

1号機RCW※熱交換器入口ヘッダ配管で確認された 滞留ガスの対応について

※RCW：原子炉補機冷却系

2023年2月20日

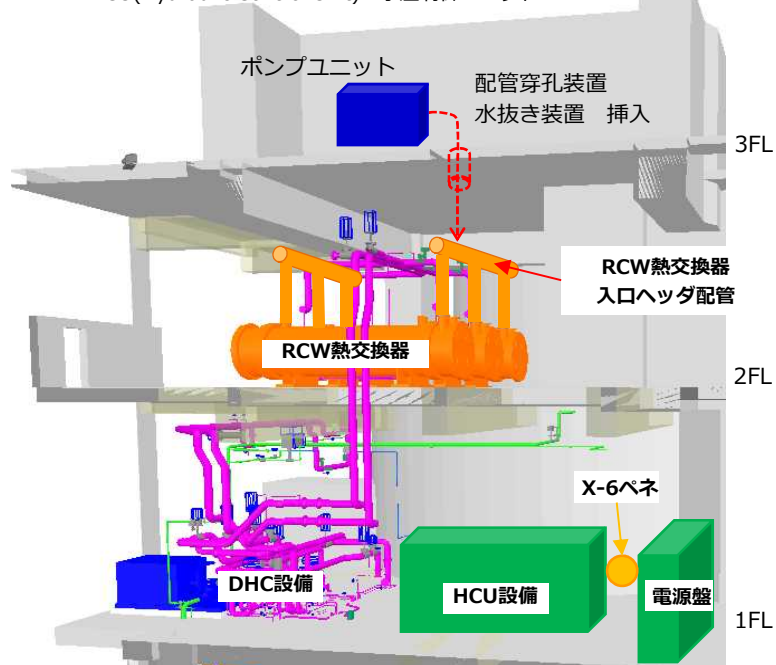
TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要 (経緯)

- 1号機原子炉建屋 (R/B) 内の高線量線源であるRCWについて、線量低減に向けた内包水サンプリングに関する作業を10月より実施中。
- サンプリング作業で使用するRCW熱交換器入口ヘッダ配管について、電解穿孔にて配管貫通を行い、滞留ガスの確認をしたところ、水素(約72%)を検出。また、当該配管内のエア分析の結果、事故由来の核種と考えられるKr-85(約4Bq/cm³)を検出。
- 今後の作業として、サンプリングや水抜きに向けた貫通部の穿孔作業(拡大)を計画。作業の安全確保に向け、当該配管の滞留ガスのパージ(窒素封入)を実施し、水素濃度が可燃性限界未満(4%)になったことを確認した上、穿孔作業を2/14に実施・完了。穿孔作業後、穿孔箇所は大気開放としているが、ダストモニタやPCVパラメータ等に異常がないことを確認。
- 現在、内包水サンプリングに向け準備作業中。

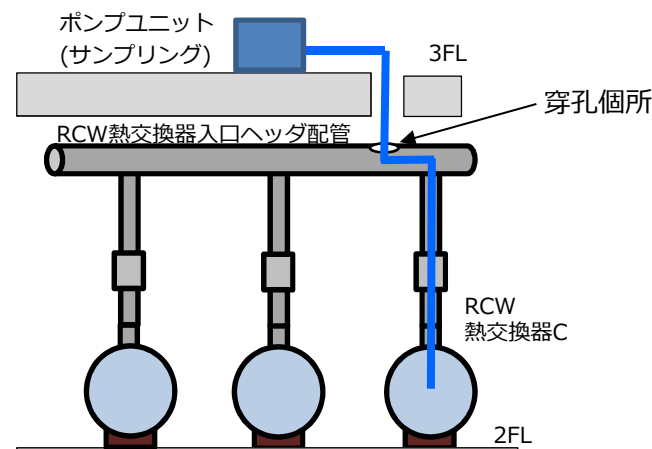
RCW(Reactor Building Cooling Water System) : 原子炉補機冷却系
DHC(Drywell Humidity Control System) : ドライウェル除湿系
HCU(Hydraulic Control Unit) : 水圧制御ユニット



1号機R/B 1~3階南側 断面

作業ステップ(概略)

