

2号機 PCV内部調査・試験的取り出し作業の準備状況

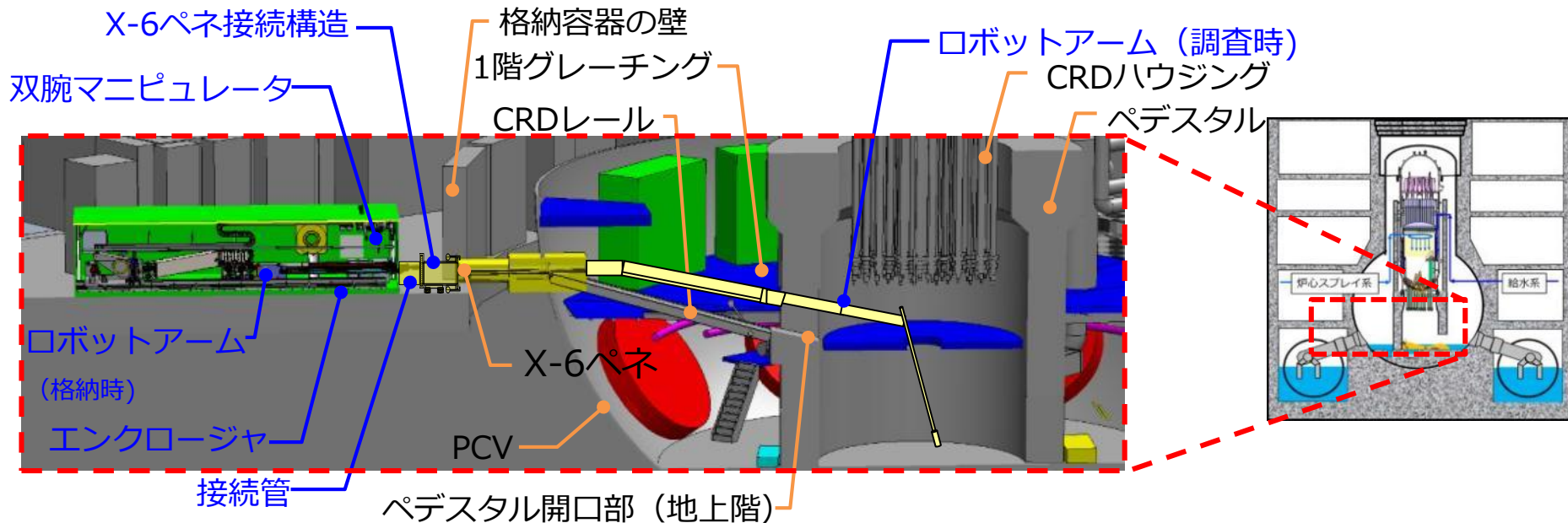
2023年11月30日

IRID **TEPCO**

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
東京電力ホールディングス株式会社

1. PCV内部調査及び試験的取り出しの計画概要

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



2号機 内部調査・試験的取り出しの計画概要

2. 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況

性能確認試験項目

- ・ 櫛葉モックアップ施設を用いて、現場を模擬したモックアップ試験を実施中
- ・ 手動運転にてペDESTAL底部まで周辺構造物へ接触することなくアクセスできること及び障害物の切断・除去が可能なが確認できたため、現在、遠隔自動運転でのX-6ペネ通過/ペDESTAL底部へのアクセス試験について、4ステップのうち3ステップ目以降について制御プログラムの修正を行いつつ実施中
- ・ 現地ではアームによる狭隘部へのアクセスを繰り返し行う必要があり、現場適用に向けた位置精度やハード/ソフトの連係等の向上の観点で、引き続き、接触リスクの低減を図るべく制御プログラムを改善、最適化し、その他試験も並行し進めていく
- ・ また、ロボットアームの開発に加えて、実作業を模擬した手順、オペレータの操作性、装置の信頼性を踏まえて、実際の現場適用性について確認していく

今回報告

性能確認試験項目

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

3-1. 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況

【AWJによるX-6ペネ出口の障害物撤去試験】

- アーム通過の障害物となるCRDレール、グレーチング、ケーブルの除去/切断を実施
- X-6ペネ出口の障害物をAWJで除去可能なこと及び除去後アームが通過可能なことを確認
- なお、CRDレール上のケーブル、堆積物の残置状態に応じたAWJノズルの角度、位置調整等に時間を要するため、今後、作業効率化（作業時間短縮）についても検討予定

延長管模擬体 X6ペネ接続構造模擬体 X6ペネ模擬体 AWJツール

ケーブル* *X-6 \angle 内の堆積物除去にて押し出されたケーブル

グレーチング

CRDレール

<除去/切断手順>

X-6ペネ

CRDレール

グレーチング

X-6ペネ(出口部)

Cut 1

Cut 2

Cut 3

Cut 4

Cut 5

Completed

切断前

切断完了

切断後のアーム通過性確認

アーム

CRDレール切断部

ダミーセンサー

ワンド

ケーブル

グレーチング

CRDレール

X6ペネ

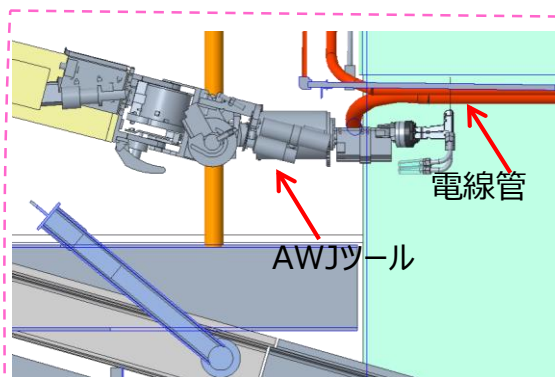
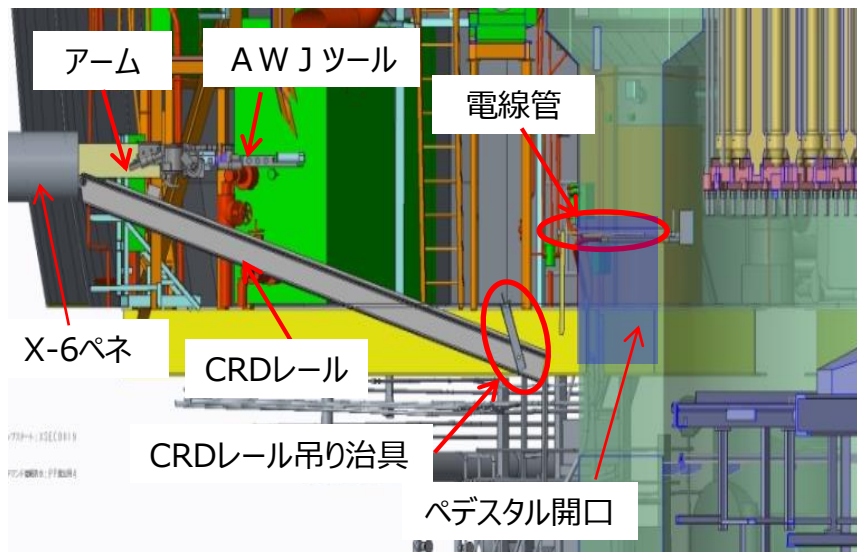
切断ノズル

