

自主事業

「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発(X-6ペネトレーションを用いた内部詳細調査技術の現場実証)」

令和3年度最終報告

令和4年5月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

目次

1. 本事業の背景・目的
2. 本事業の位置付け
3. 実施体制とスケジュール
4. 実施内容、成果
 - 4.1 アクセス・調査装置
 - 4.2 アクセスルート構築のための関連機器
 - 4.3 その他付帯設備
 - 4.4 燃料デブリ回収装置
 - 4.5 現場実証
5. まとめと今後の予定

1. 本事業の背景・目的

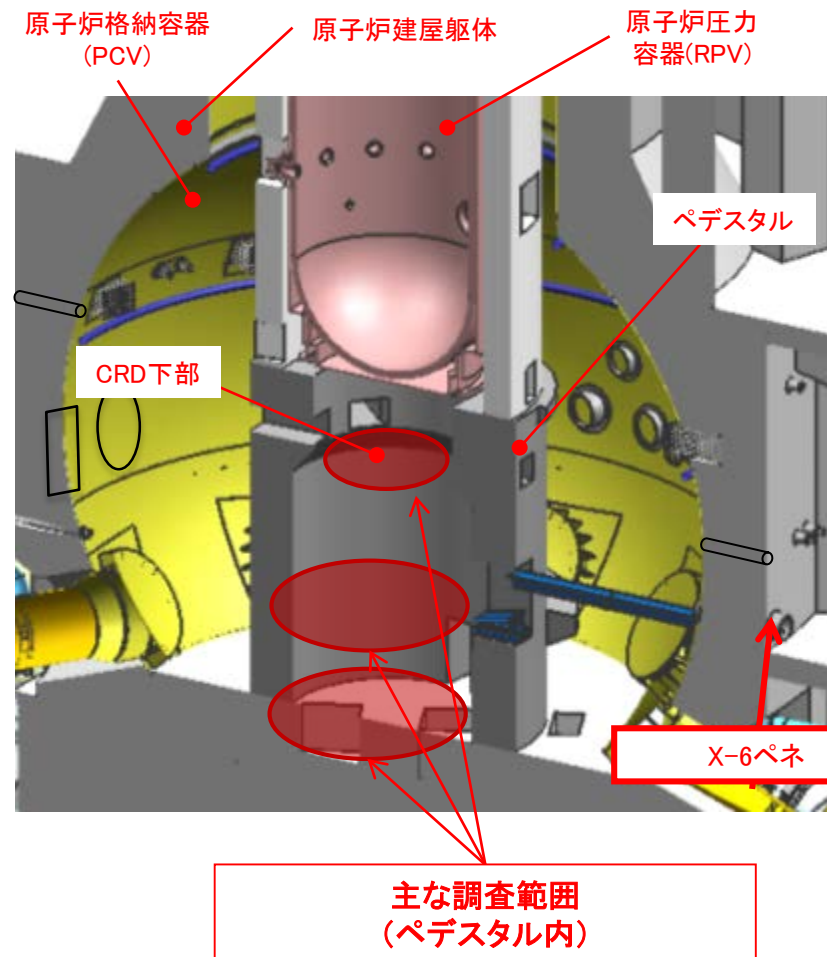
【背景】

平成30年1月に実施された2号機のPCV内部調査の結果、ペDESTAL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と推定されている。

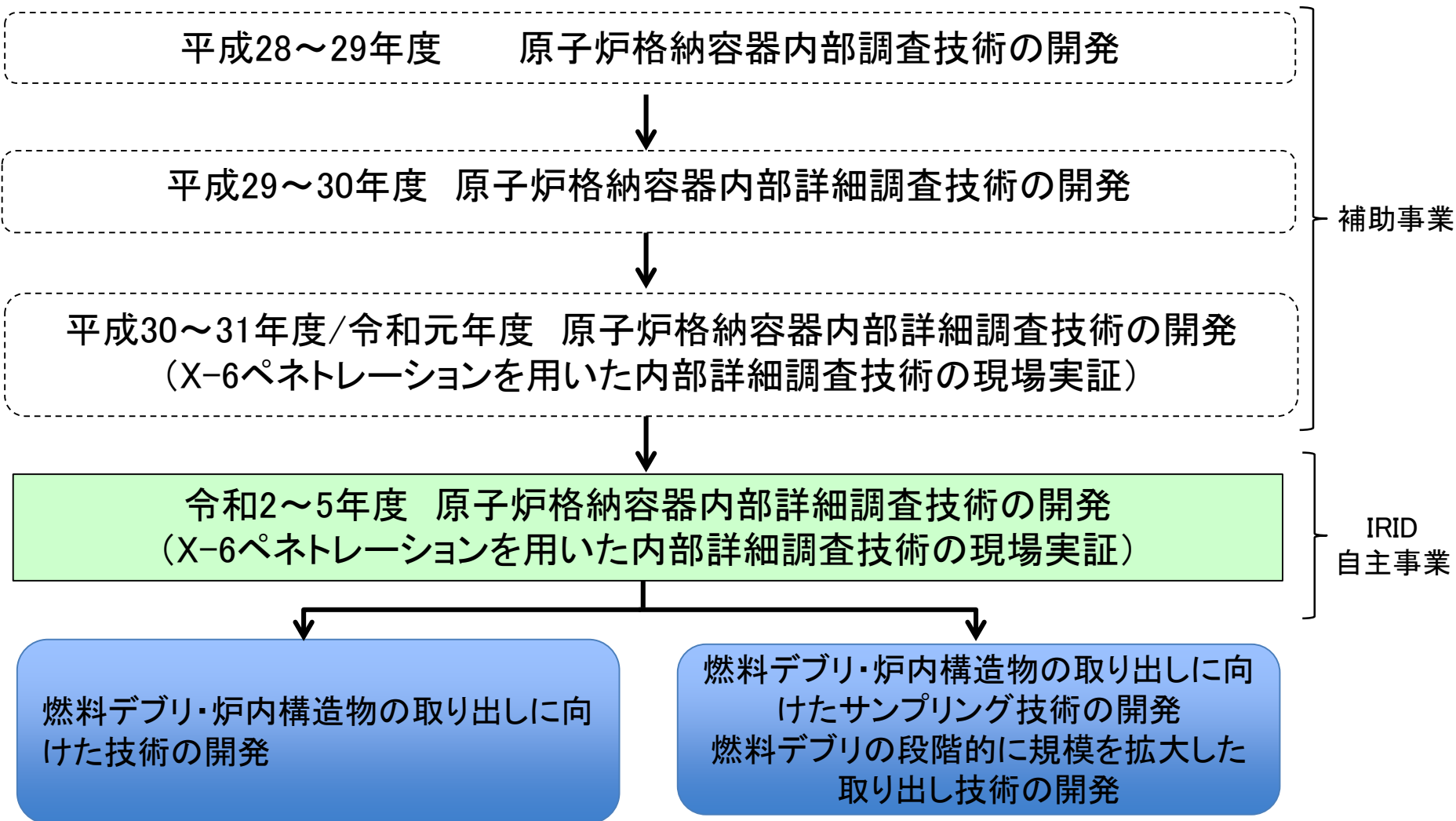
【目的】

アクセス・調査装置及び調査技術を、従来のPCV内部調査と同じX-6ペネトレーションに、より大きな直径の開口部を設けてPCV内部に投入し、詳細調査を実施することで当該開発技術が有効であることを確認する。また、燃料デブリ回収装置を搭載し、PCV内部の堆積物を回収し、当該開発技術の有効性を確認する。

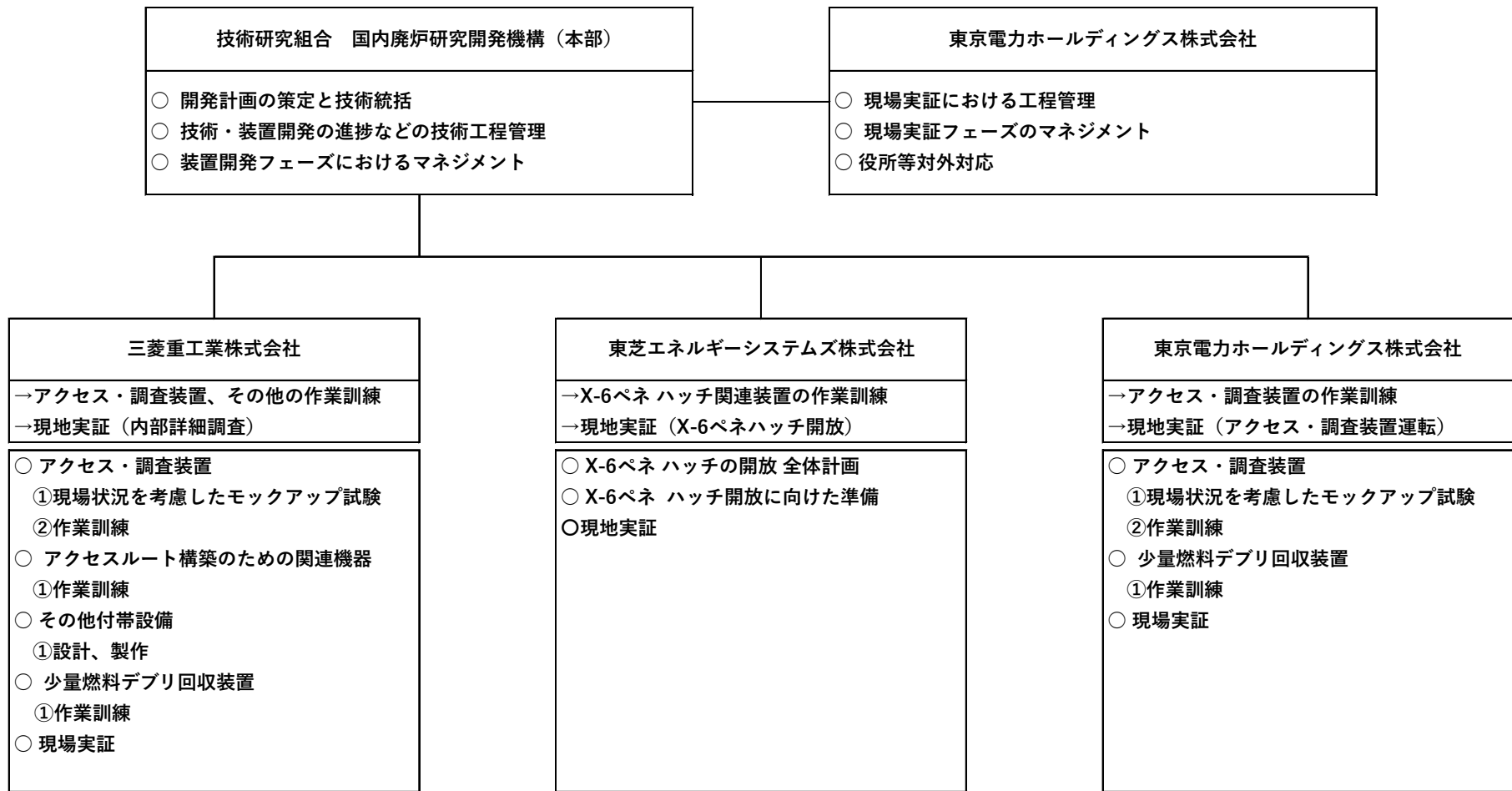


【 PCV断面図と調査対象部位の概要 】

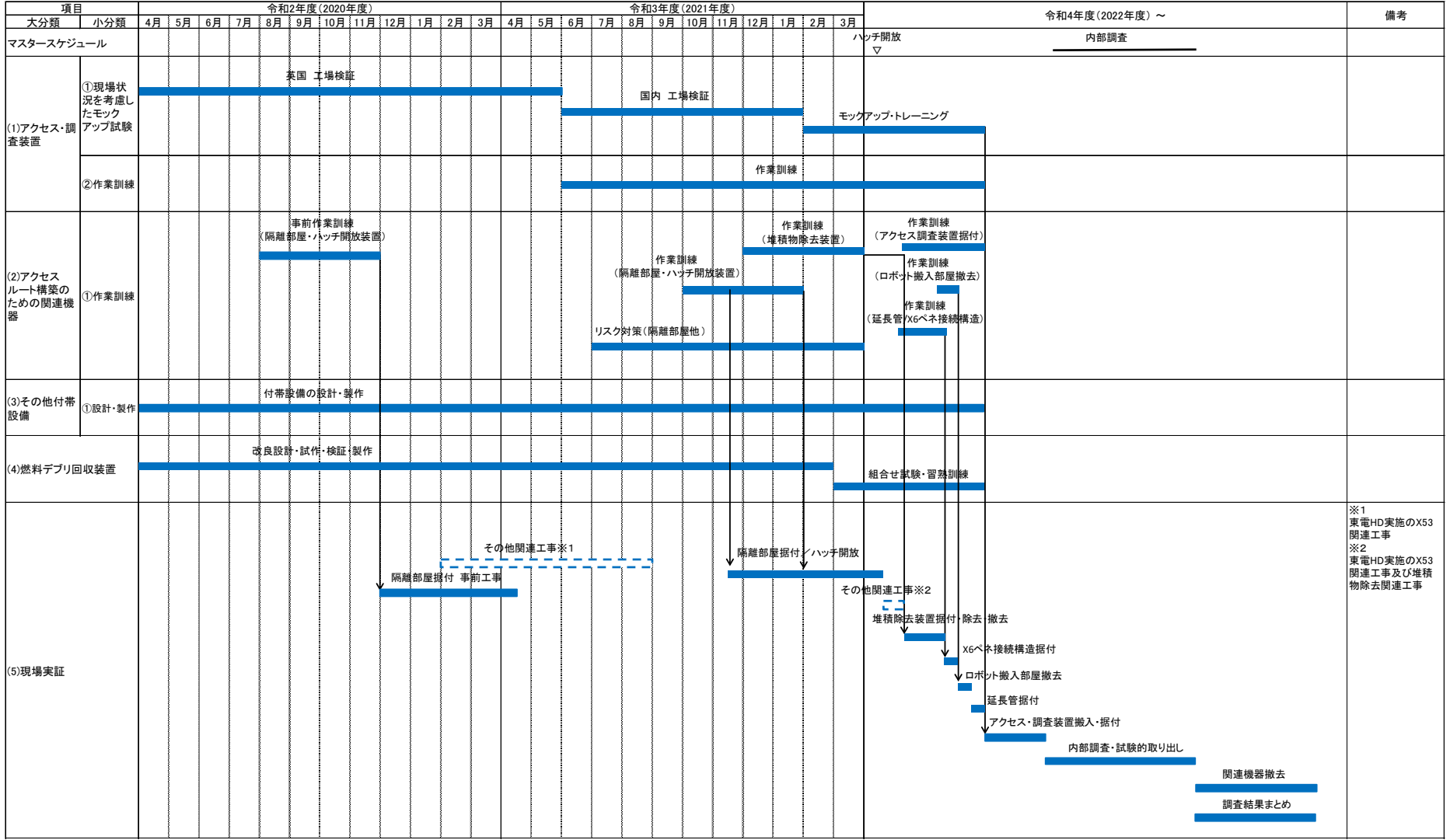
2. 本事業の位置付け



3. 実施体制とスケジュール:実施体制



3. 実施体制とスケジュール: スケジュール



※1 東電HD実施のX53 関連工事
 ※2 東電HD実施のX53 関連工事及び堆積物除去関連工事

4. 実施内容、成果

4.1 アクセス・調査装置

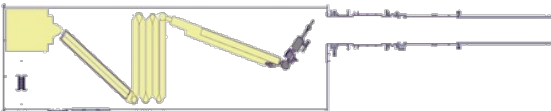
(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (i)アームの検証試験

a. たわみ計測、解析との比較評価

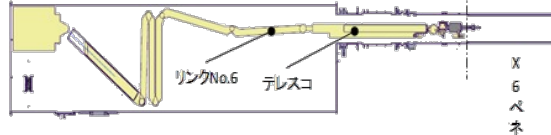
【試験概要】

- ・各姿勢におけるアームたわみデータを取得(実測値は解析値と概ね一致することを確認)
- ・たわみデータはアーム運転制御プログラムに反映し、櫛葉モックアップを用いて検証予定

