

燃料デブリ取り出し準備 スケジュール

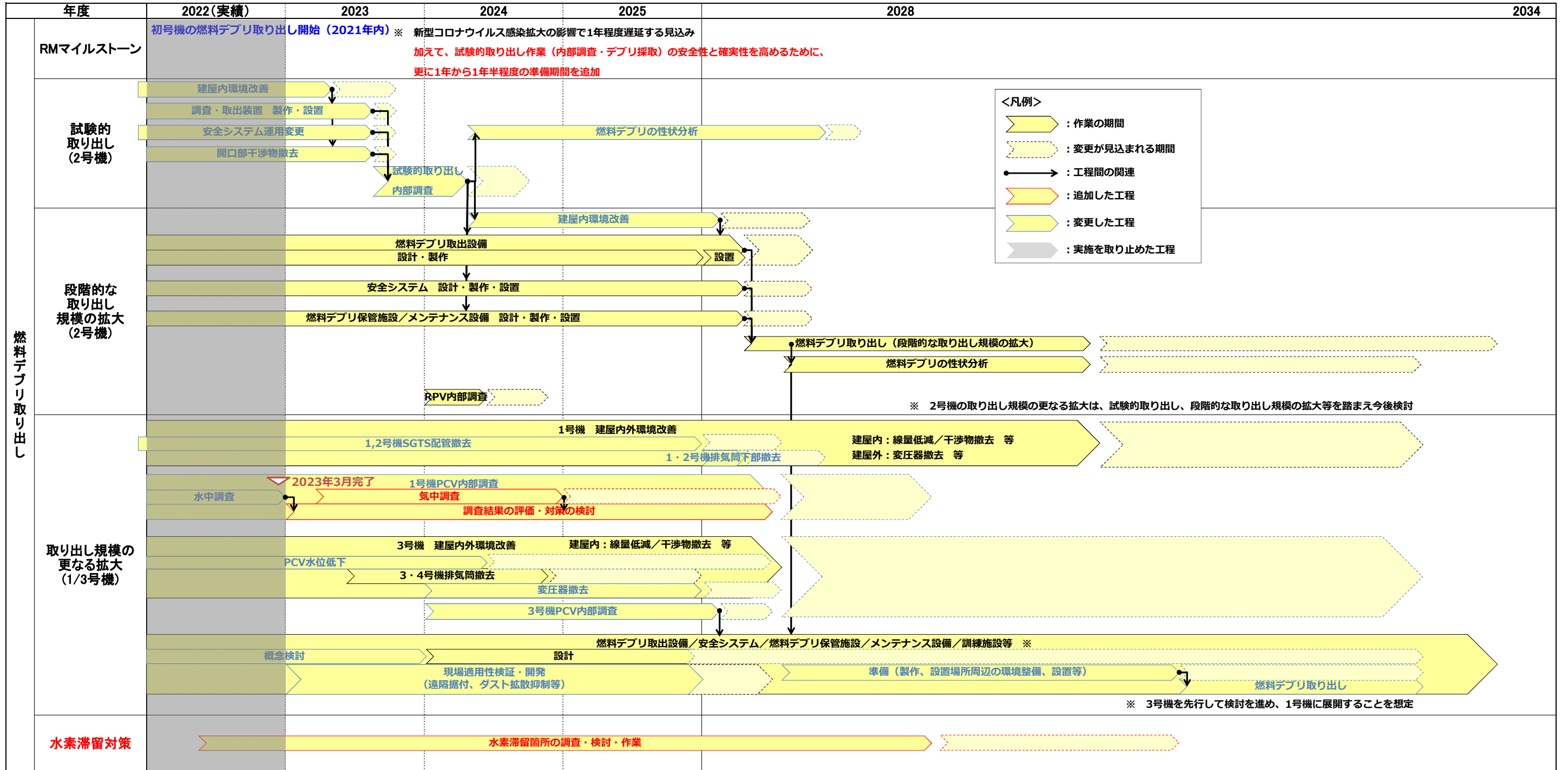
区分名	計画	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後6ヶ月の予定	スケジュール												備考		
				11月	12月					1月			2月	3月	4月		5月	6月以降
廃炉中長期実行プラン2023 目標工程	原子炉建屋内の 環境改善	1号	(実績) ○建屋内環境改善(継続) (予定) ○建屋内環境改善(継続)	現場作業														建屋内環境改善 ・2階最下層の準備作業'20/7/20~'23/7/21 他工事との工程調整のため作業中断中。'22/2/23~ '22/9/19 ・RCW入口ヘッダ配管穿孔'22/10/24~ '22/11/14 ・RCW熱交換器(C)入口配管内包水サンプリング '23/2/22 ・RCW熱交換器(C)内包水サンプリング'23/6/21 ~'23/7/6
		2号	(実績)なし (予定) ○建屋内環境改善(継続)	現場作業														建屋内環境改善 ・R-6大物出入口2階進へい設置 '21/11/29~'22/1/10 ・1階西側通路MCC撤去 '22/1/11~'22/2/25 ・2階北側エリア除染'23/4/10~'23/10/13 ・原子炉系計装配管の線量計'23/8/30~'23/9/26
		3号	(実績) ○建屋内環境改善(継続) (予定) ○建屋内環境改善(継続) ○圧力抑制室内滞留ガスバーシ	検討・設計 現場作業														建屋内環境改善 ・北西エリア機器撤去および除染 '21/7/12~'22/1/10 ・北側エリア仮設置へい設置'22/1/11~'22/3/22 ・北西エリア機器撤去'22/4/18~'22/7/14 ・1階北側東エリア除染'22/8/30~'23/2/22 圧力抑制室内滞留ガスバーシ '23/10/25~1月末予定
	格納容器内水循環システム の構築	1号	(実績)なし (予定) 圧力抑制室内包水のサンプリング	現場作業														圧力抑制室内包水のサンプリング ・原子炉冷却浄化系停止弁開放(モックアップ '22/11/11~'23/7/4) '23/7/18~'23/10/31 ・圧力抑制室底部確認、圧力抑制室内包水サンプリング '23/11/15~'23/11/17 ・PCV(S/C)水位計設置 '23/12/5~'24/1月上旬 予定 ・常設監視計器取替 '23/12/8~'24/1月上旬予定
		2号	(実績)なし (予定)なし	現場作業														
		3号	(実績) ○原子炉格納容器水位低下(継続) ○圧力抑制室内包水の品質改善(継続) (予定) ○原子炉格納容器水位低下(継続) ○圧力抑制室内包水の品質改善(継続)	現場作業														3号機格納容器内取水設備の運転開始 (継続実施) ・取水設備設置'21/10/1~'22/3/31 ・使用前検査(3号) '22/4/26 ・3号機格納容器内取水設備による圧力抑制室内包水の 品質改善開始 '22/10/3~
	燃料デブリ取り出し準備	燃料デブリの 取り出し	共通	(実績) ○【研究開発】格納容器内部詳細調査技術の開発(継続) ○【研究開発】圧力容器内部調査技術の開発(継続) ○燃料デブリ取出設備 概念検討(継続) (予定) ○【研究開発】格納容器内部詳細調査技術の開発(継続) ○【研究開発】圧力容器内部調査技術の開発(継続) ○燃料デブリ取出設備 概念検討(継続)	検討・設計													(継続実施) (継続実施) (継続実施) (継続実施) (継続実施)
			1号	(実績) ○原子炉格納容器内部調査(継続) ○1/2号機SGTS配管撤去(継続) (予定) ○原子炉格納容器内部調査(継続) ○1/2号機SGTS配管撤去(継続)	現場作業													OPCV内部調査 PCV内部調査に係る実施計画変更申請('18/7/25) →補正申請('19/1/18)→認可('19/3/1) 【主要工程】 ・PCV内部調査装置投入に向けた作業'19/4/8~ '21/10/14 ・PCV内部調査'21/11/5~ ・ROV-Aガイドリング取付'22/2/8~'22/2/10 ・ROV-A2調査'22/3/14~'22/5/23 ・ROV-C調査'22/6/7~'22/6/11 ・ROV-D調査'22/12/6~'22/12/10 ・ROV-E調査(1回目)'23/1/31~'23/2/1 ・ROV-E調査(2回目)'23/2/10~'23/2/11 ・ROV-B調査'23/3/4~'23/3/8 ・ROV-A2調査'23/3/28~'23/4/1 O1/2号機SGTS配管撤去 1/2号機SGTS配管撤去(その1)に係る実施計画変更申請 (21/3/12) → 認可(21/8/26) 【主要工程】 ・1/2号機SGTS配管切断機ダスト飛散対策(ウレタン注 入) '21/9/8~'21/9/26 ・1/2号機SGTS配管切断 '22/5/23~'23/5月中旬 ・1/2号機SGTS配管切断(残り分) M/U'23/1/29 ~'23/3/3 ・1/2号機SGTS配管切断(残り分配管①~⑧) '23/4/18 ~'23/7/14 ・1/2号機SGTS配管切断(残り分配管⑨)については実施 時期調整中。
			2号	(実績) ○原子炉格納容器内部調査(継続) (予定) ○原子炉格納容器内部調査(継続)	検討・設計 現場作業													PCV内部調査 ロボットアームの性能確認試験・モックアップ・訓練(国内) (継続実施) PCV内部調査 PCV内部調査装置投入に向けた作業 (継続実施)
1号			(実績) ○原子炉格納容器内部調査(継続) (予定) ○原子炉格納容器内部調査(継続)	現場作業													PCV内部調査 ロボットアームの性能確認試験・モックアップ・訓練(国内) (継続実施) PCV内部調査 PCV内部調査装置投入に向けた作業 (継続実施)	
2号			(実績) ○原子炉格納容器内部調査(継続) (予定) ○原子炉格納容器内部調査(継続)	現場作業													PCV内部調査 ロボットアームの性能確認試験・モックアップ・訓練(国内) (継続実施) PCV内部調査 PCV内部調査装置投入に向けた作業 (継続実施)	
2号			(実績) ○原子炉格納容器内部調査(継続) (予定) ○原子炉格納容器内部調査(継続)	現場作業													PCV内部調査 ロボットアームの性能確認試験・モックアップ・訓練(国内) (継続実施) PCV内部調査 PCV内部調査装置投入に向けた作業 (継続実施)	

- 初号機の燃料デブリ取り出しの開始
- 取り出し規模の更なる拡大(1/3号機)
- 段階的な取り出し規模の拡大(2号機)

分野名	廃炉中長期実行プラン2023 目標工程	括り	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後6ヶ月の予定	11月		12月					1月			2月			3月			4月			5月			6月以降			備考	
					26	1 3	10	17	24	31	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下			
燃料デブリ取り出し準備	RPV/PCV健全性維持		圧力容器/格納容器の健全性維持 3号機	(実績) ○腐食抑制対策 ・窒素ハブリングによる原子炉冷却水中の溶存酸素低減実施 (継続)	現場作業																									(継続実施)	
				(予定) ○腐食抑制対策 ・窒素ハブリングによる原子炉冷却水中の溶存酸素低減実施 (継続)																										(継続実施)	
				腐食抑制対策(窒素ハブリングによる原子炉冷却水中の溶存酸素低減)																										(継続実施)	
				事故関連factデータベースの更新																										(継続実施)	
燃料デブリ取り出し準備	炉心状況把握		炉心状況把握	(実績) ○事故関連factデータベースの更新(継続) ○炉内・格納容器内の状態に関する推定の更新(継続)	検討・設計																									(継続実施)	
				(予定) ○事故関連factデータベースの更新(継続) ○炉内・格納容器内の状態に関する推定の更新(継続)																										(継続実施)	
				炉内・格納容器内の状態に関する推定の更新																										(継続実施)	
				現場作業																										(継続実施)	
燃料デブリ取り出し準備	取出後の燃料デブリ安定保管		燃料デブリ性状把握	(実績) ○【研究開発】燃料デブリ性状把握のための分析・推定技術の開発 ・燃料デブリ性状の分析に必要な技術開発等(継続)	検討・設計																									(継続実施)	
				(予定) ○【研究開発】燃料デブリ性状把握のための分析・推定技術の開発 ・燃料デブリ性状の分析に必要な技術開発等(継続)																										(継続実施)	
				【研究開発】燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発 ・燃料デブリ性状の分析に必要な技術開発等																										(継続実施)	
				現場作業																										(継続実施)	
燃料デブリ取り出し準備	燃料デブリ臨界管理技術の開発		燃料デブリ臨界管理技術の開発	(実績) ○【研究開発】臨界管理方法の確立に関する技術開発 ・未臨界度測定・臨界近接監視のための技術開発(継続) ・臨界防止技術の開発(継続)	検討・設計																									(継続実施)	
				(予定) ○【研究開発】臨界管理方法の確立に関する技術開発 ・未臨界度測定・臨界近接監視のための技術開発(継続) ・臨界防止技術の開発(継続)																										(継続実施)	
				【研究開発】「燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術の開発」の一部として実施 ・未臨界度測定・臨界近接監視のための技術開発																										(継続実施)	
				現場作業																										(継続実施)	
燃料デブリ取り出し準備	燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発		燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発	(実績) ○【研究開発】燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発 粉状、スラリー・スラッジ状の燃料デブリ対応(継続) 燃料デブリ乾燥技術/システムの開発(完了)	検討・設計																									(継続実施)	
				(予定) ○【研究開発】燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発 粉状、スラリー・スラッジ状の燃料デブリ対応(継続)																										(継続実施)	
				【研究開発】粉状、スラリー・スラッジ状の燃料デブリ対応 (粉状及びスラリー・スラッジの分析等)																										(継続実施)	
				現場作業																										(継続実施)	

凡例

- : 検討業務・設計業務・準備作業
- : 現場作業予定
- : 機器の運転継続のみで、現場作業(工事)がない場合
- : 記載以降も作業や検討が継続する場合は、端を矢印で記載
- : 工程調整中のもの



注：今後の検討に応じて、記載内容には変更があり得る

1号機 PCV内部調査（気中部調査）について

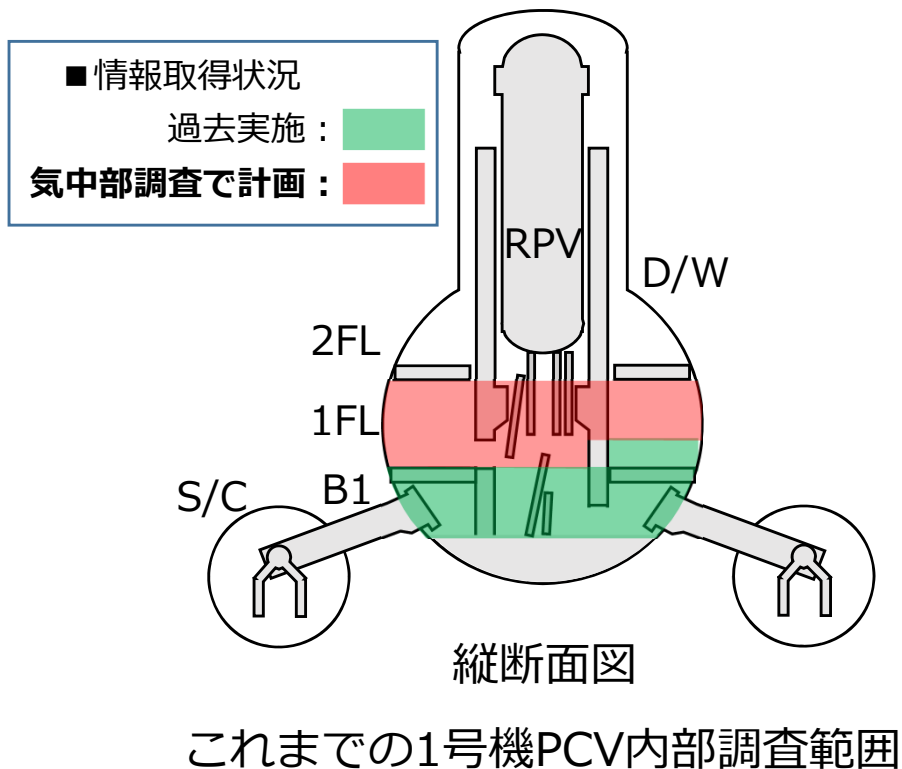
2023年12月21日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

- 1号機原子炉格納容器(以下、PCV)内部調査については、燃料デブリの状態を確認するために、**主に地下階の調査を実施済**
- 燃料デブリ取り出しに向けて、地下階の情報だけでなく、PCV全体の状況も把握する必要があるため、**1FLエリアの調査を主とした、“1号機PCV内部気中部調査”を計画**
- 本調査では、**ペDESTAL外だけでなく、水中ROV調査で確認しきれなかった、ペDESTAL内のRPV底部周辺についても調査を計画**



IRID
TEPCO

CRDハウジング等の状況について

- 上下逆になったCRDハウジング（フランジ面は水面より高い位置）及びペDESTAL上部に引っかかったCRDハウジングが数ヶ所に確認

*イメージ図は下から上に見上げた状況を示す（前頁のイメージ図の逆向き）

CRDフランジ (2x)
 CRDハウジングサポート
 CRD交換用開口部
 ペDESTAL開口部
 サポートプレート
 核計装関連機器
 レール

逆さまになったハウジング
 水面より高い位置に引っかかったハウジング

2023/03/25 19:39:08
 2023/03/25 19:39:05
 2023/03/29 15:41:32
 2023/03/29 15:22:10
 2023/03/30 12:57:03

*位置は推定

17

2. 調査装置について

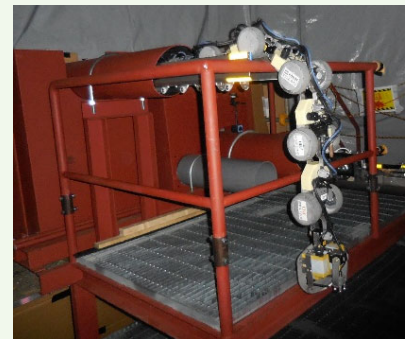
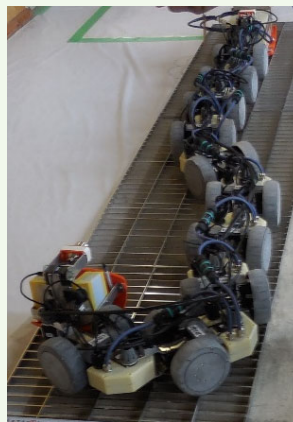
- PCV内部は狭隘かつ暗所であるため、“小型”で“機動性”、“撮影能力”の高い、下記に示す**小型ドローン**を採用
- 高精細な映像を撮影できるため、動画から点群データを生成可能(Structure from Motion技術)
- 小型ドローンの無線通信範囲をカバーするために、**無線中継器を搭載したヘビ型ロボット**を投入
- 水中ROV調査と同様に、**X-2ペネにシールボックス**を取り付け、PCVの隔離状態を保ったまま、小型ドローンとヘビ型ロボットをPCV内に投入

小型ドローン



用途：カメラによる映像撮影
 寸法：191×179×54[mm]
 重量：185[g](バッテリー込)
 飛行時間：約8分(調査は5分×4機で計画)
 搭載機器：照明(90lm(45lm×2))、
 超高感度カメラ(正面のみ)
 カメラスペック
 ・画質：Full HD・画角：水平131°垂直80°対角144°
 ・撮影距離：3m程度・フレームレート：60fps
 耐放射線性：約150Gy
 選定理由：小型かつ、狭隘箇所の飛行における制御
 性能が高く、高精細な映像を取得できるため

無線中継用ヘビ型ロボット

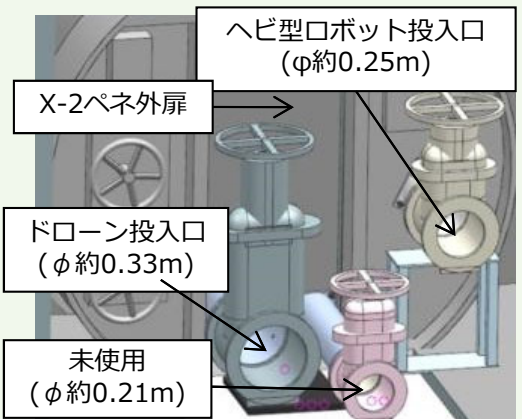


X-2ペネからの昇降試験

ヘビ型ロボット全体

用途：無線中継器の運搬+線量測定
 寸法：2,900×180×165[mm]
 重量：約25[kg]
 搭載機器：ドローン用無線中継器、CMOSカメラ×2
 線量計
 耐放射線性：約249Gy
 選定理由：X-2ペネの手すりを乗り越え、
 グレーチングに昇り降りするため

シールボックス



X-2ペネ隔離弁の用途イメージ



S/B取り付けモックアップ

3. 調査内容について

- 4機の小型ドローンを用いて、ペDESTAL外1FLの“南側(X-6ペネ周辺まで)”、“北側(X-1ペネ周辺まで)”、“ペDESTAL内”の映像を取得
- 初めにドローンでペDESTAL外を調査し、グレーチング上に障害物が無ければ、ヘビ型ロボットをX-6ペネ前に移動。通信範囲を拡大し、再度ドローンによりペDESTAL内を調査
- 水中ROV調査により、CRD交換用開口にCRDハウジングの落下を確認。本調査のペDESTAL内進入ルート上のため、1機目でペDESTAL外から落下状態を確認し、進入可否を判断

A.ヘビ型ロボット地点A(X-2ペネ前)

1機目:【南側】X-6ペネ周辺

- 残置B1調査装置確認
- X-6ペネ
- CRDレール
- CRD開口部

2機目:【北側】X-1ペネ周辺

- X-1ペネ
- 2FL開口周辺
- ペDESTAL外壁

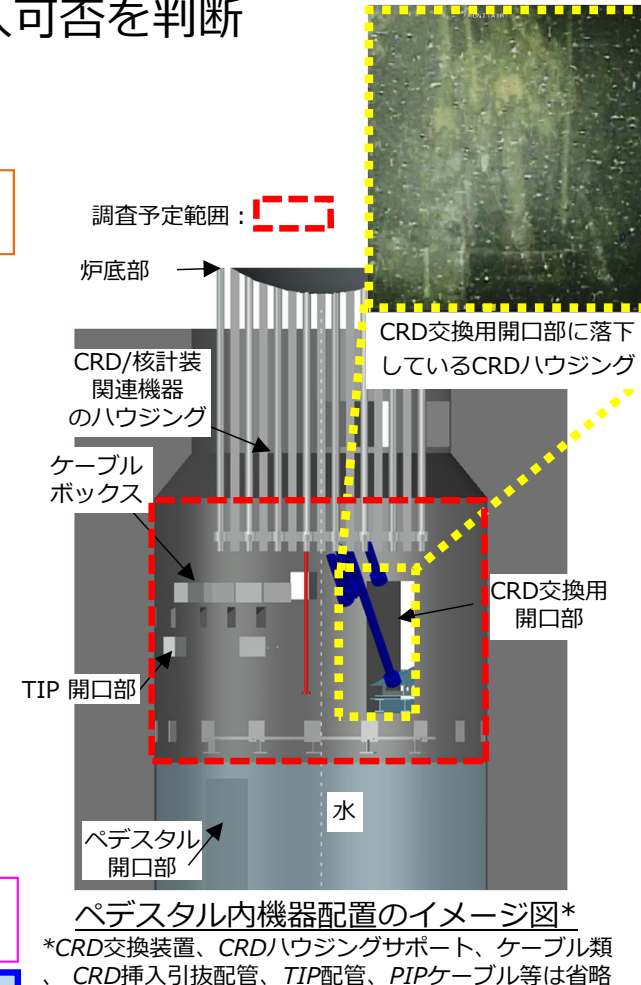
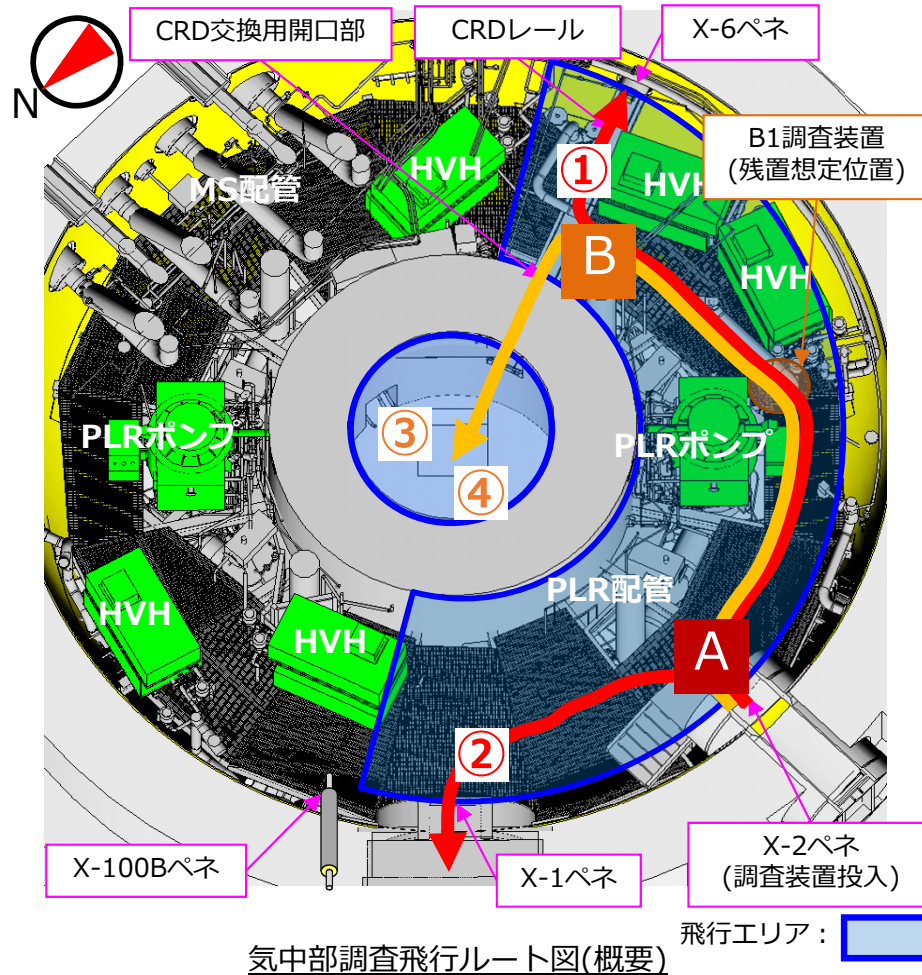
B.ヘビ型ロボット地点B(X-6ペネ前)

3機目:【南側】ペDESTAL内

- ペDESTAL内壁
- 水面付近
- CRDハウジング落下状況
- CRD交換用開口部周辺

4機目:【南側】ペDESTAL内

- CRDハウジング周辺
- その他



4. 調査時のリスク

■ 機体のPCV内残置リスク

- 小型ドローンおよびヘビ型ロボットにおいては、放射線の影響や通信の途絶等により、PCV内への残置リスクはあるものの、**残置になった場合においてもPCV内の状態に影響を与えない**

■ 映像取得不能(部分取得、不鮮明)

- 放射線ノイズや霧等の悪条件により、映像が不鮮明となる可能性があるが、映像撮影試験において**悪条件環境においても飛行可能であり、接近すれば対象を撮影可能な旨、確認済**
- ドローンが墜落した場合、直接映像を採取不可となるが、**通信可能であればドローン内の映像をダウンロード可能であり、低画質ではあるが操作画面の映像は逐次保存する**
- ヘビ型ロボットが移動不能になった場合や、CRD交換用開口が通り抜け不可だった場合は、ペDESTAL内の映像が取得不可となるため、**調査時には初めにドローンで、ヘビ型ロボットの移動ルートおよび、CRD交換用開口の状態を事前に確認し、進入可否を判断する(水中ROV調査の映像からは通り抜け可能と評価)**

