

本資料のうち、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。

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6-009 改0
提出年月日	2023年12月20日

ブローアウトパネルに関する論点整理について

TEPCO

2024年1月
東京電力ホールディングス株式会社

【論点】ブローアウトパネルに関する指摘事項

NO	コメント内容	回答	ページ番号	備考
①	BOPを開放しない設計とすることの影響有無の確認項目について主蒸気管破断事故以外にないかも含めて整理し説明すること。	BOPを開放しない設計について影響を確認する事故事象 について主蒸気管破断事故で代表できることを整理しました。	3～4	
②	BOPを開放しない（パネル自体を8枚から7枚）設計について、影響有無を確認した解析条件を示すこと。また閉止する前の解析結果も示すこと。	BOPを開放しない設計について影響を確認した解析 に関する解析条件，および閉止する前の解析結果を明確にしました。	5～11	
③	6号機のBOP及びBOP閉止装置等の設備設計について7号機の設計状況からの違いも含めて説明すること。	BOP及びBOP閉止装置等の7号機との差異 について設計状況からの違いも含めて明確にしました。	12～24	

1. 概要

- BOP を1 枚開放しないことによる影響を評価する際の想定事象の選定

2. 選定手順

- ① 運転時の異常な過渡変化，設計基準事故，重大事故等から，
オペフロBOP を1 枚閉止することにより影響を受ける事象を抽出

【選定基準】

- 原子炉建屋への水蒸気等のエネルギー移行がある事象であること
- 非常用ガス処理系の動作に期待しない事象であること
(オペフロBOPの閉止が前提となる)

- ② 抽出した事象のうち，原子炉建屋内の圧力が最も高くなる事象を想定事象として選定*

注記*：原子炉格納容器の外圧に対する健全性は，
原子炉格納容器の外圧が許容外圧を下回ることをもって確認するため

指摘事項①への回答 BOPを開放しない設計について影響を確認する事故事象 **TEPCO**

3. 選定結果

- ・選定手順より以下 2 事象を抽出
 - 主蒸気管破断 及び 格納容器バイパス
- ・事故時の発生圧力の大きい方を想定事象として選定
 - 主蒸気管破断*

注記* : 格納容器バイパス時の破断流量は約28[kg/s]未満であり、主蒸気管破断時の破断流量（数秒で10,000[kg/s]程度まで上昇）と比較すると小さく、原子炉建屋内の圧力は主蒸気管破断時の圧力に包絡

選定結果（運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故）

事象	原子炉建屋へのエネルギー移行	非常用ガス処理系の動作	オペフロ BOP の開放機能	想定事象
運転時の異常な過渡変化	無	/	/	/
原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き				
出力運転中の制御棒の異常な引き抜き				
原子炉冷却材流量の部分喪失				
外部電源喪失				
給水加熱喪失				
原子炉冷却材流量制御系の誤動作				
負荷の喪失				
主蒸気隔離弁の誤閉止				
給水制御系の故障				
原子炉圧力制御系の故障				
給水流量の全喪失				
設計基準事故	あり	あり	/	/
原子炉冷却材喪失	無	/	/	/
原子炉冷却材流量の喪失	無	/	/	/
制御棒落下	無	/	/	/
放射性気体廃棄物処理施設の破損	無	/	/	/
主蒸気管破断	あり	無	必要	○
燃料集合体の落下	あり	あり	/	/
可燃性ガスの発生	無	/	/	/

選定結果（重大事故等）

事象	原子炉建屋へのエネルギー移行	非常用ガス処理系の動作	オペフロ BOP の開放機能	想定事象
重大事故等（運転中原子炉）	（原子炉格納容器が健全なため、より大きなエネルギーが発生する炉心損傷シナリオに包絡される）	/	/	/
高圧・低圧注水機能喪失				
高圧注水・減圧機能喪失				
全交流動力電源喪失				
崩壊熱除去機能喪失				
原子炉停止機能喪失				
LOCA 時注水機能喪失	あり	無	必要	×*
格納容器バイパス（インターフェイスシステム LOCA）	あり	あり	/	/
炉内気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）、高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱（上記 2 事象を炉心損傷シナリオと呼称する）	あり	あり	/	/
原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用	（事象進展は炉心損傷シナリオと同じ）	/	/	/
水素燃焼				
溶融炉心・コンクリート相互作用				