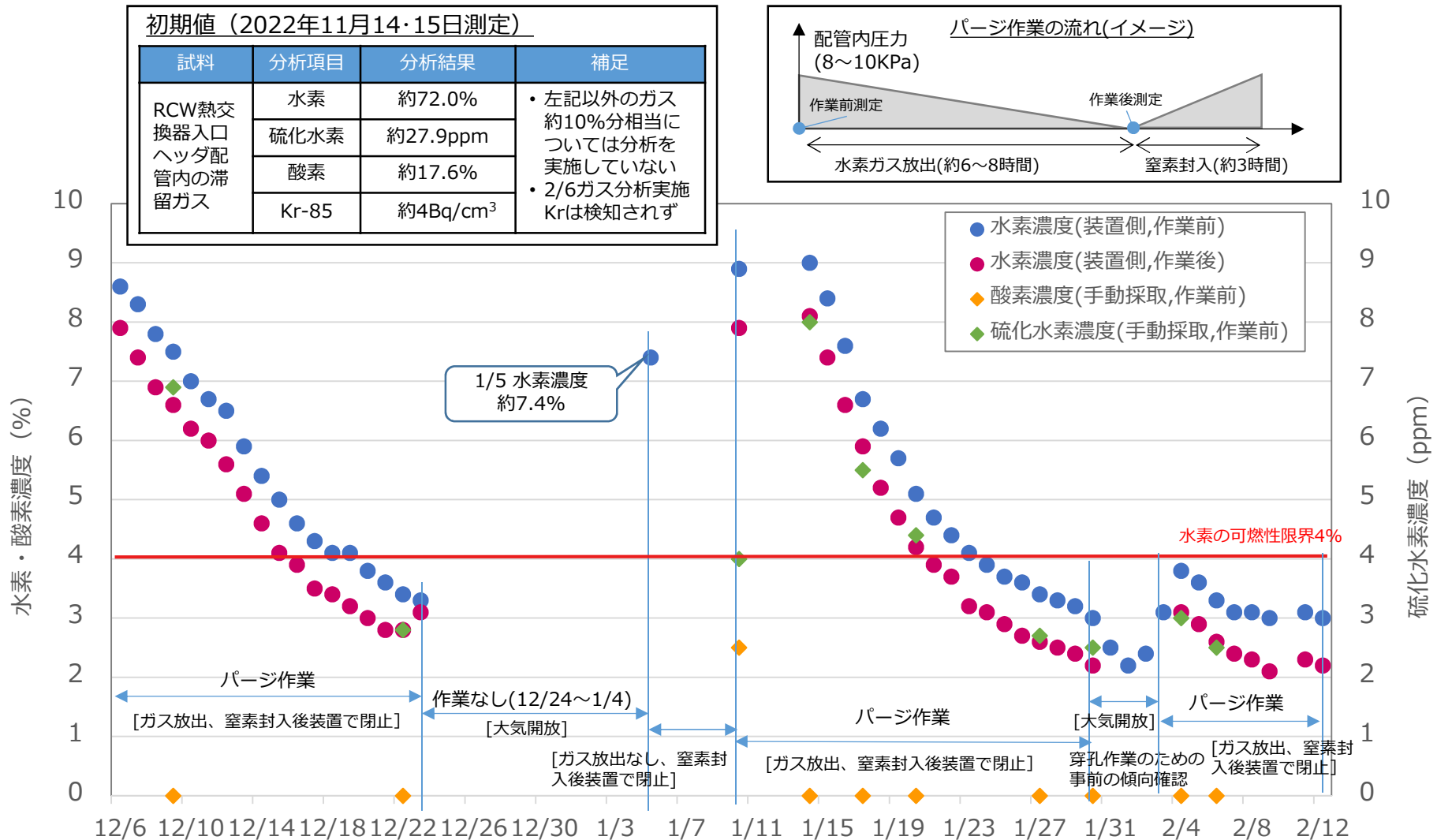
- ①RCW熱交換器入口ヘッダ配管上面を穿孔する。
 - ・電解穿孔^{※1}による微小な孔を設け、配管内水素ガスの確認^{※2}を行う。
 - ・水素ガスがないことを確認後、穿孔作業(機械式)を行う。
- ②配管穿孔個所にサンプリング用ホースをRCW熱交換器の内部まで挿入する。
- ③サンプリング用ポンプユニットで採水する。



※1 : 火花を発生させず穿孔が可能。本工法は特許出願もしており、合わせてモックアップにて火花が発生しないことを確認済み。
※2 : 水素ガスが確認された場合は、気体のサンプリング・分析を行った後、水素ガスパージ(窒素封入)を行う。

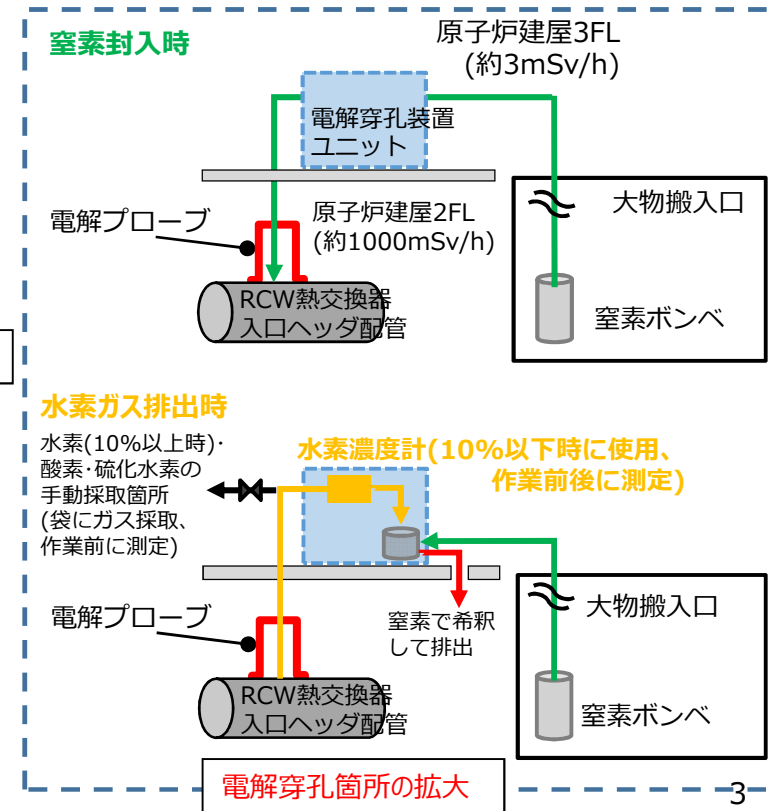
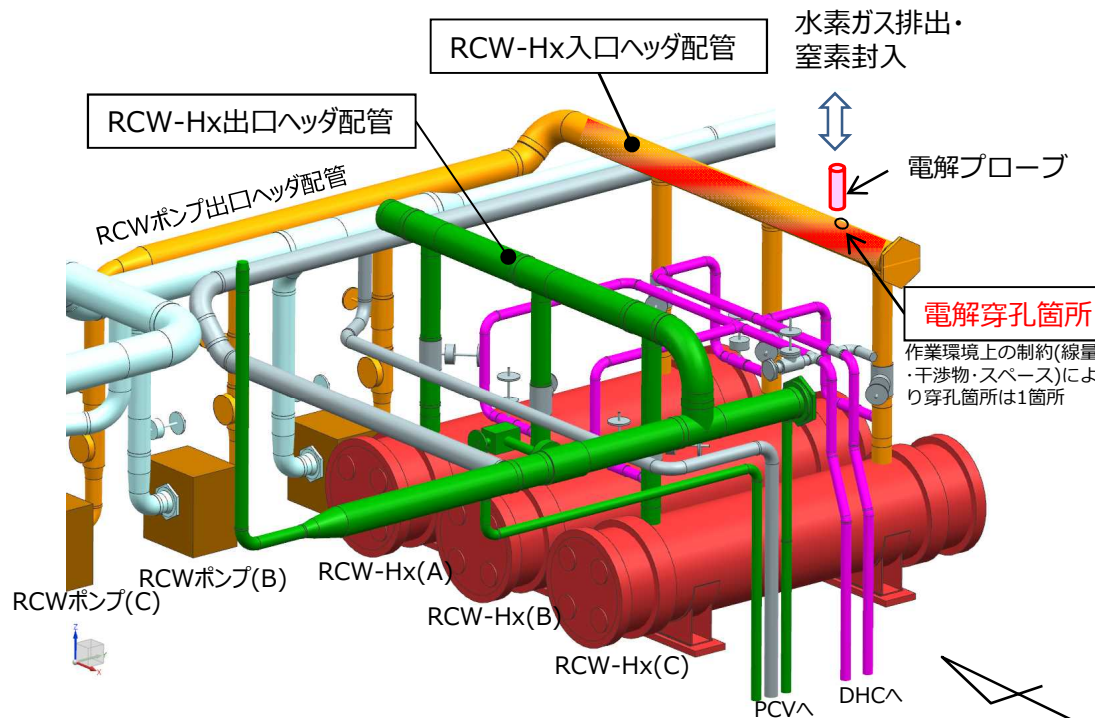
2. 滞留ガスのパージ作業における水素濃度他の低減傾向