■ ダスト飛散リスク

- 通常、ドローン飛行はダスト飛散リスクが高いが、**今回使用するドローンは小型・軽量のため飛散は少量であり、PCV内は湿潤環境のため、ダスト飛散の影響は低い(調査中はダストモニタの監視を実施)**

■ PCV内気体の漏洩およびPCV内圧低下リスク

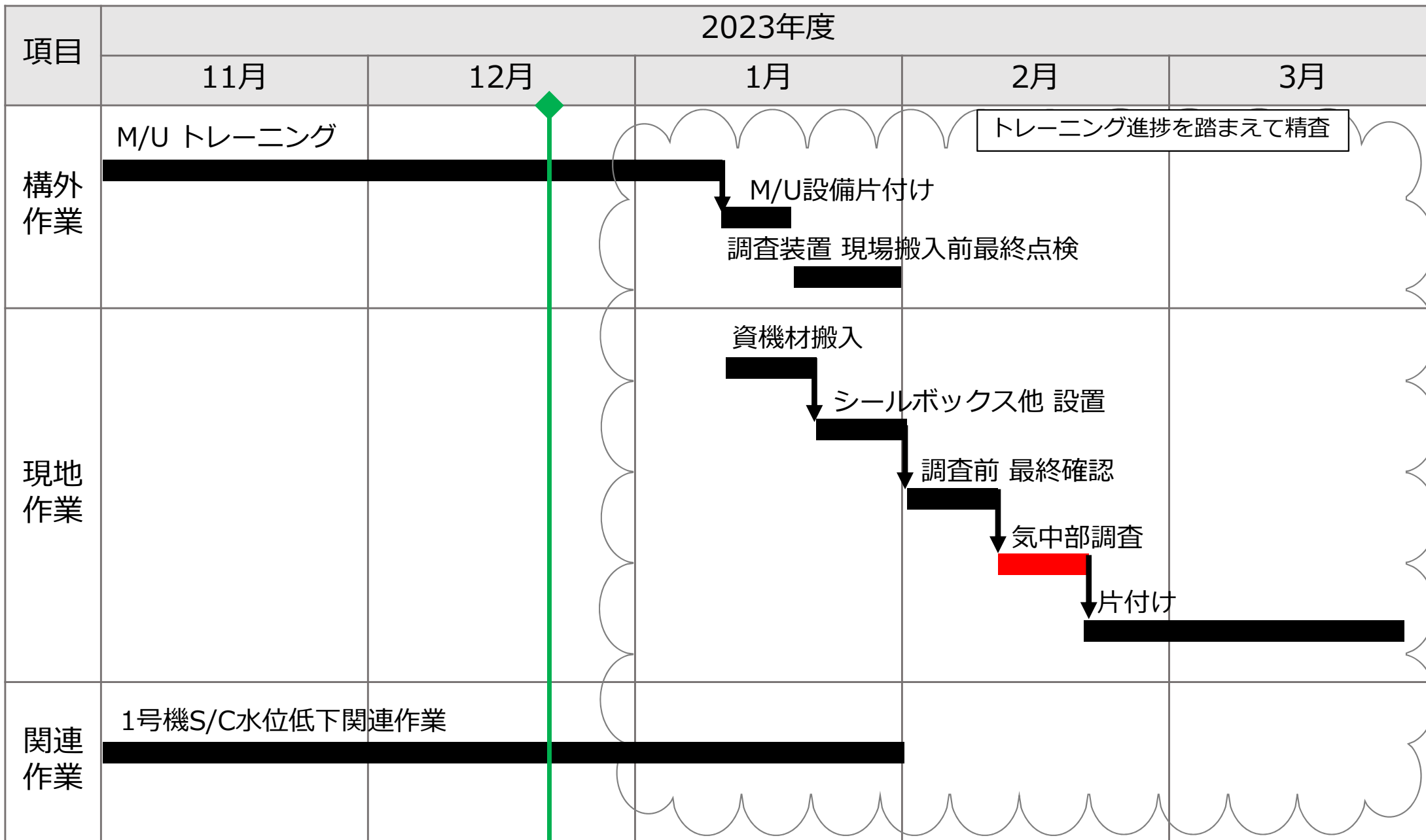
- シールボックスから、PCV内気体がリークするリスクがあるが、**M/U時や隔離弁開直前にも気密性試験を実施し、漏洩がないことを確認してから作業を実施する。**

5. 調査結果の活用例

- 調査結果は“燃料デブリ取り出し工法検討”、“今後のPCV/RPV内部調査検討”、“事故進展解析”に活用

項目	取り出し工法検討	PCV/RPV内部調査	事故進展解析
X-1,6ペネの状態	取り出しアクセス口の検討	PCV内部調査アクセス口検討	—
CRDレールの状態	取り出しでの活用検討	PCV内部調査での活用検討	—
落下したCRDハウジングの状態	落下物の撤去、取り出し手順の検討	RPV内へのアクセス検討	RPV底部の損傷箇所推定
CRDハウジング周辺の状態	—	RPV内へのアクセス検討	RPV底部の損傷箇所推定
CRD交換用開口の状態	取り出しアクセス口の検討	ペDESTAL内アクセス口検討	—
ペDESTAL内水面付近	—	—	水位確認、流路の推定(水流がある場合)
ペDESTAL内壁の状態	—	—	燃料デブリの移行状況(壁を伝った場合)
B1調査装置、2FL開口の状態	—	今後の内部調査方法検討(2FL調査等)	—

6. スケジュール



(参考) 今後の内部調査スケジュールについて

■ 気中部調査

- ▶ 小型ドローンを用いて気中エリアを調査。2023年度の調査実績を踏まえて、他号機を含めた展開を計画

■ 堆積物採取調査

- ▶ 水中ROV調査で確認された、多種多様な堆積物を採取し、分析する計画

■ ベント管・S/C調査

- ▶ 水中ROV調査の結果を踏まえ、ベント管・S/Cに堆積物が広がっていないか調査を計画

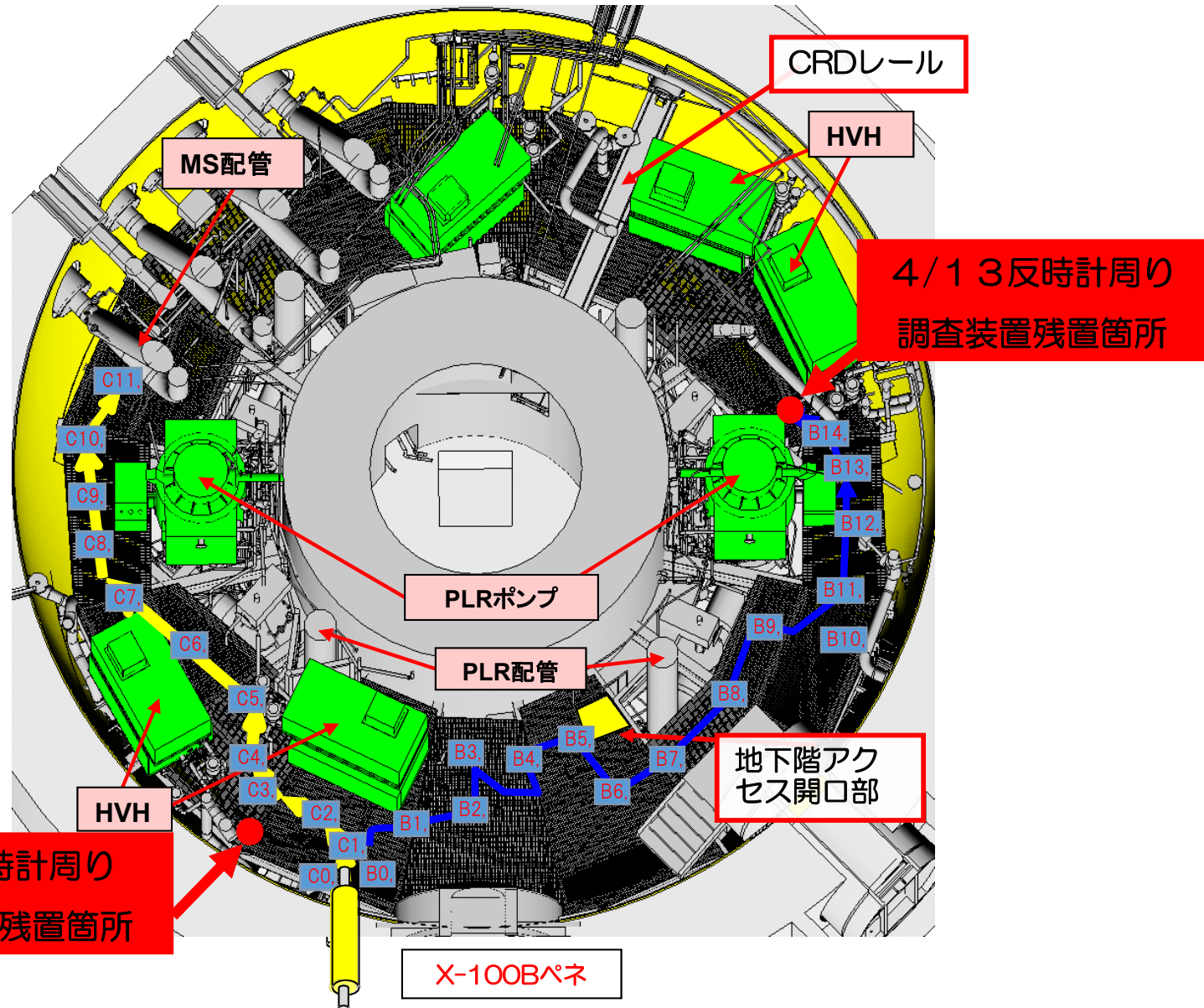
項目/年度	2023	2024以降
気中部調査	調査	改修・検討 調査(2回目) 調査結果および検討・M/Uを踏まえて時期調整
堆積物採取調査		検討、設計製作、M/U、訓練 採取調査 分析
ベント管・S/C内調査		検討、設計製作、M/U、訓練 S/C ベント管内調査

(参考) B1調査装置の残置箇所

- 2015年4月に実施したペデスタル外側_1階グレーチング上調査 (B 1 調査) において2台の調査装置を残置している

→ : アクセス実績ルート
(反時計周りルート)

→ : アクセス実績ルート
(時計周りルート)



1号機格納容器底部堆積物の分析状況

2023/12/21

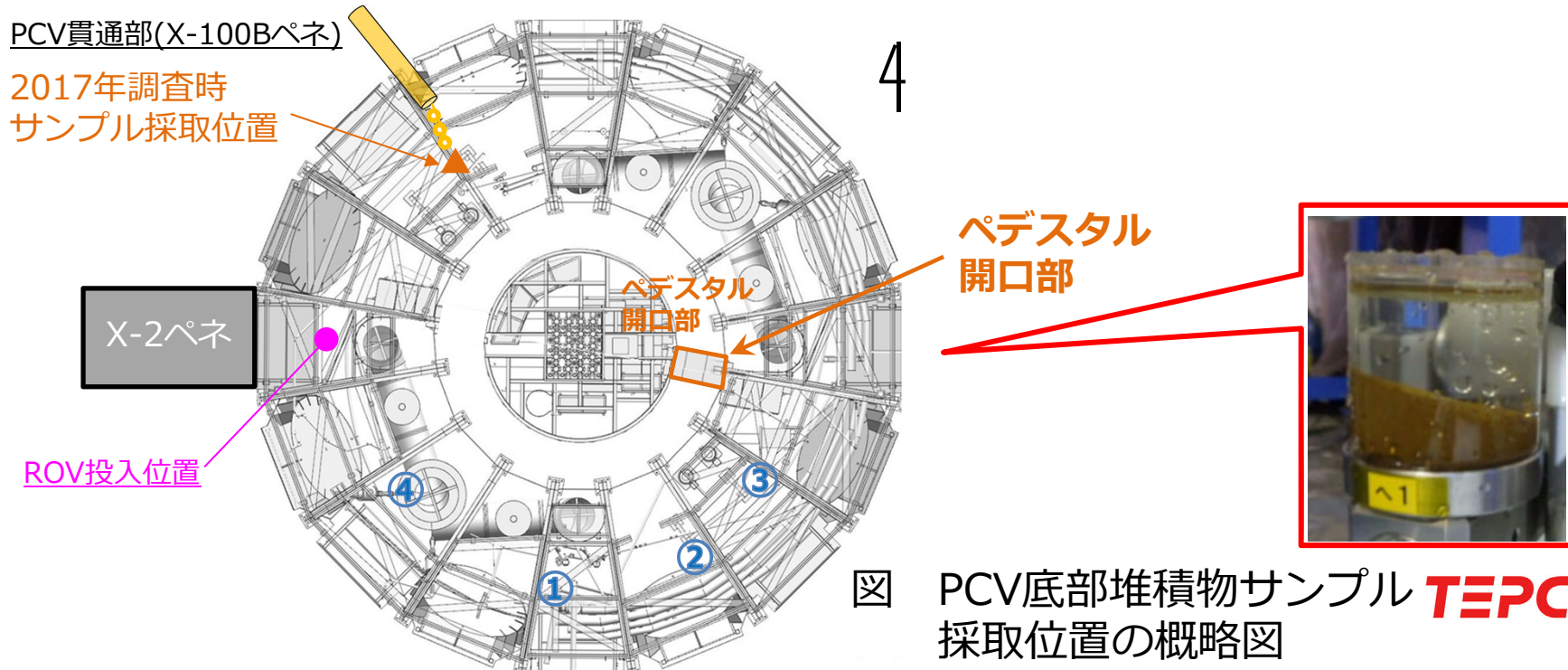
東京電力ホールディングス株式会社

「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発）」に係る補助事業の成果を含む。

TEPCO


1. はじめに

- 2023年1~2月、1号機原子炉格納容器（PCV）内のペDESTAL外周部において底部堆積物の表層を水中ロボット（ROV-E）を用いて採取した。採取位置は下図①~④の4か所。
- 堆積物取得箇所の状況把握、堆積物の生成過程検討を行い、RPV・PCV内の状況把握に活用することを目的に、1F所外の分析機関に輸送し詳細分析を進めている。
- PCV内部調査では、ペDESTALのコンクリートが一部損傷していることが確認されているため、コンクリートが経験した温度など損傷メカニズム解明に関する情報が得られることも期待して分析を進める計画である。
- 本資料は、ペDESTAL開口部（作業員アクセス口）に最も近い位置で採取した試料（採取位置③）に関するSEM/EDS分析結果を報告するもの。



2. 分析の計画

- 10月~11月、サンプルは茨城県内の4施設に輸送を実施した。
- 現在、各施設で分析を順次進めている。(2023年度末目途)

 MHI原子力研究開発 MHI原子力研究開発株式会社

- 光学顕微鏡、SEM/EDS
- XRD
- 質量分析 (ICP-MS)



日本核燃料開発株式会社

- 光学顕微鏡、SEM/EDS、TEM/EDS/電子線回折
- 局所ナノラマン測定

JAEA大洗研究所



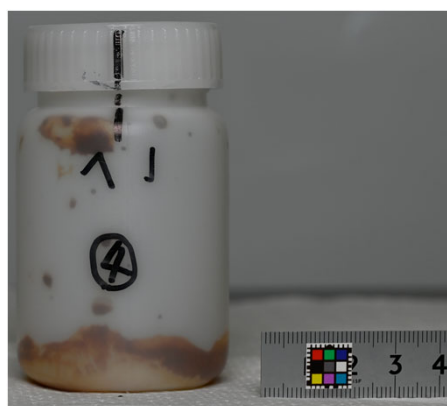
- イメージングプレート
- 光学顕微鏡、SEM/WDS、TEM/EDS
- 放射線分析 (α 、 γ)、質量分析 (ICP-MS)

JAEA原子力科学研究所

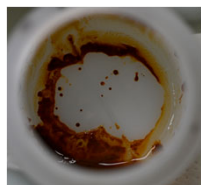
- 放射線分析 (α 、 γ)、質量分析 (ICP-AES、TIMS)

※本資料で掲載した分析項目について、赤字下線で示す。

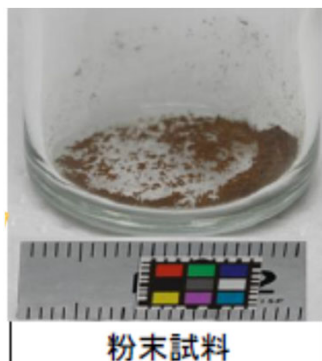
3. サンプル受け入れの状況



受け入れ試料



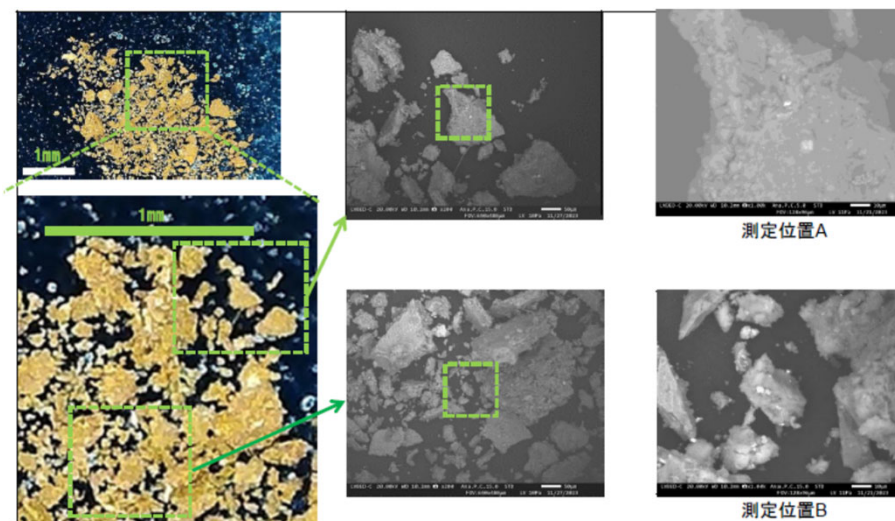
吸引ろ過により
沈殿物を分離



粉末試料

粉末試料回収

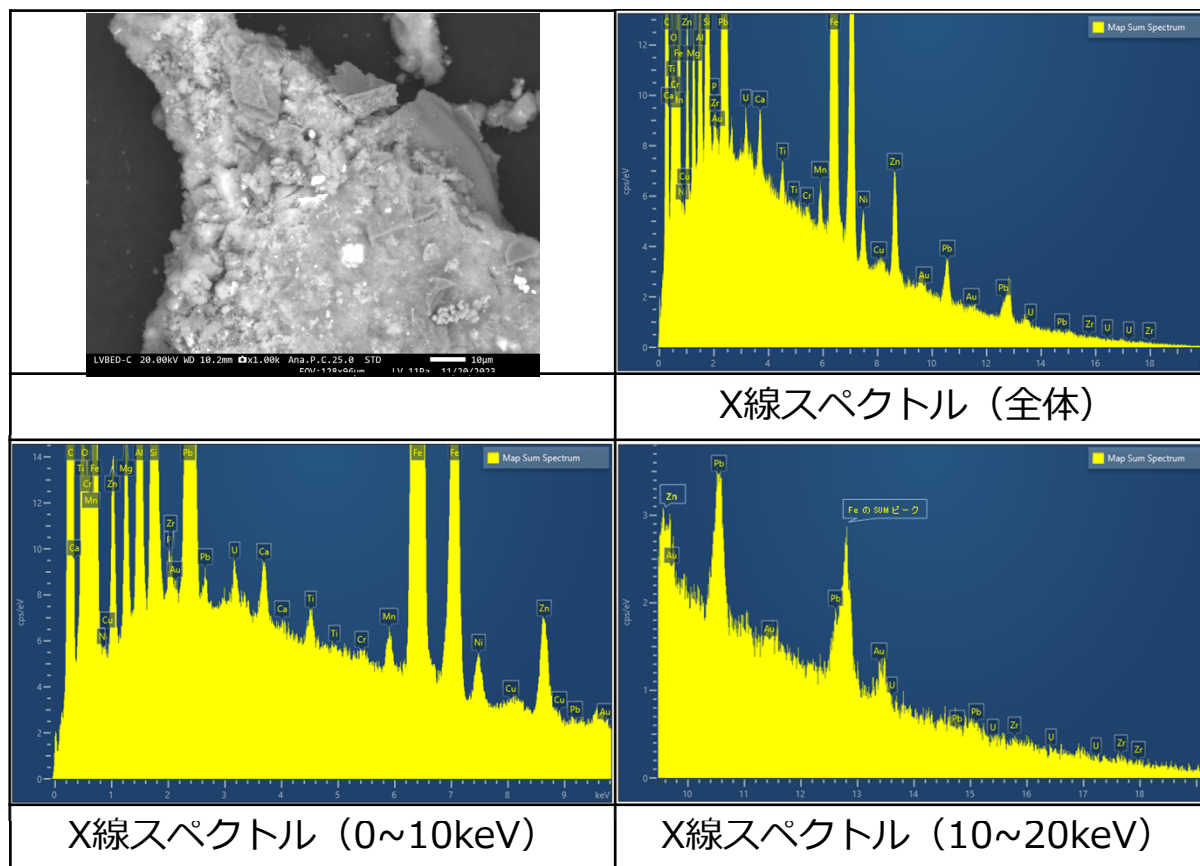
光学顕微鏡、
SEM/EDS観察



※SEM観察時には電子ビームによる加熱でCテープの伸縮が生じるために、光顕像と電子像とは若干形状が変化する

4. SEM/EDS分析結果（組成分析）

- SEM/EDS分析により、
130 μm ×100 μm 程度の
範囲での元素組成を測定
（面分析）。
- Oが72at%と多く、
酸化物が多く含まれる。
- その他、Fe（13 at%）、
Si、Alが多く検出された。



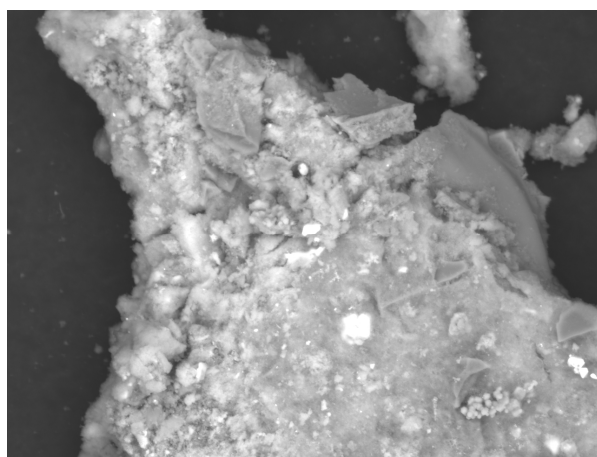
元素	N	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe
at%	7	72	0.33	0.70	1.8	2.4	0.05	0.16	≤0.01	0.00	0.09	0.07	0.02	0.12	13
元素	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Zr	Nb	Mo	Sn	Cs	Tb	Tm	Pb	U	—
at%	0.19	0.26	0.02	0.70	0.02	0.02	0.00	0.02	≤0.01	0.00	0.02	≤0.01	0.42	0.05	—

※数値は分析装置の出力した数値そのままを記載したものであり参考値。

※サンプルを固定するためのカーボンテープにCが含まれていることから、分析結果から除外。

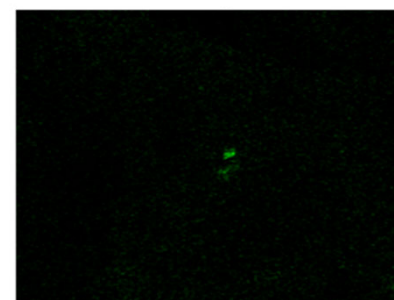
5. SEM/EDS分析結果（元素マッピング像）

- 粒子全体にFe、Oが存在し、鉄さびが主成分である。
- U、Zrを含有する粒子が点在し、燃料由来と考えられる。
- Si、Al、Mgを含む粒子が点在し、PCVのコンクリート、保温材等に由来する可能性がある。
- 上記の観察結果は2017年採取試料と類似している。

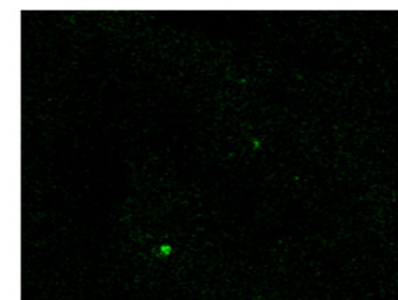


20 μm

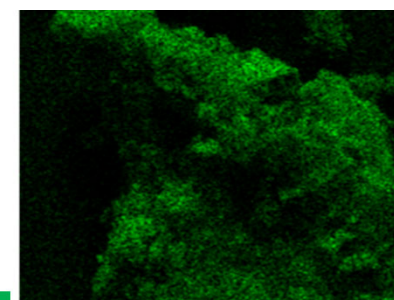
50 μm



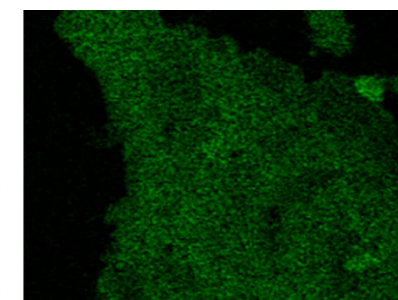
U



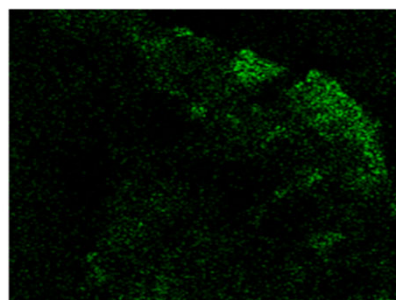
Zr



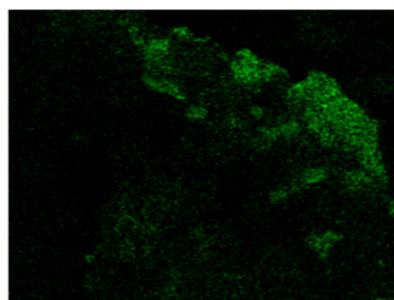
O



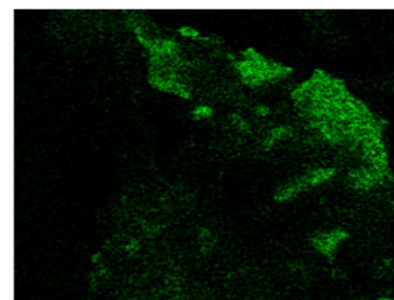
Fe



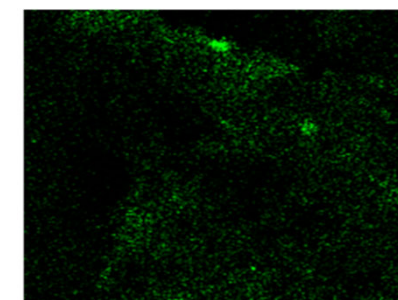
Mg



Al



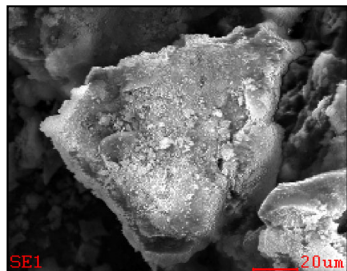
Si



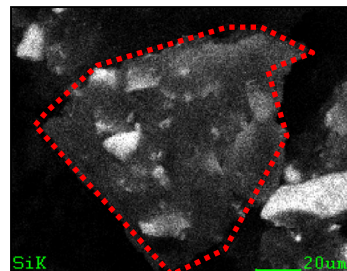
Zn

6. SEM/EDS分析結果（Uを含むSi含有領域）

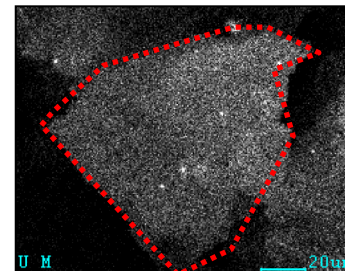
- 多くはないものの、Uを含むSi含有粒子が存在している。
 - Si含有粒子全体に、均一にUが分布している。
 - Uの存在状態（粒子表面にUが付着しているか、粒子内部にもUが存在するか）は不明。
- 溶融燃料（U）がコンクリート、保温材等と反応した場合には、Si含有粒子内部にUが存在すると考えられることから、粒子内でのUの存在状態を知ることは事故進展の把握に役立つ可能性がある。
- 上記のようなU存在状態を知るためには詳細分析が必要
 - 当該粒子または同様の粒子について、TEM/EDS/電子線回折を用いた詳細観察を実施予定。
 - Uの存在状態、Si-O（ケイ素酸化物）の結晶構造が分かれば、粒子が経験した温度域が分かる可能性がある。



