

資料 1－3 デブリ取り出し関わる対応状況について

資料 1－3－1

福島第一原子力発電所 2号機原子炉格納容器内部調査結果について

2018年6月6日

IRID **TEPCO**

東京電力ホールディングス株式会社

- ・ 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議(第54回)公表資料
- ・ 2018年1月に実施した、燃料デブリが存在する可能性のあるプラットホーム下の状況調査結果の詳細報告

＜今回の調査結果＞

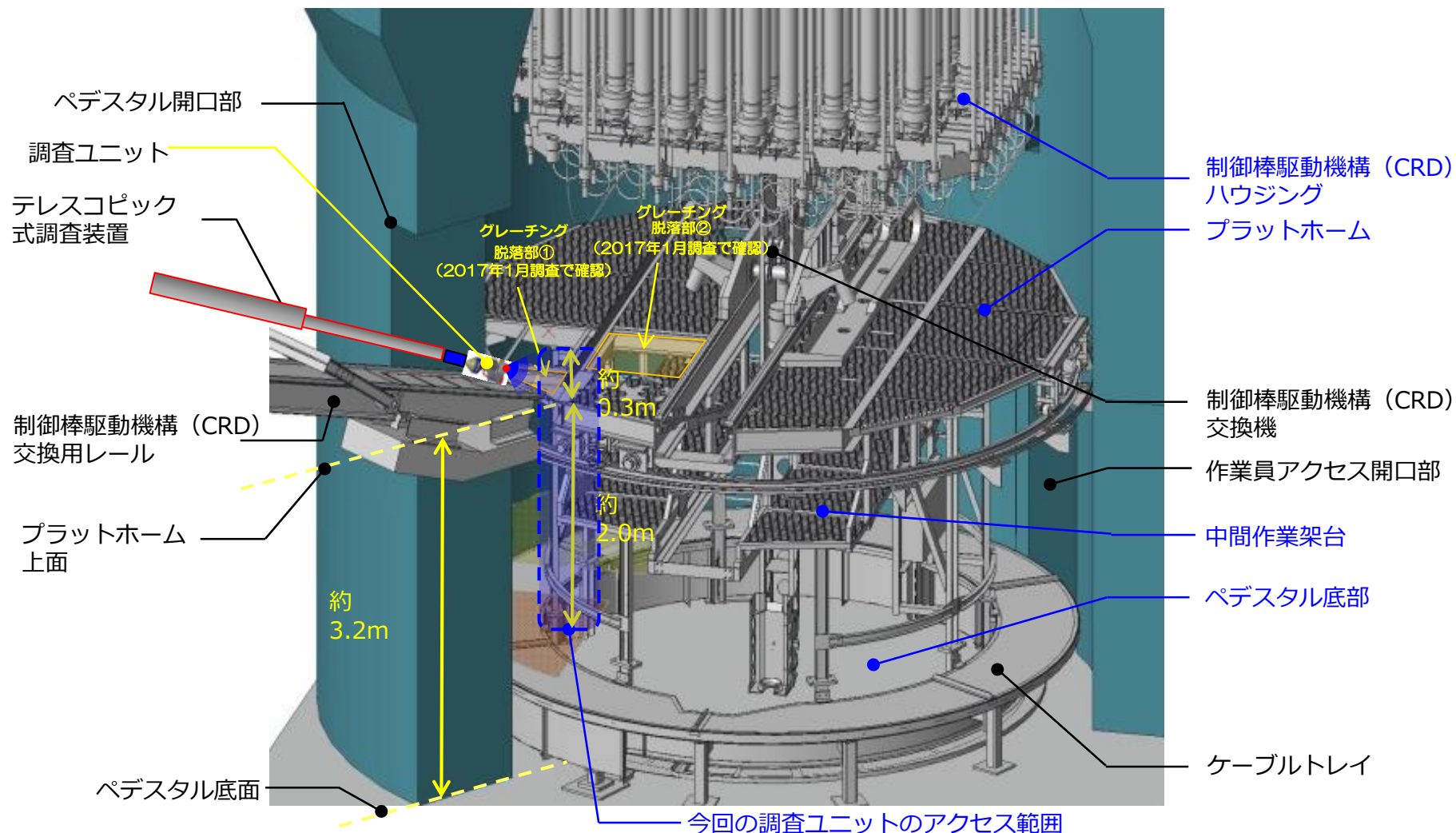
- ・ プラットホーム上では、カメラ吊り降ろし位置から見て手前側の構造物（TIP案内管、PIPケーブル及びグレーチング等）の損傷及び脱落が多く、フレーム上の付着物も比較的多いことを確認した。
- ・ 中間作業架台では、プラットホーム上の状況と同様に、カメラ吊り降ろし位置から見て手前側のグレーチングが脱落していることを確認した。
- ・ ペデスタル底部ではCRD交換機回転フレームや中間作業架台フレーム、支柱、ケーブルトレイ等が大きな変形が無い状態であった。また冷却水が降り注いでおり、ペデスタル底部付近の温度測定値は約21℃であることから、堆積物は注水した冷却水により、安定した冷却状態を維持していると考えている。

＜今後の対応＞

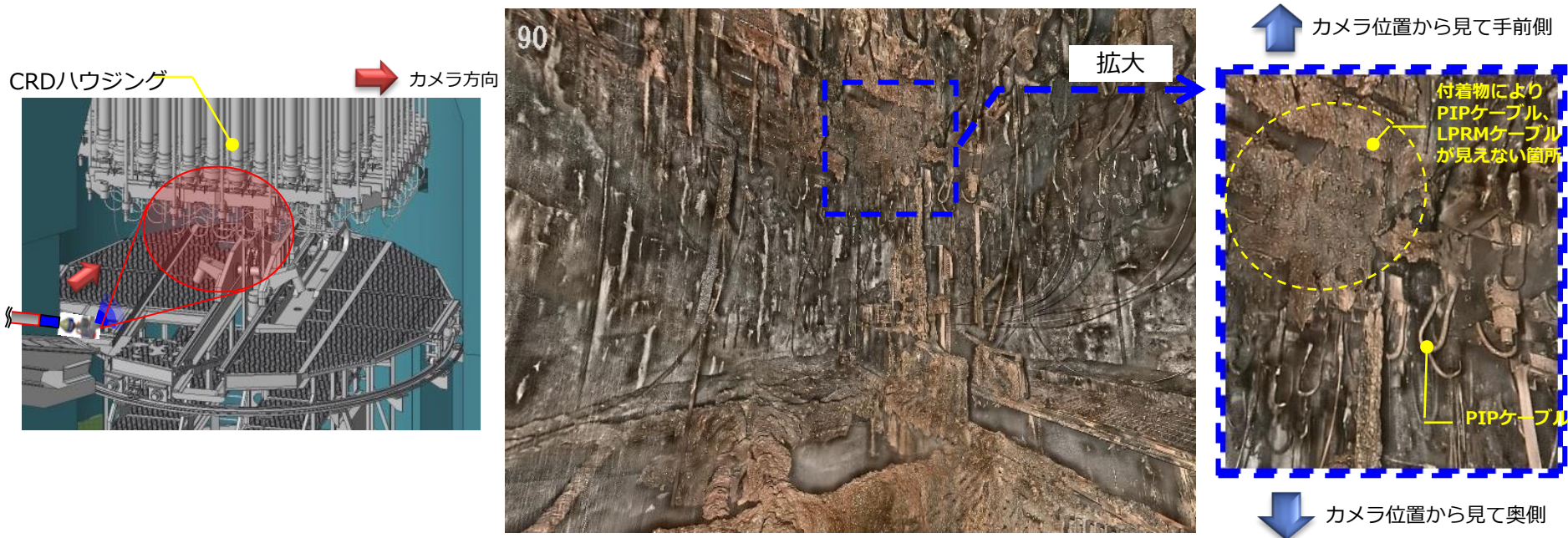
- ・ 今回の調査により、プラットホームからペデスタル底部にかけて、構造物等の残存状況やペデスタル底部の状況が分かったため、次の調査においては燃料デブリ取り出し工法の検討に必要なPCV内の構造物の詳細な分布や線量率分布等を把握するため、再度X-6ペネから多目的な調査が可能であるアーム型アクセス・調査装置を用いた調査を検討中である。

1. 2号機PCV内部調査の概要

- 2018年1月に燃料デブリが存在する可能性のあるプラットフォーム下の状況を中心に調査

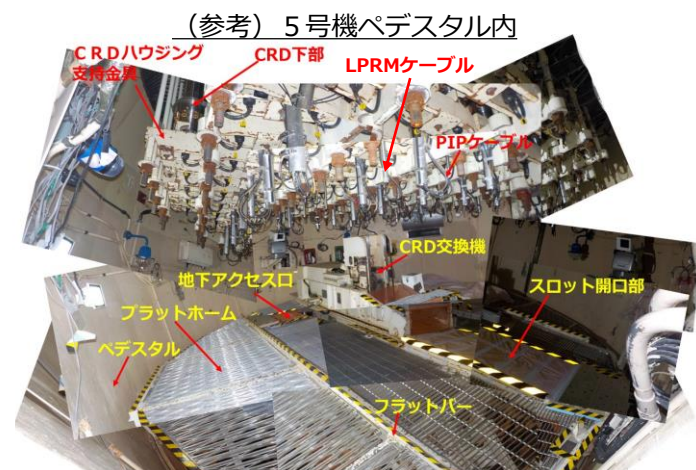


2. 調査結果 プラットホーム上



- CRD交換機、プラットホームフレーム等の構造物については大きな変形や損傷が無く、前回（2017年1月）の調査結果からの状況変化は見られなかった。
- CRD交換機付近の上部にあるCRDハウジングにおいて、付着物によりTIP案内管及びPIPケーブル、LPRMケーブルが確認できない箇所があることを確認した。
- またTIP案内管及びPIPケーブル、LPRMケーブルが確認できない箇所の真下のグレーチングについては、脱落していることを確認した。

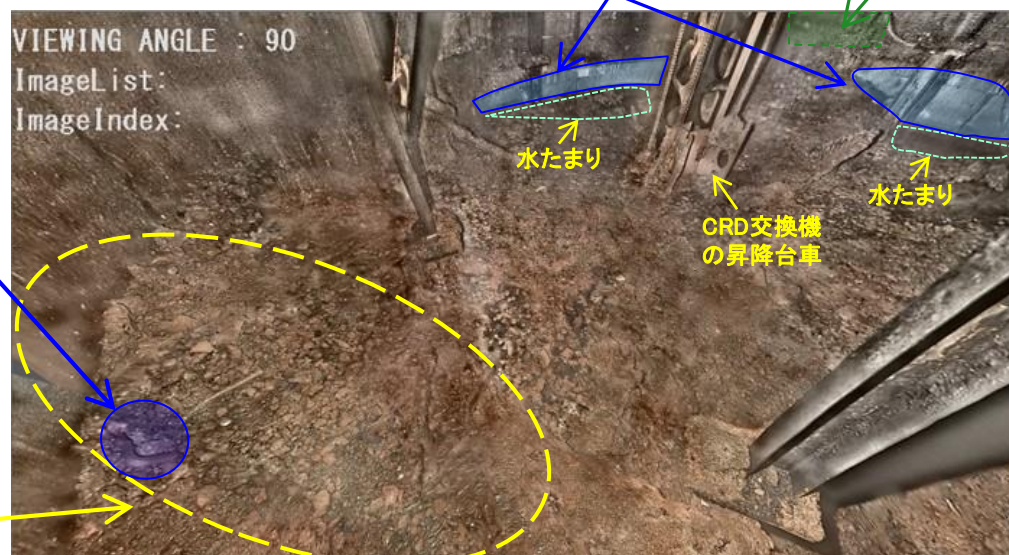
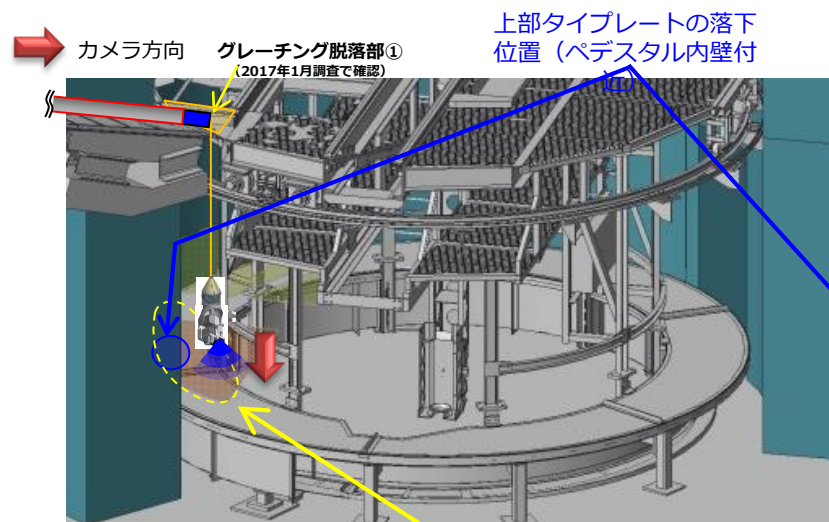
LPRM（局部出力領域モニタ）
 : 炉心内の中性子束レベルを測定するためのもの
 TIP（移動式炉心内計装装置）
 : LPRMを校正するためのもの
 PIP（制御棒位置指示プローブ）
 : 制御棒の位置を検出するためのもの



