

TOSHIBA

図書番号： PFG-2022-00004
判定票番号： PSNN-2022-0816

IRIDシンポジウム2022

IRIDにおける東芝エネルギーシステムズの 研究成果

2022年12月7日

東芝エネルギーシステムズ株式会社

福島復旧・サイクル技術部

浦田英浩

- 01 はじめに
- 02 ESSのPJ参画実績
- 03 主なPJの成果 2/3号機格納容器内部調査
- 04 福島のパJを経験して
- 05 おわりに

01 はじめに

- 戦略プランに基づき、福島第一原子力発電所の使用済燃料や燃料デブリの取出し、原子炉建屋の遠隔除染、汚染水等の放射性廃棄物の処理等に関する研究を関係機関と連携して行うための組織として、18 法人からなる国際廃炉研究開発機構(IRID)が2013 年8 月1 日に設立された。
- 東芝エネルギーシステムズ株式会社（以下、ESS）はIRID発足時のメンバーとして様々なプロジェクトに参加・協力をしてきた。
- これまで実施してきたESSのプロジェクトのうち、初期検討・研究開発・試作から現場調査・評価まで完遂したプロジェクトを紹介するとともに、その中で得た経験・研究者及び設計者の実際に感じた声を紹介する。

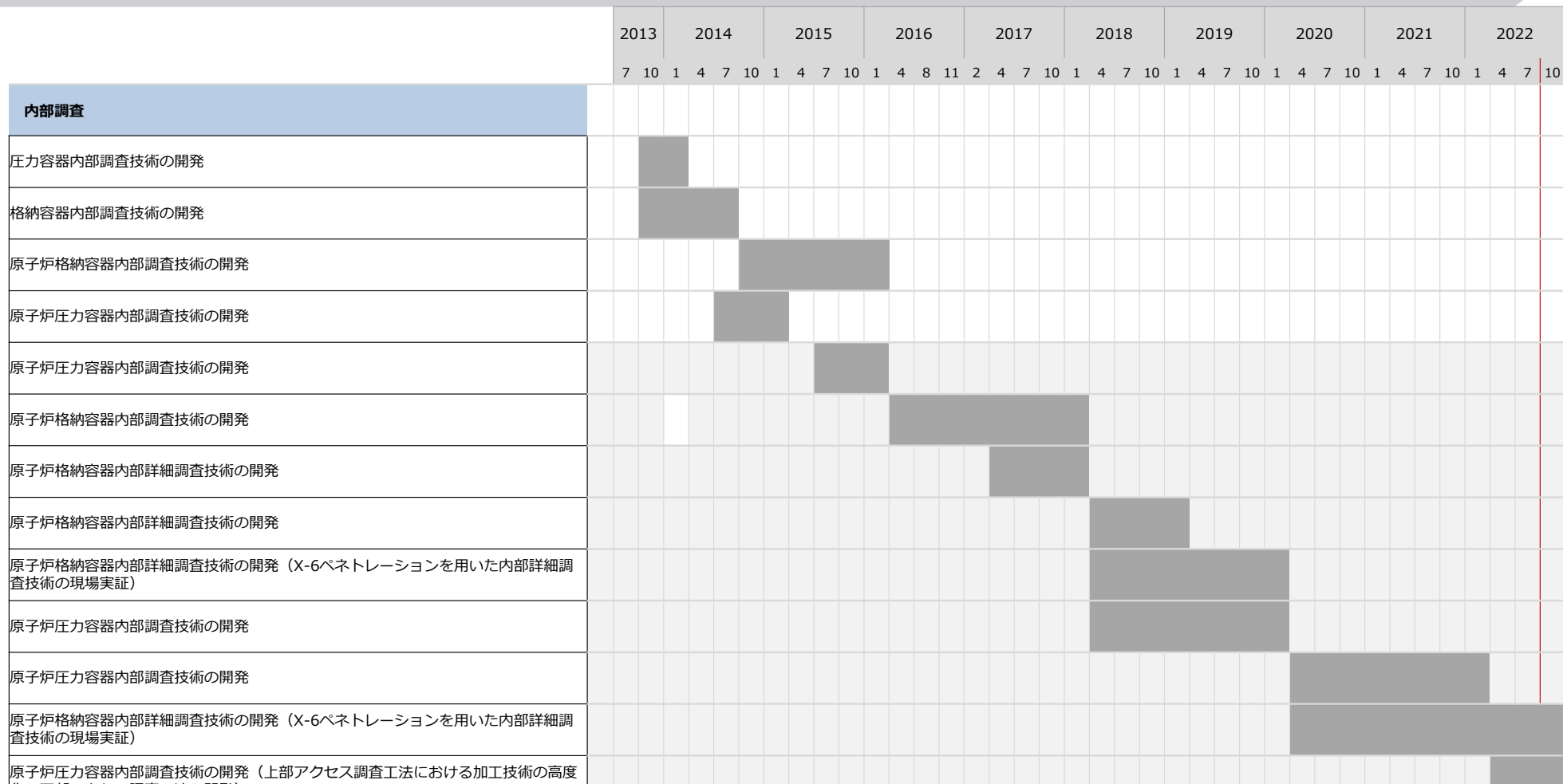
02

ESSのPJ参画実績

02 ESSのPJ参画実績

- IRIDにて研究開発したPJのうち、2013年発足時から現在までにESSは79PJについて協力して研究開発を行った。
- このうち、発足初期の2013年から2016年までは、原子炉建屋の遠隔除染を含めて**環境整備**や、建屋内アクセスに必要な**事前調査**として建屋の健全性や炉内状況把握に関するPJが主体的で、これらだけでESS関連として16PJ が実施された。
- **燃料デブリ取出し及び廃棄物、内部調査**に係るPJは発足初期から現在まで継続して実施されており、その内訳は燃料デブリ取出し関連は33PJ、廃棄物関連は17PJ、内部調査関連は13PJである。

