

3号機 S/C内滞留ガスパーシ作業の状況について

2024年6月20日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

0. 目次 (1/2)

本文	参考
1. 3号機PCV内雰囲気管理について※	
2. S/C内滞留ガスパーシ作業の実施状況※	参考1. パーシ着手前のS/C内滞留ガスの測定・分析結果 参考2. ガスパーシ設備の概要 参考3-1. S/C内滞留ガスのパーシ方法の比較 参考3-2. S/C頂部（気相部）のガス抽出箇所と比較 参考3-3. 屋外への直接パーシに関する検討
3. S/C内滞留ガスによる現状のリスクと対策	参考4-1. S/C内滞留ガスの濃度分布 参考4-2. S/C内滞留ガスの濃度推移※
4. S/C内滞留ガスパーシ作業によるリスクと対策 4-1. <u>パーシ作業によるD/W内での水素ガス局所滞留の可能性</u> 4-2. <u>D/W内での水素燃焼によるダスト影響の検討（水素燃焼の可能性）</u> 4-3. <u>D/W内での水素燃焼によるダスト影響の検討（敷地境界での実効線量評価）</u>	参考5. 3号機S/Cの耐震性 参考6. <u>ダスト濃度推移を踏まえたAWJ作業時のPCV内の攪拌想定</u> 参考7. <u>D/W内での水素燃焼発生の可能性</u> 参考8. <u>PCV内ダスト付着面積</u> 参考9-1. <u>PCVガス管理設備のファン上流側（D/W側）の酸素濃度</u> 参考9-2. <u>PCVガス管理設備のファン上流側（D/W側）の酸素濃度の測定方法</u> 参考9-3. <u>PCV窒素封入量変更の詳細</u> 参考9-4. <u>ファン上流側（D/W側）酸素濃度低減に必要なPCV窒素封入量</u> 参考9-5. <u>ファン上流側（D/W側）の酸素濃度に関する考察</u> 参考10. <u>ガスパーシ作業の監視状況</u> 参考11. <u>Kr-85による敷地境界における被ばく評価結果</u> 参考12. <u>パーシ作業時における被ばく低減対策</u>

【補足】 __は、特定原子力施設監視・評価検討会(2024/4/26)以降、追加したもの。

※は、パーシ作業の進捗に伴い得られた情報等を更新・反映したもの。

本文	参考
<p>5. S/C内滞留ガスパーシ作業における課題と対策</p> <p>5-1. S/C内滞留ガスパーシ作業における課題と対策①</p> <p>5-2. S/C内滞留ガスパーシ作業における課題と対策②</p> <p>5-3. S/C内滞留ガスパーシ作業における課題と対策③</p> <p>5-4. 今後のパーシ作業の進め方</p>	<p>参考13. パーシ作業によるPCV水素モニタの変動状況</p> <p>参考14. PCV窒素封入量増加による水素濃度低減効果</p> <p>参考15. 運転上の制限および警報設定の考え方</p> <p>参考16. 対策② (PCV給排気量の増加) の進め方</p> <p>参考17. 対策①および②による1週間あたりのパーシ可能量</p> <p>参考18. D/W内での水素燃焼によるダスト影響の検討 (敷地境界での実効線量評価) (パーシ量増加の方策を実施した場合)</p> <p>参考19. PCV(D/W)水位上昇のための原子炉注水量</p> <p>参考20. パーシ作業後に残留するガスの対応</p> <p>参考21. パーシ作業後に残留するガスの排出検討</p>
<p>6. 今後の予定※</p>	
	<p>参考22. パーシ作業におけるパラメータの管理</p> <p>参考23. パーシ作業によるPCVパラメータ (希ガス・PCV水位) の変動状況</p> <p>参考24. S/C内滞留ガスの性状が変化した場合の対応</p> <p>参考25. パーシ期間中におけるXe-135の管理見直し</p> <p>参考26. S/C内滞留ガスがD/W内瞬時拡散する場合の水素濃度推移評価</p> <p>参考27. パーシ作業におけるガス濃度測定状況※</p> <p>参考28-1. 3号機PCV酸素濃度の推移と対応策</p> <p>参考28-2. 3号機 PCVガス管理設備酸素濃度・排気流量・窒素封入量の関係</p> <p>参考28-3. 3号機 PCVガス管理設備水素濃度・酸素濃度の関係</p> <p>参考28-4. 酸素濃度変動の要因</p> <p>参考28-5. PCVガス管理設備系統図</p> <p>参考29. 過去の類似作業における測定・分析結果</p> <p>参考30. 1・2号機のS/C窒素封入の状況</p> <p>参考31. PCV(S/C)水位低下関連作業の工程 (予定) ※</p>

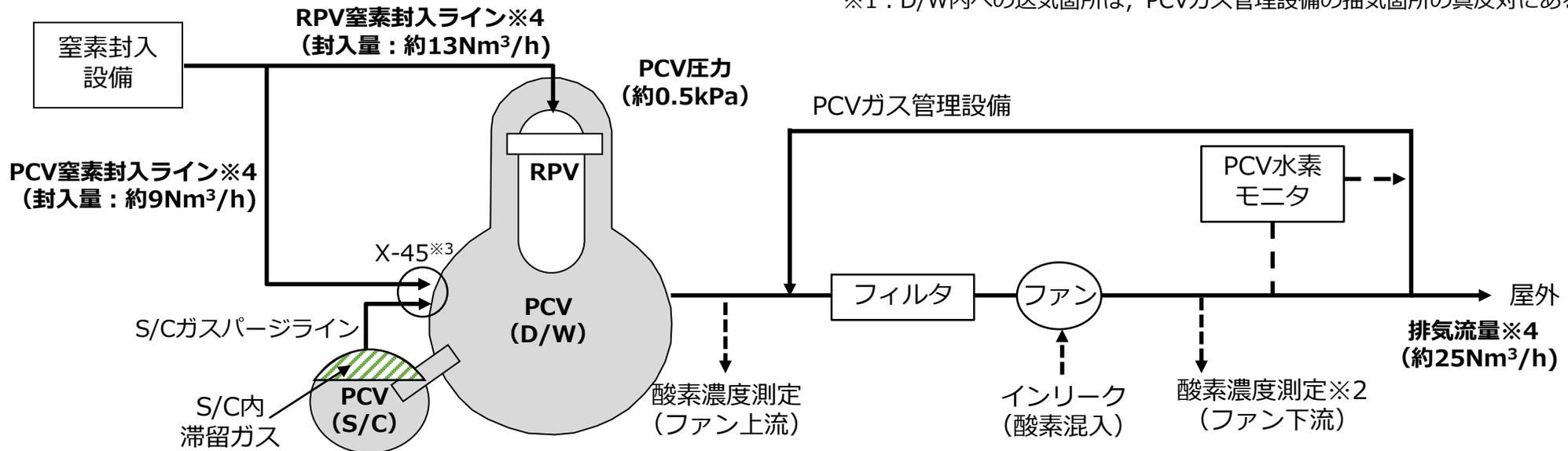
【補足】 __は、特定原子力施設監視・評価検討会(2024/4/26)以降、追加したもの。

※は、パーシ作業の進捗に伴い得られた情報等を更新・反映したもの。

1. 3号機PCV内雰囲気管理について

- PCV内は、原子炉圧力容器（RPV）頂部から窒素を封入することで不活性（水素濃度を可燃限界未満）にするとともに、PCVガス管理設備にてPCV（D/W）から抽気して、モニタリングしながら屋外に送気している。なお、PCV窒素封入量（約22Nm³/h）は、PCVガス管理設備排気流量（約25Nm³/h）より少ないが、ファンのインリーク分も含めて排気しているため、PCV（D/W）は微正圧であると考えている。
- S/Cには、事故時に発生したガスが滞留していることを確認しており、ガスパーズ作業を行っているところ。ガスパーズ作業においては、S/C内滞留ガスをD/W内に送気^{※1}しており、ガスはD/W内で拡散してからPCVガス管理設備にて屋外に放出されている状況。
- パーズ期間は長期を見込むため、短縮策として、PCV窒素封入量およびPCVガス管理設備排気流量を増加している。

※1：D/W内への送気箇所は、PCVガス管理設備の抽気箇所の真反対にある。



※2：酸素濃度（ファン下流）は、D/W内の水素濃度管理値を評価することを目的に定期的に測定している。
 ※3：PCVへの窒素封入箇所は、S/C内滞留ガスをD/Wに送気している配管と同じX-45ペネトレーションの配管。
 ※4：窒素封入設備およびPCVガス管理設備の流量は、定期的な運転号機の切替により流量変動が生じる。

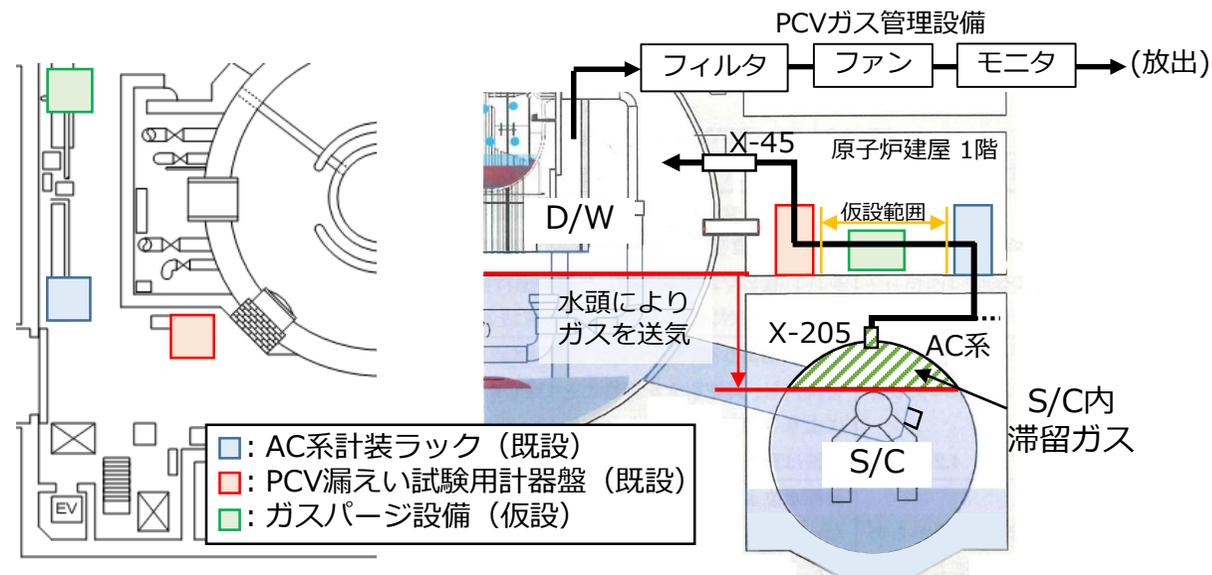
2. S/C内滞留ガスパーシ作業の実施状況

<S/C内滞留ガスの性状等>

- S/C内滞留ガスの性状確認を行った結果、水素濃度は約75%、酸素濃度は約1%、体積は約1600Nm³（参考1）。2023年12月19日よりパーシ作業を開始、これまで約260Nm³（2024年6月14日時点）をパーシしている。

<パーシ作業の実施状況>

- パーシ作業は、既設のAC系計装ラック（S/C頂部に接続）とPCV漏えい試験計器盤（D/W気相部に接続）をガスパーシ設備（仮設）を介して接続（参考2）。
- D/WとS/Cの水位差を利用しS/C内滞留ガスをD/W内に送気し、PCVガス管理設備により外気に放出。



パーシ作業で使用する設備の配置（3号機R/B 1階西側）

参考1. パージ着手前のS/C内滞留ガスの測定・分析結果

- ガスパージ設備にて濃度測定（水素，酸素，硫化水素）※1およびガス採取・分析（Kr-85）※2し，S/C内滞留ガスの性状について下記結果が得られた。

分析項目	分析結果※3
水素	約75%
酸素	約1%
硫化水素	O.S.※4
Kr-85	約 $1.46 \times 10^4 \text{Bq/cm}^3$

採取日：2023年11月9日

※1：ポータブル式の濃度計をガスパージ設備に取り付け測定。測定は，パージ開始前に実施（頻度は濃度推移により適宜見直し）。

※2：ガスパージ設備に取り付けたシリンジにてS/C内滞留ガスを採取し，1 F 構内の分析施設にて分析。分析は，月1回程度を目安に実施。

※3：現状の測定・分析結果は，水素が大半を占め，その他ガスとして窒素が想定されるが（事故前，PCV不活性維持のため窒素封入していたため），パージ作業の進捗に応じて濃度傾向を確認するため，適宜，濃度測定を実施。

※4：O.S.(オーバースケール)。測定上限は30ppm(=百万分の30)以上であるが，計器の特性上，水素濃度の影響を受け，O.S.となった可能性あり。そのため至近は，被ばく低減のため測定を中止（水素濃度の低下が確認された場合，再計測を予定）。

- 滞留ガスの測定・分析の結果，Kr-85が検出されたことから，事故時に発生したガスがS/C内に滞留していたものと推定。本結果は，今後，事故調査に活用していく。

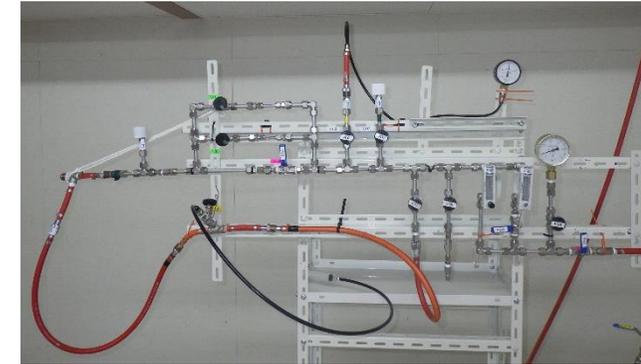
参考2. ガスパージ設備の概要

<S/C内滞留ガスの濃度測定>

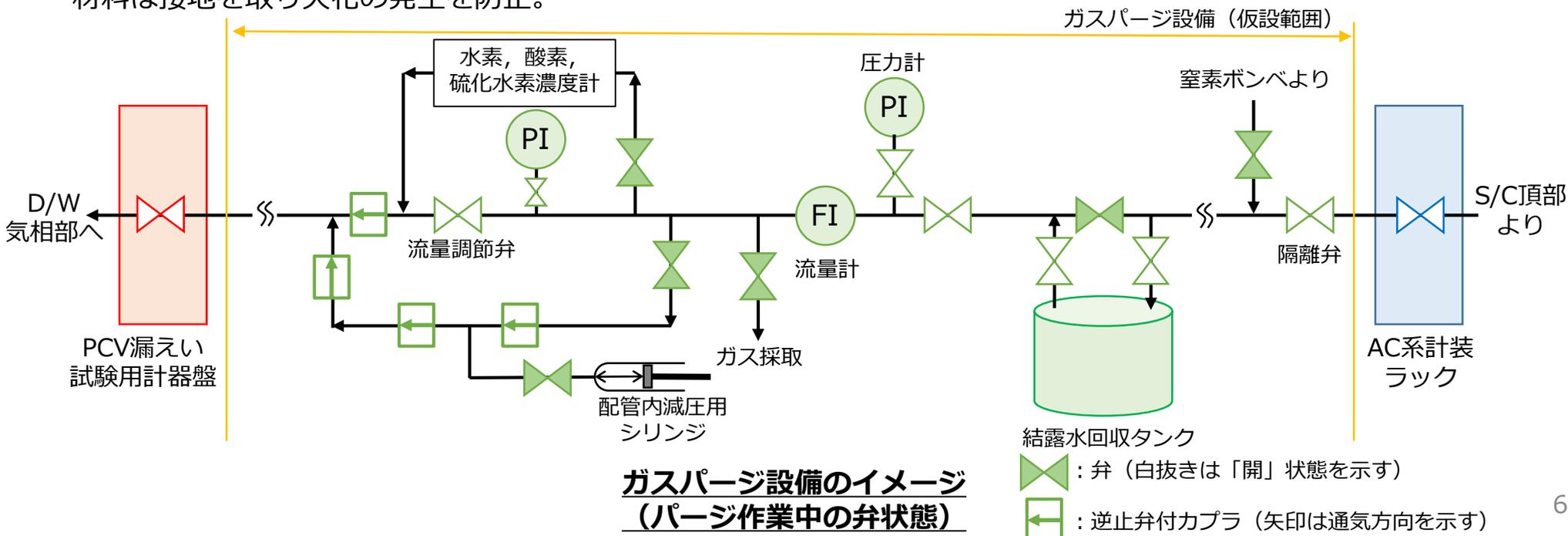
- D/WとS/Cの水位差にて送気されるS/C内滞留ガスは、ガスパージ設備にて濃度測定（水素，酸素，硫化水素）およびガスの採取（Kr-85分析）を実施。

<安全対策>

- PCV不活性維持（D/W水素濃度を可燃限界未満）のため、S/C内滞留ガスの送気流量を調整。現状は、不活性維持に影響無いことを確認した上で最大流量（約2Nm³/h）にてパージを実施。
- ガスパージ設備の漏えい対策としては、現場据付前に漏えい確認を実施。
- 水素燃焼対策は、可燃ガス用の機器（ホース，弁，カプラ）の使用，金属材料は接地を取り火花の発生を防止。



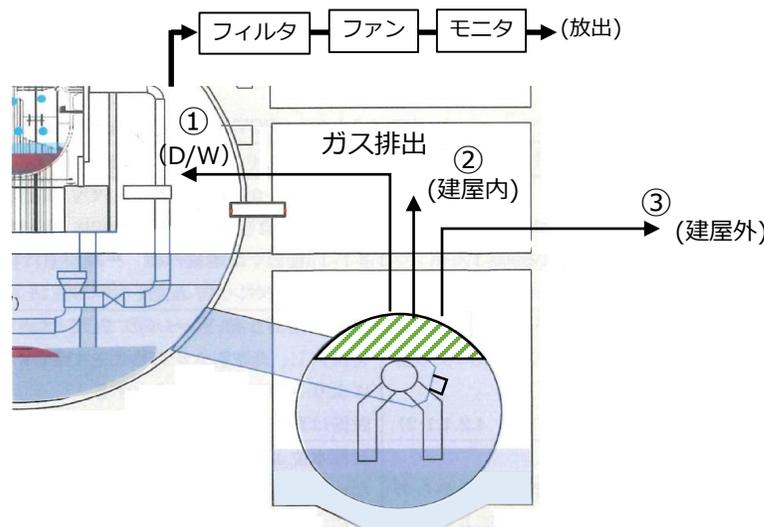
ガスパージ設備（モックアップ用）の写真



参考3-1. S/C内滞留ガスのパージ方法の比較（1/2）

- S/C内滞留ガスのパージ先について、その体積を考慮した場合、原子炉建屋内にパージすると建屋内に水素滞留するリスクがあること、S/Cから大気へ直接パージする既設配管が無いことから、D/WおよびPCVガス管理設備を経由して大気へ放出している。

S/C内滞留ガスのパージ先	状況・課題	評価
①PCV (D/W)	D/W内の窒素により希釈し、PCVガス管理設備により、水素濃度・希ガス濃度を監視しながら放出。	○：モニタリングしながら放出可能
②建屋内	建屋内で水素ガスが可燃限界未満に速やかに拡散・希釈可能な大気の流入がないため、可能性は低いが水素燃焼のリスクが残る。 同様に、希ガスや硫化水素の局所的な滞留による作業員への被ばく等の影響を否定できない。 窒素による希釈が必要な場合、高線量エリアでの設備構築や作業となる。	×：水素燃焼のリスクが残る 作業員の安全確保の実現難
③建屋外	S/Cから屋外に送気できる既設設備（ダクト・配管）はないため、屋外へ繋がる経路を新たに構築する必要がある。 屋外では大気による拡散により、屋外では滞留しないと考えられるが、S/C内滞留ガスは高濃度の水素・硫化水素・希ガスであるため、作業員の安全確保の観点で、状況に応じ窒素による希釈が必要。	△：設備構築(希釈, 放出)に時間を要する



(補足)S/C内滞留ガスの窒素の希釈について

現状は約75%の水素濃度を、窒素により、可燃限界である4%未満に希釈する場合、S/C内滞留ガスの約19倍の窒素体積が必要になるため、パージが完了するまでの期間が長期化すると考えられる。

参考3-1. S/C内滞留ガスのパージ方法の比較（2/2）

- S/C内滞留ガスのパージ方法について、D/WおよびPCVガス管理設備を経由して大気へ放出する方法として、下記4パターンを想定。
- ②は、D/W水素濃度の管理が困難であり、③-1は、使用可能な窒素封入配管が無い、③-2はパージ期間が①より長期になることから、**①（現在の方法）が最適**であると評価。ただし、**速やかなリスク低減が必要であるため、現在のパージ方法のさらなる期間短縮が必要な状況。**

	① 頂部配管からガス排出 （現在のパージ方法）	② 接続配管から窒素封入 真空破壊弁からガス排出	③-1 接続配管から窒素封入 頂部配管からガス排出	③-2 頂部配管から窒素封入 およびガス排出
排出イメージ				
ライン構築	○（現在使用中のAC系）	○（現在使用中のAC系）	×（窒素封入用の配管調査が必要※1）	○（現在使用中のAC系）
ガスの希釈	×（できない）	×（可燃限界未満まで希釈不可：S/Cに封入できる窒素体積は、S/C赤道付近の真空破壊弁までのため（真空破壊弁からD/Wに放出されるため）、希釈後の濃度は約50%と試算）	○（排出量調整にて可能）	○（排出量調整にて可能）
D/W水素濃度管理	○（排出量調整にて可能）	×（成り行きで排出するため不可）	○（排出量調整にて可能）	○（排出量調整にて可能）
全量パージの期間	△（当初は約3年を見込んだが、短縮策にて1年程度を目標）	-（D/W水素濃度管理ができず評価対象外）	×（窒素封入検討および準備に時間を要する見込み）	×（同一配管で封入排出するため①の数倍要する見込み）
総合評価	○（期間が最も短く、D/W水素濃度管理が可能）	×（D/W水素濃度管理が不可、ガスを抜き切れず）	×（使用可能な窒素封入配管が無い可能性がある）	△（パージ期間が案①より長い）

※1：S/Cに接続する配管として、1/2号機同様にPCV酸素分析配管が候補となるが、当該配管の電磁弁（トーラス室設置）は、開操作が必要であるが、電気的な劣化（絶縁抵抗の低下）を確認しており、遠隔での開操作が困難。