画像提供及び画像処理：国際廃炉研究開発機構（IRID）

2. 調査結果 ペデスタル底部 (1/2)

○堆積物の分布状況詳細 (1)



堆積物の高さが比較的高い範囲
(プラットフォームのグレーチング脱落部①真下付近)

- ・小石状・粘土状に見える堆積物がペデスタル底部全体に堆積していることを確認した。
- ・カメラ吊り降ろし位置からペデスタル中心を見て左側のケーブルトレイ（高さ約70cm）周辺の段差が明瞭では無い
ため、この付近の堆積物の高さは70cmを超える箇所が存在する可能性がある。CRD交換機昇降台車周辺の堆積物
は、昇降台車が埋まっている高さから40～50cmと見られる。またカメラ吊り降ろし位置から見て昇降台車の奥側
の堆積物高さがケーブルトレイより低くなっていることを確認した。
- ・カメラ吊り降ろし位置からペデスタル中心を見て左側には、燃料集合体の一部（上部タイプレート）が確認され、
また堆積物高さが周囲と比較して高いことから、その真上は燃料デブリの落下経路の一つである可能性がある。

(参考)5号機昇降台車

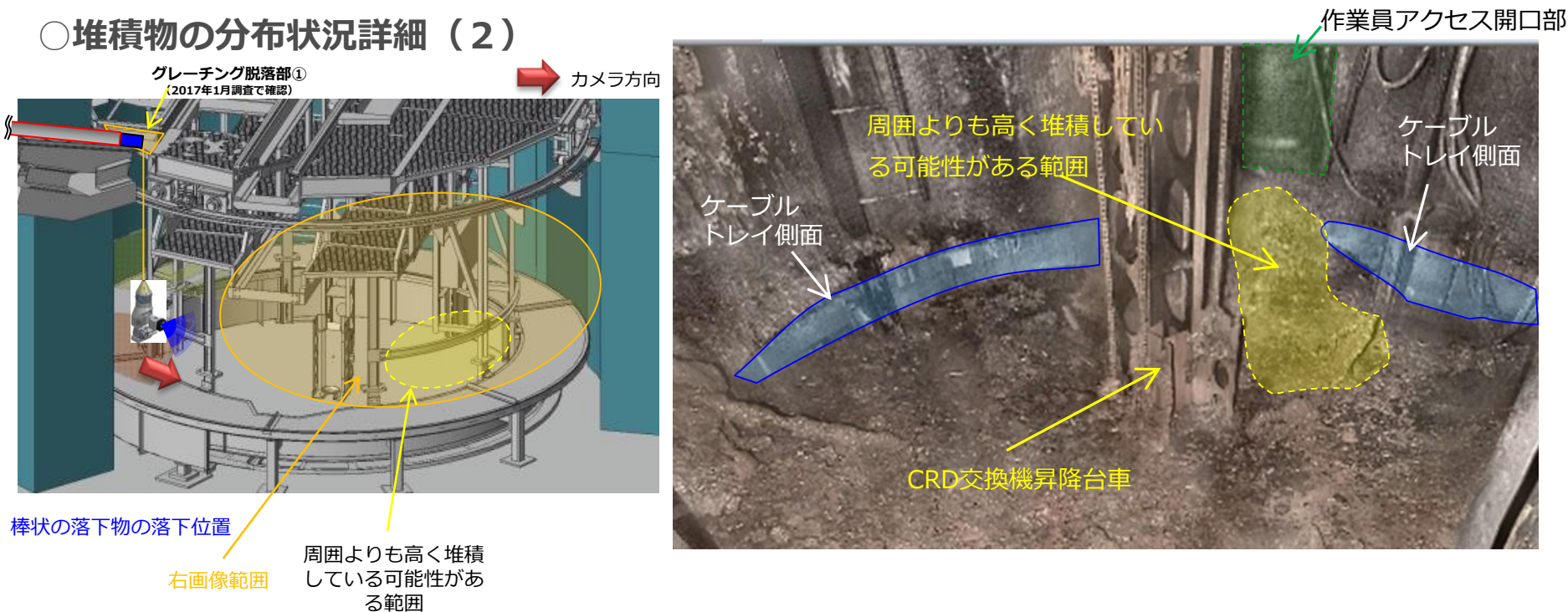


CRD交換機昇降台車にて、堆積物が埋まってい
ると見られる高さ

画像提供及び画像処理：国際廃炉研究開発機構（IRID）

2. 調査結果 ペデスタル底部 (2/2)

○堆積物の分布状況詳細 (2)



- ・ 作業員アクセス開口部付近において、堆積物が周囲よりも高く堆積している可能性がある箇所を確認した。この堆積物の分布から、燃料デブリの落下経路は、カメラ吊り降ろし位置からペデスタル中心を見て左側以外にも、複数箇所存在している可能性がある。
- ・ 作業員アクセス開口部より外の状況については、今回取得した画像では見えないため、ペデスタル外への堆積物の流出は確認できなかった。

3. 調査結果のまとめ

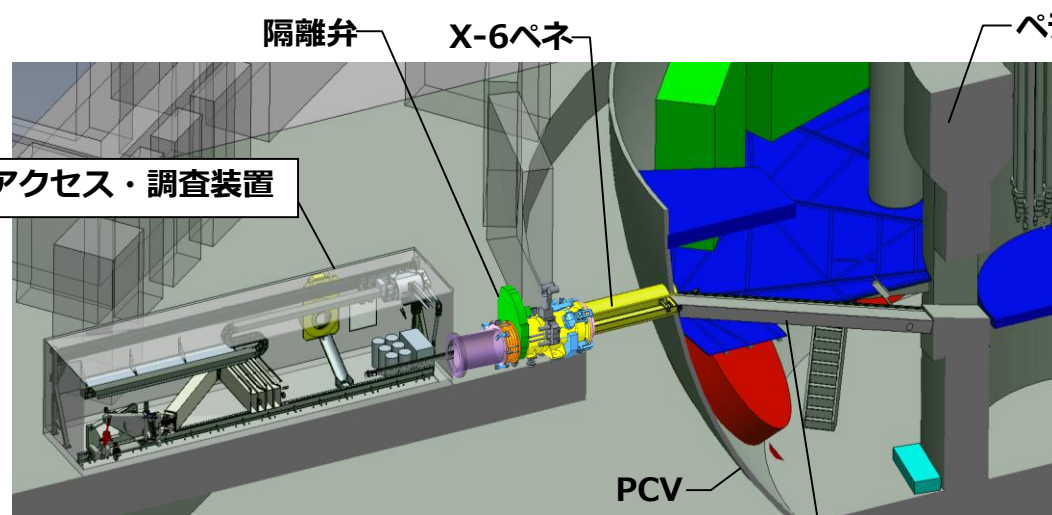
< 今回の調査結果 >

- ・プラットフォーム上では、カメラ吊り降ろし位置から見て手前側の構造物（TIP案内管、PIPケーブル及びグレーチング等）の損傷及び脱落が多く、フレーム上の付着物も比較的多いことを確認した。
- ・ペDESTAL底部ではCRD交換機回転フレームや中間作業架台フレーム、支柱、ケーブルトレイ等が大きな変形が無い状態であった。また冷却水が降り注いでおり、ペDESTAL底部付近の温度測定値は約21℃であることから、堆積物は注水した冷却水により、安定した冷却状態を維持していると考えている。
- ・ペDESTAL底部の堆積物については、カメラ吊り降ろし位置からペDESTAL中心を見て左側の堆積物高さが高いことから、当該位置の真上は燃料デブリの落下経路の一つである可能性がある。
- ・一方、作業員アクセス開口部側でも堆積物が周囲よりも高く堆積している箇所があることから、燃料デブリの落下経路は複数箇所存在している可能性がある。
- ・作業員アクセス開口部より外の状況については、今回取得した画像では見えないため、ペDESTAL外への堆積物の流出は確認できなかった。

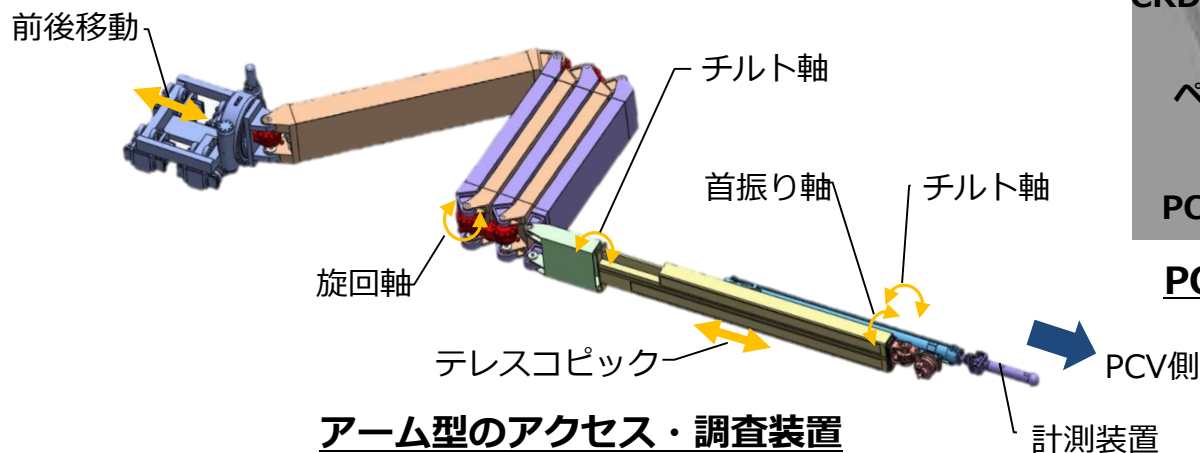
4. 検討しているX-6ペネからのPCV内部調査

4-1. 今後のPCV内部調査概要（案）

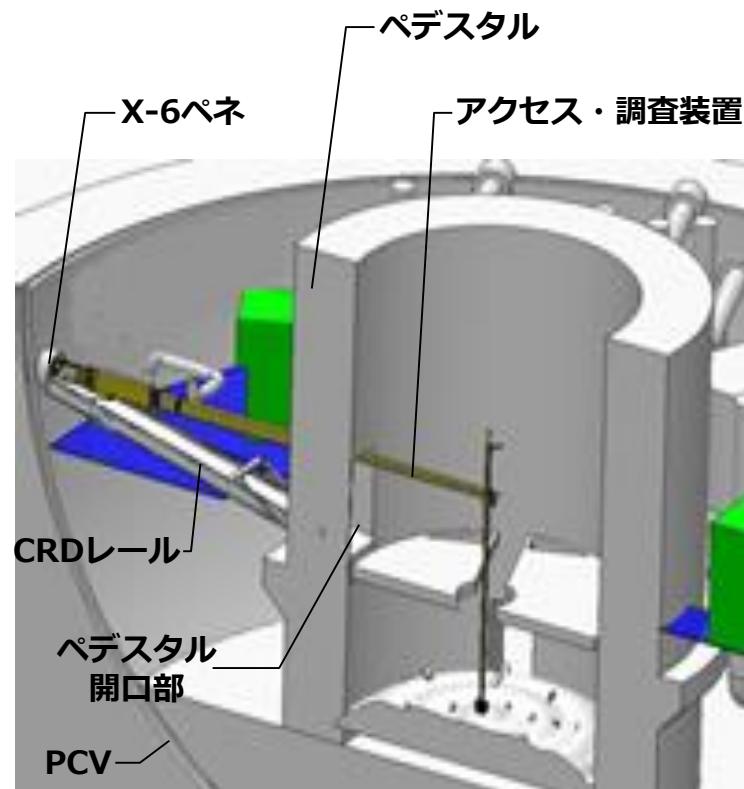
■ 今後のPCV内部調査においては、再度X-6ペネから広範囲の調査が可能であるアーム型のアクセス・調査装置を用い、PCV内の構造物の詳細な分布や線量率分布等を把握することを検討



X-6ペネ前におけるアクセス・調査装置 設置案



アーム型のアクセス・調査装置



PCV内へのアクセス・調査装置の展開案

資料提供：国際廃炉研究開発機構（IRID）

4. 検討しているX-6ペネからのPCV内部調査

4-2. 今後のPCV内部調査における調査項目（案）

- これまでのPCV内部調査については、主にカメラによる映像取得にてPCV内部の状況を確認
- 現在検討しているX-6ペネからのアクセス・調査装置では、アクセス・調査装置を大型化し、各種計測装置を搭載して、燃料デブリ取り出しに向けて必要な情報収集を実施することを検討

取り出しに必要な情報	調査項目	備考
燃料デブリの位置・性状	気中レーザ光切断計測装置等による3Dマッピングによる調査 ・PCV内のデブリの形状・分布 ・燃料デブリの形態（小石状、粘土状等）	・サンプリング計画の検討 ・デブリ取り出し工法の検討 ・作業時の安全確保の検討に必要なとなる情報
干渉物となる構造物の位置・状態	気中レーザ光切断計測装置等による3Dマッピングによる調査 ・プラットフォームやCRD交換機等の位置、変形有無 ・CRDハウジングサポートの損傷有無等	・サンプリング計画の検討 ・デブリ取り出し工法の検討 ・作業時の安全確保の検討に必要なとなる情報
線量率	ガンマカメラによる線量率分布の調査 ・PCV内デブリの線量率分布 ・アクセスルートの線量率分布	・サンプリング計画の検討 ・デブリ取り出し工法の検討 ・作業時の安全確保の検討に必要なとなる情報 ・PCV内状況把握の基本となる情報

