

福島第一原子力発電所 3号機圧力抑制室内滞留ガスのパージ作業 (パージ作業期間短縮対策②および対策①の今後の予定について)

< 参 考 資 料 >
2024年7月23日
東京電力ホールディングス株式会社
福島第一廃炉推進カンパニー

- 福島第一原子力発電所3号機圧力抑制室(S/C)は、震災以降、窒素封入の実績が無いことから、事故時に発生したガスが滞留しています。これらの滞留ガスは、原子炉格納容器(PCV)保有水によりS/C内で密閉され、安定した状態であると推定していますが、水素燃焼に至るリスクを低減することで原子力安全の更なる向上を目的に、滞留ガスを放出した場合の敷地境界における実効線量を評価し周辺公衆に与える放射線被ばくのリスクは極めて小さいと判断したうえで、S/C内滞留ガスのパージ(掃気)作業を、2023年12月19日から行っています。
- パージ作業においては、ガスパージ設備により、ガスの流量・圧力を監視しながら、S/C内の滞留ガスをPCV(D/W※)内に送気し、PCV内に封入している窒素ガスで滞留ガスを希釈することで、放射性物質の濃度をさらに可能な限り低減するとともに、PCVガス管理設備により、水素・希ガス・ダスト濃度等のPCVパラメータを監視しており、予め定めているPCVパラメータ管理方針の範囲内の変動であることを確認しています。
- また、水素燃焼に至るリスクを可能な限り早期に低減することを目的に、以下の対策を計画しています。
対策① PCV(D/W)水素濃度管理値の段階的な増加に伴うパージ量(m³/週)の増加
対策② PCVガス管理設備排気量およびPCV窒素封入量の段階的な増加に伴うパージ量(m³/週)の増加
対策③ (①,②の実施状況を踏まえ検討継続) ガスパージ設備の改造も含めたパージ流量(m³/h)の増加

※ ドライウェル：原子炉圧力容器を包み込むフラスコ型の部分 <以上、2023年9月28日,11月9,16日,12月18日,2024年4月26日,6月13日,7月22日までに知らせ済み>

- パージ作業期間短縮対策②を6月17日から開始しています。1回目の増加は、PCV窒素封入量(封入量)とPCVガス管理設備排気量(排気量)を予定していた流量まで増加したものの、2回目の増加(6月24日,7月11日)においては、封入量は増加したものの、排気量は予定していた値まで増加しなかったことから、増加操作を一旦立ち止まり、原因を確認していました。
- 排気量が増加しなかった推定原因は、PCVガス管理設備の系統のうち圧損が高い(管路が細い)箇所において、圧損の低減が必要となり、これまで弁開度を調整することで圧損の低減を図ってきましたが、PCVとの接続部(内径約2cm)は調整することができないため、この口径に由来する以上の流量が出なかった可能性があるものと考えています。(スライド4参照)
- そのような可能性はあるものの、明日(7月24日)、2回目の増加を試みる予定です。具体的には、これまで調整を行っていた排気ファン出口弁(F036)および放熱器バイパス弁(F011,F014)の操作に加え、再循環ラインポリウムダンパー(VD003)を操作(開度を小さく)することで、排気量が増加しないか、改めて確認する予定です。(スライド4参照)
- また、今後準備が整い次第、対策①(スライド6参照)についても実施する予定です。対策①②は、それぞれ独立した対策であり、対策②の状況に依らず、対策①についても進める予定です。
- なお、7月19日、パージ作業現場(原子炉建屋(R/B)1階)において、約10ppm(0.001%,なお可燃限界は4万ppm=4%)の水素濃度を確認しており、R/B内での確認調査も行う予定ですが、これまでの一連の作業において、PCVパラメータは、予め定めている管理方針の範囲内での変動であることを確認しています。引き続き、安全を最優先に作業を進めてまいります。

ページ作業期間短縮対策②の主な作業手順、リスクと対策

● PCVガス管理設備排気量およびPCV窒素封入量増加の主な作業手順

(単位:m³/h)