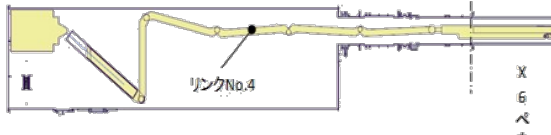
アーム折畳み(姿勢01)



リンク56展開(姿勢02)



リンク3456展開(姿勢03)



アーム全展開(姿勢04)



アーム伸展姿勢



アームの進展

鉛直方向



先端で約10mmの差異

姿勢04: 実測値と解析値の比較

4.1 アクセス・調査装置

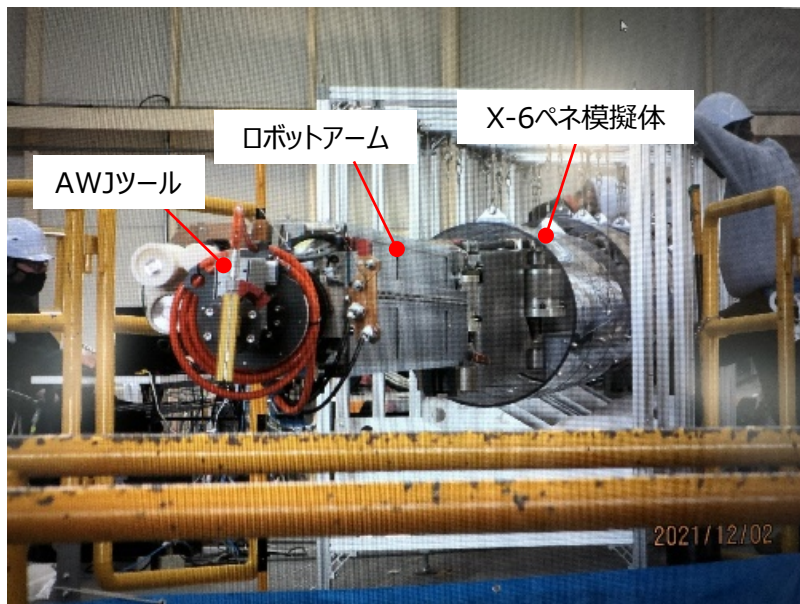
(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (i)アームの検証試験

b. X-6ペネ通過試験

【試験概要】

*AWJ:アブレイシブウォータージェット

- 先端ツール(AWJ*)をアームに取付けた状態で、X-6ペネ模擬体を通過することを確認できた
- 最小クリアランス15mm(ノミナル寸法は25mm)
- アーム伸展までのファイル(ティーチ&リピートファイル)を作成 ⇒今後のアーム運転のベースとして活用する



X-6ペネ通過試験(AWJツール搭載)



隙間計測 最小クリアランス (X-6ペネ入口の上側)

X-6ペネ模擬体

下側クリアランス

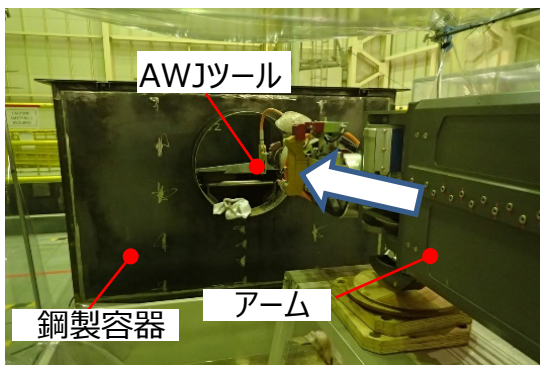
4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (i)アームの検証試験

c. AWJ切断試験(1/2)

【試験概要】

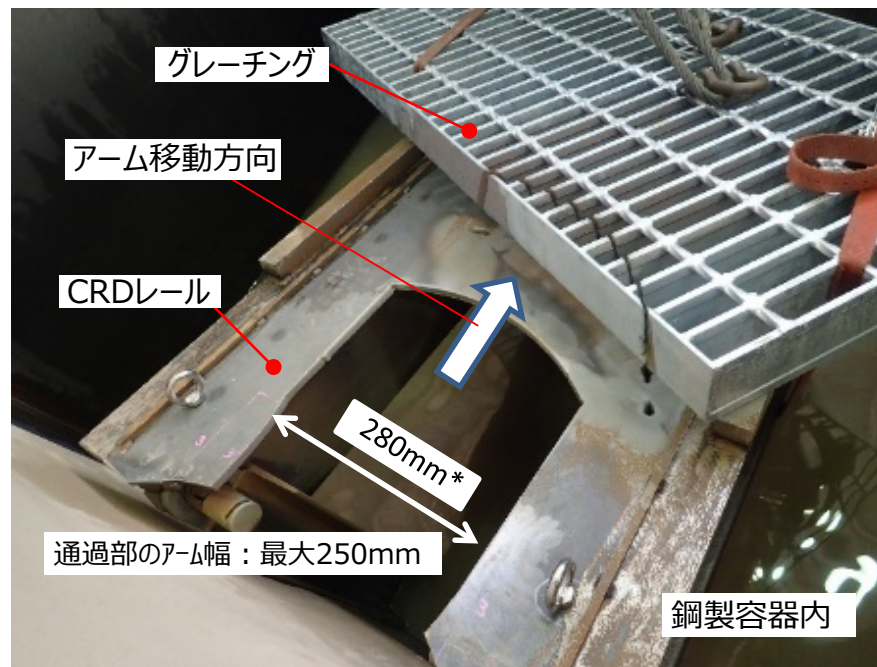
- ・先端ツール(AWJ)をアームに取り付けた状態でCRDレールとグレーチングを切断(ケーブル無し)できた
- ・アーム通過領域の障害物撤去の見通しを確認できた



試験装置外観



AWJ噴射前



AWJ切断状況
(CRDレールとグレーチングを一部切断した状態)

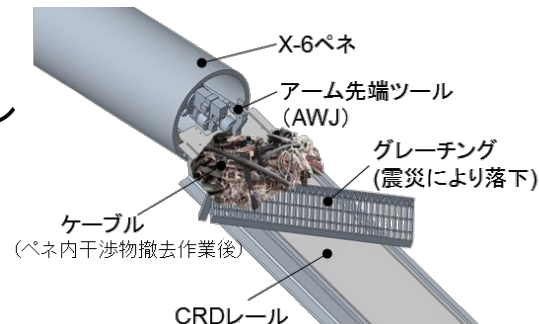
4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (i)アームの検証試験

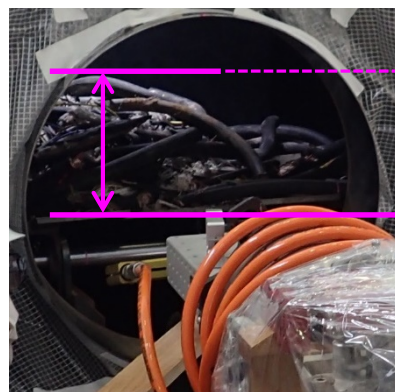
c. AWJ切断試験(2/2)

【試験概要】

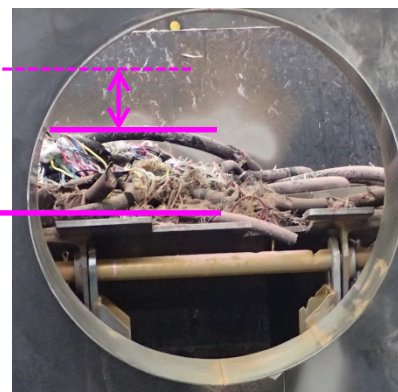
- ・先端ツール(AWJ)をアームに取付けた状態で、CRDレール上のケーブルを切断/除去の見通しを確認できた
- ・作業時間短縮の観点で切断対象部位(CRDレール、ケーブル等)の切断順序やAWJ噴射方向等の手順詳細化/見直しが必要⇒楢葉モックアップで継続



試験状況



試験前



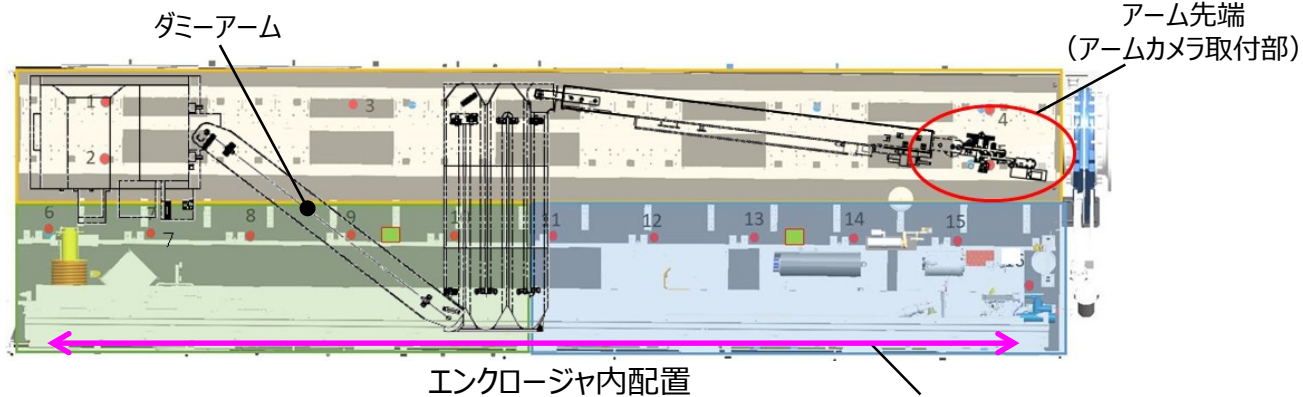
試験後

AWJ噴射によりケーブルを切断・除去できることを確認

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) 保守用マニピュレータの作業性検証試験

試験条件概要



ダミーアーム概要:

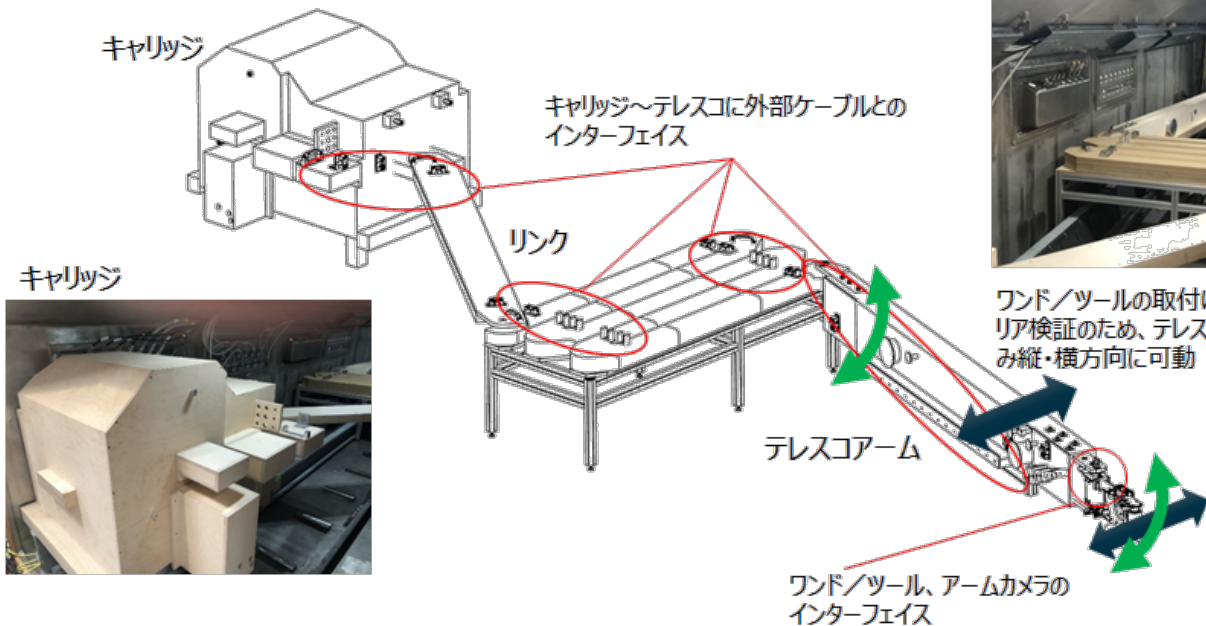
- ・アームのキャリッジからテレスコまでを木材で模擬
- ・アームの基本構造、主要寸法は模擬するが、剛性、片持ち構造、可動構造は一部を除いて模擬せず、キャリッジ、リンク、テレスコアームは支持脚で床から支持

保守用マニピュレータキャリッジの可動範囲

リンク及びテレスコアーム



ワンド/ツールの取付け、取外し作業エリア検証のため、テレスコアーム、リストのみ縦・横方向に可動



4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii) 保守用マニピュレータの作業性検証試験

a. アームカメラ/照明の交換

【試験概要】

- ・ダミーアームカメラ/照明の交換作業を実施し、成立見通しを確認できた。以下の改善点を抽出した。
- ・コネクタを把持する際の滑り防止対策⇒櫛葉モックアップで改善効果を確認する。

試験状況

保守用マニピュレータアーム

照明(ダミー)

アームカメラ(ダミーカメラ)

ブラケット

グリッパ

ダミーアーム

アーム

ブラケット

照明

アームカメラ

取付部

Boom Camera (Wand)

保守用マニピュレータのグリッパで把持して取付/取外し

カメラ側ケーブル*

アーム側ケーブル*

コネクタ*

*試験ではダミーを使用

コネクタ把持時に滑りやすいため、滑り防止対策が必要

インクロージャ内配置図

ダミーアーム

保守用マニピュレータ作業位置

アームカメラ/照明交換部(アーム先端)

