

# 平成29年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金

「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)」

## 平成31年度・令和元年度最終報告

令和2年7月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

# 目次

1. 研究の背景・目的
  - 1.1 本研究が必要な理由
  - 1.2 本研究の成果の反映先と寄与
2. 実施項目とその関連, 他研究との関連, 目標
3. 実施スケジュールと実施体制
4. 実施内容
  - 4.1 実施事項・成果
    - (1) 調査計画・開発計画の策定
    - (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験
    - (3) 現場状況を考慮したモックアップ試験
    - (4) 作業訓練
    - (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練
    - (6) 現場実証(現場調査)
    - (7) 国内モックアップ試験
  - 4.2 目標に照らした達成度
5. まとめ

# 目次

1. 研究の背景・目的
  - 1.1 本研究が必要な理由
  - 1.2 本研究の成果の反映先と寄与
2. 実施項目とその関連, 他研究との関連, 目標
3. 実施スケジュールと実施体制
4. 実施内容
  - 4.1 実施事項・成果
    - (1) 調査計画・開発計画の策定
    - (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験
    - (3) 現場状況を考慮したモックアップ試験
    - (4) 作業訓練
    - (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練
    - (6) 現場実証(現場調査)
    - (7) 国内モックアップ試験
  - 4.2 目標に照らした達成度
5. まとめ

# 1. 研究の背景・目的

## 1.1 本研究が必要な理由

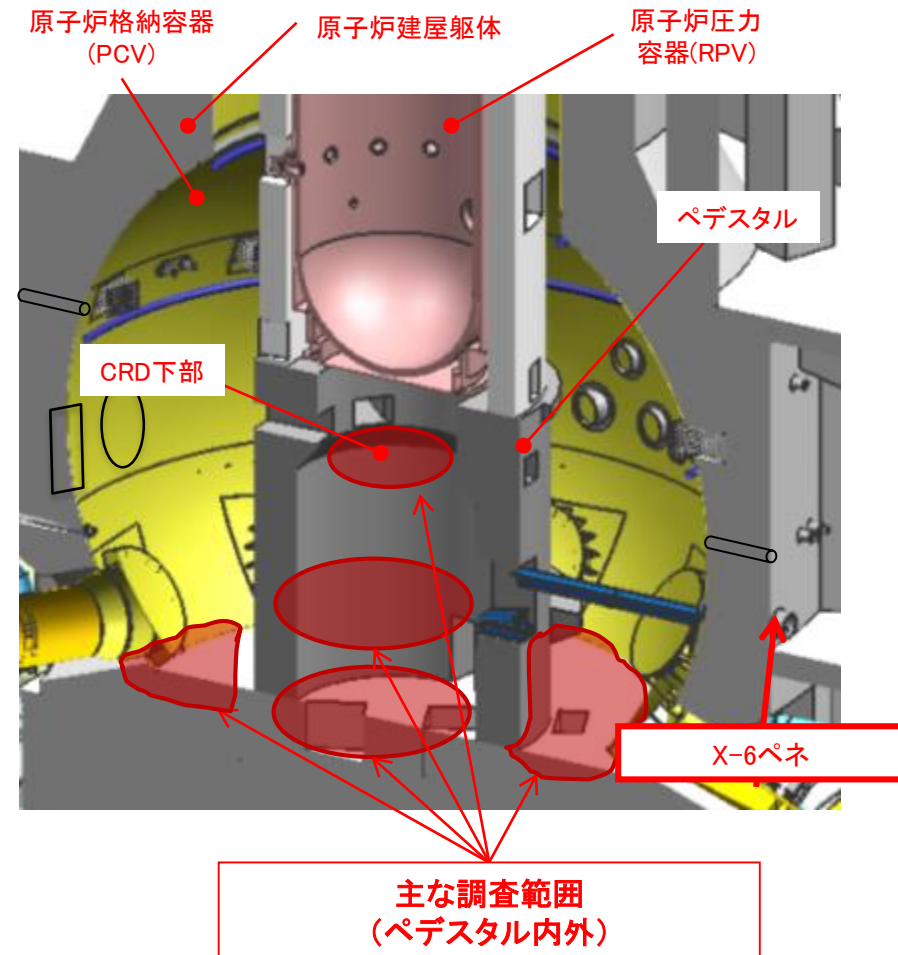
### 【背景】

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、現地実証するとともに燃料デブリ分布の推定のため、ペDESTAL内外の底部の状況に関する詳細情報を取得し、燃料デブリ取り出し方法の具体化に資する。



【 PCV断面図と調査対象部位の概要 】

## 1.2 本研究の成果の反映先と寄与

平成28～29年度 原子炉格納容器内部調査技術の開発



平成29～30年度 原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発

- ・アクセス・調査装置の開発
- ・要素技術の適用性検証
- ・モックアップ試験計画



本事業

平成30～31年度/令和元年度 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)

調査計画・開発計画の策定

アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証



燃料デブリ取り出しの工法・装置等の  
詳細設計に係る各研究（燃料デブリ取  
り出し, 耐震, 補修, 臨界管理など）

「燃料デブリ取り出し工法確定」, 「燃料デブリ取  
り出し装置の詳細設計」に向けた情報など

燃料デブリの段階的に規模を拡大し  
た取り出し技術の開発

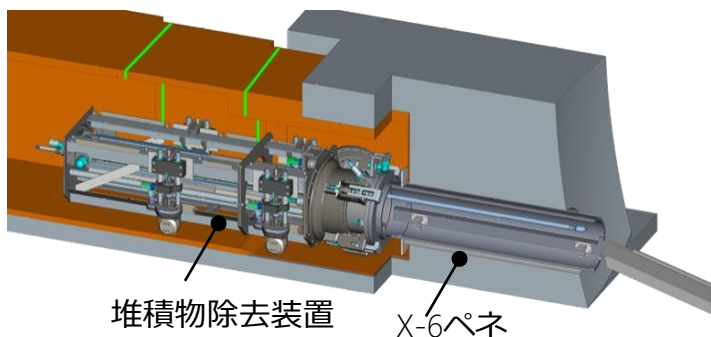
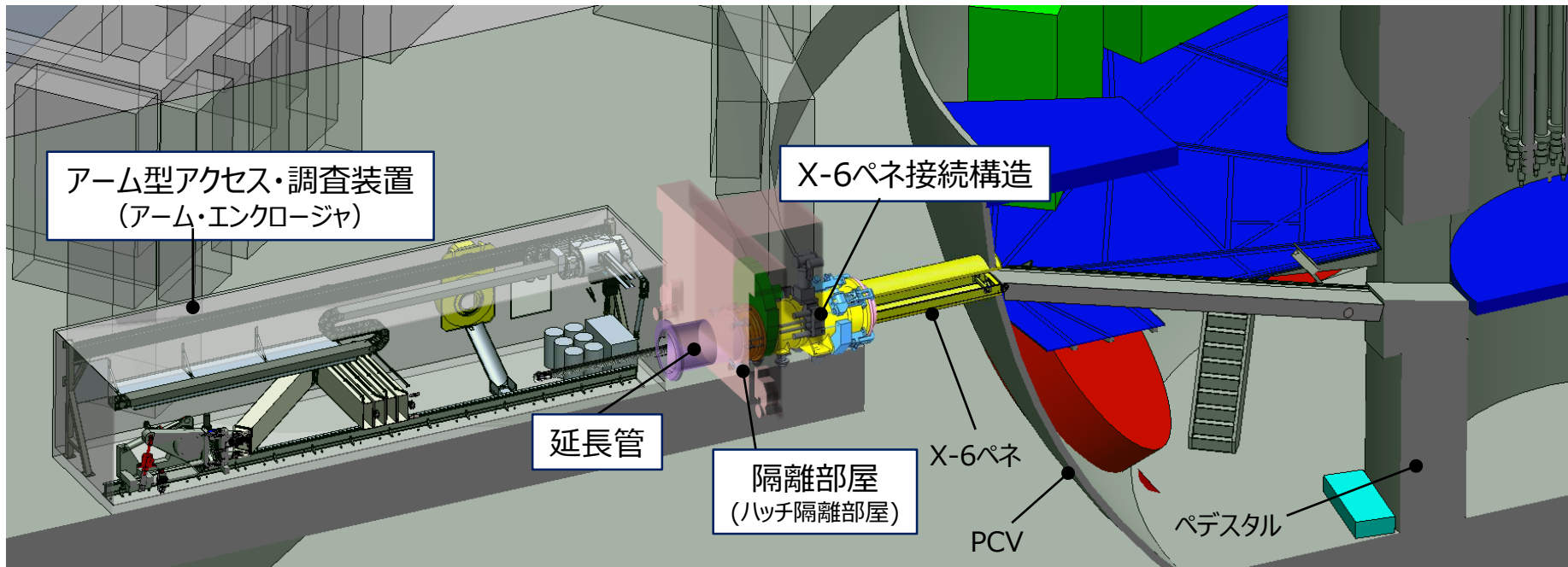
計画に必要な情報など

# 目次

1. 研究の背景・目的
  - 1.1 本研究が必要な理由
  - 1.2 本研究の成果の反映先と寄与
2. 実施項目とその関連, 他研究との関連, 目標
3. 実施スケジュールと実施体制
4. 実施内容
  - 4.1 実施事項・成果
    - (1) 調査計画・開発計画の策定
    - (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験
    - (3) 現場状況を考慮したモックアップ試験
    - (4) 作業訓練
    - (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練
    - (6) 現場実証(現場調査)
    - (7) 国内モックアップ試験
  - 4.2 目標に照らした達成度
5. まとめ

## 2. 実施項目とその関連, 他研究との関連, 目標

### 2.1 開発対象と他事業との関連: 各装置構成と主目的



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

## 2. 実施項目とその関連, 他研究との関連, 目標

### 2.1 開発対象と他事業との関連

開発対象		設計・製作・ 単体検証	モックアップ	作業訓練	現場実証 (現場調査)
アクセス・調査 装置	アーム型アクセ ス・調査装置		モックアップ設備据付/ 試験要領具体化	アームシミュレーション/ マニピュレータ基本操作	調査計画/ 現地配置計画
アクセスルート 構築のための 装置	X-6ペネ接続構造				
	延長管				
	隔離部屋		モックアップ 改良/機能検証		
	ハッチ開放装置		モックアップ 操作性確認		
	堆積物除去装置				
調査技術	レーザスキャナ		試験要領具体化/ アクセス・調査装置と の接続確認		
	ガンマセンサ				
	ソナー				
	VTセンサ				
	中性子センサ				

:平成29～30年度 原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発(完了)  
 :本事業

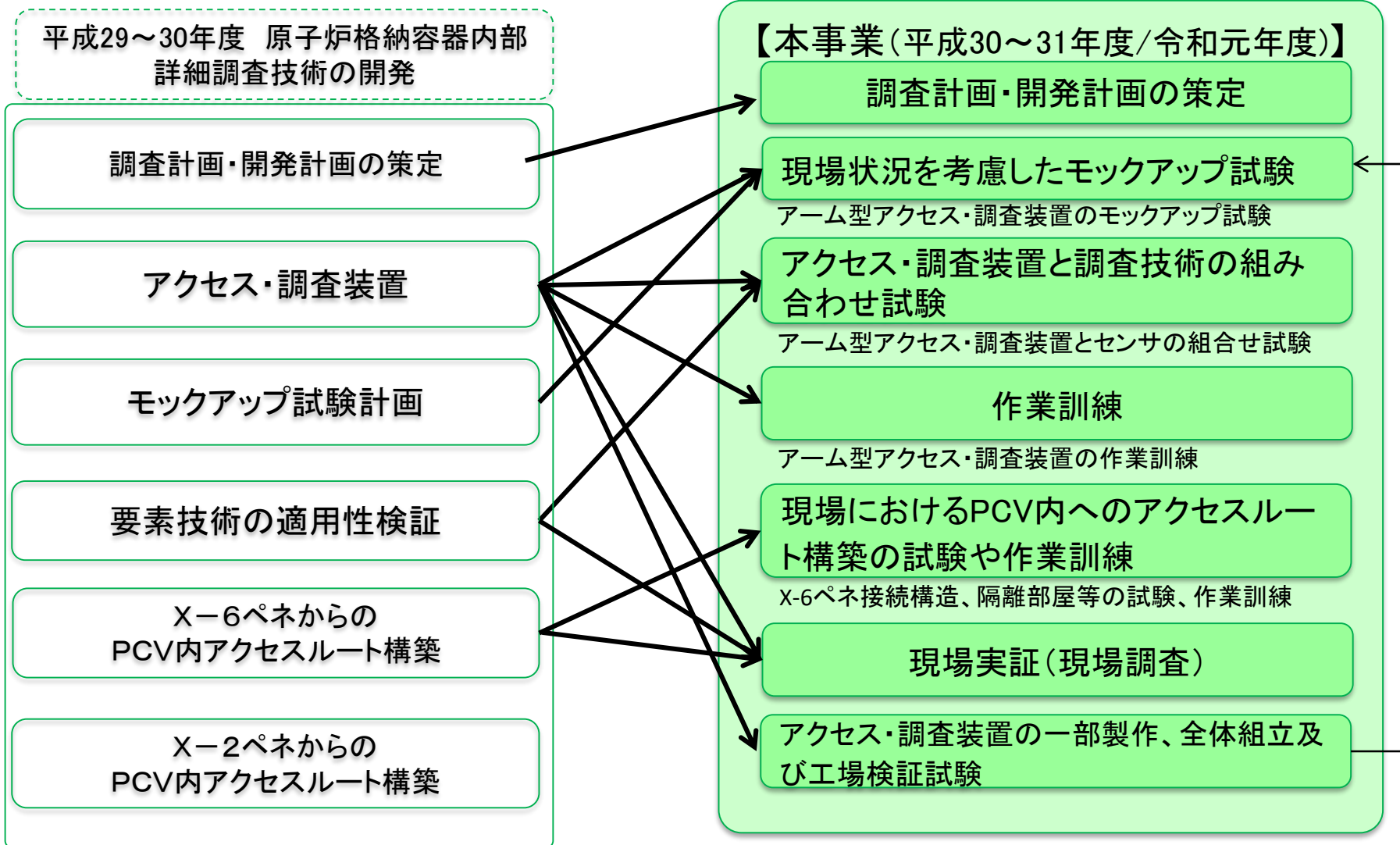


## 2. 実施項目とその関連, 他研究との関連, 目標

### 2.2 本研究の実施項目

実施項目		平成31年度/令和元年度実施範囲
調査計画・開発計画の策定		調査手順の検討
アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証	アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験	アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験
	現場状況を考慮したモックアップ試験	・アクセス・調査装置のモックアップ試験設備の組立、据付 ・アクセス・調査装置のモックアップ試験要領の具体化
	アクセス・調査装置と調査技術の組み合わせ試験	アクセス・調査装置と調査技術の接続確認の実施
	作業訓練	アクセス・調査装置の作業訓練(トレーニング)として、シミュレータ等を用いた訓練を行う
	現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練	・X-6ペネ接続構造:装置改良、組合せ試験、ワンスルー検証試験 ・隔離部屋:装置改良、組合せ試験 ・堆積物除去装置:製作、モックアップ試験、ワンスルー検証試験 ・延長管:製作、モックアップ試験、ワンスルー検証試験 ・エンクロージャ搬送装置:モックアップ試験、ワンスルー検証試験
	現場実証(現場調査)	・VTセンサ、中性子センサの製作、検証 ・現地配置計画
	国内モックアップ試験	アクセス・調査装置の国内モックアップ試験設備の製作、据付
	短尺ワンドの製作	短尺ワンドの設計、製作

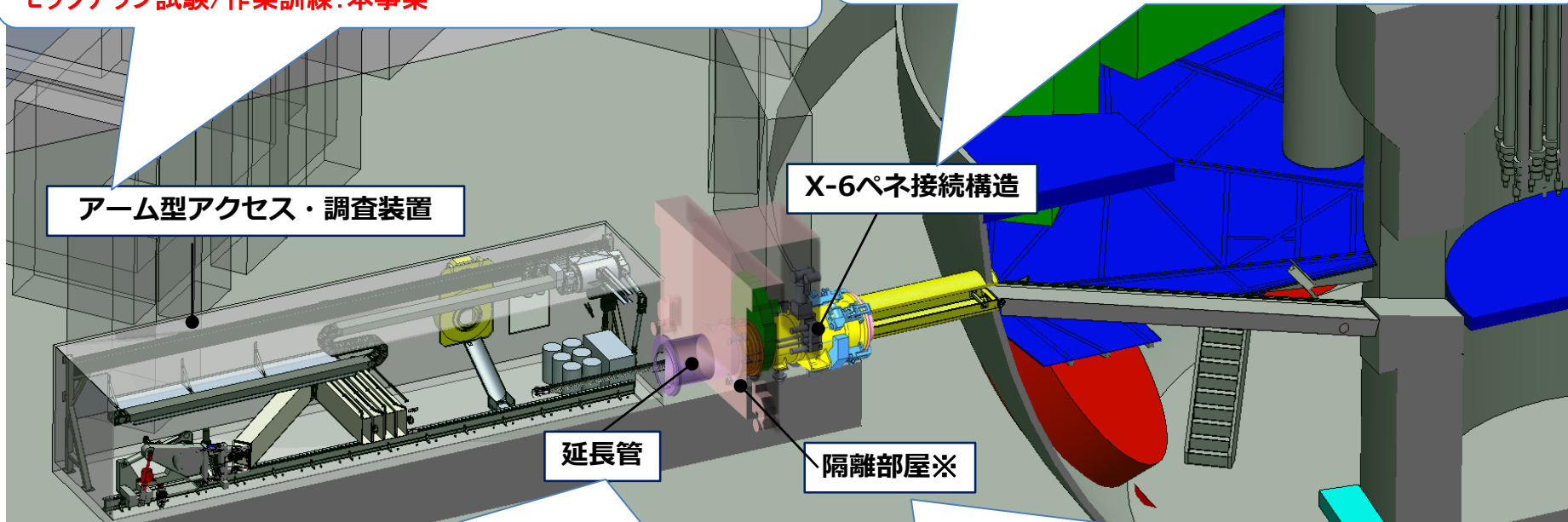
## 2.3 実施項目間、他研究の関係性(1/2)



## 2.3 実施項目間、他研究の関係性(2/2)

設計/製作:平成29~30年度 PCV内部詳細調査技術の開発  
一部製作、全体組立及び工場検証試験/  
モックアップ試験/作業訓練:本事業

設計/製作:平成29~30年度 PCV内部詳細調査技術の開発  
モックアップ試験:本事業



基本計画:平成29~30年度 PCV内部詳細調査技術の開発  
設計/製作/モックアップ試験:本事業

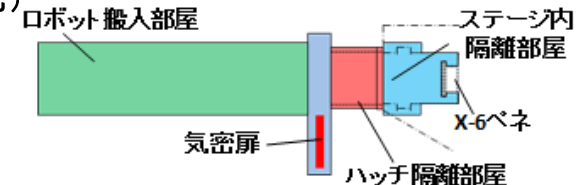
設計/製作/試験:平成29~30年度 PCV内部詳細調査技術の開発  
装置改良/機能検証/操作性確認:本事業

堆積物除去装置/搬送装置

設計/製作/モックアップ試験:本事業

※隔離部屋は、以下で構成される

- ・ロボット搬入部屋
- ・ハッチ隔離部屋(気密扉含む)
- ・ステージ内隔離部屋



## 2.4 目標

実施項目	目標達成指標(平成30年～31年度/令和元年度)	
調査計画・開発計画の策定	最新の現場状況や調査ニーズを反映して、調査計画・開発計画が必要に応じ見直されていること。	
アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証	アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験	アクセス・調査装置の実機プロトタイプの工場内検証試験が完了していること。
	現場状況を考慮したモックアップ試験	モックアップ試験設備が完成していること。
	アクセス・調査装置と調査技術の組み合わせ試験	アクセス・調査装置と調査技術を組み合わせた状態で現場への適用性が確認されていること。
	作業訓練	アクセス・調査装置の操作員の習熟を目的とした作業訓練(トレーニング)として、シミュレータ等を用いた訓練を行い、作業員の習熟が図られていること。
	現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練	X-6ペネ開口部((以下ペネ開口部)と接続してバウンダリを構成する構造物について、搬入/据付性の試験を行い、現場への適用性が確認されていること。
	現場実証(現場調査)	アクセス・調査装置と調査技術、ペネ開口部と接続してバウンダリを構成する構造物について、現場作業並びに現地調査に関する計画が策定されていること。
	国内モックアップ試験	国内モックアップ試験設備が完成していること。
	短尺ワンドの製作	短尺ワンドの設計、製作が完了していること。

# 目次

1. 研究の背景・目的
  - 1.1 本研究が必要な理由
  - 1.2 本研究の成果の反映先と寄与
2. 実施項目とその関連, 他研究との関連, 目標
3. 実施スケジュールと実施体制
4. 実施内容
  - 4.1 実施事項・成果
    - (1) 調査計画・開発計画の策定
    - (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験
    - (3) 現場状況を考慮したモックアップ試験
    - (4) 作業訓練
    - (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練
    - (6) 現場実証(現場調査)
    - (7) 国内モックアップ試験
  - 4.2 目標に照らした達成度
5. まとめ

### 3. 実施スケジュールと実施体制(1/2)

項目		2018年度												2019年度												備考
大分類	小分類	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
マスタースケジュール		▽交付決定(予定)												▽中間報告												▽最終報告
(1)調査計画・開発 計画の策定	①全体計画	[スケジュールバー]																								
	②モックアップ試験 ③組み合わせ試験 ④作業訓練 ⑤アクセスルート構築の試験 や作業訓練	[スケジュールバー]																								
	⑥現場実証(現場調査)	[スケジュールバー]																								
(2)アクセス・調査装 置及び調査技術の 現場実証	①現場状況を考慮したモック アップ試験(設計/製作)	モックアップ試験設備の設計・製作(英国) [スケジュールバー]																								
	②アクセス・調査装置と調査 技術の組み合わせ試験	[スケジュールバー]																								
	③作業訓練	作業訓練(シミュレータ、アクセス装置) [スケジュールバー]																								
	④現場におけるPCV内への アクセスルート構築の試験	アクセス・調査装置、ペネ接続構造、堆積物除去装置 搬送/据付試験 [スケジュールバー]																								
		ペネ接続構造/隔離部屋 試験 [スケジュールバー]																								
		ペネ接続構造/隔離部屋 改良、試験 [スケジュールバー]																								
	⑤現場実証(中性子検出シ ステム設計/製作)	中性子検出システム設計・製作・試験 [スケジュールバー]																								
	⑥アクセス・調査装置の一 部製作、全体組立て及び工 場検証試験	製作・組立、工場検証試験 [スケジュールバー]																								
⑦国内モックアップ試験 (設計/製作)	モックアップ試験設備の設計・製作(国内) [スケジュールバー]																									
⑧短尺ワンドの製作	短尺ワンドの製作 [スケジュールバー]																									

### 3. 実施スケジュールと実施体制(2/2)

#### 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)

- ・全体計画の策定と技術統括
- ・技術開発の進捗などの技術管理のとりまとめ

#### 三菱重工業株式会社

- 1) 調査計画・開発計画の策定
- 2) アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証
  - ① 現場状況を考慮したモックアップ試験
  - ② アクセス・調査装置と調査技術の組み合わせ試験
  - ③ 作業訓練
  - ④ 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練
  - ⑤ 現場実証(現場調査)
  - ⑥ アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験
  - ⑦ 国内モックアップ試験
  - ⑧ 短尺ワンドの製作

#### 東芝エネルギーシステムズ株式会社

- 1) 調査計画・開発計画の策定
- 2) アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証
  - ④ 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練
  - ⑤ 現場実証(現場調査)

# 目次

1. 研究の背景・目的
  - 1.1 本研究が必要な理由
  - 1.2 本研究の成果の反映先と寄与
2. 実施項目とその関連, 他研究との関連, 目標
3. 実施スケジュールと実施体制
4. 実施内容
  - 4.1 実施事項・成果
    - (1) 調査計画・開発計画の策定
    - (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験
    - (3) 現場状況を考慮したモックアップ試験
    - (4) 作業訓練
    - (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練
    - (6) 現場実証(現場調査)
    - (7) 国内モックアップ試験
  - 4.2 目標に照らした達成度
5. まとめ



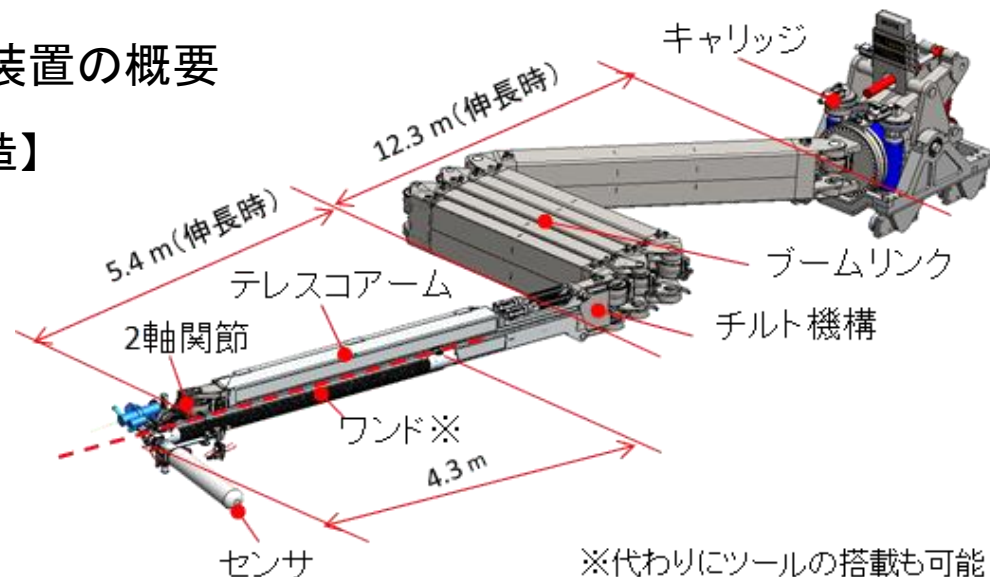
## 4.1 実施事項・成果

### (1) 調査計画・開発計画の策定

#### ① 調査手順の検討 : アクセス・調査装置の概要

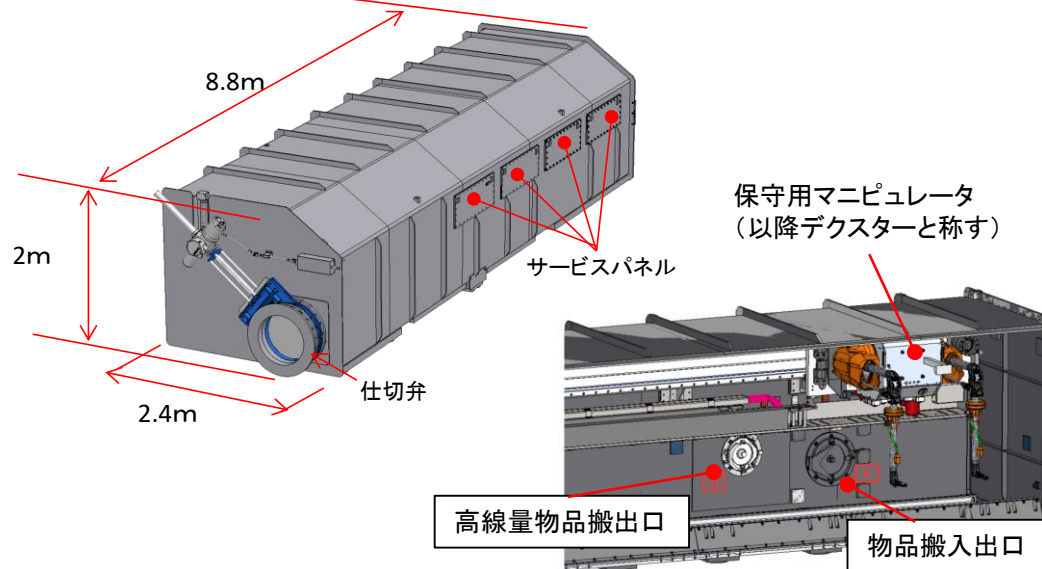
##### 【アーム型装置(以下、アーム)の仕様と構造】

- ✓ 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~+10 kPaG
- ✓ 漏えい率 0.05 vol %/h
- ✓ 付属設備  
保守用マニピュレータ(以降デクスターと称す)、仕切弁、  
カメラ、照明等



