

1号機 PCV内部調査（気中部調査）について

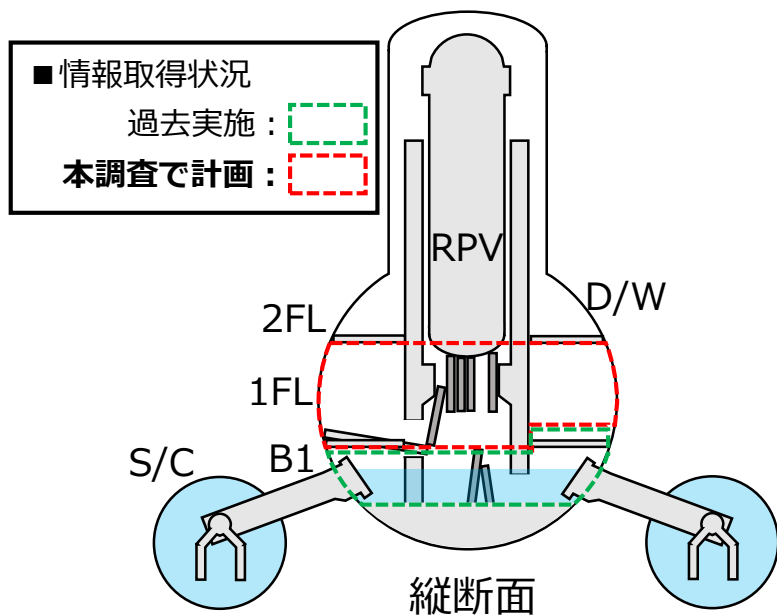
2024年3月28日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

- 1号機原子炉格納容器(以下、PCV)内部調査については、燃料デブリの状態を確認するために、**主に地下階の調査を実施済**
- 燃料デブリ取り出しに向けて、地下階の情報だけでなく、PCV全体の状況も把握する必要があるため、**1FLエリアの調査を主とした、“1号機PCV内部気中部調査”を計画**
- 本調査は、**小型ドローン(合計4機)および無線を中継するヘビ型ロボットを用いて、ペDESTAL外1FLエリアおよび、ペDESTAL内の映像取得を計画**



1号機PCV内部調査範囲 概略図

小型ドローン



用途：カメラによる映像撮影
 寸法：191×179×54[mm]
 重量：185[g](バッテリー込)
 飛行時間：約8分(調査は5分×4機で計画)
 搭載機器：照明(90lm(45lm×2))、
 超高感度カメラ(正面のみ)

無線中継用ヘビ型ロボット

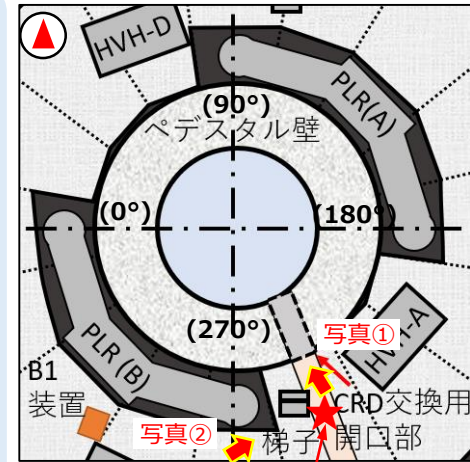


用途：無線中継器の運搬+線量測定
 寸法：2,900×180×165[mm]
 重量：約25[kg]
 搭載機器：ドローン用無線中継器、
 CMOSカメラ×2
 線量計

1号機PCV内部気中部調査 調査装置

2-1. 3月14日 調査結果 (ペDESTアル外 開口部付近)

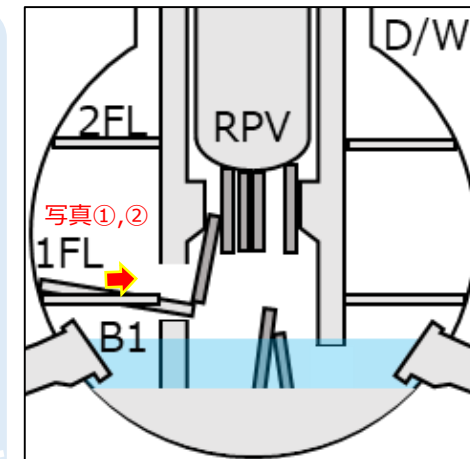
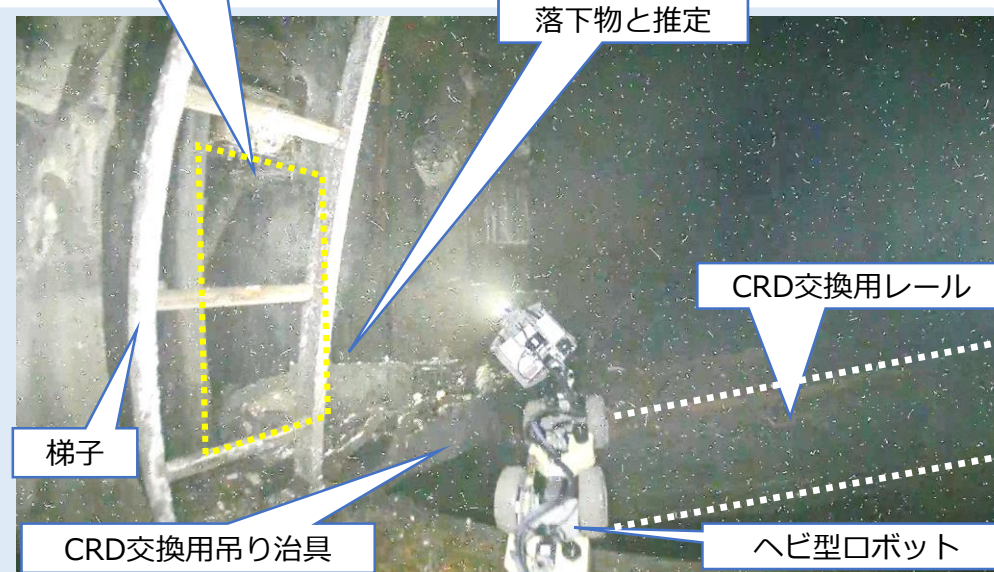
■ 写真①：ペDESTアル外から見たCRD交換用開口の様子。開口部前には落下物があるものの、ペDESTアル壁に大きな損傷はない。既設構造物は経年劣化と考えられる変色があるが、概ね形を保っている



へビ型ロボット待機位置

1号機PCV内1FL 拡大図(概略)

■ 写真②：CRD交換用開口部前のへビ型ロボットを俯瞰した写真。2月28日の調査でCRD交換用レール周辺に、目立った障害物が確認されなかったため、計画通りへビ型ロボットにてCRD交換用レールから無線中継を実施



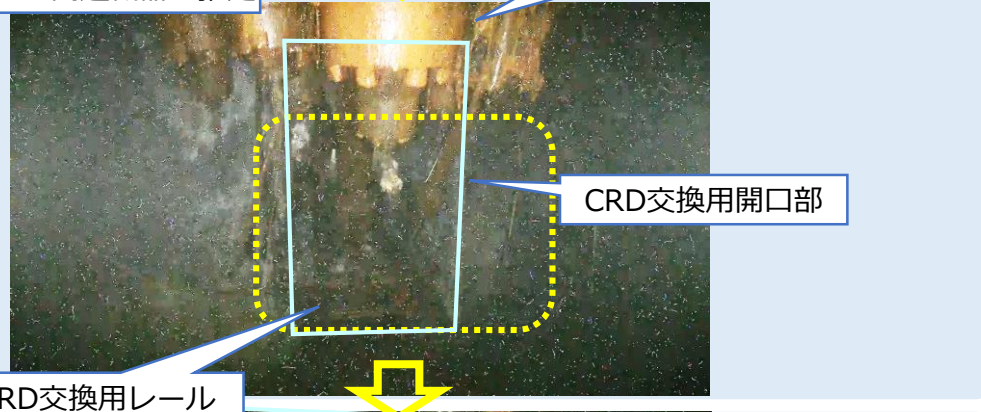
1号機PCV内縦断面図(概略)

2-2. 3月14日 調査結果 (ペデスタル内 CRD交換用開口部付近のCRDハウジング)

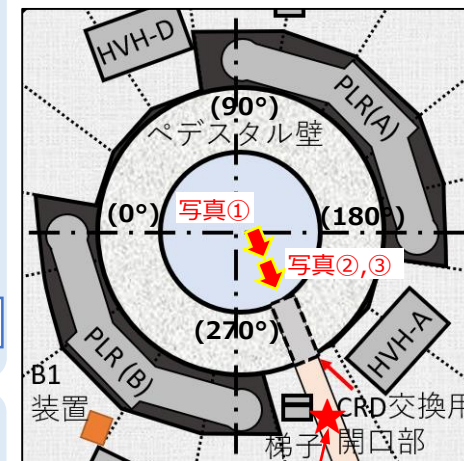
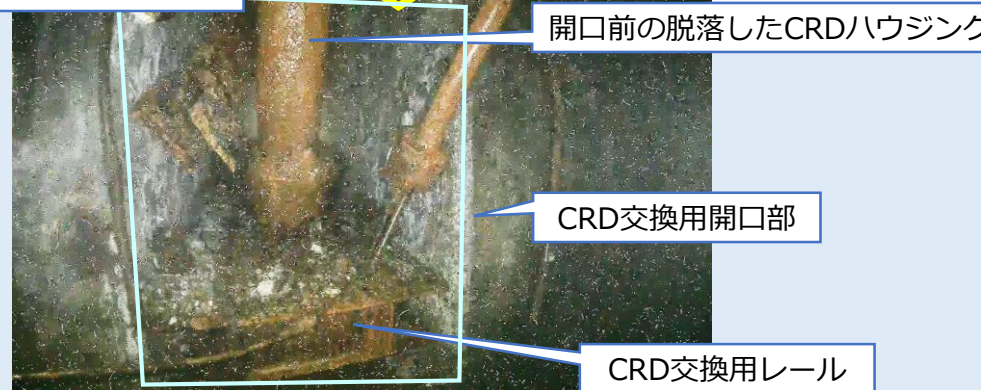
- 写真①：CRD交換用開口部付近をペデスタル内から撮影した写真。赤点線部が開口部を塞いでいる脱落したCRDハウジングである。



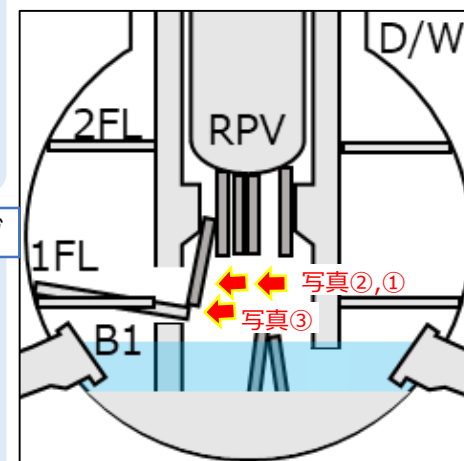
- 写真②：写真①の黄色点線枠の写真。脱落したCRDハウジングは1つではなく、複数のCRD関連機器がまとまって脱落している。



- 写真③：写真②の黄色点線枠の写真。脱落したCRDハウジングの下部はCRD交換用レールの上に落下していると推定。



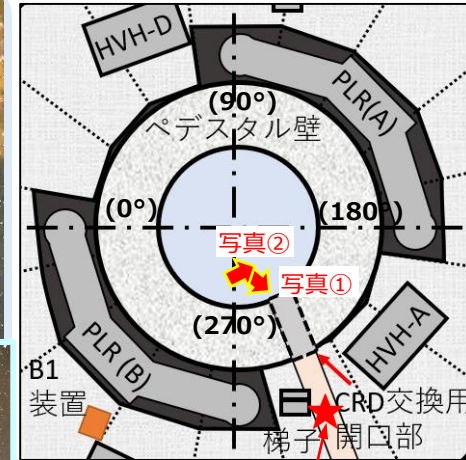
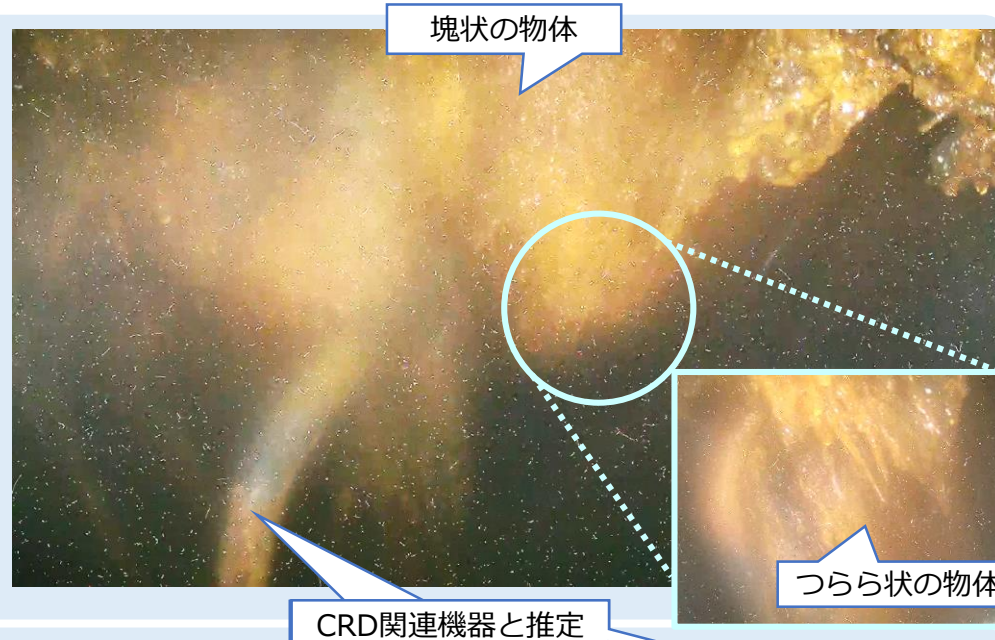
ヘビ型ロボット待機位置
1号機PCV内1FL 拡大図(概略)



