

第42回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2024)オープンフォーラム

OF19: 廃炉に向けた日本原子力学会との連携と課題9 ～福島廃炉に活用できるロボットのアイデア創出～

主催 日本ロボット学会/日本原子力学会 廃炉に向けたロボットの調査研究と社会貢献に関する研究会

IRIDにおける1F廃炉のための ロボット技術開発

令和6年9月3日

国際廃炉研究開発機構 (IRID)

奥住 直明

この成果は、経済産業省/廃炉汚染水対策事業費補助金の活用により得られたものです。

無断複製・転載禁止 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

目 次

1. はじめに
2. 遠隔除染技術開発
3. 原子炉格納容器内部調査技術開発
4. 燃料デブリ取り出し技術開発

目 次

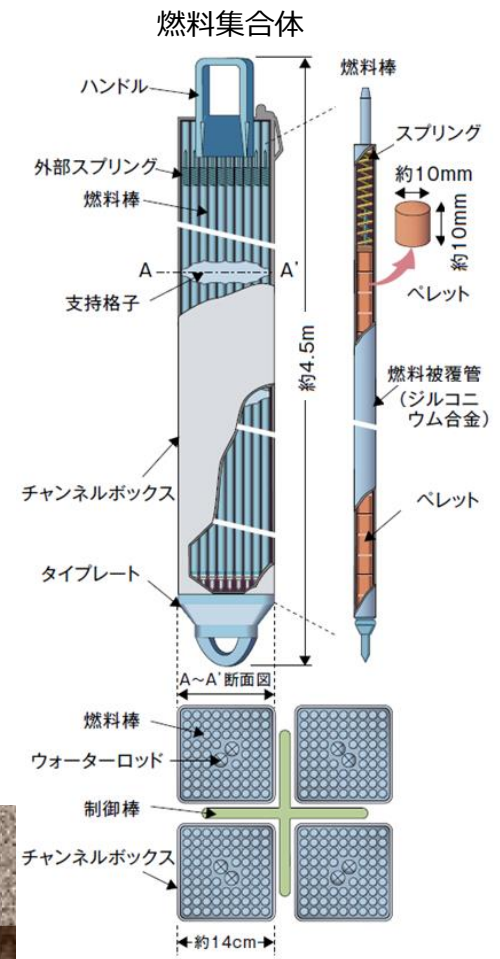
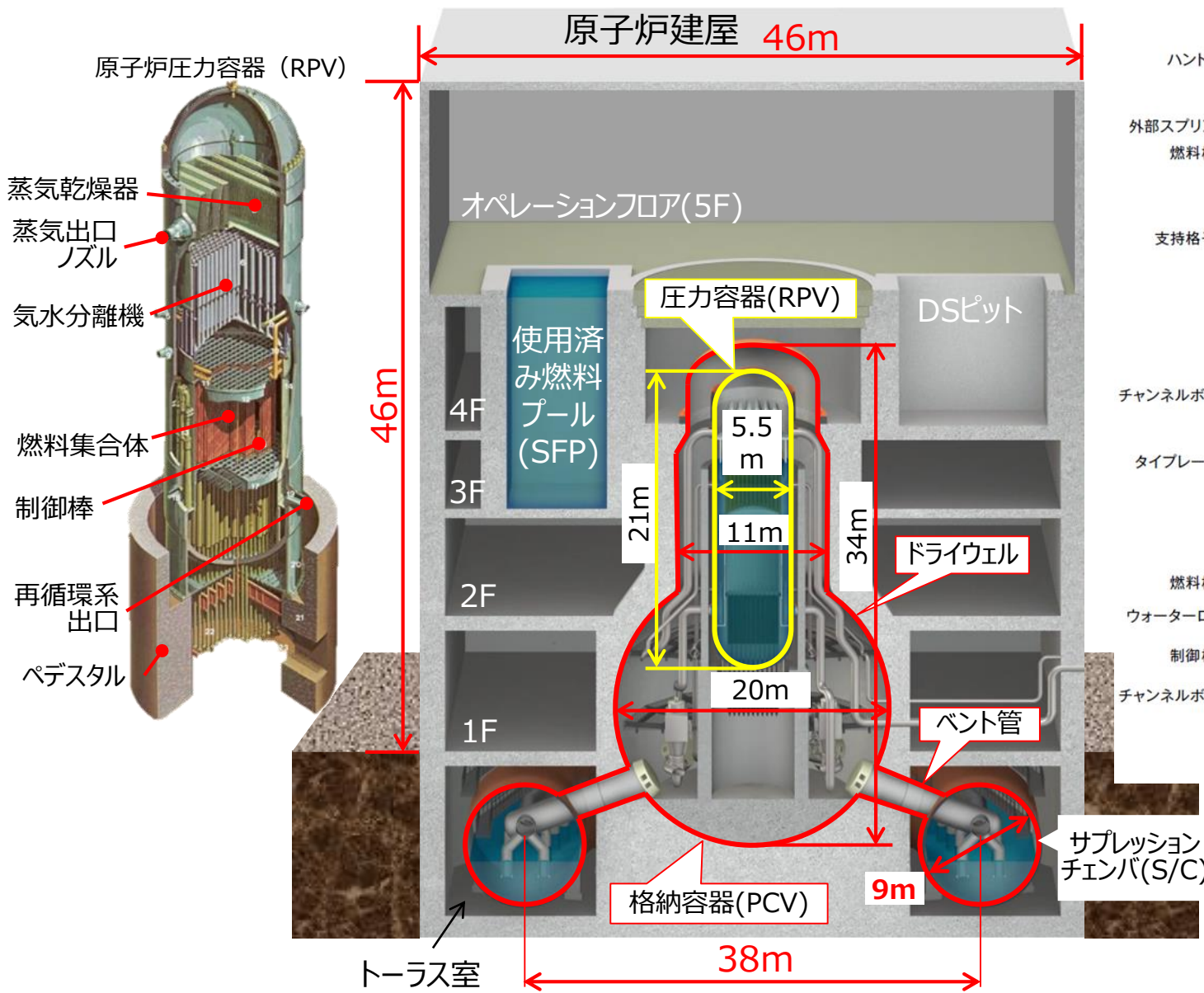
1. はじめに

