒		
	閉	扉開側		20秒		20秒		
		扉閉側		20秒		20秒		



図9 オペフロBOP閉止装置加振試験状況

## (2) 気密性能試験結果

扉開状態及び扉閉状態にて基準地震動 S s 相当の加振力で加振した後，気密試験を実施し，気密性能目標を満足していることを確認した。

表11 オペフロBOP閉止装置加振試験後の気密性能試験結果

扉 (初期状態)	63 Pa時の通気量 (m <sup>3</sup> /h・m <sup>2</sup> )	備考
開	<input type="text"/>	扉を電動にて閉止して試験実施*1

\*1 扉開状態の加振試験後に閉止して実施した気密試験結果が、扉閉状態の加振試験後に実施した気密試験結果よりも通気量が多い結果となった為、扉開の試験結果のみ記載



図10 オペフロBOP閉止装置気密試験状況

### < 原子炉建屋原子炉区域としての負圧達成について >

今回のオペフロBOP閉止装置単体での気密性能試験結果から，装置をブローアウトパネル部に設置した場合の原子炉建屋原子炉区域の負圧達成可否について評価した結果，推定インリーク量  m<sup>3</sup>/hは，非常用ガス処理系定格容量（2000 m<sup>3</sup>/h）を十分に下回るため，非常用ガス処理系にて63 Pa以上の負圧を達成可能である。

[既設原子炉建屋原子炉区域の推定インリーク量]

・約1470 m<sup>3</sup>/h（63 Pa時のインリーク量）

[オペフロBOP閉止装置の合計台数]

・4台

[オペフロBOP閉止装置4台設置時の推定インリーク量]

m<sup>2</sup> × 4台 ×  m<sup>3</sup>/h・m<sup>2</sup> =  m<sup>3</sup>/h（63 Pa時のインリーク量）

[非常用ガス処理系定格容量]

・2000 m<sup>3</sup>/h（63 Pa時の通気量）

[オペフロBOP閉止装置設置を含めた原子炉建屋原子炉区域の推定 インリーク量]

・1470 m<sup>3</sup>/h +  m<sup>3</sup>/h =  m<sup>3</sup>/h（63 Pa時のインリーク量） < 2000 m<sup>3</sup>/h（非常用ガス処理系定格容量）

# 指摘事項 への回答 クリップ試験体数の妥当性について

## 1. 試験方法

クリップ取付部を模擬した鋼材にクリップを取り付け、引張試験機にて鋼材を引っ張ることにより、クリップの耐力を測定する。

なお、試験体数は、建築構造部材の耐力試験で一般的に用いられ、また建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説等の規格を踏まえて3体とする。

・引張試験機：オートグラフ試験機

・制御方式：変位制御（引張速度 2 mm/min）

表12 試験用クリップ一覧

試験体NO	材質	幅	形状	変位速度	試験体数
クリップ1	SUS304	約75 mm	既設と同じ	2 mm/min	3
クリップ2		約37.5 mm			3

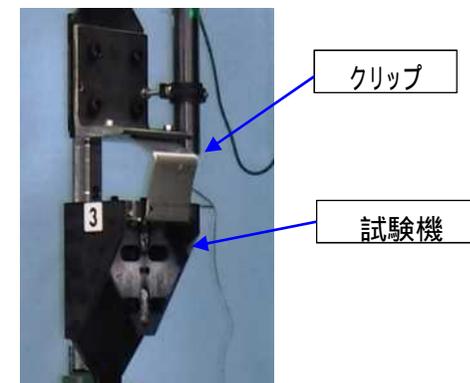


図11 クリップ引張試験概要図

## 2. 試験結果

クリップの最大耐力は表13の通り。なお、クリップは約□mm引っ張られるとクリップ取付部から外れる（クリップは開放の抵抗とならない）ことを確認した。

表13 クリップ引張試験結果

耐力 (試験体数は3個)		クリップ1 幅約75 mm	クリップ2 幅約37.5 mm
		荷重(N)	
最大耐力	1回目	1803	1206
	2回目	1807	1146
	3回目	1812	1115
	平均値	1807	1156
標準偏差		4	38
最大耐力(平均) + 3		1819	1270
最小耐力(平均) - 3		1795	1042

# 指摘事項 への回答 クリップ試験体数の妥当性について

## 3. クリップ試験体数について

先行プラントではクリップ引張試験の試験体数を安全保護系計器のドリフト評価指針（J E A G 4621-2007）を踏まえて30体実施しているが、柏崎刈羽7号機においては建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説等の規格を踏まえて3体で実施している。参考になっている規格の詳細について表14に示す。

表13のクリップ引張試験結果に - 3 または + 3 を考慮すると、開放荷重は約30.8 kN及び約40.2 kNと計算される。このため、S dによる地震荷重約19.2kN及び設計差圧3.43kPa時の開放荷重約52.2 kNに対して、3割程度（約10kN程度）の十分な余裕を有している。また、幅約75mmと幅約37.5mmのクリップの耐力試験結果から幅が半分になると耐力も概ね半分になることから、公差（±1.0mm）がクリップ耐力に与える影響は小さく、ブローアウトパネルの機能は確保される。

図12に示す通り、柏崎刈羽7号機では設計差圧及びS dによる地震荷重に対して試験体3体の引張試験記録からでも裕度が確認されている為、データ拡充をする必要がなく試験体は3体で妥当である。



- 1：クリップ試験の平均値から算定したクリップのみの耐力
- 2：クリップ試験の平均値から算定したクリップ耐力にシール材の抗力、摩擦による抗力を加えたもの
- 3：シール材の抗力、摩擦による抗力を含む

