

2号機 PCV内部調査・試験的取り出し作業の状況 (ロボットアームによる内部調査や試験的取り出し)

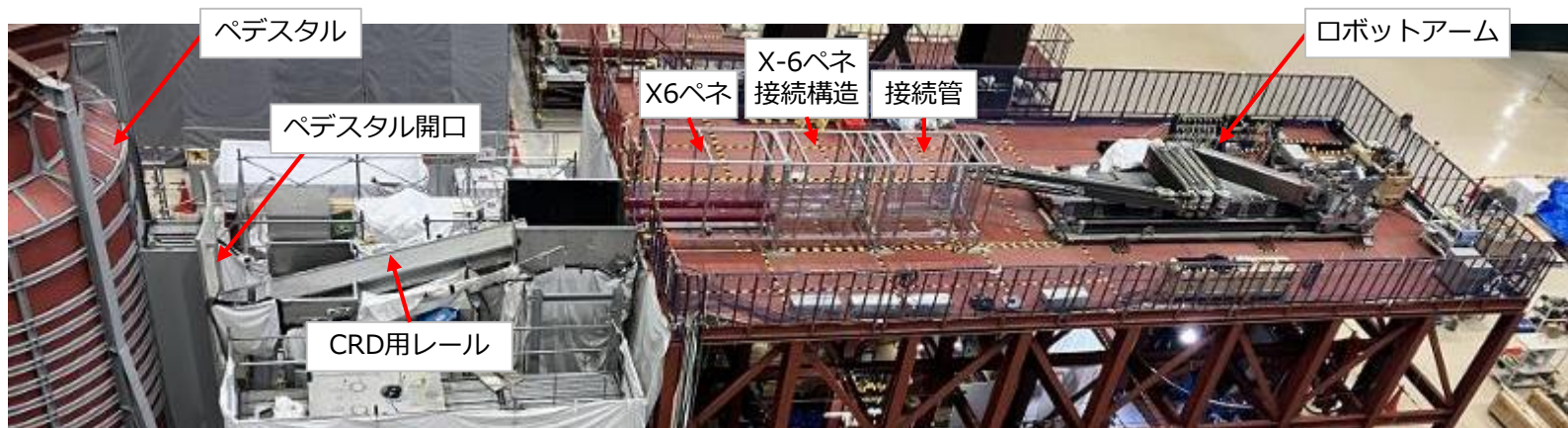
IRID **TEPCO**

2024年12月20日

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. 試験的取り出しに係る実施計画手続きについて

- 2号機においては、燃料デブリの段階的な取り出し規模の拡大に向け、原子炉格納容器（以下、PCV）内の情報を収集しつつ、少量の燃料デブリの取り出し（試験的取り出し）を行う計画
 - 2021年2月4日 2号機PCV内部調査に係る実施計画の認可を取得
 - ＜申請内容＞
 - PCV内部調査に向けた作業の内容（干渉物等の除去作業等）
 - 作業に伴う影響評価
 - 2024年2月5日 2号機燃料デブリ試験的取り出しの実施計画の認可を取得
 - ＜申請内容＞
 - 燃料デブリの試験的取り出し時の作業内容
 - 燃料デブリの輸送準備
 - 2024年5月9日 テレスコピック式試験的取り出し装置による試験的取り出しの実施計画の認可を取得
 - ＜申請内容＞
 - テレスコピック式試験的取り出し装置による試験的取り出しの作業内容

