

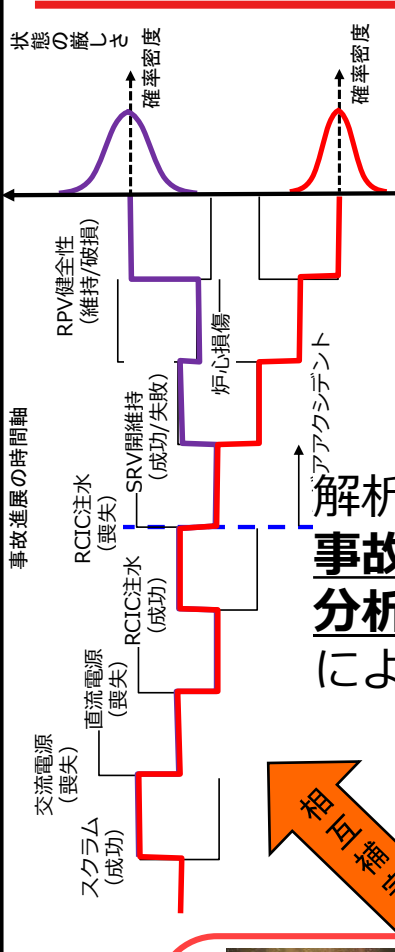
福島第一原子力発電所事故時の各号機の事故進展と 原子炉・格納容器・燃料デブリの状態について

TEPCO

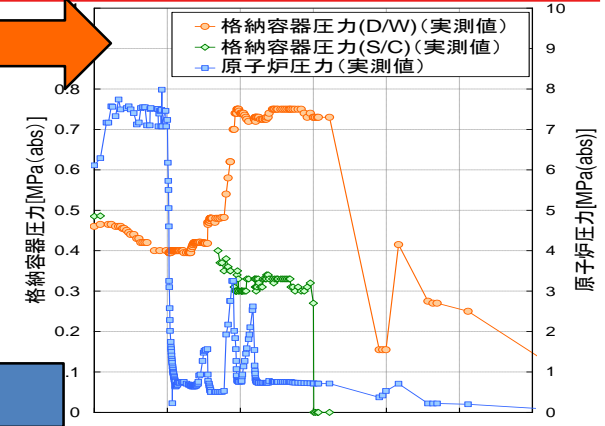
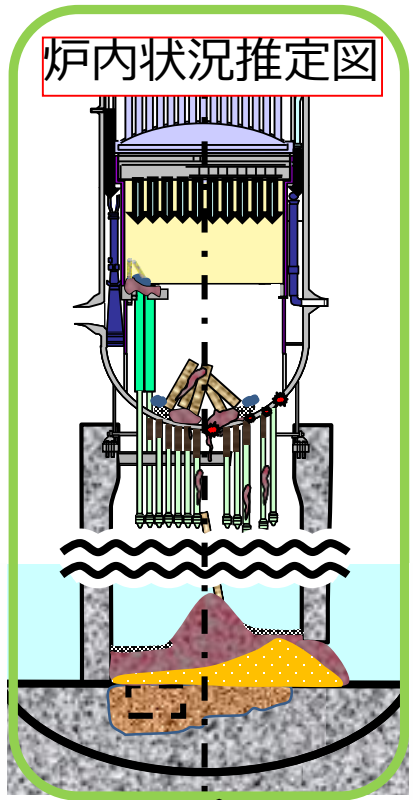
東京電力ホールディングス株式会社
福島第一原子力発電所 燃料デブリ取り出しプログラム部
溝上 伸也

- 福島第一原子力発電所は、3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに引き続く津波により冷却機能を喪失し、運転中であった1号機2号機3号機がシビアアクシデントに至った
- 電源喪失、特に直流電源も喪失していたことから、事故直後には事故時のプラント挙動がほとんどわからない状況であった。
- 東京電力は、事故進展の理解から原子炉・格納容器・燃料デブリ分布の状態が推定できるとの観点から検討を進めてきた
- 本報告では、事故進展の理解のこれまでの経緯を、どのような材料をもとに進めてきたかについて説明する。

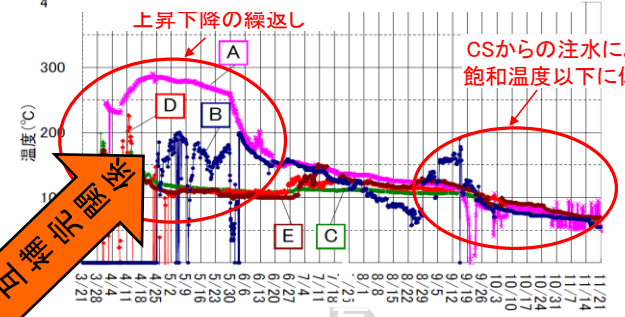
2. 炉内状況把握の進め方



解析コード評価と
事故進展シナリオ
分析の信頼性向上
によるアプローチ



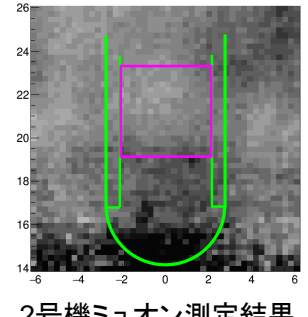
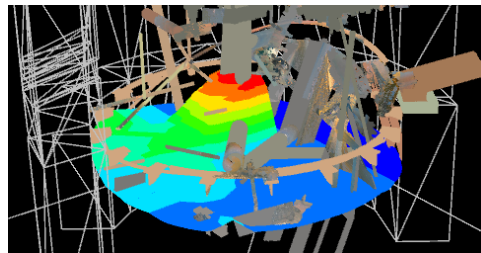
データ分析・逆問題解析
による現象理解を深め
推定を進めるアプローチ



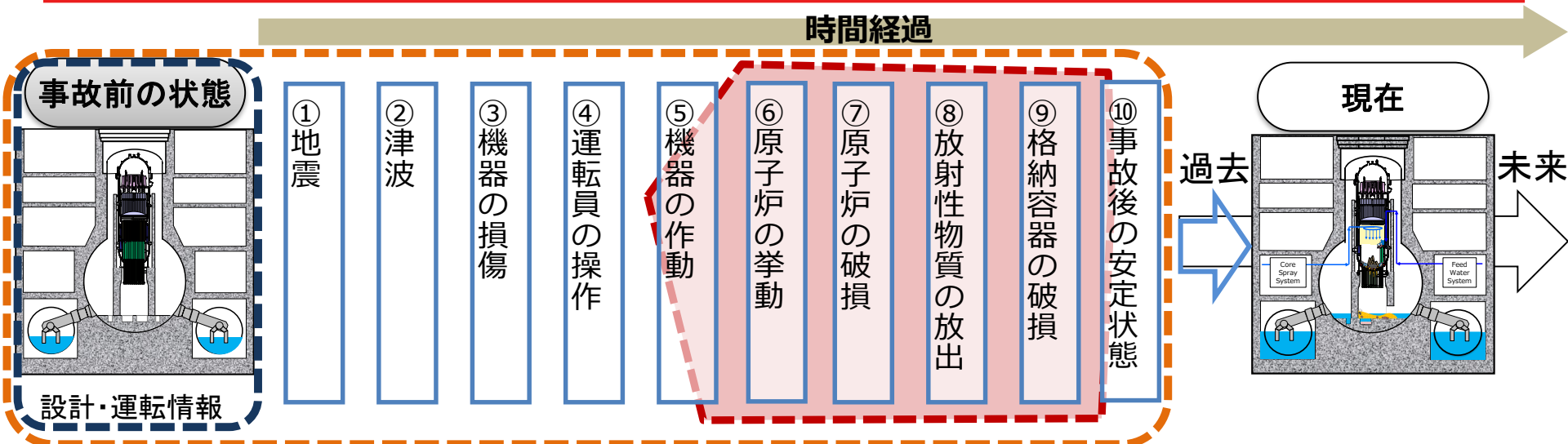
相互補完関係

相互補完関係

現場調査により得られる情報



3. 現在のプラントの状態と事故進展の関係



- 事故後に発生したことがすべて理解されていれば、現在の状態も把握可能
- 解析コードは、そのための有用なツールであるが、限界があることの認識も必要
 - ① 解析コードはデジタル空間での物理法則が記述されたもの(先人の知恵の格納庫)
 - ② 初期値として、設計・運転情報を用いてデジタル空間に1F各号機を再現(≠実物)
 - ③ 機器操作等のシナリオは、時間情報として別途入力(シナリオ分析の重要性)
 - ④ 従来知見と異なる、そもそも知見が無い場合、には実世界を模した解析は不可能
- シナリオ分析には、実測値のデータ分析が極めて有効
- 現在、再現解析による基本的な事故進展の理解については、世界のコンセンサス確立
- ミュオンによるRPV内の調査、ロボットを用いたPCV内の調査もそれを裏付け
- 一方で、細部に目を向けると
 - CRDが林立しているBWRのRPV底部破損の様相
 - 1/3号機のMCCIによるコンクリート侵食の程度・様相 については、従来知見と不整合

