

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

(2) 燃料断面核特性・炉心特性評価

R&D of advanced stainless steels for BWR fuel claddings

(2) Lattice and whole core evaluation

*高野 渉¹, 後藤 大輔¹, 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。改良ステンレス鋼を使用した場合の核・熱的特性の解析を行い、その成立性を確認した。

キーワード: 燃料被覆管, BWR, 酸化物分散強化, フェライト鋼, 核・熱的特性

1. 緒言

事故時に代表されるような高温下において、現在使用されている Zry は水との酸化反応により発熱し、水素が発生するなど、燃料の健全性確保が課題となっている。Zry に代わる材料の一つとして、FeCrAl-ODS 鋼や炭化ケイ素(SiC)が挙げられる。FeCrAl-ODS 鋼はその実現性が見込まれる一方、中性子の吸収断面積が大きく反応度の低下が懸念されている。そこで FeCrAl-ODS 鋼を適用し、燃料断面、炉心体系での特性評価を実施した。

2. 評価条件

本発表では、今後我が国の BWR の主流になると考えられる ABWR を対象プラントとした。ABWR の定格熱出力は 3926 MW、燃料体数は 872 体であり、使用する燃料は 9x9 燃料(A 型)、炉心運転期間及び取出平均燃焼度はそれぞれ 13 ヶ月、45 GWd/t とする。なお、解析コードは既存炉の炉心設計で用いられてきた TGBLA Ver. 3 / LOGOS Ver. 5 を使用した。

3. 燃料断面核特性評価

現行の燃料被覆管、ウォーターロッド(WR)及びチャンネルボックス(Ch. Box)を FeCrAl-ODS 鋼に置換した場合、全燃料棒を現在の最高濃縮度である 4.9 wt% としても、サイクル末期の炉心平均燃焼度点での無限増倍率が約 9% Δk 低下し、既定の炉心運転期間あるいは取出燃焼度を満たせない可能性が高い。

FeCrAl-ODS 鋼は Zry に比べて強度が強く薄肉化することが可能である。燃料被覆管厚を約 1/2 (0.35 mm) とし、WR 及び Ch. Box の肉厚も 1/2 とした場合、既定の炉心運転期間あるいは取出燃焼度を満足することができるが、設計自由度は小さくなる可能性がある。そこで、FeCrAl-ODS 鋼の適用性を確認するため、燃料被覆管のみを FeCrAl-ODS 鋼とし、FeCrAl-ODS 鋼と同様に事故耐性が期待される SiC を WR 及び Ch. Box に適用した場合について評価を実施した。その場合、断面平均濃縮度を 4.4 wt% とすることで現行の Zry 燃料と同等の無限増倍率となり、炉心の成立性が推定された。

4. 炉心特性評価

燃料被覆管厚を約 1/2 とした FeCrAl-ODS 鋼、WR と Ch. Box を SiC とした燃料集合体(ODS 燃料)を、1 サイクル目燃料から 4 サイクル目燃料までを炉心に均等に配置し、炉心最外周に 5、6 サイクル目燃料を装荷した場合の余剰反応度の推移を図 1 に示す。これより、ODS 燃料炉心においても Zry 燃料炉心とサイクル末期の反応度は同程度となることが分かった。なお、炉停止余裕や、最大線出力密度、最小限界出力比といった熱的特性においても Zry 燃料炉心からの大きな差異はなかった。これより、FeCrAl-ODS 鋼を使用した燃料を装荷した炉心の成立性が確認された。なお、SiC に代わり Zry を適用しても反応度への影響は小さく、成立性に影響はない。

5. 燃料サイクルコスト

ODS 燃料の場合、濃縮度を高める必要があるため、濃縮費の増加が見込まれる。一方、燃料被覆管厚を薄くすることで燃料集合体 1 体あたりの燃料重量が増えるため、必要な新燃料体数が減少し成型加工費が減少する。結果、燃料サイクルコストの大幅な増加はないと考えられる。

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。

¹Sho Takano¹, Daisuke Goto¹, Kazuyuki Kusagaya¹, Kan Sakamoto², Mutsumi Hirai², Shigeharu Ukai³, Akihiko Kimura⁴ and Shinichiro Yamashita⁵

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

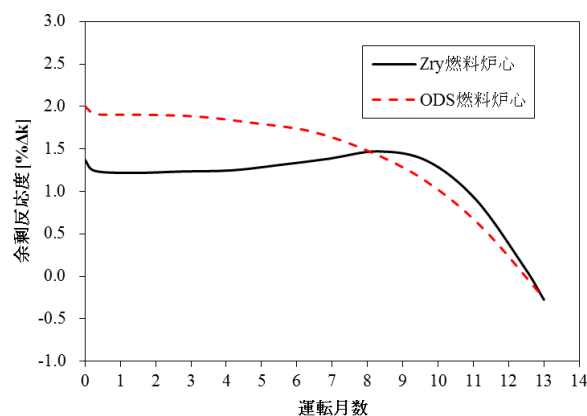


図 1 余剰反応度の推移