

福島第一原子力発電所 3号機  
原子炉注水停止試験の実施について

2022年5月10日

**TEPCO**

---

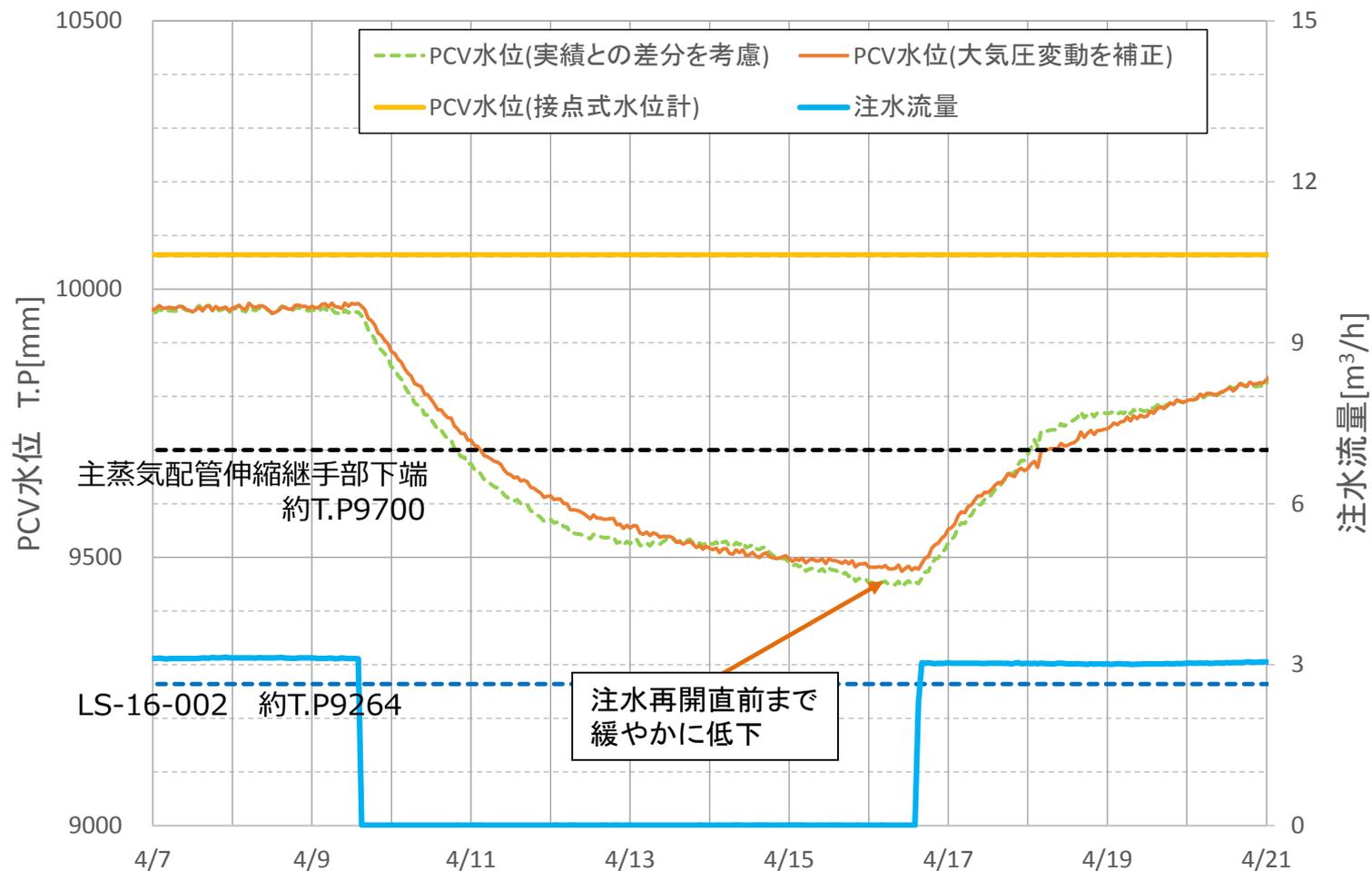
東京電力ホールディングス株式会社

- 前回の原子炉注水停止試験（7日間停止：2021年4月）において、注水再開直前までPCV水位の低下が継続し、PCVからの漏洩が経験水位以下にあることを確認。
  - デブリ取り出し時の安全確保のためにも漏えい箇所を把握していくことが重要。
  - また、将来のデブリ取り出し工法の実現化を検討中であるが、燃料デブリの空冷の可否や水冷時の最低注水量を見極めていくことが重要。
- 今後、PCVの耐震健全性確保のため、段階的にPCV水位を低下させていく計画。



- 以下を目的に前回より長い期間での注水停止試験（注水停止：3ヶ月）を行う。
  - PCV水位低下途中での漏えい有無の把握  
（今後の燃料デブリ取り出し関連作業に資する情報の取得）
  - 長期の注水停止時の影響確認  
（温度・ダスト・PCV水位変化の知見を拡充し、今後の原子炉への注水に関する運用の検討）
- PCV水位がPCV新設温度計/水位計下端（T.P8264）を下回った場合、PCV水温の確認ができなくなるため、試験終了して注水を再開する。
- 注水停止による影響（温度・ダスト上昇）に対して、連続ダストモニタ設置や定期的な注水の実施などの対応を行い試験を実施する。

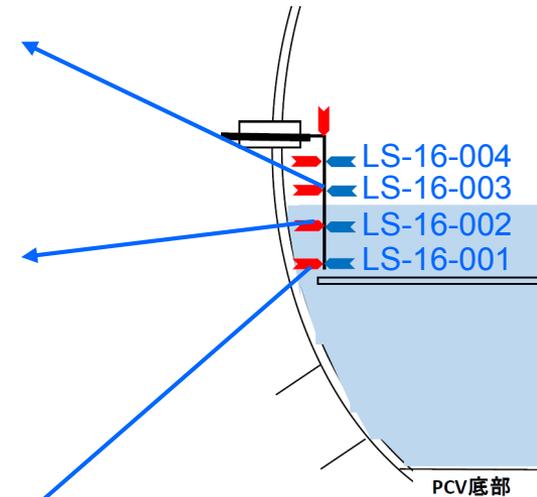
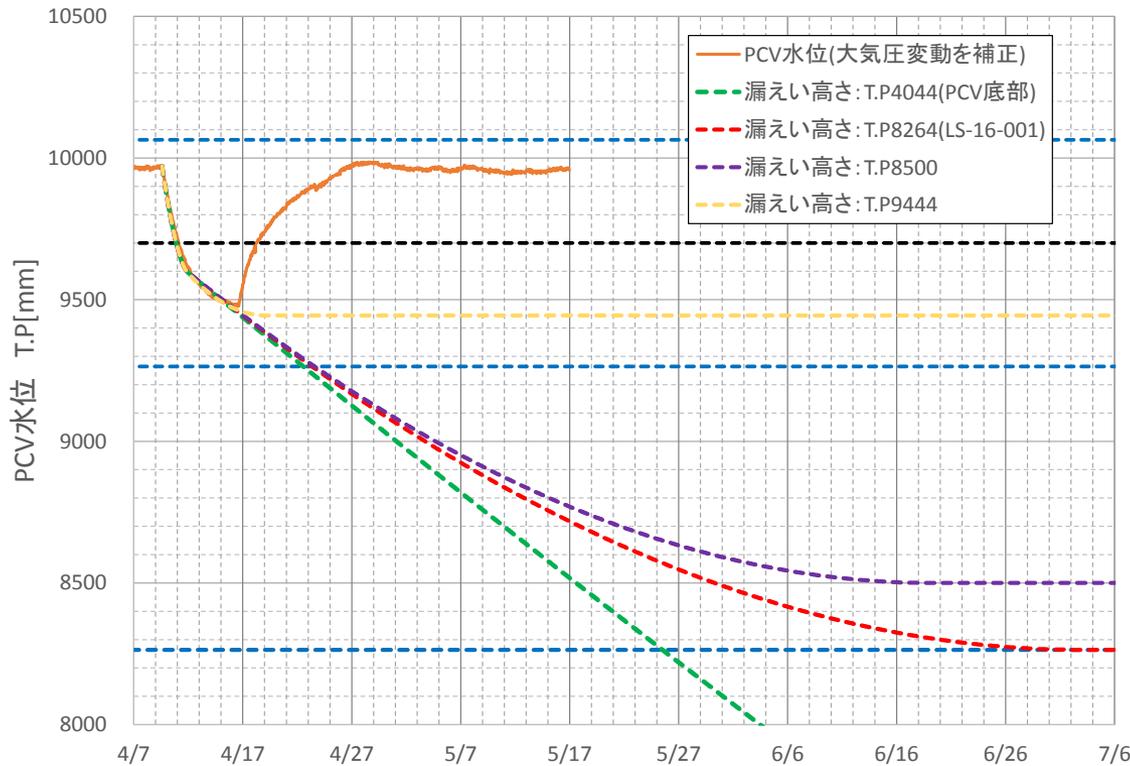
# (参考) 注水試験結果 PCV水位の変化 (2021年4月)



※大気圧1010hPaを基準に補正

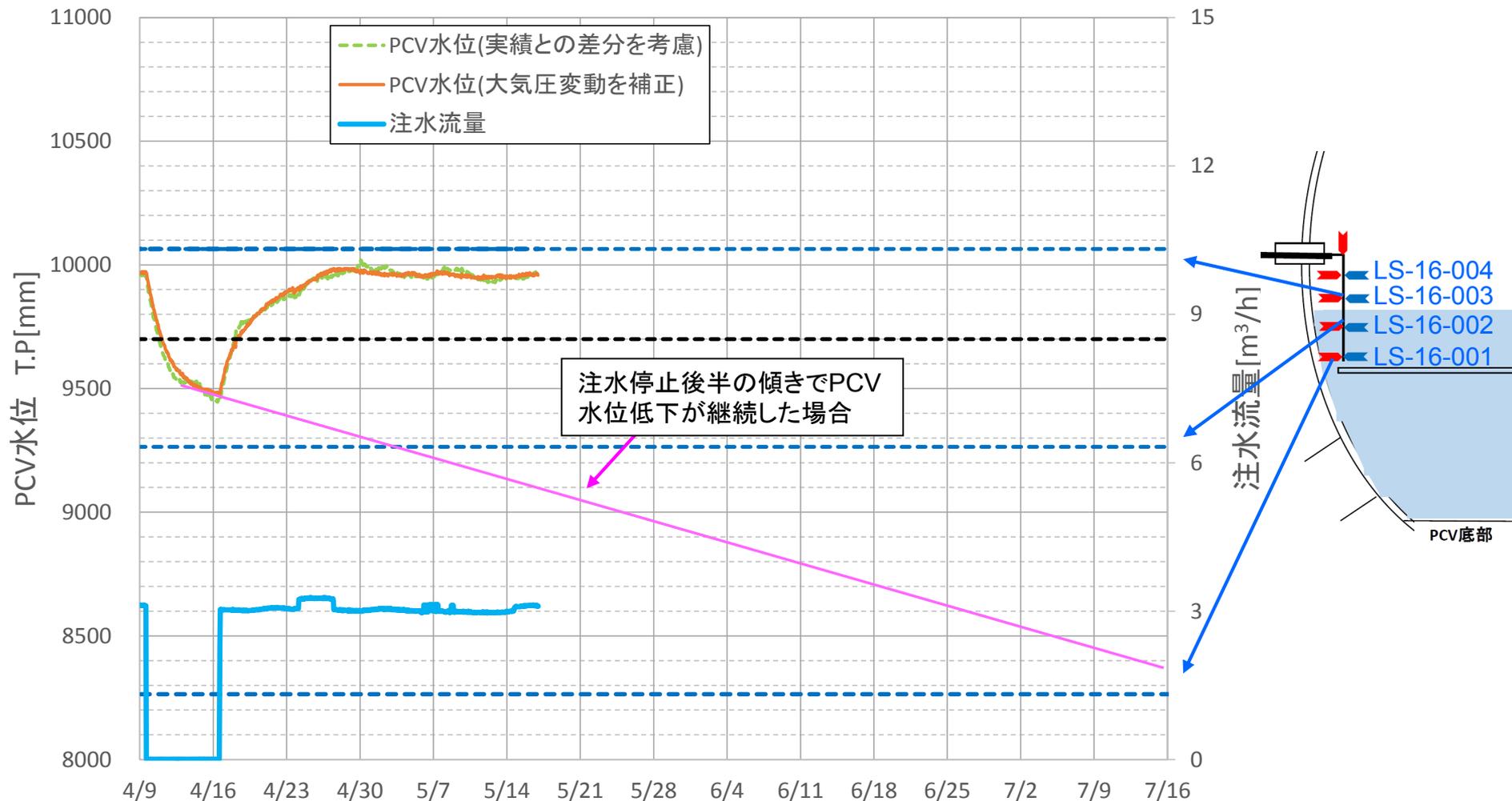
# 注水停止期間：試験実績からのPCV水位低下予測（1 / 2）

- 次頁の予測等含めて不確かな部分はあるが、3ヶ月の注水停止で漏えい箇所の特定に資する情報が得られる。
- 主要な漏えい(主蒸気配管伸縮継手)の他に漏えい箇所を仮定した場合、PCV水位の新設温度計/水位計下端到達は、当該高さに漏えいがある場合で最も時間を要し、3ヶ月程度。
- PCV水位がPCV新設温度計/水位計下端（T.P8264）を下回った場合、試験終了し、注水を再開。（PCV水温の確認ができなくなるため。）



