

女川原子力発電所2号炉
中央制御室について
(審査会合コメント回答)

平成31年3月26日
東北電力株式会社

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。

目次

1. 審査会合での指摘事項(一覧)
2. 指摘事項に対する回答
3. 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の構造の見直しについて

1. 審査会合での指摘事項(一覧) (1/1)

番号	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
4	H30.7.19	原子炉建屋からの換気について、建屋漏えいと非常用ガス処理系の運転状態に基づく放出箇所の違いによる被ばく影響について整理して提示すること。また、原子炉建屋の開口部の状況を踏まえ、負圧達成までの期間における換気率の適用性について整理して提示すること。	3, 4
5	H30.7.19	原子炉格納容器貫通部全体におけるDF(捕集係数)について、流量配分を考慮した評価結果を提示すること。	5, 6
6	H30.5.17	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置について、原子炉制御室の居住性の評価に対するDF(原子炉格納容器の漏えい孔における捕集係数)条件等を踏まえた上で、その必要性も含め検討の上、提示すること。	7~12
7	H30.7.19	中央制御室の居住性に係る被ばく評価における最確条件適用ケース及び不確かさ評価条件の位置付けを整理して提示すること。	
8	H27.6.11	発電所におけるマスクの漏えい測定の漏れ率を用いても被ばく評価条件の防護係数を満足することを整理して説明すること。	13
9	H27.6.11	被ばく評価について、マスクを外す時間を考慮し説明すること。	14
10	H27.6.11	マスク着用なしの中央制御室滞在時の被ばく評価結果を説明すること。	

2. 審査会合での指摘事項に対する回答(指摘事項No.4)(1/2)

(1) 指摘事項

- ・原子炉建屋からの換気について、建屋漏えいと非常用ガス処理系の運転状態に基づく放出箇所の違いによる被ばく影響について整理して提示すること。また、原子炉建屋の開口部の状況を踏まえ、負圧達成までの期間における換気率の適用性について整理して提示すること。

(2) 回答

① 建屋漏えいと非常用ガス処理系の運転状態に基づく放出経路の違いによる被ばく影響について

- 炉心の著しい損傷が発生した場合に、格納容器の気相中に放出された放射性物質は、格納容器スプレイや沈着効果等により減少するが、一部は格納容器から原子炉建屋内に漏えいする。漏えいした放射性物質は非常用ガス処理系により排気筒を経由して環境中に放出されるか、又は、原子炉建屋の自然換気により建屋の間隙を通じて環境中に放出される。
- この時、評価点の放射性物質の濃度は、放射性物質の放出率と相対濃度に比例する。屋外の評価点における放射性物質濃度の評価式を以下の①式に、評価点濃度を表1-1に示す。

$$Q_{out}(t) = Q_{in}(t) \times V \times f \times (\chi/Q) \quad [\text{Bq/m}^3] \quad \dots \text{①}$$

$Q_{out}(t)$: 時刻 t における評価点の濃度[Bq/m³]

$Q_{in}(t)$: 時刻 t における原子炉建屋内の濃度[Bq/m³]

V : 原子炉建屋の空間容積[m³]

f : 原子炉建屋からの放出率[回/s]

(χ/Q) : 相対濃度[s/m³]

表1-1 放出経路ごとの放射性物質濃度
(評価点: 中央制御室換気空調系給気口)

放出経路	放出率 [回/day]	相対濃度 [s/m ³]	評価点の濃度 [Bq/m ³]
原子炉建屋(地上)	0.3	1.3×10^{-3}	$4.5 \times 10^{-9} \cdot Q_{in}(t) \cdot V$
排気筒(高所)	0.5	2.8×10^{-6}	$1.6 \times 10^{-11} \cdot Q_{in}(t) \cdot V$

- 放出率は非常用ガス処理系を使用した排気筒放出に比べて、自然換気による原子炉建屋放出の方が小さいが、評価点の放射性物質の濃度については原子炉建屋漏えいの方が100倍以上大きくなることから、被ばく評価に与える影響は原子炉建屋漏えいの方が大きくなる。

女川原子力発電所2号炉 重大事故等対処設備について(補足説明資料)

59-9 原子炉制御室の居住性に係る被ばく評価について

2-24 原子炉建屋の換気率について

参考1 建屋漏えいと非常用ガス処理系の運転状態に基づく放出経路の違いによる被ばく影響について

2. 審査会合での指摘事項に対する回答(指摘事項No.4)(2/2)

(2)回答

②原子炉建屋の開口部の状況を踏まえた負圧達成までの期間における換気率の適用性について

- 非常用ガス処理系の運転に伴い、建物と扉の密閉率が変化しないことを、以下のとおり確認した。
- 原子炉建屋原子炉棟の場合は、換気経路となり得る開口部として、原子炉建屋大物搬出入口、人員用エアロック、原子炉建屋ブローアウトパネル、原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置及び配管等の貫通部が考えられる。
- このうち、原子炉建屋大物搬出入口、人員用エアロック、原子炉建屋ブローアウトパネル及び原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置のシール部は、シール材を建具等で挟み込み密着させた状態で、かんぬき又は止め板等にて固定する構造である。また、配管等の貫通部のシール部は、シール材の充填又はブーツラバーを鋼製バンドにより締め付けて固定している(表1-2)。
- また、換気率 Q と建屋と扉の密閉率(隙間面積)は②式のとおり比例関係にある。

$$Q = Av \text{ [m}^3\text{/s]} \quad \dots \text{② (連続の法則)}$$

A : 隙間面積[m²] v : 気体の流速[m/s]

- したがって、これらのシール部は、非常用ガス処理系の運転に伴い、シール部の状態が変わることはないため、密閉率が変化することはなく、換気率の算出に影響するものではない。

表1-2 原子炉建屋原子炉棟の開口部及びシール構造概略

開口部	シール構造	構造図(代表例)
原子炉建屋大物搬出入口	シール材を挟み込み密着させた状態で、かんぬき等にて固定	
人員用エアロック		
原子炉建屋ブローアウトパネル又は原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置		
配管等貫通部	ブーツラバーを鋼製バンドにより締め付けて固定	
	シール材の充填	