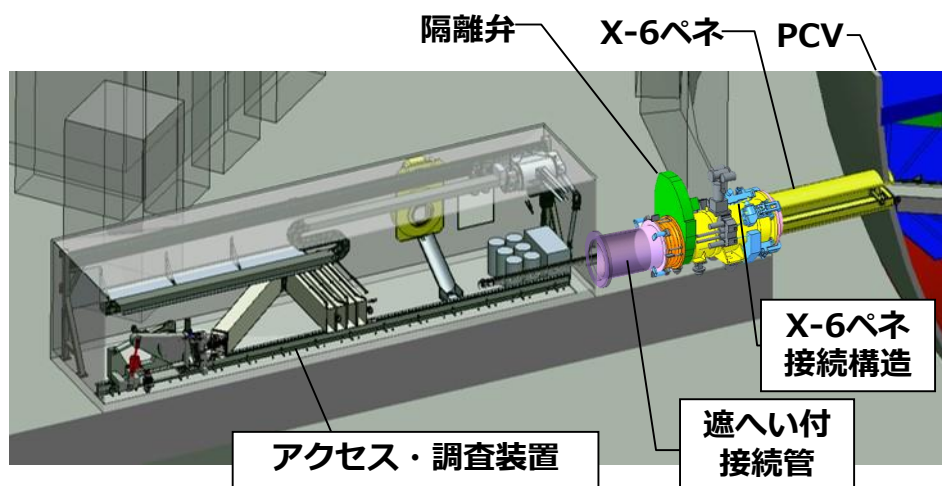
- 上記の調査にあわせ、事故検証に係る情報は、写真、動画、線量測定等の手段により残していく

4. 検討しているX-6ペネからのPCV内部調査

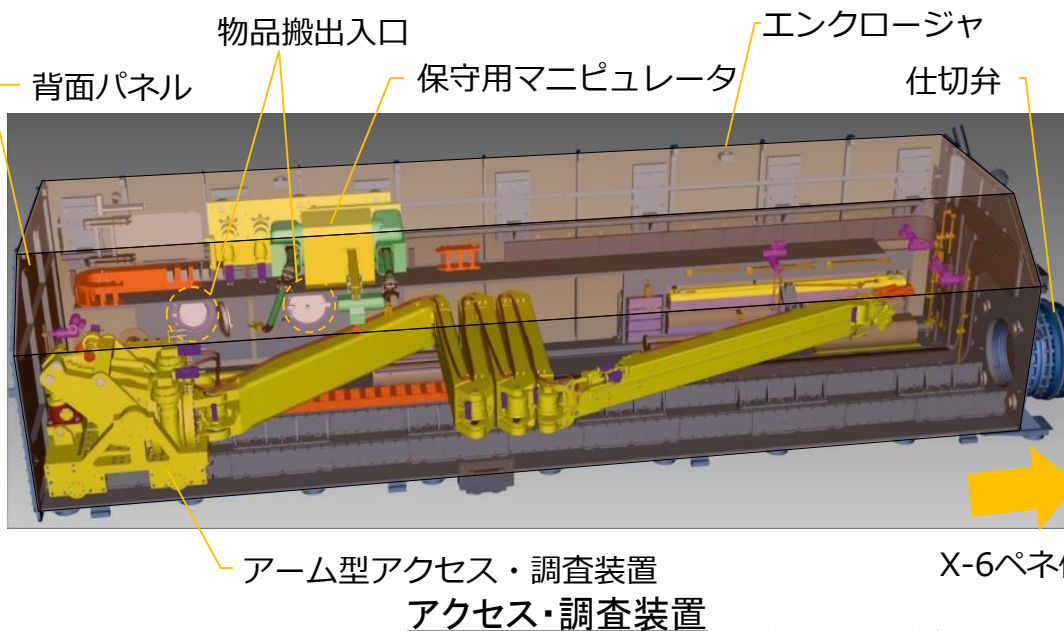
4-3. PCV内部調査時に安全を確保する上での留意事項

安全確保上の技術要件	＜機能要求＞		＜調査時＞
	○PCV・建屋の構造健全性の確保	・ 構築物の構造健全性を維持すること	・ 大物搬入口より機器を搬出入する ・ X-6ペネを開放して使用する → 新たな開口は設けずに調査
	○臨界管理	・ 未臨界を維持・監視できること ・ 臨界を検知できること ・ 臨界時にも適切に対応できること	・ 臨界性に影響を与えないように調査 ・ 未臨界監視はPCVガス管理設備にて継続的に実施
	○冷却機能の維持	・ 冷却状態を維持・監視できること ・ 冷却停止時にも適切に対応できること	・ PCV内温度計 ・ 冷却設備 → 現状の冷却状態に影響を与えない調査であり現行の冷却設備にて冷却を維持
	○閉じ込め機能の構築	・ PCV(エンクロージャ含む)内の状態を監視できること ・ 放射性物質の拡散を監視・抑制できること ・ 異常発生時に速やかにバウンダリを復旧できること	・ PCV内圧力計・温度計・放射線モニタ ・ バウンダリからのリークを低減した設備構成 ・ X-6ペネ周辺のダスト管理 ・ 異常発生時(地震等)にバウンダリが損傷した場合、検知するとともに速やかに復旧できる設計 → 放射性物質の拡散を監視・抑制する作業とし、閉じ込め機能の構築は現行設備によるガス管理及び水処理を継続
	○作業時の被ばく低減	・ 作業環境に応じ、遠隔作業、除染又は高線量機器撤去、遮蔽設置を行うこと ・ 作業中止の判断などを含めた手順を準備すること	・ 過剰被ばくを防止するための遮へい・遠隔作業 ・ 異常を検知した場合の作業中止等の手順を準備

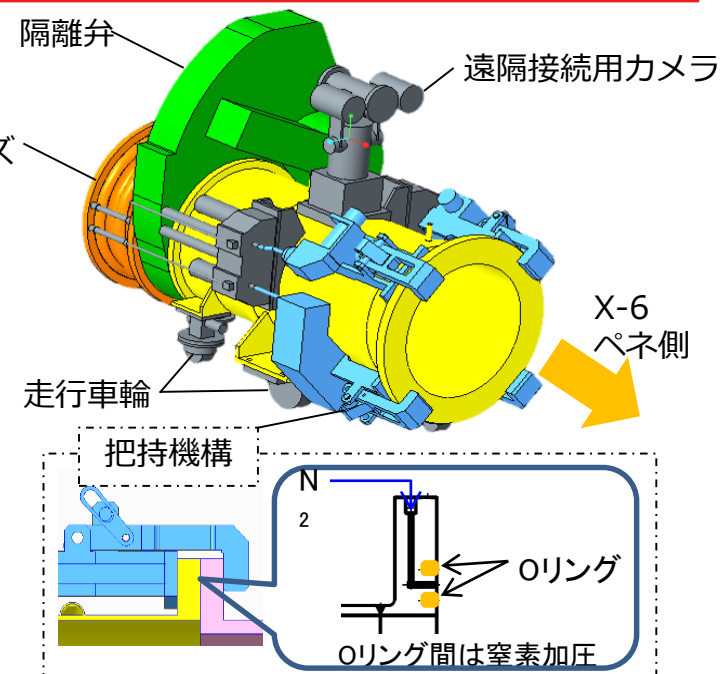
補足1. 検討しているX-6ペネからのアクセス・調査装置の設備構成



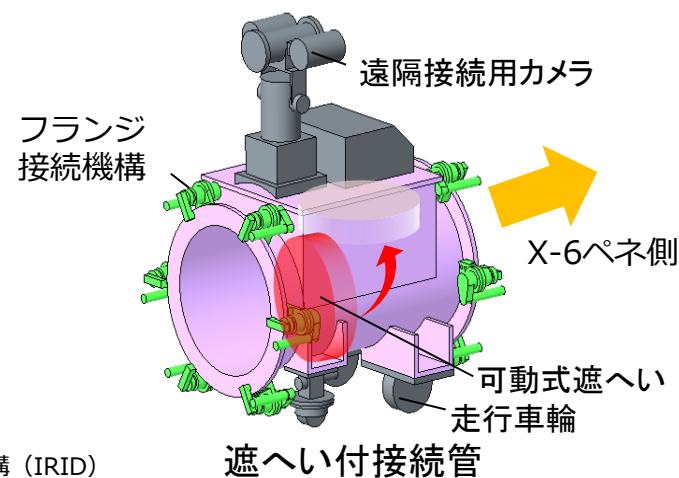
X-6ペネ前におけるアクセス・調査装置 設置案



X-6ペネ側



X6ペネ接続構造



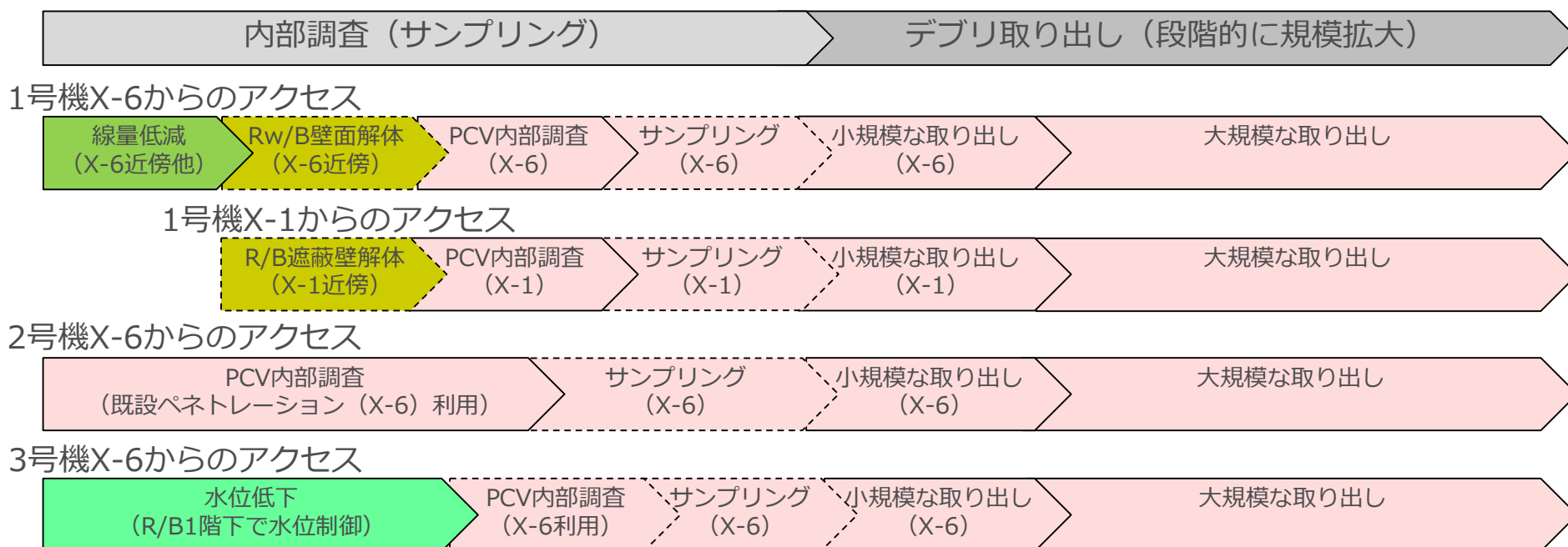
資料提供：国際廃炉研究開発機構（IRID）

5. 燃料デブリ取り出しに向けた検討状況

5-1. 燃料デブリ取り出しまでの作業の流れ

- 燃料デブリ取り出しは、現状得られていない内部状況、デブリ性状、取り出し時の影響等の知見を拡充することが重要。そのため、「PCV内部調査（サンプリング）」→「小規模なデブリ取り出し」→「大規模なデブリ取り出し」と規模を段階的に拡大していく作業の流れを想定
- X-6ペネはペDESTAL内へ直線的にアクセス可能なことから、各号機において横からアクセスする小規模なデブリ取り出しのメインアクセス候補として、想定される作業を検討
- また、X-6ペネからのアクセスにおいて、安全を確保するために解決すべき課題を抽出するとともに、課題をクリアできなかった場合の代替案となるその他のアクセス候補において、想定される作業も同時に検討
- 特に1号機はX-6ペネがあるR/B南側の高線量箇所の環境改善など、現段階ではX-6ペネからのアクセスを実現するための課題が多い※

