

循環注水冷却スケジュール (1/2)

分野	活り	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後1ヶ月の予定	6月				7月				8月				9月	10月	備考
				28	5	12	19	26	2	9	16	下	上	中	下	節	後	
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) (予 定) ・【2号】原子炉注水停止試験の実施について 2号機 CS系のみによる注水へ切替 2020/8/12~28 2号機 注水停止期間 2020/8/17~20	【1, 2, 3号】循環注水冷却(滞留水の再利用) 														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、作業等に必要な条件に合わせて、原子炉注水流量の調整を実施
		海水餌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~)	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) ・【共通】窒素ガス分離装置(B)不具合に伴う復旧作業 ・運転確認 2020/7/3~10 ・系統インサービス 2020/7/13 (予 定)	【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 														
		PCVガス管理	(実 績) ・【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: 2020/7/20 ・【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: 2020/7/13~17 ・【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: 2020/7/20~22 ・【2号】PCVガス管理設備減圧機能確認 ・PCV減圧: 2020/7/6~7/10 ・【2号】PCVガス管理システム 希ガスモニタ点検 ・希ガスモニタ停止 A系: 2020/7/14 ・希ガスモニタ停止 B系: 2020/7/17 ・【3号】PCVガス管理システム 希ガスモニタ点検 ・希ガスモニタ停止 A系: 2020/7/14 ・希ガスモニタ停止 B系: 2020/7/17 (予 定) ・【1号】PCV内部調査にかかわる干渉物切断作業(AWJ) ・PCV減圧: 2020/4/14~9/ 上旬 ・【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: 2020/8/18 ・【2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: 2020/7/30 ・水素モニタ停止 B系: 2020/7/31 ・【3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: 2020/8/27 ・水素モニタ停止 B系: 2020/8/28	【1, 2, 3号】継続運転中 														実施時期調整中 最新工程反映 最新工程反映

循環注水冷却スケジュール (2/2)

分野	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	6月					7月					8月					9月		10月	備考	
				28	5	12	19	26	2	9	16	下	上	中	下	期	後						
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) ・【2号】SFP系統空気動作弁用コンプレッサー点検 ・SFP一次系停止：2020/7/6 ~ 2020/7/8 (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現場配備(継続)																				
		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)																				

福島第一原子力発電所 1～3号機
原子炉注水停止試験の実施について

2020年7月30日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

【概要】

【2019年度】

- 1～3号機について、冷却設備の運転・保守管理の適正化、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ることを確認。

1号機	2号機	3号機
2019年10月 (約49時間の注水停止)	2019年5月 (約8時間の注水停止)	2020年2月 (約48時間の注水停止)



【2020年度以降】

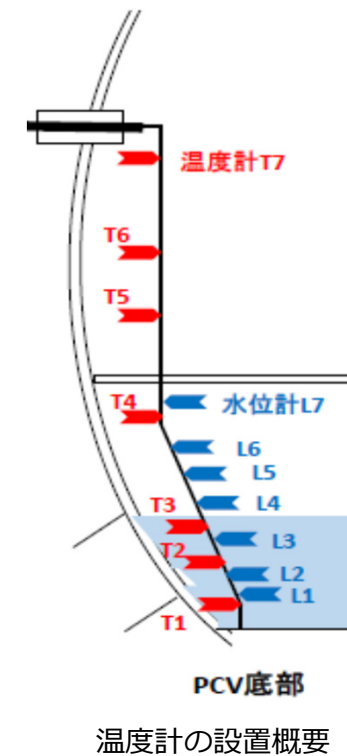
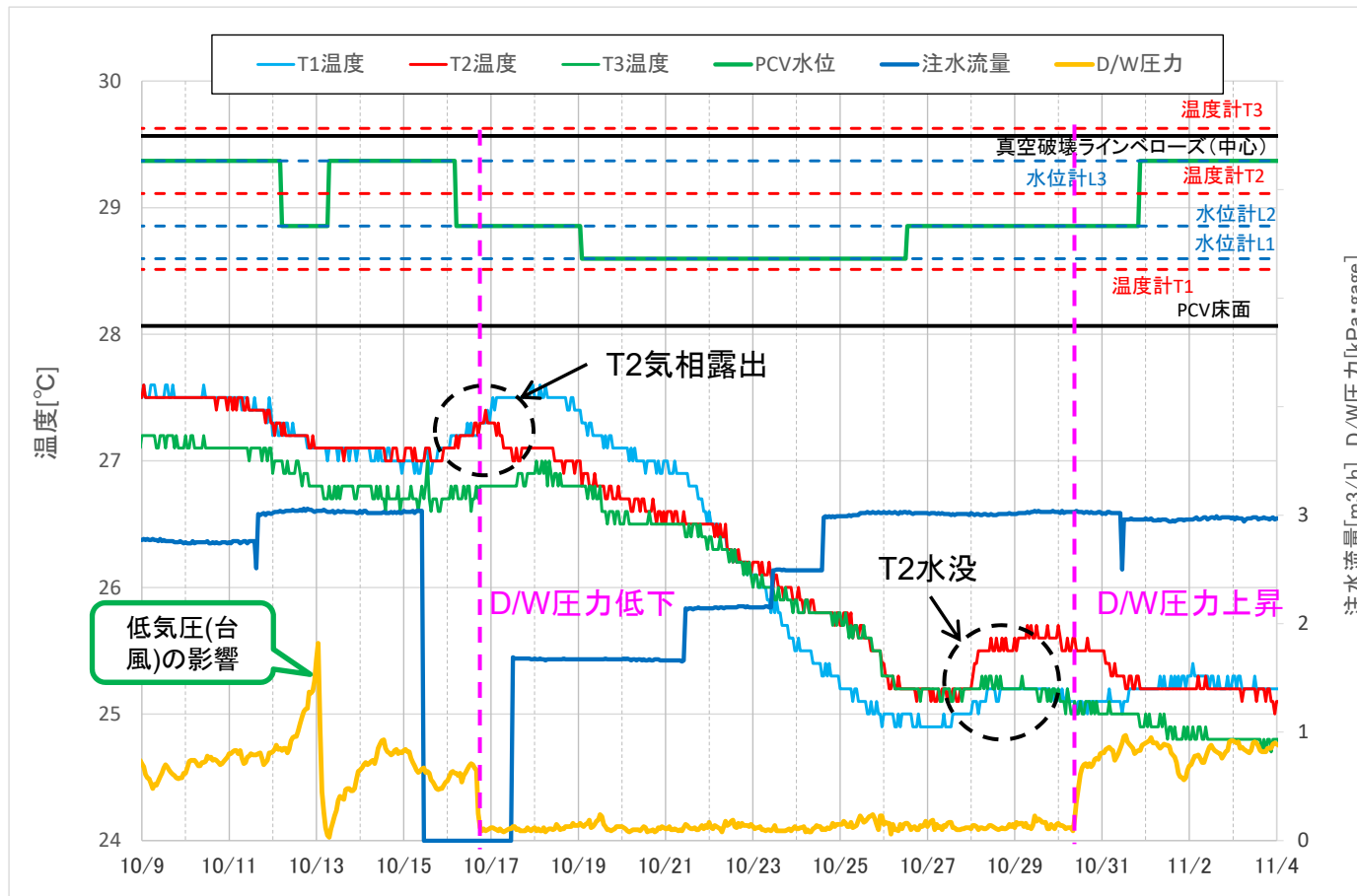
- 2019年度に実施した注水停止試験結果を踏まえ、今後の廃炉に向けて、各号機の状況を踏まえた目的に応じた試験を計画・実施していく。
- 次回注水停止期間（予定）

	1号機	2号機	3号機
注水停止期間	5日間	3日間	7日間

【1号機】2019年度に実施した試験で得られた知見

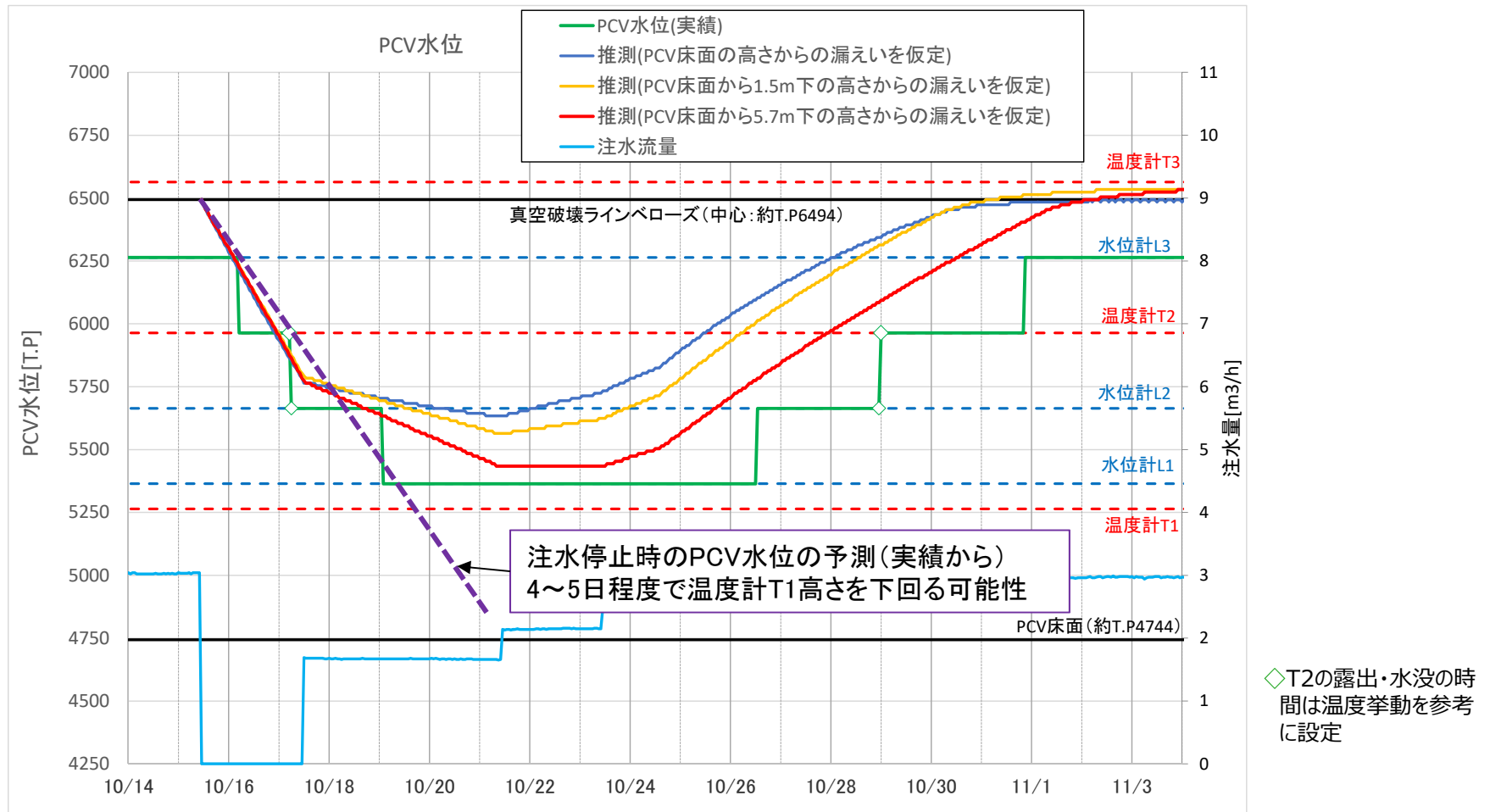
■ 1号機（約49時間の注水停止）

- ・ 温度上昇は小さかった（1℃未満）
- ・ PCV水位低下によりD/W圧力が低下。注水再開後にPCV水位上昇でD/W圧力が上昇。真空破壊ラインベローズ（漏えい箇所）が気中露出・再水没した可能性を確認
- ・ 真空破壊ラインベローズからの漏えいが支配的の可能性があったが、それよりも下の箇所からの漏えいもある程度あることを確認（1.5m³/hでもPCV水位低下）



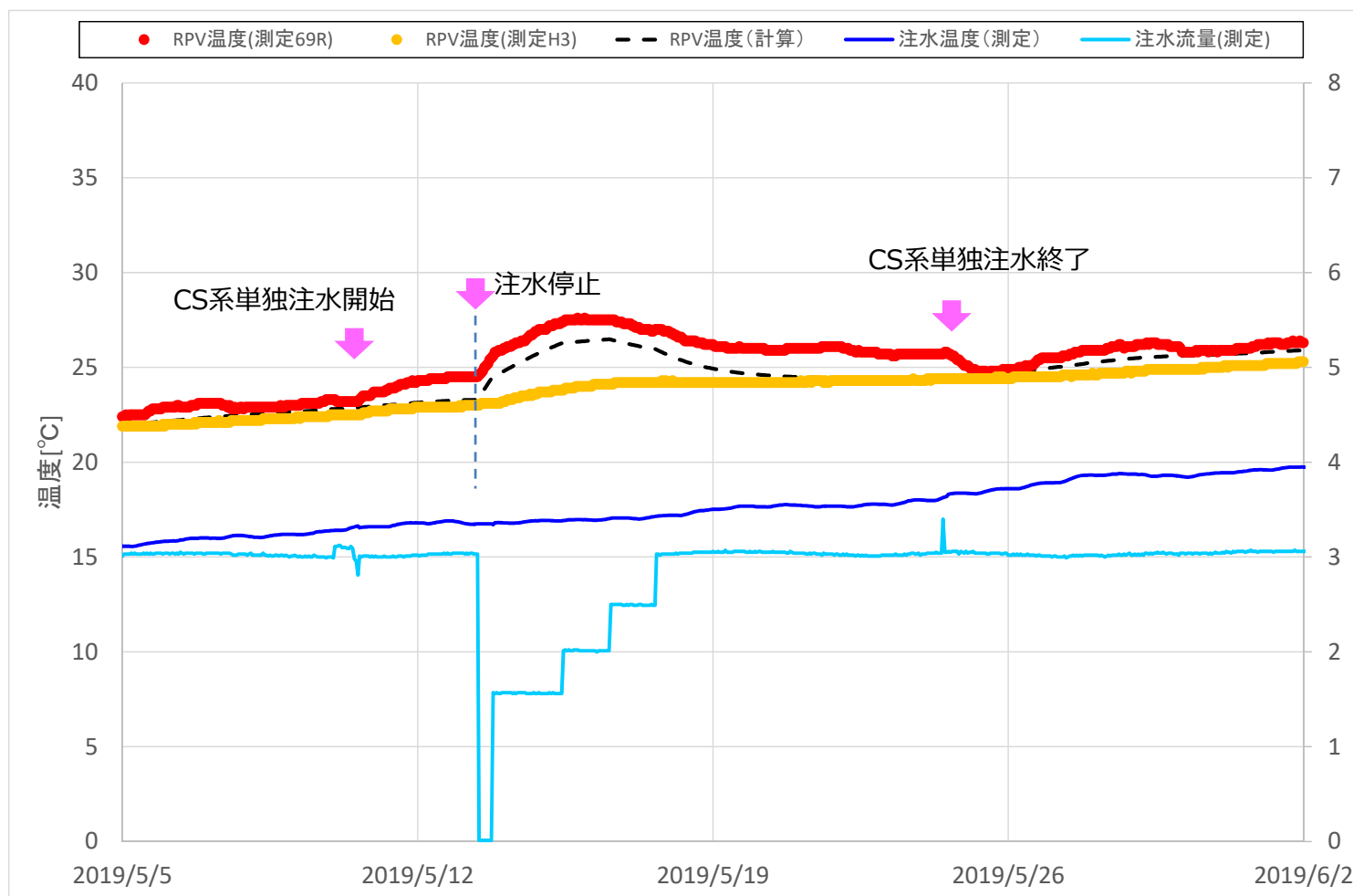
【1号機】次回の注水停止試験

- PCV水位がPCVの新設温度計T1以下となると、得られる情報が少なくなる。注水停止でT1以下に至るかを、ひとつの観点として、試験を計画する。
- 2019年試験実績より、4～5日程度の注水停止で温度計T1に至る可能性。



