

1. H24年度主要目標

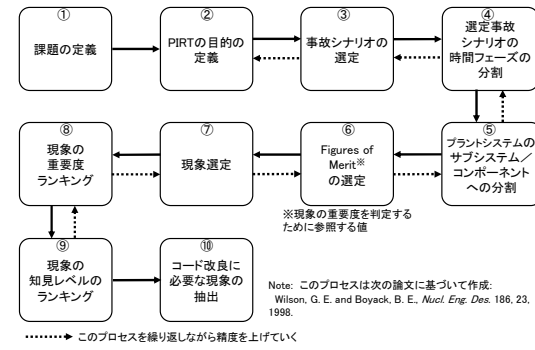
シビアアクシデント解析コード高度化の成果、海外からの知見、現場のオペレーションから得られる情報等を活用し、炉内状況把握のための継続的な検討を実施する。ここで成果として得られた炉内状況に関する情報を、福島第一原子力発電所の中長期的な廃止措置に向けた取り組みにおける、燃料デブリ取り出し作業へ提供する。

2. H24年度の進捗状況

①PIRT (Phenomena Identification Ranking Table)の作成

福島第一原子力発電所事故における炉心溶融物の位置／分布を推定するために重要な現象を抽出することを目的とし、PIRTの作成作業を実施。右図のプロセスにより、PIRTを作成。計1103個の現象を抽出し、ランキング表を策定した。

(注)PIRTとは、解析コードの開発などにおいて、評価シナリオの中で重要となる現象を決定するといった意思決定のために、専門家から情報を収集し、その重要度ランキングをつける系統的な手法、またはその成果物であるランキング表のことである。

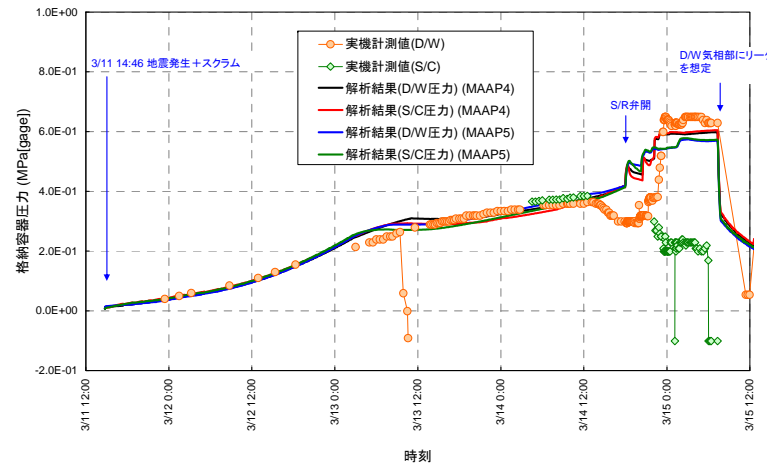


②-1 & ③-1 MAAP高度化およびMAAP5による解析

(1) 最新版MAAP5による

福島第一原子力発電所事故進展解析

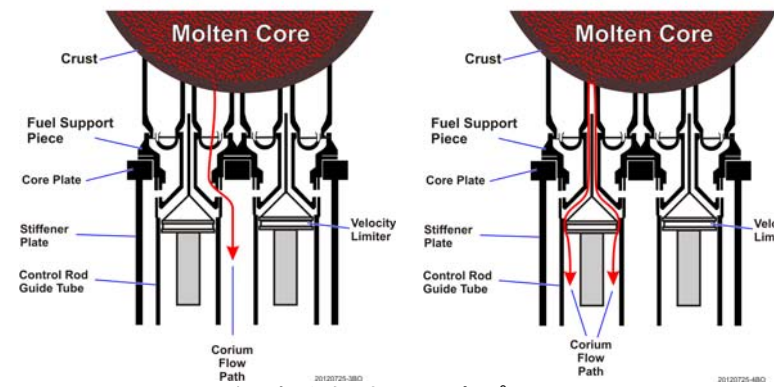
2号機暫定解析例(右図は格納容器圧力変化)によれば、MAAP4と同等な結果が得られることを確認。
→昨年度MAAP4解析により抽出した解析モデルの課題はMAAP5に対しても同様。



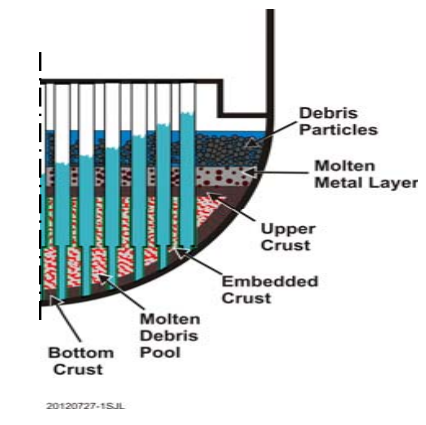
(2) MAAP解析モデルの高度化仕様の決定

以下のモデルに関する高度化仕様を策定

- ・原子炉一次系水位評価モデル
- ・炉心領域の炉心損傷進展モデル(左図)
- ・下部プレナム内デブリ挙動モデル(右図)
- ・格納容器内デブリ挙動モデル



(左) 炉心領域から下部プレナムへの新規移行経路と熱的相互作用の考慮

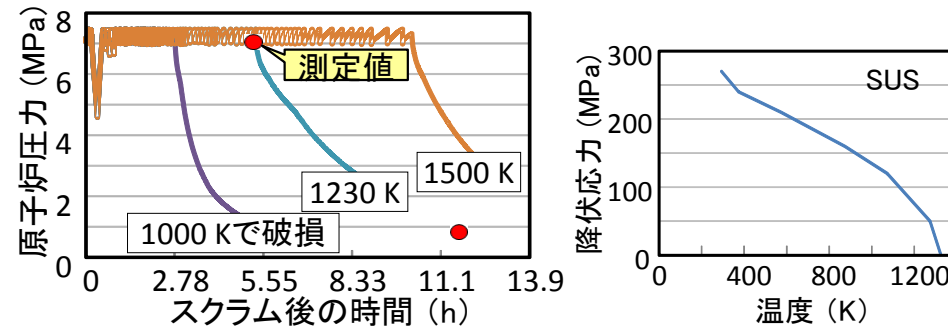


(右) CRD配管取り扱いの改良、CRD配管の部分溶融考慮、粒子状デブリの株プレナム内の分布考慮、デブリの非対称堆積の考慮

②-2 & ③-2 SAMPSONコード改良・解析

(1) コードの改良・モデルの追加

炉内計装管等の溶融・損傷モデル、圧力容器から格納容器ドライウェルへの直接漏えい経路、冷却系統機器の部分負荷運転モデルの追加を一部実施。右図は、炉内計装管の破損を模擬した1号機解析における原子炉圧力解析結果を示す。



