

令和4年度開始廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金
(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発(セシウム
吸着塔からの吸着材採取技術及び固体廃棄物の分別に
係る汚染評価技術の開発))

最終報告(その2※)

令和6年2月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)

※本研究開発は、“a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発”
と“b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発”の2項目につ
いて実施するものである。本資料では、“a. セシウム吸着塔からの
吸着材採取技術の開発”に係る成果を示す。“b. 固体廃棄物の分
別に係る汚染評価技術の開発”に係る成果は、最終報告(その1)と
して令和5年6月に公開済みである。

報告の内容

1. 研究開発への取り組み方	p2
2. 事業内容	p8
a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発	p9
(a)吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作	p14
(b)サンプリング技術の検証	p27
3. 研究開発の運営	p57
4. 参考資料	p61

1. 研究開発への取り組み方※

※本研究開発全体(”a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発”と”b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発”の2項目)に係る「研究開発への取り組み方」を示す。

1. 研究開発への取り組み方

～ 研究開発の背景・目的 ～

福島第一原子力発電所の固体廃棄物対策については、2021年度の技術戦略プラン※において検討の進め方が示されており、具体的には以下に取り組む事としている。

- ◆ 固体廃棄物管理全体へ反映するため、分析データの取得・管理を行うとともに、効率的な性状把握のための取り組みを進める。
- ◆ 安全かつ合理的な保管・管理のため、分別に必要となる汚染評価技術の開発を行うとともに、物量低減のための減容・再利用技術に関する開発を行う。
- ◆ 処理技術に関し、低温処理の適用性に関する課題の検討、各種処理技術により作製された固化体の安定性に関する検討、低温処理技術の適用範囲の拡大に資するための中間処理技術に関する検討を行う。処分技術に関し、処分概念構築に必要な情報・知識を調査するとともに、処分施設における重要事象進展のストーリーボードの構築及び安全評価手法の改良を開始する。



- ◆ 本研究開発では上述に資する以下の開発を行う事を目的とする。
 - ① 固体廃棄物管理全体へ反映する分析データの取得・管理をさらに進めるため、高線量試料採取技術の開発を行う。
 - ② 安全かつ合理的な保管・管理に資するため、分別に必要となる汚染評価技術(α核種による表面汚染評価技術)の開発を行う。

※東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2021(原子力損害賠償・廃炉等支援機構, 2021.10.29公表)

1. 研究開発への取り組み方 ～ 研究開発の目標と実施内容 ～

◆ 研究開発の目標

- ① セシウム吸着塔の実機から吸着材を採取する技術の検証
- ② α 核種による表面汚染の測定システムに関し、固体廃棄物管理へ適用できる範囲と制約条件の提示

◆ 実施内容

a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

- セシウム吸着塔から高線量試料(吸着材)を採取する技術の開発
- セシウム吸着塔の実機から吸着材を採取する際に新たに必要となる付帯機器の設計・製作
- 試料採取装置と製作した付帯機器を用いたセシウム吸着塔実機に対する検証試験

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

- 測定システムについて、測定に影響を与えるノイズ等の対策を検討し、固体廃棄物管理へ適用できる範囲と制約条件について確認
- 以下による測定システム性能の確認
 - 測定システムについて、シミュレーションや性能確認試験等を実施し、現地環境(β 汚染等)を想定した α 表面汚染測定の検出下限値等の適用範囲を確認
 - フィルタや同時測定等によるノイズ対策が困難な材質について、測定システムの運用によるノイズ回避策等について検討・整理
- 測定システムを利用した物品搬出測定等の福島第一原子力発電所廃炉におけるその他の測定作業への適用性について調査

1. 研究開発への取り組み方 ～ 他研究との関連性 ～

【本PJへのインプット】

ID	実施項目と具体的内容 (情報の用途)	必要情報	必要時期	入手先	備考
1	試料採取の再検討, 及び採取計画の最終確認	セシウム吸着塔に係る性状把握データ	適時	全体提案者	適宜 情報交換を実施
2	表面汚染システムの精度向上	福島第一原子力発電所で使用される表面汚染検出性能に影響を与える材質, 環境条件等の情報	適時	東京電力HD	適宜 情報交換を実施

【本PJからのアウトプット】

ID	実施項目と アウトプットする内容	アウトプット先での 用途	必要時期	提供先	備考
1	セシウム吸着塔からの吸着材試料の種類, 量, 発生時期, 収納容器の表面線量率等	処理・処分の検討対象となる廃棄物に関する性状把握のための分析	適時	全体提案者	適宜 情報交換を実施

注記)

東京電力HD: 東京電力ホールディングス株式会社

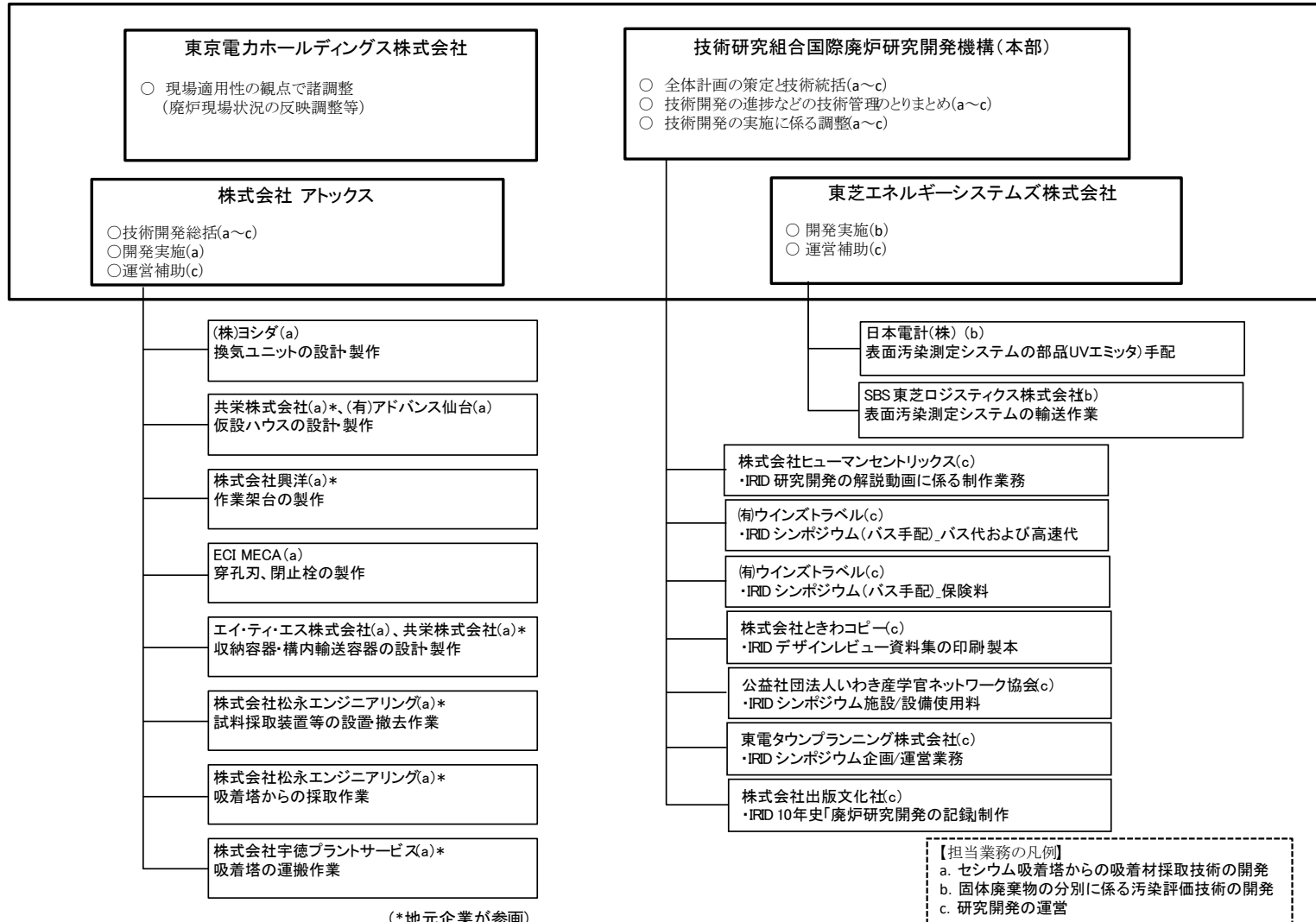
全体提案者: 「令和4年度開始廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)」を実施する事業者

1. 研究開発への取り組み方 ～ 実施スケジュール ～



各作業ステップの完了期限目途を「▽」で示す。

1. 研究開発への取り組み方 ～ 実施体制図 ～



2. 事業内容

a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発※

(a) 吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作

- ① 汚染拡大防止に係る機器
- ② 被ばく低減対策に係る機器
- ③ 試料の収納機器

(b) サンプルング技術の検証

- ① 採取吸着塔選定
- ② 習熟訓練(楢葉MU)
- ③ 吸着塔実機を対象とした検証試験(1F構内)

b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発

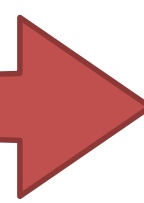
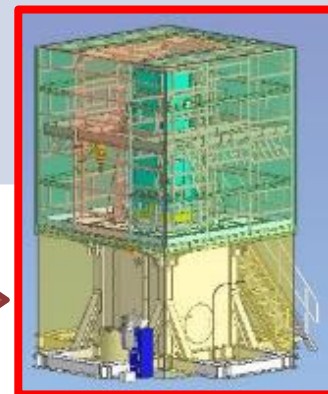
※本資料では, ”a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発”
に係る成果を示す。

a. セシウム吸着塔※からの吸着材採取技術の開発

■ 開発経緯

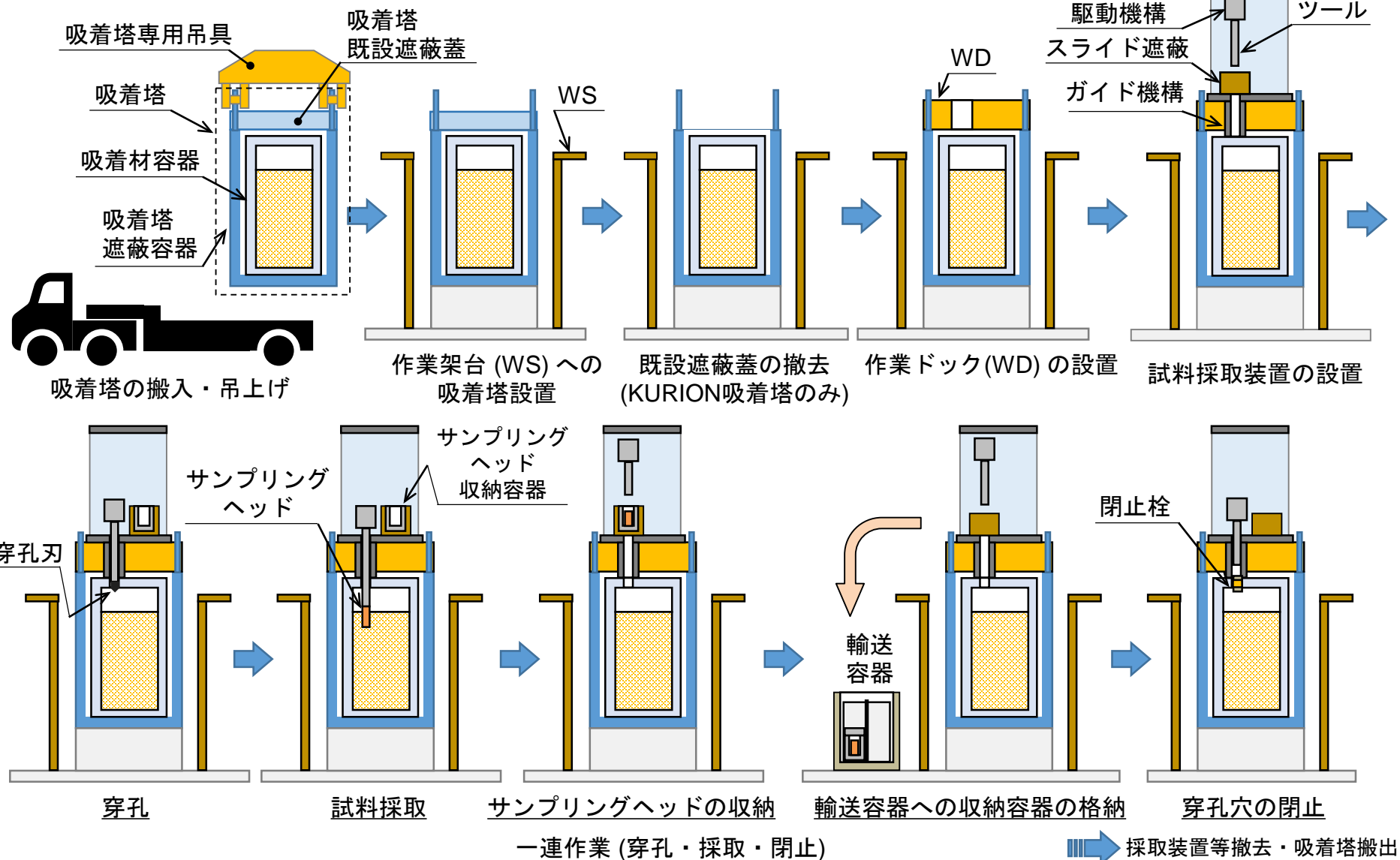
※ セシウム吸着塔(KURION, SARRY両吸着塔)の概要はp. 64 参照

年度	事業名	実施内容と主な製作品
H27-H28 (2015-2016)	平成26年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)」	<ul style="list-style-type: none"> ・ KURION吸着塔試料採取工法の概念検討 <ul style="list-style-type: none"> - 同一円周上の3方向, 深度3点からの採取 - 「穿孔/閉止装置」と「採取装置」の2台構成 ・ ゼオライト試料採取ツール(人手試験用)を設計・製作
H29-H30 (2017-2018)	平成28年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)」	<ul style="list-style-type: none"> ・ KURION, SARRY両吸着塔に対応する試料採取工法の概念検討 ・ 試料採取ツールを機械的に駆動させる採取要素試験装置を設計・製作
H31(R1)-R2 (2019-2020)	平成30年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)」	<ul style="list-style-type: none"> ・ 以下の検討・知見を反映し, 採取位置を表面1点, 穿孔・採取・閉止の一連作業を同一装置で行う「試験用統合試料採取装置(S-ISM)」を設計・製作 <ul style="list-style-type: none"> - 円周方向の濃度分布は小さい - 深度方向の採取性が不確実, 表面付近の核種組成が重要 - 2台の装置による工法は漏えい・高線量作業リスク有り ・ 閉止栓の設計・製作
R3 (2021)	令和3年度開始「廃炉・汚染水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)」	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実環境を想定した「統合試料採取装置(ISM)」を設計・製作 ・ 一部の付帯機器(SARRY用作業ドック(WD)等)を設計・製作 ・ 閉止栓改良品, 採取試料の収納容器モックアップの設計・製作
R4-R5 (2022-2023)	令和4年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発(セシウム吸着塔からの吸着材採取技術及び固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発))」	<ul style="list-style-type: none"> ・ ISMの付帯機器を設計・製作 ・ 採取試料の収納容器を設計・製作 ・ オフサイトでの性能確認・実規模モックアップ試験 ・ オンサイトでのコールド試験 ・ 使用済吸着塔からの試料採取



a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

■ 吸着材採取の流れ ※ 本図の吸着塔形状はKURION吸着塔を簡略化



a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

- 吸着材試料を採取したサンプリングヘッド（以下、SH）を 収納容器（図1）に収納し、収納容器をさらに十分な遮蔽を持つ輸送容器に格納して全体提案者（JAEA）に引き渡した（図2）。現在、全体提案※の性状把握にて分析準備が開始されたとのこと。

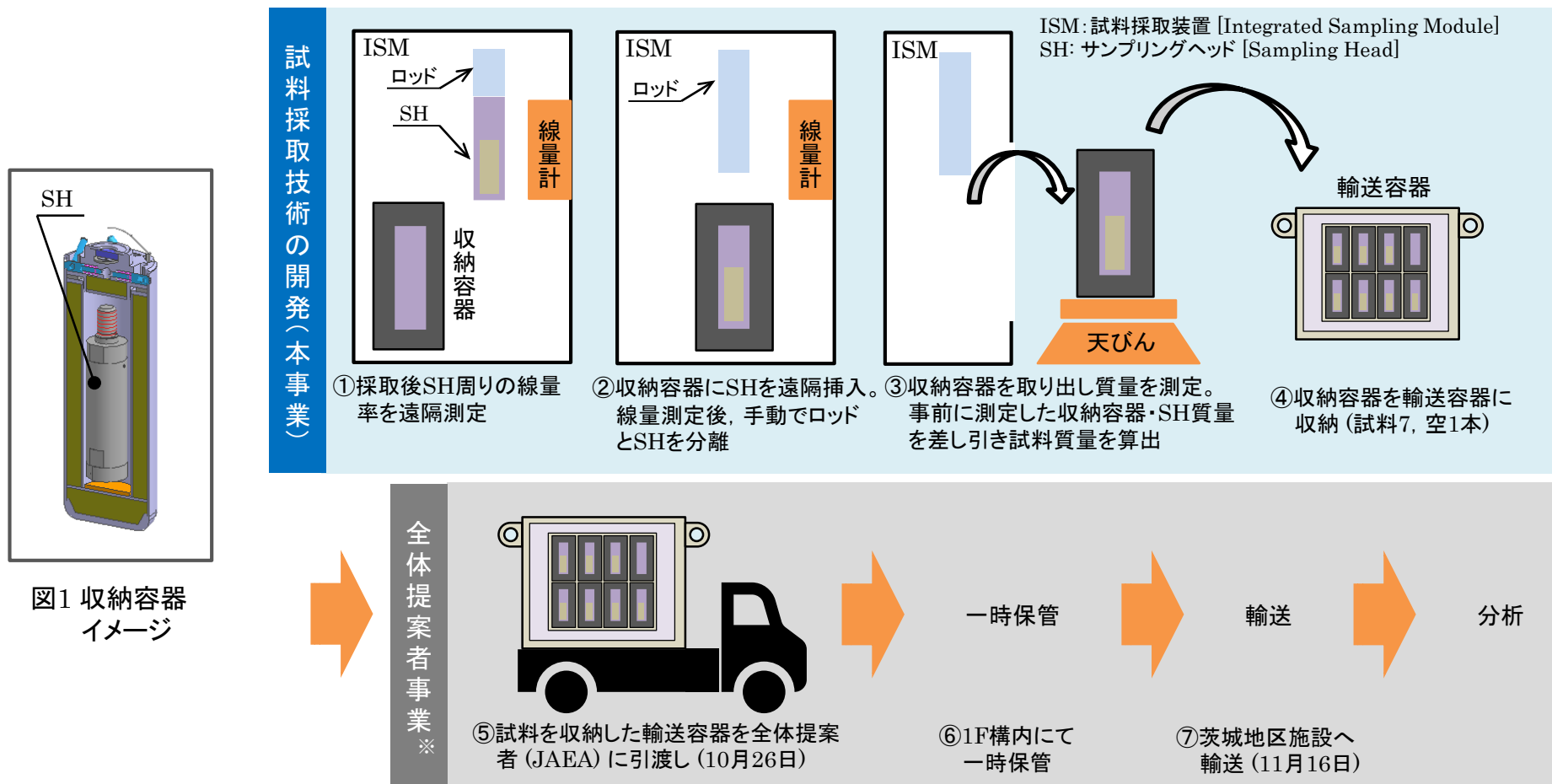


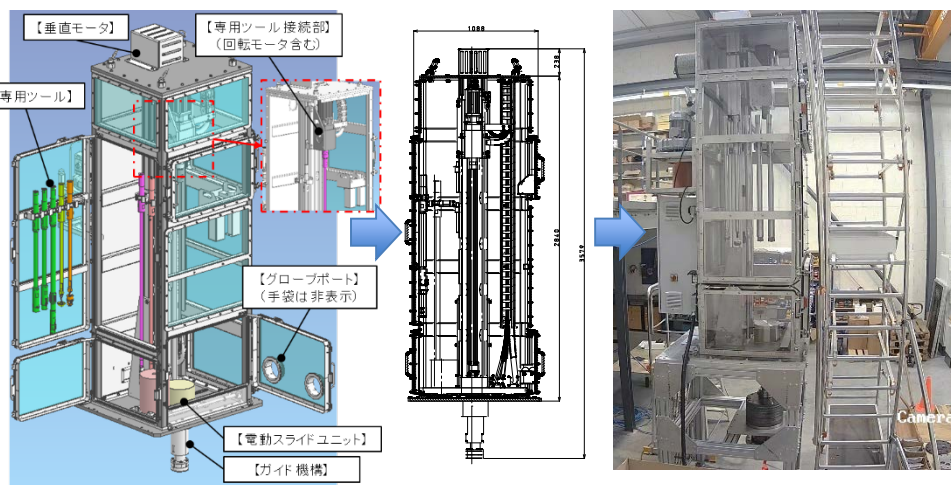
図2 本事業で採取した試料の分析に至る流れ

※令和4年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（固体廃棄物の処理・処分にに関する研究開発）（全体提案）」

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

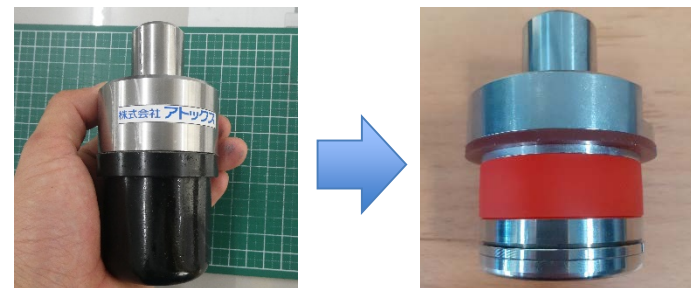
■ 令和3年度の実績

- 要素試験の結果と、実試料採取(ホット試験)に向けた検討結果を踏まえ、試料採取装置(ISM)の設計・製作を実施した(図1)。
- 製作した試料採取装置(ISM)の工場検査、機能確認試験を実施した(図1)。
- 穿孔部の閉止栓を改良し、遠隔設置における信頼性を向上した(図2)。
- 採取作業に必要となる付帯機器である、作業ドック(WD)等の検討、設計・製作を行った。
- サンプルング技術検証のための採取作業計画を立案した。
→採取場所選定, 作業手順, 工程, ダスト管理, 被ばく線量推定, 分析試料引き渡し手順, 等
- サンプルング技術検証に関連する施設の現場調査を実施した(図3)。



基本設計 → 詳細設計 → 製作 → 工場検査 → 機能確認試験

図1 ISMの設計・製作



H31(R1)-R2年度 設計製作品

R3年度 改良品

図2 閉止栓の改良



図3 現場調査

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

■ 目標

試料採取装置を用いて、セシウム吸着塔の実機から吸着材を採取する際に新たに必要となる付帯機器の設計・製作を行う。試料採取装置と製作した付帯機器を用いて、セシウム吸着塔実機の穿孔、セシウム吸着塔からの吸着材試料の採取、セシウム吸着塔穿孔部の閉止等の検証を行う。

■ 実施内容

(a)吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作

セシウム吸着塔の穿孔・吸着材試料の採取・閉止等の要素技術を適用し、開発した試料採取装置を用いて、セシウム吸着塔の実機から吸着材を採取する際に新たに必要となる付帯機器の設計・製作を行う。

(b)サンプリング技術の検証

試料採取装置と製作した付帯機器を用いて、セシウム吸着塔実機の穿孔、セシウム吸着塔からの吸着材試料の採取、セシウム吸着塔穿孔部の閉止等の検証試験を行う。

■ 目標達成を判断する指標

- 吸着材の採取に必要な付帯機器が設計・製作されている。
- セシウム吸着塔実機を用いた穿孔、採取、閉止等の検証試験を行ない、サンプリング技術に係る検証結果が提示されている。
- 事業開始時と終了時の技術成熟度 (TRL) (表1): レベル5 → 6

表1 本事業における技術成熟度 (TRL) の定義 (抜粋5～7のみ)