切断部

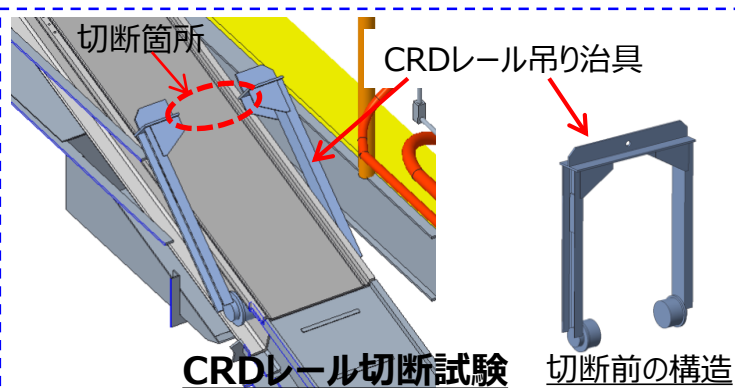
3-2. 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況

【PCV試験内障害物除去試験】

- AWJツールをアームに搭載し、アーム通過の障害物となるCRDレール吊り治具、ペDESTAL開口部の電線管の切断試験を実施
- アーム先端に搭載したカメラによる視認にてCRDレール吊り具、電線管とも、計画通り切断できることを確認
- なお、CRDレール同様AWJノズルの角度、位置調整等に時間を要するため、今後、作業効率化（作業時間短縮）についても検討予定



電線管切断試験



3-3. 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況

【ペDESTアルアクセス試験】

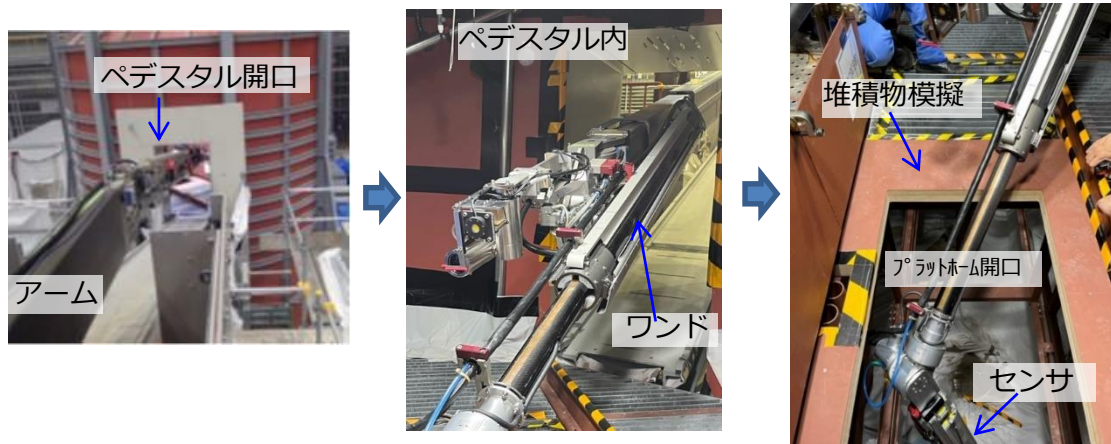
- アームの機能/適用性を見極めるため、重要かつ技術的ハードルが高い、「プラットホーム開口（狭隘部）を通過しペDESTアル底部へのアームのアクセス」に着目した試験を実施中
- 作業員補助でのペDESTアル底部までのアームアクセスが可能なこと、その過程にてT&RF※の作成完了及びレーザスキャンデータ取得完了、現在、ステップ③④実施中

<試験概略フロー>

※：ティーチ&リピートファイル（アーム各軸の動作を設定したファイル）

ステップ①

- ペDESTアル底部までのアームアクセス（作業員補助）
- T&RF※の作成 **【完了】**



ペDESTアル底部までのアームのアクセス状況（ステップ①）

ステップ②

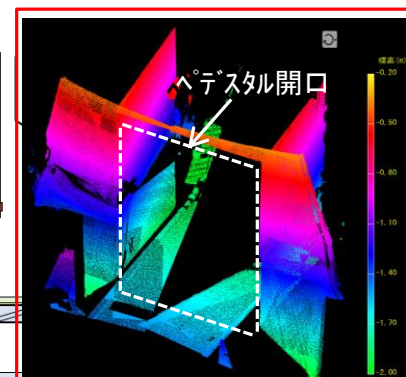
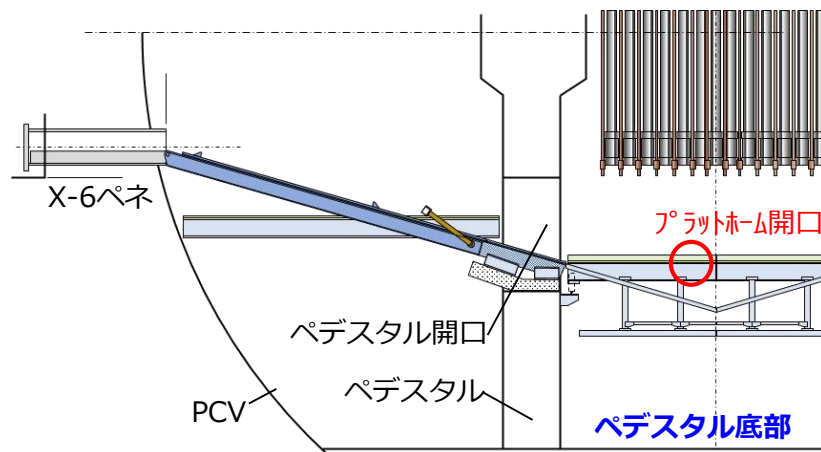
- アームにレーザスキャナを搭載し、アーム周辺の障害物の位置・形状データ（点群データ）取得 **【完了】**

