IRID

IRIDシンポジウム2021

燃料デブリ取り出しの実現に向けた ロボットアーム開発状況

2021年12月8日

三菱重工業（株）原子力セグメント　細江文弘

無断複製･転載禁止　技術研究組合　国際廃炉研究開発機構
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

この成果は、経済産業省/廃炉汚染水対策事業費補助金の活用により得られたものです

目次

項目	ページ No.
1.背景、目的	2
2.設備概要	4
3.アーム型アクセス・調査装置	6
4.エンクロージャ	10
5.保守用マニピュレータ	11
6.スケジュール	13
7.試験状況	14

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

1.背景、目的

（1）背景

- これまでのPCV内部調査により、ペデスタル内の底部全体に、小石状・粘土状に見える堆積物が確認されている。
- また、燃料集合体の一部が底部に落下しており、その周辺に確認された堆積物は燃料デブリである可能性が高い。
- 一方、ペデスタル内はグレーチングが脱落している状況であり、ペデスタル底部までアクセス可能な寸法については調査が必要。また、燃料デブリに、どの程度の燃料由来物質が含まれているかは分かっていない。

（2）実施内容

- 遠隔装置（作業用ロボット）を開発して、PCV内部の情報を取得すると共に、試験的に燃料デブリの取出しを行う。

調査内容	具体的な調査項目
• ペデスタル底部の堆積物へのアクセスに使用可能な空間寸法の取得	• 目視調査 • 3次元形状測定
• 堆積物中の燃料デブリ有無を推定	• 中性子束測定 • γ線線量率測定

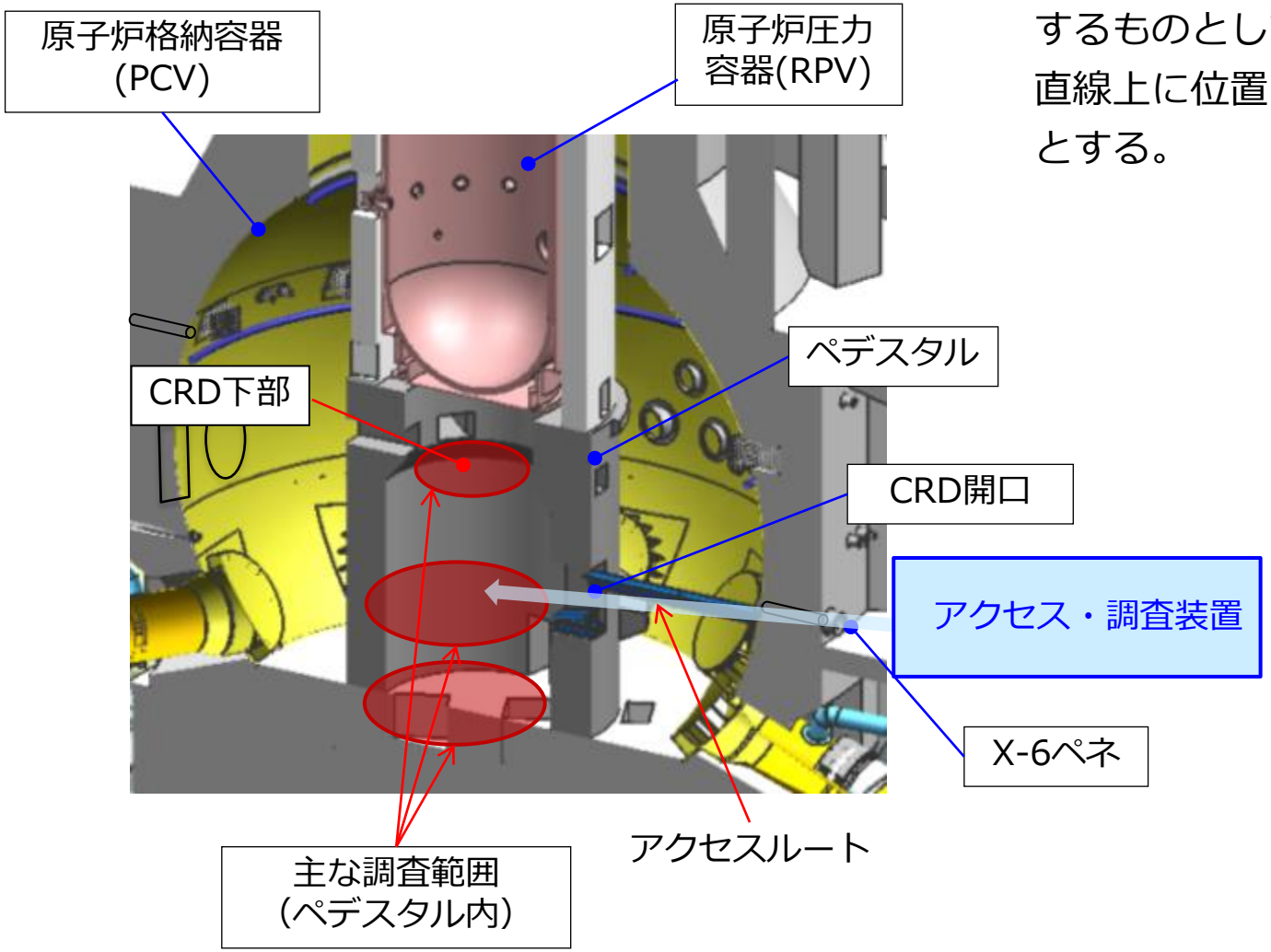
（3）目的

- 装置を現地に適用し、開発した技術が有効であることを確認する
- 開発した技術を、段階的に規模を拡大した取出し装置に反映する
- 開発した技術を、燃料デブリ取扱い方法の検討に反映する

