

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3月31日

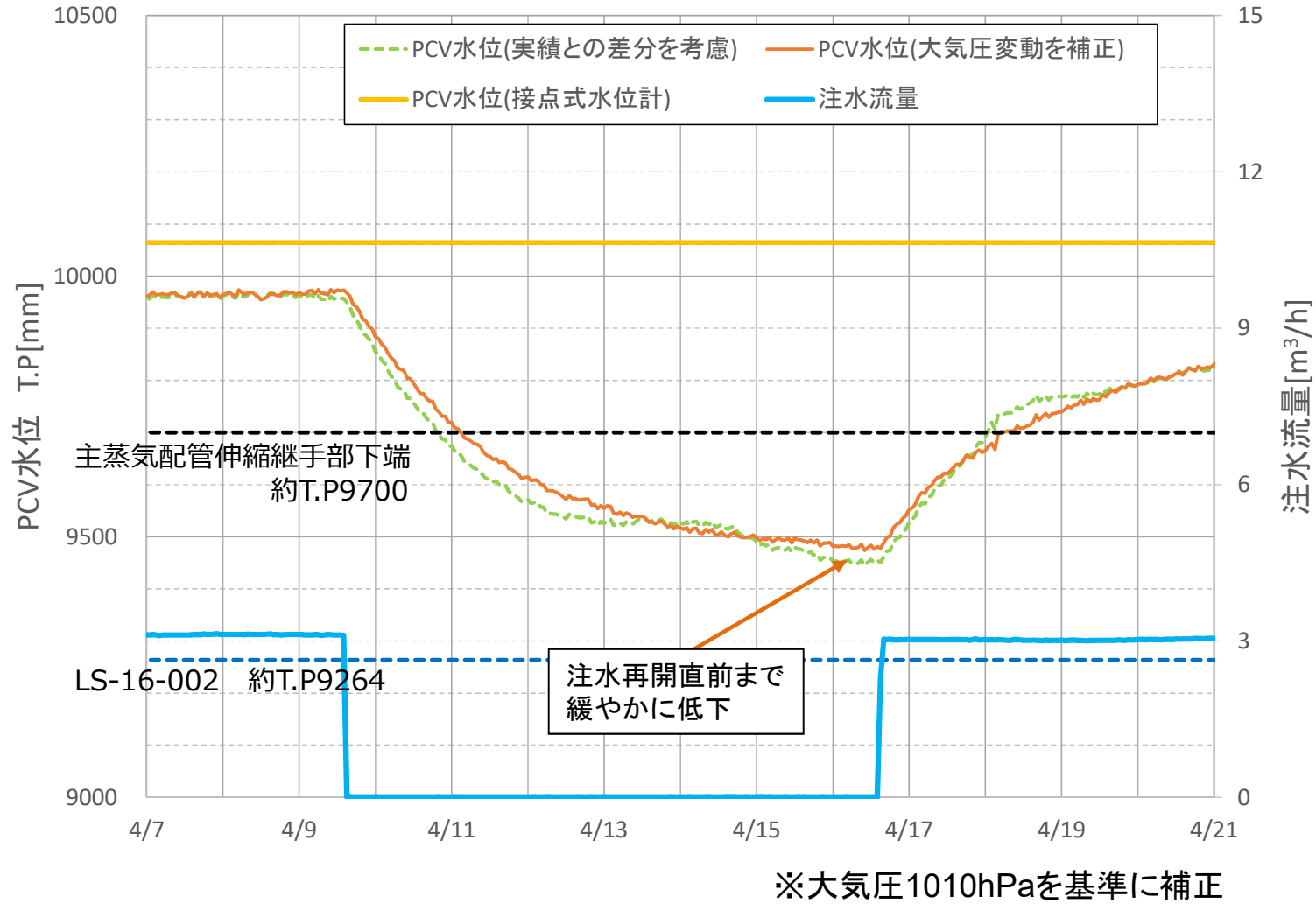
TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

【目的及び概要】

- 3号機は、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、PCVからの漏洩が経験水位以下にあることが確認されており、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具体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。
- 前回よりも長い期間での注水停止試験を行い、PCV水位低下途中での漏えい有無の把握、長期の注水停止時の影響確認を行う。
- 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ことから、以下の対応を行い試験（注水停止：3ヶ月）を実施する。
 - 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
 - 連続ダストモニタを設置（PCVガス管理システムHEPA上流、R/B1階）し、ダスト濃度の監視を強化、データ取得
 - 定期的に短時間の注水（実績のある7日間から徐々に間隔を拡大）を行い、注水再開時の蒸気発生の影響を確認
 - PCVから気体のアウトリーク低減のため、試験前にPCVガス管理システムの排気流量を増加
- PCV水位がPCV新設温度計/水位計下端（T.P8264）に到達した場合、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。