02 ESSのPJ参画実績 ー内部調査（例）



内部調査は、IRID発足時から現在まで継続して実施

03

主なPJの成果

ー2/3号機格納容器内部調査

03 2号機格納容器内部調査（1/10） 全体調査概要

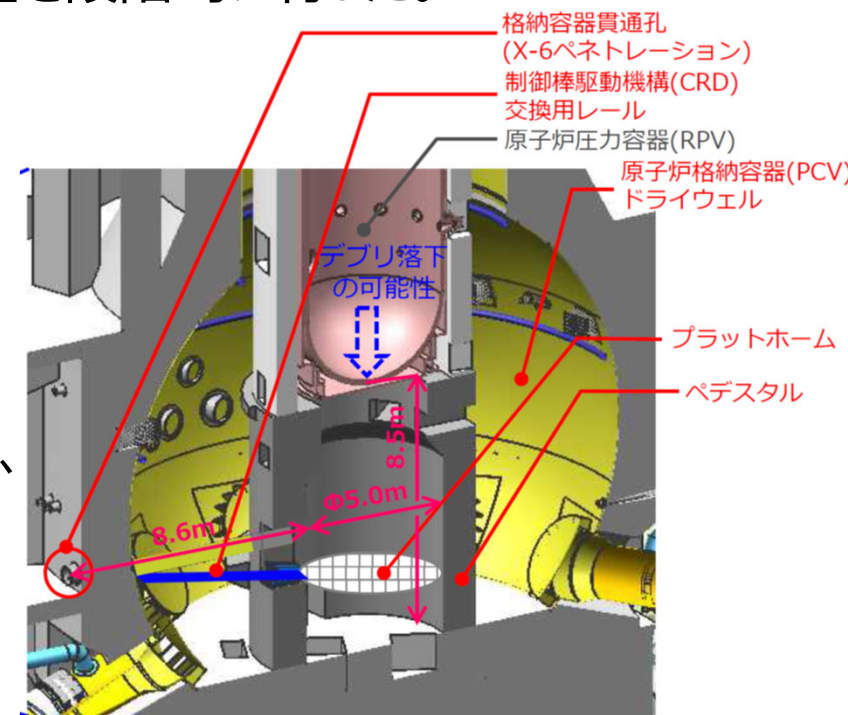
- ESSが協力したPJのうち主な成果として、**2号機の格納容器内部調査**について紹介する。
- 2013 年8 月に国の補助事業としてX-53ペネトレーションからレール上やペDESTAL開口部を調査する**A1 調査**を行い、X-6 ペネトレーションからペDESTALへの調査ルートを確認した。
- その結果をもとに2016 年から2017 年の間に以下の調査を段階的に行った。

(1) ペDESTAL内プラットフォーム上調査

A2 調査。ペDESTAL内のプラットフォーム上における燃料デブリの有無および構造物状況を把握することを目的とした目視確認、線量、温度測定。

(2) ペDESTAL内プラットフォーム下部調査

A2' 調査。ペDESTAL底部の燃料デブリ有無および構造物状況を把握することを目的とした目視確認、線量、温度測定。

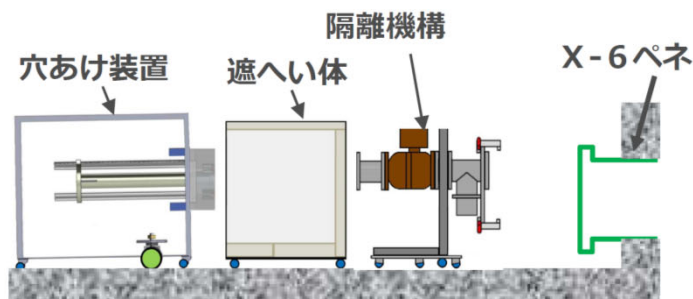


原子炉格納容器下部 断面図

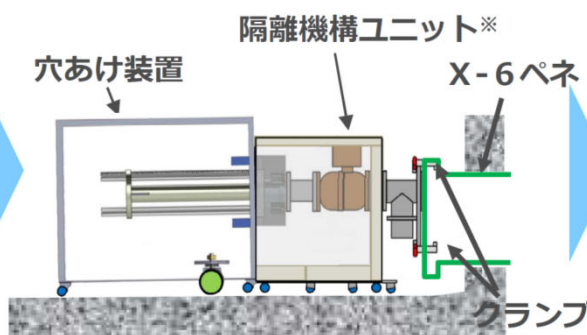
03 2号機格納容器内部調査（2/10） A2調査計画

- A2 調査は2013 年10 月に開発を開始、2016 年12 月にX-6 ペネの穴あけ工事を行い、2017年1 月から2 月にかけてA2調査を実施した。
- 課題はバウンダリ構築であるが、**ペネ近傍床面が高線量**（数Sv/hオーダ）と判明、その環境改善に約1 年かかった。その期間に遠隔作業にて装置接続、穴あけ作業、装置接続解除および撤去を完了した。
- 本工事においては遠隔での現場監視と柔軟な作業要領の改定により、作業員被ばく量および工期共に計画内で工事を完遂した。

