

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30年度実施分成果

令和元年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
 - 2.1 開発対象と他事業との関連
 - 2.2 本研究の実施項目
 - 2.3 実施項目間, 他研究の関係性
 - 2.4 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) 現場状況を考慮したモックアップ試験
 - (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)
 - 4.2 目標に照らした達成度
5. まとめと今後の予定

1. 研究の背景・目的

1.1 本研究が必要な理由

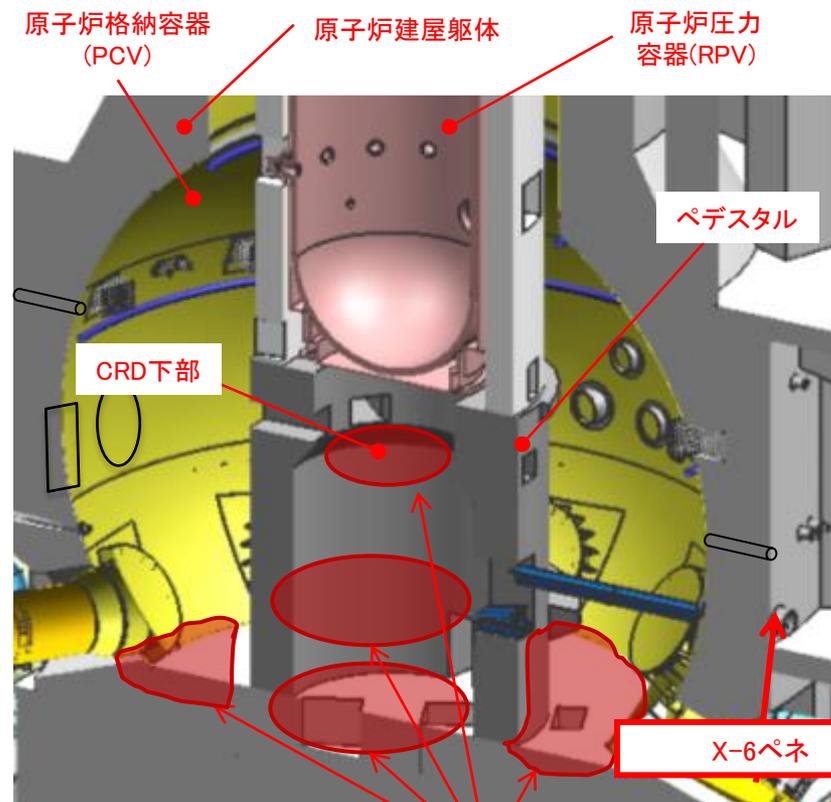
【背景】

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】

「原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発」で開発するアクセス・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確定に資する。**



【 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



平成30～31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)

本事業

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

燃料デブリサンプリング
に係る研究

サンプリング計画に必要な情報など

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・ トレーニング	現場実証 (現場調査)
アクセス・調査装置	アーム・エンクロージャ			
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/モックアップ/トレーニング	
	ハッチ開放装置		モックアップ トレーニング	
	堆積物除去装置			
調査技術	レーザスキャナ			
	ガンマセンサ			
	ソナー			
	CRD計測装置/VTセンサ			
	中性子センサ			

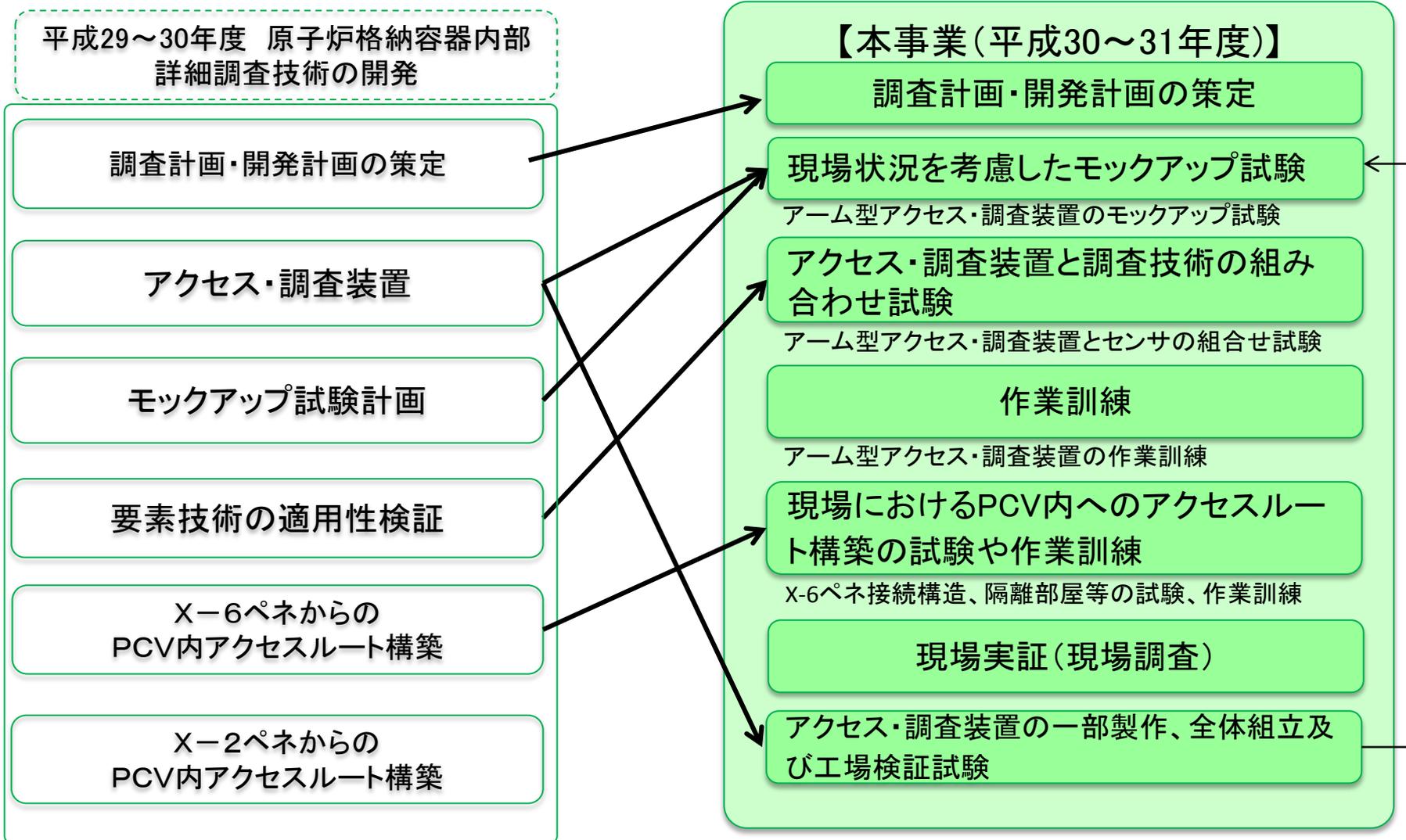
:平成29～30年度 原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発(完了)
 :本事業

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30年度実施範囲	本資料の項番
開発計画・調査計画の策定		<ul style="list-style-type: none"> ・A2'調査結果に基づく調査可能範囲の再整理 ・アクセス・調査装置のPCV内アクセス詳細手順の検討 	4.1(1)
アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証	現場状況を考慮したモックアップ試験	<ul style="list-style-type: none"> ・アクセス・調査装置のモックアップ試験設備の一部製作 ・試験項目の整理、試験計画の具体化 	4.1(2)
	アクセス・調査装置と調査技術の組み合わせ試験	<ul style="list-style-type: none"> ・試験項目の整理、試験計画の具体化 	4.1(2)
	作業訓練	<ul style="list-style-type: none"> ・アーム型アクセス装置の各操作員の訓練方針設定 ・運転シミュレーションのための操作システムの構築 	4.1(3)
	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	<ul style="list-style-type: none"> ・X-6ペネ接続構造:モックアップ試験及び隔離部屋との組合せ試験 ・延長管:基本設計、製作着手 ・エンクロージャ搬送装置:選定、走行試験 ・堆積物除去装置:設計、製作着手 	4.1(4)
	現場実証(現場調査)	<ul style="list-style-type: none"> ・CRD計測装置/VTセンサ:基本設計、要素試験 ・中性子検出システム:システム選定、手配 	4.1(5)
	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	(平成31年度実施範囲として追加)	—

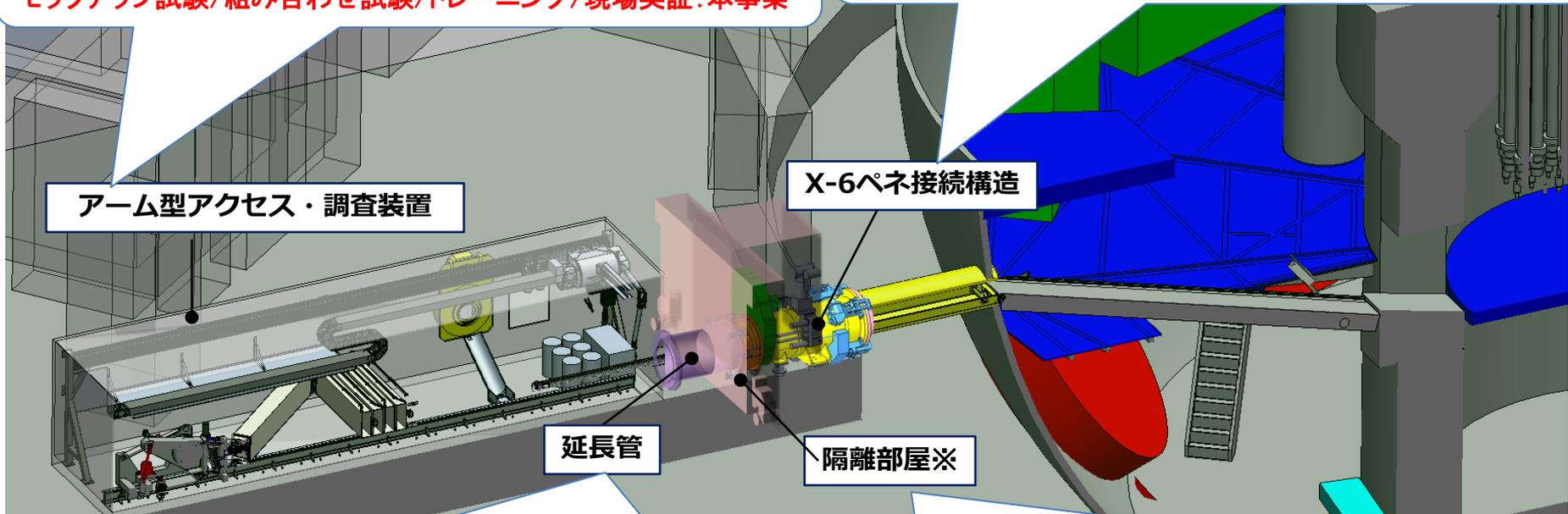
2.3 実施項目間、他研究の関係性(1/2)



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/組み合わせ試験/トレーニング/現場実証: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/トレーニング/現場実証: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/トレーニング/現場実証:本事業

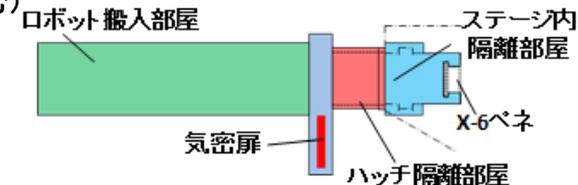
設計/製作/試験:平成29~30年度 PCV内部詳細調査技術の開発
トレーニング/現場実証:本事業

堆積物除去装置/搬送装置

設計/製作/モックアップ試験/トレーニング/現場実証: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)	
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・開発計画が立案されていること。	
アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証	現場状況を考慮したモックアップ試験	PCV内を模擬したモックアップ試験設備を用いて試験を行い、アクセス・調査装置の現場への適用性が確認されていること。
	アクセス・調査装置と調査技術の組み合わせ試験	PCV内を模擬したモックアップ試験設備を用いて試験を行い、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・調査装置と調査技術及びPCV内を模擬したモックアップ試験設備を用いて作業訓練を行い、モックアップ試験設備で運転操作ができる状態まで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ペネに開口/閉止を設けるための隔離部屋の設置や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。また、現場実証に向けて作業員の習熟が図られていること。
	現場実証(現場調査)	アクセス・調査装置と調査技術、隔離部屋、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、現場に適用し、実環境下で作動・機能することが確認されていること。
	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。

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

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)

4. 実施内容 4.1 実施事項・成果

今回の報告対象と章項番号

PCV内のアクセス、調査手順の検討 【4.1(1)】

モックアップ設備製作、試験計画具体化 【4.1(2)】

作業訓練 【4.1(3)】

搬送台車 【4.1(4)③】

アーム型アクセス・調査装置

装置仕様、試験条件 【4.1(4)④】

ペネ内堆積物除去

X-6ペネ接続構造

隔離部屋

モックアップ試験、隔離部屋との組合せ試験 【4.1(4)①】

延長管

アーム通過性、据付手順
検討 【4.1(4)②】

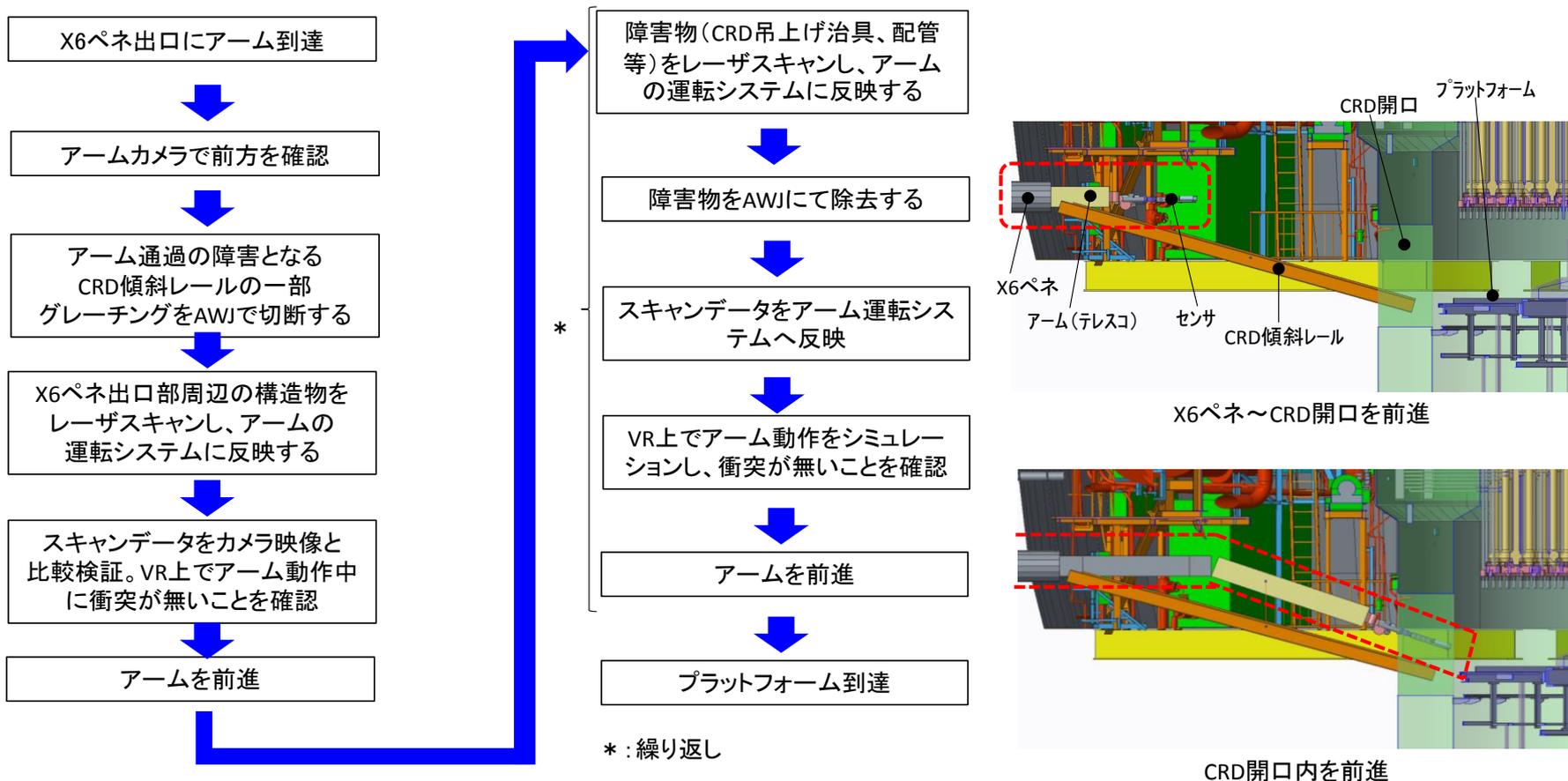
調査用センサ

CRD計測装置／VTセンサ 【4.1(5)①】

中性子検出システム 【4.1(5)②】

4.1 実施事項・成果

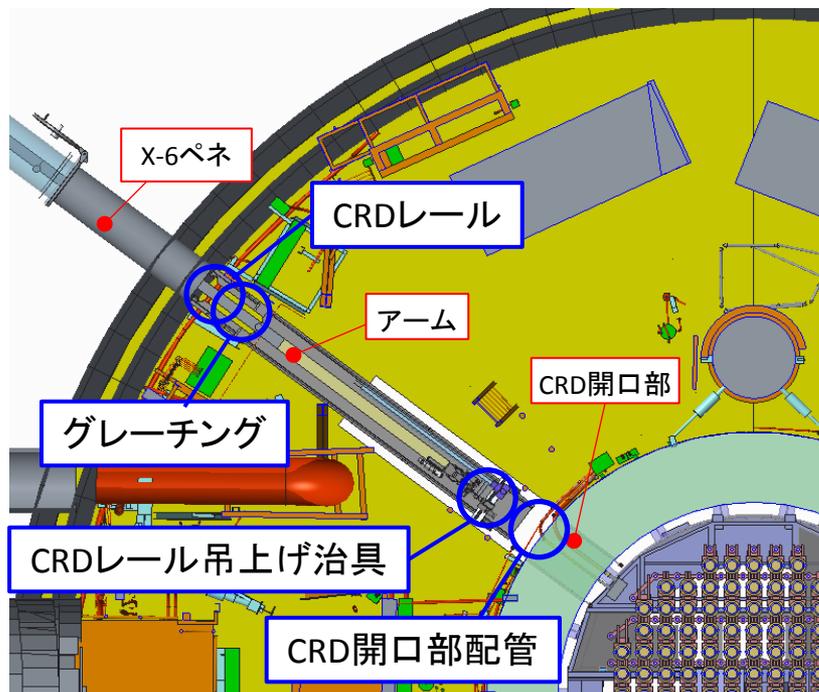
- (1) 調査計画・開発計画の策定 : PCV内のアクセス、調査手順の検討
X-6ペネからプラットフォームまでのアクセスルートを構築するための詳細手順を検討



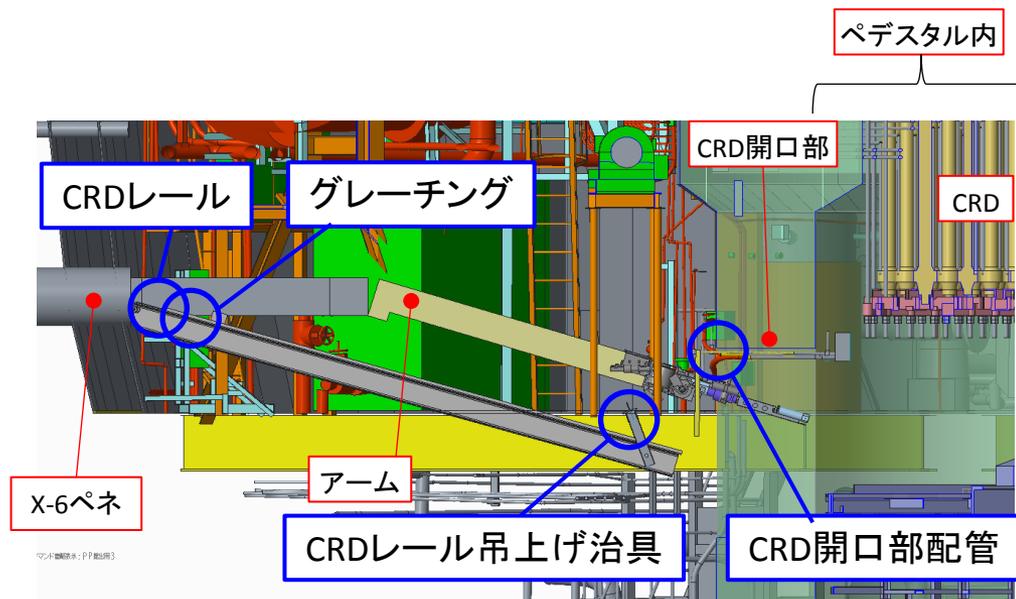
X-6ペネ出口～プラットフォームまでのアーム動作手順(前進、カメラ確認、センサでのスキャン、障害物切断)について約100ステップの手順図を作成

4.1 実施事項・成果

(1) 調査計画・開発計画の策定 : PCV内のアクセス、調査手順の検討



平面図

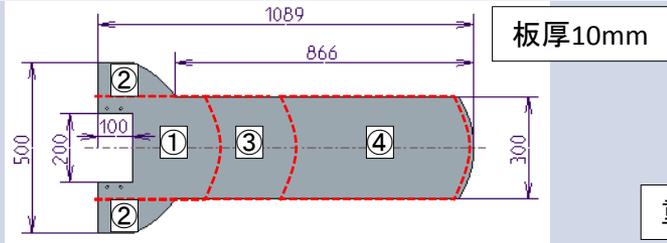
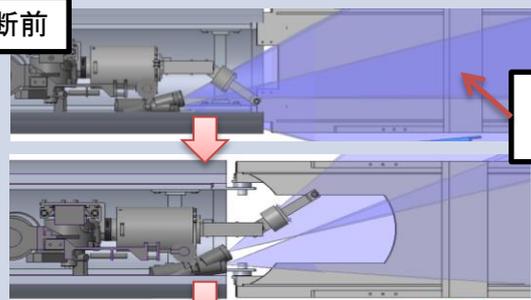
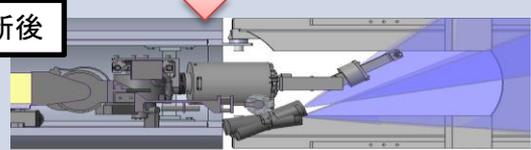
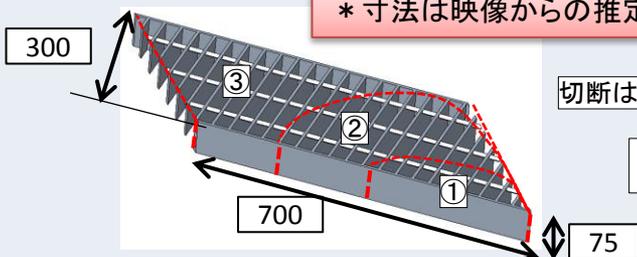
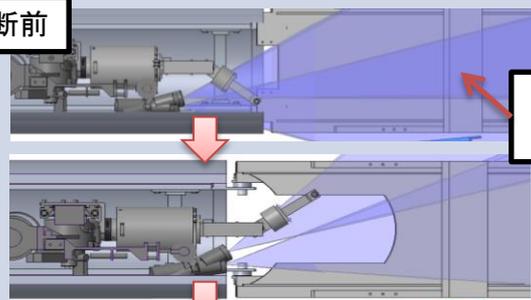
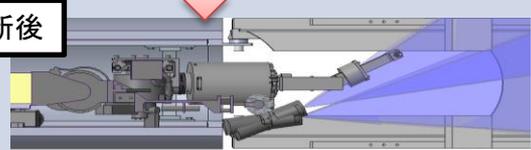
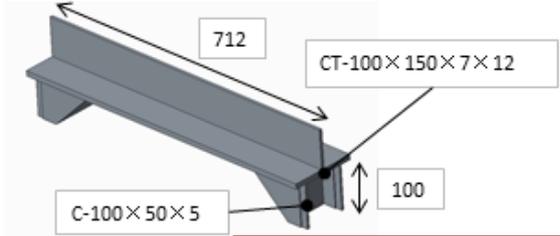
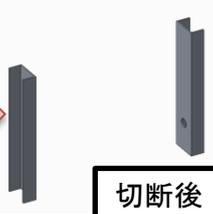


