

3次元アトムプローブ及び走査透過電子顕微鏡を用いた 原子炉圧力容器鋼溶接熱影響部の微細組織分析

Microstructural Analysis by Atom Probe Tomography and Scanning Transmission Electron Microscopy for
Heat-Affected Zone in a Reactor Pressure Vessel Steel

*下平 昌樹¹, 河 侑成¹, 高見澤 悠¹, 外山 健², Du Yufeng², 嶋田 雄介²,
吉田 健太², 永井 康介², 勝山 仁哉¹

¹JAEA, ²東北大

原子炉圧力容器（RPV）鋼の照射脆化感受性に及ぼす金属組織の違いの影響を調べるため、溶接熱影響部（HAZ）と母材部を対象に中性子照射後の微細組織分析を実施した。Cu 含有量の高い RPV 鋼において、HAZ と母材部では溶質原子クラスタや転位ループといった微細組織の性状にほぼ違いがないことが分かった。

キーワード：原子炉圧力容器鋼，溶接熱影響部，照射脆化，3次元アトムプローブ，走査透過電子顕微鏡

1. 緒言

原子炉圧力容器（RPV）には、継手溶接やステンレスオーバーレイクラッド（クラッド）施工時の入熱により母材部と異なる金属組織を呈する溶接熱影響部（HAZ）が形成される。RPV の健全性評価では、HAZ と母材部の脆化量が同等であると考えられており、同じ脆化予測式が用いられている。しかしながら、現行の国内の脆化予測式は主に母材と溶接金属の監視試験データに対して最適化されたものであり、HAZ の金属組織が照射脆化感受性に及ぼす影響は確認されていない。本研究では、脆化予測式を HAZ に適用することの妥当性を確認するため、中性子照射後の RPV 鋼の HAZ 及び母材部を対象にした微細組織分析を実施した。

2. 実験方法

1970 年代に国内で運転開始したプラントの RPV の化学成分を模擬した Cu 含有量の高い A533B 鋼の厚板から採取し、チェコの材料試験炉 LVR-15 において約 290℃で約 1×10^{19} と 1×10^{20} n/cm² の 2 段階で中性子照射された試験片を用いた。母材部、クラッド下 HAZ 2 箇所（クラッドと母材の境界から 1 mm と 4 mm）及び継手 HAZ を対象に、3 次元アトムプローブ（APT）及び走査透過電子顕微鏡（STEM）を用いて溶質原子クラスタ（SC）及び転位ループの観察を行った。

3. 実験結果

APTにより観察された SC の数密度を図 1 に示す。試験片採取位置（金属組織）の違いによって、中性子照射量の増加に伴う SC 数密度の増加傾向に明瞭な違いはなく、母材と HAZ で同等であった。また、約 10^{20} n/cm² まで照射された照射量が高い試験片では STEM により観察した HAZ と母材の転位ループの数密度は $1.1 \sim 1.8 \times 10^{22}$ m⁻³ の範囲であり、採取位置による明瞭な違いは見られなかった。これらの結果から、本研究で用いた Cu 含有量の高い試験炉照射材においては SC 及び転位ループの形成に対して、金属組織の違いが影響しないことが示された。

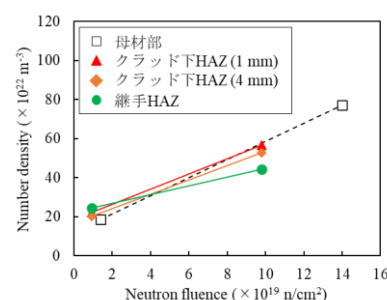


図 1 各試験片採取位置における SC 数密度の比較

謝辞

本研究は、原子力規制庁からの受託事業、平成 31 年度「軽水炉照射材料健全性評価研究」及び令和 3~5 年度「実機材料等を活用した経年劣化評価・検証（原子炉圧力容器の健全性評価研究）」の成果の一部である。

*Masaki Shimodaira¹, Yoosung Ha¹, Hisashi Takamizawa¹, Takeshi Toyama², Yufeng Du², Yusuke Shimada², Kenta Yoshida², Yasuyoshi Nagai² and Jinya Katsuyama¹

¹JAEA, ²Tohoku Univ.