

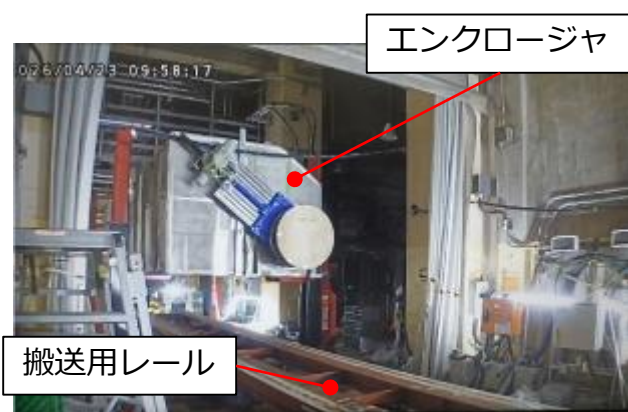
2号機 PCV内部調査・試験的取り出し作業の状況



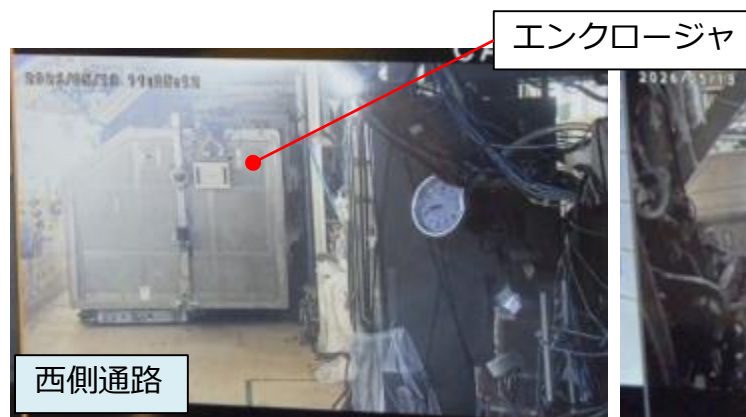
技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
東京電力ホールディングス株式会社

1 - 1. ロボットアームの設置状況 (原子炉建屋内搬送・据付)

- 4/21に原子炉建屋内に搬入し、南西エリアまで搬送
- 5/13～遠隔搬送台車を使用し、エンクロージャを南西エリアから北西エリアまで搬送
- 5/18にX-6ペネ接続構造及び接続管への接続を実施
- その後、原子炉建内外のケーブル等敷設作業を実施
- 6/23～ ロボットアーム据付後の健全性確認のため動作確認を実施



4/21 大物搬入口⇒南西エリアまで搬送



5/13 南西から北西エリアまで搬送（遠隔搬送）



5/13 北西エリアで旋回（遠隔搬送）



5/18 X-6ペネ接続構造・接続管に接続



接続管側フランジ

1 - 2. ロボットアームの設置状況 (健全性確認のための動作確認)

- ロボットアームの健全性確認のため動作確認を実施中
- ロボットアーム及びマニピュレータは遠隔操作室で東電オペレータが操作
- PCVバウンダリとなるX-6ペネ接続構造の隔離弁を閉めた状態で、アーム及びマニピュレータの動作確認を実施

マニピュレータ
(操作側)



VR画面

アーム操作

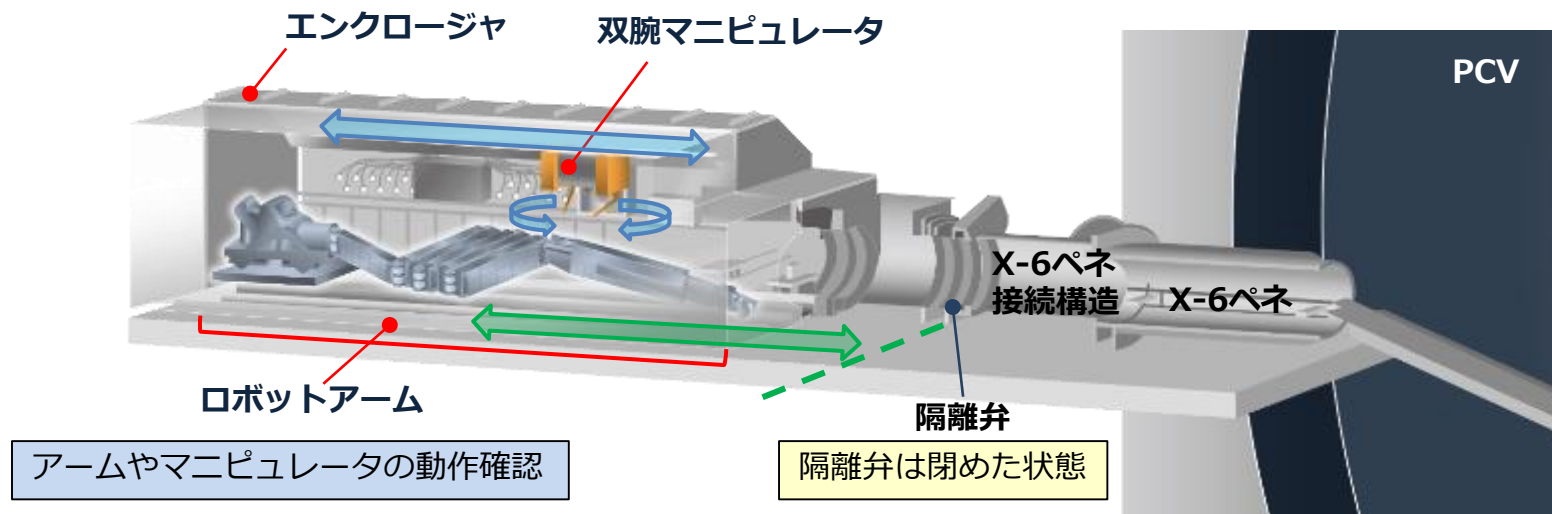
遠隔操作室の状況

エンクロージャ内をカメラで
確認しながら遠隔操作



マニピュレータ動作確認の状況

<健全性確認の動作確認の実施概要>

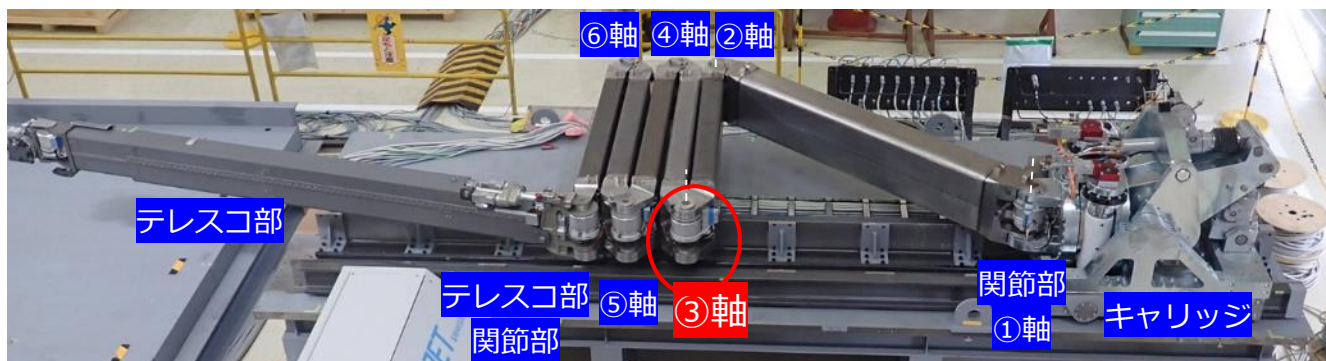


アームやマニピュレータの動作確認

隔離弁は閉めた状態

2-1. ロボットアームの動作確認の状況 (関節部③軸駆動装置の動作不良)