- PCV水位評価式： $Q = \sqrt{2g(H - h)} \times S$  （水の粘性等は考慮していない）  
 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
- PCV内の水量は、水位以下のPCV体積からペDESTAL(コンクリート)の体積を除いた体積を用いて算出（その他のPCV内機器等の体積は除いていない）。

- 注水停止後半の傾きで、PCV水位低下が継続した場合、温度計下端高さ（=水位計L1高さ（LS-16-001））に3ヶ月以上要する可能性。



## 【RPV内の燃料デブリ】

- 現在、注水によるかけ流し状態で冷却。
  - 長期的に注水を停止すると、検知困難なデブリが高温となり、ダスト飛散の可能性
    - －乾燥によるダスト飛散
    - －注水再開時の蒸気発生によるダスト飛散
- (温度評価では、RPV底部35℃程度上昇:夏場で70℃程度)



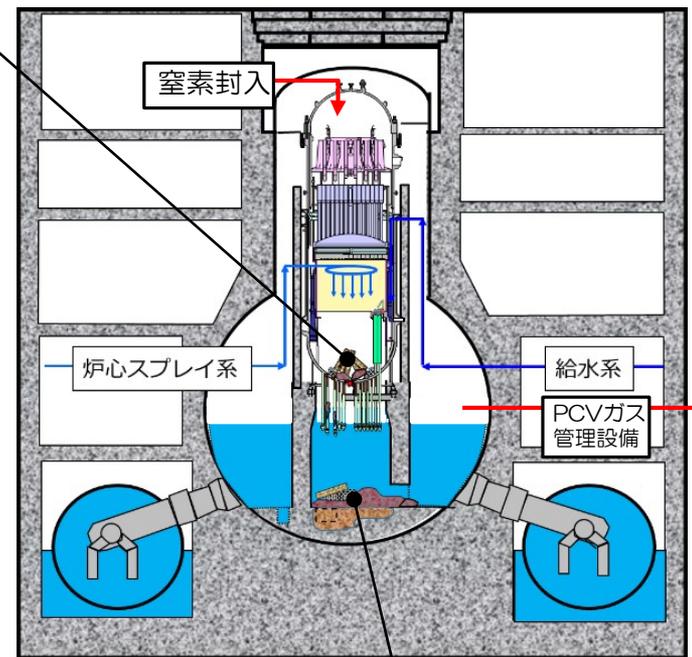
- 乾燥箇所・局所高温箇所の有無など炉内状況予測に不明な点が多く、事前にダスト飛散の程度を予測することは難しい
- <過去の試験(最長7日間)でのダストサンプリング※結果>
- 注水停止中：全αの検出、一部γ線核種濃度の上昇を確認
  - 注水再開後：大きな濃度上昇等なし



## (ダスト飛散リスクへの対応)

- 連続ダストモニタ※を設置しダスト濃度を確認する
- 注水再開時の蒸気発生に対し、注水停止期間中、定期的に短時間の注水を行い、デブリが高温となりうる前に影響確認する。(注水ライン健全性確認に寄与) ※PCVガス管理システムHEPAフィルタ上流側

【3号機 推定図】



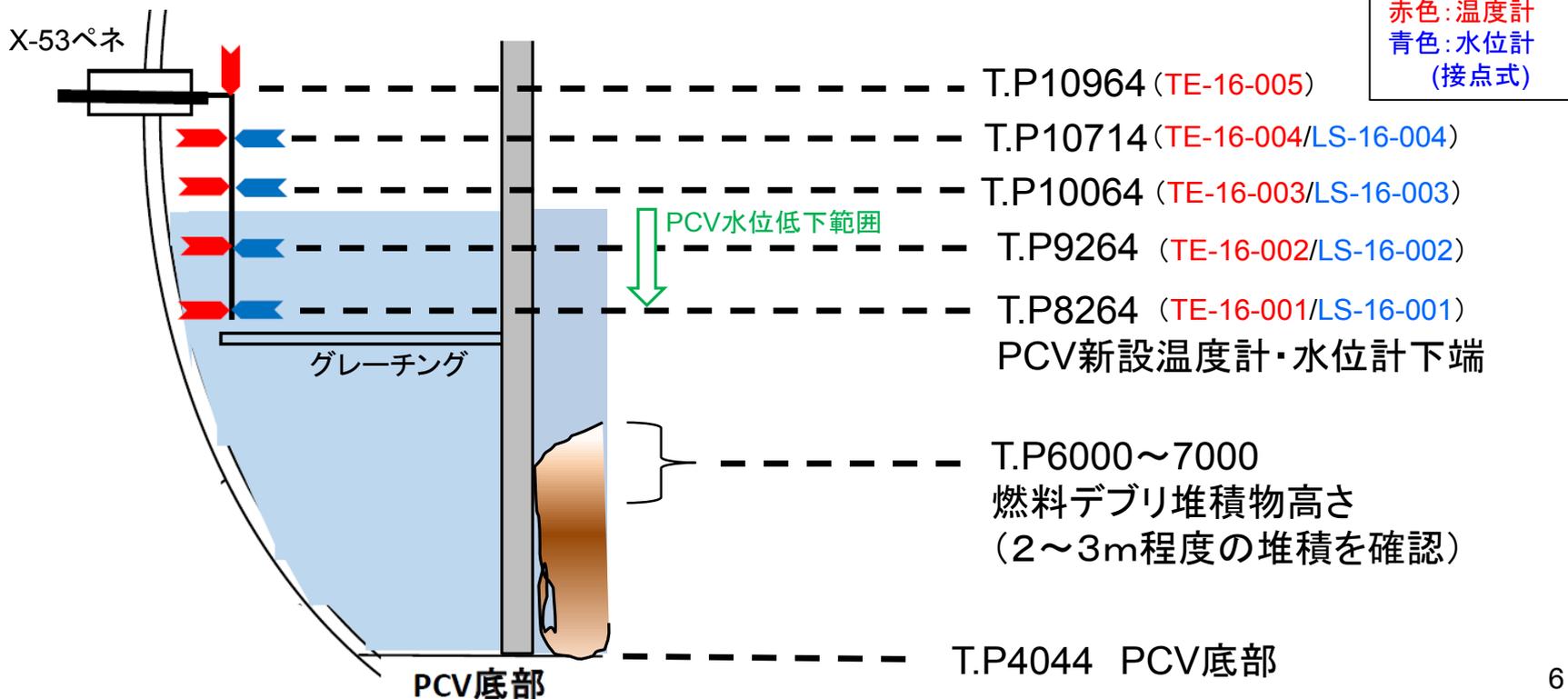
## 【ペDESTAL内の燃料デブリ】

- PCV水位は高く冠水状態
- 長期的に注水を停止しても新設温度計下端の水位(PCV底部+約4m)では冠水状態(リスク低)

PCV水位：約6m程度

ペDESTAL内：内部調査の結果から、2～3m程度の堆積物があることを確認

- 今回の試験では、PCV水位がPCV新設温度計・水位計下端 (T.P8264) を下回った場合、試験終了して、注水を再開する計画であり、ペDESTAL内に堆積している燃料デブリは露出しない。
- 試験に伴い、PCV水位が低下することで、PCV壁面等が気中露出し、ダスト飛散の可能性はある。これまで、注水量を低減した際にもPCV水位の低下が確認されてきたが、ダストモニタ (PCVガス管理設備HEPAフィルタ下流) に有意な上昇はなかった。今回、連続ダストモニタを追設し、ダスト濃度変化の確認を行う。



- 注水停止により、RPV・PCV温度の上昇やダスト濃度上昇の可能性があるので、下表の対応を行い、試験を実施する。

注水停止に伴う影響		影響への対応
温度	<ul style="list-style-type: none"> <li>RPV・PCVの温度が上昇する。</li> <li>3ヶ月注水停止した場合の予測 RPV底部温度：約35℃程度上昇※ PCV水温：約10℃程度上昇 ※注水停止試験時の実績は予測の半分以下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>管理目標温度(RPV底部温度65℃、PCV温度60℃)を設定し、当該温度以下の範囲で試験を実施 (p8～10参照)</li> </ul>
ダスト等の放出	<ul style="list-style-type: none"> <li>RPV・PCV温度の上昇によりFP再揮発の可能性。</li> <li>PCV内湿度低下で、ダスト等が飛散する可能性。</li> <li>過去に、注水停止中のHEPAフィルタ上流側の試料(ダストサンプリング)で、全αの検出、一部γ線核種濃度の上昇を確認</li> <li>主蒸気配管伸縮継手(MSIV室)からPCVの漏えい水が確認されており、PCV水位低下で漏えいがなくなる。(気相露出等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>管理目標温度(RPV底部温度65℃、PCV温度60℃)を設定し、当該温度以下の範囲で試験を実施 (p8～10参照)</li> <li>PCVガス管理設備HEPAフィルタ上流でダスト濃度を確認する(連続ダストモニタ) (p11参照)</li> <li>R/B1階の北東コーナーでダスト濃度を確認する(連続ダストモニタ) (p12参照)</li> <li>注水再開時の蒸気発生に対しては、注水停止期間中、定期的に短時間の注水を行い、影響確認する。(p13～16参照)</li> <li>PCVからの気体のアウトリーク低減のため、PCVガス管理設備の排気流量を増加させる。(p17参照)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>RPV内に局所的な高温箇所がある場合、注水再開時に蒸気が発生しダスト等が飛散する可能性。(過去においては、注水再開後のHEPAフィルタ上流側の試料(ダストサンプリング)に、大きな上昇等なし)</li> </ul>	

## ➤ 運転上の制限（第18条）

項目	運転上の制限
RPV底部温度	80℃※以下 (※既設温度計の不確かさ(20℃以内)を踏まえて設定)
PCV温度	全体的に著しい温度上昇傾向※がないこと (※6時間当たりの上昇率から計算された100℃到達までの時間が24時間を超えていないこと)

- 原子炉注水量低減時等は、上記の温度に裕度を確保してRPV底部・PCV温度65℃以下で管理していた。
- PCV温度については、ペDESTALのコンクリート劣化(PCV内65℃)の観点も考慮し、今回の試験では、60℃以下で管理する。