(参考) 注水試験結果 PCV水位の変化 (2021年4月)



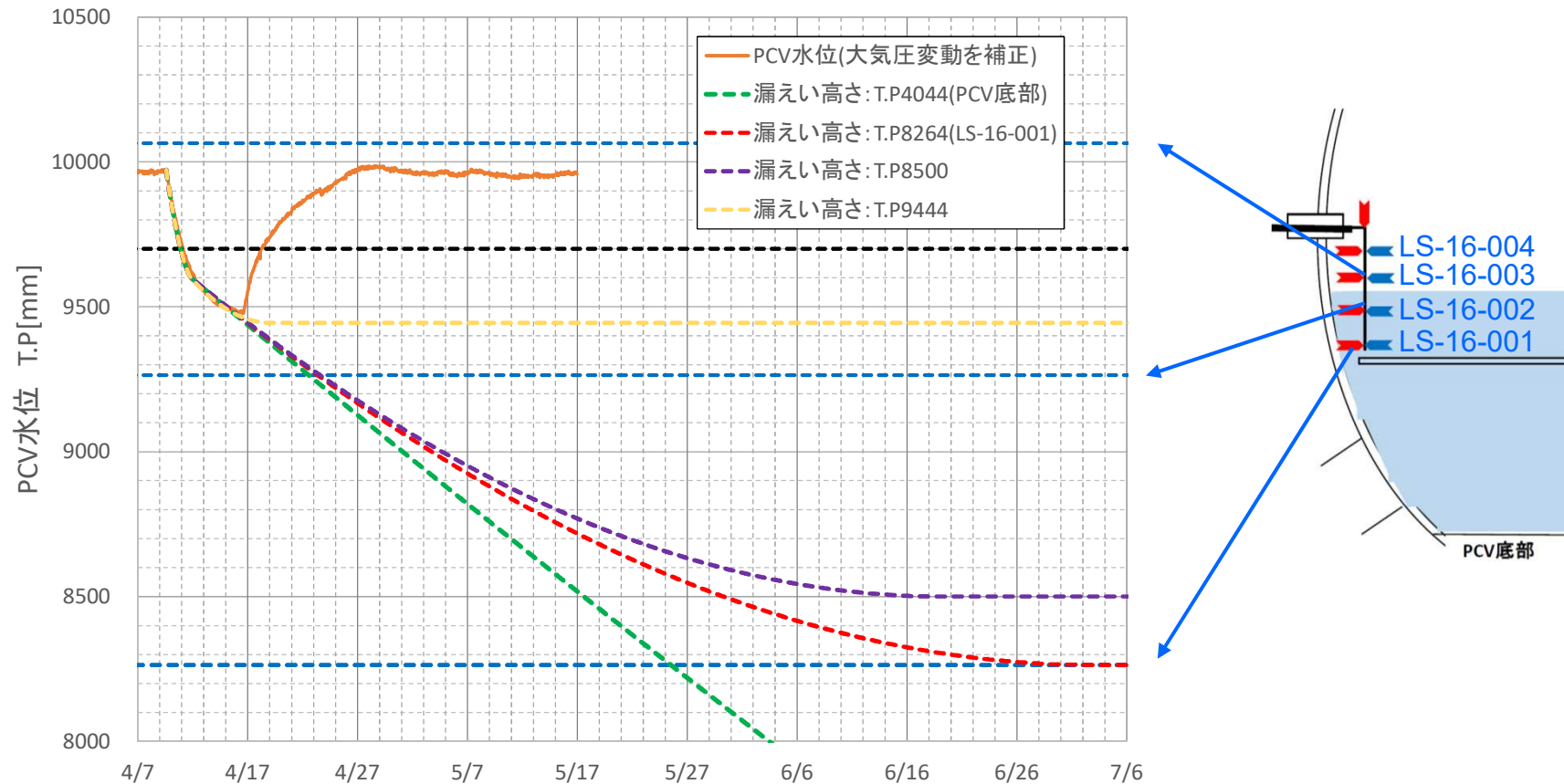
注水停止による影響と対応

- 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ことから、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"> RPV・PCVの温度が上昇する。 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 <p>※注水停止試験時の実績は予測の半分以下</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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
ダスト等の放出	<ul style="list-style-type: none"> RPV・PCV温度の上昇によりFP再揮発の可能性。 PCV内湿度低下で、<u>ダスト等が飛散</u>する可能性。 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 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、<u>PCV水位低下で漏えい</u>がなくなる。（気相露出等） <p>RPV内に局所的な高温箇所がある場合、<u>注水再開時に蒸気が発生しダスト等が飛散</u>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）</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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 PCVガス管理システムHEPAフィルタ上流でダスト濃度を確認する（<u>連続ダストモニタ</u>） R/B1階の北東コーナーでダスト濃度を確認する（<u>連続ダストモニタ</u>） 注水再開時の蒸気発生に対しては、<u>注水停止期間中、定期的に短時間の注水</u>を行い、影響確認する。 PCVからの気体のアウトリーク低減のため、<u>PCVガス管理システムの排気流量を増加</u>させる。