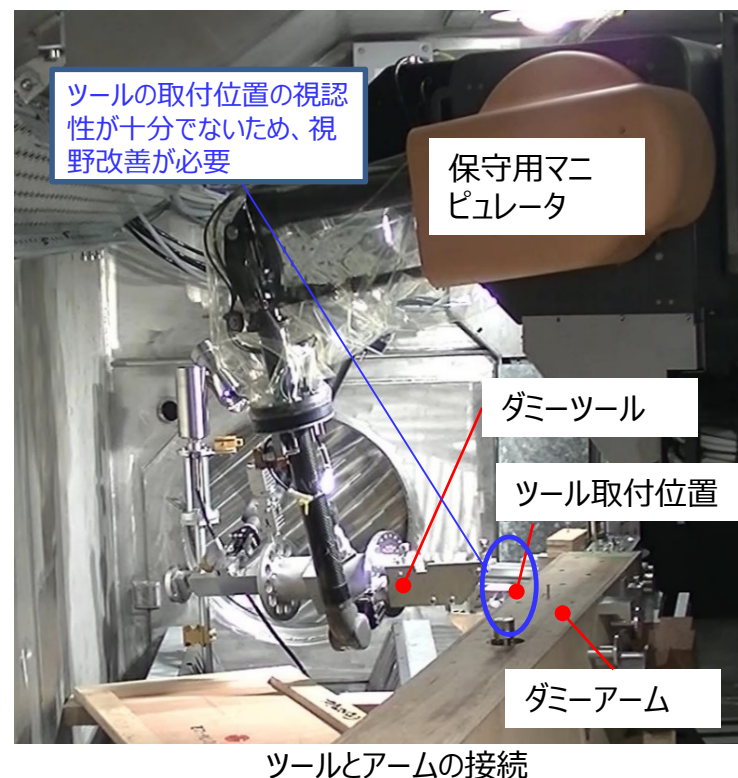
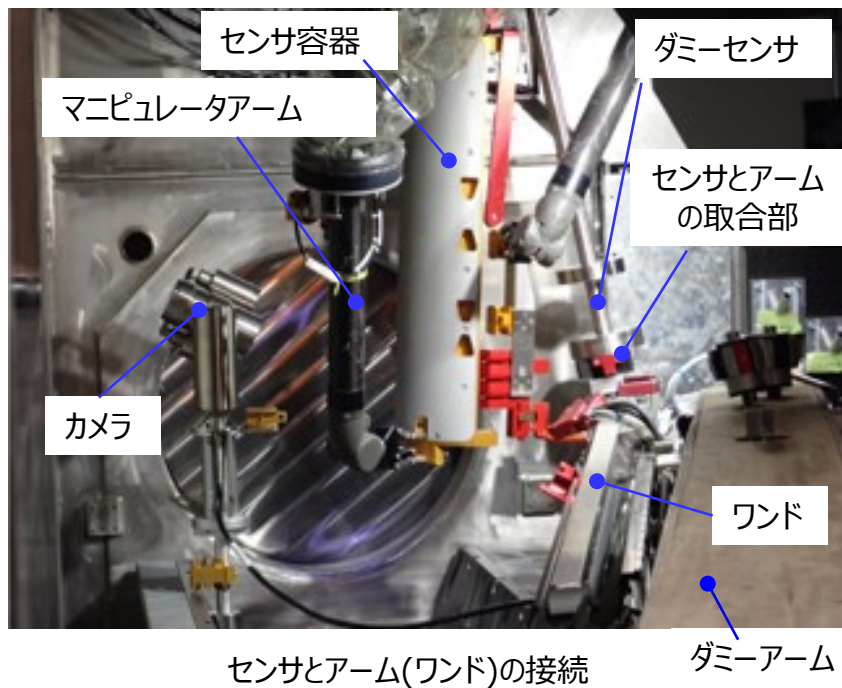
4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii)保守用マニピュレータの作業性検証試験

b. センサ及びツールの取付

【試験概要】

- ・実機ワンド、実機センサ容器、ダミーセンサ、ダミーツールを用いてダミーアームとの接続作業を実施し、成立見通しを確認できた。以下の改善点を摘出した。
- ・ツールの取付位置の視野改善⇒櫛葉モックアップで改善効果を確認する。



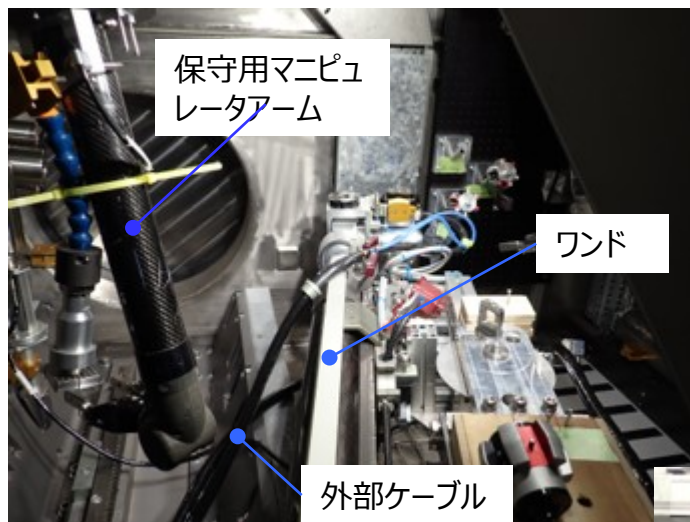
4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii)保守用マニピュレータの作業性検証試験

c. 外部ケーブルの取付(1/2)

【試験概要】

- ・ワンドへの外部ケーブルの取付作業を実施し、成立見通しを確認できた。以下の改善点を抽出した。
- ・ワンドへの外部ケーブル引き回しに関し、外部ケーブル取付用金具構造の一部変更
⇒ 楢葉モックアップで改善効果を確認する

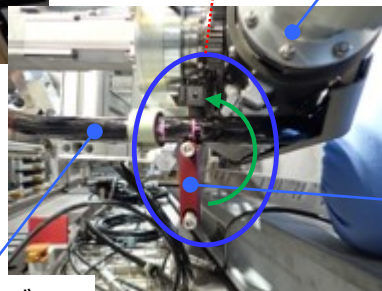


ワンドへのケーブル引き回し作業



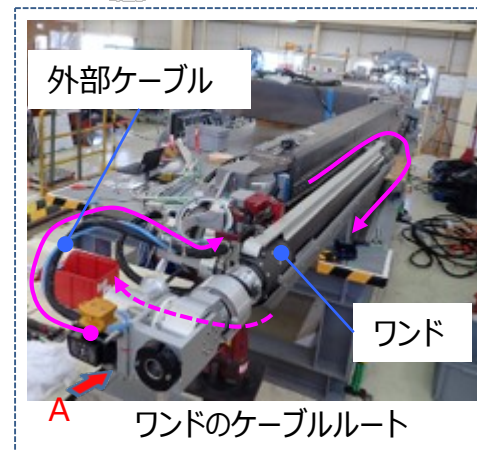
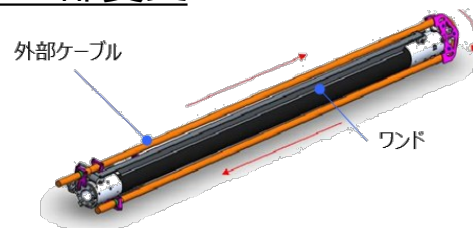
金具取付時

ワンド



外部ケーブル

A視



外部ケーブル取付用金具
ケーブル取付用金具の設置作業が狭隘
となるため、金具構造の変更が必要

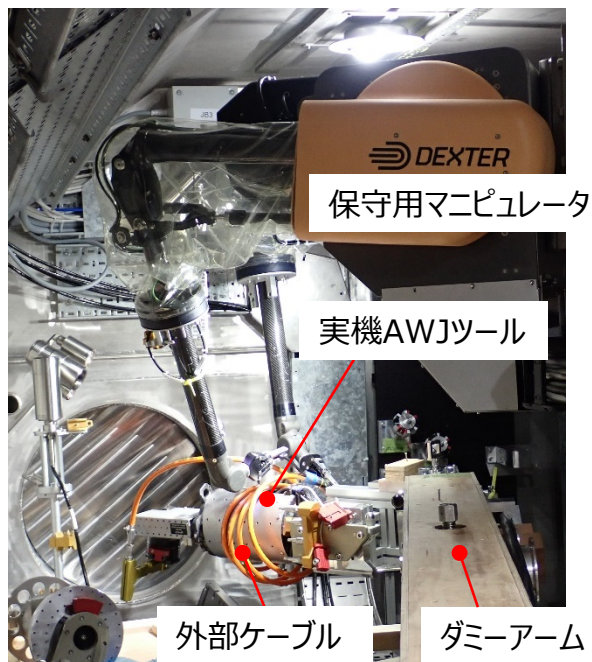
4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii)保守用マニピュレータの作業性検証試験

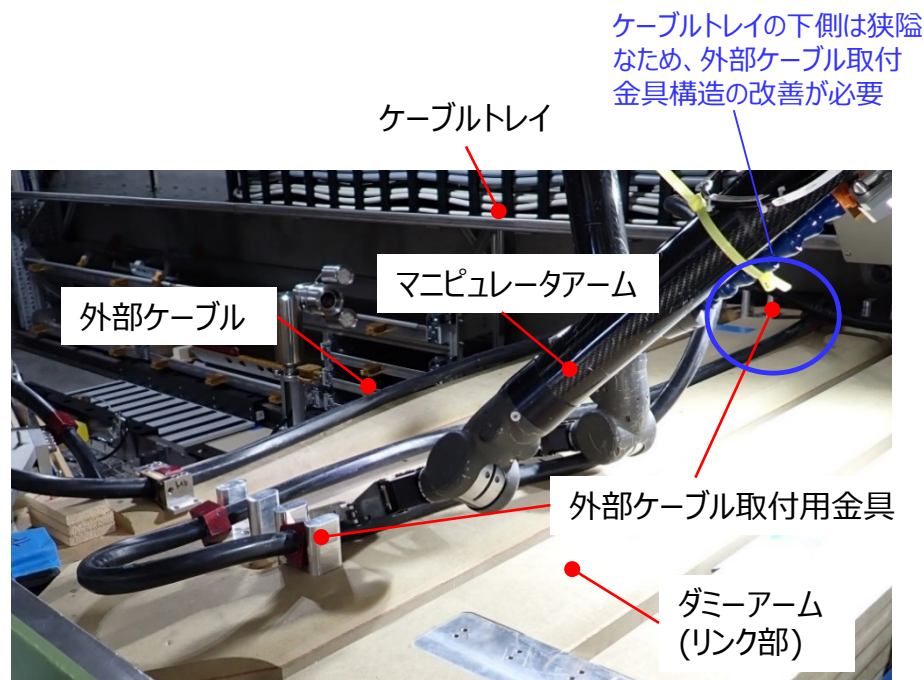
c. 外部ケーブルの取付(2/2)

【試験概要】

- ・ダミーアームへの外部ケーブルの取付作業を実施し、成立見通しを確認できた。以下の改善点を抽出した。
- ・アームリンク部への外部ケーブル引き回しに関し、外部ケーブル取付用金具構造の改善
⇒櫛葉モックアップで改善効果を確認する。



外部ケーブルのツールへの取付け



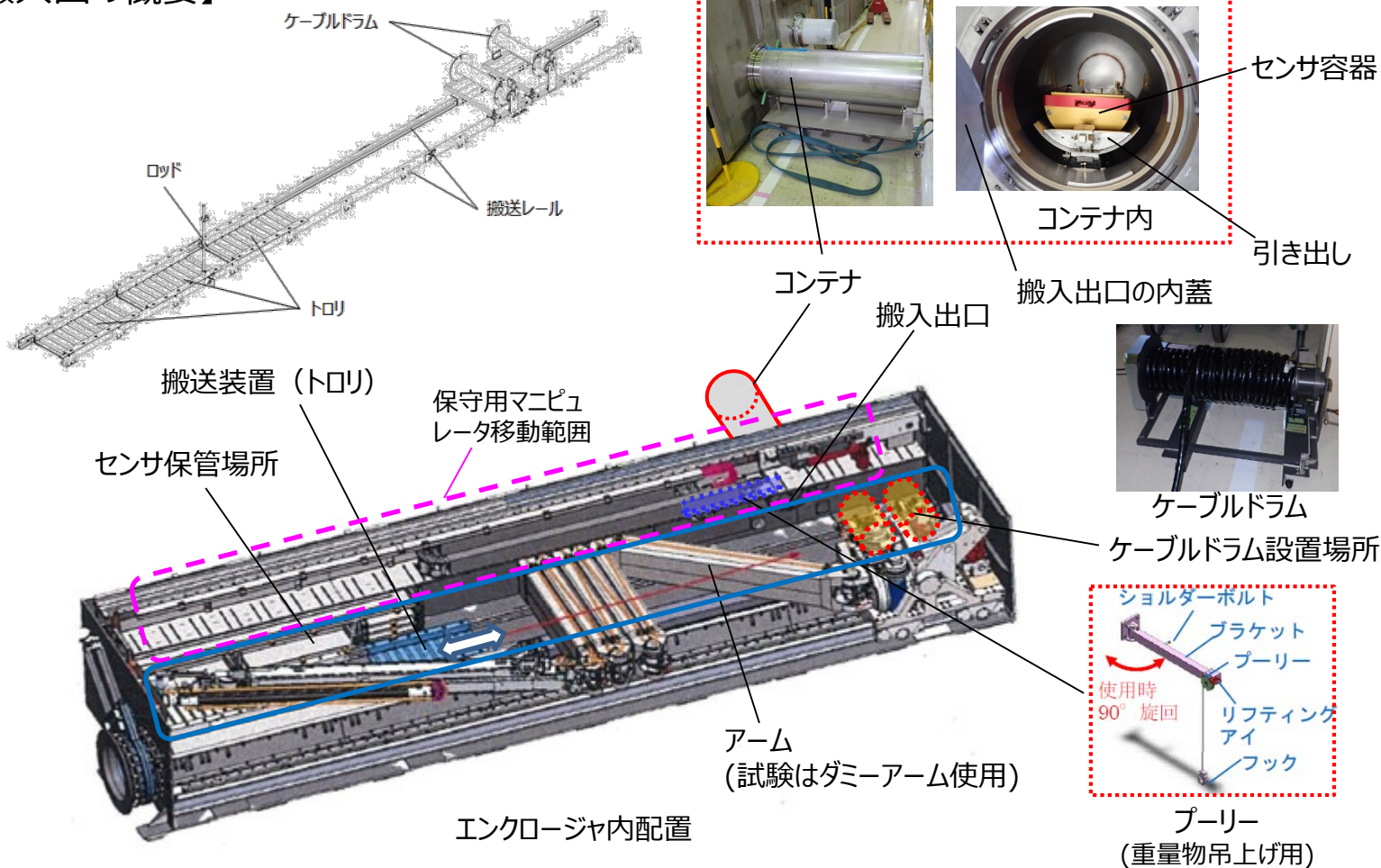
外部ケーブルのアームリンク部への取付け

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii)保守用マニピュレータの作業性検証試験

d. センサ・ツールの搬入出(1/2)

