燃料取替床ブローアウトパネル開放時の設計基準事故時被ばく評価への影響について

1. 概要

燃料取替床ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という。）は，二次格納施設のバウンダリとしての機能を有しているため，弾性設計用地震動S_dで開放しない設計としている。ここでは，設計基準事故事象のうち，二次格納施設バウンダリ機能の健全性を前提としている事故事象に対して，当該事象と地震との組合せ時期を考慮し，弾性設計用地震動S_dを超える地震にてパネルが開放した場合の公衆への被ばく影響を確認する。

設計基準事故のうち「燃料集合体の落下」及び「原子炉冷却材喪失」では，放射性物質は非常用ガス処理系で処理された後，主排気筒から放出される想定としているが，オペフロ BOP が開放した場合は，二次格納施設の負圧維持ができなくなり，オペフロ BOP 開放部から直接大気中に放射性物質が放出される可能性がある。

本評価では，事故発生から 30 日後*以降に地震によりオペフロ BOP が開放されると想定したときの設計基準事故時の被ばく評価への影響について以下のとおり確認した。

注記＊：　設計基準事故の発生確率を 10^{-3}／年，弾性設計用地震動S_dの発生確率を 10^{-3}／年，重畳を考慮すべき基準を 10^{-7}／年（航空機落下，JEAG4601）とし，重畳を考慮すべき時期として，10^{-7}/（$10^{-3}\times10^{-3}$）＝0.1 年（約 36.5 日）から 30 日を仮定

2. 放出量評価

評価対象プラントを柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機に設定し，事故発生から 30 日後までは設置許可申請書添付書類十に記載される評価に基づき放出量評価を行い，事故発生 30 日後からは非常用ガス処理系を経由せずに原子炉建屋から直接大気中に放射性物質が放出されると仮定し，非常用ガス処理系によるよう素除去効果及び換気率を見込まずに，放射性物質が地上放出されるものとして放出量を評価する。

評価対象事故は，非常用ガス処理系に期待しており，オペフロ BOP の開放によって影響が生じる事象である「原子炉冷却材喪失」を選定する。具体的な放出量評価方法については別紙 1 に示す。

なお，燃料集合体の落下の放出率は，別紙 1 の別図 1 に示すように事故発生から約 20 日でほぼゼロであり，事故発生から 30 日後以降のオペフロ BOP 開放の影響はない。

放出量の評価結果を第 1 表に示す。

第 1 表　原子炉冷却材喪失時の放出量の評価結果

<table>
<tr><th rowspan="2">項目</th><th rowspan="2">評価期間</th><th colspan="2">原子炉冷却材喪失</th></tr>
<tr><th>希ガス
(0.5MeV 相当値)
(Bq)</th><th>よう素
(I-131 換算値)
(Bq)</th></tr>
<tr><td>設置許可申請書
における放出量</td><td>無限期間</td><td>約 3.5×10^{11}</td><td>約 6.4×10^{6}</td></tr>
<tr><td rowspan="3">オペフロ BOP 開放を
想定した放出量</td><td>事故発生から
30 日後まで</td><td>約 3.3×10^{11}</td><td>約 5.9×10^{6}</td></tr>
<tr><td>事故発生から
30 日後以降</td><td>約 1.7×10^{10}</td><td>約 6.0×10^{9}</td></tr>
<tr><td>合計</td><td>約 3.5×10^{11}</td><td>約 6.0×10^{9}</td></tr>
</table>

3.　大気拡散条件

大気拡散評価は，「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に基づき行う。

なお，オペフロ BOP の開放を想定した評価において，オペフロ BOP の開放状態に係らず，保守的に実効放出継続時間 1 時間及び地上放出を仮定して評価する。

大気拡散評価の結果を第 2 表に示す。

第 2 表　原子炉冷却材喪失時の相対濃度及び相対線量の評価結果

<table>
<tr><th colspan="2">項目</th><th>放出
位置</th><th>放出
高さ
(m)</th><th>実効放出
継続時間
(h)</th><th colspan="2">相対濃度及び相対線量</th><th>評価
方位</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">設置許可申請書
における拡散条件</td><td rowspan="2">非常用ガス処理系排気口</td><td>45*1</td><td>110</td><td>D/Q
(Gy/Bq)</td><td>4.2×10^{-20}</td><td>ENE</td></tr>
<tr><td>50*1</td><td>360</td><td>χ/Q
(s/m^3)</td><td>6.3×10^{-7}</td><td>ESE</td></tr>
<tr><td rowspan="4">オペフロ BOP 開放を想定した拡散条件</td><td rowspan="2">事故発生から 30 日後まで</td><td rowspan="4">地上放出</td><td rowspan="4">0*2</td><td>1</td><td>D/Q
(Gy/Bq)</td><td>2.5×10^{-19}</td><td rowspan="4">ESE</td></tr>
<tr><td>1</td><td>χ/Q
(s/m^3)</td><td>2.5×10^{-5}</td></tr>
<tr><td rowspan="2">事故発生から 30 日後以降</td><td>1</td><td>D/Q
(Gy/Bq)</td><td>2.5×10^{-19}</td></tr>
<tr><td>1</td><td>χ/Q
(s/m^3)</td><td>2.5×10^{-5}</td></tr>
</table>

注記＊1：　吹上げ高さを考慮しない高さにおける風洞実験結果より求めた地上からの有効高さ。

＊2：　オペフロ BOP 開放前（事故発生から 30 日後まで）においても，保守的に地上放出（地上 0m）を仮定して評価する。地上放出は，放出源の高さが地上から離れている場合に比べて地面の反射効果によって濃度が高くなり保守的となる。

4. 被ばく評価結果

オペフロ BOP が開放した場合の設計基準事故時の被ばく評価結果を第 3 表に示す。オペフロ BOP 開放を考慮した評価結果は，設計基準事故の基準である 5mSv を十分に下回る結果となっており，設計基準事故に係る被ばく評価の結論に影響はない。

なお，設置許可申請書の本文十号に記載されている設計基準事故で最も線量が高くなる主蒸気管破断の線量（約 5.0×10^{-2}mSv）と比べても低い値となっていることを確認している。

第 3 表　原子炉冷却材喪失時の被ばく評価結果

項目			実効線量(mSv)
設置許可申請書 添付書類十記載値	実効線量合計*1		**約 1.5×10^{-5}**
オペフロ BOP 開放を 想定した場合	事故発生から 30 日後まで	希ガス	約 8.4×10^{-5}
		よう素	約 1.4×10^{-6}
	事故発生から 30 日後以降	希ガス	約 4.2×10^{-6}
		よう素	約 1.4×10^{-3}
	直接・スカイシャイン線*2		約 4.0×10^{-7}
	合　計		**約 1.5×10^{-3}**

注記＊1：希ガスによる外部被ばく，よう素による内部被ばく及び直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による外部被ばくの合計。

＊2：評価上，オペフロ BOP 開放後は原子炉建屋内の放射性物質は大気中へ放出されるため，原子炉建屋からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の影響は無くなるが本評価においては考慮しない。

オペフロBOPの開放を考慮した放出量評価について

「燃料集合体の落下」及び「原子炉冷却材喪失」の放出量評価においては非常用ガス処理系によるよう素除去効果及び換気率を考慮して式①及び式②により放出量評価を行っている。

オペフロBOPが開放した場合には，非常用ガス処理系によるよう素除去効果及び換気率が期待できなくなる。このため，別表1及び別表2に示す条件の違いを考慮して，オペフロBOP開放以降の放出量を評価した。

1. 燃料集合体の落下

燃料集合体の落下におけるオペフロBOP開放時の放出量のうち，オペフロBOP開放前の放出量は，次式により求める。

ただし，燃料集合体の落下の放出率は別図1に示すように約20日で≒0であり，事故発生から30日後以降のオペフロBOP開放の影響はない。

$$\mathrm{Q}_1^i = \int_0^{t_{BoP}} \lambda_{LSGTS} \cdot (1 - f_{SGTS}) \cdot Q_{R/B1}^i(\mathrm{t})\mathrm{dt}$$

$$= \frac{\lambda_{LSGTS} \cdot (1 - f_{SGTS}) \cdot \frac{F}{DF} \cdot Q_P^i}{\lambda_R^i + \lambda_{LSGTS}} \cdot \left(1 - e^{-(\lambda_R^i + \lambda_{LSGTS}) \cdot t_{BOP}}\right) \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot \text{(a)}$$

$$Q_{R/B1}^i(t) = \frac{F}{DF} \cdot Q_P^i \cdot e^{-(\lambda_R^i + \lambda_{LSGTS}) \cdot t}$$

ここで，

Q_1^i ：オペフロBOP開放前に大気中に放出される核分裂生成物の放出量(Bq)

λ_{LSGTS} ：非常用ガス処理系による原子炉建屋内空気の換気率(0.5/d)

f_{SGTS} ：非常用ガス処理系フィルタのよう素除去効率(－)

$Q_{R/B1}^i(t)$ ：オペフロBOP開放前の原子炉建屋内の核分裂生成物の存在量(Bq)

F ：核分裂生成物の存在割合(－)

- 希ガス　F＝1
- 有機よう素　F＝全よう素中の有機よう素の割合
- 無機よう素　F＝全よう素中の無機よう素の割合

DF ：無機よう素のプール水による除去係数（DF＝500）
（希ガス及び有機よう素の場合はDF＝1）

Q_P^i ：事故直前に燃料ギャップ部に存在する核分裂生成物の量(Bq)

λ_R^i ：核種ｉの崩壊定数(s^{-1})

オペフロ BOP 開放前の原子炉建屋内の核分裂生成物の存在量は，次式により求める。

$$Q_2^i = \int_{t_{BOP}}^{\infty} \lambda_{LBOP} \cdot Q_{R/B2}^i(\mathrm{t})\mathrm{dt}$$

$$= \frac{\lambda_{LBOP} \cdot \frac{F}{DF} \cdot Q_P^i}{\lambda_R^i + \lambda_{LBOP}} \cdot e^{(\lambda_{LBOP} - \lambda_{LSGTS}) \cdot t_{BOP}} \cdot e^{-(\lambda_R^i + \lambda_{LBOP}) \cdot t_{BOP}} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (\mathrm{b})$$

$$Q_{R/B2}^i(t) = \frac{F}{DF} \cdot Q_P^i \cdot e^{(\lambda_{LBOP} - \lambda_{LSGTS}) \cdot t_{BOP}} \cdot e^{-(\lambda_R^i + \lambda_{LBOP}) \cdot t_{BOP}}$$

ここで，

Q_2^i　：オペフロ BOP 開放後に大気中に放出される核分裂生成物の放出量(Bq)

λ_{LBOP}　：オペフロ BOP 開放後の原子炉建屋内空気の換気率（無限大）

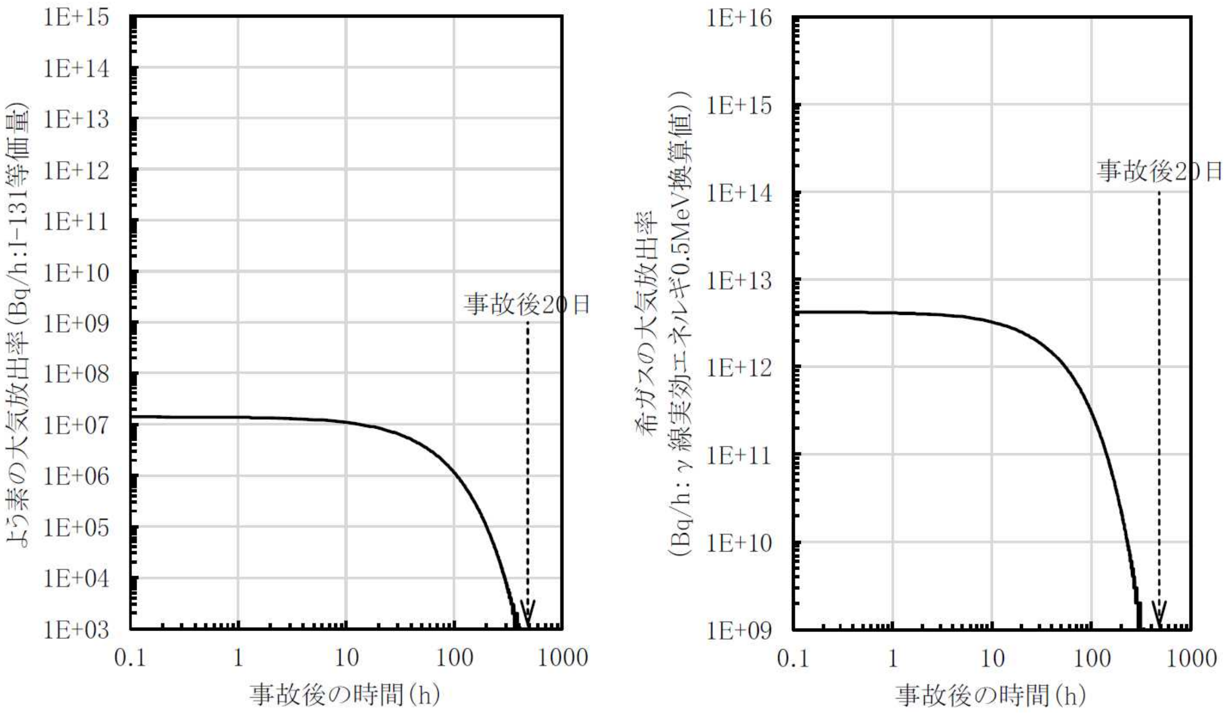
$Q_{R/B2}^i(t)$　：オペフロ BOP 開放後の原子炉建屋内の核分裂生成物の存在量(Bq)

