

MAAPコードによる 福島第一原子力発電所の 事象進展解析について

平成24年3月12日
東京電力株式会社

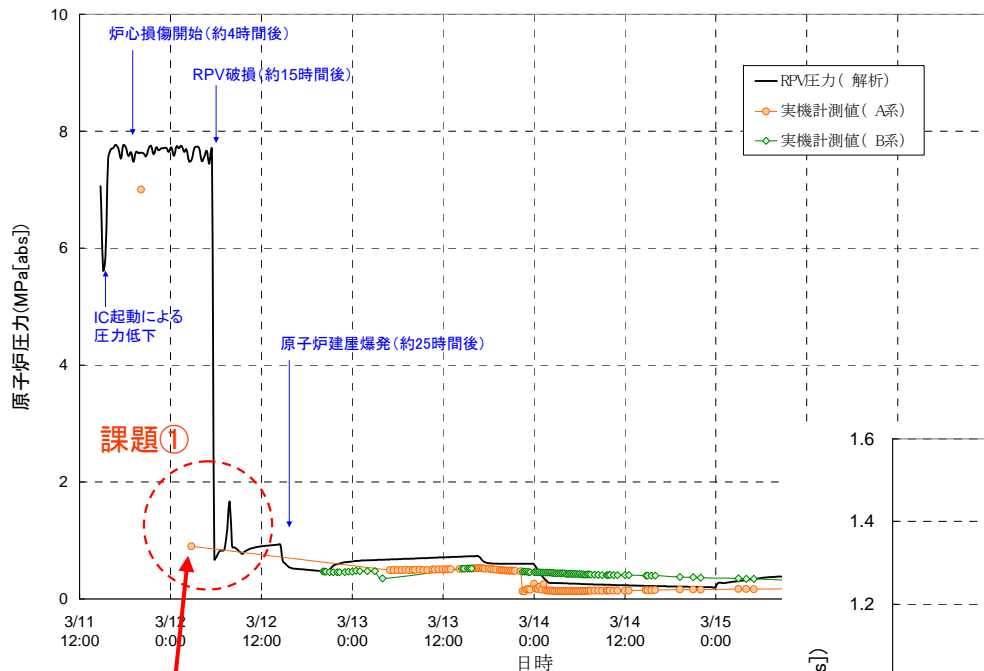
報告内容

1. はじめに
2. 1号機
 1. 1号機の過去に公表した解析結果の課題
 2. 1号機の解析上の主な仮定
 3. 1号機の解析結果
3. 2号機
 1. 2号機の過去に公表した解析結果の課題
 2. 2号機の解析上の主な仮定
 3. 2号機の解析結果
4. 3号機
 1. 3号機の過去に公表した解析結果の課題
 2. 3号機の解析上の主な仮定
 3. 3号機の解析結果
5. まとめ

1. はじめに

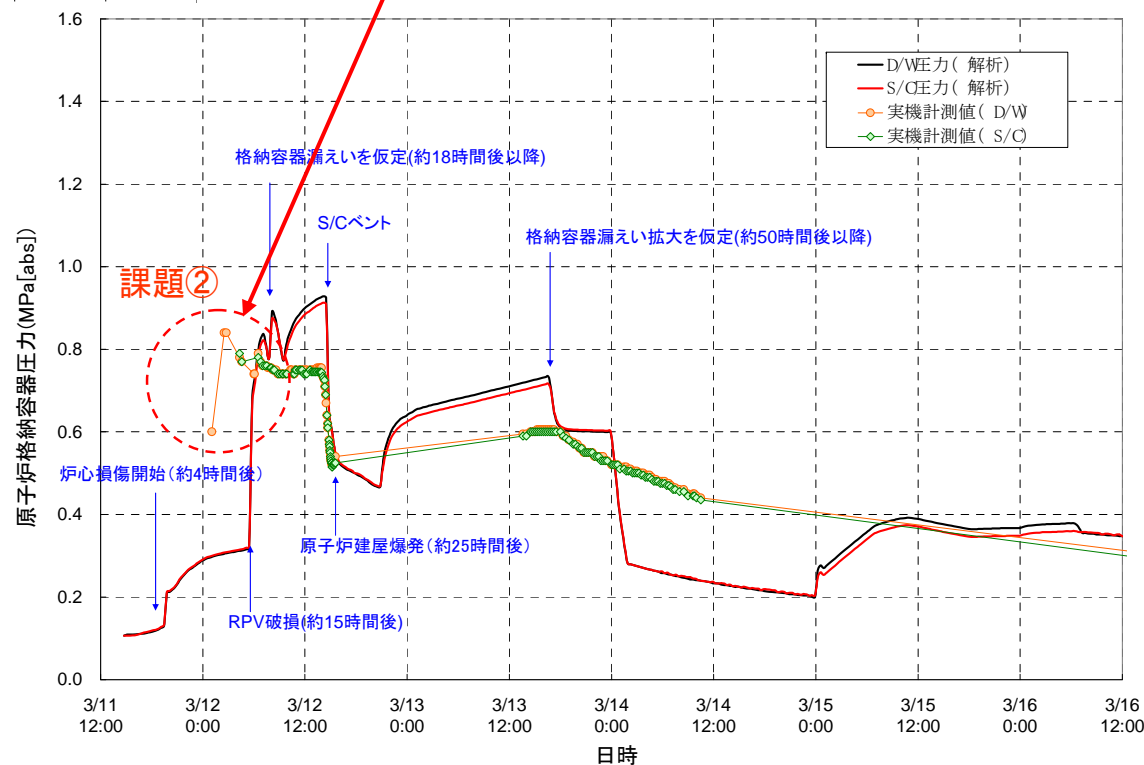
- 平成23年5月23日、それまでに得られていた地震発生直後の状態や運転操作等に関する情報をもとに、MAAPコードを用いてプラント状態解析を実施、結果を公表した。
- この時点では、観測されたデータと解析結果との間に不一致があったことから、公表後もより詳細なプラントに関する情報を得るべく、運転員からのヒアリング、現場調査等を継続して実施した。
- 並行して、実機プラントデータやMAAPによる解析結果から、事故の推移を合理的に説明出来るプラント状態の推定を行ってきた。
- 今回の解析は、現時点までに明らかになったプラントに関する情報とプラント状態に関する推定を元に、事故発生直後のプラント挙動をできる限り再現出来るように解析条件を設定、解析を実施したものである。

2. 1. 5月に公表した1号機のMAAP解析の課題




原子炉圧力の実測値と解析値が合わない

格納容器圧力の実測値と解析値が合わない



2. 2. 1号機 解析上の主な仮定

<解析上の主な仮定>

- 津波による全交流電源喪失以降、非常用復水器（IC）は動作しなかったものと仮定
- 燃料被覆管最高温度 727°C （ 1000K ）に達するタイミングおよび炉内ガスが 450°C となったタイミングで、それぞれ原子炉圧力容器気相部からの漏えいを仮定  課題①、②
- 格納容器圧力の挙動を再現するため、地震発生から約12時間後、50時間後、70時間後に格納容器からの気相漏えいを仮定