1号機PCV内縦断面図(概略)

2-3. 3月14日 調査結果 (ペデスタル内 CRD交換用開口部付近の塊状の物体)

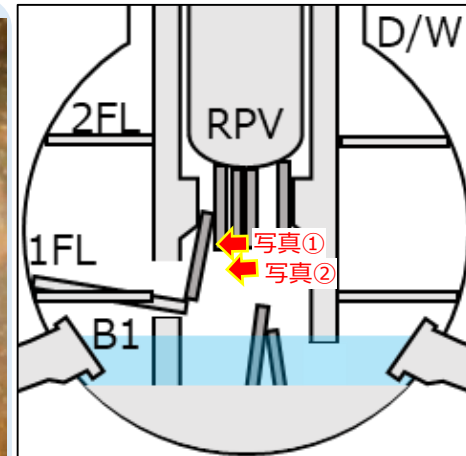
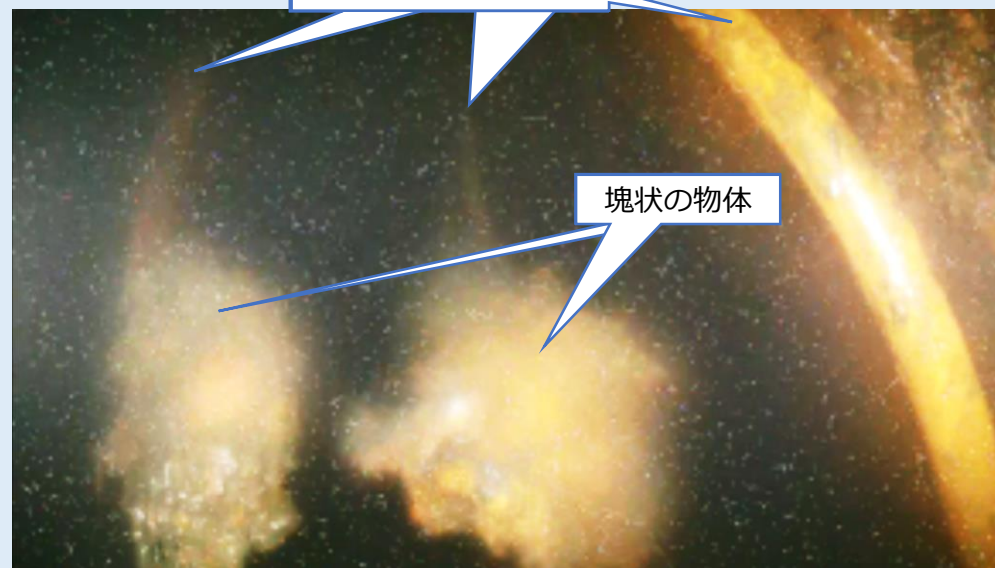
- 写真①：CRD交換用開口部付近の脱落しているCRDハウジングの上部の塊状の物体。塊状の物体の中にはつらら状になっている部位がある。上部に集中して固まっていることから、上方より移行してきたものと推定。



ヘビ型ロボット待機位置

1号機PCV内1FL 拡大図(概略)

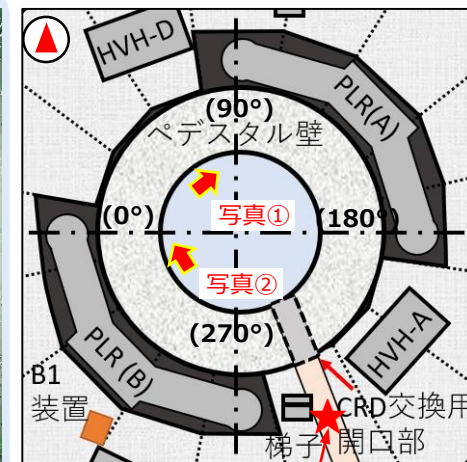
- 写真②：CRD交換用開口部付近の脱落しているCRDハウジングよりもペデスタル内側にある塊状の物体。CRD関連機器にぶら下がるように固まっている。写真①と同様に、上方より移行してきたものと推定。



1号機PCV内縦断面図(概略)

2-4. 3月14日 調査結果 (ペデスタル内 ペデスタル壁面)

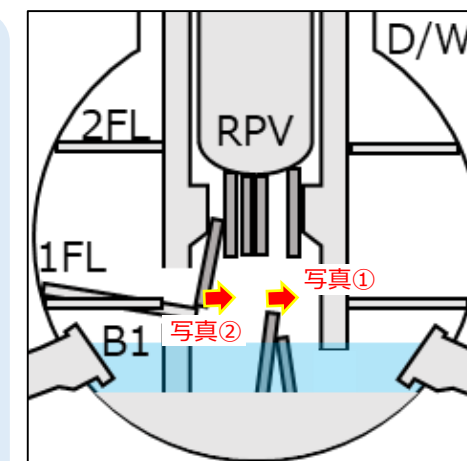
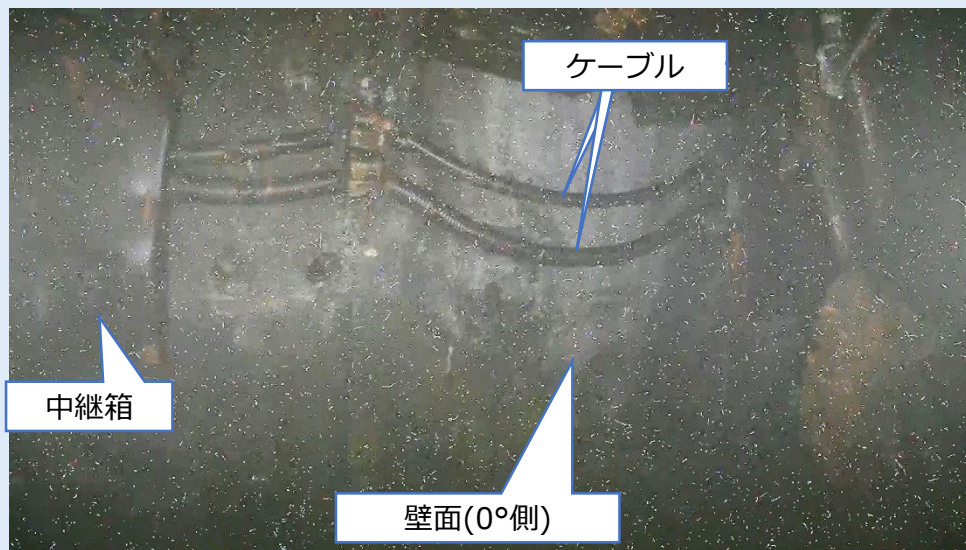
■ 写真①：ペデスタル内90°側のペデスタル壁面の様子。一部変色がみられるものの、著しい損傷は確認されず、コンクリートが残存している。なお、当該壁面には、震災前より既設設備はないため、機器は確認されていない。



ヘビ型ロボット待機位置

1号機PCV内1FL 拡大図(概略)

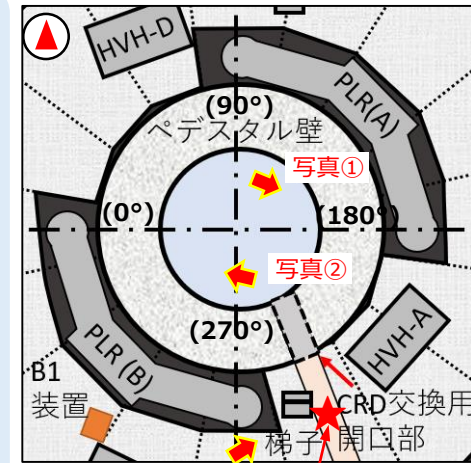
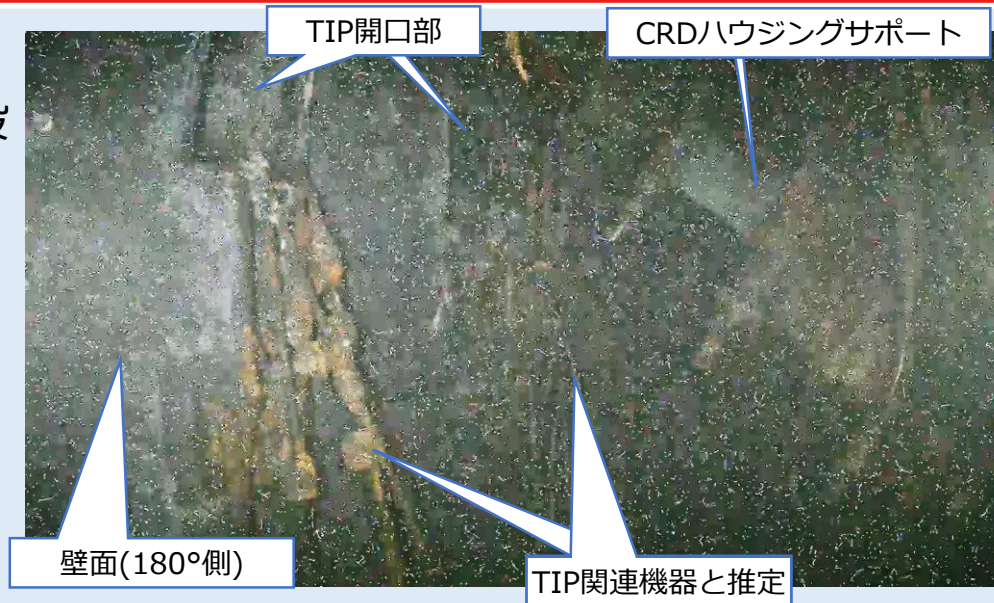
■ 写真②：ペデスタル内0°側のペデスタル壁面の様子。写真①と同様に一部変色があるが、著しい損傷は無く、コンクリートが残存している。また、ケーブルの中継箱等が確認されており、変色及び変形していると推定。



1号機PCV内縦断面図(概略)

2-5. 3月14日 調査結果 (ペDESTAL内 構造物)

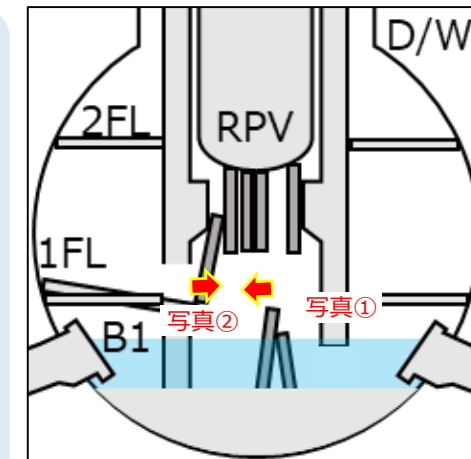
■ 写真①：ペDESTAL内180°付近の様子。既設のTIP開口部があり、TIP関連機器と推測される機器が下方方向に垂れている。ペDESTAL壁面については、0°および90°付近と同じく著しい損傷は確認されていない。



ヘビ型ロボット待機位置

1号機PCV内1FL 拡大図(概略)

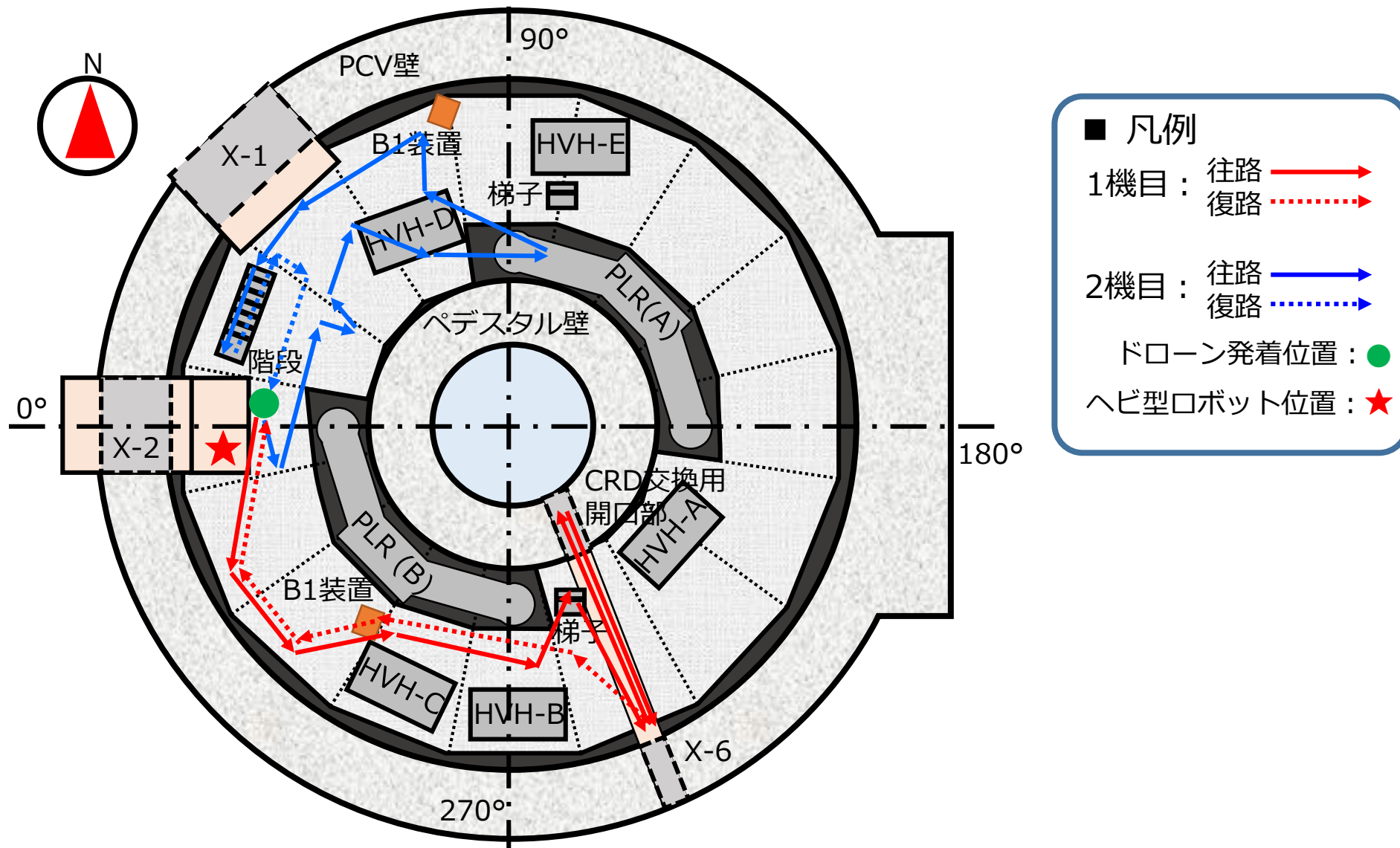
■ 写真②：正位置と上下逆転しているCRDハウジング。挿入引き抜き配管が変形している。