上記より，燃料集合体の落下におけるオペフロ BOP 開放時の放出量は，式(a)及び式(b)により次式にて求める。

$$Q_i = Q_1^i + Q_2^i \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \text{①}$$

別表１　燃料集合体の落下時の非常用ガス処理系等の評価条件

	設置申請書添付書類十 における評価条件	オペフロ BOP の開放を 考慮した場合の評価条件
F	希ガス　F＝100% 有機よう素　F＝1% 無機よう素　F＝99%	同左
DF	希ガス　DF＝1 有機よう素　DF＝1 無機よう素　DF＝500	同左
λ_{LSGTS}	0.5 回/d	無限大
f_{SGTS}	99.99%	0%
λ_R^i	（例） 希ガス（Xe-133）　：0.131(d^{-1}) よう素（I-131）　：0.086(d^{-1})	同左



別図１　燃料集合体の落下におけるよう素及び希ガスの大気放出率の時間推移

2.　原子炉冷却材喪失

原子炉冷却材喪失におけるオペフロ BOP 開放時の放出量は次式により求める。

$$Q_i = \int_0^\infty \lambda_{LSGTS} \cdot (1 - f_{SGTS}) \cdot Q^i_{R/B}(t) dt \cdots\cdots\cdots\cdots ②$$

$$\frac{dQ^i_{R/B}(t)}{dt} = \lambda_{LPCV} \cdot Q^i_{PCV}(t) - (\lambda^i_R + \lambda_{LSGTS}) \cdot Q^i_{R/B}(t)$$

$$Q^i_{PCV}(0) = (q^i_c + q^i_f + g) \cdot K_0$$

$$\frac{dQ^i_{PCV}(t)}{dt} = -(\lambda^i_R + F_3 \cdot \lambda_{LPCV}) \cdot Q^i_{PCV}(t)$$

ここで,

Q_i	：大気中に放出される核分裂生成物の放出量(Bq)
$Q^i_{R/B}(t)$	：原子炉建屋内の核分裂生成物の存在量(Bq)
$Q^i_{PCV}(t)$	：原子炉格納容器内の核分裂生成物の存在量(Bq)
q^i_c	：核種ｉの冷却材中存在量(Bq) $q^i_c = C^i_w \cdot M$
C^i_w	：核種ｉの冷却材中濃度(Bq/g)
M	：冷却材保有量(g)
q^i_f	：核種ｉの追加放出量(Bq)
g	：組成構成比(－) 希ガス　　：g＝1 有機よう素：g＝全よう素中の有機よう素の割合 無機よう素：g＝全よう素中の無機よう素の割合
K_0	：格納容器気相部に存在する核分裂生成物の格納容器全存在量に対する割合(－) $K_0 = (1 - F_2) \cdot F_3$
F_2	：無機よう素の格納容器内の壁面等に付着する割合(－) （希ガス及び有機よう素についてはこの効果を無視する）
F_3	：格納容器内の気相部に浮遊する割合(－) $F_3 = \frac{V_A}{V_A + V_w \cdot P}$
V_A	：格納容器内気相容積(m^3)
V_w	：格納容器内液相容積(m^3)
P	：気液分配係数(－)
λ_{LPCV}	：原子炉格納容器から原子炉建屋への漏えい率(s^{-1})
λ_{LSGTS}	：非常用ガス処理系による原子炉建屋内空気の換気率(s^{-1})
f_{SGTS}	：非常用ガス処理系フィルタのよう素除去効率(－)
λ^i_R	：核種ｉの崩壊定数(s^{-1})

別表２　原子炉冷却材喪失時の非常用ガス処理系等の評価条件

	設置申請書添付書類十 における評価条件	オペフロ BOP の開放を 考慮した場合の評価条件
C_W^i	1.3×10^3Bq/g（I-131）	同左
M	296ton	同左
q_f^i	3.7×10^{13}Bq（I-131）	同左
g	希ガス　　　g＝100% 有機よう素　g＝4% 無機よう素　g＝96%	同左
F_2	50%	同左
V_A	13310m^3	同左
V_W	3580m^3	同左
P	希ガス　　　P＝1 有機よう素　P＝1 無機よう素　P＝100	同左
λ_{LPCV}	0～1 時間　：0.6%/d 1 時間以降：0.3%/d	同左
λ_{LSGTS}	0.5 回/d	無限大
f_{SGTS}	99.99%	0%
λ_R^i	（例） 希ガス（Xe-133）　：0.131(d^{-1}) よう素（I-131）　：0.086(d^{-1})	同左

ブローアウトパネル閉止装置の配置と構造について

1. 概要

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。）は，実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則及び規則の解釈の第 74 条で要求される設備であり，燃料取替床ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という。）が開放した状態において，炉心の著しい損傷が発生した場合に中央制御室にとどまる運転員を過度の被ばくから防護するため，オペフロ BOP が開放した後の躯体の開口部を閉止し，原子炉建屋の放射性物質の閉じ込め機能を確保するために設置する。

2. 設置位置及び台数

2.1 オペフロ BOP 閉止装置

オペフロ BOP 閉止装置は，原子炉建屋原子炉区域 4 階中間床に計 4 台設置する。設置位置を図 2-1 に示す。

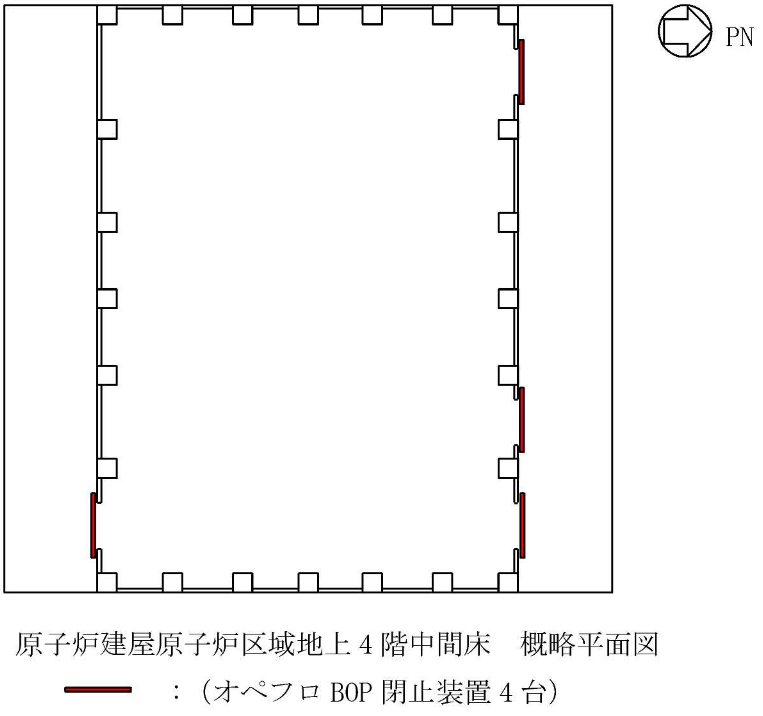


図 2-1　オペフロ BOP 閉止装置設置位置図

3. 閉止装置の構造

3.1 オペフロ BOP 閉止装置

オペフロ BOP 閉止装置は，電動機の回転をハンガーローラに取り付けられているチェーンにより開閉方向の動作に変換することで扉本体の開閉が可能な構造としており，リミットスイッチにより扉本体の開閉状態を中央制御室にて確認できる構造としている。

扉本体は，ハンガーローラを介して上部レールに吊り下げられた構造としており，全開状態においては，テーパブロックとプッシュローラにより扉本体をフレームに押し付けて固定する構造としている。また，全閉状態においては，テーパブロックとプッシュローラにより扉本体をパッキンに押し付けることにより高い気密性を確保する構造としている。

扉本体の開閉は，ガイドローラとガイドレールにより面外方向をガイドする構造となっている。

また，扉は，開状態又は閉状態での地震による扉の慣性力の伴う過度な荷重が，チェーン等の駆動系に付加されチェーンが破損することを防ぐ目的と，扉閉状態で地震により扉が開方向に移動し扉の気密性能に影響を与えないようにする目的で，扉の面内方向の動きを拘束する閂により扉を固定する構造としている。

なお，既設のオペフロBOPが開放する際に，オペフロBOP閉止装置は干渉しない構造とする。

オペフロ BOP 閉止装置の構造概要図を図 3-1 に，駆動機構概要図を図 3-2 に，手動操作概念図を図 3-3 に示す。

図 3-1　オペフロ BOP 閉止装置の構造概要図

図 3-2　オペフロ BOP 閉止装置の駆動機構概要図

図 3-3　オペフロ BOP 閉止装置の手動操作概念図

4.　閉止装置の動作時のインターロックについて

4.1　オペフロ BOP 閉止装置

図 4-1 にオペフロ BOP 閉止装置のインターロック概要を示す。

・リミットスイッチにて，閂の押上げ及び挿入を検知する。

・閂押上げ完了の信号を受け，扉作動の信号が投入される。

・扉停止信号を受け，閂の下降の信号が投入される。

・閂の押上げリミットスイッチが作動しないと扉の動作が開始しないインターロックを設ける設計とする

各リミットスイッチの目的

①	
②	
③	
④	
⑤	
⑥	
⑦	
⑧	

各ステップ	扉状態	閂状態	リミットスイッチ							
			扉開側				扉閉側			
			①閂挿入	②閂押上げ	③扉開	④扉減速	⑤扉減速	⑥扉閉	⑦閂押上げ	⑧閂挿入

前項の続き

図 4-1　オペフロ BOP 閉止装置のインターロック概要

燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の技術基準規則第五十四条への適合性について

1. 燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の技術基準規則第五十四条への適合性について

(1) 環境条件（技術基準規則第五十四条第一項第一号）

a. 要求事項

想定される重大事故等が発生した場合における温度，放射線，荷重その他の使用条件において，重大事故等に対処するために必要な機能を有効に発揮すること。

b. 適合性

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。）は，屋外に設置するが，重大事故等時に原子炉建屋原子炉区域内の気密性を確保するために閉止する設備であることから，その機能を期待される重大事故等時における屋外又は原子炉建屋原子炉区域内の環境条件を考慮している。

(2) 操作性（技術基準規則第五十四条第一項第二号）

a. 要求事項

想定される重大事故等が発生した場合において確実に操作できること。

b. 適合性

オペフロ BOP 閉止装置は，中央制御室の操作盤のスイッチで遠隔による開閉が可能な設計とするとともに，現場においても人力により開閉操作が可能な設計としている。

(3) 試験検査（技術基準規則第五十四条第一項第三号）

a. 要求事項

健全性及び能力を確認するため，発電用原子炉の運転中又は停止中に必要な箇所の保守点検（試験及び検査を含む。）ができること。

b. 適合性

オペフロ BOP 閉止装置は，原子炉の運転中又は停止中に構造健全性のため外観目視検査が可能な設計としている。また，オペフロ BOP 閉止装置は，原子炉の停止中に機能・性能検査として動作状態の確認が可能な設計としている。

試験検査内容を表 1-1 に示す。

表 1-1 オペフロ BOP 閉止装置の試験検査内容

必要な機能	検査内容
気密性能	パッキンの外観点検によりシール性能に影響を及ぼす劣化がないことを確認する。
作動性能	閉止装置を電動による遠隔操作及び現場での手動操作により開閉が可能なことを確認する。
構造健全性	外観目視検査による閉止装置構成部品の健全性を確認する。

(4)　切替えの容易性（技術基準規則第五十四条第一項第四号）

a.　要求事項

本来の用途以外の用途として重大事故等に対処するために使用する設備にあっては，通常時に使用する系統から速やかに切り替えられる機能を備えること。

b.　適合性

オペフロ BOP 閉止装置は，本来の用途以外の用途として使用しない設計としている。

(5)　悪影響の防止（技術基準規則第五十四条第一項第五号）

a.　要求事項

工場等内の他の設備に対して悪影響を及ぼさないこと。

b.　適合性

オペフロBOP閉止装置は，他の設備から独立して使用が可能であり，他の設備に悪影響を及ぼさない設計としている。また，オペフロBOP閉止装置の開閉動作が他の設備に悪影響を及ぼさない設計としている。

