

2号機 PCV内部調査・試験的取り出し作業の準備状況

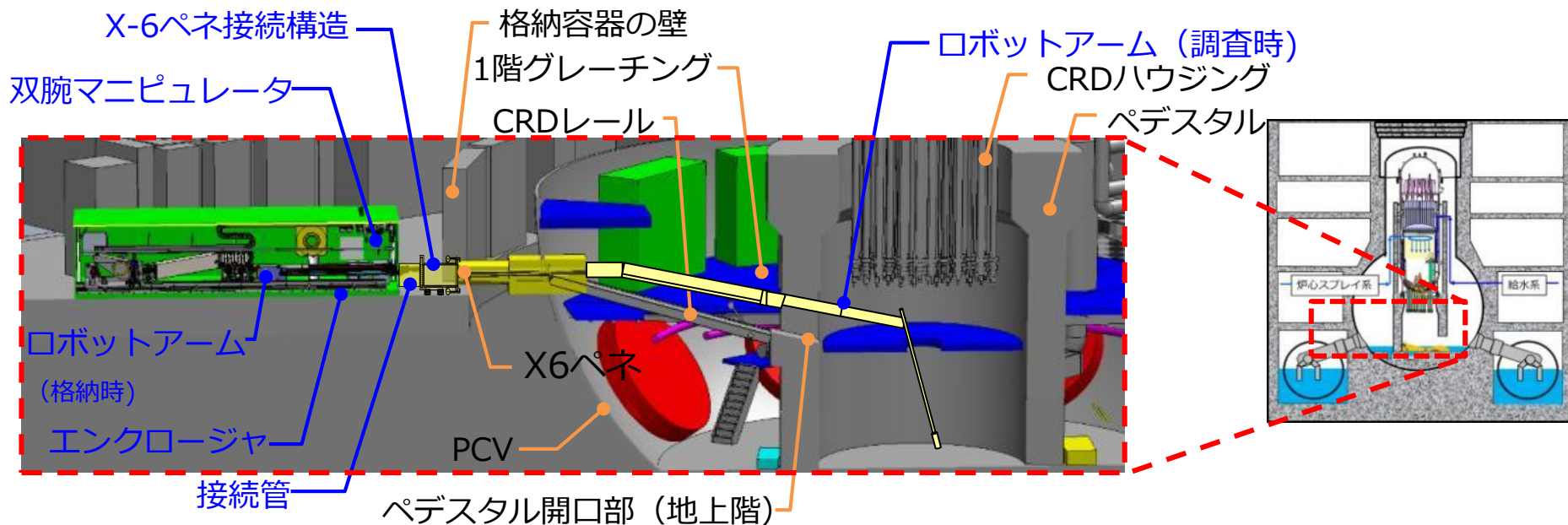
2022年8月25日



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. PCV内部調査及び試験的取り出しの計画概要

- 2号機においては、PCV内部調査及び試験的取り出し作業の準備段階として、作業上の安全対策及び汚染拡大防止を目的として、今回使用する格納容器貫通孔（以下、X-6ペネ）に下記設備を設置する計画
 - X-6ペネハッチ開放にあたり、PCVとの隔離を行うための作業用の部屋（隔離部屋）
 - PCV内側と外側を隔離する機能を持つ X-6ペネ接続構造
 - 遮へい機能を持つ 接続管
 - ロボットアームを内蔵する金属製の箱（以下、エンクロージャ）
- 上記設備を設置した後、アーム型装置をX-6ペネからPCV内に進入させ、PCV内障害物の除去作業を行いつつ、内部調査や試験的取り出しを進める計画



2号機 内部調査・試験的取り出しの計画概要

2. 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況

これまでの試験結果と改良が見込まれる点の対応状況

	項目	これまでの試験結果	改良が見込まれる点	状況
ロボットアーム	AWJによるX-6ペネ出口の障害物の撤去	AWJによるX-6ペネ出口の障害物（干渉ケーブル・CRDレール）の切断除去の見通しを確認	切断順序やAWJの噴射方向等、手順詳細化/見直しを楢葉にて実施予定	今後実施
	X-6ペネの通過性	X-6ペネ模擬体の通過試験を行い、通過できることを確認	a - 作業時間短縮の観点からアーム動作速度向上対策を楢葉にて実施予定 - 楢葉モックアップでの試験において、実機の位置と、アーム運転システム（VRシステム）の位置のずれを検証し、より現場にあった、位置決め精度がより向上した制御プログラムへ修正を実施中 - アームのリンク部分の角度の誤差(指令値と実際の角度の差)を小さくし、位置決め精度を向上を実施中	実施中
	各種動作確認（たわみ測定等）	- ロボットアームを最大伸長させ、動作状況を確認し、たわみデータを取得 - 楢葉モックアップを用いPCV内、ペDESTAL底部までのアクセスできることを確認 - デブリ模擬体の採取性の確認		
双腕マニピュレータ	先端ツールとアームの接続	模擬アームへの先端ツールの接続作業を実施し、成立見通しを確認	ツールの取付位置の視野改善（カメラ位置変更）を実施予定	今後実施
	外部ケーブルの アームへの取付/取外	模擬アームに先端ツール用の外部ケーブルを取付/取外し作業の成立見通しを確認	c ケーブルトレイの下側は狭隘なため、ケーブル取付金具構造、取付位置の改善を実施 今後、取付金具構造の更なる改善を実施予定	実施中
	先端ツール等の搬入出	物品（先端ツールやケーブル）のエンクロージャ内への搬入出作業の成立性を確認	d 物品の吊り治具の構造改善及びケーブルドラム背面の視認性改善（切り欠き構造等）を実施予定	実施中
	アームカメラの交換	模擬アームカメラの取付・取り外し作業を実施し、成立見通しを確認	e コネクタ把持部が滑りやすいため、滑り防止処置を実施	完了
	エンクロージャのカメラ位置変更	模擬カメラを使用した設置位置変更作業を実施し、位置変更可能な見通しを得た	カメラ設置作業性を向上させるため、把持部取付け位置・設置方向の改善を実施	今後実施

