

研究背景

- 高経年化軽水炉において、安全上最も重要な機器の一つである原子炉压力容器 (RPV) の炉心領域部では中性子照射脆化が進んでいることから、その健全性の確保が重要な課題である。欧米では、合理的に確率論的数値指標 (例えば、炉心損傷に繋がるRPVの破損頻度) を評価できる確率論的破壊力学 (PFM) に基づく健全性評価の高度化が進められている。
 - 例えば米国では、健全性評価上最も厳しい事象である加圧熱衝撃 (PTS) 事象に対する評価において、PFM解析により導出された関連温度に関するスクリーニング基準が規定されている。また、そのスクリーニング基準を満足しない場合には、PFM解析による亀裂貫通頻度を指標とした評価が認められている。
 - しかしながら、PFM解析の実用性向上に当たって、国内外においてガイドラインやPFM解析コードの系統的検証の必要性が指摘されている。

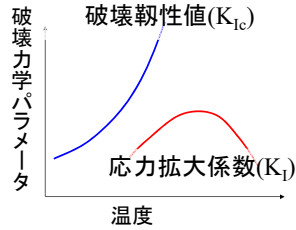
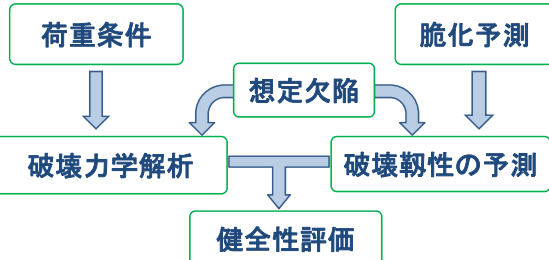
研究内容

- PFMに基づく健全性評価の高度化に向けて、PFM解析を実施するための解析手法やデータを、その技術的根拠とともに取りまとめてガイドラインとして整備するとともに、当Grで整備を進めているPFM解析コードPASCALの系統的検証を実施する。また、PFMに基づく健全性評価の活用方を検討する。

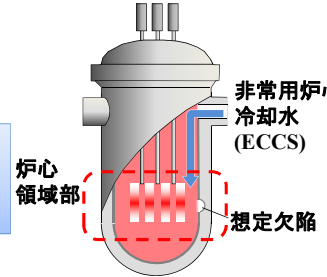
★現行の健全性評価 (決定論的手法)

- 加圧水型原子炉におけるRPVの脆性破壊防止に関する健全性評価は、主としてPTS事象を想定して実施。
- 容器内面に亀裂を想定し、加圧熱衝撃時の応力分布及び温度分布を基に、脆性亀裂進展が発生するかどうかを判定。

<RPVに対する健全性評価の流れ>

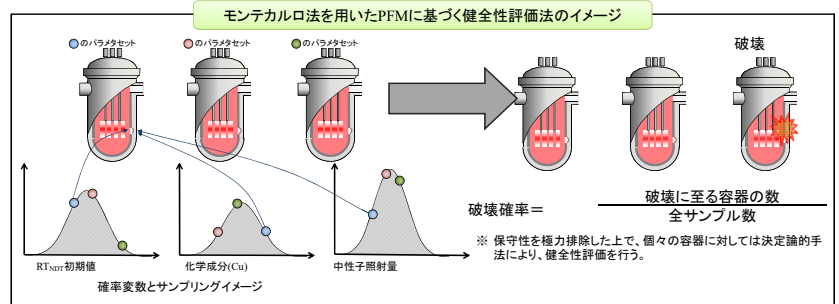
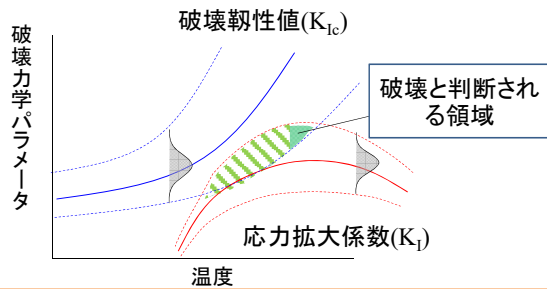