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

1.背景、目的

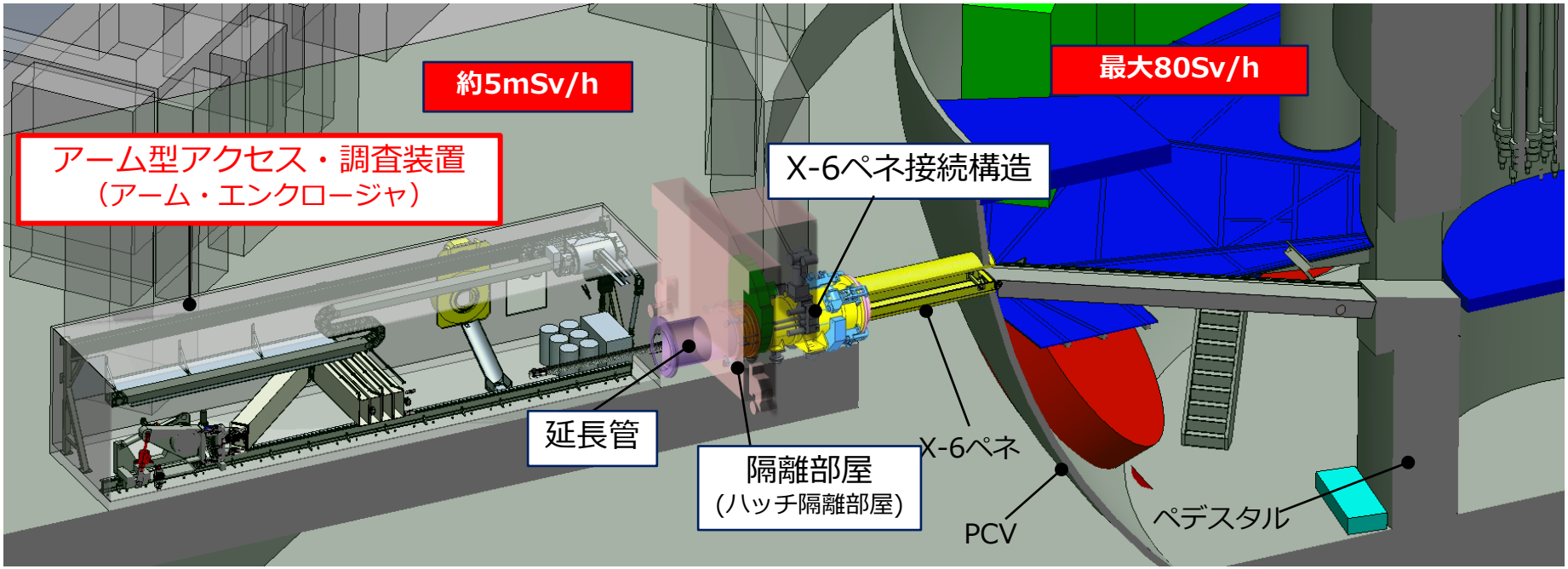
（4）アクセスルート



- ペデスタル内には、CRD開口よりアクセスするものとして、遠隔装置はCRD開口から直線上に位置するX-6ペネに設置することとする。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

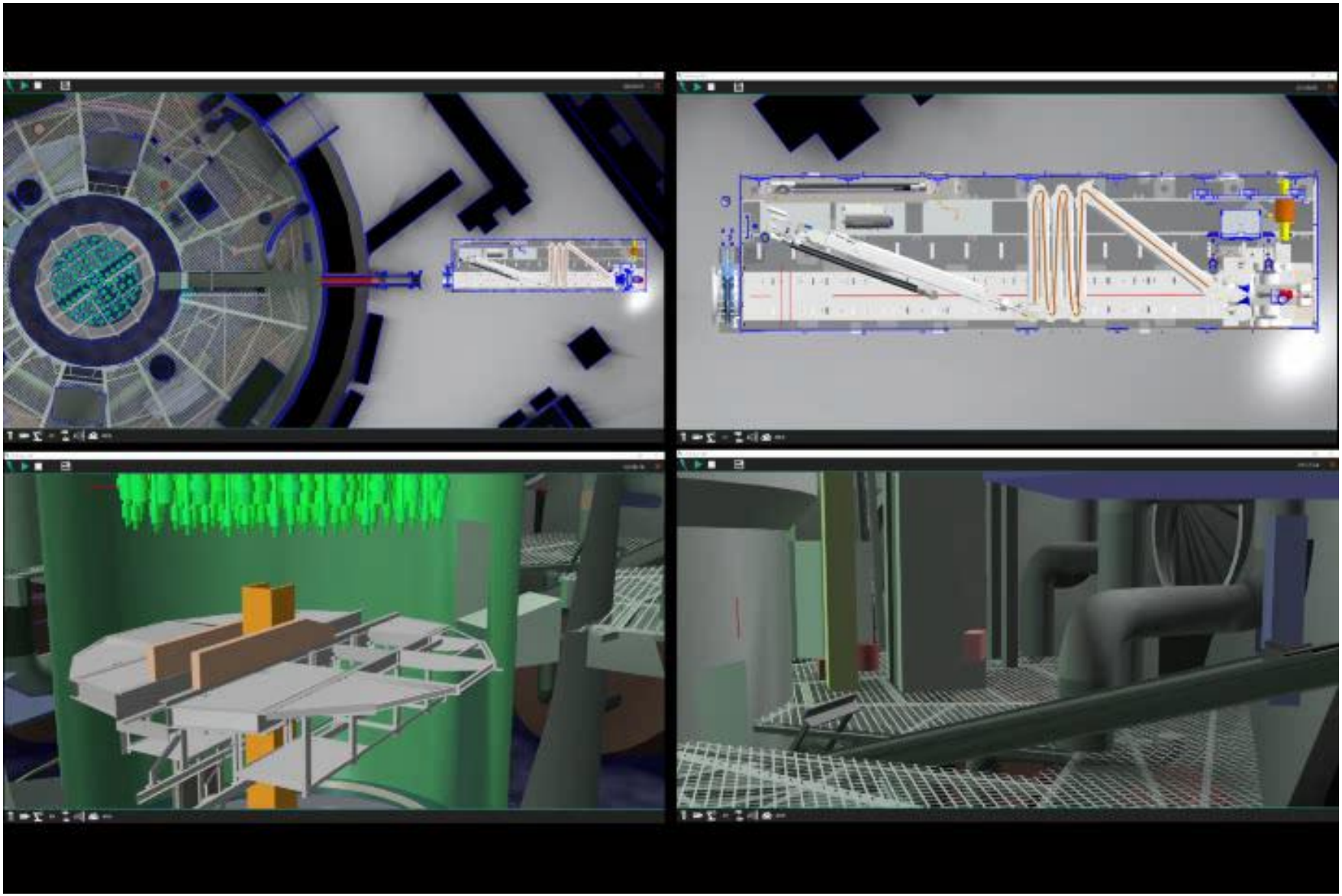
2.設備概要



調査内容	具体的な調査項目
アーム型アクセス・調査装置	• X-6ペネよりペデスタル内にアクセスする装置、先端にセンサを搭載
X-6ペネ接続構造	• PCVバウンダリ構築及びアーム通過性確保（隔離弁搭載）
延長管	• 遮へい及びアーム通過性確保
隔離部屋	• X-6ペネ蓋開放時（X-6ペネ接続構造設置前）のPCVバウンダリ構築、遮へい

