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(6)

R&D of advanced stainless steels for BWR fuel claddings (6)

*坂本　寛[1]，金田　潤也[2]，朝本　慎一[3]，佐々木　政名[2]，近藤　貴夫[2]
[1]日本核燃料開発，[2]日立 GE ニュークリア・エナジー，[3]GNF-J

改良ステンレス鋼（FeCrAl-ODS）は事故耐性燃料被覆管として期待されており、実機適用に向けた材料特性評価を進めている。長さ 4m 超の燃料被覆管の製造が可能であることを確認しており、実機適用において確認が必要な応力腐食割れ（PCI/SCC）、座屈などの材料特性に関する試験を新たに実施した。本発表ではその評価結果について報告する。

キーワード：事故耐性燃料、改良ステンレス鋼、ODS、応力腐食割れ、座屈

1. 緒言

BWR 実機適用に向けて FeCrAl-ODS の開発及び材料特性評価を進めている[1]。本発表では、新たに実施した Cs を用いた SCC 試験（Cs-SCC 試験）と座屈試験の結果を紹介する。

2. 試験

Cs-SCC 試験：端栓溶接した FeCrAl-ODS 被覆管内で分圧 0.2 – 800 Pa の Cs ガスを発生させ、623 K においてピンチ荷重を被覆管軸方向中央部に負荷することで試験を実施した。Cs ガスの生成は CsCl と Ca の化学反応（$2CsCl + Ca \rightarrow CaCl_2 + 2Cs$）を利用し、分圧は CsCl の量により制御した。

座屈試験：室温において 0.1 MPa の He ガスを端栓溶接により FeCrAl-ODS 被覆管（外径約 10 mm、長さ 120 mm、肉厚 0.3 mm もしくは 0.4 mm）に封入した試験体を作製し、循環式オートクレーブ内に温度 633 K、圧力 11.3 MPa、もしくは温度 613 K、圧力 12.5 – 13.8 MPa で 24 時間保持することで試験を行った。

3. 試験結果

Cs-SCC 試験：試験後に FeCrAl-ODS 被覆管の軸方向中央部内表面の顕微鏡観察を行い、き裂発生の有無を確認した。その結果、Cs 分圧が 0.2 MPa ではき裂が観察されなかったが、24 MPa 以上では微小なき裂が発生していることが確認され、本試験で評価された Cs-SCC の発生しきい Cs 分圧は BWR 燃料内の通常運転時の Cs ガス分圧（10^{-8} Pa 程度[2]）よりも十分に高い結果となった。

座屈試験：温度 633 K、圧力 11.3 MPa では、肉厚 0.3 mm、0.4 mm の被覆管共に有意な変形は見られなかった。温度 613 K、圧力 12.5 – 13.8 MPa では肉厚 0.3 mm の被覆管のみを試験に供したが、12.5 MPa では有意な変形は見られず 13.1 MPa 以上で座屈する結果となった。BWR の通常運転時の炉内圧力（7 MPa 程度）と比較すると、本試験で評価された座屈発生のしきい圧力は十分に高い結果となった。

4. まとめ

試作した FeCrAl-ODS 被覆管を用いて、炉外実機模擬条件において Cs-SCC 試験および座屈試験を行った。Cs-SCC、座屈ともに燃料健全性に対して致命的な問題にはならない見通しが得られたが、今後、炉内試験による確認が必要となる。

参考文献

[1] 例えば K. Sakamoto, Y. Miura, S. Ukai, A. Kimura, A. Yamaji, K. Kusagaya, S. Yamashita, Proc. TopFuel2019, Top Fuel2019, 22-29 Sep. 2019, Seattle, WA, USA

[2] K. Konashi, M. Yamawaki, J. Nucl. Sci. Tech., 29[1], 1-10 (1992).

*Kan Sakamoto[1], Junya Kaneda[2], Shinichi Asamoto[3], Masana Sasaki[2] and Takao Kondo[2]

[1]NFD, [2]Hitachi-GE Nuclear Energy, [3]GNF-J