	(現状)	1回目の増加	2回目の増加
PCV窒素封入量	約19	①約22 (1週間程度監視後)	③約24
PCVガス管理設備排気量	約22	②約25	④約27

- ① 封入量を約19→約22m³/hに増加 (増加前にPCV酸素濃度測定、6月17日実施)
- ② 排気量を約22→約25m³/hに増加 (増加数日後にPCV酸素濃度測定、酸素濃度測定結果を踏まえページ作業、6月17日実施)
- ③ 封入量を約22→約24m³/hに増加 (増加前にPCV酸素濃度測定、今回実施)
- ④ 排気量を約25→約27m³/hに増加 (増加数日後にPCV酸素濃度測定、酸素濃度測定結果を踏まえページ作業、今回実施)

<考え方>

- i. 排気量は、過去に運転実績のある約27m³/hを一旦の目途とする(今回の実績を踏まえ、今後、更なる段階的な増加を検討)
- ii. PCV外からPCV内へ酸素が流入してくることを抑制するため、封入量を先に(排気量を後に)増加する
- iii. 封入量と排気量の増加量は同一とする
- iv. 封入量と排気量の2回目の増加から1週間程度監視後、ページ量を増加する(約16→約19m³/週を予定)

● PCVガス管理設備排気量およびPCV窒素封入量増加のリスクと対策

	リスク	対策
PCVパラメータの有意な変動	水素・希ガス・ダスト濃度等が、予め定めている管理方針の範囲を超える	排気量・封入量を現状に戻す
PCV酸素濃度の有意な変動	PCVガス管理設備ファン上流部の酸素濃度が、継続的な上昇傾向を示す	PCV窒素封入量を増加させる
R/B※1(MSIV※2室)内のダスト濃度上昇	PCVと接続されている主蒸気配管の開口部からPCV雰囲気(ダスト)が漏れいし、MSIV室内のダスト濃度が上昇する	MSIV室があるR/B1階は全域を立入規制する※3
R/B(MSIV室)内の酸素濃度低下(酸欠)	PCVと接続されている主蒸気配管の開口部からPCV雰囲気(窒素)が漏れいし、MSIV室内の酸素濃度が低下する	

