

# 平成26年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金 (事故進展解析及び実機データ等による炉内状況把握の高度化)

## 完了報告

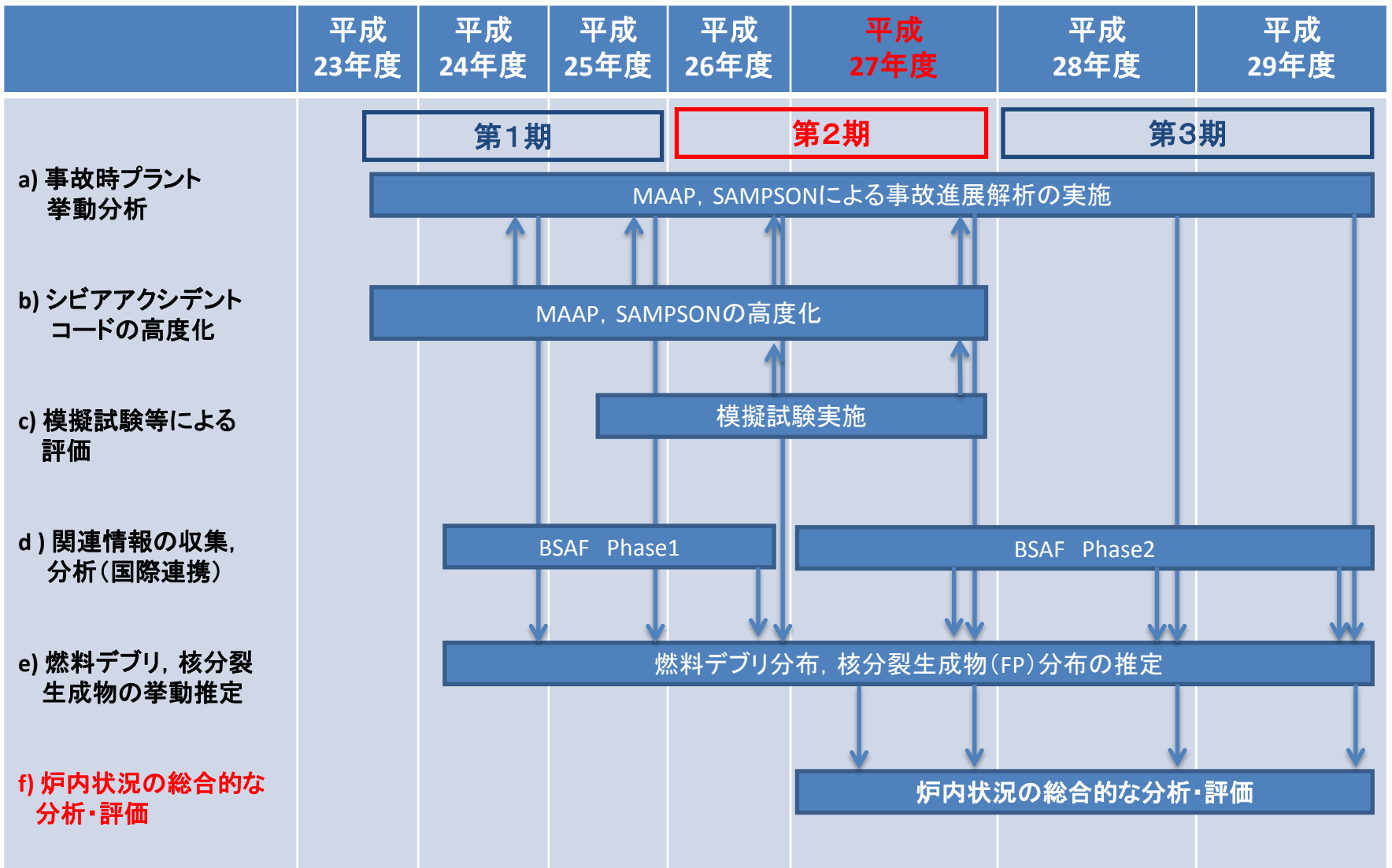
平成28年3月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)  
一般財団法人 エネルギー総合工学研究所(IAE)

# 全体計画－必要性

- 福島第一原子力発電所の廃止措置において、原子炉内の燃料デブリや核分裂生成物等の状況を推定・把握することは不可欠であるが、**現状、高線量下にある炉内を直接観察することは困難な状態である。**
- 代替として、事故進展解析技術が期待されるが、モデルや入力条件の相違等によって、不確かさを含むものである。したがって、炉内状況を正確に把握するためには、**事故進展解析技術を高度化するとともに、現場等で得られる様々な測定データ・情報を考慮した総合的な分析・評価を行う必要がある。**
- このような状況より、本事業では、以下の技術開発を実施する。
  - (1) シビアアクシデントコードとして、産業界で多く利用されている**MAAP**及び機構論的モデルを採用している**SAMPSON**について、平成23年度から継続実施されている**高度化**を行い、あわせて、**必要な試験**、**MAAP/SAMPSONを補完する評価等**を行う。これらによる評価結果と海外知見(OECD/NEA **BSAF**)を反映して、**炉内状況の推定**を実施する。
  - (2) 炉内状況を推定するために必要なデータ・情報を収集・整理して**データベース化**し、**事故進展解析結果**、**他の研究開発プロジェクトの成果**（例えば「格納容器内部調査技術の開発」、「原子炉内燃料デブリ検知技術の開発」等）及び**実機データ**等を反映しつつ、**炉内状況を総合的に分析・評価**する。
- 本事業により、**デブリ取出し**（2017年夏頃に方針を決定する予定）、**廃炉作業に資する情報を提供**することを目的とする。

# 全体計画－実施工程



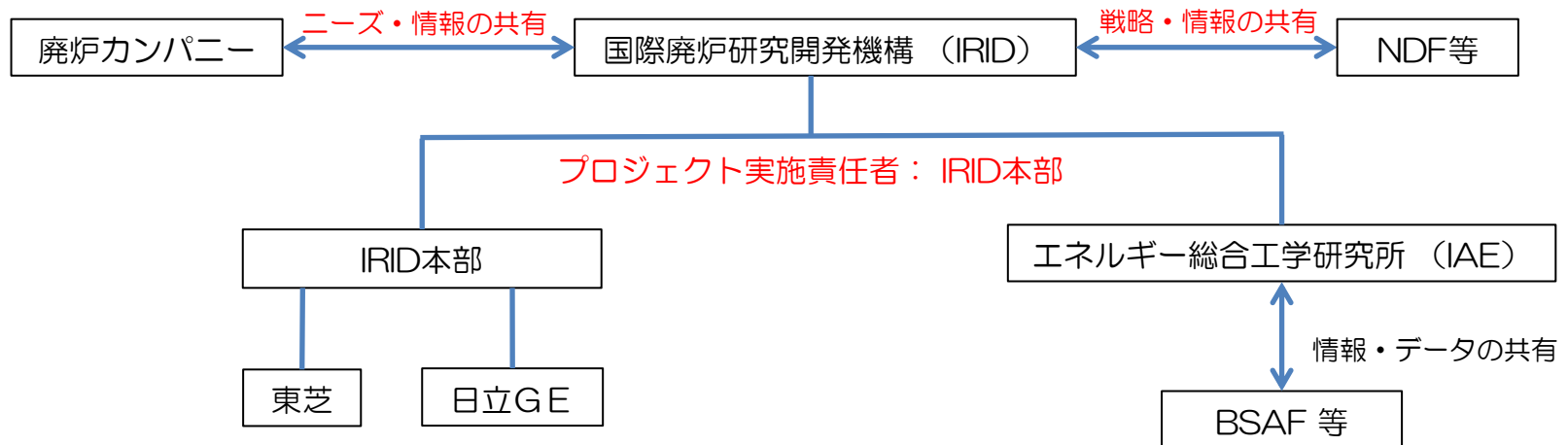
# 平成27年度の実施概要と実施体制

## ○ 実施概要

海外機関との協力等により国内外の叡智を結集し、燃料デブリの位置等の炉内状況を推定する事故進展解析技術の解析精度の向上を実現した。高度化した事故進展解析技術の成果を活用し、実機から得られるデータ・情報及び他プロジェクトの研究成果も踏まえて、総合的な分析・評価を実施し、原子炉圧力容器(RPV)内や格納容器(PCV)内に分布すると想定される燃料デブリの存在位置・存在量・組成及び核分裂生成物(FP)の分布を推定した。

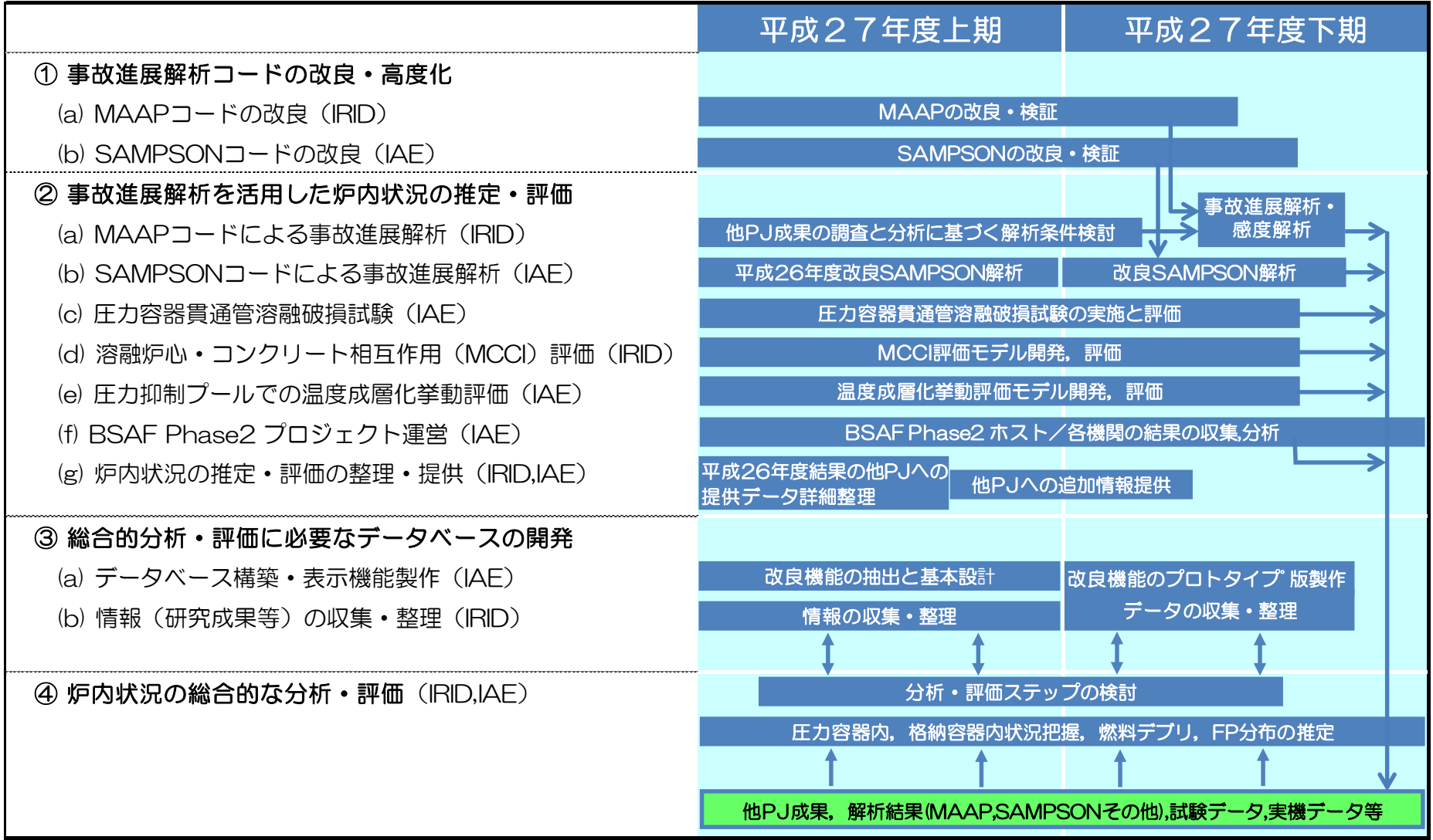
## ○ 実施体制

本事業は、IRIDとIAEとの共同体制で、IRIDが全体のプロジェクト管理を行い、IAEと連携して、事業を実施した。IRIDでは、IRID組合員である東芝及び日立GEと連携して事業を実施した。また、廃炉カンパニー及びNDF等とニーズ・情報等を密に共有しつつ、事業を推進した。



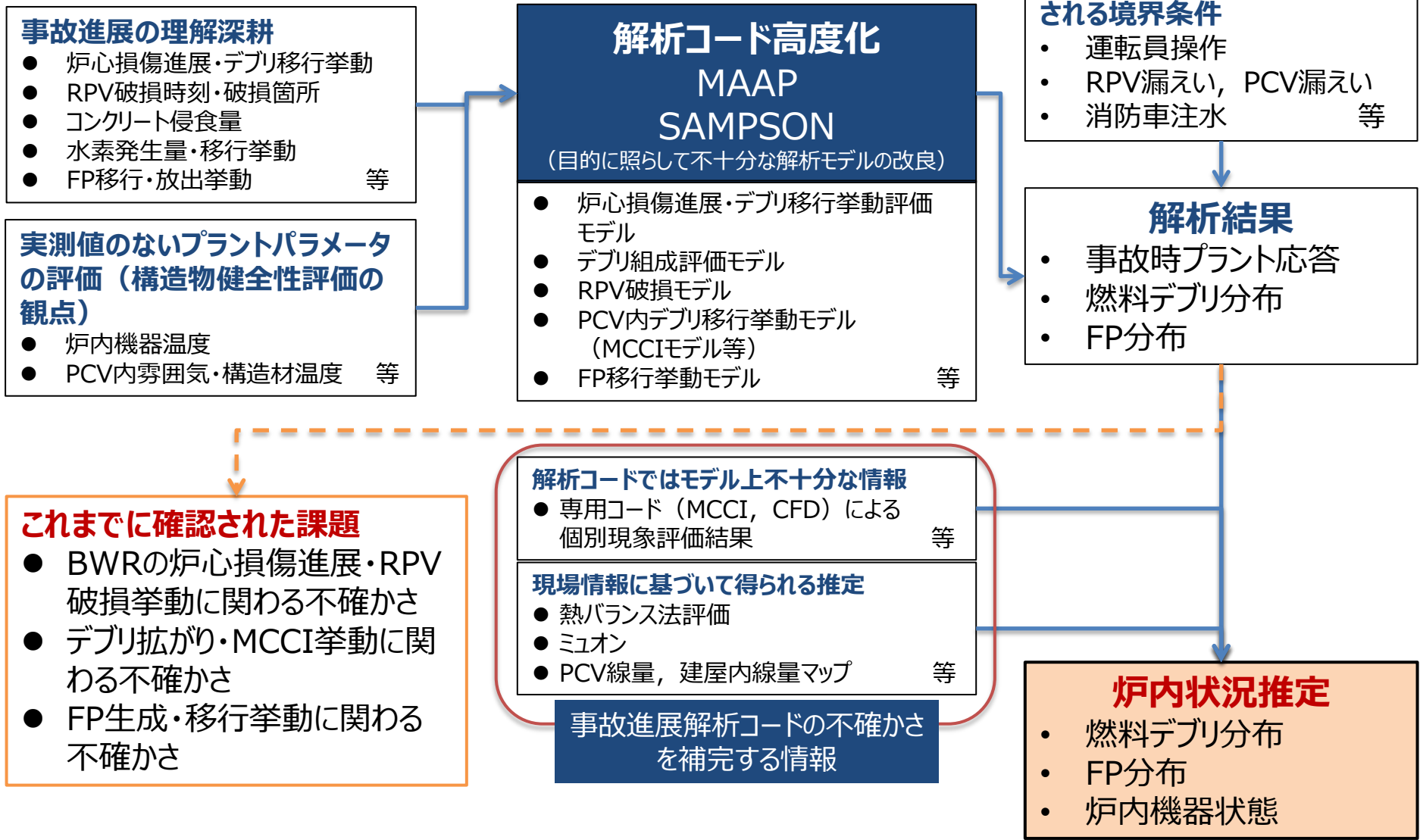
(他の研究開発プロジェクトメンバーとも連携する)

# 平成27年度の実施項目と概略工程



# 平成27年度の実施内容

## ① 事故進展解析コードの改良・高度化

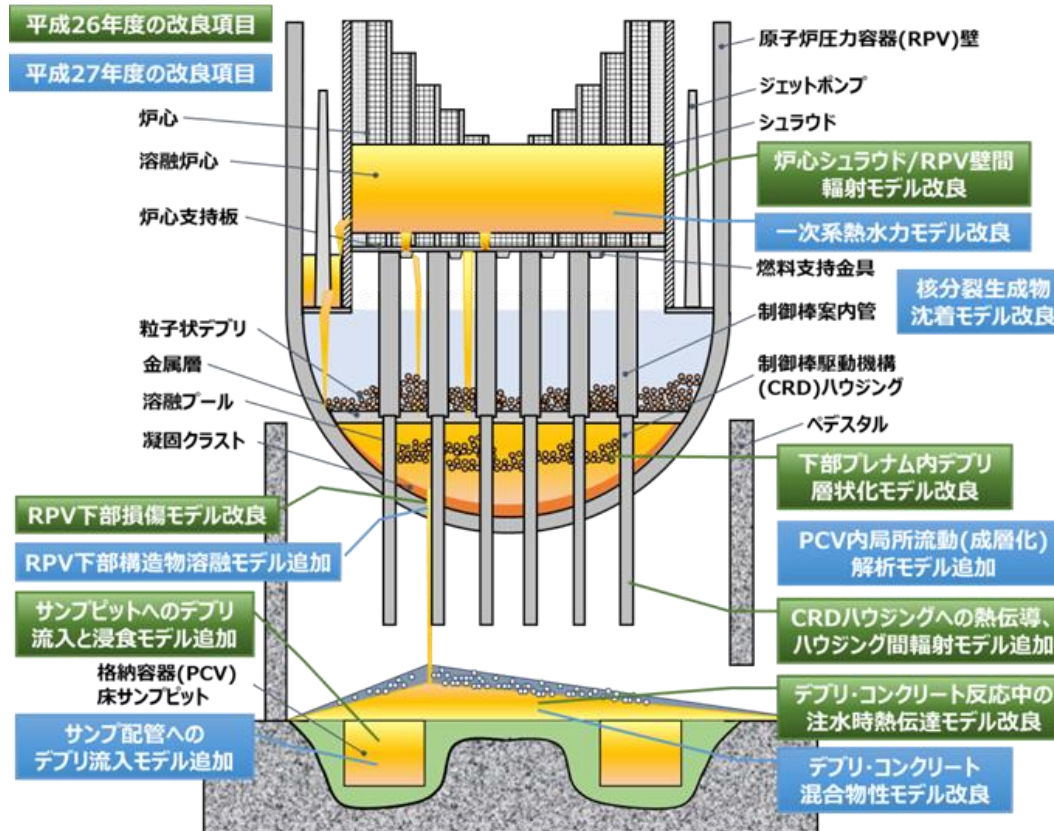




# 平成27年度の実施内容

## ①-(a) MAAPコードの改良 (1/2)

- 燃料デブリ分布，核分裂生成物分布，炉内機器状況推定の高度化を目的
- 平成26年度に策定した高度化仕様（PIRTによる）に基づきコード改良を実施



### 高度化成果の活用先 (一例)

- PCV/RPV内デブリ/FP分布の推定精度向上→廃炉作業の遮蔽検討
- 事故時経験温度・圧力等の推定精度向上→PCV/RPV健全性評価
- PCV高さ方向温度分布評価 (成層化モデル) →過温損傷箇所の推定