ステップ1. 装置の搬入

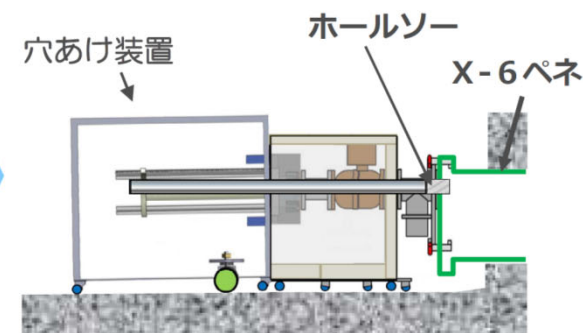


ステップ2. 装置の設置



※隔離機構と遮へい体を組合せたもの

ステップ3. 穴あけ



高線量環境により予期せぬ工程延長が発生（現場の不確かさ）

03 2号機格納容器内部調査（3/10）

A2調査計画

- A2 調査はプラットフォーム上に**クローラ型調査ユニット**を走行させて目視調査する。
- 本調査の課題は、現場状況が十分に解明されておらず、**不確実性の高い格納容器内でのユニット運用**である。
- 対策として、3段階の作業で実施可能性を判断する計画とした。

① X-6 ペネ内事前確認作業

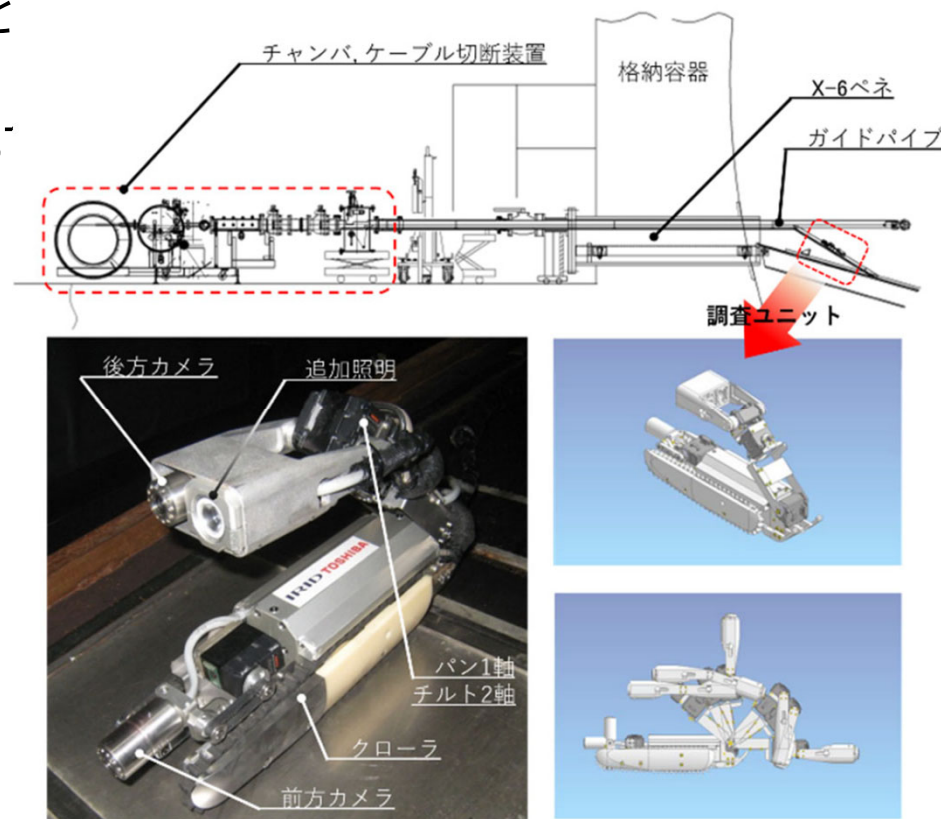
X-6 ペネ内の状況をカメラ映像で確認し、進入可能性を評価。

② ペDESTAL内事前確認作業

ユニットが走行するレール上および一部プラットフォーム上の状況をカメラ映像で確認し、走行可能性を評価。
バックアップとして映像データの取得。

③ レール上堆積物除去作業

②にて必要と確認された場合、調査ユニットが自走できるよう、クローラ型の堆積物除去装置から高圧水をスプレーすることで堆積物を除去。



03 2号機格納容器内部調査（4/12）

A2調査結果

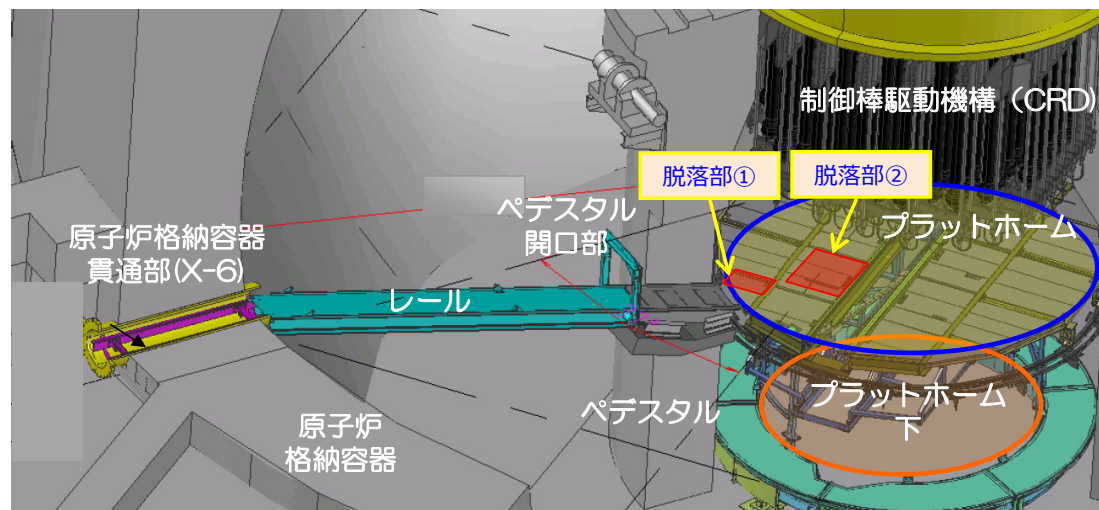
- ②にてレール上全体に当初想定量以上の堆積物を確認、③にて除去作業を実施したが完全な除去はできなかった。
- ②にてプラットフォーム上の**グレーチングの一部脱落**を確認。
- ユニットが阻まれる可能性はあるが接近できれば追加情報を得られる可能性があることから、調査続行。
- ユニットはペDESTAL開口手前まで接近したが、**堆積物の噛み込みにより動作停止**。
- 事前に計画していた投棄エリアまでユニットを後退させて残置し、ケーブル切断、ガイドパイプ引き抜きにて調査終了。