左記に加え、MSIV室があるR/B1階北東工エリアの連続ダストモニタ監視を強化する※4

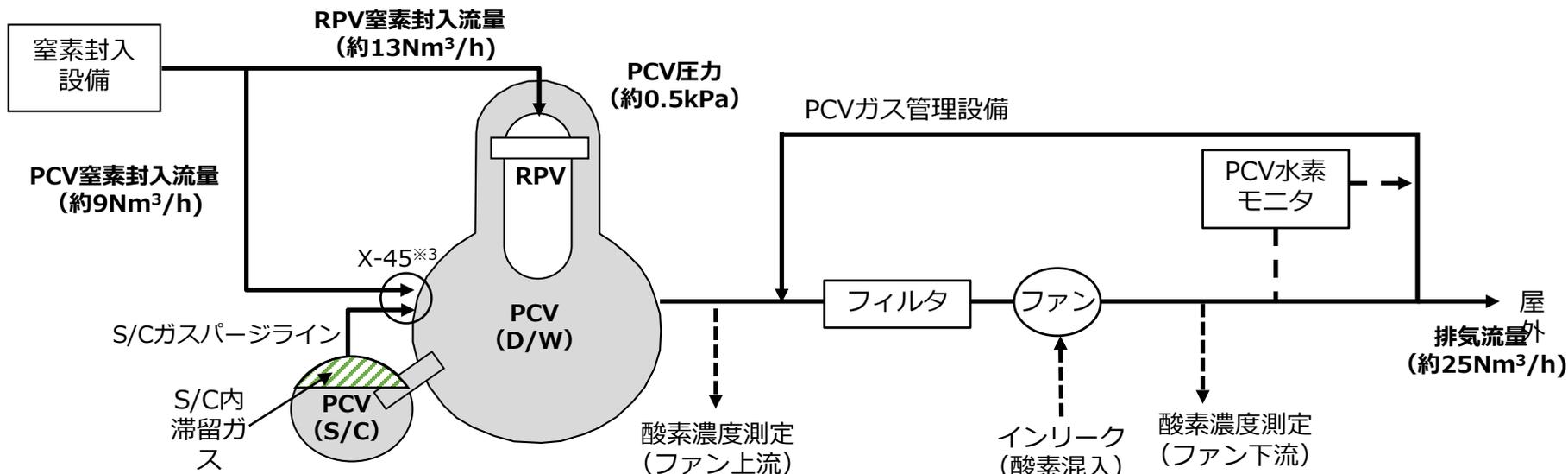
左記に加え、MSIV室に入室する際は、酸素濃度を測定したうえで入室する

※1 原子炉建屋 ※2 主蒸気隔離弁 ※3 実施済み ※4 封入量・排気量増加の翌日まで強化

【参考】PCV給排気流量の増加操作(2回目)について(1/3)

- 2024年6月17日より実施しているS/C内滞留ガスパーシ量増加の為のPCV給排気量の増加について、2024年6月24日、2回目のPCV給排気量の増加操作を実施。PCV給気量（窒素封入設備流量：約 $22\text{Nm}^3/\text{h}$ ）を約 $24\text{Nm}^3/\text{h}$ に増加後、PCV排気量（PCVガス管理設備流量：約 $25\text{Nm}^3/\text{h}$ ）を約 $27\text{Nm}^3/\text{h}$ に増加する操作をしたが、排気流量が増加しないことから操作を中止した。
- なお、現在の窒素封入量及びガス管理設備排気流量は操作前の流量に戻している。また、PCV圧力・ダスト濃度・水素濃度等関連パラメータについては、異常がないことを確認。
- パーシ作業については、6月26日 排気ファン上流（D/W側）の酸素濃度0%であることを確認し、6月27日から1回目の増加したPCV給排気量にて再開。
- 7月11日、放熱器のバイパスラインを開運用することにより、PCV排気流量（PCVガス管理設備流量：約 $25\text{Nm}^3/\text{h}$ ）を約 $27\text{Nm}^3/\text{h}$ に増加を試みたが、PCV排気流量の増加は確認できなかった。

