

改良ステンレス鋼燃料被覆管の BWR 装荷に向けた研究開発

(3) 燃料挙動解析

R&D of advanced stainless steels for BWR fuel claddings

(3) Fuel behavior analysis

*草ヶ谷 和幸¹, 坂本 寛², 平井 睦², 鶴飼 重治³, 木村 晃彦⁴, 山下 真一郎⁵

¹GNF-J, ²NFD, ³北海道大学, ⁴京都大学, ⁵JAEA

BWR への装荷を目標として、事故耐性を有する改良ステンレス鋼燃料被覆管の研究開発を実施している。改良ステンレス鋼燃料被覆管を用いた場合の燃料挙動解析を実施し、燃料設計の成立性を検討した。

キーワード：燃料被覆管、BWR、酸化物分散強化、フェライト鋼、燃料挙動解析

1. 緒言

事故耐性を有する改良ステンレス鋼 (FeCrAl-ODS 鋼) 被覆管燃料を実用化するには、原子炉での通常の使用環境下においても設計が要求する性能 (特に燃料健全性) を有することが求められる。この確認にあたっては、材料特性の現行ジルカロイ (Zry) との違いと、核的損失を低減するための薄肉化の影響を考慮する必要がある。本研究では、これらを考慮しつつ、既存炉の燃料設計に用いられてきた燃料挙動解析コードによる計算等を実施し、FeCrAl-ODS 鋼を用いた BWR 燃料棒の設計成立性を概略評価した。

2. 燃料挙動解析による設計成立性の評価

2-1. 評価基準

通常運転時及び異常な過渡変化時における BWR 燃料の健全性に関する具体的な設計基準として用いられている応力基準と塑性歪基準 (被覆管円周方向平均塑性歪 1%) を FeCrAl-ODS 鋼被覆管に準用した。許容応力は、FeCrAl-ODS 鋼の既存データの下限值相当の降伏応力 500 MPa、引張強さ 600 MPa とした。

2-2. 評価方法

評価対象は 9×9 燃料 (A 型) とし、被覆管材を Zry から FeCrAl-ODS 鋼に変えた場合の燃料挙動への影響を評価した。被覆管肉厚は、炉心成立性、材料強度、製管性が十分であると推測される 0.35 mm (現行燃料の約 1/2) を評価条件とした。肉厚の影響をみるため、現行の約 1/3 相当の 0.25 mm についても評価した。

燃料挙動解析は、現行の燃料設計コード (PRIME Ver.1) を用い、現行の燃料設計手法に準じた。今回は予備の評価として、コード内の被覆管材料特性モデルのうち、熱膨張率、ヤング率、降伏応力、クリープについてのみ、FeCrAl-ODS 鋼に対応する値に簡易的に変更して解析を行った。

被覆管の応力評価は、肉厚の減少及び材料特性の違いが各種応力 (内外圧差、半径方向温度差、支持格子の接触力、等に基づく応力) に及ぼす影響を、応力の種類ごとの評価式に基づき半定量的に検討した。

2-3. 評価結果

FeCrAl-ODS 鋼燃料の通常運転時の燃料温度、FP ガス放出率、燃料棒内圧の解析結果は、寿命を通じ、現行 Zry 燃料と概ね同等であった。過渡変化時に被覆管 1% 塑性歪に達する燃料棒出力は、BWR の最大過出力 (約 20%) より十分高く、余裕を有することが分かった (図)。

応力評価の結果、応力設計比 (応力計算値/許容応力) は、肉厚が現行の 1/2 の場合、現行燃料と概ね同程度であり、応力の観点で設計は成立すると推定できる。肉厚が現行の 1/3 の場合、支持格子部での応力設計比が 1 に達したが、FeCrAl-ODS 鋼の引張強さが本評価 (600 MPa) より高ければ、肉厚 1/3 でも設計成立の可能性がある。

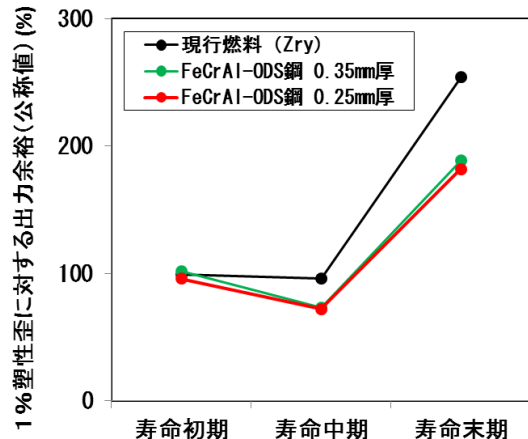


図 被覆管歪の評価結果

3. 結論

FeCrAl-ODS 鋼被覆管燃料の材料特性に基づいて BWR での通常運転時及び過渡時の燃料ふるまいを評価した結果、被覆管肉厚を現行 9×9 燃料 (Zry) の約 1/2 の 0.35 mm とした FeCrAl-ODS 鋼被覆管燃料は、通常時・過渡時の燃料挙動に関する現行の設計手法及び設計基準の上からは、設計成立性があると判断できる。

本研究発表は、経済産業省資源エネルギー庁の平成 27 年度発電用原子炉等安全対策高度化技術基盤整備事業 (安全性向上に資する新型燃料の既存軽水炉への導入に向けた技術基盤整備) の成果である。

*Kazuyuki Kusagaya¹, Kan Sakamoto², Mutsumi Hirai², Shigeharu Ukai³, Akihiko Kimura⁴ and Shinichiro Yamashita⁵

¹Global Nuclear Fuel-Japan, ²Nippon Nuclear Fuel Development, ³Hokkaido Univ., ⁴Kyoto Univ., ⁵Japan Atomic Energy Agency