十分に検討も想定外事象が発生（現場の不確かさ）

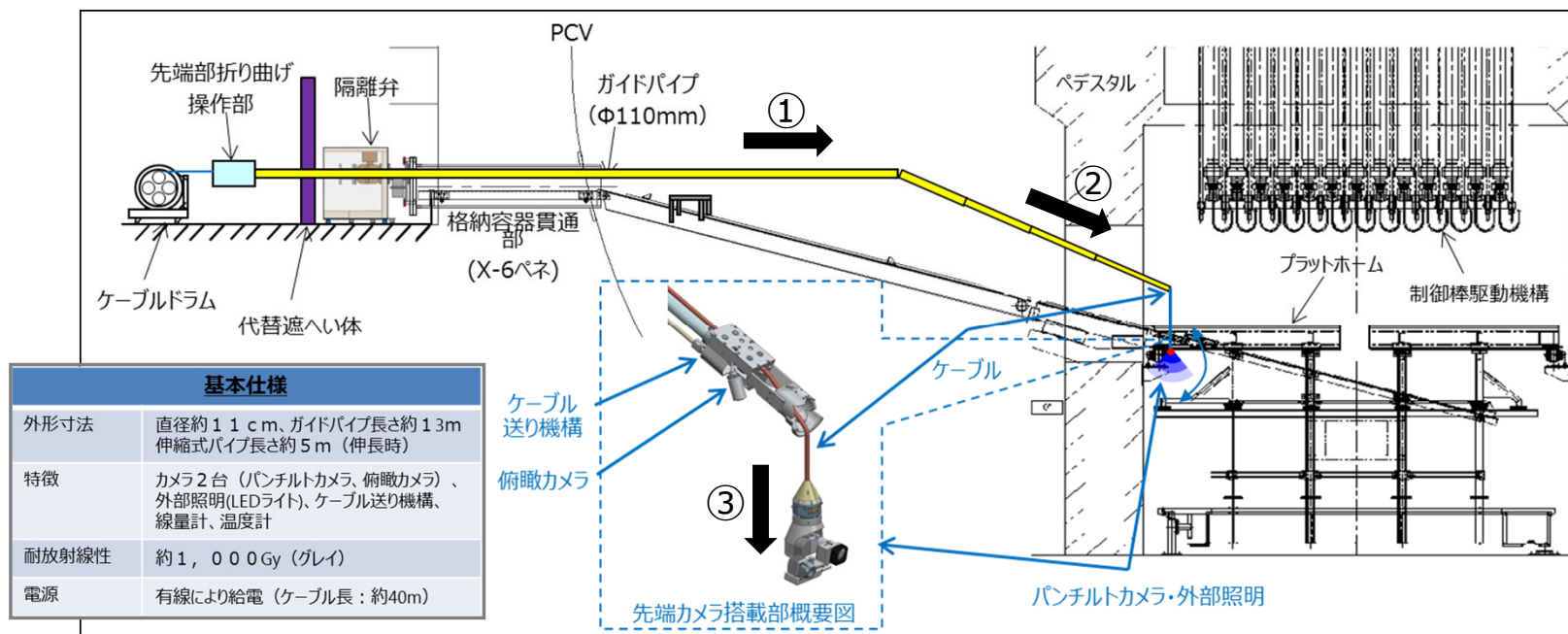
03 2号機格納容器内部調査（5/10） A2'調査概要

- A2'調査はプラットフォームのグレーチング脱落部からペデスタル下部へアクセスすることを前提に装置開発を行った。
- 装置は約13m のガイドパイプ先端に調査ユニットを取り付け、**グレーチング脱落部へ吊り下ろす**方針とした。
- 本調査の課題は以下である。
 - ①暗闇、霧環境での視界確保
 - ②高線量環境への対応
 - ③プラットフォーム下部情報無しでの調査計画立案（アクセスルートの想定）
 - ④調査中のPCVバウンダリ確保
- A2'調査ユニットは、ケーブル送り機構、外部照明、および温度計・線量計付きパンチルトカメラで構成
- ハレーション対策として外部照明を伸展させカメラとの位置を離す機構を開発した。



03 2号機格納容器内部調査（6/10） A2'調査概要

- 調査手順は、ガイドパイプを挿入後、伸縮式パイプを進展させ、調査ユニットである**パンチルトカメラを吊り下ろす**手順とした。
- ガイドパイプの設計においては、A2調査時より1.3m延伸し、ペDESTAL内側にアクセス可能となるようにし、あわせてより長く伸展できるようにガイドパイプ**強度を向上**した。
- 調査ユニットである先端部のパンチルトカメラはできる限りの**軽量化**を施した。



03 2号機格納容器内部調査（7/10） A2'調査概要

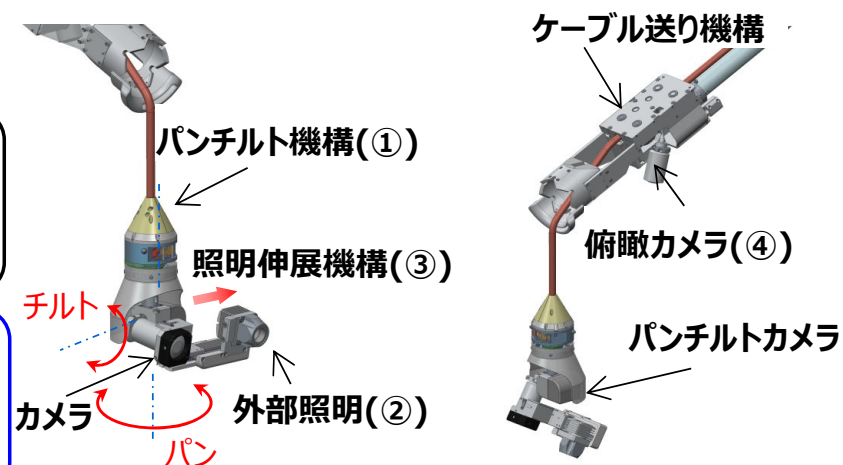
- 調査ユニットは、画像取得範囲の拡大させるため、**パンチルト機構（①）**を設定した。
- 課題である、暗闇、霧等の条件下における視認性向上のためには、**外部照明（②）**による照度向上を図るとともに、**照明伸展機構（③）**により霧からのハレーションを抑制することとした。
- 調査ユニットの遠隔操作性の向上のため、**俯瞰カメラ（④）**を設置し、調査ユニットの状況を監視することとした。

■ 照明伸展時の画像比較（約5cm, 約10cm）

カメラと 照明間距離	光の透過率100%, 距離:5m	光の透過率20%/3m, 距離:5m	
		画像処理前	画像処理後
対策前 約5cm			
対策後 約10cm			

光軸とカメラ軸を離すことで
霧からのハレーションを抑制

小型化・軽量化の条件下で
最大約10cmの進展を達成



03 2号機格納容器内部調査（8/10）

A2'調査 モックアップ状況

- 本調査実施に当たり、**実作業者が約1ヶ月間繰り返し訓練**を実施した。
- 訓練での結果、**被ばく低減及び安全対策**として、以下を実施した。
- 各作業時間計測結果から班交代時間を決定
- 各作業ステップの時間短縮に向けた工具改良
- 継手部への挟まれ防止としてマーキングを実施

