

炉内状況把握のための事故進展解析技術の高度化 (機構論的モデル型)

平成24年4月23日

(財)エネルギー総合工学研究所

事業の目的

- ✓東京電力福島第一原子力発電所における中長期的な廃止措置等に向けた取組みを着実かつ迅速に行う
- ✓そのために、事故事象進展のシナリオを把握するためのシビアアクシデント事象解析コードを開発し、シミュレーションによって事故事象進展挙動の詳細(デブリの存在位置と量、その組成・性状、および各部の損傷状況等)を定量的に把握する。

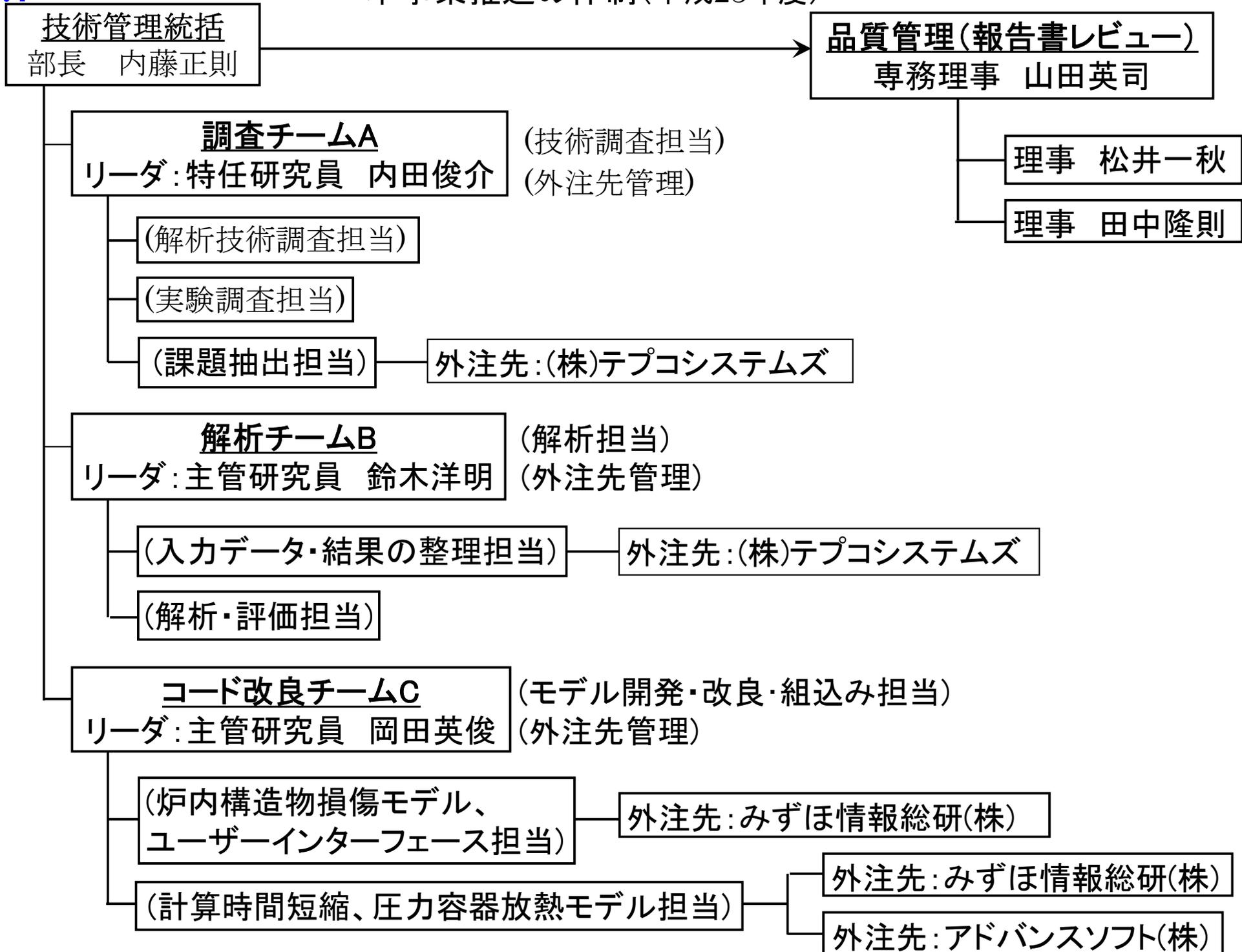
シミュレーションの方法

- ✓以下の特徴を有する機構論的モデルで構築されたSAMPSONコード*に福島事故事象の解析に必要なモデルの追加・改良等を加えて事故事象進展挙動の解析に使用する。

*SAMPSONコードの特徴:

- 物理現象を精緻に表現した多次元の数式・理論式で構築したモデルであり、燃料デブリの分散配置やその性状を解析するのに適している。
 - ユーザーが調整可能な係数を使用していないため、得られた結果に対する物理的説明性を有する。
 - OECD/NEA国際ベンチマーク問題等による検証を経て2002年度に完成したコード。
- ✓事業の全体実施期間を平成23年度(H24.2月～)ー平成28年度とする。
 - ✓全体期間を3期に分け、各期で成果を検証しつつ事業を進める。

主な実施項目	第1期		第2期		第3期	
	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度	H28年度
新規モデル追加	炉内構造物損傷評価モデル、圧力容器放熱モデル		炉心冷却システムの部分負荷運転モデル			
モデル改良			炉内熱流動モデル		格納容器内熱流動モデル、物性値	
計算時間短縮	倍精度化、収束性向上 メッシュ最適化	30%短縮 アルゴリズム最適化	MELCOR相当 並列化効率向上	Real Time	モデル簡易化	Real Time 以下
ユーザー インターフェース	入力データ作成支援、グラフィックユーザーインターフェース(GUI) GUI試行		GUI改良版			
解析・評価	現行SAMPSONによる解析		前年度までの改良を反映した解析により成果を検証			
実施委員会による 評価	▲ ・外部専門家による実施計画、実施内容、成果、目標達成度、等の客観的評価 ・新たに得られた知見等によって、実施計画も柔軟に変更					



大項目	中項目	現状	改善点
①解析対象の幾何形状	ベッセル(RPV)貫通孔	単一	② 複数 ③ 圧力バウンダリ(RPV内) 溶解・損傷により圧力解放 ⑤ 圧力バウンダリ(RPV外) SlugのRPV貫通の主要経路形成
②コリウム形成	Bの影響	—	④ B ₄ CとSSの反応によりSSの融点が低下して 液化、反応の進行に寄与 ③ UO ₂ と反応でも同様の影響の検討要 ③ 融点の低下=>CORIUM形成速度、移行速度に影響
	NaClの影響	—	① CORIUMを覆い冷却障害(その他の波及効果) ⑤ 高温アルカリ腐食
③溶融コリウム— コンクリート反応	PCV bottomの貫通	—	⑥ 既存実験データを参考にモデル化
④水素生成	Zr-steam 反応	組込済	
	B ₄ C-steam 反応	—	⑦ B ₄ C金属反応との競合反応解析
	ラジオリシス	—	⑧ 蒸気、molten coreの空間分布評価 ・ α線のラジオリシスへの影響評価 ・ 海水中のNaClのラジオリシスへの影響評価
⑤水素放出経路	経路探索、定量化	—	・ PCVからR/Bへの直接経路と間接経路
⑥FP放出経路	経路探索、定量化	—	・ ガス状FP:PCVからR/B、その他への直接/間接経路 ・ 廃水の汚染と放出経路

