

# アトムプローブによる原子炉压力容器監視試験片のマイクロ分析

Atom probe tomography for surveillance specimens in the PWR and BWR pressure vessel steels

\*山村一貴<sup>1</sup>, 福元謙一<sup>2</sup>, 鬼塚貴志<sup>2</sup>

<sup>1</sup>福井大学大学院 <sup>2</sup>福井大学附属国際原子力工学研究所

本研究では、実機軽水炉で中性子照射された二種類の監視試験片についてアトムプローブ (APT) 分析を行い、マイクロ組織分析を実施した。二種類の監視試験片で Cu, Ni, Si, Mn, P が集中した Cu リッチクラスタが観察され、Cu リッチクラスタの大きさと数密度が過去に報告されている文献データの傾向と一致していることが確認された。

**キーワード:** アトムプローブ分析, 照射脆化, 監視試験片, Cu リッチクラスタ

## 1. 緒言

軽水型発電炉の原子炉压力容器鋼の照射脆化は高経年化を考えると、重要な項目の一つである。現在考えられている照射脆化のメカニズムは、原子炉容器に使用されている A533B の低合金鋼の場合、ナノメートル(nm)スケールの極めて微細な材料変化、例えば Cu リッチクラスタの形成や、Mn, Ni, Si が集中したクラスタの形成、マトリックス損傷、P などの不純物の粒界への偏析によるものだと考えられている。このため、実機の監視試験片のマイクロ組織分析は照射脆化の進展の把握にとって非常に有用であり、予測式が想定する脆化機構の連続性を確認するためにも高照射量領域までの実機材データの蓄積が重要になる。そこで、今回は APT を用いて原子炉压力容器監視試験片のマイクロ組織分析を実施した。なお、本実習は資源エネルギー庁の人財育成事業の一部として実施した。

## 2. 実験方法

分析を実施した材料は、関西電力美浜 2 号機と日本原子力発電敦賀 1 号機の原子炉容器監視試験片の一部である。中性子照射量はそれぞれ  $4.4 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$  [1] と  $9.4 \times 10^{17} \text{ n/cm}^2$  [2] である。APT 測定には日本原子力研究開発機構の原子炉廃止措置研究センターの管理区域内に開設された高経年分析室に設置されている CAMECA 社製の LEAP3000XHR を用いた。測定は電圧パルスモードで行い、試料温度は 50K (-223°C) とした。APT 測定用の針状の試料は、集束イオンビーム(focused ion beam, FIB)加工装置 (HITACHI 製 nano-DUE'T NB5000) を用いて作製した。クラスタの解析には電力中央研究所が溶質原子クラスタの解析に採用している再帰的検索手法 [3] を用いてクラスタ解析を行った。クラスタ解析では、コア原子の抽出に用いるしきい距離には 0.5nm を用い、コア原子が 20 個以上のものだけをクラスタとして取り扱った。周辺原子の抽出に用いるしきい距離には 0.5nm を用い、周辺原子の一部を取り除くしきい距離には 0.5nm、最低のコア原子数には 3 個を用いた。

## 3. 結果

図に原子マップの一例を示した。すべての試料で、Cu, Ni, Si, Mn, P が集中したクラスタ、いわゆる Cu リッチクラスタの形成を確認した。また、P が直線上に偏析している部分が見られ、その部分に Cu リッチクラスタも集中していることを確認し、Cu リッチクラスタの大きさと数密度が過去に報告されている文献データの傾向と一致していることが確認された。

### 参考文献

- [1] 原子力安全基盤機構 関西電力株式会社美浜発電所2号炉 2012年7月  
 [2] 原子力安全基盤機構 日本原子力発電株式会社敦賀発電所1号炉 2009年8月  
 [3] 電力中央研究所 研究報告: Q06019  
 \*Kazuki Yamamura<sup>1</sup>, Kenichi Fukumoto<sup>2</sup>, Takashi Onitsuka<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fukui Univ, <sup>2</sup>Research Institute of Nuclear Engineering, University of Fukui

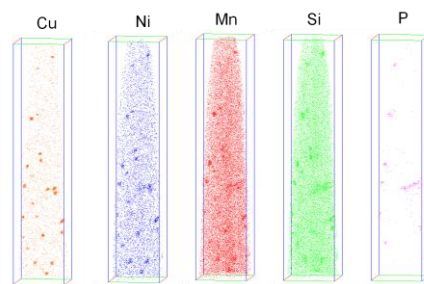


図 美浜 2 号の監視試験片の原子マップ

(40 x 40 x 170nm)