レベル	本事業に対応した定義	フェーズ
7	実用化が完了している段階。	実運用
6	現場での実証を行う段階。	フィールド実証
5	実機ベースのプロト機を製作し、工場棟で模擬環境下での実証を行う段階。	模擬実証

a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(a) 吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作

■ 以下の工程で主要な付帯機器の設計・製作を実施した。

付帯機器の設計・製作	名称	2022年度											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
① 汚染拡大防止に係る機器	i. ISM換気ユニット	●	●	●	●	●	●	●	●				
	ii. 仮設ハウス	●	●	●	●	●	●	●	●				
② 被ばく低減対策に係る機器	i. 作業架台(WS)	●	●	●	●	●	●	●	●				
	ii. 作業ドック(WD)	●	●	●	●	●	●	●	●				
	iii. 遠隔監視システム	●	●	●	●	●	●	●	●				
③ 試料の収納機器	i. サンプリングヘッド	●	●	●	●	●	●	●	●				
	ii. サンプリングヘッド 収納容器	●	●	●	●	●	●	●	●	●	※		
	iii. 輸送容器用 内容器	●	●	●	●	●	●	●	●				

※ 試料引き渡し方法見直しによる設計変更のため設計・製作期間延伸(サンプリングヘッド収納容器は分納実施)

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(a)吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作

■ 試料採取に必要な事項と、追加対策及びそれを担う主な付帯機器等

必要な事項	追加対策	主な付帯機器等	機器番号	参照ページ
①汚染拡大防止	ダスト清浄化	ISM換気ユニット 仮設ハウス換気装置	①i.	p.18
	多重のバウンダリ構築	仮設ハウス	①ii.	p.19
	ダスト濃度監視	連続ダストモニタ	(汎用品)	p.19
	ISM開放前のダストサンプリング	ダストサンプラ	(汎用品)	p.18
②被ばく低減対策	吸着塔側面遮蔽	作業架台 (WS)	②i.	p.20
	吸着塔上面遮蔽	作業ドック (WD)	②ii.	p.21
	遠隔作業・遠隔監視	遠隔監視システム	②iii.	p.22
③試料の収納	必要な量の試料の採取	サンプリングヘッド	③i.	p.23
	試料の閉じ込めと保管中の内圧変化抑制	サンプリングヘッド収納容器	③ii.	p.24
	輸送時、試料引渡後の被ばく防止	輸送容器用内容器	③iii.	p.25

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(a)吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作

■ 全体構成 (1/2)

試料採取装置及び付帯機器の全体構成イメージを図1に示す。

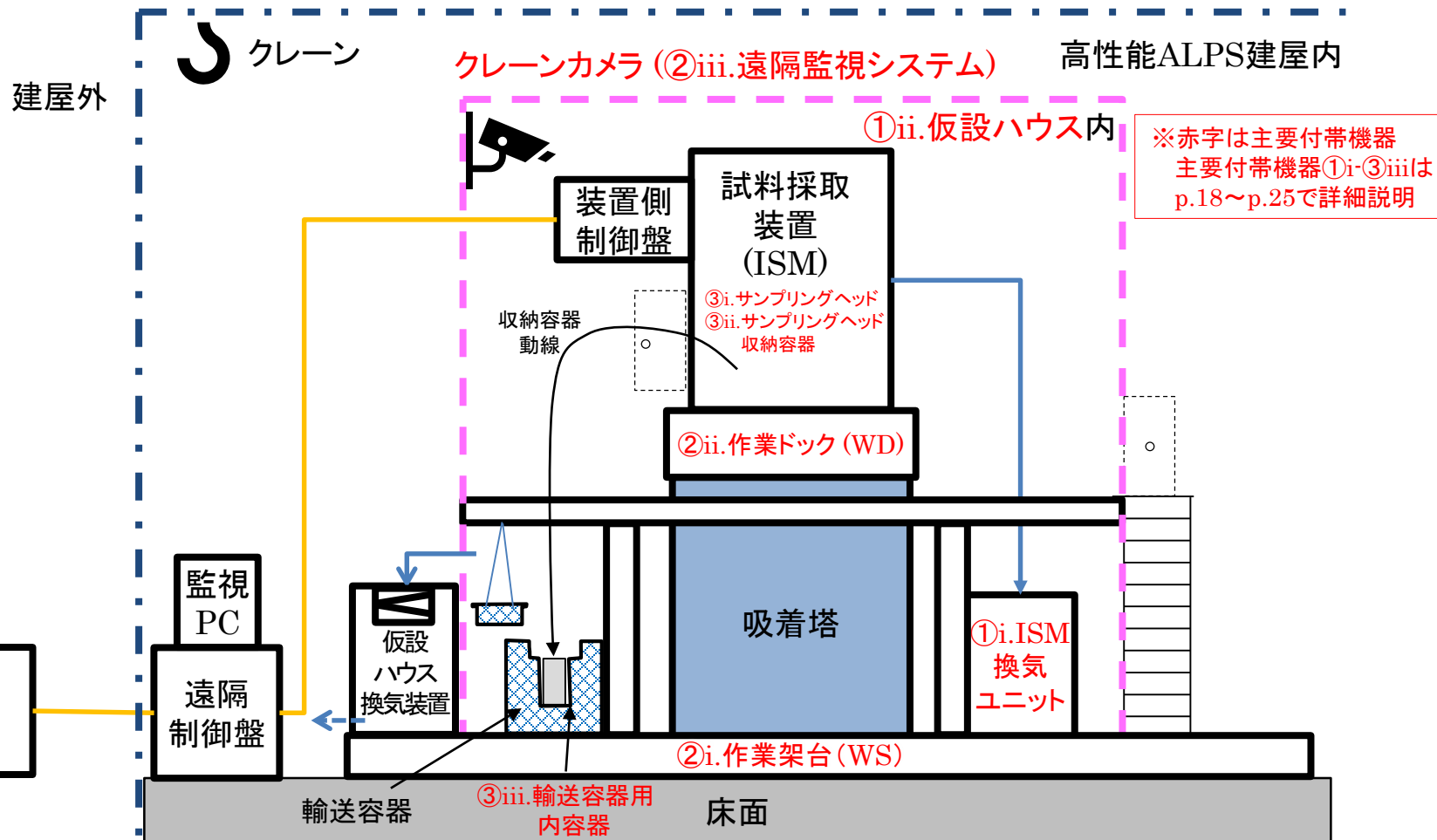


図1 試料採取装置全体構成イメージ

a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(a) 吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作

■ 全体構成 (2/2)

表1 試料採取装置の構成要素と概要

構成	概要
試料採取装置 (ISM)	KURION, SARRY両吸着塔の作業ドック上に設置し、取付けた各専用ツールの回転、垂直駆動により「吸着塔の穿孔」、「試料の採取」、「穿孔部の閉止」等のサンプリングに必要な一連作業を実施するグローブボックスと類似の機能を持つ遠隔装置。
作業ドック (WD)	吸着塔上部からの放射線の遮蔽機能を有し、試料採取装置を吸着塔に設置するための付帯機器。
作業架台 (WS)	吸着塔を安定的に支持するとともに、試料採取装置周辺での作業床を確保するための付帯機器。

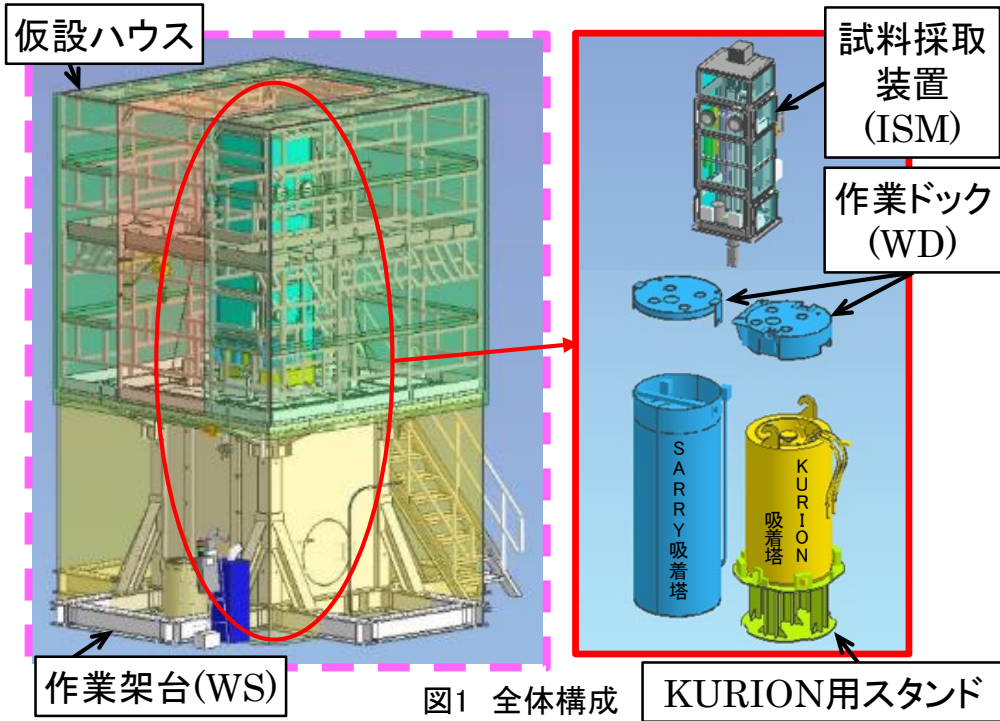
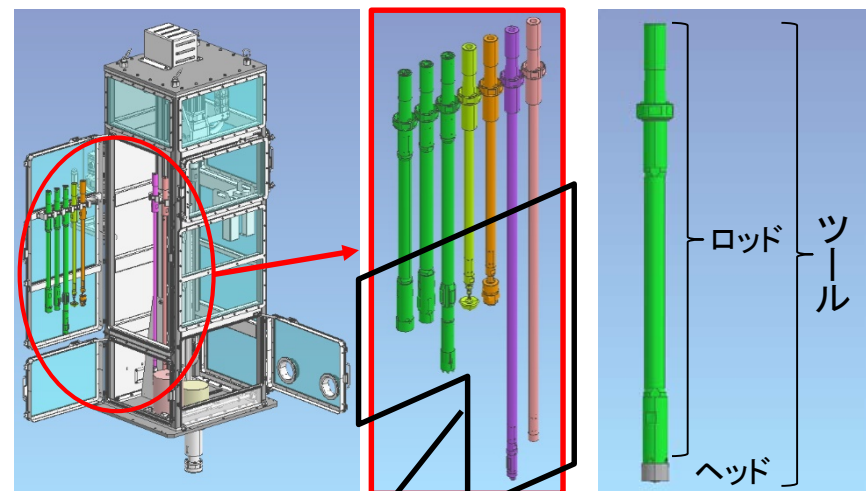


図1 全体構成 KURION用スタンド



図2 ISMの専用ツール

a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(a) 吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作

① 汚染拡大防止に係る機器 i. ISM換気ユニット

目的: ISM内のダスト発生有無の確認・清浄化を行い, ISM外へのダスト拡散を防止する。

表1 必要機能と実装機能

必要機能	実装機能
汚染拡大防止	原子力施設用HEPAフィルタ付き局所排気装置によるISM内の換気 ISM扉解放前のCDS※によるダスト有無の確認
被ばく低減	仮設ハウス外からISM換気ユニットのON/OFF, 動作確認が可能 線量計(p. 68 – 69 参照)による遠隔での線量監視
流量調整	流量調整弁, 流量調整ダンパーによる流量調整 (事前に調整実施) カウンターダンパーによる扉開閉時の急激な圧力変化防止

※ Cordless Dust Sampler: 携帯型のダストサンプラ

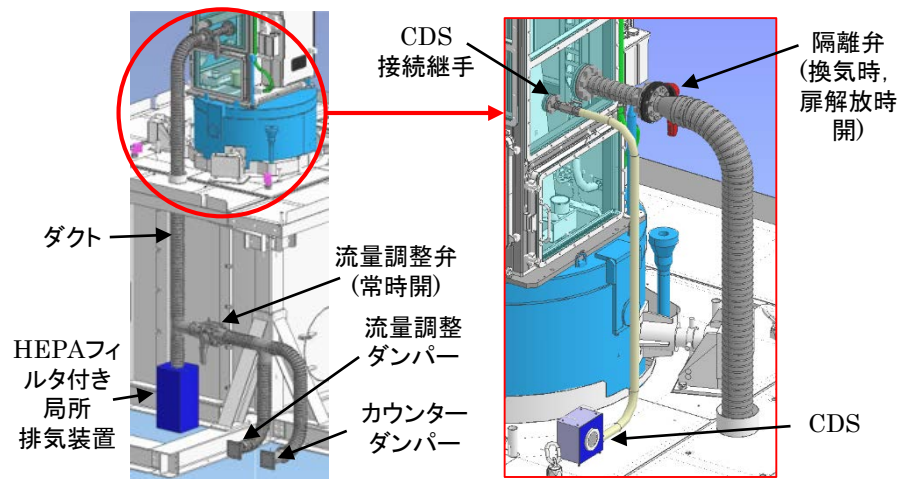


図1 ISM換気ユニットの構成機器

表2 主要諸元

項目	仕様
系統	80A, 150A耐熱ダクト
隔離弁, 流量調整弁	バタフライ弁(手動)
HEPAフィルタ付き局所排気装置	株式会社日本環境調査研究所製 アララベンチミニ

a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(a) 吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作

① 汚染拡大防止に係る機器 ii. 仮設ハウス

目的： 試料採取エリア全体を覆い、ダストの監視及び建屋へのダスト拡散を防止する。

表1 必要機能と実装機能

必要機能	実装機能
汚染拡大防止	ISM開放時のダスト漏洩防止 採取作業エリアの汚染拡大防止 連続ダストモニタ設置
吸着塔の出入口 (幕体開閉部分)	吸着塔, WD, ISMの設置/撤去用に開口部が必要だが, 仮設ハウス幕体, フレームを一部だけ開放可能な構造とすることで汚染拡大防止と両立
被ばく低減	仮設ハウスにワンタッチジョイント足場を使用することにより作業時間を短縮
作業の監視	幕体に透明な材料を使用することで外部から内部の状況確認を可能とする

表2 仮設ハウス主要諸元

構成	材料
仮設ハウスフレーム	アルミ合金
仮設ハウス幕体	補強糸入り難燃透明樹脂

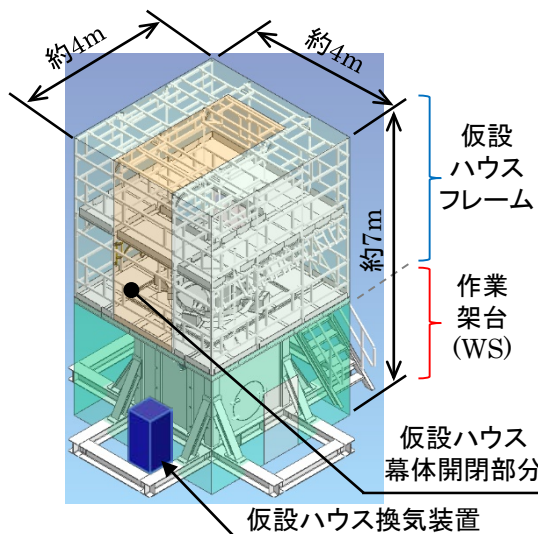


図1 仮設ハウス外観

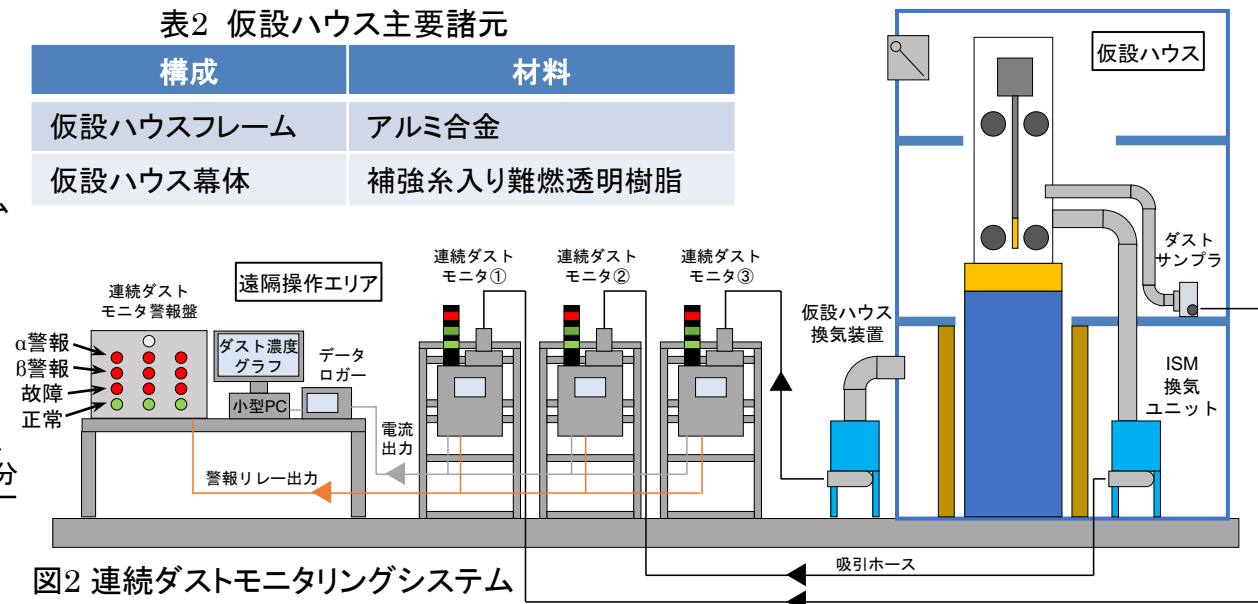


図2 連続ダストモニタリングシステム

a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(a) 吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作

② 被ばく低減対策に係る機器 i. 作業架台 (WS)

目的: 吸着塔上面, ISM人手作業時の作業床, 吸着塔を含む試料採取装置一式の転倒防止。

表1 必要機能と実装機能

必要機能	実装機能
被ばく低減	吸着塔側面からの放射線を低減するため, 50mm の遮蔽板(吸着塔側面遮蔽)カメラを配置し遠隔監視可能とする
共通化	作業床の一部のみ交換することで, KURION, SARRY両吸着塔に対応
耐震性	建屋床版とのアンカーボルト固定, 堅牢な構造, 吸着塔の支持

作業床交換部

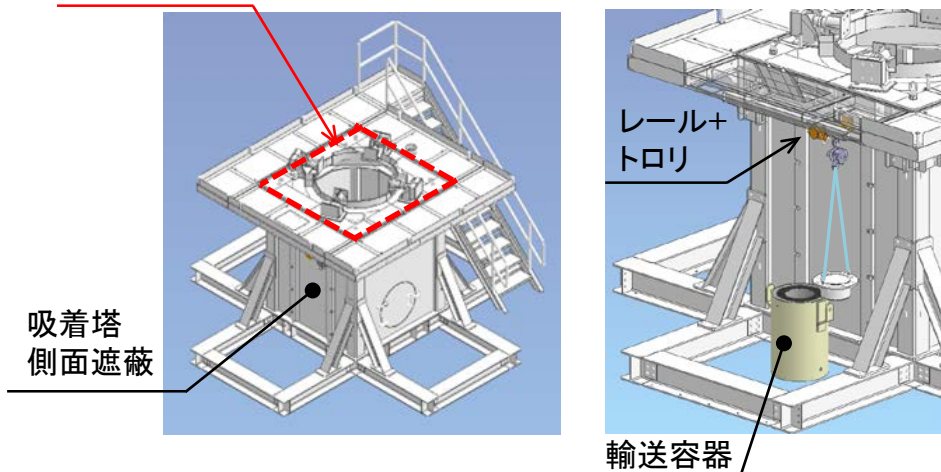


図1 作業架台外観

表2 主要諸元

項目	仕様
材料	炭素鋼鋼材
設置寸法	W 6,050 × L6,050 × H3,350 (張出を含む)
質量	約 19 t

a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

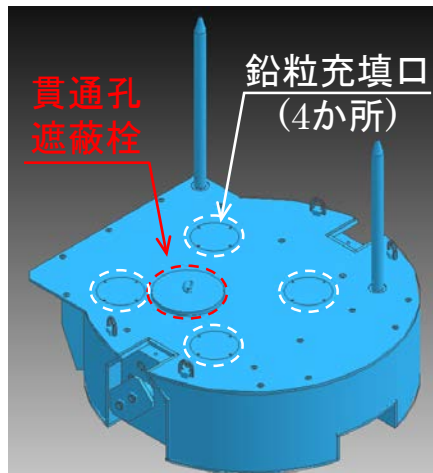
(a) 吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作

② 被ばく低減対策に係る機器 ii. 作業ドック (WD)

目的: 各吸着塔とISM下面との接続, 吸着塔上面の遮蔽。

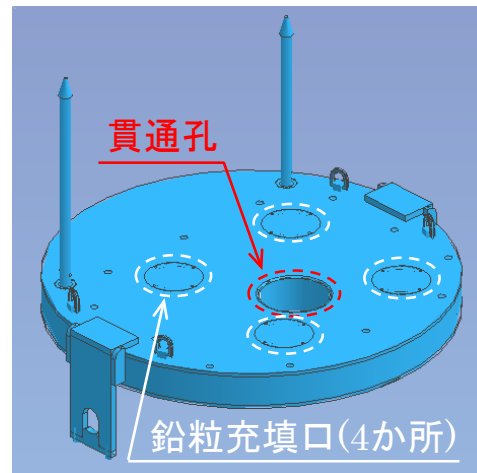
表1 必要機能と実装機能

必要機能	実装機能
汚染拡大防止	(吸着塔上面を塞ぐが気密性を担保しないためバウンダリとはみなさない)
被ばく低減	<ul style="list-style-type: none"> 鉛粒充填口から充填した鉛粒により必要な遮蔽性能を有する KURION用WDについて, WDの設置/撤去時に仮設ハウス内でWDに近接する玉掛作業員等がWDの貫通孔からの強い放射線で被ばくするのを防ぐため, WDの設置・撤去時のみ専用の貫通孔遮蔽栓を設置 (SARRY吸着塔は貫通孔遮蔽栓無しで吸着塔上面の線量が十分低いため不要)
遠隔性	ISMを遠隔設置するためのガイドピン



KURION用WD

(3インチ遮蔽・7インチ遮蔽兼用)



SARRY用WD

図1 作業ドック外観

表2 主要諸元

項目	仕様
外径寸法	約1,400 × 1,450 × 1,300 mm
質量	KURION用WD: 約3.9t (本体0.9t, 鉛粒3.0t) SARRY用WD: 約1.7t (本体0.5t, 鉛粒1.2t)

a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(a) 吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作

② 被ばく低減対策に係る機器 iii. 遠隔監視システム

目的：高線量エリアの空間線量率，作業状況の遠隔監視等を行う

表1 必要機能と実装機能

必要機能	実装機能	備考
耐放射線性	(各構成機器に対し耐放射線性を向上させるための加工は実施せず)	内視鏡，距離計について照射試験を実施し，事前評価した線量率の場で，事前評価した作業時間の間、カメラ等の機能が維持することを確認
遠隔監視	クレーンカメラシステム：PTZカメラ8台からなるシステムにてクレーン操作や仮設ハウス内監視 遠隔化した測定器：内視鏡，距離計，線量計についてUSBカメラ映像として遠隔監視可能なように構成	遠隔監視で使用するネットワークカメラ，USBカメラについてはカタログ品を使用する
吸着塔内部調査	吸着塔内部の撮影機能 吸着材表面位置の測定	内視鏡はLED照明付き，直視・側視の2カメラ 距離計により吸着材表面位置を測定



図1 クレーンカメラシステム

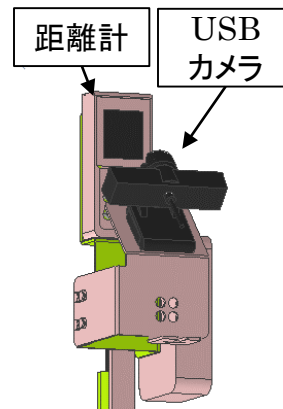


図2 遠隔化した測定器の例(距離計)