2. 遠隔除染技術開発

3. 原子炉格納容器内部調査技術開発

4. 燃料デブリ取り出し技術開発

沸騰水型原子力発電所の構造



(注) 図中の寸法は 2 / 3号機の例。

目 次

1. はじめに

2. 遠隔除染技術開発

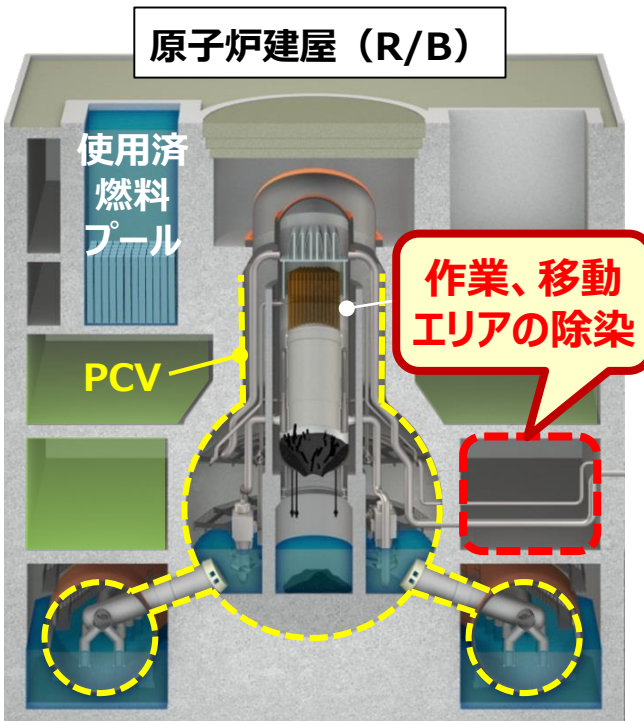
3. 原子炉格納容器内部調査技術開発

4. 燃料デブリ取り出し技術開発

遠隔除染技術

開発のニーズ

R/B内の線量が高く容易に人が近づけない。**作業場所の環境改善（線量低減）**が必要。



低所(床,下部壁面)用



吸引/ブラスト

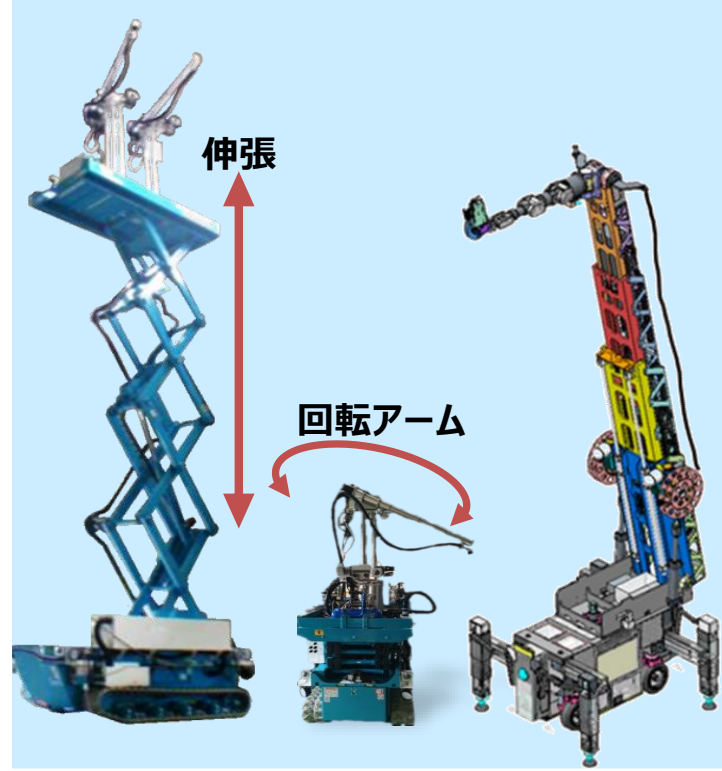


高圧水噴射

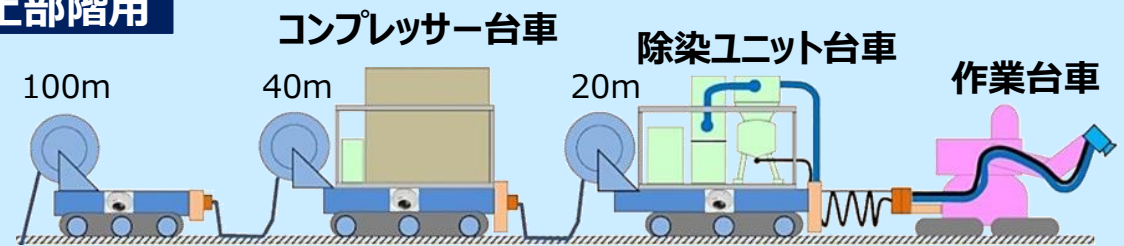


ドライアイスブラスト

高所用



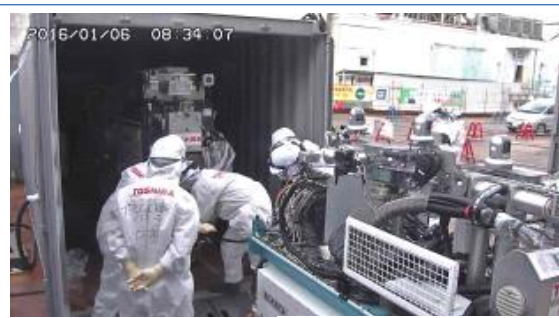
上部階用



遠隔除染技術

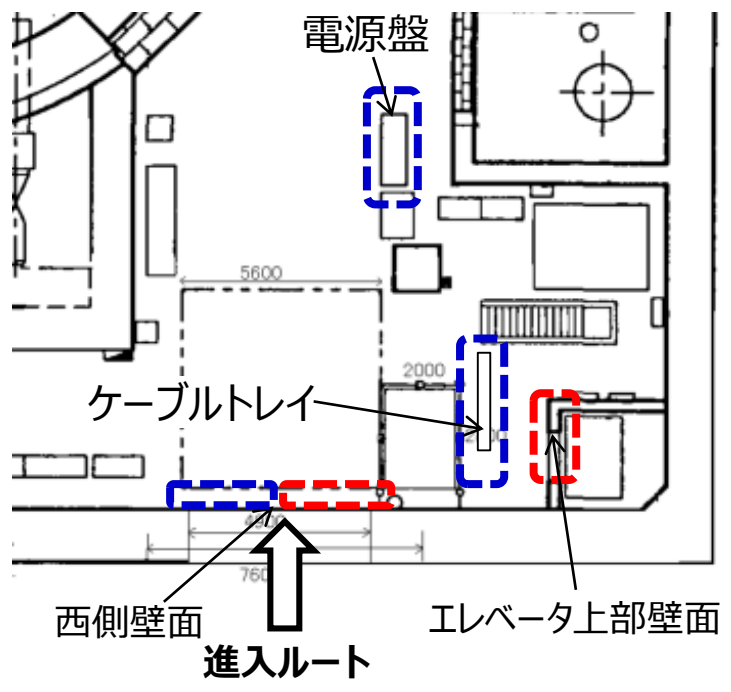
現場への適用（3号機）

2016年1月～2016年2月に
3号機R/B 1階で吸引
除染及びドライアイスブ
ラスト除染を実施。



コンテナから搬出する場面

□ : 吸引 □ : ドライアイス



3号機R/B内への進入風景

目 次

1. はじめに

2. 遠隔除染技術開発

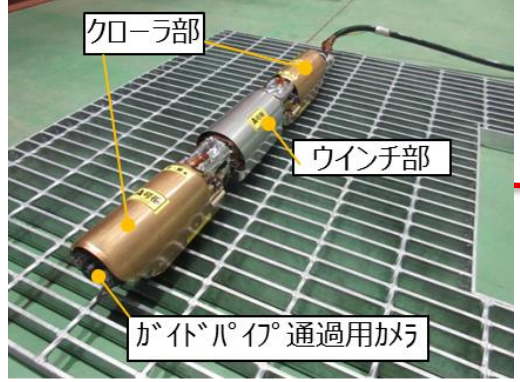
3. 原子炉格納容器内部調査技術開発

4. 燃料デブリ取り出し技術開発

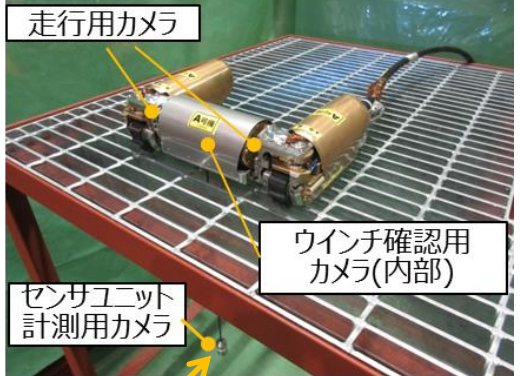
原子炉格納容器内部のロボット等による調査

ペDESTル外側の調査 (1号機)

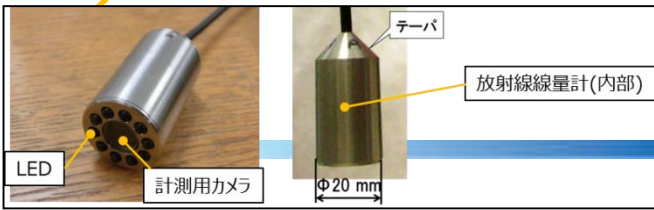
○形状変化型ロボット (B2調査)



