

## 1. 軽水炉発電

# 高燃焼時の燃料被覆管に形成される照射損傷組織の 加速器イオン照射による模擬技術の開発

## 背 景

軽水炉では、燃料費と使用済み燃料体数の削減を目的に、燃料の高燃焼度化が進められている。このため燃料被覆管(Zr合金製)においては、高燃焼時の中性子照射損傷と腐食に伴う水素化物形成に起因する脆化への対応が課題である\*<sup>1</sup>。照射損傷ではc成分転位組織\*<sup>2</sup>の形成が脆化に影響すると推測されているが、高燃焼時の照射状態を得るのに時間を要し、材料も放射化することから中性子照射実験は容易でなく、c成分転位組織の形成条件は未だ明らかでない。一方、加速器イオン照射は中性子による照射損傷を短時間で模擬できる可能性があり、材料も放射化しない利点がある。Zr合金に対してはZrイオンすなわち、セルフイオンでの照射が中性子照射を模擬する上で最適と考えられるが、c成分転位組織の形成を模擬することに成功した報告はこれまでない。

## 目 的

ZrおよびZr合金(ジルカロイ-2)について、セルフイオン照射によるc成分転位組織の形成を模擬する技術を開発し、c成分転位組織の形成条件を明らかにする。

## 主な成果

Zr、ジルカロイ-2に対し、加速エネルギー12MeVのセルフイオン照射を行った\*<sup>3</sup>(表1)。照射後試料から収束イオンビーム(FIB)法で作成した薄膜試料を透過型電子顕微鏡(TEM)で調べ、以下を明らかにした。

### 1. セルフイオン照射による中性子照射の模擬

400℃、20dpa(商用炉燃料棒で55MWd/kgU相当)のセルフイオン照射により、Zr中のZr(0001)面に平行で、間隔約40nmの周期的なコントラストが形成された(図1左)。この特徴は、中性子照射によりジルカロイ-2に形成されるc成分転位組織と一致した(図1右)。結晶学的な評価から、高燃焼時の中性子照射により形成されるc成分転位組織がセルフイオン照射により模擬できることを明らかにした。

### 2. c成分転位組織の形成条件

温度と照射量(dpa)をパラメーターとするセルフイオン照射試験から以下を明らかにした。Zrの場合、300℃では20dpaの高照射でもc成分転位組織は形成されない。しかし、400℃になると15dpa(40MWd/kgU相当)以上で形成される(表1、図2)。一方、ジルカロイ-2では300℃、20dpaのセルフイオン照射でもc成分転位組織が形成される(図2)。これより、ジルカロイ-2の合金成分はZrに比べて低い温度でc成分転位組織を形成する効果があると推測される。

## 今後の展開

セルフイオン照射でc成分転位組織が形成された試料に水素を注入し、c成分転位組織が水素化物の析出に与える影響を調べる。

主 担 当 者 材料科学研究所 構造材料評価領域 主任研究員 山田 進

関連報告書 「ジルコニウムおよびジルコニウム合金における加速器セルフイオン照射により形成されたc成分転位組織の観察」電力中央研究所報告:Q06020(2007年7月)

\*1 平成13年度高燃焼度等燃料安全試験に関する報告書、(財)原子力発電技術機構、平成14年

\*2 Zr合金が属する六方晶系の底面(0001)上に形成される転位。0002方向に周期的に配列する特徴を有する。

\*3 独立行政法人日本原子力研究開発機構(JAEA)高崎量子応用研究所に設置の3MVタンデム加速器を利用した。

表 1 セルフィオン照射によるc成分転位組織の形成の有無

試料	温度 (°C)	dpa (計算値)	c 成分転位組織
Zr	300	20	×
Zr	400	5	×
Zr	400	15	○
Zr	400	20	○
Zr	400	40	○
ジルカロイ-2	300	20	○

