

## 2号機 PCV内部調査・試験的取り出し作業の状況

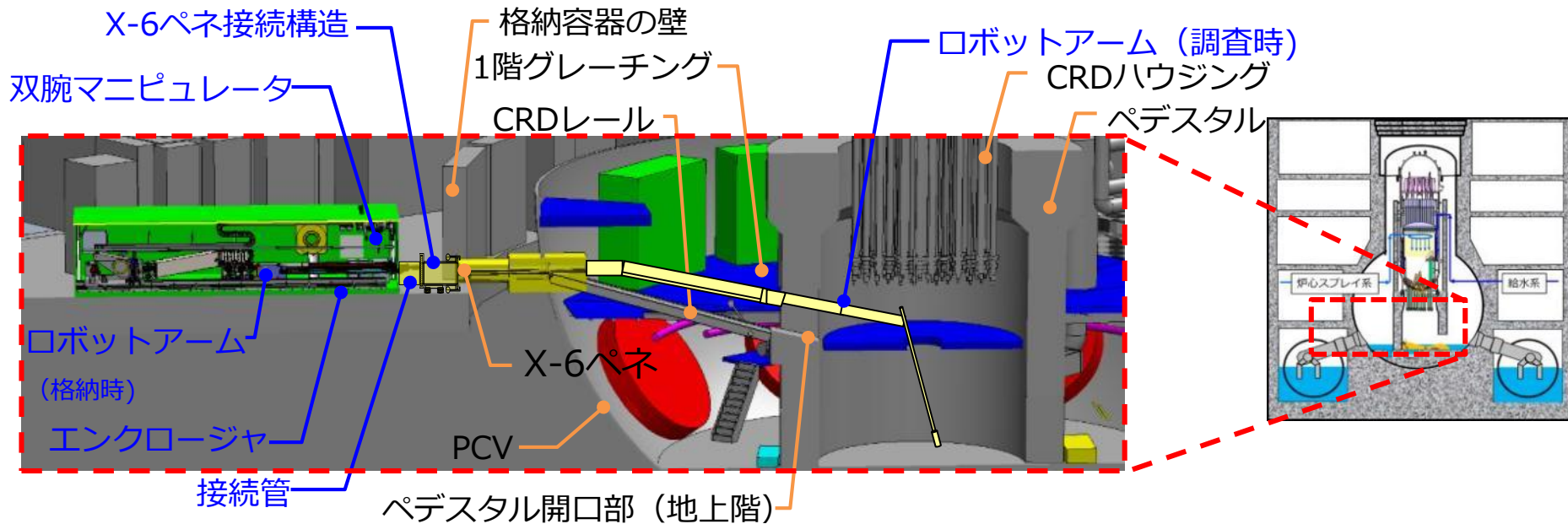
2024年10月28日



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
  - 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
  - テレスコ式装置、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

## 2-1. 現地準備作業状況

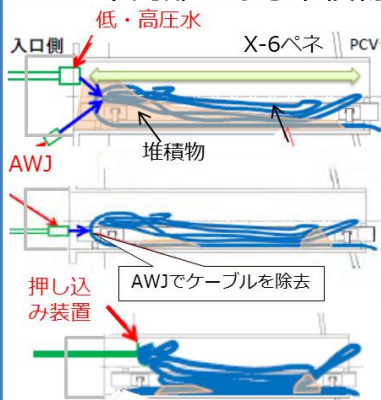
### 試験的取り出し作業（内部調査・デブリ採取）の主なステップ

#### 1. 隔離部屋設置

#### 2. X-6ペネハッチ開放

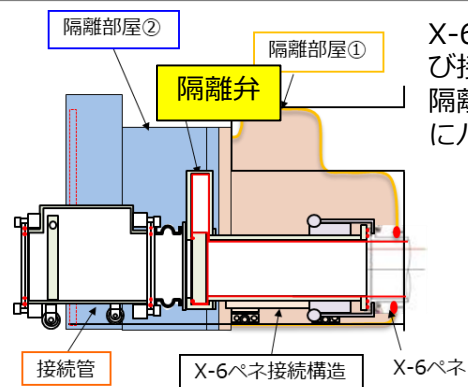
#### 3. X-6ペネ内堆積物除去

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

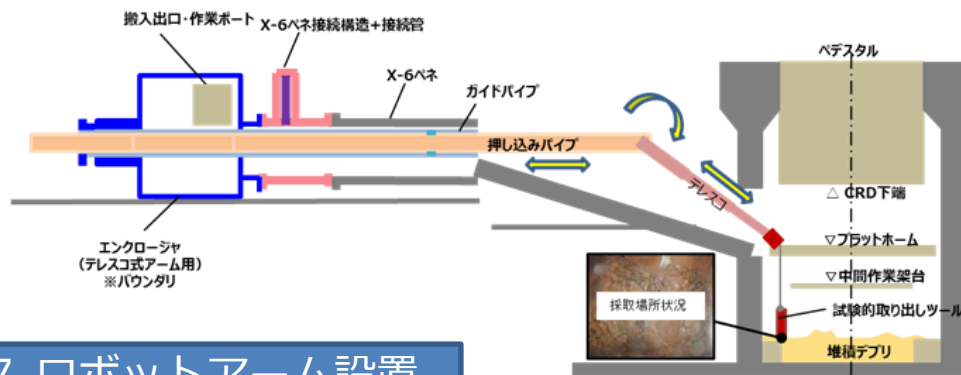
#### 4. X-6ペネ接続構造及び接続管設置



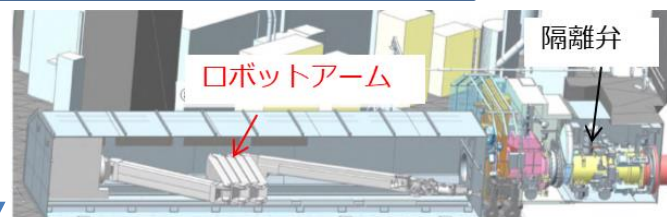
X-6ペネに接続構造及び接続管を取り付け、隔離部屋から接続構造にバウンダリを変更

#### 5. テレスコ式装置設置

#### 6. 試験的取り出し作業（テレスコ式装置によるデブリ採取）

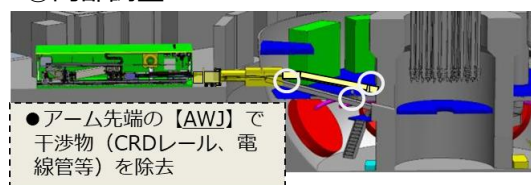


#### 7. ロボットアーム設置



#### 8. ロボットアームによる内部調査・デブリ採取

##### ①内部調査



##### ②ロボットアームによるデブリ採取



(注記)

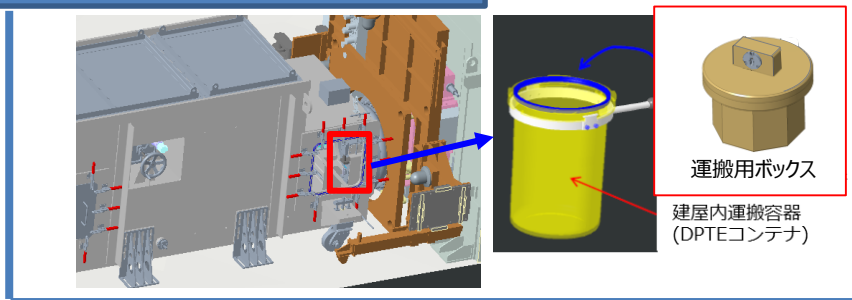
- ・ 隔離弁：PCV内/外を仕切るために設置した弁
- ・ AWJ（アブレシブウォータージェット）：高圧水に研磨材（アブレシブ）を混合し、切削性を向上させた加工機

## 2-2. 現地準備作業状況

### 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

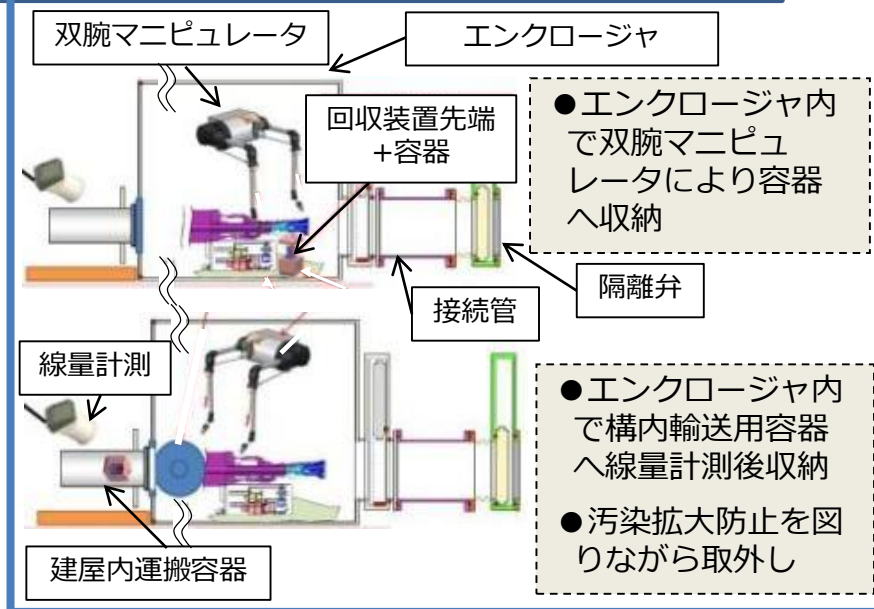
↓(前スライド ステップ6より)

#### 9-1. 燃料デブリの収納

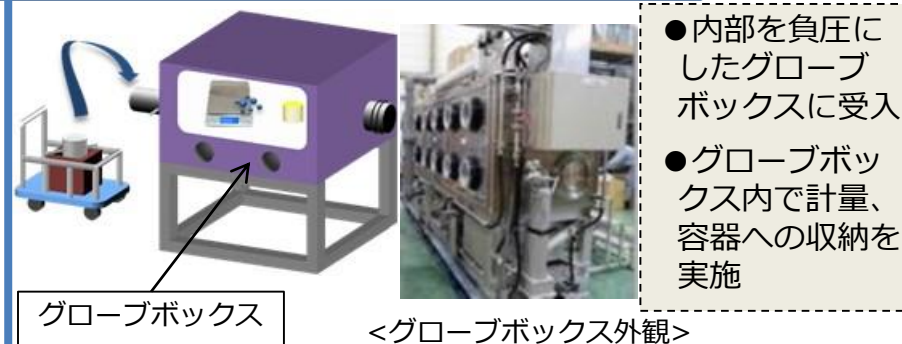


↓(前スライド ステップ8より)

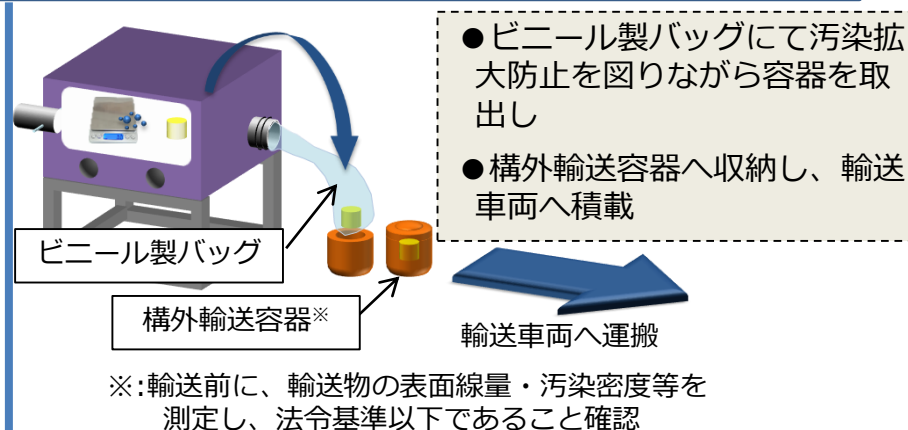
#### 9-2. 燃料デブリ回収装置先端部の収納 構内輸送用容器へ収納・線量計測



#### 10. グローブボックス受入・計量



#### 11. 容器の取出し・輸送容器へ収納・搬出



#### 12. 構外輸送及び構外分析

(注記)

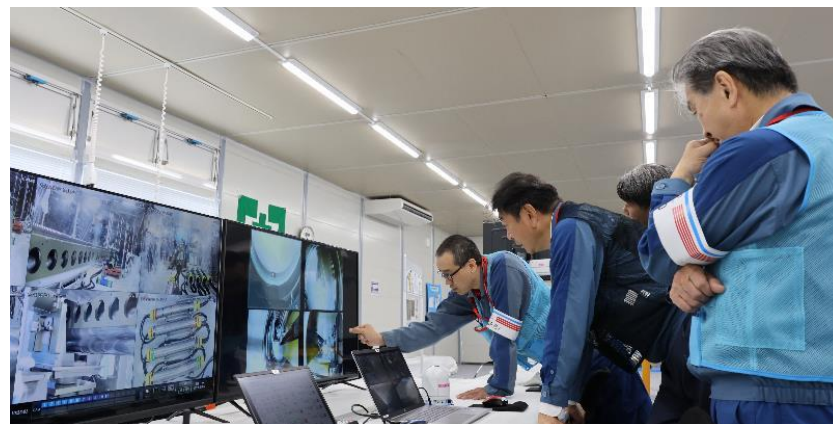
・DPTEコンテナ：Double Porte pour Transfert Etancheの略  
コンテナの蓋とグローブボックスのダブルドアが一体となって開閉することで、密閉を維持しながら物を移送することが可能なコンテナ

### 3. 現場作業の進捗状況（押し込みパイプ復旧作業）

- 9月6日、「作業工程全般の再確認・検証」「更なる手順書の見直し」「作業訓練の確認・検証ならびに不足箇所の追加対策」が完了したことから、9月7、8日押し込みパイプの復旧作業、装置動作確認を実施し、問題がないことを確認

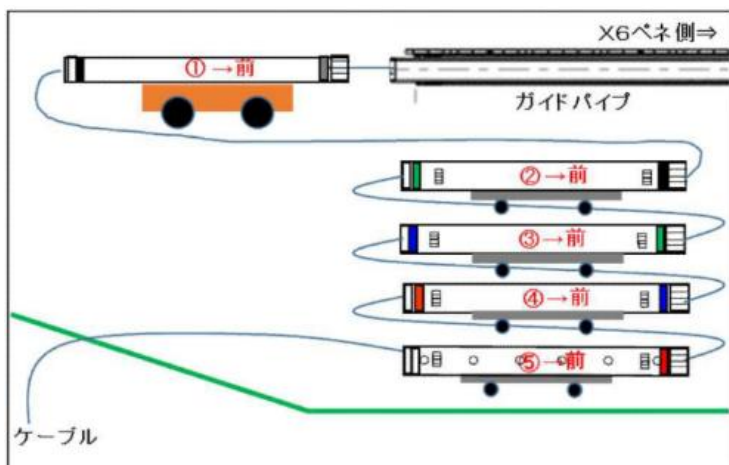


押し込みパイプの復旧作業（現場確認状況）

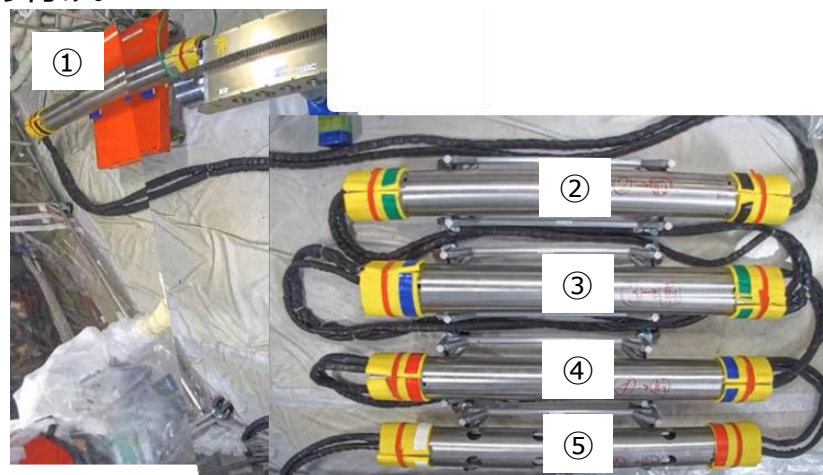


遠隔操作室確認状況

- 識別番号を重装備や遠隔カメラでも視認できるように見やすい位置に記載。
- 押し込みパイプ端部の保護シートに色違いのカラーテープを貼り付け。



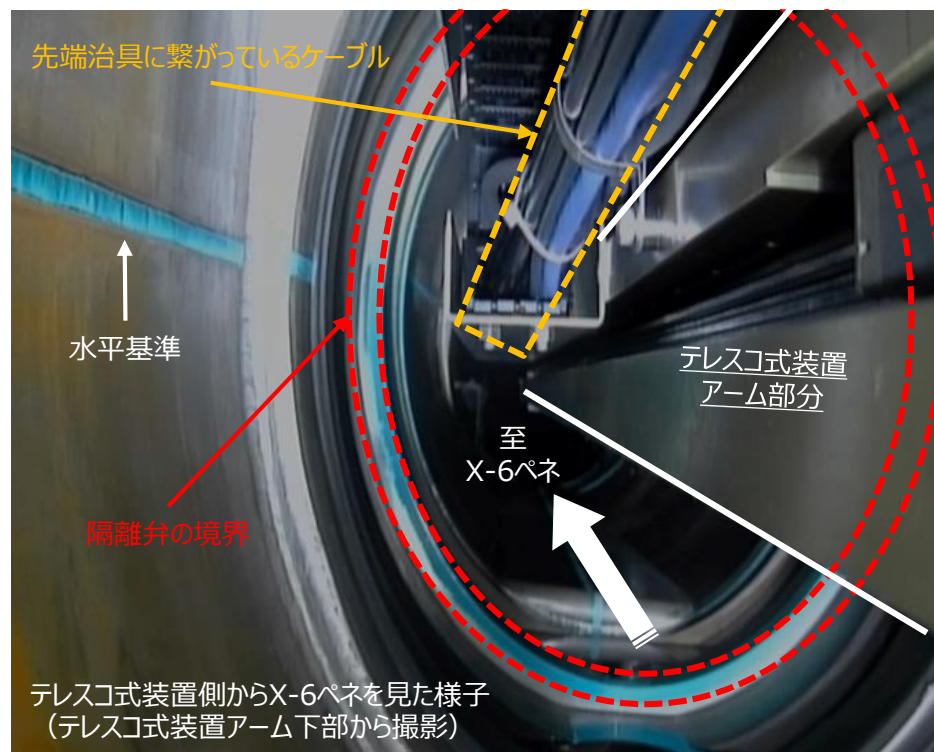
押し込みパイプの復旧作業の完了イメージ



押し込みパイプの復旧作業の完了

## 4. 現場作業の進捗状況（隔離弁通過）

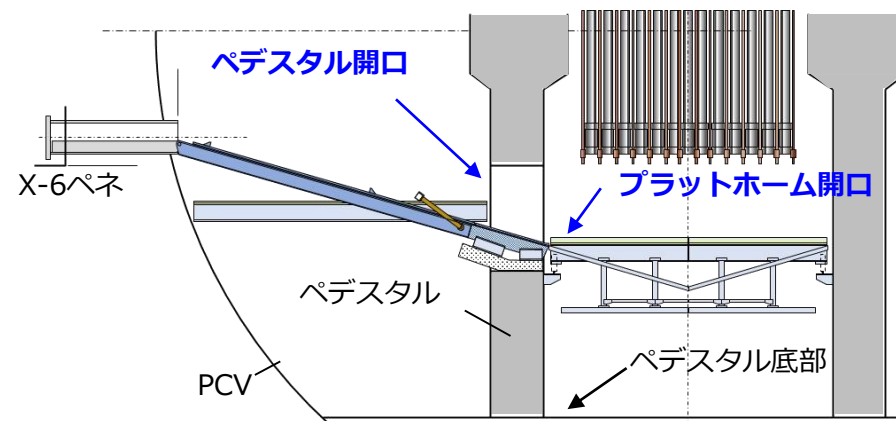
- 9月10日から、試験的取り出し作業（ガイドパイプの挿入）を実施
- ガイドパイプ（内筒）に押し込みパイプ①を接続し、隔離弁の開操作を行い、ガイドパイプを挿入し、テレスコ式装置の先端治具が隔離弁を通過



試験的取り出し作業状況（隔離弁通過）

## 5 - 1. 現場作業の進捗状況 (ガイドパイプ/テレスコ式アームの挿入)

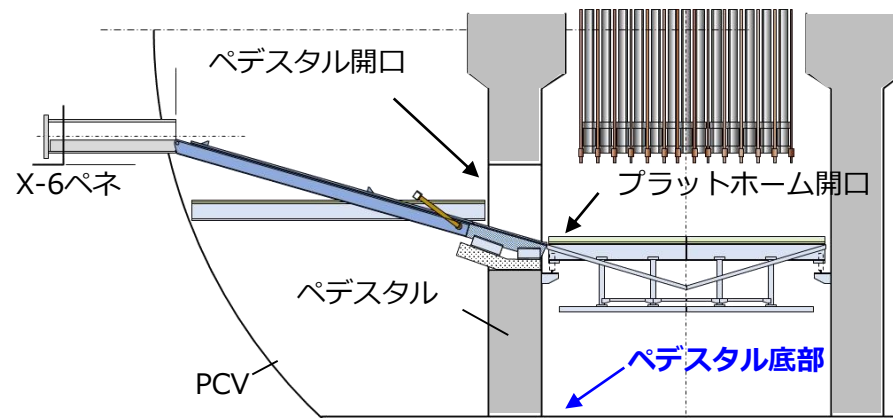
- 9月14日 テレスコ式装置のガイドパイプのPCV内への挿入をペDESTAL開口付近まで実施。その後、テレスコ式アームの動作確認 (チルト、テレスコ部、先端治具) 及び、ペDESTAL底部の状況を確認



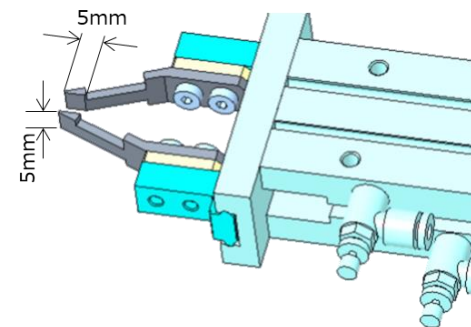
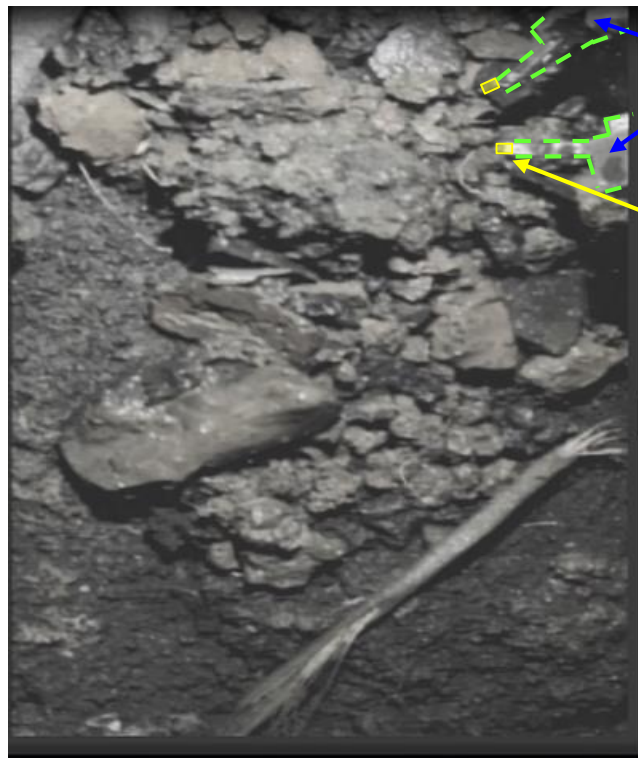
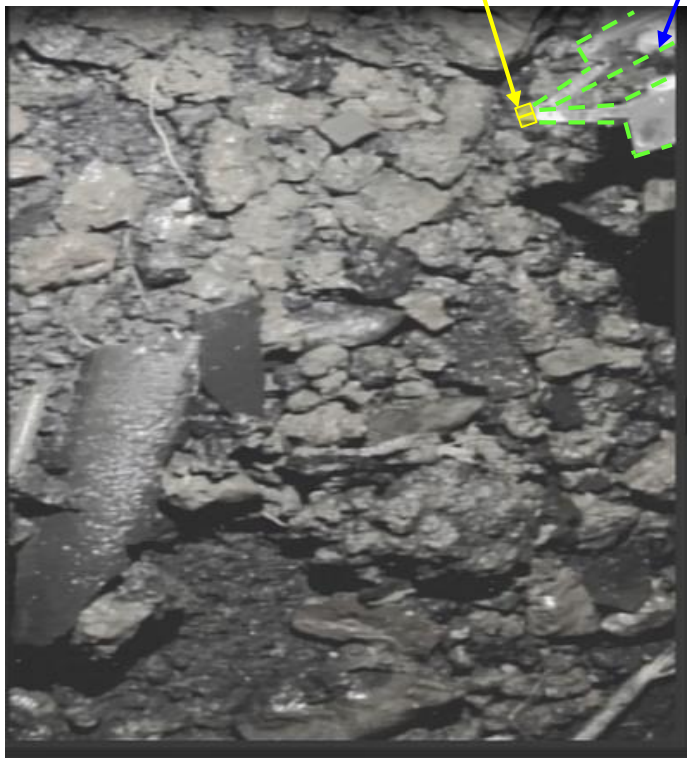
テレスコ式アームカメラの画像 (ペDESTAL開口部、プラットホーム開口部の状況)

## 5 - 2. 現場作業の進捗状況 (ペDESTAL底部確認)

- 9月14日 テレスコ式装置の先端治具を吊り降ろし、ペDESTAL底部の状況を確認。ペDESTAL底部の燃料デブリについて、先端治具のカメラによる視認確認、グリッパによる接触確認を実施。



グリッパの先端が5mm角    グリッパ



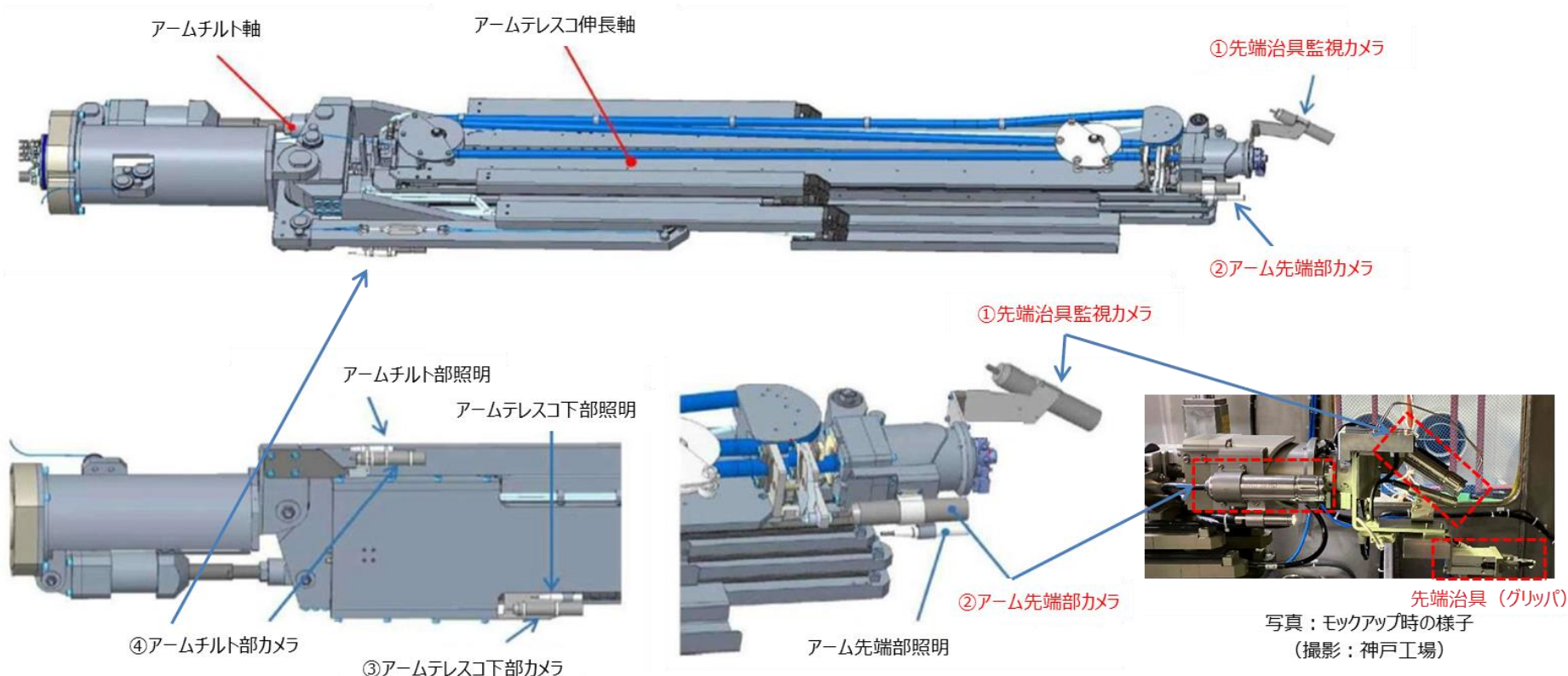
テレスコ式アームカメラの画像 (ペDESTAL底部の状況)

サイズを把握するためのグリッパ爪 (グリッパ型)



## 6 - 1. 現場作業の進捗状況（カメラ映像確認調査）

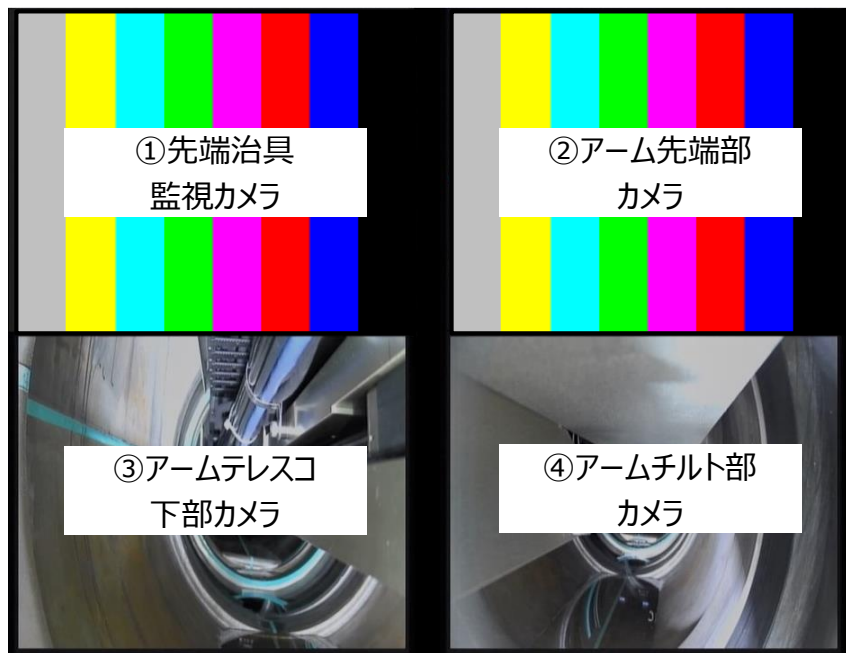
- 試験的取り出し作業について、把持作業の準備として、9月17日に原子炉格納容器内の状況確認やテレスコ式装置の動作確認等を行ったところ、何らかの原因により、装置先端のカメラ映像（①先端治具監視カメラ、②アーム先端部カメラ）が遠隔操作室内のモニタに適切に送られてこないことを確認



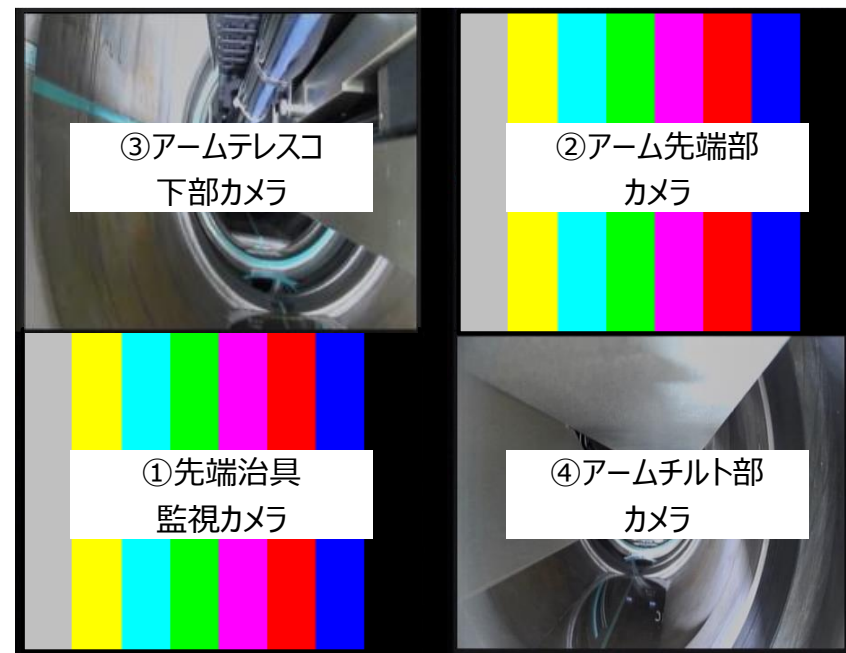
### テレスコ式装置のカメラ設置状況

※カメラ①～④は、既製品の耐放射性カメラを使用（耐放射線性：約50,000Gy）

- 9月17日、テレスコ部に4つあるカメラのうち、①②カメラについては、遠隔操作室内のモニタにカラーバーが表示されている状態を確認
- カメラ映像は、原子炉建屋内に設置している映像変換器から、遠隔操作室までは光ファイバーケーブル（有線）で伝送。調査の一環として、原子炉建屋内の制御盤内で、4組のカメラケーブルと映像変換器の接続の組み合わせ変更を実施
- 4つあるカメラとそれぞれに接続されている映像変換器の接続の組み合わせ変更（①⇔③を入れ替え）の結果、入れ替えたモニタにカラーバー表示が移行することを確認（以下、イメージ画像参照）しており、原子炉建屋内の制御盤より遠隔操作室側の状態に問題がないことを確認



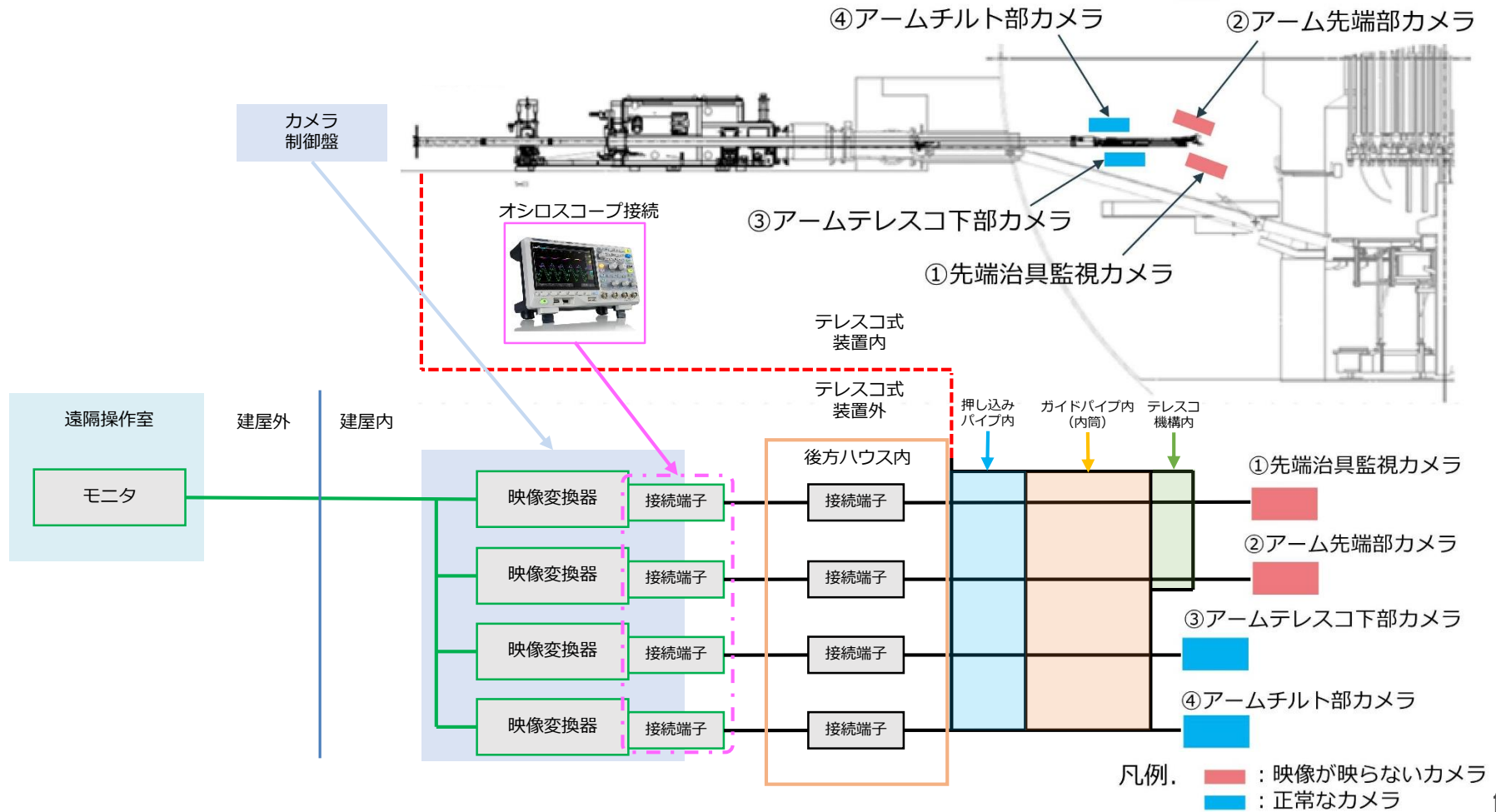
映像変換器の接続の組み換え前（イメージ画像）



映像変換器の接続の組み換え後（イメージ画像）

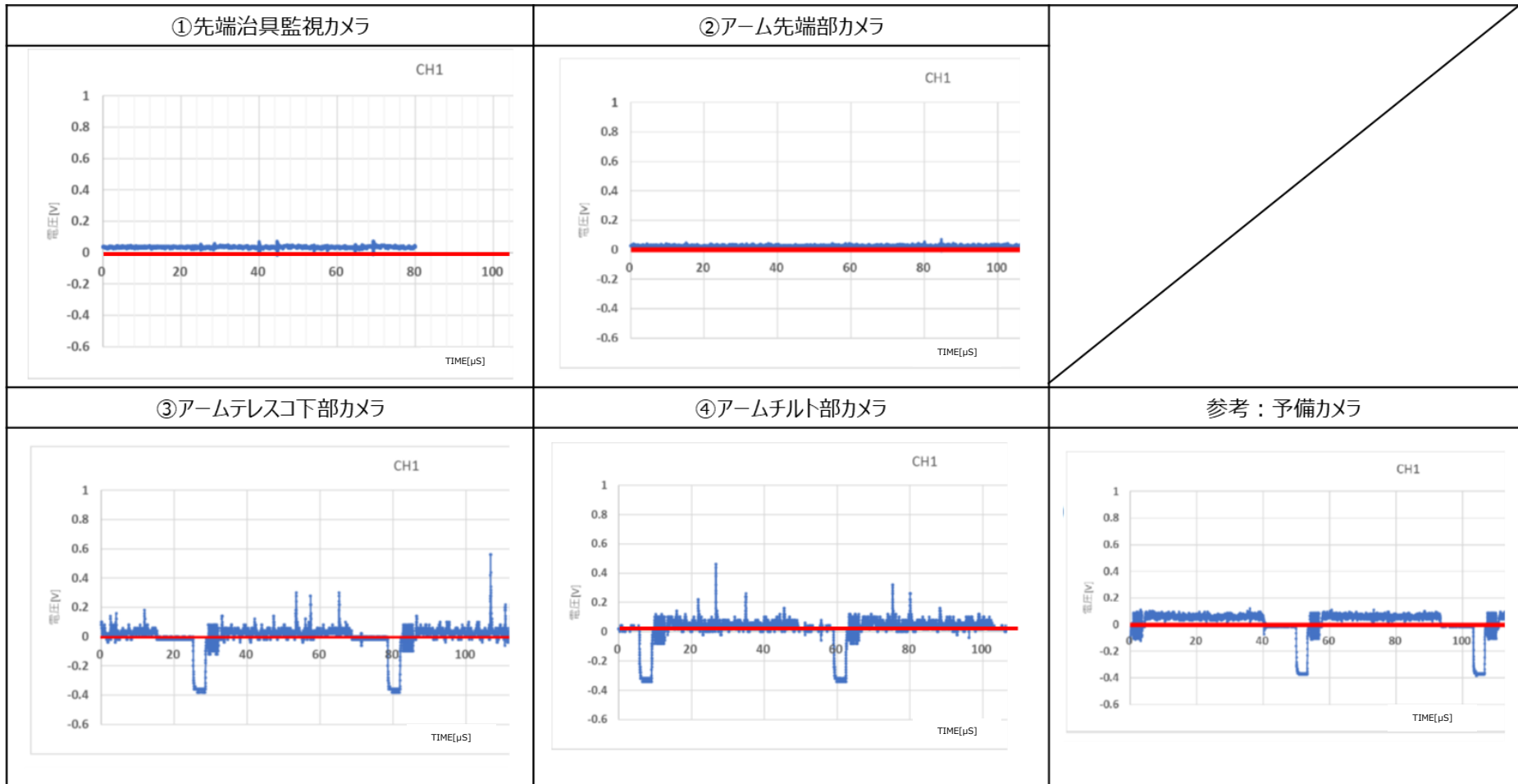
## 6-2. 現場作業の進捗状況（カメラ映像確認調査）

- 本事案の確認後、原因特定に向け、これまでに遠隔操作室ならびに原子炉建屋内のテレスコ式装置において、カメラケーブル、各接続端子、映像変換器の外観および信号確認、抵抗の測定等を実施
- 9月21日～22日にかけて計器（オシロスコープ）によるカメラ信号の強度確認を実施



# 参考．現場作業の進捗状況（計器によるカメラ信号の強度確認の結果）

- 装置先端カメラ（①先端治具監視カメラ、②アーム先端部カメラ）と、その他のカメラで信号強度の確認を実施したところ、装置先端カメラと他カメラでは信号挙動に違いがあることを確認

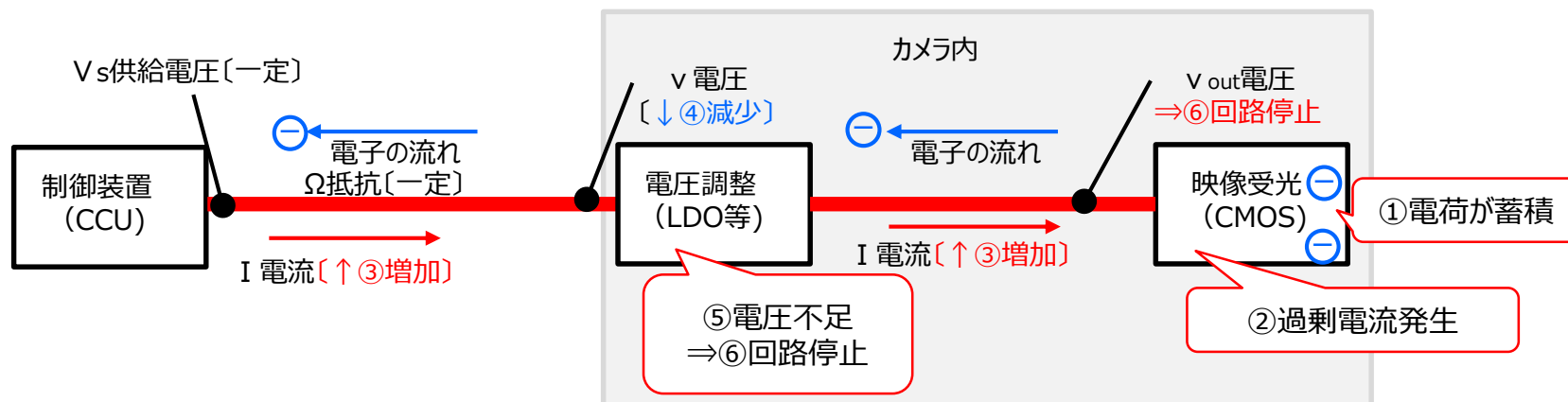


※カメラ①～④は、原子炉格納容器内にある状態で信号強度の確認を実施。

参考の予備カメラは事務所で行い、ケーブルの長さや照明による明暗を模擬した状態で信号強度の確認を実施。

- 推定メカニズムとして、カメラの半導体素子に放射線が通過し、電離作用により発生した多量の電荷の影響が考えられる
  - 半導体素子に放射線が通過することで電荷が発生するが、制御装置がオフの状態の場合カメラ内の回路に蓄積しつづける
  - 制御装置をオンにした瞬間に、蓄積した電荷により過剰な電流が流れ、過剰な電流の増加に伴い、カメラへ供給する電圧の降下が発生し、カメラ部の回路が停止
- 上記メカニズムを考慮すると、カメラの電源を入にしている場合には電源回路を通じて放電されることにより、電荷の蓄積を低減する効果がある
- 今回の事案を踏まえ、テレスコ式装置は、外観点検およびカメラ映像の状態確認のため、エンクロージャ内へ格納。併せて、低線量下に置き、電源を入状態あるいは切状態に維持すること等により蓄積した電荷を低減することで回復の可能性があることから、テレスコ式装置は数日程度、エンクロージャ内の比較的線量の低い環境で待機させた状態でカメラ映像状態の確認を行い、放射線による影響の検証を実施
- 検証の結果、カメラの映像が復帰しないことから、カメラの交換を実施

### <電荷のメカニズム>



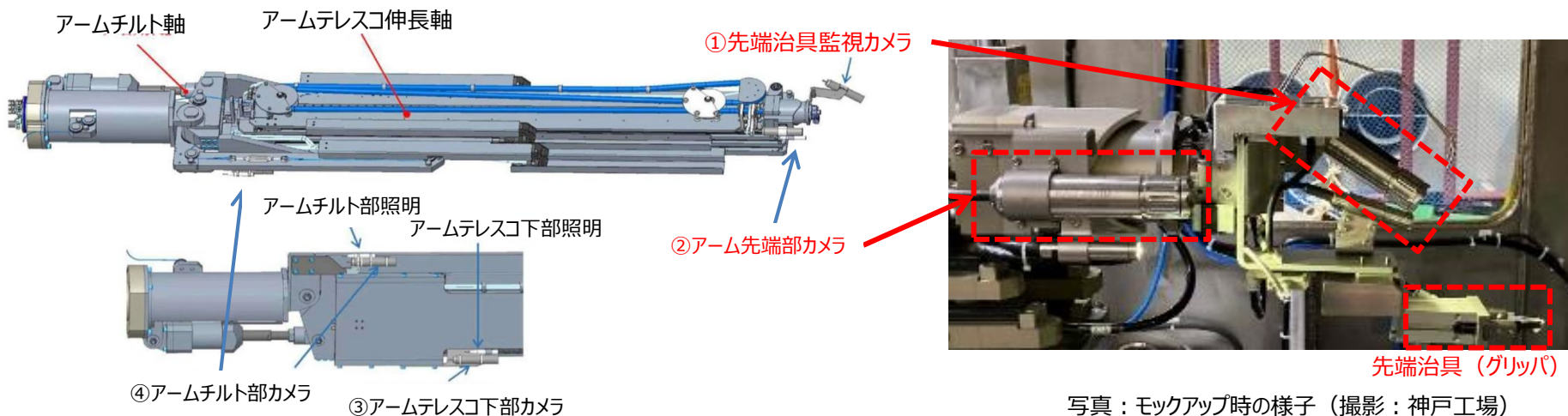
- ①半導体素子に放射線が通過することで電荷が蓄積するが、その電荷は元の状態にもどろうとする特性がある。
- ②電荷が回復する際に、過剰な電流が流れ、過剰な電流の増加に伴い、カメラへ供給する電圧の降下が発生し、カメラ部の回路が停止。

- 電気・通信系統に対して、これまで下表の調査を実施。
- 各調査において、現時点で、本事案との因果関係は確認できなかったことから、引き続き調査を継続。

対象	調査結果
ケーブル ・ 接続端子	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 断線・短絡、絶縁不良 抵抗値計測の結果、カメラ①～④の抵抗値が同等(約110～約116[Ω])であり、予備カメラ実測値とケーブル理論値の合計(約117～約119[Ω])との差異が小さいこと、および電流計測の結果から、導体の断線、短絡および絶縁不良ではないことを確認。(浸水、結露による電気系統の不良はない)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 接続端子の接続不良 接続端子の分解目視確認にて異常がなく、再組立前後で抵抗値に変化がないことからコネクタ接続不良ではないことを確認。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 接続端子・ケーブルの接触不良 テレスコ部を可動させてケーブルを動かした結果、画像、抵抗値に変化が無いことから接続端子・ケーブルの接触不良ではないことを確認。</li> </ul>
映像変換機	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 映像変換機へ入力される信号レベル低 映像変換機単体のみの電源を有効にし、他カメラの信号回り込みによる影響を確認した結果、状況に変化ないため信号レベル低ではないことを確認。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ハードウェア/ソフトウェアの故障 映像不良が生じたカメラと健全なカメラの映像変換機への接続を入れ替えても、健全なカメラの映像は出力されたことからハードウェア/ソフトウェアの故障でないことを確認。</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ノイズの干渉 他工事によるノイズが無い場合でも、各カメラの映像に変化がないため要因ではない。</li> </ul>

## 6-4. 現場作業の進捗状況（カメラ映像確認調査）

- 高い放射線の影響でカメラの動作に必要な電圧が不足して一時停止している可能性を推定し、原子炉格納容器内に比べて線量の低いエンクロージャ内でカメラ電源「入」「切」状態を維持し、カメラ状態が回復するか確認したが、カメラの映像状態に変化がないことを確認
- その後、10月4日にカメラ本体に一時的に通常時より高い電圧をかけ、カメラ状態に変化があるか映像確認・検証を実施したが、カメラの映像状態に変化がないことを確認



写真：モックアップ時の様子（撮影：神戸工場）

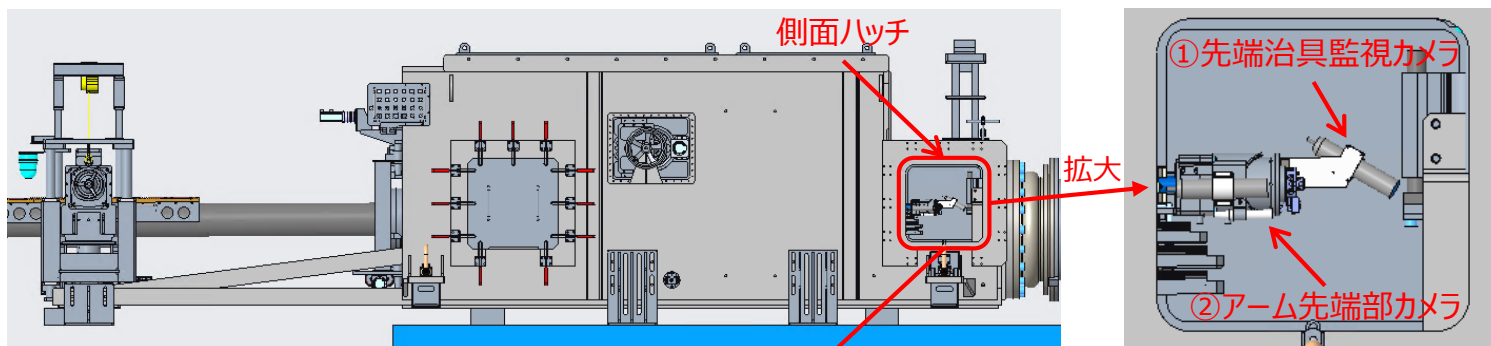
テレスコ式装置のカメラ設置状況

# 7-1. 現場作業の進捗状況（カメラ交換作業モックアップ）

- カメラ交換作業にあたっては、作業性や作業員の被ばくの観点等から、現据付状態でエンクロージャ側面ハッチからカメラを交換することを検討しており、側面ハッチからのカメラ交換作業の成立性を確認するための検証を実施

＜主な検証内容＞

- ・エンクロージャ模擬体を用いて、エンクロージャ内外でのカメラ交換作業を行う際のアクセス性や作業性に関する確認
- ・実作業現場と同様の手元装備綿手袋+ゴム手袋3重でのカメラ交換に必要となる作業性の確認



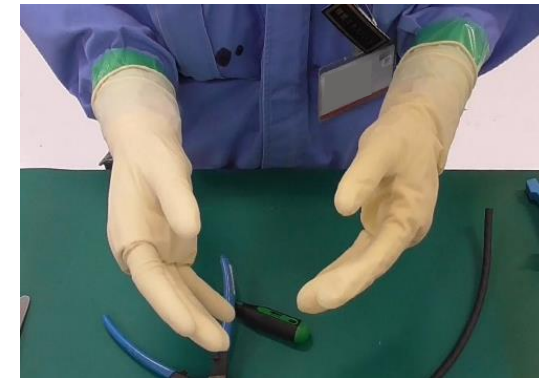
カメラ配置



エンクロージャ模擬体  
(神戸工場)



アクセス性の検証  
(楢葉遠隔技術開発センター)

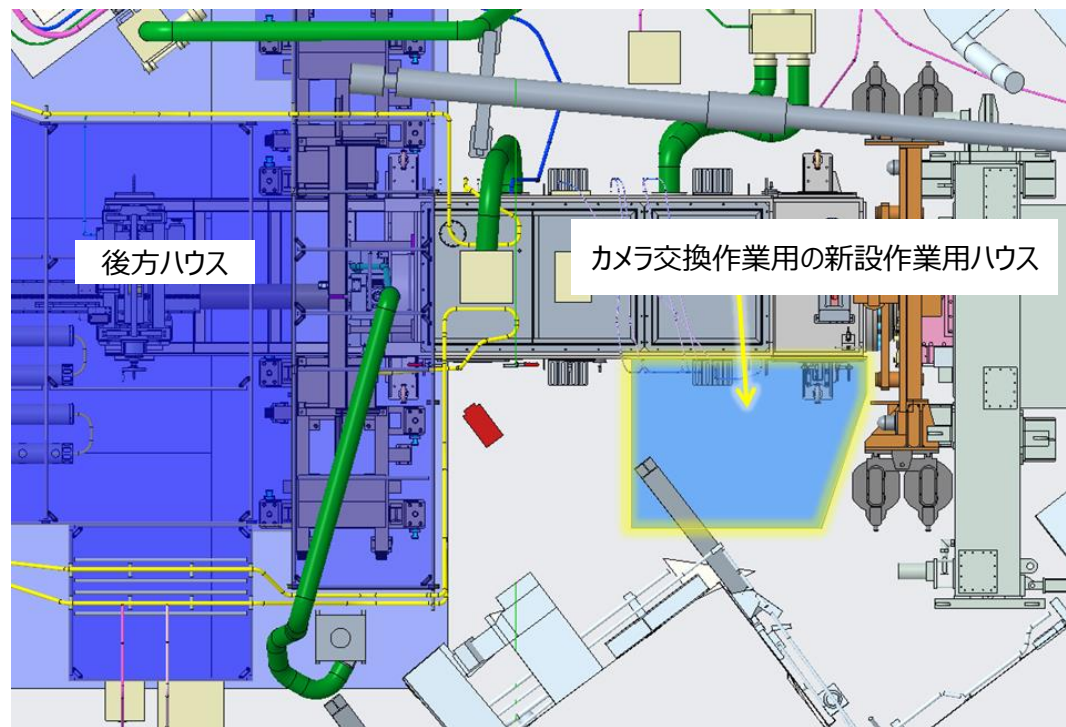
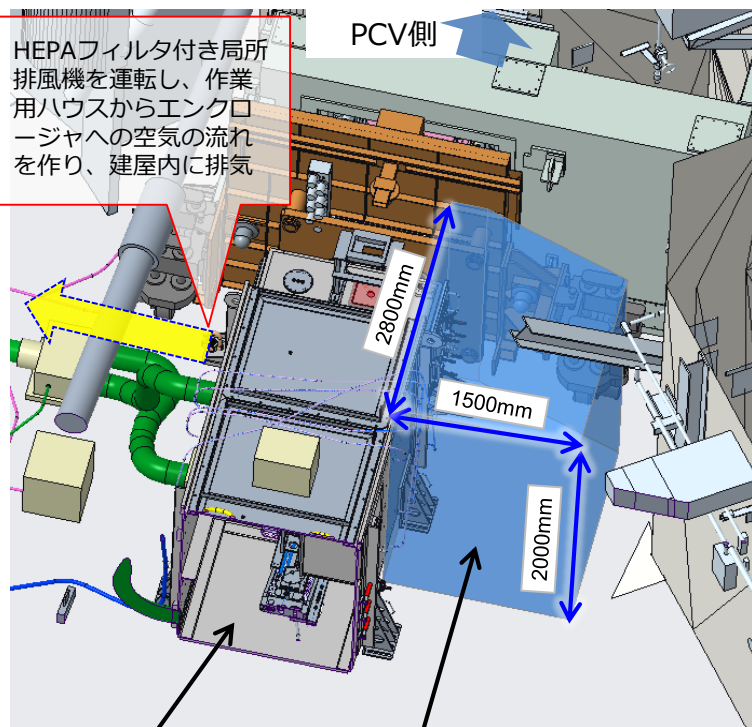


手元装備  
(綿手袋+ゴム手袋3重)  
※ケーブル接続作業時は革手袋を追加



## 7-2. 現場作業の進捗状況（カメラ交換作業モックアップ）

- 汚染拡大防止を目的にカメラ交換作業用ハウスをエンクロージャ側面に設置
- カメラ交換作業においては、作業員の作業性向上のため、ハウス内に作業台を設置



エンクロージャ側面における作業用ハウスの設置

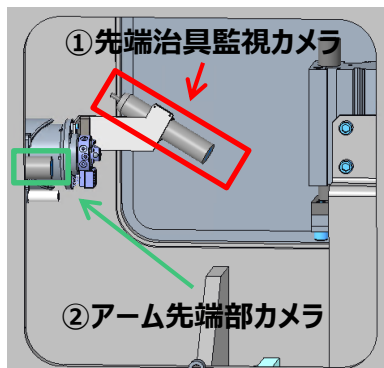
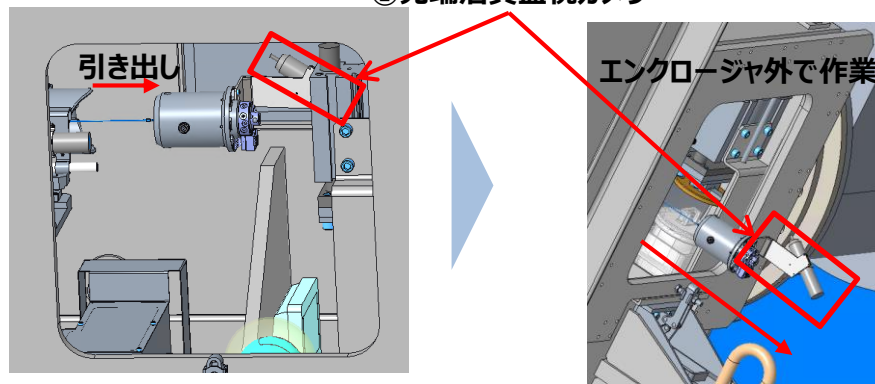
## 7-3. 現場作業の進捗状況（カメラ交換作業モックアップ）

- カメラ交換作業にあたっては、「①先端治具監視カメラ」は、エンクロージャ外に引き出し可能<sup>※1</sup>なため、エンクロージャ外で作業を行い、「②アーム先端部カメラ」はアームに固定されていることから、エンクロージャ内での作業を実施

※1 ①先端治具監視カメラは、燃料デブリ採取時に先端治具と共にペDESTAL底部まで吊り降ろすことから、ケーブルの引き出しが可能

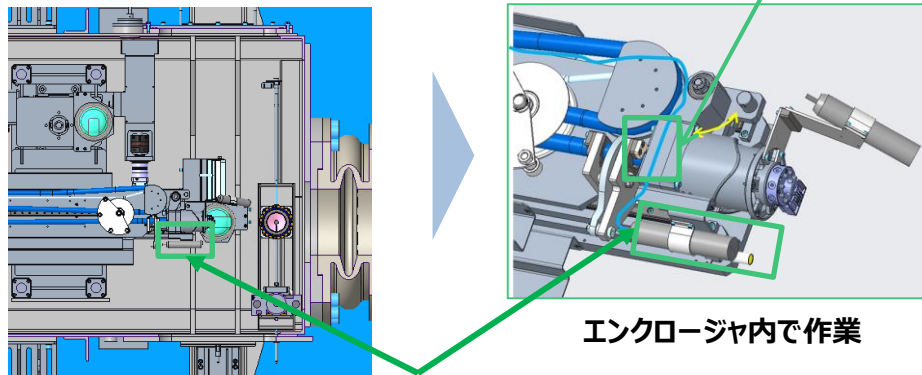
### 【①先端治具監視カメラ】

①先端治具監視カメラ



### 【②アーム先端部カメラ】

②アーム先端部カメラ



ケーブル接続作業を実施後に、元の位置にカメラを固定

## 7-4. 現場作業の進捗状況（カメラ交換作業）

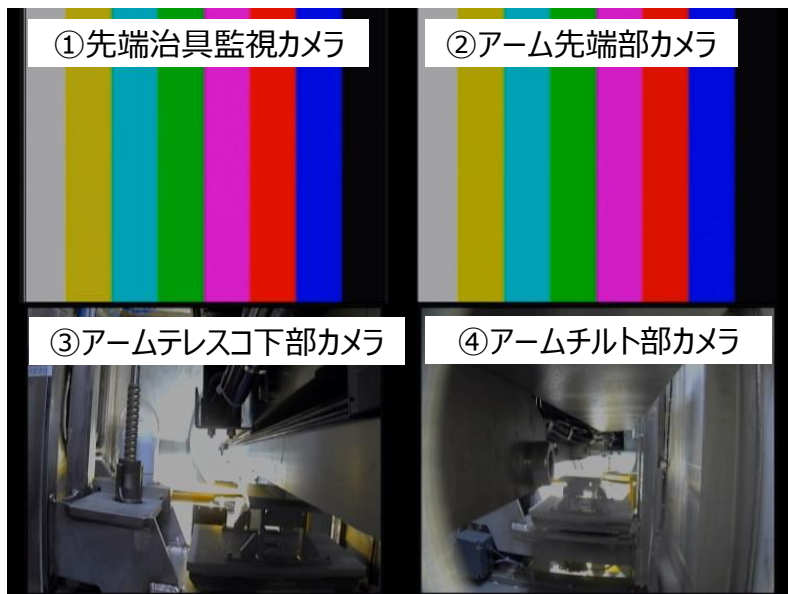
- カメラ交換作業の手順等の最終確認が完了したことから、10月16日からカメラ交換作業に着手し、①先端治具監視カメラおよび②アーム先端部カメラのケーブル導通試験およびカメラ①②の交換作業を実施し、ケーブル導通に問題がないこと、カメラ映像が適切に遠隔操作室に送られていることを確認。



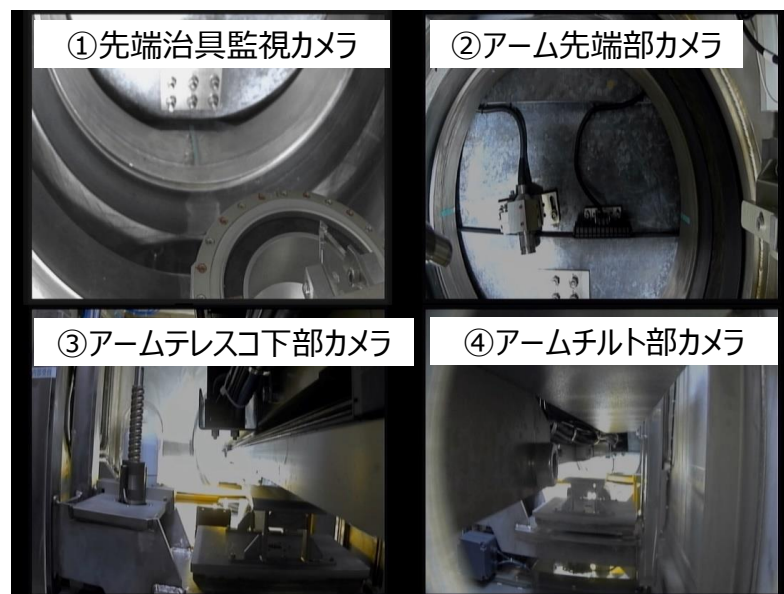
先端治具監視カメラ（カメラ①）の作業状況



アーム先端部カメラ（カメラ②）の作業状況



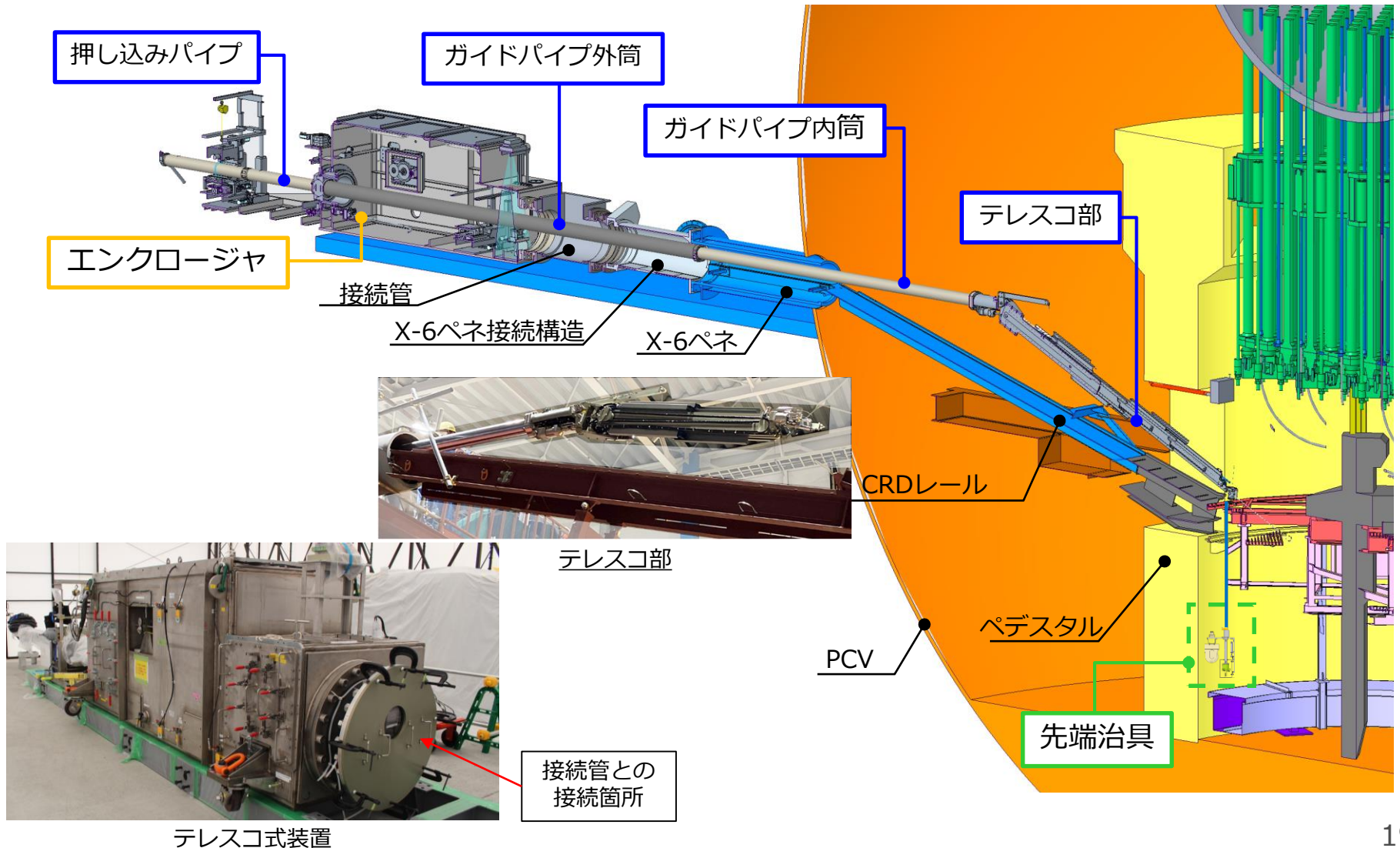
映像復旧前



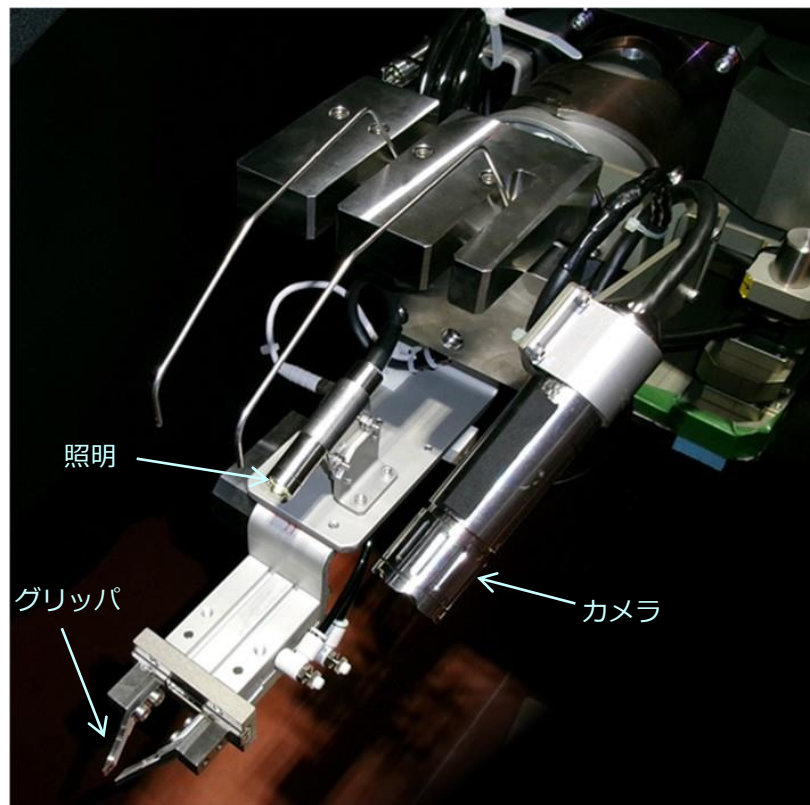
映像復旧後

# 参考. テレスコ式試験的取り出し装置によるデブリ採取

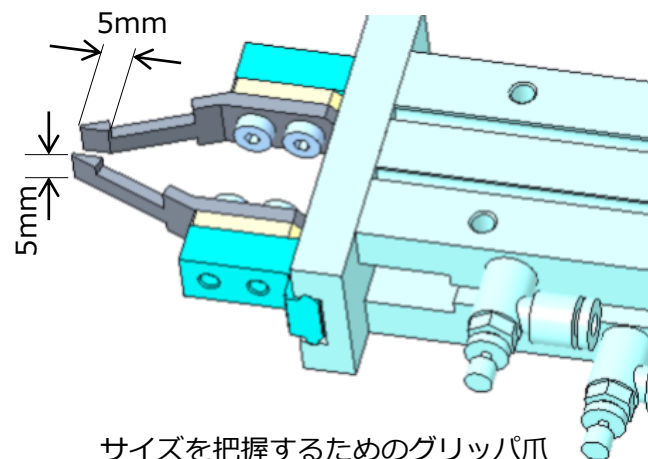
- テレスコ式装置は、X-6ペネからPCV内にアクセスし、燃料デブリの試験的取り出しを行う装置
- エンクロージャは、接続管に接続することで試験的取り出し時におけるPCVバウンダリの機能を有する



- テレスコ式装置による試験的取り出しに使用する先端治具については、グリッパ型を選定
- 先端治具のカメラを用いて、採取する燃料デブリの大きさを判定



グリッパ型

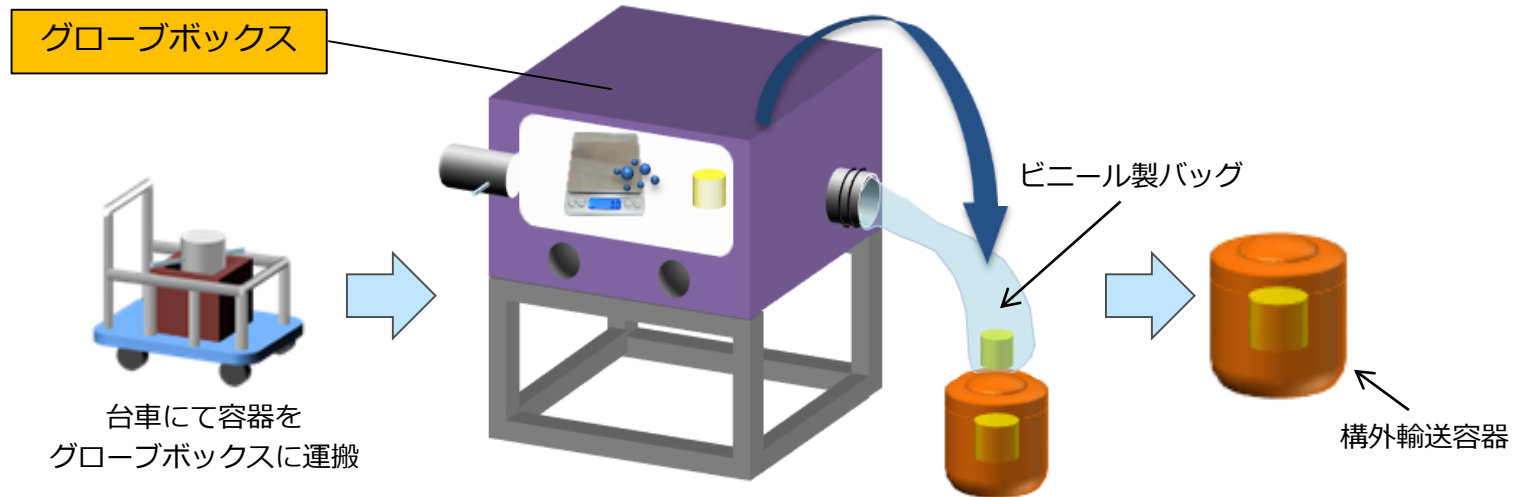


サイズを把握するためのグリッパ爪  
(グリッパ型)



球体と立方体の模擬デブリを把持したカメラ映像  
(グリッパ型)

- 採取した燃料デブリは、テレスコ式装置またはロボットアームのエンクロージャから搬出する際に線量測定を行い、原子炉建屋内に設置するグローブボックスまで運搬し、グローブボックス内で各種測定を行う。測定後、汚染拡大防止措置を実施し、構外運搬を行う。



- 内部を負圧にしたグローブボックスに受入
- グローブボックス内で各種測定、容器への収納を実施
- ビニール製バッグにて汚染拡大防止を図りながら容器を取り出し
- 構外輸送容器へ収納し、輸送車両へ積載