第１回安全研究・人材育成シンポジウム

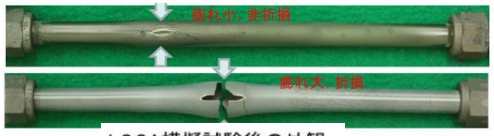
新たな技術や概念に対応した規制行政を支える技術基盤の構築に向けて

日本原子力研究開発機構
原子力安全・防災研究所　安全研究センター
端　邦樹

本研究は、原子力規制庁の令和6年度及び令和7年度原子力規制研究技術基盤構築事業費補助金（原子力規制研究の強化に向けた技術基盤構築事業）の補助を受けたものである。

背景　原子力を取り巻く新たな動き

新型燃料
（ATF）



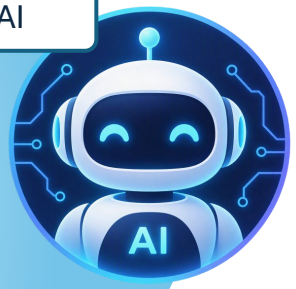
LOCA模擬試験後の外観
上：コーティングあり
下：コーティングなし

三菱重工技報 Vol.57 No.4 (2020)
https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/574/574110.pdf

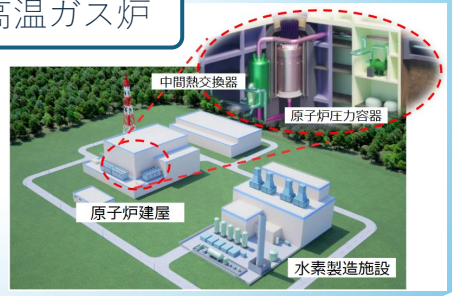
高速炉



AI

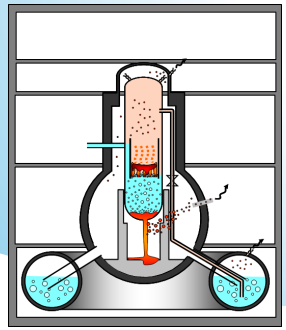


高温ガス炉



JAEA 令和6年10月22日
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/kakushinro_wg/pdf/008_02_00.pdf

軽水炉への新技術
（SA対策、高経年化対策の高度化など）



<u>原子力規制委員会</u>

新たな技術開発動向を注視しつつ、適時・適切に規制活動へ反映させることが必要

本事業の位置づけ

TSOとしてJAEAが担うべき役割

軽水炉に導入される新技術や新しい概念の炉等に係る、外部事象発生から放射性物質の環境放出までの一連のプロセスの解析し、そのリスクを評価するための技術の構築

本事業において以下の取組みを実施

①高度なリスク評価技術の確立

- ➢外部事象から炉心損傷までのPRA※をより大規模・高速に行えるコードの整備
- ➢SA総合解析コードを用いた放射性物質の放出までの評価手法の整備

②安全評価手法を支える基礎的知見の収集

- ➢SA時に燃料が損傷する条件を明らかにする試験設備の整備
- ➢AIにより二相流を詳細に観測できる先進的な伝熱流動計測技術の構築
- ➢AIにより欠陥を精確に検知できる超音波探傷技術の構築　等

③安全性及び規制の在り方を総合的に考察できる人材の育成

- ➢専門家からの技術伝承による若手育成
- ➢外部機関（大学や国際機関など）との連携

※PRA: 原子力施設等で発生するあらゆる事故を対象として、その発生頻度と発生時の影響を定量評価し、その積である「リスク」がどれほど小さいかで安全性の度合いを表現する方法

