

加速器を用いた軽水炉燃料被覆管の脆化機構の解明（フェーズ 2）

Clarification of embrittlement mechanism of cladding tube of LWR nuclear fuels by means of ion accelerator (Phase-2)

園田 健¹⁾ 澤部孝史¹⁾ 中森文博¹⁾ 石川法人²⁾
Takeshi SONODA Takashi SAWABE Fumihiro 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）

商用の Nb 添加 Zr 合金に、現行燃焼度を超える高燃焼度に相当する損傷量を Zr イオン照射により導入した結果、合金の耐腐食性に資する Nb ナノクラスター等が更なる高燃焼度でも安定的に存在することが示され、被覆管の水素脆化の抑制効果を期待できることが推測された。

キーワード：

軽水炉燃料被覆管、Nb 添加 Zr 合金、アトムプローブ（APT）、走査透過電子顕微鏡（STEM）

1. 目的

原子力発電の安全性保持に加え、経済性向上に資する更なる高燃焼度化を進めるには、軽水炉燃料被覆管の健全性向上が求められる。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。2023 年度は Nb 添加された商用 PWR 被覆管へ Zr イオン照射試験を実施し、APT および TEM 観察から高照射時の Nb 分布を調べる。

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 Nb 添加 Zr 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 チャンバーにて照射温度 400℃で 12 MeV Zr^{+4} イオン照射を行い、最大 1.2×10^{17} ions/cm²（損傷量：40dpa）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、STEM-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 400℃で 12 MeV Zr^{+4} イオン照射を損傷量が 40dpa（燃焼度換算：～100GWd/kgU）まで照射した Nb 添加 Zr 合金の Nb のアトムマップ（左図）および STEM-EDS による Nb マッピング（右図）を示す。これより現行の燃料被覆管の最高燃焼度（55GWd/kgU）以上の高燃焼度においても Nb ナノクラスターや Nb 析出物が安定に存在することが明らかとなった。これより高燃焼度においても耐腐食性（水素化）を維持し、被覆管の水素脆化の抑制効果を期待できることが推測された[2]。今後、他の添加元素の分布状況も評価し、更なる高燃焼度での運用可能性を検討する。

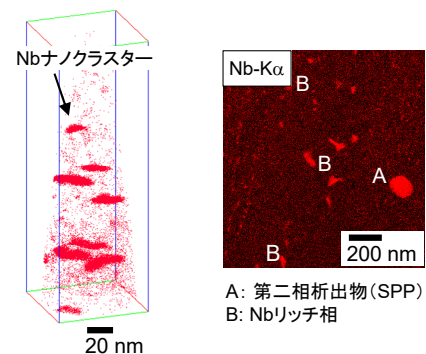


図 1 イオン照射を行った Nb 添加 Zr 合金中の Nb アトムマップ（左）及び Nb マッピング（右） [2]

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] Takashi Sawabe et al., "Redistribution of Nb and other alloying elements in Nb-doped Zr alloy under high dose ion irradiation", Journal of Nuclear Science and Technology, 2024, in-press.