(2) 計算時間短縮のためのコード改良

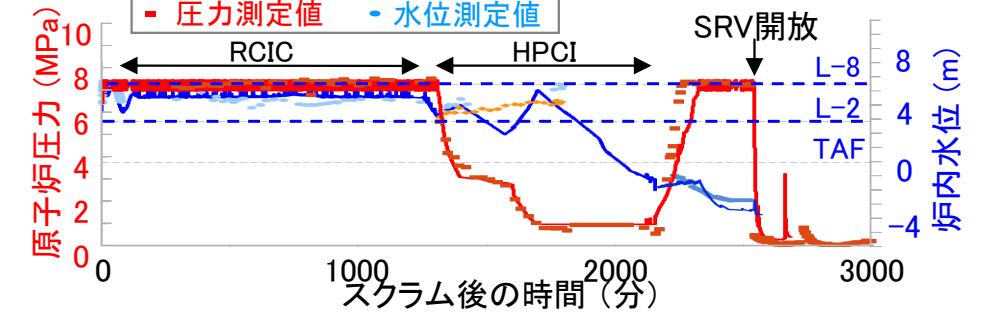
領域分割の最適化の検討、ならびに、並列化手法の調査および適用性に関する検討を実施。

(3) 入力データの更新と解析結果のユーザー依存性確認

1～3号機の入力データ更新、および、解析のユーザー依存性の確認を実施中。

(4) 改良コードによる福島第一原子力発電所1～3号機の解析

改良した解析コードにより福島事故の解析を実施。3号機において、RCIC/HPCIの部分負荷運転の模擬(右図)や、サプレッションプールでの温度成層化の模擬により、測定値をより良く模擬する解析結果を得た。



④-1 現場オペレーションから得られる情報を活用した炉内状況把握

現場オペレーションから得られる情報を利用して、炉内状況把握のための検討を実施。その一例として、トラス室エントリー時の観測結果、温度、線量等の情報から圧力抑制室の状態を推定し、原子力安全・保安院「東京電力(株)福島第一原子力発電所事故に関する技術ワークショップ」(H24.7.23～7.24)にて結果を発表

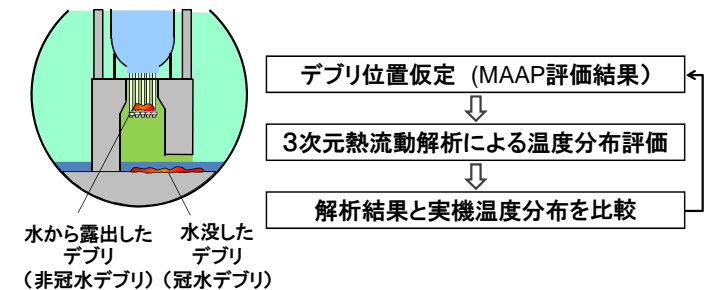


トラス室内の手すり・マンホール塗装の腐食状況の違い

④-2 シビアアクシデント解析コード以外のコードから得られる情報を活用した炉内状況把握

炉内及び格納容器内の熱バランス等を評価する簡易伝熱流動モデルや、実機形状を3次元体系でモデル化可能な汎用熱流動解析コード等を活用して、プラントの状況の評価。

右図は、PCV内温度分布と実機測定値を比較し、解析手法の有効性を確認した解析例における評価プロセスを示す。



⑤OECD/NEA 国際ベンチマーク解析プロジェクトの準備状況

国内外のシビアアクシデント専門家の叢智を結集し、事象進展および炉内状況に関する知見を得ること、および各国のシビアアクシデント解析手法・解析コードの高度化に貢献することをねらいとし、福島第一原子力発電所事故に関する国際ベンチマーク解析プロジェクトを計画。本年11月6～9日に第一回会合を開催する。1Fへの視察を含む、会合の準備や解析用データベースの整備を実施。

3. 今後の予定

H24年度に計画した実施内容は概ね計画通り実施されている。今後も計画に従い、シビアアクシデント解析コードの高度化および解析、炉内状況の把握、OECD/NEA国際ベンチマーク解析プロジェクトの実施を進めていく。

また、JAEAとの連携により、シビアアクシデント事象進展の詳細分析に資する模擬試験の検討を進めるとともに、関連する基礎データの取得や解析モデルの開発を行う。

(2-②-1) 事故進展解析技術の高度化による炉内状況の把握(H24年度計画)

【資料2 補足資料】

H24年度主要目標

シビアアクシデントコード高度化の成果、海外の知見、現場のオペレーションから得られる情報等を活用し、炉内状況把握のための継続的な検討を実施し、福島第一原子力発電所における中長期的な廃止措置に向けた取り組みにおける燃料デブリ取り出し作業へ炉内状況に関する情報を提供する。

