

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の開発））

セシウム吸着塔実機を対象とした吸着材採取試験の実施報告

令和5年11月30日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構／株式会社アトックス

本資料は、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))」の成果の一部と過年度の「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)」の成果の一部を含みます。

# 目的

## ■ 目的

東京電力ホールディングス（以下、東電HD）福島第一原子力発電所（以下、1F）の固体廃棄物の処理・処分方策の検討に向けて固体廃棄物の性状把握が進められている。

固体廃棄物の分類の一部を図1に示す。水処理二次廃棄物のうちセシウム吸着装置（以下、KURION）、第二セシウム吸着装置（以下、SARRY）の使用済吸着塔は放射能が大きくこれまで試料採取が行われていなかった。

そこで、本事業では使用済吸着塔から吸着材を採取する技術の開発を目的として試料採取装置を開発し、1F構内で吸着塔実機からの試料採取実証試験を実施した。試験工程を図2に示す。

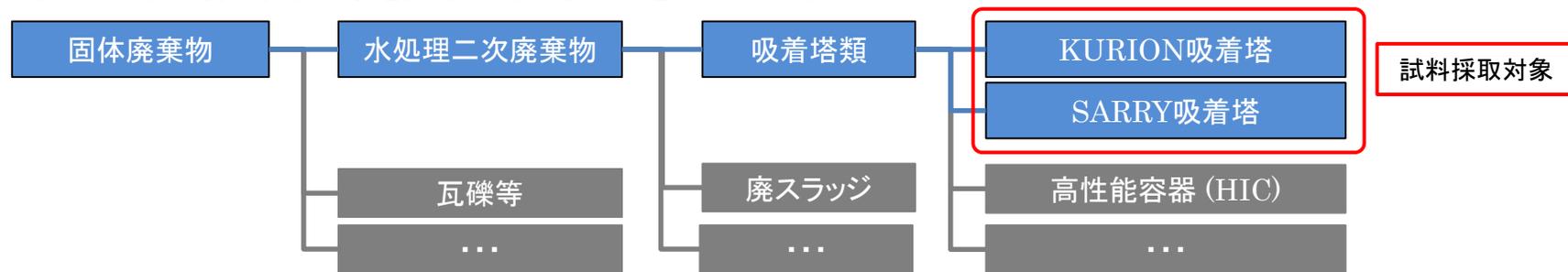


図1 固体廃棄物の分類（一部）と本事業の試料採取対象

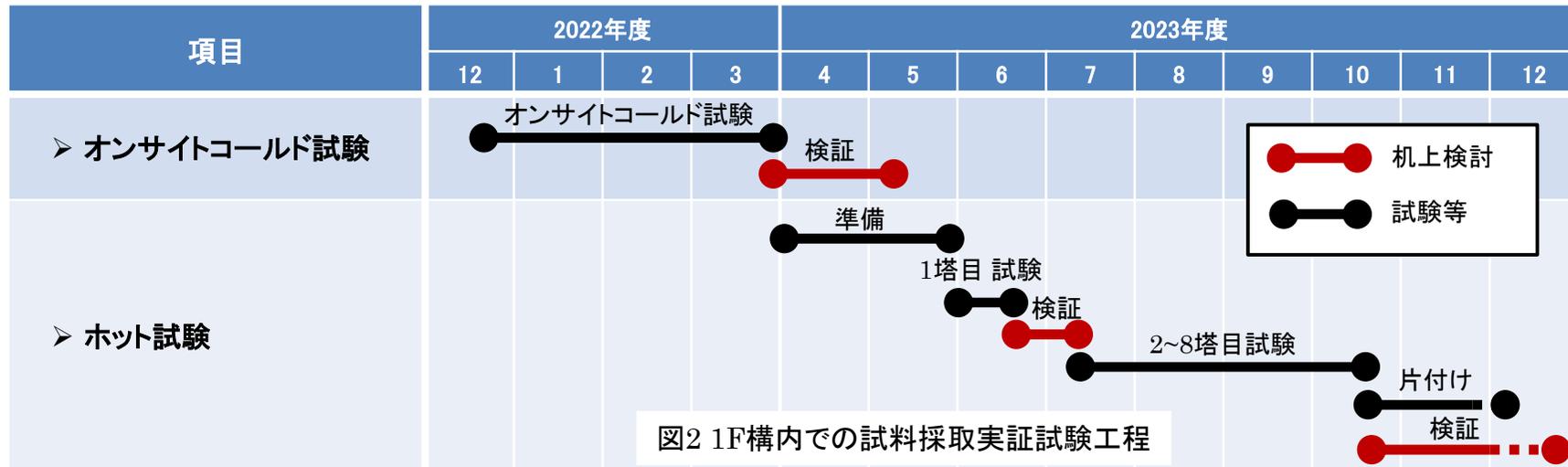


図2 1F構内での試料採取実証試験工程

# 概要

## ■ KURION/SARRYの特徴と採取対象の選定

- ・ 汚染水処理系統の上流工程であるKURION, SARRYは吸着材の放射能が大きく人手による試料採取が困難
- ・ 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
- ・ 東電HDおよび性状把握事業※を実施している日本原子力研究開発機構（以下、JAEA）の分析ニーズを踏まえて具体的な採取対象吸着塔を選定