- 水素濃度について、パージ作業後による低減後、翌日にやや増加する(小量)傾向が確認された。また、12/24~1/4の大気開放時(開放箇所約Φ2mm程度)に水素濃度の増加が確認されたが、パージ作業により低減。
- 酸素及び硫化水素とも、変動は確認されたが、パージ作業により低減。
- パージ作業は、穿孔作業が作業期間中に水素濃度の増加が可燃性限界に至る前に終わられる程度まで水素濃度の低減を実施。



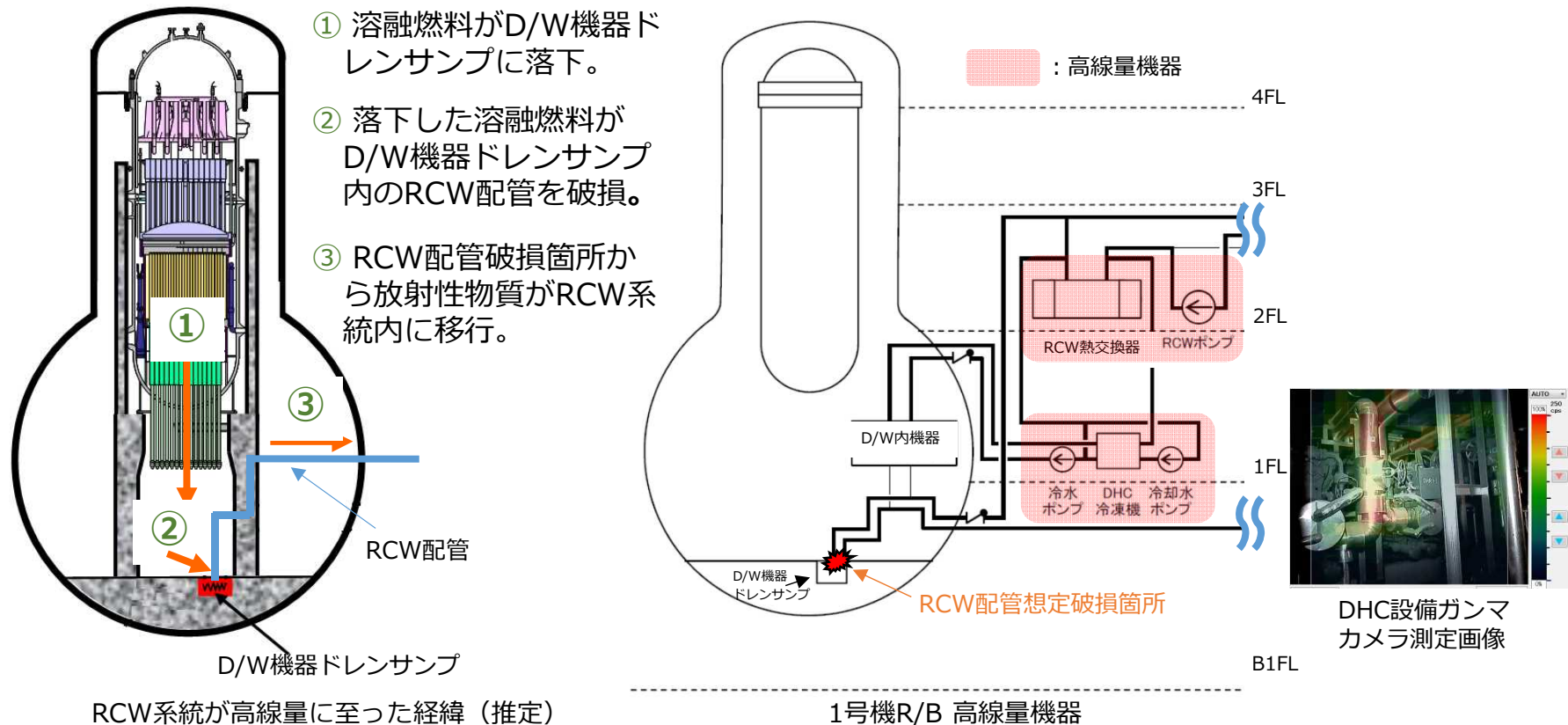
3. 滞留ガスのパーシ作業における水素濃度の増加の推定要因

- RCW熱交換器入口ヘッダ配管の滞留ガスパーシ作業において、水素濃度が増加する事象が確認された。事故時のPCVからのガス流入や配管の設置状況から、以下のことが考えられる。
 - ✓ 配管の設置状況上、窒素によるパーシ作業において、配管内での希釈・攪拌が難しかったことによるもの
 - 当該配管は長く、窒素の封入箇所（水素の放出箇所）が1箇所(Φ約2mm相当の貫通)であり、窒素による希釈・攪拌が配管奥部まで広がるのが難しい。
 - ✓ RCW熱交換器の内包水の放射性分解により生成された水素(少量程度※と推定)によるもの
 - ※：少量程度の推定について
 - ・水素濃度と硫化水素の発生メカニズムが異なると考えられるが、各々の濃度変動の傾向が同じである。
 - ・放射性分解による水素・酸素の生成比2：1に対し、酸素濃度が検知されていない。



