

3号機原子炉注水停止試験結果

2021年6月24日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

■ 試験目的（3号機：注水停止7日間）

- ✓ 注水停止により、PCV水位が主蒸気配管伸縮継手部下端を下回るかどうかを確認する。

（補足）

- 2019年度の試験では、PCVからの漏えいを確認している主蒸気配管伸縮継手部下端までPCV水位は低下しなかった
- PCV水位の低下有無や低下速度等を踏まえ、今後の注水のありかたを検討していく

■ 試験結果概要

- ✓ 注水停止：2021年4月9日～4月16日までの7日間。（4/23試験終了）

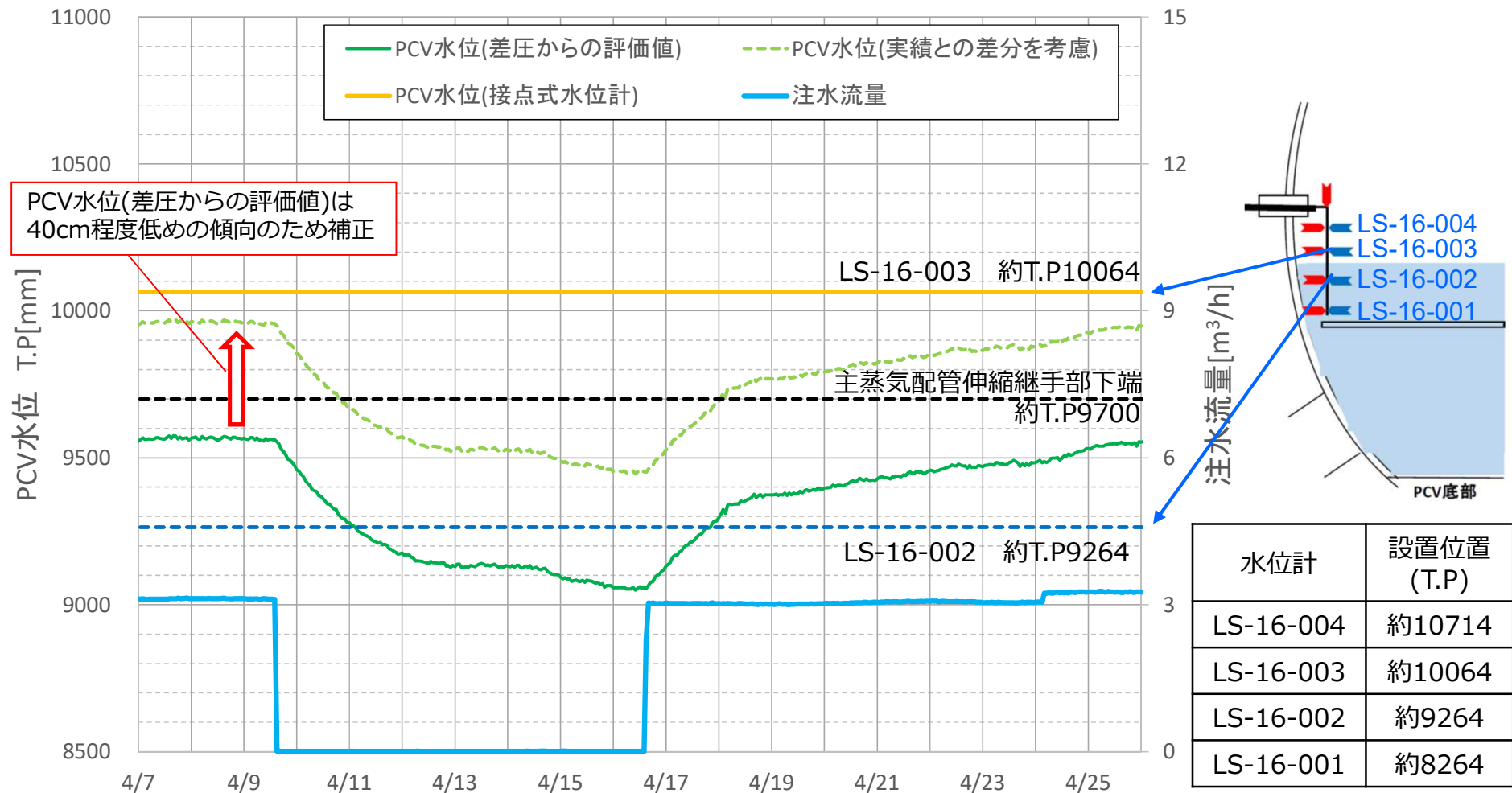
注水停止：2021年4月9日14:39

注水再開：2021年4月16日15:24

- PCV水位は、注水停止後、4月13日頃までは低下幅が大きかったが、以降の低下は緩やかとなる傾向であった。
（差圧からの評価値で約50cm程度、PCV水位が低下）
- PCV水位は、主蒸気配管伸縮継手部下端を下回っているが、当該高さ付近で低下傾向が緩やかとなっており、主要な漏えいは当該高さ付近に存在すると考えられる。
- 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。
- ダスト濃度や希ガス（Xe135）濃度に有意な変動なし。