表2 主要諸元

項目	仕様
クレーンカメラシステム	ネットワークカメラ4台を1画面で表示するシステム カメラは治具で仮設ハウス・WSに取り付ける
遠隔化した測定器	測定器表示画面を連続撮影するため，距離計や線量計とUSBカメラを治具で一体化 内視鏡はリアルタイムUSB映像出力可能なよう加工

a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(a) 吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作

③ 試料の収納機器 i. サンプルングヘッド

目的: 吸着塔内部から試料を必要量採取する。

表1 必要機能と実装機能

必要機能	実装機能
汚染拡大防止	ISMの回転駆動によって採取口を開閉し、採取試料の飛散を防止した
被ばく低減	ISMの採取プログラムにより試料採取を遠隔自動化した
規定量の試料採取	外筒・内筒の二重円筒構造であり、内筒の内容積により採取量を設定
試料の取出し性	内筒の栓を兼ねる先端部構造は、試料の取出しの容易性を考慮した

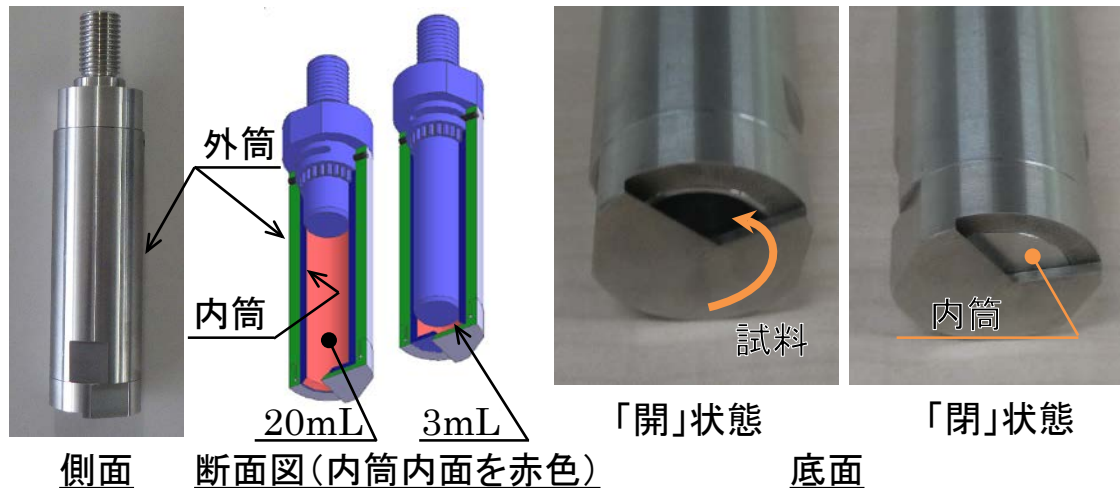


図1 サンプルングヘッド外観

表2 主要諸元

項目	仕様
外形寸法	φ35mm, 高さ150mm以下
材質	ステンレス鋼
採取量	20mL, 3mL

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(a)吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作

③試料の収納機器 ii. サンプルングヘッド収納容器

目的: サンプルングヘッドを遮蔽し試料の漏えいを防止する。

表1 必要機能と実装機能

必要機能	実装機能
質量, 寸法の制約	人手で取扱いが容易な10 kg以下で, 2022年度に選定された輸送容器 (日本核燃料開発株式会社製) に8基収納可能な寸法にて設計
汚染拡大防止	サンプルングヘッド脱落防止のため, 蓋部に4点ロック機構を搭載
被ばく低減	外径の制約の中で, 可能な限り鉛層が厚くなるよう設計 (側面の鉛厚: 12.5 mm)
ISM内設置時の位置決め	蓋部の取付け性向上のためISM内でサンプルングヘッド収納容器が常に同じ向きで設置されるように, 遮蔽胴の位置決め用突起と勘合する窪みを設けた
水素発生, 気圧差の考慮	金属焼結フィルタによりダスト拡散を防止しつつ換気できるよう設計

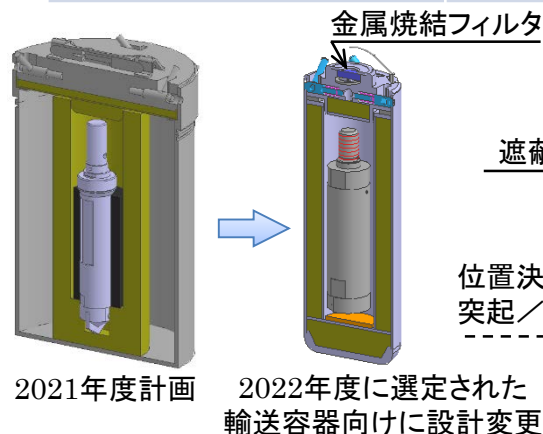


図1 サンプルングヘッド収納容器計画図

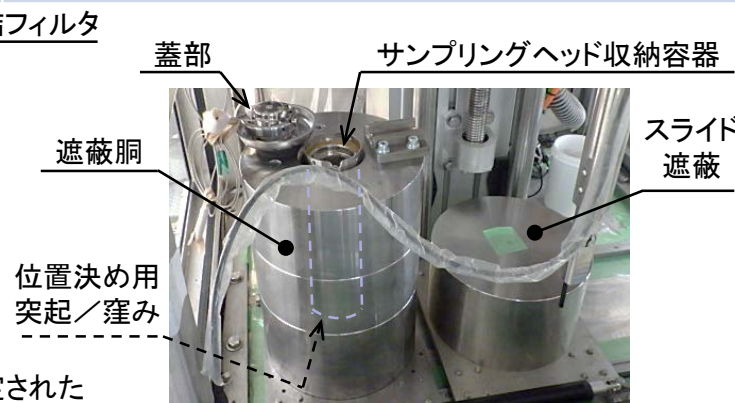


図2 サンプルングヘッド収納容器のISM内設置状態

表2 主要諸元

項目	仕様
外形寸法	φ76.3 × H220 mm
サンプルングヘッド収納部寸法	φ43 × H155 mm
材質	構造部: ステンレス鋼 遮蔽体: 硬鉛
重量	約 7.5 kg

a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(a) 吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作

③ 試料の収納機器 iii. 輸送容器用内容器

目的: 輸送容器内にサンプリングヘッド収納容器8基を格納し、分析施設にて一度に取り出す。

表1 必要機能と実装機能

必要機能	実装機能
サンプリングヘッド収納容器の格納	内容器の内側を4等分する仕切り板を設け、サンプリングヘッド収納容器が最大8個入る構造
遠隔監視	内部の視認性を確保するため、内容器の側面はパンチングメタルを採用

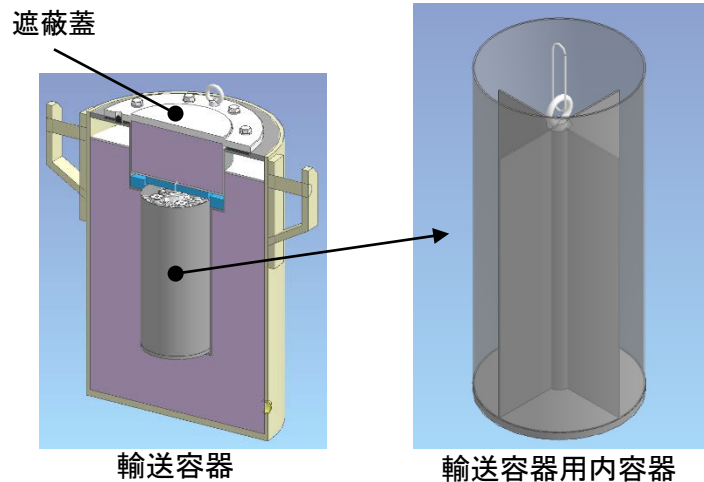


図1 内容器外観

表2 主要諸元

項目	仕様
外形寸法	φ200 × H455 mm
材質	SUS304 側面はパンチングメタル
サンプリングヘッド 収納容器格納数	最大8個
製作数量	2基 (オフサイト訓練用, 現場用各1基)

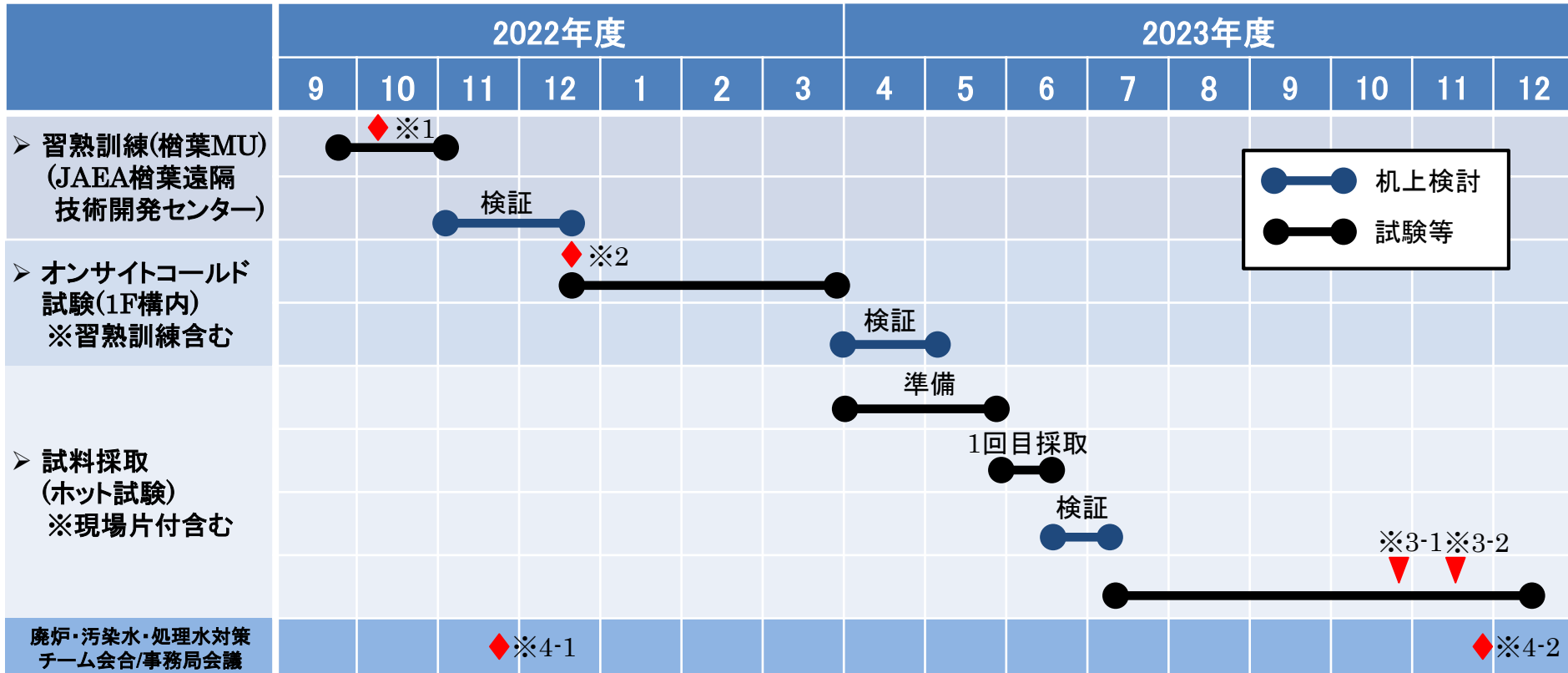
a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 (a)吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作

- ✓ セシウム吸着塔実機から吸着材を採取する際に新たに必要となる以下の付帯機器を設計・製作した。
 - 汚染拡大防止に係る機器
 - ISM換気ユニット
 - 仮設ハウス
 - 被ばく低減対策に係る機器
 - 作業架台(WS)
 - 作業ドック(WD)
 - 遠隔監視システム
 - 試料の収納に係る機器
 - サンプリングヘッド
 - サンプリングヘッド収納容器,
 - 輸送容器用内容器
- ✓ 以上の設計製作により、セシウム吸着塔実機を対象とした検証試験が可能となった。

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(b)サンプリング技術の検証

■ 以下の工程でサンプリング技術の検証を実施した。



- ※1 2022/10/6 放射線防護面の構内作業安全性評価を東電HD福島第一の会議に付議
- ※2 2022/12/22 トラブル対応策などを含めた作業安全面の計画を東電HD福島第一の会議に付議
- ※3-1 2023/10/26 使用済吸着塔からの採取試料を全体提案者(JAEA)※5に引渡済み
- ※3-2 2023/11/16 全体提案者(JAEA)にて使用済吸着塔からの採取試料を分析施設に移送済み
- ※4-1 2022/11/24 第108回事務局会議にて報告を実施
- ※4-2 2023/11/30 第120回事務局会議にて報告を実施
- ※5 令和4年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)(全体提案)」

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(b)サンプリング技術の検証

①採取吸着塔の選定

■ 採取対象吸着塔の選定方針

- 本PJではセシウム吸着塔の実機から吸着材を採取する技術の検証を実施する。
また、NDFの戦略プラン2021「高線量試料採取技術開発」の実証に向けて、高線量試料の採取に挑戦する。
- 高線量試料を採取する際は、比較的低い線量の同種の吸着材を先行して採取し、高線量試料採取の不確実性を排除する。
- 全体提案者(JAEA)※1にとって有効な分析結果が期待される吸着塔を対象とする。
- 滞留水中の核種濃度が高い運転初期に使用された吸着塔を含める。

※1 令和4年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)(全体提案)」

表1 採取対象吸着塔の吸着材種類

吸着塔	吸着材※2	選定理由
SARRY	IE96小	HTI建屋滞留水のセシウム濃度が低位安定した時期のもの
	IE96大	初期に供用されたもので高線量のもの
	IE911	SARRY運転開始時の初装荷品
KURION	AGH	KURION運転開始時の初装荷品 (ヨウ素の吸着量の把握が期待される)
	H小	プロセス主建屋滞留水のセシウム濃度が低位安定した時期 (セシウム吸着材で吸着量が少ないと考えられる)
	H大	KURION運転開始時の初装荷品 (セシウム吸着材で吸着量が大きいと考えられる)
	TSG	ストロンチウム吸着運用開始後、比較的初期のものうち高線量のもの
	珪砂	フィルタ材を珪砂に変更した初期のもの 系統の最上段で使用されたため多様な固形物が捕集されている可能性がある

※2 SARRY, KURION系統構成における吸着材使用位置は p.64 参照

■ 吸着材採取位置

- 吸着材表面(上端から深さ100mm)。
選定理由: 一般に、吸着塔の構造上、吸着材表層付近での核種吸着量が最大と推定される。
特にα核種のような高い分配係数を持つ核種はほぼ全量が吸着材表層付近に吸着されると推定される。

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(b)サンプリング技術の検証

②習熟訓練(檜葉MU)

■ 概要

- 装置全体の**検証**と作業手順の**習熟**のため、JAEA檜葉遠隔技術開発センター(NARREC)に試料採取装置全体を構築し、習熟訓練(檜葉MU:檜葉モックアップ試験)を実施した。
- 東電HDより構外保管されている実吸着塔を借り受け、取扱い性を確認した。
- 防護装備を含めて実際の作業状況に合わせた検証・訓練を実施した。



図1 NARRECへの試料採取環境の構築



図2 防護装備を着用し習熟訓練

■ 主な確認項目事項

項目	概要	オンサイト作業との差異
遠隔操作性訓練	遠隔監視システムを用いて吸着塔, WD, ISMの遠隔設置性を確認する。	クレーンの揚程, 操作性
KURION実吸着塔作業検証	KURION新吸着塔について, WSと吸着塔, 吸着塔とWDの設置性, 固定方法の訓練を実施する。 人が近接する作業時間を測定する。	吸着塔の加工を伴う試験は実施しない 吸着塔個体差による影響の検証は不能
SARRY実吸着塔作業検証	KURION実吸着塔と同様の訓練に加え, 穿孔→採取→閉止の一連作業を実施する。	吸着塔個体差による影響の検証は不能

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(b)サンプリング技術の検証

②習熟訓練(檜葉MU)

■ 習熟訓練(檜葉MU)の結果と反映事項

主な実施内容	評価	反映事項
遠隔操作性訓練	KURION吸着塔を人手介助なしで遠隔設置可能であることを確認 設置時間, 視認性を確認	仮設ハウス内と遠隔操作エリアのコミュニケーション促進のため音声通話を用意 表面線量率が十分低いSARRY吸着塔は確実性を優先し人手介助する
KURION実吸着塔作業検証	試料採取装置の適合を確認 各作業ステップの所要時間を測定	KURION用スタンド(p.17 参照)と吸着塔の干渉が確認されたため檜葉MU期間中に改修し改善
SARRY実吸着塔作業検証	一連作業が可能であることを確認 SARRY補修遮蔽栓※を遠隔挿入する際に軸心のズレによる干渉が生じた(図1)	装備交換に要した時間等を反映し, 当初1日で行うこととしていた作業日数を複数に分けた補修遮蔽栓を挿入しやすい形状に変更

※SARRY補修遮蔽栓: SARRY吸着塔穿孔箇所への遮蔽性能を回復するため閉止栓上に設置する円筒構造物

■ 習熟訓練(檜葉MU)からオンサイトコールド試験までの実施事項

- 作業手順の見直し, 線量評価
- 放射線防護計画の東電審議
 - 予想総線量は基準未満だが, 「特殊で初めての工事」として被ばく抑制, ダスト飛散防止等の工学的対策, 管理的対策の妥当性について審議を受けた
- 作業安全確保計画の東電審議
 - 被ばく評価に関して指摘のあった散乱線の影響評価等を報告
 - 一連作業の工学的対策, 管理的対策の妥当性について審議を受けた
 - 檜葉MUで検証できなかった輸送容器へのサンプリングヘッド収納容器格納作業など, 特に高線量物近接作業についてオンサイトコールド試験で十分訓練する必要性について指摘を受け, オンサイトコールド試験計画に反映した

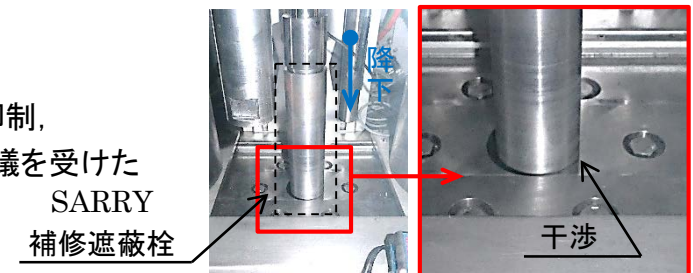


図1 SARRY補修遮蔽栓のISM底板への干渉

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 (b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内)

- 検証試験概要
 - 実際の吸着塔 (汚染水未通水吸着塔, 使用済吸着塔) を対象として採取技術を実証する。
 - オンサイトコールド試験とホット試験は同一の作業エリア, 作業内容で実施。
- 試験エリア
 - 高性能ALPS建屋内
- ユーティリティ
 - 発電機: 主系, 予備系の2系統用意
 - コンプレッサ: 切削油噴霧用。コンプレッサ停止時に備え, レシーバタンクを用意

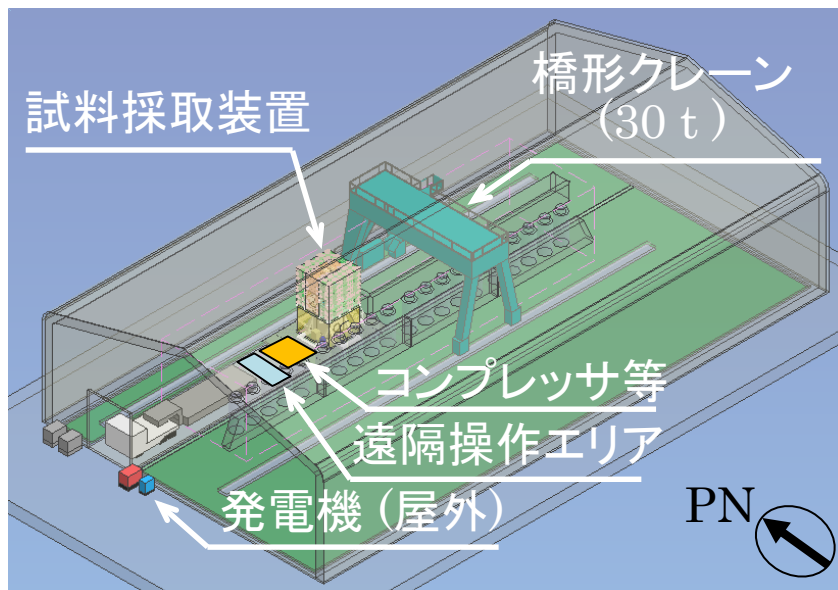


図1 高性能ALPS建屋への試料採取装置配置

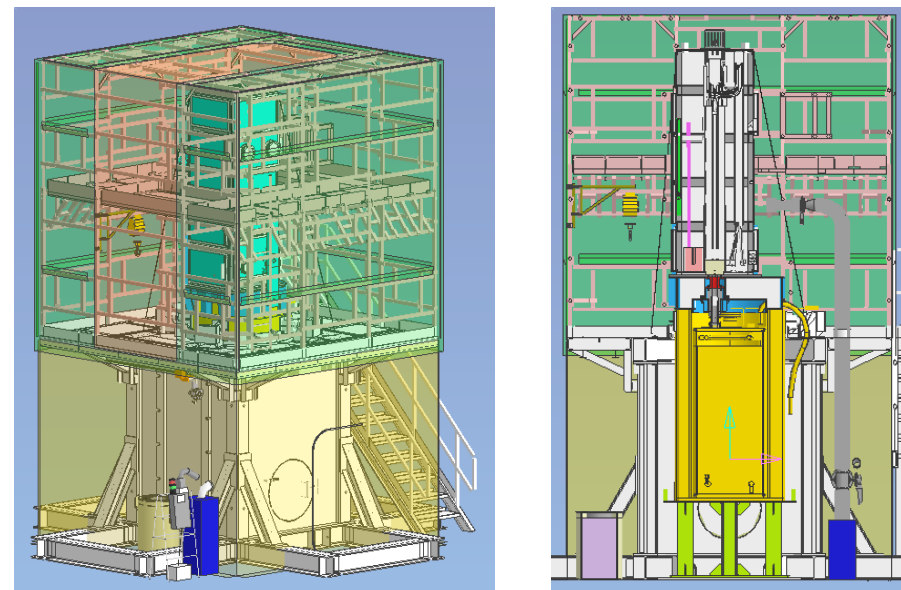


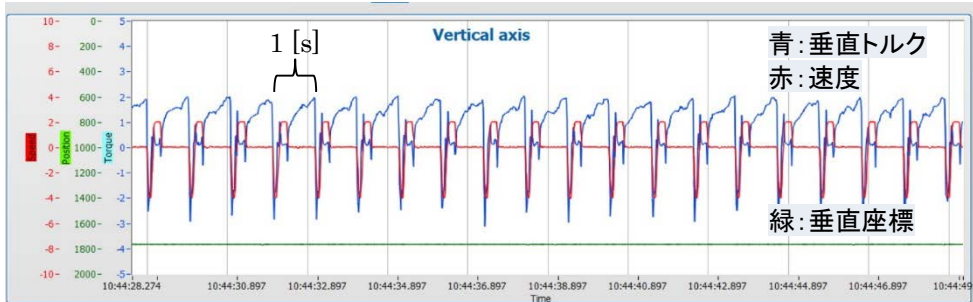
図2 高性能ALPS建屋への試料採取装置配置

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 (b)サンプリング技術の検証

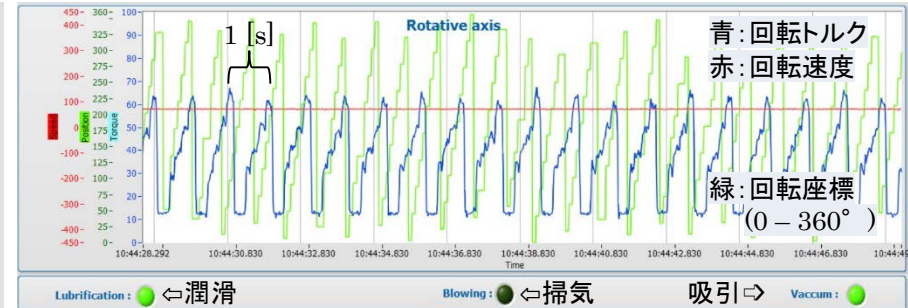
③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) i.オンサイトコールド試験