ステップ③

- アームVRシステムへの点群データの反映 **【実施中】**

ステップ④

- T&RF※及びVRとカメラによる底部へのアクセス
- VR精度の把握
- カメラ視認性の確認 **【実施中】**



レーザスキャンデータ
ステップ② 点群データの取得

【カメラ視認性の確認】

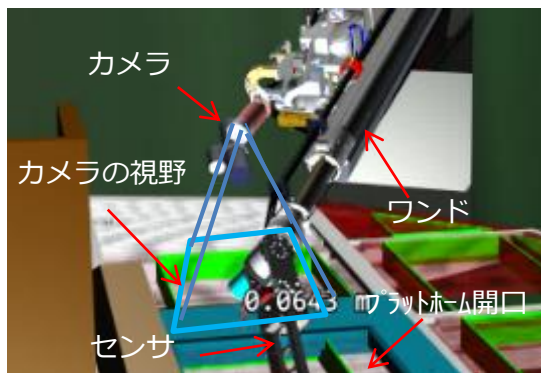
【カメラ視認性の確認】

- ペDESTルアクセス試験はVR及びT & RF機能による遠隔自動運転をベースに実施予定だが、特にアームの進行方向及び後方(ワンド後端)のカメラによる視認性について確認
- VR精度評価結果も踏まえ、カメラ追設等の改良を検討中



アームの後方 (ワンド後端)

※カメラ①を後ろ向きに反転し、ワンド動作時に後端部と周辺構造物が干渉しないようカメラにて隙間を確認。VR精度評価結果も踏まえ、装置改良を検討予定



VR画面



カメラの画像 (視認性は問題無し)

アーム先端をプラットフォーム開口部に進入させた状態

3 - 4. 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況

【オペレーション手順書制定およびオペレータ力量認証の状況】

- オペレーション手順書制定

- 英国原子力公社（UKAEA）の遠隔技術部門（RACE）よりノウハウを学び、ロボットアーム、双腕マニピュレータの遠隔操作に特化した手順書を作成
- 指示、注意事項の短文・簡素化、操作方法の詳細・定量化等を実施し、操作ミス防止・作業の効率化に万全を期す

項目		状況	今後の対応
手順書	通常	<ul style="list-style-type: none"> ・内部調査全体で必要なタスクを抽出済み ・タスク毎に手順書を制定済み 	<ul style="list-style-type: none"> ・組合せ試験/ワンスルー試験/非常時対応試験にて下記を実施 →難易度に応じた見直し
	想定外		

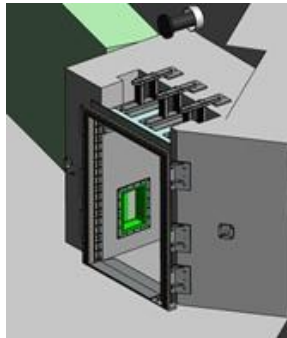
- オペレータ力量認証

- RACE、当社当直員の認定制度を基に、ロボットアーム、双腕マニピュレータの力量認証制度を作成
- 各オペレータについて、「タスクを遂行するための技量」「チーム内連携や異常検知に必要な能力」を確認する2種類の試験を設定
- 単体検証期間中から試験を開始し、現在継続実施中

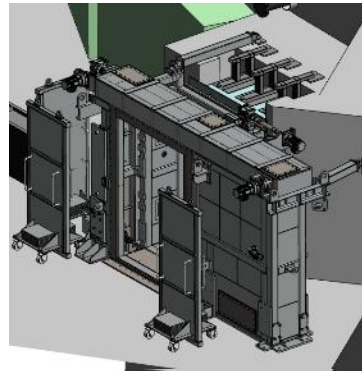
項目		状況	今後の対応
図書整備		<ul style="list-style-type: none"> ・「力量管理計画書」「認証要領書」を制定済み 	<ul style="list-style-type: none"> ・必要に応じて見直しを実施
力量認証	技量確認試験	<ul style="list-style-type: none"> ・双腕マニピュレータ オペレータに対する試験を実施中 	<ul style="list-style-type: none"> ・双腕マニピュレータ オペレータの試験継続 ・ロボットアーム オペレータの試験開始
	能力確認試験	<ul style="list-style-type: none"> ・技量確認試験に併せて、トライアルとして実施中 	<ul style="list-style-type: none"> ・組合せ試験以降に試験開始