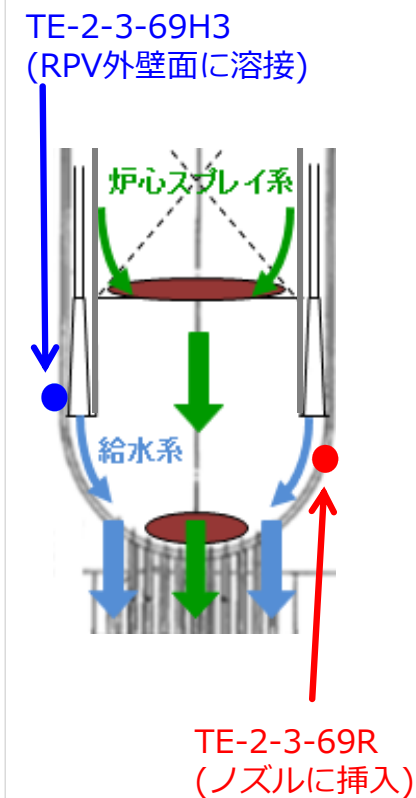
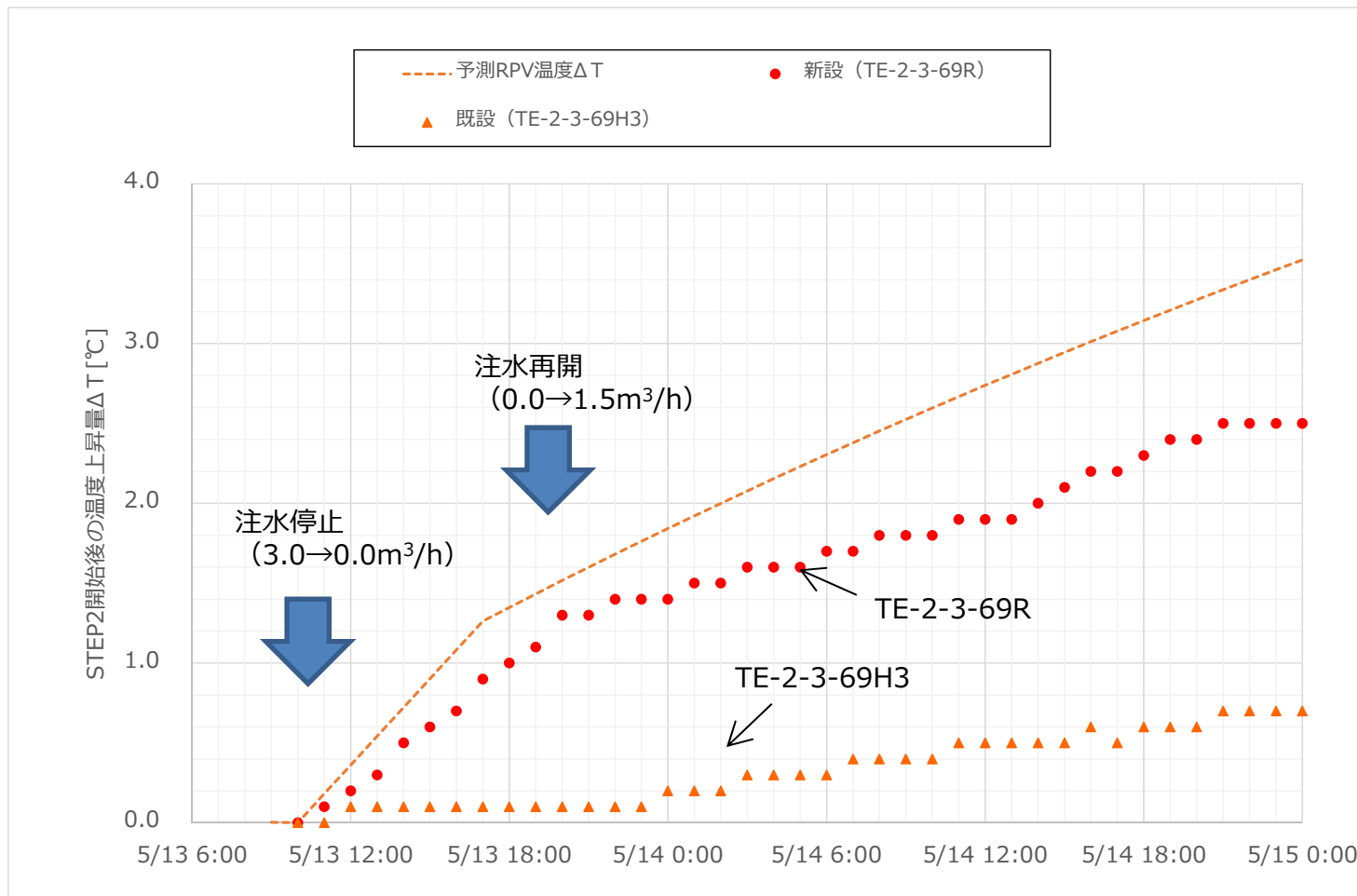
【2号機】2019年度に実施した試験で得られた知見

- 実際の気温や注水温度、崩壊熱等を適用して、試験時のRPV温度を評価。
- 熱バランス評価によって、RPV底部の温度トレンドを概ね再現。TE-2-3-69Rの挙動は良く一致した。



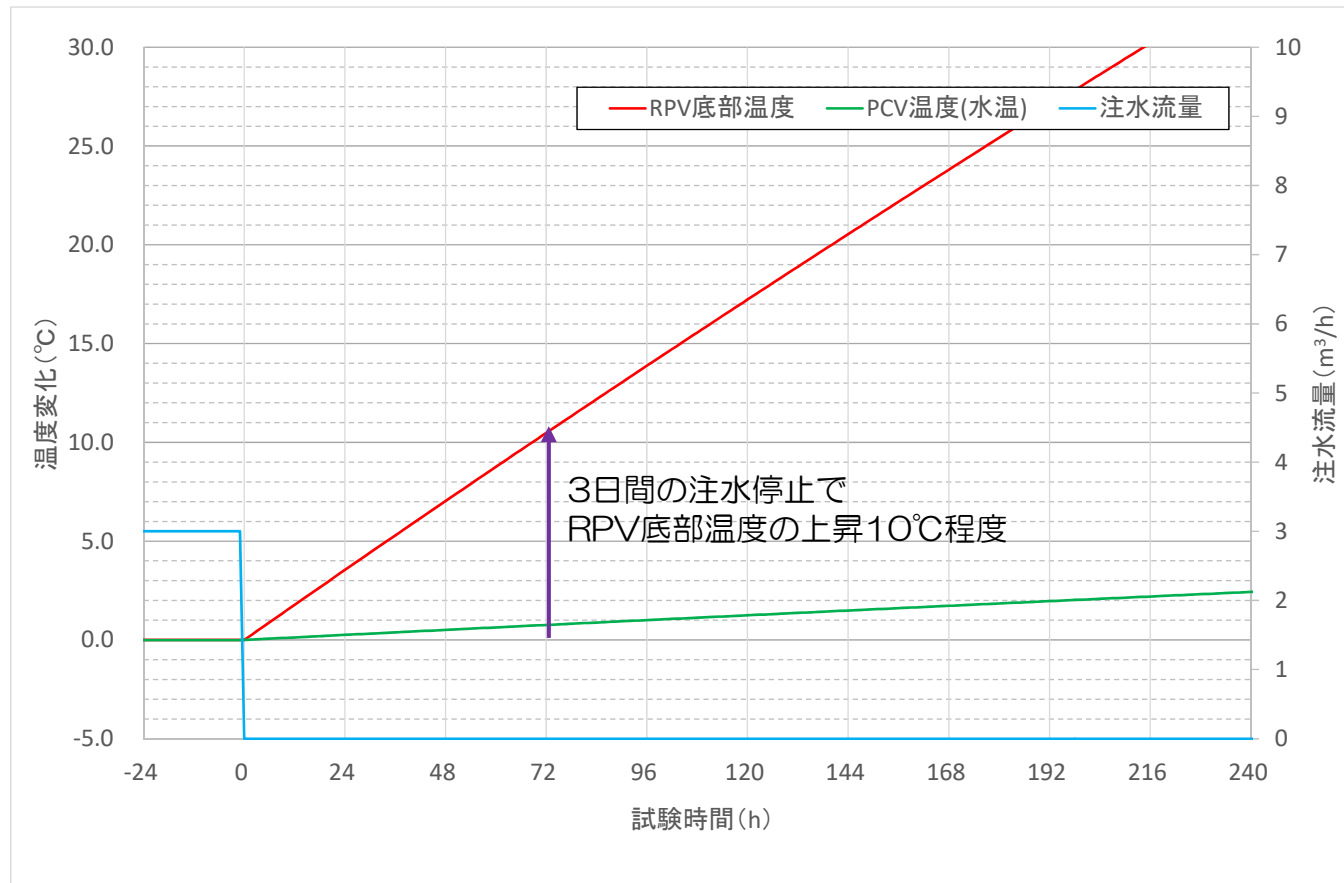
【2号機】RPV底部温度の推移(2019年5月試験)

- 注水停止期間中、RPV底部温度(TE-2-3-69R)は、ほぼ一定で上昇。



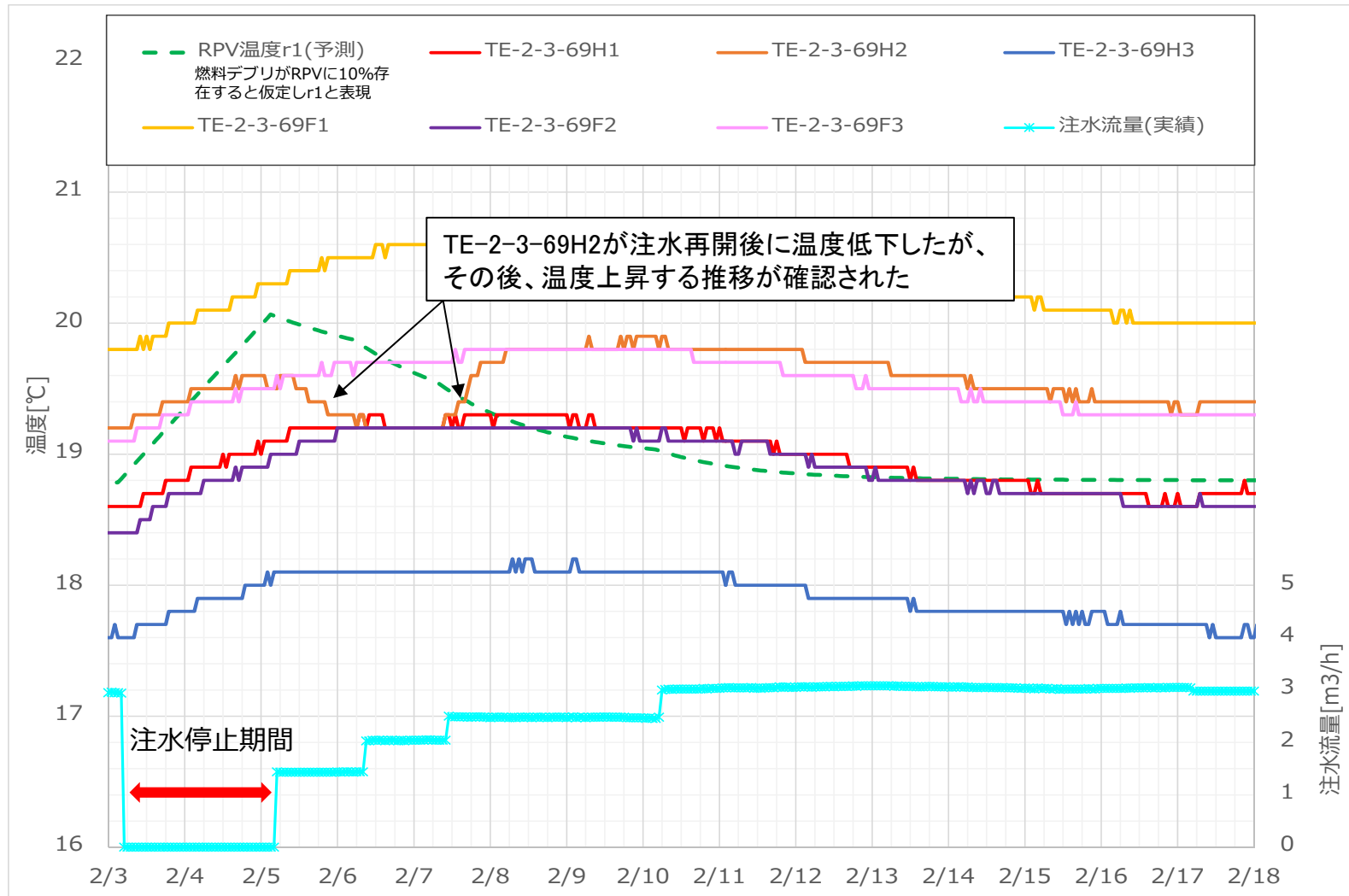
【2号機】次回の注水停止試験

- 2019年度試験よりも長期間の注水停止での温度上昇を確認し、温度評価モデルの検証データを蓄積する。
- 3日間の注水停止で10℃程度の上昇。
- 夏場のRPV底部温度は35℃程度であり、3日間の注水停止で45℃程度と予測。冷温停止以降では55℃程度までの実績があり、その範囲内となる。



