

2号機原子炉注水停止試験結果

2020年10月19日



東京電力ホールディングス株式会社

※会合でのご意見を踏まえて、一部追記 (P.10) (2020年10月20日)

■ 試験目的（2号機：注水停止3日間）

- ✓ 2019年度試験（約8時間）より長期間の注水停止時の温度上昇を確認し、温度評価モデルの検証データ等を蓄積する。

（補足）

- 昨年度試験では、注水停止期間、RPV底部温度はほぼ一定で上昇することを確認。
- 昨年度試験より長期間の停止で、温度上昇の傾きに変化が生じるか確認し、評価モデルを検証する。

■ 試験結果概要

- ✓ 注水停止：2020年8月17日～8月20日までの約3日間。

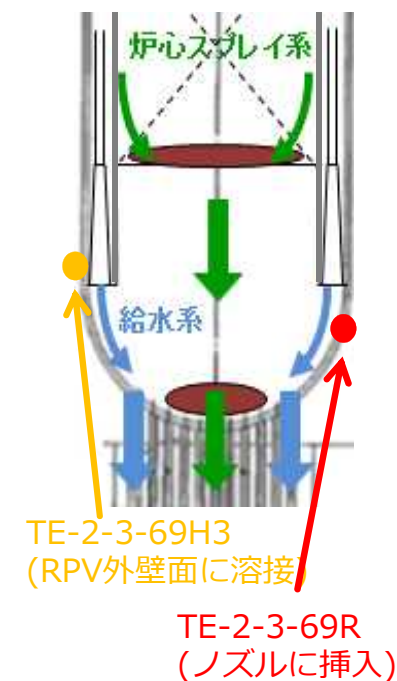
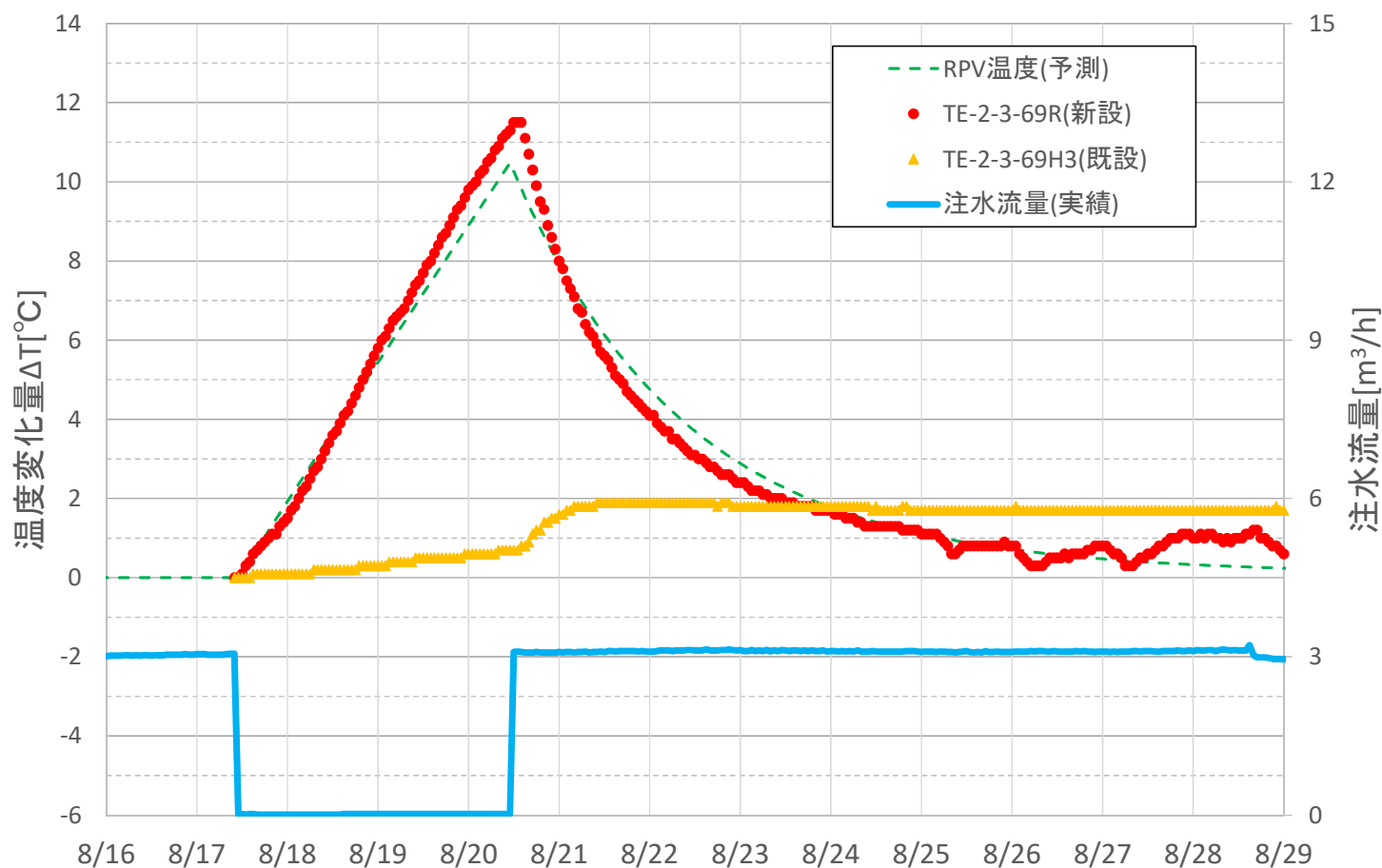
注水停止：2020年8月17日10:09

注水再開：2020年8月20日11:59

- RPV底部温度、PCV温度に、温度計毎のばらつきはあるが概ね予測の範囲内で推移。
- 注水停止中、新設のRPV底部温度計（TE-2-3-69R）の温度は、ほぼ一定の上昇率で上昇し、予測とよく一致。（約0.16℃/h）
- 注水停止中にD/W圧力の低下、注水再開時にD/W圧力の上昇を確認。
- ダスト濃度（HEPAフィルタ通過後）や希ガス（Xe135）濃度に有意な変動なし。
- HEPAフィルタ通過前のダスト・凝縮水を分析した結果、注水停止中に採取した試料で、濃度上昇を確認。

RPV底部温度の推移（試験開始からの温度変化量）

- TE-2-3-69R（新設）：温度上昇は予測評価と比較して若干高かったもののよく一致。
- TE-2-3-69H3（既設）：TE-2-3-69Rと比べ注水停止中の温度上昇は緩やか（予測評価ほどの温度上昇なし）。
- 両者の挙動の違いは昨年度試験と同様。



RPV底部温度の挙動（予測評価との比較）に関する考察

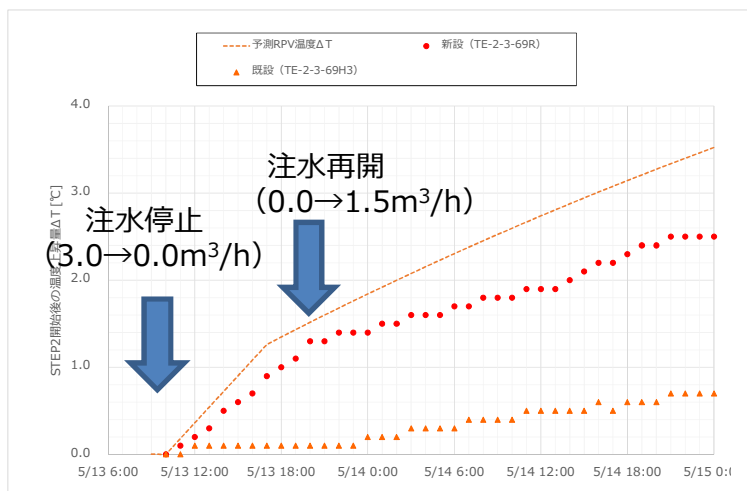
- 昨年度試験：TE-2-3-69H3（既設）の温度変化は緩慢。下段の要因と推定。
- 今回の試験結果も同様の要因によるものと推定。

（昨年度考察）

- ① 両温度計の設置位置が異なり、TE-2-3-69Rの方が燃料デブリに近い可能性。
- ② 2号機のシュラウドは概ね健全であり、TE-2-3-69H3の内側には、たまり水があると推定※1。たまり水の影響により、当該箇所の温度変化が緩やかになっている可能性。
- ③ TE-2-3-69H3などの既設の温度計は、事故の影響により絶縁が低下しており、指示値の不確かさが大きい可能性※2。
（指示値の不確かさは最大20℃程度と評価）

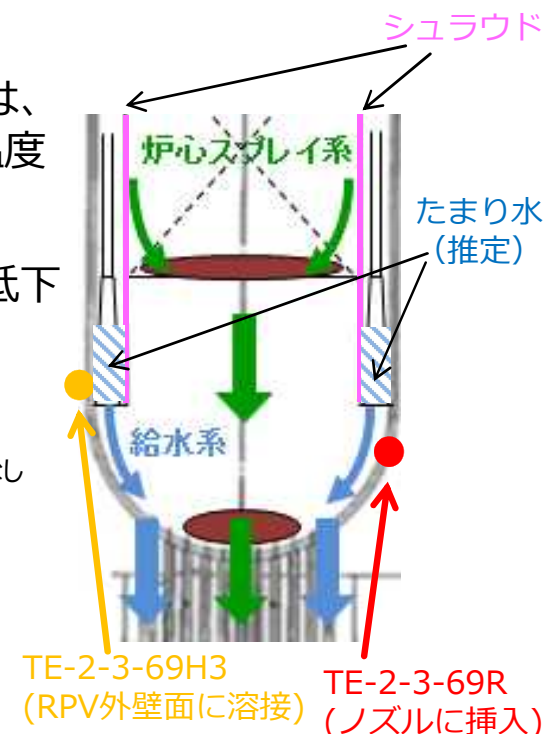
※1 「総合的な炉内状況把握の高度化（平成29年度成果報告）」（IRID、IAE）

