

圧力容器鋼の照射脆化の機構解明と、 これに基づく脆化予測法の開発

背景

軽水炉圧力容器鋼の中性子照射脆化は、圧力容器の構造健全性を評価する上で最も重要な経年変化要因とされている。特に、長い運転年数を経過し、今後も引き続き運転が計画されている経年軽水炉の構造健全性を確保する上では、原子炉圧力容器鋼の中性子照射脆化を精度良く把握することが重要である。電力中央研究所では、照射によるナノメートルスケールでの鋼材の組織変化を調べることで中性子照射脆化機構の解明研究を実施するとともに、脆化機構の理解に基づくより精度の高い脆化予測法の開発研究を進めてきた。

目的

軽水炉圧力容器鋼の中性子照射脆化機構に関する知見を定式化するとともに、これと国内監視試験データを組み合わせることで新しい照射脆化予測法を開発すること。

主な成果

1. 照射脆化機構の解明と脆化予測モデルの定式化

照射脆化機構に関する機械特性試験、三次元アトムプローブや陽電子消滅法など先端的なナノ組織観察技術を用いた照射損傷組織観察、および分子動力学法から転位動力学法までを統合したマルチスケール計算機シミュレーション、などの結果を総合することで脆化機構のモデルを開発し、これを反応速度方程式として定式化した(図1)。ここでは、成分元素の役割、照射速度の影響、脆化の要因となる損傷形成、について新たなモデルを導入した。

2. 新しい照射脆化予測法の開発

電力会社より開示を受けた国内全プラントの圧力容器照射脆化監視試験データを用いて反応速度方程式の係数の最適化を行うことで、脆化機構に基づく国内初の脆化予測法(電中研脆化予測法)を開発した。またプラント毎に予測値を最適化するためのプラント固有のオフセット補正法を新たに提案した。電中研脆化予測法では現行の国内脆化予測法(JEAC4201)および米国の脆化予測法(NRCおよびASTMの予測法)よりも予測精度が大幅に向上する(図2)。

3. 米国監視試験データとの比較

電中研脆化予測法の有効性を調べるために、反応速度方程式の係数最適化には使用しなかった米国監視試験データに対する予測精度の評価を行った。国内プラントと同等の化学組成の米国鋼材に対して電中研脆化予測法は十分な予測精度を持つことが明らかとなり、本手法の有効性が検証された。

本研究の一部は電気事業連合会からの要請研究として実施した。

今後の展開

本研究成果を現行の国内脆化予測法(日本電気協会JEAC4201)の改訂に反映する。また、高照射領域での照射脆化について、予測法のさらなる精度向上のための脆化機構研究を実施する。

主担当者 材料科学研究所 構造材料評価領域 首席研究員 曾根田 直樹
材料科学研究所 構造材料評価領域 主任研究員 土肥 謙次、野本 明義

関連報告書 「軽水炉圧力容器鋼の中性子照射脆化予測式の開発に関する研究—照射脆化機構に基づく脆化予測法の開発—」電力中央研究所報告：Q05403(2006年8月)

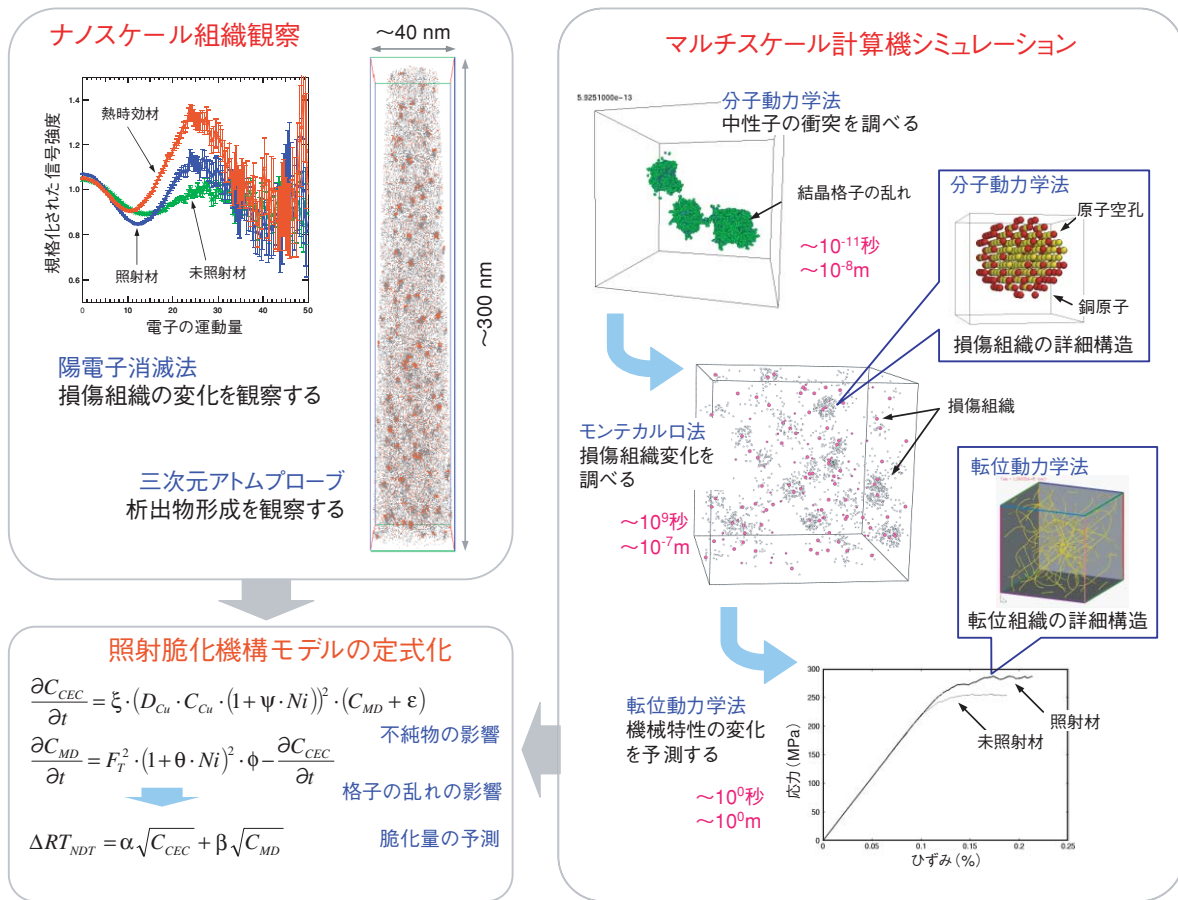


図1 ナノスケール組織観察とマルチスケール計算機シミュレーションの結果に基づく照射脆化機構モデルの構築と定式化

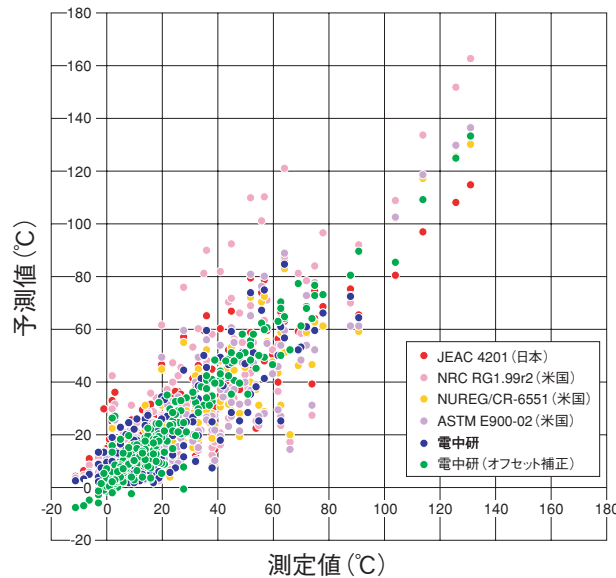


図2 電中研脆化予測法および国内外の脆化予測法と国内監視試験データの比較。電中研脆化予測法（青）の誤差の標準偏差は10.2°Cと小さいが、オフセット補正（緑）により誤差の標準偏差はさらに6.1°Cまで低減される。