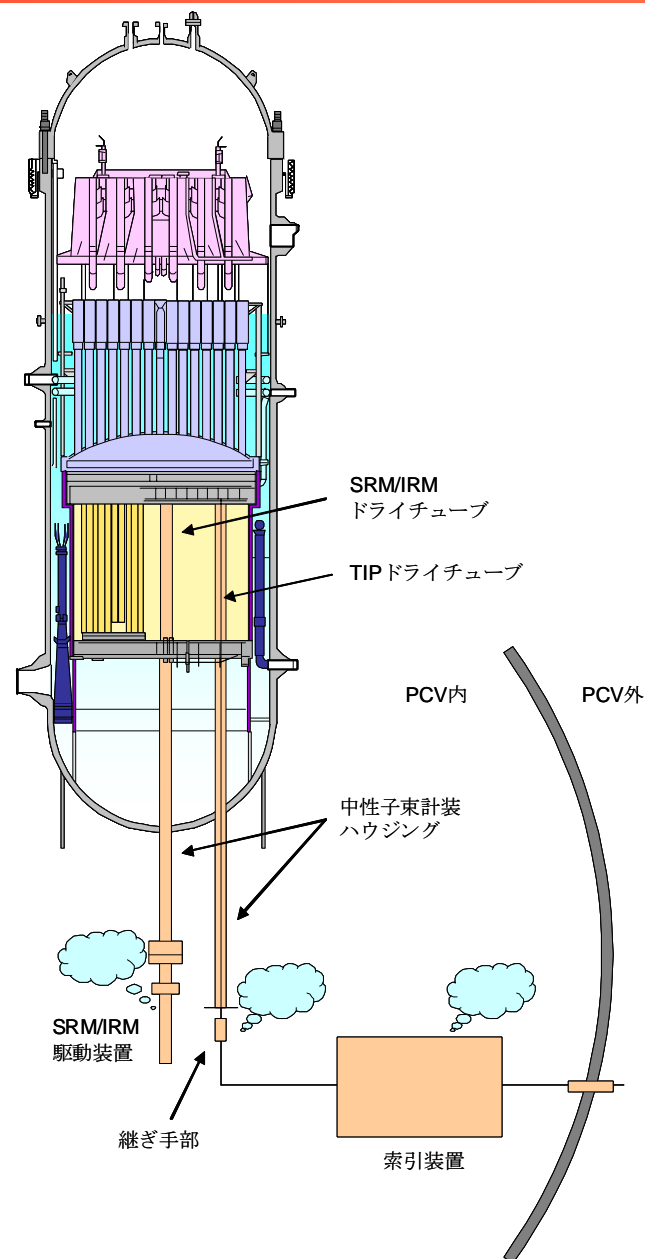
2. 2. 気相漏えいの発生部位（その1）

燃料が露出し、炉心部が高温になると、炉心部にある核計装束管が破損する可能性がある

そのうち、炉外への取出し機構のある、SRM/IRM及びTIPのドライチューブが破損すると、原子炉内の気相部の蒸気がD/Wに漏えいする可能性がある



今回の解析では、燃料被覆管最高温度が727℃（1000K）に到達した時点で、漏えいが発生すると仮定
（漏えい面積は0.00014m²）



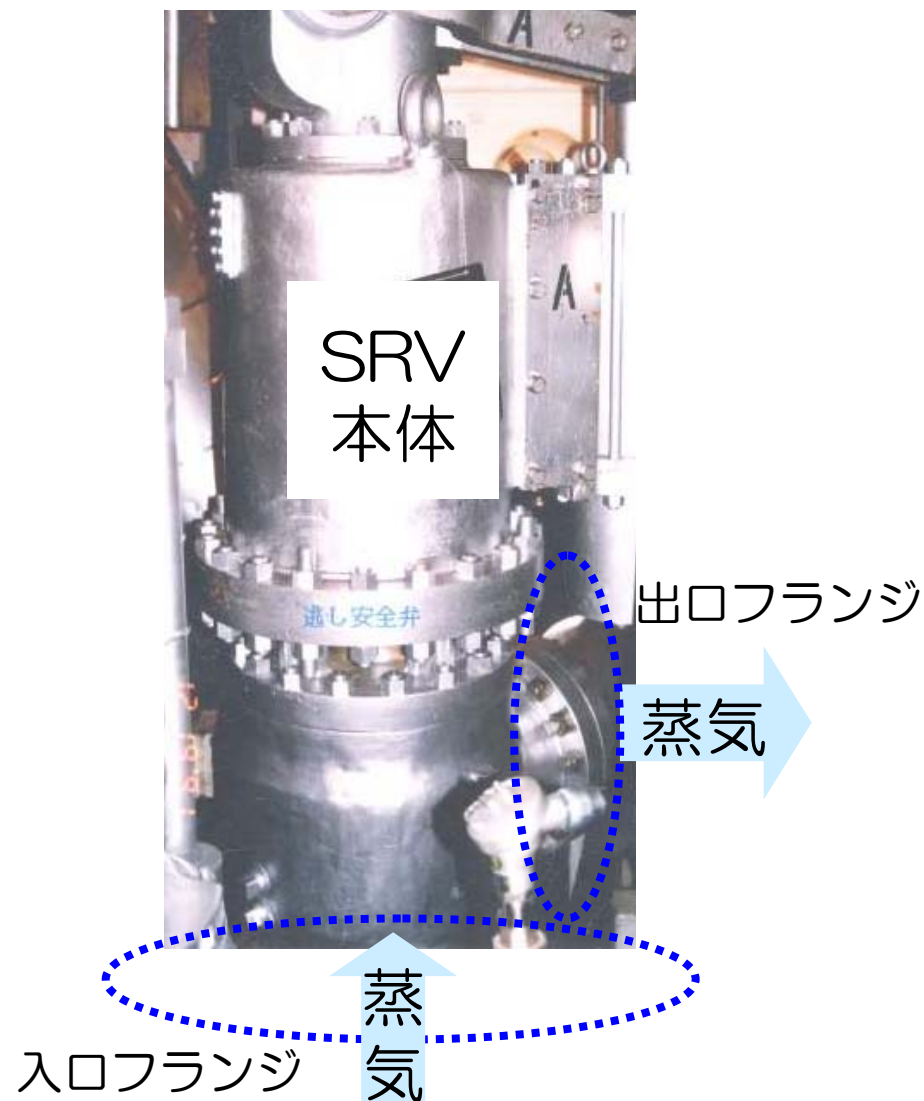
2. 2. 気相漏えいの発生部位（その2）

主蒸気配管のSRV 管台などのフランジ部に使用されているガスケットは、燃料が露出し、炉心部が高温になり、炉心部の気体（蒸気・水素）が高温になると、シール機能を喪失する可能性がある。

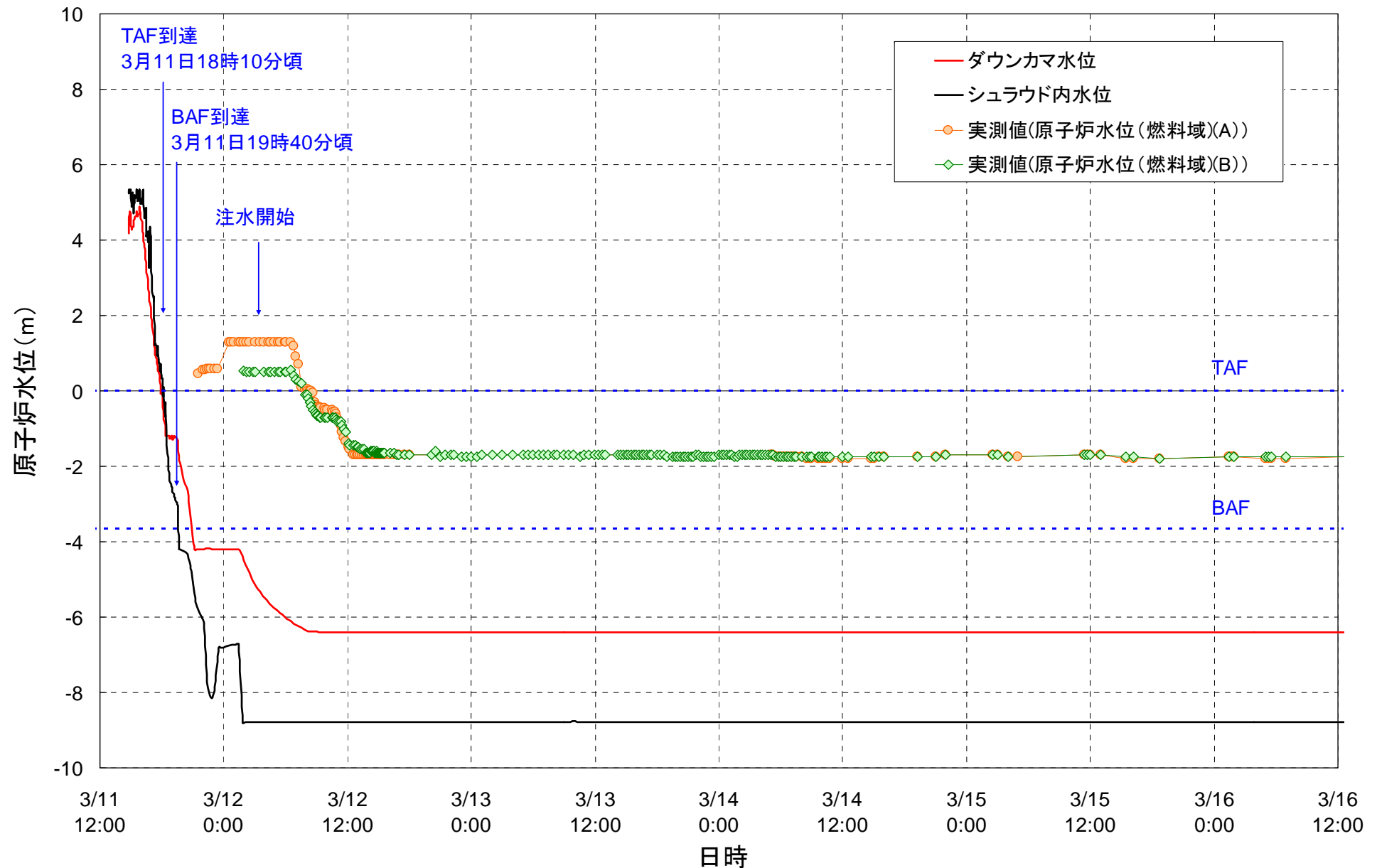
特に、膨張黒鉛ガスケットの耐熱温度は約450°C程度である。



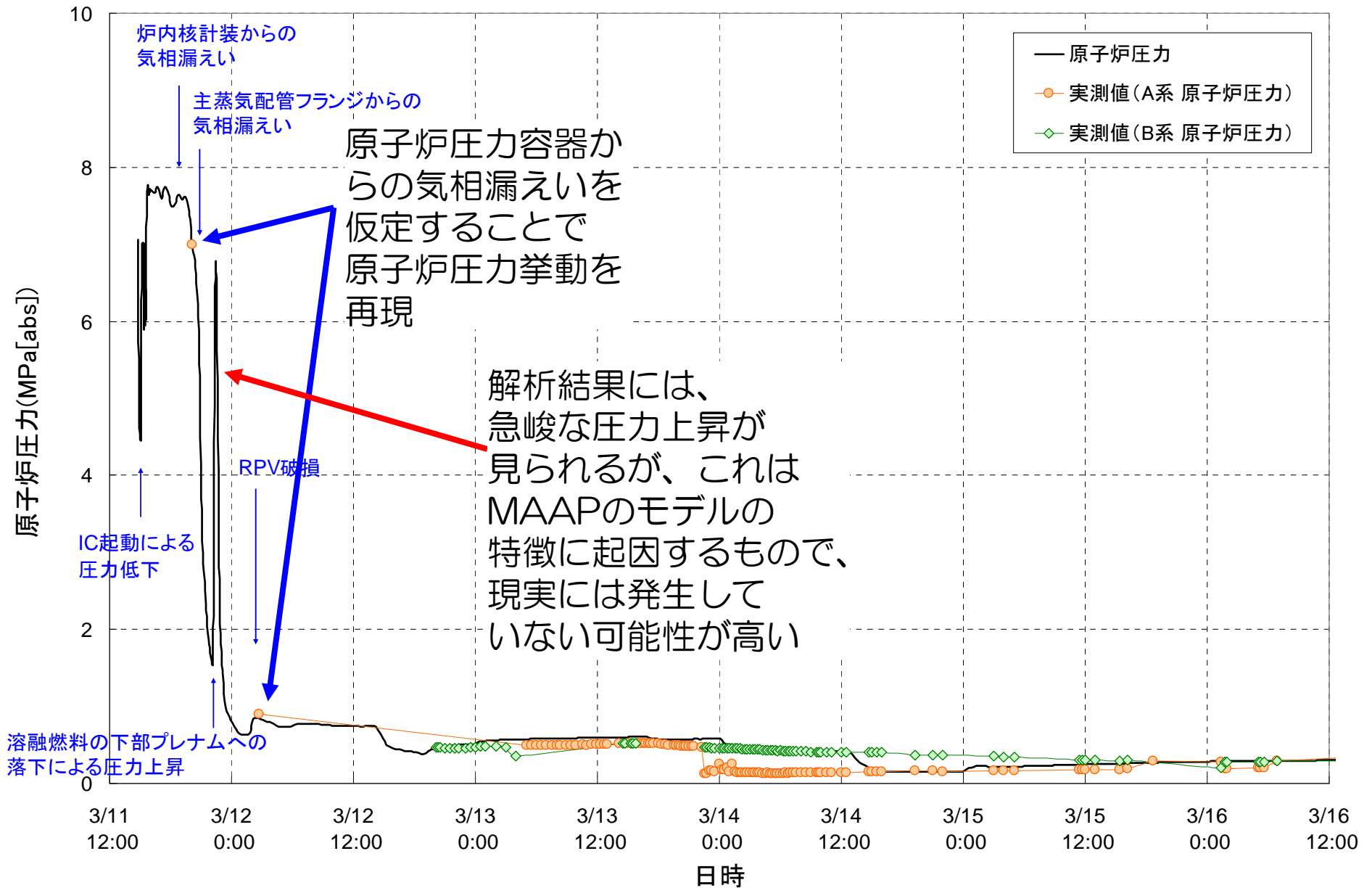
今回の解析では、炉心部の気体温度が450°Cに到達した時点で、漏えいが発生すると仮定（漏えい面積は0.00136m²）