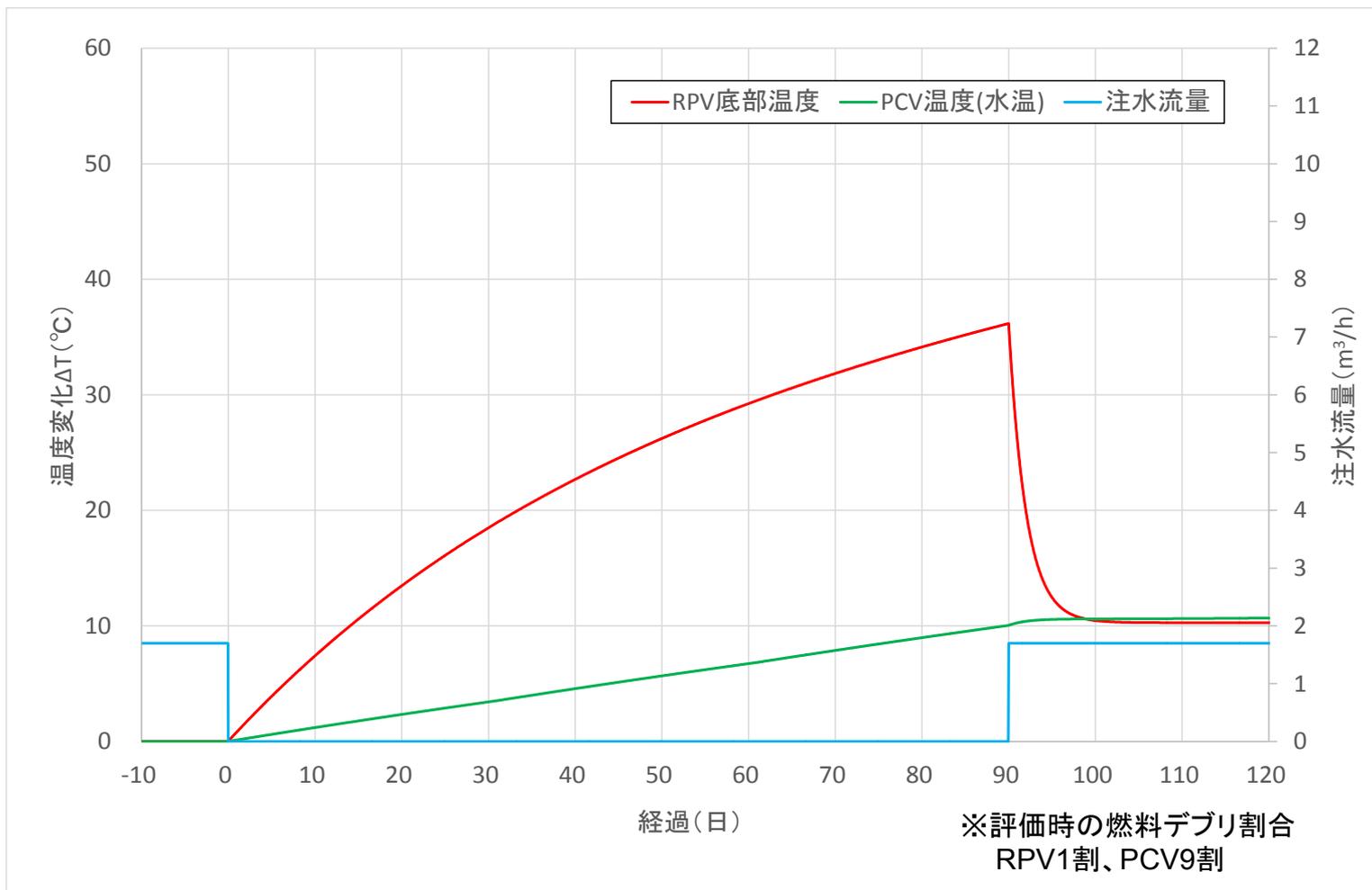


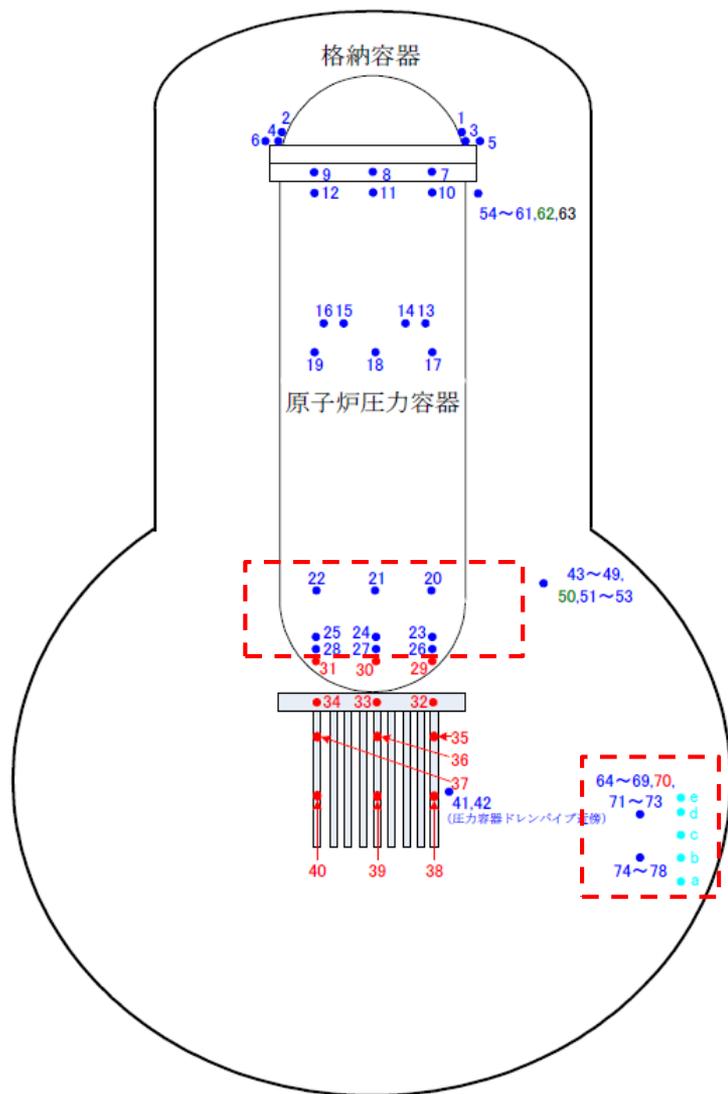
注水停止試験中、RPV底部温度・PCV温度の管理目標温度を下記で管理

- ・ RPV底部温度65℃
- ・ PCV温度60℃

上記の温度を超過した場合、注水を再開する。

- 90日の注水停止で、RPV底部温度約35℃、PCV水温約10℃上昇。
- なお、これまでの3号機注水停止試験時のRPV底部温度上昇の実績は、予測の半分以下（夏季のRPV底部温度、PCV温度35℃程度であり、試験中最大45℃～50℃程度と予測）





- 既設温度計
- 新設温度計
- 監視・評価対象外

■ RPV底部温度計

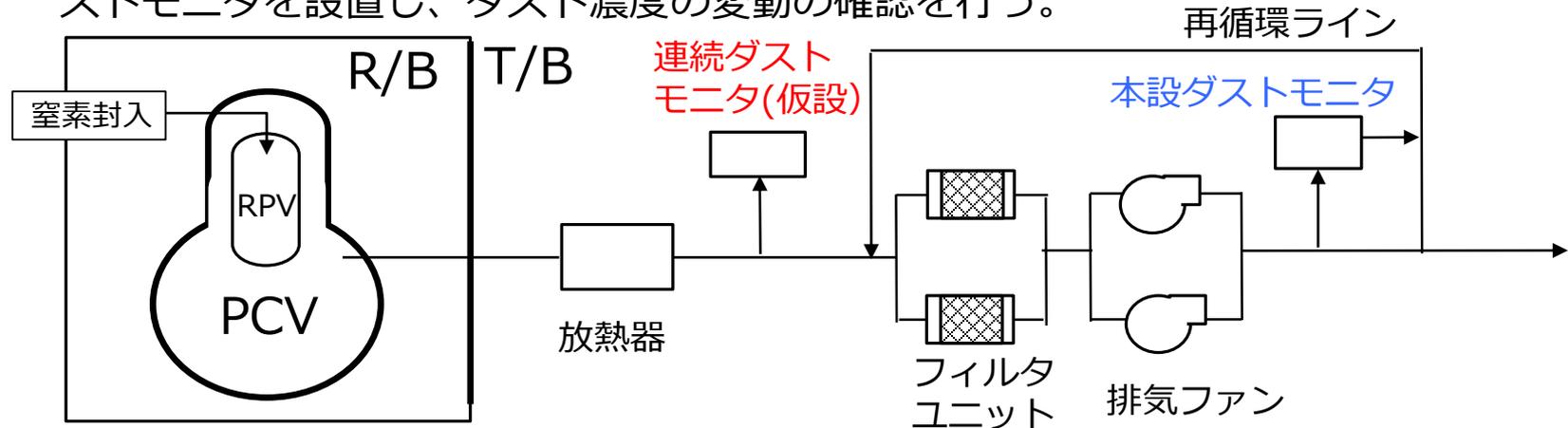
サービス名称	Tag No.	No.
RPV底部ヘッド上部温度	TE-2-3-69H1	20
	TE-2-3-69H2	21
	TE-2-3-69H3	22
スカートジャンクション上部温度	TE-2-3-69F1	23
	TE-2-3-69F2	24
	TE-2-3-69F3	25

■ 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

# 連続ダストモニタの設置 (HEPAフィルタ上流)

- 注水停止試験に伴い、ダスト飛散の可能性があるため、HEPAフィルタ上流に連続ダストモニタを設置し、ダスト濃度の変動の確認を行う。



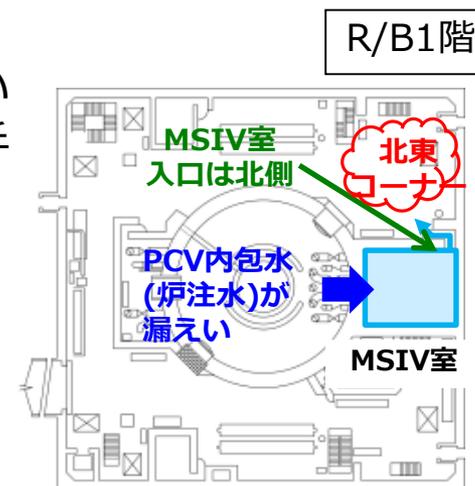
- ダストモニタの管理値は、下記を設定。

	管理値	放射線	対応
連続ダストモニタ(仮設)	1.0E-03Bq/cm <sup>3</sup>	全β	監視強化
本設ダストモニタ	有意な上昇が継続 (参考：放射能高 3.25E-04Bq/cm <sup>3</sup> )	全β	注水再開

- 連続ダストモニタの値が1.0E-03Bq/cm<sup>3</sup>以上で監視強化を行う。当該値は、フィルタの除去性能(DF100)より、フィルタ通過後で1.0E-05Bq/cm<sup>3</sup>に相当、本設ダストモニタの検出レベル (通常ND<約2.9E-05Bq/cm<sup>3</sup>) 未満で設定  
 なお、再循環ラインにより、放射性物質濃度はPCVガス管理設備全体の効率から1/750程度となると評価。(実施計画Ⅱ章2.8原子炉格納容器ガス管理設備 (添付資料-3))
- 本設ダストモニタは、過去の注水停止試験と同様、有意な上昇が継続した場合、注水再開。  
 ※毎月の放出量評価(3号)では、PCVガス管理設備からの放出量の占める割合は2桁程度低いレベル
- 管理値については、連続ダストモニタの試運転時のバックグラウンド等を踏まえて、見直す可能性。