## 平成27年度の実施内容

## ①-(a) MAAPコードの改良 (2/2)

平成26年度改良項目

平成27年度改良項目

目的	モデル高度化内容	改良効果
炉心損傷進展評価の高度化	シュラウド/RPV壁間輻射モデル改良	<ul style="list-style-type: none"> <li>シュラウド熱伝導及びシュラウド/RPV内壁間の輻射の二次元化により、デブリ接触時にもシュラウド溶融が生じにくい結果となった。</li> </ul>
	一次系熱水カモデル改良	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉心露出から損傷に至るまでの原子炉水位や圧力の応答評価を高度化することにより、その後の炉心損傷に伴う水素発生量評価の精度が向上した。</li> </ul>
原子炉压力容器 (RPV) 内 デブリ分布・組成評価の高度化	下部プレナム内デブリ層状化モデル改良	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉心部から段階的に落下するデブリ固化堆積状態のモデル化及びCRDハウジングからの放熱モデルの追加により、下部プレナム内デブリ冷却効果が大きくなった。</li> </ul>
	RPV外CRDハウジングへの熱伝導、ハウジング間輻射モデル追加	
	RPV下部ヘッド損傷モデル改良	<ul style="list-style-type: none"> <li>CRDハウジングサポートによる拘束を考慮し、ハウジングが落下しないモデルに変更し、大口径破損が生じにくい結果となった。(2号機のPCV内部調査でCRDは大規模な損傷を受けていない可能性が高い事実に対応する結果)</li> </ul>
格納容器 (PCV) 内 デブリ分布・組成評価の高度化	デブリ流出時RPV外下部構造物溶融モデル追加	<ul style="list-style-type: none"> <li>PCV内に落下したデブリに混入する金属量の推定精度が向上した。</li> </ul>
	サンピットへのデブリ流入と侵食モデル追加	<ul style="list-style-type: none"> <li>実機形状を考慮したコンクリート侵食量の評価が可能となった。</li> </ul>
	ペDESTALサンブ配管へのデブリ流入モデル追加	<ul style="list-style-type: none"> <li>ペDESTALサンブ配管を介してドライウェル側へ移行したデブリ量の評価が可能となり、PCV内デブリ分布推定の精度が向上した。</li> </ul>
	コア・コンクリート反応中の注水時熱伝達モデル改良	<ul style="list-style-type: none"> <li>最新知見 (OECD/MCCI計画) を反映したコンクリート侵食量の評価が可能となった。</li> </ul>
	コア・コンクリート混合物性モデル改良	<ul style="list-style-type: none"> <li>最新知見を反映したデブリ固化評価が可能となった。</li> </ul>
PCV損傷位置の推定 (温度分布評価)	PCV内局所流動 (成層化) モデル追加	<ul style="list-style-type: none"> <li>各号機について、過温によるPCV損傷が考えられる位置の推定に活用した。</li> </ul>
核分裂生成物分布評価の高度化	核分裂生成物 (FP) 沈着モデル改良	<ul style="list-style-type: none"> <li>PCVベント配管に付着したFP量の推定が可能となり、廃炉作業の参考情報を得た。</li> </ul>



## 平成27年度の実施内容

## ①-(b) SAMPSONコードの改良 (1/2)

平成26年度改良項目

平成27年度改良項目

目的	モデル高度化内容	改良効果
炉心損傷進展評価の高度化	RPVからの放熱モデルの詳細化	<ul style="list-style-type: none"> <li>RPVからPCV側への放熱を詳細に考慮できるように改良し、RPV内温度及びPCV内温度の評価が、よりの確となった。</li> </ul>
	炉心構造物落下モデルの改良	<ul style="list-style-type: none"> <li>中間部や底部が無くなった燃料棒、制御棒等の欠損部より上を落下させるように改良し、1号機では大部分のデブリが炉心部には存在しない可能性が高いことに相当する結果となった。</li> </ul>
	放出 $B_4C$ と構造物との共晶反応モデルの追加	<ul style="list-style-type: none"> <li>放出<math>B_4C</math>と構造物との共晶を考慮することで炉心構造物の損傷タイミングが早まり、シュラウドなどの炉内構造物が残存する可能性が高くなった。</li> </ul>
原子炉圧力容器 (RPV) 内 デブリ分布・組成評価の高度化	RPV底部貫通管破損モデルの改良	<ul style="list-style-type: none"> <li>貫通管内への溶融物侵入モデル等を追加し、より現実的なRPV破損評価が可能となった。</li> </ul>
	RPV内下部構造物付着デブリの溶融評価モデルの追加	<ul style="list-style-type: none"> <li>RPV内下部構造物であるCRDハウジングへのデブリ付着量の評価が可能となった。</li> </ul>
格納容器 (PCV) 内 デブリ分布・組成評価の高度化	デブリとPCV側面との熱的相互作用モデルの追加	<ul style="list-style-type: none"> <li>PCV側面の温度評価が可能となった。</li> </ul>
	RPV外下部構造物付着デブリの溶融評価モデルの追加	<ul style="list-style-type: none"> <li>RPV外下部構造物であるCRDハウジングへのデブリ付着量の評価が可能となった。</li> </ul>
	コア・コンクリート反応モデルの改良	<ul style="list-style-type: none"> <li>3次元MCCI反応モデルにサンプ間の配管へのデブリ流入、MCCI反応時のデブリ性状の変化等のモデルを追加し、3次元的なデブリ拡がりやコンクリート浸食情報を得た。</li> </ul>
PCV損傷位置の推定	PCV損傷モデルの改良	<ul style="list-style-type: none"> <li>D/W及びR/Bのノード分割を詳細化し、過温破損等の位置の推定に活用できる温度分布の評価が可能となった。</li> </ul>
核分裂生成物分布評価の高度化	核分裂生成物 (FP) 移行モデルの改良	<ul style="list-style-type: none"> <li>ノード分割を詳細化し、圧力抑制プールのスクラッピングモデルを見直し、よりの確なFP分布評価が可能となった。</li> </ul>

# 平成27年度の実施内容

## ①-(b) SAMPSONコードの改良 (2/2)

### ○ 最新版SAMPSONの高速化

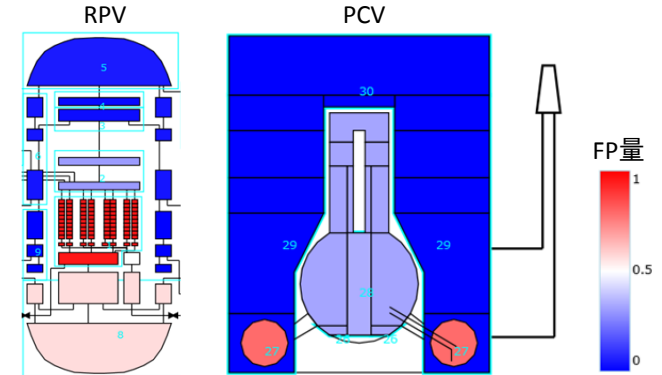
解析時間を短縮するため、解析時間のボトルネックであるMCRAモジュールを対象に、MPI方式による高速化方式を採用した。また、実機解析により検証した。

### ○ 可視化機能の拡張

炉内状況の推定・評価を効率的に実施するため、解析結果の可視化機能を拡張した。(右図参照)

### ○ 過酷事故解析コード高度化のための技術調査

解析コード高度化に資するため、格納容器破損に関する実験データの調査として、Marviken試験など3件を詳細に調査した。また、コア・コンクリート反応の調査を実施した。



解析結果の可視化例 (FP分布)

### ○ 大学共研の活用

・モデルの検証と改良提案のため、昨年度から継続の3件を実施した。

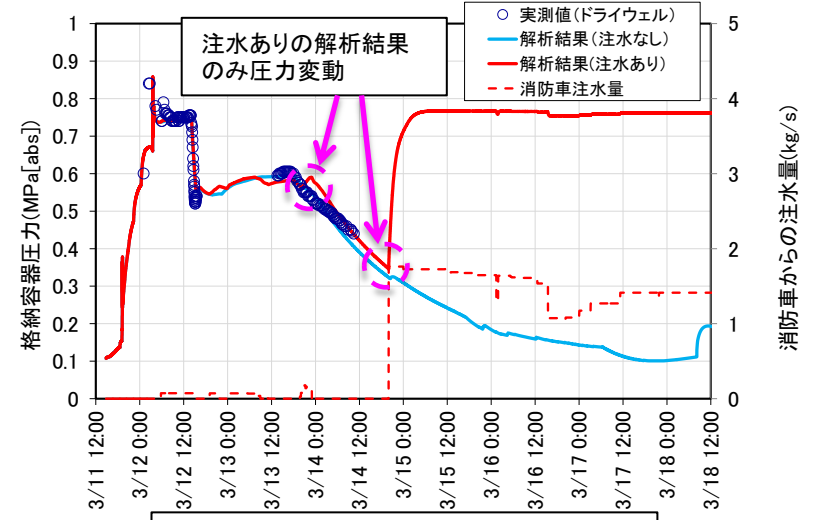
非常用復水器(IC)のモデル化を目的としたIC模擬装置作成と凝縮性能評価	東工大	(a)
圧力容器底部破損モデルの検証解析 (OLHF実験解析)	ミラノ工科大	(b)
溶融炉心の移動と拡がりに関する解析モデルと構成式群の作成と検証	北大	(c)

主要な成果：(a)ICモデル検証用のデータを取得，(b)OLHF実験解析でクリープ損傷モデルを検証。現在のモデルは保守的であり、さらに実験と合う改良モデルを提案，(c)デブリ拡がりの予測式を提案。落下高さが高い場合には、拡がりモデルで考慮していないデブリの飛散が発生するため留意が必要。

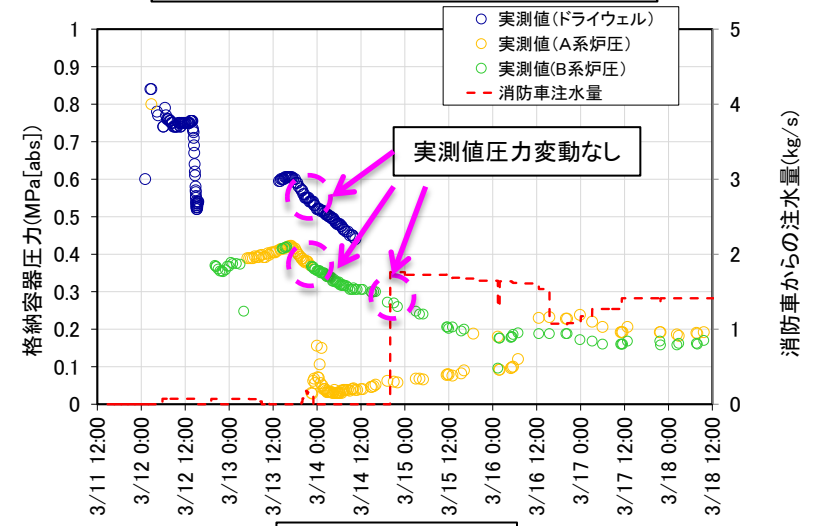
# 平成27年度の実施内容

## ②-(a) MAAPによる事故進展解析（1/4）： 1号機の事故進展解析結果例

- 消防車からの注水がある場合と注水がない場合の感度解析を実施
  - 注水ありのケースでは、注水操作のタイミングで、ドライウェル圧力が変動するが、実測値では圧力はほぼ線形に変化
  - 注水操作（注水の開始/停止）が実施された場合、発生蒸気量が増えるため、格納容器圧力は変動するはずである
  - 圧力実測値では、その変動が見られず、注水なしの場合の変化に近いこと、事故初期にはRPVへは冷却水は殆んど届いていなかった可能性が高いことを確認
- ⇒ 今年度のベース解析条件として設定



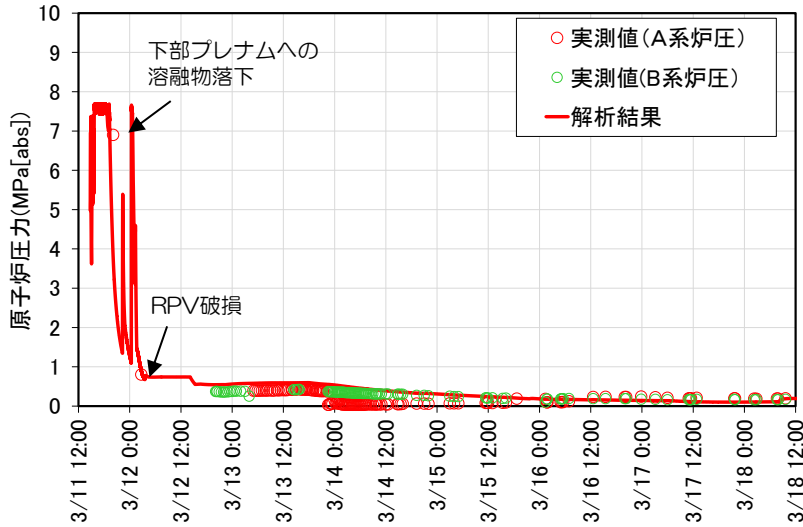
解析によるドライウェル圧力変化



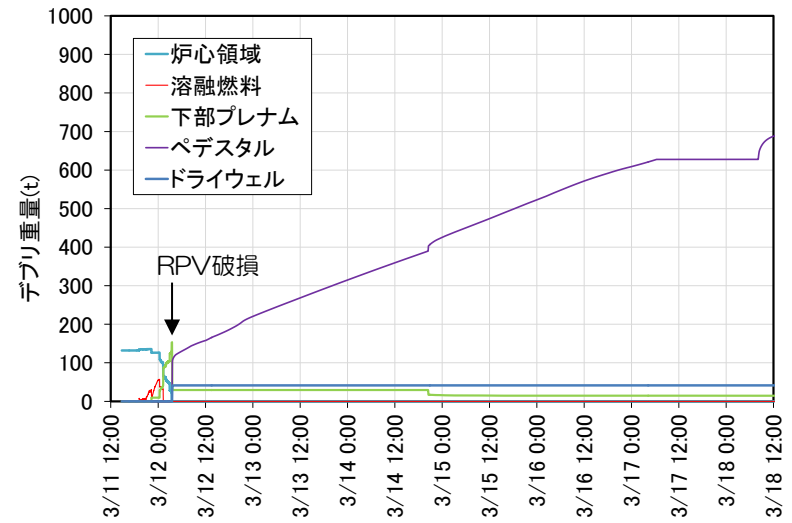
圧力の実測値

# 平成27年度の実施内容

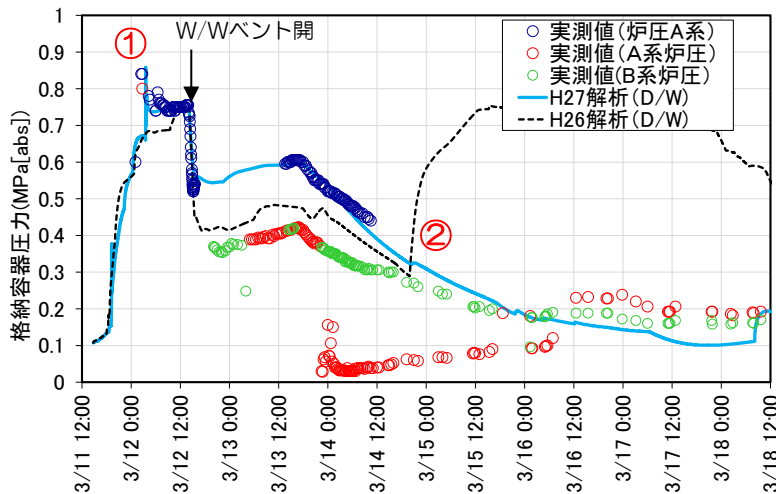
## ②-(a) MAAPによる事故進展解析 (2/4) : 1号機の事故進展解析結果例



(1)RPV圧力変化



(3)デブリ重量変化



(2)PCV圧力変化

- 1次系モデル改良に伴い、炉心部での水素発生量増大  
⇒ ①PCV圧力ピーク値が実測値とほぼ整合
- 消防車からの注水量は0として設定  
⇒ ②H26解析のような注水後の蒸気発生による圧力上昇なし
- RPV破損モードは、核計装管内に流入した燃料デブリが一旦固化するが、再発熱して計装管破損に至る状況  
⇒ KAERI核計装管模擬試験結果と類似する傾向

## 平成27年度の実施内容

## ②-(a) MAAPによる事故進展解析（3/4）：2号機の事故進展解析結果例

## 【目的】

- 事故進展及び炉内状況に対して重大な影響を与えたと推測されていた2号機のRPV減圧後の圧力挙動に着目し、メカニズム理解を目的とした解析を実施

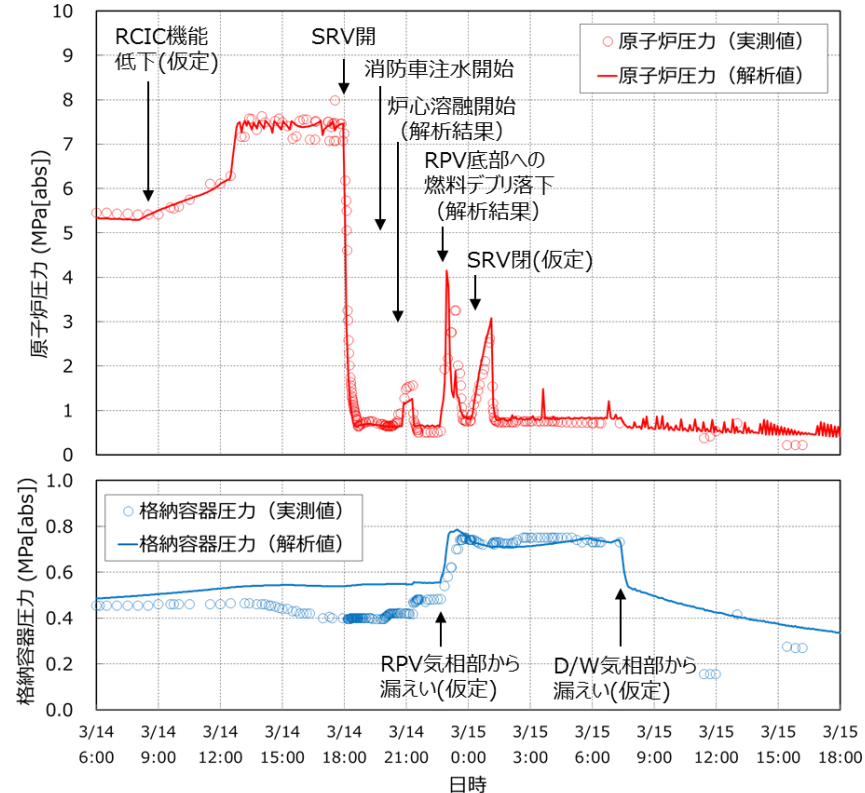
## 【方法】

- 溶融物の下方向への移行と消防車注水によるデブリ冷却が競合する状況での発生が推定される複雑な現象と想定
- 消防車による間欠的な注水（注水量含む），SR弁開閉等の境界条件や水素発生・RPV気相部からの直接漏えい等の物理現象モデルに関わる調整を試行錯誤して実施

## 【結果】

- **RPV圧力及びPCV圧力挙動を概ね再現**
- 解析結果から推定される各圧カスパイクの要因は以下の通り
  - ・第一スパイク：消防車注水により損傷炉心が部分冠水して、水素・水蒸気発生によって昇圧し、注水の一旦停止とSRV開により降圧
  - ・第二スパイク：下部プレナムへのデブリ落下による水素・水蒸気発生によって圧力上昇し、同時にRPVからPCVへの気相漏えいによってPCV昇圧。その後、SRV開により降圧。
  - ・第三スパイク：SRV閉止（仮定）により圧力上昇し、再開放により降圧
- この過程におけるRPV底部へのデブリ落下量は相対的に小さく、**RPV破損の有無はこれ以降の消防車注水量に支配されていた可能性を確認**