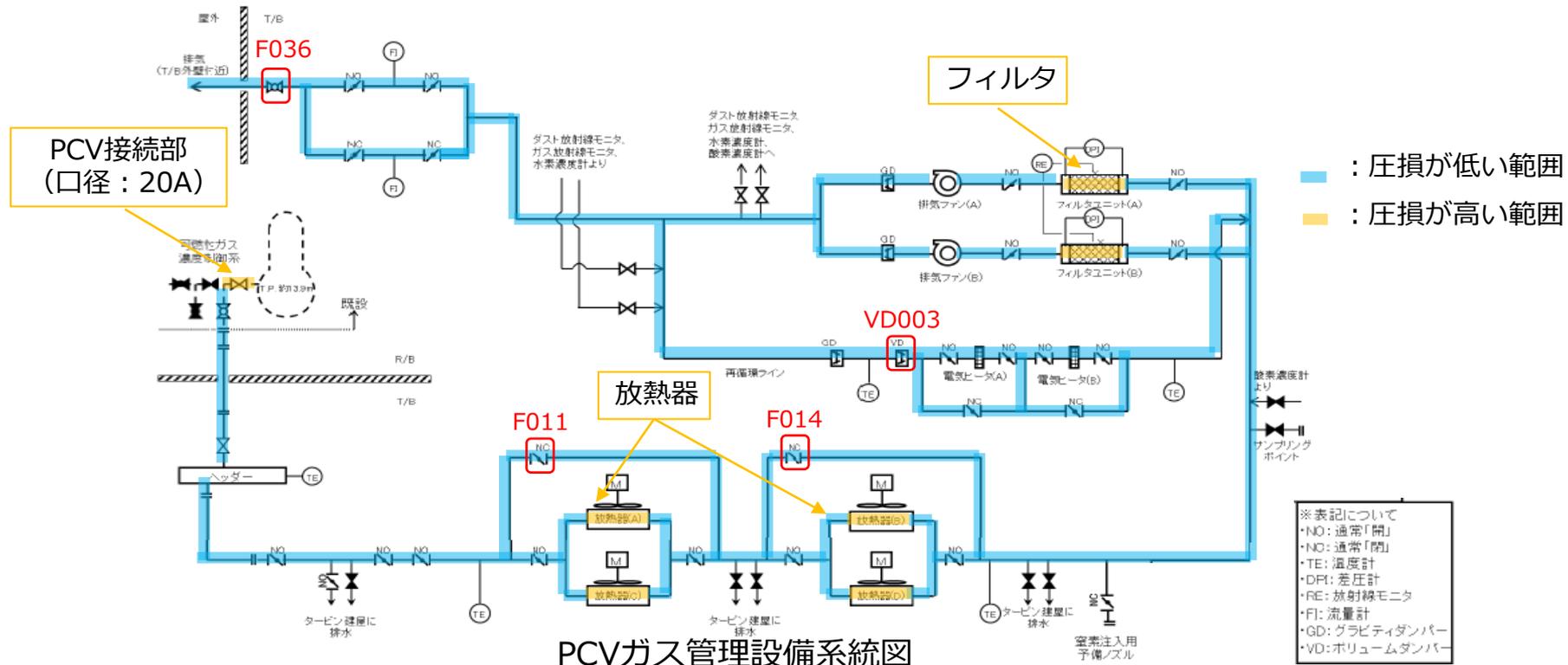
現状（2024年6月24日の操作中断後）の3号機PCV給排気量



【参考】PCV給排気流量の増加操作(2回目)について(2/3)

TEPCO

- 流量増加(2回目)の操作は、6/24に系統の出口弁(F036)の開操作を行い、7/11に放熱器バイパスラインの弁(F011, F014)の開操作を実施。
- PCVガス管理設備の排気流量増加のためには、PCVガス管理設備の系統(排気ファン入口側)で圧損が高い(管路が細い)箇所の低減、または再循環ラインの流量調整を想定。
- 圧損が高い範囲と低い範囲を下图に示す。圧損が高い範囲は、PCV接続部、放熱器およびフィルタユニットが想定されるが、設備操作可能な範囲で、系統圧損を低減して系統流量(排気流量)の増加が可能なのは、バイパスライン運用による放熱器のみ。今後の排気流量増加については、PCV接続部が律則となり、再循環ラインの流量調整を行っても、排気流量は増加しない可能性もあると考えている。
- PCVガス管理設備の排気量が約 $28\text{Nm}^3/\text{h}$ であったのは、2012年の窒素封入量が現状より高い値(約 $40\sim 45\text{Nm}^3/\text{h}$)で運用していた時期であり、PCV内の環境(PCV水位が高い)も異なり、現状よりもPCVから排気されやすい状況にあった可能性もあると考えている。



【参考】PCV給排気流量の増加操作(2回目)について(3/3)