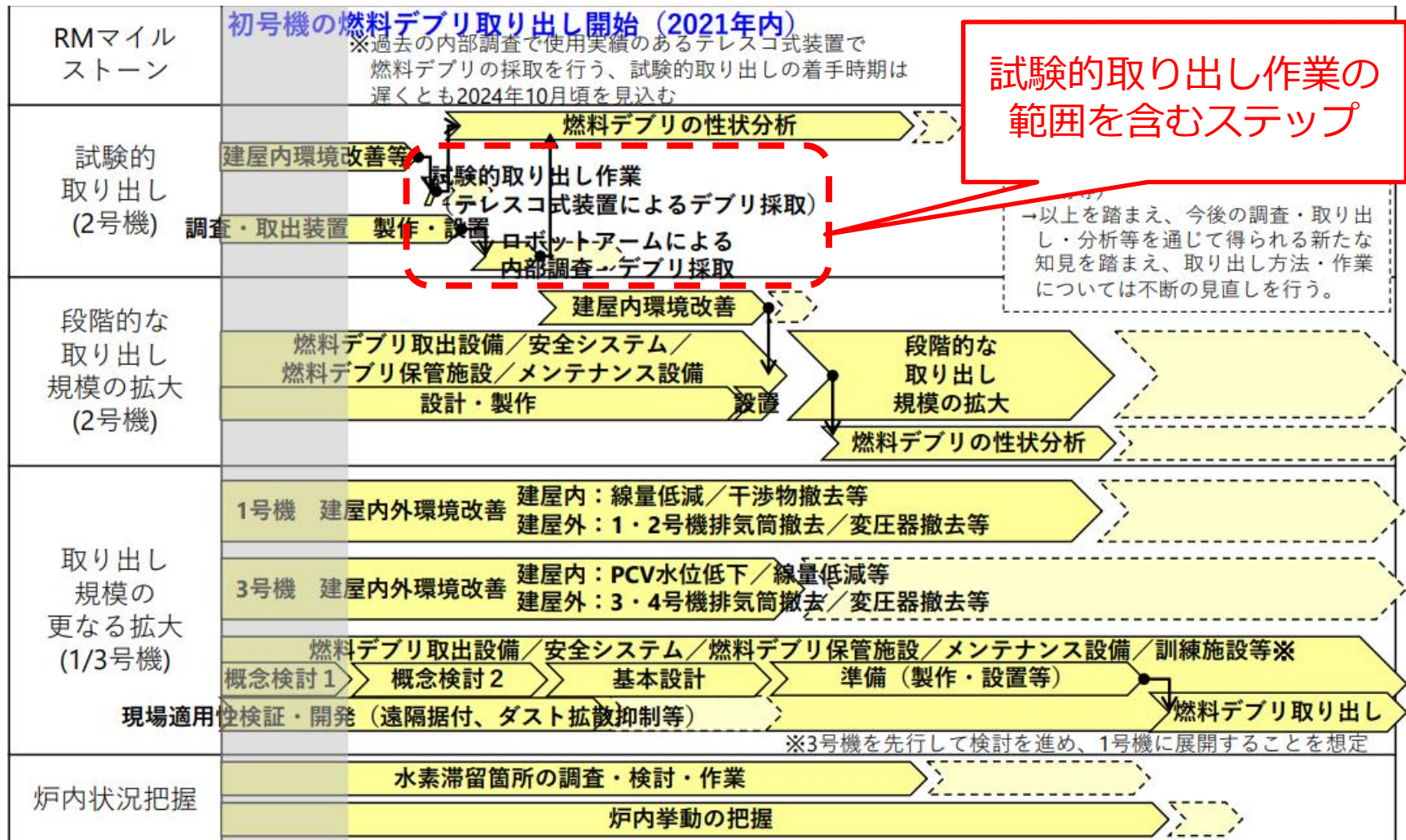


開発中のロボットアーム（モックアップ状況）

2. 燃料デブリ取り出しの全体像

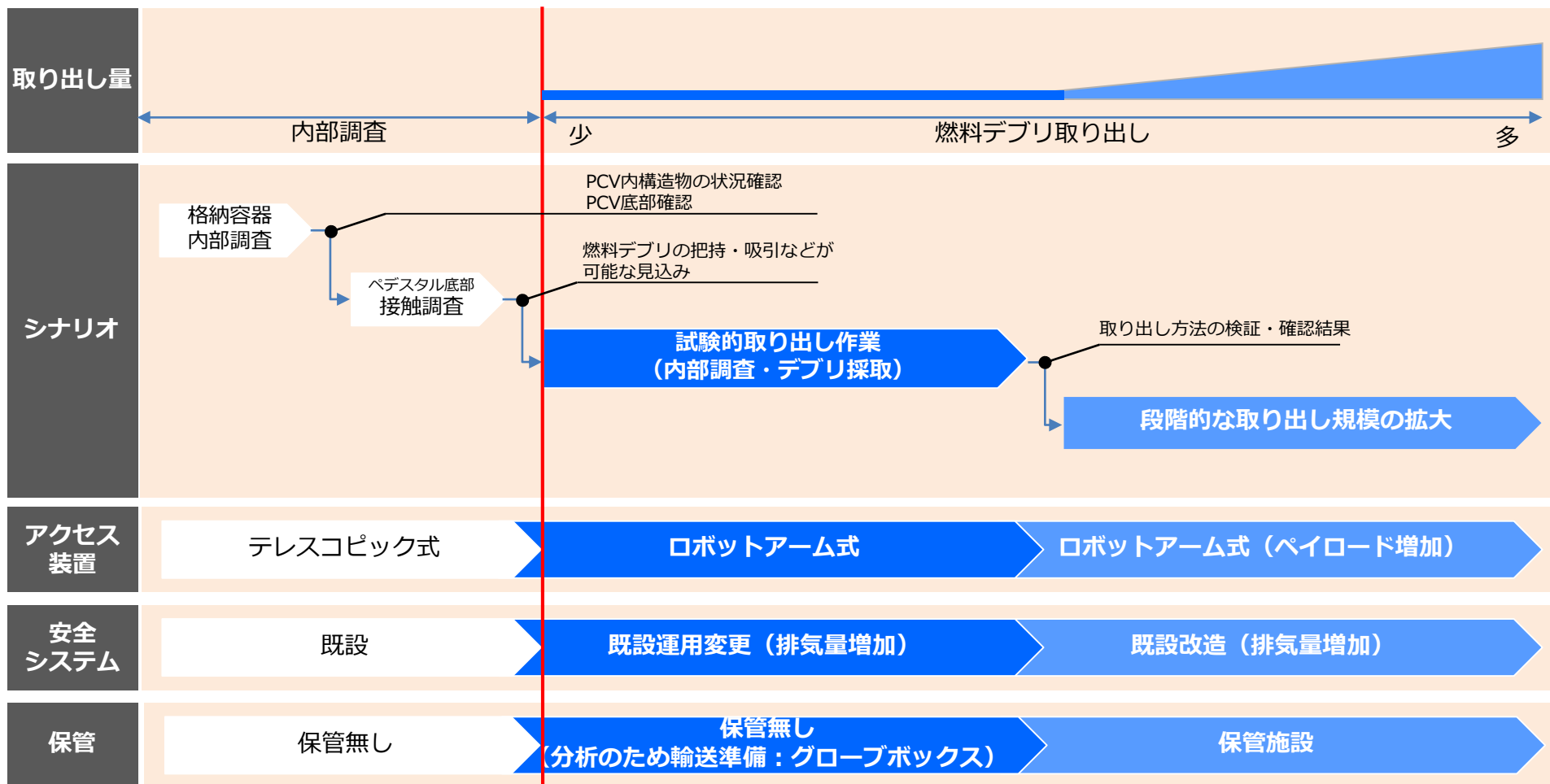
- 燃料デブリの取り出しについては、取り出しの初号機を2号機とし、試験的取り出しから開始し、その後、段階的に取り出し規模を拡大していく計画

表 廃炉中長期実行プラン上の位置付け



3. 燃料デブリ取り出しの進め方のイメージ

- 試験的取り出しから着手し、その結果を踏まえて方法を検証・確認した上で、段階的に取り出し規模を拡大していく、「ステップ・バイ・ステップ」の一連の作業として進める

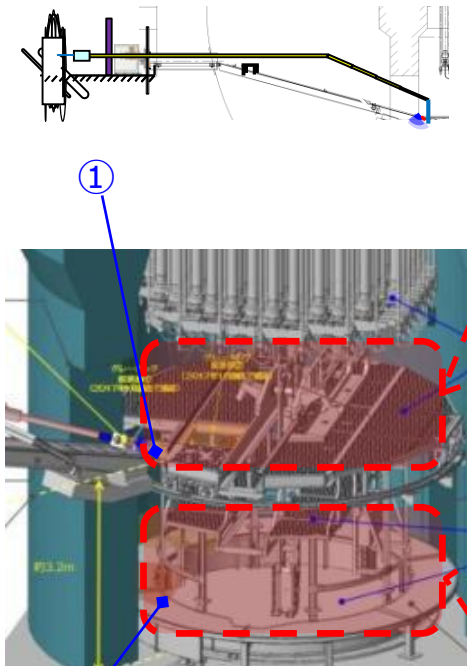


4. 過去の2号機格納容器内部調査の成果

- ペDESTAL内のプラットフォーム上および地下階へアクセスすることが可能なことを確認
- プラットホーム上及び地下階に燃料デブリが存在しており、一部は把持して動かせることを確認

2018年1月

2019年2月



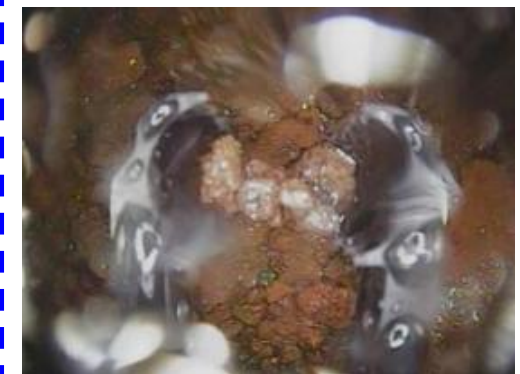
ペDESTAL内プラットフォーム上調査結果



プラットフォーム上
(概要図①の付近)



ペDESTAL内地下階調査結果

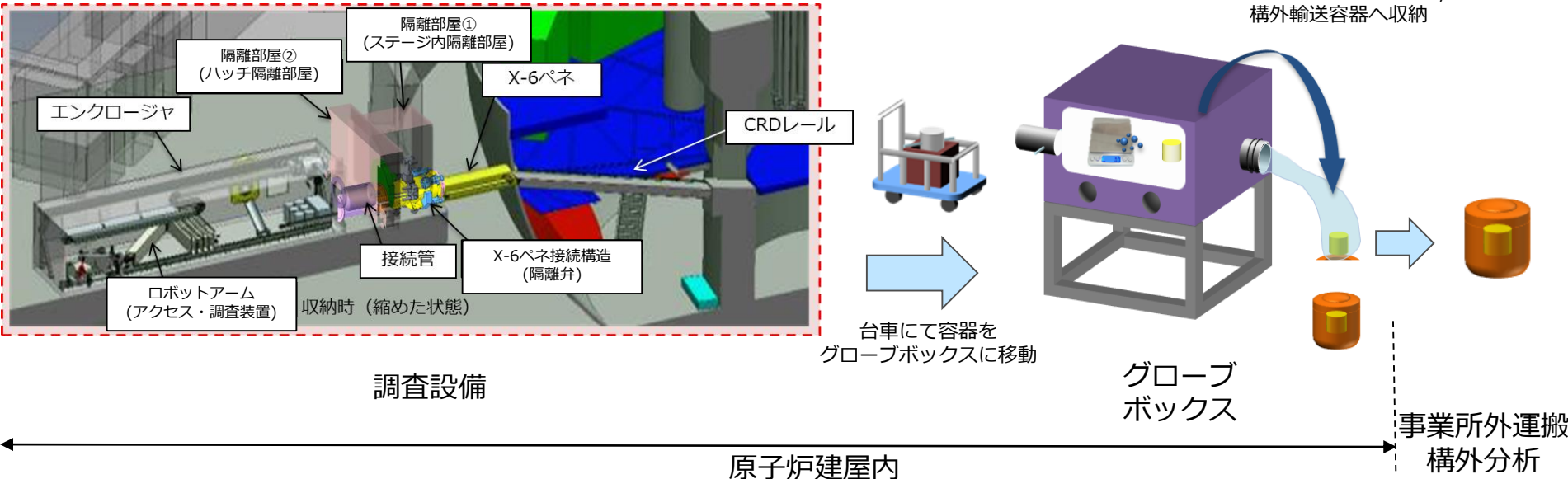


ペDESTAL底部
(概要図②の付近)

