

福島第一原子力発電所 1号機  
燃料デブリ冷却状況の確認試験の実施について



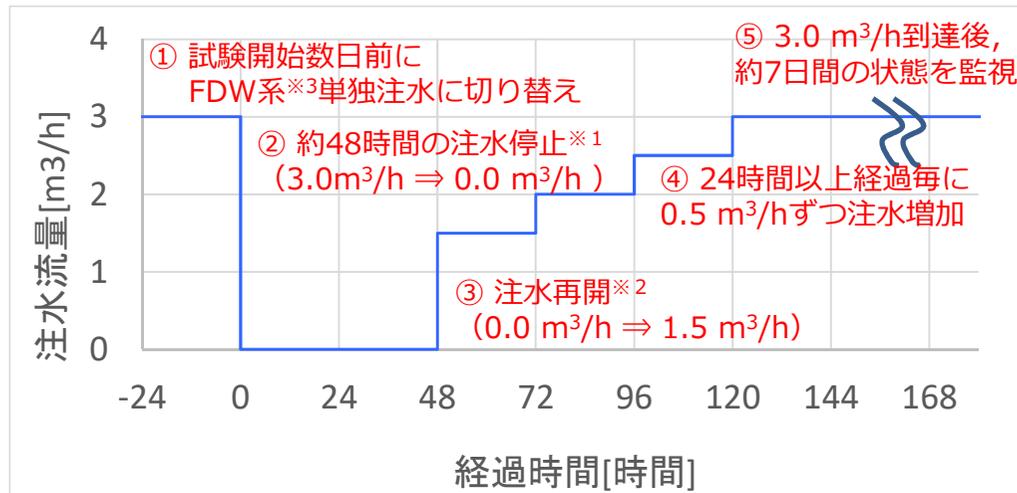
2019年9月26日

東京電力ホールディングス株式会社

- 1号機において、緊急時対応手順の適正化などを図ることを目的に、原子炉注水を一時的に停止する試験を2019年10月15日から開始する。
  - 2019年5月に2号機で原子炉への注水を約8時間停止する試験を実施済み
  - 1号機では2日程度（約48時間）の注水停止を計画
  
- 1号機の注水停止時の温度上昇率は、2号機の実績（0.2℃/h以下）よりも緩やかであり、48時間の注水停止で最大8.7℃程度の温度上昇と評価している。
  
- なお、試験に伴い、2・3号機の注水量を3.0m<sup>3</sup>/hから4.5m<sup>3</sup>/hに増加する。
  
- 今後、3号機についても、今年度中を目途に、注水停止試験を実施する予定。

# 1号機における注水停止試験の手順概要

- 原子炉注水を約48時間停止<sup>※1</sup>し、温度上昇等の影響を確認。
- 炉注設備の流量下限を考慮し、1.5m<sup>3</sup>/hで注水を再開<sup>※2</sup>。その後、24時間以上経過する毎に0.5m<sup>3</sup>/hずつ、試験前の3.0m<sup>3</sup>/hまで戻す。



## 実施計画上の扱い（運転上の制限）

- ※1 原子炉の冷却に必要な注水量を確保せず、運転上の制限(第18条)を計画的に逸脱することから、第32条第1項を適用 (A)。
- ※2 任意の24時間あたりの注水増加幅を1.0m<sup>3</sup>/hに制限する運転上の制限(第18条)を計画的に逸脱することから、実施計画第32条第1項を適用 (B)。
- ※3 1号機はCS系の流量に設備的上限により、単独注水で3.0m<sup>3</sup>/hを確保できないことからFDW系単独注水で計画。

### (A) 原子炉注水の停止

原子炉の冷却に必要な注水量を確保せず、運転上の制限(第18条)を計画的に逸脱することから、第32条第1項の適用が必要。



安全措置(A)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 温度監視の強化</li><li>• 異常な温度上昇に備えた、速やかな注水再開の準備</li></ul>
---------	---

### (B) 原子炉注水の再開

注水再開時に任意の24時間あたりの注水増加幅を1.0m<sup>3</sup>/hに制限する運転上の制限(第18条)を計画的に逸脱することから、第32条第1項の適用が必要。