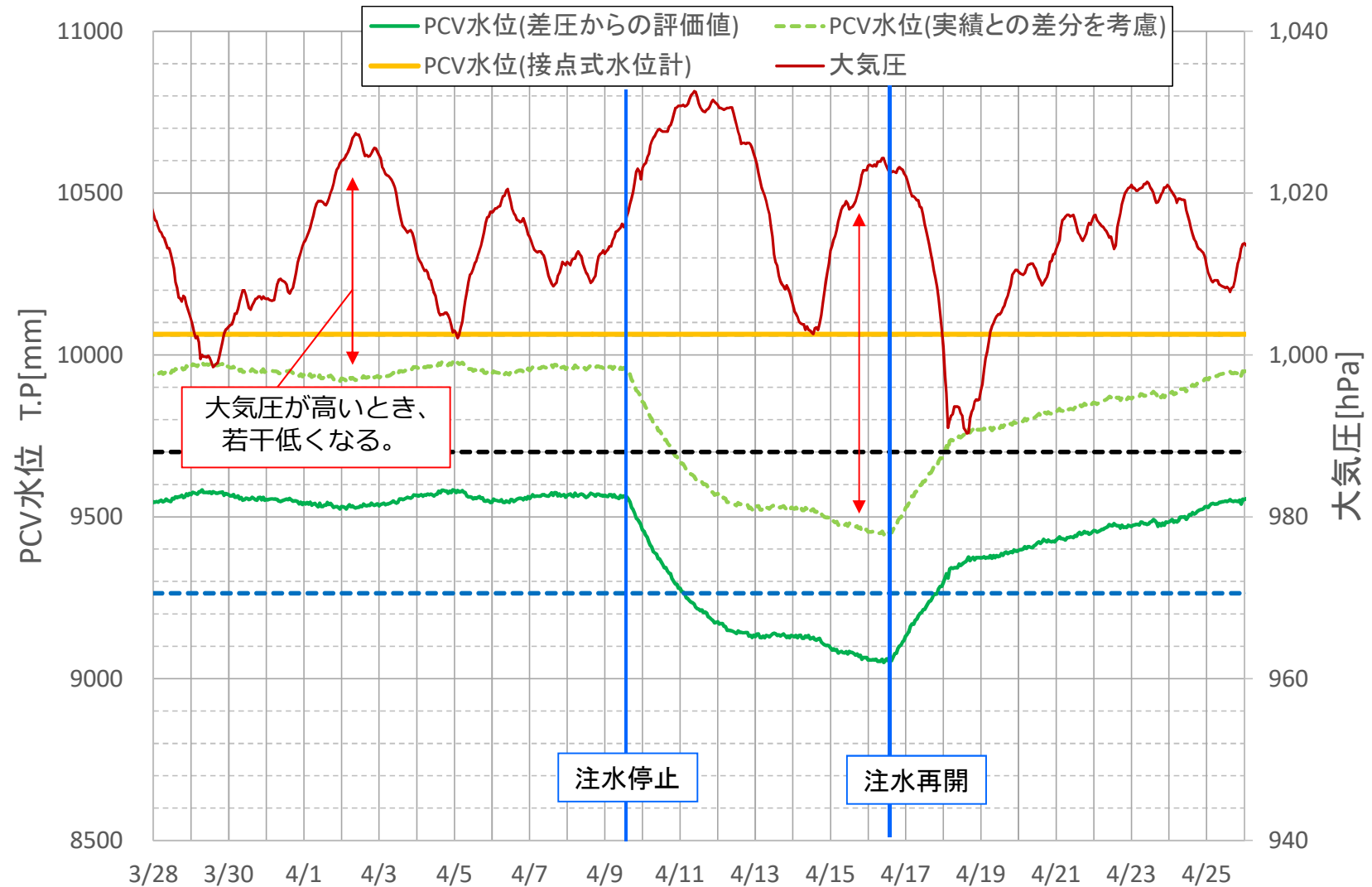
2-1. PCV水位の挙動

- 注水停止後、PCV水位は、4月13日頃までは低下幅が大きかったが、以降の低下は緩やかとなる傾向。（差圧からの評価値で約50cm程度、PCV水位が低下）



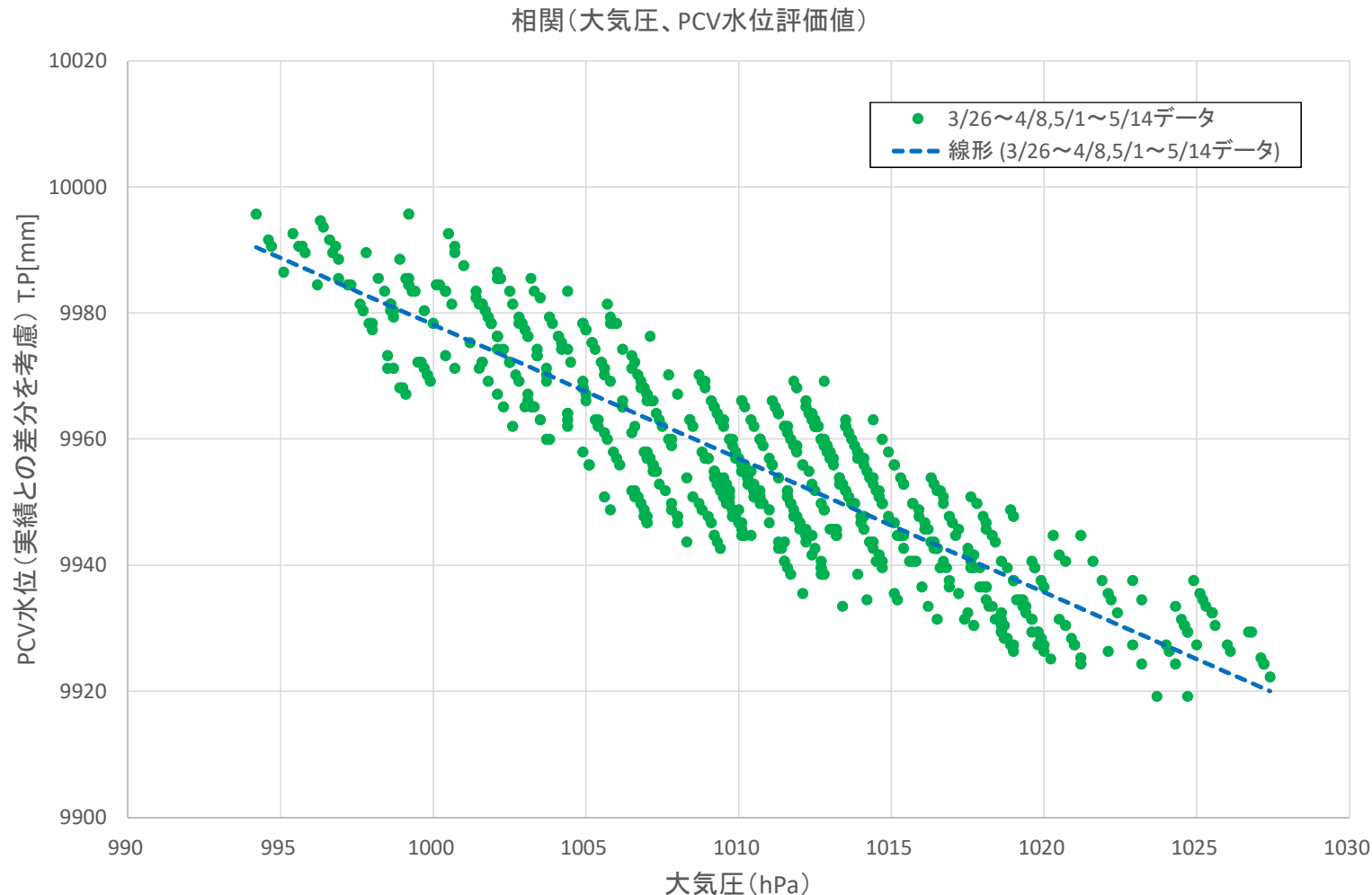
【参考】PCV水位変化と大気圧変化

- 大気圧が高いときに、評価値のPCV水位が若干低くなる。



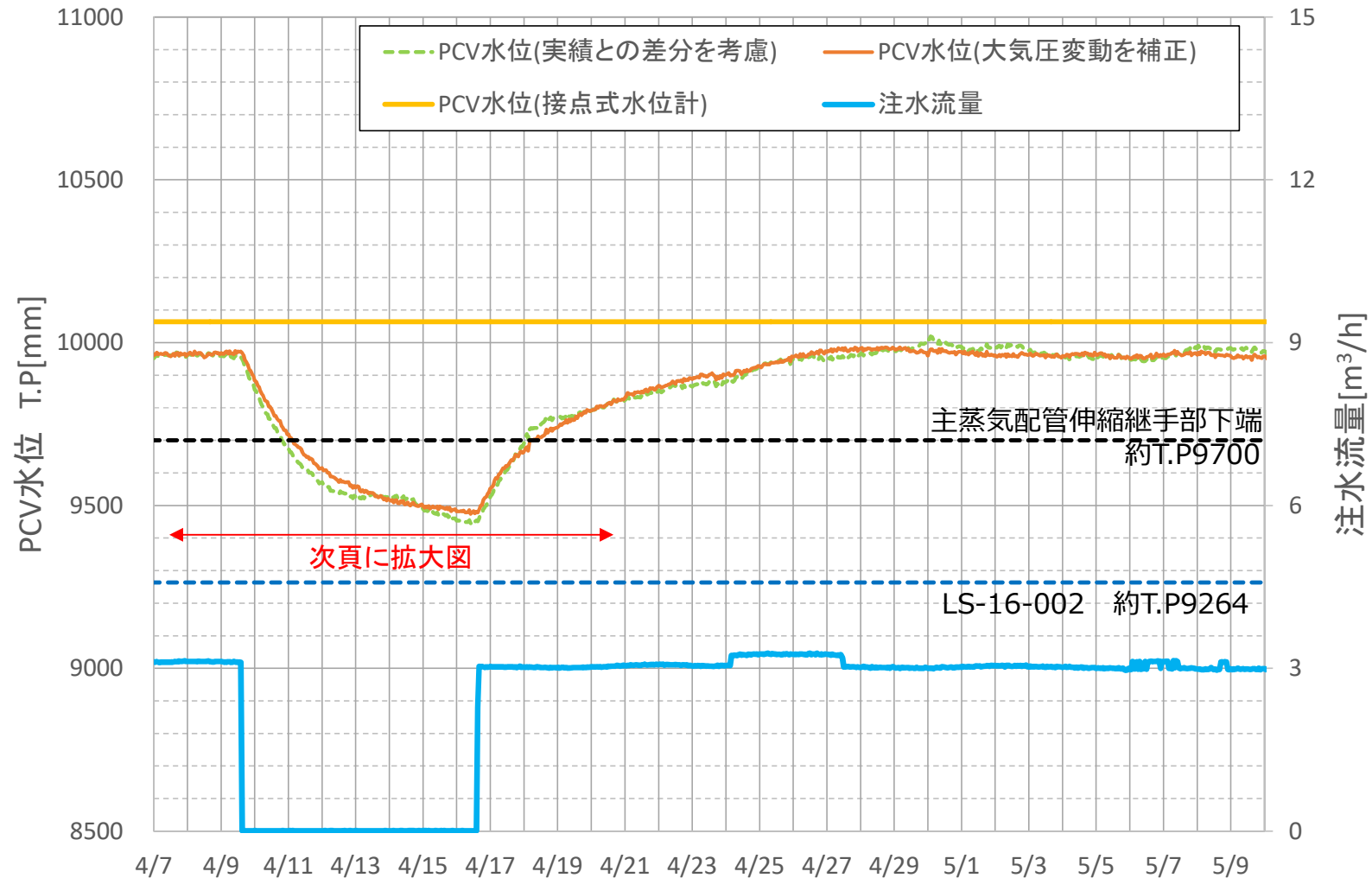
2-2. PCV水位（差圧からの評価値）と大気圧の相関

- 注水停止試験前の2週間（3/26～4/8）及び、注水再開後PCV水位安定後の2週間（5/1～5/14）のPCV水位と大気圧の相関を確認。
- 大気圧変動とPCV水位に相関があることを確認。



2-3. 大気圧変動を補正したPCV水位の挙動（1 / 2）

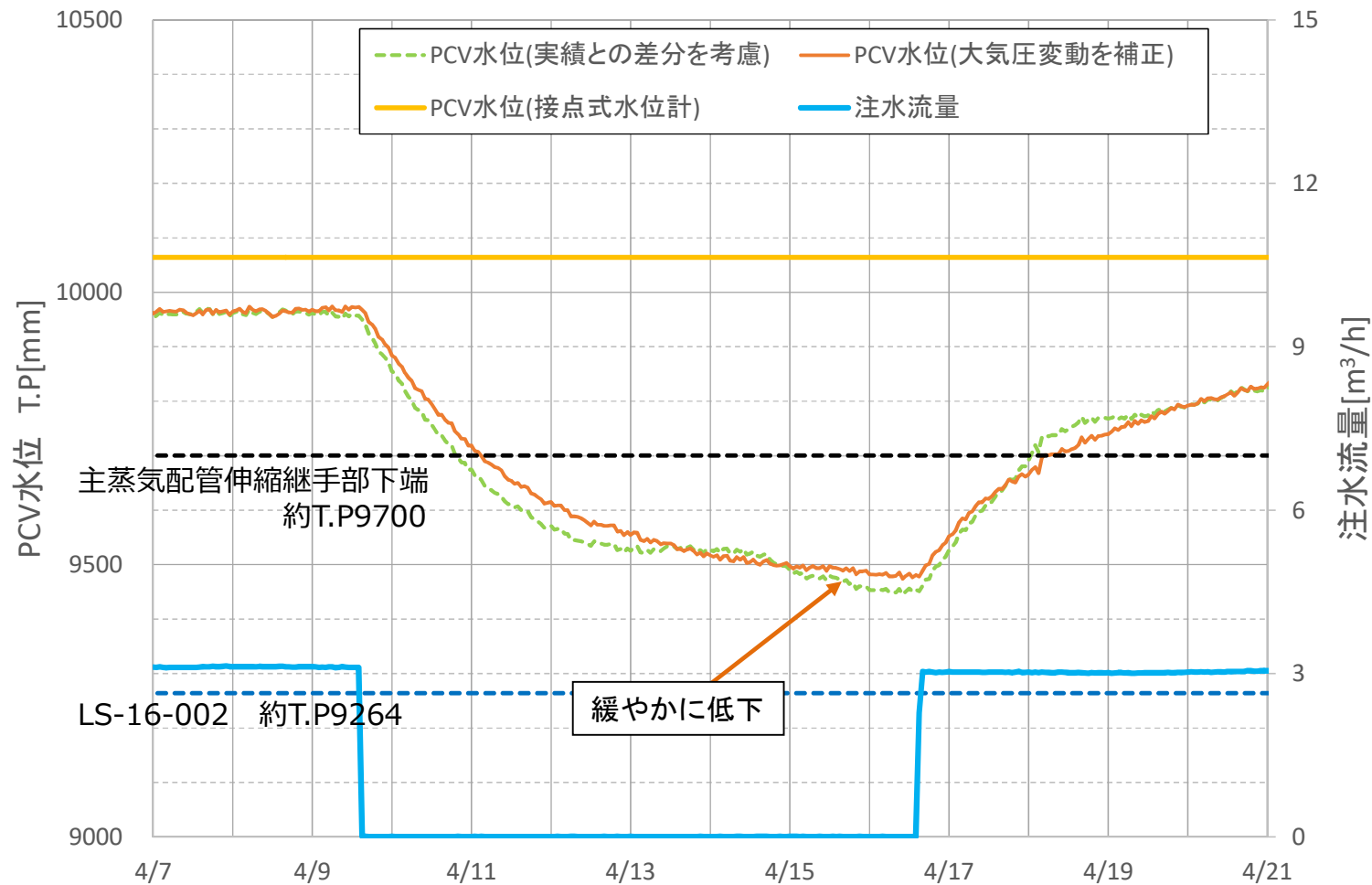
- 大気圧とPCV水位の相関から、注水停止中のPCV水位変化の補正を実施。（次頁に注水停止期間の拡大図を掲載）



※大気圧1010hPaを基準に補正

2-4. 大気圧変動を補正したPCV水位の挙動（2 / 2）

- 大気圧変動によるPCV水位の変化を補正したところ、注水再開直前まで、PCV水位は緩やかに低下していたと考えられる。

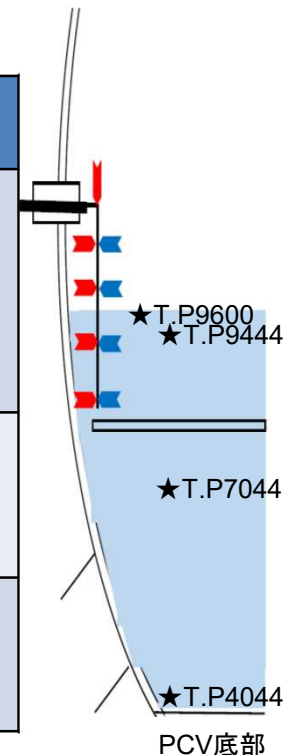


※大気圧1010hPaを基準に補正

2-5. PCV水位の評価

- 注水再開直前まで、PCV水位は緩やかに低下していたと考えられることから、漏えい高さ等を仮定して、水位の挙動を評価した。
- 下表の例1～例3は、漏えい高さ等の仮定に応じて、実績の水位挙動を再現するようにパラメータを設定した値である（実際の漏えい箇所を示すものではない）。

	水位評価：例1		水位評価：例2		水位評価：例3	
	主要な漏えいを仮定	PCV底部からの漏えいを仮定	主要な漏えいを仮定	今回の経験水位よりも少し下からの漏えいを仮定	主要な漏えいを仮定	例1と例2の間の高さからの漏えいを仮定
漏えい高さ (T.P)	9600	4044 (PCV底部)	9600	9444 (水位5.4m)	9600	7044 (水位3m)
漏えい口 (cm ²)	2.8	0.1	2.25	0.8	2.7	0.14