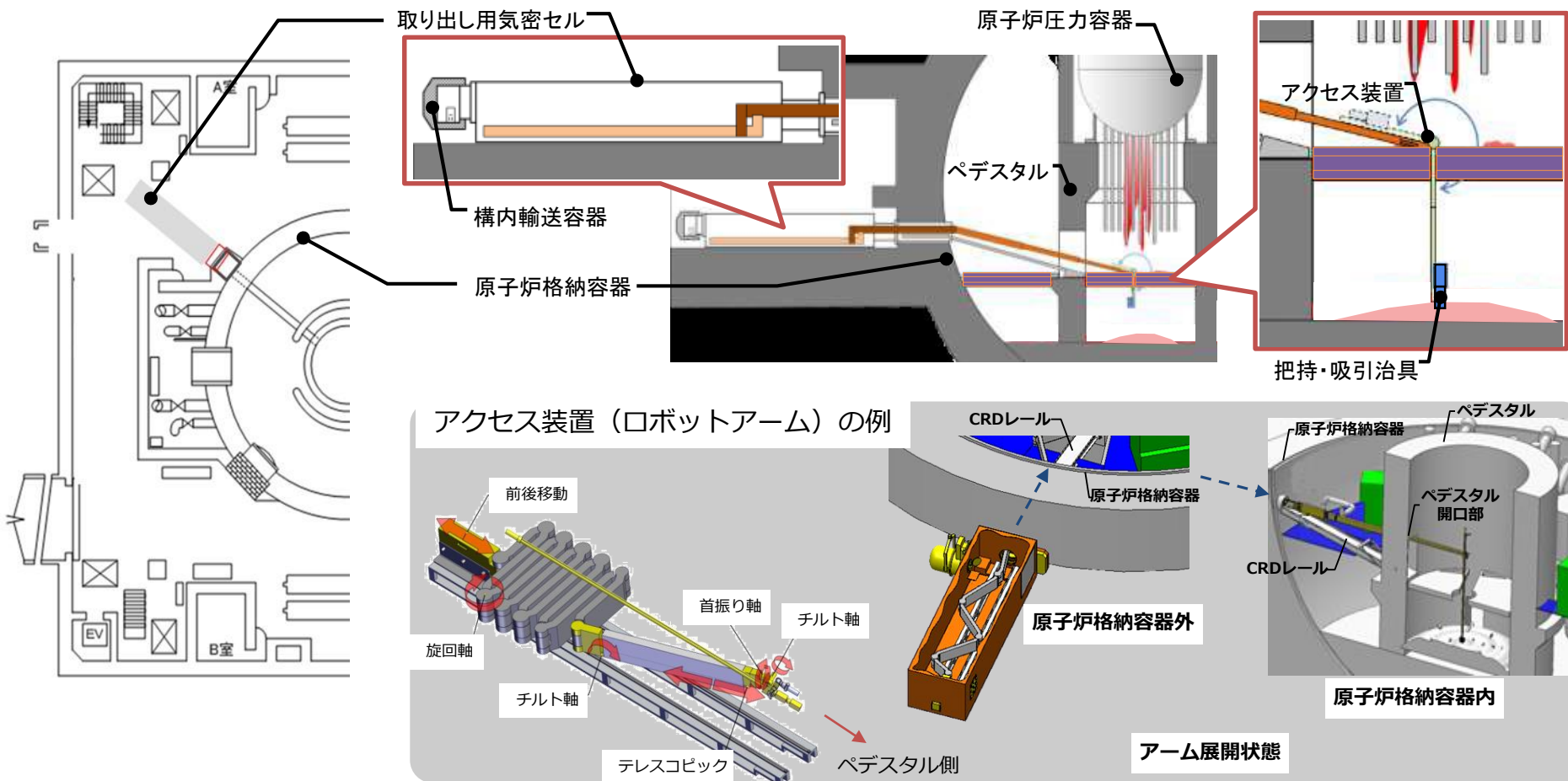
※：1号機ペDESTAL外の底部には堆積物を確認していることから、X-6ペネからのアクセスとは別に、X-2ペネからアクセス・調査装置を用いてペDESTAL外底部を始めとするPCV内部を調査することを検討中



5. 燃料デブリ取り出しに向けた検討状況

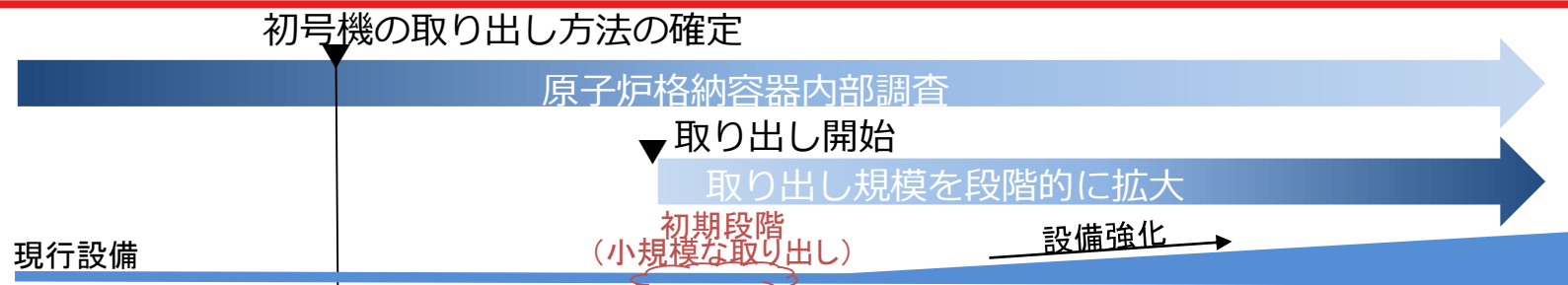
5-2. 小規模な取り出しのイメージ

- PCV・建屋に新規開口を設けない(構造に影響を与えない)規模で、冷却機能・臨界管理・閉じ込め機能に影響を与えないような、燃料デブリの把持など小規模な作業から着手することを想定
- 取り出し設備における課題として、アクセス装置先端におけるペイロード増強、接続構造やエンクロージャのバウンダリ強化、アクセス装置のメンテナンス性を考慮した機器配置、取り出した燃料デブリを搬出・一時保管するための設備との取り合いを考慮した設計等を検討



5. 燃料デブリ取り出しに向けた検討状況

5-3. 小規模な取り出し時に安全を確保する上での留意事項



<機能要求>

<初期段階(小規模な取り出し)>

<大規模な取り出し段階※(例)>

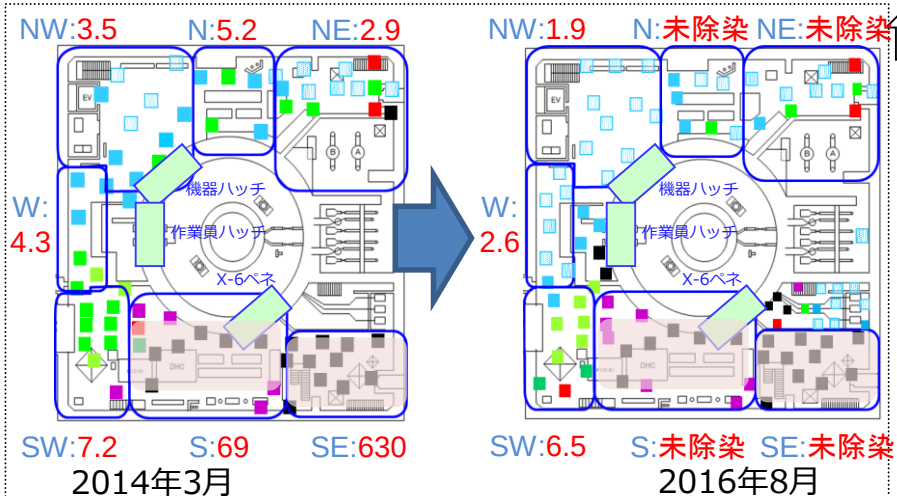
安 燃 全 料 確 保 ブ 上 リ の 取 り 出 し 技 術 出 し 件 作 業 時 の	○PCV・建屋の構造健全性の確保	構築物の構造健全性を維持すること	PCV・建屋に新規開口を設けない方法 →構造健全性評価は不要	新規開口を設ける場合は別途評価を実施し、必要に応じ対策を講じる
	○臨界管理	- 未臨界を維持・監視できること - 臨界を検知できること - 臨界時にも適切に対応できること	- 臨界検知設備 - 吸収材投入設備 →燃料デブリの把持・吸引等、臨界性に影響を与えない方法であり現行設備による臨界管理を継続	- 臨界近接監視設備 - 臨界検知設備 - 吸収材投入設備
	○冷却機能の維持	- 冷却状態を維持・監視できること - 冷却停止時にも適切に対応できること	- PCV内温度計 - 冷却設備 →現状の冷却状態に影響を与えない方法であり現行の冷却設備にて冷却を維持	- PCV内温度計 - 冷却設備
	○閉じ込め機能の構築	- PCV（セル含む）内の状態を監視できること - 放射性物質の拡散を監視・抑制できること	- PCV内圧力計・温度計・放射線モニタ - 気密セル（取り出し装置等） →放射性物質の拡散の少ない作業とし、現行設備によるガス管理及び水処理を継続	- PCV内圧力計・温度計・放射線モニタ - PCV内部を負圧管理する空調設備 - 漏えいを抑制する水位制御設備 - 気密セル - PCV補修 - 燃料デブリの流入を考慮したフィルタ（気体系統/水系統）
	○作業時の被ばく低減	- 作業環境に応じ、遠隔作業、除染又は高線量機器撤去、遮蔽設置を行うこと - 作業中止の判断などを含めた手順を準備すること	- 過剰被ばくを防止するための除染・遮へい・遠隔作業 - 異常を検知した場合の作業中止等の手順を準備	- 過剰被ばくを防止するための除染・遮へい・遠隔作業 - 異常を検知した場合の作業中止等の手順を準備