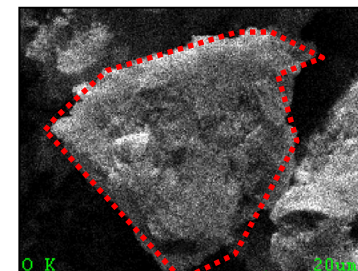
SEM像(SEI) 20μm



Si
Siは点線部の粒子全体に存在



U
Uは点線部の粒子全体に存在

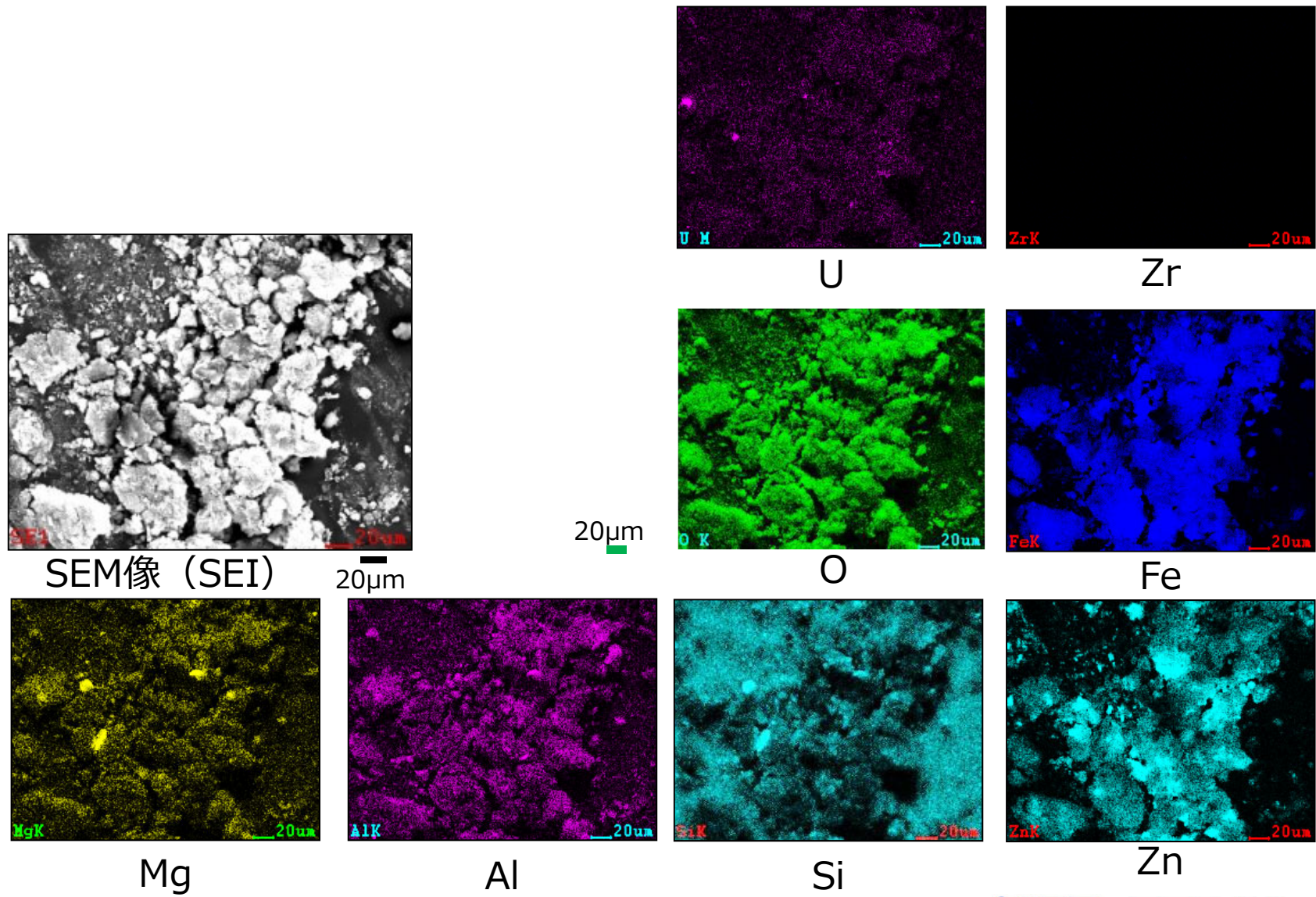


O
Oは点線部の粒子全体に存在

7. まとめ

- ペDESTAL開口部に最も近い位置から採取した試料についてSEM/EDS分析を実施。（現在、詳細に精査中）
- 2017年にペDESTAL開口部から離れた位置から採取した試料と概略は類似
 - 鉄さび上にウラン含有粒子が点在していることを確認
 - Si、Al、Mgを含む粒子が点在し、PCVのコンクリート、保温材等に由来する可能性がある。
- 多くはないものの、Uを含有するSi含有粒子が存在
 - 今後、TEM/EDS/電子線回折を進める予定。
 - Si-O中のUの存在状態、結晶構造を確認し、粒子の経験温度の推定に活用。
- 他の採取位置、分析項目についても引き続き進める。（2023年度末目途）

(参考) 2017年調査で取得した1号機PCV堆積物の分析結果



(参考) 分析手法の概要

- **イメージングプレート**
再利用可能な写真乾板のようなものにサンプルを接触させ一定時間経過させると、放射線強度に応じた記録が残る。これを専用の装置で読みだすと、サンプルの汚染分布がわかる。大まかにどこが汚染しているかを簡便に調べ、後段の分析を効率よく進めるために使用。
- **SEM: Scanning Electron Microscope (走査型電子顕微鏡)**
電子顕微鏡の一種でサンプルに電子ビームをあて表面から放出される、または、反射した電子を測定することで、試料表面を観察するもの。EDSと合わせて用いることで試料表面の元素分布を取得することができる。
- **TEM : Transmission Electron Microscope (透過型電子顕微鏡)**
試料を透過した電子を使って、微小領域の材料評価を行う。
- **EDS: Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (エネルギー分散型X線分光法)**
特性X線を用いてサンプル中の元素の濃度を測定する方法。同時に複数元素を測定可能。
- **WDS : Wavelength-dispersive X-ray Spectroscopy (波長分散X線分光法)**
試料に電子線を当て、試料に含まれる原子から出てきた特性X線を分光結晶(分光器)で波長ごとに回折し、その波長と強度から、試料に含まれる元素と含有率を求める。
- **電子線回折**
試料表面に電子線を入射させて反射した回折電子を観察する方法で、結晶構造を解析する。
- **ラマン測定**
入射光と異なった波長をもつ光(ラマン散乱光)の性質を調べることにより、物質の分子構造や結晶構造などを知る手法。
- **XRD : X-ray diffraction (X線回折法)**
試料にX線を照射した際、X線が原子の周りにおける電子によって散乱、干渉した結果起こる回折から対象物の結晶構造、結晶方位、残留応力、転位密度、結晶子サイズなどを解析する。
- **ICP-MS: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (誘導結合プラズマ質量分析)**
サンプル中の元素の質量数ごとの濃度を測定することができる。サンプルを水や硝酸などの溶媒に溶かした上で分析を実施する。
- **TIMS : Thermal Ionization Mass Spectrometer (表面電離型質量分析計)**
フィラメントに通電して高温で加熱することによって試料中の元素をイオン化し、イオン化された元素を加速して磁場をかけることで各同位体の分離と定量的検出を行う装置。

1号機PCV水位低下に向けたS/C内包水サンプリング作業 の実施について（サンプリング結果の続報）

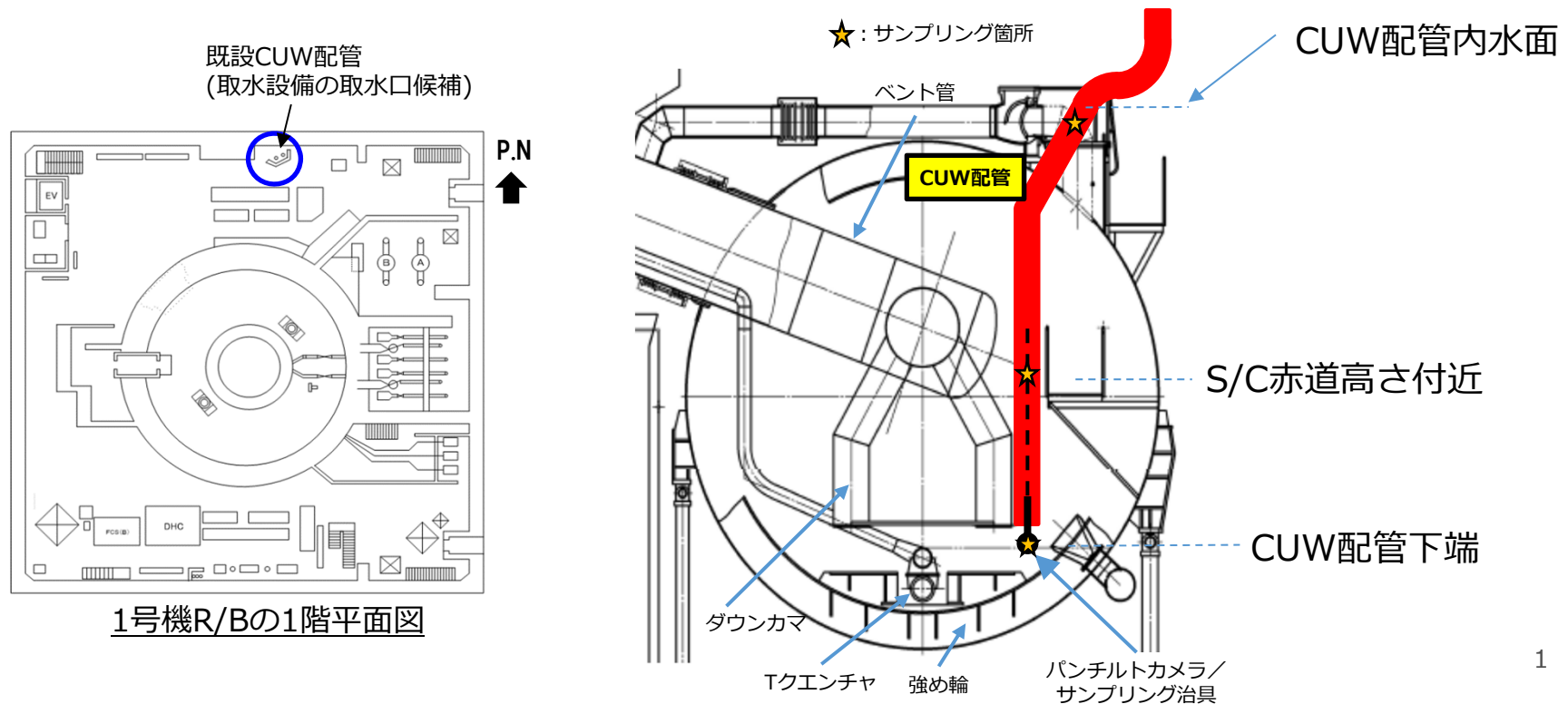
2023年12月21日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

- 1号機PCVの耐震性向上として、PCVの水位低下を計画している。また、PCV水位低下に向け水位計や取水設備の設置を検討している。
- 知見の拡充を目的にS/C内包水の水質やS/C底部状況の確認のため、PCV水位計や取水設備の設置候補であるCUW配管から、これら設備の設置前にS/C内包水のサンプリング作業(CUW配管内上部・中部、CUW配管下端3箇所)を実施。
- 今回のサンプリング結果等の知見について、今後計画しているPCV水位低下の手順や設備設計の検討に反映する。今後、S/Cの水位低下に合わせて、放射能評価について検討していく。また、1Fにおける事故調査にも活用していく。



2. S/C(CUW配管)の内包水サンプリング結果 (1 / 2) **TEPCO**

滞留水処理への影響確認、PCV内の状況把握のため

測定項目	単位	CUW配管内上部	CUW配管内中部	CUW配管下端 (S/C下部)
Cs-134	Bq/L	4.19E+07	5.61E+07	6.11E+07
Cs-137	Bq/L	2.55E+09	3.38E+09	3.64E+09
Sr-90	Bq/L	4.17E+07	7.57E+07	7.95E+07
H-3	Bq/L	1.74E+07	2.14E+07	2.24E+07
全α	Bq/L	<1.14E+03	<1.14E+03	<1.14E+03
pH※1	-	5.9	5.9	5.8
導電率※1	μS/cm	19.0	34.0	34.0
Cl	mg/L	380	740	750
Ca	mg/L	<10.0	14.0	14.0
Mg	mg/L	16.0	40.0	41.0
Na	mg/L	190	380	390
Al	mg/L	1.6	1.9	1.6
SS	mg/L	<100	<100	<100
TOC	mg/L	<10.0	<10.0	<10.0
油分	mg/L	<30.0	<30.0	<30.0
発泡性	-	なし	なし	なし
一般細菌数※2	CFU/mL	<1.0E+03	<1.0E+03	1.0E+04
硫酸塩還元細菌数※2	-	不検出	不検出	不検出

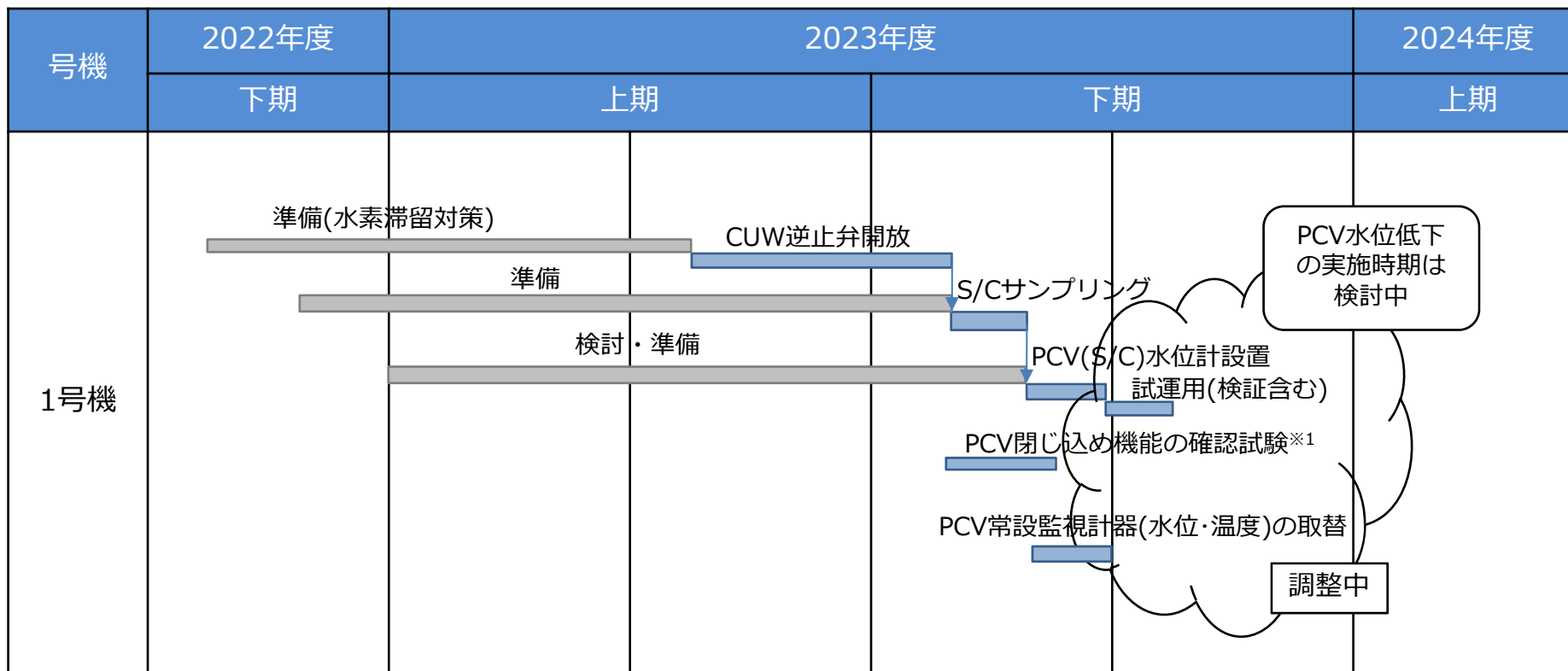
補足)

- ・ ※1については、試料のラボへの持ち込み線量基準 (1mSv/h) を満足させるため、採取量が少量になったことから精製水にて100倍希釈しており、その影響があるため参考値として記載
- ・ ※2については、一般細菌数が 10^4 CFU/mL以下、硫酸塩還元細菌数が不検出のため、微生物腐食のリスクは小さいと考えられる

2. S/C(CUW配管)の内包水サンプリング結果 (2 / 2) **TEPCO**

測定項目	単位	CUW配管内上部	CUW配管内中部	CUW配管下端 (S/C下部)
Co-60	Bq/L	<5.68E+05	<6.26E+05	<7.61E+05
Ru-106	Bq/L	<2.34E+07	<2.81E+07	<2.69E+07
Sb-125	Bq/L	<1.58E+07	<1.80E+07	<1.87E+07
Eu-154	Bq/L	<1.61E+06	<2.00E+06	<1.94E+06
Am-241 (γ)	Bq/L	<2.17E+06	<2.55E+06	<2.56E+06
I-129 (γ)	Bq/L	<1.78E+07	<2.07E+07	<2.15E+07
Ag-108m	Bq/L	<5.36E+06	<6.12E+06	<6.30E+06
Ba-133	Bq/L	<5.63E+06	<6.37E+06	<6.62E+06
I-129 (β)	Bq/L	1.04E+03	3.02E+03	2.56E+03

参考. PCV(S/C)水位低下関連作業の工程 (予定)



2号機 PCV内部調査・試験的取り出し作業の準備状況

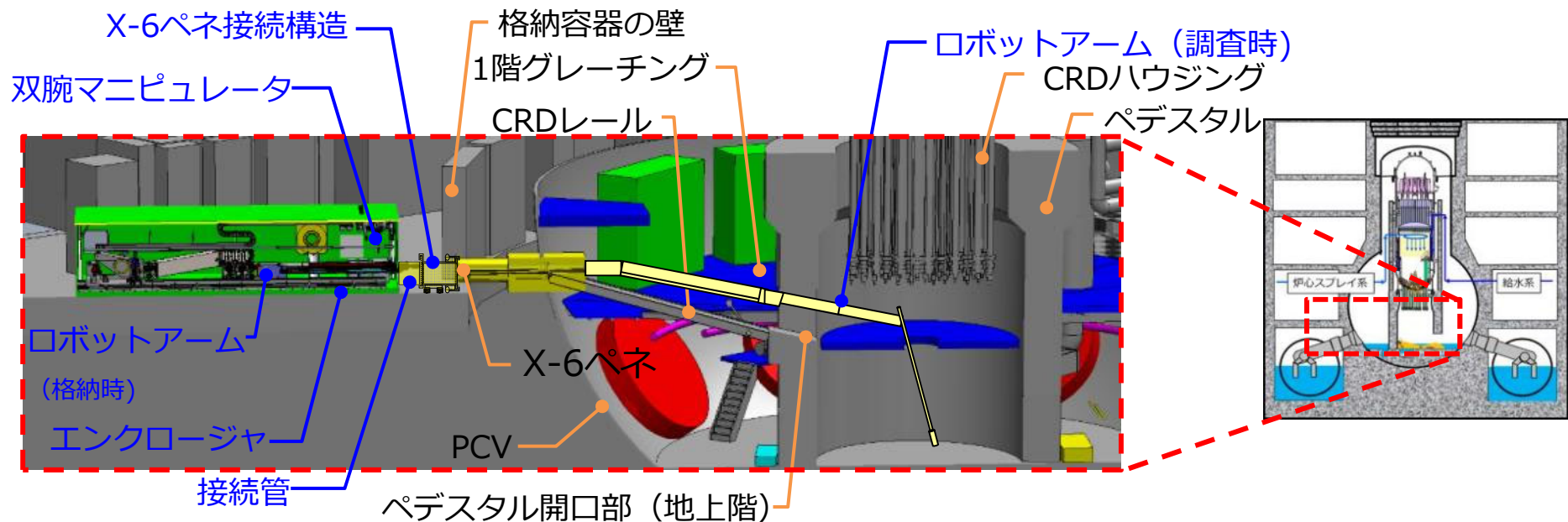
2023年12月21日

IRID **TEPCO**

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
東京電力ホールディングス株式会社

1. PCV内部調査及び試験的取り出しの計画概要

- 2号機においては、PCV内部調査及び試験的取り出し作業の準備段階として、作業上の安全対策及び汚染拡大防止を目的として、今回使用する格納容器貫通孔（以下、X-6ペネ）に下記設備を設置する計画
 - X-6ペネハッチ開放にあたり、PCVとの隔離を行うための作業用の部屋（隔離部屋）
 - PCV内側と外側を隔離する機能を持つ X-6ペネ接続構造
 - 遮へい機能を持つ 接続管
 - ロボットアームを内蔵する金属製の箱（以下、エンクロージャ）
- 上記設備を設置した後、アーム型装置をX-6ペネからPCV内へ進入させ、PCV内障害物の除去作業を行いつつ、内部調査や試験的取り出しを進める計画



2号機 内部調査・試験的取り出しの計画概要

2. 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況

性能確認試験項目

- 楢葉モックアップ施設を用いて、現場を模擬したモックアップ試験を実施中
- 手動運転にて周辺構造物に接触することなくペDESTAL底部までアクセスできること及び障害物の切断・除去が可能なが確認できたため、現在、遠隔自動運転でのX-6ペネ通過/ペDESTAL底部へのアクセス試験について、最終の4ステップ目を実施中
- 現地ではアームによる狭隘部へのアクセスを繰り返し行う必要があり、現場適用に向けた位置精度やハード/ソフトの連係等の向上の観点で、引き続き、接触リスクの低減を図るべく制御プログラムを改善、最適化し、その他試験も並行し進めていく
- また、ロボットアームの開発に加えて、実作業を模擬した手順、オペレータの操作性、装置の信頼性を踏まえて、実際の現場適用性について確認していく

今回報告

性能確認試験項目

試験分類	試験項目	楢葉
ロボットアーム関連	X-6ペネの通過性	実施中
	AWJによるX-6ペネ出口の障害物の撤去	完了 (作業効率化検討中)
	各種動作確認 (たわみ測定等)	完了
	PCV内部へのアクセス性 ・ペDESTAL上部へのアクセス ・ペDESTAL下部へのアクセス	実施中
	PCV内部障害物の撤去 ・X-6ペネ通過後のPCV内障害物の切断	完了 (作業効率化検討中)
双腕マニピュレータ関連	センサ・ツールとアームの接続	完了
	外部ケーブルのアームへの取付/取外し	完了
	センサ・ツールの搬入出	完了
	アーム固定治具の取外し	完了
	アームカメラ/照明の交換	完了
	エンクロージャのカメラの位置変更	完了
	アームの強制引き抜き	今後実施
ワンスルー試験 (アーム+双腕マニピュレータ)	アームと双腕マニピュレータを組合わせ、調査に必要な一連の作業を試験で検証 ・ペDESTAL上部調査 ・ペDESTAL下部調査	今後実施

3-1. 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況

【ペDESTALアクセス試験】

- ・アームの機能/適用性を見極めるため、重要かつ技術的ハードルが高い、「プラットホーム開口（狭隘部）を通過しペDESTAL底部へのアームのアクセス」に着目した試験を実施中
- ・作業員補助でのペDESTAL底部までのアームアクセスが可能なこと、その過程にてT&RF※の作成完了及びレーザスキャンデータ取得が完了。さらにVRシステムへの当該取得データの反映が完了、現在、最終ステップ④実施中

＜試験概略フロー＞

※：ティーチ&リピートファイル（アーム各軸の動作を設定したファイル）

ステップ①

- ・ペDESTAL底部までのアームアクセス（作業員補助）
- ・T&RF※の作成 **【完了】**

ステップ②

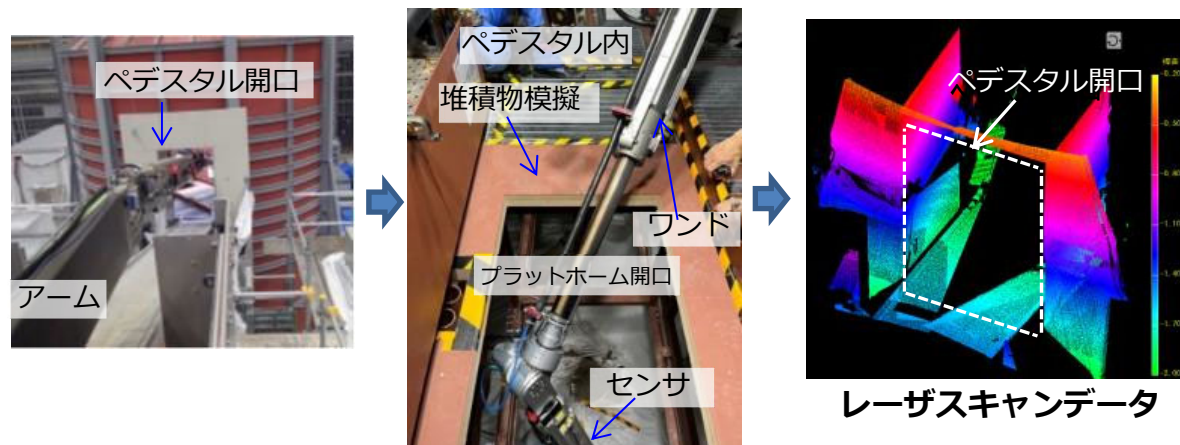
- ・アームにレーザスキャナを搭載し、アーム周辺の障害物の位置・形状データ（点群データ）取得 **【完了】**

ステップ③

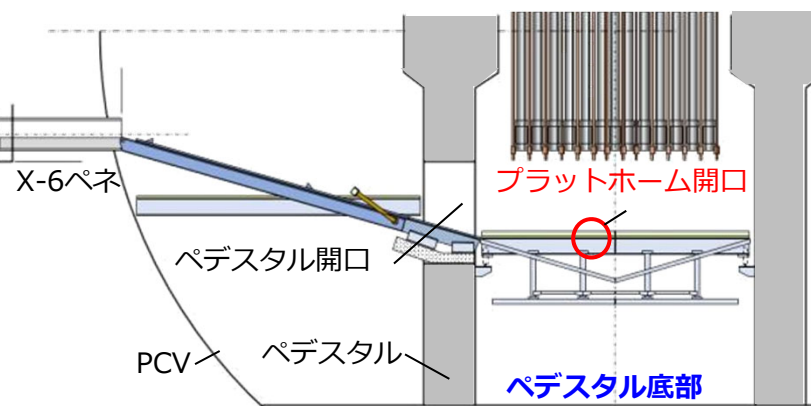
- ・アームVRシステムへの点群データの反映 **【完了】**

ステップ④

- ・T&RF※及びVRとカメラによる底部へのアクセス
 - ・VR精度の把握
 - ・カメラ視認性の確認**【実施中】**



ステップ① ペDESTAL底部までのアームのアクセス状況 ステップ② 点群データの取得



ステップ③④ 点群データ反映、遠隔アクセス状況

参考. 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況
 【AWJによるX-6ペネ出口の障害物撤去試験】