<PCV給排気量の増加>

- PCVガス管理設備排気流量増加のため、再循環ラインの流量調整を運用し、排気流量の増加が可能であるかの確認を予定（7月下旬）。

<D/W水素濃度管理値の変更>

- 上記作業後、D/W水素濃度管理値の変更を予定。ページ中における水素濃度管理値はパラメータの変動状況に応じて、段階的に引き上げを実施を計画（7月下旬以降）。

【参考】S/C内滞留ガスパーシ作業における課題と対策①

- パーシが完了するまでの期間を短縮するため、段階的にパーシ量増加する方策を実施。

対策①：D/W水素濃度管理値の増加

- 現状の崩壊熱における水の放射線分解による水素発生量を考慮しても、運転上の制限2.5%を満足できる範囲として、警報設定を1.5%から2.0%に見直し（参考15）。
- パーシ作業におけるD/W水素濃度管理値は、警報発報しない範囲である1.75%に見直し（参考15）。
- 見直しによるパーシ期間の短縮効果は、これまでのパーシ実績等を踏まえて下表の通り。なお、期間の試算は、現状のPCV水頭および水素濃度（S/C内滞留ガス）による最大パーシ流量（約2Nm³/h）を前提とする（次頁の期間試算も同様）。

D/W水素濃度管理値 (括弧内はPCVガス管理設備 水素モニタ濃度)	1週間あたりの パーシ可能量（推定）	パーシ期間 (試算) ※	備考
1.0% (0.4%)	約13Nm ³ /週	約31ヶ月	現状の管理方法
1.5% (0.6%)	約20Nm ³ /週	約20ヶ月	現在検討しているパーシ中の管理値
1.75% (0.7%)	約21Nm ³ /週	約19ヶ月	
2.0% (0.8%)	約24Nm ³ /週	約17ヶ月	現在見直しを検討している警報設定
2.5% (1.0%)	約30Nm ³ /週	約13ヶ月	「運転上の制限」と同等
4.0% (1.6%)	約45Nm ³ /週	約9ヶ月	水素可燃限界（保安規定の変更必要）

※起点は、パーシを断続的に実施した2024年2月,3月としている。



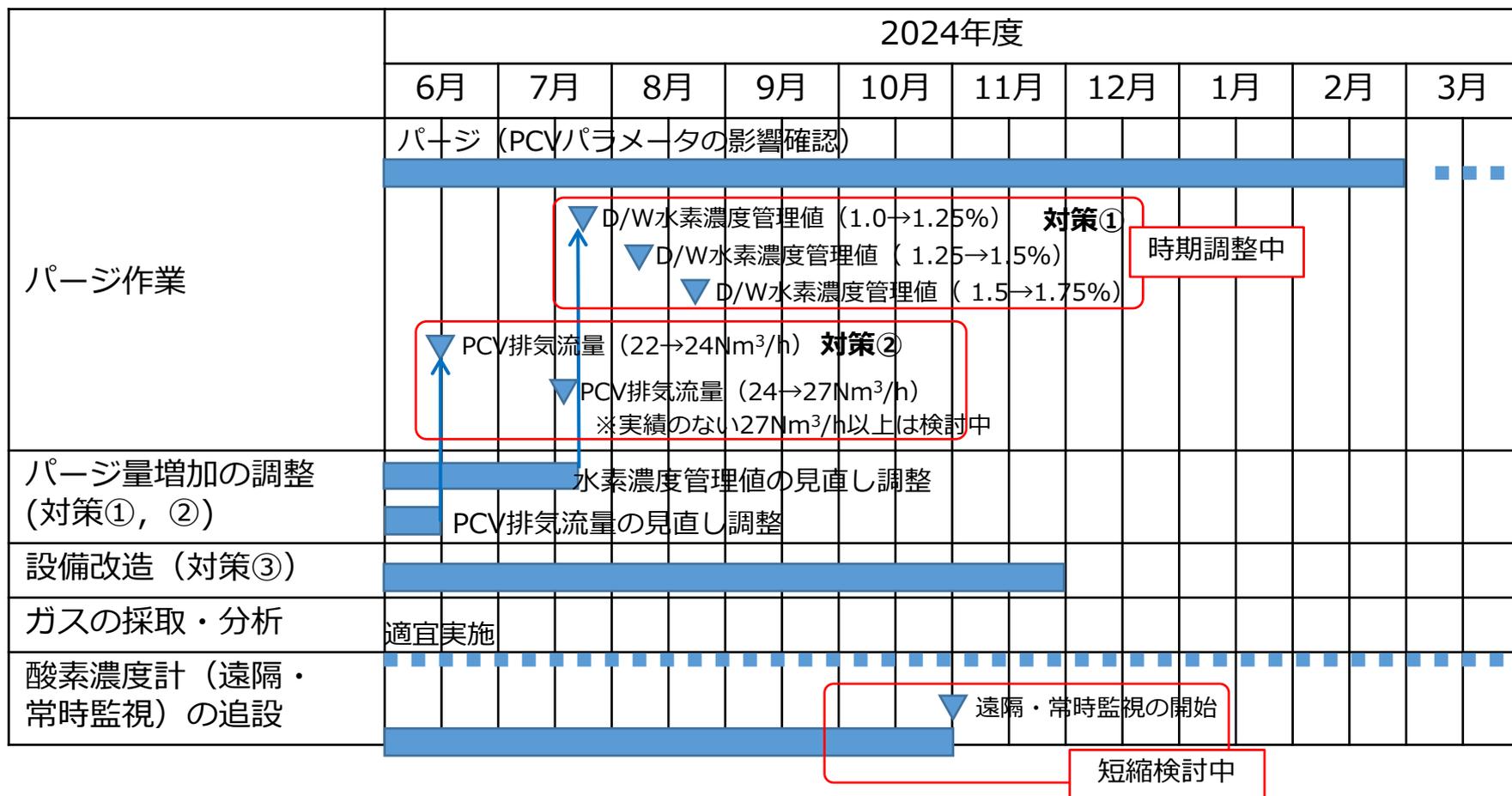
2024年5月にPCV（D/W）側の酸素濃度低減を目的に実施した窒素封入量変更によるパーシ量の増加を反映