4. BWRの原子炉水位の圧力による校正 (2号機の例)

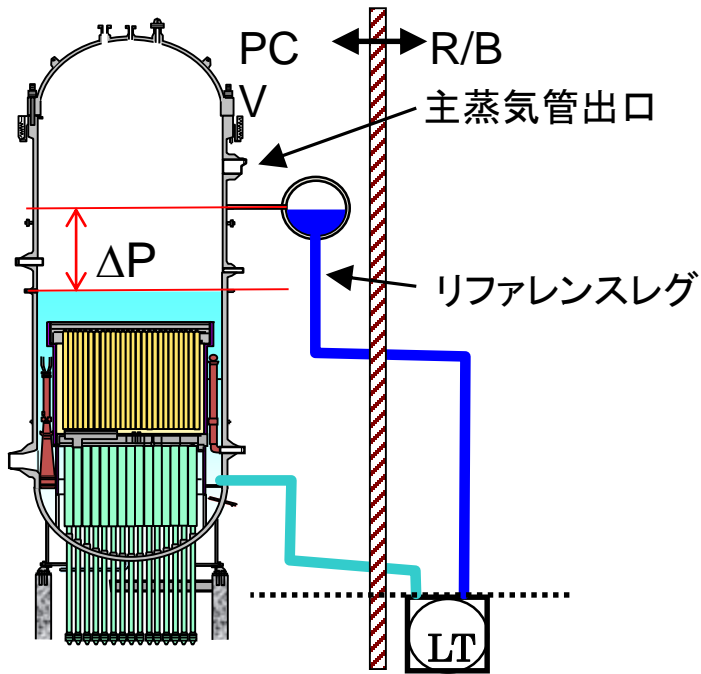
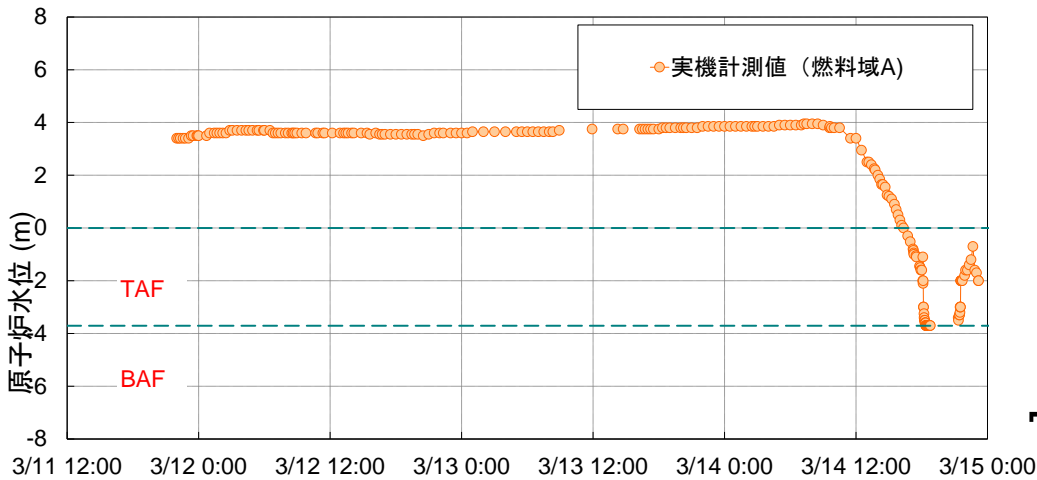
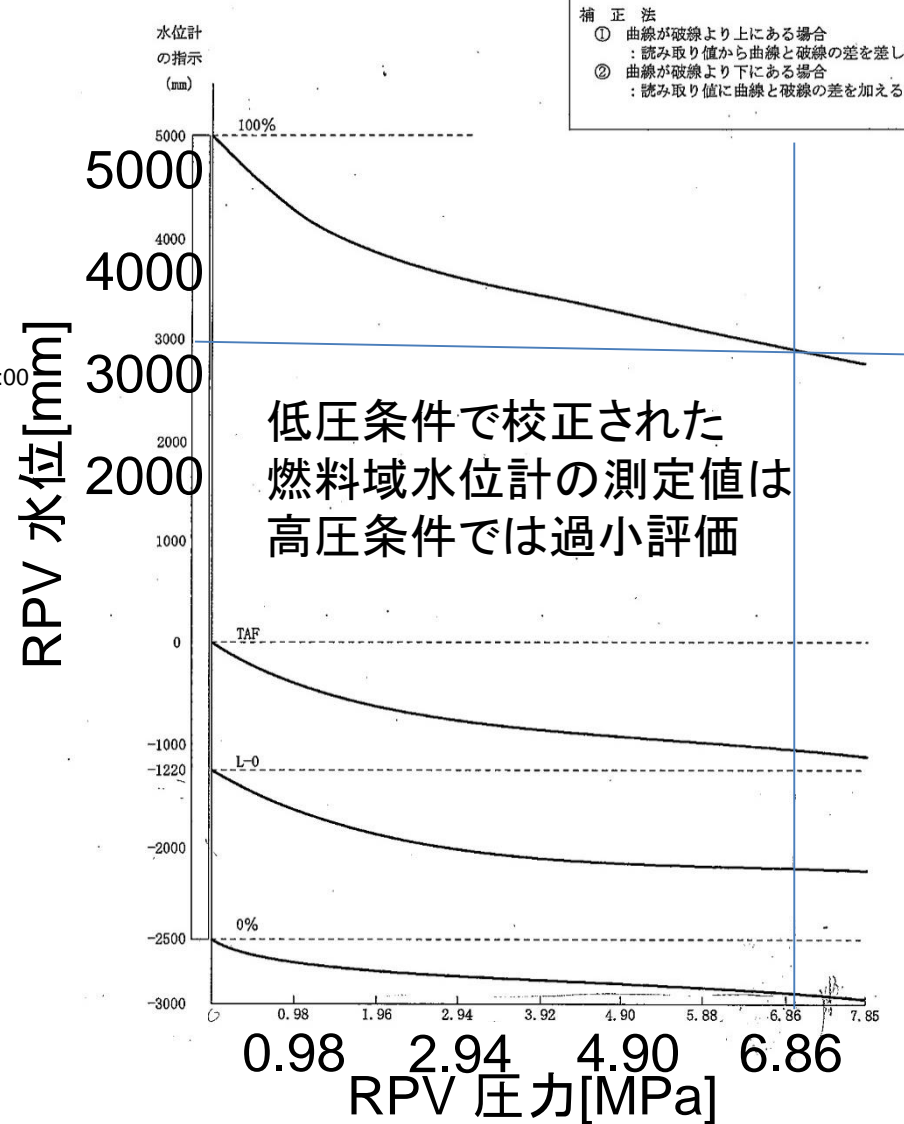
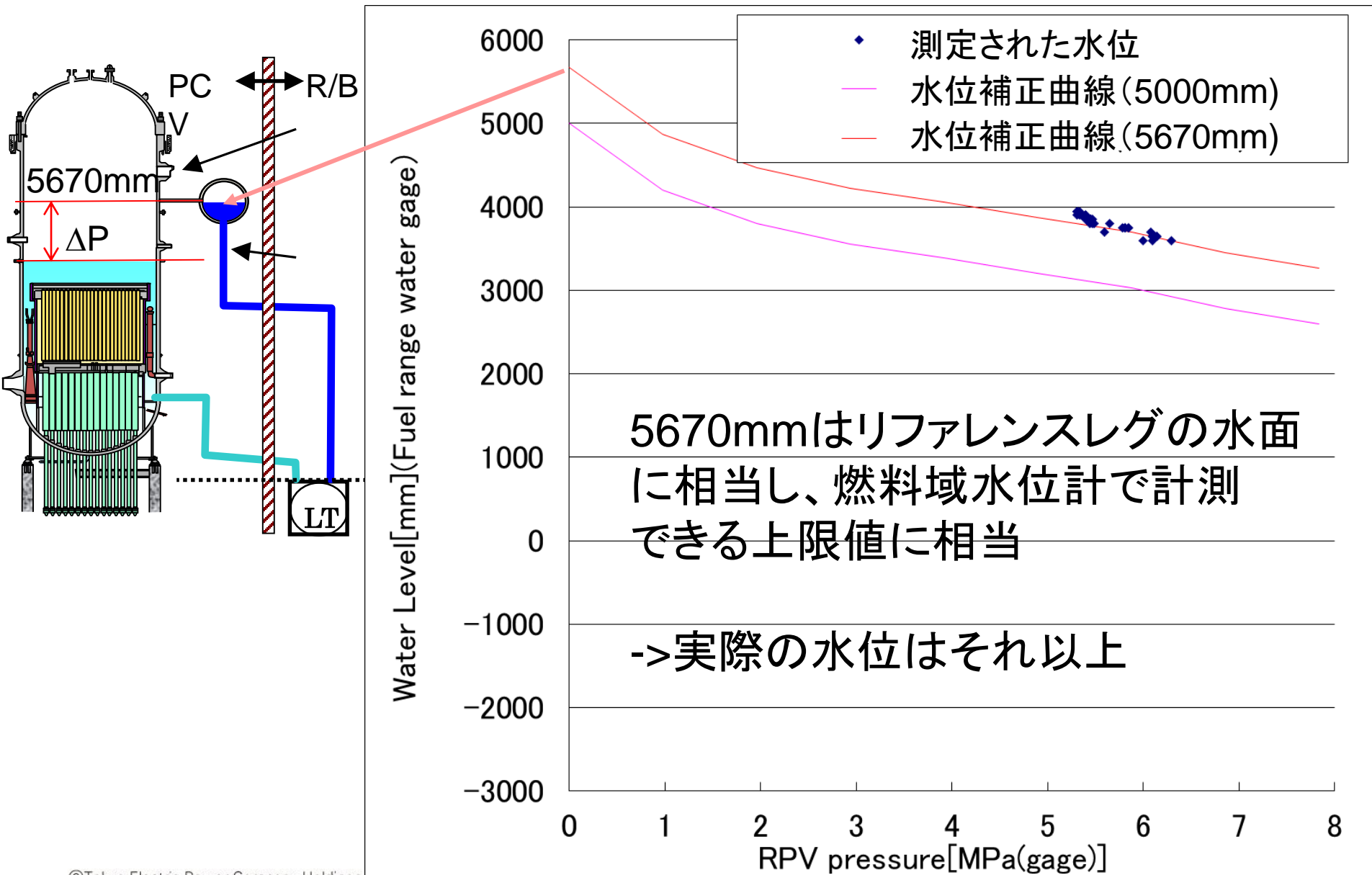