注水停止期間：試験実績からのPCV水位低下予測（1 / 2）

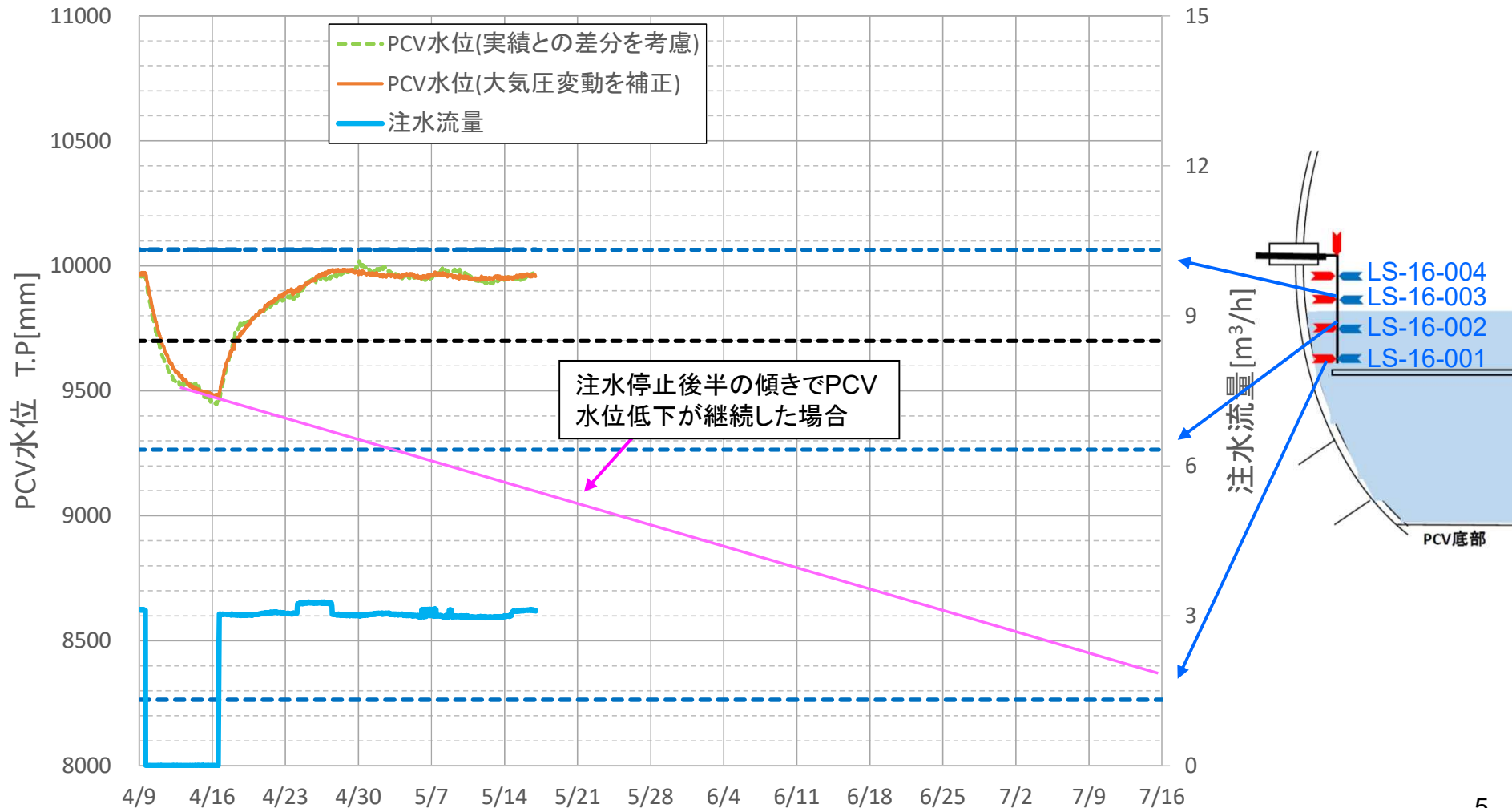
- 次頁の予測等含めて不確かな部分はあるが、3ヶ月の注水停止で漏えい箇所の特定に資する情報が得られる。
- 主要な漏えい(主蒸気配管伸縮継手)の他に漏えい箇所を仮定した場合、PCV水位の新設温度計/水位計下端到達は、当該高さに漏えいがある場合で最も時間を要し、3ヶ月程度。
- PCV水位がPCV新設温度計/水位計下端（T.P8264）到達で試験終了し、注水を再開。（PCV水温の確認ができなくなるため。）