事業の全体構成とゴール

【テーマa】原子力施設の安全性を実力で評価するための研究基盤

- 炉心損傷に至るリスクを評価するコードの整備
- 事故進展解析コードを用いた、放出される放射性物質の評価

起因事象（地震等）の発生

↓

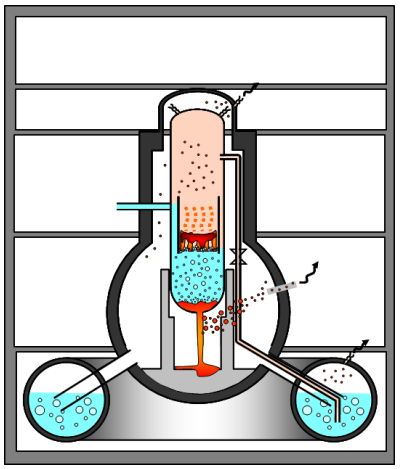
原子炉の炉心の損傷

↓

格納容器の破損

↓

放射性物質の放出



原子炉の事故進展

【テーマb】現象論モデルの改善に必要な研究基盤

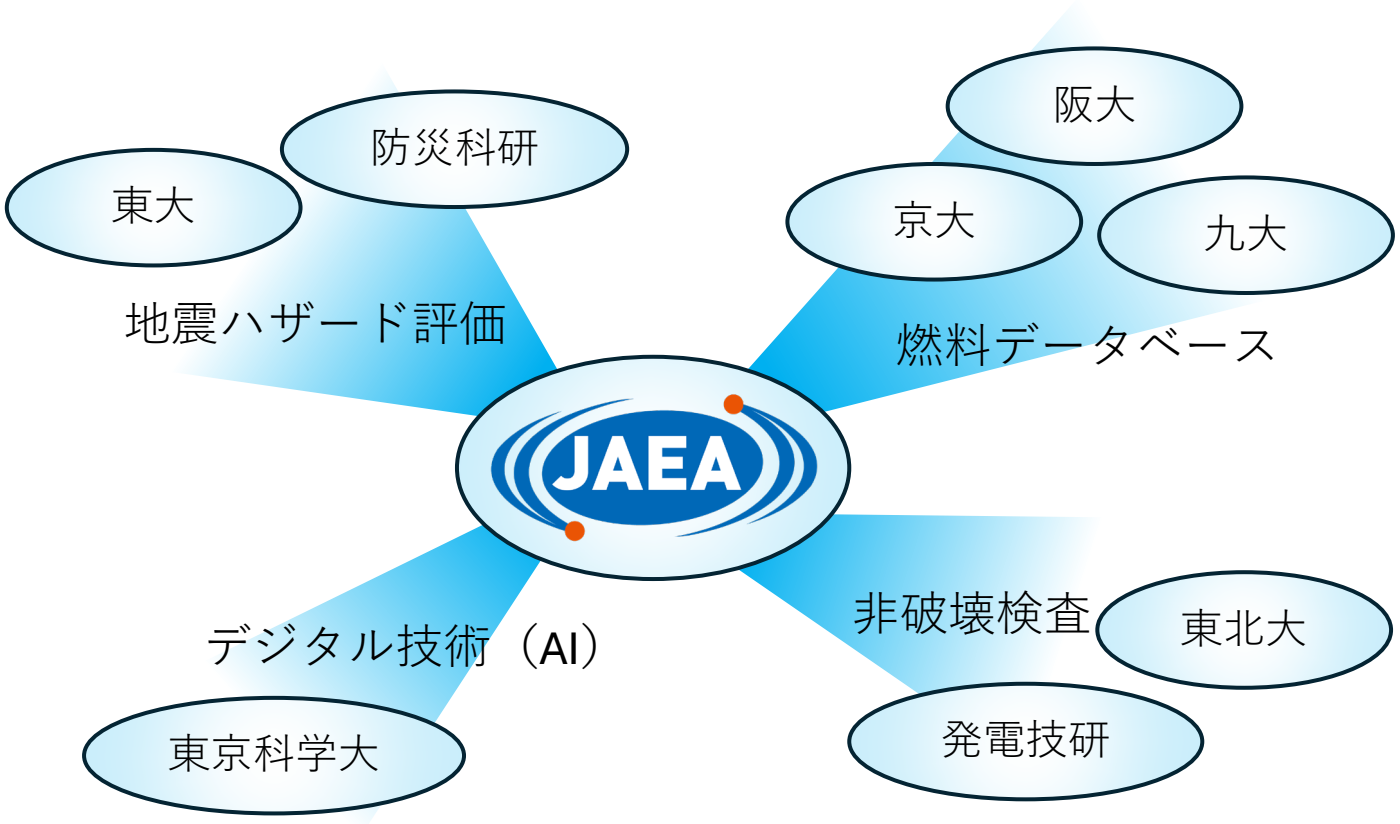
- **自然循環冷却性能**の評価に資するための「先進的な計測技術を備えた伝熱流動の研究基盤（b1）」
- **ATFのSA時の性能**評価に資するための「多様な燃料・過酷な事故モードに対応できる研究基盤（b2）」
- **AI**等の「デジタル技術を活用した予知保全技術の研究基盤（b3）」
- **非破壊検査**結果評価手法の高度化に資する「先進的な検査・構造健全性評価技術に関する研究基盤（b4）」

<u>本事業（5年間）で構築を目指す技術基盤（詳細は各スライドにて）</u>

- 今後事業者が導入する設備・機器の事故進展における有効性を的確に評価するための解析コード・技術基盤の構築
- 新型燃料、二相流等の個別要素のデータ拡充に必要な試験基盤・人的基盤の構築

機構外との連携と人材育成

- TSOとしての新たな技術基盤を構築するため、共同研究を通して外部の研究機関や大学との連携を強化
- 機構内の解析・実験を支える人材育成だけではなく、共同研究先の大学内での人材育成にも活用