図5 燃料域計補正曲線 (原子炉圧力変化)

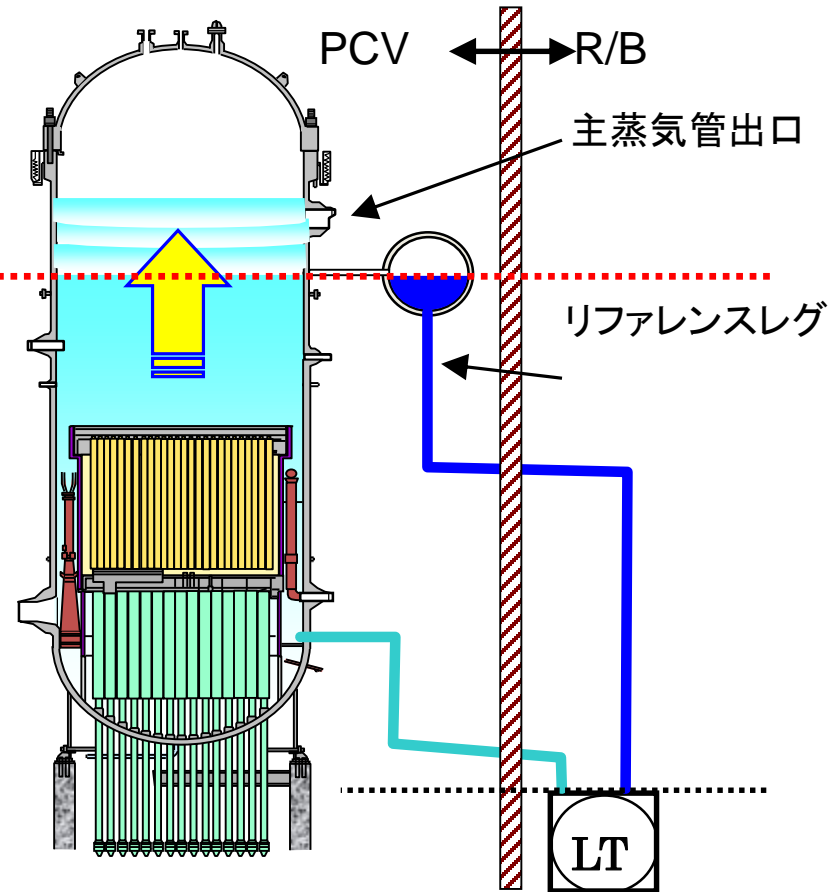
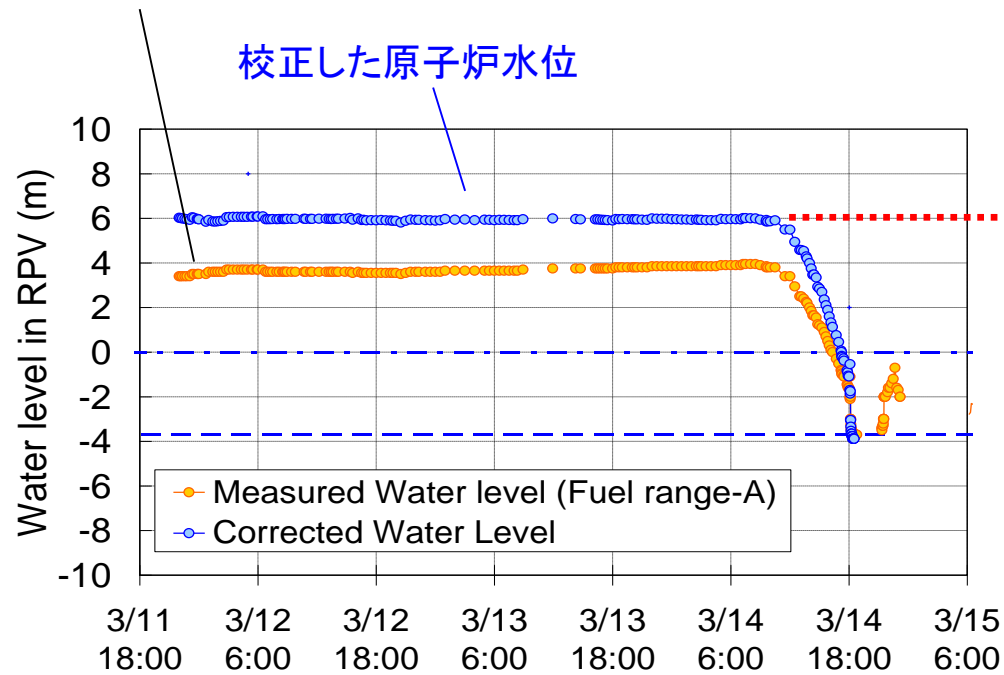