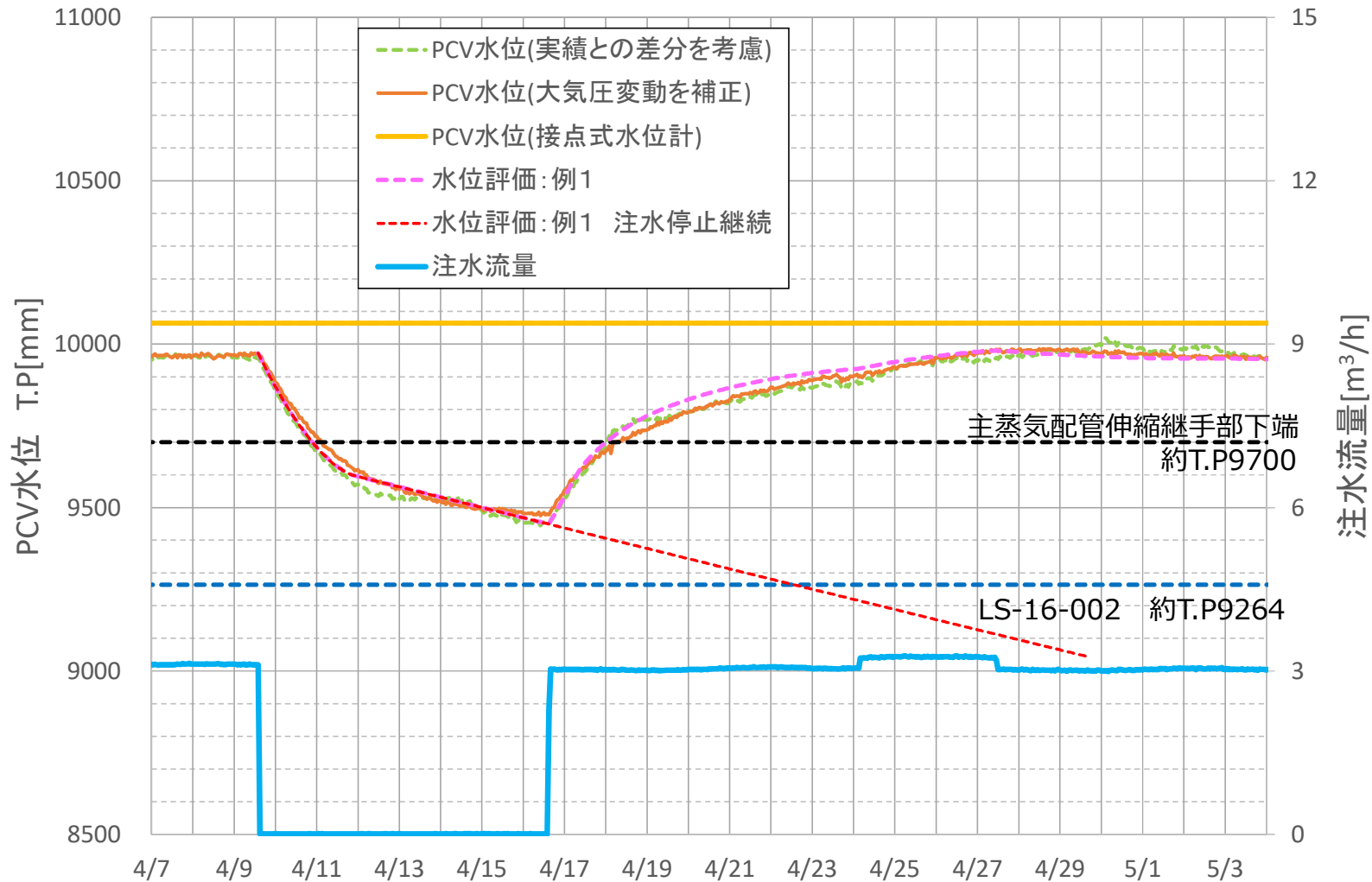
- PCV水位評価は、下記の式により評価

$$Q = \sqrt{2g(H - h)} \times S$$

漏えい量：Q、重力加速度：g、PCV水位：H、漏えい高さ：h、漏えい口面積：S
 なお、水の粘性等は考慮していない。

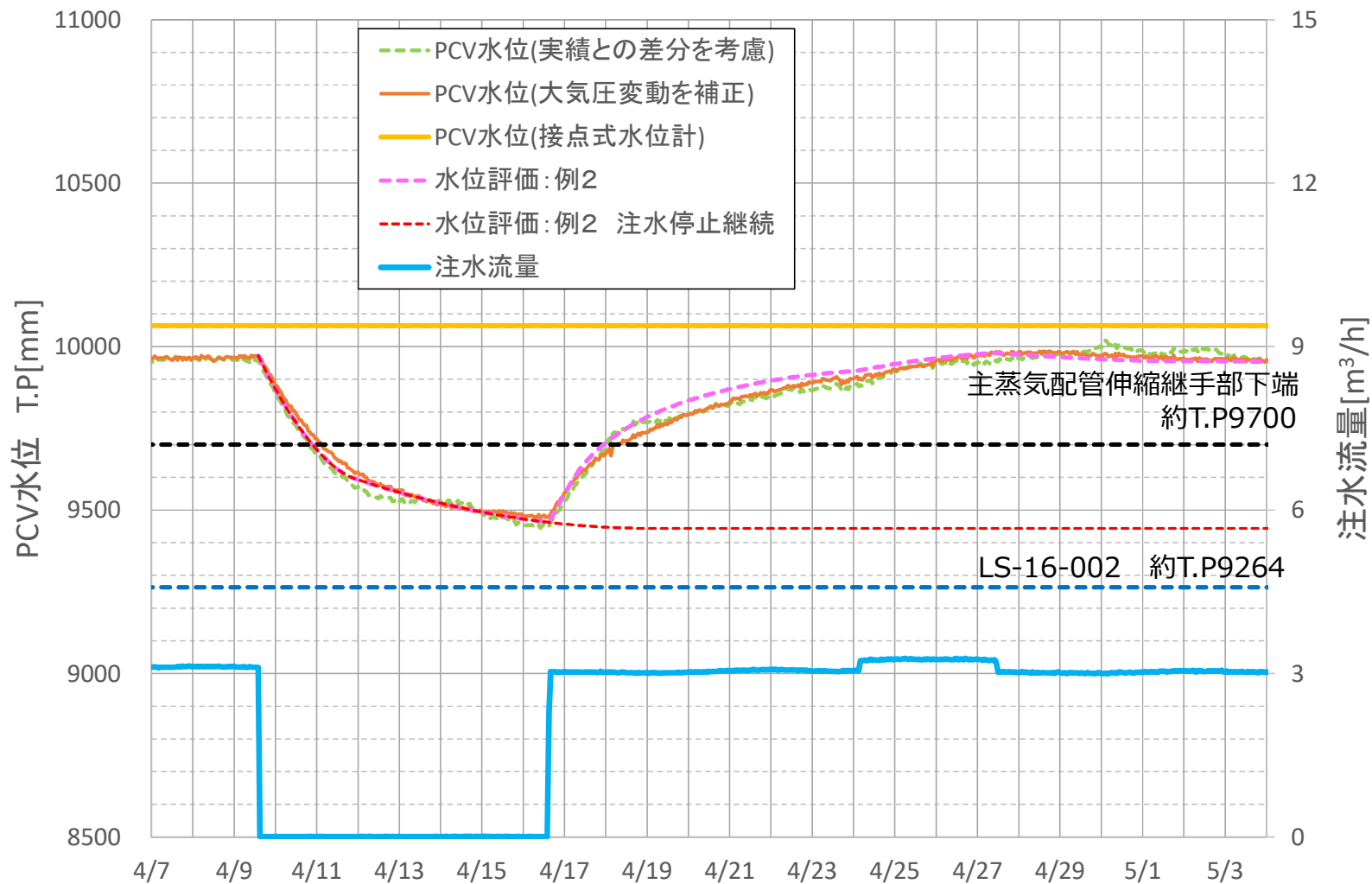
2-6. 水位評価 例 1

- PCV底部（T.P4044）からの漏えいを仮定。ある程度、実績水位の再現が可能。ただし、注水再開後の水位上昇が若干早い。



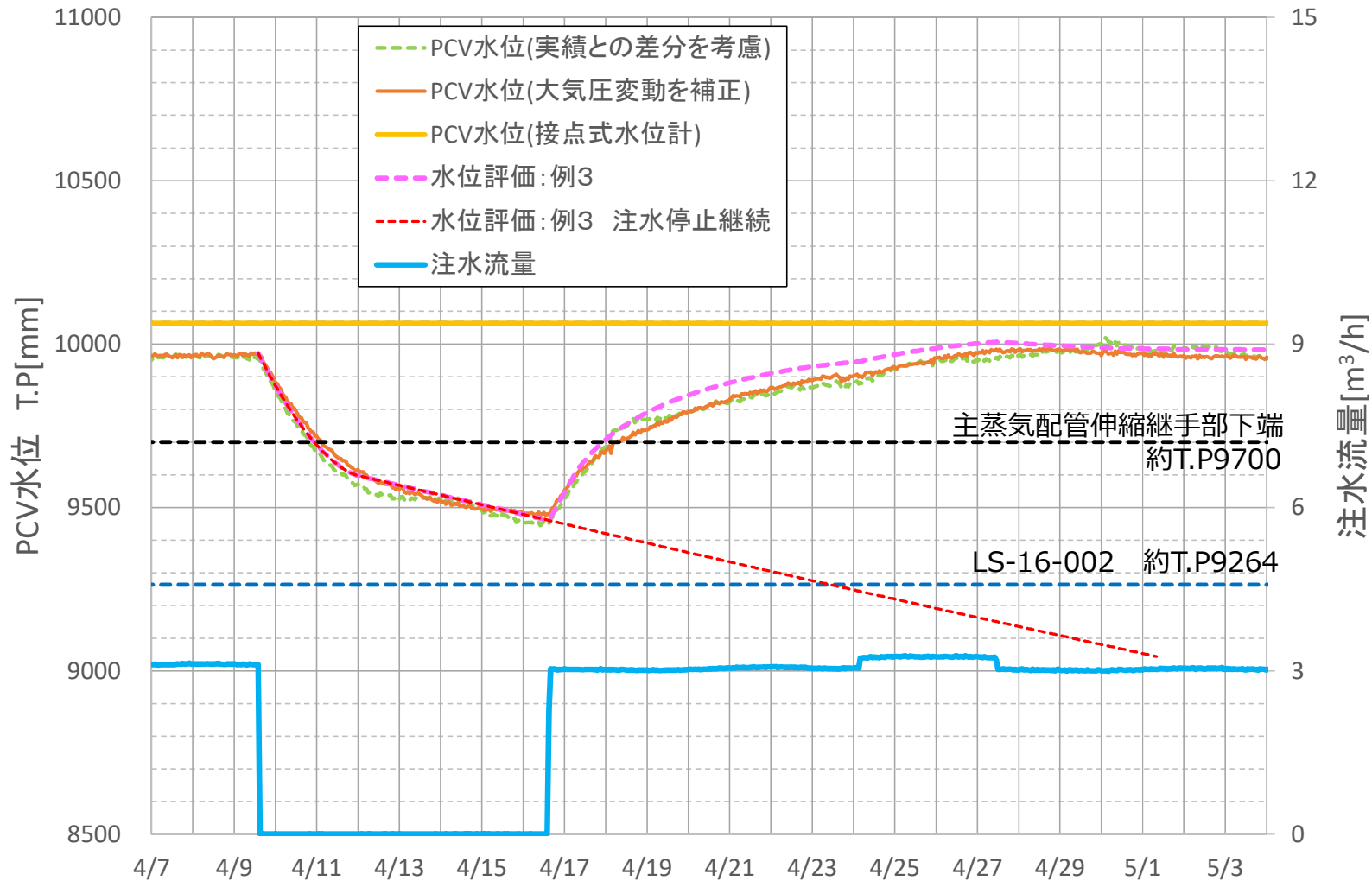
2-7. 水位評価 例2

- 今回の経験水位よりも少し下（T.P9444）からの漏えいを仮定。ある程度、実績水位の再現が可能。ただし、注水再開後の水位上昇が若干早い。
- 例1及び例3（次頁）と比較して、注水停止後半の推移の再現がよい。



2-8. 水位評価 例 3

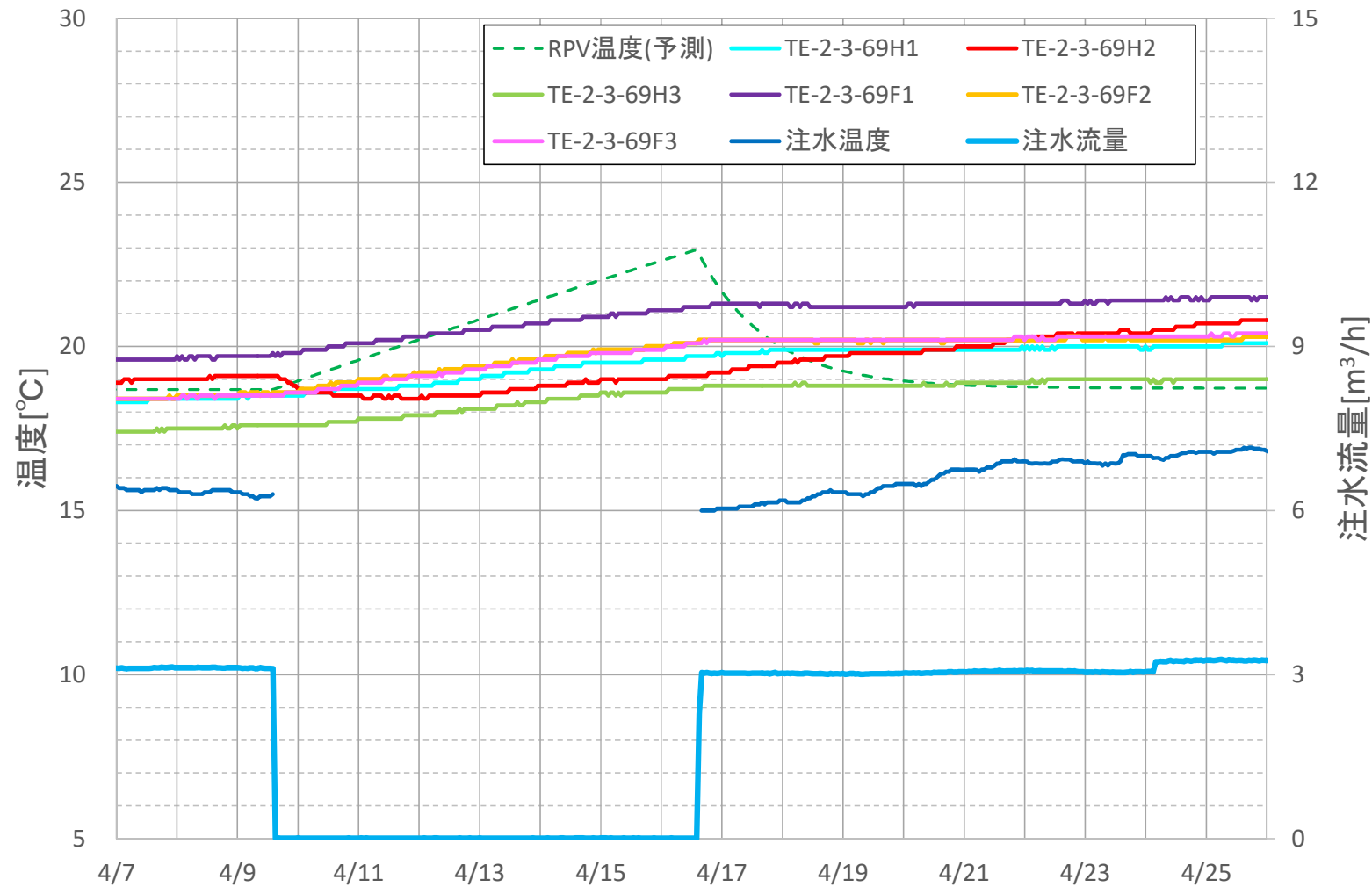
- 例 1 と例 2 の間の高さ (T.P7044) からの漏えいを仮定。ある程度、実績水位の再現が可能。ただし、注水再開後の水位上昇が若干早い。



- PCV水位は、主蒸気配管伸縮継手部下端を下回っているが、当該高さ付近で低下傾向が緩やかとなっており、主要な漏えいは当該高さ付近に存在すると考えられる。
- 大気圧変動によるPCV水位の変化を補正したグラフから、注水再開直前までPCV水位は緩やかに低下していたと考えられる。
- T.P9600からの主要な漏えいの仮定と、今回の水位低下範囲よりも下部からの漏えいの仮定（例1～例3）により水位評価を行い、いずれのケースでもある程度の実績水位の再現は可能であることを確認。
 - なお、注水停止中の後半に関して、実績では低下傾向が緩やかになっているが、当該挙動の再現は例2に近い。
 - 注水再開後の挙動に関して、いずれのケースでも、水位上昇が早くなっている。この差分の可能性として、例えば、T.P9600に仮定した主要な漏えいの漏えい口が、実際には縦(高さ)方向に細長く広がっているなど、高さに応じた漏えいが存在するなどが考えられる。