参考3-2. S/C頂部（気相部）のガス抽出箇所と比較

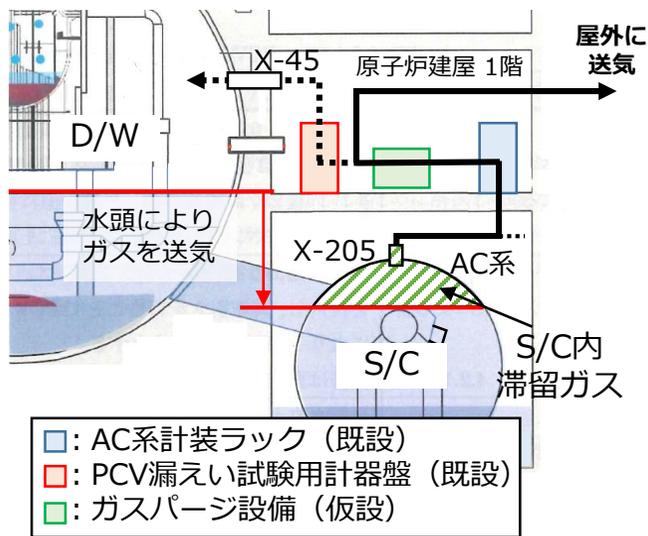
- S/C頂部（気相部）のガス抽出箇所については、以下の4カ所があるが、使用可能なのはX-205のみと判断。

S/C内滞留ガスの抽出箇所		状況	評価
X-205	AC系貫通部 (S/Cへの窒素封入ライン)	S/C頂部のAC系母管（口径500mm）につながる計装配管がR/B1階まで敷設。現在、パージ作業にて使用中。	○
X-220	AC系貫通部 (事故時に使用するS/Cベントライン)	ライン途中の隔離弁(トーラス室設置)は閉であり、開操作には電磁弁の操作が必要である。ただし、トーラス室に設置の他系統の電磁弁は、劣化し使用不可であることを過去に確認している。	×
X-213A	建設時使用の貫通部 (現状は閉止状態)	現状は閉止状態のため使用不可（トーラス室へのアクセスは線量が高く困難）。	×
X-213B			

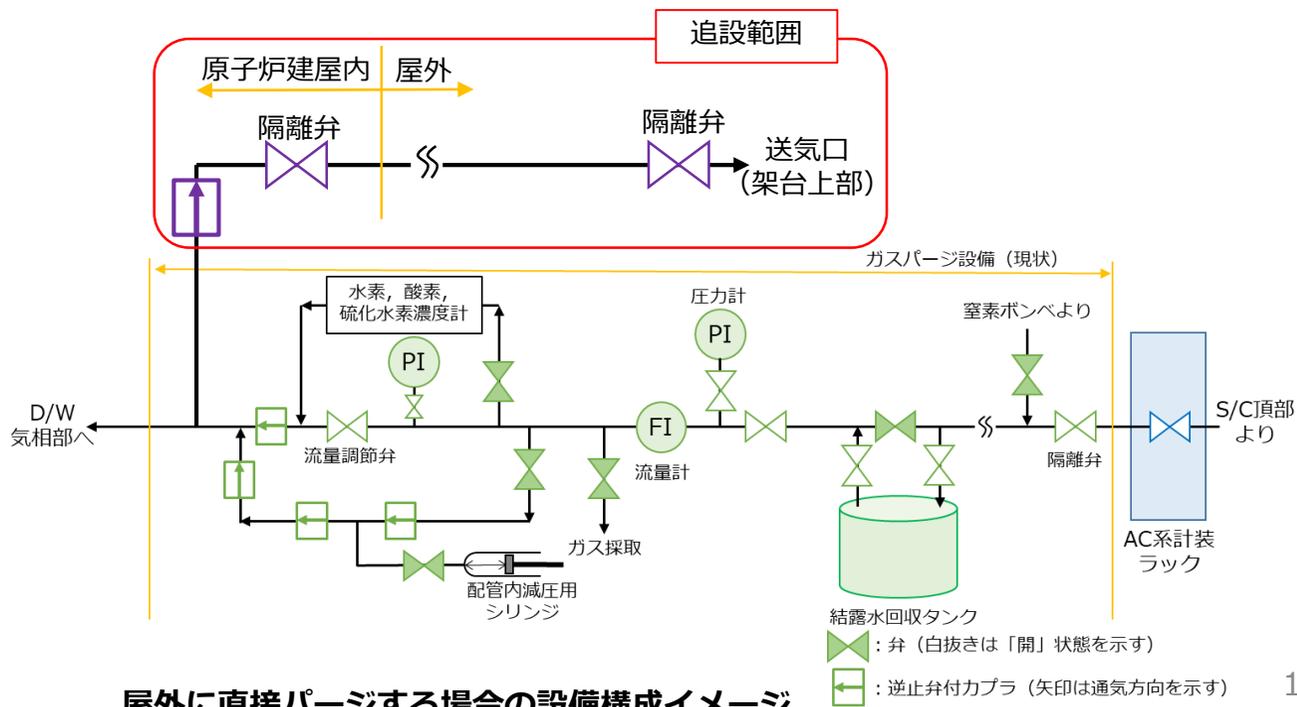
- S/C内滞留ガスのパージ期間は、現状の管理方法では2年以上要するため、期間短縮を目的に、パージ作業におけるPCVガス管理設備水素濃度管理値の見直しやPCVガス管理設備排気流量の増加を実施していく計画。
- これら対策に加えて、更にパージ期間を短縮する方法として、S/C内滞留ガスを屋外へ直接パージする方法が考えられるため、そのリスクと対策を検討。

	水素燃焼リスク	作業員被ばくリスク
リスク内容	<ul style="list-style-type: none"> ・現状は、不活性維持したPCV (D/W) にS/C内滞留ガスを送気。 ・屋外への直接送気は、S/C内滞留ガスが大気中の酸素と混合し燃焼する可能性あり。 	<ul style="list-style-type: none"> ・現状は、Kr-85を含むS/C内滞留ガスをPCV (D/W) で希釈し、PCVガス管理設備でモニタリングし排気。 ・屋外への直接送気は、排気口近傍において作業員が被ばく対策する可能性あり。
対策①	<ul style="list-style-type: none"> ・S/C内滞留ガスを仮設タンクで窒素と混合させ、可燃限界未満まで希釈し、バッチで屋外に放出。 	<ul style="list-style-type: none"> ・送気口近傍でKr-85をモニタリングし、濃度上昇があれば、パージを中止。
対策②	<ul style="list-style-type: none"> ・屋外へのパージ設備は、着火源が生じない設備構成とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・送気口の位置を作業員が容易に近づけない場所として、パージ後に大気で希釈。
評価	<p>対策①は、バッチでガスパージするため、現状のPCVパージより時間を要する可能性あり。</p> <p>対策②は、現状のガスパージ設備と同じ考えであるため、対応は可能。</p>	<p>対策①は、モニタリング装置の設置に、長期を要するため、パージ期間の短縮効果は低い。</p> <p>対策②は、屋外に架台（数メートル）を構築し、その上部から送気する方案であれば、対応は可能。</p>

- 前述のリスク対策を踏まえ、実施が可能と思われる設備構成として下記を想定。
 - 現状のガスパージ設備から原子炉建屋外の送気口まで可燃ガス用ホースを敷設。なお、原子炉建屋外のホースは、エフレックス管等による二重構造として物的防護する。
 - 隔離弁・カプラについても、可燃ガス用の機器を使用。金属材料は接地を取り火花の発生を防止（現状のガスパージ設備と同様）。
 - 送気口は、屋外に構築した架台の上部に設け、作業員と離隔距離を確保。合わせて、近傍の空間線量率を測定し、周辺にガス滞留が生じていないかを確認。
 - 排気前のフィルタ要否について、今回のパージ方法は、S/C内部へ窒素封入しないため、ダストを巻き上げる可能性が低いと判断している。



屋外直接パージのイメージ



屋外に直接パージする場合の設備構成イメージ

3. S/C内滞留ガスによる現状のリスクと対策

- S/C内滞留ガスの水素が燃焼するリスクとして、以下のケースが考えられ、それぞれに検知等の対応策を実施。

①S/C内で燃焼，②S/Cから建屋へ漏えいし燃焼，③S/CからD/Wへ移行し燃焼

リスク		評価・処置	対応策(検知)
①S/C内で燃焼	S/C内滞留ガスの酸素濃度上昇による燃焼。	<ul style="list-style-type: none"> ・水素濃度約75%であるが、酸素濃度が1%以下の可燃限界未満であり、現状では燃焼リスクは低いと想定。なお、これまでのパージ作業において、S/C内滞留ガスの濃度に有意な変化が無いことから、S/C水素・酸素濃度は一様であると想定（参考4）。 ・酸素濃度が低いため、放射線分解による酸素発生量も1号RCW熱交換器と比較して少ないと想定しており（参考4のCs-137濃度参照）、酸素濃度の更なる増加は考え難い。 ・S/C内の滞留水より湿潤環境となっているため、着火リスクは低い。 	<ul style="list-style-type: none"> －（今後もS/C内にて可燃限界以上の酸素濃度になる可能性は低いと想定）
②S/Cから建屋へ漏えいし燃焼	地震によりS/C気相部の配管が損傷、建屋へ漏えいし燃焼。	<ul style="list-style-type: none"> ・2022年の地震（震度6弱）において、漏えいは確認されていない。 ・建屋の気密性が低いため、長期間、水素が滞留する可能性は低いと想定。 ・地震後に漏えいが確認された場合は、建屋内の作業を規制（作業等で使用する動的機器を停止）。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地震発生後は、PCVパラメータの確認（D/W水位の低下やPCV圧力の変動が無いか）。その後、建屋内の水素ガスの漏えいが無ことを確認。
	機器の経年劣化により建屋へ漏えいし燃焼。	<ul style="list-style-type: none"> ・建屋の気密性が低いため、長期間、水素が滞留する可能性は低いと想定。 ・漏えいが確認された場合は、建屋内の作業を規制（動的機器を停止）。 	<ul style="list-style-type: none"> ・R/B1階床穴付近の水素濃度を定期的に測定。 ・パージ作業におけるS/C気相部の圧力確認で異常な低下が無いかを確認。
③S/CからD/Wへ移行し燃焼	D/W水位低下によりS/C内の水封が無くなり、水素がD/Wへ流入し燃焼。	<ul style="list-style-type: none"> ・PCV水位の低下を防ぐため、原子炉注水量の増加による水位維持によりS/C上部の水素ガスの水封を維持。 	<ul style="list-style-type: none"> ・PCV水位の監視を継続。

参考4-1. S/C内滞留ガスの濃度分布

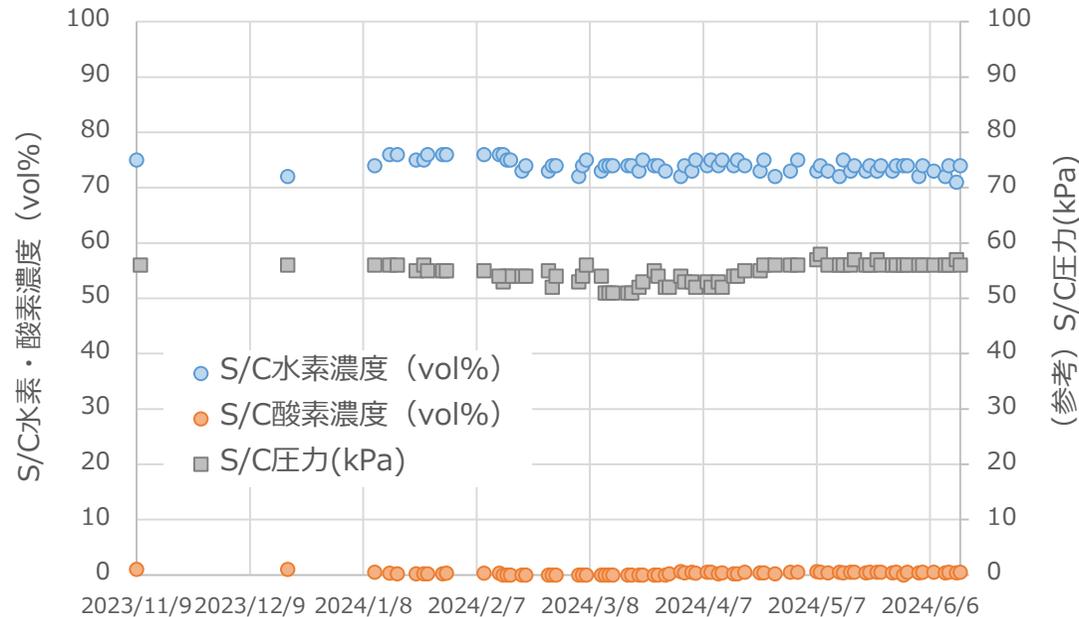
- 以下の理由から、S/C内滞留ガスの水素・酸素濃度はほぼ一様であると想定。
 - 現在までに約160Nm³以上のガスをパージしているため、S/C頂部の付属配管内のガス※1は全てパージされ、S/C本体のガスをパージしている状況。これまで実施した水素・酸素濃度測定の結果、有意な濃度比の変化は確認されていない。 ※1：S/C頂部の付属配管であるAC系配管の容積は、最大10m³程度であるため、十分パージされている。
 - 震災時はプラント運転中であり、S/C内部に窒素が封入されていたため、滞留ガスの組成としては、実測された約76%（水素約75%、酸素約1%）以外の約24%は窒素と考えられる。S/C上部に分子量が水素より大きい窒素、酸素、Kr-85が存在していることを踏まえると、気相部の濃度分布は一様である可能性が高いと考えられる。
 - また、高濃度の汚染水が確認された1号機RCW熱交換器の入口ヘッダ配管の滞留ガスの成分は、水素濃度約72%、酸素濃度約18%であったが、配管からのパージ作業において、酸素濃度の上昇は確認されず、水素濃度に比例して酸素濃度も低下したため、滞留していた当初のガス濃度は一様であったと考えられる。
- S/C内滞留ガスの濃度は一様で、燃焼リスクは低いと想定しているが、S/C内滞留ガスの酸素濃度の計測を継続。

	1号機	3号機	
	RCW熱交換器 入口ヘッダ配管	RHR熱交換器 (A)	S/C
水素(%)	約72	約20	約75
酸素(%)	約18	約0	約1
硫化水素(ppm)	約28	約20	O.S.
Kr-85(Bq/cm ³)	約4	約2.64×10 ³	約1.46×10 ⁴
Cs-137(Bq/L)	RCW熱交換器(C) 3.20E+10	5.23E+05	S/C内包水 2.04E+08

参考4-2. S/C内滞留ガスの濃度推移

- S/C内滞留ガスの水素・酸素濃度は、パージ着手前に確認した濃度（水素：約75%，酸素：約1%）から有意な変化は確認されていないため、**S/C内滞留ガスの酸素濃度は可燃限界未満であり、パージを継続しても今後も同様**と考えられる。

S/C内滞留ガスの水素・酸素濃度他測定値



<水素ガスの可燃範囲>
 水素濃度：4～75vol%
 酸素濃度：5vol%以上

<参考>

- Kr-85濃度は、月1回を目安にガス採取・分析しており、これまで有意な変化は確認されていない。

ガス採取日	Kr-85分析結果
2023年11月9日	約 1.46×10^4 Bq/cm ³
2024年1月30日	約 8.39×10^3 Bq/cm ³
2024年2月28日	約 1.09×10^4 Bq/cm ³
2024年3月29日	約 1.05×10^4 Bq/cm ³
2024年4月26日	約 7.86×10^3 Bq/cm ³
2024年5月28日	約 4.35×10^3 Bq/cm ³

4. S/C内滞留ガスパーズ作業によるリスクと対策（1/4）

- パーズ作業により，D/W水素濃度やS/C水位上昇等の変化が生じるため，これらの変化を踏まえたリスク評価を設備毎に実施。

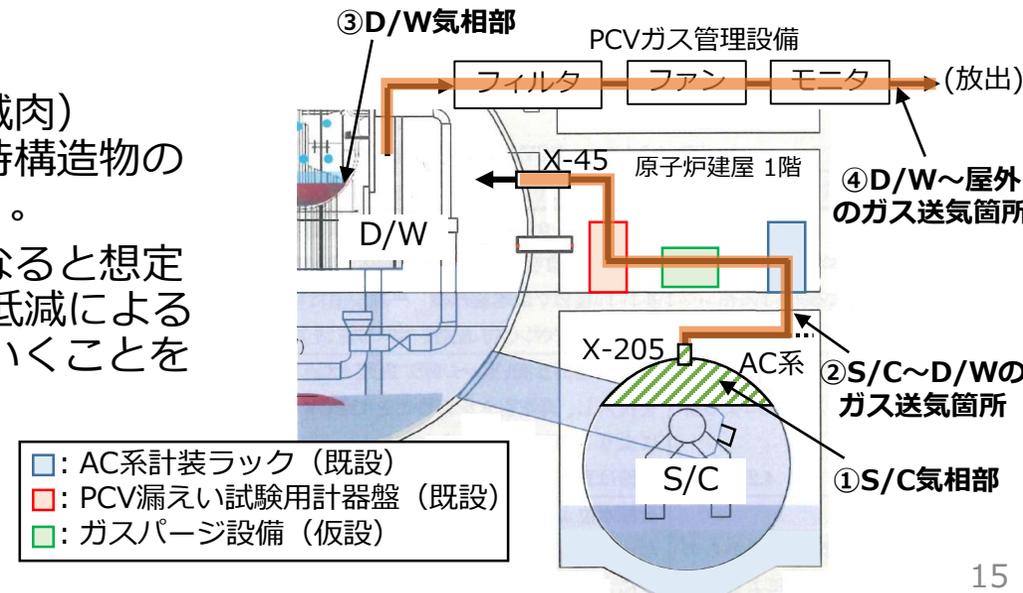
① S/C気相部（水素を含むガスが滞留）

<S/C内滞留ガスの燃焼リスク>

- S/C内滞留ガスは，可燃限界未満（水素：約75%，酸素：約1%）であることを確認している。

<S/C水位上昇によるS/C耐震性>

- ガスパージに伴いS/C水位が上昇し，S/C重量が増加するため，耐震の観点で検討が必要。
- S/C内を満水とした場合の耐震評価は，
 - ・ 旧基準地震動Ss（600gal）
 - ・ 震災後20年（2031年）の劣化（腐食減肉）を考慮しても，最も荷重を受けるS/Cの支持構造物の機能が維持されることを確認済み（参考5）。
- また，パーズ完了時は，S/Cが満水状態になると想定しており，その後は速やかに原子炉注水量低減によるPCV（D/WおよびS/C）水位低下を進めていくことを計画している。



参考5. 3号機S/Cの耐震性

2019年10月21日 特定原子力施設監視・評価検討会(第75回) 資料1-1(抜粋)



特定原子力施設監視・評価検討会
(第75回)
資料1-1

3号機サブプレッションチェンバの耐震性及びPCV水位に関わる対応について

2019年10月21日



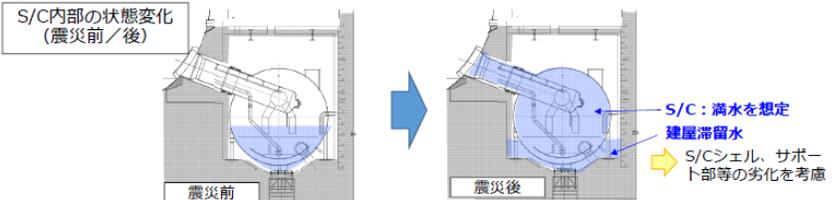
東京電力ホールディングス株式会社

1. 3号機S/C耐震性に関わる対応について



- 震災前、S/Cを満水状態で維持することはなく、PCV水位が高い現状の3号機S/Cについて、震災後の機器の劣化も考慮して耐震性を評価することが必要。
- S/Cは汚染水を内包しており、また、周辺環境(原子炉建屋)は高線量であることから、耐震性を向上するに際し、慎重かつ計画的な対応が必要。

震災後20年(2031年まで)の劣化(腐食減肉)を考慮し、基準地震動Ss(600Gal)に対する耐震評価を実施



1

2. 3号機PCV (S/C) の耐震評価条件及び方法



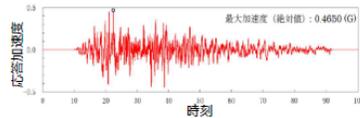
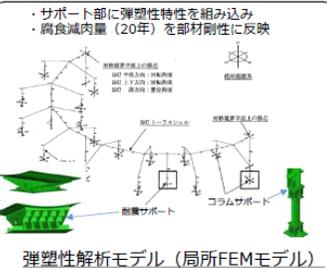
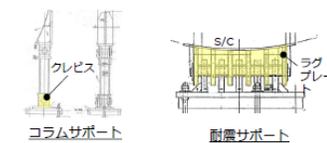
【評価条件】

- ・基準地震動Ss(600Gal) に対する評価を実施。
- ・震災後20年(2031年)の劣化(腐食減肉)を考慮。
- ・S/C周囲の建屋滞留水はないものとして評価。

【評価方法】

- ・現状の実力を評価する観点で、規程や規格(注)に準拠しつつ、以下の手法で実施。
- ①耐震評価が厳しい部位についてS/C支持機能の維持を確認するため、コラムサポート、耐震サポートのFEMモデルを構築し、弾塑性特性及び限界変位量を算定。
- ②当該部の弾塑性特性を系全体のモデルに反映し、地震波を直接入力して時刻歴応答解析を実施し、最大変位量と限界変位量を比較して耐震性を評価。

S/Cサポート部



(注) 評価手法(弾塑性解析)は原子力発電所耐震設計技術規程に、許容値は発電用原子力設備 維持規程に準拠。

2

3. 3号機PCV (S/C) の耐震評価結果



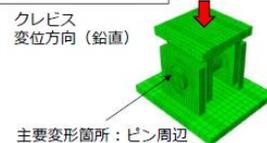
- 最も厳しい対象部位の最大変位量が、限界変位量(許容量)を超えない(S/Cの支持機能が維持される)ことを確認。

対象部位	①限界変位量(許容値)	②最大変位量	裕度(①/②)
コラムサポート(クレビス)	2.06mm	1.94mm	1.06
耐震サポート(ラグプレート)	3.68mm	2.59mm	1.42

3号機PCV (S/C) 耐震評価結果

震災後20年(2031年)までに実施可能な耐震性向上を図る

主要変形箇所拡大イメージ



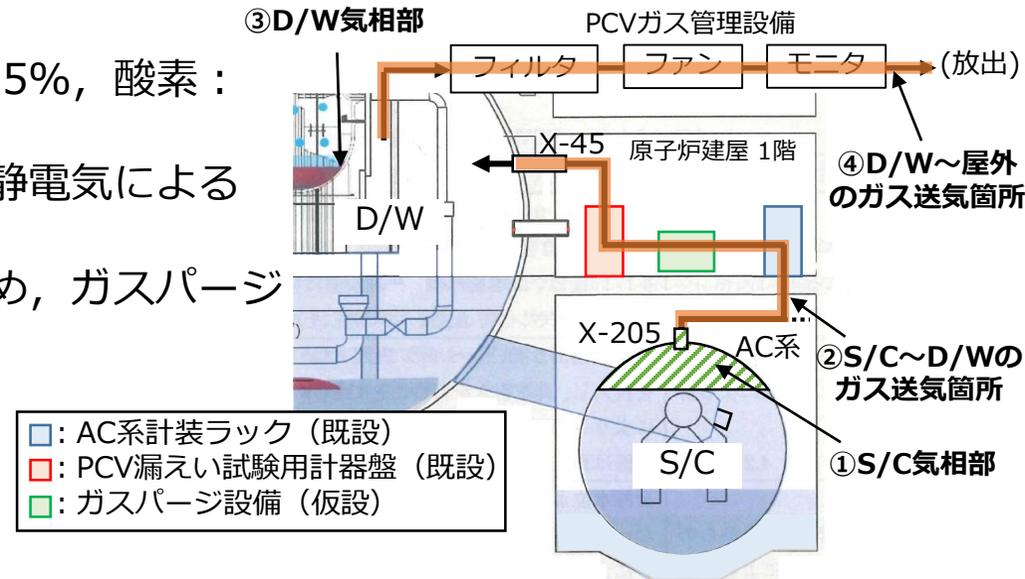
3

4. S/C内滞留ガスパーシ作業によるリスクと対策（2/4）

② S/C～D/Wのガス送気箇所（AC系配管・ガスパーシ設備・PCV漏えい試験用配管）

<S/C内滞留ガスの燃焼リスク>

- 送気されているS/C内滞留ガス（水素：約75%，酸素：約1%）は，可燃限界未満である。
- パーシ作業で扱う設備に動的機器は無く，静電気による火花が発生しないよう接地している。
- ガスパーシ設備からの漏えいを防止するため，ガスパーシ設備の漏えい確認を定期的を実施。