D/W水素濃度管理値 (括弧内はPCVガス管理設備 水素モニタ濃度)	1週間あたりの パーシ可能量（推定）	パーシ期間 (試算) ※	残りの パーシ期間※1	備考
1.0% (0.4%)	約16Nm ³ /週	約25ヶ月	約21ヶ月	現状の管理方法
1.5% (0.6%)	約21Nm ³ /週	約19ヶ月	約16ヶ月	現在検討しているパーシ中の管理値
1.75% (0.7%)	約24Nm ³ /週	約17ヶ月	約14ヶ月	
2.0% (0.8%)	約27Nm ³ /週	約15ヶ月	約13ヶ月	現在見直しを検討している警報設定
2.5% (1.0%)	約34Nm ³ /週	約12ヶ月	約10ヶ月	「運転上の制限」と同等
4.0% (1.6%)	約55Nm ³ /週	約8ヶ月	約7ヶ月	水素可燃限界（保安規定の変更必要）

※1 約260Nm³（2024年6月13日時点）のパーシが完了していることを反映

【参考】今後の予定

- PCVガス管理設備ファン上流の酸素濃度計追設は、10月を目途に実施予定（工程短縮検討中）。
- 対策①は、7月下旬以降、D/W水素濃度管理値を1.0%から1.75%に段階的に上昇させる予定。
- 対策②は、6月中旬以降、実績がある27Nm³/hまで段階的に増加予定。それ以上の増加は検討中。
- 対策③は、対策①②の実施状況を踏まえ検討継続。