② ペDESTAL内概要図

5 - 1 . 試験的取り出しの概要

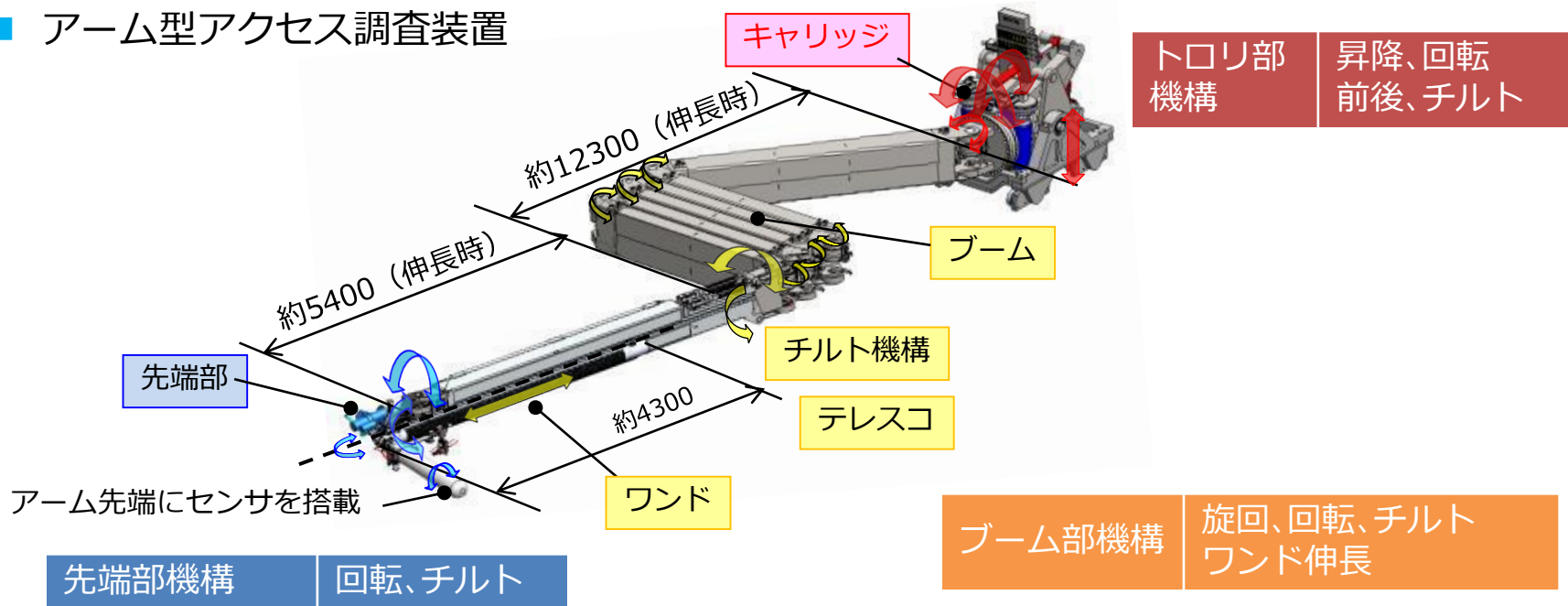
- 燃料デブリ取り出しを進めるにあたり，燃料デブリの分布と既設建造物の状態等を把握するため，PCV内部の調査及び試験的取り出しの実施を計画
- 試験的取り出しはPCV内部調査に使用する調査設備を用い，少量の燃料デブリを取り出す
 - 取り出した燃料デブリは構外分析施設へ輸送し，性状把握を実施
 - 試験的取り出しは将来的な取り出し装置の検証や確認も目的としており，得られる知見により将来的な取り出し作業の安全性向上を図る
- なお，試験的取り出しに際して扱う燃料デブリは少量であり，加工を行わないことから敷地境界線量評価に影響を与えるものではない



(注記) ・CRD：制御棒駆動機構

5-2. 試験的取り出しの概要（装置の仕様）

■ アーム型アクセス調査装置

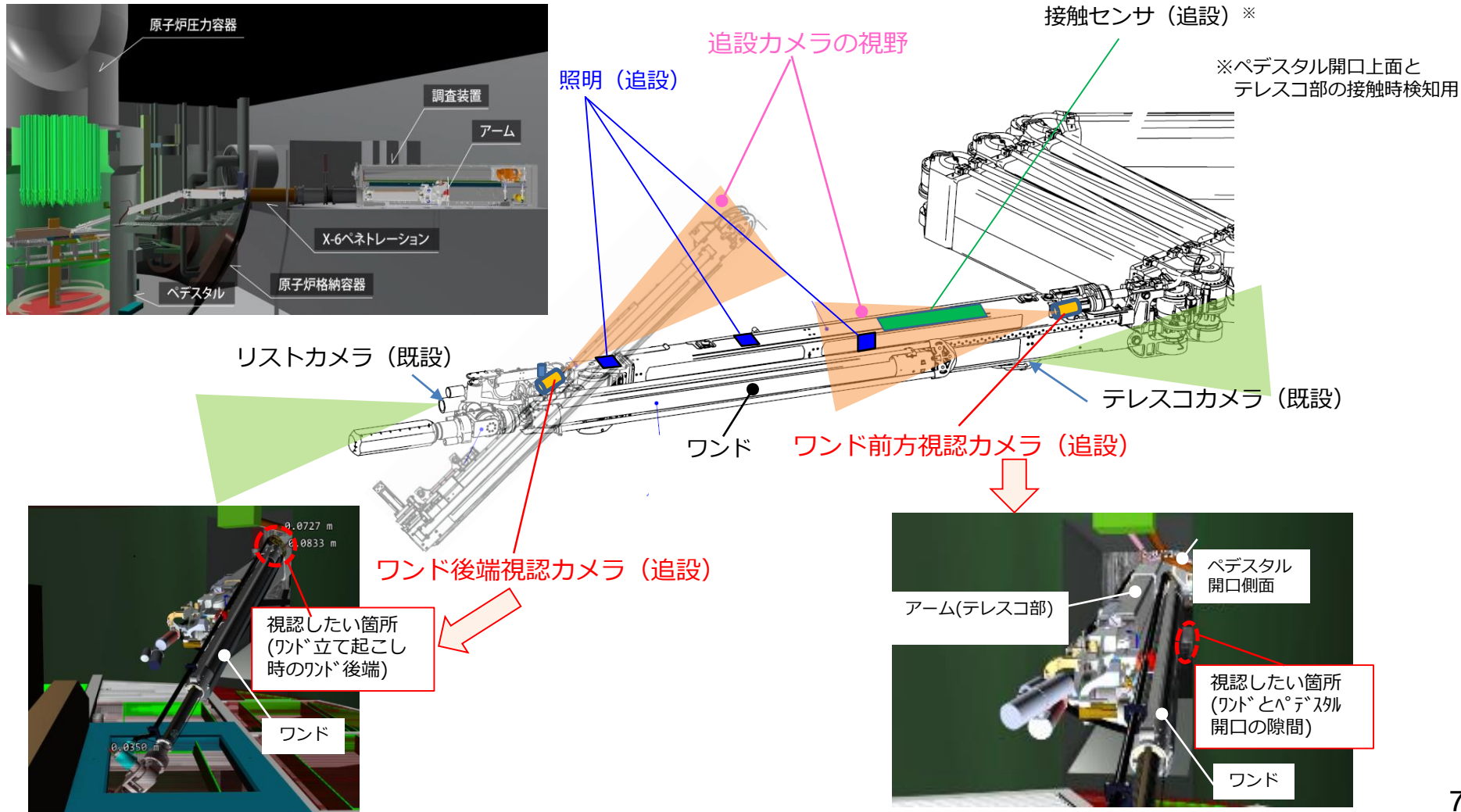


項目	仕様	備考
寸法、質量、材質	約2200 W×約8000 L×約1400 H (mm) : 収納時 約5t ステンレス材 (Boom) 及びアルミ材 (テレスコ)	
機能	調査装置のアクセス機能	
アクチュエータ	電動モータ	
アーム長さ	約18m (伸長時 : キャリッジ、ワンドを除く)	

参考. 試験的取り出しの概要 (カメラの設置状況)

