

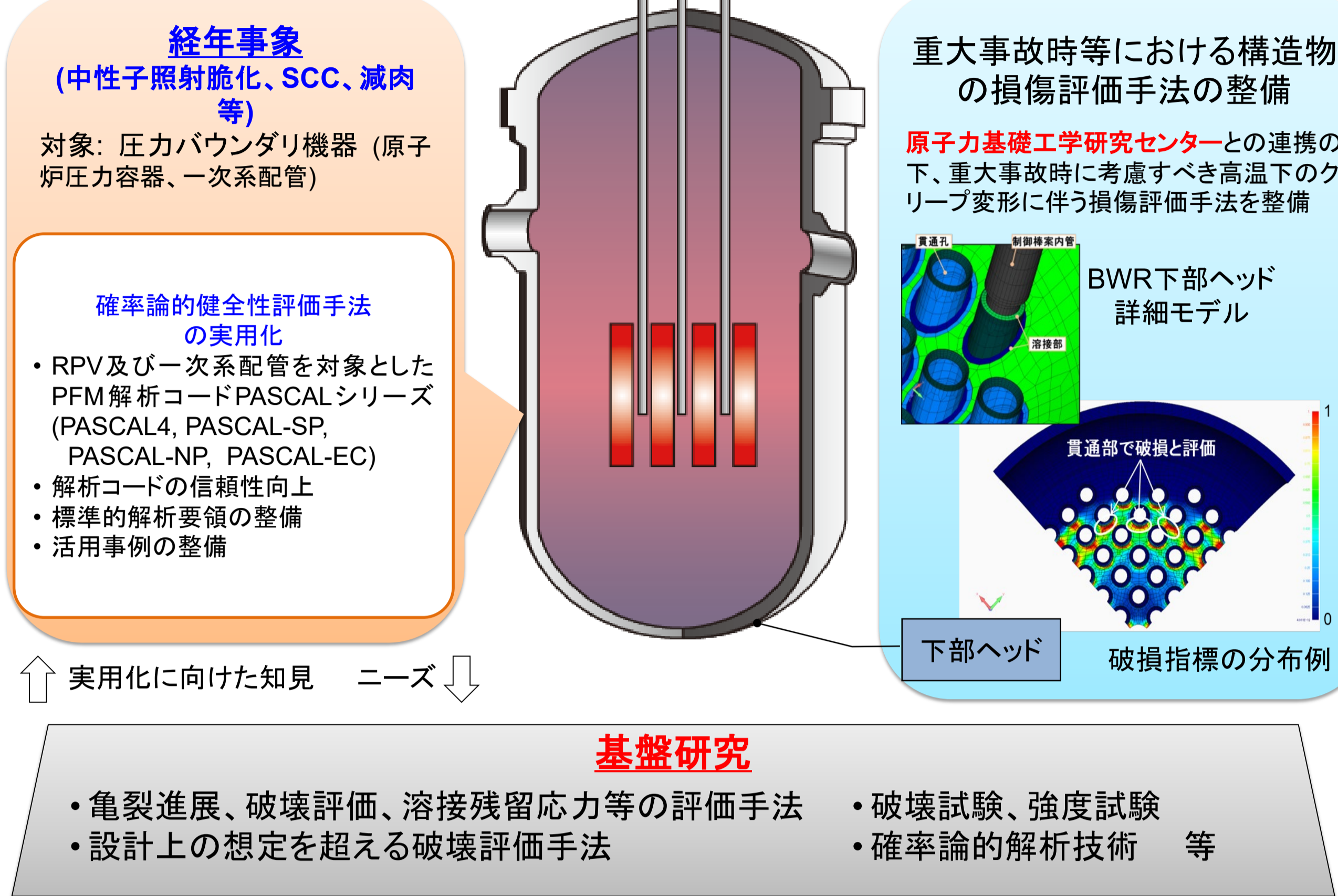
# 内部事象を考慮した原子炉構造機器の健全性評価手法の高度化

材料・構造安全研究ディビジョン  
構造健全性評価研究グループ

## 研究の全体概要

- 安全上重要な原子炉圧力容器 (RPV) や一次系配管等の原子炉機器を対象に、中性子照射脆化や応力腐食割れ (SCC) 等による構造材料の経年劣化を考慮した健全性評価手法について、その基盤となる溶接残留応力や欠陥評価技術等の研究開発成果を踏まえつつ、実用に向けた安全研究を推進。