女川原子力発電所2号炉 重大事故等対処設備について(補足説明資料)

59-9 原子炉制御室の居住性に係る被ばく評価について

2-24 原子炉建屋の換気率について

参考2 原子炉建屋の開口部の状況を踏まえた負圧達成までの期間における換気率の適用性について

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。

2. 審査会合での指摘事項に対する回答(指摘事項No.5)(1/2)

(1) 指摘事項

- ・原子炉格納容器貫通部全体におけるDF(捕集係数)について、流量配分を考慮した評価結果を提示すること。
(原子炉格納容器全体DFについては等価漏えい面積で案分した評価を示していたが、流量配分を考慮した評価を提示するように指摘されたもの。)

(2) 回答

- 原子炉格納容器貫通部全体におけるDFは、等価漏えい面積で案分して算出すると約170であったが、これは貫通部における漏えいの流量を考慮していない。
- 原子炉格納容器貫通部全体におけるDFを計算するに当たって、等価面積に応じて重み付けし流量配分を考慮したうえで評価を実施した。評価にあたって考慮したDF計算モデルを図2-1に示す。
- 貫通部 n の前後に差圧 Δp [Pa]があるとき、貫通部 n を通過する気体の流量は次式で表すことができる。

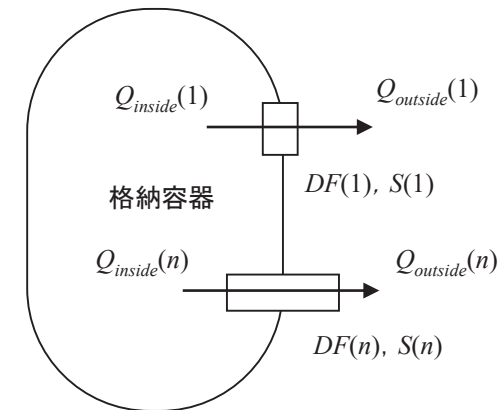
$$q(n) = 3600\alpha S(n) \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

ρ : 気体の密度 [kg/m³]

α : 流量係数 ($0 < \alpha < 1$) [-]

- 各々の貫通孔における漏えい量が等価漏えい面積に比例すると仮定した場合の原子炉格納容器全体のDFは①式で表される。

$$\frac{1}{DF} = \frac{1}{DF(1)} \times \frac{S(1)}{S} + \frac{1}{DF(2)} \times \frac{S(2)}{S} + \dots + \frac{1}{DF(n)} \times \frac{S(n)}{S} \quad \dots \textcircled{1}$$



$Q_{inside}(n)$: 貫通部 n を通過する前の気体に含まれる放射性物質の量 [Bq]

$Q_{outside}(n)$: 貫通部 n を通過した後の気体に含まれる放射性物質の量 [Bq]

$S(n)$: 原子炉格納容器貫通部 n における等価漏えい面積 [m²]

S : 原子炉格納容器全体の等価漏えい面積 ($S = S(1) + S(2) + \dots + S(n)$) [m²]

$DF(n)$: 貫通部 n の捕集係数 [-]

($DF(n) = Q_{inside}(n) / Q_{outside}(n)$)

図2-1 原子炉格納容器貫通部全体でのDF計算モデル

2. 審査会合での指摘事項に対する回答(指摘事項No.5)(2/2)

＜原子炉格納容器貫通部全体での捕集係数(DF)の算出＞

- NUPEC試験より得られたDFのうち、試験条件が女川原子力発電所2号炉の重大事故等時の環境条件を包絡している試験体の結果を採用(表2-1)
- 女川原子力発電所2号炉における貫通部(電気配線貫通部及びフランジガスケット)の数量を考慮
- 全データを重み付けし、原子炉格納容器貫通部全体でのDFを計算した結果、DF=17を得た。

$$\frac{1}{DF} = \frac{1}{DF_1} \times \frac{S_1}{S} + \frac{1}{DF_2} \times \frac{S_2}{S} + \frac{1}{DF_3} \times \frac{S_3}{S} + \frac{1}{DF_4} \times \frac{S_4}{S} + \frac{1}{DF_5} \times \frac{S_5}{S} + \frac{1}{DF_6} \times \frac{S_6}{S}$$

$$DF = 17.3 \approx \text{約}17 \quad [-]$$

DF₁: 低電圧モジュール(0.9mm²)のDF

DF₂: 低電圧モジュール(0.9mm²(T/C))のDF

DF₃: 低電圧モジュール(同軸ケーブル)のDF

DF₄: 低電圧モジュール(2mm²)のDF

DF₅: フランジガスケット(甲丸タイプ)のDF

DF₆: フランジガスケット(グループ&タンクタイプ)のDF

S₁: 低電圧モジュール(0.9mm²)の全等価面積

S₂: 低電圧モジュール(0.9mm²(T/C))の全等価面積

S₃: 低電圧モジュール(同軸ケーブル)の全等価面積

S₄: 低電圧モジュール(2mm²)の全等価面積

S₅: フランジガスケット(甲丸タイプ)の全等価面積

S₆: フランジガスケット(グループ&タンクタイプ)の全等価面積

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6$$

- 以上の流量配分を考慮した原子炉格納容器全体DFが約17となること、及び原子炉格納容器のバウンダリ構成部のどの部分からどのような割合で漏えいするかの想定が困難であり不確かさがあることを考慮し、原子炉格納容器の漏えいに関する捕集効果としてDF=10を適用する。