- MSIV室 (R/B1階) のドライアップによるダスト濃度上昇
- 3号PCV内包水は主蒸気配管伸縮継手 (MSIV室) から漏えいしていることが確認されているが、注水停止に伴うPCV水位の低下に伴い、漏えいがなくなり、MSIV室がドライアップし、ダスト濃度上昇の可能性がある。

- PCV水位低下に伴う、主蒸気配管伸縮継手の気相漏えい
- 注水停止に伴いPCV水位が低下し、主蒸気配管伸縮継手 (MSIV室) が気相露出し、ダスト濃度上昇の可能性がある。



- 3号機のR/B1階北東コーナー (MSIV室入口付近) に連続ダストモニタを設置し、監視を行う。有意な上昇が継続した場合、注水を再開する。

(全β：放射能高：5.0E-03Bq/cm<sup>3</sup>、放射能高高：1.0E-02Bq/cm<sup>3</sup>)

- ▶ RPV内に局所的な高温箇所がある場合、注水再開時に蒸気が発生しダスト等が飛散する可能性がある。  
→定期的な短時間の注水を行い、ダスト飛散の影響確認を行い進めていく
- ▶ 3号機は7日間の停止実績があり、注水再開時、ダストモニタに有意な上昇はなかったことから、1週間後に短時間の注水を行い、徐々に定期的な注水のタイミングを延ばし、影響確認を行う。

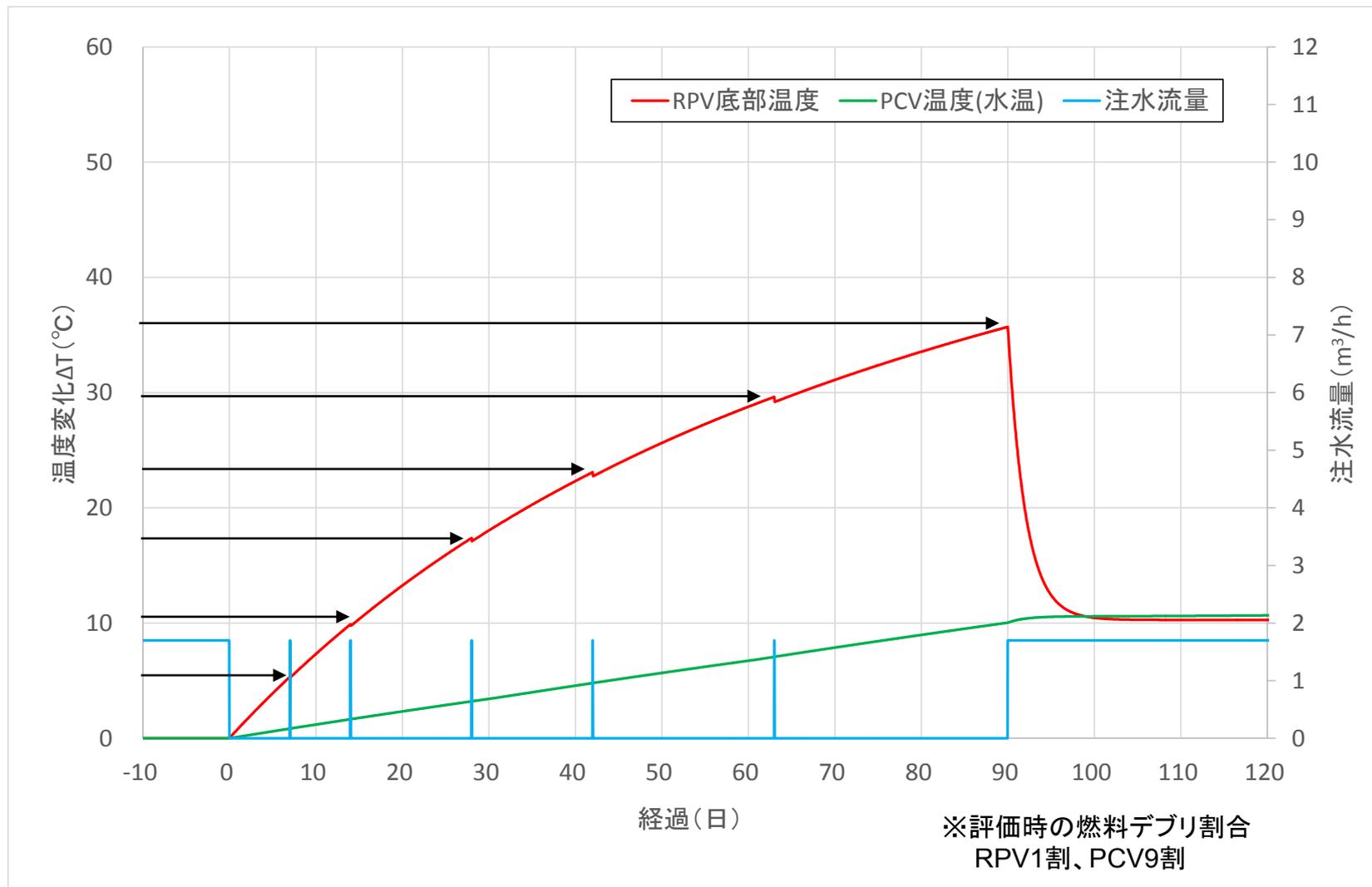
### 【定期的な注水のタイミング】

定期注水	経過日数
約1週間×2回	7日、14日
約2週間×2回	28日、42日
約3週間×1回	63日
約4週間×1回	90日（注水再開）

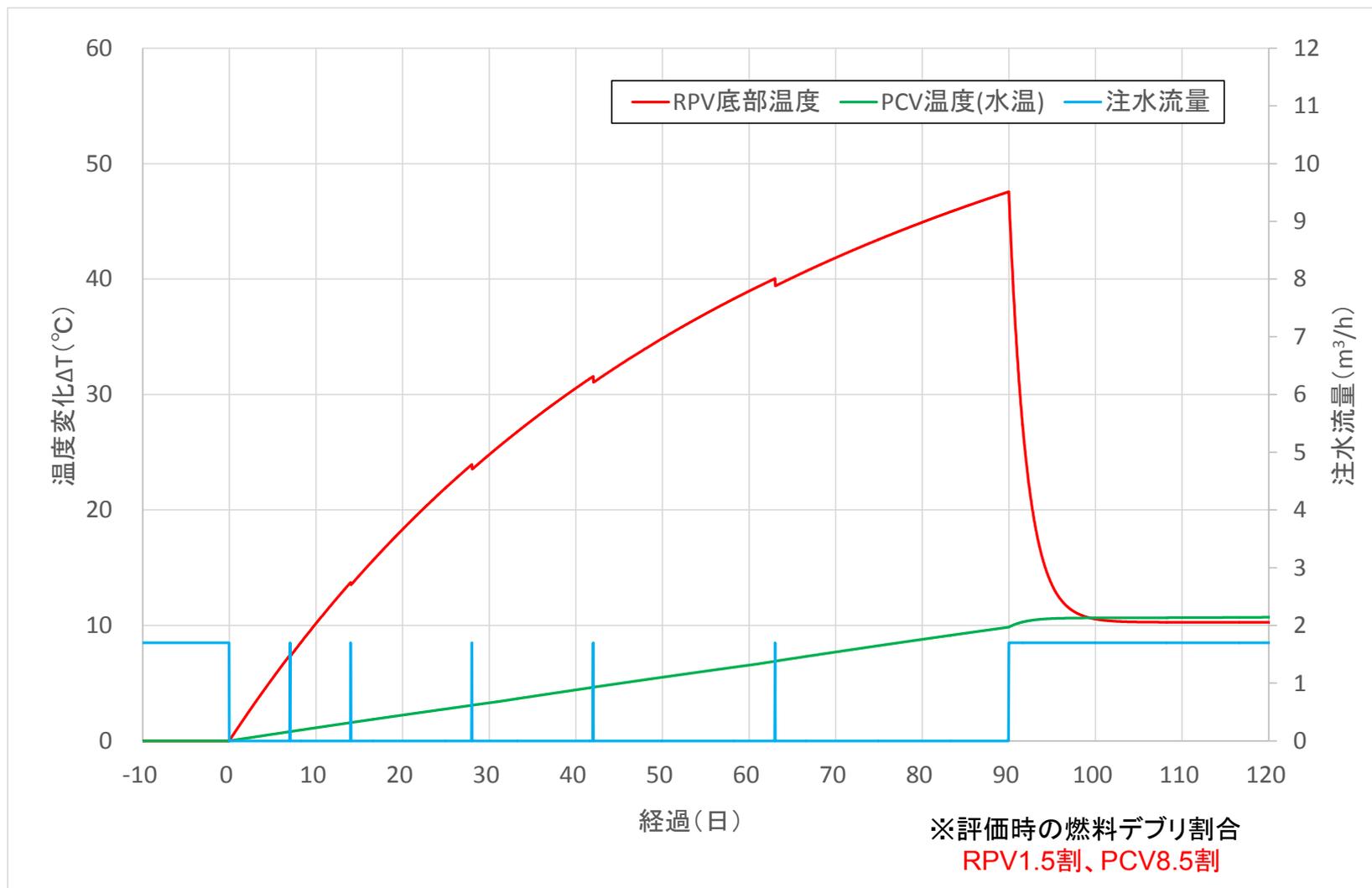
- ▶ 定期的な注水量(CS系：注水量1.7m<sup>3</sup>/h)  
注水再開操作後、CS系注水ライン（流量調整弁後）の圧力が、注水停止前の圧力と同等に復帰後、1時間経過して、注水停止操作を行う。
- ▶ 1.7m<sup>3</sup>/hで1時間の注水で約1700ℓ、1分間の注水約28ℓとなる。注水再開による影響（蒸気発生等）の確認としては、1時間程度の注水を継続することで十分と判断。
- ▶ 定期的な注水において、連続ダストモニタ等で大きな変動等が確認された場合は、定期注水のタイミングを適宜、見直す。  
(例：1週間での注水で上昇があった場合、2週間に延ばさず1週間毎の定期注水を継続など)

# (参考) 定期的な注水時の温度上昇評価

- 定期的な注水（注水1時間）による温度変化は、小さい。
- 評価したRPV底部の温度上昇の傾きは、徐々に緩やかになり、今回の定期注水の間隔の延ばし方であれば、その間隔での温度上昇量は大きく変化しないと評価。

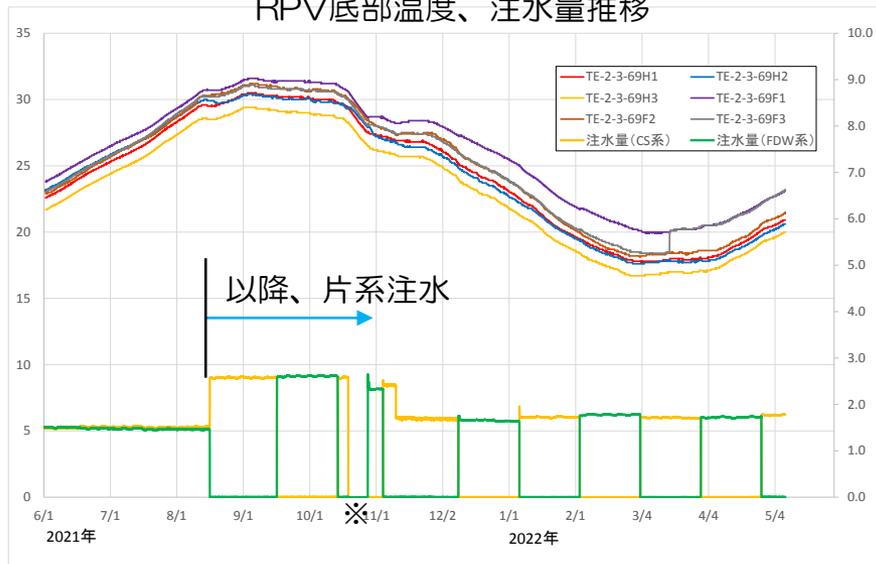


- RPVの燃料デブリ割合を1.5割とした場合、RPV底部温度の上昇 (90日後) は、1割での評価と比較して、10℃程度高くなる。
- 定期的な注水時の温度上昇の差は数℃であり、影響は小さいと考えている。