側面図

- ・事故前のPCV内の点群データ、既設図面、事故前の写真、事故後の先行調査の映像からPCV内部構造の3Dモデルを構築
- ・調査用アームと干渉する(撤去が必要となる)障害物を摘出し、3D-CADモデルを用いて手順を検討
- ・モックアップ試験にてアーム運転、切断作業の確認を行う

4.1 実施事項・成果

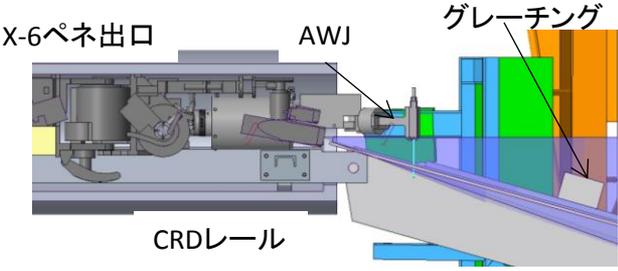
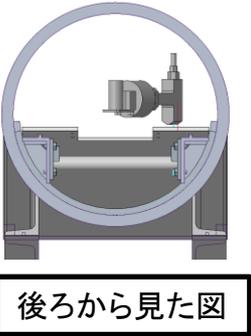
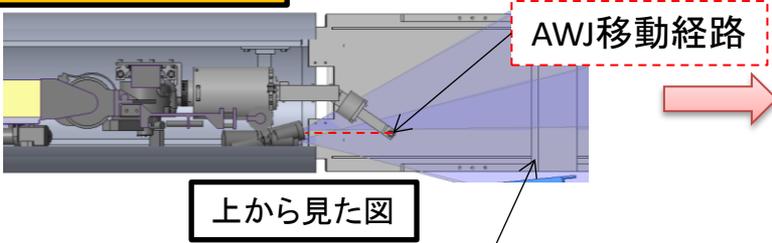
(1) 調査計画・開発計画の策定 : PCV内のアクセス、調査手順の検討

障害物	切断物寸法・重量	切断前後の概略図
CRDレール	 <p>板厚10mm 重量:29kg</p>	<p>レールとグレーチングと合わせ複数回に分けて切断</p> <p>切断前</p>  <p>レール上のグレーチング</p> <p>切断後</p>  <p>:カメラ視野</p>
グレーチング	<p>* 寸法は映像からの推定</p>  <p>重量:27kg</p> <p>切断は3回に分けて実施</p>	 <p>切断前</p>  <p>切断後</p> <p>:カメラ視野</p>
CRDレール吊上げ治具	 <p>重量:17kg</p>	<p>CRD吊上げレールの上部を切断/除去</p> <p>切断前</p>  <p>切断後</p> 
CRD開口部配管	<p>* 配管sch不明のため仮定</p>  <p>全長853mm 重量:3kg</p> <p>全長592mm 重量:3kg</p>	<p>干渉する配管</p> <p>CRD開口部</p> <p>CRD開口部</p> <p>切断前</p>  <p>切断後</p> 

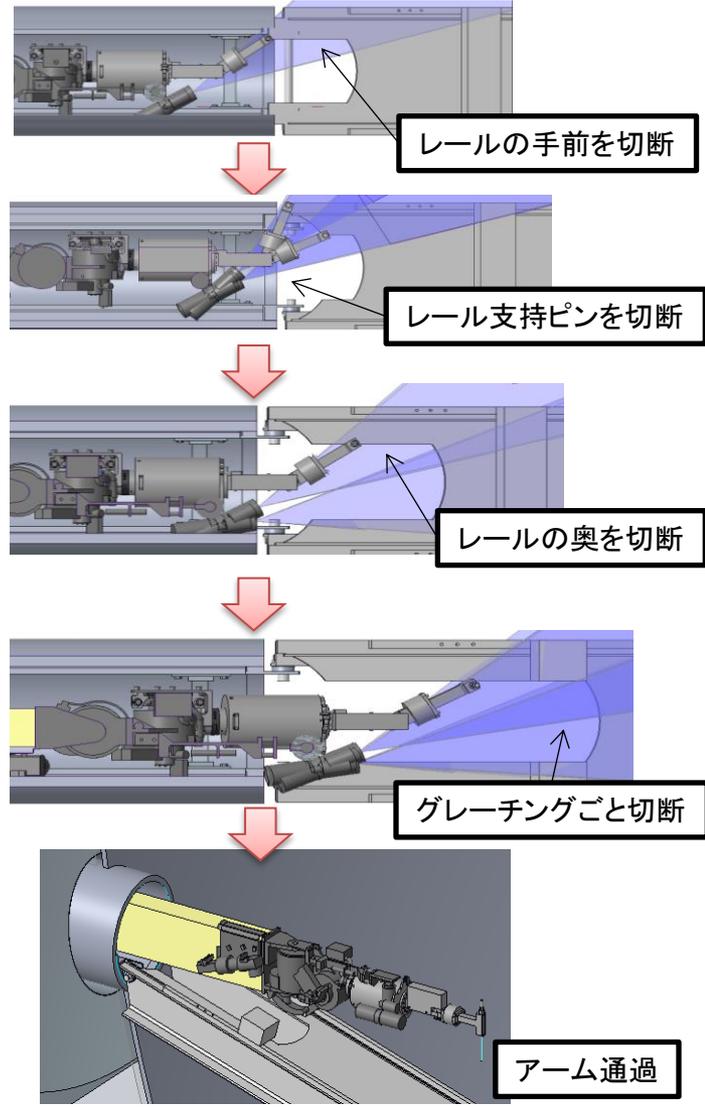
4.1 実施事項・成果

(1) 調査計画・開発計画の策定 : PCV内のアクセス、調査手順の検討

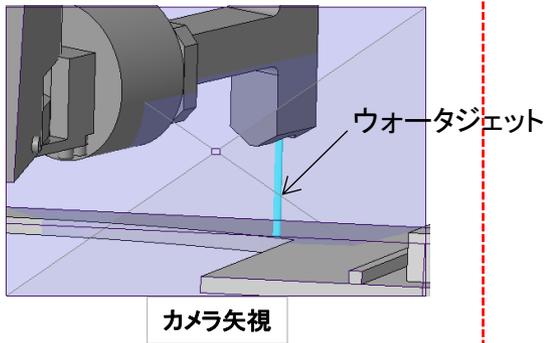
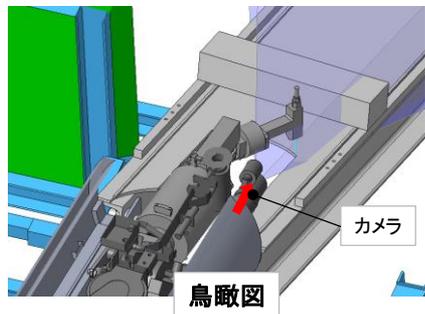
CRDレール、グレーチング切断



AWJ: アブレイシブウォータージェット



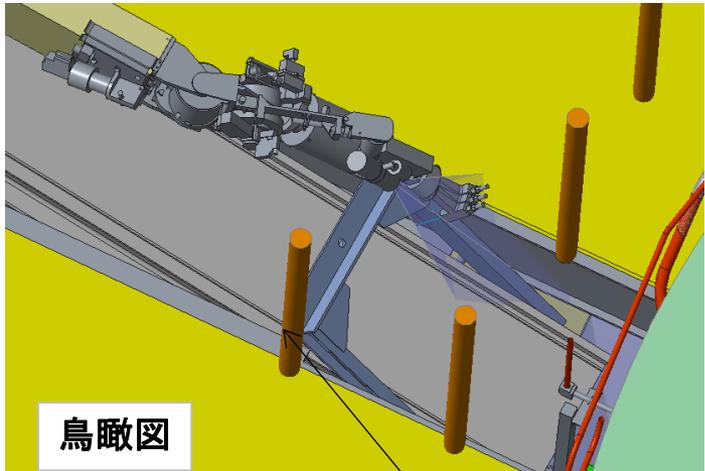
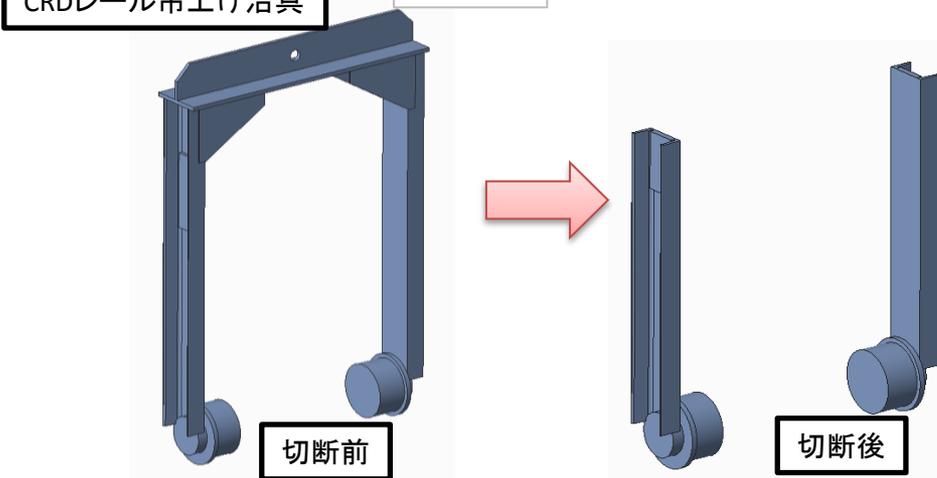
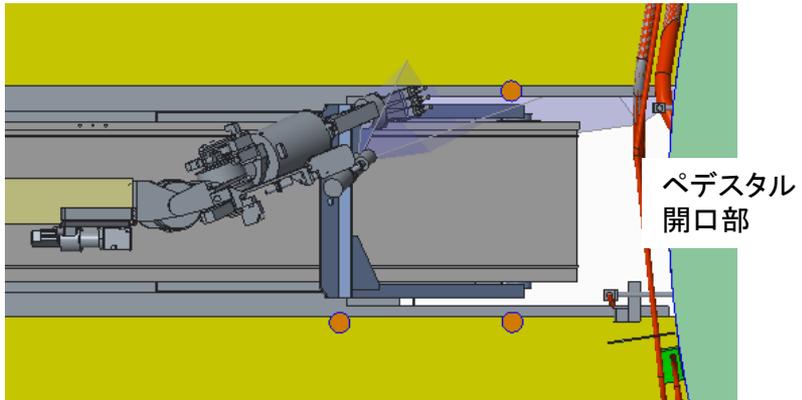
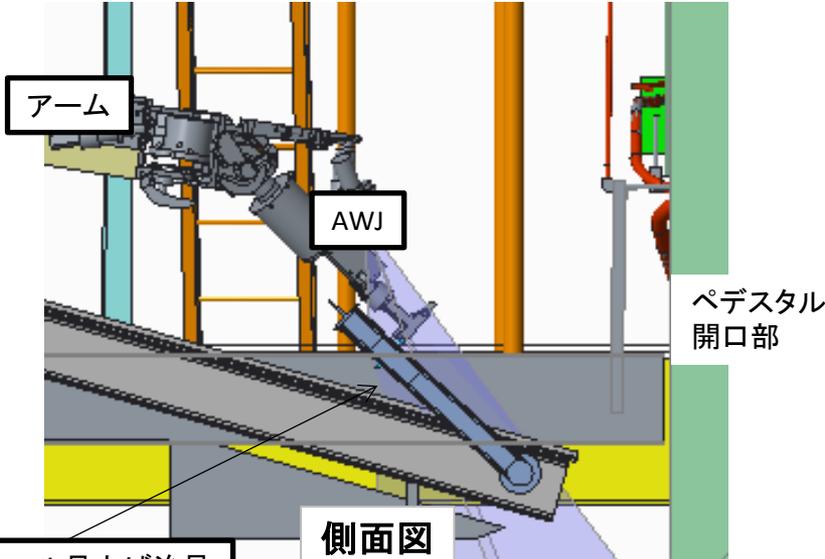
アームカメラで切断部位を確認



4.1 実施事項・成果

(1) 調査計画・開発計画の策定 : PCV内のアクセス、調査手順の検討

CRDレール吊り治具切断

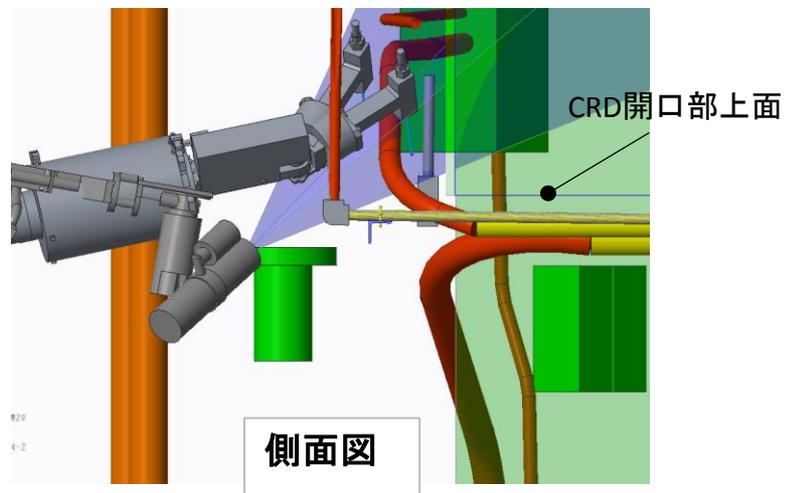
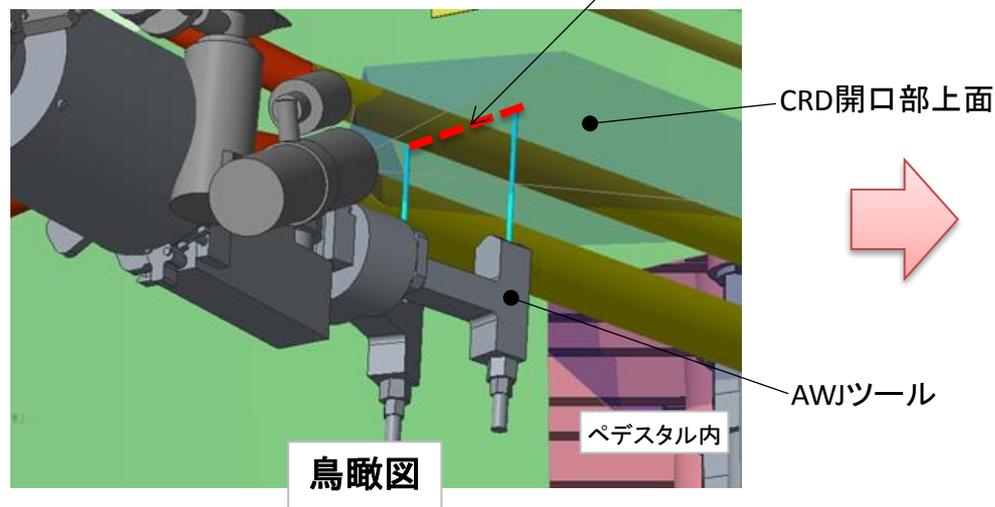
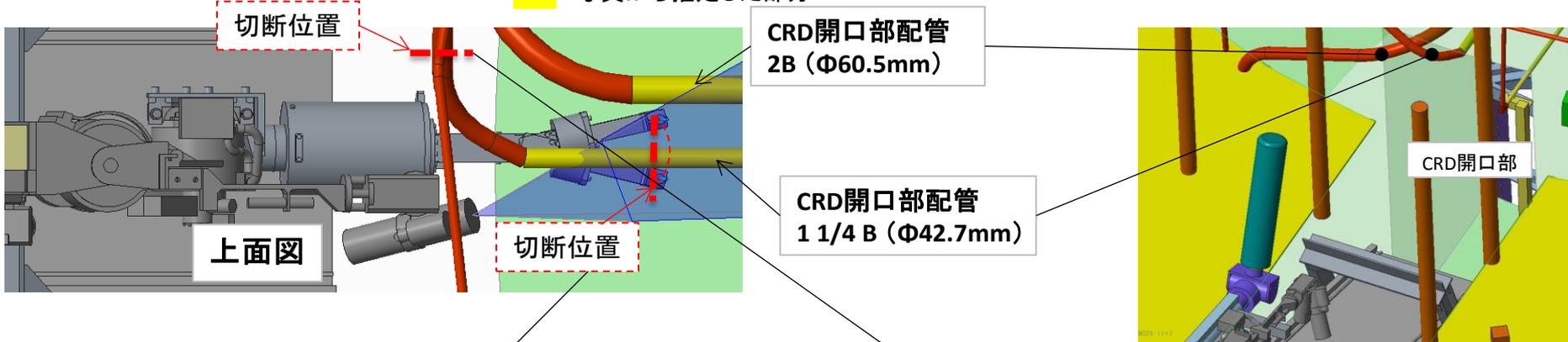


4.1 実施事項・成果

(1) 調査計画・開発計画の策定 : PCV内のアクセス、調査手順の検討

CRD開口部配管切断

■ : 点群データに基づく部分
 ■ : 写真から推定した部分

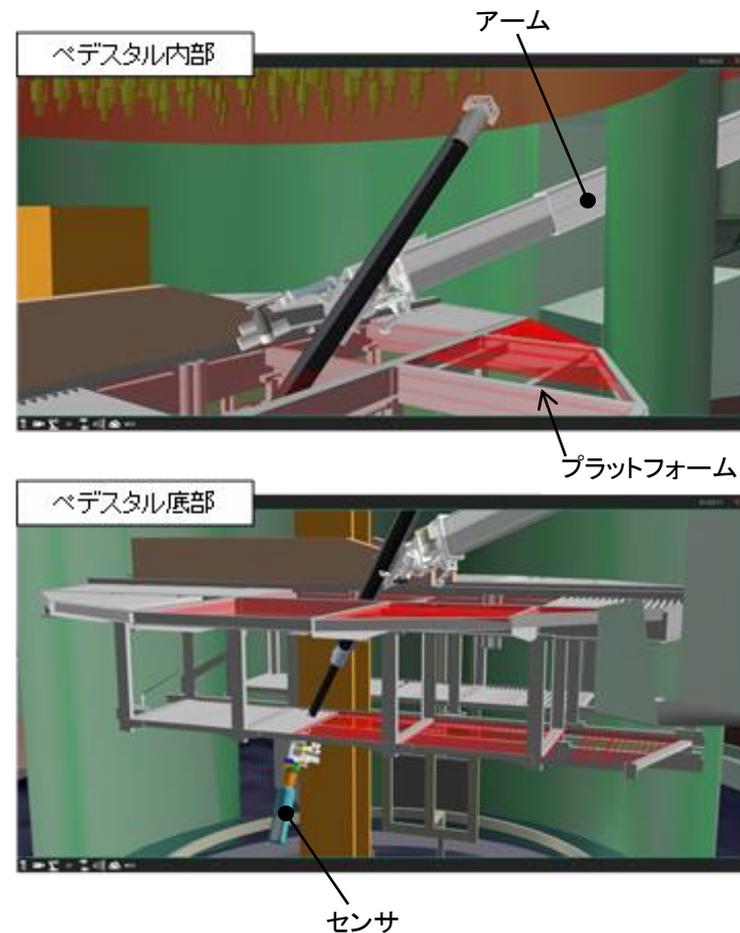
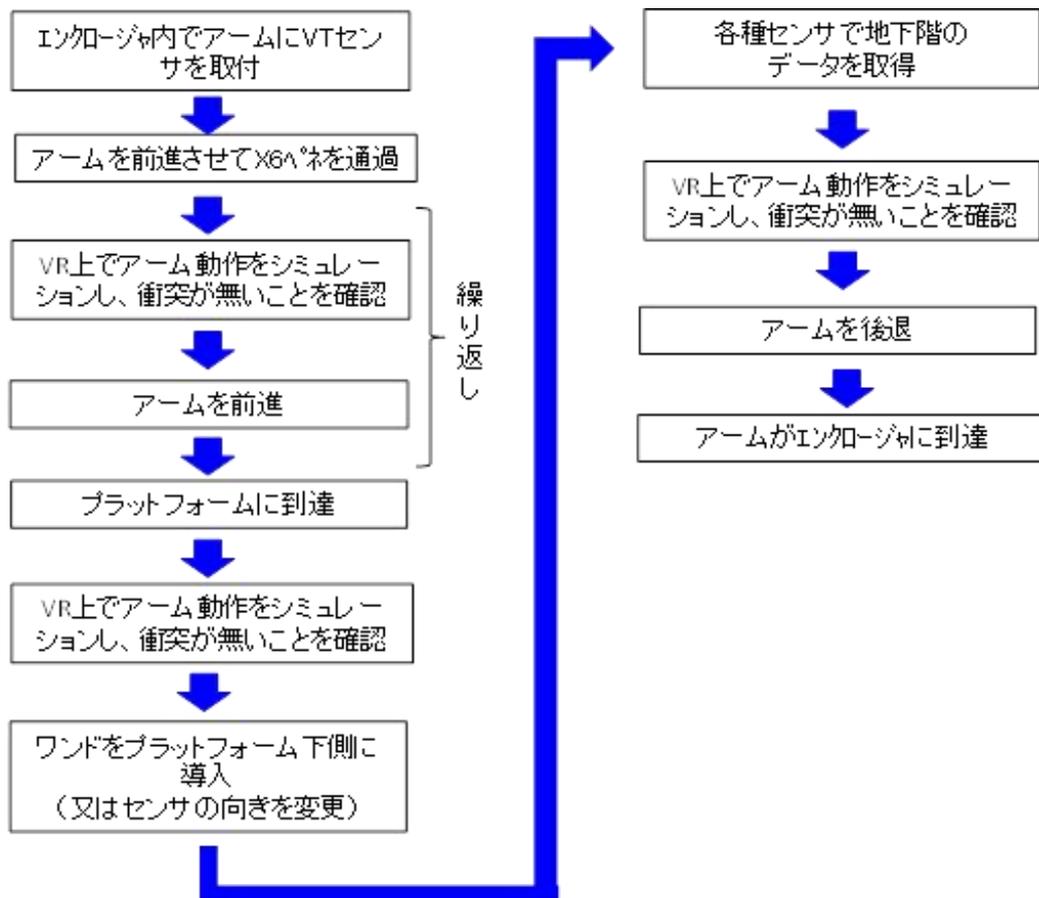