2-1. 現場作業の進捗状況

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



隔離部屋①の設置

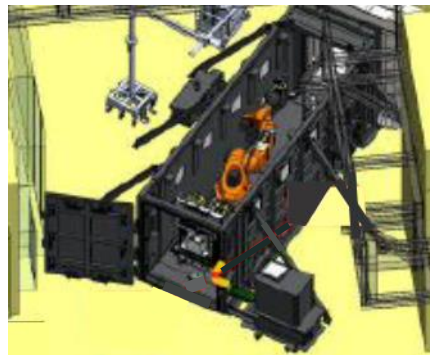


隔離部屋②の設置

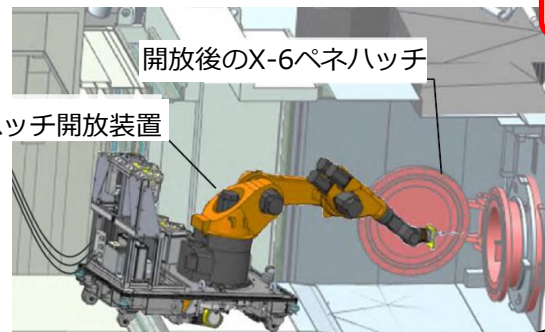


隔離部屋③の設置

※ロボットアーム設置前まで使用



ハッチ開放装置の
隔離部屋③への搬入



ハッチ開放装置による
X-6ペネハッチ開放

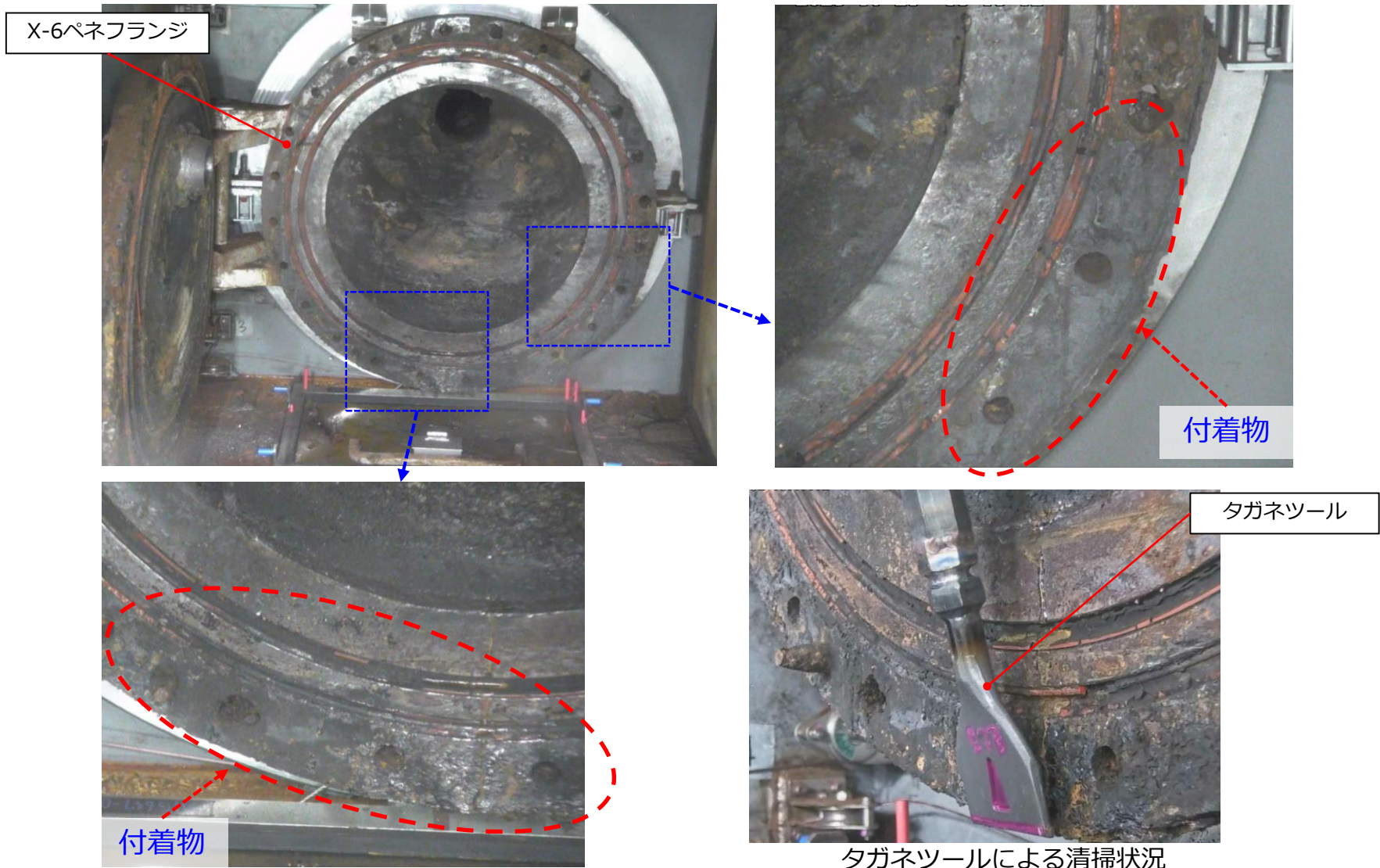
赤枠内：現在の状況
X-6ペネ内堆積物除去作業準備 実施中

次工程へ
X-6ペネ内堆積物除去

- X-6ペネハッチのボルト除去 (完了)
- ハッチ開放 (完了)
- ハッチ把手の切断 (完了)
- ペネフランジ面他清掃 (完了)

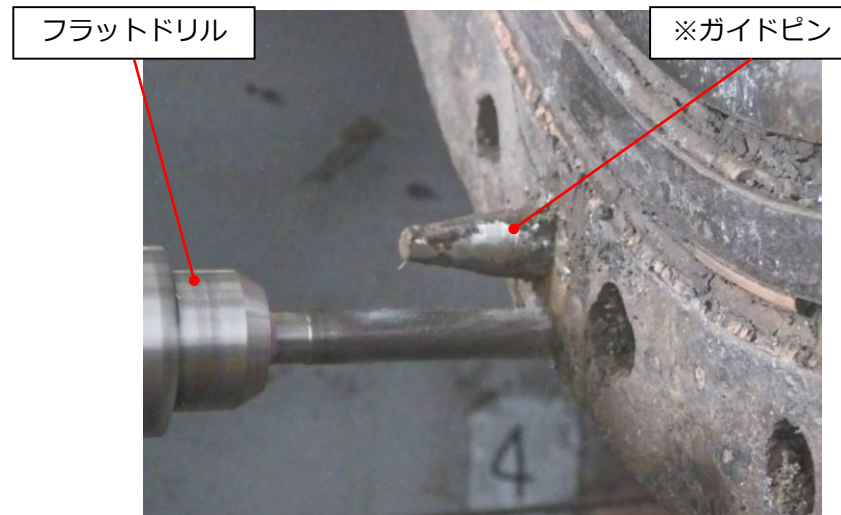
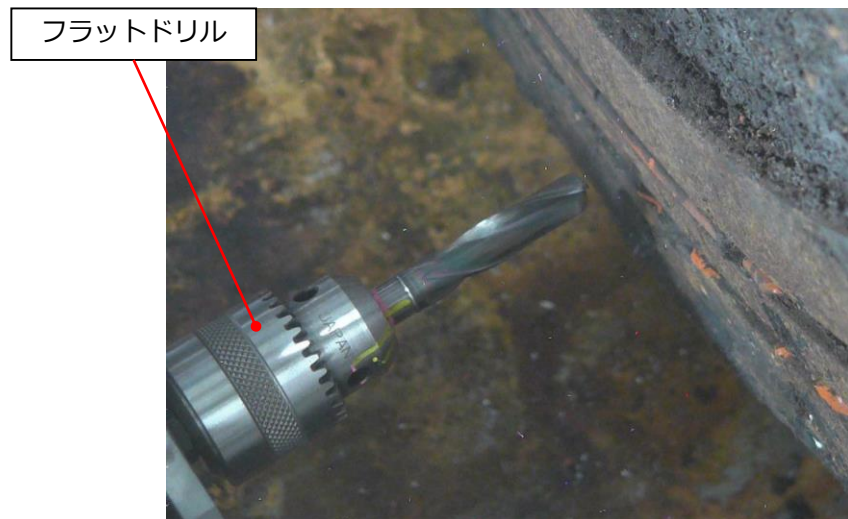
4 - 2. 現場作業の進捗状況 (X-6ペネハッチフランジ他清掃)