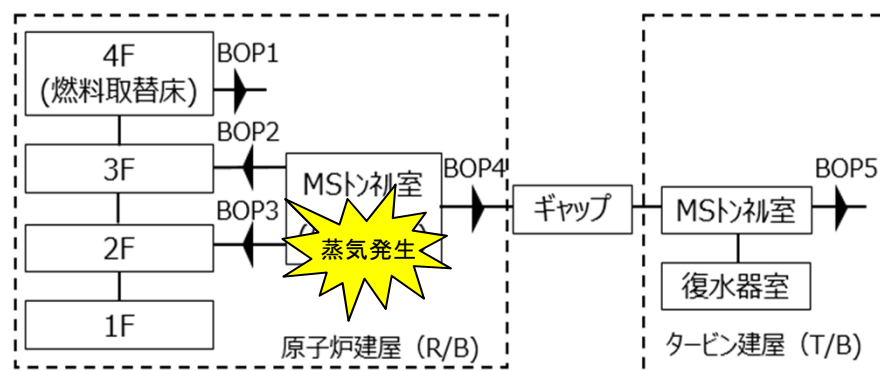
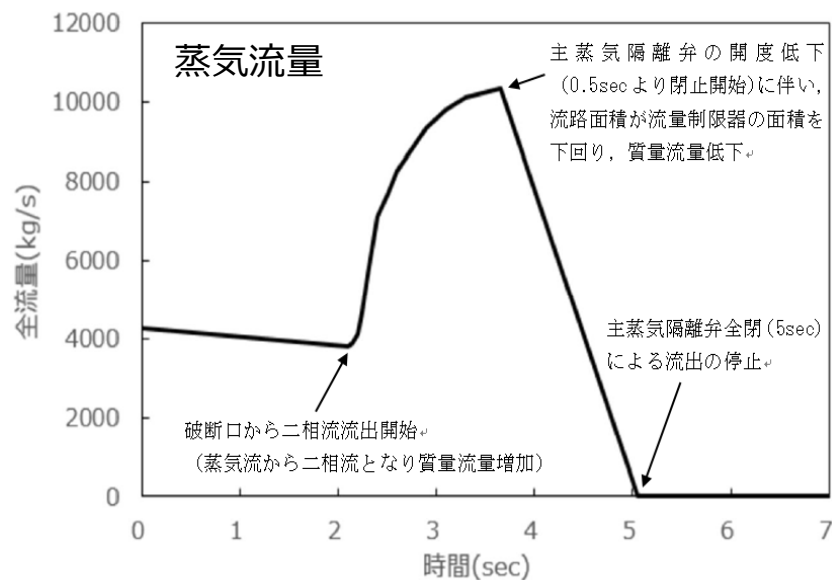
注記* : 原子炉建屋内の圧力は主蒸気管破断時の圧力に包絡されるため、想定事象として選定しない

1. 概要

- 燃料取替床ブローアウトパネル（オペフロBOP）を1枚開放しない場合と全数開放した場合について、主蒸気管破断事故（MSLBA）時の放出蒸気による圧力を解析し、原子炉格納容器の健全性に影響を及ぼさないことを確認

2. 想定定事象

- MSTンネル室に発生する蒸気は、主蒸気隔離弁の開度低下に伴い、事故後4秒前から低下し5秒で流出停止

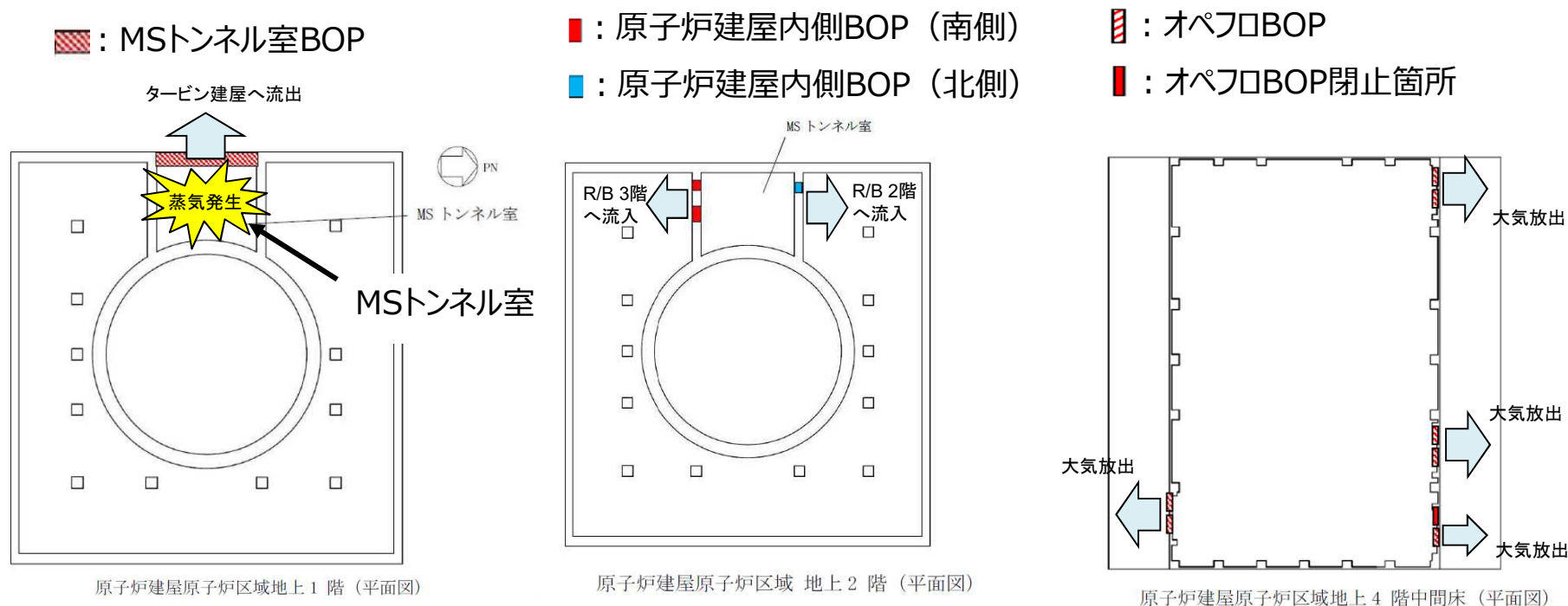


- BOP1 : 燃料取替床ブローアウトパネル
- BOP2 : 原子炉建屋内側ブローアウトパネル (南側)
- BOP3 : 原子炉建屋内側ブローアウトパネル (北側)
- BOP4 : 主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル
- BOP5 : タービン建屋側の主蒸気系トンネル室に設置したブローアウトパネル