5. 2号機の測定されたRPV水位と水位補正曲線の関係



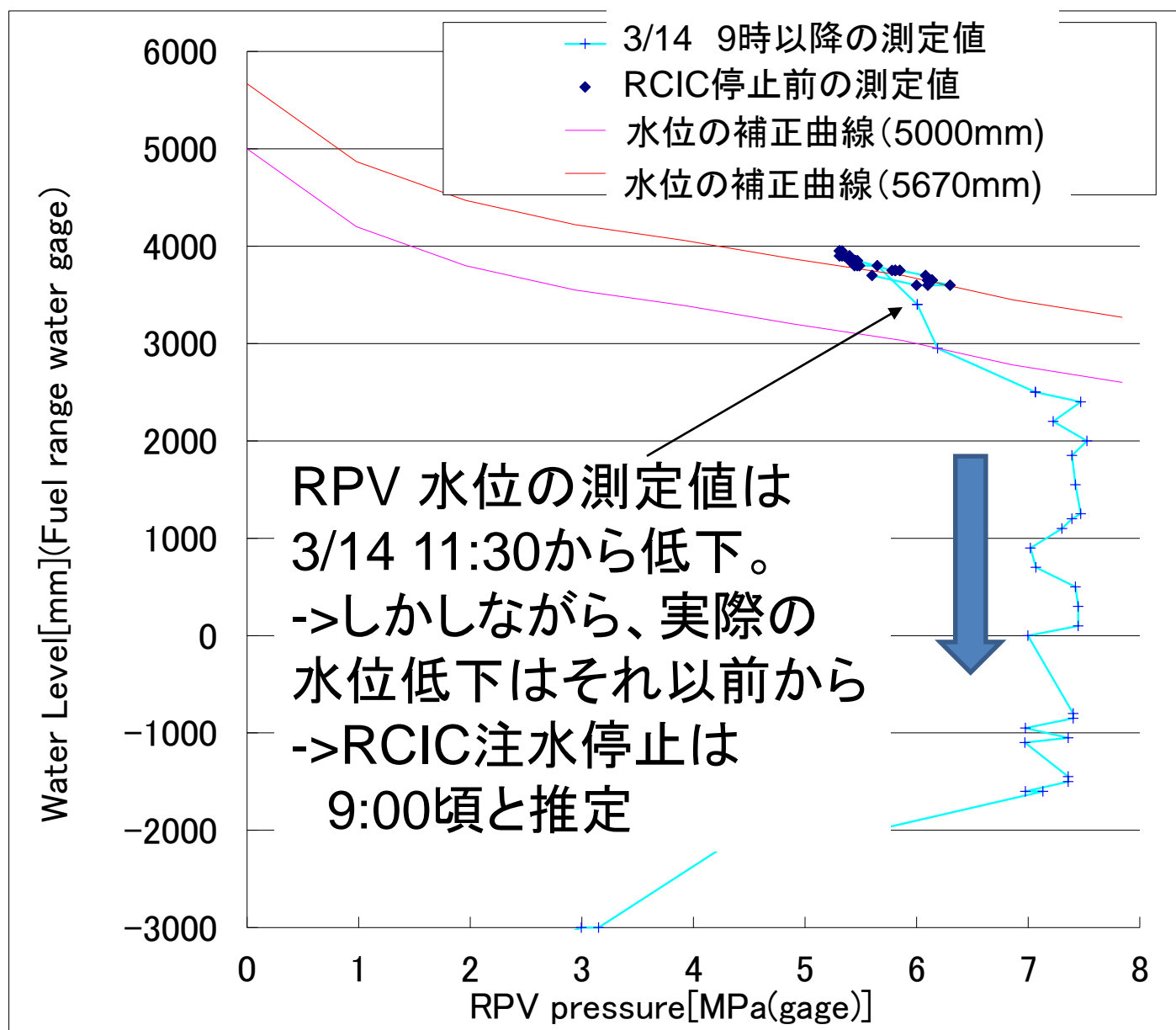
6. 実際の2号機の原子炉水位はどのような状況にあったか

3月11日22時以降の2号機の原子炉水位

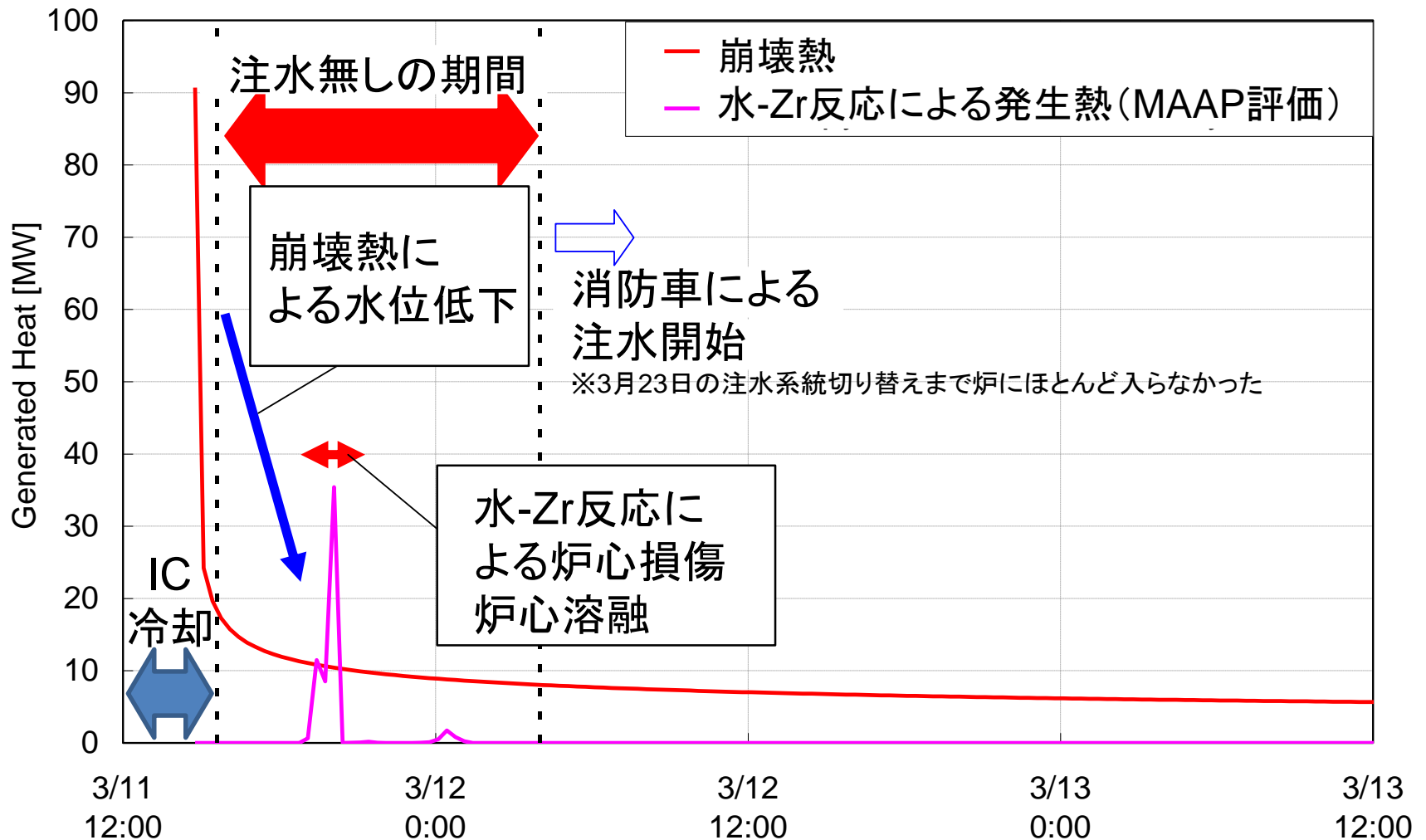


- 測定された水位は、測定上限値であり実水位はそれ以上であったと考えられる
- RCICが注水し続けた結果、注水された水は主蒸気管からこぼれおちる形となる
- タービンは二相流で駆動される状態となる