図12 クリップの耐力と地震荷重及び開放荷重との比較

表14 各種規格等における試験体数について

各種規格等	記載内容（抜粋）	備考
建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説	(2) 試験体 試験体は、野縁、クリップ及び野縁受けを実況どおりに組み合わせたものとする。試験体は加力方向及びクリップの掛け方ごとに3体以上	今回のクリップ試験で参考にする規格
発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012年版）	PVB-2320 破壊靱性試験における試験片数と組数 PVB-2321 落重試験 落重試験は2個（以下略） PVB-2322 衝撃試験 （1）試験は3個（以下略） SSB-1000 クラス1支持構造物 SSB-3210 許容荷重 荷重試験における供試体の個数は、同一の材質および形状を有する支持構造物ごとに3個とし、（以下略）	
金属材料のシャルピー衝撃試験方法（JIS Z 2242:2018）	通常、試験片は、一つの試験温度当たり3本用いている。	
安全保護系計器のドリフト評価指針（J E A G 4621-2007）	統計処理を行う為に必要なデータ数が30個以上	先行プラントで参考になっている規格

先行プラントは、P C Vトップヘッドフランジガスケットの圧縮永久ひずみ試験において、裕度が少なく、健全性を証明する為のデータ拡充を目的として当該規格を採用している。先行プラントのクリップ引張試験については上記P C Vトップヘッドフランジの審査結果を踏まえて30体としている。

## 1. 設備概要

オペフロBOP強制開放装置は電動ウインチを用いて、ワイヤロープを巻き取ることにより、ブローアウトパネルを開放する設計としている。

## 2. 性能確認試験

オペフロBOP強制開放装置の機能を確認する為、以下の試験を実施する。

### (1) 試験項目

オペフロBOP強制開放装置による  
オペフロBOPの開放動作試験

### (2) 試験方法

オペフロBOPを模擬した試験体パネル下部にワイヤロープを取り付け、強制開放装置によりワイヤロープを巻き取り、オペフロBOPを模擬した試験体を開放させる。  
オペフロBOPを模擬した試験体が開放した際の荷重をワイヤロープに取り付けたロードセルで測定し、電動ウインチの定格荷重以下の負荷で開放することを確認する。

### (3) 試験結果

オペフロBOPがオペフロBOP強制開放装置の定格荷重以下の荷重で開放することを確認した。また、オペフロBOP強制開放装置の手動操作によりパネルを開放可能であることを確認した。