1号機PCV内縦断面図(概略)

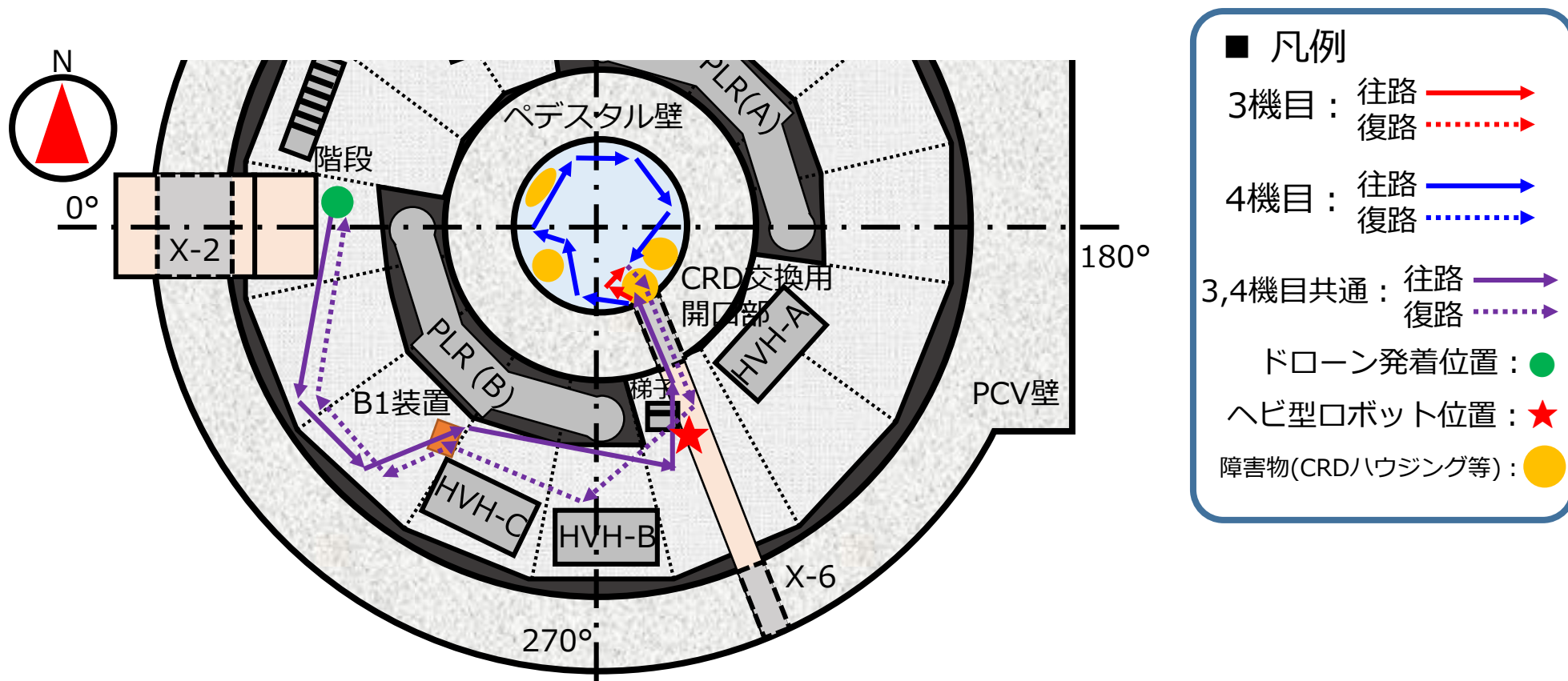
3-1. 飛行ルート実績(ペDESTアル外)

- ペDESTアル外については、1,2機目で飛行しており、概ね計画通りのルートを飛行
- 霧の影響により視認距離が短くなったため、基準となる構造物を画角に入れながら慎重に飛行



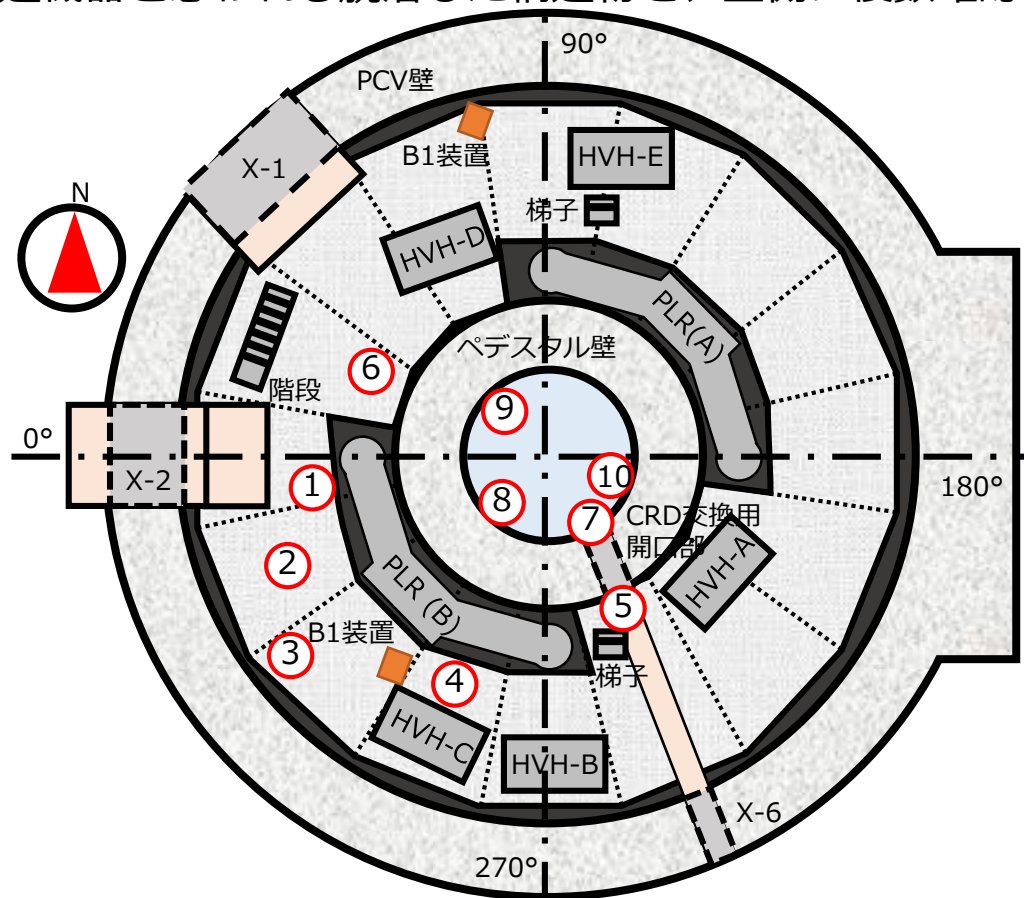
3-2. 飛行ルート実績(ペDESTアル内)

- ペDESTアル内については、3,4機目で飛行しており、3機目でペDESTアル内全周を飛行する計画であったが、CRD交換用開口部周辺に脱落した構造物が複数確認されたため、飛行計画を変更
- 3機目にてCRD交換用開口部周辺を入念に確認し、飛行ルートを再策定した後、4機目にてペDESTアル内全周を時計回りで飛行
- ペDESTアル外と同様に、霧の影響により視認距離が短いため、ペDESTアル壁面を基準として画角に入れ、障害物を回避しながら慎重に飛行を実施
- 基本的にペDESTアル底面から約4m(水面から2m)の高さを維持しながら飛行



4. PCV内の主要な落下物について

- ペDESTAL外でのグレーチング上には、過去の調査でも確認されている、鉛遮蔽マット等の落下物を確認
- CRD交換用開口部前にはCRDレールを吊るためのチェーンブロックと思われる落下物を確認
- ペDESTAL内ではCRD交換用開口部周辺以外にも、CRD関連機器と思われる脱落した構造物を、壁側に複数確認



①：鉛遮蔽マット



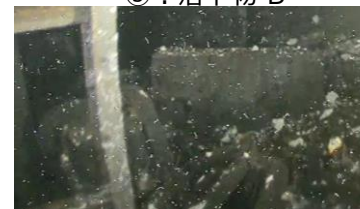
②：落下物 A



③：落下物 B



④：落下物 C



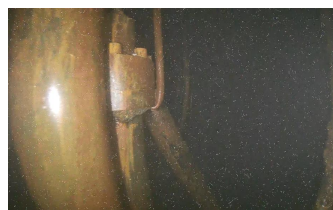
⑤：チェーンブロック(推定)



⑥：照明の傘



⑦：落下した構造物 A



⑧：落下した構造物 B



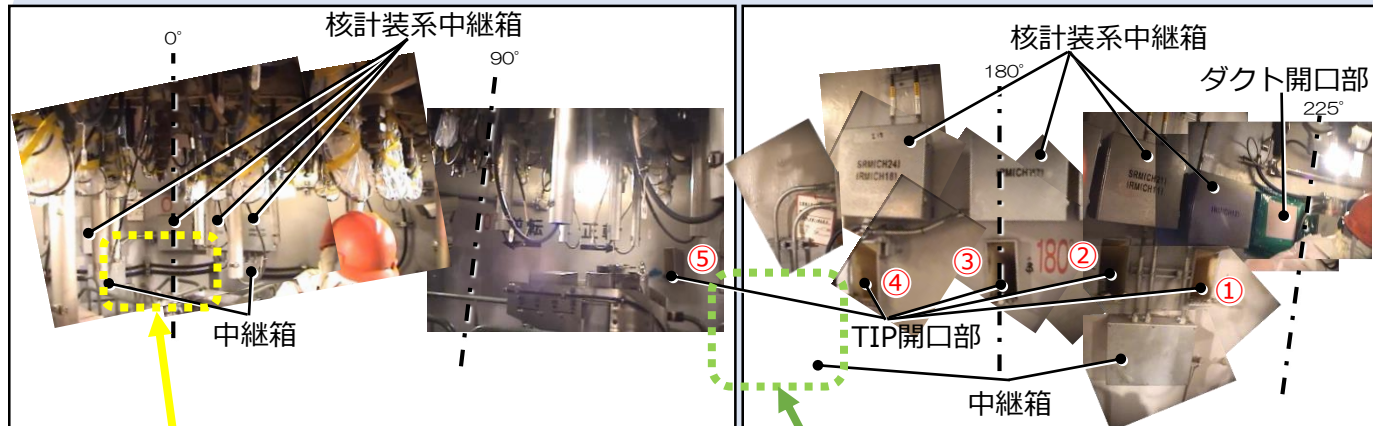
⑨：落下した構造物 C



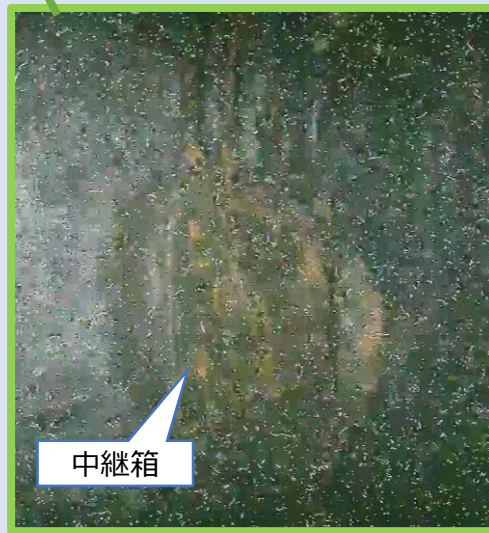
⑩：落下した構造物 D

5-1. 震災前の写真との比較(ペDESTAL内 中継箱、TIP開口部)