- 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

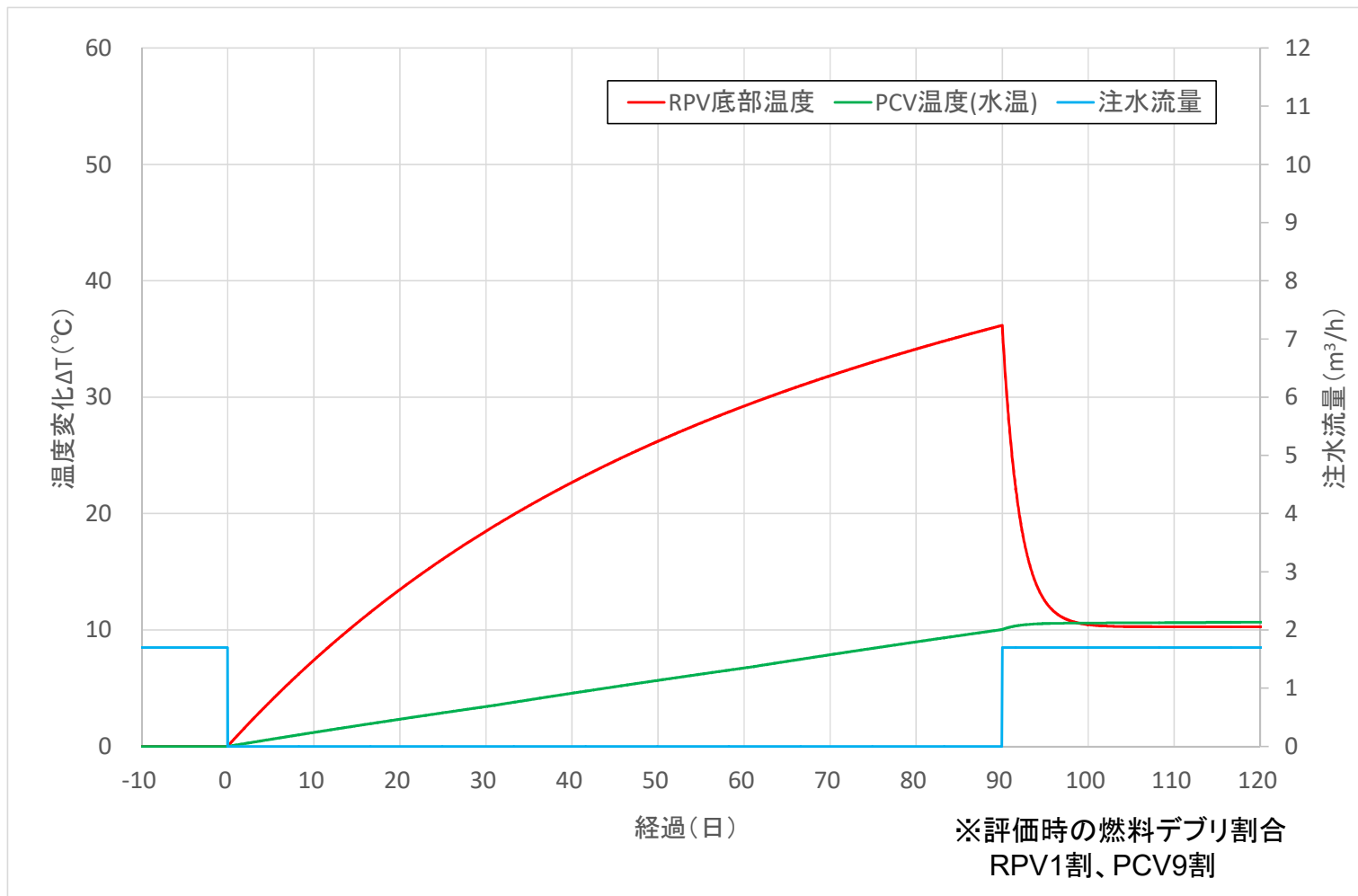
注水停止期間：試験実績からのPCV水位低下予測（2 / 2）

- 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。



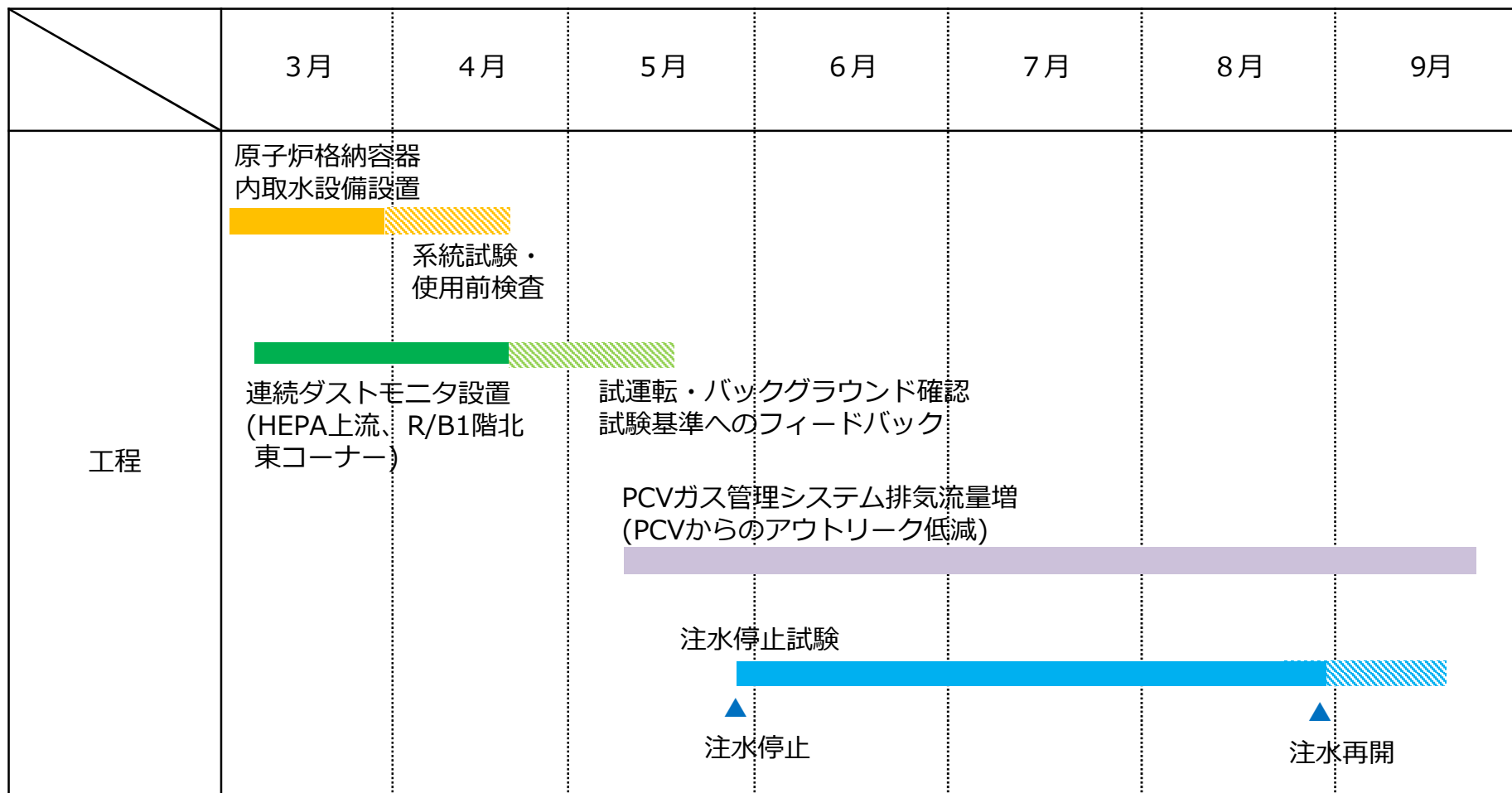
注水停止時の温度上昇評価

- 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）



関連工程（予定）

- 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。



(参考) 過去の注水停止試験実績 (1 / 2)

【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)

(参考) 過去の注水停止試験実績 (2 / 2)

(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"> 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 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 