課題番号　2018A-C10
利用区分　成果公開(学術)

高速炉燃料被覆管用 ODS 鋼の照射下寸法安定性評価

Irradiation behavior of ODS steel for fuel cladding tube of fast reactor

岡　弘、　丹野　敬嗣、　矢野　康英、　舘　義昭、　大塚　智史、　皆藤　威二

Hiroshi OKA　Takashi TANNO　Yasuhide YANO　Yoshiaki TACHI　Satoshi OHTSUKA　Takeji KAITO

日本原子力研究開発機構

（概要）

高速炉燃料被覆管材料として開発を進めている酸化物分散強化型(ODS)鋼について、同鋼中のナノサイズ粒子の重照射環境下での安定性評価のため、TIARA を用いて Fe^{3+}イオン照射を実施した。今年度は、照射量が高速炉燃料被覆管の実機条件に近い約 240dpa に達した試料について、ナノサイズ粒子分散状態を観察した結果、分散状態は照射前後で大きく変化しておらず、ODS 鋼の主たる強化因子であるナノサイズ粒子は高い照射下安定性を有していると考えられる。また、耐ボイドスエリング性評価のため Fe^{3+}イオン＋He^{+}イオン同時照射試験についても、約 40dpa までの照射を完了した。

キーワード：酸化物分散強化型（ODS）鋼、イオン照射、高速炉燃料被覆管、ボイドスエリング

１．目的

JAEA では、高速炉燃料被覆管材料として、優れた高温クリープ強度特性を有する酸化物分散強化型(ODS)鋼の開発を進めている[1]。ODS 鋼の強度特性は、微細に分散したナノサイズ粒子が高温・長時間でも安定であることに起因すると考えられ、同鋼の実用化にあたっては被覆管使用環境である中性子照射下でもナノサイズ粒子が安定であることが求められる。本研究では、短期間で高い照射量を実現可能な自己イオン照射試験を実施し、微細組織観察によりナノサイズ粒子の分散状態を評価した。また、高速炉燃料被覆管における課題の一つとして、中性子照射による材料の寸法変化いわゆるボイドスエリングが挙げられる。しかし現状では、高照射量におけるボイドスエリング抵抗性を評価したデータは現状では必ずしも豊富とは言えない[2]。そこで本研究では、ODS 鋼の耐スエリング性を評価するため、Fe^{3+}イオン＋He^{+}イオン同時照射試験を実施した。試料の鋼種は、母相組織の異なる複数種の ODS 鋼（フェライト/マルテンサイト相、フェライト相、再結晶フェライト相、未再結晶フェライト相）及び比較評価用として従来材である SUS316 相当鋼（PNC316）とし、母相組織の差異やナノサイズ粒子の有無が耐スエリング性に及ぼす影響を明らかにする。

２．実施方法

9Cr-ODS 鋼に対し、TIARA の 3MV タンデム加速器及び MT1 ポートに設置したトリプルイオン照射チャンバーを用いて、700℃にて 10.5MeV の Fe^{3+}イオンを照射した。照射後の試料から収束イオンビーム(FIB)加工装置を用いて薄膜試料を採取し、透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて Fe^{3+}イオンによる照射損傷導入領域の微細組織観察を実施し、照射によるナノサイズ粒子の分散状態変化を評価した。また、耐ボイドスエリング性評価のため、9Cr-ODS 鋼、12Cr-ODS 鋼、PNC316 鋼それぞれの被覆管及び棒材、並びに 11Cr-マルテンサイト鋼に対し、最もスエリングしやすいとされる 470℃にて Fe^{3+}イオン＋He^{+}イオン照射を行った。照射には 3MV タンデム加速器及び 3MV シングルエンド加速器を用いた。

３．結果及び考察、今後の展開等

本研究では従前より一つの試料に対して継続的に照射試験を行ってきている。これまでの研究で、9Cr-ODS 鋼の約 200dpa までの照射試料の TEM 観察を実施し、ナノサイズ粒子分散状態が安定であることを明らかにしてきた。今年度は、照射量が高速炉燃料被覆管の実機条件に近い約 240dpa に達した試料について、照射損傷が導入された領域におけるナノサイズ粒子分散状態を観察した。ナノサイズ粒子の TEM 像を図 1 に示す。解析の結果、粒子のサイズは照射前とほぼ変化なく、700℃での実用レベルの高照射量環境下において安定に存在することがわかった。また、耐ボイドスエリ

ング性評価のためのFe^{3+}イオン＋He^{+}イオン同時照射試験については、昨年度より継続して照射を実施し、今年度は約40dpa までの照射を完了した。次年度以降、組織観察を行うとともに、照射量をパラメータとした組織データを取得するため、継続して照射試験を進める。

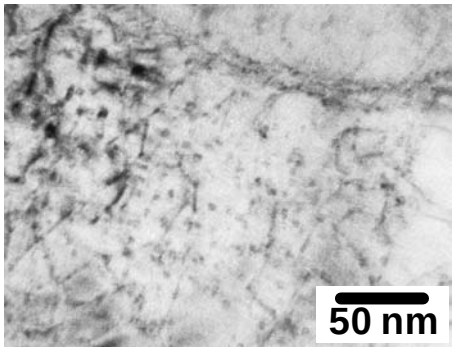

図 1　約 240dpa まで照射した 9Cr-ODS 鋼のナノサイズ粒子の分散状態

４．引用(参照)文献等

[1] T. Tanno, S. Ohtsuka, Y. Yano, T. Kaito, K. Tanaka, Effects of manufacturing process on impact properties and microstructures of ODS steels, J. Nucl. Mater. 455 (2014) 480.

[2] D. S. Gelles, Microstructural examination of commercial ferritic alloys at 200 dpa, J. Nucl. Mater. 233-237 (1996) 293-298.