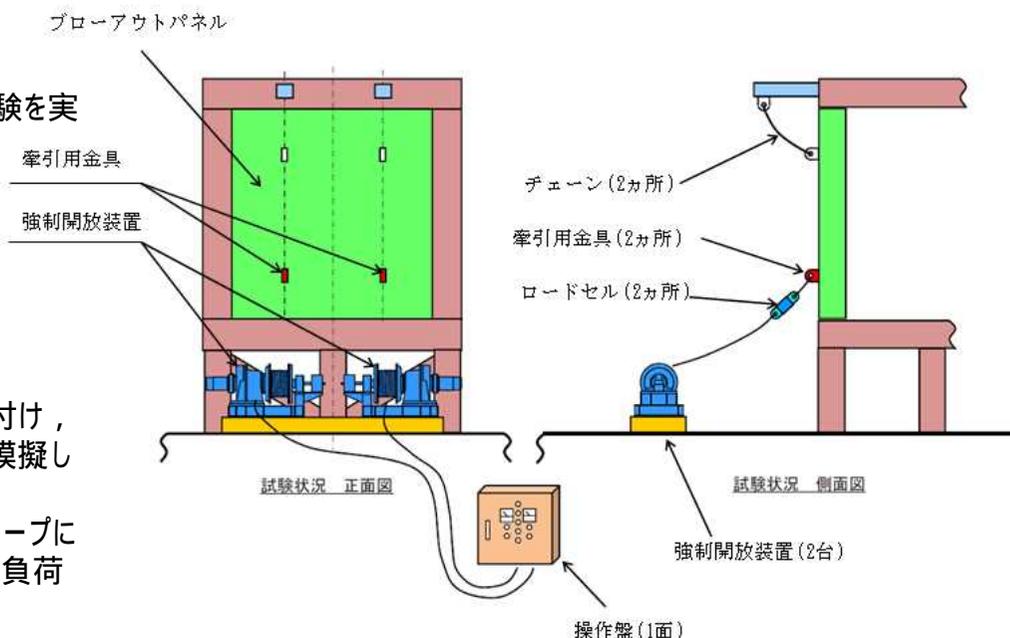


図13 オペフロBOP強制開放装置試験装置概要図

表15 試験結果（電動駆動）

試験対象	測定値 (kN)	許容値(kN) (定格荷重)	判定
試験体1		68.6	○
試験体2			○
試験体3			○

3.オペフロBOP強制開放装置の動作による悪影響について

オペフロBOP強制開放装置によりオペフロBOPが開放した際に飛散しないよう、2本のチェーンにて落下を防止する。

オペフロBOP閉止装置と最も接近する箇所で約□mmのクリアランスを確保しており、オペフロBOP閉止装置への干渉は発生しない。

オペフロBOPを吊ることにより生じるチェーンの伸びについて考慮する。

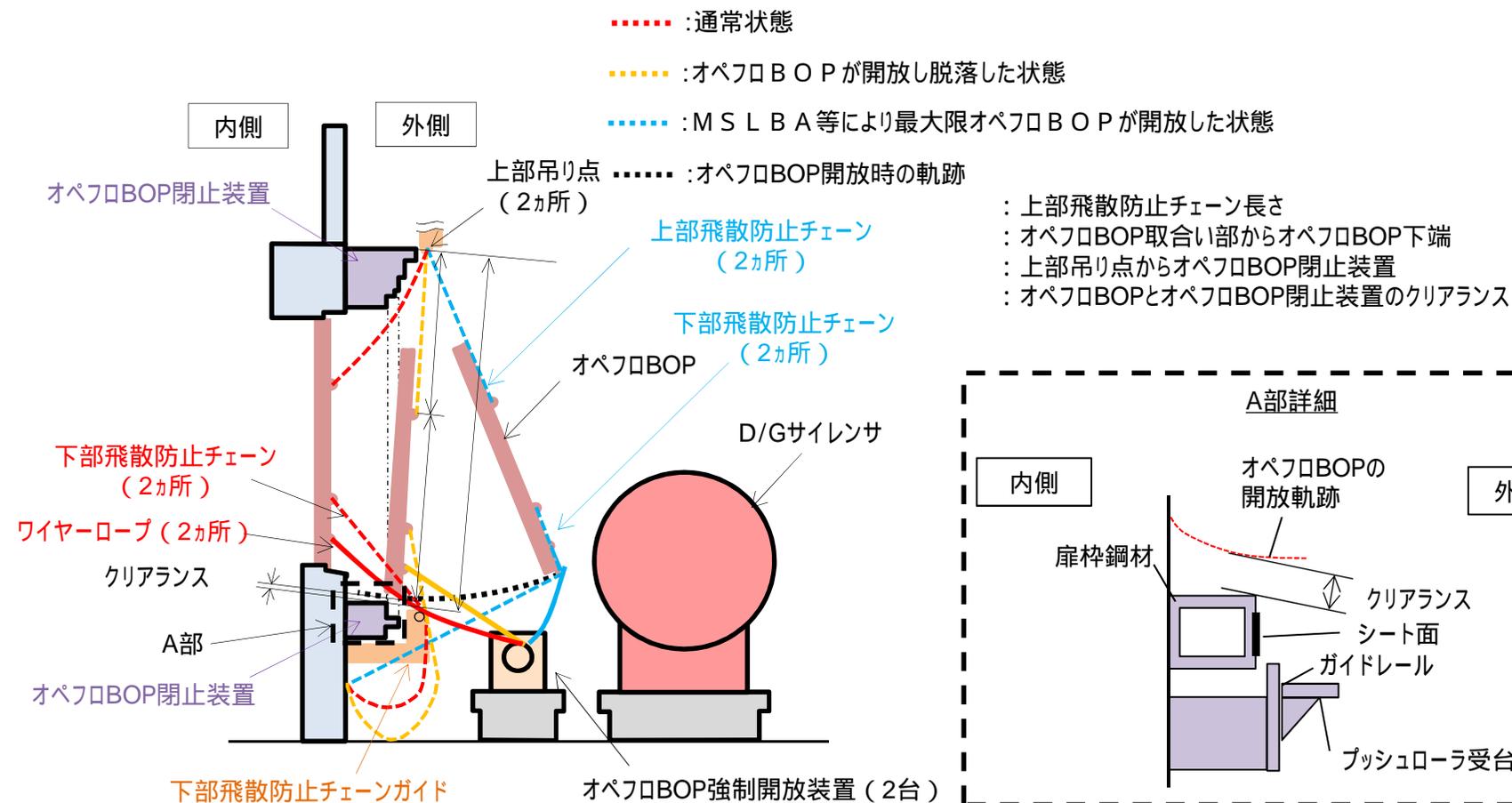


図14 オペフロBOP開放時の挙動概要図

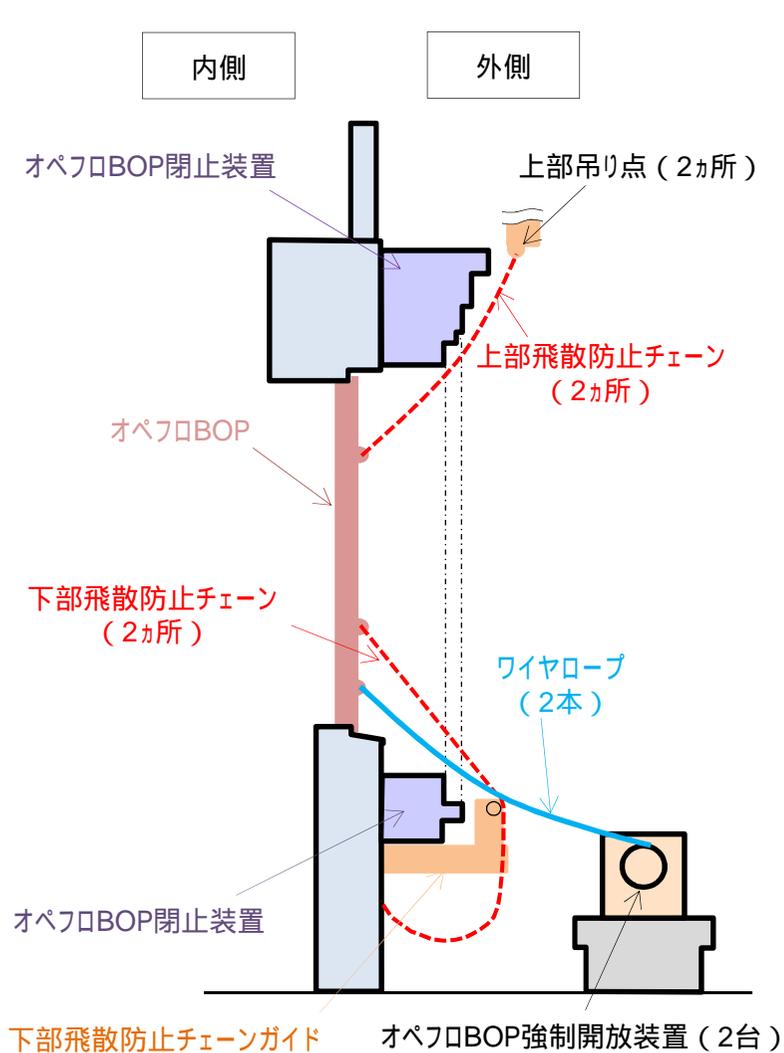


図15 オペフロBOP関連設備通常状態側面図

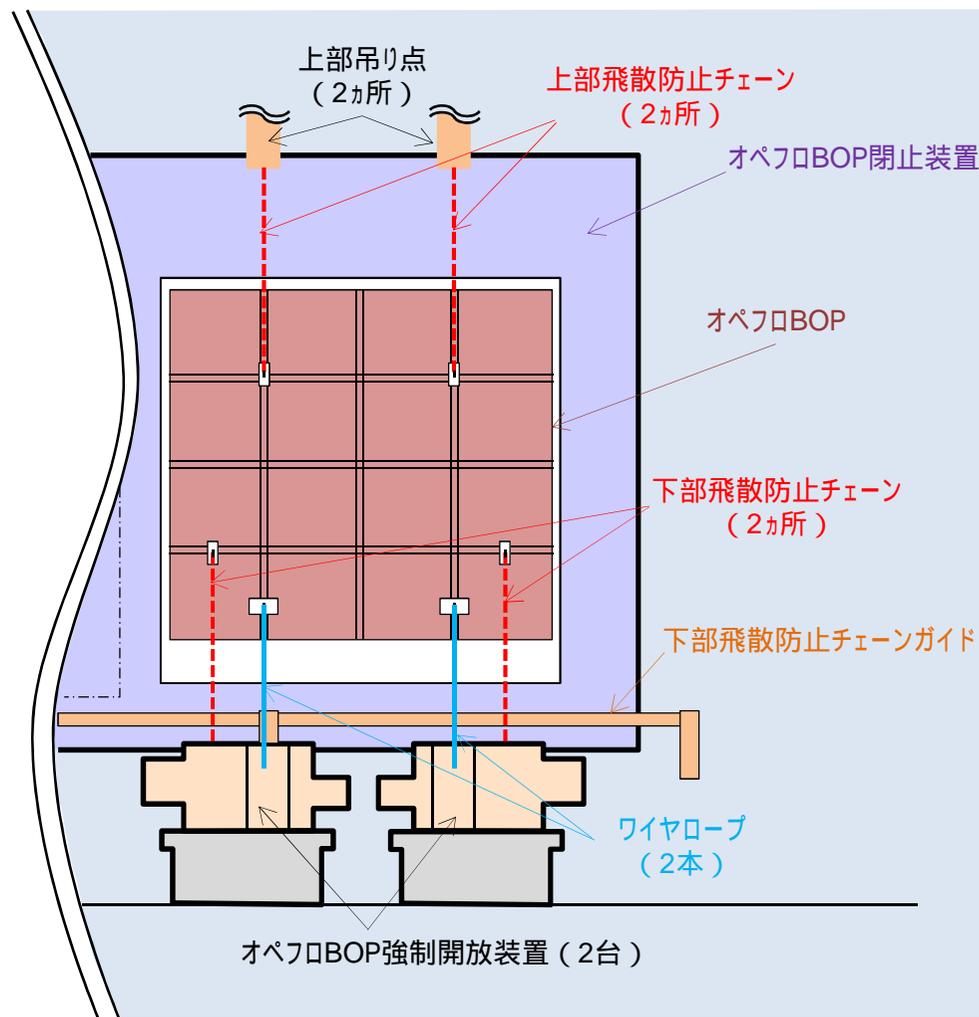


図16 オペフロBOP関連設備通常状態正面図

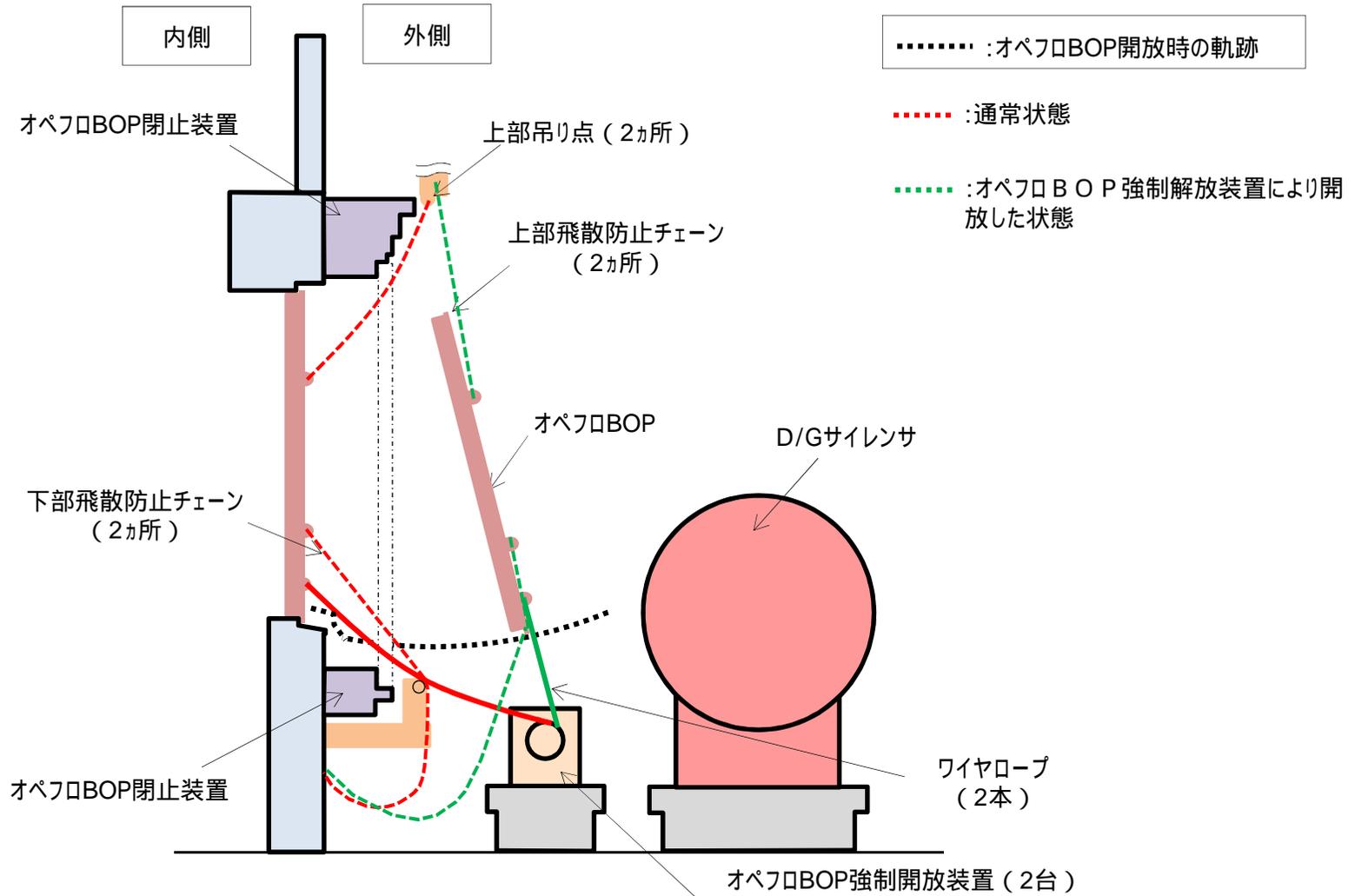