3. 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況

ロボットアームの性能確認試験

20220630

チーム会合資料再掲

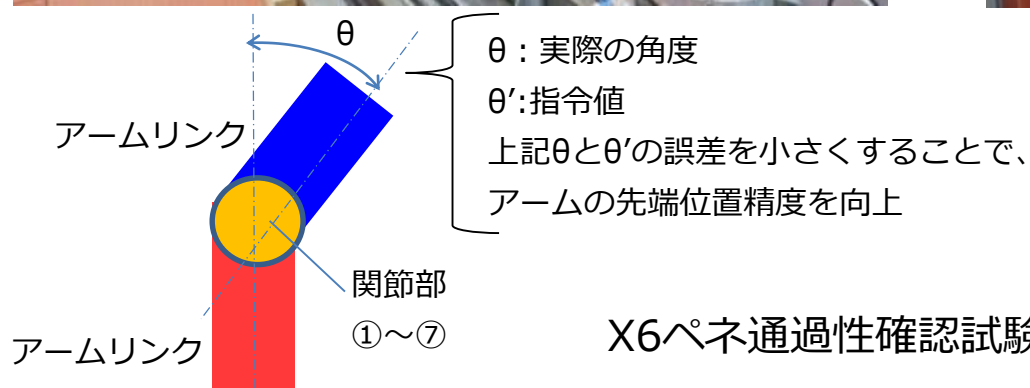
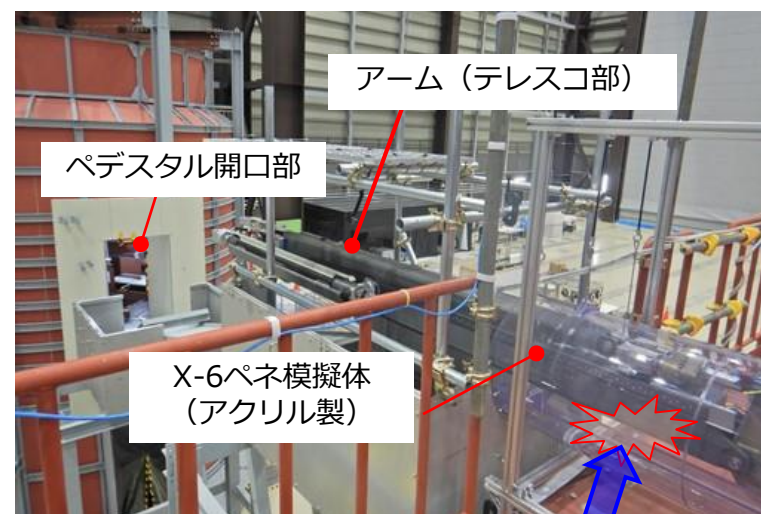
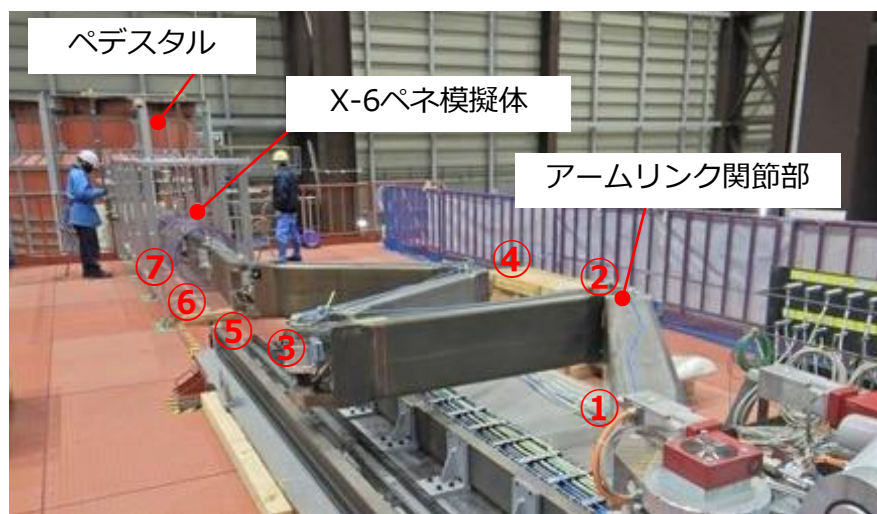
IRID
TEPCO

【今後の改良点 a,b : アーム運転システム／位置決め精度向上】

- ・ ロボットアームの伸縮操作（原点⇒伸長⇒格納）を行い、**アクリル製X6ペネ模擬体の通過性を確認**。
- ・ 今後の改良点として「アームリンク関節部の位置決め精度の向上」を抽出、X6ペネ、ペDESTAL内の狭隘部通過時の接触リスク低減等の観点より、楯葉にて**更なる位置決め精度の向上***を図る予定。

（*：アームリンク関節部（①～⑦）の角度誤差(指令値と実際の角度の差)を小さくし接触リスク等を低減）

- ・ 現場に合わせた制御プログラムの修正・精度向上を実施中



接触リスクの低減
(最小クリアランス：約15mm)

X6ペネ通過性確認試験の状況

3. 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況 ロボットアームの性能確認試験

20220630
チーム会合資料再掲

IRID
TEPCO

【今後の改良点 a,b : アーム運転システム／位置決め精度向上】

- ・ デブリ回収装置をロボットアーム先端へ搭載、PCV内部からペDESTAL底部へアクセスしデブリ模擬体の回収試験を実施し、**～1gのデブリ模擬体の回収が可能**なことを確認。
- ・ 尚、ペDESTAL底部までのアクセスのための**更なる位置決め精度の向上**を含め運転手順の精緻化を図る。



PCV内部へのアクセス性確認 (デブリ回収) 試験の状況

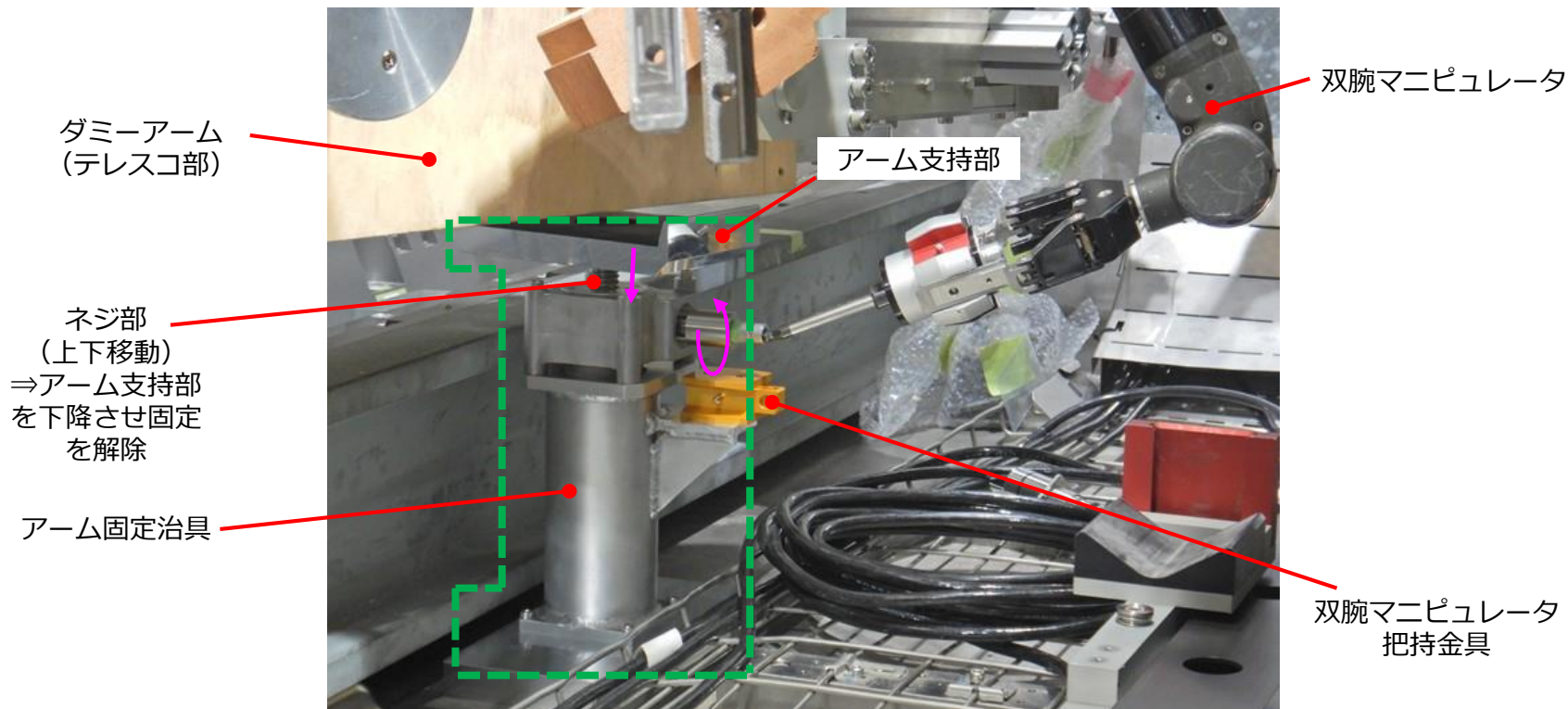
3. 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況 双腕マニピュレータの試験状況

【アーム固定治具の取り外し試験】

・アーム固定治具は、楢葉モックアップ施設から2号機原子炉建屋内への装置搬送時に、エンクロージャ内に設置されたアームの揺動を抑えるための支持構造物であり、現場据付後、双腕マニピュレータにて固定を解除する計画。