【3号機】2019年度に実施した試験で得られた知見①

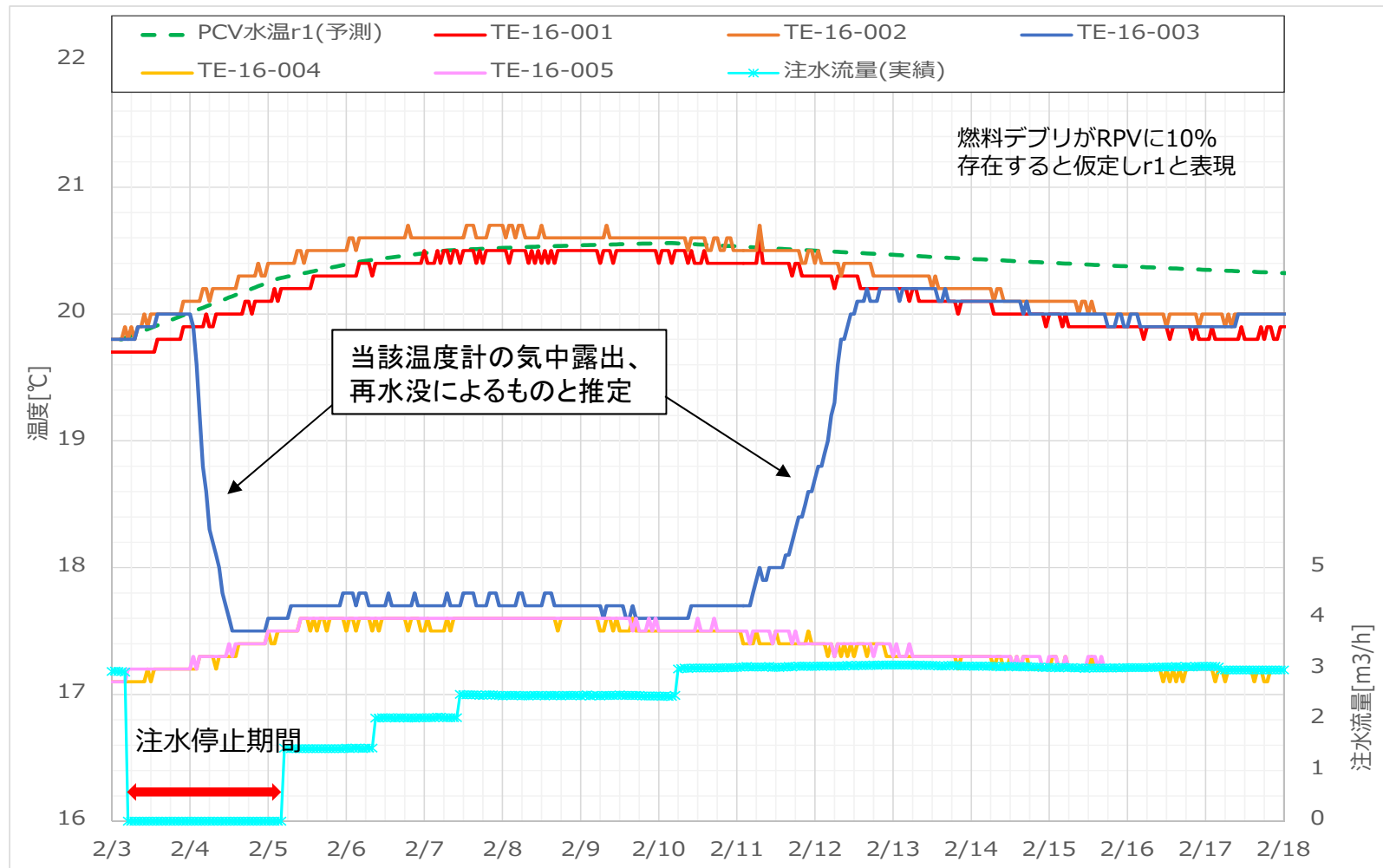
■ R P V底部温度の温度上昇は小さかった



※予測温度は試験開始時の実績温度を基準として記載

【3号機】2019年度に実施した試験で得られた知見②

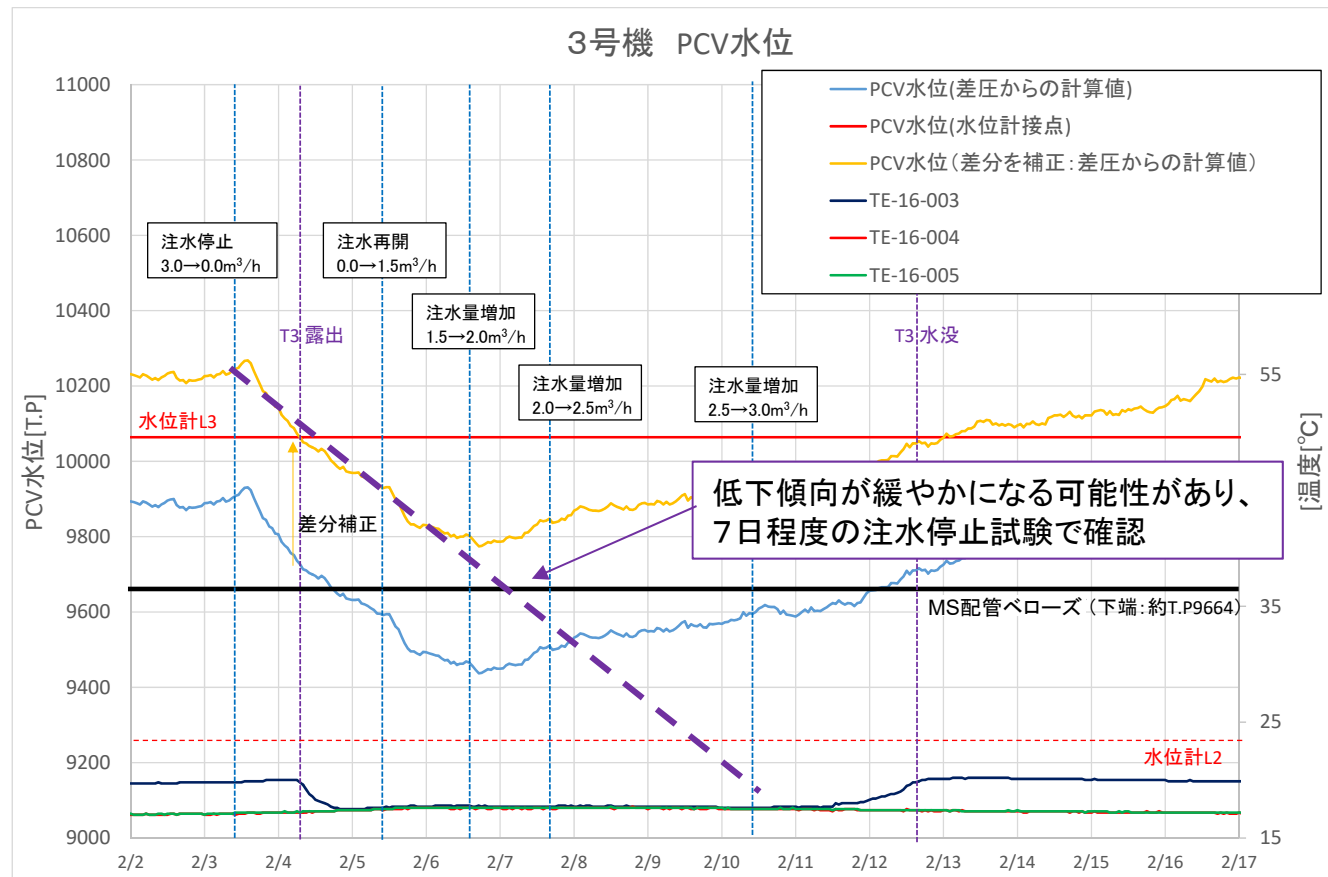
- P C V 温度の温度上昇は小さかった
- P C V の水位低下に伴い、温度計(TE-16-003)が水没から気中露出した



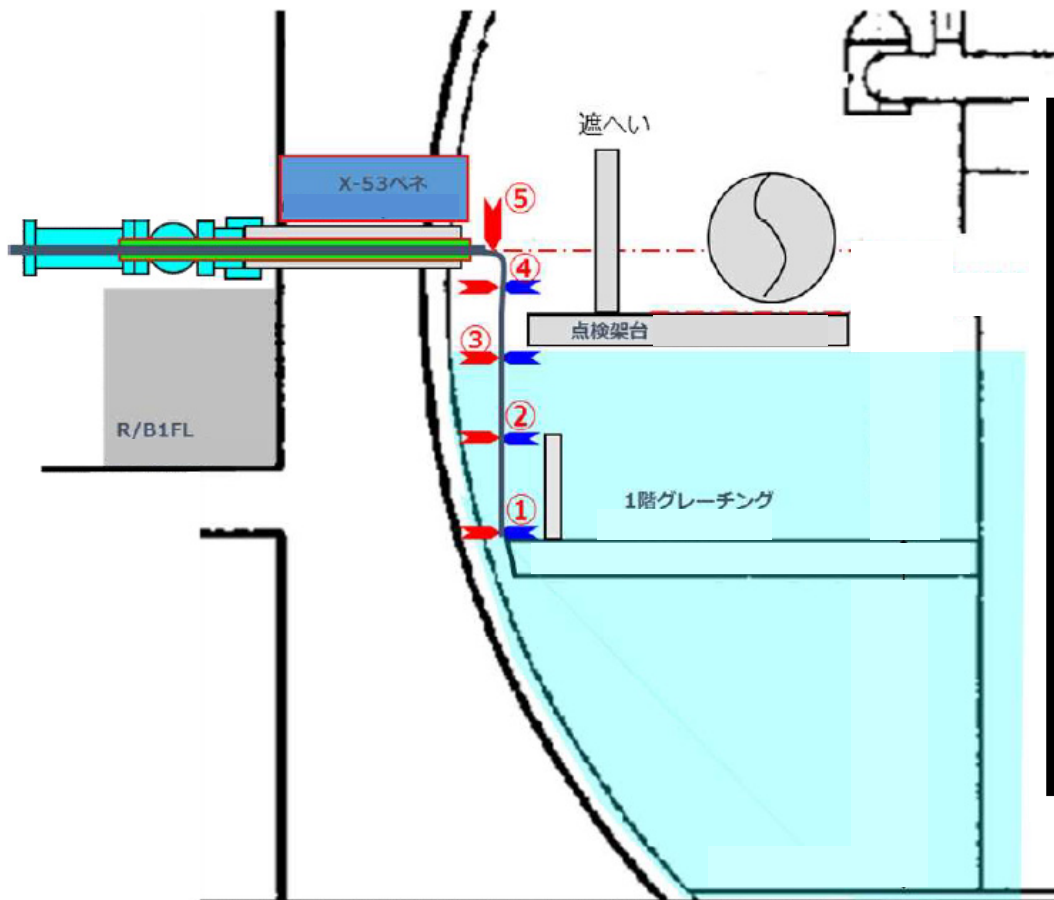
※予測温度は試験開始時の実績温度を基準として記載

【3号機】次回の注水停止試験

- 注水停止によりPCV水位が低下するが、漏えい箇所として確認されているMS配管ベローズよりも低くなるか確認する。
- 2019年度試験のPCV水位低下の状況から、7日間の停止試験を計画する。



(参考) 3号機 PCV新設温度計・水位計



計器位置	設置計器		設置位置 (T.P)
	温度計	水位計	
⑤	TE-16-005	—	約10964
④	TE-16-004	LS-16-004	約10714
③	TE-16-003	LS-16-003	約10064
②	TE-16-002	LS-16-002	約9264
①	TE-16-001	LS-16-001	約8264

【まとめ】各号機の次回試験

	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(T1)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MS配管ベローズを下回らないことを確認する
補足	<ul style="list-style-type: none"> • 昨年度試験では、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"> • 昨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"> • 昨年度試験では、PCVからの漏えいを確認しているMS配管ベローズまで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

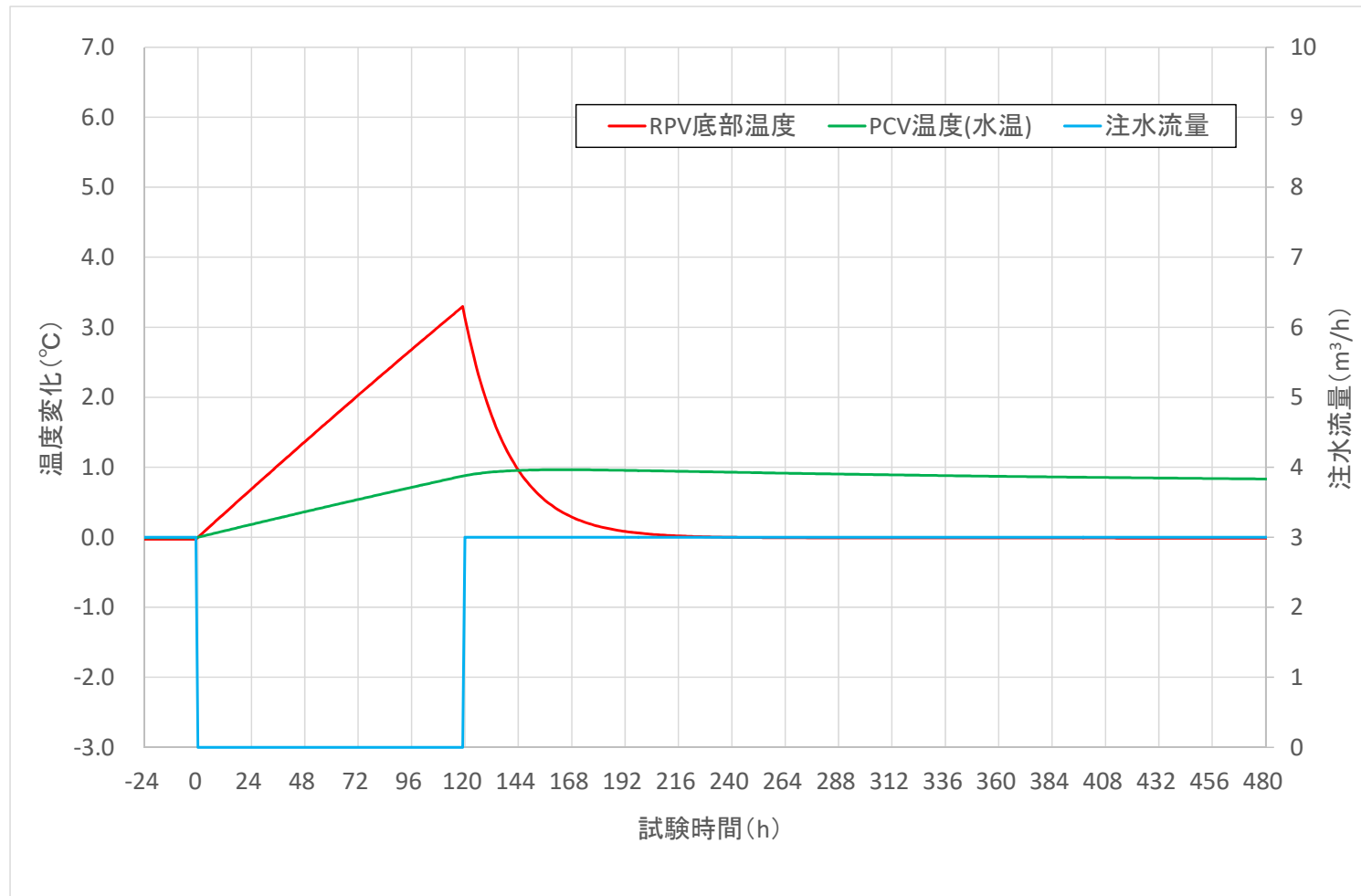
(参考) 試験時期：調整中

	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
試験時期	1号機内部調査準備 AWJ作業等		1号機注水停止試験	1号機内部調査 (PCV新設温度計・水位計が取り外されているため試験不可)					
		2号機注水停止試験		2号機試験的取り出し・内部調査準備			(PCV新設温度計・水位計が取り外されているため試験は避けるべき)		
					3号機注水停止試験				

