

## 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<sup>1)</sup> 澤部孝史<sup>1)</sup> 中森文博<sup>1)</sup> 石川法人<sup>2)</sup>  
Takeshi SONODA Takashi SAWABE Fumihiko NAKAMORI Norito ISHIKAWA

<sup>1)</sup>電力中央研究所 <sup>2)</sup>日本原子力研究開発機構

### (概要)

PWR 被覆管材中の Nb 原子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。照射に伴い母相中に固溶した Nb 原子が析出し、ナノクラスターを形成することで母相内の Nb 濃度は 0.4at% から 0.1at% に減少することが分かった。

### 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。そこで 2021 年度は Zr-0.5Nb モデル合金への Zr セルファイオン照射試験を継続し、APT および TEM 観察から照射下での Nb 原子の分布変化を明らかにする。

### 2. 実施方法

イオン照射試料には、機械研磨・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 二元系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 チャンバーにて照射温度 400°C で 12 MeV Zr<sup>4+</sup> セルファイオン照射を行い、最大  $6.0 \times 10^{16}$  ions/cm<sup>2</sup> (損傷量: 20 dpa) 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 APT 用試料、TEM 用試料を作製し、測定した。

### 3. 結果及び考察、今後の展開等

Zr-0.5Nb モデル合金に Zr イオン照射を実施した結果、APT 測定から照射に伴い母相中に固溶していた Nb 原子が析出し、8 nm 程度の Nb ナノクラスターが多数形成された (2020 年度成果)、TEM 観察から Nb ナノクラスターは Zr 結晶格子の基底面に沿って並ぶことを確認した[2]。加えて、APT 測定結果を用い照射により形成された Nb ナノクラスターを除いた Zr 母相中の Nb 固溶濃度の評価を行った。これより照射前の Nb 固溶濃度は約 0.4at% であったのに対し、20 dpa では約 0.1at% まで減少する結果となった (図 1) [3]。今後、照射温度効果や腐食挙動との相関を調べ、腐食に及ぼす Nb 分布変化の相関の解明を進める。

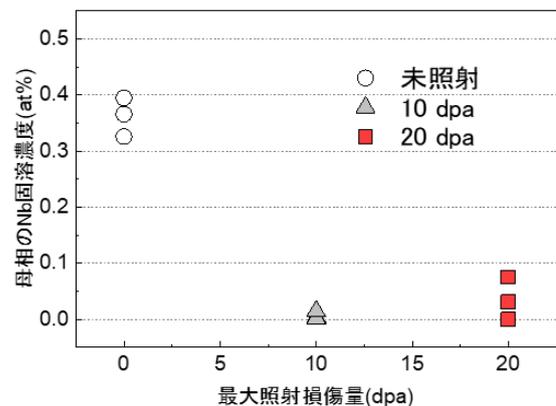


図 1 Zr-0.5Nb モデル合金の Zr 母相中の Nb 固溶濃度と照射損傷量の関係 [3]

### 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 2021 秋の大会 2D01、リモート開催、2021/09/08。
- [3] 中森文博、澤部孝史、園田健、日本原子力学会 2021 秋の大会 2D02、リモート開催、2021/09/08。