2.1 蒸気の流出経路（主蒸気管破断事故時）

発生蒸気は、主蒸気系トンネル室から以下の経路で大気放出すると想定

- 原子炉建屋内側ブローアウトパネル（原子炉建屋内側BOP）を經由し、オペフロBOPから大気中に放出
- 主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル（MSトンネル室BOP）を經由し、タービン建屋から大気中に放出



3. 解析条件

オペフロBOPが1枚開放しないため、オペフロBOPの流路面積等が異なる

項目		オペフロ BOP1枚 開放しない	オペフロ BOP 全数開放	備考
流路面積 と 圧力損失 係数(ζ)	原子炉建屋 1F-2F	53.4m ² , ζ=2.78		圧力損失係 数は流路形 状に合わせて 算出した 値を設定
	原子炉建屋 2F-3F	39.4m ² , ζ=2.78		
	原子炉建屋 3F-4F	42.0m ² , ζ=2.78		
	原子炉建屋 4F-大気(BOP1)*	45.4m ² , ζ=3.91	51.3m ² , ζ=3.91	
	原子炉建屋側主蒸気系トンネル室 -3F(BOP2)	4.3m ² , ζ=2.59		
	原子炉建屋側主蒸気系トンネル室 -2F(BOP3)	4.4m ² , ζ=2.00		
	原子炉建屋側主蒸気系トンネル室 -ギャップ(BOP4)	52.6m ² , ζ=6.15		
	ギャップ-タービン建屋側主蒸気系ト ンネル室	38.8m ² , ζ=2.78		
	タービン建屋側主蒸気系トンネル室 -復水器室	39.2m ² , ζ=2.78		
タービン建屋側主蒸気系トンネル室 -大気(BOP5)	40.5m ² , ζ=2.78			
ブローア ウトパネ ル 開放圧力 (差圧)	燃料取替床ブローアウトパネル (BOP1)	3.53 kPa		-
	原子炉建屋内側ブローアウトパネル (南側)(BOP2)	2.65 kPa		
	原子炉建屋内側ブローアウトパネル (北側)(BOP3)	2.45 kPa		
	主蒸気系トンネル室ブローアウトパ ネル(BOP4)	2.65 kPa		
	タービン建屋側の主蒸気系トンネル 室に設置したブローアウトパネル (BOP5)	3.43 kPa		

1枚開放しない設計とすることにより、オペフロBOPの流路面積が減少する効果を考慮

【オペフロBOPの流路面積】

1枚開放しない場合 : 45.4m²
全数開放する場合 : 51.3m²

項目		オペフロ BOP1枚 開放しない	オペフロ BOP 全数開放	備考
初期条件	原子炉建屋側主蒸気系トンネ ル室	55℃, 湿度 90%		各区画の最 大値を設定
	ギャップ	60℃, 湿度 90%		
	タービン建屋側主蒸気系トンネル室	60℃, 湿度 90%		
	復水器室	50℃, 湿度 90%		
	上記以外	40℃, 湿度 90%		
空間容積	原子炉建屋 1F	1550 m ³		容積低減率 を 0.7 とし て算出
	原子炉建屋 2F	1670 m ³		
	原子炉建屋 3F	2650 m ³		
	原子炉建屋 4F(燃料取替床)	26860 m ³		
	原子炉建屋側主蒸気系トンネル室	1250 m ³		
	ギャップ	240 m ³		
	タービン建屋側主蒸気系トンネル室 復水器室	1420 m ³ 25390 m ³		

4. 評価結果（原子炉格納容器の外圧評価結果）

- 原子炉建屋の各区画の最大圧力は原子炉格納容器の許容外圧以下
- オペフロBOPを1枚開放しない設計とした場合でも，主蒸気管破断事故時の外圧の上昇に対し，原子炉格納容器の健全性を確保



