

圧力容器鋼の中性子照射脆化モデリング

(1) 脆化予測シミュレーション

Modeling Irradiation Embrittlement of Reactor Pressure Vessel Steel

(1) Monte Carlo Simulation of Defect Cluster Formation

*中筋 俊樹¹, 阮 小勇¹, 森下 和功¹

¹京都大学

本研究では、圧力容器鋼の照射脆化の要因である銅リッチ析出物の核生成過程のモンテカルロシミュレーションを行った。従来の照射脆化予測法より幅広い照射条件における脆化予測の妥当性について検討した。

キーワード：照射脆化，原子炉圧力容器，モンテカルロ法，銅リッチ析出物，照射相関

1. 緒言

軽水炉圧力容器鋼は、核分裂反応によって生じた中性子などの照射を受けて脆化する。脆化した圧力容器鋼は、事故時の対応として使用される非常用炉心冷却装置（ECCS）による炉心急冷（PTS 事象）に耐え切れず、破損する可能性がある。照射脆化に関する対策は、脆化予測法^[1]に基づいた脆化管理が挙げられる。この予測法では、原子炉内に装荷された脆化監視試験片により得られた脆化データの回帰分析をもとに作成された式を用いている。そのため、得られている脆化データの照射条件外への適用は保証できない。

本研究では、照射脆化の要因の1つである銅リッチ析出物の核生成過程について、核生成の物理プロセスに基づくシミュレーションを行った。

2. 数値解析方法

種々のシミュレーション手法を用いて、銅リッチ析出物の核生成プロセスのマルチスケールモデリングを行った。根幹となるシミュレーションは、銅原子および照射欠陥がクラスターへ流入および流出して核生成する過程のモンテカルロシミュレーションである。照射欠陥である空孔と格子間原子の数密度は反応速度論モデルから得た。また、鉄母相中の銅原子は空孔拡散機構により拡散すると仮定して、その拡散係数を格子モンテカルロ法により求めた。クラスターと各欠陥の結合エネルギーは分子動力学法により得られた結果を用いた。

3. 結果および考察

図1に銅リッチ析出物の核生成速度（1dpaあたりの核生成数）の損傷速度依存性の計算結果を示す。損傷速度の増加に対して、核生成速度は損傷速度の1/2乗で減少している。これは、既存の予測法^[1]において、照射初期の核生成速度が損傷速度の0.6乗で減少することに対応する。さらに、材料マイクロ構造変化と機械特性変化の関係をオロワンモデルにより仮定した場合、計算結果は脆化の実験結果^[2]（照射条件： 10^{-9} dpa/s から 10^{-13} dpa/s）と同じ傾向を示すことが分かった。

参考文献

[1] JEAC 4201-2007[2013年追補版],(社)日本電気協会.

[2] Y. Nagai et al., Appl. Phys. Lett. 87 (2005) 261920.

*Toshiki Nakasuji¹, Ruan Xiaoyong¹ and Kazunori Morishita¹

¹Kyoto University

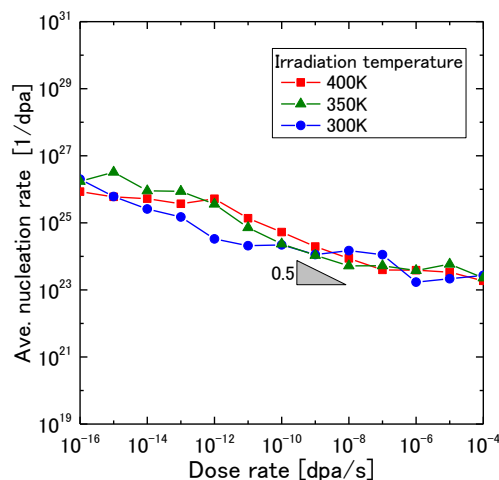


図1 核生成速度の損傷速度依存性