

管形状を有する原子燃料の機械強度と安全設計基準をどう評価するか

Evaluations of mechanical properties and degradation in nuclear fuel cladding tubes

*阿部弘亨^{1,2}、関村直人¹、牟田浩明³、長谷川晃²、村瀬義治⁴、篠原康周⁵

¹ 東京大学、² 東北大学、³ 大阪大学、⁴ NIMS、⁵ NDC

文部科学省事業原子力システム研究開発事業「原子炉燃料被覆管の安全設計基準に資する環境劣化評価手法開発」の成果シリーズ発表の一件目であり、管形状を有する材料の強度評価法開発および材料劣化機構にも度づいた安全評価を目指して、研究全体のレビューと評価法確立の考え方をまとめる。

キーワード：軽水炉燃料被覆管、高速炉燃料被覆管、機械強度、環境劣化

1. 緒言

原子被覆管には通常運転時及び異常過渡時において放射性物質を閉じ込める機能の維持が求められ、炉内環境において劣化が進行しても機械強度は十分であり破断や貫通欠陥に至らないことが要求される。しかし、管形状を有する材料の、製造工程に導入される材料の配向性（異方性）、劣化の異方性、機械的拘束の異方性を十分に考慮に入れた機械強度評価法、劣化評価法の開発はいまだ課題である。

そこで本研究では、軽水炉および高速増殖炉の燃料被覆管材料を対象として、(1)腐食、水素化、He蓄積、照射脆化などの炉内劣化を模擬した環境劣化試験を実施し、(2)管形状を有する材料の機械強度評価法と多軸応力試験法を開発し、クリープ試験等を実施し、さらに(3)微細組織観察／分析および組織形成観察試験から劣化のマイクロ機構を明らかにした。

2. 全体の計画

本研究の構成は環境劣化評価と材料強度評価に大別される。軽水炉では腐食、水素化、照射損傷、また高速炉では照射損傷と核反応 He の蓄積が代表的材料劣化事象であることから、これら事象を模擬した試験を実施した。さらに燃料-被覆管機械的相互作用等による機械力や変位を考慮し、改良型中子拡管試験と多軸応力試験法を開発した。これらを組み合わせ、Zr合金並びに ODS 鋼の環境劣化試験、機械強度試験およびマイクロ分析試験を実施した。

3. 成果

まず特筆すべき成果として改良型中子拡管試験法を完成させた。本手法はこの事業のオリジナルな成果であり、管状試料に周方向応力を付加し破断に至る大変形までのひずみ域で安定に単軸引張条件を達成することに成功している。またこれをサポートする手段として多軸応力試験法も開発した。さらに、Zr-Nb合金の最長時間腐食試験を実施し、Zr-Nb合金の耐食性と耐水素化特性を確認し、腐食皮膜と母相の微細分析からそのメカニズムを明らかにした。また、劣化を考慮した ODS 鋼の高温クリープ試験を実施し、関連する照射技術、照射その場観察技術の開発も行った。これらを元に、管形状を有する材料に対し劣化を考慮に入れた健全性評価手法の考え方を構築している。本シリーズ発表ではこれらの一部について発表を行う。

謝辞：本シリーズ発表は、文部科学省からの受託事業として実施した原子力システム研究開発事業「原子炉燃料被覆管の安全設計基準に資する環境劣化評価手法に関する研究開発」の成果です。

*Hiroaki ABE^{1,2}, Naoto Sekimura¹, Hiroaki MUTA³, Akira HASEGAWA², Yoshiharu MURASE⁴ and Yasunari SHINOHARA⁵

¹Univ. Tokyo, ²Tohoku Univ., ³Osaka Univ., ⁴NIMS and ⁵NDC