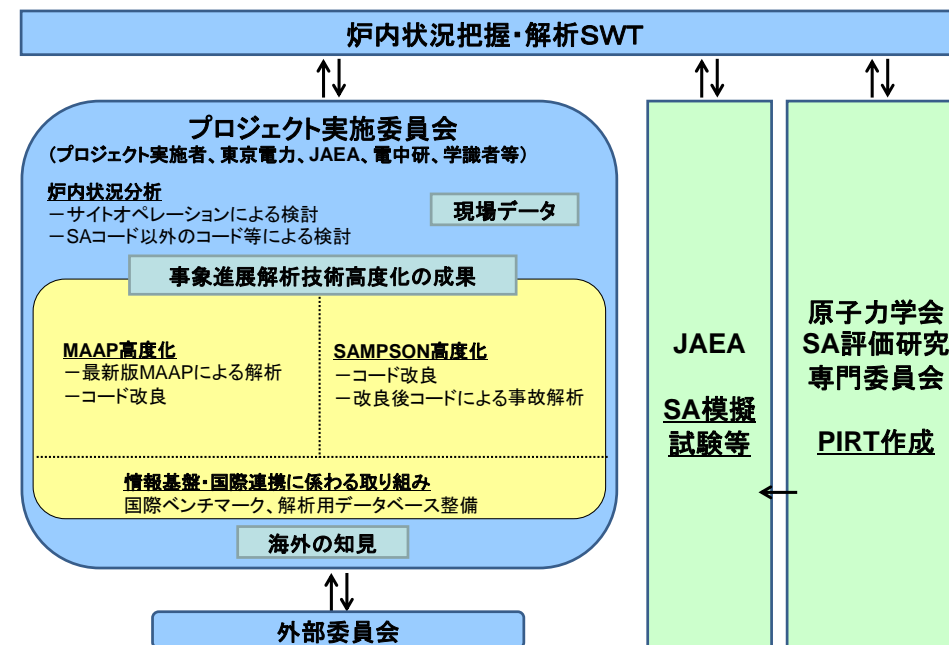
H24年度の実施内容

	目標	得られる成果
①	原子力学会との連携によるシビアアクシデントコードの開発にかかるPIRT (Phenomena Identification and Ranking Table) の作成	解析コードの高度化に資する検討、実験等の優先順位
②	H23年度に抽出した解析コードの改善点、サイトのオペレーションから得られる情報、既存の模擬試験の結果、最新知見等に基づき解析コード(MAAP、SAMPSON)を改良	高度化した解析コード
③-1	【MAAP】現状最新版であるMAAP5を用いて、構築したデータベースに基づき1～3号機の事故進展／炉内状況の把握に関する解析	既存の解析結果の改善と精度向上に向けた課題の抽出
③-2	【SAMPSON】一部改良した解析コードを用いて、構築したデータベースに基づき1～3号機の事故進展／炉内状況の把握に関する解析	既存の解析結果の改善と精度向上に向けた課題の抽出
④	現場のオペレーションから得られる情報およびシビアアクシデント解析コード以外の計算コード等を用い、多角的なアプローチにより炉内状況把握のための継続的な検討	炉内状況に係わる情報
⑤	国際ベンチマークの実施およびそのためのデータベースの構築(情報基盤・国際協力に係わる取り組み)	海外知見 解析用データベース

JAEAとの連携:

JAEAによるシビアアクシデント事象進展の詳細分析に資する模擬試験等(炉心内温度分布評価、燃料棒損傷・溶融、圧力容器下部ヘッド破損に関する要素試験の実施、模擬試験装置の設計や試験条件の策定、基礎解析モデルの作成等)から必要な知見を取得

実施体制



工程表

事項／年度に	上半期	下半期
① PIRT作成 (原子力学会との連携)		
② 解析コードの改良・検証		
③-1 最新版MAAPIによる解析		
③-2 改良版SAMPSONIによる解析		
④ 炉内状況分析		
⑤ 国際ベンチマーク・データベース整備		
(JAEAとの連携) JAEAによる模擬試験等の実施		

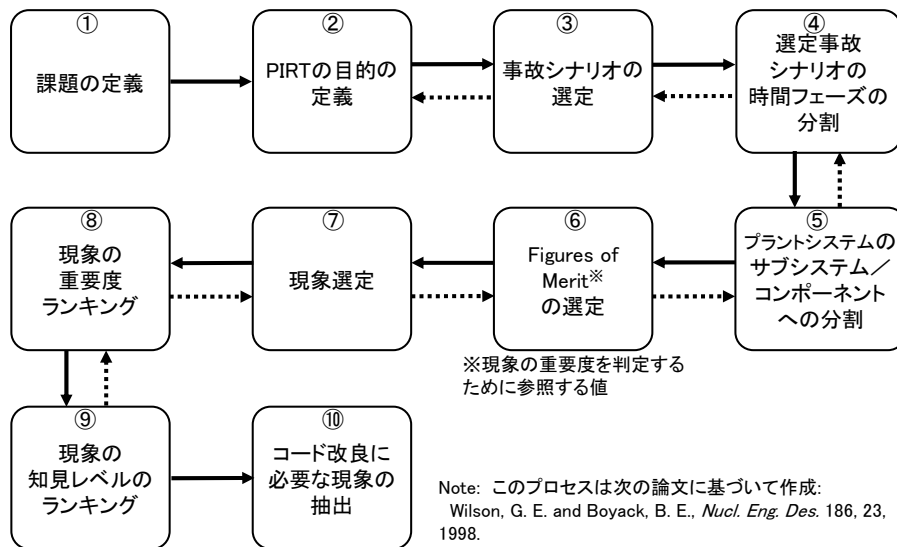
①PIRT (Phenomena Identification Ranking Table)の作成

H24年度の実施内容

●福島第一原子力発電所事故における炉心溶融物の位置／分布を推定するために重要な現象を抽出するため、PIRT(Phenomena Identification and Ranking Table)を作成する。これにより、解析モデル追加・改良項目の客観的な妥当性確認を実施する、