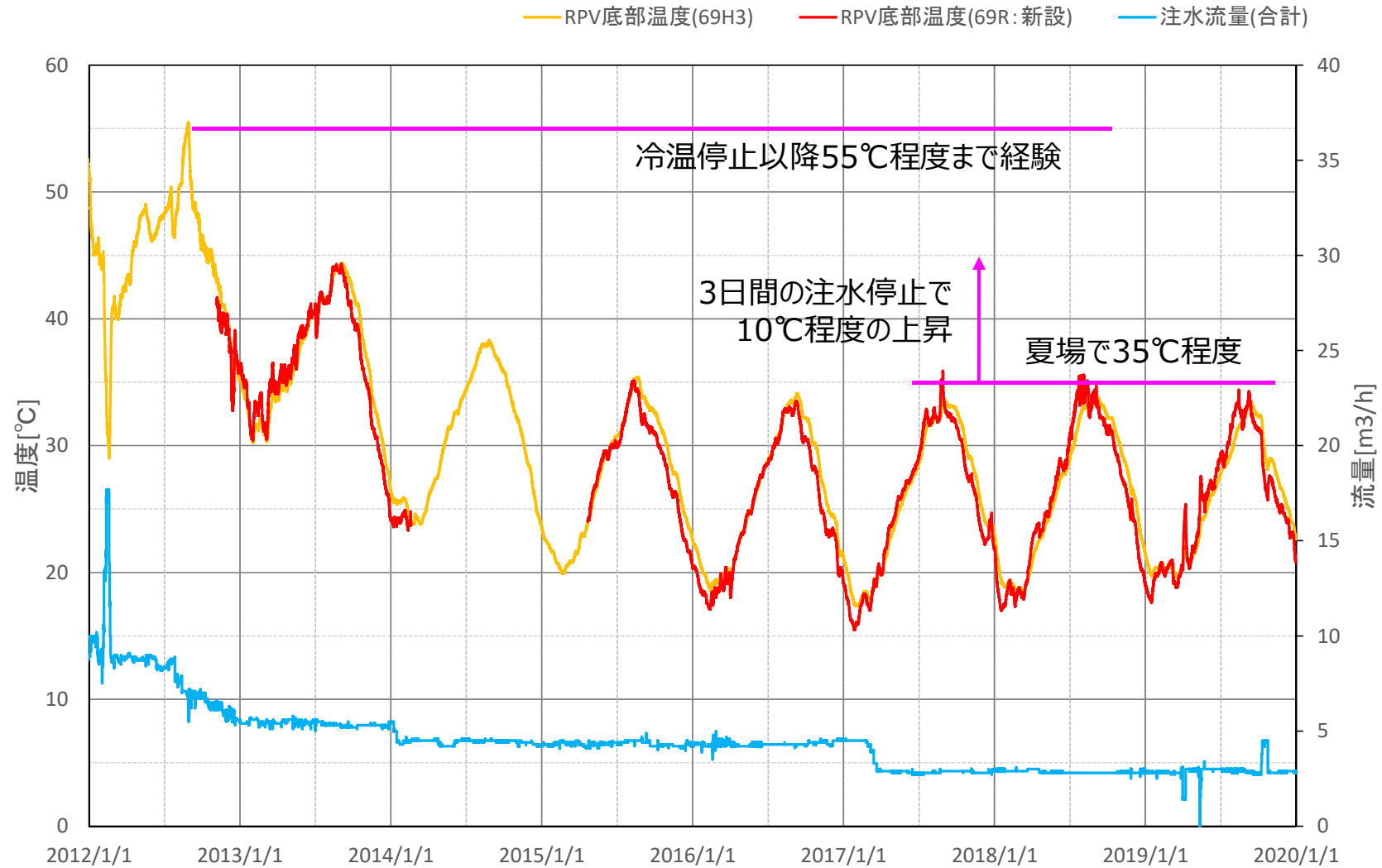
- 2号機の試験を先行して実施（注水停止：8/17～8/20予定）
- 1号機の試験は、内部調査に向けた作業後に実施する計画
- 3号機は今年度中に実施できるように工程を調整していく

(参考) 1号機の注水停止時の温度上昇評価

- 原子炉注水を5日間停止する場合の温度上昇は、PCV温度で1℃程度と評価。
※2019年度の試験実績より、RPV底部温度はPCV温度と同程度の上昇と見込まれる

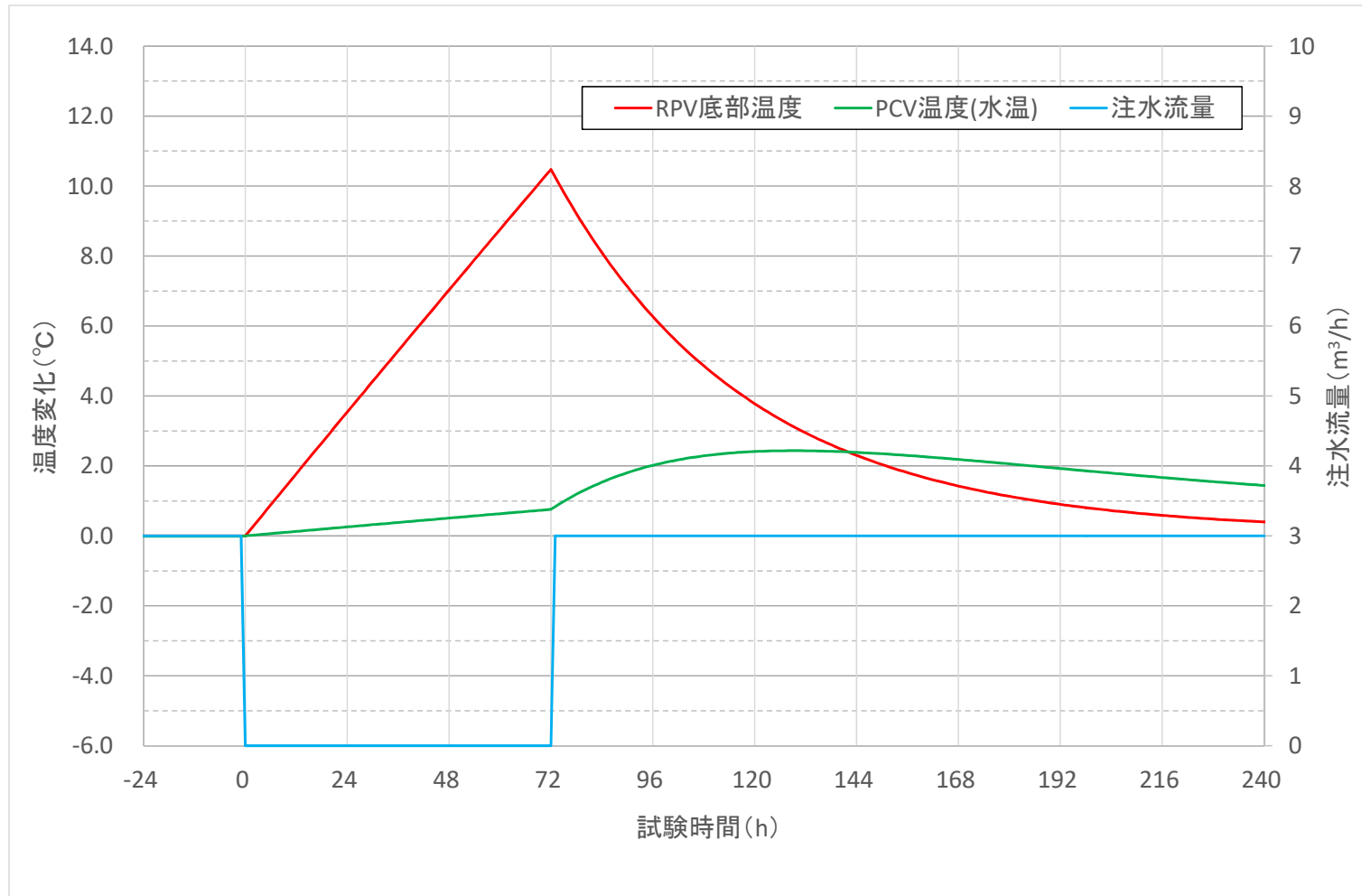


(参考) 2号機のRPV底部温度 長期推移



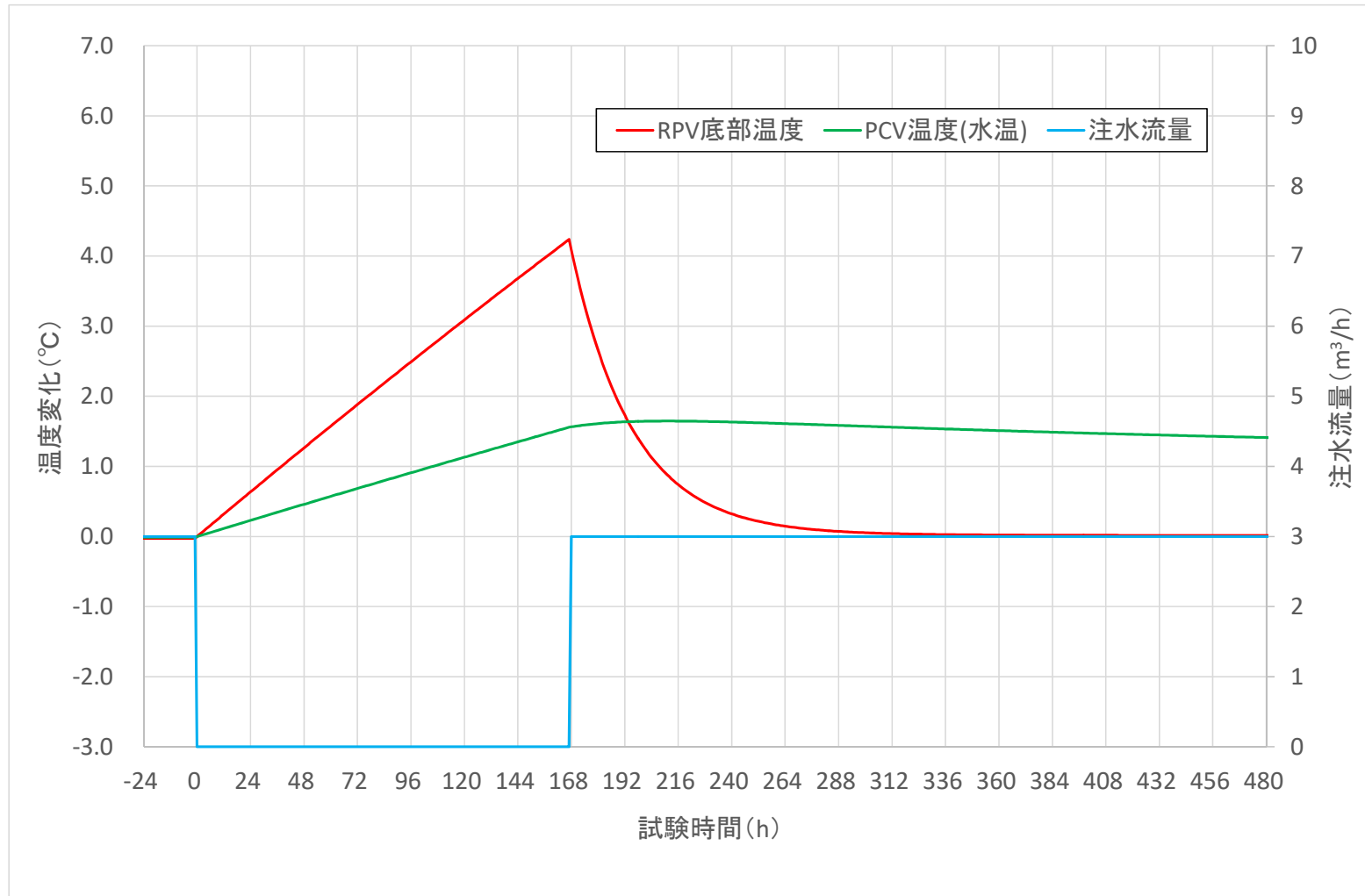
(参考) 2号機の注水停止時の温度上昇評価

- 原子炉注水を3日間停止する場合の温度上昇は、RPV底部で10℃程度、PCV温度で2℃程度と評価。



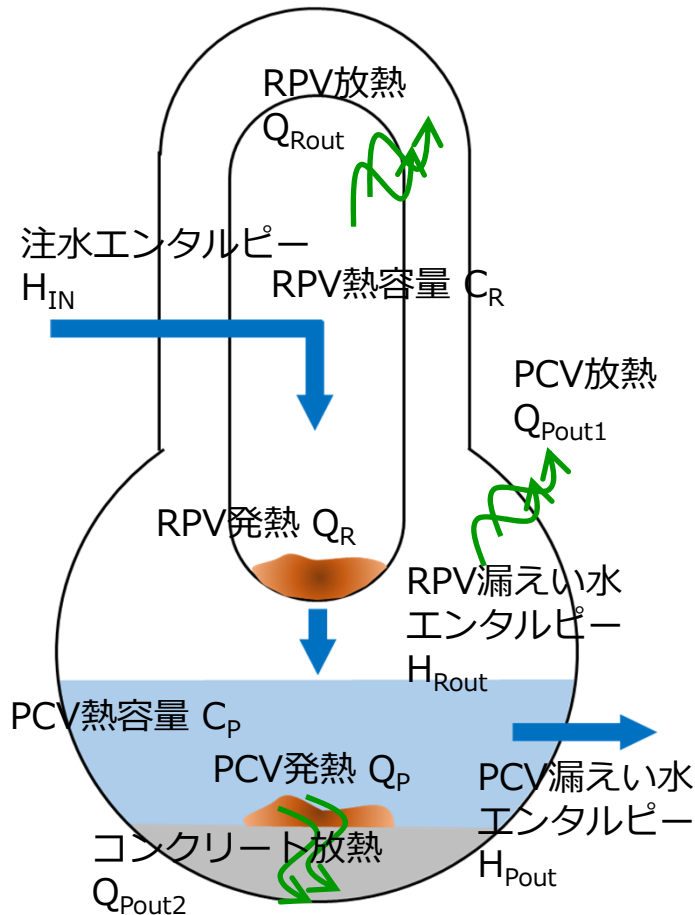
(参考) 3号機の注水停止時の温度上昇評価

- 原子炉注水を7日間停止する場合の温度上昇は、PCV温度で2℃程度と評価。
※2019年度の試験実績よりRPV底部温度はPCV温度と同程度の上昇と見込まれる



(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

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

$$T_{RPV}(i+1) = T_{RPV}(i) + \Delta T_R$$

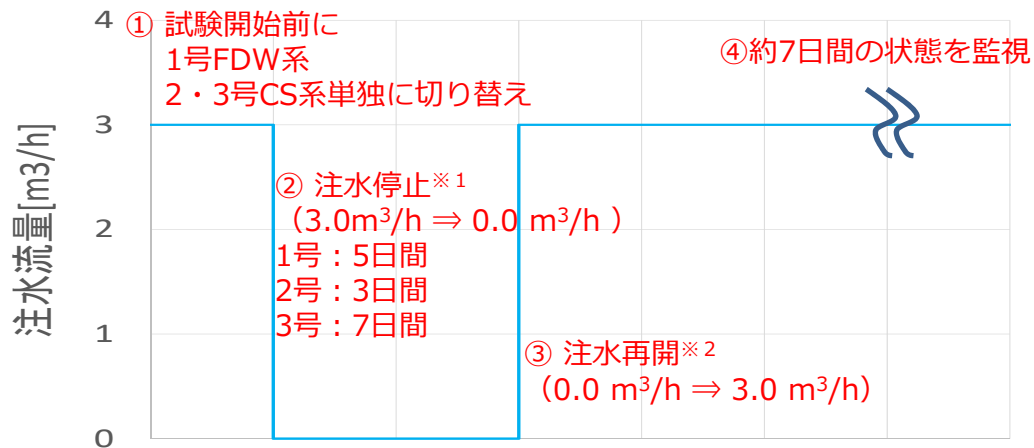
(2) PCVのエネルギー収支と温度変化の計算式

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

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

(参考) 1～3号機における注水停止試験の手順概要

- 原子炉注水を停止し※1，温度上昇の影響やPCV水位変化を確認。
- CST炉注設備の流量下限や必要注水量を考慮し，3.0m³/hでの注水を再開※2。
 - ・ 1号機で1.5m³/hでPCV水位低下した実績から水位回復には1.5m³/h以上の流量が必要なこと，全体的な現場操作量の低減及び試験期間の短縮を図ることから，注水再開3.0m³/hで計画する。
- 昨年度試験との比較のため，昨年度と同様，1号機はFDW系，2・3号機はCS系の単独注水で試験を実施。



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。(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。(B)

(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。

	安全措置(A)	<ul style="list-style-type: none">• 温度監視の強化• 異常な温度上昇に備えた、速やかな注水再開の準備
--	---------	---