【搬入出の概要】



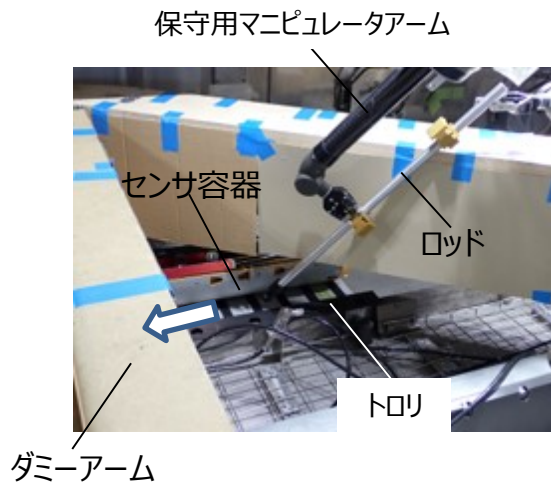
4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii)保守用マニピュレータの作業性検証試験

d. センサ・ツールの搬入出(2/2)

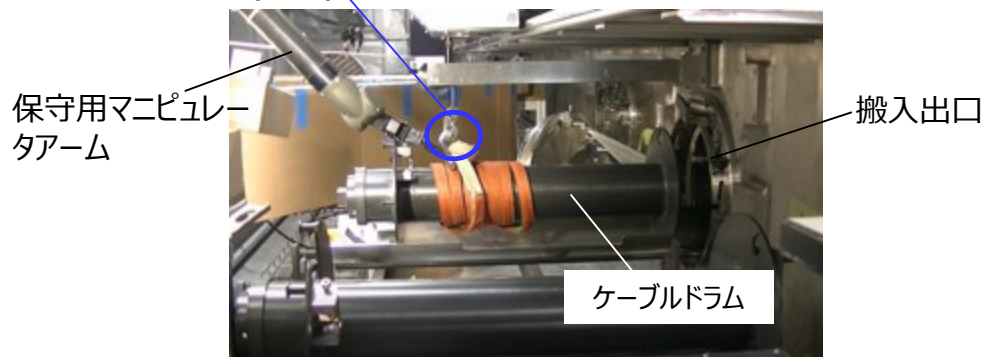
【試験概要】

- ・センサ容器、ケーブルドラムの搬入作業を実施、成立見通しを確認できた。以下の改善点を抽出した。
- ・エンクロージャ内のセンサ容器搬送方法(トオリ搬送方法)の合理化
- ・ケーブルドラム搬入時の吊り治具の一部構造変更、ケーブルドラム設置時の作業視野の改善
⇒櫛葉モックアップで改善効果を確認する。

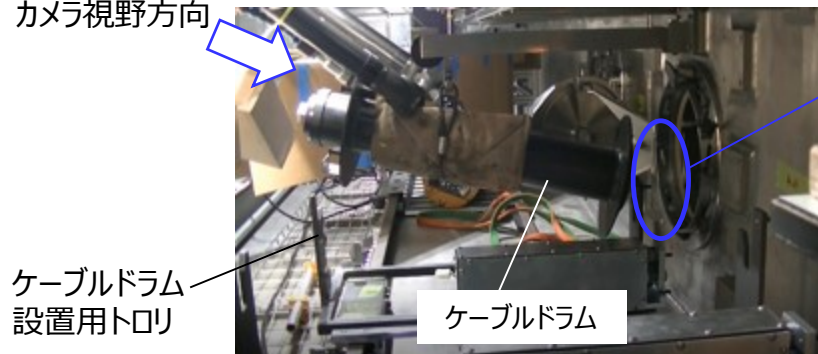


狭隘部であり、ロッドでのトオリ搬送に時間を要するため、搬送治具の改善が必要

吊り治具 (フック) ケーブルドラムの吊上げ代が十分でないため、吊り治具の構造変更(高さ寸法の縮小)が必要



カメラ視野方向



ケーブルドラムの後ろ側が死角となり作業に影響。視野改善(ケーブルドラムへ開口設置等)が必要

4.1 アクセス・調査装置

(1) 現場状況を考慮したモックアップ試験 (ii)保守用マニピュレータの作業性検証試験

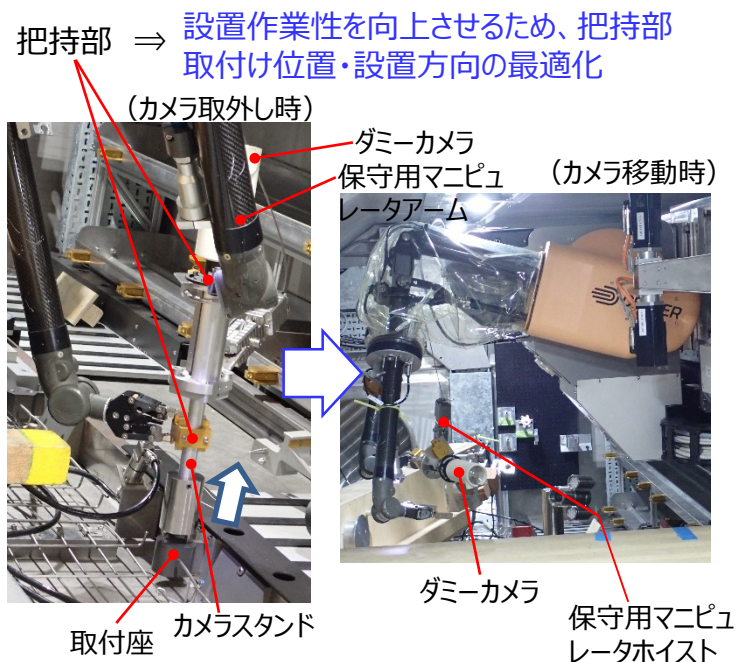
e. エンクロージャ内カメラの位置変更

【試験概要】

- ・ダミーカメラの位置変更及び搬出作業を実施し、成立見通しを確認できた。以下の改善点を抽出した。
- ・カメラスタンドのマニピュレータ把持部の取付位置・方向の最適化⇒柵葉モックアップで改善効果を確認する。

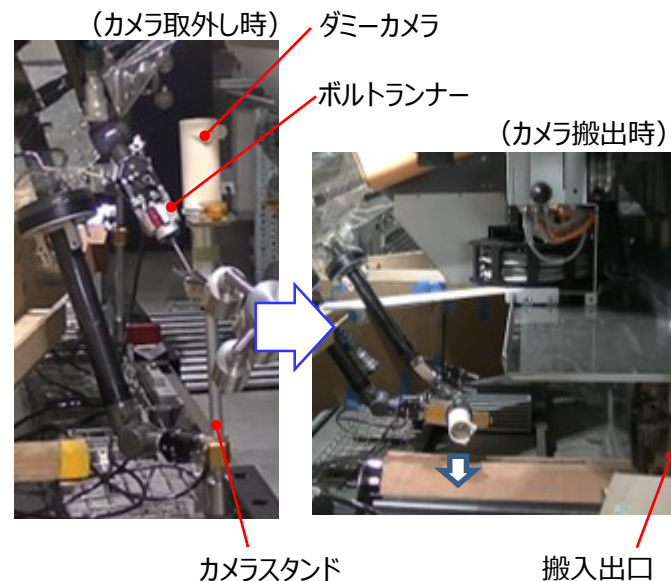
カメラの位置変更

カメラスタンドの取外し、ダミーカメラ位置を変更（別位置の取付座に設置）。以下の改善点を抽出。



カメラの搬出

カメラスタンドから取り外したダミーカメラの搬出作業性を確認。



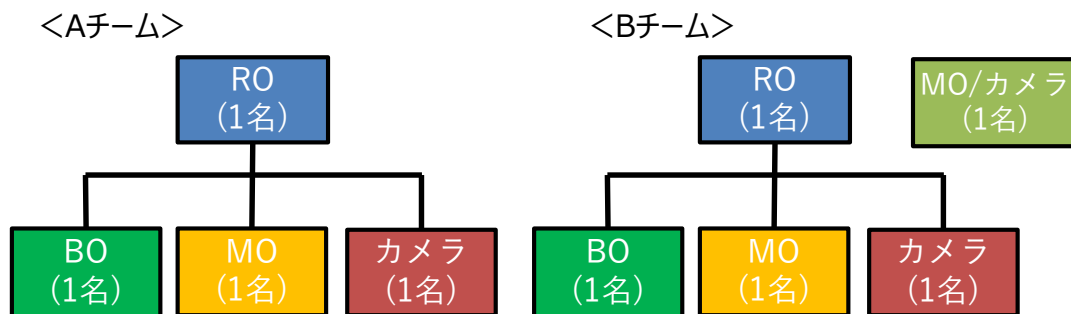
4.1 アクセス・調査装置

(2) 作業訓練

i. 作業訓練の方針(体制および計画)

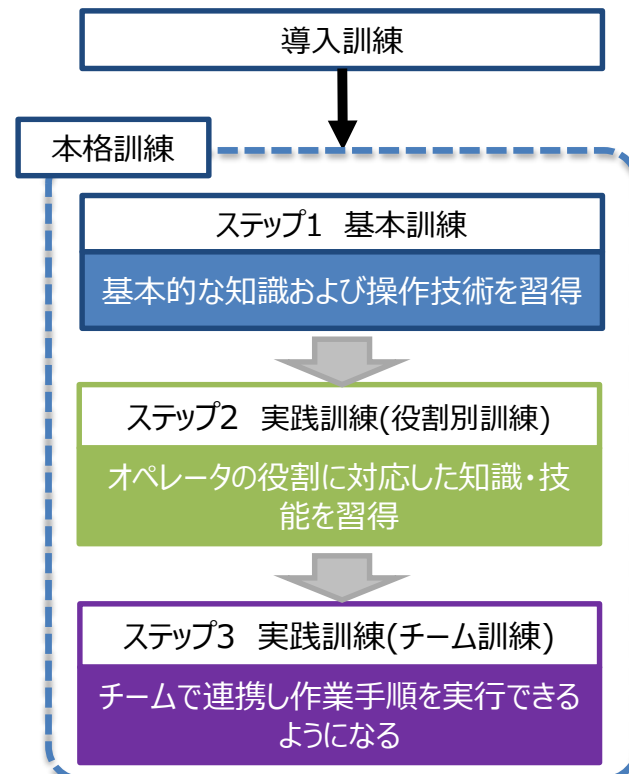
- アーム型アクセス装置は4人/チームで操作する。
- 本事業では、実機での作業時間等を踏まえ、**オペレータチームを2チーム構築**することとし、**9名の操作員を選定**。オペに必要な知識および技能を段階的かつ体系的に習得するべく、トレーニング計画を策定し、それに沿った作業訓練を展開(本年度はステップ1まで完了)。

【オペレータ体制および役割】



	役割	主に必要となる技能
RO	チームの指揮	・チームマネジメント能力 ・作業手順の知識・管理能力
カメラ	カメラ、照明、HMIの操作	・オペレータ視点に立ったカメラ操作技術、HMI操作技術
BO	ブーム(アーム)の操作	・アーム操作技術 ・VRシステム操作技術
MO	保守用マニピュレータの操作	・保守用マニピュレータ操作技術

【トレーニングフロー】



4.1 アクセス・調査装置

(2) 作業訓練

ii. 訓練結果 導入訓練

- 本格的な作業訓練を開始する前段階の導入訓練として、MHI保有のマニピュレータを用いた操作訓練を実施。
- 本訓練によりマニピュレータの操作感覚およびカメラモニタ越しでの操作のコツを掴むことができた。



マニピュレータ操作訓練の様子



だるま落しの組立



ケーブルの取扱い



輪っかの組立

4.1 アクセス・調査装置

(2) 作業訓練

ii. 訓練結果

ステップ1 基本訓練(保守用マニピュレータ)

*HMI:ヒューマンマシンインターフェース

- 保守用マニピュレータおよびマニピュレータのHMI*に係る基礎知識(機能, 構造など)について教育および実機操作訓練を実施。
- 訓練では、エンクロージャ内に作業台を設置し, 作業台上で様々な保守用マニピュレータ操作を実施。
- 最終的にオペレータ全員が保守用マニピュレータの基本的な操作技術を習得。

保守用マニピュレータ
(操作側)

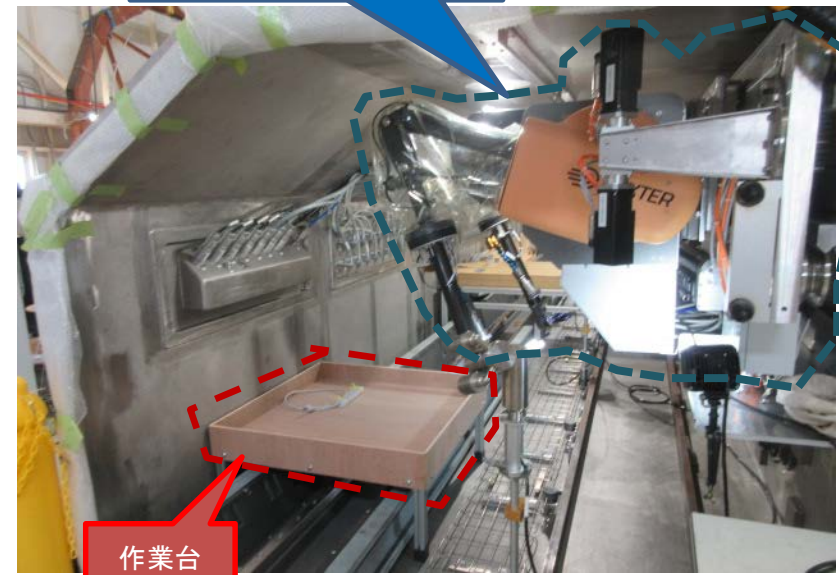


マニピュレータオペ

カメラオペ

操作室

保守用マニピュレータ
(現場側)



作業台

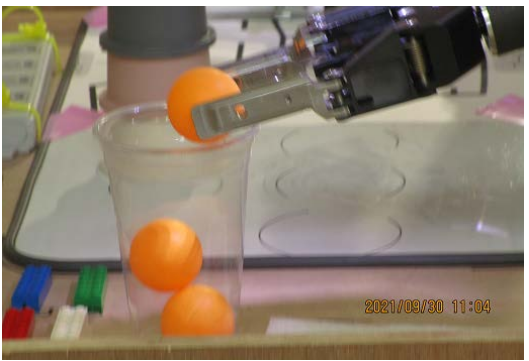
エンクロージャ内

4.1 アクセス・調査装置

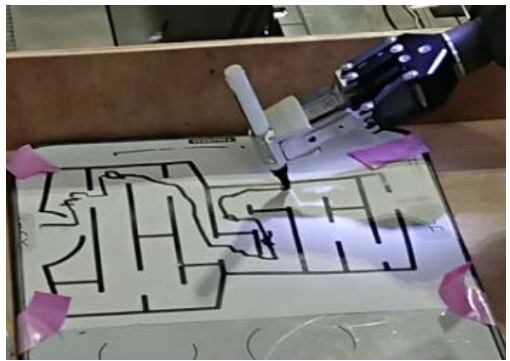
(2) 作業訓練

ii. 訓練結果 ステップ1 基本訓練(保守用マニピュレータ)

