

福島第一原子力発電所 1 号機 「PCV閉じ込め機能強化に向けた試験」の分析状況について

2024年2月29日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

- PCV内の放射性物質（ダスト）の舞上がりが見込まれる状況に対し、放射性物質の放出を抑制する対策として、PCV給排気流量の変更、及び窒素封入停止を検討中。
- 検討に際し、PCV給排気流量の変更、及び窒素封入停止時における、PCVの状態等を確認するため「1号機PCV閉じ込め機能強化に向けた試験（2023年11月1日～11月28日）」を実施。※

※2023年11月30日 廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合事務局会議にて、試験の結果（速報）を報告。

- 2023年11月に実施した試験では、以下4点の特徴を確認しており、得られたパラメータを分析中。今回の報告では、赤字で囲った項目について、現在の分析状況を報告する。
 - ✓ PCV給排気流量の変更を行うことでPCVが負圧になることを確認。
 - ✓ 窒素封入量に対し排気量が少ない状態においてもPCV圧力が負圧になる。
 - ✓ 給排気流量バランスを変更すると、一部のPCV/RPV温度計の指示値が変化し、その中で局所的に上昇率が大きいものがある。
 - ✓ 窒素封入停止時には、酸素濃度の上昇が顕著。

- ✓ STEP1,2について、窒素封入量に対し排気量が少ない状態においてもPCV圧力が負圧となっている（赤枠）。
- ⇒格納容器圧力や給排気流量の計測指示値の信頼性は高いと考えられること（参考1,2）から、窒素封入の漏洩（RPV、PCVに届く前に漏出）の可能性が考えられる
- ⇒過去の単独ラインでの封入実績（JPラインのみ単独封入の実績）等もあわせて確認

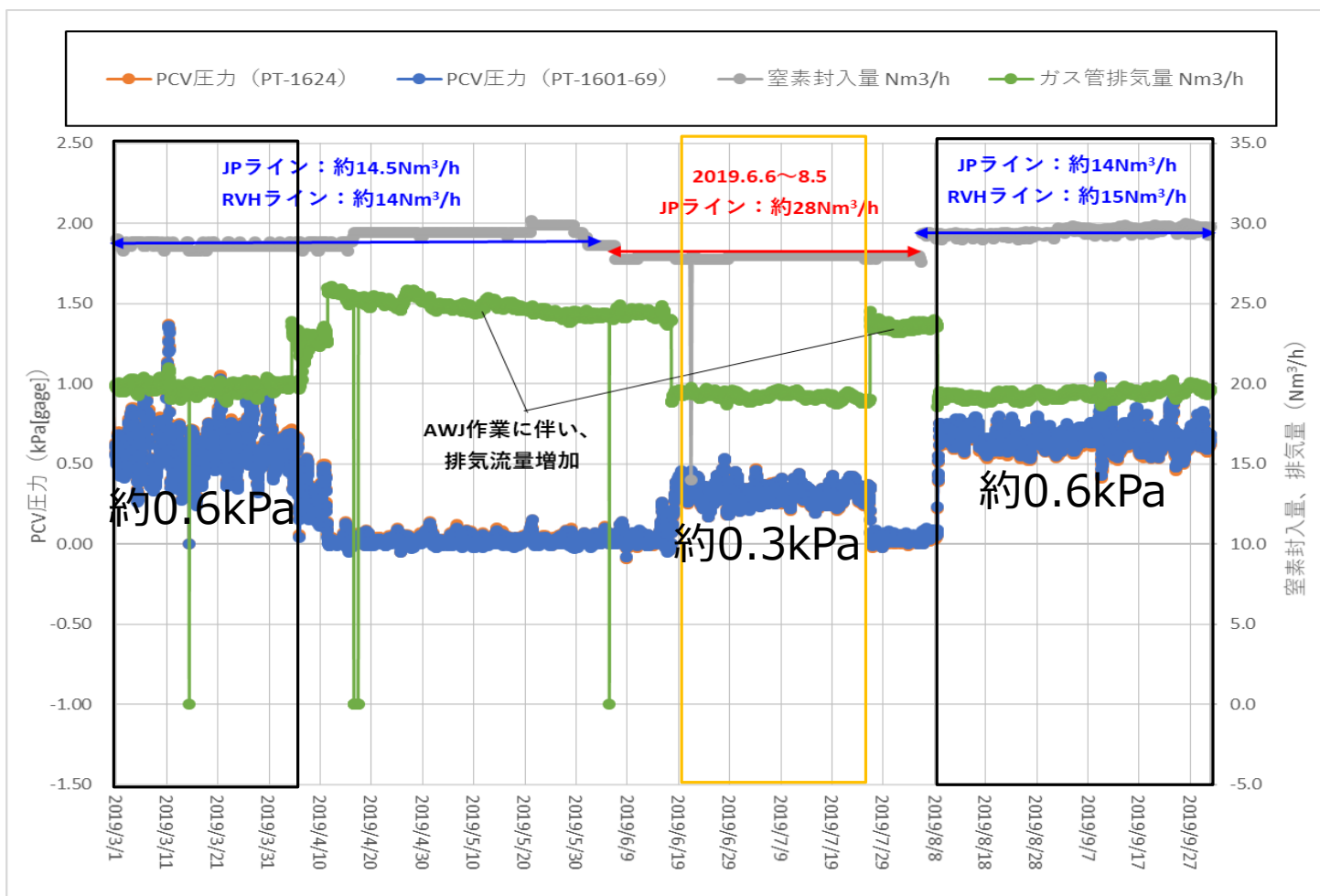
STEP	ライン	窒素封入量	合計窒素封入量	排気量	封入量－排気量	PCV圧力
通常時	RVH	約16.5Nm ³ /h	約32Nm ³ /h	約18Nm ³ /h	約+14Nm ³ /h	約+0.3kPa
	JP	約14.5Nm ³ /h				
	S/C	約1Nm ³ /h				
STEP1	RVH	約9.5Nm ³ /h	約25Nm ³ /h	約23Nm ³ /h	約+2Nm ³ /h	約-0.8kPa
	JP	約14.5Nm ³ /h (流量変更なし)				
	S/C	約1Nm ³ /h (流量変更なし)				
STEP2	RVH	約8.5Nm ³ /h	約24Nm ³ /h ※STEP1を踏まえPCV圧力を均圧にするため、窒素を増量	約17Nm ³ /h	約+7Nm ³ /h	約-0.3kPa
	JP	約14.5Nm ³ /h (流量変更なし)				
	S/C	約1Nm ³ /h (流量変更なし)				
STEP3	RVH	0Nm ³ /h	0Nm ³ /h	約18Nm ³ /h	約-18Nm ³ /h	約-1.2kPa ※終了時の圧力
	JP	0Nm ³ /h				
	S/C	0Nm ³ /h				

2019年JPライン単独封入時のPCV圧力の挙動について

✓ RVHライン,JPライン両系封入時のPCV圧力中心は、約0.6kPa。（黒枠の期間）

✓ JPライン単独封入時のPCV圧力中心は、約0.3kPa。（橙枠の期間）

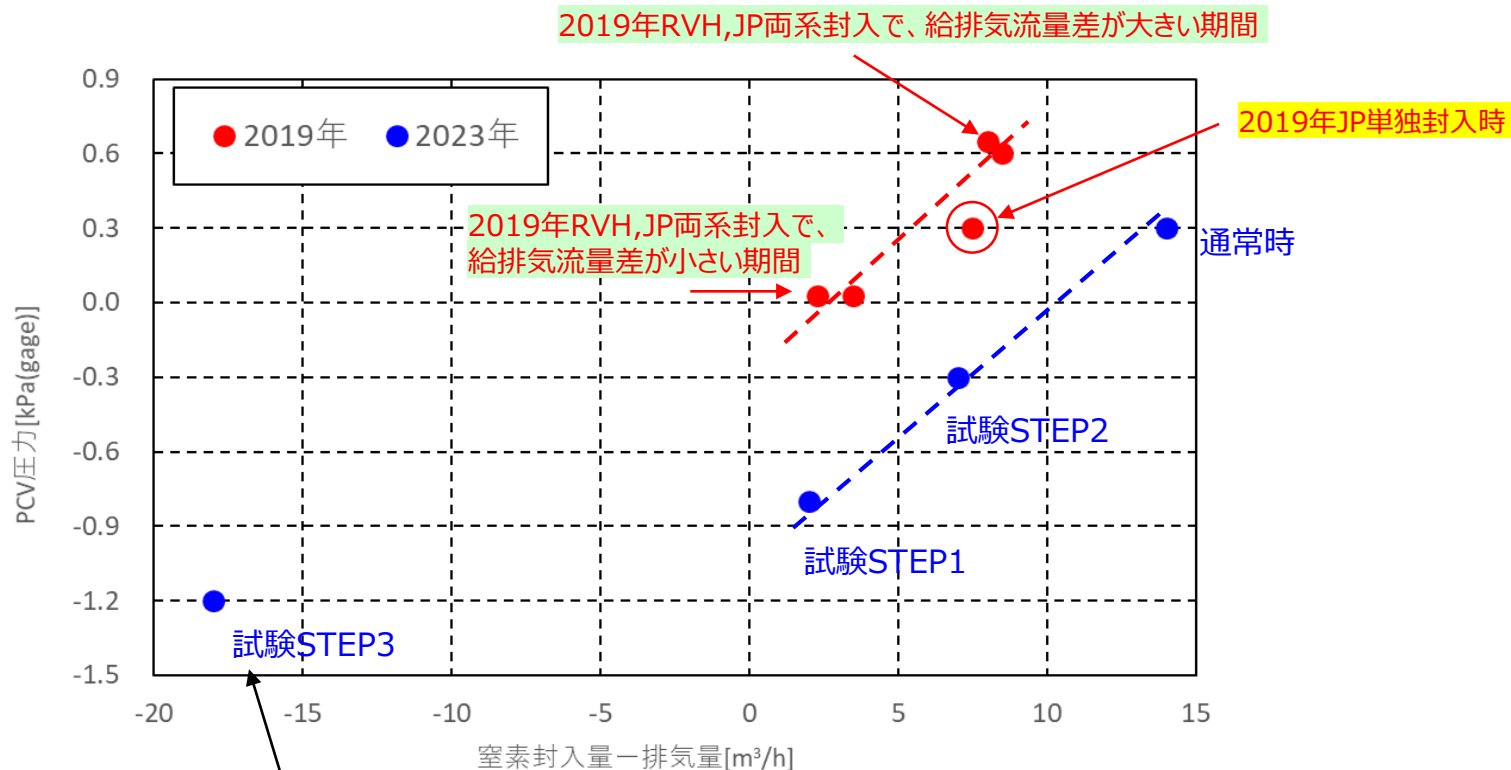
⇒**両系封入時と比較し、JPライン単独封入時のPCV圧力が低いことから、JPラインからの漏洩の寄与が大きい可能性**