表2-1 女川原子力発電所2号炉における各部のDF

NUPEC試験		女川原子力発電所2号炉		
試験体	DF 全粒径範囲 (0.5~5ミクロン)	重大事故等時環境条件との比較	DF	全等価 面積(mm ²)
低電圧モジュール				
0.9mm ²	1300	環境条件を包絡	960	
0.9mm ²	620	環境条件を包絡		
0.9mm ²	22000	リーク発生条件評価試験時の試験圧力が低いため除外	—	—
0.9mm ²	2500	リーク発生条件評価試験時に放射線照射していないため除外	—	—
0.9mm ² (T/C)	280	環境条件を包絡	280	
0.9mm ² (T/C)	160	リーク発生条件評価試験時に放射線照射していないため除外	—	—
同軸ケーブル	270	環境条件を包絡	270	
100mm ²	340	使用していないため除外	—	—
2mm ²	40	環境条件を包絡	40	
フランジ・ガスケット				
甲丸タイプ	11	リーク発生条件評価試験時に放射線照射していないため除外	—	—
甲丸タイプ	11	環境条件を包絡	12	
甲丸タイプ	13	環境条件を包絡		
甲丸タイプ	20	リーク発生条件評価試験時の試験圧力が低いため除外	—	—
グループ&タンクタイプ	25	環境条件を包絡	25	

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。

女川原子力発電所2号炉 重大事故等対処設備について(補足説明資料)

59-9 原子炉制御室の居住性に係る被ばく評価について

2-23 原子炉格納容器の漏えい孔におけるエアロゾル粒子の捕集係数について

2. 審査会合での指摘事項に対する回答(指摘事項No.6, 7)(1/6)

(1) 指摘事項

- ・原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置について、原子炉制御室の居住性の評価に対するDF(原子炉格納容器の漏えい孔における捕集係数)条件等を踏まえた上で、その必要性も含め検討の上、提示すること。
- ・中央制御室の居住性に係る被ばく評価における最確条件適用ケース及び不確かさ評価条件の位置付けを整理して提示すること。

(2) 回答

- 中央制御室の居住性に係る被ばく評価については、原子炉格納容器からの漏えいに関するエアロゾル粒子の捕集効果(以下「DF」という。)等の考慮の有無が、原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置や非常用ガス処理系の要否判断に係わる重要な条件となるため、最確条件で評価する事により、事故時における対応上求められる安全機能等が把握でき、適切な事故対応ができるものと考えている。
- そのため、最確条件を考慮したベースケースとしてはDF=10とし、DFに対し不確かさを考慮したケースについては取り扱わないものと整理した。
- 評価にあたっては、原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置及び非常用ガス処理系の機能が、線量の基準値を満たすうえで必要であるか否かについて、表3-1のとおり3ケースの評価を行い判断する。評価条件及び評価結果を表3-2に示す。
- なお、設計進捗により原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の構造を見直したため、その概要を13, 14ページに示す。

表3-1 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置及び非常用ガス処理系について
重大事故等対処設備としての要否を判断するための評価ケース

評価ケース		原子炉建屋ブローアウト パネル閉止装置	非常用ガス処理系
ケース1	原子炉建屋ブローアウトパネルが開放しており建屋の気密度に期待しないケース	期待しない	期待しない
ケース2	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置により建屋の気密度を確保するが非常用ガス処理系の運転には期待しないケース	期待する	期待しない
ケース3	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置により建屋の気密度を確保し、非常用ガス処理系の運転に期待するケース	期待する	期待する

女川原子力発電所2号炉 重大事故等対処設備について(補足説明資料)
59-9 原子炉制御室の居住性に係る被ばく評価について
2-25 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置及び非常用ガス処理系の要否について

2. 審査会合での指摘事項に対する回答(指摘事項No.6, 7)(2/6)

表3-2 主な評価条件及び評価結果

項目		ケース1	ケース2	ケース3 (ベースケース)	項目		ケース1	ケース2	ケース3 (ベースケース)	
評価条件 (環境への放射性物質の放出)	評価事象	大破断LOCA時に非常用炉心冷却系の機能及び全交流動力電源が喪失			評価条件 (運転員の被ばく評価)	中央制御室換気空調系再循環送風機及び再循環フィルタ装置	【風量】 ・事故発生から0.5~168時間後：8000m ³ /h (外気取込500m ³ /hを含む) 【チャコールフィルタ除去効率】 ・無機よう素，有機よう素：90% 【高性能エアフィルタ除去効率】 ・粒子状放射性物質：99.9%			
	原子炉格納容器から原子炉建屋への漏えい率	開口面積を格納容器圧力に応じ設定。MAAP解析上で、格納容器圧力に応じ漏えい率が変化するものとした。					中央制御室バウンダリ空気流入率	1.0回/h		
	原子炉格納容器からの漏えいに関する捕集効果(DF)	粒子状放射性物質：10					中央制御室待避所加圧設備の空気供給時間	【代替循環冷却系を用いて事象を収束する場合】 待避所及び加圧設備に期待しない 【原子炉格納容器フィルタベント系を用いて事象を収束する場合】 事象発生から45~55時間		
	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置	設備に期待しない	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置を用いる(60分後までに閉止し建屋の気密性が確保される)	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置を用いる(60分後までに閉止し建屋の気密性が確保される)		マスク防護係数(PF)	1日目	電動ファン付き全面マスク：1000(中央制御室滞在時は6時間当たり18分間外すものとして評価)		
	非常用ガス処理系	設備に期待しない	設備に期待しない	非常用ガス処理系を用いる(70分後に建屋は負圧となり非常用ガス処理系から放出)		2~7日目	全面マスク：50(中央制御室滞在時は6時間当たり1時間外すものとして評価)			
	原子炉建屋換気率	・事故発生直後~168時間後：無限大[回/日] (原子炉建屋からの漏えい)	・事故発生直後~60分後：無限大[回/日] (原子炉建屋からの漏えい) ・事故発生から60分後~168時間後：0.3[回/日]で屋外に放出(気密度が期待できる原子炉建屋からの漏えい)	・事故発生直後~70分後：無限大[回/日] (原子炉建屋からの漏えい) ・事故発生から70分後~168時間後：0.5[回/日]で屋外に放出(非常用ガス処理系による放出)		交代要員体制	5直3交替(厳しく評価する観点から、7日間の滞在時間が最も長い運転班のうち、初日の滞在時間が長い班から勤務が開始するように設定)			
					評価結果	代替循環冷却系を用いて事象を収束する場合	約1200mSv	約180mSv	約51mSv	
						原子炉格納容器フィルタベント系を用いて事象を収束する場合	約1000mSv	約180mSv	約51mSv	