- アームの動作確認時にアーム関節部③軸駆動装置モータの位置保持機構※1の固定が解除できないことを確認（他の関節部等は異常なし）
 - 電気系の確認を行い、問題がないことを確認
 - アーム関節部の軸駆動装置（モータ・減速機の一式）は、楢葉検証※2のメンテナンス時に交換済み
 - メンテナンス時に単体動作確認、アーム組込み後の動作確認等を行い健全性確認済み

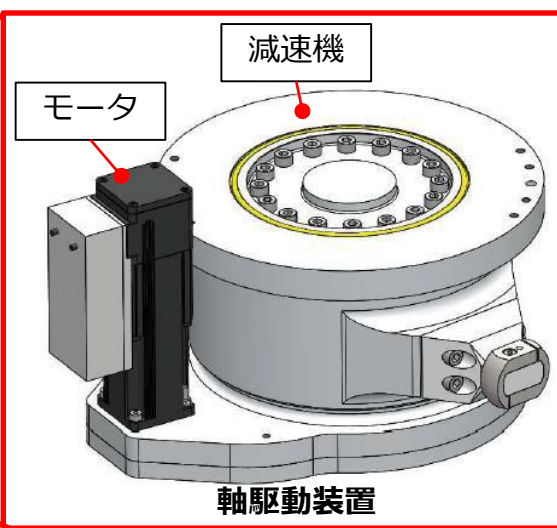


ロボットアーム概要

- ※1 アームの姿勢を維持するためモータの回転を固定するブレーキ機構
- ※2 JAEA楢葉遠隔技術開発センターで実施した検証試験



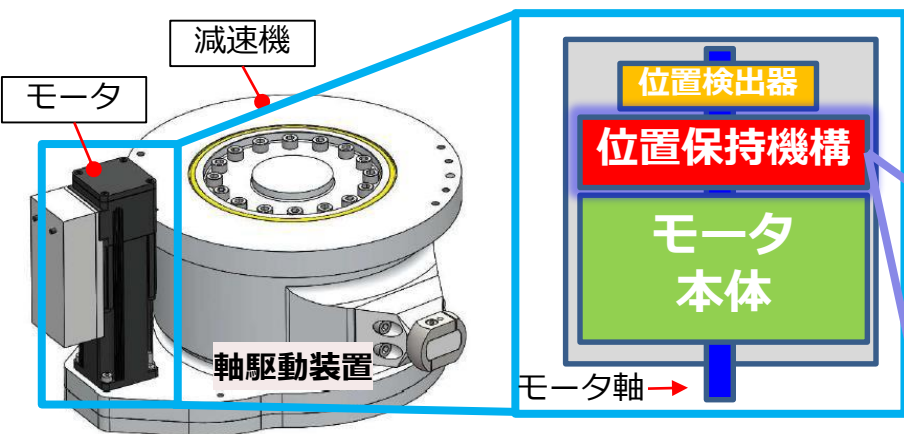
アーム関節部軸



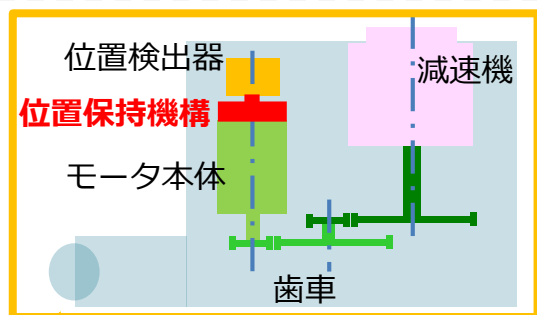
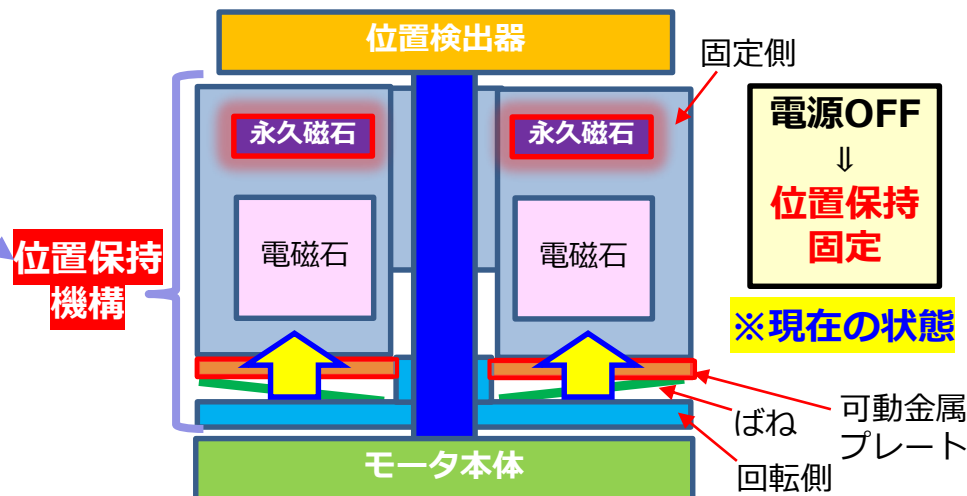
ロボットアーム動作状況
(楢葉検証時)

参考. ロボットアームの動作確認の状況 (関節部③軸駆動装置の構造)

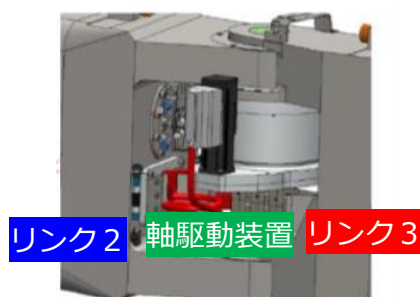
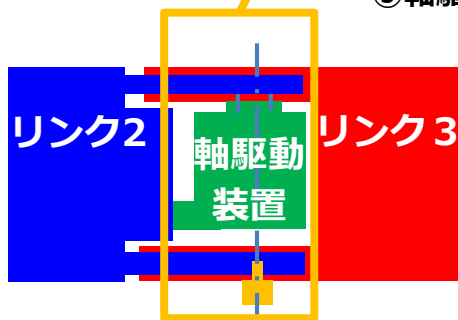
- 軸駆動装置のモータの構造は以下の通り
 - モータ本体、**位置保持機構**、位置検出器を組み合わせたもの



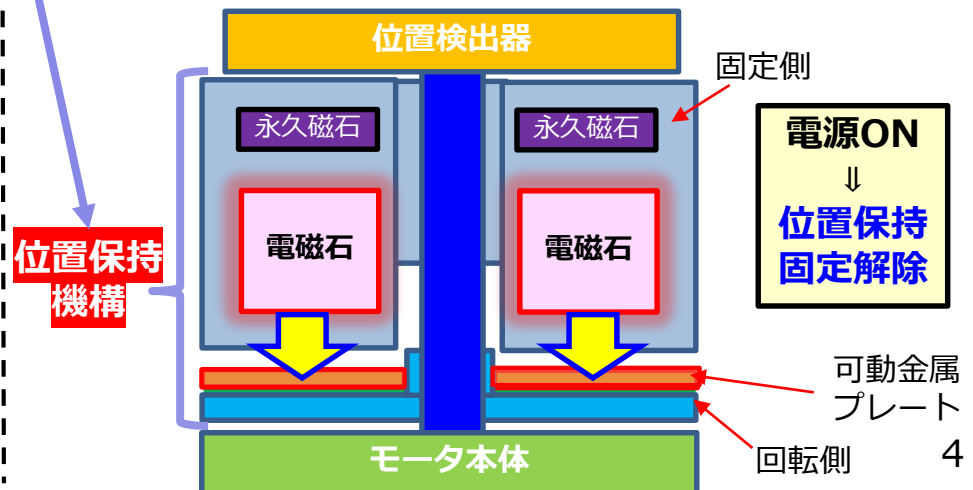
- 電源OFF時は永久磁石により可動金属プレートが固定側に接触し、**位置保持機構が固定**となった状態



