

# 軽水炉圧力容器鋼の中性子照射脆化予測法の開発

## 背景

軽水炉の構造健全性を保証する上で、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。国内の圧力容器鋼の照射脆化予測は日本電気協会電気技術規程JEAC4201に定められる国内脆化予測式を用いて行われているが、この予測式が開発されてから15年が経過し、この間、照射脆化を把握するための監視試験データが多く蓄積されるとともに、照射脆化のメカニズムに関する理解が大きく進展した。電力中央研究所(以下、電中研)では国内電力会社からの依頼を受け、最新の監視試験データベースと知見に基づく新たな脆化予測法の開発研究を平成14年度より開始した。

## 目的

照射脆化メカニズムに関する知見と、最新の国内軽水炉圧力容器の監視試験データベースを用いて、新たな国内脆化予測法を開発すること。

## 主な成果

1. 中性子照射により生じる圧力容器鋼中のマイクロ組織変化の予測と、そのマイクロ組織変化による脆化量(脆性 延性 遷移温度の上昇)の予測の2つのステップからなる新しいアプローチによる照射脆化予測法を開発した(図1)。本予測法では照射脆化メカニズムに関する最新の知見を反応速度式の形で定式化し、最新の国内監視試験データベースに対して式の係数を最適化した。
2. プラントごとに予測を補正するための方法として、予測値にプラント固有の定数(オフセット)を加える新しい初期値補正法を提案した。これは、未照射材のシャルピー衝撃試験の値(初期値)に含まれる誤差を補正するための方法である。国内監視試験データを用いて国内全プラントに対して補正のためのオフセット値を求めた結果を図2に示す。オフセット値の統計分布は平均値ゼロ、標準偏差約5の正規分布により近似でき、オフセット値がシャルピー衝撃試験の値の誤差を表す、という物理的な意味を裏付ける結果が得られた。
3. 国内監視試験データの実測値と、JEAC4201および電中研脆化予測法による予測値の比較を図3に示す。実測値と予測値の差の標準偏差は、JEAC4201では12.1であるのに対し電中研予測法では10.1となり、さらに初期値補正を適用した場合には6.1まで小さくなる。電中研予測法により国内圧力容器鋼の照射脆化を高い精度で予測することが可能となった。

## 今後の展開

本研究の成果をJEAC4201の改訂に反映する。また軽水炉高経年化に備えるため、現在の監視試験データベース外の高照射量領域での圧力容器鋼の脆化メカニズムについて研究を実施する。

主 担 当 者 材料科学研究所 構造材料評価領域 上席研究員 曾根田 直樹

マイクロ組織変化の予測

$$\frac{\partial C_{CEC}}{\partial t} = \xi \cdot (D_{Cu} \cdot C_{Cu} \cdot (1 + \psi \cdot Ni))^2 \cdot (C_{MD} + \varepsilon) \quad : \text{銅濃縮クラスターの形成}$$

$$\frac{\partial C_{MD}}{\partial t} = F_T^2 \cdot (1 + \vartheta \cdot Ni)^2 \cdot \phi - \frac{\partial C_{CEC}}{\partial t} \quad : \text{マトリックス損傷の形成}$$

$$\frac{\partial C_{Cu}}{\partial t} = -v_{CEC} \cdot \frac{\partial C_{CEC}}{\partial t} \quad : \text{マトリックス銅の消費}$$

$$v_{CEC} = \varphi \cdot D_{Cu} \cdot C_{Cu,avail} \cdot t + \nu = \varphi' \cdot D_{Cu} \cdot C_{Cu,avail} \cdot \frac{1}{\phi} + \nu \quad : \text{銅濃縮クラスターの大きさ}$$

$$D_{Cu} = D_{Cu,thermal} + D_{Cu,irrad} = D_{Cu,thermal} + \omega \cdot \phi \quad : \text{銅の拡散係数}$$

脆化への寄与の予測

$$\Delta T_{CEC} = \alpha \cdot \sqrt{C_{CEC}} \quad : \text{銅濃縮クラスターの寄与}$$

$$\alpha = \alpha_0 \cdot \log \left( \alpha_1 \cdot C_{Cu,avail,0} \cdot (1 + \chi \cdot Ni) \cdot D_{Cu} \cdot \frac{1}{\phi} + \alpha_2 \right) \quad : \text{銅濃縮クラスターの強度}$$

$$\Delta T_{MD} = \beta \cdot \sqrt{C_{MD}} \quad : \text{マトリックス損傷の寄与}$$

脆化量 $\Delta T$ の予測

$$\Delta T = \Delta T_{CEC} + \Delta T_{MD}$$

図1 電中照射脆化予測法

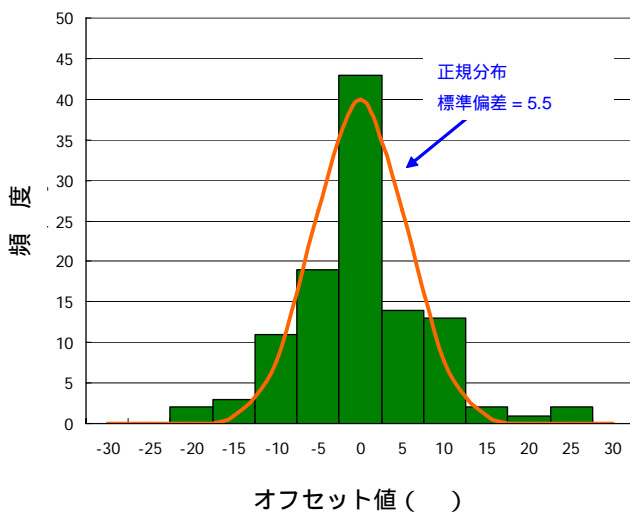


図2 初期値補正のオフセット値の分布

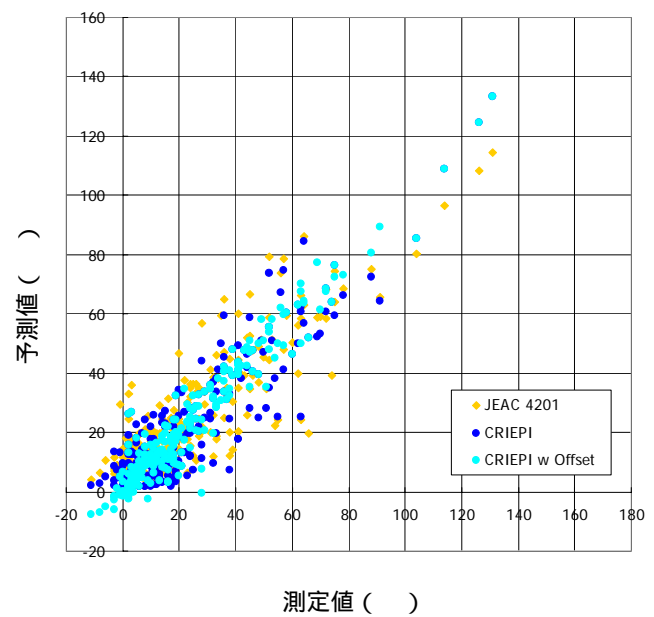


図3 遷移温度上昇量の実測と予測の比較