CRD開口部にAWJツールを差し込んで切断

CRD開口部上方の配管を切断

4.1 実施事項・成果

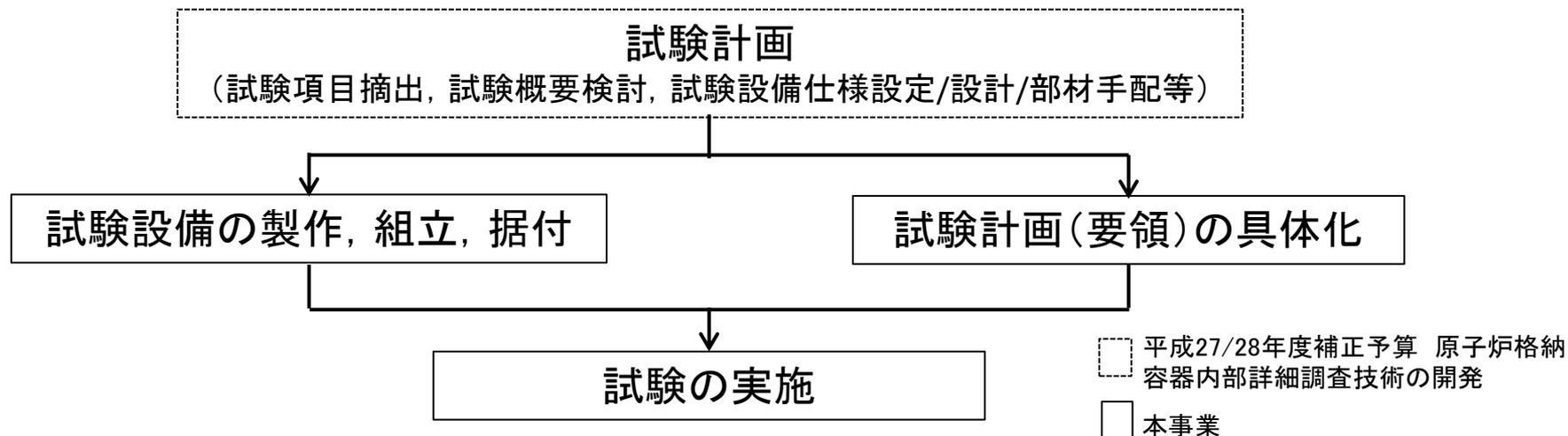
(1) 調査計画・開発計画の策定 : PCV内のアクセス、調査手順の検討
 ペDESTAL内(プラットフォーム下側)へアクセスするための詳細手順を検討



4.1 実施事項・成果

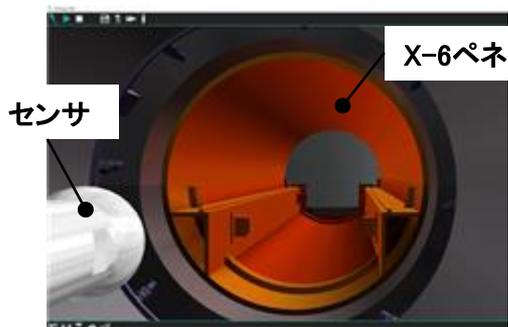
(2) 現場状況を考慮したモックアップ試験：概要

アーム型アクセス装置のモックアップ試験の概要は以下のとおり

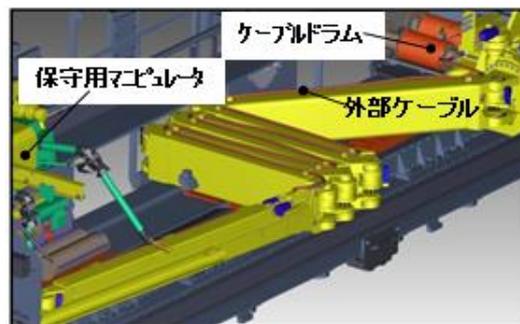


「平成27/28年度補正予算原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発」を踏まえ、以下を実施

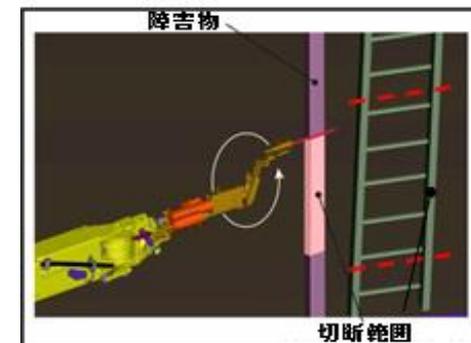
- ・試験設備の一部製作
- ・試験要領の具体化検討: 3Dデータを用いてアームや保守用マニピュレータの試験要領の作成



アームのX-6ペネ内通過性確認試験



保守用マニピュレータによるアームケーブル交換試験

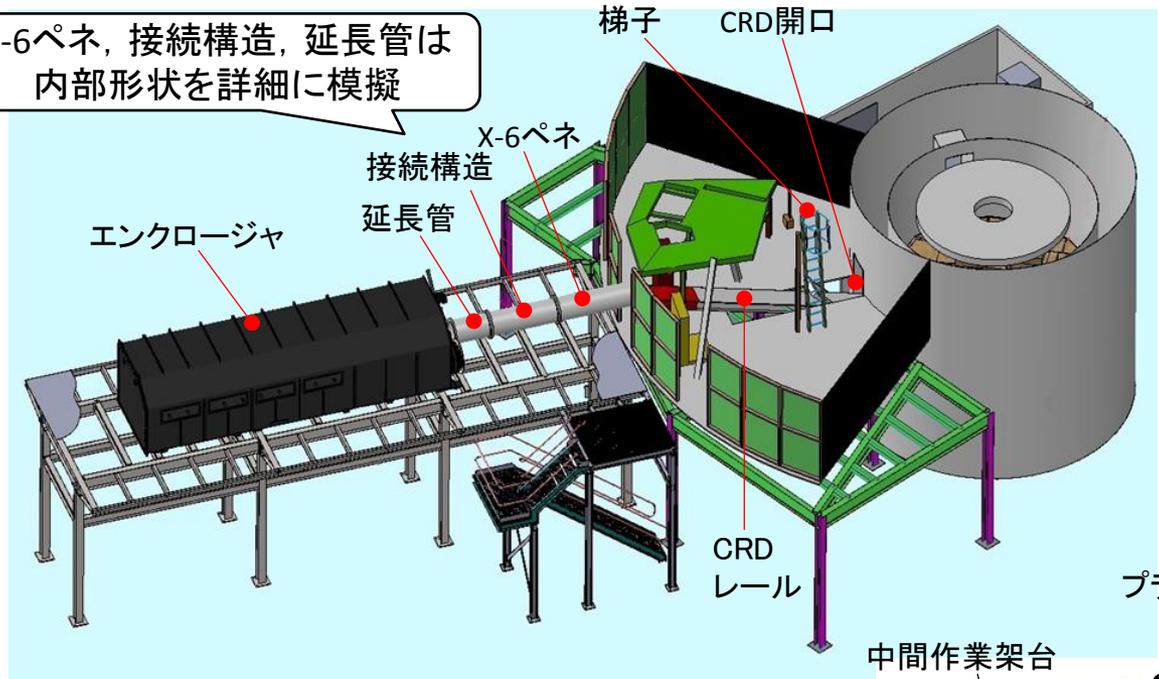


PCV内障害物の切断試験

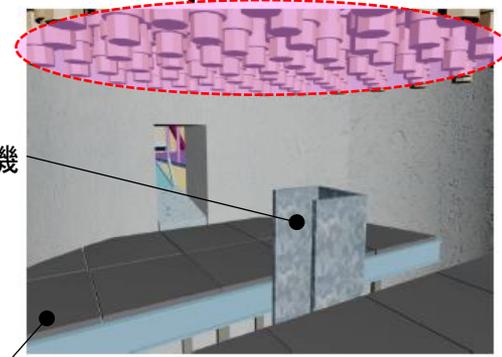
4.1 実施事項・成果

(2) 現場状況を考慮したモックアップ試験: 試験設備(@英国)の製作

X-6ペネ, 接続構造, 延長管は内部形状を詳細に模擬

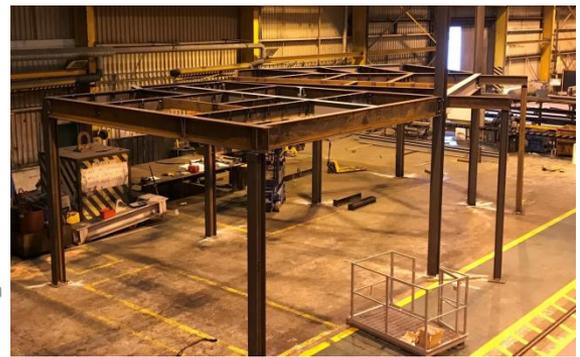
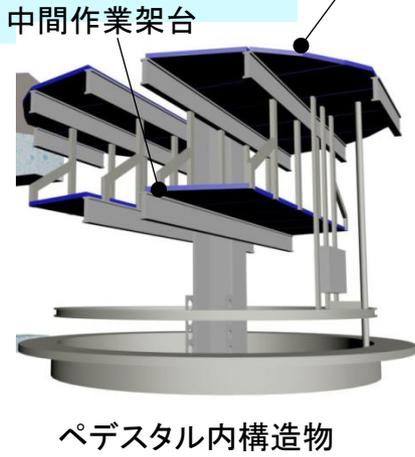
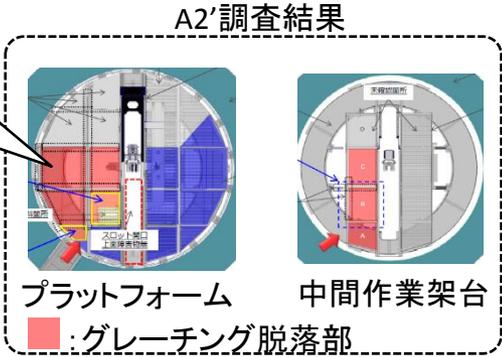


CRDは下端を平板でモデル化



プラットフォーム
ペDESTAL内プラットフォーム上

グレーチング脱落部を試験設備に反映



4.1 実施事項・成果

(2) 現場状況を考慮したモックアップ試験：試験計画の具体化(試験項目)

分類	モックアップ試験項目	概要
共通	アーム位置の校正	計算位置と実際のアームの位置の誤差を評価し、補正値をシステムに反映する
	アームのX-6ペネ通過性の確認	X-6ペネとアームの隙間が狭隘なため、アーム通過性を確認する
	センサ・ツールとアーム接続試験	センサ・ツールの遠隔交換性や動作確認を行う。
	衝突回避確認試験	アーム運転時にPCV内構造物と衝突回避可能なことを確認する
各調査	ペDESTAL下部のスキャン	アーム型アクセス装置にセンサを搭載し、調査予定位置にセンサを停止させ、所定の姿勢、動作、視認性等を確認する。
	ペDESTAL上部(炉心下部)の調査	
	ペDESTAL外側のスキャン※(フロア下部)	※今後、ペDESTAL外の作業実現性、調査により得られる成果を総合的に勘案し、実施可否を判断する
	PCV底部の外観調査	
障害物撤去	X-6ペネ障害物の撤去	調査予定位置までのアクセスルート上にある障害物について、ウォータジェット等による切断/撤去性能を確認する。
	PCV内障害物の切断	
	グレーチングの遠隔切断	
付帯作業	外付けケーブルのアームへの取付/取外し	調査の付帯作業(センサケーブルの取付/取外し、センサのエンクロージャへの搬入出、アームの清掃)を遠隔で実施できることを確認する。
	センサの搬入出	
	アームの清掃	
メンテナンス	アームカメラの遠隔メンテナンス	調査期間中のメンテナンス(アームカメラ交換、エンクロージャ内のカメラ/照明の位置調整、交換)を遠隔で実施できることを確認する。
	エンクロージャのカメラ/照明の遠隔メンテナンス	
故障時対応	保守用マニピュレータによるアームのリカバリー	調査装置の故障を想定し、PCV内からアーム退避できることを確認する。
	アームの強制引き抜き	

4.1 実施事項・成果

(2) 現場状況を考慮したモックアップ試験：試験計画の具体化

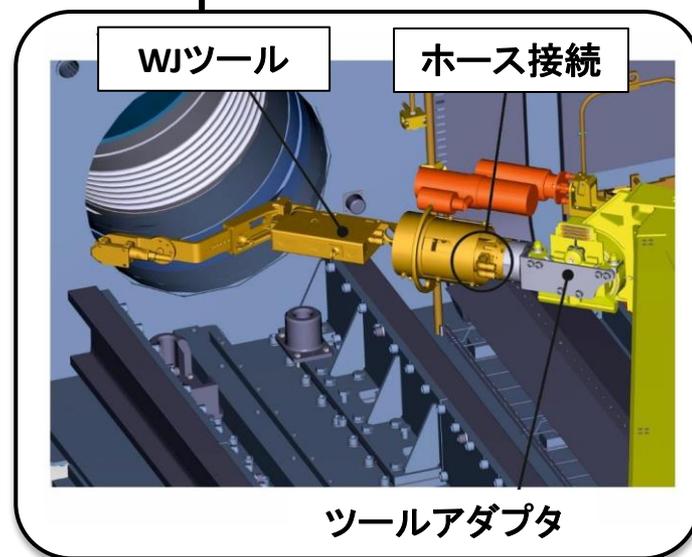
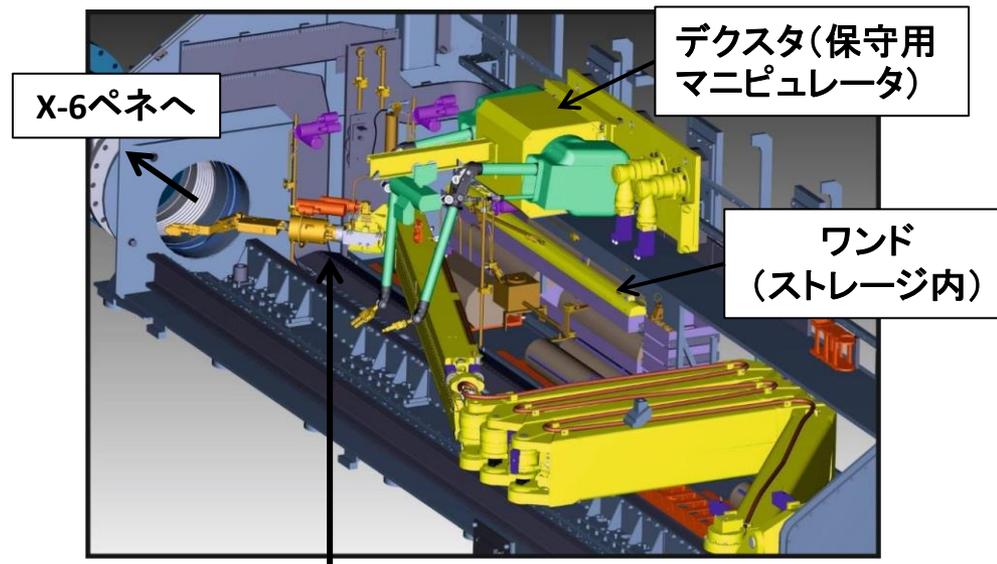
例：X-6ペネ障害物の除去

目的

PCV内へのアームの展開に先立ち、アームとウォータージェット切断ツール(WJツール)を使用し、X-6ペネ出口のCRDレールを除去する操作を検証

操作手順(概要)

1. 絶縁, 分離, 電気的および機械的取合の確認
2. デクスタでワンド(先端のツール取付部)を取外し, ストレージ(保管場所)に置く
3. デクスタでツールアダプタをアームリスト(先端)に取付け
4. デクスタでWJツールをアームのツールアダプタに取付け



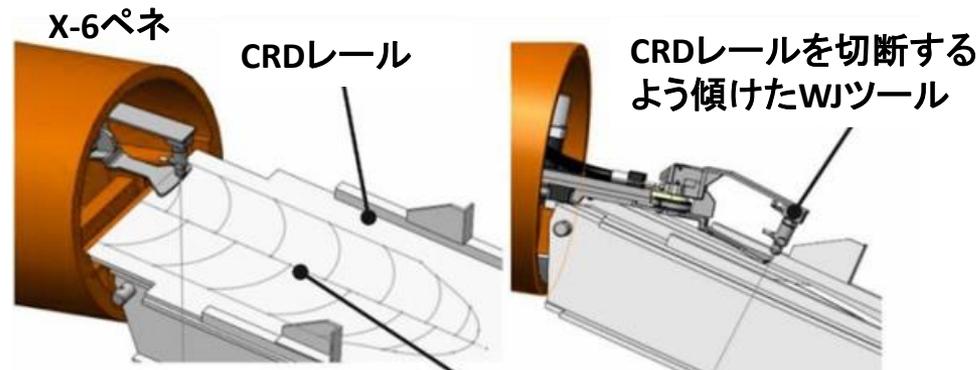
4.1 実施事項・成果

(2) 現場状況を考慮したモックアップ試験：試験計画の具体化

例：X-6ペネ障害物の除去

操作手順（つづき）

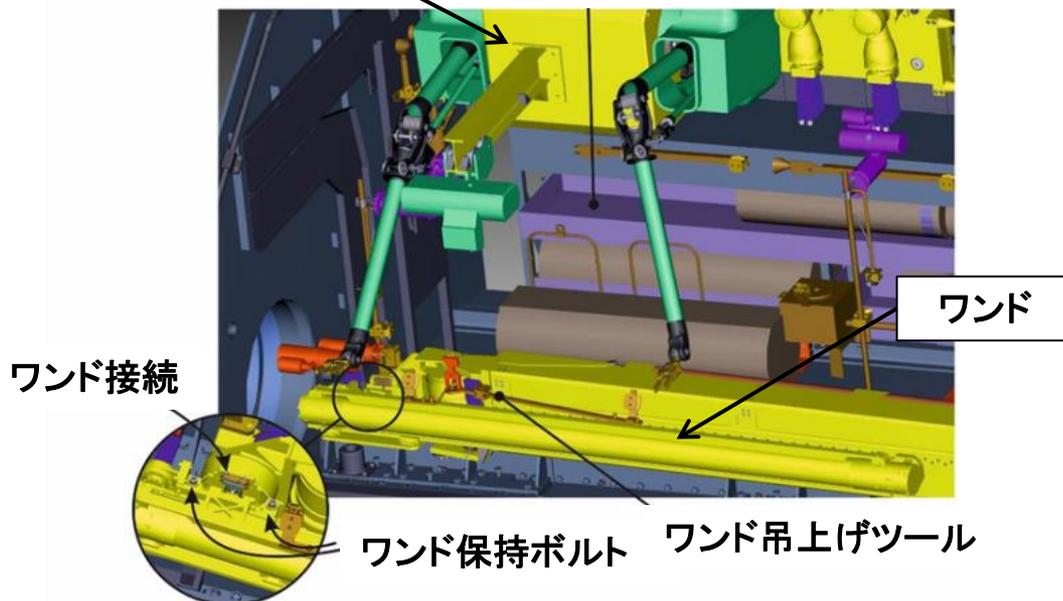
5. アームを展開し，X-6ペネのCRDレールを切断
6. アームをエンクロージャへ戻す
7. デクスタでWJツールの取外し，格納
8. デクスタでツールアダプタの取外し
9. デクスタでアームリストにワンドの取付け



切断部位

デクスタ

ストレージ



4.1 実施事項・成果

(2) 現場状況を考慮したモックアップ試験: 試験計画(要領)の具体化

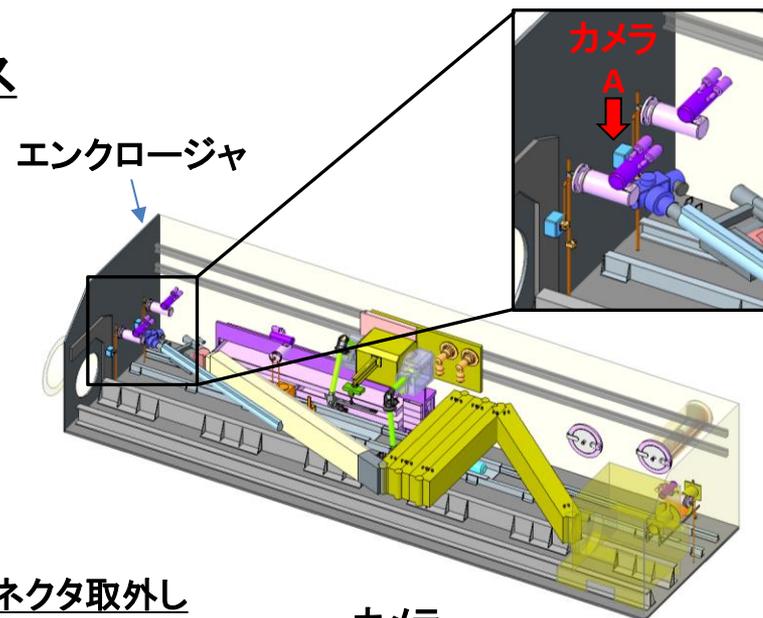
エンクロージャのカメラ/照明の遠隔メンテナンス

目的

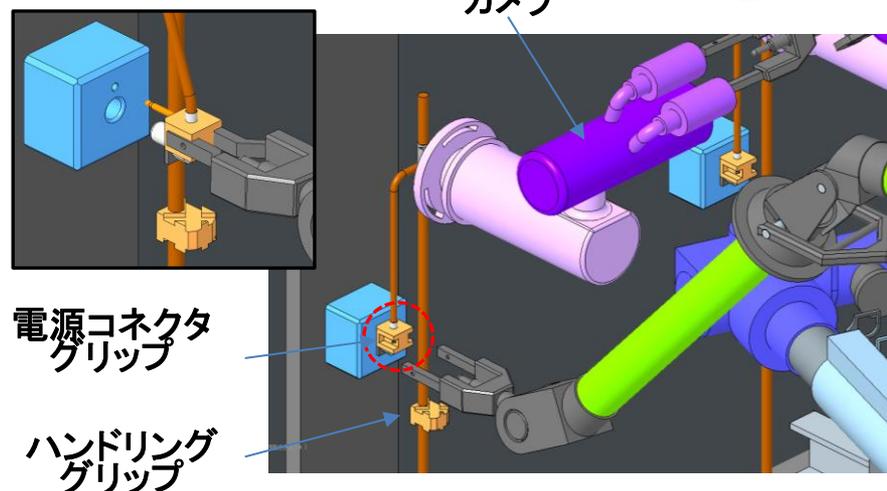
調査期間中のメンテナンス(エンクロージャ内のカメラ/照明の位置調整, 交換)を遠隔で実施できることを確認する。

カメラ取外し操作手順(概要)

1. カメラAの位置までデクスタを移動し, デクスタで電源コネクタグリップを掴む
2. 電源コネクタグリップを掴んだままグリップを水平に移動させ, 電源コネクタを電源本体から取り外す



