

第3回檜葉町原子力施設監視委員会 説明資料

福島第一原子力発電所に関する要確認事項への回答 追加質問

2026年 1月20日

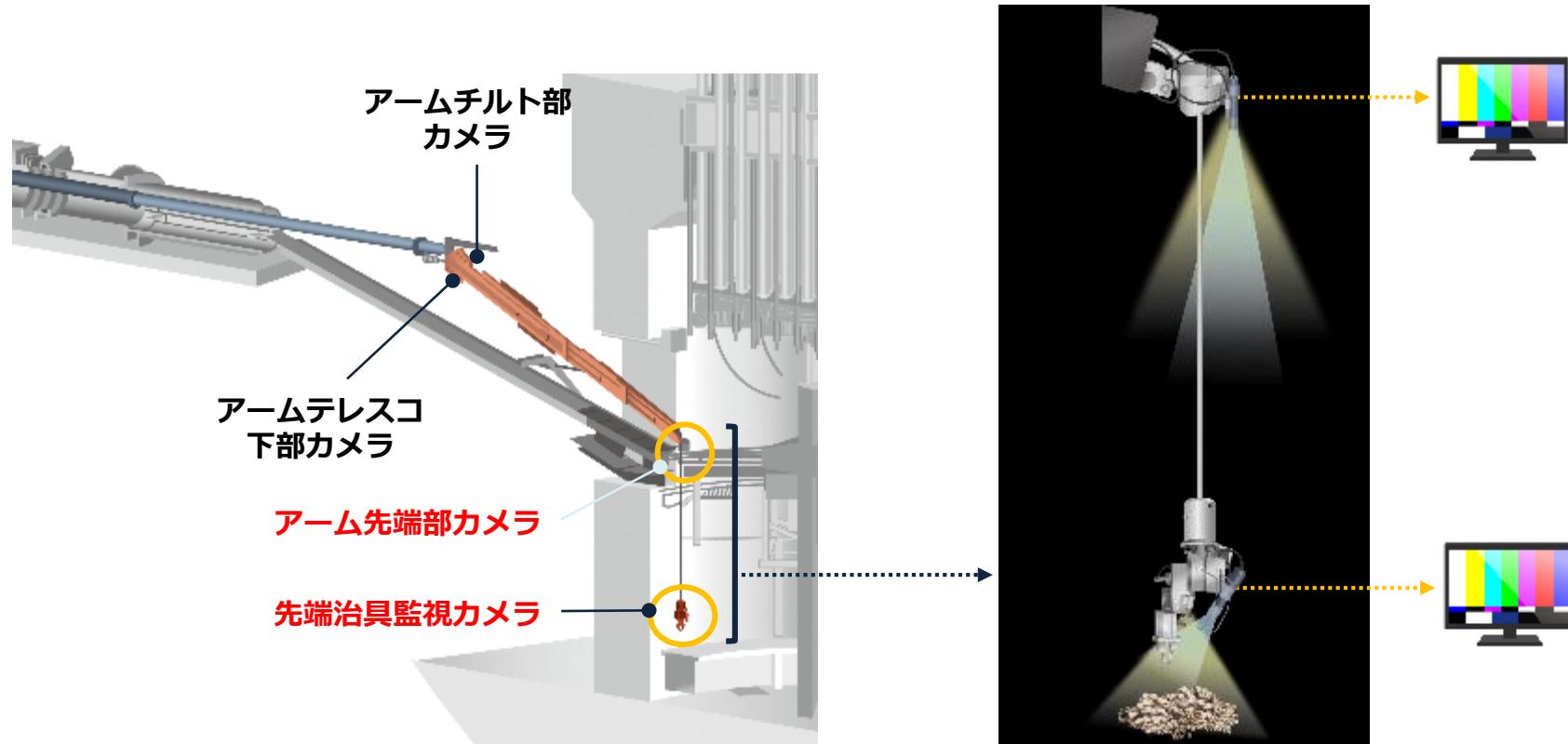
東京電力ホールディングス株式会社

追加質問

(第一回目の燃料デブリ試験的取り出しにおける)
カメラ不具合の問題についてご説明いただきたい。

■ カメラ不具合事案について

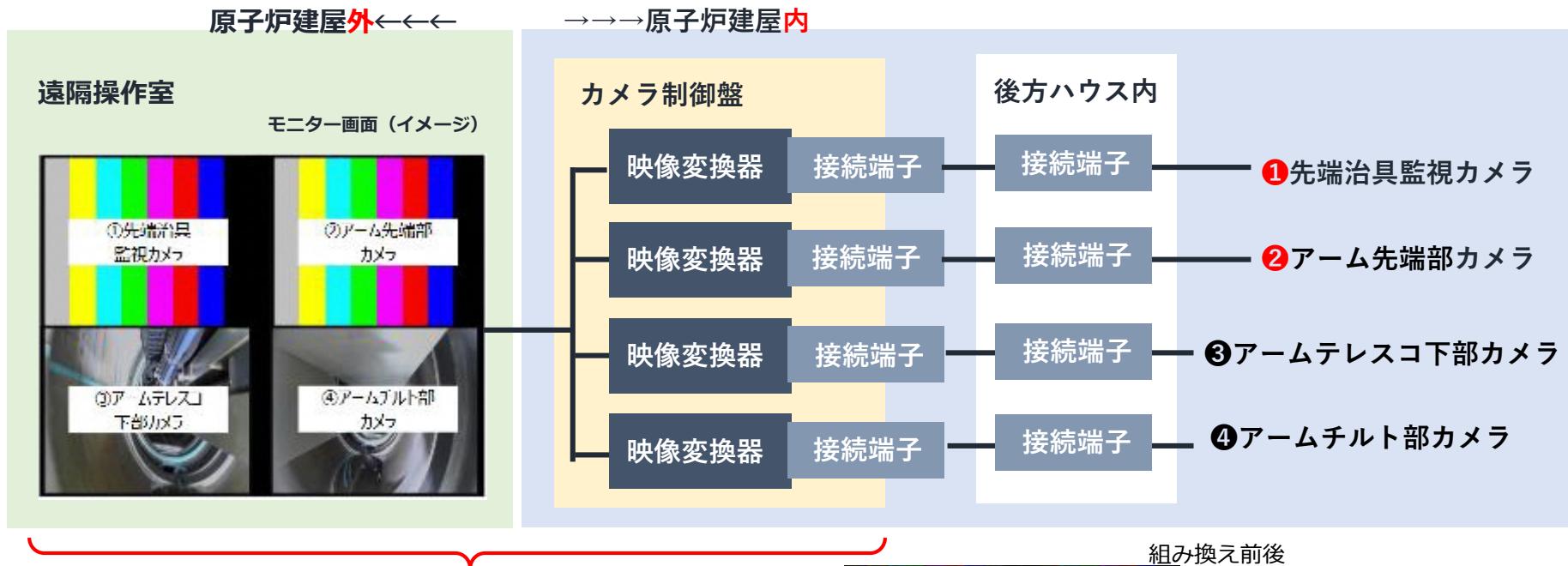
燃料デブリを把持する作業の準備として、2024年9月17日に原子炉格納容器内の状況確認やテレスコ式装置の動作確認等を行ったところ、「先端治具監視カメラ」「アーム先端部カメラ」の映像が、遠隔操作室内的モニターに適切に送られてこないことを確認しました。



テレスコ式装置カメラ映像確認調査

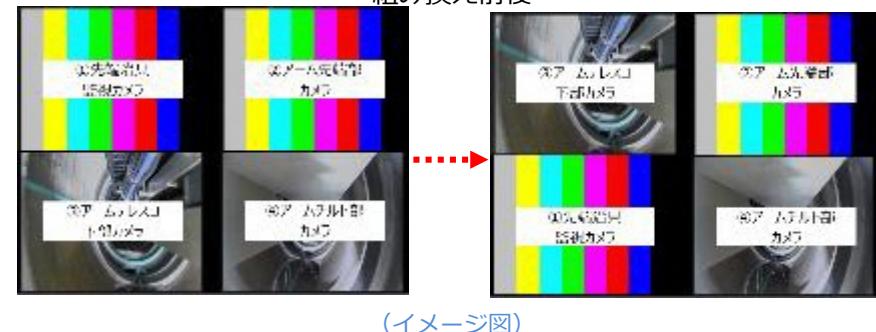
TEPCO

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、絶縁抵抗の測定等を実施しました。



原子炉建屋内のカメラ制御盤内で、4組の「カメラケーブル（光ファイバー）」と「映像変換器」の接続の組み合わせ変更を実施しモニター表示も連動して移動することを確認しました。