- 概要
 - ・ 櫛葉MUで未検証の項目について実環境で検証を実施
 - ・ 試料採取後の取扱い手順等, 高リスク作業について追加訓練を実施
 - ・ 試料採取手順に従い, 1F構内の汚染水未通水吸着塔から試料を採取
- オンサイトコールド試験の確認項目と結果

確認項目	方法	結果
穿孔技術	ISMのログからモータトルク変動を確認 内視鏡映像から穿孔部表面状態を確認	実吸着塔において問題なく穿孔できた 穿孔部表面状態は良好であった
試料採取技術	吸着材充填高さについて事前情報と距離計測定値を比較 内視鏡映像, 採取試料の外観確認	吸着材充填高さについて想定範囲内であった 内視鏡映像での試料の見え方を確認した 底面採取式SHで目標量採取可能であった
閉止技術	SARRY吸着塔について, ISMのログと内視鏡映像 KURION吸着塔について, 上記に加え直接目視観察	問題なく閉止栓を取り付けられた
試料採取に係る作業量, 作業時間	計時した作業時間と事前に計画した作業時間を比較評価	作業手順の効率化が図られた
作業従事者の被ばく量	作業時間と線量率評価値から算出し, 再評価	本試験結果から作業時間と線量を見直した



a) 垂直軸モータ (約1[cycle/s]で上下動)



b) 回転軸モータ (70 [rpm]で連続回転)

図1 φ60穿孔中のISMログ画面

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 (b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) i.オンサイトコールド試験

■ クレーン, クレーン遠隔操作

- 吸着塔フック確認用USBカメラの追加
 - KURION吸着塔は構内輸送の際にトレーラ上の遮蔽容器に装荷されるためフックをクレーン操作者が直接目視できない(図1)。そこで新たにカメラを配置し, 映像によりフックを確認可能とした(図2)。
- クレーン設備と試料採取装置の干渉有無の確認(図3)
 - クレーンの揚程と必要揚程の評価は適切であり, 計画どおりKURION, SARRY両吸着塔とも問題なく設置できた。
- 玉掛作業場所の見直し(図4)
 - KURION吸着塔の既設遮蔽蓋取外しに関する作業時は上面の遮蔽が弱まる。
 - 当初は作業時間を短縮するためクレーンの動線距離を短くして吸着塔近傍で玉掛する計画としていたが, 作業員の被ばく低減を優先し, 吸着塔から離れた搬入口側のスペースで実施するように作業手順を変更した。
 - これによる作業時間への影響は軽微であった。

床上からフック目視不能

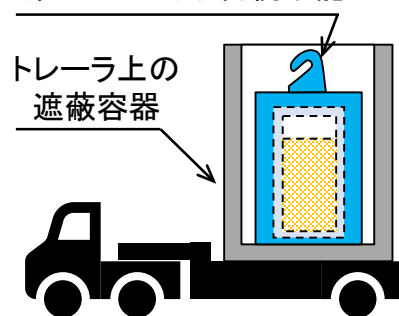


図1 KURION吸着塔
構内輸送イメージ



図2 吸着塔フックのかかり具合の
確認時カメラ映像



図3 クレーン設備との干渉確認

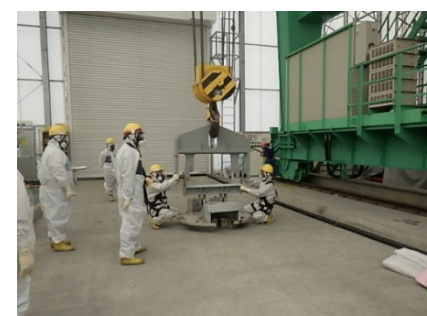


図4 KURION吸着塔
既設遮蔽蓋玉掛作業

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) i.オンサイトコールド試験

■ 放射性ダストの管理方法

- ISM換気ユニット出口等の放射性ダストが想定される箇所について、連続ダストモニタ 3台により連続監視した。
- 作業員が遠隔操作エリアで常時監視できるように警報とダスト濃度を遠隔表示できるシステムを構築した (図1)。
- オンサイトコールド試験中のダスト濃度測定値の揺らぎと管理値から、ホット試験での警報設定値を定めた。



ダスト濃度グラフ表示用液晶モニタ (上)
と警報盤 (下)



データロガー



連続ダストモニタ (3台)

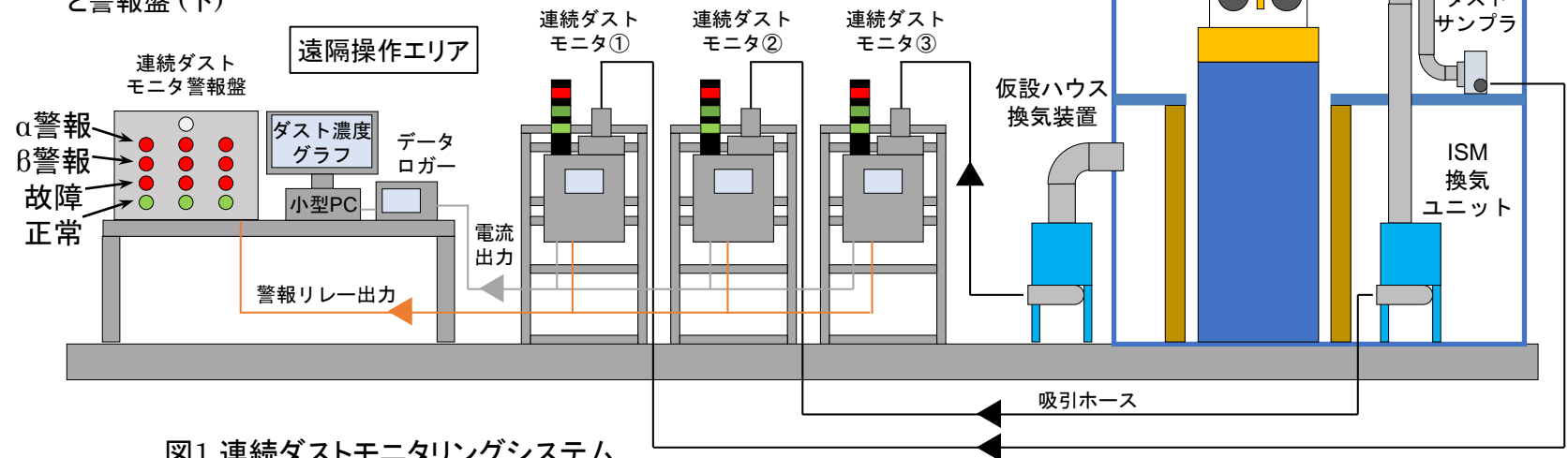


図1 連続ダストモニタリングシステム

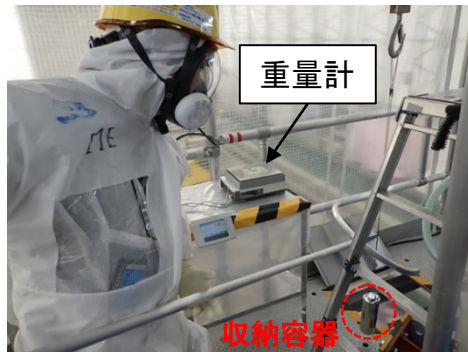
a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 (b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) i.オンサイトコールド試験

■ サンプリングヘッド収納容器※の輸送容器格納訓練

※ 本ページでは以下「収納容器」と記載

- 櫛葉MU時点では未借用であった輸送容器への収納容器格納訓練を実施



仮設ハウス2階で収納容器質量測定後
さすまたで調整しながら1階へ下降



仮設ハウス1階へ下降中の
収納容器を2階から撮影



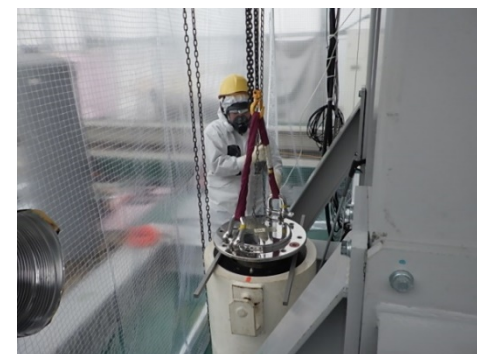
収納容器を輸送容器内容器の所定位置
に格納するためマジックハンドで微調整



収納容器を輸送容器に格納後、
吊具を切離し



輸送容器に格納した収納容器を
仮設ハウス2階から撮影



輸送容器 蓋仮置き状態

収納容器を輸送容器に格納するまでの流れ (撮影日:2023/2/6, 習熟訓練)

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 (b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) i.オンサイトコールド試験

■ 仮設ハウス内と遠隔操作エリアの音声通話システムの構築 (図1)

- 遠隔操作エリア⇒仮設ハウス
 - カメラコントローラに接続した卓上マイクに発話し, カメラ内蔵スピーカーで受話
- 仮設ハウス⇒遠隔操作エリア
 - オンサイトコールド試験時はカメラ内蔵マイクに発話しカメラコントローラに接続した卓上スピーカーで受話していたが, ノイズが大きく聞き取りにくかった。
 - カメラ内蔵マイクの性能と環境ノイズが仮設ハウス幕体で反響したことによる影響と考えられる。
 - より高品質な拡声器スピーカ, 有線マイクによる通話システムを構築した。

⇒ 良好な音声通話システムが構築できた

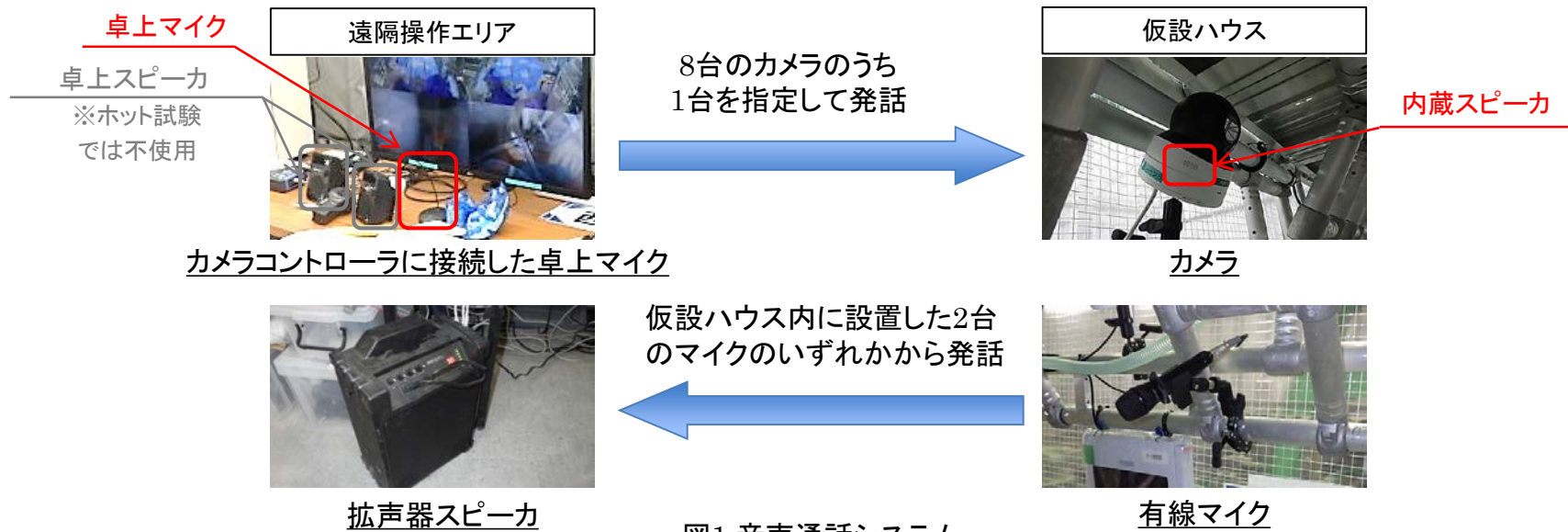


図1 音声通話システム

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) ii. 試料採取 (ホット試験)

■ 概要

- ・ 選定したSARRY, KURION使用済吸着塔から開発した工法により試料採取を実施した。
- ・ 採取ごと作業手順や線量評価の妥当性を見直し, 更新した。

■ ホット試験の確認項目と結果

確認項目	方法	結果
穿孔技術	ISMのログからモータトルク変動を確認 内視鏡映像から穿孔部表面状態を確認 閉止栓取付可否を評価 穿孔刃の外観異常有無を確認	吸引経路への切削片の閉塞が生じたため切削油 噴霧量の調整と垂直トルク上昇時の予防的清掃を 手順に追加 実吸着塔において十分な精度で穿孔できた
試料採取技術 - 実吸着材の状態確認 ・ 充填高さ ・ 含水状態 ・ 粒子状態	使用済吸着材に対するサンプリングヘッド の妥当性確認 ・ 距離計による吸着材表面位置の測定 ・ 内視鏡映像による外観観察 ・ 内視鏡映像による外観観察・採取性	全吸着塔について距離計による位置測定を実施, KURION吸着塔のうち珪砂について採取不能と 判断できた 内視鏡映像から吸着材の流動性を評価し全吸着 材について底面採取式サンプリングヘッドを採用
閉止技術	プログラムどおり閉止が完了すること ISMのログと内視鏡映像	全吸着塔について適切に閉止栓を取り付けられた SARRY吸着塔について閉止後適切に補修遮蔽 栓を設置できた
試料採取に係る作業量, 作業時間	作業時間の測定値と事前に計画した作業 時間を比較評価	線量計のログデータから, 穿孔中の空間線量率の 変化を確認した
作業従事者の被ばく量, ダスト管理の妥当性の確認	実測された被ばく量, ダスト濃度	線量率の実測値と事前評価値を比較し, 評価の妥 当性を確認し, 採取ごと手順や被ばくの見直しを 実施した
採取試料の受け渡し等の運用性	収納容器を輸送容器に収納し, 上部の空 間線量率を測定	過剰被ばく無く作業を完了した ダスト発生なく作業を完了した

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 (b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) ii. 試料採取 (ホット試験)

- 水素濃度の測定
穿孔時の火花発生等による水素引火リスクがないことを確認するため、水素濃度測定を実施した。

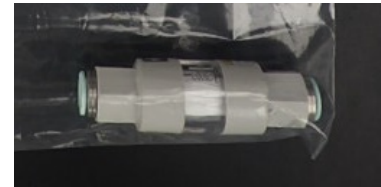
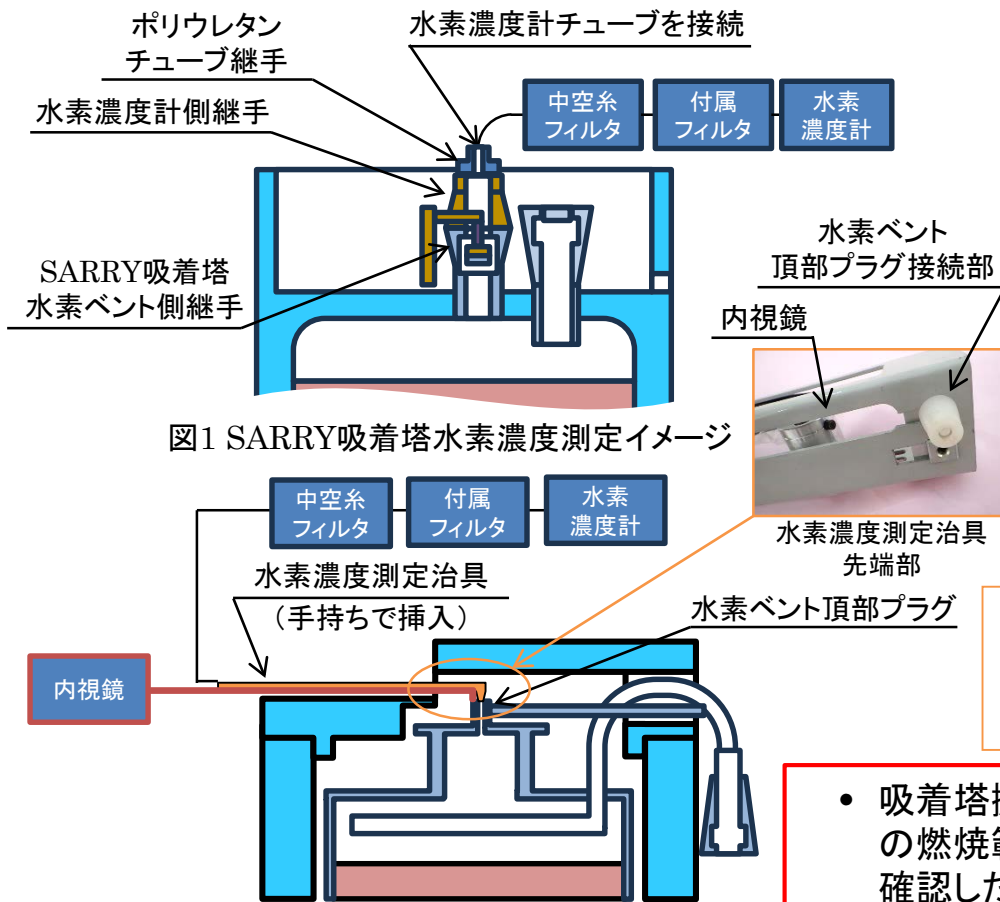


図3 中空系フィルタ
(使用後の表面線量率はBG同等)



図4 水素濃度計
理研計器(株) GX-8000

表1 各SARRY吸着塔の水素濃度測定結果

	IE96小	IE96大	IE911
水素濃度測定値 [*] [vol%]	0.08	0	0

表2 各KURION吸着塔の水素濃度測定結果

	AGH	H小	H大	TSG	珪砂
水素濃度測定値 [*] [vol%]	0	0.04	0.84	0	0.12

^{*}水素濃度測定値の表示分解能: 4vol%未満のとき 0.04vol%
水素濃度測定値の指示精度 : 4vol%未満のとき ±0.2vol%

KURION吸着塔は水素濃度測定位置である頂部プラグ周りの線量率が高いため、設計開発した内視鏡付きの水素濃度測定治具を用いて実施。

- 吸着塔搬入時に水素濃度を測定し、いずれの吸着塔も水素の燃焼範囲の下限濃度 4[vol%] を十分下回っていることを確認した。

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 (b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) ii. 試料採取 (ホット試験)

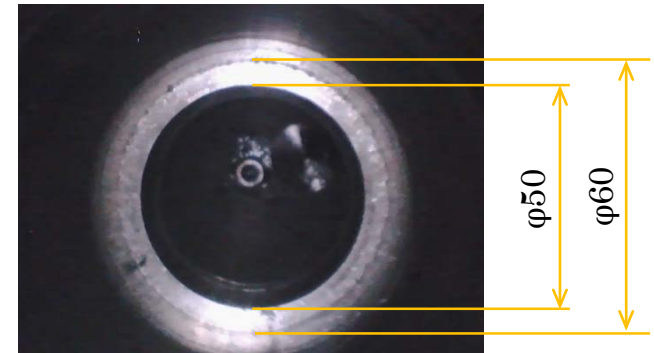
■ 【穿孔】穿孔ステップ (写真はいずれもSARRY IE96小)



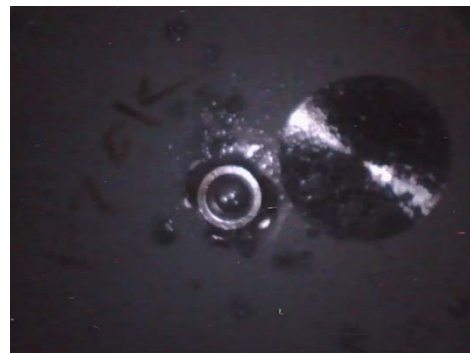
穿孔前フランジ表面状態



放射線による輝点
φ60穿孔後
以後, 内視鏡観察時に
放射線による輝点が観察された



φ50穿孔後
段付き穴が正常に形成されて
いることを確認



φ50穿孔貫通後の溶接底板上面
吸引を継続して貫通したため,
切削片の落下はほぼなし



φ40 穿孔貫通後
貫通前に吸引回収を停止しているため切削片が落下
刃先が空間的に開けてることから溶接底板上に切削片が残留



吸着材上に落下した切削片

} 予定どおり

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 (b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) ii. 試料採取 (ホット試験)

■【穿孔】穿孔穴の清掃

- 試料採取後、穿孔穴の段付き部に閉止栓を取り付ける。
- 閉止栓の取付けの際、装置の垂直駆動力により閉止栓を座面に押付けて摩擦力を発生させ、供回りを防止する。その際に切削片による閉止栓シール部の損傷や油分の残留による摩擦不足を防止するため、閉止栓取付前に穿孔穴の拭き上げ清掃を実施した。
- 事前評価に基づきフェルトバフによる拭き上げ清掃を3回実施し、良好な表面状態となった。



※清掃の都度バフは交換

➡ 事前評価どおり、3回の拭き上げ清掃によって閉止栓取付位置である段付き部が清掃されたことを確認した

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 (b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験(1F構内) ii. 試料採取(ホット試験)

■【穿孔】穿孔中のモータトルク変動と吸引不良事象(SARRY IE96小)

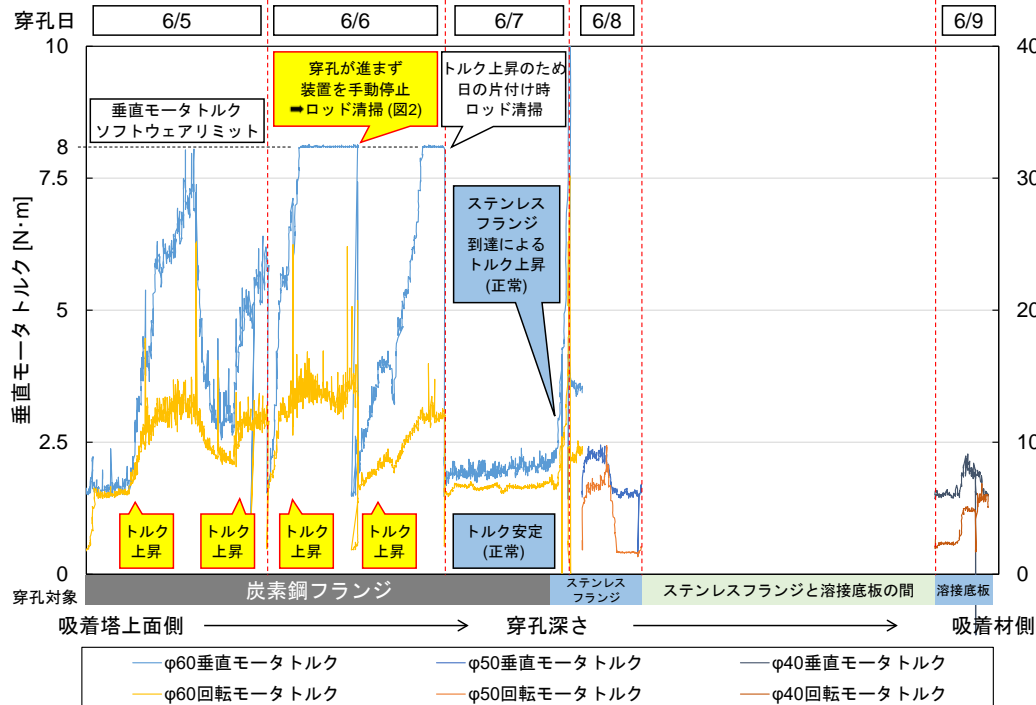


図1 SARRY IE96小 穿孔中の垂直モータ、回転モータのトルク変化

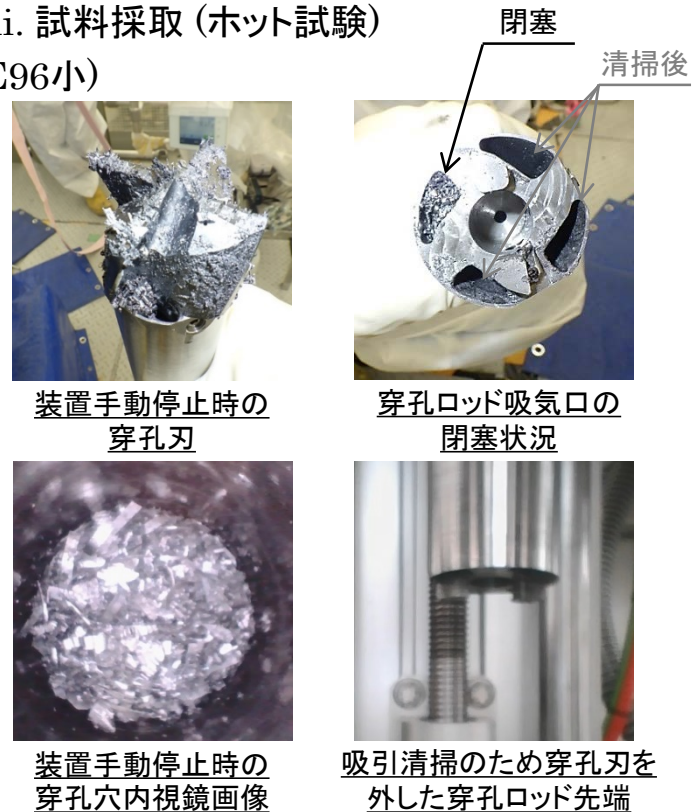


図2 装置手動停止後のロッド清掃時撮影画像

- 予定日数で穿孔を完遂し穴の仕上りは良好であったが、積層フランジの穿孔中、垂直／回転モータのトルク上昇が見られた。
- 垂直モータトルクがソフトウェアリミット到達した際、ISMの自動調整機能により穿孔が継続したが、その後穿孔が進まなくなったためISMを停止した。
- 穿孔ツール及び穿孔穴を確認したところ、穿孔ツールに切削片が詰まり吸引不良が生じていた。
- ISM側の点検を実施し、吸引回収ユニットの動作は正常であり流路に目詰まりは無いことを確認した。