※2 TE-2-3-69H3は、定期的な信頼性評価により「監視に使用可」と確認しており、冷却状態の監視に支障なし

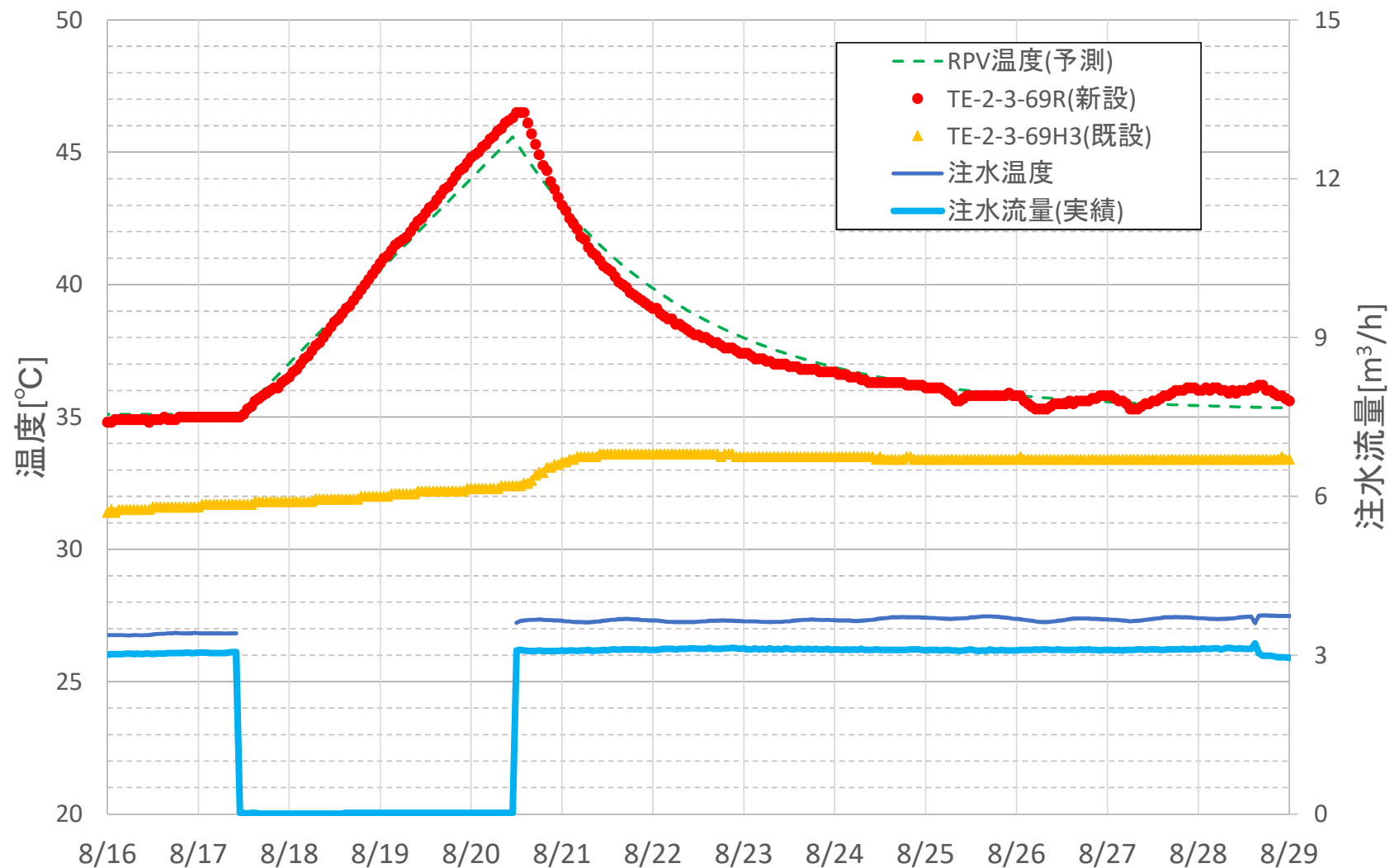


昨年度の2号機原子炉注水停止試験の結果（温度変化量）

- TE-2-3-69R
- ▲ TE-2-3-69H3



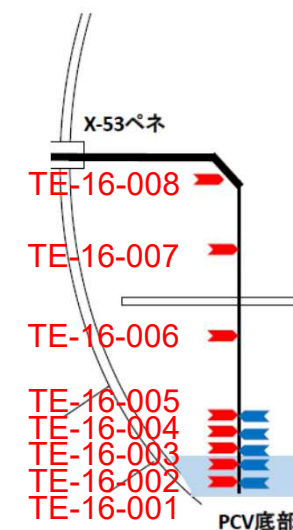
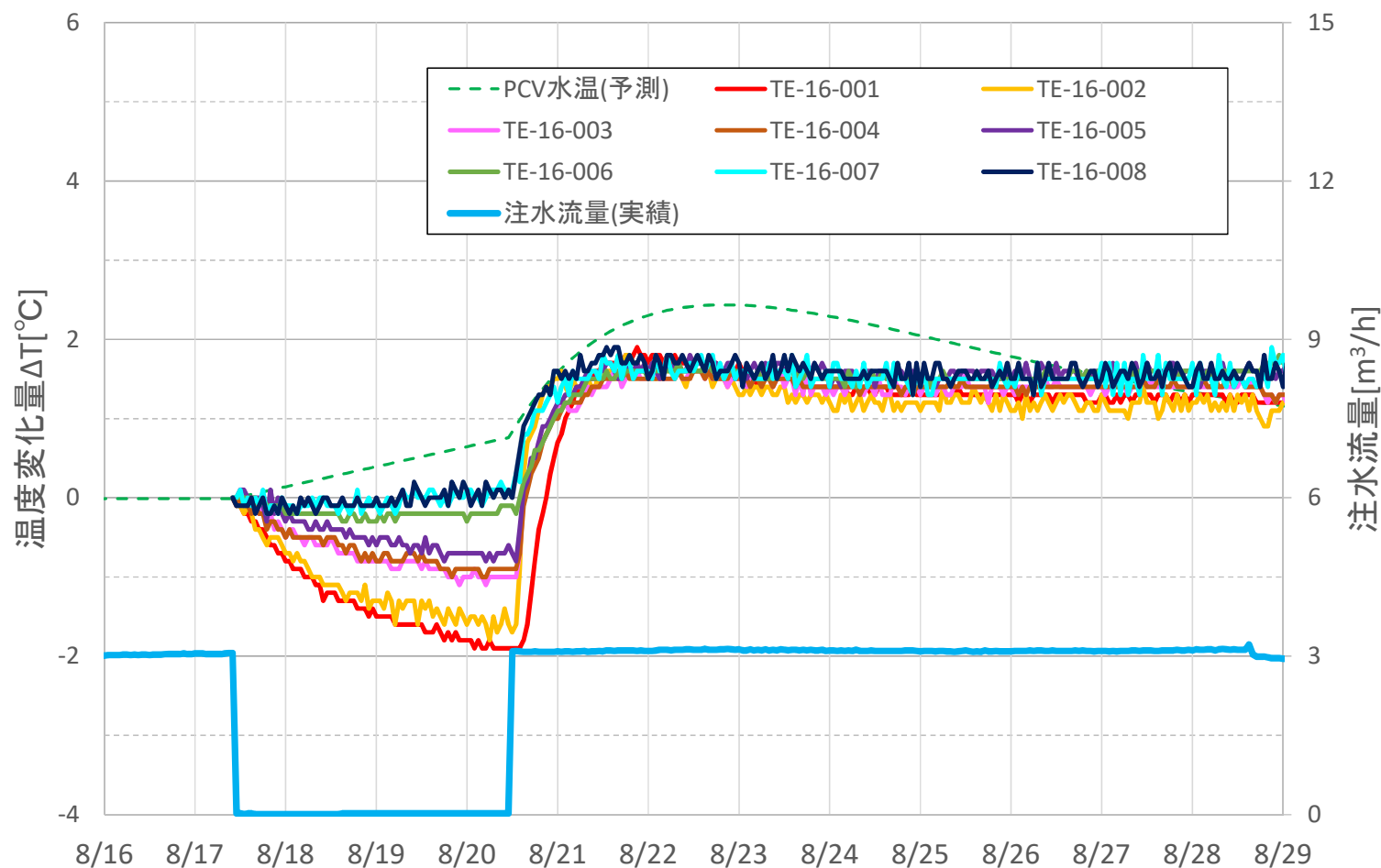
(参考) RPV底部温度の推移 (実測値)



※予測温度は試験開始時の実績温度(TE-2-3-69R)を基準としている

PCV温度(新設)の推移 (試験開始からの温度変化量)

- TE-16-001・002：試験期間を通じて水没。温度低下が大きい。
- TE-16-003～005：水面に近い気相温度を測定。温度低下が小さい。
- TE-16-006～008：ほとんど変化せず。
- 注水再開後はいずれの温度も上昇。TE-16-001は上昇開始が少し遅い。