(a) 原子力施設の安全性を実力で評価するための研究基盤

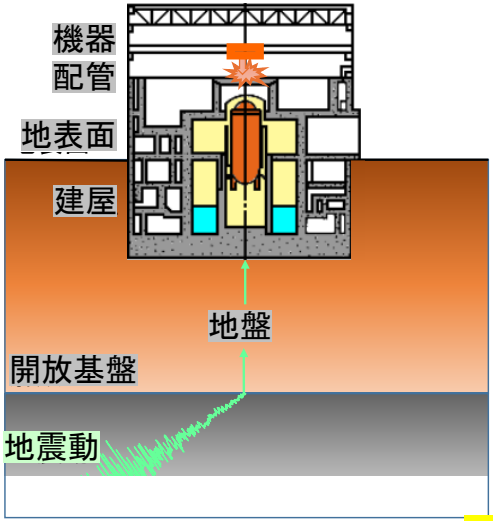
【実施内容】

- 外部事象による建屋・機器の損傷評価と、それらの損傷がシビアアクシデント（SA）の事故進展に及ぼす影響評価を連携させる解析を可能とする。

外部事象起因PRA

- 地震による揺れ
- 建屋や機器の損傷

など



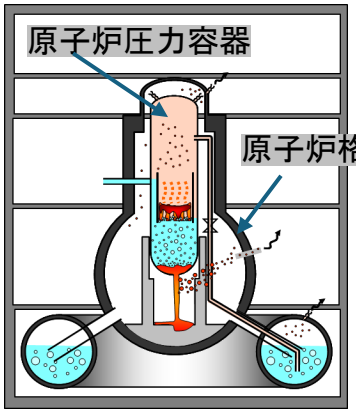
2つの解析を連携

建屋や機器の損傷情報

SA総合解析

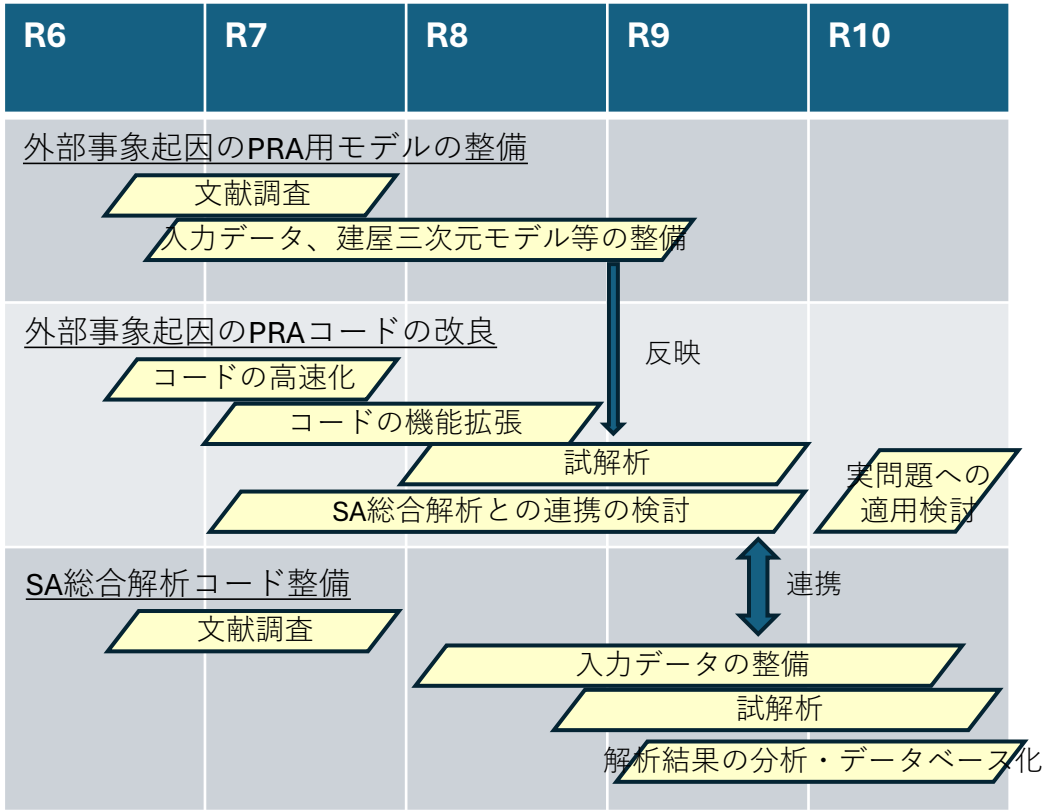
- 熱流動挙動
- 溶融炉心挙動
- エアロゾル挙動
- 核分裂生成物(FP)の化学挙動