(6)　設置場所（技術基準規則第五十四条第一項第六号）

a.　要求事項

想定される重大事故等が発生した場合において重大事故等対処設備の操作及び復旧作業を行うことができるよう，放射線量が高くなるおそれが少ない設置場所の選定，設置場所への遮蔽物の設置その他の適切な措置を講ずること。

b.　適合性

オペフロ BOP 閉止装置は，原子炉建屋原子炉区域の壁面（屋外）に設置し，重大事故等時において放射線量が高くなるおそれの少ない中央制御室から操作が可能な設計としている。また，現場操作においては，遮蔽物の設置その他の適切な措置を講ずる設計としている。

(7)　容量（技術基準規則第五十四条第二項第一号）

a.　要求事項

想定される重大事故等の収束に必要な容量を有すること。

b.　適合性

オペフロ BOP 閉止装置は，燃料取替床ブローアウトパネルと同数の 4 台設置する。なお，オペフロ BOP 閉止装置は，重大事故等時において中央制御室の運転員の居住性を確保するために必要な気密性能を有している。

(8)　共用の禁止（技術基準規則第五十四条第二項第二号）

a.　要求事項

二以上の発電用原子炉施設において共用しないこと。ただし，二以上の発電用原子炉施設と共用することによって当該二以上の発電用原子炉施設の安全性が向上する場合であって，同一の工場等内の他の発電用原子炉施設に対して悪影響を及ぼさない場合は，この限りでない。

b.　適合性

施設内に二以上の発電用原子炉施設はないことから，オペフロ BOP 閉止装置は，共用しない。

(9)　設計基準事故対処設備との多様性（技術基準規則第五十四条第二項第三号）

a.　要求事項

常設重大事故防止設備には，共通要因（設置許可基準規則第二条第二項第十八号に規定する共通要因をいう。以下同じ。）によって設計基準事故対処設備の安全機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう，適切な措置を講ずること。

b.　適合性

オペフロ BOP 閉止装置は，常設重大事故緩和設備であるため，多様性を考慮する必要はない。

ブローアウトパネル閉止装置のパッキン耐久性試験について

燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の扉パッキン（以下「オペフロ用パッキン」という。）は屋外環境下に設置するため耐久性試験を実施した。この結果約1サイクルは問題なく使用できることを確認した。

1.　試験条件及び試験期間

(1)　オペフロ用パッキンの試験条件

屋外に設置するオペフロ用パッキンの耐久性試験として，「加硫ゴム及び熱可塑性ゴム—耐候性の求め方，ＪＩＳ Ｋ 6266」に基づく，オープンフレームカーボンアーク試験（サンシャイン試験）にて耐久性を確認した。

・耐久性試験の条件（ＪＩＳ Ｋ 6266　SA法（直接屋外暴露の再現方法））

使用フィルタ：[redacted]

放射照度：[redacted]

ブラックパネル温度：[redacted]

試験層内空気温度：[redacted]

相対湿度：[redacted]

試験片表面への水噴霧：[redacted]

2.　試験結果

(1) オペフロ用パッキンの試験結果

試験結果を表２−１に示す。いずれの試験においても有意な変化は確認されていない。

表２−１　耐久性試験結果（オペフロ用パッキン）

No.	暴露時間（加速）	実機相当時間	個数	試験結果					
	時間	時間		硬さ	強度変化	伸び変化	重量変化率	体積変化率	外観異常
	h	年		Point	%	%	%	%	—
1	300	約[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	無
2	600	約[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	無
3	1200	約[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	無

〈試験結果についての見解〉

・硬　　さ：測定誤差範疇のため，有意な変化ではない。

・強度変化：試料にばらつきがあるため，±[redacted]程度の変化が生じる可能性があり，一般に±[redacted]程度の変化を生じた段階で有意な変化があると判断するため，有意な変化ではない。

・伸び変化：強度変化と同様に有意な変化ではない。

・重量変化：水噴霧，乾燥の繰り返しによる微妙な重量増加であり，有意な変化ではない。

・体積変化：重量変化と同様に有意な変化ではない。

・外　　観：変色，荒れ等の劣化はない。

ブローアウトパネル閉止装置の保全管理について

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。）の保全管理（案）は表 1-1 のとおり。なお，点検周期については，今後，試験や産業界実績を踏まえ決定し，保全計画に反映していく。

また，自主対策設備である燃料取替床ブローアウトパネル強制開放装置についても，単体動作試験や構造健全性確認のための外観目視点検等を実施し，健全性を確保していく。

表 1-1　オペフロ BOP 閉止装置の保全管理（案）

区分	必要な機能	目的	管理項目	実施内容
保全管理	作動性能	扉の開閉機能確保	作動試験	・あらかじめ定めた施設定期検査時に，扉の開閉試験（電動）にて確認
		閂の押上げ，挿入機能確保	作動試験	・あらかじめ定めた施設定期検査時に，閂の押上げ，挿入試験（電動）にて確認 ・通常運転時に，定期的な閂の押上げ，挿入試験（電動）にて確認
	気密性能	シール健全性確保	気密性能試験（建屋）	・あらかじめ定めた施設定期検査時に，閉止装置を閉状態とし，原子炉建屋気密性能検査と同様の手法で気密性能試験を実施
			外観目視点検（シール部）	・構造健全性確認検査として，シール部に異常がないことを目視にて確認
			パッキン取替	・定期的な交換（開口部周りに施工するパッキンは，紫外線・熱等による劣化が想定されることから，パッキンの耐久性試験結果を踏まえて取替頻度を決定）
	構造健全性	構造健全性確認	外観目視点検	・構造・機能に影響を及ぼすような損傷，異常のないことを目視にて確認

燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験要領について

1.　目的

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。）に要求される機能を確認するため，実機規模の試験体を用いた加振試験を行い，重大事故等時における閉止装置の機能維持確認を実施する。

2.　試験場所

(1) オペフロ BOP 閉止装置

場　　所：国立研究開発法人　防災科学技術研究所　兵庫耐震工学研究センター

3.　試験項目

3.1　オペフロ BOP 閉止装置に要求される機能について

オペフロ BOP 閉止装置は，燃料取替床ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という。）が開放状態で炉心損傷が発生した場合に，運転員等の中央制御室での居住性確保のため，オペフロ BOP の開放部を速やかに閉止し，原子炉建屋の気密性を維持することが求められる。具体的には下記の機能が求められる。

・ 地震後においても，容易かつ確実に閉止でき，また現場において人力により操作できる作動性を確保し，原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を確保していること。

・ 開放したオペフロ BOP を復旧するまでの期間においてオペフロ BOP 閉止装置を使用するため，重大事故後，一定期間内に想定される地震が発生した場合においても，原子炉建屋原子炉区域を負圧に維持できる気密性を確保していること。

3.2　加振条件

(1)　基準適合性を確認するための加振（基準地震動Ｓｓ加振波による加振）

オペフロ BOP 閉止装置の設置位置（最も高所の設置位置）における基準地震動Ｓｓ*に対する設計用震度を上回るように設定された加振波を用いて加振を行う。

注記　＊：閉止状態のオペフロ BOP 閉止装置は，オペフロ BOP と同等の弾性設計用地震動Ｓｄによる荷重が作用した場合の気密性確保が求められるが，耐震裕度を確認するため，基準地震動Ｓｓ加振波を用いて加振を行う。

3.3　試験項目

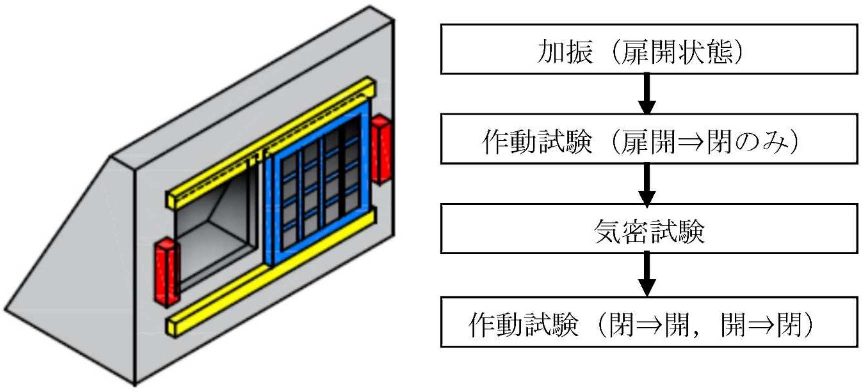
基準地震動Ｓｓ加振波及び振動台性能限界加振波による加振を行い，オペフロ BOP 閉止装置に要求される機能が確保されていることを確認する。

・加振後の作動確認　　　：オペフロ BOP 閉止装置が開放状態又は閉止状態において，加振後の扉本体の作動性が確保されていることを確認する。また，扉本体の作動確認に合わせて,閂の作動性が確保されていることを確認する。

・加振後の気密性能試験：オペフロ BOP 閉止装置が開放状態又は閉止状態において，加振後の気密性を確保していることを確認する。

図 3-1 にオペフロ BOP 閉止装置試験治具概念図を示す。

【扉開放状態】



【扉閉止状態】

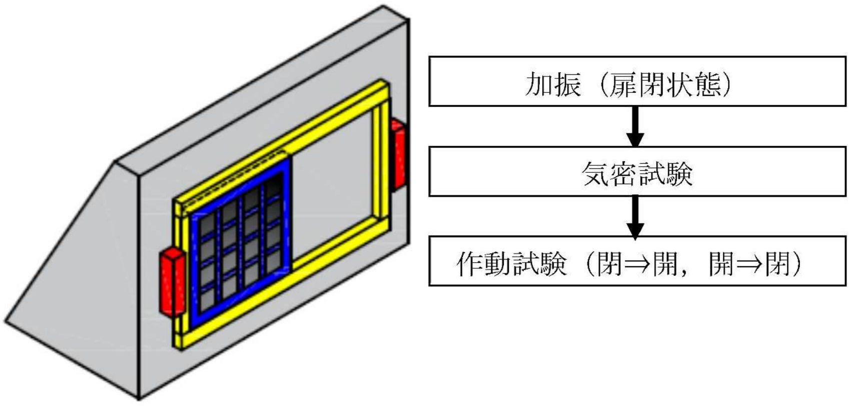


図 3-1　オペフロ BOP 閉止装置試験治具概念図

4.　加振試験

4.1　加振装置（三次元振動台）の概要

(1) 兵庫耐震工学研究センター

振動台の上に試験体を設置し，水平方向と鉛直方向を同時に加振する。表 4-1 に振動台の仕様，図 4-1 に三次元振動台の概要図，図 4-2 に試験体の鳥瞰図を示す。

表 4-1　三次元振動台の仕様

加振自由度	3軸6自由度		
振動台寸法	20 m×15 m		
最大積載重量	1200 tf		
加振方向	X方向	Y方向	Z方向
最大加速度	900 cm/s^2	900 cm/s^2	1500 cm/s^2
最大速度	200 cm/s	200 cm/s	70 cm/s
最大変位	±100 cm	±100 cm	±50 cm

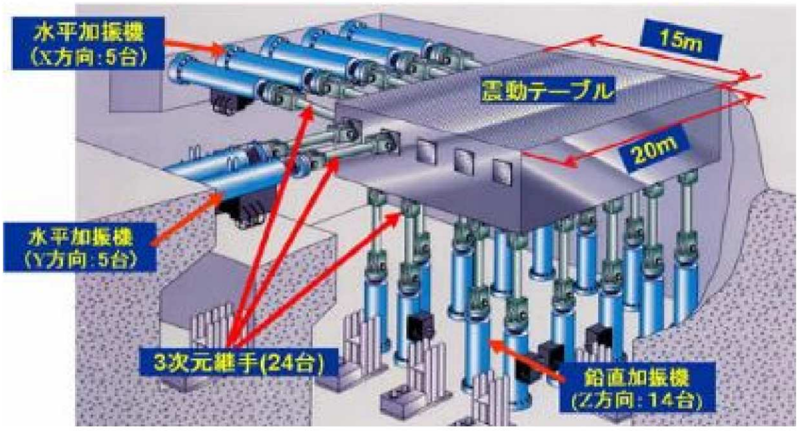


図 4-1　三次元振動台の概要図

[redacted]

図 4-2　試験体の鳥瞰図

4.2　加振波

(1)　オペフロ BOP 閉止装置の基準地震動Ｓｓ加振波

加振試験用の模擬地震波は以下のとおりとする。Ⅴ-2「耐震性に関する説明書」のうちⅤ-2-1-7「 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき複数の基準地震動Ｓｓの床応答スペクトル（T.M.S.L. [redacted] m）を包絡する模擬地震波の時刻歴波形，床応答スペクトルを図 4-3，図 4-4 に示す。

- ・オペフロ BOP 閉止装置の設置高さより上方の原子炉建屋 T.M.S.L. [redacted] m
- ・基準地震動Ｓｓ8 波及び建屋影響評価で考慮するばらつきケースを包絡
- ・加振目標の包絡スペクトルは減衰定数 [redacted] %で設定

[redacted]