図17 オペフロBOP強制開放装置により巻取り状態図

1. 概要

- IS-LOCAにより建屋内の圧力が上昇した際のオペフロBOPの開放圧力のばらつきを踏まえたうえで，MSトンネル室BOPへの影響（開放の有無）を確認する。

2. 評価方針

- IS-LOCA時の蒸気伝播による流路圧損を評価し，オペフロBOPが開放する際にMSトンネル室BOPが開放圧力に達していないことを確認する。
- ISLOCA時の流路は図18に示す通り，R/B 2Fにてオペフロ方面とMSトンネル室方面に分岐し，また，3Fにて再度分岐する。本評価では，オペフロ方面の流路圧損（ $P_1$ ， $P_2$ ）を評価し，各分岐点での圧力を求める。MSトンネル室の圧力は各分岐点からの流路圧損により分岐点の値より小さくなると考えられるが，評価上は各分岐点の圧力がそのままMSトンネル室室BOPに加わるものとして評価する。
- 本評価においては，オペフロBOPの開放圧力のばらつきを考慮し，最もMSトンネル室付近の圧力が高くなるよう，設計値である3.43kPaと仮定する（表16）。

表16 オペフロBOP開放の設計値と試験結果

項目	相当する差圧値 (kPa)
設計値	3.43
開放試験体1	