- ハッチ開放後、堆積物除去作業に向けてX-6ペネフランジ面の清掃など装置設置の準備を開始
- レーザ清掃、バフ清掃等を実施したが、フランジ面の付着物(一部)が除去しきれないことから、タガネツールを使用し清掃を実施

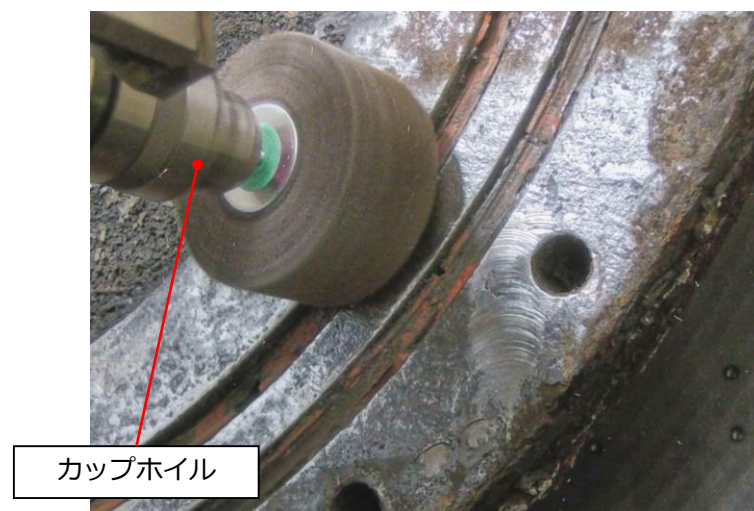
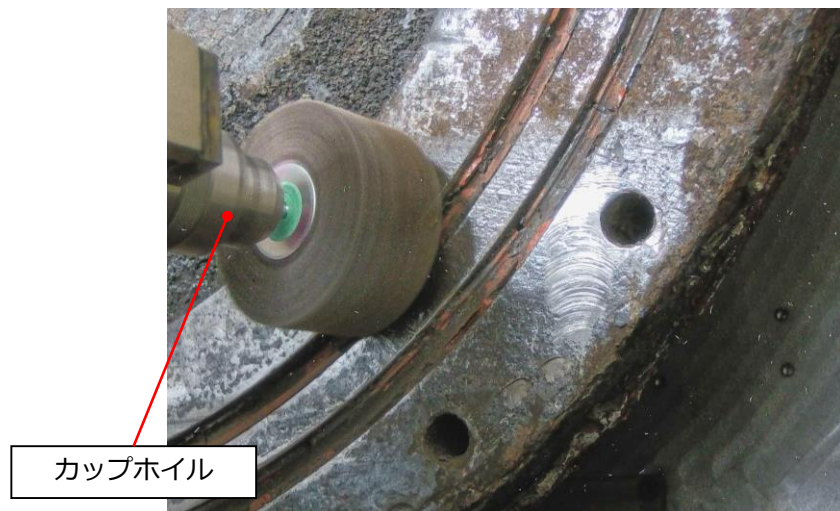


4 - 3. 現場作業の進捗状況 (X-6ペネハッチフランジ他清掃)

- タガネツールを使用しても、フランジ面の付着物(一部)が除去しきれないため、フラットドリルによる切削、カップホイールによる研磨を実施し、フランジ面の清掃を実施



フランジ清掃状況 (フラットドリル)



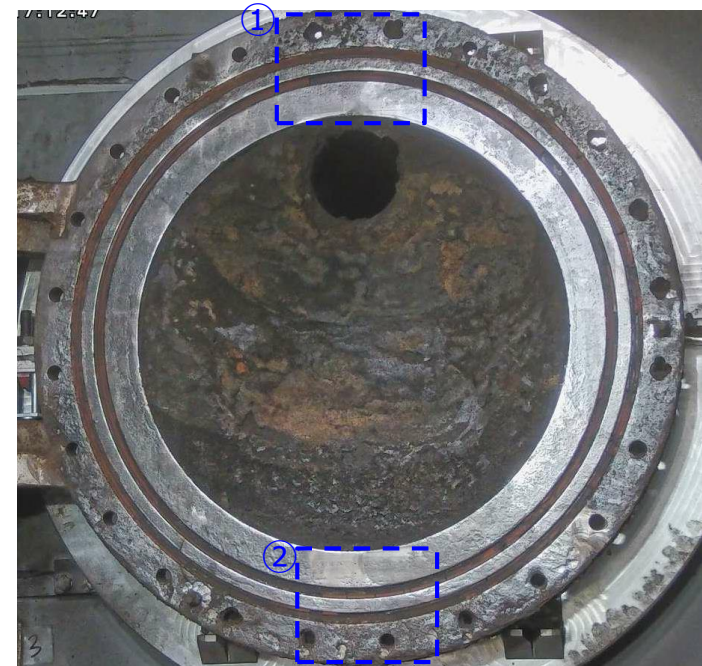
フランジ清掃状況 (カップホイール)

4 - 4. 現場作業の進捗状況 (X-6ペネハッチフランジ他清掃)

