

Nb 添加ジルコニウム合金の微細組織と元素分布に及ぼす照射の影響 (8) Zr イオン照射 MDA 材の高損傷領域での(S)TEM-EDS 分析

Evaluation of irradiation effects on microstructure and element distribution in Nb-doped Zr alloys

(8) (S)TEM-EDS analysis of MDA under high dose Zr ion irradiation

*澤部 孝史¹, 中森 文博¹, 園田 健¹

¹電力中央研究所

高照射損傷領域での Nb 添加 Zr 合金の照射挙動の理解を目的に、Zr イオンを 40 dpa まで照射した MDA 被覆管材の Nb 系析出物を(S)TEM-EDS 分析した。40 dpa 照射後においても、製造時に形成される析出物および照射誘起析出物が確認され、これら Nb 系析出物は照射に対して安定性が高いと考えられた。

キーワード：燃料被覆管、Zr-Nb 合金、イオン照射、析出物、(S)TEM-EDS 分析

1. 緒言

国内外の PWR 被覆管で使用されている Nb 添加 Zr 合金は、ジルカロイ-4 被覆管と比較して耐食性に優れ、水素吸収量が少ない。水素吸収量の低減には、母相に形成される Nb 系析出物が寄与すると考えられ、製造時に形成される第二相析出物 (SPP) と、照射により形成される照射誘起析出物がある。一方、使用済燃料発生量低減の観点から、燃料の高燃焼度化がこれまで段階的に実施されており、耐食性に優れる Nb 添加 Zr 合金被覆管は、より高い燃焼度までの使用が期待される。このため、現行の燃焼度の制限値よりも高い照射損傷領域での Nb 系析出物の照射挙動の知見も重要となるが、そのような燃焼度をターゲットとした炉内照射試験は限られており、適当な条件で照射された被覆管材の入手は難しい。そこで当所では、現行燃焼度の制限値相当よりも高い損傷量まで、Nb 添加 Zr 合金に Zr イオンを照射し、高照射領域での合金元素の照射挙動を調査している。本発表では、Zr イオン照射後の Nb 添加 Zr 合金を (S) TEM-EDS 分析により観察された Nb 系析出物の照射による変化を報告する。

2. 実験と結果

2-1. イオン照射、(S)TEM-EDS 分析

Nb 添加 PWR 被覆管として MDA (Zr-0.8Sn-0.5Nb-0.2Fe-0.1Cr) 被覆管を用いた。イオン照射は高崎量子応用研究所のイオン照射研究施設 (TIARA) にて実施し、3mm φ に加工した未照射 MDA に 12MeV の Zr イオンを照射温度 400°C にて、最大損傷量 40 dpa まで照射した。イオン照射後の試料表面から FIB 装置により薄片試料を採取し、最大損傷量領域を含む深さ 2-3 μm の最大照射量領域を含む範囲を (S)TEM-EDS 分析した。

2-2. Nb 系析出物の高照射量領域での照射挙動

20 dpa 照射後の MDA 母相では、SPP (粒径 0.2~0.3 μm 程度) と照射誘起析出物の一つである Nb リッチ相 (粒径~0.1 μm 程度) が確認されている^[1]。これらは 40 dpa 照射後の母相でも確認され、20 dpa 照射後と比べて SPP のサイズはやや小さくなり、構成元素の Nb, Fe, Cr は減少した。Nb リッチ相は、20 dpa 照射後には主に粒界で観察されたが、40 dpa 照射後には粒界三重点に形成されており、照射にともない形成位置が次第に変化したと考えられた。

参考文献 [1] 澤部孝史、中森文博、園田健、日本原子力学会 2022 年春の年会, I114, 2022 年 3 月。

謝辞 本研究で用いた MDA 被覆管は、三菱原子燃料株式会社 (現三菱重工工業株式会社) 殿よりご提供いただいた。イオン照射試験は、量子科学技術研究開発機構の施設共用制度を利用した。

*Takashi Sawabe¹, Fumihiko Nakamori¹ and Takeshi Sonoda¹

¹CRIEPI.