

## 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圧力容器 (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、その健全性確保のための確率論的手法に基づく合理的な健全性評価法の整備が重要な課題となっている。
- 近年、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の亀裂貫通頻度等) を評価することのできる確率論的破壊力学 (PFM) に基づく健全性評価の規制への導入が進んでいる。
  - 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事象 (PTS) 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。

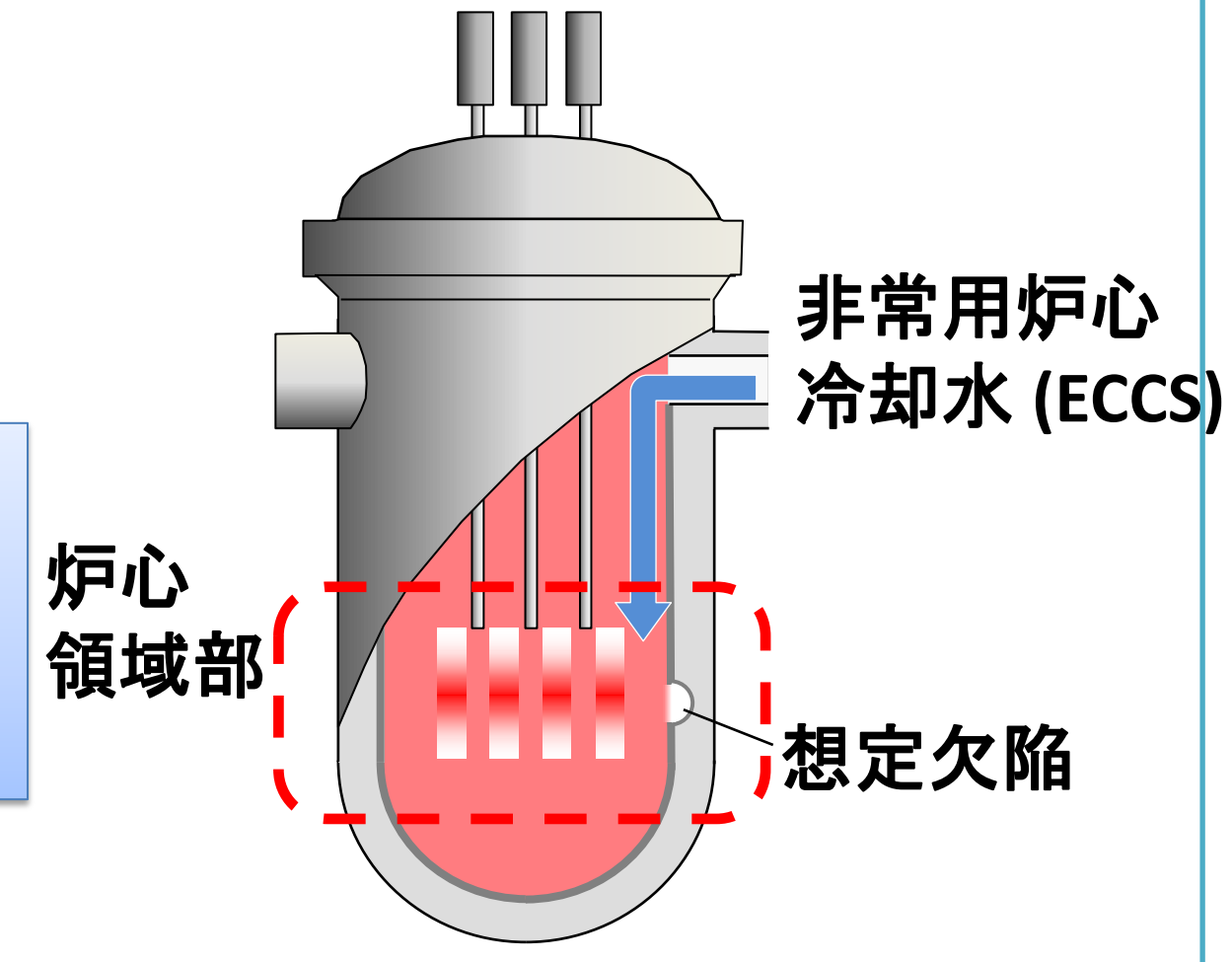
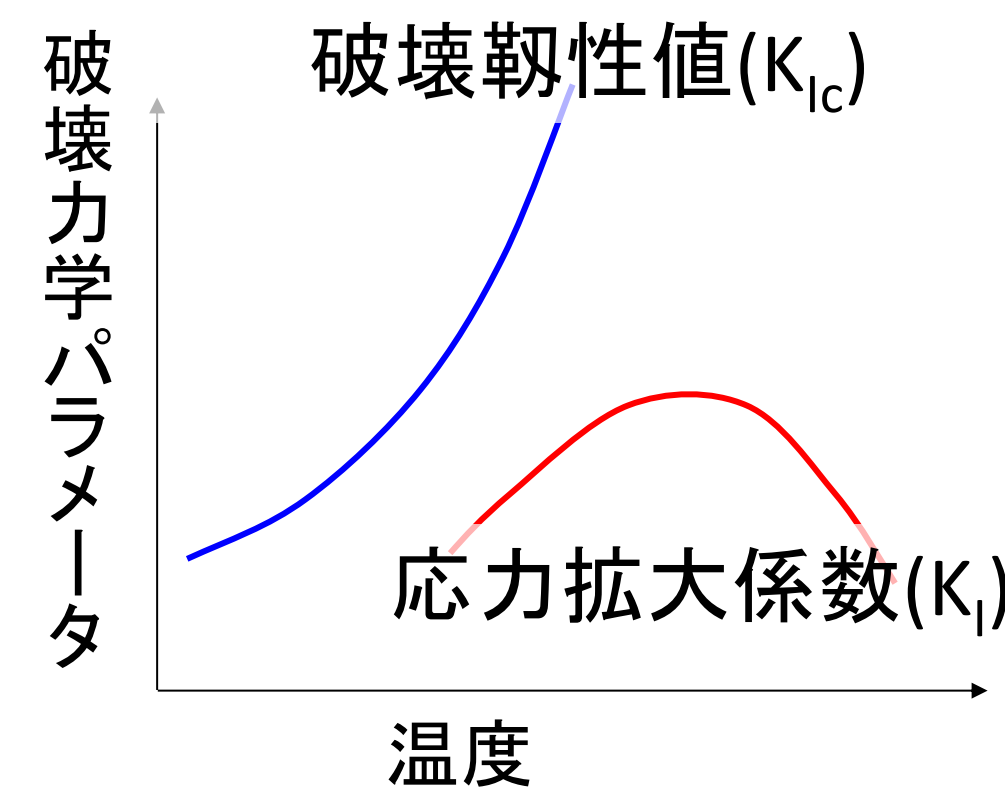
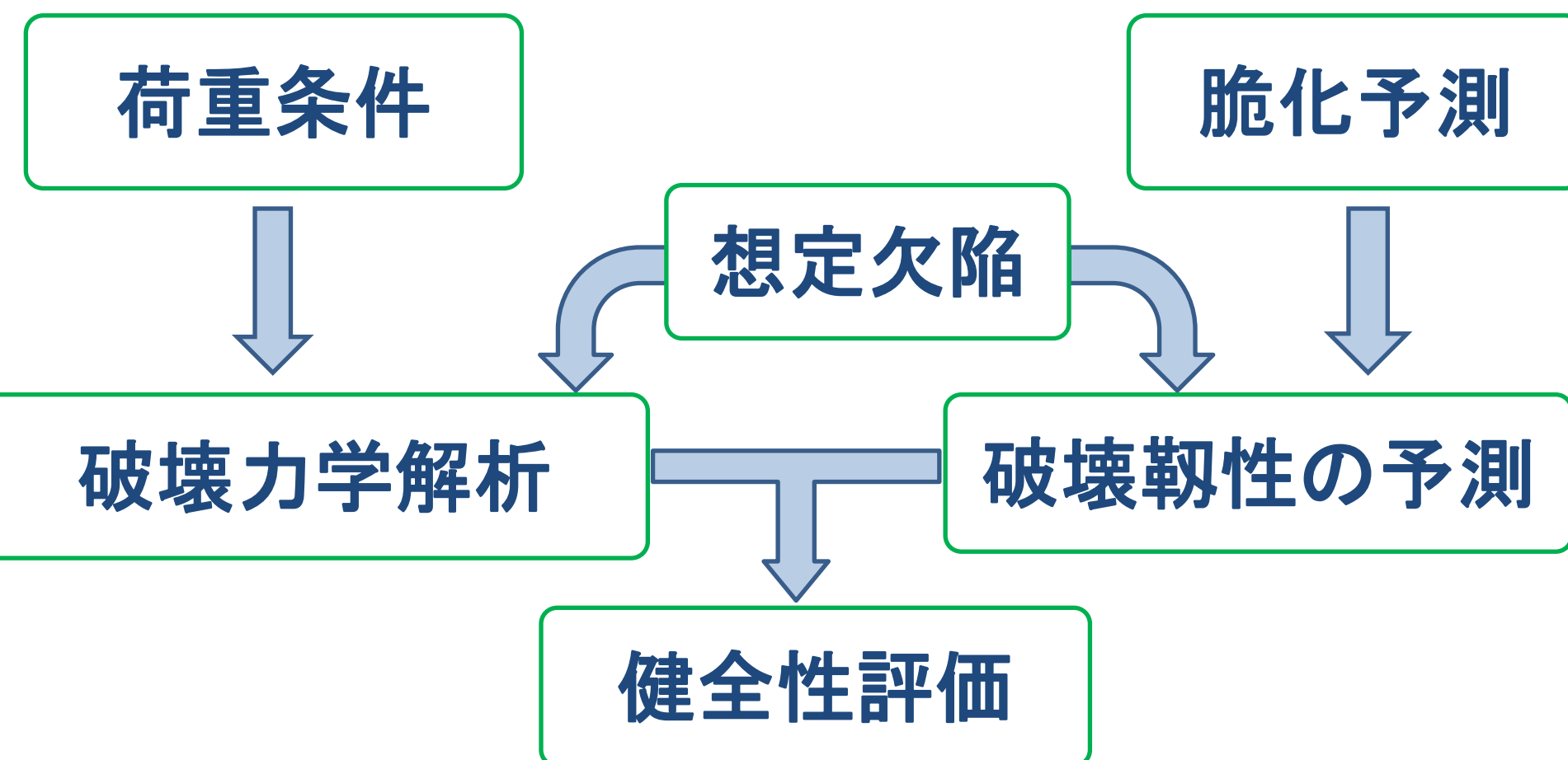
## 研究内容