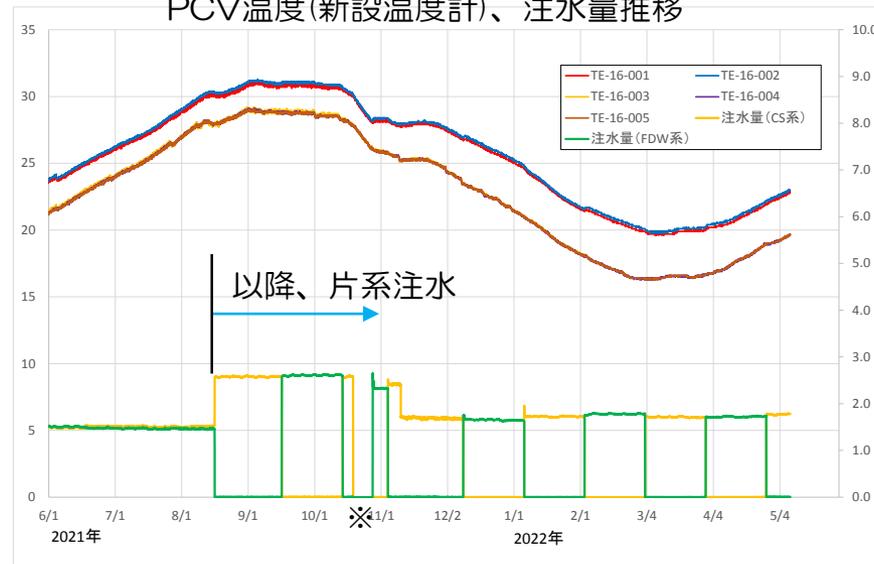


- 原子炉への注水は、CS系とFDW系で行っているが、それぞれのラインで注水した際のRPV内における水の掛かり方には、違いがあるものと想定される。
- そのため、FDW系のみで注水した後に、CS系のみでの注水に切り替えを行うような際には、p13と同様な蒸気発生等の懸念が想定される。
- 2021年8月以降、原子炉注水量の低減を行っているが、CS系とFDW系の両系による注水から、片系注水を交互（1ヶ月程度）に行う運用で低減を行ってきた。
- この際、RPV底部温度やPCV温度の変化は小さく、本設ダストモニタに有意な変動はなかったことから、注水停止時の定期注水においても、蒸気発生リスクは低いものと想定される。（定期注水はCS系で実施予定）

RPV底部温度、注水量推移



PCV温度(新設温度計)、注水量推移



※CST炉注系統停止、高台炉注系による注水

- ▶ 3号機のD/W圧力は、微正圧であり、PCVからのアウトリークが存在する。
- ▶ 注水停止試験において、PCV内のダスト濃度が上昇する可能性があることから、試験中、PCVガス管理設備の排気流量を増加させ、アウトリークの低減を図る。
- ▶ 排気流量の増加幅は、実排気流量約12～14Nm<sup>3</sup>/hが、窒素封入量17Nm<sup>3</sup>/hと同程度以下(正圧の維持)となる約2 Nm<sup>3</sup>/h増加させる。  
増加操作においては、試験開始前に行い、段階的(1Nm<sup>3</sup>/h毎)に増加させる等、プラントパラメータを確認しつつ実施する。

## (1) 冷却状態の監視

監視パラメータ	監視頻度			判断基準	異常時の対応
	注水停止中	定期注水時※1	(参考)通常監視		
RPV底部温度	毎時	毎時	毎時	65℃以下	注水再開
PCV温度	6時間	6時間	6時間	60℃以下	注水再開
原子炉への注水量	毎時	毎時	毎時	—	—
PCV水位	6時間	6時間	6時間	PCV新設温度計/水位計下端 (TE-16-001/LS-16-001)以上	注水再開
PCVガス管理設備ダストモニタ	6時間	毎時	6時間	有意な上昇が継続しないこと (参考:放射能高 3.25E-04Bq/cm <sup>3</sup> )	注水再開
PCVガス管理設備HEPAフィルタ上流連続ダストモニタ	6時間	毎時	—	1.0E-03Bq/cm <sup>3</sup>	監視強化※2
R/B 1階北東コーナー連続ダストモニタ※3	6時間	毎時	—	有意な上昇が継続しないこと (参考:放射能高 5.0E-03Bq/cm <sup>3</sup> )	注水再開

※1 定期注水直前～定期注水終了後6時間

※2 監視強化(判断基準を超過している期間):6時間→毎時  
(PCVガス管理設備ダストモニタ、  
PCVガス管理設備HEPAフィルタ上流連続ダストモニタ  
R/B1階北東コーナー連続ダストモニタ)

※3 PCV水位が主蒸気配管伸縮継手の漏えい付近に到達する試験初期は監視頻度を上げる

## (2) その他の傾向監視パラメータ

- ・原子炉圧力容器上部温度、格納容器圧力

## (A) 原子炉注水の停止

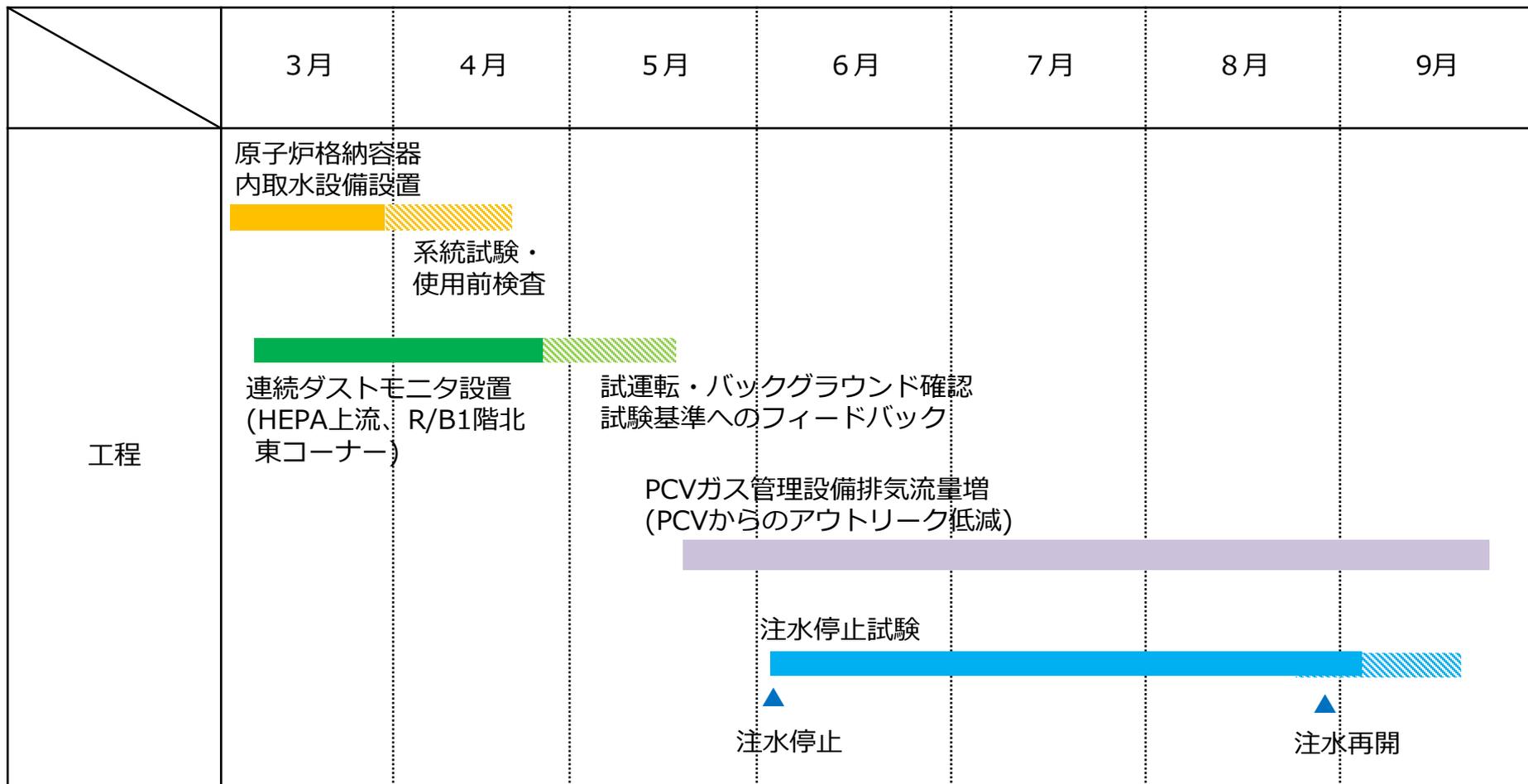
原子炉の冷却に必要な注水量を確保せず、運転上の制限(第18条)を計画的に逸脱することから、第32条第1項の適用が必要。（青旗）

	<table border="1"><tr><td data-bbox="241 392 575 586">安全措置(A)</td><td data-bbox="575 392 1854 586"><ul style="list-style-type: none"><li>• 温度監視</li><li>• ダスト濃度監視</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></td></tr></table>	安全措置(A)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 温度監視</li><li>• ダスト濃度監視</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>
安全措置(A)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 温度監視</li><li>• ダスト濃度監視</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>		

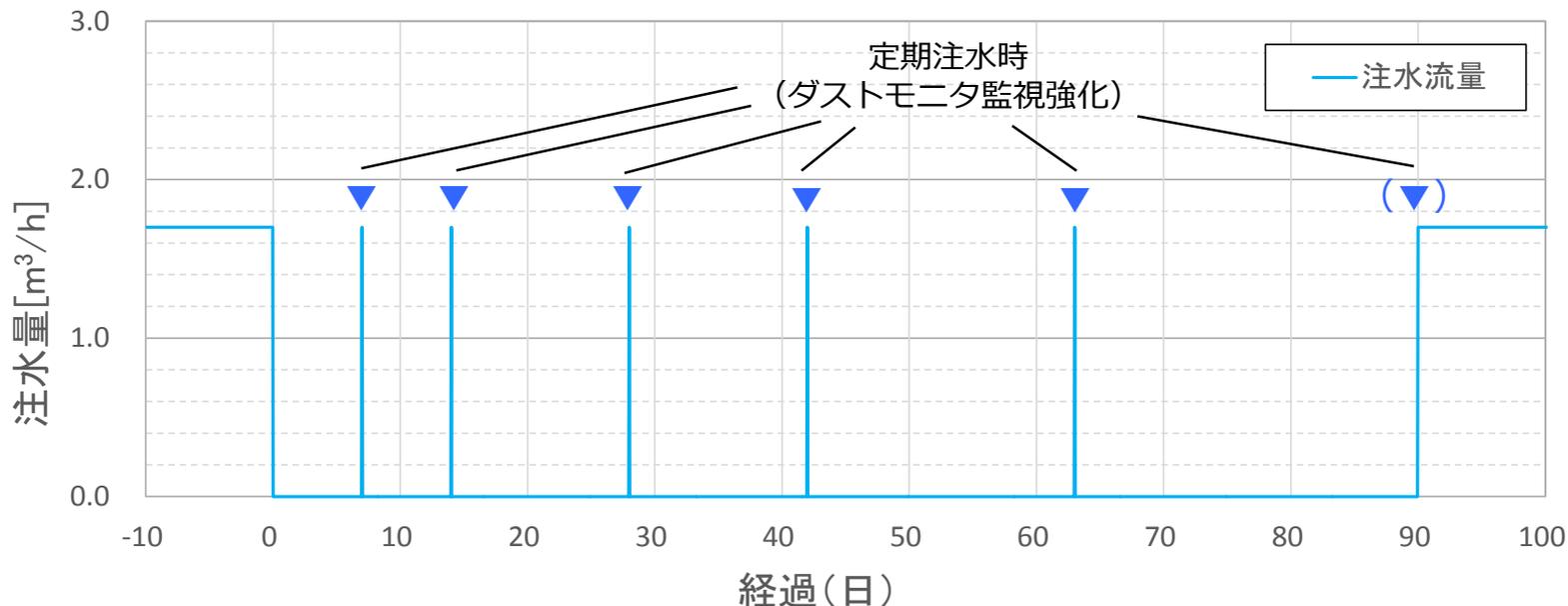
## (青旗の適用期間)