③ D/W気相部

<D/W内での燃焼リスク>

- D/Wに送気したS/C内滞留ガスは，D/W内で拡散する。D/W内のガスは，PCVガス管理設備の水素モニタでの監視により，可燃限界未満になるようパーシ量を管理。
- 局所的なガス滞留についても，PCVインリーク箇所と考えられる主蒸気配管（東側）とD/Wのガス送気箇所（南西側）が離れているため，水素・酸素が同時に同じ場所で可燃限界を超える可能性は低いと考えられる。また，D/W液相部と気相部には温度差があり（液相部が高い），対流によりD/W気相部は攪拌され，局所的なガス滞留の可能性はより低いと考えられる。
- また，D/W内部は湿潤環境であり着火源が生じるとは考え難く，燃焼リスクは低いと想定。
- なお，PCVガス管理設備のファン上流(D/W側)にて，酸素濃度が約2～3%であることを確認しており，今後，濃度低減のため窒素封入量を増加する予定。また，パーシ量の増加等，作業に変化が生じる前後では，ファン上流の酸素濃度測定を実施（参考9-1）。

4. S/C内滞留ガスパーシ作業によるリスクと対策（3/4）

③D/W気相部（つづき）

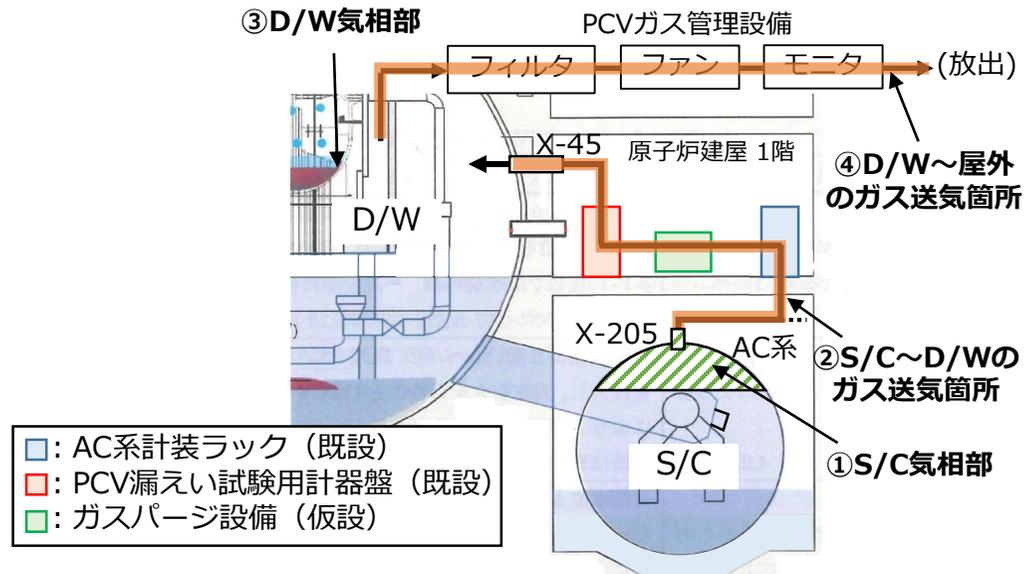
＜PCV冷却設備停止時の対応＞

- PCV冷却設備（窒素封入設備・PCVガス管理設備・原子炉注水設備）が停止した場合は、ガスパーシ作業を中止（設備停止後，1時間以内）することで，D/W内での水素濃度上昇が継続しないよう管理。

④D/W～屋外のガス送気箇所（PCVガス管理設備）

＜PCVガス管理設備内での燃焼リスク＞

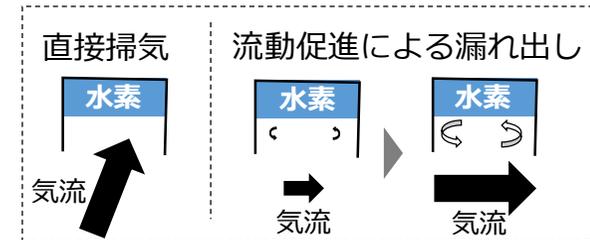
- PCVガス管理設備内の水素濃度は，可燃限界未満になるようPCVガス管理設備の水素モニタで管理しており，動的機器（ファン）を有するが燃焼リスクは低いと考えられる。



4-1. パージ作業によるD/W内での水素ガス局所滞留の可能性（1/3） **TEPCO**

【仮定】PCV内に水素ガスの局所滞留が可能な場所が存在すること

- 水素ガスが局所滞留できる箇所が存在し、通常の窒素封入、PCVガス管理設備排気によるPCV内の気流では、局所滞留を解消できない箇所が存在することとなる。
- PCV内の気流に**擾乱が生じた場合**、局所滞留するエリアへの気流の影響状況も変化することから、滞留水素が放出され**水素濃度の変動が生じる可能性が高い**。
 - 気流の影響状況変化：流動パターンの変更により、局所滞留水素の直接的な掃気や、局所滞留箇所近傍の**流動促進による滞留水素の漏れ出し**が生じると考えられる。
 - 生じうる水素濃度変化：滞留箇所から放出された水素により、PCV水素濃度は一時的に濃度上昇し、PCVの換気率に従って濃度低下する。



【観測データ】PCV内の気流に擾乱が生じた際の水素濃度変動

- PCV内の気流に擾乱が生じた作業として、1号機では2019/6/4からのPCV内部調査干渉物撤去作業（AWJ）、2023/11/1からの閉じ込め強化試験（給排気流量変更試験）を、2号機では2024/1/13よりX-6ペネ堆積物除去作業（低圧水、高圧水、WJ、AWJ等）が考えられる。いずれの作業もPCV内全体の気流へ影響を与えたと考えている。（参考6）
- しかし、これら**擾乱が生じた際に水素濃度変動は確認できなかった**。（次ページ）

【結論】水素ガスの局所滞留が可能な場所が存在する可能性は低い

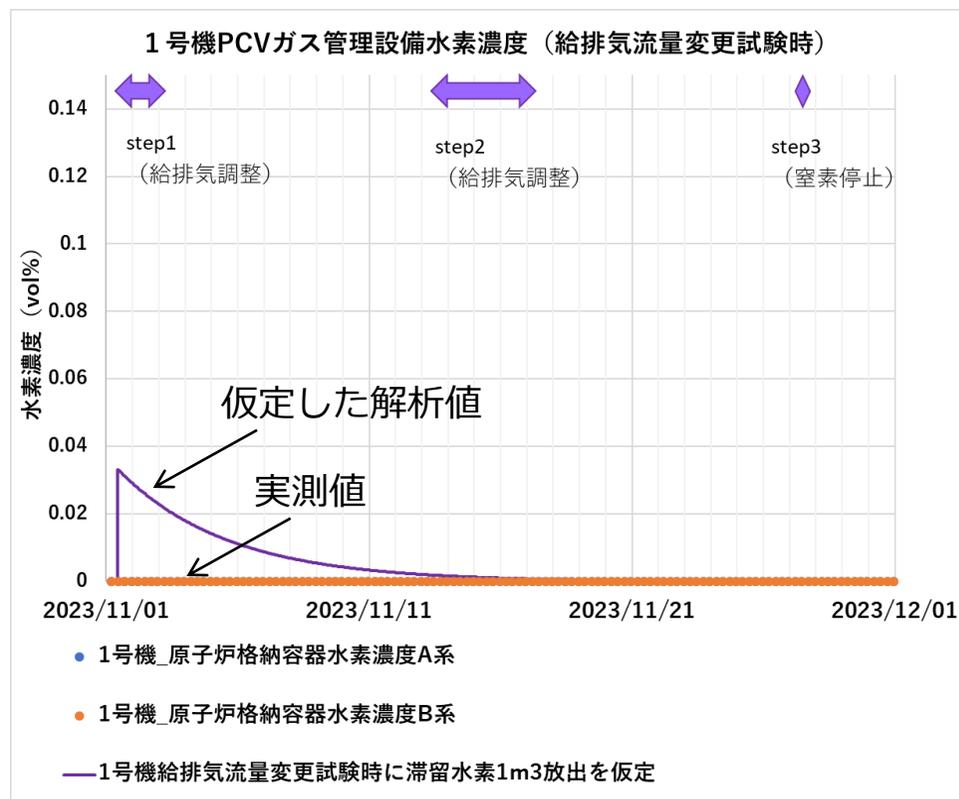
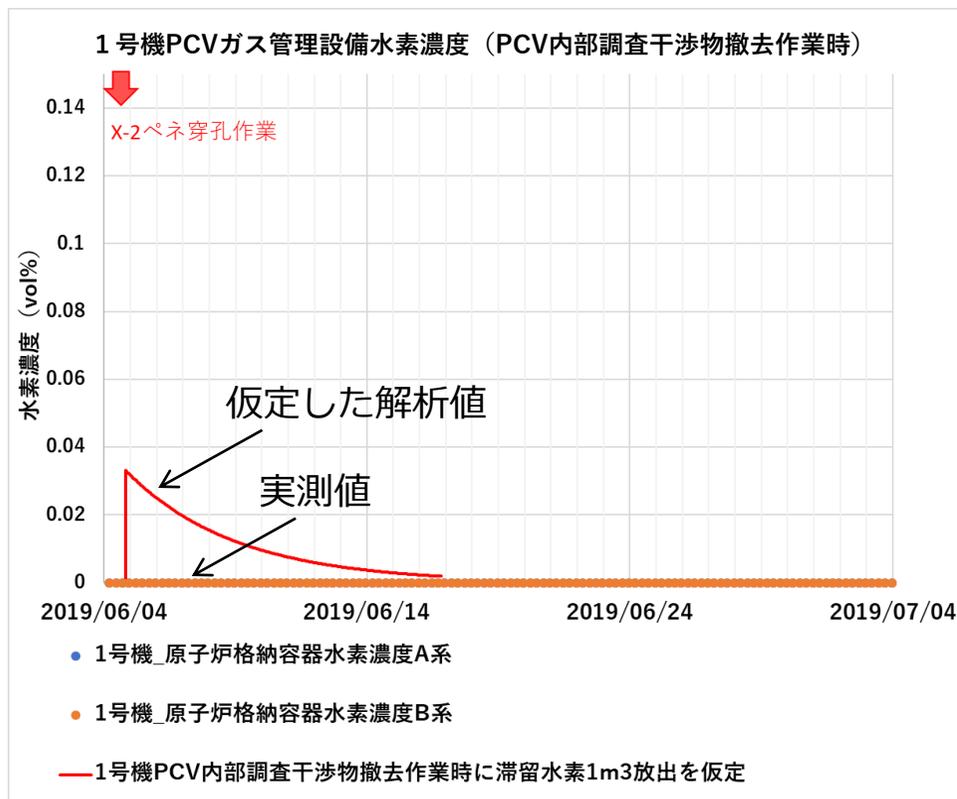
- 1, 2号機の気流の擾乱では水素ガスの局所滞留の存在は示唆されなかった。
- 3号機の気流に擾乱が生じる作業は行っていないが、1, 2号機より気密度の低い3号機で局所滞留が生じている可能性は低い。
- したがって、**水素ガスが局所滞留できる箇所が存在しないか、通常のPCV内の気流で局所滞留を解消できている可能性が高いことから、3号機S/Cガスパージの水素も局所に滞留する可能性は低いと考える**。

< 1号機の気流に擾乱が生じた際のPCVガス管理設備水素濃度推移 >

■ PCV内部調査干渉物撤去作業と閉じ込め強化試験（給排気流量変更試験）時に、連動して水素濃度指示値が変化するような挙動は観測されなかった。

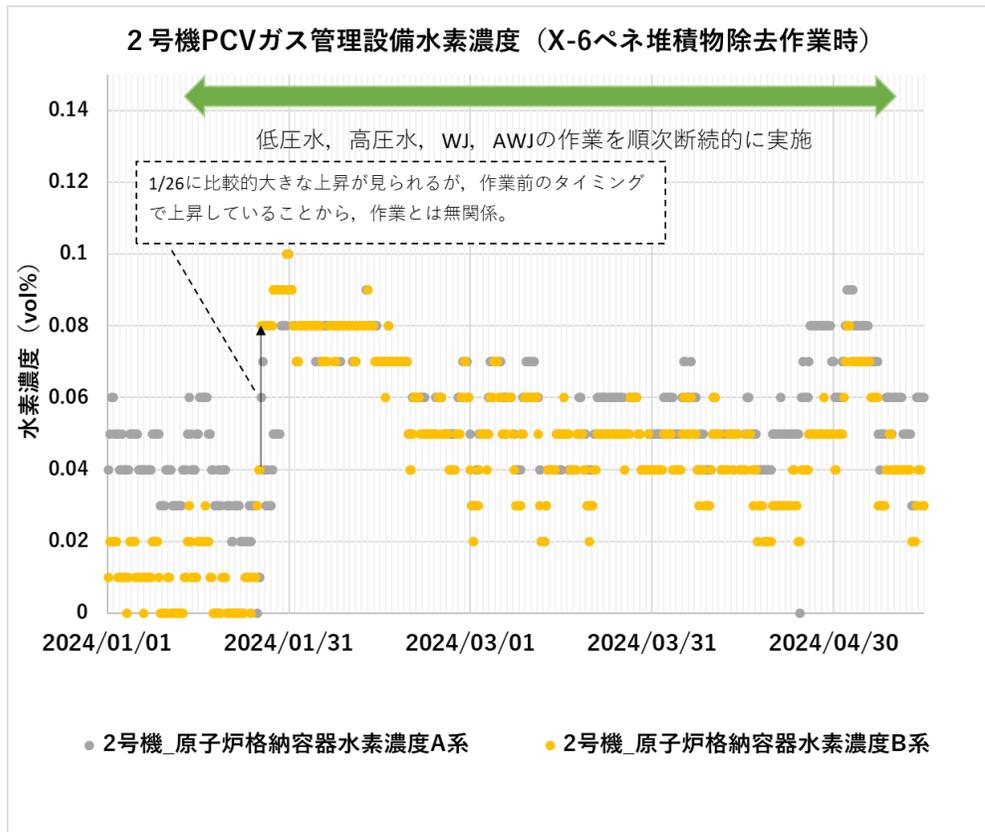
□ X-2ペネ穿孔作業時の2019/6/4（左）と閉じ込め強化試験（給排気流量変更試験）step1時の2023/11/1（右）に、滞留水素1m³がPCV内に放出され、PCV換気率に従って放出されたことを仮定した解析値のプロットを重ねて表記。

→ 仮定したような水素濃度変動は観測されなかった。



< 2号機の気流に擾乱が生じた際のPCVガス管理設備水素濃度推移 >

- 2024/1/13から5/10まで、X-6ペネ堆積物除去作業を実施している。低圧水、高圧水、WJ、AWJと気流に擾乱が生じる作業を断続的に行っているが、連動して水素濃度指示値が変化するような挙動は観測されなかった。



(補足) 2, 3号機の水素濃度指示値の揺らぎについて

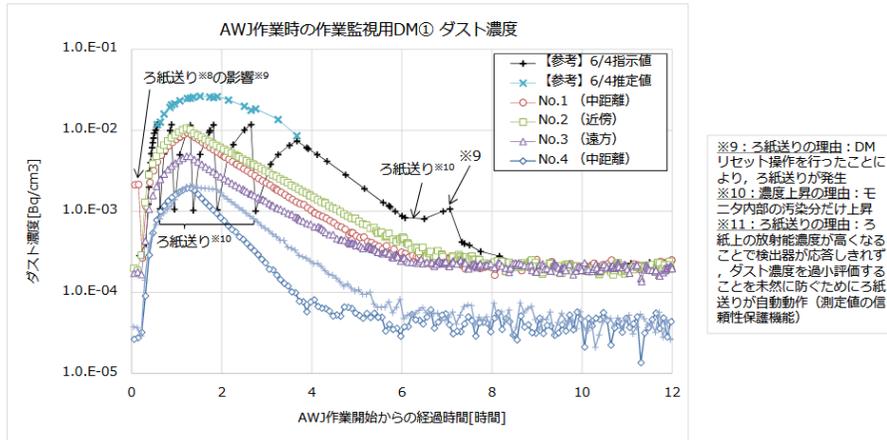
2, 3号機はPCVガス管理設備に空気インリークが生じている。水素濃度は標準ガス(窒素)との熱伝導率の差を利用して測定しており、酸素が混入するとその影響も指示値に影響する。このため、濃度の低いレベルでは、空気のインリークによって水素濃度指示値が揺らいでいると考えている。

現在実施中の3号機S/Cガスパージ作業中の水素濃度のレベルでは、酸素混入の影響は相対的に小さいため、水素濃度の管理は問題無く行えていると考えている。

1号機AWJ時のダスト濃度変化 (2019年)

PCVガス管理設備フィルタ上流側仮設ダストモニタ (作業監視用)

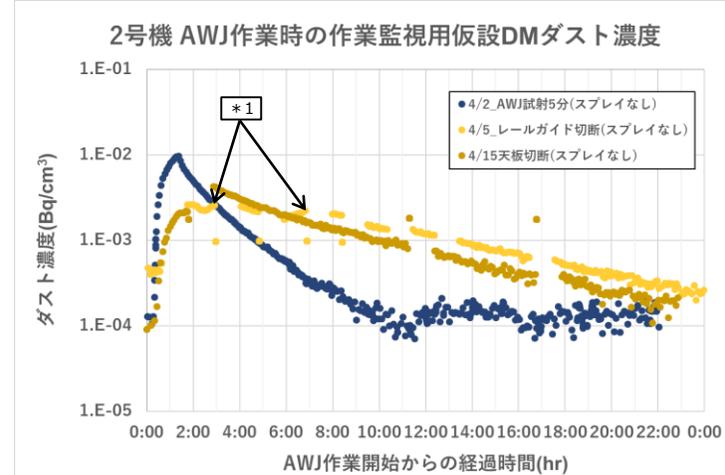
(参考) データ拡充作業の結果 (ダスト濃度変化)



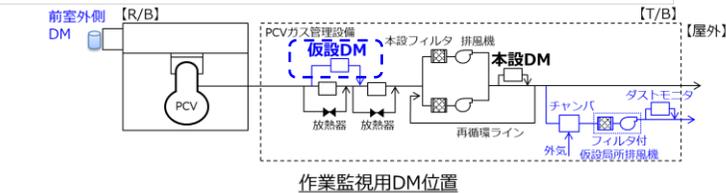
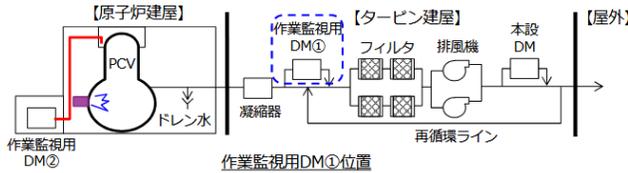
※9: 紙送りの理由: DMリセット操作を行ったことにより、紙送りが発生
 ※10: 濃度上昇の理由: モニタ内部の汚染分だけ上昇
 ※11: 紙送りの理由: 紙上の放射能濃度が高くなることで換出器が応答しきれず、ダスト濃度を過小評価することを未然に防ぐために紙送りが自動動作 (測定値の信頼性保護機能)

2号機AWJ時のダスト濃度変化 (2024年)

PCVガス管理設備フィルタ上流側仮設ダストモニタ (作業監視用)



(補足)
 ・作業期間にわたって低減率の大きいもの、小さいもの及び平均的なものを選定し記載
 ・データの空白は紙送り期間
 ・*1: 濃度上昇の理由
 AWJによる断続的な切断作業実施



(補足) 1, 2号機ともPCVガス管理設備フィルタ下流の本設ダストモニタでは有意な変動は見られていない。

- 1号機AWJはX-2ペネ付近, 2号機AWJ (低圧水, 高圧水, WJ等) はX-6ペネ付近で実施しているが, AWJによってもたらされる運動量により, PCV内全体を攪拌させたと考えている。
 - 解析では, AWJ噴射によりPCV内全体でガス流れが形成されるものの, プルーム状のダストの形成や濃度分布に偏りが生じる可能性が示唆されていた。
 - このため, プルーム状のダストが形成され, PCV内を不均一にダストが漂っている場合, PCVガス管理設備吸気箇所にプルームが近づくとダスト濃度は急増し, プルームが離れていくとダスト濃度は急減する挙動が見られると考えていた。(特に単一配管で吸気している2号機は顕著)
 - 実際には, 1, 2号機とも一様にダスト濃度が増減する挙動が確認された。このことから, PCV内全体にガス流れが生じ, 飛散したダストはPCV内で十分に攪拌されたものと考えている。

- 一般に、水素燃焼は、①水素と②酸素がそれぞれの濃度の可燃範囲※で混合し、③着火源が存在する条件で発生する可能性がある。

※空気中では水素の可燃限界4～75%、爆轟限界18～59%

- パージ作業によりD/W内で上記①～③の条件が全て成立する可能性は低いと想定（参考7）。

（空間的な観点での各条件の成立可能性）

- ① 水素：D/W排出時のS/Cガスの水素濃度が75%であることから、希釈が進む前にD/W排出口近傍で可燃範囲を満たす水素濃度の高い領域が存在する可能性があるが、その領域体積のD/W空間容積に占める割合は小さい。
- ② 酸素：水素濃度が比較的高い領域の近傍にPCVインリーク口が存在すると、希釈が進んでいないインリーク空気（酸素:21%）が、可燃範囲の水素と混合する可能性があるが、そのようなインリーク口が存在する範囲のD/W壁面積に対する割合は小さい。
- ③ 着火源：PCV内は炉注水により湿潤状態と想定され、スパークや自然発火の発生は考えにくいですが、着火領域が空間的に制限されている訳ではないので、D/W中ではどこでも着火源がありうるかと仮定する。

