



原子力発電

原子炉压力容器鋼の照射脆化量の統計特性モデルを提案

● 原子炉压力容器の健全性確認試験結果の信頼性を保証する技術根拠を提供

シャルピー衝撃試験・シャルピー吸収エネルギー
切り欠きの入った角柱状の試験片に対して、高速で衝撃を与えることで試験片を破壊し、破壊するために要したエネルギー(シャルピー吸収エネルギー)を測定する試験。

背景

原子炉压力容器鋼では、プラント運転中の中性子の照射により材質が変化(照射脆化)します。原子炉压力容器の健全性を確認するため、その压力容器内に収納されているサンプル鋼を用いた監視試験を定期的に行っています。監視試験にはシャルピー衝撃試験が用いられますが、脆性破壊と延性破壊とが混在する延性脆性遷移温度領域ではシャルピー吸収エネルギーに生来的なばらつきがあり、脆化量の評価における不確かさの要因となります。当所では評価の信頼性を統計的に保証できるよう、ばらつきの特性を理論的に推定するモデルの開発を進めています。

成果の概要

◇シャルピー吸収エネルギーのばらつきの評価式の妥当性を実証

破壊力学の知見を組み合わせることで、シャルピー吸収エネルギーのばらつきを推定する評価式を導出し、試験データとの比較からその評価式の妥当性を実証しました。ばらつきは正規分布によって近似可能であり、その平均および標準偏差の関係は材料によらず一意に定まることを見出しました。

◇関連温度移行量の統計分布特性を理論的に推定するモデルを構築

導出した評価式に誤差の伝搬法則を適用し、原子炉压力容器鋼の照射脆化量の評価に用いる**関連温度**について、その標準偏差を理論的に推定するモデルを提案しました(図1)。本モデルに基づく標準偏差の推定値と、現行の技術規程**JEAC4201**に基づく標準偏差とを比較した結果、現行の技術規程では関連温度移行量の標準偏差が十分安全側に見込まれることを確認しました(図2)。