③軸駆動装置詳細



- 電源ON時は電磁石に電圧が印加され、永久磁石の磁界を打ち消すように磁界が働くため、可動金属プレートがばねに引っ張られ固定側から離れ、**位置保持機構の固定が解除**となった状態



2-2. ロボットアームの動作確認の状況 (原因調査の状況)

- 電気系、機械系に対して、これまで下表の調査を実施
- 各調査において、電気系に問題がないことから機械系の原因と推定
- 軸駆動部モータの交換が必要と判断し、当該モータの交換に向けた検討を実施

対象	項目	調査結果
電気系	制御システムのエラー、バグ	・ 制御システムからの指令が出力されていることを確認
	ケーブルの断線、損傷	・ 制御盤から位置保持機構までの線間抵抗測定結果に問題のないことを確認
	位置保持機構の解除電源が印加されていない	・ 制御盤から位置保持機構までの電圧を測定し問題のないことを確認
	位置保持機構の解除電圧が低い	・ 制御盤から位置保持機構までの絶縁抵抗に問題のないことを確認 また、高い電圧を印加したが位置保持機構の固定は解除されず
機械系	位置保持機構の損傷	・ 内部は確認できていないが、輸送の振動で損傷する可能性は低い
	位置保持機構可動部の固着、噛み込み	・ ③軸駆動装置モータに振動等の外力を加えたが、解除されず



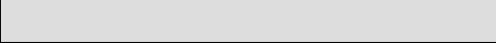
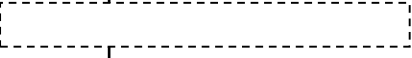
マニピュレータによる調査状況
(エンクロージャ内カメラ映像を映したモニター)



エンクロージャ内確認状況

3. 工程

- ・ 楯葉での検証試験が完了したことから、ロボットアームを1Fへ搬送実施。その後、2号機原子炉建屋への搬入、遠隔操作での搬送を行い、X-6ペネ接続構造及び接続管への接続、ケーブル敷設を実施。現在、健全性確認のため動作確認を実施中
- ・ 動作確認時にアーム関節部③軸駆動装置モータの位置保持機構の固定が解除できないことを確認
- ・ 調査の結果、③軸駆動装置モータの交換が必要と判断し、当該モータの交換作業を実施中
- ・ 復旧工程及びPCV内部調査・試験的取り出し作業の着手時期については、工程精査中

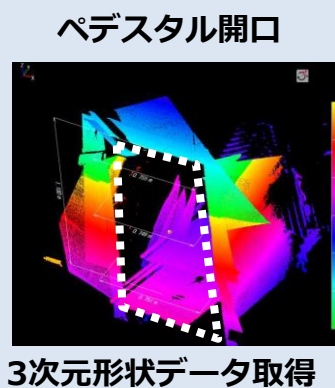
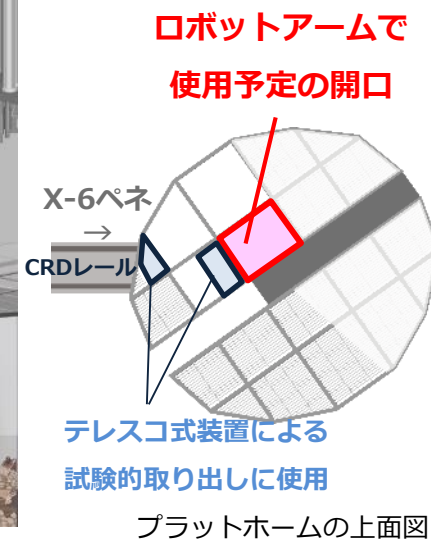
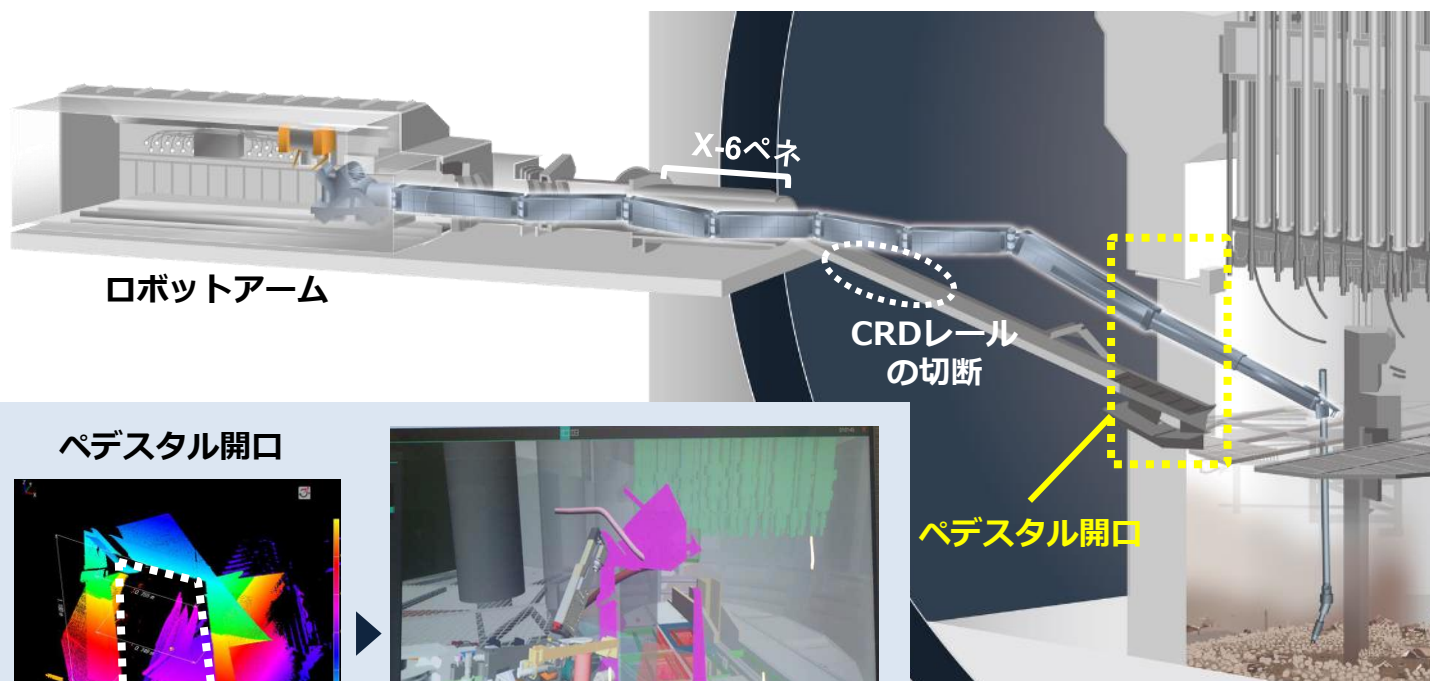
		2026年度			
		第1Q	第2Q	第3Q	第4Q
ロボットアーム	ワンスルー試験・試験結果に応じた必要な追加開発や点検・保守等				
	福島第一原子力発電所への搬送				
	設置準備等・アクセスルート構築	 			
	内部調査・デブリ採取				