- 国内のRPVに対するPFMに基づく健全性評価の実用化に向けて、PFM解析に必要な解析手法及びデータについて、その技術的根拠を明確化して整備する。また、それにより得られる最新知見を踏まえ、PFMに基づく健全性評価法の高度化を図る。さらに、PFM解析に関する基本事項や技術的根拠等を取りまとめたガイドラインを整備する。

### ☆現行の健全性評価 (決定論的手法)

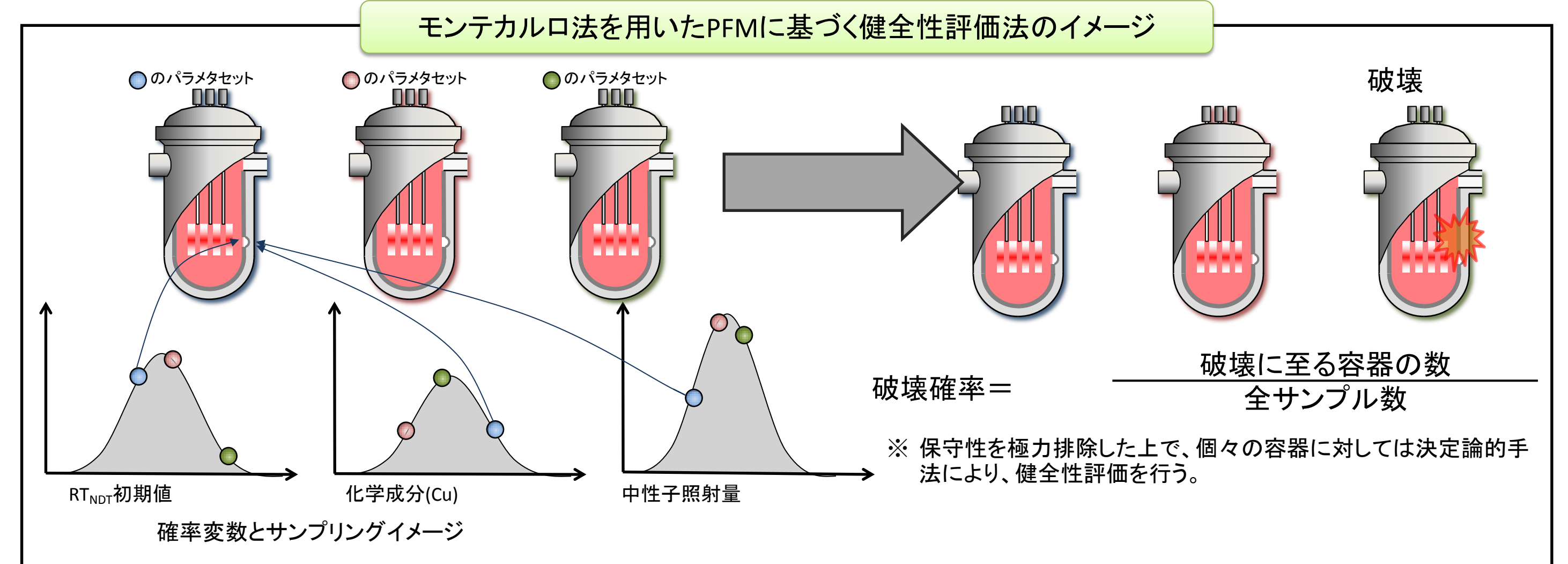
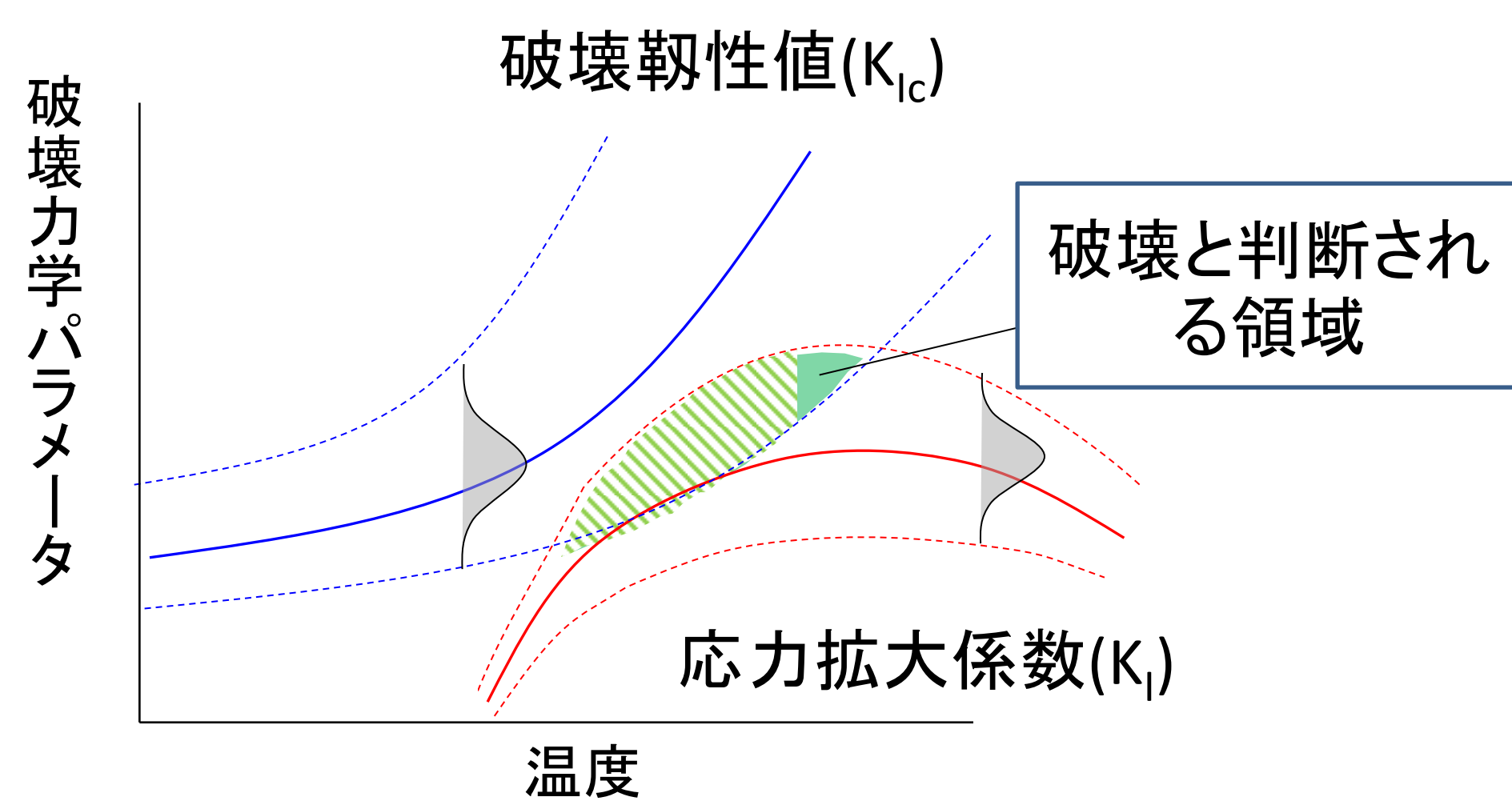
- 加圧水型原子炉におけるRPVの脆性破壊防止に関する健全性評価は、主としてPTS事象を想定して実施。
- 容器内面に亀裂を想定し、加圧熱衝撃時の応力分布及び温度分布を基に、脆性亀裂進展が発生するかどうかを判定。