（MHI 神戸から楢葉搬送時も使用したものの固定解除は作業員が直接実施。1F 現場搬送後は作業員の被ばく防止の観点で双腕マニピュレータにて実施予定）

・最終的に実機アームを用いた検証を計画しているが、先行してダミーアームを用いた試験にて作業成立性を確認（改良事項は特にない）。



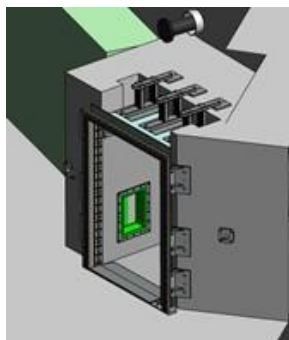
アーム固定治具の取外し試験の状況

4. 現場作業の進捗状況（隔離部屋設置）

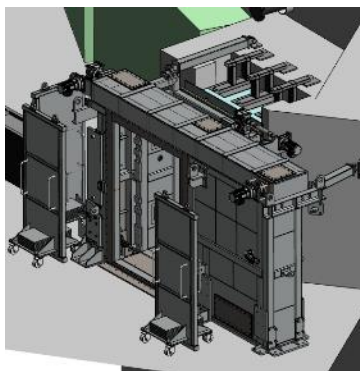
20220526
チーム会合資料再掲

- X-6ペネ開放時のバウンダリとなる隔離部屋を設置し、PCV内の気体が外部に漏れ出て周辺環境へ影響を与えないよう作業する。
- これまでの作業と同様に、PCV内の気体が外部に漏れ出て周辺環境へ影響を与えていないことを確認するため、作業中はダストモニタによるダスト測定を行い、作業中のダスト濃度を監視する予定。

赤枠内：現在の設置状況



隔離部屋①の設置

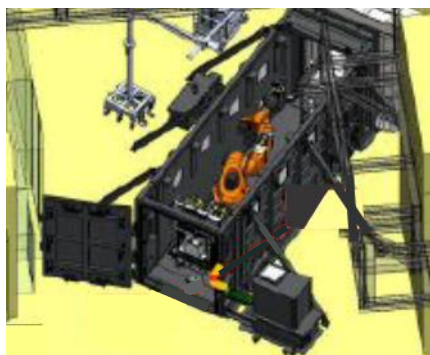


隔離部屋②の設置

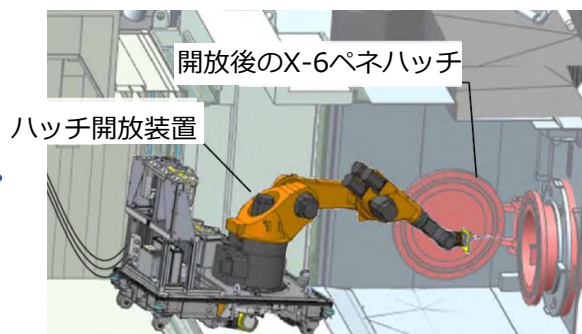


隔離部屋③の設置

※ロボットアーム設置前
まで使用



ハッチ開放装置の
隔離部屋③への搬入



ハッチ開放装置による
X-6ペネハッチ開放

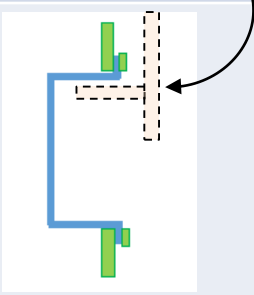
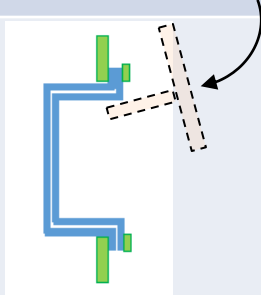
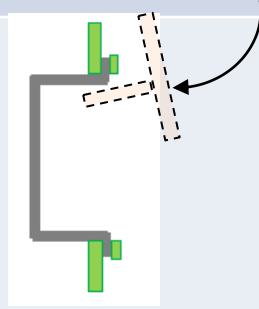
- X-6ペネハッチのボルト切断
- ハッチ開放
- ペネフランジ面他清掃

次工程へ

X-6ペネ内堆積物除去

4. 現場作業の進捗状況（隔離部屋①対策）

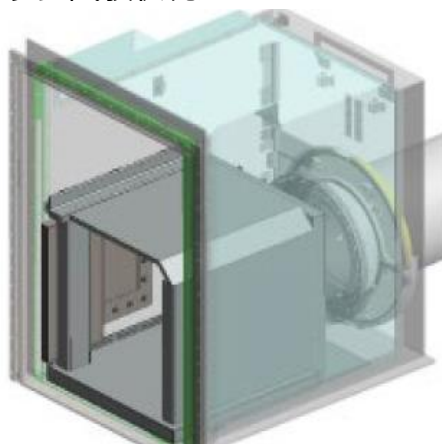
- 検討中の対策は以下の通り。
- なお、X-6 ペネハッチは内部調査・試験的取り出し装置を接続することから、90°以上開く必要がある。そのため把手が箱型ゴム部へ干渉するリスクを考慮し検討。
⇒検討した結果、金属製平板への交換及びX-6 ペネハッチの把手切断を行う。
並行して隔離部屋の再製作も検討中

対策	A	B	C	D
説明	現行仕様の箱型ゴムに交換 	箱型ゴムの2重化 	金属製の箱へ変更 	フランジ把手撤去 （金属平板への交換） 
	把手を収納するときに擦れる可能性 X-6 ペネハッチ開時の箱型ゴム部損傷リスク	二重化によりゴム部が厚くなるため、ハッチ扉を90°開放する途中段階において、箱型ゴムとハッチ扉の把手との間に干渉が生じる可能性がある	金属製の箱ではハッチ扉によって外側へ押し込まれた場合に外側へ逃げる事が出来ないため、ハッチ扉を90°開放出来ない可能性がある	干渉リスクなし