(簡易評価)
加圧熱衝撃事象の発生時、 K_I が K_{Ic} を超えると、RPVが脆性破壊すると判定



★確率論的破壊力学 (PFM) に基づく健全性評価 (確率論的手法)

- 中性子照射脆化等の長期供用に伴う機器の経年劣化に関連する様々な因子の統計的な不確かさを考慮して、合理的に確率論的数値指標 (炉心損傷に繋がるRPVの破損頻度) を評価。
- 当グループでは、最新知見を踏まえ、RPVを対象としたPFM解析コードPASCALを整備。



PFMに基づく健全性評価の高度化に関する研究

PFM解析に関するガイドラインの整備

PFM解析を実施することにより、確率論的数値指標であるRPVの破損頻度を算出できるようにするため、解析手法やデータ、その技術的根拠を取りまとめたガイドラインを整備した。

- ✓ 破壊力学に関する知識を有する解析担当者が本ガイドラインを参照することを念頭に、国内RPVの破損頻度を算出するための解析手順等を取りまとめた。
- ✓ 国内RPVに対するPFM解析に必要な基本事項等を取りまとめた本文と、その技術的根拠を取りまとめた解説で構成 (右上図)
- ✓ 国内プロジェクトで取得されたデータ等を参考に、個々の評価項目の技術的根拠を明確にし、国内RPVに対するPFM解析のための解析手法及びデータを整備

PASCALの系統的検証

PFM解析の実用性向上において不可欠なコードの検証を系統的に実施した。

- ✓ 国内のPFMやRPVの健全性評価に関する専門家と構成された専門部会を開催し、国内のRPVを対象としたPFM解析のための入力データの妥当性確認を系統的に実施
- ✓ 国際ベンチマーク解析への参加や、国内他機関との共同研究、米国PFM解析コードとの比較解析を通じて、PASCALの信頼性確認を実施

PFM解析の活用方策の検討

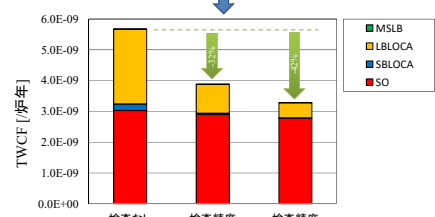
上述のガイドラインを踏まえ、非破壊検査等の影響について破損頻度を数値指標として定量的に評価できることを示した。

- ✓ PASCALを用いて、認識論的不確かさを考慮することにより、その不確かさを反映した破損頻度の信頼度 (パーセンタイル値) 評価が可能であることを示した。
- ✓ 中性子束の低減措置の効果や非破壊検査の精度の影響について感度解析を実施し、破損頻度 (TWCF) 指標としてその影響を定量的に示した (右下図)。

本文	解説
<ul style="list-style-type: none"> ➢ 一般事項 ➢ 加圧熱衝撃状態遷移曲線の設定 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 想定欠陥の種類、方向、寸法、密度、位置を考慮 ➢ 破損頻度遷移曲線等の設定 ➢ 破損頻度の計算 ➢ 解析手法 解析コードの信頼性確認方法を附属書に示す。 ➢ 参考文献 ➢ 附属書「解析コードの信頼性確認方法」 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 一般事項 ➢ 加圧熱衝撃状態遷移曲線の設定 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 想定欠陥米国の欠陥分布の説明 ➢ 破損頻度遷移曲線等の設定 ➢ 破損頻度の計算 PASCAL3を用いて破損頻度を計算した事例を添付資料に示す。 ➢ 解析手法 ➢ 附属書解説 (PASCALの信頼性確認事例を含む)

RPVにおけるPFM解析のためのガイドラインの概要

国内の検査データを表現できると判断された米国のモデルにおける「very good」と「advanced」の検査精度を想定



非破壊検査の精度の影響に関する感度解析の結果

まとめ

- 国内RPVに対するPFM解析に必要な手法及びデータについて、その技術的根拠を明確化してガイドラインとして整備するとともに、PASCALの検証やPFM解析の活用方策の検討を通じて、PFMに基づく健全性評価法の高度化を図った。