

実施計画Ⅲ 第1編 第18条の評価に使用している 熱バランスモデルの概要について

2023年5月26日

TEPCO

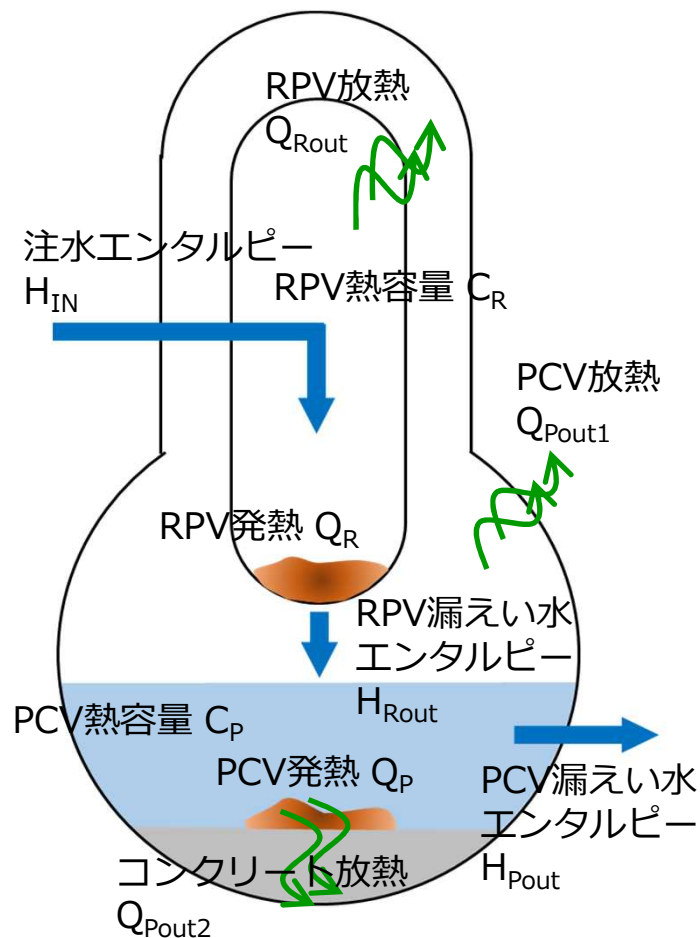
東京電力ホールディングス株式会社

- 実施計画Ⅲ第1編 第18条のLCO見直し（2021年2月1日施行）時に原子炉圧力容器底部温度、および原子炉格納容器温度が測定できない場合において、必要な注水量を維持している場合においては、温度評価により代替できるよう変更を行っている。
- 本資料は、その評価に使用している熱バランスモデルについて、概要をお示しするもの。

1. 熱バランス評価のモデル概要

実施計画Ⅲ第1編 第18条の評価に使用している熱バランスモデルの概要は以下の通り。

- RPVとPCVの領域を一体としていた評価モデルから、領域を分けるなど、評価モデルの改良を実施。
- 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。



- 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

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

$$T_R(i+1) = T_R(i) + \Delta T_R$$

(2) PCVのエネルギー収支と温度変化の計算式

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

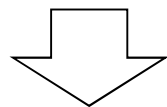
$$T_P(i+1) = T_P(i) + \Delta T_P$$

2. 熱バランス評価の主なインプット・アウトプット

- 熱バランス評価モデルの主なインプットとアウトプットは以下。

<主なインプット条件>

- | | |
|--|---|
| <p>① 日時に応じて変化させる評価条件</p> <ul style="list-style-type: none">・ 原子炉注水の注水流量, 注水温度・ R/B気温, 外気温・ 崩壊熱 | <p>② 日時によらず一定とする評価条件</p> <ul style="list-style-type: none">・ RPV/PCVの燃料デブリ存在比率・ RPVからPCVの熱伝達係数・ PCVからR/Bの熱伝達係数・ RPV/PCVの構造物量(金属, コンクリート) |
|--|---|



<熱バランス計算>

タイムステップ毎のエネルギー収支を計算し、
温度の時間変化（温度上昇/温度低下量）を計算

<アウトプット（評価結果）>

- ・ RPV温度、PCV温度

3. 評価モデルの各項の補足 (RPV)

(1) RPVのエネルギー収支と温度変化の計算式

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

$$\Rightarrow \Delta T_R = (H_{IN} + Q_R - Q_{Rout} - H_{Rout}) \div C_R$$

項	項の意味	補足
$H_{IN}[J]$	注水が持ち込むエンタルピー	水の比熱×注水量×注水温度
$Q_R[J]$	RPVに存在する燃料デブリの発熱量 (崩壊熱)	ORIGEN評価の崩壊熱をRPV, PCVのデブリ存在比で配分 (2号機は,RPV7割, PCV3割)
$Q_{Rout}[J]$	RPVからPCVへの放熱量	RPV温度とPCV温度の温度差から評価
$H_{Rout}[J]$	RPVからPCVに漏えいする冷却水のエンタルピー	水の比熱×注水量× T_R
$C_R[J/K]$	RPVの熱容量	設計上のRPV構造物 (鉄系) 保有水

3. 評価モデルの各項の補足 (PCV)