 : これまでの実績  : 開始時期と終了時期は精査中

参考．PCV内部調査・試験的取り出しの目的

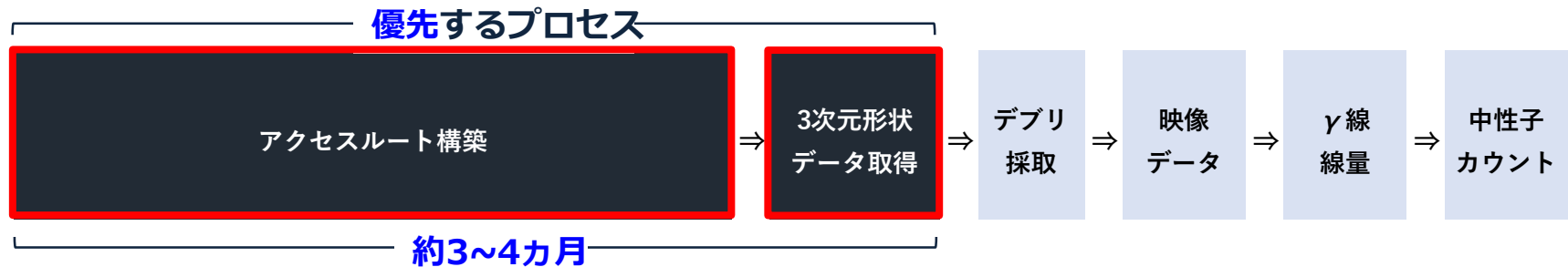
- PCVの貫通孔となるX-6ペネからロボットアームを進入させ、内部調査や試験的取り出しを実施する計画
- ◆ 目的
 - テレスコ式装置より大型のロボットアームを進入させる際に障害となる干渉物を撤去する**アクセスルートの構築**※
 - 段階的に規模を拡大した燃料デブリの取り出しにおける取り出し装置の設計や作業計画の妥当性確認に活用するため、**PCV内部の3次元形状データや映像等を取得**
 - デジタル環境（VR）を活用した**完全遠隔オペレーション作業の実証**や**高線量環境下での長期間使用による装置の実証**

※PCV内干渉物の撤去



参考．PCV内部調査・試験的取り出しの作業工程

- 作業工程については、**アクセスルート構築**、**3次元形状データ取得**、**デブリ採取**、その他データの取得を実施する計画
- この中では、**アクセスルート構築**や的確な装置設計・妥当性検証及びオペレーションの検証・効率化を行うための**ペDESTAL内の3次元形状データ取得**を優先して実施。全工程で**約6カ月のオペレーション**



上記の作業ステップ中に、適宜追加で実施

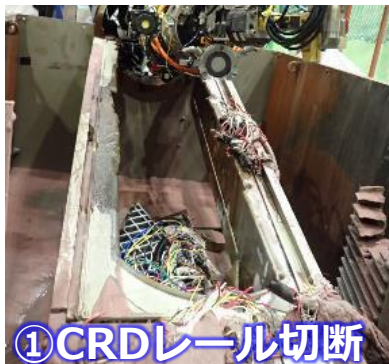
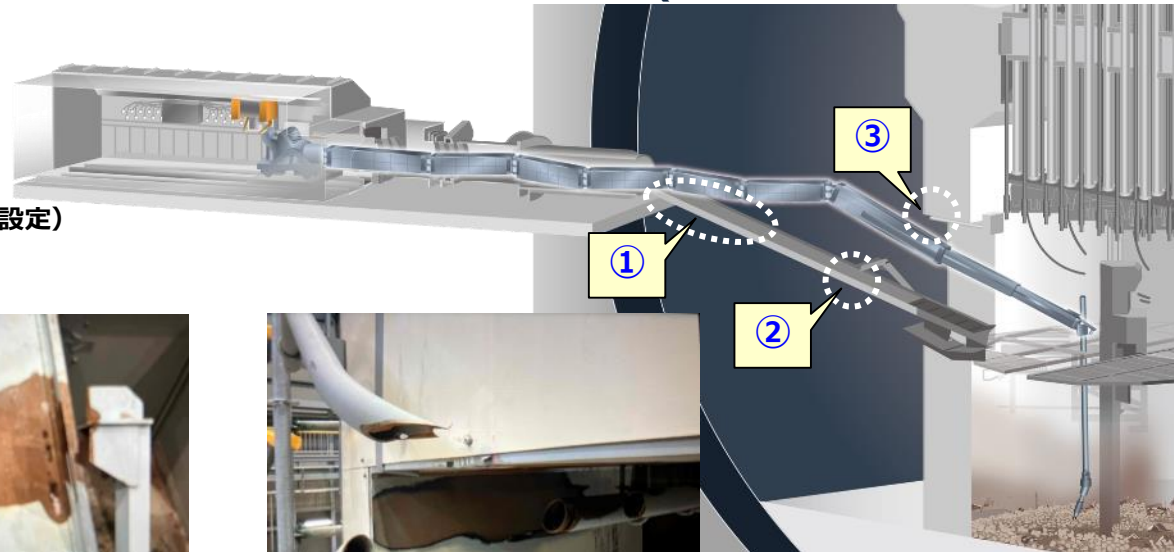


