

循環注水冷却スケジュール (1/2)

分野名	括り	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後1ヶ月の予定	4月							5月							6月							7月	8月	備考					
				19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23										
循環注水冷却	原子炉関連	循環注水冷却	(実 績) ・【共通】循環注水冷却中(継続) ・【3号】CST炉注水ポンプ(B)電動機点検 ・CST炉注水ポンプ(B)停止:2020/5/12 ・【3号】CST炉注水ポンプ(A)メカニカルシール交換 ・CST炉注水ポンプ(A)停止:2020/5/13~15 (予 定)	(1, 2, 3号)循環注水冷却(滞留水の再利用) (3号)CST炉注水ポンプ(B)停止 (3号)CST炉注水ポンプ(A)停止 略語の意味 CS:炉心スプレイ CST:復水貯蔵タンク PCV:原子炉格納容器 SFP:使用済燃料プール	原子炉・格納容器内の崩壊熱評価、温度、水素濃度に応じて、また、作業等に必要となる条件に合わせて、原子炉注水流量の調整を実施																											
		海水腐食及び塩分除去対策	(実 績) ・CST窒素注入による注水溶存酸素低減(継続) ・ヒドラジン注入中(2013/8/29~)	現場作業 CST窒素注入による注水溶存酸素低減 ヒドラジン注入中																												
原子炉格納容器関連	原子炉格納容器関連	窒素充填	(実 績) ・【1号】サブプレッションチャンバへの窒素封入 -連続窒素封入へ移行(2013/9/9~)(継続) (予 定)	検討・設計・現場作業 【1, 2, 3号】原子炉圧力容器 原子炉格納容器 窒素封入中 【1号】サブプレッションチャンバへの窒素封入	窒素ガス分離装置(B):非待機中(2020/4/24~)																											
		PCVガス管理	(実 績) ・【1号】PCVガス管理システム計装品点検手入工事 ・水素モニタ停止 A系:2020/4/21 ・水素モニタ停止 B系:2020/4/23 ・【1号】PCVガス管理システム水素モニタ点検 ・水素モニタ停止 A系:2020/4/22 ・【1号】PCVガス管理システム水素モニタ点検 ・水素モニタ停止 B系:2020/5/18 ・【1号】PCVガス管理システムダストサンプリング ・希ガスモニタ、水素モニタ停止 A系:2020/5/19 ・【2号】PCVガス管理システム計装品点検手入工事 ・希ガスモニタ停止 A系:2020/5/18 ・希ガスモニタ停止 B系:2020/5/19 ・【3号】PCVガス管理システム計装品点検手入工事 ・希ガスモニタ停止 A系:2020/5/20 ・希ガスモニタ停止 B系:2020/5/21 (予 定) ・【1号】1号機PCV内部調査アクセスルート構築作業(AWJ) ・PCV減圧:2020/4/14~6/下旬 ・【2号】PCVガス管理システム計装品点検手入工事 ・希ガスモニタ停止 A系:2020/6/16,17 ・希ガスモニタ停止 B系:2020/6/18,19 ・【3号】PCVガス管理システム計装品点検手入工事 ・希ガスモニタ停止 A系:2020/6/23,24 ・希ガスモニタ停止 B系:2020/6/25,26	現場作業 【1, 2, 3号】継続運転中 【1号】水素モニタA停止 【1号】水素モニタB停止 【1号】水素モニタA停止 【1号】水素・希ガスモニタA停止 【2号】希ガスモニタA停止 【2号】希ガスモニタB停止 【3号】希ガスモニタA停止 【3号】希ガスモニタB停止 【1号】PCV減圧	実施時期調整中																											

循環注水冷却スケジュール (2/2)

分野名	括り	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後1ヶ月の予定		4月		5月					6月			7月	8月	備考			
			19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19				
使用済燃料プール関連		使用済燃料プール循環冷却	(実 績) ・【共通】循環冷却中(継続)																	
			(予 定) ・【1号】SFP養生設置 ・SFP一次系停止：2020/5/29 ~ 2020/6/18 ・SFP水位低下：2020/5/30 ~ 2020/6/18																	
			現場作業																	
		使用済燃料プールへの注水冷却	(実 績) ・【共通】使用済燃料プールへの非常時注水手段としてコンクリートポンプ車等の現場配備(継続)																	
			現場作業																	
		海水腐食及び塩分除去対策(使用済燃料プール薬注&塩分除去)	(実 績) ・【共通】プール水質管理中(継続)																	
			検討・設計・現場作業																	

3号機 燃料デブリ冷却状況の確認試験の結果について

2020年5月28日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

- 緊急時対応手順の適正化などを図ることを目的に、3号機において原子炉注水を一時的に停止する試験を実施。気中への放熱も考慮したより実態に近い熱バランス計算による温度評価の正確さを確認した。

<参考> 試験実施時期 2020年2月3日～2月17日(注水停止は2月3日～2月5日の約48時間)

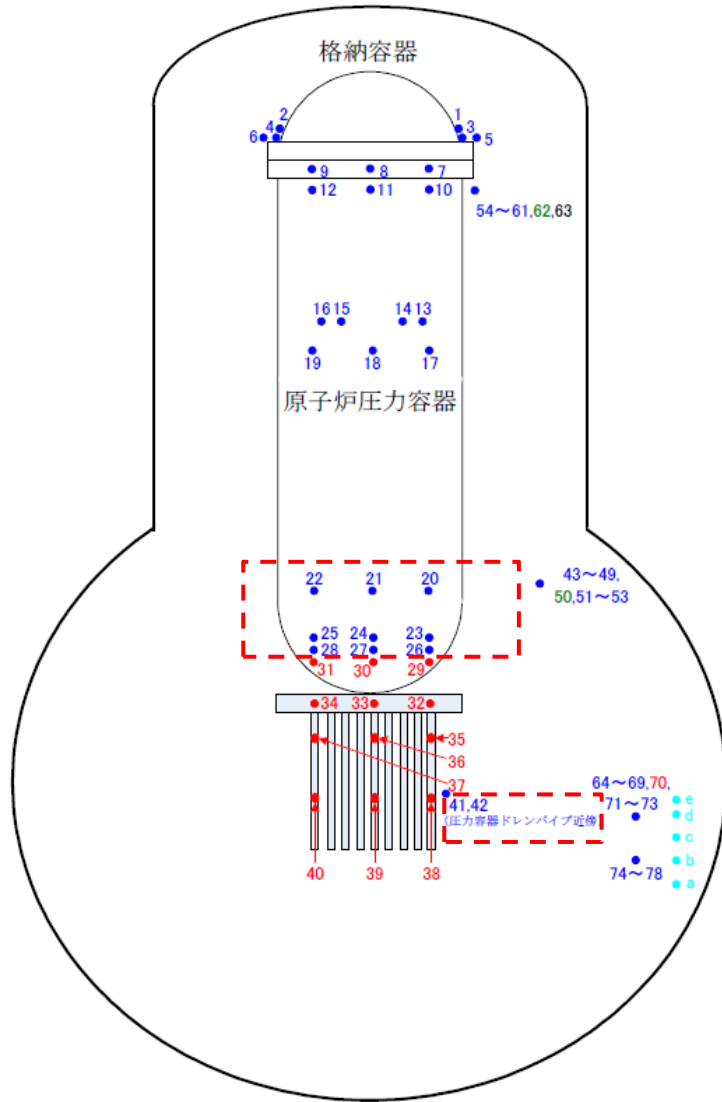
- 試験中のRPV底部温度やPCV温度の温度上昇は概ね予測の範囲内であり、PCVガス管理設備のダスト濃度や希ガス(Xe135)等のパラメータにも異常はなかった。（試験結果速報ご報告済み、2020年2月）
- 今回、3号機の試験時に採取した温度データや放射線データなどについての評価結果まとめ、および今後の計画について報告する。

1. 試験中のRPV、PCV温度の挙動とPCV水位について
 2. 熱バランス評価と実績温度との比較について
 3. 注水停止中に採取した放射線データについて
- 総括：1～3号機試験結果のまとめ及び今後の計画

RPV：原子炉圧力容器，PCV：原子炉格納容器

1. 試験中のRPV, PCV温度の挙動とPCV水位について
 - ① RPV底部温度とRPV下部周辺温度の挙動
 - ② PCV温度の挙動と注水停止中のPCV水位低下

①対象温度計（RPV底部温度，RPV下部周辺温度）



- 既設温度計
- 新設温度計
- 監視・評価対象外

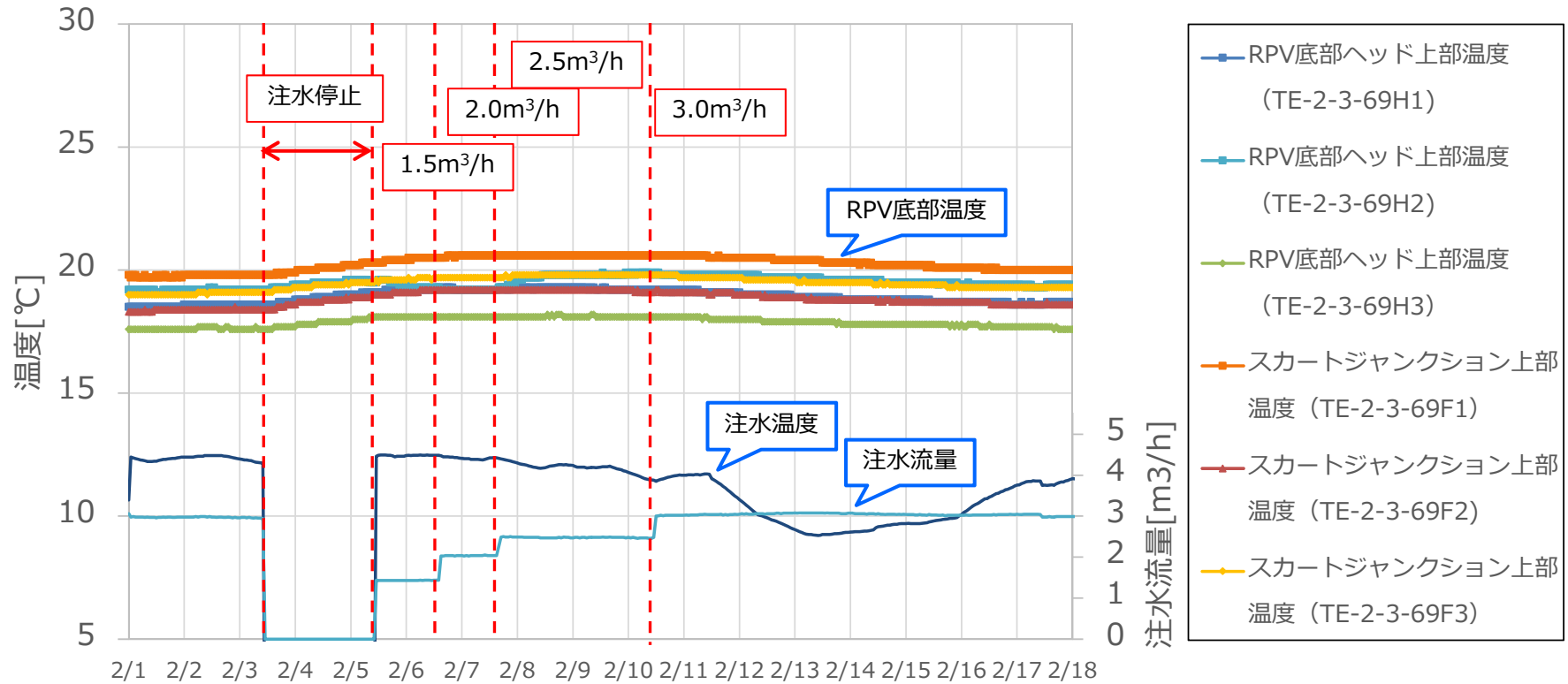
■ RPV底部温度計

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

■ RPV下部周辺温度計

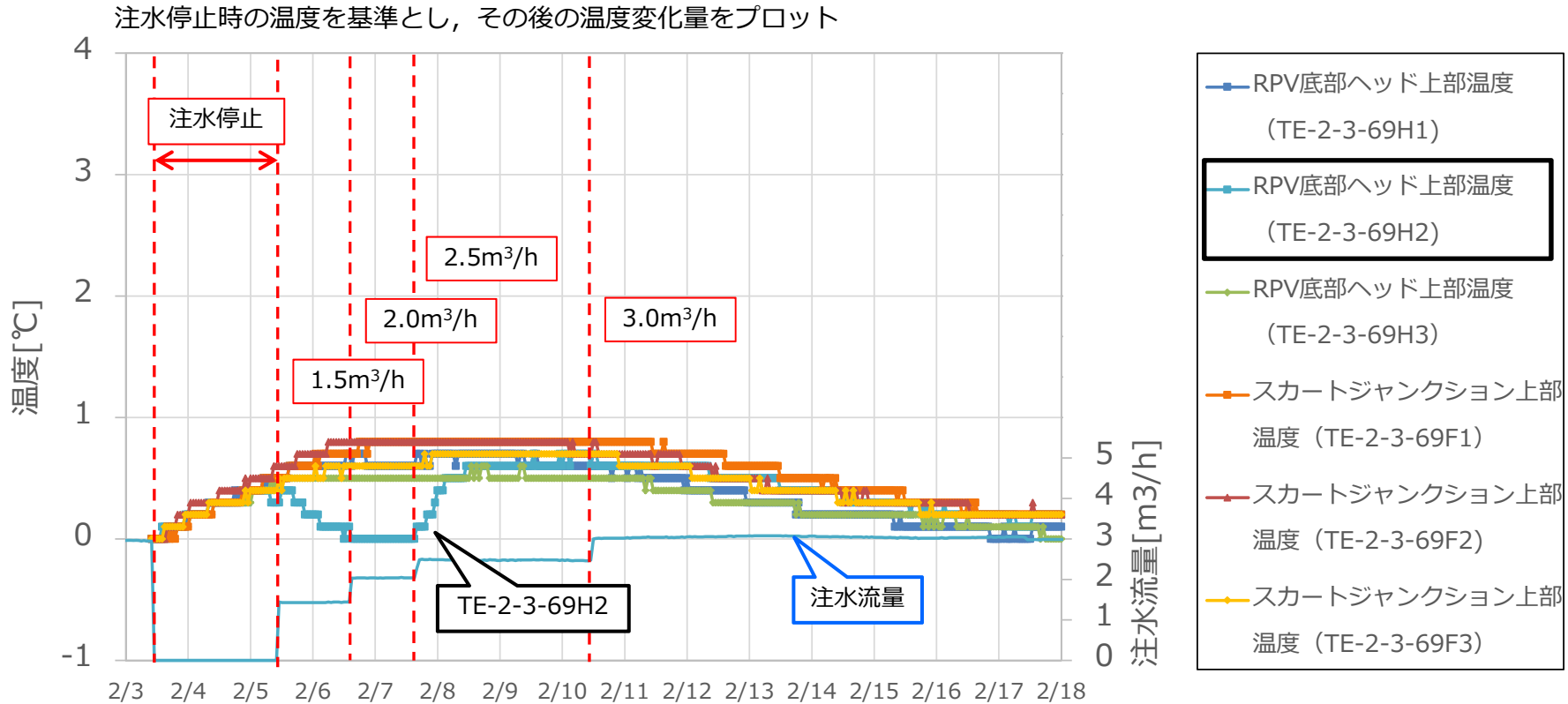
サービス名称	Tag No.	No.
RPVスカート上部温度	TE-2-3-69K1	26
	TE-2-3-69K2	27
	TE-2-3-69K3	28
RPVドレン温度	TE-2-106#1	41
	TE-2-106#2	42

①試験中の温度データ (RPV底部温度)



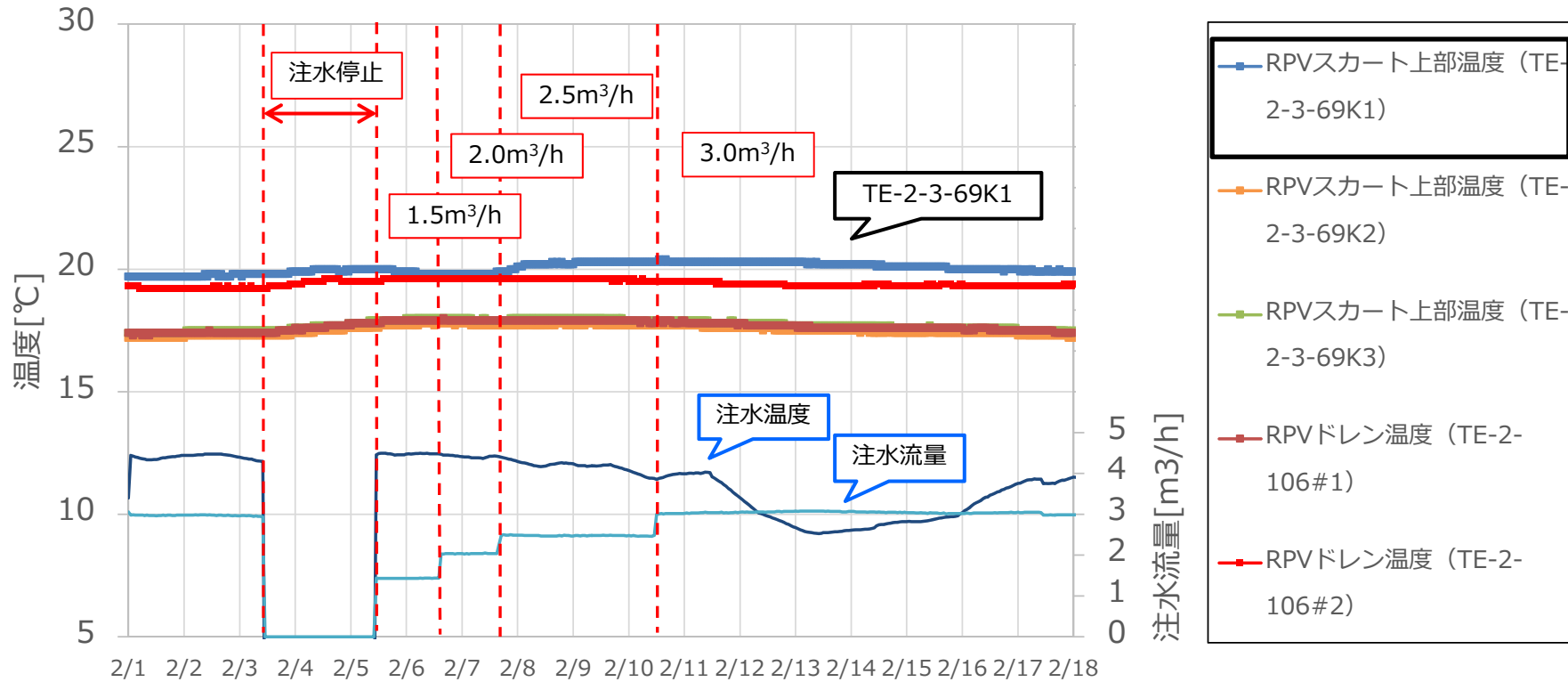
- RPV底部温度は全体的に緩やかな上昇（約0.6℃）を確認した。
- 1.5m³/hでの注水再開以降も大きな温度上昇はなく， RPV底部温度は注水量増加・注水温度低下とともに全体的に緩やかに温度低下傾向であった。

(参考)RPV底部温度の温度変化量



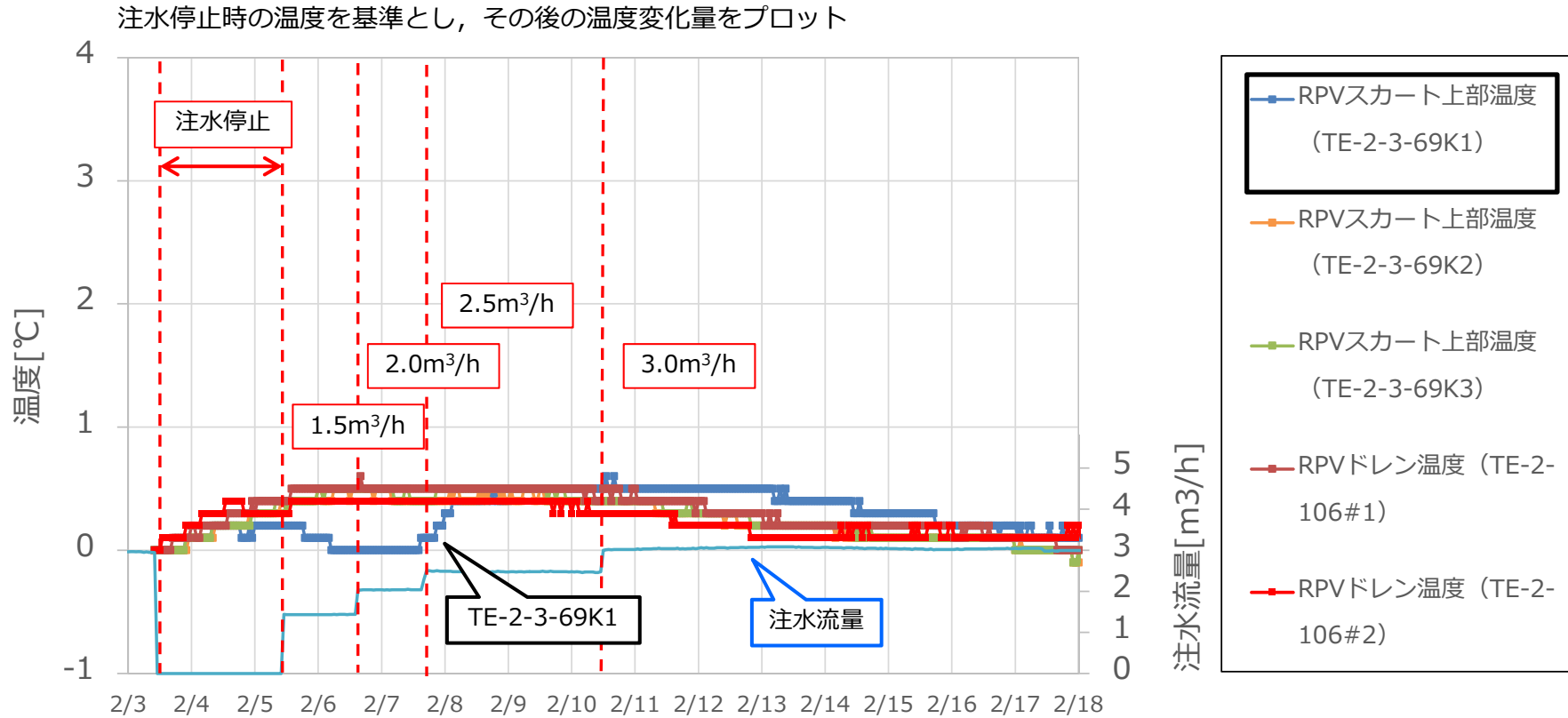
- RPV底部ヘッド上部温度 (TE-2-3-69H2) において、注水再開後、一時的に温度が低下した。
- RPV底部ヘッド上部温度 (TE-2-3-69H2) において2.5m³/hに注水量を増加した後、温度が上昇した。

①試験中の温度データ (RPV下部周辺温度)