4. 現場作業の進捗状況（隔離部屋①対策 箱型ゴムから金属板へ交換）

- 箱型ゴム部損傷の対策として、箱型ゴムを金属板に交換し、X-6ペネハッチの把手は切断
- 工場モックアップ試験にて作業成立性を検証中。

<モックアップ試験状況>



隔離部屋①内へ遮へい設置



模擬の遮へい体

箱型ゴム取外し



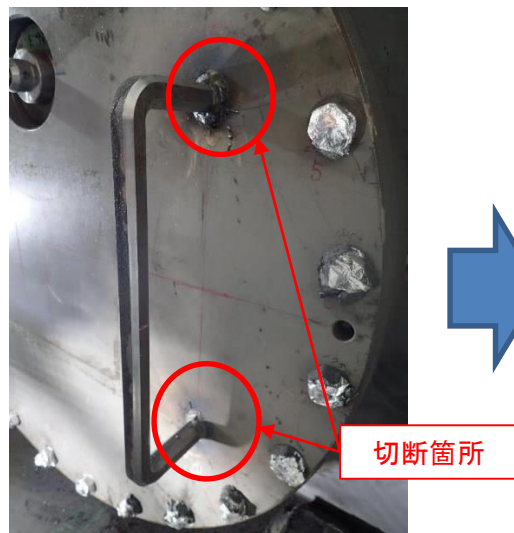
金属板取付け



金属板取付け（バキュームリフターによる把持）

4. 現場作業の進捗状況（隔離部屋①対策 ハッチ把手切断）

- 工場モックアップ試験において、遠隔操作ロボットにより、X-6ペネハッチ把手の切断作業の成立性を検証中。



＜把手切断前の状態＞



＜把手切断中＞



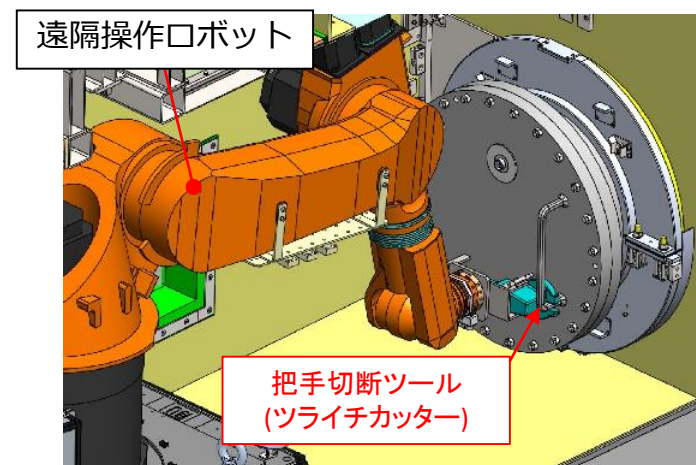
＜把手切断後＞



＜切断の状況（把手下部）＞



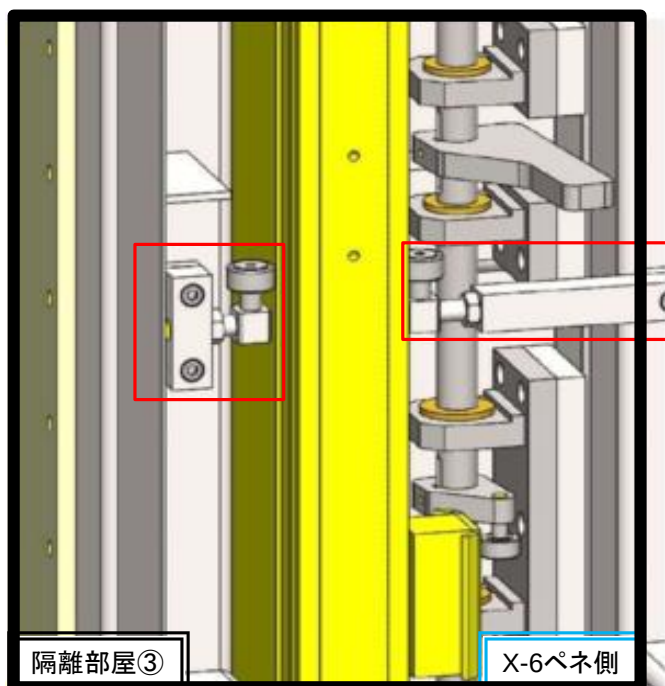
＜切断の状況（把手上部）＞



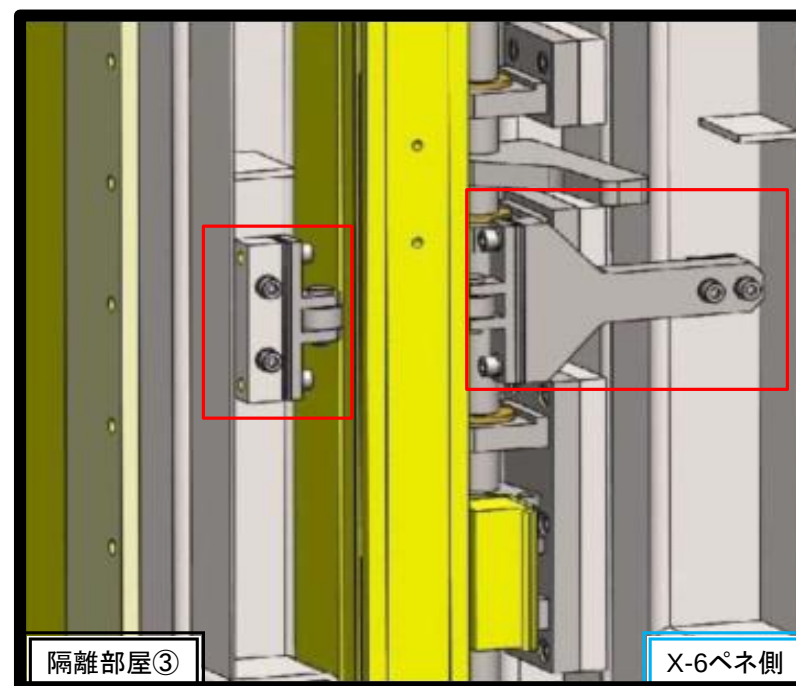
4. 現場作業の進捗状況（隔離部屋②対策 ガイドローラの構造変更）

- 現状、遮へい扉の動作状況については調整を実施し、問題なく動作することを確認
- 再発防止対策として、ガイドローラの構造変更を実施。

現状



対策後



5. 試験的取り出しに向けた工程の見直し

- ロボットアームについて、2022年2月より実施している現場を模擬した楢葉モックアップ試験を通じて把握した情報と、事前シミュレーション結果との差異を補正することで、燃料デブリ取り出し時の接触リスクを低減するべく、現在、制御プログラム修正等の改良（※）に取り組んでいる。
（※改良点：制御プログラム修正・精度向上、アーム動作速度上昇、ケーブル取付治具の改良、視認性向上、把持部の改良等）
- また、2号機現場の準備工事として、2021年11月よりX-6ペネハッチ開放に向けた隔離部屋設置作業に着手しており、その中で発生した隔離部屋のゴム箱部損傷、ガイドローラ曲がり（地震対応）等について、対応しているところ。（並行して隔離部屋の再製作も検討中。）その後も、X-6ペネハッチ開放、X-6ペネ内の堆積物除去作業等を控えており、安全かつ慎重に作業を進める必要がある。
- 今回、試験を踏まえた対応状況や、現場における対策等が整理されたことも踏まえ、試験的取り出し作業（内部調査・デブリ採取）の安全性と確実性を高めるため、さらに **1年から1年半程度の準備期間を追加し、試験的取り出し作業（内部調査・デブリ採取）の着手としては2023年度後半目途に工程を見直した。**
- なお、次ステップの段階的取り出し規模の拡大の作業に影響はない。引き続き、本作業において課題の対応を確実に行う。

	～2021年度	2022年度 ▽8月現在	2023年度
ロボットアーム・ エンクロージャ 装置開発	性能確認試験・モックアップ・訓練（国内）		
・スプレー治具取付作業 ・隔離部屋設置	X-53ペネ孔径拡大作業 ↓ 隔離部屋設置	スプレー治具取付け ↓	
・X-6ペネハッチ開放			
・X-6ペネ内の堆積物除去 ・試験的取り出し装置設置			
試験的取り出し作業 （内部調査・デブリ採取）			

(参考) 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況
性能確認試験項目

楢葉モックアップ施設用いて、現場を模擬したモックアップ試験を実施中。

なお、楢葉での性能確認試験において抽出された改善点は、引き続き対策・改善を進めていく。

性能確認試験項目

試験分類	試験項目	MHI 神戸	楢葉
ロボットアーム関連	X-6ペネの通過性	▲	○
	AWJによるX-6ペネ出口の障害物の撤去	▲	○
	各種動作確認（たわみ測定等）	●	
	PCV内部へのアクセス性 ・ペDESTAL上部へのアクセス ・ペDESTAL下部へのアクセス		○
	PCV内部障害物の撤去 ・X6ペネ通過後のPCV内障害物の切断		○
双腕マニピュレータ関連	センサ・ツールとアームの接続	▲	○
	外部ケーブルのアームへの取付/取外し	▲	○
	センサ・ツールの搬入出	▲	○
	アーム固定治具の取外し		○
	アームカメラ/照明の交換	▲	○
	エンクロージャのカメラの位置変更	▲	○
	アームの強制引き抜き		○
ワンスルー試験 (アーム+双腕マニピュレータ)	アームと双腕マニピュレータを組合わせ、調査に必要な一連の作業を試験で検証 ・ペDESTAL上部調査 ・ペDESTAL下部調査		○