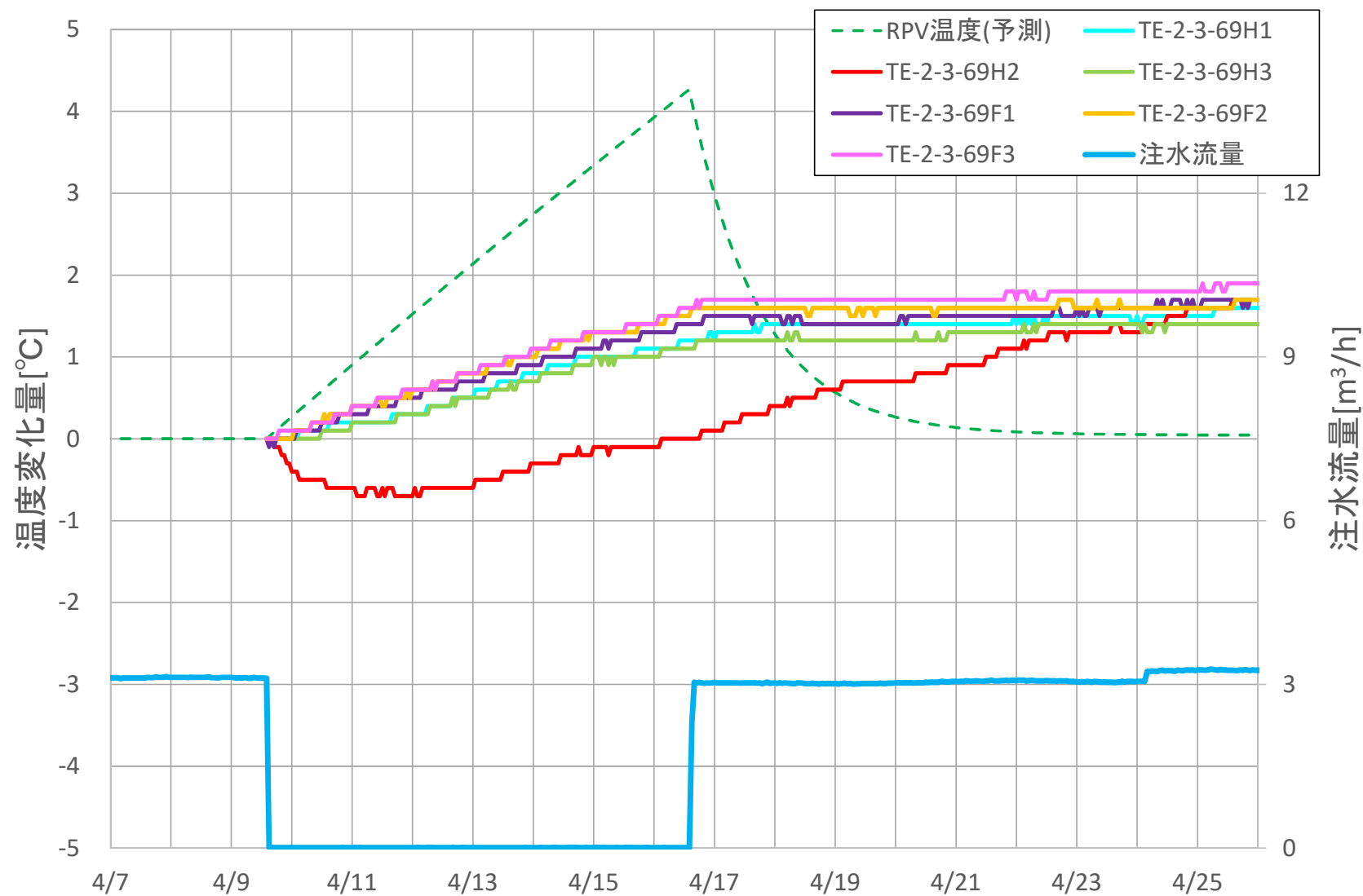
3-1. RPV底部温度の推移（実測値）

- RPV底部温度の上昇は、小さい。
- TE-2-3-69H2が、注水停止後に低下。



※予測温度は試験開始時の実績温度(RPV底部温度計の平均値)を基準としている

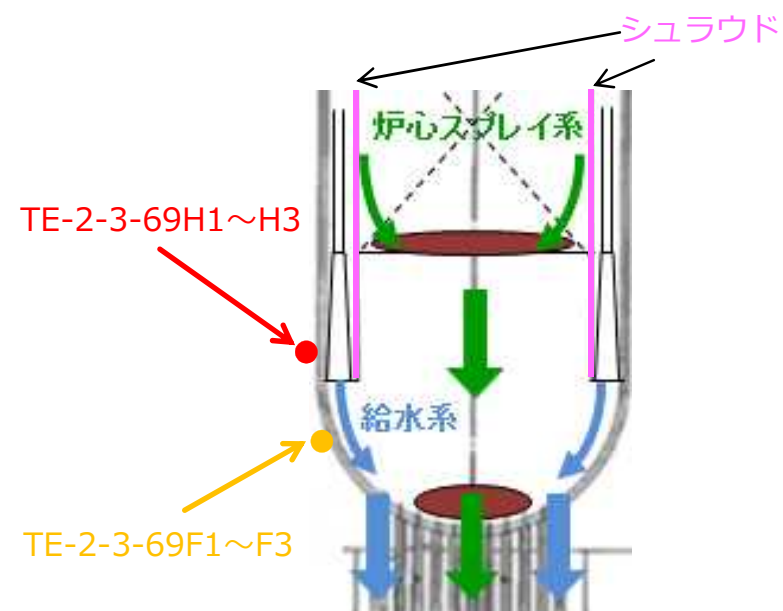
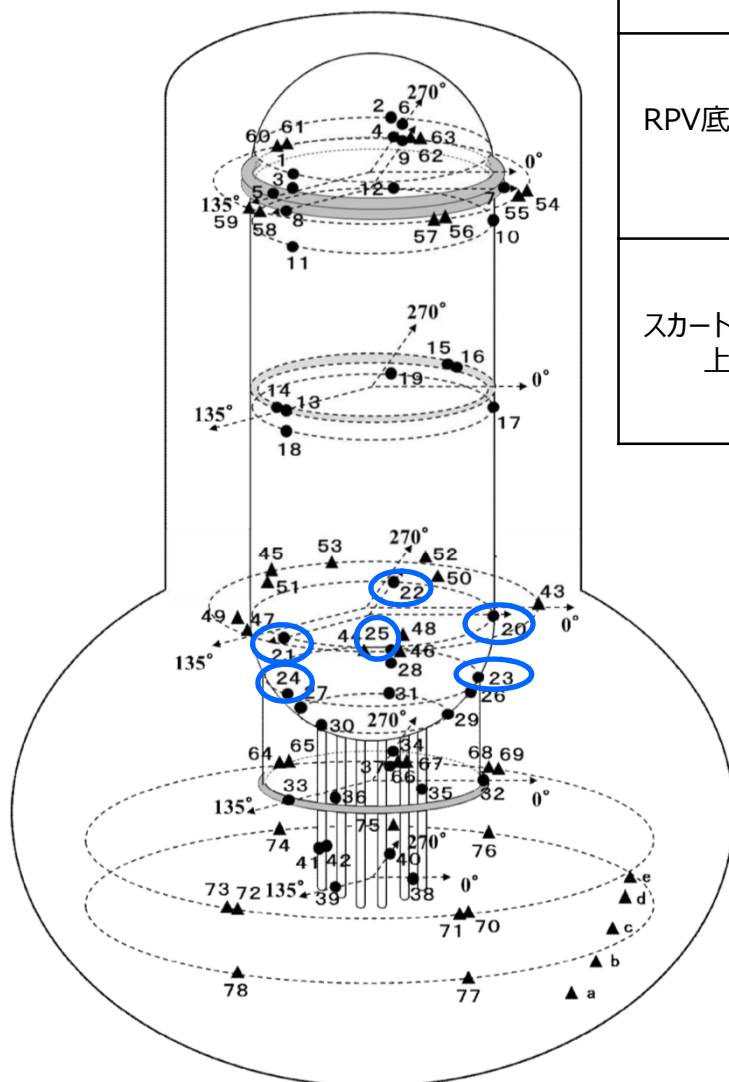
【参考】RPV底部温度の推移（試験開始からの温度変化量）



【参考】RPV底部温度の設置位置

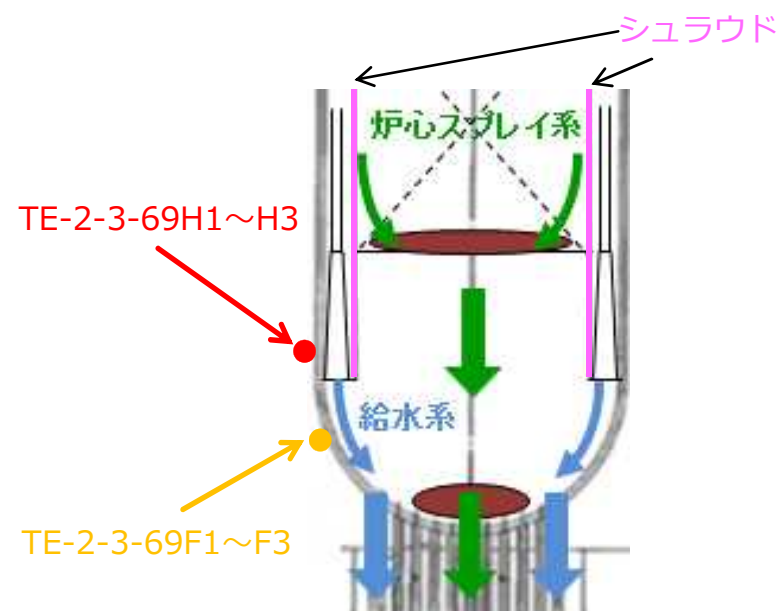
■ RPV底部温度計

サービス名称	Tag No.	No.	設置位置 (T.P)	設置 方向
RPV底部ヘッド上部 温度	TE-2-3-69H1	20	約15800	0°
	TE-2-3-69H2	21		135°
	TE-2-3-69H3	22		270°
スカートジャンクション 上部温度	TE-2-3-69F1	23	約14460	0°
	TE-2-3-69F2	24		135°
	TE-2-3-69F3	25		270°



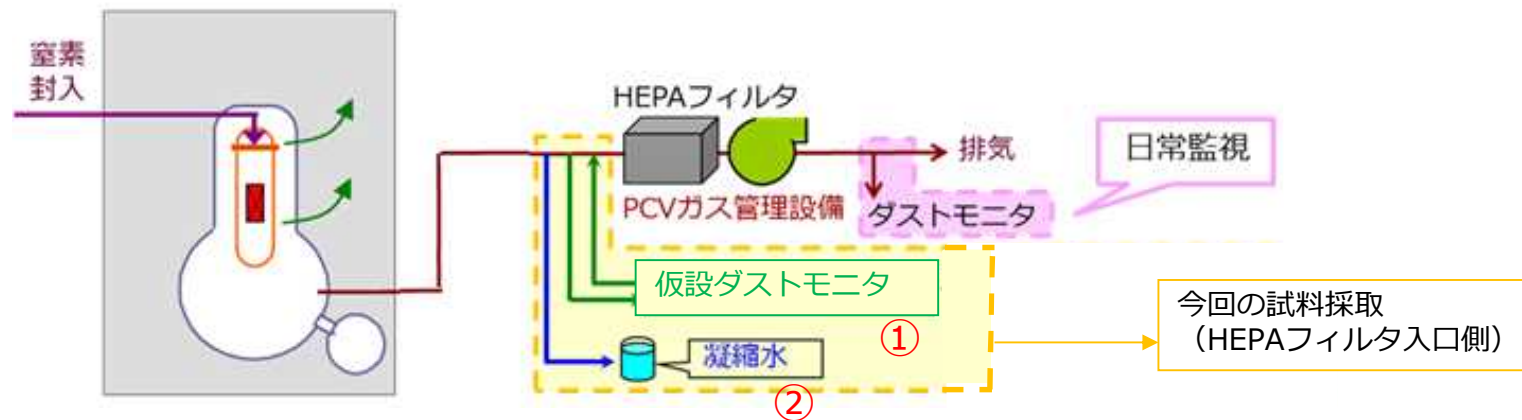
3-2. RPV底部温度（TE-2-3-69H2）の挙動について

- RPV底部ヘッド上部温度（TE-2-3-69H2）で、注水停止後に温度が低下。4月13日以降は、温度が緩やかに上昇し、注水再開後も温度上昇が継続した。
- TE-2-3-69H2の挙動は炉内の水の流れや空気の流れの影響を受けている可能性がある。
- 注水停止等で、温度挙動が変化していることから、炉内で局所的な水溜まりが形成され、溜まり水がデブリ等の熱源により温められ蒸発・対流している可能性がある。



4-1. 注水停止中の試料採取・分析

- 炉内挙動を評価するためのデータ拡充の観点から、原子炉注水停止試験前及び試験中に、PCVガス管理設備のHEPAフィルタを通過する前の①ダスト、②凝縮水を採取し分析。



4-2. 採取試料の分析結果 ①ダスト

- 3号PCVガス管理設備HEPAフィルタ入口側ダストを採取。
- 注水停止中、注水再開後の試料で全αの検出を確認。
- 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。(19ページ)

(単位 : Bq/cm³)

分析項目	半減期	前回試験前	前回試験中	今回試験前	注水停止中	注水再開後
		2020.1.31 採取	2020.2.4 採取	2021.3.23 採取	2021.4.15 採取	2021.4.21 採取
全α	—	ND ($<9.8\text{E-}09$)	ND ($<1.3\text{E-}08$)	ND ($<8.8\text{E-}09$)	2.8E-07	2.5E-08
全β	—	ND ($<2.7\text{E-}07$)	ND ($<2.7\text{E-}07$)	6.2E-07	3.0E-06	1.0E-06
Cs-134	約2年	ND ($<1.1\text{E-}07$)	ND ($<1.1\text{E-}07$)	ND ($<2.5\text{E-}07$)	1.2E-07	ND ($<2.1\text{E-}07$)
Cs-137	約30年	ND ($<9.9\text{E-}08$)	2.5E-07	1.4E-06	2.7E-06	1.3E-06
その他 γ核種※1	—	ND	ND	ND	ND	ND