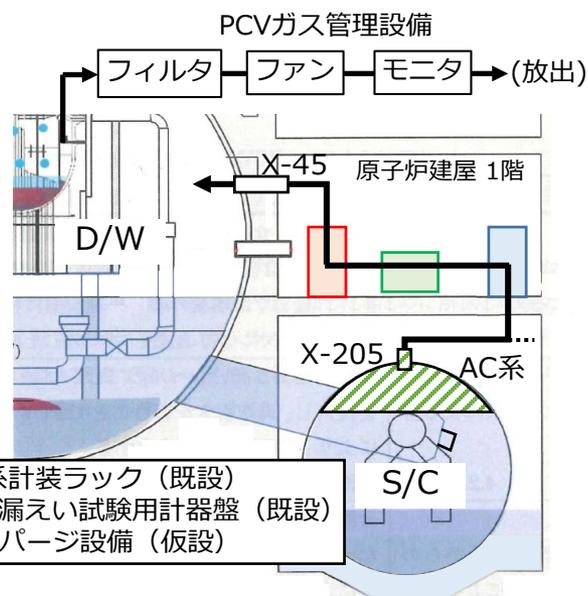


【参考】パージ作業におけるパラメータの管理

- パージ作業により、D/Wへ水素を含む滞留ガスを送気するが、PCVガス管理設備を経由することで、**PCVパラメータ（水素・希ガス・ダスト濃度）を監視しながら放出可能。**
- 同様にS/C内滞留ガスのパージにより、S/C気相部へPCV保有水が移行し、PCV水位が低下する可能性があるため、必要に応じて**パージ作業前に原子炉注水量を調整。**
- ガスパージ設備にて水素濃度の確認やパージ流量の調整が可能であるため、**PCVパラメータ（水素・希ガス・ダスト濃度、水位）に影響を与えないよう慎重に作業を実施。**
- パージ作業は、PCV保有水の水頭によりS/C内滞留ガスをD/Wへパージし、**ガスパージ設備の水素濃度が可燃限界（4%）未満になるまで実施。**系統内に水素が残留する場合は、必要に応じて系統内に窒素を封入する予定。

パージ作業におけるPCVパラメータの管理方針

管理パラメータ	管理方針	管理方針から逸脱する場合
PCV水素濃度	運転上の制限2.5%以下を満足するよう管理。	ガスパージ作業を中止し、濃度が低減することを確認。
PCV希ガス濃度	現状の希ガス濃度から有意な変動が無いよう管理。	ガスパージ作業を中止し、濃度が低減することを確認。
PCVダスト濃度	現状のダスト濃度から有意な変動が無いよう管理。	ガスパージ作業を中止し、濃度が低減することを確認。
PCV水位	PCV水位・温度計の最下位（L1）が気中露出しないよう管理。	ガスパージ作業を中止し、必要に応じて原子炉注水量を増加。
ガス管理設備フィルタ線量計	現状の線量率から有意な変動が無いよう管理。	ガスパージ作業を中止し、線量率が低減することを確認。



