

九大・応用力学研究所における原子力材料照射影響評価の 取り組み

Study of irradiated nuclear materials in RIAM Kyushu University

九州大学 応用力学研究所 渡邊 英雄 Hideo Watanabe 非会員

Abstract

The neutron irradiation of Fe based fusion and fission reactor materials lead to an increase in the ductile-to-brittle transition temperature (DBTT) with a decrease in the upper shelf energy. It is well known that the Cu content has a strong influence on the embrittlement phenomena; especially, the Cu-rich precipitates have been thought to be directly responsible for the embrittlement. In contrast, mechanical property studies for the steels with different Cu levels have shown that so-called matrix defects are dominant in the embrittlement of low-Cu steels as well as in that of high-Cu steels at high fluences. After the irradiation, microstructure was observed and analyzed by Cs corrected TEM (STEM)-EDS (JEOL ARM200FC). By using the technique, simultaneous observation of Cu-rich precipitates of about 2~3 nm and dislocation loops were possible. In RIAM, Kyushu university, a tandem accelerator attached with two ion guns is also used for ion irradiation.

Keywords: Cu precipitate, dislocation loop, STEM-EDS, Cs corrected TEM

1. はじめに

東京電力（株）福島原子力発電所の事故以降、運転開始数十年を経過（高経年化と言う）した既存原子炉の健全性が問題となった。西日本地区の場合、九州電力（株）玄海1号炉の運転開始が1975年と最も古く、四国電力（株）伊方1,2号炉がそれに続いていたがいずれも廃炉を決定し、長期に亘る廃炉処理を行う必要がある。原子力の安全並びに廃炉に関わる研究には、原発立地地域に根差した公平中立な立場からの基礎研究が必要である。応用力学研究所・核融合力学部門・先進炉材料分野では、長年に亘り核融合炉特有の高照射量下での構造材料開発に取り組んで来たが、原発事故によるエネルギー環境の激変に伴い、これまでのRI使用経験実績や応力研が進める全国共同利用研究ネットワークを活用して、原子炉圧力容器鋼の照射脆化機構の解明と炉寿命の高精度評価に関わる研究に着手した。平成24年度概算要求にて、病院地区RIセンター内において、球面収差補正機能を有する原子能分析電子顕微鏡を設置した。この電子顕微鏡は管理区域内設置の顕微鏡としては、国内最高レベルの分析分解能を有し、高経年化した原子炉材料の安全研究に大きな期待が持たれている。

2. 照射材料の観察・分析や原子力人材育成に関わる取り組み

原子炉圧力容器は鉄鋼材料で製作されているが、長年の中性子照射環境下での使用により、脆化（中性子照射脆化と言う）する。圧力容器鋼の代表的な鋼種であるA533B鋼の照射脆化メカニズムとしては、2つの機構が提案されている。即ち（1）銅析出物が原因によるもの、（2）マトリクス欠陥（主に照射による転位ループ）によるものである。これらの集合体は使用環境下で転位と相互作用することにより脆化が進む。九大・応用力学研究所では、特にマトリクス欠陥の形成に伴う照射脆化のメカニズムを解明するために、照射欠陥集合体（格子間原子型（I）、空孔型（V）転位ループ）の形成挙動を明らかにすることが必要であると考え主に電子顕微鏡を用いた研究を進めてきた（図1参照）。照射欠陥の形成には、鋼に添加されている様々な溶質原子が大きく関与していると考えられており、特に銅は不純物として含まれ最も重要な元素である。応用力学研究所では、いろいろなモデル合金を作製し、電子線やイオン照射により原子炉照射条件を再現して、組織と材料の硬さ評価から照射環境特有の現象を明らかにしている。また、平成28年度より上記電子顕微鏡を用いた実習を通じ原子力人材育成にも貢献している。（図2参照）