空間的な観点に加え、水素、酸素の条件が成立している時刻に着火する可能性などの時間的な観点を考慮すると、水素燃焼の条件が成立する可能性はさらに低い。

水素燃焼発生の可能性を、空間的および時間的な成立性の観点で整理することが考えられるが、ここでは空間的な成立性の観点で検討。

① 水素：水素の希釈について

□ 排気口近傍での水素希釈の想定

- X-45の小口径配管から排気されるS/Cガスは、数m/sの流速で水平方向に噴出している。
- 水素75%のS/Cガスは軽いため、浮力の影響を受ける。
- このため、排気されたS/Cガスは水平方向、上方へ拡散・希釈されることから、簡便に**水素希釈領域を球**として考え、保守的に水素がこの球内に保持される（D/W全域に拡散しない）と仮定する。

□ 水素希釈領域の球直径（体積）

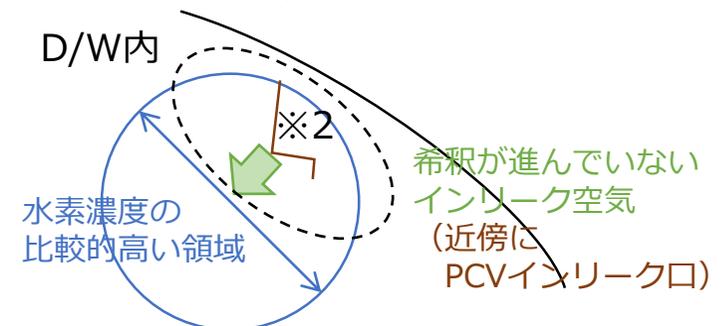
- 1回（約2時間）のS/Cガス（水素濃度75%）の排気量を約4Nm³とすると、水素排気量は約3Nm³。
- D/W内は水素濃度1.75%（現在検討しているページ中の管理値）、水素燃焼を阻害する水蒸気は存在しないと仮定したガスで満たされているものと設定する。
- このD/W内で水素約3Nm³が水素希釈領域に排気^{※1}された場合、水素爆轟限界が成立する水素希釈領域の球直径（体積）は約3.4m（約21m³）、可燃限界が成立する球直径（体積）は約6.4m（約137m³）となる。
- **このため、D/W空間容積に占める希釈領域割合は、爆轟限界が成立する領域が0.6%、可燃限界が成立する領域が4%以下となる。**

※1：バルブ開操作時刻から30分～1時間以内にPCVガス管理設備水素モニタ濃度が上昇していることから、2時間分の水素排気量が水素希釈領域の球内に保持されるとすることは保守的な設定

② 酸素：空気のインリーク口について

□ 燃焼に寄与するインリーク口の存在範囲

- 燃焼条件が成立するには、水素濃度の比較的高い領域の近傍にPCVインリーク口があり、希釈が進んでいないインリーク空気が水素濃度の高い領域に侵入する必要がある。
- インリーク口の存在範囲を、水素希釈領域の球断面積（PCV壁面投影面積）と仮定すると、**D/W壁に占める存在範囲の割合は、爆轟限界条件で約0.8%、可燃限界条件で約3%以下となる。**



※2：簡便のため亀裂を示しているが、実際のインリークはフランジやペネスリーブ等のリークポテンシャルの高い24箇所が生じていると想定

③ 着火源

□ 着火条件

- スパーク (静電気, 衝撃)
- 自然着火温度 (520℃付近)

→現在のPCV内は炉注水により湿潤状態と考えられ, これらの条件は成立しにくい。

→ただし, 着火領域が空間的に制限されている訳ではないので, D/W中ではどこでも着火源がありうると仮定する。

<可能性のまとめ>

- 上記①～③から, 空間的な成立しやすさをまとめると下記の通り。可燃限界が成立する燃焼の可能性は低い。爆轟限界が成立する燃焼の可能性はさらに低く, 現実的には生じ得ない。

水素燃焼の空間的な成立しやすさのまとめ

	①水素条件成立	②酸素条件成立	③着火条件成立	(参考) 積
爆轟限界	約0.6%	約0.8%	100%	約 4.8×10^{-5}
可燃限界	約4%	約3%	100%	約 1.2×10^{-3}

※さらに時間的な観点に立つと, 更に成立し難い

4-3. D/W内での水素燃焼によるダスト影響の検討（敷地境界での実効線量評価）

- 水素燃焼する可能性は低いと想定しているが、万が一水素燃焼した場合のダスト影響を検討。
- S/Cガスを排気しているX-45の小口径配管出口近傍の比較的水素濃度が高い領域で水素燃焼が発生し、近傍の構造物等に付着しているダストが剥離・浮遊し、環境に放出されるシナリオを想定。
- 評価条件：下表パラメータにて環境への放出量を評価。建屋沈着等は保守的に考慮していない。

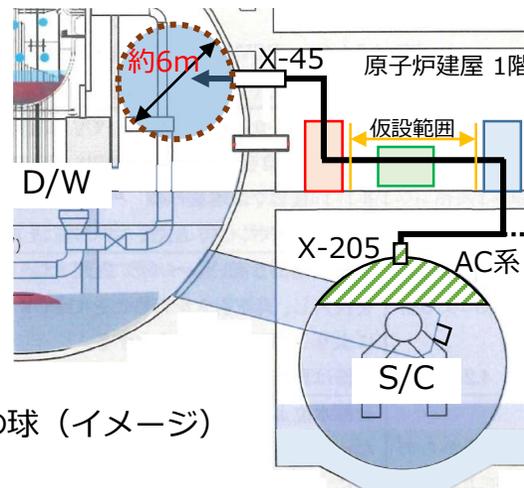
評価パラメータ		備考
PCV内ダスト汚染密度	Cs134 : 4.6×10^5 (Bq/cm ²) Cs137 : 5.1×10^7 (Bq/cm ²)	実施計画V-添7-別添15の表3「2号機のPCV内の構造物の表面汚染密度」を参照し、3号機PCV内線量率で補正して算出
PCV内ダスト付着面積	120 (m ²)	水素燃焼により飛散するダスト源の範囲として、6m直径の球表面積に置き換えて設定【参考8】
PCV内ダスト飛散率	0.15 (%)	DOE HANDBOOK §4.4.2.2.2より、爆発衝撃による飛散率(ARF=5E-3, RF=0.3)を参照。爆発によって生じる圧力衝撃（表面に平行なガス流）による構造物表面の乾燥粉体の飛散率であり、想定する水素燃焼に近く湿潤環境に対して保守的な飛散率と考慮して設定
PCV気相部容積	3720 (m ³)	PCV容積4240m ³ より現状水没した容積を差し引き算出
PCV窒素封入量	30 (m ³ /h)	事象発生時のダスト放出の駆動力であるため、ページ量増加対策②における「実績のあるPCV排気流量」での窒素封入流量を考慮し、保守的に設定
PCVから大気放出までのダスト低減効果	0.1 (1/h)	PCV内構造が類似な2号機のアクセスルート構築作業時の仮設ダスト濃度変化より設定

□ 被ばく経路：放射性雲からの内部・外部被ばく、地表沈着からの内部・外部被ばく

■ 評価結果

□ 敷地境界での実効線量は約0.2mSv/事象で、事故時の基準5mSv/事象以下であることから、万が一水素燃焼した場合でも、著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない。

- 参考7に示したように、パージ作業により可燃限界が成立する水素希釈領域の球直径は、約6.4mと評価
 - 排気されたS/Cガスは水平方向、上方へ拡散・希釈されることから、簡便に水素希釈領域を球として考え、保守的に水素が保持される（D/W全域に拡散しない）と仮定する。
 - 1回（約2時間）のS/Cガス（水素濃度75%）の排気量を約4Nm³とすると、水素排気量は約3Nm³。
 - D/Wのバルク水素濃度が1.75%（現在検討しているパージ中の管理値）の時に、水素約3Nm³が水素希釈領域に排気された場合、可燃限界が成立する球直径（体積）は約6.4m（約137m³）となる。
- 水素を排出するX-45ペネ吹き出し口からペデスタル上部遮蔽壁までの水平距離が約6mであり、水素燃焼は、このエリア内で発生すると想定
- 水素燃焼の影響は、当該エリア外へも及ぶことも想定されるが、その影響は、水素燃焼発生点からの距離や構造物等により減衰すること、そもそも湿潤環境でダストが飛散し難い状況にあることから、当該エリアに限定してダスト飛散を想定
- 当該エリアは、事故前の状況から、比較的構造物のないエリアで、ダスト飛散は主に、エリアを囲む構造物からのものと想定し、壁面の面積を6m直径の球表面積に置き換えて設定（=120m²）



可燃限界が成立する水素希釈領域の球（イメージ）

4. S/C内滞留ガスパーシ作業によるリスクと対策（4/4）

- パーシ作業におけるリスク評価を踏まえて、S/C内滞留ガス（水素、放射性希ガスを含む）のパーシ作業では以下の安全管理を実施。

①水素燃焼の防止

- D/W水素濃度は、運転上の制限の範囲内（2.5%以下）で管理するため、PCV水素モニタを監視。
- パーシ作業で操作する設備には、帯電防止の接地を行い、着火源となる火花を発生させない。
- PCV冷却設備（窒素封入設備・PCVガス管理設備・原子炉注水設備）が停止した場合は、ガスパーシ作業を速やかに中止（参考10）。

②S/C内滞留ガスの漏えい防止

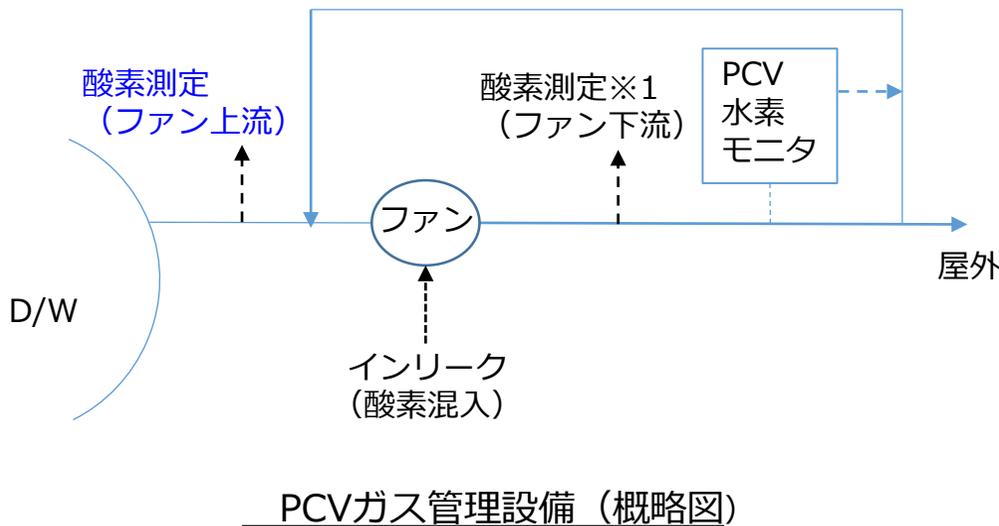
- ガスパーシ設備からの漏えいを防止するため、ガスパーシ設備の漏えい確認を定期的（2ヶ月に1回を目安）に実施。

③放射性希ガス（kr-85）による被ばく防止

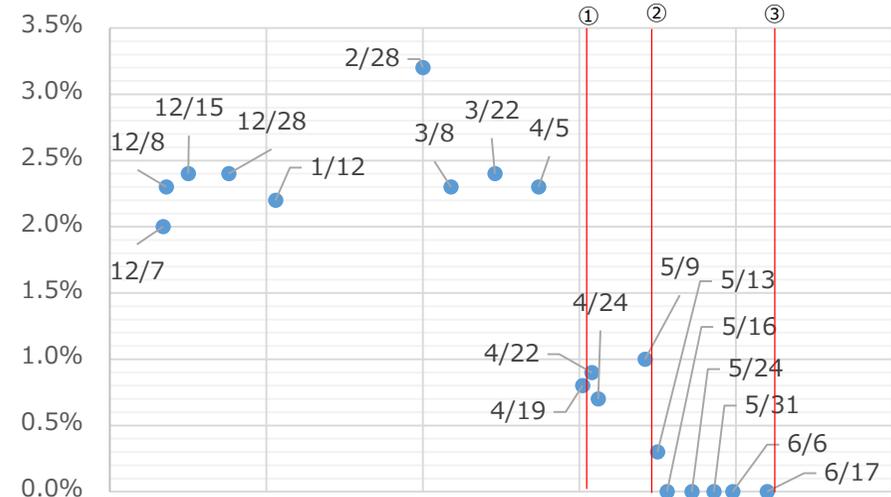
- Kr-85による敷地境界における被ばく線量の評価を行った結果、周辺公衆に与える放射線被ばくのリスクは小さいことを確認（参考11）。
- 発電所構内の作業者に対する被ばく防止のため、パーシ作業エリアおよびPCVガス管理設備の排気口近辺において、希ガス滞留の有無が無いことを確認（参考12）。

参考9-1. PCVガス管理設備のファン上流側（D/W側）の酸素濃度

- PCVガス管理設備ファン軸封部のインリーク（酸素混入）の影響を受けない、ファン上流側（D/W側）で酸素濃度を測定した結果を下図に示す（酸素濃度測定方法は参考9-2）。
- ファン上流側（D/W側）酸素濃度は、昨年12月以降、約2~3%（可燃限界未満）で推移していたが、4/19以降は約1%に低下し、さらにPCV窒素封入量の増加後にあたる5/16には、約0%まで低下（PCV窒素封入量変更の詳細は参考9-3）。
- 今後もファン上流側（D/W側）の酸素濃度を定期的（週1回を目安）に測定し、併せて10月を目途に遠隔かつ常時監視できる設備を追設する計画。



	①	②	③
PCV窒素封入量 (Nm ³ /h)	16⇒17*2	16⇒19	19⇒22
PCVガス管理設備排気量 (Nm ³ /h)	22	22	22⇒25



3号機PCVガス管理設備のファン上流側（D/W側）の酸素濃度

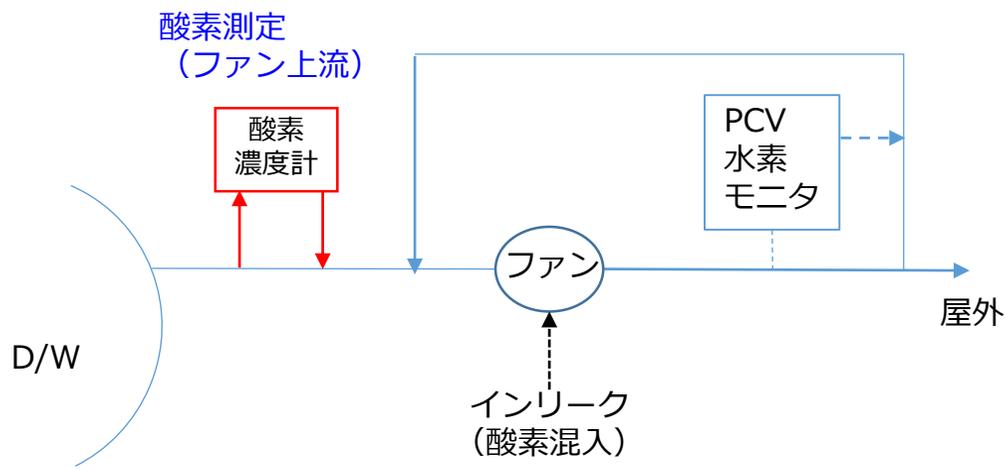
※1：ファン下流側酸素濃度は、D/W内の水素濃度管理値を評価することを目的に定期的に測定している。
 ※2：PCV窒素封入設備の運転切替に伴い、4/24以降のPCV窒素封入量は16Nm³/h。

<現状の測定方法>

- PCVガス管理設備のファン上流にある分岐ノズル（洗浄用および予備の2ヶ所）に、測定の都度、酸素濃度計を接続し計測。

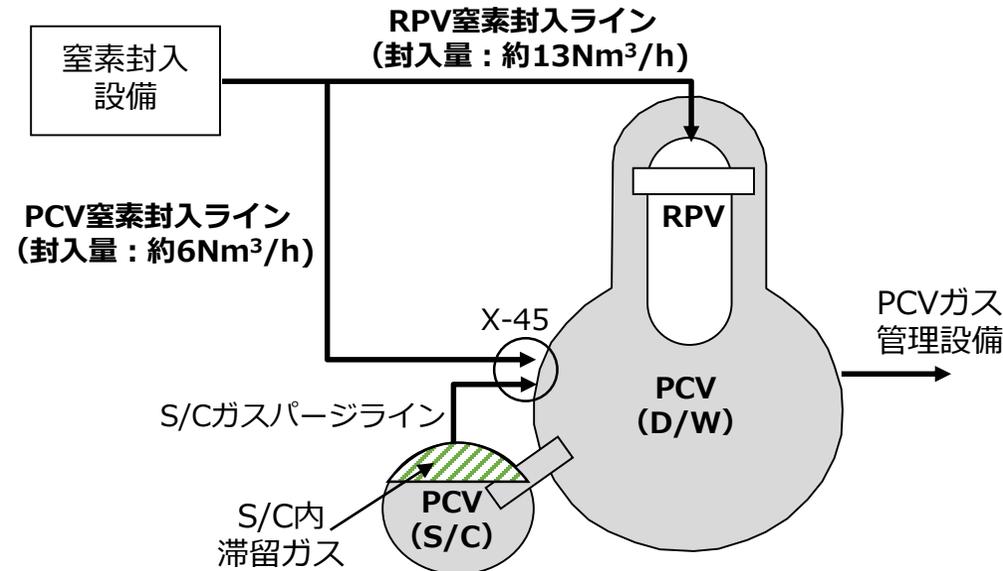
<今後の測定方法（予定）>

- 分岐ノズルに酸素濃度計を常時接続し、Webカメラ等にて濃度計指示値を遠隔監視できるように改造を計画。
- なお、酸素濃度計は、定期的により大気による自動校正が必要であり、吸気した大気をPCVガス管理設備に排気することになるが、自動校正時の流量は数L/min程度であるため、PCVガス管理設備排気流量を考慮すれば、校正に伴うPCVガス管理設備内の酸素濃度上昇幅は、極微量である。



PCVガス管理設備（概略図）

- PCVに窒素封入するラインは、RPV側とPCV側の2ヶ所を有しており、**変更前はRPV側から約16Nm³/hを封入**していた。
- PCVガス管理設備ファン上流で確認した酸素濃度を低減するため、窒素封入を3Nm³/h増加（参考9-4）しようとしたが、事前に想定していたRPV窒素封入ラインの圧損影響により、**4/19は約17Nm³/h（+約1Nm³/h）の増加に留まった**。
- 4/24は、窒素封入設備の定例切替により、窒素封入量が約16Nm³/hに戻ったが、**5/9にRPV側を約13Nm³/h（-約3Nm³/h）に減少、PCV側を約6Nm³/h（+約6Nm³/h）に増加させ、合計約19Nm³/h（+約3Nm³/h）に変更した**。
 なお、RPV側を減少させた理由は、PCV側の流量計の最小目盛が5Nm³/hであり、それより多く流量を確保する必要があったため。



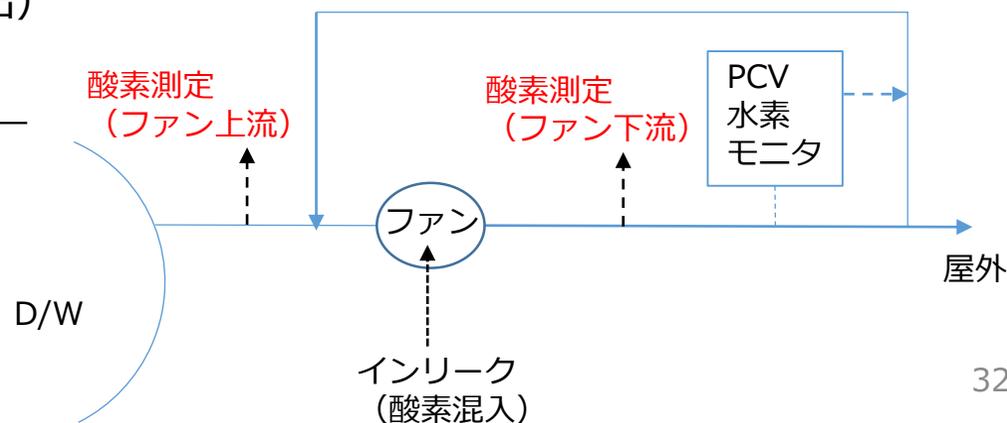
- PCV圧力は、約0.5kPaを指示しているが、仮に値に不確かさがあり、実態としてはわずかに負圧になっているとすれば、「窒素封入量 < PCV（D/W）からの実際の排気量（実排気量）」の関係にあるものとする。
- この前提を踏まえ、窒素封入量 > 実排気量とするための窒素封入量の増分を検討した結果、2～3Nm³/hと評価。

<評価の前提条件>

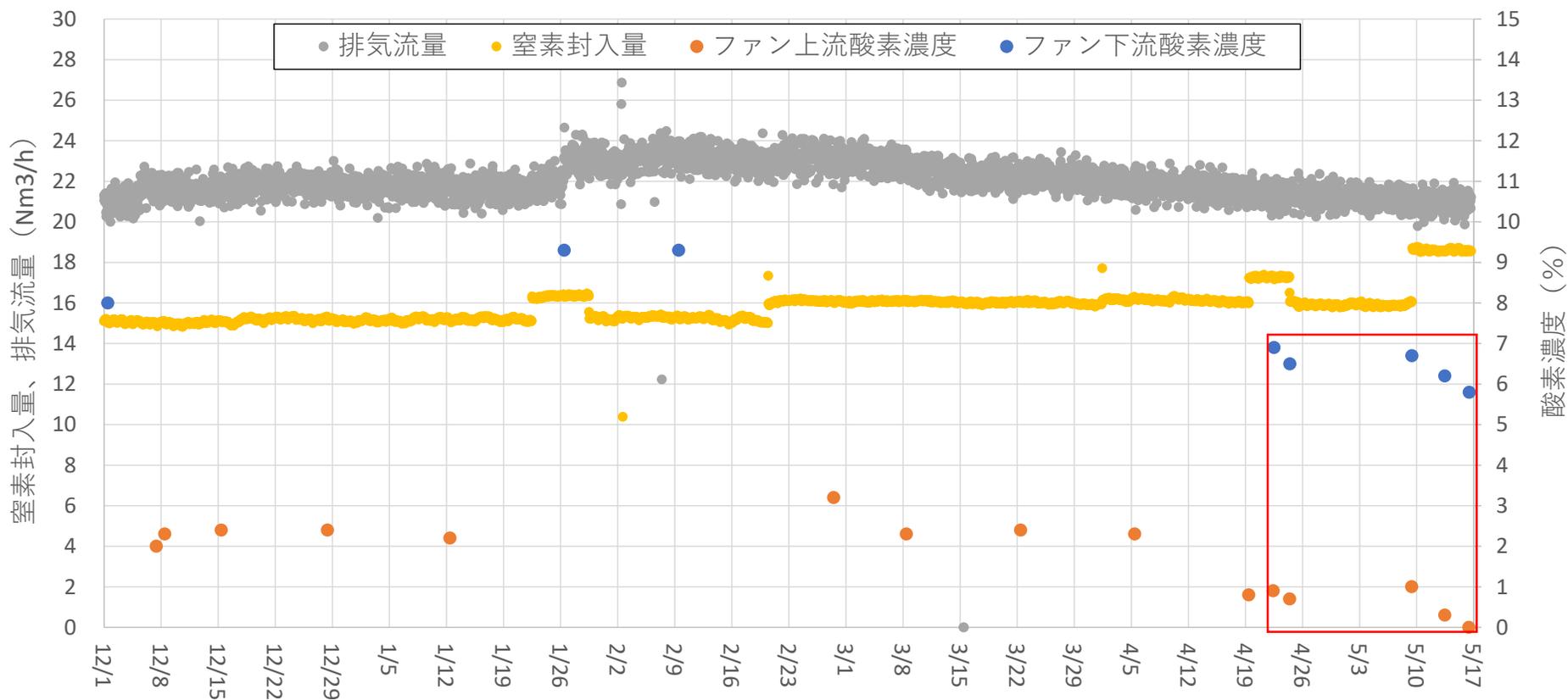
- ・ 窒素封入量：16Nm³/h
- ・ 排気量：22Nm³/h（格納容器からの実際の排気量+ファンにおけるインリーク流量）
- ・ ガス管ファン上流酸素濃度：3%
- ・ ガス管ファン下流酸素濃度：8%

