

令和3年度  
原子力規制庁技術基盤グループ 原子力機構安全研究・防災支援部門  
合同研究成果報告会

# 経年劣化事象を考慮した原子炉構造機器の 健全性評価手法の高度化

令和3年11月2日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
安全研究・防災支援部門 安全研究センター  
構造健全性評価研究グループ

本成果の一部は、原子力規制庁からの受託事業「原子力施設等防災対策等委託費(高経年化を考慮した建屋・機器・構造物の耐震安全評価手法の高度化)事業」の成果である。



# 全体像

原子炉压力容器(RPV)や一次系配管等の安全上重要な原子炉機器を対象に、中性子照射脆化や応力腐食割れ(SCC)等の経年劣化事象を考慮した健全性評価手法の高度化を進めている。また、東京電力福島第一原子力発電所(1F)事故の教訓を踏まえ、重大事故等における構造強度の評価手法の整備を進めている。

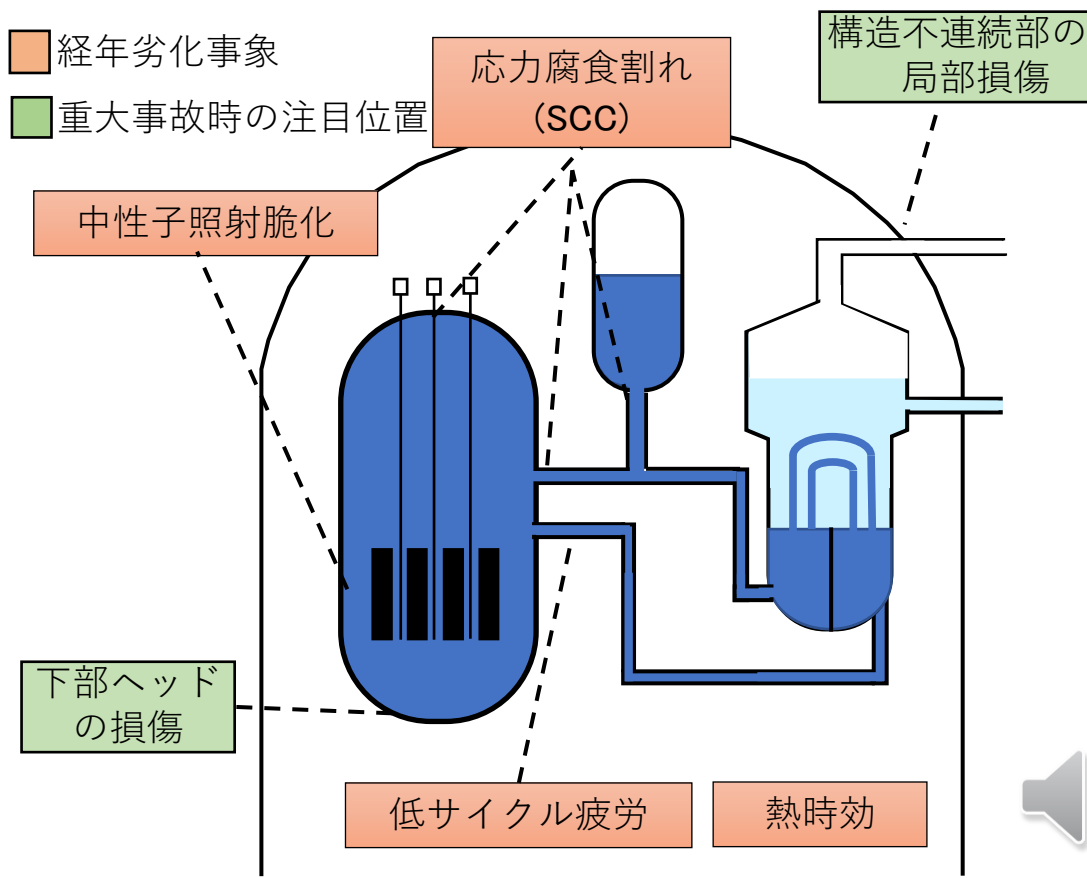
## 健全性評価手法の高度化 (確率論的破壊力学(PFM)解析 コードの整備)