- 確率論的健全性評価手法の実用化を念頭に、基盤研究を通じて得られた最新知見も踏まえ、確率論的破壊力学 (PFM) 解析コード PASCAL シリーズの評価対象及び経年事象の拡充を図るとともに、国内外におけるベンチマーク解析等を通じて PFM 解析コードの信頼性向上を推進。
- PASCAL シリーズを用いて、リスク情報を活用した供用期間中検査や原子炉設備の安全性向上のための評価に対する PFM 解析の活用方策の検討を実施。
- 福島第一原子力発電所事故を踏まえ、THALES2 等のシビアアクシデントコードの高度化に資するため、評価に必要な融点付近の高温下におけるクリープデータを取得するとともに、破損指標を用いたクリープ構成則を整備し、BWR 下部ヘッドを対象にクリープ変形に伴う損傷評価を実施した。



## 原子炉機器の健全性評価法の高度化

### 研究背景

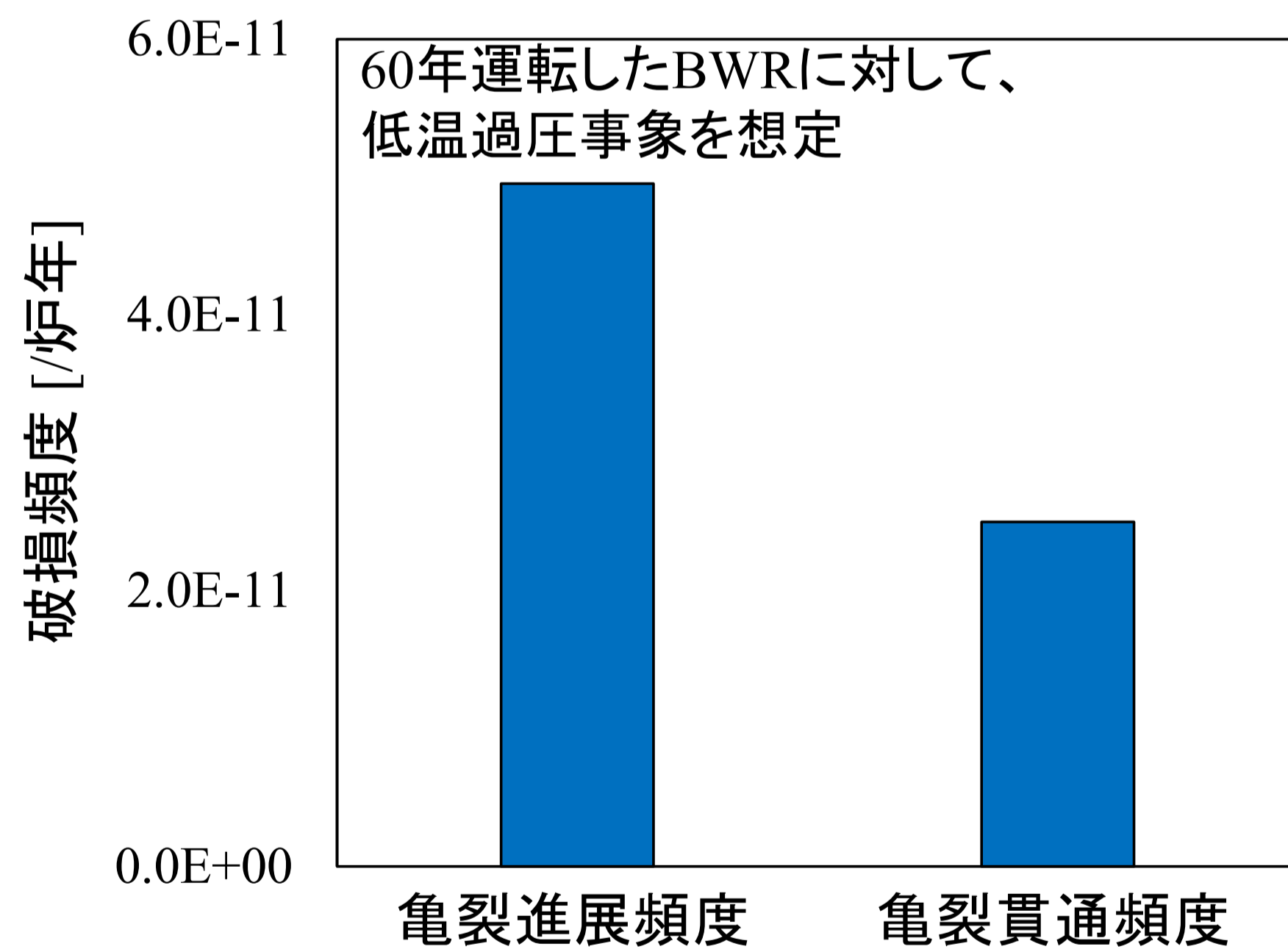
- 高経年化軽水炉の安全上重要な RPV や一次系配管等の健全性確保は重要な課題であることから、欧米等では、中性子照射脆化や SCC 等の経年劣化に関連する様々な影響因子の不確実さを考慮して合理的に確率論的数値指標 (例えば、炉心損傷に繋がる RPV の破損頻度) を評価できる PFM に基づく健全性評価の高度化や規制への適用が進められている。
  - 例えば米国では、加圧水型軽水炉の RPV の健全性評価上最も厳しい事象である加圧熱衝撃 (PTS) 事象に対する評価において、PFM 解析により導出された関連温度に関するスクリーニング基準が規定されている。また、そのスクリーニング基準を満足しない場合には、PFM 解析を用いた亀裂貫通頻度による評価が認められている。