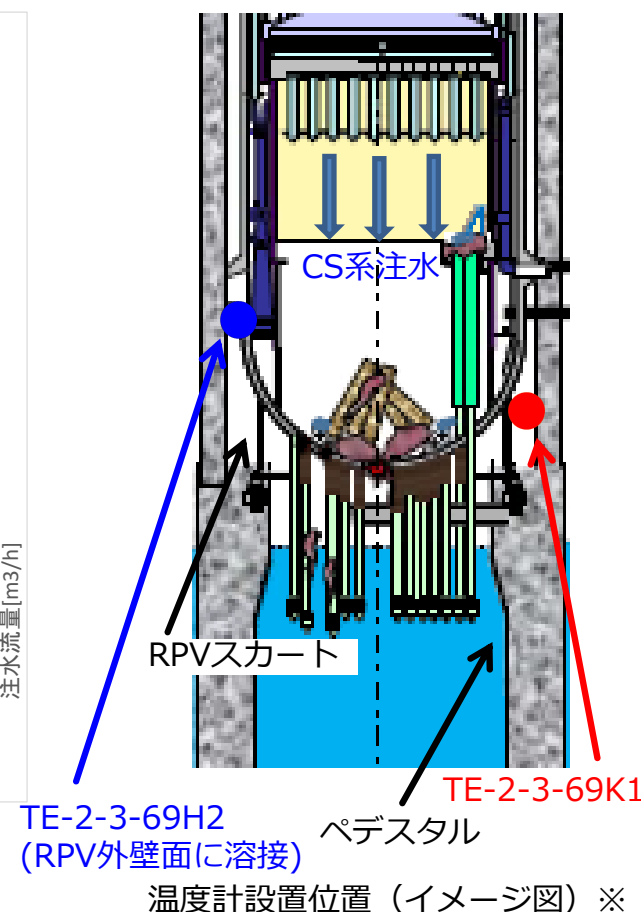
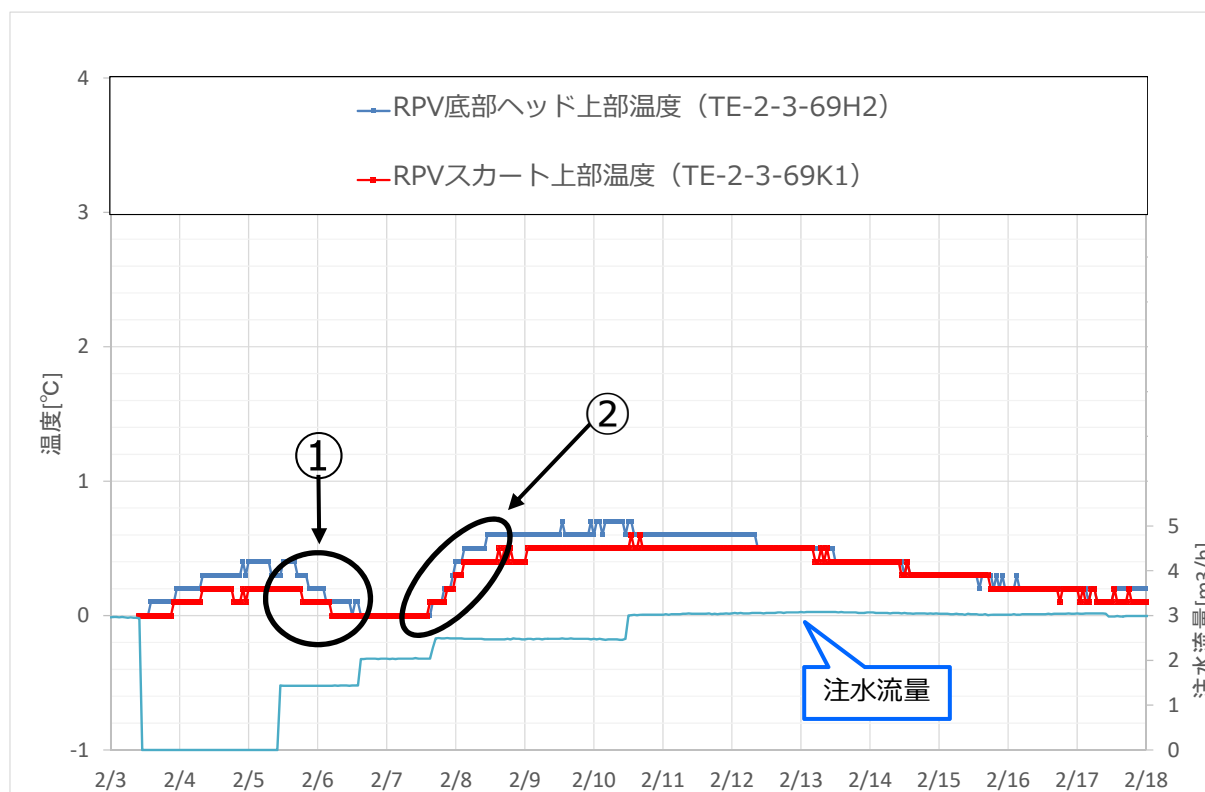
- RPV下部周辺温度はRPV底部温度と概ね同等で推移しており、周方向・高さ方向の設置位置の違いによる温度挙動に明確な違いは確認されなかった。
- RPVスカート上部温度(TE-2-3-69K1)については注水再開後、温度上昇が大きく注水量を2.5m³/hに増加した後、温度が上昇した。

(参考)RPV下部周辺温度の温度変化量



- RPVスカート上部温度(TE-2-3-69K1)は、注水再開後、一時的に温度が低下した。
- RPVスカート上部温度(TE-2-3-69K1)は注水量を2.5m³/hに増加した後、温度が上昇した。
- 以上はRPV底部ヘッド上部温度 (TE-2-3-69H2)でも類似した挙動が確認されている。

①RPV底部温度, RPV下部周辺温度の挙動考察 (1/2)



注水停止時の温度を基準とし, その後の温度変化量をプロット

■ 特徴(TE-2-3-69H2,TE-2-3-69K1)

- ① 注水再開後, 一時的に温度が低下した。
- ② 注水量を2.5m³/hに増加したあたりから温度が上昇した。

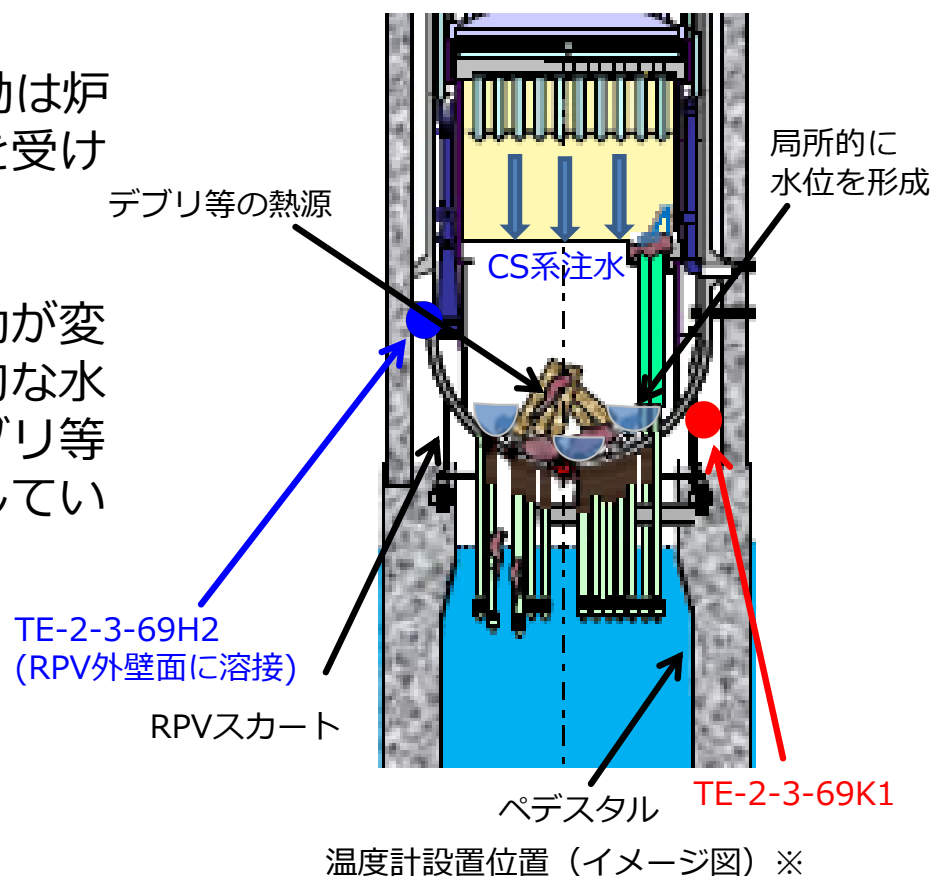
■ TE-2-3-69H2,K1は高さで約1.5m, 方位で約135°の差があり, 設置高さや方位は異なる。

※廃炉・汚染水対策事業費補助金(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」平成30年6月より一部引用

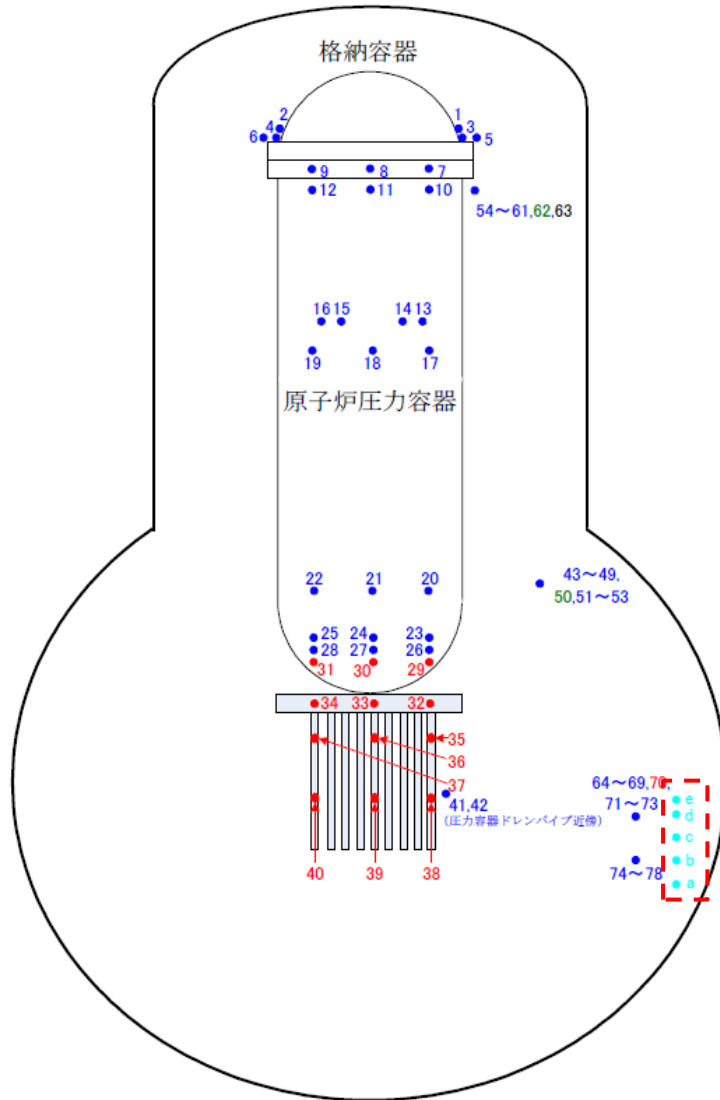
①RPV底部温度, RPV下部周辺温度の挙動考察 (2/2)

- RPV底部ヘッド上部温度 (TE-2-3-69H2)とRPVスカート上部温度 (TE-2-3-69K1)で, 注水再開後の温度低下が大きく, 注水量を2.5m³/hに増加したあたりから温度上昇が確認されたことについては, 以下のような要因による可能性を推定している。

- TE-2-3-69H2,TE-2-3-69K1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。
- 注水流量の変化に応じて, 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。



②対象温度計（PCV新設温度）

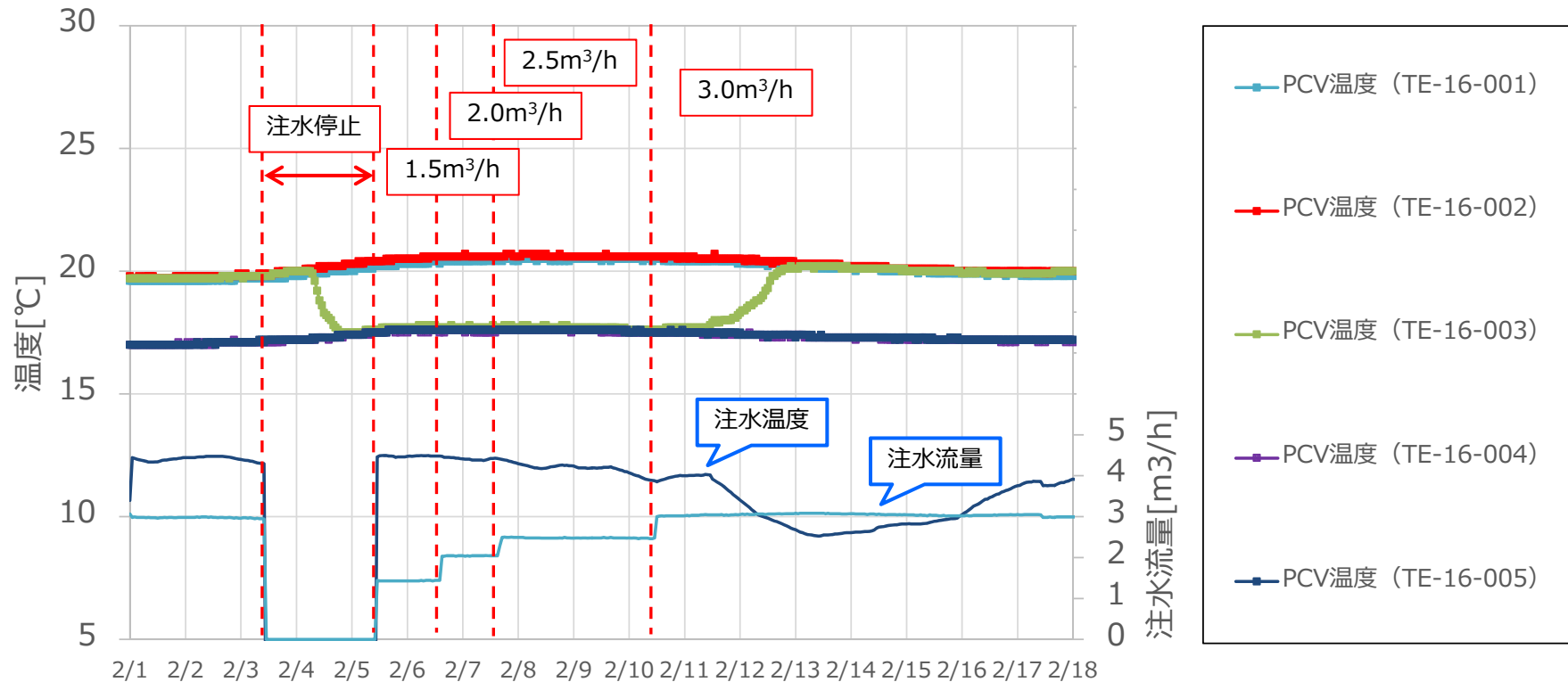


- 既設温度計
- 新設温度計
- 監視・評価対象外

■ 新設PCV温度計

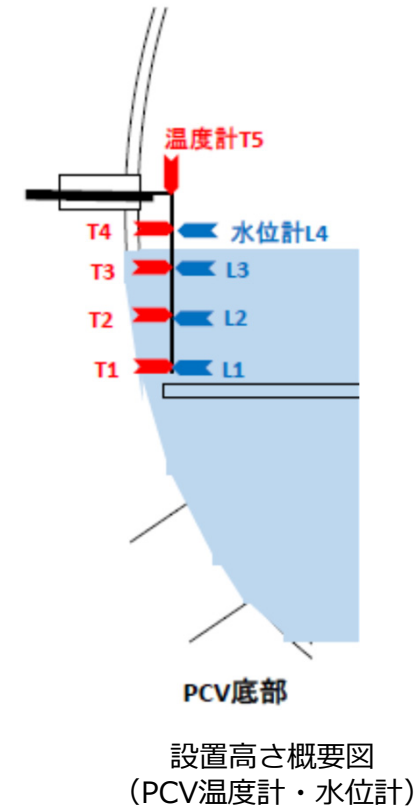
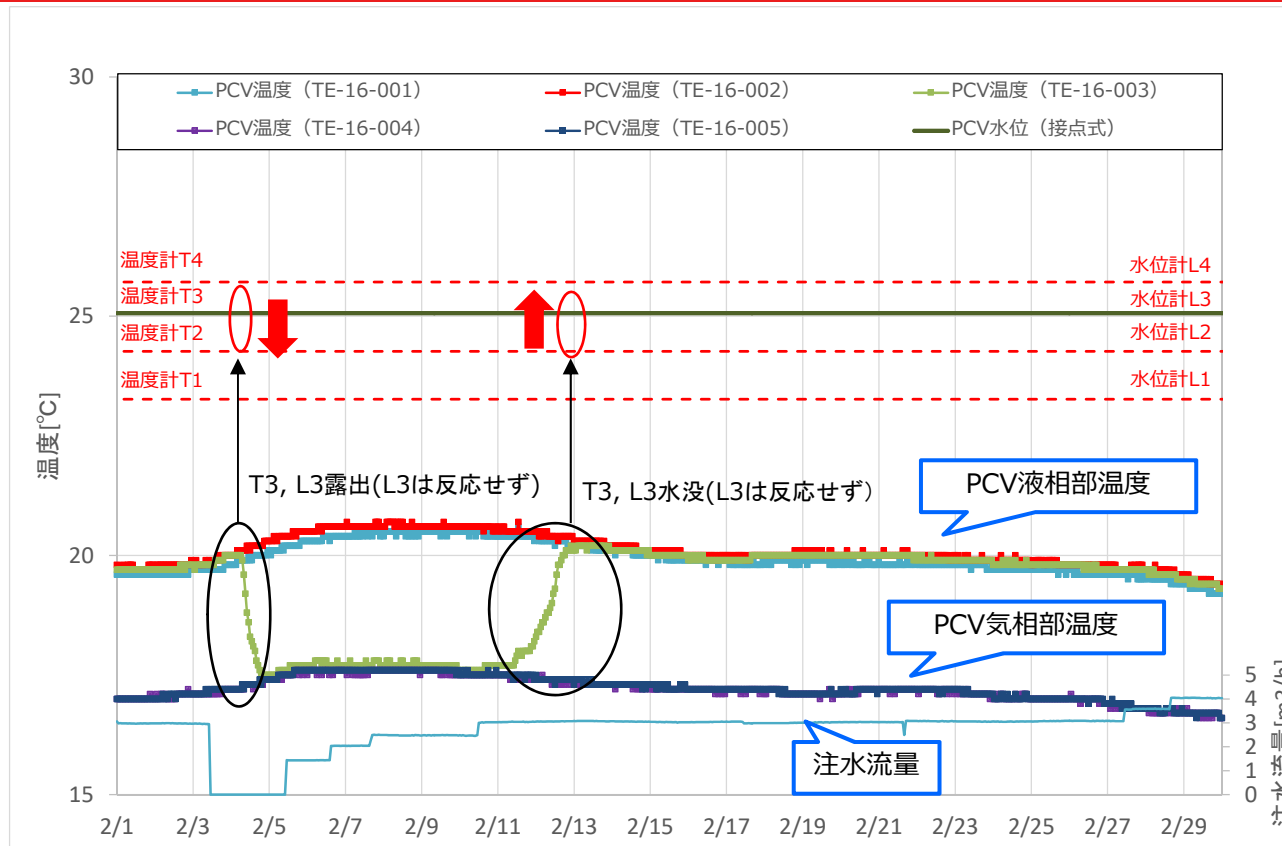
サービス名称	Tag No.	No.
PCV温度	TE-16-001	a
	TE-16-002	b
	TE-16-003	c
	TE-16-004	d
	TE-16-005	e

②試験中の温度データ（PCV温度：新設温度計）



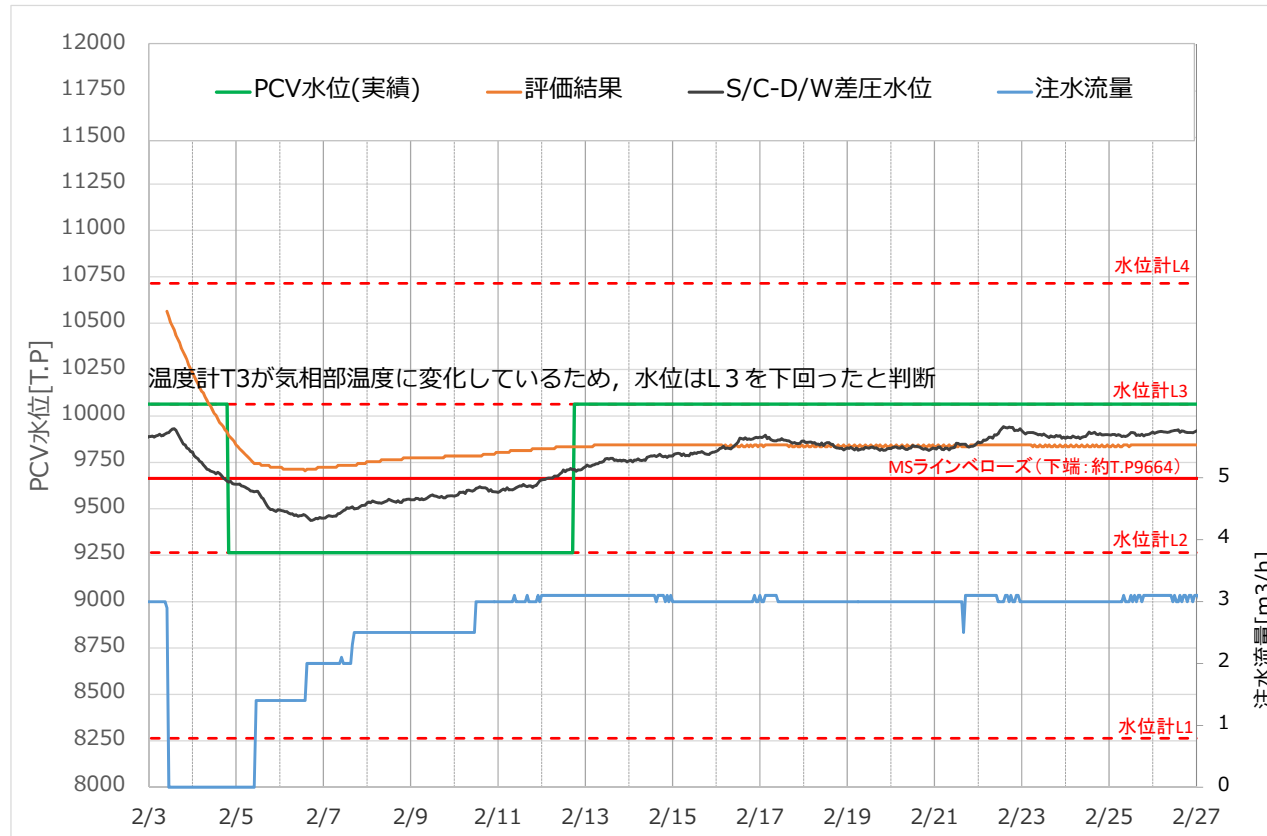
- PCV新設温度計は全体的に緩やかな上昇（約0.7℃）を確認した。
- 注水停止後，TE-16-003の指示値の低下を確認した。
- TE-16-003の指示値の低下はこれまでPCV水中にあったTE-16-003が，注水停止に伴うPCV水位低下により，一時的に気相露出したためと推定している。
（従前よりPCV水温は気相部温度よりも若干高めの傾向）

② PCV水位の変動に伴うPCV水温の挙動



- PCV水温を測定しているTE-16-003において2/4頃より温度低下を確認した
- 注水再開後の2/11頃より温度上昇が確認され、2/12頃より液相部温度を示すTE-16-001, 002と同程度で推移。
- これは注水停止に伴うPCV水位の低下によりTE-16-003が露出、水没したことによる影響と推定。

