

PWR で照射された原子炉圧力容器鋼の微細組織分析 (1)三次元アトムプローブを用いた溶質原子クラスタ分析

Microstructural analyses on RPV steels irradiated in PWR

(1) Solute cluster analysis by atom probe tomography

*高見澤 悠¹、端 邦樹¹、西山 裕孝¹、外山 健²、永井 康介²

日本原子力研究開発機構¹、東北大金研²

原子炉圧力容器(RPV)鋼の照射脆化に関し、国内の加圧水型原子炉(PWR)で照射された RPV 鋼を用いて、Cu 及び Si の含有量が溶質原子クラスタの数密度、大きさ、組成に及ぼす影響を評価した。

キーワード：原子炉圧力容器鋼，照射脆化，三次元アトムプローブ，溶質原子クラスタ

1. 緒言

原子炉圧力容器鋼の照射脆化は、ナノスケールでの溶質原子クラスタの形成や転位ループ等のマトリックス欠陥の形成等の微細組織変化が要因と考えられており、国内では微細組織変化に影響する化学成分として Cu と Ni 含有量を考慮した脆化機構に立脚した脆化予測式が用いられている^[1]。一方、報告者らによる国内照射データの最新のベイズ統計による評価によれば、高照射量領域において Cu、Ni に加えて Si が関連温度移行量に影響することが示唆された^[2]。本研究では、脆化メカニズムをより精緻に理解することを目的として、Cu 及び Si 含有量が中性子照射によって形成される溶質原子クラスタの数密度、直径やクラスタの組成に及ぼす影響について分析した。

2. 実験方法

国内 PWR で照射された RPV 鋼に対して三次元アトムプローブ(APT)を用いて溶質原子クラスタ分析を行った。分析サンプルは Cu と Si の含有量の範囲が広がるよう、高 Cu 及び低 Cu 材のそれぞれに対して Si 含有量が高いものと低いものを選定した。APT 測定用の針状試料は集束イオンビームを用いて製作し、測定は CAMECA 社製の LEAP4000X-HR を用いて行った。

3. 結果

図 1 に PWR で照射されたサンプルの溶質原子クラスタの数密度と Si 含有量の関係を示す。高 Cu 材では Si 含有量の影響がほとんど見られないのに対して、低 Cu 及び中 Cu 材では Si 含有量が高いほどクラスタ数密度が大きい傾向にあった。また、図 2 のクラスタ中に含まれる Cu、Si 原子数と全溶質原子数との関係から、クラスタ中の Cu と Si 原子数の和は Cu 含有量に依らず一定であり、低 Cu 材でクラスタに占める Si の比率が高くなっていた。一方で、Ni や Mn については Cu との相関は見られなかった。以上のことから、低 Cu 材においてはクラスタの形成核に Si 原子が寄与していることが考えられる。

謝辞：本研究は、平成 29 年度の原子力規制庁からの受託事業「軽水炉照射材料健全性評価研究」の成果の一部である。

参考文献：

[1] 日本電気協会 電気技術規程 JEAC4201-2007 [2013 年追補版].

[2] H. Takamizawa, et al., PVP2016-63822.

*Hisashi Takamizawa, Hata Kuniki, Yutaka Nishiyama, Japan Atomic Energy Agency

Takeshi Toyama, Yasuyoshi Nagai, Institute for Materials Research, Tohoku University

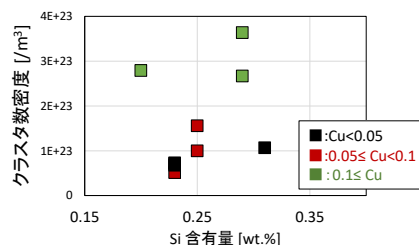


図 1 溶質原子クラスタの数密度と Si 含有量の関係

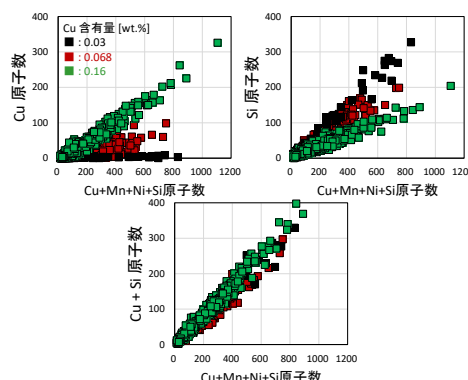


図 2 溶質原子クラスタに含まれる Cu、Si 原子数