(1)　水平（ＮＳ）方向

(2)　水平（ＥＷ）方向

(3)　鉛直方向

図 4-3　模擬地震波の時刻歴波形

(1)　水平（ＮＳ）方向

[redacted]

(2)　水平（ＥＷ）方向

[redacted]

(3)　鉛直方向

図 4-4　入力波の応答スペクトル（減衰定数[redacted]%）

注記＊：振動台の性能を考慮し，オペフロ BOP 閉止装置の固有周期近傍の加速度に影響を及ぼさない長周期側の加速度を低減処理した入力地震動にて試験を実施する。

4.3　加振試験項目及び内容

加振試験ケースの項目，概要は以下のとおりである。各試験ケースの扉の試験体条件（オペフロ BOP 閉止装置の開閉状態），加振波等を表 4-1 に示す。

(1)　振動台補償加振

目標とする入力波を精度よく振動台で再現するための振動台補償加振を行う。本試験は，試験体を振動台に搭載しない条件で行う。

(2)　センサ確認試験

センサの取付方向，感度確認を行うために，各方向単独で正弦波加振を行う。

(3)　振動特性把握試験

試験体の振動特性を把握するため，オペフロ BOP 閉止装置では[redacted]～[redacted]程度の振動数

成分を有する広帯域ランダム波による加振試験を行う。加振方向は各方向単独とし，扉の開状態及び閉状態の振動特性を確認する。なお，試験体の固有振動数が高い場合は，入力波の主要な振動数成分の範囲に固有振動数がないことを確認する。

(4)　地震波加振試験

オペフロ BOP 閉止装置では,加振方向は 3 方向同時とし装置の開状態，閉状態のそれぞれで実施する。

表 4-1　試験ケース一覧（オペフロ BOP 閉止装置）

	試験項目	試験体条件	加振方向	加振波	加振レベル	備考
―	振動台補償加振	―	X＋Y＋Z	―	―	―
1	センサ確認試験	扉閉	X	正弦波	1.0 m/s² 程度	―
2			Y			
3			Z			
4	振動特性把握試験	扉開	X	ランダム波*1	2.0 m/s² 程度	―
5			Y			
6			Z			
7		扉閉	X	ランダム波*1	2.0 m/s² 程度	―
8			Y			
9			Z			
10	地震波加振試験	扉閉	X＋Y＋Z	包絡波*2	0.5×Ｓｓ	-
11					1.0×Ｓｓ	-
12		扉開	X＋Y＋Z	包絡波*2	1.0×Ｓｓ	-

注記　＊1：[redacted]～[redacted]程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波で加振を行う。

＊2：水平，鉛直方向毎に複数の基準時振動Ｓｓの床応答スペクトルを包絡する模擬地震波を作成して加振。

4.4　計測要領

4.4.1　計測項目

(1) オペフロ BOP 閉止装置の計測項目

計測項目は，試験体の代表的挙動を評価するための項目を計測する。計測項目を表 4-2 に示す。

表 4-2　オペフロ BOP 閉止装置計測項目

項目	計測点
加速度	・振動台 ・支持架台 ・扉 ・扉の駆動装置
ひずみ	・扉 ・プッシュローラ（開閉時に扉の面外方向を抑える部位） ・レール（ハンガーレール，下部ガイドレール） ・チェーン（エンドボルト） ・閂周辺（閂の荷重を伝達する部位）

4.4.2　計測位置

（1）オペフロ BOP 閉止装置の計測位置

計測点は，試験体の代表的な挙動を評価する位置に設置する。表 4-3 に計測項目の一覧表を示す。

①　加速度

図 4-5，図 4-6 に加速度計の設置位置を示す。

②　ひずみ

図 4-7 から図 4-11 にひずみゲージの設置位置を示す。

4.4.3　測定計器

オペフロ BOP 閉止装置の試験に使用する測定計器を表 4-4 に示す。

表 4-3　オペフロ BOP 閉止装置加振試験計測項目の一覧表（1/2）

No.	項目	記号	測定点	方向	備考
1	加速度	A1-1	振動台	X	・振動台上加速度を計測 ・扉開／閉位置における扉中心位置と同じ Y 軸の振動台上に設置
2				Y	
3				Z	
4		A2-1		X	
5				Y	
6				Z	
7		A1-2	下部ガイドレール	X	・下部ガイドレール上加速度を計測 ・支持架台による加速度増幅の確認が目的 ・測定点 A1-1, A2-1 と同じ Y 軸位置の下部ガイドレールに設置
8				Y	
9				Z	
10		A2-2		X	
11				Y	
12				Z	
13		A1-3	支持架台（A1-2，A2-2 裏側）	X	・支持架台上加速度を計測 ・支持架台による加速度増幅の確認が目的 ・測定点 A1-2, A2-2 と同じ高さ位置の支持架台に設置
14				Y	
15				Z	
16		A2-3		X	
17				Y	
18				Z	
19		A3	扉上部(開時)	X	・閉時，開時の扉上部の支持架台に設置 ・閉時，開時の BOP 閉止装置の機能維持確認済加速度の計測が目的 ・支持架台の振動特性確認も兼ねる
20				Y	
21				Z	
22		A4	扉上部(閉時)	X	
23				Y	
24				Z	
25		A5	扉の駆動装置本体	X	・扉の駆動装置単体の機能維持確認加速度の計測が目的 ・扉の駆動装置の振動特性確認も兼ねる
26				Y	
27				Z	
28		A6	扉の駆動装置の取付位置	X	
29				Y	
30				Z	
31		A7	扉の中央	X	・扉の振動特性，地震応答の確認が目的
32				Y	
33				Z	
34		A8	扉の右・中央	X	
35		A9	扉の左・中央	X	

前項の続き

36		A10	扉中央(上部)	X	
37				Y	
38		A11	扉中央(下部)	X	
39				Y	

表 4-3　オペフロ BOP 閉止装置加振試験計測項目の一覧表 (2/2)

No.	項目	記号	測定点	備考
40	ひずみ	S1	プッシュローラ(扉開時)	・ 扉閉時,開時におけるプッシュローラのひずみを計測
41		S2		
42		S3		
43		S4		
44		S5	プッシュローラ(扉閉時)	
45		S6		
46		S7		
47		S8		
48		S9	レール(ハンガーレール,下部ガイドレール)	・ S9, S10 は，扉開時のローラ付近のレールのひずみを計測 ・ S11，S12 は，扉閉時のローラ付近のレールのひずみを計測
49		S10		
50		S11		
51		S12		
52		S13	チェーン(エンドボルト)	・ チェーンの固定端付近(エンドボルト)を計測
53		S14		
54		S15	閂周辺(扉開時)	・ 閉時，開時における閂の荷重が伝達する部位のひずみを計測
55		S16		
56		S17	閂周辺(扉閉時)	
57		S18		
58		S19	ハンガーローラのリンク部	・ 鉛直方向の扉の荷重が伝達する部位のひずみを計測
59		S20		
60		S21		
61		S22	扉・中央の梁	・ S22 は水平方向，S23 は鉛直方向の扉中央のひずみを計測
62		S23		

表 4-4　オペフロ BOP 閉止装置加振試験測定計測器一覧表

No.	用途	計測器名称	メーカ（型式）	仕　様
1	動作試験 （扉開閉， 閂押上げ挿入速度測定）	ストップウォッチ		
2	動作試験 （モータ電流値測定）	デジタルクランプメータ		
3	気密性能試験	デジタル圧力計 （差圧計）		
4		デジタル圧力計 （差圧計）		
5		圧力計 （絶対圧）		
6		熱式風速計		
7		ガラス製単管温度計		
8	加振試験	加速度計		
9		加速度計		
10		ひずみゲージ		

注記＊：RO（Rated Output）：定格出力

図 4-5　加速度計の設置位置（振動台，支持架台）

図 4-6　加速度計の設置位置（扉，駆動装置）

図 4-7　ひずみゲージの設置位置（プッシュローラ）

図 4-8　ひずみゲージの設置位置（ハンガーレール，及び下部ガイドレール）

図 4-9　ひずみゲージの設置位置（チェーンのエンドボルト，門周辺）

注1）本図では，扉，モータ等を表示しておらず，開時のチェーン端付近にS13，S14の記号を表示。
注 2）チェーンのエンドボルト(S13，S14)，及び門周辺(開時に S15，S16，閉時に S17，S18)のひずみを計測。

図 4-10　ひずみゲージの設置位置（ハンガーローラ）

図 4-11　ひずみゲージの設置位置（扉）

5.　試験要領

5.1　オペフロ BOP 閉止装置加振試験手順

目標とする入力波を精度よく振動台で再現するための振動台補償加振の後，試験体を振動台に搭載し，下記の手順で加振及び加振後の作動試験，気密性能試験を実施する。

(1)　加振試験の準備として，センサ（加速度計及びひずみゲージ）が所定の位置に設置されていることを確認する。また，測定計器の仕様が適切であることを確認する。

(2)　センサ確認試験を以下の手順で実施する。

① 加振レベル 0.5 m/s^2 程度，振動数[redacted]～[redacted]にて，各方向単独で正弦波加振を行う。

② センサの取付方向，感度を確認する。

(3)　振動特性把握試験を以下の手順で実施する。

① オペフロ BOP 閉止装置の扉が開放状態であることを確認する。

② 加振レベル 2.0 m/s^2 程度にて，各方向単独で，[redacted]～[redacted]程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波の加振を行う。

③ 試験体の固有振動数を測定し，入力波の主要な振動数成分の範囲に固有振動数の有無を確認する。

④ オペフロ BOP 閉止装置の扉を閉止状態とし，(3) ②，③ を実施する。

【オペフロ BOP 閉止装置の扉開放状態における加振試験】

(4)　地震波加振試験を以下の手順で実施する。

① オペフロ BOP 閉止装置の扉が開放状態であることを確認する。

② センサ取付状況及び試験体の外観目視点検を行い，異常のないことを確認する。

③ 3 方向同時加振の包絡波による地震波で加振する。

④ 加振後，採取データを確認する。

⑤ 作動試験(扉開から閉操作のみ)を「5.4.1(1)　作動試験」のとおり実施する。

⑥ 気密性能試験を「5.3(1)　気密性能試験」のとおり実施する。

⑦ 作動試験を「5.4.1(1)　作動確認」のとおり実施する。

【オペフロ BOP 閉止装置の扉閉止状態における加振試験】

オペフロ BOP 閉止装置の扉を閉止状態とし，加振試験を実施する。試験内容については５．１(4)　扉開状態の試験と同様である。

5.2　気密性能試験について

(1)　気密性能試験

ＡＳＴＭ E283-4 (Standard Test Method for Determining Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen) に準じた装置を用いて実施する。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。

図 5-1 にオペフロ BOP 閉止装置気密性能試験装置図，図 5-2 にオペフロ BOP 閉止装置試験体の内のり寸法図を示す。

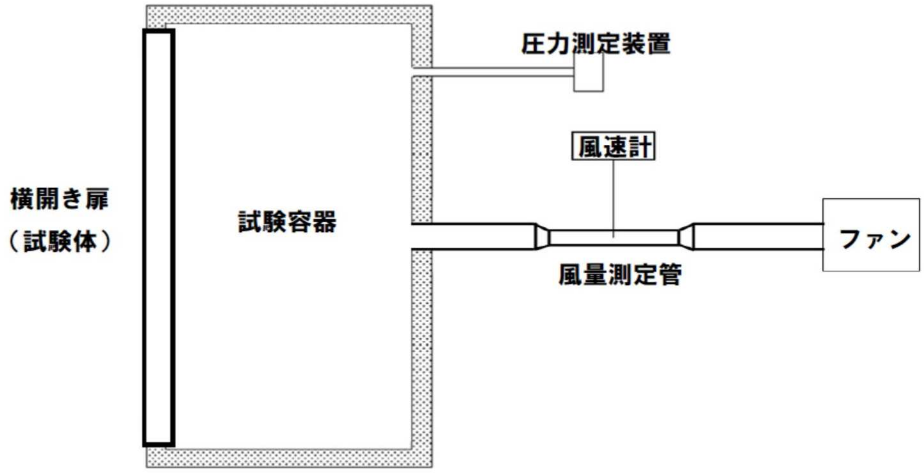


図 5-1　オペフロ BOP 閉止装置気密性能試験装置図

図 5-2　オペフロ BOP 閉止装置試験体の内のり寸法図

試験体を通過した空気量Q（m³/h）は，風速計の風速V（m/s），風量測定管の直径ｄ（m）

から算出する。

$$Q = V \times \frac{\pi \times d^2}{4} \times 3600$$

試験手順は,「ＪＩＳ Ａ 1516（建具の気密性試験方法）6.3 試験手順」に準じて（ただし,予備加圧後の開閉確認は省略する。），負圧での圧力差[redacted],[redacted],[redacted],[redacted],[redacted],と上げ，[redacted],[redacted],[redacted],[redacted],[redacted]と下げていく*（保持時間1分）。通気方向は1方向（負圧）とする。（図 5-3　負圧試験線図）