＜ガイドパイプ挿入・引抜訓練＞

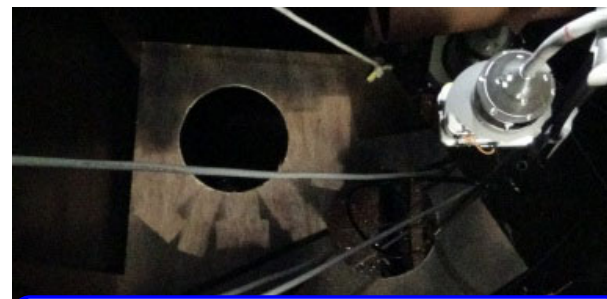


＜カメラ操作訓練＞



暗闇、霧を模擬した環境での操作

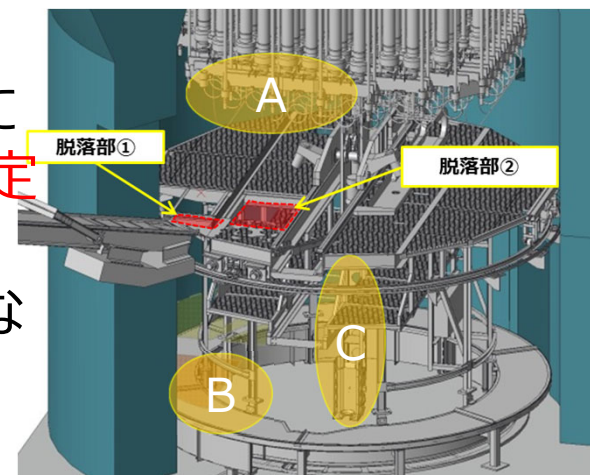
＜干渉物回避操作訓練＞



サイズの異なる穴の通過可否を
カメラの画角情報のみで判断

03 2号機格納容器内部調査（9/10） A2'調査 調査結果

- ペデスタル底部全体に小石状・粘土状に見える**堆積物を確認**
- 燃料集合体の一部(上部タイプレート)がペデスタル底部に落下 ⇒その周辺に確認された堆積物は**燃料デブリと推定**
- ペデスタル内壁面には、大きな損傷は確認されなかった
- 既設構造物（CRD交換機）に大きな損傷は確認されなかった
- CRDハウジングサポートに大きな損傷は確認されなかった



撮影場所A CRDハウジングサポート



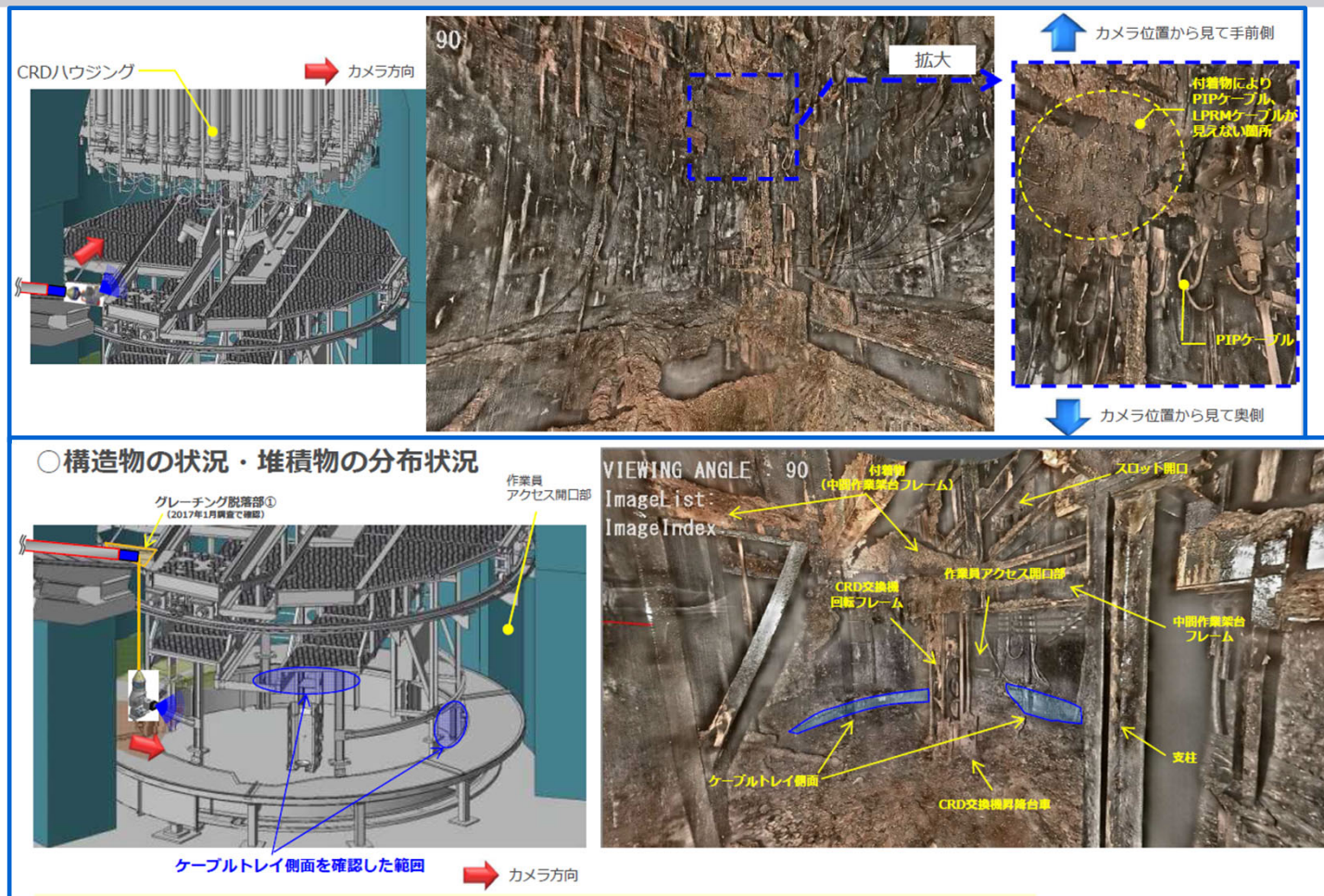
撮影場所B：ペデスタル底部



撮影場所C：CRD交換機

03 2号機格納容器内部調査 (10/10)