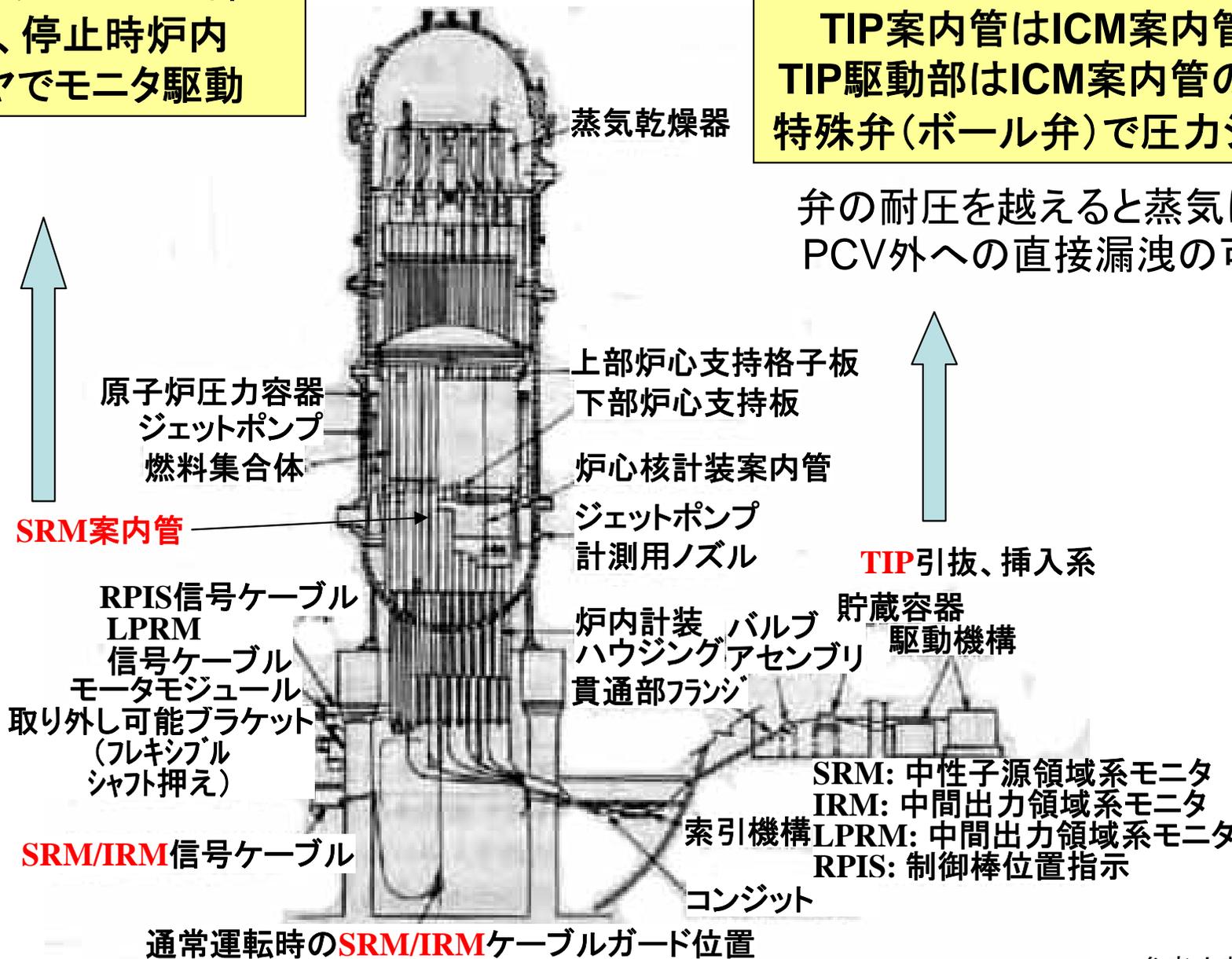
青字:SAMPSONコード内、赤字:SAMPSONコード外

①-2 BWR 炉内中性子モニタの概要

起動時モニタ(SRM)案内管は、
圧力バウンダリがRPV内部
運転時炉外、停止時炉内
管下部のギヤでモニタ駆動

ICM案内管の圧力バウンダリは
RPVの外部
TIP案内管はICM案内管内
TIP駆動部はICM案内管の外部
特殊弁(ボール弁)で圧力シール

弁の耐圧を越えると蒸気ほかの
PCV外への直接漏洩の可能性

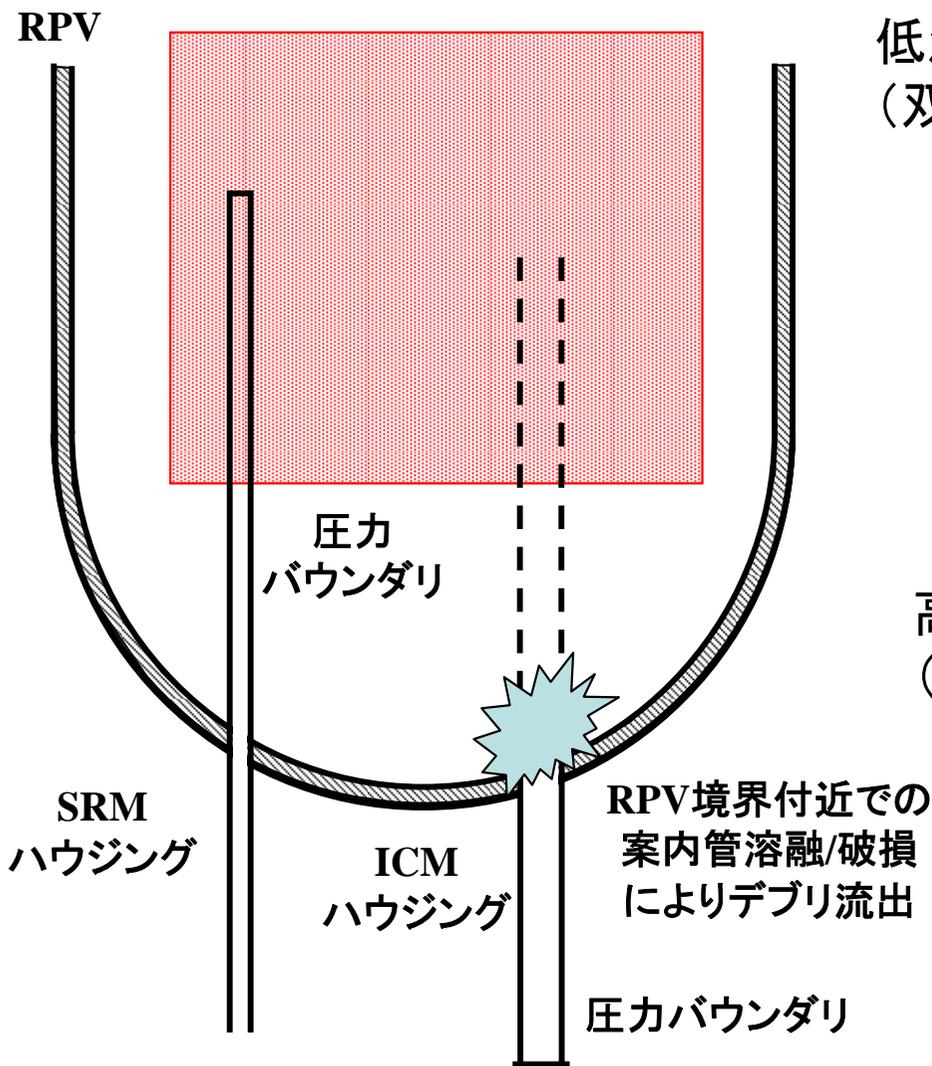


通常運転時のSRM/IRMケーブルガード位置

No.7 ②-1 RPV内外の貫通孔の溶融/損傷の拡大へのボロンの影響評価

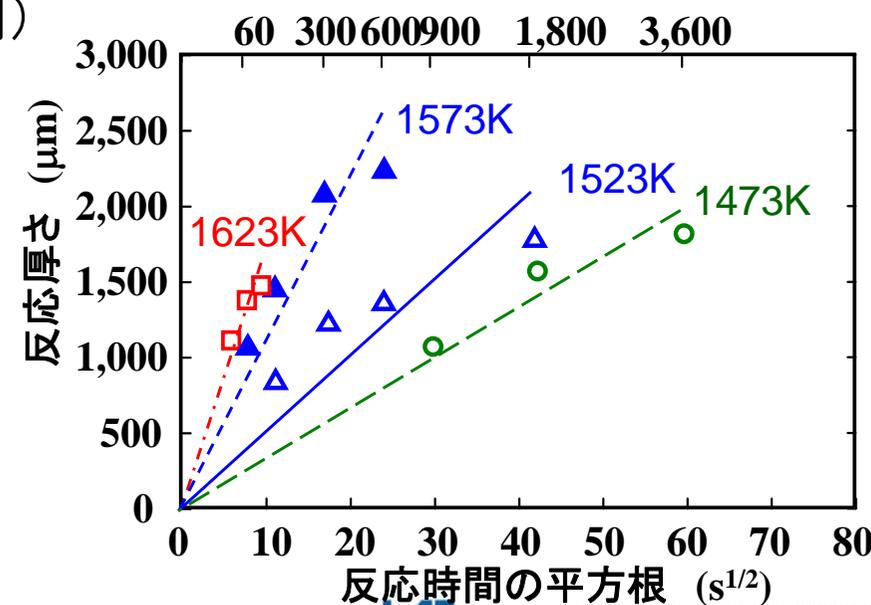
