

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
商業機密あるいは防護上の観点  
から公開できません

東海第二発電所工事計画審査資料	
資料番号	工認-219 改 0
提出年月日	平成 30 年 3 月 13 日

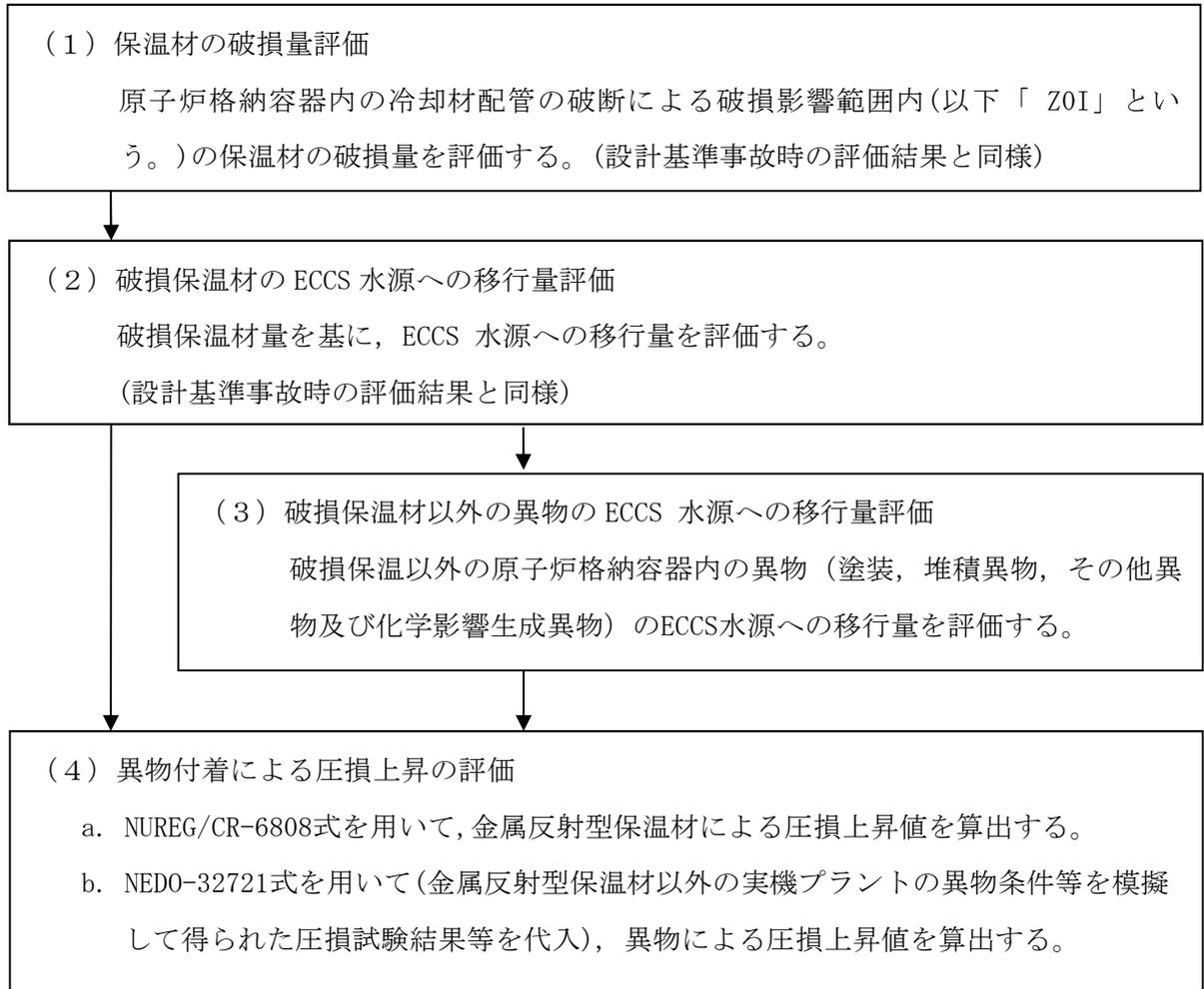
重大事故等時における非常用炉心冷却系ストレーナの異物付着  
による圧損上昇評価