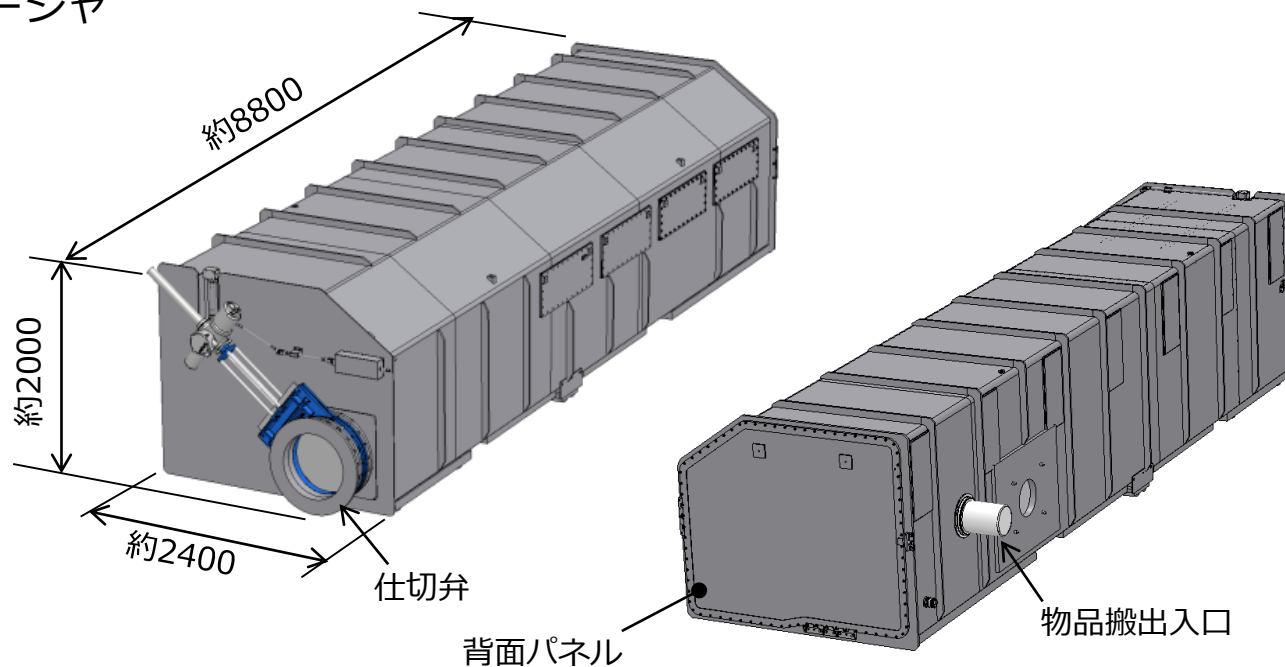
- ワンド後端部及び側面の干渉回避の観点で、カメラ2台及び照明3台を追設、ペDESTAL底部へのアクセス試験にて当該カメラの有効性 (視認性) を確認済。

※カメラの設置台数や位置は2024年1月時点の状況。検証試験の状況により変更する可能性あり



5-3. 試験的取り出しの概要（装置の仕様）

■ エンクロージャ

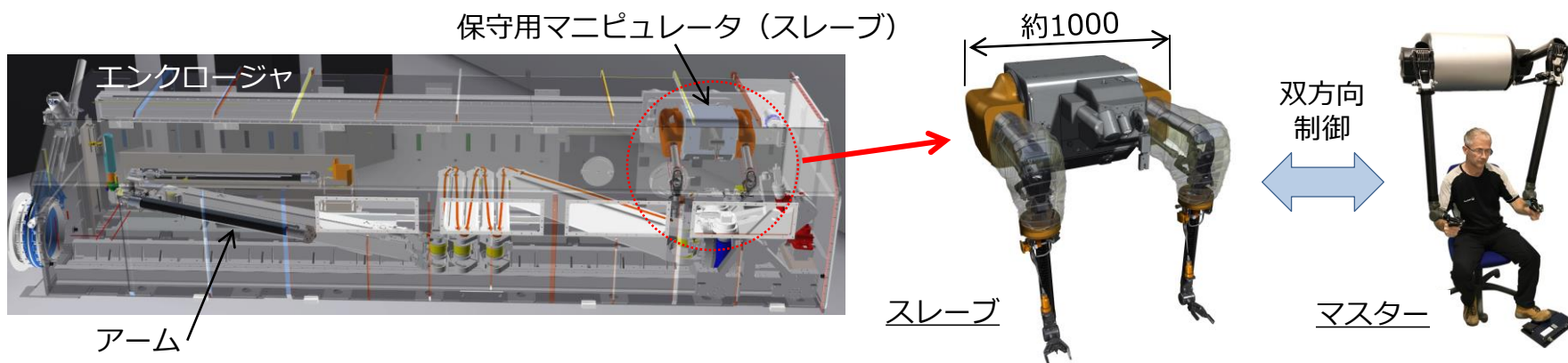


項目	仕様	備考
寸法、質量、材質	約2400W×約8800L×約2000H (mm) 約30t ステンレス	
機能	隔離弁開時のバウンダリ確保	
外板厚さ	天板及び側板 約10mm、底板約25mm	
付属設備	保守用双腕マニピュレータ、仕切弁、カメラ、照明、線量計 (物品搬入口より機材を搬出入する)	

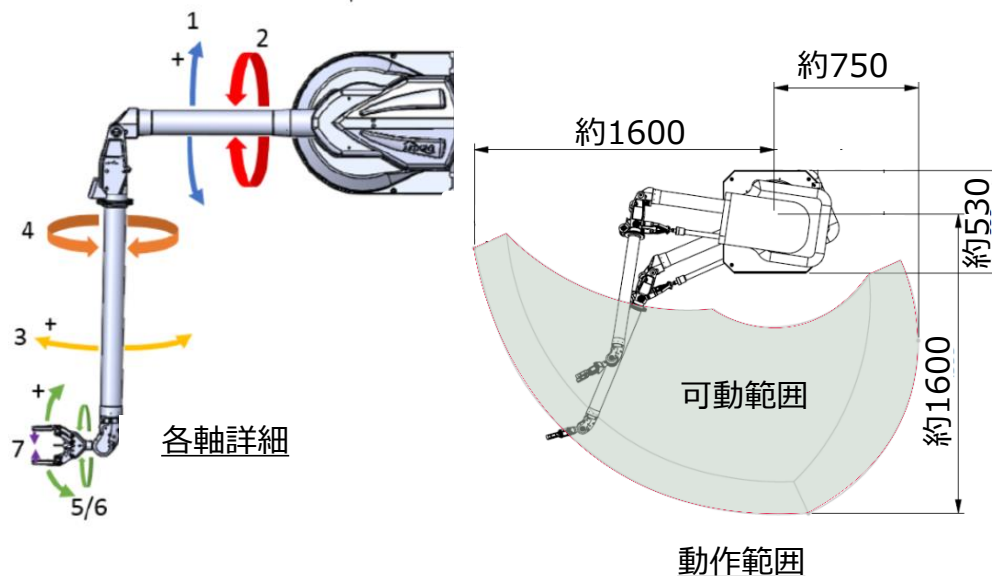
5 - 4 . 試験的取り出しの概要 (装置の仕様)

■ 保守用マニピュレータ

エンクロージャ内に設置した双腕のマスタースレーブマニピュレータで、遠隔操作でセンサやカメラの交換、アームの洗浄、エンクロージャ内への機器の搬出入を行う設備。

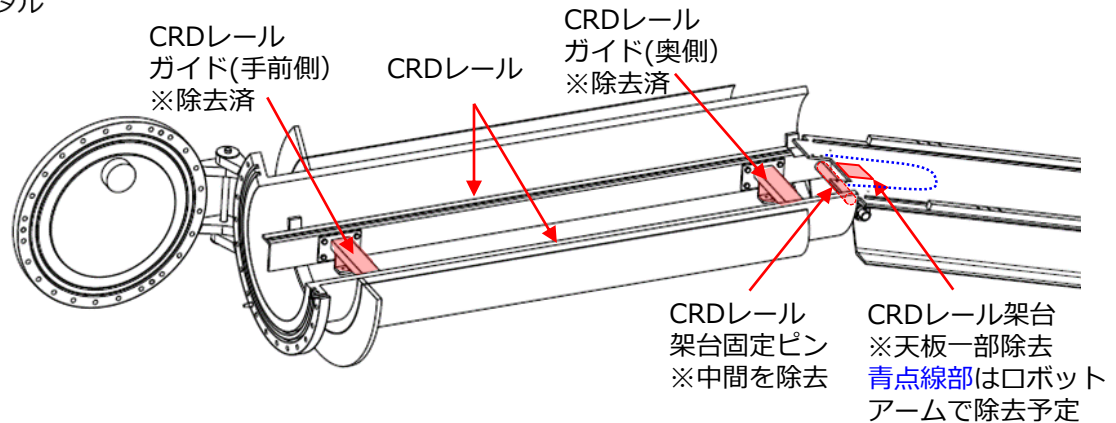
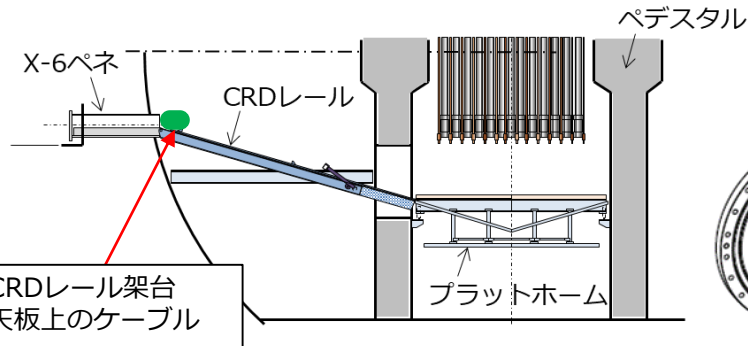