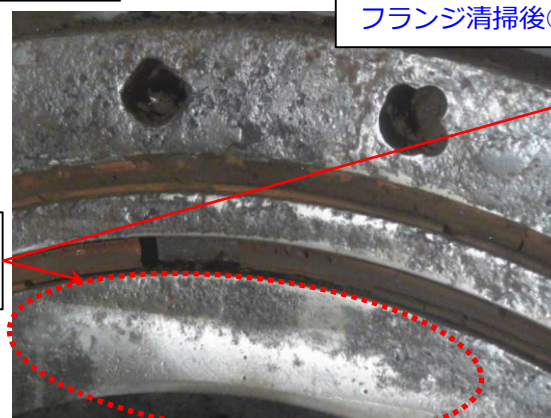
- X-6ペネフランジ面清掃及びフランジ表面の付着物除去後のレーザ計測によりフランジ面の状況確認を行い、次工程への移行が可能であることを確認
- フランジ面の一部があばた状になっているが、堆積物除去装置やX-6ペネ接続構造を接続する際はフランジ面シール部の加圧やグリス等の塗布でシール確保が可能と判断



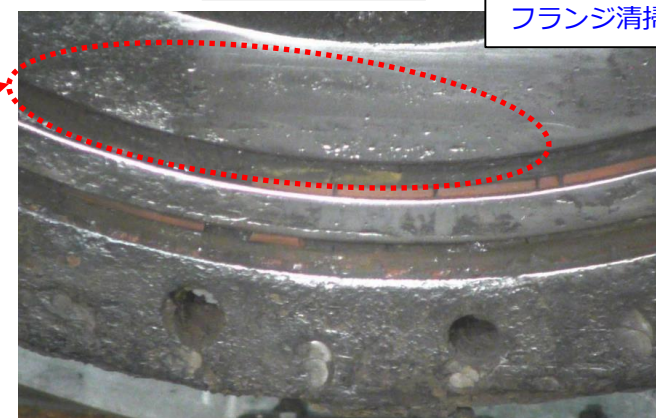
フランジ清掃前



フランジ清掃後



フランジ清掃後①



フランジ清掃後②

フランジ面の一部があばた状になっていることを確認

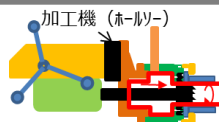
5. 工程

- ロボットアームについて、2022年2月より実施している現場を模擬した楢葉モックアップ試験を通じて把握した情報と、事前シミュレーション結果との差異を補正することで、燃料デブリ取り出し時の接触リスクを低減するべく、現在、制御プログラム修正等の改良に取り組んでおり、現場適用に向けた作業効率化やVR精度等の課題の解決に向けて試験を進めている。
- また、2023年10月にX-6ペネハッチボルトの除去、ハッチ開放が完了し、堆積物除去作業に向けたX-6ペネフランジ面を清掃を開始。レーザーや研磨ツール等で清掃を実施したが、付着物が除去しきれないことから、ドリルやタガネ、研磨ツールによりフランジ面の清掃が完了。その後も、X-6ペネ内の堆積物除去作業等を控えており、安全かつ慎重に作業を進める必要がある。
- 他方、ハッチ開放準備作業において確認されたボルトの固着状況等を踏まえると、X-6ペネ内の堆積物が完全に除去できない場合でも、燃料デブリの取り出し可能な手法を検討することが必要。
- これまでも燃料デブリの取り出し手法について様々検討してきたが、過去の調査で用いた実績があり、ペDESTAL底部へのアクセス性が確認できているテレスコ式の装置について、ロボットアームでの内部調査・試験的取り出しを補完する手法として並行して検討を進めている。
- 今後、X6 ペネ内堆積物除去作業の状況及びロボットアームの試験状況を踏まえ、適切に進める。

	~2021年度	2022年度	2023年度 <small>▽11月現在</small>
ロボットアーム・ エンクロージャ装置開発	性能確認試験・モックアップ・訓練（国内）		
・スプレー治具取付作業 ・隔離部屋設置	X-53ペネ孔径拡大作業 ↓ 隔離部屋設置		スプレー治具取付け
・X-6ペネハッチ開放			↓
・X-6ペネ内の堆積物除去 ・試験的取り出し装置設置			↓
試験的取り出し作業 (内部調査・デブリ採取)			↓