日用品を用いた操作訓練



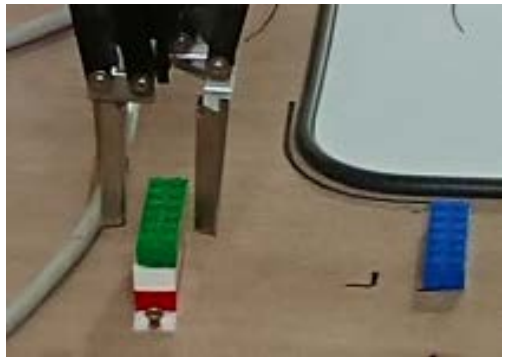
ピンポン玉を掴み、カップに入れる



迷路のトレース



スタッキングカップの組立



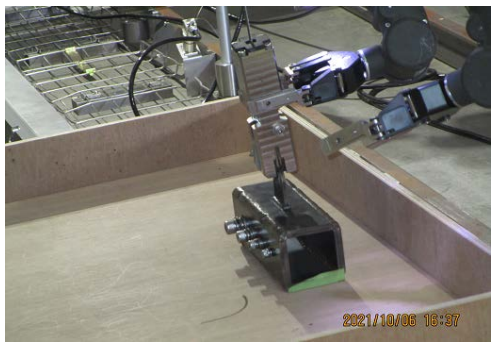
ブロックの組立

STEP UP
➡

実機工具を用いた訓練



ボルトランナ取扱い



ホイスト操作

4.1 アクセス・調査装置

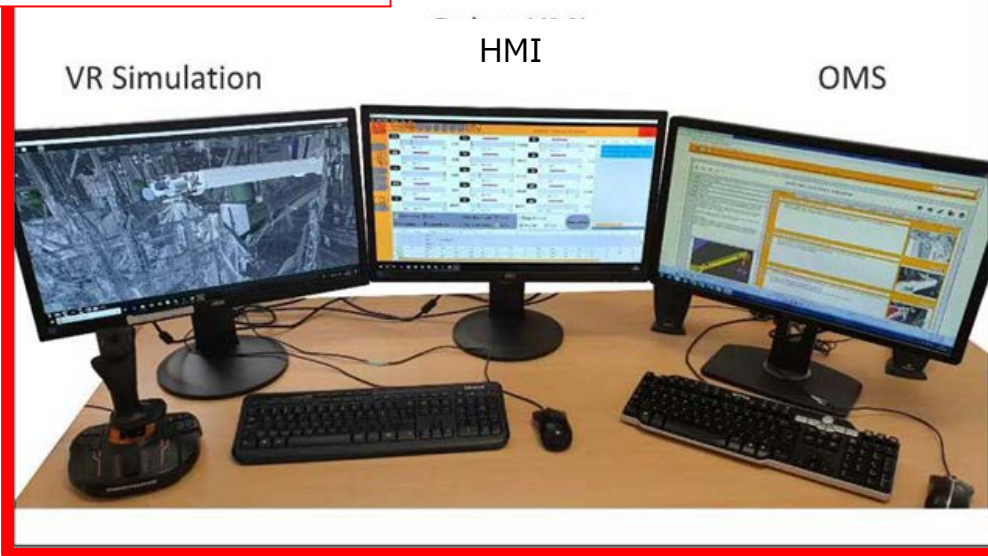
(2) 作業訓練

ii. 訓練結果 ステップ1 基本訓練(アーム運転制御システム)

- VRシミュレータ, HMIの起動方法, VRシミュレータとHMIの接続方法, ジョイスティックを使用した操作方法, ティーチ&リピートファイルの作成・編集方法について、教育および操作訓練を実施。
- OMS*の機能および操作方法について教育、操作訓練を実施。
- 最終的にオペレータ全員が運転制御システムの基本的な操作技術を習得。

*OMS:オペレーションマネジメントシステム

運転制御システムPC



訓練の様子

4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(1) 作業訓練

i. 作業訓練の方針(体制および計画)

- 現地作業計画書に従った作業訓練を実施。

現地での作業手順		トレーニング内容
分類	詳細内容	実施有無
プラントルーム設営	プラントルーム, コントロールルームからの配線	○
汚染拡大防止蓋の搬入, 据付	北西エリア手前までの搬入	○
	北西エリア据付後, 作動位置へ据付	○
堆積物除去装置本体の搬入, 結線	北西エリア手前までの搬入	○
	北西エリア据付後, 作動位置へ据付	○
付帯設備(非常用ウインチ, アプレシブタンク)の取付, 結線	装置据付後, 計画位置へ盤を据付け, 装置へ結線	○
動作確認	装置の動作確認を実施	○
低圧堆積物除去	ペネハッチくり抜き部除去	○
	ペネ内洗浄	○
高圧堆積物除去	ケーブル切断, 除去	○
	レールガイド切断, 除去	○
作業完了後の退避	隔離部屋閉状態での遠隔退避	○
堆積物除去装置本体の搬出	隔離部屋内で装置の養生～後退～スキッド搭載	○
	大物搬入口まで退避	○
汚染拡大防止蓋の搬出	隔離部屋内で養生～後退	○
	大物搬入口まで退避	○
付帯設備の搬出		○

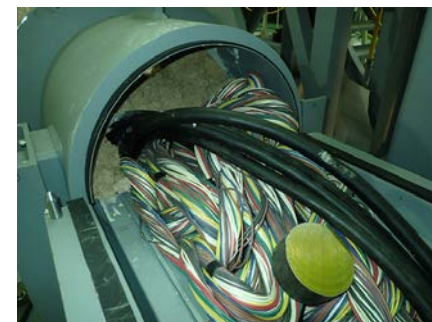
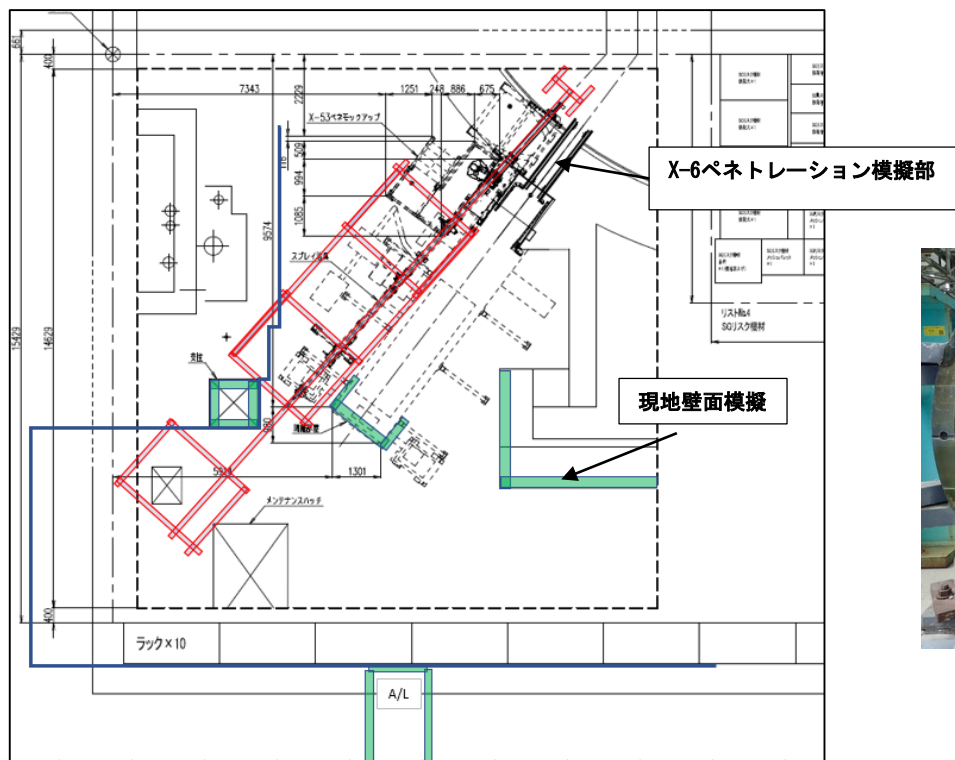
4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(1) 作業訓練

i. 作業訓練の方針(体制および計画)

運搬訓練では、現地建屋内の干渉性を模擬した環境を準備し、ケーブル、制御盤等付帯設備の配置についても、現地同等の寸法にて実施。

オペ訓練では、除去対象となるX-6ペネトレーションおよび内部の堆積物模擬を行い訓練を実施。



X-6ペネトレーション内部の模擬状況

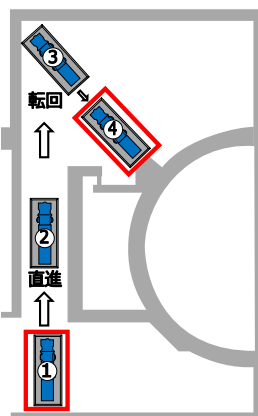
4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(1) 作業訓練

ii. 訓練結果(装置の搬入)

装置搬入訓練を実施。当初計画した作業時間を短縮し、現地模擬トレーニングを完了。

No.	作業手順	トレーニング内容/条件	習熟項目	成果・課題
1	搬入(直進)	・手押しによる装置の搬入	・安定して走行させること ・進行方向に対して台車が傾いた際元の位置へ修正すること	想定作業員配置にて計画時間内で走行作業完了。万が一段差等にはまった場合はボールを使用し脱出。
	搬入(転回, 位置決め)	・手押しによる装置の転回, 位置決め ・油圧ジャッキによる持ち上げ	・所定の位置に転回させること ・スロープを設置できる位置に位置決めすること	想定作業員配置にて計画時間内で移動作業完了。
2	ロボット搬入 屋内養生	・装置走行範囲に粘着シート(6枚)を敷設	-	作業員被ばくを低減するため予め低線量エリアにて養生シートを作成し一体品とすることで実作業時間の短縮に努め、問題無く作業完了。
3	汚染拡大 防止蓋搬入	・手押しによるロボット搬入部屋搬入 ・ホース・ケーブルの敷設	・進行方向に対して台車が傾いた際元の位置へ修正すること	想定作業員配置にて計画時間内で移動完了。



搬入ルート図



装置搬入状況



汚染拡大防止蓋の搬入

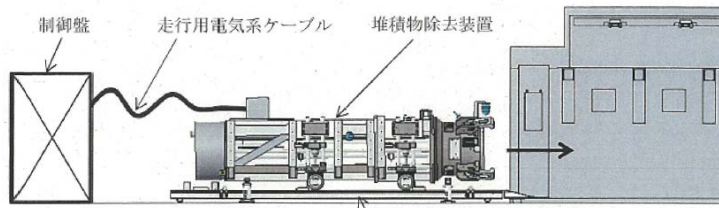
4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(1) 作業訓練

ii. 訓練結果(装置の搬入)

装置搬入訓練を実施。当初計画した作業時間を短縮し、現地模擬トレーニングを完了。

N O.	作業手順	トレーニング内容/条件	習熟項目	成果・課題	
4	X-6ペネ内 堆積物除去装置搬入	・自走によるロボット搬入部屋への搬入 ・制御盤と装置を直接接続	搬入作業性	・ケーブル類の抵抗により走行性が阻害されないこと ・装置の損傷なく安全に搬入すること ・規定場所まで搬入すること	装置への結線作業は想定作業員配置にて計画時間内で作業を完了。装置自走時はケーブル補助員を1名追加配置し必要に応じて整線を実施する。
5	ユニット設置	・手押しによるユニット(アプレシブタンク等)の設置	搬入作業性	・機材の損傷なく運搬・設置すること ・水準器を用いて水平に設置すること	ユニットの設置は想定作業員配置にて計画時間内で作業を完了。
6	ケーブル類敷設 (コネクタパネル)	・計画図に従ってケーブル敷設	敷設作業性	・損傷なくコネクタを接続すること ・コネクタの接続間違いがないこと ・保護具の着用にてコネクタの接続を行うこと	ケーブル類はグループごとに結線できるよう識別管理し、繋ぎ間違いがないようWチェックを実施しながら作業を実施し、問題無く作業を完了。
7	ケーブル類敷設 (制御盤側)	・計画図に従ってケーブル敷設	敷設作業性	・損傷なくコネクタを接続すること ・コネクタの接続間違いがないこと ・保護具の着用にてコネクタの接続を行うこと	想定作業員配置にて計画時間内で作業を完了。
8	ケーブル類敷設 (装置)	・計画図に従ってケーブル敷設	敷設作業性	・損傷なくコネクタを接続すること ・コネクタの接続間違いがないこと ・保護具の着用にてケーブル類を敷設すること ・保護具の着用にてコネクタの接続を行うこと	ケーブル類はグループごとに結線できるよう識別管理し、繋ぎ間違いがないようWチェックを実施しながら作業を実施し、問題無く作業を完了。



堆積物除去装置設置計画図



装置結線状況



装置結線状況

4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(1) 作業訓練

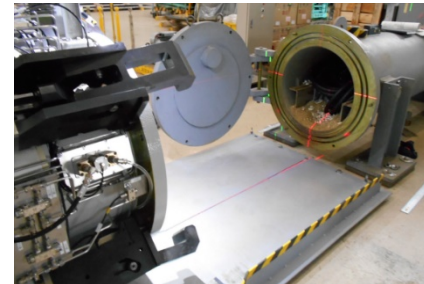
ii. 訓練結果(堆積物除去オペレーション)

堆積物除去オペレーションの訓練を実施。ペネトレーション内部の堆積物模擬体を当初計画した手順により除去できることを確認し、トレーニングを完了。

No.	作業手順	トレーニング内容/条件	習熟項目	実績	
9	X-6ペネ内堆積物除去装置の自走	・スロープ傾斜状を自走 ・ケーブル類設置	走行性・操作性	・装置の損傷なく走行させること	装置の損傷なく計画通りに走行・ケーブル類設置を完了。
		・狭隘部の監視 ・装置の姿勢, 位置の把握 ・狭隘部通過性	干渉・監視	・接近・接触の有無を認識すること ・基準線からのズレを認識すること	装置を接触させることなく計画通り走行完了。
10	接近・軸調整	・X-6ペネの据付位置合わせ ・前輪がスロープ上での軸調整・接続	操作性	・スロープ上での前後移動・旋回に伴い, 昇降ストロークを調整し, X-6ペネとの軸調整・接続	装置カメラを確認しながら, 昇降ストロークおよびステアリング調整を行い, 接触することなく, ペネへの接近・把持操作を完了。
		・ハッチ, フランジと把持機構の干渉監視	監視・干渉	・X-6ペネに接触することなく, ペネへの接近・把持操作	
11	接続・把持	・X-6ペネハッチ:ヘキサプラグあり	干渉	・ヘキサプラグに干渉することなく把持	干渉することなく把持を完了。
12	気密確認	規定時間以上の圧力維持	気密確認	・気密が確保されること	気密が確保されていることを確認。
13	堆積物除去	・手順書に従い施工	手順・操作性	・手順および操作内容を理解しペネ内の堆積物を除去できること	手順および操作内容を確認しながらペネ内の堆積物を除去を完了。
		・装置カメラにて堆積物除去状況を確認する	監視		
		・滞留水の処理	滞留水処理	・滞留水をPCV側に排出すること	滞留水を計画通りPCV側に排出完了。



装置操作状況



装置自走・把持状況

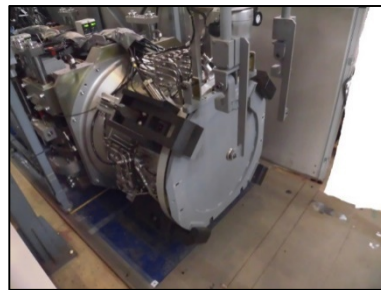
4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(1) 作業訓練

ii. 訓練結果(装置搬出・養生)