カメラ交換

軽微な不具合
など

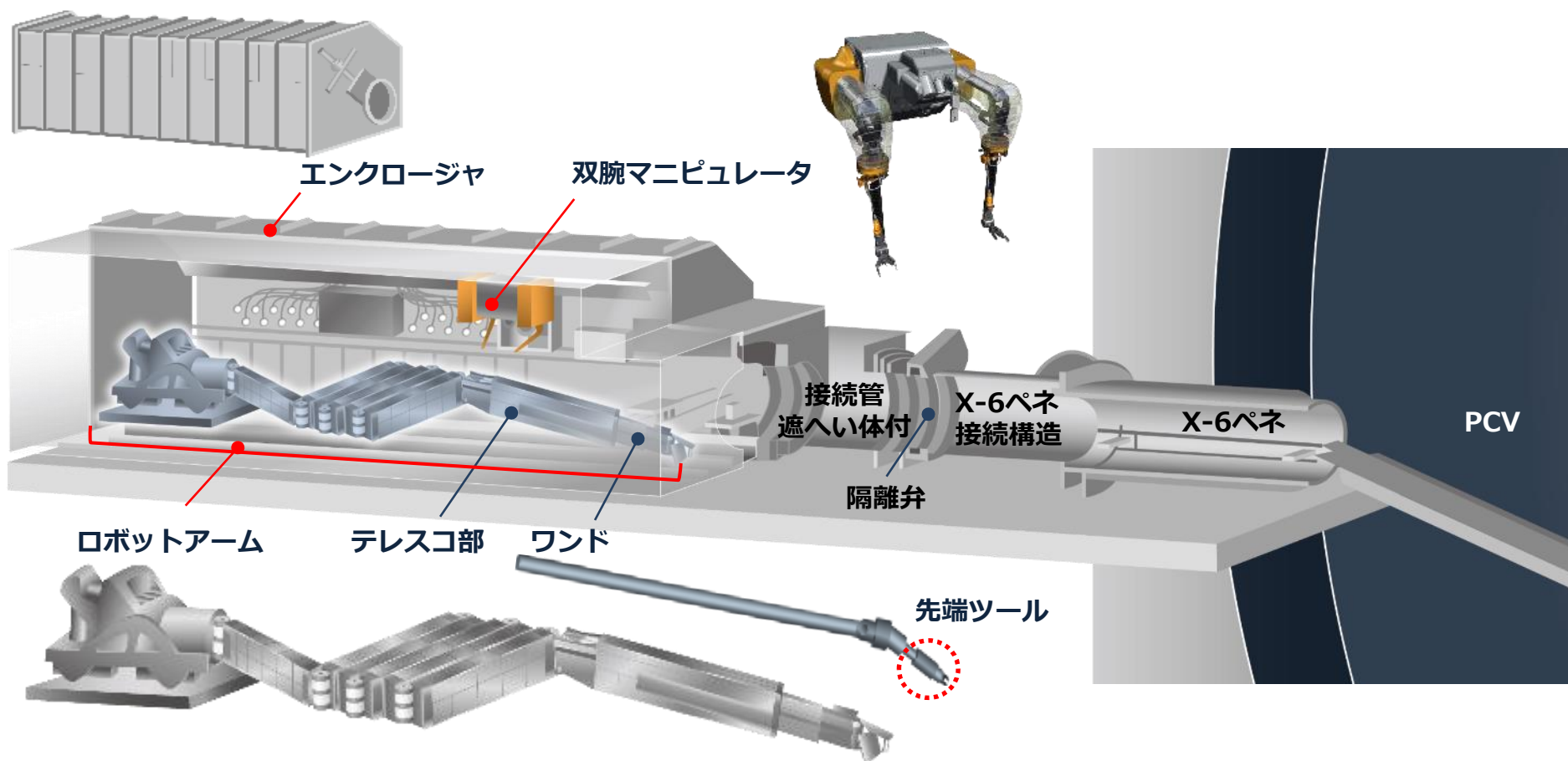
(カメラ交換は照射試験状況からの目安として設定)

■ アクセスルート構築(干渉物除去箇所)



参考．ロボットアームの構造

- PCVバウンダリを確保する**エンクロージャ**内に、**ロボットアーム**及び**双腕マニピュレータ**を格納
- 双腕マニピュレータは、**ロボットアームの先端治具の交換**や**カメラの交換等のメンテナンス**、**採取した燃料デブリの容器への収納**を実施。また、ロボットアームには先端ツールを取り付ける**ワンド**を搭載



●ロボットアーム：全長 約22 m（ワンドを除くと約18m）/重さ 4.6t

●エンクロージャ：大きさ 約2.4m×約8.8m×高さ約2.0m/重さ 約30t（アーム・双腕マニピュレータ等を含む）

参考. ロボットアームの動作

- ロボットアームをエンクロージャからPCV側へ進展させ、X-6ペネを通してPCV内へ進入。その後、テレスコ部を下降及び延伸させワンドを立ち上げ、ペDESTAL底部へアプローチする



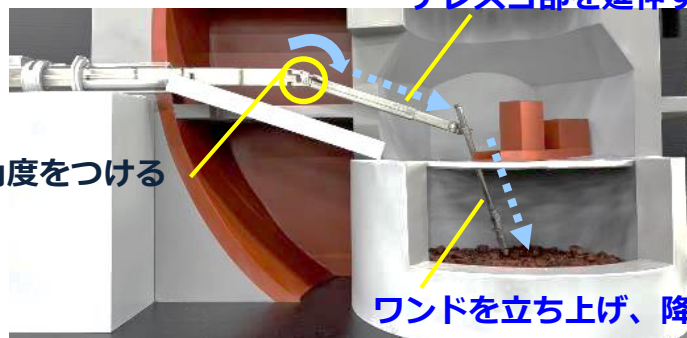
ロボットアームがエンクロージャに格納されている

ロボットアームを延伸させ、アームをX-6ペネからPCV内へ進入させる



隔離弁を「開」 X-6ペネ

テレスコ部を延伸する



チルト機構で角度をつける

ワンドを立ち上げ、降ろす



ロボットアームがX-6ペネを通過する際の隙間
約10~20mm

X-6ペネ

ペDESTAL

参考．ロボットアームの遠隔操作

- 位置調整等を人が現場で直接操作するテレスコ式装置とは異なり、本プロジェクトで使用するロボットアームは、実寸大の配管等（X-6ペネ模擬体等）を用いた**アクセス性検証を重ねたうえで作成したプログラムに基づいて操作**。予め周辺構造物との干渉が生じないことを確認した**検証済みのプログラム**を使用することで、**作業の再現性と安全性を確保した遠隔オペレーションを実現**

ロボットアーム操作

動作プログラムによる遠隔操作



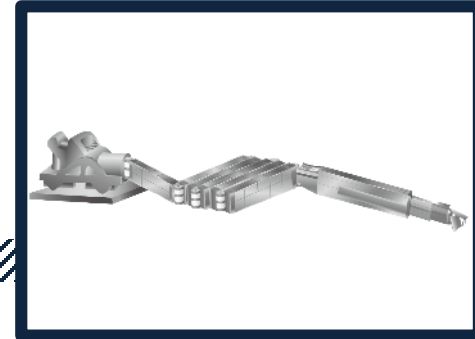
制御システム (プログラム)



VR



ロボットアーム

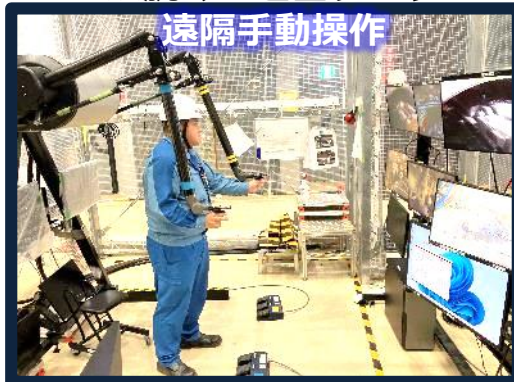


アームの各関節の角度や動作速度、プログラムの内容等を確認しながら、マウス操作でアーム動作させる。
また、カメラ映像に加え3次元形状データを反映した仮想空間（VR）上で周辺の構造物との位置関係を確認

- ロボットアームのワンドに装着する先端ツールは複数あり、作業内容に応じて交換。その**先端ツールの交換はエンクロージャ内の双腕マニピュレータを遠隔で手動操作し実施**