給排気流量差とPCV圧力（圧力静定時）の関係

➤ 2019年と2023年における、「窒素封入量－排気流量」と「PCV圧力」の関係

- ✓ 2019年のデータにおいて、**JP単独封入時**は、RVH、JP両系封入時と比較して、PCV圧力を維持するのに必要な窒素封入量がより多くなっている（JPラインからの漏洩の可能性）
- ✓ 2019年のデータと比較し、2023年のデータは、より給排気流量差を大きくしないとPCV圧力が増加しない特徴となっており、漏洩の傾向が進んだ可能性がある。
 - PCVの気相漏洩が拡大した可能性も考えられるが、今回の試験において、PCVが負圧になることが確認されているため、その可能性は低いと考える。

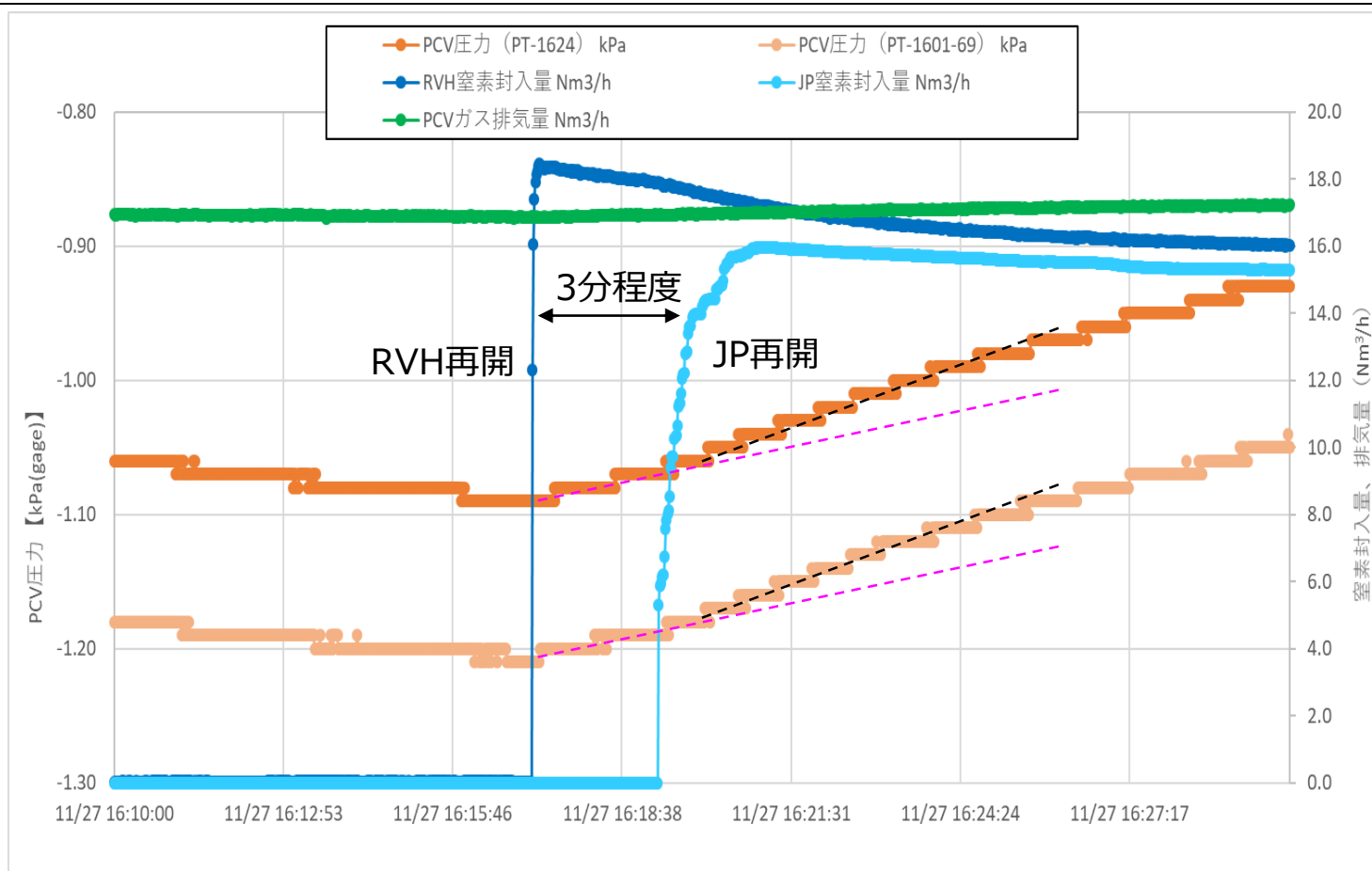


試験STEP3のデータは、圧力が静定する前に試験を終了したため、参考扱い

➤ 試験STEP3における、窒素封入再開時のPCV圧力の挙動

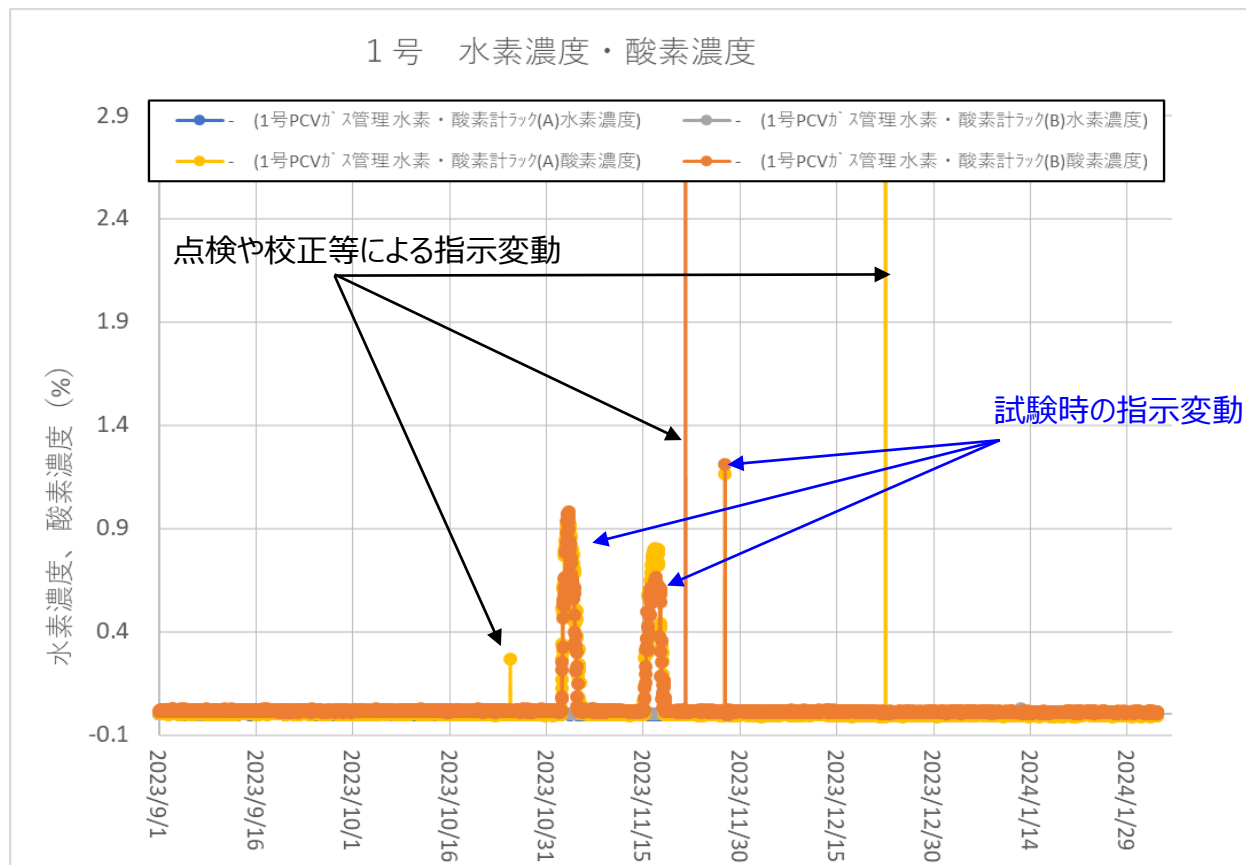
- ✓ STEP 3 の窒素封入再開については、RVHライン再開後⇒JPライン再開。
- ✓ RVHライン再開後と比較し、JPライン再開後（RVHライン込み）のPCV圧力の上昇率大きい。
（グラフ中の赤点線より黒点線の傾きが大きい）