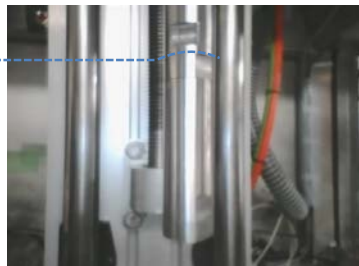
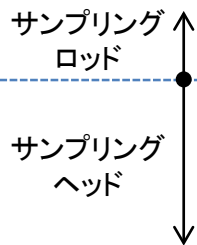
➡ 以後の吸着塔穿孔時は、垂直トルクが 7 N·m を超えたら予防的にロッドの清掃を実施することとした

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 (b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) ii. 試料採取 (ホット試験)

■ 【採取】試料採取前後のサンプリングヘッド表面状態 (SARRY IE96小)

※1 本ページでは「サンプリングヘッド収納容器」を「収納容器」と記載
※2 オンサイトコールド試験で撮影した写真



採取前サンプリングヘッド



採取後サンプリングヘッド



収納容器挿入※2



サンプリングヘッド分離
(一部人手作業)※2



収納容器蓋閉め
(人手作業)※2

図1 試料採取前後のサンプリングヘッド表面状態とサンプリングヘッド収納容器(収納容器※1)への収納までの様子

- サンプリングヘッド表面に若干の試料付着が見られたが、目視で分かる試料の飛散や収納容器外面の汚染は無かった。
- SARRY IE96小ではISM底面スミアで最大18 kcpm の汚染が検出されたが、濡れウエスによる除染にてND となった。
- この除染に伴う作業被ばくは無かった。

■ 【採取】ISMから収納容器の取出し、輸送容器への格納



収納容器上面スミア採取



ISMから収納容器取出し



収納容器線量率測定



収納容器側面・底面
スミア採取



収納容器質量測定



収納容器を
輸送容器へ格納※2

図2 収納容器の取出しから輸送容器への格納までの様子

➡ 採取試料取扱いに際し、適切に汚染拡大防止、被ばく防止できた

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 (b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) ii. 試料採取 (ホット試験)

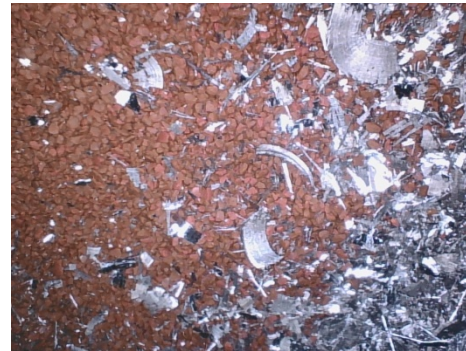
■ 【内視鏡観察】吸着材採取前後の表層状態 (SARRY吸着塔)

IE96小

IE96大

IE911

試料採取前



試料採取後

試料採取径: 約35mm



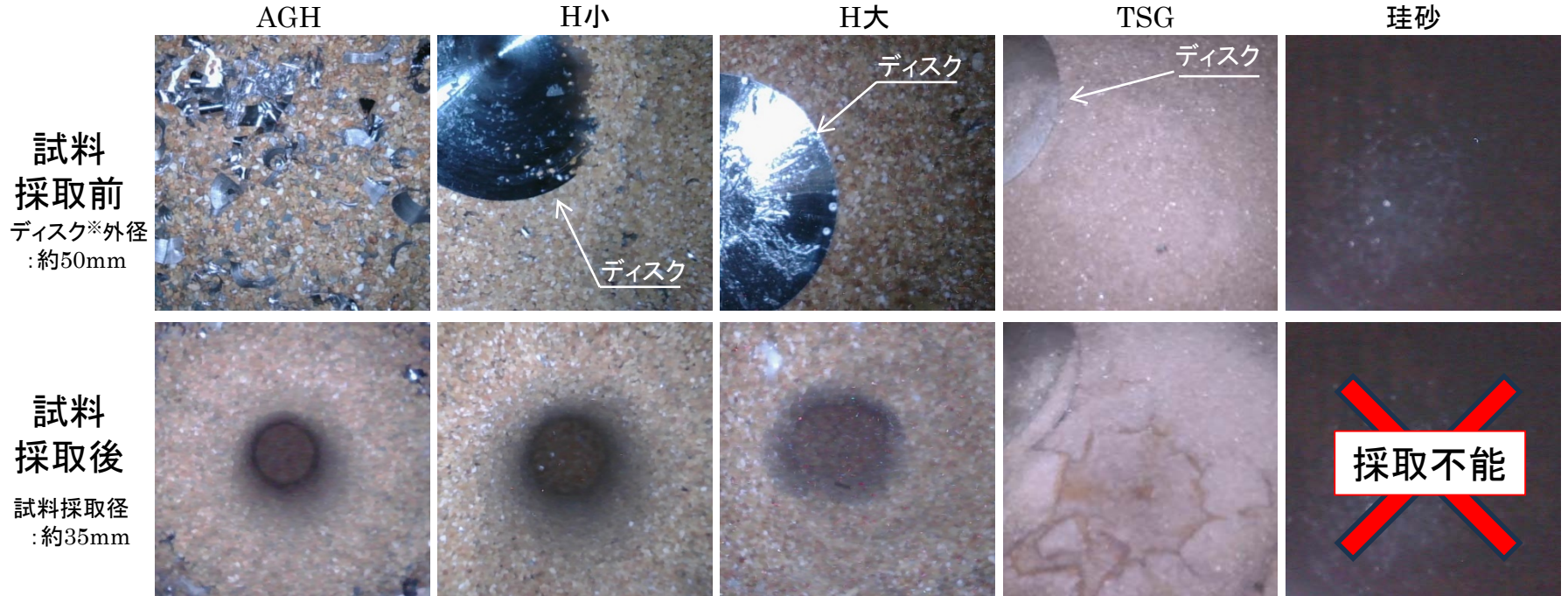
- いずれの吸着材でも内視鏡映像には放射線に起因する輝点が見られ、特に線量が高いIE96大で多く観察された。
- 採取前の吸着材表面外観について、IE96は全体が茶色の粒状であるに対してIE911は白色の粒と薄茶色の粘土が混合している状態として観察されたが、採取後の窪みの様子は同様であることから採取性は同等であったと評価した。

a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(b) サンプルング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) ii. 試料採取 (ホット試験)

■ 【内視鏡観察】吸着材採取前後の表層状態 (KURION吸着塔)



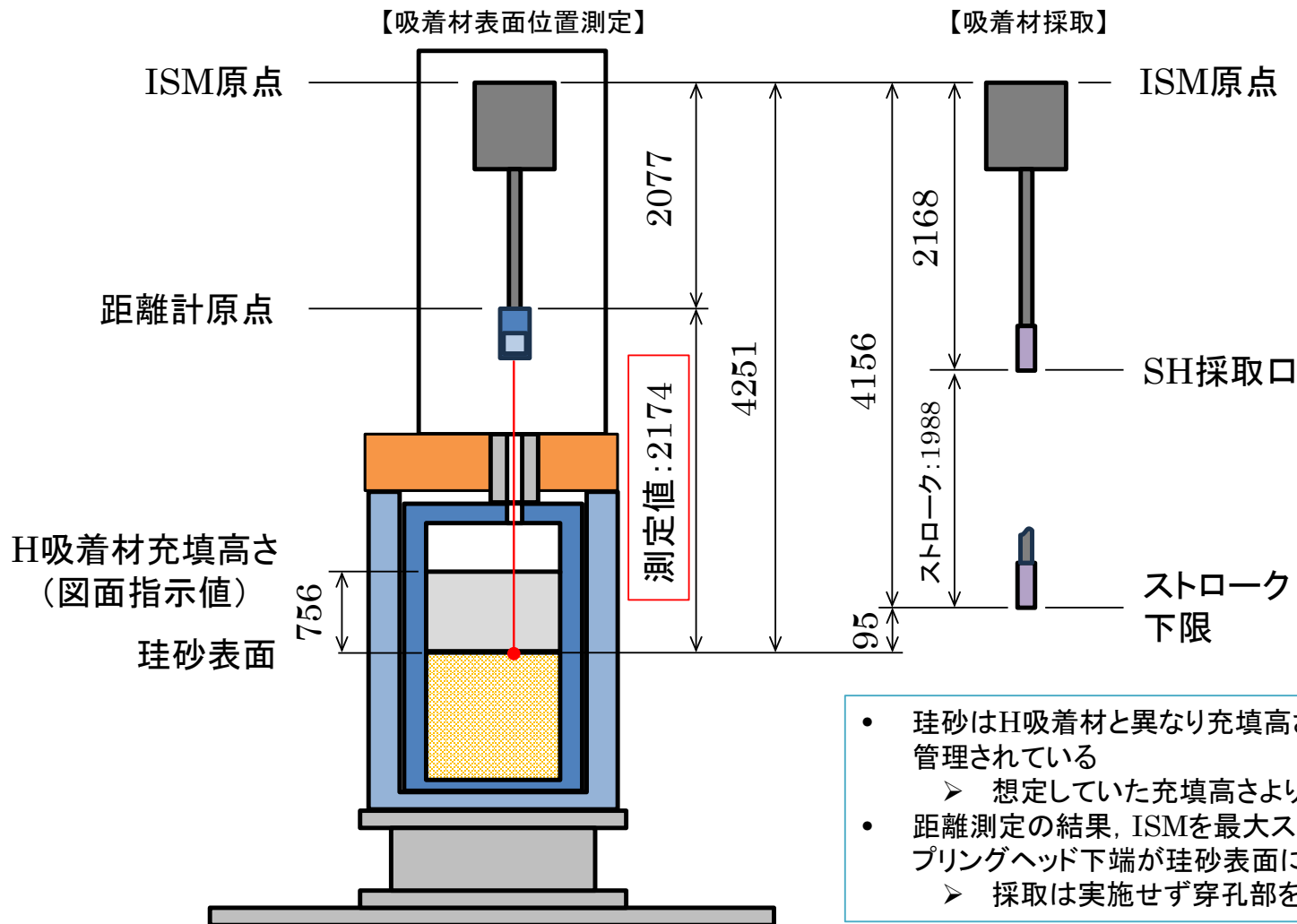
※ディスク: 吸着塔を貫通する際に穿孔穴と同径の円盤状となり落下した吸着塔の一部

- いずれの吸着材でも内視鏡映像には放射線に起因する輝点が見られ、特に線量が高いH大で多く観察された。
- H小とH大を比較すると、H大の方が採取後の穴の境界が不明瞭に見える。
H大は通水後の経過時間が長く発熱量が多いことから吸着材表面の乾燥が進行し、流動性が高くなったことを示唆する。
- 珪チタン酸塩系吸着材であるTSGは採取前の内視鏡画像で他の吸着材と色味の差異が観察された。
採取後の内視鏡画像から、Hと異なり採取穴周囲にひび割れのような外観変化が生じたことが観察された。
これは、ゼオライト系吸着材と物理的性質が異なることによると考えられる。
採取質量は同等であるが (p.46参照)、比重差から採取体積は他の吸着材より若干少ないものと予想される。
- 珪砂は吸着材充填高さが低く、内視鏡撮影時の光量が不足し、離隔しており焦点が合わなかった。
また、採取ツール装着時のISMのストローク下限より充填高さが低いため、採取不能と判断した (p.45 参照)。

a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 (b) サンプルング技術の検証

③ 吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) ii. 試料採取 (ホット試験)

■ 【穿孔後の吸着材表面位置測定】珪砂吸着塔採取不能事象について



a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) ii. 試料採取 (ホット試験)

■ 【採取】採取試料の質量及び伸縮式線量率計による測定値と換算したサンプリングヘッド収納容器※1表面線量率

表1 各吸着塔からの試料採取量及び線量率

※1 本ページでは以下「収納容器」と記載

吸着塔	採取日	採取試料質量 [g]	伸縮式線量率計測定値※2 [mSv/h]	収納容器表面線量率換算値 [mSv/h]	収納容器表面線量率事前評価 [mSv/h]	事前評価の妥当性	
S A R R Y	IE96小	6/12	3.68	1.50 (高線量プローブ)	24	9.8 – 30	想定範囲
	IE96大	7/19	2.43	3.85 (高線量プローブ)	62	34 – 117	想定範囲
	IE911	7/31	6.82	0.132 (低線量プローブ)	0.92	3.9 – 14	過大
K U R I O N	AGH	9/6	17.97	0.200 (低線量プローブ)	1.4	0.21 – 0.83	過小
	H小	9/14	16.12	3.95 (高線量プローブ)	63	1.9 – 3.3	過小
	H大	9/27	—	15.3 (高線量プローブ)	250	63 – 107	過小
	TSG	10/4	14.60	0.86 (低線量プローブ)	6.0	1.2 – 2.7	過小
	珪砂	10/13	吸着材充填高さ測定結果から採取不能と判断 (→ p. 45参照)			0.81 – 2.9	—

※2 伸縮式線量率計測定位置のBGは微小であったため、測定値をそのまま採用

- SARRY吸着塔では3mLのサンプリングヘッド、KURION吸着塔では20mLのサンプリングヘッドを使用して採取を実施した。
- 珪砂を除き、目標量の試料採取を実施できた。
- 事前評価として、吸着塔表面線量率の実測値から解析コードにより吸着材放射能及び収納容器表面線量率を推定した。
- 伸縮式線量率計測定値を収納容器表面線量率に換算 (pp.65-66参照)して推定した事前評価値と比較したところ、想定範囲であったもの、事前評価が過大であったもの及び過小であったものが存在した。差異の要因の一例として以下が考えられる。
 - 事前評価におけるモデル化の不完全さによる差異
 - 使用した伸縮式線量率計の時定数が1秒であり揺らぎが大きいことによる測定誤差
 - 想定した測定値から収納容器表面線量率への換算係数の差
- H大は作業エリアが高線量となる可能性を考慮し、作業員の近接時間を低減するため東電HDと事前協議のうえ質量測定を省略した。

➡ 実測値と評価内容について輸送計画の参考値としてJAEA, 東電HDとデータ共有。

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 (b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) ii. 試料採取 (ホット試験)

■ 【閉止】閉止栓の設置確認

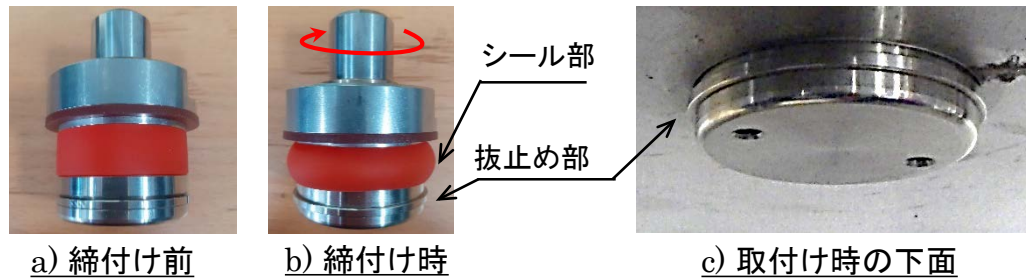


図1 閉止栓の締結イメージ (2021年度オフサイト要素試験時に撮影)

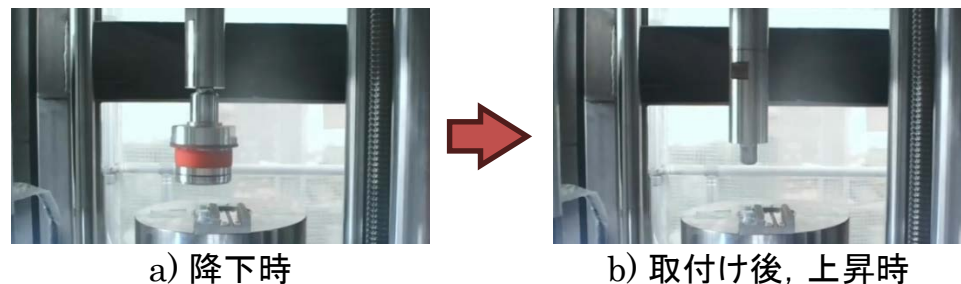


図2 閉止栓取付前後の閉止栓ロッド先端部 (SARRY IE96小)

- 以下により閉止栓が正常に取付けられたことを判定
 - 締付け開始時の垂直座標が、穿孔座標から換算した座標と一致
 - 3回転以内に締め付けトルクが既定値に到達
 - 上昇時、ロッドから閉止栓が外れている
- 全吸着塔について、同様の運轉動作が記録された

➔ 全吸着塔について閉止栓は適切に取り付けられたと評価した

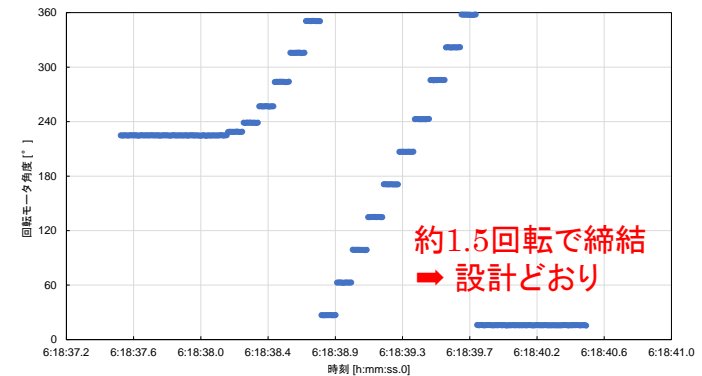


図3 閉止栓締付け中の回転モータ角度変化 (SARRY IE96小)

※ センサの測定範囲が 0 - 360 [°] のためグラフは鋸刃形状
角度は連続変化するがセンサ仕様から測定値はステップ

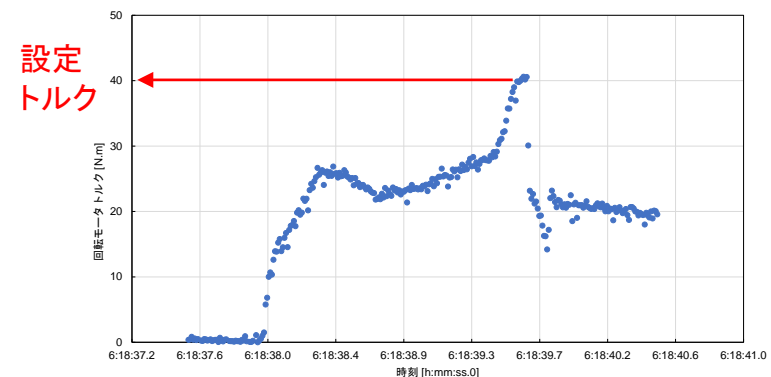


図4 閉止栓締付け中の回転モータトルク変化 (SARRY IE96小)

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 (b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) ii. 試料採取 (ホット試験)

■ 吸着塔8基の検証試験実施後、性状把握事業への試料引渡し



収納容器を輸送容器に格納
(WS 2階より下向きに撮影)

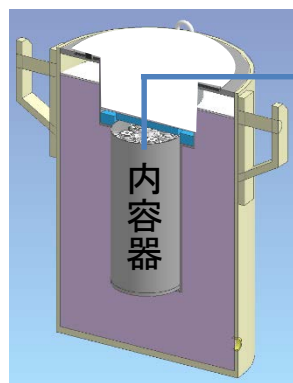


輸送容器引渡し事前サーベイ

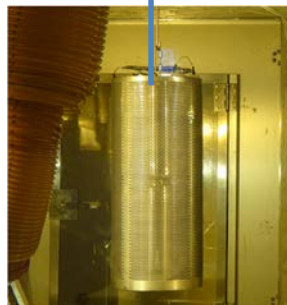


輸送容器の性状把握事業への引渡し
→ 高性能ALPS建屋から搬出

【参考】 性状把握事業による分析施設 (日本核燃料開発株式会社)での採取試料の受け入れ状況 (2023/11/16)



輸送容器
のイメージ



輸送容器用内容器の吊上げ



輸送容器用内容器から収納容器取出し(7検体)

性状把握事業での分析セル内での収納容器取出し (JAEAより受領)

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) ii. 試料採取 (ホット試験)

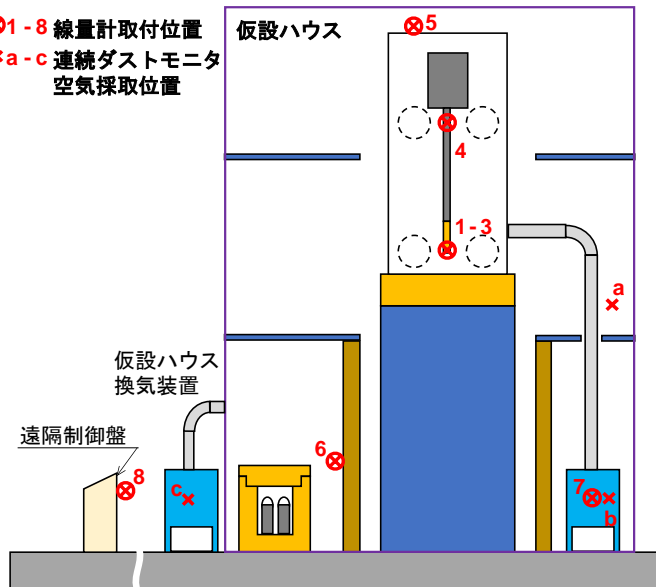
■ 実績線量と線量評価の妥当性評価

- 作業ステップごと作業エリアの雰囲気線量率を評価し、所要人数と所要時間から線量評価を実施した。
- 線量評価値と実績値を比較し、線量評価の妥当性について検討した。
- 作業環境の線量率を把握するため、事前評価において評価点とした座標の近くに線量計を配置し、値を記録した。