- 評価の結果、7日間での実効線量は代替循環冷却系を用いて事象収束に成功した場合、格納容器ベントを実施した場合ともに、ケース3のみが100mSvを超えないことを確認した。(詳細は表3-3、表3-4参照)
- この結果を踏まえ、中央制御室の運転員等の被ばく低減の観点から、原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置及び非常用ガス処理系は重大事故等対処設備として位置付ける。

女川原子力発電所2号炉 重大事故等対処設備について(補足説明資料)
59-9 原子炉制御室の居住性に係る被ばく評価について
2-25 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置及び非常用ガス処理系の要否について

2. 審査会合での指摘事項に対する回答(指摘事項No.6, 7)(3/6)

表3-3 各勤務サイクルでの被ばく線量(代替循環冷却系を用いて事象を収束する場合)(単位:mSv)

		1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	合計
ケース1	A班	2直 約140	23直 約380	3直 約130	-	1直 約230	1直 約210	-	約1100
	B班	3直 約99	-	1直 約310	1直 約260	-	-	2直 約130	約790
	C班	-	-	-	-	-	-	-	0
	D班	1直 約290	1直 約400	-	-	2直 約160	23直 約220	3直 約75	約1200
	E班	-	-	2直 約210	23直 約280	3直 約100	-	1直 約190	約770
ケース2	A班	2直 約11	23直 約47	3直 約22	-	1直 約47	1直 約46	-	約170
	B班	3直 約8.7	-	1直 約44	1直 約46	-	-	2直 約31	約130
	C班	-	-	-	-	-	-	-	0
	D班	1直 約39	1直 約37	-	-	2直 約33	23直 約51	3直 約19	約180
	E班	-	-	2直 約33	23直 約53	3直 約22	-	1直 約45	約160
ケース3(ベースケース)	A班	2直 約6.2	23直 約2.7	3直 約1.4	-	1直 約1.3	1直 約1.2	-	約13
	B班	3直 約5.3	-	1直 約1.9	1直 約1.5	-	-	2直 約0.87	約9.5
	C班	-	-	-	-	-	-	-	0
	D班	1直 約46	1直 約2.9	-	-	2直 約1.1	23直 約1.2	3直 約0.47	約51
	E班	-	-	2直 約1.6	23直 約1.6	3直 約0.92	-	1直 約1.3	約5.3

女川原子力発電所2号炉 重大事故等対処設備について(補足説明資料)
 59-9 原子炉制御室の居住性に係る被ばく評価について
 2-25 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置及び非常用ガス処理系の要否について

2. 審査会合での指摘事項に対する回答(指摘事項No.6, 7)(4/6)

表3-4 各勤務サイクルでの被ばく線量(原子炉格納容器フィルタベント系を用いて事象を収束する場合)(単位:mSv)

		1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	合計
ケース1	A班	2直 約140	23直 約850	3直 約6.7	-	1直 約4.8	1直 約4.1	-	約1000
	B班	3直 約99	-	1直 約7.1	1直 約5.9	-	-	2直 約3.4	約120
	C班	-	-	-	-	-	-	-	0
	D班	1直 約290	1直 約540	-	-	2直 約4.4	23直 約4.2	3直 約1.8	約830
	E班	-	-	2直 約7.3	23直 約5.9	3直 約4.1	-	1直 約5.1	約23
ケース2	A班	2直 約11	23直 約120	3直 約19	-	1直 約23	1直 約16	-	約180
	B班	3直 約9.2	-	1直 約18	1直 約33	-	-	2直 約7.1	約67
	C班	-	-	-	-	-	-	-	0
	D班	1直 約40	1直 約44	-	-	2直 約14	23直 約15	3直 約3.9	約120
	E班	-	-	2直 約31	23直 約31	3直 約8.9	-	1直 約12	約82
ケース3ベースケース	A班	2直 約6.2	23直 約21	3直 約1.4	-	1直 約1.1	1直 約0.84	-	約31
	B班	3直 約5.3	-	1直 約1.8	1直 約1.4	-	-	2直 約0.65	約9.0
	C班	-	-	-	-	-	-	-	0
	D班	1直 約46	1直 約2.9	-	-	2直 約0.88	23直 約0.84	3直 約0.34	約51
	E班	-	-	2直 約1.6	23直 約1.3	3直 約0.79	-	1直 約0.98	約4.6

女川原子力発電所2号炉 重大事故等対処設備について(補足説明資料)
 59-9 原子炉制御室の居住性に係る被ばく評価について
 2-25 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置及び非常用ガス処理系の要否について

2. 審査会合での指摘事項に対する回答(指摘事項No.6, 7)(5/6)

(参考)格納容器からの漏えいに関する捕集効果が被ばく線量に与える影響について

- DFの効果を確認するため、被ばく経路ごと及びDFに対する期待の有無ごとの被ばく線量の比較を表3-5に示す。
- 線量が大きく支配的な被ばく経路のうち、②は希ガスによる影響が支配的であるため、DFに期待する場合でも線量の低減効果はない。
- 一方、③、④、⑦は希ガス以外の無機よう素、有機よう素及び粒子状放射性物質による影響が支配的となるため、DFに期待した場合の評価結果が、数mSv程度低減される。

表3-5 DFの効果に対する期待の有無による比較(ケース3のうち被ばく線量が最大となる班の合計)
(代替循環冷却系を用いて事象を収束する場合)(単位:mSv)