② PCV水位の挙動評価



- MSIV室内の調査結果※より得られた知見に基づき、簡易的にPCV水位の挙動を評価し、実績を概ね再現していることを確認した。 ※ 3号機主蒸気隔離弁(MSIV)室内調査結果について 平成26年5月29日
- 注水停止中にMSIV室上方から水の流れる音を確認しており、MSラインベローズからの漏えいは継続していたと考えられる。
- 以上より注水停止中のPCV水位はMSラインベローズに至らなかったと推定している。

(1) PCV水位評価

- トリチェリの定理より水頭圧に応じたPCV内の水の漏えい量_※を評価。
- 漏えい量, 注水流量のバランスからPCV水位の低下速度を計算し, 簡易的にPCV水位を評価。

※ PCV内の水の漏えい量評価式 $Q = \sqrt{2g(H-h)} \times S$

<評価条件(仮定)>

漏えい量: Q 重力加速度: g PCV水位: H (PCV水位の初期値: 6.52m)

漏えい高さ: h (MSラインベローズ高さ5.62m) 漏えい口面積: S ($4.52 \times 10^{-4} \text{m}^2$)

なお、水の粘性等は考慮していない。

(2) S/C-D/W差圧水位

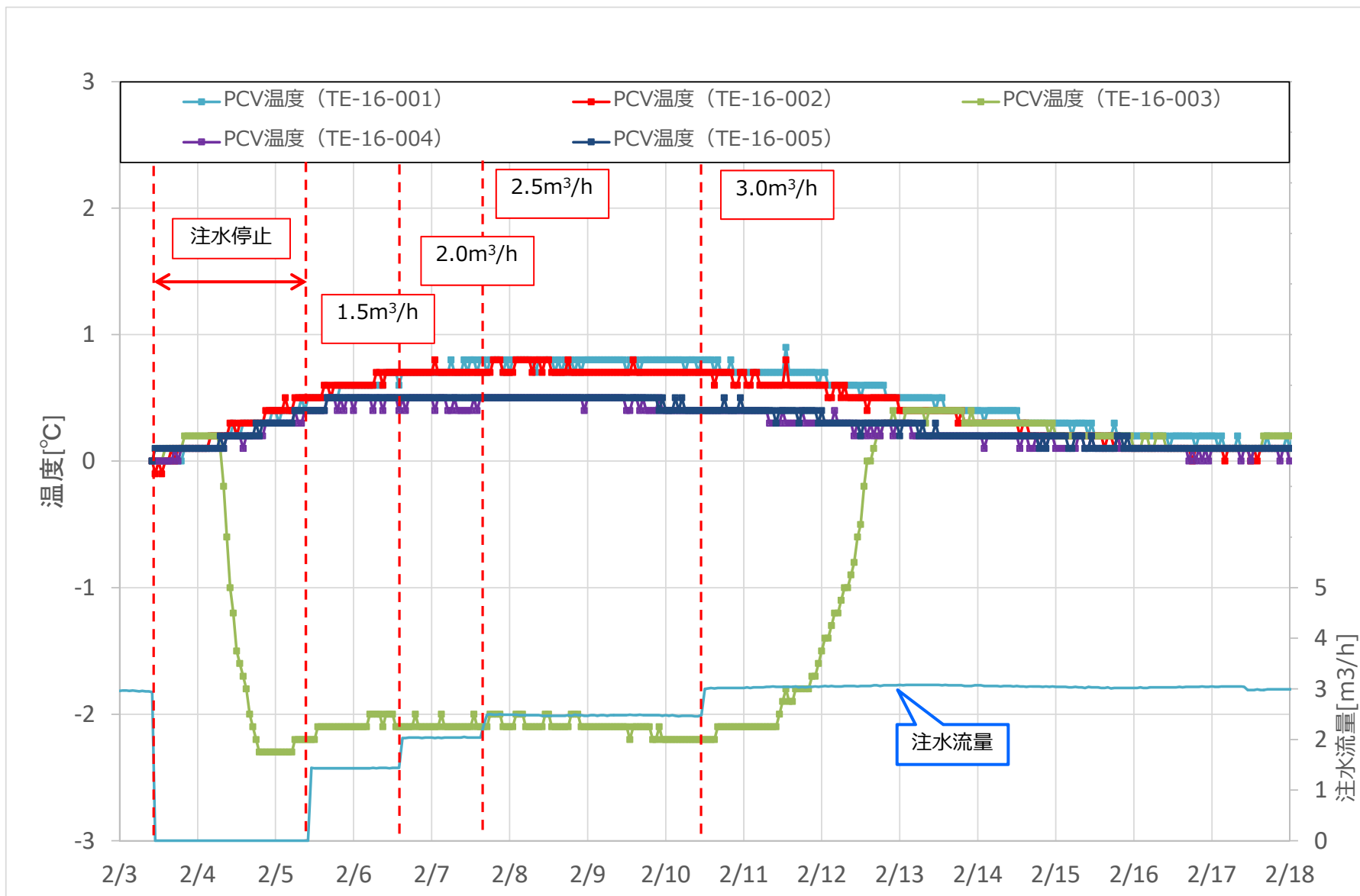
- S/CとD/Wの水は連通していることから, S/CとD/Wの圧力差は水位による圧力差となる。
- S/C圧力とD/W圧力の圧力差から水頭圧を計算し, PCV水位を計算している。

・ S/C-D/W差圧水位計算式 $P_{S/C} = P_{D/W} + \rho g \Delta H$

$P_{S/C}$: S/C圧力 $P_{D/W}$: D/W圧力 ρ : 水密度 g : 重力加速度

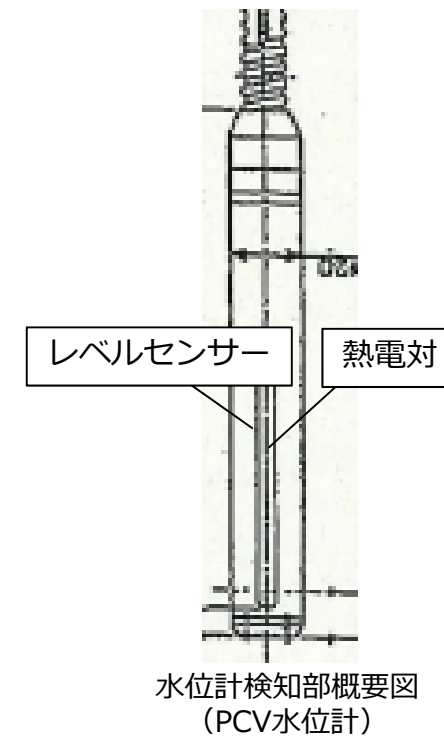
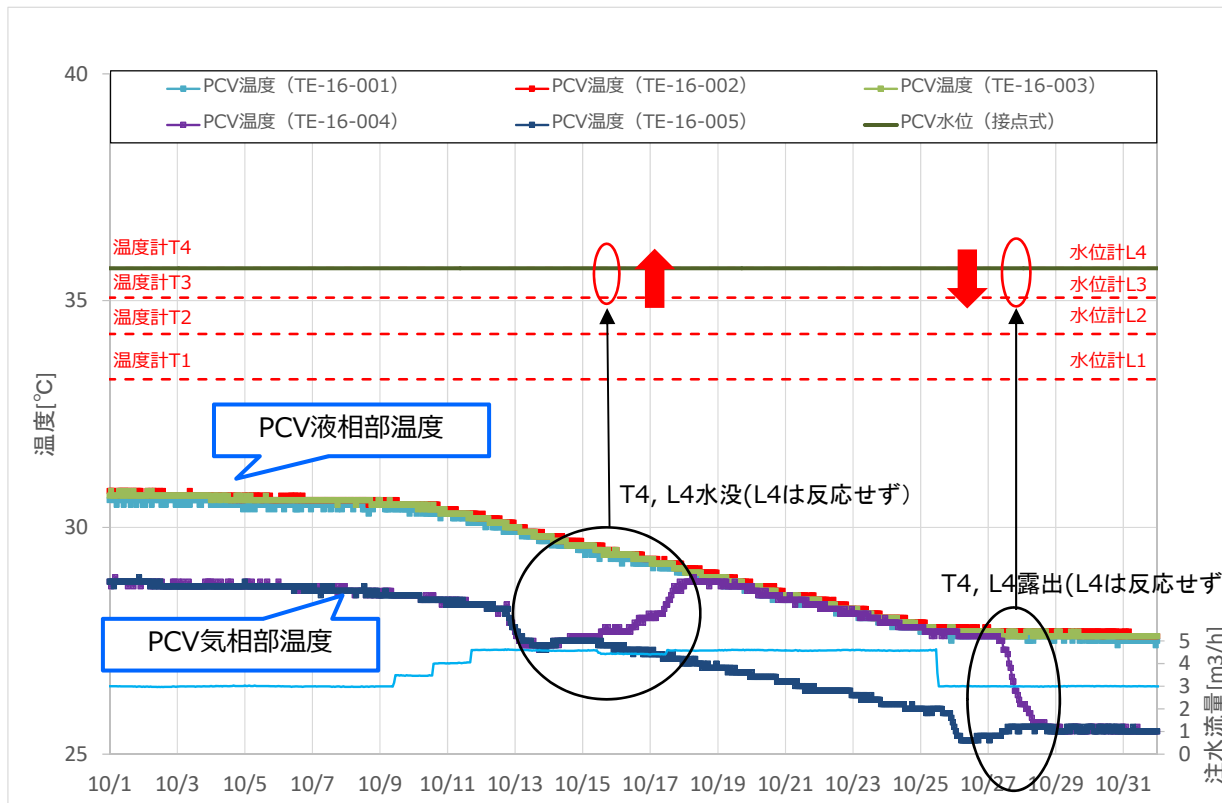
ΔH : $P_{S/C}$ を基準としたD/W内水位

(参考)PCV温度の温度変化量 (PCV新設温度計)



注水停止時の温度を基準とし、その後の温度変化量をプロット

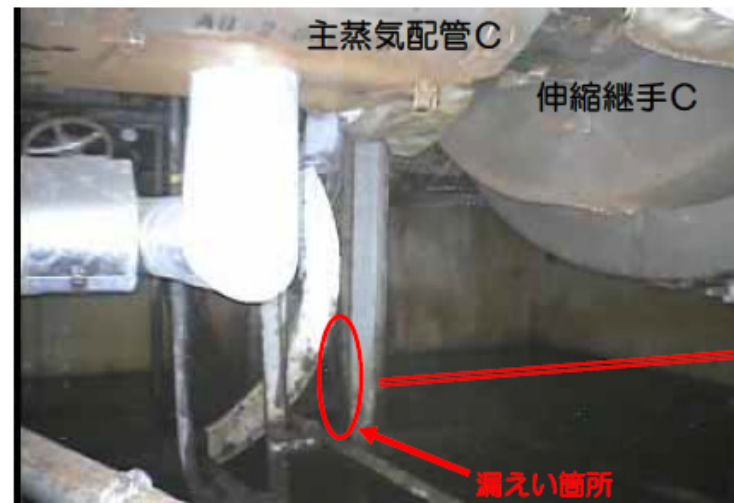
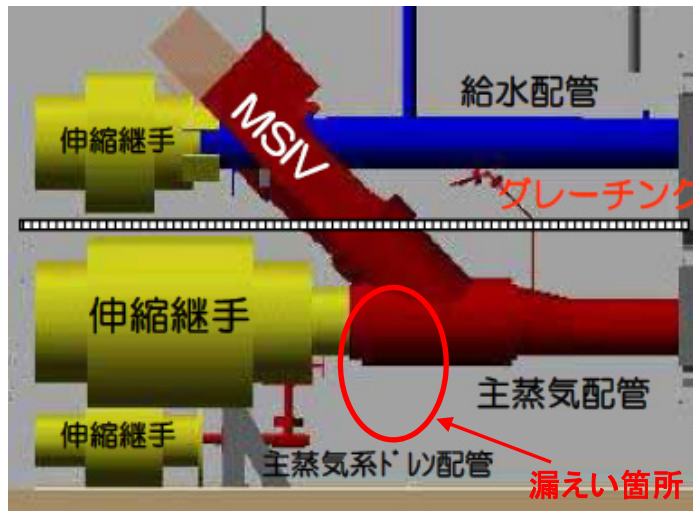
(参考)PCV水位計の不動作に関する考察 (過去注水変更時の傾向)



注水量増加に伴うPCV温度、水位の挙動 (2019年10月)

- 水位計指示値はL4を示しているが、注水変更に伴う温度計指示値の変動より、実際の水位はL3からL4, L4からL3へ変化していたと考えられるため、水位計L4の誤動作と推定。
- 水位計の誤動作については検出器周辺環境により影響を受ける可能性があり、不純物の付着、結露等による誤動作したと推定している。
- なお、水位計の指示値がL4からL3へ変化したことを2019年12月に確認している。

(参考) PCV漏洩箇所の推定 (MSラインベローズ)



主蒸気配管D

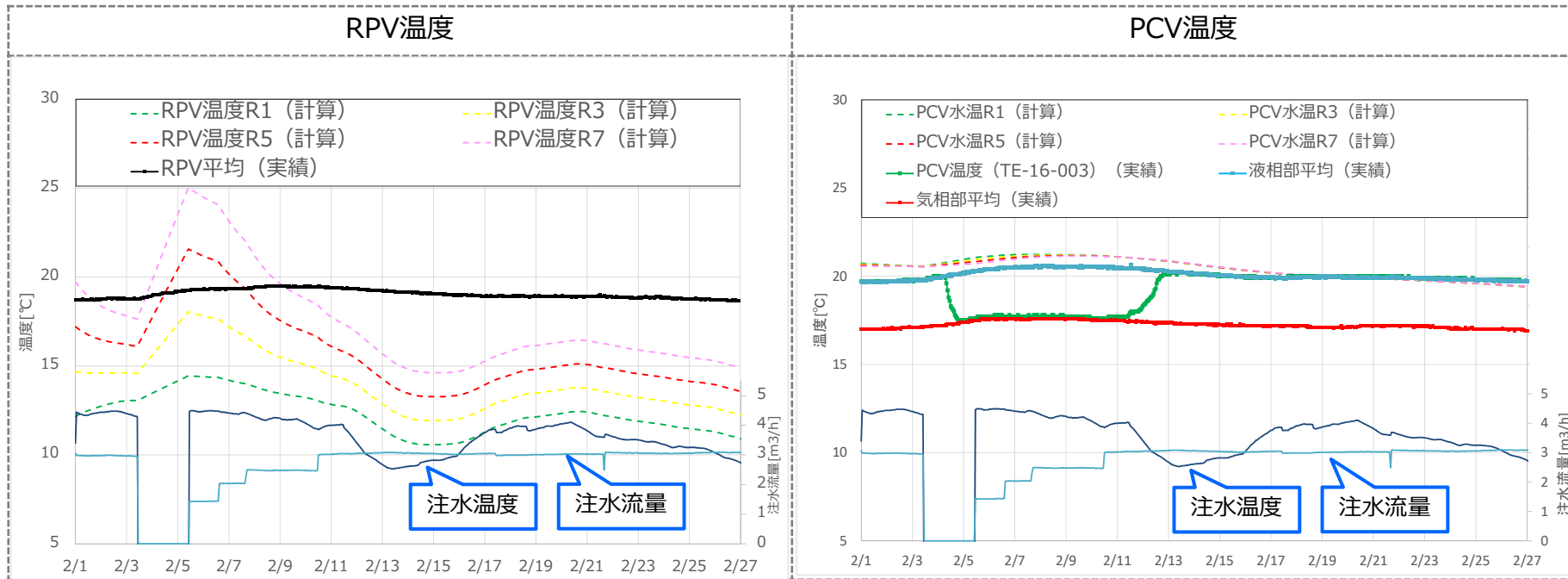
漏えい箇所拡大

(主蒸気配管からの漏えい状況：2014年調査時)

- 3号機では、MSIV室内の調査結果より、MSIV室内の主蒸気配管の伸縮継手周辺からPCV内の水が漏えいしていることを確認している。
- 注水停止中にMSラインベローズからの漏えい継続を確認するため、MSIV室上方にて漏えい音の聞き取りを実施した。
- 聞き取りの結果、水の流れる音を確認しており、MSIV室からの漏えいが継続していたと推定している。

2. 熱バランス評価と実績温度との比較について

熱バランス評価と実績温度の比較（注水温度・気温を反映）



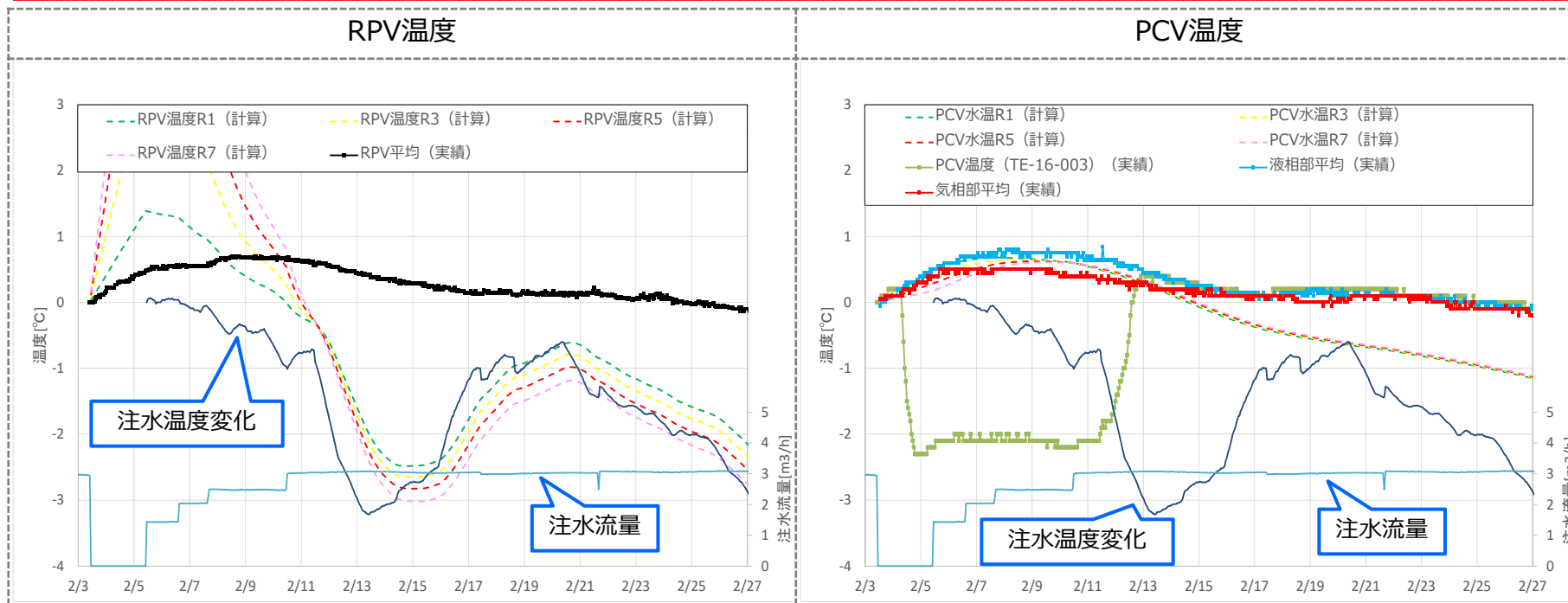
- RPV温度について，R1※のケースでは，全体的に温度を低めに評価する傾向。一方，R3～R7※のケースでは温度評価は温度計指示に近づくが，注水停止時の温度上昇を過大に評価する傾向であった。
- PCV温度は概ね実績温度を再現している一方で，PCV水温と気温の違いなど，局所的な温度変化まではモデル上考慮しておらず，再現できていない。

※ 評価条件（燃料デブリ存在割合）
 R1: RPV10% PCV90% R3: RPV30% PCV70%
 R5: RPV50% PCV50% R7: RPV70% PCV30%

- 熱バランスモデルと実際の測定値には差異が生じている原因として、以下のような3号機のプラントの特徴が影響している可能性が考えられる。
 - (1) PCV保有水量が多いこと（PCV水位が高いこと）
 - PCV保有水量の違いは、PCV全体の熱容量の大きさに影響するため、PCV温度の過渡変化時の時定数に影響する可能性がある。
 - PCV保有水量が多いことにより、液相内での温度分布が発生しやすくなる可能性がある。
 - ペDESTAL内やPCV底部における燃料デブリの水没状態の違いにより、燃料デブリから冷却水への伝熱量に差異がある可能性がある。
 - (2) 温度測定の不確かさ
 - 温度計は周方向・高さ方向に複数設置されているものの、設置位置によっては、細かい温度分布を観測できていない可能性がある。
 - 既設温度計は事故の影響により絶縁が低下しており、指示値に不確かさがある。(最大20℃程度)なお、PCVには、事故後に新しく温度計を設置している。
- これらの特徴は1号機にも共通しており、1号機の試験結果の考察において予め評価したとおり※、1号機と3号機の試験結果で類似した傾向が確認された。

※ 1号機 燃料デブリ冷却状況の確認試験の結果について(2020年1月30日)

(参考) 注水停止中の温度上昇評価と実績の比較



注水停止時の温度を基準とし、その後の温度変化量をプロット

- 注水停止中の温度上昇はRPV温度、PCV温度ともに概ね評価の範囲内であった。
- RPV温度は、評価よりも温度上昇の開始が遅く、温度上昇量も小さい結果となった。また、PCVの温度上昇量と比べても、RPVの温度上昇量は小さい結果となった。
- PCVの温度上昇は、PCV水温、気温ともに、R1のケースに概ね合致する結果であった。また、温度上昇時の傾きは概ね一致したものの、注水再開以降の温度低下傾向が評価より実績の方が遅い傾向がある。

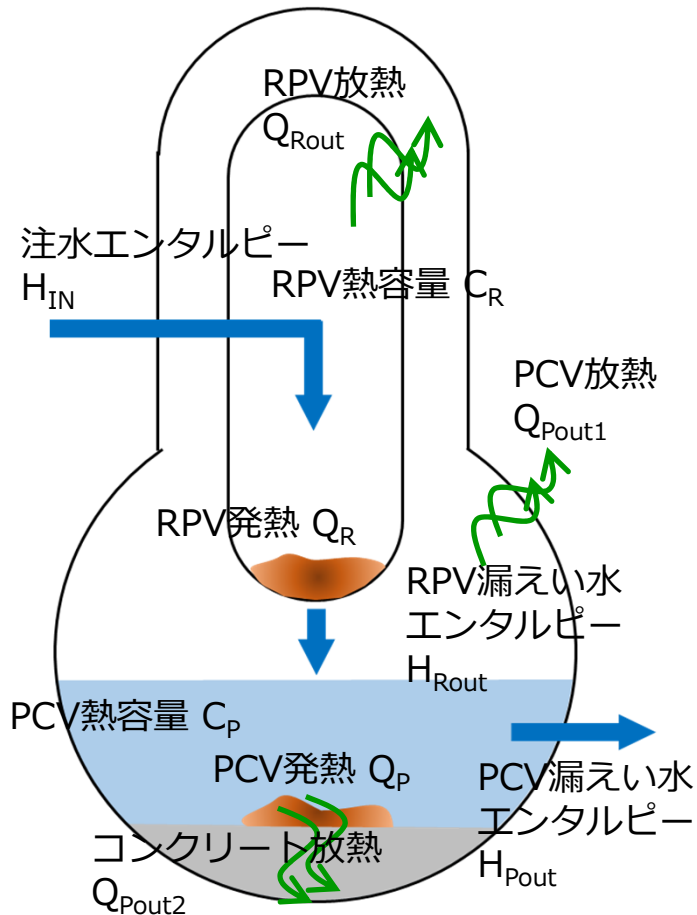
※ 評価条件 (燃料デブリ存在割合)