- 注水停止期間中、一時的な注水（必要注水量以上）を行うが、青旗は継続する。

- 連続ダストモニタ設置、試運転・バックグラウンド確認後、注水停止試験開始予定。試験開始時期等については調整中。



- 試験期間中、温度・PCV水位・ダストモニタの監視を行い、定期注水時はダストモニタの監視強化を行う。



監視パラメータ	監視頻度	
	注水停止中	定期注水時※1
RPV底部温度	毎時	毎時
PCV温度	6時間	6時間
原子炉への注水量	毎時	毎時
PCV水位	6時間	6時間
PCVガス管理設備ダストモニタ	6時間	毎時
PCVガス管理設備HEPAフィルタ上流連続ダストモニタ	6時間	毎時
R/B 1階北東コーナー連続ダストモニタ※2	6時間	毎時

※1：定期注水直前～定期注水終了後6時間  
 ※2：PCV水位が主蒸気配管伸縮継手の漏えい付近に到達する試験初期は監視頻度を上げる

- 原子炉注水停止試験後は、注水量を試験前の流量（ $1.7\text{m}^3/\text{h}$ ）に戻す（注水継続でPCV水位についても、試験前の水位に戻る）。
- 試験により得られた知見（PCV水位低下の状況や温度・ダスト濃度の変化）を踏まえて、今後の原子炉注水の運用等の検討、燃料デブリ取り出しに向けた検討を行っていく。

No.	評価条件の確認事項	検討結果
1.1-1)	注水再開時の蒸気発生とは、高温になったデブリに注入水がかかって蒸発するものと考えられが、蒸気発生の有無は実際にはどのように測定するのか。	蒸気発生の有無を直接測定することはできないが、蒸気発生時の影響としてダスト飛散が想定されるため、PCVガス管理設備に設置する連続ダストモニタにより、放射性物質を含んだダスト濃度に変化があるかを確認する。
1.1-2)	<p>P3にて予測解析として温度計下端より下に漏えいがあった場合の評価があり、その場合3ヶ月より早く温度計下端に達すると考えられるが、その可能性はあるか。</p> <p>その場合どのようなアプローチで実験データから漏えい個所の特定につなげようとしているか。</p> <p>注水停止後半の水位低下の傾きは、P3の評価と実機の傾きはあまり変わらないように見える。 また、水位が大きく変化すれば、PCVの球体部の断面積の変化や構造物有無による断面積への影響も考えられるが、どのように考慮しているか。</p>	<p>可能性はあると考えているが、前回試験時の傾き（p4）からは、低いと考えている。</p> <p>3ヶ月よりも早く温度計下端に達した場合は、到達までの低下の状況を踏まえて評価を行う。また、今後の追加試験等について検討していく。</p> <p>水位変化の評価では、PCV球体部の断面積の変化は考慮し、ペDESTAL（コンクリート）の体積を除いたものとしている。（その他のPCV内機器等は考慮していない）</p>

No.	評価条件の確認事項	検討結果
1.1-3)	温度上昇を決める要因として熱容量があるが、熱容量の仮定はどうか。	熱容量としては、RPVの鉄物質量、PCVコンクリート、PCVの鉄物質量、保有水量を考慮している。
	これまでの試験での温度上昇速度からRPV及びPCVの熱容量を推定し、それを利用して模擬すると実機推定精度が向上するのではないか。	温度上昇は発熱量（デブリ割合）の影響も受けるため、現時点では精度向上は難しいと考えている。今後、RPV内調査等の情報が得られた際に反映を検討したい。
1.1-4)	P2,4の図から注水流量は約3m <sup>3</sup> /hであったが、現状は1.7m <sup>3</sup> /hで運用していると理解で良いか。	現在、1.7m <sup>3</sup> /hで運用している。
	その場合、解析推定結果に影響はないか	注水量の変化による評価温度と実績温度との差分に大きな違いはないことから、影響は小さいと考えている。
1.1-5)	前回試験から状態が異なっていないか。例えば、デブリ位置が変化して熱バランスに変化が無いか。	RPV底部温度やPCV温度等のプラントパラメータに大きな変化はないことから、熱バランスへの変化も少ないと考えている。
	崩壊熱の計算方法と妥当性は。	崩壊熱は、ORIGEN評価の崩壊熱をRPV、PCVの燃料デブリ存在比で配分している。 （3号機はRPV 1割、PCV 9割）

No.	評価条件の確認事項	検討結果
1.1-6)	計測上の問題として、水位計、温度計の精度はどのくらいあるのか。PCV水位は圧力計で測定して、大気圧で補正しているが、その仕組みと精度はどのくらいか。また、温度計の信頼性はどの程度か。	PCVに震災後設置した温度計・水位計(接点式)以外の温度計、圧力計(PCV水位評価)は、震災前から設置されている計器である。PCV水位は、S/C圧力とD/W圧力の圧力差（水頭圧）を計算している。計算したPCV水位は大気圧変化との相関があったことから、補正を行っている。（p27～30参照）温度計については、毎月の温度計信頼性評価を行っている。
1.2-1)	PCV水位の評価にはPCV断面積を用いるが、水位の変化が大きければ、PCVの球体部の断面積が高さに依存するので水位に影響する。また、事故後の構造物有無とその位置は特定が難しい面もあるが、断面積への影響が考えられるため、使用しているPCV断面積を確認したい。	温度評価での水量は初期水位（約6m）での水量一定として評価を行っている。今回の評価では、水量約1250m <sup>3</sup> 。
1.2-2)	デブリ分布は2号機と3号機で異なっている。2号機は多くのデブリがRPV内に残存しているのに対し、3号機はほとんどPCVに落下したものと考えられる。温度評価をするためにはこれらは重要なファクターである。そのため、3号機でのデブリ分布として、RPV内に残存している崩壊熱(W)とPCVに落下したデブリ崩壊熱(W)を確認したい。	3号機は、RPV 1割（約3.0kW）、PCV 9割（約26.7kW）として評価を行っている。なお、ORIGEN評価でのデブリ総崩壊熱（約71kW：2022年5月）に対して、PCV外へのCsやSr流出を考慮している。

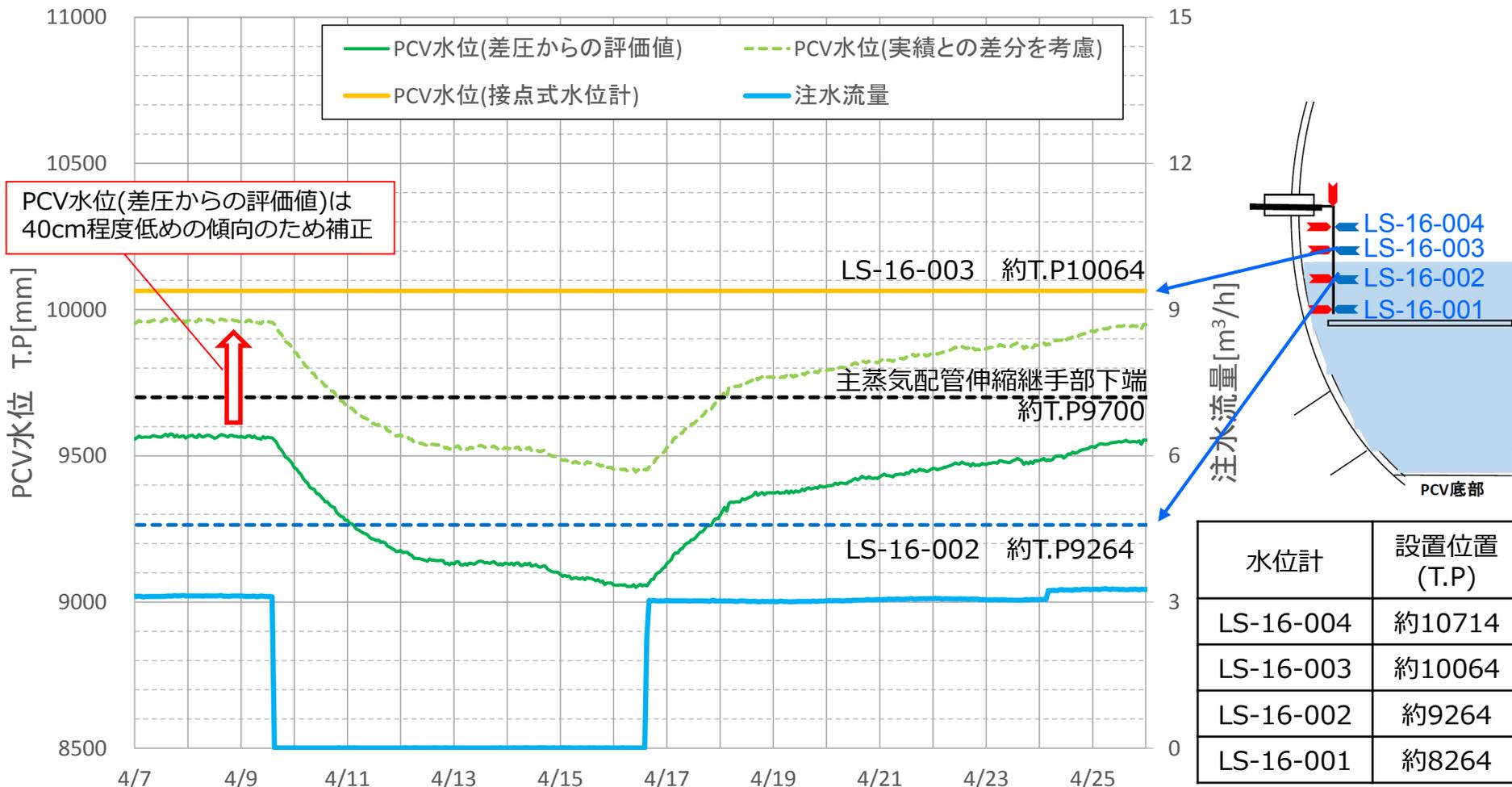
No.	評価条件の確認事項	検討結果
1.2-3)	<p>2号機の評価において、各種の熱伝達率を使用しているとのことであった。温度評価においてこれらは重要なファクターであるので3号機で変更したか、また変更した場合の根拠を確認したい。</p>	<p>変更していない。</p>
	<p>長期の注水停止後にPCVに蓄積された水が喪失すると、内側気体(空気、N<sub>2</sub>)による冷却モードになる。この場合には、熱伝達率の値は変わってくると考えられるので、その場合の評価に利用する熱伝達率を確認したい。</p>	<p>水喪失時の熱伝達係数は特に設定していない。</p>
1.2-4)	<p>温度上昇速度は熱容量の影響を受け、熱容量は熱容量として考慮する構造物等(燃料、構造物、蓄積水)に依存する。例えば2号機と3号機ならばPCV蓄積水の量が異なると考えられる。これらをどのように想定したか確認したい。</p>	<p>PCV蓄積水は、2号PCV水位約30cm（約45m<sup>3</sup>）、3号PCV水位約6m（約1250m<sup>3</sup>）で評価している。</p>