### <RPVに対する健全性評価の流れ>



### ☆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の亀裂貫通頻度等) 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。

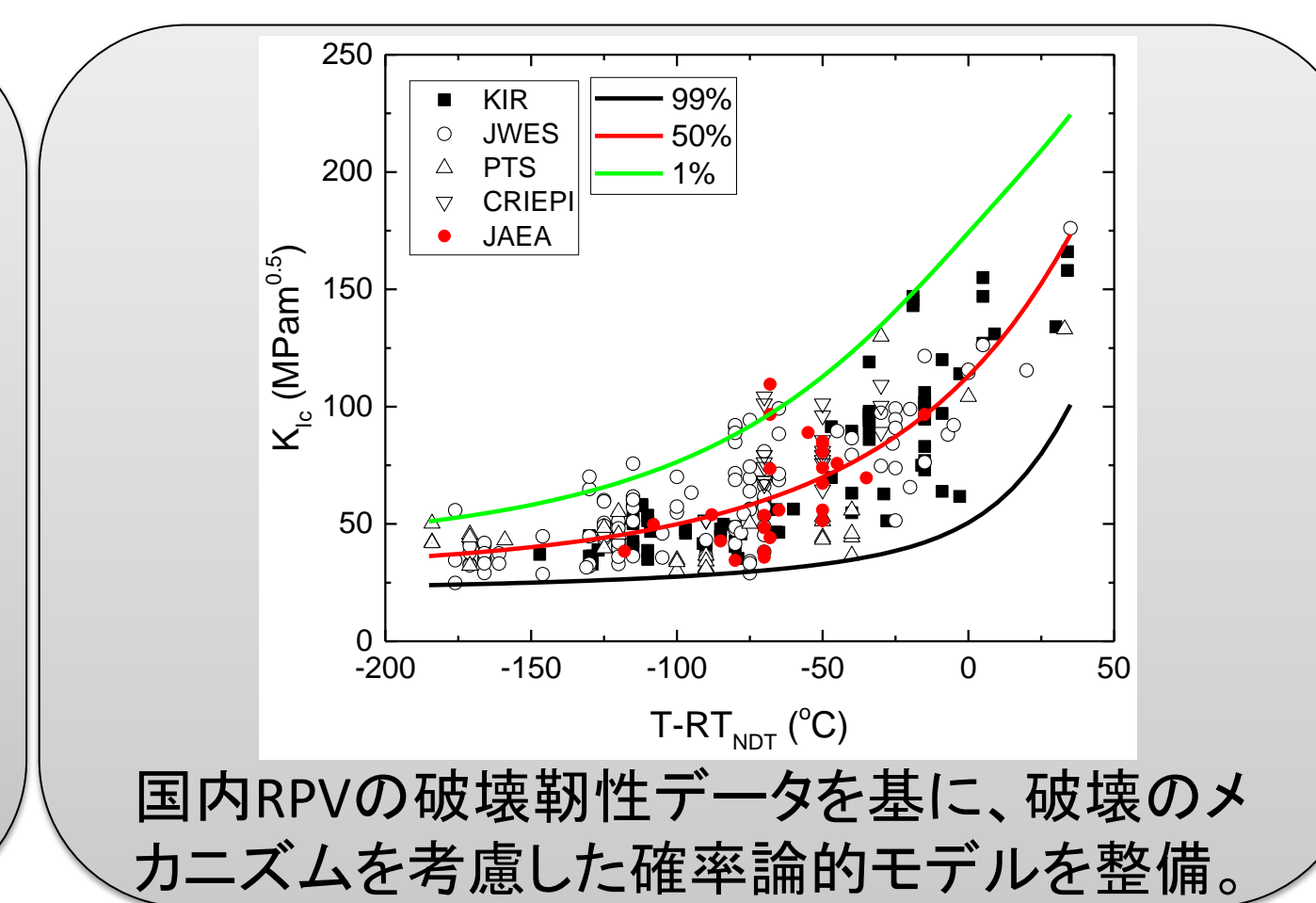
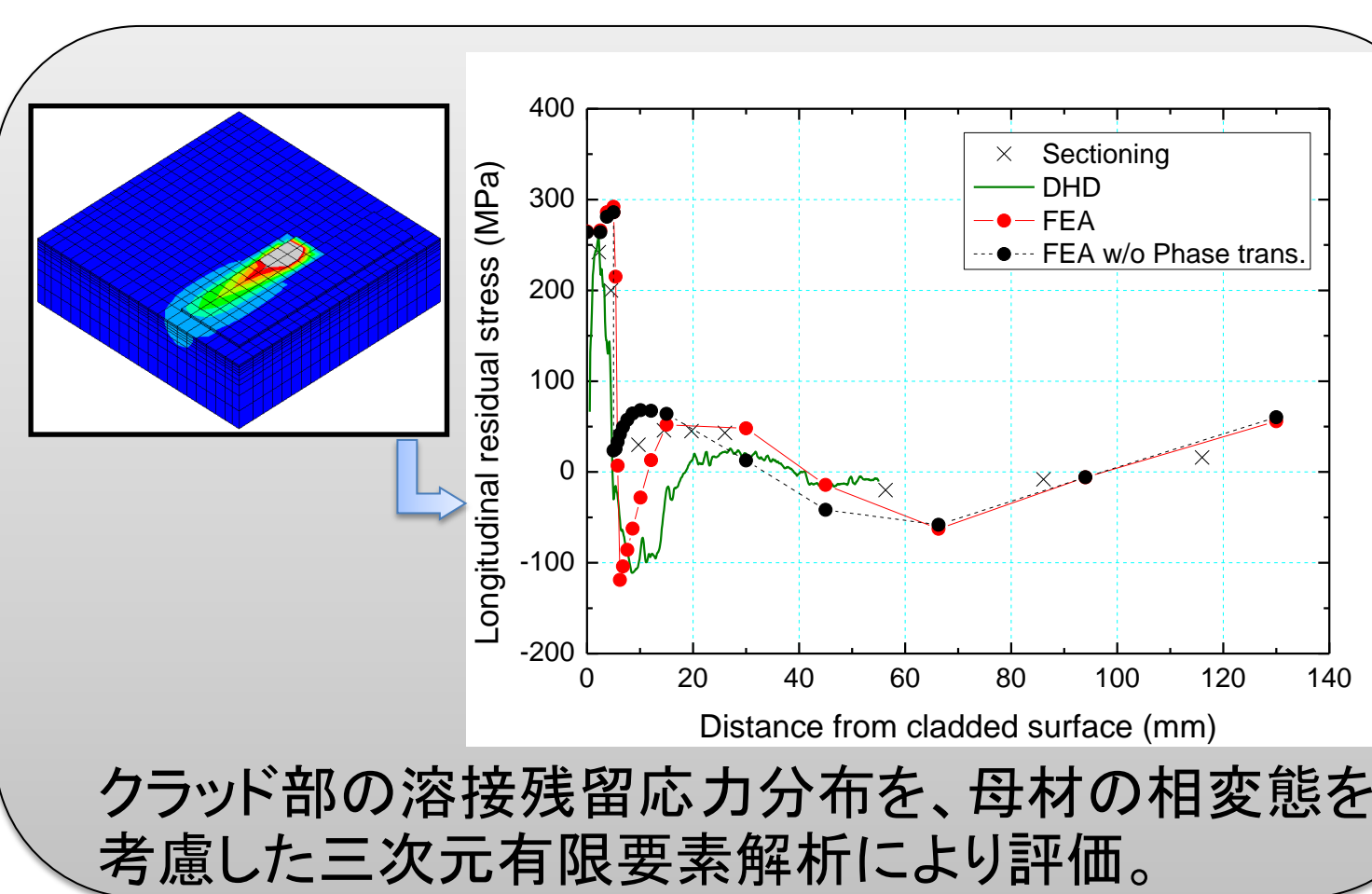