PIRT(Phenomena Identification and Ranking Table)の作成状況

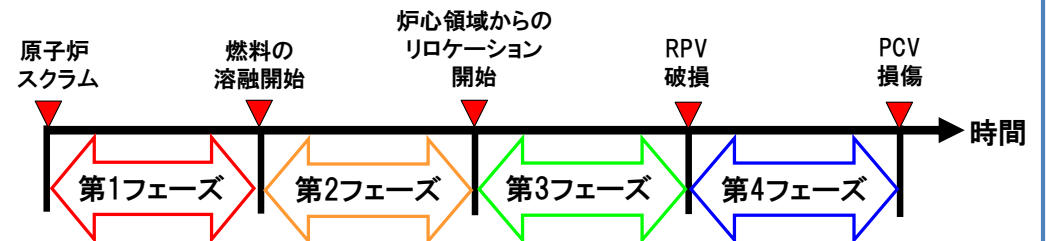
以下のプロセスに基づき作成



.....→ このプロセスを繰り返しながら精度を上げていく

③事故シナリオ: 主要な操作(原子炉への注水・停止、海水注入、減圧操作、消火系からの代替注水、ベント)を含む代表ケースとして、3号機の事故進展シナリオを選定(1/2号機特有シナリオは別途反映)

④事故シナリオ分割:



⑤プラントシステム: MAAPのノード分割方法に基づく

⑥Figures of Merit:

第1フェーズ: 燃料棒エンタルピー

第2フェーズ: 炉心部のエンタルピーまたは平均温度

第3フェーズ: 圧力容器壁最高温度及び炉心溶融物最高温度

第4フェーズ: 格納容器最高圧力及び最高温度

⑦⑧現象の抽出: 計1103個の現象の抽出とランキング策定

原子力学会との連携: シビアアクシデント評価研究専門委員会との合同作業によるPIRT作成

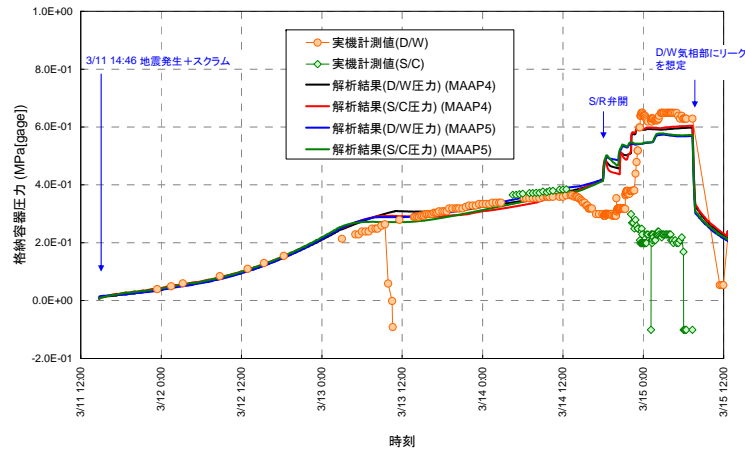
②-1 & ③-1 MAAP高度化およびMAAP5による解析

H24年度の実施内容

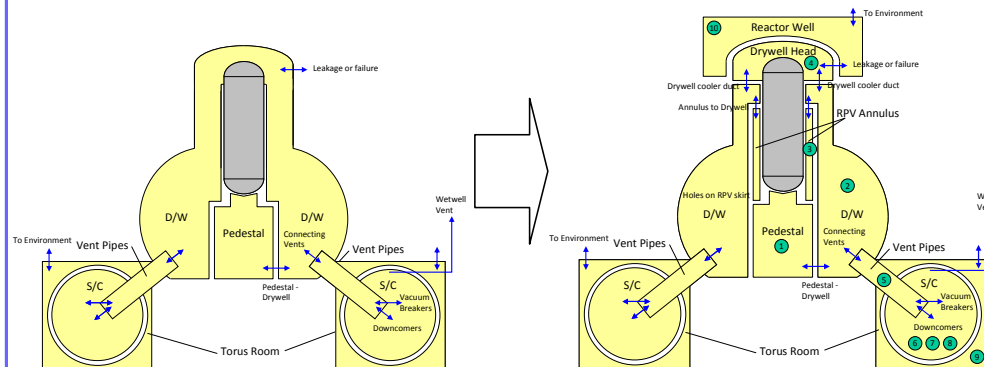
改良項目抽出に用いたMAAP4とのバージョンの違いを確認するために、最新版のMAAP5での解析を実施し、この結果をもとに高度化の方針を明確にする。炉内又は格納容器内に分散して存在する燃料デブリの組成、存在位置及び存在量等を定量的に把握することを目的とした解析を実施するため、平成23年度に抽出したMAAP改良項目に基づき、解析コード高度化仕様を策定する。

1. 最新版MAAP5による福島第一原子力発電所事故進展解析

- 既存MAAP4解析データ(プラントデータ及び境界条件)に基づき、MAAP5解析データを作成
- 2号機暫定解析例(下図は格納容器圧力変化)によれば、MAAP4と同等な結果が得られることを確認
 - 昨年度抽出した解析モデルの課題はMAAP5に対しても同様



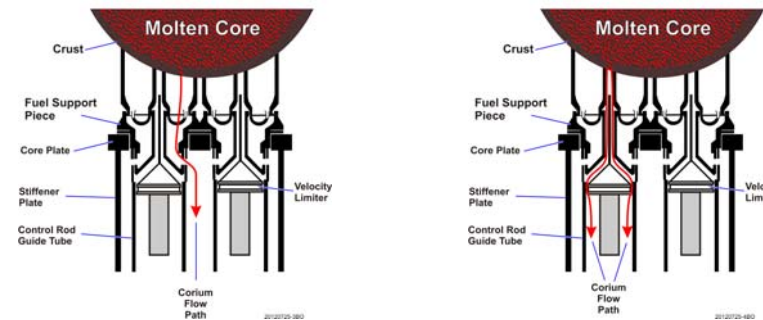
- 炉内のみならず、格納容器挙動についても評価精度向上の観点から、ノーディング見直しを計画