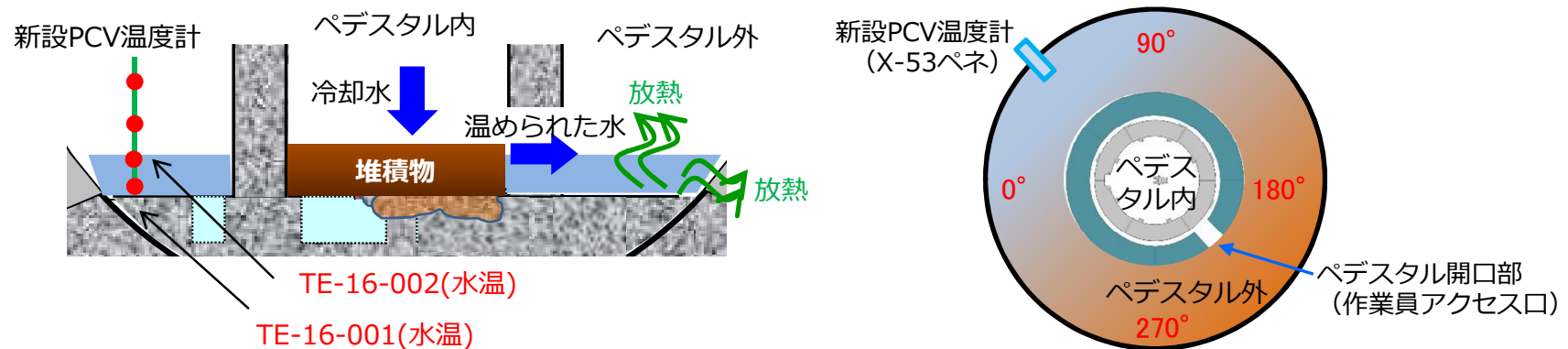


PCV温度の挙動（予測評価との比較）に関する考察

- 昨年度試験でも注水停止中はPCV水温が低下。下段の要因と推定。
- 今回の試験結果も同様の要因によるものと推定。

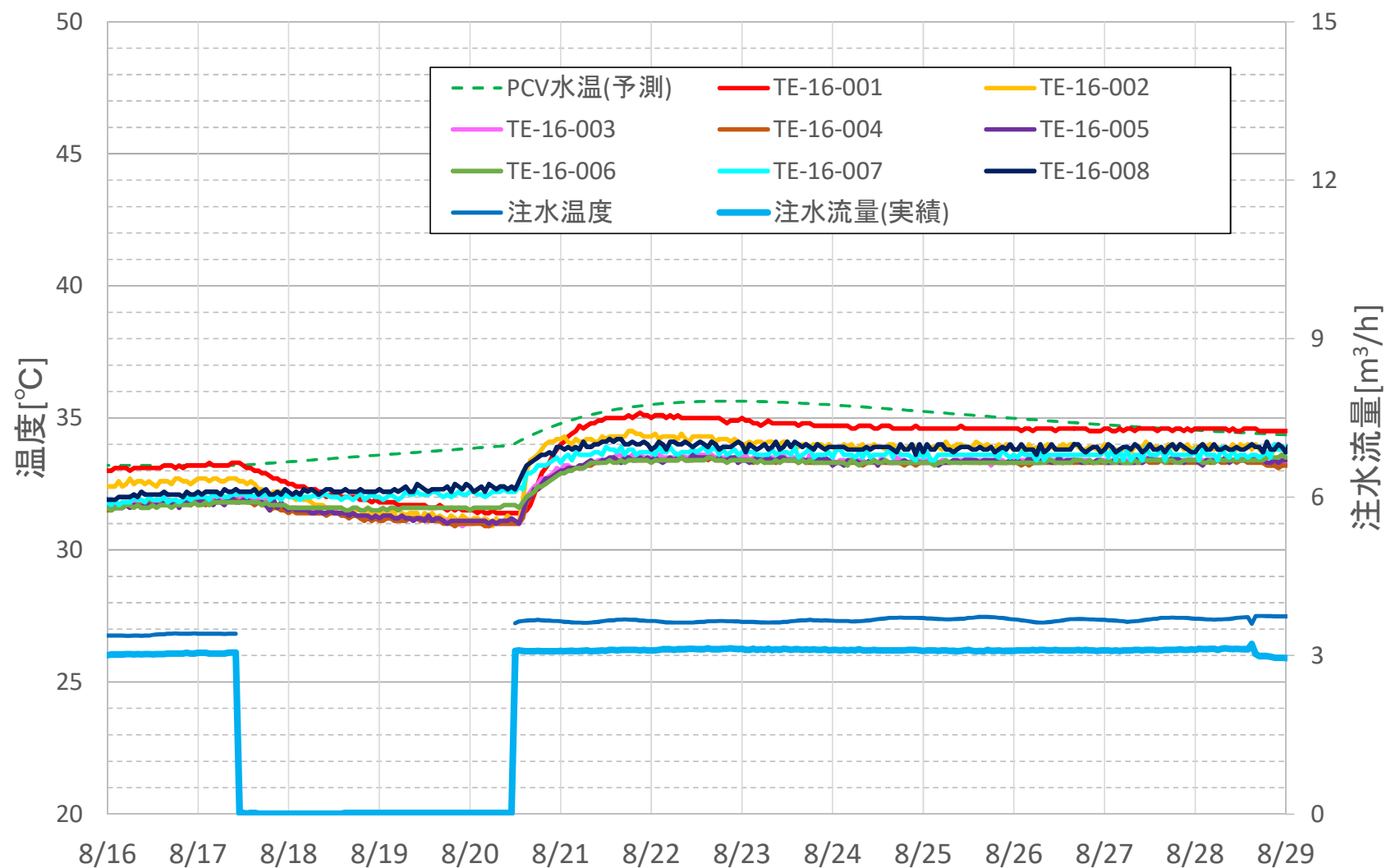
（昨年度考察）

- ① これまでのPCV内部調査で2号機のペDESTAL内堆積物は水没していないことを確認。注水停止に伴い、燃料デブリを除熱して温められた水の供給がなくなり、PCV水温は放熱により徐々に低下した可能性。
- ② 注水再開に伴い、燃料デブリを除熱して温められた水が供給され温度が上昇した可能性。



- 今回の試験では、注水再開後の温度上昇量が大きい。これは、注水停止期間が延びたため、注水再開による熱移動が大きかったことによるものと推定。
- 注水再開後、TE-16-001の温度上昇が若干遅い。これは、001がPCV最深部に設置されていて、水温変化への追従が002に比べ遅くなることによるものと推定。

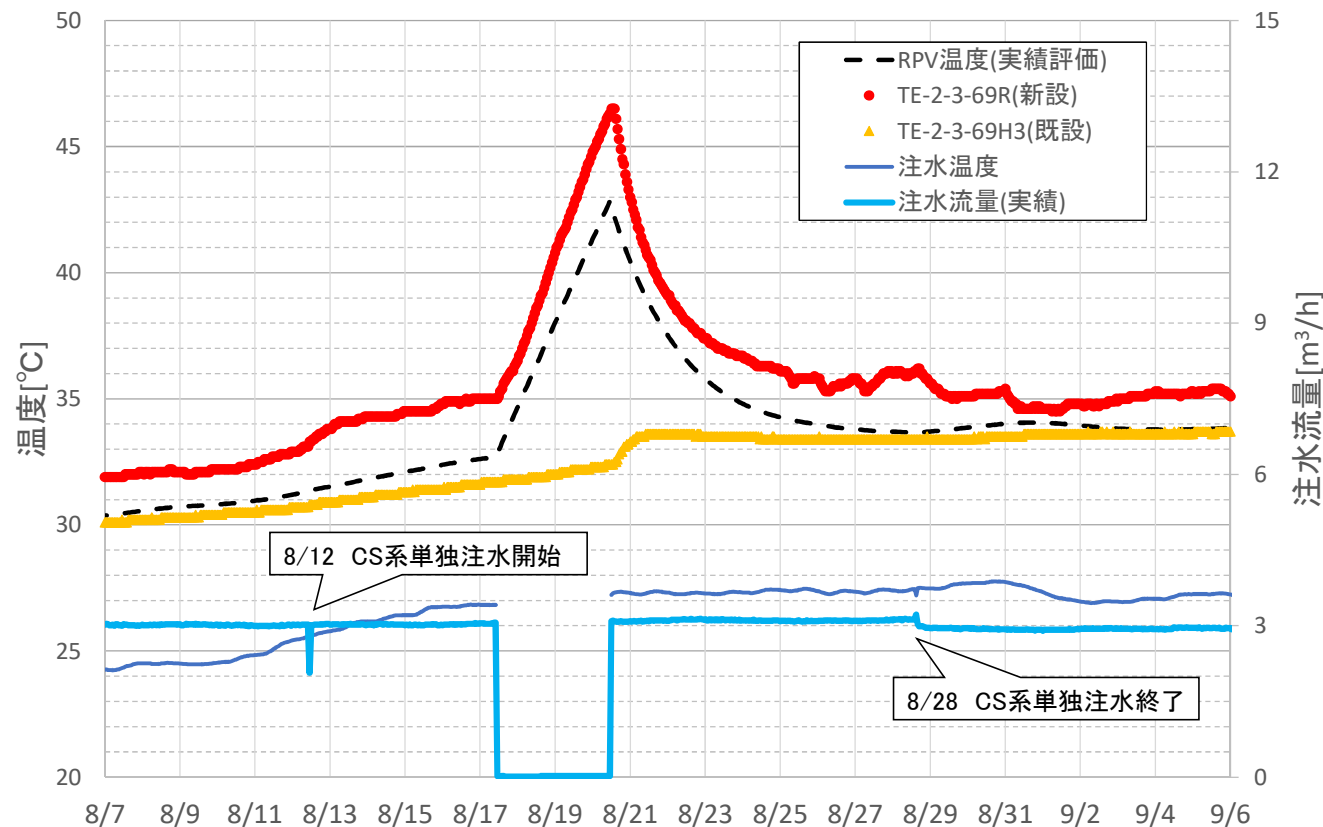
(参考) PCV温度(新設)の推移 (実測値)



※予測温度は試験開始時の実績温度(TE-16-001)を基準としている

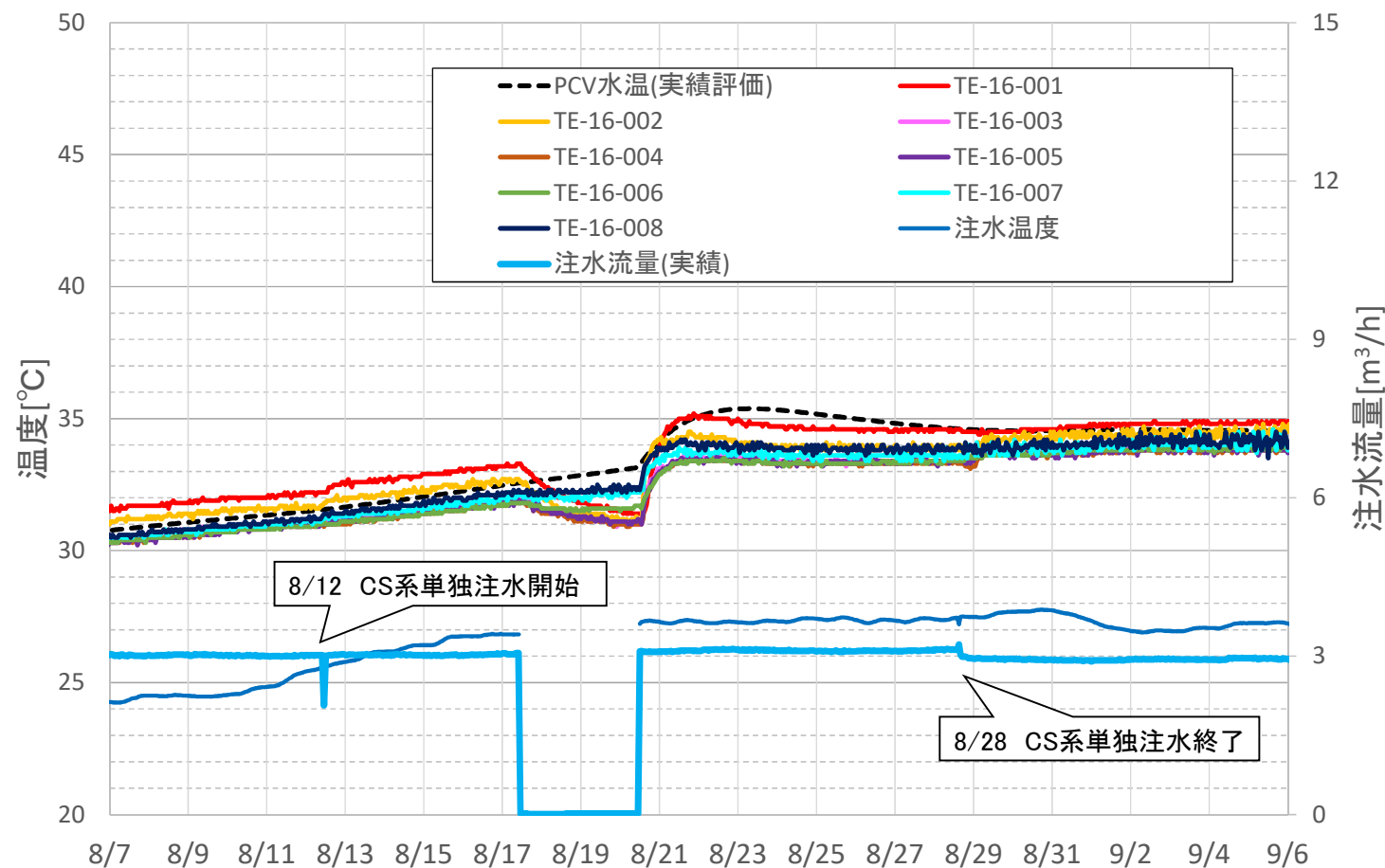
実績データを用いた熱バランス評価（RPV底部温度）

- 実際の注水温度等を適用して、試験時のRPV温度を評価。
 - 熱バランス評価による計算値は、TE-2-3-69Rに比べ、注水停止中も含め最大で3℃程度低いが、RPV底部の温度挙動を概ね再現できていると考える。
 - 熱バランス評価はCS系・FDW系からの注水時の実績データに沿うようにフィッティングをしており、CS系単独注水時に若干の差異が生じる。
 - TE-2-3-69H3の挙動も、注水停止中を除けば概ね再現できていると考える。