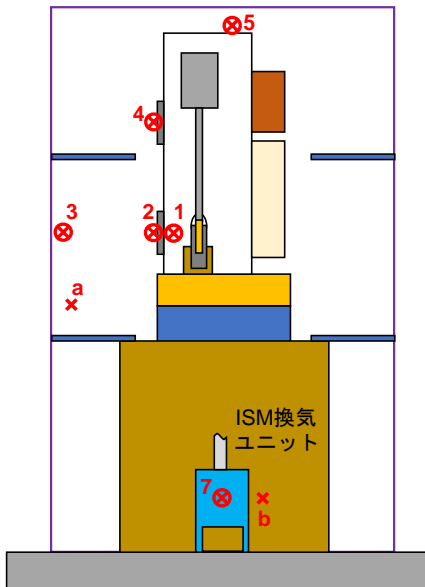
■ 汚染・ダスト管理の妥当性評価

- ダスト発生、汚染拡大を十分抑制するように試料採取工法を開発した。
- 検証試験において表面汚染、ダストの測定を実施し、汚染・ダスト管理の妥当性を評価した。

⊗1-8 線量計取付位置
 ×a-c 連続ダストモニタ
 空気採取位置

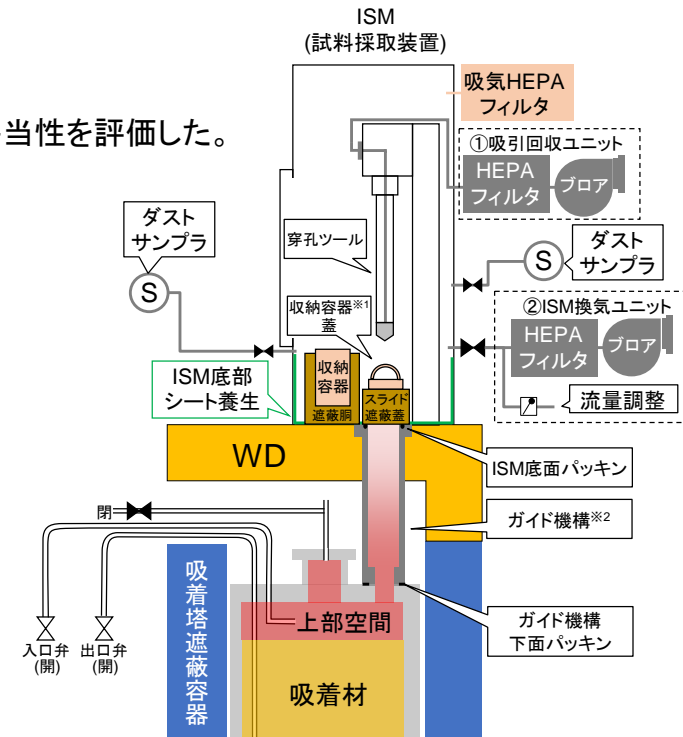


南側 立面概略図



東側 立面概略図

図1 線量計及び連続ダストモニタ空気採取位置



※1 図中でサンプリングヘッド収納容器を収納容器と記載
 ※2 ガイド機構：吸着塔上面と直接接するISMの構成要素で、φ60穿孔開始時の芯振れ抑制のため穿孔刃側面を支持する滑り軸受を持つ

図2 ダスト拡散防止イメージ (吸着塔貫通後)

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) ii. 試料採取 (ホット試験)

■ 吸着塔ごとの作業線量の事前評価値と実績の比較

吸着塔	総線量 [人・mSv (γ)]					個人日最大線量 [mSv (γ)]		
	吸着塔搬入～搬出全体			うち穿孔～閉止		事前評価	実績	
	事前評価 ^{※1}	事前評価改訂	実績	事前評価	実績			
SPRY	IE96小	3.56	—	0.11	2.89 ^{※1}	0.09	0.24 ^{※1}	0.02
	IE96大	9.22	6.72 ^{※2}	0.07	6.26 ^{※2}	0.02	0.68 ^{※2}	0.01
	IE911	2.38	1.64 ^{※2}	0.51	1.32 ^{※2}	0.05	0.06 ^{※2}	0.08
NO-RACK	AGH (3in遮蔽)	4.57	3.24 ^{※2}	0.77	1.24 ^{※2}	0.05	0.13 ^{※2}	0.11
	H小 (7in遮蔽)	1.78	0.69 ^{※3}	0.14	0.34 ^{※3}	0.03	0.02 ^{※3}	0.03
	H大 (7in遮蔽)	26.44	8.91 ^{※3}	1.50	5.38 ^{※3}	0.16	0.38 ^{※3}	0.24
	TSG (7in遮蔽)	1.77	0.69 ^{※3}	0.02	0.33 ^{※3}	0.02	0.02 ^{※3}	0.01
	珪砂 (3in遮蔽)	13.32	6.71 ^{※3}	6.34	1.86 ^{※3}	0.28	0.43 ^{※3}	0.66

【線量評価】

• 実績線量はいずれも事前評価値を下回った。その要因は以下が考えられる。

- 事前評価より吸着塔や収納容器から隔離し作業できた。
- 作業に習熟し、吸着塔や収納容器の近接作業を短時間で終えた。
- 評価モデルで未考慮の構造物 (モータ等) による遮蔽効果により穿孔後の線量上昇が小さかった。
- 作業実績と習熟に応じて作業係数を調整して事前評価値を更新しているが、なお過大であった。
- サンプリングヘッドの分離時、試料内包位置を収納容器及び遮蔽胴で十分遮蔽した状態で作業できた。

※1:放射線管理計画書 改訂03 (2023/ 5/23)

※2:放射線管理計画書 改訂04 (2023/ 6/29)

※3:放射線管理計画書 改訂07 (2023/ 9/ 8)

➡ 採取作業における作業線量について事前評価が十分保守的であることを確認した。また、乖離要因について知見を得た。

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) ii. 試料採取 (ホット試験)

■ 乖離要因の詳細検討: SARRY IE96小の各作業日の計画と実績の比較

day	手順	計画 (改訂03)				実績				計画-実績 [人・mSv]
		従事者数 [人]	総作業時間 [※] [人・h]	総線量 [人・mSv]	平均線量率 [mSv/h]	従事者数 [人]	総入域時間 [※] [人・h]	総線量 [人・mSv]	平均線量率 [mSv/h]	
1	SARRY吸着塔の搬入・設置	22	28.5	0.147	0.005	19	46.3	0.02	0.000	0.127
2	WD, ISM設置	12	16.0	0.114	0.007	13	38.7	0.00	0.000	0.114
3	吸着塔へのφ60穿孔①	16	34.9	0.239	0.007	14	48.1	0.00	0.000	0.239
4	吸着塔へのφ60穿孔②	16	34.3	0.491	0.014	13	46.3	0.01	0.000	0.481
5	吸着塔へのφ60穿孔③	16	35.8	0.680	0.019	14	49.0	0.01	0.000	0.670
6	吸着塔へのφ50穿孔	16	33.1	0.387	0.012	14	52.9	0.00	0.000	0.387
7	吸着塔へのφ40穿孔	16	30.6	0.273	0.009	15	69.8	0.03	0.000	0.243
8	試料採取	16	28.4	0.636	0.022	18	61.6	0.02	0.000	0.616
9	穿孔部への閉止栓取付	16	18.6	0.187	0.010	15	43.4	0.02	0.000	0.167
10	ISM, WD撤去	12	11.6	0.088	0.008	14	30.2	0.00	0.000	0.088
11	SARRY吸着塔の撤去・搬出	22	30.2	0.188	0.006	21	40.1	0.00	0.000	0.188
12	メンテナンス①	16	20.0	0.064	0.003	14	24.4	0.00	0.000	0.064
13	メンテナンス②	16	20.0	0.064	0.003	13	22.6	0.00	0.000	0.064
			合計	3.555			合計	0.11		3.445

※事前評価における総作業時間は入退域に係る時間を含まない作業時間。

実績評価における総入域時間は入退域にかかる時間を含む総入域時間であり、作業時間に対して入域時間は1～2[h/(人・回)]程度長い。

■ 乖離要因

- 全作業日に共通する乖離要因として以下が挙げられる。
 - 計画線量は安全側で評価するため小数第4位を切上げ小数第3位まで有効としたが、実績値は有効数字2桁であることにより丸め誤差が生じた。
 - 作業エリアのBGは実測値の切上げで設定した値であり、さらに作業係数を乗じたことにより平均線量率が過大
- φ60穿孔③と試料採取日の乖離が相対的に大きかった。
 - 事前評価より実作業では線源から作業員が離隔し、線源近接作業時間を短縮できた。

a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(b) サンプルング技術の検証

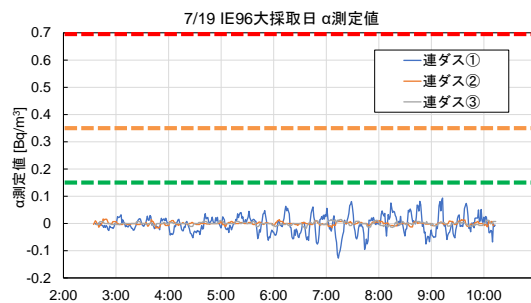
③ 吸着塔実機を対象とした検証試験(1F構内) ii. 試料採取 (ホット試験)

■ 試料採取日における作業エリアのダスト測定値

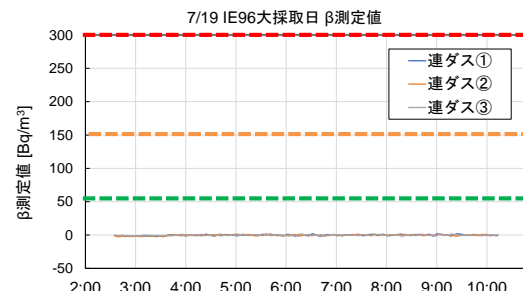
- 作業環境のダスト濃度管理値を表1に示す。
- SARRY IE96大採取日のダスト濃度の測定値を図1に、KURION H大採取日のダスト濃度の測定値を図2に示す。
- α 測定値の揺らぎは測定誤差による。
- 全期間を通じて有意なダスト発生は見られなかった。

表1 作業環境のダスト濃度管理値

測定位置	核種	管理値 [Bq/m ³]	警報値 [Bq/m ³]
仮設ハウス内	α	0.70	0.35
... 連ダス①, ②	β	300	150
仮設ハウス外	α	0.35	0.15
... 連ダス③	β	150	50



① α 測定値



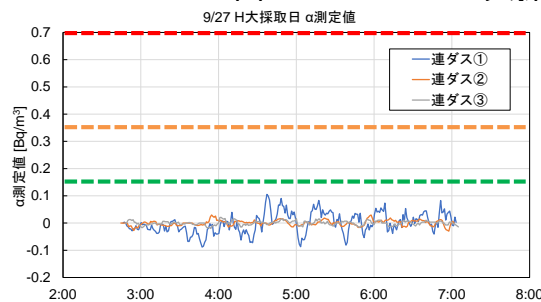
② β 測定値

仮設ハウス内管理値

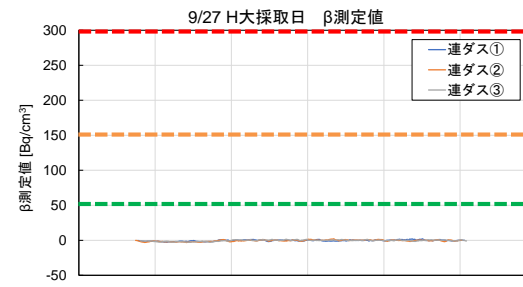
仮設ハウス内警報値
／仮設ハウス外管理値

仮設ハウス外警報値

図1 SARRY IE96大採取日の放射性ダスト測定値



① α 測定値



② β 測定値

仮設ハウス内管理値

仮設ハウス内警報値
／仮設ハウス外管理値

仮設ハウス外警報値

図2 KURION H大採取日の放射性ダスト測定値

※連続ダストモニタを連ダスと表記

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 (b)サンプリング技術の検証

③吸着塔実機を対象とした検証試験 (1F構内) ii. 試料採取 (ホット試験)

■ 作業中の汚染管理状況等について

- H大について、収納容器表面のスミア測定にて1kcpm程度の汚染が見られた。
マジックハンドと濡れウェスにより収納容器と距離を取って表面を拭き取り、NDまで除染できた。
- その他の吸着材について、収納容器表面に汚染は検出されていない。
- 試料採取後のISM内面について汚染が検出される場合があるが、メンテナンス時の濡れウェス等の拭き取り除染にてNDまで除染できている。

■ 作業中のダスト管理状況等について

- 吸引回収ユニット、ISM換気ユニット及び仮設ハウス換気装置等のHEPAフィルタ付き換気系について、汚染や有意な線量上昇は生じていない。
- 連続ダストモニタ、ISM内のダストサンプラについて有意なダストは検出されていない。
- 水素濃度測定時に使用した中空糸フィルタの表面線量率はBGと同等程度であった。
- 試料採取日の連続ダストモニタ測定値について次ページに示す。

➡ 適切に汚染・ダスト管理できているものと評価

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発

(b)サンプリング技術の検証

④サンプリング技術の今後の課題と対策案

A) 充填高さの低い吸着材試料採取工法の開発

吸着材充填高さの低い吸着塔として、採取対象吸着塔の選定時点で対象外としたSARRY サンドフィルタや、ホット試験時の吸着材表面位置測定で装置が対応しないことが明らかとなったKURION 珪砂がある。

その課題に対し、以下の対策案の適用が考えられる。

- 対策案1: ロッド延長機構を持つサンプリング装置 (図1)
 - 2015-2018年度に概念検討を実施(ただし穿孔/閉止装置と採取装置が別体)
 - 複数のロッドを遠隔自動延長することで深部の吸着材採取を可能とする機構にした。
- 対策案2: 伸縮式サンプリングロッド (図2)
 - 2020年度、サンプリングツールの設計過程でアクチュエータとスライドレール構造のロッドによる2段伸縮機構の基本設計を実施

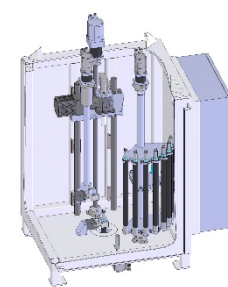
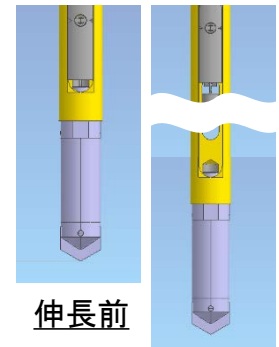


図1 ロッド延長機構



伸長前

伸長後

図2 伸縮式サンプリングロッド

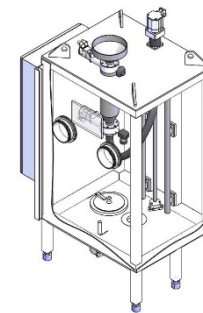


図3 鉛粒回収・再充填装置

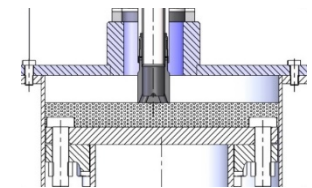


図4 穿孔ツールによる鉛粒回収案

B) 穿孔部の遮蔽方法が異なるSARRY吸着塔への対応

SARRY吸着塔の吸着材充填口は製造ロッドによって遮蔽構造に差がある。本装置で穿孔可能な吸着塔は初期のフランジの積層による遮蔽構造の吸着塔に限定されている。しかし、Cs/Sr同時吸着塔等の中で多数使用されている鉛粒充填による遮蔽構造の吸着塔に対応していないことが課題である。その対策案として以下の適用が考えられる。

- 対策案1: 鉛粒回収・再充填装置の設計開発 (図3)
- 対策案2: 穿孔ツールの吸引回収機能による鉛粒回収 (図4)
 - いずれも2015-2018年度に概念検討を実施
 - 本事業にて鉛粒の吸引回収試験を実施し吸引回収可能であることを確認 (図5)
 - 鉛粒回収作業中の上部遮蔽が課題



図5 鉛粒吸引回収試験

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 まとめ

■ 本事業の成果

- ✓ セシウム吸着塔実機から吸着材を採取する際に必要な付帯機器を設計・製作し、検証試験を通じて有効に機能することを確認した。
- ✓ セシウム吸着塔実機を用いてNARRECでの習熟訓練、1F構内でのオンサイトコード試験及び使用済吸着塔からの試料採取を実施した。穿孔、採取、閉止等の検証試験を行い、サンプリング技術に係る検証結果を示し、セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の有効性を実証した。

■ 今後の課題など

- ✓ 吸着材充填高さの低い吸着塔の試料採取技術の開発や、本事業での採取対象とは異なる型式の吸着塔からの吸着材採取技術の開発
- ✓ 性状把握事業による試料の分析の後、新たに示される採取要件に対応する吸着材採取技術の開発

a.セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発 まとめ(目標に照らした達成度)

項目 (目標達成の判断基準となる指標)	TRL		参照 シートNo.
	目標	結果	
(a) 吸着材の採取に必要な付帯機器の設計・製作			
① 汚染拡大防止に係る機器の設計・製作がなされている。	6	6	p.18, p.19
② 被ばく低減対策に係る機器の設計・製作がなされている。	6	6	p.20, p.21, p.22
③ 試料の収納容器に係る機器の設計・製作がなされている。	6	6	p.23, p.24, p.25
(b) サンプリング技術の検証			
・ セシウム吸着塔実機を用いた穿孔、採取、閉止等の検証試験を行ない、 サンプリング技術に係る検証結果が提示されている。	6	6	p.39, p.40, p.42, p.46, p.47 p.50, p.51, p.52

3. 研究開発の運営※

※本研究開発全体(”a. セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発”と”b. 固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発”の2項目)に係る「研究開発の運営」を示す。

～ 叡智の結集, 廃炉産業集積, 人材育成～

■ 国内外の叡智の結集

- IRIDにて委嘱している外部の専門家等をレビュアーとし, 本年度研究開発実施事項の計画, 実施方法, 進捗状況等に係るデザインレビュー(IDR), 並びに作業会(WG)を実施。

2022/6/24 α 表面汚染計測技術開発IDR: 模擬パラメータの検討状況のレビュー

2022/8/23 Cs吸着塔からのサンプリング技術開発IDR: 装置適用性及び試験計画のレビュー

2022/11/25 α 表面汚染計測技術開発WG: 中間成果の確認

2023/3/28 α 表面汚染計測技術開発IDR : α 汚染測定システム性能確認結果のレビュー

■ 福島への廃炉産業集積, 福島イノベーション・コースト構想の実現

- 廃炉関連産業への地元企業参画を進めるため, 福島県浜通り地域等の地元企業と協働することの検討を行い, 「セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発」に係る試験装置製作の一部等を地元企業4社と協働で実施。

■ 中長期的視点での人材育成

- 日本保全学会 第18回学術講演会(2022/7/14)にて α 汚染遠隔計測に関する2件の講演(α 汚染遠隔計測装置における環境放射線の影響評価, 及び α 汚染遠隔計測におけるカラー情報を利用した3次元空間再構築技術の開発)を実施し, 理解促進及び啓発活動を実施。
- IRIDホームページにて研究開発成果等の掲載を行い, 研究成果や今後の計画の紹介を通して理解促進及び啓発活動を実施。

～ 条件・仕様の明確化，指標の設定，他の研究開発との連携 ～

■ 試験条件や開発仕様の明確化

- 関係者間で 事業のアウトプット内容等の意見交換を行い，試験条件や仕様の明確化を図った。

■ 目標達成を判断する指標の設定

- 着手にあたって，事業の目標達成の判断基準となるべき指標の検討を行い，目標とする技術成熟度(TRL)を設定。

■ 廃炉作業や他の研究開発との連携

- 関連プロジェクト間にて定期的な打合わせを実施することにより，各プロジェクトの進捗状況，及び課題などに関する情報を共有した。また，これまでに構築している事業計画や成果の情報管理を共有化するしくみを継続活用。
- 燃料デブリ取り出しに伴い発生する固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発を遺漏なく推進するため，収納缶プロジェクト※¹及びデブリ取り出しプロジェクト※²等との意見交換・情報共有を実施。
- 関連プロジェクト※³間で得られた成果が廃炉作業や研究開発事業にどのように寄与するのか整理し，連携・協力を実施。

※¹ 収納缶プロジェクト:「燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発」プロジェクト

※² デブリ取り出しプロジェクト:「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発」プロジェクト

※³ 関連プロジェクト: 令和4年度開始廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)

～ 研究管理，事業の報告，情報発信，代替案 ～

■ 研究の管理

- 本事業に係る関係者が一同に会した会議(プロジェクト調整会議)を毎月定期的で開催し，研究開発の進捗状況を共有するとともに，発生した問題点などについての解決方針などを討議。

〔 2022年4月11日，5月9日，6月6日，7月4日，8月1日，9月5日，10月3日，11月7日，12月5日
2023年1月10日，2月6日，3月9日，4月14日，5月12日，6月9日，7月7日，8月2日，9月8日，10月6日，11月10日，12月8日(予定) 〕

■ 事業の報告

- 研究開発の進捗状況を，毎月，事務局に報告。また，2023年3月2日の最終報告会(その1)により，固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発事業のみを報告。

■ 情報発信の充実

- IRID ホームページに本事業の成果を掲載し，一般の人を対象にわかりやすく情報発信を実施。また，適宜，国内外の学会等で本事業成果の情報発信を実施。

■ 代替案の事前準備

- 事業が予定通りに進捗しなかった場合に備え，必要に応じて，事前に代替案を検討。セシウム吸着塔からの吸着材採取技術の開発のオンサイト検証試験遅延に関し，計画変更を実施。

以上

参考資料

【参考】KURION, SARRYの概要と 固体廃棄物における採取対象試料の位置づけ

■ KURION, SARRYの概要

- 汚染水処理系統の上流工程であり、セシウム、ストロンチウムの低減を目的とする。
- 構造上、試料のサンプリング箇所が無いいため試料採取には穿孔等の加工を要する。

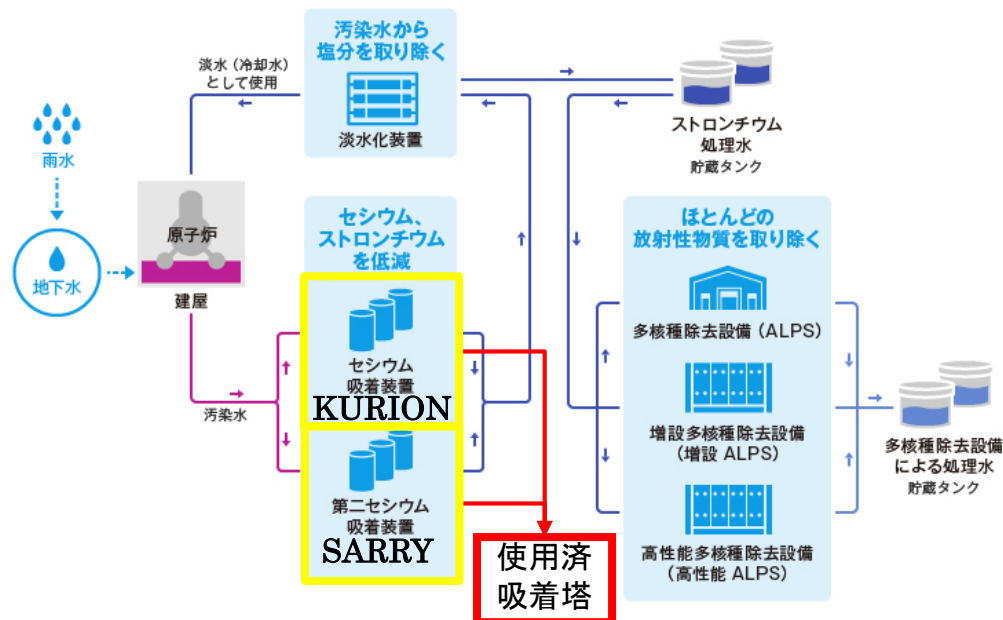
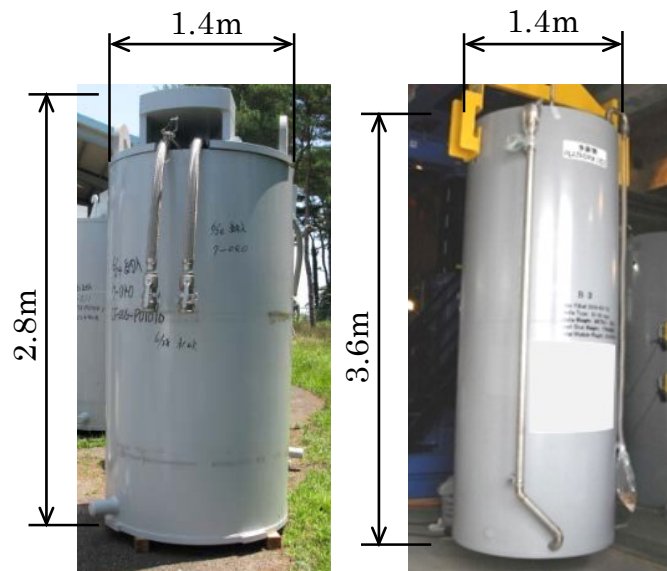