- アーム通過の障害物となるCRDレール、グレーチング、ケーブルの除去/切断を実施
- X-6ペネ出口の障害物をAWJで除去可能なこと及び除去後アームが通過可能なことを確認
- なお、CRDレール上のケーブル、堆積物の残置状態に応じたAWJノズルの角度、位置調整等に時間を要するため、作業効率化（作業時間短縮）についても継続検討中

延長管模擬体 X-6ペネ接続構造模擬体 X-6ペネ模擬体 AWJツール ケーブル* グレーチング CRDレール

*X-6^h 内の堆積物除去にて押し出されたケーブル

<除去/切断手順>

X-6ペネ
 CRDレール
 グレーチング
 X-6ペネ(出口部)
 Cut 1 ケーブル
 Cut 2
 Cut 3
 Cut 4
 Cut 5
 Completed

切断前
 CRDレール
 ケーブル
 グレーチング

切断完了
 X6ペネ
 切断ノズル
 切断部
 CRDレール

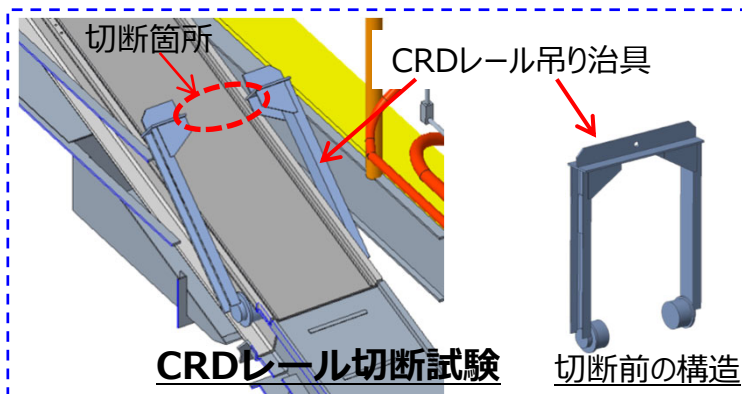
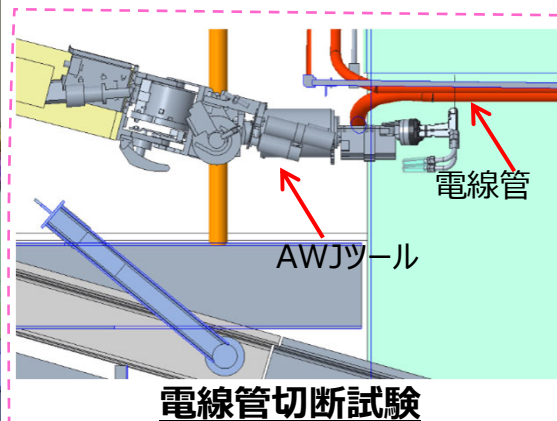
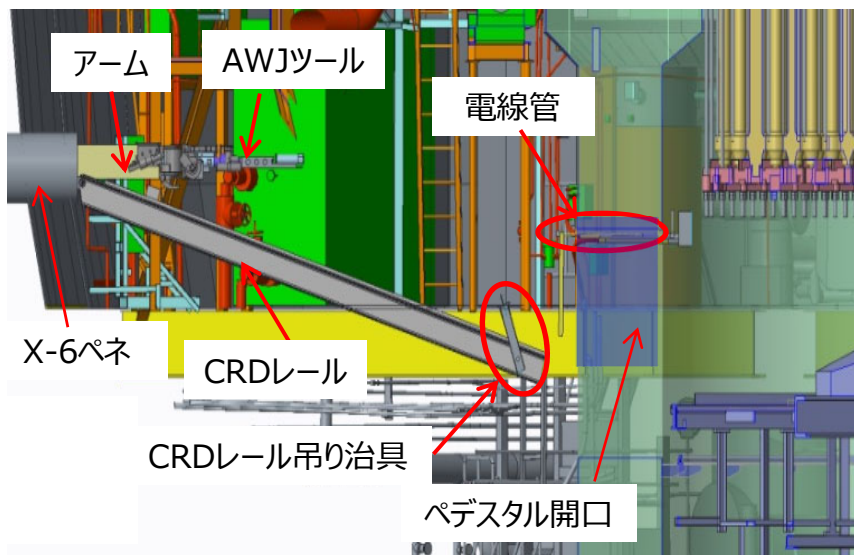
切断後のアーム通過性確認
 ワンド
 ダミーセンサー
 アーム
 CRDレール切断部

参考. 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況



【PCV試験内障害物除去試験】

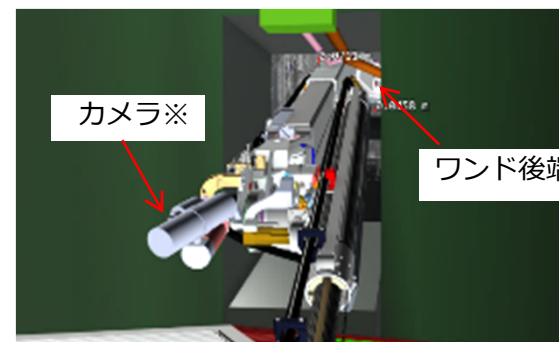
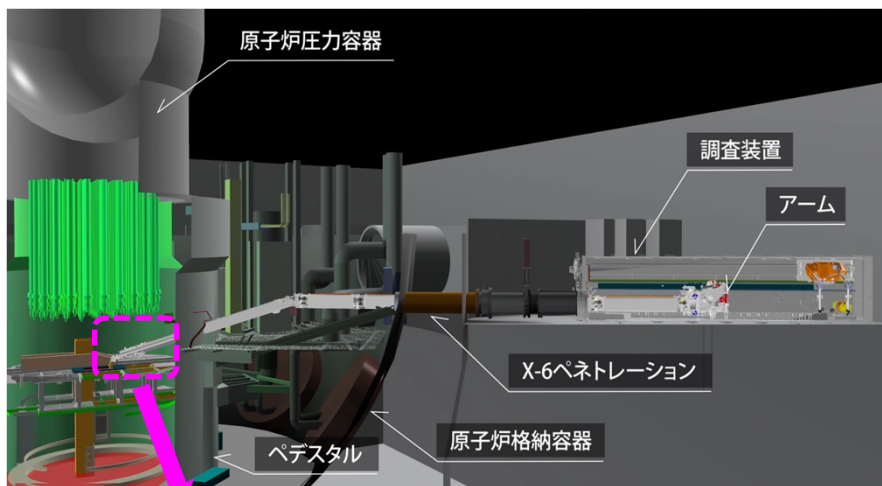
- AWJツールをアームに搭載し、アーム通過の障害物となるCRDレーン吊り治具、ペDESTAL開口部の電線管の切断試験を実施
- アーム先端に搭載したカメラによる視認にてCRDレーン吊り具、電線管とも、計画通り切断できることを確認
- なお、CRDレーン同様AWJノズルの角度、位置調整等に時間を要するため、今後、作業効率化（作業時間短縮）についても継続検討中



参考. 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況

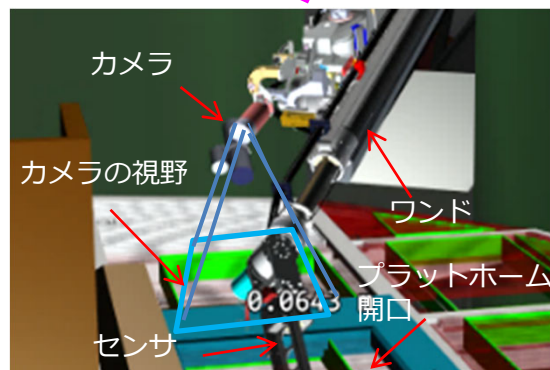
【カメラ視認性の確認】

- ペDESTALアクセス試験はVR及びT&RF機能による遠隔自動運転をベースに実施予定だが、特にアームの進行方向及び後方(ワンド後端)のカメラによる視認性について確認
- VR精度評価結果も踏まえ、特にプラットホーム開口通過時のワンド後端の視認性改善を目的に後方確認用カメラの追設を検討中

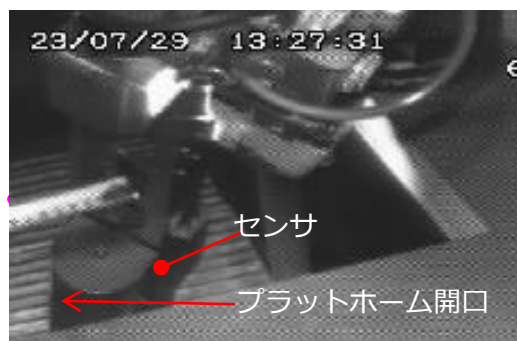


アームの後方 (ワンド後端)

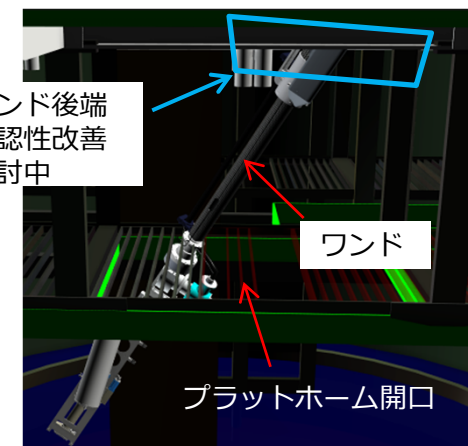
※カメラ①を後ろ向きに反転し、ワンド動作時に後端部と周辺構造物が干渉しないようカメラにて隙間を確認。



VR画面



カメラの画像 (視認性は問題無し)



アーム先端をプラットホーム開口部に進入させた状態

4 - 1. 現場作業の進捗状況

- X-6ペネ内堆積物除去作業は、PCVバウンダリとなる隔離部屋の中に堆積物除去装置を設置し、PCV内の気体が外部に漏れ出て周辺環境へ影響を与えないよう安全かつ慎重に作業を進める
- これまでの作業と同様に、PCV内の気体が外部に漏れ出て周辺環境へ影響を与えていないことを確認するため、作業中はダストモニタによるダスト測定を行い、作業中のダスト濃度を監視する

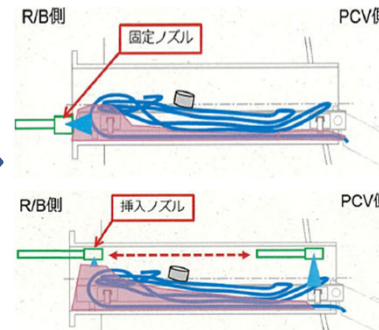
赤枠内：現在の状況
X-6ペネ内堆積物除去作業準備 実施中



堆積物除去装置
(低圧水) 設置



スプレー治具設置
※X-53ペネに接続



堆積物除去 (低圧水)

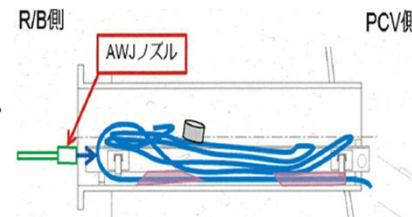
※遠隔作業
ドーザツールによる堆積物の押し込み、
低圧水の噴射による堆積物の除去



堆積物除去装置
(低圧水) 撤去



堆積物除去装置
(高圧水、AWJ) 設置



堆積物除去装置
(高圧水、AWJ)

※遠隔作業
ドーザツールによる堆積物の押し込み、
高圧水・AWJの噴射による堆積物の除去



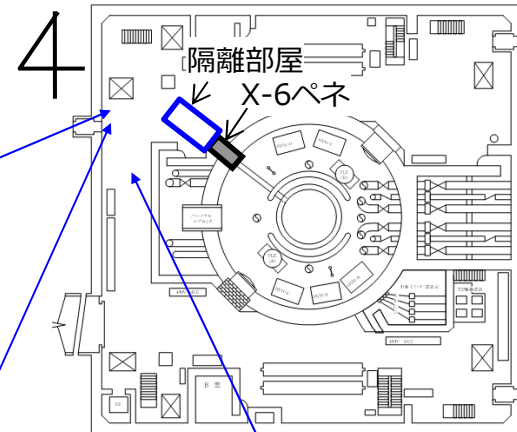
堆積物除去装置
(高圧水、AWJ) 撤去

次工程へ
X-6ペネ接続構造設置

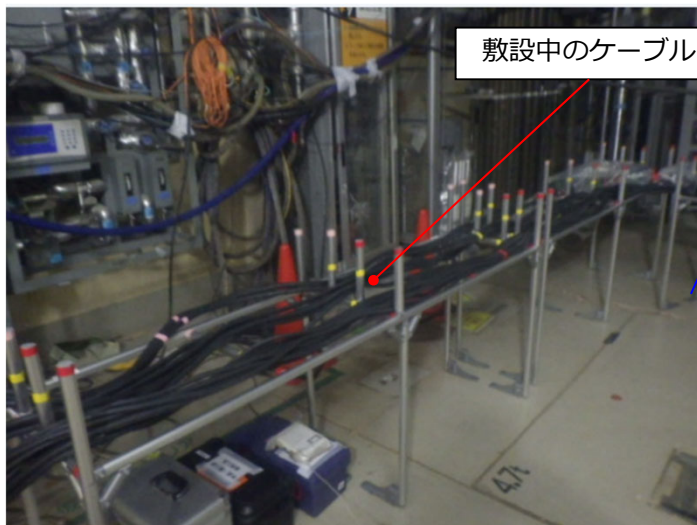
※写真はモックアップ時の状況

4 - 2. 現場作業の進捗状況 (X-6ペネ内堆積物除去)

- X-6ペネ内堆積物除去装置の設置に向けて、原子炉建屋1階にケーブル等の敷設を実施。
- 現場設置の事前確認として、1F構内で堆積物除去装置（低圧水）及びスプレイ治具の動作確認等を実施。



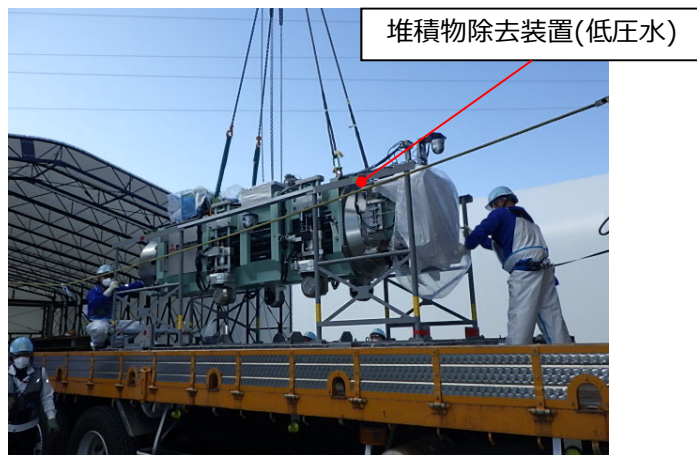
2号機原子炉建屋1階 ペネ配置図



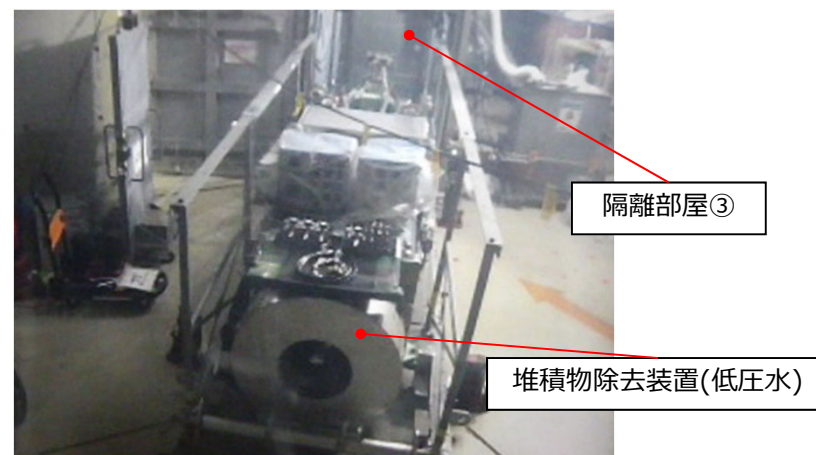
ケーブル敷設状況 (原子炉建屋1階北西エリア)

4 - 3. 現場作業の進捗状況 (X-6ペネ内堆積物除去)

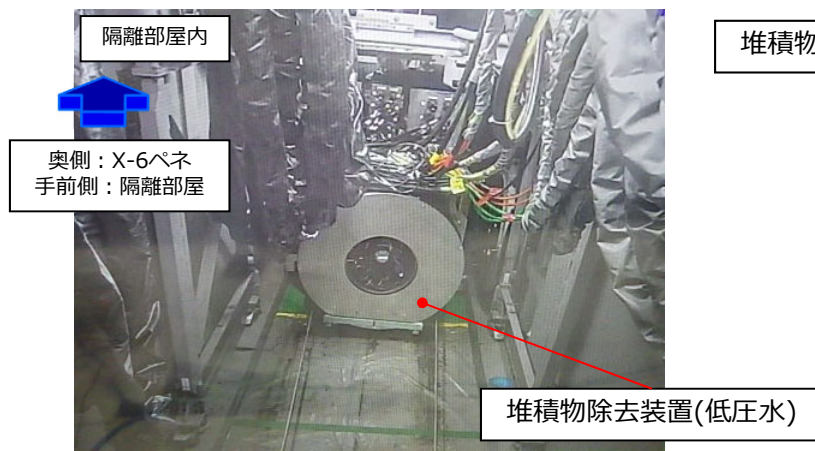
- 堆積物除去装置 (低圧水) の原子炉建屋内及び隔離部屋内への搬入、ケーブル等の接続が完了
- X-6ペネフランジへの接続 (把持) を行い、フランジシール部の加圧確認を実施し問題がないことを確認
- 引き続き、スプレイ治具の設置作業を実施中



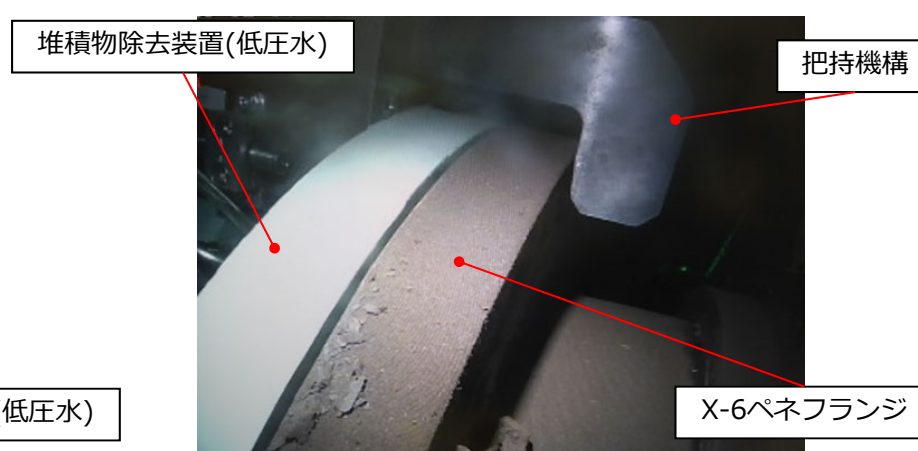
堆積物除去装置運搬状況



堆積物除去装置 (低圧水) 隔離部屋に搬入



堆積物除去装置 (低圧水) を
X-6ペネフランジに接続中
※装置後方から撮影



X-6ペネフランジに接続 (把持)

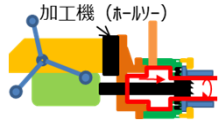
5. 工程

- ロボットアームについて、2022年2月より実施している現場を模擬した楯葉モックアップ試験を通じて把握した情報と、事前シミュレーション結果との差異を補正することで、燃料デブリ取り出し時の接触リスクを低減するべく、現在、制御プログラム修正等の改良に取り組んでいるところ。試験状況から、ロボットアームによるアクセスルートの構築に時間を要する可能性を確認したことから、現場適用に向けて作業効率化やVR精度等の課題解決を図り、安全性と確実性を高めるため、アクセスルート構築等の試験を進めている。
- また、2023年11月にX-6ペネフランジ面の清掃が完了。堆積物除去装置及びスプレイ治具の設置を実施し、1月初旬から堆積物除去作業を開始予定。ハッチボルトの固着やフランジ面の付着物の除去に時間を要したことを踏まえ、X-6ペネ内の堆積物除去に向けて、安全かつ着実に作業を進める。
- 他方、ハッチ開放準備作業において確認されたボルトの固着状況等を踏まえ、X-6ペネ内の堆積物が完全に除去できない場合でも燃料デブリの取り出し可能な手法を検討中。過去の調査で用いた実績があり、ペDESTAL底部へのアクセス性が確認できているテレスコ式の装置について、ロボットアームでの内部調査・試験的取り出しを補完する手法として並行して検討を進めている。
- X-6ペネ内堆積物除去作業の実施状況及びロボットアームの試験状況を踏まえ、安全かつ慎重に試験的取り出しを進めるべく、工程について精査していく。

	~2021年度	2022年度	2023年度
ロボットアーム・ エンクロージャ装置開発	性能確認試験・モックアップ・訓練（国内）		
・スプレイ治具取付作業 ・隔離部屋設置	X-53ペネ孔径拡大作業	隔離部屋設置	スプレイ治具取付け
・X-6ペネハッチ開放			
・X-6ペネ内の堆積物除去 ・試験的取り出し装置設置			
試験的取り出し作業 (内部調査・デブリ採取)			

▽12月現在

0. 事前準備作業



- 事前にスプレイ治具取付事前作業（X-53ペネ孔径拡大）を実施

1. 隔離部屋設置



- ハッチ開放にあたり事前に隔離部屋を設置

2. X-6ペネハッチ開放

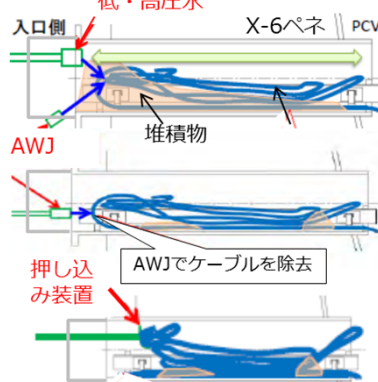
ハッチ開放装置



- ハッチ開放装置によりハッチを開放

3. X-6ペネ内堆積物除去

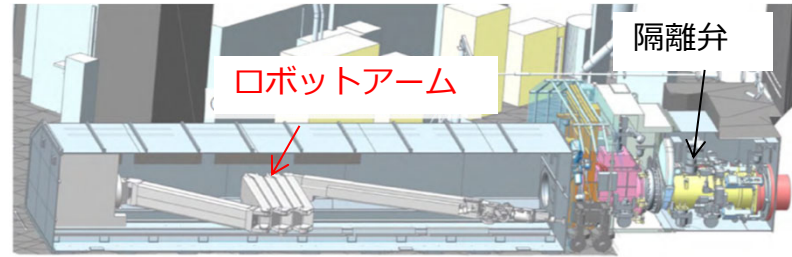
X-6ペネ内部にある堆積物・ケーブル類を除去する



- 【低・高圧水】で堆積物の押し込み
- 【AWJ】でケーブル除去
- 【押し込み装置】でケーブルを押し込み

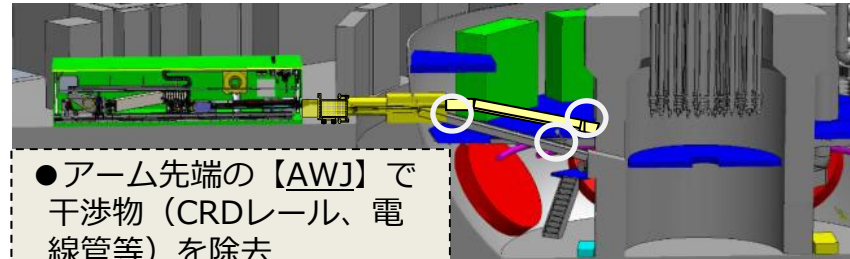
4. ロボットアーム設置

認可済



5. 試験的取り出し作業（内部調査・デブリ採取）

①ロボットアームによるPCV内部調査



- アーム先端の【AWJ】で干渉物（CRDレール、電線管等）を除去

②ロボットアームによるデブリ採取

申請予定

燃料デブリ回収装置先端部



<金ブラシ型> <真空容器型>



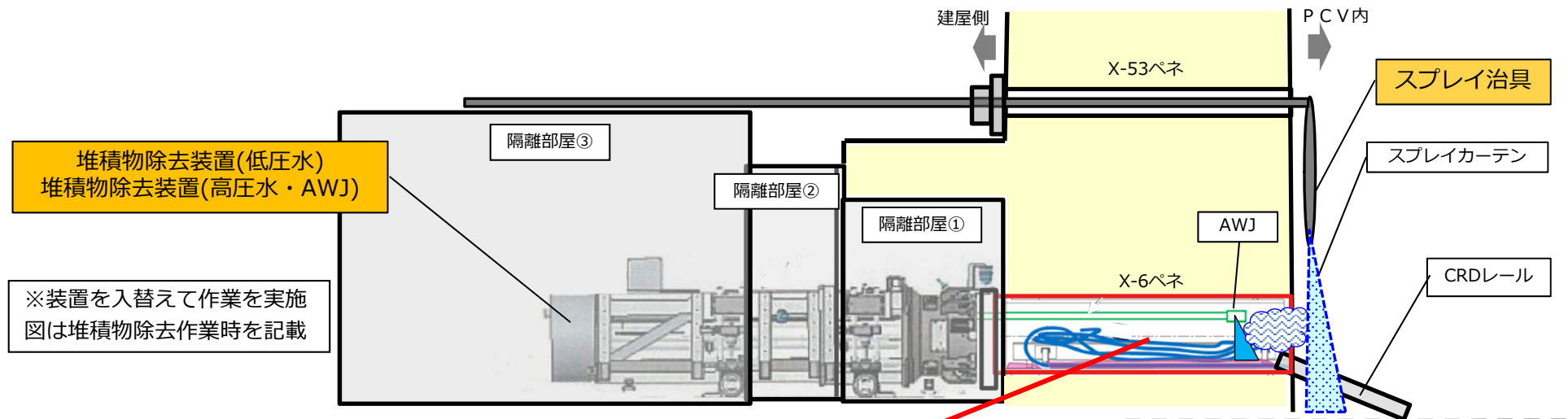
(注記)

- ・隔離弁：PCV内/外を仕切るために設置した弁
- ・AWJ（アブレシブウォータージェット）：高圧水に研磨材（アブレシブ）を混合し、切削性を向上させた加工機

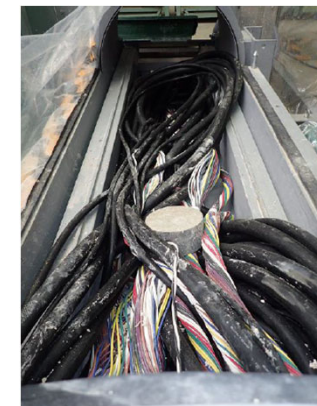
参考. 堆積物除去作業の概要

試験的取り出し作業用のアクセスルートを構築するため、準備工事として以下の項目を実施予定。

- スpray器具によるPCV内のダスト飛散抑制
- 堆積物除去装置（低圧水・ドーザツール）を用いてX-6ペネ内の堆積物を除去
- 堆積物除去装置（高圧水・AWJ・ドーザツール）を用いてX-6ペネ内の堆積物を除去