電源コネクタ取外し



4.1 実施事項・成果

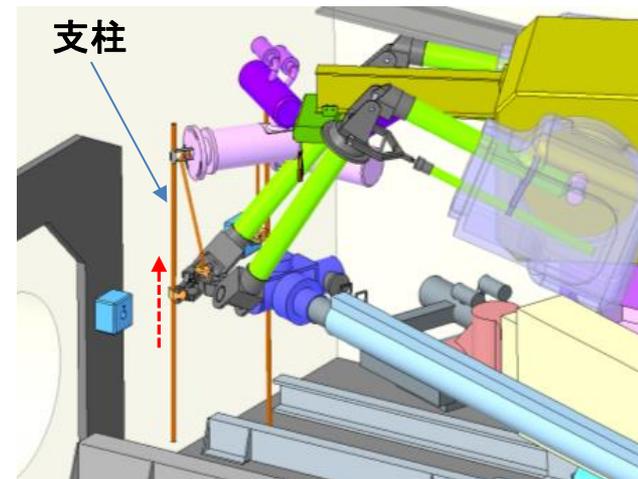
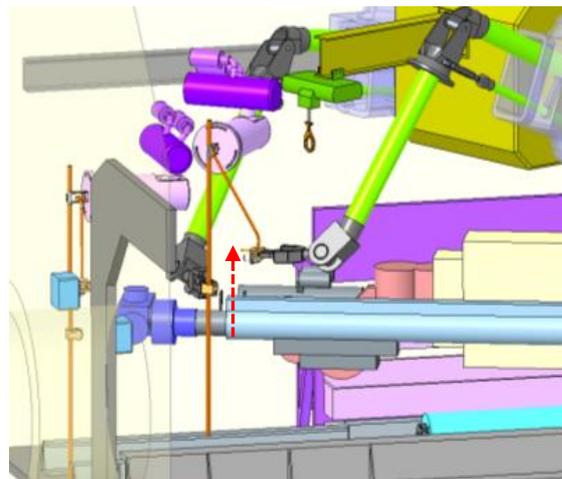
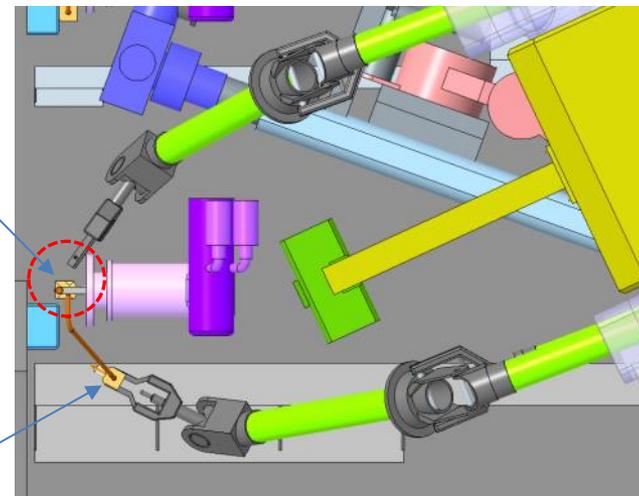
(2) 現場状況を考慮したモックアップ試験: 試験計画(要領)の具体化

エンクロージャのカメラ/照明の遠隔メンテナンス

カメラ取外し操作手順(つづき)

3. 電源コネクタグリップを掴んだまま、もう一方のグリップでハンドリンググリップを掴む
4. ハンドリンググリップを持ち上げ、エンクロージャ床面からカメラ/照明装置の支柱を外す

ハンドリンググリップ
電源コネクタグリップ



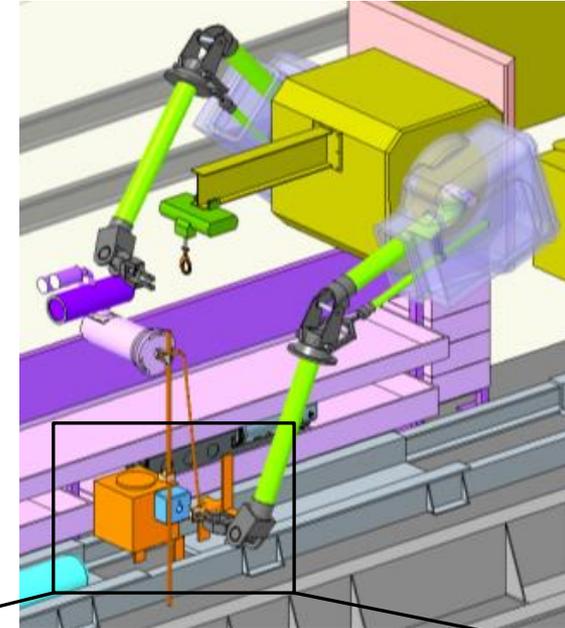
4.1 実施事項・成果

(2) 現場状況を考慮したモックアップ試験: 試験計画(要領)の具体化

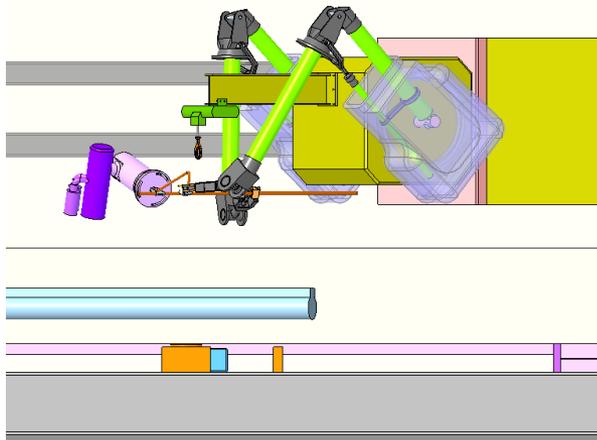
エンクロージャのカメラ/照明の遠隔メンテナンス

カメラ設置操作手順(つづき)

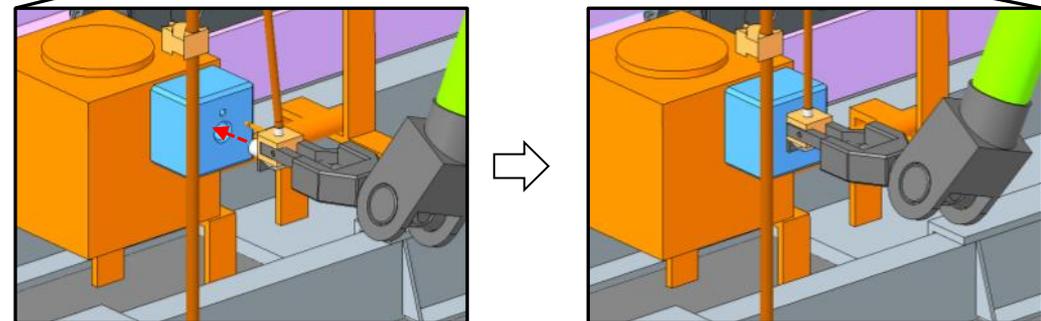
5. カメラ／照明装置を持って設置位置まで移動し、支柱を取付ける。
6. 電源コネクタグリップを掴んだままグリップを水平に移動させ、電源コネクタを電源本体に差込む



デクスタ移動



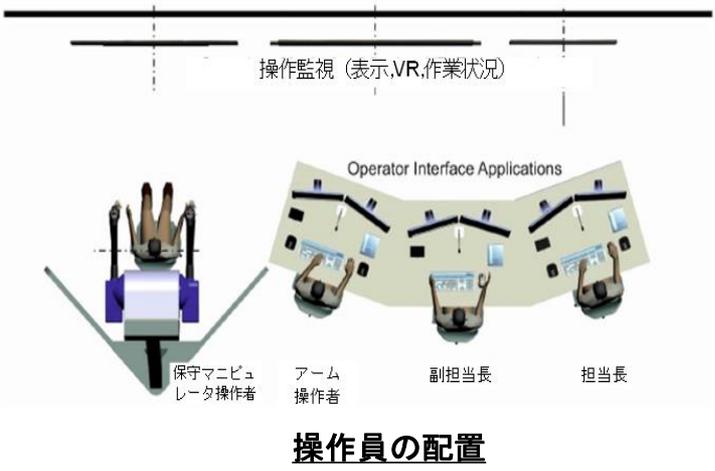
電源コネクタ取付け



4.1 実施事項・成果

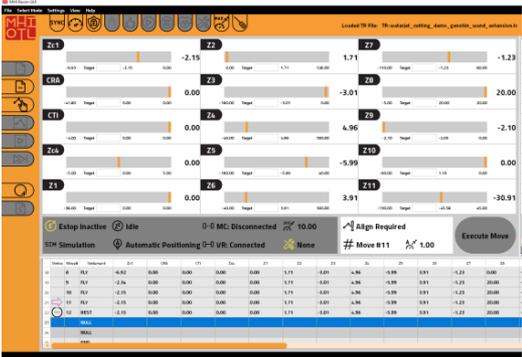
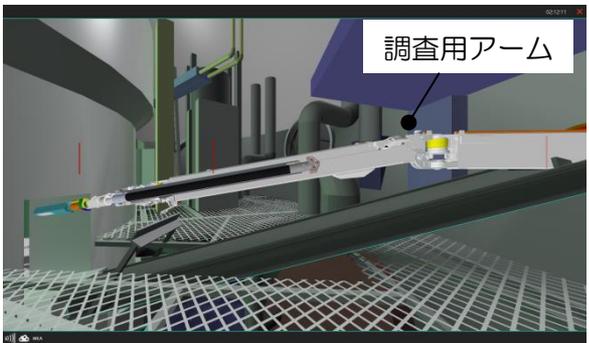
(3) 作業訓練

■アーム型アクセス装置の操作体制は以下のとおり。各操作員で役割と訓練方針を設定した。今後それぞれの操作員に応じ適切なトレーニング計画を策定していく予定。



	役割	訓練方針
担当長	<ul style="list-style-type: none"> チームの監督 操作作業手順とシステムの管理 	<ul style="list-style-type: none"> 事前トレーニング (操作システム (シミュレーションシステム) を使用) 実機トレーニング (実機およびモックアップを使用)
副担当長	<ul style="list-style-type: none"> 担当長の代理 表示、照明、補助装置の操作 	
アーム操作者	アームの操作	
保守マニピュレータ操作者	デスクタの操作	<ul style="list-style-type: none"> 事前トレーニング (訓練用マニピュレータを使用) 実機トレーニング (実機およびモックアップを使用)

■調査用アームについて、運転シミュレーションが可能な操作システム (VRシステム) を構築 (右図)。担当長、副担当長およびアーム操作者については、本システムを用い事前トレーニングを実施し、実機トレーニングの効率化を図る。今後、トレーニングメニューおよびスケジュールの詳細計画を策定。



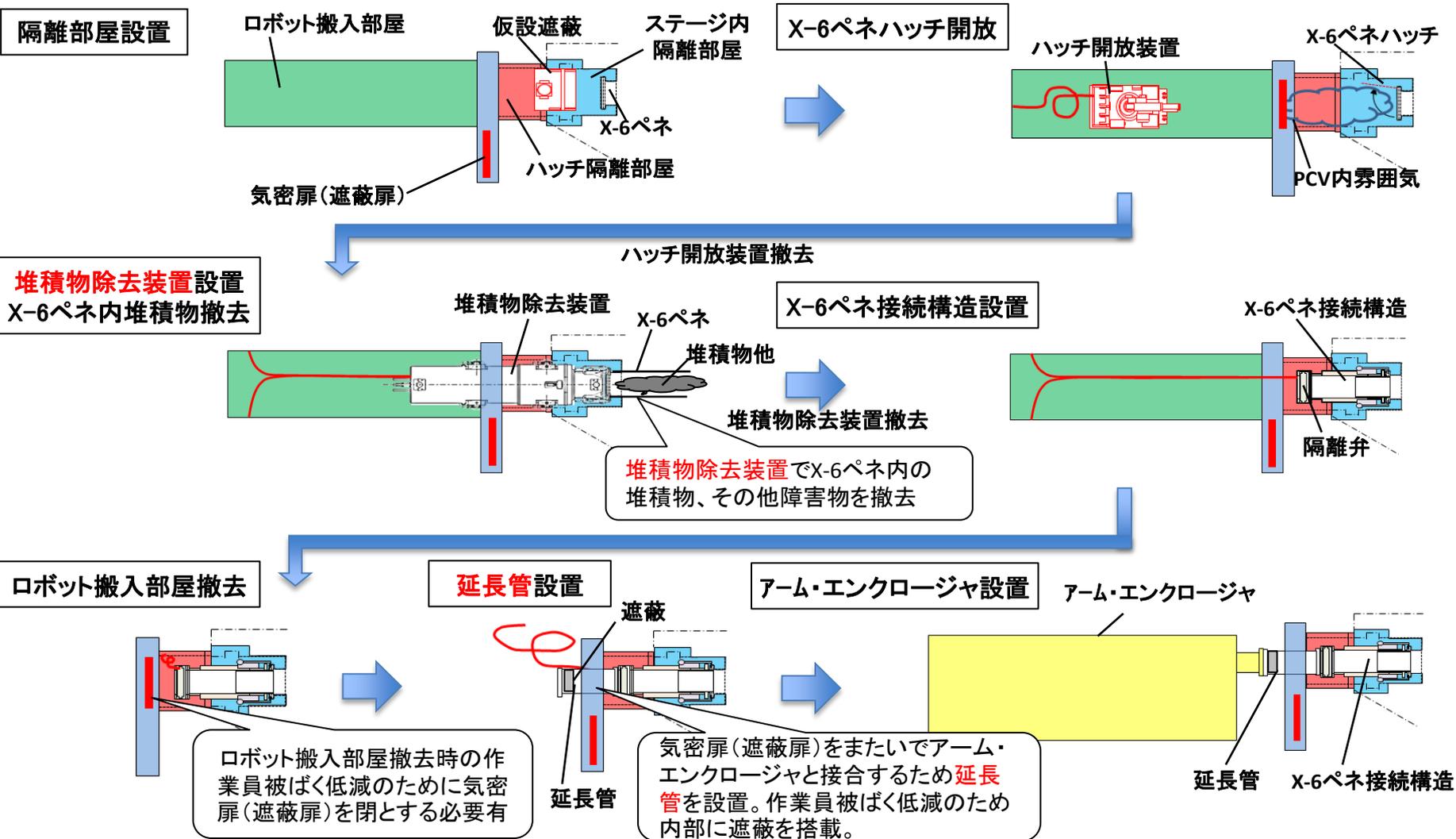
表示画面 (PCV内へのアームのアクセス)

入力画面

調査用アームの操作シミュレーション用システム

4.1 実施事項・成果

(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 現地のアクセスルート構築手順概要



4.1 実施事項・成果

(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

① X-6ペネ接続構造(1/12) : モックアップ試験／隔離部屋組合せ試験

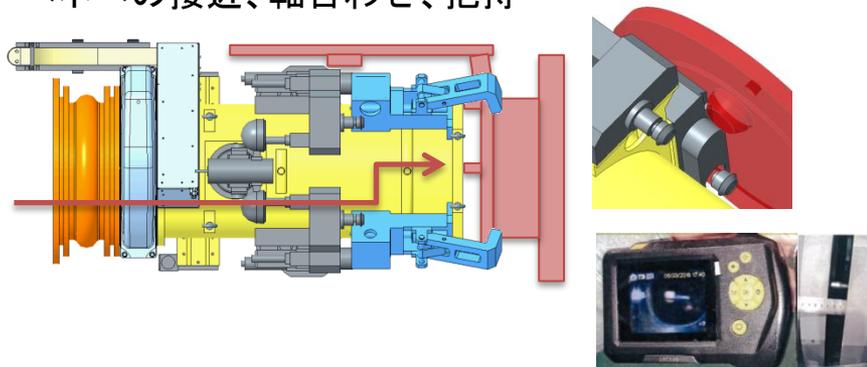
【目的】(1) X-6ペネ接続構造の**基本手順の確認**

(2) X-6ペネ接続構造の据付、撤去作業の**作業性および作業時間の確認**

(3) リスクアセスメントにより抽出された項目の対応 (**対策の有効性確認**)

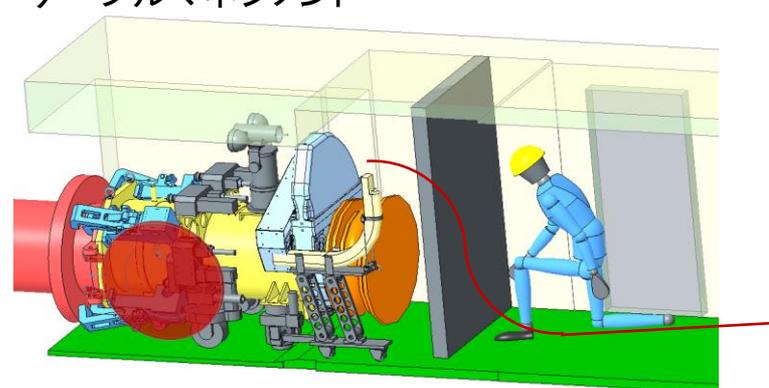
(1) (2) 基本機能、基本手順確認の例

・ペネへの接近、軸合わせ、把持



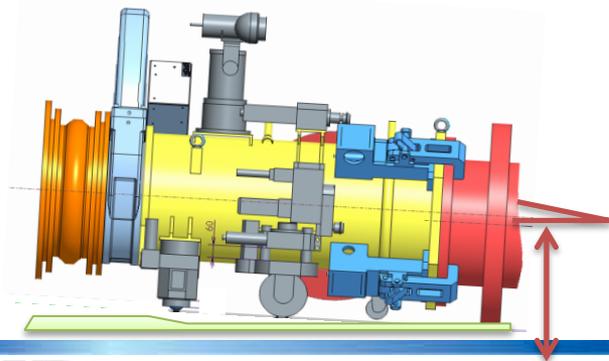
(2) 作業性、手順及び作業時間の確認の例

・ケーブルマネジメント



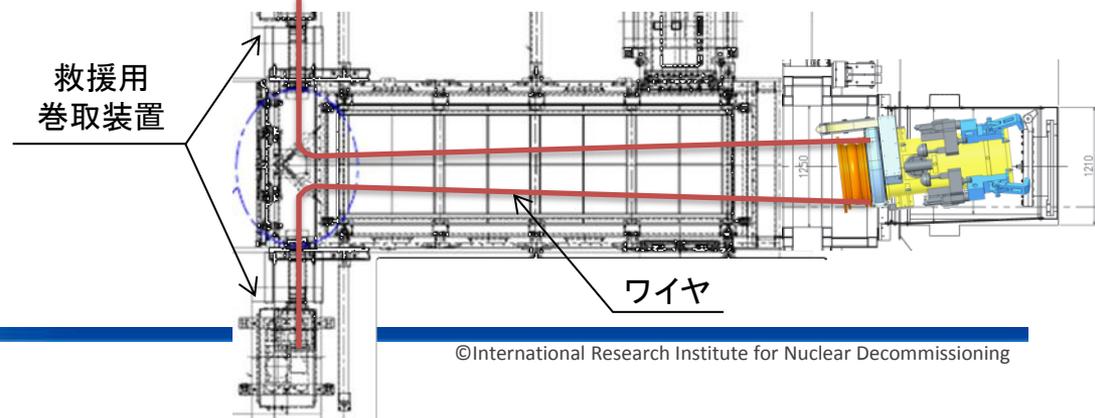
(3) リスク対応策の有効性確認の例

・ペネの傾き、高さが要求仕様外の場合の手順



(3) リスク対応策の有効性確認の例

・救援用巻取装置による離脱手順



4.1 実施事項・成果

(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

① X-6ペネ接続構造(2/12) : モックアップ試験／隔離部屋組合せ試験

【試験概要／試験装置】

- リスクアセスメントにより試験項目を抽出し、試験条件(試験装置仕様)を設定
- 試験条件に応じて、モックアップ試験と隔離部屋組合せ試験に仕分けて試験を実施
 - ・モックアップ試験 : 基本手順およびリスク対応手順の確認(X-6ペネの傾き対応等)
 - ・隔離部屋組合せ試験 : 実機装置(付帯設備含む)を用いた一連の作業の成立性確認

項目		モックアップ試験	隔離部屋組合せ試験
目的	(1)基本手順の確認	走行, 把持, 気密確認	一連の据付, 離脱作業手順の確認
	(2)作業性確認	スロープ, 接近, 接続時の操作性 ケーブルマネジメント	カーテンレールを用いたケーブルマネジメント スキッドによる搬入
	(3)リスク対策の有効性確認	フランジ角度, 平面度不整への対応 停電時, 単一故障時の手順の確認	救援用巻取装置による緊急離脱作業
試験装置仕様 ／ 模擬性	フランジ	角度: ±1deg 軸高さ: ±10mm	ノミナル 角度: 0.2deg、軸高さ: +3mm
	ハッチ	邪魔板で模擬	実機の寸法、材質と同一とする
	隔離部屋内寸法	内寸を模擬	実機装置を使用
	床面	SS400相当材	実機装置を使用(SUS304, SS400)
	スロープ	傾斜角, 長さを模擬	実機装置を使用
	視認性	暗幕で真暗/照度を模擬	実機装置を使用
	付帯設備	フランジ面気密確認用設備 気密扉(邪魔板で模擬)	救援用巻取装置 カーテンレール、気密扉 ロボット搬入部屋カメラ

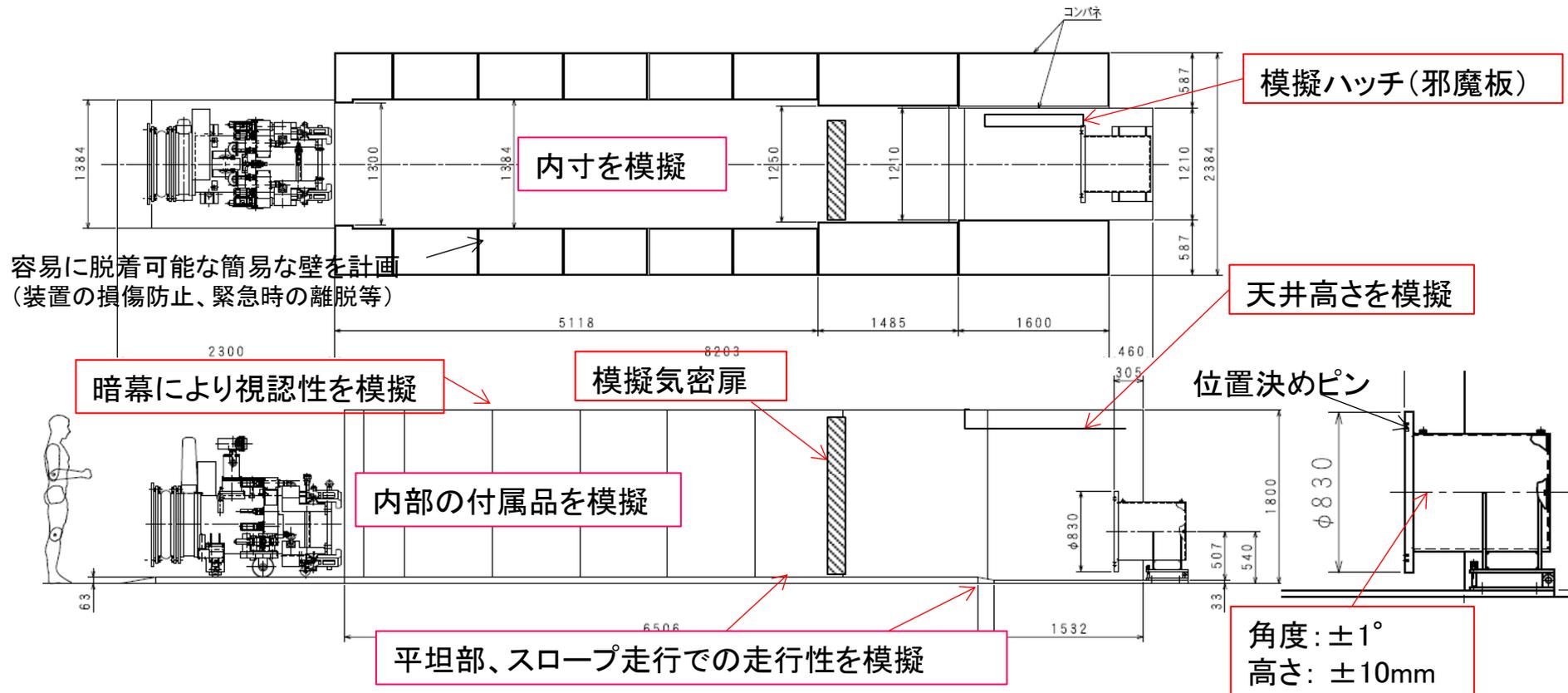
4.1 実施事項・成果

(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

① X-6ペネ接続構造(3/12) : モックアップ試験／隔離部屋組合せ試験

【試験概要／試験装置】

➤ モックアップ試験装置



4.1 実施事項・成果

(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

① X-6ペネ接続構造(4/12) : モックアップ試験／隔離部屋組合せ試験

【試験結果一覧】基本手順の確認、作業性および作業時間の確認(試験目的(1),(2) に対応)