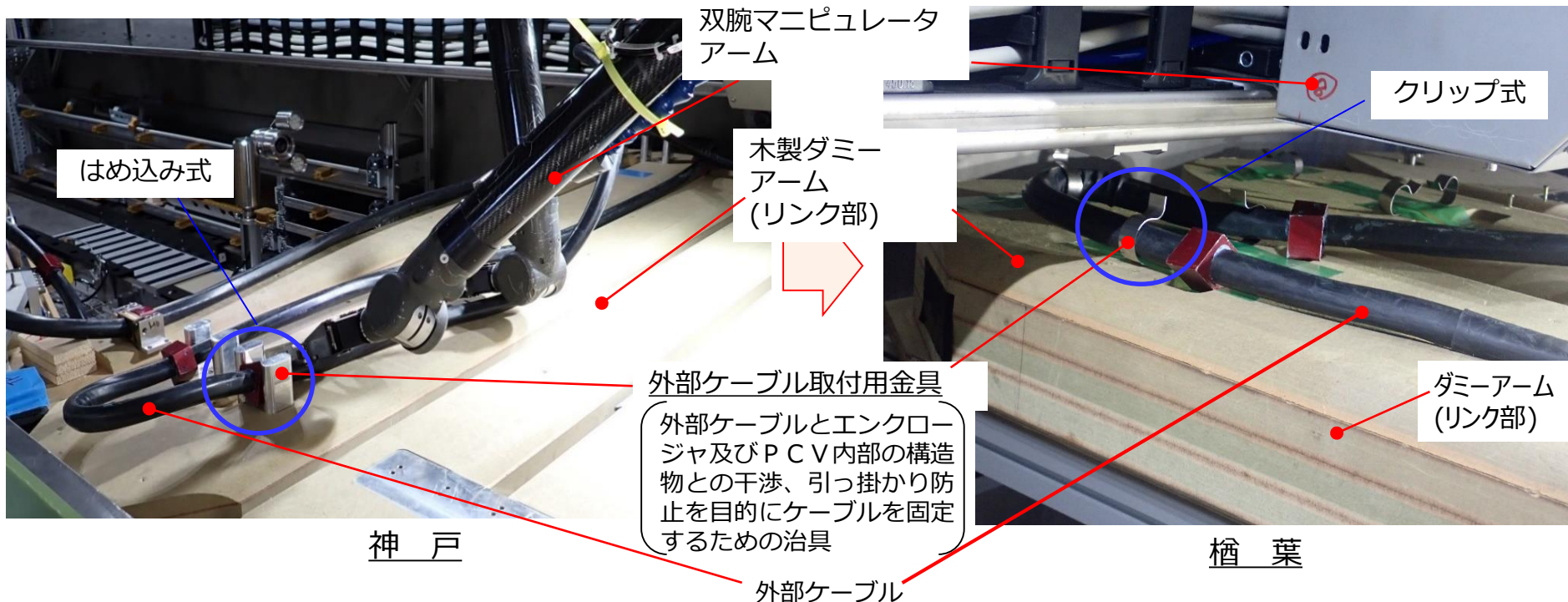
【凡例】 ○試験対象、△一部模擬体（部分模擬体や模擬アーム等）で検証 ○△：計画 ●▲：実績

○ 今回報告

双腕マニピュレータの試験状況

【今後の改良点 c : 外部ケーブルのアームへの取付/取外し】

- ・神戸における試験にてアームへの外部ケーブルの取付/取外し作業の成立見通しを得ると共に作業性改善項目として「ケーブル取付金具構造、取付位置の改善」を抽出。
- ・今回、檜葉にてケーブル取付金具構造を「クリップ式」に変更することにより作業性の改善を確認。
- ・尚、更なる改良点として「クリップからのケーブルの外れ及びケーブル反力によるクリップ変形リスクの低減」を抽出、今後取付金具構造の更なる改良を図り檜葉にて確認していく。



外部ケーブルのアームへの取付/取外し試験の状況

(参考) 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況

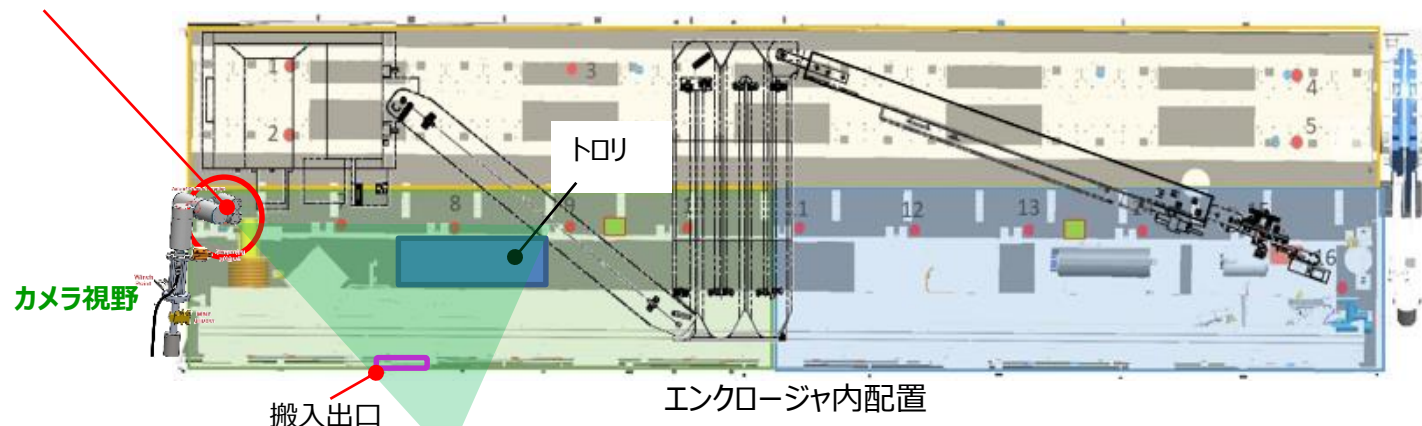
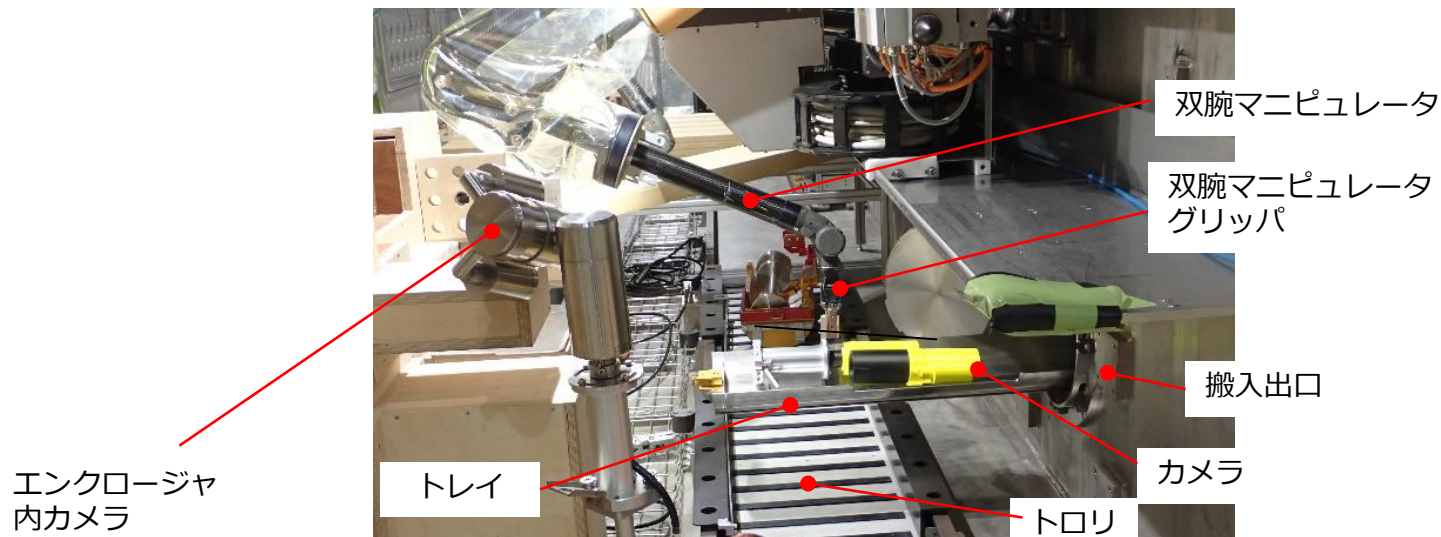
双腕マニピュレータの試験状況