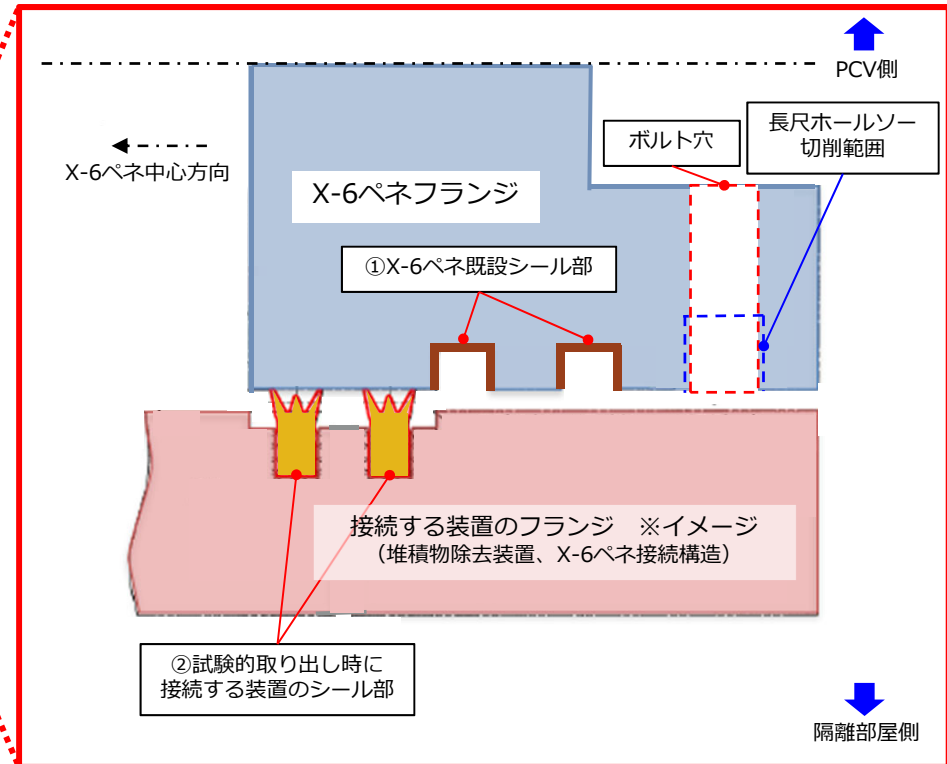
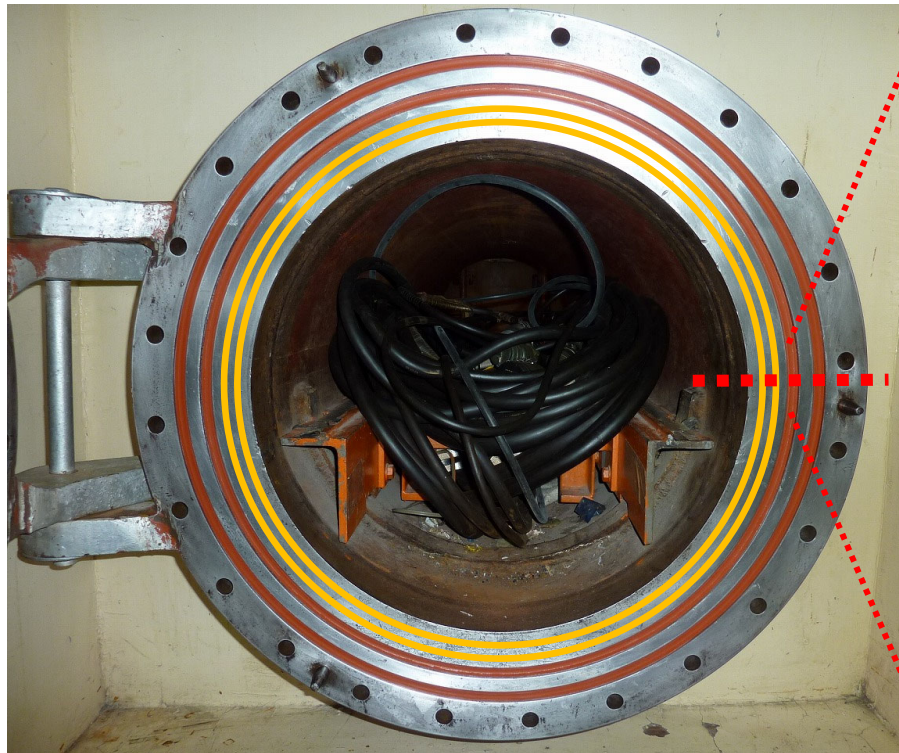


X-6ペネ内の状態(模擬)



参考. X-6ペネに接続する装置のシール部

- ・ハッチ開放後のフランジ面に堆積物除去装置、X6ペネ接続構造を接続



震災前のX-6ペネハッチ (開放時)

X-6ペネ接続時のシール位置 (上から見た図)

- : ①X-6ペネ既設シール部
- : ②試験的取り出し時に接続する装置のシール部
※堆積物除去装置、X-6ペネ接続構造

3号機 S/C内滞留ガスのパーシ作業の開始について

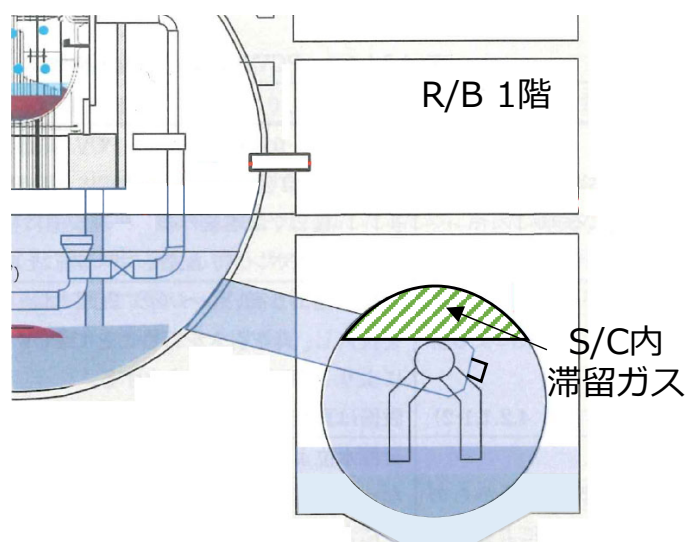
2023年12月21日

TEPCO

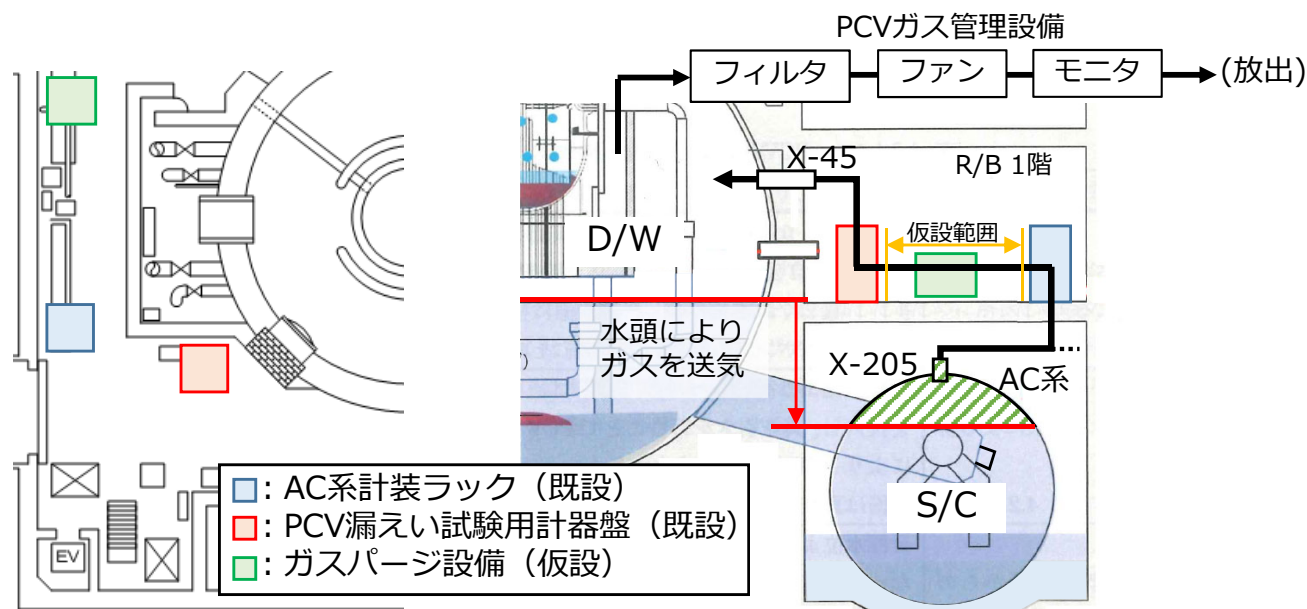
東京電力ホールディングス株式会社

1. 3号機 S/C内滞留ガスのパージ作業の概要

- 3号機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の滞留に加え、水の放射線分解による水素ガスもS/C内に滞留していると想定。
- 水素を含むS/C内滞留ガスは、PCV保有水によりS/C内で水封され安定状態にあると考えられるが、S/Cからパージし水素燃焼に至るリスクを低減することで原子力安全の向上を図る。
- パージ作業は、既設設備の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）をガスパージ設備（仮設）を介して接続し、PCV保有水の水頭によりS/C内滞留ガスをD/Wに送気することで、PCVガス管理設備による管理放出を実施。
- パージ作業に先立ち、ガスパージ設備にてS/C内滞留ガスの濃度測定をした結果、水素濃度約75%を確認。



S/C内ガスの滞留イメージ



パージ作業で使用する設備の配置（3号機R/B 1階西側）

2. 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。

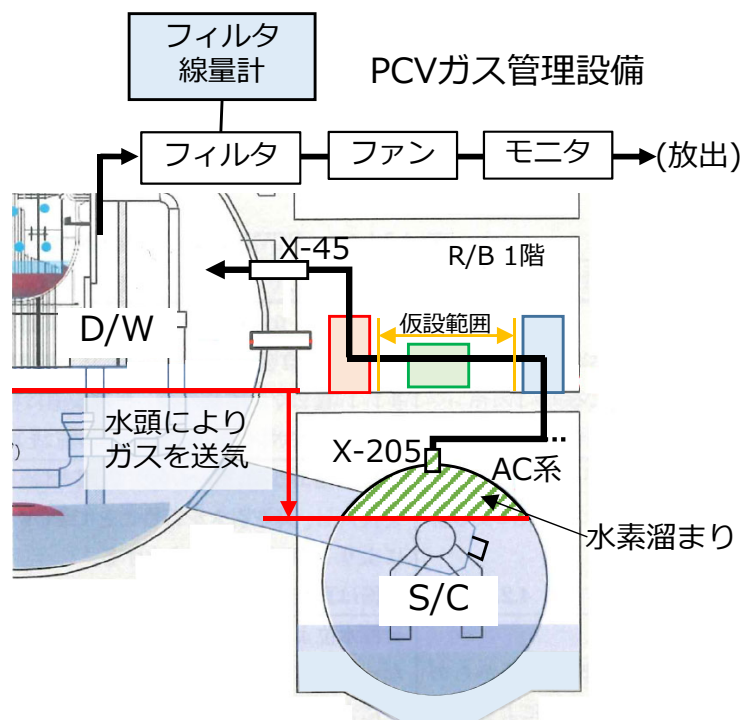
※1：今回、採取・分析したガスはAC系配管を含むS/C頂部のガスの一部であるため、パージ作業の進捗に応じてKr-85濃度の傾向を確認するため適宜、分析を実施。

※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

3. 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（バックグラウンドに対して指示値の上昇が継続）を確認した場合は、作業を中断。
- パージ作業中は建屋内のエア採取およびKr-85濃度の分析を行い、建屋内へのガス滞留がないことを確認。



PCVガス管理設備線量計設置イメージ

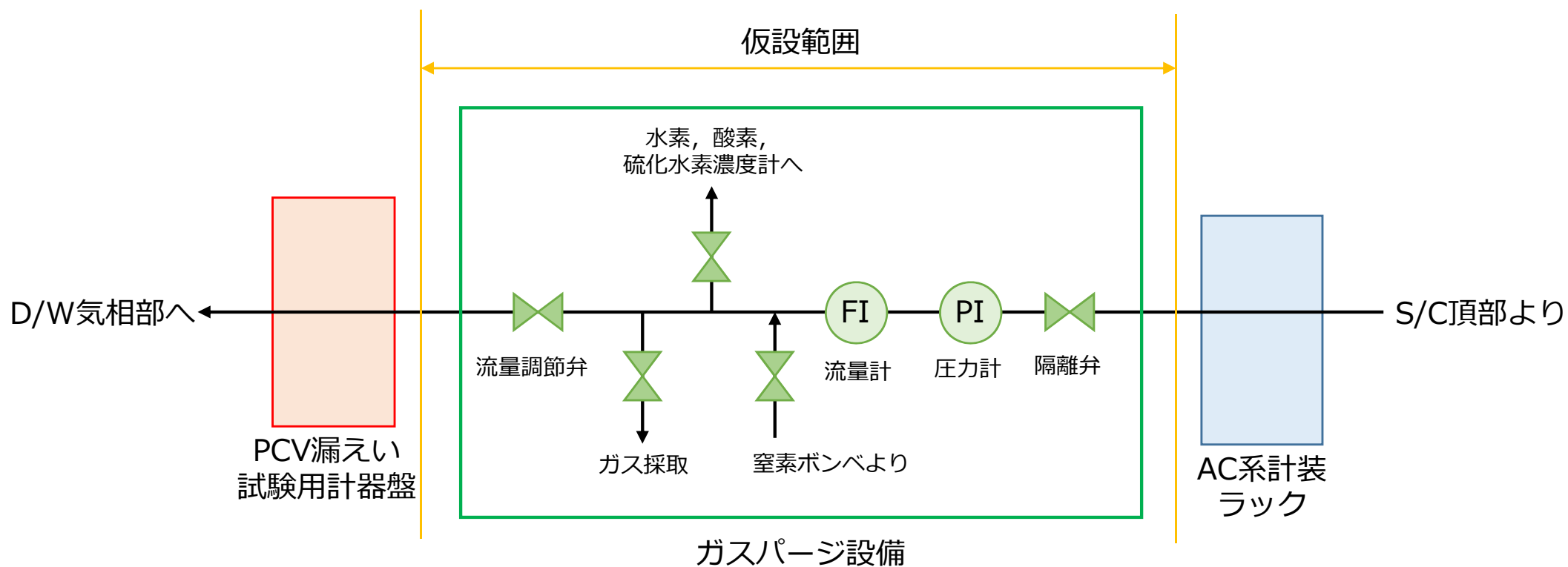
4. パージ作業の工程

- ガスパージによるPCVパラメータへの影響を確認するため、まずは1日あたり数m³とする少量のパージを実施。
- 徐々にパージ量を増加させながら、PCVパラメータに影響がないと評価した量にてパージを実施。

	2023年度			
	12月	1月	2月	3月
パージ作業	少量のパージ 12/19開始	少量のパージ	PCVパラメータへの影響確認 パージ	調整中
ガスの採取・分析		適宜実施		
片付け				

パージ作業の進捗によっては
3月以降もの可能性あり。

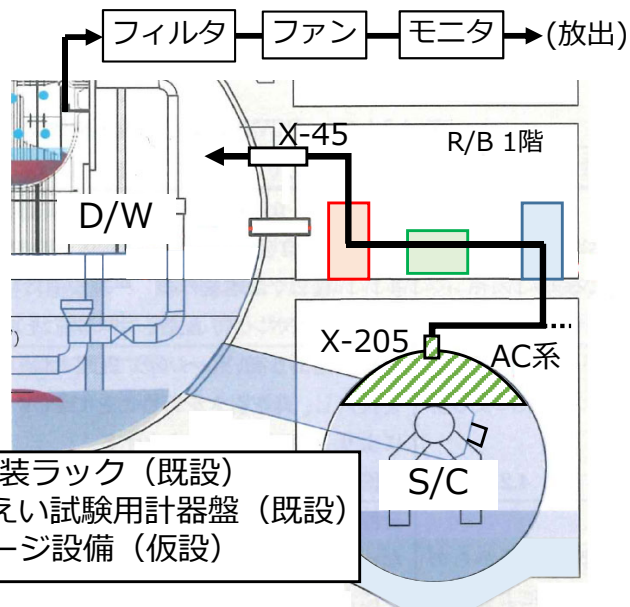
- PCV保有水の水頭にて送気されたS/C滞留ガスは、ガスパージ設備にて濃度測定（水素，酸素，硫化水素）やガス採取（Kr-85分析）が可能。
- PCV環境への影響を抑えるため，S/C内滞留ガスをD/Wへ送気する流量の調整が可能。



ガスパージ設備のイメージ

- 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断し、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断し、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断し、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断し、必要に応じて炉注水量を増加。
今回追加 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断し、線量率が低減することを確認。

- ガスパージ設備にて濃度測定（水素，酸素，硫化水素）およびガス採取・分析（Kr-85）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
水素	約75%
酸素	約1%
硫化水素	O.S.*
Kr-85	約 1.46×10^4 Bq/cm ³

※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.となった可能性も有り

- 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) 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

**福島第一原子力発電所
1号機及び2号機非常用ガス処理系（SGTS）配管
スミアろ紙分析結果について**

2023年12月21日

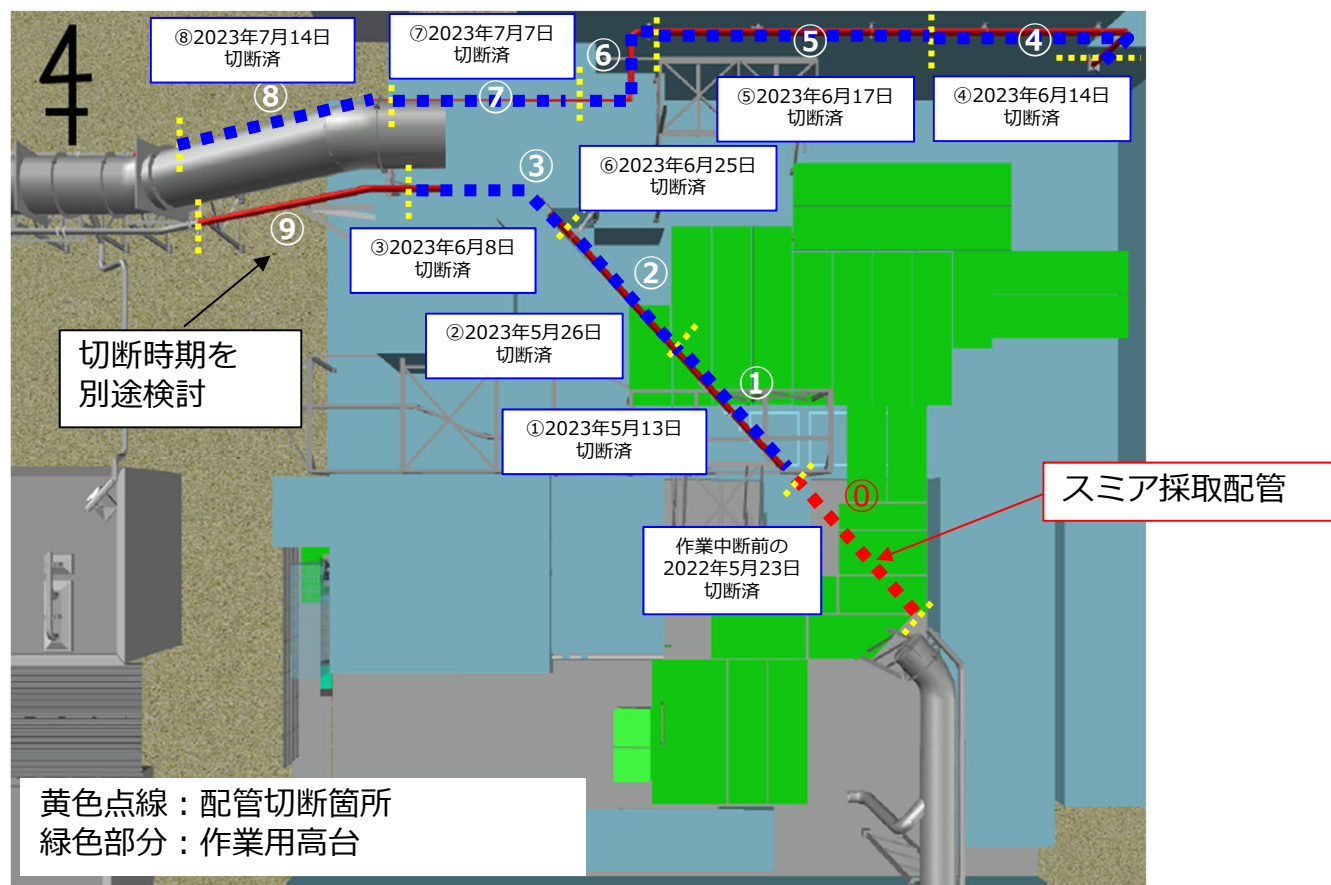
TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

- 1号機のPCVベントガスにより汚染された1, 2号機の非常用ガス処理系（SGTS）配管内面の汚染の状況を把握するため、スミアを採取し分析を実施した。
- スミア試料について、 γ 線スペクトル測定およびSEM-EDS観察を実施した。
- その結果、 γ 線スペクトル測定ではCs-134, Cs-137が検出された。
- SEM-EDS観察では、Feが主成分であり、（U, Zrといった）燃料由来の成分は確認されなかった。
- 今後は、SGTS配管の配管サンプル（以下、母材）について、詳細な分析を実施する。

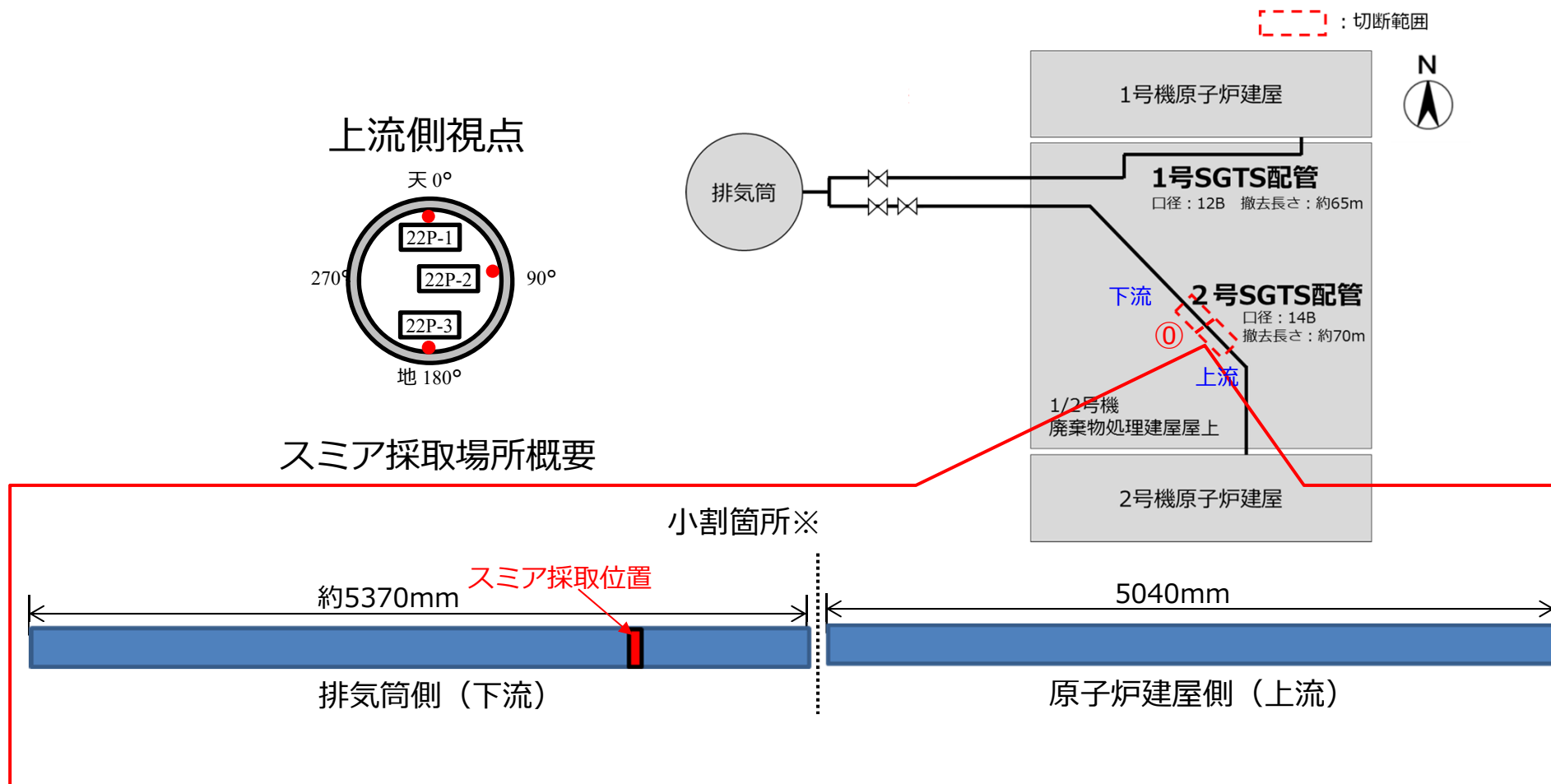
2-1.調査概要

- 1/2号機非常用ガス処理系(SGTS)配管について、1号機原子炉建屋カバー設置に干渉する①～⑧の配管の切断撤去作業を完了した。
- このうち、①配管についてスミア採取が完了していることから、スミアろ紙の分析を実施する。
- 他の切断配管について、配管線量に応じた調査方法を検討する。



2-2.調査概要（2号機SGTS配管内面スミア試料）

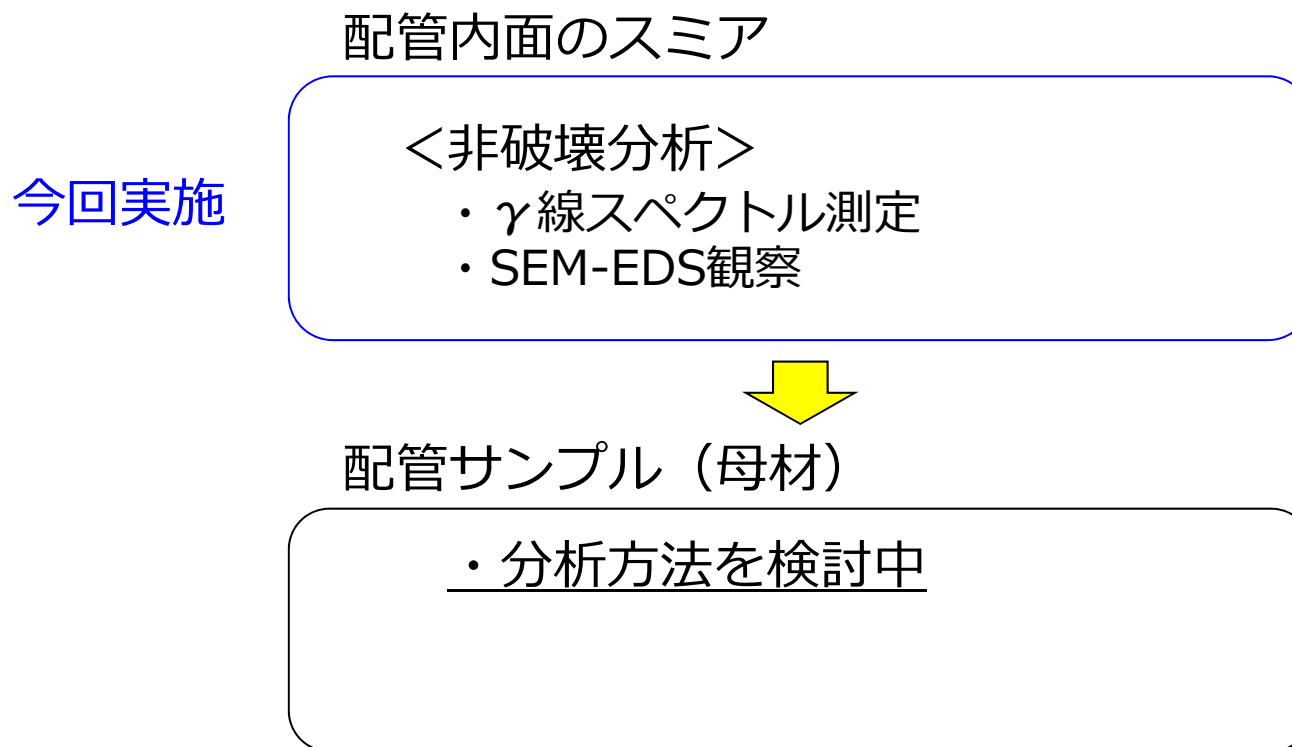
- 2号機SGTS配管（①配管）内面について，スミアろ紙の拭き取りによるサンプリングを実施。（2022年5月採取）