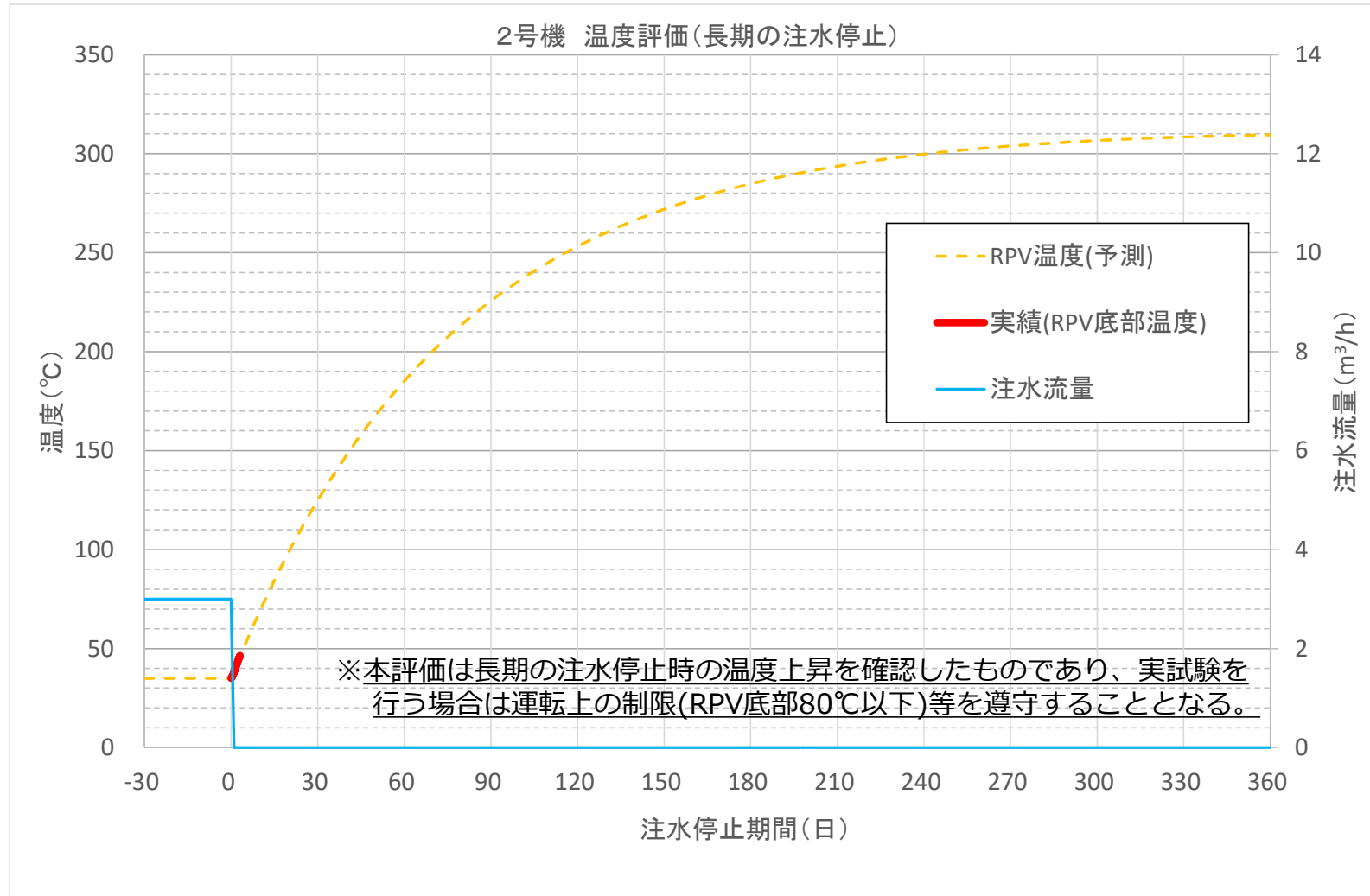
実績データを用いた熱バランス評価（PCV温度）

- 実際の注水温度等を適用して、試験時のPCV温度を評価。
 - 熱バランス評価による計算値は、注水停止中を除きPCV温度の挙動を概ね再現できていると考える。
 - 注水停止中の温度挙動を再現できていない理由は、ペデスタルの内側と外側の領域を分けて評価していないことなどが挙げられる。