作業完了後の装置搬出訓練を実施。当初計画した作業時間を短縮し、現地模擬トレーニングを完了。

No.	作業手順	トレーニング内容/条件	習熟項目		結果
14	X-6ペネ内堆積物除去装置の離脱	把持解除, 離脱, 後退(スロープ上り)の一連の手順・操作性を確認する	手順・操作性	・干渉等なく一連の操作を完了すること	手順および操作内容を確認しながら想定作業員配置にて計画時間内で作業を完了
		設置期間中に運転監視カメラが使用不可(耐放射線量超過)となることを想定し隔離部屋の監視カメラのみで離脱する	監視	・隔離部屋内監視カメラの映像を監視し, 干渉なく離脱できること	隔離部屋内監視カメラの映像を確認し, 干渉なく離脱を完了。
		・ケーブル類が適切に案内されること	ケーブルマネジメント	・バックラッシュ, キンク等なくケーブル類が案内されること	ケーブル類を適切に案内完了。
15	汚染拡大防止蓋の把持	・汚染拡大防止蓋の展開 ・汚染拡大防止蓋の把持	手順・操作性	・隔離部屋および汚染拡大防止蓋動作機構に接触することなく, 接近・把持操作を行うこと	カメラ映像を確認しながら隔離部屋および汚染拡大防止蓋動作機構に接触することなく, 接近・把持操作を完了
		・装置と汚染拡大防止蓋の干渉監視 ・装置と隔離部屋の干渉監視	監視・干渉		
16	ケーブル類解線	・隔離部屋内作業／カーテンレール, 動力・制御・通信ケーブル	作業性	・損傷なくコネクタの解除を行う ・保護具の着用にてコネクタの解除を行うこと	コネクタ類の解線を問題なく完了。



汚染拡大防止蓋取付状況



装置養生状況

4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(1) 作業訓練

ii. 訓練結果(装置搬出・養生)

作業完了後の装置搬出訓練を実施。当初計画した作業時間を短縮し、現地模擬トレーニングを完了。

No.	作業手順	トレーニング内容/条件	習熟項目	結果	
17	ケーブル類敷設	・動力・制御・通信ケーブルを計画図に従って敷設	敷設作業性	・損傷なくケーブルの敷設, 接続を行うこと ・保護具の着用にてコネクタの接続を行うこと	繋ぎ間違いがないようWチェックを実施しながら作業を行い, 問題無く作業を完了。
18	X-6ペネ内堆積物除去装置の養生	・汚染を想定し装置養生(上面のみ)	作業性	・装置の損傷なく養生を行うこと ・保護具の着用にて養生作業を行うこと	保護具着用にて装置の養生を行い, 想定作業員配置にて計画時間内で作業を完了
19	X-6ペネ内堆積物除去装置の搬出	・自走によるロボット搬入部屋からの搬出(ケーブル補助, 遠隔装置操作, 搬送架台上に養生ビニールシート敷設)	走行性・操作性	・養生シートにより走行性が阻害されないこと	想定作業員配置にて計画時間内で作業を完了
20	ケーブル類解線	・動力・制御・通信ケーブルを計画図に従って解線	作業性	・損傷なくコネクタの解線を行うこと ・保護具の着用にてケーブル解線を行うこと	コネクタ類の解線を問題なく実施した。
21	X-6ペネ内堆積物除去装置の養生(2重養生)	・装置養生(2重養生) ・養生手順の確認	作業性	・隙間, 破れがないよう養生を行うこと ・保護具の着用にて養生作業を行うこと	保護具着用にて装置の養生を行い, 想定作業員配置にて計画時間内で作業を完了



装置養生状況



装置養生状況

4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(1) 作業訓練

ii. 訓練結果(装置搬出・養生)

作業完了後の装置搬出訓練を実施。当初計画した作業時間を短縮し、現地模擬トレーニングを完了。

No.	作業手順	試験内容/試験条件	習熟項目	結果
22	搬出(離脱, 転回)	・手押しによる装置の離脱, 転回 ・油圧ジャッキによる着床	搬出作業性 ・所定の位置へ転回させること	想定作業員配置にて計画時間内で作業を完了
	搬出(直進)	・手押しによる装置の搬入 ・キャスト車輪のテープ養生	搬出作業性 ・安定走行 ・進行方向に対して台車が傾いた際, 元の位置へ修正すること	想定作業員配置にて計画時間内で作業を完了
23	汚染拡大防止蓋架台の養生	・架台養生 ・養生手順の確認	作業性 ・隙間, 破れがないよう養生を行う ・保護具の着用にて養生作業を行う	保護具着用にて装置の養生を行い, 想定作業員配置にて計画時間内で作業を完了
24	汚染拡大防止蓋架台の搬出	・手押しによるロボット搬入部屋からの搬出	搬入作業性 ・搬出時, 周囲に接触しないこと ・進行方向に対してスキッドが傾いた際, 元の位置へ修正すること	想定作業員配置にて計画時間内で作業を完了
25	汚染拡大防止蓋架台養生	・架台養生(2重養生) ・養生手順の確認	作業性 ・隙間, 破れがないよう養生を行う ・保護具の着用にて養生作業を行う	保護具着用にて装置の養生を行い, 想定作業員配置にて計画時間内で作業を完了



汚染拡大防止蓋状況



装置搬出状況

4.2 アクセスルート構築のための関連機器

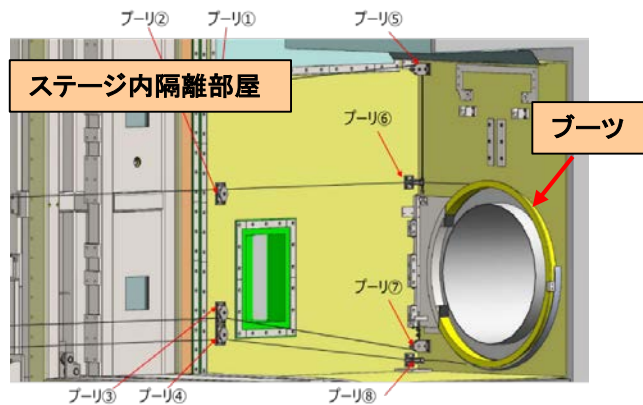
(2) X-6ペネ ハッチの開放に向けた準備

【ステージ内隔離部屋の設置方法の変更】

ステージ内隔離部屋を取付け後に万一对応ができるようにするため、ステージ内隔離部屋取外しを可能とする、隔離部屋の設置方法の変更を検討した。

【隔離部屋改造とブーツ搬送装置の製作およびモックアップの実施】

隔離部屋にワイヤとプーリでブーツを回転させて取付ける機構を設置すると共に、ブーツを遠隔設置できるブーツ搬送装置を製作して、万の場合にステージ内隔離部屋を取外せる方法を開発した。



隔離部屋内のワイヤとプーリの配置

下段ブーツ取付け（ブーツ搬送台車なしで撮影したときの映像）

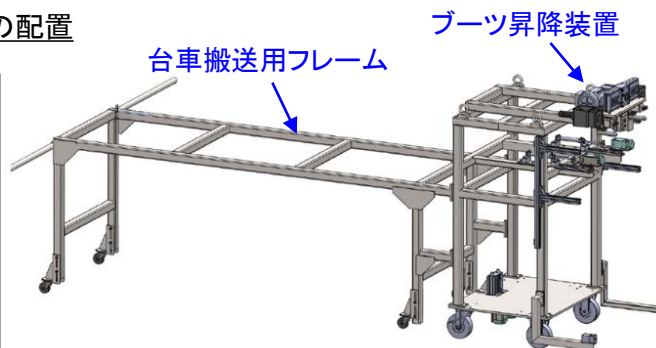


下段ブーツ取付けステップ

ブーツ搬送装置

<台車搬送用フレーム>
装置をハンドリングし、ステージ内隔離部屋にブーツ昇降装置を設置するフレーム

<ブーツ昇降装置>
ペネ配管上に上下段ブーツを遠隔で昇降する装置



ブーツ搬送装置



ブーツ搬送装置の取付けモックアップ状況

4.2 アクセスルート構築のための関連機器

(2) X-6ペネ ハッチの開放に向けた準備

【作業員習熟訓練】

現場実証に向けて、現場を模擬し、実際の作業手順に従った作業員習熟訓練を工場で実施した。



ペネ磨き(磨き装置設置中)



敷き鉄板の設置(敷き鉄板設置中)



ステージ内隔離部屋(搬送中)



ハッチ隔離部屋設置(位置調整中)



ブーツ設置(ブーツ搬送装置(設置中))



ロボット搬入部屋設置(搬送中)



ハッチ開放装置設置(搬入中)



ペネハッチのボルト・ナット取外し



堆積物回収容器の回収

4.2 アクセスルート構築のための関連機器

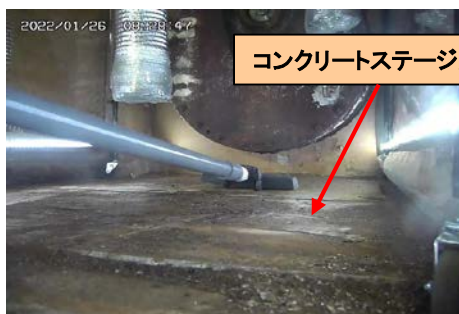
(2) X-6ペネ ハッチの開放に向けた準備

【現場実証】

福島第一原子力発電所第2号機において、現場実証の準備工事を2021年11月15日から開始した。現在、ハッチ開放に向けた現場実証作業を実施中。

【進捗状況】

- X-6ペネ隔離機構と敷き鉄板を撤去した際、床面の凹凸が確認されたためこの除去作業を実施した。
- X-6ペネ配管の磨き作業を実施後、敷き鉄板を設置した。
- ステージ内隔離部屋、ハッチ隔離部屋をX-6ペネ位置に搬入、設置した。



コンクリートステージ床面

床面凹凸部除去後の清掃



ペネ配管表面

ペネ磨きの実施状況

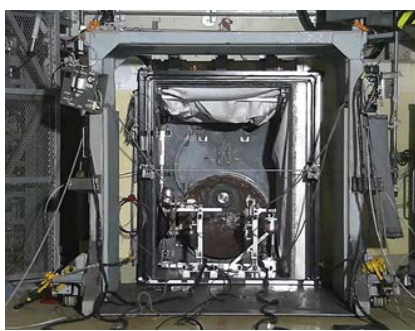


敷き鉄板

敷き鉄板の取付け状態



ステージ内隔離部屋の設置作業



ステージ内隔離部屋設置状態



ハッチ隔離部屋設置状態（気密扉閉）

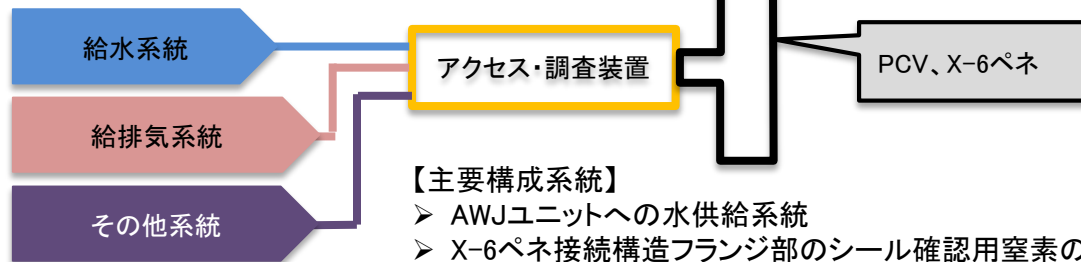
4.3 その他付帯設備

(1) 設計、製作

i. 系統計画

運転性向上等のため、系統計画の一部見直し・詳細化を実施した。

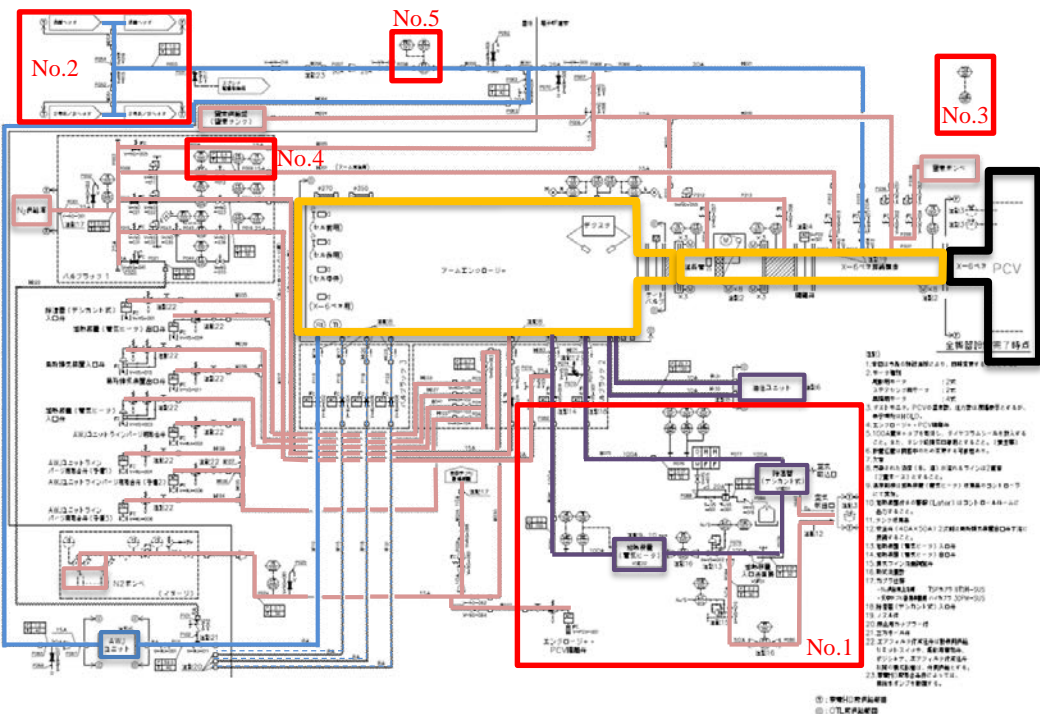
・系統イメージ



【主要構成系統】

- AWJユニットへの水供給系統
- X-6ペネ接続構造フランジ部のシール確認用窒素の供給系統
- エンクロージャ内の保守用マニピュレータへの窒素パージ系統
- 空気作動弁への窒素供給系統
- 窒素(空気)の排気系統
- エンクロージャ除湿循環系統

・実機の系統計画



No	2020年度からの変更内容	変更理由
1	除湿系の運用とそれに伴う系統の見直し ① 除湿系の運転は隔離弁閉止時に限定 ② 除湿運転は閉ループ運転とし、それに伴い、局所排気装置を削除し、その代替としてHEPAフィルタを2段化	放射性物質の放出抑制のため
2	給水源の変更 給水源を補給水タンクから東電殿ろ過水タンクに変更	運用の簡素化および合理化
3	R/B建屋内に酸素濃度計を設置	監視性(窒素漏洩検知)の向上
4	アーム洗浄用窒素ラインに流量計を追加	PCV内に流入する窒素ガス流量を把握するため
5	アーム洗浄用水ラインに積算流量計を追加	PCV内に流入する水量を把握するため