⇒JPラインの窒素封入が全量漏洩しているものではないと考える。



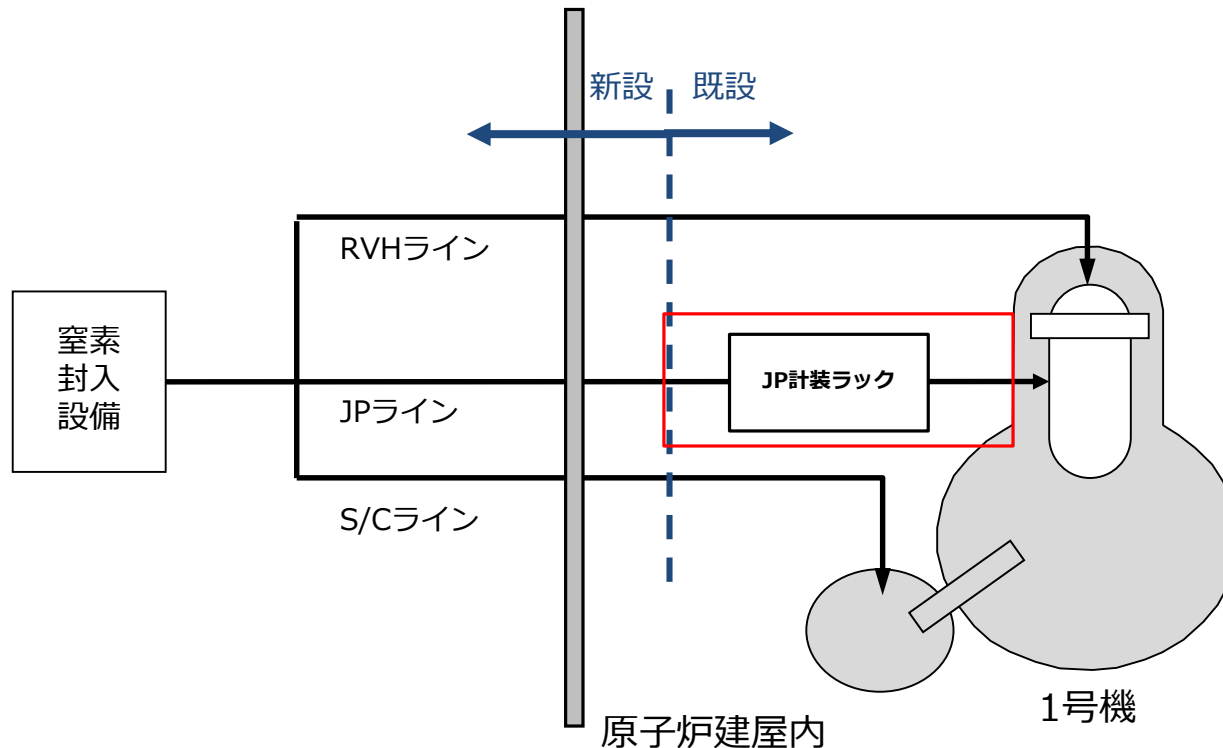
- ✓ 至近で水素濃度，酸素濃度には有意な変化みられない。
- ✓ 実施計画Ⅲ第1編第25条に定める、格納容器内の水素濃度が「2.5%以下」を満足するための「必要な窒素封入量」について、 $2\text{Nm}^3/\text{h}$ 以下であり、仮にJPラインからの漏洩があったとしても、それ以上の窒素封入はできている。

⇒**JPラインからの漏洩の可能性はあるものの、原子力安全上の影響はないと考える。**



JPラインの漏洩箇所の推定

- ✓ 窒素封入は、原子炉建屋内において震災前設備（既設設備）を活用している。新設設備において漏洩の徴候は現状確認していないこと、震災前設備の方がシステムの信頼性は低いと考えられることから、既設設備のいずれかより漏洩している可能性。
- ✓ ただし、原子炉建屋内は高線量エリアであり、漏洩箇所の特定は難しい。



- 窒素封入量に対し排気量が少ない状態においてもPCV圧力が負圧になったのは、2023年11月の閉じ込め機能強化試験の結果と、2019年のJP単独封入時の状況から、少なくともJPラインから封入している窒素の一部が漏洩（全量RPV、PCVに届いていない）していることが原因と推定。
- 現状PCV内の水素・酸素濃度に有意な変動はなく、PCV内の不活性雰囲気は維持されていること、JPラインから放射性物質が漏洩しているものではないことから、原子力安全上の影響はない。
- なお、RVH単独封入とすることも考えられるが、RVHラインから封入した窒素が、RPV、PCV内のダストを含み、JPラインの漏洩箇所へ逆流する懸念もあることから、各種パラメータの傾向を監視しつつ、現状通り、RVH、JPラインの両系から窒素封入を継続することが現時点においては適切と考える。
- 原子炉建屋内は高線量エリアであり、漏洩箇所の特定は難しい。ただし、過去2回の大きな地震（2021/2/13、2022/3/16）でも系統の機能は維持できていること、封入している気体は窒素であり漏洩に伴う腐食進行への影響は小さいことから、即座に機能が失われることはないと考える。
- 今後、燃料デブリ取り出しに向けて炉内環境の管理（不活性雰囲気を維持しつつ放射性物質の拡散を抑制する管理）を最適化していく必要があり、均圧状態が適切な可能性がある。今回得た知見（JPラインからの漏洩の可能性）は、当該運用を目指す中で、給排気流量のバランスを調整する際に有用と考える。なお、1号機では2024年3月から耐震性の確保等を目的としたPCV水位低下を計画しており、水封されていた漏洩箇所の気相露出も想定され、PCVの状態が大きく変わることから、水位低下後に改めて同様の試験を行うことを検討している。
- 今回の報告内容以外の観測事実（PCV温度の局所的な上昇等）についても、引き続き分析を実施していく。

以降参考資料

【参考1】PCV圧力の指示値の妥当性

- PCV圧力計については、以下2点の理由から、信頼性が高いものとする。（下図）
 - ・試験前の正圧表示時に酸素濃度がゼロであり、負圧表示となった期間に酸素の流入が確認されたこと
 - ・PT1601-69については、定期的に点検※をおこなっており、かつ、2つのPCV圧力計器の測定値の差（PCV圧力計器間差）がほぼ一定であること
- ※試験直近の点検日：2022/1/27（2年に1回の周期）

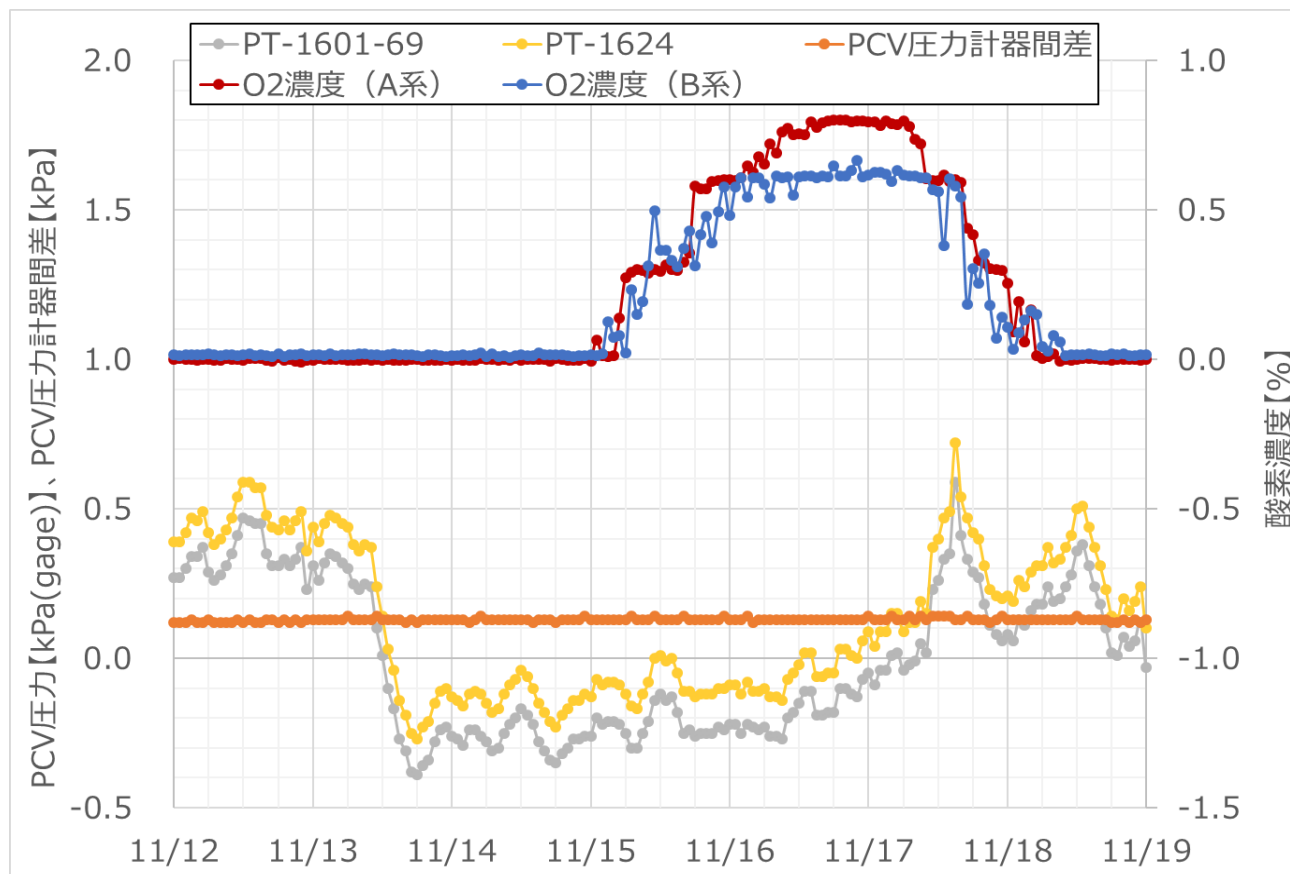


図 試験STEP2におけるPCV圧力と酸素濃度の関係

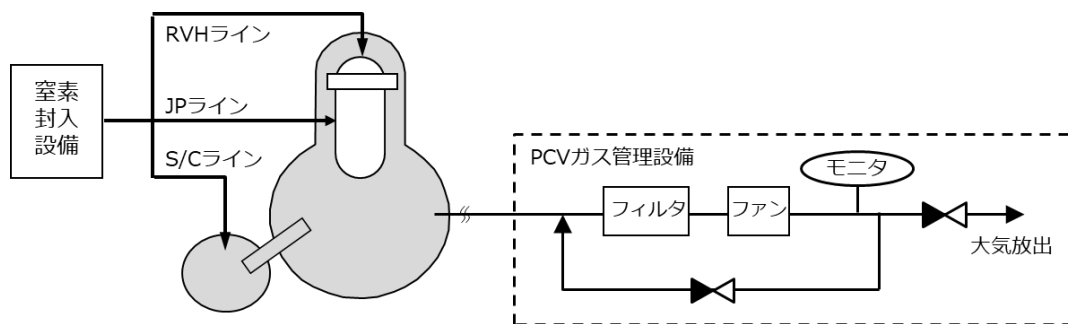
【参考2】給排気流量の指示値の妥当性

■ 計器誤差

- ✓ 窒素封入流量ライン、排気ラインに使用している流量計及びPCV圧力計について計器要求仕様で定める誤差の最大値を考慮しても確認された流量差は発生しないことを確認
- ✓ 至近の点検結果における誤差は、計器要求仕様を満たしており、かつ十分小さいことを確認