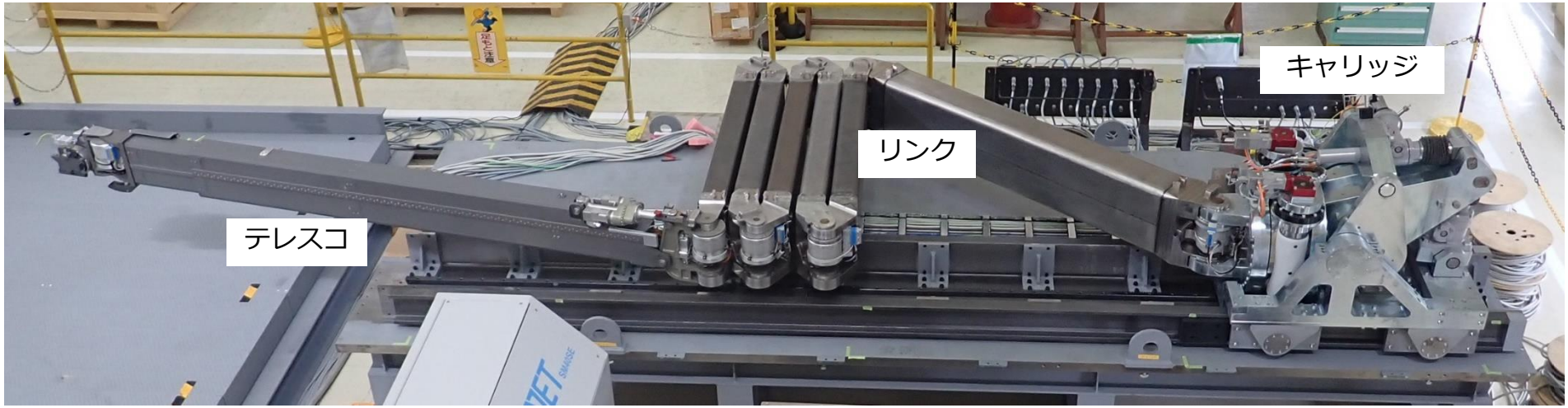
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

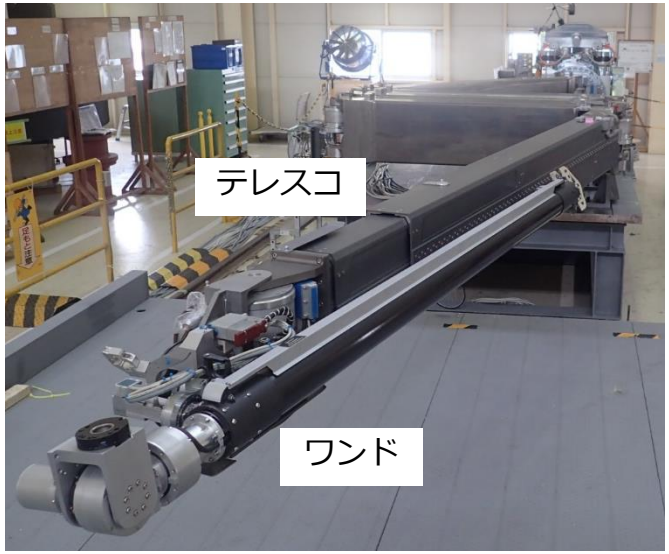
2.設備概要



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3.アーム型アクセス・調査装置





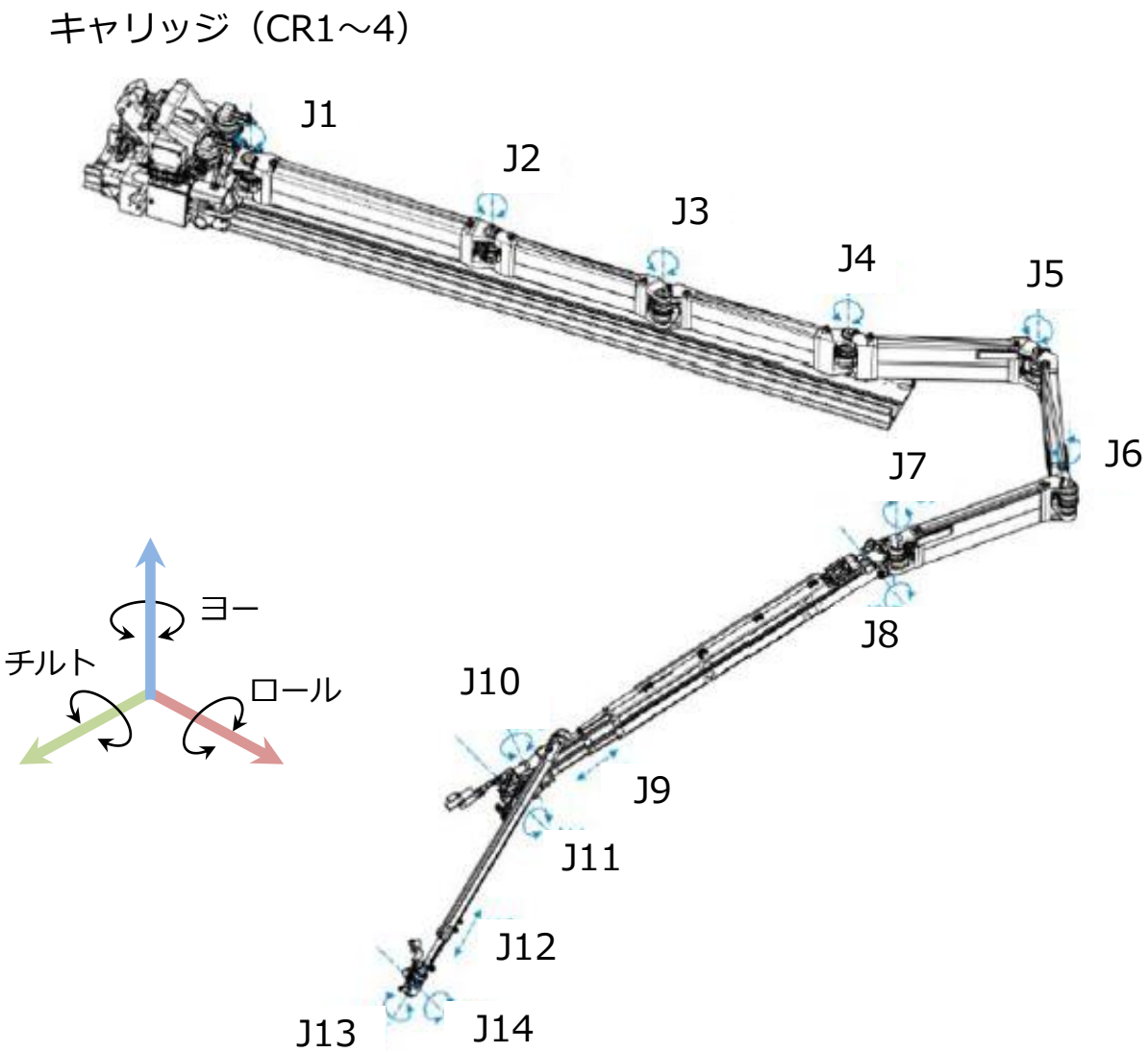
【機能】センサ及びツールを搭載してPCV内にアクセスし、アクセスルートの構築と内部の調査を行う

- 全長：約18 m(ワンドを除く)
- 質量：4.6ton
- 主要材料：ステンレス鋼、アルミ
- 搭載可能センサ：ガンマセンサ、レーザスキャナ
  中性子センサ、カメラ
- 搭載工具：切断・把持ツール、ウォータージェット切断ツール
- 累積線量：1 MGy