※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）」のうち「a. 性状把握」の一部として実施

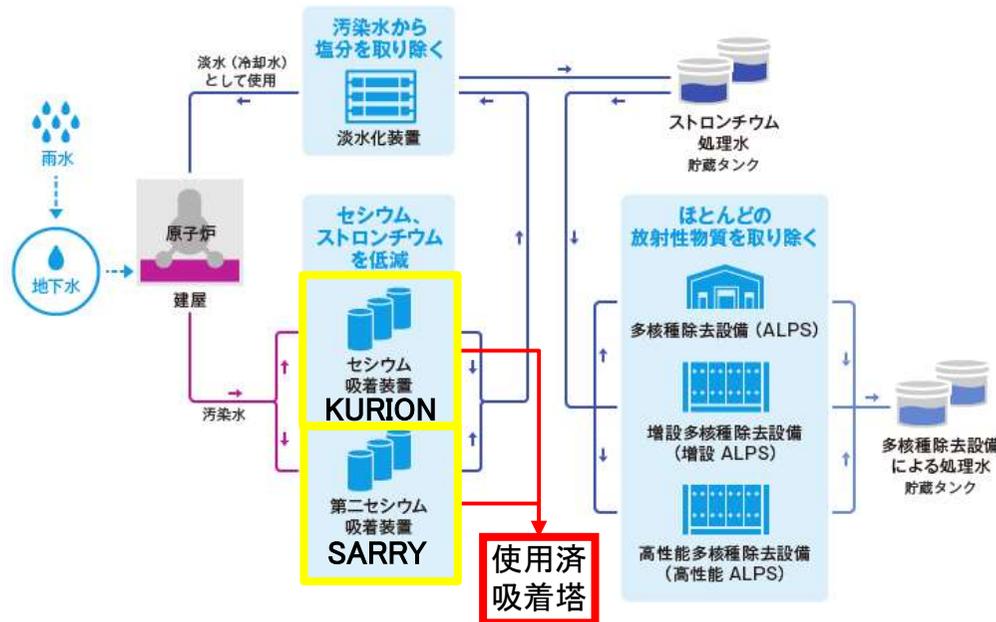


図1 2016年頃の汚染水処理系統（東京電力ホームページ所載図に加筆）



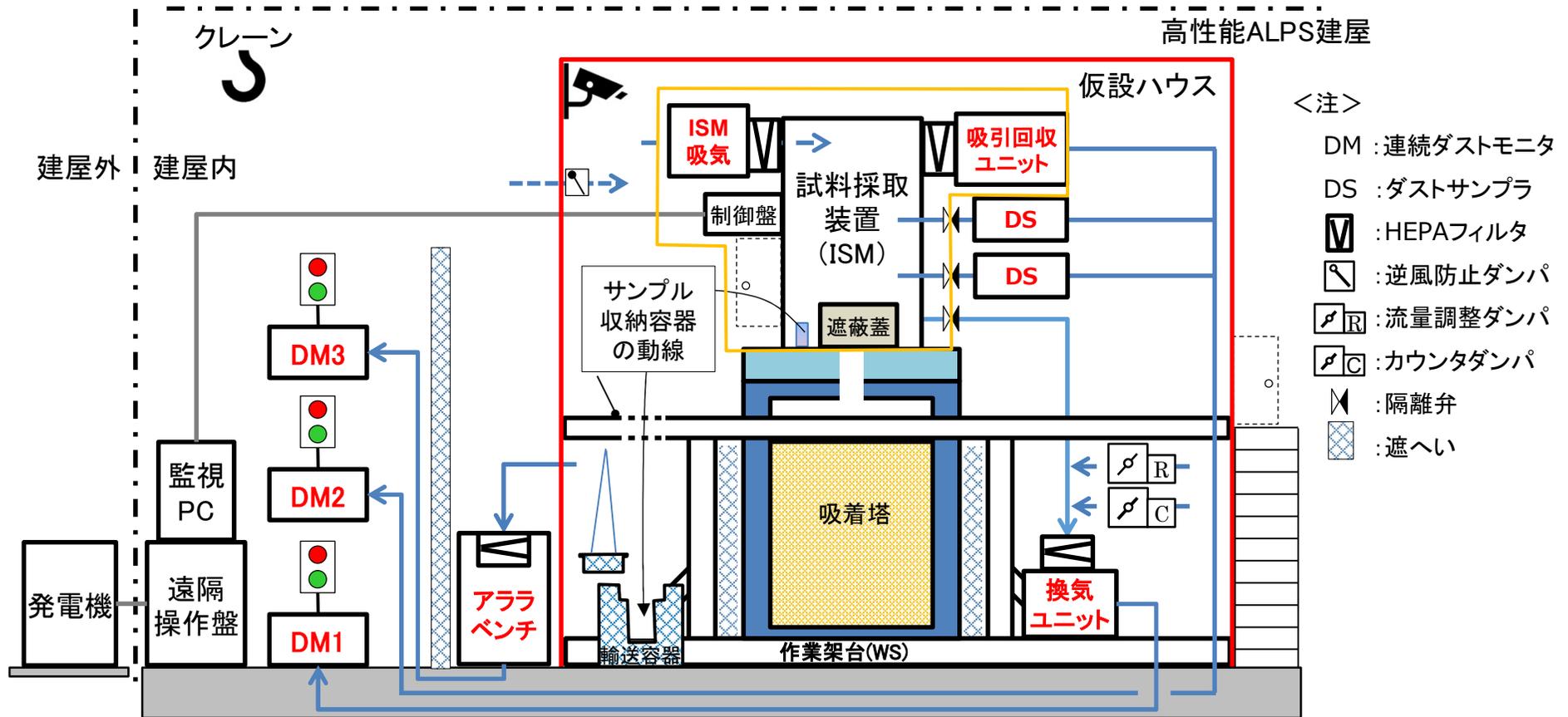
図2 吸着塔外観

## ■ 試料採取装置の設計方針

- ・ 遠隔操作により吸着塔の穿孔、試料の採取、穿孔部の閉止を行う装置を開発
- ・ KURIONとSARRYの直径は同じため、1台の試料採取装置で両方に対応させる
- ・ ツール交換は人手作業で実施するため、十分な遮蔽を装備

# 試料採取装置の全体構成

- グローブボックス状の試料採取装置に加え、仮設ハウス、各種フィルタ付き換気系、ダストモニタを重層的に配置し、建屋内外へのダスト拡散を防止・監視し、また作業者の放射能取込みを防止する。