図1 2016年頃の汚染水処理系統（東京電力ホームページ所載図に加筆）



a) KURION吸着塔 b) SARRY吸着塔

図2 吸着塔外観

■ 固体廃棄物における採取対象試料の位置づけ

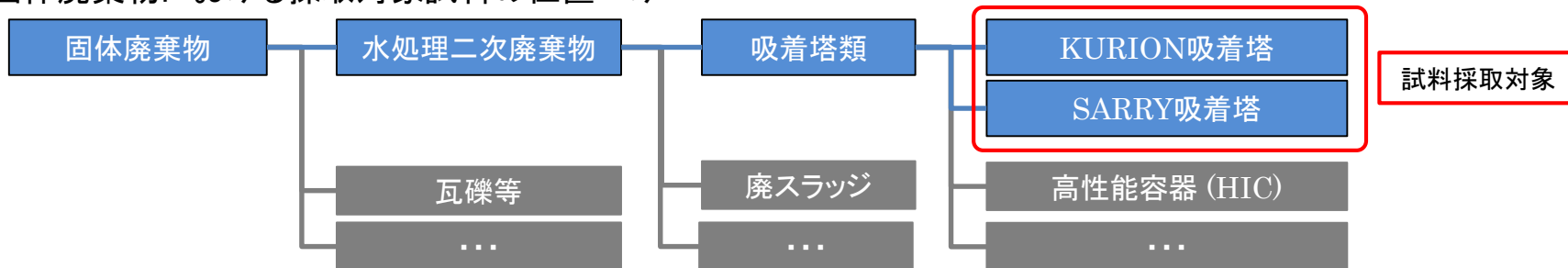
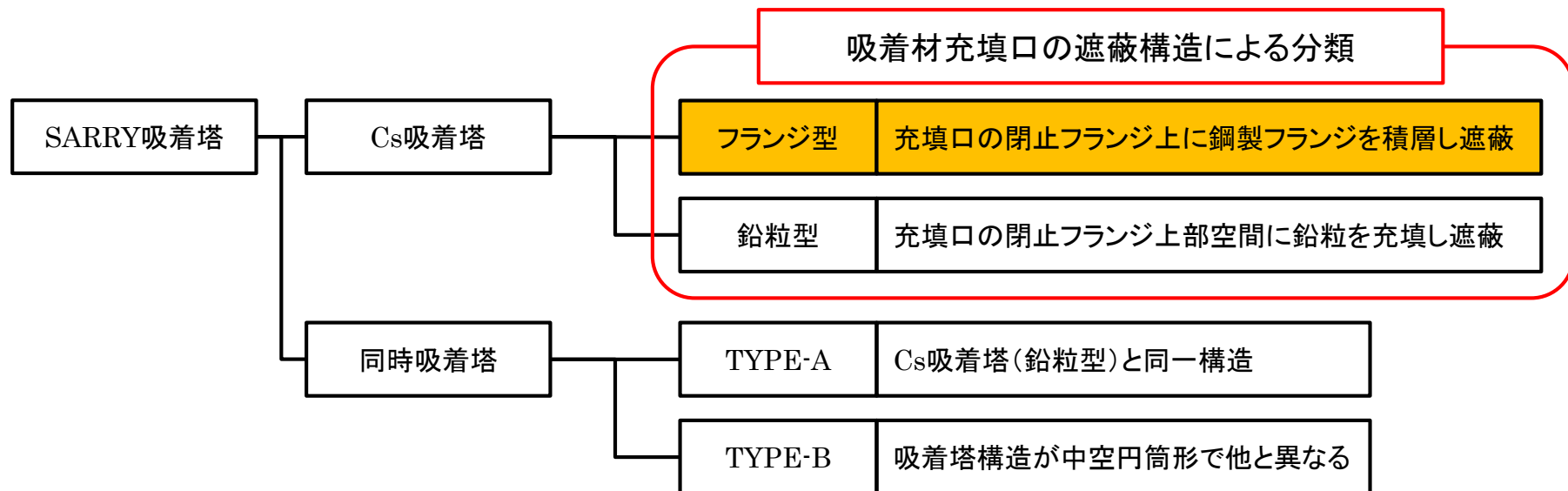


図3 固体廃棄物の分類（一部）と本事業の試料採取対象

【参考】SARRY吸着塔の種類と本事業での採取対象

■ SARRY吸着塔の種類と採取対象

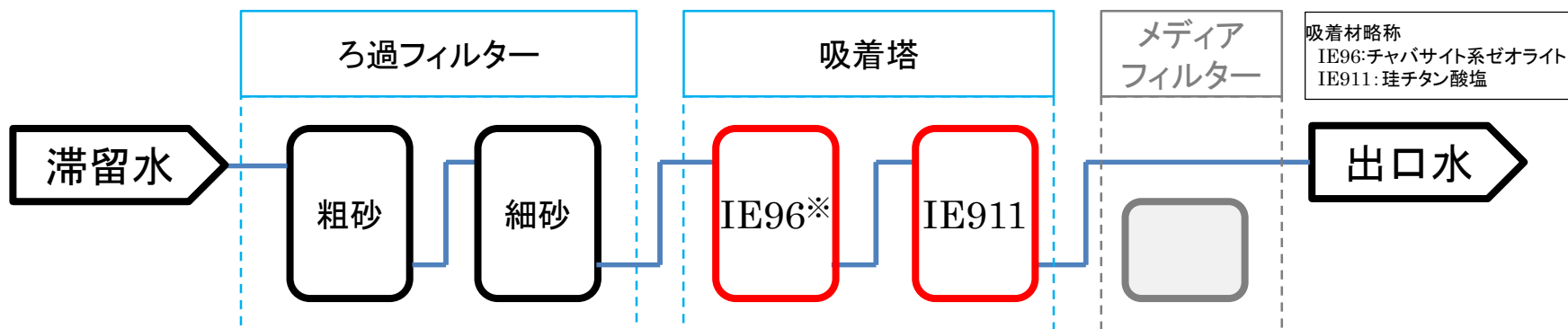
- SARRY吸着塔は製造元, 製造時期, 用途により様々な種類がある。
- 本事業では Cs吸着塔を対象とする。
- 鉛粒型は長期保管により鉛の固着や変形等の不確実性があることから除外した。



検証試験における採取対象SARRY吸着塔は、フランジ型から選定した。

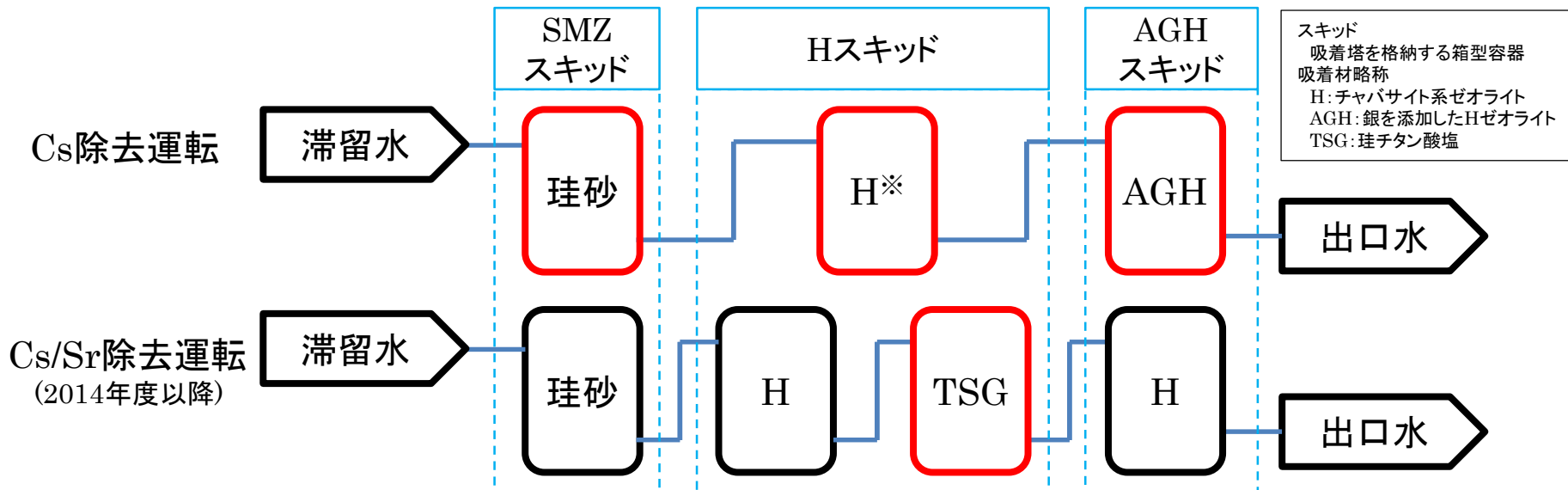
【参考】SARRY, KURIONの系統構成

■ SARRYの系統構成 (フランジ型吸着塔使用時期: 系統数, 吸着塔数は簡略化)



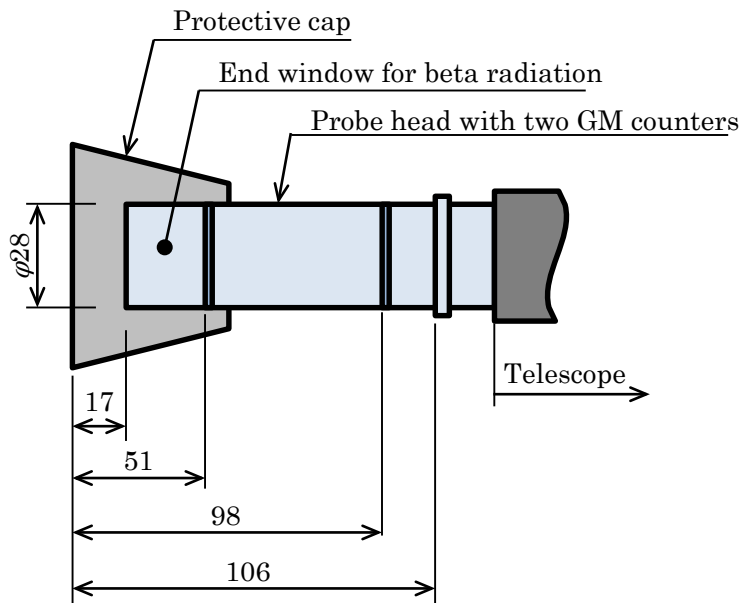
※IE96大: 運転初期の吸着塔, IE96小: 滞留水Cs濃度が低位安定した時期の吸着塔

■ KURIONの系統構成 (系統数, 吸着塔数は簡略化)



※H大: 運転開始時の吸着塔, H小: 滞留水Cs濃度が低位安定した時期の吸着塔

【参考】収納容器表面線量率 測定器の検量位置による影響



測定器先端部分の名称と現場実測寸法



測定器 (automess製 TELETECTOR® 6112D/H)



高レンジ用GM管の検量位置
プローブの外観

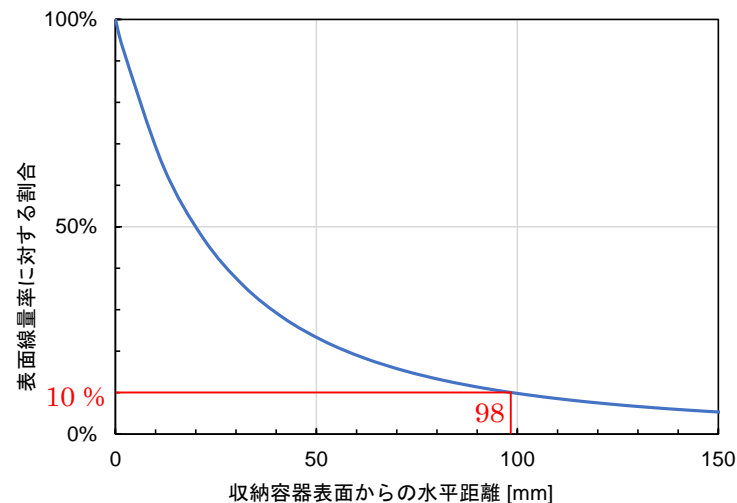
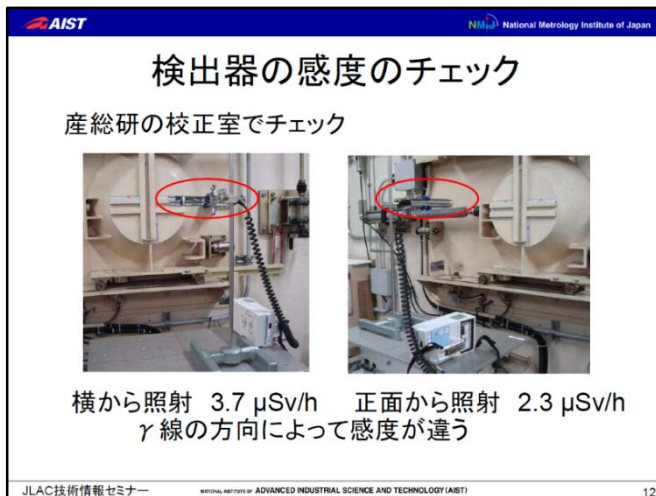


図1 QADによる収納容器表面からの距離と線量率割合

➔ 距離の影響により表面線量率は測定値の10倍と推定

【参考】収納容器表面線量率 測定器の方向依存性による影響



GM管式サーベイメータの方向特性※



伸縮式線量率計による測定の様子

- GM管式サーベイメータは放射線に対する測定器の向きによって感度が異なる。
- 今回、収納容器に対して「正面から照射」の向きで測定した値を採用したため、検出効率が低かった可能性がある。
- 測定効率の角度依存性は測定機により異なるが、使用した測定器の角度と検出効率のデータがないため上図を準用すると、「横から照射」に対する「正面から照射」の測定値は 62 %である。

➔ 方向の影響により表面線量率は測定値の 1.6 倍 と推定

$$\begin{aligned} \text{表面線量率補正值 [mSv/h]} &= (\text{距離の補正}) \times (\text{角度の補正}) \times (\text{測定値}) \\ &= 10 \times 1.6 \times 1.5 = \underline{24} \text{ [mSv/h]} \end{aligned}$$

※ 出典：JLAC技術情報セミナー 放射線・放射能の国内国際トレーサビリティ [(独)産業技術総合研究所, 2011]

【参考】サンプル採取対象吸着塔

	対象 (管理No.)	通水時期	当初測定線量 ・測定日 ^{※1}	再測定結果	採取日	採取量 ^{※4}	採取 体積 ^{※5}	収納容器 測定値 ^{※6}	収納容器 表面線量率 ^{※7}	備考
SARRY	①IE96小 (T040)	2013/10/17 ～ 2014/2/25	0.09mSv/h 2014/2/25	0.004mSv/h 2022/9/12	2023/6/12	3.68g	4.43cm ³	1.50 mSv/h	24.0 mSv/h	・HTI建屋滞留水のセシウム濃度 が低位安定した時期のIE96メ ディア(チャバサイト系ゼオライト)
	②IE96大 (T003)	2011/8/29 ～ 2011/9/7	0.8mSv/h ^{※2} 2011/9/7	0.014mSv/h 2022/9/12	2023/7/19	2.43g	2.93cm ³	3.85 mSv/h	61.6 mSv/h	・初期に供用されたIE96メ ディアで 高線量のもの
	③IE911 (S013)	2011/8 ～ 2012/3/8	0.05mSv/h 2012/3/8	0.0025mSv/h 2022/9/12	2023/7/31	6.82g	4.26cm ³	0.132 mSv/h	0.924 mSv/h	・SARRY運開時のIE911メ ディア (珪チタン酸塩)初装荷品
KURION	④AGH (3-030)	2011/6/15 ～ 2011/9/13	8.5mSv/h ^{※3} 2013/8/31	4.0mSv/h ^{※3} 2022/3/25	2023/9/6	17.97g	21.7cm ³	0.200 mSv/h	1.40 mSv/h	・AGHメディア(銀添着ハー シュライト)の初装荷品
	⑤H小 (7-412)	2013/10/29 ～ 2013/11/6	0.30mSv/h 2013/11/19	0.10mSv/h 2022/9/13	2023/9/14	16.12g	19.4cm ³	3.95 mSv/h	63.2 mSv/h	・プロセス主建屋滞留水のセ シウム 濃度が低位安定した時期のH メ ディア(ハーシュライト)
	⑥H大 (7-048)	2011/6/15 ～ 2011/6/27	15mSv/h 2013/7/18	3.0mSv/h 2022/3/25	2023/9/27	測定せず	—	15.3 mSv/h	245 mSv/h	・KURION運開時のHメ ディア初 装荷品
	⑦TSG (7-546)	2015/3/4 ～ 2015/3/23	0.20mSv/h 2015/5/21	0.060mSv/h 2022/3/24	2023/10/4	14.60g	9.13cm ³	0.860 mSv/h	6.02 mSv/h	・Sr吸着運用開始(2014/12 月)後、 比較的初期のもの ・TSGメディア(珪チタン酸 塩)の うち 測定値最大
	⑧珪砂 (3-011)	2011/7/26 ～ 2011/9/14	35mSv/h ^{※3} 2015/3/3	14mSv/h ^{※3} 2022/3/25	2023/10/13 ^{※8}	— ^{※8}	—	— ^{※8}	— ^{※8}	— ^{※8}

※1 一時保管施設への格納時に測定した吸着塔側面線量率(遮蔽胴表面) ※2 仮保管施設への格納時に測定した吸着塔側面線量率(遮蔽胴表面)

※3 吸着塔の遮蔽厚が3インチ, 他のKURION吸着塔は7インチ ※4 試料採取用SH容量: SARRY吸着塔では3mL, KURION吸着塔では20mL

※5 天然ゼオライトによる測定値と過去知見より独自に比重を想定し換算: ゼオライト系0.83g/cm³, 珪チタン酸塩系1.60g/cm³
比重の誤差とSH表面付着によりSH内容積以上の値をとる。

※6 伸縮式線量率計測定値(1mSv/h未満は低線量プローブ, それ以上は高線量プローブ)

※7 伸縮式線量率計測定値からの推定値 ※8 吸着塔の吸着材充填高さが低く, 現有装置では採取できず

【参考】個人線量計を用いた線量率遠隔監視 ～線量計～

- 以下の確認のため作業エリアに線量計を配置し、遠隔で連続監視した。
 - 作業中の線量が事前に設定した作業可能上限線量率を超えないことを確認する
 - 仮設ハウス内に立ち入る前に線量率が十分低いことを遠隔で確認する
 - 試料採取中の線量率変化を録画する
 - ISM換気ユニットのフィルタ線量率を監視する
- 線量率の表示範囲が広く、上限が事前予想に対して十分高い製品を選定した。
- 水処理設備近傍かつ高線量場のため、無線は使用せずUSBカメラ映像を有線で通信することとした。

表1 個人線量計の仕様

	70 μ m, 1cm 線量当量率測定用	1cm 線量当量率測定用
メーカー	富士電機	
形式	NRF54	NRF50
工場検査線源	γ : Cs-137 β : Sr-90 (Y-90)	Cs-137
表示範囲	0 μ Sv/h ~ 10 Sv/h	
有効測定範囲	Hp10 [※] : 100 μ Sv/h ~ 10 Sv/h Hp0.07 [※] : 5 mSv/h ~ 10 Sv/h	100 μ Sv/h ~ 10 Sv/h
測定器No.	①, ③, ⑤~⑩	②, ④

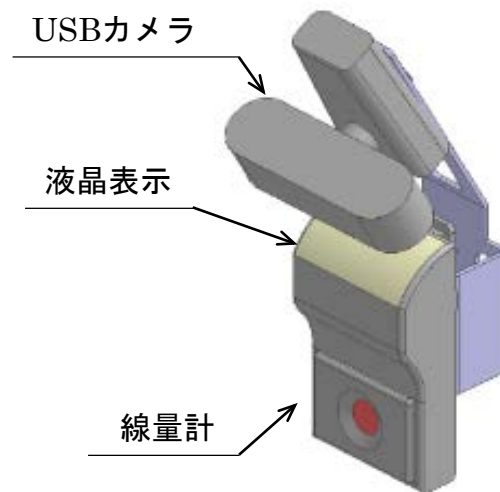


図1 遠隔監視用線量計のイメージ

※ Hp10: 1cm個人線量当量率
 Hp0.07: 70 μ m個人線量当量率 (個人線量当量率と周辺線量当量率の差は無視した)

【参考】個人線量計を用いた線量率遠隔監視 ～線量計の全体配置～

表1 個人線量計の設置位置と個人線量当量率の種類

No.	設置位置	種類	No.	設置位置	種類
①	2FL ISM内面	Hp0.07	⑥	3FL 手すり	Hp10
②	2FL ISM内面	Hp10	⑦	3FL ISM側面	Hp10
③	2FL ISM側面	Hp0.07	⑧	3FL ISM天板	Hp10
④	2FL ISM側面	Hp10	⑨	ISM換気ユニット	Hp10
⑤	2FL 手すり	Hp10	⑩	遠隔操作エリア	Hp10



各線量計は測定面を
ISM中心向きに配置



図1 線量計モニタ表示映像
(1モニタに4台同時表示)



図2 遠隔監視用線量計



図3 線量率表示器

...仮設ハウス内の
線量率確認のため、
線量率表示器を
2台配置

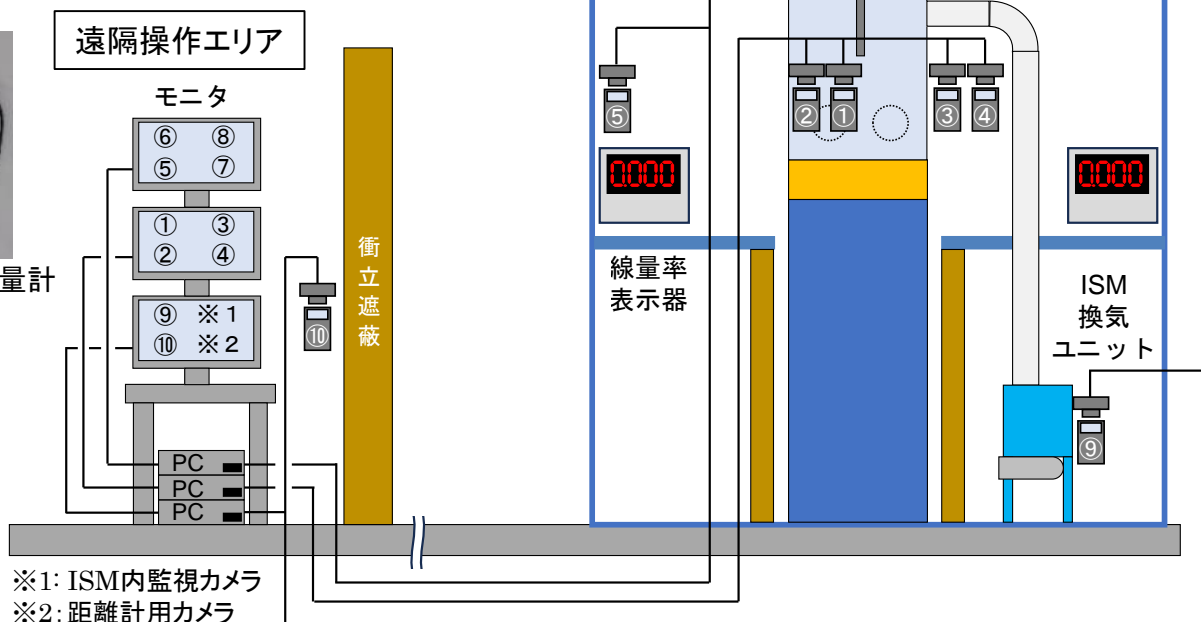


図4 線量計の配置と遠隔監視のための配線イメージ

【参考】内視鏡による吸着材表面観察

表1 内視鏡プローブの主な仕様

項目	内視鏡
名称	工業用デュアルレンズ内視鏡
メーカー	ANYKIT
形式	NTS500-5.5mm-3m
プローブ径	5.5 mm
プローブ防水性	IP67
解像度	1280 × 720(動画データ)