### 研究内容

- PFM に基づく確率論的健全性評価の実用化に向けて、最新知見等を踏まえた PFM 解析コード PASCAL4 及び PASCAL-SP の整備を行う。また、国内外のベンチマーク解析等を通じて PASCAL4 及び PASCAL-SP の信頼性向上を図る。さらに、これらの PFM 解析コードを用いて PFM 解析の活用方策を検討する。

#### RPV を対象とした PFM 解析に係る研究

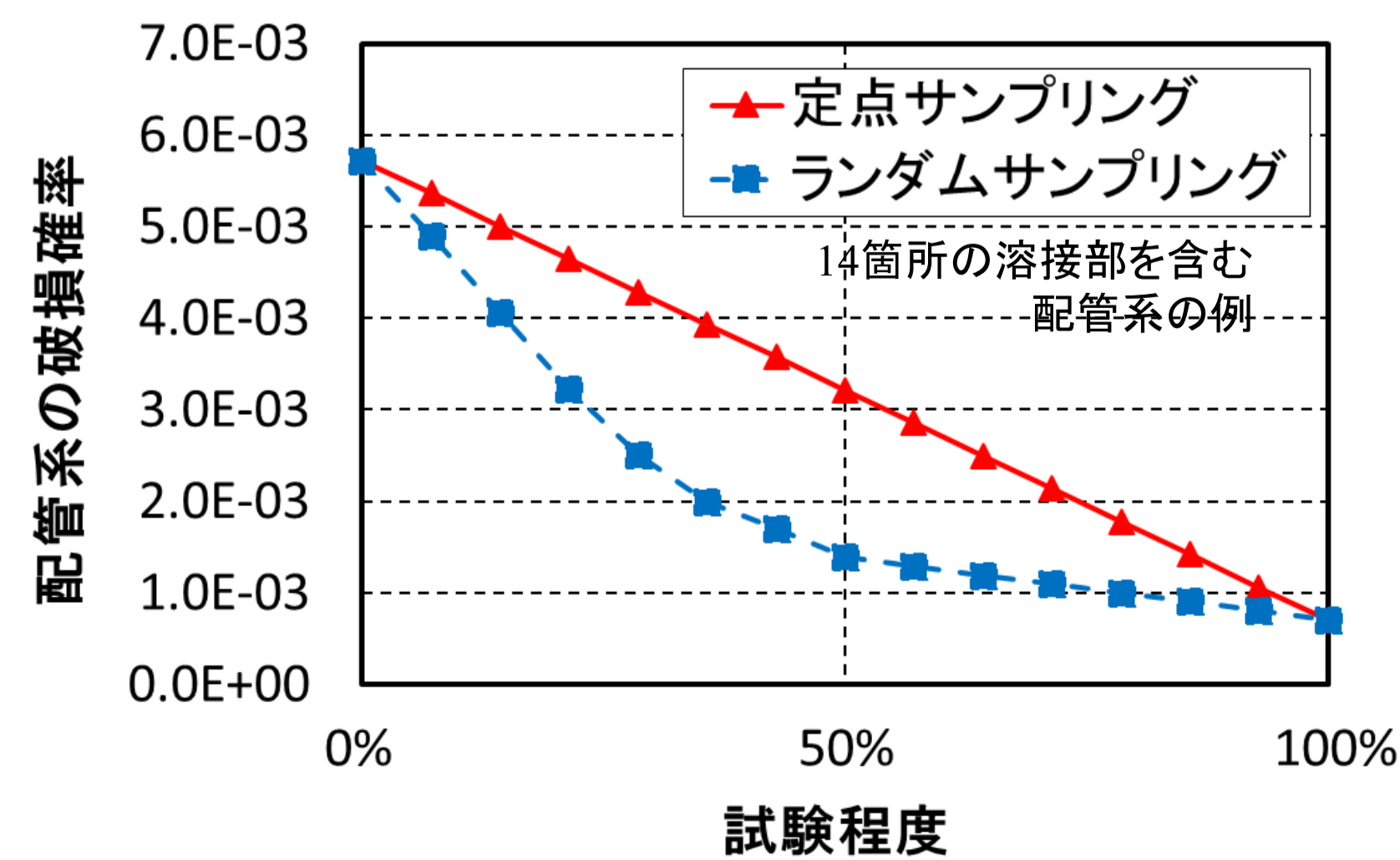
- ✓ PFM 解析コード PASCAL4 の高度化
  - 国内 RPV の中性子照射脆化及び PTS 事象を考慮して、国内規格・データに基づく評価手法や評価モデルを用いた破損頻度の定量評価が可能な唯一の PFM 解析コード PASCAL4 について、評価対象を拡充するため、BWR の RPV 等に対する評価機能の整備に着手した。
- ✓ PASCAL4 の検証を実施
  - 国内外のベンチマーク解析への参加や、国内他機関との共同研究等を通じて、PASCAL4 の既存の評価機能に対する検証を実施
    - 産学で構成された PASCAL 信頼性向上ワーキンググループを設置し、ソースレベルを含む検証やベンチマーク解析を実施中
- ✓ PASCAL4 を用いた PFM 解析の活用方策を検討
  - BWR の RPV に対する評価手法、評価モデルやデータに関する調査を行い、国内 BWR の RPV を対象とした解析において考慮すべき過渡事象を検討した。その知見を踏まえ、BWR の RPV を対象とした試験解析を実施し、PASCAL4 により BWR の RPV を対象とした解析を実現できる見通しを得た (右上図)。