7. 実際の2号機RCIC停止時刻と水位低下開始時刻の関係

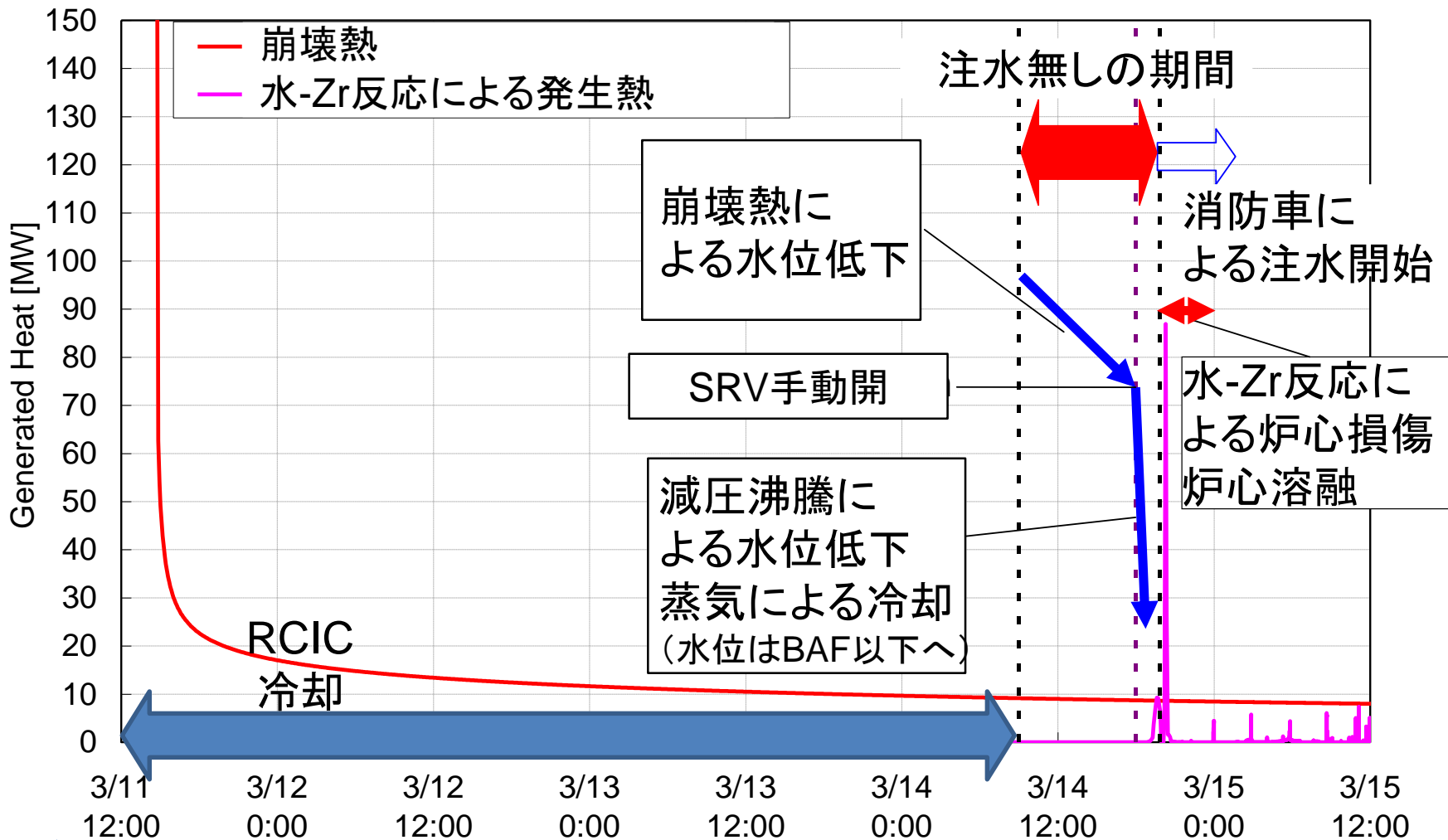


8. 1号機の崩壊熱と水-Zr反応の発生熱



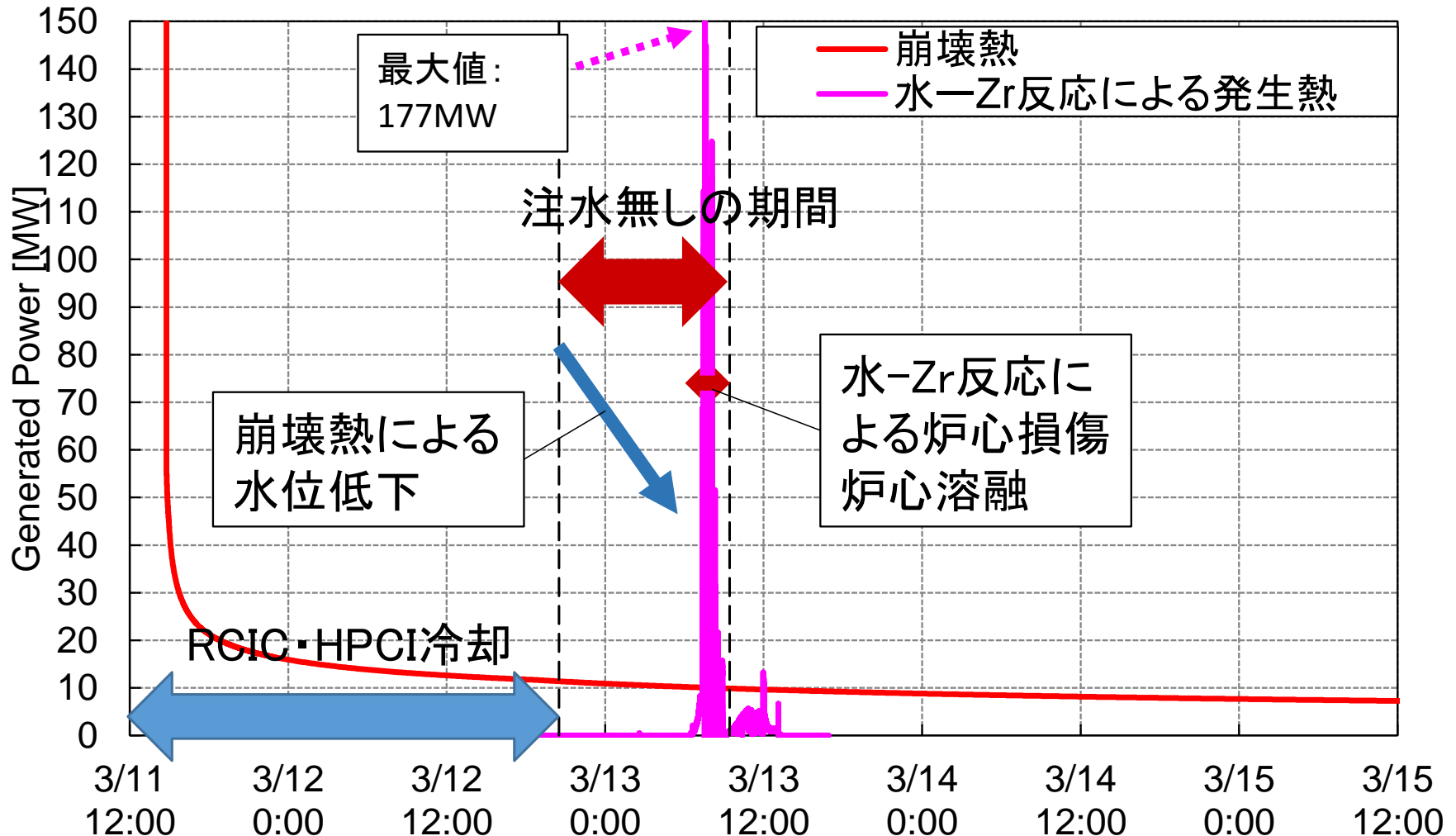
1号機は、津波到達直後に冷却が出来なくなり、3/11中に炉心損傷・炉心溶融に至った。消防車注水は水-Zr反応への寄与無し

9. 2号機の崩壊熱と水-Zr反応の発生熱



2号機は、減圧沸騰により水位が低下し、燃料は完全露出した。その後、消防車注水による水-Zr反応で炉心損傷・溶融に至った。

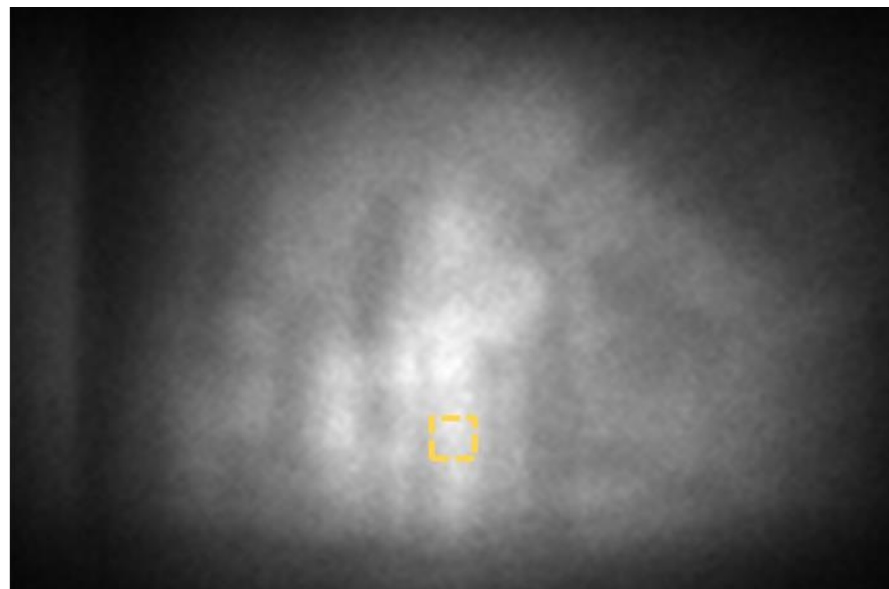
10. 3号機の崩壊熱と水-Zr反応の発生熱



3号機は、HPCI停止により冷却が出来なくなり、無注水期間中に炉心損傷・溶融に至った。消防車注水は水-Zr反応への寄与無し



設計図面に基づくミュオン計測結果推定画像
(破線部は炉心位置を示す)



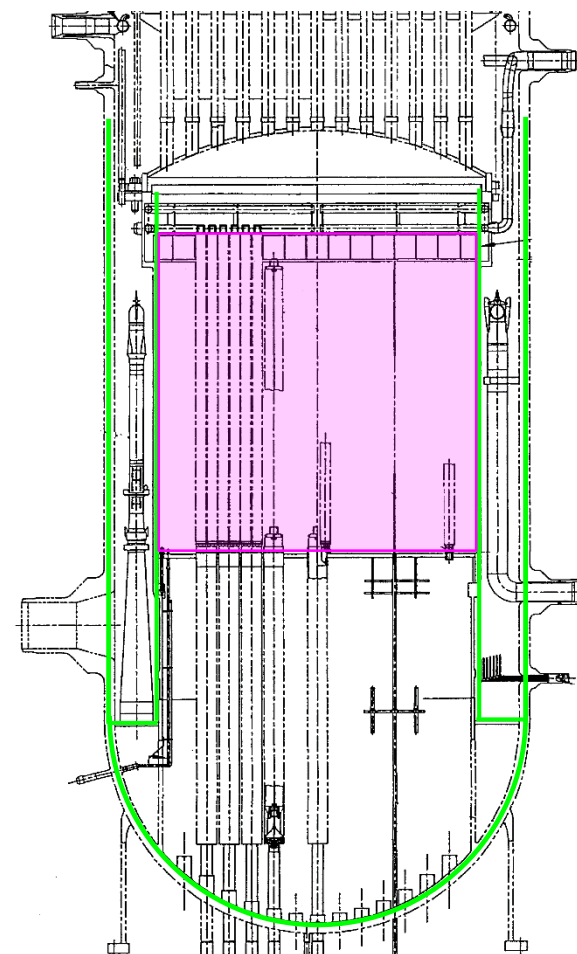
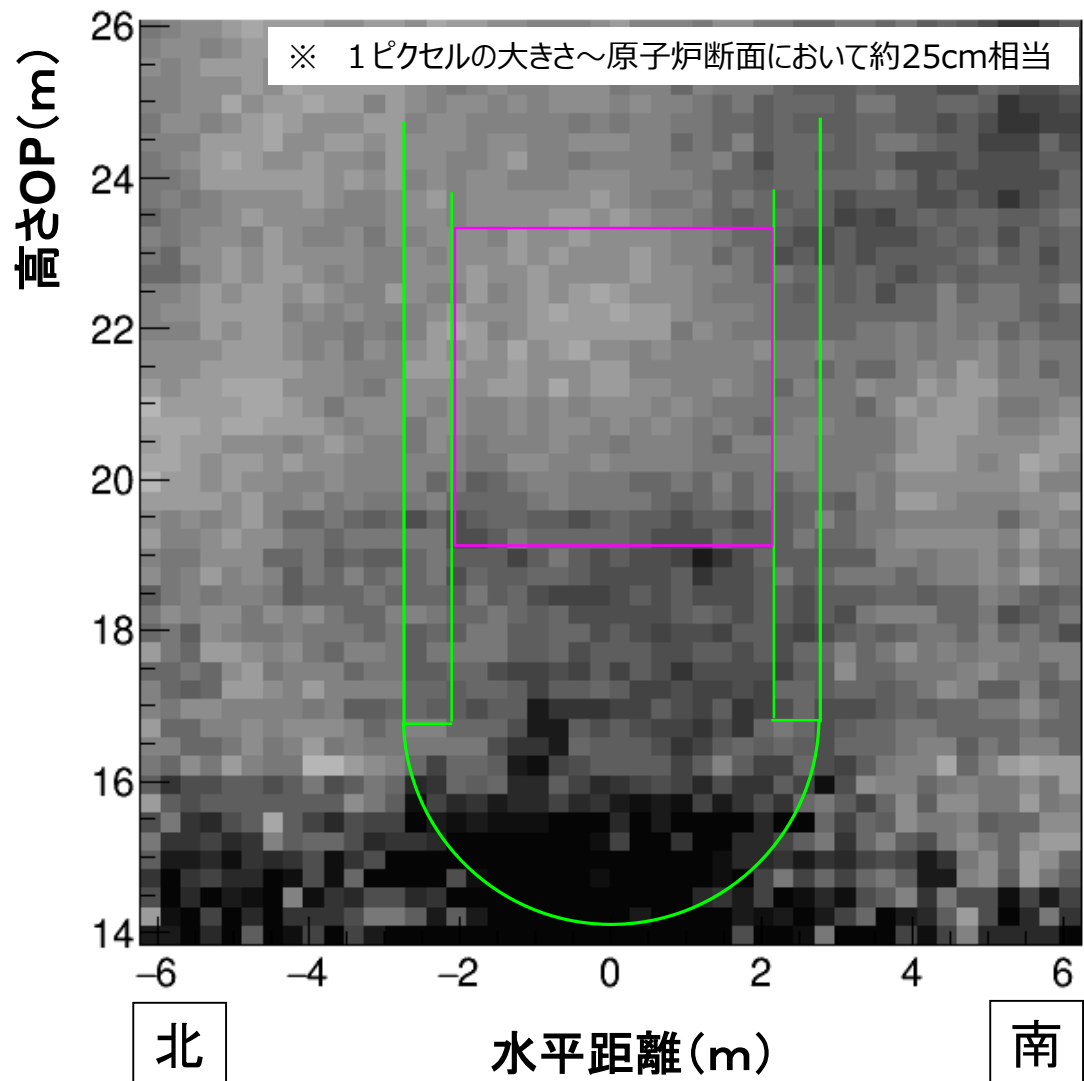
96日分のデータを用いたミュオン測定画像
(破線部は炉心位置を示す)