開放試験体2	
開放試験体3	

開放試験にて設計値以下で開放する結果が得られているが，本評価では，MSトンネル室BOPに加わる圧力が高くなるよう，開放設定圧力を3.43kPaと設定する。

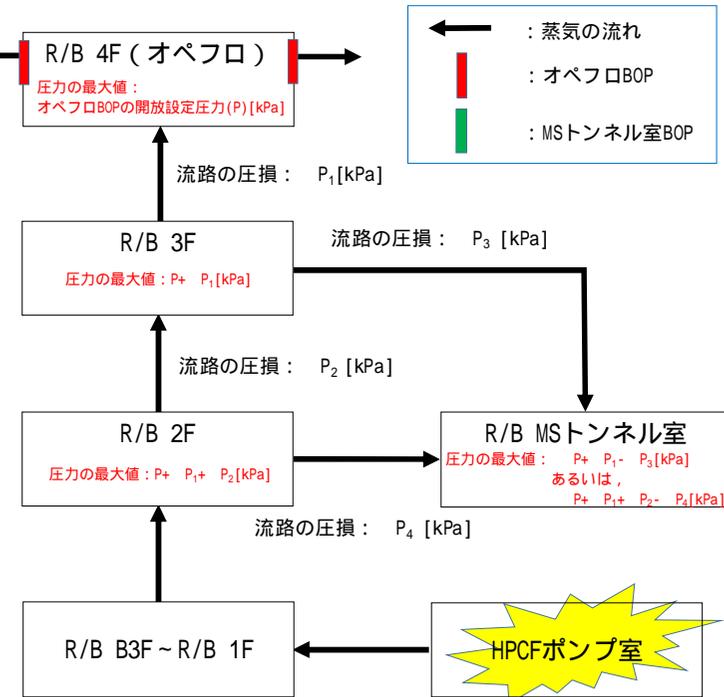


図18 IS-LOCA時における蒸気伝播の概略図

3. 評価結果

- オペフロ開放圧力に到達した際、各分岐点の圧力は3Fで3.43kPa（3.434kPa）、2Fで3.44kPa（3.438kPa）となる。これは、MSトンネル室のBOPの開放圧力である5.89kPaを上回らないことから、MSトンネル室BOPが開放しないことが確認された。

耐震性に関する論点整理  
【論点3】地震荷重と風荷重の組み合わせについて

# 【論点3】地震荷重と風荷重の組み合わせについて

## 1. 基本方針

- ・既工事認可申請においては、地震と風の組み合わせは考慮していない。
- ・新規制基準制定後の設置許可申請においては、組み合わせの考え方を整理。組み合わせる意味のある自然現象に関しては、極値同士の組み合わせを考慮。
- ・地震と風については、極値同士の組み合わせを考慮しない方針としたものの、平均的な負荷との組み合わせは考慮する。