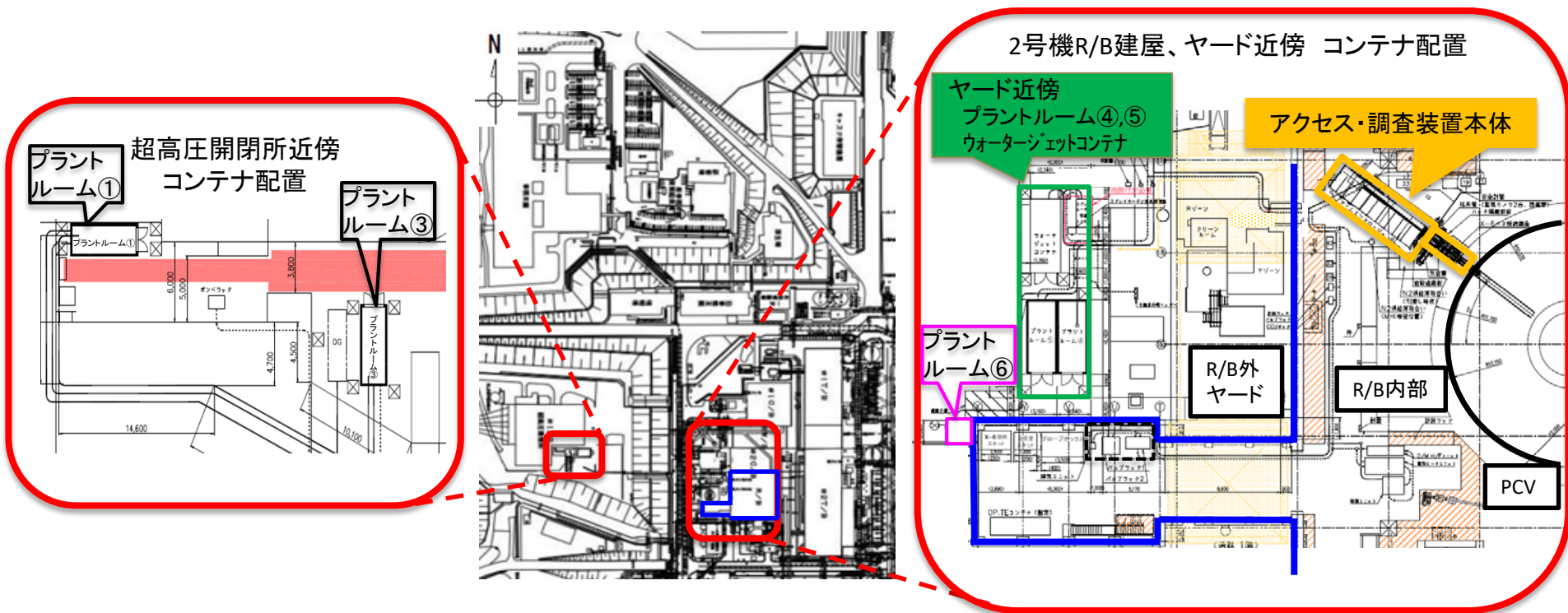
4.3 その他付帯設備

(1) 設計、製作

ii. 現地配置計画

- ・現地配置条件、他工事との制約等を考慮して配置計画の見直し、詳細化を実施

超高圧開閉所近傍に配置していたプラントルーム⑥について、トレンチを通るケーブル量低減のため、2号機R/B建屋近傍に配置見直し。



R/B: 原子炉建屋

4.3 その他付帯設備

(1) 設計、製作

iii. 製作状況

- ・コントロールルーム

現地据付工事(基礎工事、建設工事、電気工事等)を実施。

- ・プラントルーム

コンテナ内の盤、機器類の配置見直し、照明等の付属設備の仕様を決定。一部のプラントルームの製作を実施。



[プラントルーム]

4.4 燃料デブリ回収装置

(1) 試験的デブリ取り出し装置の現場適用シナリオの検討

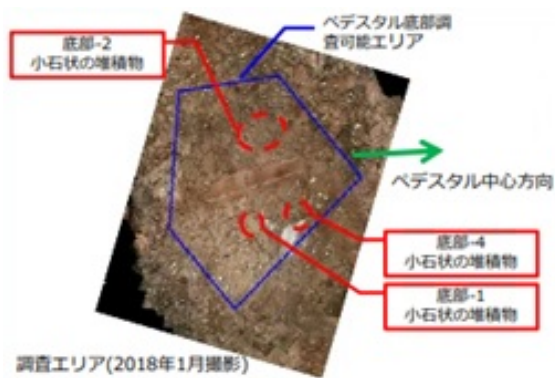
■ これまでのPCV内部調査(A2d調査)

- プラットフォーム上は梁に堆積物が付着。底部に比べ少ないが小石状の堆積物も確認されている。
- 底部は全体が小石状・粘土状の堆積物で覆われている。小石状の堆積物、水たまりも確認されている。

■ 現場適用シナリオの考え方

- プラットフォーム上はブラシ方式による1回の回収作業を計画する。
- 底部はブラシ方式、真空容器方式による各1回、さらに1回(いずれかの方式)の合計3回の回収作業を計画する。
- 具体的な採取場所は、ブラシ方式は粒状の小さい堆積物が見える場所、真空用意方式は水たまり(あれば)を選定する。但し、ペDESTAL内の詳細調査などを踏まえて現地で最終決定する。

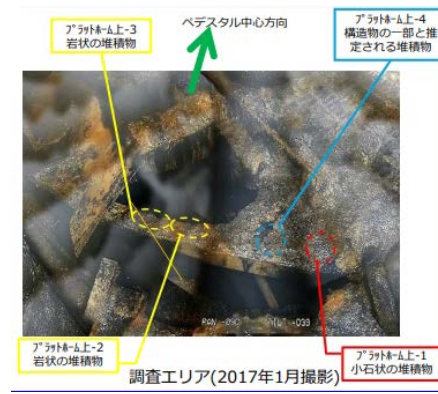
	A2d調査結果	期待されるデブリ等	デブリ採取方式		デブリ採取計画案	回数
			ブラシ	真空容器		
プラットフォーム	梁に堆積物が付着。小石状の堆積物もある。(底部より少ない)	プラットフォーム梁の付着物は主に燃料デブリが固化したもの？	粒状のものがあれば採取できる可能性はある。	採取は難しい。	底部とは異なる情報が得られる可能性があるため、ブラシ方式1回を計画。	1回
底部	小石状の堆積物、水たまりが確認されている。	モルタルと反応したMCCI、RVから落下したデブリ片、燃料片等？水質関連情報。	採取が期待できる。	採取が期待できる。(水たまりが望ましい)	得られる情報の違いからブラシ方式、真空容器方式を各1回計画。いずれかの方式でさらに1回計画。	3回



PCV底部のデブリ表面



ペDESTAL内部の状況(A2' 調査結果)



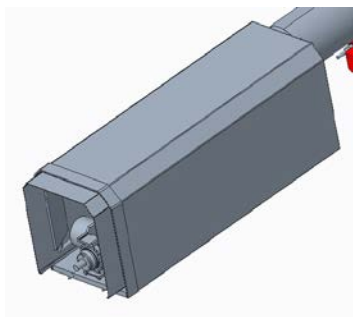
プラットフォーム上の堆積物

4.4 燃料デブリ回収装置

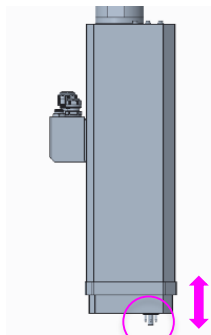
(2) アーム組合せ試験の準備

アクセス範囲、アクセス姿勢の検討

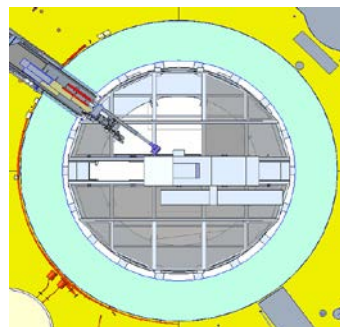
- 試験的デブリ取り出し装置をアーム型アクセス装置先端に連結して行う組み合わせ試験の参考とするため、ペDESTAL内でのアクセス位置、姿勢を3D-CADモデルで検討。
- 試験的デブリ取り出し装置は、基本的に下向き姿勢で先端を伸ばして対象物に近付けて回収する。



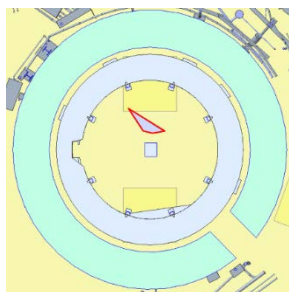
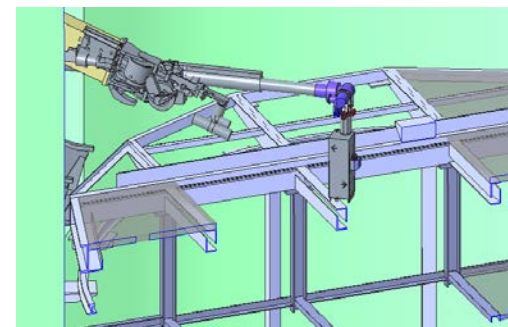
試験的デブリ取り出し装置の
3D-CADモデル（ブラシ方式）



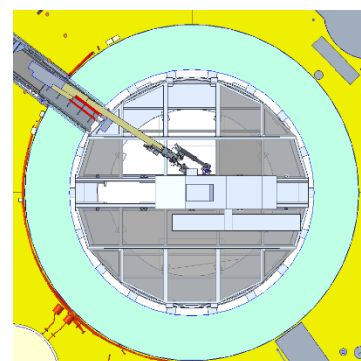
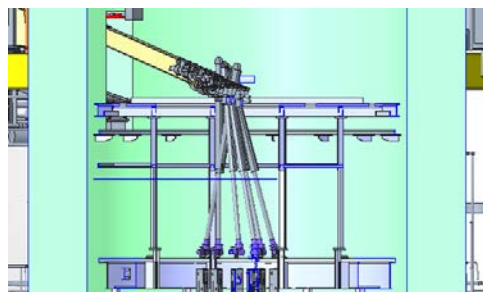
先端は最大100mm伸縮



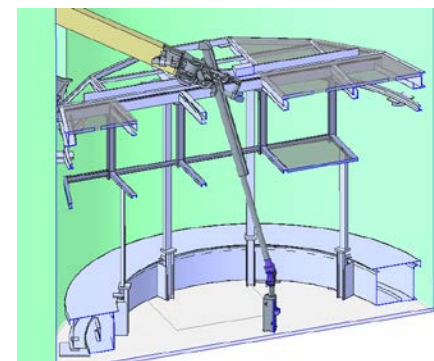
プラットフォーム上面のアクセス位置、姿勢の検討例



ペDESTAL底部のアクセス範囲検討結果



ペDESTAL底部のアクセス位置、姿勢の検討例

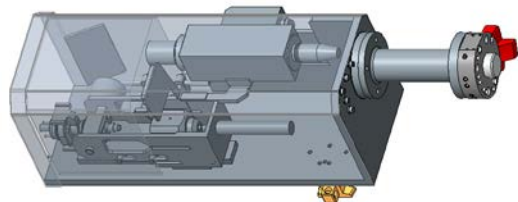


4.4 燃料デブリ回収装置

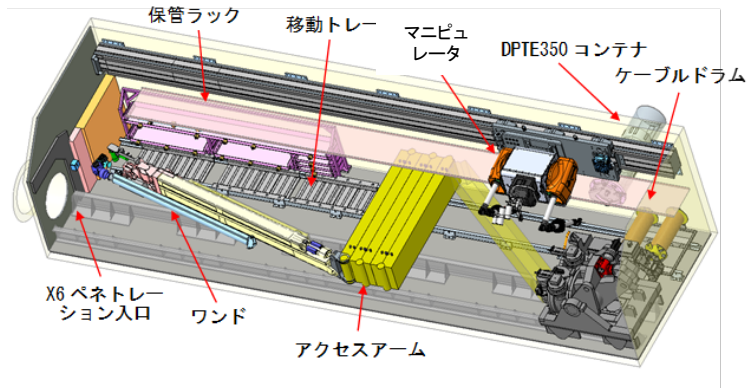
(3) 保守用マニピュレータ作業試験

① 保守用マニピュレータ作業の検討

- 試験的デブリ取り出し装置、エンクロージャ等の3D-CADモデルを用いて、保守用マニピュレータ作業を検討。



試験的デブリ取り出し装置
(ブラシ方式 3D-CADモデル)



アーム・エンクロージャおよび保守用マニピュレータ
(3D-CADモデル)

マニピュレータ作業フロー

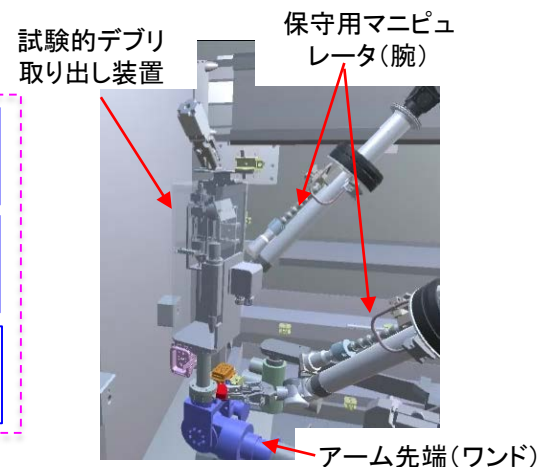
【デブリ取り出し作業前】

- ① DPTE350ポートからの搬入作業
- ② 試験的デブリ取り出し装置持ち替え
- ③ アームへの搭載、D-SUB接続、吊具取り外し等

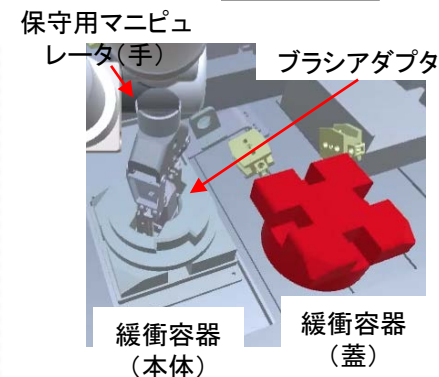


【デブリ取り出し作業後】

- ④ 緩衝容器準備
- ⑤ ブラシアダプタ／真空容器取り出し
- ⑥ ブラシアダプタ／真空容器の緩衝容器への収納
- ⑦ DPTE270コンテナへ緩衝容器収納



アームへの搭載



緩衝容器へのブラシアダプタ収納

4.4 燃料デブリ回収装置

(3) 保守用マニピュレータ作業試験

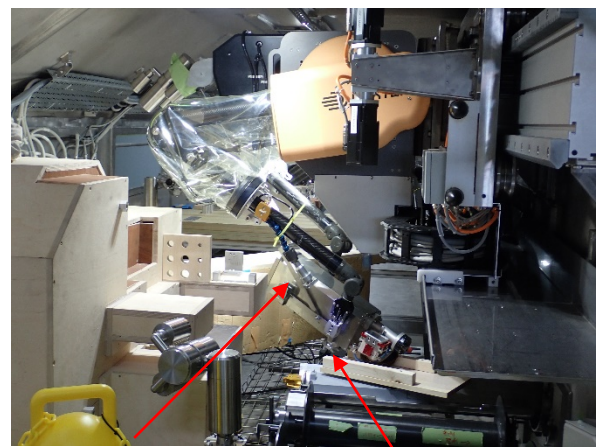
② 保守用マニピュレータ作業の検証

- エンクロージャ内の保守用マニピュレータ作業のうち、主な作業について検証試験を実施。
- 治工具や作業手順の改善点などを抽出した。改善を図りつつ引き続き検証試験を進める予定。