連絡先: 渡邊英雄、〒816-8580 春日市春日公園6-1
九州大学応用力学研究所
E-mail: watanabe@riam.kyushu-u.ac.jp

3. 照射環境整備に関わる取り組み

現在、国内材料照射用原子炉は全て停止状態であり、今後数年に亘り再稼働の見込みはない。先進炉材料分野では、イオン照射施設の整備にも取り組み、九州大学・箱崎地区電子顕微鏡室廃止に伴い不要となった軽イオン源を筑紫地区に移転させ、既存のタンデムビームラインに併設することにより、国内大学施設では例のない3重ビーム照射場として活用中である。(図3参照)

燃料被覆管(ジルコニウム合金)は、水環境下では水素を吸収して水素脆化し、最終的には破損に至る。また、高照射領域では、照射により形成される空孔型のC型転位ループが水素化物の形成と密接な関係があることが報告されている。本研究では水環境下での中性子照射も模擬する目的でエネルギーの異なる水素イオンを照射(トリプルビーム)することにより本装置を活用している。(図4参照)

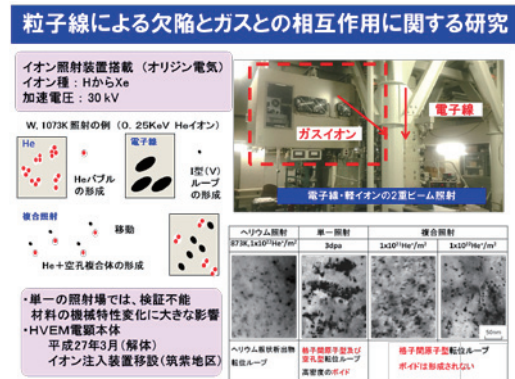


Fig. 3

ジルコロイ2の照射環境評価(同時注入効果)

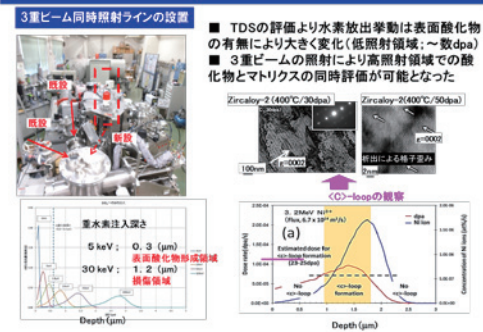


Fig. 4

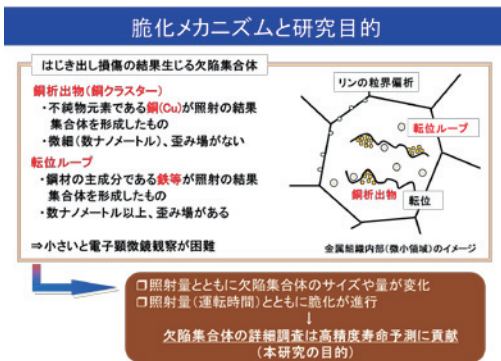


Fig 1

平成28年度原子力人材育成事業(エネ庁)

原子炉圧力容器鋼の実機材の照射脆化を、九州大学 応用力学研究所が平成25年度設置した高性能顕微鏡により、国内では初めて組織/詳細評価
関電美浜2号炉(廃炉)監視試験片の観察を通じた原子力人材育成の推進
第4回監視試験片のTEM及びSTEMによる転位・クラスターの同時観察
大学研究機関への試料貸し出しは国内初の取り組み

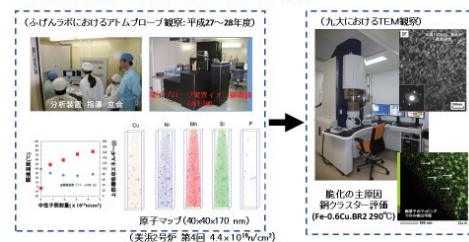


Fig2

参考文献

- [1] Watanabe, H., Masaki, S., Masubuchi, S., Yoshida, N., Kamada, Y., Journal of Nuclear Materials 417(2011) 932.
- [2] Watanabe, H., Arase, S., Yamamoto, T., Well, P., Onishi, T., Odette, G R., Journal of Nuclear Materials 471(2016) 343.
- [3] Watanabe, H., Takahashi, K., Yasunaga, K., Wan, Y., Aono, Y., Maruno, Y., Hashizume, K., Journal of Nuclear Science and Technology, to be published