補足2. 原子炉建屋1階の空間線量

■: <3mSv/h ■: <5mSv/h ■: <7mSv/h ■: <10mSv/h ■: >10mSv/h ■: >20mSv/h ■: >50mSv/h

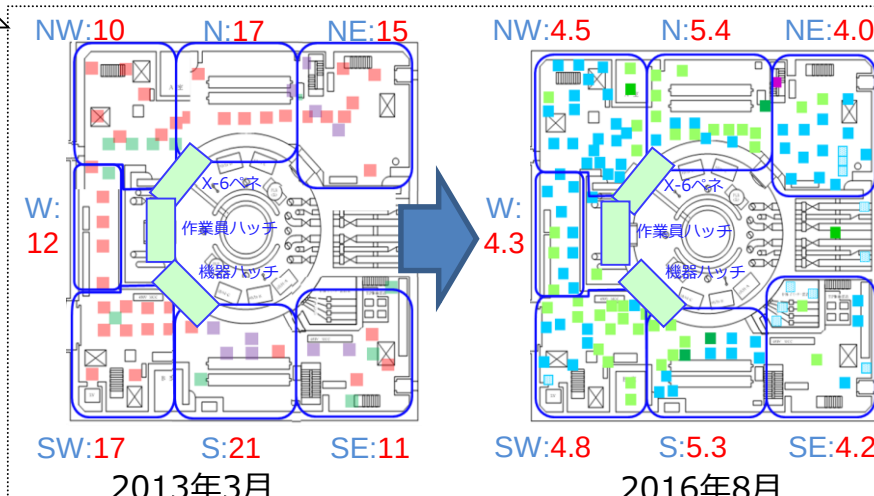
単位: mSv/h

1号機

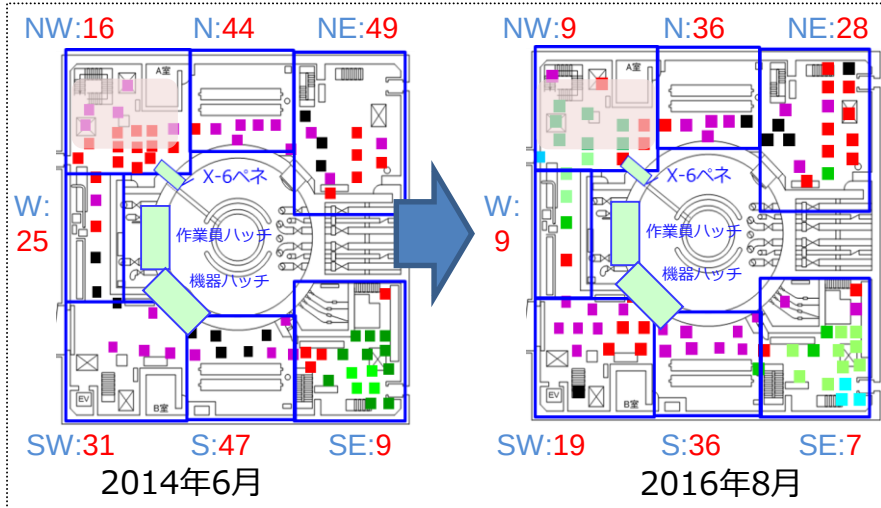


2号機

数値は、各エリアの平均値



3号機

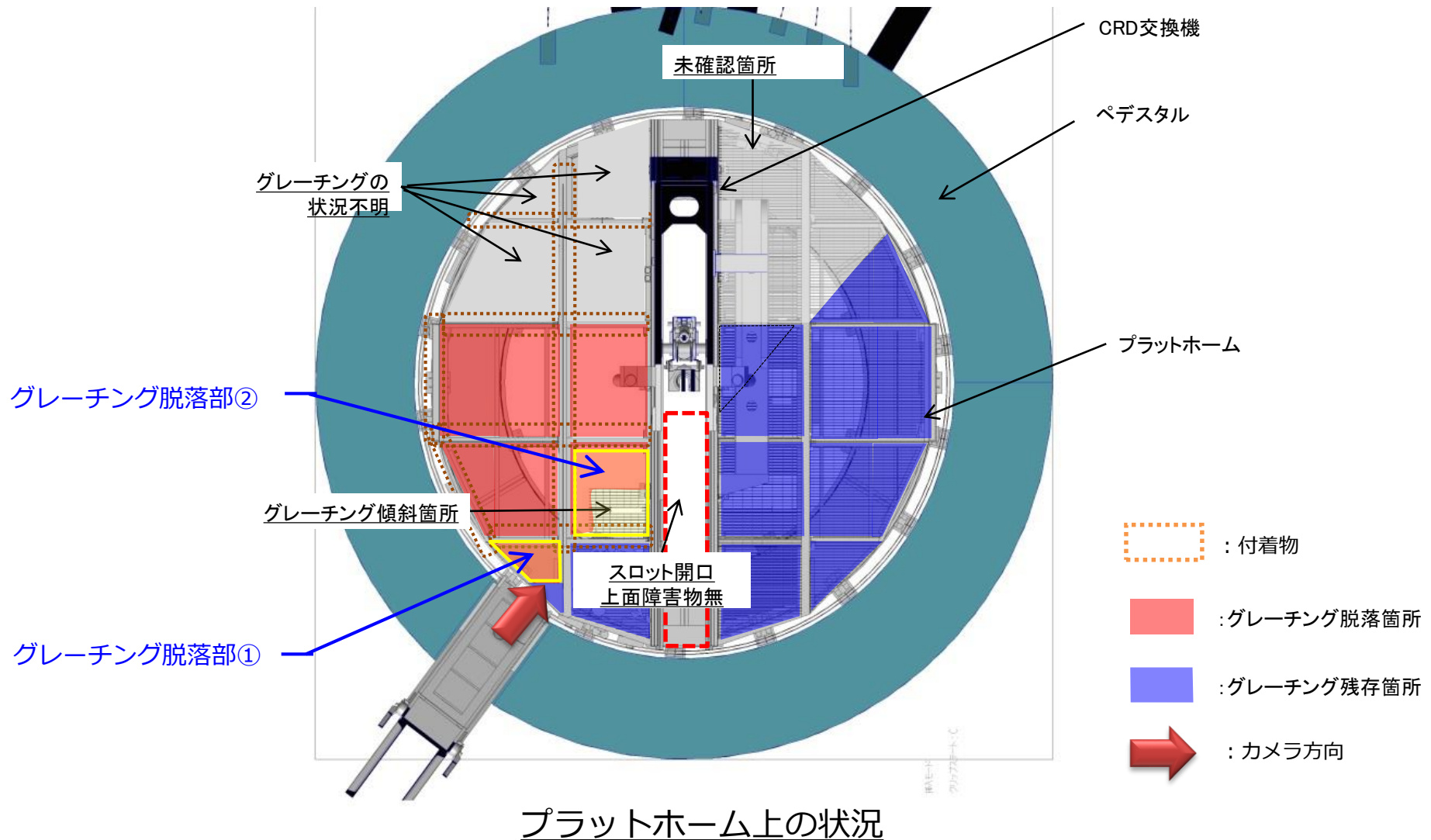


単位: mSv/h

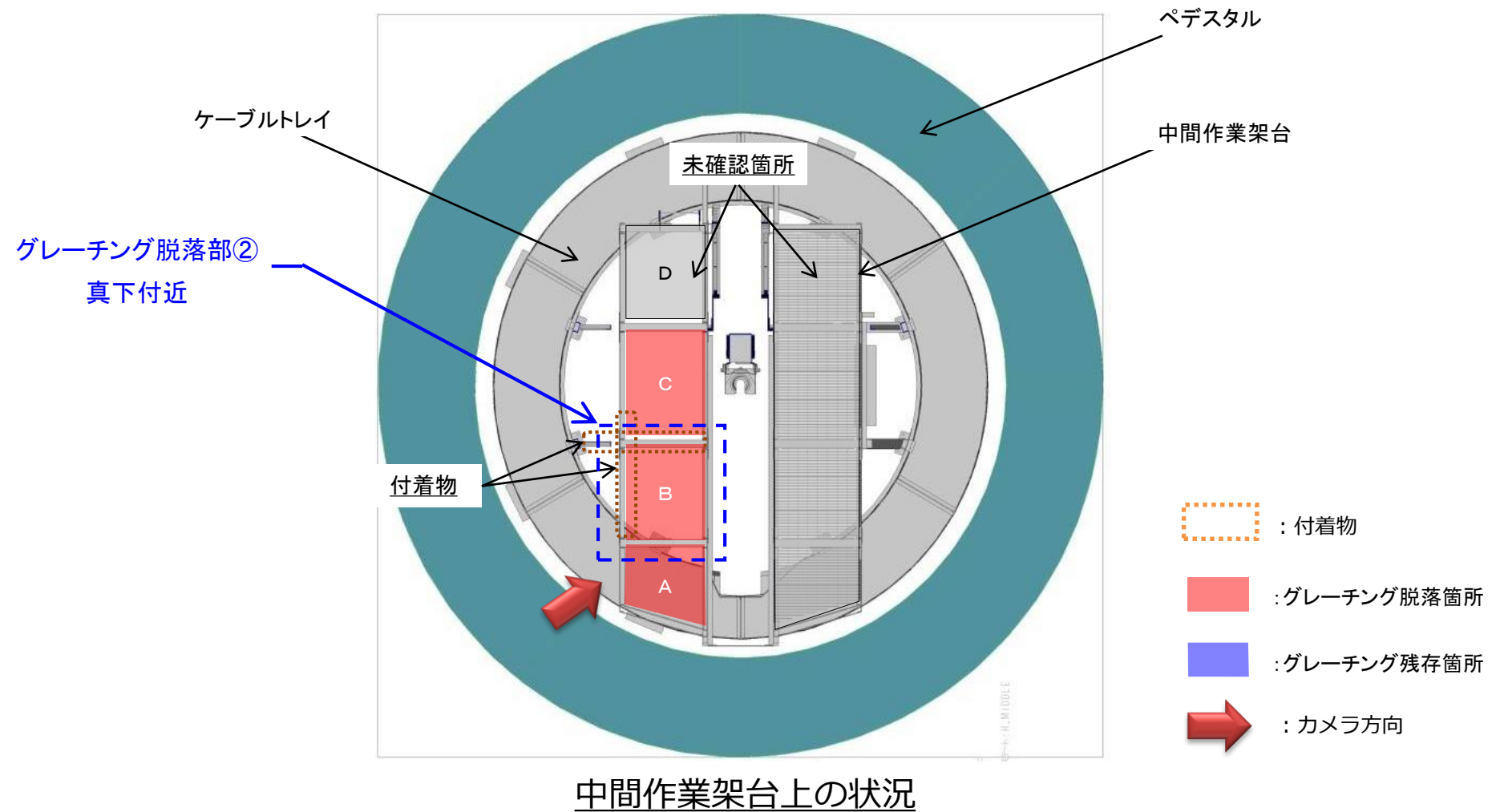
	機器ハッチ前	作業員ハッチ前	X-6ペネ前
1号機	2	6	630
2号機	5	30	5 (遮へい有)
3号機	19	80	9 (遮へい有※)