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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 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
停止期間	5日間	3日間	7日間
試験結果	<ul style="list-style-type: none"> 5日間の注水停止では、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 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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 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

(参考) 長期的な注水停止に関するリスク

【RPV内の燃料デブリ】

- 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



- 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

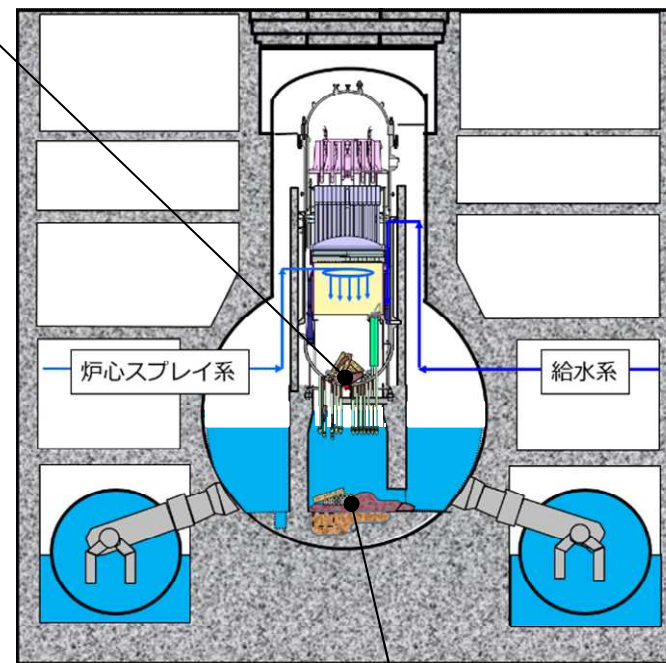


(ダスト飛散リスクへの対応)