対象機器 (コード名)	評価対象部位 (経年劣化事象)
RPV (PASCAL4)	炉心領域部 (中性子照射脆化)
配管 (PASCAL-SP2等)	配管溶接部, Ni合金溶接部等 (SCC,疲労等)

## 重大事故等における構造強度 の評価手法の整備

原子炉機器が高温に曝された場合に適用可能な損傷評価手法の高度化

大規模塑性変形に伴う延性破壊評価手法の高度化



# 確率論的健全性評価手法の高度化(RPV)

## ✓RPVを対象としたPFM解析コード(PASCAL4)の整備・検証

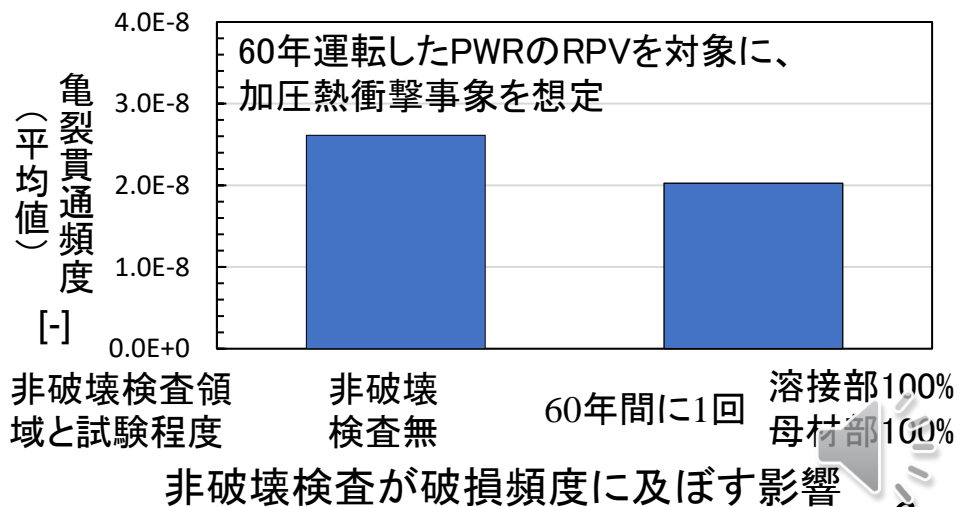
RPVの中性子照射脆化等に係る最新知見を反映し、破壊に影響する様々な因子の不確かさを考慮して、破損頻度等を求める解析コードの高度化を進めている。

- 非破壊検査が破損頻度等に及ぼす影響を分析するため、非破壊検査の結果を反映して、亀裂の寸法や密度のパラメータをベイズ更新してそれらの分布を計算する手法を整備した。
- 起動・停止や耐圧試験等の加圧熱衝撃事象以外の事象に対応するため、外面側の亀裂を想定した解析機能の整備を進めている。
- 国内の産学9機関が参加する検討会を継続的に主催するとともに、NRCとのベンチマーク解析、欧州(EURATOM)における高経年化したプラントに対する先進的加圧熱衝撃解析(APAL)プロジェクトに参画する等、PASCAL4の検証を進めている。