※運搬可能サイズに小割を実施

2-3.調査概要（分析方法）

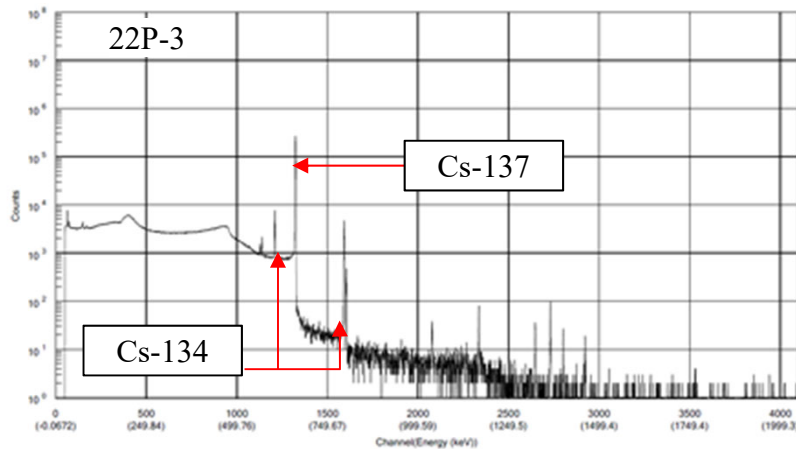
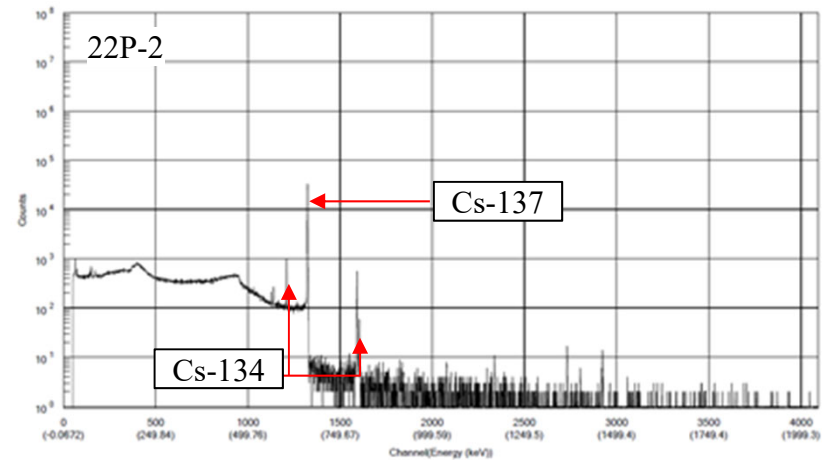
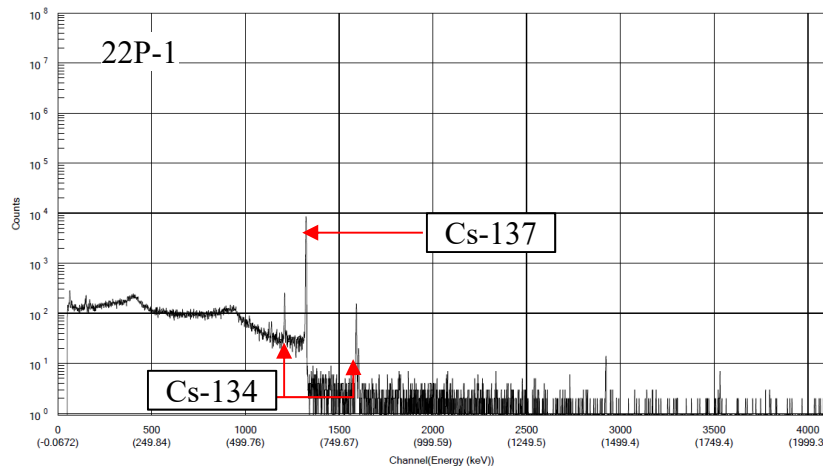
- 日本原子力研究開発機構（JAEA）の協力により，SGTS配管内面のスミアろ紙について，非破壊分析を実施した。
- 今後，SGTS配管の母材について，詳細な分析を実施する。



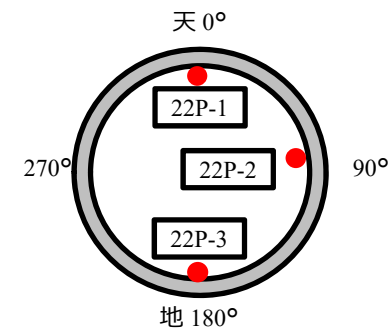
3-1.分析結果①： γ 線スペクトル測定結果

- Cs-137, 134が検出され、その他核種の検出はされなかった。
- なお、アメリカシウム241等の存在を低エネルギー領域 (<100keV) で確認したが検出されなかった。

高エネルギー領域のスペクトル



上流側視点



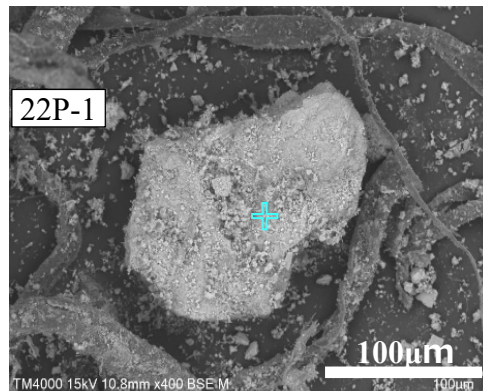
3-2.分析結果②：SEM-EDS観察

- ・スミアろ紙の一部を切り出してカーボンテープに貼り付けてSEM-EDS観察を実施した。
- ・SEM-EDS観察でどのような成分があるか網羅的に測定を実施した。
- ・測定の結果、Feが主成分で、セシウム以外のF Pや燃料由来の特徴的な成分は確認されなかった。

ピーク検出	Fe	O	C	Mn	Al	Si	Ca	Cl	Na	K
22P-1スポット	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-
22P-3エリア	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○
22P-3スポット	○	○	○	-	○	○	-	○	-	-

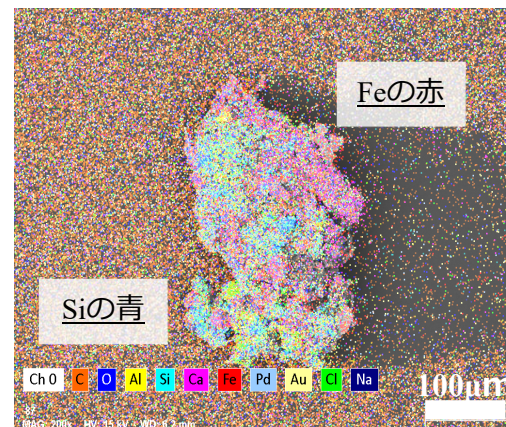
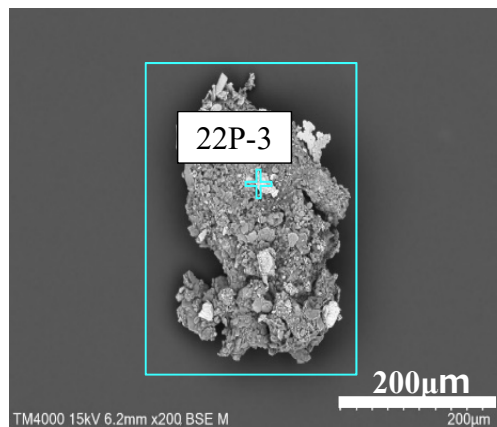
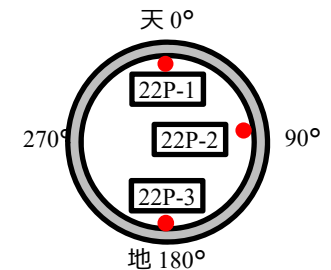
※水色で示すのが走査位置

- : 未検出



22P-1試料の画像と元素マッピング

上流側視点



22P-3試料の画像と元素マッピング

4-1.事故分析に資する調査（ γ カメラ測定 配管④）

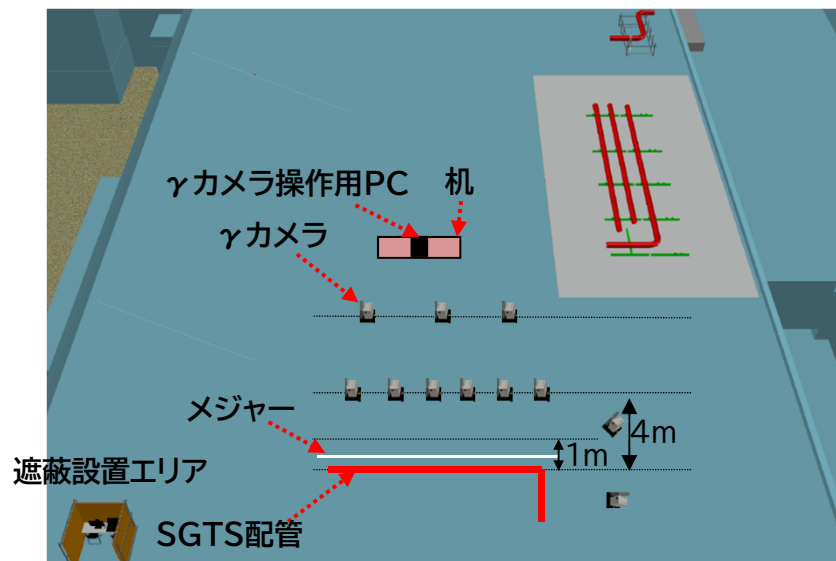
- 1号機T/B屋上に仮置き中の1号機SGTS配管について、規制庁殿による γ カメラ測定を実施。
- 当社所有の γ カメラ（コーデットマスク）及びJAEA殿の γ カメラ（コンプトン）も知見を得るため、一緒に γ カメラ測定を実施。
- 配管から4m、1mの位置で台車に乗せた γ カメラを移動させ測定する。
- 当社の γ カメラについて、前回、測定時間1分で実施したが、S/N比が悪く、明瞭な像が得られていないことから、測定時間を5分に延長し実施した。

【実績】

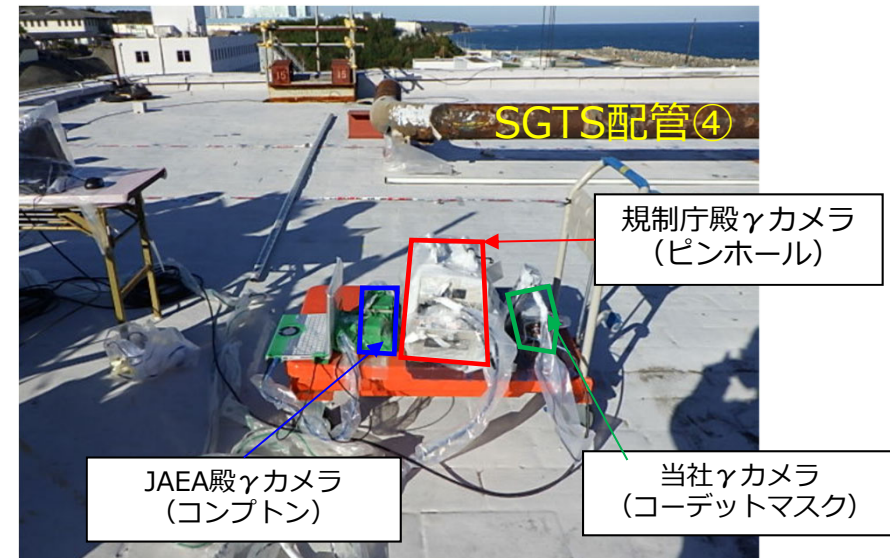
□ 1号機SGTS配管（配管④）について、下記の通り実施した。

11月16日（日中）

- ・ テレテクターおよび電離箱によるSGTS配管線量測定（規制庁殿）
- ・ γ カメラ測定：配管からの距離：4m、1m（当社及びJAEA殿 γ カメラは4mのみ）



※ γ カメラ測定時間：各箇所5分



測定に使用する γ カメラ

<参考> γカメラの性能比較

- ◆ 規制庁殿，JAEA殿，東京電力（放射線防護G，PG3）が所有する，測定方式が異なるγカメラを使用し，γカメラ測定モックアップを行った。

比較表

 今回使用

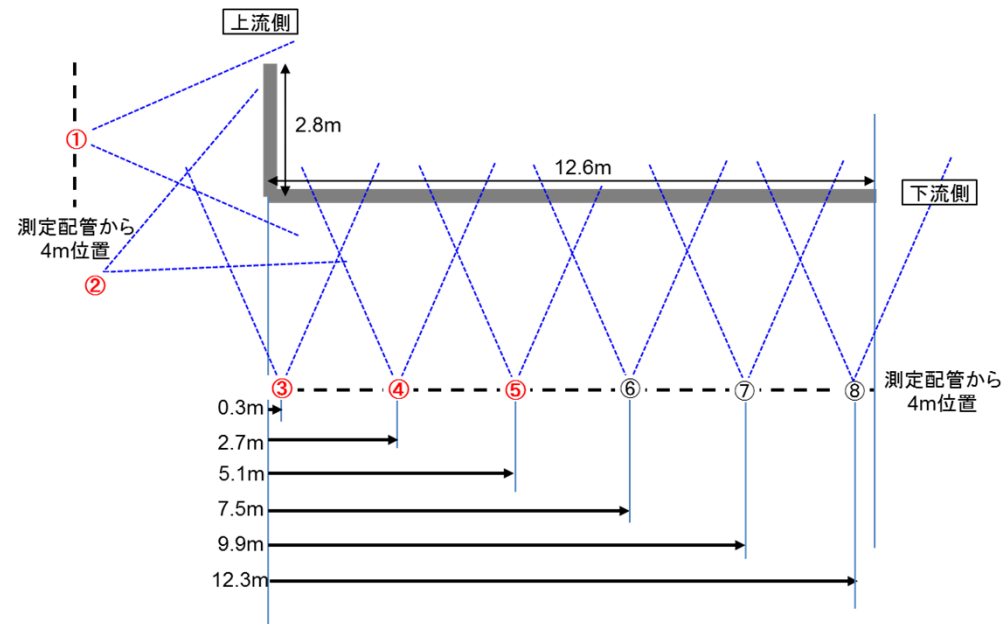
種類	測定方式	視野角	長所	短所
東電iPIX (PG3)	コーデットマスク	45° 2mm : 48.8° 4mm : 46.4° 8mm : 41.4°	高線量率に強い 高位置分解能 高BG除去能力 軽量	環境レベルの放射線には不適 高エネルギーγ線に時間がかかる
東電γキャッチャー (放射線防護G)	コンプトン	140°	広視野角 軽量 高エネルギーγ線に強い	高線量率に弱い 位置分解能が悪い
<画像解析中> JAEA殿 コンプトン	コンプトン	140°	基本東電コンプトンと同様 鉛シールドにより，低線量から高線量環境に対応可能	位置分解能が悪い
規制庁殿γカメラ	ピンホール	約60°	高線量率に強い 高位置分解能	重量 高エネルギーγ線に時間がかかる

4-2.事故分析に資する調査（当社コーデットマスク：配管④） TEPCO

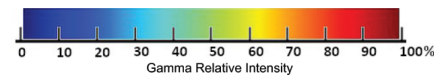
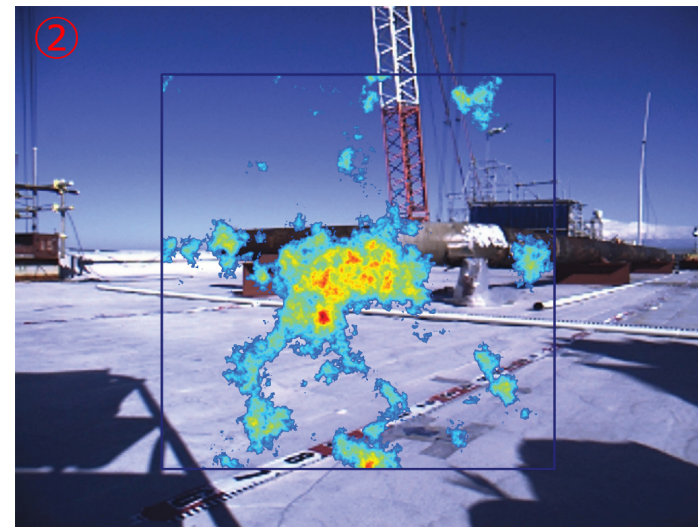
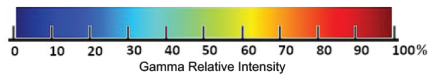
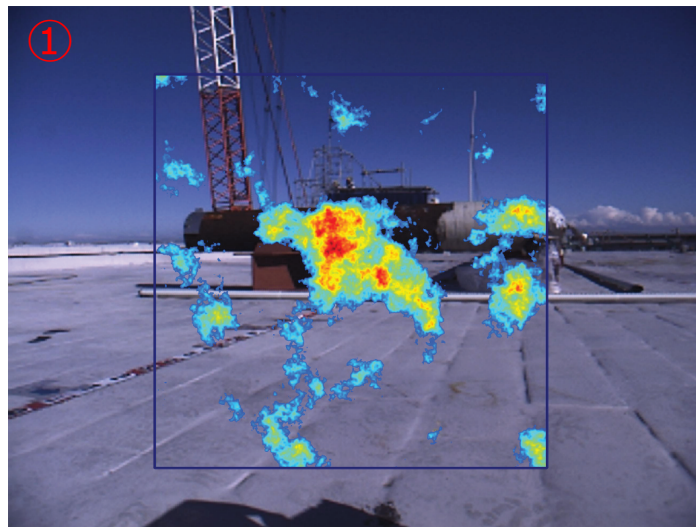
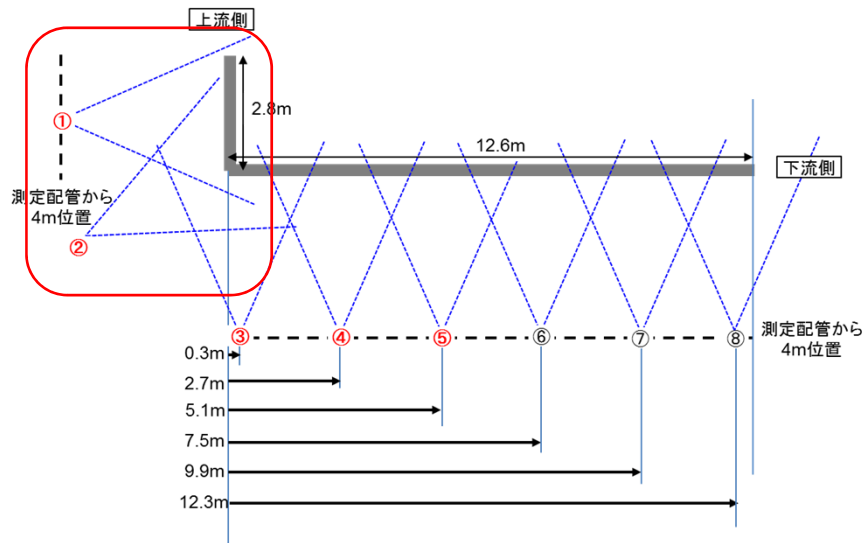
下記①～⑤（⑥⑦⑧は未実施）の測定点において、当社γカメラ（コーデットマスク）を用いてSGTS配管の汚染分布の測定を実施した。

【前回の測定時における課題】

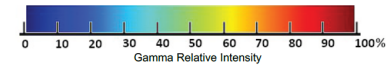
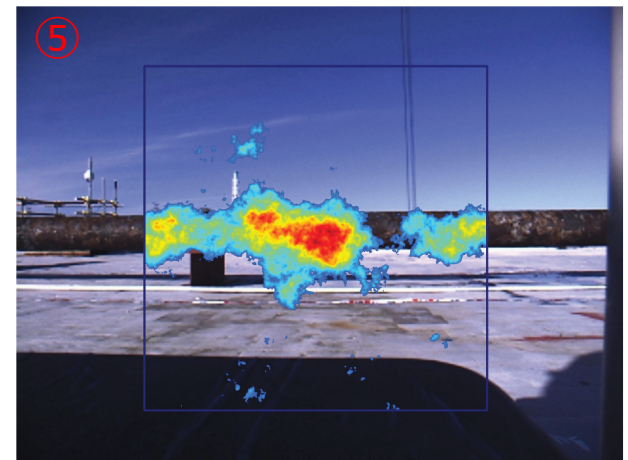
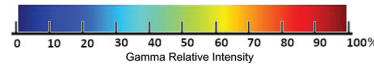
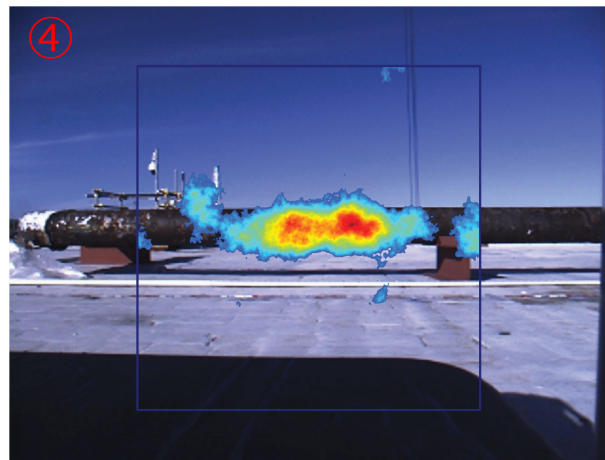
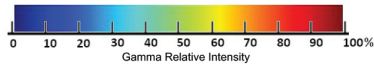
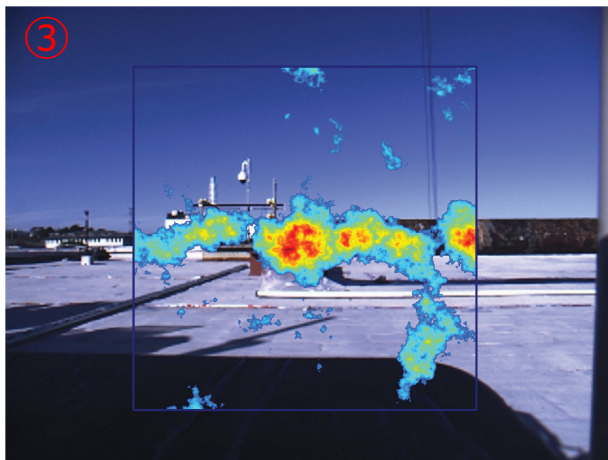
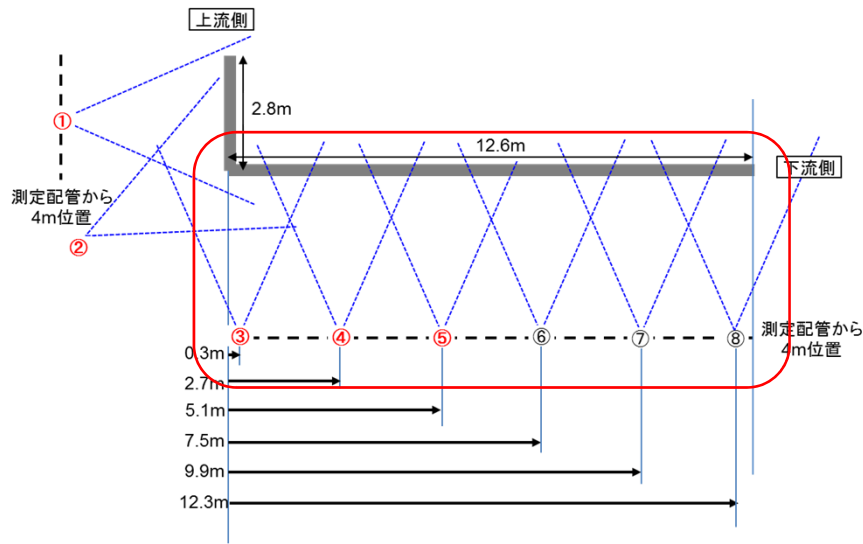
1. 現状当社γカメラ（コーデットマスク）にて出来ていない周辺感度補正を施し、均一な濃度分布を取得できるようにする必要がある。
⇒未対応
2. 低線量エリアでの測定、測定時間の延長が必要である。
測定場所：1号機T/B屋上（前回の測定場所と同様）
測定時間：1分⇒5分（モックアップ時と同様の測定時間に変更）



4-3.事故分析に資する調査（ γ カメラ測定結果①）



4-4.事故分析に資する調査（γカメラ測定結果②）



【結果と考察】

1. 撮影箇所の空間線量率が高く、前回の測定時間より5倍に伸ばしたもののまだS/N比が悪い（撮影時間に対し、 γ の露光時間が極端に短い）画像が得られた。
①～③に対してより偽像（ゴースト）が生じているため、撮影箇所の空間線量当量率が偽像の発生に寄与していると推測する。
2. 画像の中心近くに線源がある結果となっている。

【今後の課題】

1. 低線量エリアでの測定および線量当量率（対象・エリア）に対する必要十分な測定時間を決定する必要がある。
2. 現状当社 γ カメラ（コーデットマスク）にて出来ていない周辺感度補正を施し、均一な濃度分布を取得できるようにする必要がある。

<参考> 当社γカメラ（コーデットマスク：配管⑤）

【結果】

1. 画像の中心近くに線源がある結果となっている。
2. 測定環境の空間線量率が高く、測定時間が短いため偽像（ゴースト）が生じている。

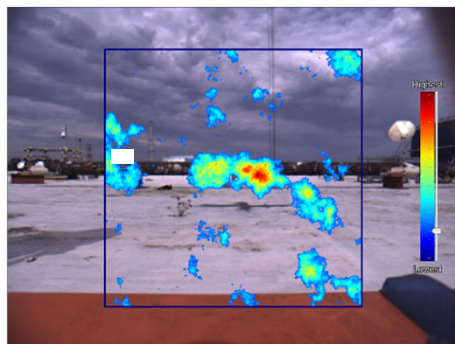
【考察】

1. 当社γカメラ（コーデットマスク）では画面の周辺部に行くにつれ感度が減少するため、面（線）状に汚染している場合線源の特定が難しいと推測する
2. 測定時間1分ではS/N比が悪く、明瞭な像が得られていないと推測する。