R1: RPV10% PCV90% R3: RPV30% PCV70%
 R5: RPV50% PCV50% R7: RPV70% PCV30%

(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

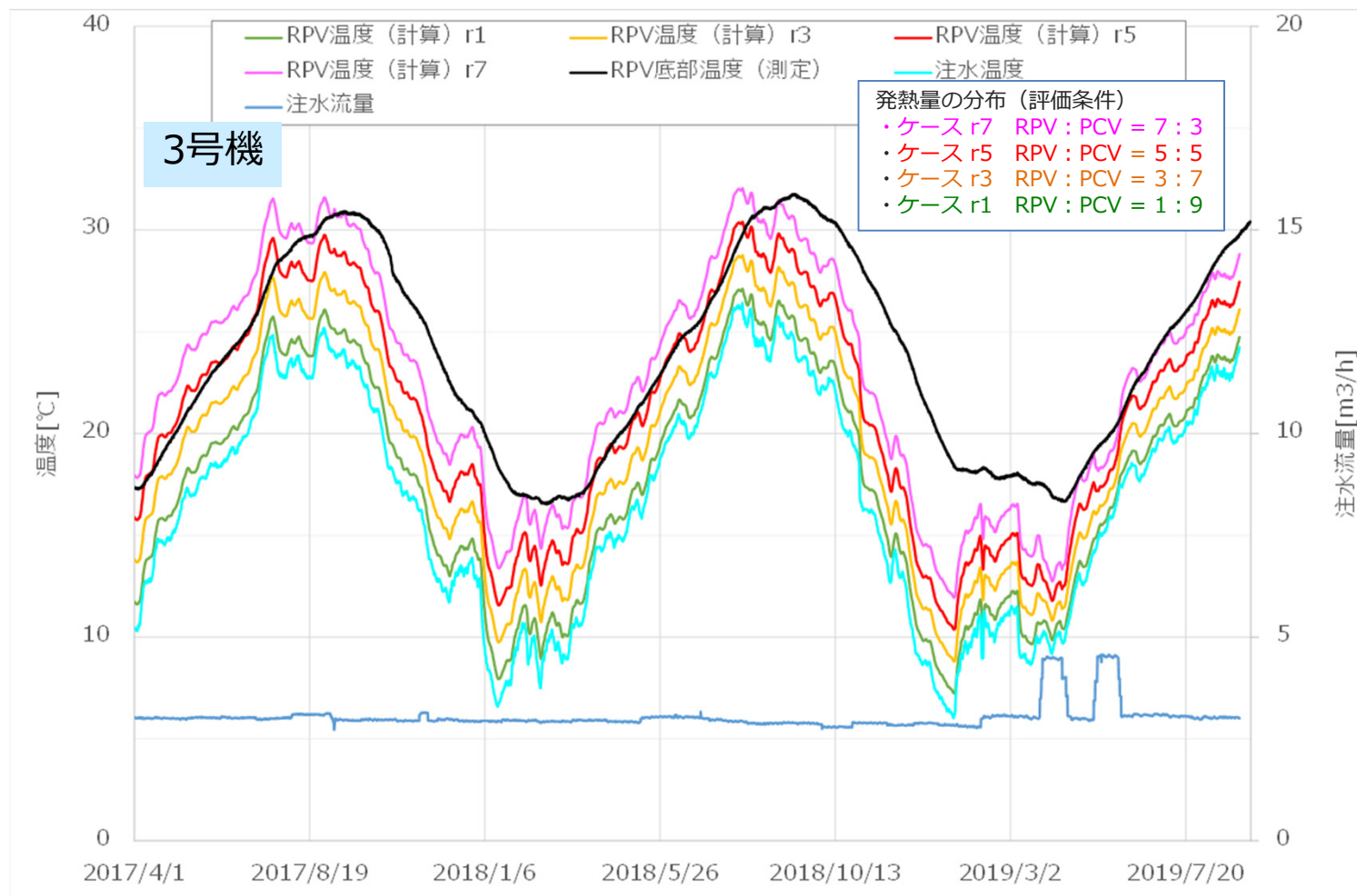
$$H_{Rout} + Q_P + Q_{Rout} - Q_{Pout1} - Q_{Pout2} - H_{pout} - C_p \times \Delta T_p = 0$$

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

(参考) 3号機RPV温度の計算結果 (熱バランスモデル)

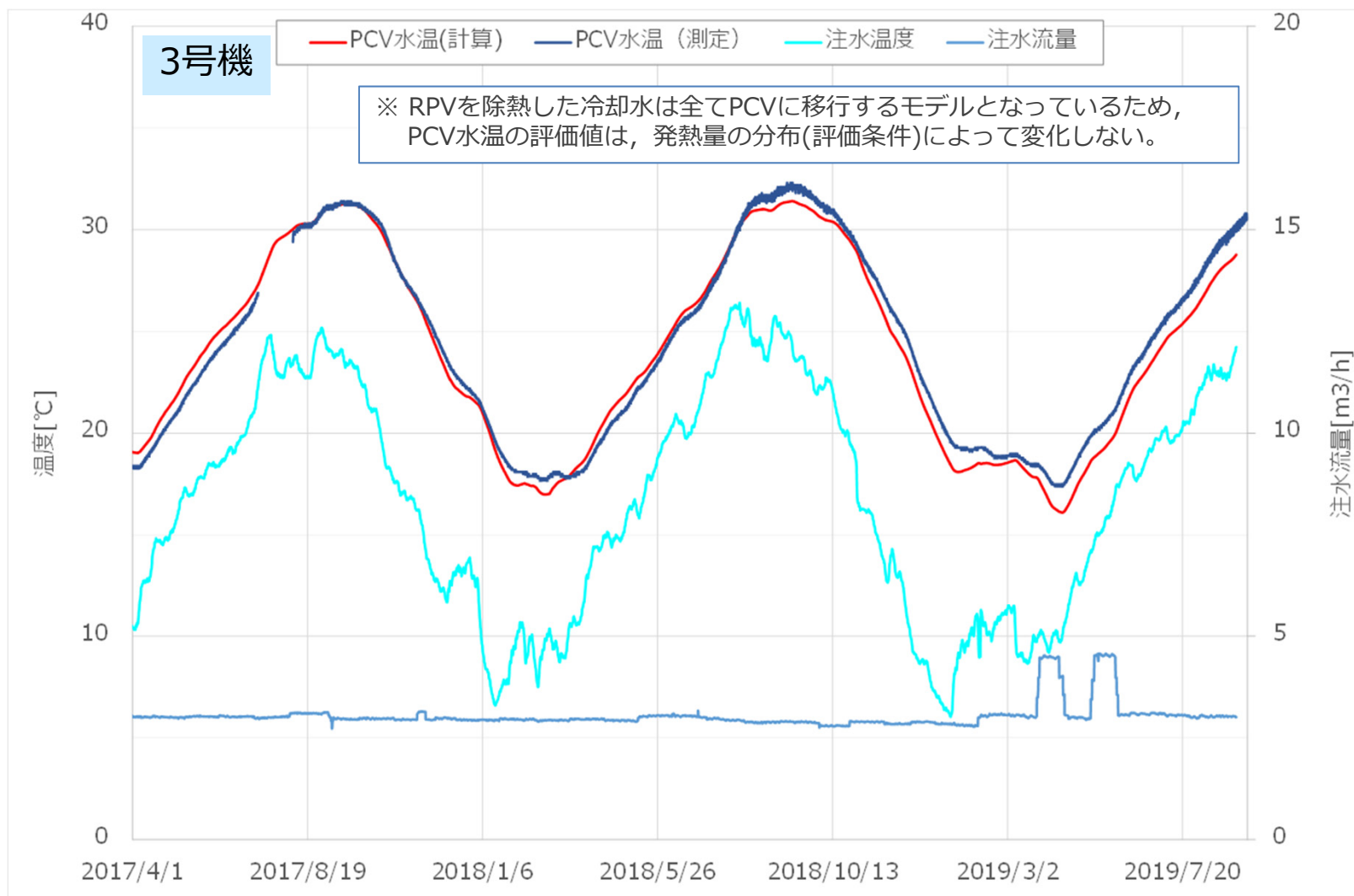


- これまで3号機の燃料デブリの大部分はPCVに存在と推定。
- しかしながら、熱バランスモデルによる温度評価では、RPVの発熱量の評価条件が小さいと、RPV温度の計算値は低めとなり、RPVの発熱量が多い方が測定値に近い傾向。
- また、計算値の方が注水温度の変化に対する温度応答が早い傾向。

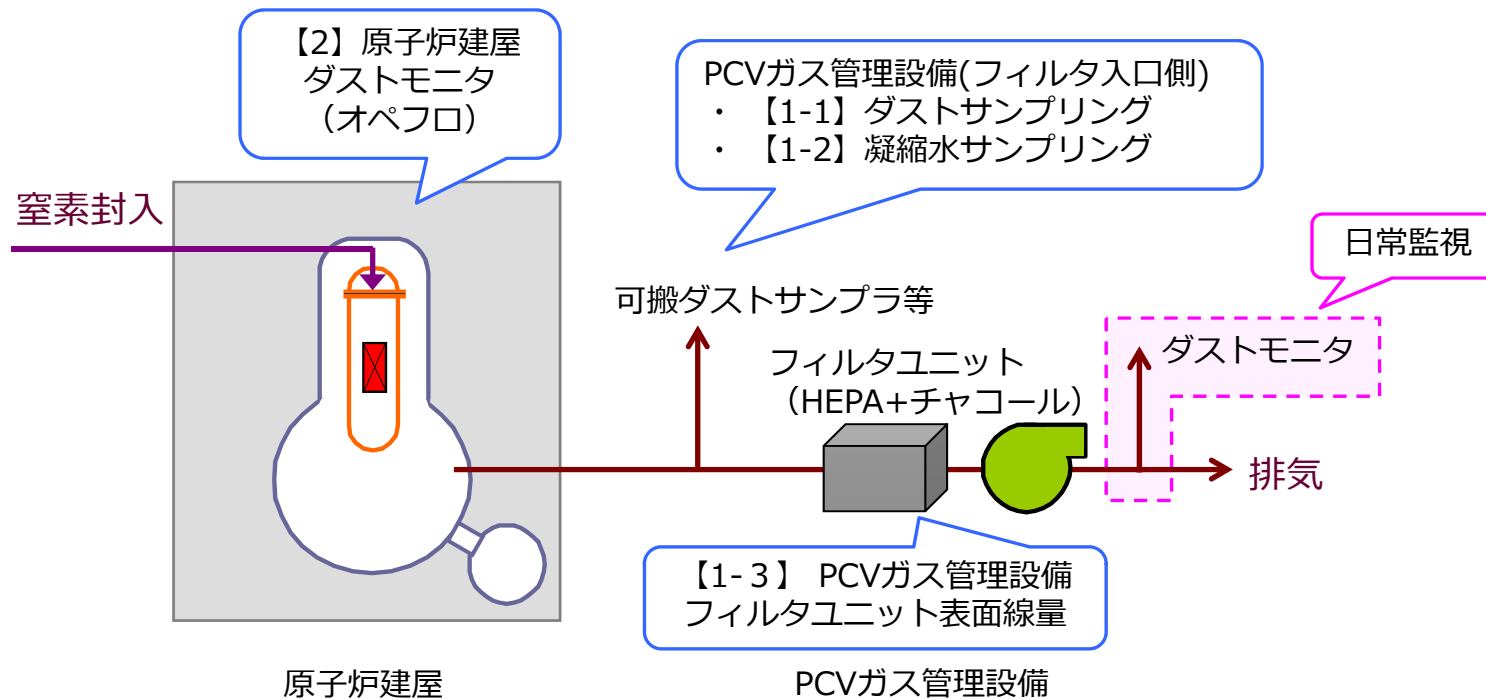


(参考) 3号機PCV温度の計算結果 (熱バランスモデル)

- 計算したPCV水温が、実績のPCV水温 (新設温度計) を概ね再現



3. 注水停止中に採取した放射線データについて



■ 原子炉の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、試料の採取・分析や関連するプラントパラメータの取得を実施した。

- ・ 【1】 PCVガス管理設備
 - ・ 【1-1】 フィルタ入口側（フィルタ通過前）ダストサンプリング
 - ・ 【1-2】 フィルタ入口側（フィルタ通過前）凝縮水サンプリング
 - ・ 【1-3】 フィルタユニット表面線量
- ・ 【2】 原子炉建屋ダストモニタ（オペフロ）

【1-1】 PCVガス管理設備フィルタ入口側ダストサンプリング

分析項目 [Bq/cm ³]	注水停止前 (2020.1.31採取)	注水停止中 (2020.2.4採取)
全α	検出限界未満 ($<9.812 \times 10^{-9}$)	検出限界未満 ($<1.290 \times 10^{-8}$)
全β	検出限界未満 ($<2.660 \times 10^{-7}$)	検出限界未満 ($<2.664 \times 10^{-7}$)
Cs-137	検出限界未満 ($<9.937 \times 10^{-8}$)	2.470×10^{-7}
その他γ※	検出限界未満	検出限界未満

※Cs-134,Cr-51, Mn-54,Fe-59,Co-58,Co-60,Sb-125,Ag-110m,Ce-144,Eu-154,Am-241,I-131

- 注水停止中に検出限界をわずかに超えるCs-137が検出されたものの、アルファ核種、ベータ核種、セシウム以外のガンマ核種は全体的に検出限界未満であり、注水停止によるPCV内の放射能濃度に大きな変動はなかった。
- なお、PCV中のガスは、PCVガス管理設備のフィルタを通して排気している。フィルタ出口側のダストモニタに有意な上昇はなく、環境へ影響がないことを確認している。

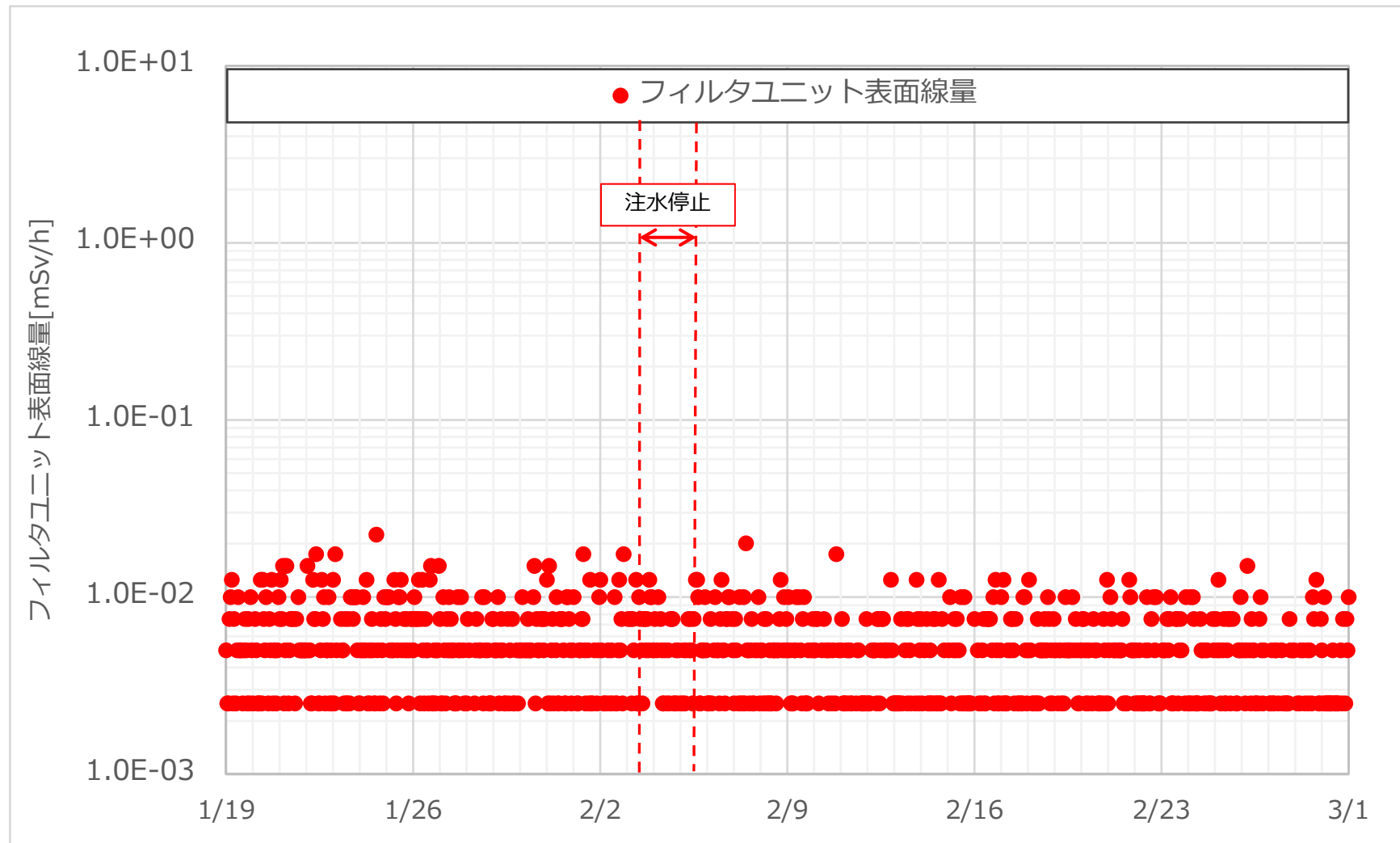
【1-2】 PCVガス管理設備フィルタ入口側凝縮水サンプリング

分析項目 [Bq/L]	注水停止前 (2020.1.31採取)	注水停止中 (2020.2.4採取)
全α	検出限界未満 ($<7.895 \times 10^0$)	検出限界未満 ($<7.895 \times 10^0$)
全β	4.536×10^3	4.465×10^3
Cs-134	2.582×10^2	2.665×10^2
Cs-137	3.783×10^3	4.022×10^3
Co-60	8.150×10^0	1.679×10^1
Sb-125	6.173×10^1	1.093×10^2
Sr-90	4.391×10^3	4.536×10^3
H-3	6.973×10^5	6.916×10^5
その他γ※	検出限界未満	検出限界未満

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

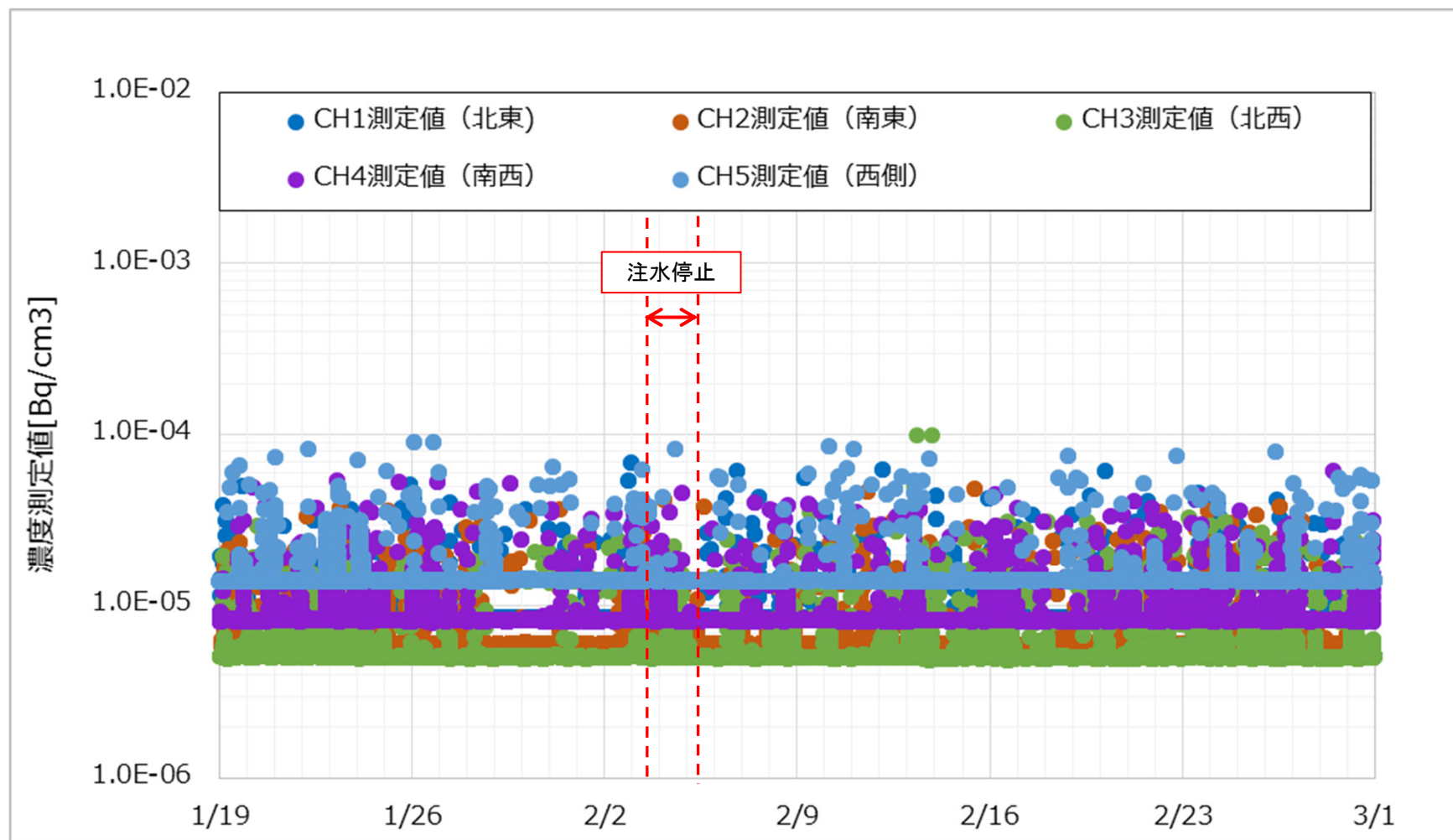
- 全体的に大きな上昇はなかったものの、Co-60、Sb-125で注水停止前後の放射能濃度に変動が確認された。

【1-3】 PCVガス管理設備フィルタユニット表面線量



- フィルタユニット表面線量は日々の変動範囲内で推移しており、注水停止の影響は確認されなかった。

【2】 原子炉建屋ダストモニタ（オペフロ）



- オペフロのダスト濃度は日々の変動範囲内で推移しており、注水停止による影響は確認されなかった。

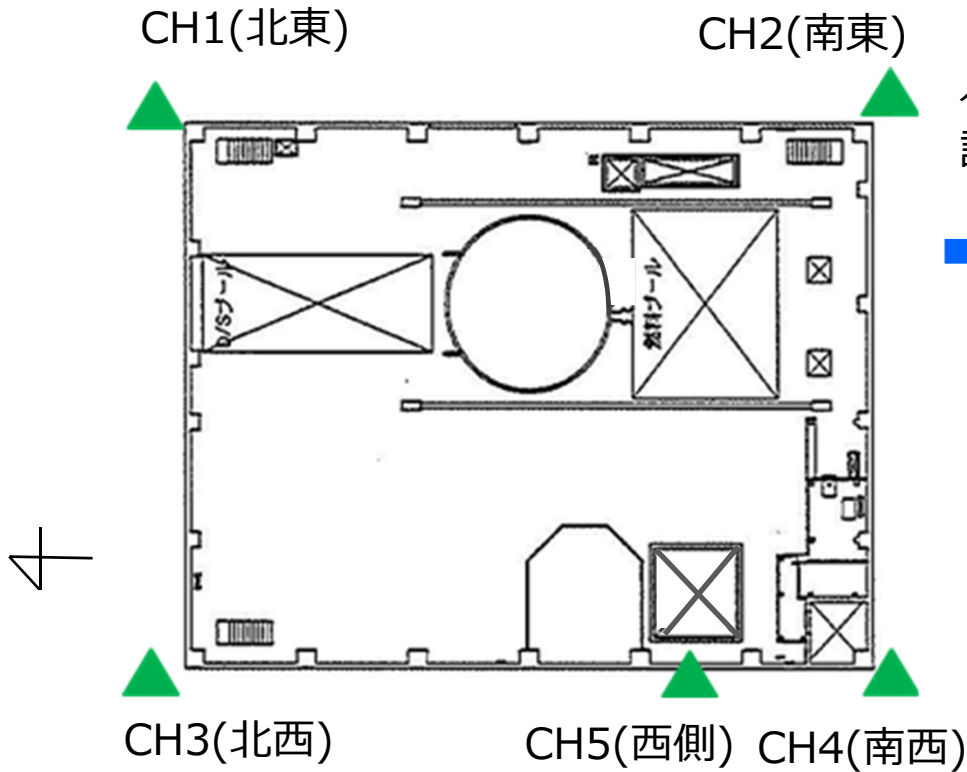
- RPVの温度挙動について
 - RPV底部温度, RPV下部周辺温度は全体的に緩やかな挙動を示していた。
 - RPV底部ヘッド上部温度(TE-2-3-69H2), RPVスカート上部温度(TE-2-3-69K1)で注水再開後の温度低下が大きい傾向, 注水量を2.5m³/hに増加した後に温度上昇傾向が確認された。