No.	基本手順	試験項目	試験内容と試験条件(判定基準)	単独 ※1	組合 せ※2
1-1	接続構造の搬入、 ケーブル類敷設	搬入作業性	搬入作業での干渉有無、作業性の確認 作業時間の計測	○	○
1-2		ケーブル引き 回し	ロボット搬入部屋内のケーブル引き回し作業性の確認 作業時間の計測	—	○
1-3	X-6ペネフランジ 前まで走行	走行性の確認	走行性の確認(直進性:20mm/m以内)	○	○
1-4			スロープでの走行性の確認(傾斜:11.2deg)	○	○
1-5			結露床面での走行性の確認	未	—
1-6		視認性の確認	隔離部屋内壁面とのクリアランスの視認性の確認 (最小隙間:7mm)	○	○
1-7	X-6ペネフランジ への接近、軸合 わせ	接近時の操作 性	接近時の操作性、軸調整操作性の確認 (軸高さのズレ:+3mm)	○	○
1-8			後輪がスロープ上での操作性の確認(傾斜:11.2deg)	○	○
1-9	X-6ペネフランジ への接続	把持機構の操 作性	把持操作性の確認 (ペネ傾き:0.2deg(下向き))	○	○
1-10	X-6ペネフランジ 部の気密確認	気密確認手順 の確認	気密確認手順の確認 (圧力11kPa、保持時間10分、著しい減圧がないこと)	○	—

4.1 実施事項・成果

(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

① X-6ペネ接続構造(5/12) : モックアップ試験／隔離部屋組合せ試験

【試験結果一覧】基本手順の確認、作業性および作業時間の確認(試験目的(1),(2)に対応)

No.	基本手順	試験項目	試験内容と試験条件(判定基準)	単独 ※1	組合 せ※2
1-11	ケーブル類の 隔離部屋側へ の仕舞い	気密扉の微開作 業性の確認	走行, 接続後のケーブル引き回し状態の確認	—	○
1-12			気密扉への巻き込み有無の確認	—	○
1-13		ケーブル仕舞い 作業性の確認	ケーブル仕舞い作業性の確認 作業時間の計測	○	○
1-14	ケーブル類の 復旧, 接続	ケーブル復旧作 業性の確認	ケーブル復旧作業性の確認 作業時間の計測	○	○
1-15			延長管の接続作業に必要なスペースが確保できること の確認(クリアランス20mm確保(目標))	未	—
1-16	接続構造の離 脱	把持機構の操作 性(解除)	把持解除の操作性の確認 (ペネ傾き: 0.2deg(下向き))	○	○
1-17		走行性の確認 (離脱時)	スロープの走行性の確認 (傾斜: 11.2deg)	○	○

4.1 実施事項・成果

(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

① X-6ペネ接続構造(6/12) : モックアップ試験／隔離部屋組合せ試験

【試験結果一覧】リスクアセスメントにより抽出した項目の対応(試験目的(3)に対応)

No.	リスク因子	想定リスク	試験内容(判定基準)	単独 ※1	組合 せ※2
2-1	形状不整	ペネの傾き, フランジ～床面高さ等 が要求仕様外であることによる接続 不可	続行可能かの判断材料, 対応策検 討のための情報取得方法の確認	未	—
2-2		フランジ面の異物等による気密確保 困難	気密確保困難時の対応手順の確認	未	—
2-3		スリップ等により接続構造の姿勢が 大幅に乱れる	走行による離脱手順の確認	○	—
2-4			救援用巻取装置による離脱手順の 確認	—	○
2-5	異物・結露	レーザセンサ, 接近カメラへの異物・ 水滴付着による作業継続不可	走行による離脱手順の確認	○	—
2-6			レーザセンサ計測点の水濡れ時の 計測精度確認(精度:0.2mm)	未	—
2-7	異常線量・ 偶発故障	駆動系, 計測系の故障による走行不可	救援用巻取装置による離脱手順の 確認	—	○
2-8		把持機構の故障による離脱不可	トルクチューブ駆動への切り替え作 業性、作業時間の計測	未	—
2-9	外部電源 喪失	走行中, 把持中, 調査中における外 部電源喪失	各状態での停電時の作業手順の確 認	未	—

4.1 実施事項・成果

(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

①X-6ペネ接続構造(7/12) : モックアップ試験／隔離部屋組合せ試験

【試験結果(成果概要)】

- モックアップ試験/組合せ試験計画に基づき、試験の一部を実施した。
- 引き続きリスク対策の有効性確認を行うとともに、更なる被ばく低減のための作業性向上策の検討、リスク低減のための改良を実施した上で、据付手順の確立を行う。

No.	試験項目	確認結果
1-1	搬入作業性	<ul style="list-style-type: none"> ・干渉なくロボット搬入部屋への搬入を完了した。(有人作業) ・作業時間約15分 (今後、工事計画へ反映し、トレーニングによる習熟を図る)
1-2	ケーブル引き回し	<ul style="list-style-type: none"> ・干渉なくケーブル引き回しを完了し、作業性に問題がないことを確認した(有人作業) ・作業時間約20分 (今後、工事計画へ反映し、トレーニングによる習熟を図る)



ケーブル引き回し(敷設)状況

4.1 実施事項・成果

(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

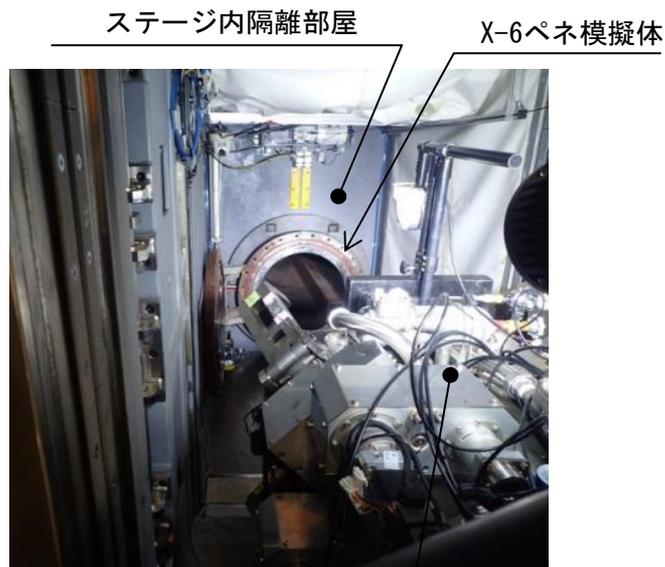
① X-6ペネ接続構造 (8/12)

No.	試験項目	確認結果
1-3 1-4	走行性の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ケーブルの抵抗により走行性が阻害されることなく、平坦部およびスロープを正常に走行した。 ・直進性: 10mm/m以下 (目標20mm/m※)
1-6	視認性の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・隔離部屋内壁面とのクリアランス(10mm程度)を視認できることを確認した
1-17	走行性の確認 (離脱時)	<ul style="list-style-type: none"> ・安定してスロープ (実機装置と同一の傾斜: 11.2deg) を登れることを確認した。
2-3 2-5 2-7	走行による離脱手順の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・姿勢が乱れた状態(50mm程度ずらした条件)から、隔離部屋内壁面と接触することなく離脱できることを確認した。 ・離脱時において、クリアランスの視認に有効なカメラ位置を確認した。

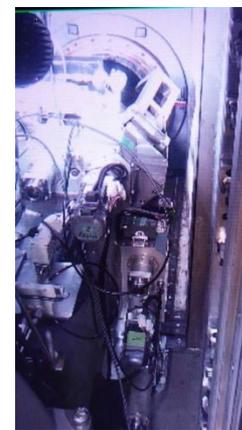
- ※ ・最小隙間: 7mm
 ・狭隘部での走行の前進幅: 50mm
 ・目標の直進性: 1mm/50mm = 20mm/m より設定



カメラ



X-6ペネ接続構造



離脱時のカメラ位置と視野



カメラ

ステージ内隔離部屋

X-6ペネ模擬体

4.1 実施事項・成果

(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

① X-6ペネ接続構造(9/12)

No.	試験項目 (試験条件)	確認結果
1-7 1-8	接近時の操作性	<ul style="list-style-type: none"> ・ハッチ封止プラグと接触することなく(最接近で25mm程度)接近できることを確認した。 ・昇降機構で軸調整し、把持できることを確認した。但し、位置決めピンが擦れながら挿入されるケースがあった。
1-9	把持機構の操作性	<ul style="list-style-type: none"> ・把持できることを確認した。但し、隔離部屋の一部(セパレートブーツ)と接触するケースがあった。
1-10	気密確認手順の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・気密確認の手順、および、正常に気密を確保できることを確認した。(減圧なし)
1-16	把持機構の操作性(解除)	<ul style="list-style-type: none"> ・把持を解除し、周囲と接触なく離脱できることを確認した。

- 現地の状況によってはハッチとのクリアランスがさらに狭隘となるリスクがあることから、**運転監視カメラの追設等を検討する**
- 接触や位置決めピンのかじりなどのリスクを低減させるため、**姿勢制御の向上策を検討する**
- 現地の状況によっては把持機構のまわりのスペースが狭隘となることから、**干渉回避策(把持爪軌道のコンパクト化等)を検討する**



位置決めピン 把持途中 X-6ペネ模擬体



位置決めピン挿入時

4.1 実施事項・成果

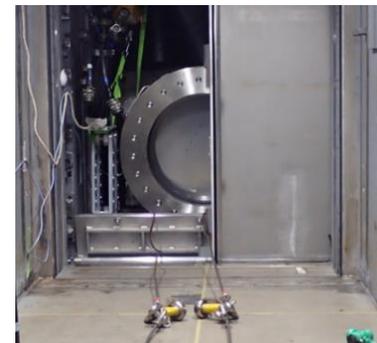
(4) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

① X-6ペネ接続構造(10/12) : モックアップ試験／隔離部屋組合せ試験

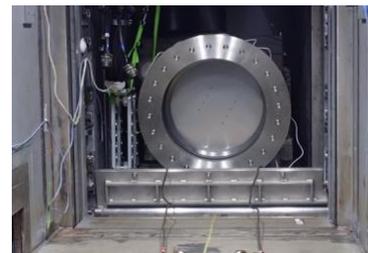
No.	試験項目	確認結果
1-11	気密扉の微開作業性の確認	・走行後の引き回し状態は、後続のケーブル仕舞い作業性を阻害することなく適切であることを確認した
1-12		・ケーブル類は気密扉に巻き込まれないことを確認した(5回実施し、再現性を確認)



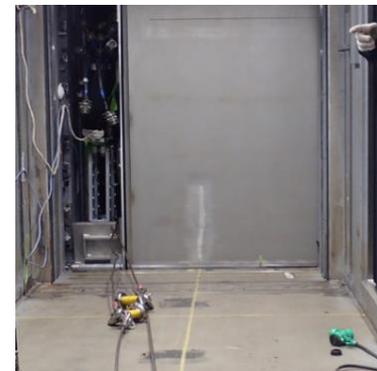
①操作前



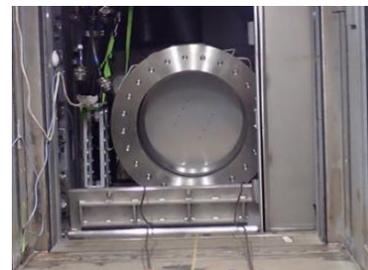
④気密扉作動



②可動スペーサ開



⑤気密扉微開状態



③気密扉作動

気密扉微開操作

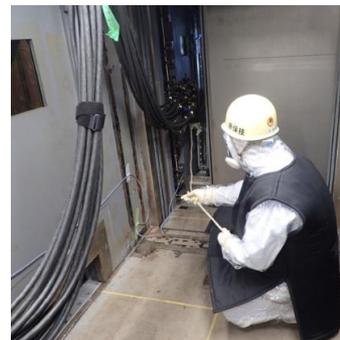
4.1 実施事項・成果

(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

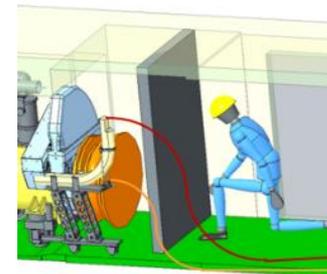
① X-6ペネ接続構造(11/12)

No.	試験項目	確認結果
1-13 1-14	ケーブル仕舞い／復旧作業性の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・現地の作業性を模擬し、ケーブル仕舞い／復旧作業が実施できることを確認した(有人作業) ・作業時間約15分(今後、工事計画へ反映し、トレーニングによる習熟を図る) ・作業効率化のための改良点を抽出した

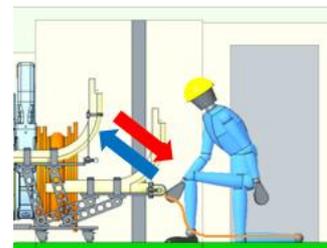
- ケーブル(コネクタ)の仕分け作業に時間を要したため、作業効率向上(被ばく低減)のためのケーブルラック改良を検討する



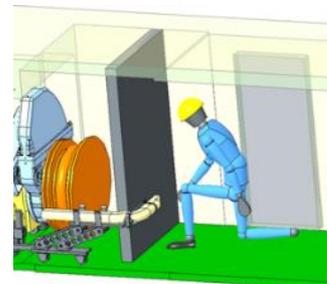
① ドローコードの確認



② ケーブルラックの引き出し



③ ケーブルラックの回転

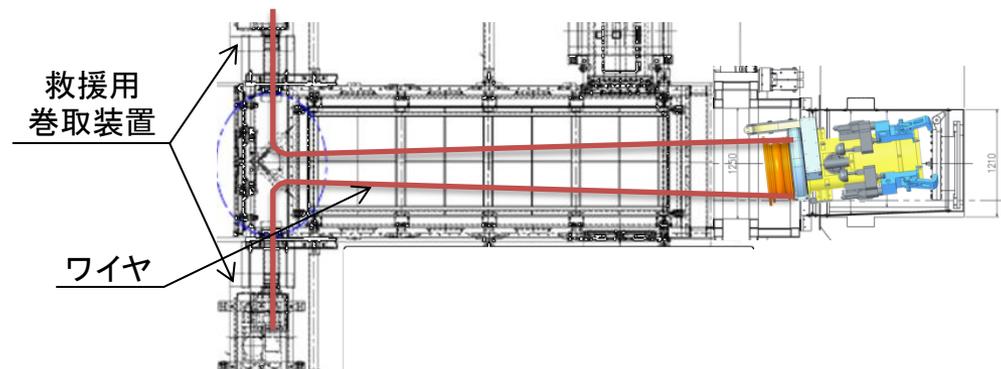
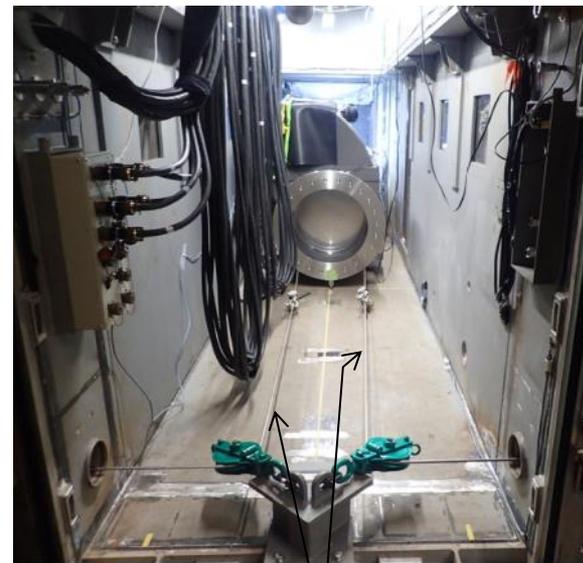


4.1 実施事項・成果

(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

① X-6ペネ接続構造(12/12) : モックアップ試験／隔離部屋組合せ試験

No.	試験項目	確認結果
2-4	救援用巻取装置による離脱手順の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・救援用巻取装置により、隔離部屋内壁面に接触することなく離脱できることを確認した ・姿勢が乱れた場合でも、2基の救援用巻取装置の巻取り量を調整することで、姿勢を制御できることを確認した

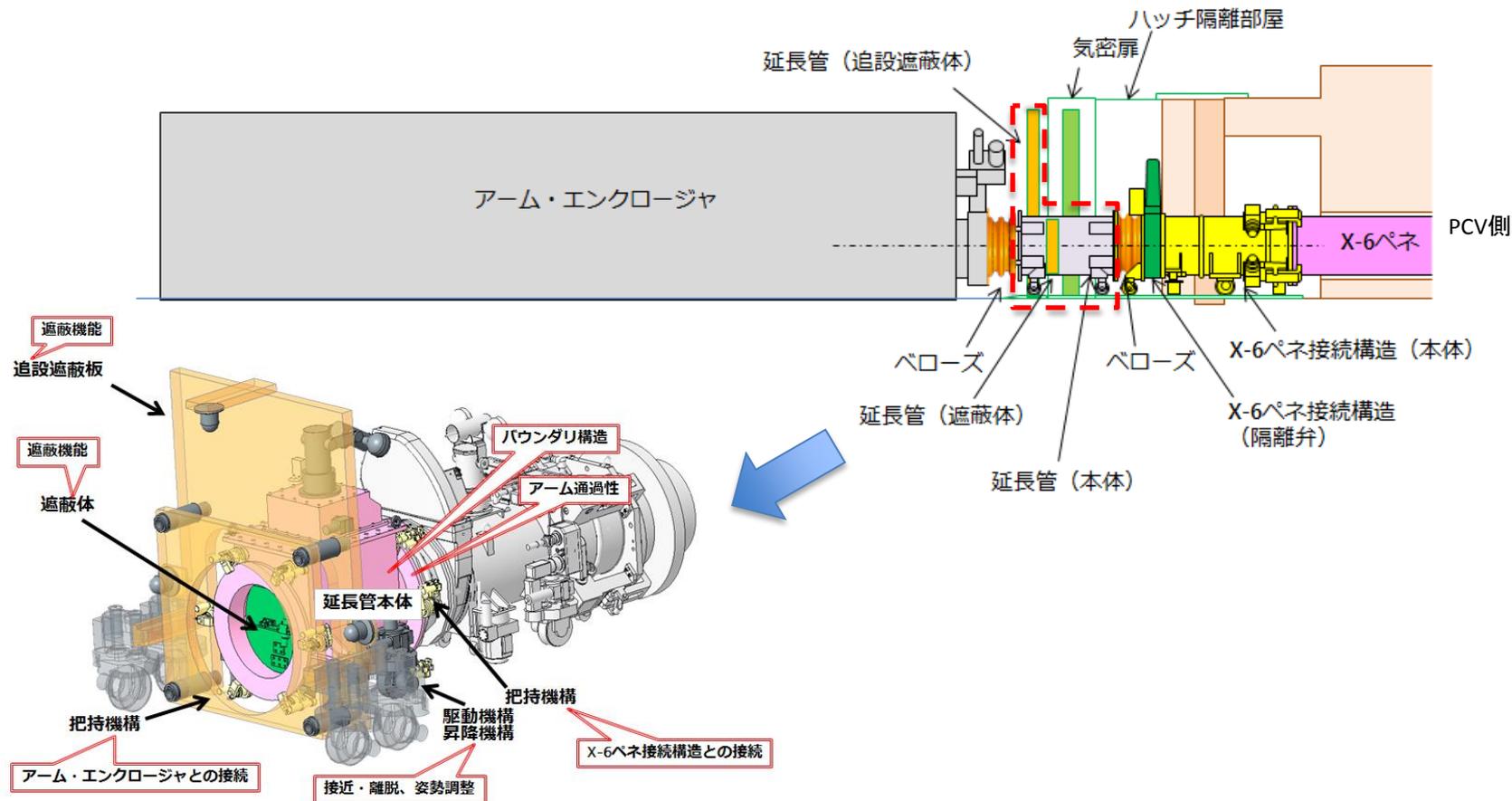


4.1 実施事項・成果

(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

② 延長管(1/3) : 概要

気密扉とエンクロージャの干渉を回避し、調査装置設置・撤去、エンクロージャメンテナンス等の有人作業時の被ばく低減のため、延長管内に遮蔽体を設置し、PCVからの直接線を遮蔽する。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。