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3.アーム型アクセス・調査装置

関節No.	駆動パーツ	可動方向
CR1	キャリッジ	前後
CR2	キャリッジ	上下
CR3	キャリッジ	チルト
CR4	キャリッジ	ロール
J1～J6	リンク　No.1～6	ヨー
J7	テレスコ	ヨー
J8	テレスコ	チルト
J9	テレスコ	伸縮
J10	リスト	ヨー
J11	リスト	チルト
J12	ワンド	伸縮
J13	ツールチェンジャ	ロール
J14	ツールチェンジャ	チルト

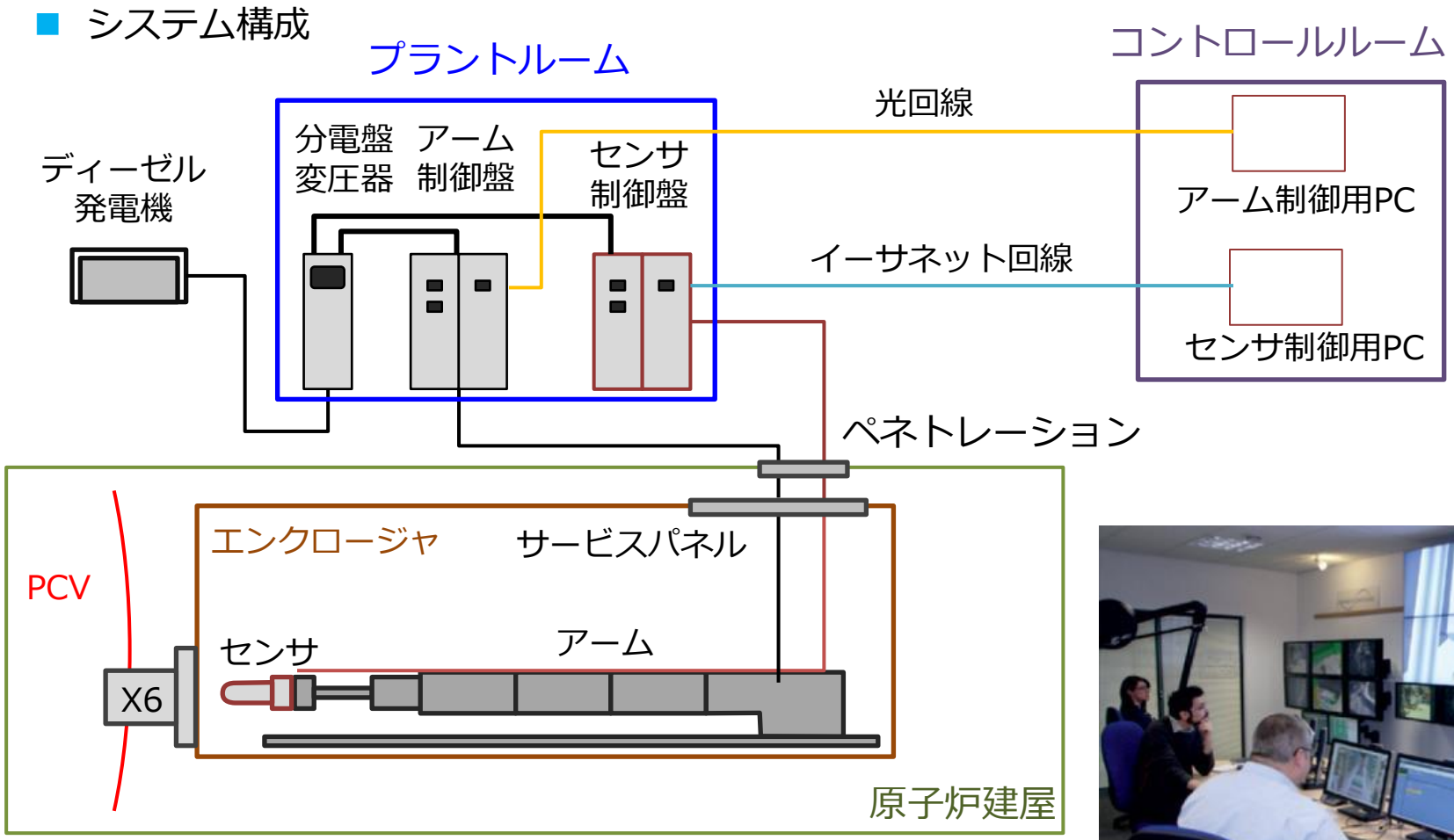


PCV内へのアクセスを可能にするために計18軸のアクチュエータを搭載

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3.アーム型アクセス・調査装置

■ システム構成



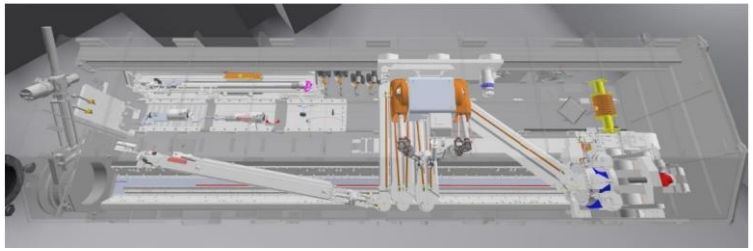
コントロールルームにおける操作

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3.アーム型アクセス・調査装置

- マンマシンインターフェース

VR画面

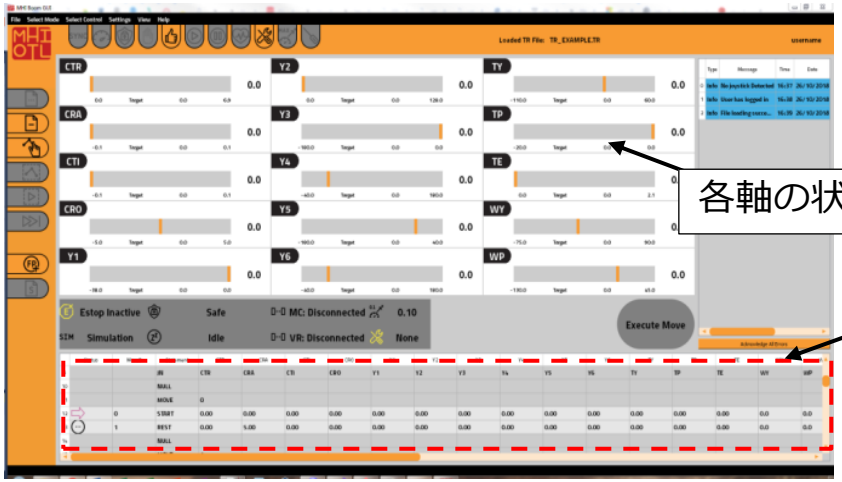


干渉検知による停止信号
（オンライン）

制御信号（オンライン）

運転前の作動チェック
（オフライン）

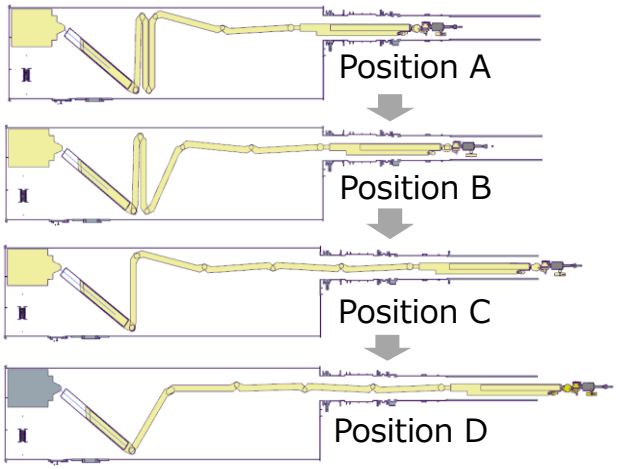
運転中の状態監視
（オフライン）