20220630

チーム会合資料再掲



- ・ エンクロージャ内コンテナ、トロリ及び双腕マニピュレータを使用し、カメラの搬入出口からの搬入、搬出試験を実施し作業成立性を確認。

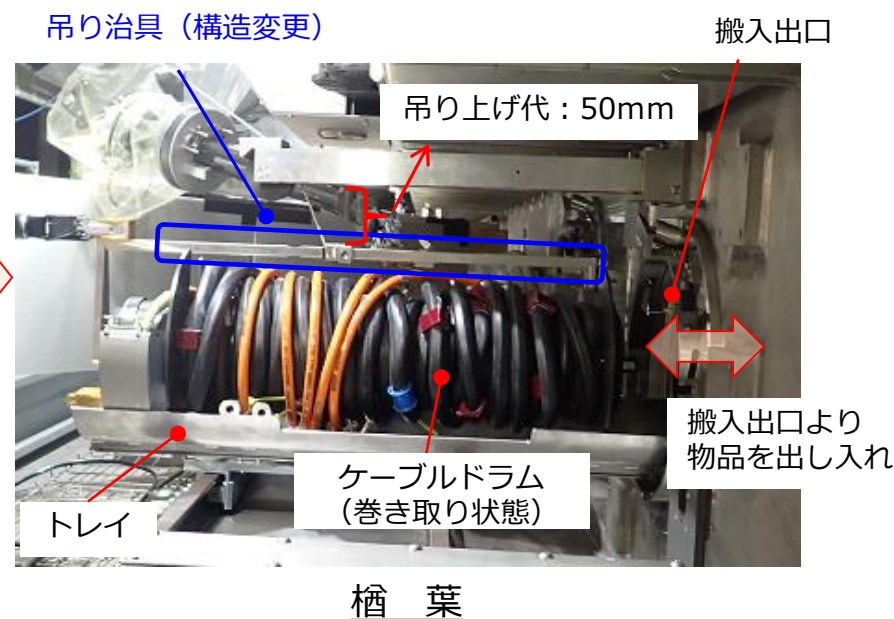
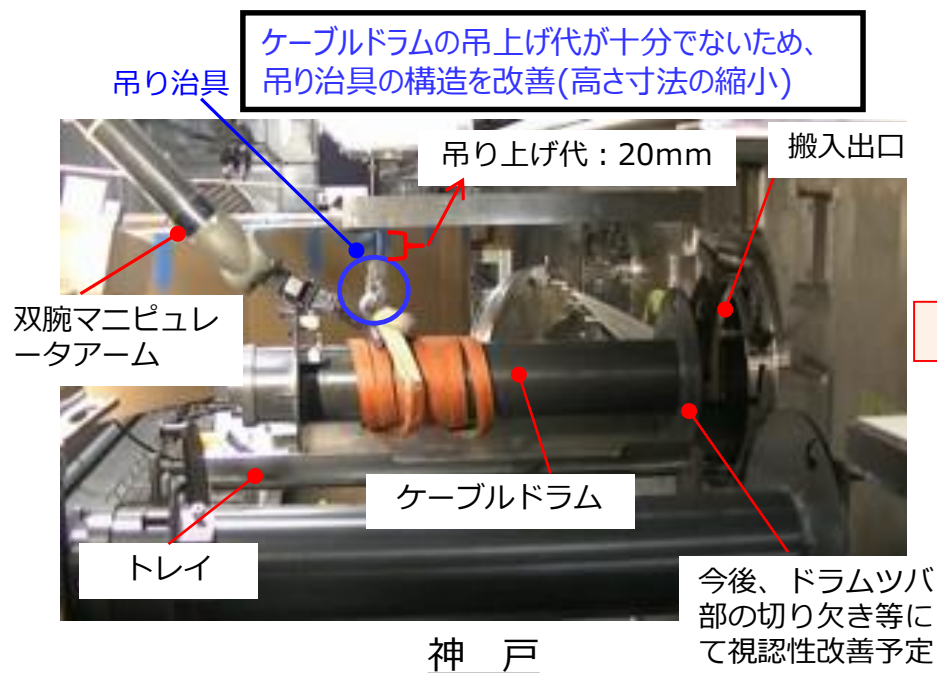


センサ・ツールの搬入出試験の状況（カメラ）

双腕マニピュレータの試験状況

【今後の改良点 d : 先端ツール等の搬入出（治具構造変更／視認性改善）】

- ・ 神戸における試験にてケーブルドラム等物品のエンクロージャ内への搬入出作業の成立見通しを得ると共に作業性改善項目として「ケーブルドラム吊り治具/背面構造の改善」を抽出。
- ・ 今回、楯葉にてドラム吊り治具構造・形状を変更（吊り上げ代：20mm⇒50mm）することにより作業性が改善、対策の有効性を確認。今後、視認性の改善を図り作業の確実性を高める予定。

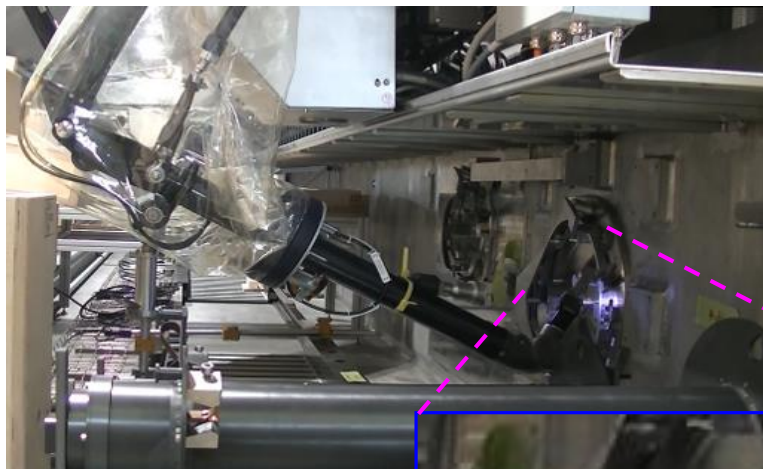


センサ・ツールの搬入出試験の状況（ケーブルドラム）

双腕マニピュレータの試験状況

【今後の改良点 e : アームカメラの交換（マニピュレータ爪先部変更）】

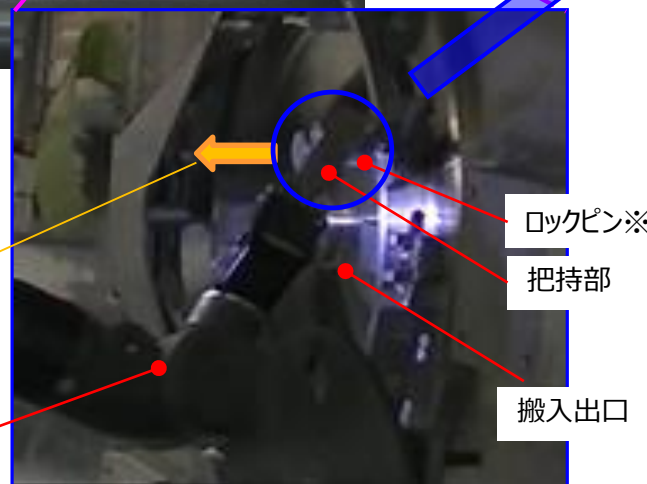
- ・ 神戸における試験にてアームカメラの取付・取り外し作業を実施し作業の成立見通しを得ると共に作業性改善項目として「双腕マニピュレータ把持部の滑り防止」を抽出。
- ・ 今回、楢葉にて「把持部の爪先部品に滑り対策」を実施することにより作業性が改善、対策の有効性を確認。