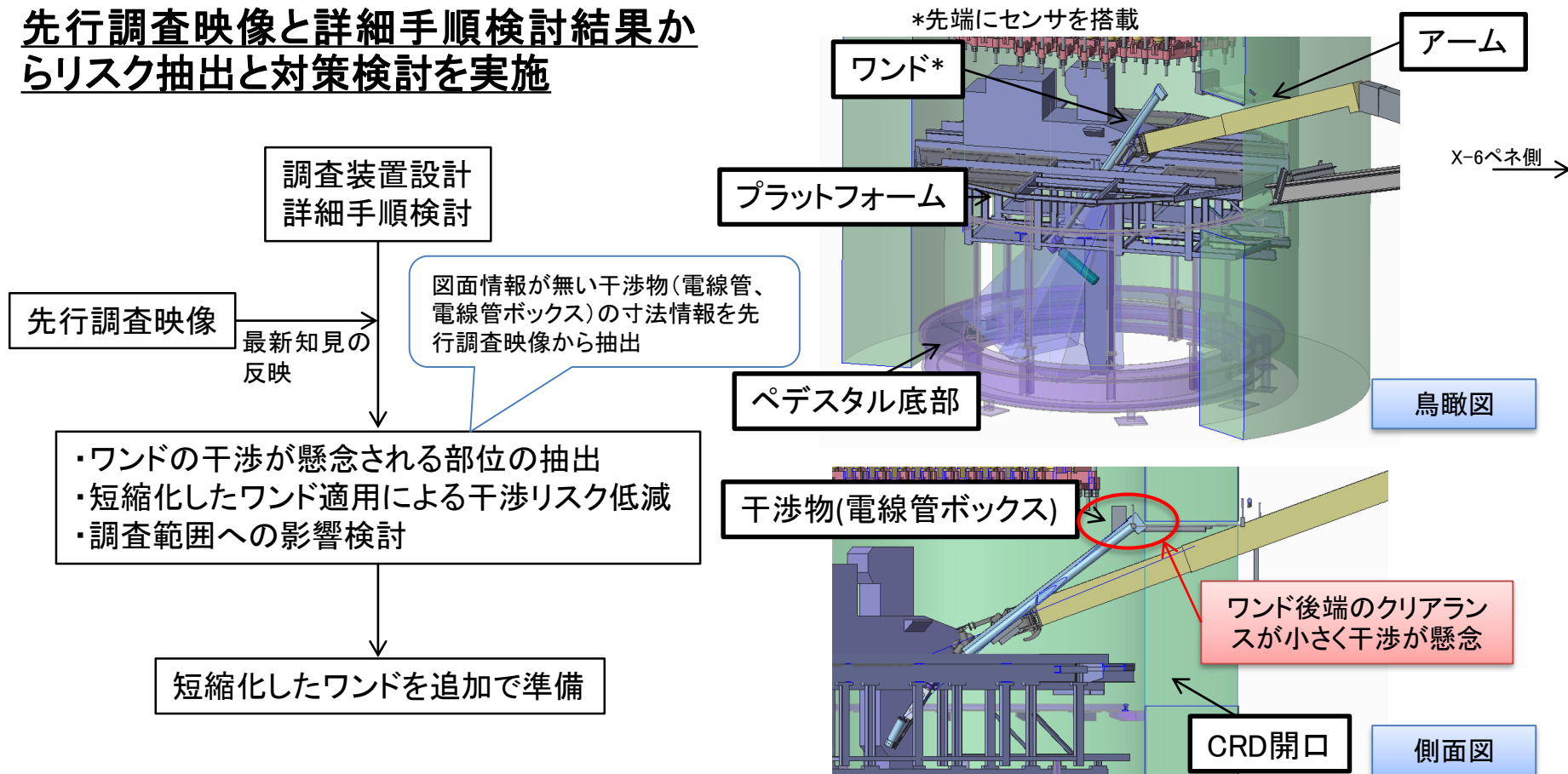
## 4.1 実施事項・成果

### (1) 調査計画・開発計画の策定

#### ①調査手順の検討

X-6ペネからペDESTAL底部までのアクセスルートの構築、及び、ペDESTAL内外の調査を実施するための詳細手順を検討し、約100ステップの手順図を作成。

### 先行調査映像と詳細手順検討結果からリスク抽出と対策検討を実施



# 4.1 実施事項・成果

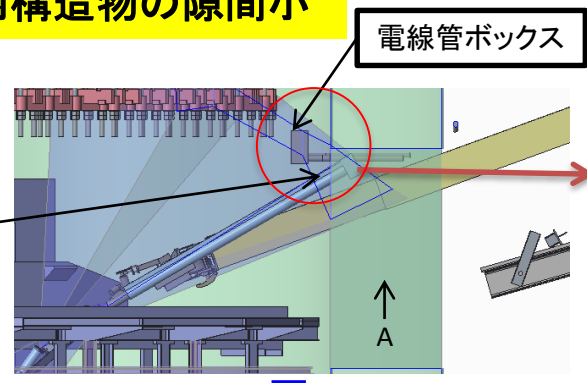
## (1) 調査計画・開発計画の策定

### ① 調査手順の検討

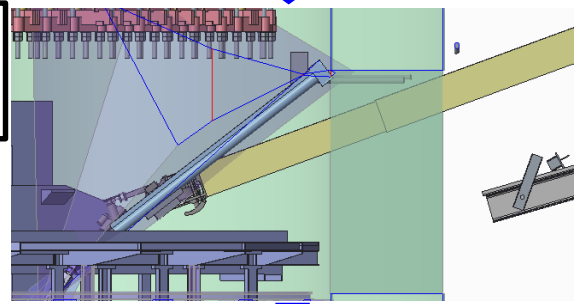
#### ワンド後端とペデスタル内構造物の隙間小

#### CRD開口通過時 詳細

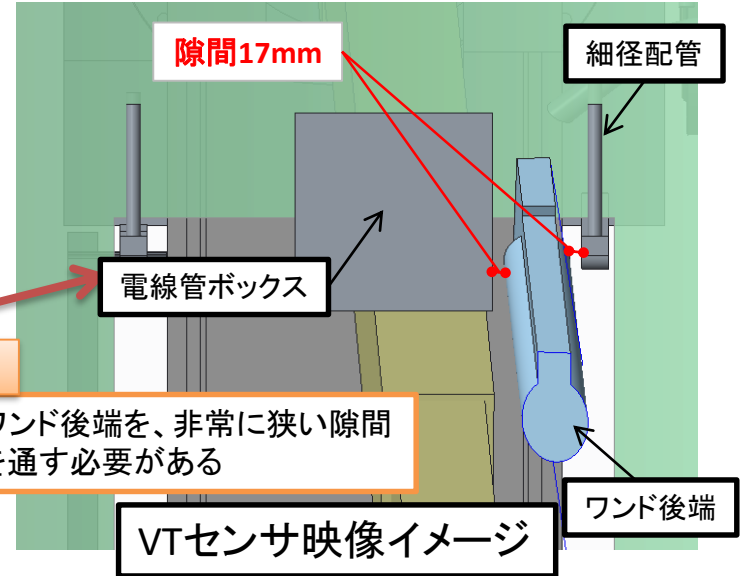
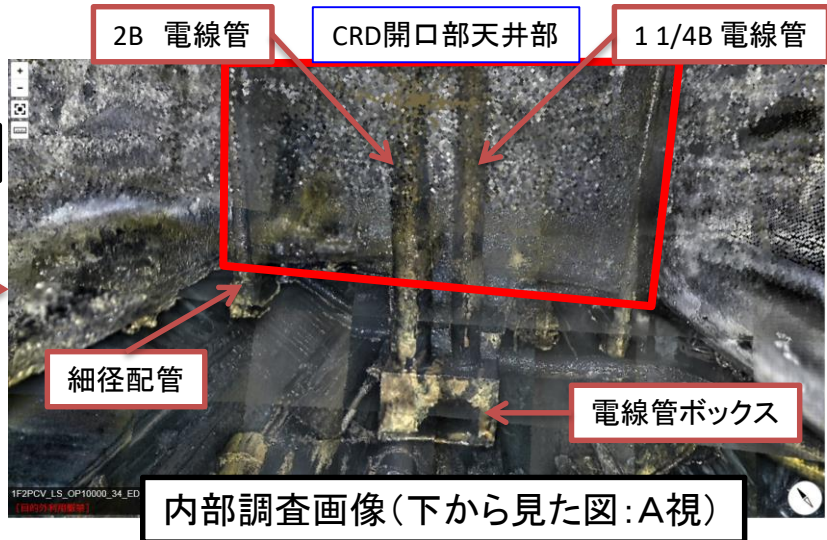
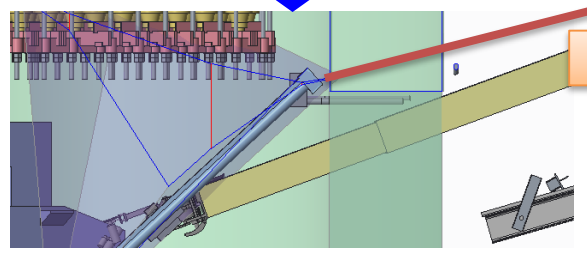
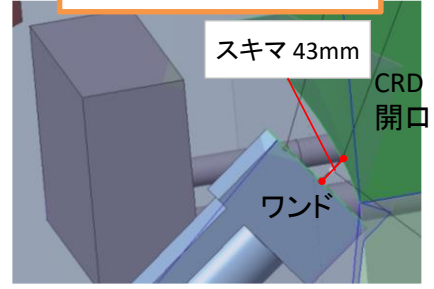
ワンドをプラットフォーム内に挿入しながらワンドを傾けていく(後方を立ち上げる)



電線管ボックス(右図)をかわしながらワンドを立ち上げる



リスク  
CRD開口部とのクリアランスが小さい



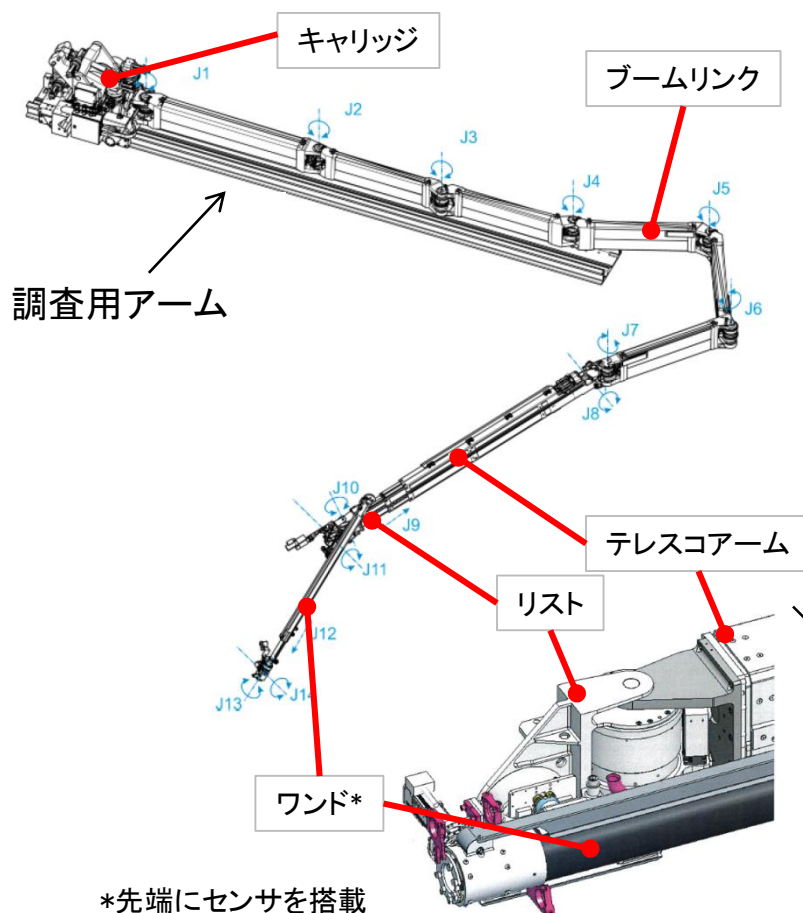
リスク  
ワンド後端を、非常に狭い隙間を通す必要がある

## 4.1 実施事項・成果

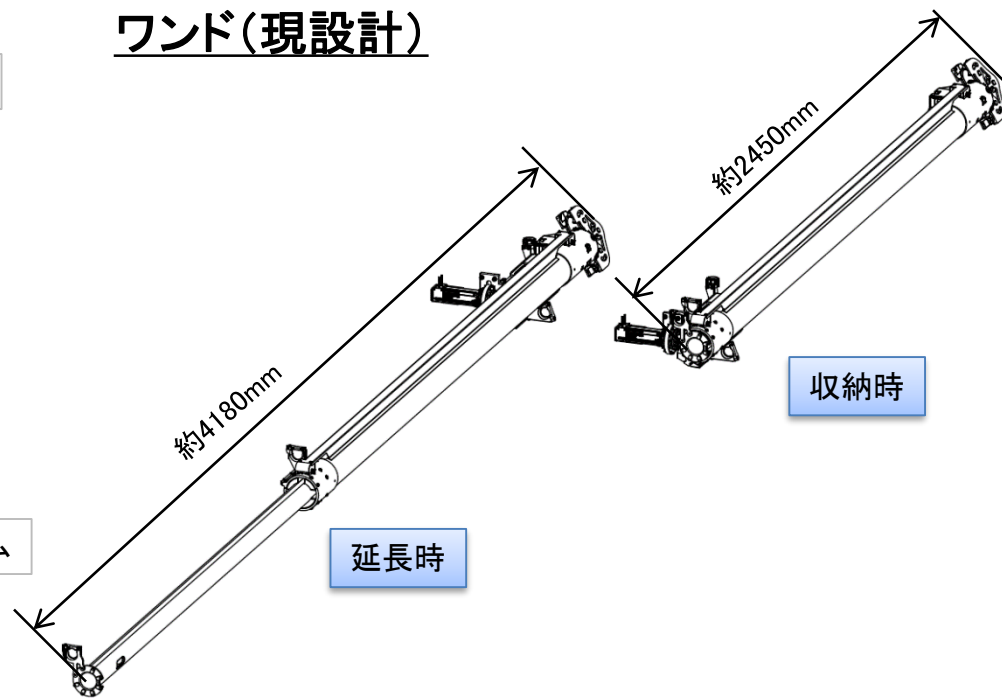
### (1) 調査計画・開発計画の策定

#### ① 調査手順の検討

#### 調査用アームとワンドの構造



#### ワンド(現設計)



# 4.1 実施事項・成果

## (1) 調査計画・開発計画の策定

### ① 調査手順の検討

#### 概略手順とカメラ視野

#### ペDESTラル内部調査 概略手順

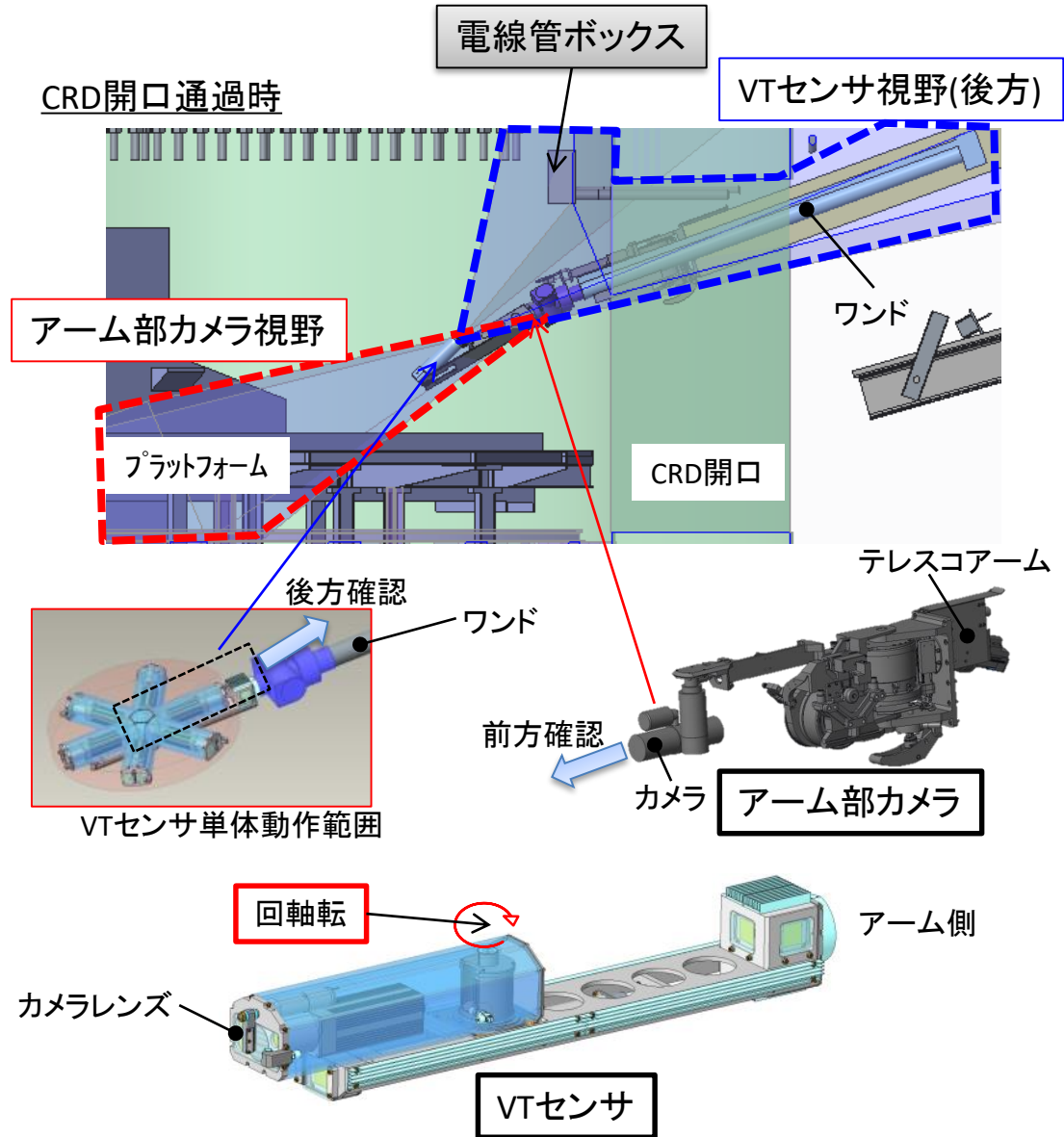
ワンド(アーム)先端がペDESTラル内部に到達



プラットフォーム開口部の上部までアームを前進させる



ワンド後端をVTセンサで確認、前方をアーム部カメラで確認しながら、ワンド後端をCRD開口部を通過させ、ワンド先端のセンサをプラットフォーム開口部下に到達させる。

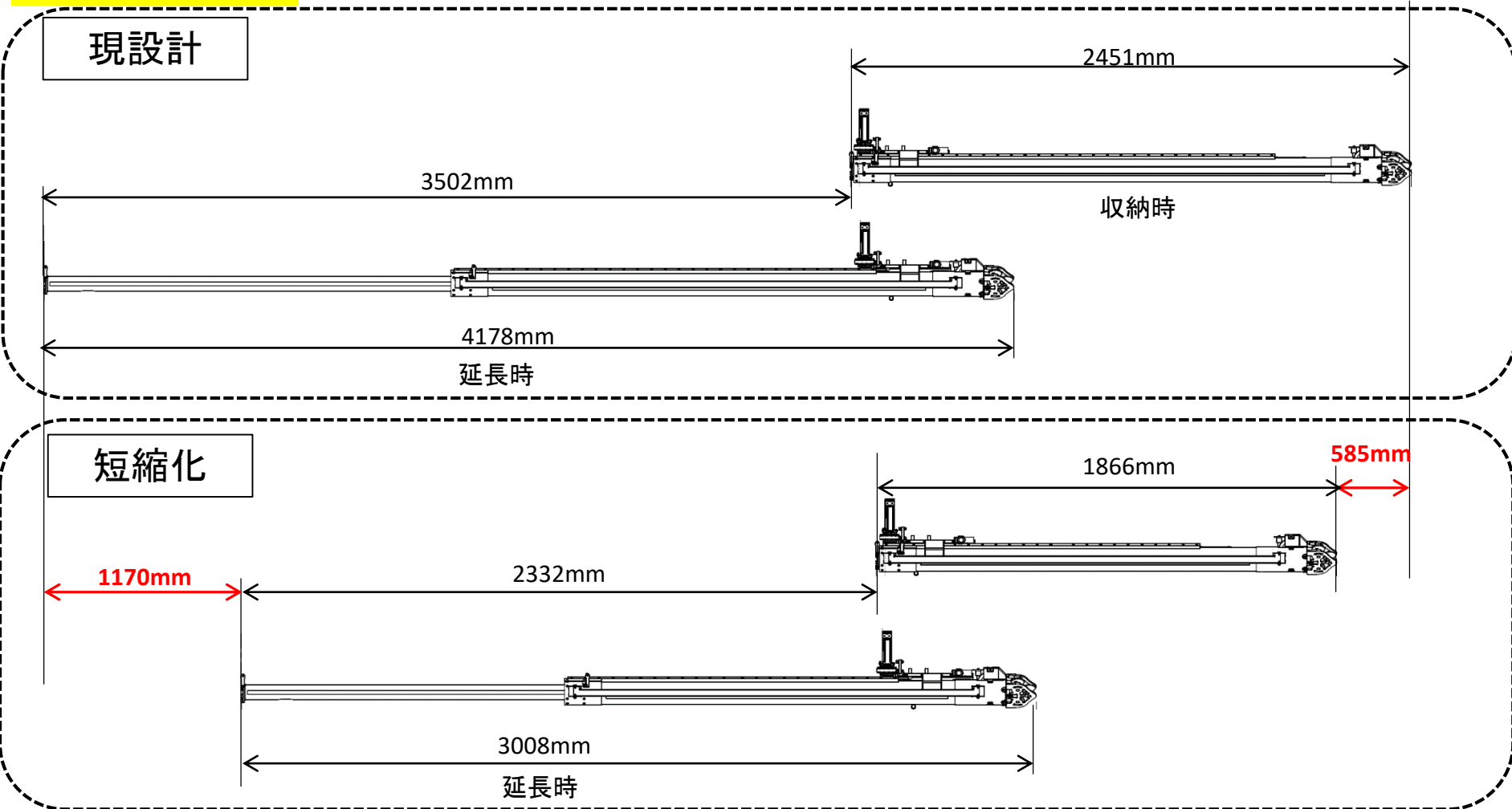


# 4.1 実施事項・成果

## (1) 調査計画・開発計画の策定

### ① 調査手順の検討

#### ワンド長さの比較

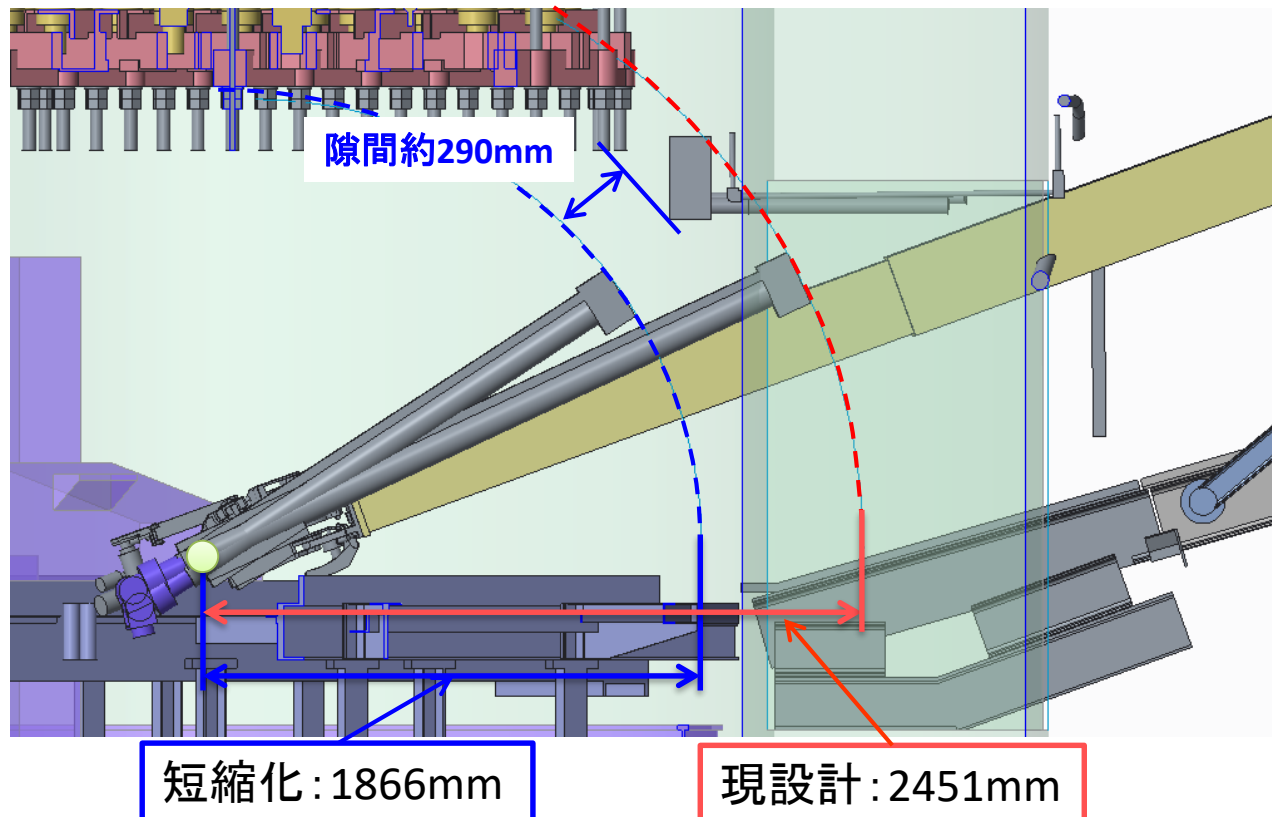


## 4.1 実施事項・成果

### (1) 調査計画・開発計画の策定

#### ①調査手順の検討

- ・短縮化ワンドを準備して干渉のリスクを低減し、ペDESTAL底部への到達可能性を向上させる
- ・今後のモックアップ試験により、現設計ワンドと短縮化ワンドのいずれを現地適用するか決定する



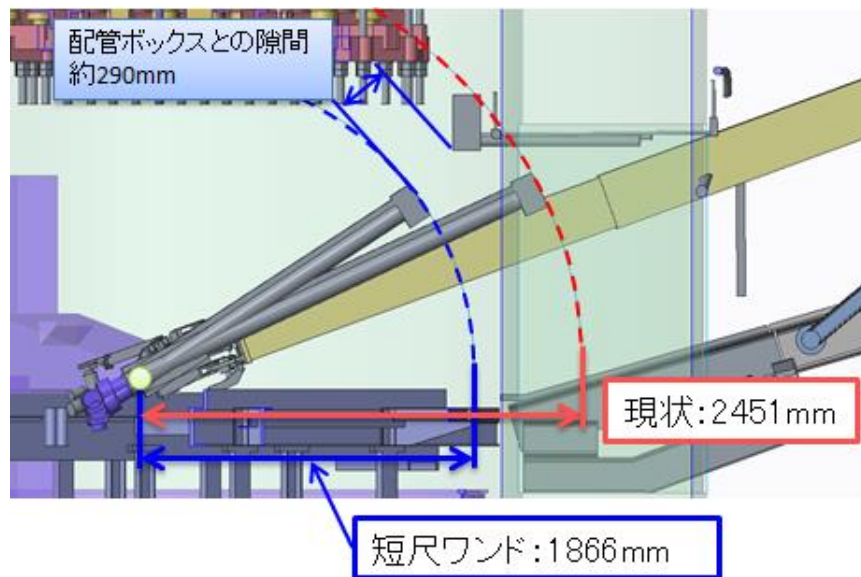
ワンドを短縮した場合は、電線管ボックスの手前(下側)にワンドを通すことが可能  
⇒電線管ボックスや細径配管との干渉リスクを低減

## 4.1 実施事項・成果

### (1) 調査計画・開発計画の策定

#### ②短尺ワンドの製作

- 調査手順の詳細検討を実施したところ、アクセスルートにおいて、PCV内の構造物と内部調査アームの干渉(接触/衝突)の恐れがあることが新たに判明(P18参照)。
- そこで、この干渉リスクを低減し、内部調査アームのPCV内部へのアクセス性を向上させるため、現状のワンドより短尺のワンド(短尺ワンド)を製作した。



ワンド端部と構造物(配管ボックス)との干渉を回避



製作した短尺ワンド



# 目次

1. 研究の背景・目的
  - 1.1 本研究が必要な理由
  - 1.2 本研究の成果の反映先と寄与
2. 実施項目とその関連, 他研究との関連, 目標
3. 実施スケジュールと実施体制
4. 実施内容
  - 4.1 実施事項・成果
    - (1) 調査計画・開発計画の策定
    - (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験
    - (3) 現場状況を考慮したモックアップ試験
    - (4) 作業訓練
    - (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練
    - (6) 現場実証(現場調査)
    - (7) 国内モックアップ試験
  - 4.2 目標に照らした達成度
5. まとめ

## 4.1 実施事項・成果

### (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験

#### ① アクセス・調査装置の組立

アクセス・調査装置の製作、組立が完了

アーム関節部



リスト機構



テレスコアーム



テレスコアームチルト機構



キャリッジ

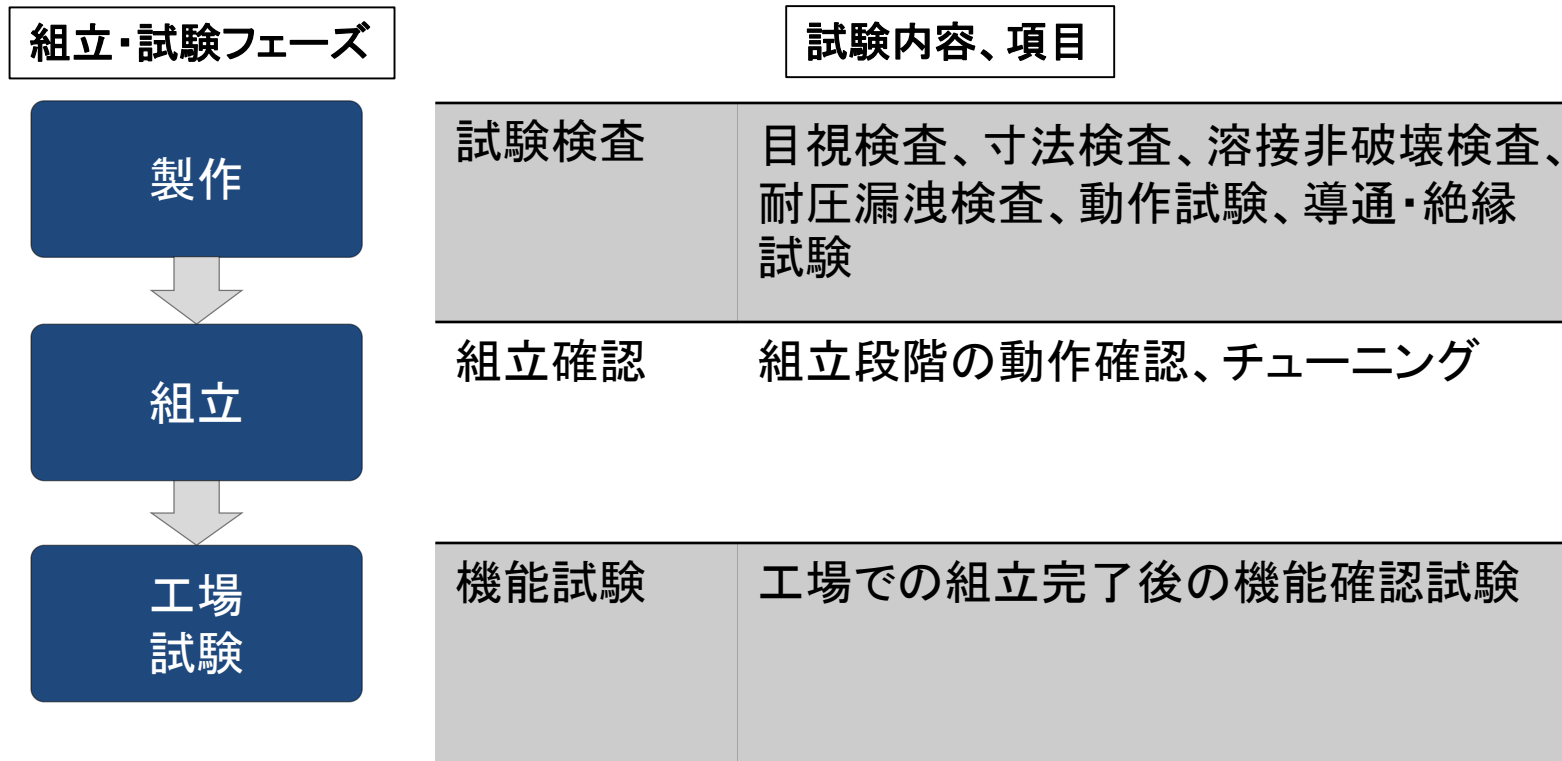


ワンド

## 4.1 実施事項・成果

### (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験

#### ②工場検証試験



組立段階の動作、チューニングを経て、工場試験(機能試験)を完了した。

## 4.1 実施事項・成果

### (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験

#### ②工場検証試験

代表的な試験結果を以下に記載。赤字を次頁以降で説明する。

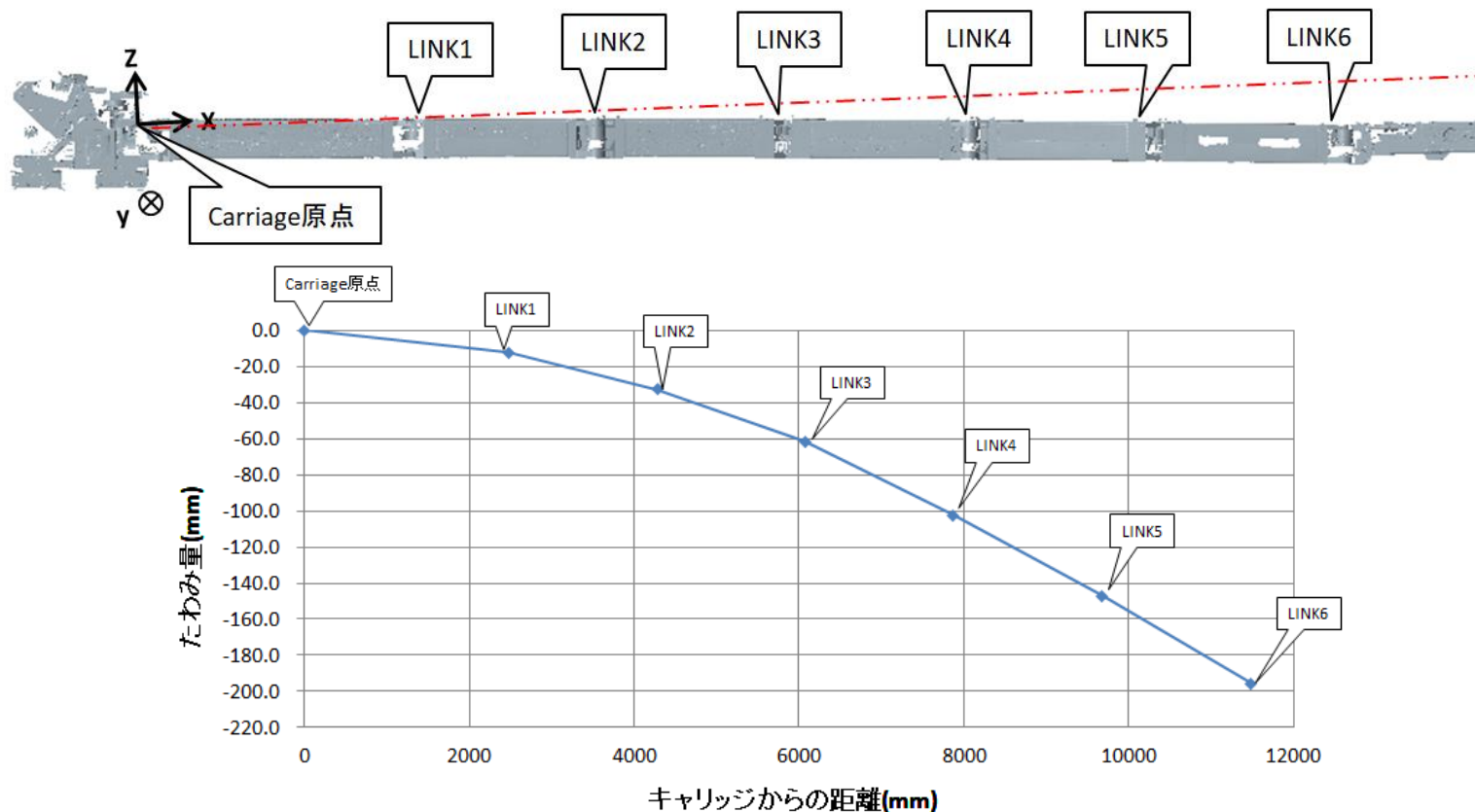
	No.	試験項目	確認事項	判断基準	試験結果
アーム	1	外観・寸法検査	外観目視、主要寸法測定	傷・汚無きこと、図面通りのこと	合格
	2	たわみ試験	アームのたわみ	X-6ペネ通過見通しが得られること	合格 (P28-29)
	3	位置精度確認試験 (繰り返し精度)	アームの位置再現性	±100 mm 以内(目標±20mm以内)	合格 ± 12mm
	4	安定性確認試験	アーム先端の揺動	± 10mm (5 min 以内:目標値)	合格 運転/停止動作後、 判定基準内で静定
	5	ペイロード試験	搭載荷重を負荷して作動	搭載荷重(10 kg /モーメント 41 Nm)	合格
保守マニピュレータ	1	外観・寸法検査	外観目視、主要寸法測定	傷・汚無きこと、図面通りのこと	合格
	2	動作範囲確認試験	アーム作動範囲	設計寸法通りのこと	合格 (P31)
	3	ペイロード試験	搭載荷重を負荷して作動	アーム負荷重量:10kg(センサ相当) ホイスト負荷重量:100kg	合格 (P32)

## 4.1 実施事項・成果

### (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験

#### ②工場検証試験

アーム組立完了後に3次元レーザスキャンでたわみ量を計測。結果を構造解析モデルにフィードバックすることで、ワンドおよびツール搭載時のたわみ量を評価。



※長尺と短尺で重量が異なり、たわみ量も異なる。本評価では重量の大きい長尺ワンドでの結果を示す。P.29も同様。

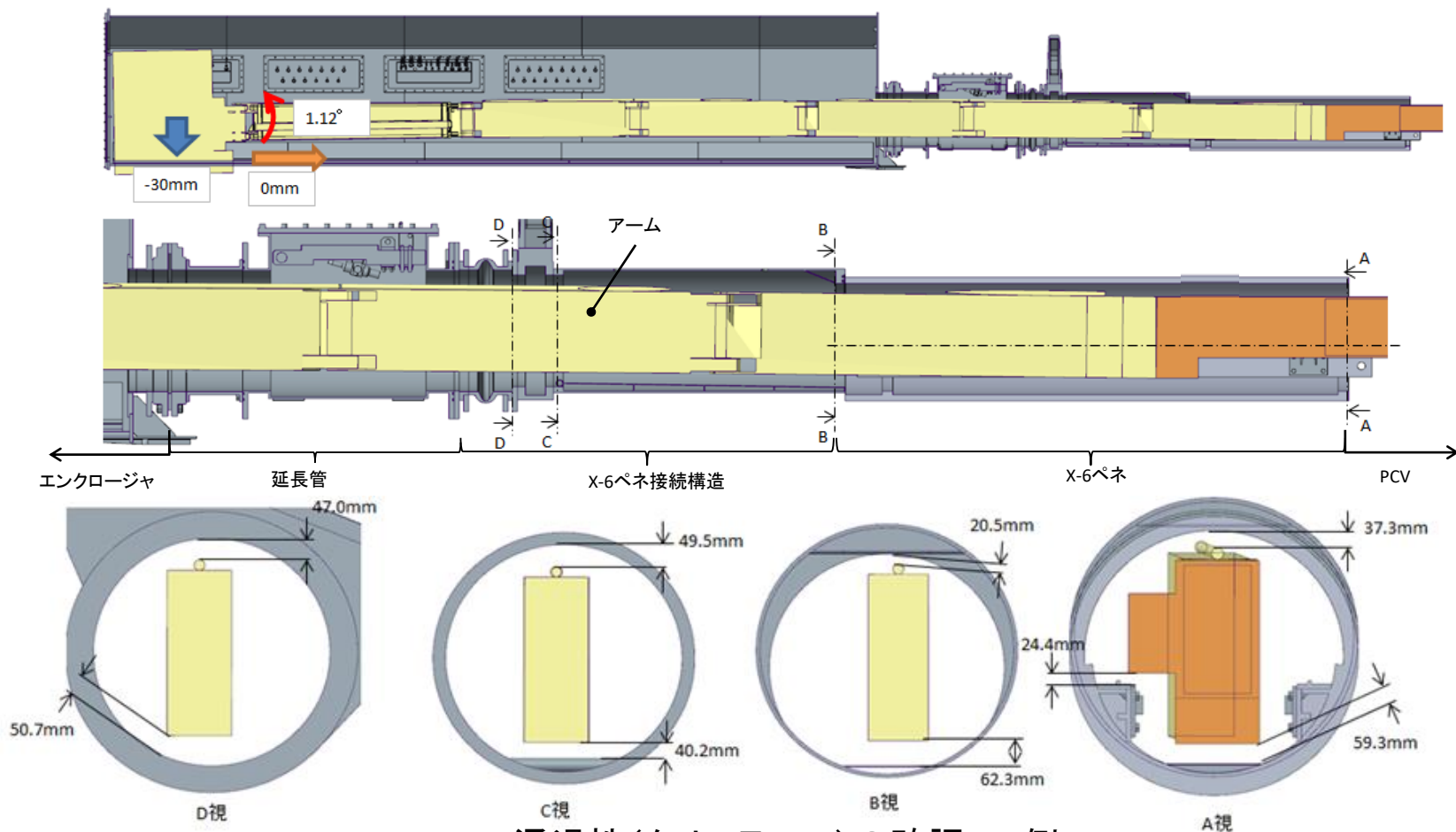
レーザスキャンによるたわみ量の計測結果(全展開状態):一例

## 4.1 実施事項・成果

### (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験

#### ②工場検証試験

実際に計測したたわみ量に基づきX-6ペネの通過性を評価し、通過見通しを確認した。



通過性(クリアランス)の確認:一例

## 4.1 実施事項・成果

### (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験

#### ②工場検証試験

デクスター

マスターデクスター(コントロールルーム)

操作用モニター



操作用アーム



フットスイッチ  
(グリッパロック、ブレーキ)



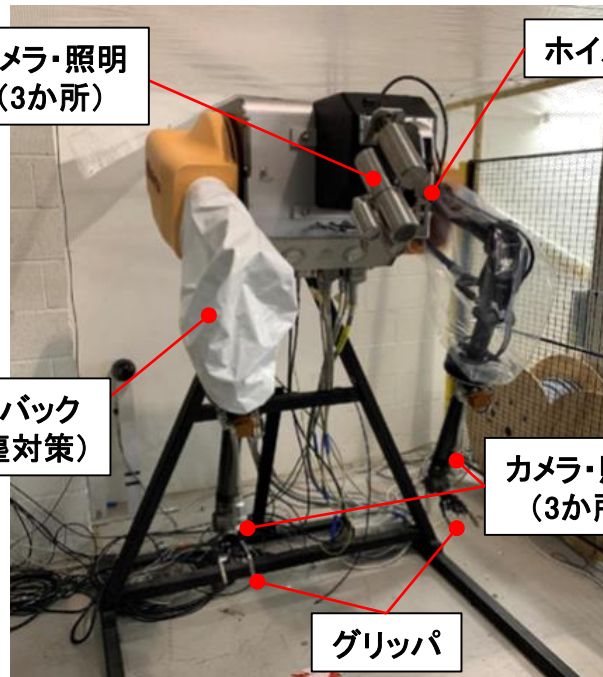
マスター  
スレーブ  
制御  
(光通信)

エンクロージャ内で遠隔で各種作業を行う装置

スレーブデクスター(エンクロージャ内)

カメラ・照明  
(3か所)

ホイス



エアバック  
(防塵対策)

カメラ・照明  
(3か所)

グリッパ

写真はエンクロージャ外で試験中の様子

- RACE\*で開発されたマスタースレーブマニピュレータ
- コントロールルームに設置されたマスターデクスターをオペレータがコントロールし、マスタースレーブ制御されたスレーブデクスターを操作することでエンクロージャ内の作業を実施
- オペレータは複数のモニターを確認しながら操作用アームを操作

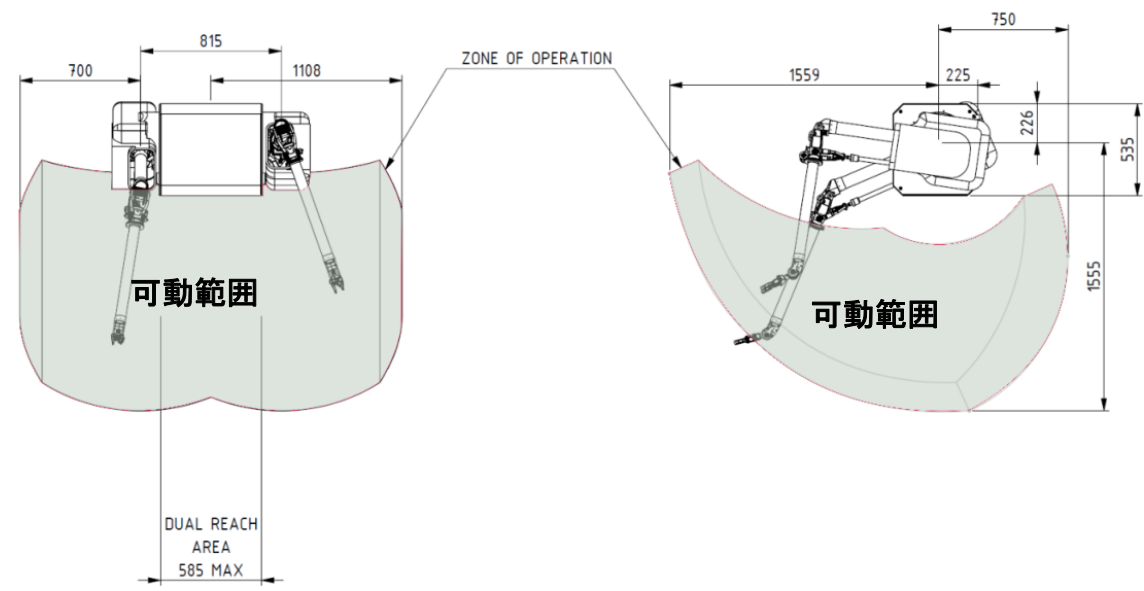
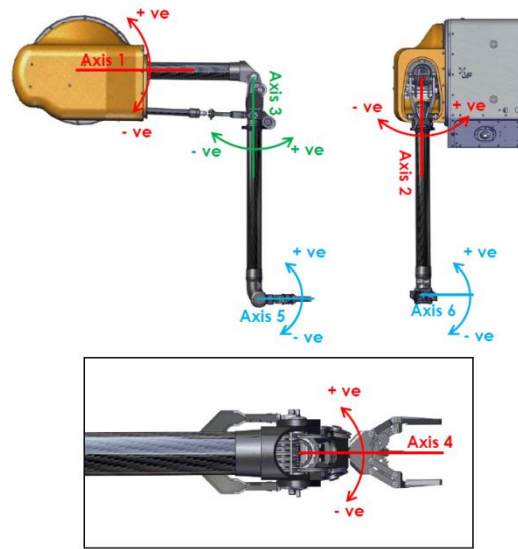
\*RACE (Remote Applications in Challenging Environments) : UK Atomic Energy Authority (英国原子力公社)が運営する遠隔ロボット試験施設

# 4.1 実施事項・成果

## (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験

### ②工場検証試験

#### デクスター：動作範囲確認試験



デクスターアームの関節可動角度と可動範囲

軸	動作	可動範囲
1	肩の上下	±45°
2	肩の左右	±45°
3	腕の前後	±45°
4	腕の回転	±190°
5	手首の曲げ	-120° / +30°
6	手首の回転	±340°
7	グリップの開閉	0～80mm

#### 【試験条件】

・把持重量：無し、測定方法：角度計

#### 【可動範囲算出方法】

・寸法測定結果及び本試験で測定した各関節の角度から可動範囲を算出

#### 【結果】

・設計通りの範囲の動作が可能であることを確認した。

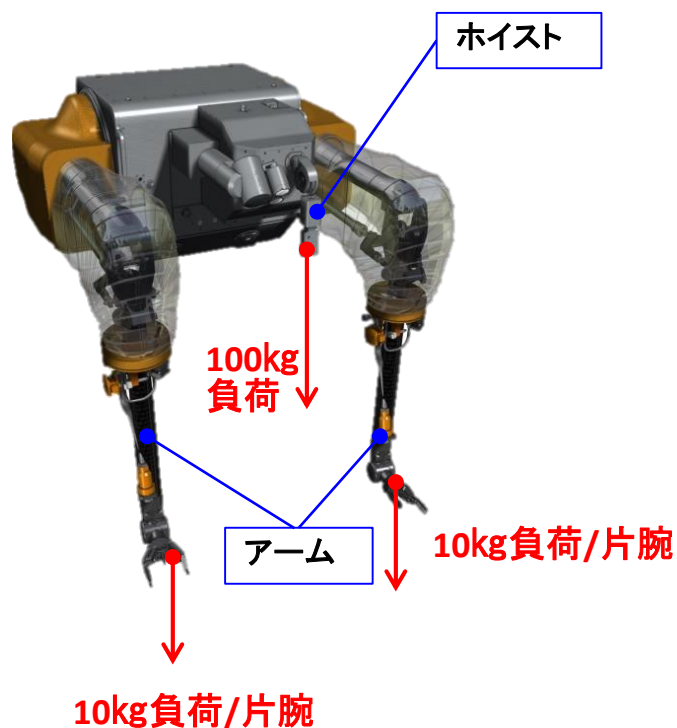


## 4.1 実施事項・成果

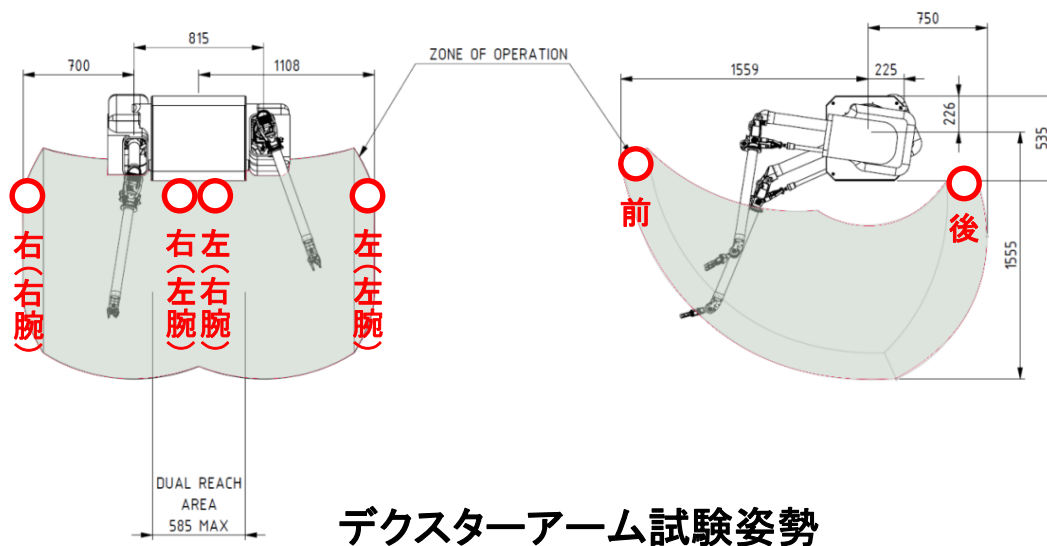
### (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験

#### ②工場検証試験

#### デクスター：ペイロード試験



アーム及び  
ホイストに負荷する荷重



#### 【試験条件(アーム)】

- ・アームの姿勢: 5姿勢/片腕 (ゼロ点(左図)・前後左右)
- ・負荷重量: 10kg(センサ相当)

#### 【試験条件(ホイスト)】

- ・負荷重量: 100kg

#### 【結果】

- ・アームに重量を負荷した状態で姿勢を保持できること、ホイストに重量を負荷した状態で可動できるなことを確認した。

# 目次

1. 研究の背景・目的
  - 1.1 本研究が必要な理由
  - 1.2 本研究の成果の反映先と寄与
2. 実施項目とその関連, 他研究との関連, 目標
3. 実施スケジュールと実施体制
4. 実施内容
  - 4.1 実施事項・成果
    - (1) 調査計画・開発計画の策定
    - (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験
    - (3) 現場状況を考慮したモックアップ試験
    - (4) 作業訓練
    - (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練
    - (6) 現場実証(現場調査)
    - (7) 国内モックアップ試験
  - 4.2 目標に照らした達成度
5. まとめ

# 4.1 実施事項・成果

## (3) 現場状況を考慮したモックアップ試験

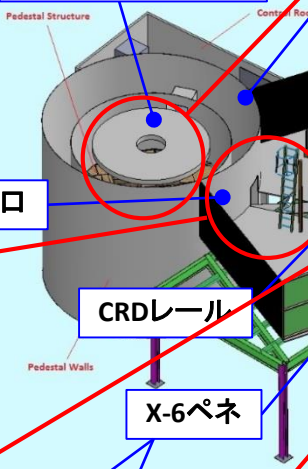
### ① 試験設備の製作

試験設備の製作が完了

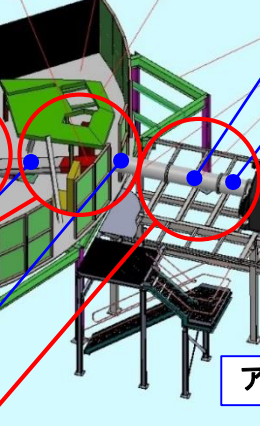
ペDESTAL(外面:木材、内面:鋼材)



CRD模擬体(木材)



ペDESTAL模擬体



CRD交換機



グレーチング



プラットフォーム

中間架台

ペDESTAL開口

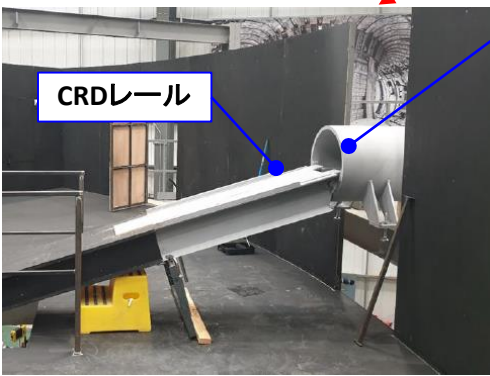
CRDレール

X-6ペネ

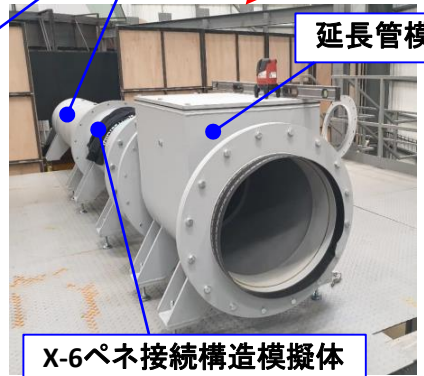
X-6ペネ接続構造模擬体

延長管模擬体

アーム・エンクロージャ



CRDレール



延長管模擬体

X-6ペネ接続構造模擬体



## 4.1 実施事項・成果

### (3) 現場状況を考慮したモックアップ試験

#### ②モックアップ試験計画の具体化

実際の使用方法を想定したモックアップ試験を実施し、機能要求への適合性を確認する。

機能要求	主なモックアップ項目
PCV内にアームを展開し、調査に必要なアクセス性を確保出来ること	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アーム位置の校正</li> <li>・<b>X-6ペネの通過性</b></li> <li>・<b>X-6ペネ出口の障害物撤去</b></li> <li>・<b>ペDESTAL内側下部および上部の調査</b></li> </ul>
遠隔操作に必要な情報が得られるとともに安全に操作出来ること	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アーム運転システムによる干渉回避</li> </ul>
調査に必要なセンサを搭載できること	<ul style="list-style-type: none"> <li>・センサとアームの接続</li> <li>・外部ケーブルのアームへの取付/取外し</li> </ul>
調査に必要なツールを搭載できること	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ツールとアームの接続</li> <li>・外部ケーブルのアームへの取付/取外し</li> </ul>
カメラの交換及びエンクロージャへの搬入出が出来ること	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アームカメラ/照明の遠隔メンテナンス</li> <li>・エンクロージャカメラの遠隔メンテナンス</li> <li>・センサ・ツールの搬入出</li> </ul>
故障を想定した場合にPCVから脱出できること	<ul style="list-style-type: none"> <li>・デクスターによるアームのリカバリー</li> <li>・アームの強制引き抜き</li> </ul>

表中の赤字：次頁以降で内容説明

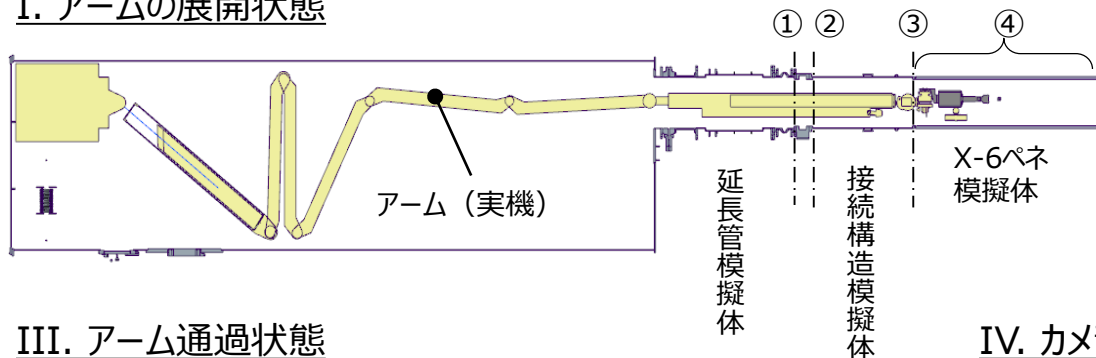
## 4.1 実施事項・成果

### ②モックアップ試験計画の具体化 X-6ペネの通過性

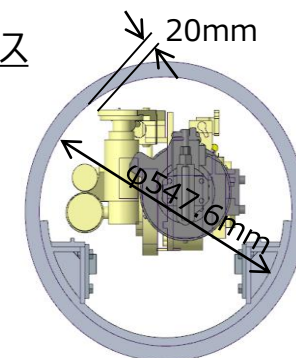
#### 試験の着眼点

- ・狭隘なX-6ペネ内のアームの通過性確認
- ・特に、カメラ視野が限定される条件下での運転・制御性、クリアランスの確認

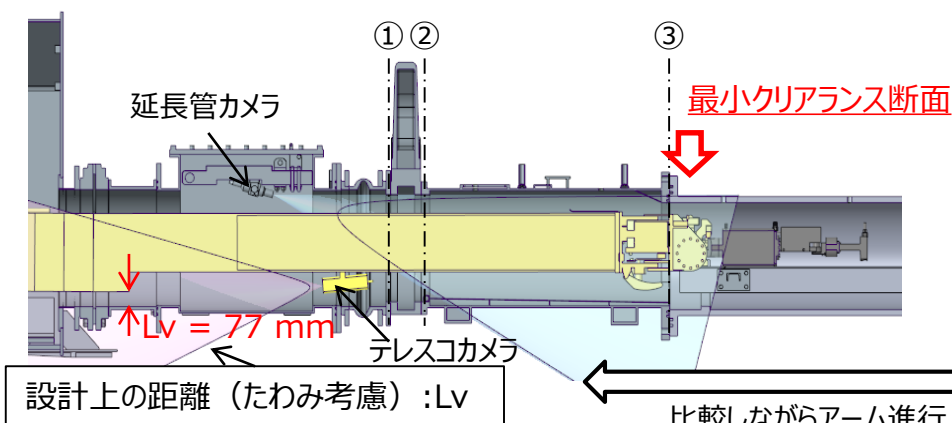
#### I. アームの展開状態



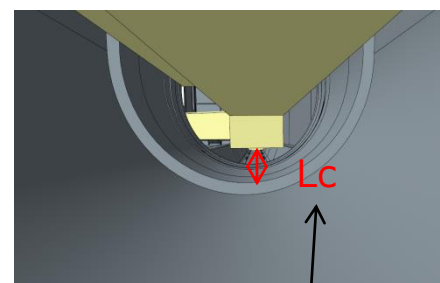
#### II. 最小クリアランス断面 (④)



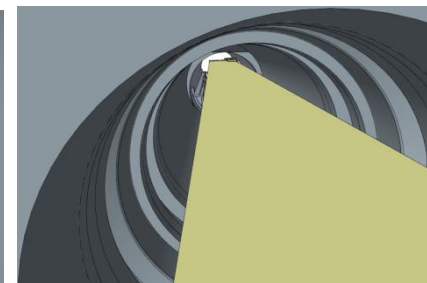
#### III. アーム通過状態



#### IV. カメラビューイメージ テレスコカメラ



#### 延長管カメラ



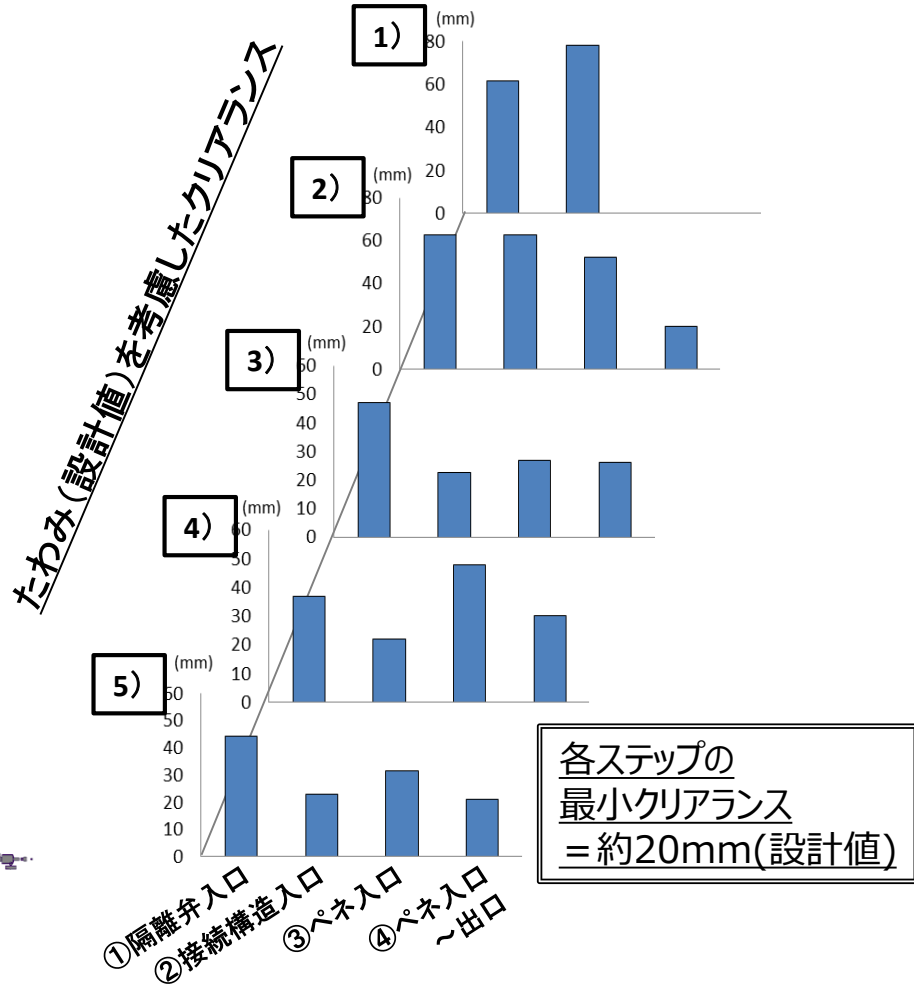
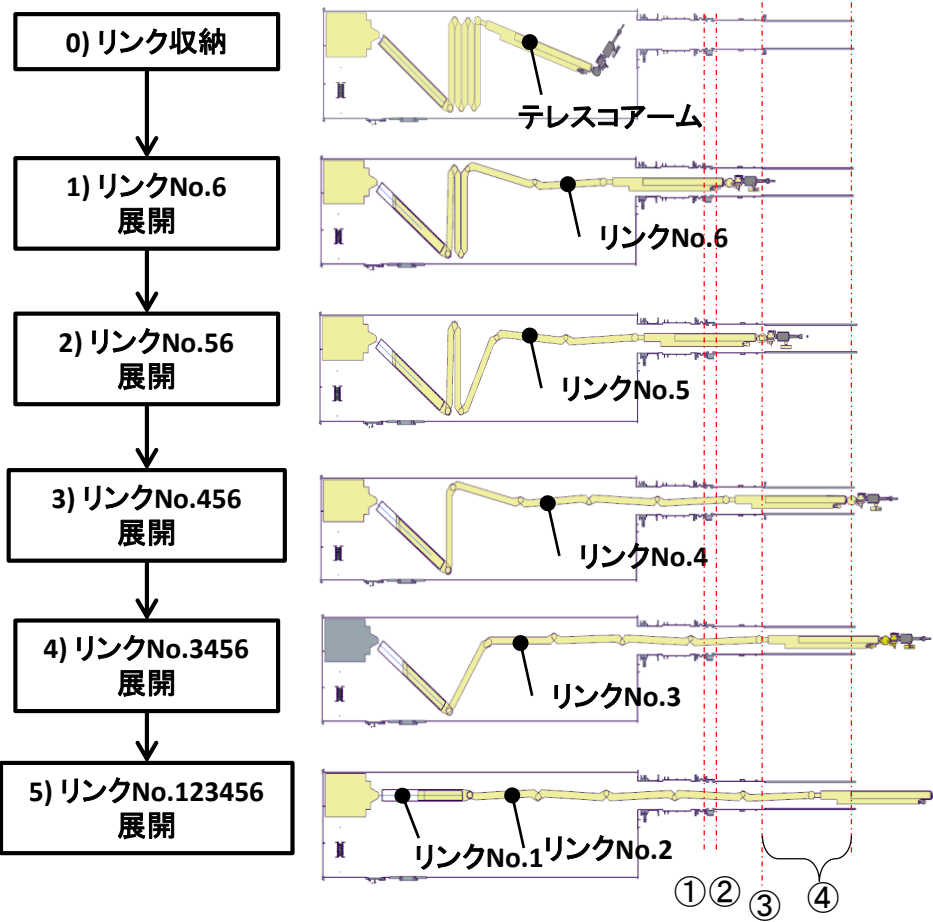
テレスコカメラで推定可能な距離:Lc

# 4.1 実施事項・成果

## ②モックアップ試験計画の具体化 X-6ペネの通過性

### 試験手順とクリアランス

アーム: 実機を使用  
X-6ペネ: 内面形状を実機模擬した模擬体を使用

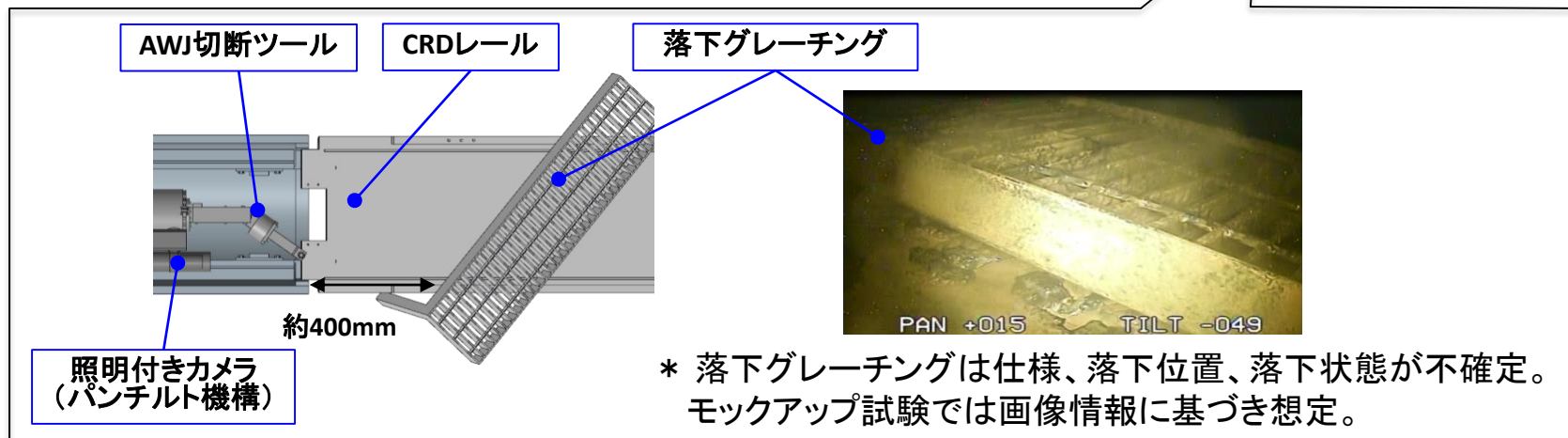
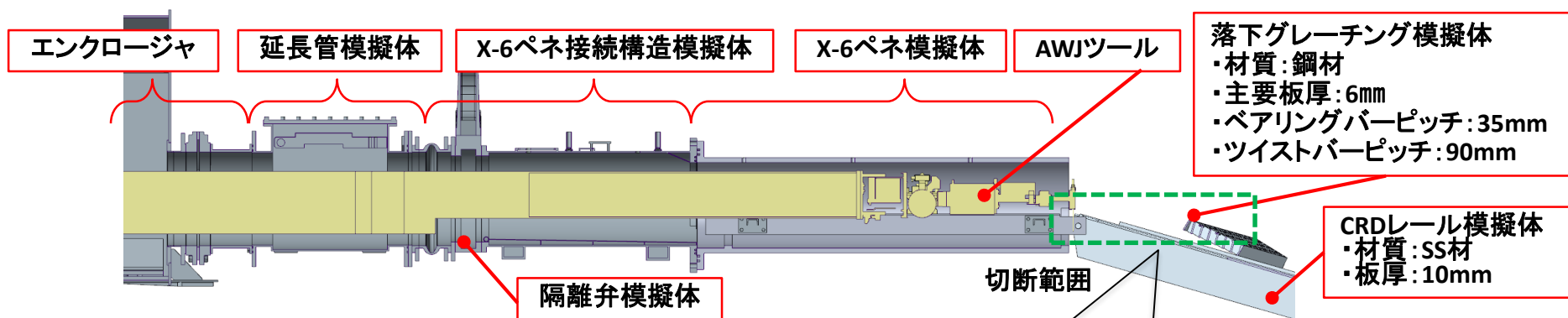


## 4.1 実施事項・成果

### ②モックアップ試験計画の具体化 X-6ペネ出口の障害物撤去

#### 試験の着眼点

- ・X-6ペネ出口の障害物(CRDレール、落下グレーチング)切断、調査用アームの通過性の確認
- ・特に、切断箇所のカメラによる視認性、AWJ反力等によるアーム揺動の影響



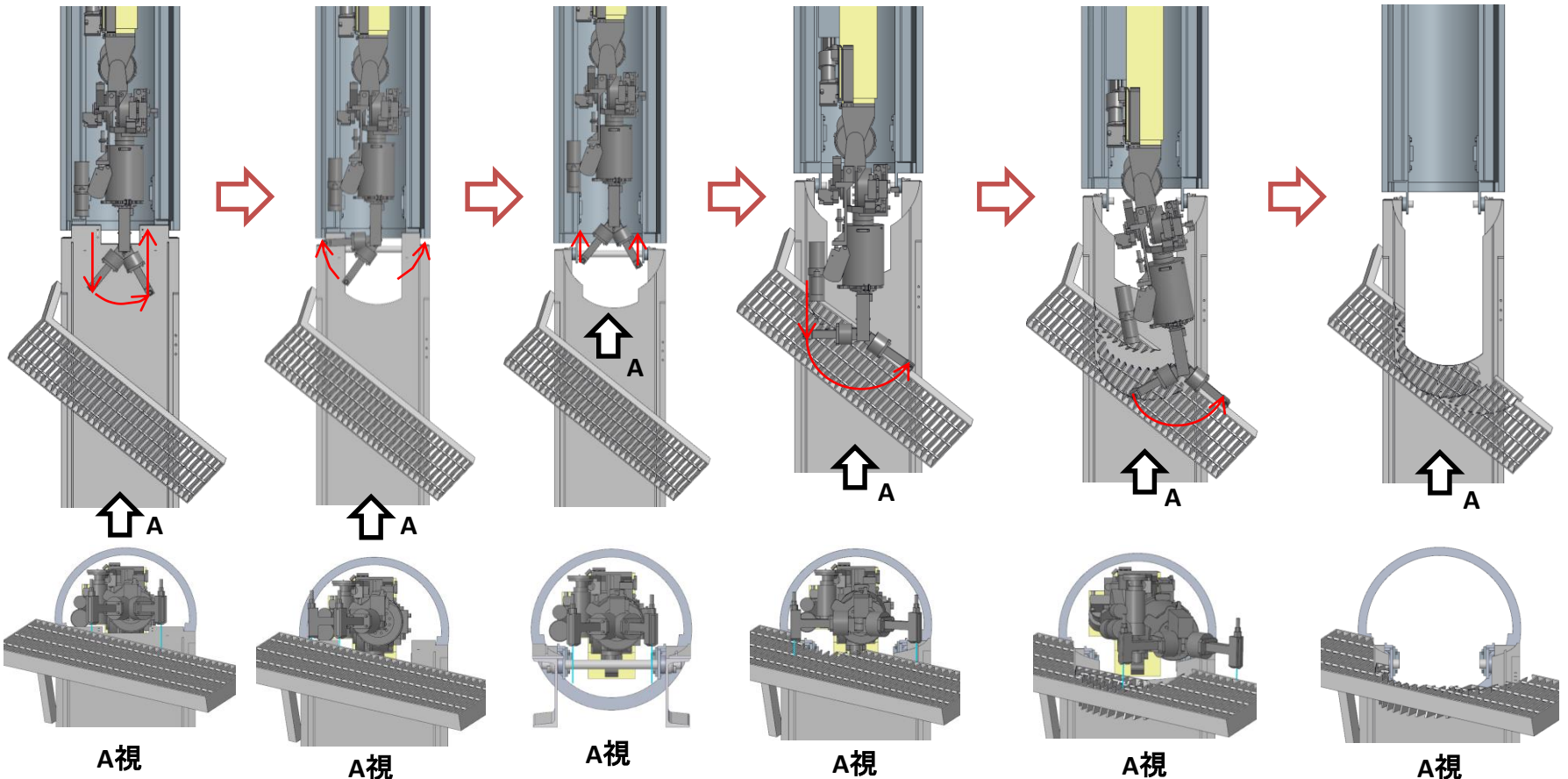
# 4.1 実施事項・成果

## ②モックアップ試験計画の具体化 X-6ペネ出口の障害物撤去

### 試験手順(切断作業)

アーム:実機を使用

切断対象物:形状、材質を実機模擬した模擬体を使用





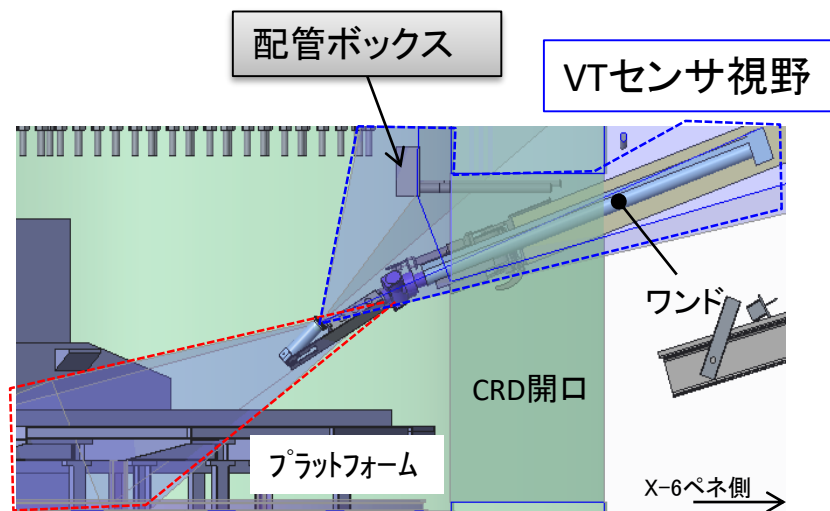
## 4.1 実施事項・成果

### ②モックアップ試験計画の具体化 ペデスタル下部へのアクセス

#### 試験の着眼点

- ・プラットフォームから下側へのアーム(ワンド+センサ)の**アクセス性**
- ・特に、ワンド後端の**カメラの視認性**、プラットフォーム**狭隘部のワンドの運転・制御性**、**クリアランスの確認**

#### I. アームの導入状態

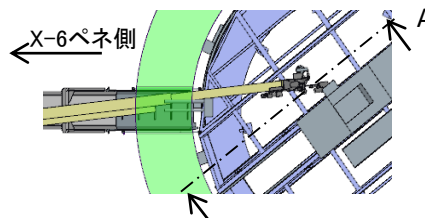


#### アーム部カメラ視野

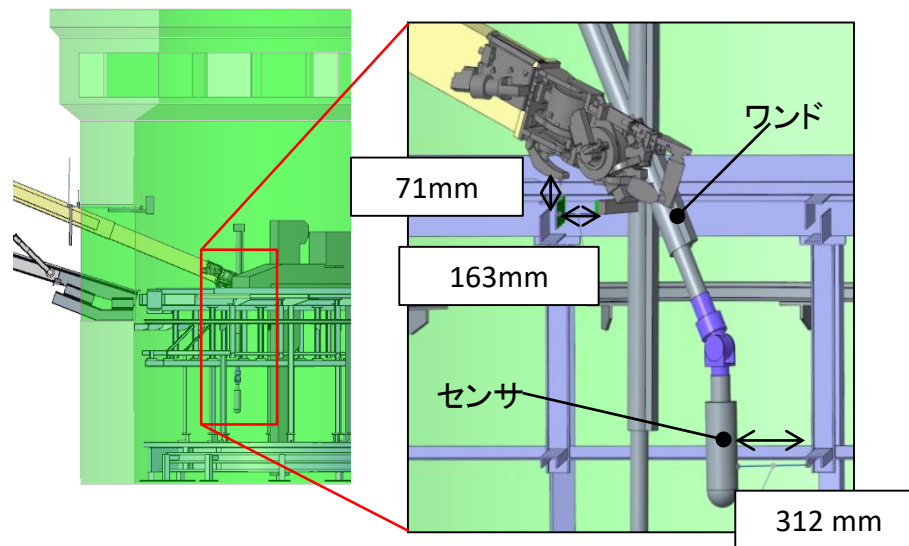
アーム: 実機を使用

PCV内構造物: 形状を実機模擬した模擬体を使用

#### II. 狭隘部クリアランス



#### 狭隘部クリアランス断面(A視)



## 4.1 実施事項・成果

### ②モックアップ試験計画の具体化 デクスター試験

アームの保守はデクスターにより遠隔で実施する。頻度、難易度が高い以下赤字の試験について詳細を説明する。

#### エンクロージャ内 対象作業

#### センサ、ツールとアームの接続

センサ、ツール用ケーブルの交換

アームカメラの交換

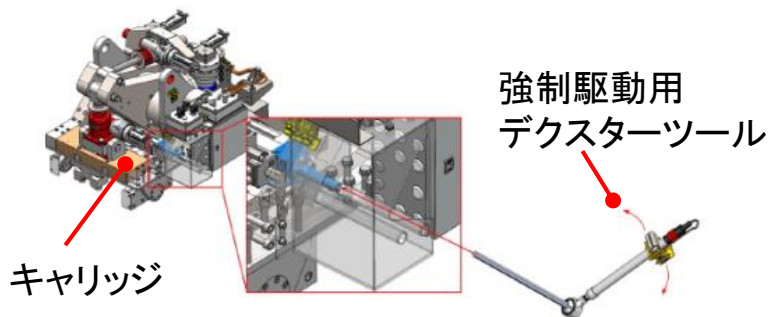
アームの清掃及び除染

エンクロージャ内カメラの交換及び移動/設置

エンクロージャ内へのセンサ等の搬入及び搬出

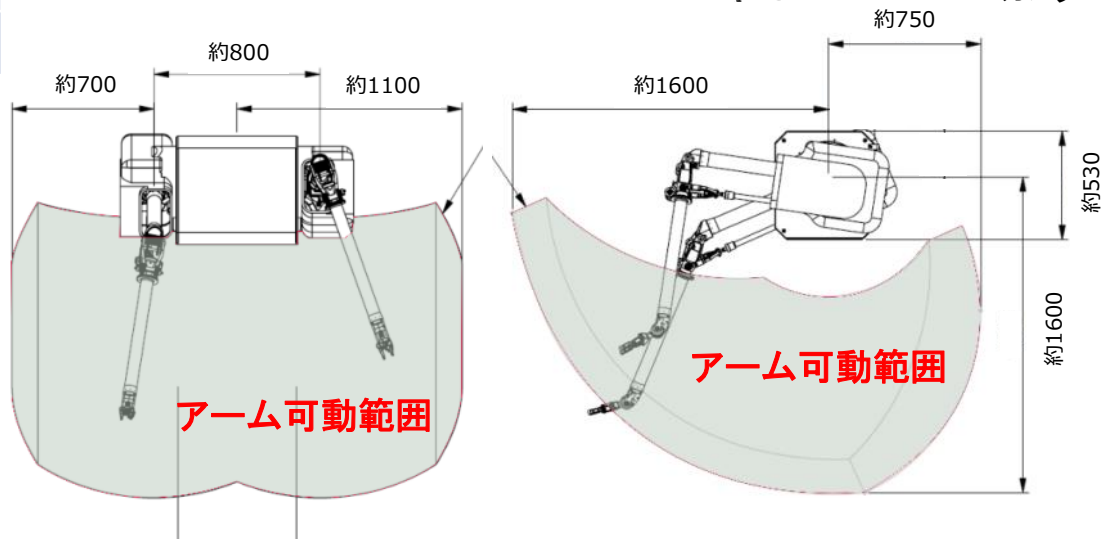
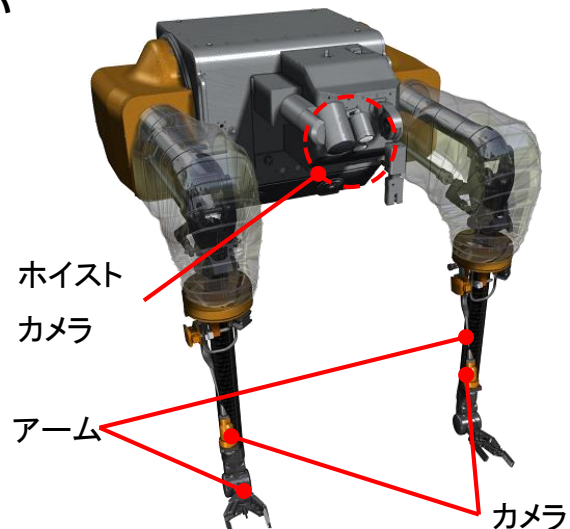
アームキャリッジの強制駆動※

※: キャリッジモータ故障時は、キャリッジを強制駆動してアームを回収



#### <デクスター主要仕様>

- ✓ ペイロード
  - アーム片腕10kg
  - ホイスト100kg
- ✓ アーム可動範囲  
下図参照



## 4.1 実施事項・成果

### ②モックアップ試験計画の具体化 デクスターによるセンサ・ツールとアームの接続

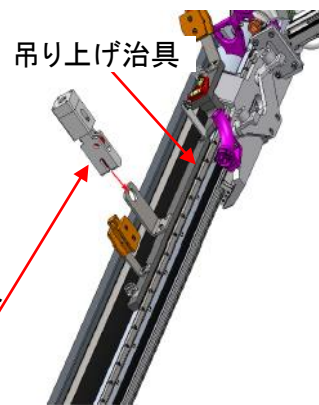
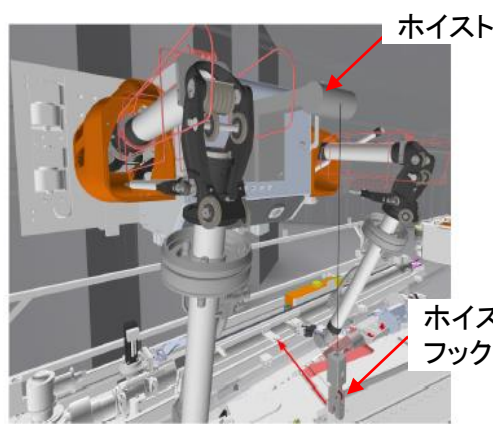
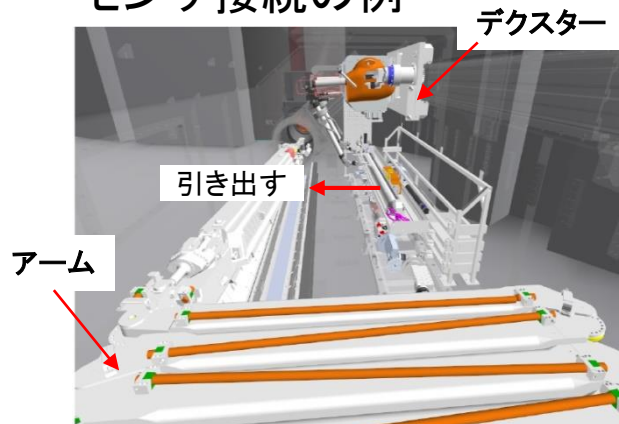
デクスターでセンサ(ワンド含む)・ツールを脱着できること、必要なケーブル及びホースの脱着ができることを確認する。

#### <使用するセンサ・ツールおよび治具>

- ・センサ(4種類:ガンマセンサ、レーザスキャナ、VTセンサ、中性子センサ)
- ・ツール(3種類:AWJツール、AWJグリッパツール、グリッパツール)
- ・ワンド(ツールチェンジャ含む)
- ・ボルトランナー(六角レンチ、工具)、トルクレンチ、クレイドル(センサ輸送治具)



## ②モックアップ試験計画の具体化 デクスターによるセンサ・ツールとアームの接続 センサ接続の例

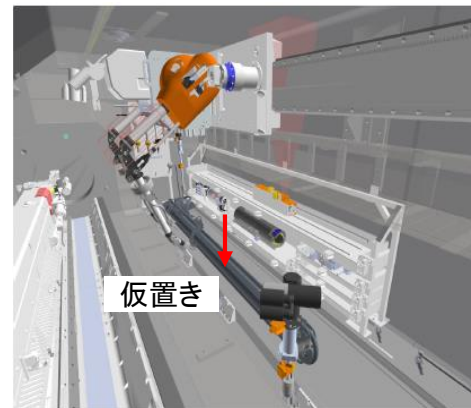
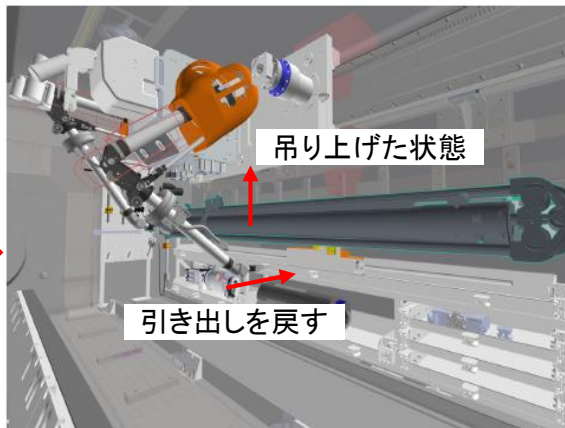
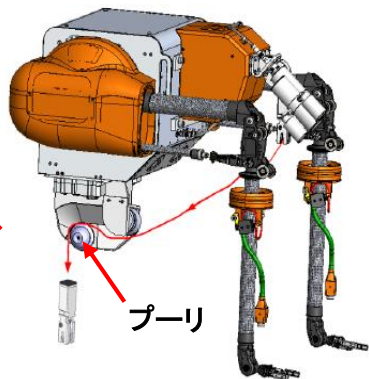


ワンドが収納された引き出しを引き出す  
〈確認項目〉

- ・引き出し把持時のカメラ視野確認
- ・オペレータの姿勢確認

ホイストフックを取り付ける  
〈確認項目〉

- ・フック取り付け時のカメラ視野確認
- ・オペレータの姿勢確認



ホイストワイヤーをプーリにかける  
〈確認項目〉

- ・ワイヤの把持性確認
- ・ワイヤをかける際のカメラ視野確認
- ・オペレータの姿勢確認

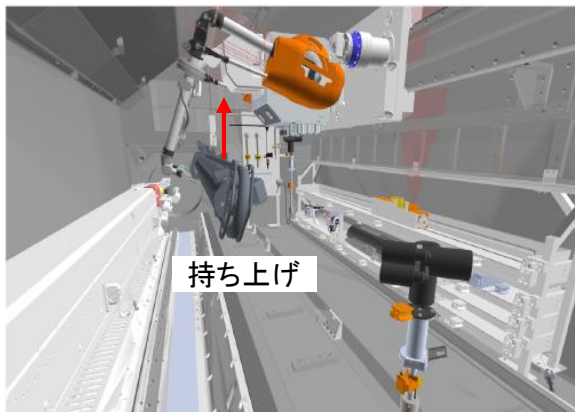
ワンドを吊り上げ、引き出しを戻す  
〈確認項目〉

- ・ワンド吊り上げ時の安定性確認
- ・引き出し把持時の視野確認
- ・ワンドとデクスターの干渉確認

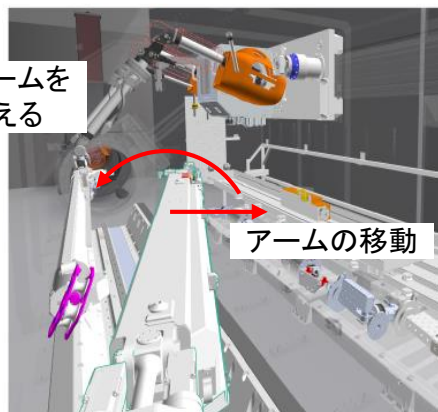
ワンドを仮置きし、ワイヤをプーリから外す  
〈確認項目〉

- ・ワンド吊り下げ時の安定性確認
- ・ワンド仮置き時の安定性確認

## ②モックアップ試験計画の具体化 デクスターによるセンサ・ツールとアームの接続 センサ接続の例(つづき)

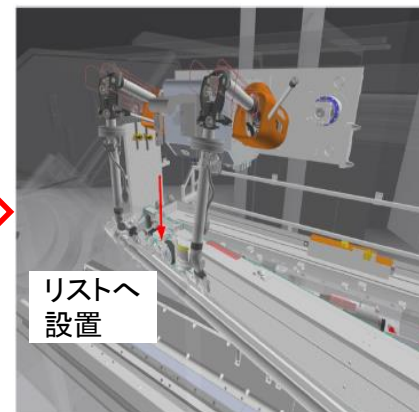


持ち上げ



アームを越える

アームの移動



リストへ設置

ワイヤをプーリから取外しワンドを持ち上げる

アームを越えて設置場所に移動する

ワンドを設置する

〈確認項目〉

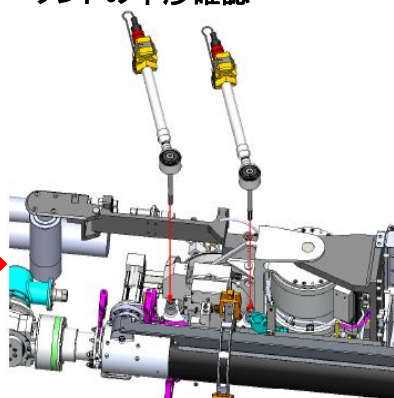
- ・ワンドの把持時の視野確認
- ・オペレータの姿勢確認
- ・ワンドの干渉確認

〈確認項目〉

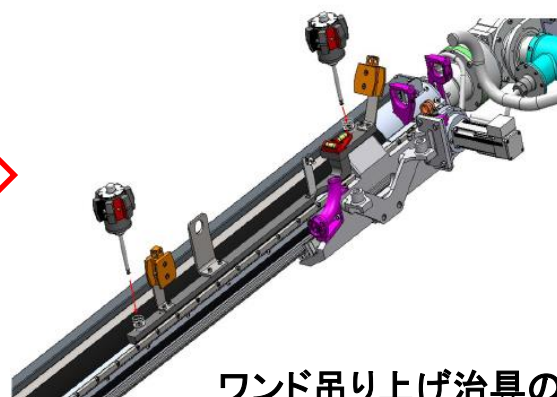
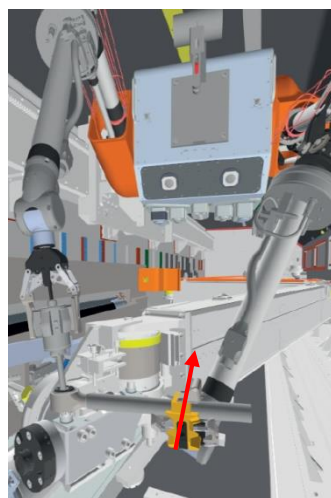
- ・アームとの連携作業性確認
- ・アームとワンドの干渉確認

〈確認項目〉

- ・ワンド取付時の視野確認



ボルトを締め付ける



ワンド吊り上げ治具の取り外し

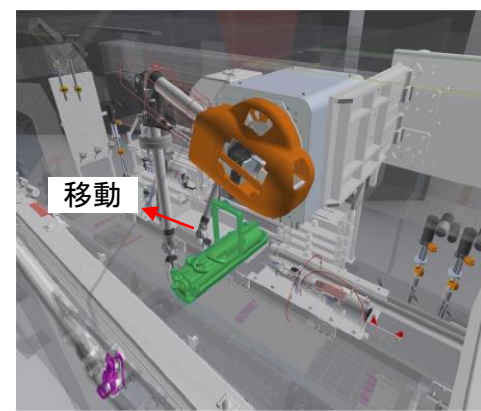
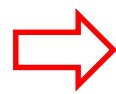
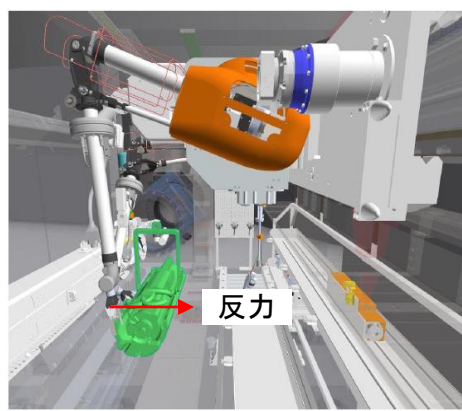
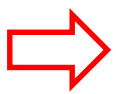
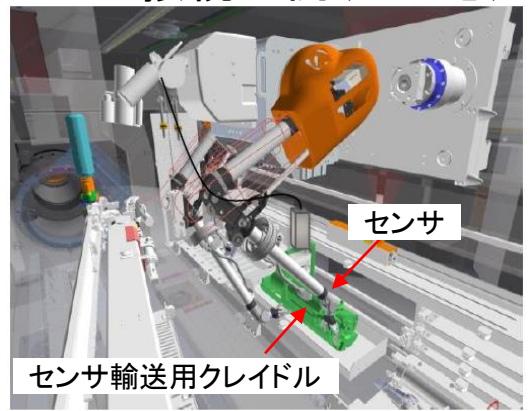
〈確認項目〉

- ・トルクレンチとボルトランナーの同時作業

〈確認項目〉

- ・ボルトランナー作業時の視野確認

## ②モックアップ試験計画の具体化 デクスターによるセンサ・ツールとアームの接続 センサ接続の例(つづき)



ホイストフックを取り付け、クレイドルを把持する

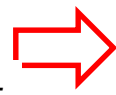
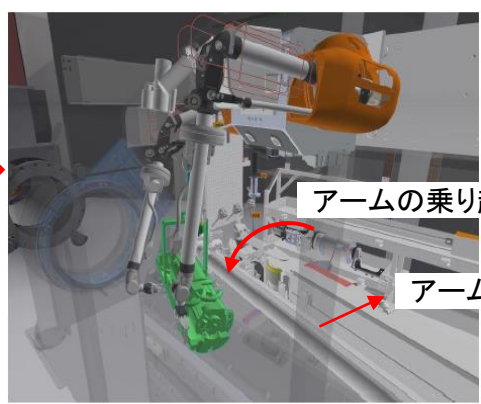
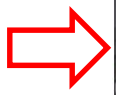
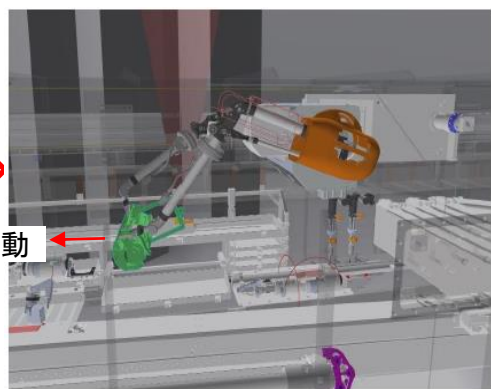
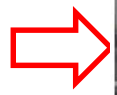
- 〈確認項目〉
- ・フック取り付け時のカメラ視野確認
  - ・オペレータの姿勢確認

クレイドルを持ち上げる

- 〈確認項目〉
- ・クレイドル持ち上げ時のアームに負荷される重量の確認
  - ・ホイストオペレータとの連携作業

クレイドルを把持した状態で移動する

- 〈確認項目〉
- ・移動時の干渉確認



クレイドルを把持した状態で移動するクレイドルを把持した状態でアームを越える

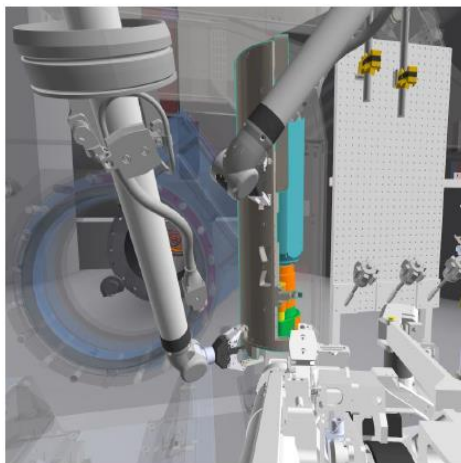
- 〈確認項目〉
- ・移動時の干渉の確認

- 〈確認項目〉
- ・アームとの干渉確認
  - ・アームオペレータとの連携確認

クレイドルを方向転換する

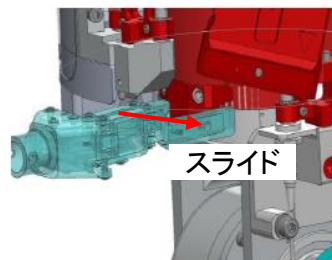
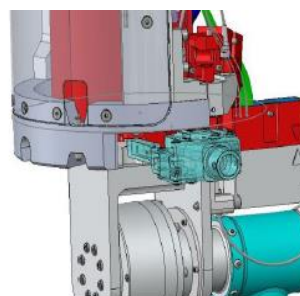
- 〈確認項目〉
- ・センサの回転時の挙動、安定性

## ②モックアップ試験計画の具体化 デクスターによるセンサ・ツールとアームの接続 センサ接続の例(つづき)



クレイドルを把持し、ツールチェンジャに取付ける  
〈確認項目〉

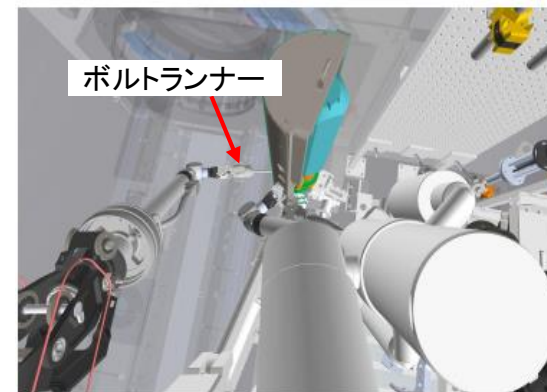
- ・オペレータの姿勢確認
- ・把持時の視野確認
- ・センサ取り付け時の視野確認



センサ取り付け

〈確認項目〉

- ・レバー把持時の視野確認
- ・ロック機構のスライド操作/ロック確認

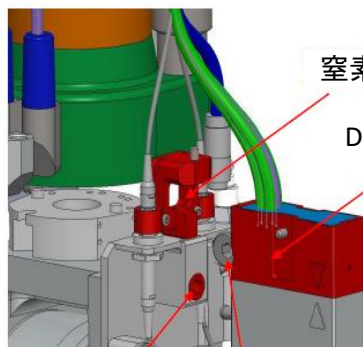


ボルトランナー

センサ取り付け

〈確認項目〉

- ・ボルトランナー使用時の視野確認
- ・ボルトランナーの作業性確認



窒素+光ファイバコネクタブロック

Dサブコネクタブロック

固定ボルト 固定ボルト  
コネクタを接続する

〈確認項目〉

- ・コネクタ取り付け時の視野確認
- ・コネクタの把持性、挿入性確認
- ・固定ボルトの作業性確認

# 目次

1. 研究の背景・目的
  - 1.1 本研究が必要な理由
  - 1.2 本研究の成果の反映先と寄与
2. 実施項目とその関連, 他研究との関連, 目標
3. 実施スケジュールと実施体制
4. 実施内容
  - 4.1 実施事項・成果
    - (1) 調査計画・開発計画の策定
    - (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験
    - (3) 現場状況を考慮したモックアップ試験
    - (4) 作業訓練
    - (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練
    - (6) 現場実証(現場調査)
    - (7) 国内モックアップ試験
  - 4.2 目標に照らした達成度
5. まとめ



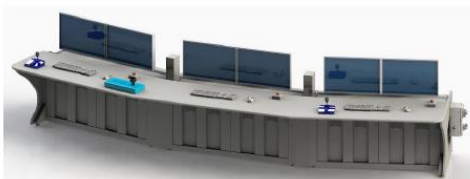
## 4.1 実施事項・成果

### (4) 作業訓練

#### ①全体計画(1/2)

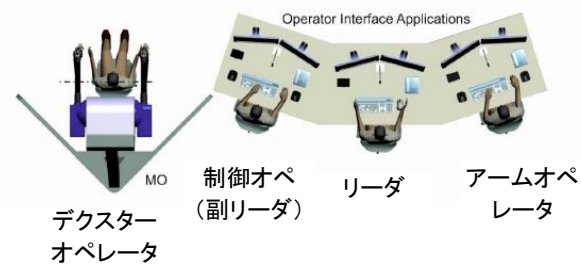
アーム型アクセス装置の操作にあたっては、調査用アーム、デクスターおよび各種ツール・センサなどを操作する**複数のオペレータ**からなる「**チーム**」を構築する

オペレータ	役割	必要な技能
①リーダー	チームの監督および作業手順の策定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・手順の理解と判断力</li> <li>・細かいことへの注意力</li> <li>・ソフトウェアやアプリケーションを使用するスキル</li> </ul>
②制御オペレータ	表示、照明、補助装置の操作 (リーダーの代理)	同上
③アームオペレータ	アームの操作	<ul style="list-style-type: none"> <li>・細かいことへの注意力</li> <li>・ソフトウェアやアプリケーションを使用するスキル</li> </ul>
④デクスターオペレータ	デクスターの操作	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空間認識能力</li> <li>・細かいことへの注意力</li> </ul>



制御ワークステーションのイメージ

監視モニタ(表示, VR, 作業状況)



オペレータの配置イメージ

## 4.1 実施事項・成果

### (4) 作業訓練

#### ①全体計画(2/2)

オペレータが習得すべき技術・範囲は多岐にわたることから、**段階的に難易度を上げていきながら技術を習得させる**(必要なすべての技術を習得したことを確認し資格を与える)

大区分		トレーニング内容
1.事前トレーニング		訓練用マニピュレータを用いてマスタースレーブマニピュレータの操作感覚をつかむ。
2.VRトレーニング	その1	VRシステム(プロトタイプ)を用いて、アームの基本的な操作について学習。
	その2	実機で使用するVRシステムを用いて、すべての作業手順に関するアームの操作や作業手順の修正方法を習得。
3.実機トレーニング	フェーズ1	アーム型アクセス装置のシステム構成および遠隔作業の内容を理解。
	フェーズ2	デクスターの基本操作方法を習得。
	フェーズ3	運転・制御システム及びVRシステムの基本操作を習得。
	フェーズ4	チーム単位で基本的なタスクの実行に係る操作訓練を実施。
	フェーズ5	チーム単位でタスクの修正、構築及びそれらを検証するための各システムの操作訓練を実施。
	フェーズ6	ロボットアームおよびデクスターマニピュレータのコマンド&制御システムの活用方法を習得。
	フェーズ7	アームオペレータのための集中トレーニング。
	フェーズ8	これまでのトレーニングに基づき、オペレータ(チーム単位)のテストを実施。合格者にはオペレータの資格を与える。
	フェーズ9	最終トレーニング。チームワークを深め、アーム型アクセス装置の運転に自信を持たせる。



訓練用マニピュレータによる訓練の様子



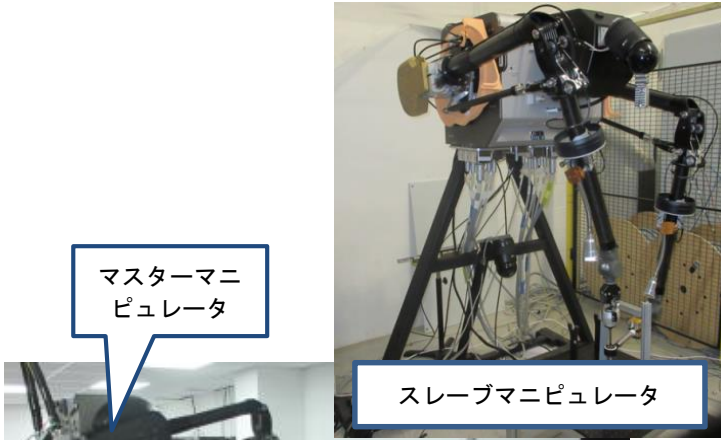
VRシステムの訓練の様子

# 4.1 実施事項・成果

## (4) 作業訓練

### ②作業訓練

実機トレーニング(フェーズ1および2)を実施。デクスターの仕様(装備や可動範囲)について理解を深めるとともに、基本的な操作を習得。



デクスター(実機)の操作

項目	内容	トレーニングの様子
基本動作	コネクタの抜き差し、コップを用いた砂の移替え、迷路のトレースなどデクスター操作の感覚を取得するためのトレーニングを実施	
ツール交換	ボルトランナおよびトルクマルチプライヤを把持し、締め込みなどの作業を行うトレーニングを実施	
ケーブル取回し	ケーブルを棒状の模型に八の字状に配置するトレーニングを実施	

# 目次

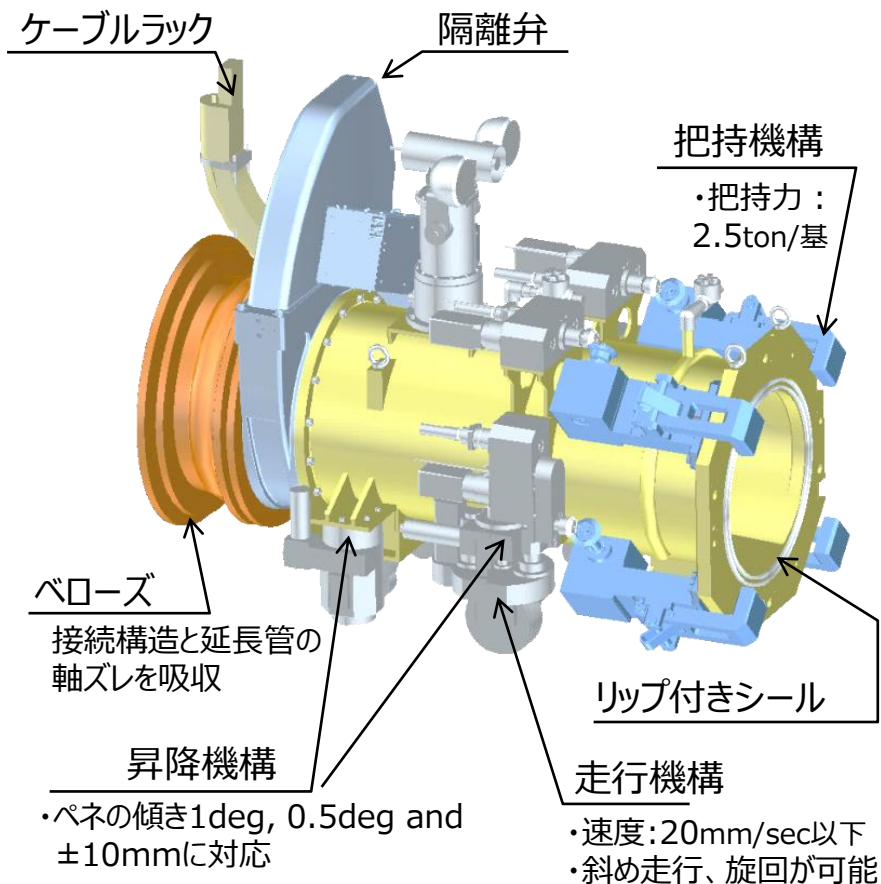
1. 研究の背景・目的
  - 1.1 本研究が必要な理由
  - 1.2 本研究の成果の反映先と寄与
2. 実施項目とその関連, 他研究との関連, 目標
3. 実施スケジュールと実施体制
4. 実施内容
  - 4.1 実施事項・成果
    - (1) 調査計画・開発計画の策定
    - (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験
    - (3) 現場状況を考慮したモックアップ試験
    - (4) 作業訓練
    - (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練
    - (6) 現場実証(現場調査)
    - (7) 国内モックアップ試験
  - 4.2 目標に照らした達成度
5. まとめ

## 4.1 実施事項・成果

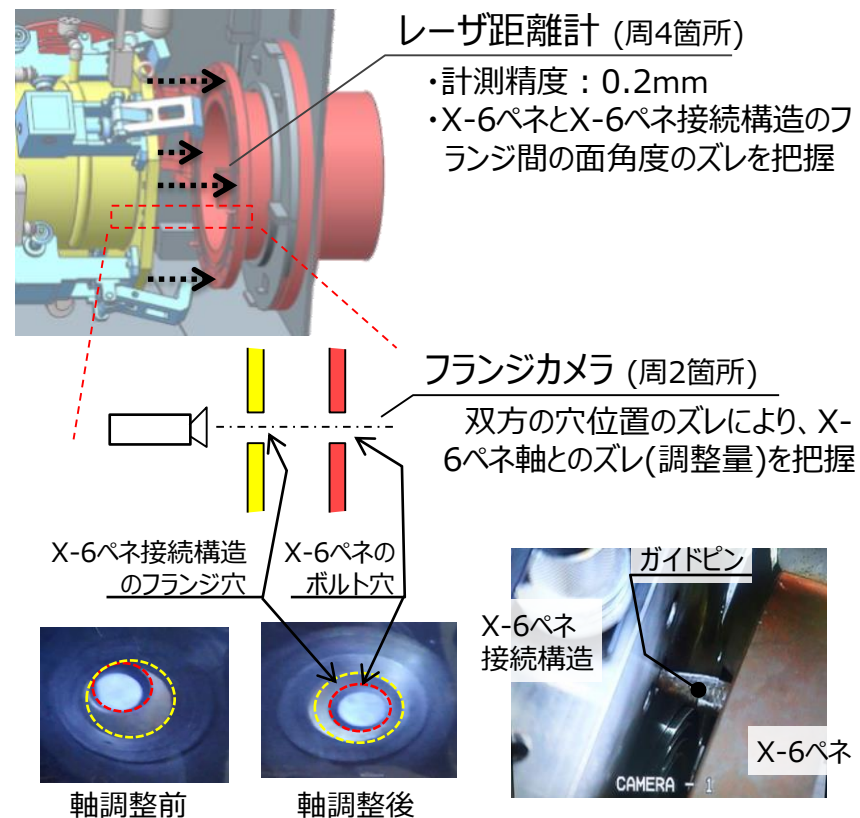
### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ① X-6ペネ接続構造

##### a) 装置機能・仕様(改造前)



寸法	L1850mm×W1079mm×H1466mm
質量	約1.6ton
主要材質	SUS304/アルミ合金
主要機能	把持・接続機能、走行機能、昇降機能(軸調整)、PCVバウンダリ(隔離弁)



## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ① X-6ペネ接続構造

##### b) 隔離部屋組合せ試験概要(2018/12)

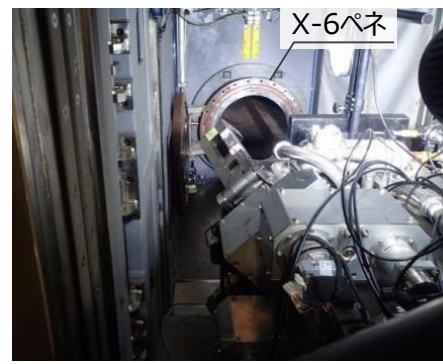
遠隔による自走・軸調整・把持操作、非常時の離脱手順、及び、ケーブル類付帯作業等の一連の作業の成立性見通しを確認。また、作業の信頼性を向上させるため、装置の改良点を抽出。



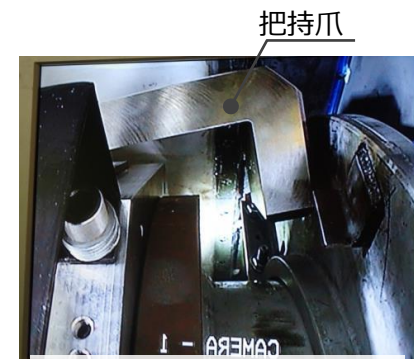
①遠隔自走



ケーブル解線作業



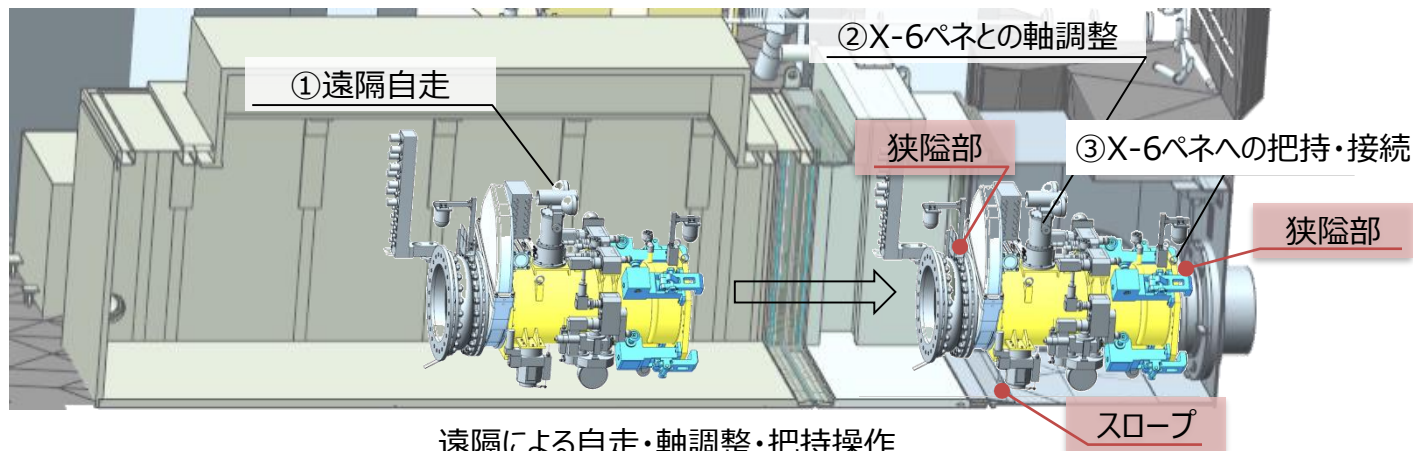
② X-6ペネとの軸調整



③ X-6ペネへの把持・接続



非常時(走行機構故障等)  
のウインチによる牽引



遠隔による自走・軸調整・把持操作

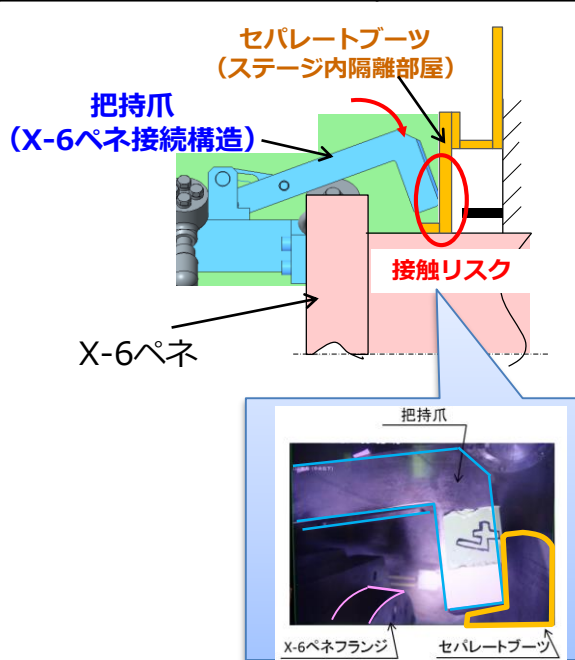
## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ① X-6ペネ接続構造

##### c) 装置の改造内容(1/2)

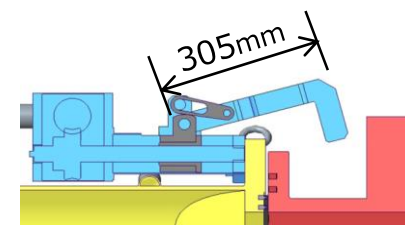
改造項目	改造理由	改造内容
i) 把持爪の短尺化・把持軌道のコンパクト化	把持爪と隔離部屋の狭隘部(セパレートブーツ、同駆動用モータ)とのクリアランス確保(軸調整時の接触回避)	<ul style="list-style-type: none"> <li>把持爪の短尺化: 335mm→305mm</li> <li>把持軌道のコンパクト化</li> </ul>
ii) 運転監視カメラの増設	<ul style="list-style-type: none"> <li>装置と隔離部屋の狭隘部の監視</li> <li>装置の姿勢、位置の把握精度の向上</li> </ul>	前方・後方・側面の運転監視カメラの増設



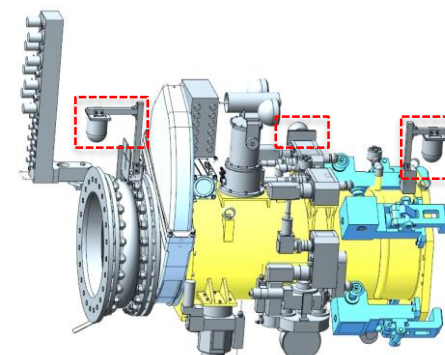
セパレートブーツとの接触リスク



セパレートブーツ駆動用モータとの接触リスク



把持爪の短尺化



運転監視カメラの増設

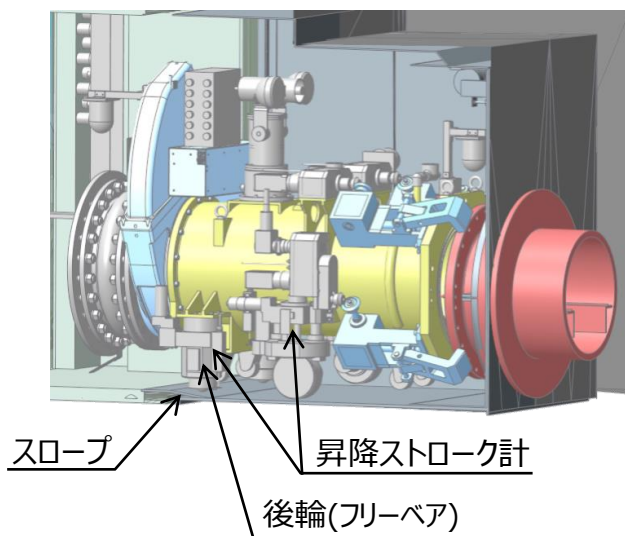
## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

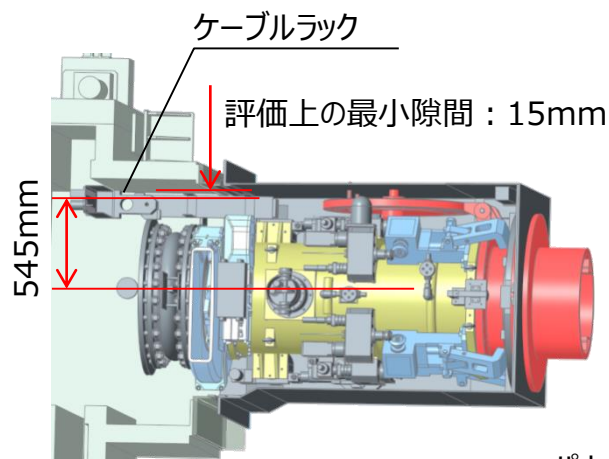
#### ① X-6ペネ接続構造

##### c) 装置の改造内容(2/2)

改造項目	改造理由	改造内容
iii) 昇降ストローク計の追設	スロープ上での軸調整操作性の向上	昇降ストローク計の追設 : 計測精度0.5mm
iv) ケーブルラックのスリム化・パネル化	隔離部屋との狭隘部のクリアランス確保 ケーブル解線・再結線作業の作業性向上	ケーブルラックのスリム化:580mm→545mm(中心軸からの寸法) コネクタ部のパネル化による作業性向上



昇降ストローク計の追加



ケーブルラックのスリム化



ケーブルラックのパネル化

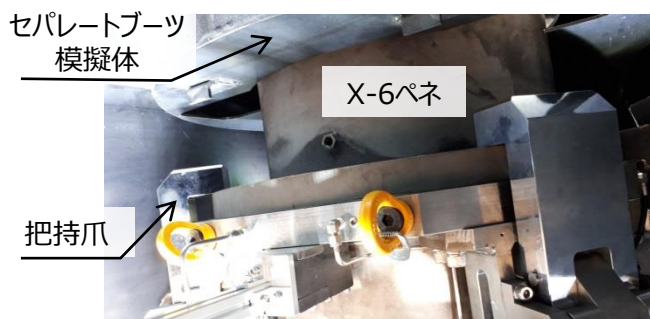


## 4.1 実施事項・成果

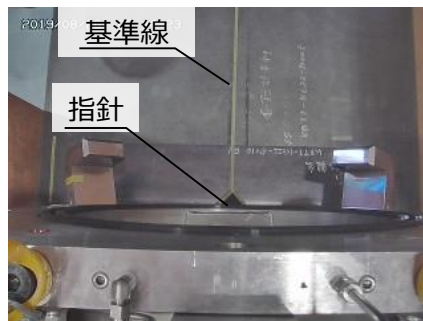
### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ① X-6ペネ接続構造 d) 装置改造後の単体試験結果

検証項目	試験内容/試験条件	判定基準	結果
i) 把持爪の短尺化・把持軌道のコンパクト化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・X-6ペネの据付位置:ノミナル/傾き <math>\pm 1\text{deg}</math>/傾き <math>\pm 0.5\text{deg}</math>・高さ <math>\pm 10\text{mm}</math></li> <li>・X-6ペネ～セパレートブーツ距離: <math>128\text{mm}</math>(最悪(最小)条件)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・X-6ペネ及びセパレートブーツに接触することなく、接近・把持操作が可能であること</li> </ul>	良: 最悪(最小)条件でも約 $10\text{mm}$ のクリアランスを確保して操作を完了
ii) 運転監視カメラによる監視性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・装置と隔離部屋の狭隘部の監視</li> <li>・装置の姿勢、位置の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接近・接触の有無を認識できること</li> <li>・基準線からのズレ(目安 <math>5\text{mm}</math>以内)を認識できること</li> </ul>	良: $5\text{mm}$ 程度のズレを認識できることを確認
iii) 昇降ストローク計の追設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・後輪がスロープ上での軸調整・接続</li> <li>・X-6ペネの据付位置:ノミナル/傾き <math>\pm 1\text{deg}</math>/傾き <math>\pm 0.5\text{deg}</math>・高さ <math>\pm 10\text{mm}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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てX-6ペネとの軸調整・接続が可能であること</li> </ul>	良: ガイドピンとの有意な擦れもなく接続を完了
iv) ケーブルラックのスリム化・作業性向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・隔離部屋内壁面とケーブルラックのクリアランス: <math>15\text{mm}</math>(最小条件)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接触することなく接近・接続できること</li> <li>・解線作業時間: 目標 <math>15\text{分}</math>以内</li> </ul>	良: 接触なし 作業時間約 $8\text{分}$



把持完了状態



運転監視カメラによる基準線の把握



ケーブル解線の作業性向上 (パネル化)

## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

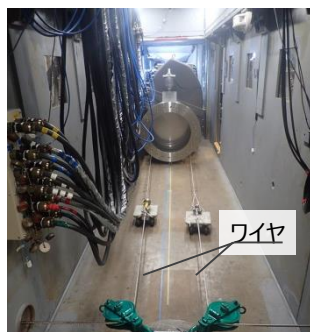
#### ① X-6ペネ接続構造

##### e) 装置改良後の隔離部屋との組合せ試験結果

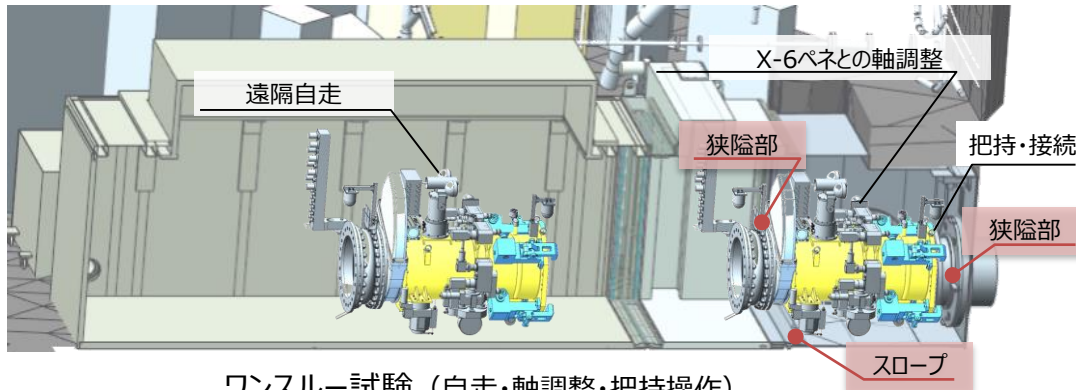
検証項目	改造項目	試験内容/試験条件	判定基準	結果
狭隘部の干渉回避、監視	i、ii、iv	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ワンスルー試験にて各狭隘部の干渉回避、監視性を確認</li> <li>・ペネフランジ～セパレートブーツ間距離：132mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・狭隘部を監視しつつ、狭隘部に接触することなく、一連の操作が完了できること</li> <li>・完了条件：把持完了※1 (把持力：2.5tonf以上/基：モータ電流値3.5A以上)</li> </ul>	良：接触なく把持を完了
軸調整の遠隔操作性	iii	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ワンスルー試験にて軸調整・操作性を確認</li> <li>・X-6ペネの傾き：ノミナル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・位置決めピンがかじることなく、スムーズに接続(挿入)できること</li> </ul>	良：スムーズに接続完了
救援用巻取り装置による非常脱出	一※2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改造後も問題なく非常脱出できることを確認</li> <li>・X-6ペネ接続後、把持爪開の状態</li> <li>・走行機構：電源断</li> </ul>	隔離部屋の内壁への衝突・引っ掛かりがなく、ロボット搬入部屋まで帰還できること	良：衝突・引っ掛かりなく帰還

※1 モータ電流値3.5Aで所定の把持力、X-6ペネフランジとの気密が確保できることを事前試験で検証済

※2 検証済みのウインチによる非常脱出についても、改造に伴う悪影響がないことを試験にて確認



救援用巻取り装置による  
非常脱出



ワンスルー試験 (自走・軸調整・把持操作)



X-6ペネとの軸調整/接近

## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

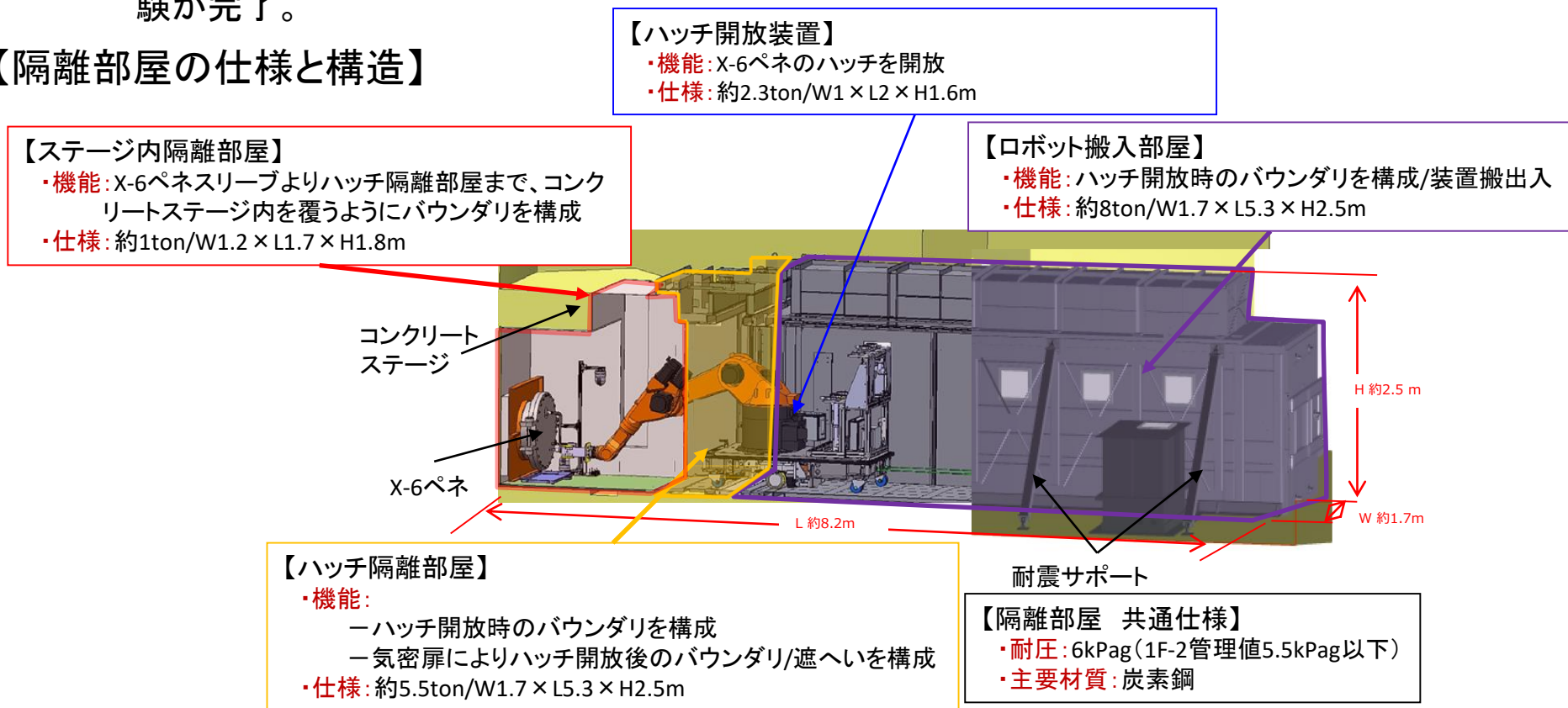
#### ② 隔離部屋(1/2)

【概要】 X-6ペネからPCV内へ調査装置がアクセスするルートを構築するために、隔離部屋※1によりPCVバウンダリを確保しながら遠隔でX-6ペネのハッチを開放。

#### 【令和元年度の進捗状況】

先行の事業※2で開発したステージ内隔離部屋(プロトタイプ)において、現地でのコンクリートステージへの据付裕度向上のための改良(寸法最適化等)を行い、単体試験および組合せ試験が完了。

#### 【隔離部屋の仕様と構造】



※1 隔離部屋:ステージ内隔離部屋、ハッチ隔離部屋、およびロボット搬入部屋の総称

※2 先行の事業:平成28年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発」

## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ② 隔離部屋(2/2)

【試験の状況】 改良したステージ内隔離部屋を用いて、工場内検証試験にて以下を実施。  
また、隔離部屋およびX-6ペネ接続構造との組合せ試験を完了した。

- コンクリートステージへ設置が可能なことを確認
- 耐圧漏えい試験にて目標許容漏えい率を達成することを確認
- 他隔離部屋と組合せた状態で、ハッチ開放装置が問題なく動作することを確認

・試験概要1: ステージ内隔離部屋をコンクリートステージへ設置可能なことを確認

コンクリートステージ

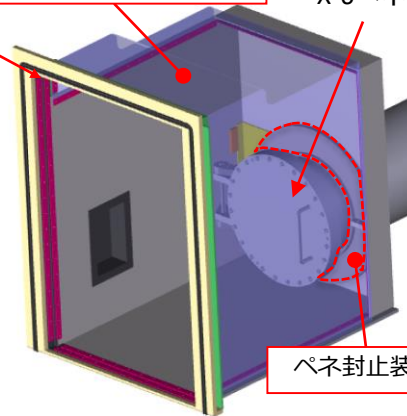
ステージ内隔離部屋



X-6ペネ

シート式アイソレータ

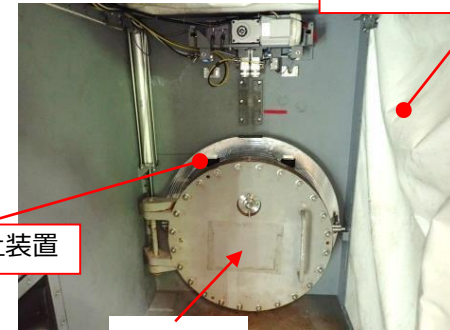
X-6ペネ



ペネ封止装置

・試験概要2: ペネ封止装置をX-6ペネへ遠隔設置可能なことを確認

シート式アイソレータ



ペネ封止装置

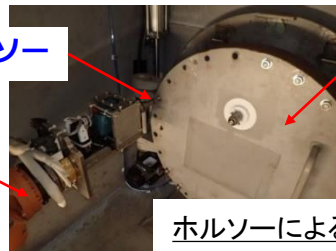
X-6ペネ

・試験概要3: ハッチ開放装置が干渉なく動作可能なことを確認

ホルソー

X-6ペネ

ハッチ開放装置



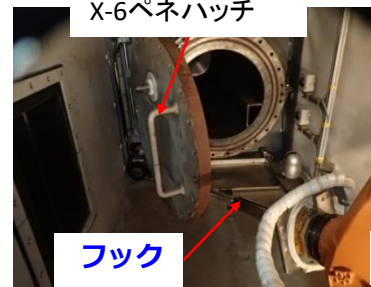
ホルソーによるボルトナット位置決め

X-6ペネハッチ

ハッチ開放装置

フック

フックによるハッチ開放



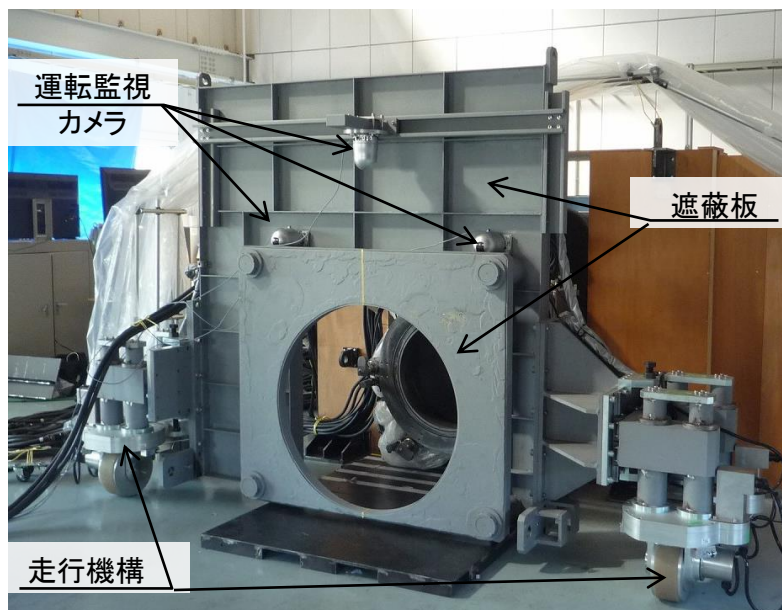
## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ③延長管 — 製作 —

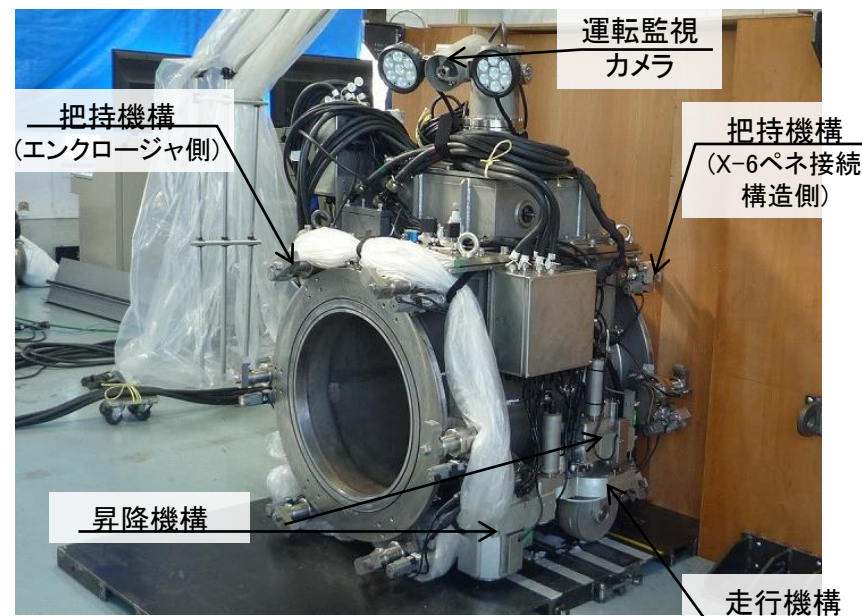
平成30年度の設計検討結果を踏まえ、延長管、追設遮蔽板の製作を完了した。

寸法	L760mm × W3589mm × H2115mm
質量	約3.5ton
主要材質	鉛、炭素鋼
機能	走行機能、遮蔽



追加遮蔽板

寸法	L1163mm × W1110mm × H1656mm
質量	約1.2ton
主要材質	SUS304
機能	把持・接続機能、走行機能、昇降機能 (軸調整)、PCVバウンダリ、遮蔽



延長管

## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ③延長管 — 単体検証 —

設計検討およびモックアップ試験により、各要求仕様に対する適合性を確認した。

作業ステップごとにリスクアセスメントを行い、モックアップ試験で検証すべき項目を抽出した。

項目	要求機能	確認方法	要求仕様／判定基準	結果
PCVバウンダリ維持 (調査時)	調査時にバウンダリが維持されること (漏えい量は、PCV漏えい量に対し十分小さいこと)	漏洩試験	11kPa以上に昇圧後、10分間保持し、著しい減圧がないこと	○：減圧なし
アームの通過性	アームの通過経路を形成すること	寸法検査	内径(フランジ部) 591.6mm(±2mm)	○：592.0mm
遮蔽機能	ペネ開口部からの直接線を遮蔽し、調査装置据付、撤去時に有人作業が可能なレベル(BGレベル)とすること	寸法検査	延長管 遮蔽体 70mm以上	○：73mm
			追設遮蔽板 50mm以上	○：55mm
遠隔操作	気密扉開放後、遠隔操作でX-6ペネ接続構造に接近し、接続(バウンダリ、アーム通過経路形成)できること	動作試験	延長管 把持力が2667N/機以上あること	○：2773N/機以上
			延長管 走行、旋回、昇降が可能であること	○：走行：可 旋回：可、昇降：可
			追設遮蔽板 走行、旋回が可能であること	○：走行：可 旋回：可
寸法	エンクロージャ据付時の引き回しスペースの制限から、全長約1m以内	寸法検査	延長管 全長 ：1000mm(−4～0mm)	○：999mm
耐放射線性	設置期間中の耐放射線性を確保すること	メーカー保証値/耐放射線性試験	設置期間及び設置場所の空間線量率に基づく	○：耐放射線性あり

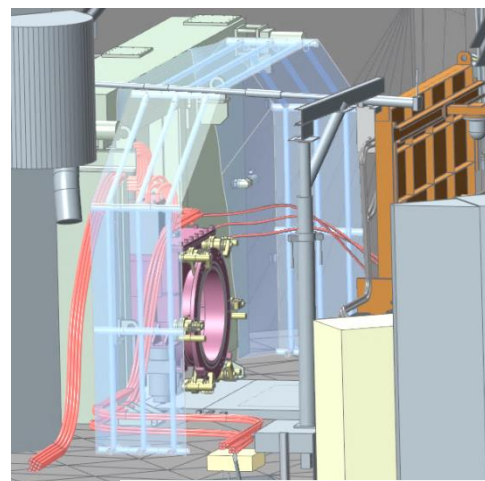
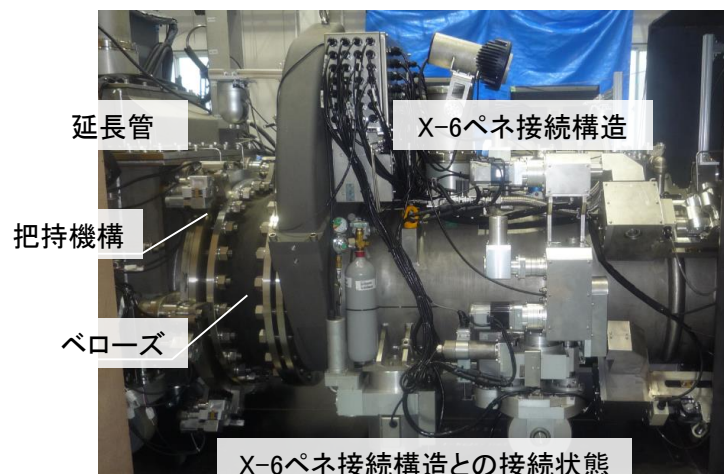
## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ③延長管 — モックアップ試験 — <延長管本体>

基本操作、作業性確認のモックアップ試験の代表例として、延長管の遠隔による据付試験の確認結果を示す。

No..	作業手順	検証項目	試験内容/試験条件	判定基準	結果
1-6	延長管の自走・接近・軸調整	・狭隘部(気密扉開口)の通過性、遠隔操作性 ・X-6ペネ接続構造のケーブルとの干渉回避(ケーブル処理方法)	気密扉開口/延長管クリアランス ・ノミナル:60mm ・最小:28mm(ペネの水平方向の振れ(1deg)及び隔離部屋据付精度の最悪条件)	気密扉及びX-6ペネ接続構造のケーブルと干渉しないこと	○:25mm程度のクリアランスを確認
		・ケーブルマネジメント(無人)の案内性,方式検証	・ケーブルマネジメントによるケーブルの案内性と最適な方式を検証	延長管の自走性を阻害しないこと	○:適切に案内されることを確認
		・スキッド/隔離部屋の溝幅、段差に対する走行性	溝幅:5mm 段差:2mm	適切に自走できること	○:問題なく走破できることを確認



据付後のケーブル状態(ケーブルマネジメント)



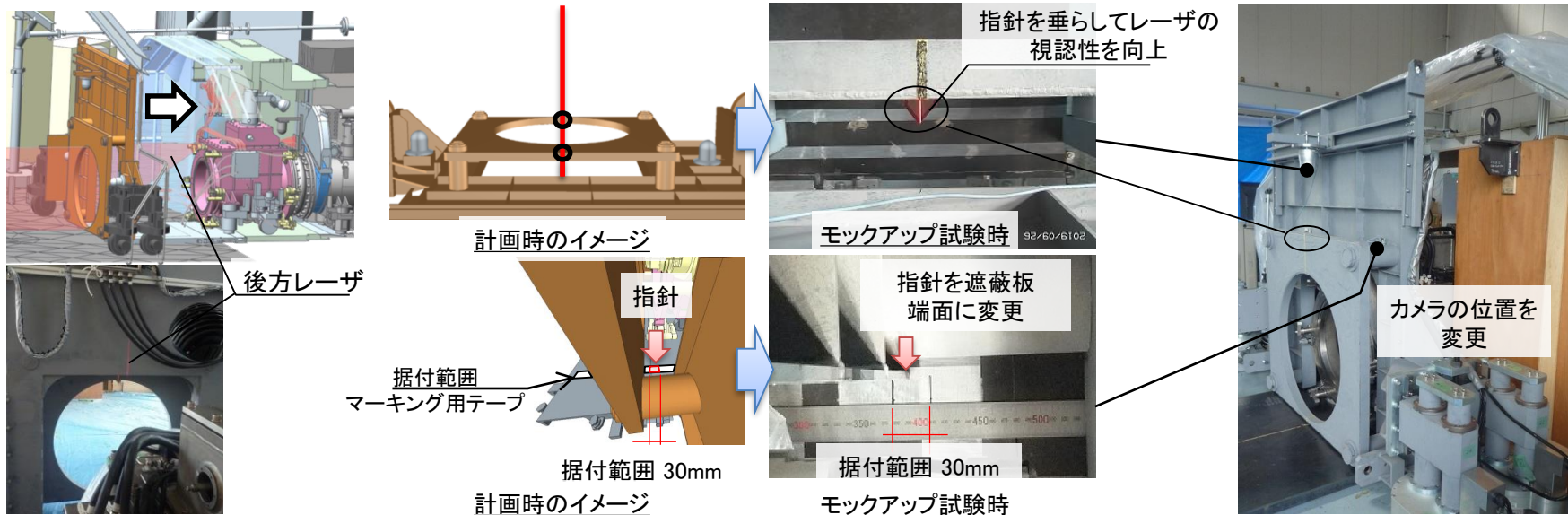
## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ③延長管 — モックアップ試験 — <追設遮蔽板>

追設遮蔽板の遠隔による据付試験の確認結果を示す。また、試験結果を踏まえ、指針やカメラ位置を改善した。

試験No.	作業手順	検証項目	試験内容/試験条件	判定基準	結果
1-8-1	追設遮蔽板据付(接近)	・追設遮蔽板の自走性, 自走位置の把握	・延長管高さ: ノミナル ・延長管高さ: -35mm~+35mm	・移動カメラ, 遮蔽板カメラで接近状態が監視できること ・レーザと中心マーキングが一致していること	○: 指針を追加してレーザとの一致視認性を改善した
		・ケーブルマネジメント	・追設遮蔽板の設置位置: 289mm~259mm	・追設遮蔽板の自走性を阻害しないこと	○: 自走性を阻害せず
1-8-2	追設遮蔽板据付	・延長管, 気密扉, ケーブルとの干渉 ・据付位置の確認方法		・遮蔽板カメラにて判定できること ・所定の位置(30mm範囲)に据付できること	○: カメラの位置を変更し, 指針を遮蔽板端面に変更した





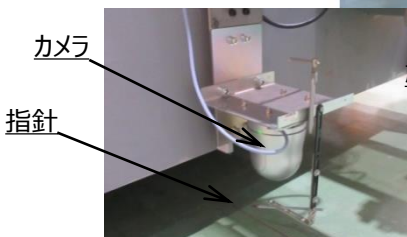
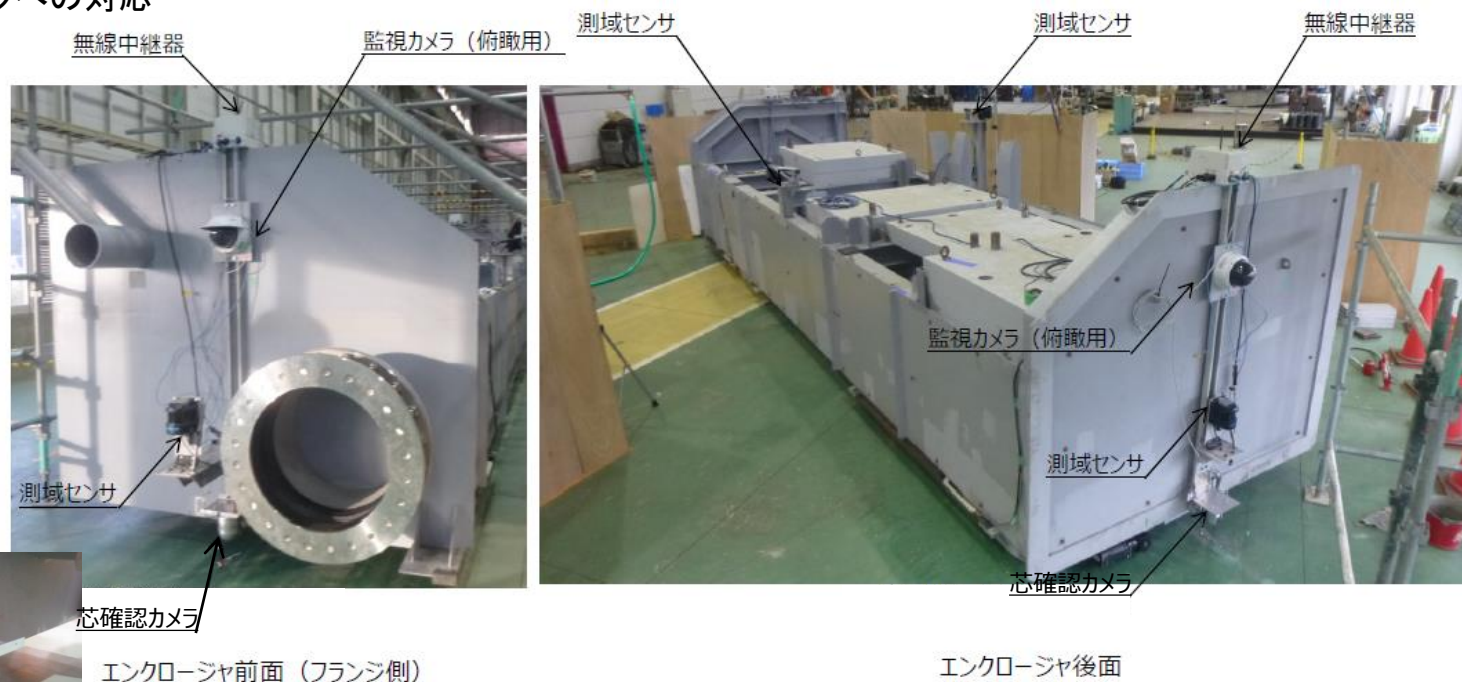
## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ④搬送台車 -モックアップ試験の実施(概要)-

遠隔搬送システムの基本性能確認を実施し、システム全体の連携動作を実機模擬したモックアップ搬送ルート(エンクロージャの模擬体含む)で確認を行うことにより、実機に則した搬送手順を確立。また、エンクロージャの据付/撤去手順も確立させる(目的)

- ・遠隔搬送手順の確立
- ・据付/撤去手順の確立
- ・非常時及びリスクへの対応



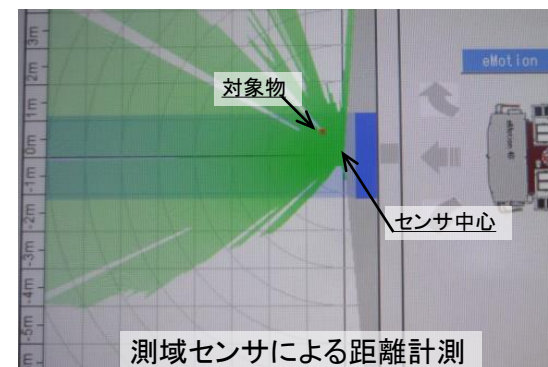
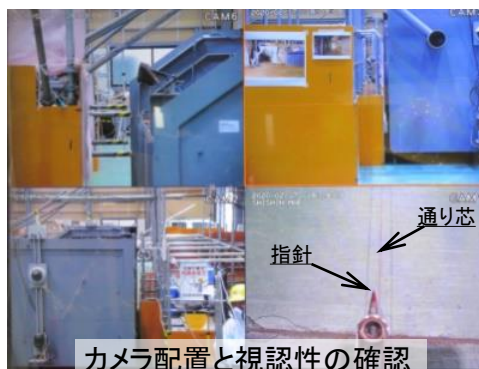
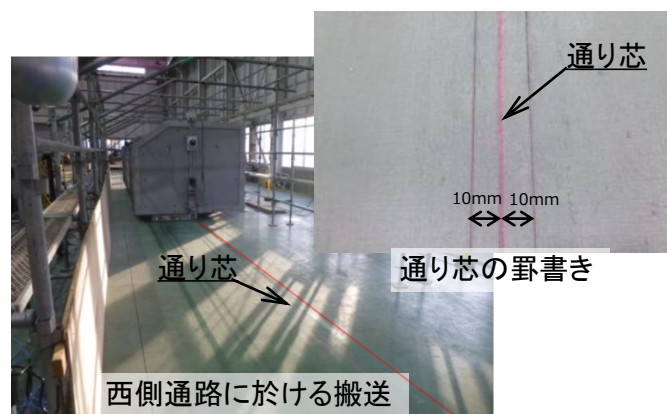
芯確認カメラ (エンクロージャ前後に配置)

## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ④搬送台車 -モックアップ試験結果(搬送)-

手順	検証項目	試験内容/試験条件	判定基準及び確認項目	結果
遠隔搬送	芯確認カメラの視認性と配置	通り芯(西側通路通り芯罫書き、北西エリア据付基準線罫書き)の視認性を確認し、以下の条件で走行可能であることを確認する。 ・罫書き幅: 20mm ・搬送速度: 35mm/s	運用速度である35mm/sの走行に於いて、指針が視認可能であり、20mm幅の範囲内に指針をおさめながら走行可能であること。	○:運用速度に於いて走行可能。
	固定カメラの視認性と配置	各搬送手順に於いて狭隘部のクリアランスの視認性を確認し、固定カメラの配置位置及び台数を決定する。	・各走行手順に於いて、狭隘箇所が視認可能であること。 ・固定カメラの配置決定を行うこと。	○:・狭隘箇所が視認可能であることを確認。 ・固定カメラの配置決定。
	測域センサ応答性確認	・測域センサによる位置確認方法の確立 ・測域センサの検知範囲の確認	・測域センサによる測定距離(水平方向)と実測との誤差が50mm以内であること。 ・各搬送手順に於いて、障害物が一定以上近づくと測域センサが検知し、エンクロージャが停止すること。 ・西側通路37.5mmのクリアランス箇所に於いて、障害物をセンサが検知すること。停止するセンサの設置角度及び検知範囲を決定すること。	○:実測との誤差(水平方向)は50mm以内であった。 ○:各搬送手順に於いて、誤操作を想定し、障害物に接近させると、測域センサが検知して停止した。 ○:モックアップの走行試験より、測域センサの設置角度及び検知範囲を決定。

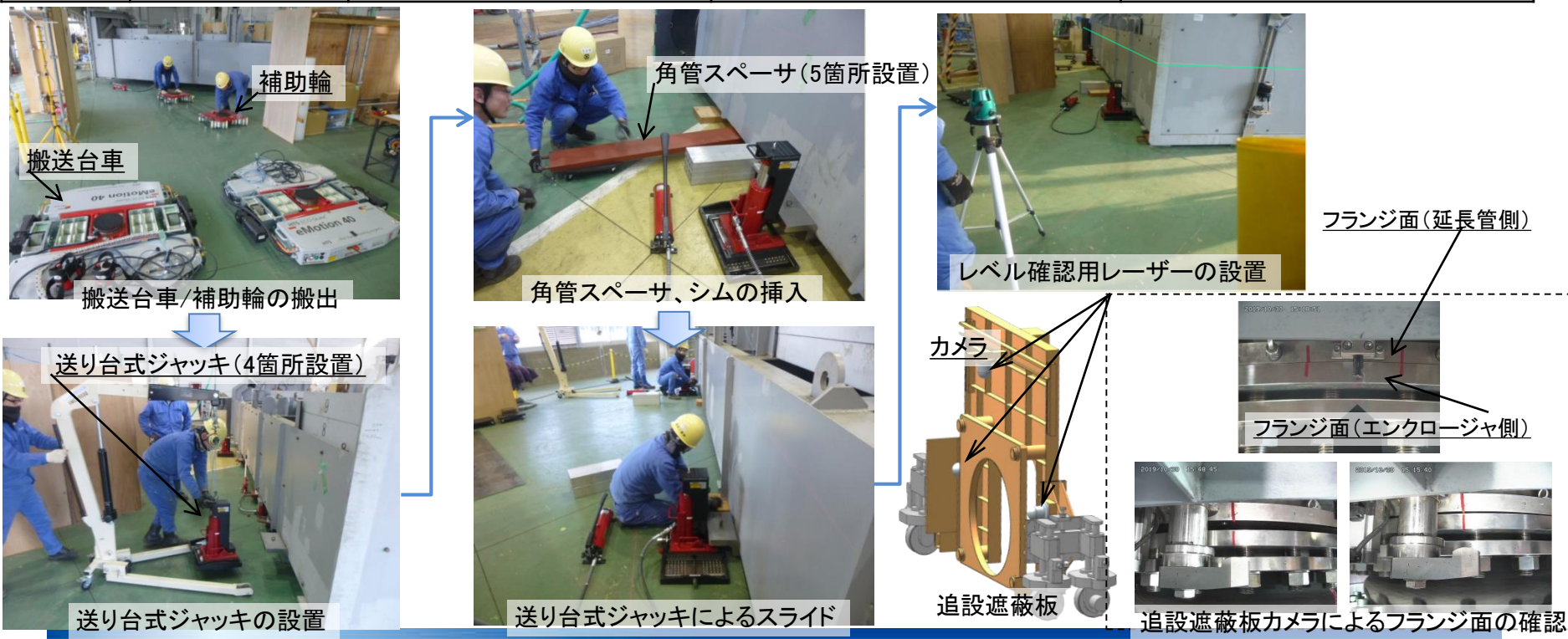


# 4.1 実施事項・成果

## (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

### ④搬送台車 -モックアップ試験結果(据付/撤去)-

手順	検証項目	試験内容/試験条件	判定基準及び確認項目	結果
据付	据付の成立性	エンクロージャ据付手順の成立性を確認する。 ・送り台式ジャッキの操作性 ・カメラによるフランジ面の視認性	基本手順が成立すること。 ・フランジ面誤差: ±2mm以内(上下方向、左右方向) ・フランジ間距離: 5mm以内 ・エンクロージャ本体の傾き(エンクロージャ水平度): 2mm以内(左右方向、前後方向) ・追設遮蔽板カメラにてフランジ面(マーキング)を視認可能であること。	○:基本手順の成立性を確認。



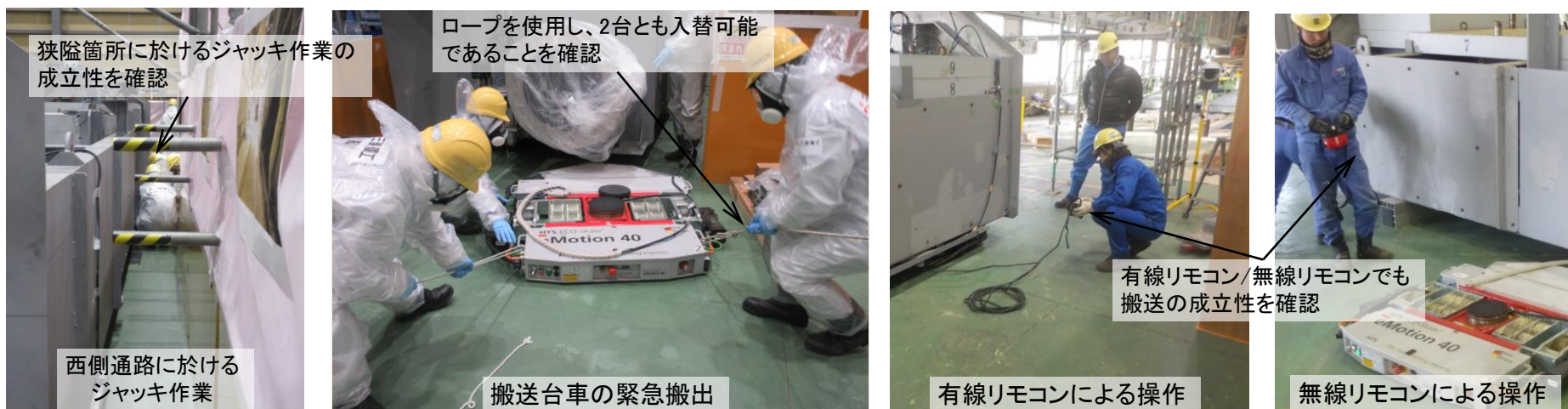
## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ④搬送台車 -モックアップ試験結果(リスク対応)-

手順	検証項目	試験内容/試験条件	判定基準	結果
リスク対応	搬送台車の故障	搬送台車故障時のリスクを想定し、搬送台車の入替作業成立性を確認する。 (西側通路狭隘部走行時を想定)	西側通路の狭隘部に於いて、搬送台車入替作業(ジャッキ作業)が成立すること。	○:入替作業が可能であることを確認
	搬送台車のバッテリー切れ	搬送台車のバッテリー切れを想定し、搬送台車の入替作業成立性を確認する。 (西側通路狭隘部走行時を想定)	西側通路の狭隘部に於いて、搬送台車入替作業(ジャッキ作業)が成立すること。	○:入替作業が可能であることを確認。
	遠隔無線通信不良/不可	遠隔無線通信不良/不可を想定し、無線リモコン/有線リモコン操作への切り替え作業と操作の成立性を確認する。(※) (西側通路狭隘部走行時を想定)	・無線リモコン/有線リモコン設置作業が成立すること。 ・無線リモコン/有線リモコンによる操作が成立すること。	○:・無線リモコン/有線リモコン設置作業が可能であることを確認。 ・無線リモコン/有線リモコン操作が成立することを確認。

※:通常は無線LAN中継器を経由して操作する。バックアップとして、本体の切り替えスイッチにより、無線リモコンや有線リモコンへの操作の切り替えを行う。



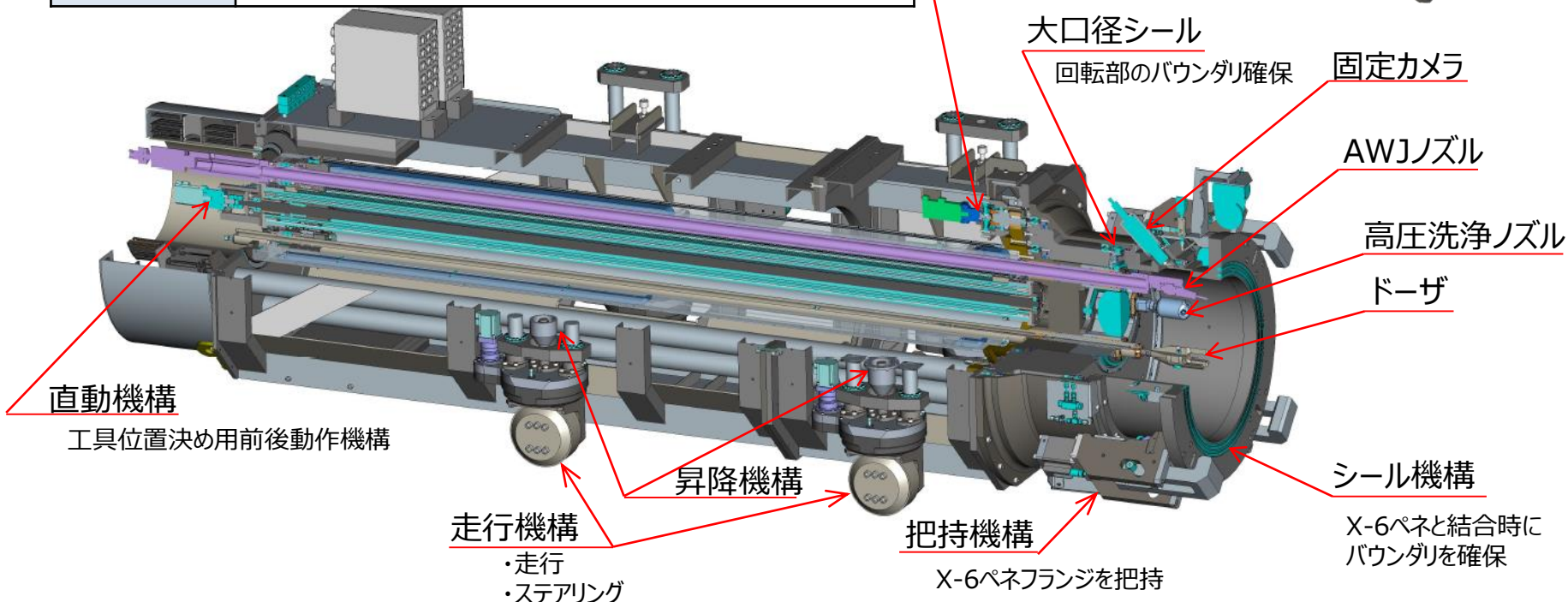
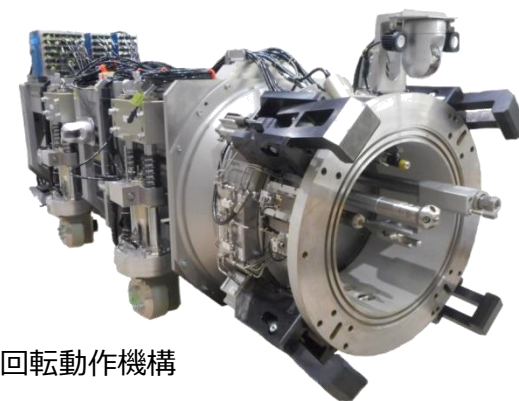
## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ⑤ 堆積物除去装置 — 製作 —

平成30年度の設計検討結果を踏まえ、堆積物除去装置の製作を完了。

寸法	W1,090×L3,975×H1,280mm
質量	約2.9ton
主要材質	SUS304/アルミ合金/炭素鋼
機能	把持・接続機能, 走行機能, 昇降機能(軸調整), 堆積物除去機能 (高圧洗浄, AWJ, ドーザ)



## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ⑤ 堆積物除去装置 — モックアップ試験 —

基本操作，作業性確認のモックアップ試験の代表例として，堆積物除去性能の確認結果を示す。

検証項目	試験内容／試験条件	判定基準	結果
堆積物除去性能	・高圧洗浄により堆積物の除去が可能か確認する	・堆積物を除去可能なこと	○：除去可能
	・アーム型アクセス装置の通過範囲の確保は可能か	・アーム通過範囲の堆積物を除去可能なこと	○：除去可能



高圧洗浄前



高圧洗浄前



レールガイド AWJ作業状況(レールガイド切断)



高圧洗浄後



高圧洗浄後



通過範囲確保

(通過範囲外の底部ケーブルも除去した状態)

## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ⑤ 堆積物除去装置 — モックアップ試験 —

リスク対策として、装置仕様範囲外の対応性について確認した。

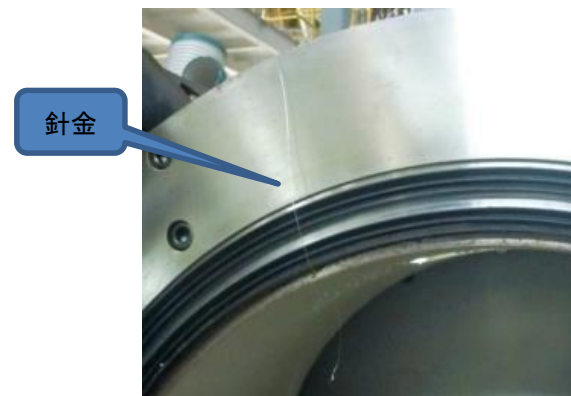
検証項目	試験内容／試験条件	判定基準	結果
装置仕様外であった場合の対応範囲の確認	・X-6ペネフランジの傾き: $\pm 1^\circ$	・接続操作および気密が確保できること	○: 正常に把持(接続)を完了し、気密を確保できた
	・X-6ペネフランジの位置ずれ: $\pm 10\text{mm}$	・接続操作および気密が確保できること	○: 正常に把持(接続)を完了し、気密を確保できた
	・模擬固着物(シリコンシーラント、エポキシパテ等)を除去可能か	・固着物を除去可能なこと	○: アブレスイブを入れないWJで除去できた
	・X-6ペネフランジ面に異物(針金)を置き、どこまで気密を確保できるか確認する	・装置接続後に気密を確保できること	○: $\phi 0.3\text{mm}$ まで気密を確保できた



模擬固着除去前



模擬固着除去後



気密部の異物の影響確認

## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ⑥ ワンスルー試験 — 目的・着眼点 —

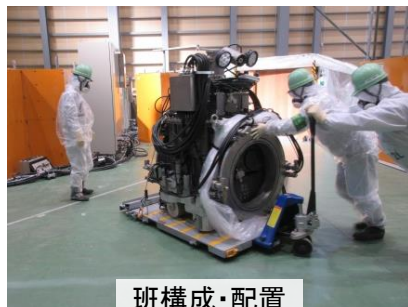
モックアップ試験にて検証した各作業手順に加え、作業間の付帯作業(ケーブル敷設、監視カメラ設置等)を含めたワンスルーの現地作業性検証を行い、所要時間の計測、改善点の洗い出しを行った。

作業性検証にあたっては、以下の点を考慮・模擬した。

- ・点群データおよび実測に基づくR/B(原子炉建屋)内干渉物模擬
- ・班構成、作業員配置及び動線
- ・遠隔であることによる視認性、通信・監視モニタ
- ・放管装備、チェン징エリア
- ・汚染拡大防止策



ワンスルー試験の全景



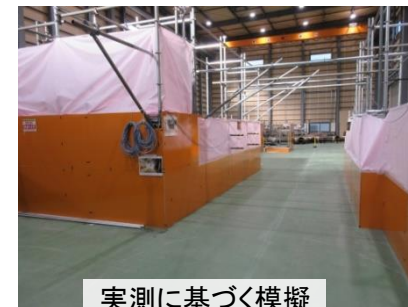
班構成・配置



作業員動線



付帯作業(精線)



実測に基づく模擬



監視カメラの配置・視認性確認



目隠し

通信機器使用

視認性模擬



グリーンハウス

汚染拡大防止策



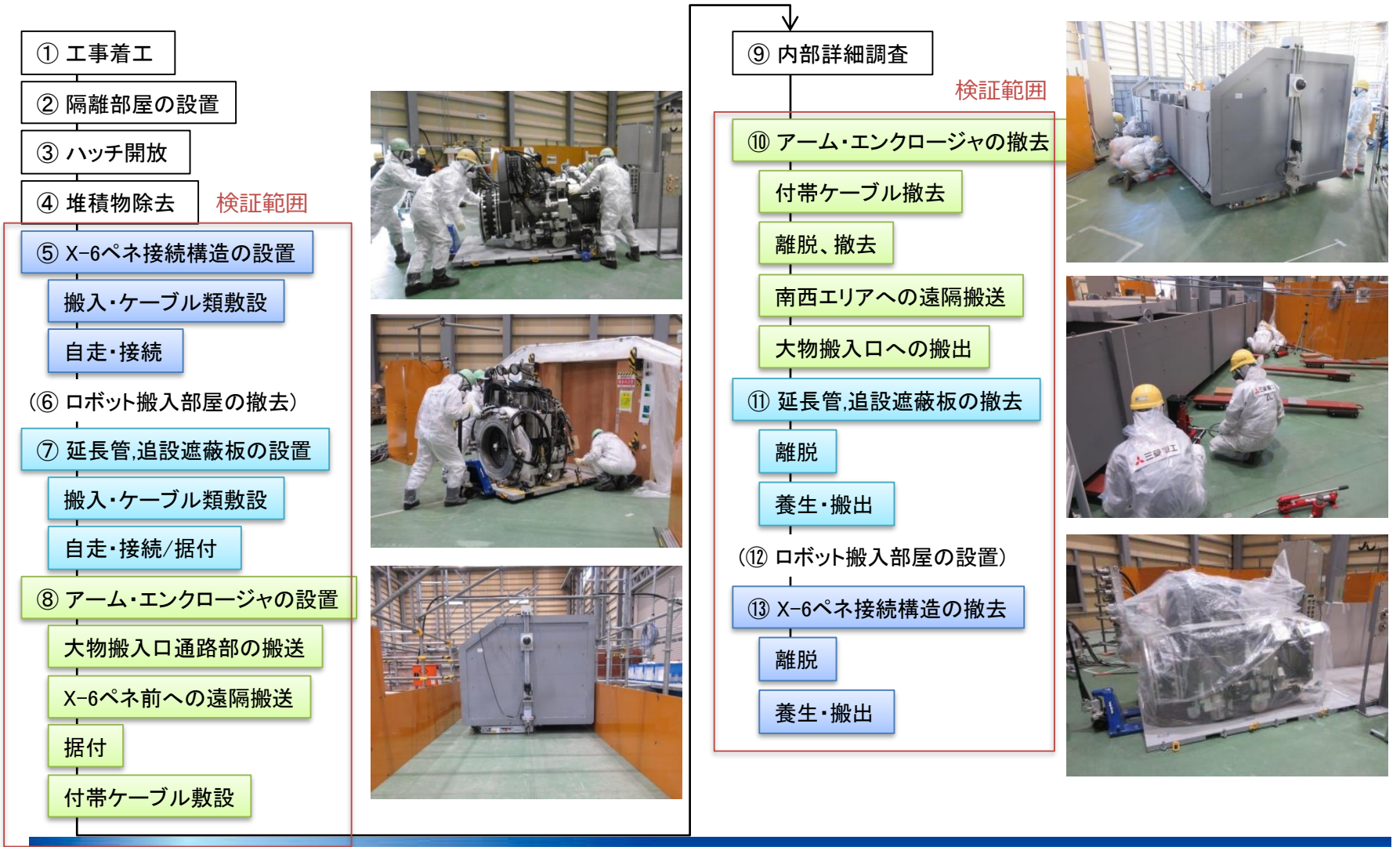
撤去時の養生



# 4.1 実施事項・成果

## (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

### ⑥ ワンスルー試験 — 工事フローと検証範囲 —



## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ⑥ ワンスルー試験 —作業範囲の模擬—

計画線量の精緻化の観点から、特に高線量かつ主な有人作業エリアとなるR/B作業範囲を模擬した。また、各装置の建屋内搬入/搬出、据付/撤去、及び、ケーブル敷設などの付帯作業の作業性検証の観点で必要な構造・寸法を模擬した。



北西エリアから西側通路

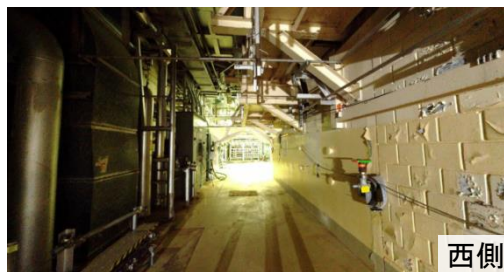


X-6ペネ

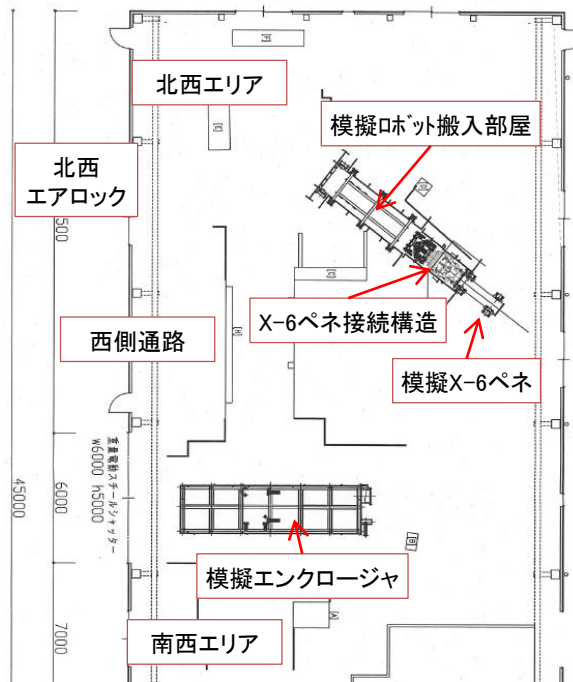
北西エリア



模擬X-6ペネ



西側通路



## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ⑥ ワンスルー試験 —結果概要 (X-6ペネ接続構造)—

※ R/B内の有人作業の計測時間

X-6ペネ接続構造の設置

北西エリアへの搬入

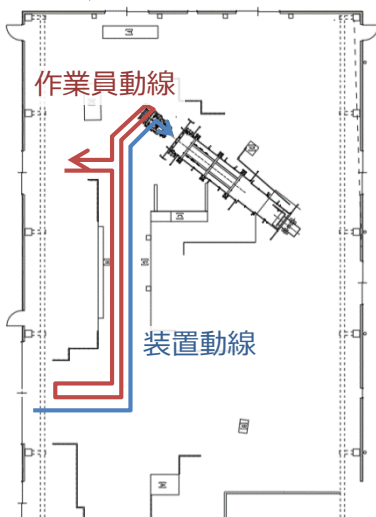
ロボット搬入部屋への搬入

ケーブル類敷設・結線

隔離部屋閉・窒素置換・気密扉開

自走・接近・軸調整

接続・把持・気密確認



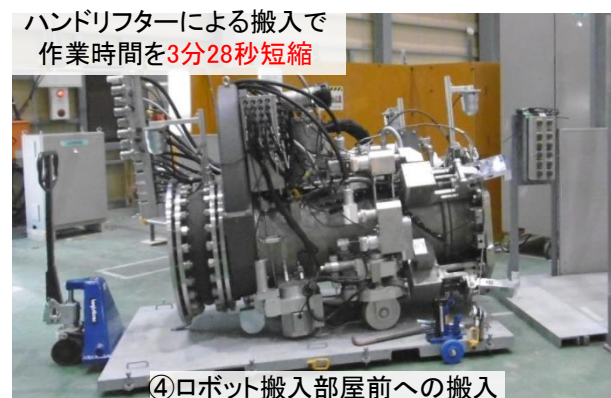
作業手順	班構成	作業時間※	作業完了条件/チェック項目/IF
北西エリアへの搬入	4人 (搬送3人,誘導1人)	①～④:3分15秒	・ロボット搬入部屋前(目安200mm)に搬入されていること



①北西エアロックから入域



②アタッチメントの搬入



④ロボット搬入部屋前への搬入



③ハンドリフターによる搬入

ハンドリフターによる搬入で  
作業時間を**3分28秒短縮**

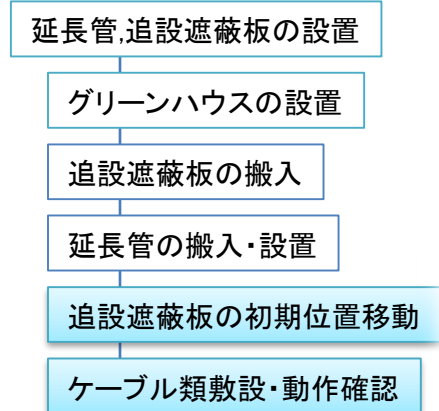
固定輪を自在輪に変更し  
作業性を向上させる

## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ⑥ ワンスルー試験 —結果概要(延長管)—

※ R/B内の有人作業の計測時間



作業手順	班構成	作業時間※	作業完了条件/チェック項目/IF
追設遮蔽板の移動・ケーブル類敷設・動作確認	4人	②～④:8分09秒	<ul style="list-style-type: none"> <li>ケーブルが計画どおり敷設されていること</li> <li>映像が正しく得られ、装置が正常に作動すること (走行機構・昇降機構・把持機構・隔離弁開閉)</li> </ul>



① 追設遮蔽板の仮置きから据付初期位置への移動



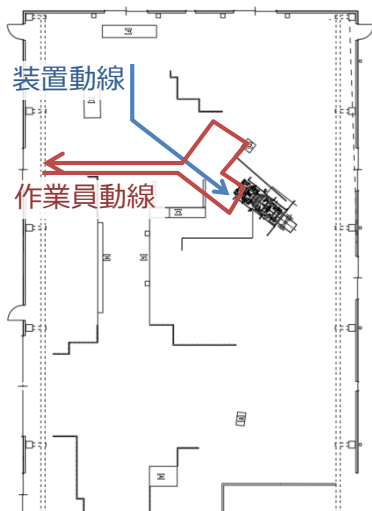
② 延長管のケーブル敷設



④ 追設遮蔽板の精線  
⑤ 延長管の動作確認



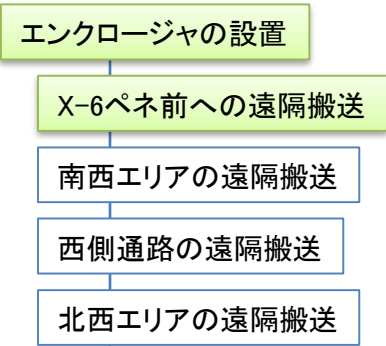
③ X-6ペネ接続構造のケーブル敷設



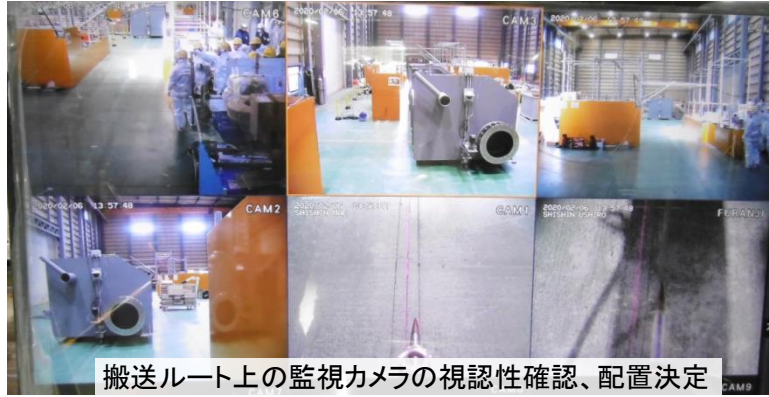
# 4.1 実施事項・成果

## (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

### ⑥ ワンスルー試験 —結果概要 (エンクロージャ搬送)—



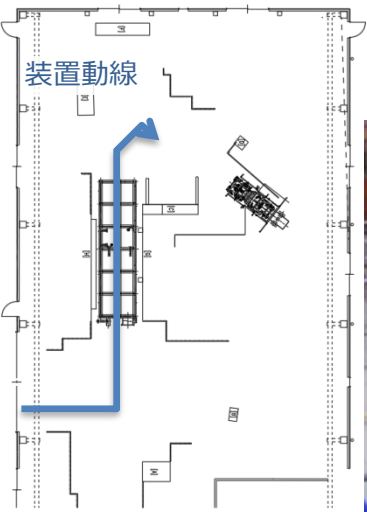
作業手順	班構成※1	作業時間※2	作業完了条件/チェック項目/IF
北西エリアへの搬入	3人 (遠隔操作)	75分	南西エリア～西側通路～北西エリアまで搬入し、据付ジャッキ設置位置(追設遮蔽板前100mm)まで搬送すること。



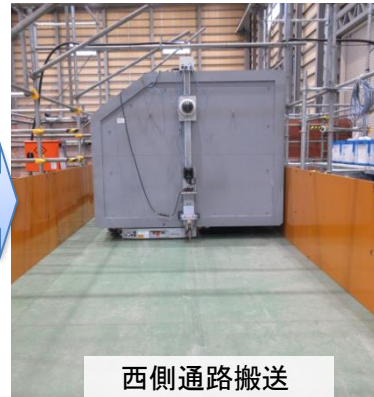
搬送ルート上の監視カメラの視認性確認、配置決定

※1: 操作本部にはコントローラ操作者、監視カメラ確認者、操作指示者の3人体制が最適であることを確認。

※2: 遠隔搬送に関わる時間



南西エリア搬送



西側通路搬送



北西エリア  
(追設遮蔽板前)

エンクロージャ

## 4.1 実施事項・成果

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

#### ⑥ ワンスルー試験 —結果概要(エンクロージャ据付)—

##### エンクロージャの設置

据付

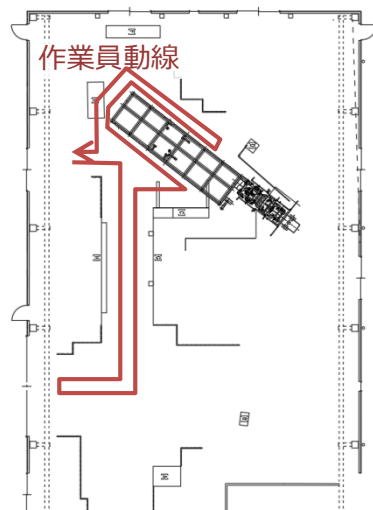
搬送台車、補助輪の搬出

送り台式ジャッキの設置

角管スペーサ、シムの挿入

送り台式ジャッキによる微調整

ジャッキダウン、シム調整



作業手順	班構成	作業時間	作業完了条件/チェック項目/IF
エンクロージャ据付	8人	32分30秒	・送り台式ジャッキにより、延長管フランジ面と面タッチする位置まで微調整する。 鉛直方向/軸方向→±2mm以内(カメラで確認) 軸方向→5mm以内



# 目次

1. 研究の背景・目的
  - 1.1 本研究が必要な理由
  - 1.2 本研究の成果の反映先と寄与
2. 実施項目とその関連, 他研究との関連, 目標
3. 実施スケジュールと実施体制
4. 実施内容
  - 4.1 実施事項・成果
    - (1) 調査計画・開発計画の策定
    - (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験
    - (3) 現場状況を考慮したモックアップ試験
    - (4) 作業訓練
    - (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練
    - (6) 現場実証(現場調査)
    - (7) 国内モックアップ試験
  - 4.2 目標に照らした達成度
5. まとめ

## 4.1 実施事項・成果

### (6) 現場実証(現場調査)

#### ①現場実証に適用するセンサの開発 : (i)VTセンサ(1/4)

#### ➤ VTセンサ(近距離用、中距離用)の製作が完了

項目	仕様	形状・外観								
外形寸法	φ 140×678mm(収納時) φ 140×748mm(展開時)									
重量	近距離用7.3kg(ケーブル含まず) 中距離用7.3kg(ケーブル含まず)									
カメラ本体仕様	耐放射線性カラーカメラ(～30kGy) 有効画素数:710H×484V ブレ補正機能:なし									
レンズ仕様	<table border="0"> <tr> <td>&lt;近距離用&gt;</td> <td>&lt;中距離用&gt;</td> </tr> <tr> <td>焦点距離:f=12mm</td> <td>焦点距離:f=25mm</td> </tr> <tr> <td>水平画角:約57°</td> <td>水平画角:約29°</td> </tr> <tr> <td>ピント位置:1m(固定)</td> <td>ピント位置:3m(固定)</td> </tr> </table>		<近距離用>	<中距離用>	焦点距離:f=12mm	焦点距離:f=25mm	水平画角:約57°	水平画角:約29°	ピント位置:1m(固定)	ピント位置:3m(固定)
<近距離用>	<中距離用>									
焦点距離:f=12mm	焦点距離:f=25mm									
水平画角:約57°	水平画角:約29°									
ピント位置:1m(固定)	ピント位置:3m(固定)									
照明	①主照明:LED4灯(0～30W/灯で調整可能) ②補助照明:LED4灯(0～50W/灯で調整可能)									
防水, 防塵, 降水対策	IP65相当 ガスブロー+ワイパー+撥水コーティング									



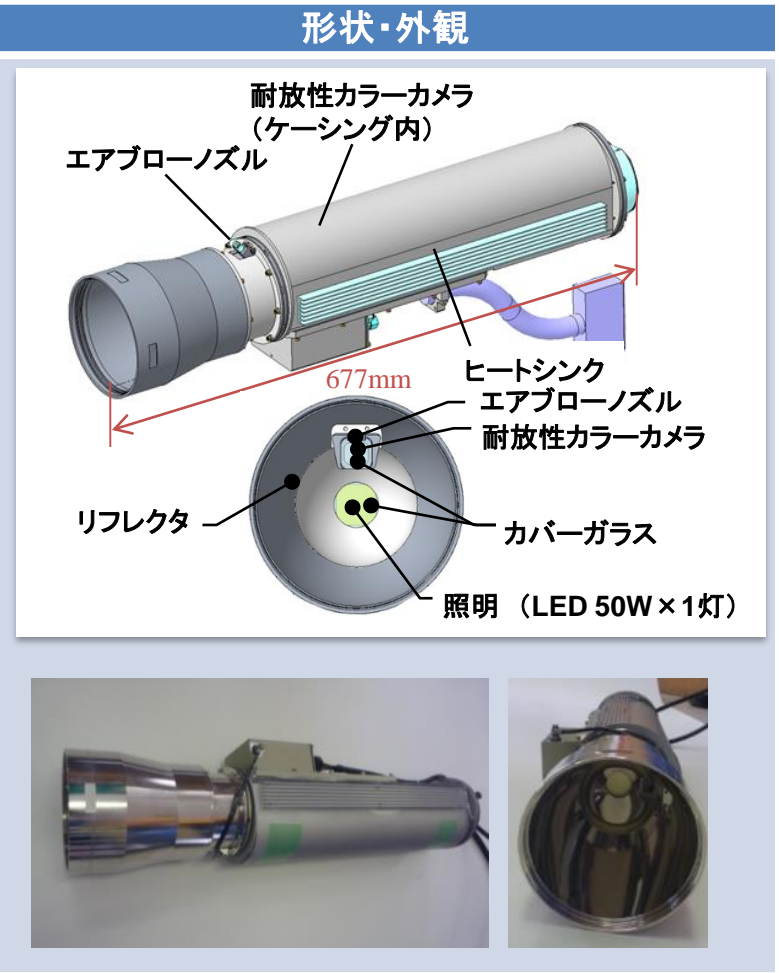
# 4.1 実施事項・成果

## (6) 現場実証(現場調査)

①現場実証に適用するセンサの開発 : (i)VTセンサ(2/4)

➤ VTセンサ(遠距離用)の製作が完了

項目	仕様
外形寸法	φ 140x677mm
重量	7.0kg(ケーブル含まず)
カメラ本体仕様	耐放射線性カラーカメラ(～30kGy) 有効画素数: 710Hx484V ブレ補正機能: なし
レンズ仕様	焦点距離: f=78mm 水平画角: 約8° ピント位置: 4～10m(遠隔で調整可能)
照明	LED1灯(0～50W/灯で調整可能)
防水, 防塵, 降水対策	IP65相当 ガスブロー+撥水コーティング







## 4.1 実施事項・成果

### (6) 現場実証(現場調査)

#### ①現場実証に適用するセンサの開発 : (i)VTセンサ(3/4)

#### ➤ VTセンサの工場試験

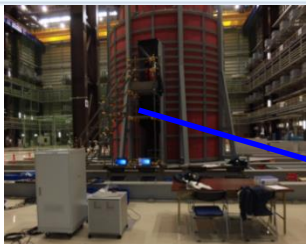
項目	試験結果	試験状況
①視認性確認	<p>各VTセンサにおいて設定したピント位置でピントが合うことおよび計測レンジ内で十分な視認性があることを確認</p> <p>⇒ピント位置: 1m(近距離用)、4m(中距離用)、4~10m可変(遠距離用)</p>	 <p>操作用PC、盤</p> <p>VTセンサ</p> <p>チャート</p>
②照度確認	<p>計測レンジ内で視認に必要な照度(148.9 Lux)以上の照度が得られることを確認</p> <p>⇒最大1440Lux@1m(近距離用)、最大272Lux@4m(中距離用)、最大189Lux@10m(遠距離用)</p> <p>遠隔操作による各照明(主照明, 補助照明)の照度調整が可能なことを確認</p>	 <p>VTセンサ</p> <p>照度計</p> <p>チャート</p>
③動作確認	<p>遠隔操作によるカメラ旋回軸、ワイパの動作(近距離用, 中距離用)、ピント調整軸(遠距離用)の動作が可能なことを確認</p>	 <p>ワイパ</p> <p>VTセンサ(旋回中)</p>
④寸法・質量確認	<p>外形寸法, 質量およびモーメントについてアーム型アクセス装置との取合条件を満足することを確認</p>	 <p>重量計測</p>

# 4.1 実施事項・成果

## (6) 現場実証(現場調査)

①現場実証に適用するセンサの開発 : (i)VTセンサ(4/4)

➤ 国内モックアップ設備を用いたセンサの検証



モックアップ試験設備

開口に暗幕を設置し、  
暗中で試験を実施。

センサ	確認内容・判定基準	試験イメージ	確認結果
近距離用 センサ	<p>①CRDハウジング、サポートの脱落等の有無を確認できること</p> <p>②CRDハウジング間のデブリの堆積状況の接近映像を取得できること</p> <p>③ペDESTALCRD開口部のアーム通過時の映像を取得できること</p> <p>④プラットフォーム上面の画像データを取得できること</p>	<p>サポート下端 約1m</p>	<p>①②CRDハウジング、サポート(約1m先)</p>
中距離用 センサ	<p>⑤CRDハウジングサポートとペDESTALの取合部の映像を取得できること</p>	<p>モックアップ天井面 約2.5m ペDESTAL壁(テーバ部)</p>	<p>⑤CRDハウジングサポートの上端近傍(約2.5m先)</p> <p>モックアップ天井面</p>
遠距離用 センサ	<p>⑥ペDESTAL作業員アクセス口近傍の映像の取得できること</p>	<p>約5m 約4m ペDESTAL開口 暗幕</p>	<p>⑥ペDESTAL開口部に貼った暗幕(約5m先)</p> <p>チャート、ペDESTAL壁(約4m先)</p>

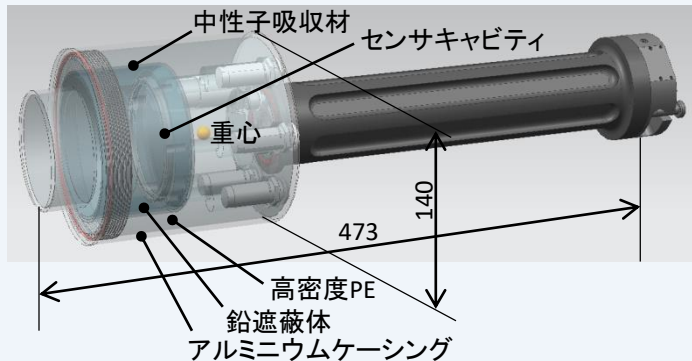
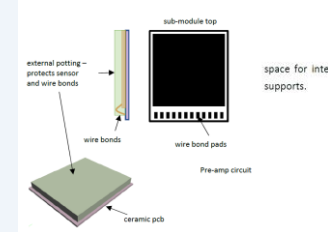
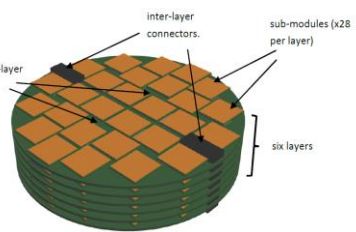

➤ 以上より、センサ機能(照明、ピント等)は要求を満足することを確認した。

## 4.1 実施事項・成果

### (6) 現場実証(現場調査)

#### ①現場実証に適用するセンサの開発 : (ii)中性子検出システム(1/2)

#### ➤ 中性子検出システムの製作

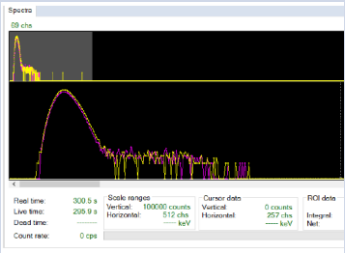
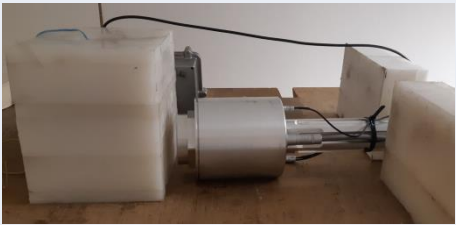
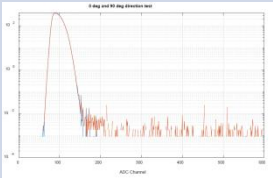