アームの操作画面

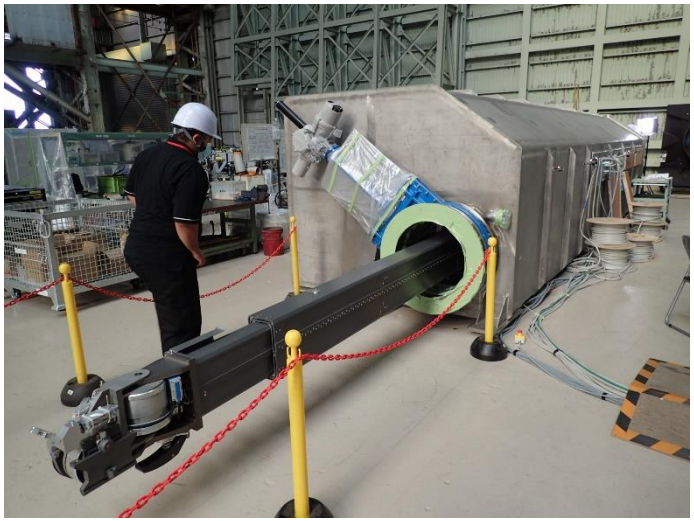
当該姿勢における各軸データ（制御プログラム）

- アームの任意のポジションで各軸の角度をテーブルに記録し制御プログラムとする。
- 複数ポジションを順次移動する指令を出して、アームを動作させる（ティーチングプレイバック）

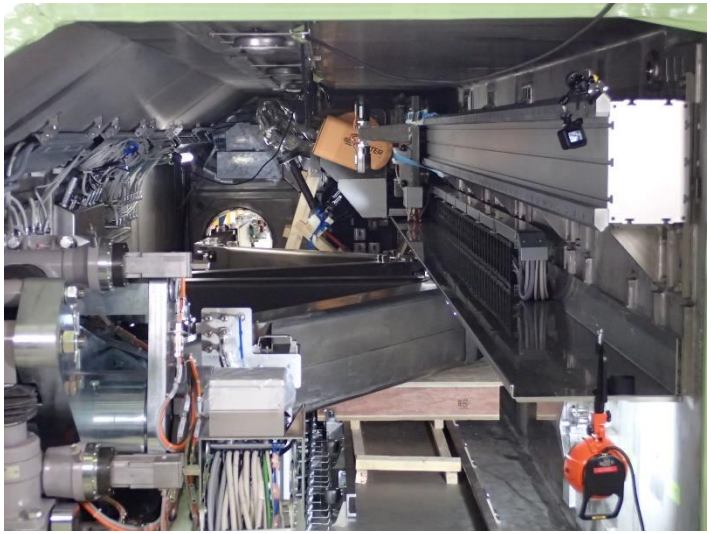


©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4.エンクロージャ



【機能】
アーム型アクセス装置及び保守用マニピュレータを搭載し、X6ポートに接続することによりPCVバウンダリを形成



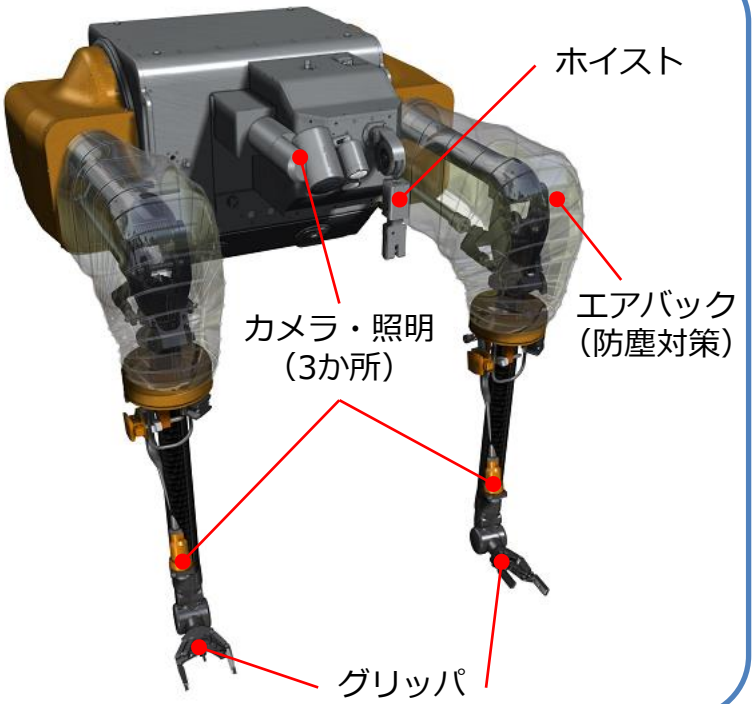
- 寸法：8.8m×2.4m×2.2m
- 質量：約30トン（アーム含む）
- 主要材質：ステンレス鋼（SUS316L相当）
- 設計圧力：-5～+10 kPaG
- 漏洩率：0.05vol%/h以下

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

5.保守用マニピュレータ

操作アーム（@コントロールルーム）

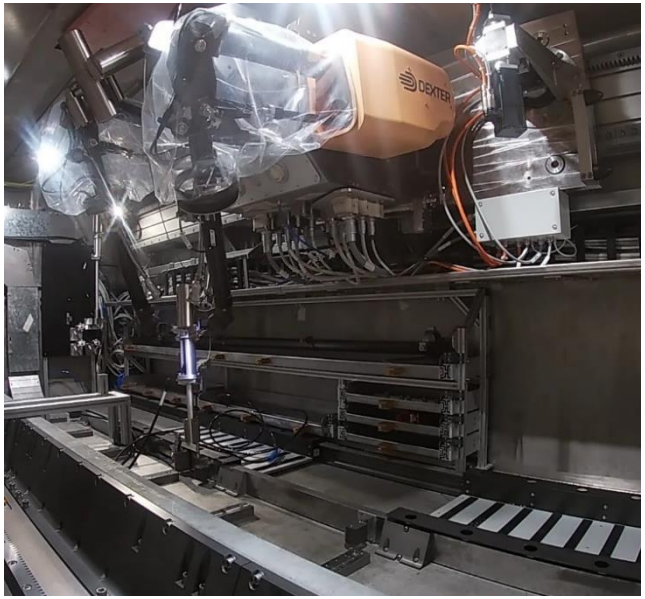
現場アーム（@エンクロージャ）



- 英国メーカ（RACE）で開発されたマニピュレータ
- コントロールルームに設置された操作アームをオペレータがコントロールし、エンクロージャ内の現場アーム（デクスター）を操作する
- オペレータは複数のモニタを確認しながら操作