- 消防車からの注水は、再循環ポンプシール部からの漏えいや消防車とRPV間でのバイパス経路が発生した可能性があり、**注水がどの程度炉心冷却に寄与したかは極めて不確かさが大きい**ため、感度解析により影響を確認





# 平成27年度の実施内容

## ②-(a) MAAPによる事故進展解析（4/4）：2号機の感度解析結果例

### 【目的】

- 不確かさが大きい消防車注水量の感度解析を実施し、RPV破損有無やデブリ分布への影響を確認

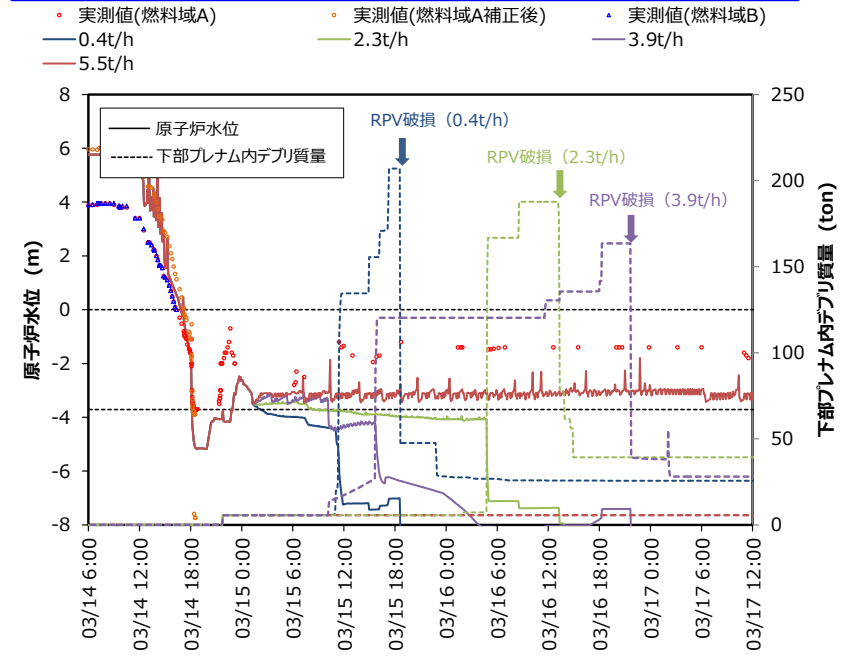
### 【方法】

- RPV圧カスパイク発生後の消防車注水量について感度解析を実施

### 【結果】

- 消防車注水量のわずかな差でRPV破損有無に影響し、また、破損位置に応じてデブリ落下量が異なることを確認
  - ・ RPV破損までの下部プレナム内での保持時間が短いと溶解物量が大きく、破損後の残存量は小さくなる傾向
  - ・ 破損位置が低所の場合、残存量は小さくなる傾向
- RPV破損後のRPV内残存デブリ量の注水量への依存性は小さいことを確認
- 平成27年度のMAAP解析は、RPV破損時刻が東電殿推定（2011/3/15午後）に近くなる**0.4t/h**の条件で実施

### ● 約4t/h未滿の注水量でRPV破損が発生



第3ピーク以降の注水量	RPV破損時刻	RPV破損モード (位置*)	一週間後の下部プレナム内デブリ量	一週間後のPCV内デブリ量 (コンクリート含む)
0.4 t/h	2011/3/15 18:34	計装管損傷 (8/25)	約25t	約232t (ペダスタル：約129t, D/W：約103t)
2.3 t/h	2011/3/16 13:14	下部ヘッドクリーブ破損 (9/25)	約39t	約212t (ペダスタル：約127t, D/W：約85t)
3.9 t/h	2011/3/16 21:39	下部ヘッドクリーブ破損 (4/25)	約28t	約284t (ペダスタル：約140t, D/W：約144t)
5.5 t/h	-	-	約6t	-

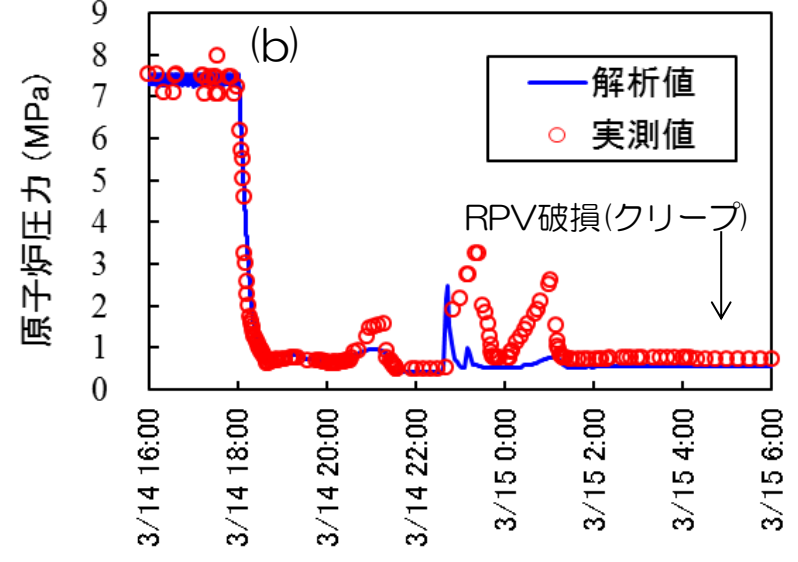
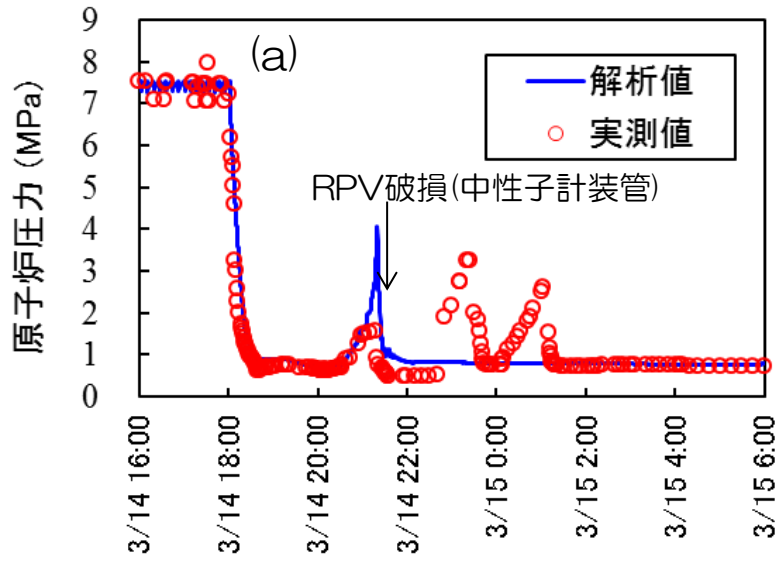
(注)感度解析は一日平均流量実測値をベースにその比率をパラメータとして実施

\*：全25ノード中の底部からの位置



# 平成27年度の実施内容

## ②-(b) SAMPSONによる事故進展解析： 2号機の事故進展解析結果例



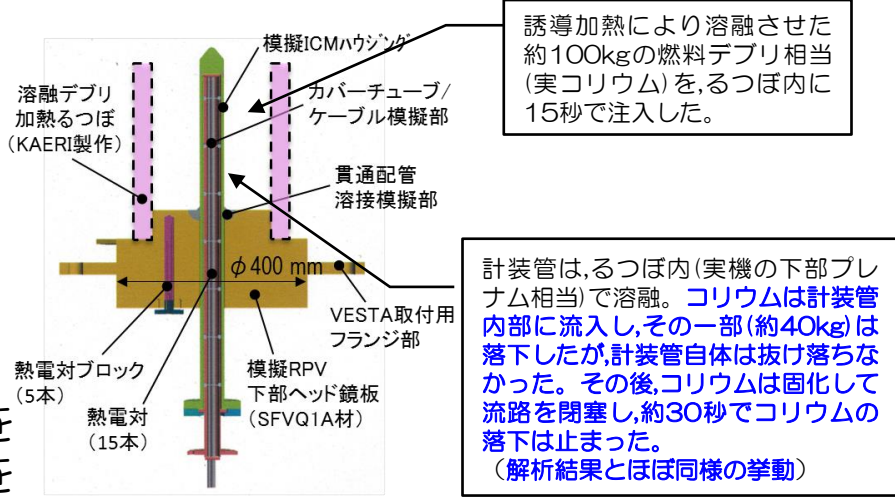
対象とする現象	(a) 昨年度改良版による解析	(b) 今年度改良版による解析
炉心下部でのデブリ保持	デブリは保持されずに下部へ落下	デブリは一時的に保持される
RPV底部の破損	デブリは中性子計装管より主として落下	中性子計装管からの落下は限定的

- 昨年度版の解析では、デブリは炉心下部で保持されずに下部に落下するため、第1ピークが大きく発生。RPV底部破損のタイミングが早いため、第2、第3ピークが発生しない。
- 今年度版の解析では、デブリは炉心下部で一時的に保持され、大きな第1ピークは発生しない。その後のデブリ落下により第2ピーク付近で圧力上昇が発生。圧力ピークの形状を再現できていないが、RPV破損のタイミングは実測値から推定されるタイミングに合う方向に改善。

# 平成27年度の実施内容

## ②-(c) 圧力容器貫通管溶融破損試験

- 試験目的：  
RPV下部ヘッドを貫通する炉内計装管，制御棒案内管等が， $UO_2$ と炉内構造物が混在したコリウムによって溶融する挙動を調べ，解析コードの検証に資する。
- 実コリウムを用いる理由：  
溶融燃料と貫通管材料は高温条件下で共晶反応を起こし，融点が低下する場合がある。この現象を模擬するには実コリウムを用いる必要がある。
- 試験実施場所：韓国原子力研究所（KAERI）

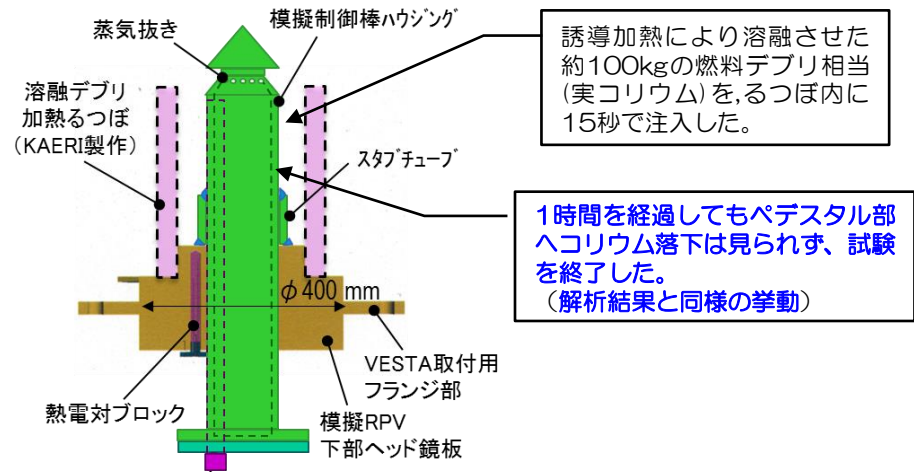


炉内計装管模擬試験 (ケース1)

試験内容	実コリウム(最大100kg程度)を溶融させて，試験体に落下。試験体の外側から誘導加熱し，崩壊熱を模擬。
測定項目	試験体各部の温度，ビデオ撮影等

### 解析コードの検証結果

ケース1	実験による放出デブリ量：約40kg 解析による放出デブリ量：50kg (実機予測値(貫通管4m)：29kg)
ケース2	実験でデブリの放出は無し。解析では制御棒ハウジングは溶融し，デブリが内部に流入するが，RPV外部への放出無し。



制御棒ハウジング模擬試験 (ケース2)

# 平成27年度の実施内容

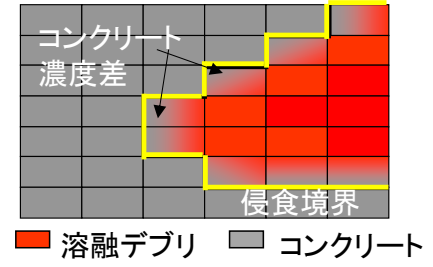
## ②-(d) 溶融炉心・コンクリート相互作用 (MCCI) 評価

SAMPSONコードの中で汎用性の高いDSAモジュールに、**侵食コンクリートの移流・拡散モデル**を追加し、1号機の実機サンプ体系でMCCI評価を実施した。

### 侵食コンクリートの移流・拡散モデル

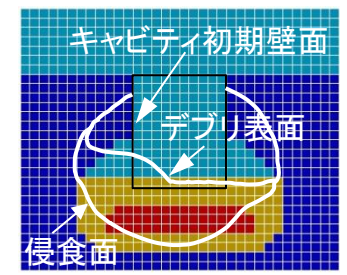
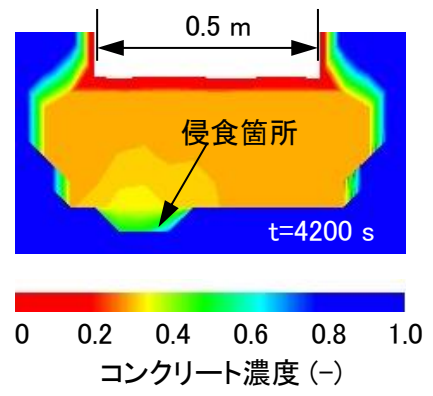
侵食コンクリートのデブリ中への移流拡散モデルを追加

【モデル:コンクリート床断面図】



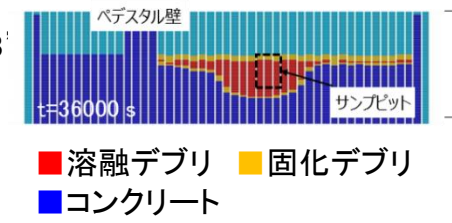
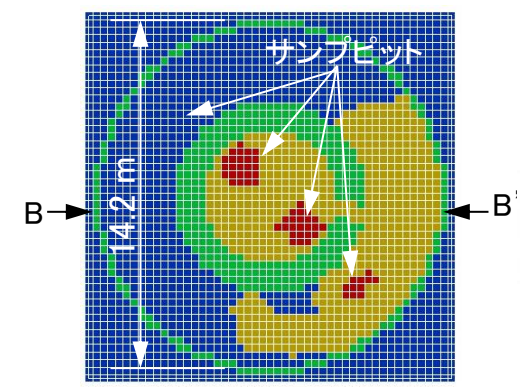
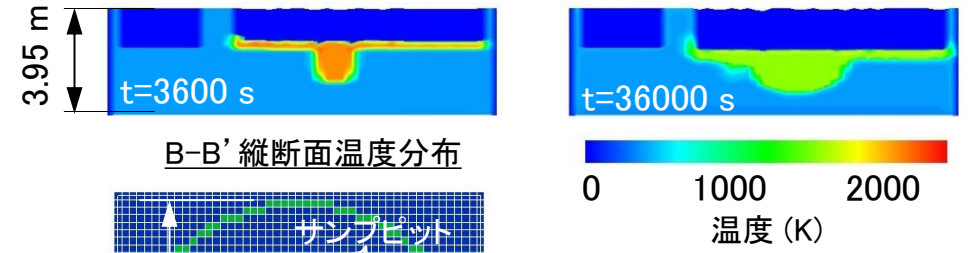
### OECD/MCCI CCI-2試験結果による検証:

最終的なデブリ表面形状を、最大13%の精度で予測



白線: 試験観察データ  
■ 熔融デブリ ■ 固化デブリ  
■ コンクリート

### 1号機でのデブリ拡がり・侵食挙動評価



水平断面固液分布

B-B' 縦断面固液分布

- (1) デブリ拡がり状態
- (2) RPV破損後10hの侵食挙動

- 燃料デブリ拡がり: D/W床面積の約40%  
⇒ サンドクッションドレン管からの漏えいが確認されており、D/W側への燃料デブリ流出の可能性あり。  
ただし、事故後のPCV圧力挙動より、大規模なシェルアタックの可能性は小さいと判断

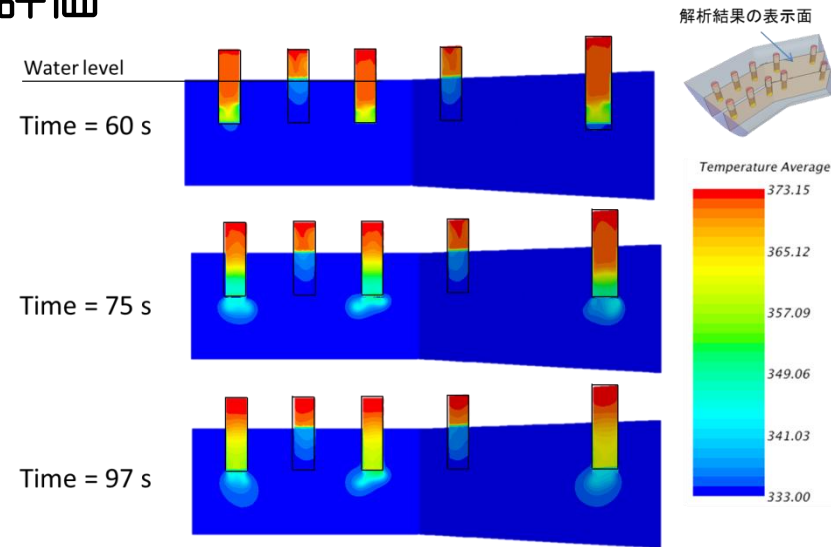
## ②-(e) 圧力抑制プールでの温度成層化挙動評価

評価目的：

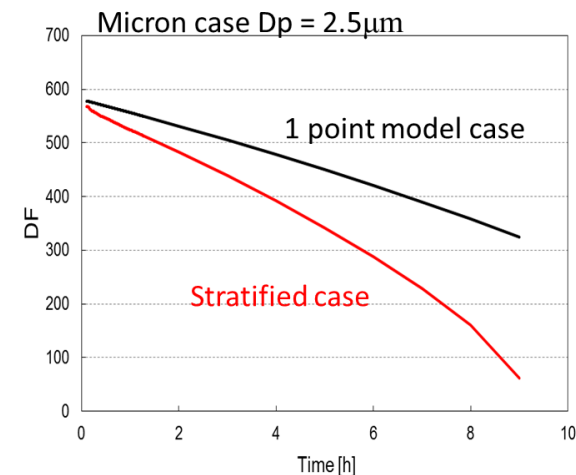
- 燃料から放出された核分裂生成物（FP）の一部はベント管等を介して圧力抑制プール(S/P)の水中に移行し、さらにその一部はS/P空間に移行したと考えられる。
- ガスの質量流量が小さい場合、早い時期に温度成層化が発生し、水中に溶け込む除去効率を示す除染係数（DF）を劣化させた可能性がある。
- 過酷事故解析コード (MAAP,SAMPSON) ではS/Pを1つの領域で模擬しており、DFを過大評価している可能性がある。
- 数値流体力学(CFD)解析による成層化評価結果とDF評価モデル(スクラビングモデル)の改良とを合わせ、FP移行率の評価を見直した。

評価結果：

- プール水温度が飽和温度に近づくと、成層化を考慮することでDFは数分の1に劣化する。（代表的なエアロゾル粒径で評価）
- CFD解析では攪拌を考慮していないが、SRV等の動作でS/Pが攪拌された場合を想定すると、温度は1領域モデルとの中間の値となり、DFの劣化割合も低下すると考えられる。