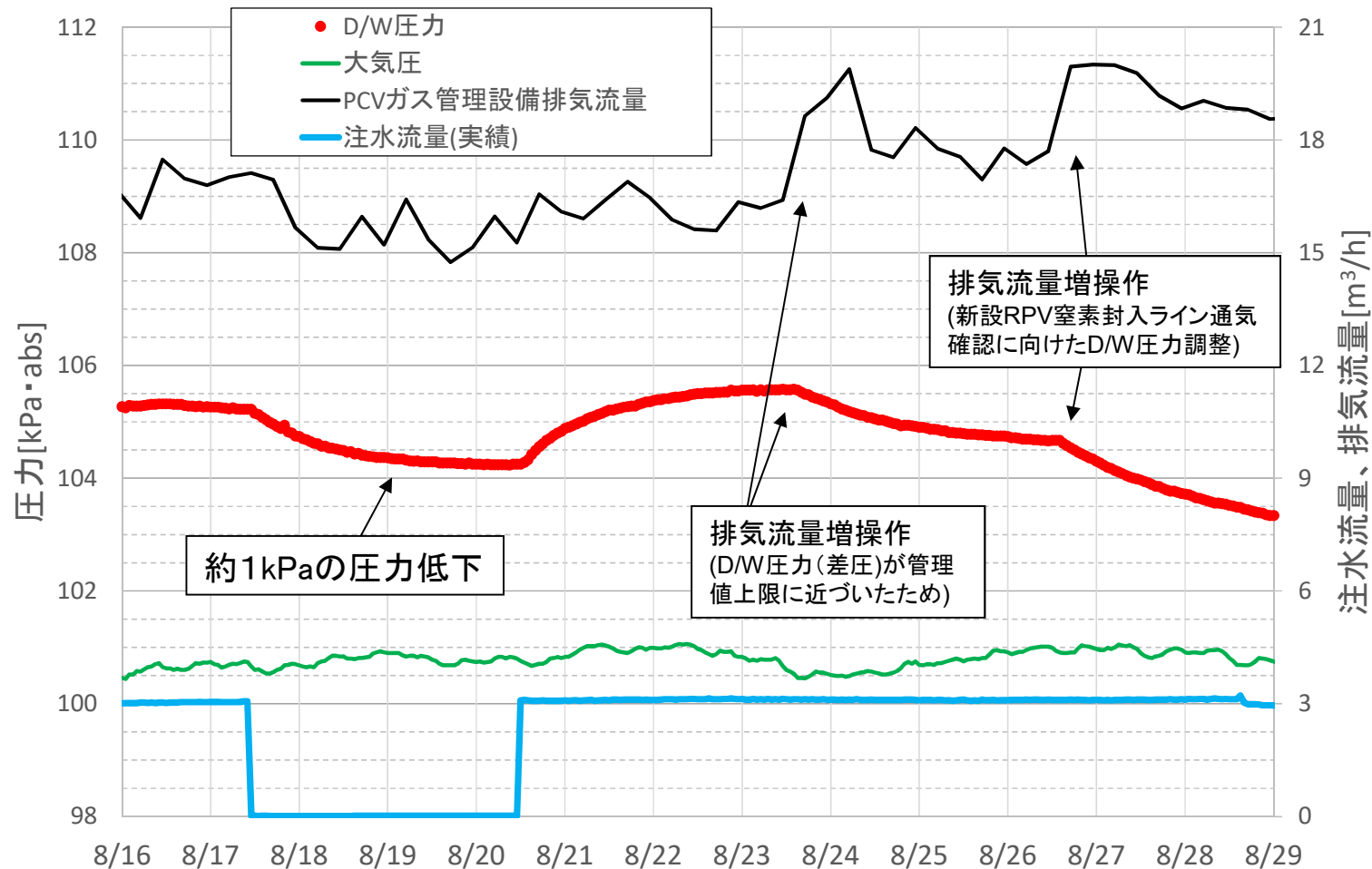
熱バランス評価モデルを用いたより長期の温度評価の見通し（2号機）

- 3日間の注水停止では、RPV底部温度（TE-2-3-69R）の温度上昇率はほぼ一定。
- この範囲では、熱バランス評価による計算値は実測値をよい精度で再現。



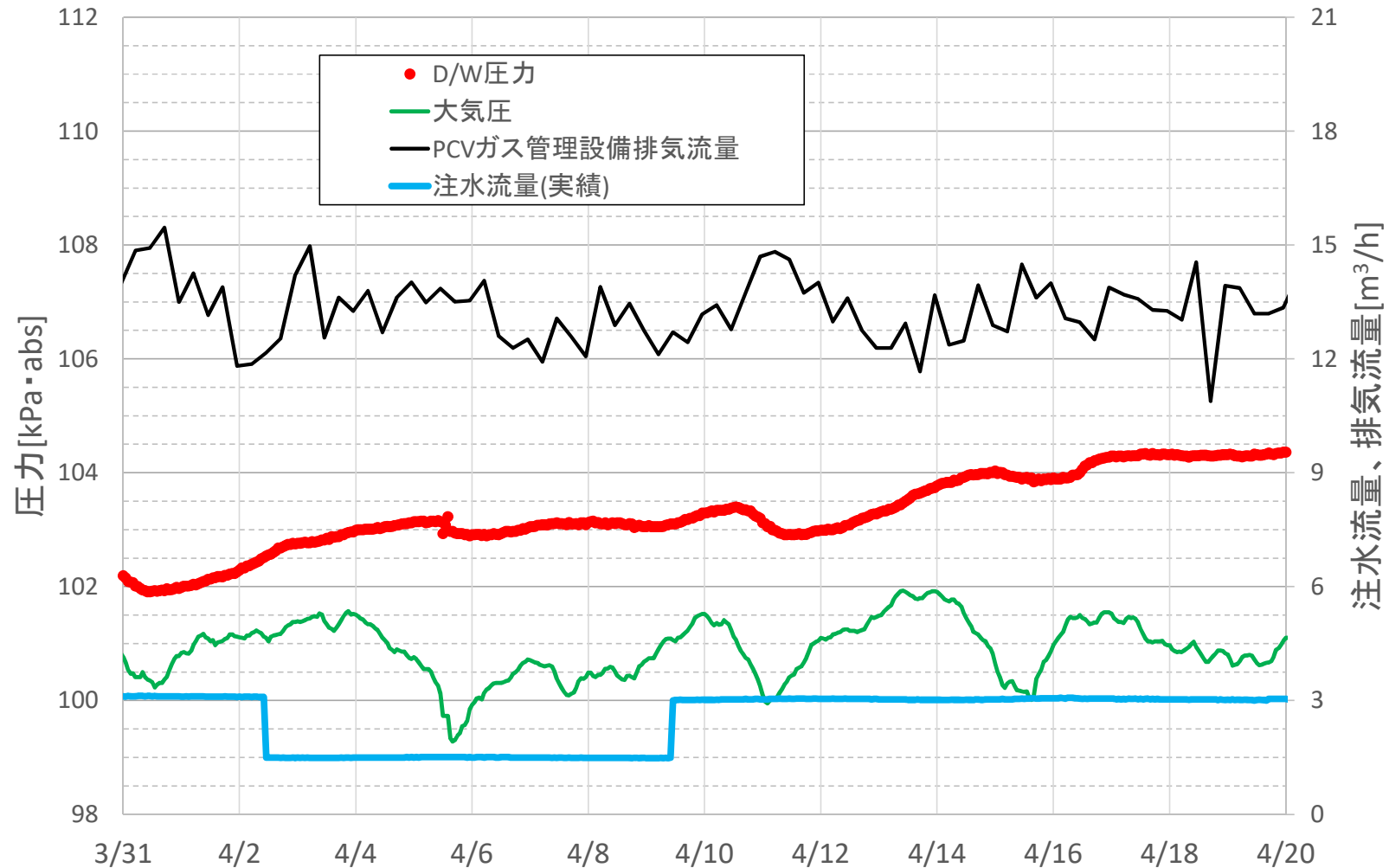
D/W圧力の推移

- 注水停止中にD/W圧力の低下、注水再開後にD/W圧力の上昇を確認。
- D/W圧力の低下量：約1kPa
- PCV温度約32℃の飽和水蒸気圧：約4.8kPa → 圧力変化がPCV内の乾燥によるものであれば、20%程度の相対湿度変化に相当。



(参考) 昨年度試験時のD/W圧力の推移

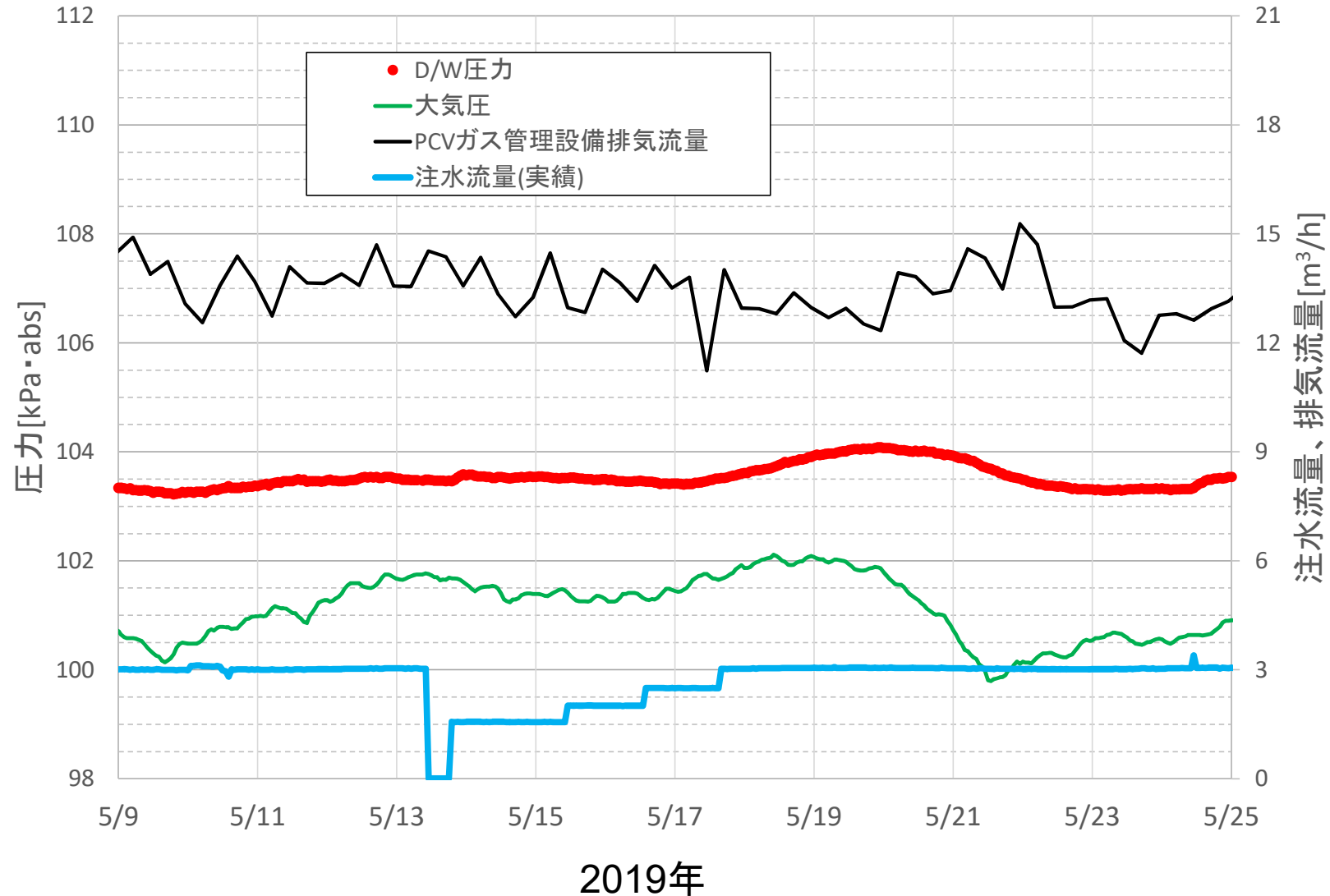
- STEP 1 (注水量低減) : 注水量低減に伴うD/W圧力変動は認められず。