圧力容器、格納容器、原子炉建屋壁等の、燃料を除く吸収が大きな物質は、ミュオン測定により確認できた。(測定期間:平成27年2月9日~5月21日)
一方で、現時点では元々燃料が配置されていた炉心位置に、検出器の感度である1mを超えるような大きな燃料の塊は確認できていない。

⇒炉心部には燃料がほぼ残っていないと推定。

- 圧力容器底部に燃料デブリと思われる高密度物質の影を確認。

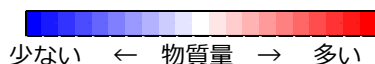
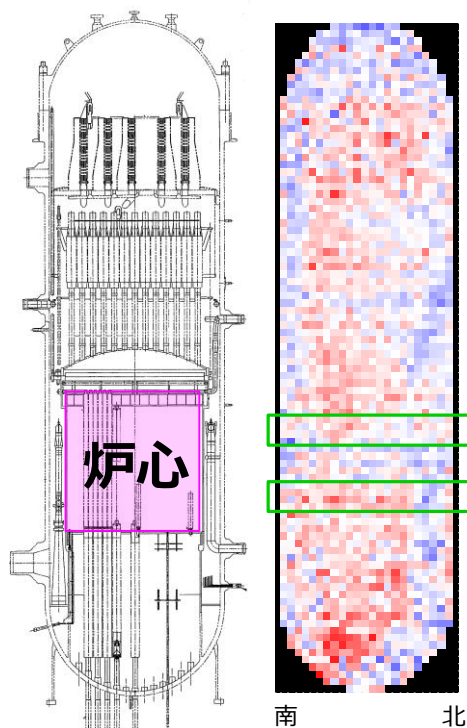
(測定結果 H28.7.22 時点)



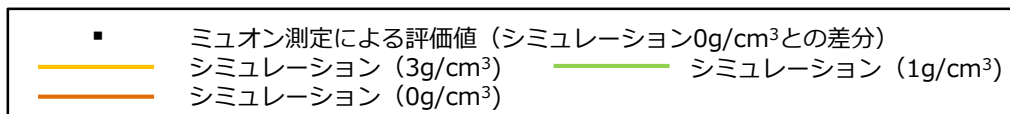
圧力容器下部の構造

下部プレナムに落下した燃料がRPV底部に残存しているものと考えられる。

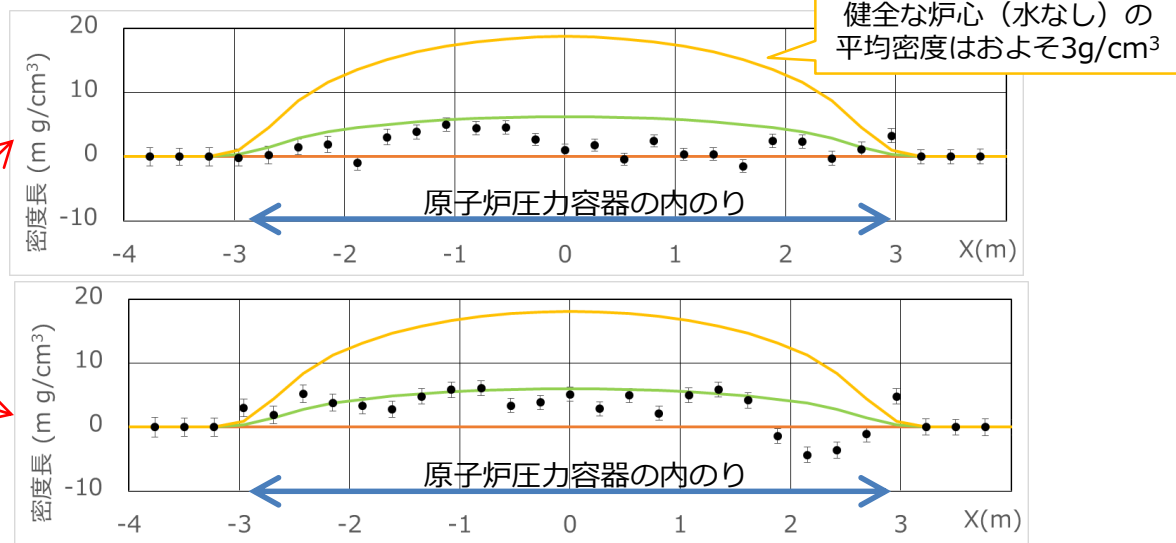
- ミュオン測定により得られる密度長分布には原子炉建屋の壁や床，原子炉圧力容器の容器自身など構造物の物質の影響が含まれている。
- 測定結果から原子炉建屋の壁や床，圧力容器などの構造物の物質を、シミュレーションに基づき除去
- 圧力容器内のりが、一様な密度をもつ仮想的な物質で満たされている場合のシミュレーション結果と比較し、燃料の有無を推定



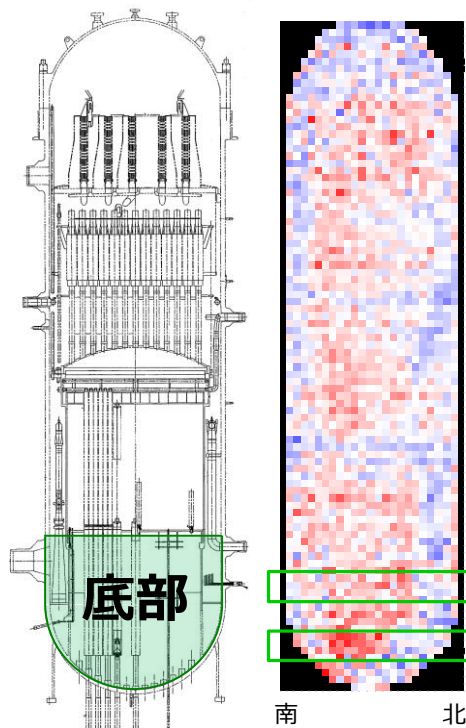
原子炉圧力容器の内りの物質分布
(容器内壁より内側の領域)



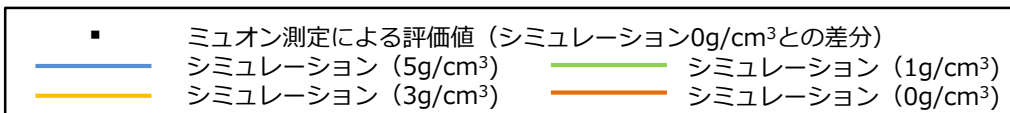
(エラーバーは偶然誤差のみを記載)