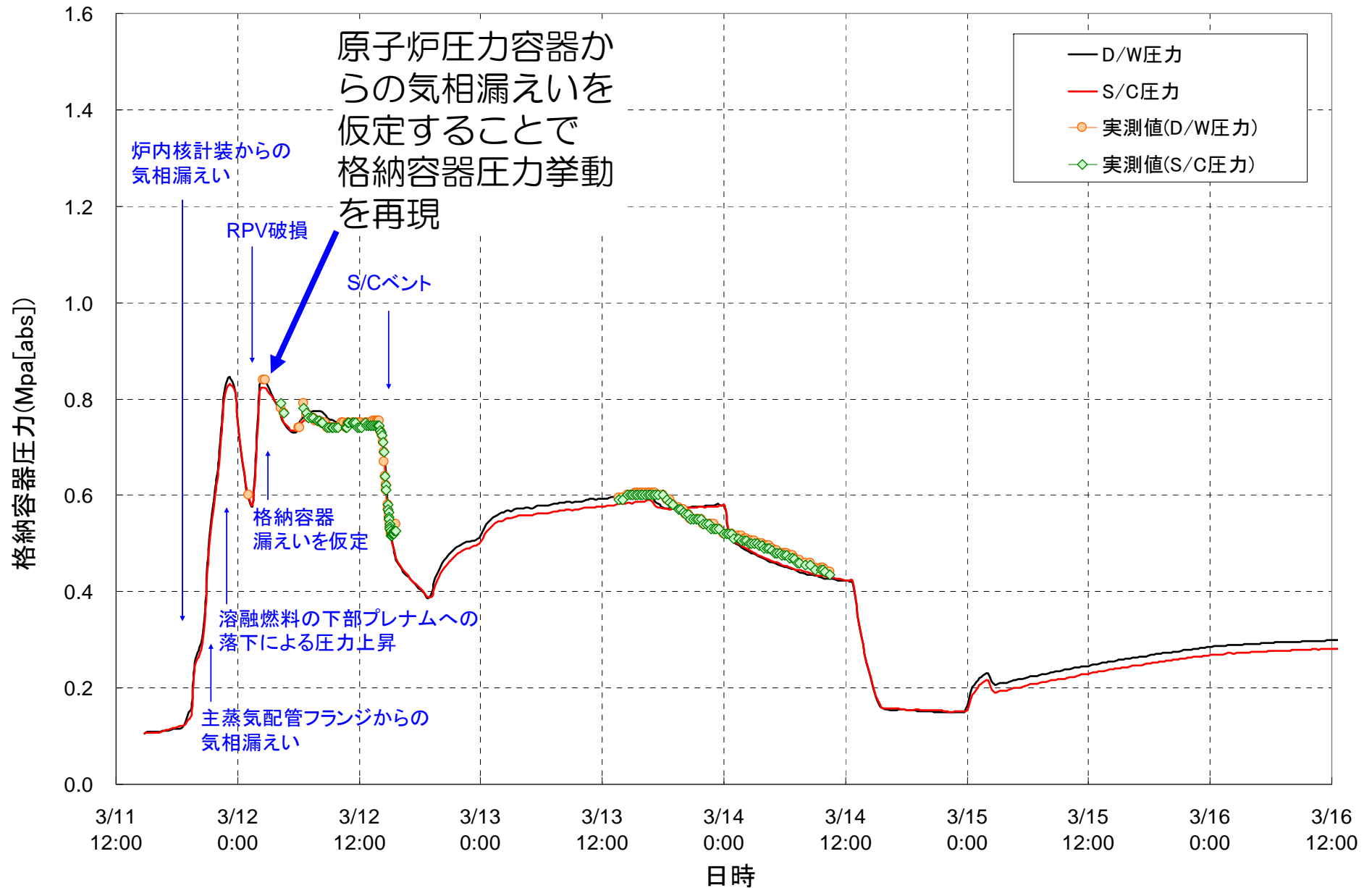
2. 3. 1号機 解析結果の概要 (原子炉水位)



2. 3. 1号機 解析結果の概要（原子炉圧力）



2. 3. 1号機 解析結果の概要（格納容器圧力）



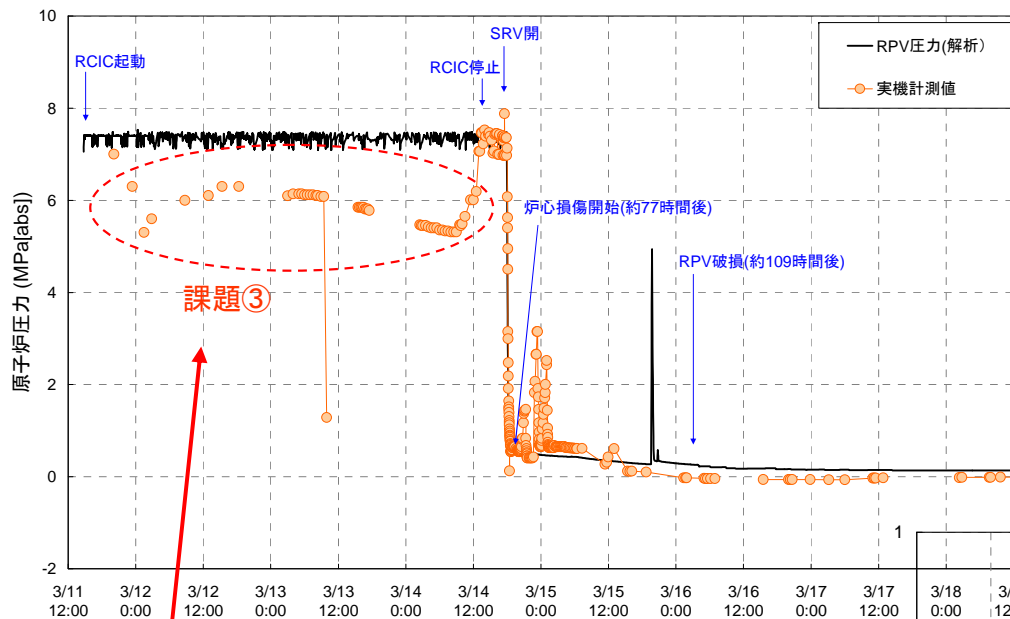
2. 3. 1号機の解析結果のまとめ

<解析結果のまとめ>

- ・炉心露出開始時間：3月11日18時10分頃（地震発生から約3時間後）
- ・炉心損傷開始時間：3月11日18時50分頃（地震発生から約4時間後）
- ・圧力容器破損時間：3月12日1時50分頃（地震発生から約11時間後）

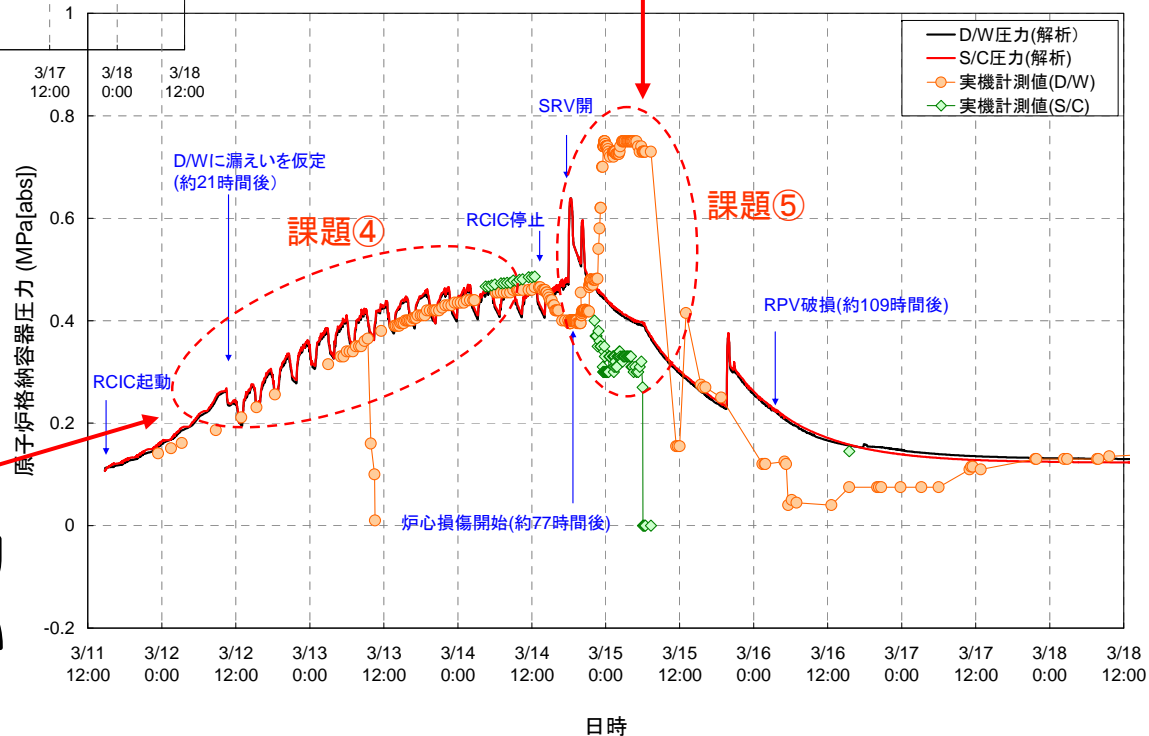
- 気相漏えいの仮定を取り入れた結果、原子炉圧力（課題①）、格納容器圧力（課題②）を概ね再現することができた
- 全交流電源喪失以降はICの停止を仮定しているため、比較的早期に炉心損傷に至り、圧力容器が破損に至る結果となった
- 圧力容器破損時間の時間が4時間ほど早まったが、MAAPコードの特徴に依存する非現実的な圧力挙動の影響を受けており、解析コードの高度化が期待される