■ ペDESTAL壁面の中継箱

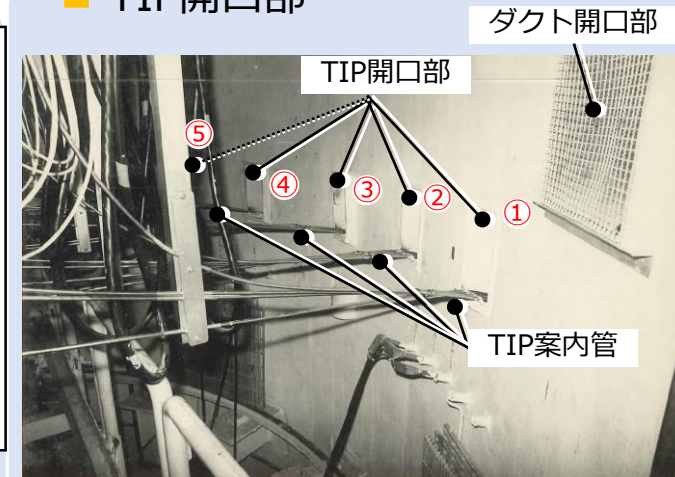


【震災前：定期検査時】ペDESTAL内壁面(左：0°~90°付近、右：180°~225°付近)

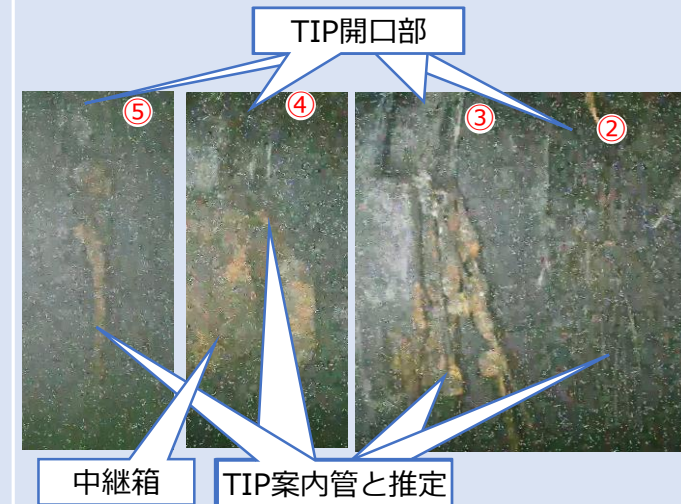


ペDESTAL内中継箱の状態(左：0°付近、右：180°付近)

■ TIP開口部



【震災前：建設時】TIP開口部(180°付近)



TIP開口部の状況(180°付近)

5-2. 震災前の写真との比較(FDWシステムの配管、CRD関連機器)

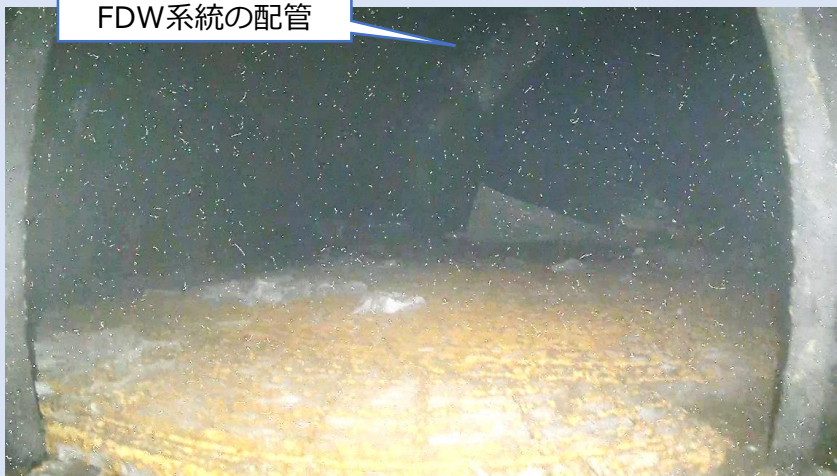
■ ペDESTAL外 2FL FDWシステム配管

FDWシステムの配管



【震災前：定期検査時】FDWシステム配管

FDWシステムの配管



2FLの状況

■ ペDESTAL内 CRD関連機器

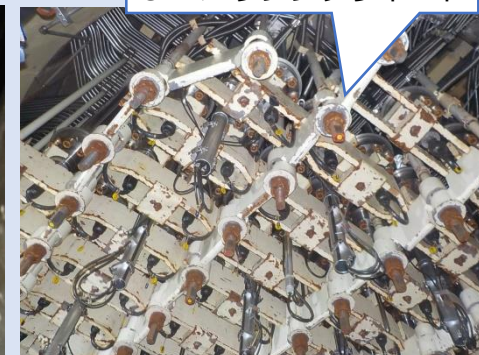
CRDハウジング

CR挿入引抜配管

CRDフランジ



CRDハウジングサポート

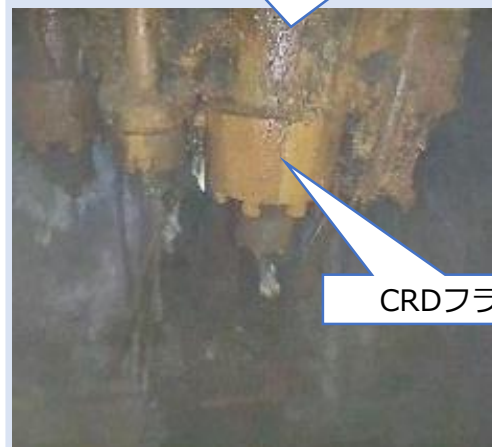


CRD関連機器(左：震災前：定期検査時、右：5号機)

CRDハウジング

CRDハウジングサポート

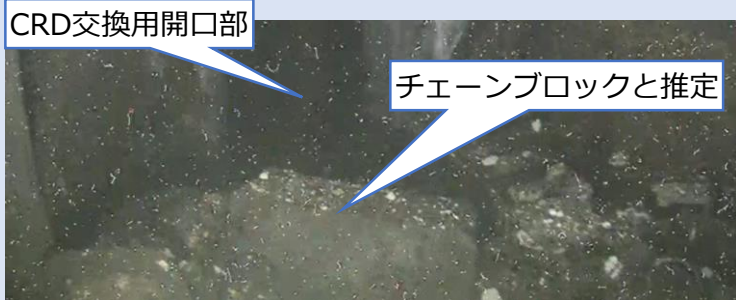
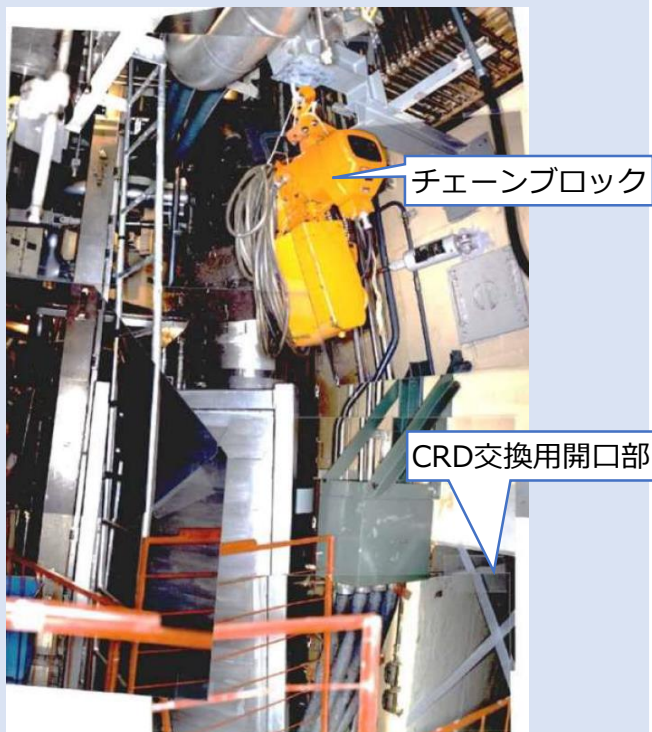
CRDフランジ



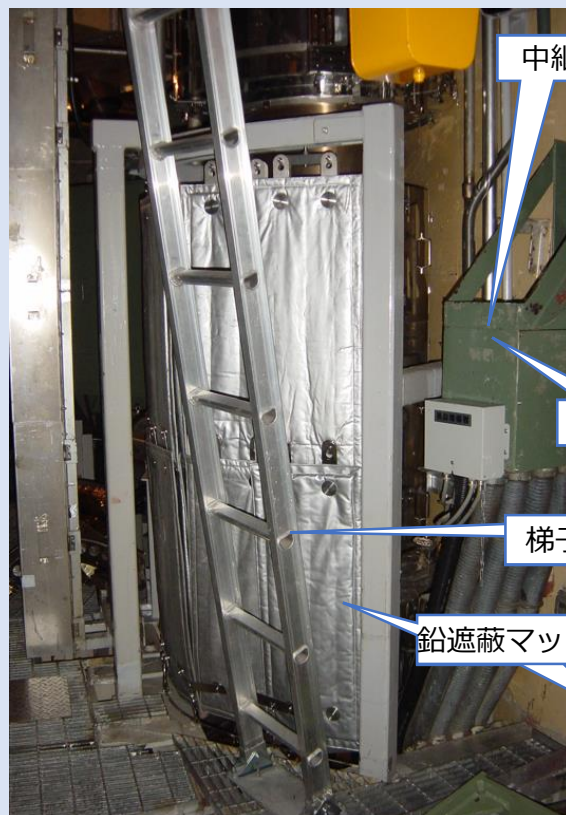
CRD関連機器の状況(左：ハウジング、右：サポート)

5-3. 震災前の写真との比較(ペDESTアル外 CRD交換用開口部周辺)

■ チェーンブロック



■ 梯子と中継箱



※PCV内で撮影した映像は、放射線の影響によりちらつき、湿度(霧)の影響により白く霧が発生している

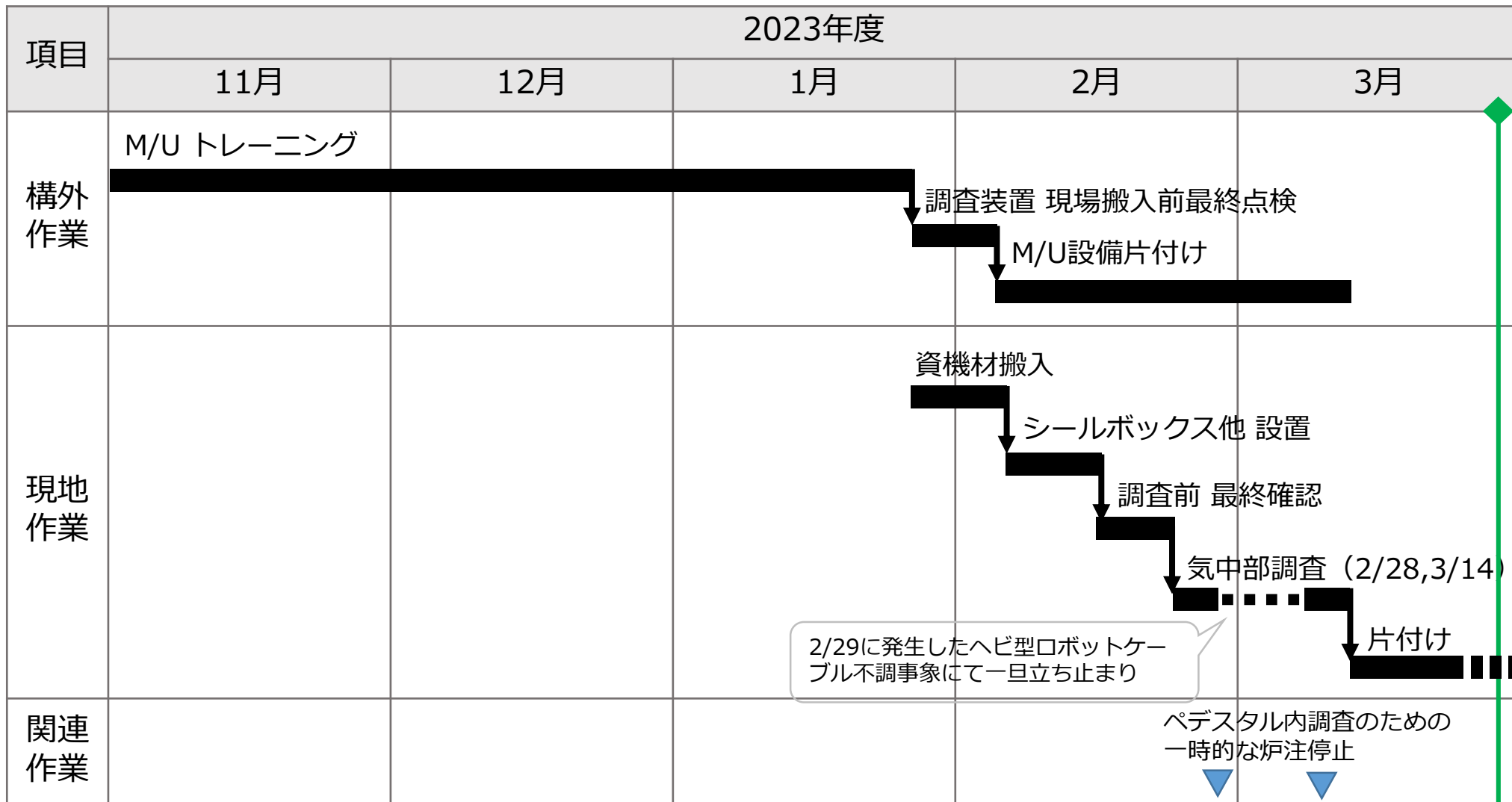
画像処理：東京電力ホールディングス(株)