# (参考) PCV水位の算出

■ PCV水位（差圧からの評価値）は、S/C圧力とD/W圧力の圧力差（水頭圧）を計算。

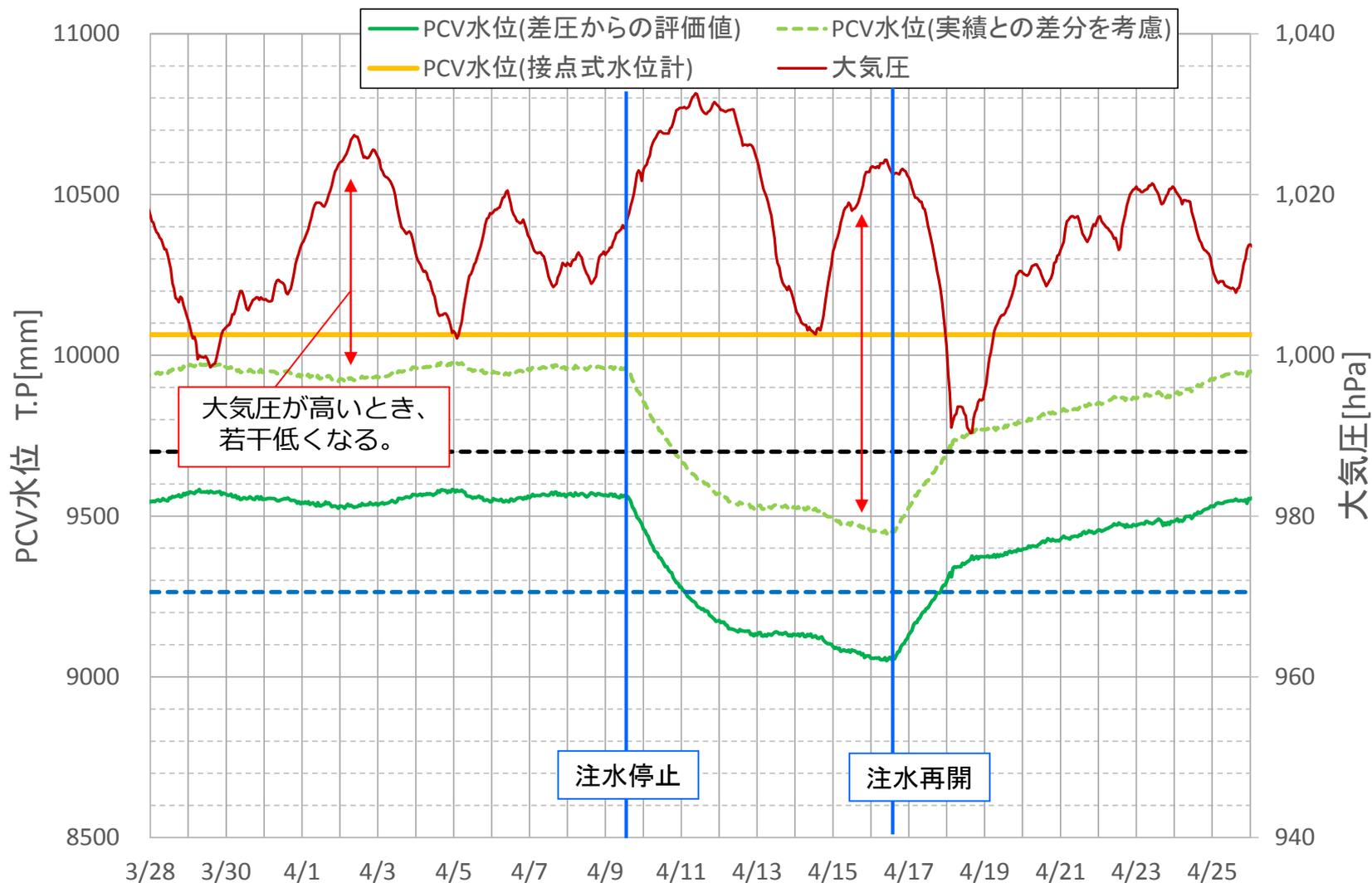
$$P_{S/C} = P_{D/W} + \rho g \Delta H$$

( $P_{S/C}$  : S/C圧力、 $P_{D/W}$  : D/W圧力、 $\rho$  : 水密度、 $g$  : 重力加速度、 $\Delta H$  :  $P_{S/C}$ を基準としたD/W内水位)



# (参考) PCV水位変化と大気圧変化

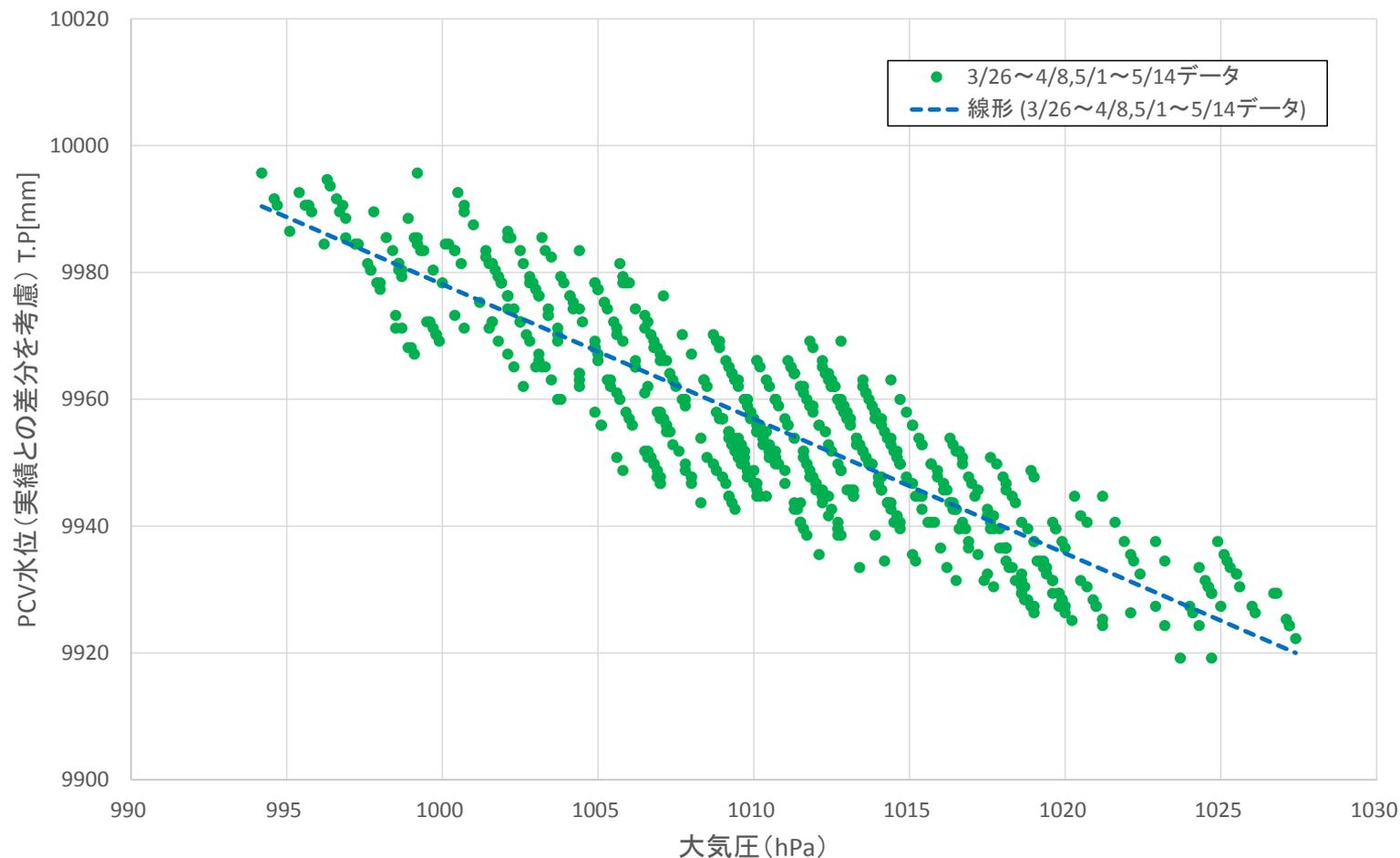
- 大気圧が高いときに、評価値のPCV水位が若干低くなる。



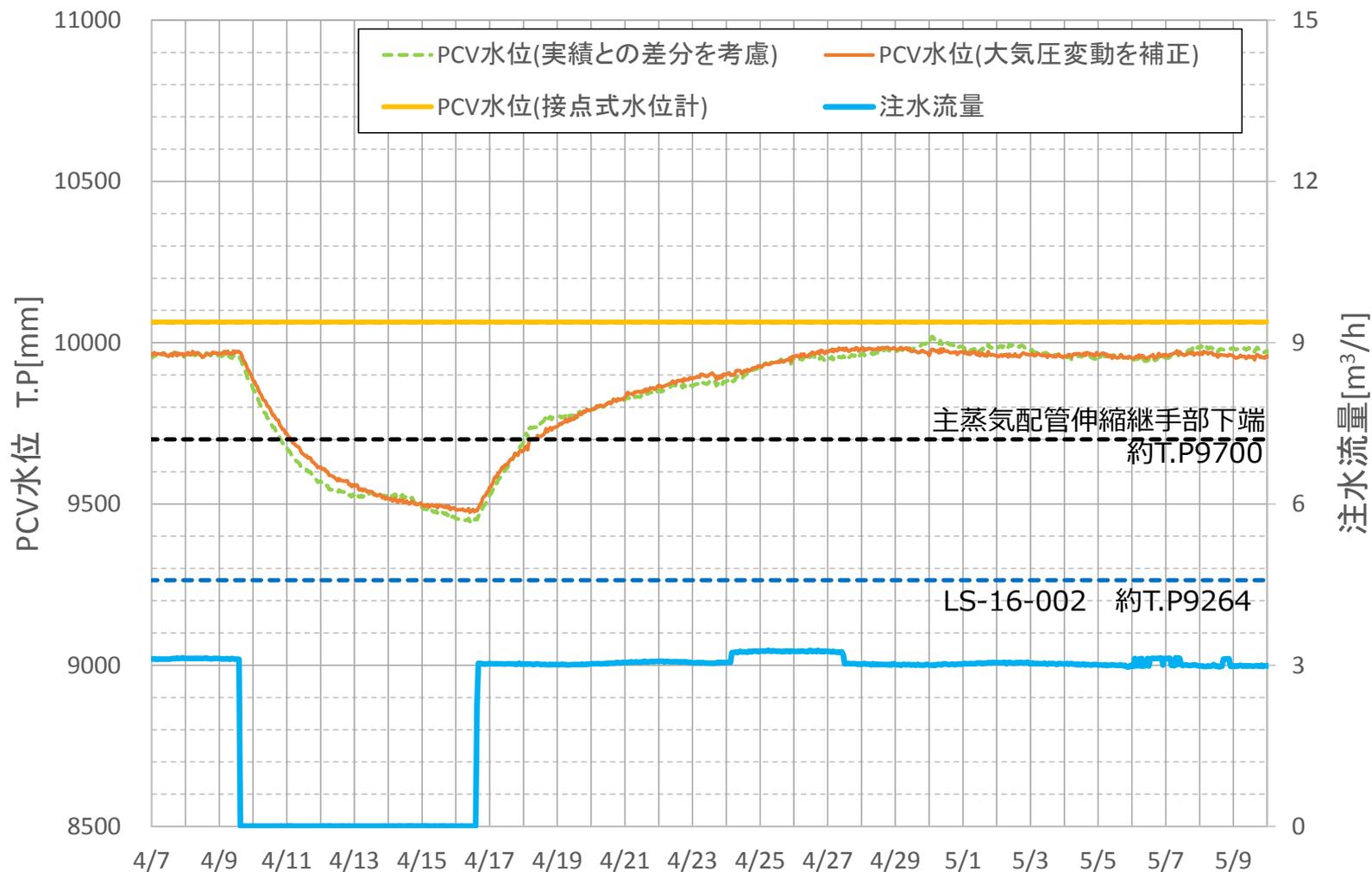
## (参考) PCV水位 (差圧からの評価値) と大気圧の相関

- 注水停止試験前の2週間 (2021/3/26~4/8) 及び、注水再開後PCV水位安定後の2週間 (2021/5/1~5/14) 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。

