

# 経済産業省

平成20・02・12原院第5号

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）を次のように定める。

平成20年2月27日

原子力安全・保安院長 薦田 康久

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）

本内規は、沸騰水型原子力発電設備（以下「BWR」という。）又は加圧水型原子力発電設備（以下「PWR」という。）の非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備（以下「ECCS」という。）に係るろ過装置（以下「ストレーナ」という。）について、閉塞事象の考慮に関しては発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令（昭和40年通商産業省令第62号。以下「省令」という。）第17条第3項及び第32条第5号イ、ストレーナの大型化に伴う構造強度に関しては省令第5条並びに第9条第2号及び第9号に規定する技術基準への適合性の判断基準を定めるものである。

## 記

### 1. ストレーナの性能評価

ストレーナの性能評価は、一次冷却材喪失事故（以下「LOCA」という。）時に破損する保温材及び格納容器内に存在する他の異物がストレーナに付着することによる圧力損失（以下「圧損」という。）の上昇を考慮したECCSに係るポンプ（以下「ECCSポンプ」という。）の有効吸込水頭が、当該ポンプの必要有効吸込水頭以上であることを確認することであり、その方法は、次の（1）から（5）に規定するとおりである。

#### （1）保温材の破損量評価

LOCA時に破断する一次系配管の周辺に設置されている保温材について、その破損量が評価されていること。その際、配管の破断様式については、一次系大口徑配管の完全両端破断が設定され、配管の破断点については、保温材の管理実態及びその将来的な変動に配慮した上で、破損を想定した保温材（以下「破損保温材」という。）のストレーナへの付着による圧損上昇が最大となる点が設定されていること。

なお、保温材の破損を想定する破損影響範囲（以下「ZOI」という。）は、別表第1

に示す保温材の種類に応じ、破断点を中心とした同表に示す半径の球であること。

(2) 破損保温材のECCS水源への移行量評価

(1) で評価された保温材の破損量に別表第2に示す割合を乗じた量が、ECCS水源（ECCSの再循環運転における水源をいい、BWRではサプレッションプール、PWRでは格納容器再循環サンプをいう。以下同じ。）への移行量として評価されていること。ただし、PWRにおいては、格納容器内に放出される冷却材の全量に対する滞留水区画（冷却材の一部が滞留するおそれのある格納容器内の区画）の体積比を移行量に乗じた値を、当該移行量から減じることができることとする。この場合において、体積比は15%を上限とする。

(3) 破損保温材以外の異物のECCS水源への移行量評価

破損保温材以外の格納容器内に存在する異物について、破断流・格納容器スプレイによる流動及び格納容器内雰囲気を考慮の上で、ECCS水源への移行量が評価されていること。その際、存在する異物の量については、原則として、発電設備毎の状況調査に基づき保守的な量としていること。ただし、異物管理及び原子炉起動の際の格納容器内清掃・点検を実施している場合に限り、別表第3に示す異物の種類に応じ、当該異物の欄に示す量とすることができることとする。

(4) 異物付着による圧損上昇の評価

異物付着による圧損上昇の評価に当たっては、異物付着による圧損上昇の最も厳しくなるECCSの系統構成が仮定されていること。その際、ECCS水源に移行した異物が、各系統流量に基づき分配され、かつ、全量ストレーナに付着するとされていること。

異物付着による圧損上昇量は、当該系統構成に基づき、次の①から⑤を考量した上で、別記1に示すNUREG/CR-6224式又はNEDO-32721式のどちらか一方及びNUREG/CR-6808式を用いて求めた値の合計とする。その際、想定した異物付着量を踏まえた圧損試験の結果によって補正されていること。