計測系	総合精度	計器計測範囲	最大の表示誤差	至近の確認誤差
窒素封入流量 (RVH)	±1.61%	0～35Nm ³ /h	±0.57Nm ³ /h	+0.06%
窒素封入流量 (JP)	±1.92%	5～50Nm ³ /h	±0.96Nm ³ /h	-0.54%
窒素封入流量 (S/C)	±1.92%	1～10Nm ³ /h	±0.19Nm ³ /h	+0.50%
PCVガス管排気流量	±1.3%	0～40m ³ /h	±0.52m ³ /h	+0.24%
PCV圧力	±0.7%	-15～30kPa	±0.32kPa	-0.05%

2023年11月調査時点



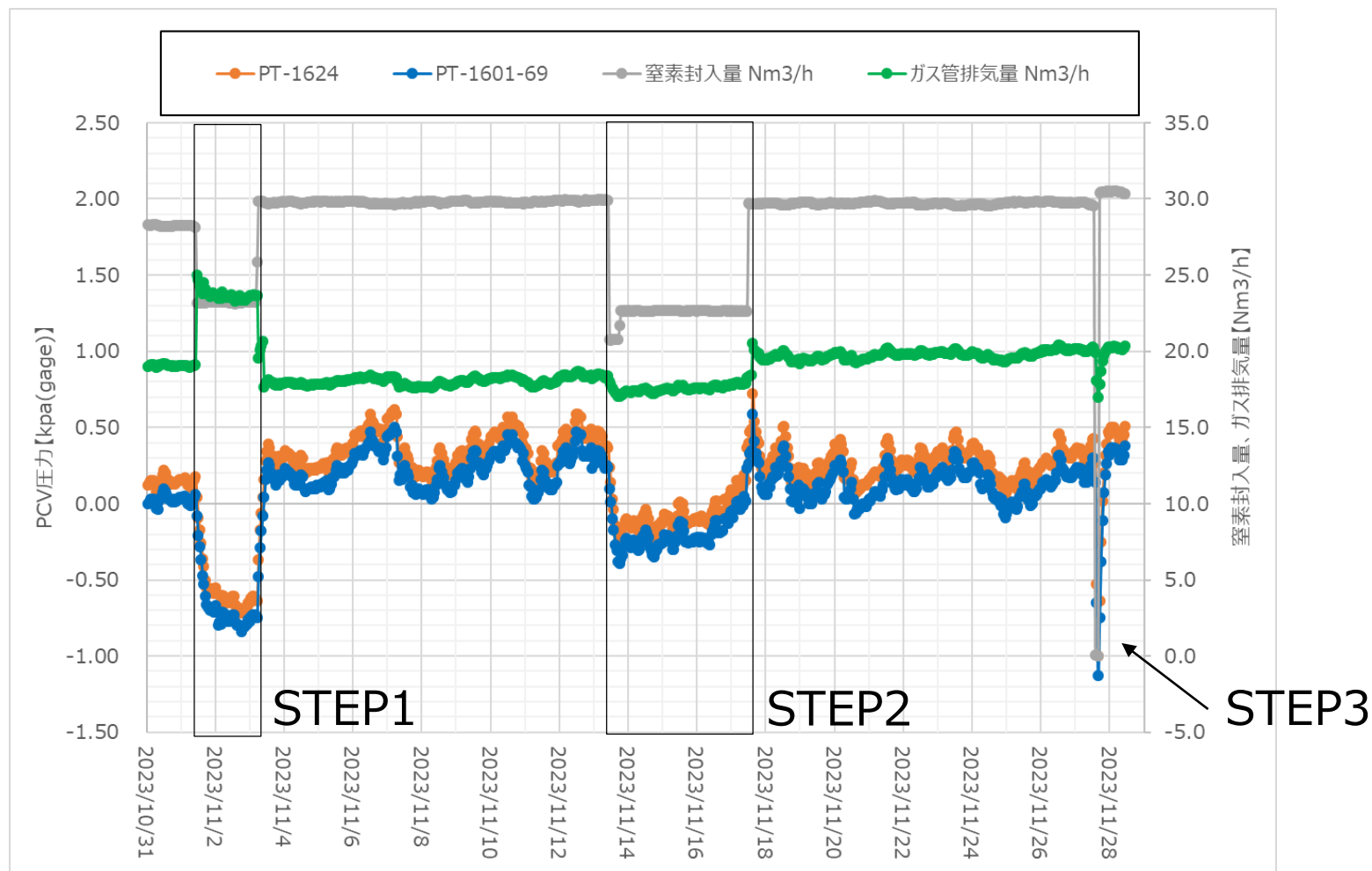
計器誤差による最大流量差

$$2.24\text{Nm}^3/\text{h} = 1.72\text{Nm}^3/\text{h} + 0.52\text{m}^3/\text{h}$$

(0.57+0.96+0.19)

※程度感を示すものであるため、ノルマル換算せず単純に計算

【参考3】試験時の給排気流量とPCV圧力のグラフ



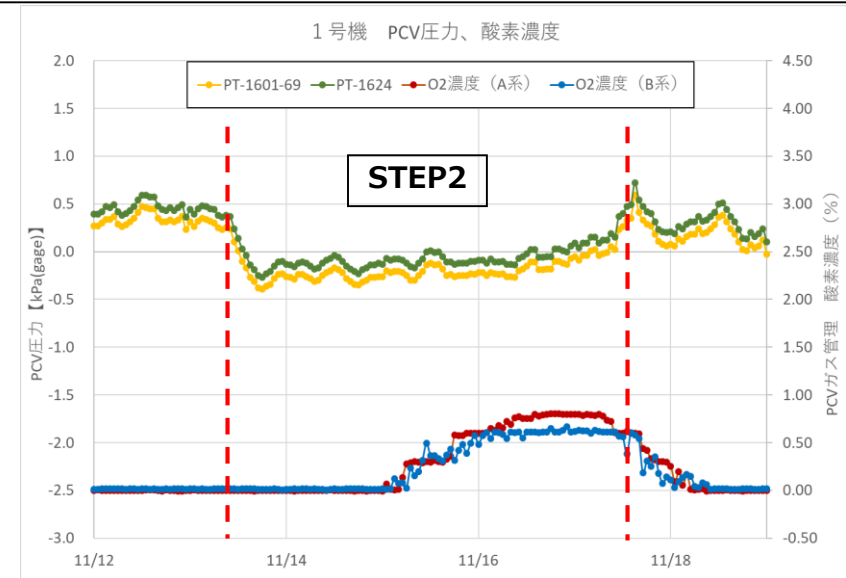
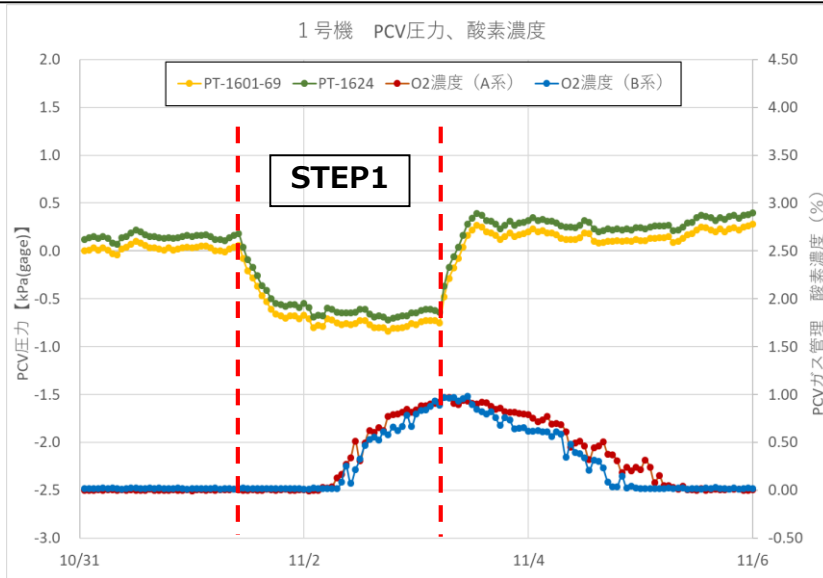
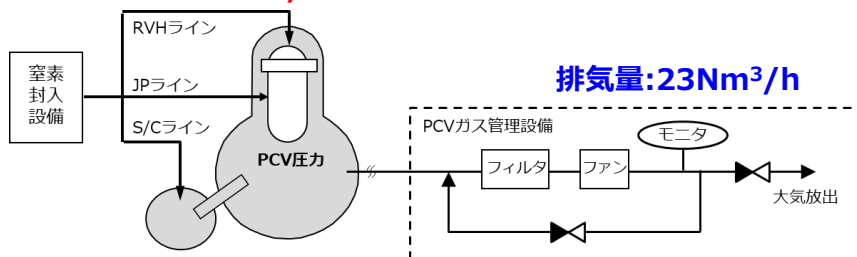
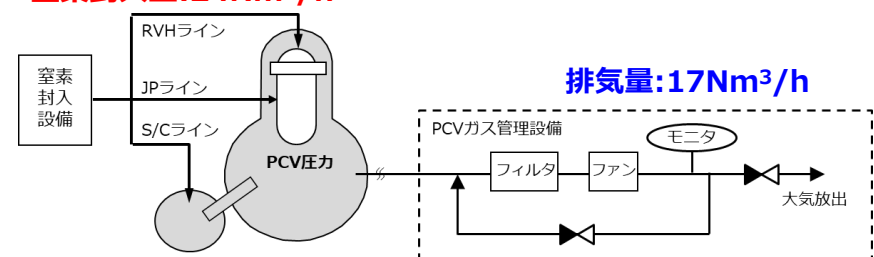
【参考4】試験時の監視パラメータ（PCV圧力・酸素濃度 STEP1,2）