## 【連続ダストモニタ (DM) の主な監視対象】

- DM1: 換気ユニットの効果, 換気ユニットHEPAの健全性
- DM2: ISMのシール健全性, ISMのHEPAの健全性, ISM扉開放前に測定するダストサンプラの排気
- DM3: 仮設ハウスの健全性, アララベンチのHEPAの健全性

(上図は東電HDの規制庁面談資料より)

# 試料採取装置の現場配置状況

- 試料採取装置は1F高性能多核種除去設備建屋（以下、高性能ALPS建屋）に構築した。
- 採取装置の駆動機構に目的と異なるツールを装着して遠隔操作する。
- 採取対象の吸着塔を1塔ずつ使用済セシウム吸着塔一時保管施設から構内輸送して設置し、採取後返却した。

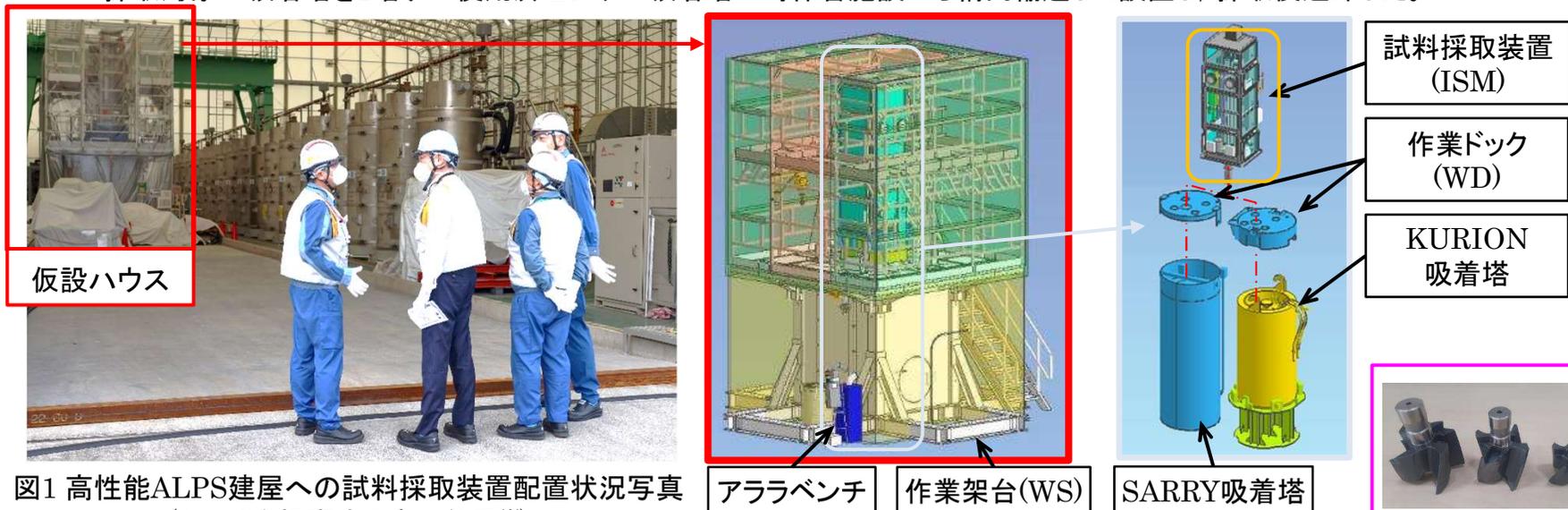


図1 高性能ALPS建屋への試料採取装置配置状況写真 (ALPSを視察する岸田総理※)