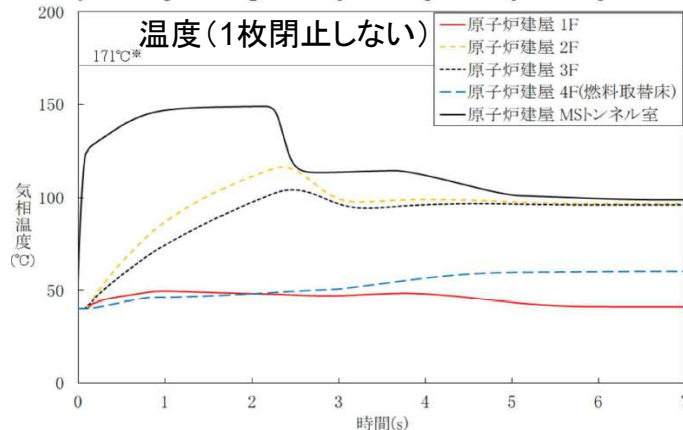
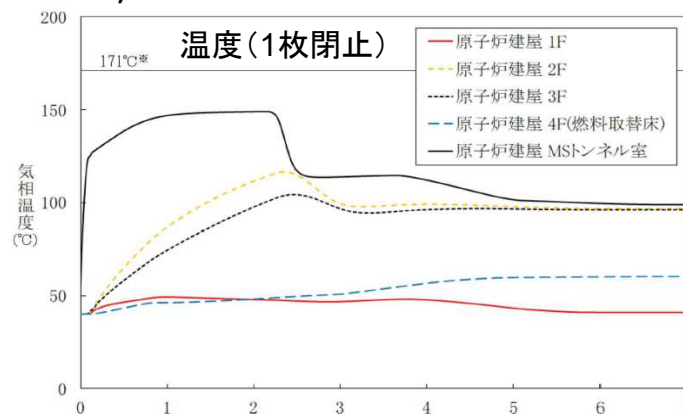
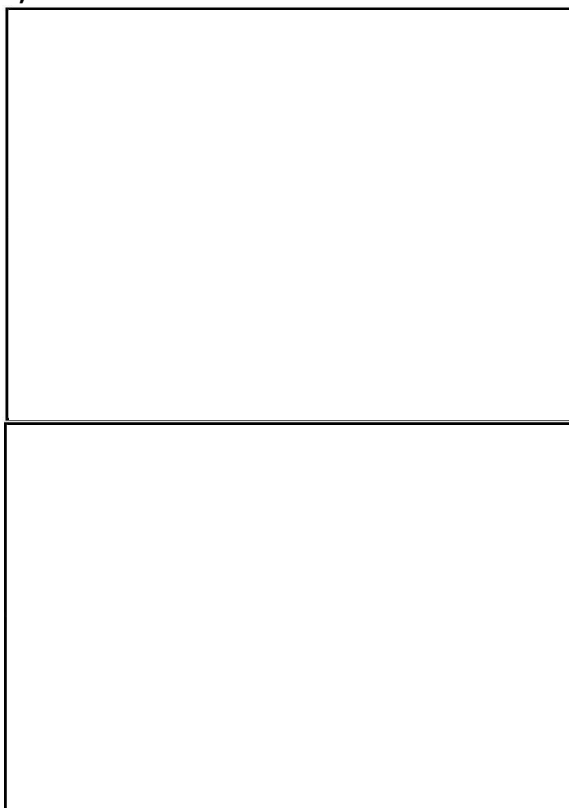
MSTトンネル室以外は
設計外圧(14kPa[gage])
も下回る

区画	区画最大圧力 (kPa[gage])	原子炉格納容器 許容外圧(kPa[gage])
原子炉建屋 4F (燃料取替床)	6.5	
原子炉建屋 3F	9.3	
原子炉建屋 2F	10.2	
原子炉建屋 主蒸気系トンネル室	63.2	
原子炉建屋 1F	10.2	
原子炉建屋 地下階	(解析対象外区画)	

主蒸気管破断事故時に原子炉格納容器外側に作用する圧力
(オペフロBOP1枚を開放しない設計とした場合) (7枚開放)

4. 評価結果（1枚開放しないことの影響）

- ・圧力、温度ともに、MSTンネル室内の温度、圧力は許容値に近い値となった
- ・ただし、オペフロBOP 1枚閉止の有無による差異は限定的。理由は想定事象の以下特徴によるためと推定
 - 事象初期のMSTンネル室内圧力のピーク時には、オペフロBOPは開放設定圧力に到達しておらず、圧力及び温度の推移はオペフロBOPの1枚の閉止の有無に影響を受けない
 - 事故時に発生した蒸気の大半（約70%）が、MSTンネル室BOPを通りタービン建屋側から大気に放出するため、オペフロBOPの1枚閉止の有無が温度、圧力の推移に与える影響は限定的となる