- PCV水温と水位の変動について
 - PCV新設温度計(TE-16-003)で温度変化が確認された。当該温度計はPCV水位の変化に伴い, 一時的に気相露出したと推定している。
 - PCV水位の評価結果及びMSIV室内の漏えい音の確認より注水停止中のPCV水位はMSラインベローズに至っていないと推定している。

- 熱バランス評価と実績温度の比較
 - RPV温度は熱源の存在割合に応じ, 評価結果と実績温度に若干の差異が生じた。
 - PCV温度は実績温度を概ね再現している。

- 放射線データについて
 - ダストではCs-137, 凝縮水ではCo-60, Sb-125で注水停止前後の放射能濃度に変動が確認された。
 - フィルタユニット表面線量, オペフロダストモニタの指示値については注水停止による影響は確認されなかった。

(参考) 原子炉建屋ダストモニタ (オペフロ) の設置位置



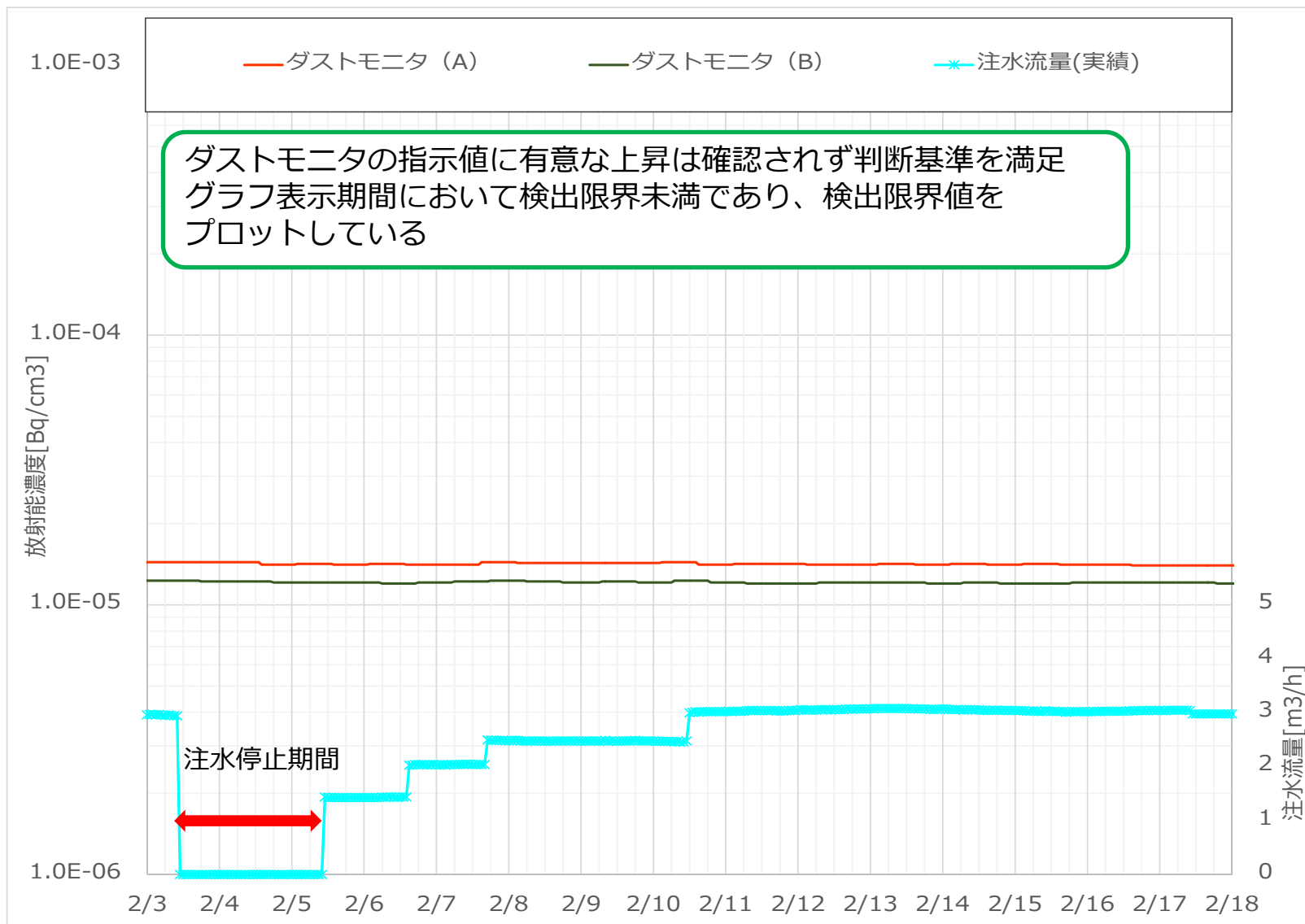
ダストモニタ
設置場所 (図中▲)

■ 3号機オペレーティングフロア周辺には
5か所にダストモニタが設置されている

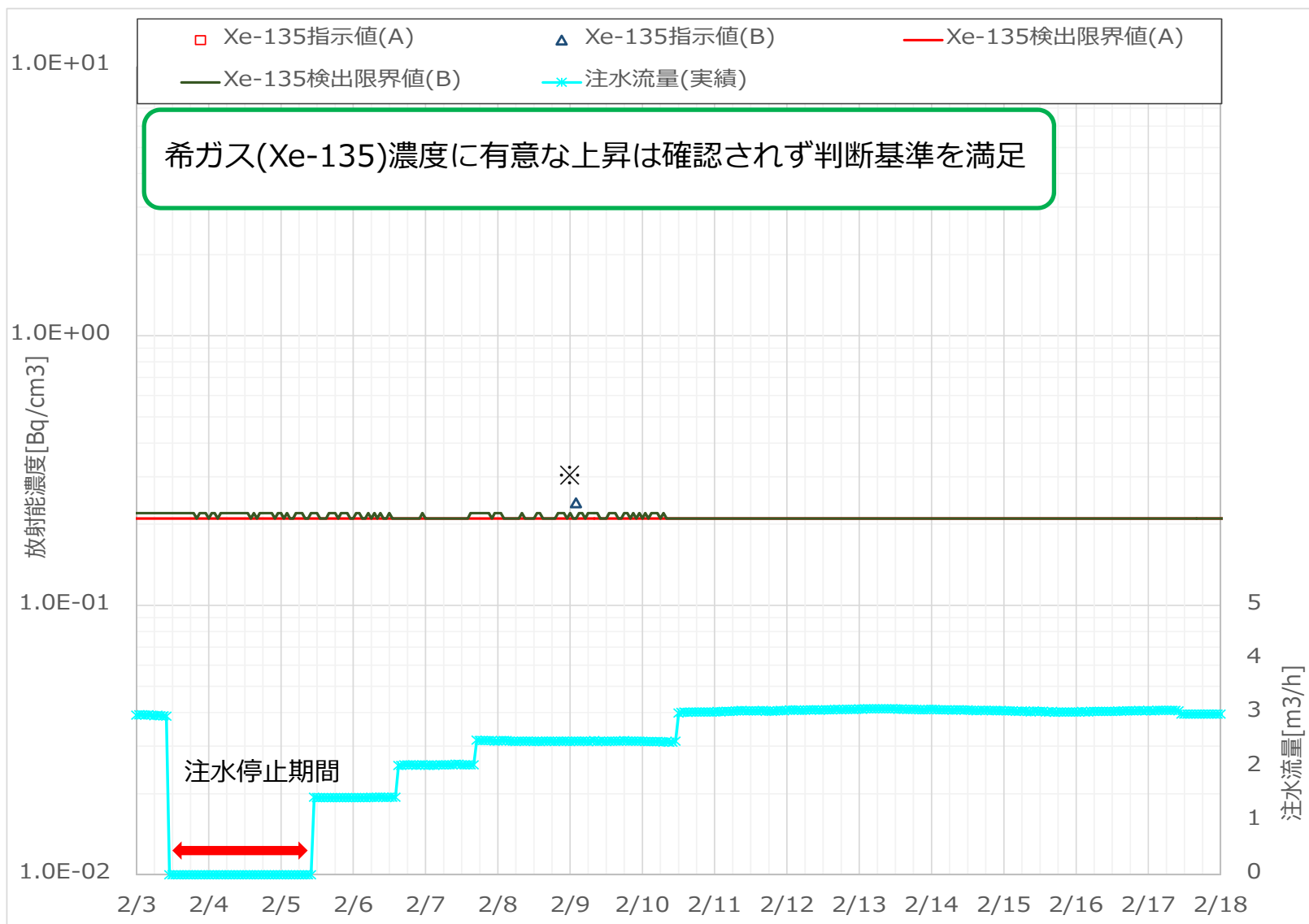
- CH1(北東)
- CH2(南東)
- CH3(北西)
- CH4(南西)
- CH5(西側)

ダストモニタ設置位置 (オペフロ上部より)

(参考) PCVガス管理設備 ダスト濃度の推移



(参考) PCVガス管理設備 希ガス(Xe135)の推移



※B系(片系)で一点のみ指示を確認。放射能濃度の計算上、稀に生じる事象であり、Xe-135濃度の上昇を示すものではない（過去に類似事象あり）

総括 1～3号機試験結果のまとめ及び今後の計画

- ① 1～3号機の試験結果まとめ
- ② 今後の計画

① 1～3号機の試験結果まとめ

- 1～3号機において、原子炉注水を一時的に停止する試験を実施した結果として、以下のことがわかった。
 - ① 試験中のRPV温度やPCV温度に大きな上昇はなく、ダスト濃度や希ガス濃度にも影響はなかったことから、一時的な原子炉注水の停止によって、燃料デブリの冷却状態に問題はないこと。
 - ② 熱バランスモデルによって、注水停止などの過渡的な冷却状態の変化をふくめ、RPV底部温度やPCV温度を概ね評価可能であること。
 - ③ 注水停止中の温度上昇率は、最大の2号機で約0.2℃/hであり、この温度上昇率に基づくと、注水停止時の時間余裕は、およそ10日以上と見込まれ、従前評価の約10時間と比べ、大幅に余裕が大きいこと※。

※ RPV底部の温度が運転上の制限である80℃に到達するまでの時間余裕

②今後の計画

- これまでの1～3号機の試験結果をふまえ、以下の対応を進めていく。
 - (1) 緊急時対応手順の適正化
 - ▶ 原子炉注水が停止した場合の時間余裕が、従来の保守的な評価値よりも大幅に余裕が大きいことをふまえ、実態に即した評価を手順に反映する。
 - ▶ これにより、トラブルが同時発生した際には、緊急性がより高い対応に傾注するなど、安全上の優先順位を適正に判断する手順となる。
 - (2) 実施計画の見直し（運転上の制限）
 - ▶ 原子炉注水の一時的な停止によって燃料デブリの冷却状態に問題はなかったことをふまえ、原子炉注水系の運用方法見直しを検討する。
 - ▶ 熱バランスモデルによってRPV底部温度やPCV温度を概ね評価可能であることをふまえ、炉内温度監視方法の見直しを検討する。
- また、PCV水位変動などの知見拡充のため、停止時間を延長した注水停止試験の追加実施なども計画していく。

(参考) 1～3号機 原子炉注水停止試験の実施概要[実績]

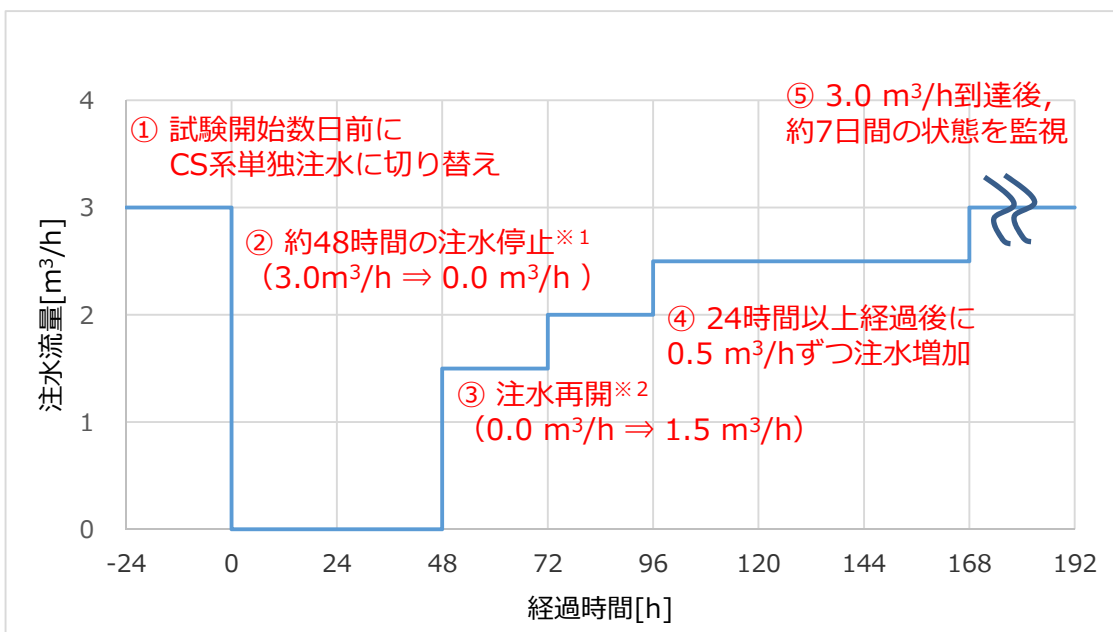


		1号機	2号機	3号機
試験期間		2019年10月	2019年5月	2020年2月
注水停止時間		約49時間	約8時間	約48時間
注水停止中の温度上昇	RPV底部	約0.2℃ (予測：最大8.7℃)	約1.0℃ (予測：約1.3℃)	約0.6℃ (予測：最大7.3℃)
	PCV	約0.6℃ (予測：最大0.4℃)	約0.1℃ (予測：約0.2℃)	約0.7℃ (予測：最大0.5℃)
温度上昇率（最大）		約0.01℃/h	約0.2℃/h	約0.01℃/h
注水停止中の応答		<ul style="list-style-type: none"> • 全体的に緩やかに温度上昇（大きな温度上昇はなし） • ダスト濃度，希ガス濃度等にも影響なし 		
注水再開後の応答		<ul style="list-style-type: none"> • 希ガス濃度に影響なし • 注水再開後のRPV/PCV温度は時間をおいて緩やかに温度低下傾向 • 2号のRPV底部温度（新設）は注水量変更と比較的，早く応答する 		
評価値と実測値の比較		<ul style="list-style-type: none"> • RPV底部/PCVの温度測定値は，熱バランスモデルで概ね評価可能 • 1～3号機のRPV底部温度(既設)の温度計指示は，概ね評価の範囲内であるものの，評価と比べ実際の温度挙動は緩慢である傾向 • PCV温度は水温と気相部温度の違いなど，局所的な温度変化までは評価できていない 		
PCV水位の低下		水位低下により真空破壊ラインが露出と推定	もともと水位が低く，水位低下なしと推定	水位低下するもMSラインベローズからの漏洩は停止せず

以下, 参考

(参考)3号機における注水停止試験の概要

- 原子炉注水を約48時間停止^{※1}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、1.5m³/hで注水を再開^{※2}。その後、24時間以上経過した後、0.5m³/hずつ、試験前の3.0m³/hまで戻す。

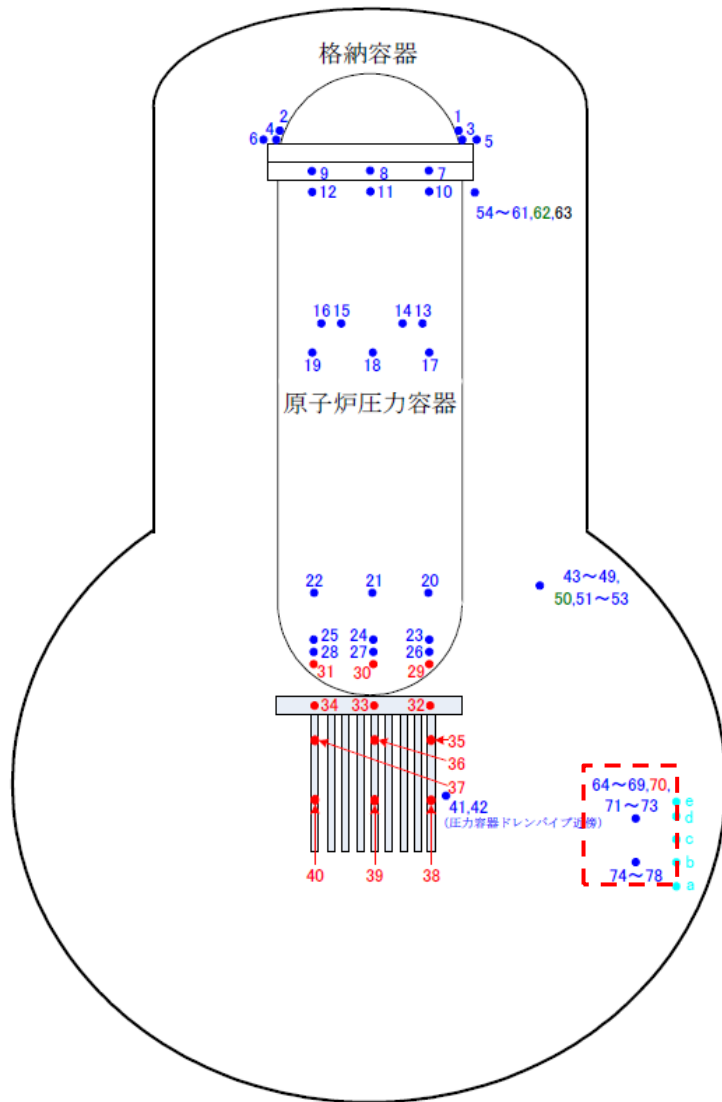


実施計画上の扱い（運転上の制限）

※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（安全措置A）

※2 任意の24時間あたりの注水増加幅を1.0m³/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（安全措置B）

(参考)温度計配置図 (既設PCV温度) (格納容器空調機)