項目	仕様
対象作業	センサ、ワンドの交換、保守
最大可搬質量	約20kg(保守マニピュレータのアーム) 約100kg(保守マニピュレータのホイスト)

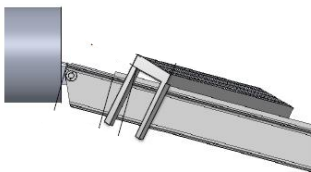
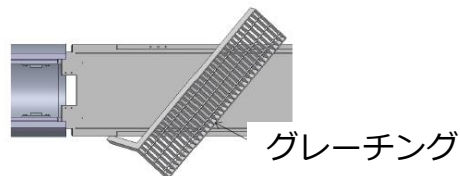


5 - 5. 試験的取り出しの概要 (干渉物除去)

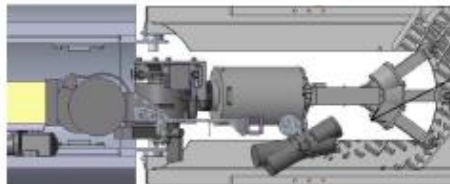
- CRDレール、CRDレール上のグレーチング、CRD開口部の電線管



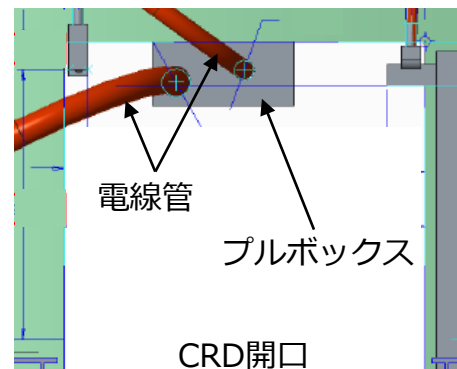
- CRDレール上のグレーチング



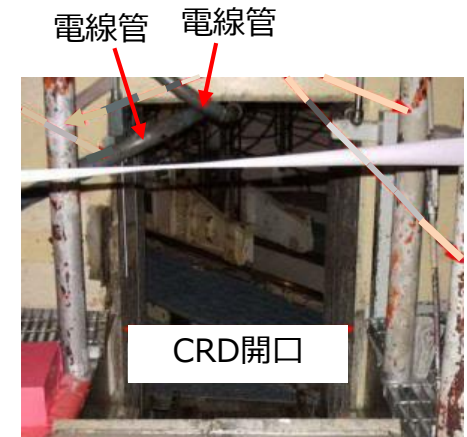
前調査で確認された、上方より到来 (落下) したと想定されるグレーチング。



- CRD開口部 (ペDESTAL入口) の電線管及びプルボックス



(正面から見た図)



定検時の写真

CRD開口部天井に設置されている電線管とプルボックスがアームアクセス時に干渉するため撤去が必要。

参考. 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/吊り具、グレーチング、ケーブル、電線管の除去/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、位置調整等に時間がかかり、**ロボットアーム挿入後のアクセスルート構築に時間を要することが試験にて確認できたため、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*** *X-6^α 内の堆積物除去にて押し出されたケーブル

グレーチング **CRDレール**

<除去/切断手順>

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

X-6ペネ(出口部)
CRDレール
ケーブル
グレーチング

切断前

X6ペネ
切断ノズル
切断部
CRDレール

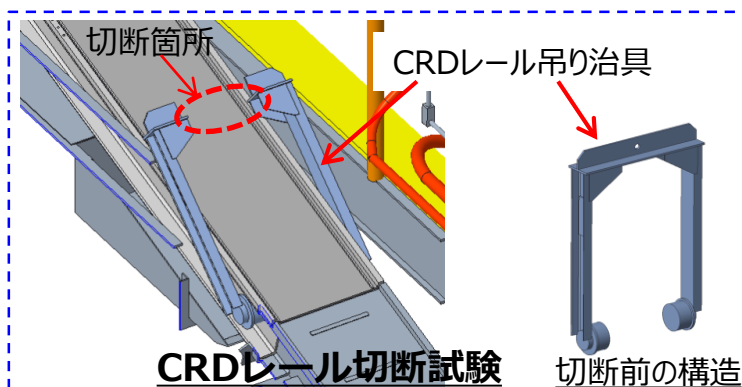
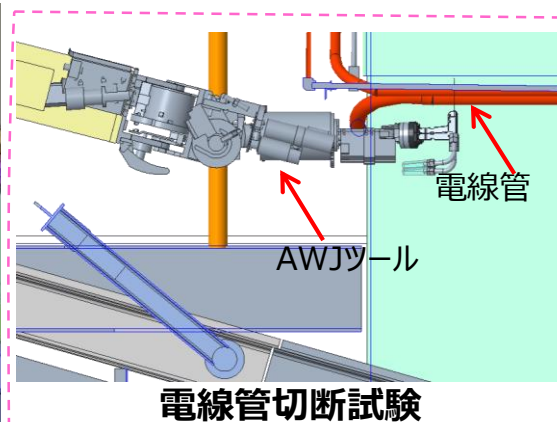
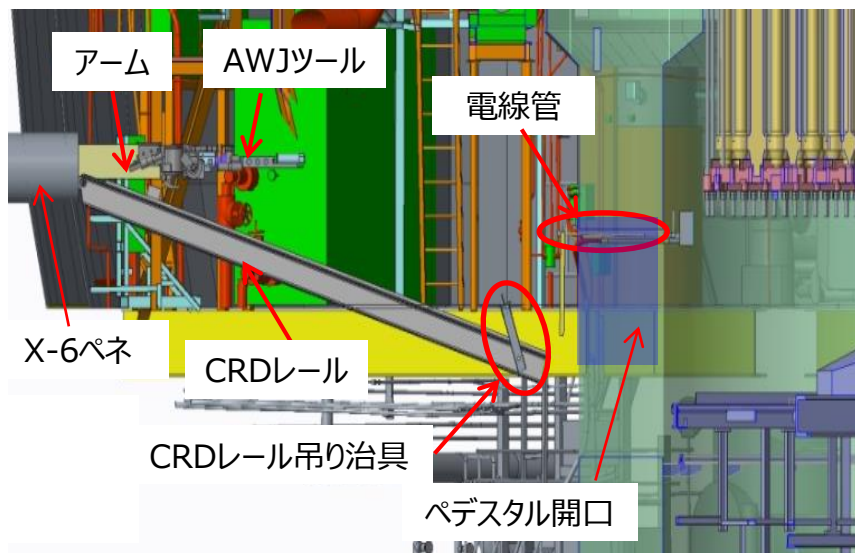
切断完了

アーム
CRDレール切断部
ワンド
ダミーセンサー

切断後のアーム通過性確認

参考. PCV内部障害物の除去試験

- 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レール吊り治具、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レール吊り具、電線管とも、計画通り切断できることを確認
- なお、CRDレール同様AWJノズルの角度、位置調整等に時間がかかり、ロボットアーム挿入後のアクセスルート構築に時間を要することが試験にて確認できたため、作業効率化（作業時間短縮）についても継続検討中



5 - 6 . 試験的取り出しの概要 (PCV内部調査項目)