など



(a) 原子力施設の安全性を実力で評価するための研究基盤

【スケジュール】



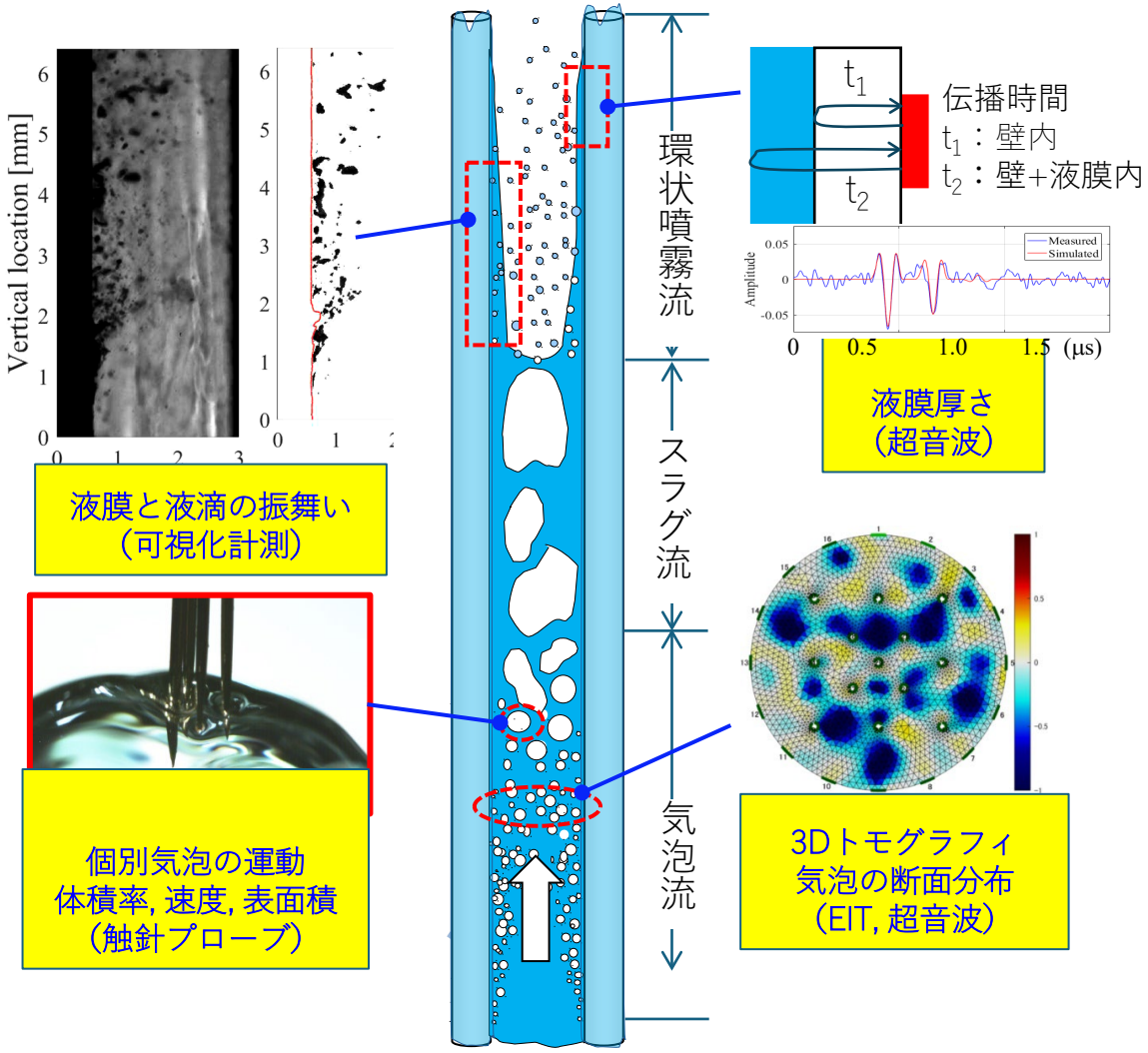
【事業終了時の成果】

- 外部事象の発生から施設内の事故進展、放射性物質の環境放出に至るまでを一貫して解析・評価できかつ、多様な炉型に対応可能なリスク評価を可能とするための人材・技術基盤を構築する。

(b) 現象論モデルの改善に必要な研究基盤
(b-1) 先進的な計測技術を備えた伝熱流動の研究基盤

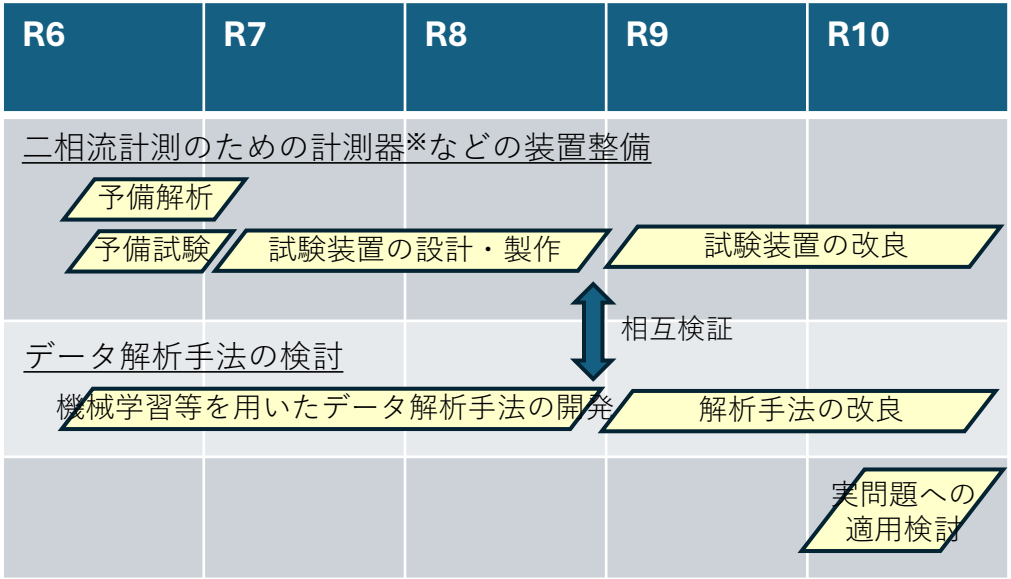
【実施内容】

- 受動安全系等を有する軽水炉の安全評価において、**自然循環を活用した冷却**性能が重要な評価対象となることを想定し、解析コードに用いられる気液二相流モデルの高度化及び検証に資する**詳細な二相流計測手法**を整備する。