双腕マニピュレータ

遠隔手動操作



遠隔操作室

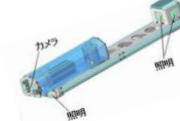
<先端ツール>



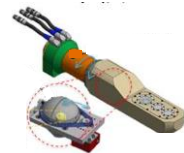
切断ツール



3次元形状データ



映像データ



ガンマ線量



金ブラシ型

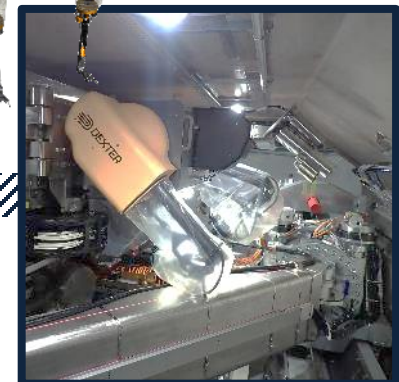
試験的取り出し



真空容器型



双腕マニピュレータ

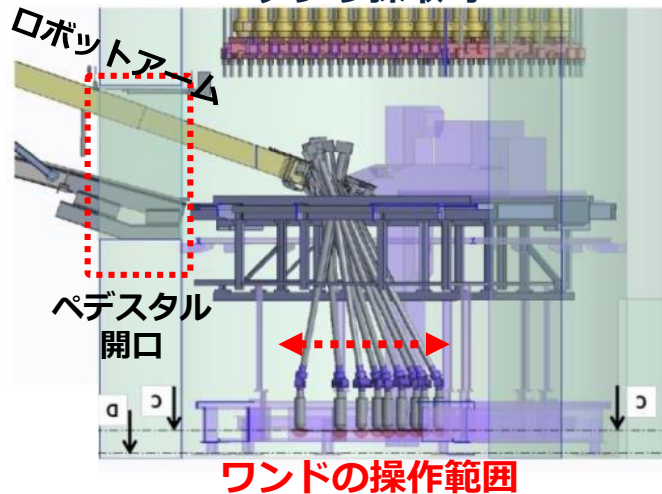


エンクロージャ内

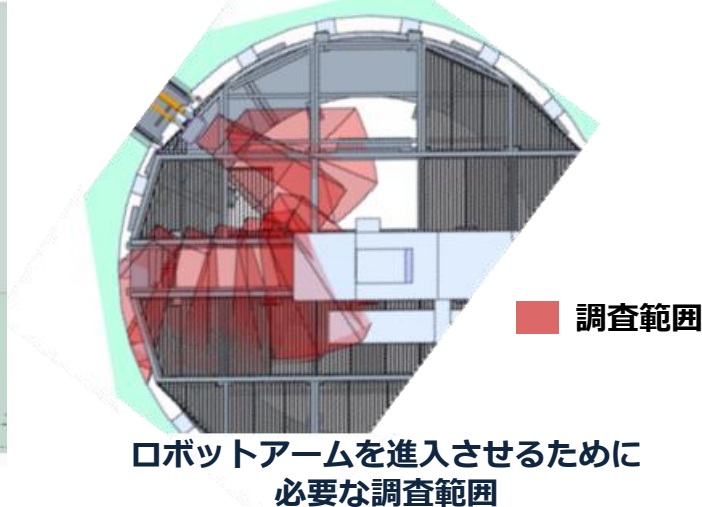
参考．ロボットアームのアクセス範囲と運用方針

- ロボットアームはテレスコ式装置に比べ、**PCV内の広い範囲にアクセスが可能**
- 数種類の先端ツールをワンドに装着し干渉物の除去作業やPCV内部調査を行う計画

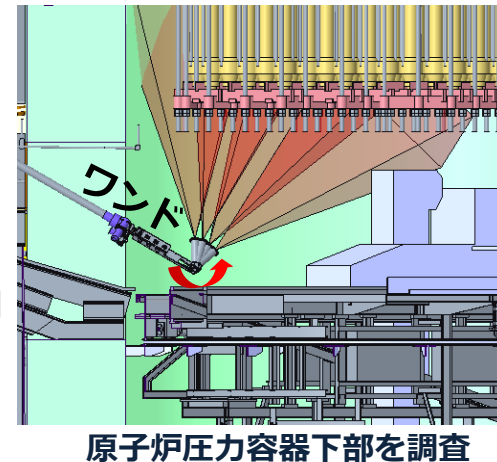
デブリ採取時



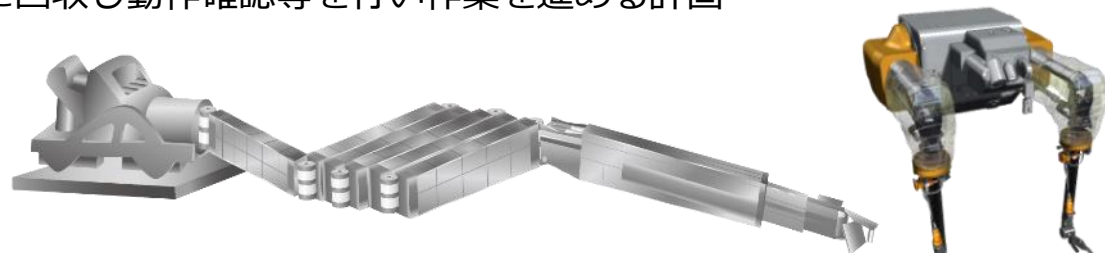
3次元形状データ取得



カメラ調査



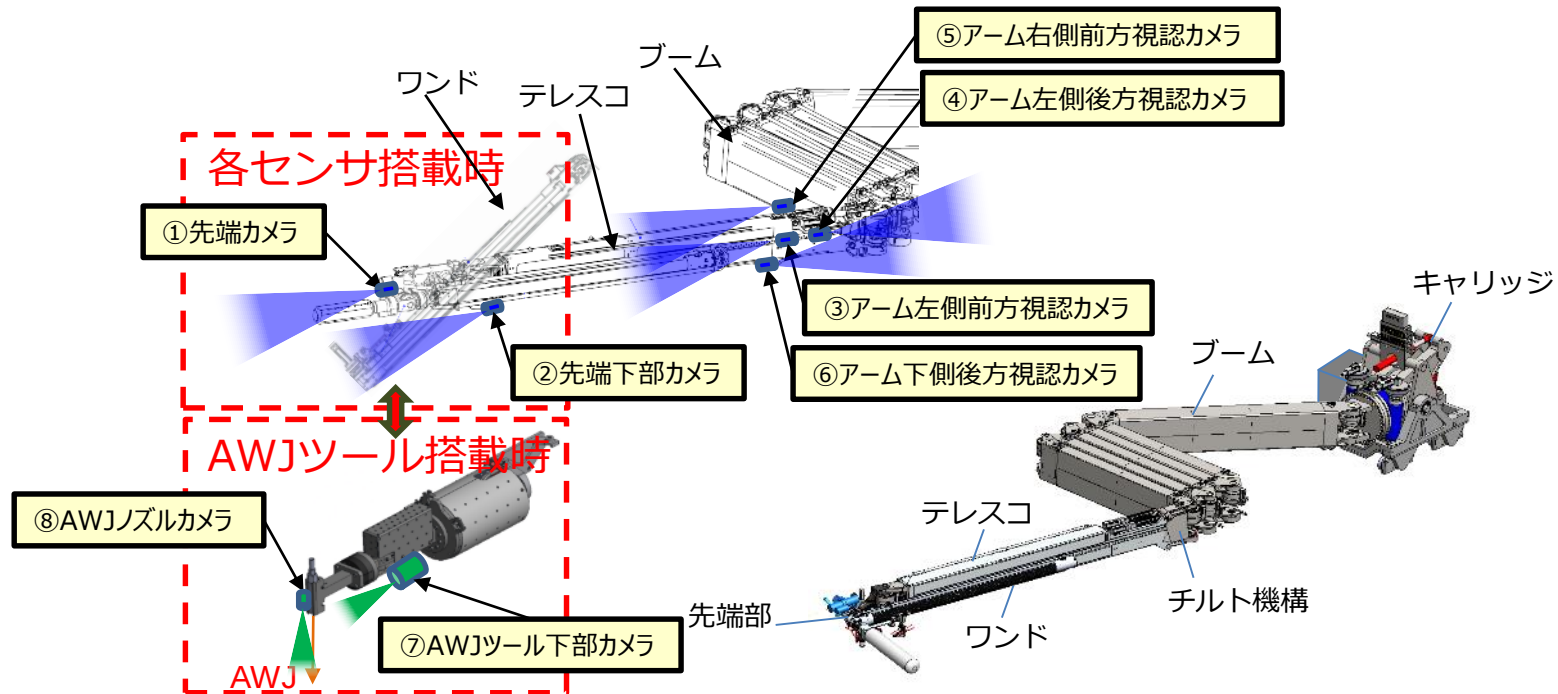
- 現地作業への適用に向けてリスク評価を行い、**劣化による故障リスクの低減を目的に構成部品のメンテナンスを実施**
- また、**ロボットアーム各関節の電動機の電流値の監視等の予兆管理**を導入し、**異常の傾向を検知**することで、故障発生前にエンクロージャ内に回収し動作確認等を行い作業を進める計画