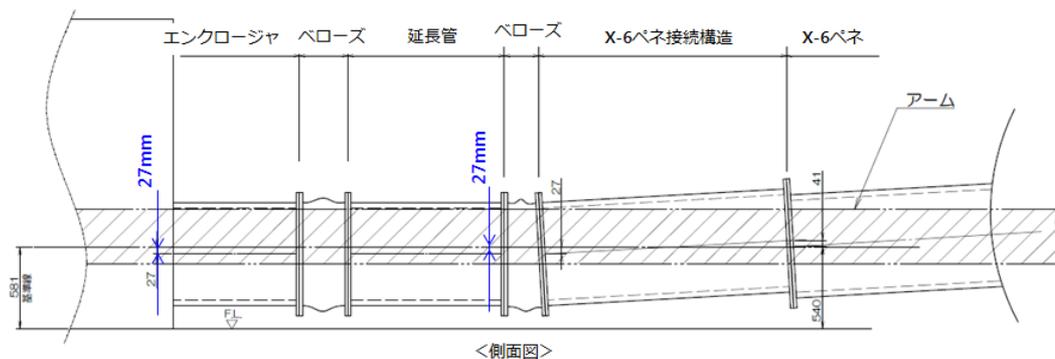


4.1 実施事項・成果

(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

② 延長管(2/3) : アームの通過性検討

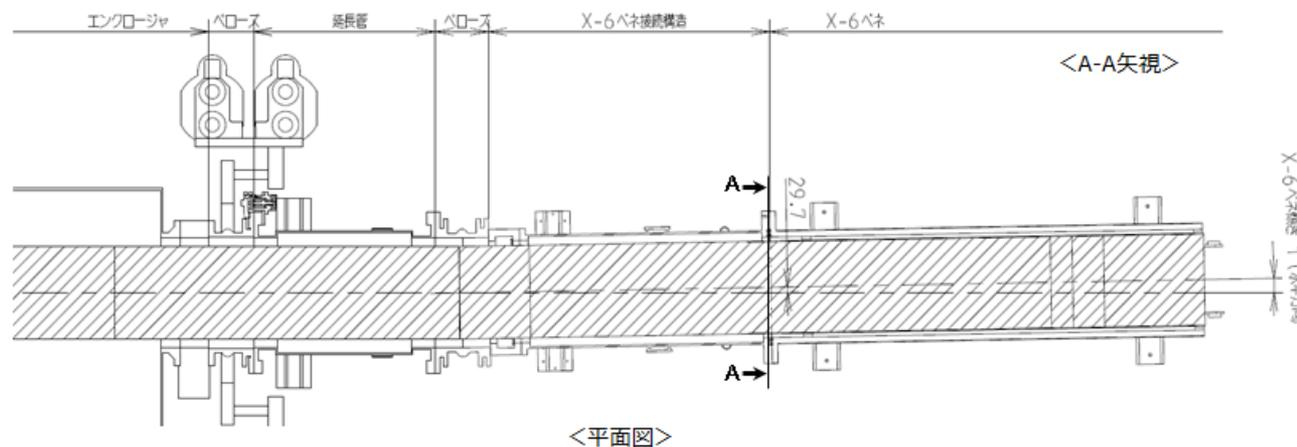
・詳細設計が完了した延長管の構造にて、アームの通路を確立でき、通過性に問題がないことを確認した。



以下のX-6ペネの状態に対応可

鉛直傾き： $\pm 1^\circ$ ，鉛直位置ずれ：0mm
 or 鉛直傾き： $\pm 0.5^\circ$ ，鉛直位置ずれ： ± 10 mm
 (点群データより鉛直方向の傾きは上向き
 0.06° (建屋コンクリート壁基準))

⇒延長管前後のベローズ，姿勢調整機構(昇降機構:0~70mm)により接続可能

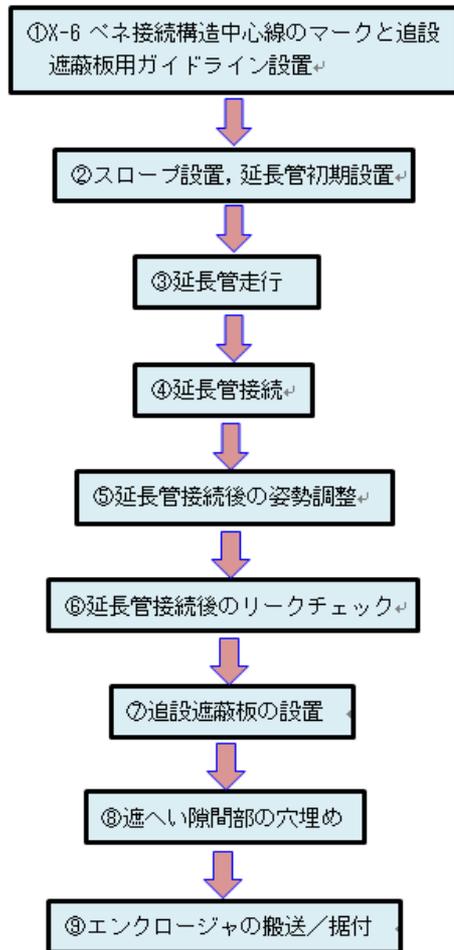


水平方向傾きのずれ： $\pm 1^\circ$
 水平方向のずれ： ± 10 mm
 (点群データより水平方向
 の傾きは 0.6°
 (建屋コンクリート壁基準))

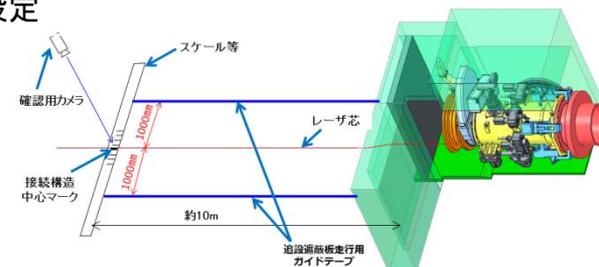
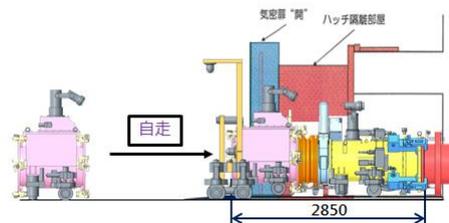
4.1 実施事項・成果

(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

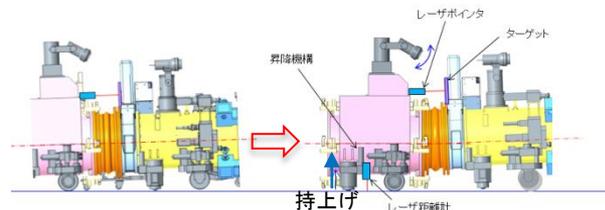
②延長管(3/3) : 据付手順検討



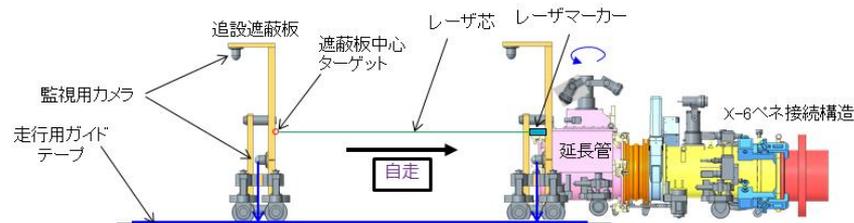
・延長管走行の目安となる中心マークを設定



- ・前方は、X-6ペネ接続構造に設定したターゲットに合わせて位置調整
- ・後方は、上記設定した中心マークを確認し、向きを調整
- ・X-6ペネ接続構造と延長管の傾き（ピッチ角）を合わせてフランジ接続
- ・エンクロージャ接続のため、延長管姿勢を水平に調整



- ・追設遮蔽板は延長管後部のレーザーマーカと追設遮蔽板側ターゲットに合わせて位置調整しながら停止位置まで走行



・本年度は設計及び長納期品の手配を実施。今後、本体・遮蔽板の製作・組立、モックアップ試験、トレーニングを実施予定。

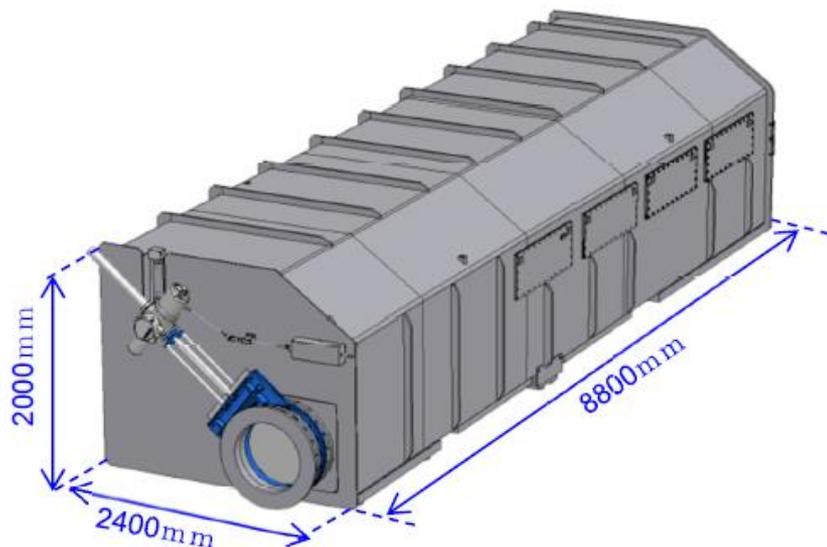
4.1 実施事項・成果

(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

③ 搬送台車(1/8): 目的

調査装置(以下エンクロージャ)を大物搬入口からX-6ペネ前まで搬送する。

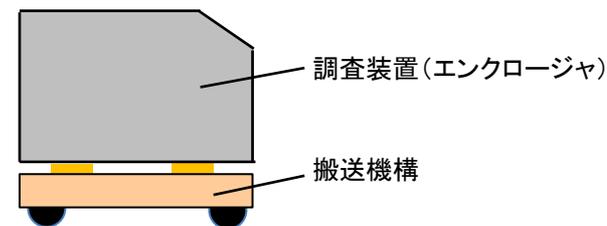
搬送ルートは**狭隘**且つ**高線量**環境下であることを踏まえて搬送工法を確立する。



調査装置(エンクロージャ)外観

搬送対象(エンクロージャ)緒元

- ✓ 主要材質 ステンレス鋼
- ✓ 主要寸法 W2400mm × H2000mm × L8800mm
- ✓ 質量 約30トン(内部のアーム等含む)



調査台車(イメージ)

4.1 実施事項・成果

(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

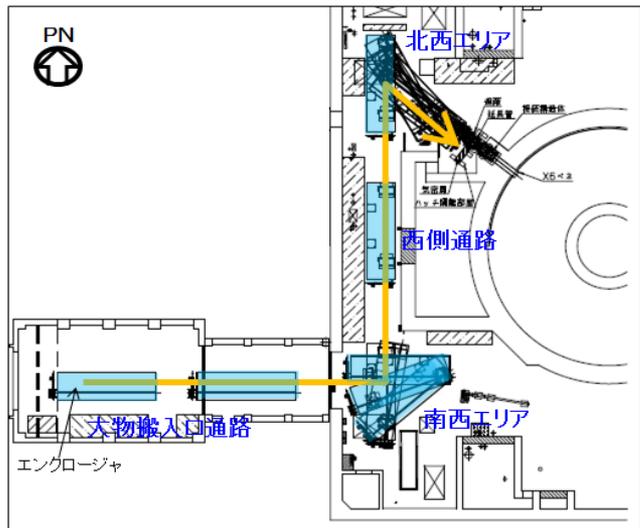
③ 搬送台車(2/8) : 搬送ルート、環境条件

エンクロージャ搬送手順概要

- ・大物搬入口前スロープより搬入する。
- ・大物搬入口通路内を搬送する。
- ・南西エリアで旋回する。
- ・西側通路を直進する。
- ・北西エリアで旋回し、据付位置(X-6ペネ前)まで搬送する。



狭隘部の搬送と複雑な旋回走行が必要

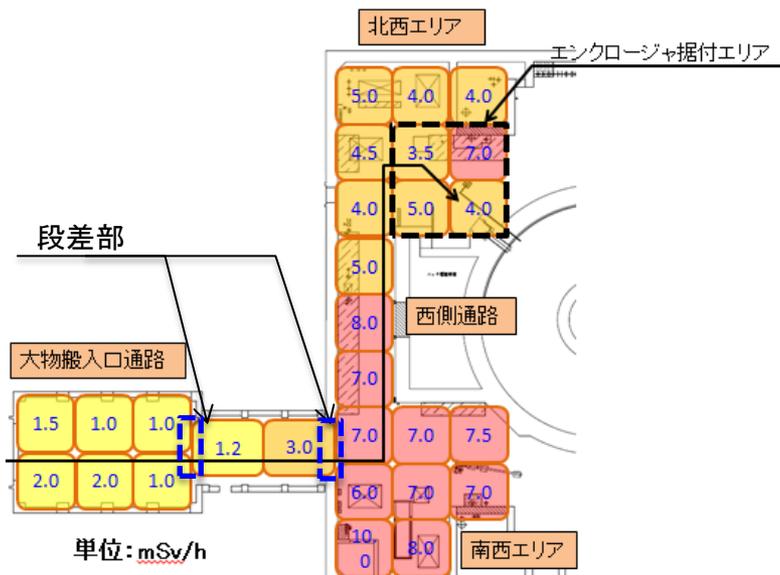


エンクロージャ搬入ルート
(2号機原子炉建屋内)

大物搬入口 : 1.0mSv/h ~ 3.0mSv/h で比較的低線量、段差部あり
南西エリア ~ 北西エリア : 5.0mSv/h ~ 8.0mSv/h で高線量



大物搬入口通路: 人的搬送
南西エリア ~ 北西エリア: 遠隔搬送



搬入ルート周辺の環境線量(単位:mSv/h)

4.1 実施事項・成果

(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

③ 搬送台車(3/8) : 搬送装置の要求機能

搬送ルート上の環境条件から、搬送機構への要求機能を整理した。

搬送機構への要求機能

環境条件		搬送装置への要求機能
搭載物	重量 : 約30t	(積載能力) 約30t以上搭載能力
	寸法 : W2400mm × H2000mm × L8800mm	(寸法条件) 台車寸法幅2400mm以下
搬送ルート	<ul style="list-style-type: none"> ・支柱や機器類が点在する複雑な搬送ルート ・狭隘な直線部(左右クリアランス37.5mm) 	<ul style="list-style-type: none"> ・旋回、切り替えし等の複雑な走行が可能 ・15mの直線を37.5mm未満のずれで直進走行可能
	<ul style="list-style-type: none"> ・高さ方向の干渉物(RHR配管遮へいサポート) 	(高さ条件) 台車高さ180mm以下
環境線量	<ul style="list-style-type: none"> ・約3mSv/h～8mSv/h 	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔操作が可能
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・段差部 ・水たまり ・床面のうねり 	<ul style="list-style-type: none"> ・段差等や斜面の走行が可能 ・一定の防水性 ・床面のうねりを走行可能

4.1 実施事項・成果

(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

③ 搬送台車(4/8): 搬送機構の選定

要求機能を踏まえ、以下の搬送台車を比較検討を実施した結果、低床式台車(候補2)が寸法、積載重量等の観点から有力であると判断した。

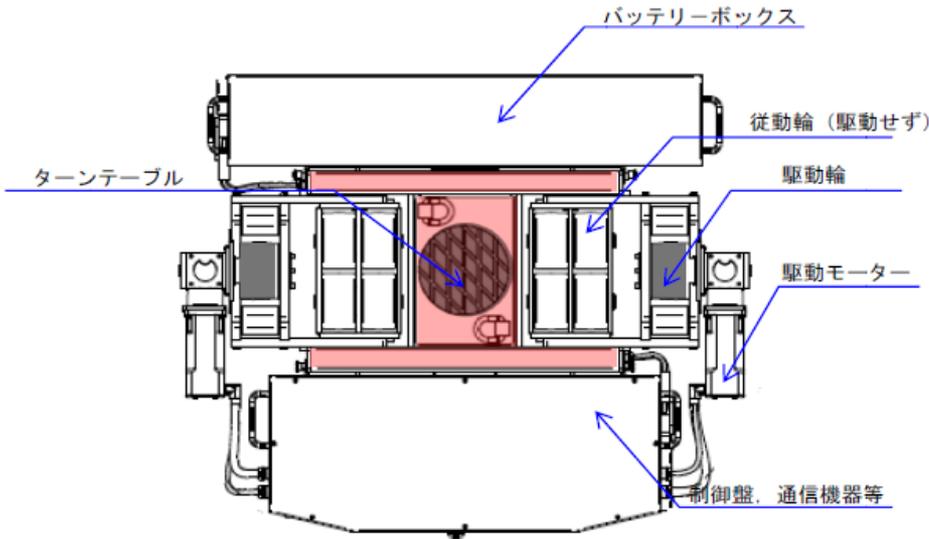
	候補1(ホイール式台車)	候補2(低床式台車)	候補3(エアキャスター台車)
製造メーカー	AeroGo社(米国)	HTS社(独)	AeroGo社/DELU社(独)
台車名	Silverback-Wheeled-Vehicle	Eco-Skate eMotion40	Air-Cushion Vehicle Air Transporter
外観図			
駆動方式	電動モータ(○)	電動モータ(○)	エアキャスター+電動モータ(×) ※エアキャスターによるダスト飛散あり
積載重量	20ton(×)	20ton(×) (但し、補助輪や複数台の使用により積載荷重の向上が可能)	20ton(×)
制御	無線or有線(○)	無線(○)	無線or有線(○)
走行性能	速度……………0~10m/min 直進……………○ 横行……………○ 旋回……………○ 登坂……………○ 溝/段越え…○	速度……………0~10m/min 直進……………○ 横行……………○ 旋回……………○ 登坂……………○ 溝/段越え…○	速度……………0~10m/min 直進……………○ 横行……………○ 旋回……………○ 登坂……………× 溝/段越え…×
寸法[mm] 幅×奥行×高さ	1800×4300×432	1288×1408×180	1800×4300×429

4.1 実施事項・成果

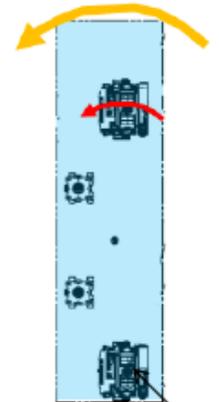
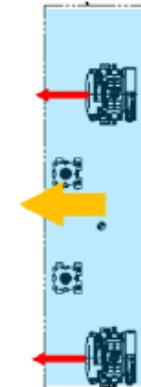
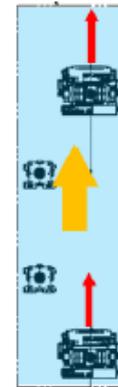
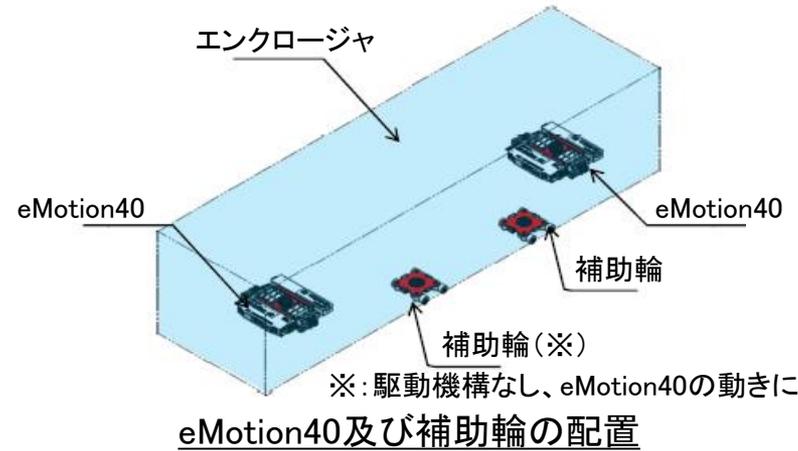
(4) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

③ 搬送台車 (5/8) : 遠隔搬送 (南西エリア～北西エリア)

旋回走行等の複雑な走行を可能にするため、eMotion40を2台使用して搬送する。



eMotion40の外観と機器構成



前進

横行
様々な走行

旋回 旋回中心

4.1 実施事項・成果

(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

③ 搬送台車(6/8) : eMotion40の簡易走行試験

工場内にて実施した簡易走行試験により、基本的な走行性能に問題ないことを確認した。

簡易走行試験実施内容及び確認結果

No.	項目確認	実施内容及判定基準	確認結果
1	遠隔操作性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 近距離 (5m)、遠距離 (約20m) での通信性、操作性に問題がないことの確認 ・ 障害物越しの通信性、操作性に問題がないことの確認 	近距離、遠距離、障害物越し通信性も操作性も問題がなし。
2	直進速度	距離約1mの直線コース上を走行し、平均速度が4m/minであることの確認	平均速度約4m/min
3	直進精度	距離約10mの直線ルート (クリアランス幅約37.5mm) を走行し、ルート範囲からはみ出さずに走行できるか否かの確認	ルート範囲からはみ出さずに走行可能。
4	停止精度	停止制動距離の測定。通常停止操作、緊急停止操作の2パターンの実施。(目標値: 50mm以下)	通常停止: 50mm以内→目標クリア 緊急停止: 20mm以内→目標クリア
5	旋回精度	旋回時の中心軸のずれ (中心軸側のeMotion40のずれ) を測定する。(目標値: 130mm以下)	中心のずれ10mm以下→目標クリア
6	段差部の走行性能	指定した段差部 (約5mm) 上の走行が可能であることの確認	単体での段差部の走行は可能。
7	その他走行性能 (横行、斜行)	横行、斜行の基本的な走行が可能であることの確認。(斜めに敷設したテープ上を走行する)	横行、斜行ともに走行可能。
8	模擬ルートの走行	<ul style="list-style-type: none"> ・ 搬送ルート上の走行成立性の確認 ・ 所要時間計測 ・ 搬入時だけでなく、搬出も想定した操作の実施 ・ 操作の熟練した操作者以外にも操作が可能であることの確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 模擬ルート上の走行は可能。 ・ 所要時間: 約15分 ・ 数時間の操作訓練で、基本走行の習得は可能



簡易走行試験の様子
(単体の直線走行時)



簡易走行試験の様子
(模擬北西エリア走行時)

4.1 実施事項・成果

(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

③ 搬送台車(7/8): 遠隔搬送に向けた課題

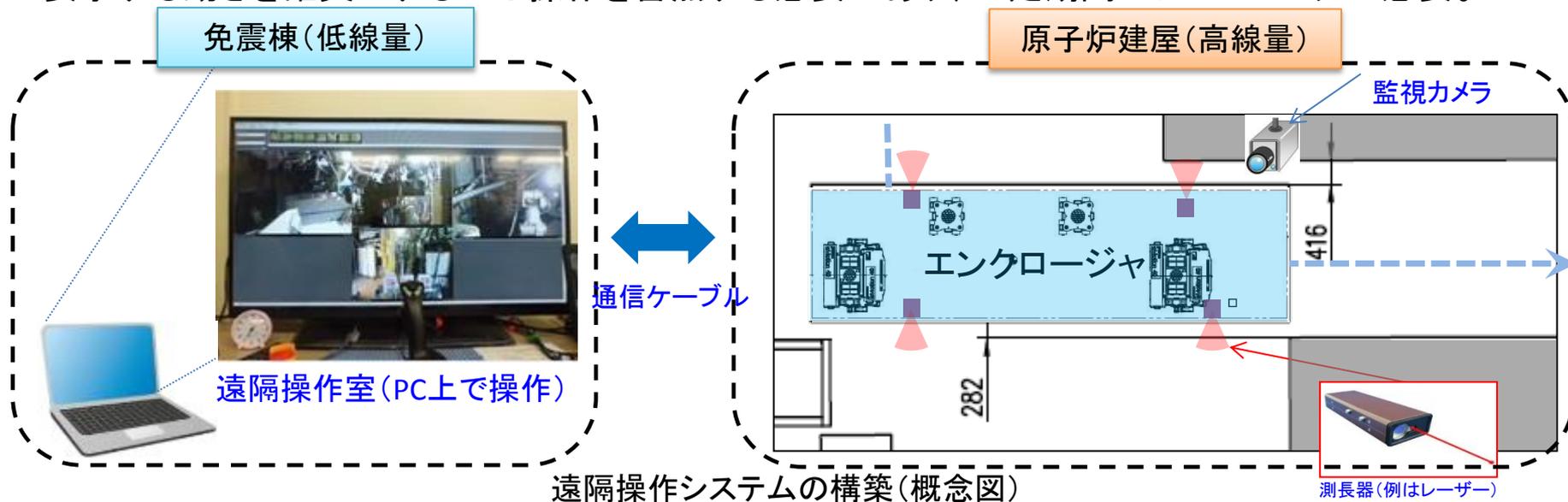
遠隔操作システムの構築

被ばく低減の観点から遠隔操作(建屋外からの操作)を可能にするためには、以下のシステム構築とモックアップ試験、トレーニングによる遠隔操作の習熟が必要となる。

- ・監視カメラ(エンクロージャの位置確認、低床台車の向き確認用)
- ・距離センサー(エンクロージャと障害物との距離をモニター)
- ・上記端末からの情報を建屋外に伝達する通信手段

操作の習熟

要求する動きを確実にするには操作を習熟する必要があり、一定期間のトレーニングが必要。



4.1 実施事項・成果

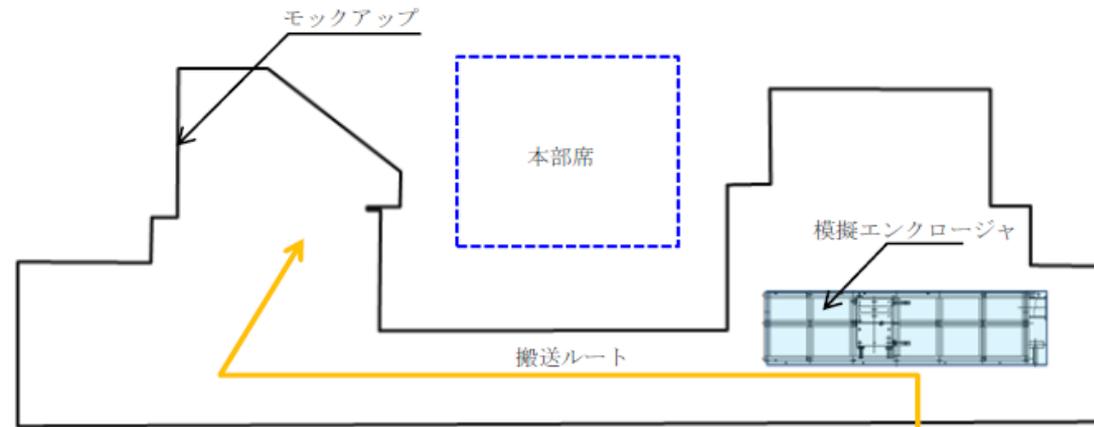
(4) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

③ 搬送台車(8/8)：遠隔搬送工法確立に向けたモックアップ試験

遠隔搬送工法の確立のため、現地の搬送ルートの詳細に模擬したモックアップ試験を実施予定。

試験設備	模擬範囲
本部席	操作室(免震重要棟)
エンクロージャ	寸法、重量、重心が同等の模擬体
搬送ルート	南西エリア～北西エリア、ルート上の干渉物

モックアップ試験模擬範囲



モックアップ試験配置図(案)



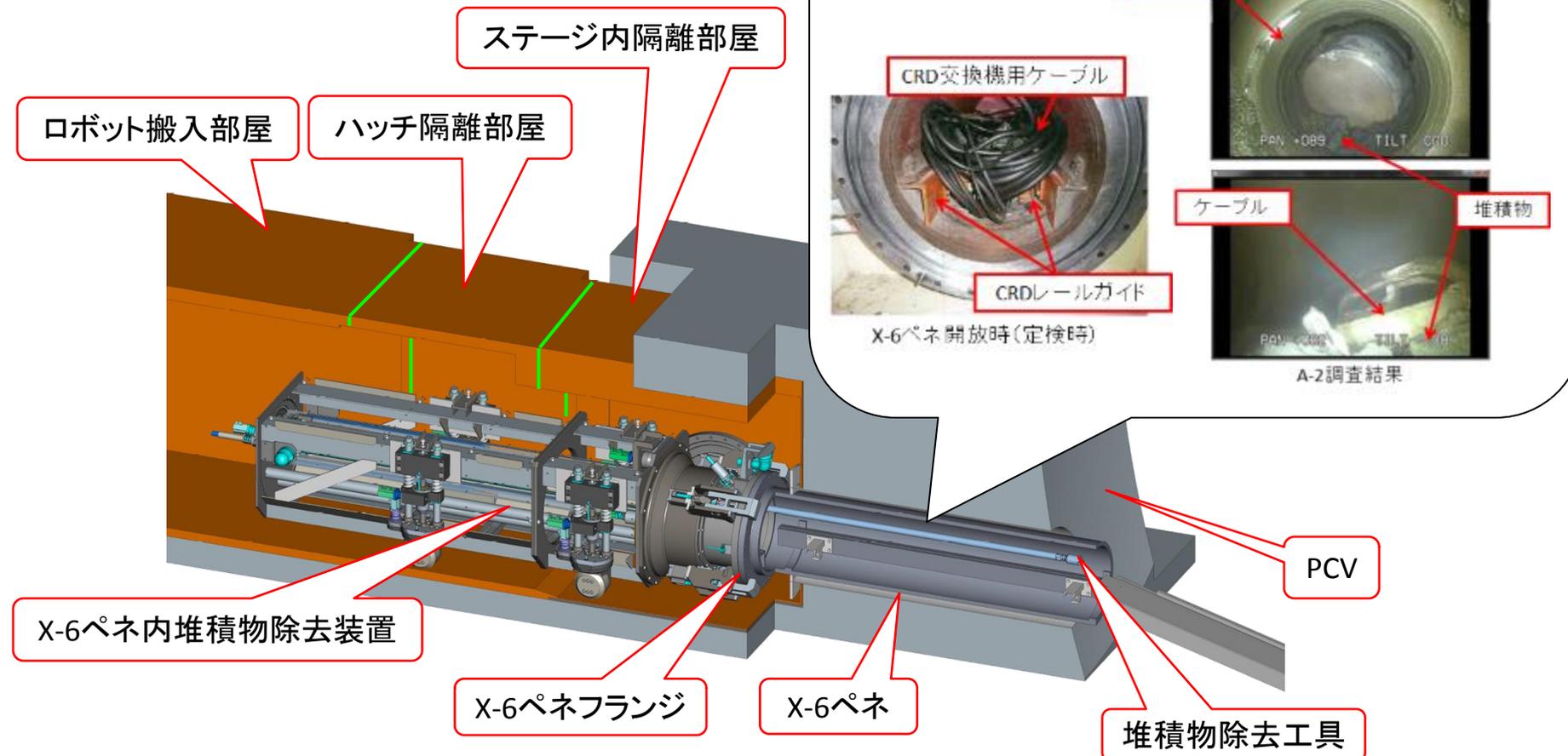
次年度の展開として、モックアップ試験により、搬送工法確立した後に作業員習熟のためトレーニングを実施後、現場に適用する。

4.1 実施事項・成果

(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

④ 堆積物除去装置(1/4) : 概要

調査用アームの通路を確保するため、X-6ペネ内の堆積物、ケーブル等を除去するための装置



4.1 実施事項・成果

(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

④堆積物除去装置(2/4) :装置仕様

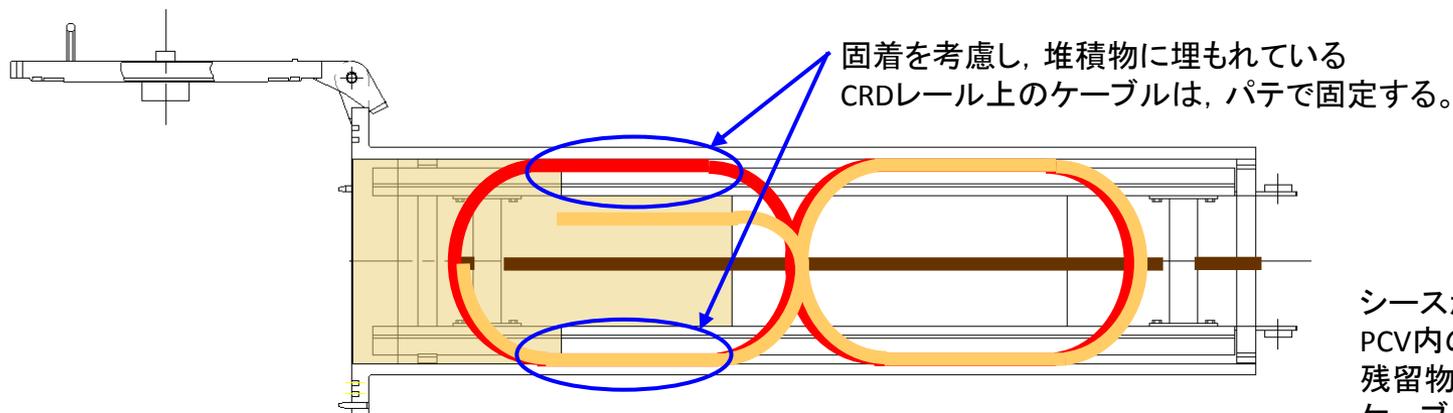
項目		仕様	備考	
寸法		W1,090 × L3,816 × H1,133mm		
質量		約2,400kg		
作業工具	高圧洗浄	移動ノズル	ストローク : 2,400mm ノズル数 : 2	ポンプ圧力 : 30MPa 流量 : 60L/min (移動ノズルと固定ノズルから同時に噴射)
		固定ノズル	ノズル数 : 1	
	AWJ		ストローク : 2,400mm ノズル数 : 1(ノズル径:1mm) Abrasive種類 : Almandite Garnet Abrasive粒径 : #80(150~300μm) Abrasive供給量 : 200g/min	ポンプ圧力 : 245MPa ポンプ流量 : 6.5L/min ノズル流量 : 4L/min
	ドーザ		ストローク : 2,400mm + 200mm タイプ : 爪タイプ(候補)	先端部にストローク200mmのシリンダ搭載
	耐放射線 性カメラ	移動カメラ	ストローク : 2,400mm 耐放射線性 : 30kGy	
固定カメラ		耐放射線性 : 30kGy		
把持機構		爪数 : 4 把持力 : 126.8kN(31.7kN/爪) 駆動方式 : 水圧シリンダ 位置決めカメラ : 3		
走行機構		形態 : 四輪駆動・四輪操舵 駆動方式 : ACサーボモータ カメラ : 2(パンチルトズーム)		
調整機構		上下調整範囲 : ±10mm 角度調整範囲 : ±1°	ペネ基準位置に対する調整範囲	

4.1 実施事項・成果

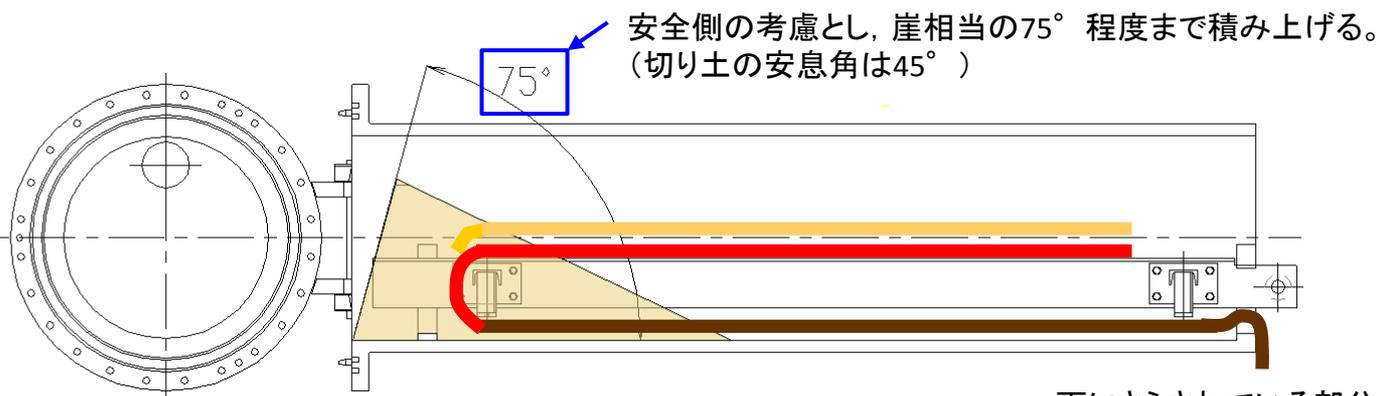
(4) 現場におけるPCV内へのアクセスルート構築の試験や作業訓練

④ 堆積物除去装置(3/4) : X-6ペネ内堆積物の想定(モックアップ試験条件)

・プラント情報, A2事前調査の映像及び5号機の写真等からX-6ペネ内堆積物を想定。



シースが残留している部分もあるが、PCV内の雨にさらされている部分は残留物がなため、ケーブル模擬はシースを全て取り除く。



モックアップ試験条件

- ・パテによる固着物模擬, ケーブルの固着模擬
- ・想定よりケーブルを多めに配置

雨にさらされている部分はきれいに洗い流されている。

雨が当たらない部分は、堆積物が残留

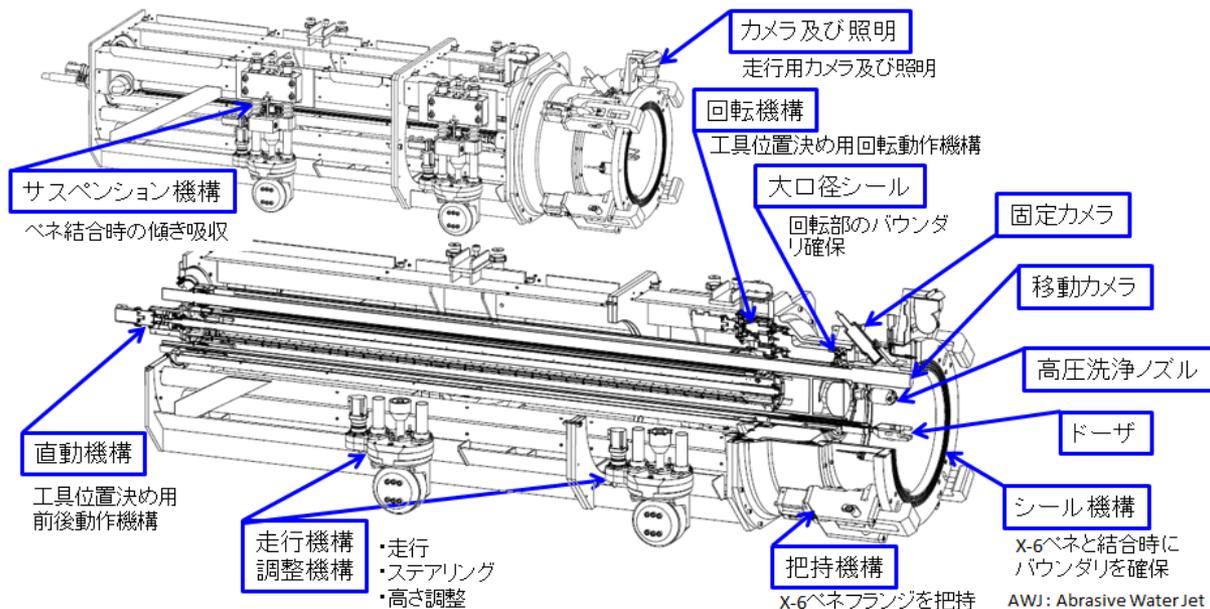


4.1 実施事項・成果

(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

④ 堆積物除去装置(4/4) :まとめ

- ・堆積物除去装置の基本設計, 詳細設計を完了し、製作中
- ・今後、モックアップ試験、トレーニングを実施予定



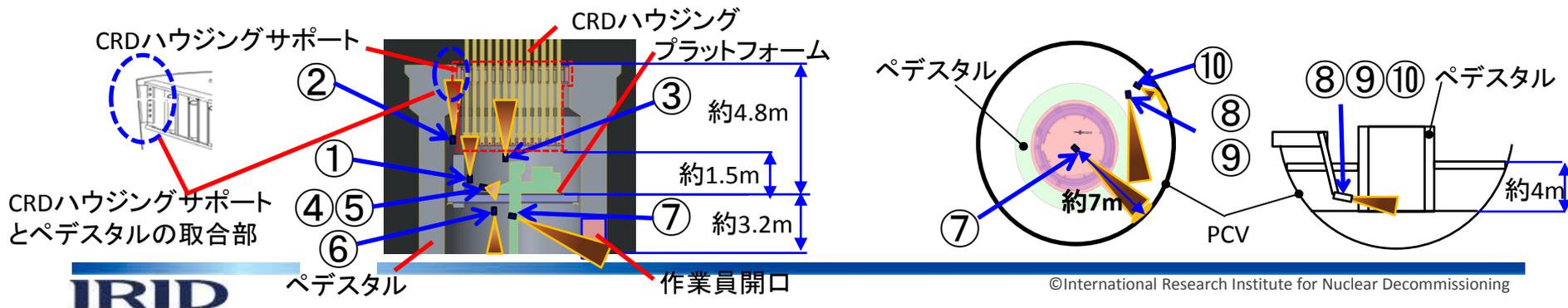
4.1 実施事項・成果

(5) 現場実証(現場調査)

①CRD計測装置／VTセンサ(1/6) : 調査ニーズ／目標

調査ニーズ		調査目標
CRD系の状態	損傷状態	①プラットフォーム上から見上げたCRD下部の全体映像の取得
	サポートの状況	②CRDハウジングサポートとペDESTALの取合部の映像の取得
	燃料デブリの堆積状況 (形状・分布)	③燃料デブリの堆積状況の接近映像の取得
アームアクセスルート の情報収集	X-6ペネ～CRD開口	④アームアクセスルート近傍のPCV内部映像の取得
	ペDESTAL内	⑤プラットフォーム上面の画像データの取得
ペDESTAL内の燃料デブリ 分布(厚さ、広がり)	ペDESTAL内	⑥ペDESTAL内の底部の画像データの取得
ペDESTAL外へ流出した燃 料デブリ分布(厚さ、広がり)	ペDESTAL内	⑦作業員開口からの燃料デブリ流出状況の映像の取得
	ペDESTAL外※	⑧ペDESTAL外のアーム到達限界から燃料デブリの到達範囲の映像の取得
シエルアタックの状況、漏洩範囲	ペDESTAL外※	⑨ペDESTAL外のアーム到達限界から作業員開口近傍のPCV内面の映像の取得
PCV内部塗装の劣化状態	ペDESTAL外※	⑩ペDESTAL外のアーム到達範囲の任意位置におけるPCV内面の映像の取得

※今後、ペDESTAL外の作業実現性、調査により得られる成果を総合的に勘案し、実施要否を判断する



4.1 実施事項・成果

(5) 現場実証(現場調査)

①CRD計測装置／VTセンサ(2/6) : 装置概要

- ・アーム型アクセス装置に取り付けて映像(動画、静止画)を取得及び記録するカメラ装置について、基本設計を完了(CRD計測装置とVTセンサは装置仕様・形状を統一)。
- ・計測距離・画角・機能の異なる近・中・遠距離用の装置を調査目的に合わせて使い分ける。

項目	装置の種類		
	VTセンサ(近距離用)※	VTセンサ(中距離用)※	VTセンサ(遠距離用)
目的・用途	主として対象物に接近した詳細画像を取得	主としてペDESTAL内・外の全体の画像を取得	主としてペDESTAL内・外の画像を遠隔から取得
計測距離	100mm～1.5m	1m～4m	4m～10m
画角	水平画角57° (広角)	水平画角29°	水平画角8° (望遠)
主要な機能	エアブロー	○	○
	ワイパー	○	○
	照明	○	○
	旋回	○	○

※CRD計測装置の調査ニーズにも対応する装置として開発

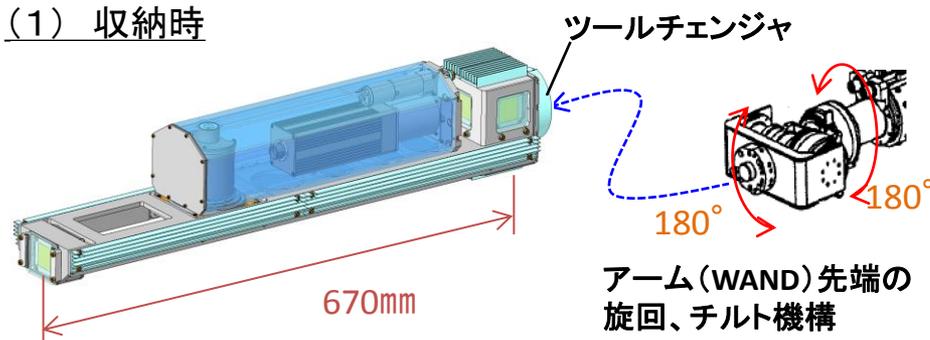
4.1 実施事項・成果

(5) 現場実証(現場調査)

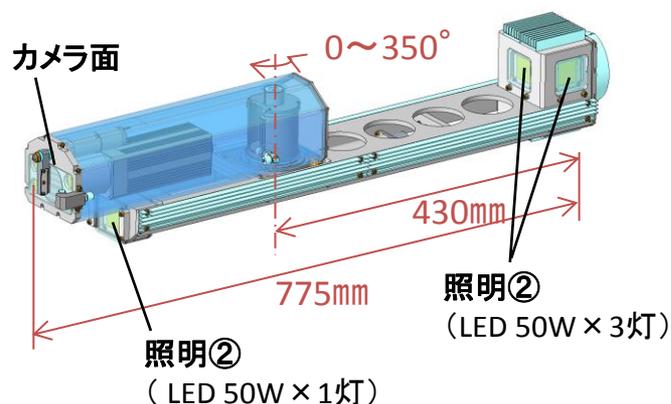
①CRD計測装置／VTセンサ(3/6) : 装置仕様・形状(近距離用・中距離用)

・近距離用・中距離用はケーシング、機構を共通とし、
カメラレンズを各々に選定

(1) 収納時



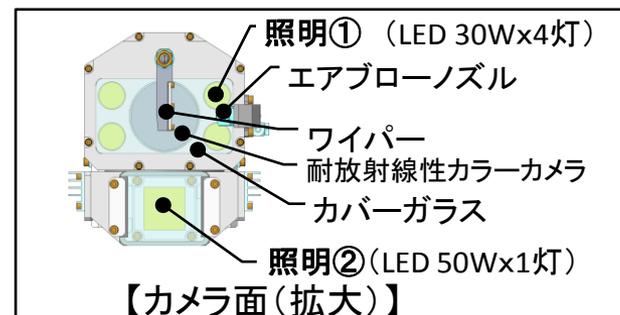
(2) カメラ回転時(カメラ角度:0~350°)



照明①: 被写体を**直接**照らし、
照度を確保する。
照明②: センサ周辺全体を
照らし、被写体周辺を
間接的に明るくする。

主要諸元

項目	仕様	
外形寸法	Φ140×670mm(収納時、ツールチェンジャ部除く) Φ140×775mm(展開時、ツールチェンジャ部除く)	
重量	6.7kg	
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	
レンズ仕様	<近距離用> 焦点距離:f=12mm 水平画角:約57° ピント位置:1m	<中距離用> 焦点距離:f=25mm 水平画角:約29° ピント位置:3m
照明	照明①:LED4灯(0～30W/灯で照度調整可能) 照明②:LED4灯(0～50W/灯で照度調整可能)	
防水、防塵、 降水対策	IP65適用 ガスブロー+ワイパー+撥水コーティング	