【参考1】RCW系統の汚染経緯

- 1号機RCW系統は、事故時にD/W機器ドレンサンプを冷却するRCW配管が破損したことで、放射性物質がRCW配管内に移行し、高線量化したと推定されている。

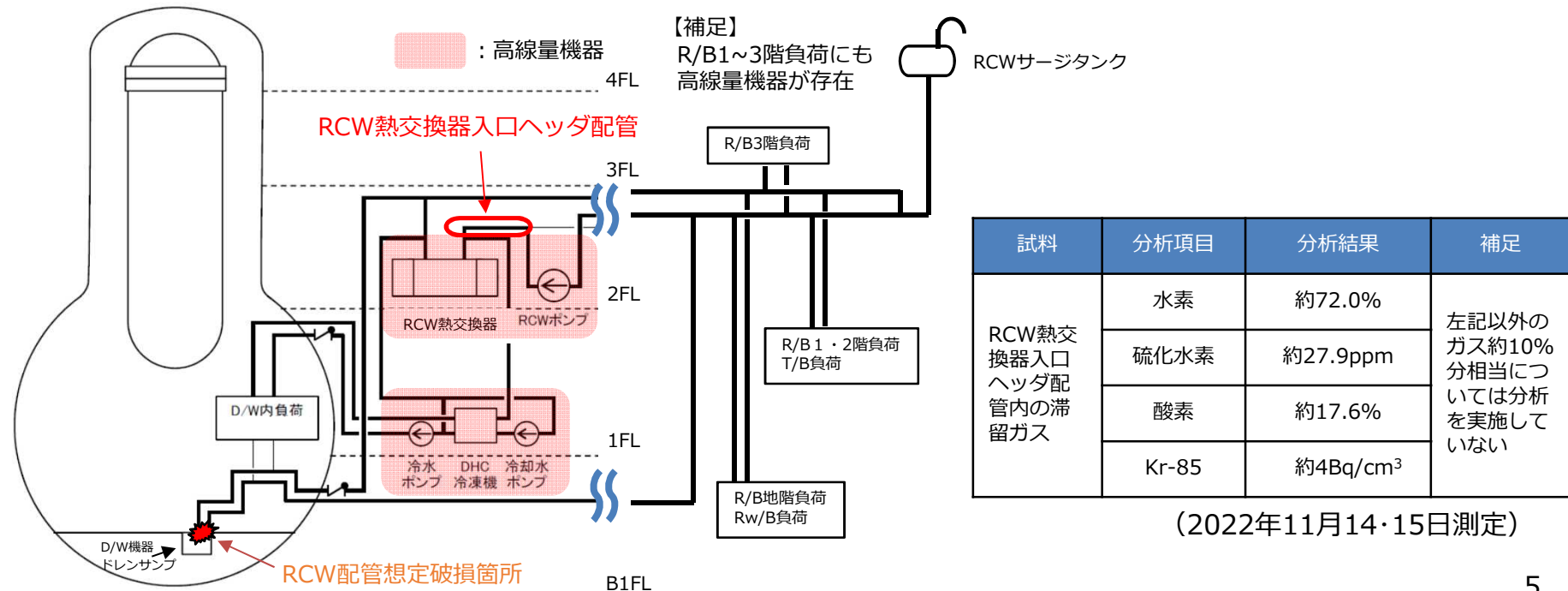


※ D/W(Drywell) : ドライウェル PCV(Primary Containment Vessel) : 原子炉格納容器

4. RCW熱交換器入口ヘッダ配管のガス流入・滞留の推定要因

- RCW熱交換器入口ヘッダ配管周りの概略構成を以下に示す。入口ヘッダ配管へのガス流入・滞留の推定要因として、以下のことが考えられる。

No.	要因	ガス流入・滞留のタイミング	説明
①	事故時のガス流入	震災直後	事故時、RCW系の破損箇所からPCV内に充満したガス(放射性物質含む)が系統内に流入。
②	RCW熱交換器内包水の放射線分解	震災～現在	配管・熱交換器内の放射性物質を含んだ水が、放射線による分解により水素・酸素を発生。
③	海水成分の影響	震災～現在	事故時にPCVに注入した海水の影響または熱交換器内海水配管の損傷の影響によりガス(硫化水素)が発生。



5. 今後の作業について

- 滞留ガスのパージ作業後、熱交換器内包水のサンプリングに向け、穿孔作業を実施・完了（電解穿孔した貫通部の拡大）。今後、装置の入れ替え・準備等を経て、熱交換器内包水のサンプリングを予定。