## 目 次

	頁
1. 非常用炉心冷却系ストレーナの異物付着による圧損上昇の評価方法……………	別添- 1
2. 非常用炉心冷却系ストレーナの異物付着量の評価……………	別添- 3
2.1 保温材の破損量評価……………	別添- 3
2.2 破損保温材の ECCS 水源への移行量評価……………	別添- 3
2.3 破損保温材以外の異物の ECCS 水源への移行量評価……………	別添- 4
3. 非常用炉心冷却系ストレーナの異物付着量による圧損上昇の評価……………	別添- 5
3.1 ストレーナの異物付着による圧損上昇評価に用いる流量……………	別添- 5
3.2 試験装置の概要……………	別添- 6
3.3 試験条件……………	別添- 6
3.4 異物付着による圧損上昇の評価……………	別添- 8
3.5 試験結果……………	別添- 10
4. 非常用炉心冷却系ストレーナの異物付着による圧損上昇の評価結果……………	別添- 11

## 1. 非常用炉心冷却系ストレーナの異物付着による圧損上昇の評価方法

重大事故等時の評価においては、原子炉格納容器内の冷却材配管の両端破断による原子炉冷却材喪失事象を想定し、配管破断時に破断口周囲の保温材等が破断口から流出した冷却材により破損し、破損した保温材等がドライウェル(以下「D/W」という。)からECCS 水源であるサブレーション・プール(以下「S/P」という。)へ流入し、代替循環冷却系ポンプの吸込流によりECCSストレーナに付着するという事象シナリオに沿って、「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について(内規)(平成20年2月27日付け平成20・02・12原院第5号)(以下「内規」という。)を参考にECCSストレーナの圧損上昇の評価を行う。具体的な評価の手順を図1-1に示す。



注記\* : 化学影響生成異物は, 「Evaluation of Post-Accident Chemical Effects in Containment Sump Fluids to Support GSI-191」(Westinghouse WCAP-16530-NP (以下「WCAP」という。)) に基づいて算出する。

図1-1 ECCSストレーナの圧損上昇の評価の手順

## 2. 非常用炉心冷却系ストレナの異物付着量の評価

### 2.1 保温材の破損量評価

LOCA 時に破断する冷却材配管が設置されている原子炉格納容器内において、配管破断想定箇所は、ZOI 内の保温材破損量が多いと想定される箇所を選定し、保温材の破損量进行评估する。なお、重大事故等時における保温材の破損量は、設計基準事故時と同様である。

保温材の最大破損量を表2-1に示す。

表2-1 保温材の最大破損量

保温材種類	配管破断想定箇所	ZOI (半径:D)	ZOI 内保温材の 破損量
金属反射型保温材	再循環系配管 □	□	□ (m <sup>2</sup> )

### 2.2 破損保温材の ECCS 水源への移行量評価

保温材の破損量のうち、ECCS 水源に移行する量を評価した結果を表2-2に示す。移行割合は、内規別表第2に示す値とする。また、破損保温材のECCS 水源への移行量は、表2-1のZOI 内保温材の破損量に移行割合を乗じて算出する。なお、重大事故等時の破損保温材移行量は、設計基準事故時と同様である。

表2-2 破損保温材の ECCS 水源への移行量

保温材種類	移行割合 (%)	移行量
金属反射型保温材	□	□ (m <sup>2</sup> )

2.3 破損保温材以外の異物の ECCS 水源への移行量評価

重大事故等時において考慮する異物の種類，量及びECCS 水源への移行量を表2-3に示す。また，耐DBA塗装及び堆積異物については，異物管理及び原子炉起動の際の原子炉格納容器内清掃，点検を実施するため，内規 別表第3に示す値を用いる。

表2-3 重大事故等時における破損保温材以外の異物の種類，量及び ECCS 水源への移行量

異物の種類		異物量	移行割合	移行量	
耐DBA塗装(ジェット破損)					
非DBA塗装					*1
堆積異物	スラッジ				
	錆片				
	塵土				
その他異物					
耐DBA塗装(耐DBA塗装のうち異物として追加考慮するもの *2)					*3
化学影響生成異物		*4			

注記\*1：流動解析により，破断流・PCV内流動を考慮して算出した D/W から S/P への移行割合  (%) を適用する。

注記\*2：重大事故等時において原子炉格納容器内温度が上昇することから，塗装片の追加発生を考慮する。

注記\*3：流動解析により，破断流・PCV内流動を考慮して算出したD/WからS/Pへの移行割合 ( %) 及び S/Pからストレーナへの移行割合  (%) を適用して，  
 (%) ×  (%) =  (%) を考慮した。