6. 今後の調査に向けた知見について

- ドローンの飛行により、PCVガス管理システムおよびオペフロのダストモニタに有意な上昇は確認されなかったことから、**小型ドローンがダスト飛散に与える影響は軽微であると判断**
- ペDESTAL内はCRD関連機器と思われる上部の構造物が複数落下していたことから、同じくドローンでRPV底部を調査するためには、**上部方向を確認する手段が必要**
- **2FL以上にアクセスするためには、X-1ペネ付近の階段が有効であることを確認。また、地下階にアクセスするためには、水中ROV調査のために開けたX-2ペネ前のアクセス口や、地下に降りる梯子が有効であることを確認**
- ドローンに搭載されている自機の温度計の指示を確認したところ、**今回の調査で飛行した範囲については、有意な温度変化は発生しなかった**
- **X-2ペネに無線中継器を配置すると、X-6ペネ周辺まではドローンの通信を維持できることを確認**。ただし、CRD交換用開口内に入ると通信がやや不安定になるため、**ペDESTAL内調査においては、今回と同様なCRD交換用開口部等の有効な箇所からの無線中継が必要**
- PCV内の霧は、照明の性能を著しく低下させ、**視認距離を短くし、カメラに曇りを発生させる要因にもなるため、気中部の調査においては対策が必要**
- 今回使用した小型ドローンのカメラは、耐放射線仕様のカメラではないため、**ペDESTAL内に近づくとつれて放射線ノイズの影響が増加したものの、飛行不可能になるレベルでないことを確認**

7. スケジュール

- 本調査で取得した映像を基に、点群データを生成可能か検討中
- 今後のPCV内部調査については、小型ドローンの有効性を踏まえて検討中



(参考) ペデスタル外南側 調査結果(ドローン1機目)

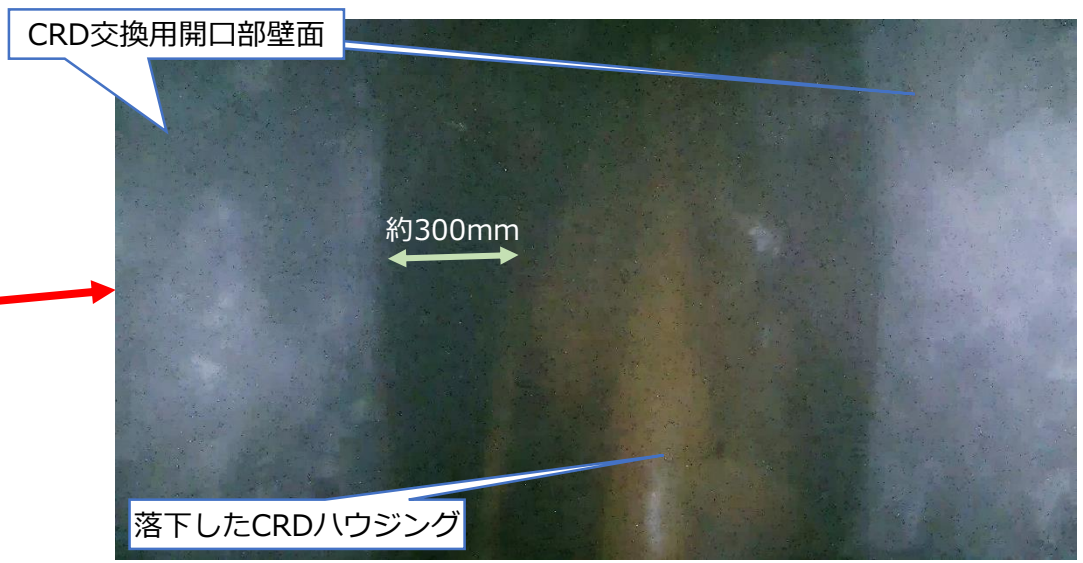
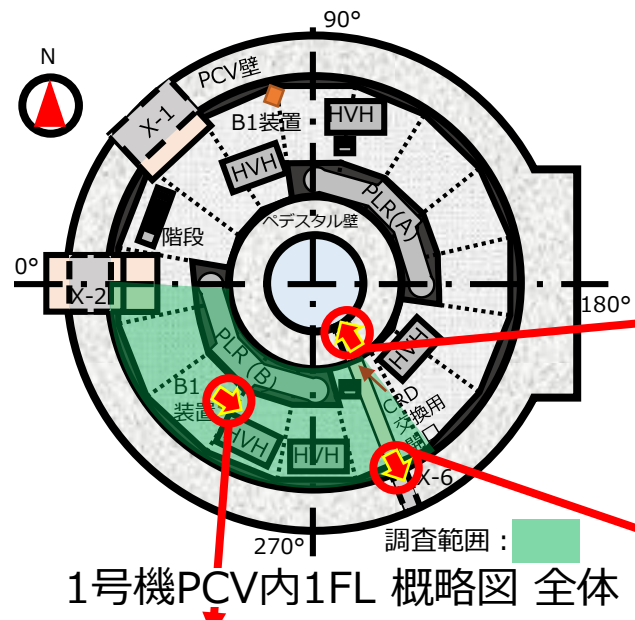


写真1. CRD交換用開口の状況(ちらつき補正後)



写真2. 南側B1調査装置(PMORPH)の残置状況

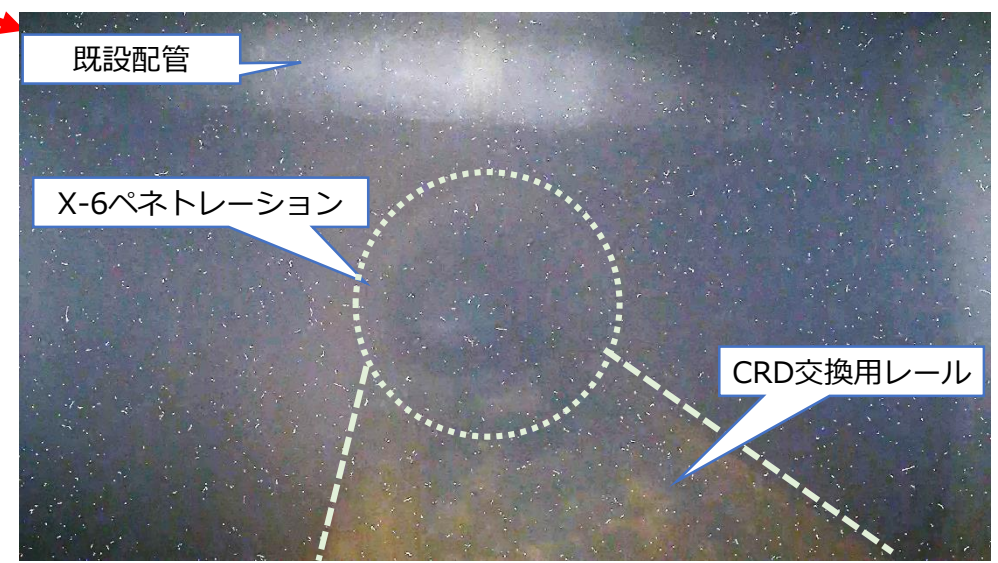
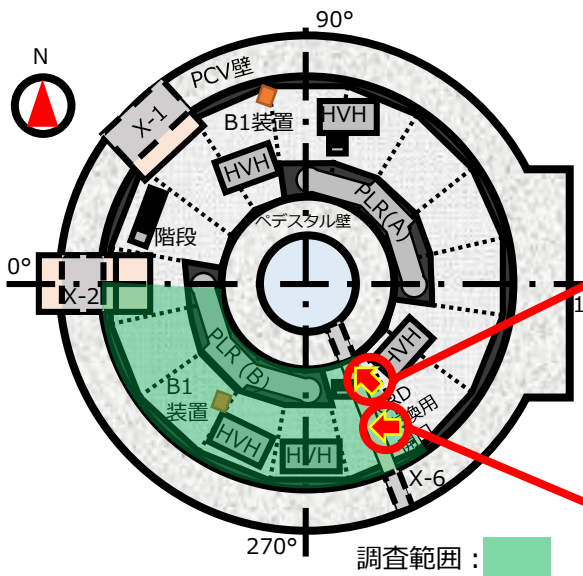


写真3. X-6ペネトレーションの状況

※PCV内で撮影した映像は、放射線の影響によりちらつき、湿度(霧)の影響により白く霧が発生している

画像処理：東京電力ホールディングス(株)

(参考) ペDESTAL外南側 調査結果(ドローン1機目)



1号機PCV内1FL 概略図 全体

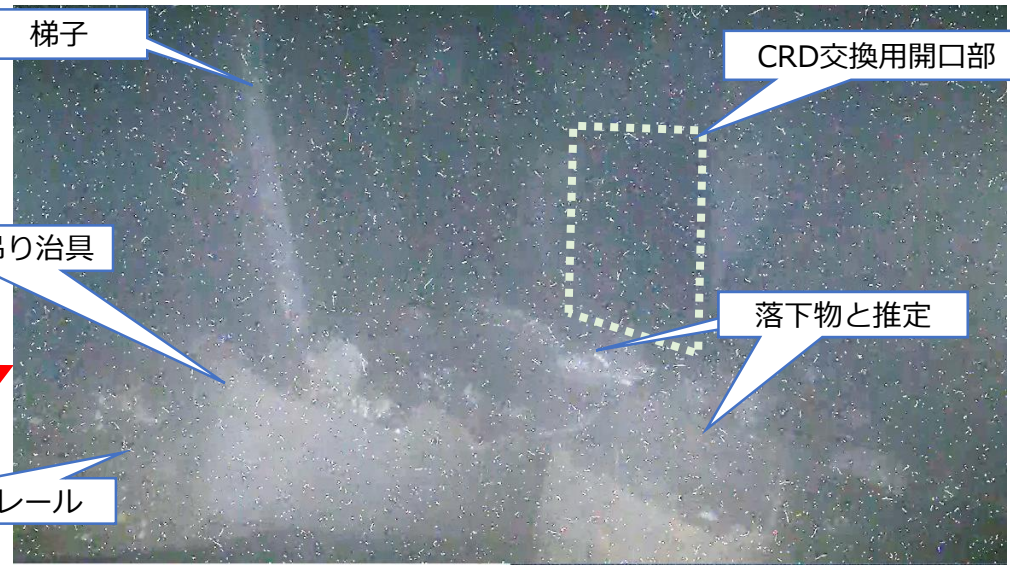


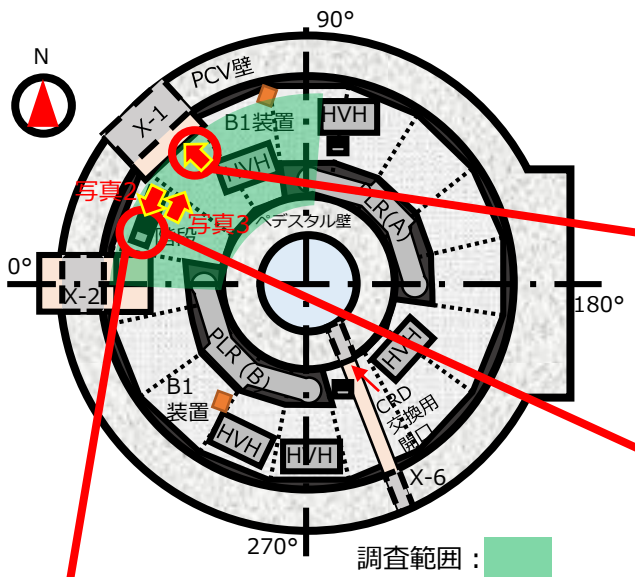
写真1. CRD交換用レール状況①



写真2. CRD交換用レール状況②

※PCV内で撮影した映像は、放射線の影響によりちらつき、湿度(霧)の影響により白く霧が発生している 画像処理：東京電力ホールディングス(株)

(参考) ペデスタル外北側 調査結果(ドローン2機目)