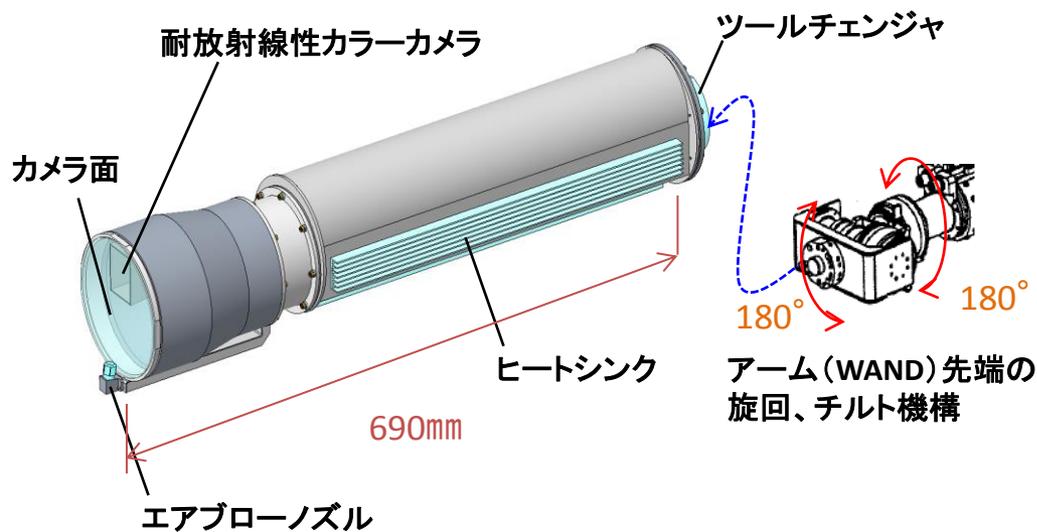


4.1 実施事項・成果

(5) 現場実証(現場調査)

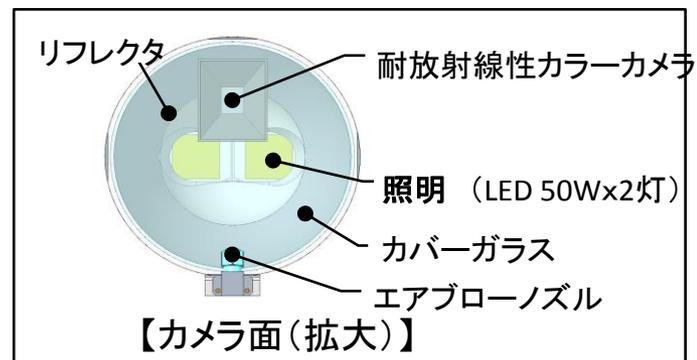
① CRD計測装置／VTセンサ(4/6) : 装置仕様・形状(遠距離用)

- ・遠距離用は、遠距離(10m先)撮影を可能とするため、旋回機能、ワイパー機能を省き、**照明の強化及びピント調整機構の設置**を優先。



主要諸元

項目	仕様
外形寸法	Φ140 × 690mm (エアブローノズル、ツールチェンジャ部除く)
重量	7.2kg
カメラ本体仕様	近距離用・中距離用と同じ
レンズ仕様	<遠距離用> 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	照明: LED 2灯 (0~50W/灯で照度調整可能)
防水、防塵、降水対策	IP65適用 ガスブロー+撥水コーティング



4.1 実施事項・成果

(5)現場実証(現場調査)

①CRD計測装置／VTセンサ(5/6) : 要求仕様と適合性(1/2)

No.	項目	要求仕様	適合性																														
1	視認性	<p>①計測距離の仕様を満足すること</p> <ul style="list-style-type: none"> ・近距離用: 計測距離100mm~1.5m ・中距離用: 計測距離1m~4m ・遠距離用: 計測距離4m~10m 	<p>要素試験(レンズ仕様と計測距離をパラメータとした取得画像の確認)によりレンズ仕様が適合することを確認した。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">被写体までの距離(mm)</th> <th colspan="3">写真</th> </tr> <tr> <th colspan="3">レンズ①: 焦点距離≒10mm (広角)</th> </tr> <tr> <td></td> <td>ピント: 0.1m F (絞り) = 2.8</td> <td>ピント: 1.0m F (絞り) = 2.8</td> <td>ピント: 1.5m F (絞り) = 2.8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>画素: 未計測 (単位:)</td> <td>画素: 未計測 (単位:)</td> <td>画素: 未計測 (単位:)</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>300</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> 	被写体までの距離(mm)	写真			レンズ①: 焦点距離≒10mm (広角)				ピント: 0.1m F (絞り) = 2.8	ピント: 1.0m F (絞り) = 2.8	ピント: 1.5m F (絞り) = 2.8		画素: 未計測 (単位:)	画素: 未計測 (単位:)	画素: 未計測 (単位:)	100				300										
		被写体までの距離(mm)	写真																														
レンズ①: 焦点距離≒10mm (広角)																																	
	ピント: 0.1m F (絞り) = 2.8	ピント: 1.0m F (絞り) = 2.8	ピント: 1.5m F (絞り) = 2.8																														
	画素: 未計測 (単位:)	画素: 未計測 (単位:)	画素: 未計測 (単位:)																														
100																																	
300																																	
		<p>②暗中で計測可能であること</p>	<p>要素試験(照度をパラメータとした取得画像の確認)により必要な照度を求め、同等以上の照度を確保できる照明の仕様(LED個数、リフレクタ形状)を設定した。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>照明</th> <th>被写体距離 500mm (水平視野: 280mm)</th> <th>被写体距離 1000mm (水平視野: 470mm)</th> <th>被写体距離 2000mm (水平視野: 960mm)</th> <th>被写体距離 3000mm (水平視野: 1380mm)</th> <th>被写体距離 4000mm (水平視野: 1760mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>・照度: 465Lux</td> <td>・照度: 465Lux</td> <td>・照度: 465Lux</td> <td>・照度: 465Lux</td> <td>・照度: 465Lux</td> </tr> <tr> <td>室内灯</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>暗中で 20W相当 LED1灯</td> <td>・照度: 637Lux</td> <td>・照度: 343Lux</td> <td>・照度: 108.6Lux</td> <td>・照度: 88.3Lux</td> <td>・照度: 39.3Lux</td> </tr> <tr> <td>暗中で 20W相当 LED1灯 +15W相当 LED 1灯</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>・照度: 141.6Lux</td> <td>・照度: 101.3Lux</td> </tr> </tbody> </table> 	照明	被写体距離 500mm (水平視野: 280mm)	被写体距離 1000mm (水平視野: 470mm)	被写体距離 2000mm (水平視野: 960mm)	被写体距離 3000mm (水平視野: 1380mm)	被写体距離 4000mm (水平視野: 1760mm)		・照度: 465Lux	・照度: 465Lux	・照度: 465Lux	・照度: 465Lux	・照度: 465Lux	室内灯						暗中で 20W相当 LED1灯	・照度: 637Lux	・照度: 343Lux	・照度: 108.6Lux	・照度: 88.3Lux	・照度: 39.3Lux	暗中で 20W相当 LED1灯 +15W相当 LED 1灯	-	-	-	・照度: 141.6Lux	・照度: 101.3Lux
照明	被写体距離 500mm (水平視野: 280mm)	被写体距離 1000mm (水平視野: 470mm)	被写体距離 2000mm (水平視野: 960mm)	被写体距離 3000mm (水平視野: 1380mm)	被写体距離 4000mm (水平視野: 1760mm)																												
	・照度: 465Lux	・照度: 465Lux	・照度: 465Lux	・照度: 465Lux	・照度: 465Lux																												
室内灯																																	
暗中で 20W相当 LED1灯	・照度: 637Lux	・照度: 343Lux	・照度: 108.6Lux	・照度: 88.3Lux	・照度: 39.3Lux																												
暗中で 20W相当 LED1灯 +15W相当 LED 1灯	-	-	-	・照度: 141.6Lux	・照度: 101.3Lux																												

4.1 実施事項・成果

(5) 現場実証(現場調査)

①CRD計測装置／VTセンサ(6/6) : 要求仕様と適合性(2/2)

No.	項目	要求仕様	適合性															
1	視認性	<p>③降水に対して視界を確保できること</p>	<p>降水対策(ガスブロー、ワイパー、撥水コーティング)の水除去性能を試験により確認し、各センサに適切な降水対策を適用した。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>対策なし</th> <th>ガスブローのみ</th> <th>ガスブロー+撥水コーティング</th> <th>ワイパー+撥水コーティング</th> <th>ガスブロー+撥水コーティング+ワイパー</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>・視認性: ×</td> <td>・視認性: △ (水の層により全体的にぼやけた映像)</td> <td>・視認性: ○ (部分的に水滴残存あり)</td> <td>・視認性: ○ (ワイパースタート時に水滴残存あり)</td> <td>・視認性: ○</td> </tr> </tbody> </table>	対策なし	ガスブローのみ	ガスブロー+撥水コーティング	ワイパー+撥水コーティング	ガスブロー+撥水コーティング+ワイパー						・視認性: ×	・視認性: △ (水の層により全体的にぼやけた映像)	・視認性: ○ (部分的に水滴残存あり)	・視認性: ○ (ワイパースタート時に水滴残存あり)	・視認性: ○
		対策なし	ガスブローのみ	ガスブロー+撥水コーティング	ワイパー+撥水コーティング	ガスブロー+撥水コーティング+ワイパー												
・視認性: ×	・視認性: △ (水の層により全体的にぼやけた映像)	・視認性: ○ (部分的に水滴残存あり)	・視認性: ○ (ワイパースタート時に水滴残存あり)	・視認性: ○														
<p>④霧の影響に対して視認性を確保すること</p>	<p>霧の影響を試験で確認した。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>①霧なし</th> <th>②霧あり (4m先の照度20%減)</th> <th>③霧あり (4m先の照度50%減)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>視認性: ○</td> <td>視認性: ○</td> <td>視認性: ×</td> </tr> </tbody> </table>	①霧なし	②霧あり (4m先の照度20%減)	③霧あり (4m先の照度50%減)				視認性: ○	視認性: ○	視認性: ×								
①霧なし	②霧あり (4m先の照度20%減)	③霧あり (4m先の照度50%減)																
視認性: ○	視認性: ○	視認性: ×																
2	耐放射線性	調査期間の使用に耐えること	放射線照射試験により適合することを確認した。															

<今後の予定>

- ・実機の製作
- ・実機による検証(ハレーション影響(霧、構造物)の確認試験)
- ・アーム型アクセス装置との組み合わせ試験

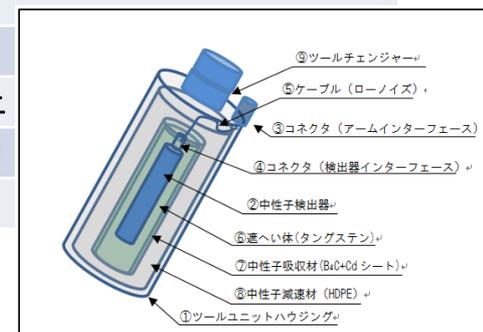
4.1 実施事項・成果

(5)現場実証(現場調査)

②中性子検出システム(1/4) : 概要・要求仕様

アーム型アクセス装置に取り付け、燃料デブリ近傍条件で、約10cm四方の解像度で中性子計数率分布を測定する中性子検出システムの要求仕様を策定し、技術・納期・コストの観点で調達先を決定

条件	仕様	備考
温度条件	50℃	PCV内、他は40℃
湿度条件	100%	ツールユニット、ケーブル・コネクタはIP68相当が望ましい
γ線バックグラウンド	最大500Gy/h ノミナル100Gy/h	燃料露出状態を想定、主要γ線エネルギーは、 ¹³⁷ Csの662keVピーク及びコンプトン散乱の100~200keVを想定
中性子束(Thermal)	1nv	性能評価の目安として1nvを想定
ツールユニット化	材質 アルミニウム	中性子吸収が小さい材質
サイズ	Φ140mm×500mm	円筒状のX-6ペネを通過できるサイズ
重量	10kg未満	アーム型アクセス装置のペイロードを超えない
ツールチェンジャー	Zimmer HWR63	アーム型アクセス装置と直接取合い可能
ケーブル・コネクタ	右記参照	曲げ半径 60mm, 仕上り外径 25mm, 水密性(IP68), 耐放射線性 1MGy, 長さ 80m
検出部	円筒型	円筒端部側を基本検出面とする
中性子検出器	型式任意提案	
減速材	HDPE 高密度ポリエチレン	燃料デブリ由来中性子を熱化し感度向上
吸収材	Cd, B ₄ C	燃料デブリ由来外中性子コリメートが目的
遮へい材	Pb, W等任意提案	必要に応じて遮蔽



4.1 実施事項・成果

(5) 現場実証(現場調査)

② 中性子検出システム(2/4) : 評価方法の策定

技術的には、検出器の感度、耐放射線性、 γ 線弁別性能が重要。供給リードタイム、コスト等も考慮。

番号	評価項目	評価目安
1	感度(計数率)	0.17cps/nv 以上:中性子束1nv(燃料が含まれているデブリを検知できる下限値とする。)
2	感度(必要計数)	100cts/10min : 1nv, (100cts/1min : 10nv)
3	測定時間	10min/100cm ² :1nv 全体で28~14日を想定 (1min/100cm ² :10nv、全体で3~2日を想定)
4	耐放射線性 (積算線量)	想定最大:100kGy~50kGy, 現実的想定:20kGy~10kGy (γ カメラの測定結果に従う。)
5	交換頻度	3項測定時間、及び4項耐放射線性との兼ね合いで、積算線量が超える場合に交換することを想定。交換なしが望ましい。
6	γ 線弁別性能	放出率で、 $\gamma/n > 10^5$ 環境で、中性子計測感度が維持できること。
7	ケーブル γ 線ノイズ対策	γ 線によるノイズを適切に抑制できること。
8	中性子源指向性	解像度100cm ² 程度で、中性子源強度の濃淡を評価できること。
9	燃料デブリ中燃料割合評価実現性	上記1~8項の機能により、100cm ² 程度の区分で、燃料デブリ中の燃料割合が推定できること。
10	信号処理設備	適用検出器に対応した信号処理設備で、遠隔監視・操作可能であること。
11	許認可性	装置の輸入・所有にかかる、複雑な許認可がないことが望ましい。
12	信頼性	原子力発電や、核燃料再処理工場、加速器等高エネルギー粒子工学関連施設、軍事関係等での実績があり、成熟した機器で構成されていること。
13	保守性	適用期間中の調整など保守操作ができる限り少ないこと。故障時の交換が容易にできること。
14	納期	供給リードタイムが7か月程度であること。
15	コスト	積算線量制限による交換頻度等を考慮して、各2セットのコストとする。
16	その他	検出器システム独自の特徴と利点

4.1 実施事項・成果

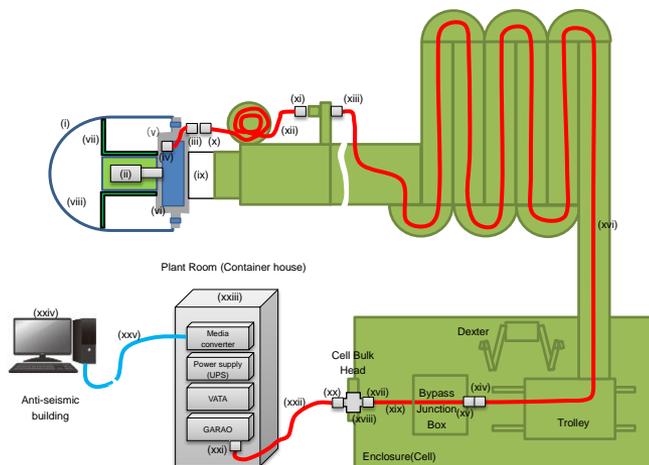
(5) 現場実証(現場調査)

② 中性子検出システム (3/4) : 中性子検出システムの選定

高感度, 高耐放射線性, 低コストとの評価で, IPLが提案する薄型SiC半導体検出器をセンサーとしたシステム, 及びMirion Technologies CANBERRA社が提案する核分裂電離箱をセンサーとしたシステムが, 優劣つけ難いシステムとして選定した。

評価目安	IPL	Mirion Tech. Canberra	日立GE/Rhombus	TENEX/RosRAO	Onet/CEA
提案中性子検出器	薄型SiC半導体検出器	核分裂電離箱	CMOS半導体検出器	CORONA検出器	核分裂電離箱
現場適用性 (測定時間、耐放射線性、交換頻度)	優	優	可(耐放射線性低, 交換必要)	良	良
調達期間(7か月)	良	良	良	良	良
コスト	低	低	高	中	中
信号処理設備等の付帯設備の適用性	可	可	可	可	可
備考		核物質の輸出入許可要		¹⁰ Bの輸出許可要	核物質の輸出入許可要

国プロの枠組みで核物質を取り扱う核分裂電離箱の輸入許可が下りないことが判明したため, 最終的に性能的に遜色ない薄型SiC半導体検出器を使用するシステム(IPL社)を選定した。



SiCチップセンサー16枚×10段積層:

~4.5cps/nv

耐放射線性(許容線量率、積算線量):

1kGy/h、~40MGy

信号処理部タンゲステン遮へい

減速材・吸収材付ハウジング:

サイズ・重量制限内

コネクタ: LEMO K&Eシリーズ IP68

ケーブル: AXON耐放射線性ケーブル

n-γ弁別方式: 薄膜化、波高による弁別

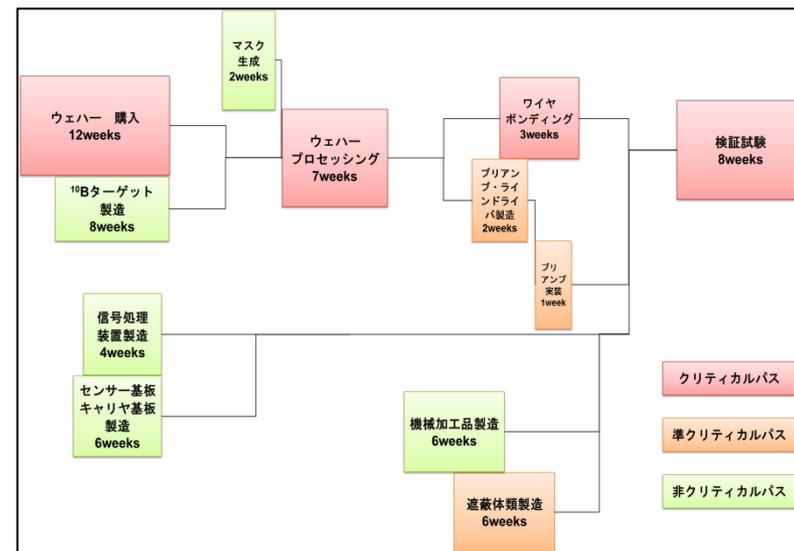
4.1 実施事項・成果

(5) 現場実証(現場調査)

②中性子検出システム(4/4) : 調達開始・検証項目抽出

IPL製の中性子検出システムは製品実績がないこと、及び内部調査実施までに十分な時間的余裕がないことから、大きな手戻りを発生させないようなリスク管理を行うため以下のような検証を製作段階で都度実施して進める。

- (1) 仕様検討段階検証(Pj初期段階における γ ・n試験検証方法検討)
- (2) ウェハ製作段階検証(ウェハ製造、 ^{10}B ターゲット製造、各種SiCプロセス手配、シーケンス検証、廉価ウェハによるマスク設計検証、イールド試験による歩留り向上、バーンイン試験による初期不良スクリーニング)
- (3) 電子機器購入品検証(信号発生器による動作検証)
- (4) ソフトウェア・ファームウェア検証(デバッグ)
- (5) プリアンプ・ラインドライバ検証(γ 耐放射線性試験)
- (6) キャリアボード(センサ搭載基板)検証(γ 耐放射線性試験)
- (7) ハードウェア検証(ケーシング構造、検出器組立性、IP68確認、コリメータ確認、ケーブル・コネクタ接続性確認)
- (8) 総合試験(システムインテグレート、 γ /n弁別試験、その他検証試験)



本年度は、中性子検出システムを選定し、調達を開始した。次年度は、製作・各種検証試験を実施し、調査用アームとの組合せ試験を実施する。

4.2 目標に照らした達成度

実施項目		目標達成指標(平成30年度)	達成状況
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・開発計画が立案されていること。	最新の現場状況を反映して調査計画を更新した
アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証	現場状況を考慮したモックアップ試験	PCV内を模擬したモックアップ試験設備を用いて試験を行い、アクセス・調査装置の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)	<ul style="list-style-type: none"> ・モックアップ試験設備の一部製作を実施 ・試験要領を具体化中
	アクセス・調査装置と調査技術の組み合わせ試験	PCV内を模擬したモックアップ試験設備を用いて試験を行い、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5)	<ul style="list-style-type: none"> ・試験要領を具体化中
	作業訓練	アクセス・調査装置と調査技術及びPCV内を模擬したモックアップ試験設備を用いて作業訓練を行い、モックアップ試験設備で運転操作ができる状態まで作業員の習熟が図られていること。(終了時目標TRL:レベル5)	<ul style="list-style-type: none"> ・各操作員の訓練方針を設定 ・シミュレーション用システムを構築
	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ペネに開口を設けるための隔離部屋の設置や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。また、現場実証に向けて作業員の習熟が図られていること(終了時目標TRL:レベル5)	<ul style="list-style-type: none"> ・X-6ペネ接続構造の据付性試験実施 ・搬送台車の簡易走行試験実施 ・その他装置の設計、製作着手
	現場実証(現場調査)	アクセス・調査装置と調査技術、隔離部屋、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、現場作業に着手していること。(終了時目標TRL:レベル6)	<ul style="list-style-type: none"> ・CRD計測装置/VTセンサの設計、要素試験実施 ・中性子検出システムの選定、製作着手

5. まとめと今後の予定

(1)開発計画・調査計画の策定

- ・アクセス・調査装置のPCV内アクセス詳細手順の検討を実施した

(2)アクセス・調査装置及び調査技術の現場実証

(a)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一部製作を実施した
- ・試験項目の整理、試験計画の具体化を実施中

(b)アクセス・調査装置と調査技術の組み合わせ試験

- ・試験項目の整理、試験計画の具体化を実施中

(c)作業訓練

- ・アーム型アクセス装置の各操作員の訓練方針を設定した
- ・運転シミュレーションのための操作システムを構築した

(d)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:モックアップ試験及び隔離部屋との組合せ試験を実施した
- ・延長管:設計を実施し、製作着手した
- ・エンクロージャ搬送装置:搬送装置を選定し、簡易走行試験を実施した
- ・堆積物除去装置:設計を実施し、製作着手した

(e)現場実証(現場調査)

- ・CRD計測装置/VTセンサ:基本設計及び要素試験を実施した
- ・中性子検出システム:システム選定し、製作着手した

【今後の予定】

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を実施すると共に、アクセスルート構築のための装置(延長管、堆積物除去装置等)の製作、工場内検証を実施する。各装置の工場内検証の後、モックアップ試験、トレーニングを実施していく。