注記　＊：負圧を維持できる範囲で試験を実施する。

[redacted]

図 5-3　負圧試験線図

試験により得られた試験体を通過した空気量Ｑ（m^3/h）を，標準状態（20 ℃，1013 hPa）に換算し，扉の内のり面積（m^2）で除すことにより，単位面積当たり，1時間当たりの通気量（$m^3/h\cdot m^2$）として算出する。圧力差に応じた通気量の推移を確認する。

$$q = Q' / A$$

ここで,

q　：通気量（$m^3/h\cdot m^2$）

Ａ　：試験体の内のり面積（m^2）

Q’：通過した空気量（20 ℃，1013 hPa 換算値）（m^3/h）

$$Q' = Q \cdot \frac{P}{1013} \cdot \frac{273+20}{273+T}$$

Ｐ　：試験容器内の気圧（hPa）

Ｔ　：試験時の空気温度（℃）

(2)　判定基準

通気量：[redacted]以下*（差圧 63 Pa 時）

注記　＊：閉止装置単体の判定基準（設計目標）としては，ＪＩＳ Ａ 1516 で示される

A4 等級以上とする。なお，原子炉建屋原子炉区域全体としての気密性能は確保できることを確認する。試験体は，実機に取り付ける全ての閉止装置を考慮し，各々の縦・横寸法を包絡する大きさで製作することにより試験の保守性を確保する。

5.3　作動確認について

5.3.1　作動確認

(1) オペフロ BOP 閉止装置

【電動作動確認】

オペフロ BOP 閉止装置の閂引抜きから扉開閉，閂挿入一連の動作を扉の作動確認として，動作可能であることを確認する。併せて，作動時に電動機が定格電流値以下であることを確認するため，電流測定及び開閉時間を測定する。なお，開操作と閉操作は原則各 1 回とするが，初期状態との差異があると判断した場合は，各 5 回計測し，最も保守的な値を判定基準に用いる。なお，電動作動時間については次のとおりとする。

・連動動作（扉閉）：操作盤の自動閉スイッチを押してから，閂引抜き，扉が閉止動作を行い，閂が挿入され，操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間

・連動動作（扉開）：操作盤の自動開スイッチを押してから，閂引抜き，扉が開放動作を行い，閂が挿入され，操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間

また,オペフロ BOP 閉止装置の閂が引抜き,挿入できることを確認する。併せて，作動時に電動機が合格基準値以下であることを確認するため電流測定及び開閉時間を測定する。なお，開操作と閉操作は原則各 1 回とするが，初期状態との差異があると判断した場合は,各 5 回計測し,最も保守的な値を判定基準に用いる。なお,電動作動時間については次のとおりとする。

・閂引抜き時間：操作盤の閂引抜きのスイッチを押してから閂が引抜かれ，操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間

・閂挿入時間　：操作盤の閂挿入のスイッチを押してから閂が挿入され，操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間

【手動作動確認】

オペフロ BOP 閉止装置の扉が閉止状態での加振後,手動操作によりの閂を引抜き，扉閉止，閂を挿入できることを確認する。

図5-4　オペフロBOP閉止装置手動操作概念図

5.3.2　判定基準

(1)　オペフロBOP閉止装置

【電動作動確認】

○扉

電動駆動により開閉できること。

扉の閉止：全閉位置であること。

開閉時間：120秒以内

電流値　：定格電流値以内であること。

※作動試験時の電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に，原因特定するための参考情報として取得する。

○閂

閂駆動モータにより閂が引抜き，または挿入できること。

閂の位置　　：閂が挿入又は引抜き位置であること。

動作時間　　：20 秒以内

電流値　　　：定格電流値以内であること。

※作動試験時の電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に，原因特定するための参考情報として取得する。

【手動作動確認】

手動操作により，閂を引抜き，扉の閉止または開放，閂を挿入の一連の動作ができること。

ブローアウトパネル閉止装置の閂ピンと閂受の熱膨張による影響について

1.　概要

ブローアウトパネル閉止装置の閂ピンおよび閂受が熱膨張した場合においても，閂ピンの熱膨張量が，閂ピンと閂受の隙間の範囲内であり，閂ピンの挿入性に影響しないことを確認する。

2.　簡易評価結果

(1) 燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置

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」）において，閂部は閂ピン，閂受板（扉側）および閂受板（枠側）から構成される。本検討では，閂ピンおよび閂ピンとの隙間がより小さい閂受板（枠側）（以下「閂受」）を対象にする。オペフロ BOP 閉止装置において，閂ピンの材質が[redacted]閂受が[redacted]である。[redacted]の熱膨張係数は[redacted]の[redacted]倍以上であり，ピン径より穴径の熱膨張による増加の割合が大きいために，熱膨張による閂ピンの挿入性には影響がない。

3.　熱膨張係数を用いた詳細評価結果

(1) 閂ピンと閂受の寸法

オペフロ BOP 閉止装置の閂ピンおよび閂受の寸法を図 3-1 に示す。

[redacted]

図3-1　オペフロBOP閉止装置の閂ピンおよび閂受

(2)　オペフロBOP閉止装置の評価条件・評価結果

以下には熱膨張量の計算の仮定について示す。

- ✓　オペフロBOP閉止装置が閉止状態において，SA時の温度が[redacted]になると仮定し，室温[redacted]からの温度差ΔT＝[redacted]にて評価を実施する。
- ✓　各部の熱膨張係数は以下に示す値を使用する。
  （出典：発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2007年追補版））
  閂受[redacted]：熱膨張係数α_1：[redacted]
  閂ピン[redacted]：熱膨張係数α_2：[redacted]
- ✓　各部材の熱膨張量ΔLをΔL＝α・L・ΔTにより評価する。
- ✓　ピンと閂受の間の熱膨張量の差δをδ＝ΔL（閂受）－ΔL（ピン）により評価する。
- ✓　δ＞0となる場合は，閂受の熱膨張量がピンの熱膨張量よりも大きく，熱膨張による閂挿入性への影響はないと判断できる。

評価条件および評価結果を表3-1に示す。δ＞0であり熱膨張による影響はない。

表3-1　オペフロBOP閉止装置の評価条件および評価結果

	ΔT(℃)	L(mm)	ΔL(mm)	δ(mm)
閂受Ａ－Ａ	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
閂受Ｂ－Ｂ	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
閂ピン	[redacted]	[redacted]	[redacted]	－

燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の機能確認試験結果について

1. 試験結果

「試験要領」に基づき実施した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。）の試験結果概要を以下の表 1-1 に示す。

表 1-1 オペフロ BOP 閉止装置試験結果概要

区分	No	試験項目	目的／試験内容	結果
事前確認	1	センサ確認	加速度センサの動作確認	完了
	2	振動特性試験	ランダム波による閂状態での振動特性（固有値）確認	完了
作動確認（加振無）	3	作動試験	電動での閉止装置作動確認	良好
気密性能確認（加振無）	4	気密性能試験	気密性能確認	良好
加振試験	5	加振試験Ｓｓ（扉閉） ・作動確認 ・気密性能試験	・加振→扉閉操作（閂含む） →気密性能確認 ・電動での扉開閉確認（閂含む）	良好
	6	加振試験Ｓｓ（扉閉） ・作動確認 ・気密性能試験	・加振→気密性能確認 ・電動での扉開閉確認（閂含む） ・手動での開閉操作	良好

2.　固有振動数

オペフロ BOP 閉止装置の固有振動数を確認するため，扉が開状態と閉状態時に，各方向（X，Y，Z 方向）単独で，[redacted]Hz～[redacted]Hz 程度の振動数成分を有する広帯域ランダム波（加振レベル[redacted]m/s^{2}程度）で加振し，オペフロ BOP 閉止装置の固有振動数を確認した。オペフロ BOP 閉止装置の固有振動数確認結果として，扉開状態では，X 方向（面外方向），Y 方向（面内方向），Z 方向（鉛直方向）ともに明確な振動数ピークは確認されず，扉の固有振動数は [redacted] Hz 以上と評価した。また扉閉状態では，X 方向（面外方向）にのみピークが確認され，閉状態面外方向の固有振動数は，約[redacted]Ｈｚ（約[redacted]秒）と評価した。固有振動数を図 2-1 に示す。

図 2-1　オペフロ BOP 閉止装置の固有振動数

3.　加振試験加速度の妥当性

(1) オペフロ BOP 閉止装置

オペフロ BOP 閉止装置の上部及び下部の最大加速度は，Ｓｓ包絡条件を超えており，必要な加振がされていることを確認した。加振レベルＳｓの加速度結果を以下の表3-1から表3-4に示す。また加振時の応答スペクトルが設計応答スペクトルを超えていることを確認した。応答スペクトルの測定結果を図3-1から図3-4に示す。

表3-1　扉「開」上部の加速度評価（試験No.5）

方向	Ｓｓ包絡条件 (×9.8 m/s²)	A3(扉上部) 計測結果（×9.8 m/s²）	判定結果
X	[redacted] ＜	[redacted]	○
Y		[redacted]	○
Z	[redacted] ＜	[redacted]	○

表3-2　扉「開」下部の加速度評価（試験No.5）

方向	Ｓｓ包絡条件 (×9.8 m/s²)	A1-1（扉下部） 計測結果（×9.8 m/s²）	判定結果
X	[redacted] ＜	[redacted]	○
Y		[redacted]	○
Z	[redacted] ＜	[redacted]	○

表3-3　扉「閉」上部の加速度評価（試験No.6）

方向	Ｓｓ包絡条件 (×9.8 m/s²)	A4(扉上部) 計測結果（×9.8 m/s²）	判定結果
X	[redacted] ＜	[redacted]	○
Y		[redacted]	○
Z	[redacted] ＜	[redacted]	○

表3-4　扉「閉」下部の加速度評価（試験No.6）

方向	Ｓｓ包絡条件 (×9.8 m/s²)	A2-1（扉下部） 計測結果（×9.8 m/s²）	判定結果
X	[redacted] ＜	[redacted]	○
Y		[redacted]	○
Z	[redacted] ＜	[redacted]	○

図 3-1　扉開　下部測定結果（試験 No.5）　　図 3-2　扉開　上部測定結果（試験 No.5）

図 3-3　扉閉　下部測定結果（試験 No.6）　　図 3-4　扉閉　上部測定結果（試験 No.6）

4. 加振試験結果

4.1 気密性能試験結果

オペフロ BOP 閉止装置気密性能試験の初期状態及び加振後については表 4-1 のとおり。加振後の漏えい量も十分に小さく，燃料取替床ブローアウトパネル部に適用し，既設原子炉建屋のインリーク量を考慮した場合でも，原子炉建屋としての気密性能（負圧）は十分に確保できることを確認した。

表 4-1　オペフロ BOP 閉止装置加振後の気密性能試験

試験条件		通気量 [m^3/h·m^2] (63 Pa 時)	備考
扉	加振		
開	初期状態		扉を閉止して試験実施
開	Ｓｓ		加振後に扉を閉止し試験
閉			扉閉状態での加振後の状態で試験

＜原子炉建屋としての負圧達成について＞

今回のオペフロ BOP 閉止装置の気密性能試験結果から，本装置を燃料取替床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，非常用ガス処理系定格容量（2000 m^3/h）は，推定インリーク量[redacted]m^3/h を十分に上回るため，非常用ガス処理系にて 63 Pa 以上の負圧達成可能である。

・既設原子炉建屋の推定インリーク量[*1]：約 1470 m^3/h@63 Pa
・オペフロ BOP 閉止装置 4 台の合計面積：約[redacted] m^2
・オペフロ BOP 閉止装置 4 台設置時の推定インリーク量：[redacted] m^2×[redacted]m^3/h·m^2＝[redacted] m^3/h @63 Pa
・非常用ガス処理系定格容量：2000 m^3/h@63 Pa
・オペフロ BOP 閉止装置設置時の原子炉建屋原子炉区域の推定漏えい量：
1470m^3/h＋[redacted] m^3/h＝[redacted] m^3/h@63 Pa ＜2000 m^3/h@63 Pa
（非常用ガス処理系定格容量）

*1 既設原子炉建屋の推定インリーク量については定期検査時の原子炉建屋気密性能検査時の記録のなかで、最もインリーク量が多かったものを採用した。

4.2 扉作動試験

(1) オペフロ BOP 閉止装置

オペフロ BOP 閉止装置加振前後の扉作動試験の結果は表 4-2，表 4-3 とおり。作動時間，電流値ともに設計目標値を満足しており，問題ないことを確認した。なお，扉の動作時間は，操作盤の自動開閉スイッチを押してから，閂が引抜かれ，扉が開閉動作を行い，操作盤の動作完了を示すランプが点灯するまでの時間とする。

表 4-2 オペフロ BOP 閉止装置加振前の扉作動試験結果

扉 （初期状態）	電動		手動
	時間	電流値	
	120秒以内 （目標値）	[redacted] A以内 （定格値）	
開放→閉止	87秒	[redacted]A	－
閉止→開放	87秒	[redacted]A	－