(B) 原子炉注水の再開

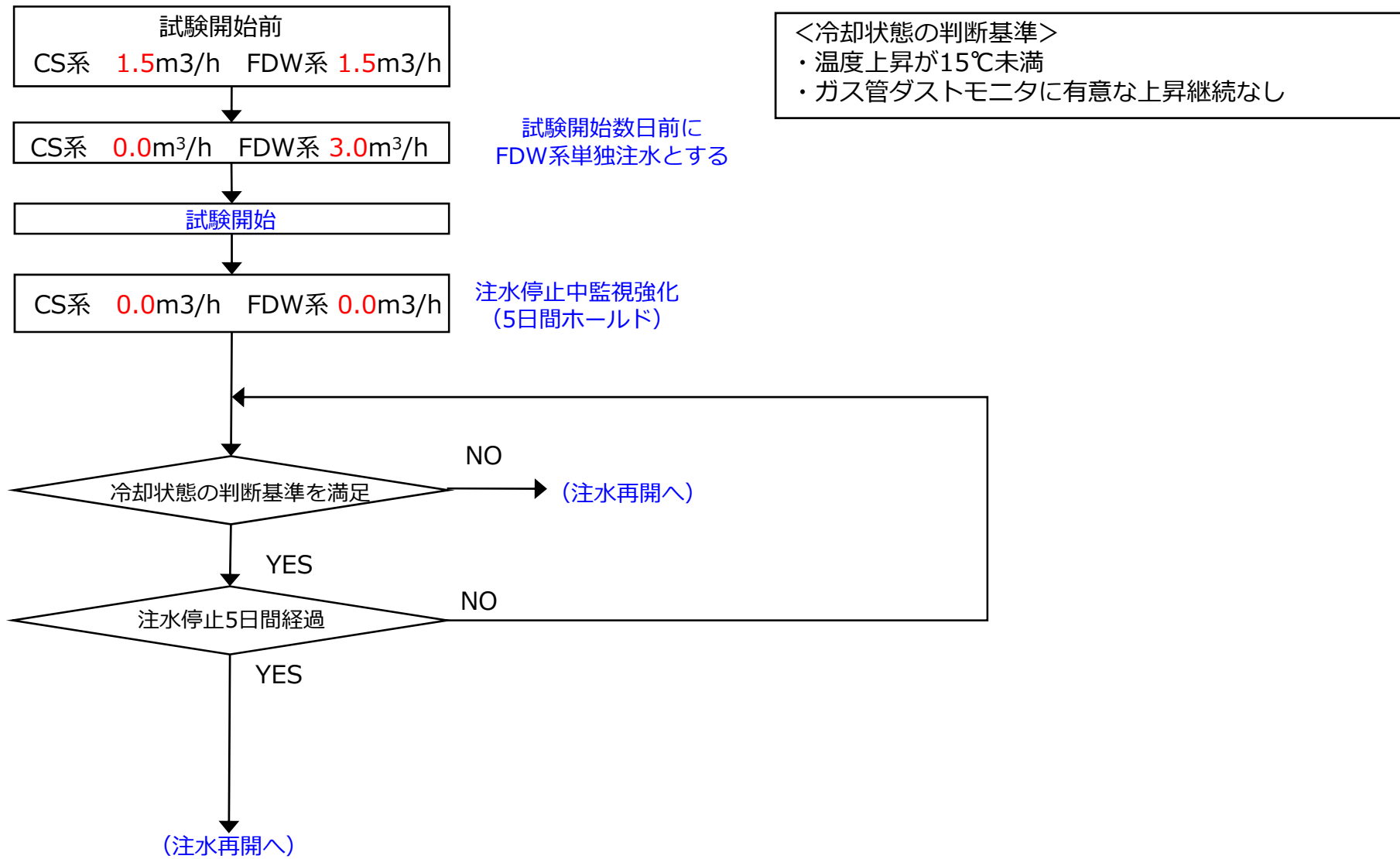
注水再開時に任意の24時間あたりの注水増加幅を1.0m³/hに制限する運転上の制限(第18条)を計画的に逸脱することから、第32条第1項の適用が必要。

	安全措置(B)	<ul style="list-style-type: none">• ガス管理設備希ガスモニタによる未臨界の監視• ホウ酸水注入の準備• Xe-135濃度の上昇/検知を確認した場合、注水再開前の状態に戻し、ホウ酸水を注入
--	---------	---

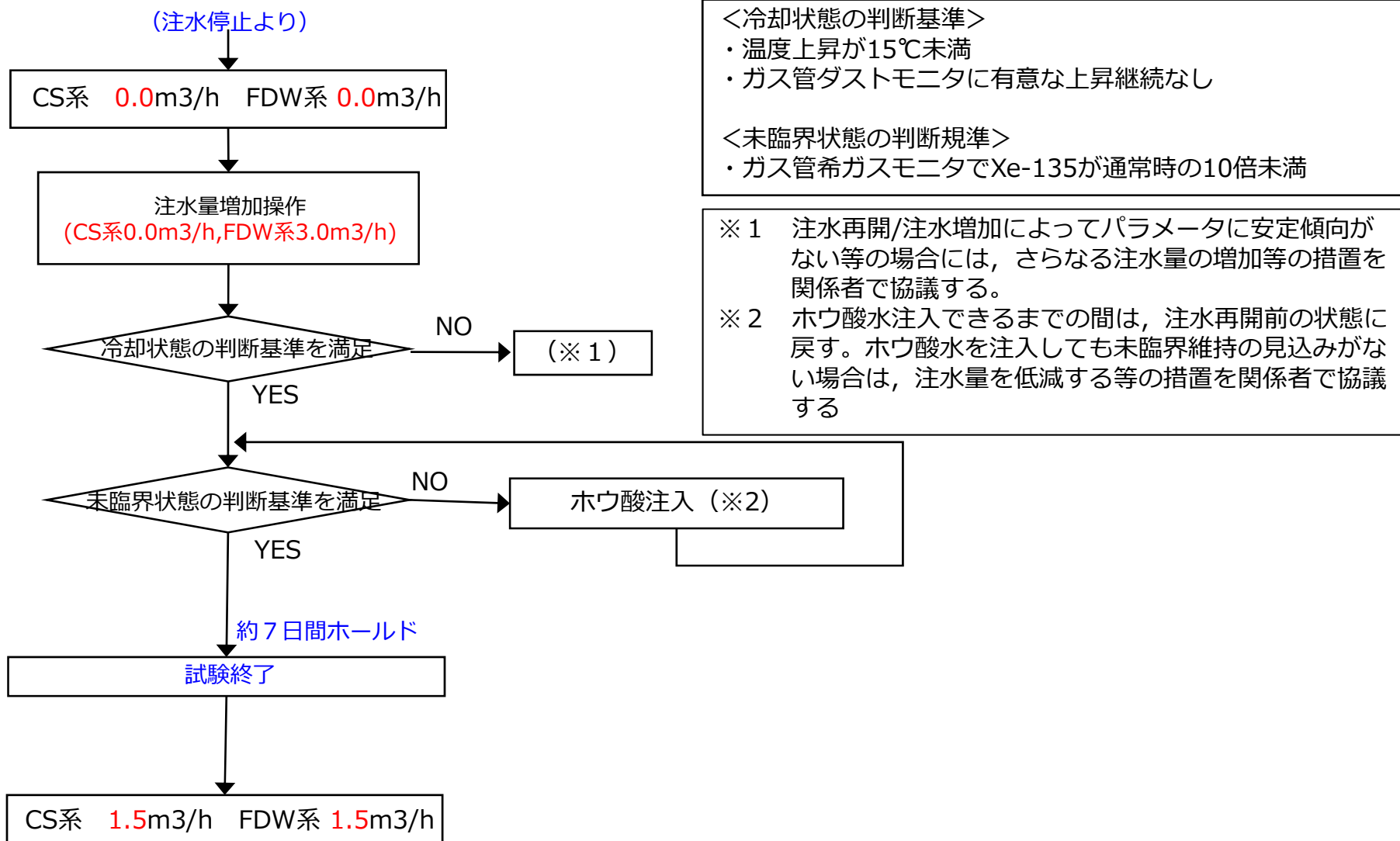
(参考) 注水停止の影響評価 (温度変化, 未臨界, ダスト)

	影響評価	影響緩和策
温度変化	<ul style="list-style-type: none"> 注水停止に伴う除熱減少により, RPVやPCVの温度が上昇する 熱バランス評価により温度上昇は最大10℃程度と評価しており, 注水停止試験による温度上昇は限定的 	<ul style="list-style-type: none"> 想定外の温度上昇に備え, RPV, PCVの温度変化を慎重に監視。 異常な温度上昇を確認した場合, 速やかな注水再開や注水量増加等の措置を実施。
再臨界	<ul style="list-style-type: none"> 注水再開時に1m³/hを超える注水増加を伴うものの, 注水量を現在の状態に戻す操作であり, 未臨界維持に与える影響はない 	<ul style="list-style-type: none"> ガス管理設備の希ガスモニタを監視。 Xe-135の濃度の上昇/検知を確認した場合, 注水再開前の状態に戻し, ほう酸水の注入等の措置を実施。
ダスト等の放出量増加	<ul style="list-style-type: none"> ガス管理設備においてフィルタを通して排気していることや, 湿潤環境が維持されていることにより, 注水停止試験による放出量増加はない 	<ul style="list-style-type: none"> ガス管理設備のダストモニタを監視。 異常なダスト上昇を確認した場合, 速やかな注水再開や注水量増加等の措置を実施。

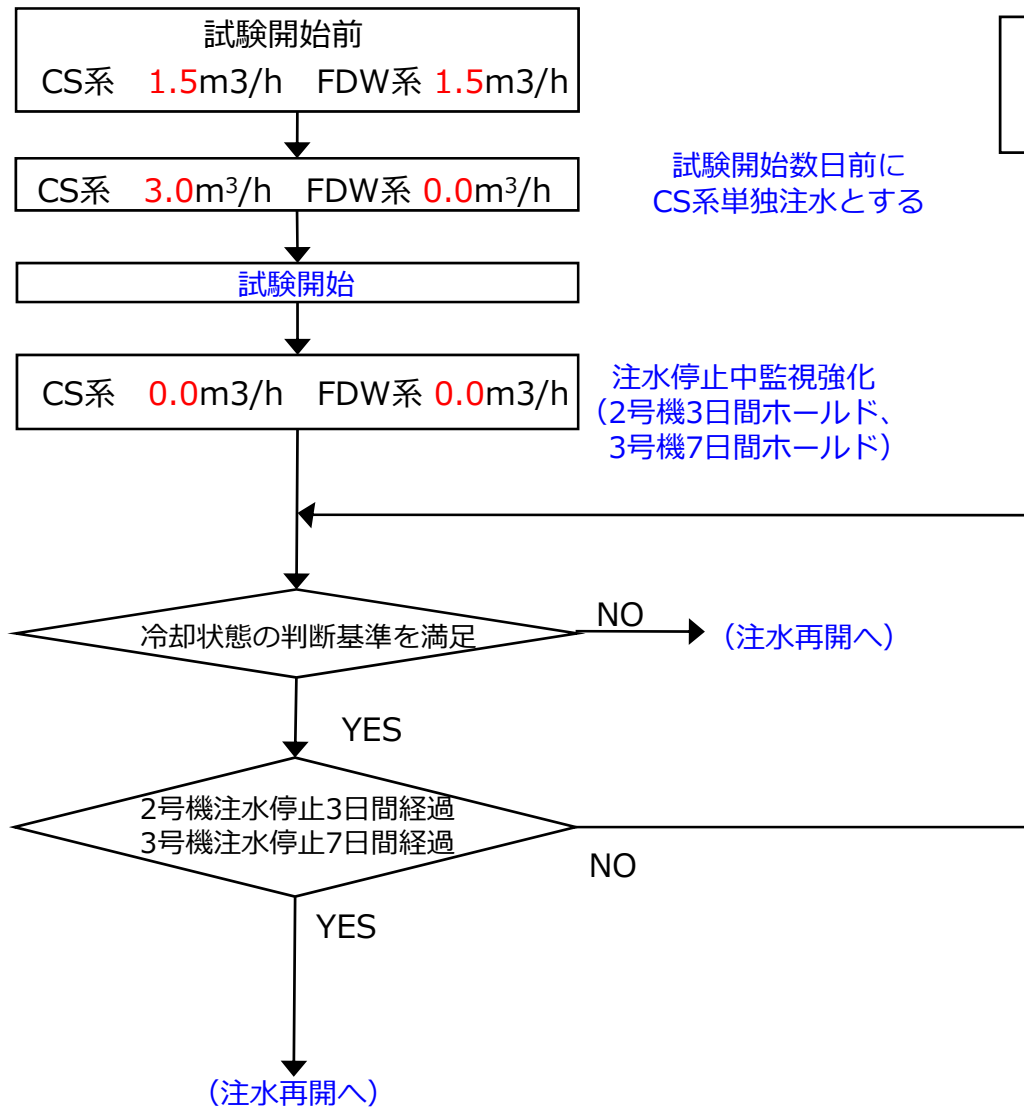
(参考) 注水停止フロー (1号機)



(参考) 注水再開フロー (1号機)

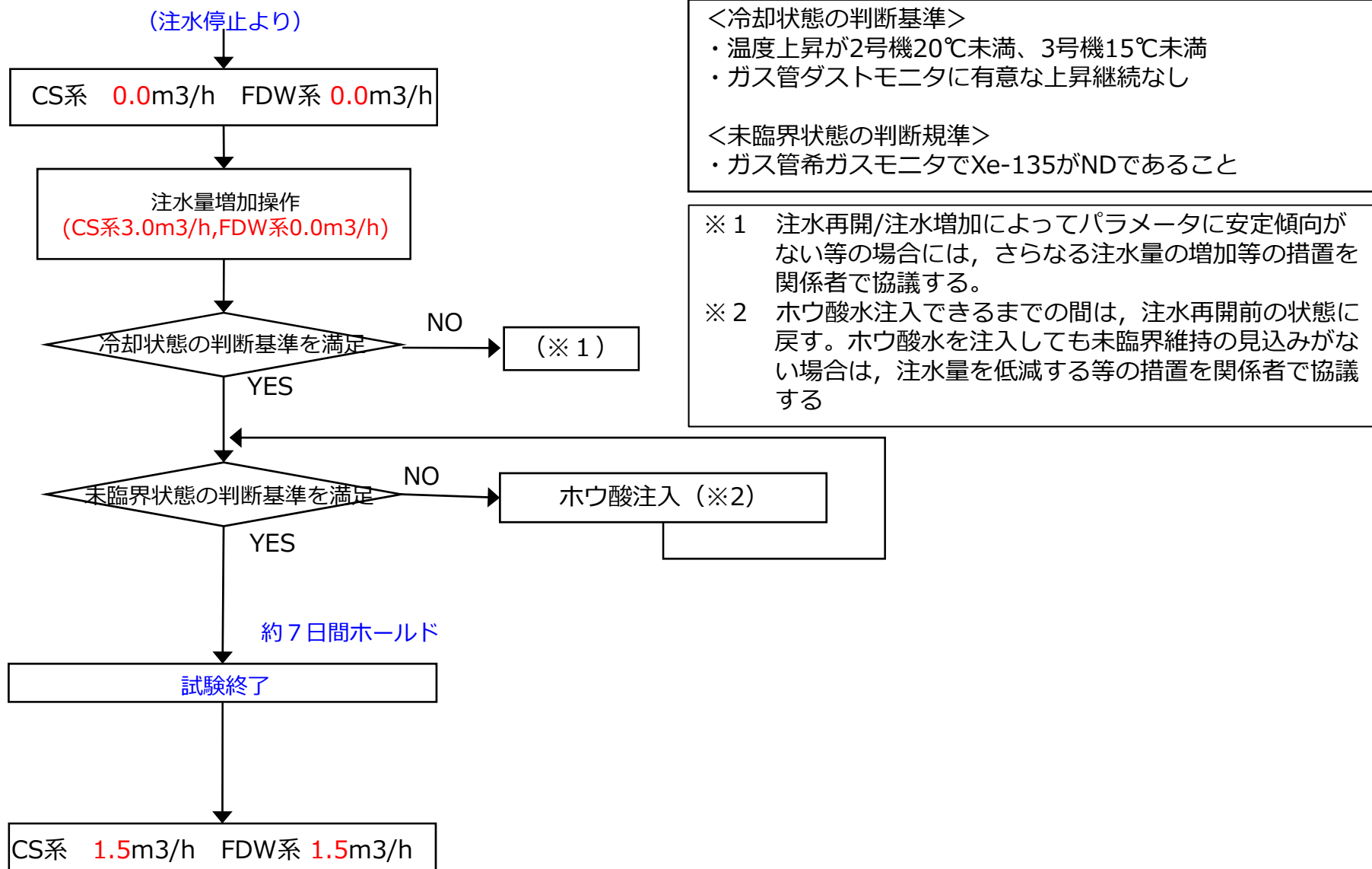


(参考) 注水停止フロー (2・3号機)