現在

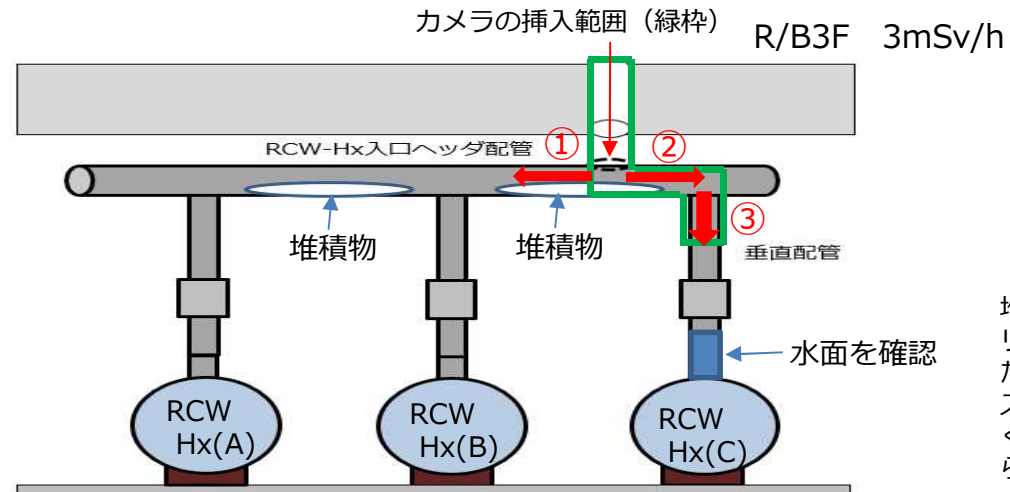
【参考2】 1号機RCW熱交換器入口ヘッダ配管内部の確認結果について

- RCW-Hx入口ヘッダ配管の穿孔箇所よりカメラを挿入し、入口ヘッダ配管内の状況確認を実施。
 - ・ 入口ヘッダ配管内下部において堆積物（結晶のようなもの）を確認
 - ・ 入口ヘッダ配管内の空間線量については50~75mSv/h程度を確認(底部で75mS/hを確認)

①RCW-Hx(A)(B)側の配管内表面(全体)

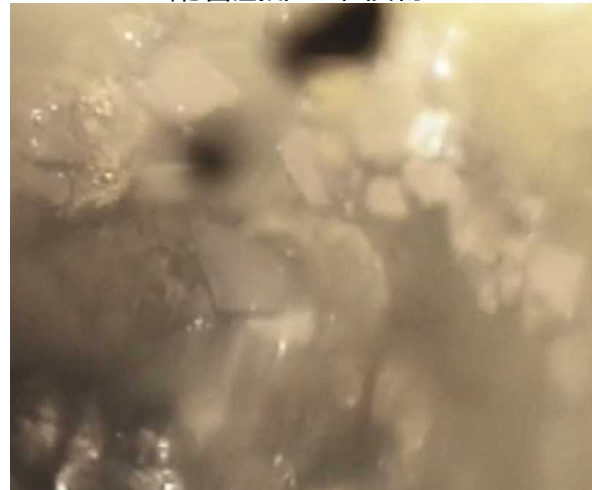


①RCW-Hx(A)(B)側の配管底部の堆積物



【補足】
堆積物は、今後のサンプリング作業の障害になるため、サンプリングホースの敷設範囲分は取り除く予定(作業に支障にならない位置に寄せる)

②RCW-H(C)側の配管底部の堆積物



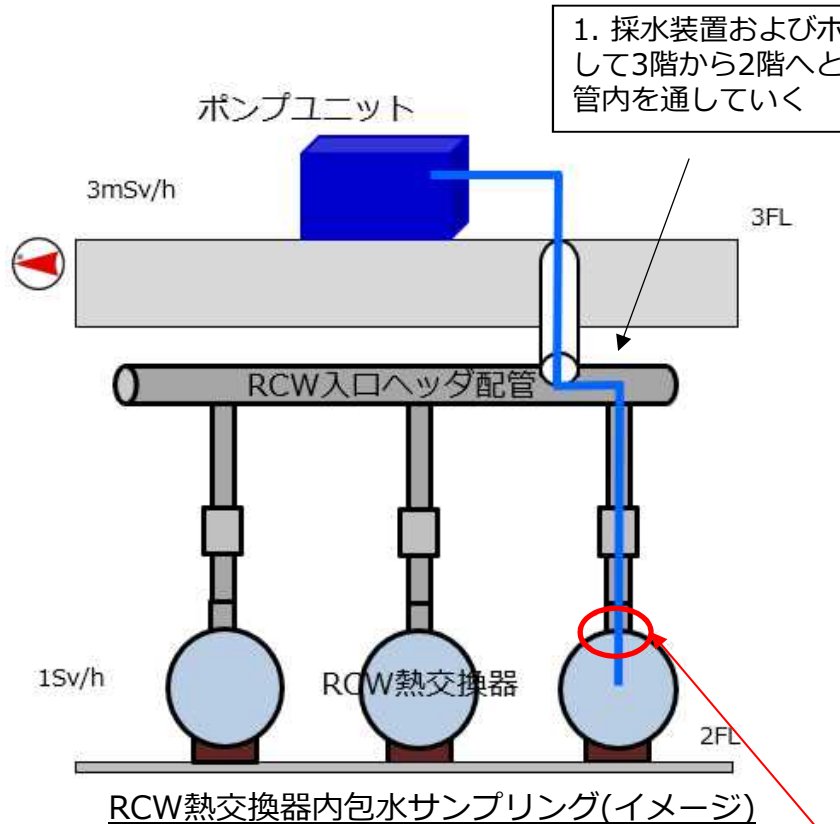
やや黒いのは穿孔による切削屑による影響(推定)

③RCW-Hx(C)入口(垂直)配管の水面



【参考3】 サンプリング作業(概要)

1. 内包水サンプリング・水抜きの為、RCW-Hx入口ヘッダ配管へ採水装置の挿入
2. 採水装置→給排水ポンプユニットによるサンプリングの実施

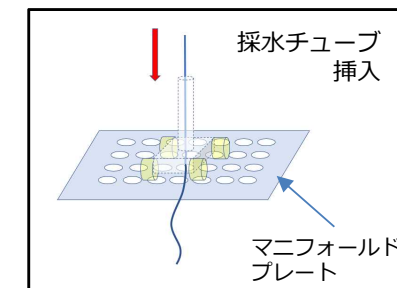


1. 採水装置およびホースの挿入に際して3階から2階へとクランク状の配管内を通していく



2. RCW-Hx(A),(B),(C),RCWポンプ出口ヘッダ配管内包水のサンプリングに際して、マニフォールドプレートの小口径(Φ16mm)の穴に採水ホース(Φ12mm)を通していく。なお、RCW-Hxの下部まで通せる穴は一行のみ。

採水用チューブを熱交換器内の細管隙間を通すため、使える孔に制限がある



6 – 1.RCW系の滞留ガス対応を踏まえた他系統への取り組み（1）

■ これまでの取り組み

- 事故後、PCV内には窒素ガスを封入しており、事故時に発生した水素は、既に大部分が大気拡散していると想定。
- これまでの廃炉作業においては、上記対策によらず、水素の残留を想定した上で、慎重に作業を進めてきており、これまで水素滞留を確認した設備については、窒素パージを行う等の措置を実施。
- 2021年12月、3号RHR配管で系統内に滞留した水素ガスを確認したことを踏まえ、同様なケース（事故時の弁操作、水封）を中心とした評価を実施し、水素ガスが残留している可能性のある系統の抽出を検討。（なお、現在、大気あるいはPCVに開放されている系統は、水素ガス滞留の可能性は低いものと評価。）