- 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

➤ 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
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。
- PCVについては、ペDESTALのコンクリート劣化の観点(PCV内65℃以下)



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

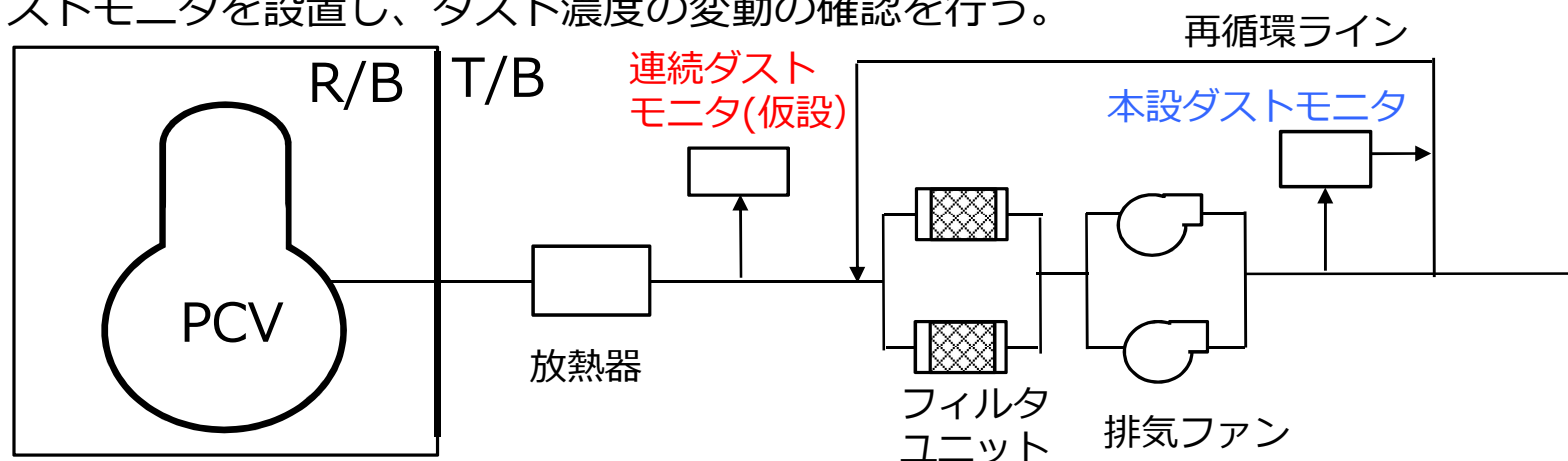
- RPV底部温度65℃

- PCV温度60℃

上記の温度を超過した場合、注水を再開する。

(参考) 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。

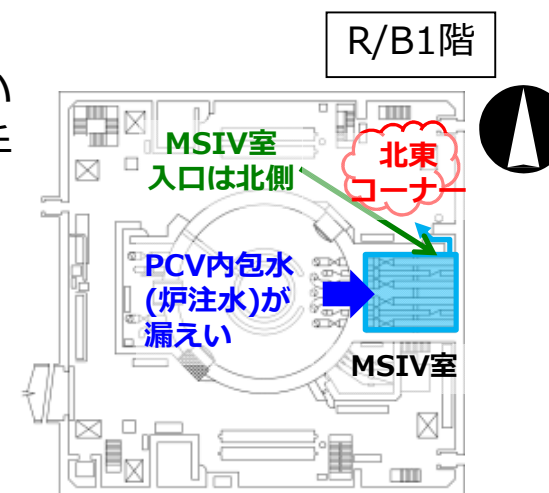
	管理値	対応
連続ダストモニタ(仮設)	1.0E-03Bq/cm ³	監視強化
本設ダストモニタ	有意な上昇が継続 (参考：放射能高 3.25E-04Bq/cm ³)	注水再開

- ▶ 連続ダストモニタの値が1.0E-03Bq/cm³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/cm³に相当、本設ダストモニタの検出レベル (通常ND<約2.9E-05Bq/cm³) 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ガス管理システム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。

(参考) 連続ダストモニタの設置 (R/B 1 階北東コーナー)

- 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。
(放射能高 : $5.0E-03Bq/cm^3$ 、放射能高高 : $1.0E-02Bq/cm^3$)