すべり止め対策として製作した爪先部品

ロックピンを引っ張る際に
把持部が滑る

双腕マニピュレータ
アーム



ロックピン※

把持部

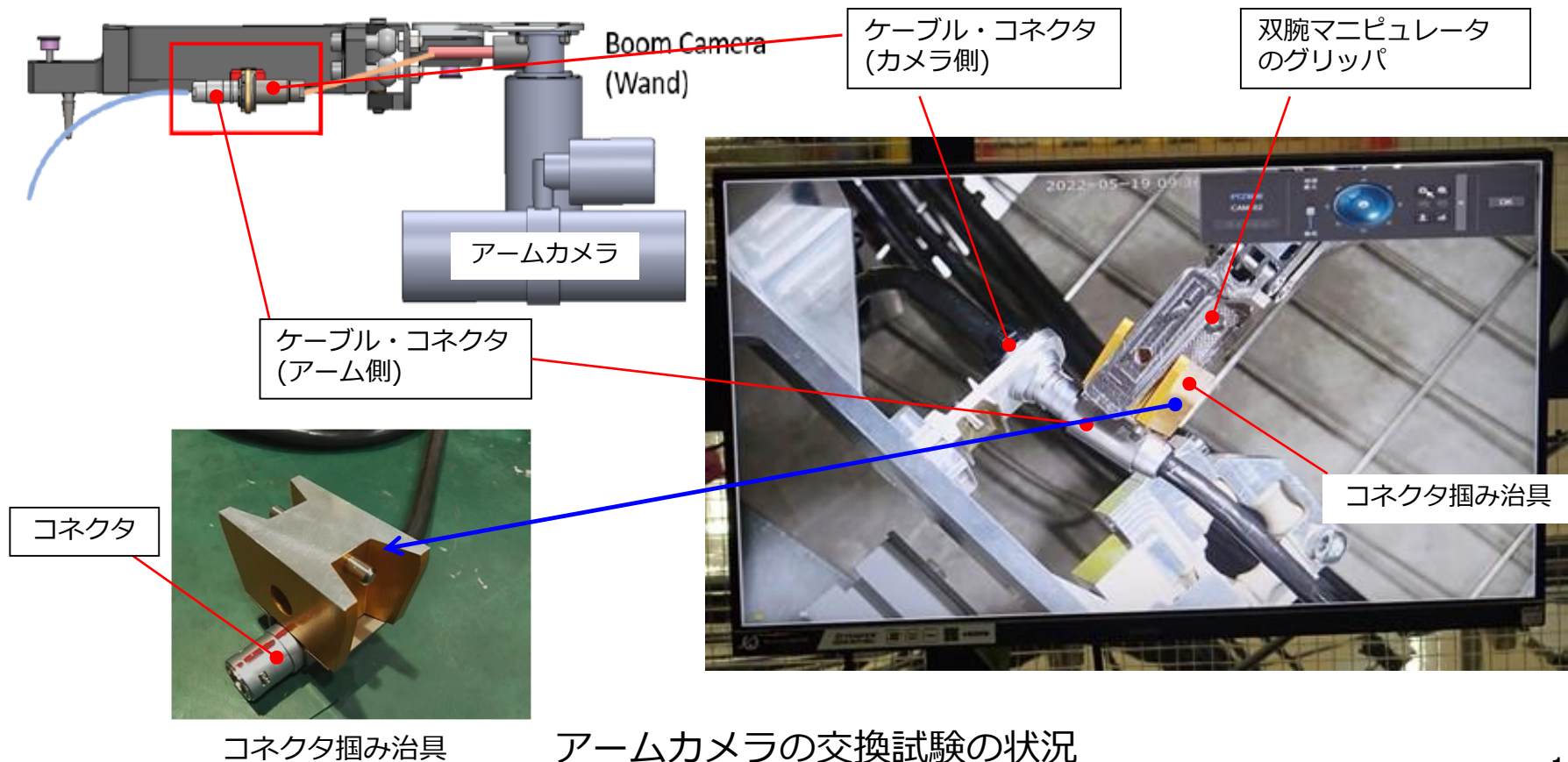
搬入出口

センサ・ツールの搬入出試験の状況（カメラ）

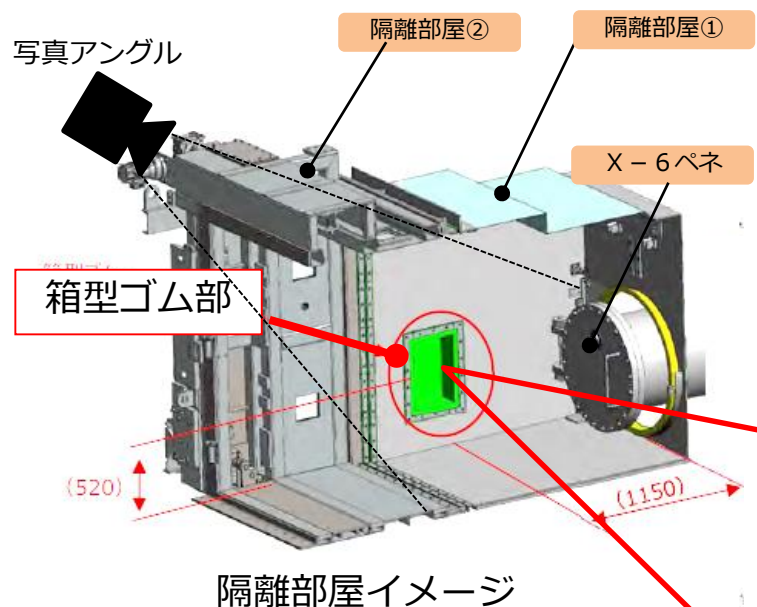
双腕マニピュレータの試験状況

【今後の改良点 e : アームカメラの交換（把持部変更）】

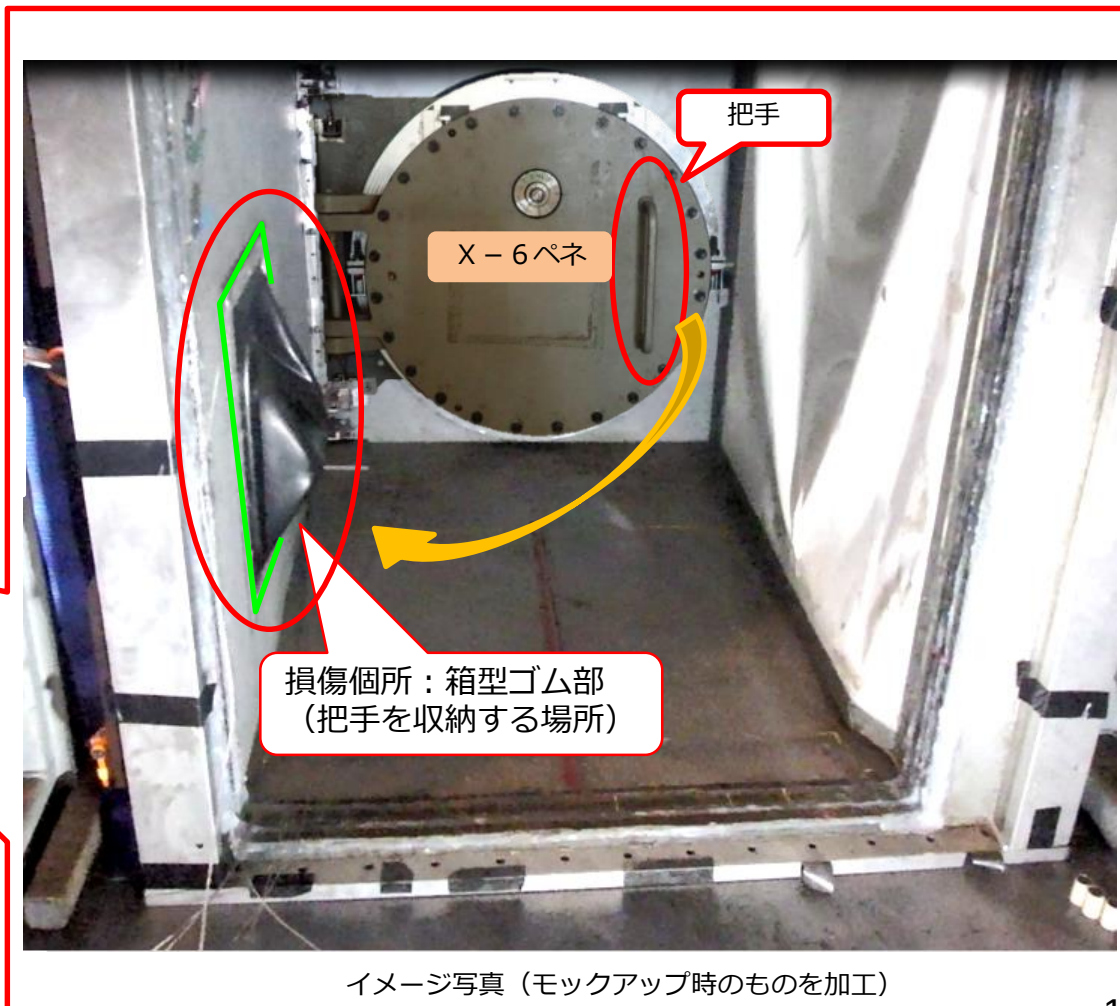
- ・神戸における試験にて模擬アームカメラの取付・取り外し作業の成立見通しを得ると共に作業性改善項目として「カメラコネクタ把持部の滑り防止」を抽出。
- ・今回、檣葉にてコネクタ把持部を改良(掴み治具を取付け)し、コネクタの差込み／引抜きの作業性が改善、対策の有効性を確認。