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

4-3. 採取試料の分析結果 ②凝縮水

- 3号PCVガス管理設備HEPAフィルタ入口側凝縮水を採取。

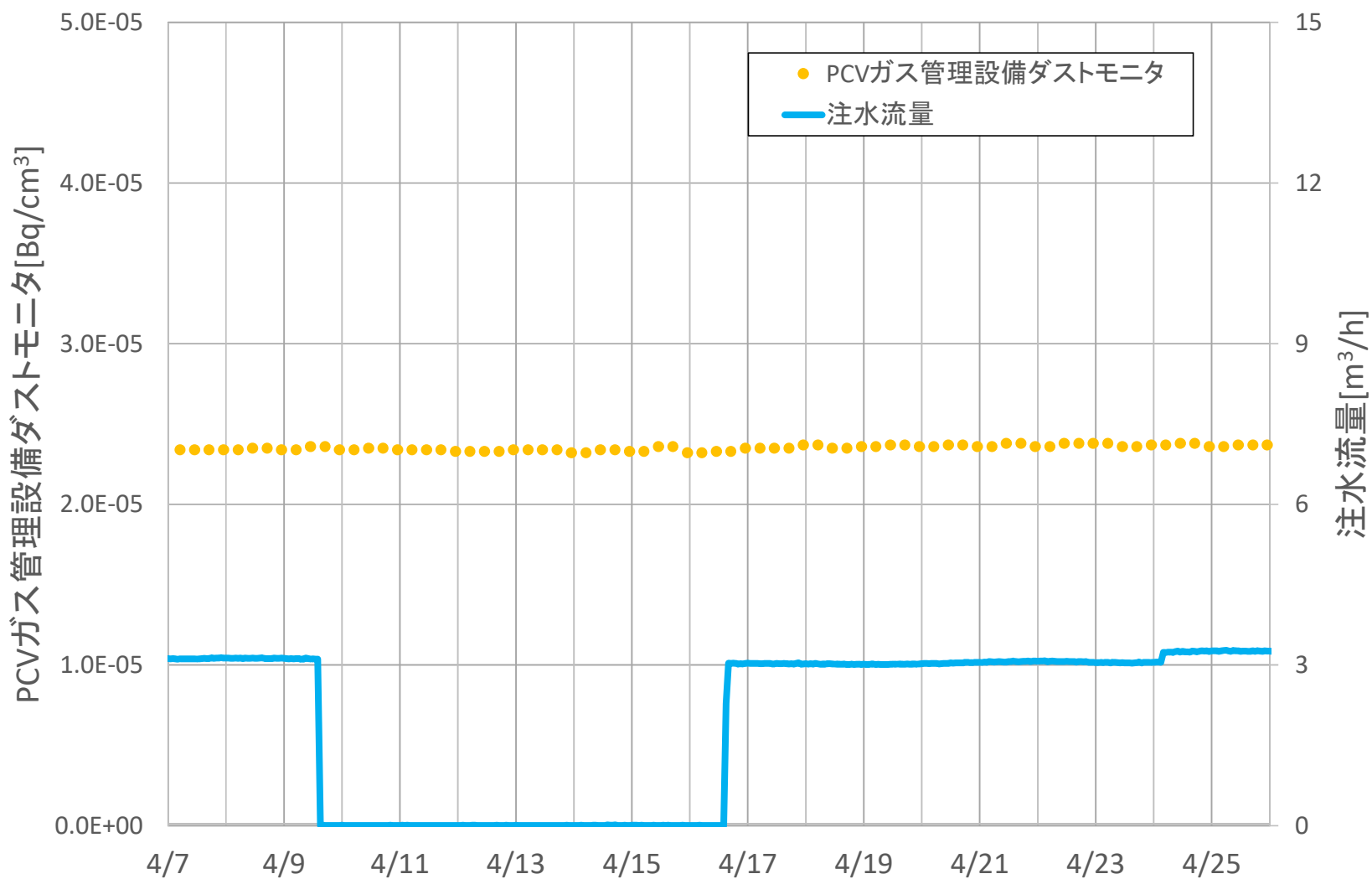
(単位 : Bq/cm³)

分析項目	半減期	前回試験前	前回試験中	今回試験前	注水停止中	注水再開後
		2020.1.31 採取	2020.2.4 採取	2021.3.23 採取	2021.4.15 採取	2021.4.21 採取
全α	－	ND ($<7.9\text{E-}03$)	ND ($<7.9\text{E-}03$)	1.5E-02	ND ($<1.6\text{E-}03$)	ND ($<1.6\text{E-}03$)
全β	－	4.5E+00	4.5E+00	5.2E+01	2.0E+01	2.0E+01
H-3	約12年	7.0E+02	6.9E+02	3.9E+02	3.4E+02	3.5E+02
Sr-90	約29年	4.4E+00	4.5E+00	2.5E+00	2.2E+00	2.6E+00
Cs-134	約2年	2.6E-01	2.7E-01	2.3E+00	8.8E-01	7.0E-01
Cs-137	約30年	3.8E+00	4.0E+00	5.1E+01	2.0E+01	1.7E+01
Co-60	約5年	8.2E-03	1.7E-02	3.6E-02	3.6E-03	3.5E-03
Sb-125	約3年	6.2E-02	1.1E-01	4.0E-01	ND ($<8.7\text{E-}02$)	ND ($<8.3\text{E-}02$)
その他 γ核種※1	－	ND	ND	ND	ND	ND

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

【参考】PCVガス管理設備 ダスト濃度の推移

- ダストモニタの指示値に有意な上昇なし。



5. 注水停止試験結果 まとめ

【試験結果】

- PCV水位は、主蒸気配管伸縮継手部下端を下回っているが、当該高さ付近で低下傾向が緩やかとなっており、主要な漏えいは当該高さ付近に存在すると思われる。
- 大気圧変動によるPCV水位の変化を補正したグラフから、注水再開直前までPCV水位は緩やかに低下していたと考えられる。
- 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。
- ダスト濃度に有意な変動なし。

【今後】

(建屋滞留水抑制の観点)

- 注水停止中のPCV水位低下状況を踏まえて、今後の注水のあり方を検討していく。

(検討内容)

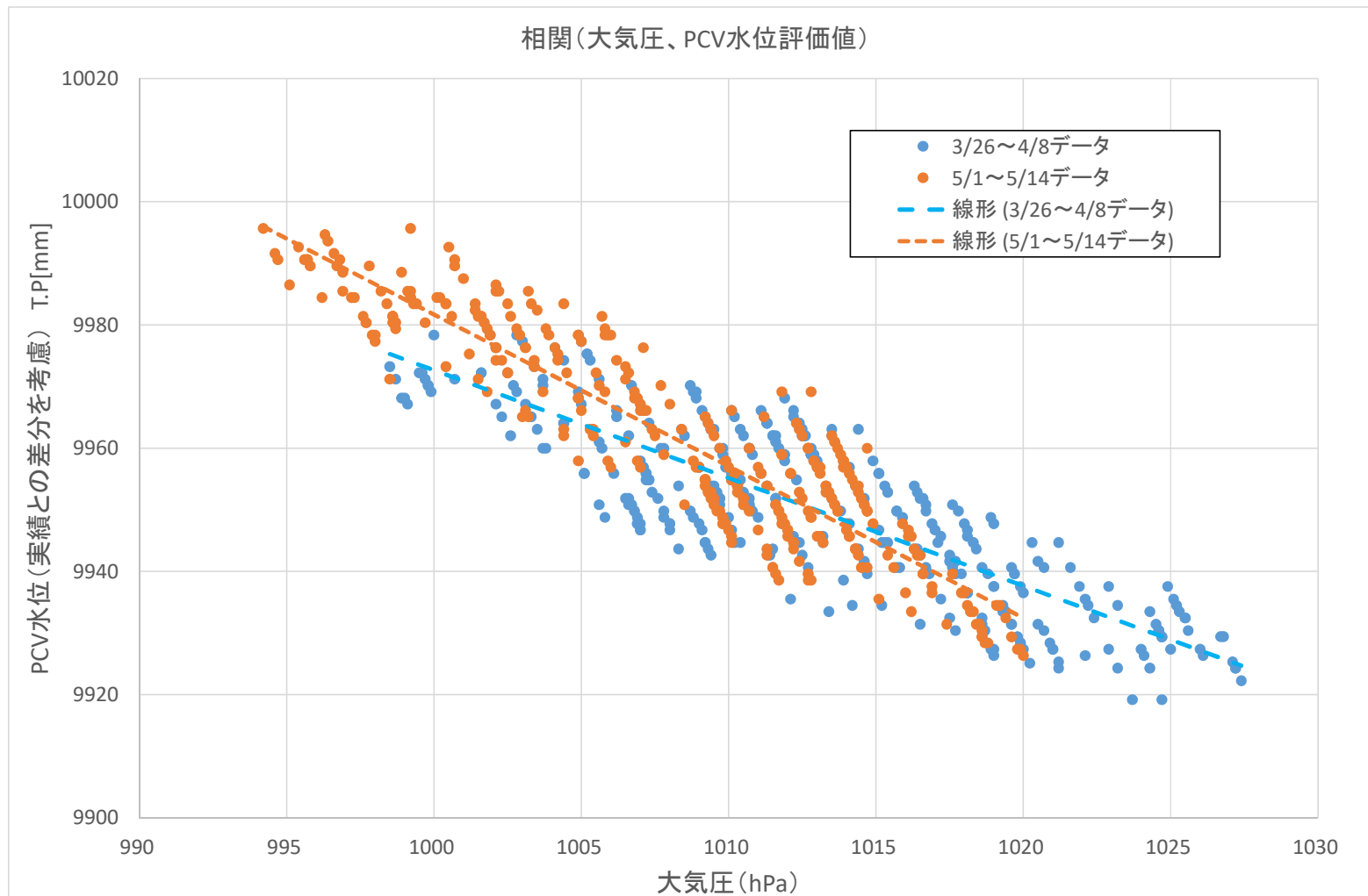
- PCV (MSIV室) からの漏えい量を長期にわたって、現状よりも抑制していくこと
- 短期的には、現在の注水量 $3\text{m}^3/\text{h}$ から減らしていくこと
- 並行して、今回の注水停止期間よりも長く注水を止めることについて、温度やダストへの影響を踏まえつつ計画していくこと

(PCV水位低下計画の観点)

- 注水停止時の水位低下は緩やかであることから、注水停止による大幅な水位低下は有効ではなく、S/Cからの取水によりPCV水位低下を進めていく。20

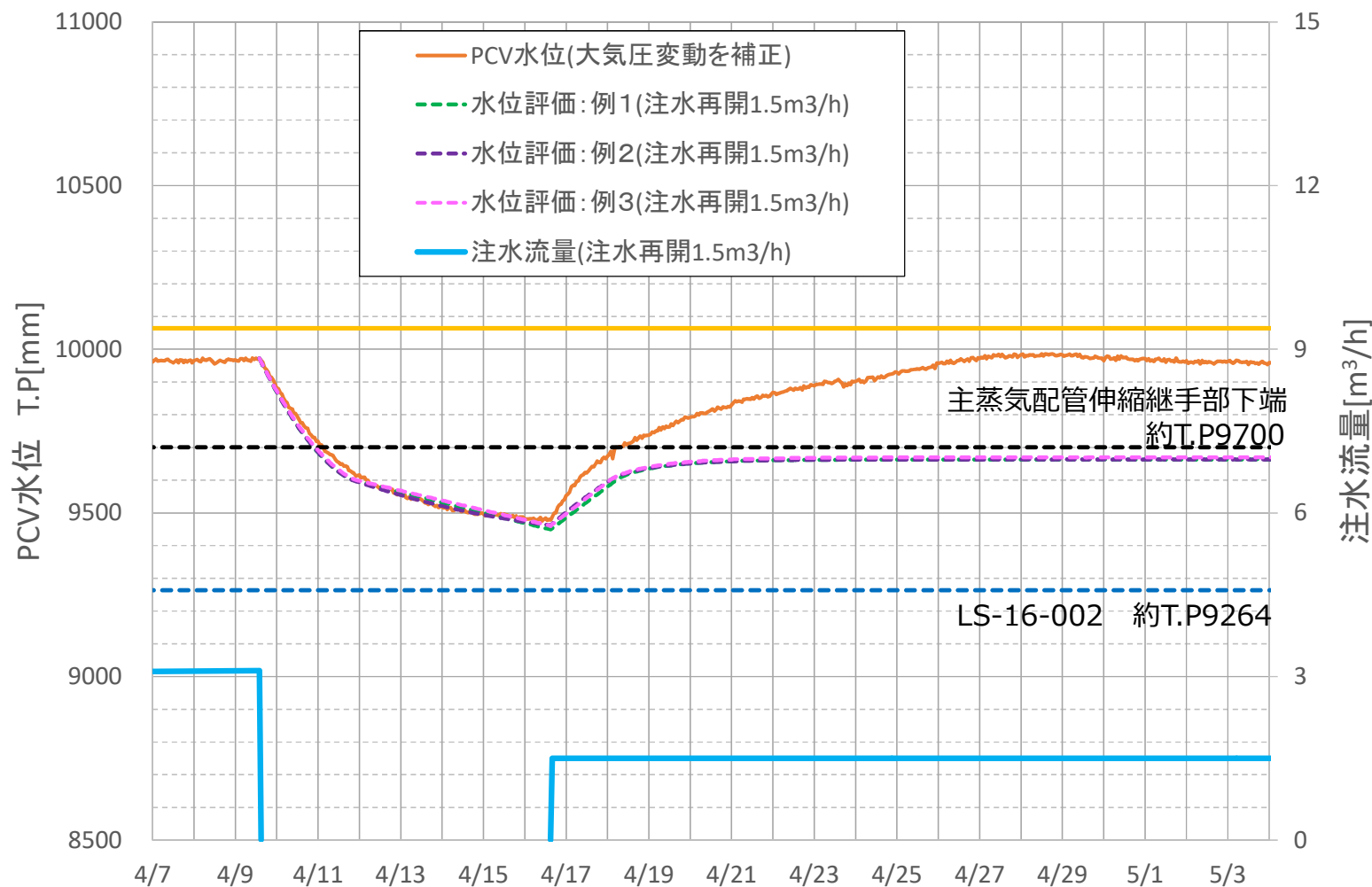
【参考】PCV水位（差圧からの評価値）と大気圧の相関

- 注水停止試験前の2週間（3/26～4/8）と、注水再開後PCV水位安定後の2週間（5/1～5/14）のPCV水位と大気圧の相関を比較
- 試験前後で、若干の差はあるものの、相関の傾向に大きな変化がないことを確認

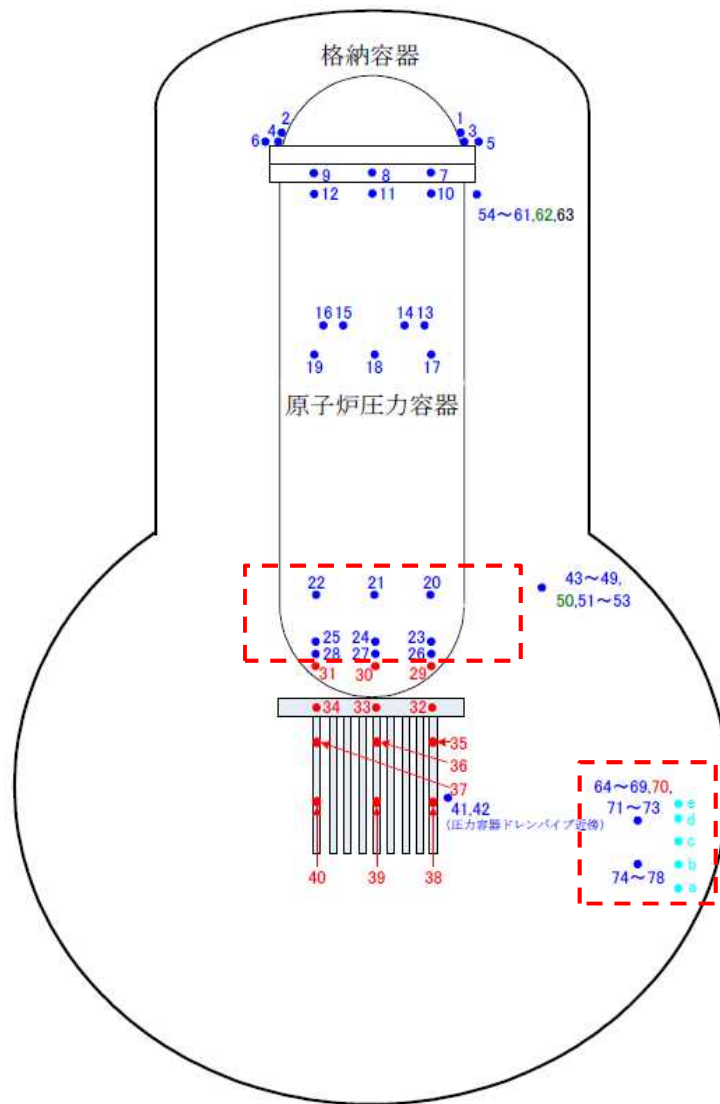


【参考】水位評価 注水再開1.5m³/h

- 例1～例3について、注水再開1.5m³/hとした場合の挙動を評価。
- いずれのケースでも、水位は低下継続とならずT.P9700付近で安定する。



【参考】 3号機 温度計配置図 (RPV底部温度、PCV温度)



- 既設温度計
- 新設温度計
- 監視・評価対象外

■ RPV底部温度計

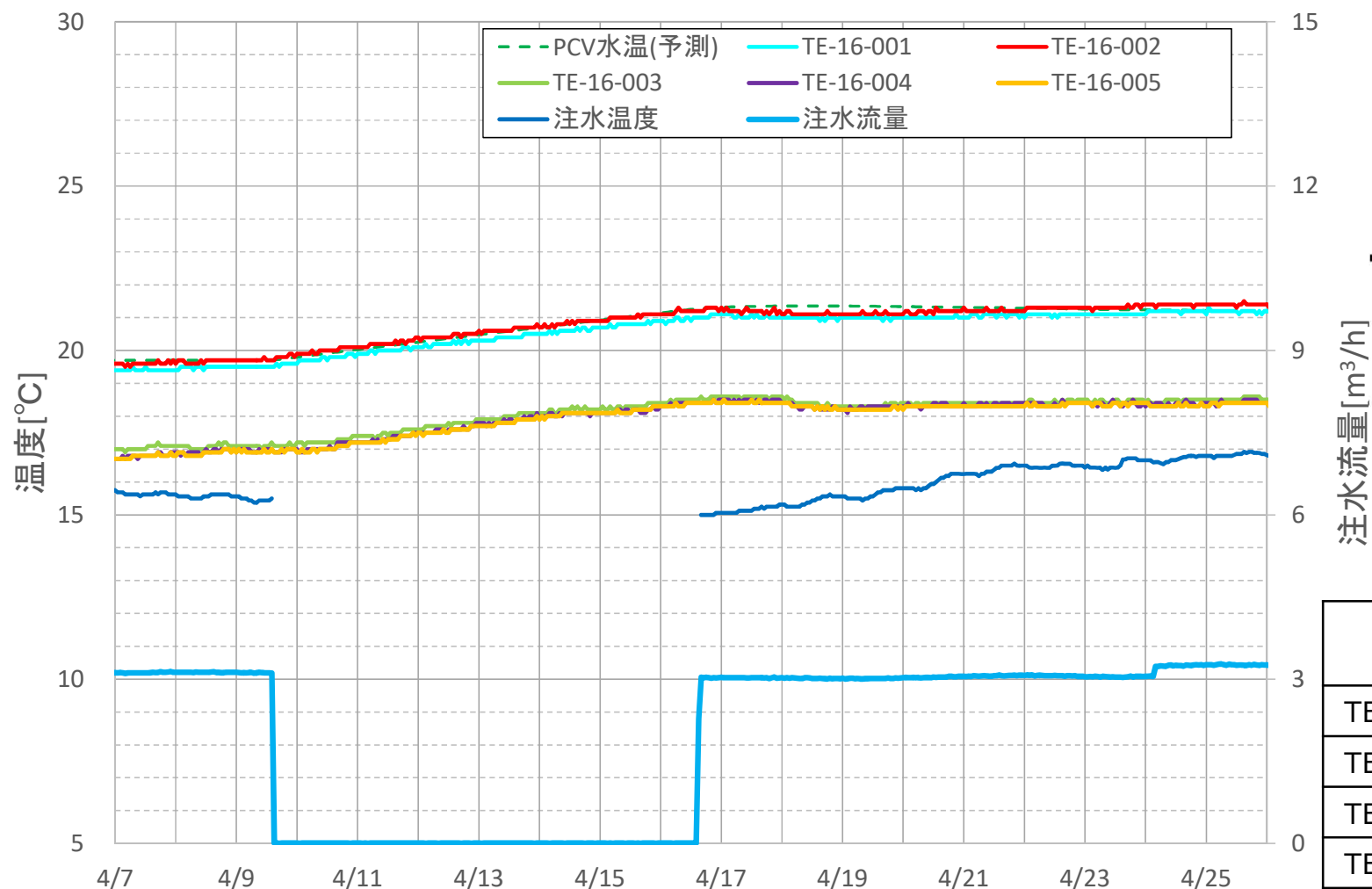
サービス名称	Tag No.	No.
RPV底部ヘッド上部温度	TE-2-3-69H1	20
	TE-2-3-69H2	21
	TE-2-3-69H3	22
スカートジャンクション上部温度	TE-2-3-69F1	23
	TE-2-3-69F2	24
	TE-2-3-69F3	25

■ PCV温度計

サービス名称	Tag No.	No.
格納容器空調機戻り空気温度	TE-16-114A~E	74~78
格納容器空調機供給空気温度	TE-16-114F#1, G#1,H#1,J#2,K#1	64,66,68 ,71,72
PCV温度	TE-16-001~005	a~e

【参考】PCV温度(新設)の推移 (実測値)

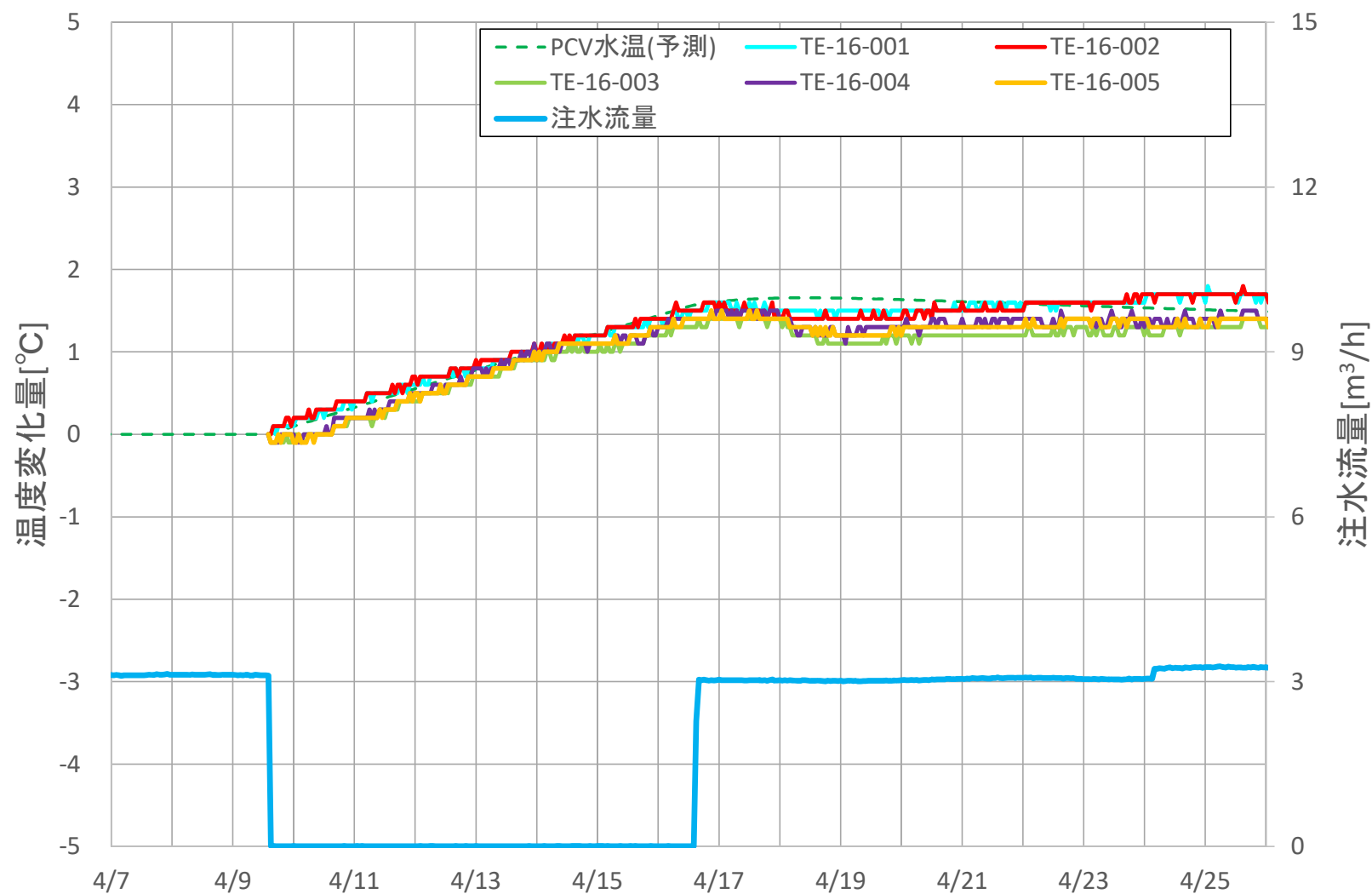
■ 注水停止後、緩やかに温度上昇。



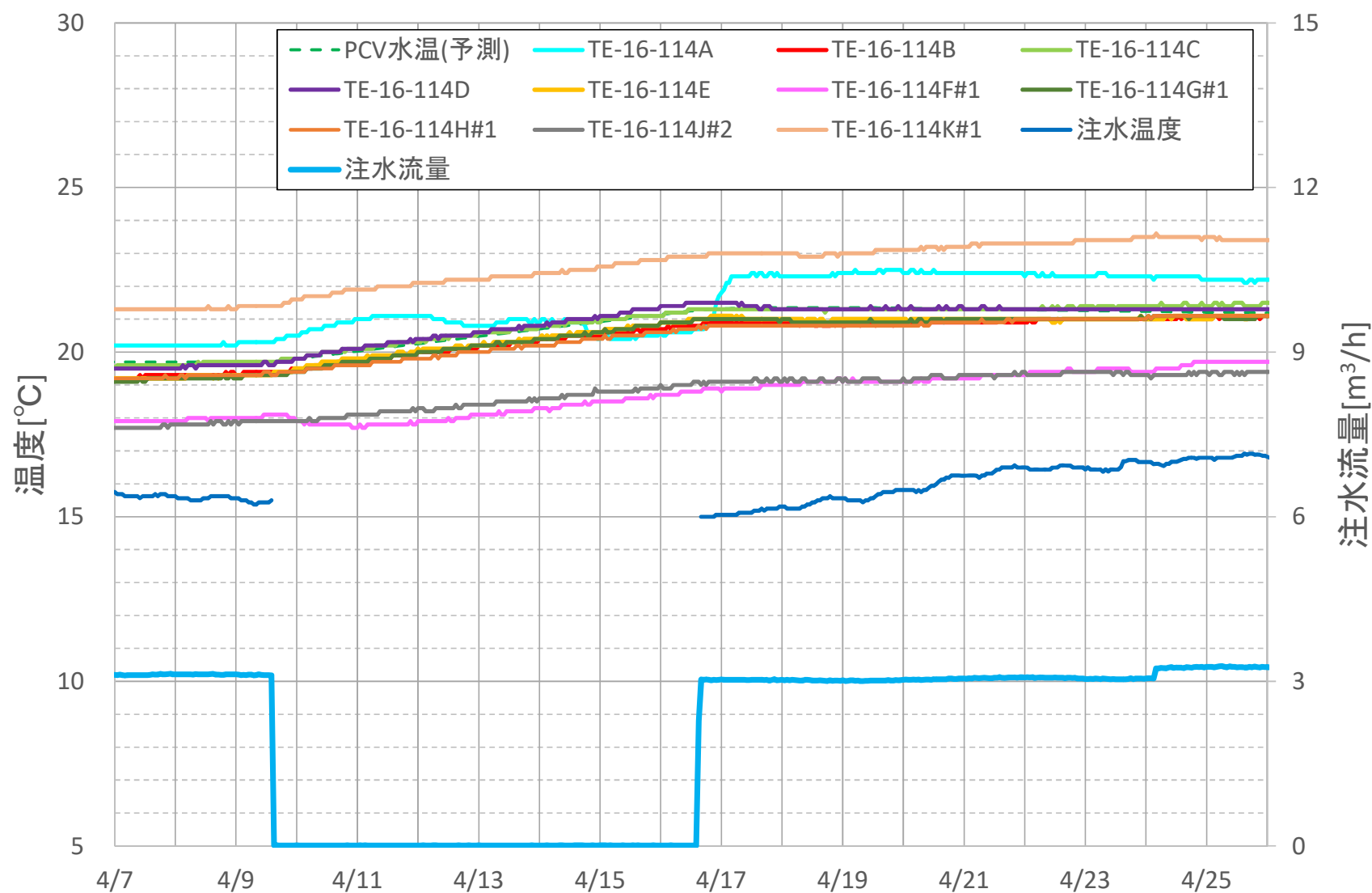
温度計	設置位置 (T.P)
TE-16-005	約10964
TE-16-004	約10714
TE-16-003	約10064
TE-16-002	約9264
TE-16-001	約8264

※予測温度は試験開始時の実績温度(TE-16-002)を基準としている

【参考】PCV温度(新設)の推移（試験開始からの温度変化量）

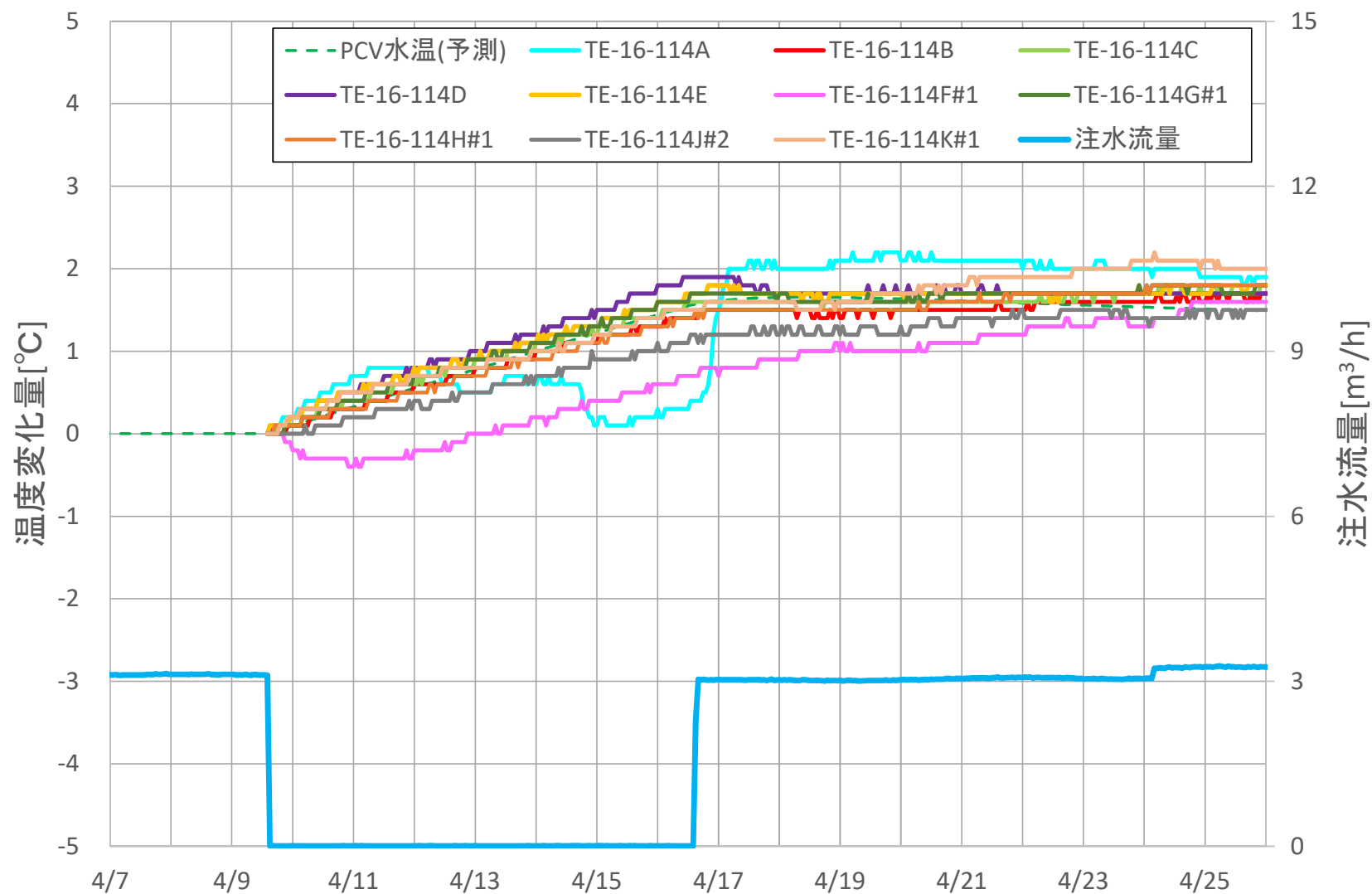


【参考】PCV温度(既設)の推移 (実測値)

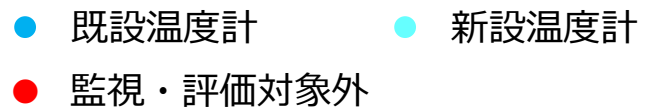


※予測温度は試験開始時の実績温度(TE-16-002)を基準としている

【参考】PCV温度(既設)の推移（試験開始からの温度変化量）

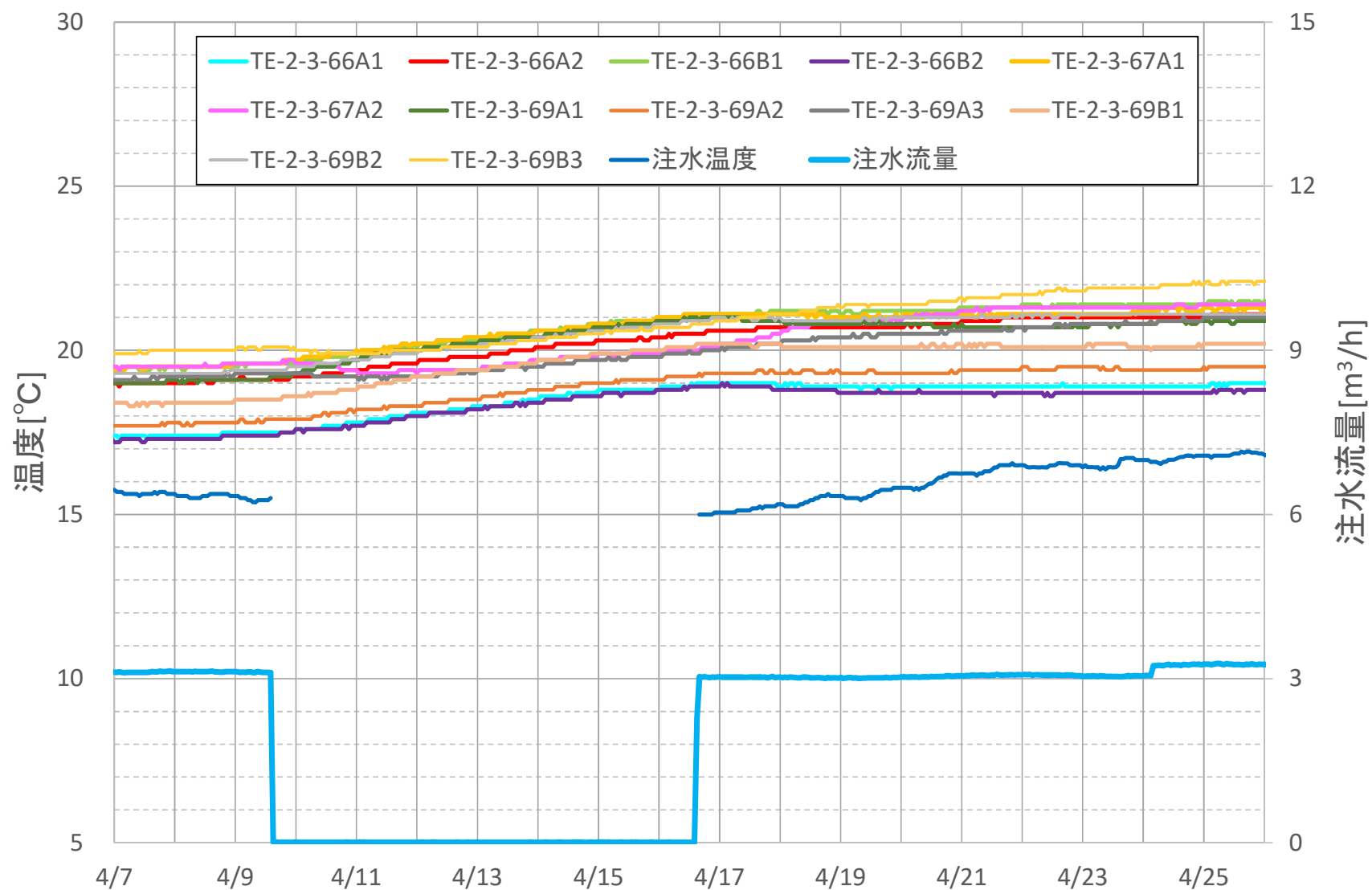


TEPCO



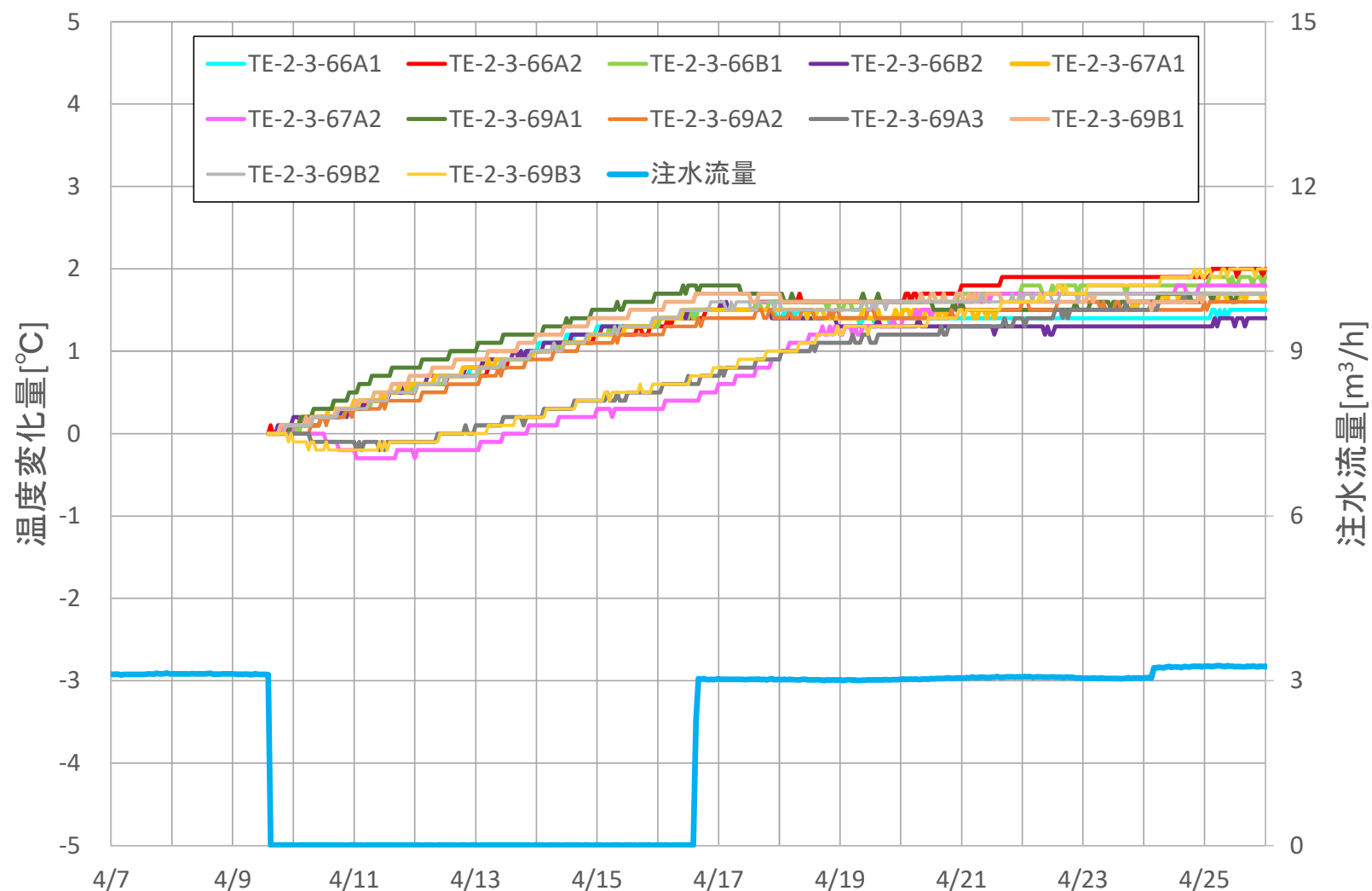
サービス名称	Tag No.	No.
RPV上蓋フランジ周辺温度	TE-2-3-66A1	1
	TE-2-3-66A2	2
RPV上蓋フランジ温度	TE-2-3-66B1	3
	TE-2-3-66B2	4
RPVスタッドボルト温度	TE-2-3-67A1	5
	TE-2-3-67A2	6
RPVフランジ温度	TE-2-3-69A1	7
	TE-2-3-69A2	8
	TE-2-3-69A3	9
RPVフランジ周辺温度	TE-2-3-69B1	10
	TE-2-3-69B2	11
	TE-2-3-69B3	12

【参考】 RPV上部温度の推移（実測値）

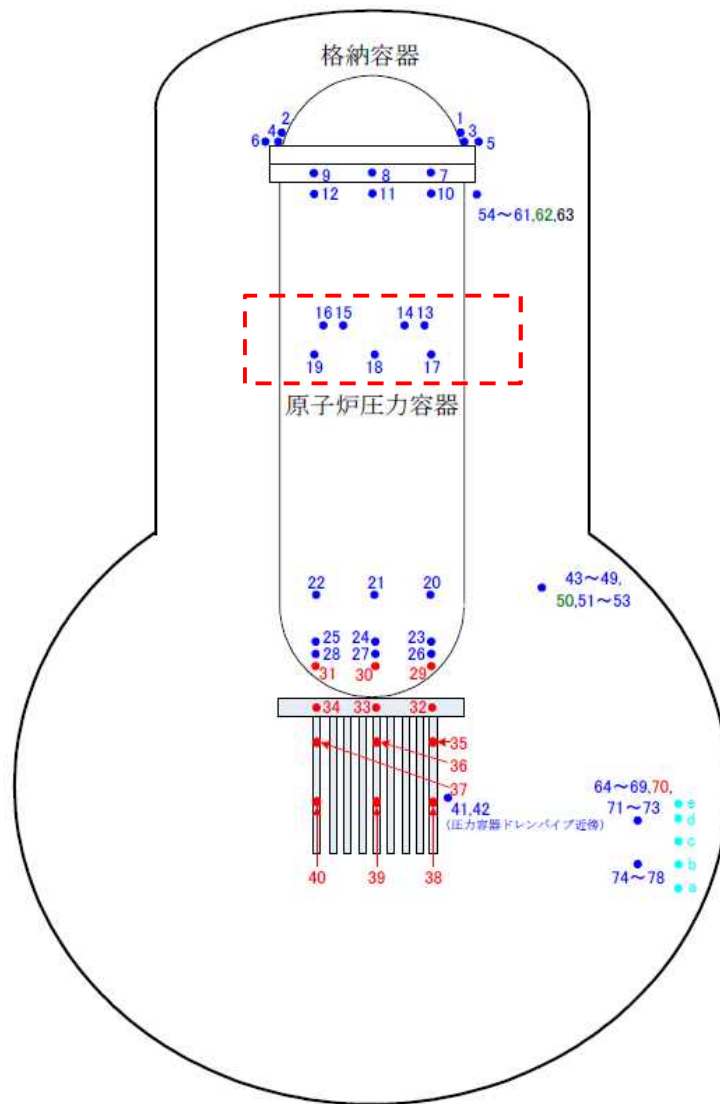


【参考】 RPV上部温度の推移（試験開始からの温度変化量）

- 一部の温度計では注水停止後、温度が低下した後に温度が上昇。RPV・PCV内における気体の流れ等による影響の可能性。



【参考】 3号機 温度計配置図（給水ノズル周辺温度）

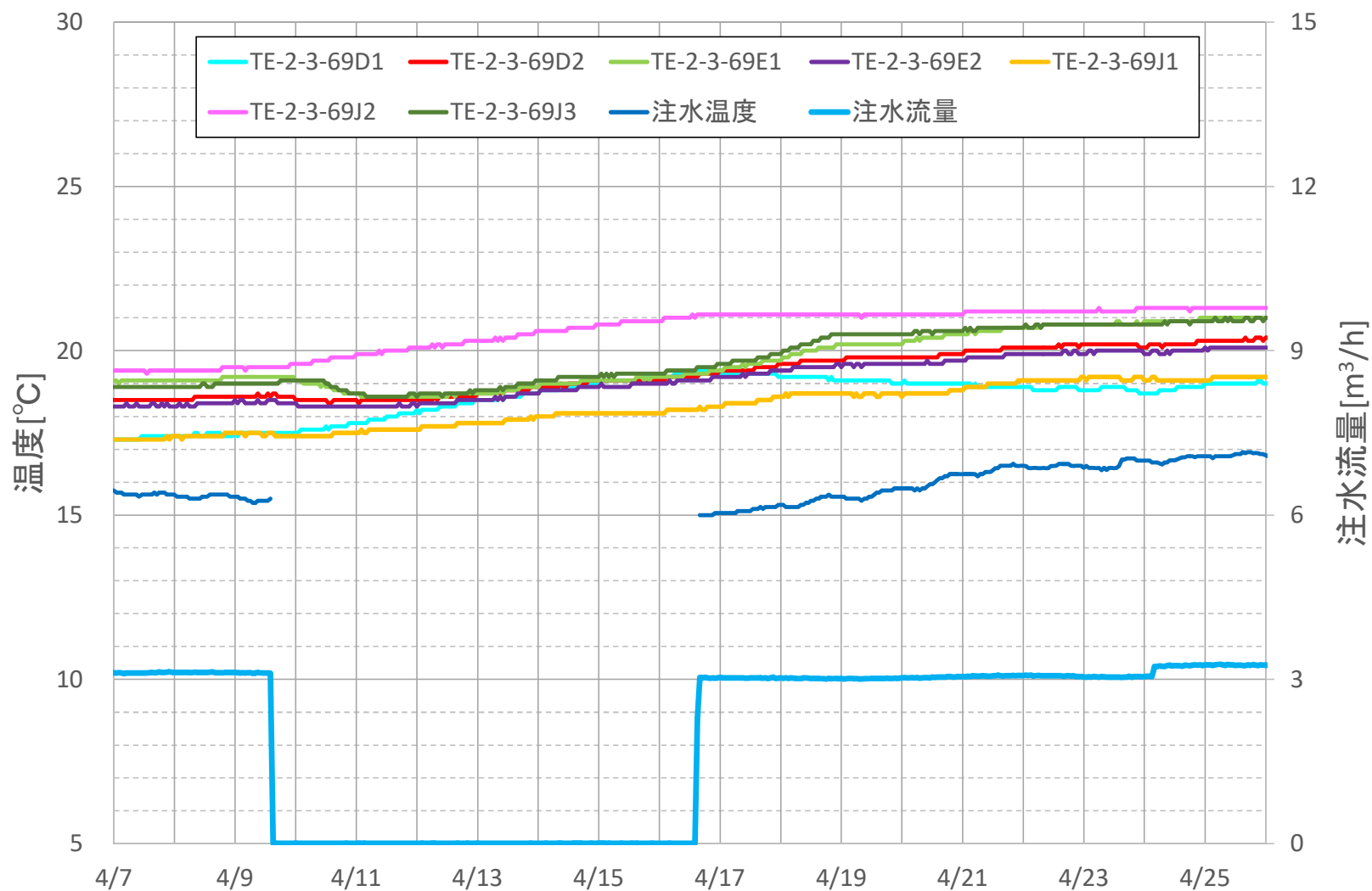


- 既設温度計
- 新設温度計
- 監視・評価対象外

■ RPV給水ノズル周辺温度計

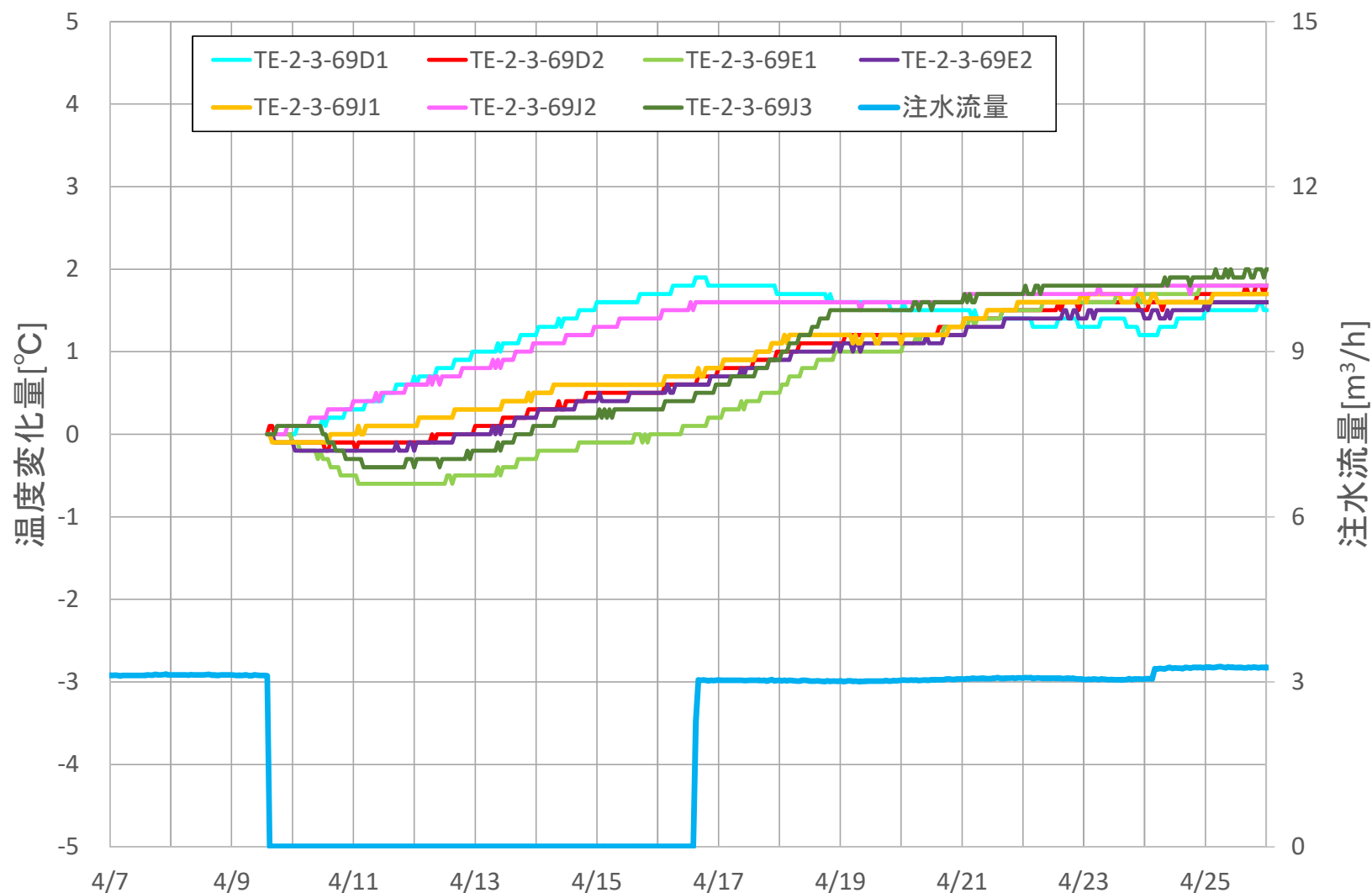
サービス名称	Tag No.	No.
RPV給水ノズルN4B温度	TE-2-3-69D1	13
	TE-2-3-69D2	14
RPV給水ノズルN4D温度	TE-2-3-69E1	15
	TE-2-3-69E2	16
RPV給水ノズル下部温度	TE-2-3-69J1	17
	TE-2-3-69J2	18
	TE-2-3-69J3	19

【参考】 給水ノズル周辺温度の推移（実測値）



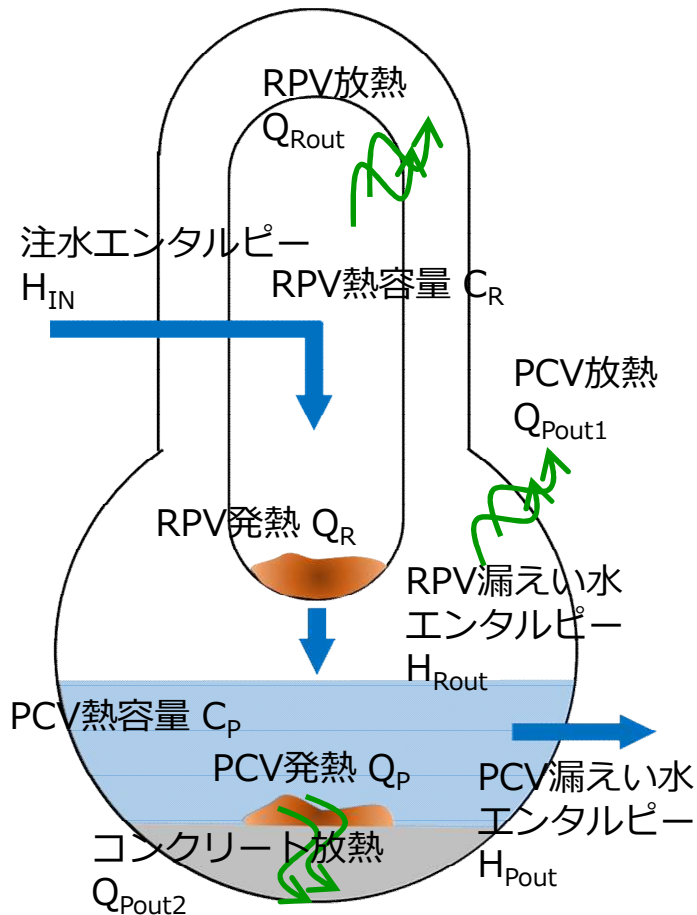
【参考】 給水ノズル周辺温度の推移（試験開始からの温度変化量）

- 一部の温度計では注水停止後、温度が低下した後に温度が上昇。RPV・PCV内における気体の流れ等による影響の可能性。



【参考】RPV/PCV温度の計算評価（熱バランズ評価）

- 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

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

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