■ STEP1 :

- ✓ PCV均圧に向け、窒素封入量と排気量をほぼ同量に調整したところ、PCV圧力が約-0.8kPa迄低下
- ✓ 酸素濃度も上昇したことからPCVにインリークがあることを確認

■ STEP2 :

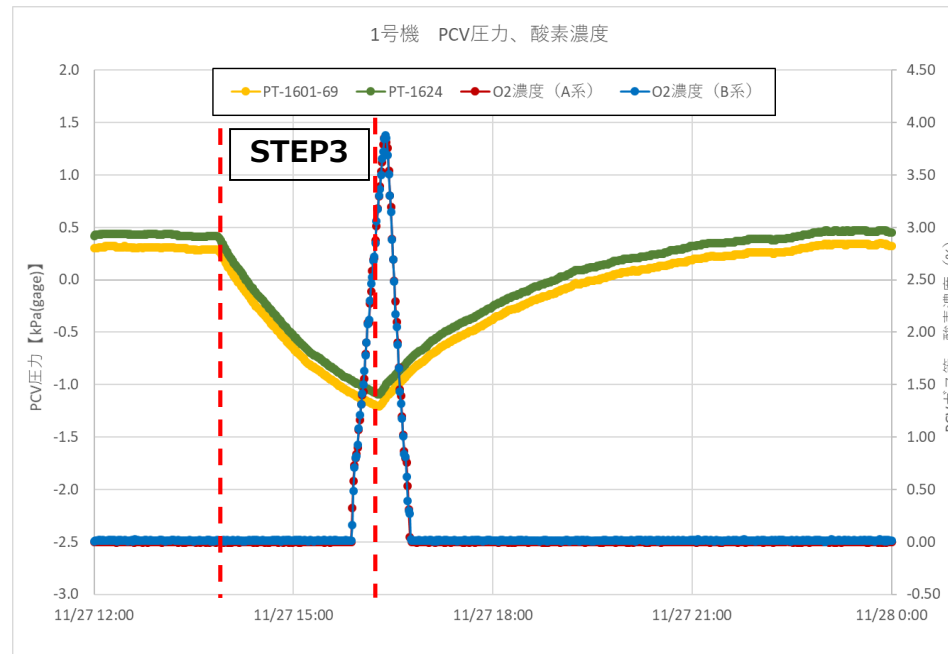
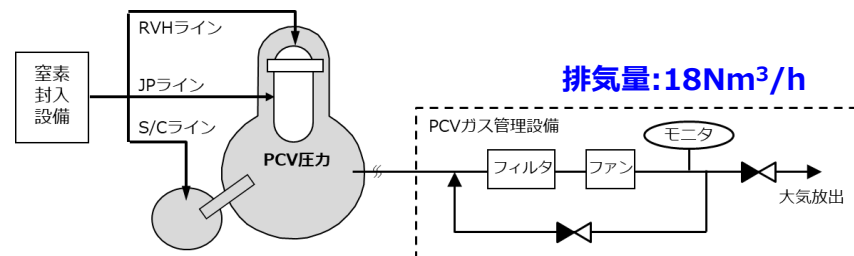
- ✓ PCV均圧に向け、STEP1の結果を踏まえ窒素封入量を調整したものの、PCV圧力が約-0.3kPa迄低下
- ✓ 酸素濃度は約0.8%で平衡状態になった

窒素封入量:25Nm³/h窒素封入量:24Nm³/h

【参考4】試験時の監視パラメータ（PCV圧力・酸素濃度 STEP3）

■ STEP3 :

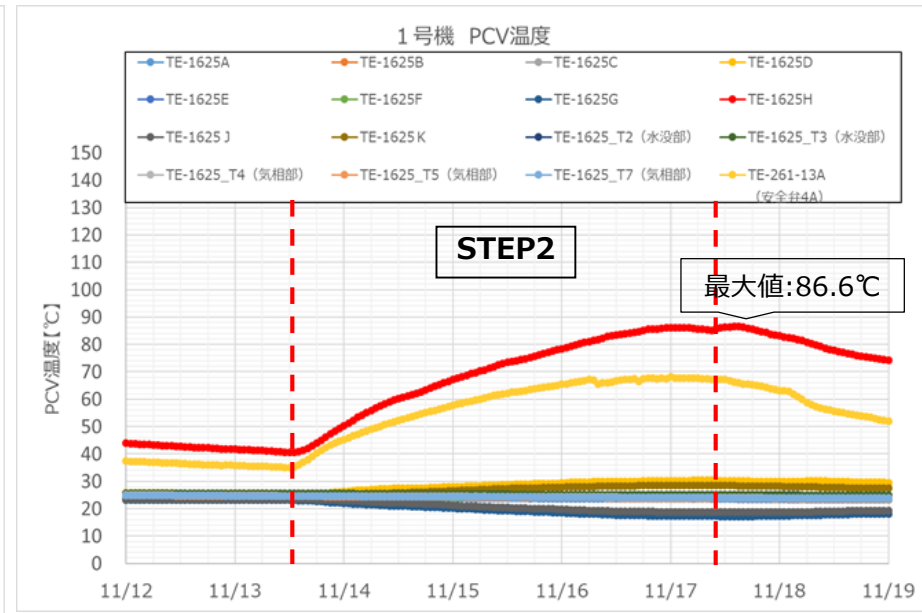
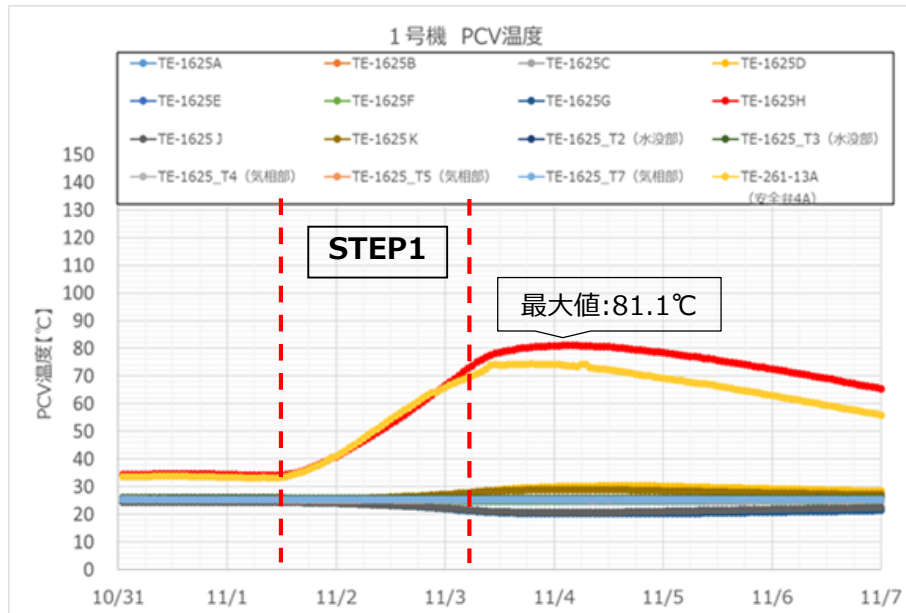
- ✓ 異常事象時のダスト飛散抑制対策として運用を開始した、AL地震時の窒素封入停止におけるプラントパラメータ挙動を確認
- ✓ PCV圧力は、ほぼ想定通り低下
- ✓ 酸素濃度は試験開始2時間後に上昇を開始した

窒素封入量: $0\text{Nm}^3/\text{h}$ 

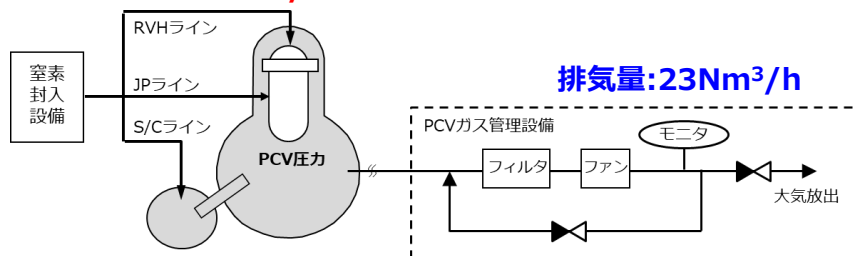
【参考4】試験時の監視パラメータ（PCV温度 STEP1,2）

STEP1, 2 :