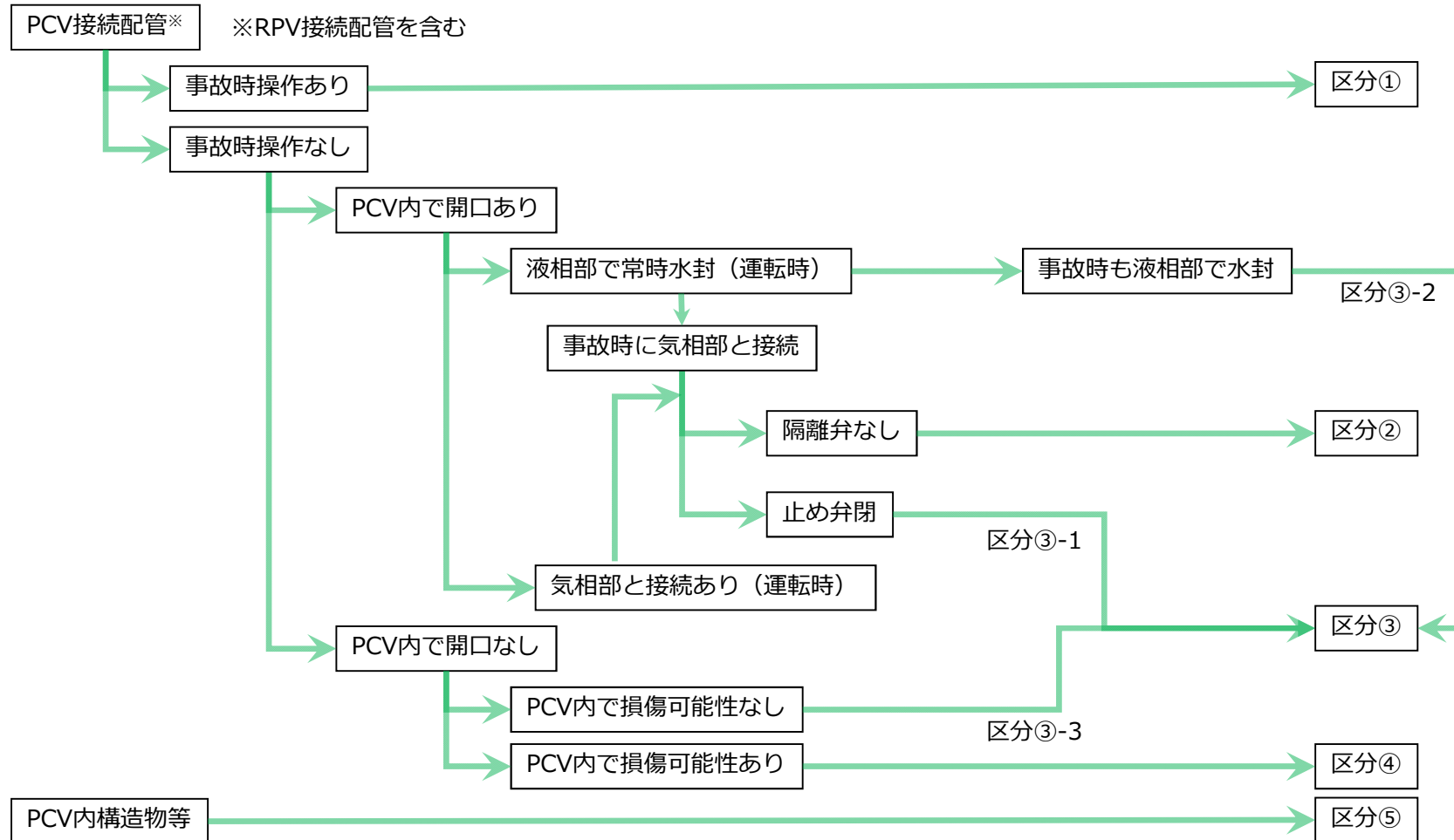
	適用の考え方	水素滞留の可能性	抽出された系統	対応の方針
区分①	事故時に使用した系統／配管について水素滞留の可能性のあるもの	あり	1号機：IC(A) 3号機：RHR(B) 1～3号機消防車注水の使用系統	現場調査を行うとともに作業計画を立案する。 なお、今回抽出された系統は高線量箇所等も含まれることから、被ばく防止等の作業安全を考慮した計画としていく。
区分②	PCV内に開口があり、PCV内の窒素と置換が進んでいると考えられるもの	少ない	—	作業を実施する場合、今回抽出されない箇所であっても、これまでと同様に水素滞留の可能性を考慮した作業計画を立案 (弁によりPCV側と隔離されていても現場状況や弁の種類等と考慮した上、水素確認の必要性を検討し、作業を実施)
区分③	RPV／PCVと気相で直接繋がっていないもの（弁等による）	少ない	—	
区分④	圧力容器から落下した燃料デブリ等により系統の配管／機器が損傷し、系統内に水素が流入した可能性	あり	1号機：RCW(DHC) 1～3号機：CRD(HCU)	区分1と同様
区分⑤	PCVに窒素注入を継続（対策として実施）	少ない	—	—