(b) 現象論モデルの改善に必要な研究基盤
(b-1) 先進的な計測技術を備えた伝熱流動の研究基盤

【スケジュール】



【事業終了時の成果】

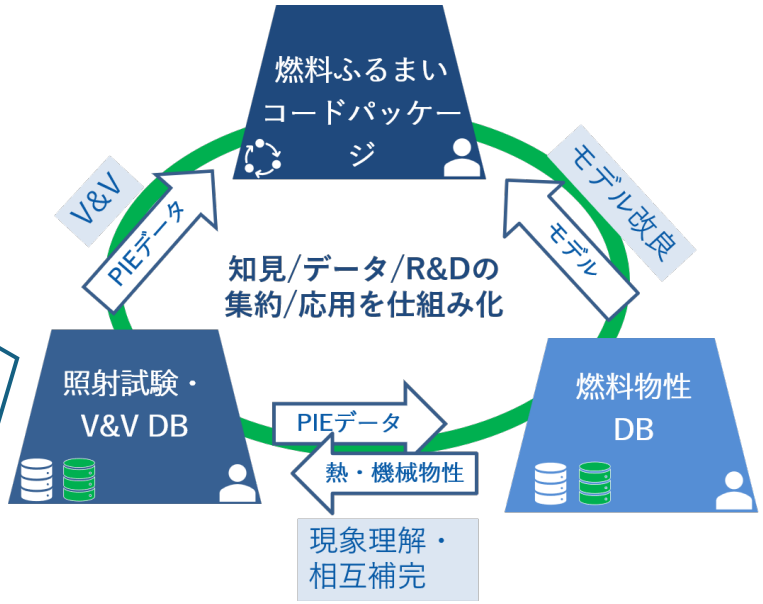
- 二相流の主要な物理量を取得・評価できるようになり、システム解析コードの高度化を可能とする実験基盤及びそれを扱える人的基盤を構築する。

※電気インピーダンス法（気泡分布）、超音波トモグラフィ（気泡分布、液膜厚さ、表面形状）、熱フィルムプローブ（液相速度）などの活用を検討

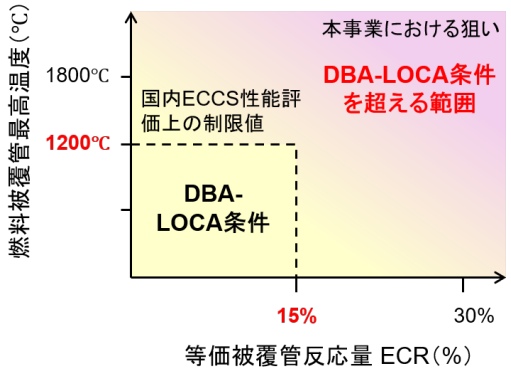
(b) 現象論モデルの改善に必要な研究基盤
(b-2) 多様な燃料・過酷な事故モードに対応できる研究基盤(1/2)

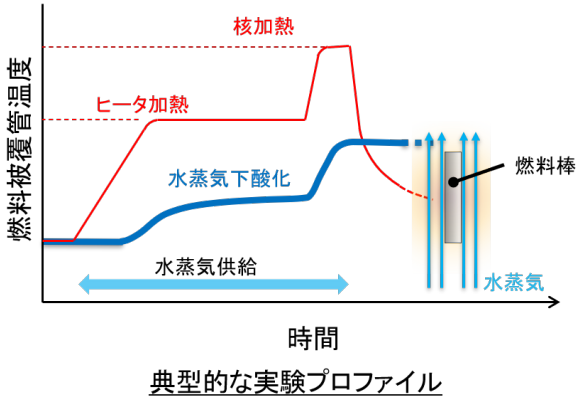
【実施内容】

- 事故耐性燃料をはじめとする新型燃料（ATF）はSA耐性を求められている。SA時の燃料挙動評価に係る技術的知見を蓄積するとともにそれらを含むデータベースを整備する。