※電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に，原因特定するための参考情報として取得した。

表 4-3　オペフロ BOP 閉止装置加振後の扉作動試験結果

試験条件	扉 （初期状態）	電動				手動
		開放→閉止		閉止→開放		
		時間	電流値	時間	電流値	
		120秒以内 （目標値）	[redacted]A以内 （定格値）	120 秒以内 （目標値）	[redacted]A以内 （定格値）	
Ｓｓ	開	87秒	[redacted]A	87秒	[redacted]A	異常なし*
	閉	87秒	[redacted]A	87秒	[redacted]A	

注記*：手動操作は開放→閉止について実施した。

※電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に，原因特定するための参考情報として取得した。

4.3　閂作動試験

(1) オペフロ BOP 閉止装置

オペフロ BOP 閉止装置加振前後の閂作動試験の結果は表 4-4，表 4-5 のとおり。作動時間，電流値ともに設計目標値を満足しており，問題ないことを確認した。

表4-4　オペフロBOP閉止装置加振前の閂作動試験結果

閂位置	電動				手動	
	引抜き時		挿入時		押上げ時	挿入時
	時間	電流値	時間	電流値		
	20 秒以内 （目標値）	[redacted]A以内	20 秒以内 （目標値）	[redacted]A以内		
扉開側	20秒	[redacted]A	20秒	[redacted]A	-	-
扉閉側	20秒	[redacted]A	20秒	[redacted]A	-	-

※電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に，原因特定するための参考情報として取得した。

表4-5　オペフロBOP閉止装置加振後の閂作動試験結果

試験条件	扉（初期状態）	閂位置	電動				手動	
			引抜き時		挿入時		引抜き時	挿入時
			時間	電流値	時間	電流値		
			20秒以内（目標値）	[redacted]A以内	20秒以内（目標値）	[redacted]A以内		
Ｓｓ	開	扉開側	20秒	[redacted]A	20秒	[redacted]A	異常なし	異常なし
		扉閉側	20秒	[redacted]A	20秒	[redacted]A	異常なし	異常なし
	閉	扉開側	20秒	[redacted]A	20秒	[redacted]A	―	―
		扉閉側	20秒	[redacted]A	20秒	[redacted]A	―	―

※電流値は動作時間が目標値を上回ってしまった場合に，原因特定するための参考情報として取得した。

燃料取替床ブローアウトパネル強制開放装置（自主対策設備）の配置と構造について

1.　概要

燃料取替床ブローアウトパネル強制開放装置（以下「オペフロ BOP 強制開放装置」という。）は，仮に，格納容器バイパス事象発生時にオペフロ BOP4 枚のうち複数枚が開放せず，原子炉建屋内の環境改善を目的にブローアウトパネルを強制的に開放する必要が発生した場合を想定して，強制的にオペフロ BOP を開放させるために設置する。本設備は，自主対策設備として設置する。

2.　設置位置及び台数

オペフロ BOP 強制開放装置は，各オペフロ BOP に設置することとし，原子炉建屋地上４階中間床に８台（各パネルに２台）設置する。設置位置を図 2-1 に示す。

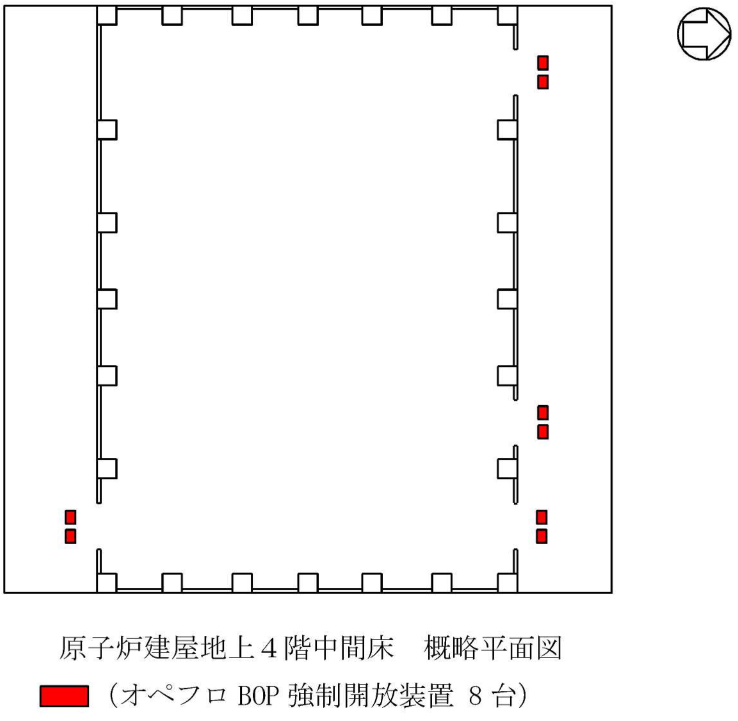


図 2-1　オペフロ BOP 強制開放装置設置位置図

3.　設備概要

本設備は，電動ウインチ及びワイヤロープから構成される。オペフロ BOP 強制開放装置は中央制御室から操作可能とし，操作スイッチにより電動ウインチが稼動し，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する。なお，ワイヤロープ巻き取り時にブローアウトパネルが傾くことのないよう，２台の強制開放装置をインバータにより制御する設計とする。

オペフロ BOP が開放状態になり，オペフロ BOP 閉止装置が稼動する際，その妨げにならないように，オペフロ BOP 強制開放装置はオペフロ BOP を建屋から引き離した状態を保持する。また，電源が確保できない場合に備え，手動により操作可能な設計とする。

4.　自然現象及び人為事象に対する設計方針

(1)　地震

自然現象のうち地震に関して，オペフロ BOP 強制開放装置は，安全上重要な他設備に波及的影響を及ぼさない設計とする。

(2)　津波

自然現象のうち津波に関して，オペフロ BOP 強制開放装置は津波の影響を受けない位置に設置されることから，設計上考慮しない。

(3)　風（台風）及び竜巻

自然現象のうち風（台風）に関してオペフロ BOP 強制開放装置は，風（台風）による風荷重の影響により，安全上重要な他設備に波及的影響を及ぼさない設計とする。また，自然現象のうち竜巻に関しては，竜巻による風荷重の影響により，安全上重要な他設備に波及的影響を及ぼさない設計とする。

(4)　積雪及び火山の影響

自然現象のうち積雪及び火山の影響に関して，オペフロ BOP 強制開放装置は，積雪及び降下火砕物の堆積の影響により，安全上重要な他設備に波及的影響を及ぼさない設計とする。

(5)　その他自然現象及び人為事象

その他自然現象及び人為事象に関して，オペフロ BOP 強制開放装置は，これら事象による影響により，安全上重要な他設備に波及的影響を及ぼさない設計とする。

5.　溢水

溢水に関して，オペフロ BOP 強制開放装置は溢水の影響を受けない位置に設置されることから，設計上考慮しない。

6.　火災

火災に関しては，オペフロ BOP 強制開放装置は火災により，安全上重要な他設備に波及的影響を及ぼさない設計とする。

7.　オペフロ BOP 強制開放装置の機能確認試験について

（1）　試験項目

作動確認：強制開放装置によるオペフロ BOP の開放動作確認（電動駆動）

強制開放装置によるオペフロ BOP の開放動作確認（手動操作）

（2）　試験方法

本試験に使用する機器の配置及び構成の概念図を図 7-1 に示す。

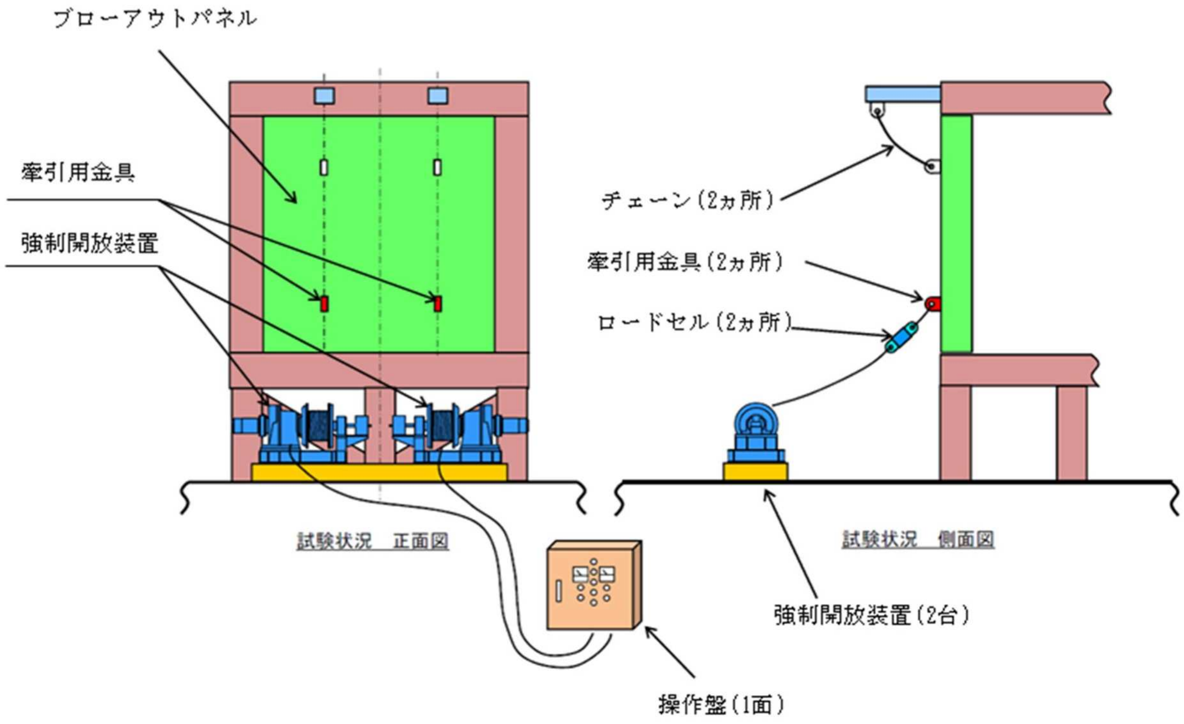


図 7-1　試験機器配置及び構成　概念図

試験装置架構にオペフロ BOP を取り付ける。パネル下部に設置した牽引用金具に強制開放装置ワイヤロープを取り付け，強制開放装置によって巻き取り，オペフロ BOP を開放させる。

表7-1　オペフロBOP試験体仕様

製　造	清水建設株式会社
型　式	既存パネル模擬
概算質量	1500 kg
数量	各 1 面
サイズ	幅 4260 mm×高さ 4160 mm
クリップ取付箇所	18 箇所*
シール材	シリコンシーラント

*オペフロＢＯＰ設計上のクリップ個数より開放しづらいクリップ個数に変更して試験を実施

(3)　確認項目および判定基準

(3).1　電動駆動

確認項目：開放時における装置の負荷

判定基準：定格荷重以下であること

(3).2　手動操作

確認項目：手動操作によるパネルの開放可否

判定基準：手動ハンドル操作によりパネルの開放が可能であること

(4)　試験結果

(4).1　開放動作確認

試験条件としたクリップ数 18 個(幅約 75 ㎜を 18 個)の実機大モックアップ試験体に対して，強制開放装置による強制開放試験を実施し，オペフロ BOP が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。電動駆動試験は同条件で 3 回実施した。また，手動操作は 1 回実施し，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。試験結果を表 7-2，表 7-3 に示す。

表 7-2　試験結果（電動駆動）

試験対象	試験日	測定値 (kN)	許容値(kN) (定格荷重)	判定
試験体1	2019/7/17	[redacted]	68.6	○
試験体2	2019/7/18	[redacted]		○
試験体3	2019/7/19	[redacted]		○

表 7-3　試験結果（手動操作）

試験対象	試験日	手動操作による開放可否	判定
試験体2	2019/7/31	可	○

8.　オペフロ BOP 強制開放装置の動作による悪影響について

(1)　オペフロ BOP の開放挙動について

実機においてオペフロ BOP が開放した際，飛散し他設備へ影響を及ぼさないよう，2 本のチェーンにて落下を防止する。オペフロ BOP は，開放後にチェーンの上部吊り点を中心に弧を描くように開放する。

(2)　オペフロ BOP 閉止装置への悪影響防止について

開放したオペフロ BOP とオペフロ BOP 閉止装置が最も接近する箇所で[redacted]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。また，飛散防止チェーンおよび強制開放装置のワイヤロープがオペフロ BOP 閉止装置に干渉しない設計とする。

(2).1　クリアランスの算出について

上部吊り点およびオペフロ BOP とチェーンとの取り合い点を定点として，オペフロ BOP 開放後に周辺設備と干渉しないチェーン長さ（リンク数）を検討し，設定する。その後，設定したチェーン長における開放後の軌跡を描き，オペフロ BOP 閉止装置のクリアランスの値を確認する。なお，オペフロ BOP を吊ることによって生じるチェーンの伸びは，[redacted]であり，チェーンの伸びを考慮しても開放した BOP とオペフロ BOP 閉止装置が最も接近する箇所で[redacted]のクリアランスを確保している。