3. 1. 5月に公表した2号機のMAAP解析の課題



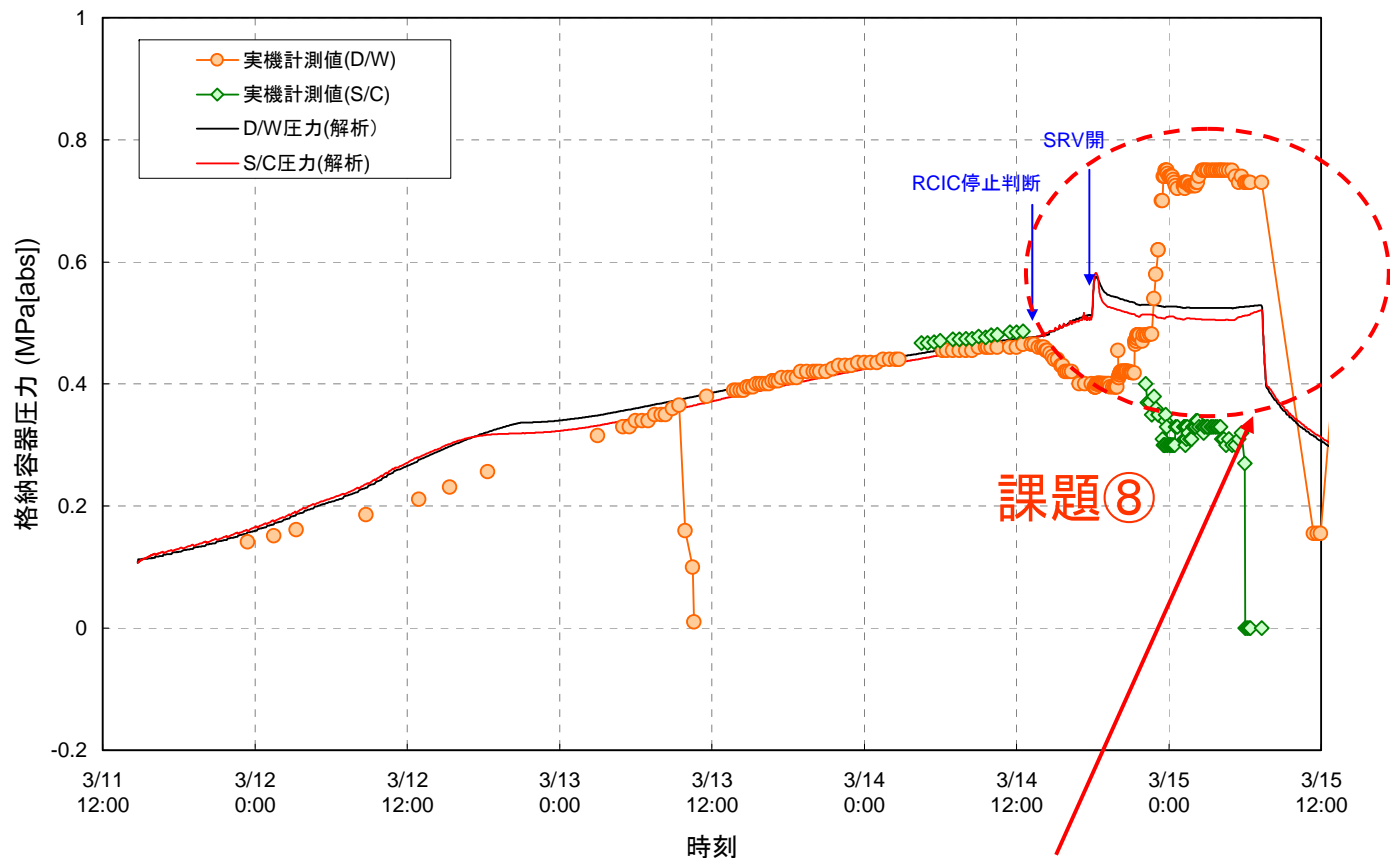
漏えいを仮定すると、
高い格納容器圧力が維持される
実測値を再現出来ない

原子炉圧力の実測値と
解析値が合わない



格納容器からの漏えいを
仮定しないと、格納容器圧力
の実測値と解析値が合わない

3. 1. 12月に公表した2号機のMAAP解析の課題



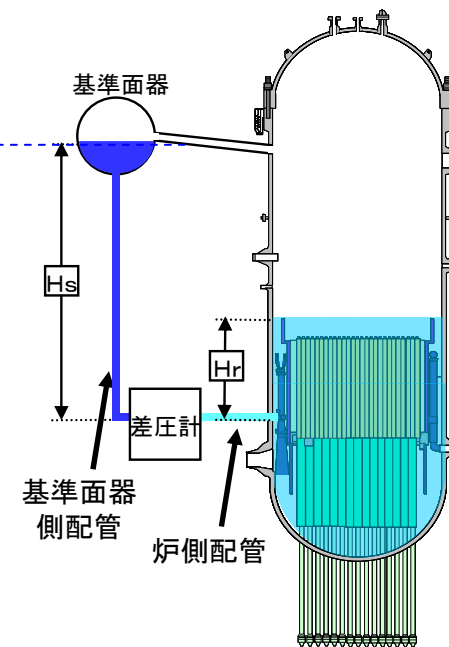
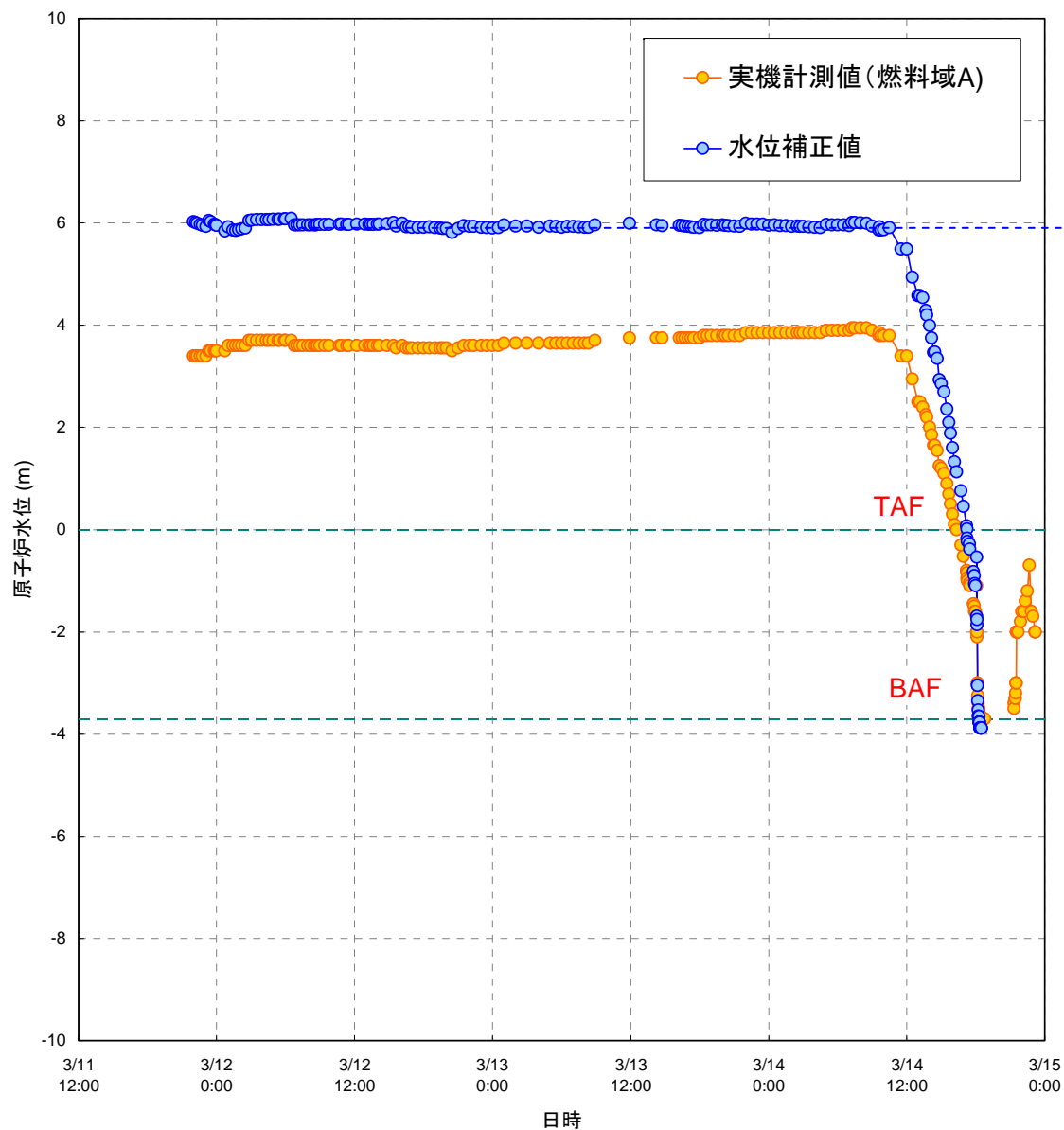
高い格納容器圧力が維持される
解析結果を得たが、実測値を
定量的には再現出来ていない
(水素発生が少ないことが原因)

3. 2. 2号機 解析上の主な仮定と解析結果のまとめ

＜解析上の主な仮定＞

- SRVの作動設定圧力以下となる圧力挙動を再現できるよう、原子炉隔離時冷却系（RCIC）タービンへ崩壊熱相当のエネルギーを持つ二相流として流出を仮定 ← 課題③
- トーラス室が津波到達以降徐々に浸水することで、格納容器内の熱がS/C境界から伝熱し格納容器外へ移行したものと仮定 ← 課題④、⑤
- 消防車による原子炉への注水量は、水素発生量を考慮の上、原子炉水位が燃料域以下程度となる量を仮定 ← 課題⑧
- 格納容器圧力の挙動を再現するため、地震発生から約89時間後に格納容器からの気相漏えいを仮定

3. 2. 2号機のRCICの運転状態



計測された水位は、補正*を施すと、水位計最大値の基準面器水面と一致。実際の水位はより高い位置にあった可能性が高く、RCICタービンへ水の混ざった蒸気（二相流）が流れ込む状態であったと考えられる。（電源がある場合は、それより低い水位（L8）で、注水を停止する）

*:原子炉圧力、格納容器温度による

3. 2. 2号機格納容器（S/C）の状態

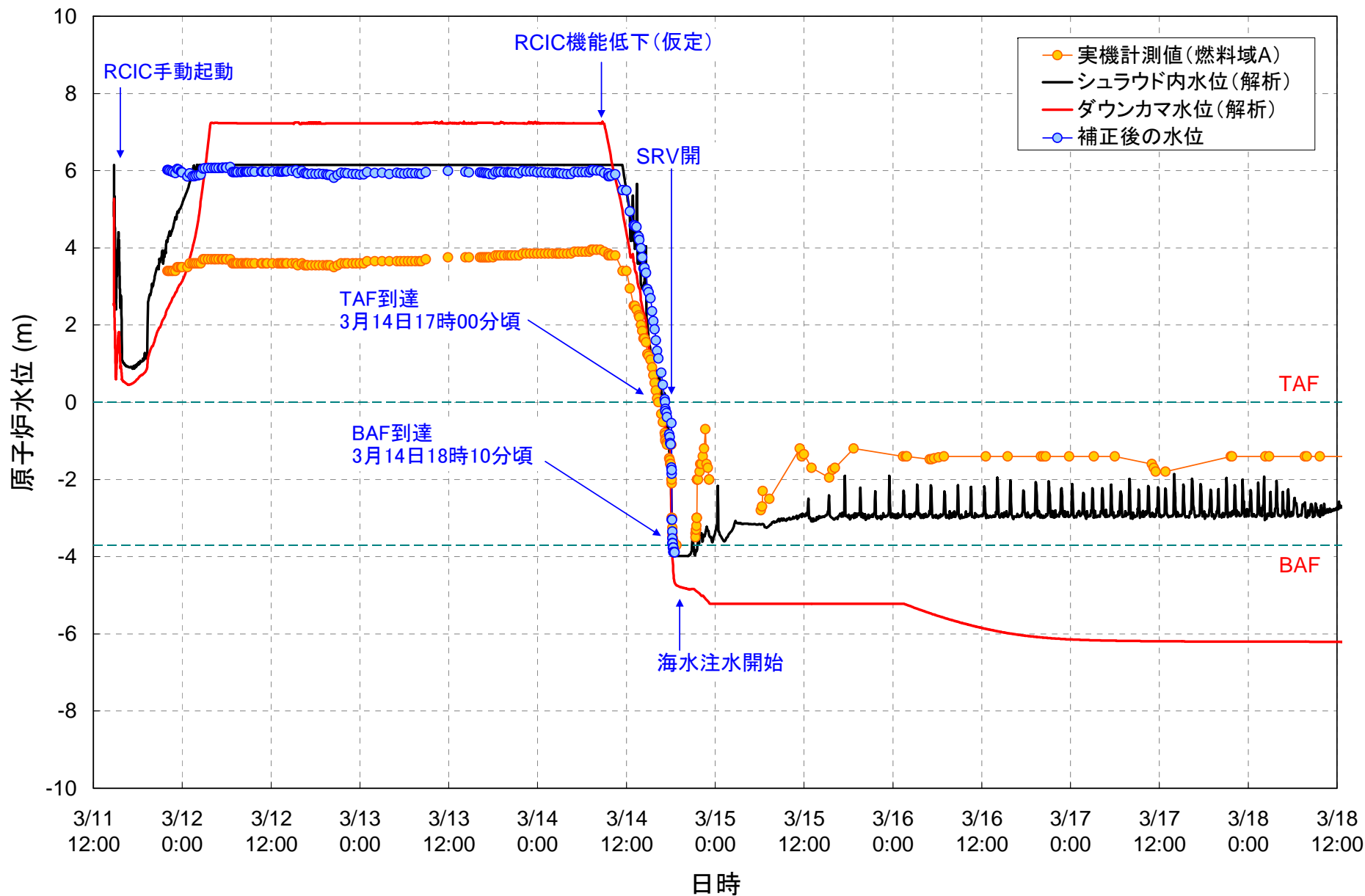
S/Cが収まっているトーラス室が浸水している状況を想定し、S/Cに移行した熱が、S/Cの壁を介してトーラス室に浸水した水に与えられるという熱伝達経路を仮定した。2号機のトーラス室の状況は確認されていないが、4号機ではS/Cが水没していることが確認されている。



