

軽水炉压力容器鋼の照射脆化予測法の開発

背景

国内原子力発電所の原子炉压力容器の照射脆化予測では、1991年に開発された(社)日本電気協会原子力技術規程 JEAC 4201-2004 の国内脆化予測式が用いられている。(財)電力中央研究所では国内電力会社と共同で、最新の国内監視試験データと脆化機構に基づき、より精度の高い新しい脆化予測法開発を平成14年度より進めてきた。平成16年度に予測法の初版(以下、電中研脆化予測法)を開発し[1]、その後、実機の監視試験片を用いた詳細なマイクロ組織観察などの研究を行い、脆化予測法の初版の検証・改良作業を進めてきた。

目的

国内压力容器鋼の監視試験片のマイクロ組織観察結果に基づき電中研脆化予測法の改訂版を開発すること。

主な成果

1. 実機監視試験片を用いた国内压力容器鋼の脆化機構の検討

- (a) 溶質原子クラスターの形成 三次元アトムプローブ観察による PWR 監視試験片の詳細観察の結果、不純物(銅)含有量の少ない鋼材において添加元素である Ni, Si, Mn を主成分とする溶質原子クラスターが比較的照射量 ($3 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$, $E > 1 \text{ MeV}$) から形成されることが初めてわかった。また溶質原子クラスターの体積率の平方根は遷移温度上昇量(脆化量)とほぼ比例の関係があることがわかった(図1)。
- (b) 照射速度の影響 銅含有量の多い(0.24wt.%) BWR 压力容器鋼を試験炉(照射速度は $7 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2\text{-s}$) と商用炉の監視試験プログラム[2](照射速度は $\sim 2 \times 10^9 \text{ n/cm}^2\text{-s}$) で照射し、マイクロ組織を比較した。遷移温度上昇は低照射速度の商用炉の方が高い値を示し、これに対応して低照射速度で照射された鋼材中のクラスターは大きさが大きく数密度も若干高くなることなどが新たにわかった。

2. 脆化予測法の改訂版の開発

上記の新たな知見に基づき反応速度式を用いた照射脆化予測モデルの改良を行い、これと最新の国内監視試験データを用いることで、電中研脆化予測法の改訂版を開発した。新しい脆化予測法による予測値と監視試験の測定値の比較を図2に示す。予測値の誤差の標準偏差は 9.4°C 、誤差の平均値は 0.1°C と、国内压力容器鋼に対して現行国内脆化予測式や米国の脆化予測法よりも精度の高い予測結果が得られている。

今後の展開

高照射領域での照射脆化メカニズム解明研究を進め、高照射領域での脆化予測法の精度向上を目指す。

主担当者 材料科学研究所 構造材料評価領域 上席研究員 曾根田 直樹

関連報告書 「軽水炉压力容器鋼材の照射脆化予測法の式化に関する研究 ―照射脆化予測法の開発―」、
電力中央研究所報告:Q06019、(2007年4月)

[1] 曾根田直樹、土肥謙次、石野菜、西鶴祥一、横田昌樹、大畑仁史、「原子炉压力容器鋼の中性子照射脆化予測法の開発」、平成17年度 火力原子力発電大会 論文集、(社)火力原子力発電技術協会。

[2] 原子力プラントでは、压力容器と同一の鋼材を容器内壁に装着したキャプセルに収納して照射し、これを計画的に取り出して機械特性試験を行うことで、压力容器本体の照射脆化のモニターを行っている。