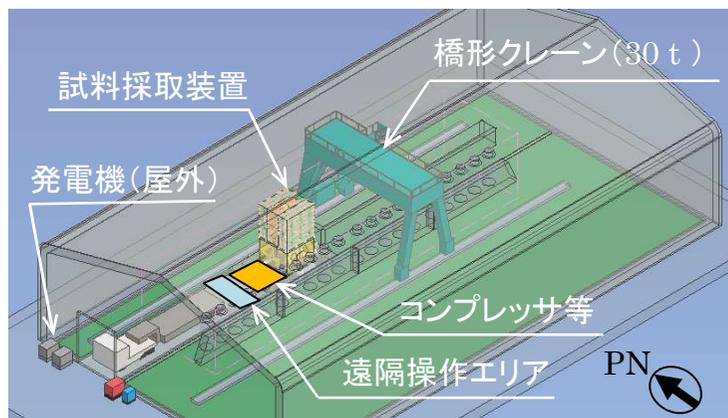


図2 高性能ALPS建屋への試料採取装置配置

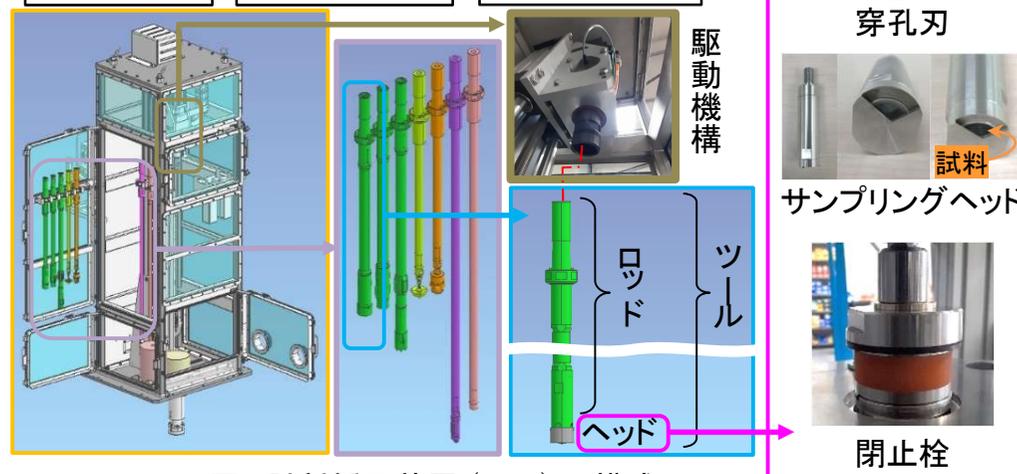
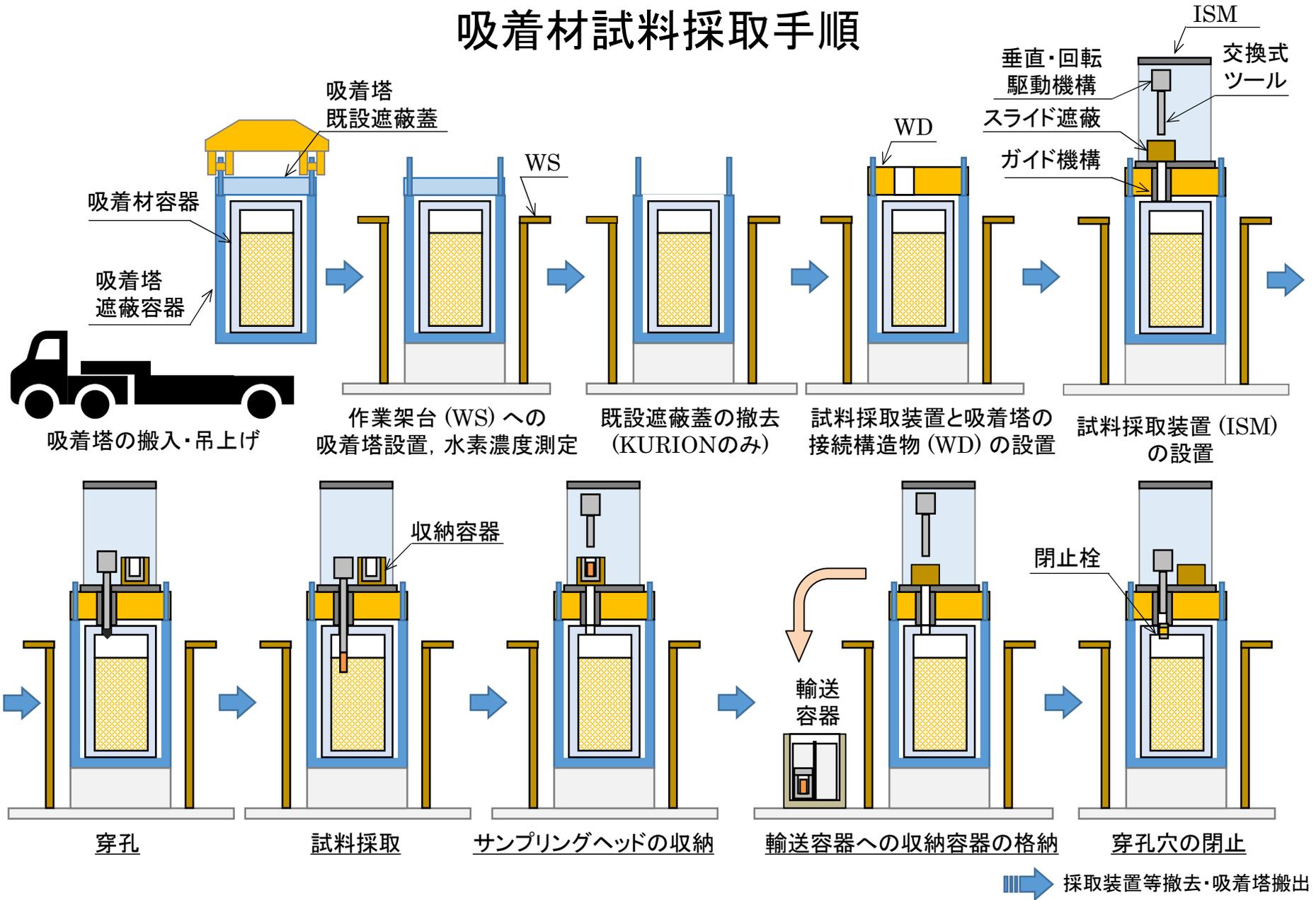