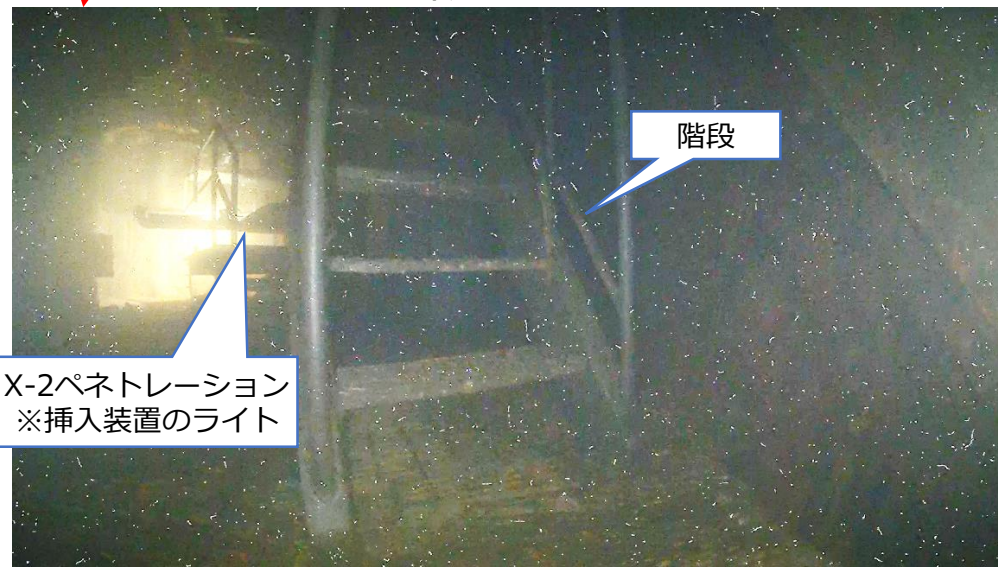


1号機PCV内1FL 概略図 全体

X-1ペネトレーション



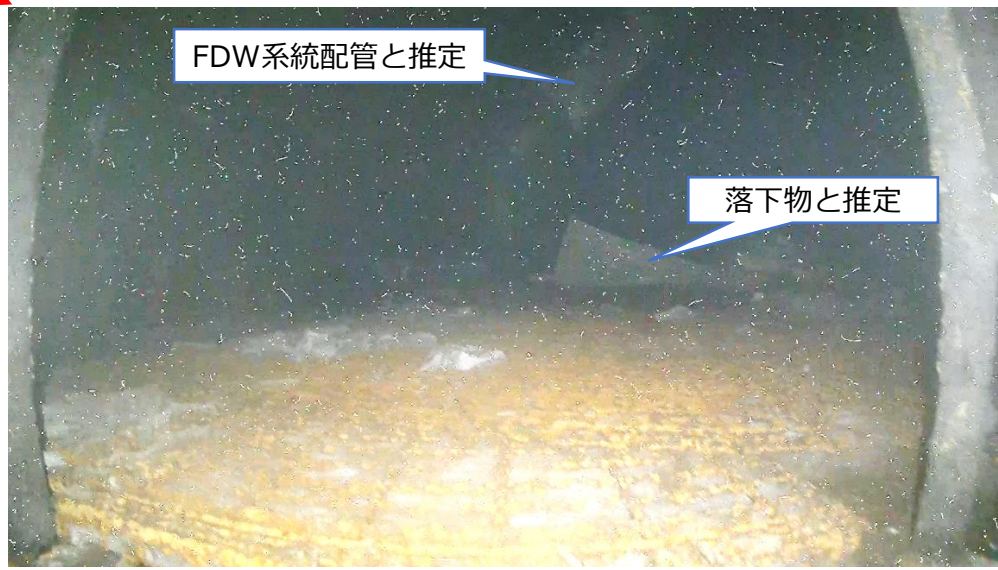
写真1.X-1ペネトレーションの状況



階段

X-2ペネトレーション
※挿入装置のライト

写真2.階段の状況



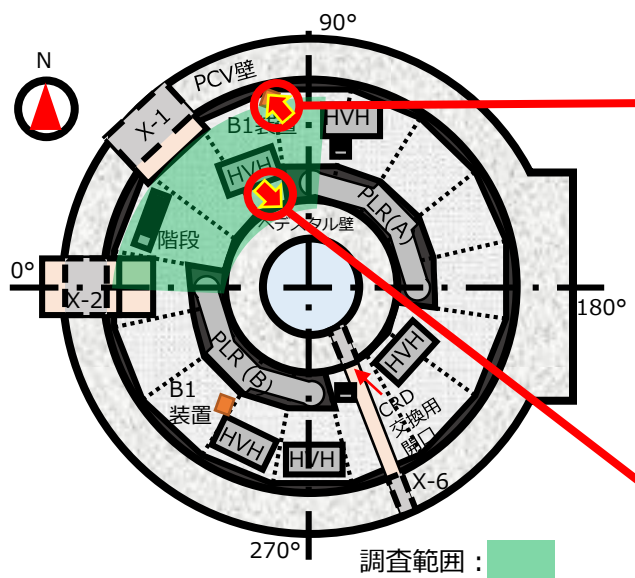
FDW系統配管と推定

落下物と推定

写真3.2FLの状況

※PCV内で撮影した映像は、放射線の影響によりちらつき、湿度(霧)の影響により白く霧が発生している

(参考) ペデスタル外北側 調査結果(ドローン2機目)



1号機PCV内1FL 概略図 全体



写真1.北側B1調査装置(PMORPH)の残置状況



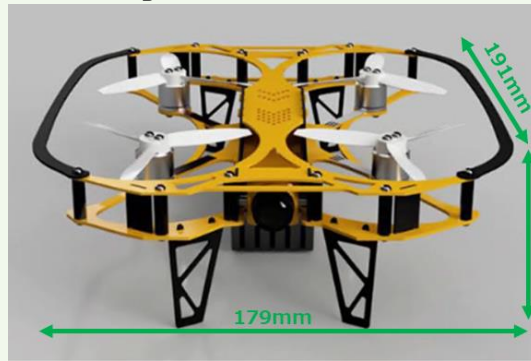
写真2.CRD挿入引抜配管の状況

※PCV内で撮影した映像は、放射線の影響によりちらつき、湿度(霧)の影響により白く霧が発生している 画像処理：東京電力ホールディングス(株)

(参考) 調査装置について

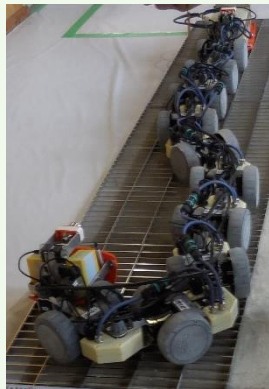
- PCV内部は狭隘かつ暗所であるため、“小型”で“機動性”、“撮影能力”の高い、下記に示す**小型ドローン**を採用
- 高精細な映像を撮影できるため、動画から点群データを生成可能(Structure from Motion技術)
- 小型ドローンの無線通信範囲をカバーするために、**無線中継器を搭載したヘビ型ロボット**を投入
- 水中ROV調査と同様に、**X-2ペネにシールボックス**を取り付け、PCVの隔離状態を保ったまま、小型ドローンとヘビ型ロボットをPCV内に投入

小型ドローン

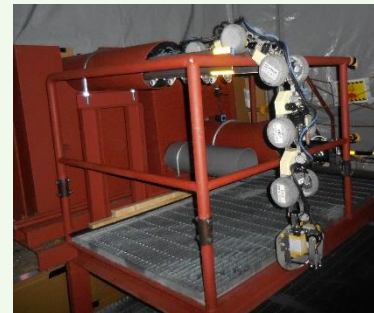


用途：カメラによる映像撮影
 寸法：191×179×54[mm]
 重量：185[g](バッテリー込)
 通信方式：無線
 飛行時間：約8分(調査は5分×4機で計画)
 搭載機器：照明(90lm(45lm×2))、
 超高感度カメラ(正面のみ)
 カメラスペック
 ・画質：Full HD・画角：水平131°垂直80°対角144°
 ・撮影距離：3m程度・フレームレート：60fps
 耐放射線性：約150Gy
 選定理由：小型かつ、狭隘箇所の飛行における制御
 性能が高く、高精細な映像を取得できるため

無線中継用ヘビ型ロボット



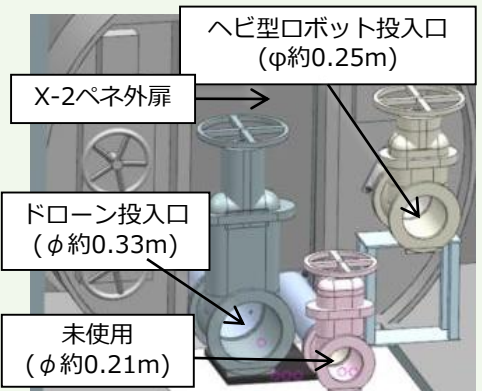
ヘビ型ロボット全体



X-2ペネからの昇降試験

用途：無線中継器の運搬+線量測定
 寸法：2,900×180×165[mm]
 重量：約25[kg]
 通信方式：有線
 搭載機器：ドローン用無線中継器、CMOSカメラ×2
 線量計
 耐放射線性：約249Gy
 選定理由：X-2ペネの手すりを乗り越え、
 グレーチングに昇り降りするため

シールボックス



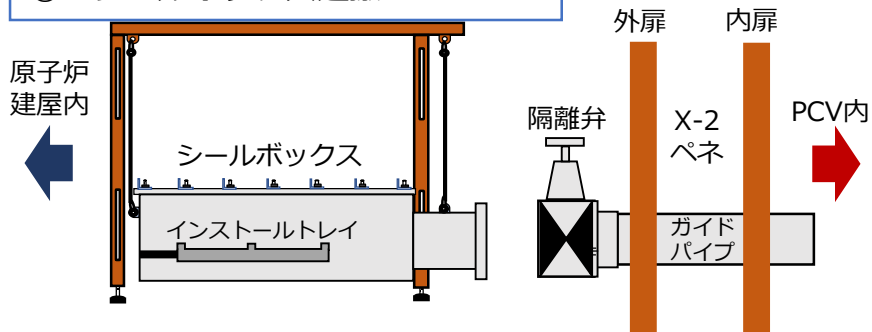
X-2ペネ隔離弁の用途イメージ



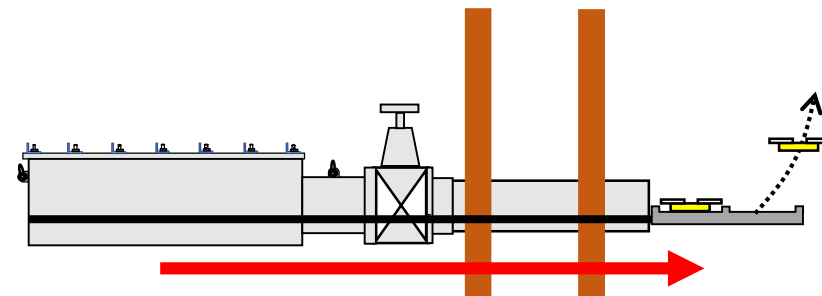
S/B取り付けモックアップ

(参考) 主な作業ステップ

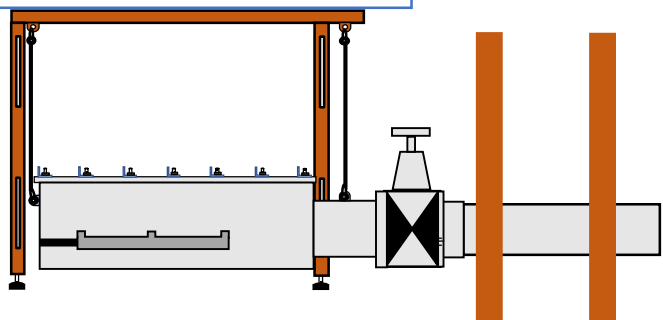
① シールボックス運搬



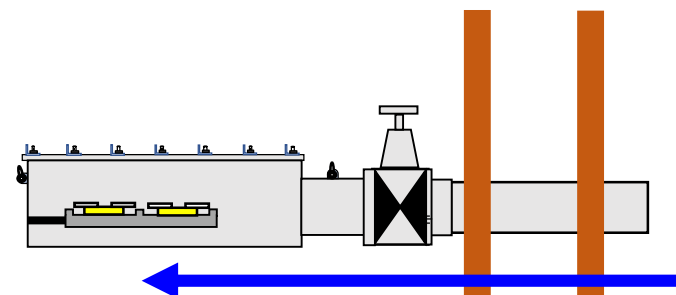
④ 調査装置投入 ⇒ ヘビ型ロボット移動 ⇒ ドローン飛行



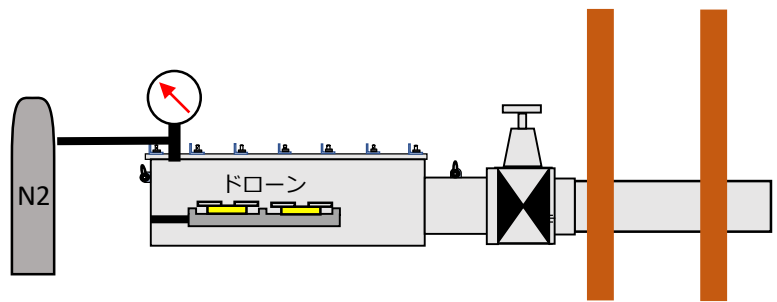
② シールボックス取付



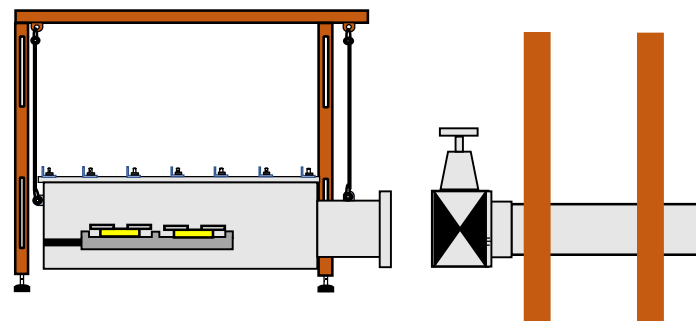
⑤ 調査装置回収



③ 調査装置格納、リークチェック



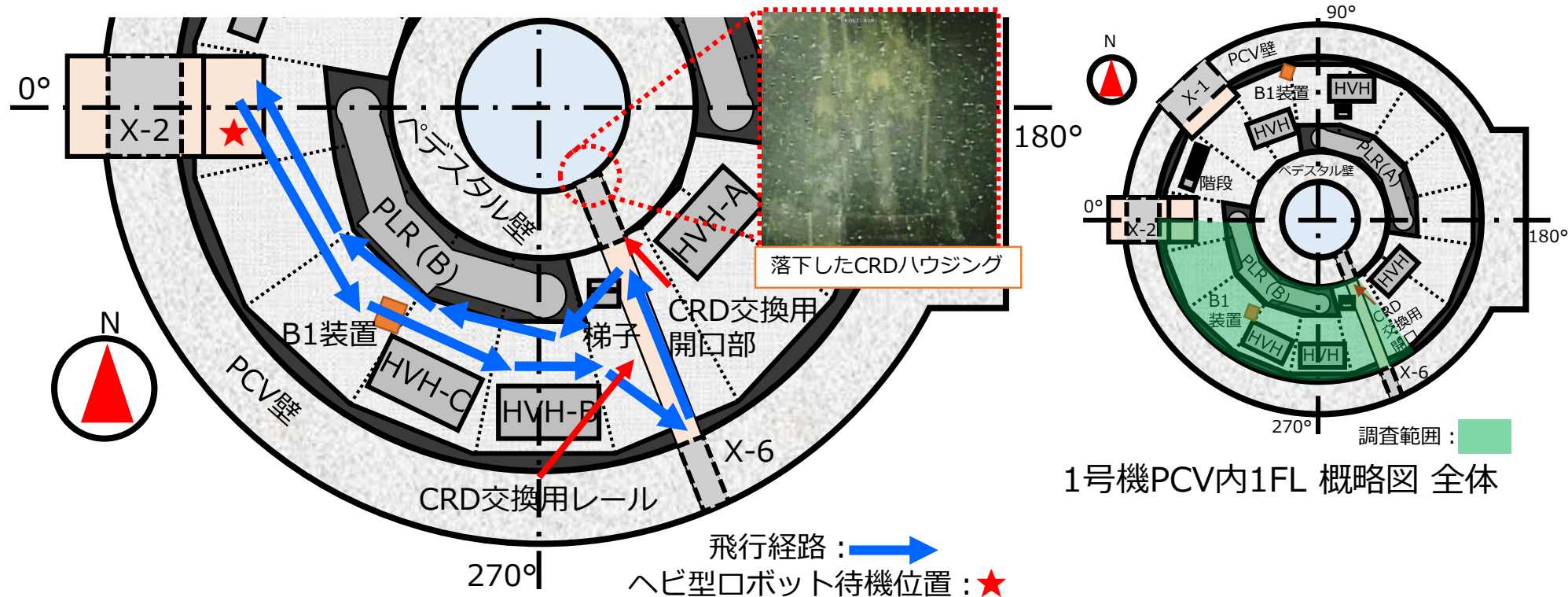
⑥ シールボックス切り離し



* シールボックスはヘビ型ロボット用とドローン用の2台あるが、類似構成のためヘビ型ロボットの図は省略
また、ヘビ型ロボットは運搬時からシールボックスに格納されているのに対し、ドローンは満充電で調査するために当日格納する

(参考) 計画時の調査ルートについて (ペDESTAL外 南側)

- ペDESTAL外南側の調査は1機目のドローンで実施
 - 調査対象：X-6ペネトレーション、CRD交換用開口部、CRD交換用レール、他既設設備の状態
 - ヘビ型ロボットはX-2ペネ前で無線中継を実施
 - ペDESTAL内調査の際に、ヘビ型ロボットがCRD交換用レールの位置まで移動するため、動線上に障害物がないか確認(グレーチング上の落下物や、残置されているB1調査装置の状態等)
 - 水中ROV調査時で確認された、CRD交換用開口部付近の落下したCRDハウジングが、ペDESTAL内調査の飛行経路上に存在するため、位置関係を確認し、ペDESTAL内調査の実施可否を判断



1号機PCV内1FL 概略図 南側拡大

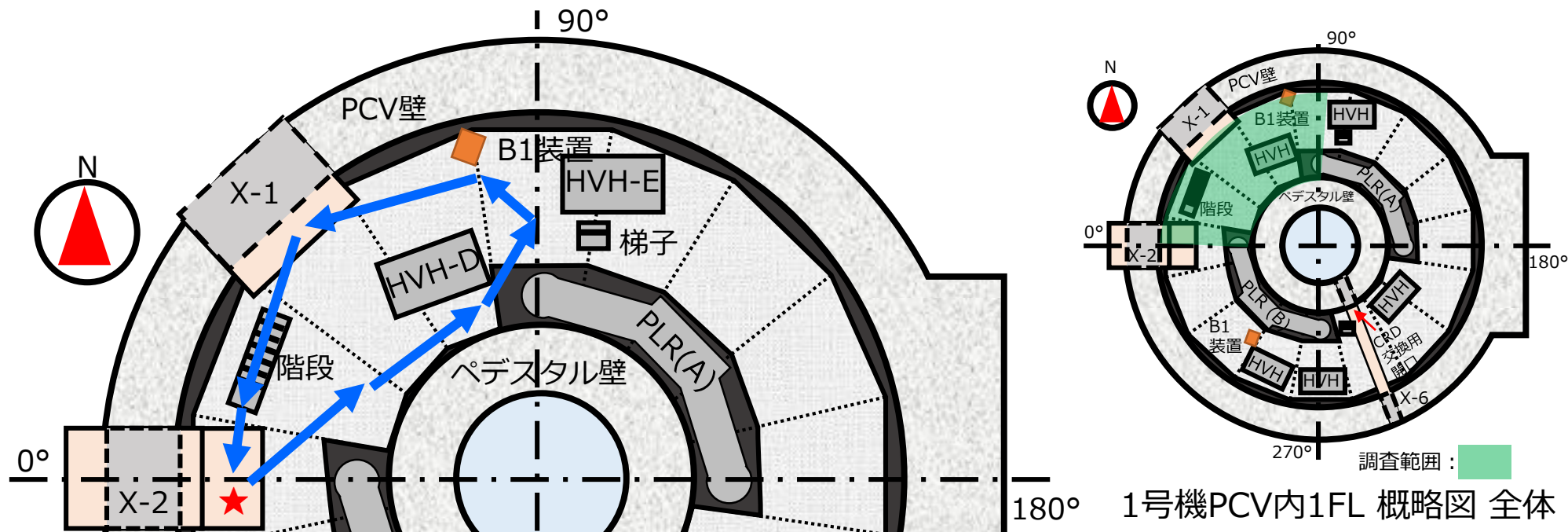
1号機PCV内1FL 概略図 全体

*現場状況次第では飛行経路・調査対象を変更する可能性有

(参考) 計画時の調査ルートについて (ペDESTAL外 北側)

■ ペDESTAL外北側の調査は2機目のドローンで実施

- 調査対象：X-1ペネトレーション、階段、他既設設備の状態
- ヘビ型ロボットはX-2ペネ前で無線中継を実施
- 階段調査時は可能な限り上昇し、2 FLにアクセス可能か確認
- 1機目の調査でCRD交換用開口部を十分に調査できなかった場合は、本機で再度南側の調査を実施 (3,4機目で実施する、ペDESTAL内調査を実施可能とするため)



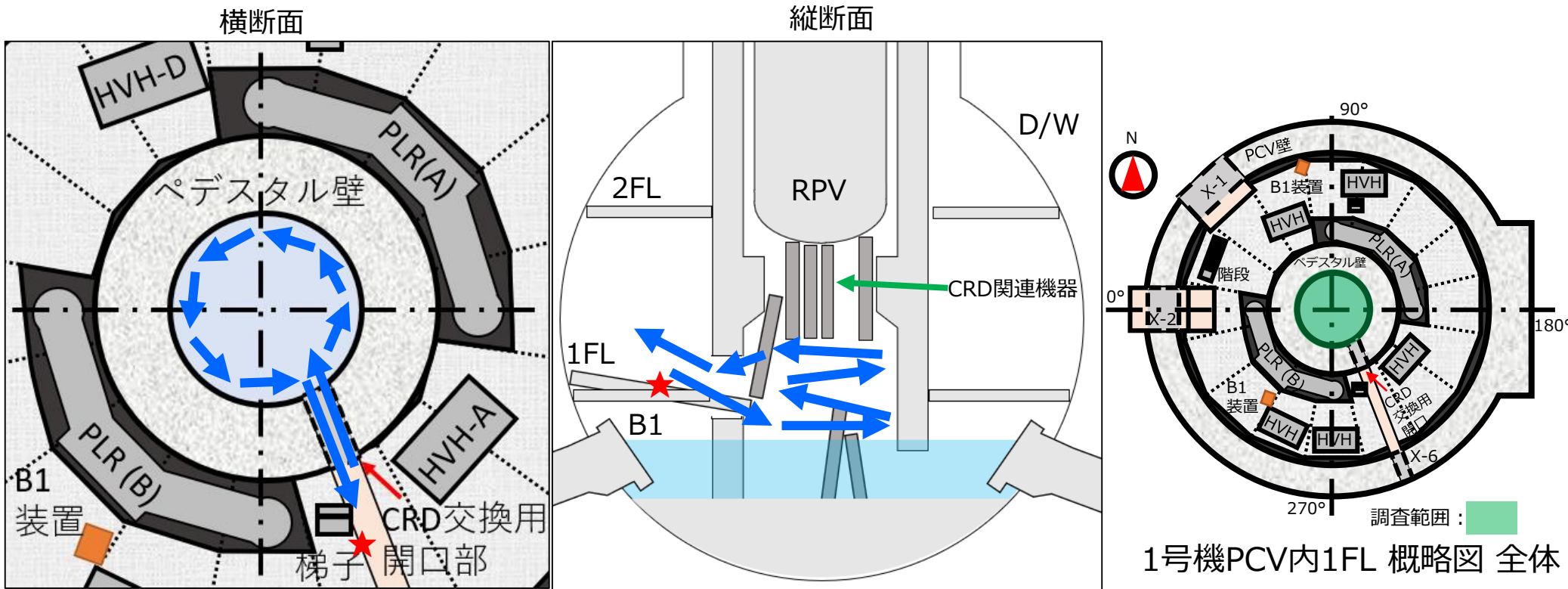
ヘビ型ロボット待機位置：★ 飛行経路：→

1号機PCV内1FL 概略図 北側拡大

*現場状況次第では飛行経路・調査対象を変更する可能性有

(参考) 計画時の調査ルートについて (ペDESTAL内)

- ペDESTAL内の調査は3,4機目のドローンで実施
 - 調査対象：ペDESTAL内壁、ペDESTAL内構造物、CRDハウジングの落下状況
 - ヘビ型ロボットはCRD交換用レール周辺で無線中継を実施
 - 3機目では可能な限りペDESTAL内全体を撮影し、4機目では3機目で確認された特徴的な箇所について撮影
 - 可能な限り上部構造物についても撮影するが、ドローンのカメラは正面についているため、直上の撮影は不可



ヘビ型ロボット待機位置：★ 飛行経路：➡

1号機PCV内1FL 概略図 ペDESTAL内拡大

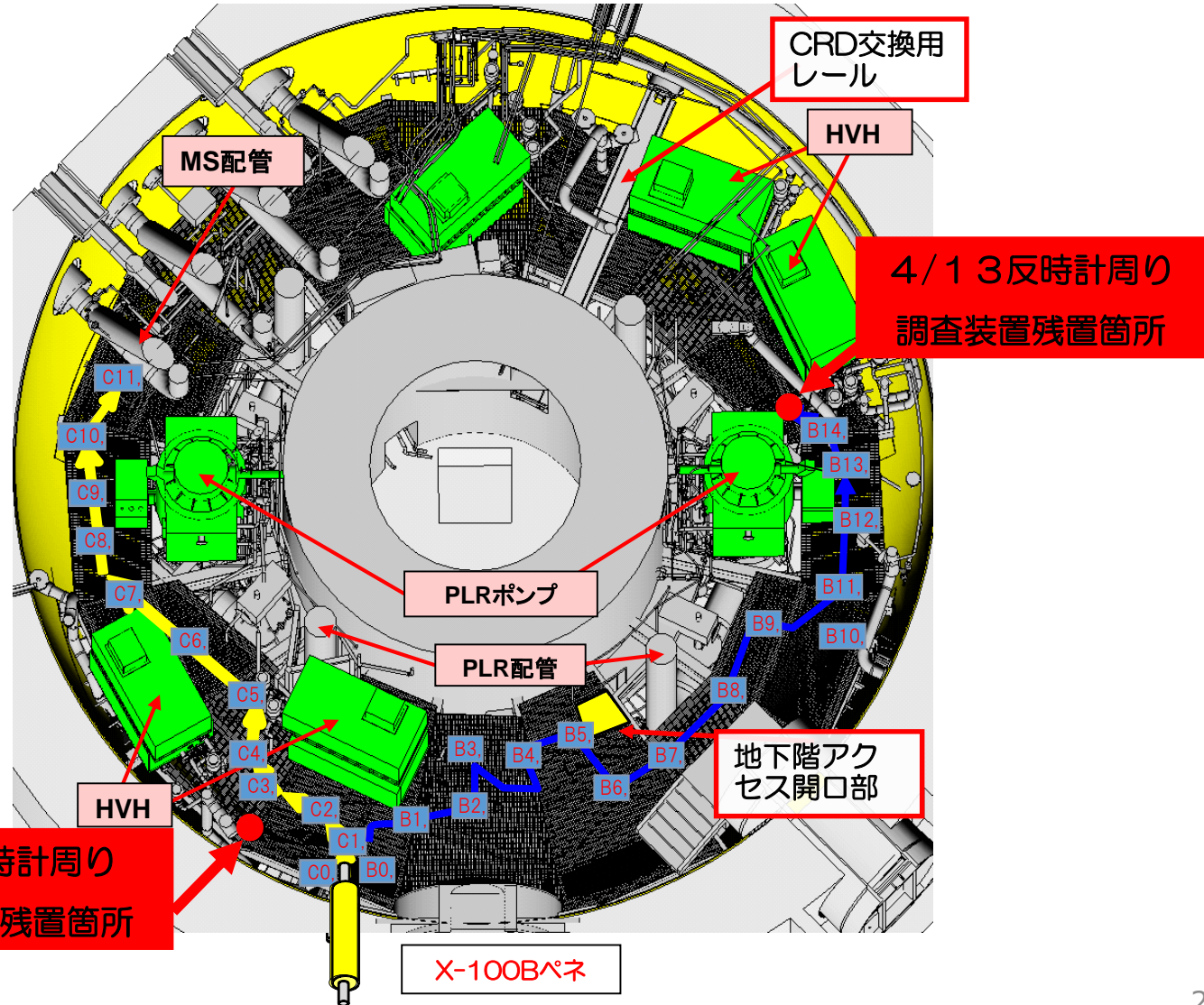
* 現場状況次第では飛行経路・調査対象を変更する可能性有

(参考) B1調査装置の残置箇所

- 2015年4月に実施したペDESTAL外側_1階グレーチング上調査 (B 1 調査) において2台の調査装置を残置している

- ➡ : アクセス実績ルート (反時計周りルート)
- ➡ : アクセス実績ルート (時計周りルート)