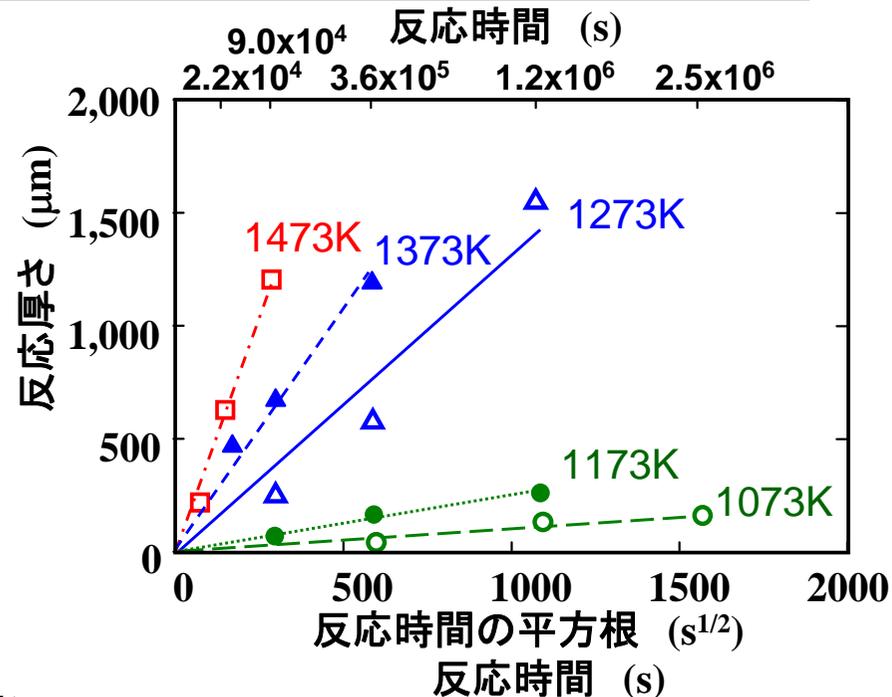
(ボロンによるステンレス鋼の侵食)

制御棒中の B_4C (融点: $2620^\circ C$)はステンレス鋼(融点 $1400-1450^\circ C$)と化学的に反応



低温反応
(双曲線則)

高温反応
(双曲線則)



参考文献: 30-32

問題としての採否のためには、
さらに定量的な評価が必要

1) 改良SAMPSONコードを実機事象解析に適用するために必要なデータリストをまとめた。

- ・ データの種類

プラントデータ: 開示;既公開/開示要求要 開示請求先;電力会社/メーカー/官庁
基礎データ: 基本的にはすべて公開

- ・ 分類 [N:プラントNo(1;1F-1, 2;1F-2, 3;1F-3) , MN:シーケンシャルNo.]