<評価>

8%-3% = 5%（下流酸素-上流酸素をし、ファンによる正味の酸素濃度変化を算出）
 5% ÷ 20.9% ≒ 24%（上記の酸素濃度変化を大気酸素濃度で除し、ファンのインリーク割合を算出）
 22Nm³/h × 0.24 ≒ 5.3Nm³/h（ファンのインリーク量を算出）
 22Nm³/h - 5.3Nm³/h ≒ 17Nm³/h（実排気量を算出）
 →したがって、窒素封入量 > 実排気量とするため
には、2～3Nm³/h増やせばよいものとする。

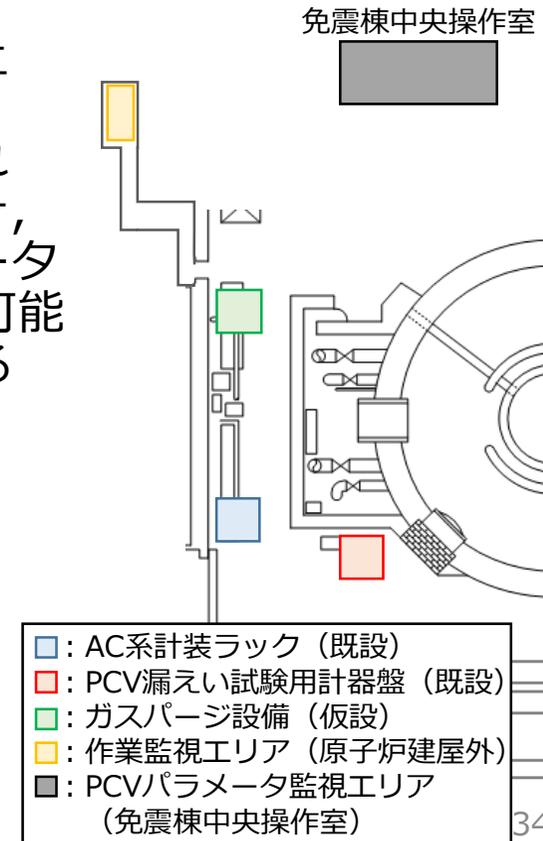


- 5/16にファン上流酸素濃度が0.0%に低下。窒素封入量を増やし給排気流量差を減少させたことで、PCV内への酸素のインリークを低減することができた効果と考える。
- また、酸素濃度が0.0%にまで低下したこと、およびファン上流／下流の酸素濃度を同日に計測した結果、ファン上流と下流の酸素濃度の変化が同じ傾向にある（下図赤枠部）ことから、ガス管理設備のうち、PCV貫通部～ファン上流の酸素濃度計測位置までの間で酸素のインリークはなく、ファン上流酸素濃度は、PCV内の酸素濃度を表しているものと考えられる。



参考10. ガスパージ作業の監視状況

- S/C内滞留ガスの送気中は、原子炉建屋近傍の作業監視エリアにてガスパージ設備のパラメータ（流量計等）を遠隔監視。
- また、PCV関連パラメータについては、免震棟内の中央操作室にて遠隔監視。
- PCV冷却設備（窒素封入設備・PCVガス管理設備・原子炉注水設備）に異常があった場合は、中央操作室にて検知可能であり、その場合は、作業監視エリアの作業員に連絡し、パージ作業を中止する（ガスパージ設備の弁を全て閉める）。
- また、パージ作業中に地震が発生した場合は、パージ作業を中止する（ガスパージ設備の弁を全て閉じる）。
なお、パージ設備は、転倒防止の観点で付近の構造物に固縛されており、地震による損傷の可能性は低いと考えられるが、万が一、破損が生じS/C内滞留ガスが漏えいした場合でも、PCVパラメータ（D/W水位の低下）の確認や建屋内の水素濃度測定により検知可能であり、数分以内にS/Cに至る大元の弁（AC系計装弁）を閉じることが可能。



参考11. 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 $1.46 \times 10^4 \text{Bq/cm}^3$ 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 1600Nm^3 ）※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 $3.8 \times 10^{-4} \text{mSv}$ ）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（ $4 \times 10^{-5} \text{mSv/年}$ ）よりは大きいですが、「年間 1mSv を満足する気体放出による評価値（ $3 \times 10^{-2} \text{mSv/年}$ ）」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。

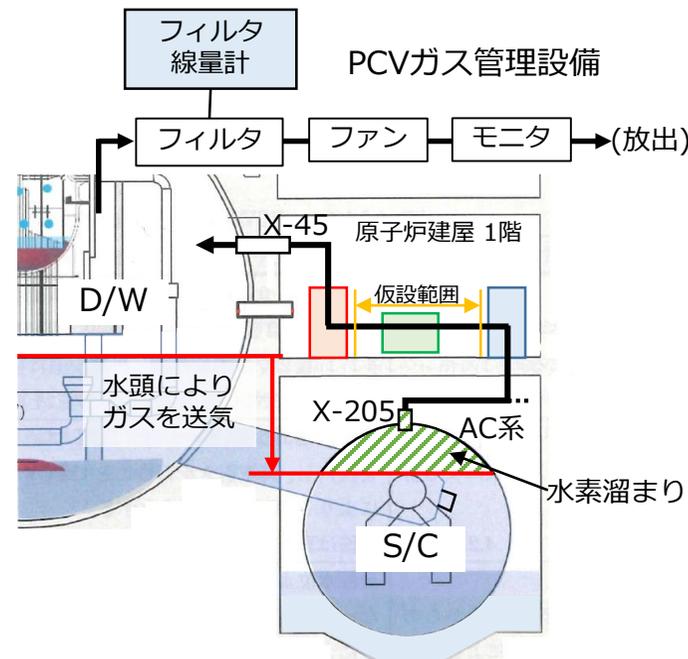
※1：今回、採取・分析したガスはAC系配管を含むS/C頂部のガスの一部であるため、パージ作業の進捗に応じてKr-85濃度の傾向を確認するため適宜、分析を実施。

※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（ $3 \times 10^{-2} \text{mSv/年}$ ）」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年11月28日公表

参考12. パージ作業時における被ばく低減対策

- Kr-85を含むガスをPCVガス管理設備を経由して放出することから、当該設備近傍における過剰被ばくを防止するため、当該設備フィルタに設置された線量計をパージ作業中は監視し、有意な変動を確認した場合は、作業を中止。
- パージ作業中は建屋内の気体採取およびKr-85濃度の分析を行い、S/C内滞留ガスが原子炉建屋等に滞留していないことを確認。



PCVガス管理設備線量計設置イメージ

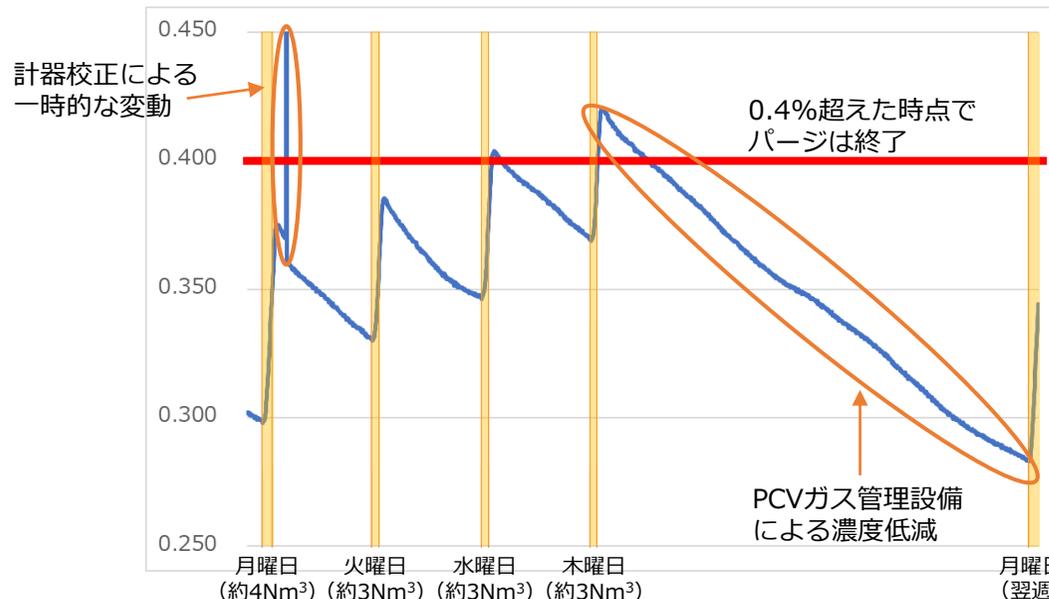
5. S/C内滞留ガスパーズ作業における課題と対策

- パーズ作業は、運転上の制限（2.5%以下）より低い社内運用（警報設定1.5%）を考慮し、**D/W水素濃度^{※1}が1.0%（PCVガス管理設備水素モニタ濃度0.4%）以下になるよう管理している**。この場合、1週間あたりのパーズ可能量は約16Nm³^{※2}であるため、**約1600Nm³のS/C内滞留ガスのパーズ完了までは25ヶ月^{※2}を要すると評価（パーズ実績（2024.6.13）約260Nm³を考慮すると21ヵ月）**。
- パーズが完了するまでの期間を短縮するため、D/W水素濃度の管理値および警報設定値の見直しを検討。なお、管理値等の見直しについては、運転上の制限2.5%以内の範囲で行うため、パーズ作業により運転上の制限を越えることは無い。

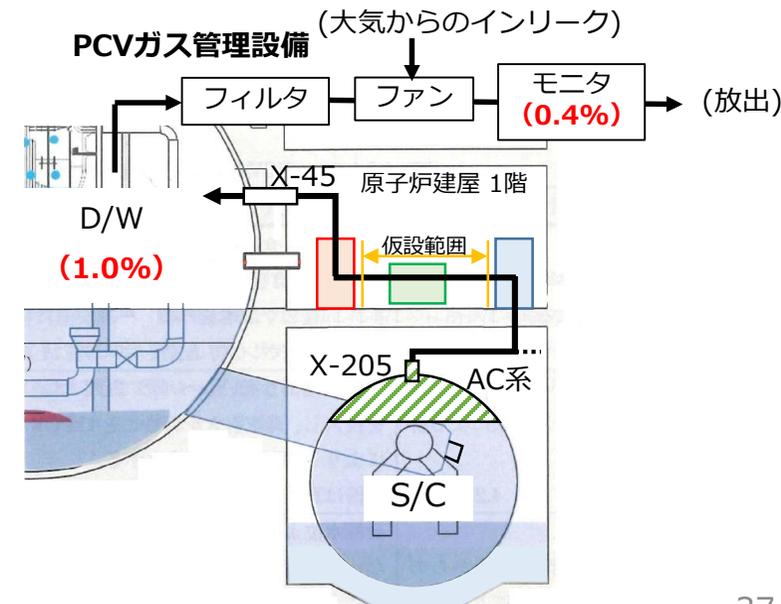
※1：モニタ水素濃度が当該管理値に達した時点で、パーズ作業を中止。
 ※2：5月に実施した窒素封入量変更によるパーズ量の増加を反映し見直し。

<D/W水素濃度に関する補足>

- PCVガス管理設備の水素モニタは、ファン吸い込みの負圧影響を受けない、ファン下流に設置しているが、ファンは軸封部からインリークがあり、水素濃度の監視に用いるモニタ値は、実際のD/W水素濃度より低くなるため、D/W水素濃度はモニタ値の2.5倍で管理。
- PCVガス管理設備へのインリーク量評価のため、ファン下流での酸素濃度測定を定期的実施し、評価の妥当性を確認。



1週間のパーズ作業によるPCVガス管理設備水素モニタの指示変動

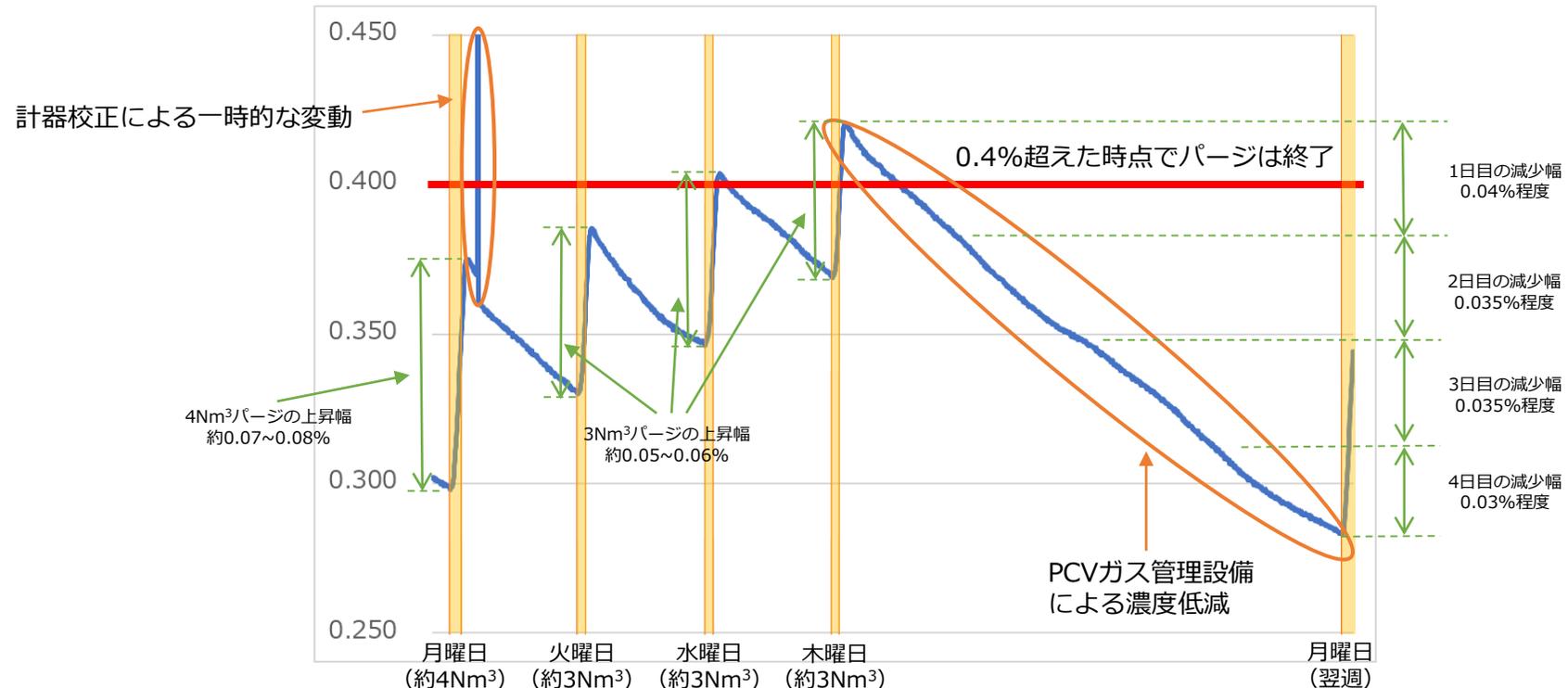


D/WとPCVガス管理設備モニタの水素濃度の関係

参考13. パージ作業によるPCVガス管理設備水素モニタの変動状況



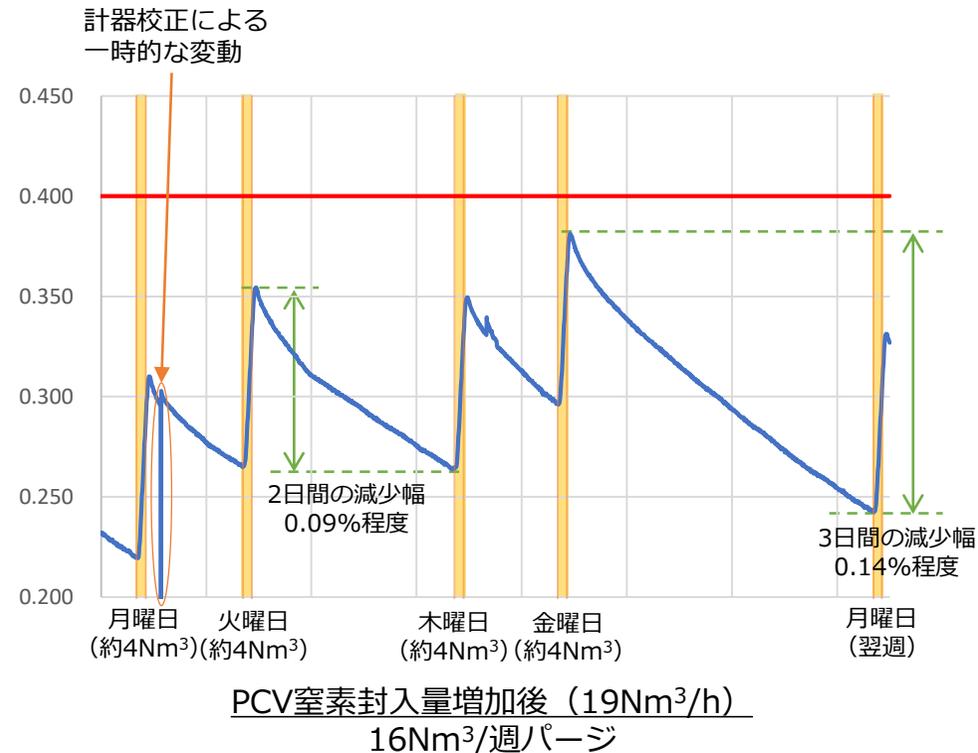
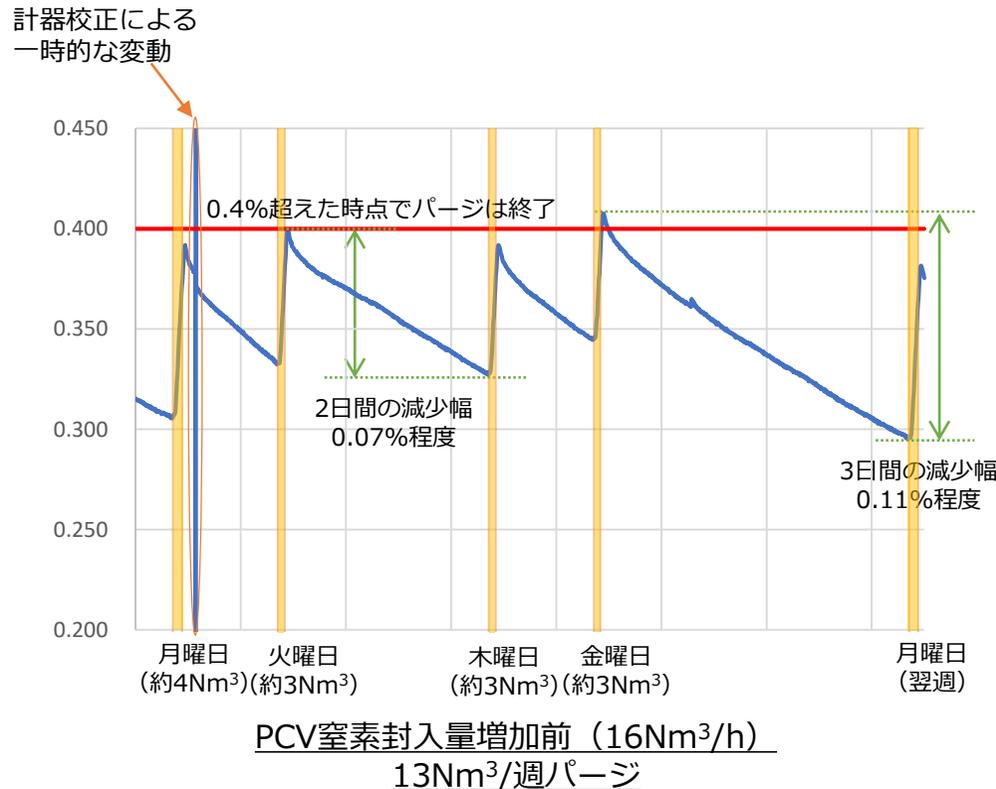
- S/C内滞留ガスのD/Wへのパージは、1週間のうち4日程度パージ（1日あたり約1～3時間パージ），約13Nm³/週をパージ中。（2024年5月9日までの状況）
- 日々のパージ作業は、PCVガス管理設備水素モニタの指示値が0.4%を超えた時点で中止。その後は、PCV水素モニタでの水素濃度低減を確認後、パージを再開する。
- PCV水素モニタの変動傾向は、下記の通り想定しており、1週間当たりのパージ可能量の試算に活用。
 - パージによる濃度上昇幅は、パージ量に応じて概ね一定。
 - パージ終了からの濃度上昇幅（オーバーシュート）は、パージ量によらず概ね一定（約0.02～0.03%）。
 - パージ作業終了後、PCVガス管理設備による濃度減少幅は、水素濃度が高い程、大きくなる傾向あり。



1週間のパージ作業によるPCVガス管理設備水素モニタの指示変動

参考14. PCV窒素封入量増加による水素濃度低減効果

- 5/9にPCV窒素封入量を増加 (+3Nm³/h) して以降, パージ後のPCVガス管理設備水素モニタの水素濃度低減率が大きくなったことを確認。
- 至近の1週間当たりのパージ可能量は16m³/週 (当初13m³/週) であることから, 現在実施しているPCV窒素封入量およびPCVガス管理設備排気量の増加により, さらなるパージ量の増加が期待できると考えている。



5-1. S/C内滞留ガスパーズ作業における課題と対策①

- パーズが完了するまでの期間を短縮するため、段階的にパーズ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）。
- パーズ作業における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）。
- 見直しによるパーズ期間の短縮効果は、これまでのパーズ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）による最大パーズ流量（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 パーズ可能量 (推定)	パーズ期間 (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ズ中の管理値
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、パーズ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ズ量の増加を反映

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 パーズ可能量 (推定)	パーズ期間 (試算) ※	残りの パーズ期間※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ズ中の管理値
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）のパーズが完了していることを反映