なお、圧損試験の実施に当たっては、別記2に示す留意事項が考慮されていること。

- ① 圧損上昇評価の際に用いるECCS水源の水温は、保守的に低く設定されていること。
- ② 冷却材の接近流速（ECCSの再循環運転時の最低水位で水没するストレーナ面積の単位面積当たりの系統流量をいう。以下同じ。）は、系統の性能要求流量（電気事業法施行規則（平成7年通商産業省令第77号）第63条第1項第1号に基づく工事計画書における記載値）以上を基に設定されていること。
- ③ 再循環運転時の最低水位は、冷却材がECCS水源に到達するまでの流路の狭隘部が破損保温材等により閉塞し、再循環運転に寄与しない冷却材が生じる可能性がある場合は、その量を差し引いて算出されていること。
- ④ 再循環運転時の最低水位で水没するストレーナ面積は、別表第3のその他異物として想定したステッカー類の総面積の75%分を差し引いて算出されていること。
- ⑤ ストレーナ表面に堆積した繊維状の異物（以下「繊維質」という。）が粒子状の異物（以下「粒子」という。）を捕捉することによる効果（以下「薄膜効果」という。）を踏まえ、以下の想定のもと最大の圧損上昇が評価されていること。
  - A 繊維質の想定される最大付着量が、薄膜効果の発生開始量未満の場合には、薄膜効果の発生開始量の繊維質が付着すること。
  - B 繊維質の想定される最大付着量が、薄膜効果の発生開始量以上の場合には、薄膜効果が発生すること。

なお、別記1の評価式以外でも、同等の圧損試験により妥当性が証明された式であれば、使用することができることとする。

### (5) 有効吸込水頭の評価

上述の(1)から(4)までの規定に基づいて評価された圧損上昇を考慮したECCSポンプの有効吸込水頭が、当該ポンプの必要有効吸込水頭以上であることが確認されていること。

その際、ECCS水源の水温は保守的に高く設定されているとともに、配管破断後に上昇する背圧は、原則として考慮されていないこと。ただし、背圧を考慮することがやむを得ない場合には、保守性を十分考慮した背圧であること。

## 2. ストレーナの耐震性及び構造強度の評価

ストレーナは工学的安全施設に属する機器であることから、クラス2機器としての耐震性並びに材料及び構造強度に適合していること。

荷重の組合せについては、別表第4に示すように、死荷重、通常運転温度による熱荷重及び地震荷重に、異物付着による異物荷重及び差圧を組み合わせるとともに、BWRIにおいては、原子力安全委員会「BWR Mark-I(II)型格納容器圧力抑制系に加わる動荷重の評価指針」に示される荷重も組み合わせていること。

ストレーナの許容応力については、別表第5に示すように、クラス2管に対する許容応力制限を準用し、異物付着による差圧に対する膜応力制限を設け、運転状態IVにおいても運転状態I・IIと同じ許容応力であること。

## 3. その他の評価

ストレーナの網目の粗さは、ECCSポンプ下流のスプレイノズル、ECCSポンプシール部等、下流側機器の機能を損なうことのない設計であること。

附 則（平成20年2月27日、平成20・02・12 原院第5号）

- 1 本内規は、平成20年3月1日から施行する。
- 2 沸騰水型原子力発電設備における非常用炉心冷却設備及び格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価及び構造強度評価について（内規）（平成17年10月25日、平成17・10・13 原院第4号）は廃止する。

別表第1 保温材の破損影響範囲半径

保温材種類	BWR	PWR
カプセル保温 (金属反射型)	7.4D	2.0D
カプセル保温 (繊維質)	7.4D	2.4D
一般保温 (ケイ酸カルシウム)	7.4D	5.5D
一般保温 (繊維質)	11.4D	36.5D

(注) D : 破断を想定した配管の口径

別表第2 破損保温材のEGCS水源への移行割合

保温材種類	BWR	PWR
カプセル保温 (金属反射型)	50%	57%(ドライ型) 68%(アイスコンデンサ型)
カプセル保温 (繊維質)	15%	60%
一般保温 (ケイ酸カルシウム)	10%	100%
一般保温 (繊維質)	28%(グレーチング上) 78%(グレーチング下)	60%

(注) PWRの表内の値には大型片の移行を加味していないため、グレーチング等による捕捉が見込めない場合については別途評価すること。

別表第3 破損保温材以外に考慮する異物

種類	BWR	PWR
耐DBA仕様塗装	39 kg	半径10Dの球形ZOIの表面積に 塗膜厚さを乗じた値
非DBA仕様塗装	格納容器内の事故時環境に直接晒されるもの全量	
堆積異物	スラッジ : 89 kg 錆片 : 23 kg 塵土 : 68 kg	繊維質 : 13.6 kg 粒子 : 77.1 kg
その他異物	現地調査を踏まえ余裕を持たせた値	

