

高速炉燃料ピン内の Cs 軸方向移動・蓄積挙動

(3) Cs 蓄積による被覆管寿命への影響評価

Axial Migration and Accumulation Behavior of Cesium in Fast Reactor Fuel Pins

(3) Evaluation of Cesium Accumulation Effect on Lifetime of Fuel Cladding Tube

*生澤 佳久¹, 上羽 智之¹, 根本 潤一², 丹野 敬嗣¹, 岡 弘¹, 皆藤 威二¹

¹原子力機構, ²株式会社 NESI

Cs の軸方向移動によって生じる UO₂-MOX ペレット境界部での局所的な被覆管の外径増加を基に、被覆管に生じる応力を解析し、被覆管のクリープ損傷への影響を検討した。

キーワード：高速炉、Cs、高燃焼度、FCMI、MOX、クリープ損傷

1. 緒言

高燃焼度 MOX 燃料ピンでは、UO₂-MOX ペレット境界部に Cs が蓄積し、Cs-U-O 系化合物の形成が原因と考えられる FCMI (Fuel-Cladding Mechanical Interaction: 燃料-被覆管機械的相互作用) による局所的な被覆管外径増加が生じる場合がある。この FCMI による被覆管健全性への影響を検討した。

2. 解析方法

2-1. 解析対象燃料及び解析方法

EBR-II でピーク燃焼度約 120GWd/t まで定常照射した軸方向非均質燃料ピン (未破損) の被覆管外径変化率のプロファイルを図 1 に示す。内部ブランケット部の外径増加はピン内ガス圧が主要因と考えられるが、その前後の MOX 部では外径増加が大きくなっており、FCMI が寄与したと考えられる。更に、UO₂-MOX ペレット境界部では局所的な外径増加 (図中の No.1~No.3) が生じている。この部分ではガンマスキヤン測定から Cs が蓄積しており、Cs-U-O 系化合物による FCMI が局所的に生じたと考えられる。このような局所的な外径増加について、燃料ピン照射挙動計算コード「CEDAR」^[1]を用いて再現解析を行い、被覆管クリープ損傷への影響を評価した。

2-2. 解析結果

被覆管クリープ損傷量を累積寿命分数和で評価した。

$$CDF = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta t_i}{t_{ri}} \right)$$

Δt_i : 第*i*区間の時間、 t_{ri} : 第*i*区間のクリープ破断時間

クリープ破断時間は炉内被覆管内圧クリープ破断試験の結果から評価した。図2にガスプレナム部と外径増加のピーク部 (UO₂-MOXペレット境界部) のCDFの履歴を示す。外径増加が最も大きい下端部 (No.3) では、FCMI発生後にCDFは増加するが、被覆管温度が低いたためCDFはガスプレナム部よりも低くなった。内部ブランケット部 (No.2) 及び上端部 (No.1) のUO₂-MOXペレット境界部では、CDFはFCMI発生により急激に増加し、照射末期にはガスプレナム部を超える結果となった。尚、CDFはFCMIで増加するが破損目安の1.0を下回り、燃料ピン破損がなかった結果と整合した。高燃焼度になるとCs移動・蓄積によるFCMIが原因でクリープ損傷が加速されるため、特に温度が高い上端部近傍では被覆管健全性に影響する可能性があると考えられる。

3. 結論

UO₂-MOX ペレット境界部での局所的な外径増加を解析し、FCMI で被覆管クリープ損傷が加速される可能性を示した。高燃焼度で被覆管健全性を確保するには、Cs が関与する FCMI を抑制する燃料仕様や、機構論的モデルによる Cs 移動とスエリング挙動の評価に加え、FCMI 荷重履歴の妥当性評価も必要である。

参考文献

[1]T. Uwaba et al., Nuclear Engineering and Design 280 (2014) 27-36.

*Yoshihisa Ikusawa¹, Tomoyuki Uwaba¹, Junichi Nemoto², Takashi. Tanno¹, Hiroshi Oka¹ and Takeji Kaito¹

¹JAEA, ²NESI

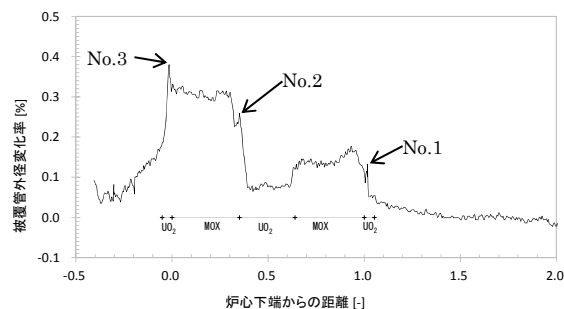


図1 照射後被覆管外径変化率実測値のプロファイル

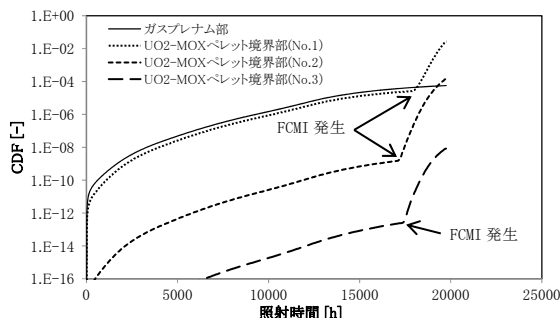


図2 CDFの履歴