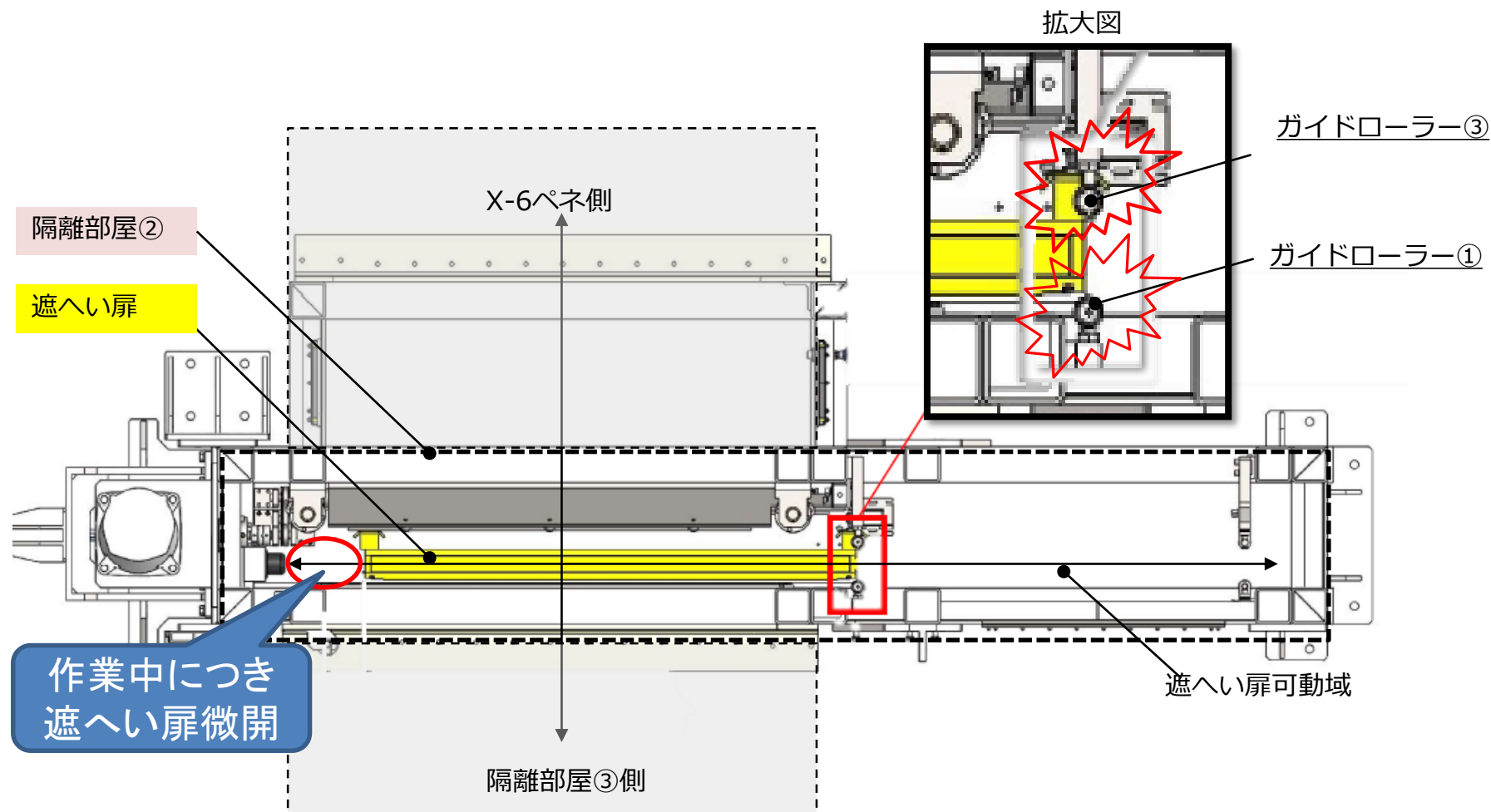
- X-6ペネ開放前の準備作業として、隔離部屋①、②を設置し、据え付け状態の確認を実施
加圧したところ圧力の低下を確認
- 原因調査をしたところ、X-6ペネハッチ開放時にペネフランジ把手を収納する箱型ゴム部に損傷を確認



箱型ゴム部寸法：約30×45×12cm
材質：EPDM

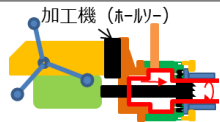


- 3月16日の地震発生時、隔離部屋②は据え付け作業中のため遮へい扉を微開していた。
- 地震の影響により遮へい扉が揺れ、ガイドローラー③が変形、ガイドローラー①の取付けロックナットに緩みが発生。



(参考) 現地準備作業状況 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

0. 事前準備作業



- 事前にスプレイ治具取付事前作業（X-53ペネ孔径拡大）を実施

1. 隔離部屋設置



- ハッチ開放にあたり事前に隔離部屋を設置

2. X-6ペネハッチ開放

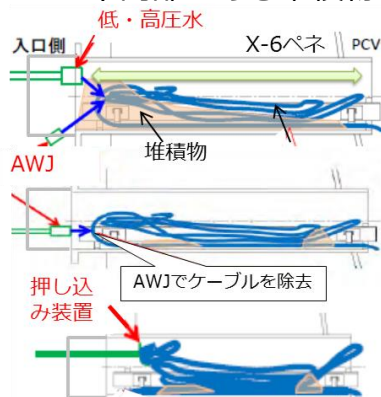
ハッチ開放装置



- ハッチ開放装置によりハッチを開放

3. X-6ペネ内堆積物除去

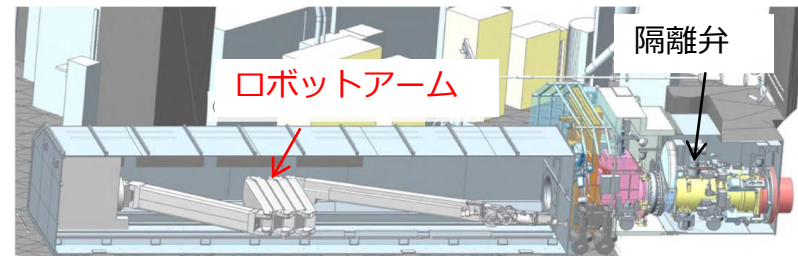
X-6ペネ内部にある堆積物・ケーブル類を除去する



- 【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

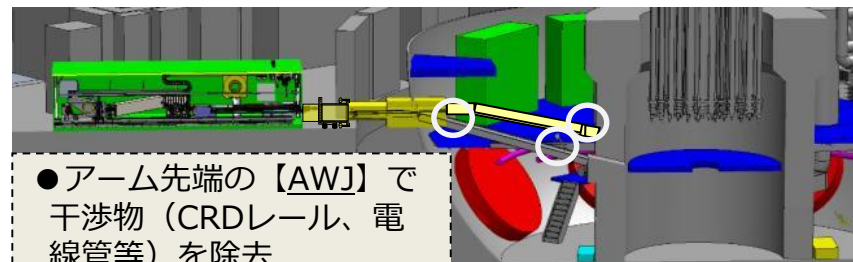
4. ロボットアーム設置

認可済



5. 試験的取り出し作業（内部調査・デブリ採取）

① ロボットアームによるPCV内部調査



- アーム先端の【AWJ】で干渉物（CRDレール、電線管等）を除去

② ロボットアームによるデブリ採取

申請予定

燃料デブリ回収装置先端部



<金ブラシ型> <真空容器型>



(注記)

- ・ 隔離弁：PCV内/外を仕切るために設置した弁
- ・ AWJ（アブレイシブウォータージェット）：高圧水に研磨材（アブレイシブ）を混合し、切削性を向上させた加工機