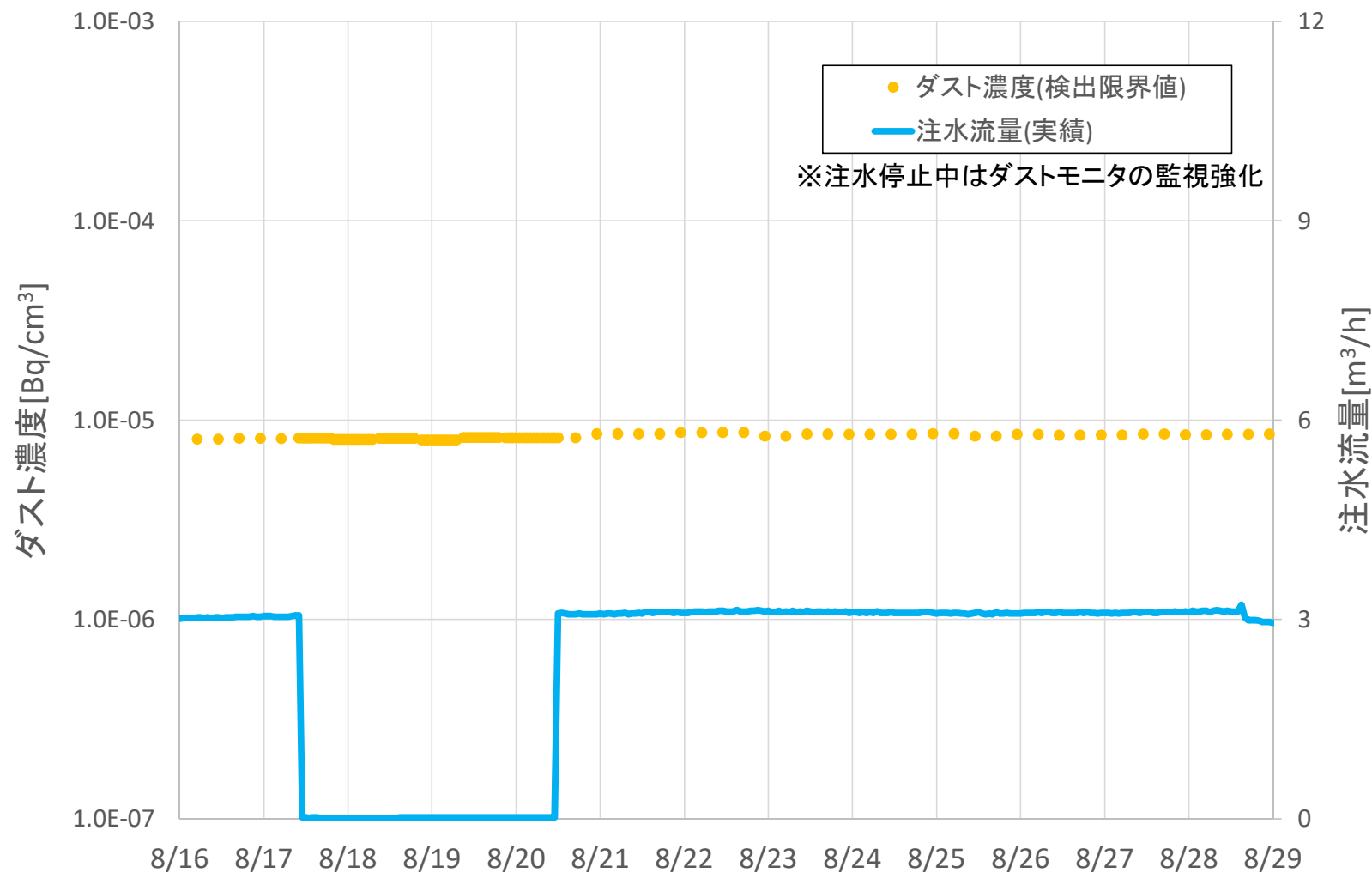
2019年

(参考) 昨年度試験時のD/W圧力の推移

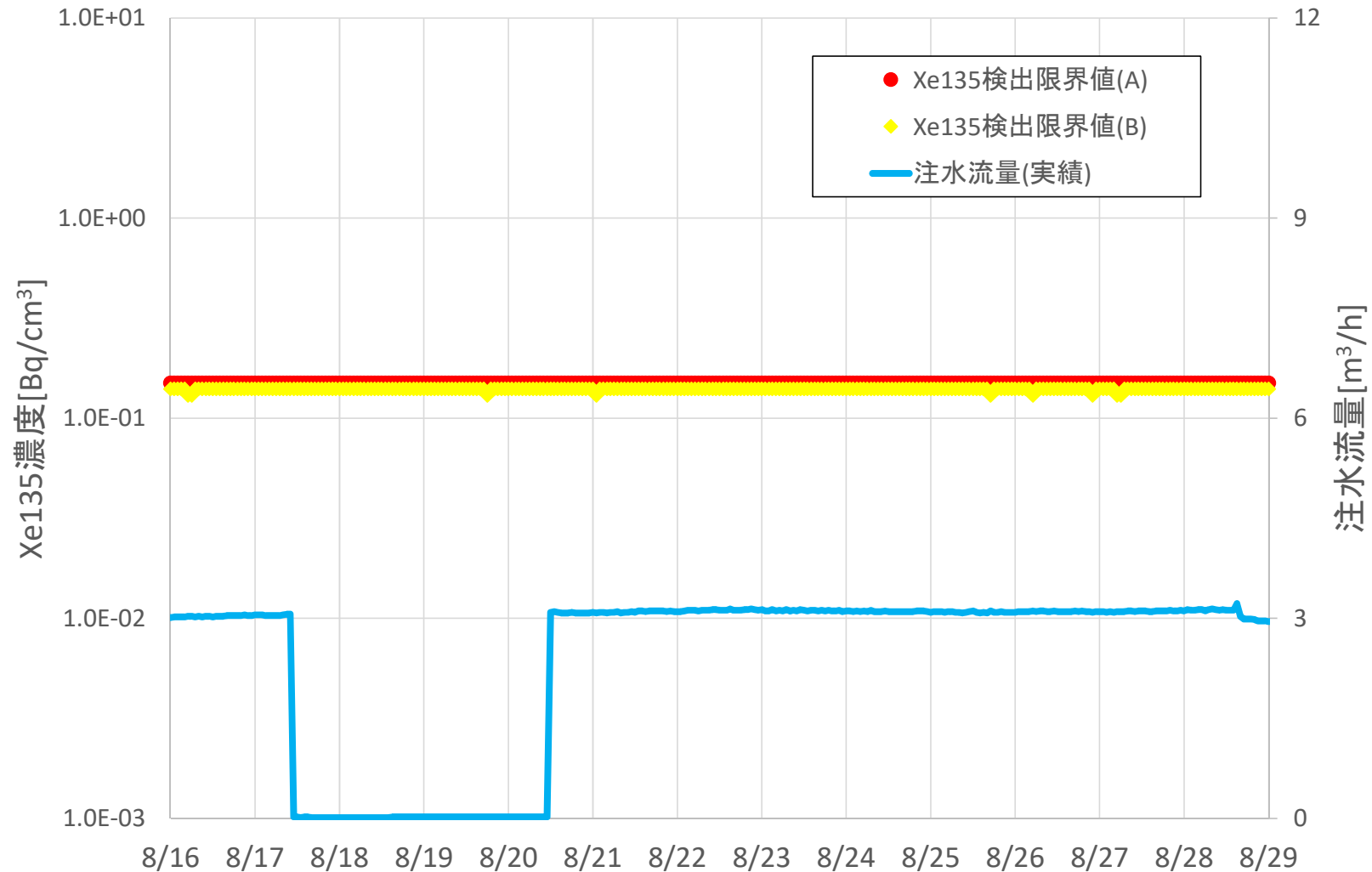
- STEP 2（注水停止）：注水停止に伴うD/W圧力変動は認められず。



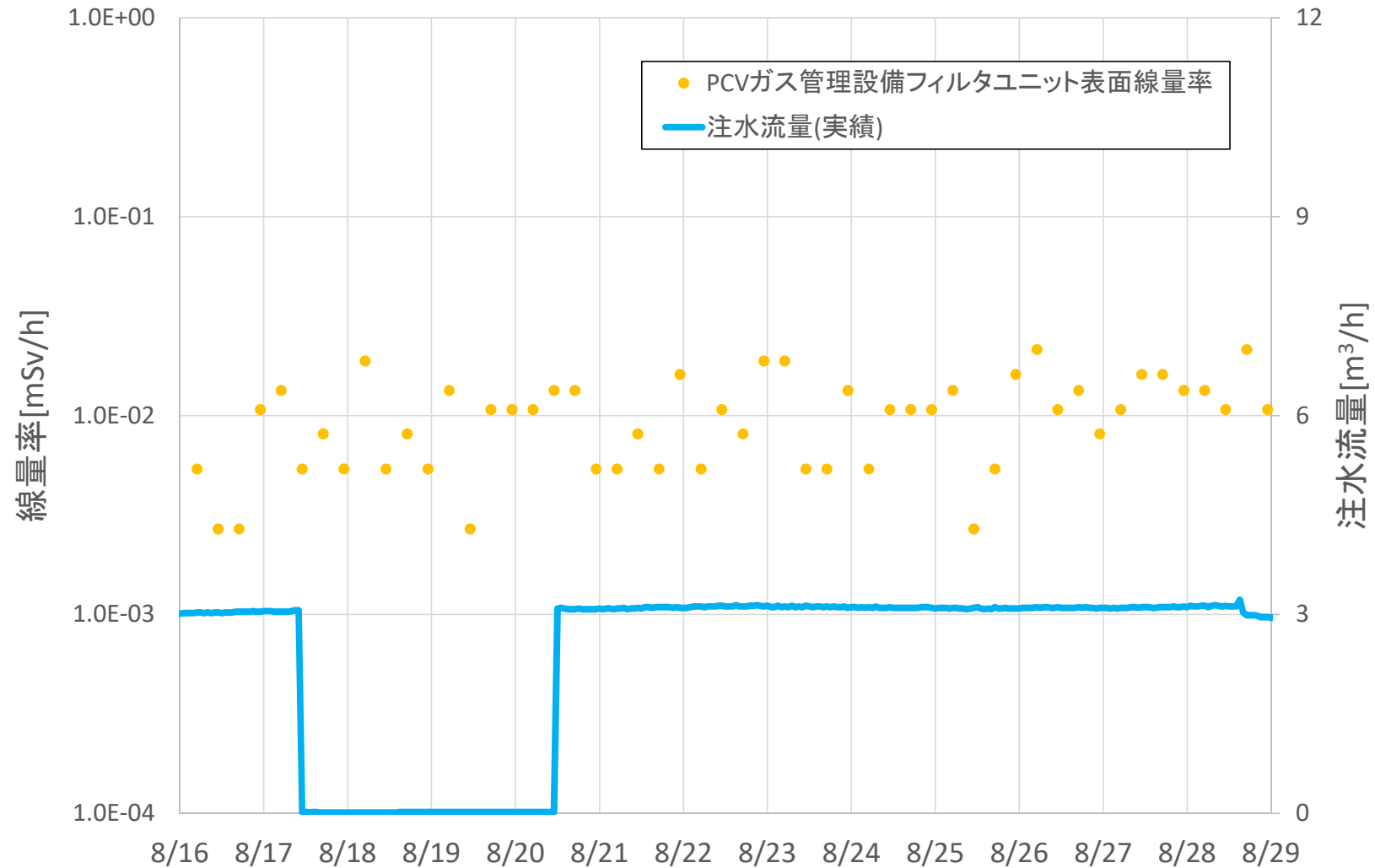
- ダストモニタの指示値に有意な上昇なし。
(期間中、検出限界未満であり検出限界値をプロット)



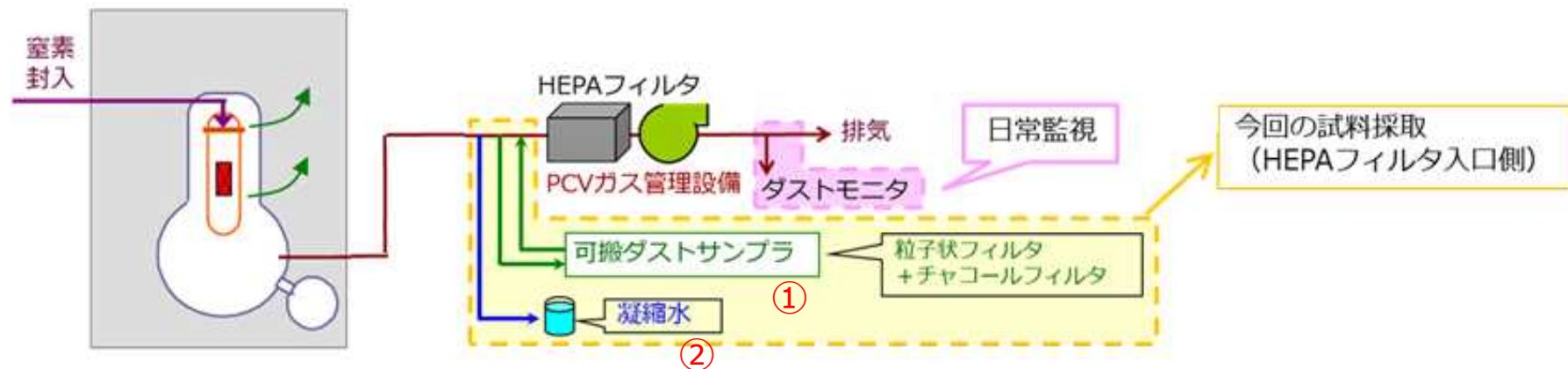
- Xe135の指示値に有意な上昇なし。
(期間中、検出限界未満であり検出限界値をプロット)



- フィルタユニット表面線量率に有意な変動なし。



- 炉内挙動を評価するためのデータ拡充の観点から、原子炉注水停止前及び注水停止中に、PCVガス管理設備のHEPAフィルタを通過する前のダスト等を採取し分析した。
- ①HEPAフィルタ入口側のダスト、②凝縮水ともに、注水停止中に採取した試料で全α核種等の濃度上昇を確認。
- HEPAフィルタ通過後のダストモニタの指示値に有意な上昇なし。（14ページ）
- 注水停止中の濃度上昇は、D/W内の相対湿度の低下に伴いPCVからのダスト放出が増加した可能性や、過去に測定した値と同程度であり、変動の範囲内である可能性。