## ✓PFM解析の活用方策の検討

- 供用期間中検査の有無や試験程度が破損頻度に及ぼす影響を確認(右図)する等、国内におけるPFM解析の活用方策を検討した。

→規制活動における技術的根拠として活用可能。



# 確率論的健全性評価手法の高度化(配管)

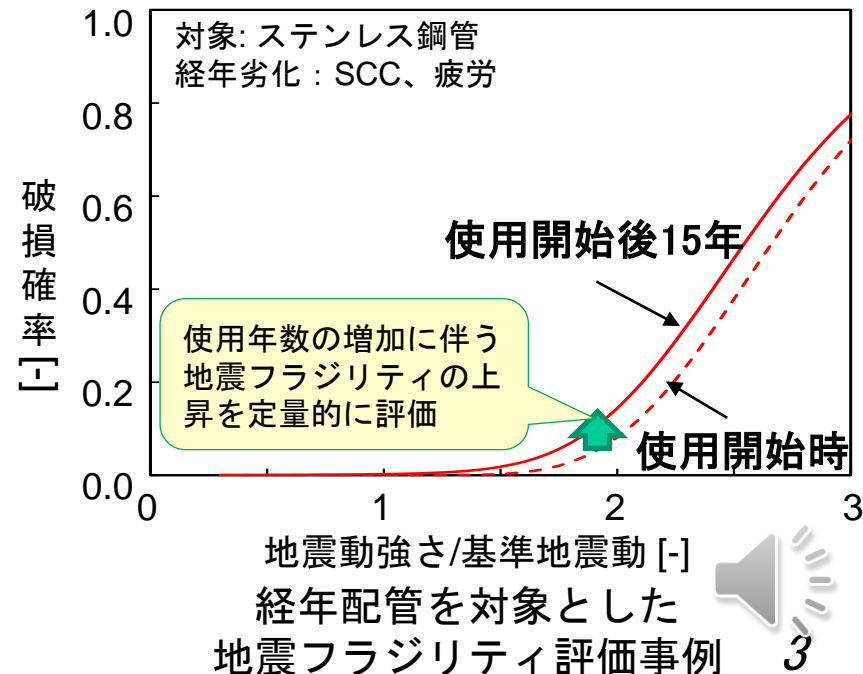
## ✓PFM解析コード(PASCAL-SP2)の整備・検証

- 安全上重要な配管を対象に、応力腐食割れや疲労等の経年劣化事象に加え地震荷重による亀裂進展量を計算し、様々な因子の不確かさを考慮して破損確率を算出するPFM解析コードPASCAL-SP2を開発した。
  - 国内試験データや評価モデル等に基づき開発
  - 世界に先駆け地震時の破損確率(地震フラジリティ)を算出する機能を整備
- 解析手順、評価手法・モデルや技術的根拠等を取りまとめた世界初の解析要領を整備し、外部専門家の確認も経てPASCAL-SP2とともに公開し、プレスリリースを実施した。
- NRCとのベンチマーク解析を進めるとともに、OECD/NEAのベンチマークプロジェクトに参画し、解析コードの検証を進めている。

## ✓PFM解析の活用方策の検討

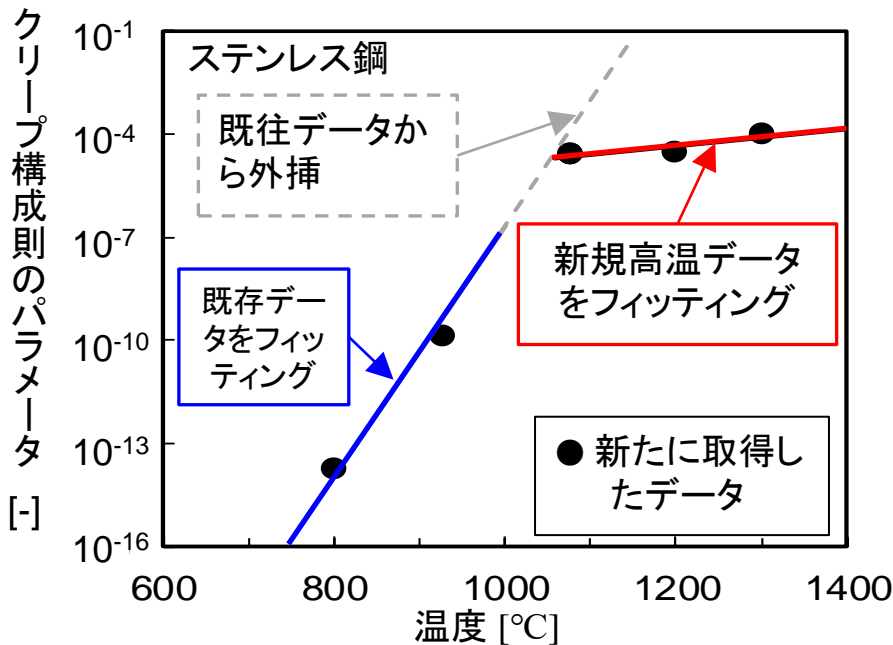
- 新検査制度における指摘事項の重要度評価に資するため、亀裂を有する配管を対象に、亀裂の寸法が配管の破損確率に及ぼす影響の評価事例を整備した。
- 代表的な経年配管を対象に、地震フラジリティ評価の事例(右図等)を整備し、地震を起因とした確率論的リスク評価におけるPFM解析の活用方策を検討した。