<冷却状態の判断基準>
・ 温度上昇が2号機20℃未満、3号機15℃未満
・ ガス管ダストモニタに有意な上昇継続なし

(参考) 注水再開フロー (2・3号機)



(参考) 監視パラメータと判断基準 (注水停止時)

(1) 冷却状態の監視 (注水量停止時)

監視パラメータ	監視頻度		注水停止時の判断基準
	注水停止中	(参考) 通常監視頻度	
原子炉压力容器底部温度	毎時	毎時	1・3号機：温度上昇が15℃未満 ※1 2号機：温度上昇が20℃未満 ※1
原子炉格納容器内温度	毎時	6時間	1・3号機：温度上昇が15℃未満 ※1 2号機：温度上昇が20℃未満 ※1
原子炉への注水量	毎時	毎時	原子炉に注水されていないこと
格納容器ガス管理設備 ダストモニタ	毎時	6時間	有意な上昇が継続しないこと

※1 1・3号機15℃以上、2号機20℃以上の温度上昇があった際には、
流量を3.0m³/hに増やす (注水を再開する)。

(2) その他の傾向監視パラメータ

- ・原子炉压力容器上部温度、格納容器圧力、格納容器内水位

(参考) 監視パラメータと判断基準 (注水再開時)

(1) 冷却状態の監視 (注水量増加時)

- 注水変更操作から24時間の監視強化とし、冷却状態に異常が無い場合には、24時間以降は通常頻度での監視に移行。

監視パラメータ	監視頻度		注水再開時の判断基準
	操作後24時間	24時間以降 (通常監視頻度)	
原子炉圧力容器底部温度	毎時	毎時	1・3号機：温度上昇が15℃未満 ※1 2号機：温度上昇が20℃未満 ※1
原子炉格納容器内温度	毎時	6時間	1・3号機：温度上昇が15℃未満 ※1 2号機：温度上昇が20℃未満 ※1
原子炉への注水量	毎時	毎時	(必要な注水量が確保されていること)
格納容器ガス管理設備 ダストモニタ	6時間	6時間	有意な上昇が継続しないこと

※1 注水変更後、1・3号機10℃以上、2号機15℃以上の温度上昇があった際には、関係者間で情報共有・監視強化を継続する。

(2) 未臨界状態の監視

- 注水変更操作から24時間は速やかにホウ酸水を注入できる体制を維持

監視パラメータ	監視頻度		注水再開時の判断基準
	操作後24時間	24時間以降 (通常監視頻度)	
格納容器ガス管理設備 Xe-135濃度	毎時	毎時	1号機：通常値の10倍未満であること 2・3号機：NDであること※2

※2 Xe-135の通常値は1号機は $1.0 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$ 程度、2・3号機は検出限界未満(ND)である。運転上の制限である 1Bq/cm^3 に余裕があっても、2系同時に有意に上昇・検知された場合には、確実な未臨界維持のためホウ酸水を注入する。(片系のみ場合は、計器故障の可能性も含めて判断する)

(3) その他の傾向監視パラメータ

- 原子炉圧力容器上部温度、格納容器内水位

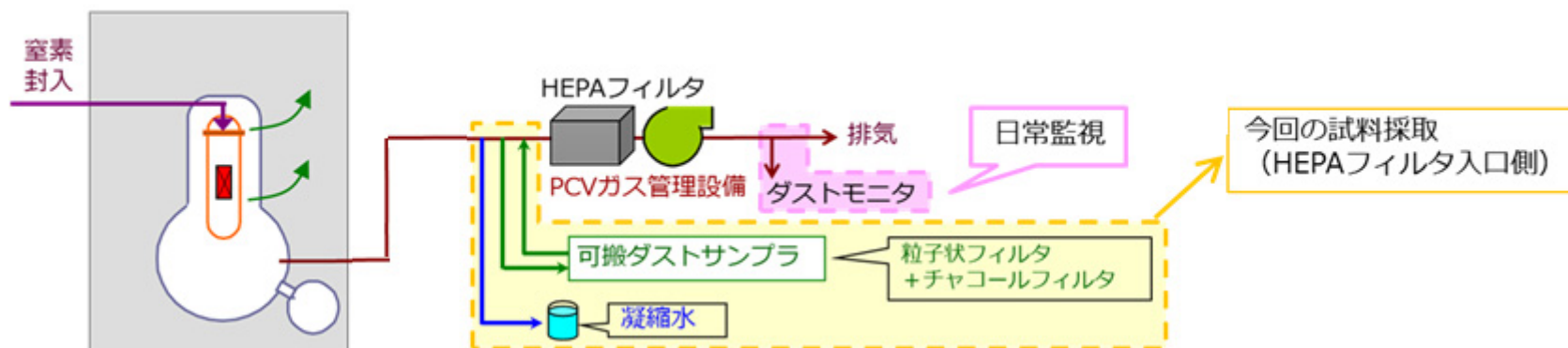
(参考) 監視パラメータ逸脱時の対応

監視パラメータ		判断基準を満たさない場合の対応
原子炉への注水量		<ul style="list-style-type: none"> 目標注水量を目安に、原子炉注水量を調整する
冷却状態の監視	原子炉圧力容器底部温度	<ul style="list-style-type: none"> 3.0m³/hで原子炉注水を再開する。 注水再開/注水増加によってパラメータに安定傾向がない等の場合には、さらなる注水量の増加等の措置を関係者で協議する。 (温度上昇が急であり、1m³/hを超える注水量の急増が必要と判断される場合にはホウ酸水を注入したうえで、注水量を増加する)
	原子炉格納容器内温度	
	格納容器ガス管理設備 ダストモニタ	
未臨界状態の監視	格納容器ガス管理設備 希ガスモニタ	<ul style="list-style-type: none"> 注水再開前の状態に戻す。 ホウ酸水を注入する。 ホウ酸水を注入しても未臨界維持の見込みがない場合は、注水量を低減する等の措置を関係者で協議する。

(参考) その他採取するデータ等

- 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



窒素ガス分離装置（B）の運転再開について

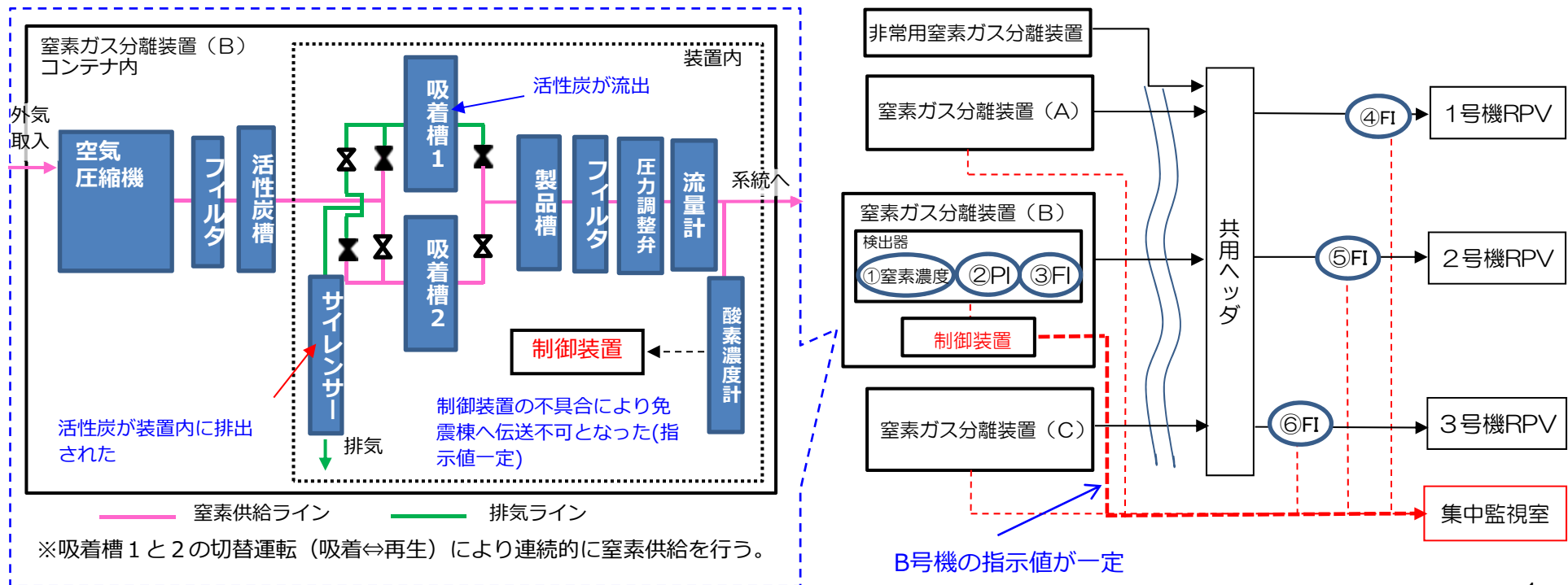
2020年7月30日



東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

- 4月24日、窒素ガス分離装置(B) について、窒素濃度に通常の変動がなく、指示値が一定となっていることを確認した。調査の結果、4月21日～24日の間において、窒素濃度の真値が確認できなかった。その為、当直長は運転上の制限逸脱を宣言した。(同日復帰)
- 原因は、吸着槽 1 から細粒化された活性炭がサイレンサーから流出し、窒素濃度の指示値を交換・伝送する制御装置内に混入したため、制御装置に不具合が生じ、指示が真値を示さなかった(指示値が一定で固定) ためである。また、制御装置に不具合が生じた際に発報する現場警報が発報されたが、免震棟監視室に発報されない設計としていたため、当直員は検知できなかった。
- 上記の不具合に対し、点検及び対策を実施したことから、窒素ガス分離装置(B)の運転を7月13日再開した。



2. 原因対策の実施状況 (1)

原因	原因	対策	状況
吸着槽の活性炭流出	吸着槽 1 内に充填されていた活性炭が細粒化し、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。	活性炭の 細粒化 が起きないように 吸着槽の緊密化 を行う。 ⇒活性炭の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繰り返し実施する。	窒素ガス分離装置(B)について実施済
活性炭の混入による制御装置の不具合	飛散した活性炭が当該装置内の制御装置内部に混入したことにより、制御装置の機能が喪失した（回路短絡による電源供給喪失）。 ↓ 制御装置の不具合により、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保持された状態となり、免震棟監視室に伝送される指示値が一定になった。	活性炭細粒化の可能性を完全には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 できるように改造を行う。 （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）	<ul style="list-style-type: none"> 窒素ガス分離装置(B)について実施済 同型機である窒素ガス分離装置(A)はB号機運転開始後、実施予定 （C号機は設計が異なり、屋外に排気される）
現場警報が免震棟に発報されなかった	制御装置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。 （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、 免震棟監視室に発報されるよう改造 を行う。	<ul style="list-style-type: none"> 窒素ガス分離装置(B)について実施済 窒素ガス分離装置(A/C)はB号機運転開始後、実施予定。

- 不具合のあった制御装置について交換を実施。
- 不具合が確認された制御装置以外について、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、点検や部品の交換等を実施済。

3. 原因対策の実施状況 (2)

吸着槽 1 の活性炭の充填状況

活性炭が充填時より減少

約23cm

減少した活性炭の上面

約170cm

分散板

スポンジ

活性炭

活性炭の上面

試運転と追加充填を繰り返し、活性炭の充填状態の緊密化を実施

事象発生時

サイレンサの設置状況

事象発生時

装置内サイレンサ

サイレンサ

排出方向 (活性炭の流出方向)