被ばく経路		7日間の実効線量		
		(a)DFに期待しない場合 (DF=1)	(b)DFに期待する場合 (DF=10)	差 (a)-(b)
中央制御室滞在時	①原子炉建屋内の放射性物質からのガンマ線による中央制御室内での被ばく	約 4.2×10^{-2}	約 4.1×10^{-2}	< 1
	②放射性雲中の放射性物質からのガンマ線による中央制御室内での被ばく	約 7.2×10^0	約 7.0×10^0	< 1
	③地表面に沈着した放射性物質のガンマ線による中央制御室内での被ばく	約 1.1×10^1	約 6.7×10^0	約4
	④室内に外気から取り込まれた放射性物質による中央制御室内での被ばく	約 3.9×10^1	約 3.2×10^1	約6
	(内訳)内部被ばく	(約 3.3×10^1)	(約 2.7×10^1)	約6
	外部被ばく	(約 5.8×10^0)	(約 5.6×10^0)	< 1
	小計(①+②+③+④)	約 5.7×10^1	約 4.6×10^1	約11
入退域時	⑤原子炉建屋内等の放射性物質からのガンマ線による入退域時の被ばく	約 1.5×10^{-1}	約 1.4×10^{-1}	< 1
	⑥放射性雲中の放射性物質からのガンマ線による入退域時の被ばく	約 2.5×10^{-2}	約 2.5×10^{-2}	< 1
	⑦地表面に沈着した放射性物質からのガンマ線による入退域時の被ばく	約 9.6×10^0	約 5.1×10^0	約4
	⑧大気中へ放出された放射性物質の吸入摂取による入退域時の被ばく	約 1.2×10^{-2}	約 1.2×10^{-2}	< 1
		小計(⑤+⑥+⑦+⑧)	約 9.8×10^0	約 5.3×10^0
	合計(①+②+③+④+⑤+⑥+⑦+⑧)	約66	約51	約15

女川原子力発電所2号炉 重大事故等対処設備について(補足説明資料)
59-9 原子炉制御室の居住性に係る被ばく評価について
2-25 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置及び非常用ガス処理系の要否について

2. 審査会合での指摘事項に対する回答(指摘事項No.6, 7)(6/6)

- 次にDFの効果期待できる粒子状放射性物質の被ばく線量への寄与について考察した。
- 粒子状放射性物質は、格納容器内において自然沈着やスプレイによる除去効果によって、時間経過とともに格納容器気相中から除去されるため、環境への放出量は事象初期が支配的になる(表3-6)。

表3-6 粒子状放射性物質の環境中への放出量(ケース3)
(代替循環冷却系を用いて事象を収束する場合)

核種グループ	放出放射エネルギー[Bq](gross値)(DF=1)		比率 (①/②)
	① 事象初期 (0~70分後)	② 7日間	
粒子状放射性物質	約 7.1×10^{13}	約 1.2×10^{14}	約0.6

- 事象初期における放射性物質の環境への放出量を表3-7に示す。DFに期待した場合において、粒子状放射性物質は無機よう素、有機よう素に対して約1.4%となっており、被ばく線量の主要因にならないことを確認した。

表3-7 事象初期※1における環境中への放出放射エネルギー(ケース3)
(代替循環冷却系を用いて事象を収束する場合)

核種グループ	放出放射エネルギー[Bq](gross値)	
	DFに期待しない場合 (DF=1)	DFに期待する場合 (DF=10)
①無機よう素+有機よう素	約 5.2×10^{14}	約 5.2×10^{14}
②粒子状放射性物質	約 7.1×10^{13}	約 7.1×10^{12}
比率(②/①)	約14%	約1.4%

※1 粒子状放射性物質の環境への放出量のうち大部分を占める事象初期(0~70分後)の放出量で比較

女川原子力発電所2号炉 重大事故等
対処設備について(補足説明資料)
59-9 原子炉制御室の居住性に係る被
ばく評価について
2-25 原子炉建屋ブローアウトパネル
閉止装置及び非常用ガス処理系
の要否について

2. 審査会合での指摘事項に対する回答(指摘事項No.8)

(1) 指摘事項

・発電所におけるマスクの漏れ測定の際の漏れ率を用いても被ばく評価条件の防護係数を満足することを整理して説明すること。

(2) 回答

炉心の著しい損傷が発生した場合において使用するマスクは、全面マスクと電動ファン付き全面マスクの2種類を想定しており、マスクの漏れ率を考慮しても被ばく評価条件の防護係数※1を満足することを確認した。以下に確認結果を示す。

※1 防護係数(PF) = $100 / \{ \text{漏れ率}(\%) + \text{フィルタ透過率}(\%) \}$

【全面マスクの確認結果】

全面マスクは着用訓練を実施しており、漏れ率+フィルタ透過率※2が2%を担保できるように着用できることを確認している。

この結果、全面マスクによる防護係数は50となり、被ばく評価条件の防護係数50を満足することを確認した。

※2 フィルタ透過率: 0.083%以下 ($DF \geq 1.21 \times 10^3$) (表4-1参照)

【電動ファン付き全面マスクの確認結果】

電動ファン付き全面マスクは、電動ファンを内蔵しており、着用者の呼吸を常に監視しながらフィルタを通した十分な量の空気を面体に供給することで、面体内を常に陽圧に保つことができ(図4-1)、漏れ率は0.01%未満※3、フィルタの透過率※4は0.058%以下となっている。

この結果、電動ファン付き全面マスクによる防護係数は1470となり、被ばく評価条件の防護係数1000を満足することを確認した。

※3 マスクメーカーの試験結果。電動ファン付き全面マスクは面体内が陽圧化されるため漏れはないが、評価上0.01%と仮定して評価

※4 フィルタの透過率: 0.058%以下 ($DF \geq 1.71 \times 10^3$) (表4-2参照)

表4-1 マスクメーカーによる全面マスクのフィルタ除染係数
検査結果(CA-N4RI(吸収缶))

入口濃度 (Bq/cm ³)	4時間後		10時間後		試験条件
	出口濃度 (Bq/cm ³)	DF値	出口濃度 (Bq/cm ³)	DF値	
9.45×10^{-2}	ND (4.17×10^{-7})	$2.27 \times 10^{5**}$	8.33×10^{-7}	1.13×10^5	試験流量: 20L/min 通気温度: 30°C 相対湿度: 95%RH
7.59×10^{-5}	ND (6.25×10^{-8})	$1.21 \times 10^{3**}$	ND (2.78×10^{-8})	$2.73 \times 10^{3**}$	