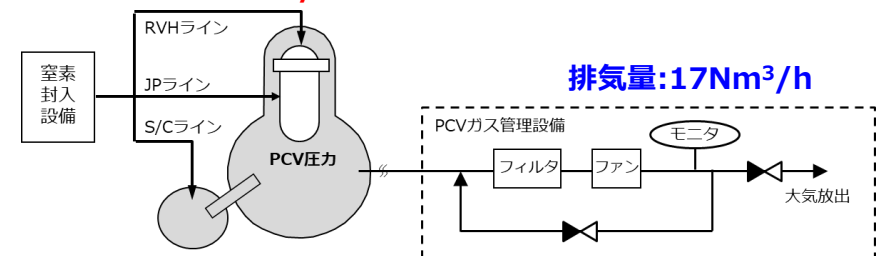
- ✓ 共に同様の変化傾向を示した
- ✓ 一部に大きく温度上昇するものが見られたが、中にはわずかが温度低下するものもあった
- ✓ 新設温度計※は温度変化していない



窒素封入量:25Nm³/h



窒素封入量:24Nm³/h

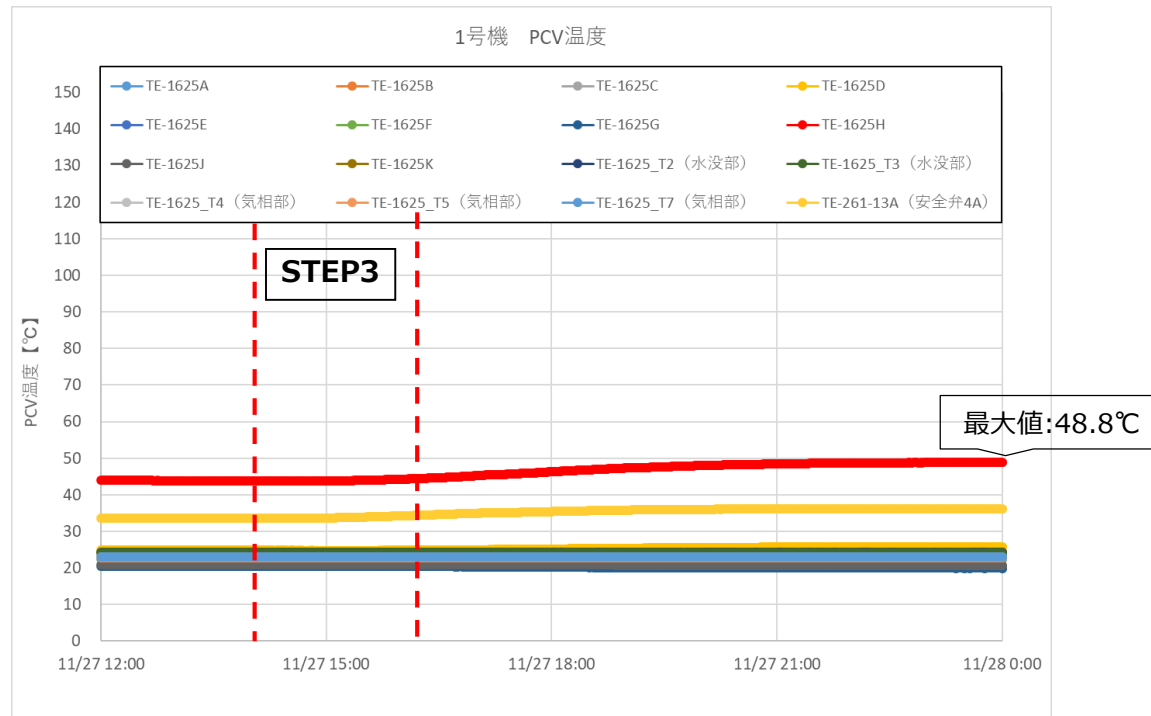


※新設温度計とは、震災後に取り付けた吊り下げ式のPCV温度計のこと

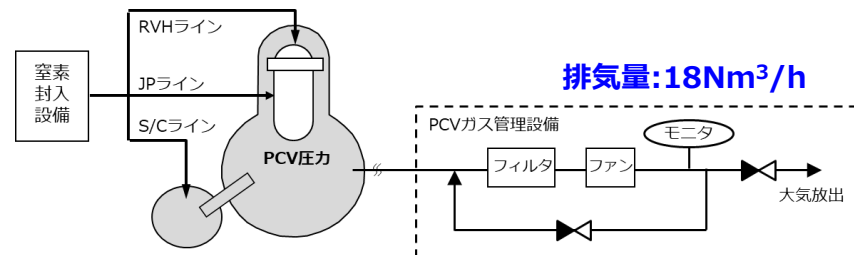
【参考4】試験時の監視パラメータ（PCV温度 STEP3）

STEP3 :

- ✓ STEP1,2に比べ緩やかに上昇し、試験終了後約8時間上昇を継続
- ✓ 新設温度計※は温度変化していない



窒素封入量:0Nm³/h

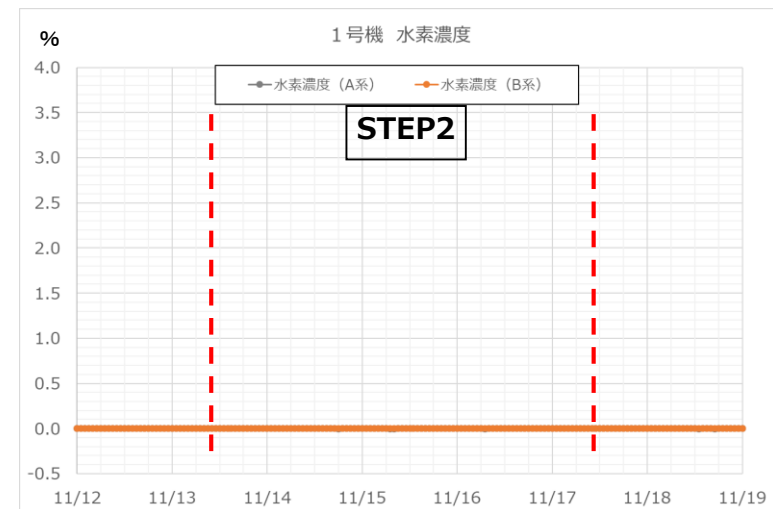
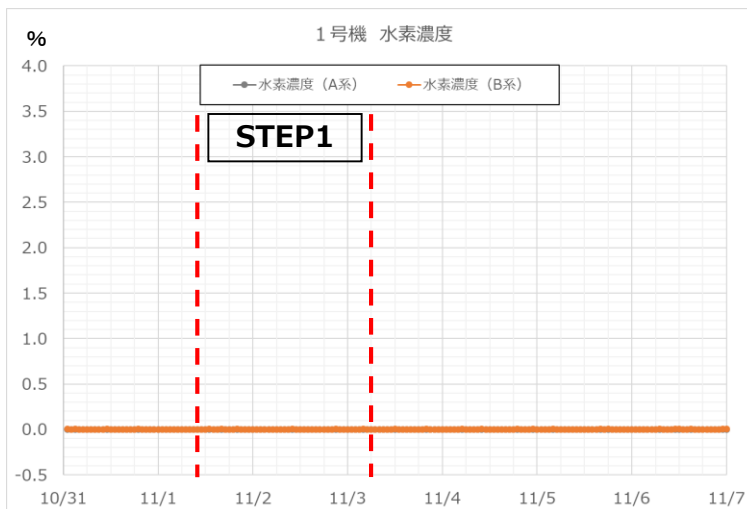
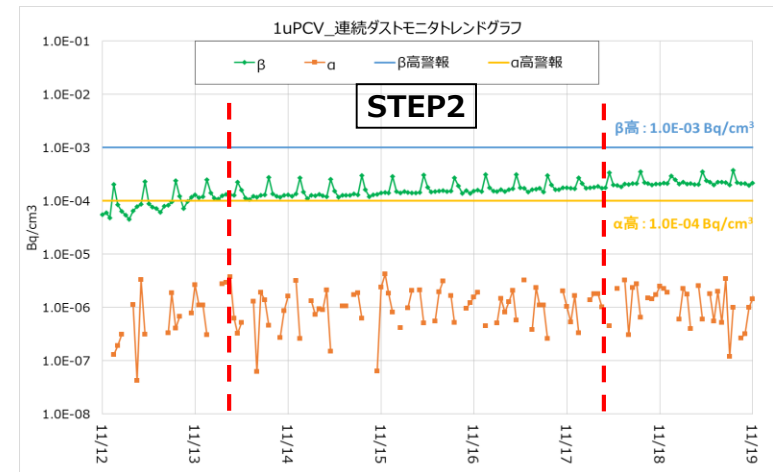
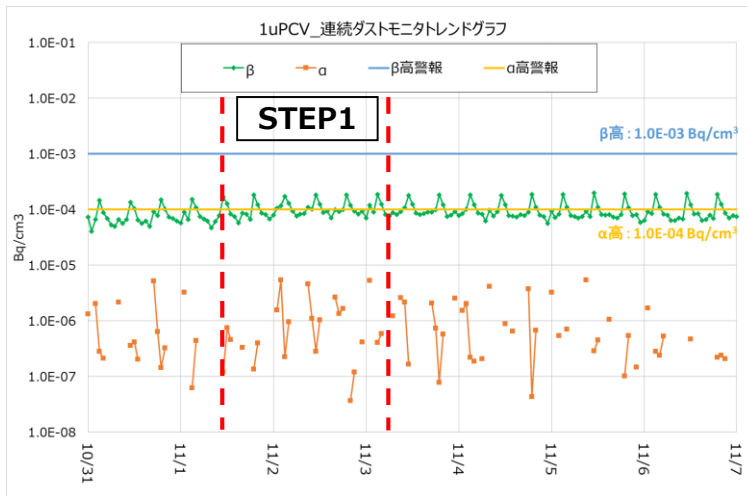


※新設温度計とは、震災後に取り付けた吊り下げ式のPCV温度計のこと

【参考4】試験時の監視パラメータ（放射能濃度/水素濃度 STEP1,2）

STEP1,2 :