注記\*4：化学影響生成異物は，「Evaluation of Post-Accident Chemical Effects in Containment Sump Fluids to Support GSI-191」(Westinghouse WCAP-16530-N (以下「WCAP」という。)) に基づいて算出する。

3. 非常用炉心冷却系ストレーナの異物付着量による圧損上昇の評価

発生が想定される異物量による圧損上昇を以下に示す圧損試験結果より算出し，添付書類「V-1-8-4 圧力低減設備その他の安全設備のポンプの有効吸込水頭に関する説明書」で個別評価を実施するとして，代替循環冷却系ポンプが重大事故等に対処するために必要な機能を有効に発揮できることを確認する。

3.1 ストレーナの異物付着による圧損上昇評価に用いる流量

ストレーナの異物付着による圧損上昇評価に用いるECCS ストレーナを通過する流量は，有効NPSH評価上保守的な評価となるように，ストレーナを兼用する残留熱除去系ポンプの定格流量とする。ECCS ストレーナを通過する流量を表3-1に示す。

表3-1 ECCSストレーナを通過する流量

(単位:m<sup>3</sup>/h)

系統設備	流量
代替循環冷却系ポンプ	□

注記\*：代替循環冷却系ポンプの定格流量は□ m<sup>3</sup>/hであるが，保守的に圧損を評価する観点から，ストレーナを兼用する残留熱除去系ポンプの定格流量である□ m<sup>3</sup>/hとして評価する。

### 3.2 試験装置の概要

重大事故等時の圧損評価に使用した試験装置の概要を図3-1に示す。

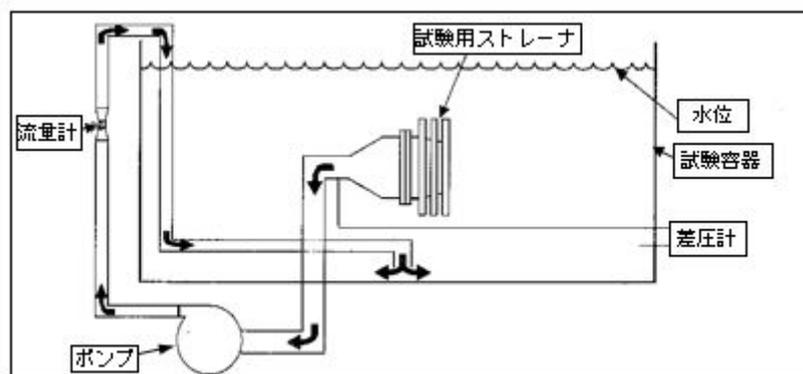


図3-1 圧損試験装置の概要図

### 3.3 試験条件

#### (1) 試験のスケーリング比

試験異物のスケーリング比は、試験用ストレーナ1個当たりの表面積 ( )m<sup>2</sup>と実機ストレーナの基準表面積 ( )m<sup>2</sup>の比率から、 )とした。

圧損試験で考慮するストレーナ基準面積は、下記の式で算出する。

$$\begin{aligned} \text{ストレーナ基準表面積} &= (\text{有効表面積}) - (\text{その他異物付着面積}) \times 0.75 \\ &= \text{ } - \text{ } \times 0.75 (\text{内規}) = \text{ } \text{m}^2 \end{aligned}$$

(2) 試験の異物物量

圧損試験に用いる異物量を表3-2に示す。

表3-2 圧損試験に用いる異物量

試験に用いる異物量の計算		重大事故等時における異物量 (ストレーナ2個分) A	異物 スケーリ ング比 Rsd	D/Wから S/Pへの 移行割合 Ra1	S/Pから ストレーナ への 移行割合 Ra2	Ra3 =Ra1 × Ra2	試験に用いる 異物量 (ストレーナ1個分) B=A/2×Rsd×Ra3
異物の種類							
金属反射型保温材							
耐DBA塗装(ジェット破損)							
非DBA塗装							
堆積異物	繊維質保温材						
	スラッジ						
	錆片						
	塵土						
その他異物							
耐DBA塗装(耐DBA塗装のうち異物として追加考慮するもの <sup>*6</sup> )							
化学影響生成異物							