ND: 検出限界値未満(括弧内が検出限界値)

※ DF値は、検出限界値より算出した

表4-2 マスクメーカーによる電動ファン付き全面マスクのフィルタ
除染係数検査結果(RDG-72HP(吸収缶))

入口濃度 (Bq/cm ³)	4時間後		10時間後		試験条件
	出口濃度 (Bq/cm ³)	DF値	出口濃度 (Bq/cm ³)	DF値	
8.83×10^{-2}	1.91×10^{-5}	4.62×10^3	2.64×10^{-5}	3.34×10^3	試験流量: 47L/min 通気温度: 30°C 相対湿度: 95%RH
8.08×10^{-5}	ND	$1.71 \times 10^{3**}$	4.73×10^{-8}	1.71×10^3	

ND: 検出限界値未満

※ 10時間試験において最初に検出されたサンプリング時間のDFを示す

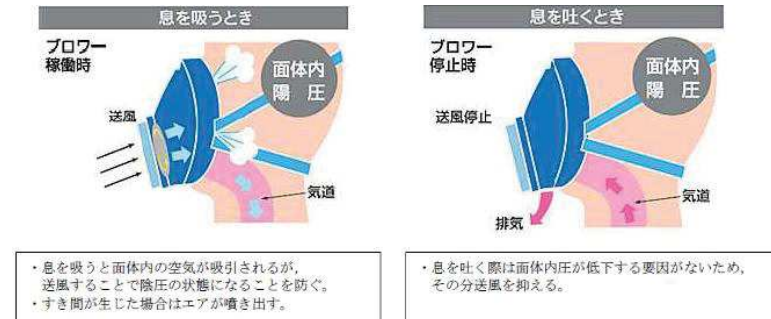


図4-1 陽圧化マスクのイメージ(興研株式会社HPより抜粋)

重大事故等対処設備について(補足説明資料)
59-9 原子炉制御室の居住性に係る被ばく評価について
添付資料2 2-12 マスクによる防護係数について

2. 審査会合での指摘事項に対する回答(指摘事項No.9, 10)

(1) 指摘事項

- ・被ばく評価について、マスクを外す時間を考慮し説明すること。
- ・マスク着用なしの中央制御室滞在時の被ばく評価結果を説明すること。
(マスクを1時間外した場合の実効線量を参考として示していたが、マスクを外す期間を考慮し評価するように指摘されたもの。)

(2) 回答

- ・中央制御室の居住性に係る被ばく評価では、マスクの着用を考慮して被ばく評価を実施しており、その際には以下のとおりマスクを着用することとしている。

- 事故後1日目は電動ファン付き全面マスク(PF=1000)を着用(6時間当たり18分間外すとして評価)
- 2日目以降については全面マスク(PF=50)を着用(6時間当たり1時間外すとして評価)

マスク着用時は6時間当たり水分補給等でマスクを外す時間を想定している。

上記の運用方法を考慮しマスクを着用した場合の評価結果を表5-1に示す。評価の結果、マスクを着用した場合の運転員の実効線量は7日間で100mSvを超えないことを確認した。

表5-1 評価結果の内訳(「原子炉格納容器フィルタベント系を用いて事象を収束する場合」において被ばく線量が最大となる班の合計)

被ばく経路		実効線量[mSv]	
		マスク着用	マスクなし※
中央制御室滞在時	①原子炉建屋内の放射性物質からのガンマ線による中央制御室内での被ばく	約 4.1×10^{-2}	約 4.1×10^{-2}
	②放射性雲中の放射性物質からのガンマ線による中央制御室内での被ばく	約 7.0×10^0	約 7.0×10^0
	③地表面に沈着した放射性物質のガンマ線による中央制御室内での被ばく	約 6.7×10^0	約 6.7×10^0
	④室内に外気から取り込まれた放射性物質による中央制御室内での被ばく	約 3.2×10^1	約 5.0×10^2
	(内訳) 内部被ばく 外部被ばく	(約 2.6×10^1) (約 5.6×10^0)	(約 5.0×10^2) (約 5.6×10^0)
小計(①+②+③+④)		約 4.5×10^1	約 5.2×10^2
入退域時	⑤原子炉建屋内等の放射性物質からのガンマ線による入退域時の被ばく	約 1.2×10^{-1}	約 1.2×10^{-1}
	⑥放射性雲中の放射性物質からのガンマ線による入退域時の被ばく	約 1.6×10^{-2}	約 1.6×10^{-2}
	⑦地表面に沈着した放射性物質からのガンマ線による入退域時の被ばく	約 5.2×10^0	約 5.2×10^0
	⑧大気中へ放出された放射性物質の吸入摂取による入退域時の被ばく	約 5.7×10^{-3}	約 5.7×10^{-3}
小計(⑤+⑥+⑦+⑧)		約 5.4×10^0	約 5.4×10^0
合計(①+②+③+④+⑤+⑥+⑦+⑧)		約51	約520

重大事故等対処設備について(補足説明資料)
59-9 原子炉制御室の居住性に係る被ばく評価について
2.5 評価結果のまとめ

※「実用発電用原子炉に係る重大事故時の制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に関する審査ガイド」に従い、中央制御室滞在時はマスク着用を考慮せずに評価したもの。なお、入退域時はマスク着用を考慮している。

3. 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の構造の見直しについて(1/5)

(1)はじめに

- 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置は、原子炉建屋ブローアウトパネルへの蒸気流路上に設置し、気密ダンパの組合せで構成するダンパ方式(図1)としていた(第587回審査会合(平成30年6月12日)にて説明)。今般、ダンパ方式から、扉型の閉止装置により開口を塞ぐ扉方式(図2)へ構造の見直しを行ったことから、その背景と影響について説明する。

