

# 照射による原子炉圧力容器鋼の Cu,Ni 添加効果と熱処理による回復挙動

Irradiation embrittlement of RPV steel model alloys with different Cu,Ni levels

and recovery behavior by thermal treatment

\*合屋 佑介<sup>1</sup>, 都留 拓也<sup>1</sup>, 渡辺 英雄<sup>2</sup>, 山本 琢也<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>九州大学 応用力学研究所, <sup>3</sup>カリフォルニア大学サンタバーバラ校

原子炉圧力容器鋼モデル合金材に、中性子照射または重イオン照射し、添加元素による脆化効果ならびに熱処理による脆化回復から溶質元素クラスターの挙動について検討した。

**キーワード:** 照射脆化, 重イオン照射, 原子炉圧力容器鋼, 中性子照射

## 1. 緒言

原子炉圧力容器鋼（以下、RPV 鋼）は、運転中に中性子照射を受けることにより、照射欠陥が形成され、高経年化に伴い脆化する。この照射脆化の主要因の一つとして、鋼材中の不純物である Cu や他の添加元素の集合体から成る照射欠陥クラスターの形成が挙げられる。この照射欠陥クラスターは、APT 観察などにより、Cu や Ni, Mn, Si などが集積していることが確認されている。本研究では、Cu や Ni が実用鋼に及ぼす影響について調べるために、IVAR プログラムで使用されている Cu および Ni 含有量の異なる RPV 鋼モデル合金材の中性子照射や重イオン照射を行い、照射脆化と熱処理による回復挙動を検討した。

## 2. 実験方法

試料は BR2 炉で中性子照射した Ni の含有量が異なる 4 種類（LA 材, LB 材, LC 材, LD 材）と Cu の含有量が異なる 3 種類（LG 材, LH 材, LI 材）の RPV 鋼モデル合金を用いた。照射条件は、照射温度が 290°C、照射量が  $8.28 \times 10^{23} [\text{n}/\text{m}^2]$ （約 0.16dpa）である。これらの試料と重イオン照射で照射した試料の内部組織観察を収差補正電子顕微鏡にて行った。

中性子照射済み（BR2）試料の脆化回復実験には日本電子株式会社製の加熱ホルダーを用いて、試料温度を 290°C から 600°C まで 50°C 刻みで 30 分間、真空中（約  $3.0 \times 10^{-4} [\text{Pa}]$ ）で熱処理し、それぞれの熱処理が終わった時点でビッカース硬さ試験機を用いて硬度測定を行った。

## 3. 結果と考察

図 1 に、BR2 試料と IVAR による硬度変化の照射量依存性を示す。この結果は、IVAR の傾向とは異なり、Cu 濃度が低い LG 材は急激な硬度上昇を示している。これは、照射速度の違いによるものと推測される。

BR2 試料の Cu 濃度依存性の熱処理による脆化回復結果を図 2 に示す。図 2 では Cu 濃度の低い材料の硬度は 350°C から大きく低下しているのに対し、Cu 濃度の高い LC 材は 350°C まで硬度低下を示さない。この結果から、Cu を含まないクラスターは Cu を含むクラスターより早く消失していることがわかる。さらに、Ni 濃度依存性については、Ni 濃度の低い LA 材は 400°C 付近からゆるやかに硬度低下を示すのに対し、Ni 濃度の高い LC, LD 材は 450°C 付近で大きく硬度低下をしている。また、実用 RPV 鋼である A533B 材の熱処理による硬度低下のピークは約 450°C 付近であり、LA 材や LG 材は挙動が異なる。以上から、Cu や Ni 濃度の低い材料ではクラスターの消失温度領域が異なると予想でき、今後内部組織観察を行う。

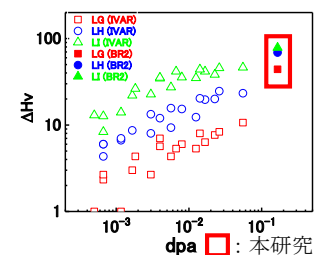


図 1. 照射量依存性

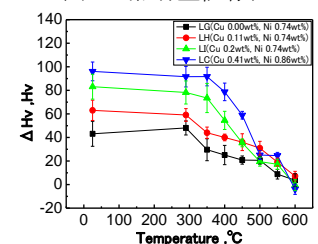


図 2. 回復挙動の Cu 濃度依存性

\*Yusuke Goya<sup>1</sup>, Takuya Tsuru<sup>1</sup>, Hideo Watanabe<sup>2</sup>, Takuya Yamamoto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kyushu Univ., <sup>2</sup>RIAM, Kyushu Univ., <sup>3</sup>University of California, Santa Barbara.