具体的には「アーム」や「双腕マニピュレータ」の電動機の電流値や線間抵抗値を監視し、異常を検知

参考. ロボットアーム搭載カメラについて (テレスコ式装置の水平展開)

- テレスコ式装置のカメラ不具合事案を踏まえて、**ロボットアーム搭載カメラの照射試験を実施**
- メーカー仕様通りの耐放射線性を確認できないものを確認。また、カメラは予備機が入手不可のため、現地作業にて高い累積放射線量が必要となるカメラについては、**当社作業において使用実績のあるカメラへ変更を実施**
- **変更カメラについては、メーカー仕様通りの耐放射線性を確認。但し、耐放射線性が現地作業の計画線量よりも低いため、マニピュレータでの遠隔操作により適宜交換を行い、オペレーションを継続する計画**
- 現在、モックアップ施設で、カメラ変更に伴う視認性の確認、マニピュレータによるカメラ交換等の追加検証試験等を実施中
- なお、検証試験において、**アーム搭載カメラが全台停止した場合においても、制御プログラムやVRを使用し、エンクロージャにアームを回収できることを確認**



ロボットアーム搭載カメラの状況

参考．主な想定リスクと対策の代表例

- 主な想定リスクとして、ロボットアームの主要な構成要素であるアーム、ワンド、双腕マニピュレータ、カメラにおける故障と予防策、故障発生時の対応は以下の通り
- **ロボットアームが動作不良となった場合はエンクロージャへ回収し、アームの動作確認等の対応を実施**

<主な想定リスクと対策の代表例>

故 障	予 防 策	故障発生時の対応
アームの関節部の電動機が故障	・ 部品の交換等のメンテナンスを行い、組立後は動作確認を実施 ・ 現地作業時は予兆管理を行い不具合の早期検知を行う。	現地で遠隔交換不可の部品についてメンテナンスを実施しリスクを低減
		予兆管理で検知した状況に応じて対応
アームの先端部（ワンド）の電動機が故障	・ 作業体制を見直し、日々の作業時間を拡大することでPCV内滞在時間を低減（累積線量を低減）	アームが動作不良となった場合は回収し、動作や制御系の確認等の対応を行う
マニピュレータ制御の通信エラー	・ アーム動作不良時の回収方法、マニピュレータ交換方法の検証実施	アーム先端部が動作不良となった場合は先端部の切り離しを行い、アームを回収（調査の続行は不可）
マニピュレータの電動機の故障	・ PCV内に滞在する際は、万一の場合の回収を容易にするためPCV内でアームを真っすぐに伸ばした姿勢で待機	マニピュレータ制御系のエラー状況を確認し、リセット装置または電源On-Off実施
アームの動作不良+マニピュレータ故障	・ 事前に照射試験を行い、耐放射線性の実力値を確認	マニピュレータの交換を検討（長期間必要）
アーム搭載カメラの映像が映らない	・ カメラ映像停止時の回収方法の検証	アーム回収不可及びマニピュレータの遠隔操作不可の場合、アームを切断し回収を検討（長期間必要）
	・ カメラ予備品の確保	確実なオペレーションが困難と判断した場合、アームをエンクロージャに回収し、カメラを交換
		アーム搭載カメラが全台映像停止した場合でもエンクロージャへ回収できることを確認

参考. 想定リスクと対策の例

- アームが動作不良となった場合は、**エンクロージャ内に回収**し、動作や制御系の確認等の対応を実施

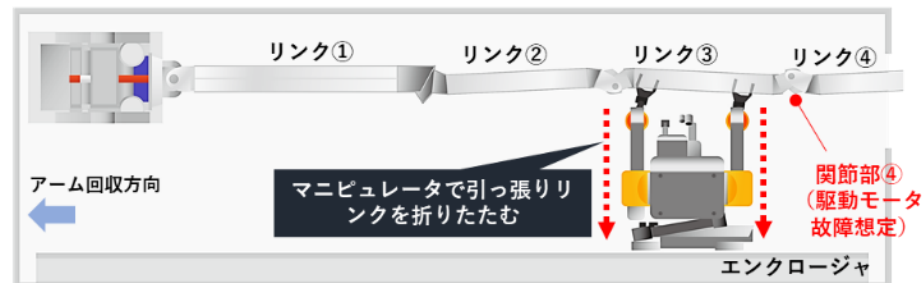
- 内部調査中のアームの駆動部(モータ)の故障を想定し、アームの強制引き抜き(非常時回収)試験を実施

キャリッジ部(前後駆動モータ)故障を想定した非常時回収試験



- 双腕マニピュレータにより電動工具を使用して故障モータを強制駆動しキャリッジ部を後退させてアームを回収
- **エンクロージャ内へのアーム回収が可能な見込みが得られたことを確認**

リンク部(関節部④軸駆動モータ)故障を想定した非常時回収試験



- リンク④（関節部）のクラッチを遠隔操作で解除し、リンク④以外の健全な軸の遠隔操作及び双腕マニピュレータによるリンク部の引き込み（折りたたみ）により **エンクロージャ内へのアーム回収が可能な見込みが得られたことを確認**