採取試料の分析結果 ①HEPAフィルタ入口側ダスト

- 2号PCVガス管理設備HEPAフィルタ入口側ダストを採取。
- 注水停止試験中に、ダストの全α、Cs濃度の上昇を確認。
- HEPAフィルタ通過後のダストモニタの指示値に有意な上昇なし。（14ページ）

（単位：Bq/cm³）

分析項目	半減期	過去の採取 (注水量低減後 4.5→3.0m ³ /h)	昨年度試験 (注水停止:8時間)	今年度試験前	注水停止試験中
		2017.5.17採取	2019.5.13採取	2020.8.6採取	2020.8.19採取
全α	—	3.7E-08	ND (< 5.6E-09)	ND (< 5.8E-09)	1.4E-08
全β	—	3.9E-04	ND (< 4.8E-08)	7.6E-05	4.2E-04
Cs-134	約2年	4.5E-06※ ¹	ND (< 4.5E-07)	ND (< 2.2E-07)	1.8E-05
Cs-137	約30年	2.8E-05	ND (< 5.5E-07)	1.8E-06	3.1E-04
その他 γ核種※ ²	—	Co-60 3.4E-7 ※ ¹	ND	ND	Sb-125 8.0E-06

※¹ 未検証の測定結果であるため参考値

※² Cr-51、Mn-54、Co-58、Fe-59、Co-60、Ag-110m、Sb-125、I-131、Ce-144、Eu-154、Am-241

採取試料の分析結果 ②凝縮水

- 2号PCVガス管理設備HEPAフィルタ入口側凝縮水を採取。
- 注水停止試験中における、全αの上昇を確認。γ核種等は若干の上昇。
- HEPAフィルタ通過後のダストモニタの指示値に有意な上昇なし。（14ページ）
(単位：Bq/cm³)

分析項目	半減期	過去の採取 (注水量低減後 4.5→3.0m ³ /h)	昨年度試験 (注水停止:8時間)	今年度試験前	注水停止試験中
		2017.5.17採取	2019.5.13採取	2020.8.6採取	2020.8.19採取
全α	—	ND (< 8.6E-03)	2.5 E -02	ND (< 4.3E-03)	4.2E-02
全β	—	(分析未実施)	1.1 E +02	2.3E+01	3.1E+01
H-3	約12年	8.1E+02	1.2E+03	5.7E+02	5.7E+02
Sr-90	約29年	2.1E+01	4.6E+01	1.3E+01	2.0E+01
Cs-134	約2年	6.0E-01※ ¹	3.5E+00	1.5E-01	2.6E-01
Cs-137	約30年	4.2E+00	4.4E+01	2.8E+00	4.6E+00
Sb-125	約3年	3.4E-01※ ¹	3.7E-01	1.5E-01	4.8E-01
Co-60	約5年	2.7E-02※ ¹	7.7E-02	1.9E-02	1.1E-01
その他 γ核種※ ²	—	ND※ ¹	ND	ND	ND

※ 1 未検証の測定結果であるため参考値

※ 2 Cr-51、Mn-54、Co-58、Fe-59、Ag-110m、I-131、Ce-144、Eu-154、Am-241

【試験結果】

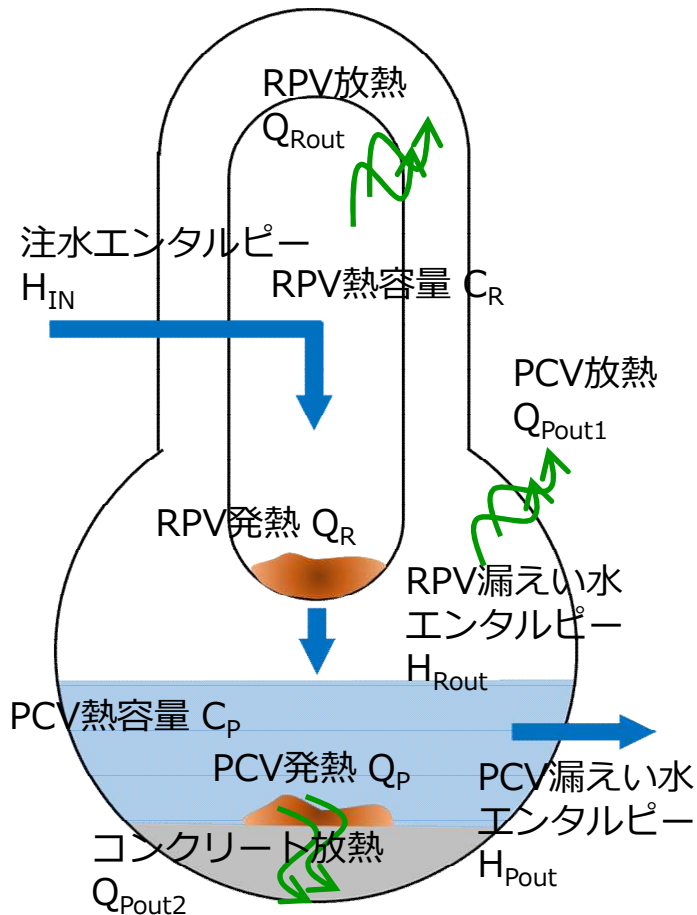
- 3日間の注水停止では、RPV底部温度（TE-2-3-69R）の温度上昇率はほぼ一定。この範囲では、熱バランス評価による計算値は実測値をよい精度で再現。
- 注水停止中にD/W圧力の低下、注水再開後にD/W圧力の上昇を確認。D/W圧力の低下量は約1kPaであったが、圧力変化がPCV内の乾燥によるものであれば、20%程度の相対湿度の変化に相当。
- 注水停止中に採取した、HEPAフィルタ入口側のダスト、凝縮水で濃度上昇を確認。
 - D/W内の相対湿度低下によるダスト放出増加の可能性
 - 過去に測定した値と同程度であり、変動の範囲内である可能性

【今後】

- 注水停止中の熱バランス評価による計算値は実測値をよい精度で再現しており、本結果を踏まえて、今後の注水のあり方（注水量の更なる低減など）を検討していく。

(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

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

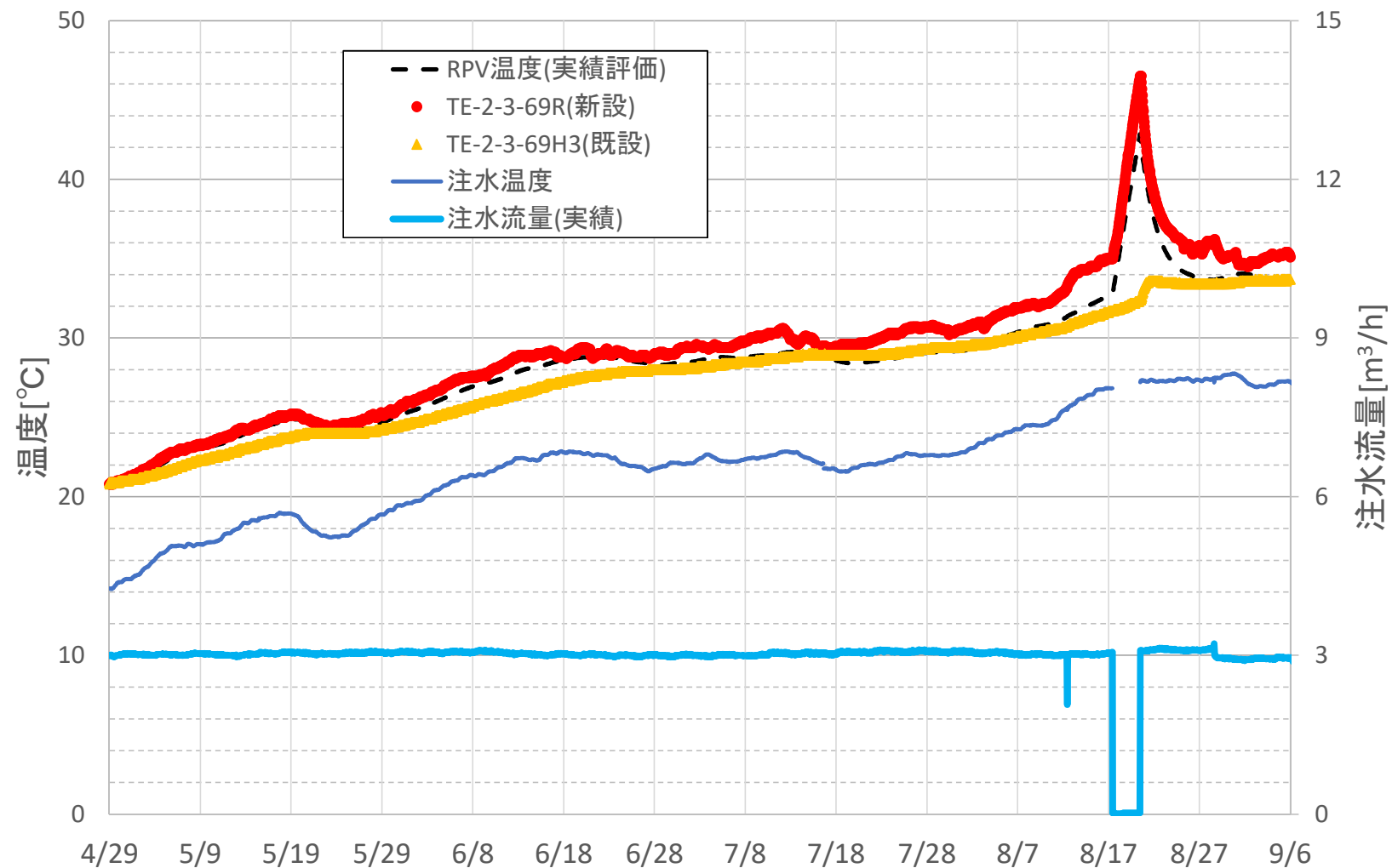
$$T_{RPV}(i+1) = T_{RPV}(i) + \Delta T_R$$

(2) PCVのエネルギー収支と温度変化の計算式

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

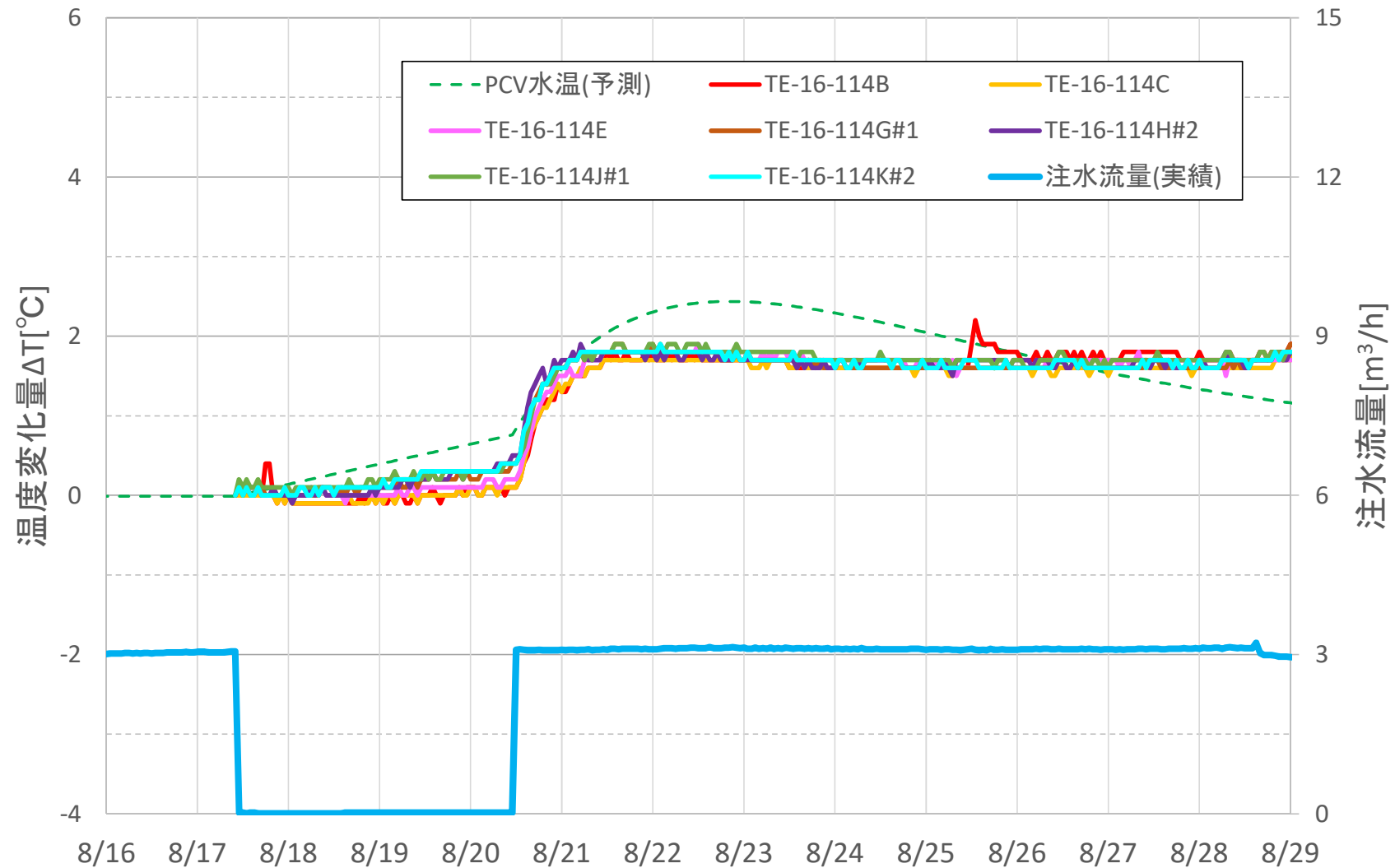
$$T_{PCV}(i+1) = T_{PCV}(i) + \Delta T_P$$

- より長期間のRPV底部温度の挙動も再現できている。

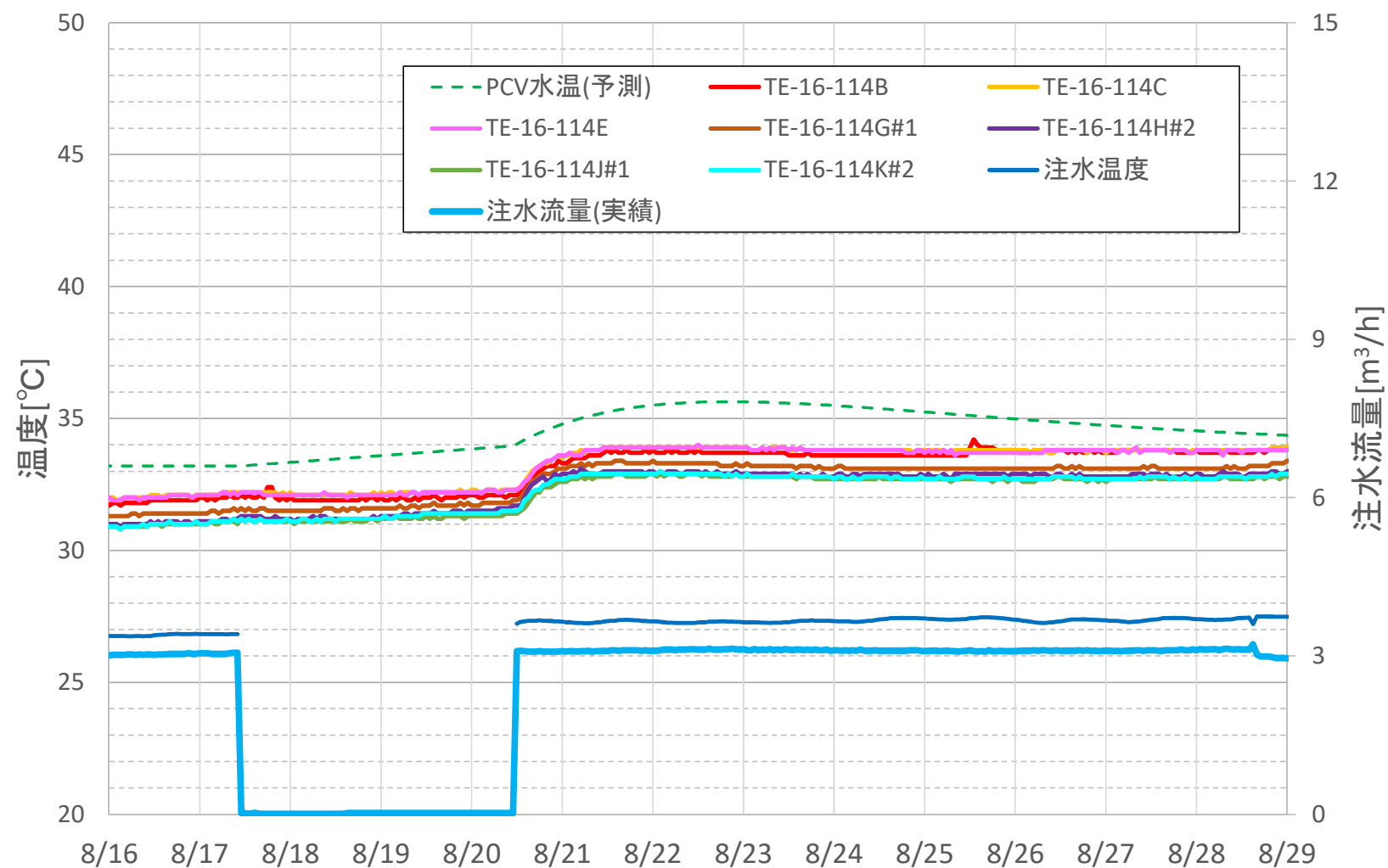


(参考) PCV温度(既設)の推移 (試験開始からの温度変化量)

- PCV新設温度計のTE-16-007、008と同様の傾向であった。

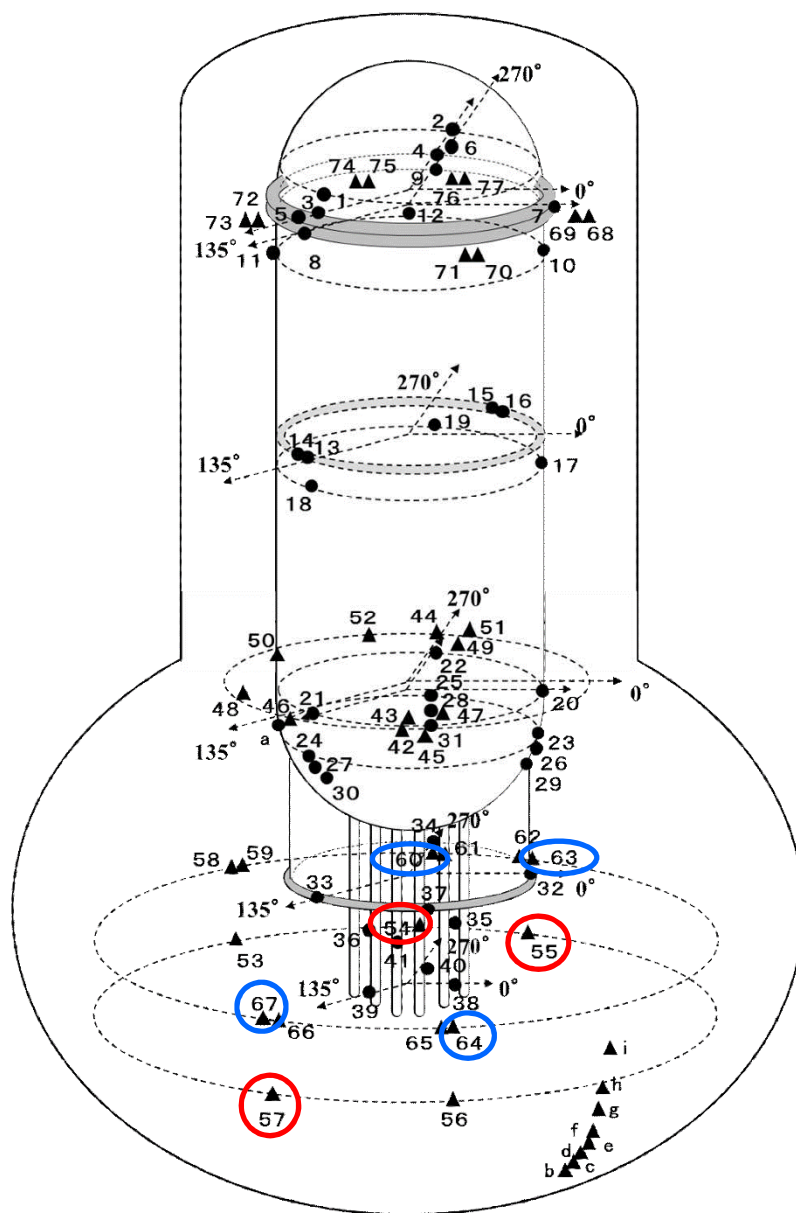


(参考)PCV温度(既設)の推移 (実測値)



※予測温度は試験開始時の実績温度(TE-16-001)を基準としている

(参考) PCV温度計(既設)設置位置



サービス名称	Tag No.	No.
RETURN AIR DRYWELL COOLER	TE-16-114B、C、E	54、55、 57
SUPPLY AIR D/W COOLER	TE-16-114G#1、 H#2、J#1、K#2	60、63、 64、67