

軽水炉圧力容器鋼の中性子照射脆化モデリング

Multiscale Modeling of Neutron Irradiation Embrittlement of Reactor Vessel Steel

*中筋 俊樹¹, 陳 昱婷¹, 森下 和功¹

¹京都大学

照射脆化を精度よく予測するため、照射脆化の要因である転位ループ、ボイドおよび銅析出物の核生成過程を厳密に取り扱った反応速度論モデルを構築した。それらの形成に関する照射条件依存性を議論した。

キーワード：照射脆化，原子炉圧力容器，マルチスケールモデリング，銅析出物，照射相関

1. はじめに

照射脆化した軽水炉圧力容器鋼は、緊急時の炉心急冷却に耐え切れず破損する可能性がある。このような事故を防止するために、精度よく照射脆化を予測し、それに応じた保全活動を行うことは重要である。

運転期間が 40 年を超えた原子力発電所の照射脆化は未知であり、60 年までの照射脆化をしっかりと予測するには照射脆化の物理現象をしっかりと取り入れた予測モデルが必要である。日本において代表的な照射脆化予測式は、JEAC4201-2007（2013 年追補版）である。これは、日本の各商業軽水炉や試験炉で得られた脆化データを物理的理論に基づいた簡易予測式にフィッティングしたもので、その予測モデルでは、転位ループと溶質原子集合体の形成が取り扱われている。本研究では、照射脆化の要因である転位ループ（自己格子間原子集合体）および銅析出物だけでなく、空孔集合体（ボイド）の核生成過程も厳密に取り扱った反応速度論モデルを構築し、照射脆化予測の高度化について検討した。

2. 反応速度論モデル

bcc 鉄中において、自己格子間原子と転位ループ、銅原子と空孔および銅-空孔集合体について、欠陥の集合および解離反応に関する反応速度式を立て、それぞれのサイズおよび組成の欠陥集合体濃度の経時変化を得た。解離反応には、分子動力学法（MD）によって評価された欠陥集合体結合エネルギーを用いることで、欠陥集合体の核生成過程を厳密に扱っている。

3. 結果および考察

図 1 は銅-空孔集合体と転位ループの平均直径、数密度および銅-空孔集合体の平均組成の照射量依存性である。組成は集合体中の銅原子の割合と定義した。損傷速度の違いにより欠陥の形成過程は異なり、イオン照射のような高損傷速度 (10^{-4} dpa/s) の照射場であるほど、ボイドが多く形成され、銅原子集合体（銅析出物）は形成されにくい。これは従来の実験結果^[1]と対応する。また、ボイドは銅析出物集合体より多く形成されることもわかる。したがって、イオン照射を用いて照射脆化を把握する場合は、ボイドの形成も加味して脆化を議論する必要があることが示唆される。

参考文献

[1] T. Yoshiie et al., NIM B, Vol. 303, pp. 37-41, (2013).

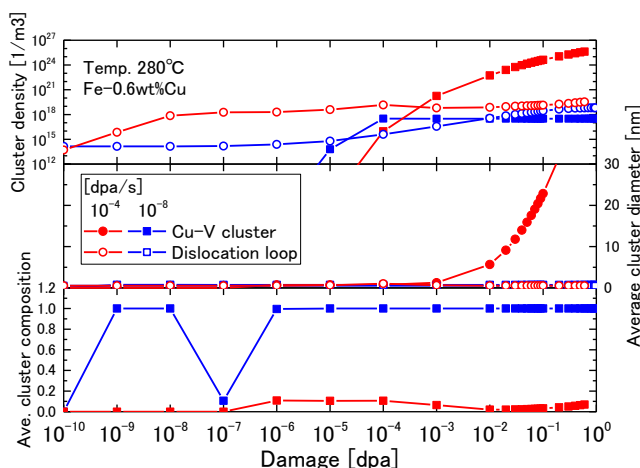


図 1 銅-空孔集合体と転位ループの平均直径、数密度および銅-空孔集合体の平均組成の損傷量依存性

*Toshiki Nakasuji¹, Yuting Chen¹ and Kazunori Morishita¹

¹Kyoto University