I型(ガイドパイプ通過時)
 ↓変形

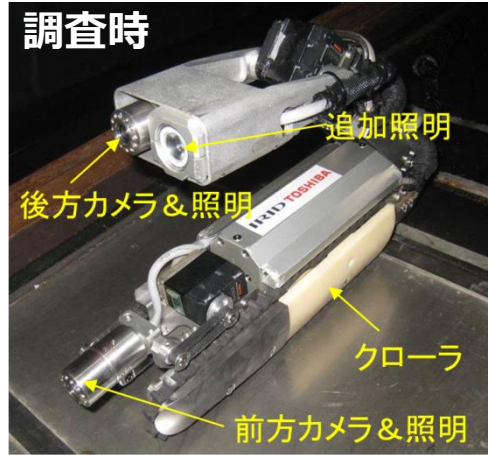
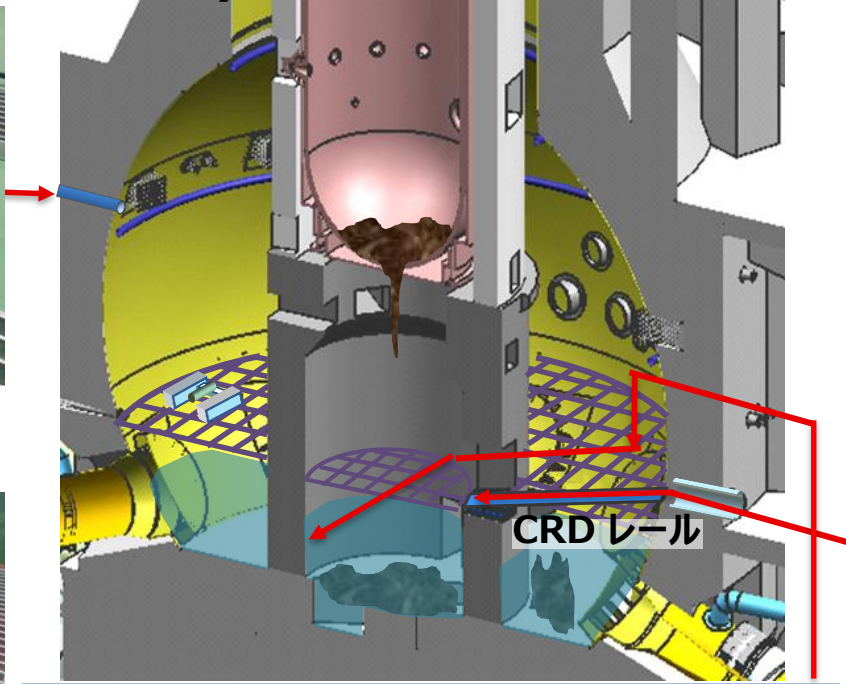


II型(平面走行時)

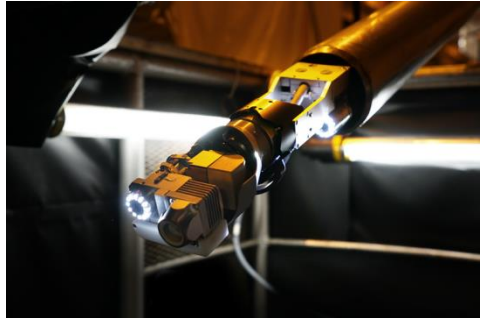


ペDESTル内側の調査 (2号機)

○クローラ型遠隔調査ロボット (A2調査)



○釣りざお型調査装置 (A2'調査)



ペDESTル内側の調査 (3号機)



○水中遊泳型ロボット

1号機 ペDESTAL外調査(2017.3)

3/18 (土)

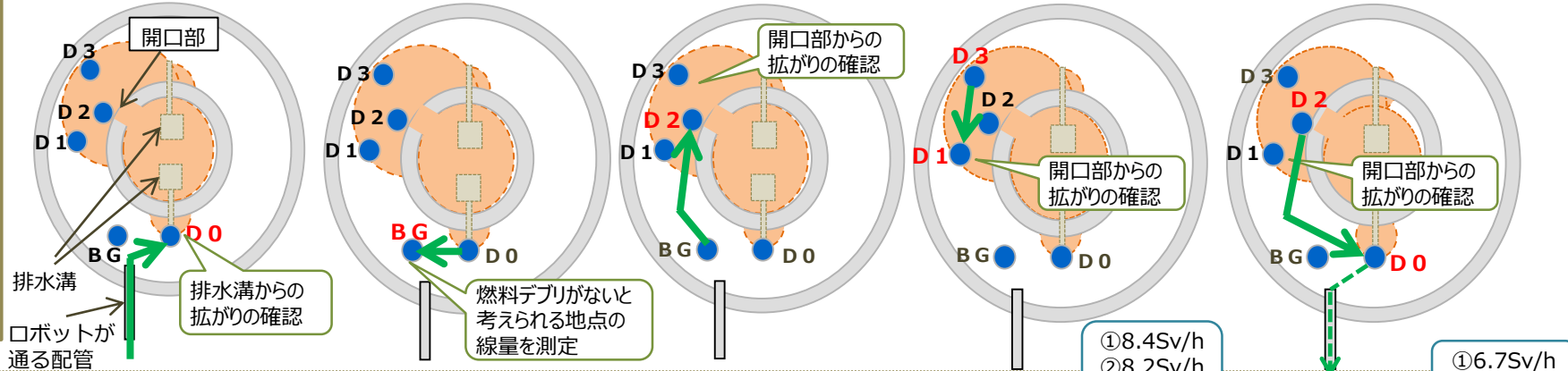
3/19 (日)

3/20 (月)

3/21 (火)

3/22 (水)

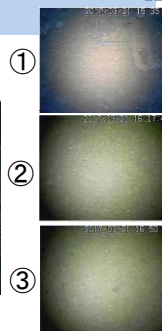
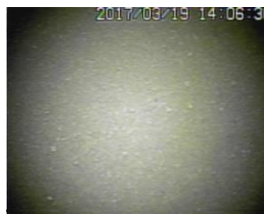
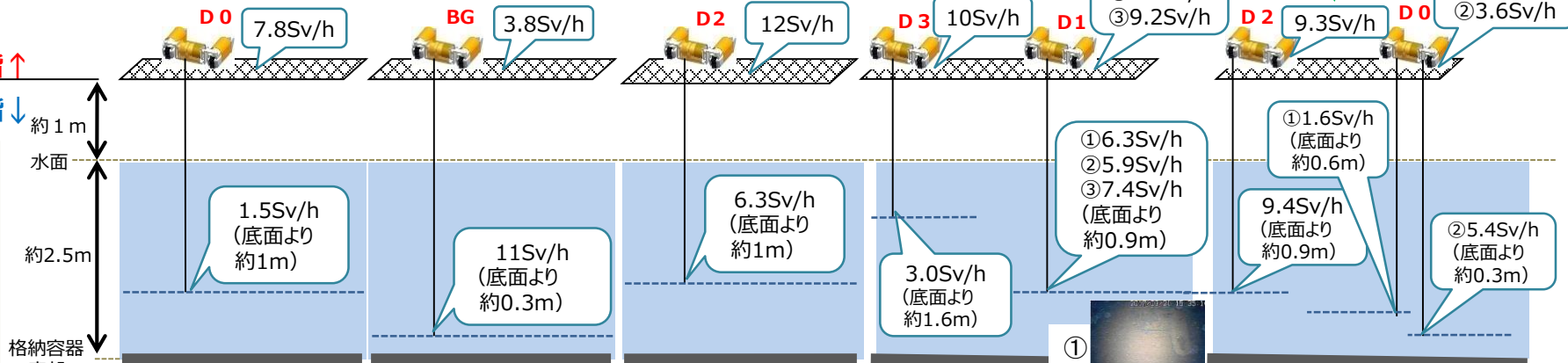
調査地点と調査の狙い
(平面図)



