

研究背景

「グリーン・トランスフォーメーション(GX)脱炭素電源法」が成立し、安全の確保を大前提として、既存の発電用原子炉の長期運転が可能となりました。このような背景を踏まえ、長期運転に伴う原子炉機器の経年劣化の影響を評価し、安全性を確認することが重要です。当グループでは、健全性評価や経年劣化評価手法の信頼性向上及び国による発電用原子炉に対する規制活動における技術的判断等に資することを目的として、主に軽水炉の一次系冷却水バウンダリ機器である原子炉圧力容器や配管等を対象とした材料劣化(照射脆化や応力腐食割れ等)に関する研究を実施しています。



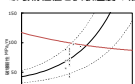
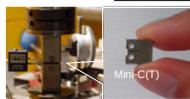
経年劣化研究グループの詳細はこちらでもご覧いただけます！！

原子炉圧力容器の照射脆化と健全性評価に関する研究

原子炉圧力容器の健全性確認のため、中性子照射による材料特性の変化を破壊試験や微細組織観察等、様々なアプローチを駆使して総合的に研究している。また、最新のデータサイエンス、有限要素解析等の計算科学を活用するとともに、評価に用いる材料強度や応力負荷等の不確かさを考慮した健全性評価手法の高度化や妥当性確認に取り組んでいる。

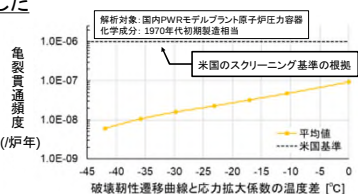
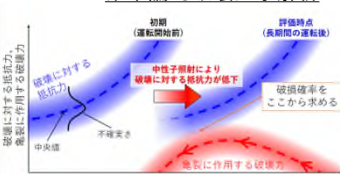
破壊靱性試験

破壊靱性値と試験温度の相関



- ・シャルピー衝撃試験等の標準的な試験方法による評価結果と比較しつつ、破壊靱性評価への微小試験片の適用性を確認
- ・中性子照射による機械特性の変化を様々な試験方法で多角的に評価

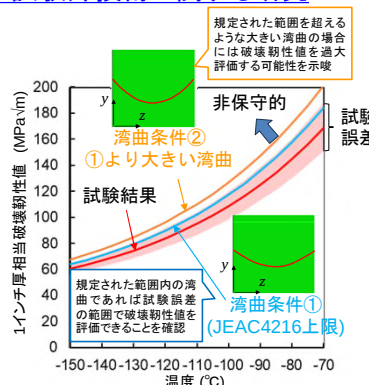
原子炉圧力容器の健全性評価を対象とした確率論的破壊力学解析



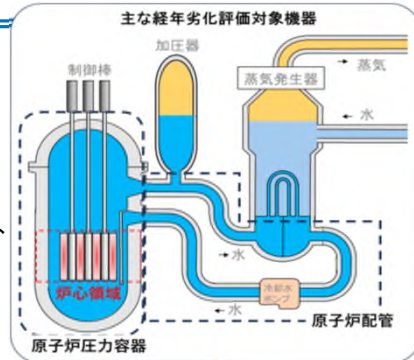
- ・加圧熱衝撃時の亀裂貫通頻度を定量評価

有限要素解析を用いた微小試験片技術に関する研究

長期運転に伴う監視試験片不足を解決するため、微小試験片を用いた破壊靱性試験方法の規格化が進められている。試験片には、試験前に繰り返し荷重により予め亀裂が導入されるが、その形状は湾曲する。亀裂湾曲の度合いに関する規定は、微小試験片の導入以前から採用されているものである。微小試験片に対して同規定を適用することの妥当性を確認するため、亀裂の湾曲が大きい解析モデルを作成し、破壊靱性評価結果に及ぼす影響の大きさを検証した。