CFD二相流解析の結果



DFの評価結果例



# 平成27年度の実施内容

## ②-(f) BSAF Phase2 プロジェクト運営(1/2)

- 実施期間：平成27年4月より3年間の予定
- 参加国：Phase1参加国である 仏，独，日，韓，露，スペイン，スイス，米に加え，カナダ，中国，及びフィンランドが，新たに参加
- 実施内容：核分裂生成物(FP)の移行挙動にまでスコープを広げ，廃止措置の進捗に貢献。熱流動に加えて，FP，水化学，材料，プラントの設計・運転の分野を含めた広い範囲の専門家が参加する技術会議を開催し，国際的な共通認識を得た。
- 会議実績
  - 平成27年6月：PRG, MB及びワークショップ（東京）
    - プラントデータの提供，共通解析条件の設定，予備解析結果の議論等
    - ワークショップでは，1～3号機各建屋内のFP分布を評価する手法の提案，汚染水に含まれるCsの評価，大気放出FPの号機依存性等を議論
  - 平成27年12月：PRG及びワークショップ（パリ）
    - 参加機関が実施した初期6日間の解析結果の議論等
    - 日本での取り組み状況を説明
- 情報共有：WEB活用（<https://fdada.info/index>）により会議資料，プラント情報等を関係者で共有（右図）

PRG: Program Review Group Meeting  
MB: Management Board Meeting



# 平成27年度の実施内容

## ②-(f) BSAF Phase2 プロジェクト運営(2/2)

### ● BSAF-2 ワークショップでのFPに関する知見

二つのトピックス、① FP Chemistry and behavior と② Discussion of the contamination in the reactor well expected from the shield plug dose rate について、発表と議論があった。

#### ① Phebus FPプロジェクトの成果も含め、福島を除染に係わる技術知見を紹介。

- ・ CsおよびCsIなどイオン状での付着物は水洗で落ちるが、740℃以上の高温で付着したものは水洗が困難となる実験結果が示された。付着形態の把握が必須。USNRCの評価、PSIの実験に共通で、PCV内およびR/Bでも格納容器に近い部位では高温付着の可能性があり、除染計画にあたり評価必須と考える。
- ・ Cs挙動では粒子化したものの挙動が重要。付着しやすいが、高温では再蒸発という過程で再脱離。上記とあわせて付着形態の把握が必須であるが、Phebus FPプロジェクトを含め、ヨウ素に比べCsの挙動に対する知見は乏しい。
- ・ Csの挙動評価データが少ないという認識は共通で。欧州でもPhebus FPプロジェクトを補う実験を推進中。国内でもJAEAで準備中。
- ・ ヨウ素に関する基礎実験の結果は多い。スクラビング時の有機ヨウ素の放出挙動の発表もあったが、ガス状で挙動する有機ヨウ素の人体への影響に対する質問〔環境に出ても人体に取り込まれて健康に影響する確率は低いのではないか?〕には、的確な回答なし。
- ・ 福島での環境中ヨウ素データ提供に対する要求が強い。<sup>131</sup>I 挙動を含め、既取得データは限定的、<sup>129</sup>I または安定核種 <sup>127</sup>I のデータで<sup>131</sup>I 挙動評価を補うことが可能。

#### ② 東電が2号機 R/B 5階で遠隔測定した線量率に基づき、PCVから遮蔽プラグの隙間を通してのFPの漏洩挙動の情報提供。解析への適用については、2016年で対応予定。



# 平成27年度の実施内容

## ②-(g) 炉内状況の推定・評価の整理・提供

### インプット：

- 東京電力及び関連する研究開発プロジェクト(PCV内部調査、デブリ検知(ミュオン測定))から情報を入手した。
- 一部のプロジェクトは当初予定よりも遅れ、情報量が減った。

号機	番号	入手先 (PJ等)	項目	内容	当初予定時期	最新予想時期	入手時期	備考
共通	0-1	東京電力	プラント測定データ	・温度及び線量測定データ	随時	随時	随時	
	0-2	東京電力	未解明事象の解明 (第3回)	・未解明事象に関する東京電力の評価結果	2015/5月頃	済	2015/5/20	
	0-3	東京電力	未解明事象の解明 (第4回)	・未解明事象に関する東京電力の評価結果	—	済	2015/12/17	
	0-4	BSAF-2プロジェクト	他機関の事故進展評価結果	・BSAF-2プロジェクト参加機関の各号機の事故進展評価結果	2015/12月頃	済	2015/12/10 (概略評価結果)	詳細評価結果は2016/7月頃入手予定
1号機	1-1	PCV内部調査	PCV内部調査 (B1)	・ペDESTAL外側1階グレーチング上での温度、線量、映像情報	2015/4月	済	2015/5月	
	1-2	PCV内部調査	PCV内部調査 (B2)	・ペDESTAL外での燃料デブリ有無	2016/3月頃	調整中		
	1-3	デブリ検知	ミュオン測定 (透過法)	・炉心部のデブリ有無	2015/6月	済	2015/6月	
	1-4	デブリ検知	ミュオン測定 (透過法：位置変更)	・炉心部のデブリ有無 (精度向上)	2015/12月頃	済	2015/12月	
2号機	2-1	PCV内部調査	PCV内部調査 (A2)	・ペDESTAL部の温度、線量 ・ペDESTAL内プラントホームの損傷状況	2015/7月	調整中		
	2-2	デブリ検知	ミュオン測定 (散乱法)	・炉心部及びRPV下部のデブリ有無と分布	2016/3月	調整中		他PJの研究成果等を踏まえて判断する
	2-3	東芝/名大	ミュオン測定 (透過法：原子核乾板)	・炉心部のデブリ有無	2015/7月	済	2015/9月	
	2-4	東京電力/IRID	ミュオン測定 (透過法)	・炉心部及びRPV下部のデブリ有無	—	2016/7月頃		国PJ外の作業
3号機	3-1	東京電力	PCV内部調査	・D/W線量、温度、水位	2015/10月	済	2015/10/29	国PJ外の作業

大分類	要求項目	番号	必要な情報	備考	提出時期	対応方針	要求側PJ
1	燃料デブリ分布の推定	1-1	位置毎に分離	炉心部、RPV底部、ペDESTAL、ドライウェルに分離 (コンクリート浸食量を含む)	2016/3 (見直し版)	H27年度改良版MAAP/SAMPSONIによる解析結果を、総合的な分析・評価結果を踏まえて、2016/3に提供する。 (2015/7月に提供したデータ内容の見直し版を提供する。なお、総合的な評価結果から最確値を定め、重要な結果については、感度解析結果及びコード間比較から最善ケースと最悪ケースとの範囲を示す。)	デブリ取出し (AF01) デブリ性状把握 (CF01) 臨界管理 (EC13) PCV/RPV健全性 (JF02, 03) PCV内部調査 (KF01)
		1-2	質量・体積	ウランと構造物とを分離 (B4Cを分離)			
		1-3	形状	固体、粒子状など			
2	機器破損状況の推定	2-1	構造物	原子炉底部、ペDESTAL	2016/3 (概要)	H27年度改良版MAAP/SAMPSONIによる解析結果を、総合的な分析・評価結果を踏まえて、2016/3に提供する。 (なお、総合的な評価結果から最確値を定め、重要な結果については、感度解析結果及びコード間比較から最善ケースと最悪ケースとを示す。)	PCV内部調査 (KF02)  デブリ取出し (AF02)
		2-2	炉内機器				
3	FP分布の推定	3-1	質量 (位置、核種を分離)		2016/3	H27年度改良版MAAP/SAMPSONIによる解析結果 (事故後1週間後) を、総合的な分析・評価結果を踏まえて、2016/3に提供する。	計量管理 (XF01)
		3-2	放射線量分布	放射線 (ガンマ線等) レベルと分布及び線量評価			
4	雰囲気の変化推定	4-1	事故時の炉内雰囲気の変化履歴	圧力、温度、酸素ポテンシャル、水素水分比	2016/3 (見直し版)	H27年度改良版MAAP/SAMPSONIによる解析結果 (炉心部最高経歴温度、RPV破損前時点での温度、デブリ組成等) を、総合的な分析・評価結果を踏まえて、2016/3に提供する。	デブリ性状把握 (CF02)
		4-2	ペDESTAL内部、PCV内壁の温度履歴	特に、1号機			

### アウトプット：

- 炉内状況把握のアウトプットが必要となる研究開発プロジェクト毎の要求事項(必要な情報と提出時期等)を調整会議で確認した。
- ほとんどの情報は平成28年3月の報告書記載内容であることを確認した。
- 1号機のペDESTAL健全性評価用データは、平成27年12月及び平成28年3月に提供した。

# 平成27年度の実施内容

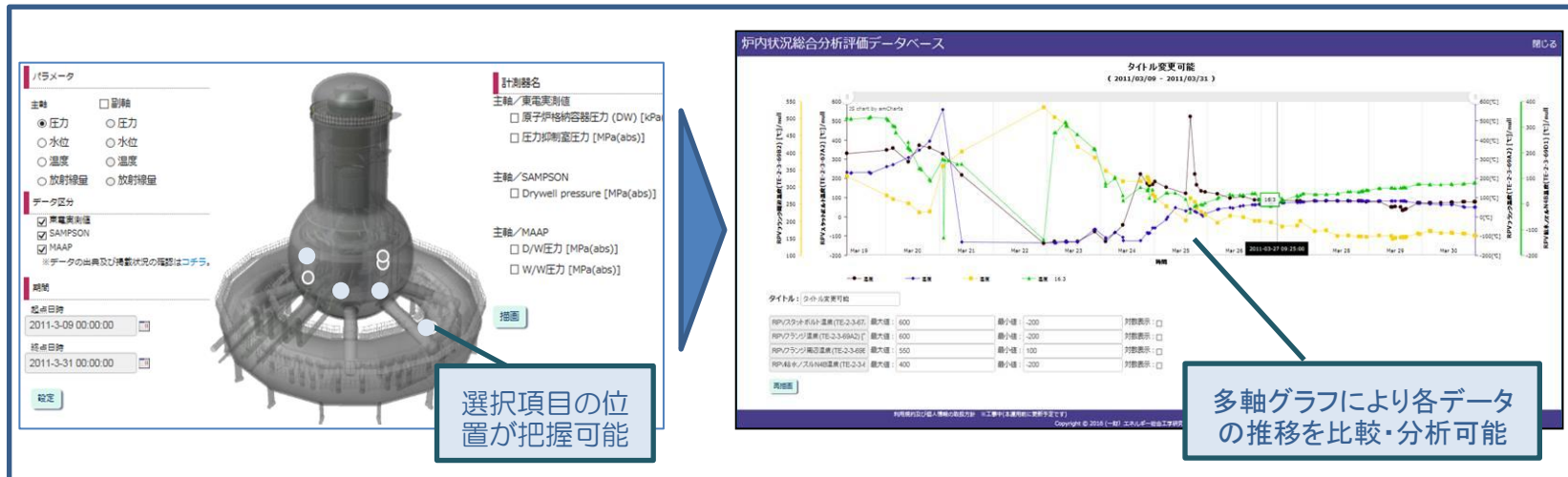
## ③ 総合的な分析・評価に必要なデータベースの開発 (1/2)

炉内状況の総合的な分析・評価を行い、その知見を活用するために、事故進展解析に関連する情報及び他の研究開発や現場オペレーション等から得られるデータ・情報を収集・整理したデータベースを開発した。

### (a) データベース構築・表示機能製作

炉内状況把握に有効なデータを収集管理し、データを閲覧できるのみならず、登録データによる分析機能（実測値、評価コードを同一グラフで比較可能等）を搭載した、炉内状況総合分析評価データベースのプロトタイプ版を製作した。

- ・福島第一原子力発電所の主要緒元
- ・現場で得られる各種パラメータ（水温、圧力等）
- ・事故進展解析結果の評価用データ
- ・データの信頼度確認機能（データの出典・根拠等）



炉内状況総合分析評価データベースの表示例

# 平成27年度の実施内容

## ③ 総合的な分析・評価に必要なデータベースの開発（2/2）

### (b) 文書情報（研究成果等）の収集・整理

研究成果等の文書情報を収集・整理し、検索及び情報の引出しが容易な文書情報検索システム（DocGet）及び検索サブシステムを製作し、炉内状況総合分析評価データベースに統合した。

- ・事故進展解析に関する研究成果等
- ・他プロジェクトから得られる情報
- ・公開された関係機関の情報
- ・その他、燃料デブリ取出しに資する情報



### 文書情報検索サブシステム

フォルダ番号	サブシステム
150018	<a href="#">炉内状況把握検討会の資料検索システム</a>
150016	<a href="#">炉内状況把握作業会の資料検索システム</a>
150051	<a href="#">BSAF-2 日本側対応打合せの資料検索システム</a>
150034	<a href="#">日本原子力学会の炉内状況把握PJに関する予稿検索システム</a>
150039	<a href="#">廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議の資料検索システム</a>
150023	<a href="#">廃炉・汚染水対策事業に関する公募情報検索システム</a>
150022	<a href="#">IRIDが公表したプロジェクト資料検索システム</a>
150035	<a href="#">IRIDの活動報告に関する資料検索システム</a>

このページに関するお問い合わせは IRID 研究管理部へ

Last updated : 3/3/2016

#### DocGet ver.1.3 (文書情報検索システム)

キーワード検索(絞り込みは、スペースで区切って検索文字を追加)  

検索 解除

プロジェクト指定

フィールドでソート  
 昇順

ページ送り (100件)  
< 最初 < 前 次 > >

技術研究組合 国際原子力研究開発機構  
International Research Institute for Nuclear Decommissioning

管理番号	年度	タイトル	技術分野	プロジェクト名	公開クラス	発行日	発行元	備考	URL
150059	H28	平成28年度研究開発プロジェクト計画の方向性	計画	一般	Class-1	2016/02/25	NDF	廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議(第27回)	<a href="#">URL</a>
150058	H27	平成27年度研究開発プロジェクト進捗状況 (2016/02/25)	進捗報告	一般	Class-1	2016/02/25	IRID本部	プレスリリース 2016年	<a href="#">URL</a>
150057	-	BSAF Phase I Summary Report	最終報告	炉内状況把握	Class-1	2016/02/01	BSAF	NEA/CSNI/R(2015)18	<a href="#">URL</a>
150056	-	熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ2015 (改訂版)	一般	炉内状況把握	Class-1	2015/03/01	日本原子力学会	日本原子力学会 熱流動部会	<a href="#">URL</a>
150055	-	東京電力の炉心・格納容器の状態の推定(第4回進捗報告)	一般	一般	Class-1	2015/12/17	東京電力	プレスリリース 2015年	<a href="#">URL</a>
150039	-	廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議資料検索	データベース	炉内状況把握	Class-1	2015/08/28	IRID本部	事務局会議資料検索システムの検討	<a href="#">URL</a>
150035	-	IRID活動報告(幹部による講演等のPDF)	一般	一般	Class-1	2015/07/21	IRID本部	2014年以降	<a href="#">URL</a>
150029	-	新規制基準適合性に係る審査でのMAAPコード説明資料	一般	一般	Class-1	2015/06/09	東京電力等	第28回新規制基準適合性に係る審査委員会(2015/6/9)	<a href="#">URL</a>
150028	-	中長期ロードマップの改訂について (2015/6/12)	一般	一般	Class-1	2015/06/12	エネ庁	廃炉・汚染水対策関係協議等会議(第2回)	<a href="#">URL</a>
150027	-	東京電力の炉心・格納容器の状態の推定(第3回進捗報告)	進捗報告	炉内状況把握	Class-1	2015/05/20	東京電力	プレスリリース 2015年	<a href="#">URL</a>
150025	-	NDFの技術戦略プラン2015 (2015/04/30)	計画	共通・計画	Class-1	2015/04/30	NDF	2015年中長期ロードマップの改訂に向けて	<a href="#">URL</a>
150023	-	MRI 公募状況及び採択状況	計画	共通・計画	Class-1	2015/04/01	MRI	廃炉・汚染水対策事業事務局	<a href="#">URL</a>
150022	-	IRIDが2015年以降に公表したプロジェクト資料	広報	広報	Class-1	2015/01/05	IRID本部	IRID 公表資料・プレスリリース	<a href="#">URL</a>
150011	H26	IRID 平成26年度研究開発成果冊子 PDF	広報	広報	Class-1	2015/03/31	IRID本部	PDF	<a href="#">URL</a>
150004	H27	NDF 平成27年度研究計画 (2015/02/26)	計画	共通・計画	Class-1	2015/02/26	NDF	廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議(第18回)	<a href="#">URL</a>
150003	H27	エネ庁 平成27年度研究計画の全体構成図 (2015/02/26)	計画	共通・計画	Class-1	2015/02/26	エネ庁	廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議(第15回)	<a href="#">URL</a>
150002	H26	IRID 平成26年度成果概要 (2015/02/26)	進捗報告	共通・報告	Class-1	2015/02/26	IRID本部	廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議(第15回)	<a href="#">URL</a>

文書情報検索システム（DocGet）の表示例

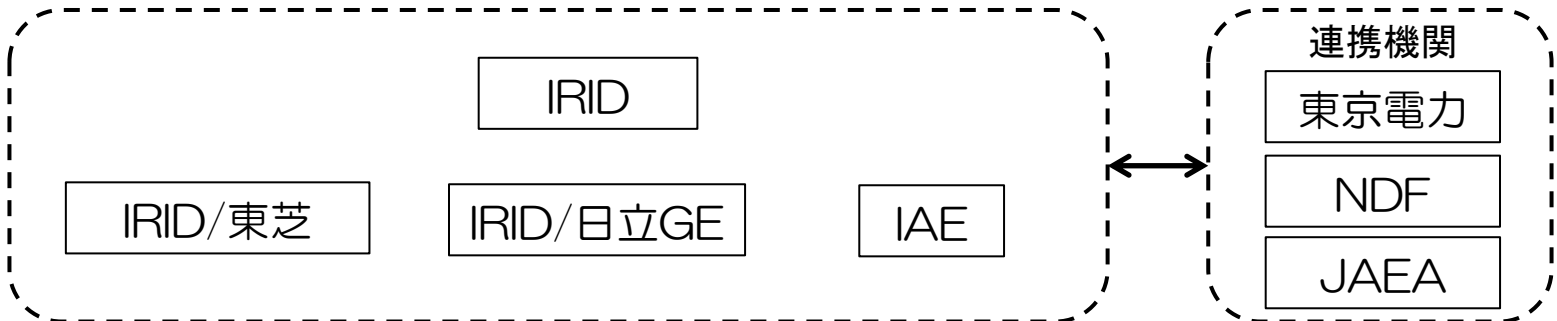
## ○ 総合的な分析・評価の実施内容及び実施体制

- 事故進展解析結果、実機測定データ・情報に加え、他の研究開発（ミュオン測定、PCV内部調査等）から得られる成果も活用した総合的な分析・評価を実施し、燃料デブリや核分裂生成物(FP)が存在する位置・量と組成等を推定した。
- 炉内状況把握検討会と炉内状況把握作業会を設置して活動を強化し、総合的な分析・評価を実施した。

### 炉内状況把握検討会：ステアリング、レビュー



### 炉内状況把握作業会：炉内状況把握の情報を収集し、分析・評価結果を検討会へ提示



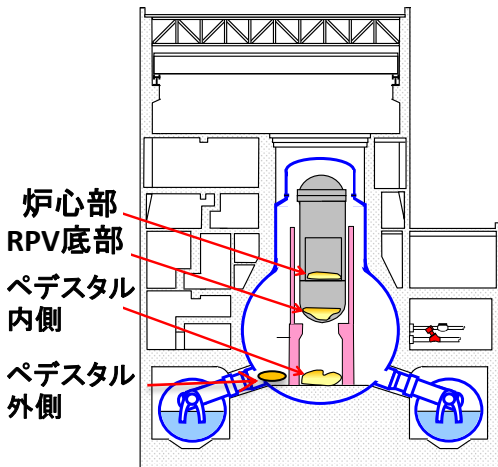
### 1) 事故進展解析結果

1号機	燃料デブリの大部分がPCV側に移行
2号機	燃料デブリの分布は消防車注水量の設定に大きく依存
3号機	燃料デブリの大部分がPCV側に移行

平成27年度 事故進展解析による燃料デブリ重量

単位 (ton)