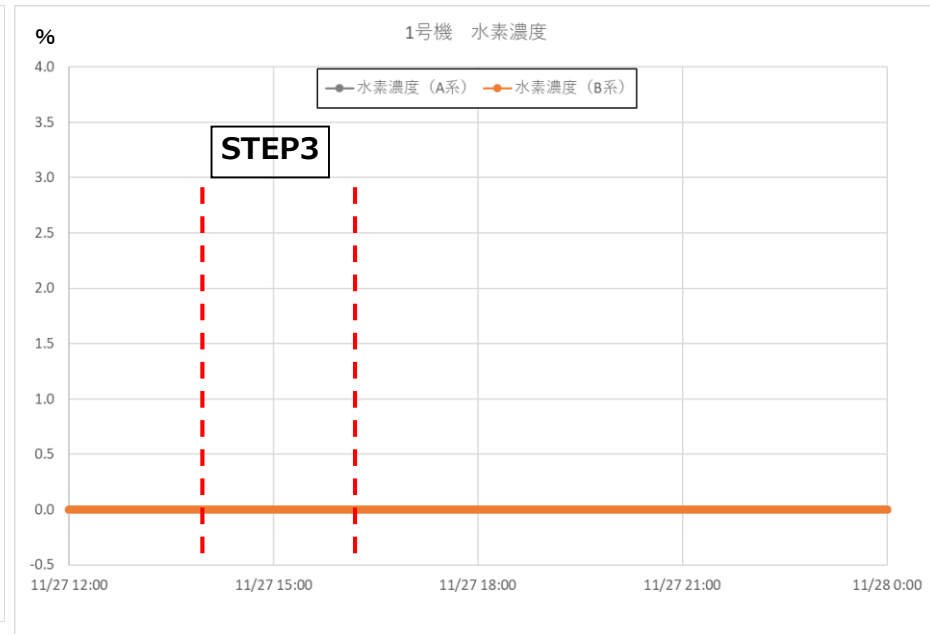
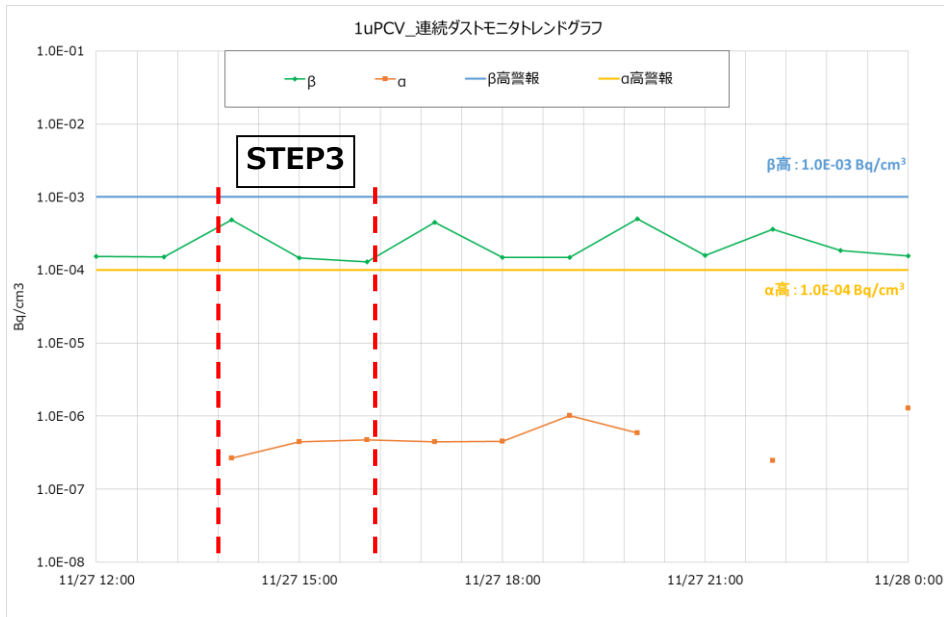
- ✓ 共に仮設ダストモニタの放射能濃度は試験に伴う有意な変化は確認できなかった
- ✓ 共に水素濃度は変化していない



【参考4】試験時の監視パラメータ（放射能濃度/水素濃度 STEP3）

STEP3 :

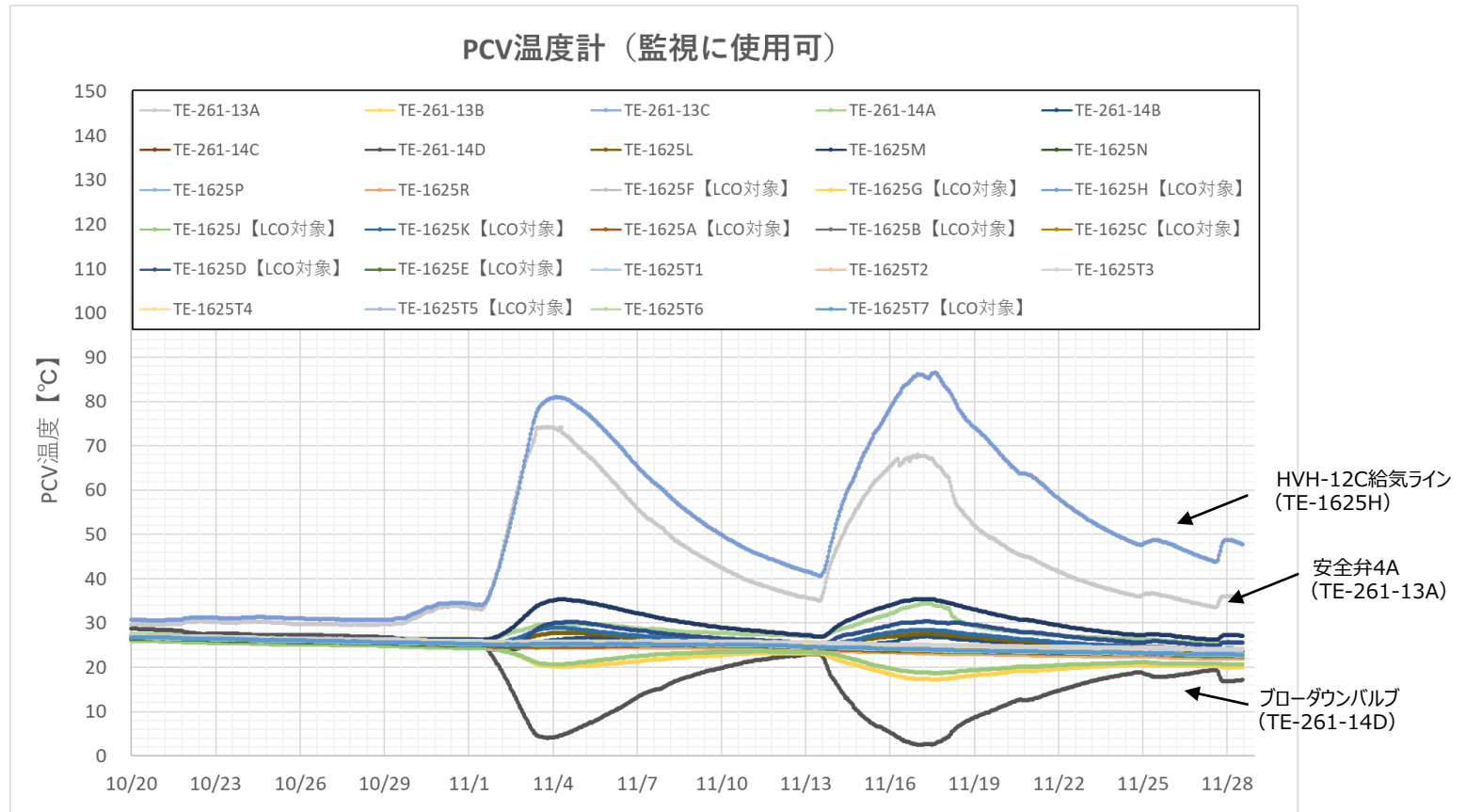
- ✓ 仮設ダストモニタの放射能濃度は試験に伴う有意な変化は確認できなかった
- ✓ 水素濃度は変化していない