原子炉建屋内のカメラ制御盤より遠隔操作室側の状態に問題はないと考えています。



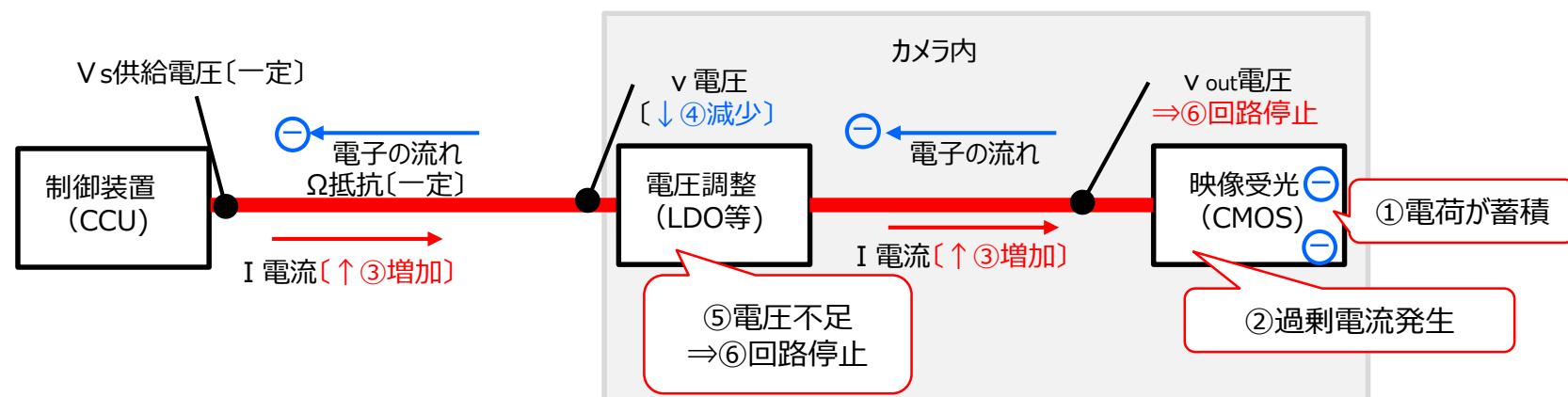
(イメージ図)

テレスコ式装置カメラ映像確認調査

TEPCO

- 電気信号をグラフィカルに表示する計器（オシロスコープ）を活用し、カメラから送られてくる信号波形による「カメラ信号の強度確認」を行いました。「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」では信号挙動に違いがあることを確認しました。
- 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」の影響が考えられます。
- そのため、テレスコ式装置を「原子炉内に比べて比較的線量の低いエンクロージャ」内に置きカメラの電源を「入」状態、または「切」状態で待機させ、蓄積した電荷の低減によるカメラ状態の回復を試みました。しかしながら、引き続きカメラ映像が遠隔操作室のモニターに、適切に送られませんでした。

＜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るとする特性がある。

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低下が発生し、カメラ部の回路が停止。

テレスコ式装置カメラの交換

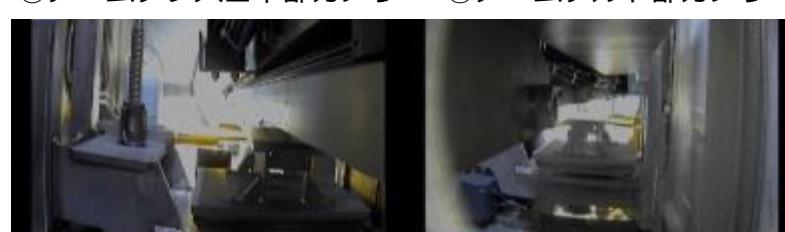
TEPCO

- カメラの映像状態に変化がないことから、カメラ交換を実施しました。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、事前にカメラ交換作業の成立性を確認するための検証を実施した上で交換作業を実施しました。

〈主な検証内容〉

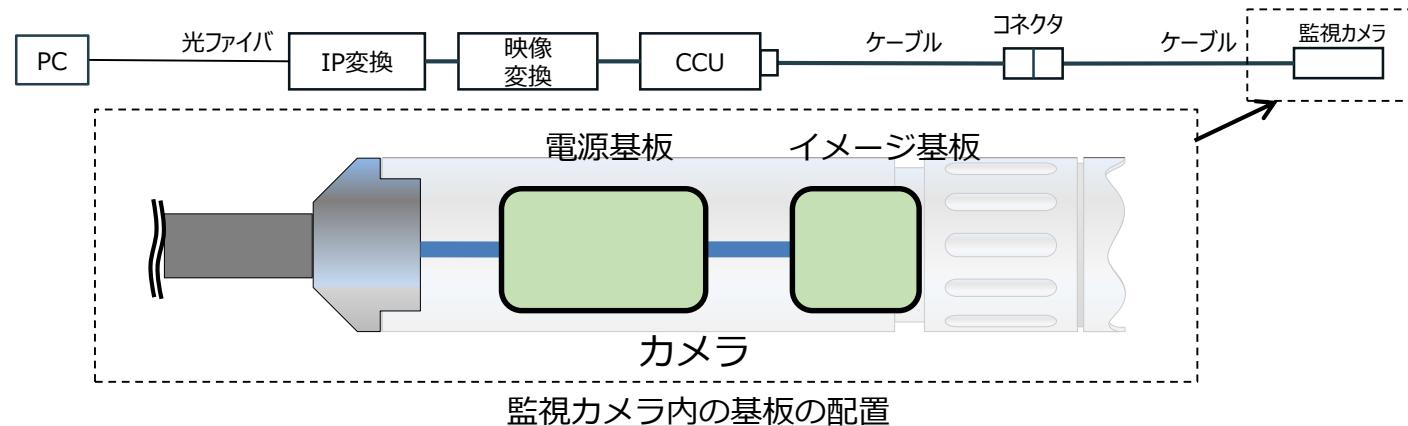
- ・エンクロージャ模擬体を用いて、エンクロージャ内外でのカメラ交換作業を行う際のアクセス性や作業性に関する確認
- ・実作業現場と同様の手元装備綿手袋+ゴム手袋3重でのカメラ交換に必要となる作業性の確認

- カメラ交換作業後に、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しました。



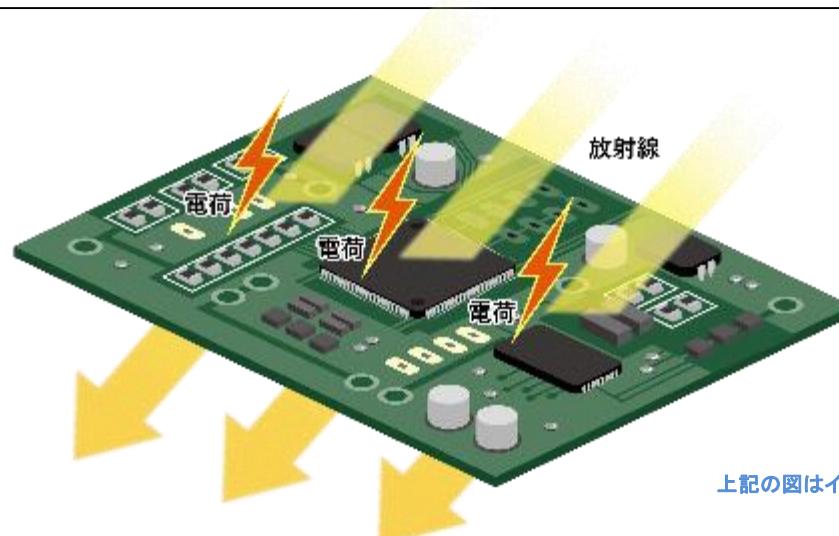
<不具合カメラの原因分析>

- 映像断が発生した2つのカメラを除染して構外へ搬出し、当該カメラを分解したところ、カメラ内に2つの基板があることを確認しました。
- 健全な予備品の基板を用いて、映像が取得できるかを確認しました。
具体的には、電源基板またはイメージ基板を健全なものを使用した場合に、映像を取得できるかを確認しました。
- 確認結果、2つのカメラ共に、イメージ基板が正常に動作していないことを確認しました。



〈原因究明結果〉

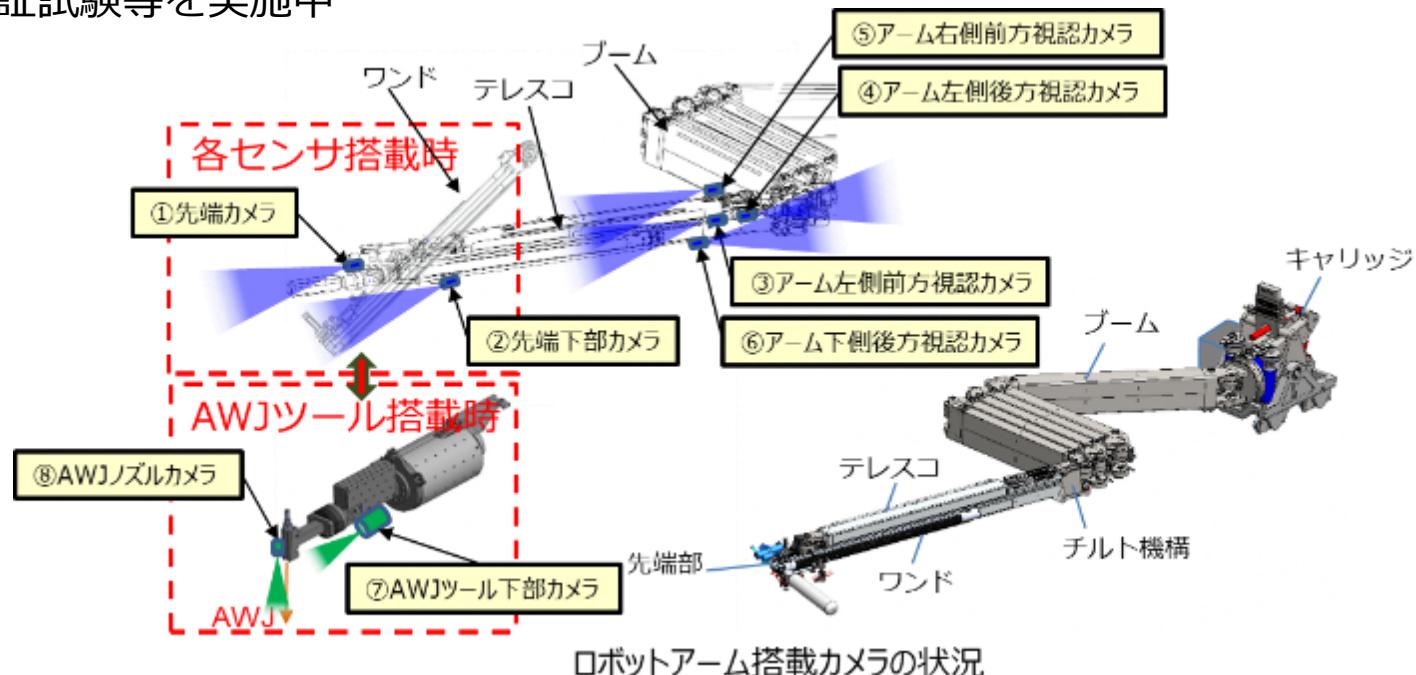
- 映像断が発生した2つのカメラは共に原子炉格納容器内において、より高い放射線を受けています。そのため高い放射線に起因してカメラ内のイメージ基板には電荷が発生し、その電荷によってカメラ内の基板に影響を与えたものと推定しました。
- カメラメーカーにて確認の結果、カメラ起動シーケンスが高い放射線に起因して、電源Off後に電源Onできないケースが存在することが分かりました。
- 燃料デブリ試験的取り出し作業時の対策として、作業時にはカメラ電源を常時Onに維持することで、試験的取り出し作業を問題なく2回実施しました。
- また、カメラ起動シーケンスの堅牢性を高めることで同事案が発生しないことをカメラメーカーにて確認しており、同型製品へ対策は実施展開済みとのことです。