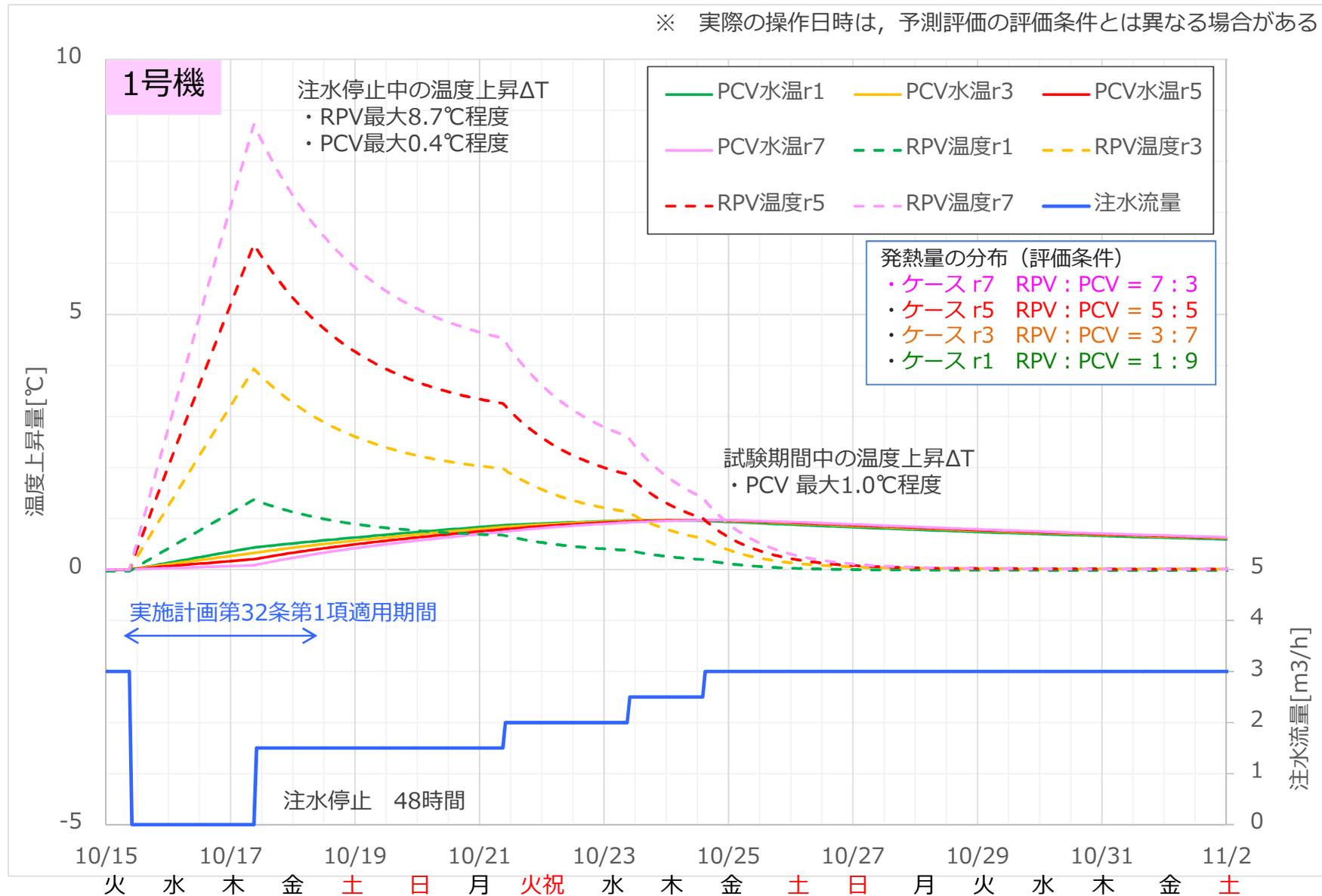


安全措置(B)	<ul style="list-style-type: none"><li>• ガス管理設備希ガスモニタによる未臨界の監視</li><li>• ホウ酸水注入の準備</li><li>• Xe135濃度の上昇を確認した場合にホウ酸水を注入</li></ul>
---------	---

# (参考) 1号機 試験期間中の温度上昇予測評価



※ 実際の操作日時は、予測評価の評価条件とは異なる場合がある



# 注水停止の影響評価（温度変化，未臨界，ダスト）

影響評価		影響緩和策
温度変化	<ul style="list-style-type: none"> <li>注水停止に伴う除熱減少により，RPVやPCVの温度が上昇する</li> <li>熱バランス評価により温度上昇は約8.7℃以下と評価しており，注水停止試験による温度上昇は限定的</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>想定外の温度上昇に備え，RPV，PCVの温度変化を慎重に監視。</li> <li>異常な温度上昇を確認した場合，速やかな注水再開や注水量増加等の措置を実施。</li> </ul>
再臨界	<ul style="list-style-type: none"> <li>注水再開時に1m<sup>3</sup>/hを超える注水増加を伴うものの，注水量を現在の状態に戻す操作であり，未臨界維持に与える影響はない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガス管理設備の希ガスモニタを監視。</li> <li>Xe-135の濃度の上昇を確認した場合，ホウ酸水の注入等の措置を実施。</li> </ul>
ダスト等の放出量増加	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガス管理設備においてフィルタを通して排気していることや，湿潤環境が維持されていることにより，注水停止試験による放出量増加はない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガス管理設備のダストモニタを監視。</li> <li>異常なダスト上昇を確認した場合，速やかな注水再開や注水量増加等の措置を実施。</li> </ul>