図3 試料採取装置 (ISM) の構成

# 吸着材試料採取手順



# 採取した試料の性状把握事業への引渡し

- 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、収納容器をさらに輸送容器に格納してJAEAの性状把握事業※に引き渡した（図2）。現在、性状把握事業にて分析準備が開始されたとのこと。

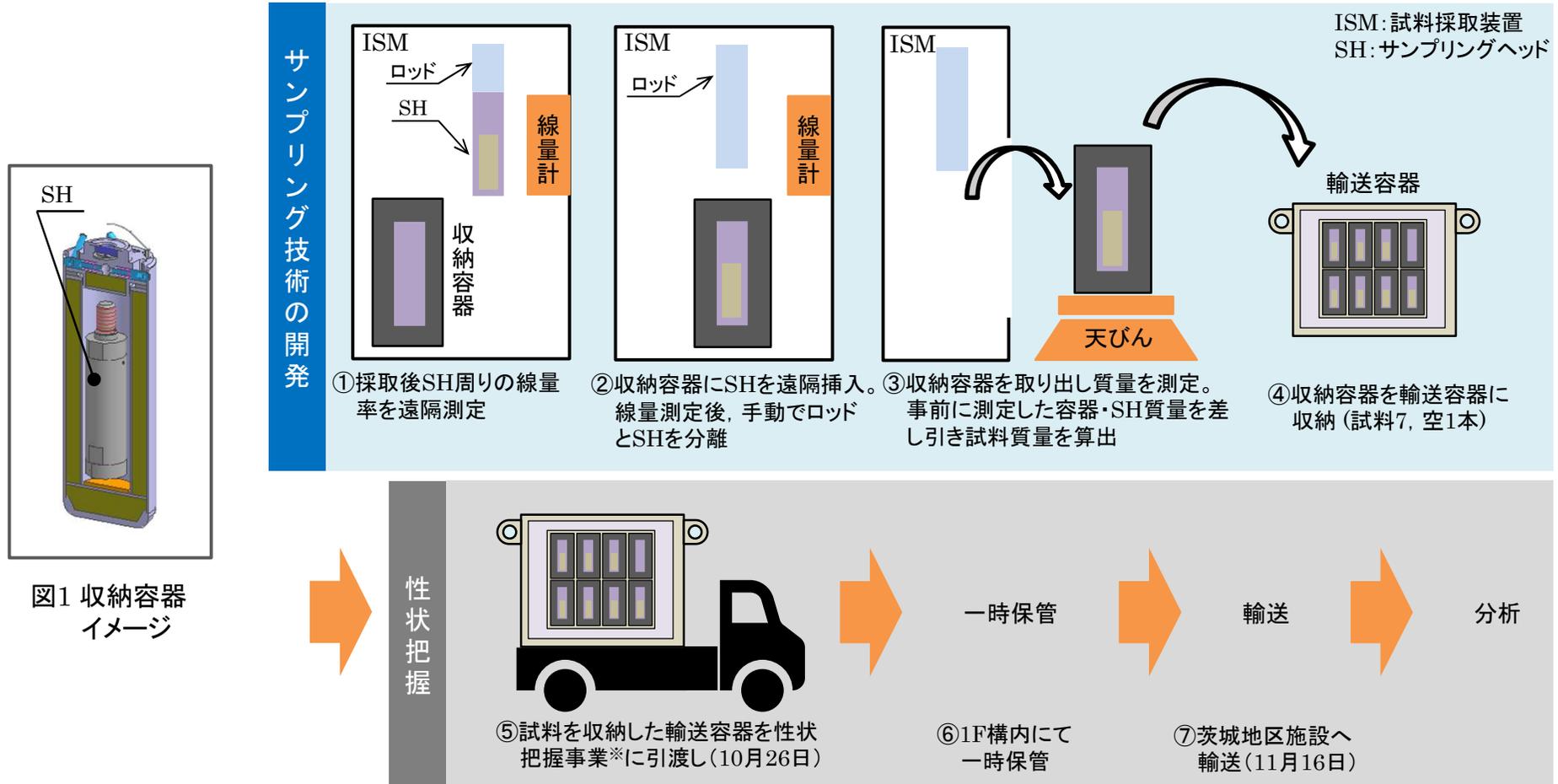


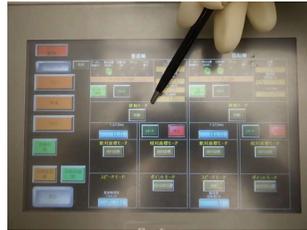
図2 本事業で採取した試料の分析に至る流れ

※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・処分に関する研究開発)(全体提案)」のうち「a. 性状把握」の一部として実施

# 試料採取試験の様子

## 遠隔操作エリアの主な監視・操作対象

ISM: 試料採取装置  
SH: サンプリングヘッド



ISM遠隔操作盤



線量率監視



吸着材表面  
位置測定



内視鏡映像確認  
(試料表面SH貫入部)



ダスト監視



クレーンカメラ

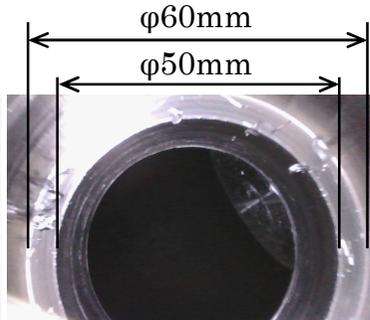
## 穿孔



水素濃度測定



吸着塔の穿孔



穿孔穴の内視鏡撮影  
(油分、切削片有無を確認)



穿孔穴の清掃

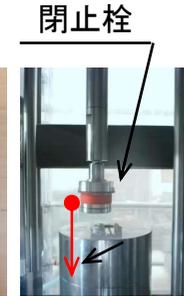
## 閉止



閉止栓  
使用前

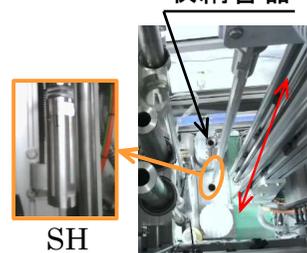


閉止栓  
締付け時



閉止栓の  
取付け

## 採取



採取ツール降下,  
採取, 上昇



収納容器が穴に  
スライドしSHを収納



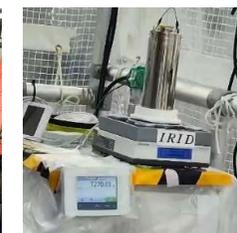
初期緩め後,  
装置駆動にてSHを分離



電動ウインチ  
+ツール介助にて  
収納容器を吊出し



収納容器表面線量率,  
汚染測定



収納容器の  