- PCV内部調査では以下の調査を実施することを検討している
- 調査結果を燃料デブリ取り出し装置のアクセス範囲, 燃料デブリの取り出し方法, 堆積物の取り扱い方法などの燃料デブリ取り出し工法の検討に反映する計画

調査項目	調査概要	分かること
詳細目視	パンチルトカメラによるPCV内の既設構造物, ペDESTAL内の状況の確認	<ul style="list-style-type: none"> • PCV内既設構造物、ペDESTAL内の状況
ペDESTAL内3次元形状測定	レーザ距離計によるペDESTAL内の3次元形状の計測	<ul style="list-style-type: none"> • ペDESTAL内の表面形状
中性子束測定	検出器を用いて堆積物表面の中性子束を測定	<ul style="list-style-type: none"> • ペDESTAL内の中性子カウント分布
ガンマ線線量率測定	ペDESTAL内の複数箇所にて検出器を用いて各方向からのガンマ線量率を測定し, 堆積物表面のガンマ線量率を評価	<ul style="list-style-type: none"> • PCV内の線源分布

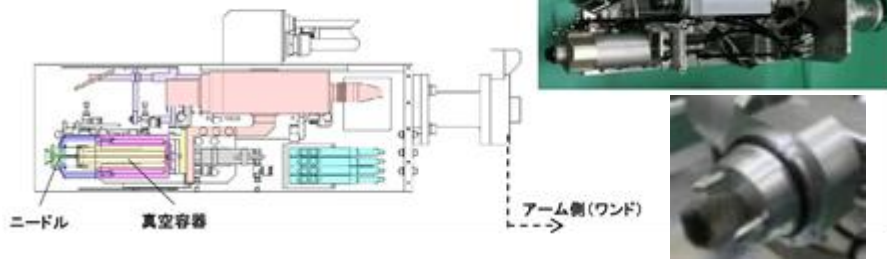
6. 未臨界の維持への考慮

- 試験的取り出しにおいては、**数gの量を数回取り出す**ことを予定
- 2号機に装荷されていた燃料のU-235ペレット最高濃縮度（未照射）は4.9wt%であり、臨界の最小質量30.2kg（U-235濃縮度5wt%：日本原子力研究開発機構の臨界安全ハンドブック・データ集※1）に対して試験的取り出しで扱う量は臨界管理上、問題とならない量となる
- また、現在、臨界検知のために原子炉格納容器ガス管理設備ガス放射線モニタによるXe-135濃度監視を実施しているが、試験的取り出し作業中も本監視を継続し、緊急時には原子炉圧力容器・格納容器ホウ酸水注入設備によりホウ酸水を注入する
- 回収装置の設計においては、**1回の燃料デブリの回収量が数g以下となる装置**とし、金ブラシ方式と真空容器方式を採用することにより燃料デブリの取扱量を制限する

＜燃料デブリ回収装置先端部＞

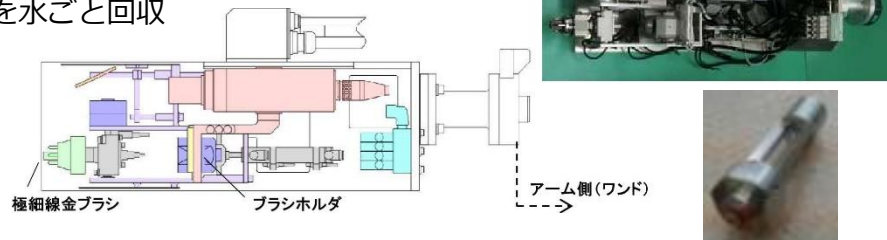
＜金ブラシ方式＞

粒状の燃料デブリ（φ2mm程度）を回収



＜真空容器方式＞

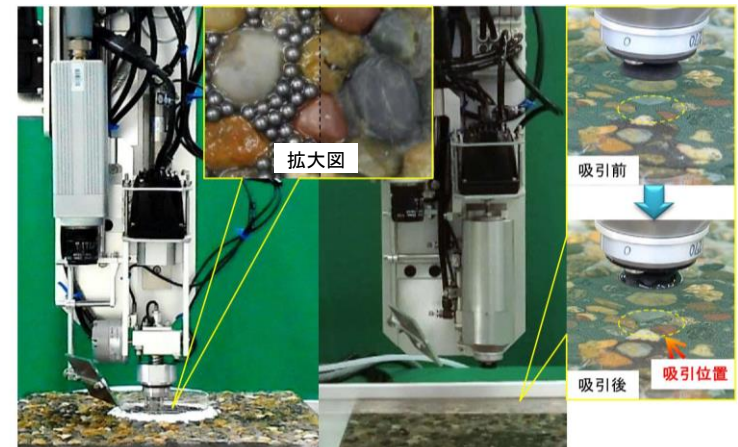
水中の粒状の燃料デブリ（φ2mm以下）を水ごと回収



ロボットアームによるデブリ採取



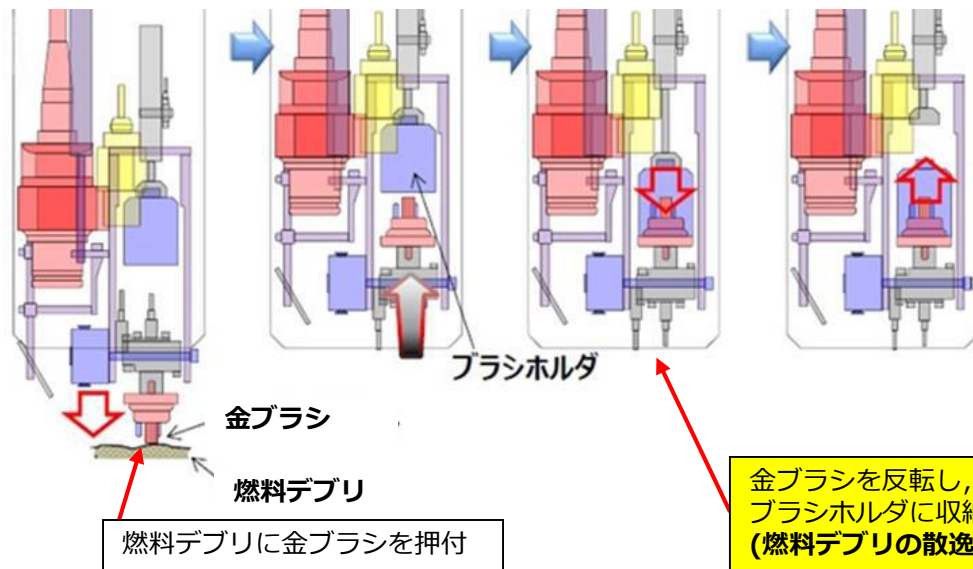
＞燃料デブリ回収試験（鉛球を使用した模擬試験）：試験結果回収量は最大2.606 gであり数g以下の回収量となることを確認



(※)写真中の窪み(深さ2.6mm)に鉛玉を充填した場合の採取量

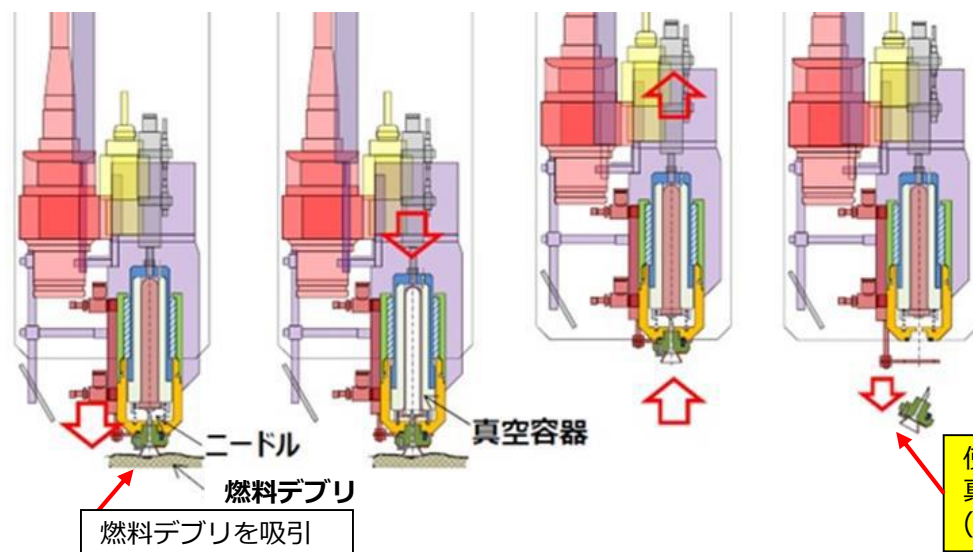
【参考】燃料デブリ回収手順

(1) 金ブラシ方式



- ① アーム型アクセス・調査装置を操作し回収装置を燃料デブリ回収位置まで移動
- ② 金ブラシを降下させ燃料デブリに金ブラシを押し付け
- ③ 金ブラシを引き上げた後、金ブラシを反転
- ④ ブラシホルダを降下させ、金ブラシを収納
- ⑤ ブラシホルダを回収装置から切り離す
- ⑥ アーム型アクセス・調査装置を操作しエンクロージャまで戻す