(地震) [  $10^{-4}$  / 年 ] × (風) [  $10^{-2}$  / 年 ] × (平均的な負荷) … 考慮しない

(地震) [  $10^{-4}$  / 年 ] × (その他事象の極値) × (平均的な風) … 考慮する

表1 先行電力との比較

	設置変更許可（6条）まとめ資料	工事計画認可申請書耐震計算書記載の方針
柏崎刈羽 7号機	<p>自然現象及び人為事象ごとに影響モード（荷重、閉塞、熱影響等）を整理し、事象の特性（相関性、発生頻度等）を踏まえて、全ての組み合わせを網羅的に検討し、影響が増長する組み合わせを特定。</p> <p>（地震、風については「同時に発生する可能性が極めて低いもの」と評価）</p>	<p>左記の方針を踏まえて、地震を主事象とし風を副事象とする極値同士の組み合わせは考慮しない。</p>
玄海3号機 （先行）	<p>地震又は津波と風については、それぞれ最大荷重の継続時間が短く同時に発生する確率が低いものの、発電用原子炉施設の重要性を鑑み、地震荷重又は津波荷重に対して風荷重の影響が大きい構造及び形状の施設について適切に組み合わせる。</p>	<p>左記の方針を踏まえて、風荷重の影響の大きいと考えられる鉄骨造について、風荷重と地震荷重を組み合わせる。（鉄筋コンクリート構造については風荷重と地震荷重を組み合わせない）</p>