項目	目標仕様	目標達成状況	形状・外観
外形寸法	φ 140 × 500mm	○ φ 140 × 473mm (ツールチェンジャ含まず)	   
重量	10kg未満	○ 8.33kg (ツールチェンジャ含まず)	
熱中性子感度	4.5cps/nv	5.7cps/nvを確保	
ガンマ線除去率	γ線と中性子とのディスクリレベル設定が可能であること	ディスクリレベルの設定が可能であることを確認	
中性子源指向性	方向依存特性	方向依存特性を持たせることができた	

## 4.1 実施事項・成果

### (6) 現場実証(現場調査)

#### ①現場実証に適用するセンサの開発 : (ii)中性子検出システム(2/2)

##### ➤ 中性子検出器の検証試験

項目	試験内容	確認内容・判定基準	結果
最終受入試験 フルシステム	<p>γ線除去率確認</p> 	γ線と中性子の弁別 が可能なディスクリ 設定ができること	γ線と中性子を十分弁 別するディスクリ設 定が可能であることを、γ 線源、中性子線源を使 用した照射場にて確認
	<p>中性子感度 校正試験</p> 	目標4.5cps/nv	5.7cps/nvを確認
	<p>方向依存特性 確認試験</p>  	選定した材料と形状 が、コリメータ機能 を有していること(方 向依存性を有してい ること)	検出器の円筒中心軸 上0度の計数率を1と して、90度の場合の計 数率の比は6%程度と 十分小さく、方向依 存性を確認

➤ 以上より、概ね目標を達成する検出器の製作を完了した。

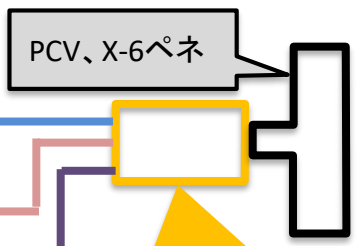
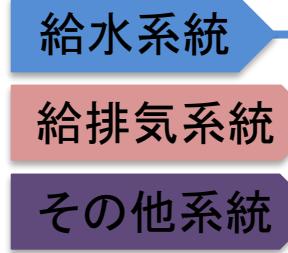
# 4.1 実施事項・成果

## (6) 現場実証(現場調査)

### ② 現地配置計画

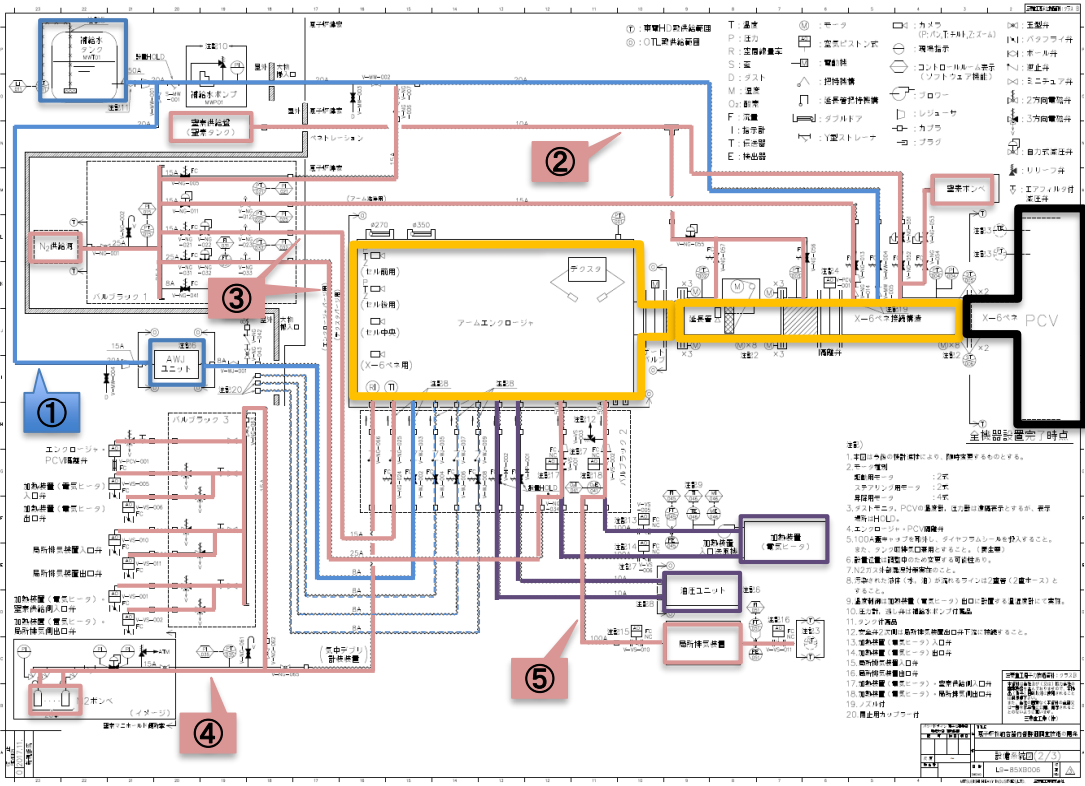
#### i. 系統計画

### ・系統イメージ



アクセス・調査装置本体、  
X-6ペネ接続構造本体等

### ・実機の系統計画



### 【主なライン】

- ① AWJユニットへの水供給ライン
- ② 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ライン
- ③ エンクロージャ内のデクスターへの窒素パージライン
- ④ 空気作動弁への窒素供給ライン
- ⑤ 窒素(空気)の排気ライン

## 4.1 実施事項・成果

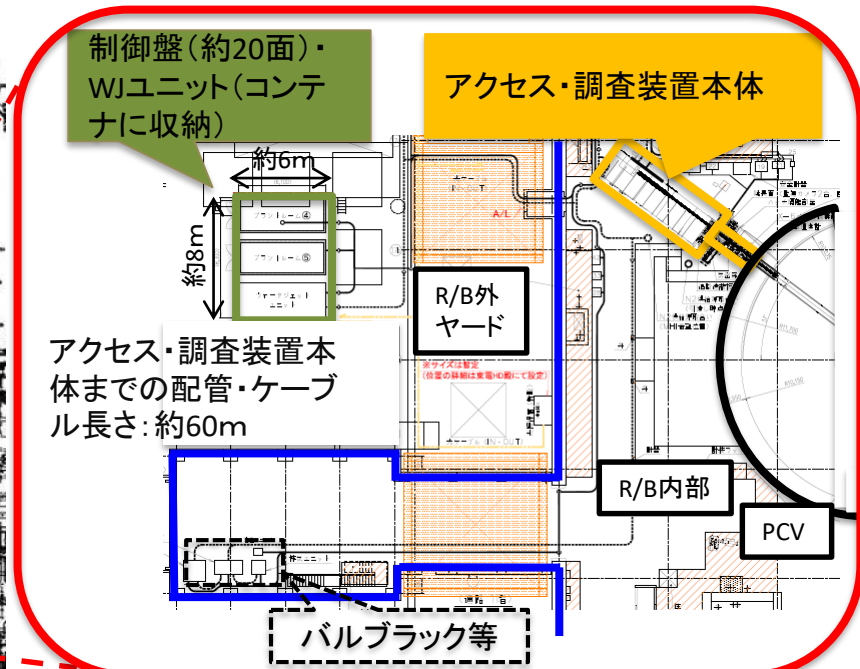
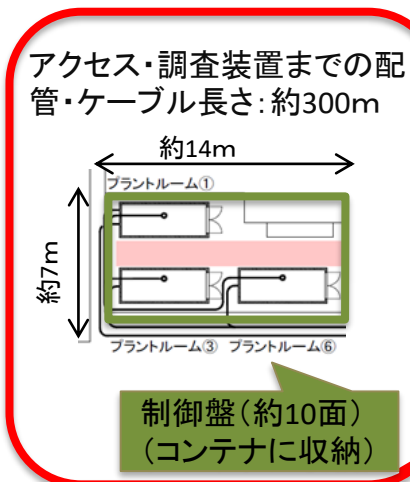
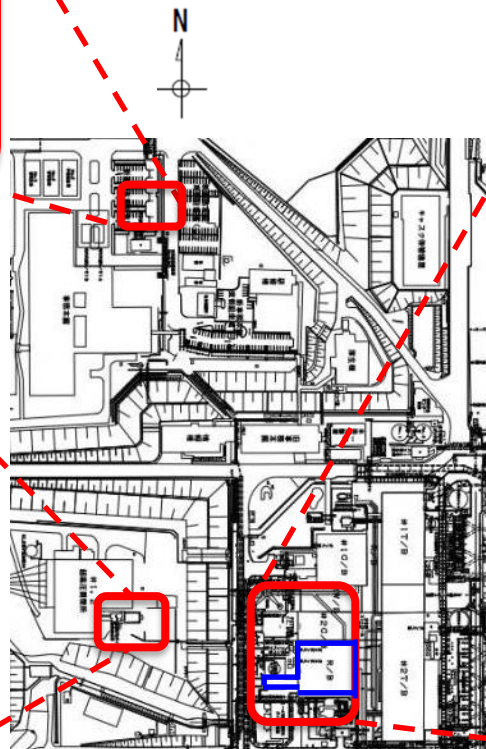
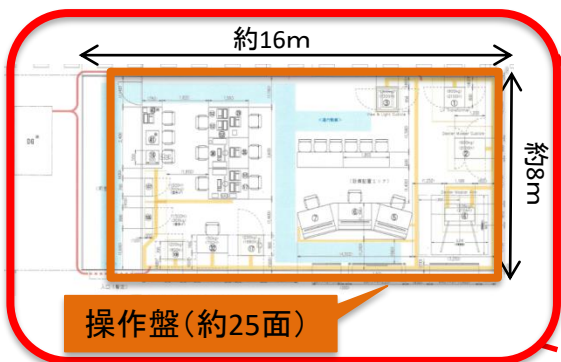
### (6) 現場実証(現場調査)

#### ② 現地配置計画

##### ii. 配置計画

・現場調査を実施し、**現地環境条件**(線量、距離制約※、東電HD殿の他工事との輻輳等)を考慮して配置計画を立案

※電圧降下、ノイズ、配管圧損等の観点から、アクセス・調査装置本体(センサ含む)と制御盤、アブレイシブウォータージェットユニットまでの距離に制限がある



R/B: 原子炉建屋

# 目次

1. 研究の背景・目的
  - 1.1 本研究が必要な理由
  - 1.2 本研究の成果の反映先と寄与
2. 実施項目とその関連, 他研究との関連, 目標
3. 実施スケジュールと実施体制
4. 実施内容
  - 4.1 実施事項・成果
    - (1) 調査計画・開発計画の策定
    - (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験
    - (3) 現場状況を考慮したモックアップ試験
    - (4) 作業訓練
    - (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練
    - (6) 現場実証(現場調査)
    - (7) 国内モックアップ試験
  - 4.2 目標に照らした達成度
5. まとめ



## 4.1 実施事項・成果

### (7) 国内モックアップ試験

#### ①モックアップ設備の設計、製作

#### モックアップ設備の設計仕様及び模擬の考え方

項目		設計仕様/模擬の考え方
設備構成 (模擬範囲*)	調査装置用架台	アーム型アクセス装置やX-6ペネ等の設置高さを模擬
	X-6ペネ,X-6ペネ接続構造,延長管	内部形状, 寸法を模擬
	CRD交換レール	形状, 寸法を模擬。切断試験を考慮し, CRD交換レールのX-6ペネ近傍部やCRDレール吊治具の交換を想定
	ペDESTAL	内部形状, 寸法を模擬
	CRD	形状, 寸法を模擬
	CRD交換機	形状, 寸法を模擬
	障害物(落下グレーチング、ペDESTAL入口部配管など)	形状, 寸法を模擬
縮尺	1/1スケール	
主要寸法(全体)	長さ:約31000mm, 幅:約8000mm, 高さ:約8200mm	
材料(主要部材)	SS400	
設置場所	JAEA櫛葉遠隔技術開発センター	
付帯設備	コントロールルーム, 各種盤類, アブレイシブウォータージェットユニット, 油圧ユニット, 排水ポンプ・排水タンク, バルブラック, ウォータジェット対策構造	

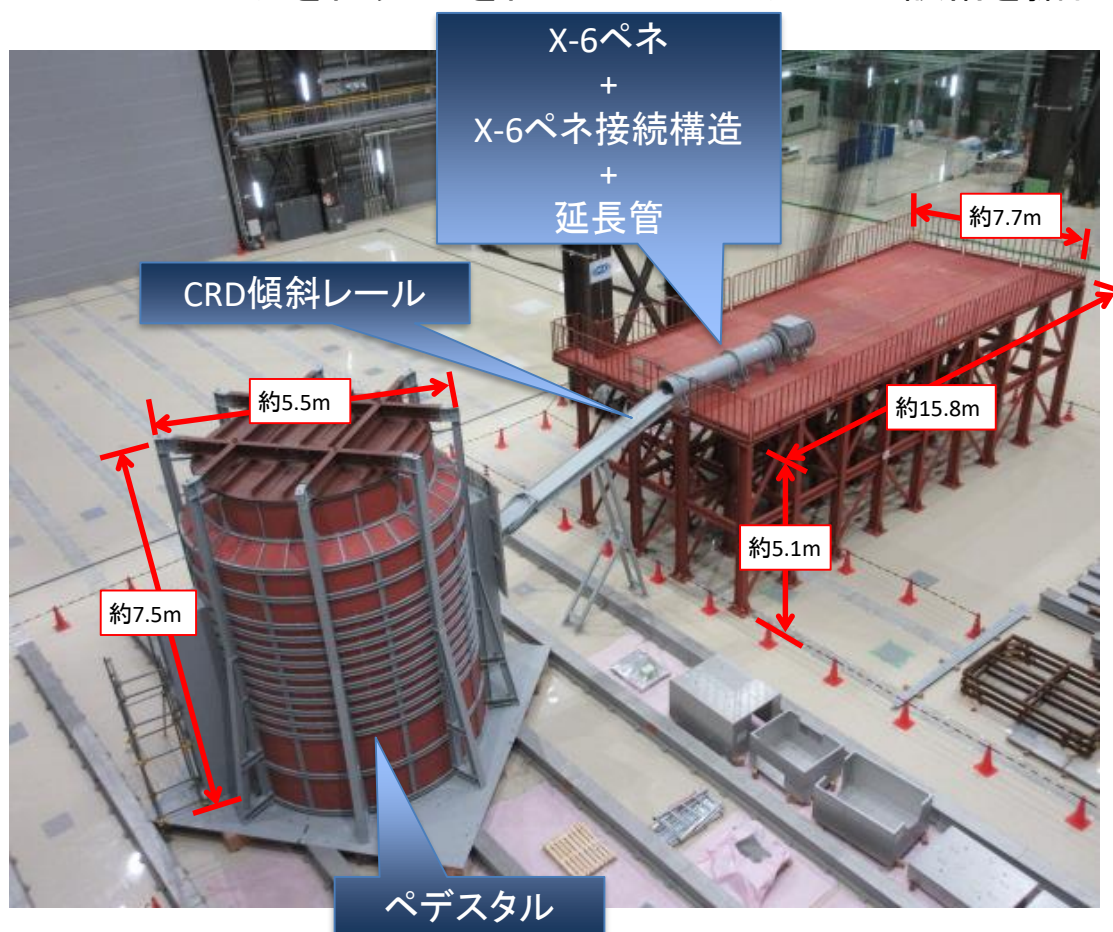
\*: 形状, 寸法は実機情報が無いものや製作性を考慮し, 概略設定している箇所あり。

## 4.1 実施事項・成果

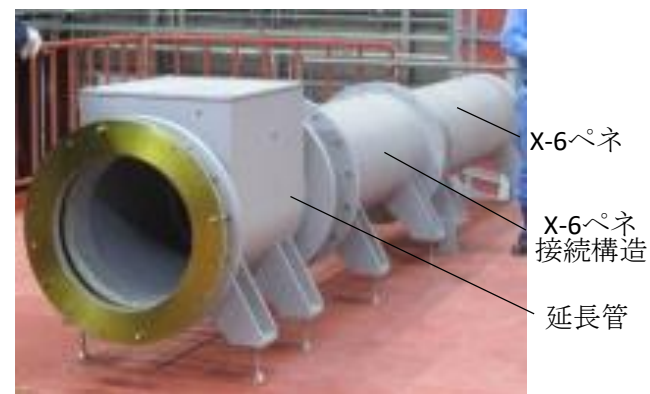
### (7) 国内モックアップ試験

#### ②モックアップ設備の据付

JAEA櫛葉遠隔技術開発センターで実施するアクセス・調査装置のモックアップ試験及び習熟トレーニングを行うことを目的としたモックアップ設備を据付。公差内で据付を完了。



ペDESTAL内部の様子



X-6ペネ(接続構造+延長管接続後)の様子

# 目次

1. 研究の背景・目的
  - 1.1 本研究が必要な理由
  - 1.2 本研究の成果の反映先と寄与
2. 実施項目とその関連, 他研究との関連, 目標
3. 実施スケジュールと実施体制
4. 実施内容
  - 4.1 実施事項・成果
    - (1) 調査計画・開発計画の策定
    - (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験
    - (3) 現場状況を考慮したモックアップ試験
    - (4) 作業訓練
    - (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練
    - (6) 現場実証(現場調査)
    - (7) 国内モックアップ試験
  - 4.2 目標に照らした達成度
5. まとめ

## 4.2 目標に照らした達成度

実施項目		目標達成指標(平成31年度/令和元年度)	達成度
調査計画・開発計画の策定		最新の現場状況や調査ニーズを反映して、調査計画・開発計画が必要に応じ見直されていること。	達成
アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証	アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験	アクセス・調査装置の実機プロトタイプの工場内検証試験が完了していること。	達成
	現場状況を考慮したモックアップ試験	モックアップ試験設備が完成していること。	達成
	アクセス・調査装置と調査技術の組み合わせ試験	アクセス・調査装置と調査技術を組み合わせた状態で現場への適用性が確認されていること。(終了時目標TRL:レベル4)	達成
	作業訓練	アクセス・調査装置の操作員の習熟を目的とした作業訓練(トレーニング)として、シミュレータを用いた訓練を行い、作業員の習熟が図られていること。(終了時目標TRL:レベル4)	達成
	現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練	ペネ開口部と接続してバウンダリを構成する構造物について、搬入/据付性の試験を行い、現場への適用性が確認されていること。(終了時目標TRL:レベル5)	達成
	現場実証(現場調査)	アクセス・調査装置と調査技術、ペネ開口部と接続してバウンダリを構成する構造物について、現場作業並びに現地調査に関する計画が策定されていること。(終了時目標TRL:レベル4)	達成

# 目次

1. 研究の背景・目的
  - 1.1 本研究が必要な理由
  - 1.2 本研究の成果の反映先と寄与
2. 実施項目とその関連, 他研究との関連, 目標
3. 実施スケジュールと実施体制
4. 実施内容
  - 4.1 実施事項・成果
    - (1) 調査計画・開発計画の策定
    - (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験
    - (3) 現場状況を考慮したモックアップ試験
    - (4) 作業訓練
    - (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練
    - (6) 現場実証(現場調査)
    - (7) 国内モックアップ試験
  - 4.2 目標に照らした達成度
5. まとめ

## 5. まとめ

### (1) 調査計画・開発計画の策定

- ・先行調査映像とアクセス・調査装置の詳細手順検討結果に基づき、ワンドの干渉リスク対応として短縮ワンドの検討及び製作完了

### (2) アクセス・調査装置の一部製作、全体組立及び工場検証試験

- ・アクセス・調査装置の全体組立及び工場検証試験が完了
- ・アームたわみ計測結果に基づきX-6ペネ通過性見通しを確認

### (3) 現場状況を考慮したモックアップ試験

- ・モックアップ試験設備の据付が完了
- ・試験要領の具体化を実施

### (4) 作業訓練

- ・デクスター: 実機を使用した基本操作訓練を完了
- ・調査用アーム: シミュレーションを用いた操作訓練を実施

### (5) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

- ① X-6ペネ接続構造: 装置改良、モックアップ試験、組合せ試験が完了
- ② 隔離部屋: 装置改良、組合せ試験が完了
- ③ 延長管: 装置製作、モックアップ試験が完了
- ④ エンクロージャ搬送装置: モックアップ試験が完了
- ⑤ 堆積物除去装置: 装置製作、モックアップ試験が完了
- ⑥ ワンスルー試験: 試験が完了し、現場作業の成立性を確認

### (6) 現場実証(現場調査)

- ・現地環境条件を考慮して配置計画を立案
- ・VTセンサ: 製作、単体検証を完了、中性子検出器: 製作、単体検証を完了

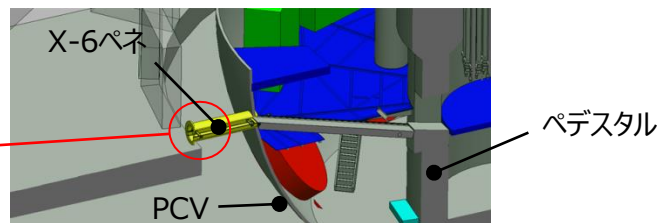
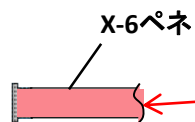
### (7) 国内モックアップ試験

- ・国内モックアップ試験設備の据付が完了

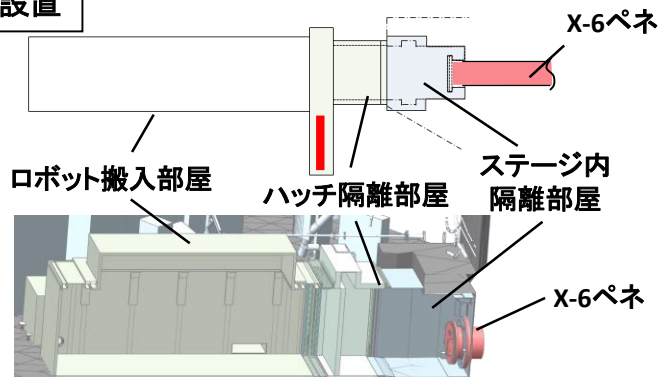
# 補足資料

# 補足資料-1 アクセスルート構築の概要(1/2)

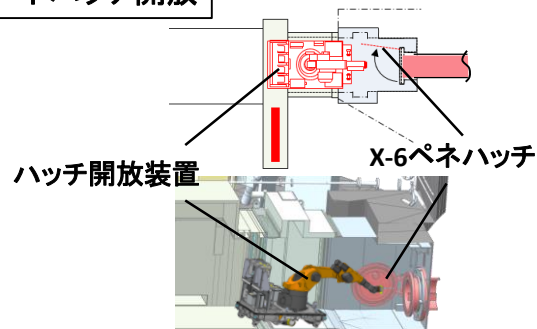
初期状態



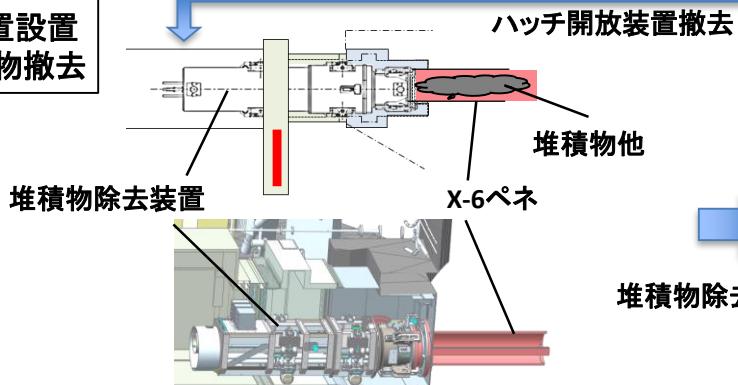
隔離部屋設置



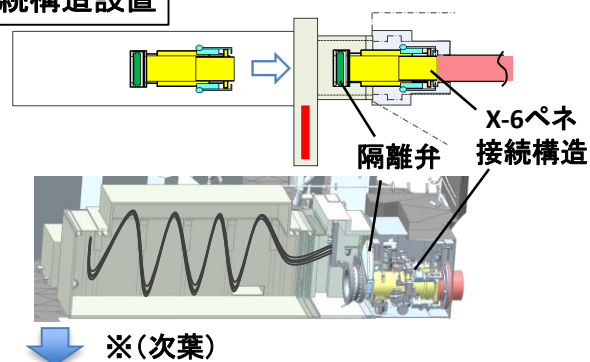
X-6ペネハッチ開放



堆積物除去装置設置  
X-6ペネ内堆積物撤去



X-6ペネ接続構造設置





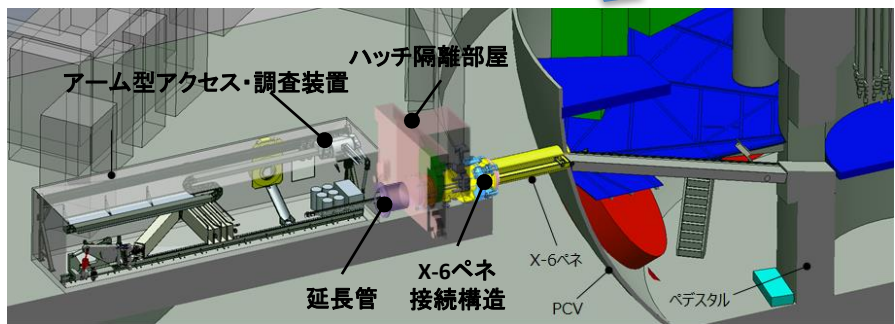
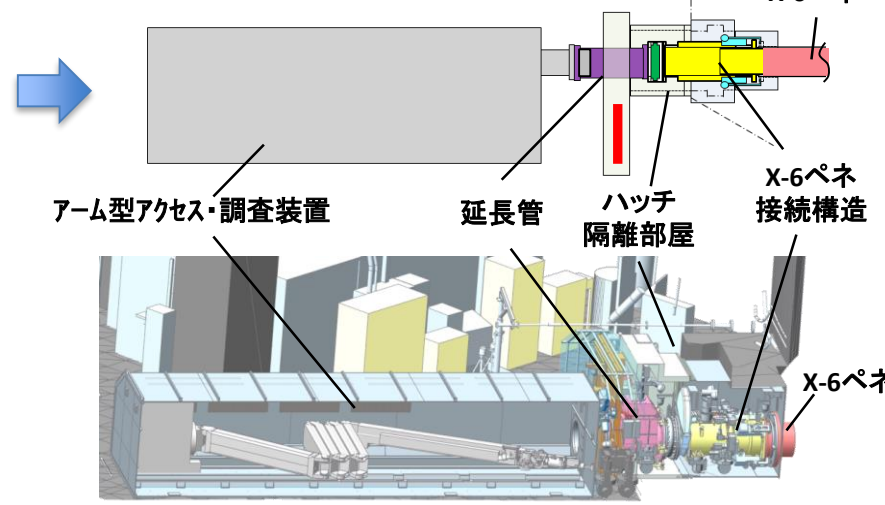
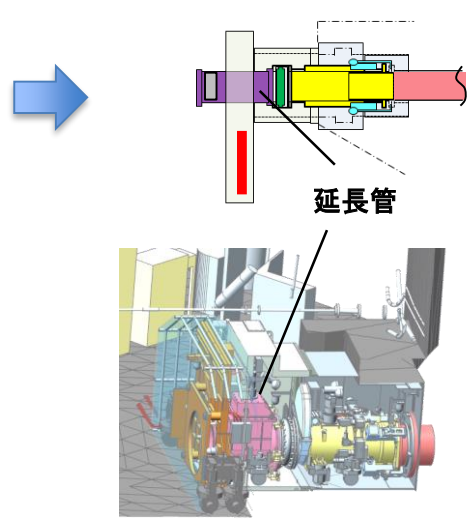
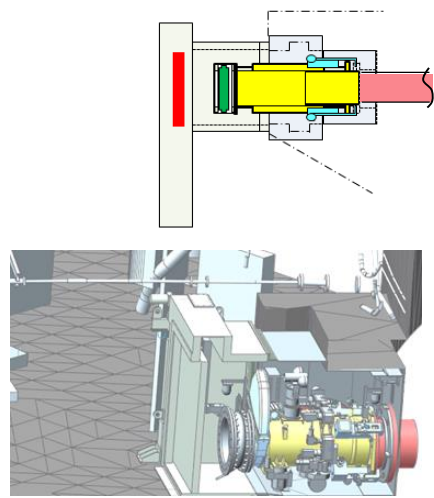
# 補足資料-1 アクセスルート構築の概要(2/2)



ロボット搬入部屋撤去

延長管設置

アーム型アクセス・調査装置設置



## 補足資料-2 アームの運転方針(1/2)

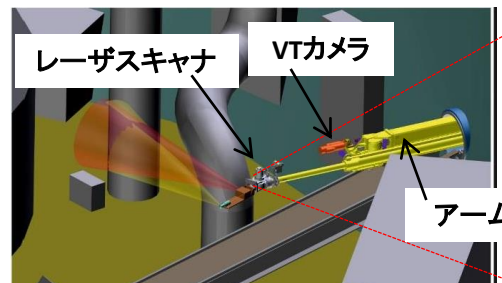
【PCV内部情報のアーム運転システムへの反映】

- ・アーム先端に搭載するレーザスキャナで事故後のPCV内部情報を取得し、運転システムに反映  
(調査開始前の段階では、事故前の情報に基づきPCV内部モデルを構築)
- ・実際の状態を反映したPCV内部モデルによるアーム動作を運転システムでシミュレートする(干渉回避)

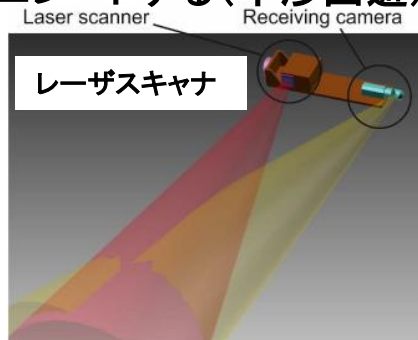


調査用アーム

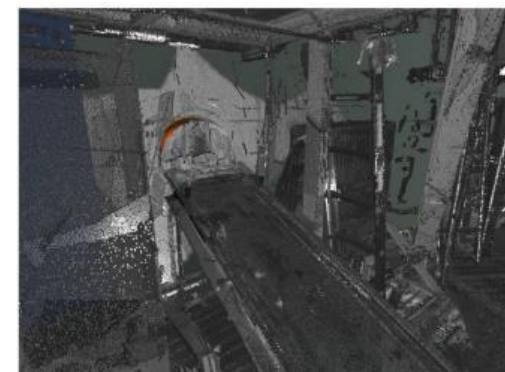
レーザスキャナ  
の位置情報を提供



レーザスキャナによりPCV内形状データ(点群データ)取得



点群データを統合



点群データを運転システム内  
のPCV形状へ反映(更新)



レーザスキャナで取得した点群データ



反映後

反映前

アーム運転システム 画面イメージ

## 補足資料-2 アームの運転方針(2/2)

### 【運転方針】

#### <基本フロー>

レーザスキャナで進行方向の形状をスキャン



スキャンデータを運転システムに反映



シミュレーションによりアームと障害物の衝突回避を確認



アームカメラ映像によりスキャンデータ(点群データ)の妥当性を目視確認\*



アームを前進

#### <補足事項>

<レーザスキャン不可の範囲(X-6ペネ内、X-6ペネ出口周辺)>  
アームのカメラにて視認しながら前進。

<クリアランスが狭い箇所(ペDESTAL/プラットフォーム開口部)>  
・アームのカメラ又はVTセンサにて視認しながら進入。  
・2回目以降の通過は、最初の通過時と同じルート/アーム動作とすることで、視認によらずに進入（再現性をモックアップ試験で確認予定）。

<障害物(回避不能)>  
AWJにより切断。切断物は下部に落下させる。

\*スキャン漏れ等の可能性があるため、念のため確認する