試験的取り出し作業（内部調査・デブリ採取）の主なステップ

0. 事前準備作業



- 事前にスプレイ治具取付事前作業（X-53ペネ孔径拡大）を実施

1. 隔離部屋設置



- ハッチ開放にあたり事前に隔離部屋を設置

2. X-6ペネハッチ開放

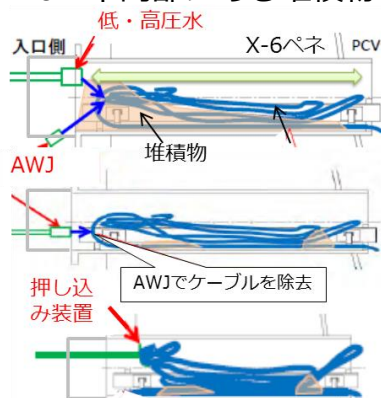
ハッチ開放装置



- ハッチ開放装置によりハッチを開放

3. X-6ペネ内堆積物除去

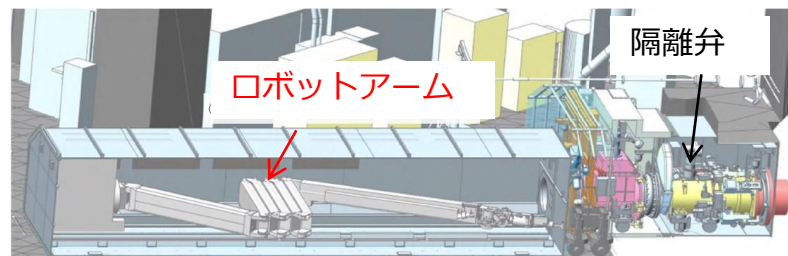
X-6ペネ内部にある堆積物・ケーブル類を除去する



- 【低・高圧水】で堆積物の押し込み
- 【AWJ】でケーブル除去
- 【押し込み装置】でケーブルを押し込み

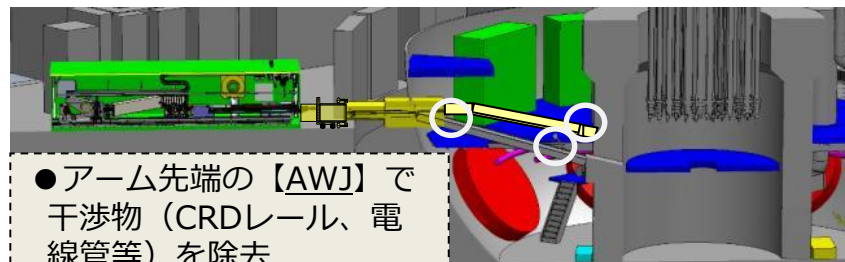
4. ロボットアーム設置

認可済



5. 試験的取り出し作業（内部調査・デブリ採取）

① ロボットアームによるPCV内部調査



- アーム先端の【AWJ】で干渉物（CRDレール、電線管等）を除去

② ロボットアームによるデブリ採取

申請予定

燃料デブリ回収装置先端部



<金ブラシ型> <真空容器型>



(注記)

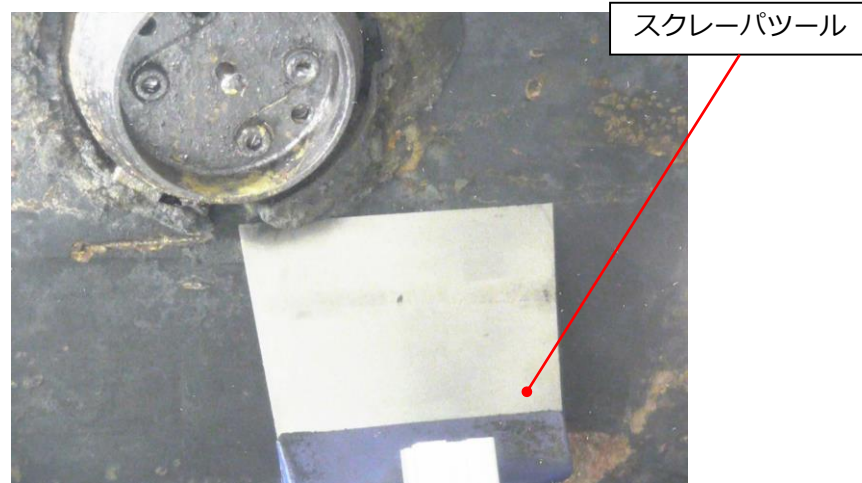
- ・ 隔離弁：PCV内/外を仕切るために設置した弁
- ・ AWJ（アブレシブウォータージェット）：高圧水に研磨材（アブレシブ）を混合し、切削性を向上させた加工機

参考. 現場作業の進捗状況 (X-6ペネハッチ蓋 (裏面) 清掃)