表 7-4　クリアランスの内訳

③	②	③	④(=③-(①+②))
上部飛散防止チェーン長さ	オペフロ BOP 取合い部からオペフロ BOP 下端	上部吊り点からオペフロ BOP 閉止装置	オペフロ BOP と オペフロ BOP 閉止装置のクリアランス
[redacted]			

(2).2 飛散防止チェーンの長さについて

飛散防止チェーンの長さは以下の項目を考慮し，設計する。

・オペフロ BOP の開放を阻害しないこと（上部チェーン）

・開放したブローアウトパネルがオペフロ BOP 閉止装置と干渉しないこと（上部チェーン）

・開放したブローアウトパネルが非常用ディーゼル発電機サイレンサと干渉しないこと（下部チェーン）

強制開放装置によるオペフロ BOP 開放時の軌跡およびオペフロ BOP とオペフロ BOP 閉止装置のクリアランスについて図 8-1 に示す。

また､オペフロ BOP の通常状態を図 8-2 に，オペフロ BOP 強制開放装置で開放した場合の状態を図 8-3 に示す・

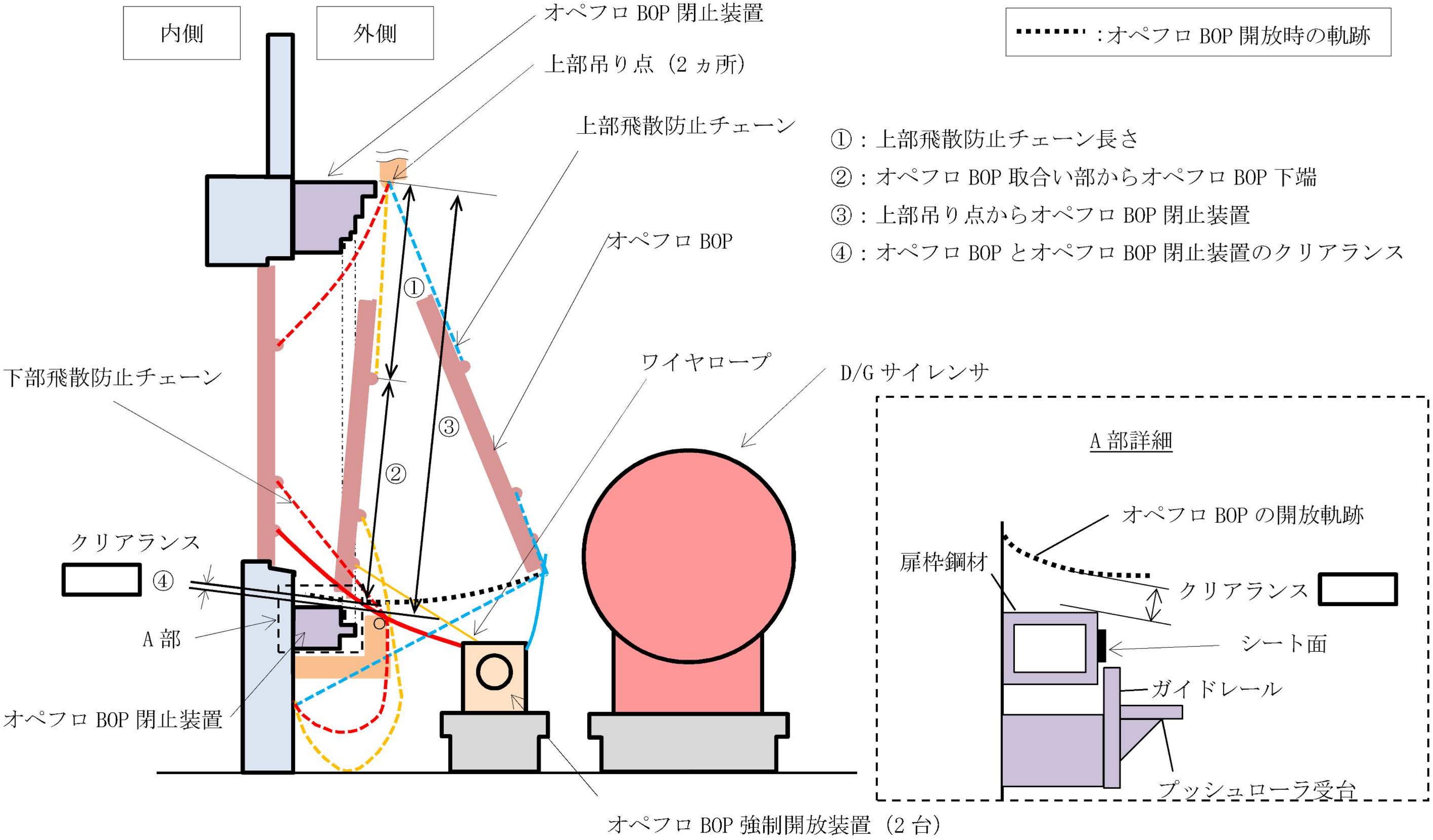
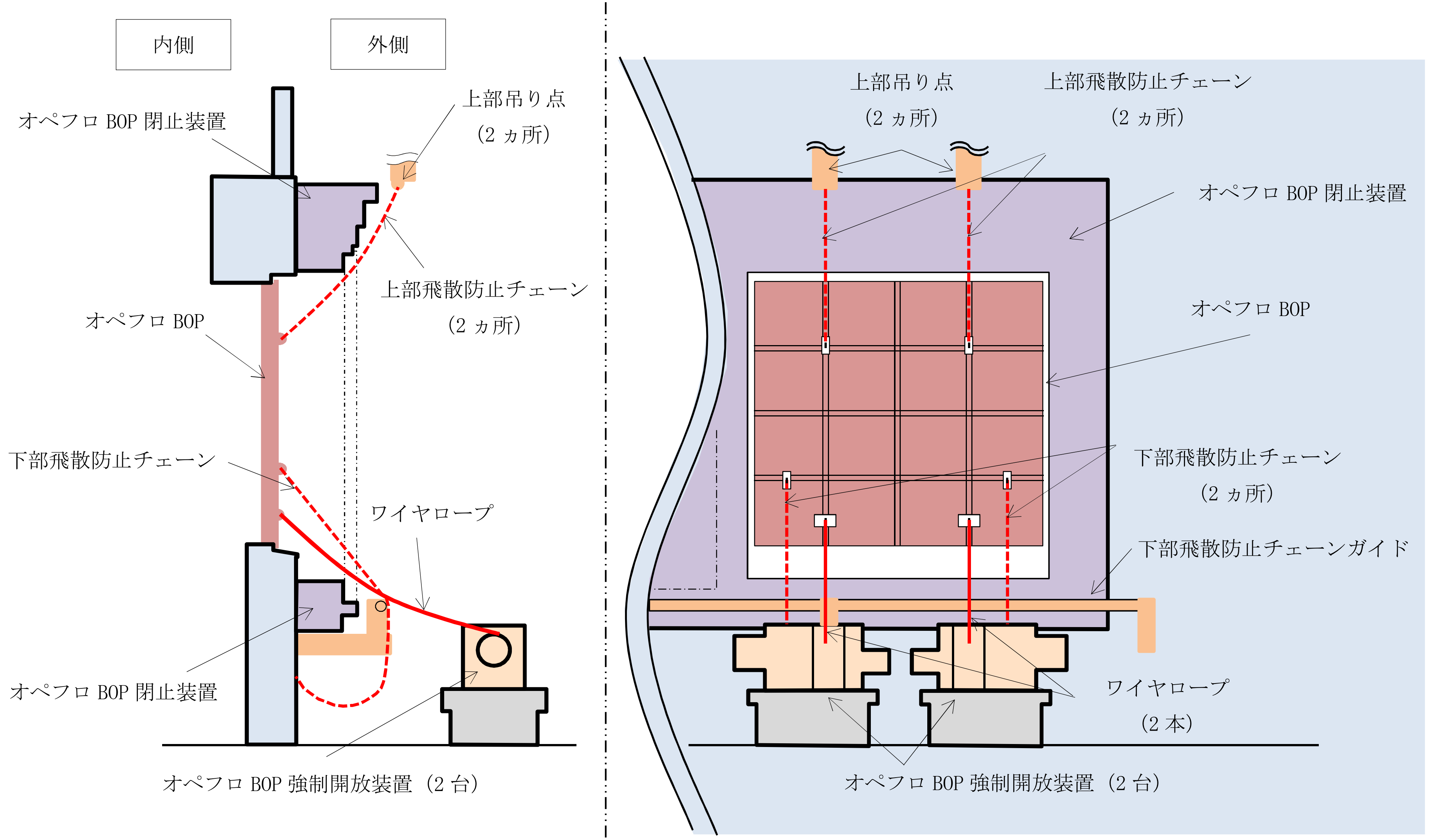


図 8-1　オペフロ BOP 開放軌跡（断面図）



断面図　　　　正面図

図 8-2　オペフロ BOP 閉止装置と強制開放装置の位置関係

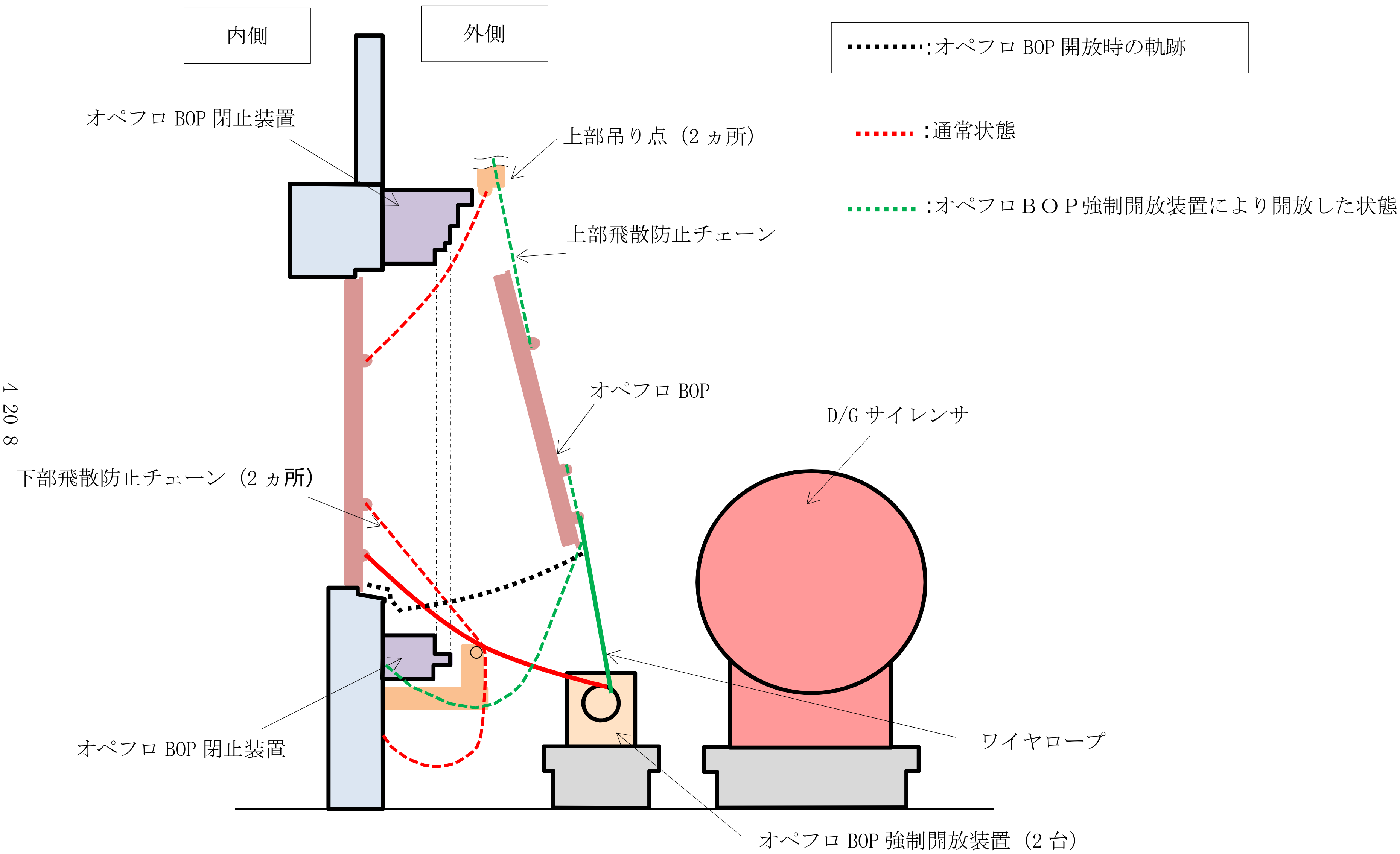


図 8-3　オペフロＢＯＰ強制開放装置により巻取り状態図

ブローアウトパネル関連設備の先行電力との差異について

1. 概要

ブローアウトパネル関連設備の先行電力との差異について説明する。

2. ブローアウトパネル関連設備の構成比較

ブローアウトパネル関連設備の構成比較について表 2-1 に示す。

表 2-1　ブローアウトパネル関連設備の構成比較

先行電力	柏崎刈羽 7 号機	差異の有無
原子炉建屋外側ブローアウトパネル	燃料取替床ブローアウトパネル	無
	主蒸気配管トンネル室ブローアウトパネル	有
ブローアウトパネル閉止装置	燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置	無
ブローアウトパネル強制開放装置（自主対策設備）	燃料取替床ブローアウトパネル強制開放装置（自主対策設備）	無