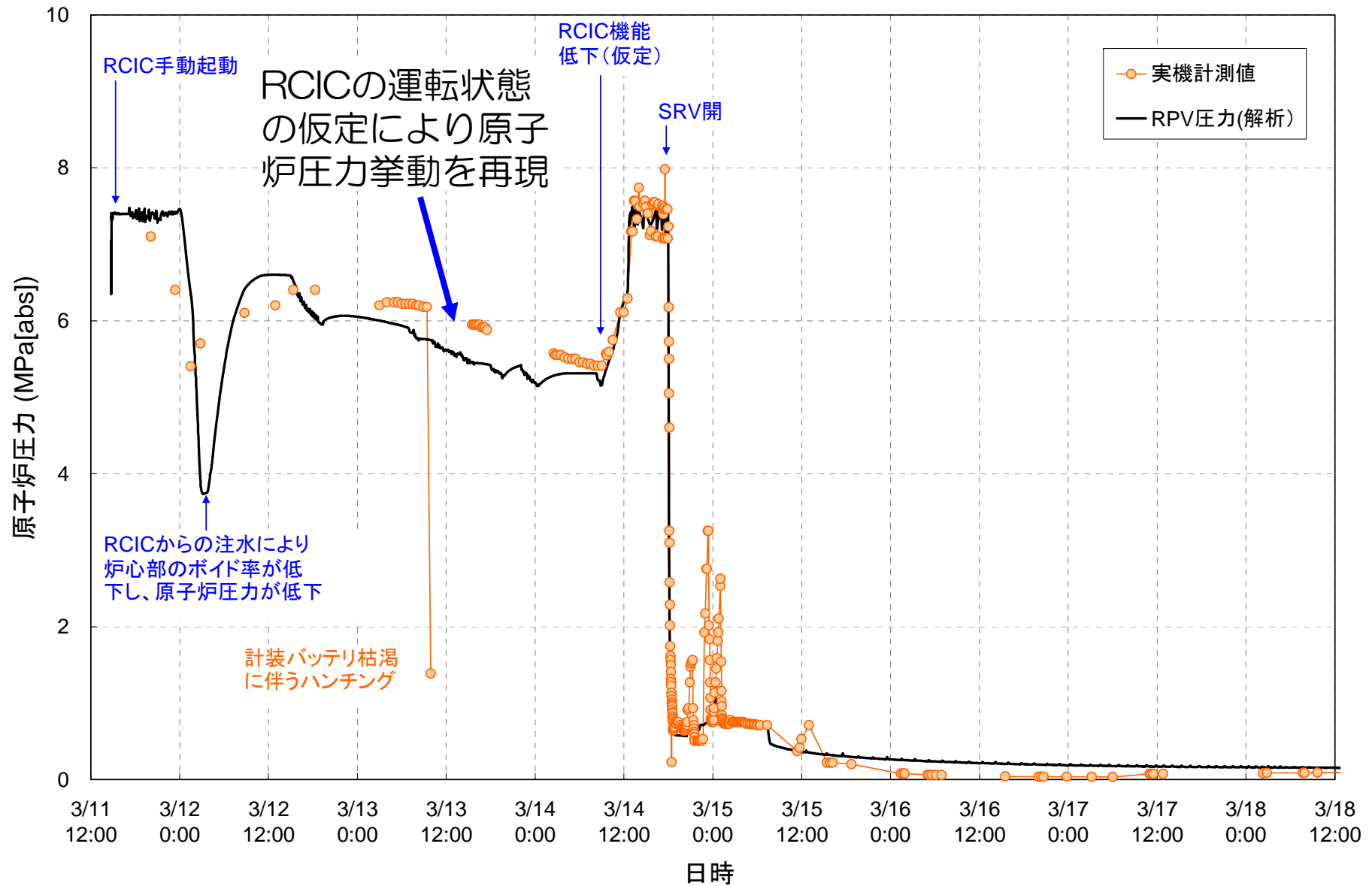
← 水面

4号機トーラス室キャットウォークから真下を撮影

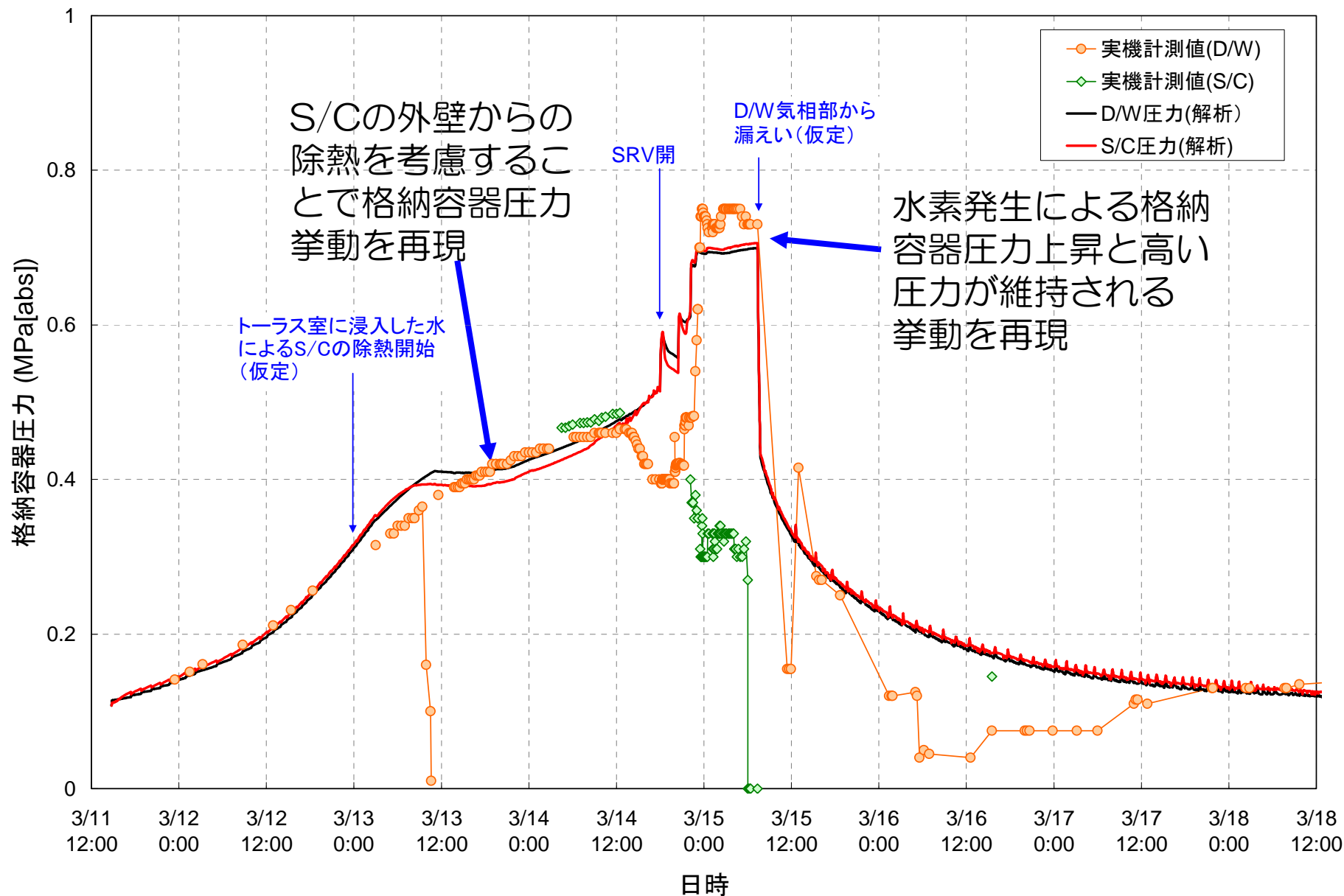
3. 3. 2号機 解析結果の概要（原子炉水位）



3. 3. 2号機 解析結果の概要 (原子炉圧力)