(2) 真空容器方式



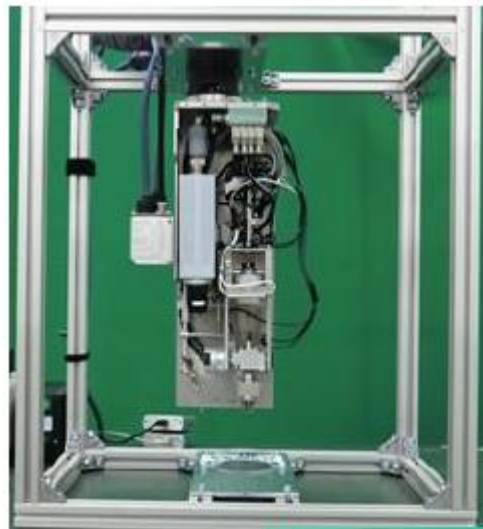
- ① アーム型アクセス・調査装置を操作し回収装置を燃料デブリ回収位置まで移動
- ② 先端を燃料デブリに接触させた状態で真空容器を押し込み吸引
- ③ 真空容器を引き込み、ニードルを切り離す
- ④ アーム型アクセス・調査装置を操作しエンクロージャまで戻す

【参考】燃料デブリ回収試験

- 試験的取り出しでは極めて少量の燃料デブリを採取する計画であり、過去のPCV内部調査にて2mm程度の砂粒状の堆積物を確認している現状を踏まえ、小さい粒径を設定
 - 回収装置にて、模擬燃料デブリの回収試験を実施
 - 試験条件
 - ✓ 装置は実機相当の試験機を使用
 - ✓ 底面はPCV底部の調査結果より平らな状態と凸凹した状態を模擬
 - ✓ 模擬デブリは、砂粒状のデブリの回収を想定し鉛玉2mm, 1mm, 0.35mmを使用
- * 最小径は試験上の取り扱い性を考慮して0.35mm, その中間にあたる1mmの3種類で模擬



2号機ペDESTAL底部の状況
(2018年PCV内部調査)



試験装置



回収量計測結果

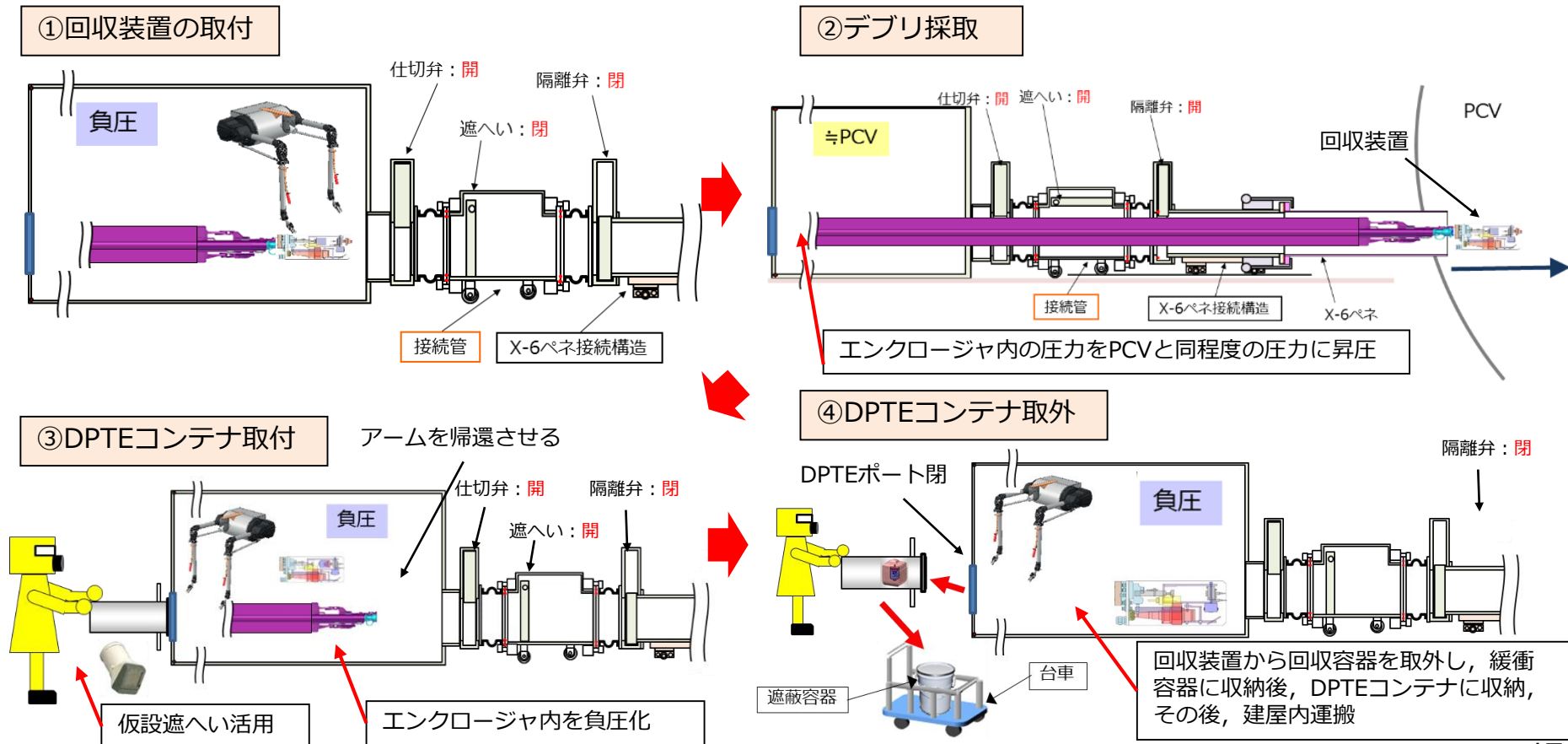
鉛粒径 (mm)		φ0.35	φ1.0	φ2.0	粒径混合
金ブラシ	最大値	約 0.15g	約 0.56g	約1.6g	約 0.65g
	試験回数	14	14	14	3
	平均値	0.09g	0.33g	0.68g	0.61g
真空容器	最大値	約2.6g	約 0.87g	-※	約 0.67g
	試験回数	19	19		3
	平均値	0.93g	0.35g		0.54g
全体	最大値	約2.6g, 試験回数86回, 平均値0.50g			

■ 試験結果

回収試験を実施した結果、最大の回収量は約2.6gとなった。ただし、数千回の回収試験において2.6gとなったのは1回のみであり、試験全体での回収量平均値は0.5gと低くなっていることから最大3gを超えることはない

7-1. 取り出し作業時の安全、飛散防止及び遮蔽への考慮

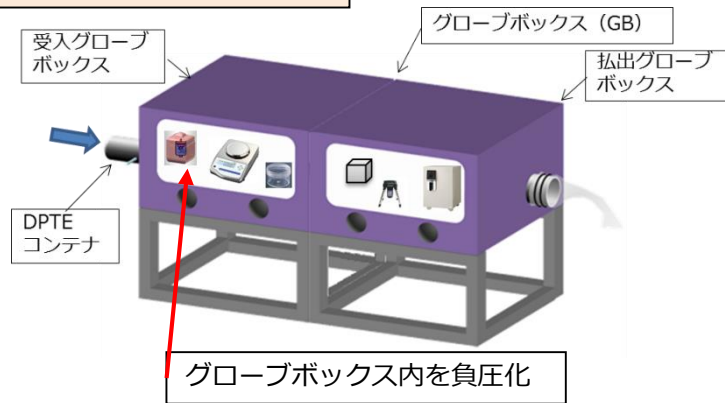
- 試験的取り出しにおいては、先行する内部調査で設置したアーム型アクセス・調査装置を使用し、取り出し作業を行う
- 燃料デブリを収納したDPTE コンテナに接近し作業を行う際は、DPTE コンテナの表面線量を測定し、作業可能であること確認し、仮設遮へいを活用してアクセスする
- DPTEコンテナは「JIS Z 2332 圧力変化による漏れ試験方法」に準拠した漏れ確認試験を行い、著しい漏れがないことを確認し、閉じ込め機能を確保する