幾何形状データ: 設計図面など GN-MN (約200項目)

機器特性および熱構造、熱物性データ EN-MN (約170項目)

過渡現象記録装置データ TN-MN (約30項目)

プラント運転、操作記録: 原則公開文献から入手

その他: 1F-4プール水素発生評価用データ (約30項目)

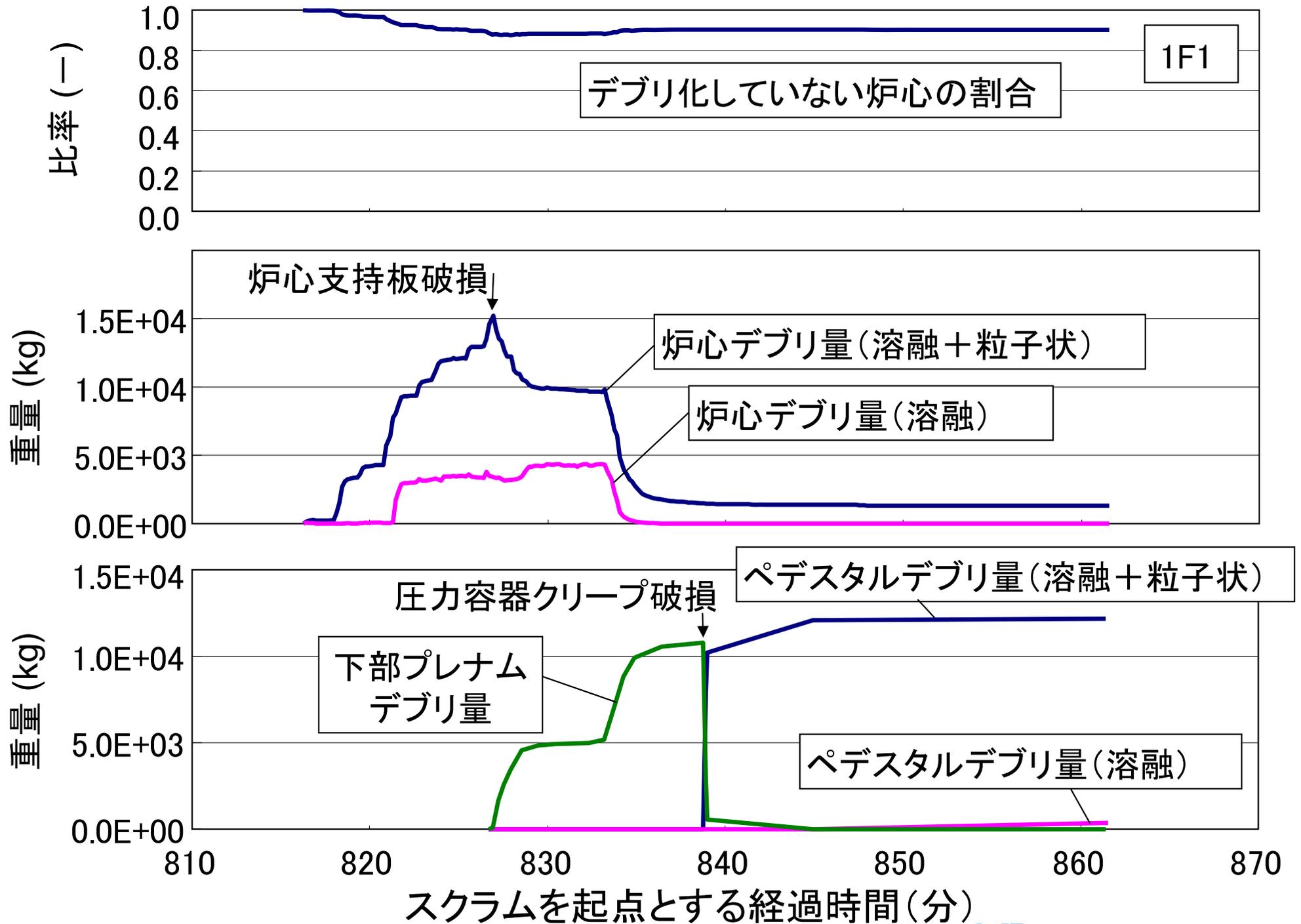