→ 確率論的健全性評価やリスク情報活用等における重要な解析ツール・知見として活用可能。

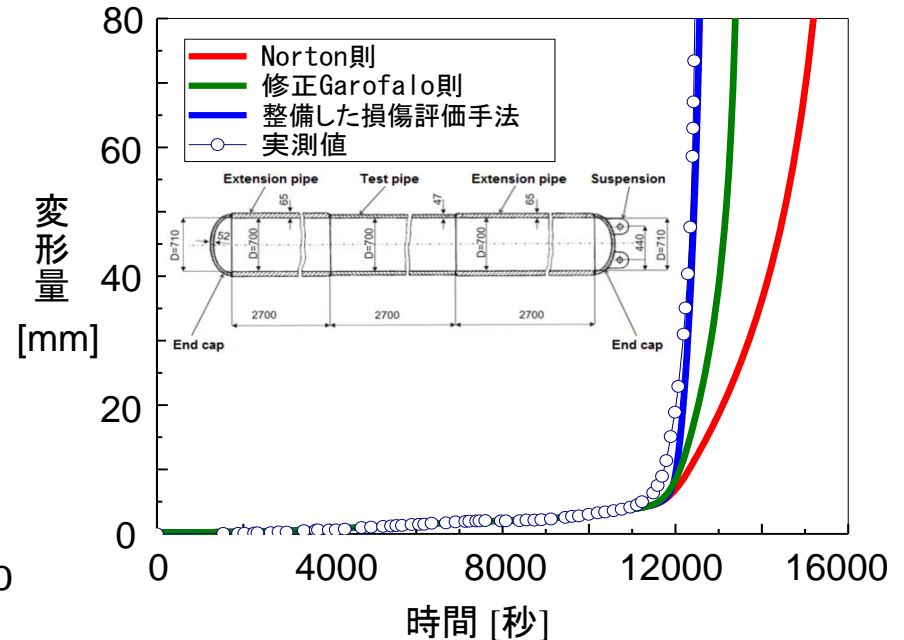


# 重大事故等における 構造強度の評価手法の整備(1/2)

- ✓ 原子炉機器が高温に曝された場合に適用可能なクリープ損傷評価手法の高度化  
(原子力基礎工学研究センターとの連携研究)
  - 融点近くの高温度域でのクリープ試験方法を確立し、有限要素解析に基づくクリープ損傷評価に必要な材料特性データベースを、融点近くの高温度域まで拡充した(左下図)。
  - 重大事故等における構造物の損傷評価手法を整備し、大型構造物を対象とした試験結果との比較を通じて、整備した評価手法の妥当性を確認した\*(右下図)。