3. 3. 2号機 解析結果の概要（格納容器圧力）



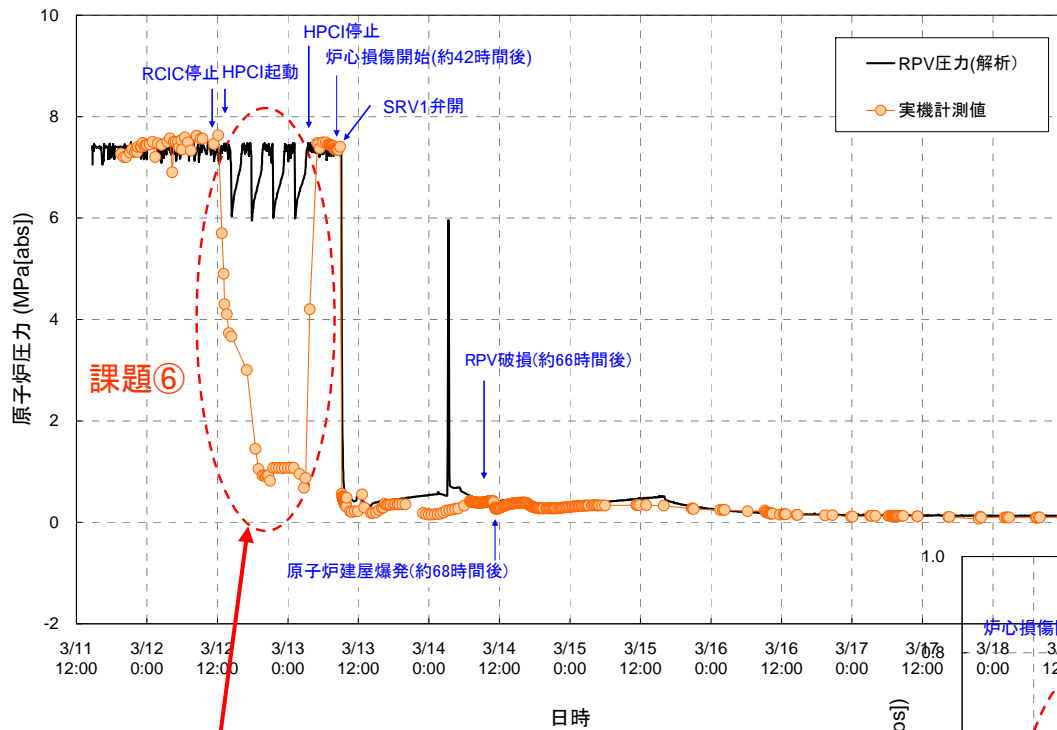
3. 3. 2号機の解析結果のまとめ

<解析結果のまとめ>

- ・炉心露出開始時間：3月14日17時00分頃（地震発生から約74時間後）
- ・炉心損傷開始時間：3月14日19時20分頃（地震発生から約77時間後）

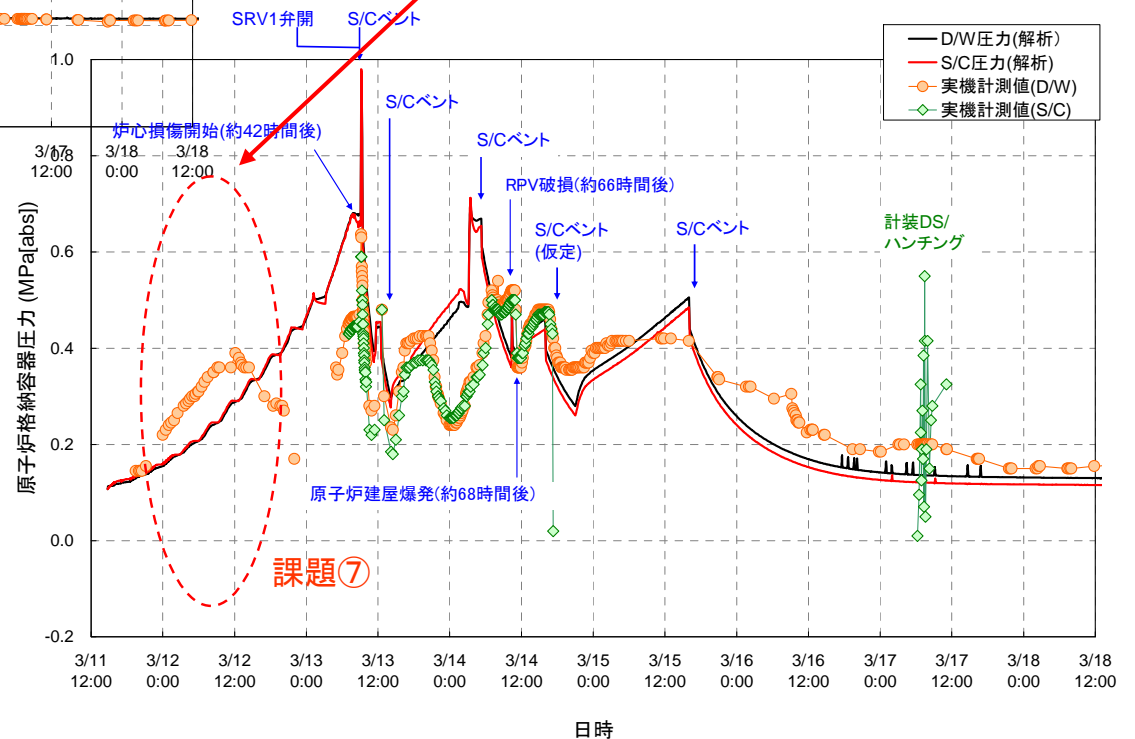
- RCICの運転条件の仮定により、原子炉圧力（課題③）を概ね再現することができた
- トーラス室への浸水の仮定により、格納容器圧力（課題④）を概ね再現し、高い格納容器圧力が維持される挙動（課題⑤）を再現することができた
- 消防車による注水量を調整することにより、高い格納容器圧力が維持される際の圧力（課題⑧）を定量的に再現することができた
- RCICの停止に伴う原子炉水位の低下により炉心損傷に至ったが、圧力容器の破損には至らなかった。
（これまでに得られたプラントデータ等を総合的に評価すると、原子炉圧力容器に破損がある可能性が高い。）

4. 1. 5月に公表した3号機のMAAP解析の課題

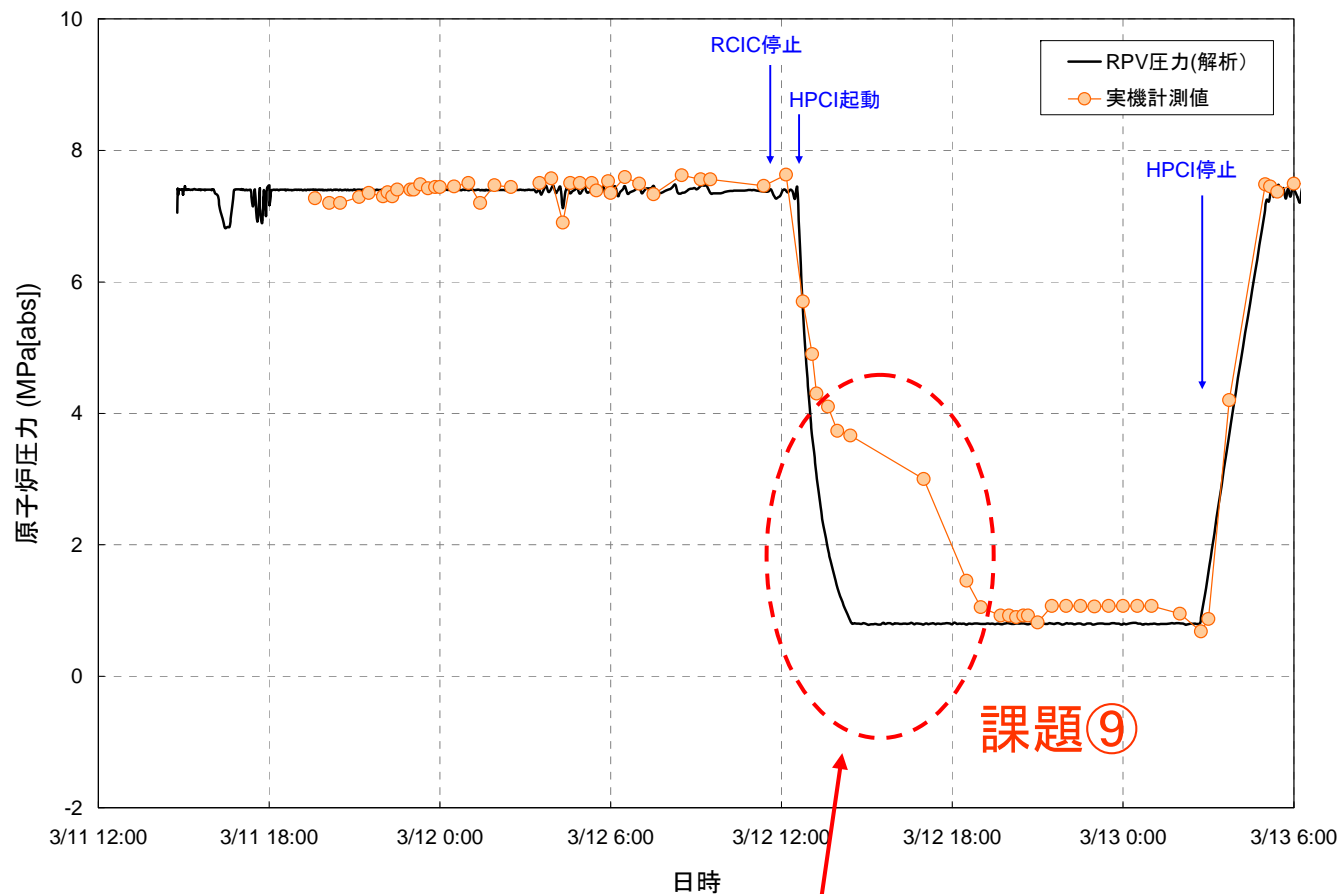


格納容器圧力が解析値より高い期間、実測値（下降）と解析値（上昇）の傾向が異なる期間が存在

原子炉圧力の実測値と解析値が合わない
 （高圧注水系（HPCI）配管からの漏えいを仮定すると傾向を再現可能）



4. 1. 1 2月に公表した3号機のMAAP解析の課題



原子炉圧力の解析値は単調減少であるが、
実測値は階段状の圧力減少となっている

4. 2. 3号機 解析上の主な仮定

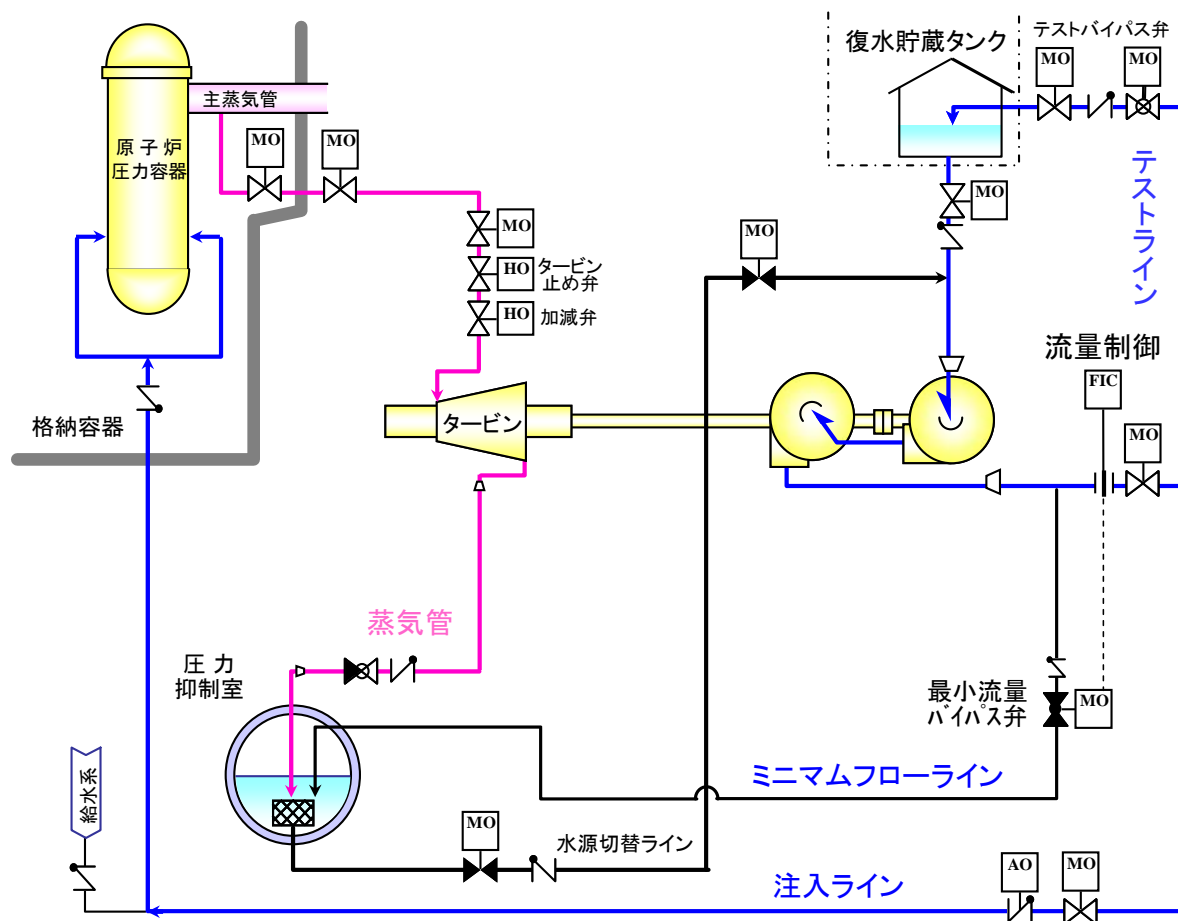
<解析上の主な仮定>

- RCIC及びHPCIは、原子炉水位が適切な範囲に入るよう（水位低/水位高による起動停止を繰り返す運転とならないよう）、流量調整を実施しながら連続運転していたと仮定 ← 課題⑥、⑨
- 燃料装荷履歴を反映した、現実的な崩壊熱を採用 ← 課題⑦
- ディーゼル駆動の消火ポンプを用いてS/Cへのスプレイを実施 ← 課題⑦
- 消防車による原子炉への注水量は、原子炉水位が燃料域以下程度となる量を仮定