質量測定



収納容器を  
輸送容器へ格納

# 使用済吸着塔からの採取試験実績

## 採取試験実績

- SARRY 1~3塔目, KURION 1~4塔目について, 穿孔, 採取, 閉止の一連作業を期待どおり完了した。
- これにより, 本事業で開発した試料採取装置は事前に定めた採取条件を満たしているものと評価した。
- KURION 5塔目は, 穿孔と閉止について完了した。ただし, 穿孔後の吸着材表面位置測定の結果, 装置のストローク下限よりも吸着材が低位にあることが判明したため採取は実施しなかった。これは, この吸着材種類に特有の充填管理によるものであることが分かった。
- SARRY吸着塔のうち今回採取対象ではないものにも充填高さが低いものがある。それらに対応する工法開発が今後の課題である。

表1 試料採取試験の実績

吸着塔	穿孔	採取	閉止	APD*設定値超過の有無	放射性ダスト発生の有無
SARRY 1塔目	○	○	○	無	無
SARRY 2塔目	○	○	○	無	無
SARRY 3塔目	○	○	○	無	無
KURION 1塔目	○	○	○	無	無
KURION 2塔目	○	○	○	無	無
KURION 3塔目	○	○	○	無	無
KURION 4塔目	○	○	○	無	無
KURION 5塔目	○	×	○	無	無

※ APD: 警報付きポケット線量計。作業員の日々の線量管理に使用。

## 線量管理実績

- 開発した試料採取装置により作業を遠隔化したこと, 習熟訓練を実施して作業手順の最適化と作業時間の短縮を図ったことにより, 全作業日で計画線量および計画線量以下の放射線管理値であるAPD設定値を超える作業被ばくはなかった。
- これまでの全期間での総線量も解析により求めた事前評価に対して実績値を十分低く抑えた。

## ダスト管理実績

- 高線量である吸着材は漏えいした際のリスクが大きいため, 3台の連続ダストモニタにより常時監視した。
- ダスト変動の見落とし防止のため, 連続ダストモニタ本体から警報と測定値をリアルタイム出力し, 遠隔操作エリアで監視した(図1)。
- 全期間を通じて有意なダスト発生はなく適切な管理のもと採取試験を実施した。