- ・ 上記リストのデータとSAMPSONの各モジュールと対比も作表

2) SAMPSONコードでの評価実施における課題抽出

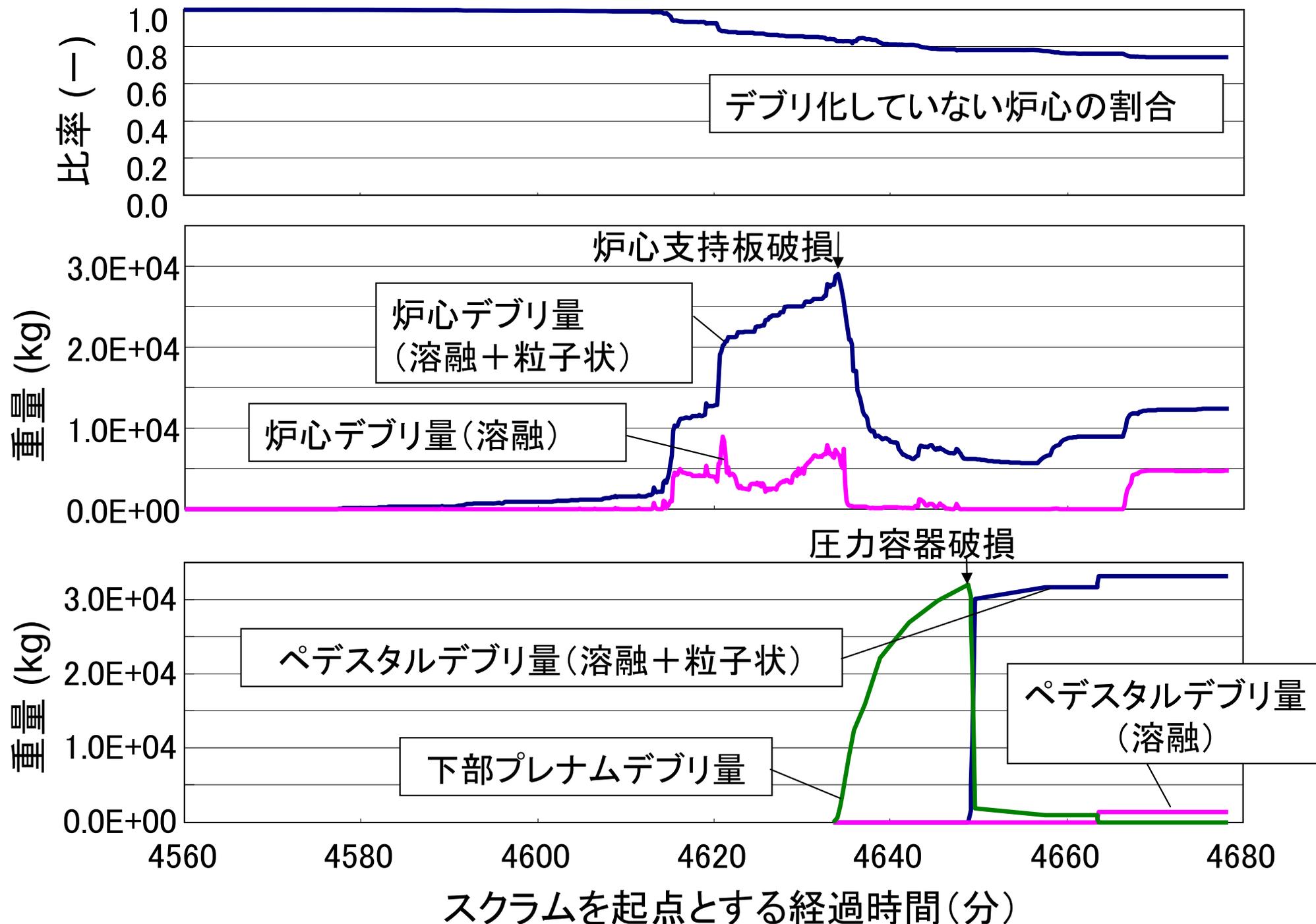
- ・ SAMPSONコードの改良の項で詳述

なお、本リストの詳細は、報告書の付録として添付する

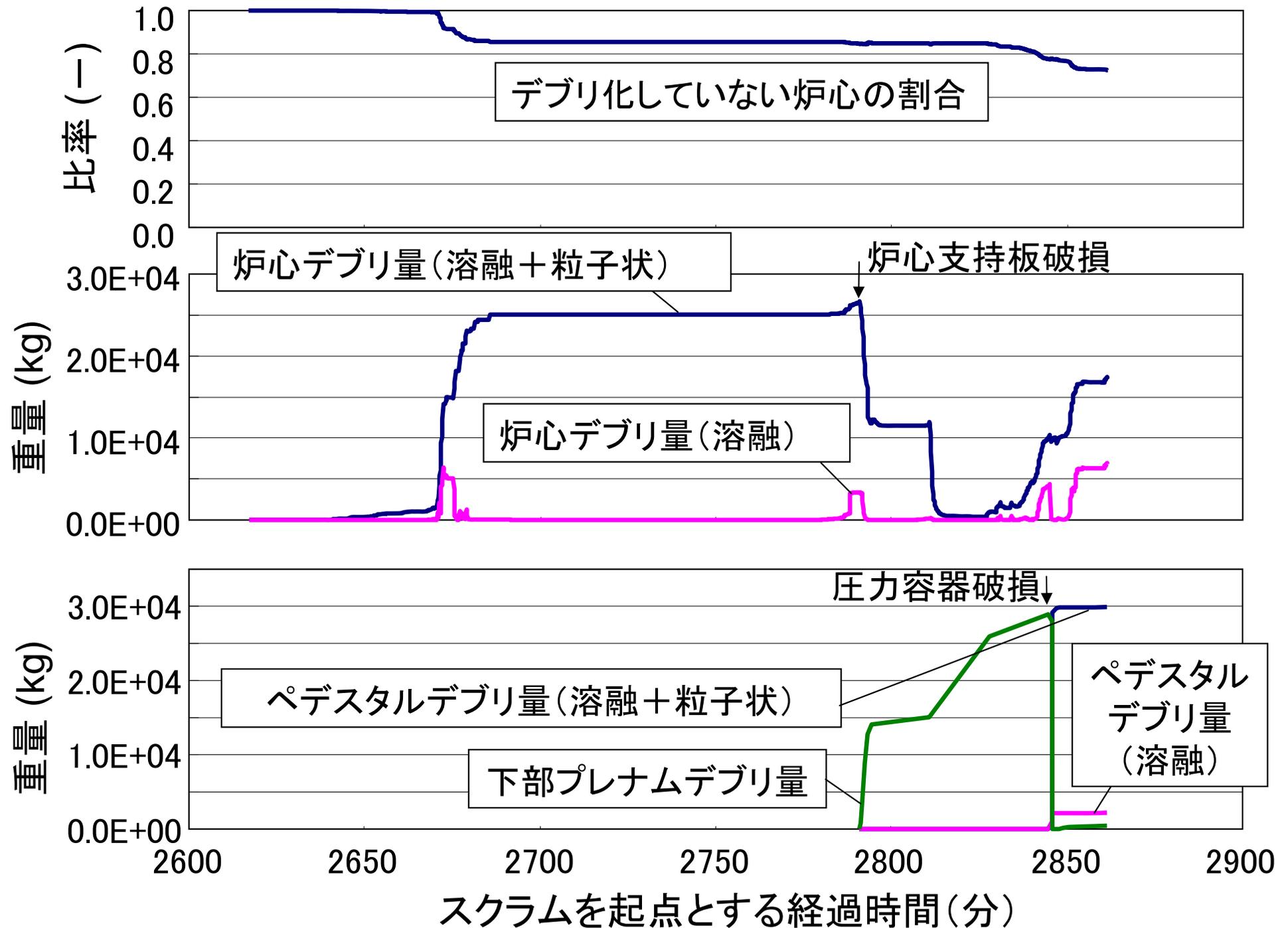
1号機におけるデブリ量の時間変化



2号機におけるデブリ量の時間変化



3号機におけるデブリ量の時間変化



背景

- 燃料の融点は $\sim 2800^{\circ}\text{C}$
- 燃料の周囲には、炉心シュラウド等の炉内構造物が存在
- 炉内構造物の融点は $\sim 1400^{\circ}\text{C}$
- 炉心昇温時に炉内構造物は、構造健全性を失う可能性有り