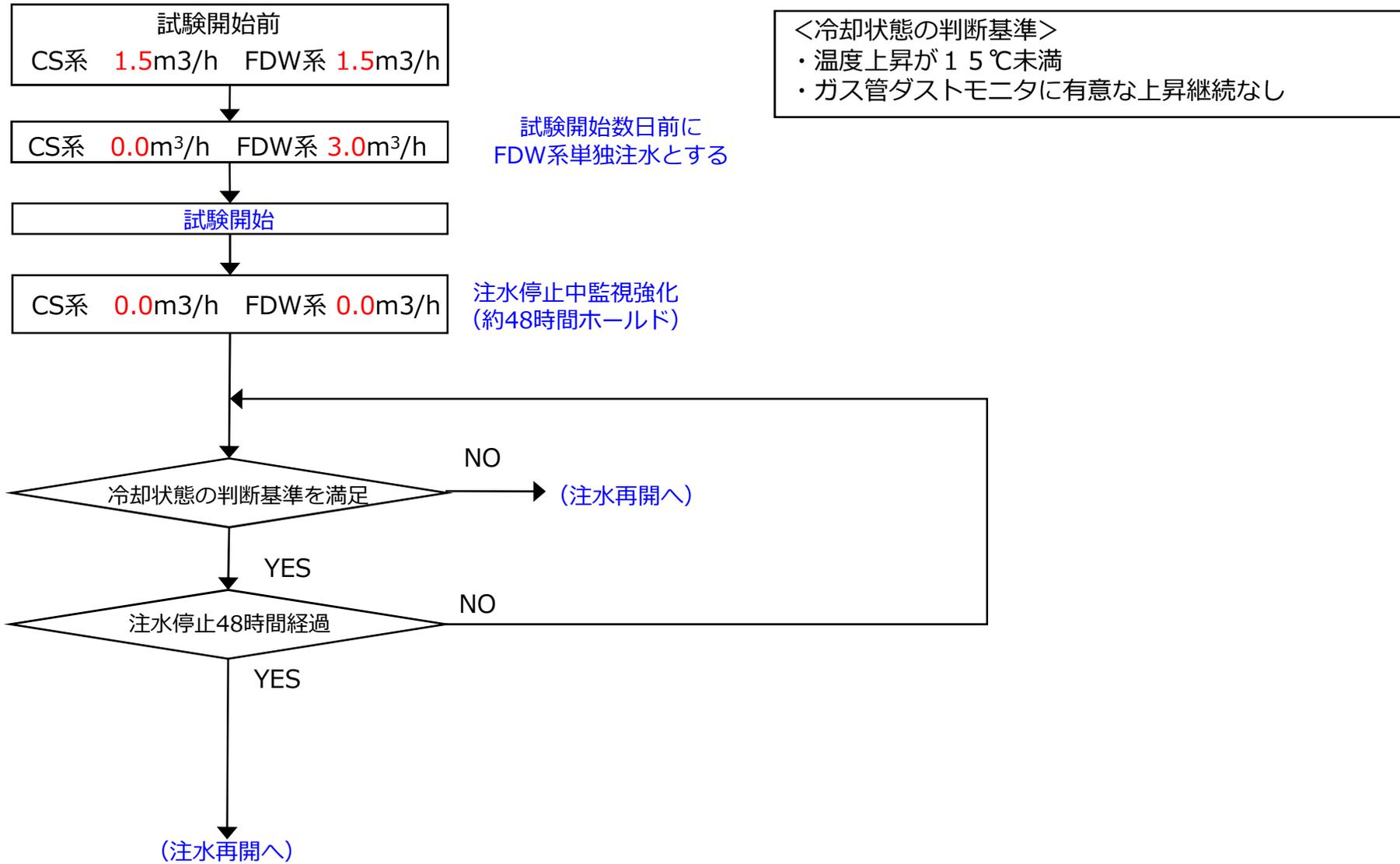
- 1号機 燃料デブリ冷却状況の確認試験を10/15から開始予定。

試験工程	2019年10月		
1号機	<p>FDW系 単独注水</p> <p>10/11</p>	<p>燃料デブリ冷却状況の確認試験 (10/15~10/31)</p> <p>注水停止：10/15 注水再開：10/17</p>	<p>CS系・FDW系 注水</p> <p>10/31</p>
2・3号機	<p>注水流量増加 (3.0 → 4.5m<sup>3</sup>/h)</p> <p>10/9~10/11</p>		<p>注水流量低下 (4.5 → 3.0m<sup>3</sup>/h)</p> <p>10/25</p>

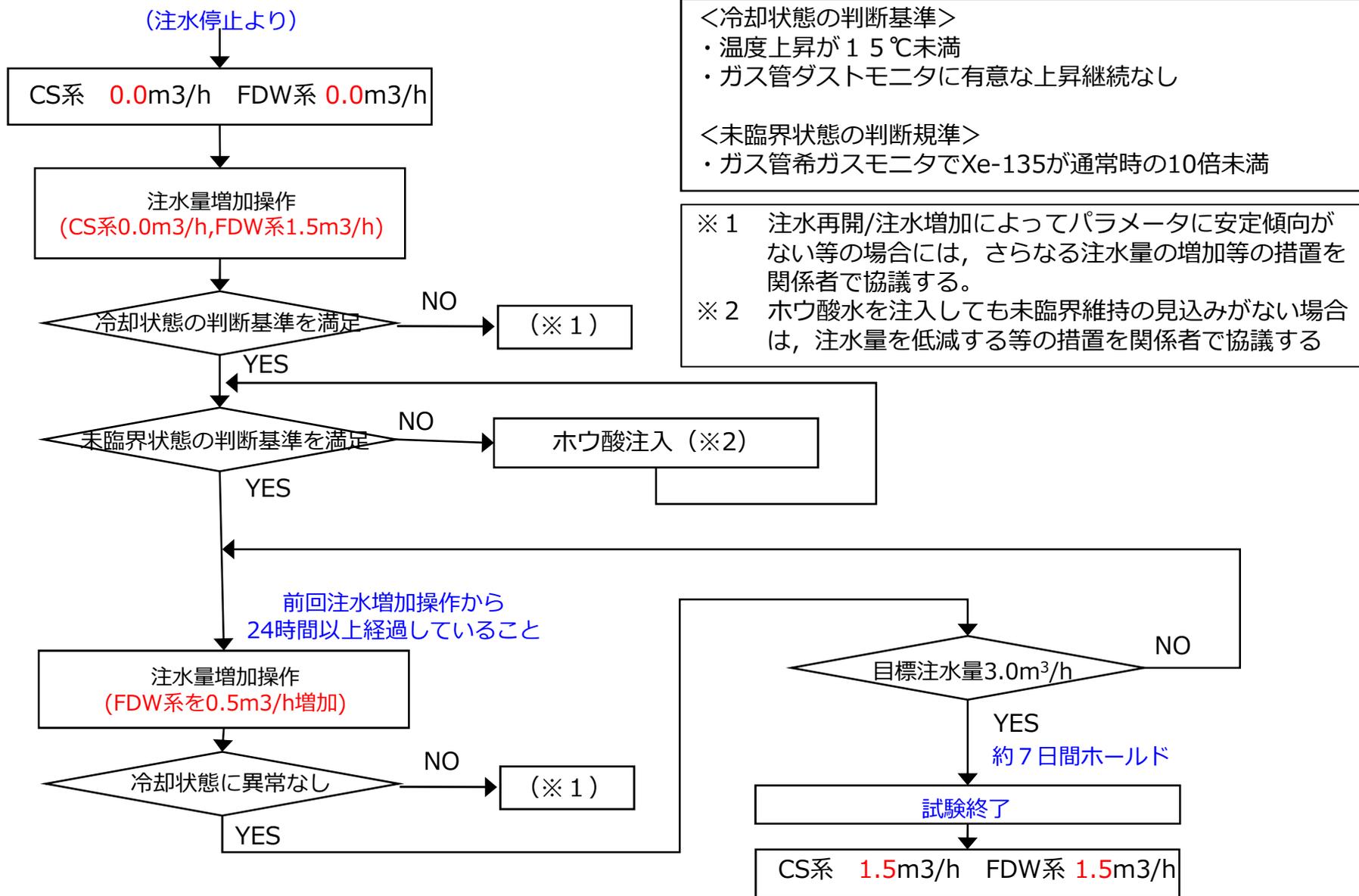
(実際の操作日は現場状況により変更となる場合がある)