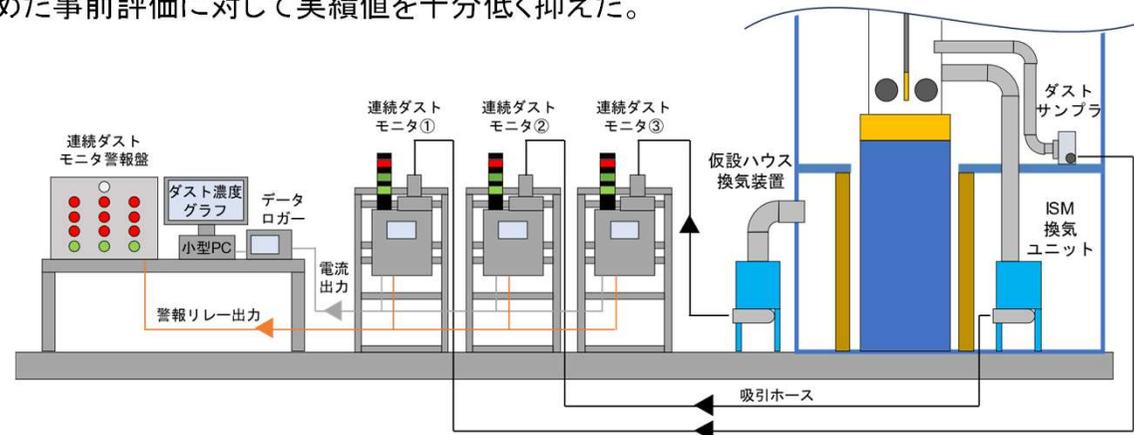


図1 連続ダストモニタリングシステム

## 【参考1】

# 採取対象吸着塔の選定および吸着材採取条件

	採取順	対象吸着塔	吸着材の種類	特徴	供用時期
SARRY	1塔目	IE96小	ゼオライト (チャバサイト)	・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	2013/10/17～ 2014/2/25
	2塔目	IE96大	ゼオライト (チャバサイト)	・初期に供用されたIE96メディアで高線量のもの	2011/8/29～ 2011/9/7
	3塔目	IE911	珪チタン酸塩	・SARRY運転開始時のIE911メディア初装荷品	2011/8～ 2012/3/8
KURION	1塔目	AGH (3in遮蔽)	ゼオライト (銀添着ハーシュライト)	・KURION運転開始時のAGHメディア初装荷品 (Iの吸着量の把握が期待される)	2011/6/15～ 2011/9/13
	2塔目	H小 (7in遮蔽)	ゼオライト (ハーシュライト)	・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 (セシウム吸着材で吸着量が少ないと考えられる)	2013/10/29～ 2013/11/6
	3塔目	H大 (7in遮蔽)	ゼオライト (ハーシュライト)	・KURION運転開始時のHメディア初装荷品 (セシウム吸着材で吸着量が多いと考えられる)	2011/6/15～ 2011/6/27
	4塔目	TSG (7in遮蔽)	珪チタン酸塩	・Sr吸着運用開始(2014/12)後、比較的初期のもの ・TSGメディアのうち測定値最大	2015/3/4～ 2015/3/23
	5塔目	珪砂 (3in遮蔽)	珪砂	・SMZスキッド(KURIONの最上流スキッド)に装荷する吸着塔のうち、フィルタ材を珪砂に変更した初期のもの(多様な固形物が捕集されている可能性がある)	2011/7/26～ 2011/9/14

### ■ 吸着材採取条件

- ・ 一般に、表層付近の吸着量が最大となる。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表層付近に吸着されるので、表層の範囲を吸着材表面(上端)から100mmで設定する。

## 【参考2】 採取した吸着材試料の分析準備

- サンプルングヘッドの収納容器 (図1) は1塔採取するとと輸送容器 (図2) に格納した。
- 8塔の試料採取実証試験を完了後、輸送容器を性状把握事業※に引き渡した。
  - 輸送容器には試料入りの収納容器 7個と、試料の入っていない収納容器1個を格納
- 試料は2023年11月16日に1Fから茨城地区施設 (NFD社) に輸送された。ホットセル内にて収納容器が取り出された(図3)。