融点近傍における材料特性データベースの整備例

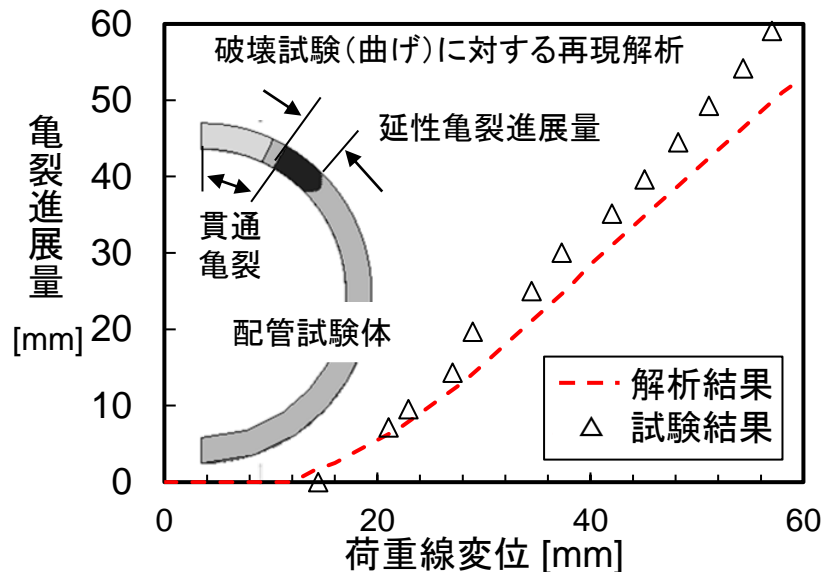


OECD/NEAのCOSSALプロジェクトにおける試験データとの比較解析\*

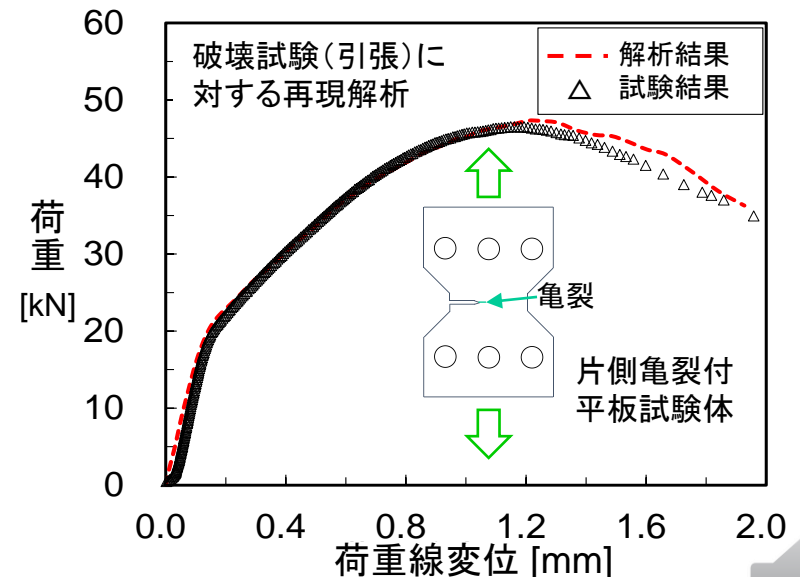
\*J. Katsuyama et al., Creep Deformation Analysis of a Pipe Specimen Based on Creep Damage Evaluation Method, ICONE26-82568 (2018)

# 重大事故等における 構造強度の評価手法の整備(2/2)

- ✓ 大規模塑性変形に伴う延性破壊評価手法の高度化
  - 損傷力学に基づき大規模塑性変形に伴う延性破壊を評価する手法であるGTNモデルについて、汎用有限要素解析コードAbaqusでは考慮できない静水圧に依存するボイドの生成を考慮できるようにするとともに、収束性を向上させたモデルを整備した。また、本モデルについて、亀裂を有する配管の破壊試験を対象とした延性亀裂進展解析を実施し、妥当性を確認した(左下図)。
  - これまで評価対象ごとに経験的に設定されていたパラメータについて、材料に応じて一義的に設定する手法を新たに整備した。また、試験結果との比較により、整備した手法の妥当性を確認した(右下図)。



試験結果とGTNモデルによる延性亀裂進展解析の比較による妥当性確認例



GTNモデルのパラメータ設定手法の妥当性確認例

ご清聴ありがとうございました