1階↑

地下階↓

調査結果 (断面図)



● 調査ポイント ← 調査経路 ○ 燃料デブリの拡がりイメージ (シミュレーションの一例)

※調査中の敷地境界における線量は、約0.5~2 μ Sv/hで変化なく、周辺環境への影響は生じていない。
 ※放射線量・底面からの距離は、今後評価予定。
 ※1階部分の放射線量は前回(2015年4月)の測定値(4.1~9.7Sv/h)と同程度

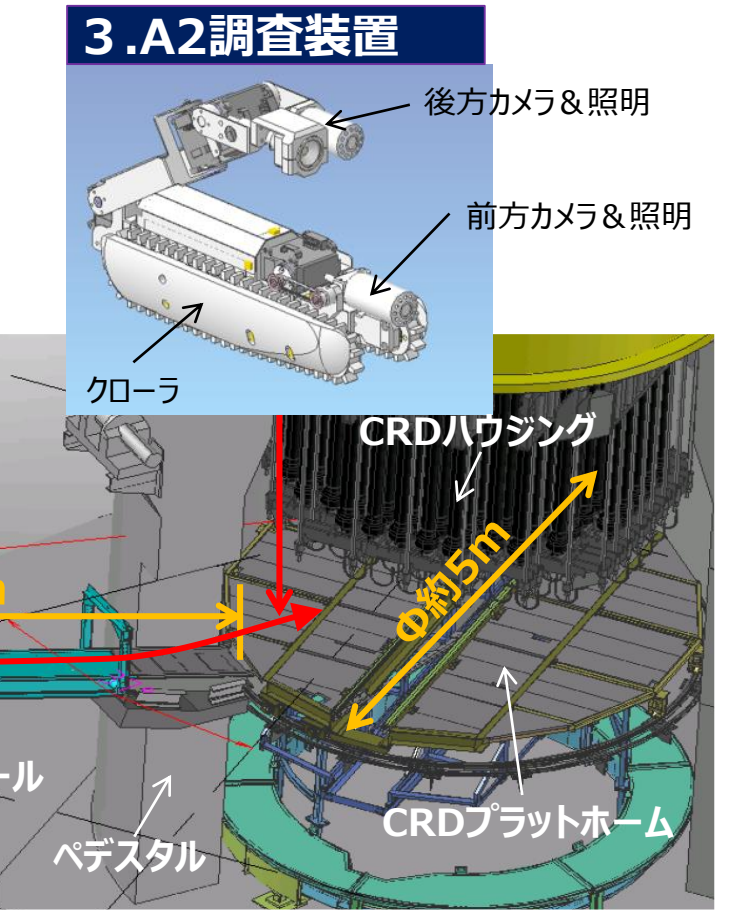
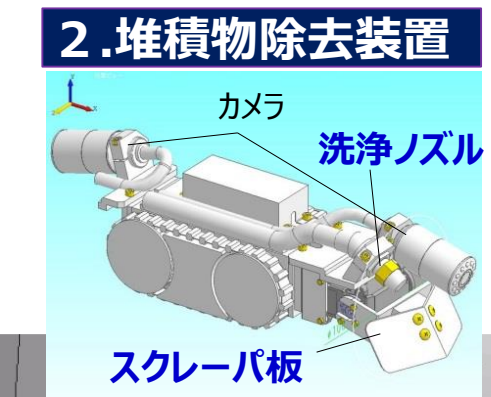
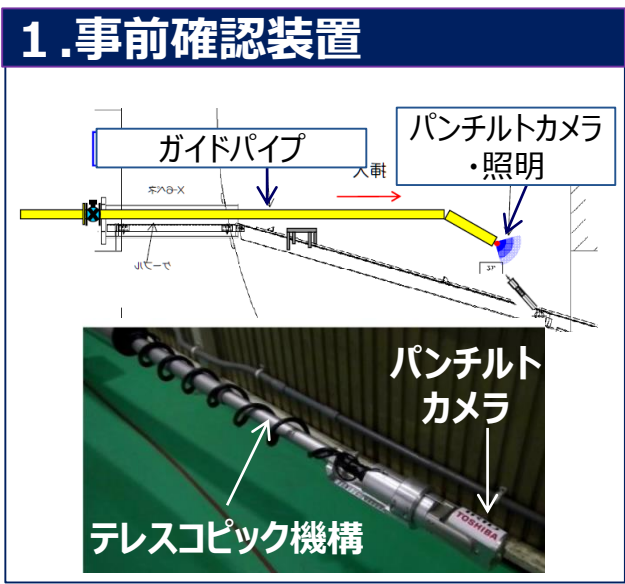
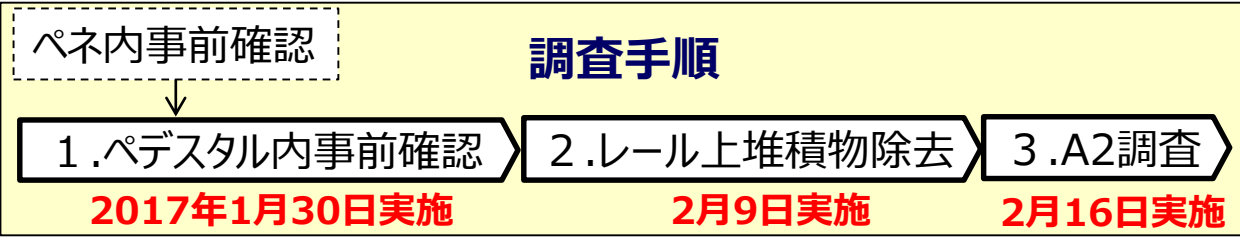
2号機 ペDESTAL内上部調査(A2調査 2017.1~2)

【調査方法】

- カメラによる撮影

【実施時期】

- 2017年1~2月



2号機 ペデスタル内上部調査(A2調査 2017.1~2)

ペデスタル内 上部 (画像処理後)

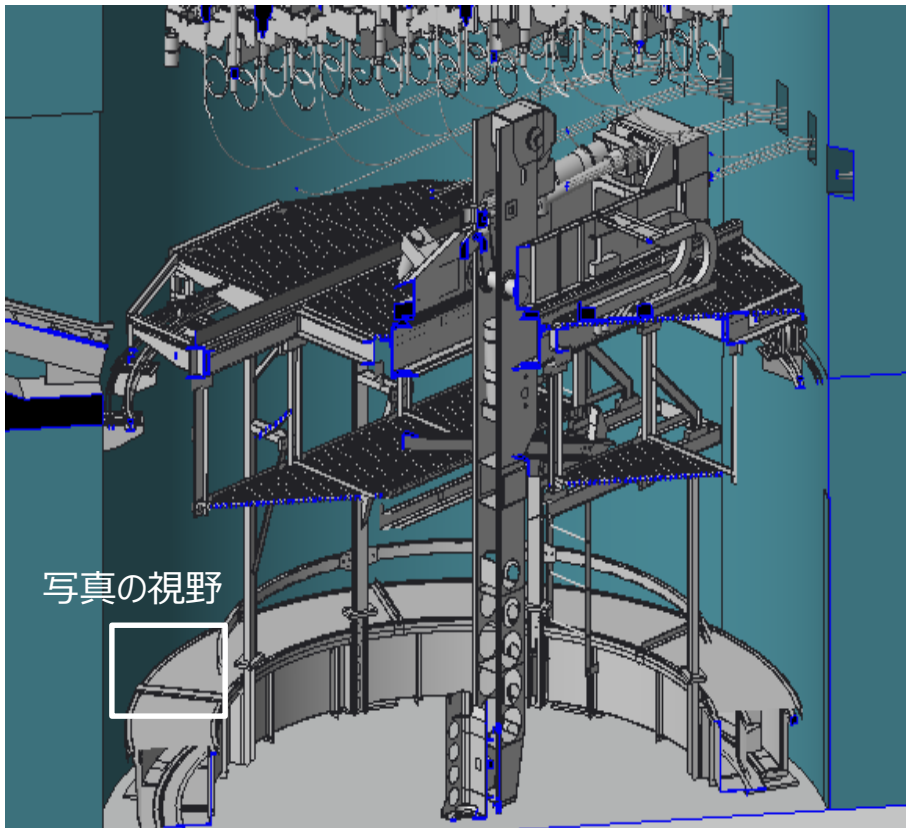
VIEWING ANGLE : 90

ImageList:

ImageIndex:



2号機 ペDESTAL内下部調査(A2'調査 2018.1)



2号機格納容器内底部
(鳥瞰イメージ)

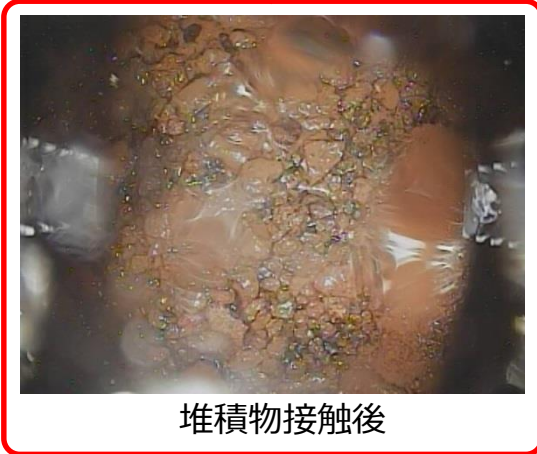
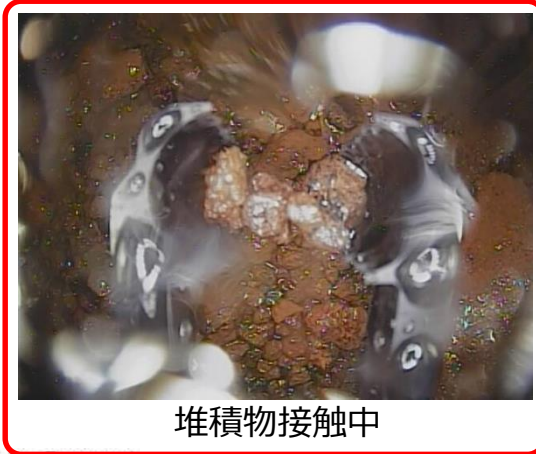
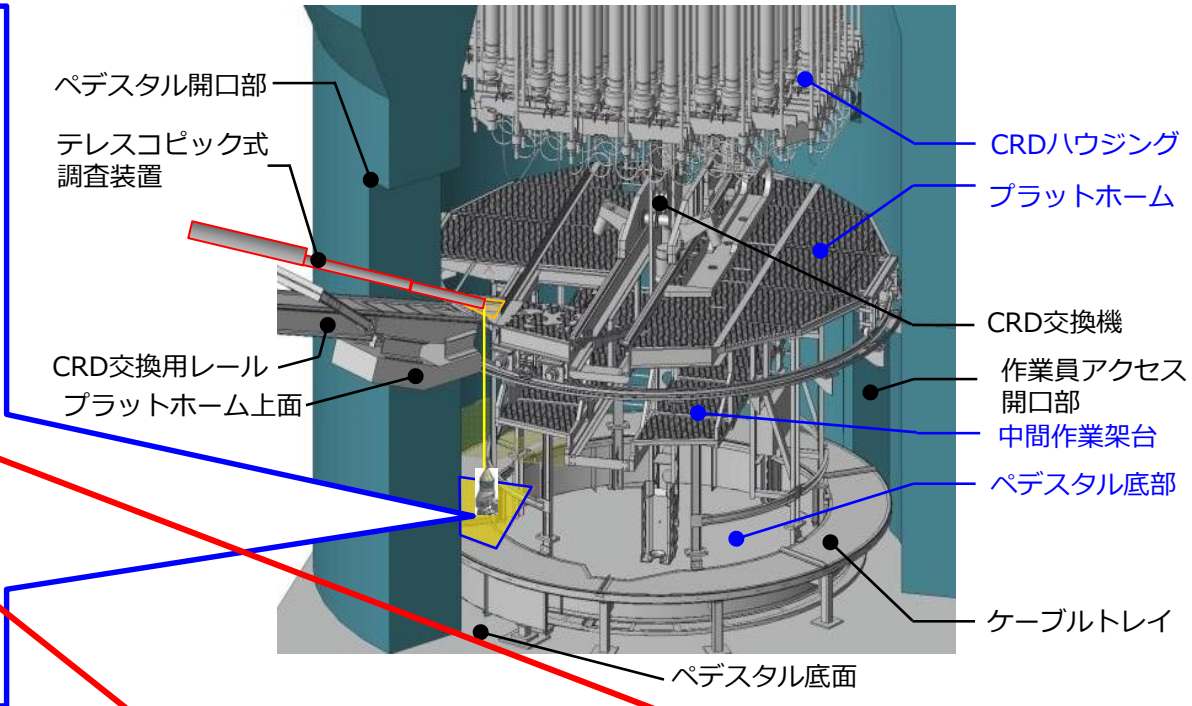
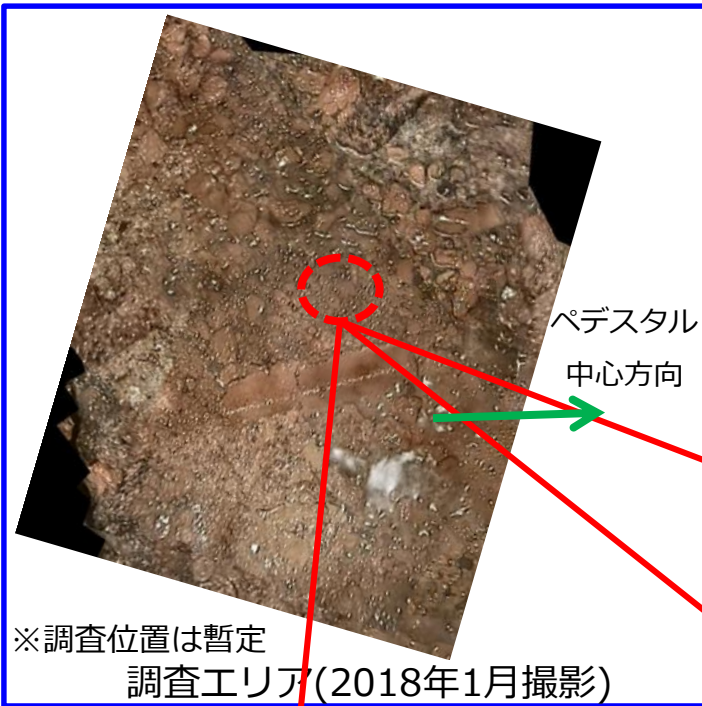
画像：2号機格納容器内底部,
ペDESTAL内 内壁付近