注記\*1：金属反射型は、NUREG/CR-6808にて示される評価式を使用して算出するため、本試験では投入していない。

注記\*2：流動解析により、破断流・PCV内流動を考慮して算出したD/WからS/Pへの移行割合(□%)を適用する。

注記\*3：繊維質保温材は、D/W内の高エネルギー配管のギロチン破断を想定した時の最大の影響範囲(ZOI)を設定し、S/Pへの移行量評価を実施して想定物量を評価する。また、実機のD/W内では、繊維質保温材撤廃しているため、圧損評価条件としては繊維質ゼロとする。

注記\*4：NEDO式を用いる圧損評価では、繊維質ゼロでは圧損評価できないため、試験が成立しないことから、繊維質ゼロ相当として繊維質厚さを0.3mmとして試験を実施する。

$$\begin{aligned} \text{繊維質体積} &= \text{繊維質厚さ} \square \text{ (m)} \times \text{基準表面積} \square \text{ (m}^2\text{)} \times \text{ストレーナ2 (個)} \\ &= \square \square \text{ m}^3, \\ \text{繊維質量} &= \square \text{ (m}^3\text{)} \times \text{繊維質密度} \square \text{ (kg/m}^3\text{)} = \square \text{ (kg)} \end{aligned}$$

注記\*5：その他異物のステッカー類については、ストレーナ表面積からステッカー類の総表面積の75%分を差し引いて考慮しているため、試験には投入していない。

注記\*6：重大事故等時において原子炉格納容器内温度が上昇することから、塗装片の追加発生を考慮する。

注記\*7：流動解析により破断流・PCV内流動を考慮して算出したD/WからS/Pへの移行割合(□%)及びS/Pからストレーナへの移行割合□%を適用して、  
 $\square(\%) \times \square(\%) = \square(\%)$  を考慮した。

注記\*8：化学影響生成異物は、「Evaluation of Post-Accident Chemical Effects in Containment Sump Fluids to Support GSI-191」(Westinghouse WCAP-16530-N (以下「WCAP」という。))に基づいて算出する。

### (3) 試験流量

試験流量は、残留熱除去系ポンプの定格流量に対して、実機における側面の接近流速と同等となるよう、試験用ストレーナ1個当たりの側面積(□m<sup>2</sup>)と実機ストレーナ1個当たりの側面積(□m<sup>2</sup>)の比率から、□とした。

$$\text{試験流量} = \square \text{ m}^3/\text{h} \div \text{ストレーナ2個} \times \square = \square \text{ m}^3/\text{h}$$

## 3.4 異物付着による圧損上昇の評価

### (1) 金属反射型保温材の付着による圧損上昇の評価

金属反射型保温材の付着による圧損上昇の評価については、NUREG/CR-6808にて示される下記評価式を使用して算出する。下記評価式に用いる金属反射型保温材の諸元について表3-3に示す。

この算出の結果、金属反射型保温材が付着した場合のECCS ストレーナの圧損をあわせて表3-3に示す。

$$h_{\text{RMI}} = (1.56 \times 10^{-5} / K_t^2) \cdot U_{\text{RMI}}^2 \cdot (A_{\text{foil}} / A_c) \cdot 0.0254$$

ここで、

- $h_{\text{RMI}}$  : 圧力損失(m)
- $K_t$  : 金属箔のギャップ厚さ(m)
- $U_{\text{RMI}}$  : 接近流速(m/s)
- $A_{\text{foil}}$  : 金属保温材箔の表面積(両面の合計値)(m<sup>2</sup>)
- $A_c$  : ストレーナ表面積(m<sup>2</sup>)

表3-3 金属反射型保温材の諸元および圧損上昇

	重大事故等時	
	代替循環冷却系ポンプ	
ギャップ厚さ $K_t$ (m)		
表面積 $A_{foil}$ (m <sup>2</sup> ) (両面の合計値)		
圧損上昇 (m)		