BWR の RPV 炉心領域に対する破損頻度試験解析例

#### 配管を対象とした PFM 解析に係る研究

- ✓ PFM 解析コード PASCAL-SP の整備
  - 国内規格・データに基づく評価手法や評価モデルにより、SCC による亀裂の発生、SCC や疲労による亀裂の進展を考慮して配管の破損確率を算出可能な PASCAL-SP を整備
- ✓ PASCAL-SP の検証を実施
  - 国内外の機関で整備された配管に対する PFM 解析コードとのベンチマーク解析を実施し、PASCAL-SP の検証を実施
    - 米国 NRC 及び EPRI が共同で開発を進めている PFM 解析コード xLPR とのベンチマーク解析を実施中
- ✓ PASCAL-SP を用いた PFM 解析の活用方策を検討
  - リスク情報を活用した供用期間中検査における配管の破損確率を数値指標とした試験程度の検討や、非破壊試験におけるサンプリング方式の影響評価 (右下図) を通じて、非破壊試験に関する検討における PFM 評価手法の有用性を示した。



非破壊試験に関するサンプリング方式の影響評価例

### まとめ

- 確率論的健全性評価手法の実用化を図るため、PFM 解析コード PASCAL4 及び PASCAL-SP を高度化するとともに、PFM 解析コードの検証を進めた。また、PFM 解析の活用方策の検討を通じて、非破壊試験の影響を定量的に評価できること等を示した。