参考. 想定リスクと対策

- テレスコ式装置のパイプ順番間違いの教訓を踏まえ、本調査の準備段階となる**装置の運搬据付作業のモックアップ**を行い**作業員の習熟訓練を実施**



エンクロージャの搬送



付帯設備の搬送



ケーブルラックの設置



ケーブルの敷設

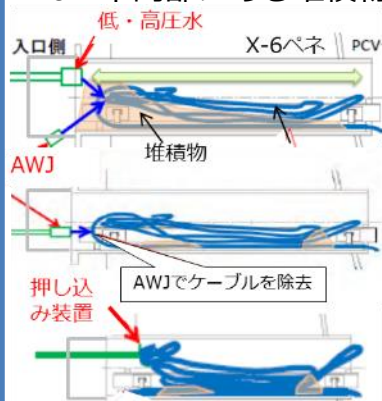
試験的取り出し作業（内部調査・デブリ採取）の主なステップ

1. 隔離部屋設置

2. X-6ペネハッチ開放

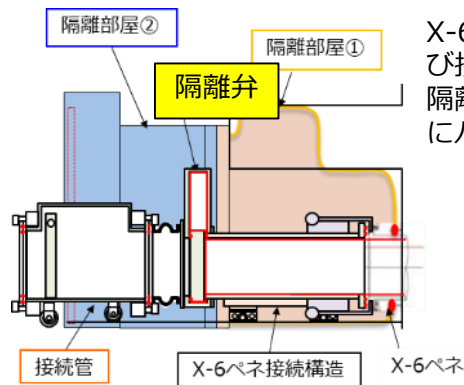
3. X-6ペネ内堆積物除去

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

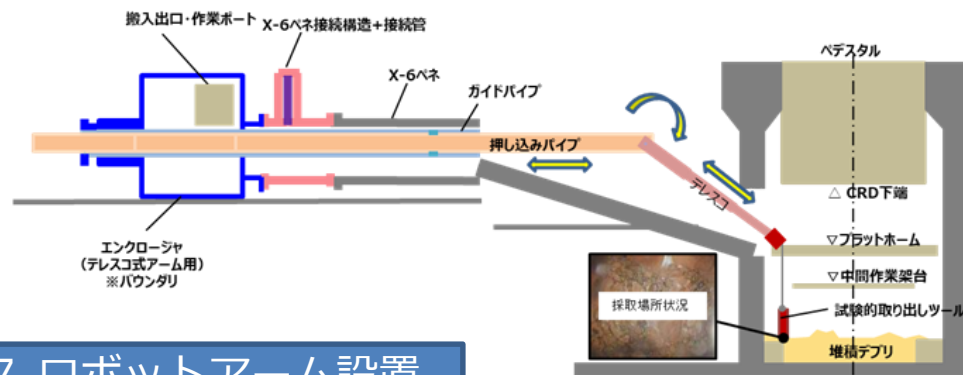
4. X-6ペネ接続構造及び接続管設置



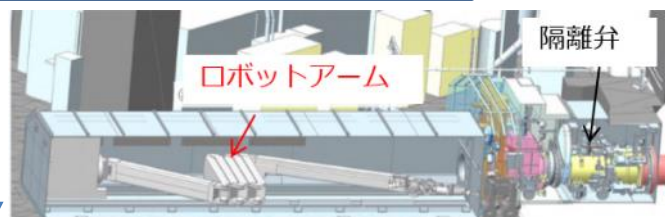
X-6ペネに接続構造及び接続管を取り付け、隔離部屋から接続構造にバウンダリを変更

5. テレスコ式装置設置

6. 試験的取り出し作業（テレスコ式装置によるデブリ採取）



7. ロボットアーム設置



8. ロボットアームによる内部調査・デブリ採取

①内部調査



（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

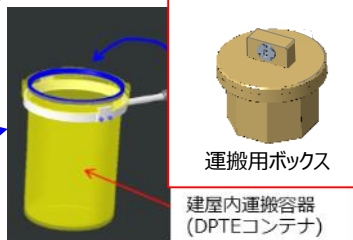
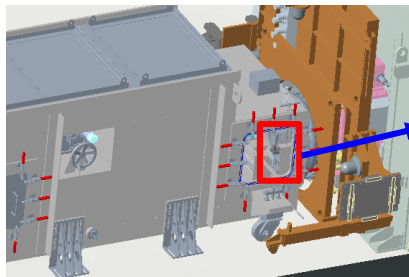
②ロボットアームによるデブリ採取



試験的取り出し作業（内部調査・デブリ採取）の主なステップ

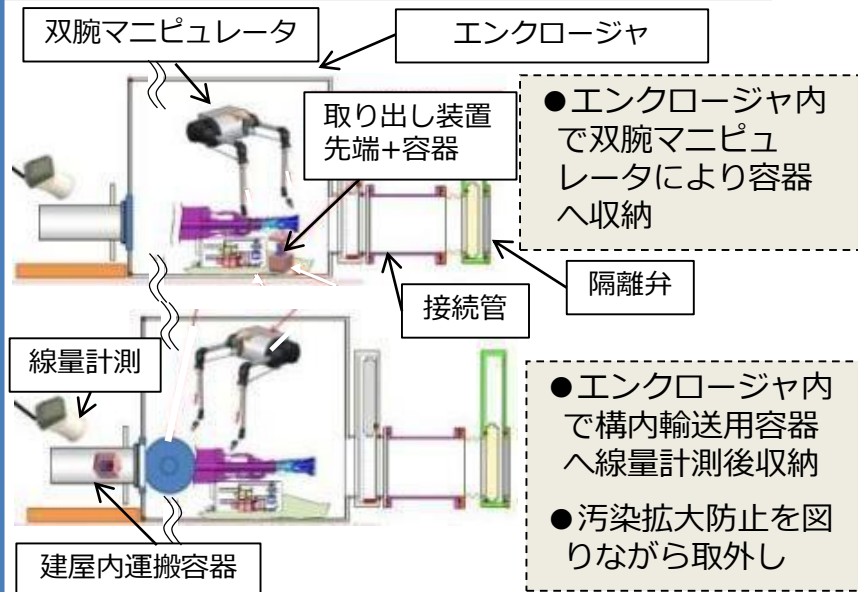
↓（前スライド ステップ6より）

9-1. 燃料デブリの収納

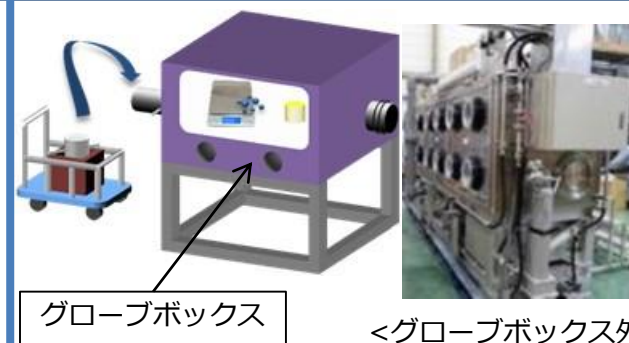


↓（前スライド ステップ8より）

9-2. 燃料デブリ回収装置先端部の収納 構内輸送用容器へ収納・線量計測



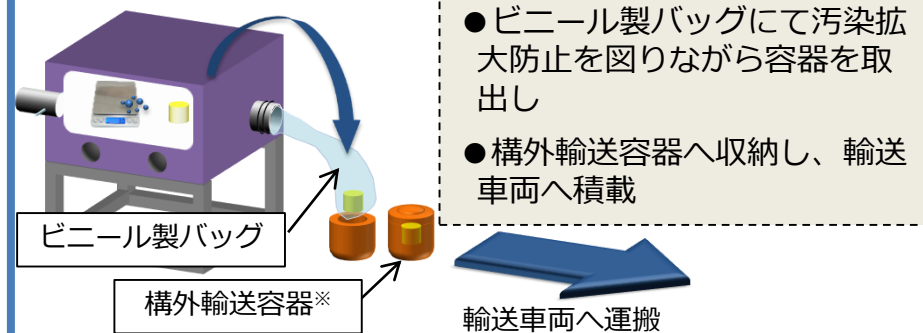
10. グローブボックス受入・計量



- 内部を負圧に
したグローブ
ボックスに受入
- グローブボッ
クス内で計量、
容器への収納を
実施

<グローブボックス外観>

11. 容器の取出し・輸送容器へ収納・搬出



- ビニール製バッグにて汚染拡
大防止を図りながら容器を取
出し
- 構外輸送容器へ収納し、輸送
車両へ積載

※：輸送前に、輸送物の表面線量・汚染密度等を
測定し、法令基準以下であること確認

12. 構外輸送及び構外分析

（注記）

- ・ DPTEコンテナ：Double Porte pour Transfert Etancheの略
コンテナの蓋とグローブボックスのダブルドアが一体となって開閉することで、
密閉を維持しながら物を移送することが可能なコンテナ