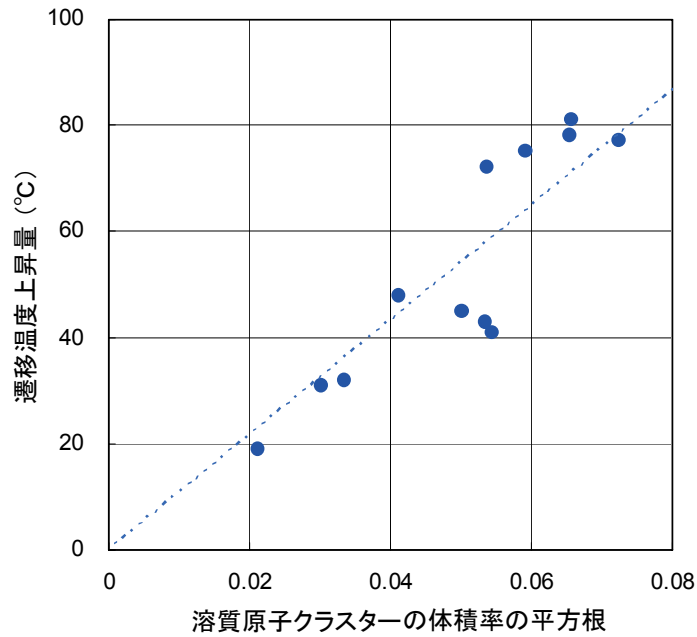


図 1 溶質原子クラスターの体積率の平方根(横軸)と遷移温度上昇(縦軸)の相関。

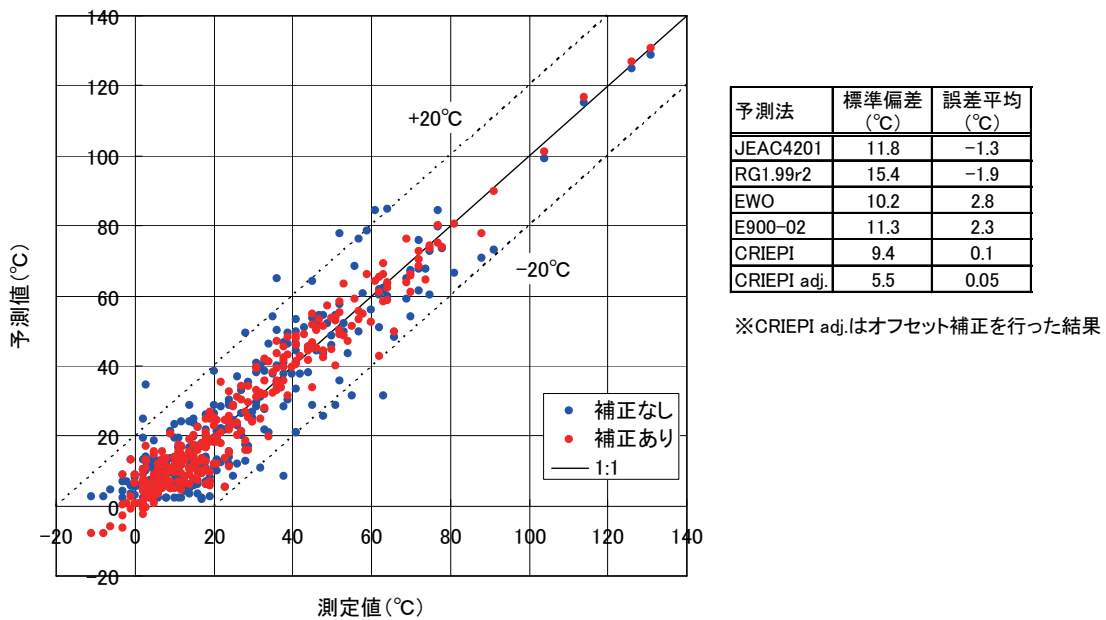


図 2 国内圧力容器鋼の母材および溶接金属に対する監視試験における遷移温度上昇量の測定値と電中研脆化予測法による予測値の比較。国内脆化予測法 (JEAC4201) および米国脆化予測法 (US NRC Regulatory Guide 1.99 Rev.2, Eason/Wright/Odette model, ASTM E900-02) と比べて標準誤差、誤差平均値ともに改善している。