

# 中性子照射を受ける BWR 炉内構造物の材料特性変化と破壊モードに関する検討

Study on Material Properties Changes and Fracture Modes for BWR Internal Components under Neutron Irradiation

\*林 貴広<sup>1</sup>, 田中 重彰<sup>1</sup>, 小川 琢矢<sup>1</sup>, 板谷 雅雄<sup>1</sup>, 齋藤 利之<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東芝エネルギーシステムズ

BWR 炉内構造物の照射誘起応力腐食割れ (IASCC) の評価における破壊評価手法に関して、炉心シュラウドの IASCC を対象に破壊評価線図 (2 パラメータ評価法<sup>[1])</sup> による破壊モードの評価を行った。その結果、比較的大きく成長した貫通亀裂に対しても、弾塑性破壊力学基準に基づく評価法の適用性が確認された。

**キーワード:** 炉内構造物, 照射誘起応力腐食割れ, 破壊評価, オーステナイト系ステンレス鋼

## 1. 緒言

従来、炉内のオーステナイト系ステンレス鋼の破壊評価では、材料の中性子照射による延性低下を考慮し、保守的に線形破壊力学に基づく評価法が定められている<sup>[1]</sup>。本検討では、中性子照射量の増大と共に変化する照射オーステナイト系ステンレス鋼の材料特性データに基づき、破壊モード評価に必要な特性パラメータを評価し、2 パラメータ評価法による弾塑性破壊力学評価法の適用性を検討した。

## 2. 炉心シュラウドの破壊モード評価

照射ステンレス鋼の引張特性と破壊靱性のデータに基づき、評価照射量における応力ひずみ関係と  $J$ - $R$  曲線のパラメータを評価した。破壊評価では、炉心シュラウドを平板にモデル化した。また、別途実施した IASCC 亀裂進展解析に基づき、初期の表面亀裂から板厚貫通後の貫通亀裂までの寸法をパラメータとして設定した。貫通亀裂の例として、2 パラメータ評価法における破壊評価曲線 (FAC) の横軸  $S_r$  及び縦軸  $K_r$  は式 (1) によって、延性亀裂進展量を逐次増加させた場合の進展軌跡の座標 ( $S'_r, K'_r$ ) は式 (2) によって算出した。

$$S_r = \frac{\sigma_{ref}}{\sigma_{0.2}}, \quad K_r = \sqrt{\frac{J_e}{J}} \quad (1)$$

$$S'_r = \frac{2W+l}{(2W)^2-l^2} \times \frac{P}{\sigma_{0.2}}, \quad K'_r = \sqrt{\frac{J_e}{J_R(\Delta a)}} \quad (2)$$

ここで、 $\sigma_{0.2}$  は 0.2% 耐力、 $\sigma_{ref}$  は参照応力、 $J_e$  は弾性  $J$  積分、 $J$  は弾塑性  $J$  積分、 $J_R(\Delta a)$  は  $J$ - $R$  曲線で延性亀裂進展量  $\Delta a$  に対応する  $J$  積分である。また、 $P$  は単位厚さ当たりの負荷荷重、 $l$  は亀裂長さ、 $2W$  は板幅である。破壊評価曲線と、延性亀裂進展量の増加に伴い評価点が描く進展軌跡が接する点を求めた。

図 1 は照射量が 3.3dpa、亀裂長さが 2419mm の貫通亀裂に対して、国内の低硫黄 (S) 量材に対する  $J_e$  線図<sup>[2]</sup>に基づき設定した  $J$ - $R$  曲線パラメータを用いて評価した結果である。FAC と評価点との接点から、炉心シュラウド H4 溶接部の 60 年超に相当する照射量において、比較的大きく成長した貫通亀裂に対してもその破壊モードは弾塑性破壊と判定され、弾塑性破壊力学評価法の適用性が示唆された。

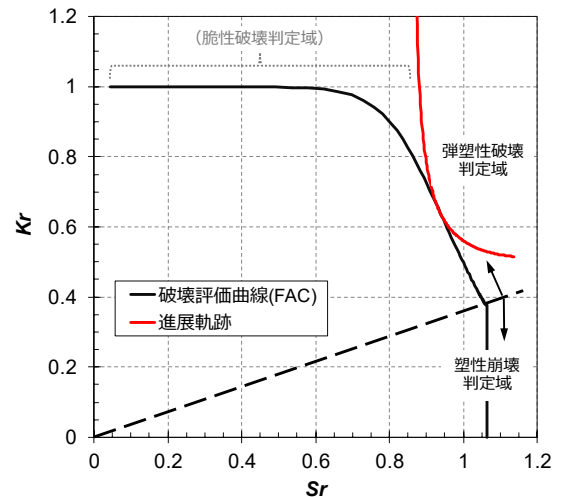


図 1 IASCC 貫通亀裂の破壊モード評価 (例)  
( $\phi=3.3\text{dpa}$ ,  $l=2419\text{mm}$ )

## 3. 結論

炉心シュラウドの IASCC を対象とした破壊モード評価の結果、弾塑性破壊力学評価法の適用性が示唆された。破壊評価基準の適正化により、実態に即した、より精度の良い評価が可能になると考えられた。

[1] (一社) 日本機械学会, 発電用原子力設備規格 維持規格 (2016 年版), JSME S NA1-2016 (2016).

[2] T. Hayashi, S. Tanaka, T. Abe, S. Sakuraya, S. Ooki and T. Kaminaga, PVP2019-93441, ASME PVP Conference (2019).

\*Takahiro Hayashi<sup>1</sup>, Shigeaki Tanaka<sup>1</sup>, Takuya Ogawa<sup>1</sup>, Masao Itatani<sup>1</sup> and Toshiyuki Saito<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TOSHIBA Energy Systems & Solutions Corporation