相関(大気圧、PCV水位評価値)



- 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。



※大気圧1010hPaを基準に補正

【2019年度】

- 1～3号機について、冷却設備の運転・保守管理や設備設計の適正化、緊急時対応手順等の適正化を図ることを目的に原子炉注水の一時的な停止を実施。
- 注水停止による温度上昇は予測の範囲内であり、緊急時対応手順・運転保守管理の適正化等を実施。

1号機	2号機	3号機
2019年10月 (約49時間の炉注停止)	2019年5月 (約8時間の炉注停止)	2020年2月 (約48時間の炉注停止)

【2020年度以降】

- 2019年度に実施した注水停止試験結果を踏まえ、今後の廃炉に向けて、各号機の状態を踏まえた目的に応じた注水停止試験を実施。

1号機	2号機	3号機
2020年11～12月 (5日間の炉注停止)	2020年8月 (3日間の炉注停止)	2021年4月 (7日間の炉注停止)

- 試験結果等を踏まえて、RPV底部温度・PCV内温度が確認できない場合、熱バランスにより評価した温度による代替監視の運用開始。  
(2021年1月LCO18条実施計画認可)

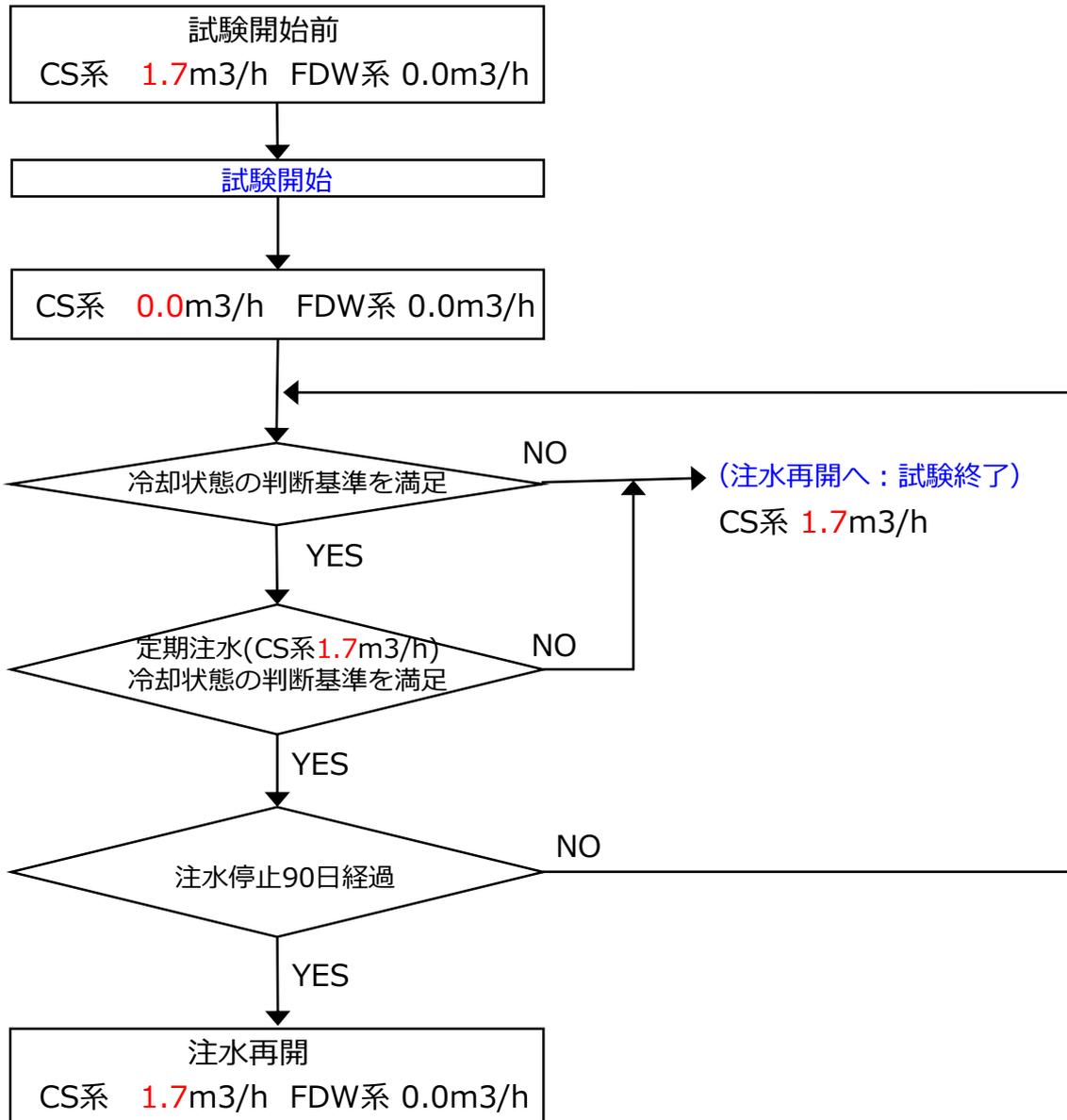
(2020年度以降 各号機の試験目的及び試験結果)

	1号機	2号機	3号機
試験目的	注水停止により、PCV水位が水温を測定している下端の温度計(TE-1625T1)を下回るかどうかを確認する	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	PCV水位が主蒸気配管伸縮継手部下端を下回らないことを確認する
補足	<ul style="list-style-type: none"> <li>2019年度試験では、PCV水温を測定している温度計は露出しなかった</li> <li>より長期間の停止で温度計が露出するか確認し、今後の注水量低減・停止時に考慮すべき監視設備に関する知見を拡充する</li> <li>PCV水位低下状況を踏まえ、今後の注水のありかたを検討していく</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2019年度試験での注水停止期間、RPV底部温度はほぼ一定で上昇することを確認</li> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2019年度試験では、PCVからの漏えいを確認している主蒸気配管伸縮継手部までPCV水位は低下しなかった</li> <li>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</li> </ul>
停止期間	5日間	3日間	7日間
試験結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>5日間の注水停止では、<b>PCV水位は、水温を測定している下端の温度計(TE-1625T1)を下回らなかったと推定</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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、<b>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</b></li> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li><b>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</b></li> </ul>

注水停止期間3ヶ月であり、連続ダストモニタ機器異常時の対応の基本方針を以下のとおりとする。

- 監視対象の連続ダストモニタ機器異常時、PCVガス管理設備ダストモニタの監視強化（6時間毎→毎時）を行い、試験を継続し、復旧対応を行う。
- 復旧に時間を要する場合は、注水再開（試験終了）について、関係者で協議する。

# (参考) 注水停止フロー



- 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、追加的に関連するプラントパラメータの取得と、試料採取・分析を検討中。

	追加的に取得する項目 (案)
プラントパラメータ	[PCVガス管理設備] <ul style="list-style-type: none"><li>• HEPAフィルタユニット表面線量率</li></ul>
試料採取・分析	[PCVガス管理設備] <ul style="list-style-type: none"><li>• HEPAフィルタ入口側抽気ガス(フィルタ通過前)のダスト</li><li>• HEPAフィルタ入口側抽気ガス(フィルタ通過前)の凝縮水</li><li>• 本設ダストモニタのろ紙</li></ul>

- 前回の試験と同様、MSIV室内のカメラによる確認を検討中。

# (参考) 注水停止試験時 採取試料の分析結果 (ダスト)

- 3号PCVガス管理設備HEPAフィルタ上流側ダストを採取。
- 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。

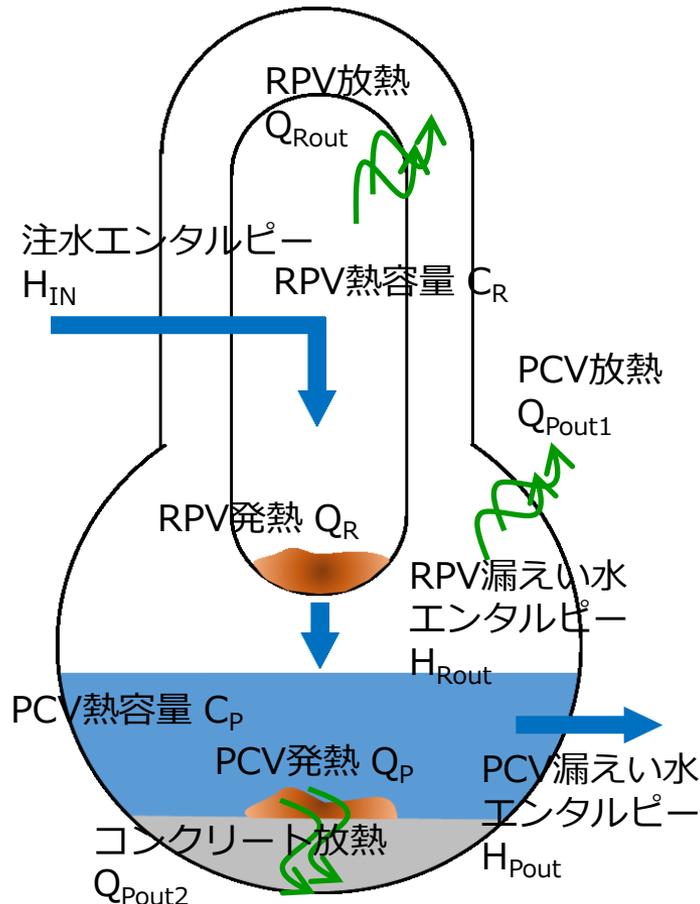
(単位 : Bq/cm<sup>3</sup>)

分析項目	半減期	2020年試験(2/3~2/5)		2021年試験(4/9~4/16)		
		試験前	試験中	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 (<9.8E-09)	ND (<1.3E-08)	ND (<8.8E-09)	2.8E-07	2.5E-08
全β	—	ND (<2.7E-07)	ND (<2.7E-07)	6.2E-07	3.0E-06	1.0E-06
Cs-134	約2年	ND (<1.1E-07)	ND (<1.1E-07)	ND (<2.5E-07)	1.2E-07	ND (<2.1E-07)
Cs-137	約30年	ND (<9.9E-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

- 今回の試験において、PCVガス管理設備HEPAフィルタ上流側に連続ダストモニタで全αのデータを取得し、検出要因について知見を拡充する。

- 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

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

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

## (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 (3号機は、RPV1割、PCV9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)

## (2) PCVのエネルギー収支と温度変化の計算式

$$H_{\text{Rout}} + Q_{\text{P}} + Q_{\text{Rout}} - Q_{\text{Pout1}} - Q_{\text{Pout2}} - H_{\text{Pout}} - C_{\text{P}} \times \Delta T_{\text{P}} = 0$$

$$\Rightarrow \Delta T_{\text{P}} = (H_{\text{Rout}} + Q_{\text{P}} + Q_{\text{Rout}} - Q_{\text{Pout1}} - Q_{\text{Pout2}} - H_{\text{Pout}}) \div C_{\text{P}}$$

項	項の意味	補足
$H_{\text{Rout}}[\text{J}]$	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× $T_{\text{R}}$
$Q_{\text{P}}[\text{J}]$	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 (3号機は、RPV1割、PCV9割)
$Q_{\text{Rout}}[\text{J}]$	RPVからPCVへの放熱量	RPV温度とPCV温度の温度差から評価
$Q_{\text{Pout1}}[\text{J}]$	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
$Q_{\text{Pout2}}[\text{J}]$	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
$H_{\text{Pout}}[\text{J}]$	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× $T_{\text{P}}$
$C_{\text{P}}[\text{J}/\text{K}]$	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)

- 長期間停止の温度上昇評価。
- 2号機の評価では、燃料デブリの割合、RPV 7割、PCV 3割として評価。