# 地震荷重と風荷重の組み合わせについて（基本的な考え方）

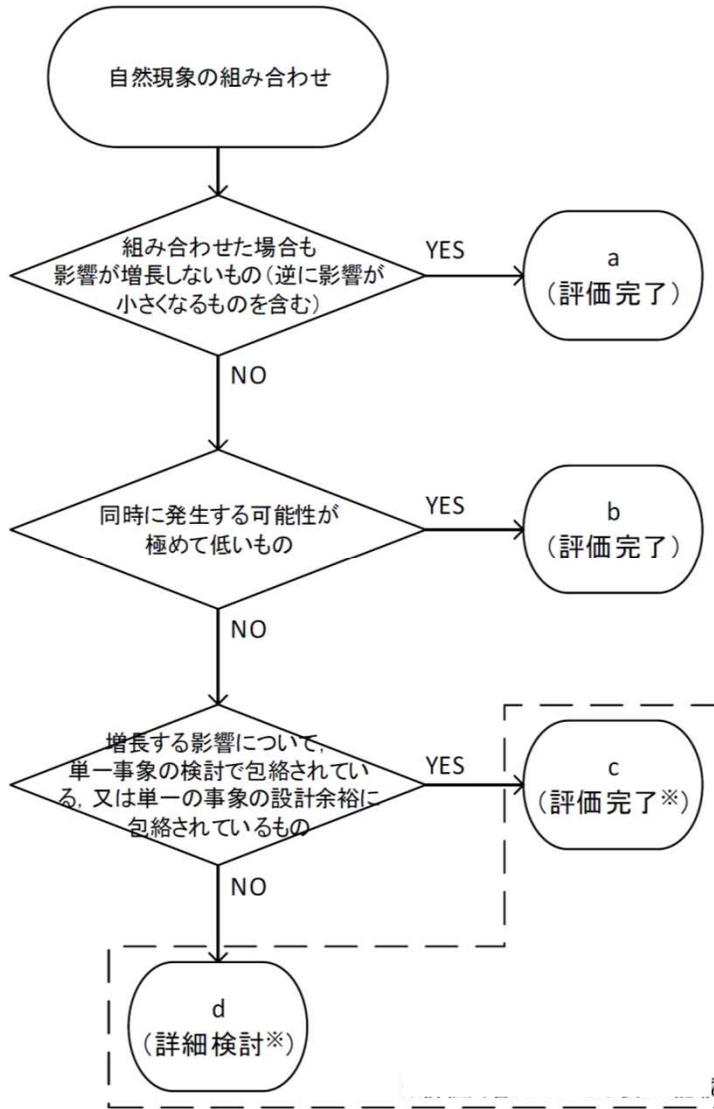


図1 影響パターン選定フロー

・左図の選定フローに従い、全ての自然現象の組み合わせ（ ${}_nC_2$ 通り）のうち、詳細検討が必要な組み合わせを抽出。

・事象の継続時間が短時間である事象については、「同時に発生する可能性が極めて低いもの」として、「b」に移行し、評価完了としている。

・同時発生の可能性が極めて低い組み合わせの判断基準は「原子力発電所 耐震設計技術指針（JEAG4601）」を参考に $10^{-7}$  / 年と設定。

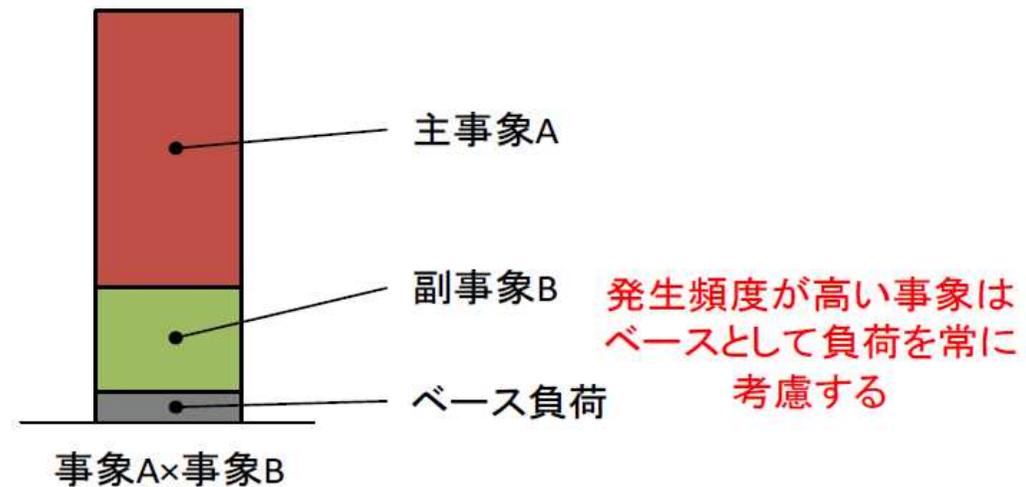


図2 自然現象の極値同士の組み合わせとベース負荷の考え方

# 地震荷重と風荷重の組み合わせについて（主：地震、副：風）

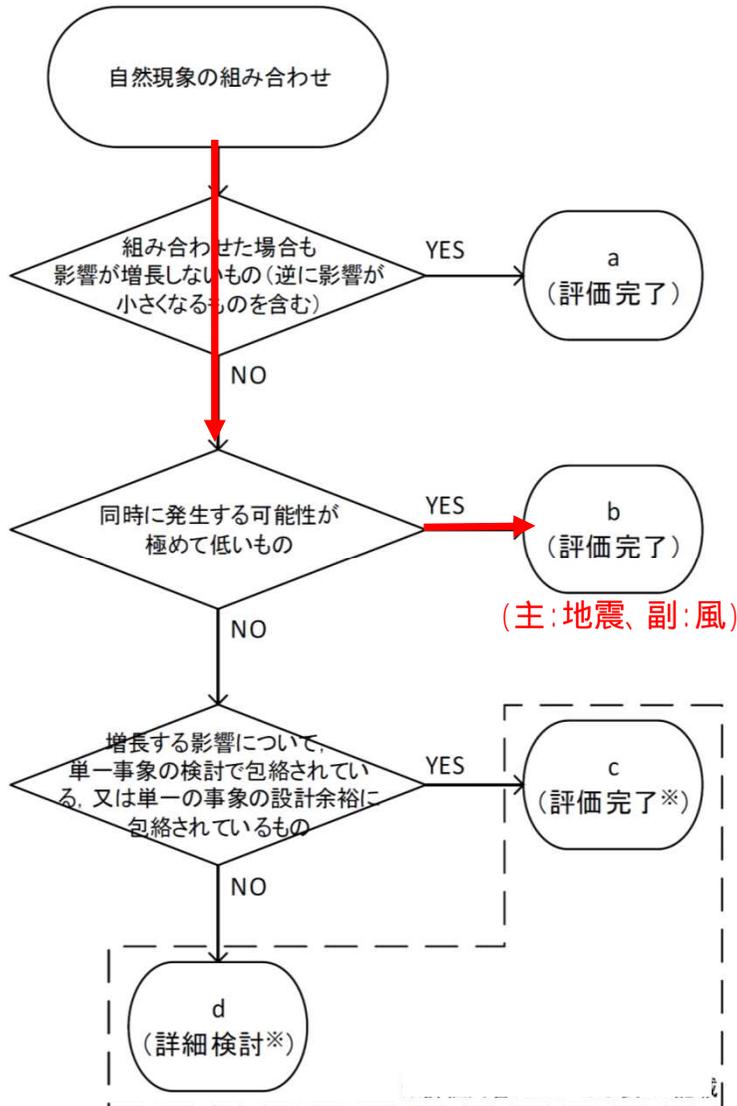


図3 地震（主）、風（副）の判定結果

・地震の年超過確率（ $10^{-4}$  / 年）と風の年超過確率（ $10^{-2}$  / 年）と風の継続時間（10分  $2 \times 10^{-5}$  年）を掛け合わせた結果が、 $2 \times 10^{-11}$  / 年となり、判断基準の $10^{-7}$  / 年を下回っていることから、地震と風の組み合わせについては、「同時に発生する可能性が極めて低いもの」として扱っている。

・そのため、柏崎刈羽7号機においては、地震を主事象とし、風を副事象とする極値同士の組み合わせは考慮していない。

・ただし、地震を主事象とし、他の事象（例えば、雪）を副事象とした組み合わせを考える際、年間を通じて生じうる平均的な風の荷重を考慮している。

## 地震荷重と風荷重の組み合わせについて（平均的な風速）

・地震（主事象）と雪（副事象）に重ね合わせる平均的な風速は、季節変動による影響等を考慮し、新潟市の冬季観測記録（1961年～2012年）をもとに、4.1m/sを設定する。

【参考】柏崎市の冬季平均風速（1978年～2012年）：2.5m/s

・なお、この組み合わせは

- 主事象である地震の強度は年超過確率 $10^{-4}$ に相当する強度
- 副事象である積雪の強度は年超過確率 $10^{-2}$ に相当する強度
- 平均的な風速4.1m/sは常時発生しているものと考え、年超過確率は1と見なす  
となり、これらを掛け合わせたものは、 $10^{-6}$ に相当する強度と言える

表2 1961年～2012年の月別平均風速（ ）

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
月別平均風速 (m/s)	4.7	4.4	3.9	3.6	3.3	3.0	2.9	3.0	3.1	3.2	3.7	4.4

（ ）各年度の各月別平均値をさらに観測期間（1961年～2012年）で平均化した風速値

# 地震荷重と風荷重の組み合わせについて（荷重の比較）

柏崎刈羽7号機原子炉建屋及び主排気筒における基準地震動による荷重と平均的な風速による荷重（算定式：次ページ参照）の比較を示す。

表1 原子炉建屋（T.M.S.L 49.7m～38.2m、部材番号1相当（最も風による影響が大きいと考えられる部材として代表））を対象とした地震荷重と風荷重の比較

荷重設定の条件		せん断力 [kN]	地震荷重基本ケースとのせん断力の比
風荷重 （平均的な荷重）	平均的な風速4.1m/s（1961年～2012年までの新潟市の冬季平均風速）	28	0.00040
地震荷重（主）+ 積雪荷重（副）	基準地震動（基本ケース最大値）	71700	1
	基準地震動（パラスタケース <sup>1</sup> 最大値）	74400	1.03766

表2 主排気筒を対象とした地震荷重と風荷重の比較

荷重設定の条件		せん断力 [kN]	地震荷重基本ケースとのせん断力の比
風荷重 （平均的な荷重）	平均的な風速4.1m/s（1961年～2012年までの新潟市の冬季平均風速）	11	0.00175
地震荷重（主）	基準地震動（基本ケース最大値）	6300	1
	基準地震動（パラスタケース最大値）	6900	1.09524