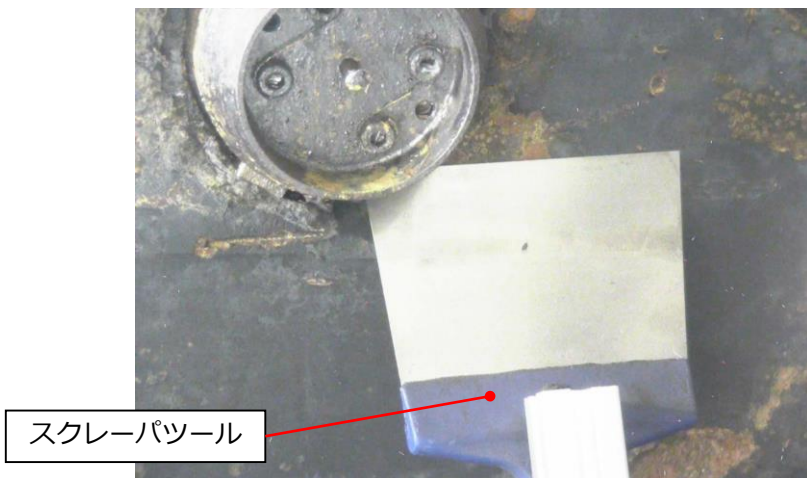
- X-6ペネハッチ蓋 (裏面) についてスクレーパを使用し清掃を実施



X-6ペネハッチ蓋 (裏面) 清掃前



X-6ペネハッチ蓋 (裏面) 清掃中



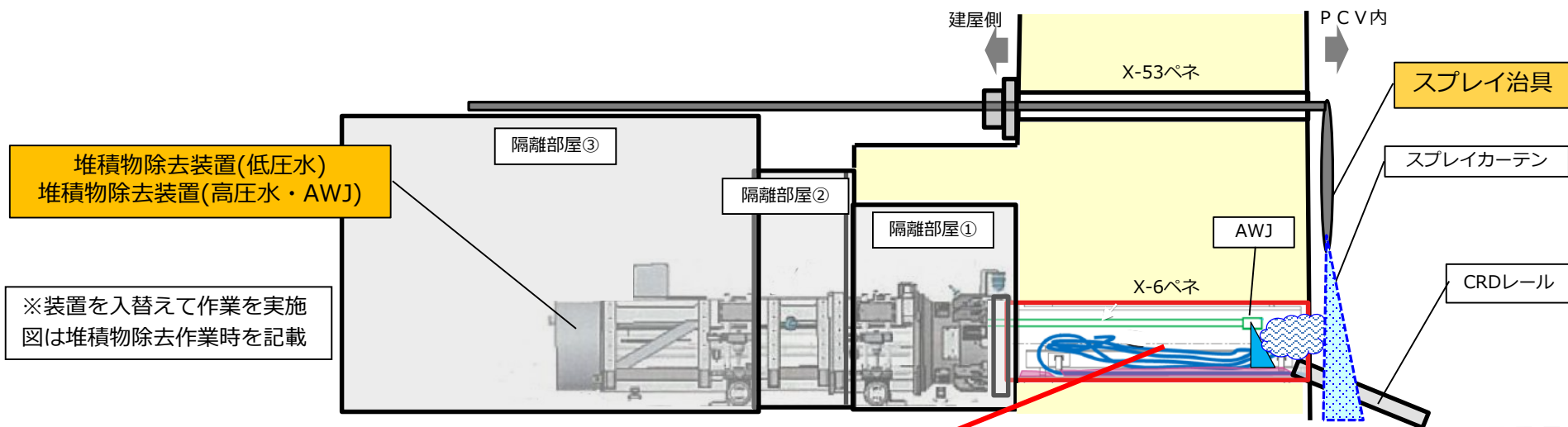
X-6ペネハッチ蓋 (裏面) 清掃中



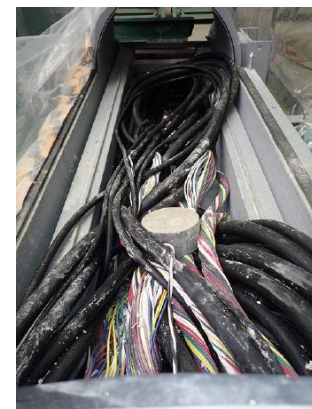
X-6ペネハッチ蓋 (裏面) 清掃後

試験的取り出し作業用のアクセスルートを構築するため、準備工事として以下の項目を実施予定。

- スpray治具によるPCV内のダスト飛散抑制
- 堆積物除去装置（低圧水）によるX-6ペネ内の低圧水洗浄
- 堆積物除去装置（高圧水・AWJ）を用いてX-6ペネ内の堆積物を除去

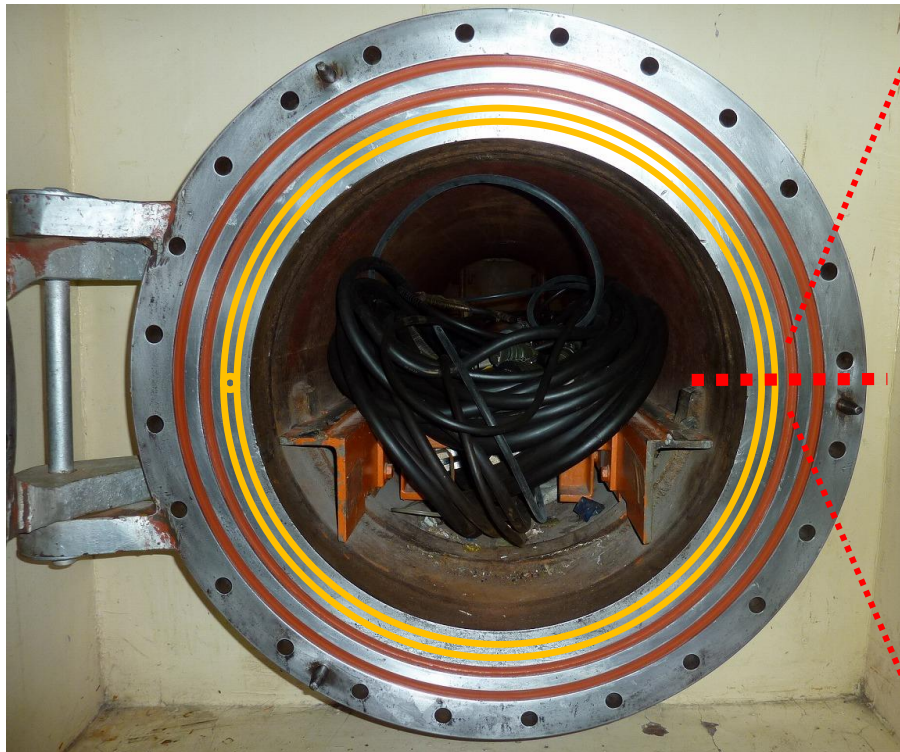


X-6ペネ内の状態(模擬)

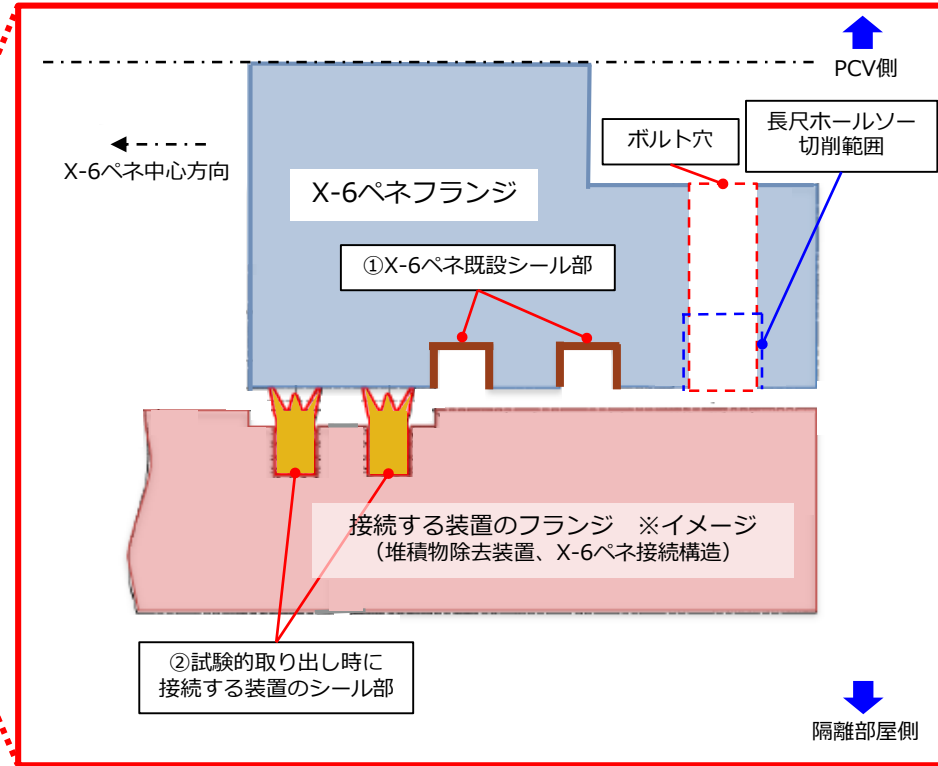


参考. X-6ペネに接続する装置のシール部

- ・ハッチ開放後のフランジ面に堆積物除去装置、X6ペネ接続構造を接続



震災前のX-6ペネハッチ（開放時）



X-6ペネ接続時のシール位置（上から見た図）

- : ①X-6ペネ既設シール部
- : ②試験的取り出し時に接続する装置のシール部
※堆積物除去装置、X-6ペネ接続構造