4. 2. 3号のHPCI 運転時の運転員の操作

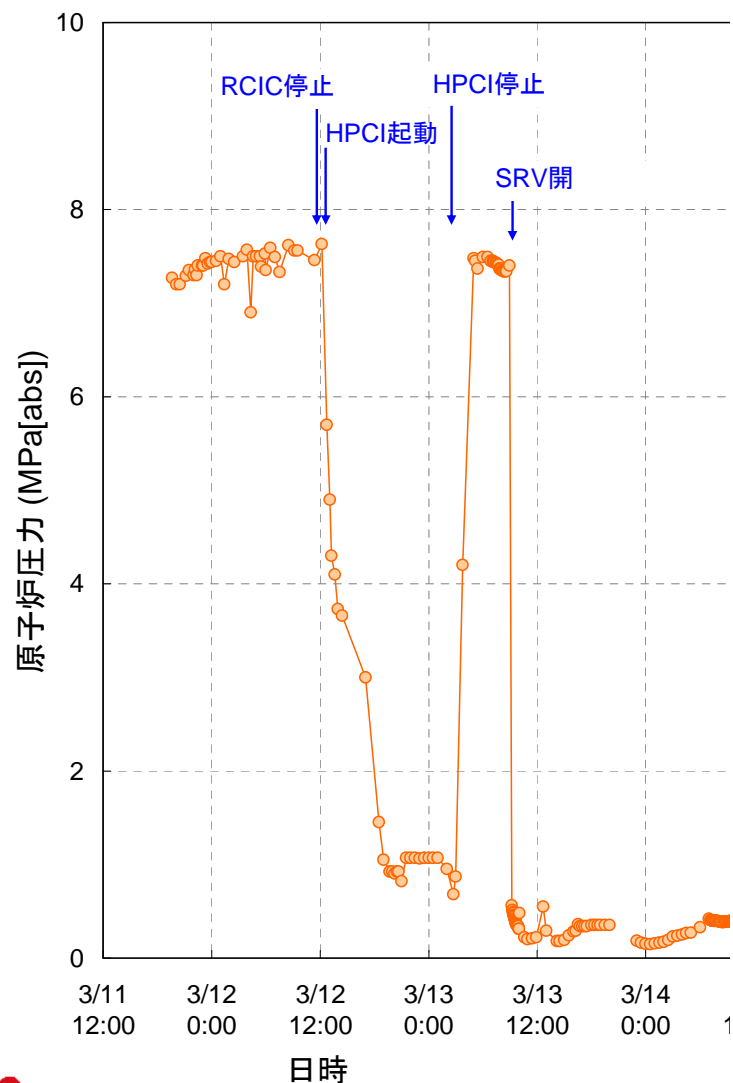
運転員の証言から、原子炉水位を確認しながら、テストラインを活かしてHPCIの流量調整を実施していたことが明らかになっている。なお、ミニマムフローラインはS/Cの水位が上昇することを懸念して全閉操作していた。

また、同時期にディーゼル駆動の消火ポンプを用いてS/Cへのスプレーを実施していたことが明らかになっている。

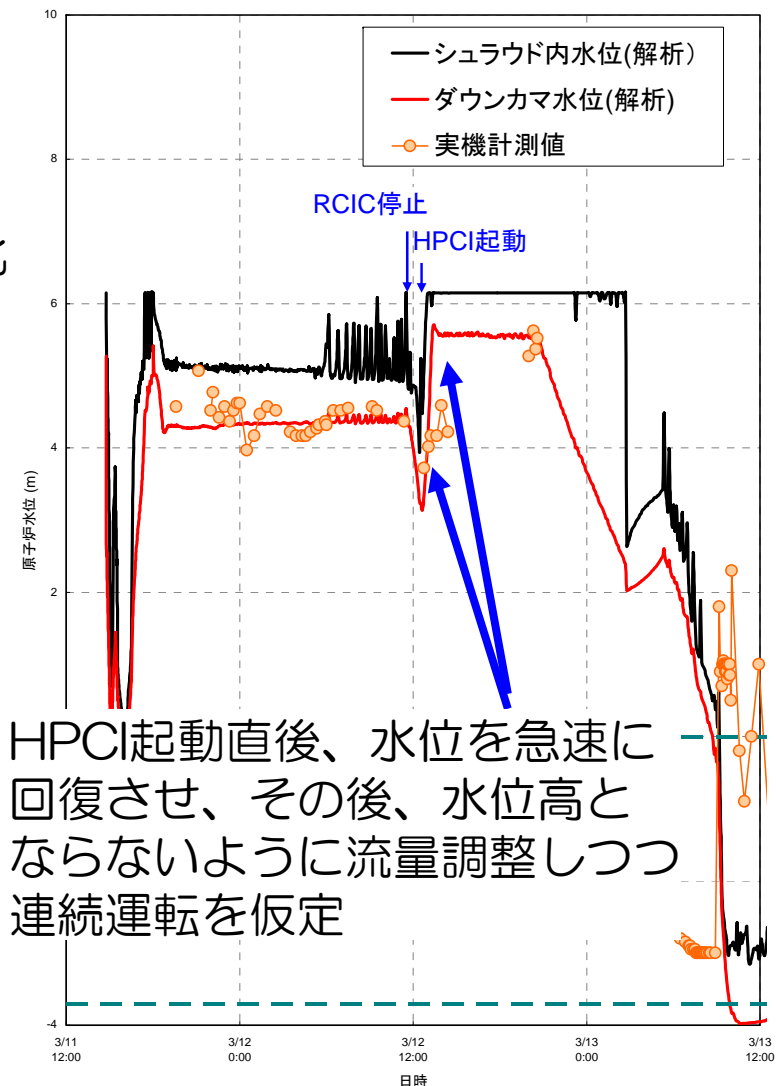
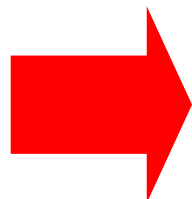