【参考4】

4. 水素滞留の可能性；検討対象となる系統の抽出（1/2）



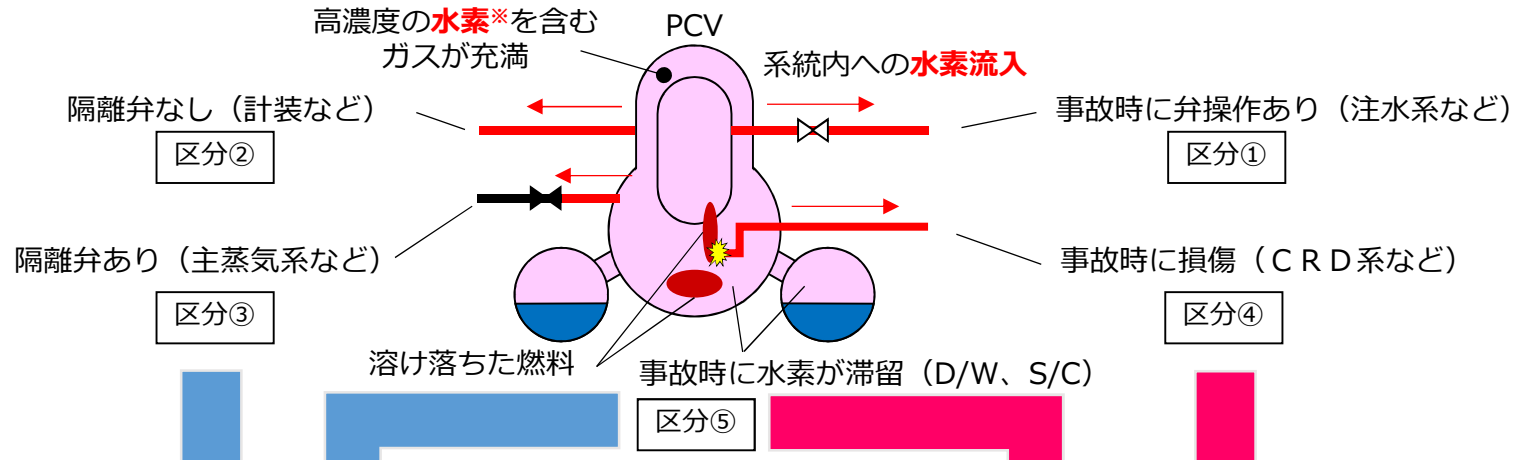
- 水素が滞留する可能性のある箇所として、図に示す抽出区分で検討対象となる系統を抽出。



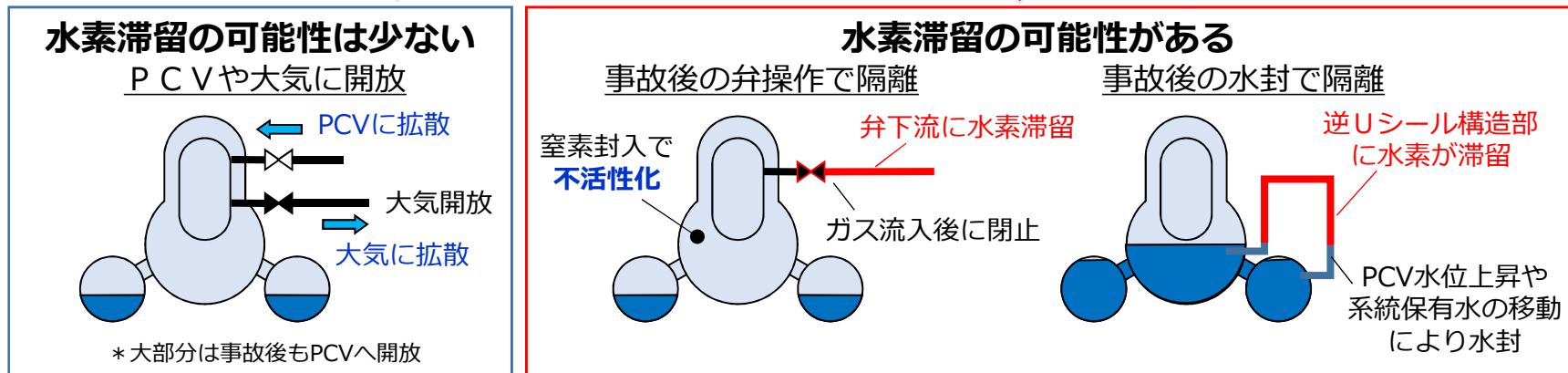
(例：D/W、S/C気相部)

4. 水素滞留の可能性；検討対象となる系統の抽出 (2/2)

【事故時】 P C Vの気相部に対して開放がある系統内へ、高濃度の水素※を含むガスが流入



【現在】 P C Vへの窒素封入により不活性化。事故後に弁や水封で隔離された箇所には水素の滞留が想定



※事故時の水-ジルコニウム反応によって発生した水素。水の放射線分解は水素の発生量が少ないことからここでは除外。

6-2. RCW系の滞留ガス対応を踏まえた他系統への取り組み (2)

■ 水素ガスが滞留する可能性のある系統の抽出及び対応状況

- 水素滞留の可能性のある系統
1号機 IC(A)、RCW系(DHC含む)、3号機 RHR(B)系、1～3号機 CRD系(HCU)
- 上記の系統以外も含め、水素滞留の可能性のある系統について、2022年9月から、計画立案に向けた調査・検討や確認作業を開始している。

	対象系統	対応状況	補足
1号機	IC (A)	2022年9月に現場調査を実施。高線量エリアであり、ガレキが多いため、ガレキ撤去も含め検討中。	3号機 RHR(A)の事象を踏まえ抽出されたもの
	RCW (DHC)	現在、対応中。2022年11月RCW熱交換器入口ヘッダ配管に水素の滞留を確認しており、水素ガスのパーシ作業を実施。	
3号機	RHR (B)	高線量エリアであるR/B2階RHR(B)室周囲にガレキがあり、接近できない状況。現在、調査方法を検討中	
1～3号機	CRD系 (HCU)	当該機器は、R/B1階の高線量エリアにあり、接近できない状況。現在、調査方法を検討中	
1号機	CS(A)	2022年6月CS(A)系テストラインの線量調査を実施。追加の調査を計画中。	上記以外、可能性のあるところとして、対応しているもの
	S/C・CUW系配管	S/C内包水サンプリング作業の事前確認として計画。滞留ガスの確認を予定。現在、確認のための工法検討中。	
3号機	S/C	2022年10月に現場調査を実施。高線量エリアであり、線量低減も含め検討中。	
2号機	RHR、AC	高線量エリアであり、調査方法、線量低減も含め検討中。	