2.1 差異箇所の詳細について

柏崎刈羽 7 号機には主蒸気配管トンネル室ブローアウトパネル（以下「MS トンネル室ブローアウトパネル」という。）があるが先行電力には設置されていない。先行電力は原子炉建屋 5 階及び 6 階にブローアウトパネルが[redacted]枚設置されており，主蒸気管破断事故時に発生する蒸気を全て原子炉建屋外側ブローアウトパネルで原子炉建屋外へ逃がす設計としているが，柏崎刈羽 7 号機では原子炉建屋 4 階に設置される燃料取替床ブローアウトパネル（以下「オペフロ BOP」という）4 枚及び原子炉建屋 1 階に設置される MS トンネル室 BOP79 枚により，主蒸気管破断事故時に発生する蒸気を原子炉建屋外へと逃がす設計としていることから相違しているものである。

3. オペフロ BOP の詳細設計に関する比較

先行電力で設置されている原子炉建屋外側ブローアウトパネルと柏崎刈羽 7 号機で設置するオペフロ BOP の設備詳細比較を表 3-1 に示す。

表 3-1　オペフロ BOP の設備詳細比較

項目	先行電力	柏崎刈羽 7 号機	差異の有無
パネル枚数	[redacted]	4 枚	有
設計差圧	[redacted]	3.43kPa	有
材料	[redacted]	SS400	無
作動方式	[redacted]	クリップ式（18 個（幅約 37.5mm を[redacted]個，幅約 75mm を[redacted]個）／パネル）	有

クリップ仕様	[redacted]	材質 SUS304，幅約 75 mm又は幅約 37.5 mm，厚さ約[redacted]mm	有
すべり台	無	有	有
コーキング有無	パネル 4 辺をシール材によりコーキング	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	有

3.1　差異箇所の詳細について

(1)　パネル枚数について

パネル枚数については 2.1 項でも前述の通り，柏崎刈羽 7 号機では主蒸気管破断事故時に蒸気を逃がす箇所が MS トンネル室側にも存在する為，設置枚数が減少している。

(2)　設計差圧について

設計差圧については 2.1 項でも前述の通り，柏崎刈羽 7 号機では主蒸気管破断事故時に蒸気を逃がす箇所が MS トンネル室側にも存在する為，オペフロ BOP まで到達する蒸気圧が低くなっており設計差圧が小さくなっている。

(3)　クリップの個数について

クリップの個数については，弾性設計用地震動による地震力や設計差圧を考慮してクリップを左右対称に配置する観点から，上部[redacted]個（幅約 75mm のクリップ[redacted]個，幅 37.5mm のクリップ[redacted]個），下部[redacted]個（幅約 75mm のクリップ[redacted]個）としている。

(4)　クリップ仕様について

クリップ仕様については先行電力では材質を[redacted]としているが，耐食性の向上を目的として柏崎刈羽 7 号機では SUS304 に材質を変更している。

(5)　すべり台について

パネルと躯体の摩擦力を低減させるため，パネル及び躯体にステンレス製のすべり台を 2 箇所設置している。

(6)　コーキングについて

柏崎刈羽 7 号機では，実際に設置されている状況に合わせてパネル下部を除く 3 辺をシール材によりコーキングしている。

4.　クリップ引張試験に関する比較

先行電力で実施されているクリップ引張試験と柏崎刈羽7号機で実施されているクリップ引張試験の比較を表4-1に示す。

表4-1　クリップの引張試験比較

項目	先行電力	柏崎刈羽7号機	差異の有無
試験方法	オートグラフ試験機 変位制御（引張速度 1mm/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	オートグラフ試験機 変位制御(引張速度 2㎜/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	有
試験体数	30体	幅約75㎜：3体 幅約37.5㎜：3体	有

4.1　差異箇所の詳細について

(1)　試験方法について

引張速度は十分小さなひずみ速度となるようにするために設定するが，先行電力と柏崎刈羽7号機ではクリップの寸法が異なることから引張速度を変更している。

(2)　試験体数について

試験体数は柏崎刈羽7号機では，補足説明資料4-4に示すように弾性設計用地震動Ｓｄによる地震力や設計開放圧力との間には余裕があり，また金属製品であり公差は小さくできることからJSME 設計・建設規格 SSB-3210や建築構造部材の耐力試験等で一般的に用いられている3体としている。

5.　オペフロBOPの試験に関する比較

先行電力で実施されている原子炉建屋外側ブローアウトパネルの開放確認試験と柏崎刈羽7号機で実施されているオペフロBOPの開放確認試験に関する比較を表5-1に示す。

表5-1　オペフロBOPの開放確認試験比較

項目	先行電力	柏崎刈羽7号機	差異の有無
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	2回	3回	有
試験体数	3体	3体	無
試験用パネル	実機に設置されているパネルのうち、最大の物と同一	実機と同一	有
動作確認	目視にて開放を確認	目視にて開放を確認	無

5.1　差異箇所の詳細について

(1)　試験回数について

先行電力では，開放確認の1回とその再現性を確認するための1回の合計2回としている。柏崎刈羽7号機ではクリップ引張試験と同様に3回の試験をしている。

(2)　試験用パネルについて

試験用パネルについては先行電力では，実機に設置されているパネルサイズが数種類あり，そのうちの最大のものを採用しているのに対して，柏崎刈羽7号機ではパネルサイズが1種類であることから実機と同一としている。

6.　燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の詳細設計に関する比較

先行電力で設置されているブローアウトパネル閉止装置と柏崎刈羽第7号機で設置する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）の設備詳細比較を表6-1に示す。

表6-1　オペフロBOP閉止装置の設備詳細比較

項目	先行電力	柏崎刈羽7号機	差異の有無
材料（扉）	[redacted]	[redacted]	無
台数	[redacted]	4	有
閂の構造	電動シリンダ	電動シリンダ+シャフト [redacted]	有
閂の作動方式（挿入時）	自重	自重+電動	有
閂のギャップ	[redacted]	[redacted]	有
ハンガーレール	[redacted]	[redacted]	有
ガイドレール	[redacted]	[redacted]	有
テーパブロック	[redacted]	[redacted]	有
チェーン材料	[redacted]	[redacted]	有
作動方式	電動（手動）	電動（手動）	無
手動操作方式	ワイヤー	クランクハンドル	有

6.1　差異箇所の詳細について

(1)　材料について

チェーンに使用した材料は先行プラントの[redacted]から，柏崎刈羽7号機では耐候性を考慮して[redacted]に変更している。

(2)　台数について

台数については2.1項で前述の通り，ブローアウトパネルの枚数に違いがあり，柏崎刈羽7号機では4台となっている。

(3)　手動操作方式について

先行電力ではブローアウトパネル閉止装置の近傍にアクセスが難しいことからワイヤーを用いた遠隔操作で手動操作を行うこととしているが，柏崎刈羽 7 号機ではオペフロ BOP 閉止装置近傍までアクセス可能なことから電動機を直接クランクハンドルを用いて操作する手動操作方式としている。

(4)　閂の構造について

先行電力及び柏崎刈羽 7 号機の閂の構造を図 6-1 に示す。先行電力では電動シリンダを上昇/下降させることで閂機構部をガイドに沿って動作させる構造としているが，柏崎刈羽 7 号機では閂機構部にシャフトを[redacted]追加することで，閂ピンの挿入精度を向上させた。これにより，閂のギャップも先行電力の[redacted]から柏崎刈羽 7 号機では[redacted]に変更している。

また，先行電力では電動シリンダを下降させることで，自重で閂機構部が下降する構造としていたが，柏崎刈羽 7 号機では強制引込構造を追加することで，自重に加え，電動シリンダの動力で閂機構部を強制的に下降させることも可能な構造に変更している。

図 6-1　先行電力及び柏崎刈羽 7 号機の門の構造

(5)　部材の構造について

耐震性の向上を目的として，柏崎刈羽 7 号機のオペフロ BOP 閉止装置を構成する部材の一部寸法を先行電力のブローアウトパネル閉止装置から変更している。

7.　オペフロ BOP 閉止装置の加振試験・気密試験に関する比較

先行電力で実施されているブローアウトパネル閉止装置の加振試験，気密試験と柏崎刈羽 7 号機で実施されているオペフロ BOP 閉止装置の加振試験，気密試験に関する比較を表 7-1 に示す。

表 7-1　オペフロ BOP 閉止装置の加振試験・気密試験比較

項目	先行電力	柏崎刈羽 7 号機	差異の有無
試験装置	3 次元振動台（兵庫耐震工学研究センター）	3 次元振動台（兵庫耐震工学研究センター）	無
加振波	①　オペフロ BOP 閉止装置設置高さより上方の床応答 ②　建屋影響評価等のばらつきを包絡 ③　減衰定数[redacted]	①　オペフロ BOP 閉止装置設置高さより上方の床応答 ②　建屋影響評価等のばらつきを包絡 ③　減衰定数[redacted]	無
振動特性把握試験	実施	実施	無
加振試験方法（扉開状態）	①　扉開状態加振後に扉閉動作 ②　扉閉状態で気密試験 ③　扉開動作・閉動作	①　扉開状態加振後に扉閉動作 ②　扉閉状態で気密試験 ③　扉開動作・閉動作	無
加振試験方法（扉閉状態）	①　扉閉状態加振 ②　気密試験 ③　扉開動作・閉動作	①　扉閉状態加振 ②　気密試験 ③　扉開動作・閉動作	無
加速度測定箇所	①　振動台 ②　支持架台 ③　扉 ④　駆動装置	①　振動台 ②　支持架台 ③　扉 ④　駆動装置	無
ひずみ測定箇所	①　プッシュローラ ②　レール（ハンガーレール，下部ガイドレール） ③　チェーン（エンドボルト） ④　閂周辺	①　プッシュローラ ②　レール（ハンガーレール，下部ガイドレール） ③　チェーン（エンドボルト） ④　閂周辺	無
加振後の作動確認（電動）	・扉の開閉，閂の引抜/挿入を確認 ・電動機の電流値，扉及び閂の動作時間を測定	・扉の開閉，閂の引抜/挿入を確認 ・電動機の電流値，扉及び閂の動作時間を測定	無
加振後の作動確認（手動）	・扉の開閉，閂の引抜/挿入を確認	・扉の開閉，閂の引抜/挿入を確認	無
加振後の機密性能試験方法	・ＡＳＴＭ　E283-4 に準じた装置を用いる。	・ＡＳＴＭ　E283-4 に準じた装置を用いる。	無

	・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。	・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。	
気密試験結果	通気量：[redacted]	通気量：[redacted]	有

7.1　差異箇所の詳細について

(1)　気密試験結果について

先行電力及び柏崎刈羽7号機のパッキン押え部の構造を図7－2に示す。柏崎刈羽7号機では，パッキンのずれ防止を目的として，パッキン押え部に潰し代を設けた構造に変更したことにより，通気量が先行電力の通気量に比べ，小さな値となっている。しかし，いずれの結果も判定値に比べ十分小さい値となっていることから有意な差異ではない。

[redacted]

図7－2　先行電力及び柏崎刈羽7号機のパッキン押え部の構造

8.　強制開放装置に関する比較

先行電力で設置されている強制開放装置と柏崎刈羽7号機で設置されているオペフロBOP強制開放装置に関する比較を表8-1に示す。

表8-1　強制開放装置の性能確認試験比較

項目	先行電力	柏崎刈羽7号機	差異の有無
作動方式	油圧	電動駆動	有
台数	10	8	有

8.1　差異箇所の詳細について

(1)　先行電力の強制開放装置は，各パネルに対し建屋内へ油圧式の強制開放装置を 1 台設置しパネルを押出す方式としているが，柏崎刈羽 7 号機では各パネルに対し原子炉建屋外へ電動駆動のオペフロ BOP 強制開放装置を 2 台設置しパネルを引張る方式としている。主な目的として，原子炉建屋内には竜巻防護ネットが取付けられており，その干渉回避により原子炉建屋外にオペフロ BOP 強制開放装置を設置する必要があり，先行電力と同様に原子炉建屋内からの油圧による押出しでの強制開放が出来ない為，作動方式を変更している。また，強制開放時のパネルを可能な限り水平に開放させることを目的として台数を変更している。