参考15. 運転上の制限および警報設定の考え方（1/2）

<運転上の制限の設定の考え方>

- 水の放射線分解での水素発生（2012年5月時点の崩壊熱を考慮）により，D/W水素濃度が可燃限界4%に達しないようにする上で，PCV窒素封入設備の停止から再起動までに必要な32時間を考慮し，運転上の制限を2.5%に設定。

<警報設定の考え方>

- 運転上の制限の考え方と同様に，水の放射線分解での水素発生により，運転上の制限2.5%（モニタ濃度1.0%）に達しないよう警報設定を1.5%（モニタ濃度0.6%）に設定。
- 現状の崩壊熱（2024年4月時点）を考慮すると，見直しする警報設定2.0%（モニタ濃度0.8%）から運転上の制限2.5%（モニタ濃度1.0%）までの到達時間は79時間と試算していることから，窒素封入設備の停止から再起動までに対して余裕がある。

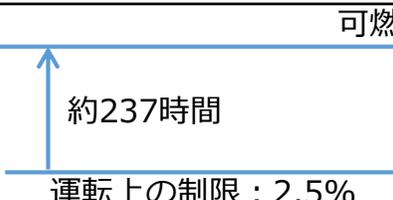
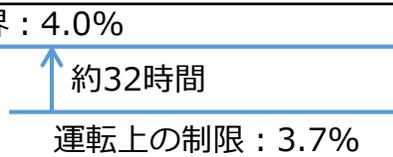
<パーシ作業による運転上の制限逸脱の可能性>

- パーシ作業は，警報設定2.0%（モニタ濃度0.8%）よりも低い1.75%（モニタ濃度0.7%）にてパーシを終了するため，終了後のオーバーシュート（モニタ濃度が+0.03程度）を考慮しても，**パーシ作業により警報設定2.0%（モニタ濃度0.8%）および運転上の制限2.5%（モニタ濃度1.0%）に到達しない。**

	2012年7月	現状	変更後（予定）
警報設定値 （括弧内はモニタ濃度）	運転上の制限：2.5%（1.3%） ↑ 約13時間 警報設定：1.9%（1.0%）	運転上の制限：2.5%（1.0%） ↑ 約158時間 警報設定：1.5%（0.6%）	運転上の制限：2.5%（1.0%） ↑ 約79時間 警報設定：2.0%（0.8%）
警報設定から「運転上の制限」の到達時間	約13時間	約158時間	約79時間
（参考）パーシ中のD/W水素濃度管理値（括弧内はモニタ濃度）	—	1.0%（0.4%）	1.75%（0.7%） ⇒PCVパラメータの変動状況を確認し，1.75%まで段階的に増加。

<運転上の制限の設定の考え方と現状の崩壊熱での試算>

- 水の放射線分解での水素発生（2012年5月時点の崩壊熱を考慮）により、D/W水素濃度が可燃限界4%に達しないようにする上で、窒素封入設備の停止から再起動までに必要な32時間を考慮し、運転上の制限を2.5%に設定。
- パージ作業は、運転上の制限2.5%の範囲内で実施するが、仮に現状の崩壊熱を考慮した場合の運転上の制限は、3.7%と試算。

	2012年5月時点の崩壊熱	現状の崩壊熱
運転上の制限	可燃限界：4.0%  運転上の制限：2.5%	可燃限界：4.0%   運転上の制限：3.7% 運転上の制限：2.5%
32時間の余裕を確保できる「運転上の制限」	2.5%	3.7%

5-2. S/C内滞留ガスパーズ作業における課題と対策②

対策②：PCVガス管理設備排気量およびPCV窒素封入量の増加

- パーズ完了までの期間短縮のため、**PCVガス管理設備排気量（PCV窒素封入量）の増加も併せて検討**しており、それに伴うパーズ期間の短縮効果（推定）は、これまでのパーズ実績等を踏まえて下表の通り。

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)	PCVガス管理設備 排気流量	窒素封入 設備流量	1週間あたりの パーズ可能量（推定）	パーズ期間 (試算)※	備考
1.0% (0.4%)	約22Nm ³ /h	約16Nm ³ /h	約13Nm ³ /週	約31ヶ月	現状の管理方法
1.5% (0.6%)	約22Nm ³ /h	約16Nm ³ /h	約20Nm ³ /週	約20ヶ月	現状のPCV排気流量
	約27Nm ³ /h	約21Nm ³ /h	約25Nm ³ /週	約16ヶ月	実績のあるPCV排気流量
	約32Nm ³ /h	約26Nm ³ /h	約30Nm ³ /週	約13ヶ月	PCV排気流量が設備上対応可能 か確認中
約37Nm ³ /h	約31Nm ³ /h	約34Nm ³ /週	約12ヶ月		
1.75% (0.7%)	約22Nm ³ /h	約16Nm ³ /h	約21Nm ³ /週	約19ヶ月	現状のPCV排気流量
	約27Nm ³ /h	約21Nm ³ /h	約27Nm ³ /週	約15ヶ月	実績のあるPCV排気流量
	約32Nm ³ /h	約26Nm ³ /h	約32Nm ³ /週	約13ヶ月	PCV排気流量が設備上対応可能 か確認中
	約37Nm ³ /h	約31Nm ³ /h	約38Nm ³ /週	約11ヶ月	



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ズ量の増加を反映

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)	PCVガス管理設備 排気流量	窒素封入 設備流量	1週間あたりの パーズ可能量（推定）	パーズ期間 (試算)※	残りの パーズ期間※1	備考
1.0% (0.4%)	約22Nm ³ /h	約19Nm ³ /h	約16Nm ³ /週	約25ヶ月	約21ヶ月	現状の管理方法
	約27Nm ³ /h	約24Nm ³ /h	約19Nm ³ /週	約21ヶ月	約18ヶ月	実績のあるPCV排気流量
1.5% (0.6%)	約22Nm ³ /h	約19Nm ³ /h	約21Nm ³ /週	約19ヶ月	約16ヶ月	現状のPCV排気流量
	約27Nm ³ /h	約24Nm ³ /h	約25Nm ³ /週	約16ヶ月	約14ヶ月	実績のあるPCV排気流量
	約32Nm ³ /h	約29Nm ³ /h	約29Nm ³ /週	約14ヶ月	約12ヶ月	PCV排気流量が設備上 対応可能か確認中
約37Nm ³ /h	約34Nm ³ /h	約33Nm ³ /週	約13ヶ月	約11ヶ月		
1.75% (0.7%)	約22Nm ³ /h	約19Nm ³ /h	約24Nm ³ /週	約17ヶ月	約14ヶ月	現状のPCV排気流量
	約27Nm ³ /h	約24Nm ³ /h	約29Nm ³ /週	約14ヶ月	約12ヶ月	実績のあるPCV排気流量
	約32Nm ³ /h	約29Nm ³ /h	約34Nm ³ /週	約12ヶ月	約10ヶ月	PCV排気流量が設備上 対応可能か確認中
	約37Nm ³ /h	約34Nm ³ /h	約39Nm ³ /週	約11ヶ月	約9ヶ月	

- PCVガス管理設備排気流量は、増加実績がある27Nm³/hまでは段階的に増加させる方針。 ※ 起点は、パーズを断続的に実施した2024年2月、3月としている。
- また、27Nm³/h以上の増加が必要になる場合に備え、設備上の対応や監視方法については検討中。 ※1 約260Nm³（2024年6月13日時点）のパーズが完了していることを反映

- 窒素封入設備およびPCVガス管理設備の運転実績を考慮し、PCV給気量は $24\text{Nm}^3/\text{h}$ 、PCV排気量は $27\text{Nm}^3/\text{h}$ に上昇させ、上昇幅（ $+5\text{Nm}^3/\text{h}$ ）をそろえることでD/W酸素濃度が上昇しないよう管理。合わせて操作は、**PCV給気量→PCV排気量の順で増操作**し、D/W内への酸素インリークを防止。
- PCV給排気量の変更は、D/W酸素濃度への影響を確認するため、2段階で実施。

	現状	1回目変更	2回目変更
PCV給気量 (窒素封入設備)	約19	約22 (+3)	約24 (+2)
PCV排気量 (PCVガス管理設備)	約22	約25 (+3)	約27 (+2)

(単位： Nm^3/h)

- 1回目の変更は、6/17に実施し、これまでにPCVパラメータに有意な変動がないことを確認。

<異常時の対応>

- PCVパラメータに有意な変動を確認した場合は、関係者で協議した上でPCV給排気量を現状に戻す。
- PCV給排気量の変更から2日後を目安に、D/W酸素濃度の変化（上昇傾向）が無いか確認。万が一、変化を確認した場合は、PCV窒素封入量の単独増加を行い、改めて酸素濃度を確認。

<パーシ作業の扱い>

- パーシ作業は、PCV給排気量を変更し、酸素濃度に変化がないことを確認するまでは中断。
- 1週間当たりのパーシ量は、2回の変更により約 $19\text{Nm}^3/\text{週}$ に増加すると考えている。
- なお、パーシ期間短縮のため、PCV排気量の増加は $37\text{Nm}^3/\text{h}$ まで計画しているが、運転実績が無いため、今回の実績を踏まえた上で別途検討する。

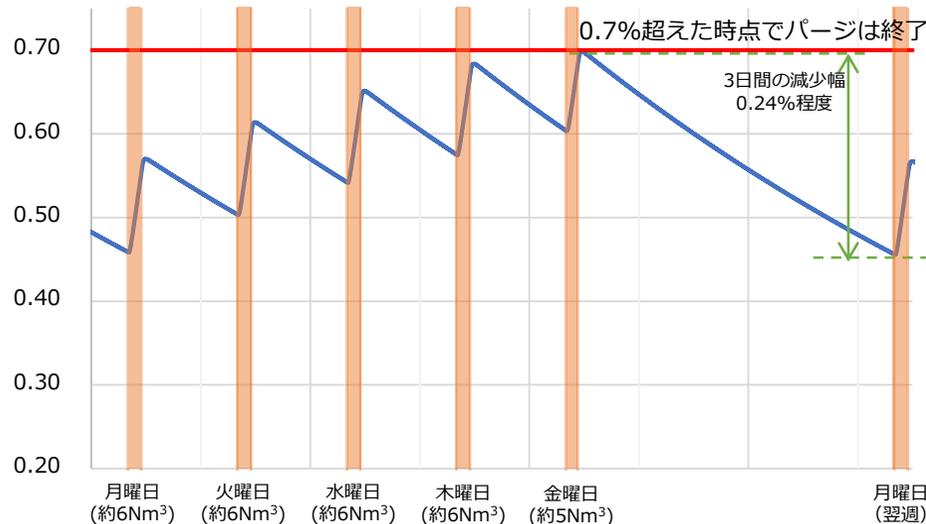
参考17. 対策①および②による1週間あたりのパージ可能量

■ パージ量増加の方策を実施した場合，1週間のパージ量の想定を下記に示す。

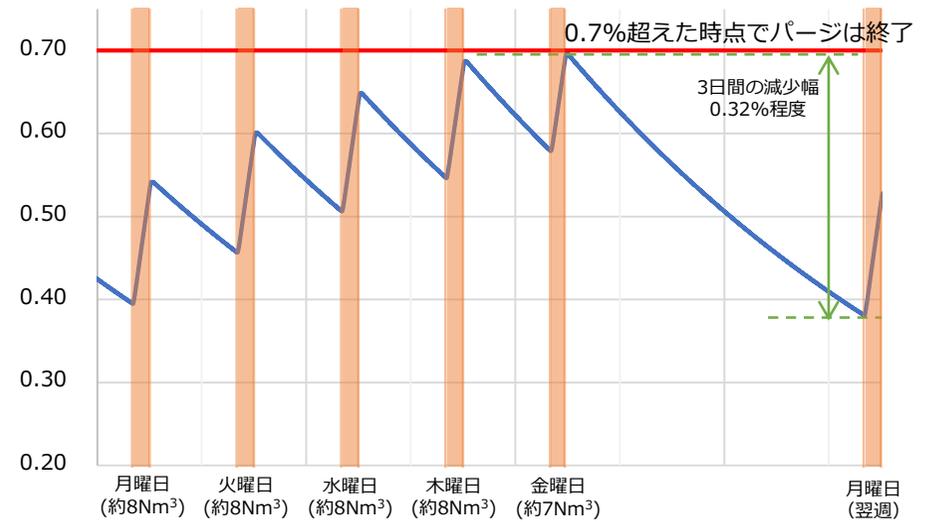
ケース	D/W水素濃度 管理値 (括弧内はPCVガス管理 設備水素モニタ濃度)	PCVガス 管理設備 排気流量 (Nm ³ /h)	窒素封入 設備流量 (Nm ³ /h)	1週間あたりの パージ可能量 (推定)	パージ期間 (試算) ※	残りの パージ期間※1
A	1.75% (0.7%)	約27	約24	約29Nm ³ /週	約14ヶ月	約12ヶ月
B		約37	約34	約39Nm ³ /週	約11ヶ月	約9ヶ月

補足 参考26のPCVガス管理設備水素モニタの評価を引用

※ 起点は，パージを断続的に実施した2024年2月,3月としている。
 ※1：約260Nm³ (2024年6月13日時点) のパージが完了していることを反映。



ケースA



ケースB

1週間のパージ作業によるPCVガス管理設備水素モニタの指示変動

参考18. D/W内での水素燃焼によるダスト影響の検討（敷地境界での実効線量評価） （パーシ量増加の方策を実施した場合）

- 作業1回あたりのS/C内滞留ガスパーシ量を8Nm³とした場合のダスト影響を検討。
- S/Cガスを排気しているX-45の小口径配管出口近傍の比較的水素濃度が高い領域で水素燃焼が発生し、近傍の構造物等に付着しているダストが剥離・浮遊し、環境に放出されるシナリオを想定。
- 評価条件：下表パラメータにて環境への放出量を評価。S/C内滞留ガスパーシ量及びPCV給排気流量増加を踏まえ、「4-3. D/W内での水素燃焼によるダスト影響の検討（敷地境界での実効線量評価）」で示した評価パラメータのうち、「PCV内ダスト付着面積」、「PCV窒素封入量」を変更。建屋沈着等は保守的に考慮していない。

評価パラメータ		備考
PCV内ダスト汚染密度	Cs134 : 4.6×10 ⁵ (Bq/cm ²) Cs137 : 5.1×10 ⁷ (Bq/cm ²)	実施計画V-添7-別添15の表3「2号機のPCV内の構造物の表面汚染密度」を参照し、3号機PCV内線量率で補正して算出
PCV内ダスト付着面積	210 (m ²)	水素燃焼により飛散するダスト源の範囲として、参考7と同様に評価し、可燃限界が成立する球直径8mの球表面積を設定
PCV内ダスト飛散率	0.15 (%)	DOE HANDBOOK §4.4.2.2.2より、爆発衝撃による飛散率(ARF=5E-3, RF=0.3)を参照。爆発によって生じる圧力衝撃（表面に平行なガス流）による構造物表面の乾燥粉体の飛散率であり、想定する水素燃焼に近く湿潤環境に対して保守的な飛散率と考えて設定
PCV気相部容積	3720 (m ³)	PCV容積4240m ³ より現状水没した容積を差し引き算出
PCV窒素封入量	40 (m ³ /h)	事象発生時のダスト放出の駆動力であるため、パーシ量増加の方策を実施した場合の窒素封入流量を考慮し、保守的に設定
PCVから大気放出までのダスト低減効果	0.1 (1/h)	PCV内構造が類似な2号機のアクセスルート構築作業時の仮設ダスト濃度変化より設定

- 被ばく経路：放射性雲からの内部・外部被ばく，地表沈着からの内部・外部被ばく

■ 評価結果

- 敷地境界での実効線量は約0.3mSv/事象で、事故時の基準5mSv/事象以下であることから、万が一水素燃焼した場合でも、著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない。

5-3. S/C内滞留ガスパーシ作業における課題と対策③

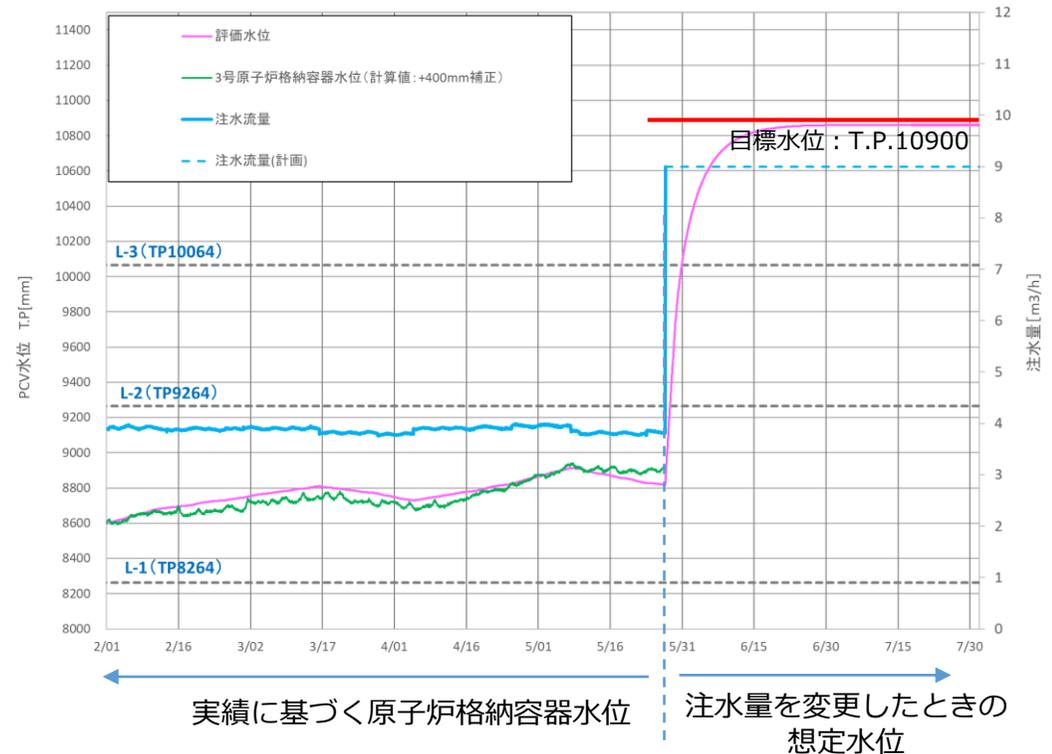
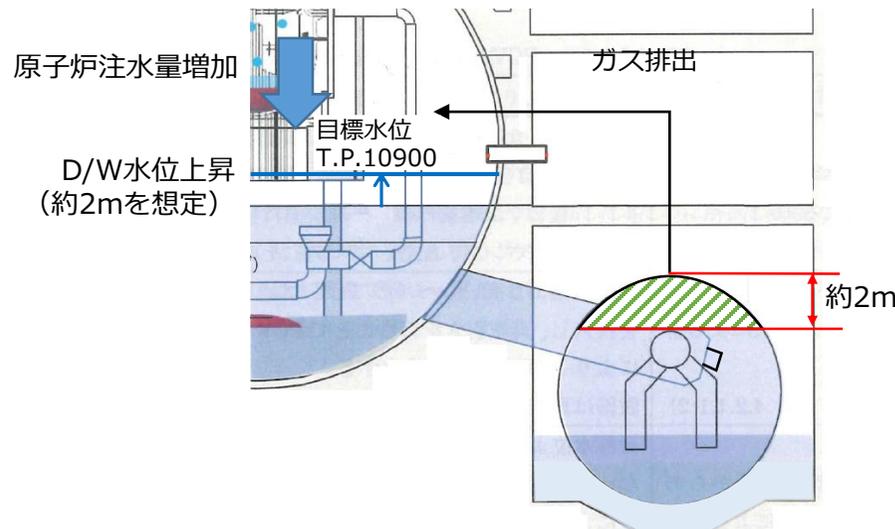
対策③：設備改造によるパーシ流量の増加（検討中）

※ PCV水位が現状と変わらず、S/C水位が頂部に達した場合の水頭によるパーシ流量を試算

- パーシ進捗によりS/C水位がS/C頂部に達した場合、パーシ流量が現在の約 $2\text{Nm}^3/\text{h}$ から約 $1.6\text{Nm}^3/\text{h}$ ※へ低下が見込まれる。なお、本試算はPCV水位やガス送気経路の圧損等が今後も変わらないことを前提としている。
- PCV水頭（PCV水位とS/C水位の水位差）の減少等により最大パーシ流量が低下した場合に備えて、パーシ流量の増加策を検討。

	A：ダイヤフラム式の流量増加設備設置	B：PCV（D/W）水位上昇による水頭の増加	C：PCV水頭低下（パーシ流量約 $1.6\text{Nm}^3/\text{h}$ ）の状態継続
パーシ流量増加策のイメージ			
方策	<ul style="list-style-type: none"> ・ガスパーシ設備にダイヤフラム式真空ポンプ（水素ガス対応）を設置し、ガスパーシを実施。 ・PCV水頭によらず最大約$3\text{Nm}^3/\text{h}$程度での送気を想定。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガスパーシに伴うS/C水位上昇により減少するPCV水頭を維持するため、原子炉注水量を増加しD/W水位を上昇。 ・水位上昇幅は、現状のS/C水面とS/C頂部までの高さに相当する2m程度を想定。 	<p>パーシ流量の増加はできないが、一日あたりの排出作業時間の延長による対応を想定。</p>
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・可燃ガス（水素）対応のポンプ選定が必要であり、選定・調達に時間を要する見込み。 	<ul style="list-style-type: none"> ・増加分の原子炉注水（水源）の確保が必要。 	<p>パーシ流量の減少がPCV水位とS/C水位の影響を受けるため、PCV水頭の低下幅は変更の可能性あり。</p> <p>パーシ期間短縮策により、排出作業時間は短縮の影響も含め、効果の確認が必要。</p>

- ガスパージ作業の進展により減少するPCV水頭を補うため、D/W水位をT.P.10900まで上昇（現状のS/C水位からS/C頂部までの約2m分に相当）させるのに必要な炉注水量を試算。
- 試算は、PCVの漏えい口2ヶ所^{※1}を仮定、現状の原子炉注水量（約3.8m³/h）の倍以上の約9m³/hとなる。
※1：PCV漏えい口は、R/B1階の主蒸気配管とS/C底部を設定。
- 至近では建屋への地下水流入量が減少しているため、原子炉注水量の増加に際しては、水源確保の調整が必要な状況。