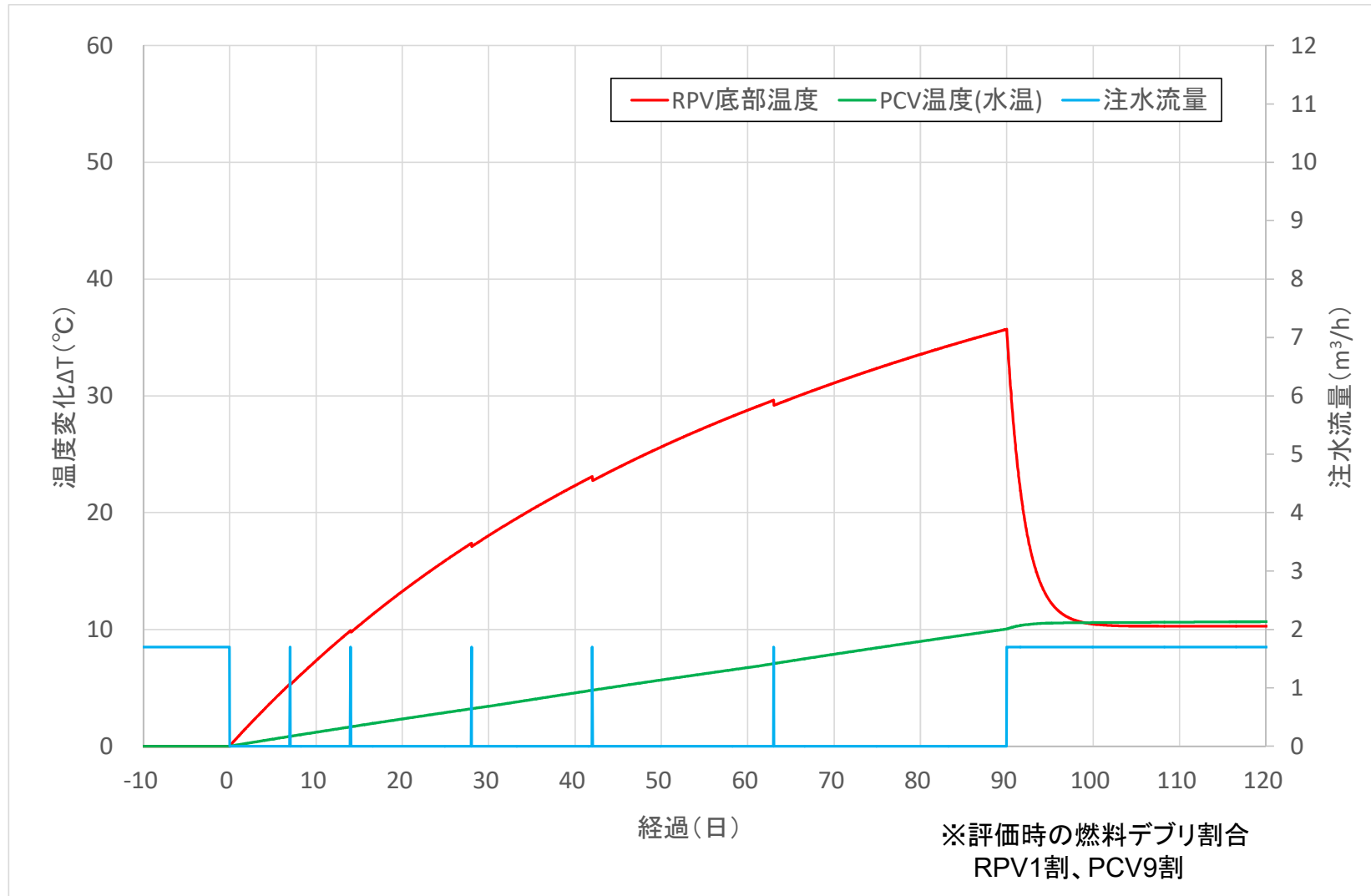
▶ 定期的な注水のタイミング

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1.7m³/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。
- ▶ これまで、3号機は7日間の停止実績あり。その際、ダストモニタに有意な上昇なし。
- ▶ 最初に1週間後に注水を行い、連続ダストモニタの挙動等を確認し、異常な上昇等がないことを確認し、徐々に定期的な注水のタイミングを延ばしていく。
- ▶ 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。



- ▶ 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ガス管理システム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12~14Nm³/hが、窒素封入量17Nm³/hと同程度以下(正圧の維持)となる約2 Nm³/h増加(排気流量約20~21Nm³/h)させる。
増加操作においては、試験開始前に行い、段階的(1Nm³/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。

(参考) 監視パラメータと判断基準

(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 ³)	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 ³	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 ³)	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

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ガス管理システム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。