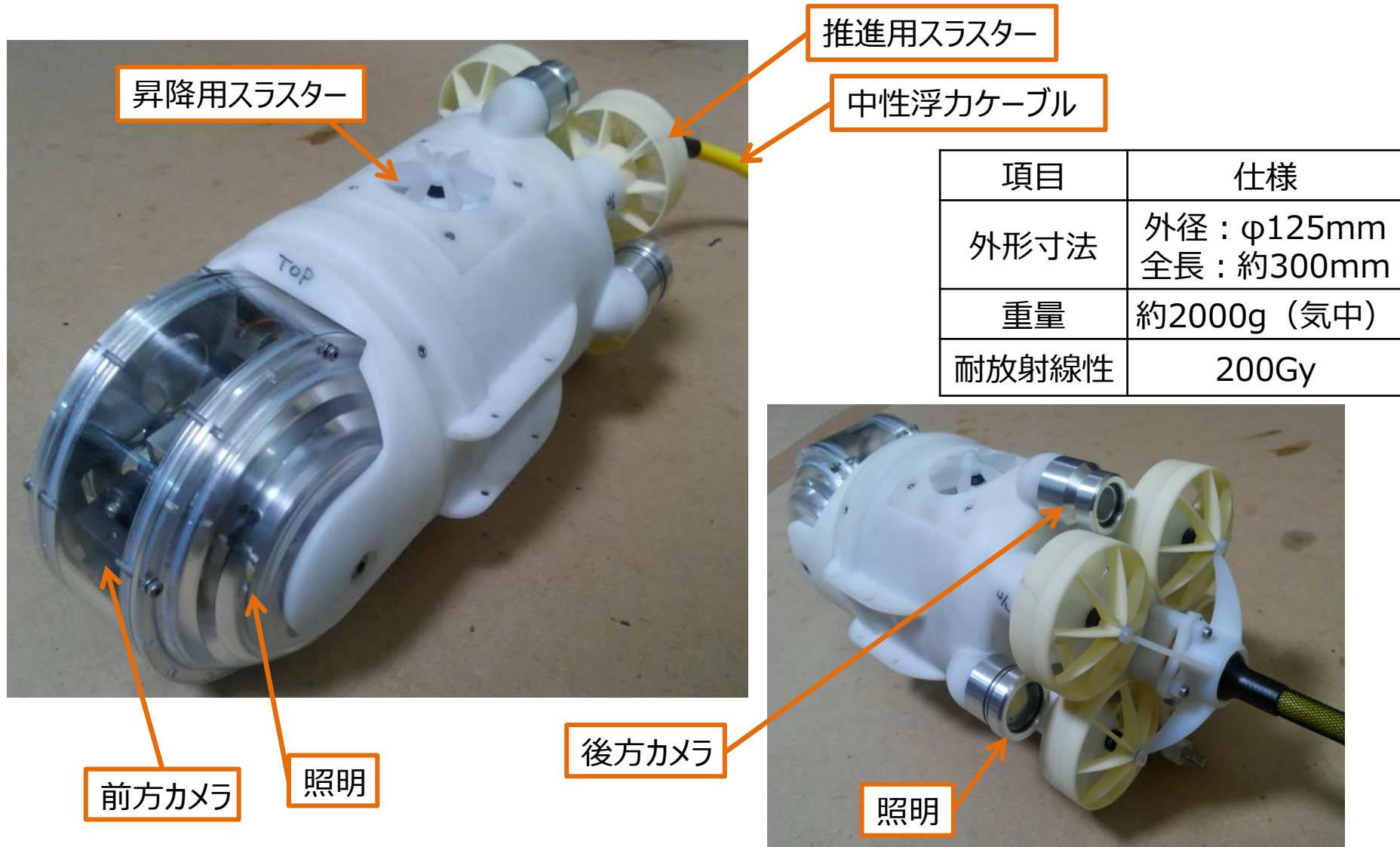
PAN -087

TILT +071

2号機 ペDESTAL内下部調査(A2"調査 2019.2)TEPCO



3号機格納容器内調査 水中ROV



3号機 格納容器内調査結果

2. 調査結果

2.3. ペDESTAL内下部



作業員アクセス開口部
180°
プラットフォーム フレーム
撮影エリアC1
撮影エリアC5
撮影エリアC3
撮影エリアC4
撮影エリアC2
90°
0°

撮影エリアC1
<カメラ向き：下方>
堆積物（小石状）

撮影エリアC2
<カメラ向き：水平>
グレーチング
落下物
堆積物（砂状）

撮影エリアC3
<カメラ向き：上方>
塊状の堆積物

撮影エリアC4
<カメラ向き：下方>
塊状の堆積物

撮影エリアC5 <カメラ向き：下方>
旋回レールブラケット
堆積物
作業員アクセス開口部の方向

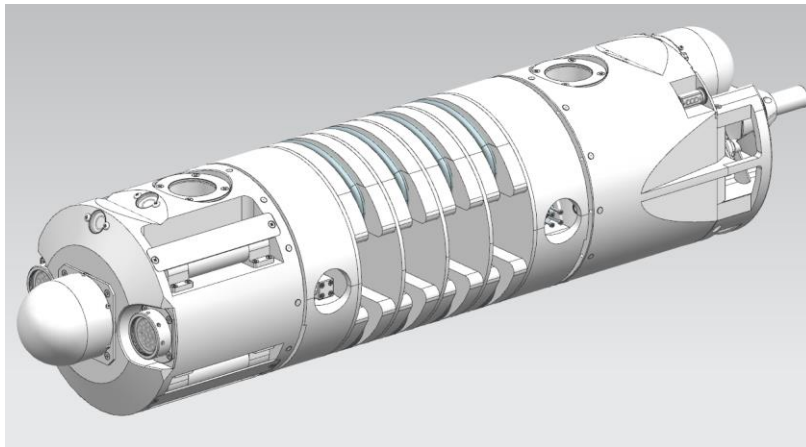
■ 砂状、小石状や塊状の堆積物を確認
■ 作業員アクセス開口部は視認できなかった（近傍に堆積物を確認）

株式会社 画像提供：国際廃炉研究開発機構（IRID）¹¹
〒100-0001 東京都千代田区千代田1-1-1 電力中央研究所 原子力安全技術センター 3階303号室

「3号機原子炉格納容器内部調査について(2017年11月30日 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議(第48回)報告資料)」より抜粋

ボート型アクセス装置

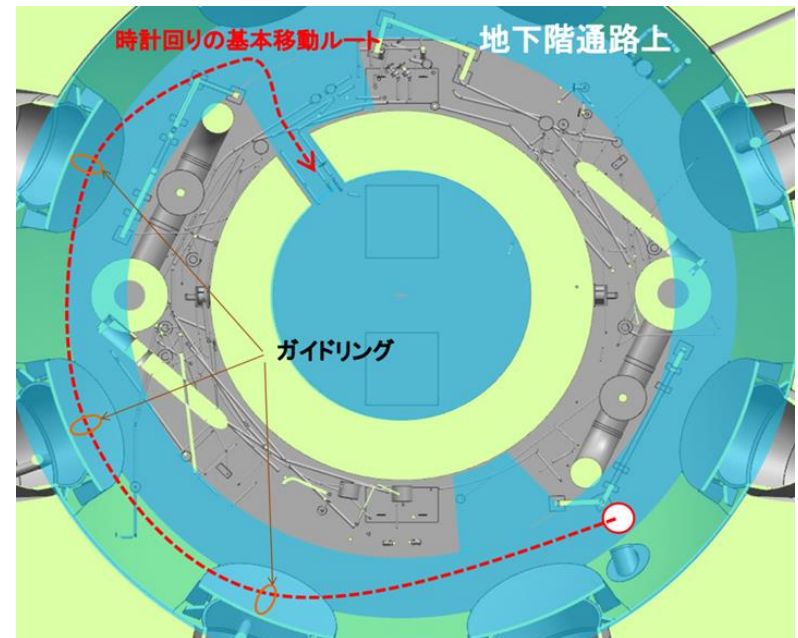
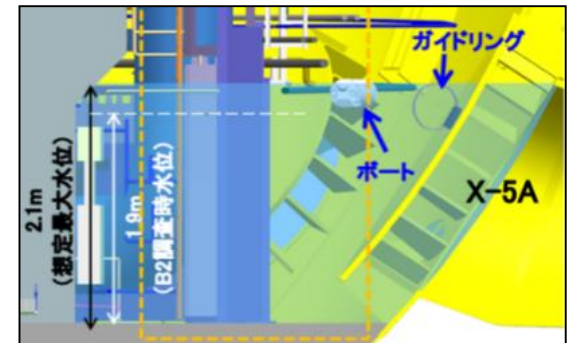
- 格納容器内の水の上を航行して、広範囲に移動可能なボート型アクセス装置を製作



ガイドリング取付用の例

- 直径: $\phi 25\text{cm}$
- 長さ: 約1.1m
- 推力: 25N以上

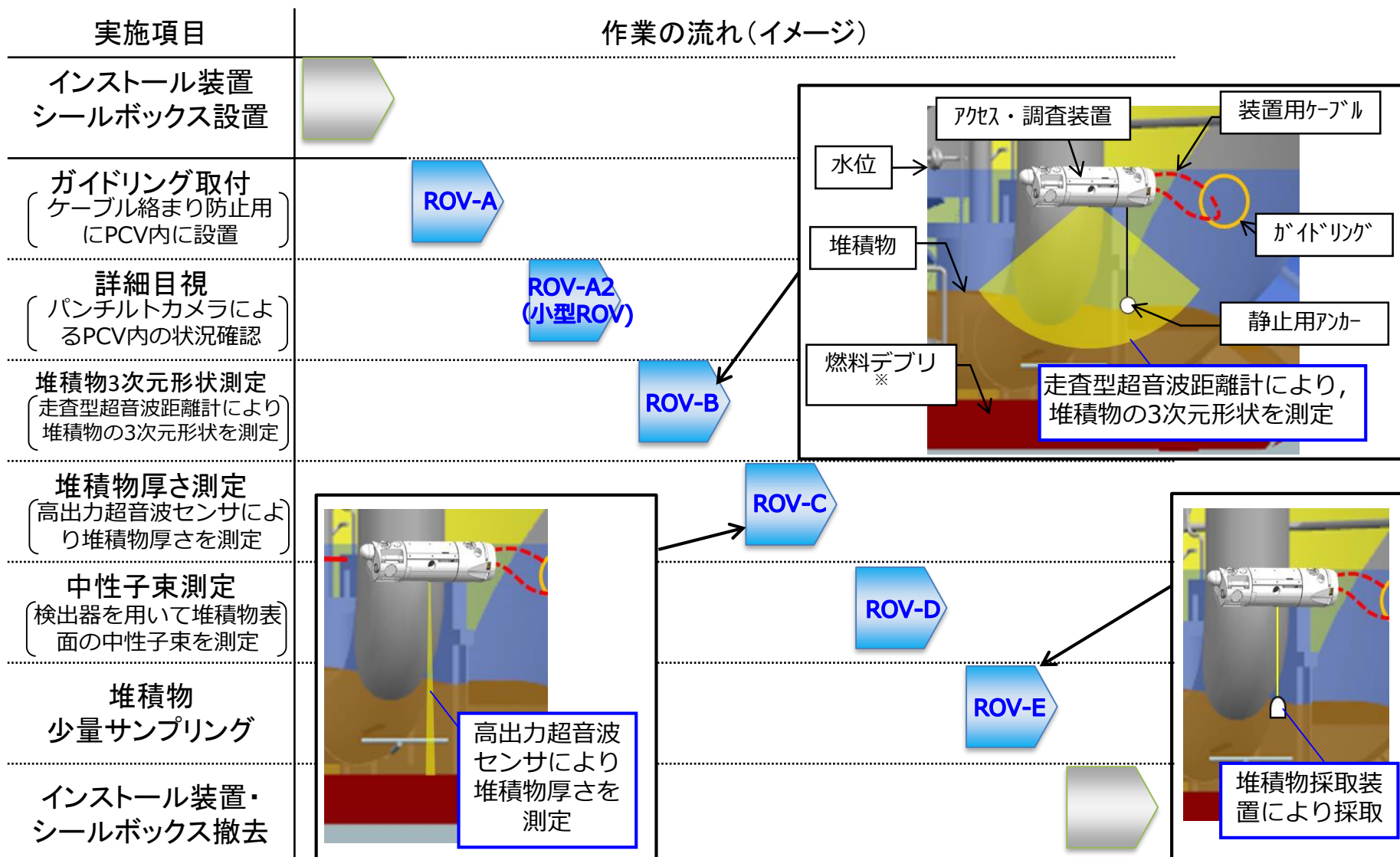
ボート型アクセス装置外観



ボート型アクセス装置の動線

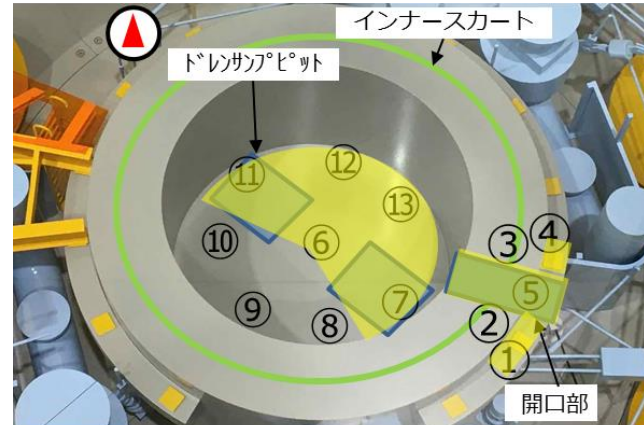
1号機：ボート型アクセス装置(X-2ペネからのPCV内部調査)

■ 潜水機能付ボート型アクセス・調査装置については、機能毎に6種類準備



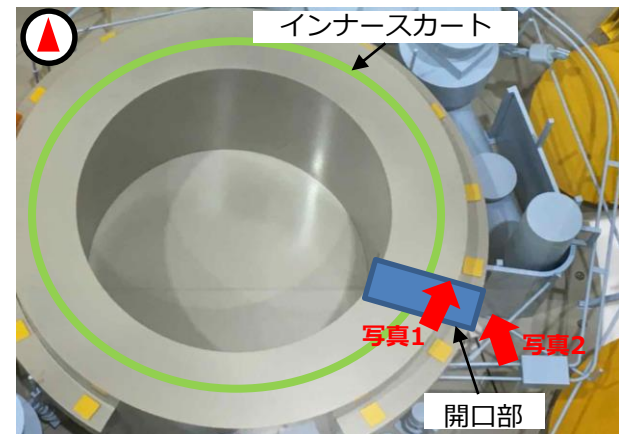
※：堆積物の厚さや燃料デブリの有無及び厚さは未知だが、説明のためイメージとして記載

【参考】ペDESTAL開口部から撮影した映像のパノラマ画像



【参考】ペDESTAL開口部右側のコンクリート残存(1/2)

- ペDESTAL外部から見えているコンクリート残存の可能性の高い部分（事故前に設置されたボルトの締結状態が確認できる。）について、2023/3の調査にて、ペDESTAL壁内部でも対応する部分を確認した
- ペDESTALの外壁開口部右側におけるコンクリートの消失は限定的と考えられる
- 確認された外側の鉄筋は、開口部右7本、左11本。耐震評価においては、開口部とあわせ、角度にして64°に相当するとして設定