※: X-6ペネ前のコンクリートブロック未撤去

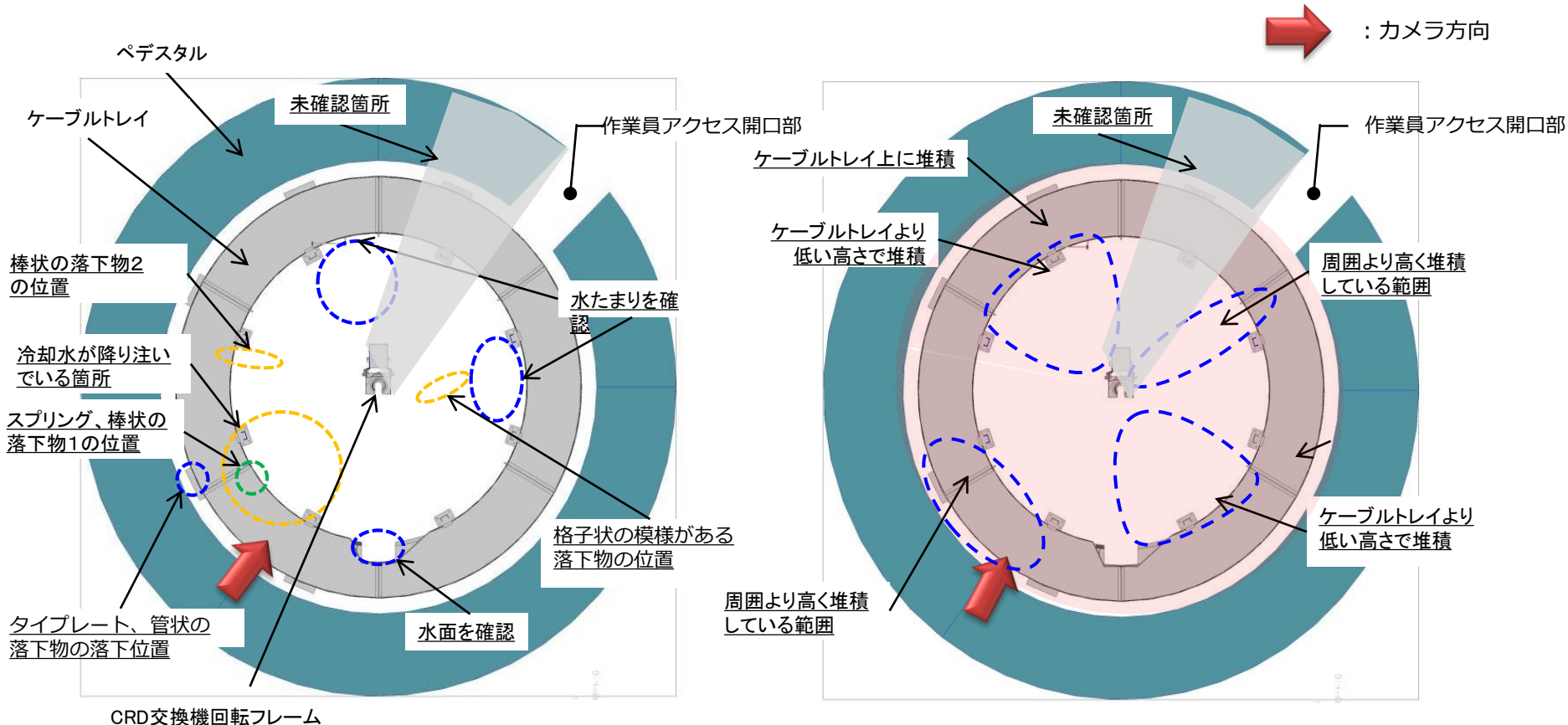
■ プラットホーム上



■ 中間作業架台周辺



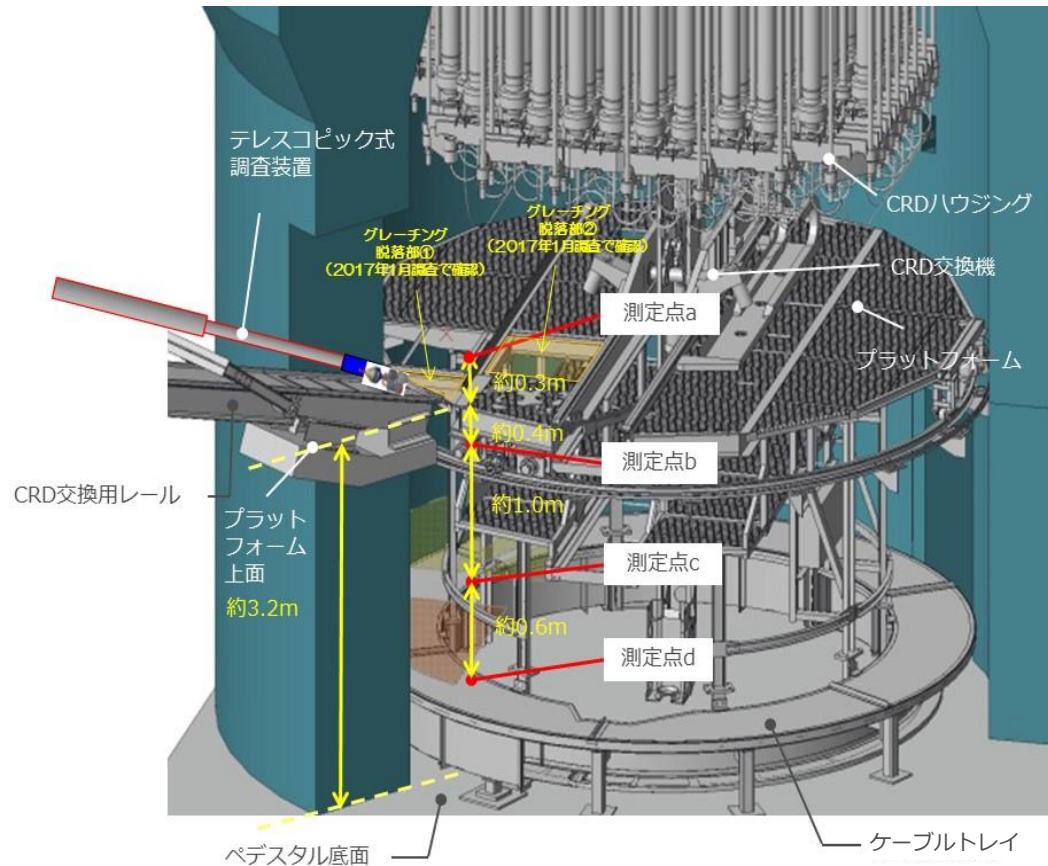
■ ペDESTAL底部



ペDESTAL底部の水たまり、落下物の確認状況

ペDESTAL底部の堆積物の確認状況

参考2. ペDESTAL内線量率測定結果・温度測定結果（2018年1月）



測定点	線量率※1、2 [Gy/h]	温度※2 [℃]
a	7	21.0
b	8	21.0
c	8	21.0
d	8	21.0

※1：Cs-137線源で校正

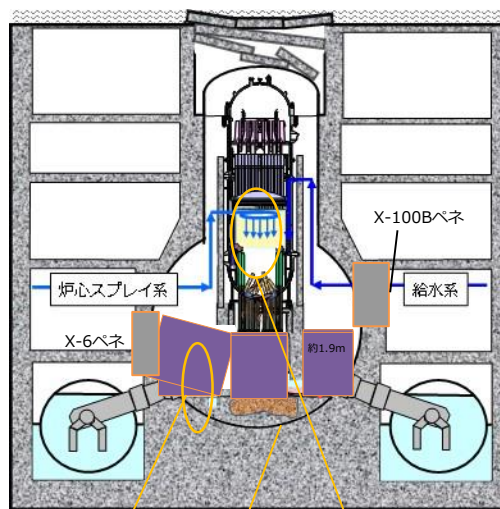
※2：誤差：線量計±7%

温度計±0.5℃

参考3. 各号機の状況

- 1号機では溶融した燃料がほぼ全量がペDESTALへ落下しており、炉心部にはほとんど燃料が存在していないと推定される。
- 2及び3号機では、溶融した燃料のうち、一部は原子炉圧力容器（RPV）下部プレナムまたはペDESTALへ落下し、一部は炉心部に残存していると考えられる。

【1号機】

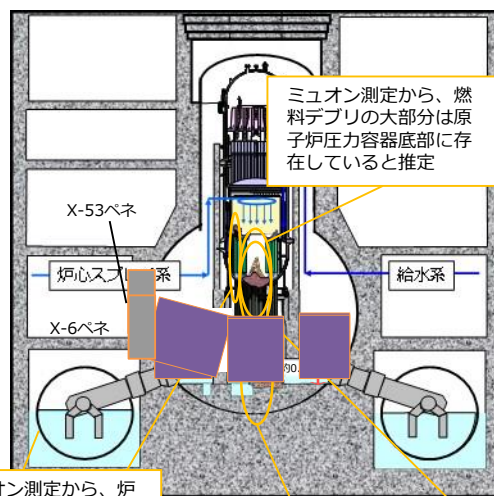


原子炉格納容器内部調査の結果D/W床上に堆積物を確認

ミュオン測定、解析結果及び水位が形成されないことから、大部分の燃料が溶融したと推定

サンドクッションドレン、s/c真空破壊ラインペローズからの漏えいが確認

【2号機】



ミュオン測定から、炉心外周部に燃料が存在している可能性があるとして推定

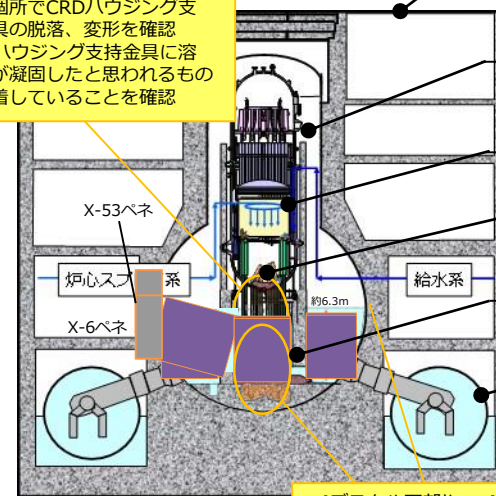
S/Cシェルまたは接続系統の水没箇所が漏えい箇所と想定

ペDESTAL下部に溶融物が凝固したと思われるもの、燃料集合体の一部を確認

複数個所でCRDハウジング支持金具の脱落、変形を確認
CRDハウジング支持金具に溶融物が凝固したと思われるものが付着していることを確認

CRDハウジングに大きな損傷は確認されていない

【3号機】



ペDESTAL下部や、ペDESTAL内構造物上に溶融物が凝固したと思われるものを確認

R/B1FL・MSIVペローズからの漏えいを確認

原子炉建屋
原子炉格納容器（PCV）
ドライウェル
原子炉圧力容器
下部プレナム
ペDESTAL
サブプレッションチャンバー

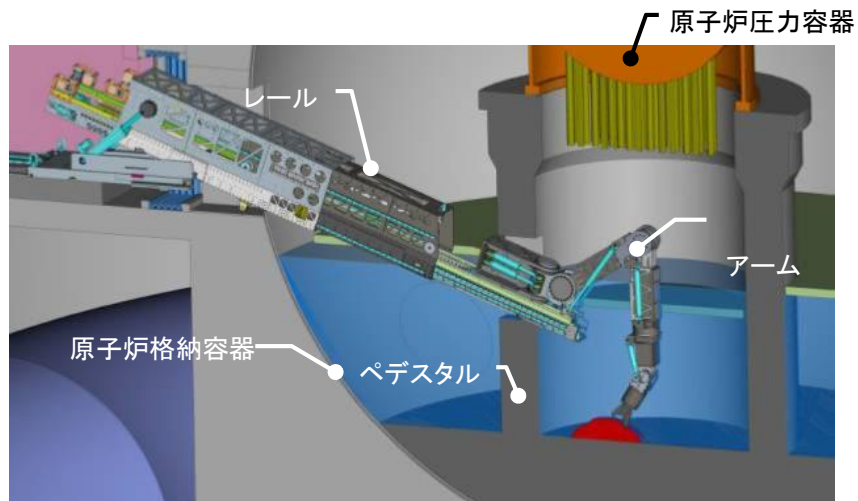
事象進展解析及び水位測定結果による推定

参考4．大規模取り出しのイメージ（取り出し工法（例））（1／2）

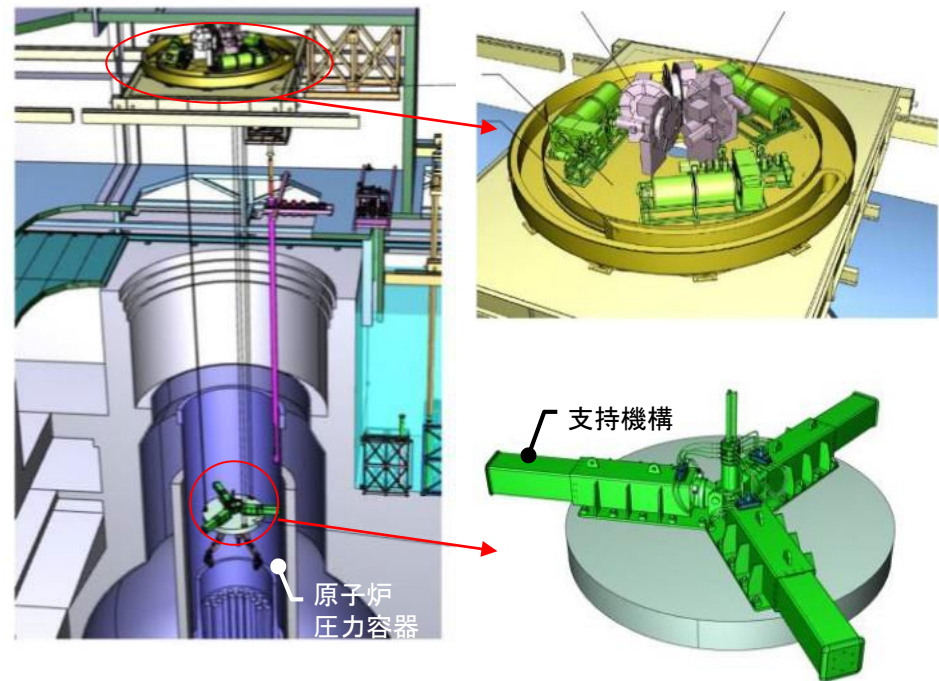
概要

- ・塊状デブリの掘削等大規模な取り出し
- ・臨界管理・閉じ込め機能（気体系統/水系統）等を強化

横アクセス工法（例）

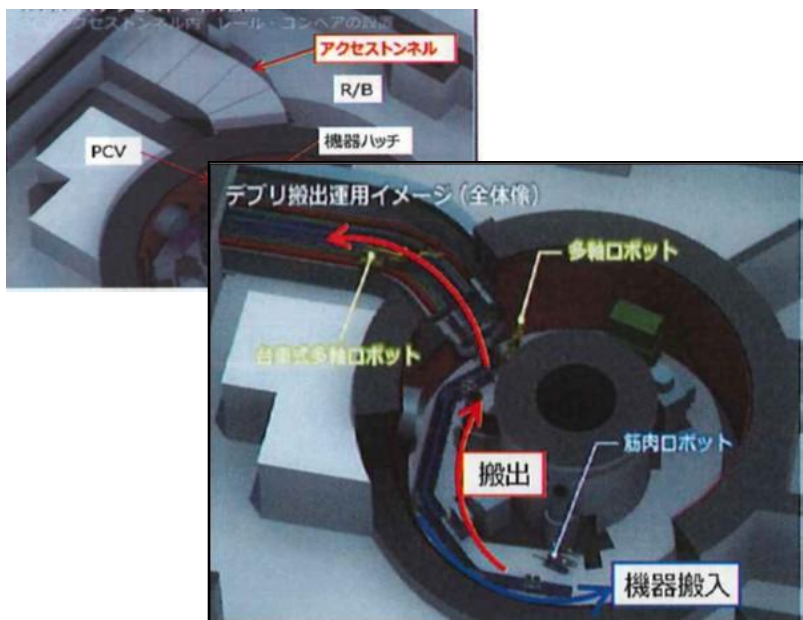


上アクセス工法（例）



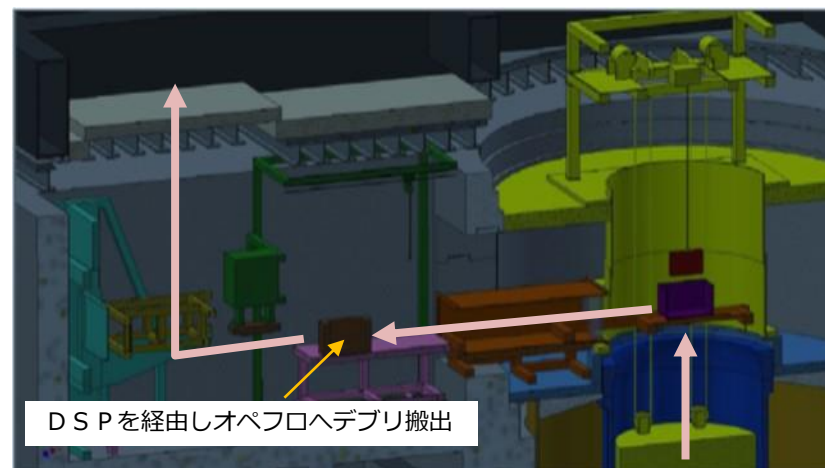
資料提供：国際廃炉研究開発機構(IRID)

横アクセス工法（例）



作業用ロボ

上アクセス工法（例）



アクセス装置

板バネシール



ロボットアーム

資料提供：国際廃炉研究開発機構(IRID)

資料 1－3 デブリ取り出し関わる対応状況について

資料 1－3－2

福島第一原子力発電所

3号機原子炉格納容器内部調査 映像からの3次元復元結果

2018年6月6日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

- ・ 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議(第53回)公表資料
- ・ 2017年7月に実施したPCV内部調査の映像を用い、Structure from Motion (SfM) による3次元データをもとにペデスタル全体の状況を復元を実施