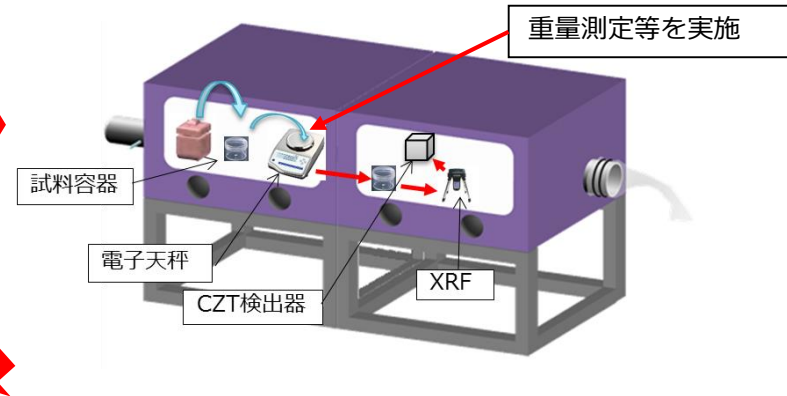
7-2. 取り出し作業時の安全、飛散防止及び遮蔽への考慮

- グローブボックスでは、回収した燃料デブリを回収容器から取り出し重量測定、線量測定を行い構外の分析施設に輸送する
- グローブボックスの漏えい率は「JIS Z 4808 放射性物質取扱作業用グローブボックス」に準拠して設計し、**作業中負圧化することで放射性物質の飛散防止を図る**
- 閉じ込め機能の維持のため、グローブボックス内の圧力を監視し、大気圧に近づいた場合は警報が発報し、異常を検知する
- 電源喪失時は手動弁の閉操作により閉じ込め機能を維持する

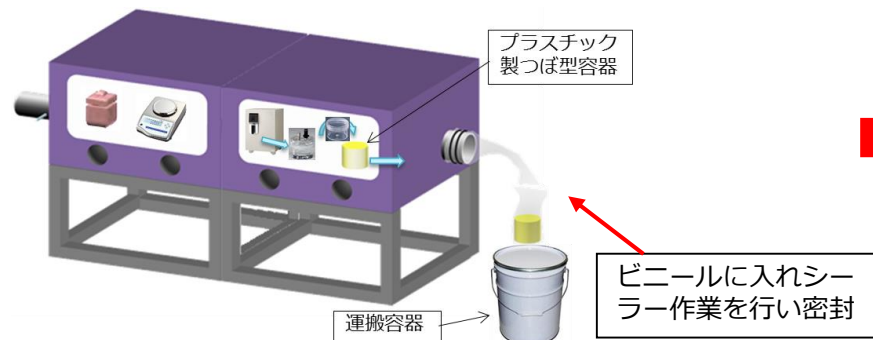
⑤ DPTEコンテナ取付



⑥ 各種測定



⑦ 運搬容器に収納



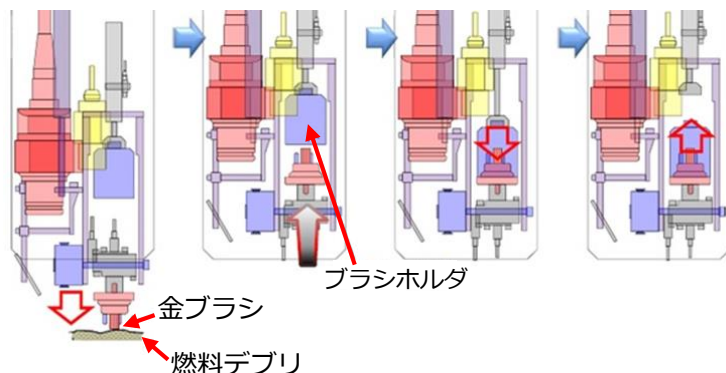
⑧ 事業所外運搬 (認可対象外)

【参考】試験的取り出し（デブリ採取）のイメージ （モックアップ試験状況）

■ PCV内部へのアクセス性確認（デブリ採取）試験の状況



■ 回収装置（金ブラシ型）の動作状況

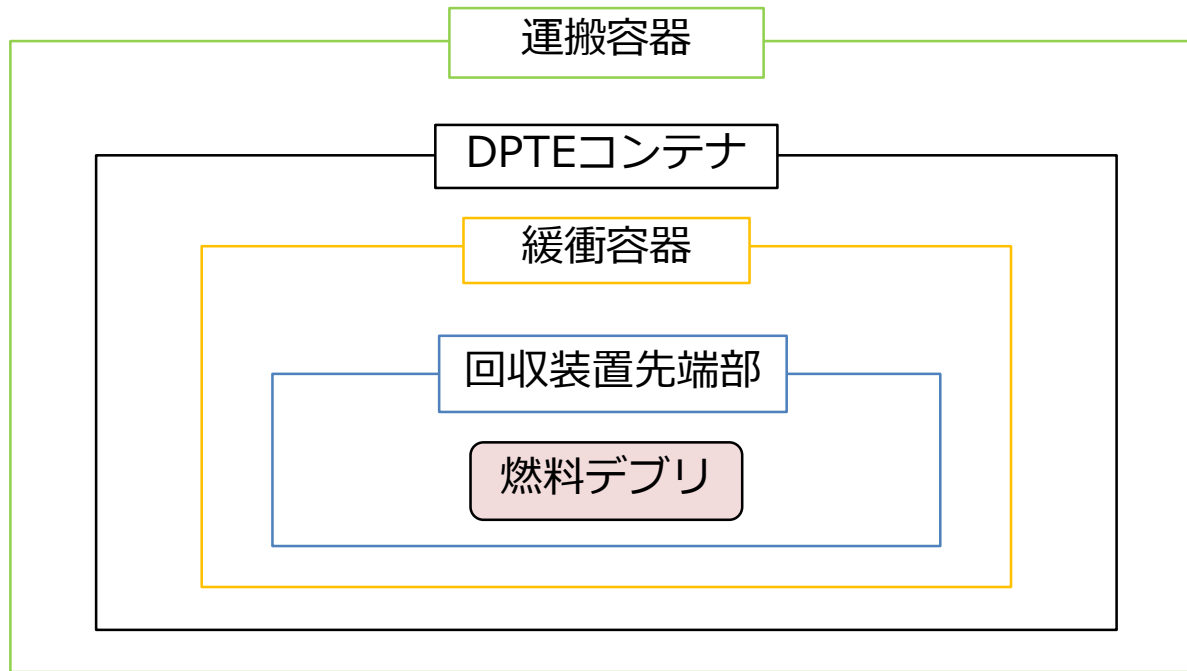


<燃料デブリ採取手順>

- ①ロボットアームを操作し、燃料デブリ回収装置を燃料デブリ回収位置まで移動させ、回収位置で金ブラシを降下させ、燃料デブリに金ブラシを押し付ける。
- ②金ブラシを引き上げた後、金ブラシを上下に反転させる。
- ③ブラシホルダを降下させ、燃料デブリが付着した金ブラシを収納する。
- ④ブラシホルダを回収装置から切り離し、ロボットアームを操作し、エンクロージャまで戻る。

【参考】原子炉建屋内運搬時の燃料デブリの収納状況

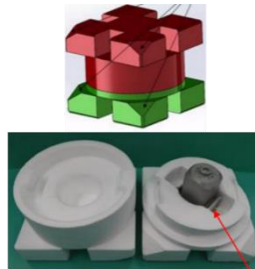
- エンクロージャから搬出された燃料デブリは下記に示すように運搬容器に収納される。



燃料デブリ



<金ブラシ方式> <真空容器方式>



回収装置先端部

緩衝容器



DPTEコンテナ



運搬容器

