

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 原子の分布変化を解明するために Zr-0.5Nb 合金へのイオン照射試験を行った。照射が進むにつれて、母相に固溶していた Nb 原子が析出し、ナノクラスターを形成する傾向が観察された。

キーワード：軽水炉燃料被覆管、Zr-0.5Nb 合金、Zr イオン照射、3次元アトムプローブ測定 (APT)

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。2020年度は近年のPWR用燃料被覆管材に含まれるNb原子の照射挙動をより明らかにするためにZr-0.5Nb合金へのZrセルフイオン照射試験を行い、Nb分布の変化をAPTで観察した。

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(φ3×t0.2mm)に加工したZr-0.5Nb二元系合金を用いた。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チャンパーにて12MeV Zr⁴⁺セルフイオン照射を行った。集束イオンビーム装置を用いて、照射前後の試料からそれぞれAPT用試料を作製し、Nb分布などの観察を実施した。

3. 結果及び考察、今後の展開等

図1にZr-0.5Nb合金の未照射材(a)および照射温度400℃、照射量 6.0×10^{15} ions/cm² (損傷量: 20 dpa)まで12MeV Zr⁴⁺イオンを照射した照射材(b)のAPTから得られたNb原子のアトムマップを示す。未照射材(a)からはNb原子が一様に固溶している様子が観察されたが、(b)ではNb原子が析出し、図中に示すような8nm程度のNbナノクラスターが多数形成されていた。TEM観察から、製造時に形成されるNb析出物からの照射によるNb原子の溶出はFe原子等と比べ非常に少ないことが分かっている[2]。これより、観察されたNbナノクラスターは製造時に母相に固溶したNb原子由来であると考えられ、いわゆる照射誘起析出が発生したことがわかった。今後、照射温度や他の被覆管添加元素などがNb原子の挙動に及ぼす効果や影響などを検討する。

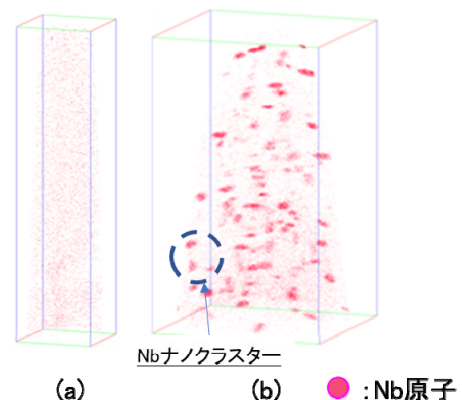


図1 Zr-0.5Nb合金のNbアトムマップ

(a)未照射試料

BOX size: 49 x 51 x 207 nm

(b)400℃, 12MeV Zrイオン照射後試料

BOX size: 96 x 99 x 169 nm

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、「Nb添加PWR被覆管の微細組織観察と照射挙動」、電力中央研究所 研究報告L20005 (2021)。