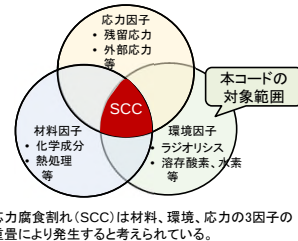
日本電気協会JEAC4216の次期改定時の技術根拠として採用が決定した。



原子炉配管等の健全性評価に関する研究

原子炉機器の応力腐食割れに関する研究

応力腐食割れ(SCC)の発生・進展に影響を与える環境因子の評価に役立てるため、BWRとPWRの一次冷却水環境中の腐食電位(ECP)を評価できる解析コードの開発を進めている。



応力腐食割れ(SCC)は材料、環境、応力の3因子の重畳により発生すると考えられている。

- ・プラント情報(線量率分布、配管径等)
- ・水化学情報(pH、添加物濃度等)

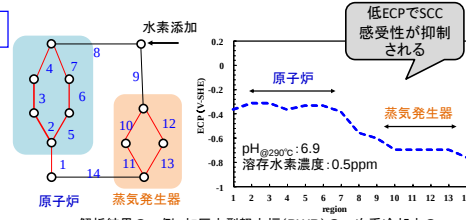
放射線分解解析

[H₂O₂], [O₂], [H₂]

ECP解析

ECP分布

解析コードの概要。炉心での水の放射線分解で発生する酸素と水素を考慮して、ECPを計算する。



解析コードの一例。加圧水型軽水炉(PWR)の一次系冷却水の流れをモデル化し、領域毎のECPを計算。

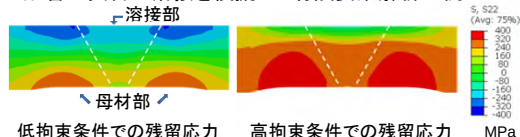
実測が困難な運転中の炉内水質の推定への活用が見込まれる。

原子炉配管を対象とした健全性評価手法の高度化に関する研究

SCCの発生や進展の評価に資する配管溶接部の残留応力及び硬さの予測

SCCの発生や進展に重要な影響因子として、配管の溶接によって生じる硬化や残留応力が挙げられる。これらに関して、拘束条件や入熱等の溶接条件が溶接残留応力分布や硬さ分布等に及ぼす影響について、実験と有限要素解析の両面から分析を進めている。

配管の突合せ溶接を模擬した有限要素解析の例



原子炉配管を対象とした確率論的破壊力学解析手法の開発

配管の経年劣化事象を考慮して、時間の経過に伴う亀裂や減肉の発生・進展による破損確率の変化を評価する手法を開発している。破損確率を用いることで検査の合理化や地震を考慮したリスク評価に活用できる。

リスク情報を活用した供用期間中検査や、欠陥が検出された際の対応の意思決定等への活用が見込まれる。

JRR-3及びWASTEFを活用した原子炉構造材料の照射試験

JRR-3



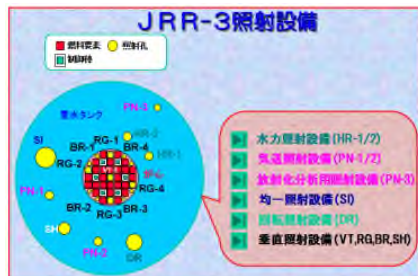
- ・熱媒体に巻きつけたヒーターの出力、熱媒体と内筒との間の空隙(ギャップ)、内筒と外筒の間の真空度を調整
- ・照射に伴うガンマ発熱とのバランスを取ることで試験片を目標温度(290±10℃)での照射を実現



炉心からの中性子照射を長期間受ける構造材料の経年劣化事象を適切に評価するための技術基盤の整備や知見の拡充を目的として、材料照射試験設備の整備を進めている。その一環として、JRR-3垂直照射設備の高度化を図り、材料研究における最重要パラメータの一つである照射温度を高精度に制御した中性子照射を可能にした。これは、材料試験炉(JMTR)との密接な協力による成果であり、JMTRで培われた世界最高レベルの試験技術の継承に成功したものである。



WASTEFのホットセル及びキャプセル解体作業の様子



JRR-3建屋外観(上)と炉心・照射孔の配置(下)

照射孔への照射キャプセル挿入の様子



温度や雰囲気等を制御した条件での中性子照射が可能な国内唯一の材料試験設備であり、基礎/応用研究や開発への幅広い活用が見込まれる。