本事業における取組み: 新型実験カプセルの開発

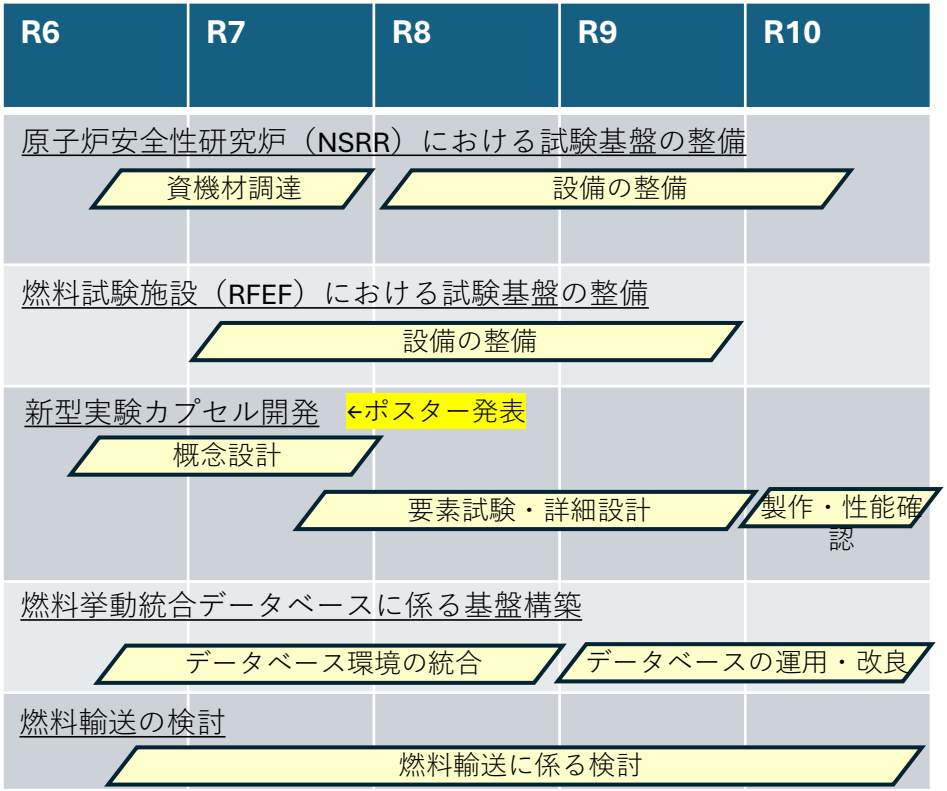




典型的な実験プロファイル

(b) 現象論モデルの改善に必要な研究基盤
(b-2) 多様な燃料・過酷な事故モードに対応できる研究基盤(2/2)

【スケジュール】



【事業終了時の成果】

- **ATFのSA時の破損条件の評価等、PRAのソースターム※評価等の入力データの技術的根拠を得るための基盤を構築**する。

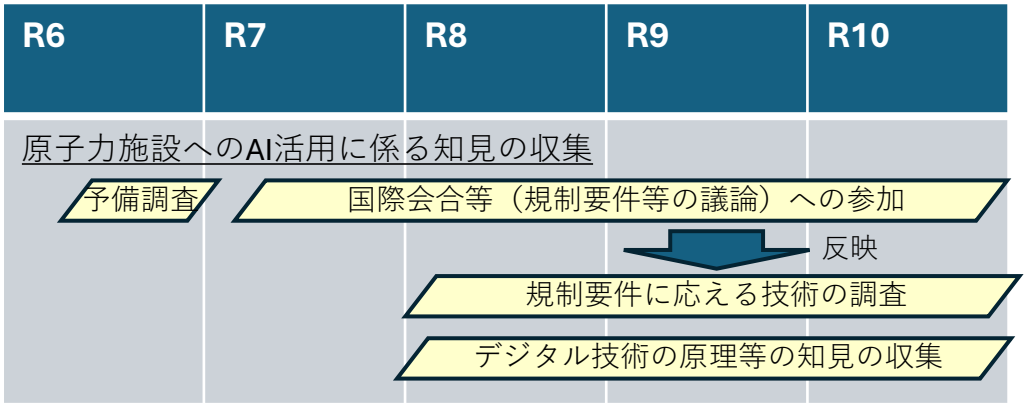
※ 事故時に施設外部に放出される可能性のある汚染物質の種類、量、物理的・化学的形態を総称

(b) 現象論モデルの改善に必要な研究基盤
(b-3) デジタル技術を活用した予知保全技術の研究基盤

【実施内容】

- 原子力施設の保全の実効性向上等へのデジタル技術（ニューラルネットワーク・機械学習、AI、デジタルツインなど）の活用を想定し、デジタル技術の原理の理解や振る舞いについての知見の収集、デジタル技術の規制要件の検討に資する人材の育成につながる調査・検討を行う。