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

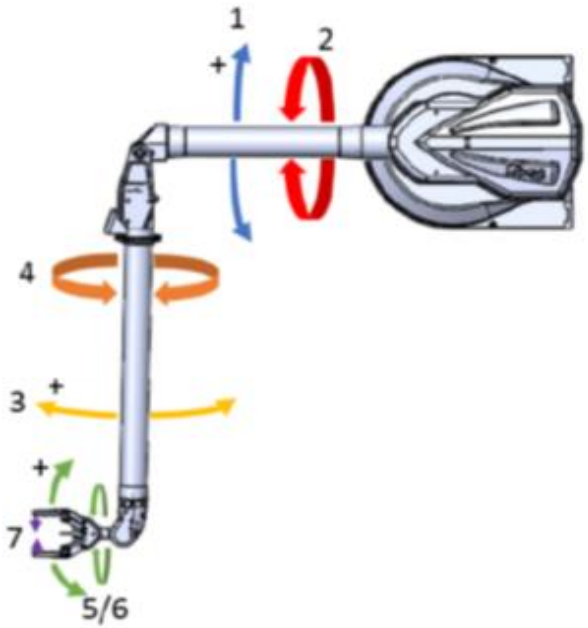
5.保守用マニピュレータ



【機能】
アーム型アクセス装置へセンサ等を搭載及び、
アームのメンテナンス作業

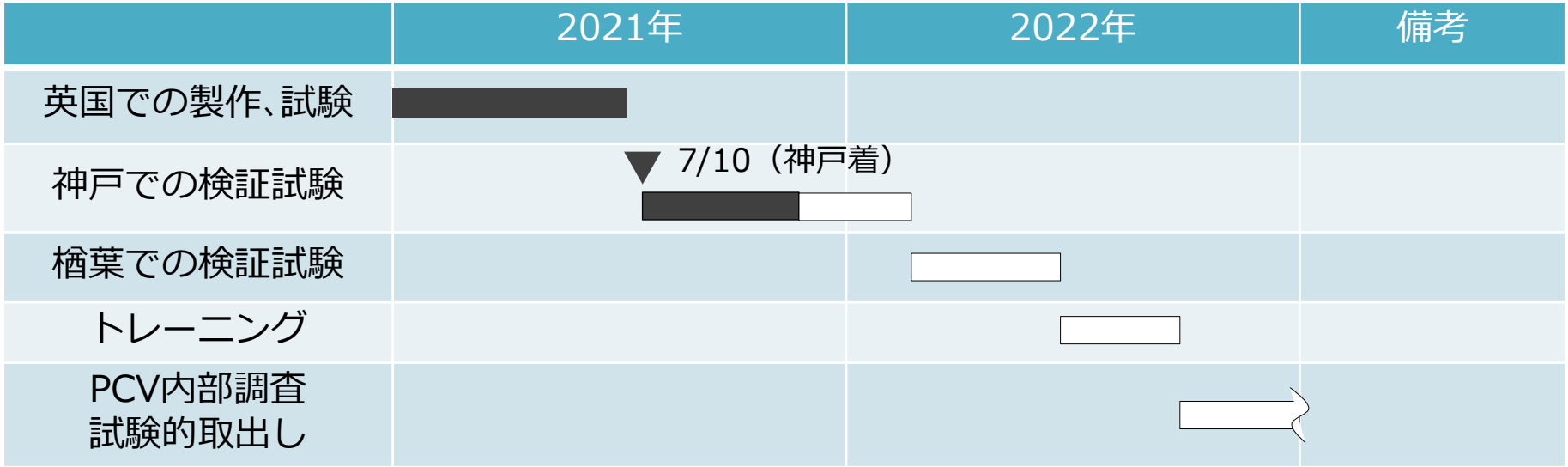
- 質量：約250kg
- 主要材質：アルミニウム、カーボンコンポジット
- 可搬質量：10kg（片腕）

軸	動作	駆動機構
1	肩の上下	ギア
2	肩の左右	ギア
3	腕の前後	ギア/リンクロッド
4	腕の回転	ダブルワイヤ
5	手首の曲げ	ダブルワイヤ
6	手首の回転	ダブルワイヤ
7	グリッパの開閉	シングルワイヤ



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

6.スケジュール、試験メニュー

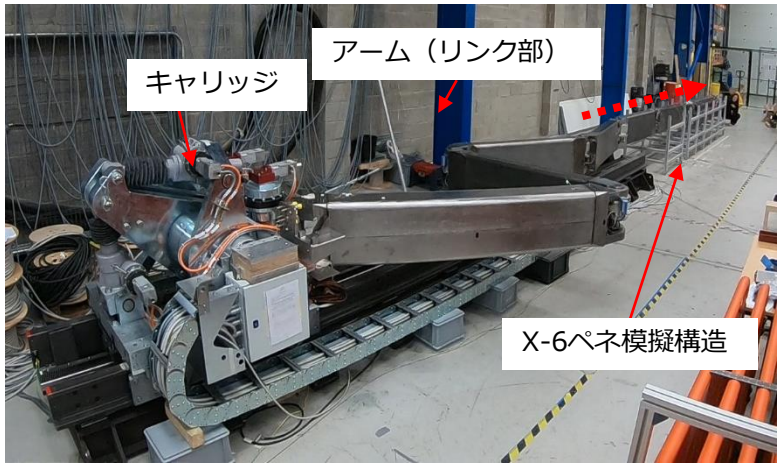


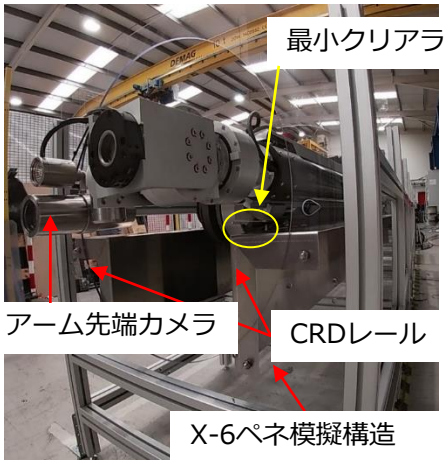
試験分類	試験項目	英国	神戸	楢葉
エンクロージャ	バウンダリ漏洩確認	○	○	
アーム	パラメータ調整	○		
	X6ペネの通過動作	△	△	○
	アーム位置の校正		○	
	ペデスタル内側下部の調査動作			○
	PCV内障害物の撤去（グレーチング）		△	○
	試験的取出し			○
保守用 マニピュレータ	センサ・ツールとアームの接続、搬出入	△	△	○
	外部ケーブルのアームへの取付/取外し	△	△	○
	カメラ/照明の遠隔メンテナンス	△	△	○
	アームのリカバリー、引き抜き			○