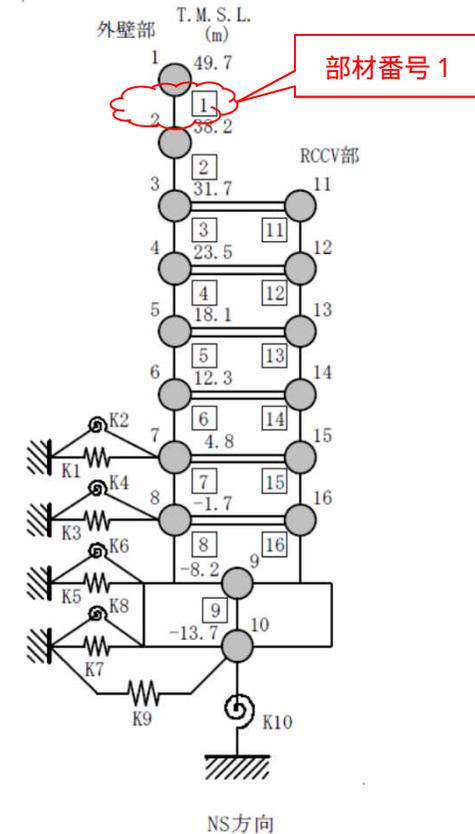


表1、2より、原子炉建屋及び主排気筒に加わる風荷重は基準地震動（基本ケース）と比較し、それぞれ、0.04%、0.20%であり、基準地震動（基本ケース）と風荷重を組み合わせても、基準地震動（パラスタケース）に包絡される。以上より、柏崎刈羽7号機においては、地震荷重と風荷重の組み合わせは考慮するものの、耐震評価においては、パラスタケースで代表させる方針とする。

（ 1 パラスタケース：材料物性の不確かさを考慮する解析ケース）

## 【参考】地震荷重と風荷重の組み合わせについて（荷重の計算方法）

・7号機原子炉建屋及び7号機主排気筒における風荷重の算定式を以下に示す。

$$P = q \cdot C_f \cdot A \quad \cdots \text{(式1)}$$

[記号の定義]

P：風荷重

q：速度圧 (N/m<sup>2</sup>)

$$q = 0.6 \cdot E \cdot V_0^2$$

V<sub>0</sub>：風速 (m/s)

E：国土交通大臣が定める方法により算出した数値 = E<sub>r</sub><sup>2</sup> · G<sub>f</sub>

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G) \quad (H \leq Z_b)$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H / Z_G) \quad (H > Z_b)$$

H：建築物の高さ (m)

Z<sub>b</sub>, Z<sub>G</sub>, : 地表面粗度区分に応じて示される数値

(当該地の地表面粗度区分 : Z<sub>b</sub> = 5m、Z<sub>G</sub> = 350m、 = 0.15)

G<sub>f</sub>：ガスト影響係数

C<sub>f</sub>：風力係数

A：見付面積 (m<sup>2</sup>)

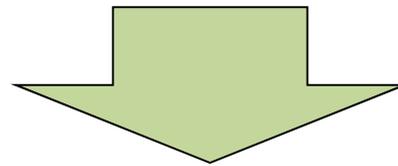
・前ページに示す7号機原子炉建屋及び7号機主排気筒の地震荷重及び風荷重については、以下の ~ に基づくものである。

7号機原子炉建屋の地震荷重は、 -2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」の補足説明資料別紙3に基づくものである。

7号機主排気筒の風荷重は、入力荷重の総和 (45°方向) であり、 -2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に示す風荷重と同一手法により算定しており、(式1)に基づくものである。

7号機主排気筒の地震荷重は、主排気筒基礎における最大応答せん断力の総和であり、 -2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」の補足説明資料別紙3に基づくものである。

- ✓ 今まで述べてきた通り、設置許可時の外部事象の組み合わせの基本的考え方に基づき、考慮すべき組み合わせを整理し評価を行っている。
- ✓ 風に関しては、地震（主事象）と積雪（副事象）に重ね合わせる平均的な風速として考慮している。



- ただし、設備の形状により積雪荷重を考慮しないで良い設備もあることから、該当する設備を抽出し、地震荷重と風荷重を考慮した場合に、どの程度の裕度を有するかを確認していく方針とする。

# < 参考 > 第769回審査会合にて説明した主な説明事項



主な説明事項		
[ 1 ] 詳細設計段階における設置変更 許可審査時からの設計変更	1	中央制御室待避室の遮蔽設計の見直し
	2	5号機原子炉建屋内緊急時対策所の遮蔽設計の見直し
	3	5号機原子炉建屋内緊急時対策所可搬型電源設備の保管方法の変更
	4	復水移送ポンプ周りの手動弁の電動弁化及び屋内アクセスルートの見直し
[ 2 ] 設計方針に関する説明事項	1	使用済燃料貯蔵プール水位の監視
	2	重大事故等時の格納容器評価における評価条件
	3	火災感知器の配置
	4	地下水に対する浸水防護対策
	5	竜巻設計飛来物の感度解析
	6	ブローアウトパネル及びブローアウトパネル閉止装置
[ 3 ] 耐震・強度評価に関する説明事項	1	津波漂流物の衝撃荷重（海水貯留堰）
	2	地盤物性の設定
	3	基礎地盤傾斜による建物・構築物及び機器の耐震性への影響
	4	建物・構築物における地震応答解析モデルの既工認からの変更点
	5	原子炉本体基礎の復元力特性
	6	建物・構築物の応力解析における弾塑性解析の採用
	7	格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答解析モデルのモデル化方針
	8	屋外重要土木建造物のモデル化方針
	9	耐震評価における等価繰返し回数
	10	加振試験に基づく使用済燃料貯蔵ラックの減衰定数の設定
	11	弁の動的機能維持評価（一定の余裕の確保）
	12	燃料集合体の耐震性
	13	制御棒・破損燃料貯蔵ラックにおける排除水体積質量減算の適用
	14	ECCSストレナーの耐震・強度評価への流動解析の適用