場所	1号機		2号機		3号機	
	MAAP	SAMPSON	MAAP	SAMPSON	MAAP	SAMPSON
炉心部	0	0	0	13	0	29
RPV底部	15	10	25	58	25	79
ペDESTアル 内側	109(78)	79(130)	92(37)	76(14)	103(51)	53(20)
ペDESTアル 外側	33(52)	52(0)	102(4)	5(0)	96(6)	0(0)
合計値 (コンクリート含む)	287	271	260	166	281	181



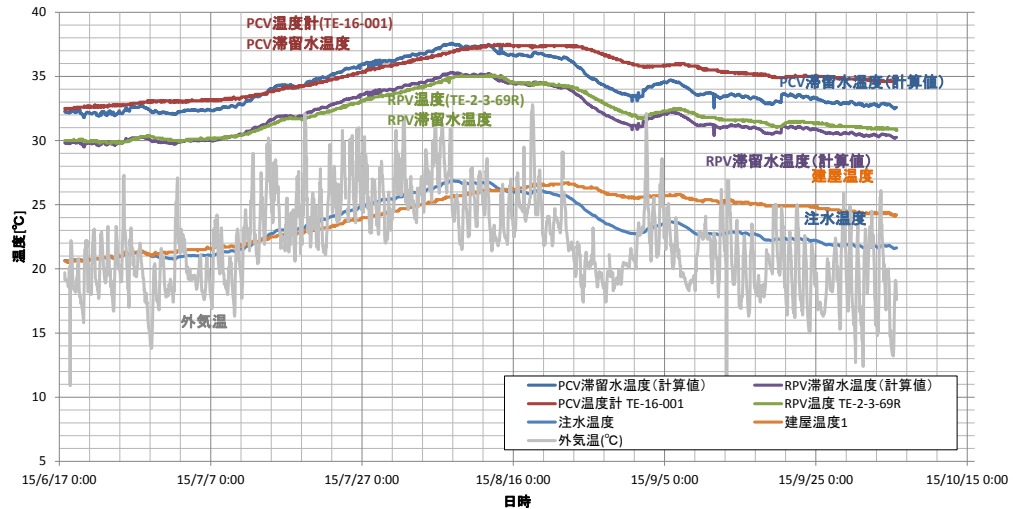
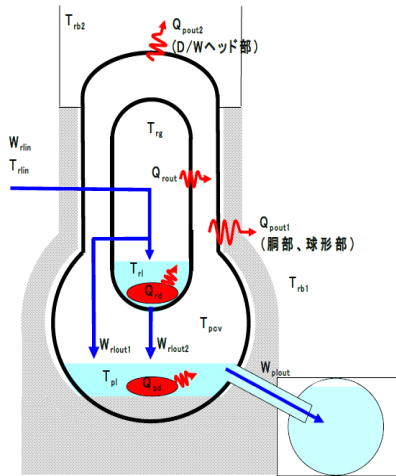
・ペDESTアル内側,外側の重量は、燃料/構造物重量(コンクリートを含まない重量)であり、( )はコンクリート重量を示す。  
 ・1号は、RPV破損は注水開始よりも早く、MAAP/SAMPSON共に大部分のデブリがペDESTアルに落下する傾向である。一方、2号/3号は、SAMPSONでは、粒子状デブリが注水により冷却されRPV内に留まる結果となり、MAAPより、炉心部、RPV底部のデブリ量が多い傾向になっている。SAMPSONでは粒子状デブリは1つのかたまりとしてモデル化しており、水が存在すると冷却される結果となる。実現象では冷却水が偏在し、冷却水に接しない粒子状デブリは再溶解し下部に落下することも考えられる。SAMPSONでは炉心の外周部の一部の燃料が切り株状で残る結果となっているが、炉心シュラウドの外側に水が存在して冷却に寄与しているためであり、この水がなければ溶解して落下する。



## 2) 熱バランス法による熱源の推定 (2号機)

RPVへ注水されている冷却水が，RPV/PCV内の熱源（燃料デブリの崩壊熱起因）によって，滞留水温度まで昇温すると仮定した熱バランス評価を実施。

（入熱（注水＋崩壊熱）と，PCV壁面から建屋/大気への放熱及び水温上昇がバランス）



### ・RPV定常熱バランス式

$$\text{注水熱量} + \text{RPV 内崩壊熱量} = \text{RPV 漏洩水熱量} + \text{むだ水熱量} + \text{RPV 放熱量}$$

### ・PCV定常熱バランス式

$$\begin{aligned} &\text{RPV漏洩水熱量} + \text{むだ水熱量} \\ &+ \text{RPV放熱量} + \text{PCV内崩壊熱量} \\ &= \text{PCV漏洩水熱量} + \text{PCV 放熱量} \end{aligned}$$

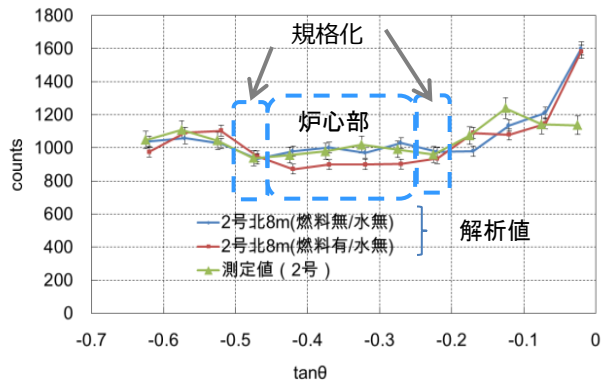
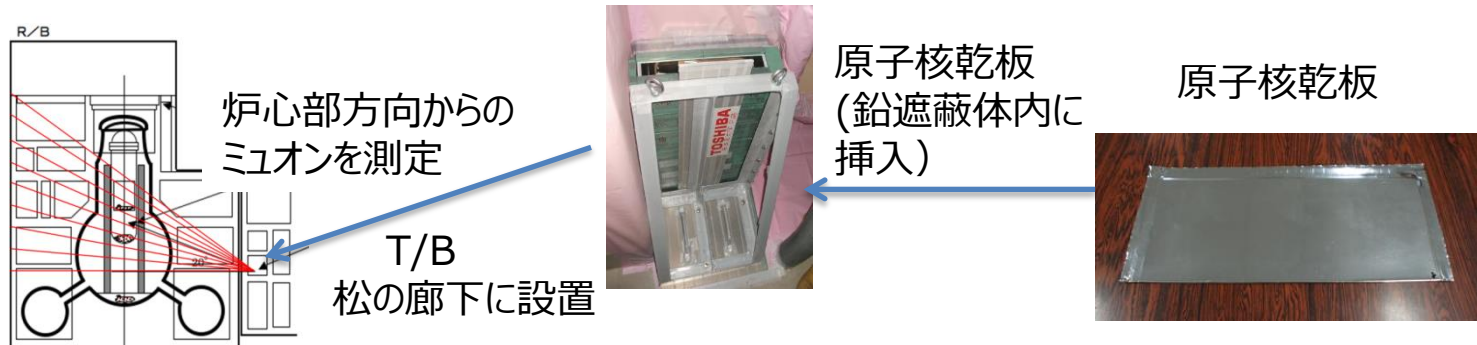
## 結果

- ・注水全てが，RPV内デブリ冷却に寄与していると仮定すると，RPV内に約6割のデブリが熱源として存在。
- ・給水系からの注水がPLR部から漏洩，またはRPV破損部から漏洩により冷却に寄与しない割合として5割を仮定すると，RPV内に約3割のデブリが熱源として存在。



### 3) 原子核乾板によるミュオン測定結果（2号機）\*

（炉心部構造体（燃料,制御棒）の残存率評価）



ミュオン計測数の測定値と解析値の比較

炉心部のミュオン計測数の測定値と解析値の比較より、  
炉心部の残存率 =  $(9 \sim 36) \pm 51\%$  と推定。

\* 本研究は、東芝/名古屋大学の共同研究によるものであり、  
本成果は、廃炉・汚染水対策事業費補助金には属さない。

## 4) PCV内部調査結果（2号機）（1/2）

### ➤ 実測値

- (1)DW内線量測定結果\*1: 約31.1～72.9Sv/h
- (2)DW内水位測定結果\*2: 約300mm
- (3)DW温度(気中/水中)測定結果\*2: 33.5°C/35.6°C

\*1: 東京電力株式会社殿、「福島第一原子力発電所2号機 原子炉格納容器内部調査(2回目)の実績(線量測定)」について、H24/3/27」より引用  
 \*2: 東京電力株式会社殿、「福島第一原子力発電所 2号機 原子炉格納容器内監視計器再設置作業結果、H26/6/9」より引用

### (4) PCV圧力

(東京電力HPプラント関連パラメータ 8/24 5:00)

- 1F-1 1.0kPa g
- 1F-2 5.08kPa g
- 1F-3 0.26kPa g

→1F-2は、1F-1/3より気相漏えいが少ないと推定。

## PCV内部調査の号機間比較

パラメータ 時期	1F1		1F2				1F3		
	2012/10	2015/4	2012/1	2012/3	2013/3	2013/8	2013/8	2014/6	2015/10
調査概要	1stエントリー (X-100B近傍のみ :高さ方向調査)	国プロB1調査 (X-100Bから約3/5周 :周方向調査)	1stエントリー (X-53ベネ近傍の調 査)	2ndエントリー (X-53ベネ近傍から D/W底部まで調査)	国プロA1調査 (X-53ベネからCRD 交換レール上に乗 り移って調査)	国プロA1調査(2回目) (X-53ベネからCRD 交換レール上に乗 り移って、ベ デスタル開口近傍まで移 動)	常設温度計再設置 (X-53ベネから常設 温度計を設置、着水 はできず)	常設温度計再設置 (X-53ベネから常設 温度計を再設置)	1stエントリー (X-53ベネ近傍の調 査)
DW内水位(m)	約2.8	約2.5	—	約0.6	—	—	—	約0.3	約6.3
DW気中温度(°C)	約35	約18～21	約44.7～45.7	約42.8～44.9	約32～34	約41～45	43.7	33.5	約26～27
DW水中温度(°C)	約37	—	—	約48.5～50	—	—	—	35.6	約33～35
ベデスタル内線量(Sv/h)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
DW内線量(Sv/h)	気中:約5～11 水中:0.5	気中:約4～10	—	約31.1～72.9	(約1～1.5)	約40～80	—	—	約0.75～約1.0
PCV内機器の破損状況	・X-100Bベネの鉛遮 蔽蓋溶融/固定ボルト 脱落	・PLR配管等の遮蔽 板の溶融/落下 ・PLRポンプやHVH等 構造物の大きな損傷 は見られず ・グレーチング上落下物 多数	・PCV内壁に赤褐色 の付着物	・滞留水は透明 ・D/W底部に堆積物	・レール上に堆積物	・レール上に堆積物 ・CRD交換レール上にグ レーチング足場	—	—	・著しい破損は確認さ れず。 ・PCV内壁に白褐色 の付着物あり
DW内気中の状況	—	ゆっくりした霧	降雨に似た状況	降雨に似た状況	降雨に似た状況	・降雨状態だが、CRD交換 レールを進むにつれて降水 量は低減。 ・ベデスタル内から湯気が 上がっているようにも見え る。	—	—	霧、雨等は確認され ず。

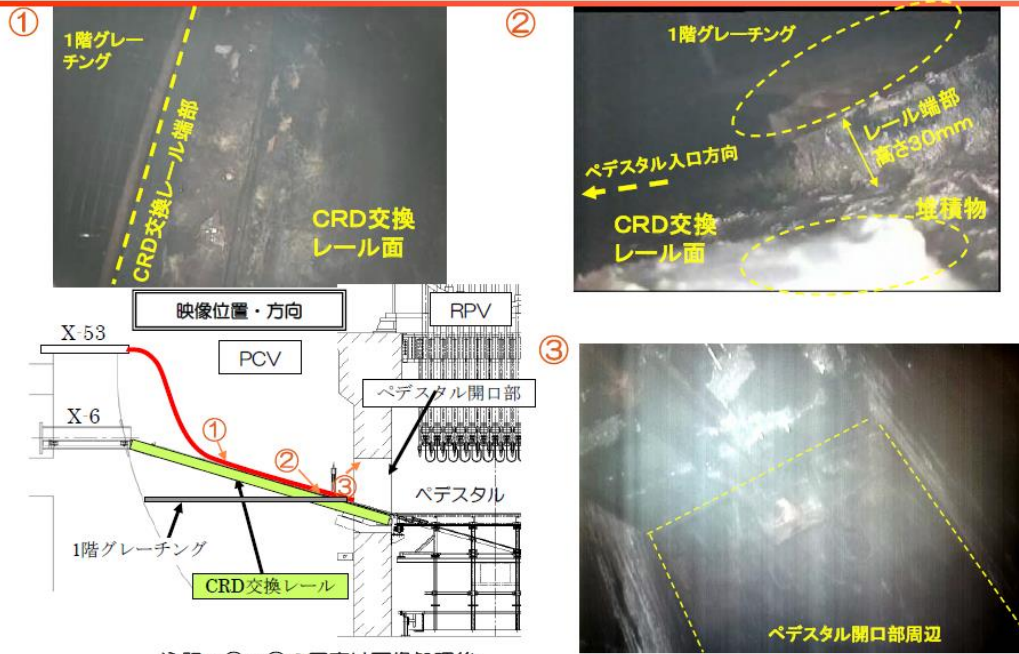
- ### 2号機の特徴
- ・DW水位が低い。  
(約30cm)
  - ・DW線量が高い。  
(約30～70Sv/h)
  - ・DW内気中での  
水滴落下あり。
  - ・現在のPCV圧が  
若干高い。

## 4) PCV内部調査結果 (2号機) (2/2)

### ➤ 画像情報

- ペDESTAL開口部周辺の画像より、PIP(CRDの位置指示装置)のケーブルと思われる構造物を確認
- CRD交換レール上に部分的に堆積物を確認
- 堆積物は、CRD交換レールの側部にあるレールガイド部やCRD交換レール上の滑り止めの突起に対して堆積していると推定

⇒ RPV下部外周部は、観察できた範囲では、大規模損傷はないものと推定される。



注記：①～③の写真は画像処理後

CRD交換レール～ペDESTAL入口状況写真\*3



1F-5 ペDESTAL入口(参考)\*3

\*3:東京電力株式会社殿、「2号機 PCV内部再調査結果について、H25/8/29」より引用

燃料デブリ分布の総合的な分析・評価結果のまとめ

項目	1号機	2号機	3号機
事故進展解析	燃料デブリの大部分が PCV 側に移行	燃料デブリの分布は消防車注水量の設定に大きく依存	燃料デブリの大部分が PCV側に移行
熱バランス法評価等	RPV内に熱源が少ない	一定割合がRPVとPCVの両方に存在	一定割合がRPVとPCVの両方に存在
ミュオン測定	炉心部に高密度物質(燃料)は殆ど無い	炉心部に大きな燃料デブリは殆ど無い(*)	測定なし
PCV内部調査	確認範囲ではPCV壁等の大規模な損傷なし	RPV下部外周部の大規模な損傷なし	確認範囲ではPCV内構造物の損傷なし
総合評価	燃料デブリの大部分が PCV 側に移行	一定割合がRPVとPCVの両方に存在	燃料デブリの大部分が PCV側に移行

\* 2号機のミュオン測定(原子核乾板法)結果は、東芝/名古屋大学による共同研究成果を活用

燃料デブリ分布の総合的な分析・評価結果のまとめ

燃料デブリ分布の推定結果

(燃料+溶融・凝固した構造材(コンクリート成分を含む)の重量 (ton) )

場所	1号機			2号機			3号機		
	評価値	代表値	信頼性	評価値	代表値	信頼性	評価値	代表値	信頼性
炉心部	0～3	0	◎	0～51	0	△	0～31	0	○
RPV底部	7～20	15	○	25～85	42	△	21～79	21	○
ペDESTAL内側	120～209	157	△	102～223	145	△	92～227	213	△
ペDESTAL外側	70～153	107	△	3～142	49	△	0～146	130	△
合計値	232～357	279	△	189～390	237	△	188～394	364	△

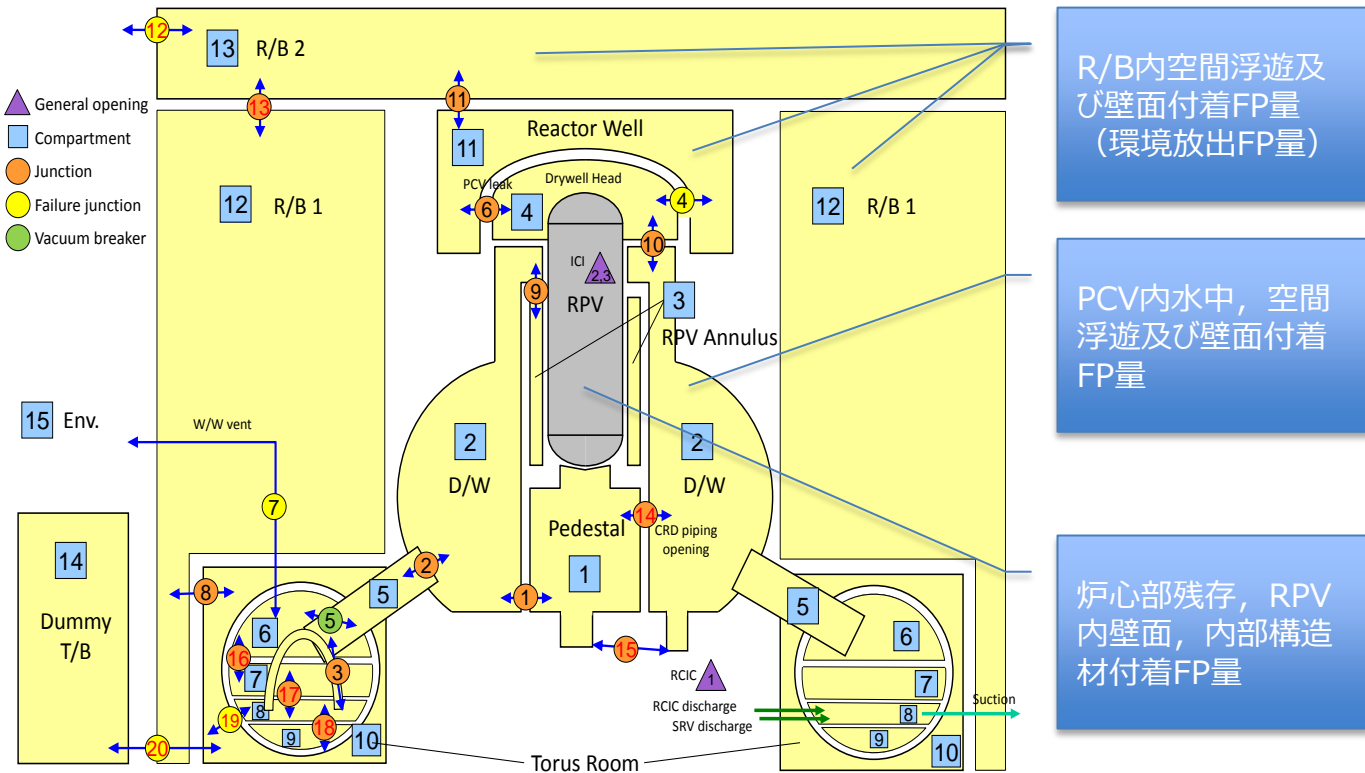
(注) 推定結果には、ある程度の不確かさが存在する。特に、2号機の結果、ペDESTAL外側への拡がり、コンクリート成分の推定結果の不確かは大きい。