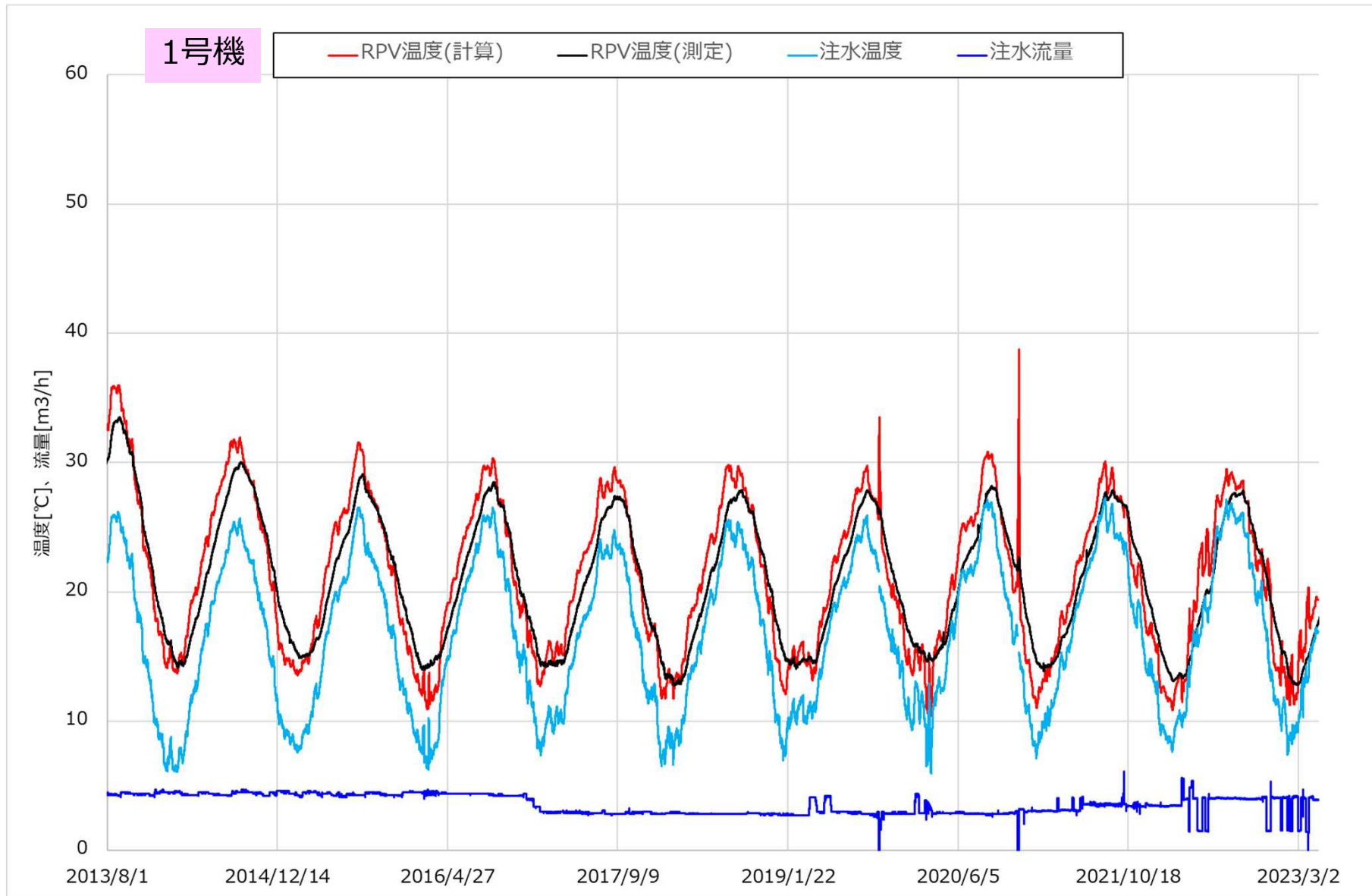
(2) PCVのエネルギー収支と温度変化の計算式

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

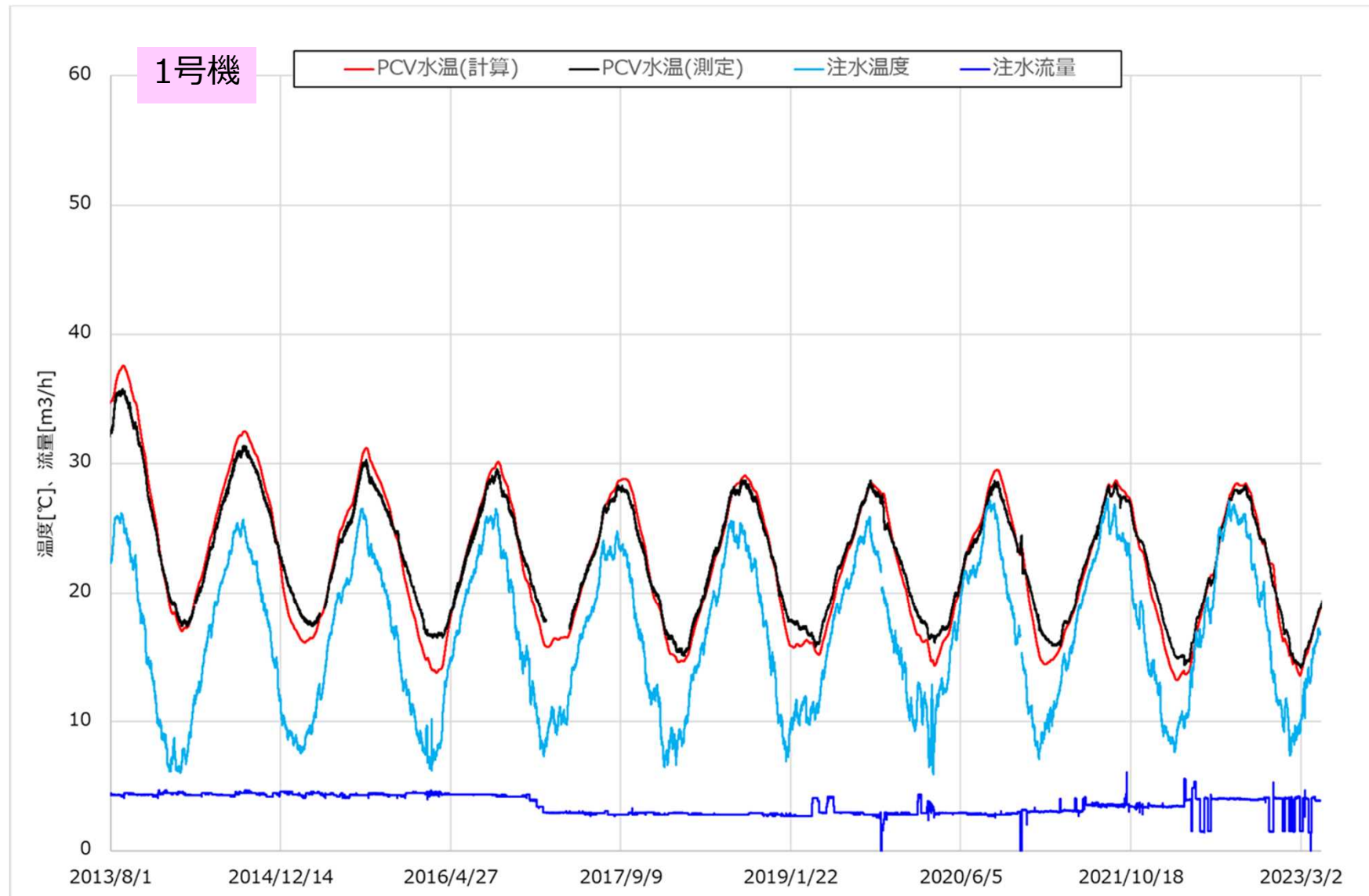
$$\Rightarrow \Delta T_P = (H_{Rout} + Q_P + Q_{Rout} - Q_{Pout1} - Q_{Pout2} - H_{Pout}) \div C_P$$

項	項の意味	補足
$H_{Rout}[J]$	RPVからPCVに漏えいする冷却水のエンタルピー	水の比熱×注水量× T_R
$Q_P[J]$	PCVに存在する燃料デブリの発熱量 (崩壊熱)	ORIGEN評価の崩壊熱をRPV, PCVのデブリ存在比で配分 (2号機は,RPV7割, PCV3割)
$Q_{Rout}[J]$	RPVからPCVへの放熱量	RPV温度とPCV温度の温度差から評価
$Q_{Pout1}[J]$	PCVからR/Bへの放熱量	PCV温度とR/B内温度の温度差から評価
$Q_{Pout2}[J]$	PCVからPCV外コンクリートへの放熱量	ヒートシンクとして考慮
$H_{Pout}[J]$	PCVから漏えいする冷却水のエンタルピー	水の比熱×注水量× T_P
$C_P[J/K]$	PCVの熱容量	設計上のPCV内構造物 (鉄系, コンクリート) 保有水 (PCV水位相当)

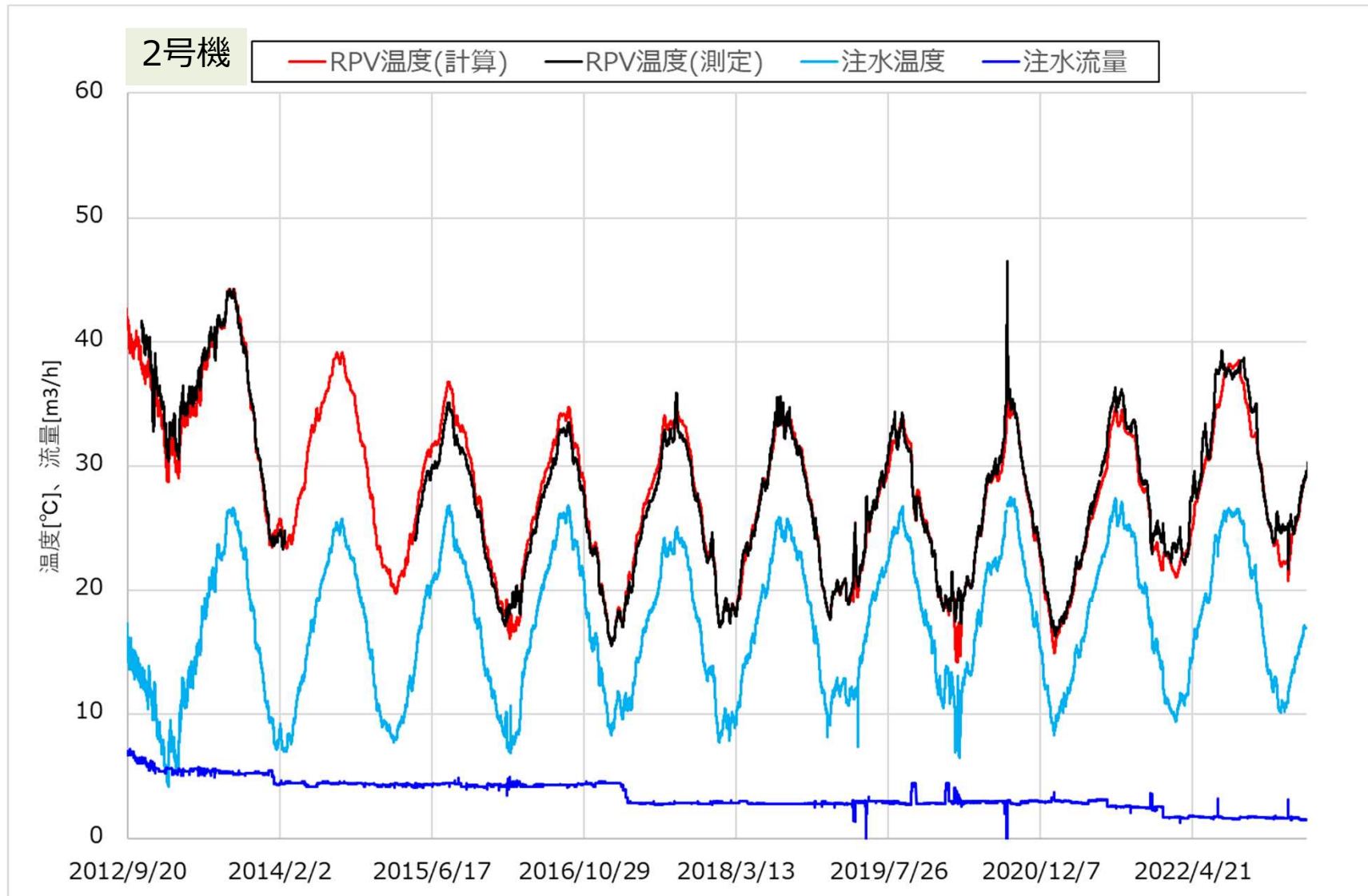
4-1. 1号機 RPV温度の計算結果 (熱バランスモデル)



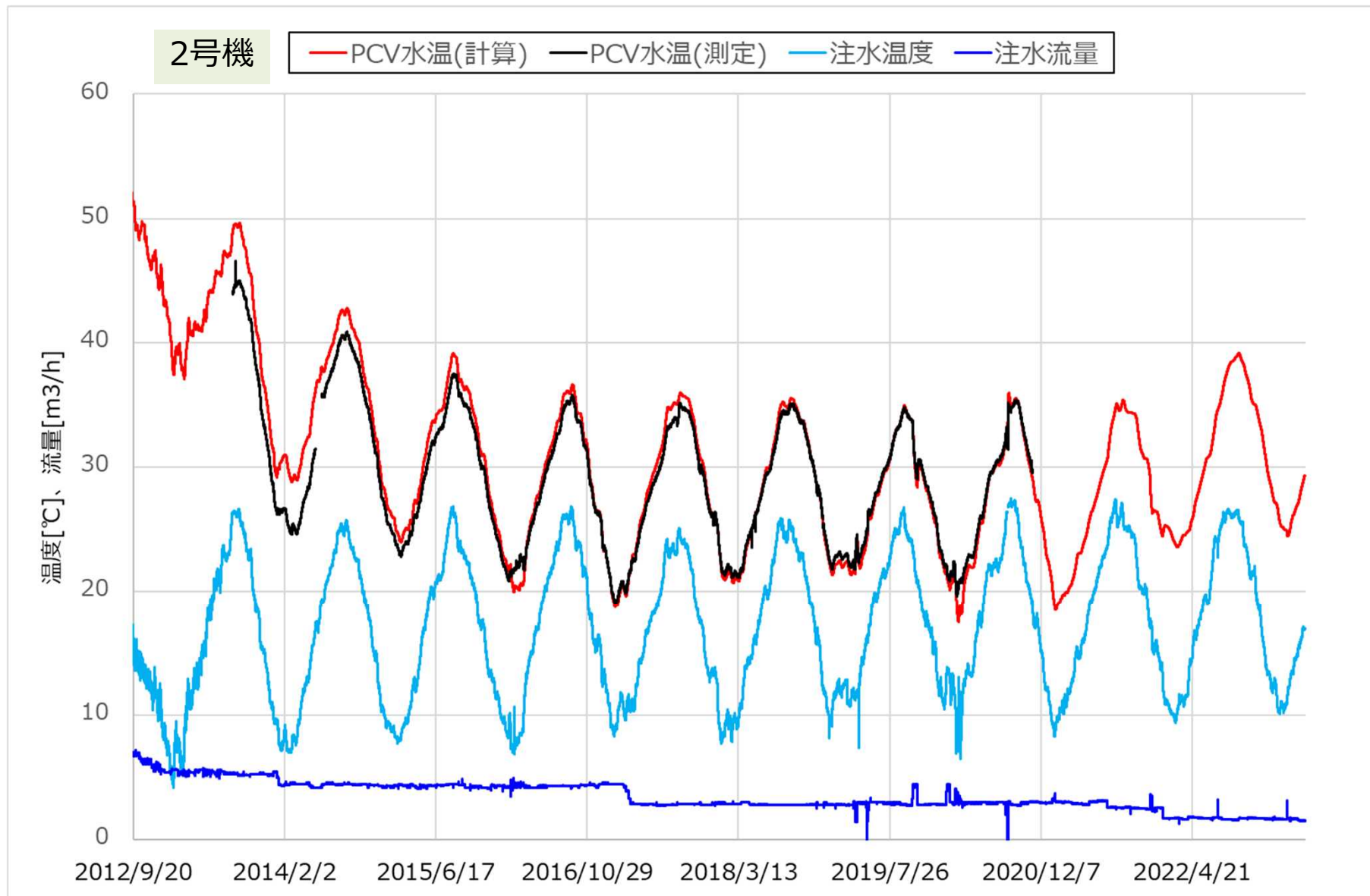
4-1. 1号機 PCV温度の計算結果 (熱バランスモデル)