(A) 原子炉注水の停止

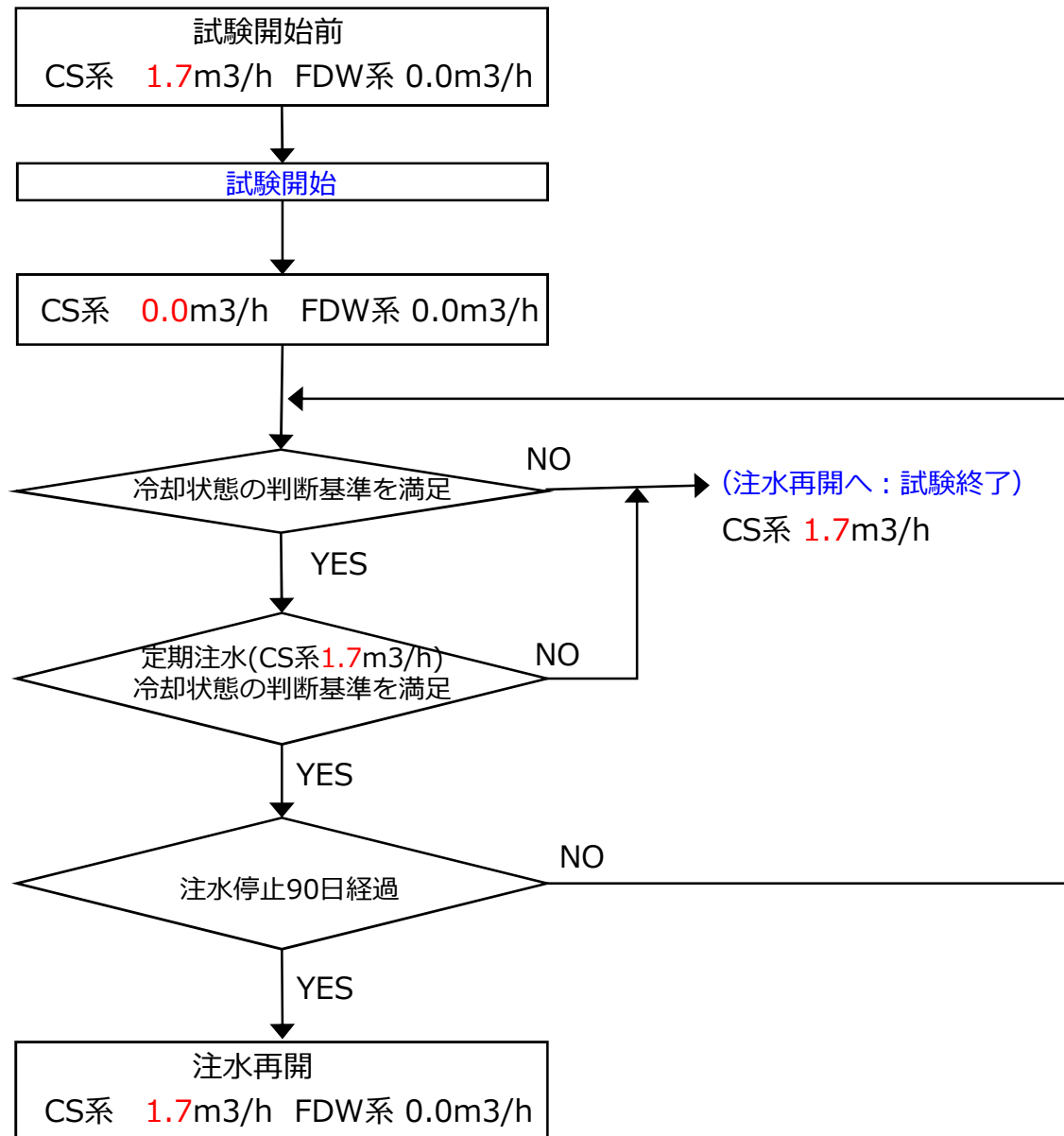
原子炉の冷却に必要な注水量を確保せず、運転上の制限(第18条)を計画的に逸脱することから、第32条第1項の適用が必要。(青旗)

	<table border="1"><tr><td data-bbox="405 507 728 668">安全措置(A)</td><td data-bbox="734 472 1984 668"><ul style="list-style-type: none">• 温度監視• ダスト濃度監視• 異常な温度上昇に備えた、速やかな注水再開の準備</td></tr></table>	安全措置(A)	<ul style="list-style-type: none">• 温度監視• ダスト濃度監視• 異常な温度上昇に備えた、速やかな注水再開の準備
安全措置(A)	<ul style="list-style-type: none">• 温度監視• ダスト濃度監視• 異常な温度上昇に備えた、速やかな注水再開の準備		

(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。

(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">• HEPAフィルタユニット表面線量率
試料採取・分析	[PCVガス管理設備] <ul style="list-style-type: none">• HEPAフィルタ入口側抽気ガス(フィルタ通過前)のダスト• HEPAフィルタ入口側抽気ガス(フィルタ通過前)の凝縮水• 本設ダストモニタのろ紙

- 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/cm³)

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