調査装置



(参考) 福島第一原子力発電所 1号機原子炉格納容器内部調査 (気中部調査)

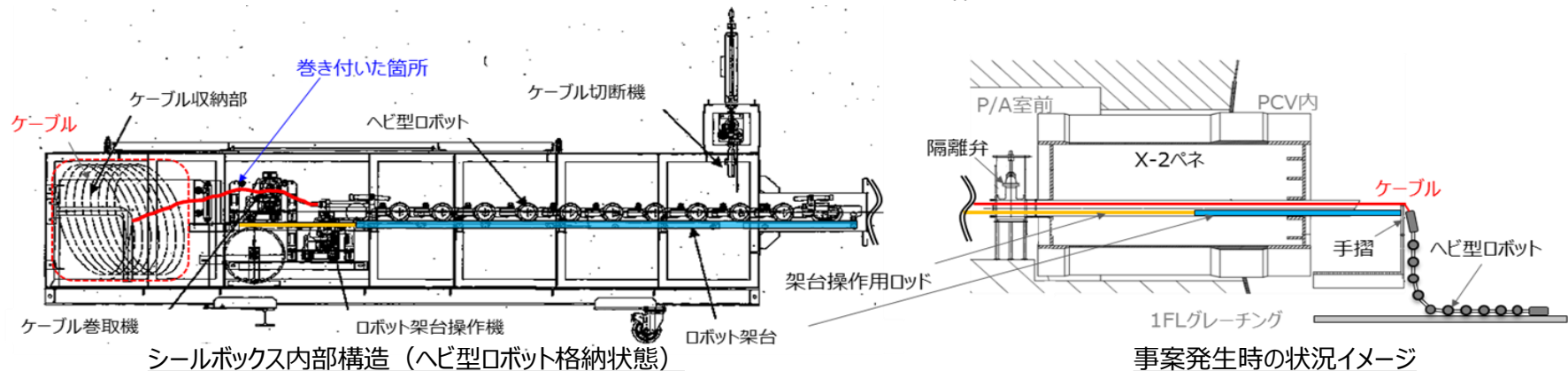
ヘビ型ロボットの有線ケーブル不具合の原因と対策について

- 1号機原子炉格納容器 (以下、PCV) では2月28日 (調査1日目) に小型ドローンを用いて、ペDESTAL外側の気中部を調査し、原子炉格納容器貫通孔 (X-6ペネ) や制御棒起動機構 (CRD) の交換用開口部およびレール等の状態を確認しています。現時点で確認できている範囲では設備や構造物に大きな損傷が無いことを確認しています。
- 2月29日 (調査二日目) に予定していたペDESTAL内部の調査については、ヘビ型ロボットの有線ケーブルが延伸することができなかつたため、ヘビ型ロボットが予定していたCRD交換用レールに到着することができなかつた。
- このため、2月29日に予定していたペDESTAL内の小型ドローン調査については、一旦立ち止まり、調査を見送ることとしました。

〈以上、3月7日までにお知らせ済〉

- ヘビ型ロボットの有線ケーブルが延伸できなくなった原因を調査した結果、ケーブル送り出し操作時に、シールボックス内のケーブルガイドローラ※取り付け台座に有線ケーブルが巻き付いたことにより、有線ケーブルをPCV側へ送り出せなくなることを確認しました。
- 3月8日までに再発防止対策の有効性を確認できたことから、3月14日に小型ドローンを用いたペDESTAL内部の調査を実施する予定です。
- 一連の作業にあたっては、周辺環境に影響を与えないよう、安全を最優先かつ慎重に進めてまいります。

※ケーブルガイドローラ：有線ケーブル収納部からケーブル巻取機までのケーブルルートを確保し、補助するローラ

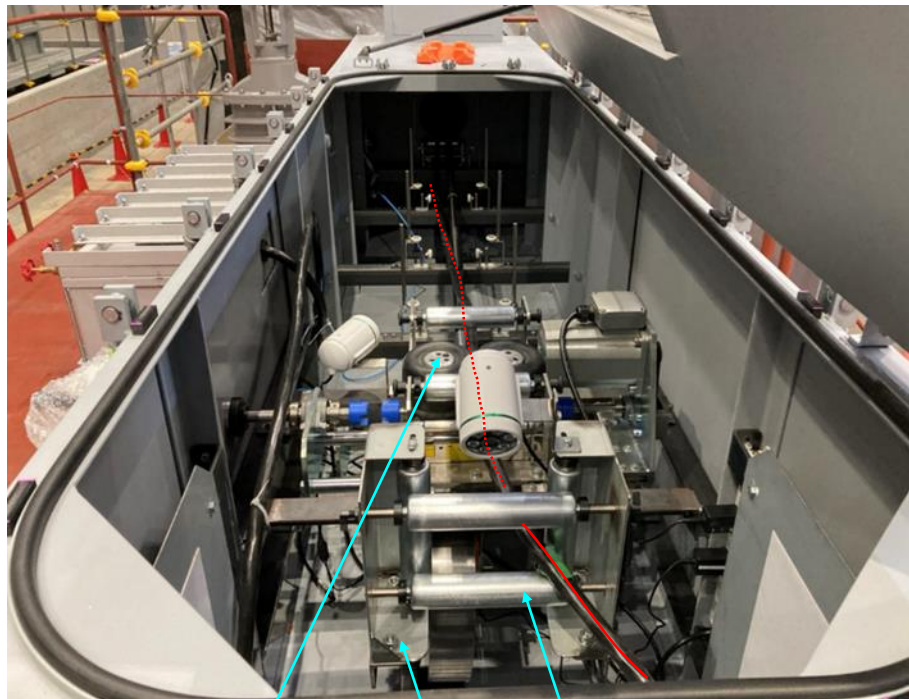


(参考) 原因 (事案発生時のヘビ型ロボット有線ケーブルの状態)

- 通常は有線ケーブルがケーブルガイドローラを介してケーブル巻取機に導かれるルートを通ります。
- 本事案では有線ケーブルがたわむことによって通常とは異なるケーブルルートとなることで、ケーブルガイドローラ取り付け台座に引っ掛かり、ケーブルを延伸することができなくなりました。

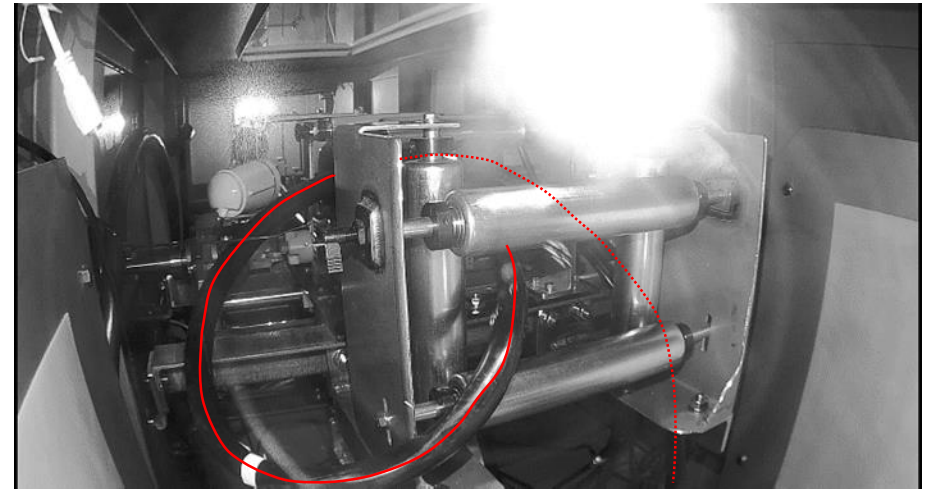
← ケーブル送り出し方向(PCV側)

— : ケーブルルート ↑ ケーブル送り出し方向(PCV側)

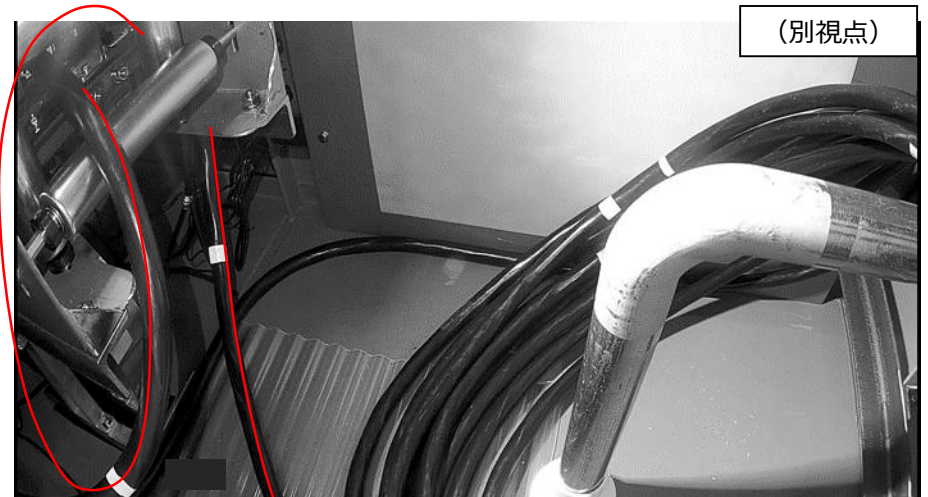


ケーブル巻取機 ケーブルガイドローラ
 ケーブルガイドローラ取り付け台座

正常な状態 (モックアップ時の写真)



(別視点)



— : ケーブルルート 事案発生時

(参考) 再発防止対策

- これまでのモックアップにおいては、同様の事案は確認されておりましたが、本件を踏まえ、以下の対策を講じることで事案の再発防止を図ります。

① ケーブルの再整線

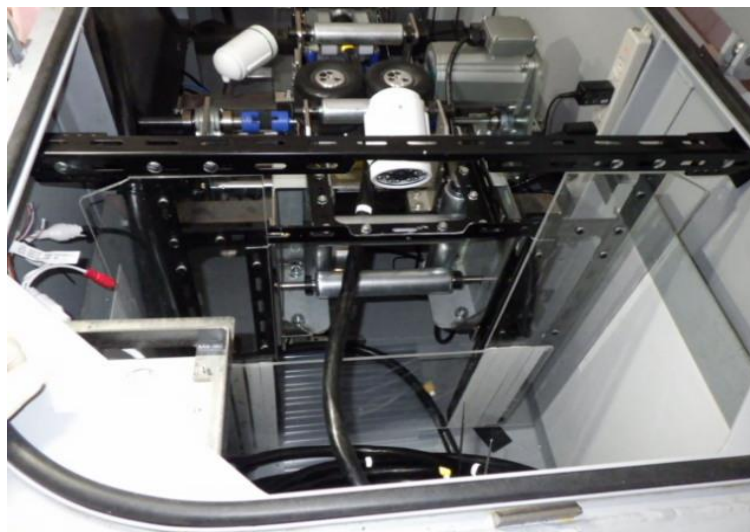
有線ケーブルの送り出し操作を繰り返すことで、通常とは異なるケーブルルートを通る可能性が高まるため、改めてケーブルを整線し、異なるケーブルルートを通る可能性を低減。

② ケーブル可動範囲の制限

万が一ケーブルが通常と異なるルートを通った場合でも、ガイドローラ取り付け台座への引っ掛かりや巻き付きが発生しないよう、可動範囲を制限するガードパネルを設置。

③ 異常挙動の監視強化・解除手順の明確化

ケーブルの監視はこれまでも監視カメラで実施していたが、当該監視カメラを専属で確認する監視員を追加し、ケーブルの状態監視を強化することで、異常な兆候を速やかに検知する。また、異常な兆候を確認した場合は、立ち止まりの指示を行うとともに、ケーブル巻取機を操作して、状態が改善する手順を明確にする。



ガードパネル取付け後



(参考) 今後の内部調査スケジュールについて

■ 気中部調査

- ▶ 小型ドローンを用いて気中エリアを調査。2023年度の調査実績を踏まえて、他号機を含めた展開を計画

■ 堆積物採取調査

- ▶ 水中ROV調査で確認された、多種多様な堆積物を採取し、分析する計画

■ ベント管・S/C調査

- ▶ 水中ROV調査の結果を踏まえ、ベント管・S/Cに堆積物が広がっていないか調査を計画

項目/年度	2023	2024以降
気中部調査	調査	改修・検討 調査(2回目) 調査結果および検討・M/Uを踏まえて時期調整
堆積物採取調査		検討、設計製作、M/U、訓練 採取調査 分析
ベント管・S/C内調査		検討、設計製作、M/U、訓練 S/C ベント管内調査