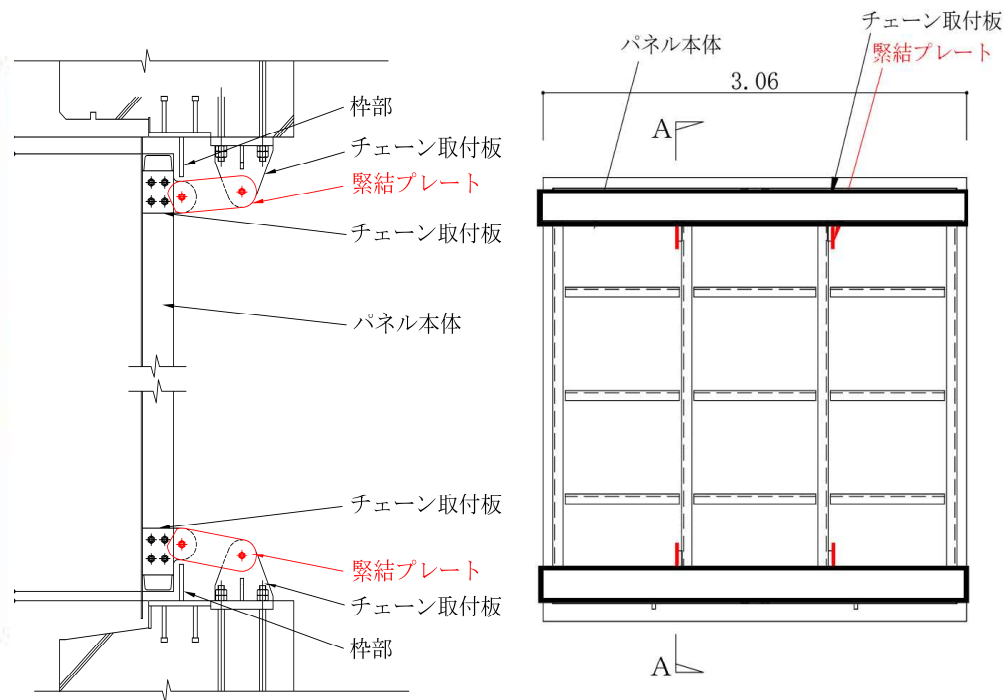


【参考】オペフロBOPの閉止方法

- 閉止するオペフロBOPは、建設時のチェーン取付板4箇所を流用し、杵部とパネル本体を緊結プレートを用いてボルト固定することにより、開放しない構造とする



閉止パネル部（現状）



詳細図（側面）

【参考】設計外圧の設定方法

- ✓許容外圧：原子炉格納容器に座屈等が発生することのない最大の外圧
- ✓設計外圧：想定事象*が発生した際の外圧に耐えるよう設定した圧力（14kPa[gage]）
原子炉格納容器は設計外圧に対し裕度を持っており，設計外圧を超えた場合でも，許容外圧を超えない範囲であれば，原子炉格納容器に座屈等は発生しない

注記*：通常運転中の格納容器スプレイ（ドライウェル）の誤起動
冷却材喪失事故後の格納容器スプレイ作動及び逃し安全弁
開固着後の格納容器スプレイ作動)

✓ 設定手順

- ①原子炉格納容器の評価部位の選定
- ②各評価部位の設計外圧に対する裕度の算出
- ③原子炉格納容器の許容外圧の設定

✓ 設定結果

エリア	区画	設計外圧 (kPa[gage])	設計外圧に対する裕度(-)	許容外圧 (kPa[gage])
燃料取替床	原子炉建屋 4F (燃料取替床)	14		
ドライウェル隣接	原子炉建屋 3F	14		
	原子炉建屋 2F			
	原子炉建屋 1F			
	原子炉建屋主蒸気系トンネル室			

1. 概要

- ブローアウトパネル関連設備の要求機能及び設備構成は、7号機と差異なし
- 各設備の詳細設計に差異あり

項目		柏崎刈羽7号機との差異		
		差異の有無	差異内容	備考
要求機能		無	—	—
設備構成		無	—	—
設備詳細	オペフロ BOP	あり	設計差圧, 作動方式, パネル枚数, コーキング	<ul style="list-style-type: none"> • 柏崎刈羽6号機の設計差圧, 作動方式を考慮し, 試験により妥当性を確認 • 柏崎刈羽6号機のパネル枚数を考慮し, 解析にて妥当性確認
	MS トンネル室 BOP	あり	設計差圧, 作動方式, パネル枚数, 材料	<ul style="list-style-type: none"> • 柏崎刈羽6号機のパネル枚数を考慮し, 解析にて妥当性確認
	オペフロ BOP 閉止装置	あり	門構造 (ガイド有無)	—
	オペフロ BOP 強制開放装置	あり	台数	—

2. 主な差異

- ・オペロBOP : 寸法 (K7の方が大) , 設置枚数 (K7 : 4枚 K6 : 7枚)
- ・閉止装置 : 基本構造と枚数は同じ, K6 (3) パネルは小型化
- ・強制開放装置 : パネル1枚当たりの基数 (K7 : 2基 K6 : 1基)