関連温度

シャルピー吸収エネルギー41Jに対応する温度。照射脆化量の評価に用いる。

JEAC4201

日本電気協会電気技術規程原子力編「原子炉構造物の監視試験方法」。

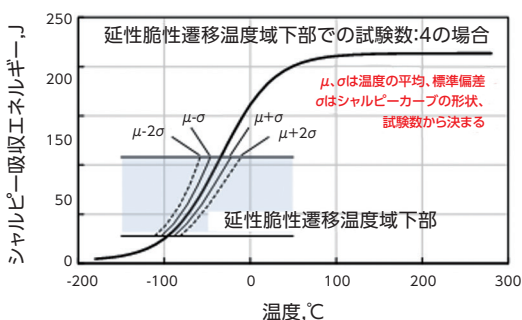


図1 本モデルから推定したシャルピーカーブでの温度のばらつき

評価に必要なパラメータ(シャルピーカーブの形状、試験数)の充足性に応じて、関連温度の標準偏差が理論的に推定できます。

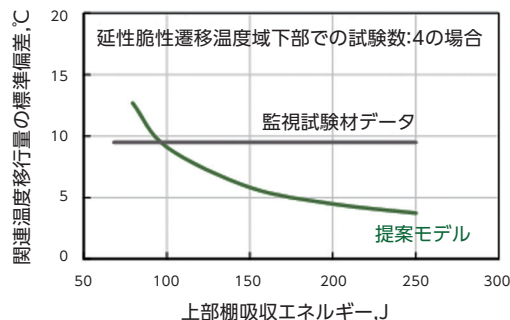
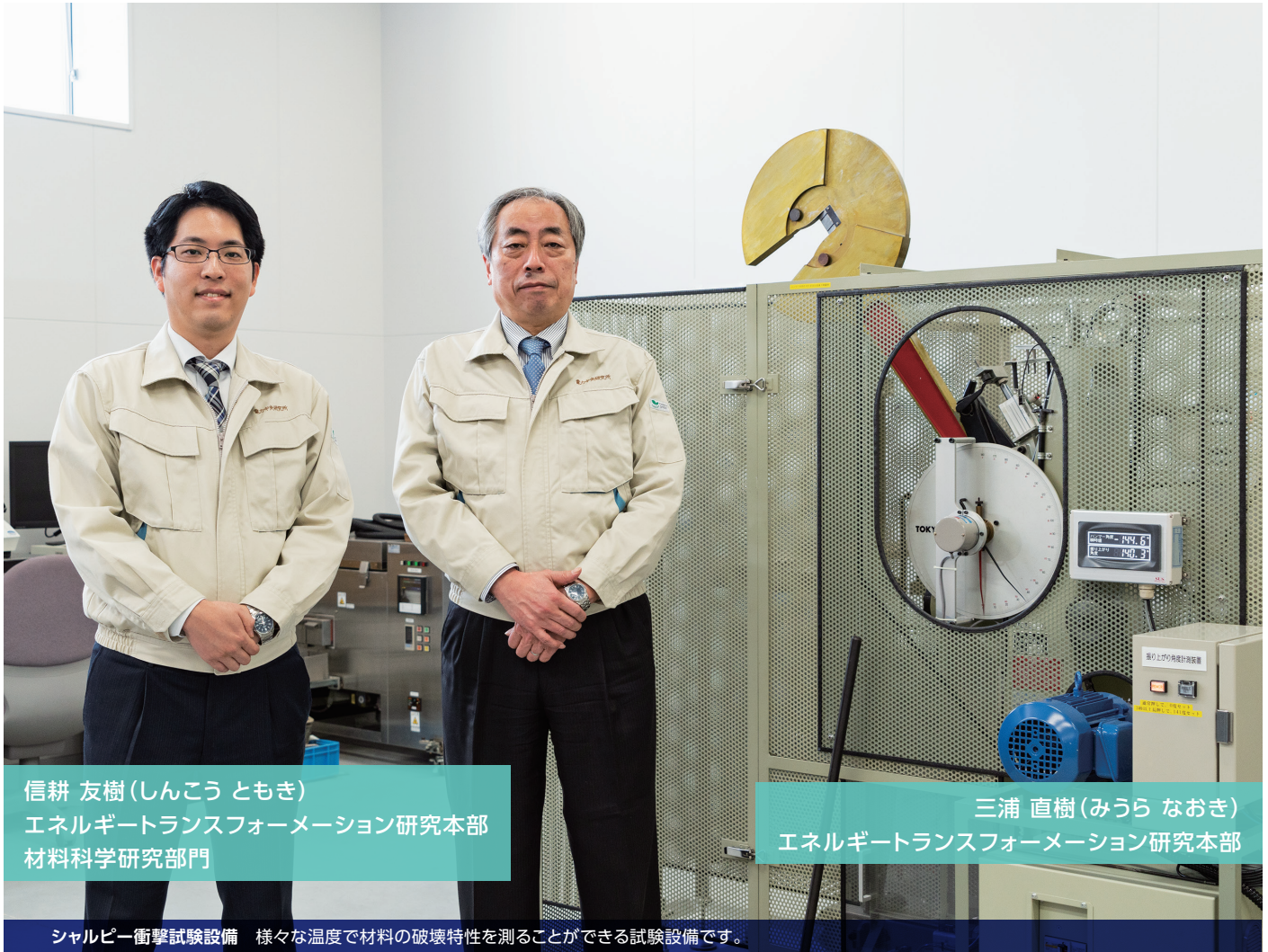


図2 関連温度移行量の標準偏差の本モデルとJEAC4201との比較

上部棚吸収エネルギーが100Jを超える現実的な範囲では、本モデルの推定値の方が小さく、JEAC4201に基づく関連温度移行量の標準偏差は安全側に見込まれています。

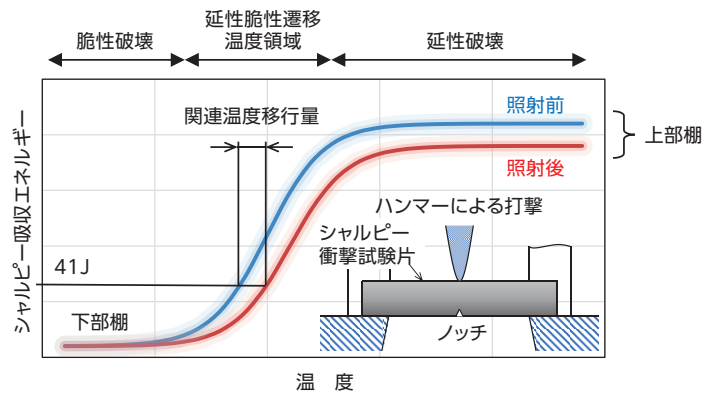


信耕 友樹(しんこう ともき)
エネルギー変換研究本部
材料科学研究部門

三浦 直樹(みうら なおき)
エネルギー変換研究本部

シャルピー衝撃試験設備 様々な温度で材料の破壊特性を測ることができる試験設備です。

シャルピーカーブと照射影響
シャルピー吸収エネルギーと温度の関係曲線をシャルピーカーブと呼び、中性子照射によって高温側へシフトします。照射脆化量は、シャルピー吸収エネルギー41Jでのシフト量(関連温度移行量)によって評価します。



成果の活用先・事例

提案したモデルにより、原子炉压力容器鋼の照射脆化量のばらつきを定量的に評価することが可能となり、監視試験において試験結果の信頼性を保証する技術根拠として活用できます。

参考 三浦ほか、電力中央研究所 研究報告 EX22004 (2023)
三浦ほか、電力中央研究所 研究報告 EX21002 (2022)