○：形成される、×：形成されない

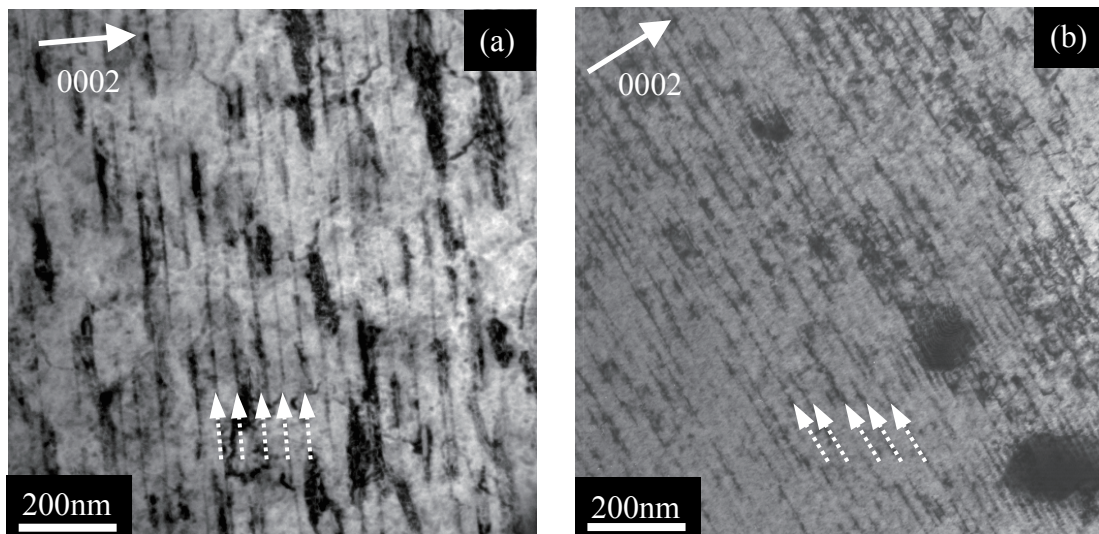


図1 (a)セルフィオン照射(400°C、20dpa)でZr中に形成されたc成分転位(点線矢印)組織のTEM像。(b)実炉照射(約300°C、60MWd/kgU $\approx$ 22dpa相当)でジルカロイ-2中に形成されたc成分転位(点線矢印)組織のTEM像。両c成分転位組織は結晶学的に一致している。

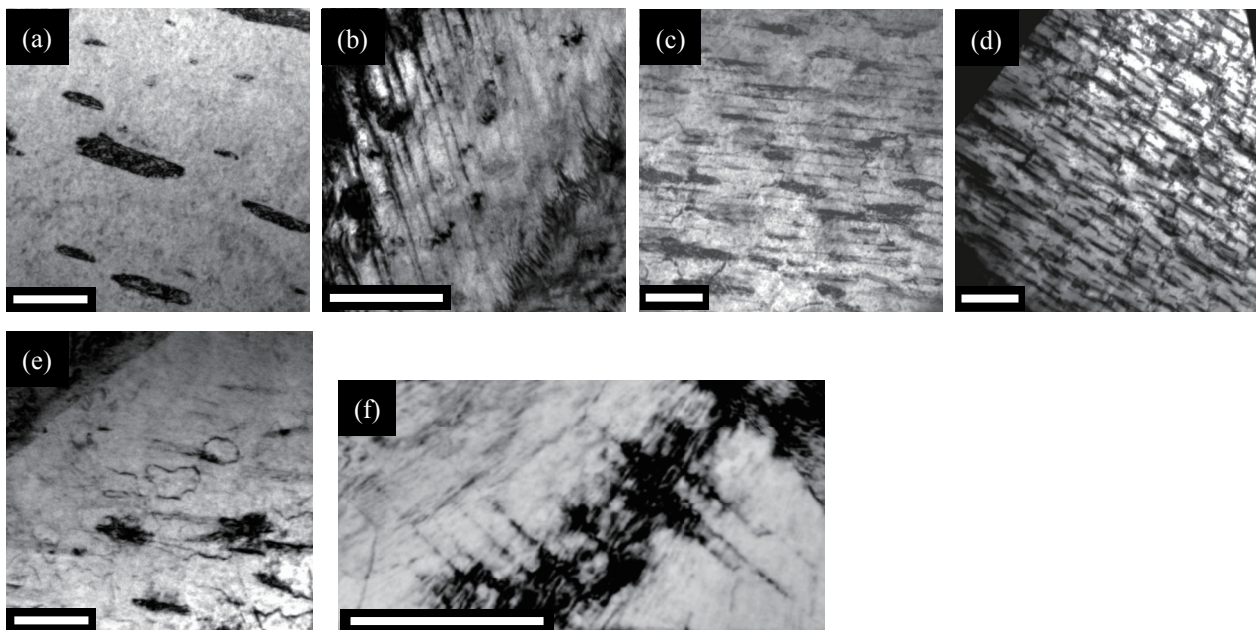


図2 セルフィオン照射されたZr(a-e)およびジルカロイ-2(f)のTEM像。(a)400°C-5dpa、(b)400°C-15dpa、(c)400°C-20dpa、(d)400°C-40dpa、(e)300°C-20dpa、(f)300°C-20dpa。図(b-d、f)でc成分転位組織が形成されているが、図(a、e)では形成されていない。図中のスケールはいずれも200nm。