パージ作業中のS/C内滞留ガスの流れ

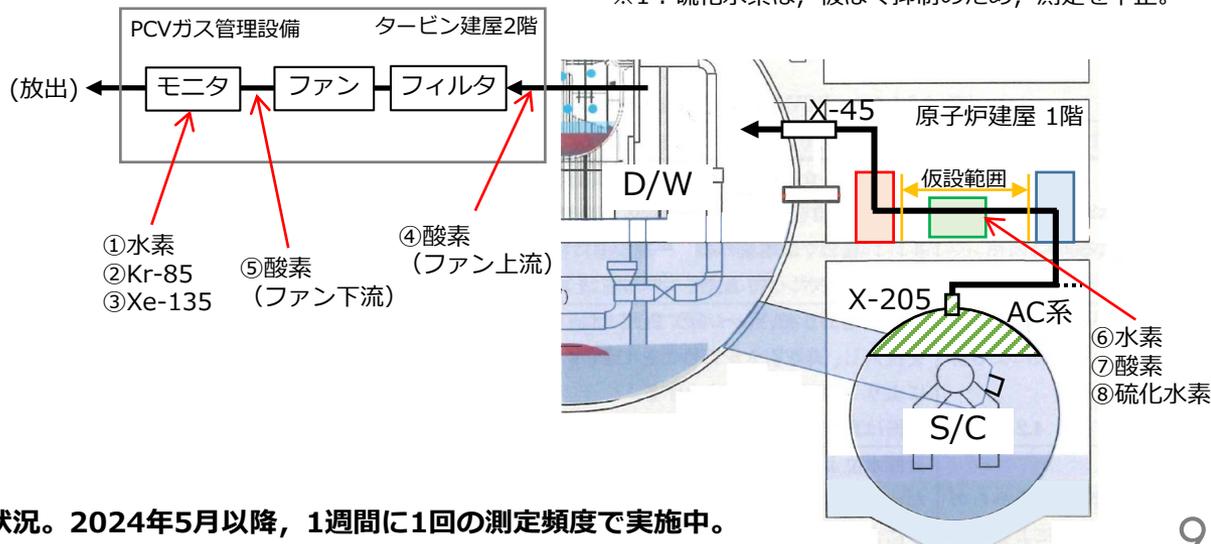
【参考】パーシ作業におけるガス濃度測定状況



	測定項目	測定機器	濃度確認の方法	監視(測定)頻度	
				通常時(パーシ作業外)	パーシ作業中
PCVガス管理設備	①水素	本設モニタ	中央操作室にて遠隔かつ常時の確認可能	6時間毎	15分毎
	②Kr-85				
	③Xe-135				
	④酸素(ファン上流)	ポータブル測定器	タービン建屋内にて作業員が測定(遠隔確認は不可)	2週間に1回, 上流または下流のどちらか一方にて測定。なお, 今後, 遠隔かつ常時の確認ができるよう改良予定。	
	⑤酸素(ファン下流)				
ガスパーシ設備	⑥水素	ポータブル測定器	原子炉建屋内にて作業員が測定(遠隔確認は不可)	-	パーシ開始前に測定※1
	⑦酸素				
	⑧硫化水素				

<補足(PCVガス管理設備の酸素濃度測定)>

- PCVガス管理設備の酸素濃度測定は, ファンのインリーク量を評価するため, ファン下流にて2週間に1回を目安に実施。※1
- PCV閉じ込め機能試験に向けた事前確認のため, ファン上流での酸素濃度測定を2023年12月に実施し, 約2%の酸素を確認。
- 以後, 上流を主に酸素濃度の測定を実施中。なお, 2週間に1回の測定は, 上流または下流のどちらか一方で実施。※1



※: 2週間に1回の測定頻度は2024年4月までの実績状況。2024年5月以降, 1週間に1回の測定頻度で実施中。

【参考】Kr-85による敷地境界における被ばく評価結果



- ガスパージ設備にてガス採取・分析した結果、Kr-85を約 1.46×10^4 Bq/cm³検出^{※1}したことから、Kr-85放出による敷地境界における被ばく影響の評価を実施。
- 今回確認したKr-85濃度およびS/C内滞留ガスの体積（約1600Nm³）^{※2}を考慮し敷地境界における実効線量を評価した結果、低い値（約 3.8×10^{-4} mSv）に留まることを確認。
- 当該値は、「1～4号機原子炉建屋からの追加的放出量の評価結果^{※3}」にて示す評価値（ 4×10^{-5} mSv/年）よりは大きいが、「年間1mSvを満足する気体放出による評価値（ 3×10^{-2} mSv/年）」よりは十分小さいため、周辺公衆に与える放射線被ばくのリスクは小さいと考えている。

<補足>

「1～4号機原子炉建屋からの追加的放出量の評価結果」は毎月公表しているが、今後、パージ作業の進捗に合わせて評価値が若干増加する可能性があるが、作業実績を踏まえ当該評価に適宜反映していく。

※1：今回、採取・分析したガスはAC系配管を含むS/C頂部のガスの一部であるため、パージ作業の進捗に応じてKr-85濃度の傾向を確認するため適宜、分析を実施。

※2：S/C気相部圧力をガスパージ設備にて計測し、PCV水頭を算出。PCV（D/W）水位と水頭からS/C内部の水位を推定し、S/C内滞留ガス体積を算出。当該体積は、PCV（D/W）水位の測定計器の誤差等による不確かさを有するが、「年間1mSvを満足する気体放出による評価値（ 3×10^{-2} mSv/年）」と比べ十分に小さいことから、被ばく評価への影響は小さいと考える。

※3：2023月11月28日公表