

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)

軽水炉燃料被覆管への Zr^{+4} イオン照射で確認された Fe 原子の C 成分転位に沿った偏析が原子炉内で発生する現象と同様か調べるために、中性子照射したジルカロイ-2 の TEM/3 次元アトムプローブ測定を実施した。結果、中性子照射材でも Fe 原子の C 成分転位への偏析が確認された。これより、ジルカロイでは、イオン照射が中性子照射の模擬に成りうることを明らかにした。

キーワード :

軽水炉、燃料被覆管、ジルカロイ-2、ジルカロイ-4、照射欠陥、析出物、引張応力

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 2014 年度にジルカロイ-2 中の Fe, Cr 原子が C 成分転位に沿って優先的に偏析することを明らかにした。2015 年度はこの偏析が原子炉内で発生する現象と同様かを調べるため、中性子照射したジルカロイ-2 の TEM/3 次元アトムプローブ測定(3DAP)を実施した。加えて、ジルカロイ-4 へのイオン照射試験を開始した。

2. 方法

ジルカロイ-2 およびジルカロイ-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。JAEA(現 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} セルファイオン照射を行った。また商用炉で中性子照射されたジルカロイ-2 を FIBにて針状に加工し、3DAP 測定を行った。

3. 結果及び考察

図 1(a)に照射温度 400°C、照射量 1.1×10^{16} ions/cm² (損傷量: 40 dpa) の 12MeV Zr^{+4} イオンを照射したジルカロイ-2 の STEM 像と EDS による Fe, Cr 分布像、そして(b)に中性子照射されたジルカロイ-2 の TEM 像と 3DAP による Fe, Cr 原子分布像を示す。これより中性子照射下でも FeCr 系析出物から溶出した Fe, Cr

原子が C 成分転位に沿って優先的に偏析することが示された。これより、ジルカロイ-2 では Zr イオン照射が中性子照射の模擬に成りうるということが明らかとなった。今後、ジルカロイ-4 の微細組織変化を明らかにすると共に、フープ応力の効果を調査する。

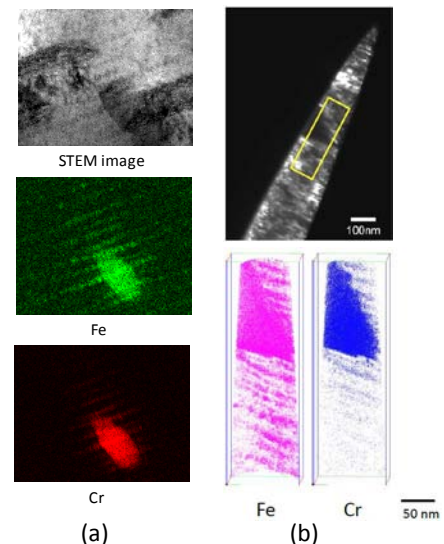


図 1 イオン照射したジルカロイ-2 の STEM 像と Fe, Cr 元素分布(a), および中性子照射したジルカロイ-2 の TEM 像と 3DAP による Fe, Cr 分布(b)。

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.