

# シビアアクシデント時に発生する異物による 非常用炉心冷却系ストレーナ圧損評価

Evaluation of ECCS strainer head loss caused by debris generated at the time of severe accidents.

中部電力株式会社	嶋田 優雅	Yuya SHIMADA	Non-Member
中部電力株式会社	川井 貴弘	Takahiro KAWAI	Member
中部電力株式会社	松田 真一	Shinichi MATSUDA	Non-Member
中部電力株式会社	大山 正孝	Masataka OOHAMA	Non-Member
中部電力株式会社	堀井 一明	Kazuaki HORII	Non-Member

ECCS strainer for Hamaoka NPP employs cassette type. At the time of severe accident, it is necessary to take into consideration the chemical debris which has not been considered in BWR so far, in order to carry out pH control in the reactor containment vessel. In this paper, we report the results of closed vertical pipe loop test on the evaluation of the ECCS strainer head loss when considering the chemical debris in addition to the debris such as coating generated at the time of severe accident.

**Keywords:** Hamaoka NPP, ECCS Strainer, Head Loss Evaluation, Chemical Debris, NPSH,

## 1. 緒言

非常用炉心冷却系ストレーナ（以下、「ECCS ストレーナ」という。）の圧損評価では、ストレーナメッシュ表面に堆積した繊維質異物により、粒子状異物を捕捉することで高い圧損を生じる効果（以下、「薄膜効果」という。）を考慮する必要がある。

BWR では、これまでに事故時においてサブプレッションチェンバ水へ薬品添加を行っていなかったことから、原子炉格納容器内の構造材の化学反応により発生する腐食生成物（以下、「化学影響生成異物」という。）は考慮不要としていたが、浜岡原子力発電所4号機（以下、「浜岡4号機」という。）のシビアアクシデント時においては、ヨウ素発生抑制のため、pH制御材の添加によりアルカリ性となったサブプレッションチェンバ水を原子炉格納容器内へスプレイすることから、化学影響生成異物を考慮する必要が出てきた。

浜岡4号機では、ECCS ストレーナ閉塞対策として、原子炉格納容器内の繊維質保温材を、薄膜効果が発生しない金属反射型保温材等へ交換している。本稿では、米国PWR 事業者が構築した化学影響生成異物の評価手法を参考に、繊維質がない条件において、化学影響生成異物を考慮したECCS ストレーナの圧損の挙動について、鉛直閉ループ試験により確認した結果について報告する。

連絡先：嶋田 優雅  
〒437-1695 静岡県御前崎市佐倉 5561  
中部電力株式会社 原子力部  
E-mail: Shimada.Yuuya2@chuden.co.jp

## 2. 化学影響生成異物の発生量評価

化学影響生成異物は、原子炉格納容器内に存在するアルミニウム等を含む構造材が、高温環境下でアルカリ性のスプレイ水に接触することで、スプレイ水中に溶解し、その溶解物が析出することで発生すると考えられている。化学影響生成異物の発生量評価については、米国PWR 事業者が構築した手法がWCAP-16530-NP-Aに報告されている<sup>[1]</sup>（以下、本評価手法を「WCAP手法」という。）。また、JNES-SS-1004 レポートでは、国内プラントは、水素発生量低減を目的に、原子炉格納容器内のアルミニウム使用量を低減していることから、アルミニウム以外の物質の影響が大きくなる可能性が示唆されており、亜鉛メッキ鋼（Zn, Fe）や炭素鋼（Fe）についても化学影響生成異物の発生源として評価することが推奨されている<sup>[2]</sup>。

これらを踏まえた化学影響生成異物の発生量評価の手順を図1に示す。

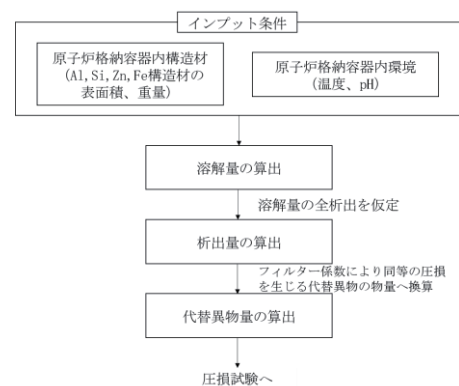


図1 化学影響生成異物の評価手法

### 3. 圧損評価

#### 3.1 圧損評価方法

浜岡4号機におけるシビアアクシデント時に発生する異物によるECCSストレーナ圧損の挙動を確認するため、以下に示す試験を実施した。

##### (1) 試験装置

浜岡4号機では、メッシュ表面のポケットを多数有する構造のカセット型ストレーナを採用している。試験装置は、実機カセット型ストレーナの1ポケットと同等の形状・サイズの試験体を上向きに設置し、異物を試験装置上部の異物投入口から投入、異物の全量がストレーナ試験体に到達、保持できる鉛直閉ループ構成とし、異物投入口から試験体までは透明なアクリル製としている。

試験装置内の循環流量は、ポンプ回転数により制御し、試験体の接近流速を余熱除去ポンプ（以下、「RHRポンプ」という。）定格流量運転時のECCSストレーナ接近流速と同等以上に調整可能である。試験装置概略図を図2に示す。