上記の図はイメージです。

<参考> ロボットアーム搭載カメラについて (テレスコ式装置の水平展開)

- テレスコ式装置のカメラ不具合事案を踏まえて、ロボットアーム搭載カメラの照射試験を実施中
- メーカ仕様通りの耐放射線性を確認できないものを確認。また、カメラは予備機が入手不可のため、現地作業にて高い累積放射線量が必要となるカメラについては、当社作業において使用実績のあるカメラへ変更を実施
- 変更カメラについては、メーカー仕様通りの耐放射線性を確認。但し、耐放射線性が現地作業の計画線量よりも低いため、マニピュレータでの遠隔操作により適宜交換を行い、オペレーションを継続する計画
- 現在、モックアップ施設で、カメラ変更に伴う視認性の確認、マニピュレータによるカメラ交換等の追加検証試験等を実施中



マイクロドローン調査時のリスクについて

TEPCO

追加質問

ドローン墜落のリスクについて説明いただきたい。

調査時のリスクについては、モックアップ・トレーニング等で検証し、可能な限り低減策を検討します。ただし、調査範囲の縮小や機体の墜落の要因になる「無線通信状態」や「未踏エリアの干渉物の有無」は実環境でしか確認できないため、調査時に検証を行いながら適宜、調査内容を策定していきます。

▼検証・対策済みのリスク

超小型化に起因する ドローンの墜落リスク

- ・マイクロドローンは一般的なドローンと比較して操作が難しく墜落リスクがある
- ・特に、X-53ペネが小径のため、発着台が小さく、発着付近に既設構造物もあるため、離発着時のリスクが高い

- M/U・トレーニングにて操作の習熟を図る
- 墜落し残置になった場合でもPCV内の状態に影響は無い

▼低減しきれないリスク

無線通信に起因する ドローンの墜落リスク

- ・試験でドローンの無線通信性能については確認しているものの無線は現場環境の影響を強く受けたため想定よりも飛行できない可能性がある

- 実調査では無線のレベルを確認しながら飛行し干渉物の状況を踏まえ、適宜、調査内容を再策定する

未確認の干渉物による 調査範囲の縮小

- ・本調査はドライウェル1階等の未調査エリアを含むため想定外の干渉物により、飛行が制限される可能性がある

<参考> モックアップ（M/U）・訓練の状況について

- “シールボックス作業”と“マイクロドローン飛行”についてモックアップ・訓練を実施しており、シールボックスの設置作業やインストール装置の操作、ドローンの操作について習熟を図っています。
- 作業の習熟に併せて、作業手順の見直しや飛行ルートの詳細検討も実施しています。飛行モックアップの中で、ペデスター上部構造物をより確認しやすくするための、“縦向きカメラ マイクロドローン”的検証を行い、効果が見込めたことから、ペデスター内調査で使用していきます。



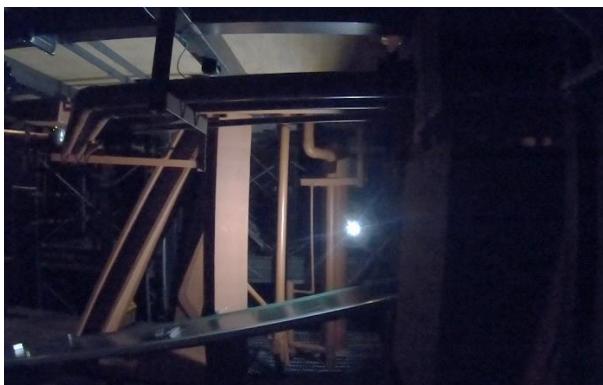
X-53ペネ模擬体へのシールボックス設置



インストール装置の操作



縦向きカメラ マイクロドローン



PCV内模擬体での飛行(暗所)



ドローンの操作



通常のマイクロドローンの画角
(横向きカメラ)



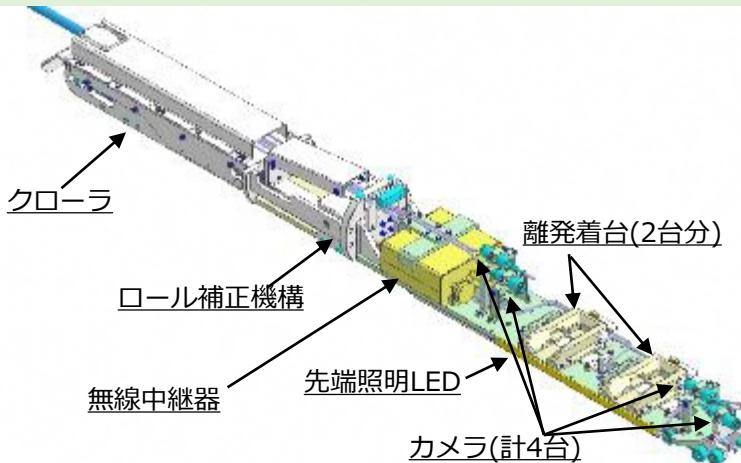
縦向きカメラ 画角

<その他> インストール装置の前進不可事案について

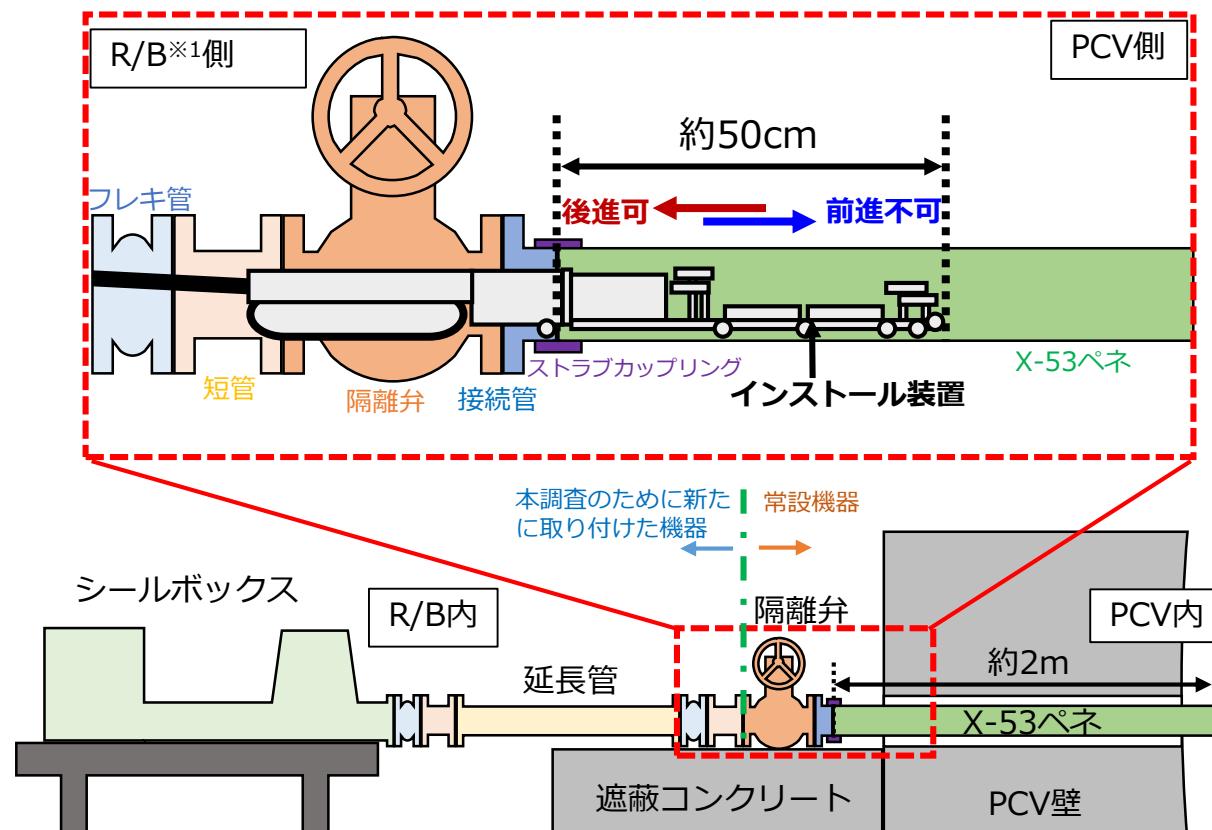
TEPCO

- 調査装置の動作確認を実施中、インストール装置がX-53ペネ内で前進不可となる事案が発生。
- 複数回、インストールを試みたが、同じ所で前進不可となる。(X-53ペネ内を約50cm進んだ所)
- 後進は可能のため、通常手順で後進し、インストール装置はシールボックス内に格納済み。(シールボックス内に格納したため、原子炉格納容器（PCV）バウンダリである隔離弁の開閉に影響は無い)

インストール装置



- 先端の離発着台に2機のドローンを搭載可能
- 後部のクローラが駆動し、装置が前後移動
- シールボックスからPCV内まで、ドローンを運搬
- 寸法：約1.3m×Φ130mm
- 重量：約20kg

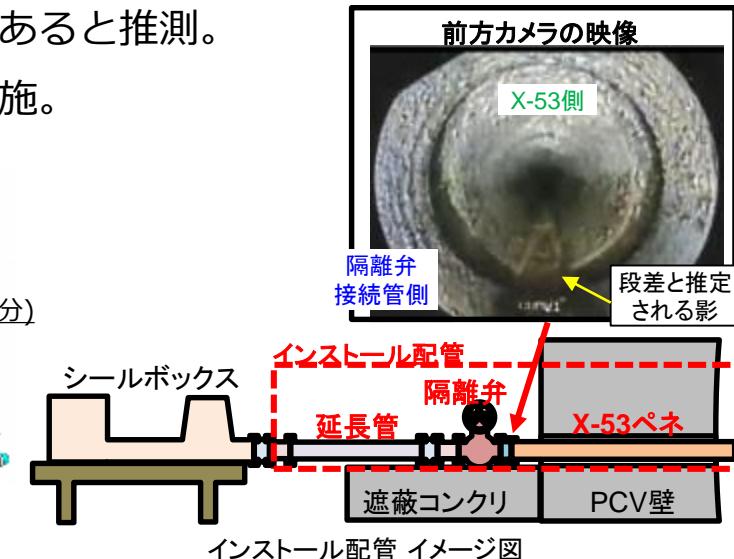
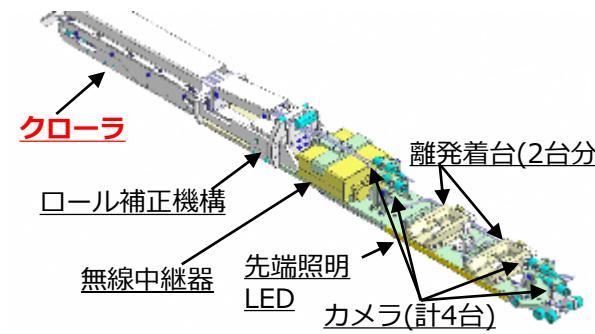
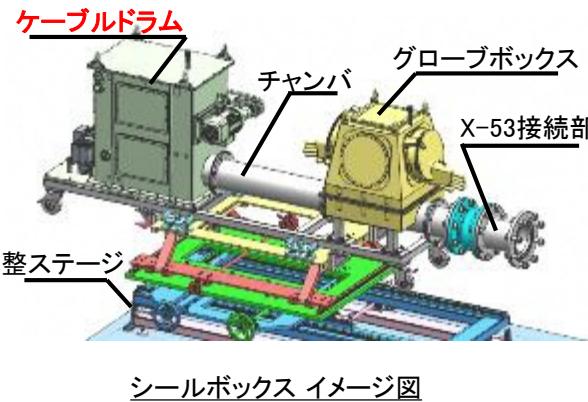


※1: 原子炉建屋 インストール装置 前進不可事象 イメージ図

インストール装置 前進不可事案の要因分析

TEPCO

- 本事案の発生要因について、“調査装置”と“現場環境”的観点で要因分析・現場確認を実施。
- その結果、インストール配管内の状態が、想定と異なる可能性があると推測。
- 更に要因を絞り込むために、インストール配管内の状態確認を実施。

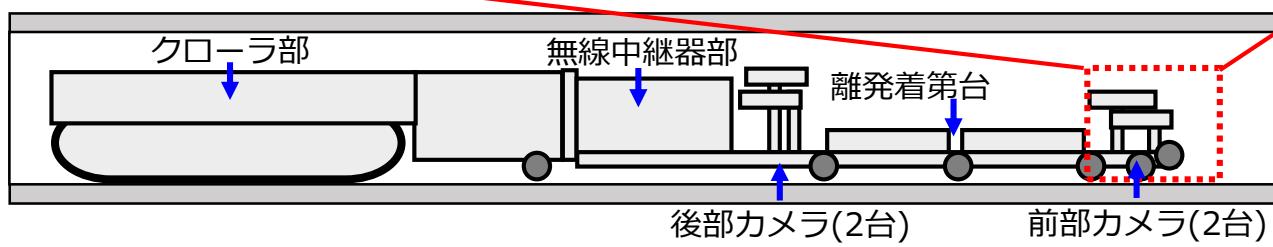
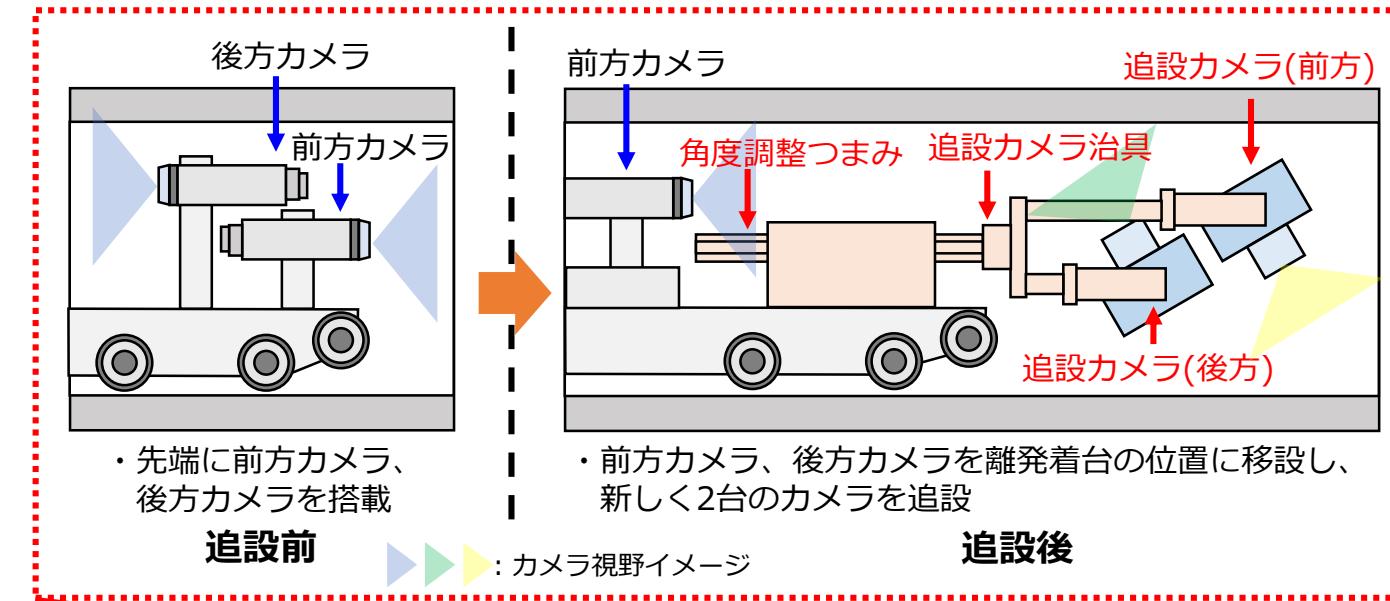


要因1	要因2	推定原因	現場状況 or 推定状況	可能性
調査装置	ケーブルドラム	ドラム部の動作不良	【現場状況】ケーブルドラム部を監視しているカメラの映像およびトルク異常のインターロックが作動していないことから、事象発生時においても、正しく動作していることを確認。	×
		ケーブルの引っ掛けり	【現場状況】ケーブルの挙動を監視しているカメラの映像から、事象発生時においても、正しい挙動をしていることを確認。	×
	インストール装置	クローラの履帯部の故障	【現場状況】外観確認にて、変形や脱輪が無いことを確認。動作確認においても、繰り返し前後動作が可能なことを確認。	×
		クローラの駆動系の故障	【現場状況】動作確認において、繰り返し前後動作が可能なことを確認。	×
現場環境	インストール配管	段差により進入路が一部狭くなっている	【推定状況】配管の接続部で生じた段差等により、進入路が狭くなることで、インストール装置本体が引っ掛かる可能性は否定できない。【現場状況】隔離弁の接続管とX-53ペネの間に段差と推定される影を確認。	○
		段差で現状のクローラで通過できない	【推定状況】クローラの性能を超える、もしくは性能を十分に発揮できないような段差がある場合は通過不可となる可能性は否定できない。	○

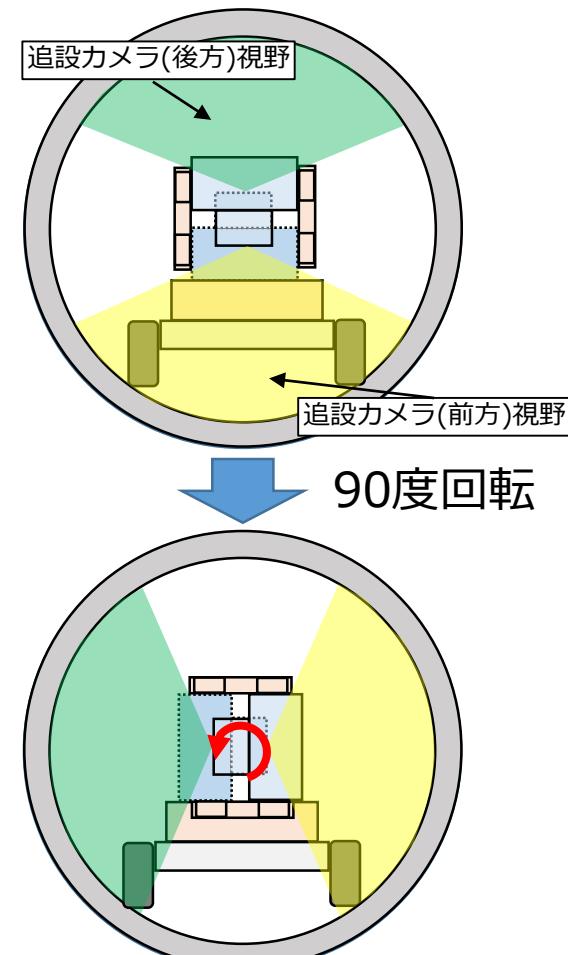
インストール配管内の状態確認について

TEPCO

- インストール配管内の状態確認するために、インストール装置の先端に2つのカメラを追設。
- 当該カメラは、それぞれ若干前方・後方を向いており、配管内の段差や形状を撮影。
- 当該カメラは、配管周方向に回転可能となっており、90度ずつ回転させ、配管内全周の映像を取得。



インストール装置 イメージ図(側面)

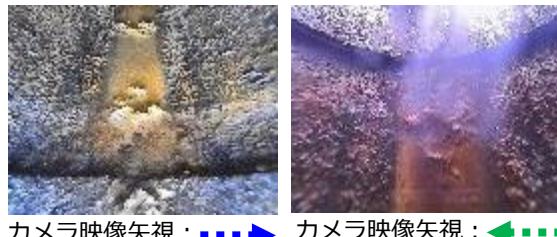
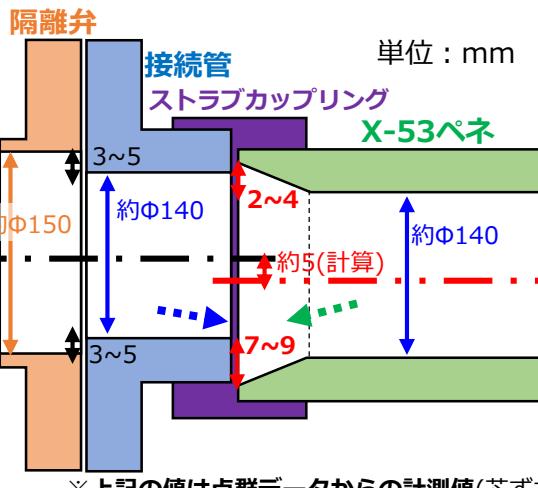


追設カメラの回転イメージ(正面)

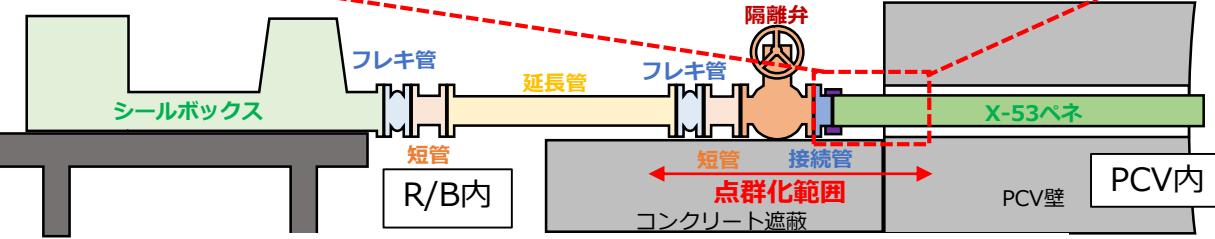
インストール配管内の状態確認結果

TEPCO

- 取得した映像を分析(映像からの点群化)した結果、接続管とX-53ペネで若干の芯ずれがあることを確認※1
- 本結果より、インストール装置が前進不可となる状況として、芯ずれに伴う“通過断面積の減少”、“クローラのグリップ力の低下”等を推測※2
- 今後、得られたデータを詳細に分析するとともに、対策についても検討していく

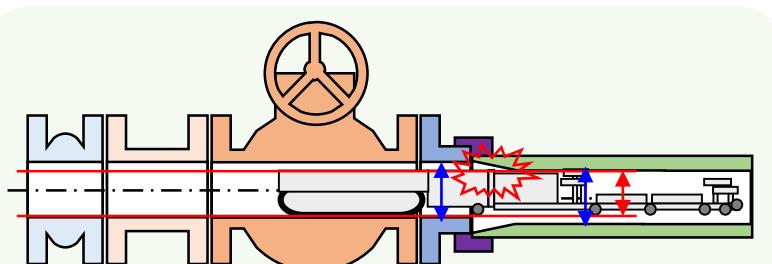


- X-53ペネ端部の段差寸法を計測した所、上部と下部で差がある事を確認
- 配管同士の芯が合っている場合、段差の量は同じになるため、接続管とX-53ペネの芯が若干ずれている(X-53ペネ側が下がっている)と推測



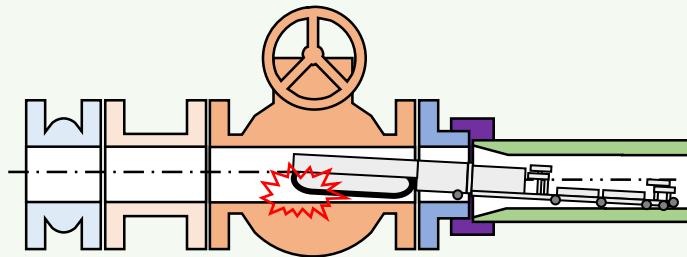
インストール配管内 状態確認結果 イメージ図

東京電力ホールディングス



- 芯ずれにより長手方向の断面積が減少(赤矢印)
- 最小配管径(青矢印)を基準に設計しても、それよりも通過断面は狭くなり前進不可となる

芯ずれに伴う通過断面積の減少



- 芯ずれにより、相対的にX-53ペネ全体が下がる
- 装置前方がX-53ペネに進入後、下方向に傾き、クローラが浮くことで、グリップ力が低下し、前進不可となる

芯ずれに伴うクローラのグリップ力の低下

前進不可となる状況のイメージ図(推定)

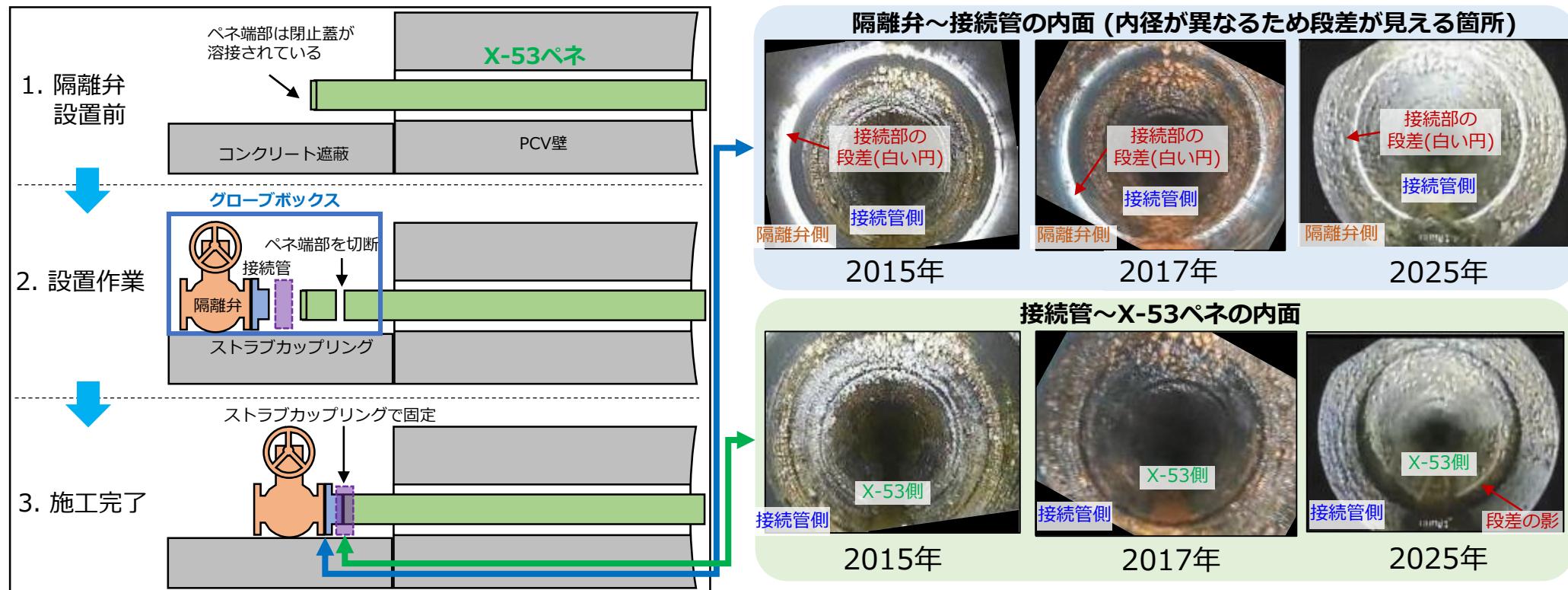
※1: 現状においてもPCVバウンダリに影響は無い

※2: 現段階における推定であり、上記以外の可能性も有

<参考> X-53ペネ隔離弁の設置経緯について

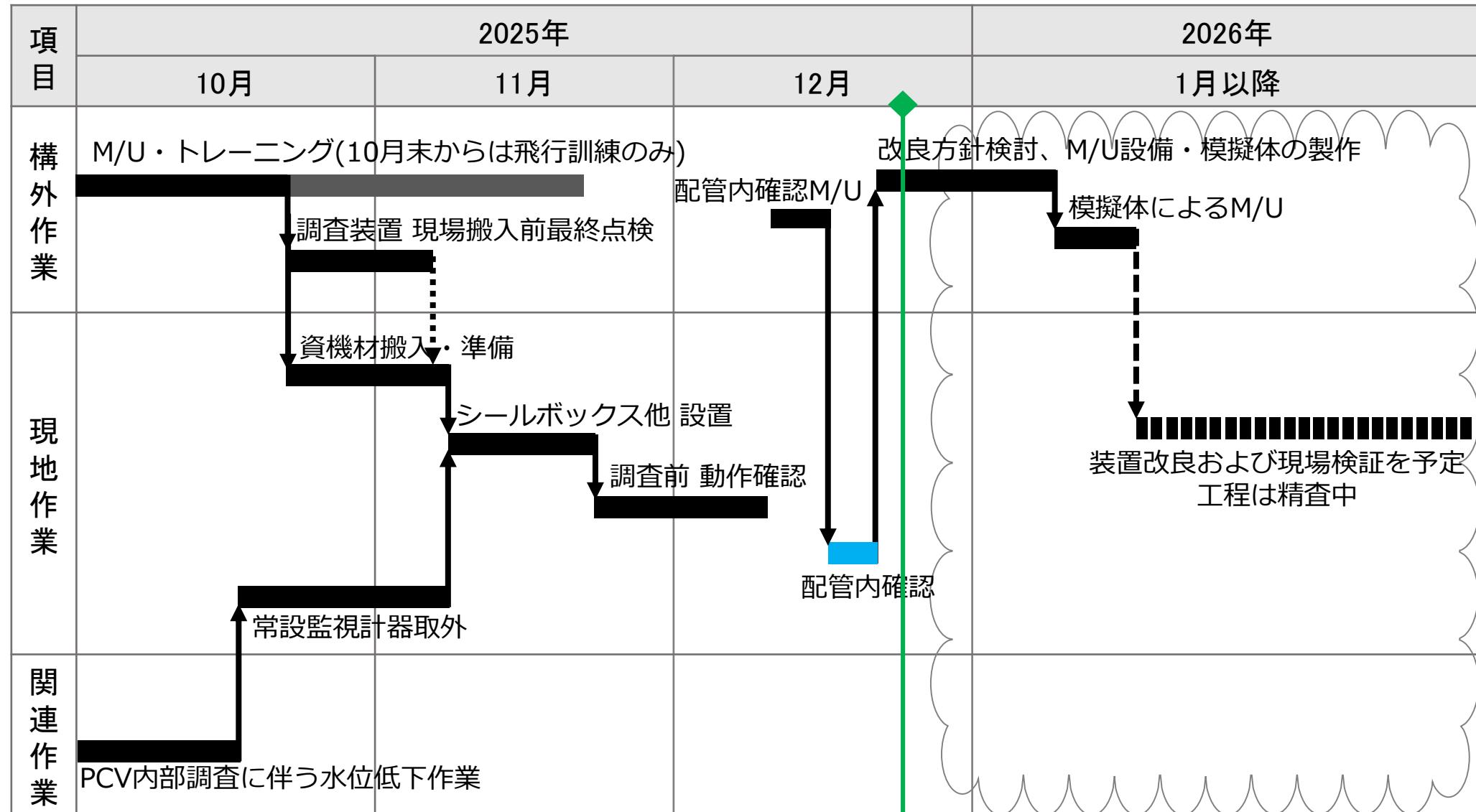
TEPCO

- X-53ペネは2015年のPCV内部調査の時に、3号機PCV内部へのアクセスルートとして整備し、グローブボックスを介して人の手により隔離弁を設置。
- 当時のX-53ペネ周辺は、現状よりも事故の影響が残っており、現場の線量率も高かったことから、X-53ペネの切断部と隔離弁の接続管は短時間で施工可能なストラップカップリングにて固定を実施。
- ストラップカップリングは、若干の芯ずれ状態でも固定可能なため、至近のPCV内部調査映像(2017年)で芯ずれによる段差の有無を確認したが、映像からは確認できなかった^{※1}。



※1:過去の調査と今回の調査とでは、カメラの視点・照明の位置が異なるため、段差の映り方には差がある

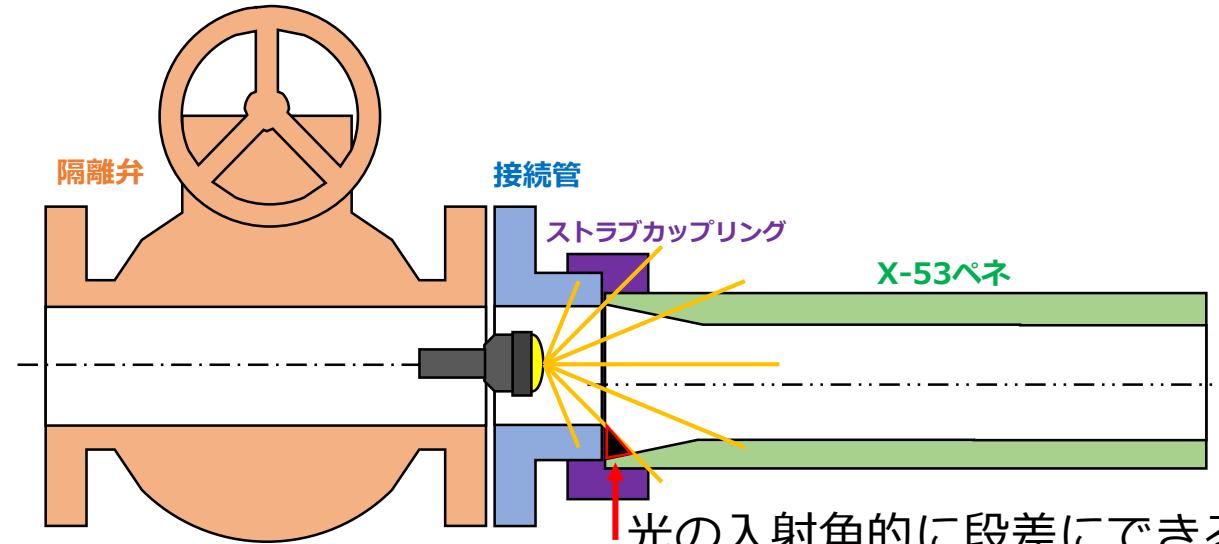
- 模擬体によるM/Uの状況を踏まえて今後の工程を精査



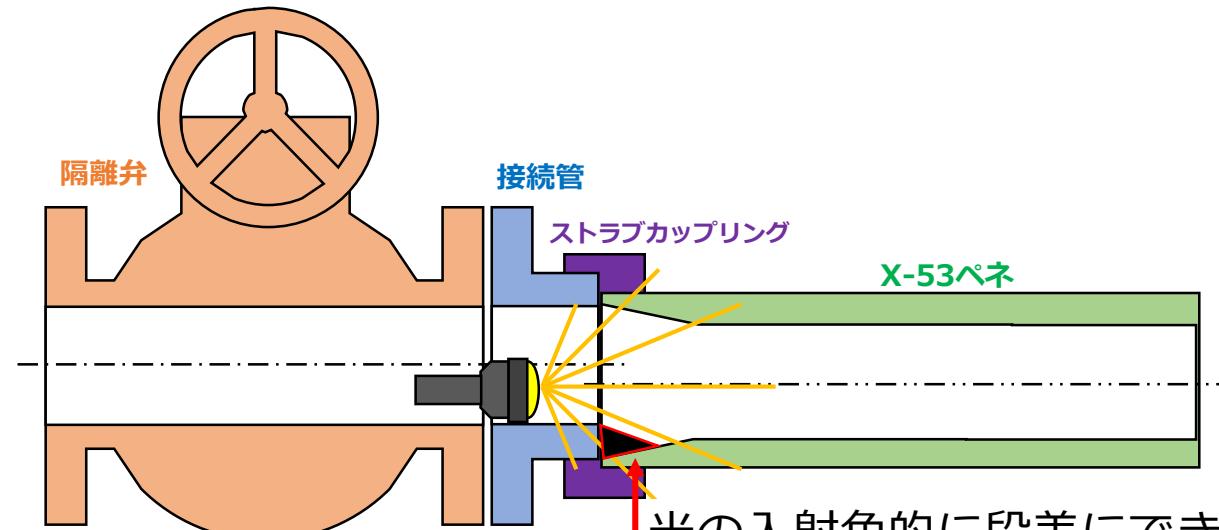
<参考> 照明の位置と段差の見え方に関する考察

TEPCO

- 照明が配管中心付近にある場合(2015,2017年PCV内部調査に近い状態)



- 照明が配管下部付近にある場合(今回のPCV内部調査に近い状態)

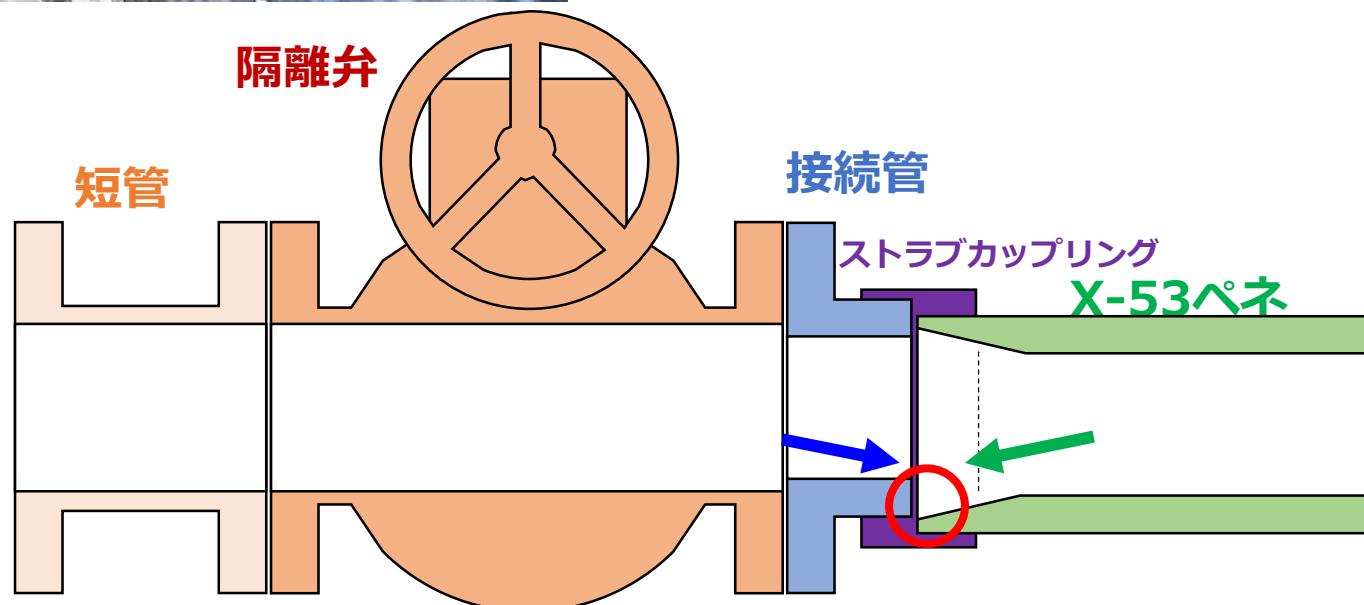


<参考> インストール配管内の状態確認で取得した映像TEPCO

矢視 : →



矢視 : ←



<参考>インストール装置外観

TEPCO



コンディションレポート（CR）の起票状況

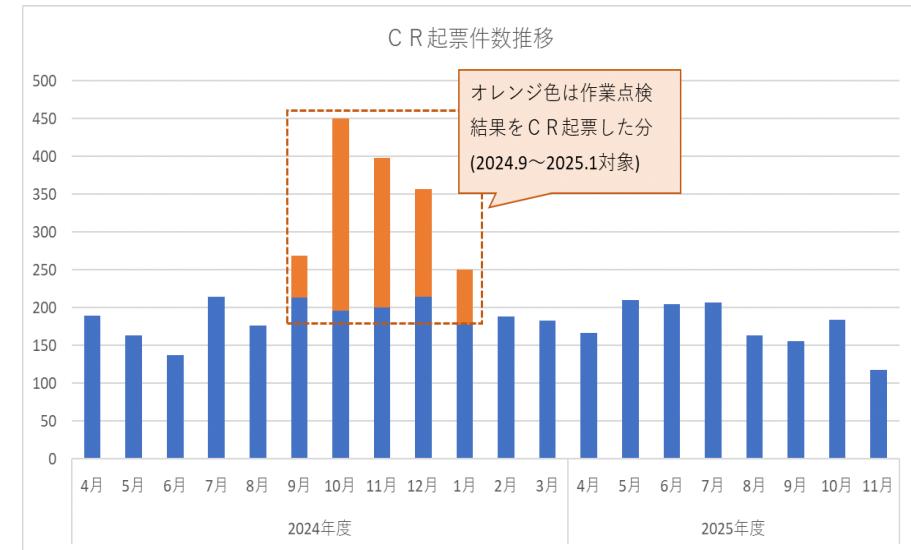
TEPCO

追加質問

(各取り組みの評価結果、V. CRの更なる活用、VII. CRを基軸とした組織的改善活動(CAP)の強化より、)

コンディションレポートの数の増減データを説明いただきたい。2024年5月の対策以降に増えているのか。

- コンディションレポート（以下、CR）の起票数は、作業点検結果のCR起票促進により、2024年9月～2025年1月は増加しているが、作業点検結果CR の起票や処理に膨大なリソースがかかる一方で他部門・他企業への展開が期待される「新たな学び」を効果的に抽出することが困難であったことと、作業点検は一時的な取り組みではなく、作業プロセスに落とし込み継続実施していることから、1月下旬より全件名のCR起票は取り止め、新たな学びやノウハウ構築に繋がるCRを起票する運用に変更した。（グラフオレンジ部分）
- 2025年8月から、建築関係設備の不具合事案の取り扱いを整理し、原子力安全に関わらない建築物不具合(事務所照明の不点灯等)については別フラグのCR起票対象としたり、原子力安全の懸念事項とは関連のないもの(企業KY参加記録等)を起票しないようにしたが、起票数が前年度と同様であることを鑑みると、原子力安全や作業品質に関連するCRの起票は増えている傾向であると思われる。



追加質問

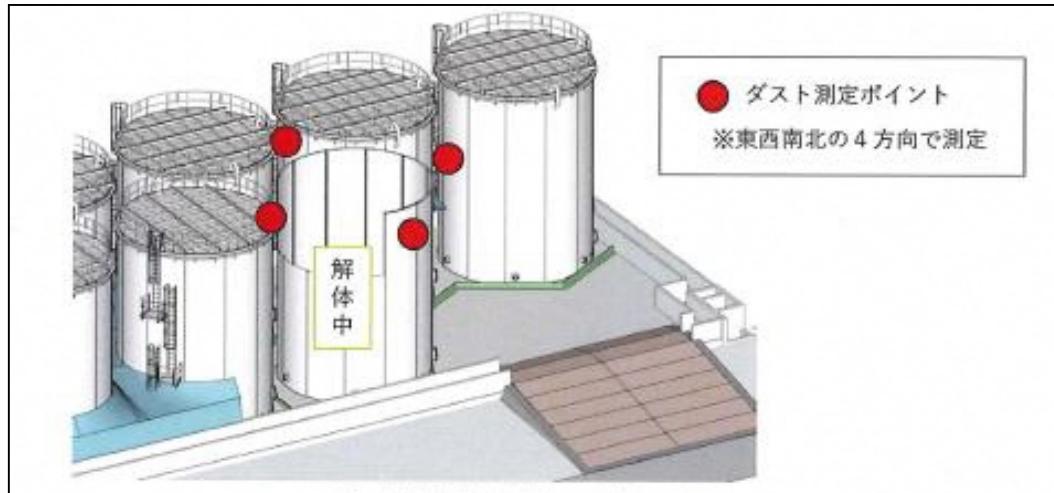
フランジタンク解体時には除染が行われていたが、J9エリアタンクでは行われていない。この違いについて説明いただきたい。

- フランジタンクもJ9エリアタンクも、解体前は同様の手順でタンク内表面に散水を行い解体を実施しています。
- フランジ型タンクについては、散水だけでは十分な除染が行えないことから、解体後に構内の設備において除染・減容を行い、コンテナに収納して構内の一時保管エリアに仮置きしています。※解体前に一部のタンクでは除染を実施しています。
- J9エリアタンクについては、これまでALPS処理水を貯留しており、フランジタンク同様に水抜き後にタンク内表面の散水を実施してから事前の線量測定を実施しています。
- J9エリアタンクは、線量測定の結果、J9エリア全てのタンク内線量が「バックグラウンド相当（J9エリアタンク周辺の線量平均値以下）」であることを確認しています。J9エリアタンクでは、解体時における放射性物質の飛散の可能性は無いことから除染を行っていません。
- 今後解体を計画しているJ8エリアタンクについても、同様に事前に線量調査を実施し、除染の要否を判断していきます。