- なお、3号機については、1号機の試験結果をふまえ、今年度中を目途に実施していく予定。

# (参考) 注水停止フロー (1号機)



# (参考) 注水再開フロー (1号機)



## (参考) 監視パラメータと判断基準 (注水停止時)

### (1) 冷却状態の監視 (注水量停止時)

監視パラメータ	監視頻度		注水停止時の判断基準
	注水停止中	(参考) 通常監視頻度	
原子炉压力容器底部温度	毎時	毎時	温度上昇が1.5℃未満 ※1
原子炉格納容器内温度	毎時	6時間	温度上昇が1.5℃未満 ※1
原子炉への注水量	毎時	毎時	原子炉に注水されていないこと
格納容器ガス管理設備 ダストモニタ	毎時	6時間	有意な上昇が継続しないこと

※1 15℃以上の温度上昇があった際には、流量を1.5m<sup>3</sup>/hに増やす (注水を再開する)。

(冬季のRPV/PCV温度は概ね3.0℃未満であり、1.5℃の温度上昇でも4.5℃未満と想定)

### (2) その他の傾向監視パラメータ

- ・原子炉压力容器上部温度、格納容器圧力、格納容器内水位

## (参考) 監視パラメータと判断基準 (注水再開時)

### (1) 冷却状態の監視 (注水量増加時)

- 注水変更操作から24時間の監視強化とし、冷却状態に異常が無い場合には、24時間以降は通常頻度での監視に移行。

監視パラメータ	監視頻度		注水再開時の判断基準
	操作後24時間	24時間以降 (通常監視頻度)	
原子炉压力容器底部温度	毎時	毎時	温度上昇が1.5℃未満※1
原子炉格納容器内温度	毎時	6時間	温度上昇が1.5℃未満※1
原子炉への注水量	毎時	毎時	(必要な注水量が確保されていること)
格納容器ガス管理設備 ダストモニタ	6時間	6時間	有意な上昇が継続しないこと

※1 注水変更後、10℃以上の温度上昇があった際には、関係者間で情報共有・監視強化を継続する。

### (2) 未臨界状態の監視

- 注水変更操作から24時間は速やかにホウ酸水を注入できる体制を維持

監視パラメータ	監視頻度		注水再開時の判断基準
	操作後2.4時間	2.4時間以降 (通常監視頻度)	
格納容器ガス管理設備 Xe-135濃度	毎時	毎時	通常値の10倍未満であること※2

※2 Xe-135の通常値は1号機は $1.0 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$ 程度である。  
 運転上の制限である $1 \text{Bq/cm}^3$ に余裕があっても、2系同時に上昇した場合には、確実な未臨界維持のためホウ酸水を注入する。(片系のみ場合は、計器故障の可能性も含めて判断する)