窒素ガス分離装置

装置外部

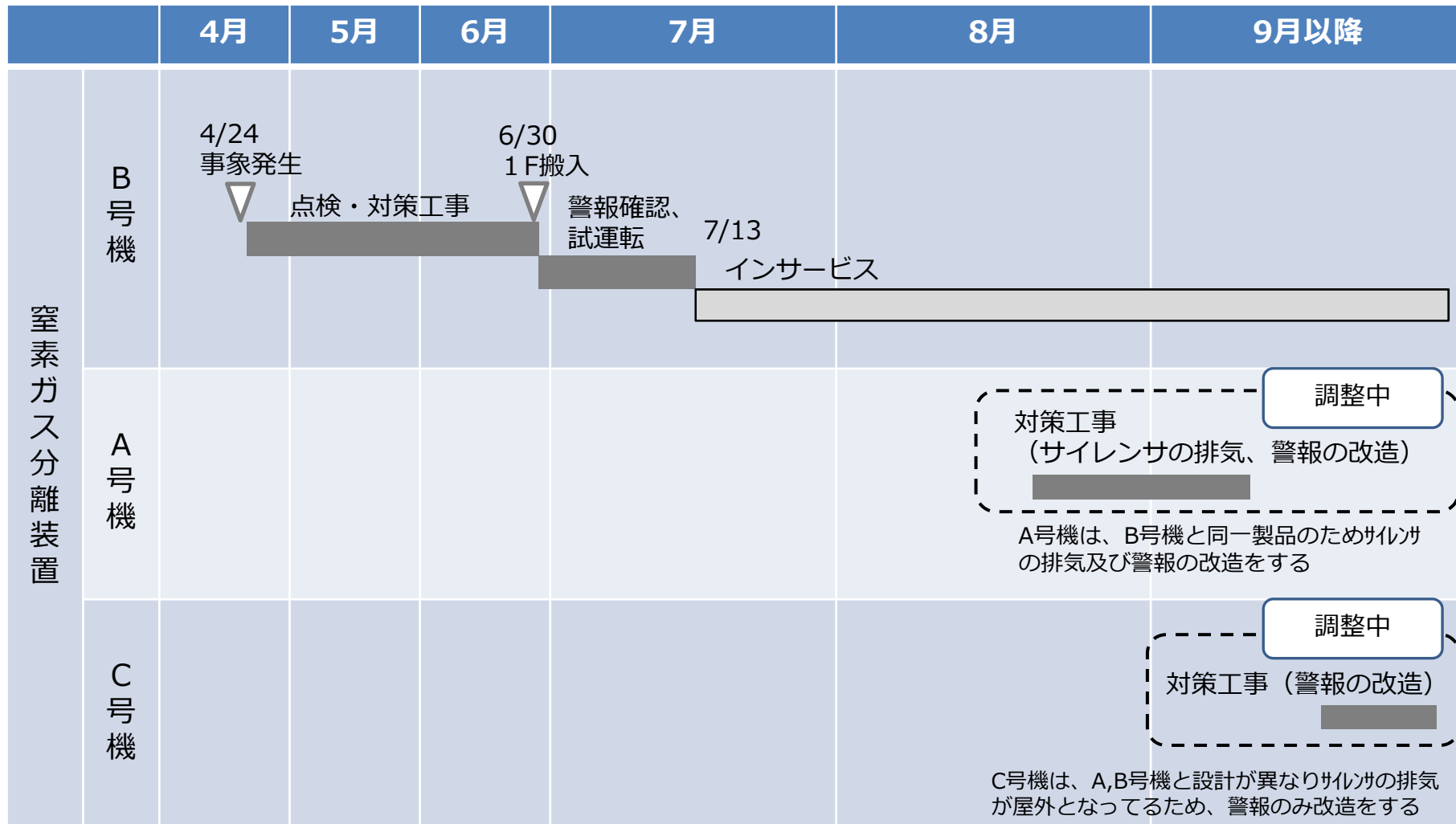
サイレンサ

袋フィルタ

防護処置後

4. B号機運転再開他について

- 窒素ガス分離装置(B)について、7/13に運転再開(インサービス)。
- B号機運転開始後、A,C号機は運転を停止し、対策工事を実施する予定。



参考資料

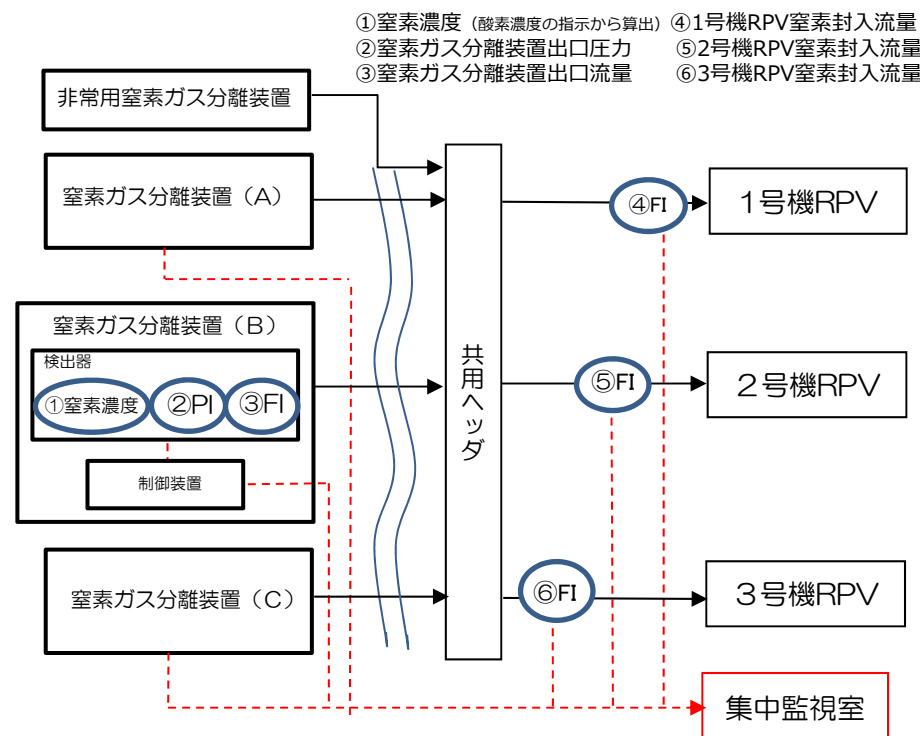
窒素ガス分離装置（B）指示不良に関する不具合の 原因と対策について

（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）

1. 概要

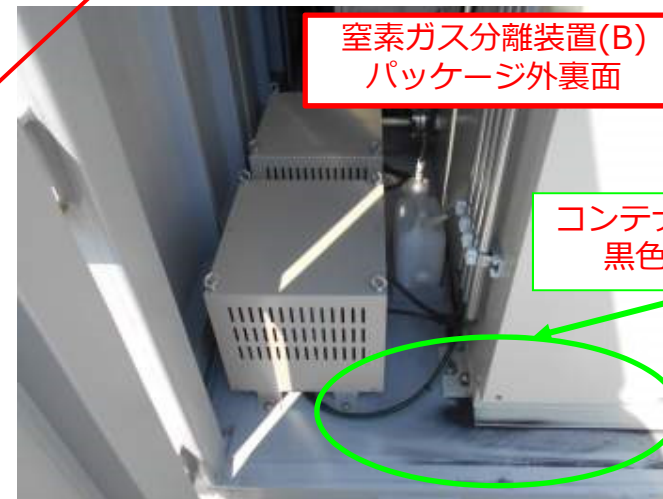
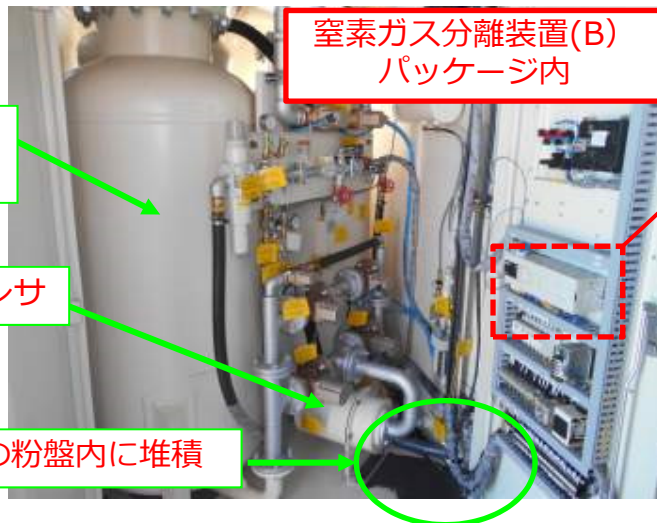
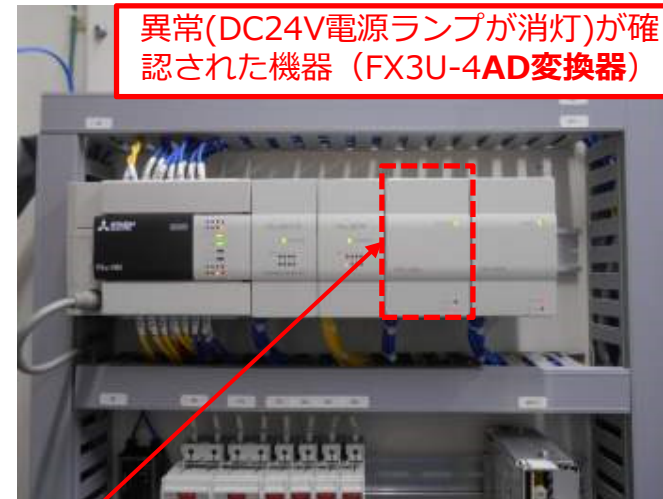
■ 概要

- 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。



2. 事象発生当時の現場状況

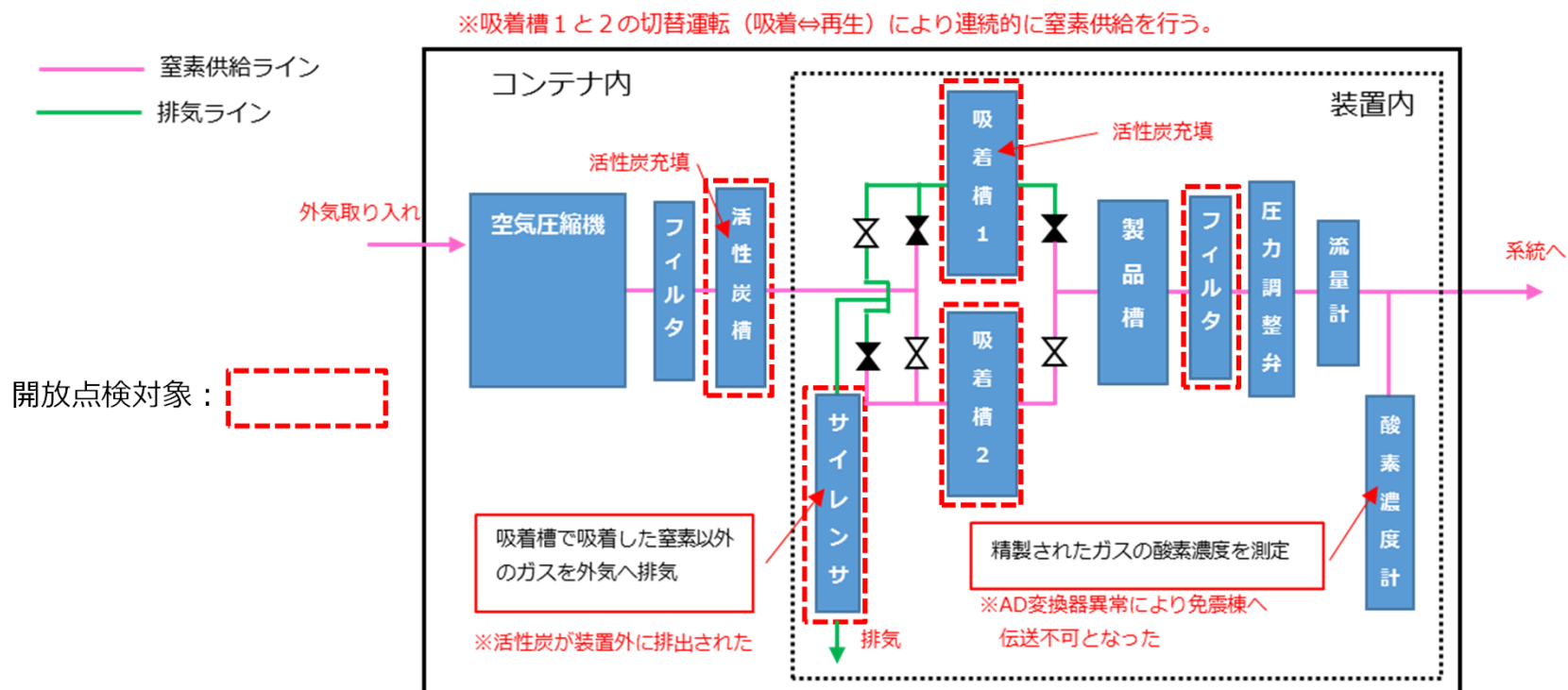
- 窒素ガス分離装置(B)本体のパッケージ内部に黒色の粉が飛散し堆積していることを確認。装置内の流路を構成する配管・機器の継手部に漏えいの痕跡がなかったことから、サイレンサからの排気と同時に外部に流出したものと考えられる。



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)



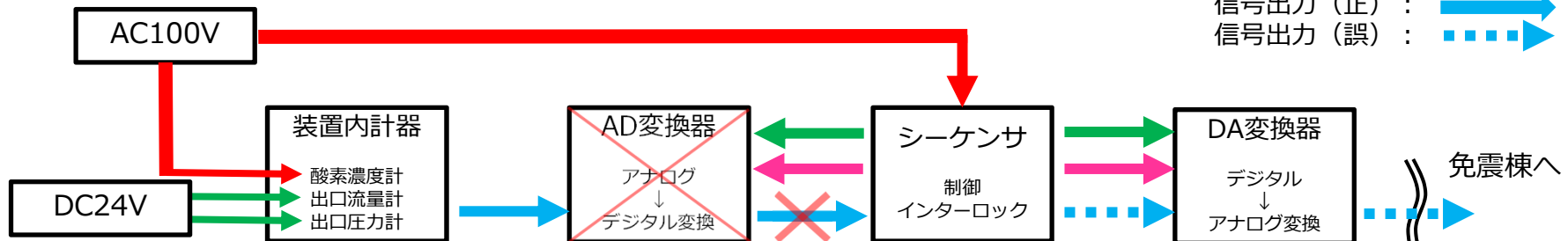
4. 免震棟集中監視室の指示値が一定であった原因

- 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。

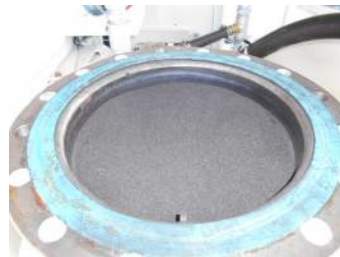
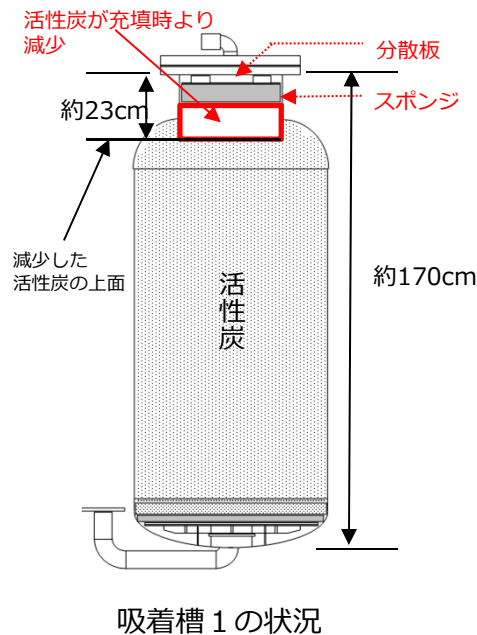
推定原因	調査方法	調査結果	可能性
電源供給回路の異常 (単一故障、異物、塩害等)	分解調査	<ul style="list-style-type: none"> AD変換器内に黒色の粉を確認。 導通確認により、AD変換器内ヒューズ開放を確認。 AD変換器内に塩の付着・腐食、黒色の粉以外の異物付着の形跡なし。 その他外力による単一故障の形跡なし。 	○
給電部の接触端子不良	端子のゆるみ確認	ゆるみがないことを確認。	×
給電部のケーブル断線	導通確認	受電部の電圧測定の結果、異常がないことを確認。	×



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。

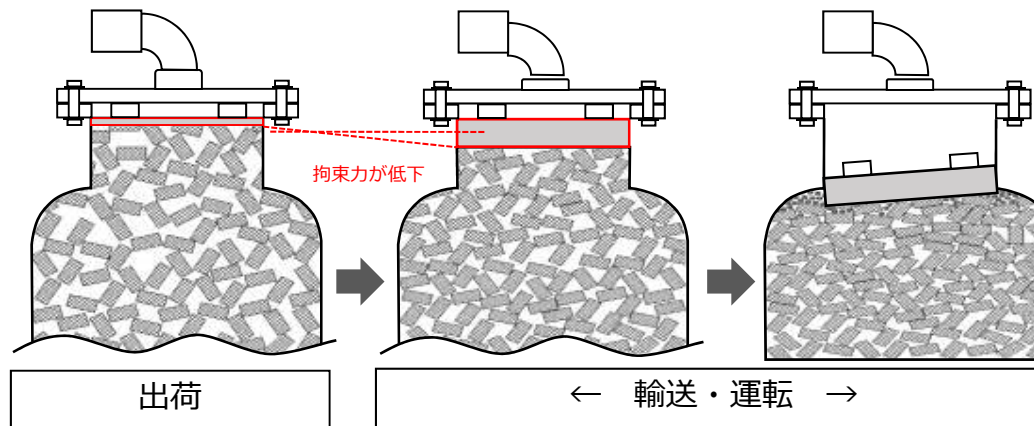


調査結果

- 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

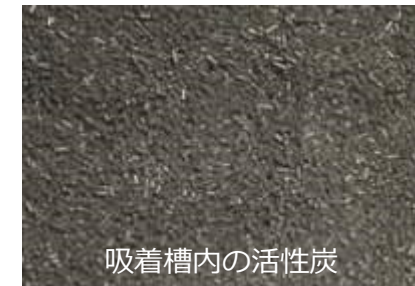
1. 吸着槽内における活性炭の充填密度は、活性炭の粒は円柱状であり粒同士に不均一な隙間が生じるため、製造時には加振を行う等活性炭の緊密化を行っているが、製品によりばらつきが生じることが避けられない。
2. 充填状態に粗な部分がある場合、輸送時および据付時の振動もしくは運転時の流体の流れによって吸着槽内の活性炭が密になっていくことにより活性炭の充填高さが低下していく。
3. これが進行すると、下図に示すようにスポンジによる活性炭の拘束力が低下し、吸着槽上部の活性炭に遊びが生じることでフレットングへとつながり細粒化が発生することとなる。



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ります。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ります。