■ RCWの滞留ガス対応からの反映

- 今回の対応において、水素滞留の可能性のあるものとして抽出された系統に変更はない。
- 抽出された系統のうち、調査や検討結果により、高線量且つ滞留水の存在が想定される部位については、可燃性限界以上の水素が存在すると想定して工事や作業を計画するとともに、廃炉作業へのリスク低減に努める。
- 抽出された系統以外についても、PCVバウンダリに繋がる部位を工事する場合、水素の存在を想定して、工事や作業を計画する等慎重に進めていく。(従来通り)
- 作業において、着火リスクのない機具の使用、パーシ作業後の水素濃度の確認(一定期間等)を行う。

■ 今後の対応

- ✓ 対象となる系統について、現場の線量等を踏まえ、継続的に調査及び作業計画を立案していく。
 - 調査や検討結果により、滞留ガスの確認ができるものは、2023年度から実施していく予定。
 - 1号機RCW系(継続)、3号機S/C系、1号機S/C・CUW系
 - 調査や作業の実施にあたりガレキの撤去や線量低減が必要となるものは、2023年度～2024年度にガレキの撤去や線量低減等の作業を開始できるように進める。ガレキの撤去や線量低減の結果を踏まえ、滞留ガス確認の作業計画を立案する。
 - 1号機IC(A)、3号機RHR(B)系、1～3号CRD系(HCU)
- ✓ 調査や作業が未着手の系統について、事故以降、発電所内で水素爆発は発生していないことから、現在の状態が維持されている限り、水素爆発の可能性は低いと考えられるが、作業等行う場合は事前の確認を行うなど慎重に進める。
- ✓ 今後の調査や作業により滞留ガスが確認されたところは、窒素によるページ作業を行い、大気開放するなど溜まらない処置を行う。また、水素ガスの生成要因と考えられる滞留水が確認された場合、排水する等の処置を行う等、廃炉作業へのリスク低減に努める。

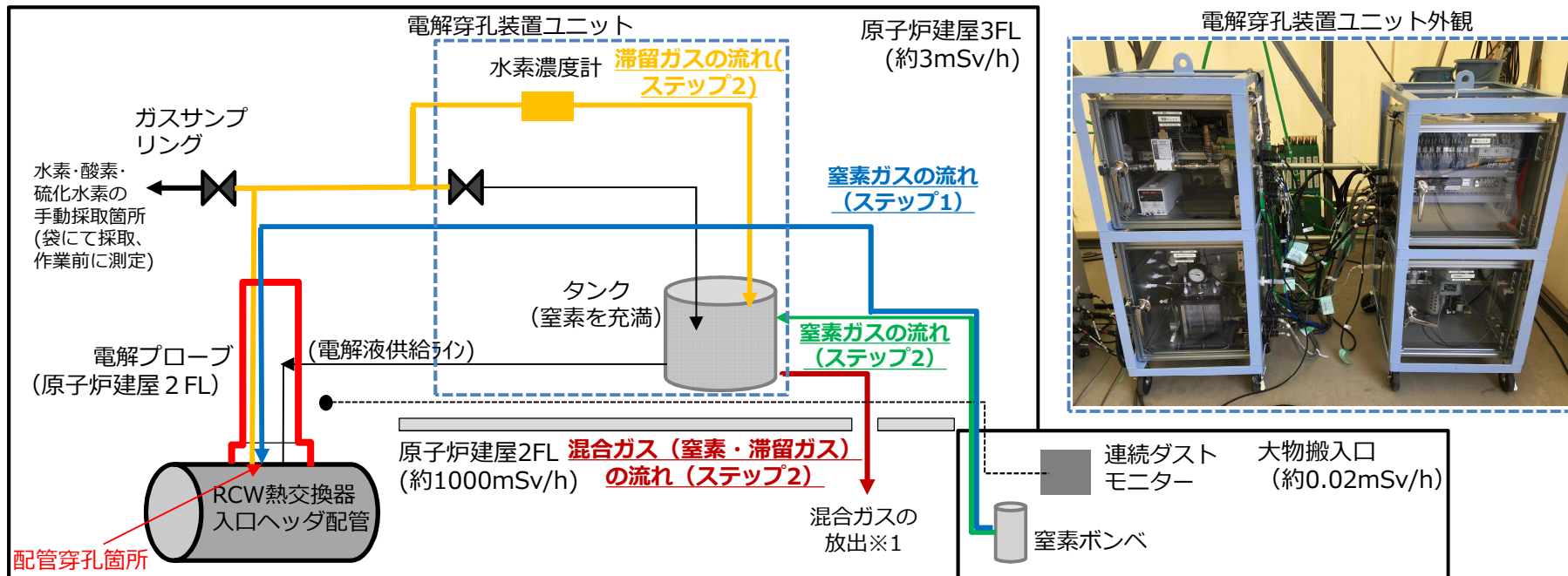
■ 知見の共有

今後のRCW熱交換器内包水のサンプリング・分析も含め、得られた知見については、1Fにおける事故の分析に係わる検討会にも情報共有していく。

ステップ1：当該配管内に窒素ガス¹⁾を封入し、滞留ガス²⁾の水素濃度を低減。

ステップ2：滞留ガス²⁾をタンクへ排出し、当該タンクに供給する窒素ガス³⁾で希釈。窒素と滞留ガスの混合ガス⁴⁾としてR/B 3階床面の開口からR/B 2階へパーズ作業を実施。

- パーズ作業の際には、可燃性ガスなどを内包することに対する安全性を考慮し、放出箇所の水素濃度等の監視を実施し、水素濃度が可燃性限界（4%未満）になるまで、遠隔にて上記ステップ1、2を繰り返し実施。また、放射性物質（気体）を内包することに対する環境への影響を考慮し、ダスト等の確認・監視を行いながら実施。



※1：窒素で希釈し、水素の可燃性限界（4%）を下回った状態で放出。

滞留ガスパーズのイメージ