4. 2. 3号のHPCIの運転状態

HPCI運転開始後、原子炉圧力が低下しているが、単調減少ではなく、一度、圧力低下が緩やかになっている時間帯がある

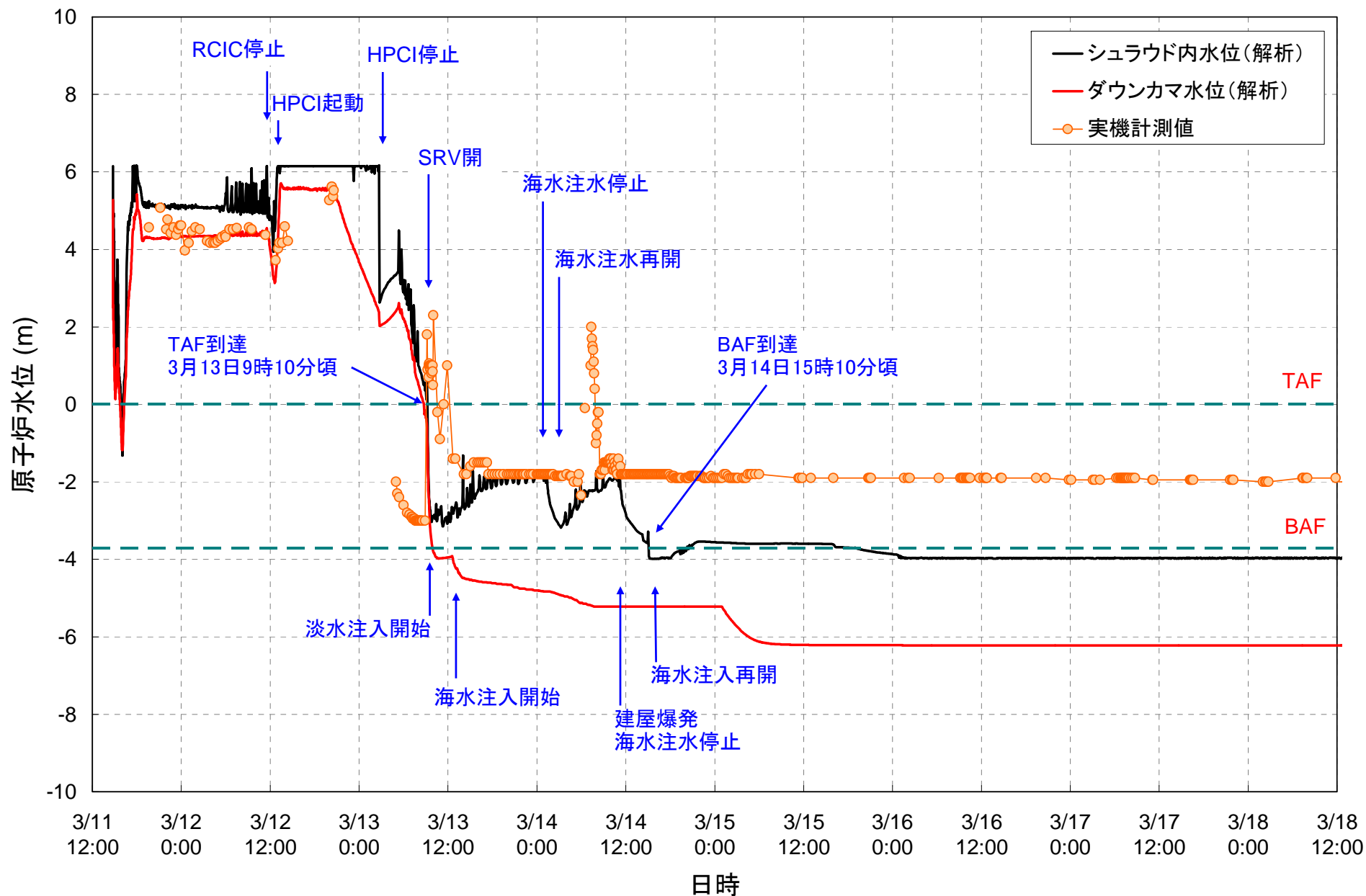


HPCIの
運転状態変化
が原因の
可能性

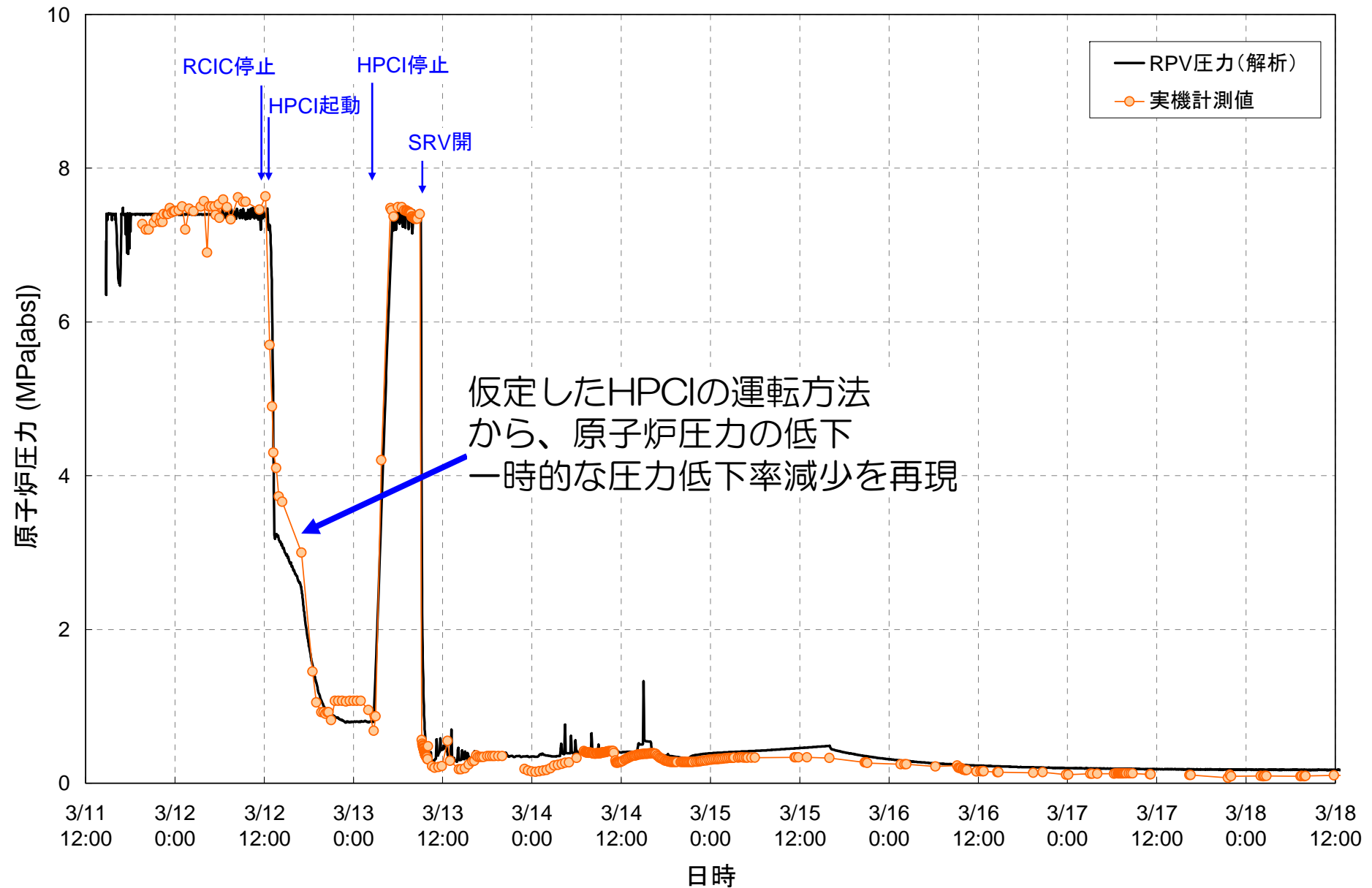


HPCI起動直後、水位を急速に回復させ、その後、水位高とまらないように流量調整しつつ連続運転を仮定

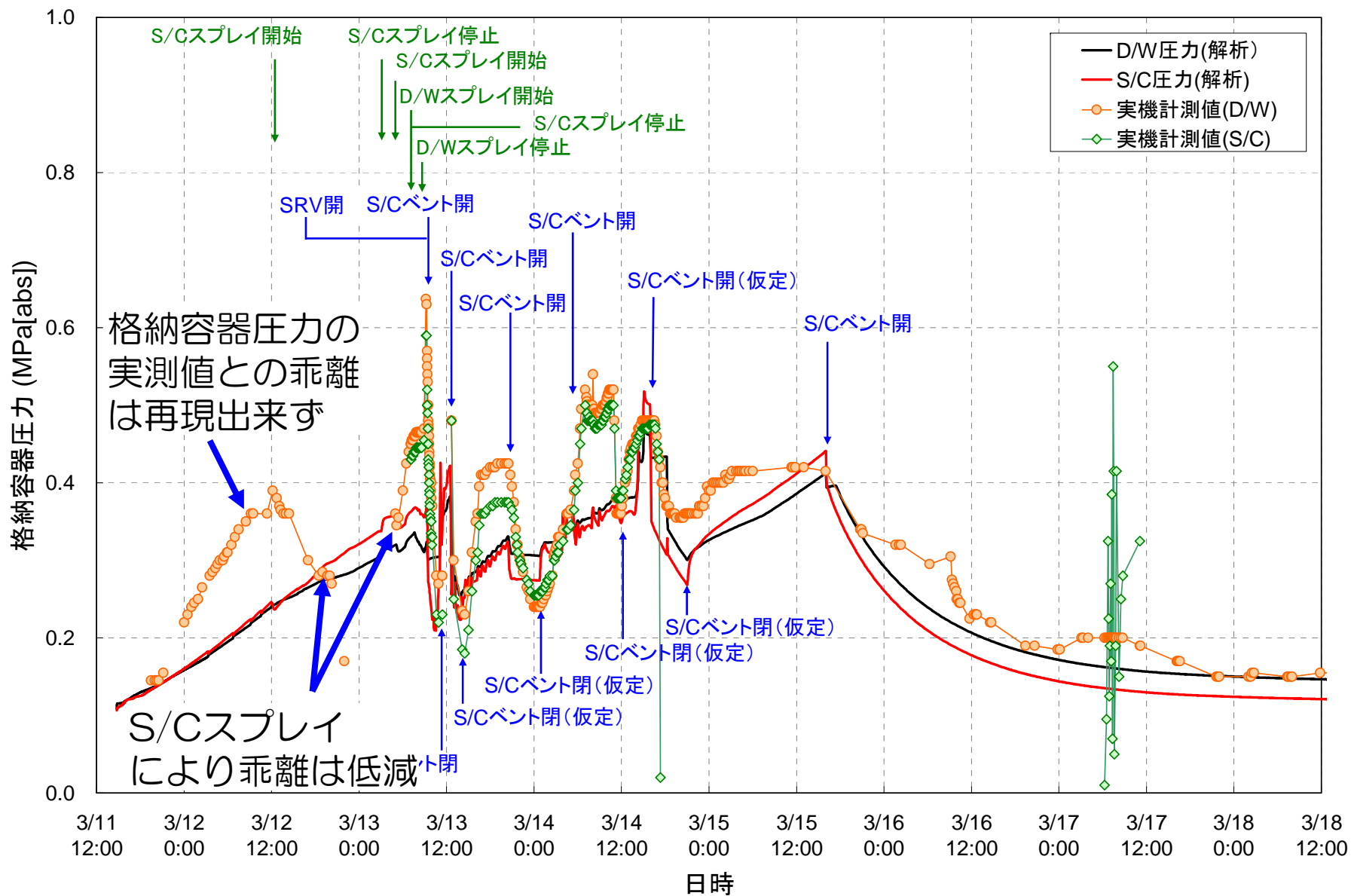
4. 3. 3号機 解析結果の概要 (原子炉水位)



4. 3. 3号機 解析結果の概要 (原子炉圧力)



4. 3. 3号機 解析結果の概要 (格納容器圧力)



4. 2. 3号機の解析結果のまとめ

<解析結果のまとめ>

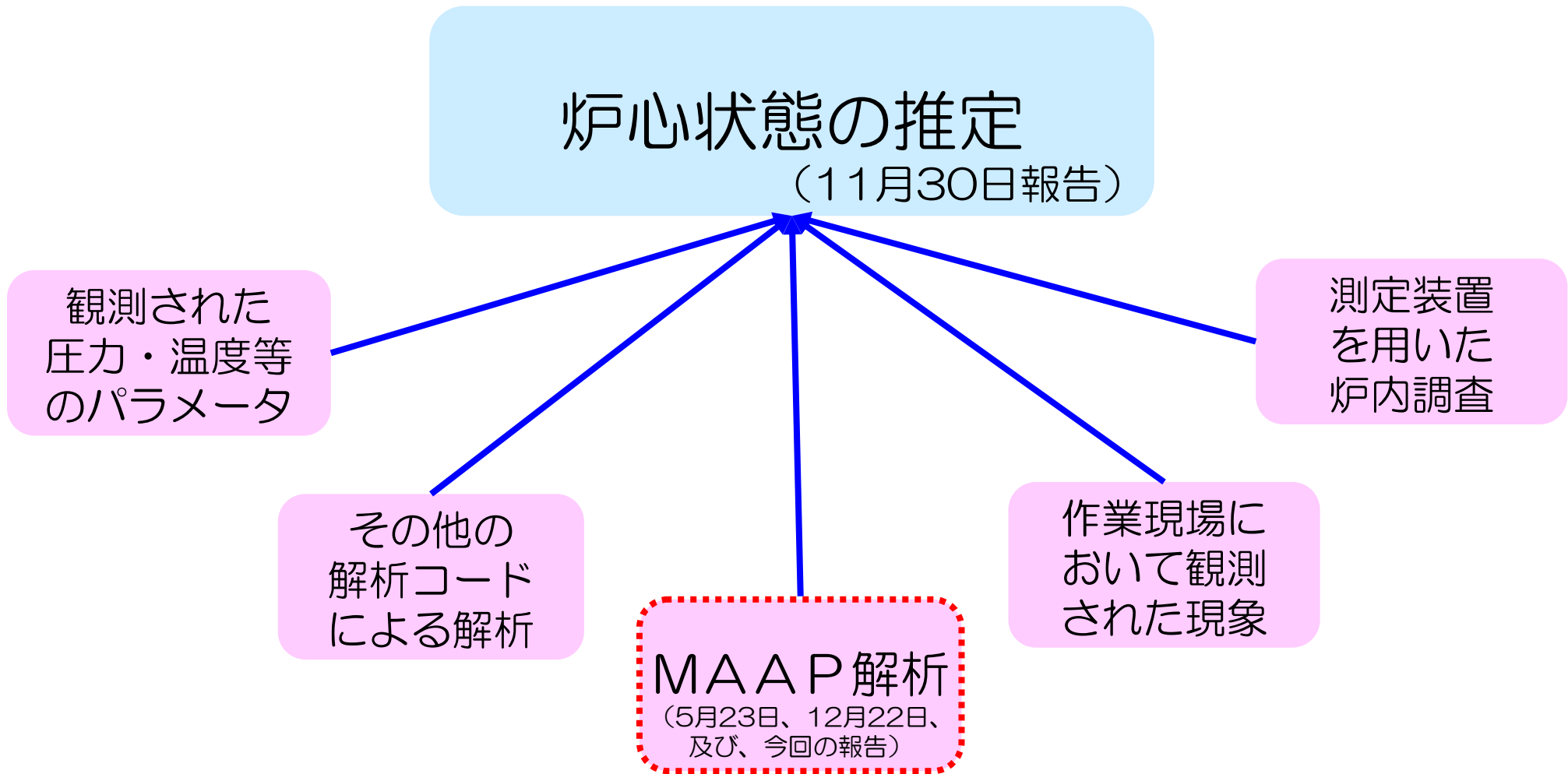
- ・炉心露出開始時間：3月13日9時10分頃（地震発生から約42時間後）
- ・炉心損傷開始時間：3月13日10時40分頃（地震発生から約44時間後）

- HPCIの連続運転及び流量調整の設定により、原子炉圧力（課題⑥、⑨）の低下傾向を再現
- RCIC運転期間中の格納容器圧力の実測値と解析値の乖離は改善されなかったが、S/Cスプレイ開始後から乖離は低減し、実測値と解析値は概ね同程度の圧力となった
（MAAPでは解析出来ない、S/Cのプール水の成層化の影響の可能性があり、解析コードの高度化が期待される）
- HPCIの停止に伴う原子炉水位の低下により炉心損傷に至ったが、圧力容器の破損には至らなかった。
（これまでに得られたプラントデータ等を総合的に評価すると、原子炉圧力容器に破損がある可能性が高い）

5. まとめ

- 現時点における、推定を含め明らかになっている情報（運転員による操作、プラントの特徴からの推定等）を元に、解析を実施した
 - その結果、炉心溶融より前の段階については、概ね事故時のプラント挙動を再現することができた
 - 他方で、本解析では2，3号機では圧力容器が破損しないという、観測されている事実と異なる結果となった。（炉心損傷状況の推定に関する技術ワークショップ（H23.11.30）報告参照）
 - これらから、現時点でのMAAPコードの解析能力の限界が明らかとなった。
-
- 政府・東京電力中長期対策会議は、研究開発推進本部の下に、炉内状況把握・解析サブワーキングチームを設置し、MAAPコードも含めたシビアアクシデント解析コードの高度化への取り組みを開始している
 - 今後、この活動の成果も活用し、解析精度の向上を図り、事象進展の解明、炉内状況の把握に努める

(参考) 炉心状態の推定とMAAP解析の関係



炉心状態の推定は、様々な情報を集約した上で、総合的に判断
(今回のMAAP解析では、既報告の炉心状態の推定の不確かさの幅を縮めるには至らなかった)