＜3次元復元により確認されたペデスタル内の状況＞

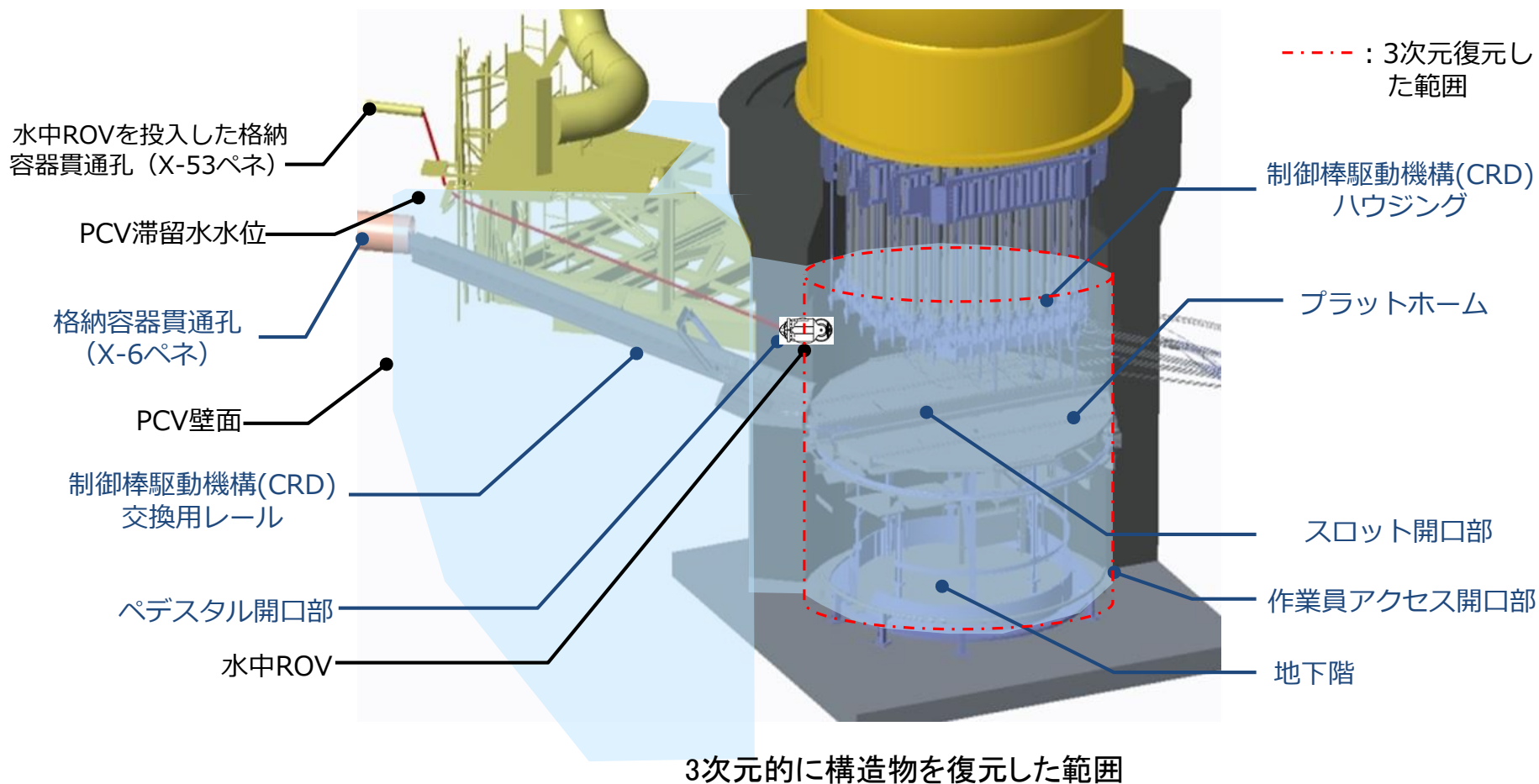
- ペデスタル内を3次元復元することで、CRDレールからペデスタル内部に入った先において、CRDハウジング支持金具の脱落やプラットフォームがレールから外れている等の構造物の相対的な位置について、視覚的に把握することができた
- 堆積物高さは中心部が最も高いが、プラットフォームが脱落していること、映像からCRD交換機が確認されていないことを考慮すると、CRD交換機の上に燃料デブリが含まれる可能性のある溶融物が落下したことにより高くなっている可能性がある

＜今後の対応＞

- 今回の復元により、ペデスタル内に落下している構造物を俯瞰的に把握することができた。この成果を含め、これまでに得られた情報等を基に、更なる調査計画、燃料デブリ取り出し装置の設計や取り出し手順等、引き続き燃料デブリ取り出しの検討を進めていく

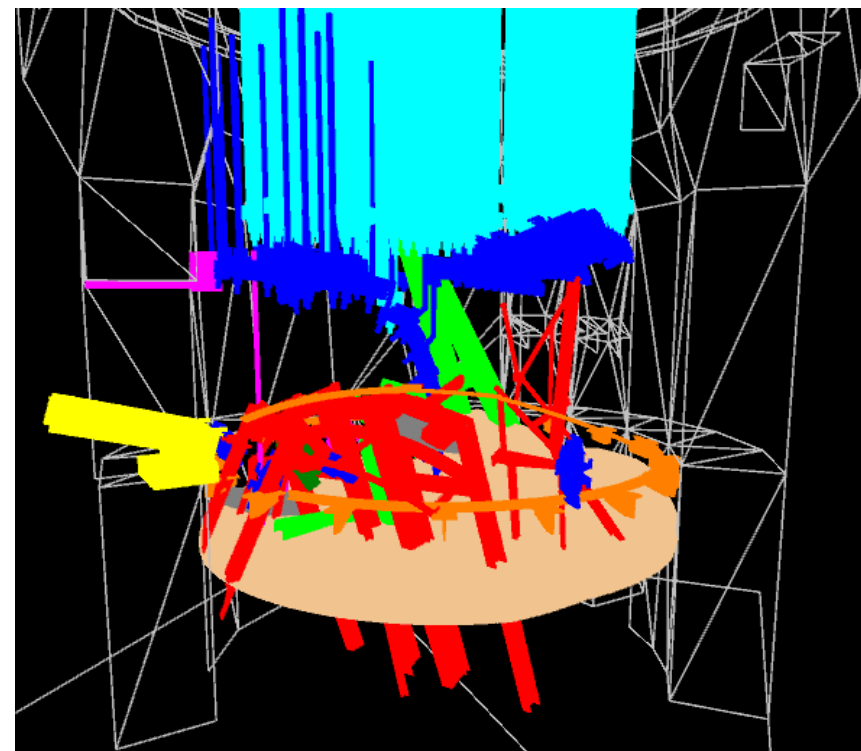
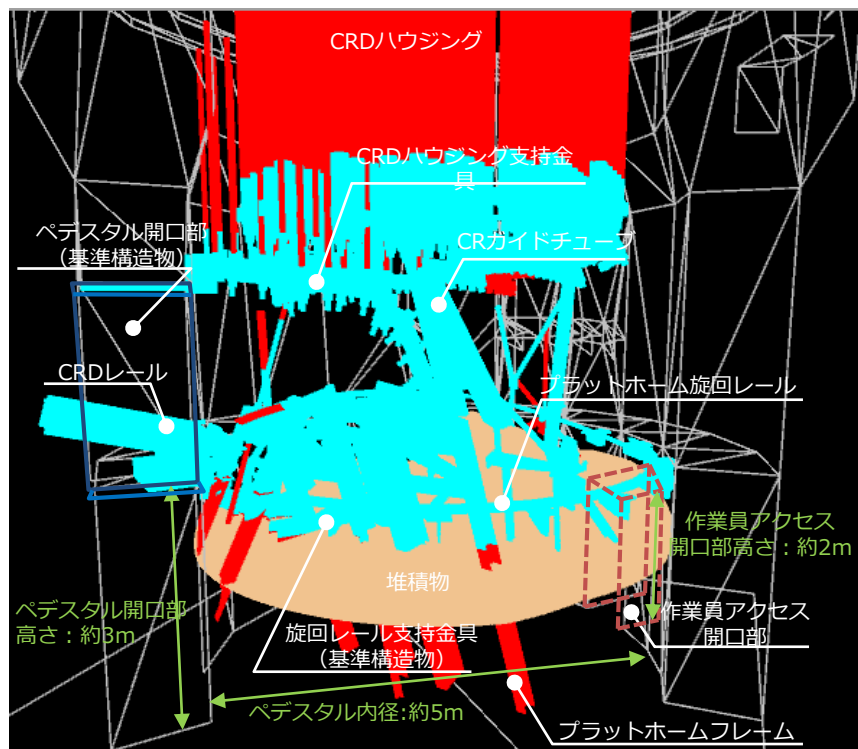
1. 映像からの3次元復元範囲

- 2017年7月に実施したPCV内部調査の映像を用い、Structure from Motion (SfM) による3次元データをもとにペDESTAL全体の状況を復元
- 内部調査で動画が得られなかった範囲については、構造物の設計情報から、推定による3次元復元を実施
- 映像に映っている時間が短時間、不明瞭、部分的にしか映っていない等により把握できない物体や、位置の推定ができない物体については復元していない



2. 映像を確認した構造物の範囲

- 映像を確認して復元した構造物と、映像では確認できないため設計情報に基づき推定して復元した構造物がある
- ペDESTAL開口部および一部の旋回レール支持金具には大きな損傷が見られなかったため、これらの構造物は事故前と同じ位置にあったと考え、3次元復元時における位置の基準とした
- なお、ペDESTAL内の状況を全体的に把握するために復元しており、構造物の配置はおおよそその位置である



：映像を確認した構造物

：映像を確認できなかった構造物
(設計情報から推定)

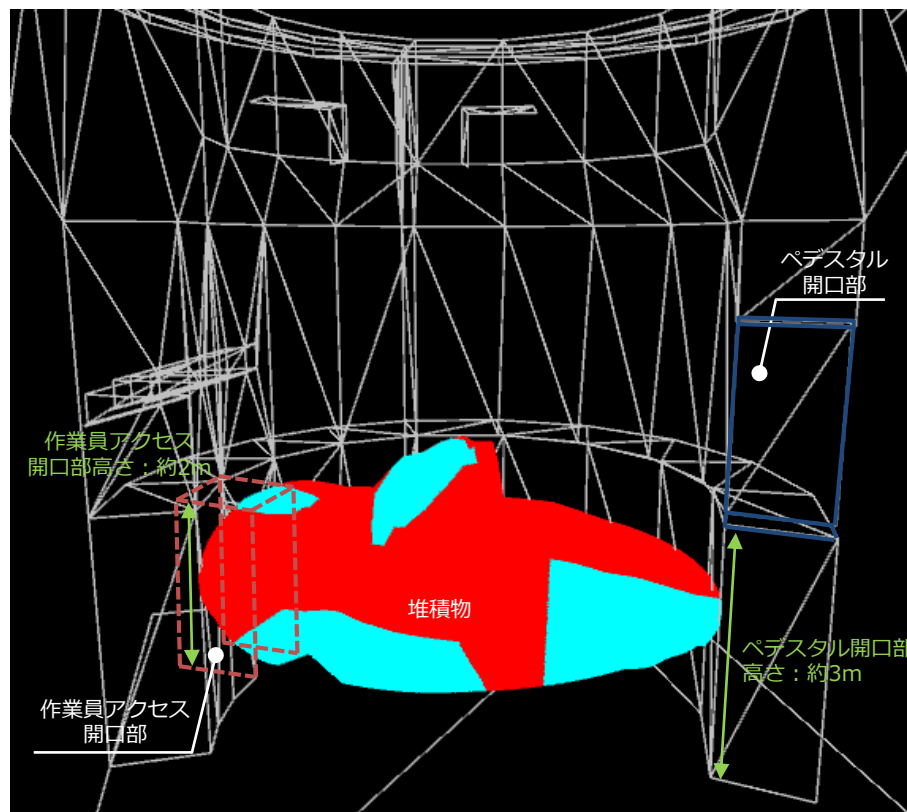
：プラットフォーム、架台等の構造物
：プラットフォーム旋回モータ
：CRDハウジング支持金具
：CRDハウジング

：CRガイドチューブ
：CRD交換レール
：プラットフォーム旋回レール、支持金具
：端子箱、電線管、パイプ
：グレーチング

映像作成: 東芝エネルギーシステムズ(株)

3. 映像を確認した堆積物の範囲

- 映像を確認した堆積物については、周辺構造物の位置（ペDESTアル開口部および一部の旋回レール支持金具）から堆積高さを推定し、およその堆積高さを復元した
- 堆積物の大部分は映像を確認できなかったため、映像を確認した堆積物の推定高さから補間することで復元した
- なお、本ページでは構造物については見やすさのため非表示