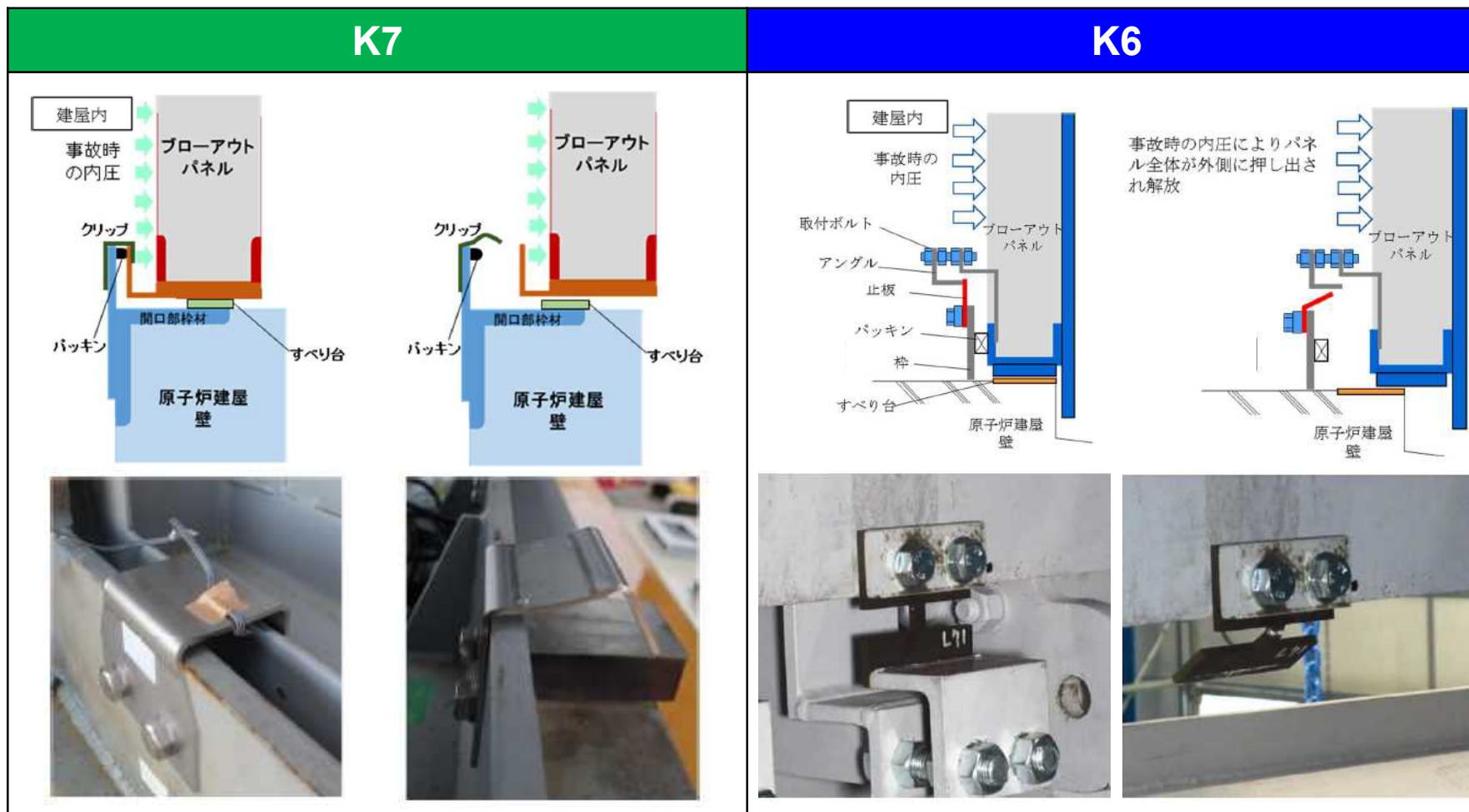
	K7	K6
既設BOPサイズ/設置箇所	<p>4.26m 4.08m (1)~(4)</p> <p>○ PN</p> <p>■ : オペロBOP 4枚</p>	<p>6.28m 2.84m 3.06m 2.84m (1),(2),(4) (3)</p> <p>○ PN</p> <p>■ : オペロBOP 7枚 ■ : オペロBOP 閉止箇所</p> <p>(2),(3)間のスペース小 →1枚開放しない設計に変更し 閉止装置 (小型) を設置</p>
閉止装置寸法		
強制開放装置構成	<p>○ PN</p> <p>(1)~(4)</p> <p>■ : 強制開放装置 8基</p>	<p>○ PN</p> <p>(1),(2),(4) (3)</p> <p>■ : 強制開放装置 7基</p>

3. 1 詳細設計 (オペフロBOP)

項目	柏崎刈羽7号機	柏崎刈羽6号機	差異の有無
パネル枚数	4枚	7枚	あり
設計差圧	3.43kPa	3.53kPa	
材料	SS400	SS400	無
作動方式	クリップ式 (18個(幅約37.5mmを□個, 幅約75mmを□個) / パネル)	止板式 (□個 / パネル)	あり
仕様	材質 SUS304, 幅約75mm又は幅 約37.5mm, 厚さ約□mm	材質 SHY685, くびれ幅 9.6mm, 厚さ 6.0mm	あり
すべり台	あり	あり	無
コーキング 有無	パネル上部及び左右に水切り板 を設置し, その周囲3辺をコー キング	パネル上部及び左右に水切り板 を設置し, コーキングはしない	あり

3. 1 詳細設計 (オペフロBOP)

- K7：クリップ式を採用
- K6：止板式を採用



3. 1 詳細設計 (オペフロBOP)

- K7：パネル上部及び左右に水切り板を設置し，その周囲3辺をコーキング処理
- K6：パネル上部及び左右に水切り板を設置し，パネルの開放の抵抗となる位置にコーキングはしていない