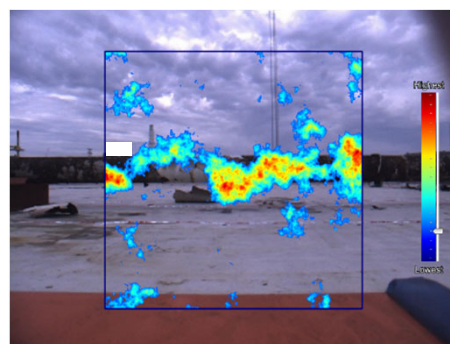
【今後の課題】

1. 現状当社γカメラ（コーデットマスク）にて今回の測定結果を基に、今後周辺感度補正を施し、均一な濃度分布を取得できるようにする必要がある。
2. 低線量エリアでの測定、測定時間の延長が必要である。

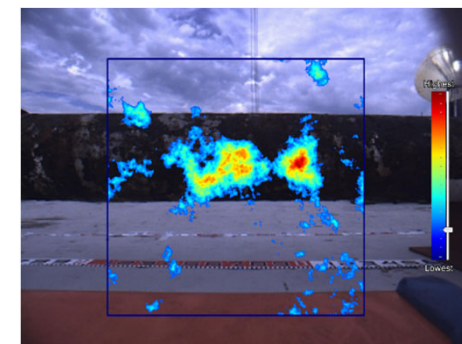
配管から 8 m位置



配管から 4 m位置



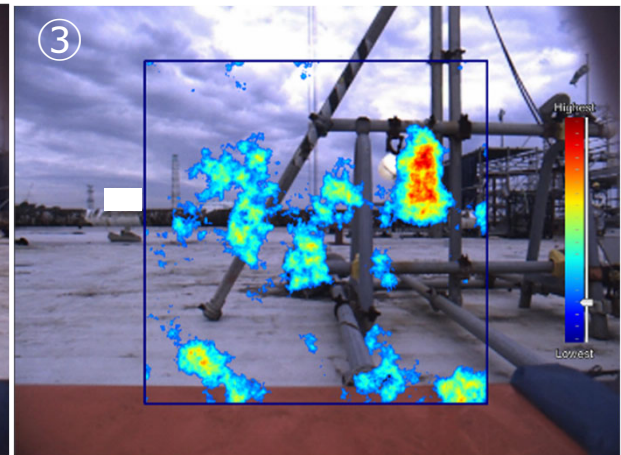
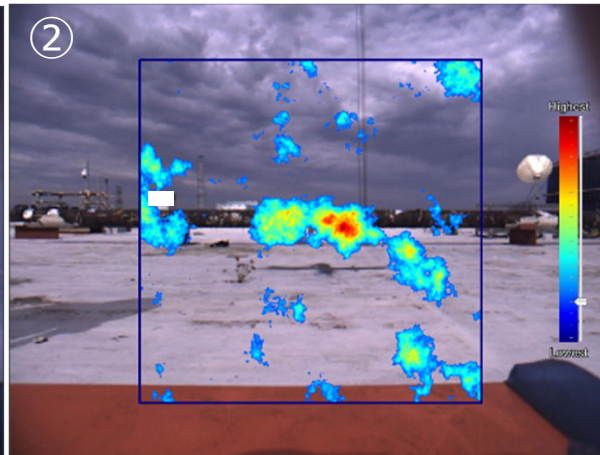
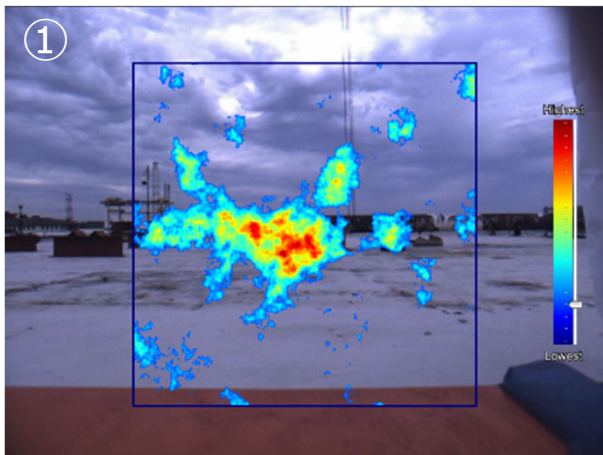
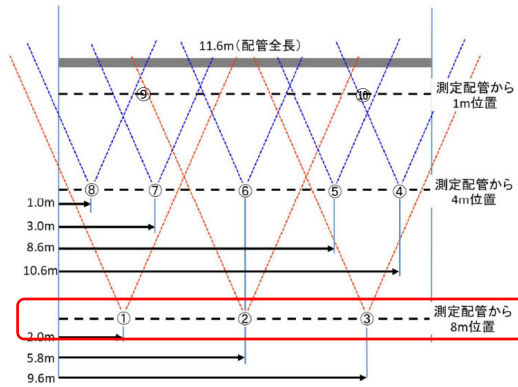
配管から 1 m位置



<参考> 当社γカメラ (コードットマスク : 配管⑤)



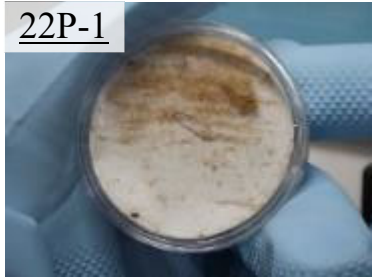
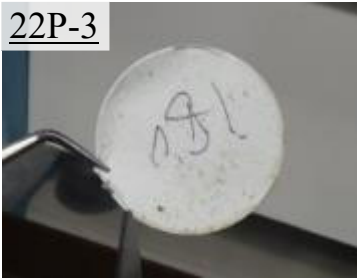
➤ 測定結果 (8m位置)

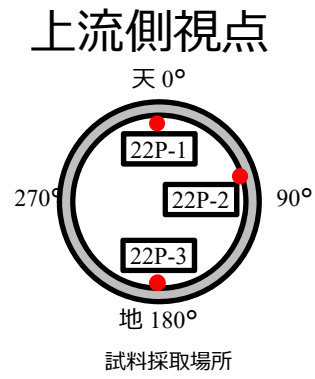


参考資料 1
スミア採取他，補足事項

<参考> 【2号機SGTS配管内部のスミアろ紙試料分析】TEPCO

2号機SGTS配管から拭き取り採取されたスミアろ紙3試料について、Ge半導体検出器による γ 線測定と、SEM-EDSによるスミアろ紙に付着した固形分の表面観察を行った。

	
22P-1	22P-3
受入時の 表面線量濃度 ※BGは70[cpm]	
α [cpm] : 0 $\beta\gamma$ [cpm]※:510	α [cpm] : 0 $\beta\gamma$ [cpm]※:14000

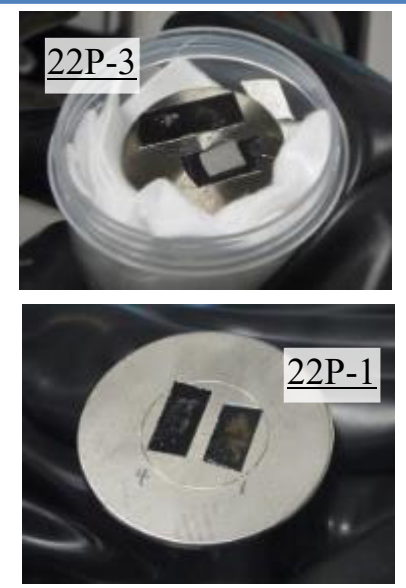


γ 線スペクトル測定



1. スミアろ紙の一部を切り出す 2. 粒子をカーボンテープに付着 3. 表面に金蒸着

試料調整過程の写真



22P-3

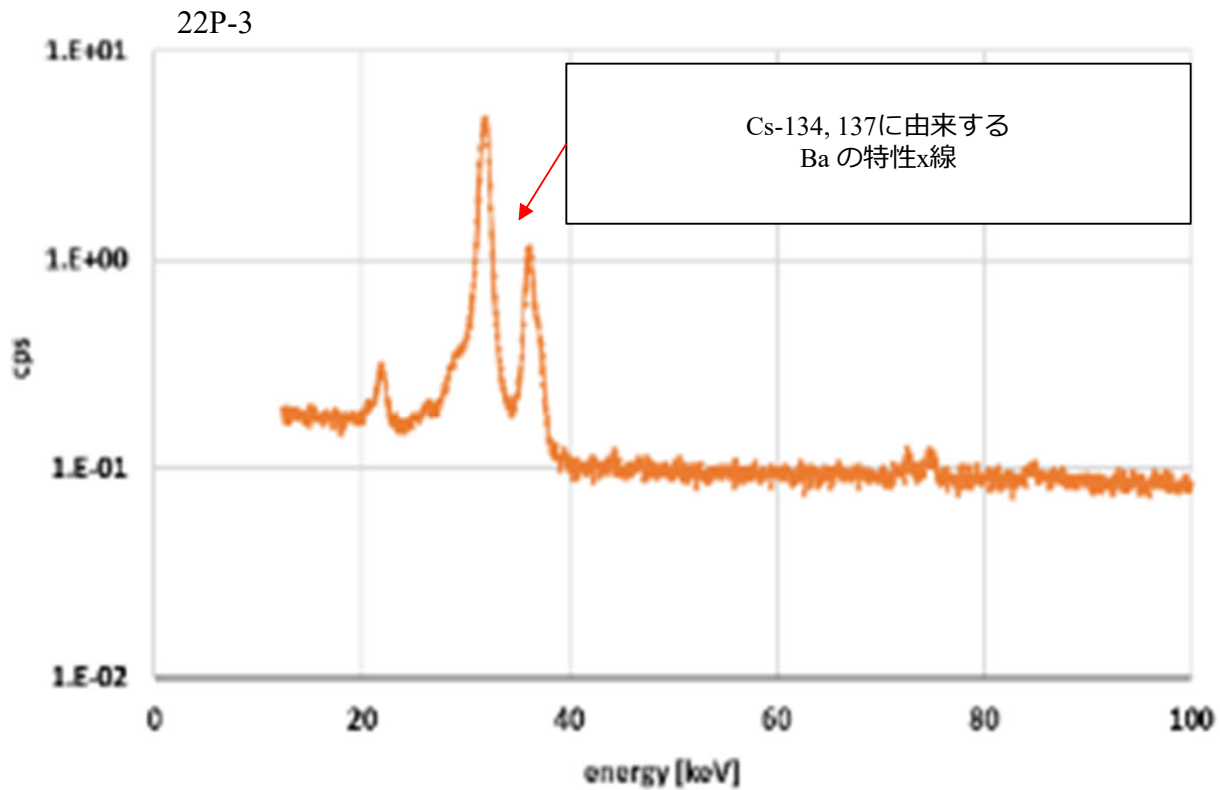
22P-1

SEM-EDS観察

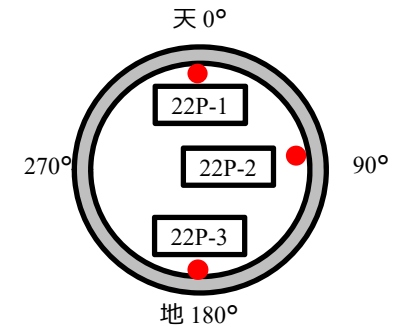
<参考> 分析結果： γ 線スペクトル測定結果（低エネルギー領域）**TEPCO**

- アメリシウム241等の存在を低エネルギー領域（ $<100\text{keV}$ ）で確認したが検出されなかった。

低エネルギー領域のスペクトル



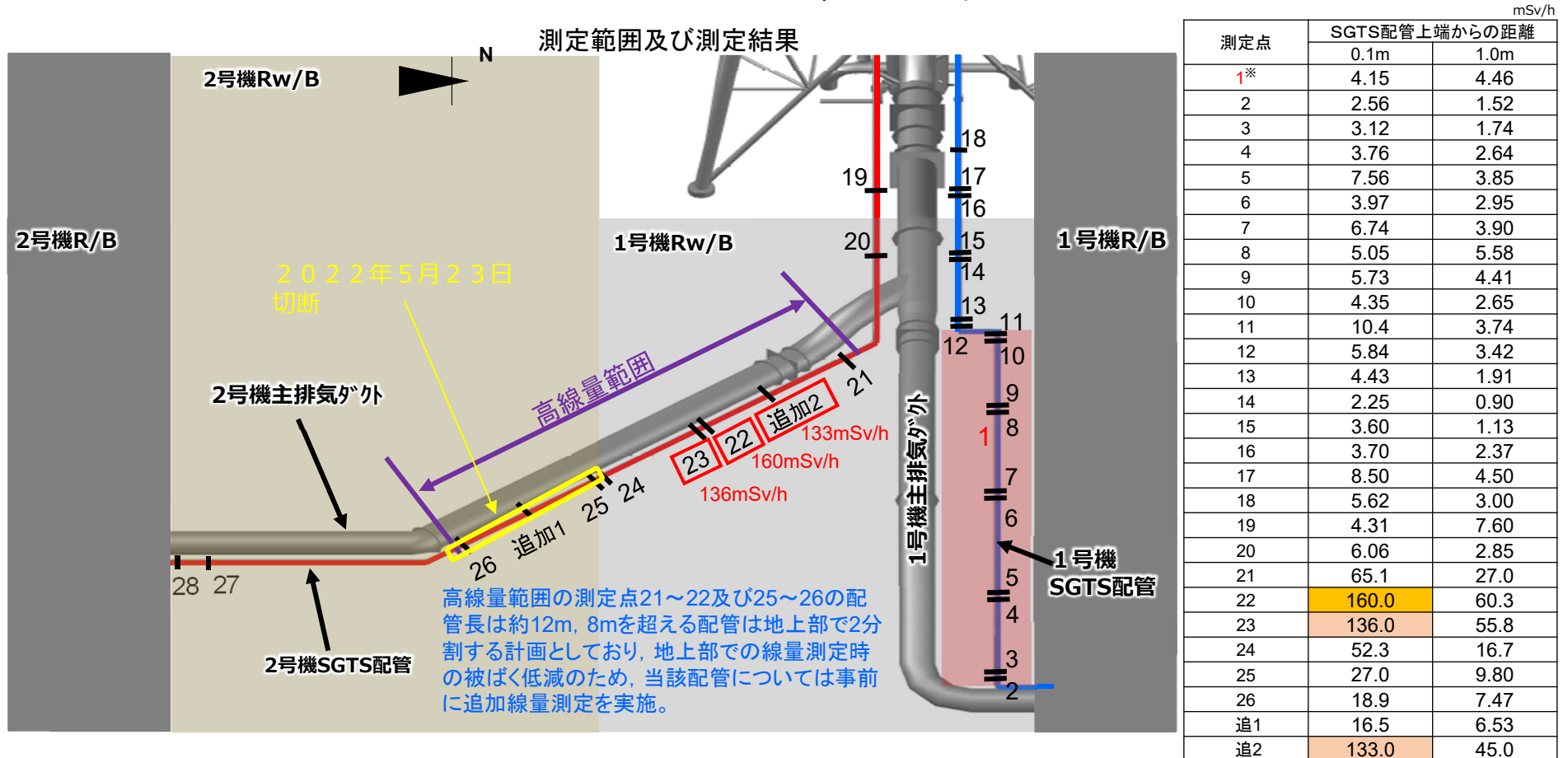
上流側視点



<参考> 配管切断箇所の放射線量率測定 (測定結果)

(1) SGTS配管線量測定結果

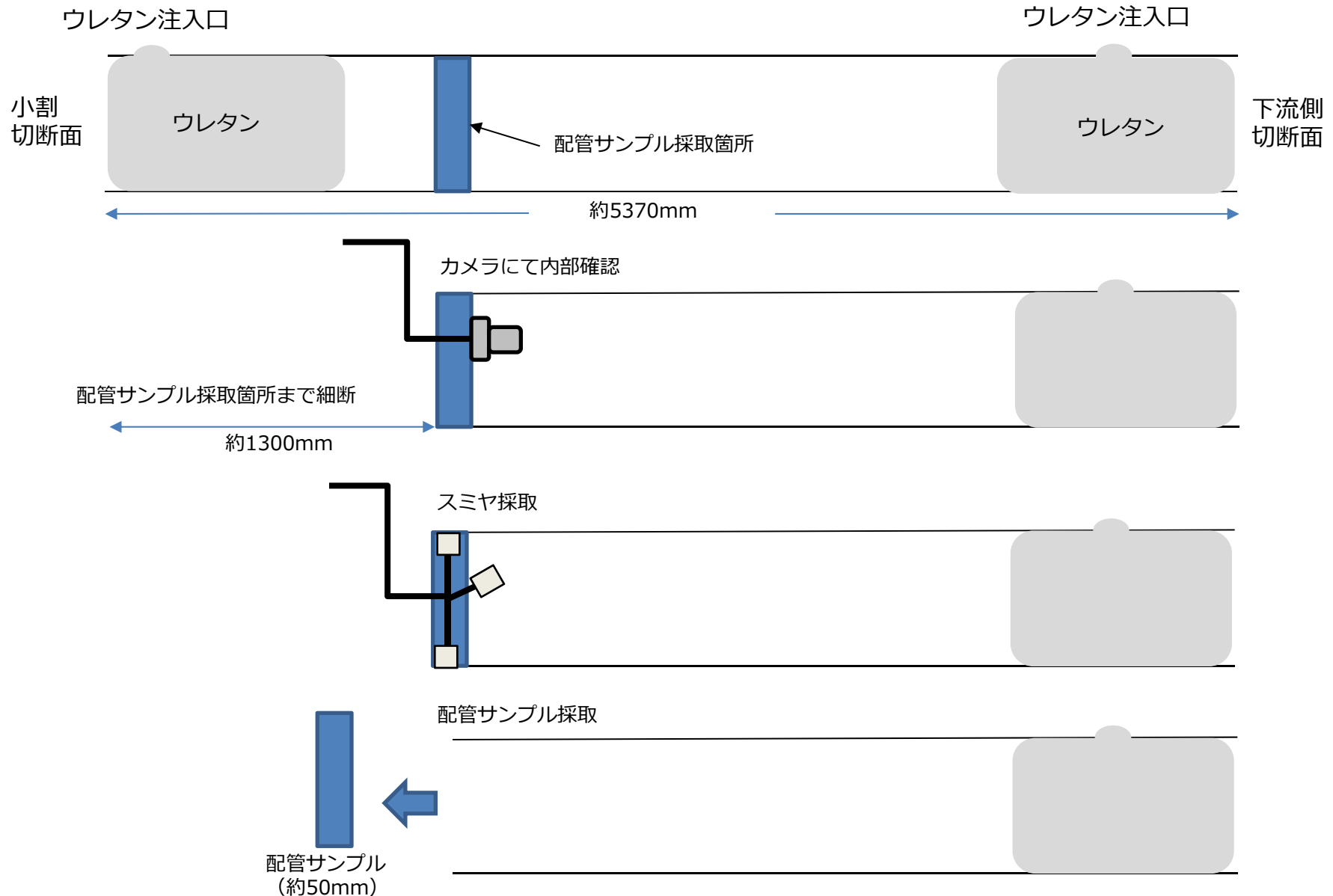
- ・ 下記に示す通り，配管線量率は2号機側が高く1号機側は低い結果となった。(昨年と同傾向)
- ・ これらは，ベント流速が速かった1号機配管より2号機は原子炉建屋内のSGTS系機器（フィルタ，ラプチャーディスク等）が抵抗となり流速が抑えられ滞留したものと推測している。
- ・ なお，2号機配管で高線量が確認された範囲（測定点21～26）の配管位置関係は，屋外配管のハイポイント（測定点20）より約1.2m低く，2号機R/Bからは水平位置となっている。



※左記赤枠内上部3.0mにおいて最も高線量箇所を測定

<参考> 配管内部確認及びスミヤ採取

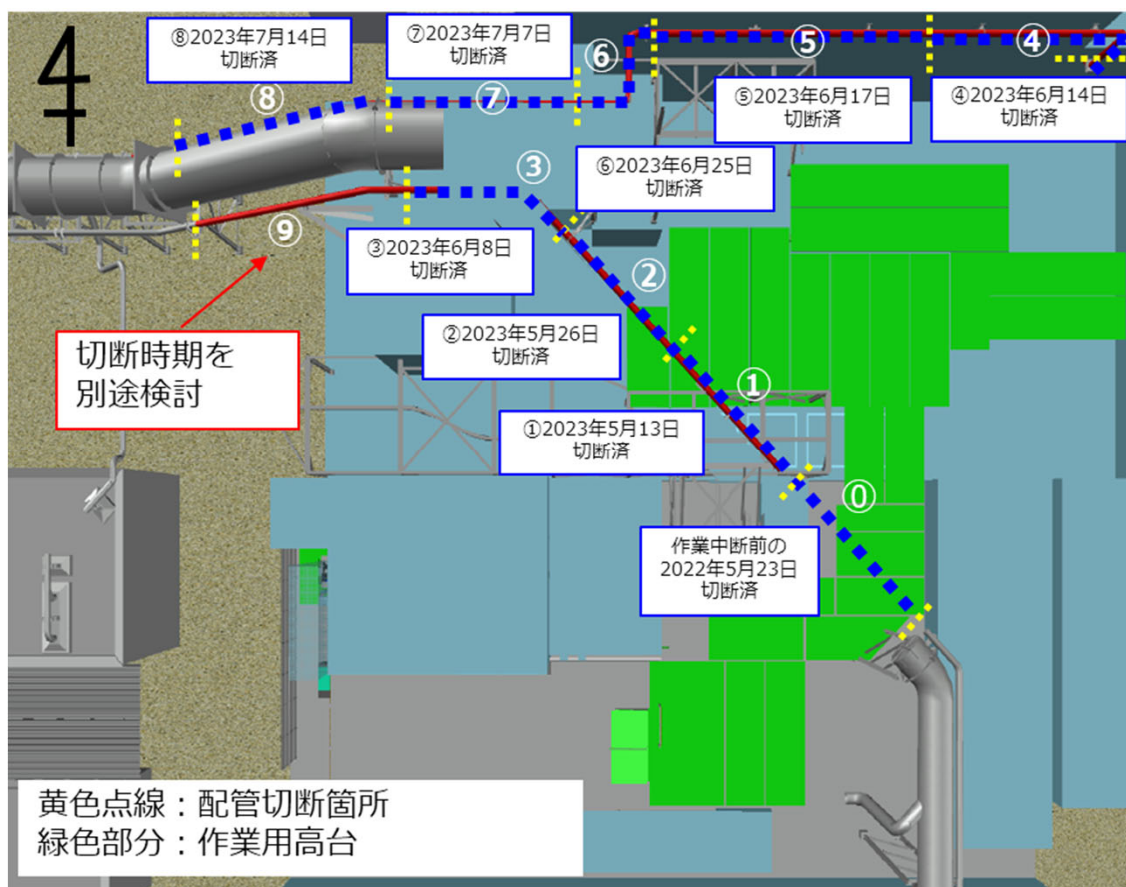
- 小割2本目（下流側）の配管サンプル採取前に、内部確認及びスミヤ採取を実施。



参考資料 2
配管線量測定結果

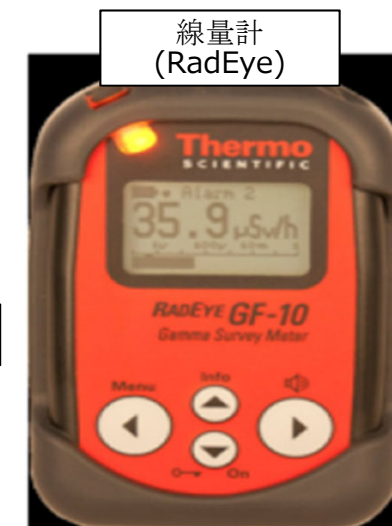
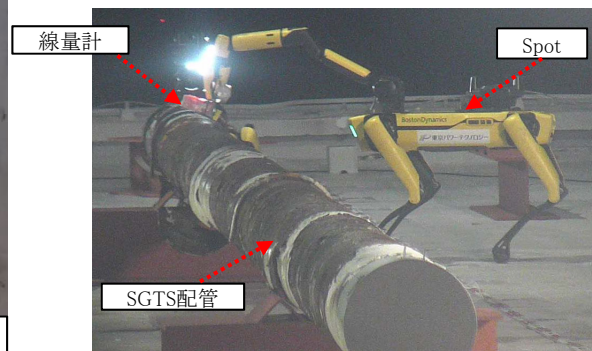
【SGTS配管線量測定の実施】

γカメラ測定時の周辺への影響の確認，及び今後実施する配管小割・細断作業について放射線防護対策を検討し，被ばく線量低減を図るため，配管線量を把握する目的で線量測定を行うこととした。



配管線量測定 概要

- 1号機T/B屋上および1号機C/B屋上に仮置き中の1/2号機SGTS配管について、遠隔ロボット（Spot）を使用し、SGTS配管の線量調査を実施した。
- Spot 2台を用いて作業を実施。
（線量測定／線量測定Spotの監視・誘導）
- 配管より1000mm離れた位置から測定を実施し、最大の線量部分について表面線量率を測定した。



- ・仕様
型式：GF10
メーカー：Thermo Scientific
測定レンジ：5 $\mu\text{Sv/h}$ -3Sv/h

配管線量測定 実施場所



配管線量情報

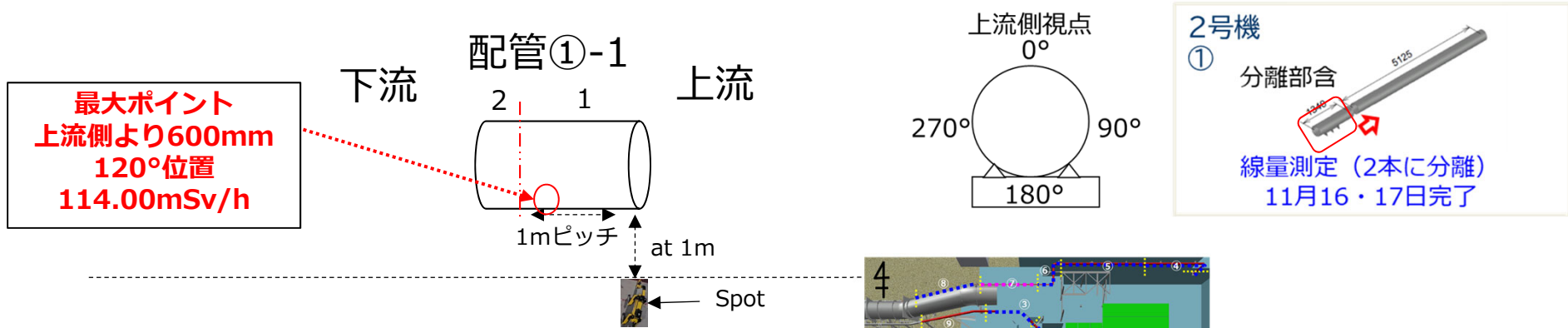
➤ 測定結果から、2号機配管に高線量のガスが流れたと想定。詳細は今後調査・分析を実施予定。

号機	仮置き場所	測定場所	No.	線量測定日	線量測定結果		
					at1000 最大	表面線量率 最大	配管端部 表面線量率 最大
					mSv/h	mSv/h	mSv/h
1号	1号T/B屋上	1号T/B屋上	④	2023.10.30	3.74	32.30	—
			⑤	2023.10.20	3.75	22.00	—
			⑥	2023.10.27	11.70	27.10	—
			⑦	2023.10.25	3.39	17.90	—
			⑧	2023.10.26	11.40	131.00	—
2号	1号C/B屋上	1号R/B北西	①	2023.11.16・17	77.00	800.00	924
			②	2023.11.9	68.10	477.00	1060
			③	2023.11.15	50.50	208.00	250