### (3) その他の傾向監視パラメータ

- 原子炉压力容器上部温度、格納容器内水位

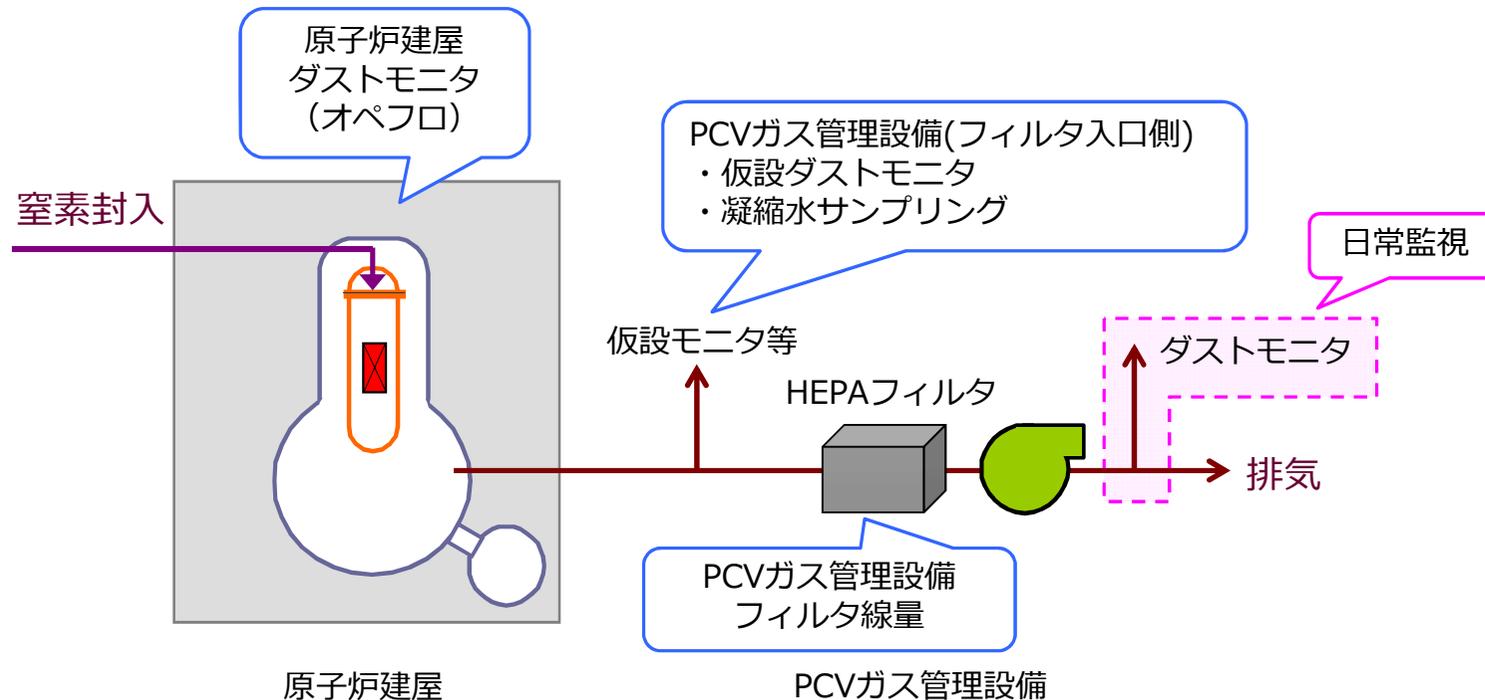
## (参考) 監視パラメータ逸脱時の対応

監視パラメータ		判断基準を満たさない場合の対応
原子炉への注水量		<ul style="list-style-type: none"> <li>目標注水量を目安に、原子炉注水量を調整する</li> </ul>
冷却状態の監視	原子炉圧力容器底部温度	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.5m<sup>3</sup>/hで原子炉注水を再開する。</li> <li>注水再開/注水増加によってパラメータに安定傾向がない等の場合には、さらなる注水量の増加等の措置を関係者で協議する。 (温度上昇が急であり、1m<sup>3</sup>/hを超える注水量の急増が必要と判断される場合にはホウ酸水を注入したうえで、注水量を増加する)</li> </ul>
	原子炉格納容器内温度	
	格納容器ガス管理設備 ダストモニタ	
未臨界状態の監視	格納容器ガス管理設備 希ガスモニタ	<ul style="list-style-type: none"> <li>ホウ酸水を注入する。</li> <li>ホウ酸水を注入しても未臨界維持の見込みがない場合は、注水量を低減する等の措置を関係者で協議する。</li> </ul>

## (参考) その他採取するデータ等

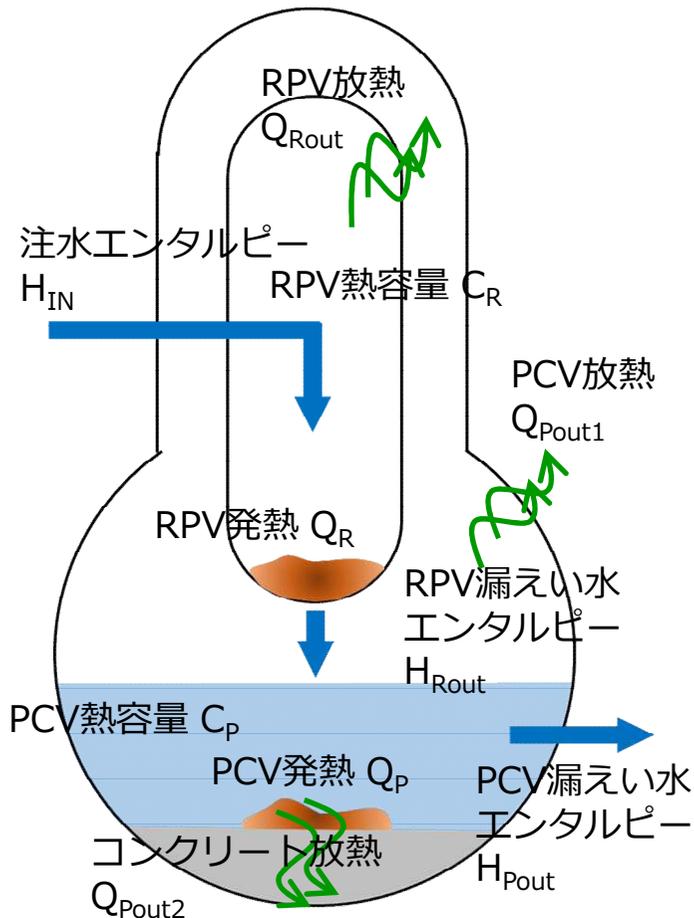
- 原子炉冷却状態や炉内挙動などの評価に資するデータ拡充の観点から、原子炉注水の停止前および停止中において、関連するプラントパラメータの取得や、試料の採取・分析を実施予定。

- PCVガス管理設備 フィルタユニット表面線量
- PCVガス管理設備 フィルタ入口側 (HEPAフィルタ通過前) ダスト濃度 (仮設モニタ)
- PCVガス管理設備 フィルタ入口側 (HEPAフィルタ通過前) 凝縮水サンプリング
- 原子炉建屋ダストモニタ (オペフロ)