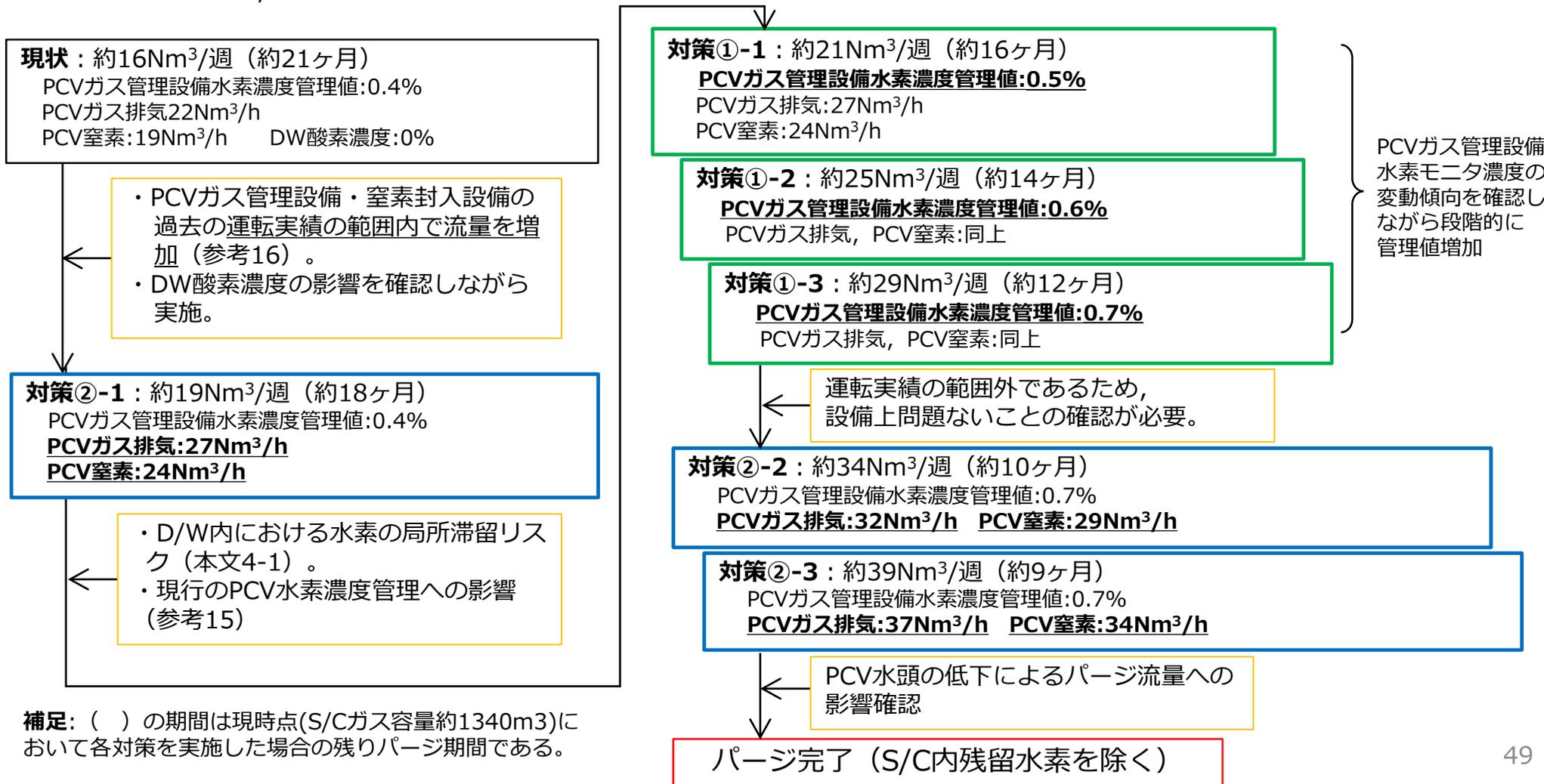
5-4. 今後のパージ作業の進め方

- パージが完了するまでの期間を短縮するため、段階的にパージ量増加する方策として、下記を実施。

対策①：D/W水素濃度管理値の段階的な増加

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

- 上記対策のうち、短期間で実施可能な対策から以下の通り実施。



補足：（ ）の期間は現時点(S/Cガス容量約1340m³)において各対策を実施した場合の残りパージ期間である。

■ S/C構造によるS/C内滞留ガスの残留

パージ作業で使用するAC系配管（S/C頂部に接続）は、S/C内に約30cm突き出しているため、構造上、S/C頂部の一部はガスが残留し、その体積は約70m³（S/C頂部30cm分）と試算。

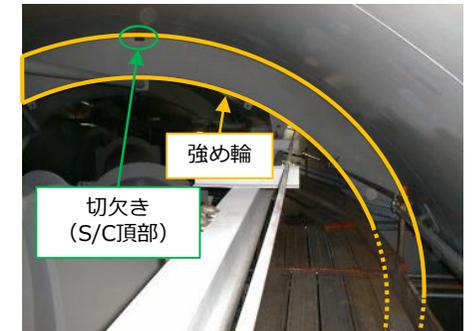
（パージ作業でを使用したAC系配管には約20m³と試算）



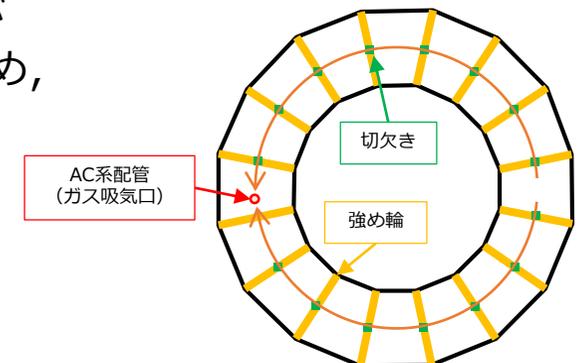
(参考) 5号機AC系配管のS/C突き出し状況

<参考：S/C強め輪による残留の可能性>

- S/C補強のため、S/C周方向に強め輪と呼ばれるリブが複数設置。
- 強め輪は厚さが約60cmあり、強め輪の間のS/C頂部にはガスが滞留する空間になり得るが、強め輪の頂部には切欠きがあるため、そこを通してガスはパージされると考えている。



3号機S/C強め輪（震災前のS/C内部）



3号機S/C平面図
(強め輪配置イメージ)

- S/C内のAC系配管の突き出しにより残留するガスの排出(パージ) は、PCV水頭の減少または窒素ガス封入により、ガス体積を増加させ排出する方法が考えられる。また、残留ガスの送気先として、D/Wを想定。
- ガス体積の増加による排出において考慮すべき事項は下記の通り。

<①S/Cから建屋への直接漏えい>

- 現状は、S/C気相部圧力が維持されているため、現状の気相部範囲内ではS/Cから建屋へのガスの漏えい口は無いと考えられる。
- 残留ガスを排出するため、現状の気相部範囲を超えてガス体積を増加させた場合、仮に水が漏えいしている箇所があるならば、ガスが建屋へ直接漏えいするリスクがある。
- ただし、建屋の気密性が低いため、長期間、水素が滞留する可能性は低いと想定。
→S/C内の水位を現状(当初)のS/C気相部範囲に収めることが必要。

<②S/C内への大気インリーク>

- ①と同様の漏えい口が存在し、かつ、S/C気相部圧力がPCV水頭の減少により大気圧以下の場合、S/C内に大気がインリークする。
- 残留ガスの水素濃度が可燃範囲であった場合、酸素混入により水素燃焼のリスクが上がる。
→S/C内の気相圧力が大気圧以上(微正圧)であることが必要 (酸素濃度の監視が必要) 。

<③D/W内への残留ガス流入>

- ガス体積の増加により、真空破壊弁からD/W内へ残留ガスが流入。
 - 残留ガスの水素濃度が可燃範囲の場合、水素燃焼のリスクがあがる。また、水素濃度が可燃限界未満でもLCOに影響する可能性がある。
- 真空破壊弁を経由したD/Wへのガス流入について、流入量の調整が難しいと考えられる。
真空破壊弁を経由する場合、残留ガスを窒素ガスにより可燃限界未満まで希釈が必要。

<④S/C気相部の負圧によるS/C破損>

- 残留ガスを排出するため、PCV水頭を減少させた場合、S/C気相部圧力が負圧となり、S/Cが損傷する可能性がある。
- S/C内の負圧を避けるため、窒素ガスの封入やD/W側と連通により、S/C内圧力を大気圧以上(微正圧)であることが必要。

①～④の課題・リスクを考慮して、残留ガスの排出方法を検討中。

参考21. パージ作業後に残留するガスの排出検討 (1/2)

①～④の課題・リスクを考慮して、排出方法を検討。

	窒素ガス封入：実施		窒素ガス封入：未実施
パージ方法	A：窒素封入し真空破壊弁からD/Wに排出	B：頂部配管から窒素封入およびガス排出	C：PCV水位低下による自然排出 (現状のパージ設備使用)
イメージ			
①S/Cから建屋への直接漏えい	窒素ガス封入によりS/C水位が真空破壊弁の位置まで低下させるので、現状(当初)のS/C気相部範囲内に留まらない。(△)	窒素ガス封入によりS/C水位を現状(当初)のS/C気相部範囲内に維持。(○)	S/C頂部AC系配管下端より低位の範囲で維持(現状以上の水位)。(○)
②S/C内への大気インリーク	窒素ガスの封入により、S/C内へのインリークは回避。(○)	窒素ガスの封入により、S/C内へのインリークは回避。(○)	現状のS/Cパージ範囲であり、インリークは回避(○)
③D/W内への残留ガス流入	D/Wへのガス流入量調整が難しいため、S/C内の残留ガスを可燃限界未満とする希釈が必要。(○)	現状のS/Cパージラインであり、流量調整可能であるため、D/W内水素濃度管理が可能。 S/C内残留ガスを可燃限界未満とする希釈との併用が可能(○)	現状のS/Cパージラインであり、流量調整可能であるため、D/W内水素濃度管理は可能。 D/W内窒素ガスを流入させるため、S/C内の残留ガスを可燃限界未満とする希釈は積極的にできない(△)
④S/C気相部の負圧によるS/C破損	窒素ガスの封入により、S/C内圧力の大気圧以上を維持。(○)	窒素ガスの封入により、S/C内圧力の大気圧以上を維持。(○)	D/Wとの連通により、S/C内圧力の大気圧以上を維持。(○)

補足：S/C内の残留ガス(約90m³(AC配管含))を可燃限界未満(4%)にする場合、約1600m³程度の窒素ガスが必要。

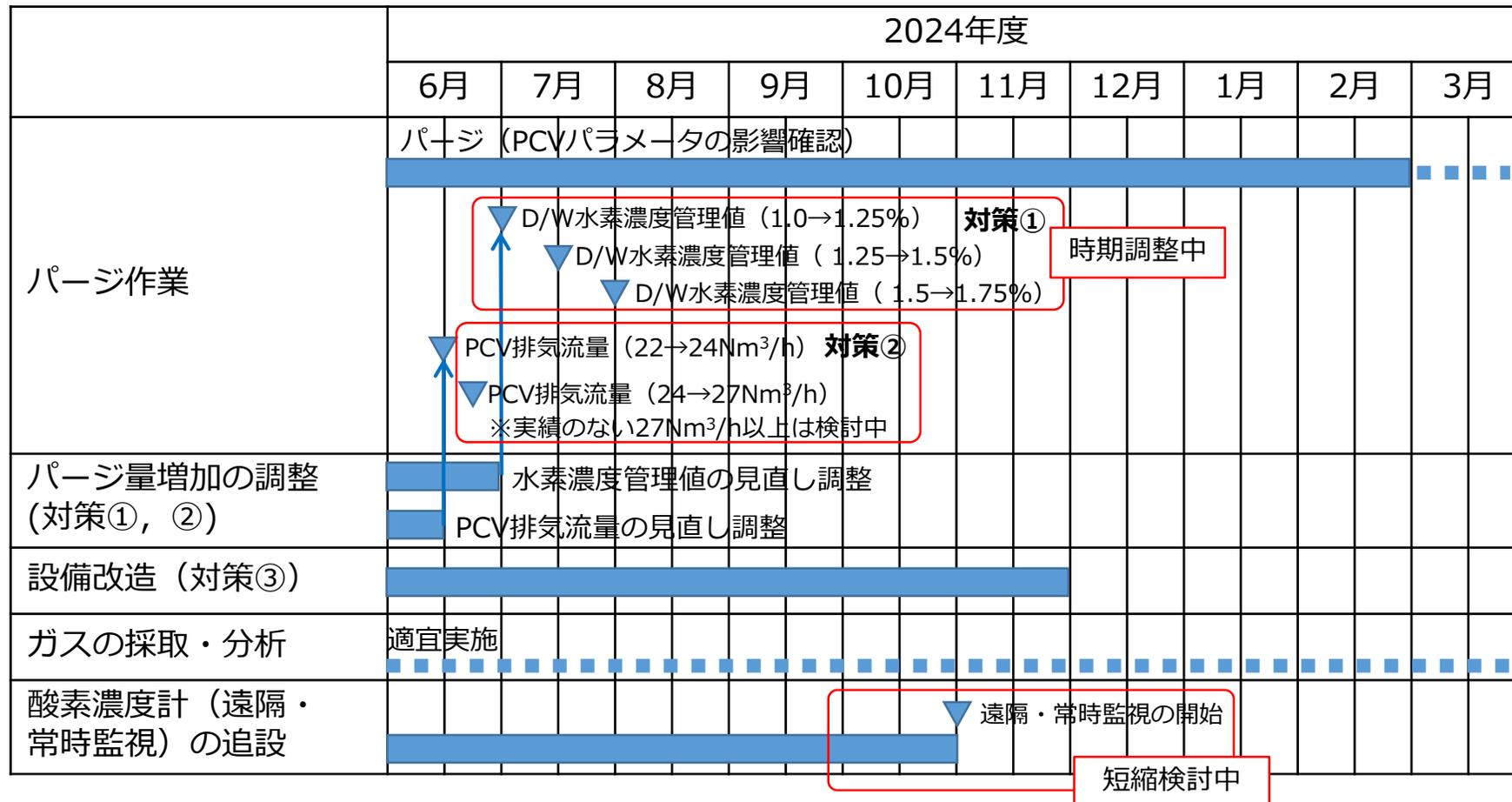
参考21. パージ作業後に残留するガスの排出検討 (2/2)

	窒素ガス封入：実施		窒素ガス封入：未実施
パージ方法	A:窒素封入し真空破壊弁からD/Wに排出	B：頂部配管から窒素封入およびガス排出	C:PCV水位低下による自然排出 (現状のパージ設備使用)
イメージ			
他課題	S/C内残留ガスを可燃限界以下まで多量の窒素ガス供給が必要。 残留ガスの排出作業は時間がかかる。 (△)	S/C内残留ガスを可燃限界以下までとする場合、多量の窒素ガス供給が必要。 残留ガスの排出作業は時間がかかる。 (△)	PCV水位低下を進めてD/Wからの流入量を増やさないと、S/C水素濃度が低下しない可能性がある。 PCV水位調整やガス流量調整等の手順の両立が必要。(△)
実施時期	PCV水位低下前, 低下中	PCV水位低下前, 低下中	PCV水位低下中
評価	D/Wへのガス流入量調整が難しい。現状(当初)のS/C気相部範囲以上に可燃限界以下までの希釈が必要。(△)	D/Wへのガス流量調整可能であるため、D/W内水素濃度管理が可能。 S/C内残留ガスを可燃限界未満とする希釈との併用が可能。(○)	水位低下との併用となる。PCV水位低下を進めてD/Wからの流入量を増やさないと、S/C水素濃度が低下しない可能性がある。 (△)

- 残留ガスの排出方法として、「B：S/C頂部配管から窒素封入およびガス排出」のような方法が有効と考えられる。また、S/C内の残留ガスを可燃限界未満とすることで、(A案のように)ベント管真空破壊弁からD/Wへ流入した場合でも、D/Wへの影響は低いと考えられる。引き続き、検討する。
- PCV水頭圧の低下によりS/C内圧力も低下することで、窒素ガス封入も容易になると考えられることから、PCV水位低下との併用についても検討する。

6. 今後の予定

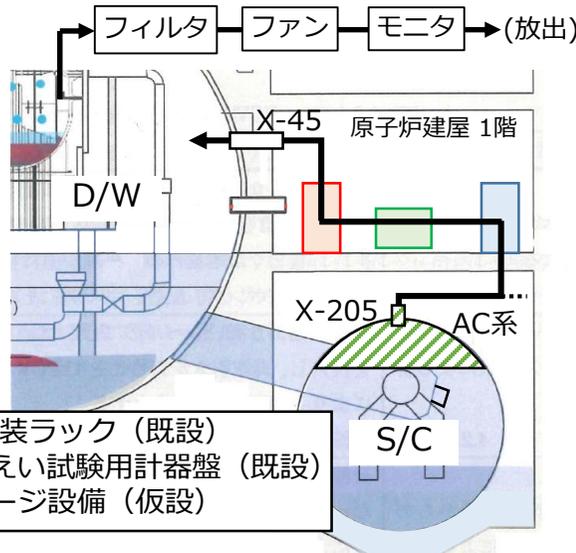
- PCVガス管理設備ファン上流の酸素濃度計追設は，10月を目途に実施予定（工程短縮検討中）。
- 対策①は，7月以降，D/W水素濃度管理値を1.0%から1.75%に段階的に上昇させる予定。
- 対策②は，6月中旬以降，実績がある27Nm³/hまで段階的に増加予定。それ以上の増加は検討中。
- 対策③は，対策①②の実施状況を踏まえ検討継続。



参考22. 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。

PCVガス管理設備



パージ作業中のS/C内滞留ガスの流れ

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。

参考23. パージ作業によるPCVパラメータ（希ガス・PCV水位）の変動状況 **TEPCO**

<希ガス（Kr-85, Xe-135）濃度の変動>

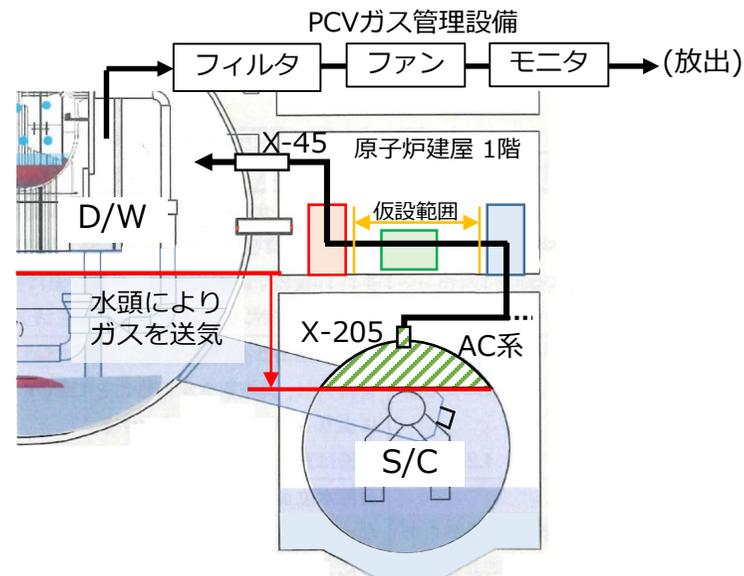
- 希ガス（Kr-85, Xe-135）はパージ作業中も検出限界未満であったが、今後パージ量を増加すると変動する可能性あり。
- S/C内滞留ガスに含まれる希ガスはKr-85であるが、希ガスモニタの特性上、Kr-85によりXe-135の指示値（未臨界監視に使用）が変動する可能性があるため、引き続きパラメータの変動状況を確認。

<PCV水位の変動>

- これまでのパージでは、PCV水位の変動は確認されていない※1が、パージ量増加によりPCV水位が低下する場合は、原子炉注水量の増加を検討。

※1：S/C内滞留ガスのパージ量が原子炉注水量と比較して相対的に小さく、水位が維持されていると想定。

なお、パージ量は、ガスパージ設備の流量計にて指示を確認し、大きな変動が無いことを確認。



参考24. S/C内滞留ガスの性状が変化した場合の対応

- S/C内滞留ガスの体積が多く、パーシ作業は時間を要す見込みであるため、適宜、S/C内滞留ガスの性状確認を実施中。
- これまでのパーシ作業において、有意な変動は確認していないが、万が一、変動があった場合は、下記対応を実施。

<Kr-85>

- 他系統にて確認されたKr-85濃度を踏まえると、オーダーが上がるような濃度変動の可能性は低いと想定するが、そのような変化を確認した場合は、敷地境界における被ばく評価を再実施。

<水素>

- 濃度上昇を確認した場合は、PCVパラメータの変動状況を確認し、必要に応じてパーシ量を調整。
- 濃度低下を確認した場合は、高濃度水素の影響によりオーバースケールしていると想定される硫化水素の測定再開を検討。

<酸素>

- 現状は、1%以下で推移するが、仮に酸素濃度が上昇したとしても、当初計画の通り、パーシ作業による水素燃焼を防止するため、静電気による火花発生の防止を図っており、その対応を継続。

参考25. パージ期間中におけるXe-135の管理見直し

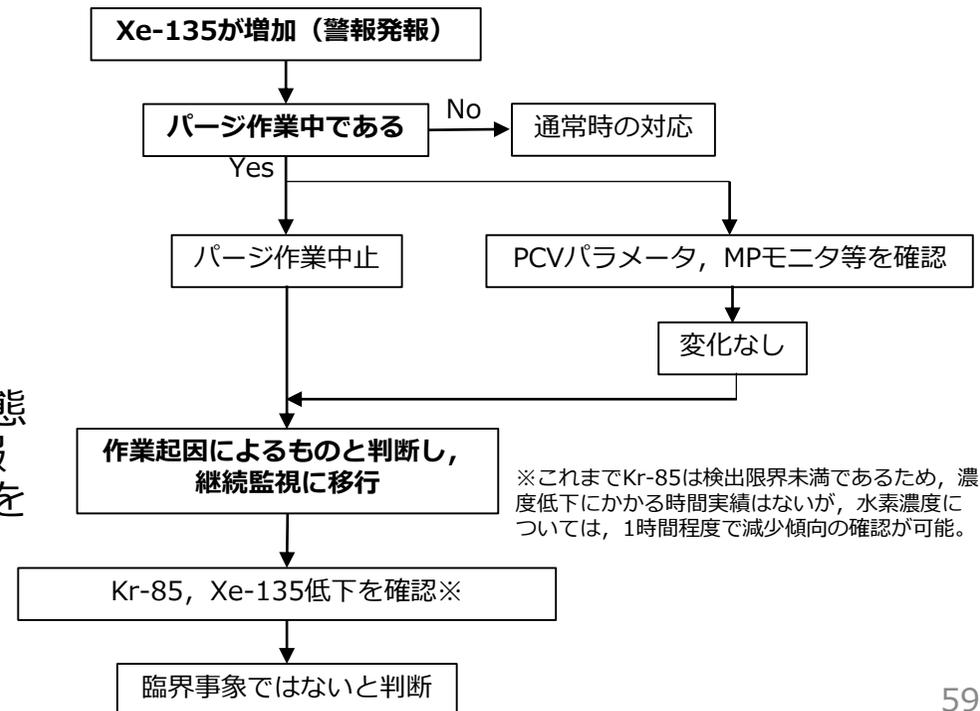
<3号機PCVガス管理設備の希ガスモニタ>

- 現在の3号機PCVガス管理設備希ガスモニタでは、検出器にNaI (TI) シンチレータを用いており、測定原理・特性のためにKr-85増加に伴い、Xe-135の測定値に以下のような影響がある。

要因	Xe-135測定への影響
Kr-85光電ピーク	Kr-85のピークが大きくなると、Xe-135のエネルギー領域に重なるようになり、Xe-135の測定値が増加する（反応する）。
Kr-85の散乱成分	Kr-85が増加によりXe-135のBG成分が増加すると、Xe-135の検出限界濃度が増加する。