評価方法の考え方は添付資料1-1～1-3参照



## MAAPによる核分裂生成物(FP)分布の評価

- 原子炉圧力容器 (RPV), 格納容器 (PCV) 及び原子炉建屋 (R/B) を代表的な区画に分割し, 各区画内に浮遊するFP (ガス状, エアロゾル状), 水中に保持されるFP並びに壁面等 (炉内構造物や格納容器床・壁など) に付着するFPの量を評価

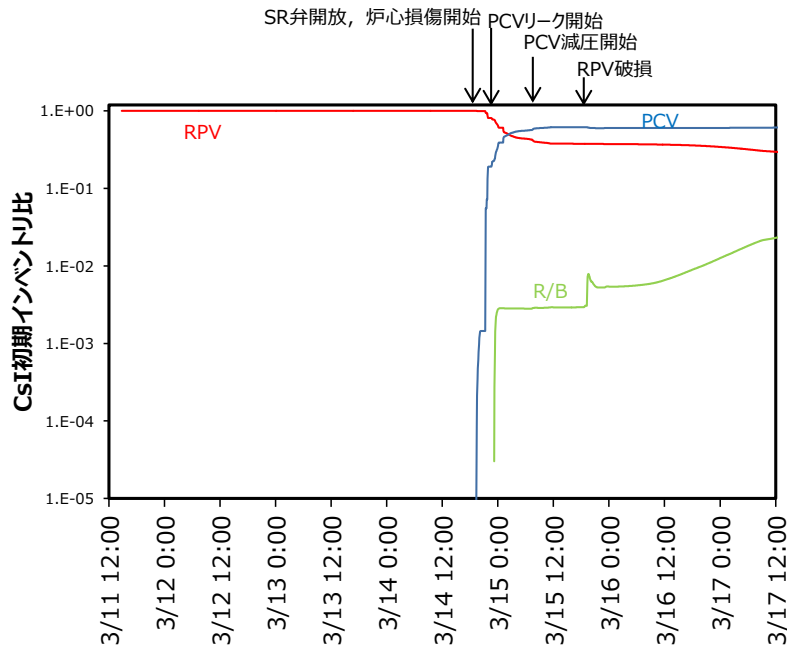


No.	FP核種
1	Xe, Kr
2	CsI+RbI
3	TeO <sub>2</sub>
4	SrO
5	MoO <sub>2</sub> +RhO <sub>2</sub> +TcO <sub>2</sub>
6	CsOH+RbOH
7	BaO
8	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +ZpO <sub>2</sub> +NbO <sub>2</sub> +AmO <sub>2</sub> +CmO <sub>2</sub>
9	CeO <sub>2</sub> +NpO <sub>2</sub>
10	Sb
11	Te <sub>2</sub>
12	UO <sub>2</sub>
13	Ag
14	I <sub>2</sub>
15	CH <sub>3</sub> I
16	Cs <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>
17	RuO <sub>2</sub>
18	PuO <sub>2</sub>



MAAPによる核分裂生成物(FP)分布の評価例(2号機)

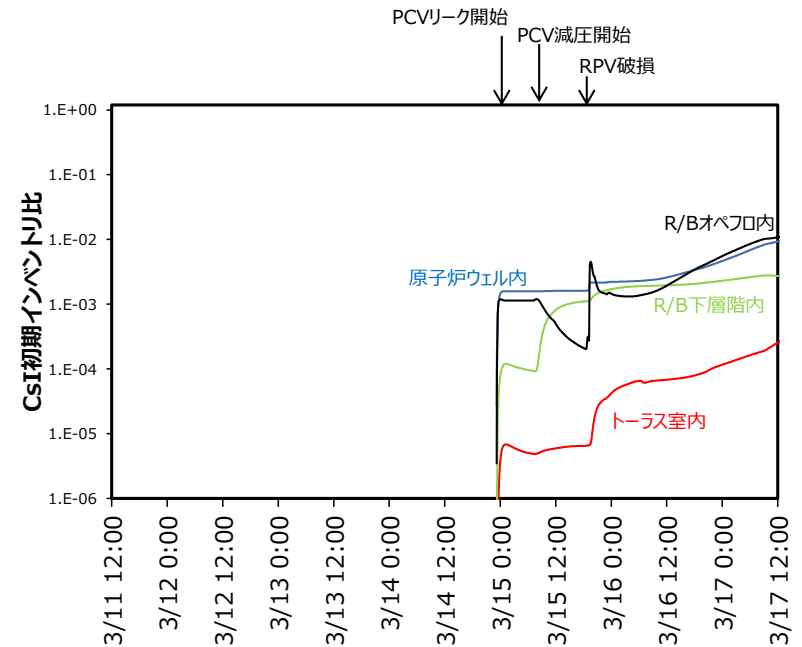
CsI分布の時間変化



CsIの全体分布

- 炉心損傷開始後, PCVに放出
- PCVリーク開始後, R/Bに放出
- RPV内ではMS管への付着量が多く, PCV内はS/P水中が最も多い(初期インベントリの約58%)
- 2号機ではS/P水が漏えいしていると推定されており, 汚染水として流出したと考えられる。

原子炉建屋(R/B)内CsI分布の時間変化



R/B内CsI分布

- D/Wヘッドフランジから漏えいしたCsIは, 原子炉ウェル及びオペフロ内に多く分布
- このうち, 原子炉ウェル内側面に最も多く付着していることを確認
  - 現状, 遮蔽プラグ廻りの線量が高いこととの整合性を確認

# 平成27年度の実施内容：④ 総合的な分析・評価(11/11) No.33

## 核分裂生成物(FP)分布の総合的な分析・評価結果のまとめ

### ● 2号機のFP(沈着量) (事故後6日時点 (kg))

領域	Cs	Sr
RPV内	20~150	13~33
D/W内壁	約0.9	0.2~0.9
S/P水中	27~130	3~4
環境放出	0.1未満~6	0.1未満~0.4

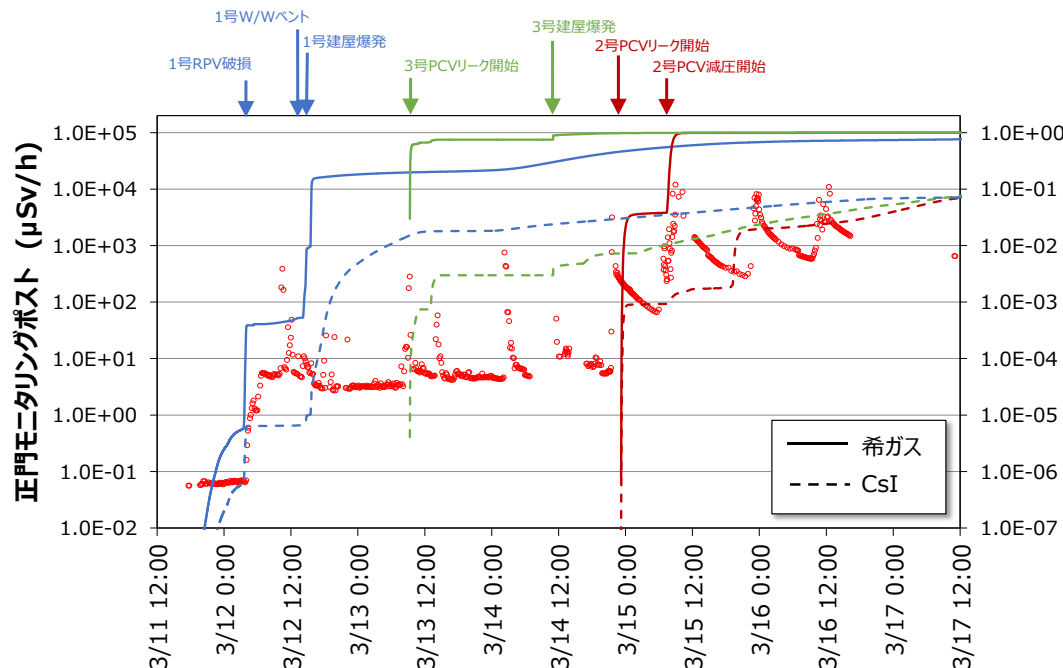
- Cs : MAAPではRPV内に約81%, SAMPSONではS/P水中に約84%存在。
- Sr : 沈着量は少なく、主にデブリ内に存在。
- ガス状のものは窒素置換, S/P水中のものは汚染水として流出したものと推定される。

### ● BSAF-2 WSの知見

- CsおよびCsIなどイオン状での付着物は水洗で落ちるが、740℃以上の高温で付着したものは水洗が困難となる実験結果
- PCV内およびR/Bでも格納容器に近い部位では高温付着の可能性
- Cs挙動では粒子化したものの挙動が重要。付着しやすいが、高温では再蒸発という過程で再脱離
- 課題として、Cs挙動の把握(ヨウ素に比べ少ない)、付着形態の把握が必要

### ● MAAP 1~3号機のFP環境放出とモニタリングポスト測定値の関係

○ 計測値 — 1号機 — 2号機 — 3号機



### ● 1F-2, 3のPCV内部調査結果 (D/W線量) から付着放射能濃度の比較

1F-2のD/W線量評価結果(2012年3月) から、同一の線源モデル、付着放射能濃度を仮定し、1F-3 D/W線量測定(2015年10月)位置での線量率の推定を実施。X53ベネ正面レベル(EL1250)の線量は1F-2と同等の付着放射能濃度を仮定すると1F-3では約6Sv/hと推定  
 →1F-3測定値が約1Sv/hであったことより、1F-2に対しPCV内面付着放射能濃度は約1/6と推定。尚、これは1F-2と同一線源機器・配置及び線源の均一付着を想定した場合の推定であり、例えばPCV内壁だけの寄与と仮定すると線量率は約3Sv/hと推定され、付着放射能濃度は1F-2の1/3程度となる。

課題 : MAAPでは2号, 3号のD/W内FP付着量解析結果は3号の方が多く, 上記 D/W線量とは整合していない結果である。

## (1) 中長期的視点での人材開発

- a. [大学との共同研究](#)（東工大，北大，ミラノ工科大：公募による）で，最新の解法に基づくモデル開発を実施した。
- b. [日本保全学会 第12回学術講演会](#)（7月14日：日立シビックセンター）で，「シビアアクシデントコードMAAPの改良と事故解析」を発表した。
- c. [IRIDシンポジウム 2015 in福島](#)（7月23日：コラッセふくしま）で，IRIDが取り組んでいる廃炉に関わる技術研究開発の成果を紹介した。
- d. [計算科学技術部会セッション](#)（9月9日：静岡大学）で，「シビアアクシデント解析の現状とChallenge」を発表した。
- e. [日本原子力学会 2015年秋の大会](#)（9月9～11日：静岡大学）で，MAAP関連：3件，SAMPSON関連：11件，JAEAの試験関連：3件を発表した。
- f. [日本原子力学会 2016年春の年会](#)（3月26～28日：東北大学）で，SAMPSON関連：17件を発表する。

## (2) 国内外の叡智の結集

- a. [炉内状況把握検討会と作業会](#)を設置し，関係機関と連携して総合的分析・評価を実施した。
- b. [OECD/NEA BSAF Phase2 プロジェクト](#)をホストとして運営し，成果を活用した。
- c. 圧力容器貫通管溶融破損試験を，[韓国原子力研究所\(KAERI\)](#)において実施した。
- d. [ICAPP 2015](#)（5月3日：仏 Nice）で，評価結果を説明し，評価内容を議論した。
- e. [燃料デブリ取り出し専門委員会](#)（8月27日）で，評価結果を説明し，評価内容を議論した。
- f. [NURETH16](#)（9月2,3日：Chicago）で，BSAF-1 プロジェクトにおける評価結果を説明し，評価内容を議論した。
- g. [福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション](#)（9月11日：静岡大学）で，「SAMPSONコードによる事故事象進展の解析」を説明し，評価内容を議論した。

## (3) 試験条件や開発仕様の明確化

- a. 技術成熟度（TDL：添付資料5-4参照）は、平成27年度事業実施前の評価は、レベル5（模擬実証フェーズ）平成27年度事業実施後は、**ほぼ、レベル6（フィールド実証フェーズ）に上がったと評価**
- b. **圧力容器貫通管溶融破損試験（KAERI）**及び試験体の設計・製作については、事前に炉内状況把握検討会において共有したうえで、**試験条件や設計仕様を策定した。**

## (4) 目標達成を判断する指標の設定

- a. 研究の目標達成の判断基準となるべき、わかりやすい指標を数値等及び技術成熟度を研究実施前に定めておき、研究終了時に、その達成の結果を検証した。
- b. 検証結果（添付資料5-3参照）から、今年度の実施内容及び成果は、**研究の目標をほぼ達成できたものと評価できる。**

## (5) 廃炉作業や他の研究開発との連携

- a. 実機の分布・調査から得られるデータ・情報及び他の研究開発プロジェクトの成果を炉内状況把握のための**インプット**として纏めた。
- b. 関連プロジェクトへの**アウトプット**として、炉内状況把握の総合的な分析・評価結果を必要な形（燃料デブリの量及び位置、核分裂生成物の分布状況及び機器破損推定結果）で纏めるものとした。  
なお、**ほとんどのアウトプットは、今年度の成果として纏めた結果を提供することを原則としたが、**ペDESTAL健全性評価に必要となる情報は、早めに提示した。
- c. データ・情報を収集・整理した**データベースを開発し、情報を共有化**できるようにした。

## (6) 研究の管理

- a. 中長期ロードマップの改訂，廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議，NDFの技術戦略プラン2015及び東京電力の炉心・格納容器の状態の推定（第3回，第4回進捗報告）等の上位の情報を注意深く確認しつつ，事業を推進した。

## (7) 福島第一原子力発電所等における作業管理

- a. 本事業では，福島第一原子力発電所での作業は実施していない。

## (8) 研究の報告

- a. 研究の実施計画，進捗状況，研究成果等について，半期毎に報告し，下半期についての研究の進捗状況は，実績工程表として毎月報告した。
- b. 研究完了後には，実績報告書及び公開可能な説明資料を作成し，提出する。

## (9) 情報発信の充実化

- a. 研究の実施内容，成果などをIRID研究開発成果概要として纏め，Webサイトへ掲載し，一般の人を対象に分かりやすく情報発信した。
- d. IRID研究開発成果概要の英語版を作成し，Webサイトへ掲載し，海外を含めて，情報の発信を行った。
- c. OECD/NEA BSAFプロジェクトのWebサイトを運営・保守し，デブリの位置，量の把握等に関する調査結果，知見等を情報発信した。

## (10) 代替案の事前準備

- a. 研究実施期間中は，研究が予定通りに進捗しなかった場合に備え，必要に応じて，事前に代替策（特に，圧力容器貫通管溶融破損試験について）を用意したが，代替案を実施することはなかった。



# 平成27年度の実施内容及び成果のまとめ

## ① 事故進展解析コードの改良・高度化

平成26年度に策定した高度化仕様に基づき、事故進展解析コード(MAAPコード及びSAMPSONコード)の燃料デブリ挙動モデルや核分裂生成物(FP)移行モデル等を改良し、事故進展解析技術を高度化した。

## ② 事故進展解析を活用した炉内状況の推定・評価

改良したコードによる事故進展解析及び感度解析を実施し、燃料デブリやFPが存在する位置・量と組成等を推定した。また、溶融炉心・コンクリート相互作用(MCCI)を詳細に評価する解析コードを開発し、格納容器に落下した燃料デブリの挙動を推定した。さらに、韓国原子力研究所(KAERI)において圧力容器貫通管溶融破損試験を実施し、解析結果確認用データ等を取得するとともに、国際共同研究(OECD/NEA BSAF Phase2)プロジェクトをホストとして運営し、その成果を炉内状況の評価に活用した。

## ③ 総合的な分析・評価に必要なデータベースの開発

事故進展解析に関連する情報及び他の研究開発や現場オペレーション等から得られるデータ・情報を収集・整理したデータベースを開発した。

## ④ 実機データ及び他プロジェクトの成果を踏まえた総合的な分析・評価

事故進展解析結果、実機の調査から得られるデータ・情報に加え、他の研究開発からの成果も活用した総合的な分析・評価を実施し、燃料デブリやFPが存在する位置・量と組成等を推定し、燃料デブリ取り出し方針の決定や方法の確定に必要な炉内状況に関するデータ・情報を提供した。

# 添付資料

- 添付資料 1：燃料デブリ分布の推定結果（各号機）
- 添付資料 2：状態推定のまとめ（各号機）
- 添付資料 3：事業実施体制図
- 添付資料 4：事業実施工程表
- 添付資料 5：目標達成を判断する指標と達成結果

## 【デブリ分布評価の基本的考え方】

### ● 評価値

- 炉心部：MAAP/SAMPSON解析結果、ミュオン測定より最小値0とし、BSAF Ph-1での残存量を最大値と想定
- RPV底部：MAAP（感度解析を含む）、SAMPSON解析結果より、デブリ組成に基づいて重量を算出
- PCV：RPV底部残存量以外がPCVに落下するとして、MAAP感度解析/SAMPSON解析結果に基づきデブリ重量を算出  
デブリ拡がり範囲（構造物との干渉等）の不確かさやMAAP解析との相違から、コンクリートはMCCIモデル評価値の±30%を想定

### ● 代表値

- 炉心部：MAAP/SAMPSON解析結果、ミュオン測定結果を考慮して0と想定
- RPV底部：MAAP解析結果でのクラスト重量15トンとして想定（SAMPSON解析結果 10トンより若干増加）
- PCV：RPV底部残存量以外がPCV側に落下するとして、SAMPSON解析結果を適用  
コンクリート分については、MCCIモデル評価におけるペDESTAL内外のデブリ配分（内側6：外側4）により重量を算出

### ● デブリ拡がり

- サンドクッションドレン管からの漏えい、及びMCCIモデル評価から、D/W側にも燃料デブリが流出していると推定（MCCIモデル評価：D/W床面積の約40%）。ただし、事故後のPCV圧力挙動より大規模なシェルアタックの可能性は小さいと判断。

分類	場所	評価値				代表値					信頼性
		燃料(UO <sub>2</sub> ) (ton)	構造成分 (ton)	コンクリート成分 (ton)	燃料デブリ重量 (ton)	燃料(UO <sub>2</sub> ) (ton)	構造成分 (ton)	コンクリート成分 (ton)	燃料デブリ重量 (ton)	燃料デブリ 相対%	
RPV内	炉心部	0 ~ 3	0	0	0 ~ 3	0	0	0	0	0%	◎
	RPV底部	1 ~ 11	6 ~ 9	0	7 ~ 20	9	6	0	15	5%	○
PCV内	ペDESTAL内側	31 ~ 55	34 ~ 53	55 ~ 101	120 ~ 209	45	34	78	157	56%	△
	ペDESTAL外側	12 ~ 32	22 ~ 53	36 ~ 68	70 ~ 153	22	33	52	107	38%	△
合計	RPV内	1 ~ 14	6 ~ 9	0	7 ~ 23	9	6	0	15	5%	○
	PCV内	62 ~ 75	56 ~ 106	91 ~ 169	209 ~ 350	67	67	130	264	95%	△
	全体	76	62 ~ 115	91 ~ 169	232 ~ 357	76	73	130	279	-	△
	相対%	-	-	-	-	27%	26%	47%	-	-	-

備考 (1) 炉心部に燃料デブリが存在しないことは、事故進展解析結果及びミュオン測定結果から、ほぼ確実である。シュラウド等の構造物表面に、燃料デブリが若干付着している可能性がある。