## (参考) RPV/PCV温度の計算評価 (熱バランス評価)

- 燃料デブリの崩壊熱，注水流量，注水温度などのエネルギー収支から，RPV，PCVの温度を簡易的に評価。
- RPV/PCVの燃料デブリ分布や冷却水のかかり方など不明な点が多く，評価条件には仮定を多く含むものの，単純化したマクロな体系で，過去の実機温度データを概ね再現可能



- タイムステップあたりのエネルギー収支から，RPV/PCVの温度挙動を計算

(1) RPVのエネルギー収支と温度変化の計算式

$$H_{IN} + Q_R - Q_{Rout} - H_{Rout} - C_R \times \Delta T_R = 0$$

$$T_{RPV}(i+1) = T_{RPV}(i) + \Delta T_R$$

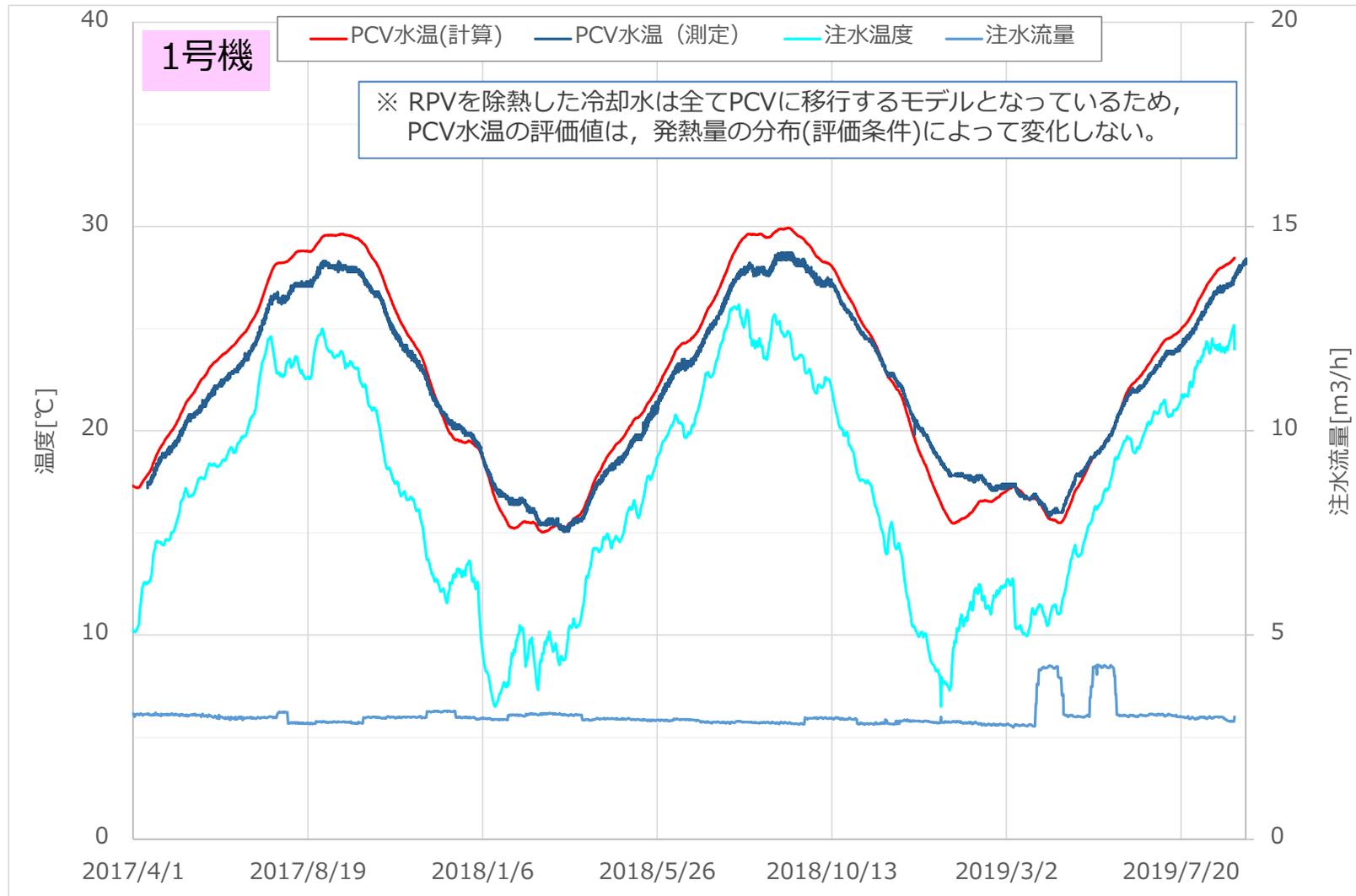
(2) PCVのエネルギー収支と温度変化の計算式

$$H_{Rout} + Q_P + Q_{Rout} - Q_{Pout1} - Q_{Pout2} - H_{pout} - C_P \times \Delta T_P = 0$$