2. MAAP解析モデルの高度化仕様の決定

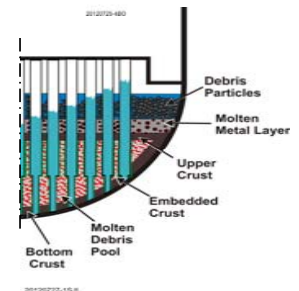
■ モデル改良案の策定

- 原子炉一次系水位評価モデルの改良
 - ダウンカマ形状に関する入力を可能とし、水位評価精度向上
 - 再循環配管/ジェットポンプの2グループ分割(リーク発生ループの考慮)
- 炉心領域の炉心損傷進展モデルの改良
 - 炉心領域から下部プレナムへの新規移行経路と熱的相互作用の考慮



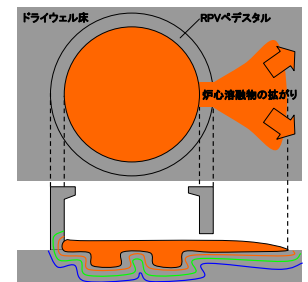
c. 下部プレナム内デブリ挙動モデルの改良

- 熱構造材としてのCRD配管取り扱いの改良(単一→複数)
- CRD配管の部分的熔融考慮
- 粒子状デブリの下部プレナム内分布の考慮
- デブリの非対称堆積の考慮



d. 格納容器内デブリ挙動モデルの改良

- デブリ拡がり挙動に関する既往解析的及び試験的知見の反映
- ペDESTAL Samp内でのコンクリート侵食挙動の考慮
- 側壁との接触有無を考慮したコンクリート侵食モデル



②-2 & ③-2 SAMPSONコード改良・解析(1/2)

H24年度の実施内容

平成23年度に抽出したSAMPSON改良項目に基づき、解析コード高度化仕様を策定する。これらの改良項目を反映した改良SAMPSONコードにより、炉内又は格納容器内に分散して存在する燃料デブリの組成、存在位置及び存在量等を定量的に把握することを目的とした解析を実施し、既存の解析結果の改善と精度向上に向けた課題の抽出を行う。

1. コードの改良・モデルの追加

1.1 炉内計装管等の溶融・損傷モデルの追加

- ・制御棒温度に基づき炉内計装管(SRM)の損傷を判定する簡易モデルで、1230K(応力>降伏応力)でSRMを破損させた場合(初期破断面積 $2.7 \times 10^{-4} \text{m}^2$)、炉内圧力の測定値と整合する解析結果を得た(図1)。
- ・計装管を追加した詳細モデルは10月末までに組み込み、検証解析に着手予定。

1.2 圧力容器から格納容器ドライウェルへの直接漏洩経路の追加

- ・インターフェースデータの設定により、圧力容器からドライウェルへ直接漏洩させることができるようにモデルの修正を完了。

1.3 冷却系統機器の部分負荷運転モデルの追加

- ・従来、流量の境界条件で模擬していた1号機の非常用復水器(IC)を、伝熱管と水タンクで模擬。これにより、初期の炉内圧力変化を概ね再現(図2)。プラントデータのリリース後、モデルを見直し、再現性を向上させる。
- ・隔離時冷却系(RCIC)の部分負荷運転を流量の境界条件で模擬した解析を実施。注水流量を定格値の30%、抽気蒸気のエネルギー損失係数を2000とした場合、炉内圧力の測定値と整合する解析結果を得た(図3)。
- ・圧力容器解析モジュールと格納容器解析モジュールとの複数の接続を可能とする詳細モデルは10月末までに組み込み、検証解析に着手予定。

2. 計算時間短縮のためのコード改良

2.1 結果の詳細さと計算時間を両立できる最適な領域分割の検討

- ・炉心領域の径方向及び軸方向の分割数を修正した場合に、変更が必要になる箇所を明確化。軸方向分割数を従来の10から20に変更した検証解析を開始。

2.2 並列化の手法の調査とコードへの適用性検討

- ・プロフィール情報を取得中。ファイル経由のデータ受け渡しが多く、ボトルネックになる恐れがある。対策としてMPI経由の通信関数に置き換える。

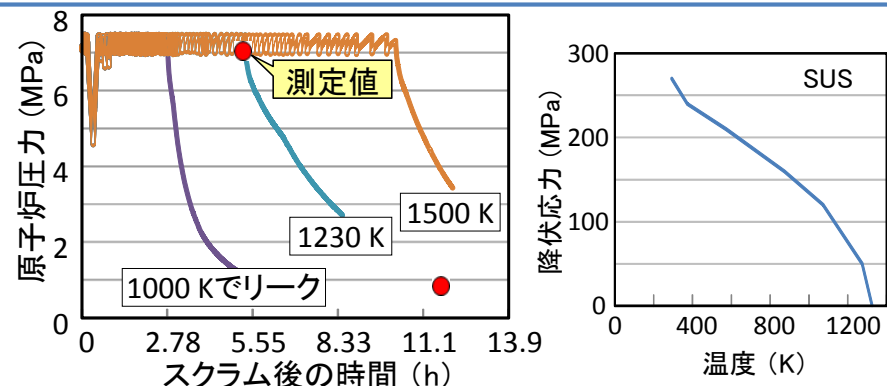


図1 炉内計装管の破断を模擬した解析(1号機)

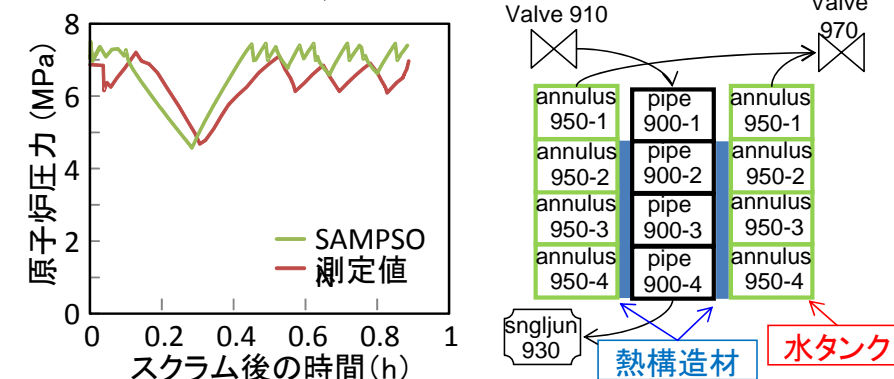


図2 非常用復水器の模擬性の向上(1号機)