### ■PFMに基づく健全性評価に関するガイドラインの整備

ガイドラインの目的: 破壊力学に関する知識を有する解析担当者がこれを参照してPFM解析を実施し、亀裂貫通頻度等の確率論的数値指標を算出することで、それを活用した健全性評価を可能にする。

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

国内の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にし、必要に応じて下図のような解析やデータ収集・分析を行うことにより、それらを整備した。また、これにより得られた知見をPASCALに反映し、PFMに基づく健全性評価法の高度化を図った。

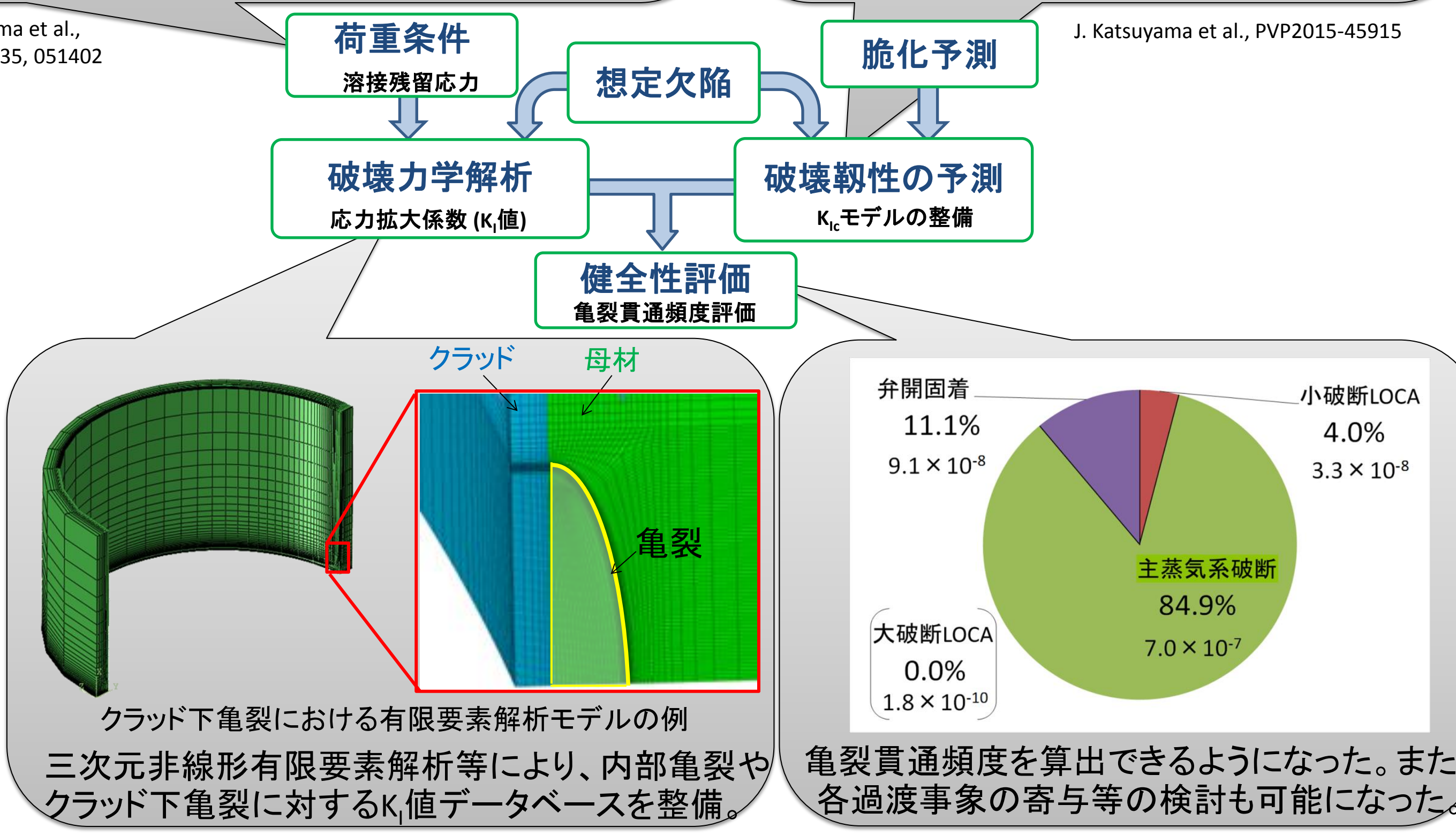


### PFMに基づく健全性評価に関するガイドラインの概要

- ✓ 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、その技術的根拠等を取りまとめた解説で構成
- ✓ 国内プロジェクト等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
- ✓ 本ガイドラインを参照することにより、国内RPVに対する亀裂貫通頻度等の確率論的数値指標を評価できるようにする

### PFMに基づく健全性評価の実用化に向けたその他の取組み

- ✓ 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を通じて、PASCALの信頼性確認を実施



## 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整備するとともに、最新知見のPASCALへの反映、ガイドラインの整備等を通じて、PFMに基づく健全性評価法の高度化を図った。



# 原子炉圧力容器の健全性評価法の高度化

安全研究・防災支援部門  
安全研究センター 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

## 1. 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である原子炉圧力容器 (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、その健全性確保のための確率論的手法に基づく合理的な健全性評価法の整備が重要な課題となっている。

近年、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 の亀裂貫通頻度等) を評価することができる確率論的破壊力学 (PFM) に基づく健全性評価の規制への導入が進んでいる。