

燃料被覆管コーティング層及び界面での照射による材質変化に関する研究

Study on irradiation-induced material changes in fuel cladding coating layer and interface

井岡 郁夫¹⁾ モハマド アフィカ¹⁾ 根本 義之¹⁾ 山下 真一郎¹⁾

Ikuko IOKA Afifa B. Mohamad Yoshiyuki NEMOTO Shinichiro YAMASHITA

¹⁾原子力機構

（概要）

Cr コーティング Zr 合金被覆管の実用化において、実炉環境下における Cr コーティング層（約 10 μm ）の健全性（割れ・剥がれ）を予測することは重要な評価項目である。Cr-Zry 材の界面強度の評価のためにマイクロ引張試験法を適用し、試験片にスリットを導入することで、界面部付近の破断強度を簡便に直接比較することが可能となった。

キーワード：事故耐性燃料被覆管、Cr コーティング、Zr 合金、イオン照射、界面強度

1. 目的

原子力の安全性向上の観点から、軽水炉において事故が発生した際、事象の進展を抑制または緩和する、いわゆる「事故耐性燃料」として、Cr コーティング Zr 合金（Cr-Zry）、改良ステンレス鋼（FeCrAl-ODS）、SiC/SiC 複合材料の開発が世界的に進められている。特に、Cr-Zry 被覆管は既存の Zr 合金被覆管に Cr をコーティングした被覆管で、欧米を中心に精力的に開発が進められている。原子力機構では、Cr-Zry 被覆管を用い中性子照射を模擬した加速照射実験（イオン照射）を行い、Cr/Zr 界面での拡散及び金属間化合物等の形成の評価を進めてきている。さらに、Cr コーティング層の剥がれを左右する Cr/Zr 界面強度を評価することも重要となっている。しかしながら、このコーティング層の厚みは約 10 μm と非常に薄いため、界面強度の評価を行うための手法は非常に限定されていた。一方で、集束イオンビーム（FIB）による微細加工技術により、マイクロなサイズの強度試験が可能となってきている。特にコーティング界面部での強度評価は、通常サイズ試験片の作製が困難であるため、マイクロサイズでの試験を適用できれば、これまで評価が難しかった、界面部での強度評価を行うことが可能となる。本研究では、マイクロ試験技術を用いて、Cr/Zr 界面強度に及ぼす照射の影響を明らかにすることを最終的な目標とする。今年度は、Cr/Zr 界面強度を評価するためのマイクロ引張試験の手順、試験条件を確立することを目的とした。

2. 実施方法

被覆管サンプルより、コーティング界面を含む 30×30 μm の小片を FIB で採取し、図 1 に示すような、FIB 内でのマイクロ引張試験の手順確認を行った。本試験では、試験片の両端固定を蒸着膜で行っていることから、試験時に試験片脱着のない最大サイズとなる 0.6 μm 角をスリット底部寸法として選定した。試験片は微小な SiC 棒に作製したカンチレバーの中央に固定され、試験時の最大たわみ量より推定した荷重を初期断面積で除し、界面破断強度と定義した。コーティング界面については、FIB での SIM 像より、ミクロ組織のコントラストが変化する境界を界面部とした。

3. 結果及び考察、今後の展開等

図 2 には未照射材被覆管サンプルのコーティング界面部、Cr コーティング部、Zry 部でのスリット付試験結果を示す。界面破断強度は、Zry 部よりも高い傾向にあり、界面部から破損する可能性は低いことが示唆された。以上のように Cr-Zry 材の界面強度の評価のためにマイクロ引張試験法を適用し、試験片にスリットを導入することで、界面部付近の破断強度を簡便に直接比較することが可能となった。今後はイオン照射材サンプルから、スリット有無での試験片による界面強度への照射の影響を調べると共に、界面せん断強度についても評価も試みる予定である。

図 1 マイクロ引張試験法の手順図

図 2 未照射材被覆管における破断強度比