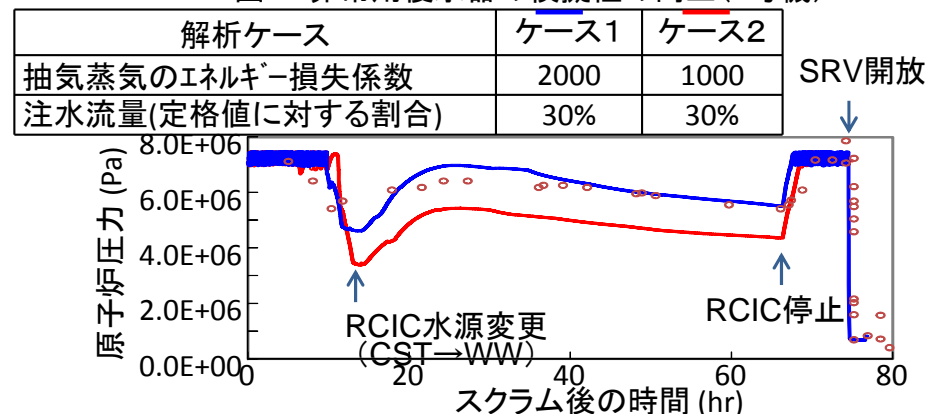


図3 RCIC部分負荷運転の模擬(2号機)

②-2 & ③-2 SAMPSONコード改良・解析(2/2)

3. 入力データの更新と解析結果のユーザー依存性確認

3.1 解析用データベースに基づく1号機～3号機の入力データ更新

・解析用データベースに基づきSAMPSONの入力を作成するためのエンジニアリングシートを作成中。マニュアルに記載の無い入力をリストアップし、ソースコードの分析に基づき、入力修正の必要性を判断中。

3.2 異なるユーザーによる解析に基づくユーザー依存性の確認

・異なる計算機環境での影響を確認中。

4. 改良コードによる福島第一原子力発電所1～3号機の解析

改良を実施した解析コードの信頼性確認のため、解析を実施

4.1 改良モデルを反映した1号機解析

・非常用復水器の修正モデル、炉内計装配管の模擬モデルを適用して解析中。格納容器圧力の模擬性を向上させるため、非凝縮性ガスの挙動等を確認中。

4.2 改良モデルを反映した2号機解析

・RCICの部分負荷運転を、ポンプモデルで模擬する解析に着手。
・サプレッションプールからトラス室への熱伝達を模擬するモデルを作成。検証解析を開始。

4.3 改良モデルを反映した3号機解析

・MSIV閉止のタイミングを見直し、初期過渡事象の予測精度を向上。
・RCIC/HPCIの部分負荷運転をポンプモデルで模擬し、炉内圧力、炉内水位の測定値と整合する解析結果を得た(図4)。
・サプレッションプール(S/P)での温度成層化を蒸気の不完全凝縮で模擬。格納容器スプレイモデルを改良して格納容器圧力の模擬性を向上(図5)。

4.4 1号機のシュラウド構造解析

・1号機の最新解析結果における温度分布(スクラム後9.4時間)を境界条件として採用し、シュラウドの構造解析を実施。
・応力のかかる箇所、温度の高い箇所での変形の可能性が高まることが確認され、構造解析コードの適用性を確認した(図6)。

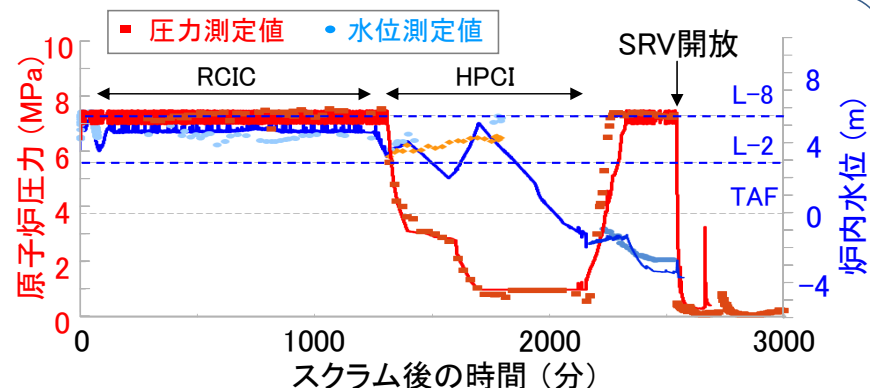


図4 RCIC/HPCIの部分負荷運転を模擬した解析(3号機)

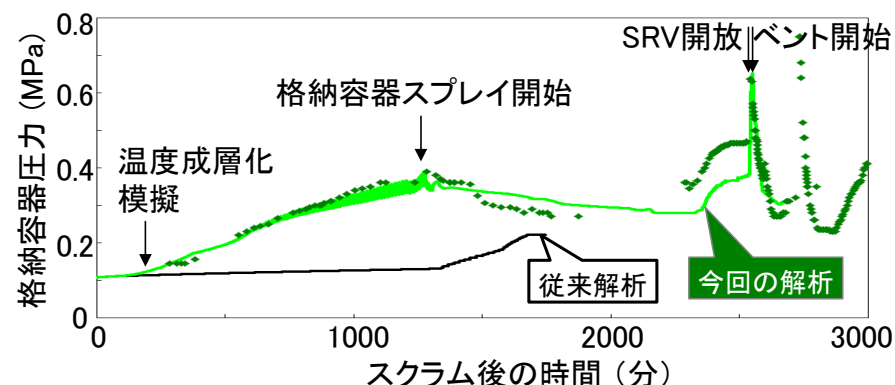


図5 S/Pの温度成層化を模擬した解析(3号機)