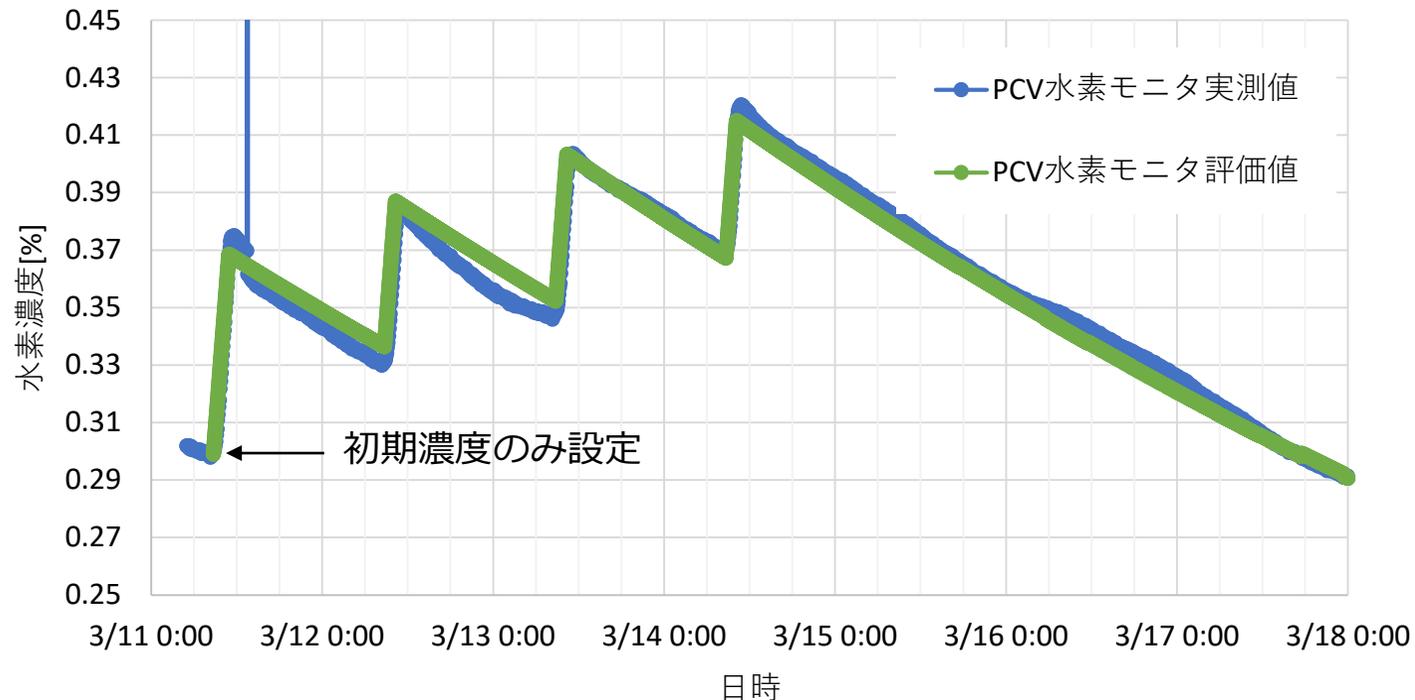
<ガスパージ作業における対応>

- ガスパージ作業において、計器特性に伴うKr-85増加によるXe-135の変動の可能性について、Kr-85の増加を低い範囲で管理するため、Xe-135濃度の変動可能性は低いと考えられる。
- ガスパージ作業以外を起因としたXe-135上昇は、現状の燃料デブリの状況から臨界は起こり難い状態と考えられるが、万が一、Xe-135上昇による警報発報時には、右図の対応で事象の判別を行うことを検討中。



参考26. S/C内滞留ガスがD/W内瞬時拡散する場合の水素濃度推移評価

- D/Wへページした水素がD/W内で瞬時拡散し，均一濃度となると想定した場合のPCVガス管理設備水素モニタ濃度を評価。
 - ＜想定＞
 - 水素濃度はD/W内で瞬時拡散し，均一
 - 水素はPCVガス管理設備排気（窒素封入）流量に応じて，一定割合でD/Wから排出
- 評価の結果，実測値をよく再現する結果が得られた。このことから，ページされた水素はD/W内で非常に早く拡散しているものと推定。



PCV水素モニタ実測値と評価値の比較

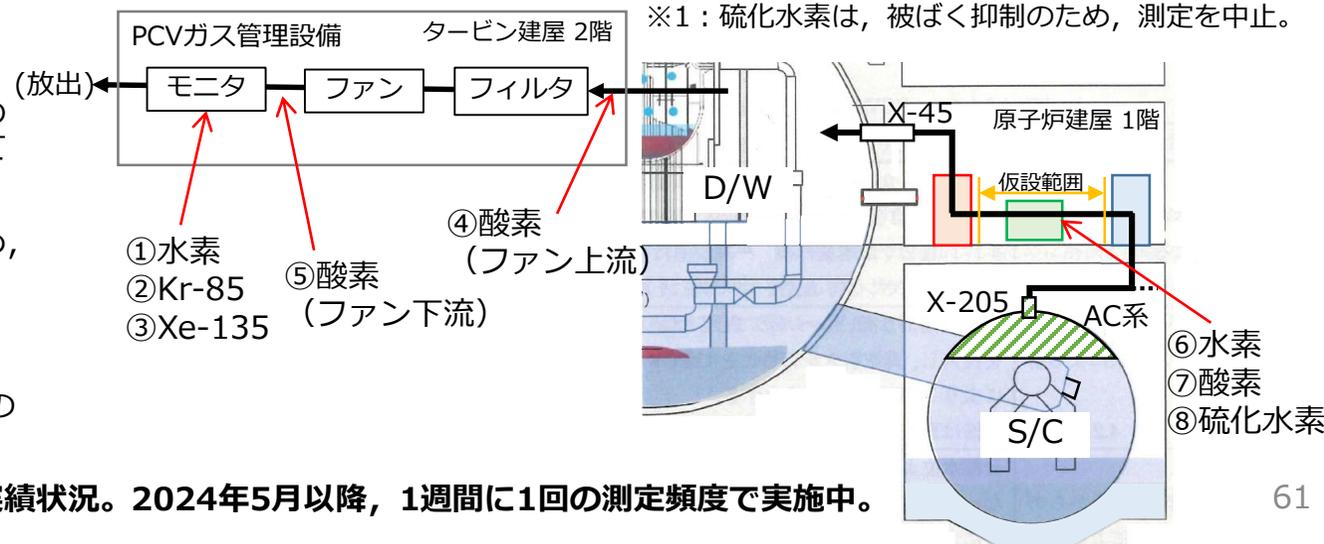
参考27. パージ作業におけるガス濃度測定状況

	測定項目	測定機器	濃度確認の方法	監視（測定）頻度	
				通常時（パージ作業外）	パージ作業中
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）	1時間毎	
	⑤酸素（ファン下流）				
ガスパージ設備	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）	-	パージ開始前に測定※1
	⑦酸素				
	⑧硫化水素				

※1：硫化水素は、被ばく抑制のため、測定を中止。

<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28-1. 3号機PCV酸素濃度の推移と対応策

水素・酸素濃度の推移

- PCV気相部については、水素燃焼防止および周辺環境への放射性ダスト飛散防止を目的に、N2封入およびガス管理設備を設置・運用している。
- PCV内部の水素濃度は、2011年の事故直後を除き、可燃限界である4%未満を維持している（2012年以降、最大でも0.3%未満）。
- PCV内部の酸素濃度は、N2封入・ガス管理設備の運用開始直後（12%程度）から低下し、現時点では可燃限界(5%) 未満を維持(数%程度)している。

PCVへの酸素の流入について

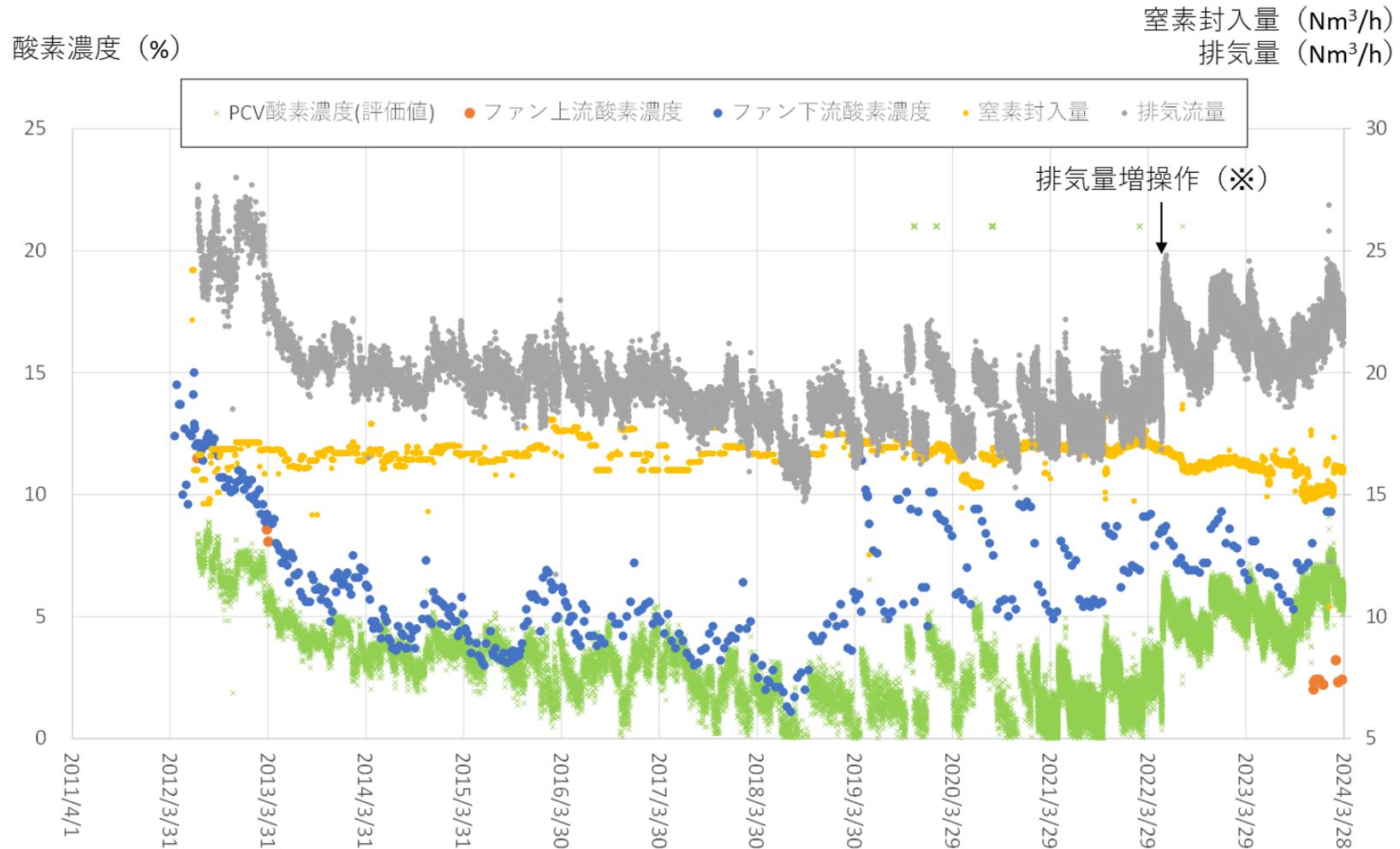
- 事故以降、PCVは微正圧を目指して管理してきた。窒素封入量（約17Nm³/h）に対しPCVガス管理設備による排気流量は多い状況（約22Nm³/h）で運用しており、ファンの軸封部から若干の大気インリークがある状況。
- 2012～2018年頃は、PCVガス管理設備排気ファン下流の酸素濃度が経時的に低下し安定（4%程度）していることから、PCV内酸素濃度も低下し安定しているものと推定。（なお、2012年以降、PCV内部の水素濃度は微量(0.3%未満)であり、水の放射線分解による気体発生は僅かであると推定）
- 2019年以降、PCVガス管理設備の下流の酸素濃度が上昇しているが、至近で計測したPCV内部の酸素濃度が低く乖離が見られることから（上流：3%以下、下流：5～10%）、PCVガス管理設備の排気ファンの軸封部の状態が何らかの要因で変化し、軸封部から大気インリークが増加または変動した可能性が考えられる。



- 課題：PCV内部は不活性化環境を維持しているが、更なる環境改善として酸素濃度を低減。

- 対策1：PCVへの大気インリークを低減するため、PCVへの窒素封入量を増加する
- 対策2：PCV内部のパラメータ確認箇所について、PCV外部の影響（PCVガス管理設備の排気ファン軸封部インリーク）を受けないようモニタリング箇所を追加変更する。（現状：ガス管理設備下流、変更後：ガス管理設備下流+上流）

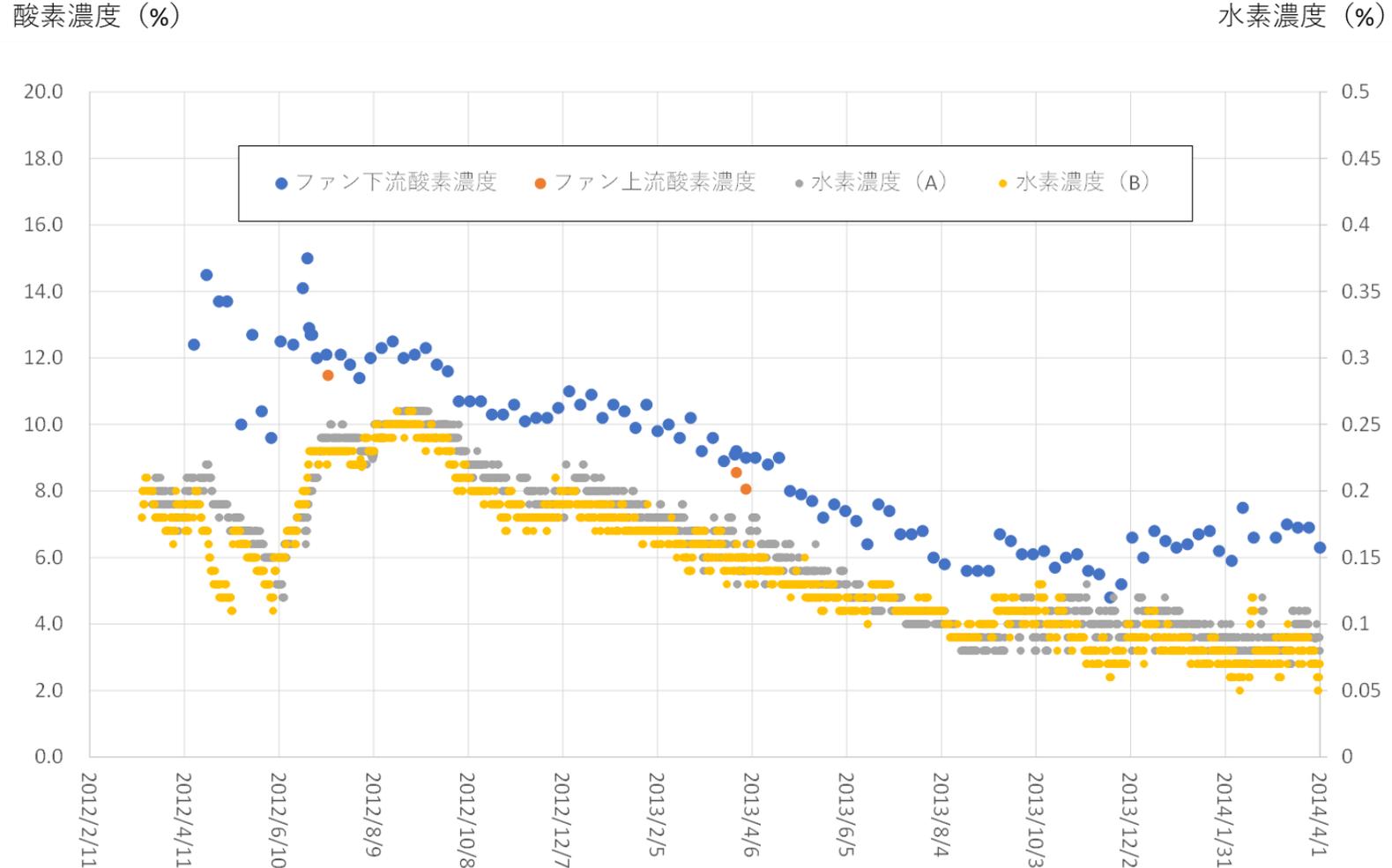
参考28-2. 3号機 PCVガス管理設備酸素濃度・排気流量・窒素封入量の関係



※注水停止試験に伴いPCV水位が低下しMSIVラインからの漏洩口が気相に露出する影響で、格納容器内の気体が外部に漏出する影響を低減する目的で実施。

- 酸素濃度の評価値は、ガス管理設備ファン部でインリークがなく、単純に排気量と窒素封入量の差分がPCVの大気インリークによるものとして算出した結果であることから、評価値と実測値の差が大きいほど、ファン部のインリーク等別の要因があるものと推定。

参考28-3. 3号機 PCVガス管理設備水素濃度・酸素濃度の関係



- ・ グラフに示すように震災後初期においては絶対値に差はあるものの、酸素濃度と水素濃度は連動しておよそ推移。
- ・ 水素濃度計は、熱伝導式でガス組成の影響を受けるため、大気（酸素）のインリークにより指示値が上昇したものと推定。
- ・ 水素濃度指示値が全体的に極めて低いこととあわせて考えると、酸素濃度が高いのは水の放射線分解によるものではないと推定。

参考28-4. 酸素濃度変動の要因

酸素濃度変動の要因

事象	要因		評価
PCVガス管理設備の酸素濃度変動	PCVのインリーク変動	MSラインベローズの損傷個所の変化	上下流とも変動増加すると考えられるが、PCV損傷個所(MSライン)は2019年時には水没状態にあり、気相露出は2022年である。そうした水位変動の影響を受けた可能性は否定できないものの、排気流量や下流の酸素濃度の傾向が変わらないため、酸素濃度変動の支配的要因ではないと推定（上流は低位のままと推定）。
	PCVガス管理設備のインリーク変動	排気ファンの軸封部のインリーク変動	軸封部の隙間が経年や点検により広がり、インリーク量が増えたことにより、変動幅が増加。この場合、上流は低位のまま。下流の変動増加。
		放熱器から排気ファンの間にインリークが発生した場合	経年や点検により広がり、インリーク量が増えたことにより、変動幅が増加。この場合、上流は低位のまま。下流の変動増加。
		吸込ライン(ダクトホース)からのインリーク変動	吸込ライン(ダクトホース)の経年・損傷によりインリークが発生・変動。 上下流の酸素濃度とも変動増加の可能性はあるが、至近の測定結果から上流は低位のまま。上流の変動幅に比べ、下流の変動幅が大きいため、吸込ラインの劣化によるインリーク変動の可能性は低い推定。

下流の濃度変動の増加は、PCVガス管理設備（特に排気ファン）によるもので、上流の濃度は現在低位のまま変動していると推定。上流の変動は、下流の排気ファンの流量変動または季節変化の影響を受けてのものと推定。

参考29. 過去の類似作業における測定・分析結果

	1号機			3号機	
	RCW熱交換器 入口ヘッダ配管	CUW逃がしライン逆止弁		RHR熱交換器 (A)	(再掲)S/C
		上流配管	下流配管		
水素(%)	約72	0	約15.5	約20	約75
酸素(%)	約18	約1.0	約19.1	約0	約1
硫化水素(ppm)	約28	約10.2	約21.7	約20	O.S.
Kr-85(Bq/cm ³)	約4	約1.2×10 ³	約1.9×10 ⁴	約2.64×10 ³	約1.46×10 ⁴

RCW:原子炉補機冷却系
 CUW:原子炉冷却材浄化系
 RHR:残留熱除去系

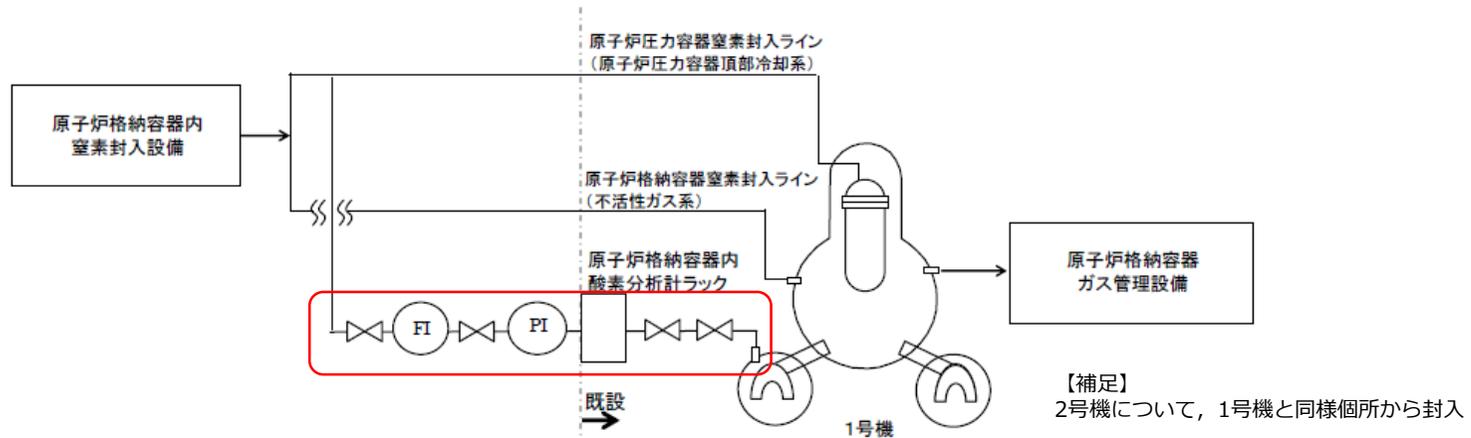
参考30. 1・2号機のS/C窒素封入の状況

<1号機> 震災後初期（2012～2013年）の水素濃度上昇の実績

- 2012年、水素濃度の一時的な上昇が見られたため、S/C窒素封入を実施した結果、PCVガス管理設備の水素濃度およびKr85濃度の上昇を確認（S/C内滞留ガスがD/Wを經由し検出されたものと推定）。
- また、複数回、窒素封入・停止を行った結果、窒素の停止期間に応じて水素濃度が上昇したことから、水素が発生している可能性も考慮し、**現在までS/Cの窒素封入を継続実施中。**

<2号機> 震災後初期（2011～2012年）の水素濃度上昇の実績

- 2011年から2012年にかけて、窒素封入量の減少、または排気流量の増加時に、PCVガス管理設備において、水素濃度およびKr85濃度の上昇を確認。
- このため、1号機同様にS/Cの窒素封入試験を実施。2011～2012年の水素濃度上昇を受けて、S/Cの窒素封入試験（2回）を実施。その結果、PCVガス管理設備において水素濃度の上昇がみられなかったことから、**S/C内からの水素の追加放出は無いと判断、S/C窒素封入は実施しないこととした。**



1号機 S/Cへの窒素封入系統概要図