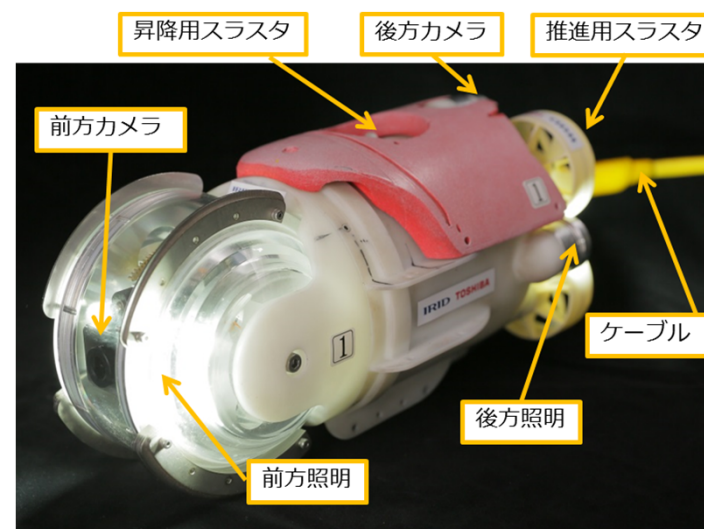
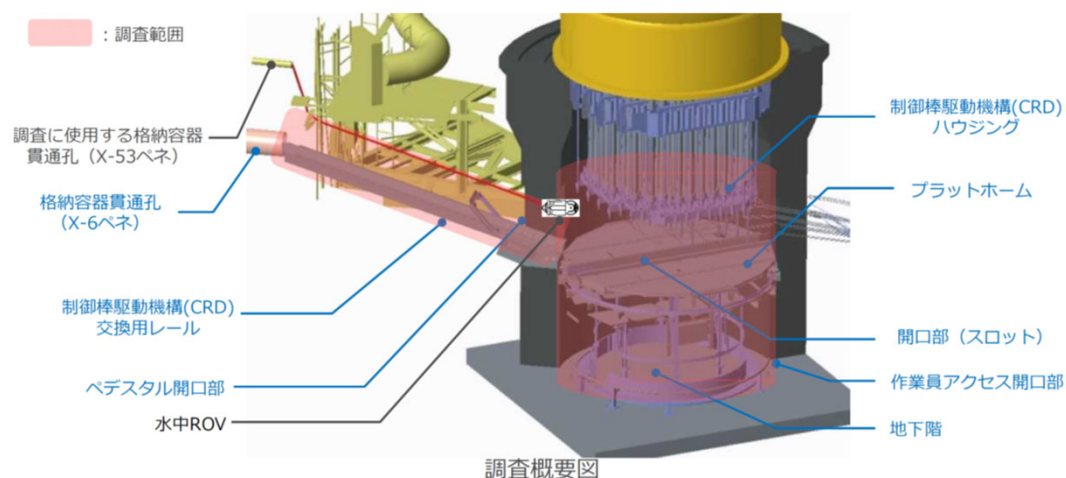
A2'調査 調査結果



ペデスタル下部へのアクセスに成功

03 3号機格納容器内部調査(1/3) 調査計画

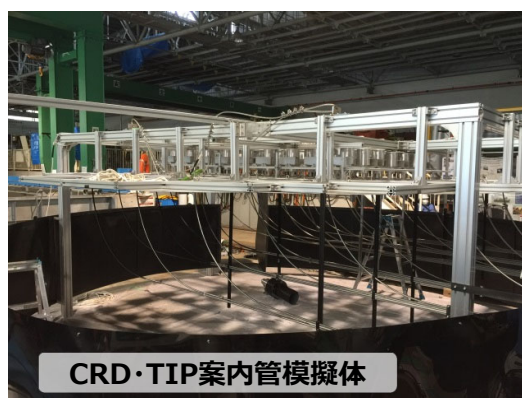
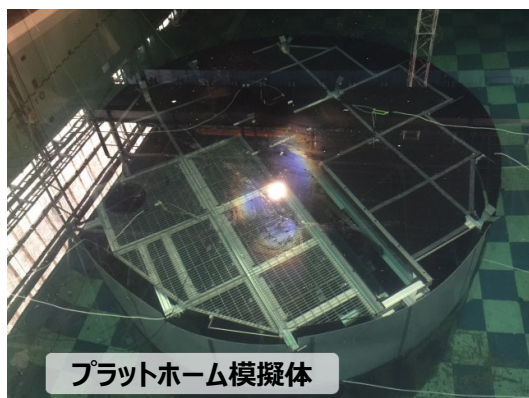
- 3号機の内部調査はペDESTAL内プラットフォーム・CRDの状況調査、地下階へのアクセスルート確認、アクセスが可能であればプラットフォーム下部や作業員アクセス口の状況確認を目的に実施する。
- 本調査の課題は、**水中環境（暗闇）**での視界確保、調査装置の自己位置の把握、ペDESTAL内部情報無しでの調査計画立案（アクセスルートの想定）、調査中のPCVバウンダリ確保となる。
- 調査装置は水中ROVを使用する。**視認性悪化**のための高輝度LEDを搭載し、周囲干渉物把握のため、広範囲チルト機能付き前方カメラの設置、ケーブルが引っ掛かり対策として、後方カメラとケーブル切断機構を搭載する。