図1 内視鏡ツール プローブ部



図2 USB変換・LED電源ユニット



①照射前 ②照射開始 ③過剰照射時

図3 Co-60照射施設での内視鏡照射試験
(天然ゼオライトを撮影対象としてプローブ側方からγ線を照射)

- 穿孔部, 吸着材表面, 吸着塔内部の状態観察のためISMに取り付け可能な内視鏡ツールを開発した(図1)。
- 内視鏡プローブには比較的安価で入手性のよい工業用内視鏡を選定した(表1)。
 - 遠隔操作エリアまで映像を伝送するため, USB変換・LED電源ユニット等を設計開発した(図2)。
- (株)アトックス 技術開発センター Co-60照射施設で内視鏡の照射試験を実施(図3)した。
 - 過剰に照射するとCCD素子が故障するが(図3 ③), ホット試験での想定線量では吸着塔数塔ごとと新品交換することで適用可能と評価した。
- ホット試験全体で2回交換し, 計3プローブ使用した。
- 放射線による内視鏡の故障はなかった。

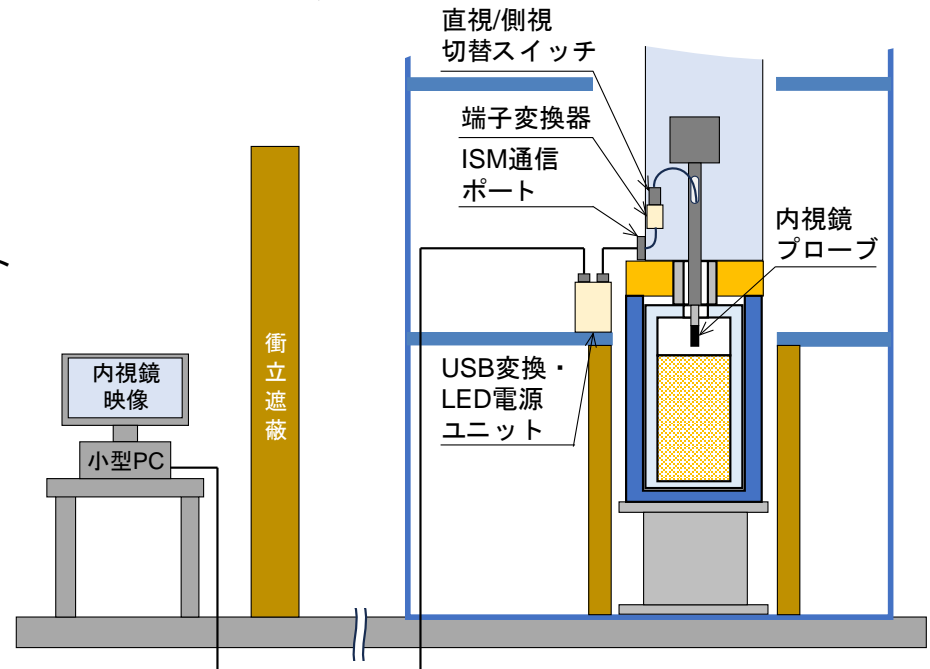
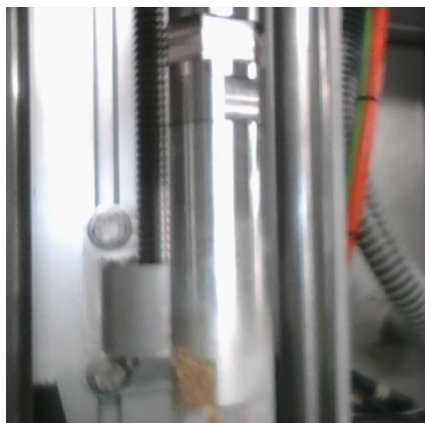


図4 内視鏡ツールの構成

【参考】SH周りの吸着材付着状況(KURION吸着塔)



AGH



H小



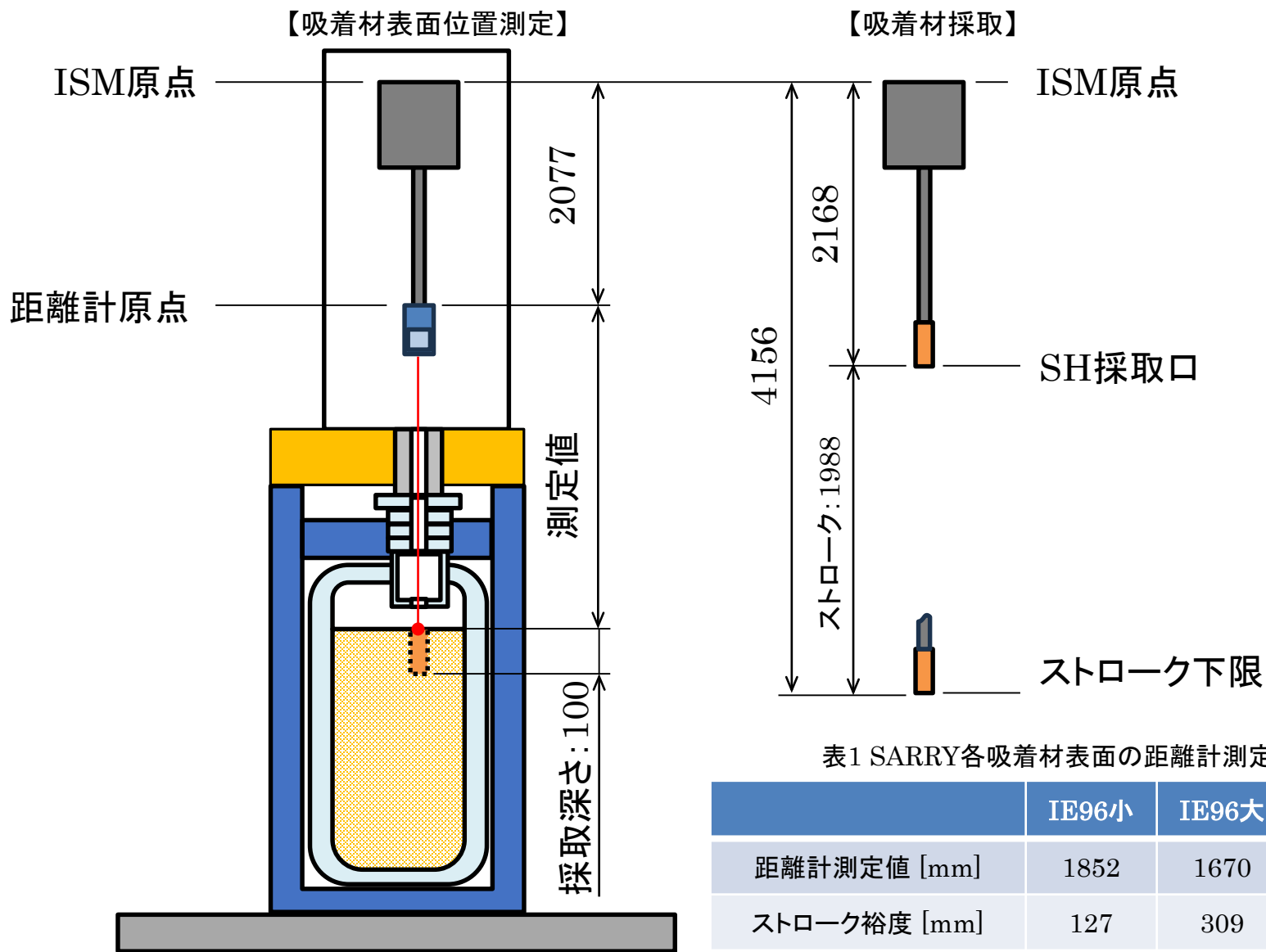
H大



TSG

- ハーシュライト系吸着材 (AGH, H小, H大) 同時を比較すると, H大のSH付着量が少ない。
 - ➡ H大は通水後の経過時間が長く発熱量が多いため吸着材表面の乾燥が進行した可能性
- 珪チタン酸塩系吸着材であるTSGもSH付着量が少ない。
 - ➡ 材質の違いによる付着性の差の可能性がある。

【参考】SARRY吸着塔吸着材充填高さとISMのストロークの関係



【参考】KURION吸着塔吸着材充填高さ&ISMのストロークの関係

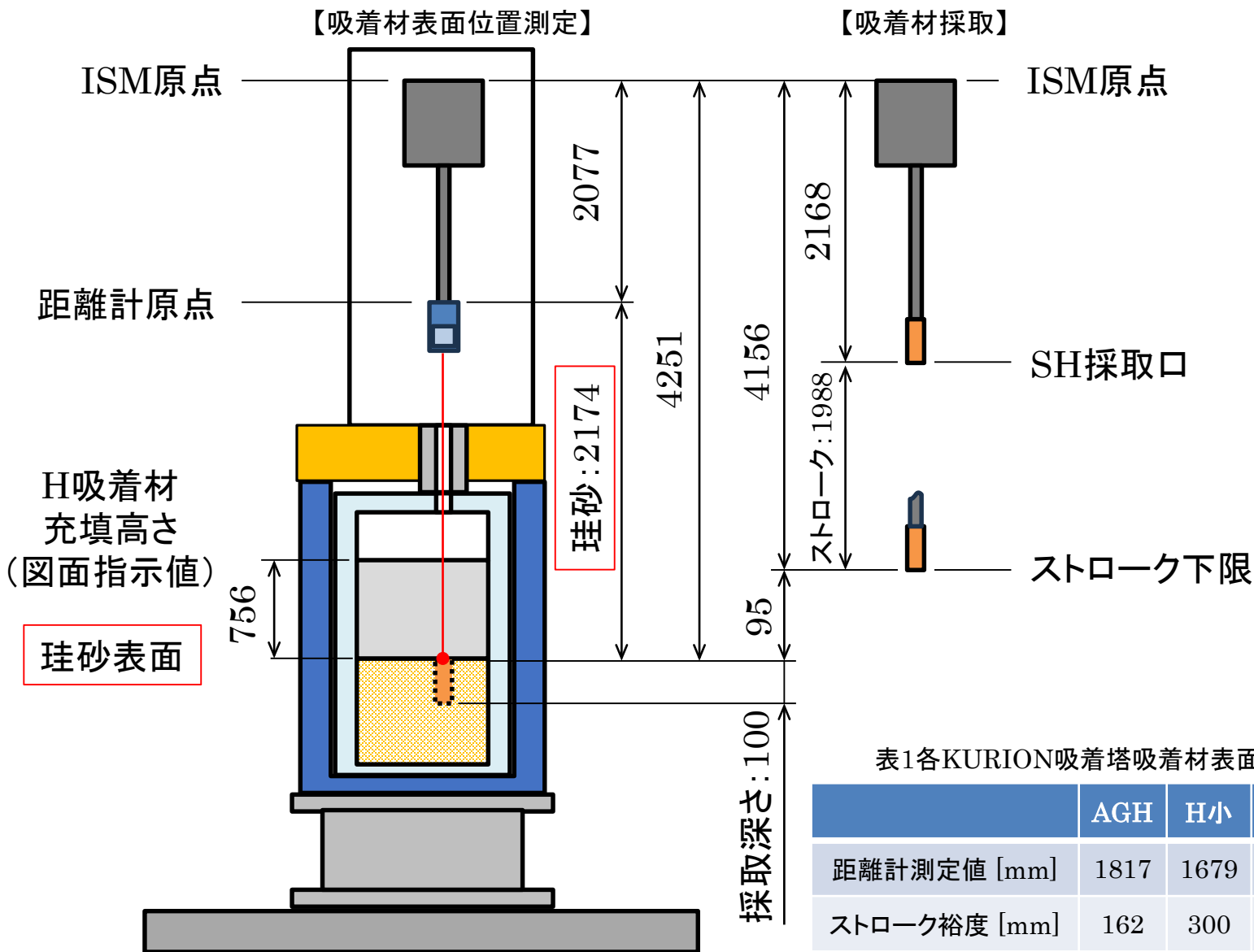
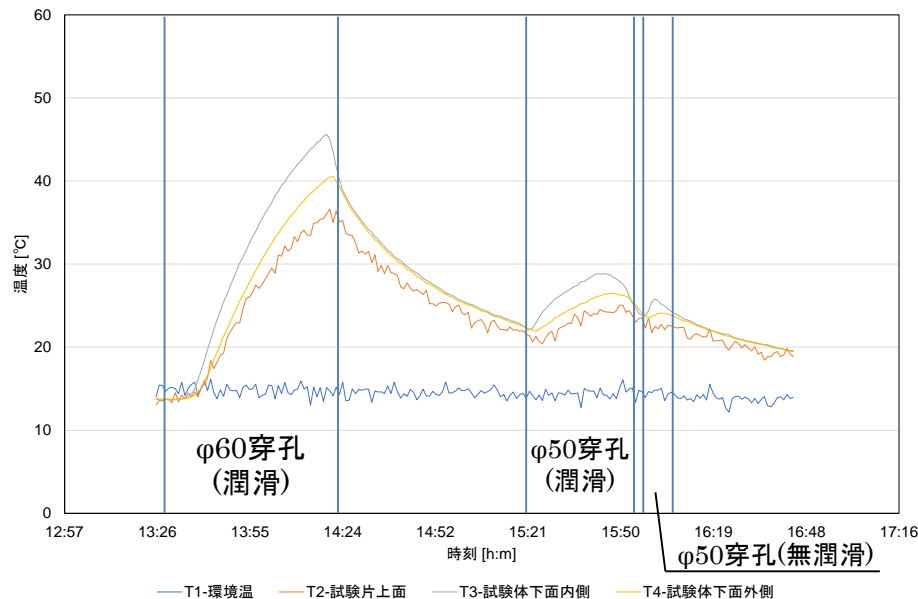


表1各KURION吸着塔吸着材表面の距離計測定値

	AGH	H小	H大	TSG	珪砂
距離計測定値 [mm]	1817	1679	1630	1573	2174
ストローク裕度 [mm]	162	300	349	406	-195

【参考】採取要素試験装置(S-ISM)による 穿孔時の試験体温度の計測結果(2020年度実施)

- KURION吸着塔天板厚さを模擬した試験体に、上面1か所、下面2か所熱電対を貼付け穿孔時の温度変化を計測



時刻	イベント
13:31	φ60穿孔サイクル開始
13:33	潤滑運転
13:34	穿孔動作開始
14:23頃	穿孔動作終了, 清掃運転
14:29頃	φ60穿孔サイクル終了
15:20	φ50穿孔サイクル開始
15:22	潤滑運転
15:23	穿孔動作開始
15:54	清掃運転
15:58	無潤滑穿孔開始
16:09	穿孔動作終了
16:11	φ50穿孔サイクル終了

	環境温 T1	試験体上面 T2	試験体下面内側 T3	試験体下面外側 T4
平均値	14.4	23.9	27.0	25.6
最大値	16.1	36.6	45.6	40.6
最小値	12.2	13.1	13.6	13.7

➡ 穿孔に伴う温度上昇はあるものの程度は小さくリスクは低いが、実作業においては事前に水素濃度測定を実施して爆発下限値未満であることを確認し、リスクを完全に排除することとした

【参考】想定される重要なリスクと対応※1

No.	想定されるリスク	対応
1	HEPAフィルタが損傷してダストが拡散する	ミスト回収性能のあるHEPAフィルタユニットを採用します(フィルタエレメントがガラス繊維製)。 HEPAフィルタ通過排気の放出先にダストモニタを配置します。 HEPAフィルタ排気先を仮設ハウス内とします。
2	電源喪失	十分な容量の発電機を2系統用意し、1系統故障しても復旧できるようにします。
3	コンプレッサ故障	コンプレッサはレシーバタンクに接続し使用します。
4	垂直モータ故障	垂直モータを取り外し、自重でツールを降下させます。 モータの代わりに電動工具による治具を取り付け、人手操作により垂直駆動させます。 必要な場合、ISM周りに鉛遮蔽マット等で追加遮蔽します。
5	回転モータ故障	作業を中断し、原点復帰させます。 貫通後である場合、垂直駆動のみで取り付け可能な代替閉止栓(耐圧性はない)により仮閉止します。
6	遮蔽蓋・収納容器スライド用アクチュエータ故障	アクチュエータとスライドテーブルの固定ボルトを取り外し、人手で遮蔽蓋を動かします。

No.1-9: 装置に係るリスク, No.10-23: 作業に係るリスク, No.24-26: 自然災害に係るリスク

※1 リスク抽出及び対応については2022/12/22の東電HD福島第一の作業安全確保計画に係る会議で審議済み

【参考】想定される重要なリスクと対応※1

No.	想定されるリスク	対応
7	吸引回収ユニット故障	作業を中断し、原点復帰させます。 なお、吸引回収ユニットの継手部に汎用の業務用掃除機を接続し切削片回収を行うことが可能です。 切削片回収後、円筒形補修遮蔽を設置することが考えられます。
8	カメラ故障	作業を中断し、装置を原点復帰させ、カメラを予備品と交換します。
9	装置設置線量計の故障・表示値異常	作業を中断し、伸縮式線量率計により線量計近傍の線量率を測定し、計器故障か否か判断します。実際に線量が過大であった場合、作業を中断します。 線量計の故障であった場合、装置を原点復帰させ、線量計を予備品と交換します。
10	作業時に発生した放射性ダストが建屋外に拡散する	作業は本設建屋内で実施します。
11	作業時に発生した放射性ダストが建屋内に拡散する	ISMにHEPAフィルタ付きのISM換気ユニットを設けます。また、作業エリアを覆う仮設ハウスを設けHEPAフィルタ付きの仮設ハウス換気装置で換気します。また、ダストモニタで常時監視します。
12	周囲の本設設備を損傷させる	高性能ALPS設備及び同クレーン側に転倒・滑動・倒壊せぬよう架台の耐震・強度を確保し、床版に固定します。

No.1-9: 装置に係るリスク, No.10-23: 作業に係るリスク, No.24-26: 自然災害に係るリスク

※1 リスク抽出及び対応については2022/12/22の東電HD福島第一の作業安全確保計画に係る会議で審議済み

【参考】想定される重要なリスクと対応※1

No.	想定されるリスク	対応
13	過剰被ばく、汚染取込み等の防止	吸着塔は遮蔽壁を有する作業架台(WS)内に設置し、吸着塔上に遮蔽機能を有する作業ドック(WD)を設置します。WSの作業床とWDの隙間には遮蔽マットを敷設します。吸着塔から穿孔部を通過してISM内に入射する放射線はISMのスライド遮蔽蓋で遮蔽します。採取後、サンプリングヘッド(SH)はISM内で自動的にSH収納容器(遮蔽胴内に設置)に挿入されるため、高線量試料を内包したSHが露出した状態で人が近接することはありません。
14	回転モータとツールの固定ナットが外れ、ツールが脱落	適切に増締めし、締め付け位置にマーキングします。ツール取付前に取付け部の清掃を行います。固定ナットはツールに軸留めされており、ISM底板の貫通穴より径が大きいいため、ツールが脱落してもISM底板で引っ掛かり吸着塔内までは落下しません。
15	清掃バフが適切に取り付けられておらず吸着塔内に落下する	バフの取付け軸(汎用六角軸)に事前に色付けしておき、色が見えなくなるまで差し込む等により、適切に取り付けられていることを確認します。
16	採取試料からの液漏れ	吸着材が湿っている可能性はあるが、汚染水が滴るほどではないものと想定しています。もし、想定外で水が滴るほどであったら、内視鏡確認時に画像的に判断付くものと想定しています。また、引き上げ時にカメラで外観観察、一定時間中空放置し、液滴下させます。

No.1-9:装置に係るリスク, No.10-23:作業に係るリスク, No.24-26:自然災害に係るリスク

※1 リスク抽出及び対応については2022/12/22の東電HD福島第一の作業安全確保計画に係る会議で審議済み

【参考】想定される重要なリスクと対応※1

No.	想定されるリスク	対応
17	周囲の汚染	<p>仮設ハウス内外は連続ダストモニタにより常時監視します。</p> <p>また、ISMの扉を解放する前、ISMにダストサンプラを接続してダスト有無を確認します。</p> <p>ダストが検出された場合、ISMの入口側HEPAフィルタ及びISM換気ユニットによりISM内空気を浄化し、ダストが許容値を下回ったことを確認してからパネルを開き、次の作業を実施します。</p>
18	使用後のツールの汚染、汚染確認	<p>使用するツールはISM内のラックに保持されており、採取作業中にはISMから取り出しません。</p> <p>また、汚染の可能性のあるツール先端部は袋養生します。</p> <p>一連作業後、ISMをメンテナンスする際にスミヤ採取による汚染確認、汚染がある場合は除染を行います。</p>
19	放射線モニタリングの方法	ISM内及びWS上の線量評価点に線量計を配置し、線量計の液晶表示をカメラで撮影することにより遠隔で数値を確認します。
20	モータの温度監視の方法	モータに異常が生じた場合、ISMは自動停止し、機側/遠隔制御盤にエラーメッセージが表示されます。

No.1-9: 装置に係るリスク, No.10-23: 作業に係るリスク, No.24-26: 自然災害に係るリスク

※1 リスク抽出及び対応については2022/12/22の東電HD福島第一の作業安全確保計画に係る会議で審議済み

【参考】想定される重要なリスクと対応※1

No.	想定されるリスク	対応
21	試料採取装置内の雰囲気圧力管理の方法	穿孔中は吸引回収ユニットが駆動することによって、外気が採取装置上部の吸気口 (ISM内の空気が吸気口から逆流した場合でもISM内の汚染拡大を防止するため、HEPAフィルタ付き) から吸引され、試料採取装置内部は若干の陰圧になります。吸着塔内の空気を装置が吸引して装置内が汚染することを防止するため、穿孔刃が吸着塔天板を貫通する直前から吸引回収用モータを停止し、貫通後にロッドを引き上げるまでは空気の流れを生じさせないようにします。その後、遮蔽蓋で吸着塔とISMを隔離し、サンプリングツールに交換します。サンプリング作業時はISM換気ユニットを停止し、サンプリングツールを収納容器に収納するまでは空気の流れを生じさせないようにします。その後、遮蔽蓋で吸着塔とのバウンダリを確保した上でISM換気ユニットを駆動させ、装置内の空気を陰圧・浄化します。ダストが許容値以下であることを確認して、試料採取装置のパネルを開き、収納容器を取り出します。

No.1-9: 装置に係るリスク, No.10-23: 作業に係るリスク, No.24-26: 自然災害に係るリスク

※1 リスク抽出及び対応については2022/12/22の東電HD福島第一の作業安全確保計画に係る会議で審議済み

【参考】想定される重要なリスクと対応※1

No.	想定されるリスク	対応
22	サンプリングヘッドを持ち上げた状態で全装置が停止し、装置を復旧できない場合の対応策。	全装置の停止原因が電源喪失による場合、2系統用意している発電機を予備系に切り替えます。 モータ故障による場合、まず垂直モータを別の治具に交換します。遮蔽蓋が積載したスライドテーブルとアクチュエータの接続ボルトを取り外し、スライドテーブルを手動で動かし、貫通穴を塞ぎます。 オフガス系が停止しても、ISM自身は吸排気両方にHEPAフィルタがあり、無電源でも汚染拡大は抑制されます。
23	吸着塔内の水素が燃焼する	対象吸着塔の水素ベントから吸引して濃度測定します(吸引ラインにはラインフィルタ装備)。対象吸着塔全数で測定します。
24	地震	WSはアンカーで強固に建屋床版に固定されており、十分な耐震性を有します。
25	津波	高性能ALPS建屋はT.P.35mエリアにあり、津波に対して安全です。
26	台風	既設建屋屋内で実施するため、台風に対して安全です。

No.1-9: 装置に係るリスク, No.10-23: 作業に係るリスク, No.24-26: 自然災害に係るリスク

※1 リスク抽出及び対応については2022/12/22の東電HD福島第一の作業安全確保計画に係る会議で審議済み