

イオン照射した原子炉压力容器鋼の X 線吸収を用いた微細構造解析

Microstructure analysis of ion-irradiated reactor pressure vessel steel using X-ray absorption

*岩田 景子, 河 侑成, 高見澤 悠, 下平 昌樹, 本田 充紀, 岡本 芳浩

原子力機構

原子炉压力容器(RPV)鋼の照射による微細構造変化を調べるため、イオン照射前後の材料に対して溶質元素の広域 X 線吸収微細構造 (EXAFS) 分析を実施した。照射前後の EXAFS スペクトル形状の変化から溶質原子周辺の構造変化を評価した。また、第一原理に基づく EXAFS スペクトル解析を行い、結晶構造変化を詳細評価した。

キーワード： 压力容器鋼, EXAFS, イオン照射

1. 緒言

RPV 鋼は照射を受けることで結晶粒内に溶質原子クラスタが生成され、硬化することが知られている^[1]。しかし、溶質原子クラスタや周囲の格子欠陥の硬化への影響については十分な知見が得られていない。本研究では、RPV 鋼に含まれる溶質原子の周辺原子の配位数や原子間距離などのイオン照射による変化を EXAFS により評価した。また、欠陥構造モデルを構築し、得られた解析値を実測値と比較することで詳細な構造変化を推測した。

2. 実験

比較的 Cu 含有量が高い低合金鋼 (ASTM A533B Cl.1 鋼) の母材領域に対して HIT にて 2.8 MeV の Fe^{2+} イオンを 290°C で、照射表面から深さ 600 nm の損傷量が約 0.5 dpa となるように照射した。EXAFS 測定は KEK PF BL-27B にて蛍光法により実施した。測定対象スペクトルは Cu K-edge (8984 eV), Mn K-edge (6539 eV), Ni K-edge (8332 eV) である。取得した EXAFS スペクトルの解析には WinXAS 3.2 を使い、欠陥構造モデルの解析には FEFF 9.6 を使用した。

3. 結果

図 1 に未照射領域と照射領域、及び BCC 構造モデルに対するフーリエ変換後 EXAFS スペクトルを溶質元素毎に示す。Cu 原子周辺では、照射前後で配位数が減少し、第 1 配位との原子間距離は BCC 構造と比較して短い距離であった。これらの現象を考慮した欠陥構造モデルを作成し、シミュレーション解析を実施した。その結果、Cu 吸収原子周辺に 5-9 Å 程度の空孔型欠陥及び 1.97 Å の距離に Fe 原子を挿入した欠陥構造モデルが照射領域の実験値をよく再現した。Mn 原子周辺は照射に関わらず BCC 構造とは異なる形状のスペクトルを示したが、これは BCC 構造で固溶する Mn の他に炭化物($(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$)等^[2]として存在する Mn の構造情報が混在していたためと考えられる。

放射光実験は、高エネルギー加速器研究機構放射光実験施設 (KEK-PF) 共同利用実験課題 2016G118 にて実施した。

参考文献

- [1] W.J. Phythian and C.A. English, Microstructural evolution in reactor pressure vessel steels, J. Nucl. Mater. 205 (1993) 162-177.
- [2] K. Fukuya et al., Microstructural Evolution in Reactor Vessel Steels under Neutron Irradiation, INSS Monographs, No.1 (2001).

*Keiko Iwata, Yoosung Ha, Hisashi Takamizawa, Masaki Shimodaira, Mitsunori Honda, Yoshihisa Okamoto

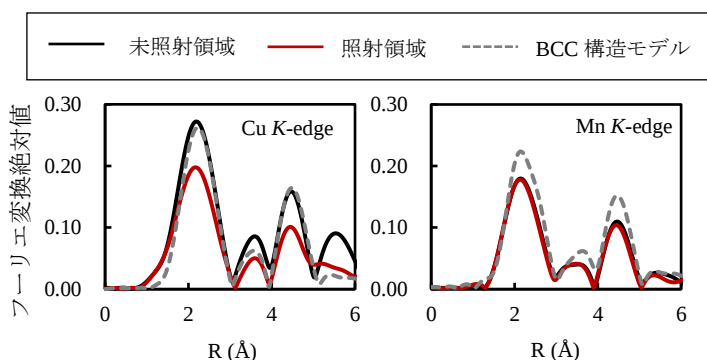


図 1 フーリエ変換した未照射及びイオン照射材の EXAFS スペクトル