注：各異物による圧損上昇結果は小数点以下第3位を四捨五入した結果を示す。

- (2) 繊維質異物、粒子状異物及び化学影響生成異物の付着による圧損上昇の評価  
 (繊維質保温材, スラッジ, 塗料片, 錆片, 塵土, 化学影響生成異物)  
 NEDO-32721 にて示される下記評価式を使用して算出する。

$$h_{debris} = \frac{\mu \cdot U \cdot t}{\rho \cdot g \cdot d^2} \cdot K_h$$

であり、式中の記号の意味は以下のとおりである。

- $h_{debris}$  : 圧力損失 (m)  
 $\mu$  : 水の粘性係数 (Pa·s)  
 $U$  : 側面の接近流速 (m/s)

$$= \frac{Q}{\pi \cdot D \cdot L}$$

- ここで、 $Q$  : 流量 (m<sup>3</sup>/s)  
 $D$  : 外径 (m)  
 $L$  : 圧損評価長さ (m)  
 $t$  : 側面の異物の厚さ (m)

$$= \frac{V_{debris}}{\pi \cdot D \cdot L}$$

- ここで、 $V_{debris}$  : 異物の体積 (m<sup>3</sup>)  
 $\rho$  : 水の密度 (kg/m<sup>3</sup>)  
 $g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)  
 $d$  : インターファイバーディスタンス (m)

代替循環冷却系 :  (m)

実機異物条件を基に、保守的な条件で圧損試験を実施し、  
 その試験で計測された圧損結果から算出した値

$$K_h : f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4$$

$f_1$  : 流速を考慮する係数

$$= 1 + 0.07 \cdot \text{Re}$$

ここで,  $\text{Re}$  : レイノルズ数

$$= U1 \cdot d_{\text{fiber}} \cdot \rho / \mu$$

$$U1 = \frac{Q}{\{\pi \cdot D \cdot L + \pi \cdot (2 \cdot D^2 - d_0^2 - d_L^2) / 4\} \cdot (\text{非マスクング率})} \quad (\text{m/s})$$

$$d_{\text{fiber}} : \text{繊維直径 (m)} = 7 \times 10^{-6} \text{ (m)}$$

$$d_0 : \text{トップフランジ外径 (m)}$$

$$d_L : \text{ボトムスペーサ外径 (m)}$$

$f_2$  : 異物の層の圧縮を表す係数

$$= 0.2197 + 0.23 \cdot \frac{\mu \cdot U}{\rho \cdot g \cdot d^2}, \quad \text{for } \frac{\mu \cdot U}{\rho \cdot g \cdot d^2} < 3.393$$

$$= 1, \quad \text{for } \frac{\mu \cdot U}{\rho \cdot g \cdot d^2} \geq 3.393$$

$f_3$  : 繊維異物と粒子異物の比率 ( $M_c/M_f$ ) を表す係数

(実機の異物条件を模擬した試験結果から  $d$  値を求める場合は 1 となる。)

$$= 1 + 0.15 \cdot (M_c/M_f)$$

$M_c$  : 粒子異物の質量 (kg)

$M_f$  : 繊維異物の質量 (kg)

$f_4$  : 形状効果を表す係数

$$= 0.1558 + 6.525 \cdot (t/D), \quad \text{for } t/D < 0.27$$

$$= 2.0157 - 0.3467 \cdot (t/D), \quad \text{for } 0.27 < t/D < 1.8$$

$t/D > 1.8$  の場合,  $f_4 = 1.4$  を保守的に使用する。

### 3.5 試験結果

「3.3 試験条件」にて示した条件において圧損試験を実施したところ, 異物による有意な圧損上昇は確認されず, 圧損上昇の最大値は  m 程度であった。以上より, 重大事故等時において想定される異物の量を考慮しても, 代替循環冷却系ポンプが重大事故等時に対処するために必要な機能を有効に発揮できることを確認した。

4. 非常用炉心冷却系ストレーナの異物付着による圧損上昇の評価結果

「3.4 異物付着による圧損上昇の評価」による、金属反射型保温材、繊維質、粒子状の異物及び化学影響生成異物による圧損値を合計した結果、ECCS ストレーナの異物付着による圧損値は表4-1に示すとおりである。

表4-1 金属反射型保温材、繊維質、粒子状の異物及び化学影響生成異物の付着による圧損上昇の評価結果

(単位:m)

	圧損値	
	重大事故等時	
	代替循環冷却系ポンプ	
金属反射型保温材による圧損上昇		
繊維質, 粒子状の異物及び化学影響生成異物による圧損上昇		
合計		

注：各異物による圧損上昇結果は小数点以下第3位を四捨五入した結果を示し、合計値は小数点以下第3位を切り上げ処理した結果を示す。