$$T_{PCV}(i+1) = T_{PCV}(i) + \Delta T_P$$

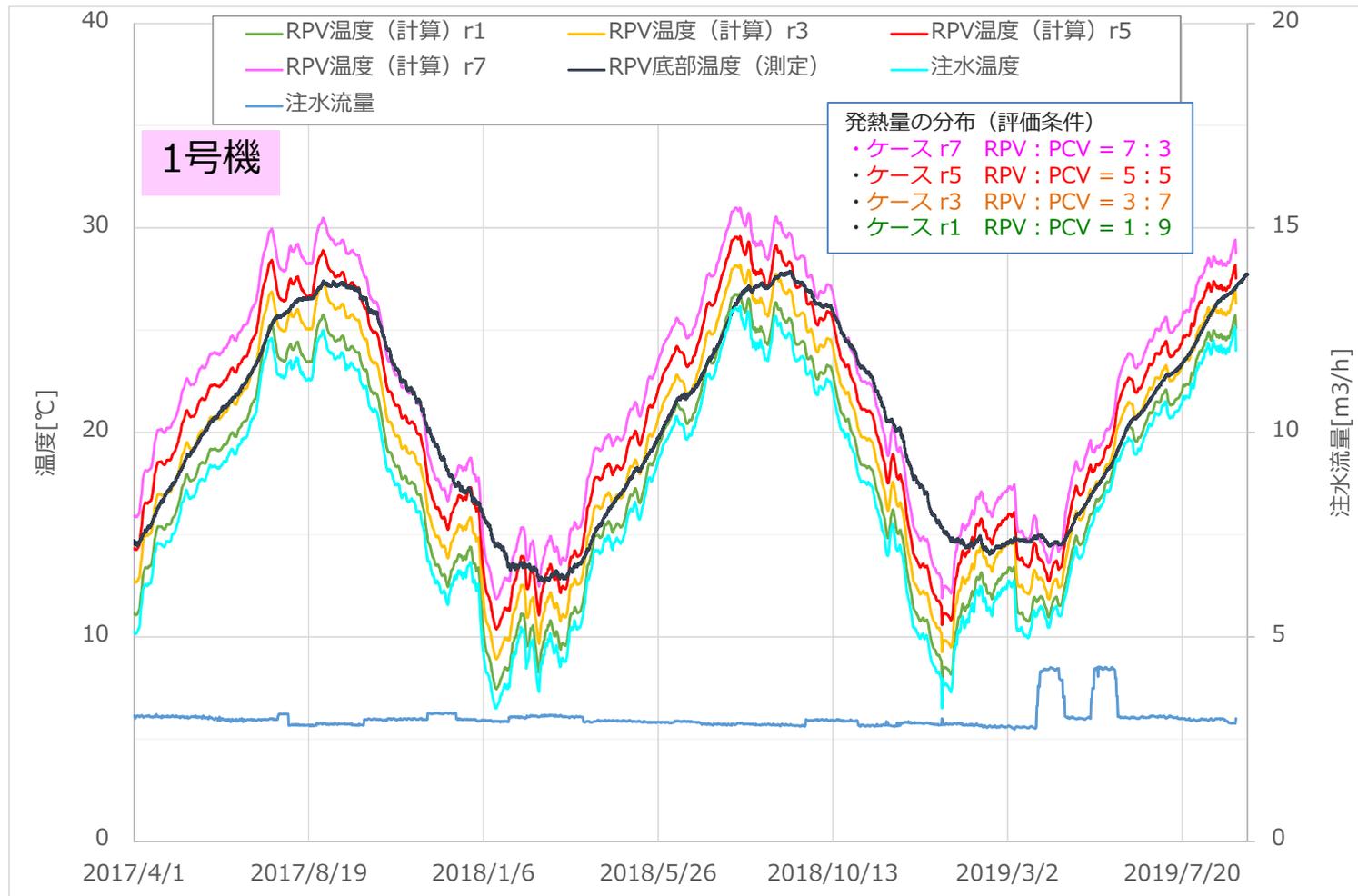
# (参考) 1号機PCV温度の計算結果 (熱バランスモデル)

- 計算したPCV水温が、実績のPCV水温 (新設温度計) を概ね再現



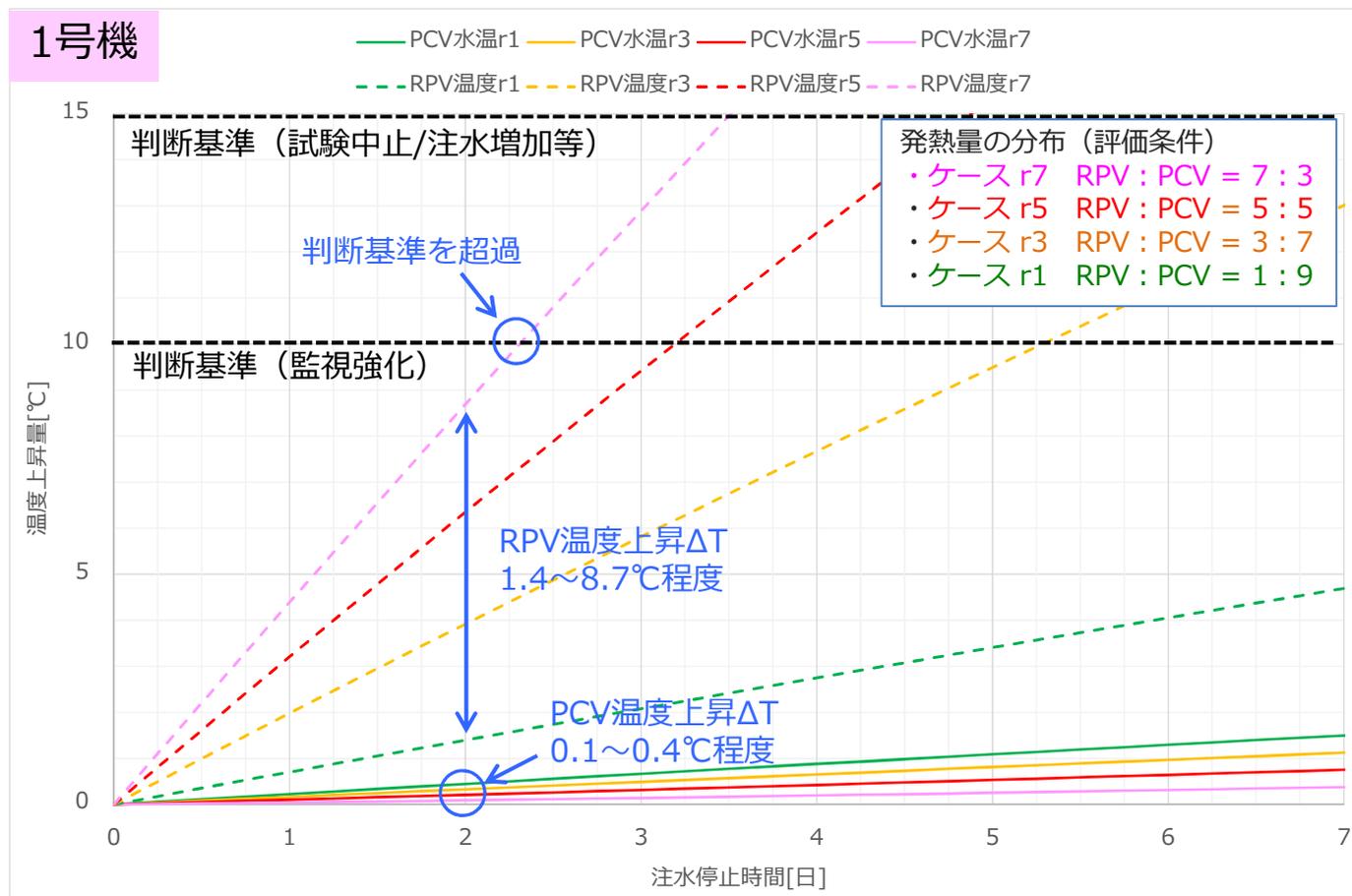
## (参考) 1号機RPV温度の計算結果 (熱バランスモデル)