(2) ペDESTAL外側への拡がり及びコンクリート成分は、MCCI評価結果より推定しているが、不確かさは大きい。

(3) RPV底部からのデブリ落下流量、MCRAモジュールを用いて評価したCRDハウジングへの高さ毎の付着割合と、付着の最大量を入力条件としたモデルによる評価では、RPV外側下部のCRハウジング部に燃料デブリ約6ton（そのうち燃料約2.2ton）が付着している可能性がある。

## 添付資料 1-2 燃料デブリ分布の推定結果（2号機）

### 【デブリ分布評価の基本的考え方】

#### ● 評価値

- 炉心部：ミュオン原子核乾板法による推定を最大値（SAMPSON解析結果を包絡），MAAP解析結果を最小値
- RPV底部：熱源割合をMAAP結果を最小値，SAMPSON結果を最大値とし，解析から得られるデブリ組成に基づいて重量を算出
- PCV：RPV底部残存量以外がPCVに落下するとしてデブリ重量を算出

#### ● 代表値

- 炉心部は事故進展の分析（消防車注水では炉心冠水が困難であること）及び解析結果を踏まえた推定
- RPV底部及びPCVは熱バランス法評価によるRPV内熱源割合下限値30%とし，70%がPCVへ落下したとして，SAMPSONから得られるデブリ組成に基づいて重量を算出

#### ● デブリ拡がり及びコンクリート侵食

- MCCIModel評価結果から1号機とのデブリ体積比に基づき推定

分類	場所	評価値				代表値					信頼性
		燃料(UO <sub>2</sub> ) (ton)	構造成材成分 (ton)	コンクリート成分 (ton)	燃料デブリ重量 (ton)	燃料(UO <sub>2</sub> ) (ton)	構造成材成分 (ton)	コンクリート成分 (ton)	燃料デブリ重量 (ton)	燃料デブリ 相対%	
RPV内	炉心部	0 ~ 32	0 ~ 19	0	0 ~ 51	0	0	0	0	0%	△
	RPV底部	19 ~ 64	6 ~ 21	0	25 ~ 85	32	10	0	42	18%	△
PCV内	ベDESTAL内側	42 ~ 60	26 ~ 82	34 ~ 82	102 ~ 223	60	37	49	145	61%	△
	ベDESTAL外側	1 ~ 28	1 ~ 38	1 ~ 77	3 ~ 142	15	9	25	49	21%	△
合計	RPV内	19 ~ 64	6 ~ 21	0	25 ~ 85	32	10	0	42	18%	△
	PCV内	43 ~ 88	26 ~ 119	36 ~ 158	105 ~ 366	75	46	74	195	82%	△
	全体	107	32 ~ 140	36 ~ 158	189 ~ 390	107	56	74	237	-	△
	相対%	-	-	-	-	45%	24%	31%	-	-	-

- 備考 (1) 炉心部に燃料デブリが存在しないことは、事故進展分析や解析結果からの推定であるが、構造成材等へ若干付着の可能性はある。
- (2) ベDESTAL内側、外側の燃料デブリ拡がりが、1号機のMCCIModel高度化による感度解析に基づき推定しているが、2号機のRPV破損は1号機よりも遅く、崩壊熱が小さい状態でPCVに落下したと推定されるため、ベDESTAL外側への拡がり量やコンクリート侵食量には不確かさが大きいと考えられる。
- (3) RPV底部からのデブリ落下流量、MCRAモジュールを用いて評価したCRDハウジングへの高さ毎の付着割合と、付着の最大量を入力条件としたモデルによる評価では、RPV外側下部のCRDハウジング部に燃料デブリ約5.5ton（そのうち燃料約2.4ton）が付着している可能性がある。
- (4) RPVが破損していたとしても、そのタイミングは1号、3号に比べて遅く、その時点での崩壊熱は相対的に小さい。このため、PCV床へのデブリ落下時にその顕熱を放出すると、崩壊熱が小さいためにD/Wへのデブリ拡がりは抑制されたものと推定されるため、大規模なシェルアタックは発生していないと考えられる。また、現状、30cm程度の水位は形成されており、少なくともD/W床レベル近傍でシェルアタックが発生している可能性は低い。
- (5) SAMPSONでは、燃料デブリはベDESTAL部は主に固体（連続相）、RPV底部は主に粒子状の見込み、炉心部外周部は切り株燃料の可能性あり。MAAPでは、RPV底部、ベDESTAL部共に固体（連続相）の見込み。

## 添付資料 1-3 燃料デブリ分布の推定結果（3号機）

### 【デブリ分布評価の基本的考え方】

#### ● 評価値

- 炉心部：SAMPSON解析結果を最大値，MAAP解析結果を最小値
- RPV底部：熱源割合をMAAP結果を最小値，SAMPSON結果を最大値とし，解析から得られるデブリ組成に基づいて重量を算出
- PCV：RPV底部残存量以外がPCVに落下するとしてデブリ重量を算出

#### ● 代表値

- 炉心部は事故進展の分析（消防車注水では炉心冠水が困難であること）及び解析結果を踏まえた推定
- 事故進展の分析から，3号は2号よりも損傷が進んだものと推定し，RPV底部及びPCVについては，MAAP解析結果で代表

#### ● デブリ拡がり及びコンクリート侵食

- MCCIモデル評価結果から1号機とのデブリ体積比に基づき推定

分類	場所	評価値				代表値					信頼性
		燃料(UO <sub>2</sub> ) (ton)	構造材成分 (ton)	コンクリート成分 (ton)	燃料デブリ重量 (ton)	燃料(UO <sub>2</sub> ) (ton)	構造材成分 (ton)	コンクリート成分 (ton)	燃料デブリ重量 (ton)	燃料デブリ 相対%	
RPV内	炉心部	0 ~ 19	0 ~ 11	0	0 ~ 31	0	0	0	0	0%	○
	RPV底部	17 ~ 65	4 ~ 14	0	21 ~ 79	17	4	0	21	6%	○
PCV内	ベデスタル内側	25 ~ 61	34 ~ 84	33 ~ 82	92 ~ 227	62	75	77	213	59%	△
	ベデスタル外側	0 ~ 29	0 ~ 40	0 ~ 77	0 ~ 146	28	34	68	130	36%	△
合計	RPV内	17 ~ 65	4 ~ 14	0	21 ~ 79	17	4	0	21	6%	△
	PCV内	42 ~ 90	34 ~ 124	33 ~ 160	109 ~ 374	90	108	146	343	94%	△
	全体	107	38 ~ 138	33 ~ 160	188 ~ 394	107	112	146	364	-	△
	相対%	-	-	-	-	29%	31%	40%	-	-	-

- 備考 (1) 炉心部に燃料デブリが存在しないことは、事故進展分析や解析結果からの推定であるが、構造材等へ若干付着の可能性はある。
- (2) ベデスタル内側、外側の燃料デブリ拡がり、1号機のMCCIモデル高度化による感度解析に基づき推定しているが、3号機では、RPV破損前にPCV床に蓄水していたと考えられるため、ベデスタル外側への拡がり量やコンクリート侵食量には不確かさは大きいと考えられる。
- (3) RPV底部からのデブリ落下流量、MCRAモジュールを用いて評価したCRDハウジングへの高さ毎の付着割合と、付着の最大量を入力条件としたモデルによる評価では、RPV外側下部のCRDハウジング部に燃料デブリ約5.5ton（そのうち燃料約1.6ton）が付着している可能性がある。
- (4) 炉心損傷前にD/Wスプレイを実施しており、RPV破損時にはD/W床に水位が形成されていたと推定されるため、デブリ拡がりは抑制されたものと推定される。また、現状、ベデスタル水位が高いことより、D/Wでの大規模なシェルアタックはないものと推定される。
- (5) SAMPSONでは、燃料デブリはベデスタル部は主に固体（連続相）、RPV底部は主に粒子状の見込み、炉心部外周部は切り株燃料の可能性あり。MAAPでは、RPV底部、ベデスタル部共に固体（連続相）の見込み。



FP(沈着量) (事故後6日時点 (kg))

領域	Cs	Sr
RPV内	10~90	0.4~0.7
D/W内壁	6~29	0.2~0.3
S/P水中	26~74	0.4~2
環境放出	0.1未満~4	0.1未満

- Cs : MAAPではRPV内に約58%, SAMPSONではS/P水中に約48%存在。
- Sr : 沈着量は少なく、主にデブリ内に存在。
- 現状, ガス状のものは窒素置換, S/C水中のものは汚染水として流出したものと推定される。

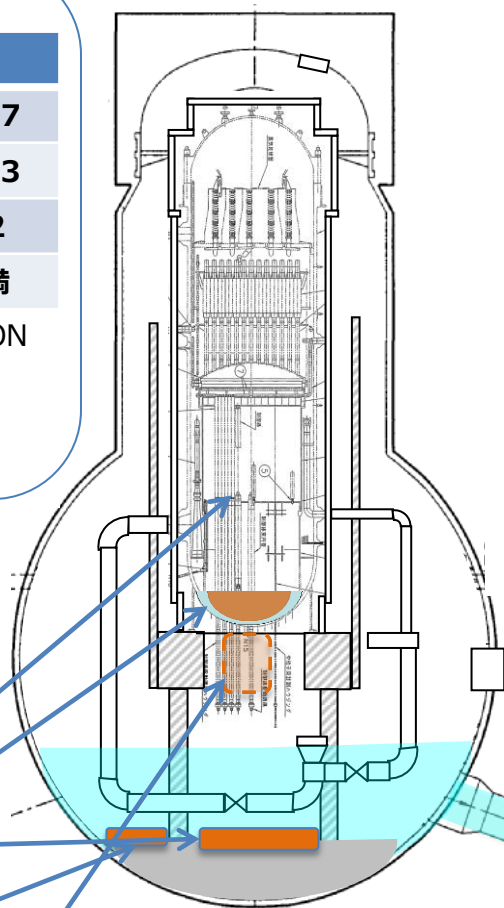
燃料デブリ分布

(燃料+ 溶融・凝固した構造材(コンクリート成分を含む)の合計重量 (ton))

場所	評価値	代表値
炉心部	0~3	0
RPV底部	7~20	15
ペDESTAL内側	120~209	157
ペDESTAL外側	70~153	107
合計	232~357	279

評価値には、ある程度の不確かさが存在する。

ペDESTAL内側の燃料デブリの内、RPV下部CRDハウジングに約6tonの燃料デブリ付着の可能性あり。



デブリ性状, MCCI等

- D/W床面に約40% デブリ拡がりの推定であるが、大規模なシェルアタックは無いと推定
- RPV底部, ペDESTALのデブリは主に固体(連続相)の見込み(SAMPSON)

炉内機器状態推定

構造物/機器	状態推定
ドライヤ	④, ⑤
セパレータ	④, ⑤
上部格子板	③または④
シュラウド	③または④
燃料集合体, 制御棒	①
炉心支持板	②
シュラウドサポート	③および②(デブリ接触部)
制御棒案内管, 核計装案内管	②
スタブチューブ	②
CRDハウジング, ICMハウジング	②(RPV溶接部溶融の可能性)

- ① 溶融して、下方へ落下の可能性有
- ② デブリとの接触により、溶融し大規模な変形の可能性有
- ③ 1000℃以上で過大な変形の可能性有
- ④ 1000℃以下であるがクリープ変形の可能性有
- ⑤ 支持部の変形により、傾くか下方へ移動の可能性有

- 事故後の温度測定では、RPV内に熱源が少ない。
- ミュオン測定では、炉心位置に高密度物質(燃料)を確認できない。
- 3/23の給水系からの注水切り替えまでの間は、RPV廻りの温度は、熱電対の計測範囲(400℃)を上回る高温に晒されている可能性有。

その他

1号機の特徴(対2,3号)

- DW水位は中間。(約2.5m)
- DW線量は中間。(約4~10Sv/h : 2015/4)
- 現在のPCV圧が中間。

課題

- PCV(ドライウェル)のデブリ拡がりの調査(H28年度B2調査予定)
- RPV下部破損部及び下部構造物へのデブリ付着の確認

FP(沈着量) (事故後6日時点 (kg))

領域	Cs	Sr
RPV内	20~150	13~33
D/W内壁	約0.9	0.2~0.9
S/P水中	27~130	3~4
環境放出	0.1未満~6	0.1未満~0.4

- Cs: MAAPではRPV内に約81%, SAMPSONではS/P水中に約84%存在。
- Sr: 沈着量は少なく、主にデブリ内に存在。
- ガス状のものは窒素置換, S/P水中のものは汚染水として流出したものと推定される。

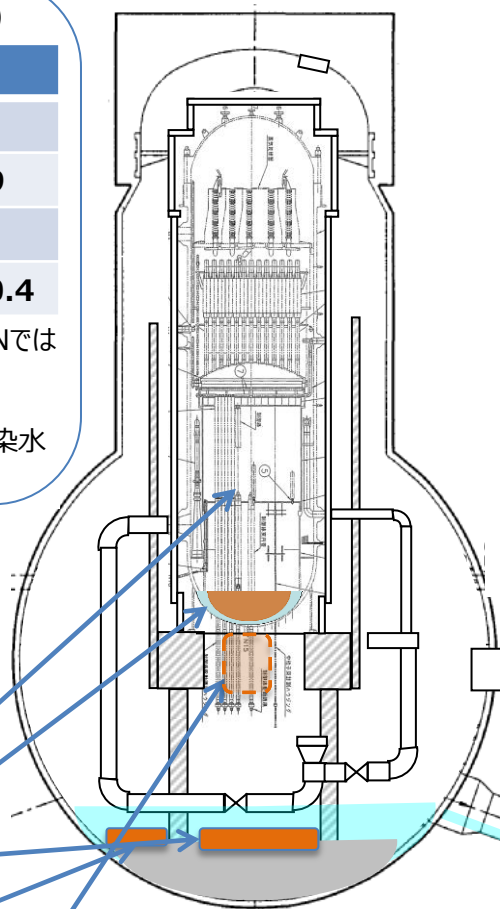
燃料デブリ分布

(燃料+ 溶融・凝固した構造材 (コンクリート成分を含む) の合計重量 (ton))

場所	評価値	代表値
炉心部	0~51	0
RPV底部	25~85	42
ペダスタル内側	102~223	145
ペダスタル外側	3~142	49
合計	189~390	237

評価値には、ある程度の不確かさが存在する。

ペダスタル内側の燃料デブリの内, RPV下部CRDハウジングに約5.5tonの燃料デブリ付着の可能性あり。



デブリ性状, MCCI等

- ・RPV破損が遅く, D/W床面へのデブリ広がり抑制され, 大規模なシェルアタックは無いと推定
- ・ペダスタル部のデブリは主に固体(連続相), RPV底部は主に粒子状の見込み, 炉心部外周部は切り株燃料の可能性あり(SAMPSON)

炉内機器状態推定

構造物/機器	状態推定
ドライヤ	④, ⑤
セパレータ	③または④
上部格子板	③または④
シュラウド	③
燃料集合体, 制御棒	①
炉心支持板	②
シュラウドサポート	③および②(デブリ接触部)
制御棒案内管, 核計装案内管	②
スタブチューブ	②
CRDハウジング, ICMハウジング	②(RPV溶接部溶融の可能性)

- ① 溶融して, 下方へ落下の可能性有
- ② デブリとの接触により, 溶融し大規模な変形の可能性有
- ③ 1000℃以上で過大な変形の可能性有
- ④ 1000℃以下であるがクリープ変形の可能性有
- ⑤ 支持部の変形により, 傾くか下方へ移動の可能性有

- 一次系の注水による圧力挙動より, シュラウドに大規模損傷は無いものと推定。
- PCV内部調査より, 観察できた範囲では, RPV下部外周部には大規模損傷は無いものと推定。

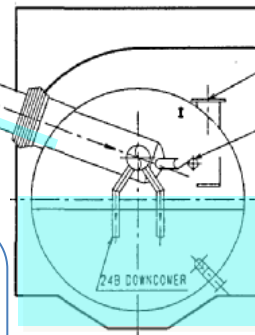
その他

2号機の特徴(対1,3号)

- DW水位が低い。(約30cm)
- DW線量が高い。(約30~70Sv/h:)(2012/3)
- DW内気中での水滴落下あり。
- 現在のPCV圧が若干高い。(気相リークが少ないと推定)

課題

- ペダスタル部のデブリ拡がりの調査(解析, 調査)
- RPV下部破損部及び下部構造物へのデブリ付着の確認
- DW Cs付着量 解析と実機線量の相違



FP(沈着量) (事故後6日時点 (kg))

領域	Cs	Sr
RPV内	38~110	11~46
D/W内壁	0.1未満~1	0.1未満
S/P水中	57~140	1~6
環境放出	0.1未満~4	0.1未満

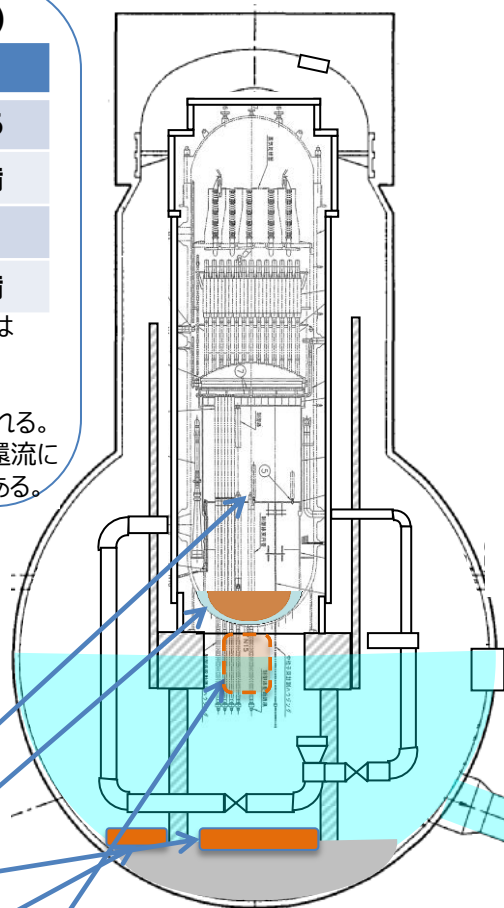
- Cs: MAAPではRPV内に約62%, SAMPSONではS/P水中に約75%存在。
- Sr: 沈着量は少なく、主にデブリ内に存在。
- ガス状のものは窒素置換により流出したものと推定される。S/P水中のものはそのまま残存あるいはD/W側への還流によってリーク箇所から汚染水として流出した可能性がある。

燃料デブリ分布

(燃料+ 溶融・凝固した構造材(コンクリート成分を含む)の合計重量 (ton))

場所	評価値	代表値
炉心部	0~31	0
RPV底部	21~79	21
ペダスタル内側	92~227	213
ペダスタル外側	0~146	130
合計	188~394	364

評価値には、ある程度の不確かさが存在する  
ペダスタル内側の燃料デブリの内、RPV下部CRDハウジングに約5.5tonの燃料デブリ付着の可能性あり。



デブリ性状, MCCI等

- 炉心損傷前にD/Wスプレーを実施しており、また現在ペダスタル水位が高いことより、大規模なシエルアタックは無いと推定
- ペダスタル部のデブリは主に固体(連続相), RPV底部は主に粒子状の見込み、炉心部外周部は切り株燃料の可能性あり(SAMPSON)

炉内機器状態推定

構造物/機器	状態推定
ドライヤ	③または④、⑤
セパレータ	③または④、⑤
上部格子板	③
シュラウド	③
燃料集合体,制御棒	①
炉心支持板	④
シュラウドサポート	③および②(デブリ接触部)
制御棒案内管,核計装案内管	②
スタブチューブ	②
CRDハウジング, ICMハウジング	②(RPV溶接部溶融の可能性)