ここで PFM とは、構造物の破壊に影響する各因子が有するばらつきを考慮して、破壊力学に基づく評価を通じて構造物の破壊が発生する確率を定量的に評価することのできる体系である。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事象 (PTS) に対する RPV の健全性評価において、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。

## 2. 研究内容

以上の背景を踏まえて、本研究では、国内の RPV に対する PFM に基づく健全性評価の実用化に向けて、PFM 解析に必要な解析手法及びデータについて、国内プロジェクト等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、それらを整備した。具体的には、例えば溶接残留応力や破壊靱性、応力拡大係数等について、国内のデータに基づいた解析やデータの収集・分析を行い、モデル等を整備した。

また、手法及びデータの整備により得られた最新知見を踏まえ、当グループで開発を進めている RPV に対する PFM 解析を行うための解析コード PASCAL にそれを反映し、PFM に基づく健全性評価法の高度化を図った。PASCAL を用いることを前提とした PFM に基づく健全性評価の実用化を図るため、国際ベンチマーク解析への参加による他コードとの比較や、開発機関である JAEA 以外の専門家により設置したワーキンググループによるソースコードレベルでの確認を行い、PASCAL の信頼性を確認した。

さらに、国内の RPV に対する PFM に基づく健全性評価の実施を念頭に、国内 RPV に対する PFM 解析に必要な基本事項や技術的根拠等を取りまとめたガイドラインの整備を進めている。本ガイドラインは、破壊力学に関する知識を有する解析担当者がこれを参照して PFM 解析を実施し、亀裂貫通頻度等の確率論的数値指標を算出することで、それを活用した健全性評価を可能にすることを目的としている。本ガイドラインの整備を通じて、国内 RPV に対する亀裂貫通頻度を初めて算出できるようになり、様々な過渡事象の確率論的数値指標への寄与等の検討も可能となる計画である。

## 3. まとめ

国内の 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整備するとともに、最新知見の PASCAL への反映、ガイドラインの整備等を通じて、PFM に基づく健全性評価法の高度化を進めている