- これまで1号機の燃料デブリの大部分はPCVに存在と推定。
- しかしながら、熱バランスモデルによる温度評価では、RPVの発熱量の評価条件が小さいと、RPV温度の計算値は低めとなり、RPVの発熱量が多い方が測定値に近い傾向。
- また、計算値の方が注水温度の変化に対する温度応答が早い傾向。



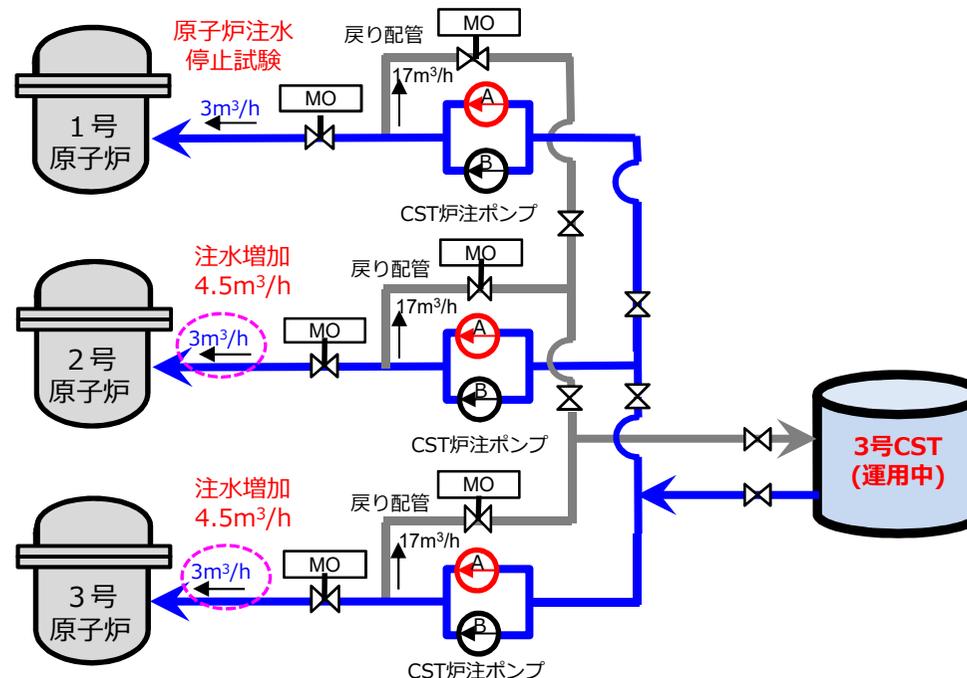
## (参考) 1号機の注水停止時の温度上昇評価

- 原子炉注水を48時間停止する場合の温度上昇は，RPV底部で1.4～8.7℃程度，PCV水温で0.1～0.4℃程度と評価。
- これまでの炉内状況推定からはRPV内に燃料デブリが多く残っているとは考えにくいものの，熱バランス評価ではRPVの温度上昇が大きくなる可能性を示す結果もあることから，今回試験の注水停止時間はおよそ2日程度（約48時間）とする。



## (参考) 1号機試験に伴う、2・3号機の原子炉注水量増加

- 現在の原子炉注水量は、注水ポンプの定格流量よりも大幅に少なく、ポンプ吐出流量の大部分は水源の3号CSTに戻している。
- 1～3号機のCST戻りの配管は1ラインに合流しているため、各号機の戻り流量・圧力のバランスを調整をしながら運転する必要がある。
- そのため、1号機の原子炉注水停止試験にあたっては、2・3号機の注水量を3.0m<sup>3</sup>/hから4.5m<sup>3</sup>/hに増加させた状態で試験を実施する。



# (参考) 1号機 注水停止時のPCV水位変化の推測

- 注水停止により1号機のPCV水位は低下すると評価。
- 真空破壊ラインベローズよりも下の水位計L3到達は，早くて24時間程度と評価。サンドクッションドレンからの漏えい量によっては，水位計L3に至らない可能性あり。