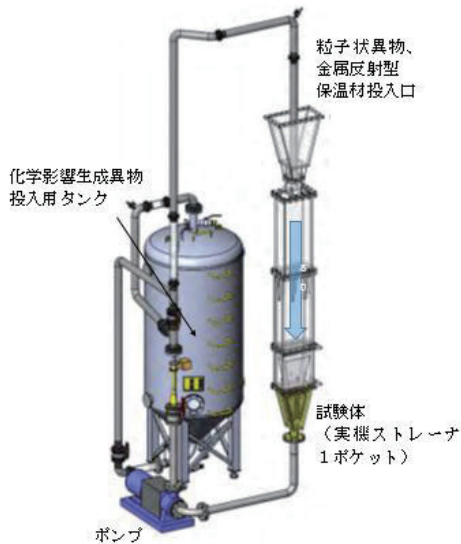


図2 試験装置概略図

##### (2) 試験条件

###### ① 接近流速

圧損試験における試験体の接近流速は、ECCSポンプの中で最大流量であるRHRポンプ定格流量時のECCSストレーナ接近流速と同等以上とする。

###### ② 考慮する異物

考慮する異物を表1に、試験に用いる異物の形状を表2に示す。

表1 考慮する異物

異物の種類		備考
塗装片		D/W 内塗装全剥落を想定し、ストレーナに到達する物量を考慮する。
堆積異物	スラッジ	通常運転時から S/P 内に存在すると想定される物量を考慮する。
	錆片	
	塵土	
保温材	繊維質保温材	D/W 内で繊維質保温材を使用していないため、考慮しない。
	金属反射型保温材	LOCA に伴う破損影響範囲 (ZOI) 内に存在する物量を考慮する。
化学影響生成異物		2. 化学影響生成異物の発生量評価で示した評価手法により評価した物量を考慮する。

表2 異物の形状

考慮する異物		異物の形状
塗装片		厚さ 0.1-0.2mm の塗装片を $\phi$ 11mm 以下に砕いたもの
堆積異物	スラッジ	以下の粒径分布の黒酸化鉄 Grades 2008 (0-10 $\mu$ m) : 95% Grades 9101-N-40 (10-75 $\mu$ m) : 5%
	錆片	$\phi$ 10mm 程度に粉碎した錆片
	塵土	コンクリート粉末
金属反射型保温材		10-60mm 四方の SUS 箔 (厚さ 0.05mm)
化学影響生成異物		WCAP 手法に従い合成したもの

### (3) 試験手順

圧損試験は以下の手順で行う。

- ① クリーン圧損測定 (バックグラウンド測定)  
バックグラウンド測定として、異物投入前の試験装置による圧損を測定する。
- ② 粒子状異物による圧損測定  
粒子状異物 (塗装片および堆積異物を混合したもの) を投入する。
- ③ 金属反射型保温材による圧損測定  
金属反射型保温材を投入し、差圧上昇が静定するまで測定を継続する。
- ④ 化学影響生成異物による圧損測定  
差圧上昇静定後、化学影響生成異物投入用タンクを試験ループへ導入し、化学影響生成異物を投入する。差圧上昇が静定するまで測定を継続し、静定した圧損値を RHR 系の許容圧損設計値 (約 0.5m) と比較することで、ECCS ストレーナが閉塞に至る可能性がないか確認する。

## 3.2 圧損試験結果

測定された圧損値は、RHR 系の許容圧損設計値と比較して、極めて小さい値で推移し、シビアアクシデント時においても、ECCS ストレーナが閉塞に至る可能性は低いことを確認した。圧損試験結果を図 3 に示す。

- ① クリーン圧損測定 (バックグラウンド測定)  
測定された 0.004m 程度の差圧を試験装置によるバックグラウンド圧損とした。
- ② 粒子状異物による圧損測定  
粒子状異物を投入したところ、僅かに圧損が上昇し、0.008m 程度となった。
- ③ 金属反射型保温材による圧損測定  
金属反射型保温材を投入し、差圧上昇が静定するまで測定したところ、差圧は 0.045m 程度で収束し、粒子状異物および金属反射型保温材による圧損上昇は 0.04m 程度であることを確認した。
- ④ 化学影響生成異物による圧損測定  
化学影響生成異物を投入したところ、差圧の急上昇は確認されなかったが、僅かな差圧上昇を続けている傾向であった。差圧上昇静定まで測定を継続したところ、差圧は 0.058m 程度で収束し、化学影響生成異物による圧損上昇は 0.013m 程度であることを確認した。

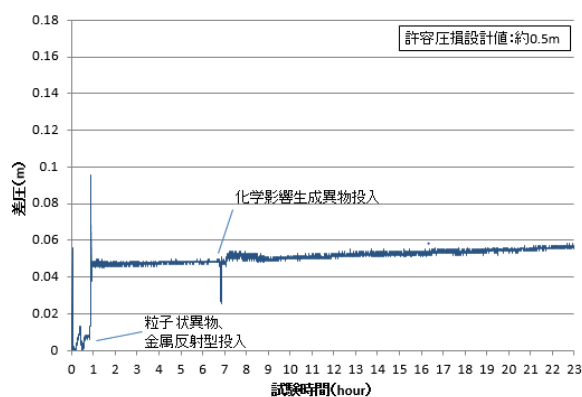


図3 圧損試験結果

## 4. 結言

浜岡 4 号機では、原子炉格納容器内に繊維質保温材を使用していないため、繊維質がない条件で圧損試験を実施した。

異物投入により圧損の上昇が認められるが、上昇は僅かであった。また、シビアアクシデント時に新たに発生する化学影響生成異物を考慮しても、著しい圧損の上昇は観測されなかった。これらの結果から、浜岡 4 号機のシビアアクシデント時においても、ECCS ストレーナが閉塞に至る可能性は低いと考えられる。

## 参考文献

- [1] A. E. Lane, T. S. Andreychek, et al., "Evaluation of Post-Accident Chemical Effects in Containment Sump Fluids to Support GSI-191," WCAP-16530-NP-A, (2008)
- [2] サンプストレーナ閉塞事象の化学影響に関する評価マニュアル、JNES-SS-1004、独立行政法人原子力安全基盤機構、原子力システム安全部 (2011)