03 3号機格納容器内部調査(2/3) モックアップ状況

- 本調査実施に当たり、**実作業者が約1.5ヶ月間繰り返し訓練**を実施した。
- 健全な図面から、プラットフォームやCRD・TIP案内管等を模擬した設備を設置し、当該箇所
の破損状態が不明のため、**障害物（ジャングルジムやケーブル等）を配置**した。
- 遠隔操作者に事前に知らされていない障害物通過の訓練を通して操作力の向上させるとともに、暗闇を模擬するために夜間での訓練も実施、ROVの移動経路、距離をCAD上で再現し、常に自分の位置を把握できる様訓練した。

＜ペDESTアルフルモックアップ設備＞



＜遠隔操作訓練＞



03 3号機格納容器内部調査(3/3) 調査結果

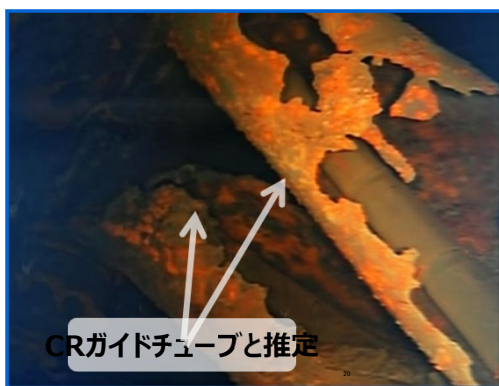
- CRDハウジング支持金具が複数個所で損傷していた。
- 隣接するCRDフランジ面のレベルや間隔が異なっていることが確認された。
- CRDハウジング近傍にCRガイドチューブと推定される構造物を確認し、その後 炉内構造物であるCRガイドチューブがペデスタルに落下したものと推定された。
- プラットフォームは原形を留めず、CRD交換機は確認できなかった。
- 複数箇所で水面の揺らぎを確認（RPV下部から落ちる水滴）

プラットフォーム上部



CRDフランジ状況

プラットフォーム上部



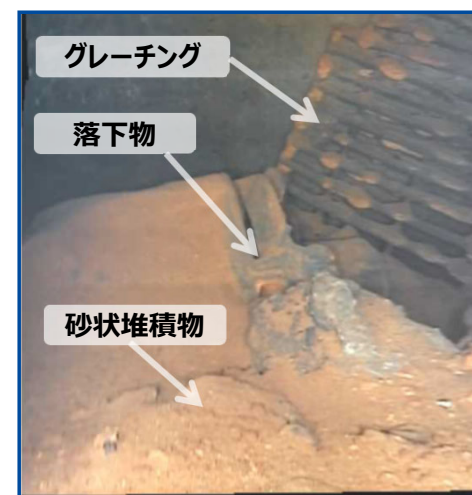
円筒状の構造物

プラットフォーム上部



プラットフォーム状況

プラットフォーム下部



砂状の堆積物、落下物

格納容器内部の撮影に成功

04

福島のパJを経験して

04 これまでの研究開発における教訓

- 一連の格納容器内部調査においては、最終的には格納容器内の堆積物接触調査まで完遂したが、その途中では工程延長・調査要領の見直し・調査の中断が発生した。これらのPJを経験したことによる教訓をまとめる。
- 装置の設計開発においては、要求される機能を満足することはもちろんのこと、部品レベルにおいて必要機能（耐放射性等）を確認する必要がある。一方で、故障のリスクを下げるために、できるだけシンプルな機構で、小型軽量化を進める必要があり、両者のバランスが重要。
- 装置の機能確認及び訓練においては、初めて入る領域に対して様々な（ありえない）現場状況を想定して徹底的に確認・訓練する必要がある。
- 現場調査においては、事前にリスク評価の実施や事象発生時の対応判断基準を定めておくことはもちろんであるが、それでも想定外の事象は発生する。
- 想定外事象が発生した場合も冷静な判断ができるよう、関係個所との密なコミュニケーションがとれる体制を構築しておく必要がある。

05 おわりに

- IRID発足から、ESSは多くのPJに参画させて頂き、福島廃炉に貢献するとともに、当社研究者・設計者も、自社では味わえない多くの経験を得ることができた。
- この経験において、1Fの設備設計するにおいては、現場状況が分からない（相手を知れない）を考慮して、深く思案してその対策を施しておくこと、その上で高線量環境下での作業に対し、公衆安全、作業安全の確保を最優先とすること、更に合理的な工程・作業エリア・費用であること、が重要であることを認識した。
- 今後もこの経験を糧に、福島廃炉の終焉に向けてプラントメーカーとして責任をもって、研究開発及び開発技術の実機適用をスピード感を持って進めていく。

TOSHIBA