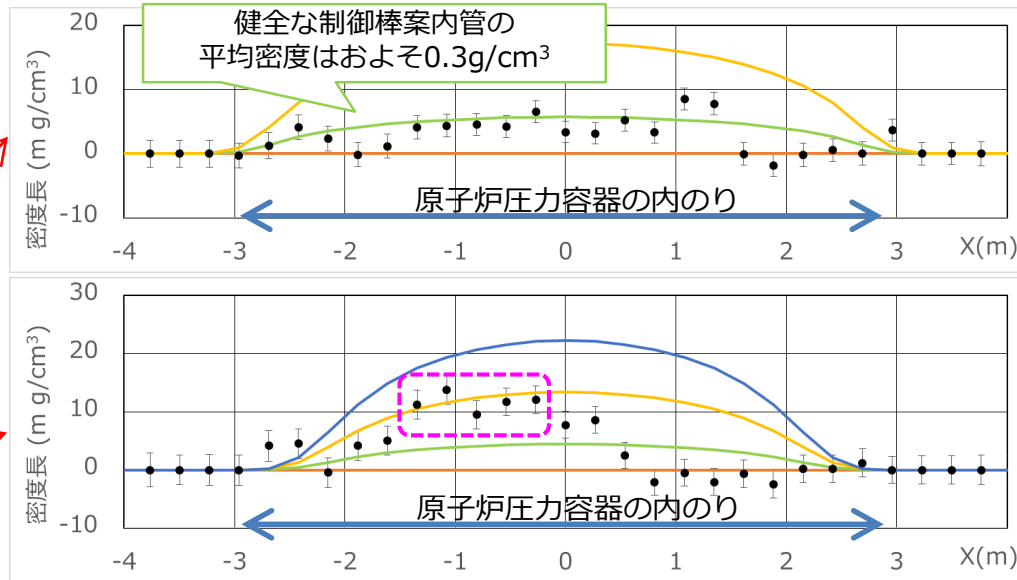
- 炉心域の物質量は、概ね平均密度1g/cm³以下で分布しており、物質量が大きく減少。



原子炉圧力容器の内りの物質量分布
(容器内壁より内側の領域)



(エラーバーは統計的な誤差 (偶然誤差) のみを記載)



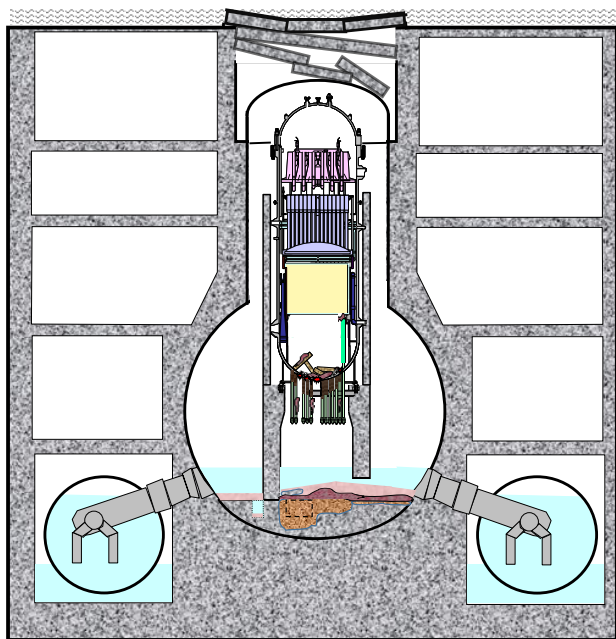
■ 原子炉圧力容器底部 (底部ヘッド付近) は、場所によって通常よりも多い物質量が存在することを確認。

3号機の原子炉圧力容器内における物質量分布を評価した結果、

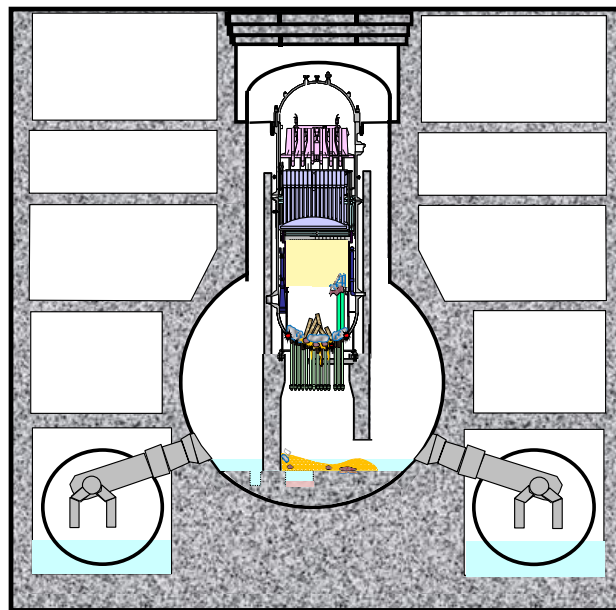
- もともとの炉心域には大きな燃料の塊は存在していない。
- 原子炉圧力容器の底部には、不確かさはあるものの、一部の燃料デブリが残っている可能性がある。

15. 炉心・格納容器内の状況推定のまとめ

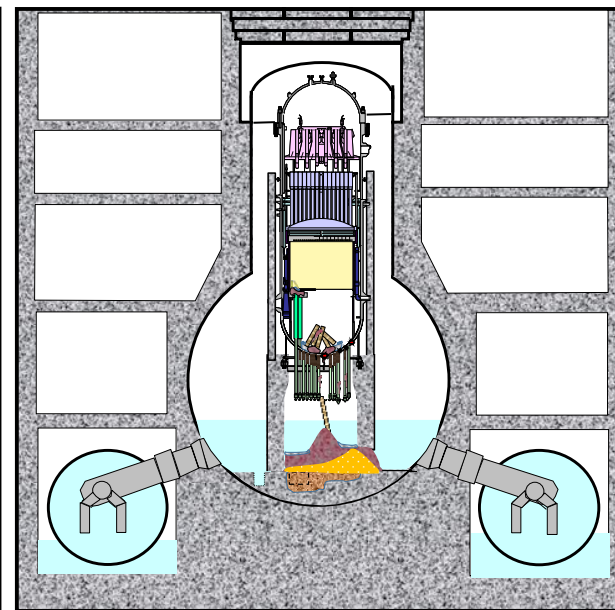
	炉心部	下部プレナム	格納容器	D/W水位	S/C水位
1号機	ほとんどない	ほとんどない	大部分	約2m	ほぼ満水
2号機	少ない ∨	多い ∨	少ない ∧	約0.3m	中間
3号機	少ない	少ない	ある程度	約4m	満水



1号機



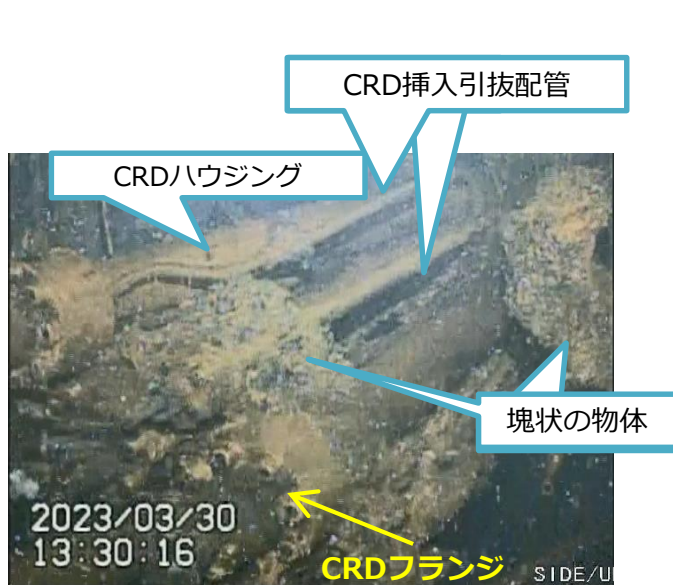
2号機



3号機

16. 【参考】各号機の事故進展に関する比較（ペデスタル内上部の状況） **TEPCO**

- 事故分析の観点から、1号機は「冷やす」ことができない期間が最も長かったため、原子炉の破損の状況は、2号機と3号機と比較して厳しいと推定していた。
- 1号機の内部調査の完了により、それぞれの号機の比較が可能となった