目的

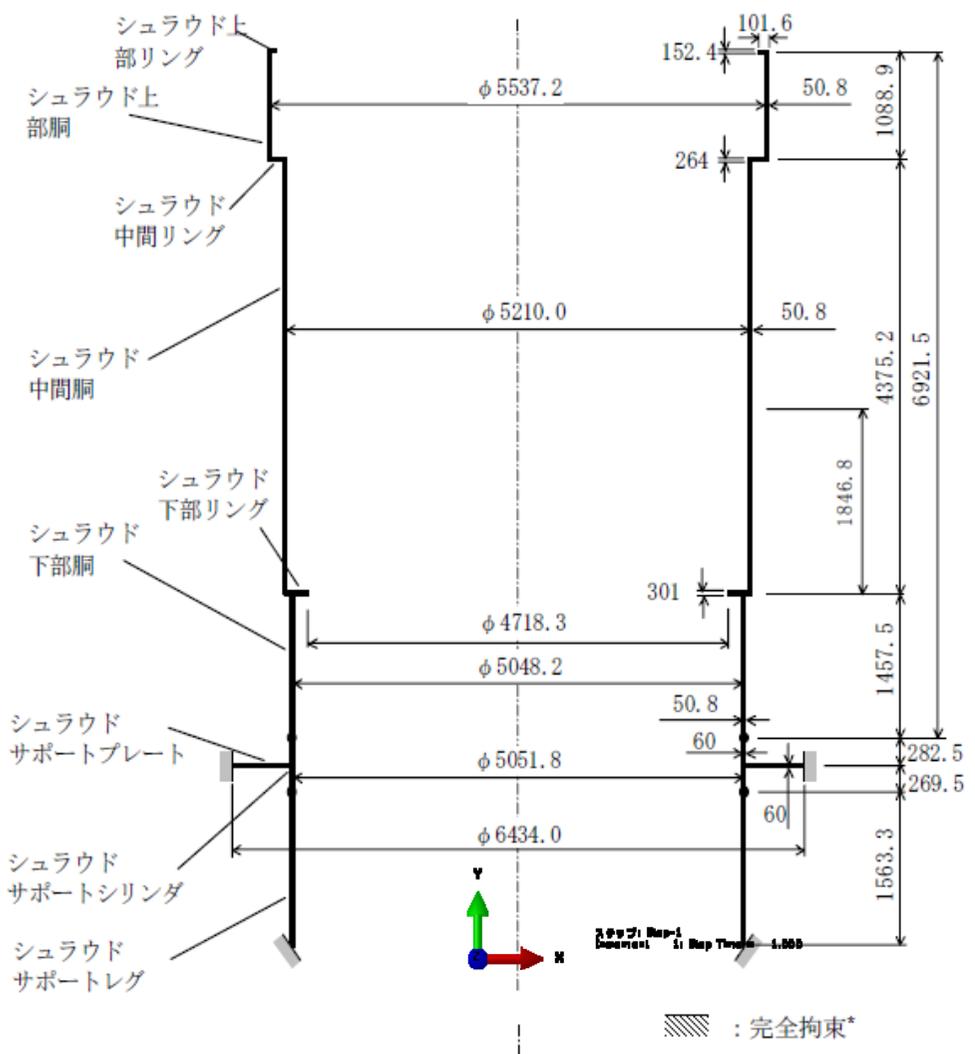
- 燃料溶融時の炉内構造物の健全性評価

評価手法

- SAMPSONにより、炉心溶融時の炉内構造物表面温度の時間変化を評価し、インターフェイスデータとして出力
- 温度変化より熱応力解析コードSolidMeisterで熱応力を評価
- 炉内構造物の降伏応力と熱応力との比較により、構造健全性を評価

炉心シュラウドの概要*)

解析モデル



*)JNES「平成16年度経年設備の耐震安全評価手法に関する報告書 経年設備耐震その1(炉内構造物、配管)」

① 技術調査

- ✓ 東京電力、プラントメーカー、および燃料会社等から機密情報を含むプラントの詳細仕様、等を受領(機密情報保護の覚書締結)し、これらに基づいて、SAMPSONによる事故事象進展解析のための入力データを作成する。
 - ・ プラント詳細情報入手:H24.6月末目標
 - ⇒国際ベンチマークの入力データとしても活用
- ✓ 実験および解析に係る最新技術の調査
 - ・ H23年度に調査を実施したが、継続して最新技術の入手に努める。

② コード改良

- ① 炉内計装管の溶融／損傷モデルの新規追加
- ② RPVからPCVDライウェルへの直接漏洩流路の追加
- ③ 冷却系統機器の部分負荷運転モデルの追加
- ④ 格納容器内デブリ拡がり挙動解析モデルの改良
- ⑤ デブリーコンクリート反応挙動解析モデルの改良
- ⑥ 解析モデルの検証【注1】
 - (a) 物理モデルの検証
 - (b) 計算機の機種依存性、解析のユーザー依存性の確認
- ⑦ 計算時間短縮

H24上半期に完成 → H24に
実施する事故事象解析に反映

H24年度末に完了

【注1】日本原子力学会「シビアアクシデント評価」研究専門委員会の知見も活用

③ 解析

解析内容	使用するモデル、パラメータ等
① 1号機～3号機の事故事象進展解析	<p>➤ 現行SAMPSONに以下のモデルを組み込んだ、改訂1版</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ RPV、PCV壁の放熱モデル ・ 炉内計装管の溶融／損傷モデル ・ RPVからPCVドライウェルへの直接漏洩流路の追加 ・ 冷却システム機器の部分負荷運転モデルの追加 <p>➤ パラメータ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ SRV配管フランジ部からの気相漏洩流量 ・ TIP案内管フランジ部からの気相漏洩流量 ・ 冷却システム機器の部分負荷運転条件
② 炉心シュラウドの損傷評価(1号機)	<p>➤ 上記の代表的パラメータのもとで、SAMPSON改訂1版により、炉心シュラウドの温度分布等を計算</p> <p>➤ 上記結果を境界条件として、H23に整備した「炉内構造物損傷評価モデル」により損傷の有無、程度を評価する。</p>

実施体制(検討中)