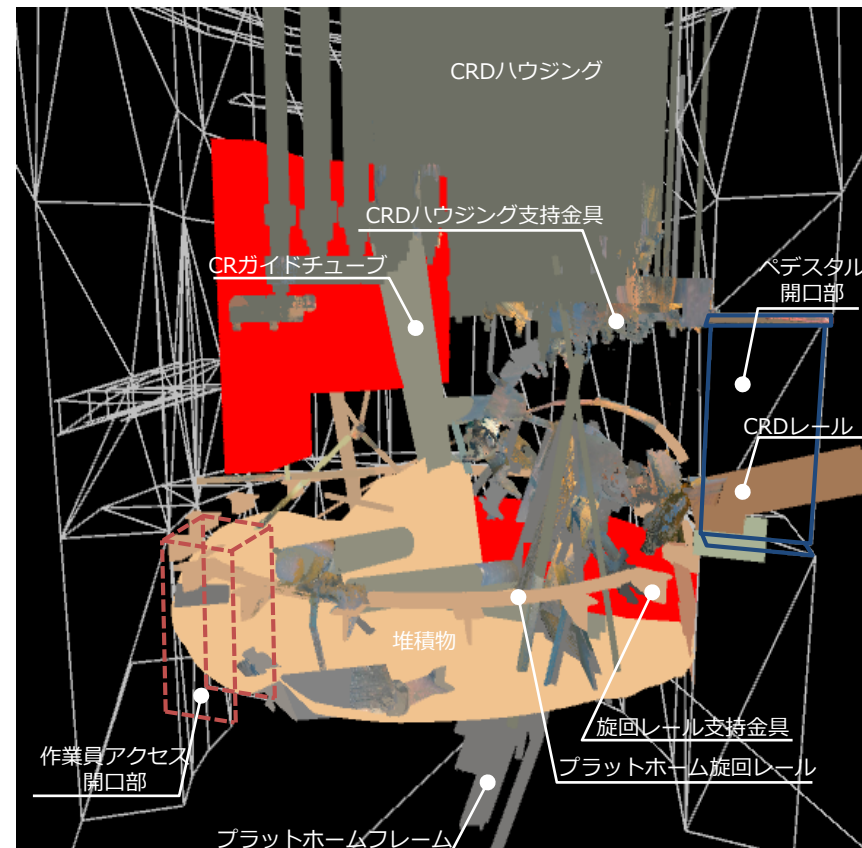
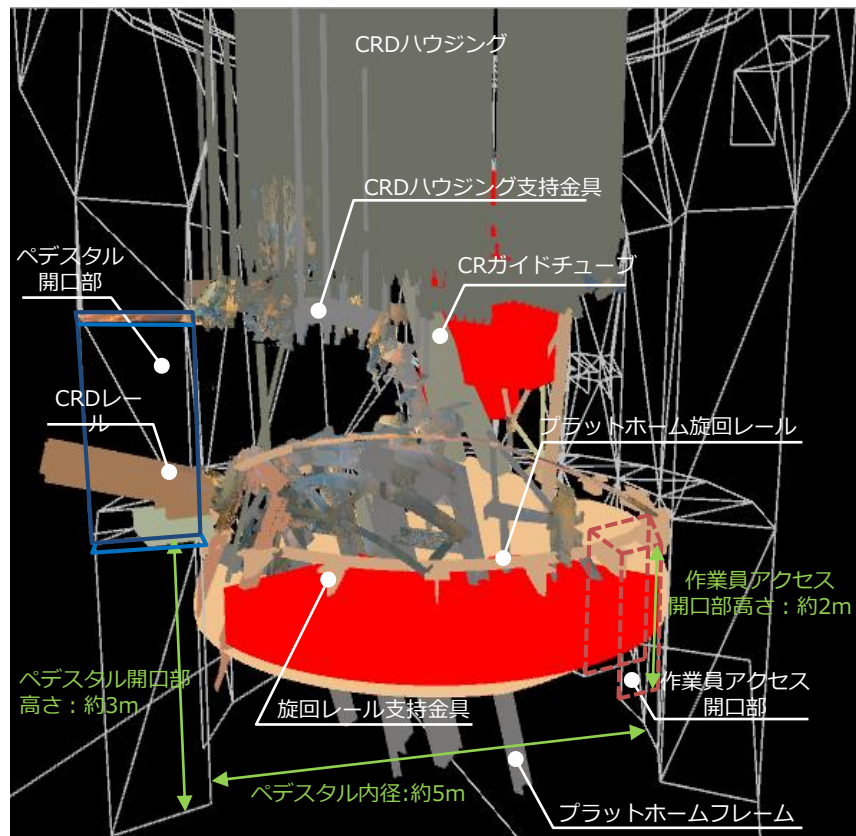
■ : 映像を確認した範囲

■ : 映像を確認できなかった範囲
(映像を確認した範囲から補間して作成)

映像作成: 東芝エネルギーシステムズ(株)

4. 映像が取得できていない空間の推定

- 2017年7月の調査にて、堆積物の舞い上がり等により映像の取得ができていない空間を推定した
- 映像の取得ができていない空間については構造物等が存在している可能性がある

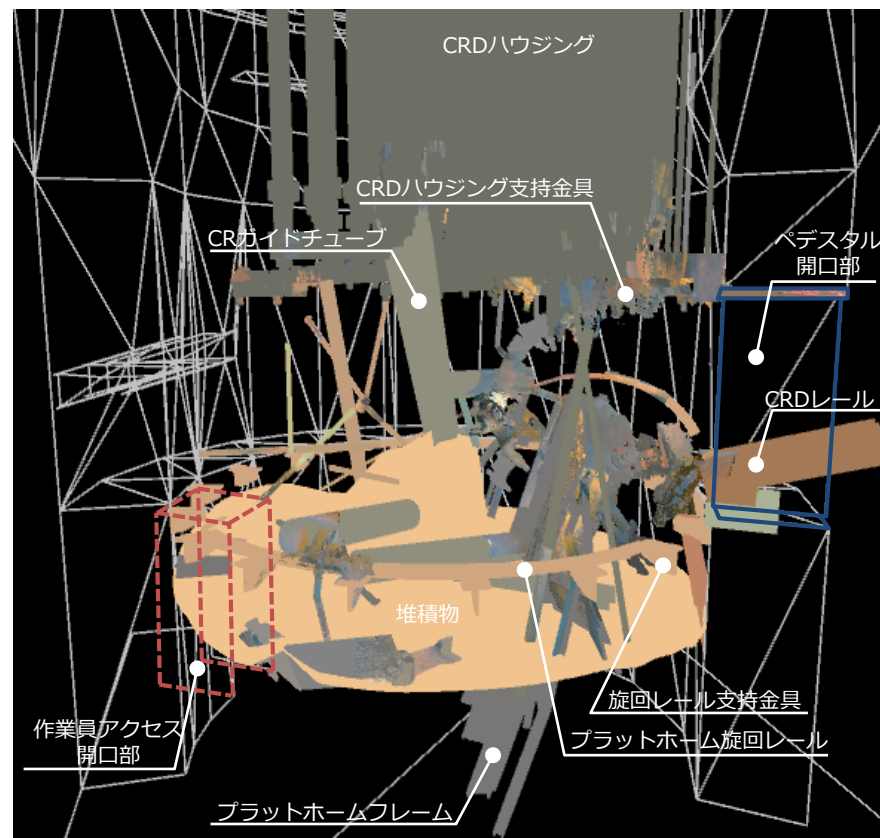
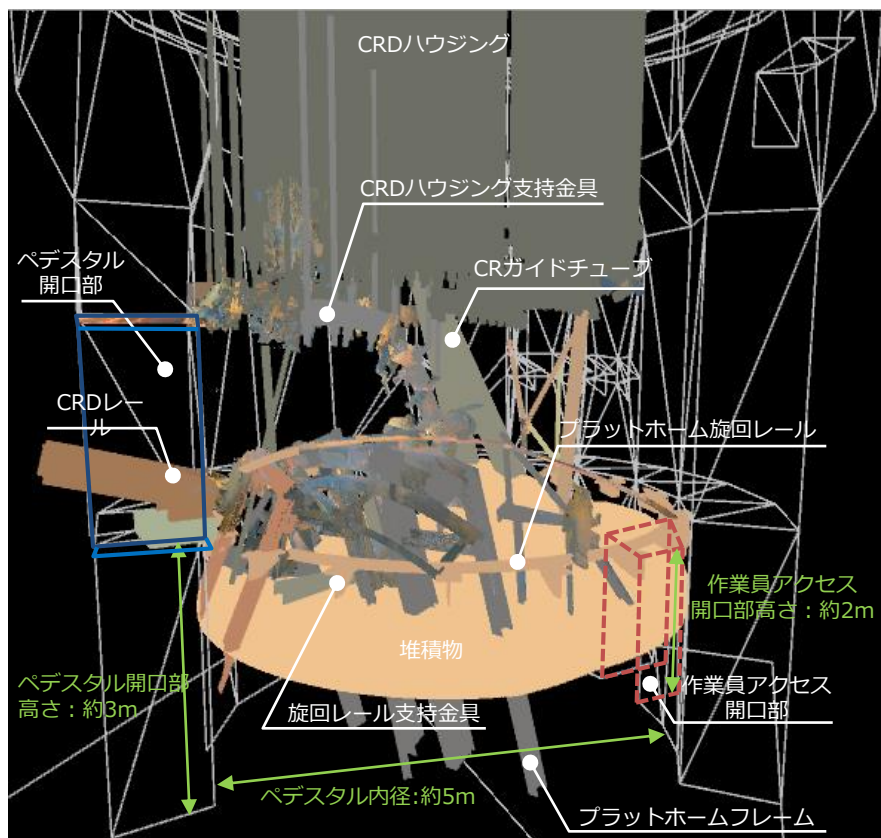


: 映像の取得ができていないと推定される空間

映像作成: 東芝エネルギーシステムズ(株)

5. 3次元復元結果

- プラットホームはレール上から外れ、一部が堆積物に埋まっていると推定
- 堆積物は中心部付近が高くなっており、中心から離れるほど低くなっている
- 堆積物が高くなっている原因としては、堆積物の下にCRD交換機等の構造物が存在する可能性が考えられる



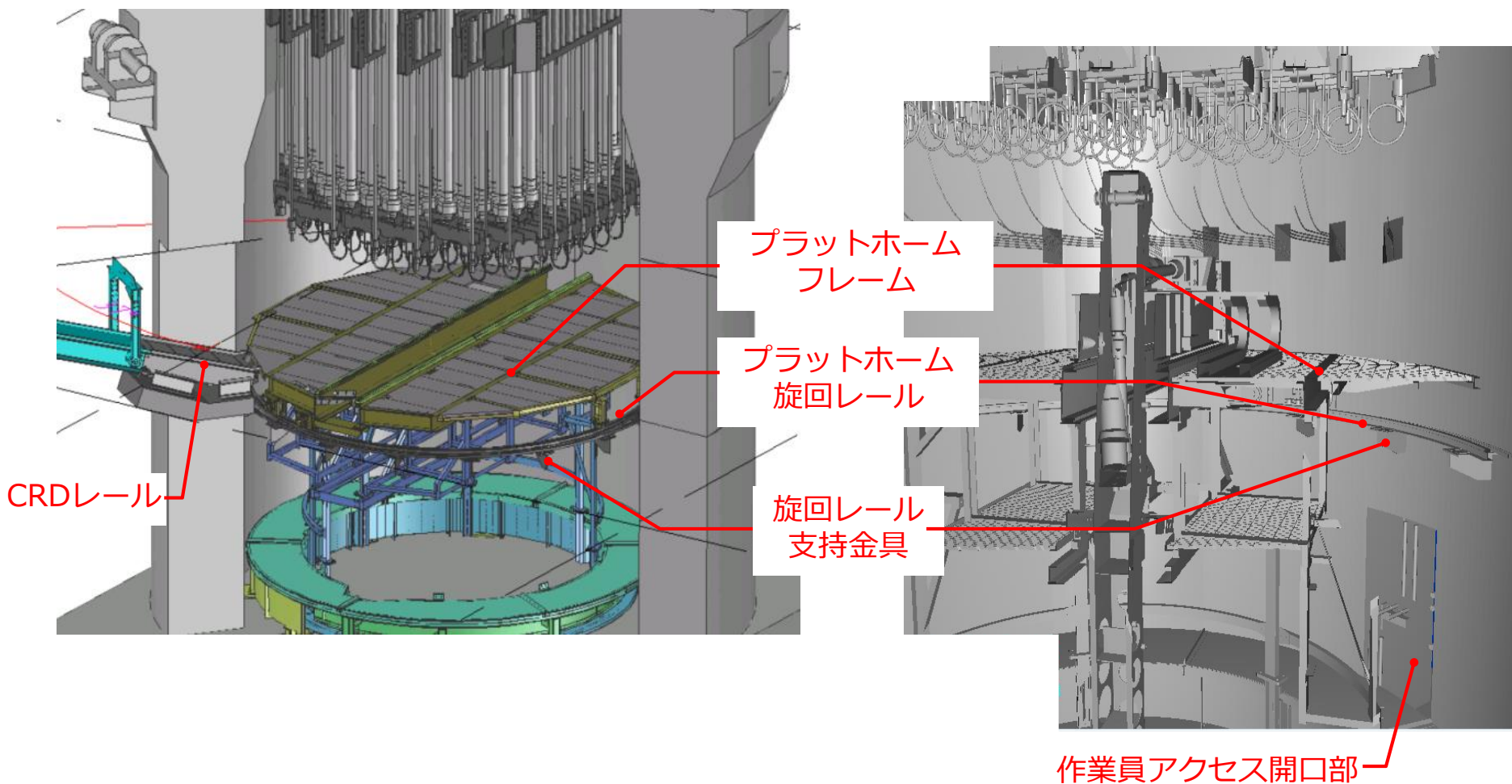
映像作成: 東芝エネルギーシステムズ(株)

＜3次元復元により確認されたペデスタル内の状況＞

- ペデスタル内を3次元復元することで、CRDレールからペデスタル内部に入った先において、CRDハウジング支持金具の脱落やプラットホームがレールから外れている等の構造物の相対的な位置について、視覚的に把握することができた
- 堆積物高さは中心部が最も高いが、プラットホームが脱落していること、映像からCRD交換機が確認されていないことを考慮すると、CRD交換機の上に燃料デブリが含まれる可能性のある溶融物が落下したことにより高くなっている可能性がある

＜今後の対応＞

- 今回の復元により、ペデスタル内に落下している構造物を俯瞰的に把握することができた。この成果を含め、これまでに得られた情報等を基に、更なる調査計画、燃料デブリ取り出し装置の設計や取り出し手順等、引き続き燃料デブリ取り出しの検討を進めていく



- Structure from Motion (SfM) は、1台のカメラで移動しながら撮影された連続画像から、3次元形状を復元する技術
- 視点の異なる画像を比較、それぞれの画像の対応点を抽出し、3次元形状を復元