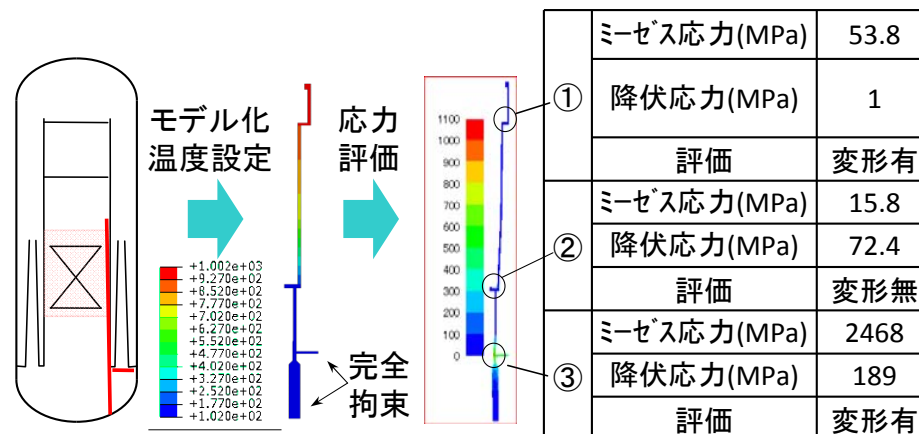


図6 シュラウドの構造解析(1号機)

④-1 現場オペレーションから得られる情報を活用した炉内状況把握

H24年度の実施内容

プロジェクト実施委員会の一員として、東京電力から現場のオペレーションより得られる炉内状況把握に資する情報を実施委員会に共有する。また、その情報を利用し炉内状況把握のための検討を実施する。

最近の主な現場オペレーション

・トラス室調査

- 1u: 原子炉建屋1階床 配管貫通部からの目視調査 (H24.6.26)
- 2u: ロボットによるトラス室内の線量測定および目視確認 (H24.4.18)
- 3u: ロボットによるトラス室内の線量測定および目視確認 (H24.7.11)

・炉注水源への冷凍機(チラー)インサービス

1~3u共用の炉注水タンクに、夏期の水温上昇対策として、冷凍機(チラー)をインサービス (H24.7.18)

・水素の有無確認のためのS/C窒素注入

1uにS/C注入 (H24.9.4)、今後の窒素注入については検討中

・PCV内部調査

- 1u: PCV貫通部(ペネ)からの調査 (H24.10.9~10.13)
- 2u: PCV貫通部(ペネ)からの調査 (H24.1.19)(H24.3.26)



1号機PCV内部(水面確認)

炉内状況把握

炉内状況把握のための検討の一例として、現場オペレーション等から得られた情報をもとに、圧力抑制室の状態を推定し、原子力安全・保安院「東京電力(株)福島第一原子力発電所事故に関する技術ワークショップ」(H24.7.23~7.24)にて結果を発表

●トラス室内の手すり・マンホール塗装の腐食状況の違い

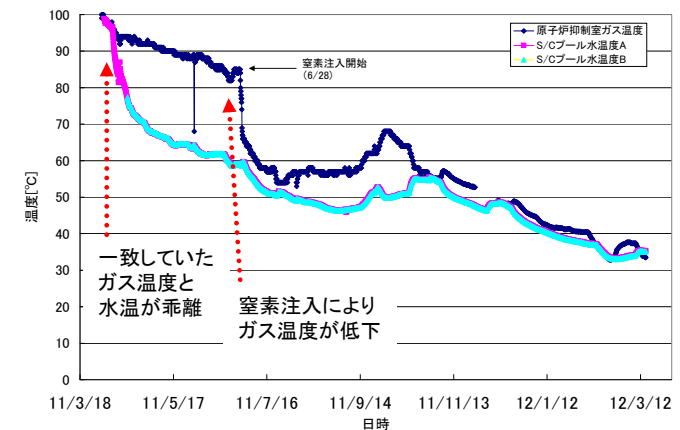


1号機トラス室内部

2号機トラス室内部

3号機トラス室内部

●2号機S/C温度計でのみ観察された特徴的な温度挙動



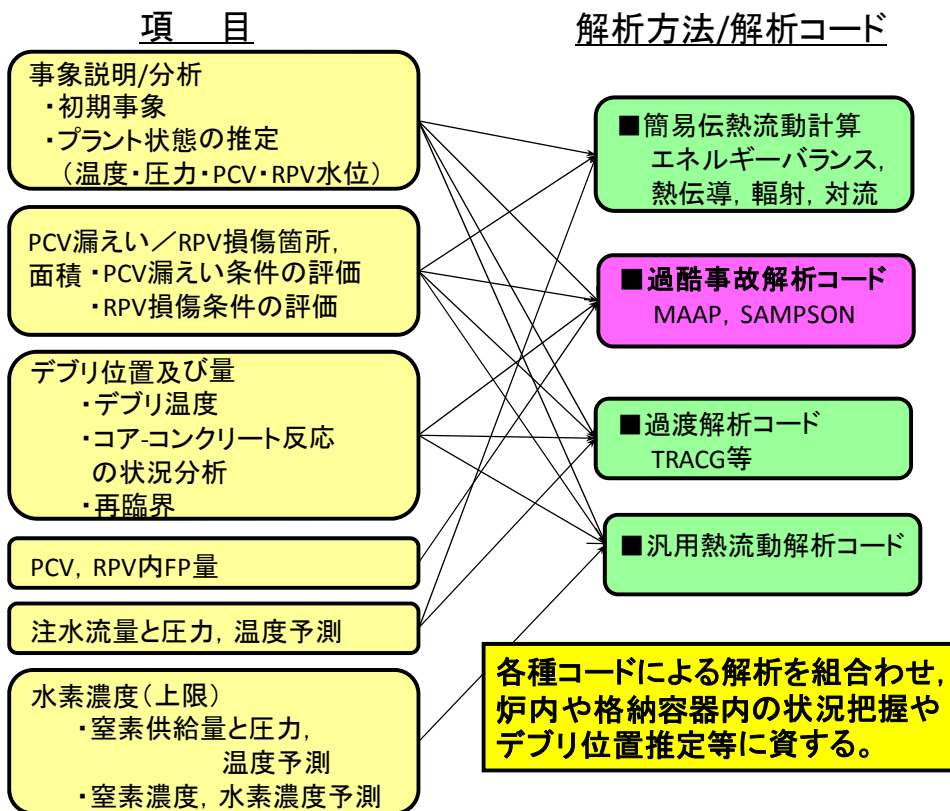
④-2 シビアアクシデント解析コード以外のコードから得られる情報を活用した炉内状況把握