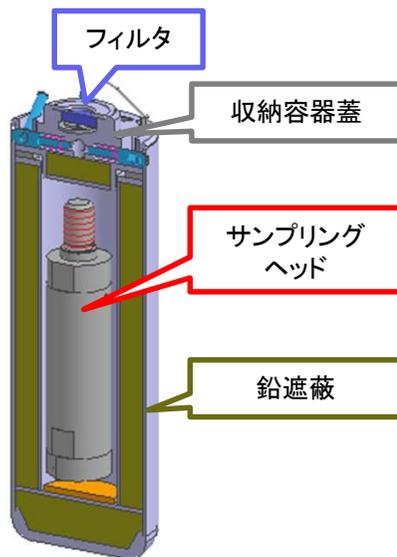


図1 収納容器

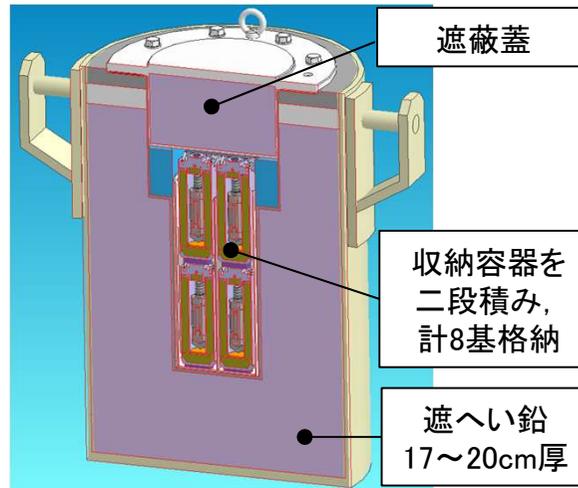


図2 輸送容器



図3 NFD社ホットセル内の分析試料※  
(収納容器に入れた状態, JAEA殿ご提供)

※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)」のうち「a. 性状把握」の一部として実施

# 【参考3】 吸着塔穿孔作業前の水素濃度の測定

## ■ 水素濃度測定

穿孔時、仮に火花が生じても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。



水素濃度計



中空系フィルタ  
(使用後の表面線量率はBG同等)

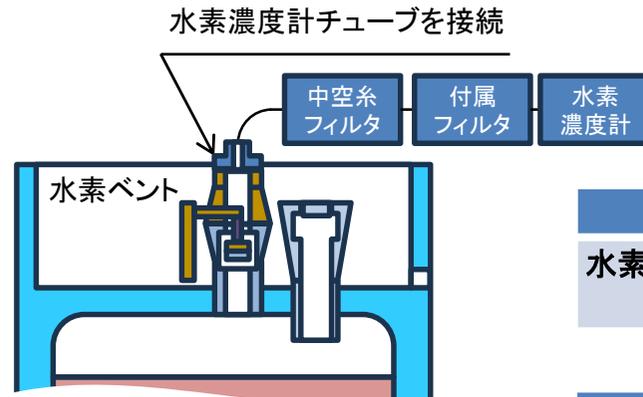


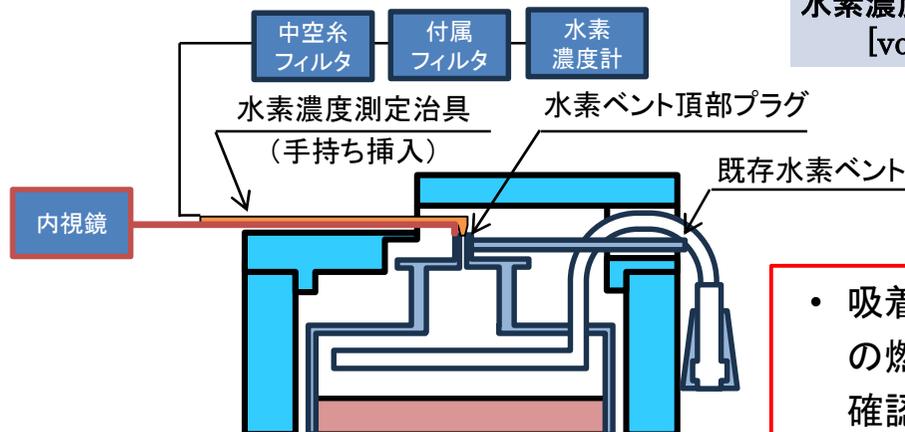
表1 SARRY各吸着塔の水素濃度測定結果

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

表2 KURION各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

SARRY 水素濃度測定イメージ



KURION 水素濃度測定イメージ

• 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。

## 【参考4】

## 技術開発経緯

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"> <li>・ KURION試料採取工法の概念検討               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 同一円周上の3方向, 深度3点からの採取</li> <li>- 「穿孔/閉止装置」と「採取装置」の2台構成</li> </ul> </li> <li>・ ゼオライト試料採取ツール(人手試験用)を設計開発</li> </ul>
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"> <li>・ KURIONとSARRYに両対応する試料採取工法の概念検討</li> <li>・ 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開発</li> </ul>
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"> <li>・ 以下の知見を反映し, 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)」を設計開発               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 円周方向の濃度分布は小さい</li> <li>- 深度方向の採取性が不確実, 表面付近の核種組成が重要</li> <li>- 2台の装置による工法は漏えい・高線量作業リスク有り</li> </ul> </li> <li>・ 閉止栓の設計開発, 試験</li> </ul>
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"> <li>・ 実環境を想定した「統合試料採取装置(ISM)」を設計開発</li> <li>・ 一部の付帯機器(SARRY用WD等)を設計開発</li> <li>・ 閉止栓改良品, 採取試料の収納容器モックアップの設計開発, 試験</li> </ul>
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"> <li>・ ISMの付帯機器を設計開発</li> <li>・ 採取試料の収納容器を設計開発</li> <li>・ オフサイトでの性能確認・実規模モックアップ試験</li> <li>・ オンサイトでのコールド試験</li> <li>・ 使用済吸着塔からの試料採取</li> </ul>