J9エリアタンクの解体における安全対策

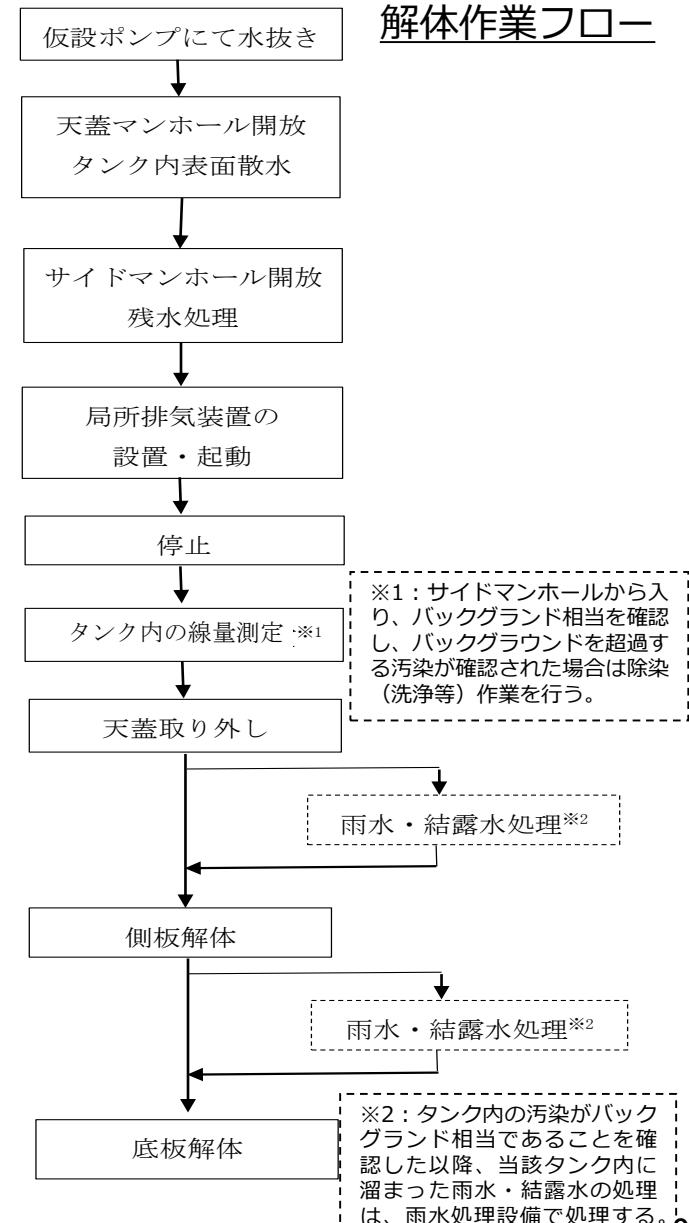
TEPCO

- 解体作業フロー（右参照）に則り、これまでにタンク内の残水処理およびタンク内の線量測定を実施しています。
- 線量測定の結果、J9エリアの全てのタンク内の線量がバックグラウンド相当であることを確認していますがタンク解体中はモニタリングを、高所作業車、三脚ポール、既設タンク上部手摺にダストサンプラーを設置して行います。ダスト測定は、解体対象タンクの周囲（東西南北）で実施します。
- 万が一、ダスト測定で異常が確認された場合には、散水や集塵の強化等といった対策を実施（作業を中断）し、通常時に戻ったことを確認してから作業を再開します。



判断基準（フランジタンク解体時の作業管理基準）

- ・ダスト飛散 : $5 \times 10^{-5} \text{Bq}/\text{cm}^3$ (空气中ダスト濃度測定)
⇒マスク着用基準の1/4で設定

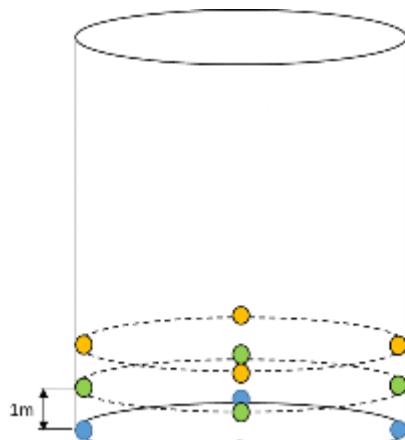


<参考> タンク解体前の内部線量調査の結果

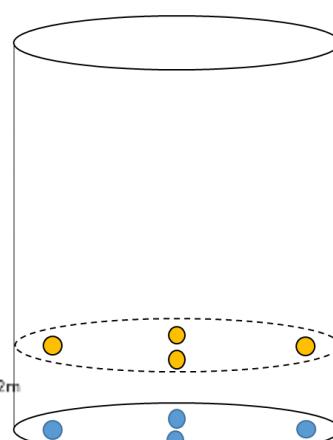
TEPCO

測定項目	測定箇所	測定値（平均—最大値）
①表面線量率 (γ)($\beta+\gamma$)	12箇所（側板の底部および底部より1mと2mの位置で各4箇所）	γ : 0.001 - 0.001 (mSv/h) $\gamma+\beta$: 0.001 - 0.001 (mSv/h)
②空間線量率 (γ)($\beta+\gamma$)	8箇所（側板からタンク中心へ1m離れた位置で底部・底部より上に2mの位置で各4箇所）	γ : 0.001 - 0.001 (mSv/h) $\gamma+\beta$: 0.001 - 0.001 (mSv/h)
③表面汚染密度 (間接法)	17箇所（底板5箇所、側板の底部、底部より1mと2mの位置で各4箇所）	< 1.24E+00 (Bq/cm ²)
④空気中放射性物質濃度	4箇所（タンク天板から6mと9mの位置で各2箇所）	< 2.19E-05 (Bq/cm ²)

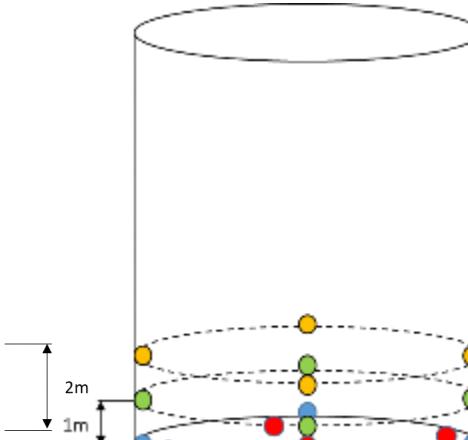
【各測定項目の測定箇所】



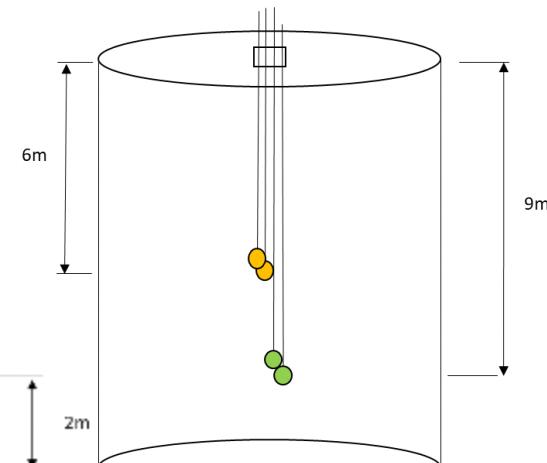
①表面線量率 12箇所



②空間線量率 8箇所



③表面汚染密度 17箇所



④空気中放射性物質濃度 4箇所

測定機器：電離箱サーベイメータ

測定方法：GM汚染サーベイメータ
(スミア法)

測定機器：コードレスダストサンプラー

<参考> タンク解体片の処理

TEPCO

- タンク解体片を収納した20フィートフルハイドコンテナは、一時保管エリアAAに運搬し保管します。
- タンク1基あたり、20フィートフルハイドコンテナを約3.5基使用する計画です（J9エリアタンク全12基で約42基使用予定）。

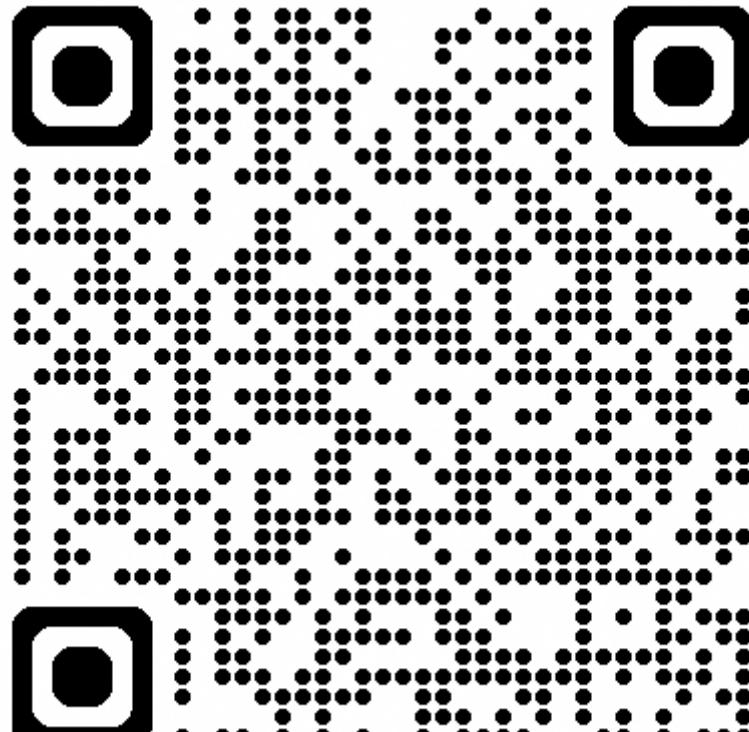


<20フィートフルハイドコンテナ保管場所>



<20フィートフルハイドコンテナ収納イメージ>

福島第一原子力発電所 J9エリアタンクの
解体作業の様子(2025年2月14日～3月4日)



こちらからご確認ください。



縦に溶断した側板をクレーンでつり上げる様子

J9エリアタンク



2025年12月現在

追加質問

デブリの試験的取出しの今後の回数や期間についてどう考えているのか、どのような状況になれば次の段階に行く予定なのか。

- 試験的取出し後、段階的に規模を拡大していくステップになります。
- そのため、ロボットアームによる試験的取出しの作業は、アクセスルートの構築や原子炉格納容器内の既設構造物等の情報を得るための調査を検討しています。
- 現在、ロボットアームによる調査内容等について、詳細を検討しています。



(撮影：柏葉遠隔技術開発センター 2023.2.17)