

加速器を用いた軽水炉燃料被覆管の脆化機構の解明

Clarification of embrittlement mechanism of cladding tube of LWR nuclear fuels by means of ion accelerator

園田 健¹⁾ 澤部孝史¹⁾ 中森文博¹⁾ 石川法人²⁾
Takeshi SONODA Takashi SAWABE Fumihiko NAKAMORI Norito ISHIKAWA

¹⁾電力中央研究所 ²⁾日本原子力研究開発機構

（概要）

PWR 被覆管材中の Nb およびその他の添加元素の分布変化を解明するために Zr-0.5Nb モデル合金へのイオン照射試験を継続した。照射温度が微細組織に及ぼす影響を調査し、400℃照射と比較して 350℃照射では、比較的低い損傷量において析出物中の Fe の割合が大きく減少した。

キーワード：

軽水炉燃料被覆管、Zr-0.5Nb、Zr イオン照射、アトムプローブ（APT）、透過型電子顕微鏡（TEM）

1. 目的

原子力発電の更なる安全性保持および安定的運用には、軽水炉燃料被覆管の健全性の向上が求められる。近年の高燃焼度化に伴い、被覆管では腐食・水素吸収が増大し、機械的性質に影響を及ぼす事例が報告されている[1]。燃料被覆管の健全性向上には、腐食・水素吸収挙動の解明が必要であり、被覆管の析出物挙動や照射欠陥蓄積過程の観察が進められている。PWR では水素吸収特性の改善を目指した Nb 添加被覆管が実用化されているが、腐食・水素吸収特性に及ぼす Nb 原子の効果の機構論的解明に必要な情報は不足している。2022 年度は Zr-0.5Nb モデル合金への Zr セルフイオン照射試験を継続し、APT および TEM 観察から微細組織変化に及ぼす照射温度の影響を明らかにする。

2. 実施方法

イオン照射試料には、機械加工後に酸洗で酸化皮膜を取り除き、円盤状（ $\phi 3 \times t 0.2$ mm）に加工した Zr-0.5Nb モデル合金を用いた。QST 高崎量子応用研究所にある複合照射施設 TIARA のタンデム加速器 TA1 チャンバーにて 2 種類の照射温度（350℃、400℃）で 12 MeV Zr⁺⁴セルフイオン照射を行い、最大 6.0×10^{16} ions/cm²（損傷量：20dpa）までの照射を行った。電中研横須賀地区の集束イオンビーム装置を用いて照射後試料から TEM 用試料および APT 用試料を作製し、TEM-EDS 測定および APT 分析を行った。

3. 結果及び考察、今後の展開等

図 1 に照射前後の Zr-0.5Nb モデル合金に含まれる Nb-Fe-Cr 析出物の Fe/Nb および Cr/Nb 比を TEM-EDS 測定にて評価した結果を示す。10dpa 照射後の Fe/Nb 比の減少割合は 400℃より 350℃の方が大きい、20dpa 照射後は 350℃と 400℃では同程度であった。一方、Cr/Nb 比については有意な違いは認められなかった。また、APT 分析による母相の Fe/Zr および Cr/Zr 比は TEM-EDS による析出物からの Fe、Cr の溶出挙動と良好一致を示した[3]。これより、Zr-0.5Nb モデル合金ではイオン照射下での Fe 分布への照射温度の影響は、比較的低い損傷量で現れることが示唆された。今後、腐食挙動との相関を調べ、腐食に及ぼす Nb 分布との相関の解明を進める。

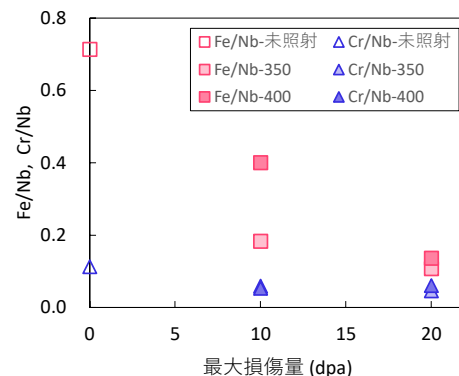


図 1 Zr-0.5Nb モデル合金の Zr 母相中の析出物の Fe/Nb および Cr/Nb 比の照射による変化[2]

4. 引用(参照)文献等

- [1] 実務テキストシリーズ No. 3 「軽水炉燃料のふるまい第 5 版」、(公財) 原子力安全研究協会 (2013)。
- [2] 澤部孝史、中森文博、園田健、日本原子力学会 2022 秋の大会 2D04、茨城大、2022/09/08。
- [3] 中森文博、澤部孝史、園田健、日本原子力学会 2022 秋の大会 2D05、茨城大、2022/09/08。