2号機SGTS配管（配管①～③）
線量測定結果

配管線量測定結果（配管①-1）

- 2号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約114mSv/hという結果であった。



配管表面よりat 1m

測定ポイント	2	1
測定位置		
270° (配管横)	10.80	12.50

単位：mSv/h

※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載

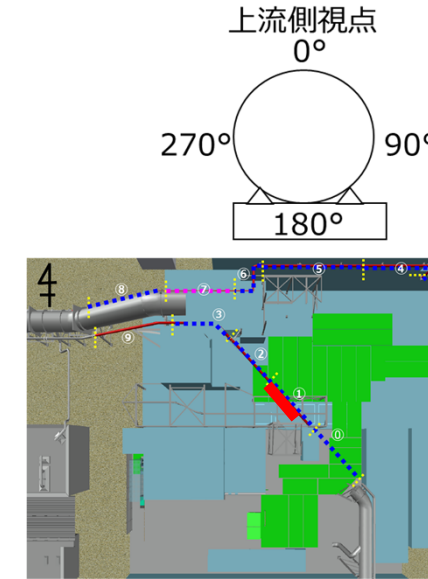
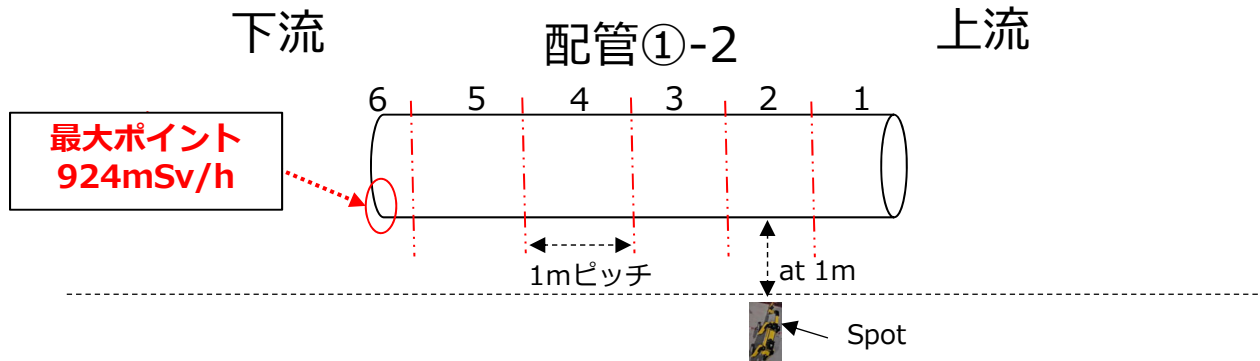
配管表面線量率

測定位置	0°	90°	180°	270°
側面最大ポイント				
上流側より500mm	45.70	70.10	56.70	41.90

単位：mSv/h

配管線量測定結果（配管①-2）

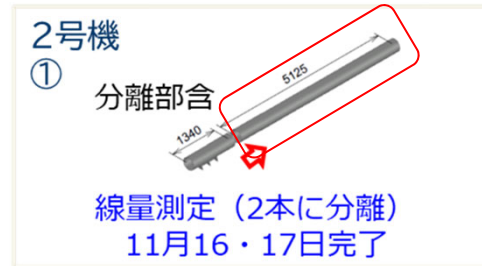
- 2号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約924mSv/hという結果であった。



配管表面よりat 1m

測定ポイント	6	5	4	3	2	1
測定位置						
270° (配管横)	65.00	72.30	77.00	58.50	32.20	27.60

※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載 単位：mSv/h



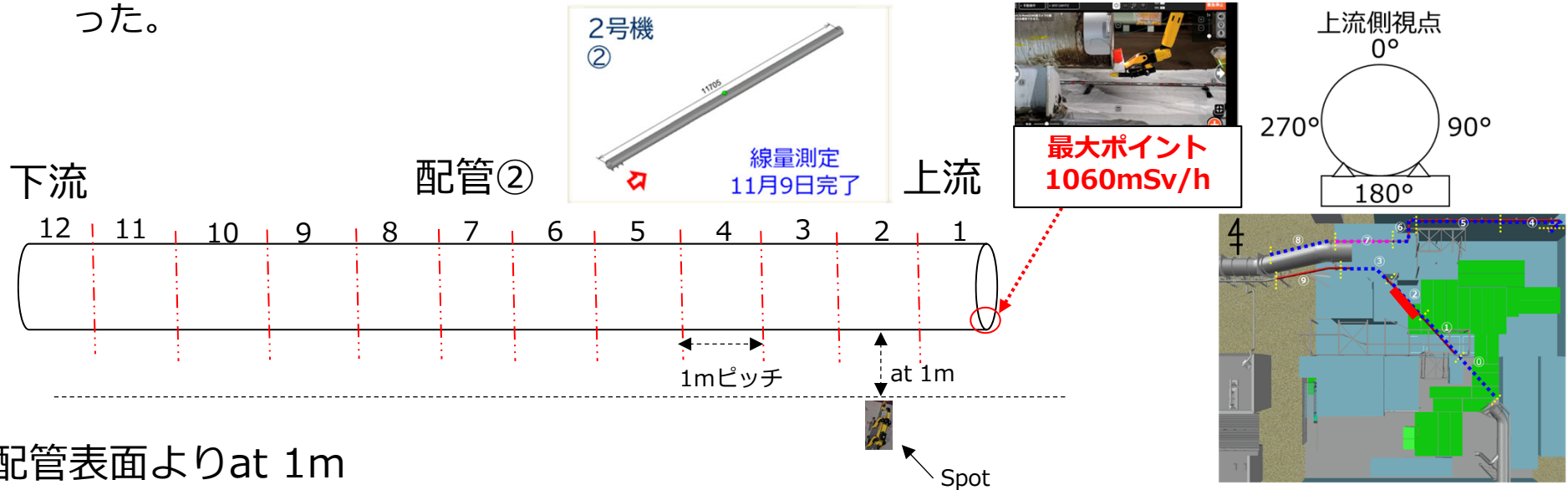
配管表面線量率

測定位置	0°	90°	180°	270°
側面最大ポイント				
上流側より3950mm	296.00	236.00	800.00	325.00

単位：mSv/h

配管線量測定結果（配管②）

- 2号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約1060mSv/hという結果であった。



配管表面よりat 1m

測定ポイント	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
測定位置 270° (配管横)	19.20	29.60	35.40	38.40	44.50	52.10	60.60	68.10	65.50	65.20	64.20	60.00

※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載

単位：mSv/h

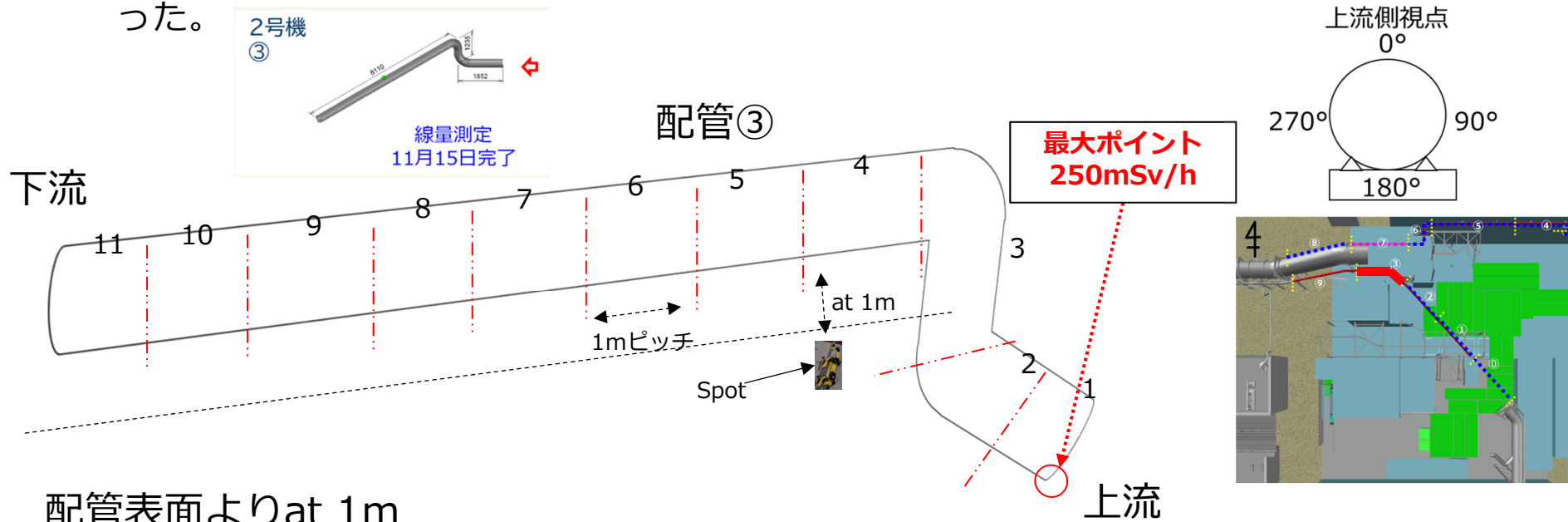
配管表面線量率

測定位置	0°	90°	180°	270°
側面最大ポイント 上流側より5100mm	285.00	477.00	344.00	358.00

単位：mSv/h

配管線量測定結果（配管③）

- 2号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約250mSv/hという結果であった。



配管表面よりat 1m

測定ポイント 測定位置	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
90°（配管横）	—	—	—	—	—	—	2.93	4.26	18.50	26.40	50.50
270°（配管横）	9.60	5.64	—	—	—	—	3.70	6.29	29.30	36.40	19.60

※「—」部分は、Spotがアクセスできないため、未測定
 ※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載

単位：mSv/h

配管表面線量率

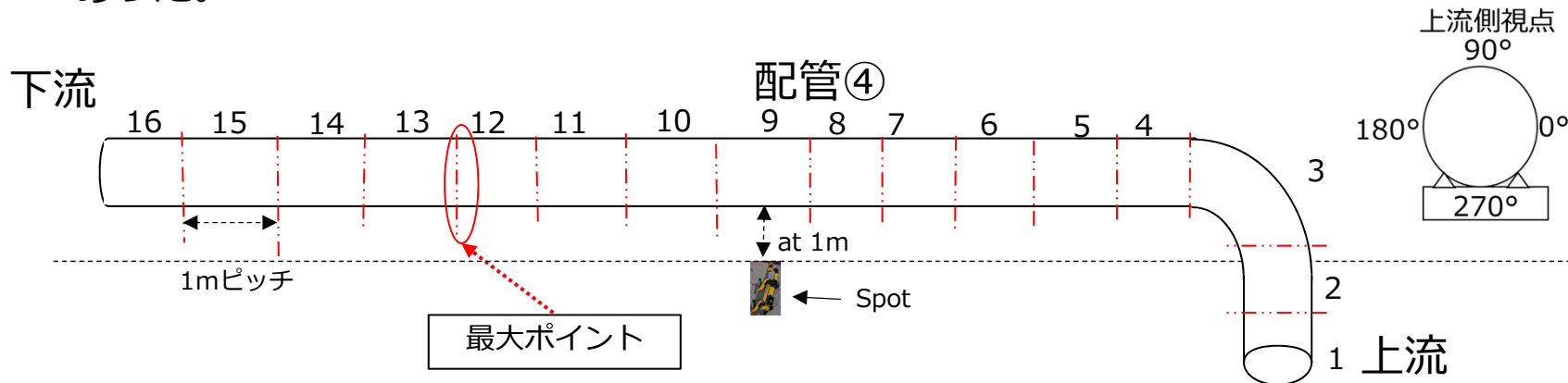
測定位置	0°	90°	180°	270°
側面最大ポイント				
上流側より800mm	138.00	149.00	208.00	178.00

単位：mSv/h

1号機SGTS配管（配管④～⑧）
線量測定結果

配管線量測定結果（配管④）

- 1号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約32.30mSv/hという結果であった。



配管表面よりat 1m

※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載

単位：mSv/h

測定ポイント \ 測定位置	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
0° (配管上部)	2.90	2.26	2.09	2.30	2.24	1.96	1.53	1.28	1.40	1.33
180° (配管下)	2.65	2.25	2.28	2.43	2.42	2.16	3.05	3.41	2.56	1.78

測定位置 \ 測定ポイント	16	15	14	13	12	11
0° (配管上部)	1.16	1.70	1.93	3.48	3.74	3.55
180° (配管下)	1.30	1.65	1.71	2.08	2.66	2.87



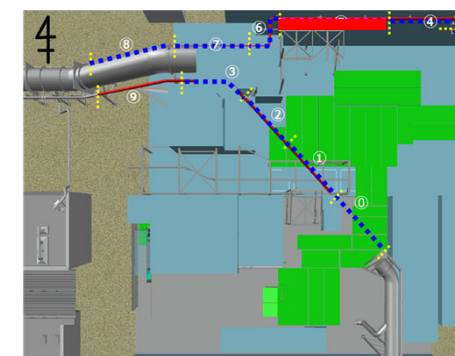
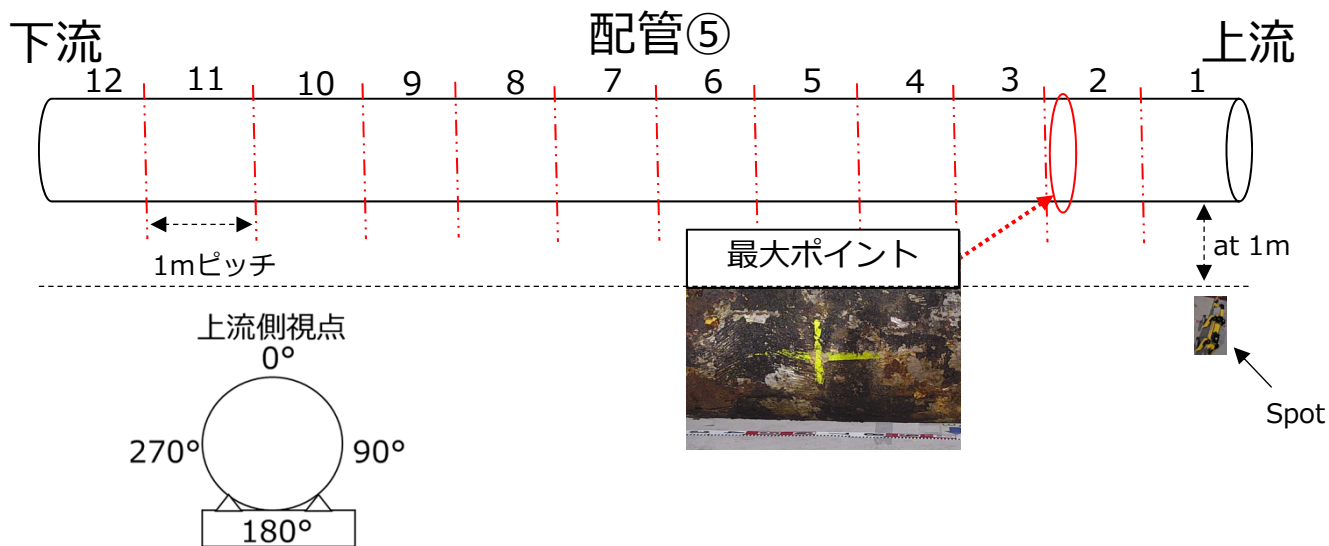
配管表面線量率

測定位置 \ 測定位置	0°	90°	180°	270°
最大ポイント				
上流側より12000mm	11.10	32.30	18.60	12.80

単位：mSv/h

配管線量測定結果（配管⑤）

- 1号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約22.00mSv/hという結果であった。



配管表面よりat 1m

測定ポイント	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
測定位置												
270° (配管横)	1.14	1.50	1.68	2.94	3.30	3.29	2.82	3.00	3.00	3.71	3.75	3.30

※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載

単位：mSv/h

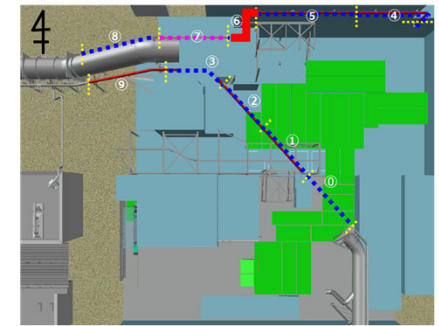
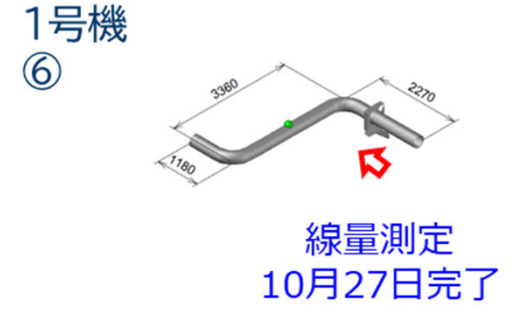
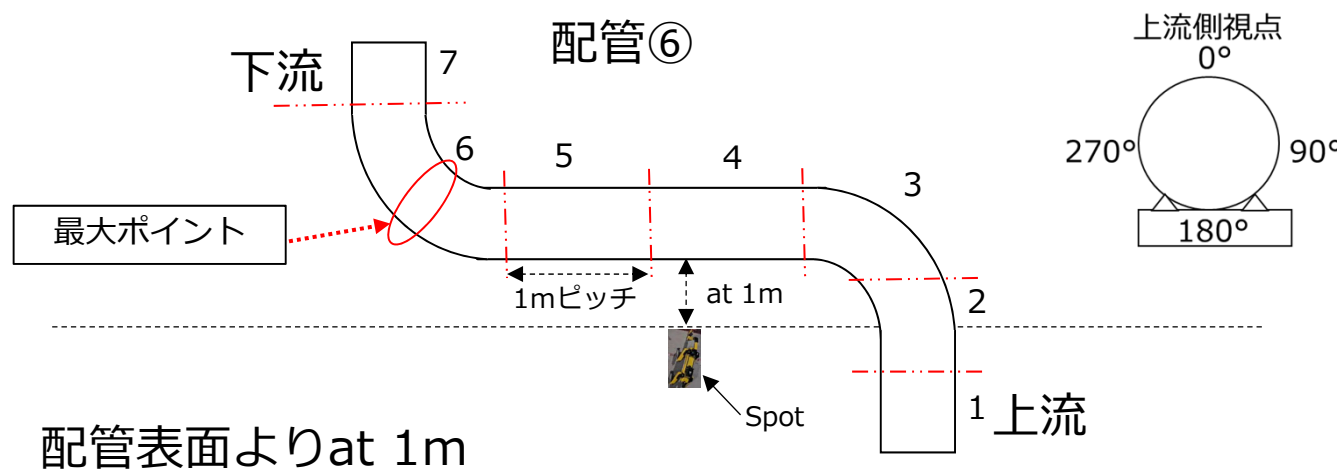
配管表面線量率

測定位置	0°	90°	180°	270°
最大ポイント				
上流側より2000mm	12.50	14.30	22.00	18.70

単位：mSv/h

配管線量測定結果（配管⑥）

- 1号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約27.10mSv/hという結果であった。



配管表面よりat 1m

測定ポイント	7	6	5	4	3	2	1
測定位置							
270° (配管横)	7.44	11.70	3.82	2.49	4.17	6.46	2.97

※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載 単位：mSv/h

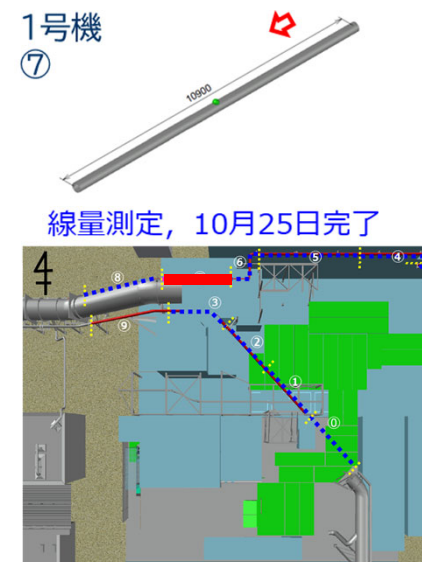
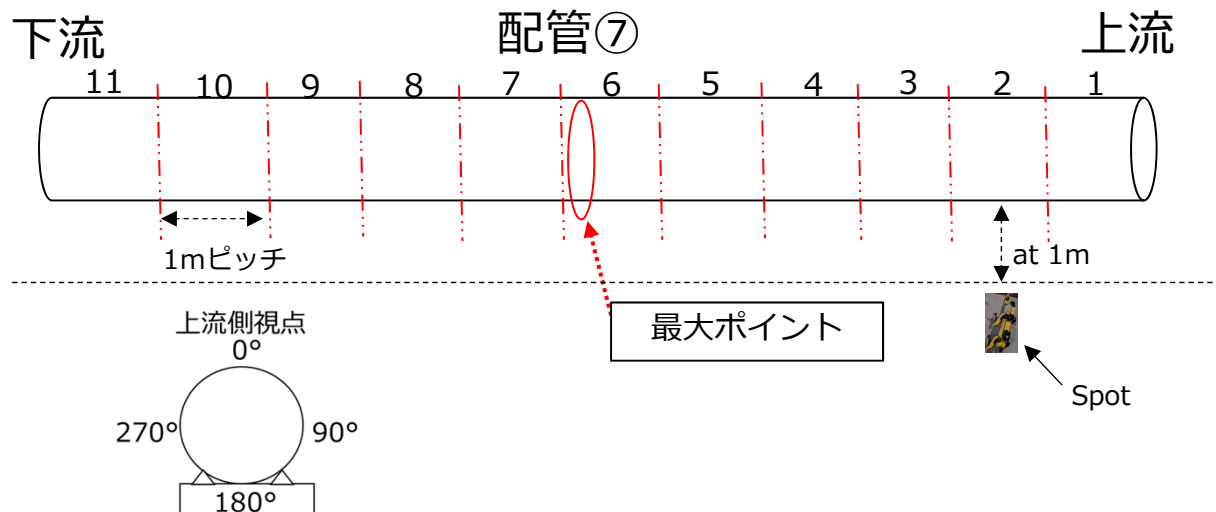
配管表面線量率

測定位置	0°	90°	180°	270°
最大ポイント				
上流側より6900mm	6.36	27.10	21.50	14.90

単位：mSv/h

配管線量測定結果（配管⑦）

- 1号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約17.90mSv/hという結果であった。



配管表面よりat 1m

測定ポイント	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
測定位置											
270° (配管横)	1.26	1.44	2.06	2.94	3.03	3.39	2.05	1.39	1.53	2.30	2.47

※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載

単位：mSv/h

配管表面線量率

測定位置	0°	90°	180°	270°
最大ポイント				
上流側より5900mm	17.90	11.90	17.90	14.20

単位：mSv/h

配管線量測定結果（配管⑧）

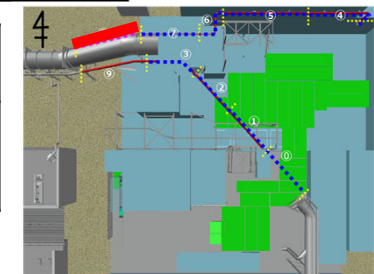
- 1号機SGTS配管表面の線量測定を実施したところ、最大値は約131mSv/hという結果であった。



配管表面よりat 1m ※1mピッチで測定を行い、1mピッチ内の最大線量率を記載 単位：mSv/h

測定ポイント	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
測定位置 180° (配管下)	2.45	1.78	2.89	4.56	3.26	2.61	1.65	1.78	1.46	1.56

	19	18	17	16	15	14	13	12	11
180° (配管下)	10.70	11.40	6.92	4.28	3.38	3.31	5.62	5.45	4.05



配管表面線量率

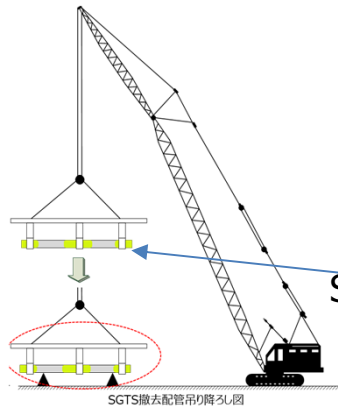
測定位置	0°	90°	180°	270°
最大ポイント				
上流側より17300mm	56.00	68.80	131.00	87.70

単位：mSv/h

参考資料3
その他

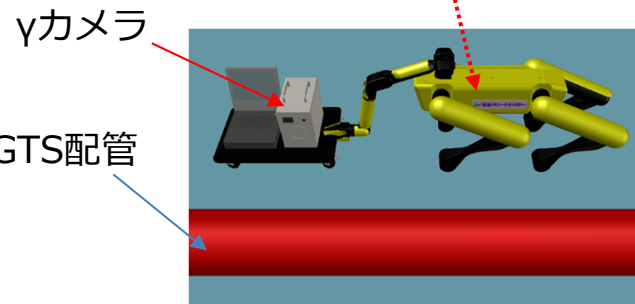
(参考) 作業ステップ全体像

①SGTS配管切断

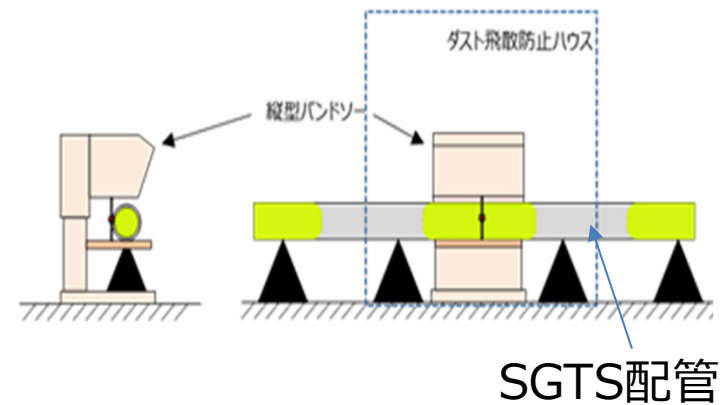


②事故分析に資する調査関連 配管線量測定 γカメラ測定

1号機SGTS配管は人が対応



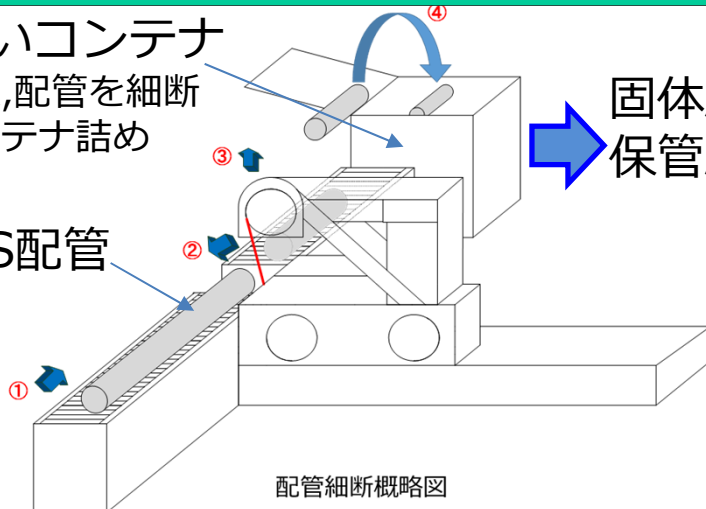
③配管小割



⑤配管細断, 固体廃棄物保管庫へ 運搬し保管

遮へいコンテナ
調査後,配管を細断
しコンテナ詰め

SGTS配管



固体廃棄物
保管庫へ

④事故分析に資する調査

- ・内面撮影
- ・スミヤ, 配管サンプル採取

・現場状況の変化に伴い, ③項以降については現在, 実施場所等を調整中。

(参考) 切断配管仮置き状況