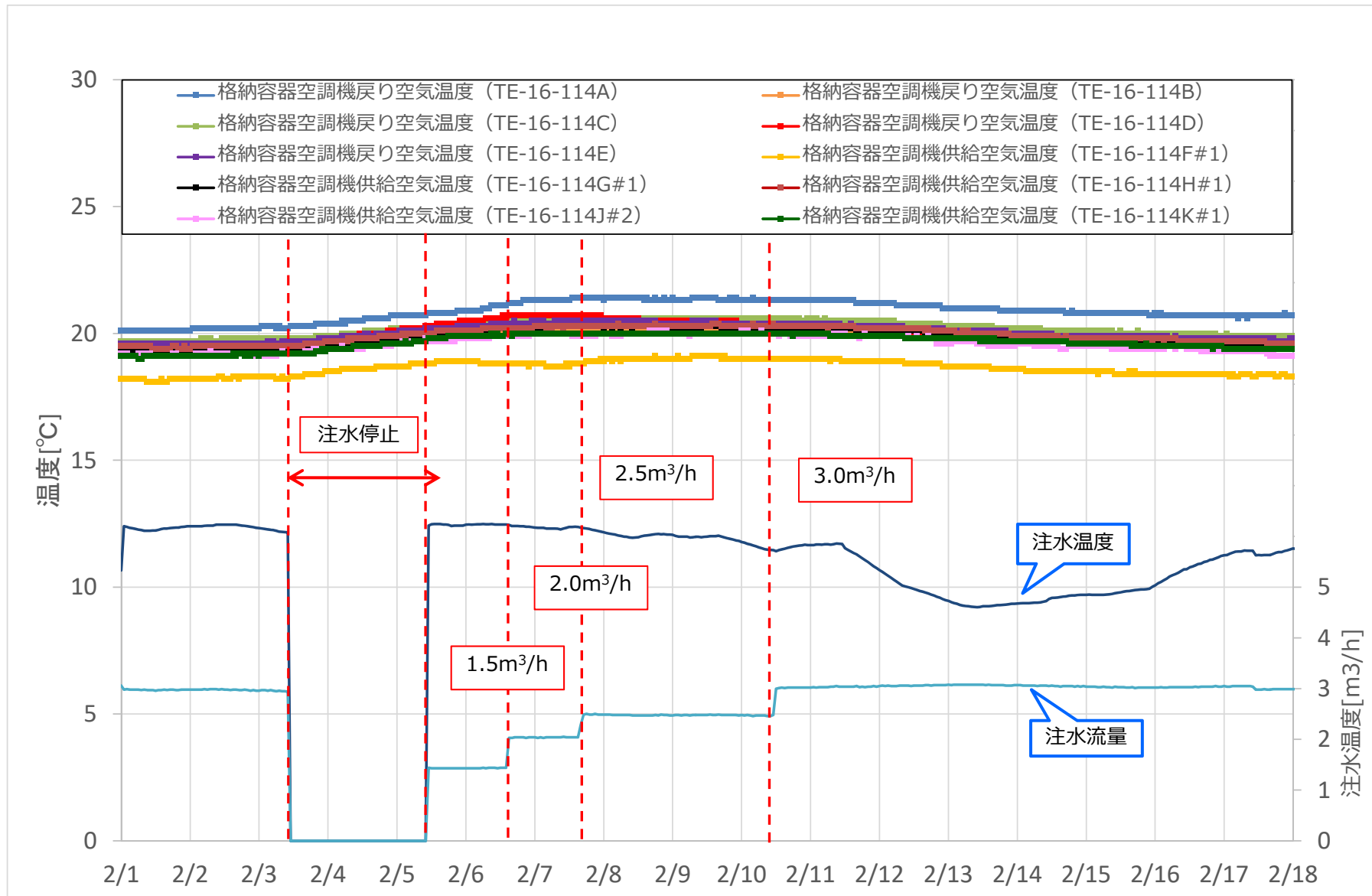


- 既設温度計
- 新設温度計
- 監視・評価対象外

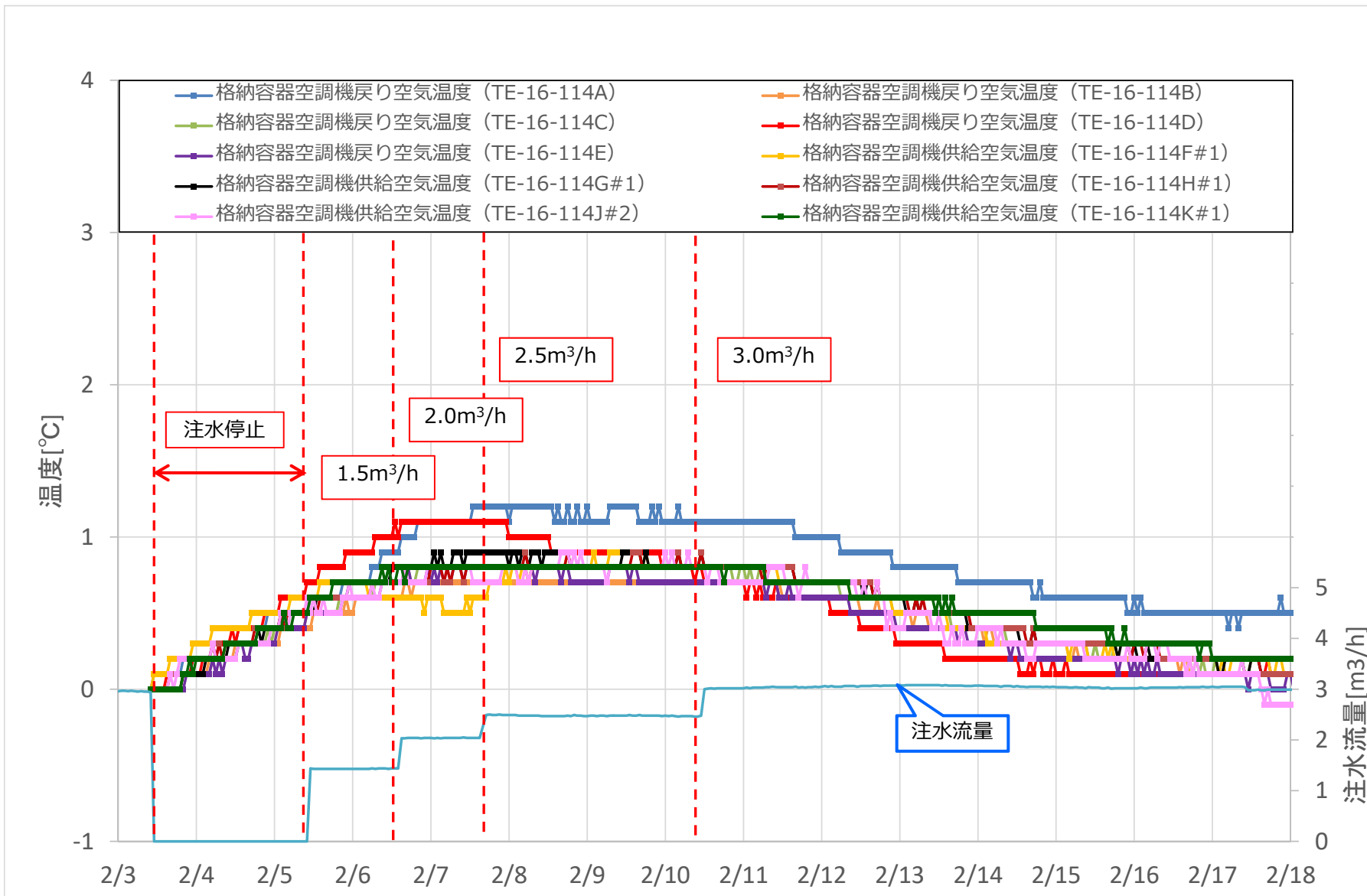
■ 既設PCV温度計

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	74
	TE-16-114B	75
	TE-16-114C	76
	TE-16-114D	77
	TE-16-114E	78
格納容器空調機供給空気温度	TE-16-114F#1	64
	TE-16-114G#1	66
	TE-16-114H#1	68
	TE-16-114J#2	71
	TE-16-114K#1	72

(参考) 既設PCV温度 (格納容器空調機温度)

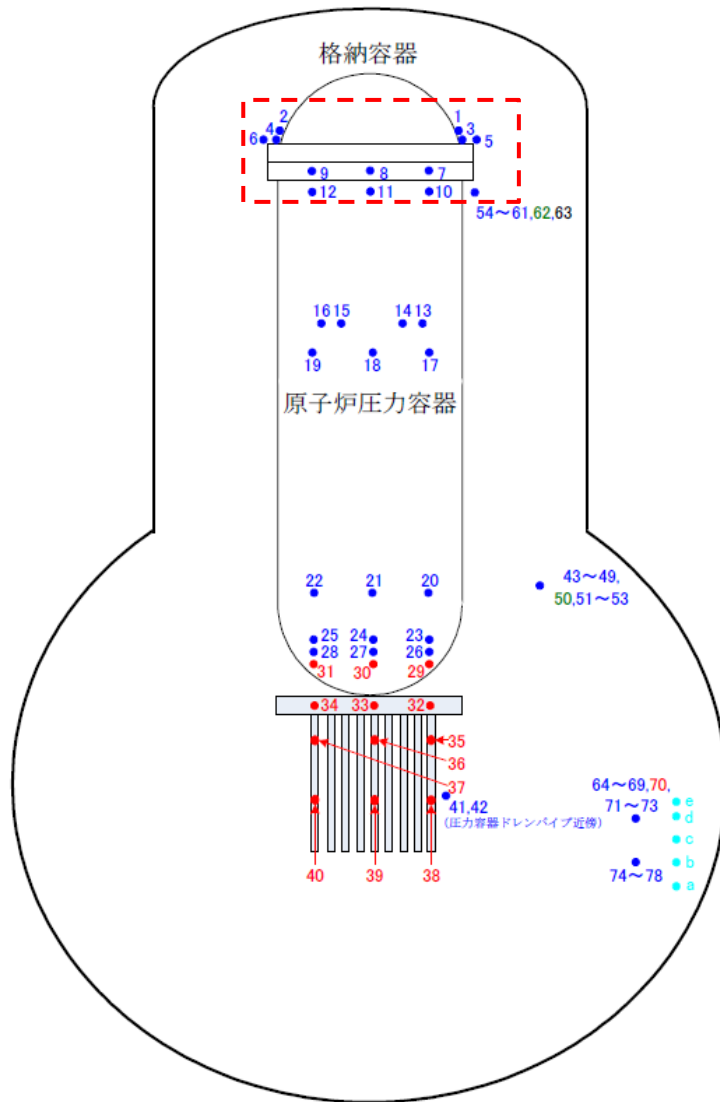


(参考) 既設PCV温度の温度変化量 (格納容器空調機温度)



注水停止時の温度を基準とし、その後の温度変化量をプロット

(参考)温度計配置図 (RPVフランジ周辺温度)

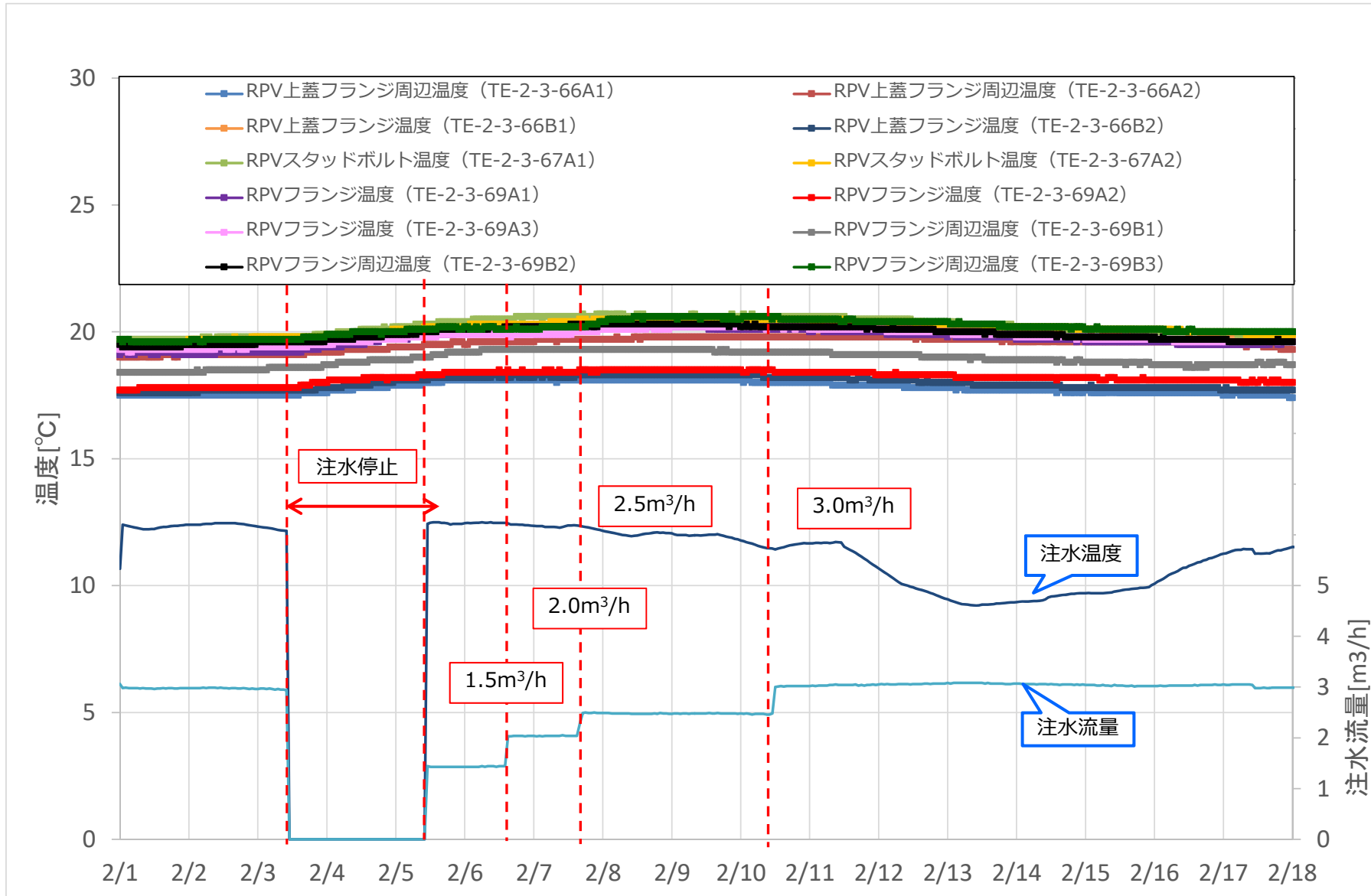


■ RPVフランジ周辺温度計

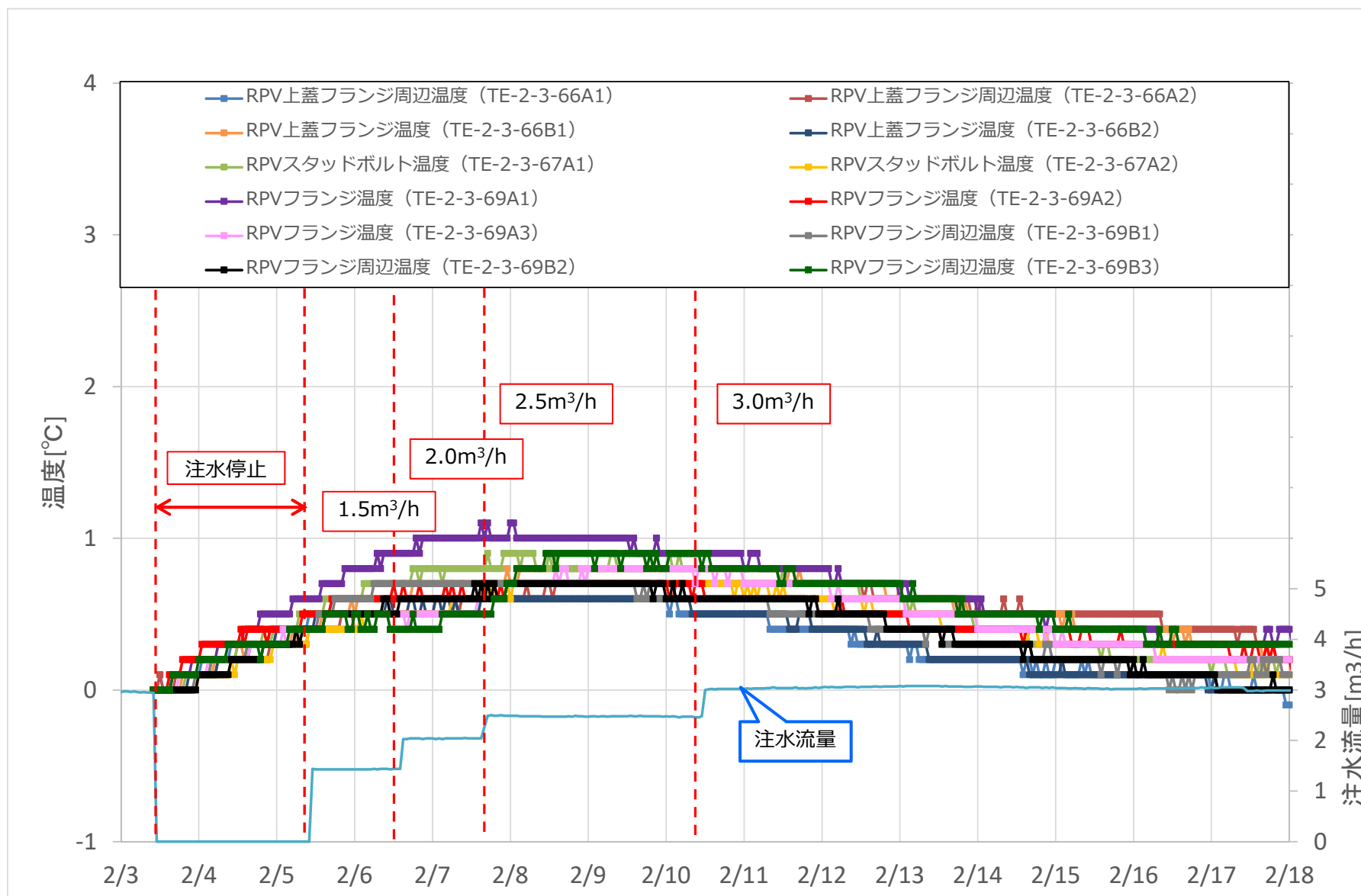
サービス名称	Tag No.	No.
RPV上蓋フランジ周辺温度	TE-2-3-66A1	1
	TE-2-3-66A2	2
RPV上蓋フランジ温度	TE-2-3-66B1	3
	TE-2-3-66B2	4
RPVスタッドボルト温度	TE-2-3-67A1	5
	TE-2-3-67A2	6
RPVフランジ温度	TE-2-3-69A1	7
	TE-2-3-69A2	8
	TE-2-3-69A3	9
RPVフランジ周辺温度	TE-2-3-69B1	10
	TE-2-3-69B2	11
	TE-2-3-69B3	12

- 既設温度計
- 新設温度計
- 監視・評価対象外

(参考)RPVフランジ周辺温度

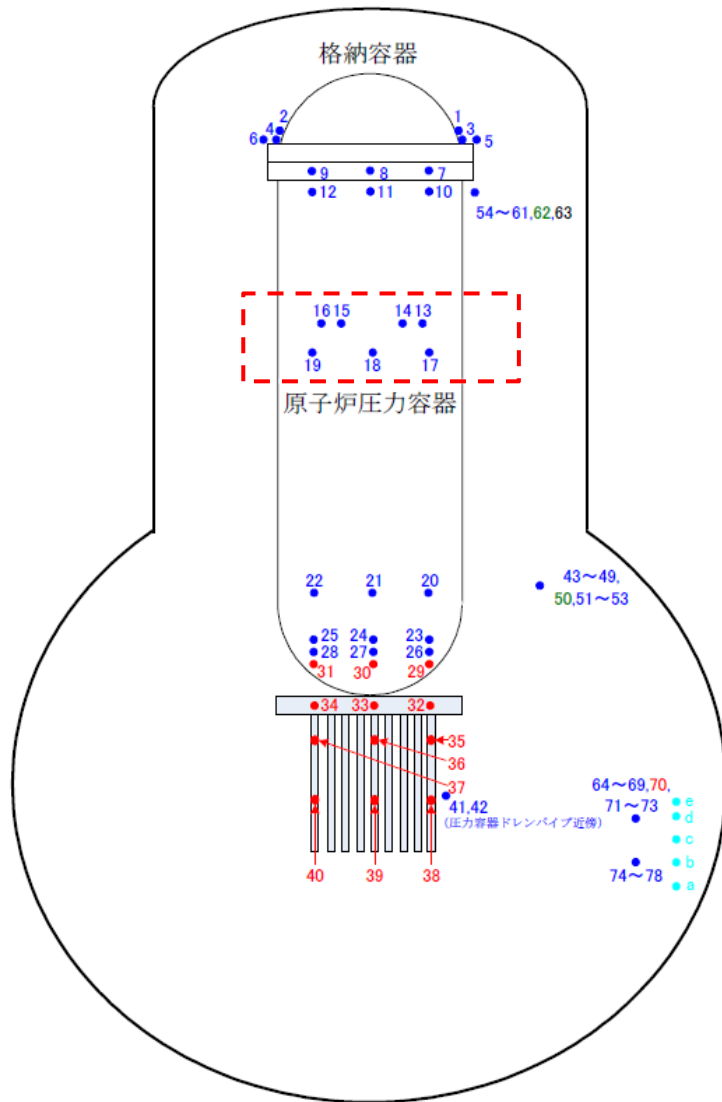


(参考)RPVフランジ周辺温度の温度変化量



注水停止時の温度を基準とし、その後の温度変化量をプロット

(参考)温度計配置図 (RPV給水ノズル周辺温度)

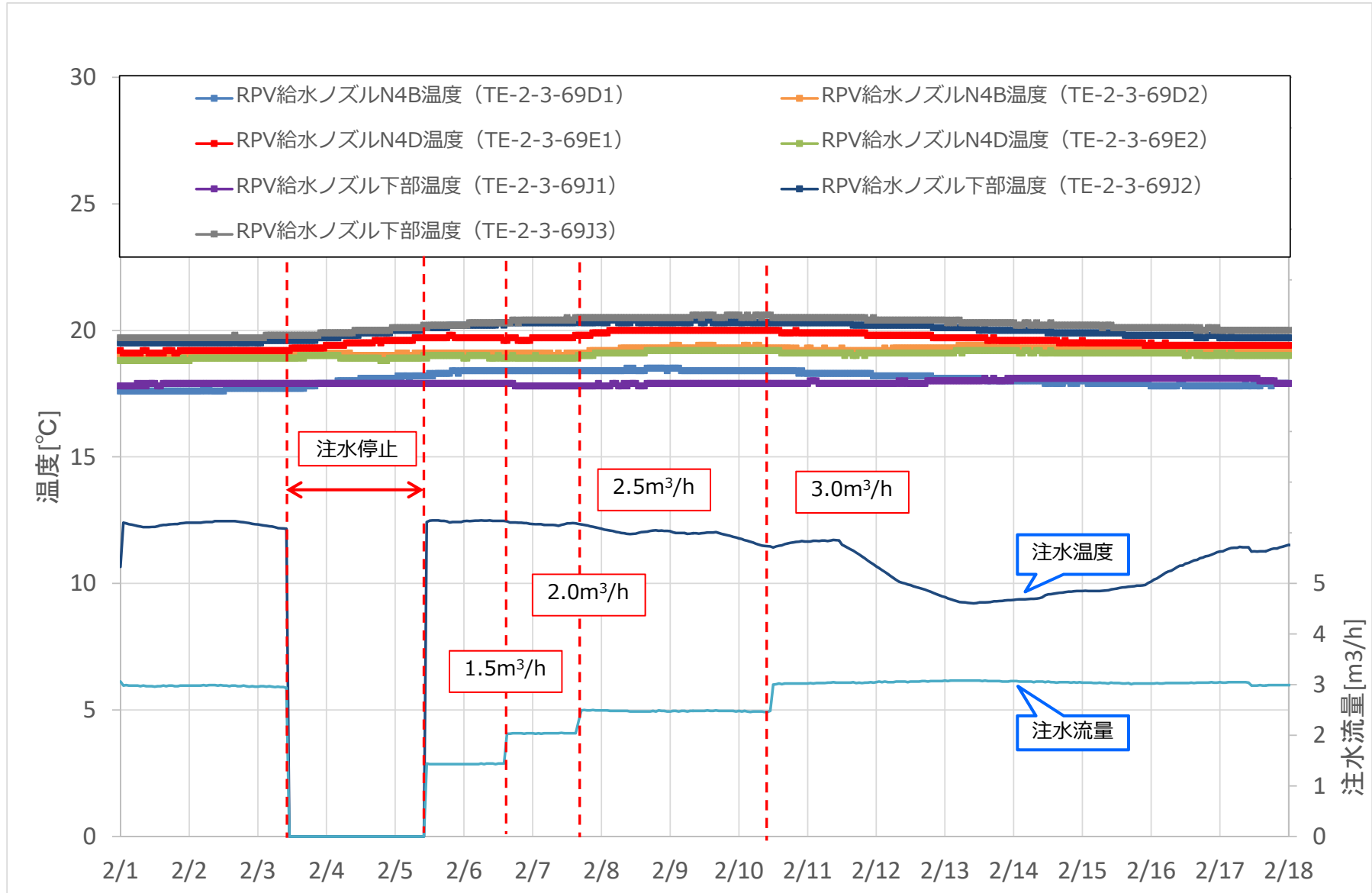


- 既設温度計
- 新設温度計
- 監視・評価対象外

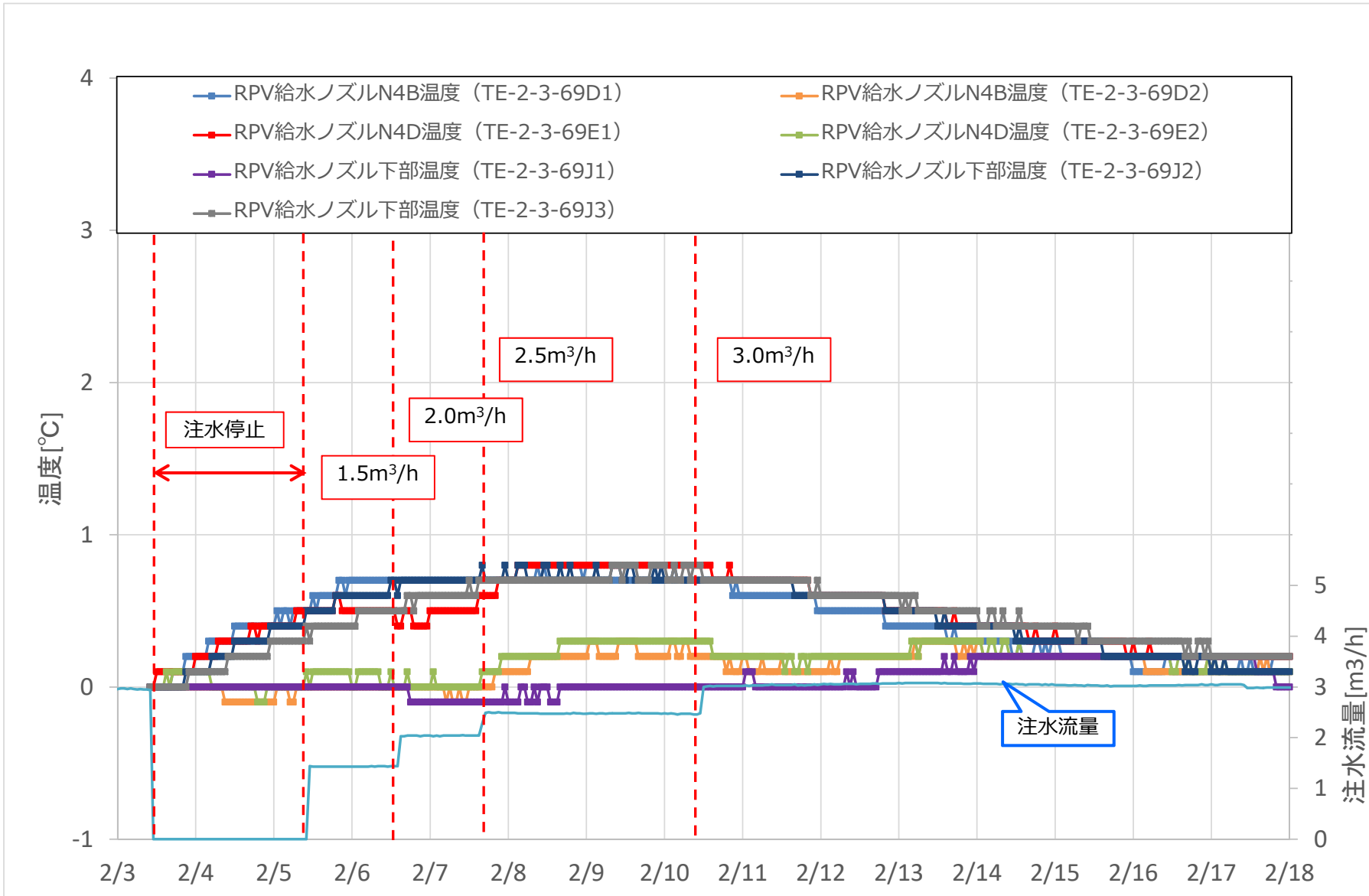
■ RPV給水ノズル周辺温度計

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)RPV給水ノズル周辺温度



(参考)RPV給水ノズル周辺温度の温度変化量



注水停止時の温度を基準とし、その後の温度変化量をプロット

窒素ガス分離装置（B）指示不良に関する不具合の 原因と対策について

（窒素ガス分離装置（B）指示不良に伴う運転上の制限逸脱及び復帰について（続報））

2020年5月28日



東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要と現状

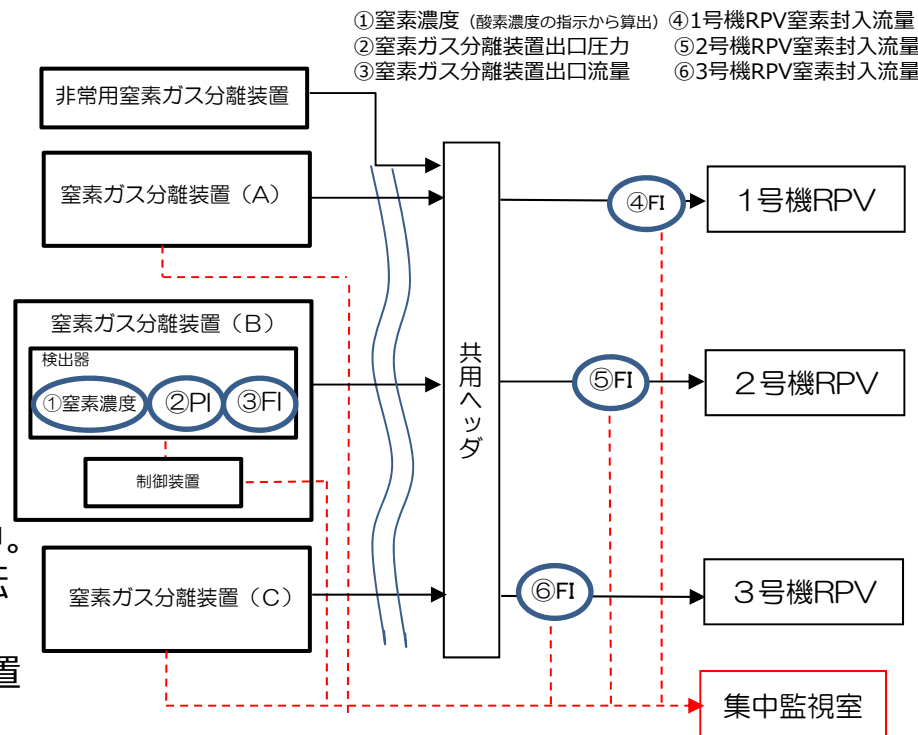
■ 概要

- 4月24日、窒素ガス分離装置の運転をB/CからA/Cへ切替をしたところ、免震棟集中監視室の監視画面において、停止した窒素ガス分離装置(B)の③出口流量の指示値が減少しないこと、現場操作盤で「FX3U-4AD電源異常」警報が発生していることを当直員が確認した。また、その他の関連パラメータを確認したところ、4月21日以降、窒素ガス分離装置(B)の①窒素濃度及び③出口流量の指示値に通常の変動がなく一定となっていることを確認した。
- 当直長は、実施計画で要求される事項（封入する窒素濃度が99%以上であることを毎日1回確認）を行うことができていなかったとし、4月24日13:40に「運転上の制限逸脱」を判断した。また、窒素ガス分離装置(B)の窒素供給の停止およびA/C運転時のパラメータに異常がないことを確認し、「運転上の制限逸脱からの復帰」を同時刻13:40に判断した。なお、4月21日以降、PCV内の水素濃度等の監視パラメータに異常は確認されていない。

- 当日の現場確認において、**当該制御器(AD変換器)のDC24V電源ランプが消灯していること、本体のパッケージ内部に黒色の粉が飛散し堆積していることが確認された。**
- 窒素ガス分離装置(B)の再現性試験の結果、窒素濃度100%が確認されたことから、4月21~24日において、PCVへ封入する窒素濃度は99%以上を満足していた状態であり、PCV内の不活性雰囲気維持機能は確保されていたと考えられる。

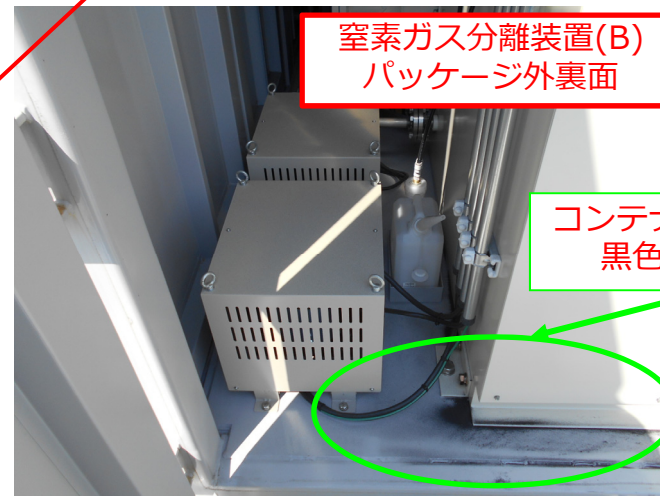
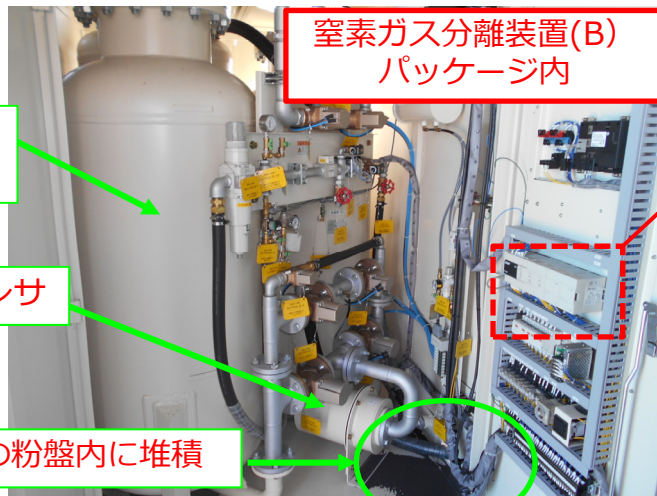
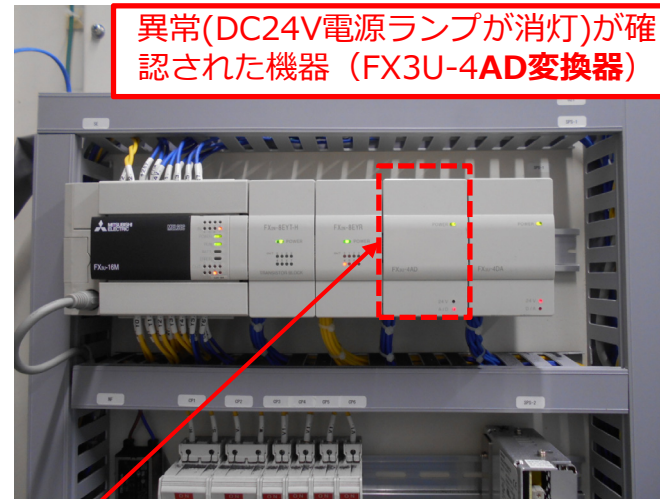
■ 現状

窒素ガス分離装置(B)は現在原因調査のため点検中。また、窒素ガス分離装置の運転はC号機の1台運転としており、A号機は待機号機としている。なお、更なる予備機として非常用窒素ガス分離装置が待機中である。



2. 事象発生当時の現場状況

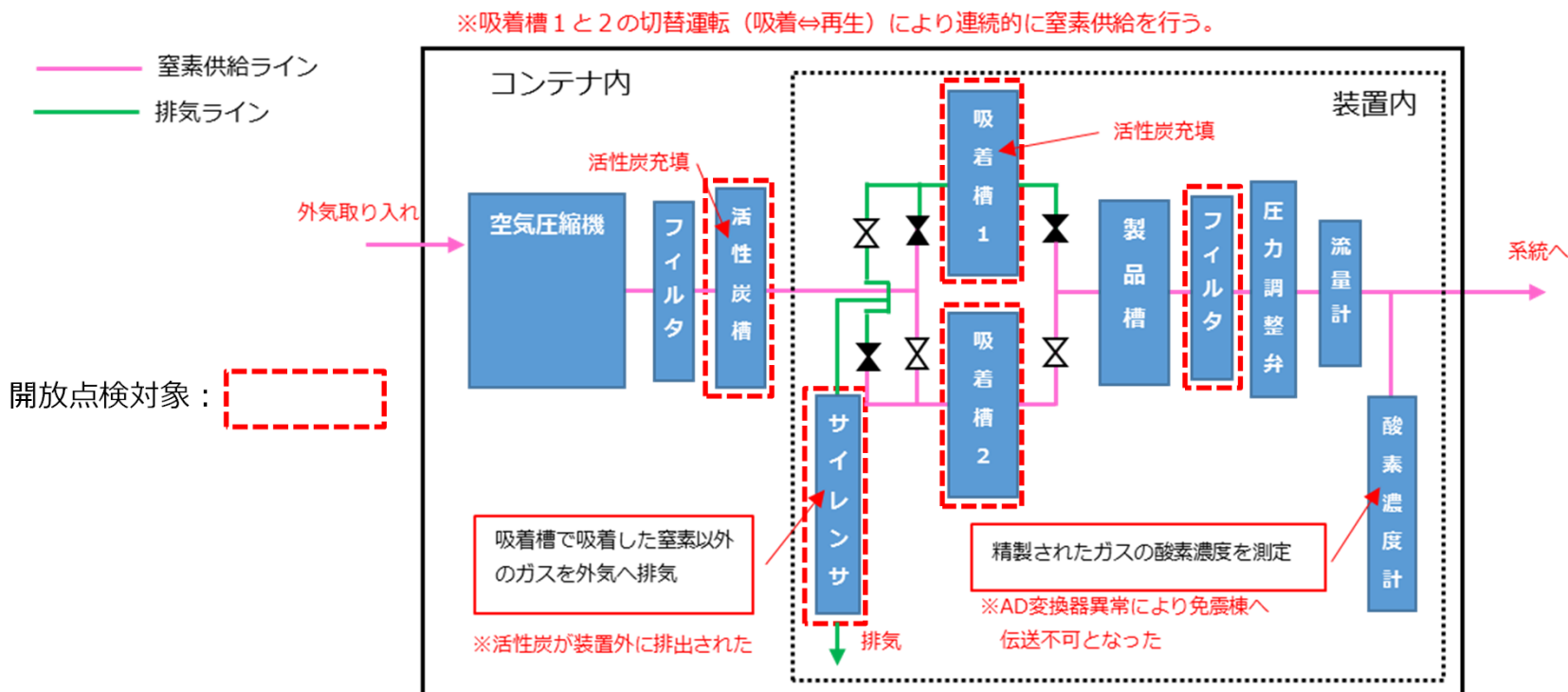
- 窒素ガス分離装置(B)本体のパッケージ内部に黒色の粉が飛散し堆積していることを確認。装置内の流路を構成する配管・機器の継手部に漏えいの痕跡がなかったことから、サイレンサからの排気と同時に外部に流出したものと考えられる。



3. 「運転上の制限の逸脱」事象の原因調査

窒素ガス分離装置（B）について、以下の内容の原因調査を実施。

調査項目	調査内容
再現性試験	<ul style="list-style-type: none"> 警報が発報したAD変換器や他の制御器の状態確認（電源状況、外観） 黒色の粉の流出経路 窒素供給機能の維持（99%以上の窒素濃度を精製・供給の確認）
分解調査	AD変換器の内部の状態確認
開放点検	黒色の粉の発生箇所、流出経路、系統への流入有無 (活性炭槽、吸着槽1・2、出口フィルタ、サイレンサの開放点検)



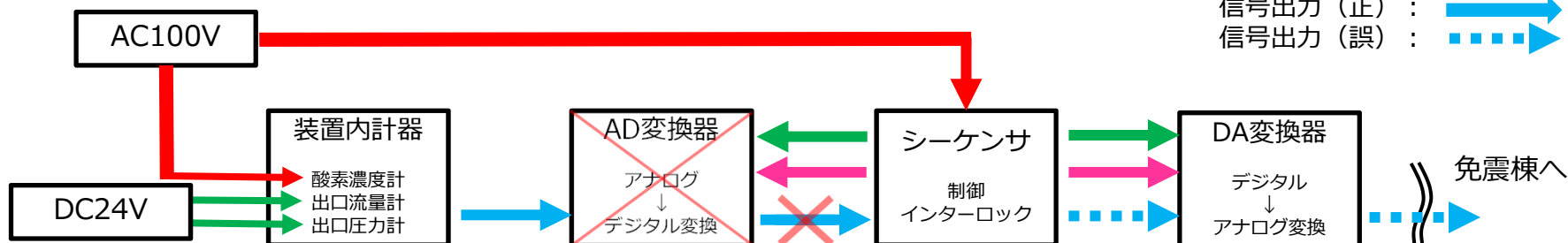
4. 免震棟集中監視室の指示値が一定であった原因

- 窒素ガス分離装置(B)のパラメータは、装置内の計器から各制御器を経由して免震棟集中監視室に伝送される。
- 原因調査の結果、AD変換器の不具合発生と同時に「FX3U-4AD電源異常」警報が発報した。また、計器からの信号を変換・伝送できず、不具合発生時の信号がシーケンサに保持された状態となったため、免震棟へ一定の値として伝送されたと考えられる。

推定原因		調査結果	可能性
AD変換器の不具合	内部要因	AD変換器のDC24V電源ランプが消灯。 新品のAD変換器に交換後の運転確認において、パラメータは正常に表示、DC24V電源ランプが点灯。	○
	外部要因(電源供給有無)	電圧測定で入力電圧(DC24V)を確認、電源の供給に異常はない	×
他の制御器の不具合		再現性確認において、他の制御器の異常はない(警報なし)	×
免震棟側の異常(受信ができない)		窒素ガス分離装置の運転をB/CからA/Cへ切替の際、A/C運転のパラメータに異常はない	×

当該警報が免震棟集中監視室に発報されない理由

窒素ガス分離装置の運転停止に関わる警報について、免震棟集中監視室に伝送する設計としていた為、当該警報は免震棟集中監視室に伝送されなかった。



※不具合によりAD変換・伝送できなかった(不具合時の出力をシーケンサ内で保持)

5. AD変換器の不具合の原因

原因調査の結果、AD変換器内のヒューズが開放していたこと及び黒色の粉の混入を確認。AD変換器上面のスリット部に黒色の粉が堆積されたことから、スリット部からの黒色の粉の混入により、回路が短絡したことでヒューズが開放し、回路への電源供給が絶たれたため、AD変換の機能が喪失したと考えられる。

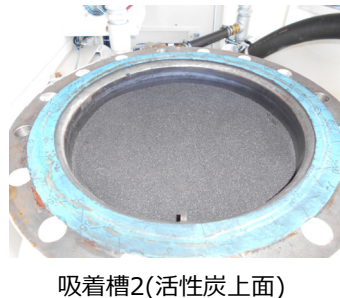
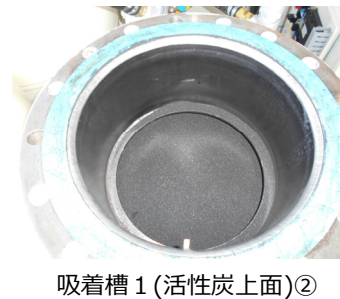
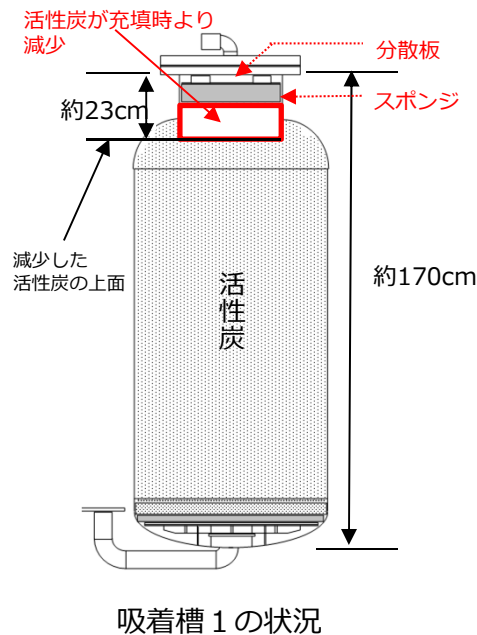
推定原因	調査方法	調査結果	可能性
電源供給回路の異常 (単一故障、異物、塩害等)	分解調査	<ul style="list-style-type: none"> AD変換器内に黒色の粉を確認。 導通確認により、AD変換器内ヒューズ開放を確認。 AD変換器内に塩の付着・腐食、黒色の粉以外の異物付着の形跡なし。 その他外力による単一故障の形跡なし。 	○
給電部の接触端子不良	端子のゆるみ確認	ゆるみがないことを確認。	×
給電部のケーブル断線	導通確認	受電部の電圧測定の結果、異常がないことを確認。	×



6. 黒色の粉の発生箇所、流出経路等の調査

黒色の粉の発生箇所、流出経路、系統への流入有無を特定するため、構成機器の点検及び調査を行った。

目的	構成機器	点検結果
黒色の粉の発生箇所の特定	活性炭槽	活性炭槽の活性炭の減少・細粒化なし(①)
	吸着槽1・2	<ul style="list-style-type: none"> 吸着槽1の活性炭の減少・細粒化を確認(②)。内部や構造物に異常なし。黒色の粉は吸着槽1の活性炭によるもの。 吸着槽2は異常なし。
黒色の粉の系統への流入有無	出口フィルタ	フィルタの外側に活性炭が付着、内側に付着なし(③)→フィルタから下流への流入なし。
黒色の粉の流出有無	サイレンサ	サイレンサの不織布(内側)に活性炭の付着を確認。活性炭は管と不織布外周の隙間より装置外へ流出。

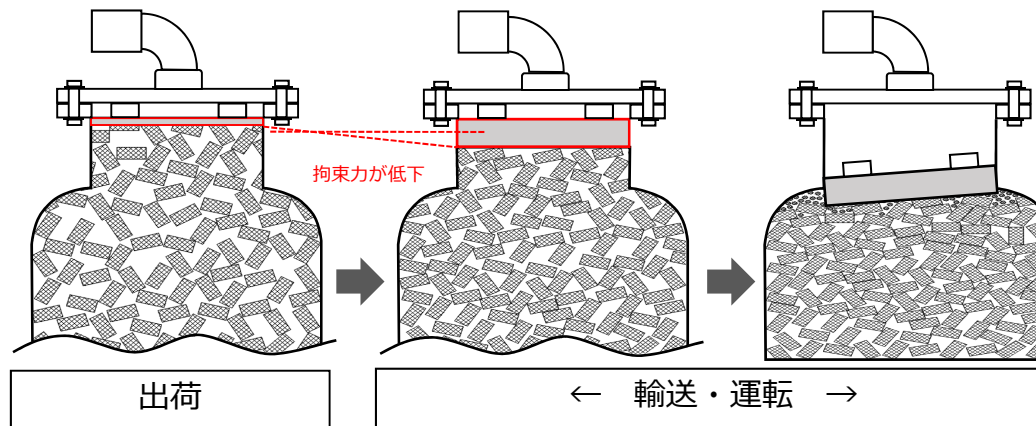


調査結果

- 黒色の粉は、当該装置の吸着槽1内に充填されていた活性炭が細粒化し、吸着槽の下流側にある装置内のサイレンサから排出されて、当該装置内に飛散したと考えられる
- 活性炭の粉はフィルタにより捕集され、フィルタより下流には流入していないと考えられる。

7. 吸着槽内活性炭の細粒化推定メカニズム

1. 吸着槽内における活性炭の充填密度は、活性炭の粒は円柱状であり粒同士に不均一な隙間が生じるため、製造時には加振を行う等活性炭の緊密化を行っているが、製品によりばらつきが生じることが避けられない。
2. 充填状態に粗な部分がある場合、輸送時および据付時の振動もしくは運転時の流体の流れによって吸着槽内の活性炭が密になっていくことにより活性炭の充填高さが低下していく。
3. これが進行すると、下図に示すようにスポンジによる活性炭の拘束力が低下し、吸着槽上部の活性炭に遊びが生じることでフレットングへとつながり細粒化が発生することとなる。



通常時においては、活性炭をスポンジの収縮による弾性力によって拘束している

活性炭充填高さが低下してくるとスポンジが膨らみ拘束力が低下していく。

スポンジによる拘束力が無くなると、吸着槽内上部の活性炭に遊びが生じて運転時の流体の流れにより相互のフレットングが生じて細粒化する



吸着槽内の活性炭

細粒化のメカニズム上、活性炭の充填後、緊密化の進行およびそれに伴う充填材高さの低下が発生する場合があるため、充填作業はメーカーの経験（ノウハウ）に基づいた手順・要領で、充填状態に粗な部分できないように実施される。また、出荷前には追加充填し充填状態の調整をしている。

⇒細粒化のメカニズム上、活性炭の充填後、緊密化の進行およびそれに活性炭の充填高さの低下が発生する場合がある。

吸着槽 1 については、工場出荷後においても吸着槽内の緊密化が十分でないところが一部あったと考えられること、輸送時および据付時の振動もしくは運転時の流体の流れにより、吸着槽内の活性炭が密になっていったことで、活性炭の充填高さが低下し、吸着槽上部の活性炭に遊びが生じることで細粒化が進んだものと考えられる。

8. 事象の推定原因

- ① 当該装置の吸着槽 1 内に充填されていた活性炭が細粒化し、吸着槽の下流側にある装置内のサイレンサから排出されて、当該装置内に活性炭が飛散した。
- ② 飛散した活性炭が当該装置内のAD変換器のスリットから内部に混入したことにより、回路が短絡したことでヒューズが開放し、回路への電源供給が絶たれたため、AD変換の機能が喪失した。
AD変換器の不具合により、計器からの信号を変換・伝送できず、不具合発生時の信号がシーケンサに保持された状態となったため、免震棟集中監視室に伝送される指示値が一定になったと考えられる。
- ③ また、AD変換器の不具合による現場警報が免震棟に発報されない設計であったことから、当直員は機器の異常を検知することができなかった。