平成24年度の実施内容

格納容器、炉内状況把握に資するため、圧力・温度などの熱水カパラメータに関して、簡易モデルや各種コード（汎用熱流動解析コード等）も用いた評価、デブリ拡がり・冷却挙動解析等を行い、炉内及び格納容器内の状況を総合的に検討する。

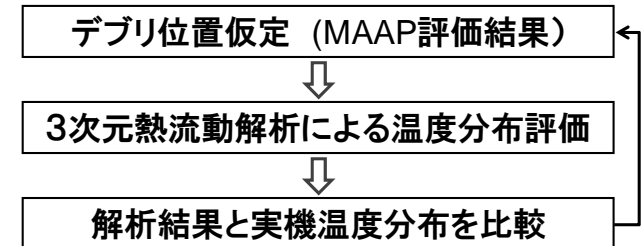
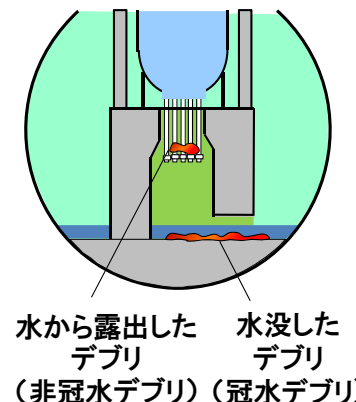
○簡易モデルや各種コードによる評価

炉内及び格納容器内の熱バランス等を評価する簡易伝熱流動モデルや、実機形状を3次元体系でモデル化可能な汎用熱流動解析コード等を活用して、プラントの状況を評価する。



実績

- ▶PCV3次元熱流動解析における主要解析パラメータを選定した。（デブリ位置，発熱量）
- ▶試解析によるPCV内温度分布と実機測定値を比較し，解析手法の有効性を確認した。
- ▶解析精度向上の観点から，構造材伝熱モデルの追加などの改良点を抽出した。



3次元解析での評価フロー

⑤OECD/NEA 国際ベンチマーク解析プロジェクトの準備状況(9月末現在)

平成24年度の実施内容

燃料デブリがどのような割合で分布しているかなど、福島第一での廃炉作業に対し有益となる情報を、各国が所有する解析コードを用いて評価するため、OECD/NEAを事務局とした国際協力事業として、ベンチマーク解析プロジェクトが開始される。ワークショップの運営や評価に必要なプラントデータの整備等を実施する。

プロジェクト名: The OECD-NEA Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (BSAF) Project

実施期間: 平成24年11月～平成26年3月末(フェーズ1)

参加機関: 以下の8か国

日本: JAEA、JNES、電中研、東電、東芝、日立GE、エネ総工研

米国: USNRC、(USDOE)、 フランス: IRSN、CEA、 ドイツ: GRS、 韓国: KAERI、

ロシア: IBRAE、 スペイン: CSN、 スイス: PSI

運営機関(Operating Agent): JAEA(代表: 永瀬文久氏)

解析対象: 福島第一原子力発電所1号機～3号機における地震発生後6日間の事故進展挙動
【ただし、格納容器内事象に限定(水素爆発、FPの環境拡散は除く)し、今後の検討事項とする】

作業項目と現在の進捗状況:

- ✓ プラント仕様の項目リスト、設定した境界条件、使用する専門用語統一のための用語集・略語集を作成
- ✓ 運営会議およびワークショップ(11/6～11/8)、ならびにサイト視察(11/9)の準備を実施
- ✓ 公開情報や参加者への情報共有のためのWEB PORTALの立ち上げ準備を実施

課題と今後の予定

① PIRT (Phenomena Identification Ranking Table)の作成

- ・ ランキング根拠に関するレポートの作成

②-1 & ③-1 MAAP高度化およびMAAP5による解析

- ・ MAAP高度化における実機詳細形状のモデル化範囲や方法の検討
⇒ プラントメーカーによる実機形状調査に基づいて、EPRI/FAIとの十分な協議を行って検討を進める。
- ・ PIRT結果の整理とMAAPでのモデル化状況との対比に基づく改良項目への反映
⇒ PIRTでの重要度高かつ既知と評価された現象のうち、MAAPでモデル化されていない現象の追加可否について、MAAPによるプラント挙動評価での現象評価の目的や解析コードアルゴリズム上の制約等をEPRI/FAIと十分協議して検討を進める。

②-2 & ③-2 SAMPSONコード改良・解析

- ・ 今年度の実施項目は予定通りに進捗。今後、改良モデルの検証、改良モデルを反映した解析を進める。
- ・ 計算時間の短縮が課題であり、並列化の手法の調査とコードへの適用性検討を実施中。

④-1 現場オペレーションから得られる情報を活用した炉内状況把握

- ・ 今後予定されている現場での作業(3号機のPCV内部調査等)についても、情報共有をはかっていく。

④-2 シビアアクシデント解析コード以外のコードから得られる情報を活用した炉内状況把握

- ・ PCVエントリーで得られたPCV水位、温度情報等を3次元解析モデルに適宜反映するとともに、構造材伝熱モデルを検討して、より実機条件を模擬した解析を進める。

⑤ 国際ベンチマーク・データベース整備

- ・ 本年11月に第一回ベンチマーク会合を実施予定。

JAEAによる模擬試験等

- ・ 模擬試験の検討を進めるとともに、関連する基礎データの取得や解析モデルの開発を行う。