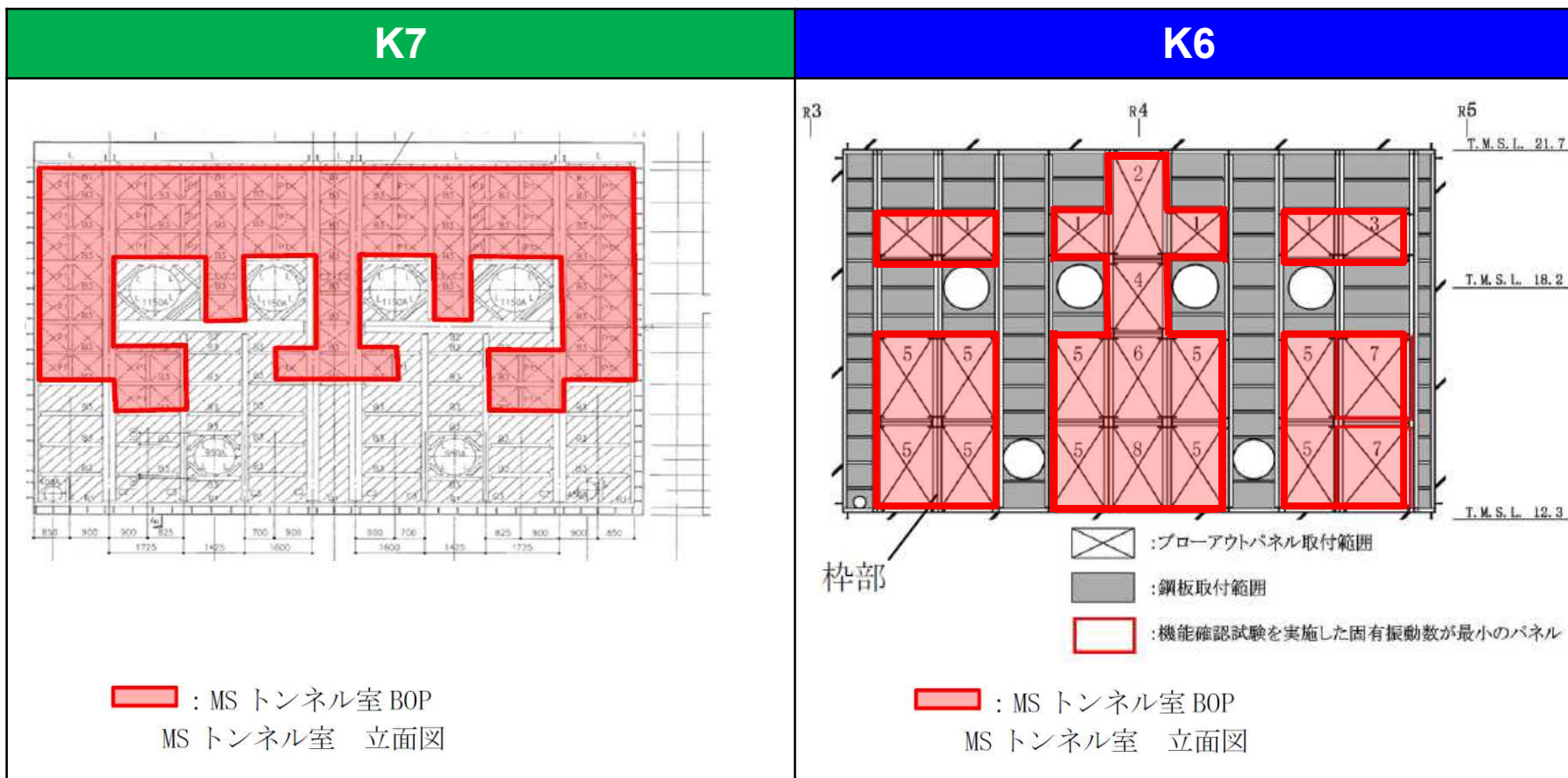
K7	K6

3. 2 詳細設計 (MSTトンネル室BOP)

項目	柏崎刈羽7号機	柏崎刈羽6号機	差異の有無
パネル枚数	79枚	22枚	あり
設計差圧	9.81kPa	2.56kPa	
材料	A1050P	SS400	あり
作動方式	ラブチャー式	止板式	

3. 2 詳細設計 (MSトンネル室BOP)

- K7 : ラプチャー式を採用, 総数79枚
- K6 : 止板式を採用, 総数22枚



3. 2 詳細設計 (MSTトンネル室BOP)

- K7：ラプチャー式を採用，総数79枚
- K6：止板式を採用，総数22枚

K7	K6
<p style="text-align: center;">事故時の内圧によりラプチャーパネル全体が外側に押し出され開放</p> <p>ラプチャーパネル</p>	<p>原子炉建屋側 事故時の内圧</p> <p>タービン建屋側 事故時の内圧によりパネル全体が外側に押し出され開放</p> <p>取付ボルト</p> <p>アングル</p> <p>止板</p> <p>パッキン</p> <p>榫</p> <p>すべり台</p> <p>ブロアアウトパネル</p>

4. 試験・解析内容

- ・ オペフロBOPとMSトンネル室BOPで差異あり

試験・解析		柏崎刈羽7号機との項目の差異		
		差異の有無	差異項目	備考
オペフロ BOP	要素試験	あり	試験対象物	補足 4-3 参照 (止板曲げ試験)
	機能確認試験*1	あり	試験体数	補足 4-10, 補足 4-11 参照 (機能確認試験)
	パネル閉止の影響 評価解析	あり	柏崎刈羽 7 号 機では実施せ ず, 柏崎刈羽 6 号機では実施	補足 4-22 参照 (GOTHIC 解析)
MS トンネル室 BOP	要素試験	あり	試験対象物	補足 4-3 参照 (止板曲げ試験)
	機能確認試験*1	あり	試験体数	補足 4-10, 補足 4-11 参照 (機能確認試験)
オペフロ BOP 閉止装置	機能確認試験*2	— (同一試験)	—	補足 4-17, 補足 4-19 参照 (柏崎刈羽 7 号機時の試験 を柏崎刈羽 6 号機に適用, 適用の妥当性については, 補足 4-23 参照)
	パッキン耐久試験	— (同一試験)	—	補足 4-15 参照 (柏崎刈羽 7 号機時の試験 を柏崎刈羽 6 号機に適用)
	扉・門動作試験*3 (柏崎刈羽 6 号機 の実機を使用)	無	—	補足 4-13 参照 (扉・門動作試験)

注記*1 : 実機大のモックアップ試験体(枠部及び止板部を含む)を製作し, 設計差圧以下で確実に開放することを確認するため, 試験場にて, 油圧ジャッキを用いた加力による開放試験を実施。また, 地震荷重で開放しないことを, パネルの荷重曲線を用いた評価により確認。

注記*2 : 実機大モックアップ試験体を製作し, 地震後でも作動性及び気密性が確保されることを確認するため, 試験場にて, 加振前及び加振後に扉・門動作試験及び気密性能試験を実施。