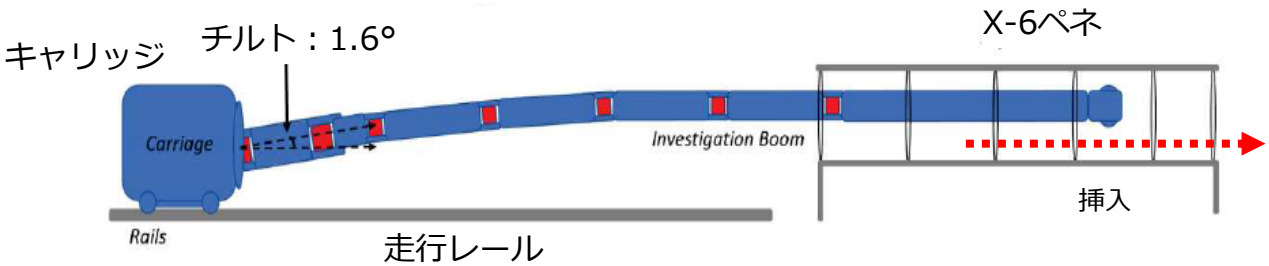
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

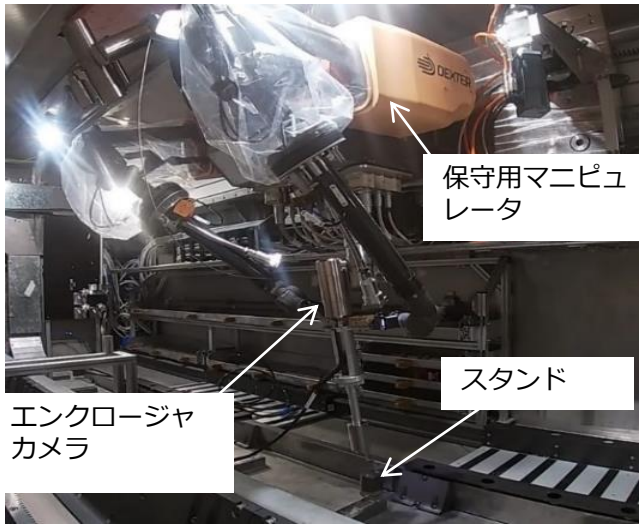
7.試験状況　7.1 英国の試験

■ アーム動作







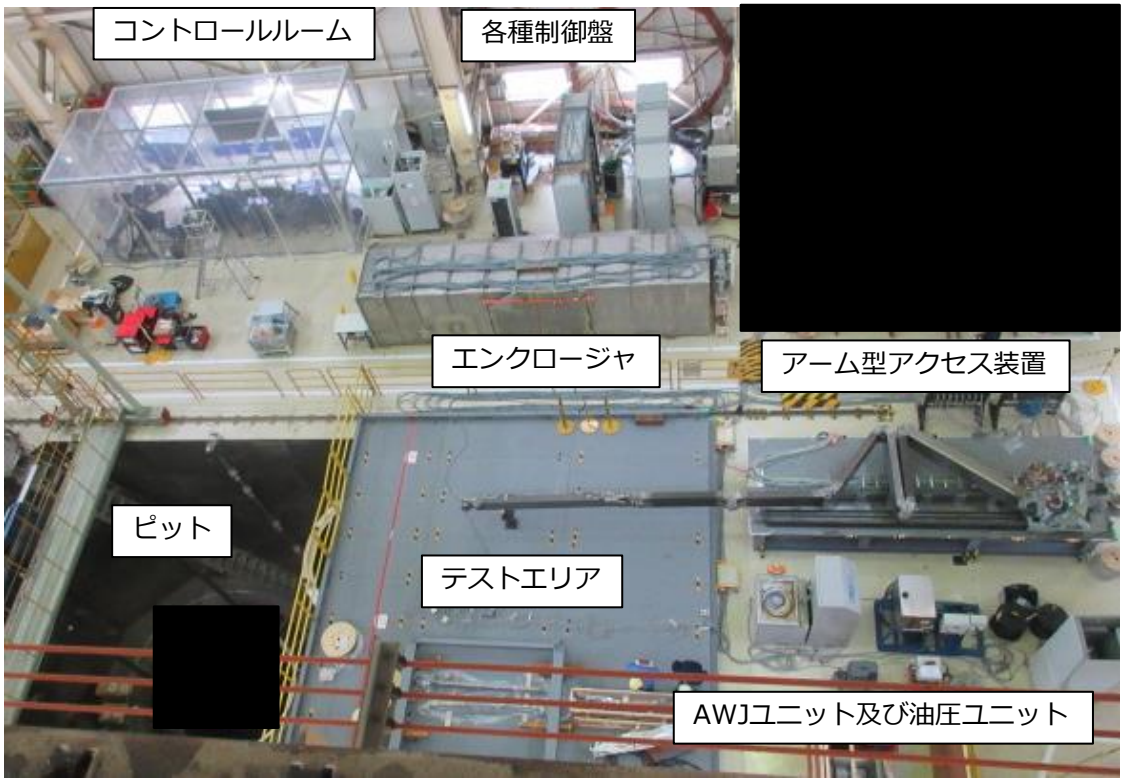


- アーム各軸の単体動作、パラメータのチューニング
- エンクロージャ内にアームを組込み
- X-6ペネ模擬構造の通過試験
- 保守用マニピュレータによるエンクロージャ内操作