9. 対策について

■ 吸着槽の活性炭流出の防止対策

活性炭の緊密化として、充填高さが変わらなくなるまで、活性炭の充填高さの確認と補充を実施する。

■ 装置内の制御器等保護の対策

活性炭細粒化の可能性を否定できないことから、サイレンサの排気を窒素ガス分離装置の外部に排出できるよう改造を行う。

(A号機についてもB号機と同一製品であることから同様な対策を実施する)

■ 警報の見直し

窒素ガス分離装置の警報のうち、運転停止に関わるものについて、免震棟集中監視室に伝送する設計としていた。今回の事象を踏まえ窒素ガス分離装置の現場警報について、免震棟集中監視室に発報（または検知）されるよう改造を行う。

【補足】

窒素ガス分離装置(B)の不具合が確認された箇所以外について、異常は確認されていないが、飛散した活性炭の影響が懸念されることから、必要に応じて点検や部品の交換等を実施する

- 確認された活性炭はフィルタにより捕集され、フィルタより下流には流入していないことから、窒素封入系統への影響はなかったと考えられる。
- 機能確認において、装置内酸素濃度計の指示値「0.0%」（窒素濃度100.0%）が確認されたことから、不具合が確認された4月21日から24日の運転期間において、原子炉格納容器へ封入する窒素濃度は99%以上を満足していた状態であり、原子炉格納容器内の不活性雰囲気維持機能は確保されていたと考えられる。

【参考1】警報発生と4月21日以降の運転パラメータ

■ 警報発生（現場盤警報履歴にて確認）

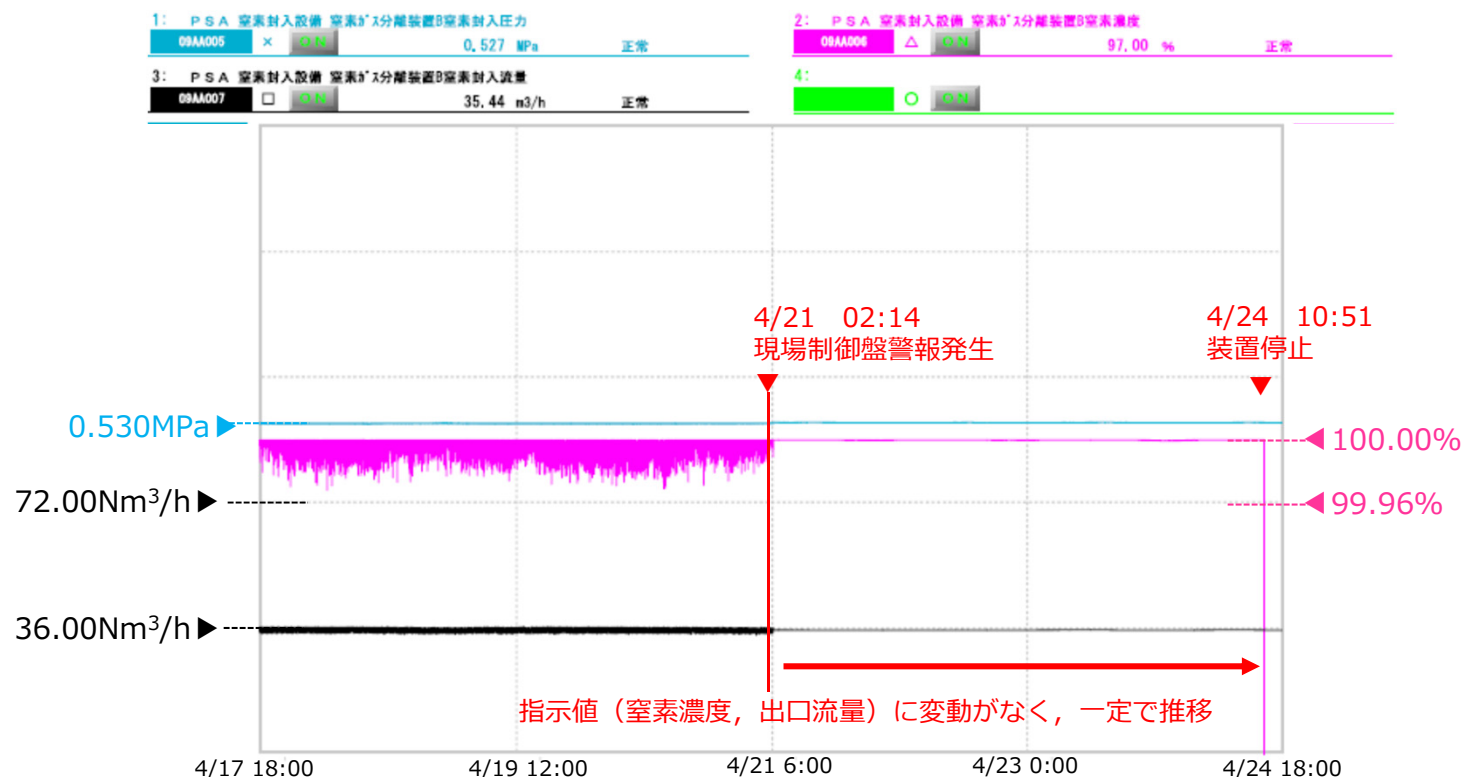
4月21日 2:14 窒素ガス分離装置(B)の現場操作盤に警報が発生

警報名「FX3U-4AD電源異常」* 24V電源が正常に供給されていない場合に発報

→ 免震棟集中監視室には発報されない

■ 運転パラメータ

4月21日 2:14以降、窒素ガス分離装置Bの窒素濃度及び出口流量の指示値に通常の変動がなく一定となっている。



【参考2】「運転上の制限逸脱からの復帰」時の運転パラメータ

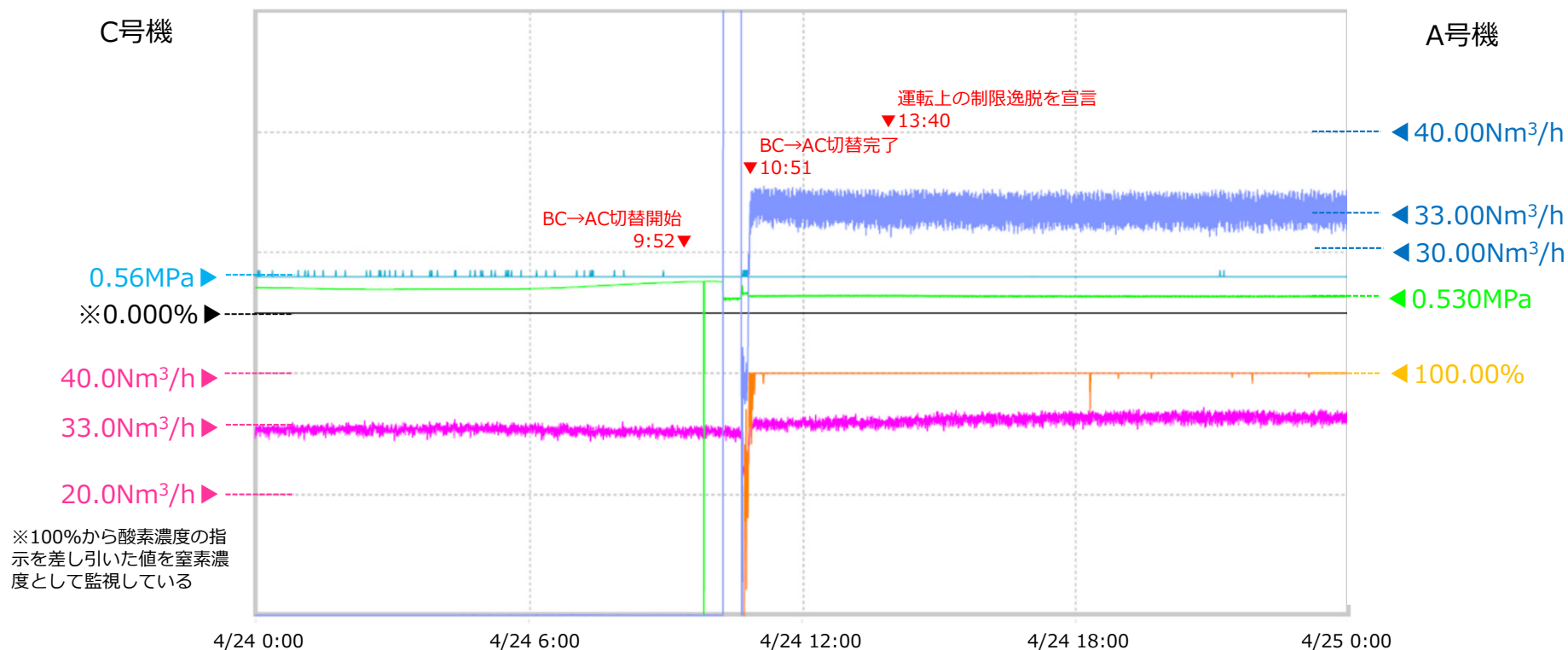
■ 運転パラメータ

4月24日 13:40 窒素ガス分離装置 A / C の窒素濃度及び 1 ~ 3 号機の窒素封入量の指示値に異常がないことを確認。

1: PSA_DR 窒素吐出圧力① (C号機)	09CA001	×	ON	0.56 MPa	正常
2: PSA_DR 窒素吐出流量① (C号機)	09CA002	△	ON	33.4 Nm ³ /h	正常
3: PSA_DR 含有酸素濃度① (C号機)	09CA003	□	ON	0.000 %	正常
4: P S A 窒素封入設備 窒素ガス分離装置A窒素封入圧力 (A号機)	09AA001	○	ON	0.528 MPa	正常
5: P S A 窒素封入設備 窒素ガス分離装置A窒素濃度 (A号機)	09AA002	▽	ON	100.00 %	正常
6: P S A 窒素封入設備 窒素ガス分離装置A窒素封入流量 (A号機)	09AA003	◇	ON	32.21 m ³ /h	正常

C号機

A号機



【参考3】窒素封入設備 概要一覧

系統全体として現在の総封入量は、**約66 Nm³/h**である。

各々の窒素ガス分離装置は、**現在の総封入量以上の容量**があり、**1台運転での系統維持**が可能である。

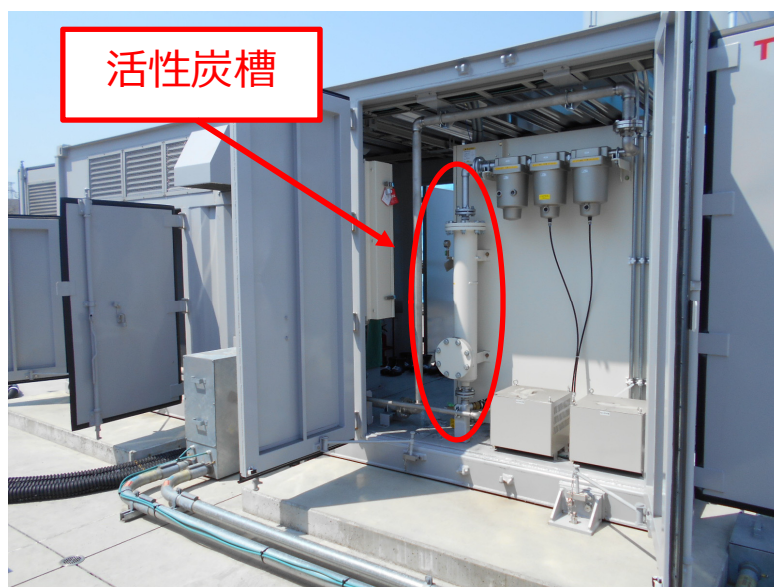
系統	現在の封入量 (Nm ³ /h)	必要な窒素封入量 (Nm ³ /h)
1号機	約35	2.1
2号機	約14	2.7
3号機	約17	2.7
合計	約66	7.5

設備名称	容量 Nm ³ /h	電源
窒素ガス分離装置 (A)	100	外部電源 D/G
窒素ガス分離装置 (B)	100	
窒素ガス分離装置 (C)	120	外部電源
非常用窒素ガス分離装置	500	D/G

【参考4】活性炭槽の状況確認

活性炭槽の上蓋フランジを開放した結果、活性炭は細粒化されておらず、活性炭の総量も充填時と同等であったことを確認した。

そのため、装置内に飛散した黒色の粉は**活性炭槽の活性炭である可能性は低い**と考えられる。



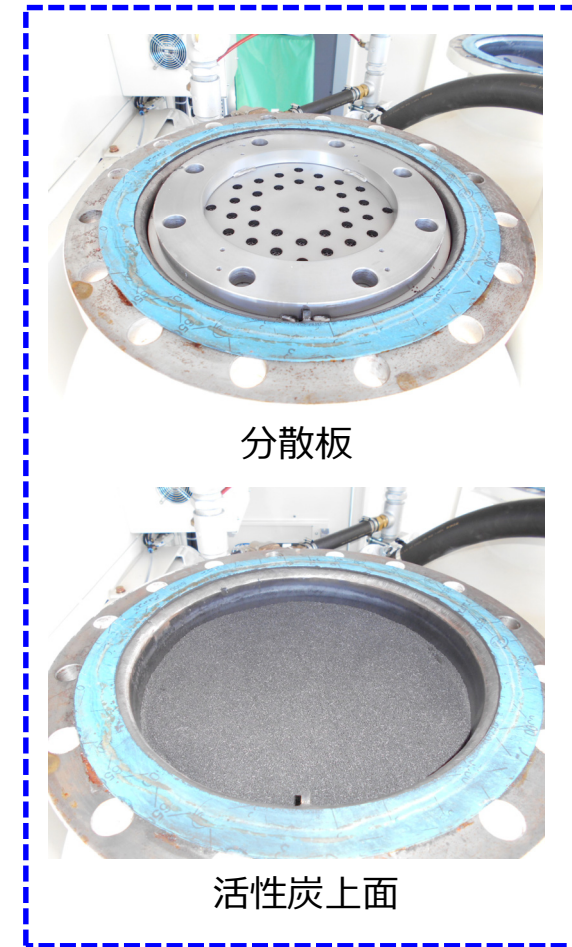
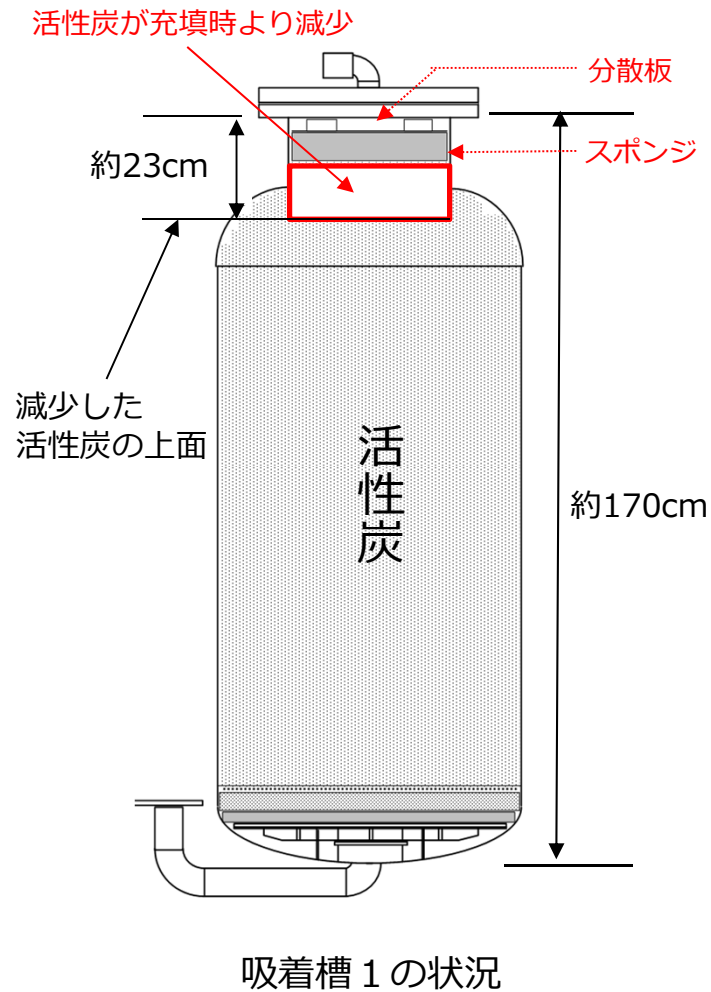
細粒化された形跡なし



活性炭総量に変化なし

【参考5】吸着槽の状況確認

吸着槽 1 に活性炭の減少及び細粒化を確認。飛散した**黒色の粉**は吸着槽 1 の**活性炭が細粒化されたもの**と考えられる。



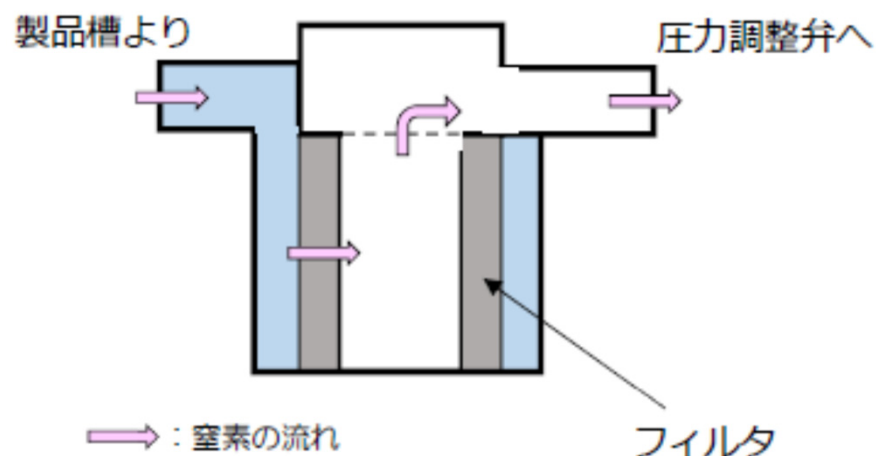
【参考6】吸着槽1の活性炭細粒化の要因分析について

吸着槽の開放確認の結果、活性炭充填高さの低下が確認されたため、**充填高さの低下による活性炭拘束力の低下に起因して活性炭のフレットィングが発生**し、細粒化につながったものと考えられる。

推定原因		調査方法	調査結果	可能性
活性炭の不良	指定された活性炭以外のものを充填	製造履歴の確認、開放点検	メーカー指定の活性炭が充填されていることを確認。開放点検の結果、指定の活性炭であることを確認。	×
活性炭の充填不良	充填作業の不良による細粒化	製造履歴の確認	<ul style="list-style-type: none"> メーカーが定める手順・要領で充填されていたこと確認。 充填作業は必要な力量を満たす者が実施していることを確認。 	×
活性炭のフレットィング	充填高さの低下による活性炭拘束力の低下	開放点検	<ul style="list-style-type: none"> 活性炭の充填高さの低下が確認され、分散板やスポンジによる吸着材の拘束が解放されていることを確認。 吸着槽の上部側で細粒化した活性炭を確認。 	○
	吸着槽内部構造物の損傷による活性炭拘束力の低下	開放点検	開放点検の結果、内部構造物の損傷や変形等がないことを確認。	×
	吸着槽の切替不良による過流量の発生	運転確認（再現性試験）	圧力等のパラメータに異常がないことを確認	×
	異物の混入による細粒化	開放点検	開放点検の結果、異物等の混入は確認されなかった。	×

【参考7】 出口フィルタの状況確認

フィルタ表面に黒色の粉が捕集されていることを確認した。内面には黒色の粉が透過した痕跡がなかったことから、黒色の粉はフィルタにより捕集され、**フィルタより下流には流入していない**と考えられる。



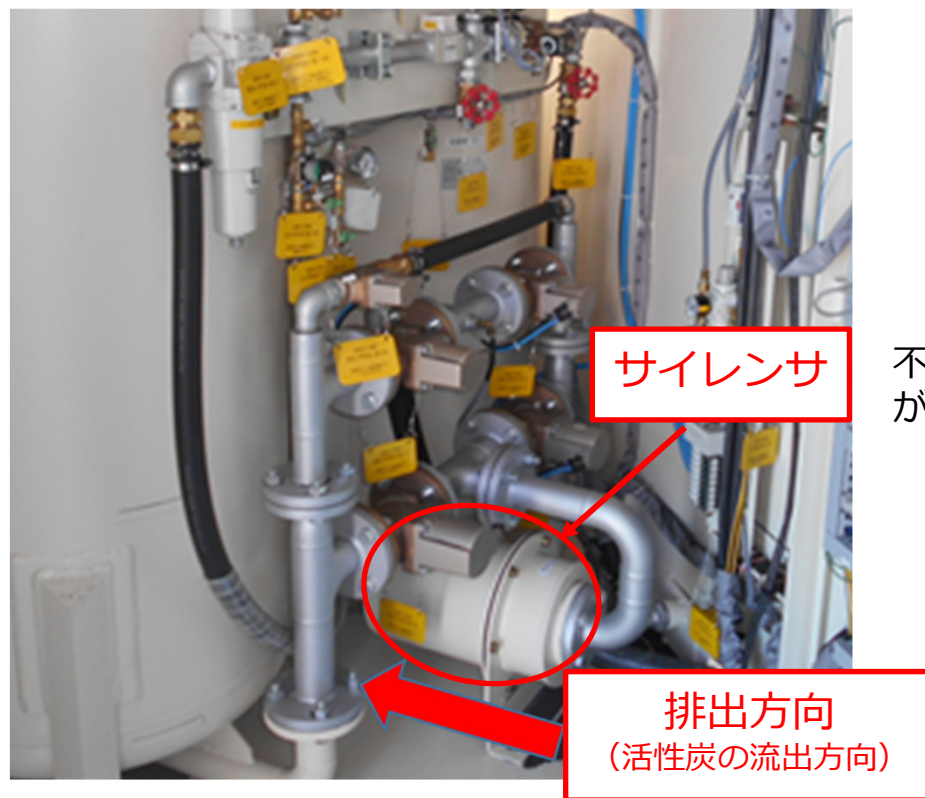
フィルタ イメージ図



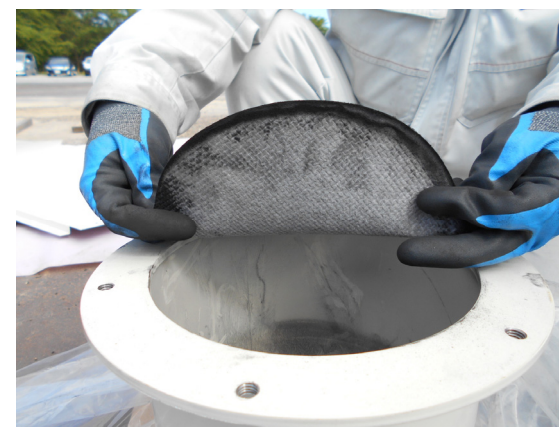
【参考8】サイレンサの状況確認

サイレンサ構成部品である不織布に細粒化された活性炭が付着していることを確認した。この結果から、**活性炭の大部分は、サイレンサの不織布で捕集出来なかったものが、管と不織布外周の隙間より装置外へ流出したものと考えられる。**

装置内サイレンサ



不織布は本来白色であるが、全面的に黒色の粉が付着している状況



裏面は白色

【参考9】窒素ガス分離装置（B）の窒素供給機能の確認

- 窒素ガス分離装置（B）の再現性確認の結果
 - 運転確認により、装置内酸素濃度計の指示値「0.0%」（窒素濃度100.0%）が確認された。また、窒素ガス分離装置の動作状態も正常であったことから、機能（窒素濃度99%以上のガス精製）は維持されていたと考えられる。
 - 装置のサイレンサから活性炭の粉が排出されることを確認した。