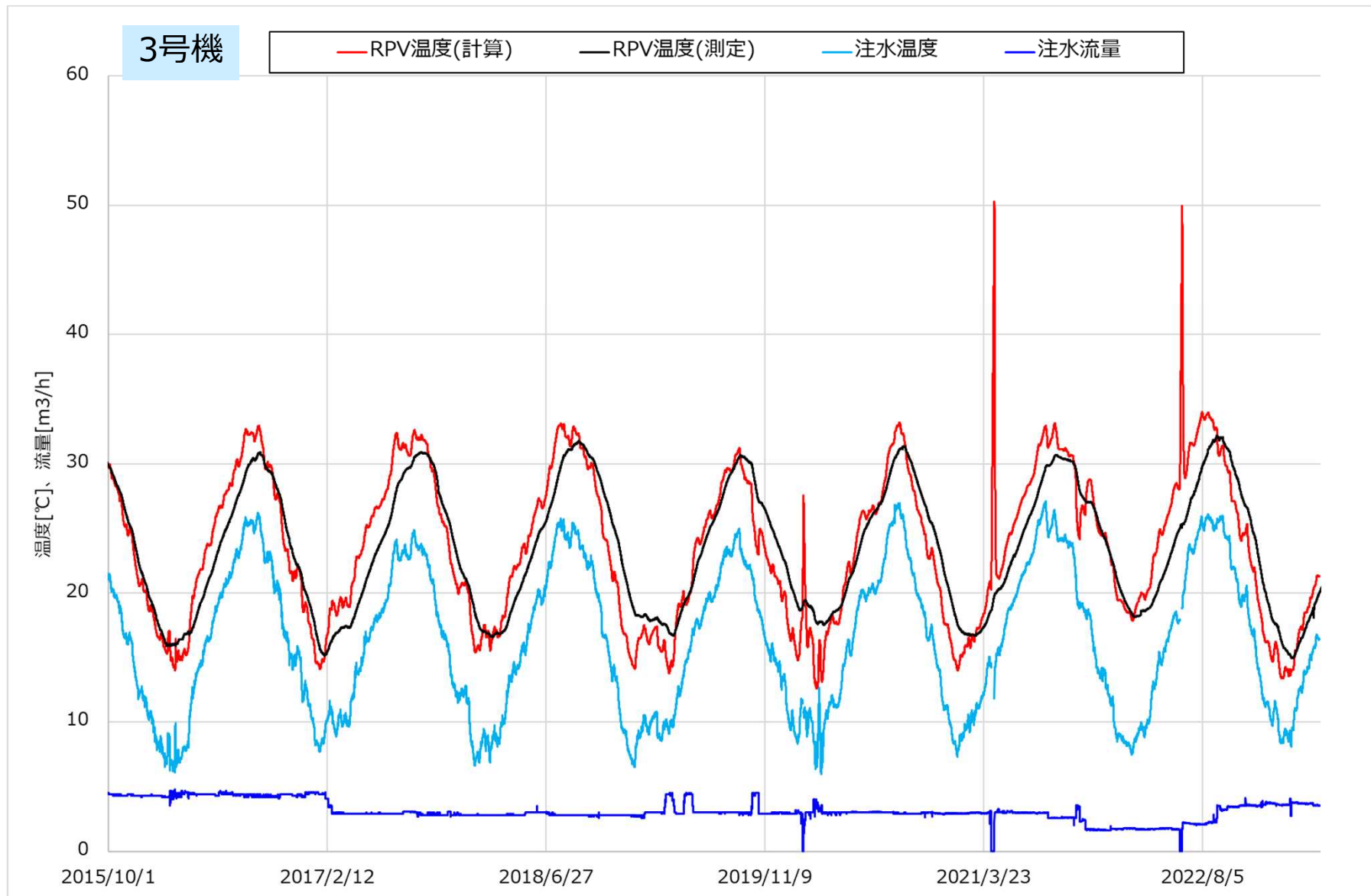
4-2. 2号機 RPV温度の計算結果 (熱バランスモデル)



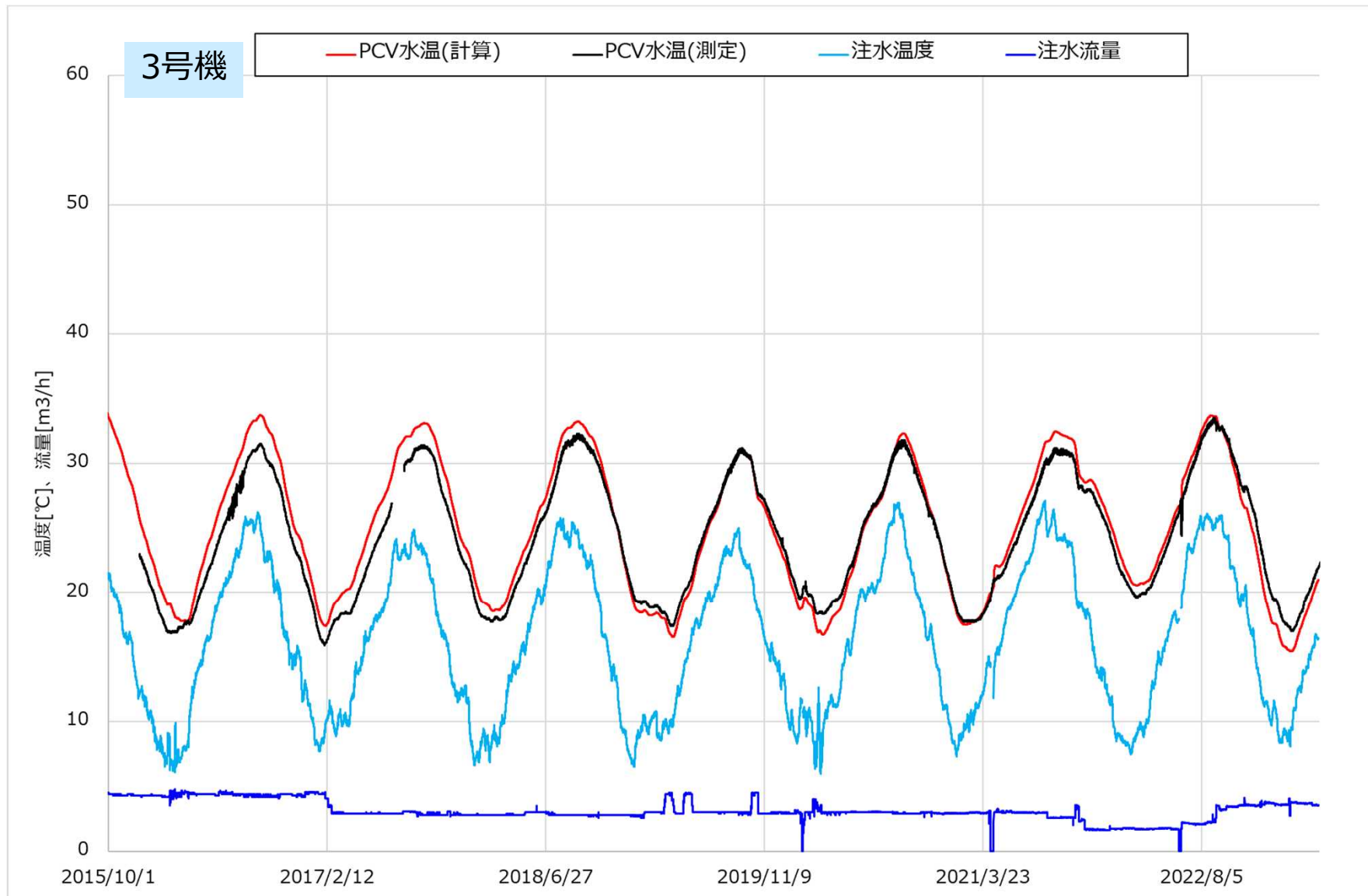
4-2. 2号機 PCV温度の計算結果 (熱バランスモデル)



4-3. 3号機 RPV温度の計算結果 (熱バランスモデル)



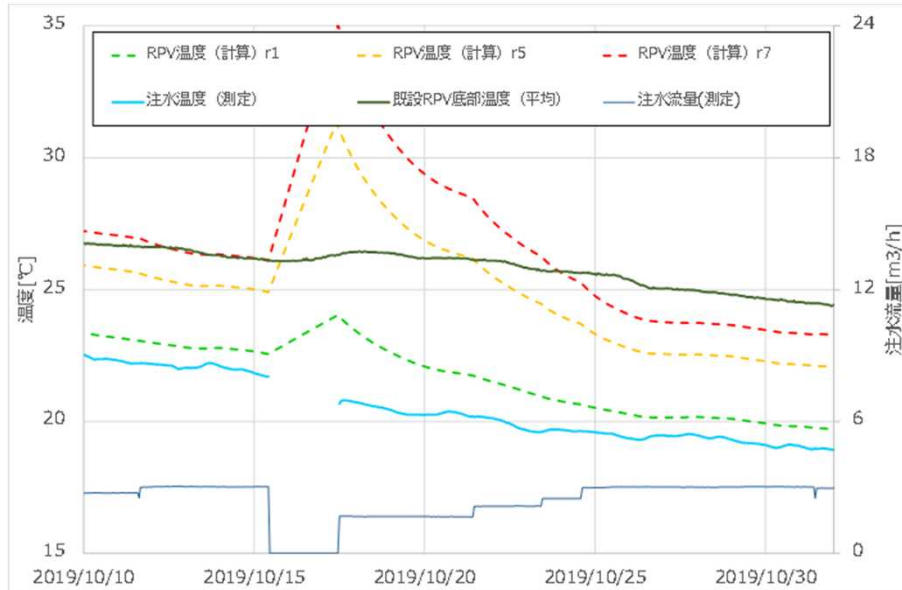
4-3. 3号機 PCV温度の計算結果 (熱バランスモデル)



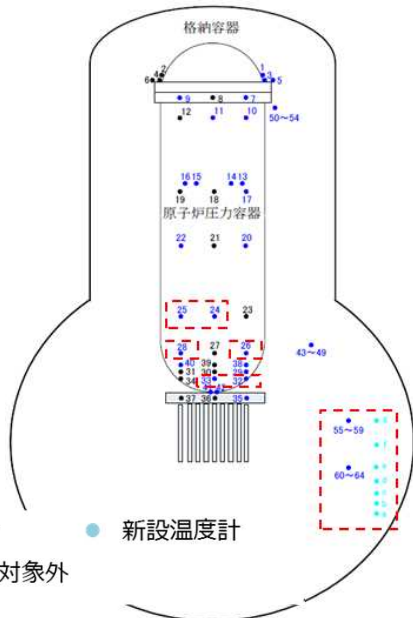
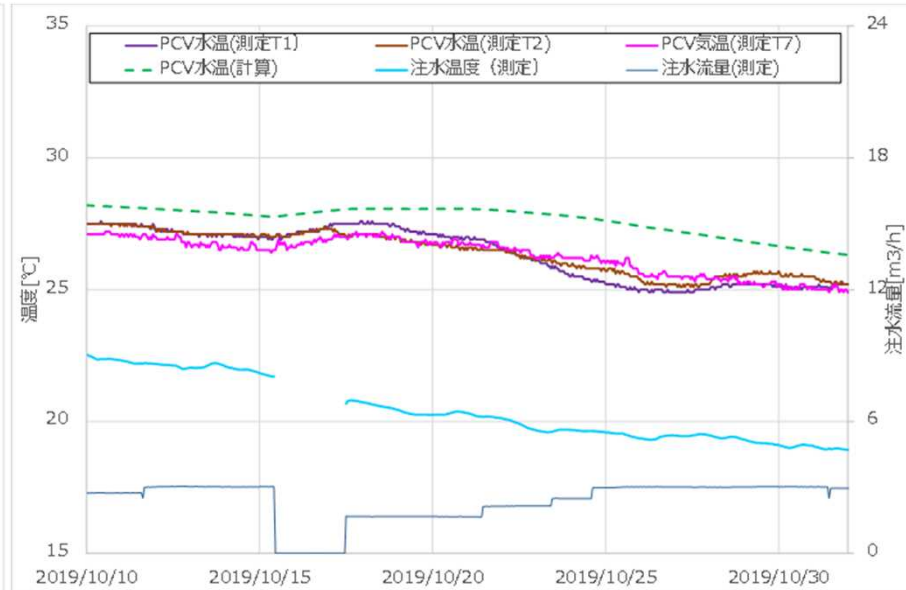
(参考) 1号機 原子炉注水停止時の温度実績 (2019年10月)



RPV底部温度の計算評価と実績温度挙動



PCV温度の計算評価と実績温度挙動

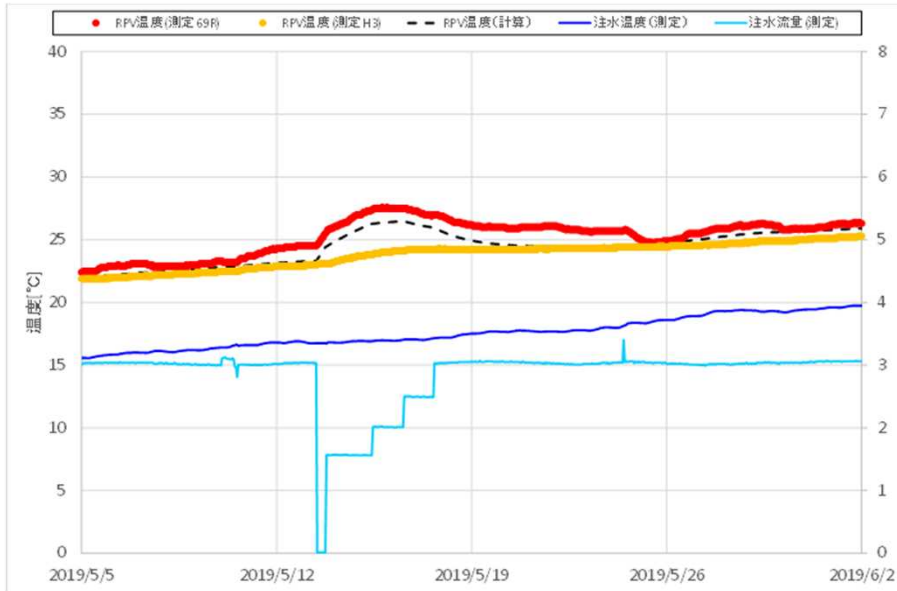


	サービス名称	Tag No.	No.
RPV底部温度計	VESSEL DOWNCOMER	TE-263-69G2	24
		TE-263-69G3	25
	原子炉 SKIRT JOINT 上部	TE-263-69H1	26
		TE-263-69H3	28
	VESSEL BOTTOM HEAD	TE-263-69L1	32
		TE-263-69L2	33
PCV温度計	HVH-12A~E SUPPLY AIR	TE-1625F~H,J,K	55~59
	HVH-12A~E RETURN AIR	TE-1625A~E	60~64
	PCV温度	TE-1625T1~T7	a~g

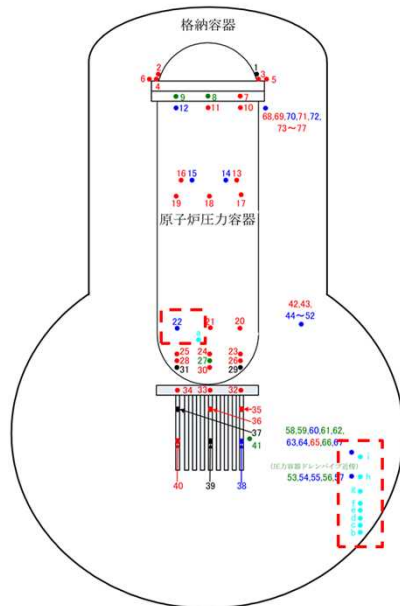
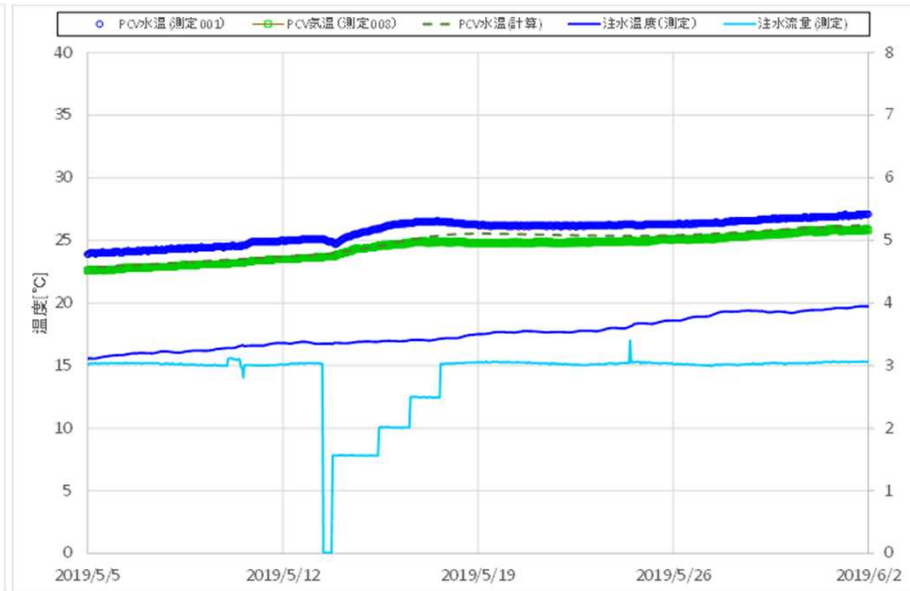
(参考) 2号機 原子炉注水停止時の温度実績 (2019年5月)



RPV底部温度の計算評価と実績温度挙動



PCV温度の計算評価と実績温度挙動



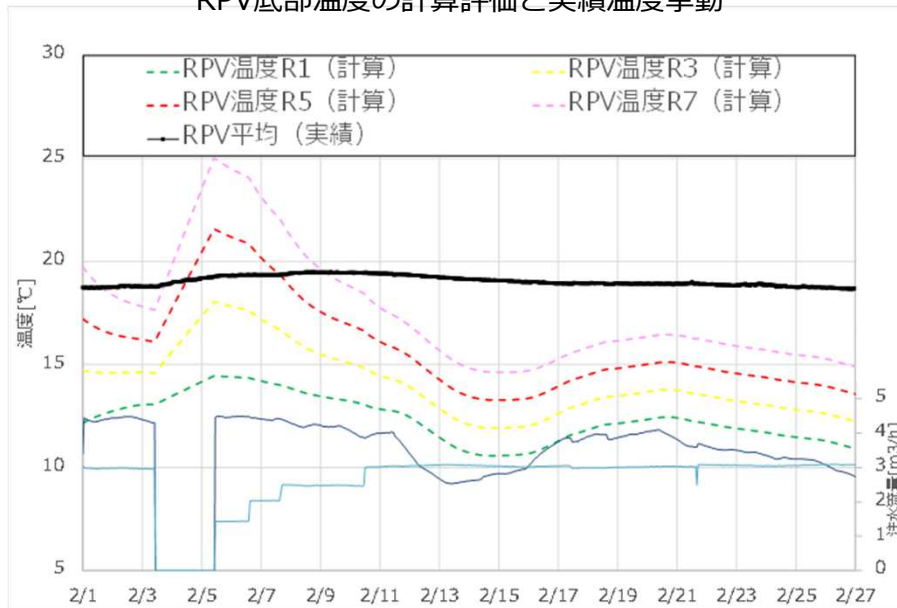
	サービス名称	Tag No.	No.
RPV底部温度計	VESSEL WALL ABOVE BOTTOM HEAD	TE-2-3-69H3	22
	RPV温度	TE-2-3-69R	a
PCV温度計	RETURN AIR DRYWELL COOLER	TE-16-114B,C,E	54,55,57
	SUPPLY AIR D/W COOLER	TE-16-114G#1, H#2,J#1,K#2	60,63,64,67
	PCV温度	TE-16-001~008	b~i

- 既設温度計
- 新設温度計
- 故障温度計

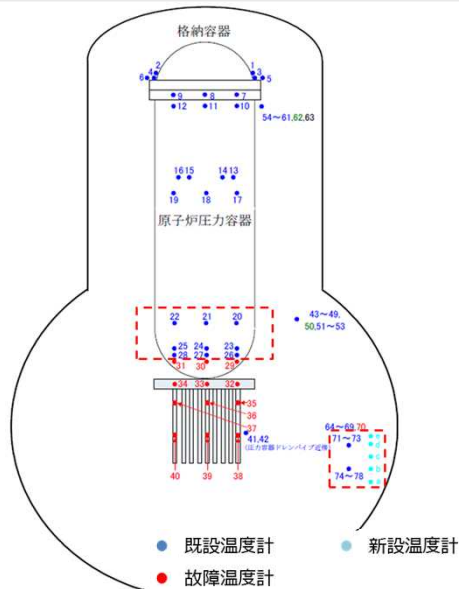
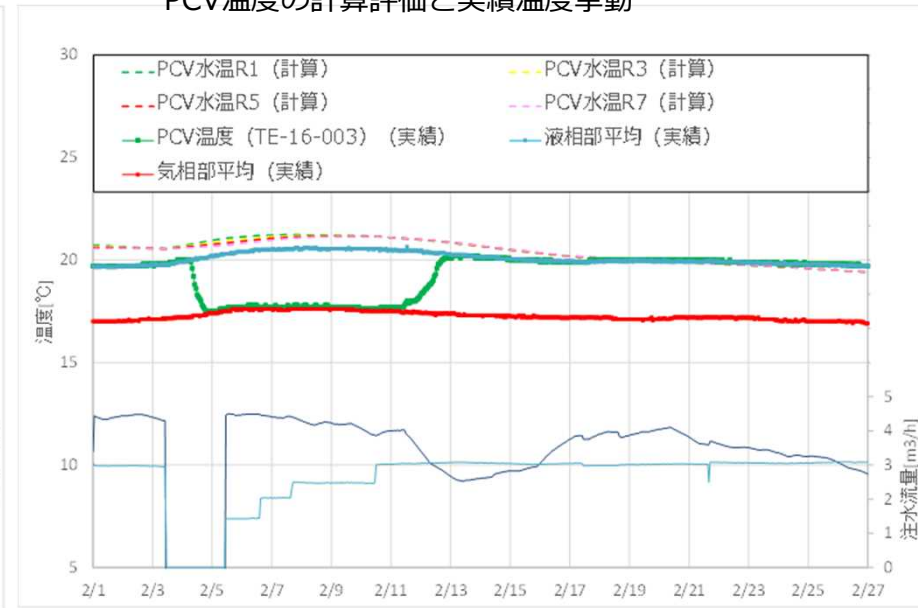
(参考) 3号機 原子炉注水停止時の温度実績 (2020年2月)



RPV底部温度の計算評価と実績温度挙動

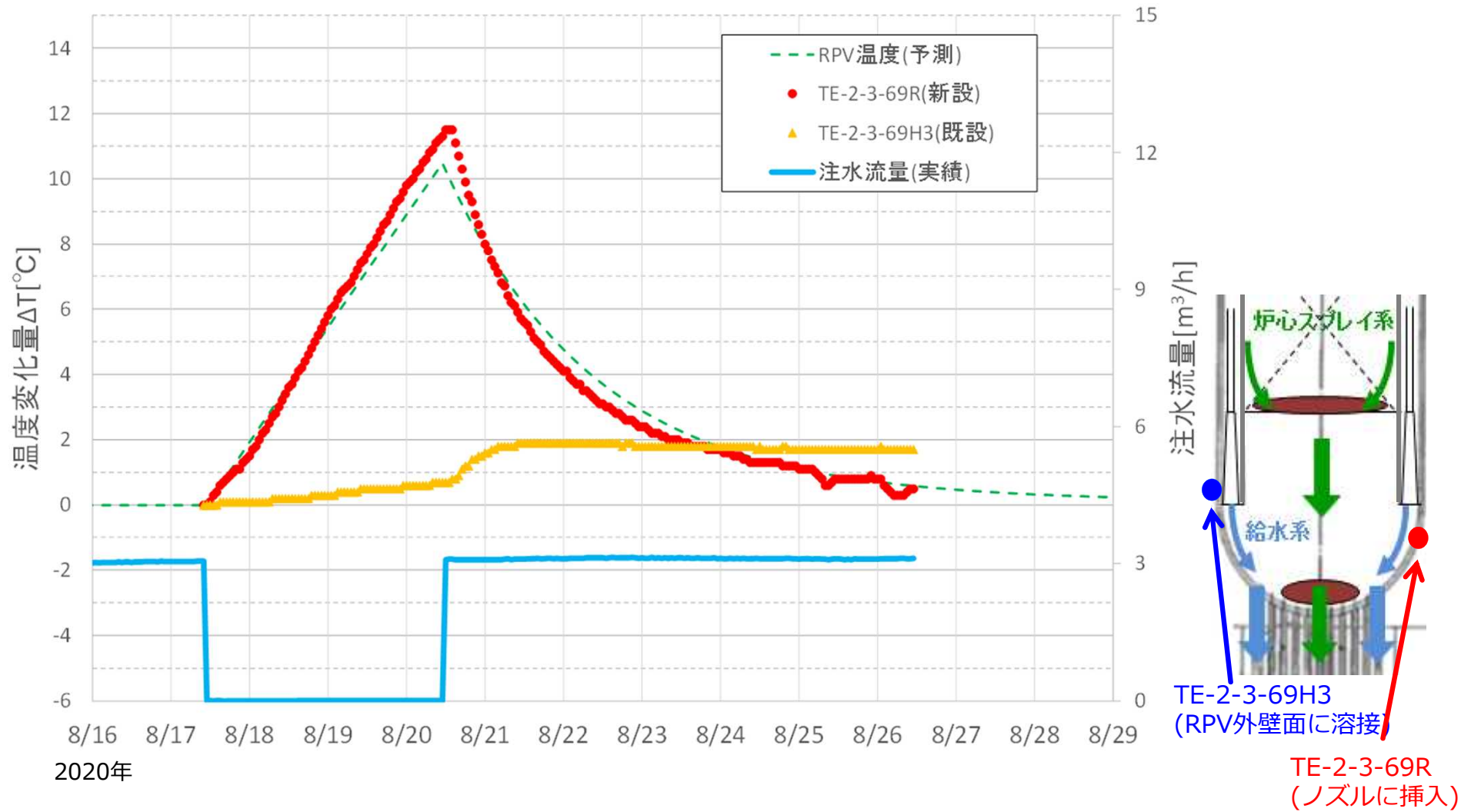


PCV温度の計算評価と実績温度挙動

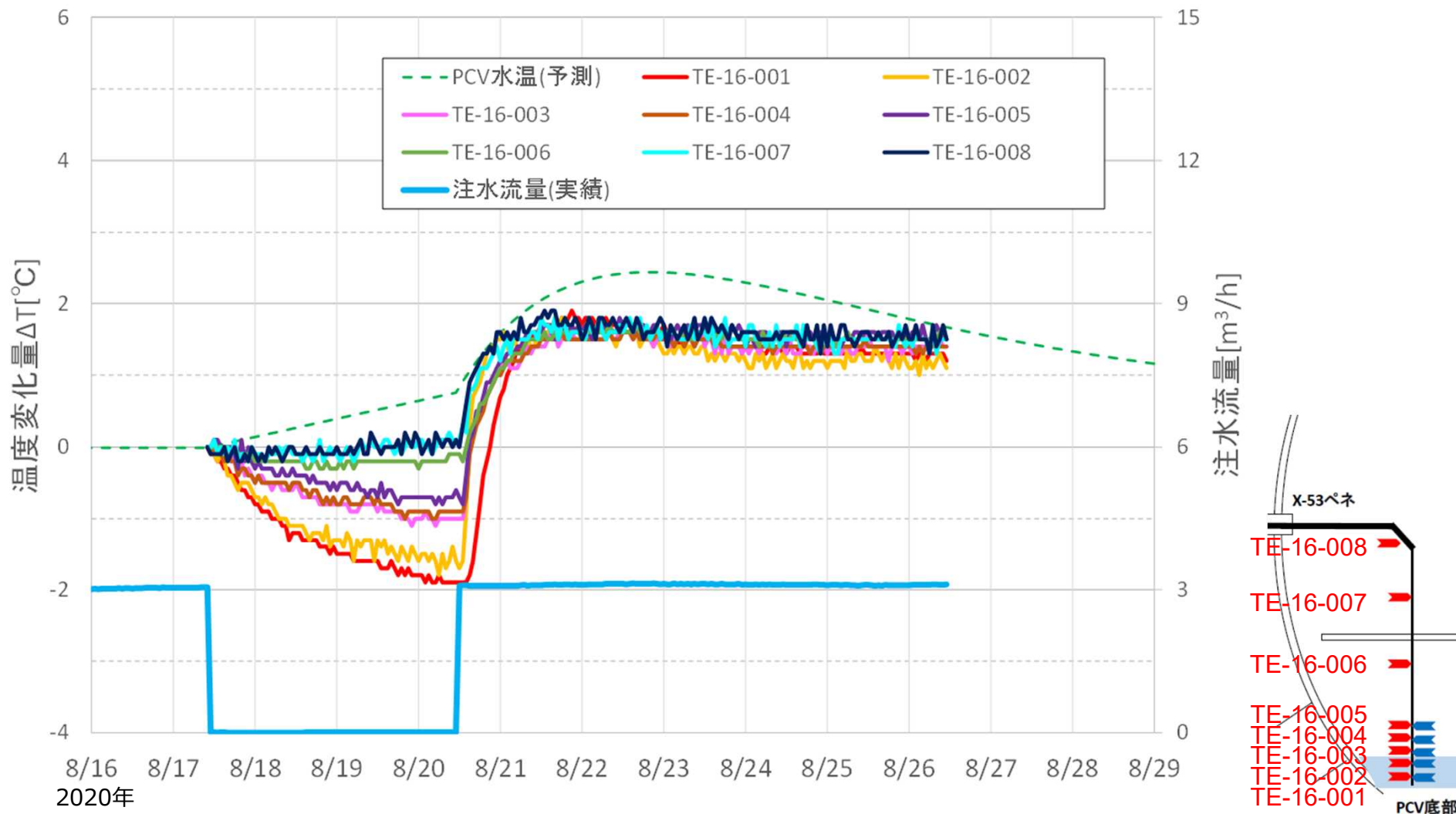


	サービス名称	Tag No.	No.
RPV底部温度計	RPV底部ヘッド上部温度	TE-2-3-69H1	20
		TE-2-3-69H2	21
		TE-2-3-69H3	22
	スカートジャンクション上部温度	TE-2-3-69F1	23
		TE-2-3-69F2	24
TE-2-3-69F3		25	
PCV温度計	格納容器空調機戻り空気温度	TE-16-114A~E	74~78
	格納容器空調機供給空気温度	TE-16-114F~K	64~69, 71~73
	PCV温度	TE-16-001~005	a~e

(参考) 2号機 注水停止中のRPV底部温度上昇 (2020年8月実績)



(参考) 2号機 注水停止中のPCV温度上昇 (2020年8月実績)



※試験期間中, PCV水位はTE-16-001,TE-16-002が水没で変化なし

項目	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後6ヶ月の予定	4月												5月												6月												7月												8月												9月												10月												11月以降												備考																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																									
循環注水冷却	循環注水冷却	(実 績) ・【共通】循環注水冷却中(継続)	【1, 2, 3号】循環注水冷却(滲漏水の再利用)																																																																																																																								
	(予 定)																																																																																																																										
海水腐食及び塩分除去対策	海水腐食及び塩分除去対策	(実 績) ・CST室素注入による注水溶解酸素低減(継続) ・ヒドラジン注入中(2013/8/29~)	CST室素注入による注水溶解酸素低減												ヒドラジン注入中																																																																																																												
	(予 定)																																																																																																																										
原子炉格納容器関連	室素充填	(実 績) ・【1号】サブレーションチャンパへの室素封入 ・連続室素封入へ移行(2013/9/9~)(継続)	【1, 2, 3号】原子炉圧力容器 原子炉格納容器 室素封入中												【1号】サブレーションチャンパへの室素封入																																																																																																												
	(予 定)	・【2号】室素封入設備封入ホース点検 ・室素封入ラインA系停止: 2023/4/12~2023/4/25 ・室素封入ラインB系停止: 2023/5/10~2023/5/17 ・【1号】室素封入設備封入ホース点検 ・室素封入ラインA系停止: 2023/5/18 ・【3号】室素封入設備封入ホース点検 ・室素封入ラインA系停止: 2023/5/29~2023/6/7	【2号】室素封入ラインA系停止												【2号】室素封入ラインB系停止												【1号】室素封入ラインA系停止																																																																																																
原子炉格納容器関連	PCVガス管理	(実 績) ・【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: 2023/5/12 ・【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: 2023/5/12	【1, 2, 3号】継続運転中												【1号】水素モニタB系停止※												【1号】希ガス・水素モニタA系停止※																																																																																																
	(予 定)	・【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: 2023/6/15 ・水素モニタ停止 B系: 2023/7/中旬 ・【1号】PCVガス管理システム ダストモニタ点検 ・希ガス・水素モニタ停止 A系: 2023/7/中旬 ・【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: 2023/6/7 ・【3号】所向共通M/C4B点検 ・PCVガス管理システム(B)系 受電切替: 2023/6/14~27													【1号】水素モニタA系停止												【1号】水素モニタA系停止												【1号】水素モニタB系停止												【1号】希ガス・水素モニタA系停止												【3号】PCVガス管理システムB系 M/C4Aより受電※												追加																																																
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)	【1号】循環冷却中												【2号】循環冷却中																																																																																																												
	(予 定)																																																																																																																										
	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増設設備(継続)	【1, 2号】蒸発量に応じて、内即注水を実施												【1号】コンクリートポンプ車等の増設設備																																																																																																												
海水腐食及び塩分除去対策(使用済燃料プール薬注と塩分除去)	(実 績) ・【共通】プール水質管理中(継続)		【1, 2, 3, 4号】ヒドラジン等注入による防食												【1, 2, 3, 4号】プール水質管理																																																																																																												

原子炉・格納容器内の腐蝕熱評価、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

略語の意味
CS: 炉心スプレイ
CST: 炉心タンク
PCV: 原子炉格納容器
SFP: 使用済燃料プール

※A系のダストサンプリング作業(A系停止)完了後、B系の水素モニタ点検(B系停止)を実施。

※M/C4Bの点検期間中、PCVガス管理システム(A/B)は、同一電源(M/C4A)より受電となる。

燃料デブリ取り出し準備 スケジュール

分野名	原炉中長期実行プラン2023 目標工程	括り	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後6ヶ月の予定	4月			5月			6月			7月			8月			9月			10月			11月以降			備考
					26	2	9	16	23	30	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
燃料デブリ取り出し準備	原子炉建屋内環境改善	原子炉建屋内の環境改善	1号	(実績) ○建屋内環境改善(継続) (予定) ○建屋内環境改善(継続)	現場作業	2階線量低減に向けた準備作業																		建屋内環境改善 ・2階線量低減の準備作業'20/7/20~'23/3月中旬 他工事との工程調整のため作業中断中。'22/2/23~'22/9/19 ・RCW入口ヘッダ配管穿孔'22/10/24~'22/11/14 ・RCW熱交換器(C)入口配管内包水サンプリング'23/2/22					
			2号	(実績)なし (予定) ○建屋内環境改善(継続)	現場作業							2階北側エリア除染			実施時期調整中						建屋内環境改善 ・R/B大物搬入口2階進へい設置'21/11/29~'22/1/10 ・1階西側通路MCC撤去'22/1/11~'22/2/25 ・2階北側エリア除染'23/4/10~								
			3号	(実績) ○建屋内環境改善(継続) (予定) ○建屋内環境改善(継続)	検討・設計 現場作業																								
		格納容器内水循環システムの構築	1号	(実績)なし (予定) 圧力抑制室内包水のサンプリング	現場作業	圧力抑制室内包水のサンプリング															圧力抑制室内包水のサンプリング ・原子炉冷却材浄化系逆止弁開放(モックアップ'22/11/1日~) ・圧力抑制室底部確認、圧力抑制室内包水サンプリング								
			2号	(実績)なし (予定)なし	現場作業																								
			3号	(実績) ○原子炉格納容器水位低下(継続) ○圧力抑制室内包水の水質改善(継続) (予定) ○原子炉格納容器水位低下(継続) ○圧力抑制室内包水の水質改善(継続)	現場作業				3号機格納容器内取水設備の運転開始												(継続実施) ・取水設備設置'21/10/1~'22/3/31 ・使用前検査(3号)'22/4/26 ・3号機格納容器内取水設備による圧力抑制室内包水の水質改善開始'22/10/3~								
	燃料デブリの取り出し	共通	初号機の燃料デブリ取り出しの開始 ●取り出し規模の更なる拡大(1/3号機) ●段階的な取り出し規模の拡大(2号機)	○【研究開発】格納容器内部詳細調査技術の開発(継続) ○【研究開発】圧力容器内部調査技術の開発(継続) ○燃料デブリ取出設備 概念検討(継続) (予定) ○【研究開発】格納容器内部詳細調査技術の開発(継続) ○【研究開発】圧力容器内部調査技術の開発(継続) ○燃料デブリ取出設備 概念検討(継続)	検討・設計																(継続実施)								
					検討・設計																(継続実施)								
					検討・設計																(継続実施)								
					検討・設計																(継続実施)								
					検討・設計																(継続実施)								
		現場作業	1/2号機SGTS配管撤去(残り分)			実施時期調整中 最新工程反映																							
燃料デブリの取り出し	1号	○原子炉格納容器内部調査(継続) ○1/2号機SGTS配管撤去(継続) (予定) ○原子炉格納容器内部調査(継続) ○1/2号機SGTS配管撤去(継続)	現場作業	1/2号機SGTS配管撤去(残り分)			実施時期調整中 最新工程反映												OPCV内部調査 ・PCV内部調査に係る実施計画変更申請('18/7/25) →補正申請('19/1/18)→認可('19/3/1) 【主要工程】 ・PCV内部調査装置投入に向けた作業'19/4/8~'21/10/14 ・PCV内部調査'21/11/5~ ・ROV-Aガイドリング取付'22/2/8~'22/2/10 ・ROV-A2調査'22/3/14~'22/5/23 ・ROV-C調査'22/6/7~'22/6/11 ・ROV-D調査'22/12/6~'22/12/10 ・ROV-E調査(1回目)'23/1/31~'23/2/1 ・ROV-E調査(2回目)'23/2/10~'23/2/11 ・ROV-G調査'23/3/4~'23/3/8 ・ROV-A2調査'23/3/28~'23/4/1 O1/2号機SGTS配管撤去 ・1/2号機SGTS配管撤去(その1)に係る実施計画変更申請('21/3/12)→認可('21/8/26) 【主要工程】 ・1/2号機SGTS配管切断ダスト飛散対策(フレタン注入)'21/9/8~'21/9/26 ・1/2号機SGTS配管切断'22/5/23~'23/5月中旬 ・1/2号機SGTS配管切断(残り分)MU'23/1/29~'23/3/3 ・1/2号機SGTS配管切断(残り分)'32/4/18~										
			現場作業	PCV内部調査 ロボットアームの性能確認試験・モックアップ・訓練(国内)															時期調整中										
	現場作業	PCV内部調査 PCV内部調査装置投入に向けた作業															時期調整中												
0号	(実績) (予定)	現場作業																											