(2)構造の見直しの背景

- 女川2号炉の原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置は、建屋構造上屋外への設置はできないことから、原子炉建屋ブローアウトパネルへの蒸気流路上に設置する必要があるため、流路に対する影響を考慮した設計が求められる。
- 扉方式は、ダンパ方式と比較し流路抵抗とならない構造及び配置であり、設備構成がシンプルな構造であることから、流路機能やメンテナンス性等の優位性を踏まえ、設計進捗により耐震性を含めた扉方式の成立性を見込みを得たことから、構造を見直すこととした。



図1 ダンパ方式概要図(見直し前)



図2 扉方式概要図(イメージ)※(見直し後)

※: 詳細な構造については、工事計画認可申請の審査時に説明する。

3. 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の構造の見直しについて(2/5)

(3) 影響の確認

・原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の構造の見直しについて、以下(1)から(5)の観点で影響がないことを確認した。

確認事項	機能要求	設計方針	変更の有無
(1) 設計方針に対する影響	閉止機能	<ul style="list-style-type: none"> ・開口部を閉止することで原子炉建屋の気密性を確保できる設計 ・中央制御室からの遠隔操作により開口部を閉止できる設計 ・現場での人力による操作により閉止できる設計 	変更なし
	閉止状態の検知機能	<ul style="list-style-type: none"> ・中央制御室にて、原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の開閉状態が確認できる設計 	
	耐震健全性	<ul style="list-style-type: none"> ・基準地震動に対して原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の閉止機能が維持できる設計 ・地震後においても二次格納施設のバウンダリ機能を維持できる設計 	
	流路機能	<ul style="list-style-type: none"> ・主蒸気配管破断やISLOCA発生時等の原子炉建屋ブローアウトパネルの開放機能に悪影響を及ぼさないよう、蒸気を建屋外へ放出するために必要な流路を確保可能な設計 	変更なし (より大きな流路を確保可能)

確認事項	確認結果	変更の有無
(2) 中央制御室からの操作への影響	<ul style="list-style-type: none"> ・構造見直し後においても、常設代替交流電源設備による給電により中央制御室から遠隔操作できる設計であり、中央制御室からの操作要求に対する影響はない 	変更なし
(3) 現場における人力操作への影響	<ul style="list-style-type: none"> ・構造見直し後においても、現場において人力による操作が可能な設計であり、現場における人力操作要求に対する影響はない 	変更なし
(4) 有効性評価に対する影響	<ul style="list-style-type: none"> ・中央制御室からの操作等に変更はなく構造見直し前と同様の操作が可能であることから、有効性評価に対する影響はない 	変更なし
(5) Cs-137の放出量評価の条件及び被ばく評価に対する影響	<ul style="list-style-type: none"> ・中央制御室からの操作等に変更はなく構造見直し前と同様の操作が可能であることから、Cs-137の放出量評価の条件及び被ばく評価に対する影響はない 	変更なし

3. 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の構造の見直しについて(3/5)

(参考) 原子炉建屋ブローアウトパネル及び原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の要求機能について

- 原子炉建屋ブローアウトパネルは、通常運転時においても原子炉建屋と一体となり二次格納施設のバウンダリ機能に期待をするとともに、主蒸気管破断による設計基準事故時等や重大事故等であるISLOCA発生時における開放機能に期待する。また、原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置については、雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧・過温破損)時における原子炉建屋原子炉棟内の負圧維持のための閉止機能及び二次格納施設のバウンダリ機能並びに流路機能に期待する。
- これらの要求を整理(表1参照)したうえで、考慮すべき外部事象を踏まえ、要求機能について表2にまとめた。

表1 要求機能及び概要

	要求機能	概要
原子炉建屋ブローアウトパネル	開放機能 (主蒸気管破断) 開放機能 (ISLOCA)	設計基準事故対処設備としての原子炉建屋ブローアウトパネルは、原子炉格納容器外の主蒸気管破断の設計基準事故時等を想定した場合に、原子炉建屋原子炉棟内の圧力及び温度を低下させることを目的に設置されている。このため、建屋の内外差圧により自動的に開放する機能が必要である。また、重大事故等対処設備としての原子炉建屋ブローアウトパネルは、ISLOCA発生時に損傷箇所を隔離するためのISLOCA隔離弁操作場所の圧力及び温度を低下させるために、確実に開放する必要がある。
	二次格納施設のバウンダリ機能	原子炉建屋ブローアウトパネルは、開放機能を満足させるため、原子炉建屋原子炉棟外壁に設置されており、原子炉建屋原子炉棟の壁の一部となることから、二次格納施設のバウンダリとしての機能維持が必要である。
原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置	閉止機能	女川2号炉の原子炉建屋ブローアウトパネルは、構造上、開放した場合には、容易に再閉止操作を行うことが困難であるため、設置許可基準規則第59条に適合させるために原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置を設置する必要がある。
	二次格納施設のバウンダリ機能	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置は、原子炉建屋ブローアウトパネルに代わって原子炉建屋原子炉棟の壁の一部となることから、二次格納施設のバウンダリとしての機能が必要である。
	流路機能	女川2号炉の原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置は建屋構造上屋外への設置はできないことから、原子炉建屋原子炉棟内の原子炉建屋ブローアウトパネルへの蒸気流路上に設置する必要がある、主蒸気配管破断やISLOCA発生時等の原子炉建屋ブローアウトパネルの開放機能に悪影響を及ぼさないよう、蒸気を建屋外へ放出するために必要な流路を確保する必要がある。

表2 要求機能に対する基本設計方針

	要求機能	設計基準対処設備		重大事故等対処設備	
		4条地震	6条外部事象(竜巻)	39条地震	43条外部事象(竜巻)
原子炉建屋ブローアウトパネル	開放機能 (主蒸気管破断)	○ (Ss)	○ プラント停止にて対応	—	—
	二次格納施設のバウンダリ機能	○*1 (Sd)	—	—	—
	開放機能 (ISLOCA)	—	—	○ (Ss)	—*2
原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置*3	閉止機能	—	—	○ (Ss)	○ (影響なし)
	二次格納施設のバウンダリ機能	—	—	○*4 (Sd)	—*2

*1: 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編(JEAG4601・補)に基づき、弾性設計用地震動Sdで開放しない設計とする