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）

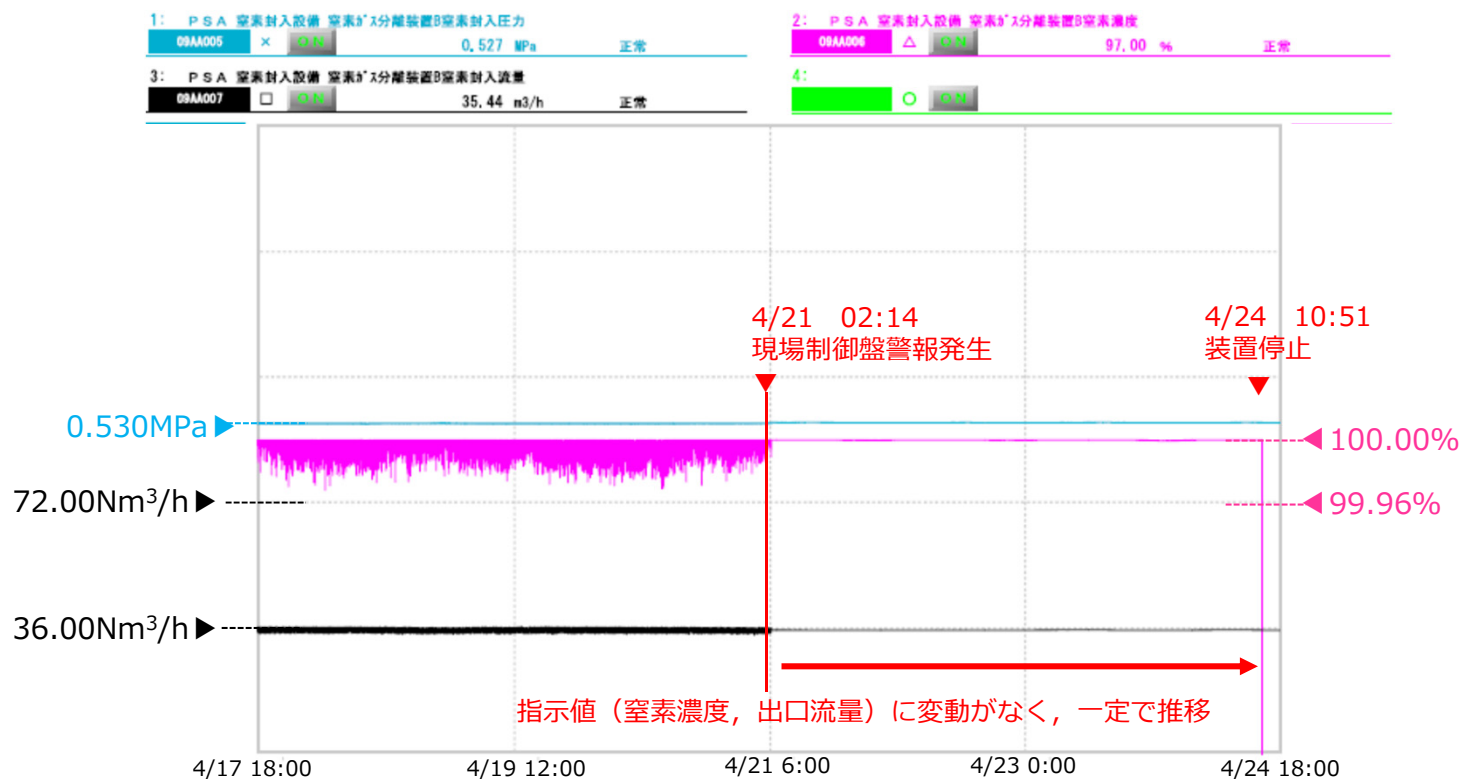
4月21日 2:14 窒素ガス分離装置(B)の現場操作盤に警報が発生

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。

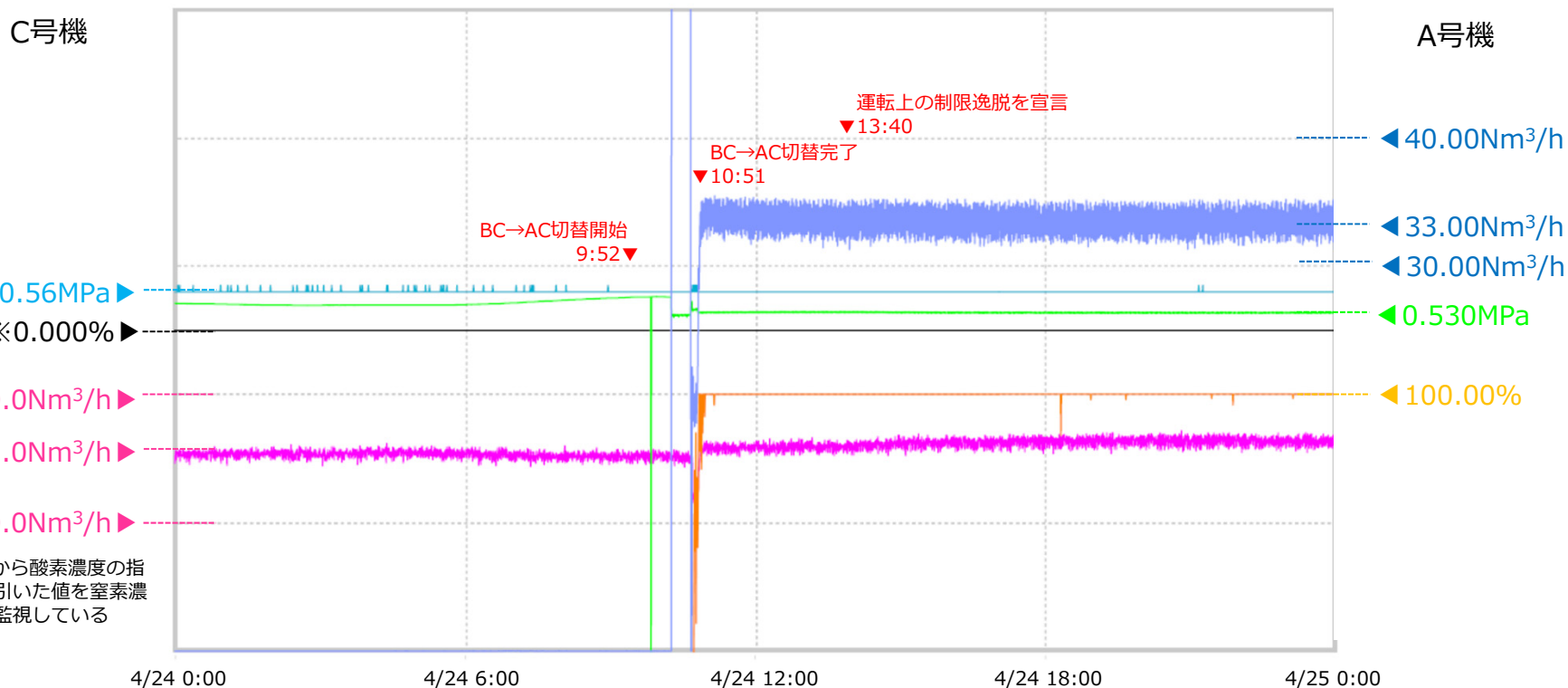


【参考2】「運転上の制限逸脱からの復帰」時の運転パラメータ

■ 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



※100%から酸素濃度の指示を差し引いた値を窒素濃度として監視している

【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。



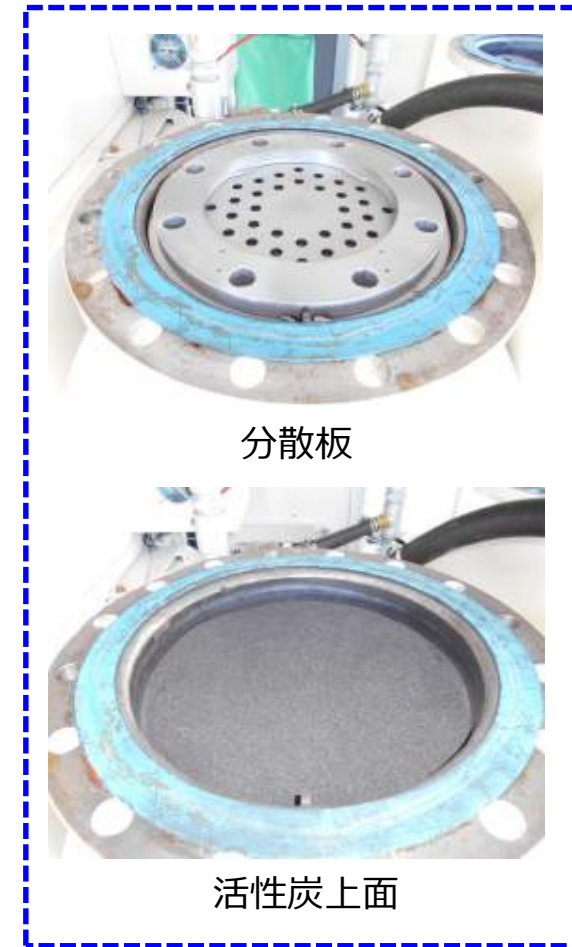
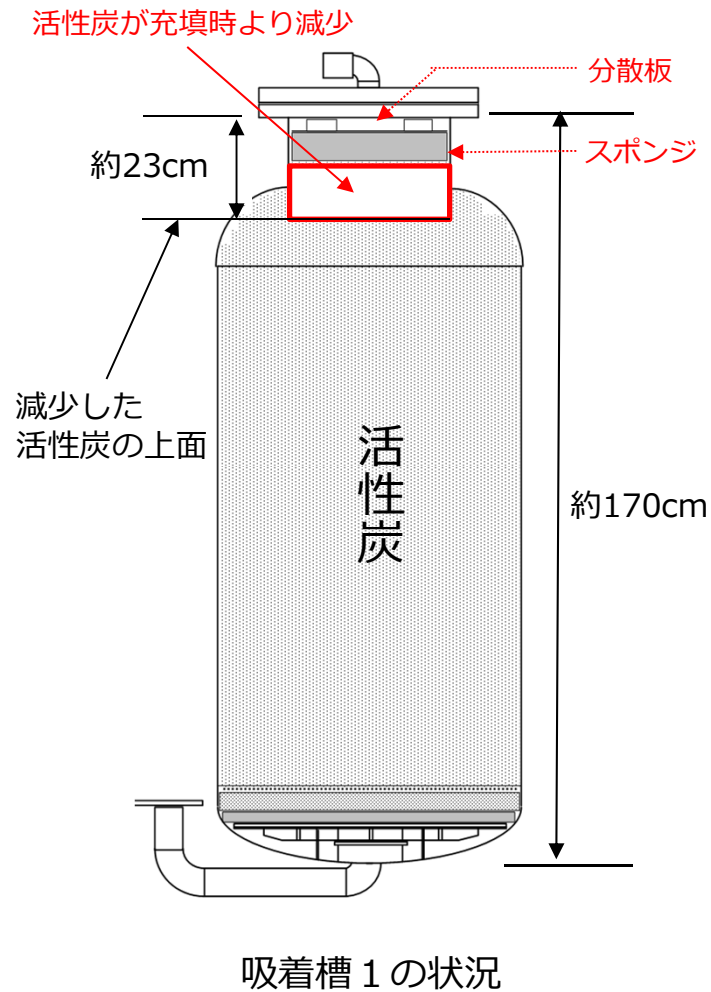
細粒化された形跡なし



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。



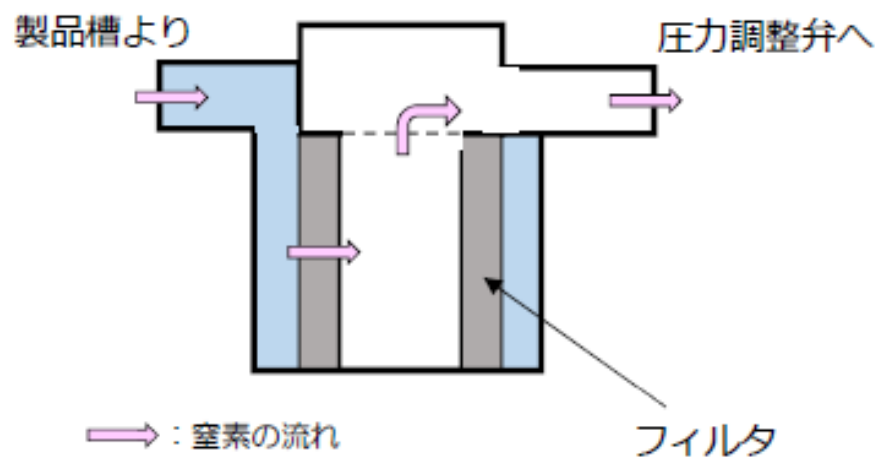
【参考6】 吸着槽1の活性炭細粒化の要因分析について

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。



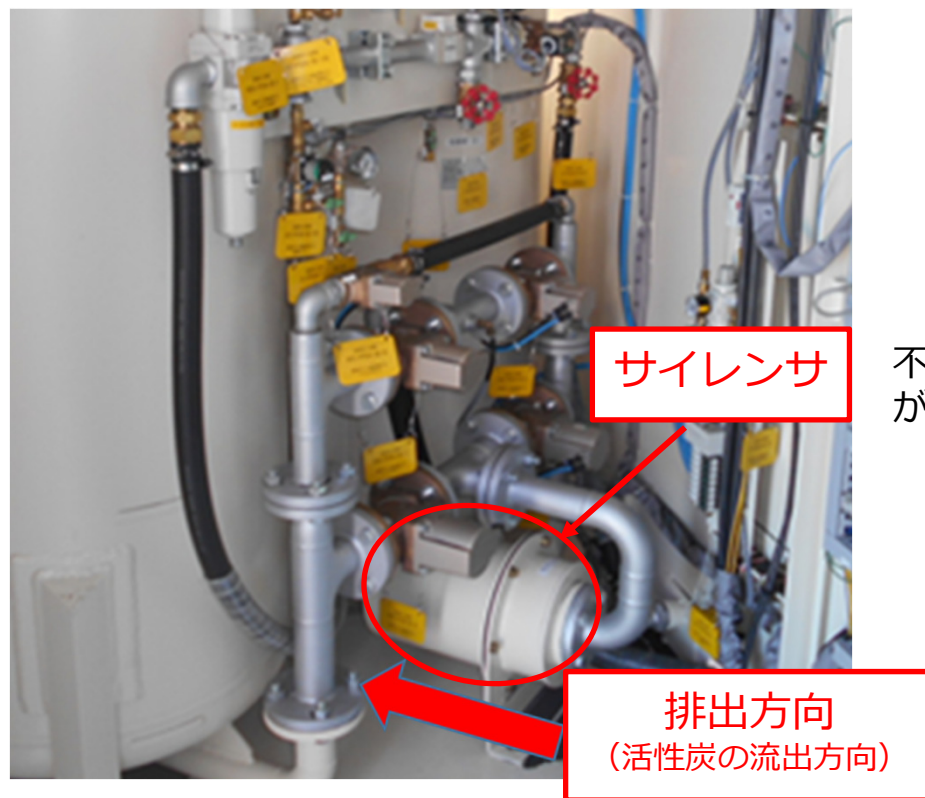
フィルタ イメージ図



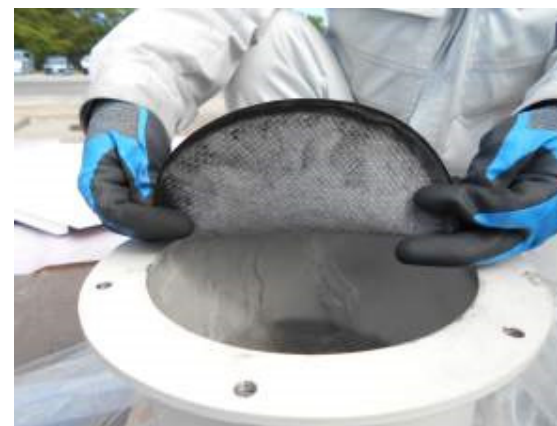
【参考8】サイレンサの状況確認

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。