注記*3 : 柏崎刈羽 6 号機に設置する前の実機を用いて, 作動性が確保されていることを確認するため, 試験場にて, 扉・門動作試験を実施。

■ : 柏崎刈羽 7 号機時の試験を柏崎刈羽 6 号機に適用

4. 1 試験・解析内容 (要素試験)

- ・ 作動方式の差異に伴い，試験方法に差異あり

項目	柏崎刈羽 7号機	柏崎刈羽 6号機	差異の有無
試験目的	耐力・変形性能の確認	耐力・変形性能の確認	無
試験方法	クリップ引張試験 -オートグラフ試験機 -変位制御(引張速度 2 mm/min) -クリップ変位：変位計にて測定 -ひずみ：ひずみゲージにて測定	止板曲げ試験 -万能材料試験機 -変位制御(載荷速度 5 mm/min) -止板変位：変位計にて測定 -ひずみ：ひずみゲージにて測定	あり
試験体数	幅約 75 mm：3 体 幅約 37.5 mm：3 体	くびれ幅 9.6 mm：3 体	無

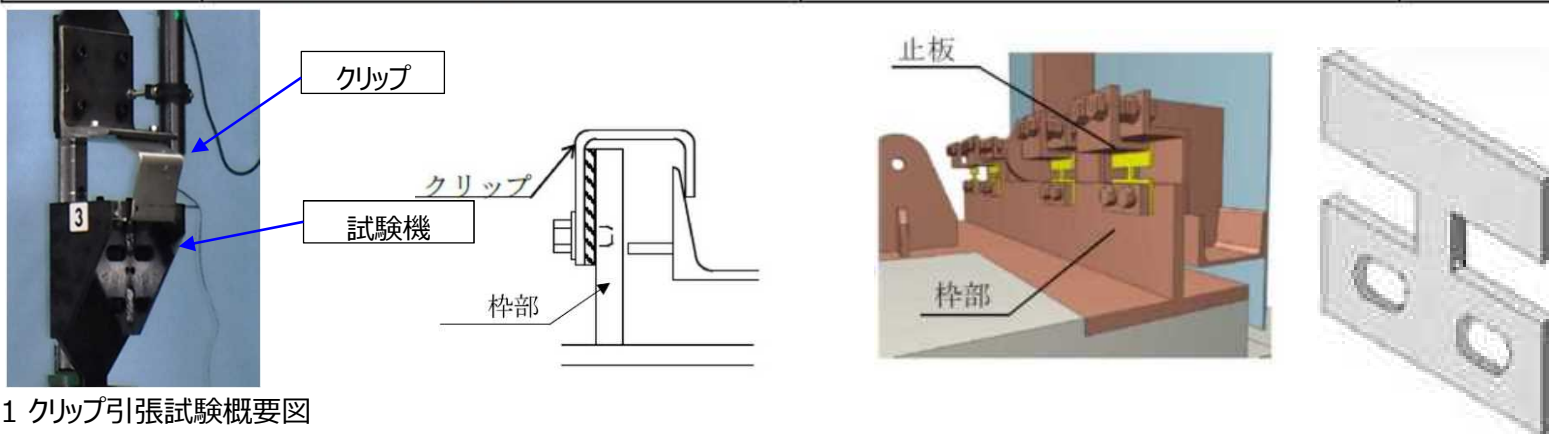


図11 クリップ引張試験概要図

4. 2 試験・解析内容（機能確認試験）

- ・ 作動方式の差異に伴い，試験体数に差異あり

K7：試験体のパネルが破裂するため，1体につき試験を1回実施

K6：試験体1体で複数回の試験を実施可能）

項目	柏崎刈羽7号機	柏崎刈羽6号機	差異の有無
試験目的	設計差圧以下でパネルが開放することの確認	設計差圧以下でパネルが開放することの確認	無
試験装置	油圧ジャッキ4体にて加力	油圧ジャッキ4体にて加力	無
試験回数	3回	3回	無
試験体数	3体	1体	あり
試験用パネル	実機と同一	実機と同一	無
動作確認	目視にて開放を確認	目視にて開放を確認	無

5. 詳細設計（オペフロBOP開放装置）

- ・K7でシャフトを□本設置することにより，閘ピンの挿入精度が十分に確保されることを確認済み
- ・K6では閘機構部にシャフトを□本設置することで閘ピンの挿入精度を確保した上で，ガイドを設置しない構造に変更

項目	柏崎刈羽7号機	柏崎刈羽6号機	差異の有無
方式	スライド扉方式	スライド扉方式	無
材料（扉）	□	□	無
台数	4	4 [*] (大型：3, 小型：1)	無
閘の構造	電動シリンダ +シャフト □ (ガイドあり)	電動シリンダ +シャフト □ (ガイド無)	あり (ガイド有無)
閘の作動方式 (挿入時)	自重+電動	自重+電動	無
閘のギャップ	□	□	無
チェーン材料	□	□	無
作動方式	電動（手動）	電動（手動）	無
手動操作方式	クランクハンドル	クランクハンドル	無



注記*：柏崎刈羽6号機のオペフロBOPの枚数は7枚であるが，オペフロBOP2枚分を閉止するオペフロBOP閉止装置（大型）が3台あり，オペフロBOP1枚分を閉止するオペフロBOP閉止装置（小型）が1台ある

6. 詳細設計 (オペフロBOP強制開放装置)

項目	柏崎刈羽 7号機	柏崎刈羽 6号機	差異の有無
作動方式	電動 (手動)	電動 (手動)	無
台数	8	7	あり

