

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 nuclear fuel claddings by use of ion accelerator

園田 健¹⁾澤部孝史¹⁾北島庄一¹⁾石川法人²⁾

Takeshi SONODA

Takashi SAWABE

Sho-ichi KITAJIMA

Norito ISHIKAWA

¹⁾電力中央研究所²⁾原子力機構

（概要）

PWR 用燃料被覆管であるジルカロイ-4 の炉内での微細組織変化を解明するために、 Zr^{+4} イオン照射を行い、照射後試料の微細組織観察（TEM/3 次元アトムプローブ測定（3DAP））を開始した。結果、イオン照射および中性子照射した BWR 用被覆管（ジルカロイ-2）で観察された、C 成分転位の形成と Fe 原子の金属析出物からの溶出および濃化が観察された。

キーワード：

軽水炉、燃料被覆管、ジルカロイ-4、3 次元アトムプローブ測定、TEM 観察、照射欠陥、析出物

1. 目的

原子力発電の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維持が求められる。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]。燃料被覆管の更なる健全性向上には、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[2]。本研究では 2015 年度まで BWR 被覆管であるジルカロイ-2 の照射による微細組織変化を解明してきた。今年度は PWR 用燃料被覆管であるジルカロイ-4 へのイオン照射試験と微細組織観察を開始した。

2. 実施方法

ジルカロイ-4 の板材試料（5mm x 40mm x 0.6mm）に酸化皮膜を取り除くための機械研磨・酸洗を行い、イオン照射用試料とした。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 12 MeV Zr^{+4} セルフィオン照射を行った。照射したジルカロイ-4 から FIB にて断面 TEM 試料および針状試料を作成し、TEM/3DAP 測定を行った。

3. 結果及び考察、今後の展開等

図 1(a) に照射温度 400℃、照射量 4.1×10^{15} ions/cm²（損傷量：15 dpa）の 12MeV Zr^{+4} イオンを照射したジルカロイ-4 の TEM 像、そして (b) に 3DAP による Fe, Cr 原子分布像を示す。TEM 観察から組織内に c 成分転位が観察された (a)。また 3DAP 測定から析出物から Fe が溶出する傾向 (b) が観察された。この傾向は商用炉で高燃焼度まで照射されたジルカロイ-2 で観察された照射欠陥や Fe の溶出挙動と同様であった。今後、微細組織変化の照射量依存性や、ジルカロイ-2 とジルカロイ-4 の組織の違いについて明らかにする予定である。

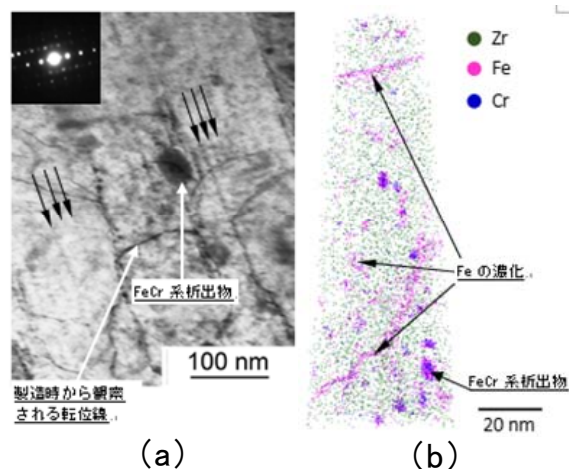


図 1 イオン照射したジルカロイ-4 の TEM 像 (a), および 3DAP による Fe, Cr 分布 (b)。 (a) 中の黒矢印の方向（図中左上から右下方向）に伸びる薄い線が高照射時に観察される空孔型欠陥（c 成分転位）

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 4 版」、(財) 原子力安全研究協会 (1998)。
 [2] Y. Etoh et al, J. Nucl. Mater., 200, 1993, p59.