(注) D : 破断を想定した配管の口径

耐DBA仕様塗装 : LOCA時の原子炉格納容器内環境に対する健全性が確認されている塗装

非DBA仕様塗装 : LOCA時の原子炉格納容器内環境に対する健全性が確認されていない塗装

堆積異物 : 格納容器内に堆積した塵や繊維等

その他異物 : ステッカーや養生していないビニールシート等及びむき出しの保温材や耐火材

別表第4 荷重の組み合わせ及び許容応力状態

運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	通常運転温度	SRV荷重		LOCA荷重			地震荷重		供用状態
					運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮(CO)	チャギング(CH)	S1荷重	S2荷重	
運転状態 I	○			○								A
運転状態 II	○			○	○							B
運転状態 IV (L)	○	○	○									A
運転状態 IV (S)	○	○	○					○				D
運転状態 IV (S)	○	○	○			○			○			D
運転状態 IV (S)	○						○					D
運転状態 I	○									○		C (ⅢAS)
運転状態 I	○										○	D (ⅣAS)
運転状態 II	○				○					○		C (ⅢAS)
運転状態 II	○				○						○	D (ⅣAS)
運転状態 IV (L)	○	○	○							○		C (ⅢAS)

：ストレーナ特有

- ・ SRV荷重とLOCA荷重はBWRのみ考慮する。なお、Mark-IIプラントではSRV荷重とチャギングは組み合わせなくてよい。
- ・ 地震荷重については、日本電気協会電気技術指針「原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601・補-1984)」の場合に記載。ただし、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針 (平成18年9月19日原子力安全委員会決定)」に基づき耐震設計を行う発電用原子力設備については、上記民間規格における基準地震動S2及び基準地震動S1に係る取扱内容を、基準地震動Ss及び弾性設計用地震動Sdに準用して行うこと。
- ・ S2荷重はAsクラスの原子炉格納容器配管貫通部に直接支持されるBWRのみ考慮する。
- ・ 運転状態IV (L)…運転状態IVの状態のうち、長期間のものが作用している状態
- ・ 運転状態IV (S)…運転状態IVの状態のうち、短期間のものが作用している状態
- ・ 供用状態については、日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005)」のGNR-2110, GNR-2233の定義により記載。

別表第5 ストレーナの許容応力<sup>※1</sup>

供用状態	1次一般膜応力	1次膜+曲げ応力	1次+2次応力 ※2
A	S ※3	長期荷重 1.5S 短期荷重 1.8S	Sa
B	—		
D	S ※4		
C (ⅢAS)	Syと0.6Suの小さい値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及びニッケル合金については1.2Sとしてもよい。	Sy。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及びニッケル合金については1.2Sとしてもよい。	Uf < 1 (ただし、地震動のみによる1次+2次応力の変動値が2Sy以下であれば、疲れ解析は不要。)
D (ⅣAS)	0.6Su	左欄の1.5倍	

※1：日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSME S NC1-2005)」及び日本電気協会電気技術指針「原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601・補-1984)」の場合。ただし、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針 (平成18年9月19日原子力安全委員会決定)」に基づき耐震設計を行う発電用原子力設備については、上記民間規格における基準地震動S2及び基準地震動S1に係る取扱内容を、基準地震動Ss及び弾性設計用地震動Sdに準用して行うこと。

※2：2次応力が発生する場合のみ考慮

※3：運転状態IV (L)のみ

※4：運転状態IV (蒸気凝縮、チャギング)のみ

S…許容引張応力、Sy…設計降伏点、Su…設計引張強さ、Sa…許容応力、Uf…疲れ累積係数

《NUREG/CR-6224評価式》（繊維質・粒子状異物に対する式）<sup>(1)</sup>

$$\frac{dH}{dL_0} = C \left[ 3.5S_v^2(1-\varepsilon_m)^{1.5} \left[ 1 + 57(1-\varepsilon_m)^3 \right] \mu U + 0.66S_v \frac{(1-\varepsilon_m)}{\varepsilon_m} \rho_w U^2 \right] \left( \frac{dL_m}{dL_0} \right)$$

$dH$ : 圧力損失 (m)  
 $C$ : 変換定数 (m/Pa)  
 $dL_0$ : ベッド厚さ (理論値) (m)  
 $dL_m$ : 付着後のベッド厚さ (m)  
 $S_v$ : 異物の比面積 ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )  
 $\varepsilon_m$ : 混合異物の空隙率  
 $\mu$ : 水の粘性係数 ( $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ )  
 $\rho_w$ : 水の密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $U$ : 吸込流速 (接近流速) (m/s)