【スケジュール】



【事業終了時の成果】

- デジタル技術の規制要件を論じられる人材を育成するための教育体系を構築する。

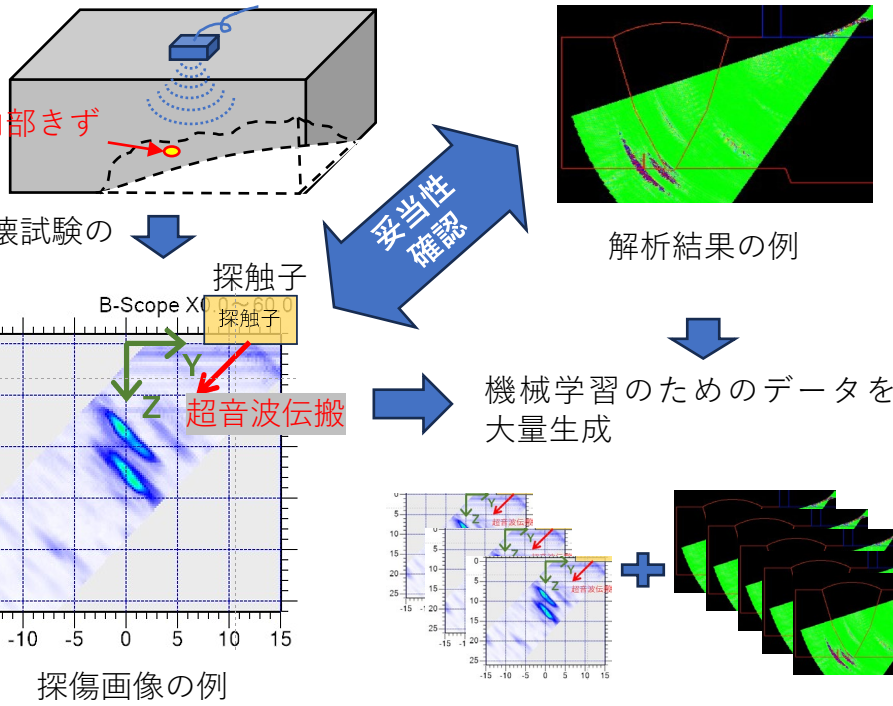
(b) 現象論モデルの改善に必要な研究基盤
(b-4) 先進的な検査・構造健全性評価技術に関する研究基盤(1/2)

【実施内容】

- 既存軽水炉の圧力バウンダリ機器（RPV、一次系配管）の健全性評価の更なる信頼性向上にむけ、**材料健全性評価及び非破壊検査の手法を高度化**する。
- 既存軽水炉の機器・構造物の健全性確保に向け、非破壊検査結果判定の妥当性確認に資するため、**非破壊検査手法に関する技術基盤を整備**する。

内部きずを有する試験体の製作技術を開発（積層造形法の活用）

超音波伝搬解析技術の習得



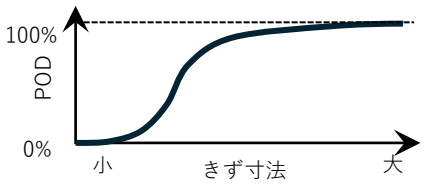
内部きずに対するPODカーブ※の整備

PFM解析コードに実装

きずの位置や寸法、対象機器の形状を変えた非破壊試験結果や解析結果

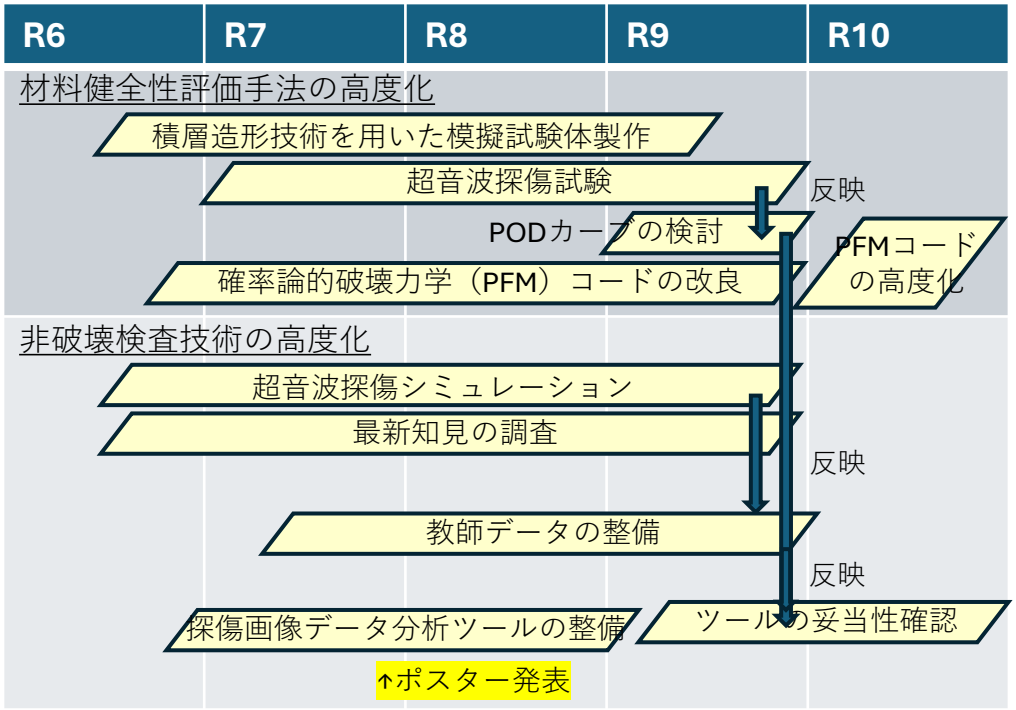
きずの位置や寸法を推定するツールを機械学習によって開発

※ POD カーブ: Probability of Detection（きず検出確率）ときず寸法との関係を表すカーブのこと。



(b) 現象論モデルの改善に必要な研究基盤
(b-4) 先進的な検査・構造健全性評価技術に関する研究基盤(2/2)