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

7.試験状況　7.2 神戸の試験

■ 試験内容
- 単体機能試験
- アームとセンサの組み合わせ試験
- アームとツールの組みわせ試験
- AWJによる干渉物の切断試験



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

7.試験状況　7.2 神戸の試験

アーム試験状況

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

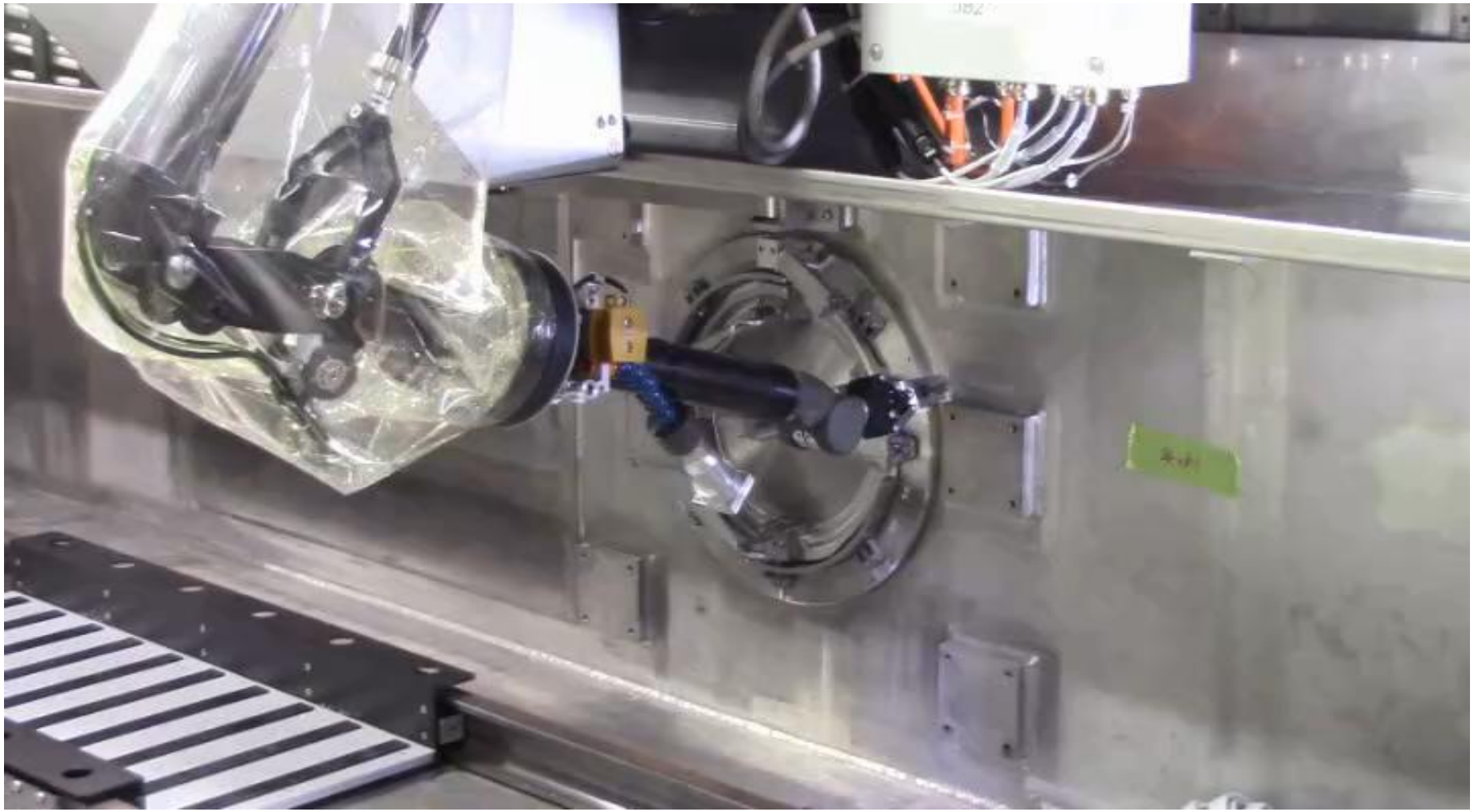
7.試験状況　7.2 神戸の試験

・保守用マニピュレータのトレーニング

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

7.試験状況　7.2 神戸の試験

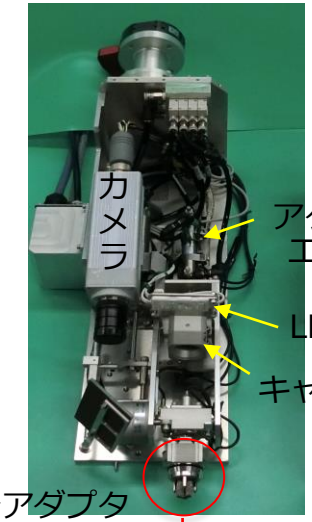
・保守用マニピュレータのトレーニング



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

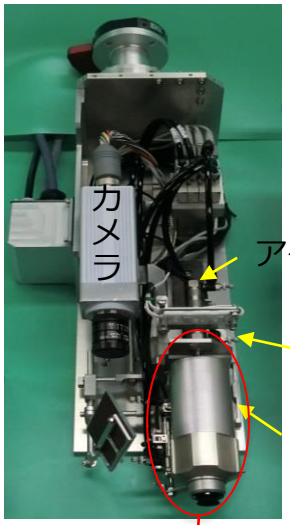
7.試験状況　7.3 楢葉の試験

- 実機環境を模擬して、総合試験を実施
  - X-6ペネ通過、干渉物撤去、ペデスタル内アクセスのワンスルー
  - ペデスタル上部、下部調査（レーザスキャナ、VTセンサ、ガンマセンサ、中性子センサ）
  - 試験的取出し（サンプリングツール）

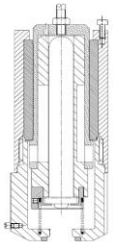


ブラシアダプタ

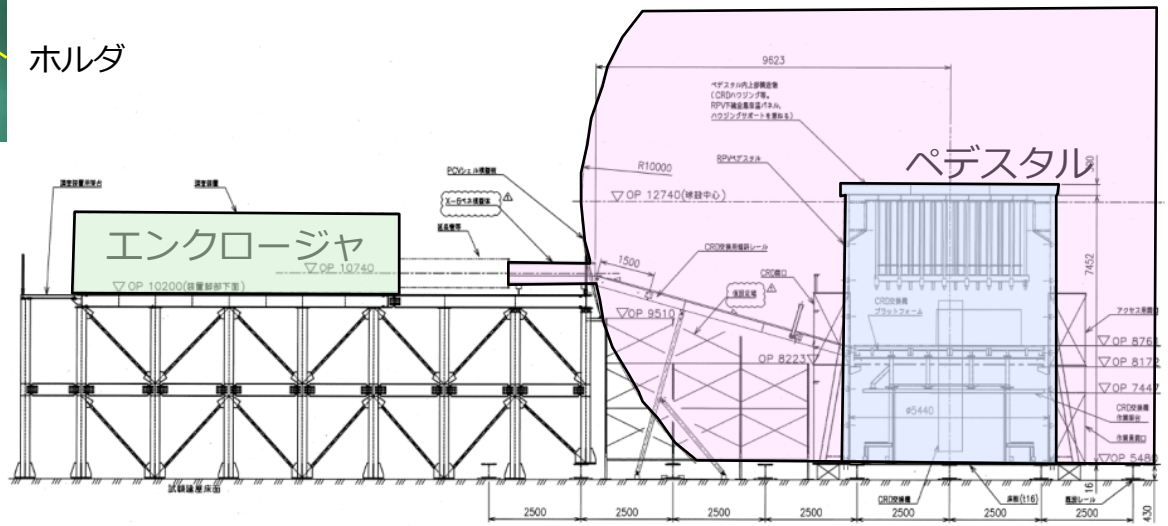
ブラシ



真空管



楢葉試験モックアップ



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

ご清聴ありがとうございました。

三菱重工

MOVE THE WORLD FORWARD

ステークホルダーと協調し、国内外の英知を結集して、世界初となるPCV内部調査、試験的取出しの玉成に向けて尽力致します。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning