

重点課題 - 設備運用・保全技術の高度化

軽水炉機器・配管に対する非破壊検査技術の開発

背景・目的

原子力発電施設をはじめとする電力関連設備を適切に維持・管理し、安全性を確保するために、機器を構成する金属材料の欠陥の有無を非破壊で検査する技術が重要である。本課題では、軽水炉の安全に関連する重要

な機器について、最適な非破壊検査手法を開発するとともに、その検査手法の規格化やPD認証制度^{*1}化などの取組みを通じ、非破壊検査技術の信頼性を向上することで軽水炉の安定運転を支援する。

主な成果

1 異種金属溶接継手部のき裂深さ測定技術の開発

原子炉容器等の異種金属溶接継手(DMW:低合金鋼とステンレス鋼配管をニッケル基合金で溶接した継手)は、継手部に発生した応力腐食割れのき裂先端を捉える事が困難であることから、超音波探傷試験(UT)が難しい部位とされている。DMW部の探傷技術として、フェーズドアレイUT技

術^{*2}を活用し、き裂面からの反射波を画像化することによりき裂の形状を推定する技術を開発した(図1)。画像化されたき裂形状によって、金属組織などのノイズからき裂先端の信号を容易に判別でき、き裂の深さや長さ方向の広がりを高精度に推定することが可能となった。

2 仮想的超音波探傷システムの試作

超音波探傷による評価結果の信頼性は、特に手動で探傷する場合、探傷者の技量などによる影響を受けることがある。このため、種々の欠陥を模擬した多数の試験体を用いたPD認証試験や探傷者の訓練を行う必要がある。そのため、効率的な試験や訓練を可能とするために、超音波探傷を模擬した作業に応じて、任意の超音波探傷波形を表示

できる仮想的超音波探傷システムを試作した(図2)。本システムでは、保存された多数の超音波波形を仮想超音波波形として表示するため、模擬配管試験体を用いた仮想的超音波探傷が可能となる。この仮想的超音波探傷システムをPD認証試験や探傷者の訓練に活用することで、効果的な試験や訓練の実施が可能となる[Q14007]。

3 鋭敏化ステンレス鋼の応力腐食割れ発生評価手法の開発

検査間隔の設定根拠として活用できるSCC発生評価手法の構築に向け、微小き裂の合体・成長機構を取り入れた従来の数値計算手法^{*3}に対して、き裂深さ分布を評価できる数値計算手法を開発した。これまで数値計算による鋭敏化ステンレス鋼のき裂深さの分布の再現は確認されていないため、本手法により、

き裂深さの分布を算出した。き裂先端の応力拡大係数がしきい値以上になると一定速度でき裂進展すると仮定して算出したき裂深さの分布は、正規分布によく適合し、鋭敏化ステンレス鋼の試験結果^{*4}を再現できることを確認した(図3)[Q14013]。

*1 軽水炉の非破壊検査における超音波探傷試験システムの性能実証による技術者の認証制度。

*2 多数の超音波振動子を電子的に制御し、超音波の伝搬方向などを制御する技術。

*3 K. Tohgo, H. Suzuki, Y. Shimamura, G. Nakayama, T. Hirano, Corrosion Science, 51, p.2208-2217 (2009).

*4 明石正恒, 川本輝明, 防食技術, 32(1), p.9 (1983).

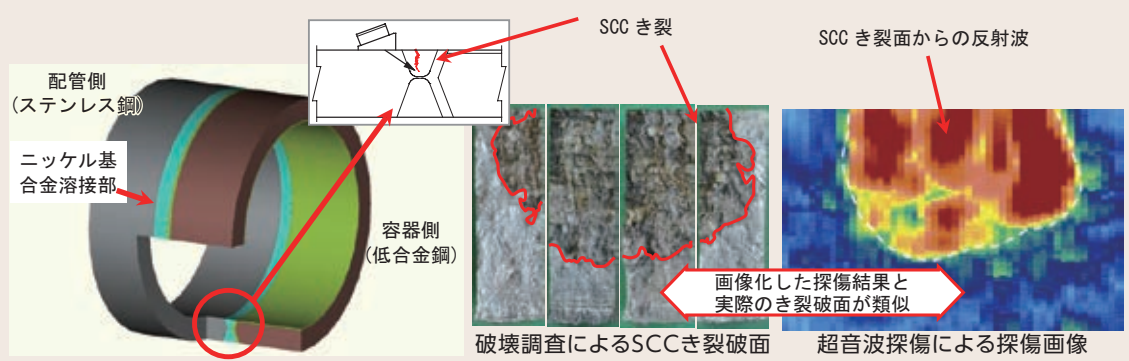


図1 DMW部のSCCき裂形状の推定

フェーズドアレイ超音波探傷技術を活用し、き裂面からの反射波を画像化することにより、き裂以外のノイズからき裂先端の信号を容易に識別することが可能となった。その結果、DMW部に発生したSCCき裂の深さや長さの測定信頼性を向上することができた。



図2 仮想的超音波探傷試験システムの試作機

プラスチック製の模擬配管に探触子(超音波センサー)を模擬した模擬探触子を接触させ、その状態に応じて超音波探傷波形を表示させ、実際の配管の超音波探傷作業を再現できるシステムを試作した。探傷者は、実際の探傷作業と同様に、表示された波形をもとに欠陥の有無やその長さなどを測定する訓練や、探傷技量の評価を行うことができる。表示させるデータは欠陥の数や位置などを任意に編集可能で、多数のバリエーションのある探傷訓練や、通常ではあまり経験できない損傷事例の訓練を行うこともできる。

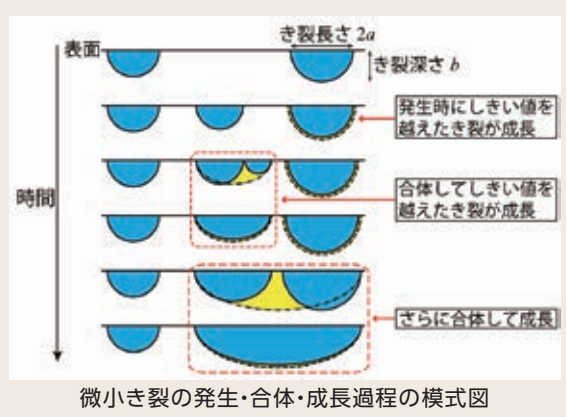
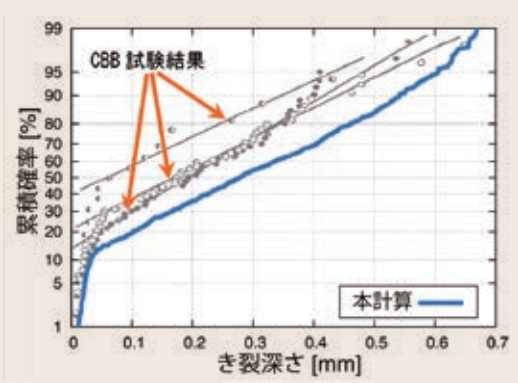


図3 微小き裂の合体・成長モデルによるSCC発生シミュレーション

シミュレーションには、ランダムに発生したアスペクト比 b/a 一定の微小き裂が発生・合体により臨界サイズを越えると、き裂進展速度一定で成長すると仮定した微小き裂の合体・成長機構を取り入れた。深さが 0.05mm 以上のき裂の分布が正規分布に適合するという鋭敏化ステンレス鋼の試験結果*4を再現できた。



試験時間100時間後の鋭敏化ステンレス鋼のき裂深さ分布の正規確率プロット