【スケジュール】

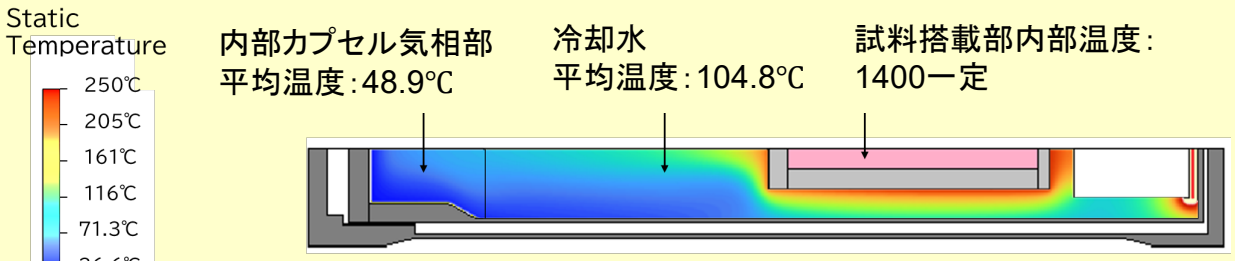


【事業終了時の成果】

- より高い信頼性を有する確率論的破壊力学（PFM）コードを整備するとともに、非破壊検査で検出されたきずのサイジング信頼性を向上させるツールを整備する。

これまでの主な成果

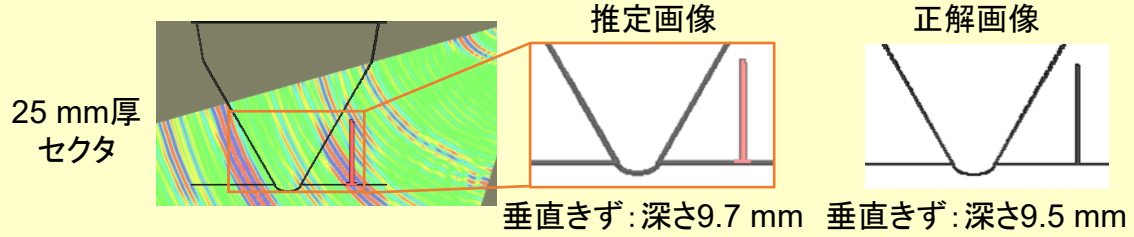
- 設計基準を超える冷却材喪失事故（LOCA）条件を模擬し、高温水蒸気環境下における事故時の燃料挙動を調べるための試験の成立条件を検討し、試験装置の概念設計を行った。実験中の発生ガス量、カプセル内温度変化を解析的に評価し、当該設計で実験が成立する見通しを得た。（詳細はポスターにて）



実験に伴う内圧変化に関する解析結果

馬場ほか，「設計基準を超える高温条件下におけるNSRRカプセルの開発（2）NSRR用カプセルの概念検討状況」，日本原子力学会2026年秋の大会，1E14（2026）．

- 検査結果判定のサポートを目指し、機械学習に基づき、2次元探傷画像からきずを推定するツールのプロトタイプを開発した。本ツールで精度良くきずの可視化等を行えることを確認した。（詳細はポスターにて）



機械学習させたツールによるきず領域判定結果

下平　他，日本保全学会第22回学術講演会，C-1-4-4，“超音波探傷画像の機械学習に基づく亀裂推定ツールの開発”，（2026）．

- PFM解析コードについて、コードの構成を根本から見直し、ユーザーが機能を容易に追加できるようにする等の改良を進めた。一般的な軽水炉のみならず、新型炉の評価にも対応可能とすることを目指している。

Katsuyama et al., RECENT JAEA’S ACTIVITIES ON PRACTICAL USE OF PROBABILISTIC FRACTURE MECHANICS, PVP2026-183185.

まとめ

- 今後の新技術や新型炉の導入に備え、**原子力施設のシビアアクシデントにおける外部事象発生から放射性物質の環境放出までの一連のプロセスを解析し、リスクを評価するためのPRA解析基盤の整備**を進めている。

- 並行して、導入時期や重要性を踏まえ、**ATF、AI、自然循環冷却に対応した熱流動現象、非破壊検査技術の高度化**に対応すべく**リスク評価上必要となるモデルを高精度化するための研究基盤の構築、人的基盤の整備**を進めている。

- これまで、**シビアアクシデント故時の燃料挙動を調べるための試験装置の設計、非破壊検査におけるきず推定ツールの整備、PFMコードの高度化**を行った。

- 引き続き、複数の課題についての技術基盤の整備を進め、**PRA、燃料、熱流動、材料等の分野において規制支援を行うための技術基盤の維持向上**に努めるとともに、**大学等との連携強化により、原子力規制・安全研究への若手人材の参画促進につなげることを目指す。**

- 事業後には、テーマbで整備した技術基盤を活用した研究成果を創出し、PRA解析に活用可能なデータやモデルを整備することで、**新技術の導入に伴うリスクの変化を評価可能とする**ことを目指す。