*2: SA後の設計竜巻は、事象の重ね合わせの頻度から組み合わせ不要

*3: 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置は、原子炉建屋ブローアウトパネルの開放機能に悪影響を及ぼさないよう、蒸気を建屋外へ放出するために必要な流路を確保する設計とする

*4: 設置許可基準規則第59条(運転員が原子炉制御室にとどまるための設備)における実効線量が7日間で100mSvを超えないことの要求及び重大事故等発生後の荷重の組合せの考え方を踏まえ、7日間において組み合わせるべき地震動として弾性設計用地震動Sdを設定

女川原子力発電所2号炉 重大事故等対処設備について(補足説明資料)
59-12 原子炉建屋ブローアウトパネル及び原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置について

3. 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の構造の見直しについて(4/5)

(参考) 原子炉建屋ブローアウトパネルの適合方針及び設計方針について

- 原子炉建屋ブローアウトパネルは、開放機能と二次格納施設のバウンダリ機能を満足する必要がある。
- 開放機能については、以下を満足する設計とする。
 - ・ 原子炉建屋原子炉棟の圧力が上昇した場合において、外気との差圧(4.4kPa以下)により自動的に開放※し、かつ以後も原子炉建屋原子炉棟内の圧力上昇を抑制すること。なお、この機能は、基準地震動 S_s により損なわれないこと。
 - ・ 圧力上昇によって開放する際には所定の時間内に原子炉建屋原子炉棟内での操作等の活動ができる圧力及び温度に低下させることが可能となる開口面積を満足すること。
- 二次格納施設のバウンダリ機能については、原子炉建屋ブローアウトパネルは、原子炉建屋原子炉棟の壁の一部となることから、弾性設計用地震動 S_d で開放しない設計とする。なお、設計竜巻により開放し、二次格納施設としてのバウンダリ機能が維持できない場合には、プラント停止により対応する。
- 原子炉建屋ブローアウトパネルは設置許可基準規則第46条(ISLOCA隔離弁)に関連する『常設耐震重要重大事故防止設備』として位置付ける。

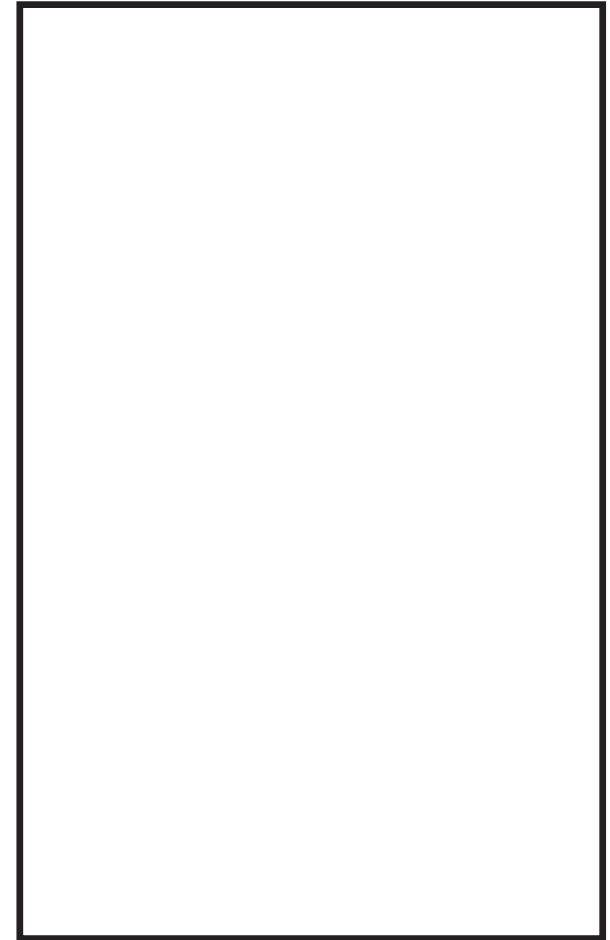


図3 原子炉建屋ブローアウトパネル概略図

※:原子炉建屋ブローアウトパネルは、電源や空気源に頼ることなく、静的、且つ圧力上昇に対して確実に開放できる仕組みとして、止め板を使用したパネルの開放機構を選定している。(図3参照)。この開放機構は、既設系統設備でも採用実績のある破壊板(ラプチャーディスク)と同様の考え方であり、構造が単純であることから、信頼性が高いものである。詳細な構造については、工事計画認可申請の審査時に説明する。

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。

3. 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の構造の見直しについて(5/5)

(参考) 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の適合方針及び設計方針について

- 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置は、閉止機能、二次格納施設のバウンダリ機能及び流路機能を満足する必要がある。これらの機能に対して、以下を満足する設計とする。また、原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置概要(イメージ)について図4に示す。
 - 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置は、重大事故等に対し、基準地震動 S_s 後においても、作動性及び原子炉建屋原子炉棟の負圧を維持するために必要な気密性を確保し、閉止後においては、弾性設計用地震動 S_d においても原子炉建屋原子炉棟を負圧に維持できる気密性を保持※できること。また、現場において人力による操作ができること。
 - 主蒸気配管破断やISLOCA発生時等の原子炉建屋ブローアウトパネルの開放機能に悪影響を及ぼさないよう、蒸気を建屋外へ放出するために必要な流路を確保※すること。なお、この機能は、基準地震動 S_s により損なわれないこと。
- 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置は設置許可基準規則第59条(運転員の被ばくを低減するための設備)に関連する『常設重大事故緩和設備』として位置付ける。

※:閉止時には、シール部を押し付けた状態で、かんぬき等により固定することで気密性を確保可能な設計とする。また、待機時には、開放した状態でかんぬき等にて固定することで開放状態を維持可能であり、主蒸気配管破断やISLOCA発生時等の原子炉建屋ブローアウトパネルの開放機能に悪影響を及ぼさないよう、蒸気を建屋外へ放出するために必要な流路を確保可能な設計とする。詳細な構造については、工事計画認可申請の審査時に説明する。



図4 原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置概要図
(イメージ)