【参考4】試験時の監視パラメータ以外のPCV/RPV温度（1/2）

■ PCV温度計の挙動を以下に示す

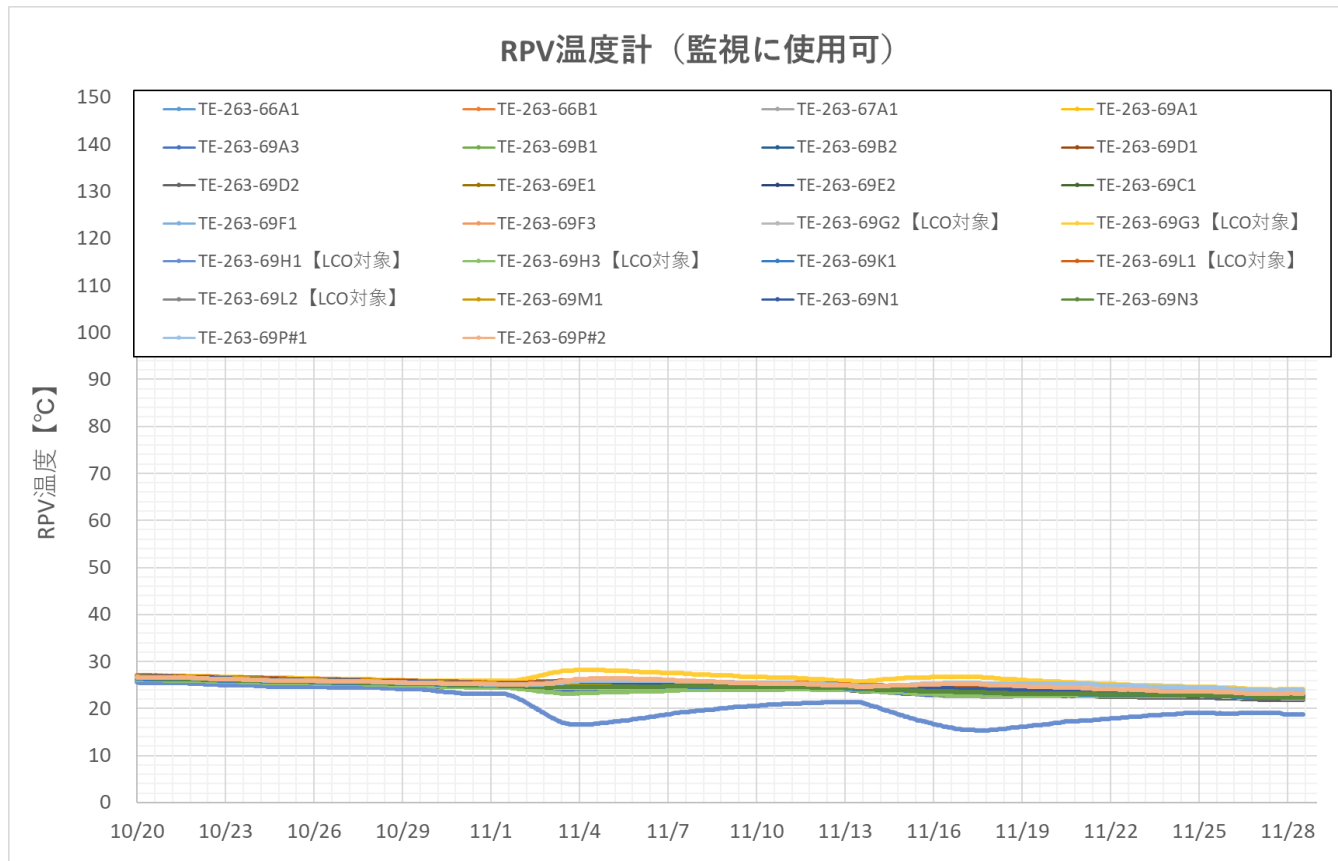
- ✓ 今回監視対象としなかった温度計についてもトレンドを確認
- ✓ 中には大きく温度低下している温度計も確認されている



【参考4】監視パラメータ以外のPCV/RPV温度（2/2）

■ RPV温度計の挙動を以下に示す

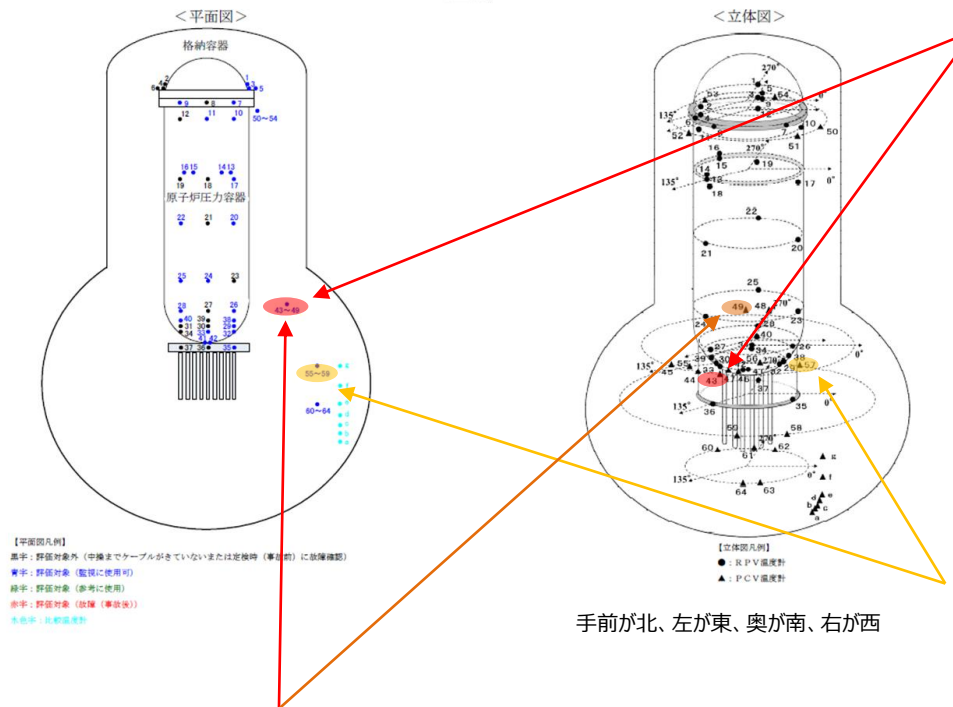
- ✓ PCV温度に比べて変化は小さいものの、一部温度低下しているものなどが確認されている



【参考4】PCV/RPV温度計の配置

RPV/PCV温度計配置図

1号機



①安全弁4A（TE-261-13A） **温度上昇**
 設置高さ：TP15214付近
 設置方位：北北東

②HVH12C供給ライン（TE-1625H） **温度上昇**
 設置高さ：TP12564付近
 設置方位：南南西

③ブローダウンバルブ（TE-261-14D） **温度低下**
 設置高さ：TP15614付近
 設置方位：南東

【参考4】試験実績

試験 ステップ	目的	窒素封入量と排気量										
		試験予定日	—	11/1～	—	11/3～	11/13～	—	—	11/17～	11/27	—
試験前	通常の運転状態			窒素封入量：32Nm ³ /h 排気量：18Nm ³ /h								
1 (1)	窒素封入量の減少 排気量増加による 影響確認			窒素封入量：25Nm ³ /h 排気量：23Nm ³ /h								
1 (2)		実施せず		窒素封入量：19Nm ³ /h 排気量：25Nm ³ /h								
通常状態	次ステップへの 移行準備					窒素封入量：32Nm ³ /h 排気量：18Nm ³ /h						
2 (1)	窒素封入量減少による 影響確認					窒素封入量：24Nm ³ /h 排気量：17Nm ³ /h						
2 (2)	排気ファンの性能差確認 (B系⇒A系⇒B系)					窒素封入量：24Nm ³ /h 排気量：18Nm ³ /h						
2 (3)	窒素封入量減少による 影響確認					窒素封入量：16Nm ³ /h 排気量：18Nm ³ /h						
通常状態	次ステップへの 移行準備					窒素封入量：32Nm ³ /h 排気量：18Nm ³ /h						
3	窒素封入停止による 影響確認					窒素封入量：0Nm ³ /h 排気量：18Nm ³ /h						
試験終了	通常の運転状態					窒素封入量：32Nm ³ /h 排気量：18Nm ³ /h						
実施計画Ⅲ 第1編 第32条適用 (計画的に運転上の制限外へ移行)			※3	11/1～11/6			11/13～11/20			※4 11/27～11/28		

窒素封入量

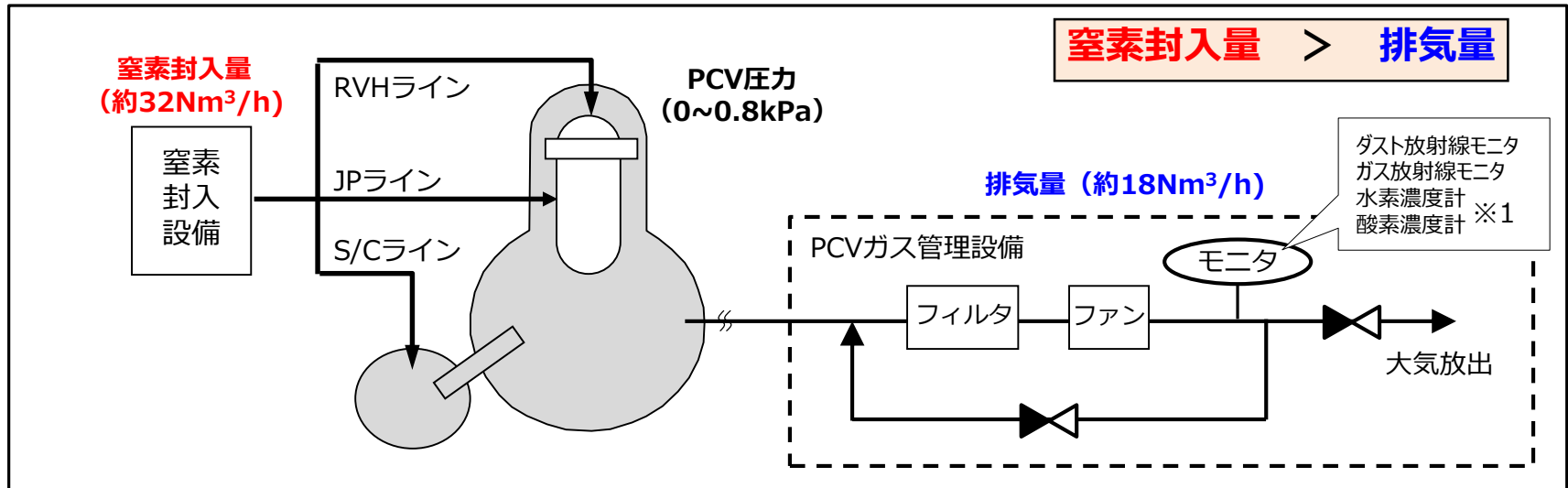
排気量

※3 実施計画Ⅲ 第1編 第18条 運転上の制限「PCV内温度の著しい温度上昇傾向」に抵触する想定

※4 実施計画Ⅲ 第1編 第25条 運転上の制限「必要な窒素封入量が確保されていること」に抵触

【参考5】通常時の窒素封入量と排気量について

〈1号機_通常時の状態（窒素封入量／排気量）〉



- ※1 PCVから排気したガスを用いて、水素／酸素濃度測定を実施
PCVガス管理設備のモニタ系が通気状態であれば、窒素封入量がゼロでも測定可
検出器の種類は以下の通り
- ・水素濃度計（熱伝導度式水素濃度検出器）
 - ・酸素濃度計（隔膜ガルバニ電池式酸素濃度検出器）