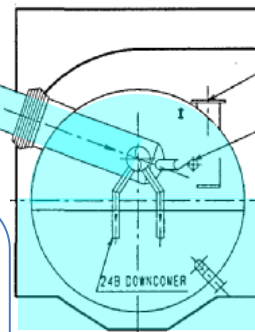
- ① 溶融して、下方へ落下の可能性有
- ② デブリとの接触により、溶融し大規模な変形の可能性有
- ③ 1000℃以上で過大な変形の可能性有
- ④ 1000℃以下であるがクリープ変形の可能性有
- ⑤ 支持部の変形により、傾くか下方へ移動の可能性有

その他

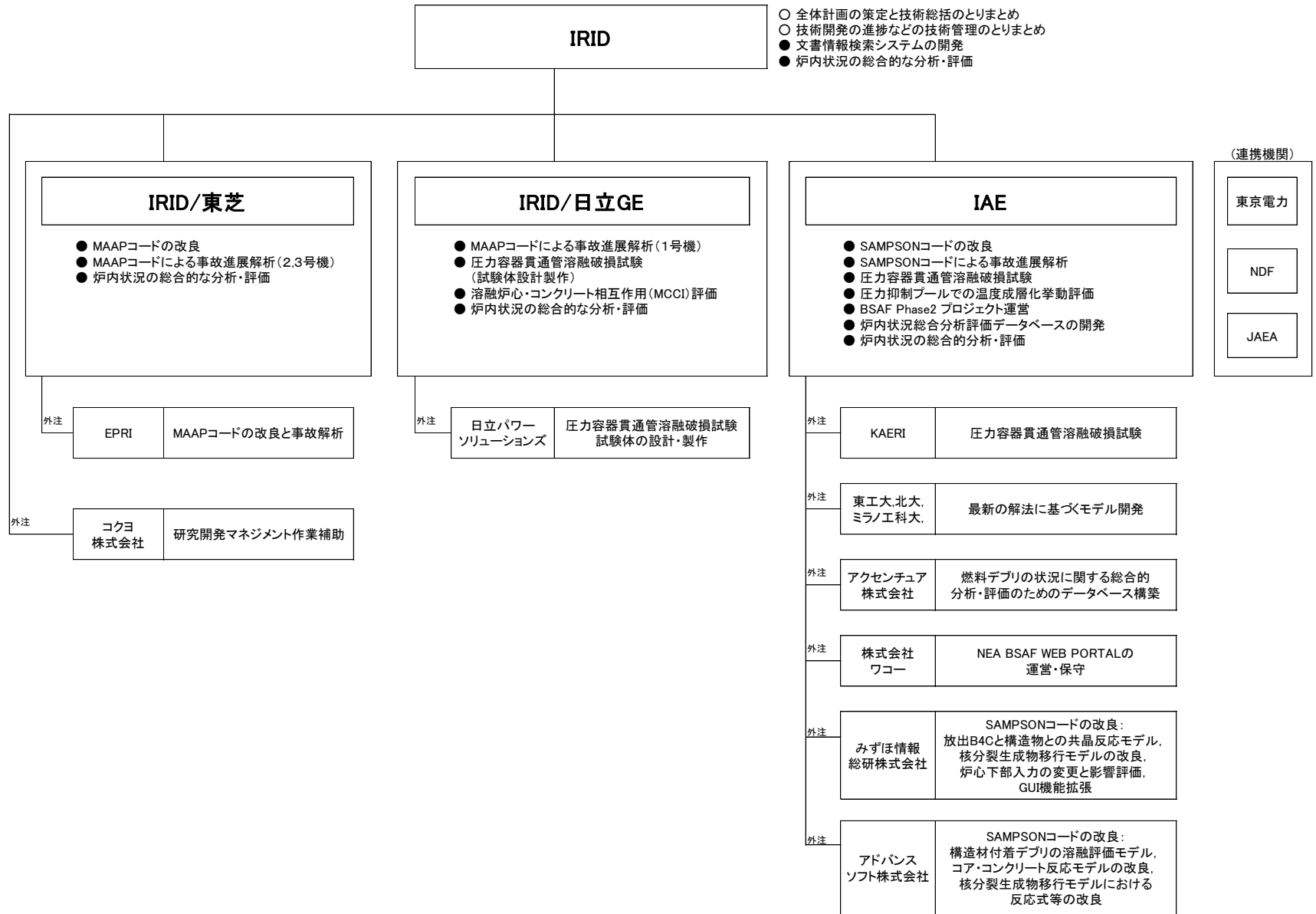
- 3号機の特徴(対1,2号)
- DW水位が高い。(約6.3m)
  - DW線量が低い。(約~1Sv/h; 2015/10)
  - 現在のPCV圧が若干低い。

課題

- ミュオン測定,PCV/RPV内部調査等による観測データの拡充
- RPV下部破損部及び下部構造物へのデブリ付着の確認
- DW Cs付着量 解析と実機線量の相違



# 添付資料 3 事業実施体制図





# 添付資料 4-1 事業実施工程表 (1/2)

赤ライン及び赤字:実績

大分類	小分類	平成27年										平成28年			備考
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月		
① 事故進展解析コードの改良・高度化	(a) MAAPコードの改良 (IRID)														改良項目、スケジュールを確認 定期的に進捗状況を確認 EPRI最終報告書入手し、レビュー完了 各改良モデルのコーディング・デバッグを完了 EPRIより改良版MAAPを入手
	・MAAP改良・解析計画立案	[進捗]													
	(EPRI 進捗確認会議)			▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼		
	・MAAPの改良・検証	[進捗]													
	(b) SAMPSONコードの改良 (IAE)		▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	
	・MCCIFモデル、PCV破損、FP移行モデル等の改良	[進捗]										中間解析結果等を踏まえた改良	外注先進捗会議		
② 事故進展解析を活用した炉内状況の推定・評価	(a) MAAPコードによる事故進展解析 (IRID)													昨年度までの改良版を使用した境界条件に関する感度解析を実施 BSF条件も考慮した入力データを作成 1F-2圧カスライクを再現する入力データ作成と感度解析を完了 改良版MAAPIによる感度解析完了	
	・他PJ成果の調査分析に基づく解析条件検討	[進捗]													
	・最新知見を反映した入力データ作成														
	・事故進展解析の実施														
	(b) SAMPSONコードによる事故進展解析 (IAE)													デブリ分布、FP分布等に関する情報を整理 今年度改良版SAMPSON向け入力データを整備し、改良版による解析を完了	
	・平成26年度改良版SAMPSONによる解析	[進捗]													
	・改良SAMPSONによる解析														
	(c) 压力容器貫通管溶融破損試験 (IAE)													試験体概念図を作成し、製作設計を実施 試験体立会い検査(2/15)完了後、KAERIに発送。2/23に、KAERI到着。 予定した3回の試験を完了	
	・試験体概念検討、基本設計 (IRID)	[進捗]													
	・試験体製作・搬入 (IRID)														
	・試験準備、試験実施 (IAE)														
	(d) 溶融炉心・コンクリート相互作用 (MCCI) 評価 (IRID)													モデル構築完了 OECD/MCCI試験体系での試験解析を完了 実機体系の解析を完了し、評価を実施	
・コンクリート移流・拡散モデル構築	[進捗]														
・コーディング・試験解析															
・実機体系解析															
(e) 圧力抑制プールでの温度成層化挙動評価 (IAE)													解析モデルを構築し、予備解析を実施 実機条件(対象1号機)を模擬した解析により温度成層化の程度とDFへの影響を評価		
・入力作成と予備解析	[進捗]														
・改良CFD解析、SAMPSON解析への反映															



# 添付資料 4-2 事業実施工程表 (2/2)

赤ライン及び赤字:実績

大分類	小分類	平成27年										平成28年			備考	
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月			
② 事故進展解析を活用した炉内状況の推定・評価	(f) BSAF Phase2 プロジェクト 運営(IAE)															事故進展シナリオ、共通解析条件等を検討  BSAFメンバー限定公開部分にフォーラム設定、BSAF解析条件等を更新 解析の最終仕様と回答書を作成し、参加機関へ通知し、解析結果を纏めた12/7~12/10のBSAF技術会議にて、事故後6日間の結果を議論
	- 共通解析条件の設定等	■	■	■												
	- 情報発信、解析実施等				■	■	■	■	■	■	■					
	- 最終報告書作成、情報発信										■	■	■	■		
	(g) 炉内状況の推定・評価の整理・提供 (IRID, IAE)															昨年度解析結果に基づき、事故進展、デブリ分布、FP分布等に関する情報を整理  事故進展、デブリ分布、FP分布等に関するInput/Output情報を整理し、適宜提供 炉内機器損傷評価のための温度を提示
- 他の研究開発プロジェクト向け詳細情報 (平成26年度成果)の整理	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
- 他の研究開発プロジェクトへの情報提供	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
③ 総合的分析・評価に必要なデータベースの開発	(a) データベース構築・表示機能製作 (IAE 炉内状況データベース)															基本設計完了  号機別調査におけるフィルター機能、データ表示機能の拡張等を反映したプロトタイプ(v1)をリリース データを適宜追加
	- 表示機能の抽出と設計	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	- プロトタイプ製作と動作試験															
- データの処理・追加																
	(b) 情報(研究成果等)の収集・整理 (IRID 文書情報検索システム)															IRID 文書情報検索システムを製作し、IAE 炉内状況データベースに統合
④ 炉内状況の総合的な分析・評価	(a) 炉内状況把握作業会、検討会 (IRID, IAE)															21回の作業会を開催し、総合的な分析・評価を実施 12回の検討会を開催し、総合的な分析・評価結果をレビュー  事故進展解析結果及び他PJ成果よりデブリ分布、FP分布の推定を実施(作業会にて検討を実施し、検討会にて評価結果をレビュー)  BSAF会合にて、各号機の炉内状況推定結果について報告  各号機について、事故進展解析(MAAP/SAMPSON)による機器経熱温度に基づき炉内機器状態の推定を実施
	- 炉内状況把握作業会															
	- 炉内状況把握検討会															
	(b) 燃料デブリ(位置、量、組成)、核分裂生成物(分布・挙動)の分析・評価(IRID, IAE)															事故進展解析、PCV内部調査、プラントデータ等からデブリ分布、FP分布を推定
	(c) 他の項目の分析・評価 (IRID, IAE)															事故進展解析、PCV内部調査、プラントデータ等からデブリ分布、FP分布を推定
研究成果のまとめ	報告書作成と報告会(IRID, IAE)															中間報告会:10/2  最終報告会:3/24

事業実施項目	目標達成を判断する指標	達成結果
① 事故進展解析コードの改良・高度化	<p>(a) MAAPコードの改良 平成26年度に抽出した重要課題に対する全ての改良を完了すること（PIRTで抽出されたMAAPでモデル化されていない重要現象8件の内、6件を含む）。 （TRL基準のレベル6（フィールド実証）完了）</p>	<p>平成26年度に抽出した重要課題に対する全ての改良を完了した。（PIRTで抽出されたMAAPでモデル化されていない重要現象8件の内、6件を含む）。 （TRL基準のレベル6（フィールド実証）完了）</p>
	<p>(b) SAMPSONコードの改良 平成26年度に抽出した重要課題に対する全ての改良を完了すること（PIRTで抽出されたSAMPSONでモデル化されていない重要現象9件の内、7件を含む）。 （TRL基準のレベル6（フィールド実証）完了）</p>	<p>平成26年度に抽出した重要課題に対する全ての改良（構造材付着デブリの溶融評価モデル、コア・コンクリート反応モデルの改良、格納容器損傷モデルの改良、核分裂生成物移行モデルの改良、など計7件）を完了した。（TRL基準のレベル6（フィールド実証）完了）</p>
② 事故進展解析を活用した炉内状況の推定・評価	<p>(a) MAAPコードによる事故進展解析 改良されたMAAPコードにより、1～3号機の事故進展解析を実施し、PCV内部調査やミュオンによるデブリ測定の結果と整合することを確認した上で、燃料デブリ分布、組成、核分裂生成物移行の情報を提示すること。 （TRL基準のレベル6（フィールド実証）完了）</p>	<p>改良されたMAAPコードにより、1～3号機の事故進展解析を実施し、PCV内部調査やミュオンによるデブリ測定の結果と整合することを確認した上で、燃料デブリ分布、組成、核分裂生成物移行の情報を提示した。 （TRL基準のレベル6（フィールド実証）完了）</p>
	<p>(b) SAMPSONコードによる事故進展解析 改良されたSAMPSONコードにより、1～3号機の事故進展解析を実施し、PCV内部調査やミュオンによるデブリ測定の結果と整合することを確認した上で、燃料デブリ分布、組成、核分裂生成物移行の情報を提示すること。 （TRL基準のレベル6（フィールド実証）完了）</p>	<p>改良されたSAMPSONコードにより、1～3号機の事故進展解析を実施し、PCV内部調査やミュオンによるデブリ測定の結果と整合することを確認した上で、燃料デブリ分布、組成、核分裂生成物移行の情報を提示した。 （TRL基準のレベル6（フィールド実証）完了）</p>
	<p>(c) 圧力容器貫通管溶融破損試験 実験用貫通配管を含む試験体を製作し、実コリウムを落下させた試験を行い、貫通管が溶融デブリによって損傷に至る過程の検証データを取得すること。 （TRL基準のレベル5（模擬実証）完了）</p>	<p>実験用貫通配管を含む試験体を製作し、実コリウムを落下させた試験を行い、貫通管が溶融デブリによって損傷に至る過程の検証データを取得した。 （TRL基準のレベル5（模擬実証）完了）</p>

事業実施項目	目標達成を判断する指標	達成結果
<p>② 事故進展解析を活用した炉内状況の推定・評価</p>	<p>(d) 溶融炉心・コンクリート相互作用 (MCCI) 評価 格納容器床コンクリートの侵食範囲、デブリ分布の評価及びペDESTAL強度の影響評価に資するため、侵食コンクリートの移流・拡散モデルを開発し、デブリ（溶融デブリ、クラスト）内のコンクリート濃度分布解析結果及び実機サンプ体系での侵食挙動解析結果を提示すること。また、試験検証解析において、サンプ体系での侵食速度予測精度±10%を達成すること。 (TRL基準のレベル5 (模擬実証)完了)</p>	<p>Fickの第二法則による拡散項と移流項で構成される侵食コンクリートの移流・拡散モデルを構築した。開発したモデル、及びコンクリート分解とデブリ局所物性モデルを組み込んだDSAモジュールを用いて、OECD/CCI-2試験の検証解析を行った。その結果、侵食速度を鉛直方向+約10%、水平方向-約4.0%の精度で予測できた。また、1F-1実機解析を行い、デブリ拡がり挙動、サンプを含む長期の侵食挙動を評価した。 (TRL基準のレベル5 (模擬実証)完了)</p>
	<p>(e) 圧力抑制プールでの温度成層化挙動評価 FP除去現象等への影響が考えられる圧力抑制プールの温度成層化挙動を詳細に把握するため、ベント管の蒸気凝縮において、非凝縮性ガスが凝縮効率や温度成層化に及ぼす影響を解析により把握できること。CFD解析の結果をSAMPSON解析に反映し、圧力抑制プール液相部から気相部へのFP移行率の評価を見直すこと。 (TRL基準のレベル4 (実用化研究)完了)</p>	<p>FP除去現象等への影響が考えられる圧力抑制プールの温度成層化挙動をCFD解析により評価。CFDによる温度成層化評価結果と水中へのFP溶け込み割合 (DF) の評価モデルの改良とを合わせ、圧力抑制プール液相部から気相部へのFP移行率の評価を見直した。 (TRL基準のレベル4 (実用化研究)完了)</p>
	<p>(f) BSAF Phase2 プロジェクト運営 国際プロジェクト会合をホストし、BSAF Phase2の実施に必要な解析境界条件等を提示すること。また、参加機関が実施した初期6日間の解析結果を比較し、燃料デブリ分布、組成、核分裂生成物移行の情報を提示すること。 (TRL基準のレベル4 (実用化研究)完了)</p>	<p>国際プロジェクト会合をホストし、BSAF Phase2の実施に必要な解析境界条件等を提示した。また、参加機関が実施した初期6日間の解析結果を比較し、燃料デブリ分布、組成、核分裂生成物移行の情報を整理した。 (TRL基準のレベル4 (実用化研究)完了)</p>
	<p>(g) 炉内状況の推定・評価の整理・提供 適宜、事故進展、炉内状況推定に関わる情報を提示すること。 (TRL基準のレベル6 (フィールド実証)完了)</p>	<p>事故進展、炉内状況推定に関わる情報を提示できるようにした。適宜必要な情報を提示する計画であったが、他PJとの調整により、ほとんどのアウトプットは、今年度の成果として纏めた結果を提供することを原則とした。但し1号のペDESTAL健全性評価に必要な情報情報は早めに提示した。 (TRL基準のレベル6 (フィールド実証)完了)</p>

事業実施項目	目標達成を判断する指標	達成結果
<p>③ 総合的な分析・評価に必要なデータベースの開発</p>	<p>(a) データベース構築・表示機能製作 炉内状況把握検討のプロセスに必要なデータ及び表示機能を炉内状況把握検討会のレビューを受けて決定し、分析・評価データベースのプロトタイプ版を製作すること。 (TRL基準のレベル4 (実用化研究)完了)</p>	<p>炉内状況把握検討のプロセスに必要なデータ及び表示機能を炉内状況把握検討会のレビューを受けて決定し、分析・評価データベースのプロトタイプ版を製作した。 (TRL基準のレベル4 (実用化研究)完了)</p>
	<p>(b) 情報 (研究成果等) の収集・整理 炉内状況の総合的な分析・評価を行うために必要な情報 (研究成果等) を収集・整理し、検索・情報の引出しが容易な情報データベースを構築すること。 (TRL基準のレベル5 (模擬実証)完了)</p>	<p>炉内状況の総合的な分析・評価を行うために必要な情報 (研究成果等) を収集・整理し、検索・情報の引出しが容易な情報データベースを構築し、炉内状況総合分析評価データベースに統合した。 (TRL基準のレベル5 (模擬実証)完了)</p>
<p>④ 炉内状況の総合的な分析・評価</p>	<p>炉内状況把握検討会、炉内状況把握作業会の体制を構築し、作業会は2回/月、検討会は1回/月の頻度で実施すること。本研究開発と関連するプロジェクトの進捗成果等から炉内状況の総合的な分析・評価を作業会で実施し、炉内状況把握検討会でレビューを受け、必要とする関連プロジェクトへ必要な形で炉内状況把握の検討結果を提示すること。また、炉内状況把握検討のプロセスを構築すること。 (TRL基準のレベル6 (フィールド実証)完了)</p>	<p>炉内状況把握検討会、炉内状況把握作業会の体制を構築し、作業会は2回/月、検討会は1回/月の頻度で実施し、炉内状況把握検討のプロセスを構築した。また、本研究開発と関連するプロジェクトの進捗成果等から炉内状況の総合的な分析・評価を作業会で実施し、炉内状況把握検討会でレビューを受け、炉内状況把握の検討結果を、必要とする関連プロジェクトへ必要な形で提示できるようにした。 (TRL基準のレベル6 (フィールド実証)完了)</p>

## 添付資料 5-4 技術成熟度（TRL）の定義

レベル	本事業に対応した定義	フェーズ
7	実用化が完了している段階。	実運用
6	現場での実証を行う段階。	フィールド実証
5	実機ベースのプロト機を製作し、工場等で模擬環境下での実証を行う段階。	模擬実証
4	開発、エンジニアリングのプロセスとして、試作レベルの機能試験を実施する段階。	実用化研究
3	従来経験を活用、組み合わせによる開発、エンジニアリングを進めている段階。または、従来経験のほとんど無い領域で、基礎データに基づき、開発、エンジニアリングを進めている段階。	応用研究
2	従来経験として適用できるものがほとんど無い領域の開発、エンジニアリングを実施し、要求仕様を設定する作業をしている段階。	応用研究
1	開発、エンジニアリングの対象について、基本的内容を明確化している段階。	基礎研究