主な作業項目	改善点など
DPTE3.50ポートからの搬入	吊具・テーブルの構造変更、把持部の改良など
装置姿勢変更	作業手順の見直し
アーム先端への搭載	装置把持部・コネクタ改良など(作業性向上)
ブラシアダプタ/真空容器取り出し	装置姿勢・ワンド位置など作業要領の見直し
緩衝容器取り扱い	アイマーク、ロックレバー改良など(作業性向上)



緩衝容器取り扱い

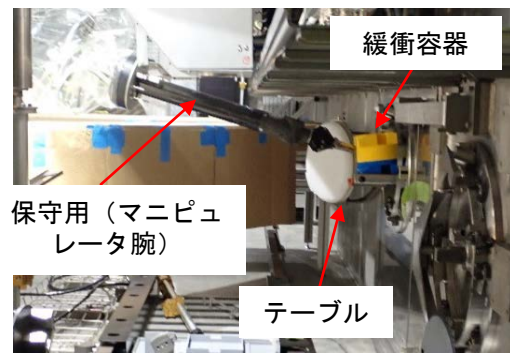


可動吊手で装置が安定
側面に把持部追加。

DPTE350ポートからの搬入



装置姿勢変更



緩衝容器払出

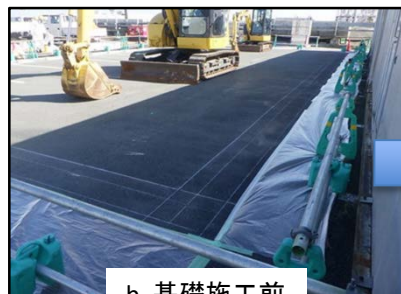
4.5 現場実証(ケーブル・コントロールルーム設置)

(1) 現地据付, 作業計画

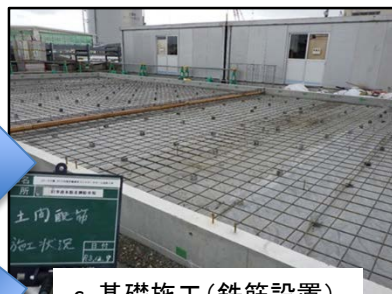
2021年度内ではPCV内部詳細調査の事前準備として遠隔操作を行う為のコントロールルームの設置、各作業に必要な電源ケーブル及び遠隔操作に必要な制御ケーブルを敷設。

(i) コントロールルーム設置

- 昨年度現場調査にて決定した免震重要棟の外(駐車場)に設置に関する工事計画。
- 試験研究・開発における機器操作室および作業員休憩室を目的であるため、建築基準法第85条第2項に規定の工事を施工するために現場に設ける仮設建築物には該当しないこととなり、建築確認申請を行った。
- 建築確認申請に従い、コントロールルーム設置に際し、床面部に基礎施工を行いコントロールルームの設置を行った。



b. 基礎施工前



c. 基礎施工(鉄筋設置)



d. 基礎施工完了

e. コントロールルーム設置

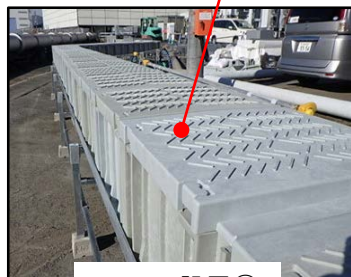
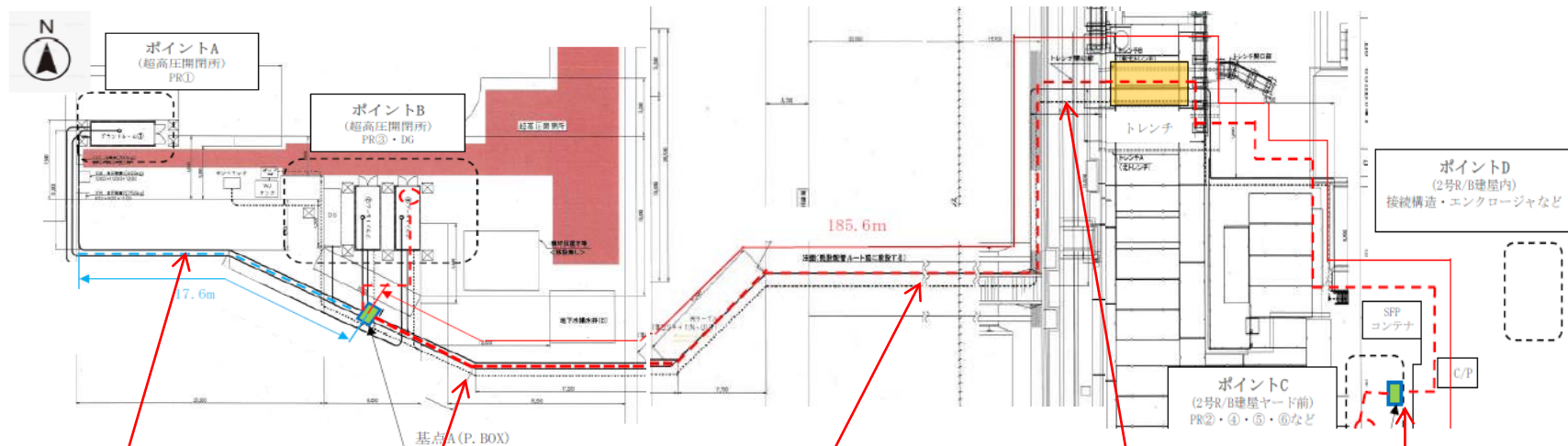
4.5 現場実証(ケーブル・コントロールルーム設置)

(1) 現地据付, 作業計画

(ii) ユーティリティ設置工事

PCV内部詳細調査に必要な電源は屋外のD/G(ディーゼル発電機)から供給することとし、超高压開閉所に設置した。そのため、超高压開閉所から法面および2号機原子炉建屋前まで、ケーブルを敷設することで電源供給することとした。

ケーブルは東電殿ケーブル敷設に関するガイドラインに従い、屋外敷設するルート上には電路(トラフ・ケーブルトレイ)を形成し、電路内に電源・制御ケーブルを収納した。



a. トラフ設置①



b. トラフ設置②

c. トラフ設置③



d. ケーブルダクト設置①



e. ケーブルダクト設置②

5. まとめと今後の予定

(1) 令和3年度の成果まとめ

本事業は、計画のスケジュールに対して、概ね計画通りに進捗していると評価する。

① アクセス・調査装置

神戸検証試験

- ・調査用アームのX-6ペネ通過試験、AWJによるX-6ペネ出口の障害物撤去試験を実施し、成立見通しを確認すると共に改善点を摘出した。
- ・保守用マニピュレータの作業性検証試験を実施し、成立見通しを確認すると共に改善点を摘出した。

櫛葉モックアップ試験

- ・神戸での検証試験で摘出された改善点を反映し、調査用アーム及び保守用マニピュレータのモックアップ試験を実施中。

② X-6ペネハッチの開放

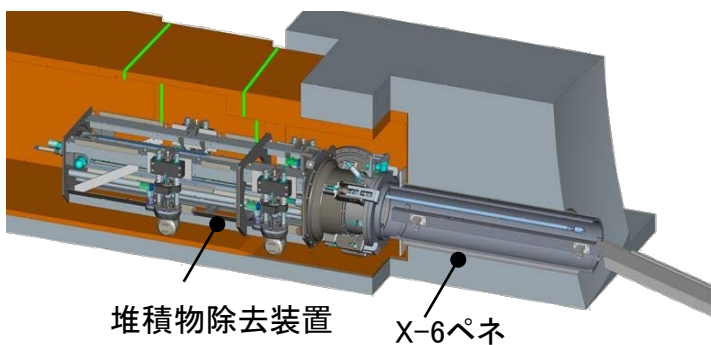
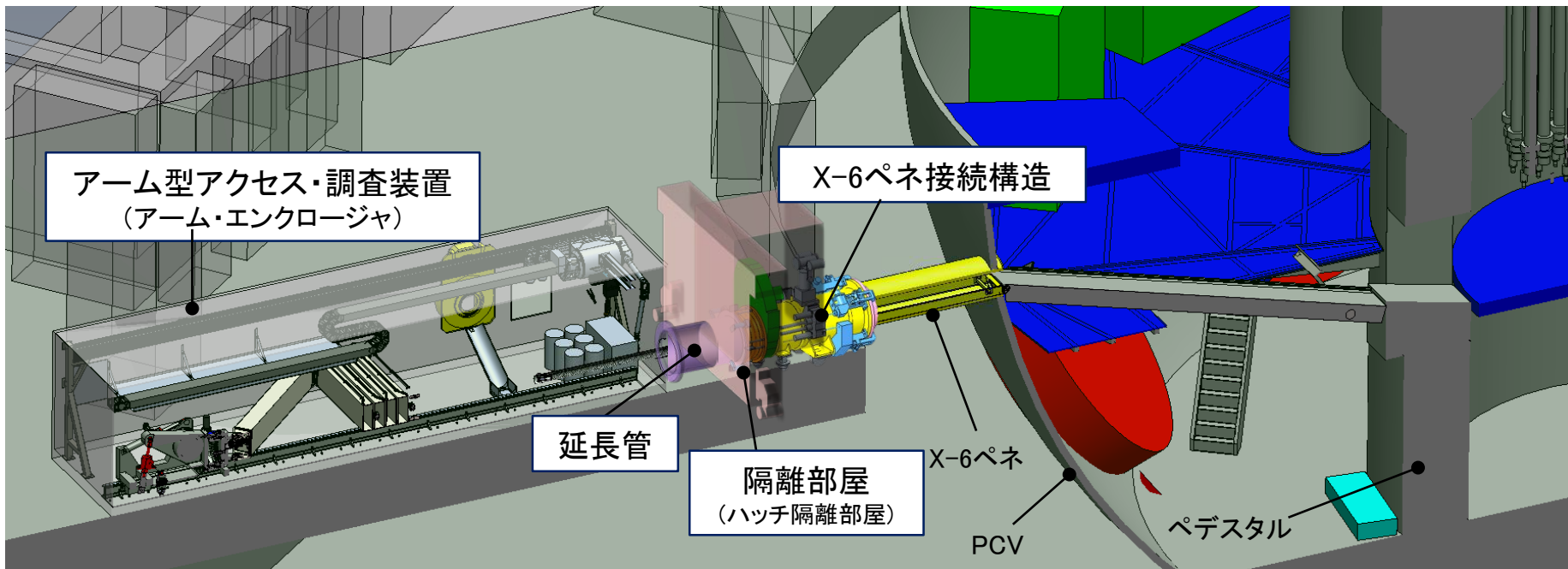
- ・リスク低減のためステージ内隔離部屋設置方法の変更を実施し、ステージ内隔離部屋設置の改造およびブーツ取付け・取外しができる装置の設計、製作、試験等を実施した。
- ・また、現場実証に向けた作業員習熟訓練を行ない、ハッチ開放の現場実証を開始した。

(2) 令和4年度の予定

- ・アクセス・調査装置については、引き続き、櫛葉モックアップ試験/トレーニングを実施し、現場実証を開始する。
- ・アクセスルート構築のための関連機器については、トレーニングを実施後、順次、現場実証を開始する。

補足資料

開発対象

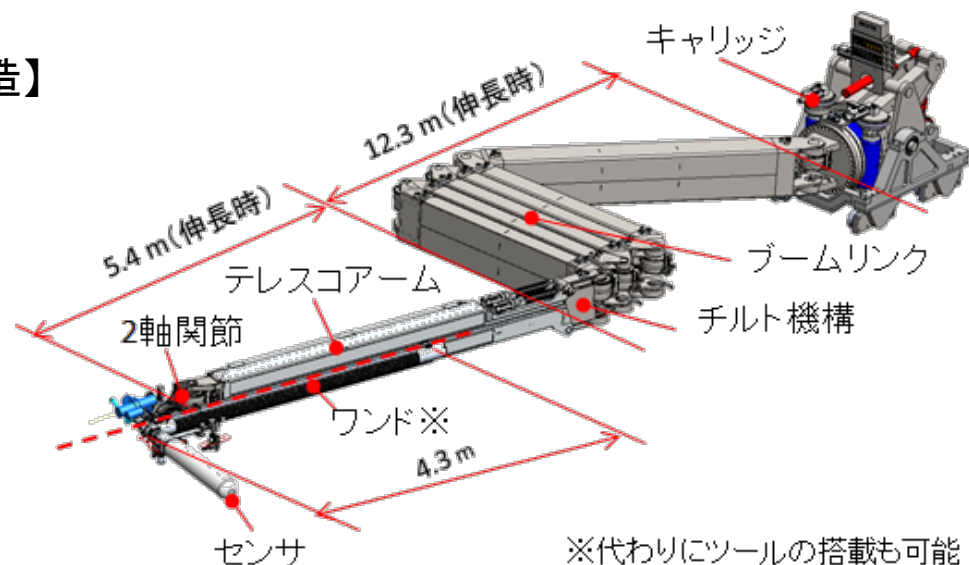


装置	主目的
アーム型アクセス・調査装置	PCV内部のデータ取得(センサ搭載)、障害物撤去(ツール搭載)
X-6ペネ接続構造	PCVバウンダリ構築及びアーム通過性確保(隔離弁搭載)
延長管	遮蔽及びアーム通過性確保
隔離部屋	X-6ペネ蓋開放時(X-6ペネ接続構造設置前)のPCVバウンダリ構築、遮蔽
堆積物除去装置	X-6ペネ内の堆積物等の除去

アクセス・調査装置

【アーム型装置(以下、アーム)の仕様と構造】

- ✓ 搭載可能センサ 10 kg以下
- ✓ 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
- ✓ アーム長 約18 m(ワンドを除く)
- ✓ 押付け力 400 N
- ✓ 位置決め精度 ± 100 mm
- ✓ 累積線量 1 MGy
- ✓ 付属設備
カメラ、照明



【アームエンクロージャの仕様と構造】

- ✓ 外板 天井及び側板 厚さ10 mm
底板 厚さ25 mm
- ✓ 質量 約30トン
- ✓ 主要材質 ステンレス鋼
- ✓ 設計圧力 $-5 \sim +10$ kPaG
- ✓ 漏えい率 0.05 vol %/h
- ✓ 付属設備
保守用マニピュレータ、仕切弁、
カメラ、照明 等