《NEDO-32721評価式》（繊維質・粒子状異物に対する式）<sup>(2)</sup>

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

$h$ : 圧力損失 (m)  
 $U$ : ストレーナ側面に対する接近流速 (m/s)  
 $t$ : ストレーナ側面に対する異物厚さ (m)  
 $\mu$ : 水の粘性 ( $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ )  
 $\rho$ : 水の密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $g$ : 重力加速度 ( $\text{m}/\text{s}^2$ )  
 $d$ : Interfiber Distance (異物間の隙間を表す値) (m)  
 $K_h$ : ストレーナ効率を表す無次元数。圧力損失を無次元化したもの

《NUREG/CR-6808評価式》（金属保温異物に対する式）<sup>(3)</sup>

$$\Delta H = \frac{1.56 \times 10^{-5}}{K_t^2} U^2 \left( A_{foil} / A_{str} \right)$$

$\Delta H$ : 圧力損失 (m)  
 $K_t$ : 金属箔のギャップ厚さ (m)  
 $U$ : 接近流速 (m/s)  
 $A_{foil}$ : 金属箔の表面積 (両面の合計値) ( $\text{m}^2$ )  
 $A_{str}$ : ストレーナ表面積 ( $\text{m}^2$ )

#### 参考文献

- (1) NUREG/CR-6224, G. Zigler et al., "Parametric Study of the Potential for BWR ECCS Strainer Blockage Due to LOCA Generated Debris" (SEA No. 93-554-06-A:1), USNRC, October 1995.
- (2) NEDO-32721 "Licensing Topical Report Application Methodology for the General Electric Stacked Disk ECCS Suction Strainer," Revision 2, December 2001.
- (3) NUREG/CR-6808, "Knowledge Base for the Effect of Debris on Pressurized Water Reactor Emergency Core Cooling Sump Performance," USNRC, February 2003.

## 圧損試験の実施に当たっての留意事項

圧損試験の実施に当たっては、プラント毎に実機の条件を踏まえるとともに、独立行政法人原子力安全基盤機構が実施した試験結果（JNES-SS-0703「PWRサンプスクリーン閉塞に関する堆積形態と化学影響の評価」）を踏まえて、次の事項に留意すること。

1. 複数の種類の異物が付着した場合の圧損上昇については、付着量が同量であってもストレーナへの付着のさせ方によって圧損上昇量が異なる。具体的には、繊維質と粒子の組合せにおいて、繊維質と粒子を混合させたものを堆積させた場合に比べ、繊維質を堆積させた後に粒子を堆積させた場合などで圧損上昇量が大きくなる試験結果がある。そのため、圧損試験においては、実機で想定される条件を検討の上、上述の圧損上昇の特性を踏まえて、試験条件の妥当性を確認する必要がある。
2. 圧損試験においては、異物の溶解、析出、追加付着等により圧損上昇に経時変化が考えられることから、十分な試験時間を確保し、非保守的な評価とにならないよう配慮するとともに、試験水量の実機条件との違いによる影響についても検討することが必要である。
3. 想定される異物としては破損保温材以外の異物もあることから、圧損試験においては、それらの異物の取扱について各異物の物性を踏まえて非保守的な評価とにならないよう、試験の妥当性を確認する必要がある。
4. ストレーナに付着させる異物については、実機において想定される条件を検討の上、保守的な試験結果となるよう相当程度細かくする必要がある。
5. 試験流速については、実機と同等以上の接近流速にて測定するとともに、流速を変動させると、圧損上昇量に不可逆的な変化が生じる場合があることから、実機での運転実態を勘案して試験条件を設定する必要がある。
6. 試験温度については、水の粘性等について適切に取り扱っている限り特定の温度に限定する必要はないが、圧損試験の目的に照らして妥当であることを確認する必要がある。
7. PWRにおいては、冷却材がほう酸水であり、ECCS系統の再循環運転において冷却材中に水酸化ナトリウム、ヒドラジン又はほう酸ナトリウムを添加することから、これらと格納容器内構造物や破損保温材等との化学反応によりストレーナの圧損が上昇する可能性があり、その上昇の度合いは、異物等の種類、組合せによって異なるため、それらを考慮した上で、全体的な圧損上昇が最大となる条件で試験を行う必要がある。その際、実機の条件を模擬して日単位で圧損上昇が落ち着くまで試験を行う必要があるが、妥当性が確認された場合に限り、別途異物・薬剤等を投入することにより加速試験を行うことができる。

## 参考文献

JNES-SS-0703「PWR サンプスクリーン閉塞に関する堆積形態と化学影響の評価」, 独立行政法人原子力安全基盤機構