

2号機 PCV内部調査・試験的取り出し作業の準備状況

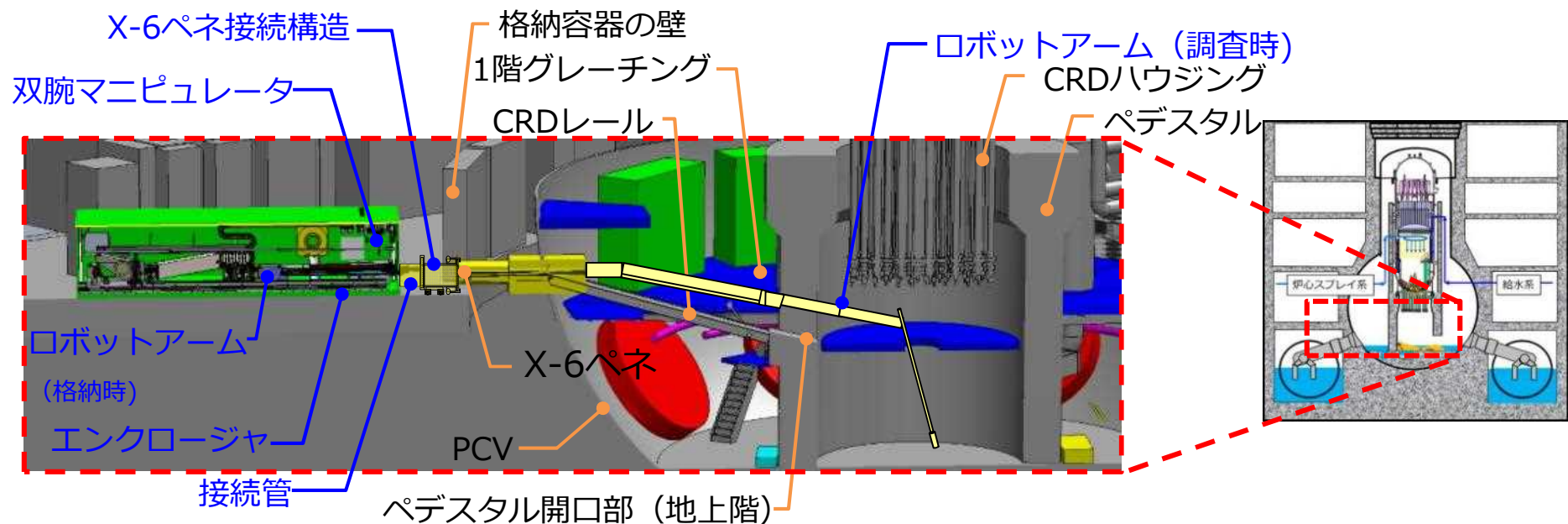
2023年10月5日

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行いつつ、内部調査や試験的取り出しを進める計画



2号機 内部調査・試験的取り出しの計画概要

2. 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況

性能確認試験項目

- 楢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が確認できたため、現在、制御プログラムの改善を行いつつ遠隔自動運転でのペDESTAL底部へのアクセス試験を実施中。
- 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。

性能確認試験項目

試験分類	試験項目	楢葉
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	実施中
	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	今後実施
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み合わせ、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

今回報告

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

【ペDESTAL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DESTAL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DESTAL底部までのアームアクセスが可能なこと及びその過程にてT&RF※の作成完了、現在、ステップ②～④を実施中。

※：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）

＜試験概略フロー＞

ステップ①

- ペDESTAL底部までのアームアクセス（作業員補助）
- T&RF※の作成

完了

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

実施中

ステップ③

- アームVRシステムへの点群データの反映

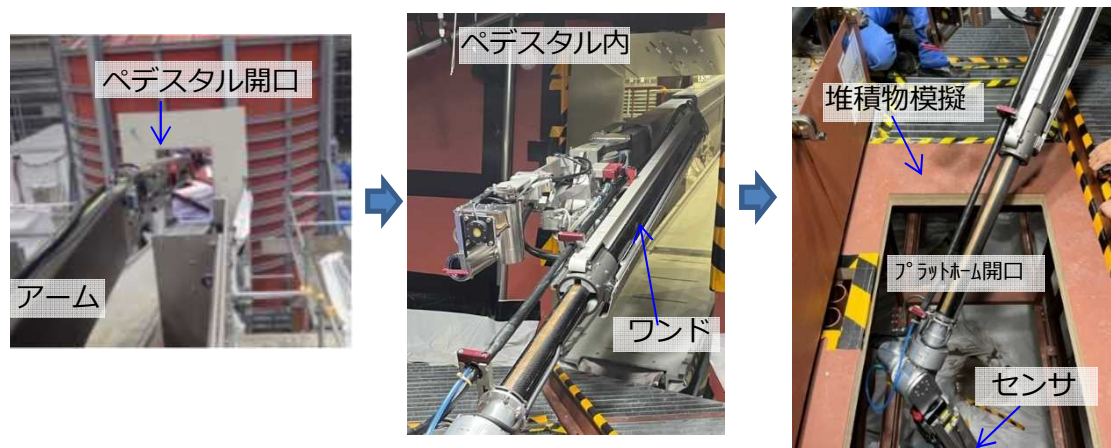
実施中

ステップ④

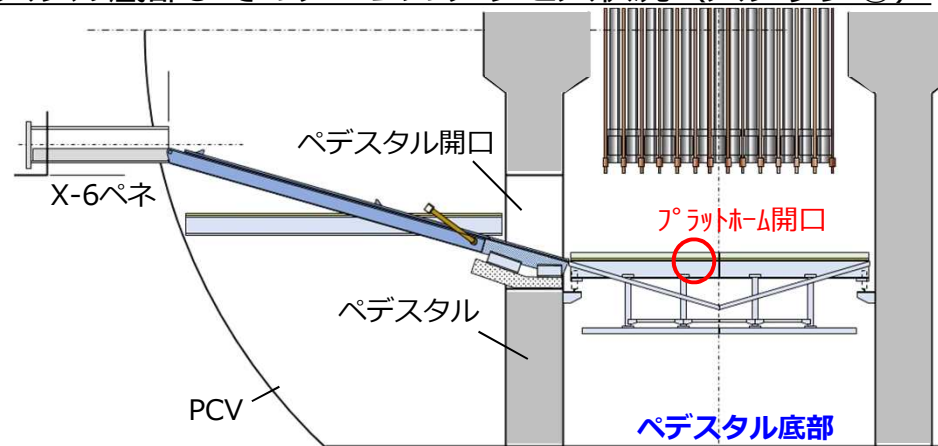
- T&RF※及びVRとカメラによる底部へのアクセス

- ・VR精度の把握
- ・カメラ視認性の確認

実施中

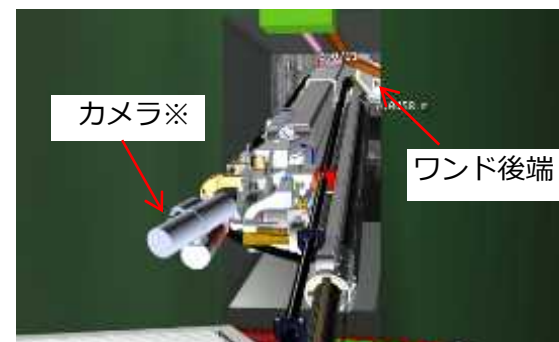


ペDESTAL底部までのアームのアクセス状況（ステップ①）



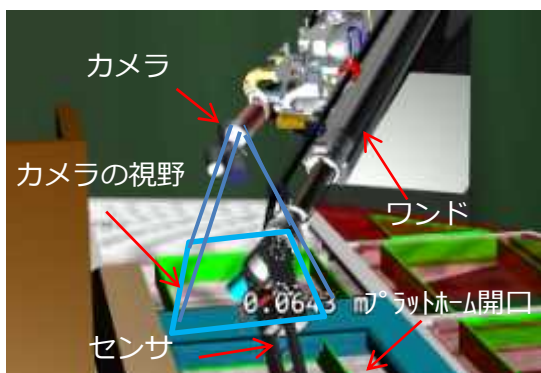
3-2. 2号機 燃料デブリの試験的取り出し装置の試験状況 【カメラ視認性の確認】

- 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も確認中。
- 視認性が十分でない場合は、VR精度も踏まえ、必要に応じカメラ追設等の改良を検討。



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。視認性が十分でない場合はVR精度評価結果も踏まえ、必要に応じて装置改良を検討



VR画面

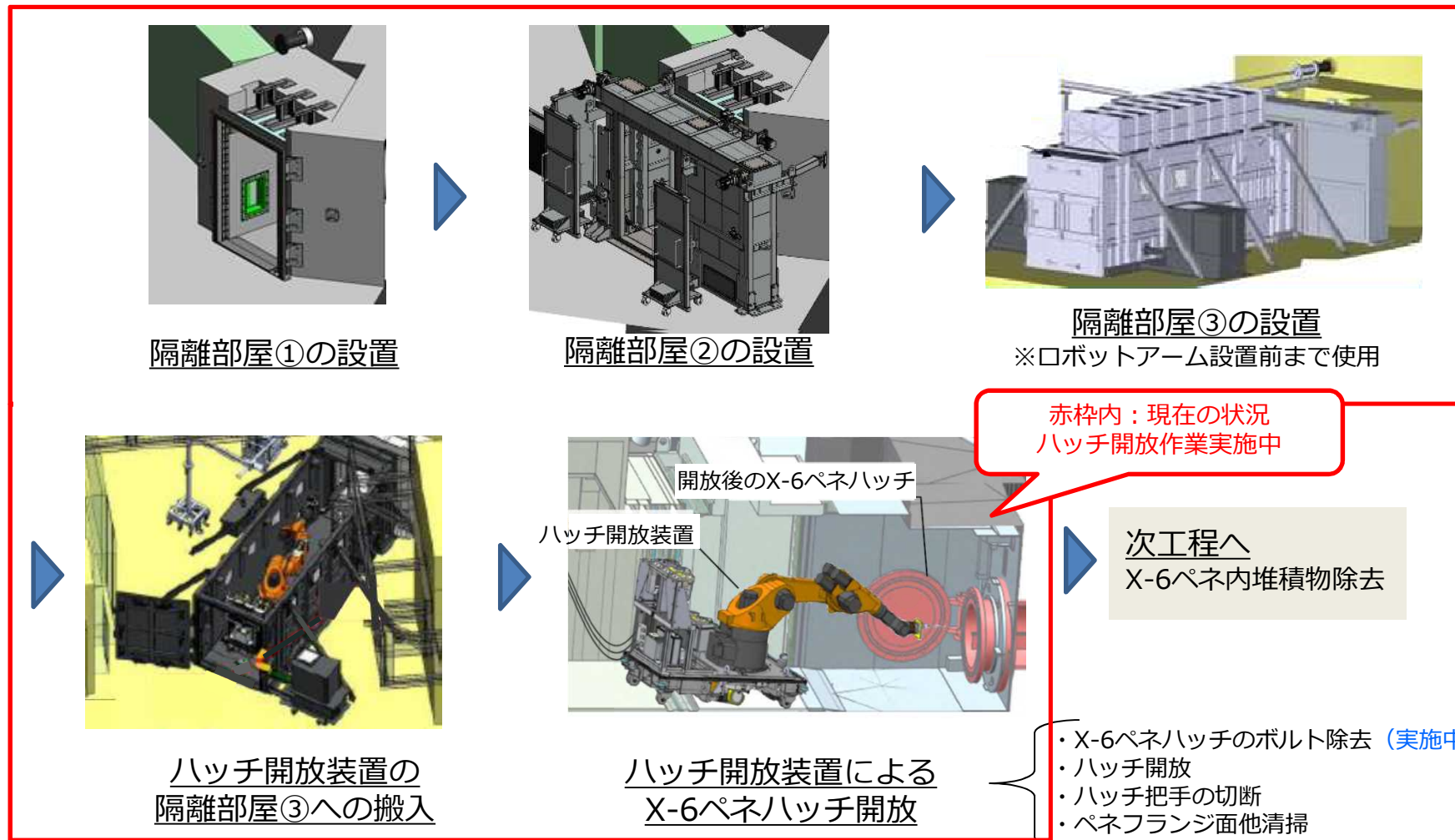


カメラの画像 (視認性は問題無し)

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

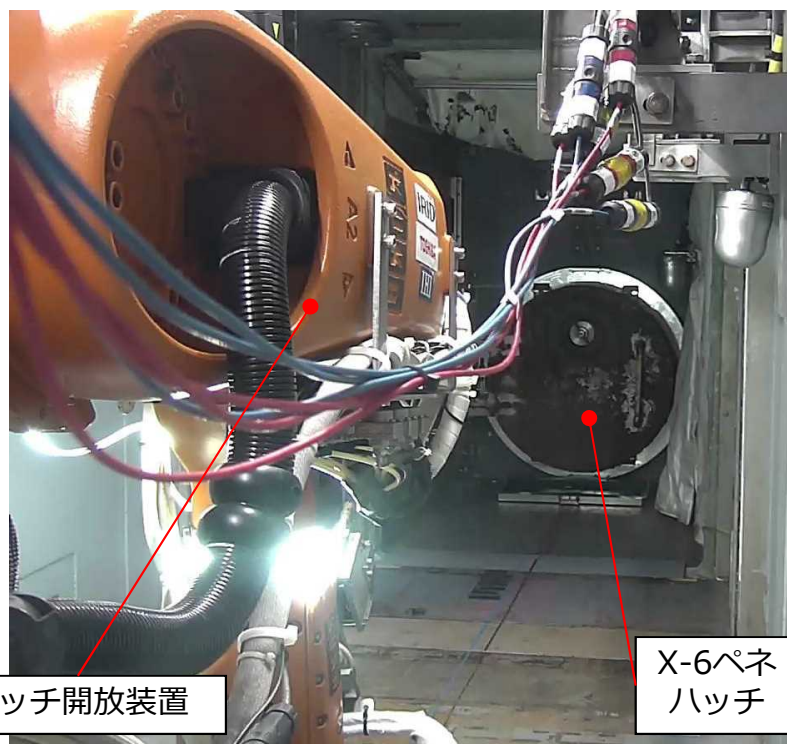
4 - 1. 現場作業の進捗状況

- 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。



4 - 2. 現場作業の進捗状況 (X-6ペネハッチボルト除去)

- X-6ペネハッチの24本の除去対象ボルトのうち、意図しないハッチの開放防止のために残す4本を除いた20本のボルトについて、ボルト切削ツール（ホールソー）を使用し、ボルトのねじ部外周を削り細くすることで、**ボルトとナットの締結を解除**。
 - 締結解除後、押し込みツールを使用し、ボルトを奥側へ押し出して落下させることで、**ボルトを取り外す**。
 - その後、残りの4本のボルトとナットの締結を解除、ボルトを押し込んで取り外し、ハッチを開放する予定。
- 除去対象ボルト：24本のうち、締結解除完了：23本、取り外し完了：21本



ハッチ開放装置

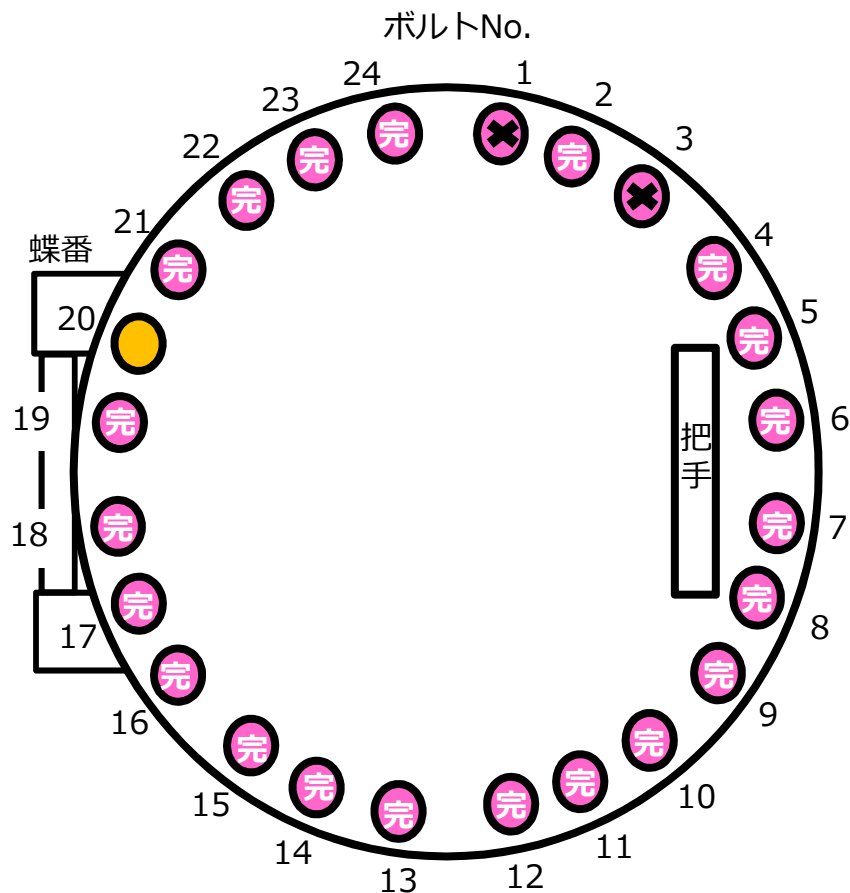
X-6ペネハッチ



ボルト除去作業状況

4 - 3. 現場作業の進捗状況（ボルト切削・取り外し進捗状況）

- ボルト切削及び取り外し作業の進捗状況は以下の通り。

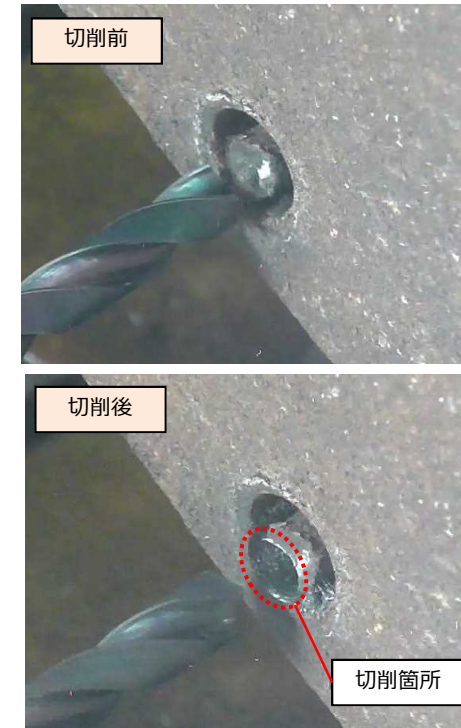
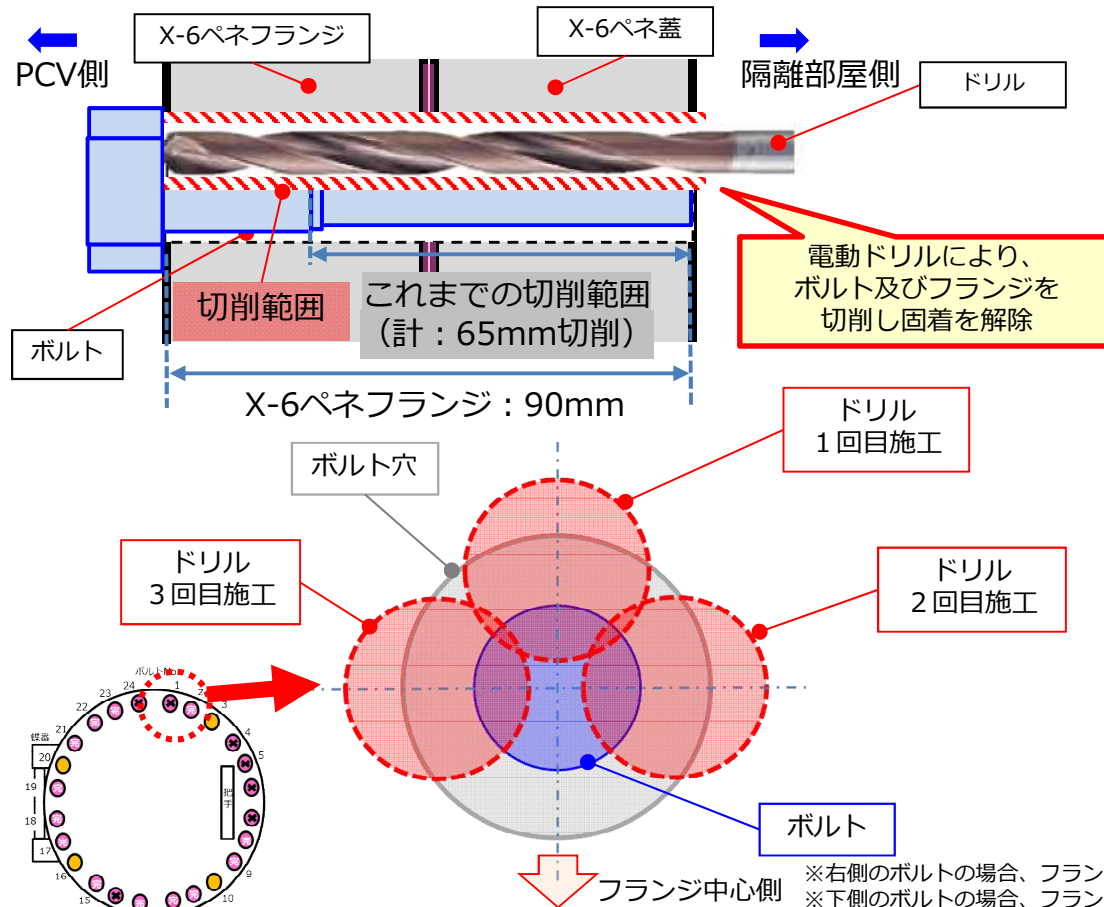


- : ボルト・ナット締結解除完了 (23本/24本中)
- : ボルト取り外し完了 (21本/24本中)
- : 最終取り外しボルト (1本/24本中)
- : 固着しているボルト (2本)

- ・ No.3,10,16 : ナット締結解除実施
- ・ No.10,16 : 押し込み実施 (除去完了)
- ・ No.3 : 電動ドリルによるボルトの先端切削 (完了)
長尺ホールソーによる深めに切削 (完了)
電動ドリルによるボルトの切削を実施中
- ・ No.1 : 更なるドリル施工等の対策を実施予定

4-4. 現場作業の進捗状況 (電動ドリルによるボルト切削)

- 固着しているボルト8本 (No.1,4,5,6,7,13,14,24) について、電動ドリルで更に深め (ハッチを貫通する程度) にボルトを切削する工法について、工場検証を行い、作業成立性が確認できたことから、現場に適用し、**ボルトの切削を実施し、No.4,5,6,7,13,14,24ボルトの除去が完了。**
- 固着しているボルトNo.1については、ドリル1回目施工が僅かに左寄りになってしまったことから、ドリル3回目施工時にドリルの位置ずれが発生し施工できず、同状態で押し込みを行ったが押し込めないため、更なるドリル施工等の対策を検証中。



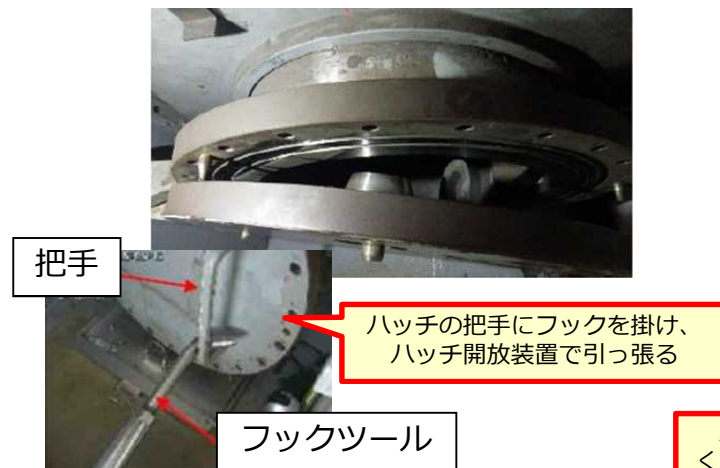
電動ドリルによるボルト切削状況

電動ドリルによるボルト切削のイメージ

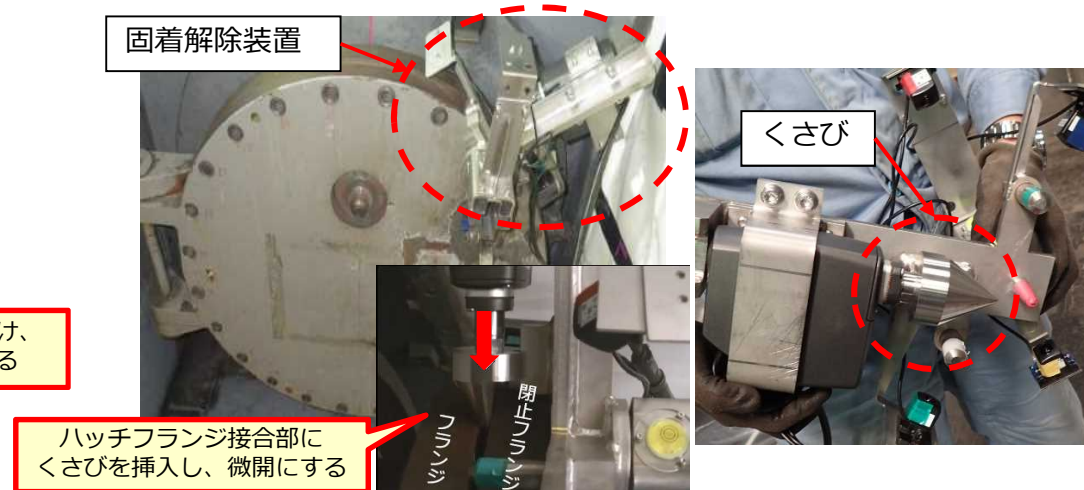
5. ハッチフランジ固着解除方法の検討

- X-6ペネハッチのボルトの固着状況からハッチフランジ部の固着を想定し、下記の固着解除対策を準備中。また、現状の対策で固着解除できないリスクを考慮し、更なる対策の検討及び成立性を検証中。

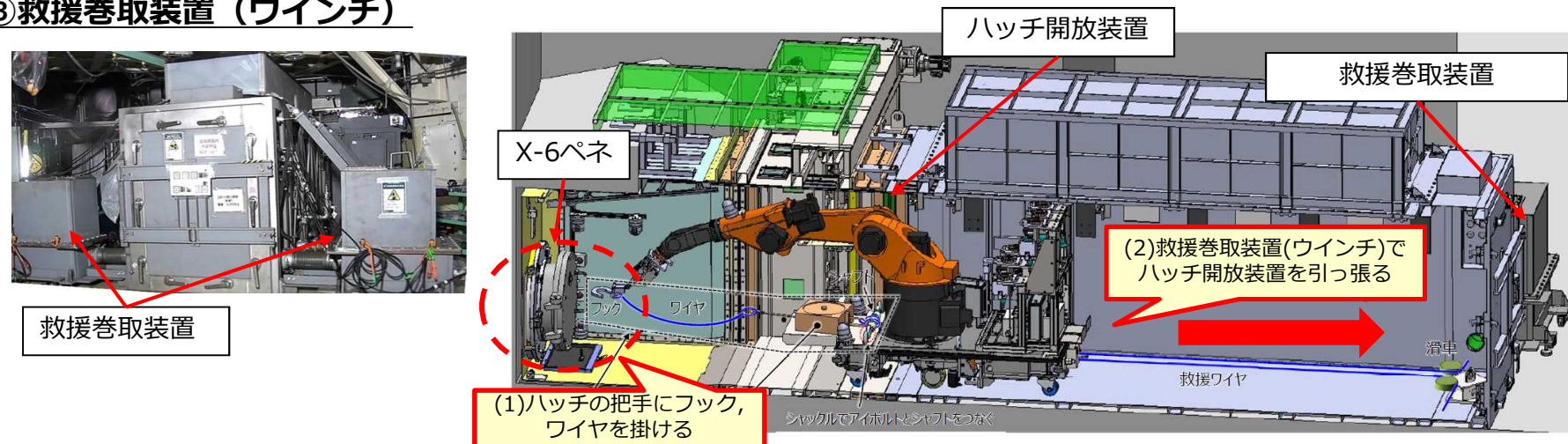
①フックツール



②固着解除装置（くさび）



③救援巻取装置（ウインチ）

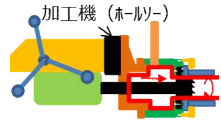


6. 工程

- 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いる。
- また、2号機現場の準備工事として2023年4月に隔離部屋の設置が完了したことから、現在、X-6ペネハッチ開放に向けてハッチボルトの除去作業を実施しているところ。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。

	~2021年度	2022年度	2023年度 ▽9月現在
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）		
・スプレイ治具取付作業 ・隔離部屋設置	X-53ペネ孔径拡大作業	隔離部屋設置	スプレイ治具取付け
・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)			

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

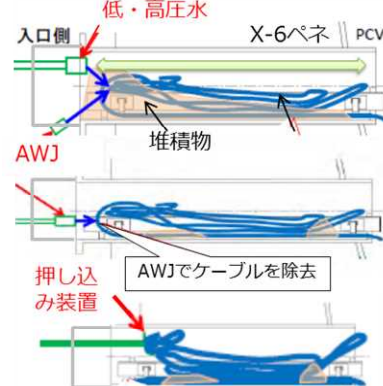
ハッチ開放装置



- 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

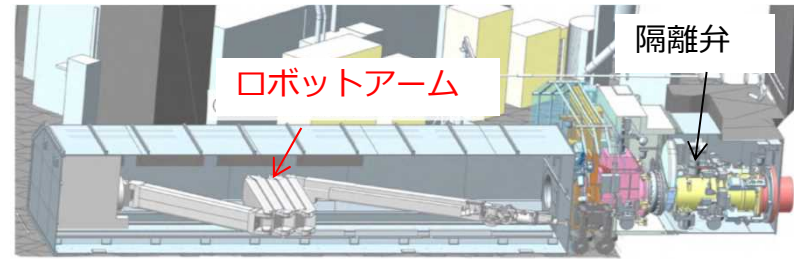
X-6ペネ内部にある堆積物・ケーブル類を除去する



- 【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

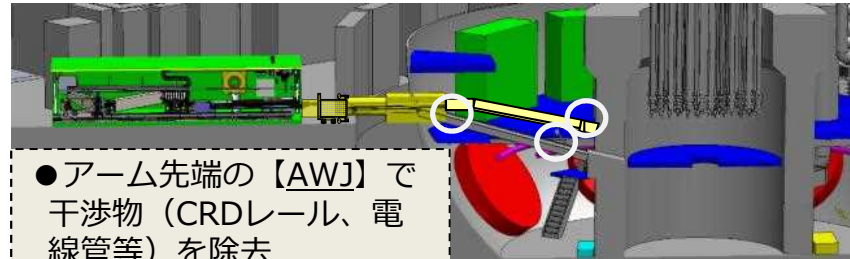
4. ロボットアーム設置

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

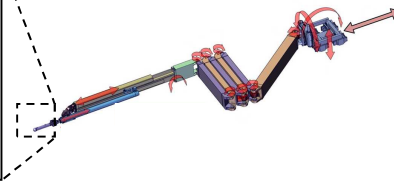
② ロボットアームによるデブリ採取

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>

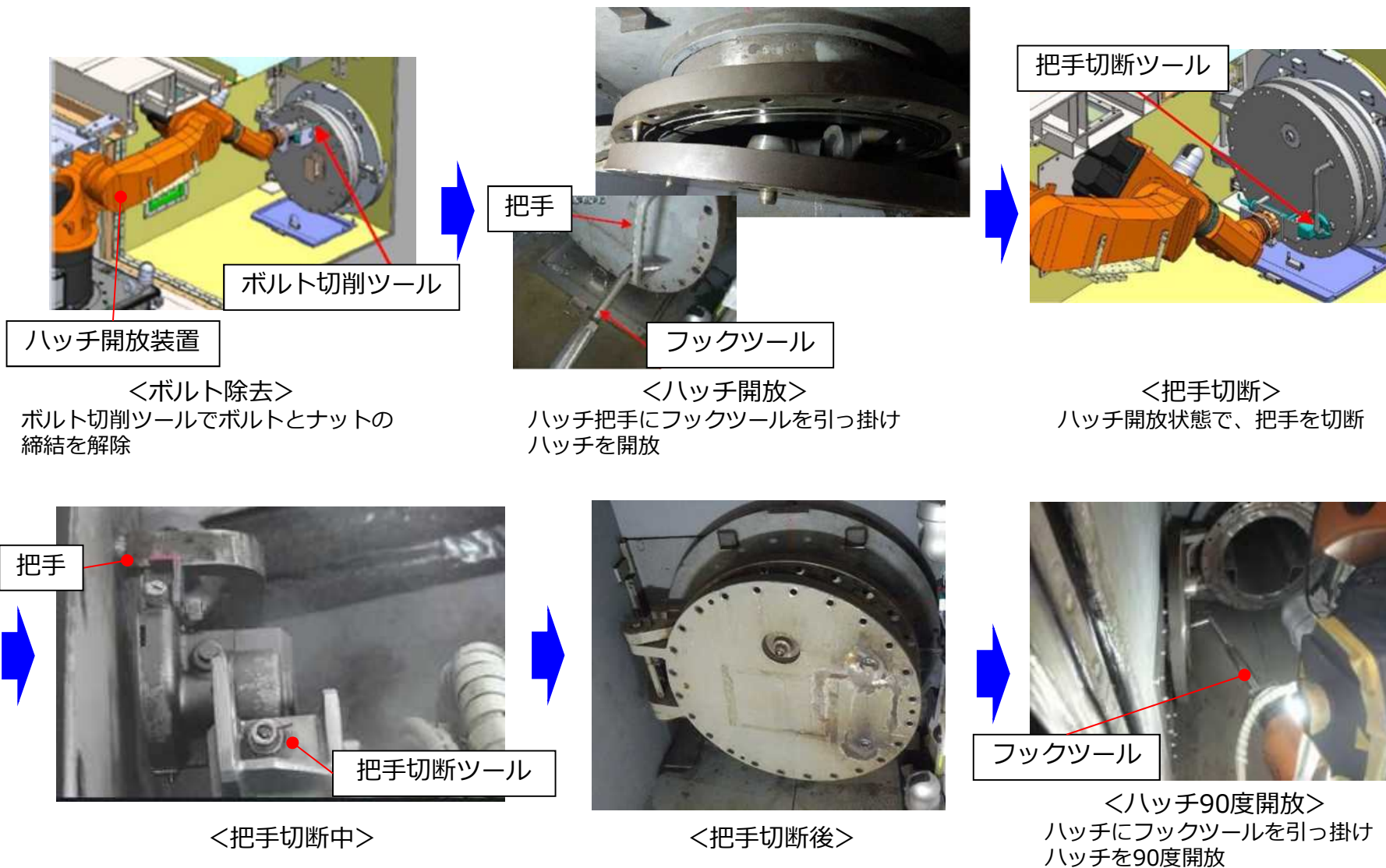


(注記)

- ・ 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. X-6ペネハッチ開放手順

- 工場でのモックアップ試験において、ハッチ開放装置でX-6ペネハッチの把手が切断できることを確認。
- ハッチ開放作業の確実性を高めるため、ハッチ開放後に把手を切断する手順で実施。



参考. 取り外したボルトの状況

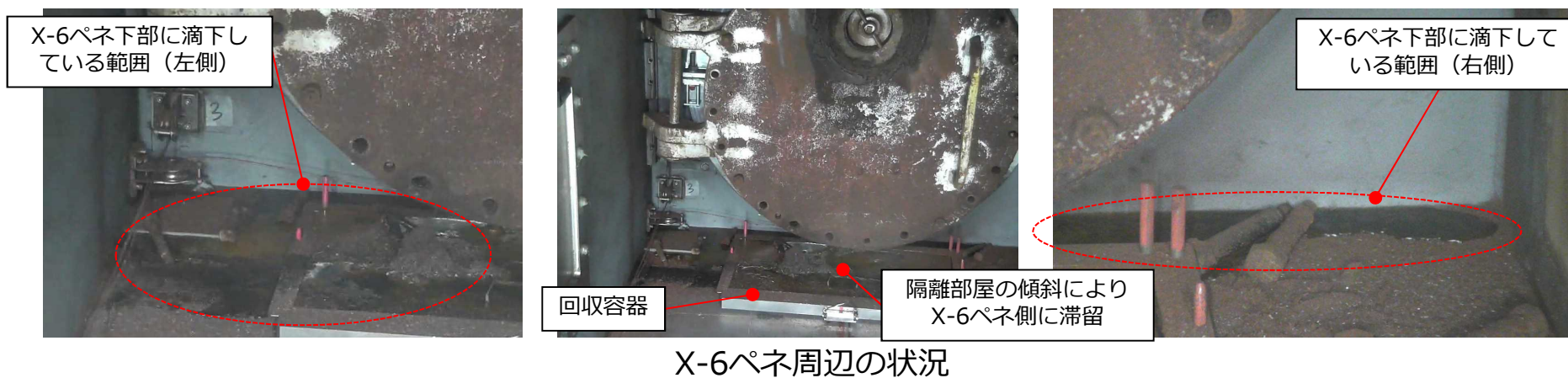
- 震災時、X-6ペネハッチフランジ面間に隙間が生じた可能性があり、その隙間からハッチ外側に溶出物が漏れ出て、X-6ペネフランジ下部や床面に付着していることを確認。（過去の除染作業時に回収）
- 今回のボルト除去作業時に取り外したボルトの変色範囲から、溶出物はX-6ペネフランジ面間の中心から、ボルト軸方向に広がっていると推定。
- 長尺ホールソー及び電動ドリルで追加切削を実施することで、ボルト中央部からハッチ奥側まで切削できれば、ボルトの固着を低減する効果があると考え、固着対策を検討し、作業を実施中。



取り外したボルトの状況

参考. X-6ペネフランジ部からの水の滴下について

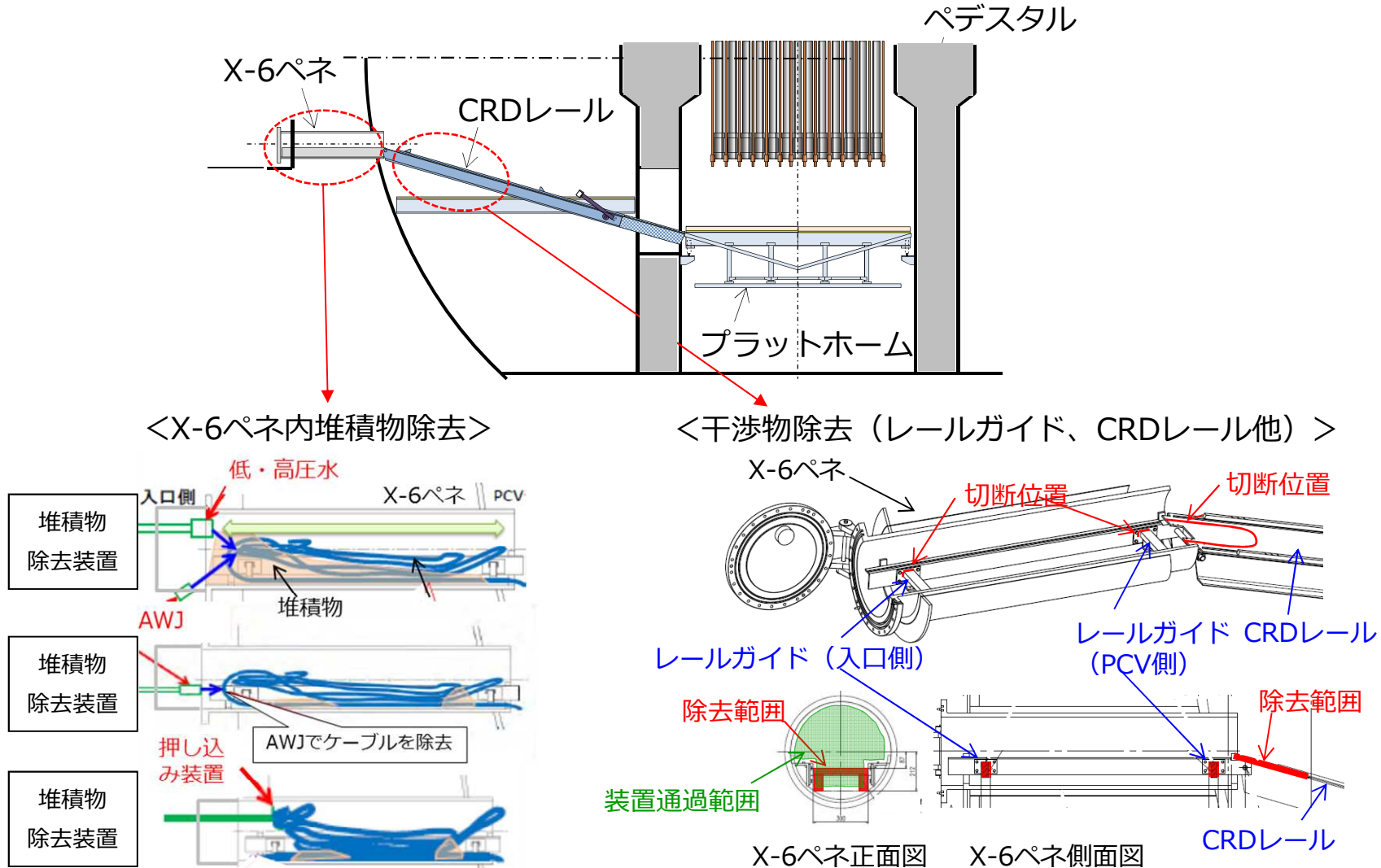
- X-6ペネハッチボルトの除去作業を実施している中で、フランジ部からの水の滴下を確認し、現在も滴下継続中。フランジ部からの水の滴下は2015年のX-6ペネ除染時に確認しており、**フランジ下部のボルトを除去したことで、滴下量が増加したと推定。**
- なお、**X-6ペネ周辺に吸水材を設置し、滴下した水の回収を実施。** 今後も回収を継続予定。



参考. X-6ペネハッチ開放後の作業

- X-6ペネハッチ開放後は、X-6ペネ内の**堆積物除去**や**干渉物除去**（レールガイド、CRDレール他[※]）が控えており、安全かつ慎重に作業を進める必要がある。

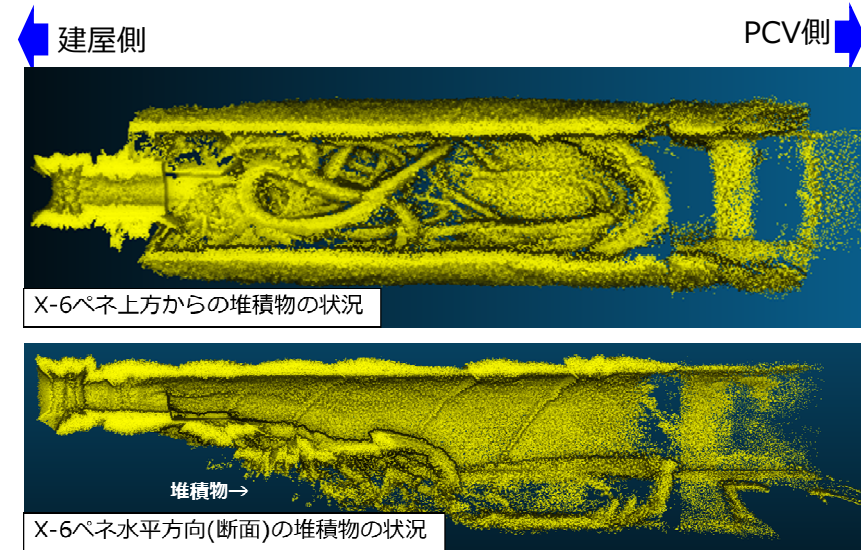
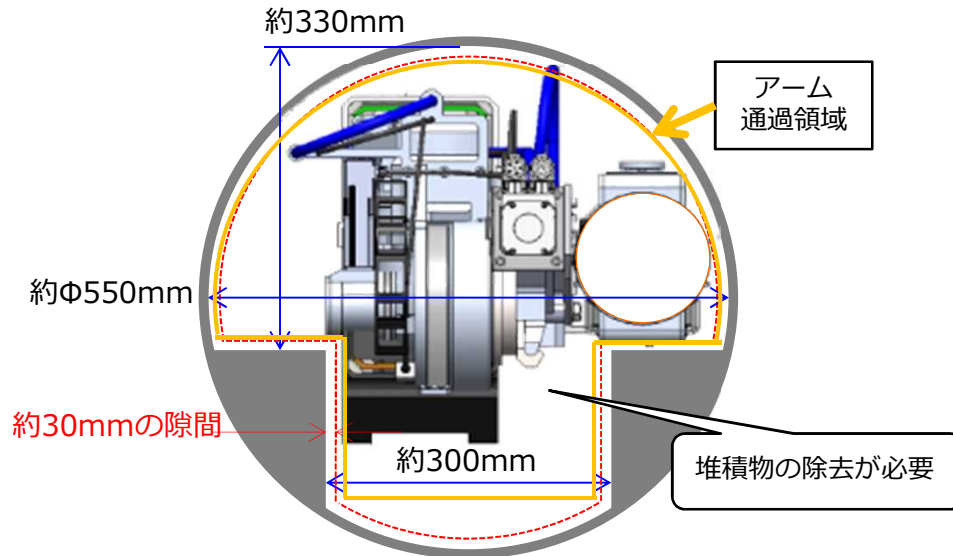
※レールガイドは堆積物除去装置、CRDレール他はロボットアームで除去



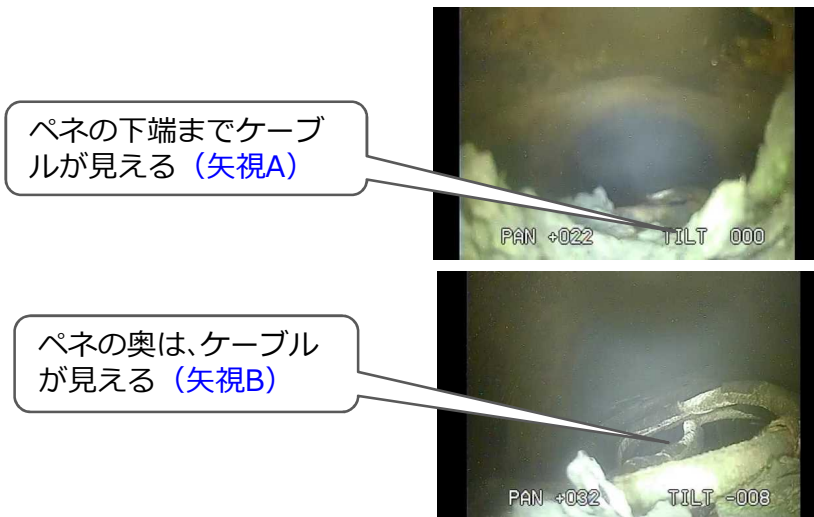
参考. X-6ペネ通過時のロボットアームの状態

ロボットアーム

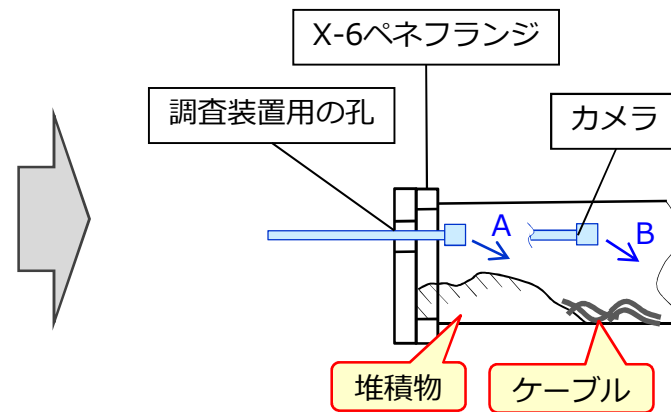
(X-6ペネ通過時の断面図)



2020年10月 3Dスキャン調査結果



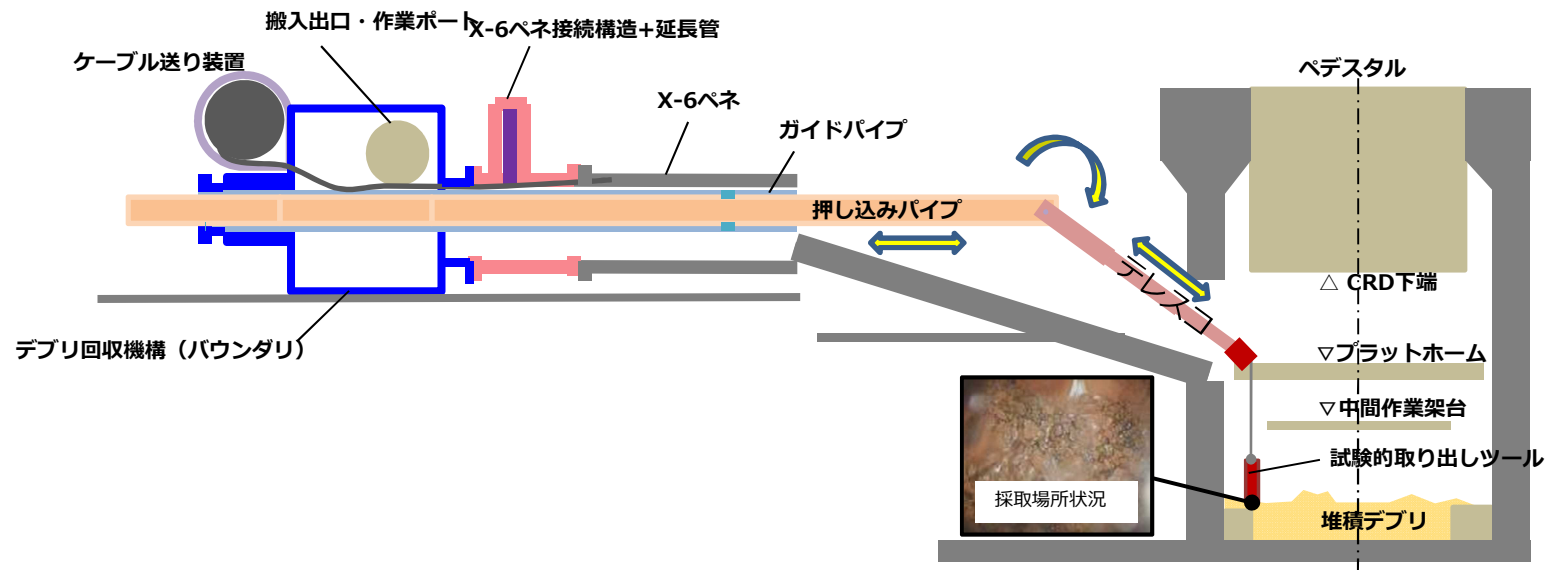
2017年1月の状態 (X-6ペネ調査装置用の孔からカメラを挿入)



堆積物想像図

参考. テレスコ式装置の概要

- 現在、X-6ペネ開放に向けた準備作業にて確認されたハッチボルトの固着状況等を踏まえ、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。
- ロボットアームに加えて、これまでの調査等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おり、テレスコ式の装置についても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。



テレスコ式装置のイメージ図