(参考)5号機CRDハウジング

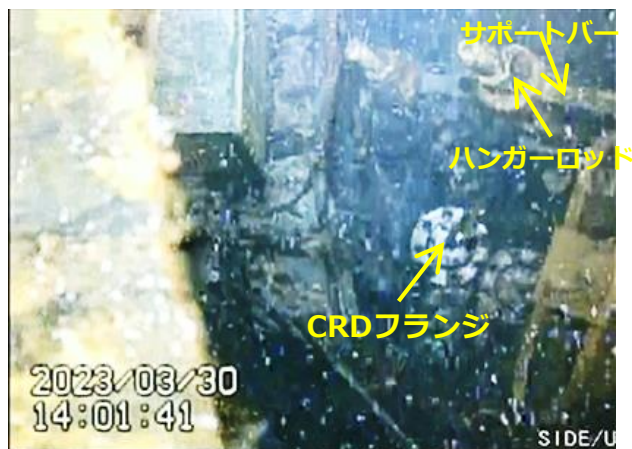


写真1. 1号機で確認されたCRD



写真2. 2号機で確認されたCRD

写真3. 3号機で確認されたCRD

17. 【参考】各号機の事故進展に関する比較（ペDESTAL内下部の状況） **TEPCO**

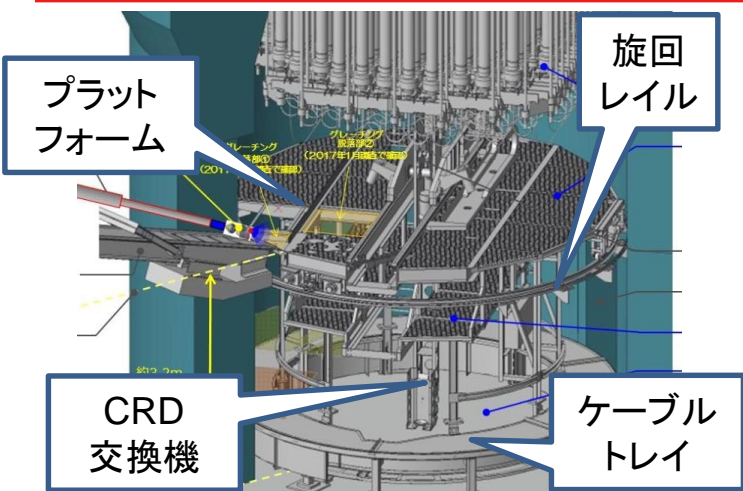


図1. Mark-I格納容器のペDESTAL内の機器配置(例)



写真1. 1号機のペDESTAL内の状況



写真2. 2号機のペDESTAL内の状況

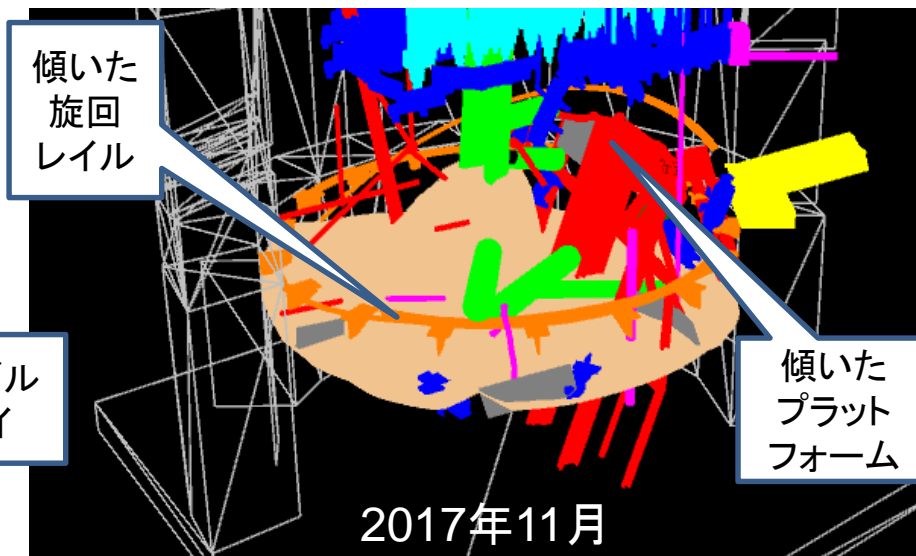
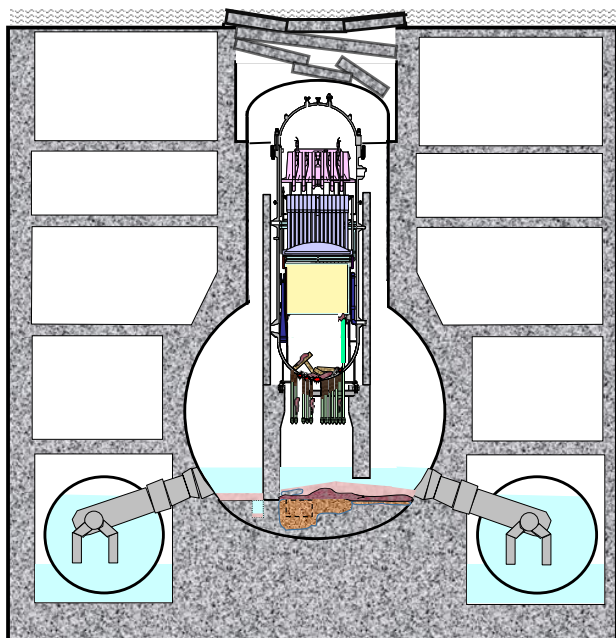


図2. 3号機のペDESTAL内の状況

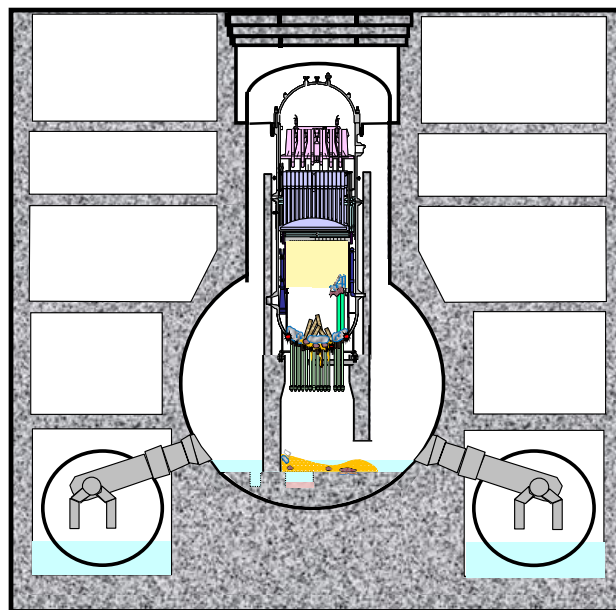
各号機の調査結果から、従来推定の通り2号機と3号機と比較し、1号機の破損状況が厳しい状態であることが確認できた

18. 炉心・格納容器内の状況推定のまとめ（再掲）

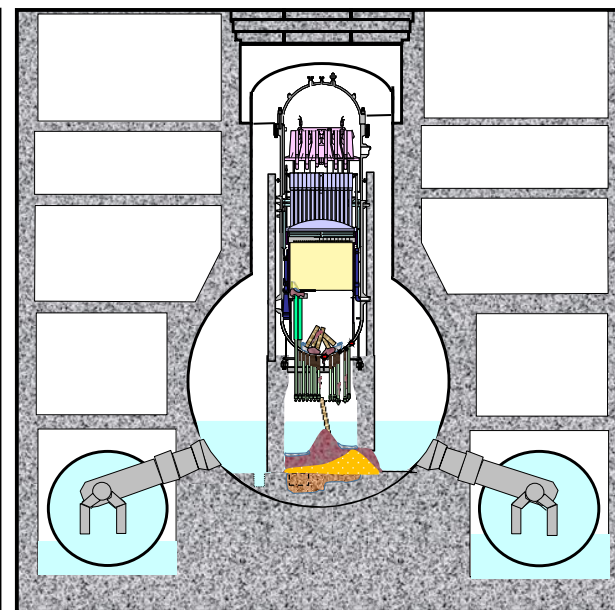
	炉心部	下部プレナム	格納容器	D/W水位	S/C水位
1号機	ほとんどない	ほとんどない	大部分	約2m	ほぼ満水
2号機	少ない ∨	多い ∨	少ない ∧	約0.3m	中間
3号機	少ない	少ない	ある程度	約4m	満水



1号機



2号機



3号機

- 東京電力は国内外の専門家の力を借りつつ、事故直後から事故進展を理解するための検討を継続的に進めてきている
- 解析コードの能力と限界を理解しつつ、実測値のデータ分析や内部調査結果を反映し、事故の終状態である原子炉・格納容器・燃料デブリ分布の推定を実施
- 現場調査では、
 - 高エネ研などの原子力分野でない研究者の協力により、ミュオン測定によるRPV内部の状況を確認（現時点でも直接の調査ができていない）
 - 廃炉を目的として開発が進められてきたロボットがPCV内部調査に活用され、1号機のペDESTALコンクリートの損傷状況など、従来知見では予測されていなかった新たな知見を確認し、今後も廃炉・知見拡充の両面から重要な情報が得られるものと期待している
- 燃料デブリの取り出しが開始されると、燃料デブリを分析することで、さらなる知見が得られることが予想され、そういった情報を活用することで廃炉作業の不確かさを少しずつ小さくしていくことが可能
- 1Fの廃炉作業を通じて、シビアアクシデントに関する新しい知見が蓄積されている、そのメカニズムの解明が徐々に進められている状況
- 一方で、そのような知恵の解析コードへの落とし込みという観点では、現状十分とは言えない状況が続いており、今後の課題と認識

ご清聴ありがとうございました。