ROVフレームの映り込み



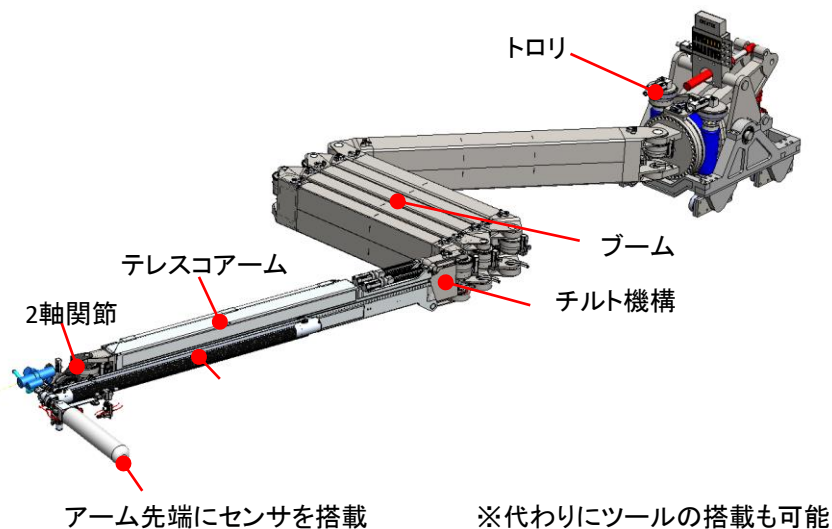
写真1. ペDESTAL開口部内から見えているコンクリート残存部



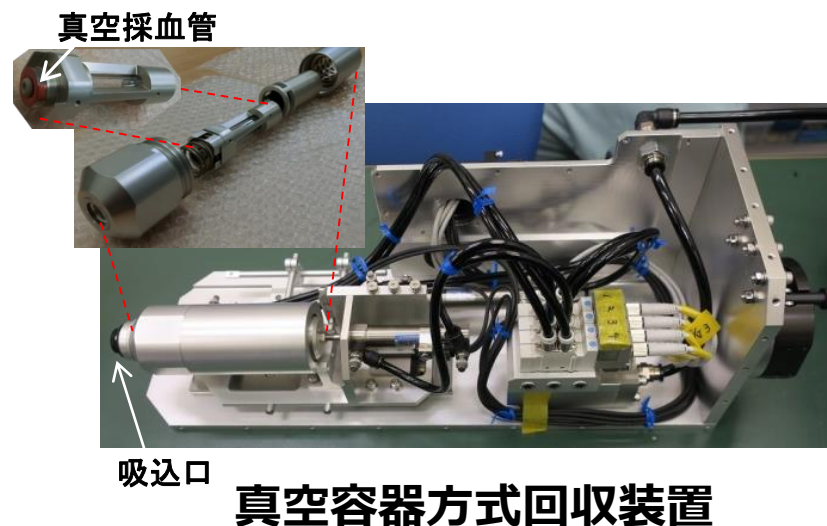
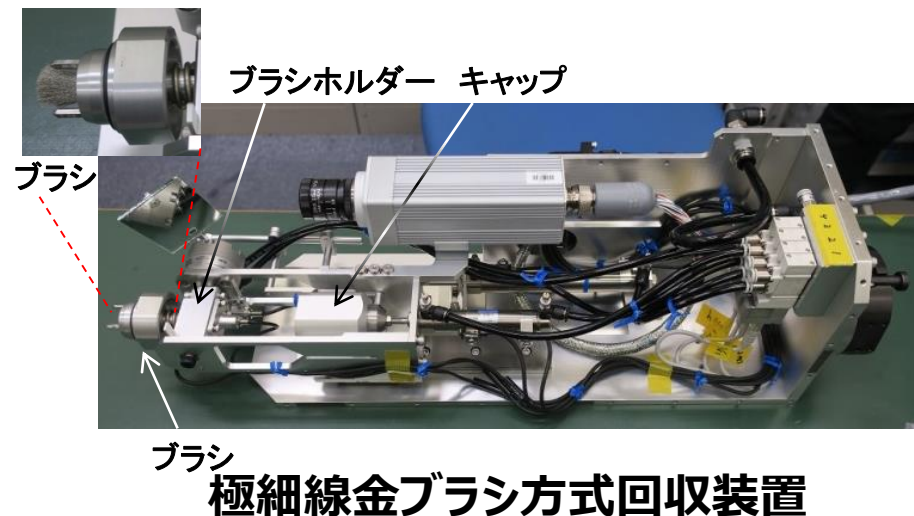
写真2. ペDESTAL外部から見えているコンクリート残存部

燃料デブリ 試験的取り出し

アーム型アクセス装置先端に極細線金ブラシ方式回収装置等を装着



アーム型アクセス装置



アーム型アクセス装置 (ビデオ)



目 次

1. はじめに

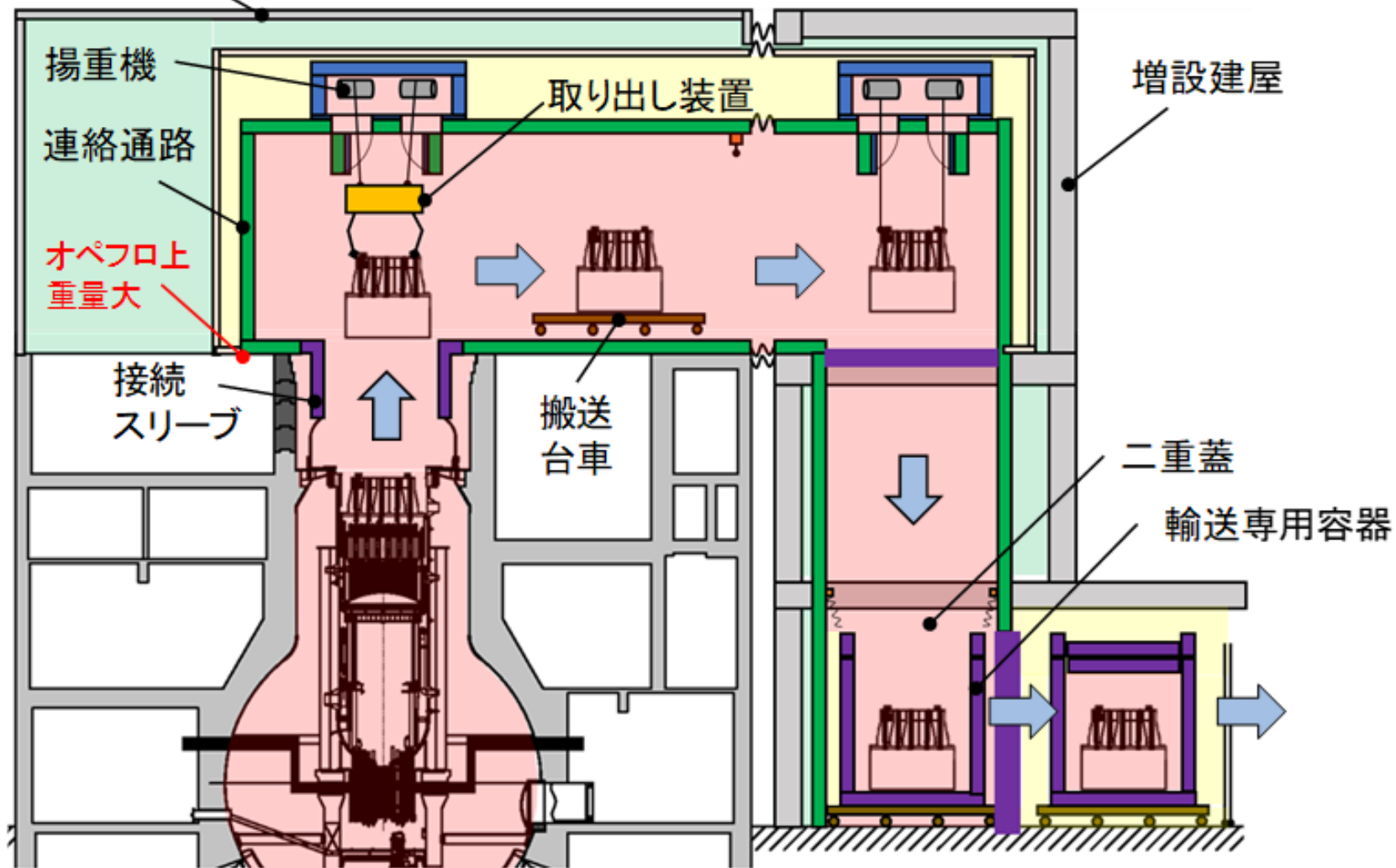
2. 遠隔除染技術開発

3. 原子炉格納容器内部調査技術開発

4. 燃料デブリ取り出し技術開発

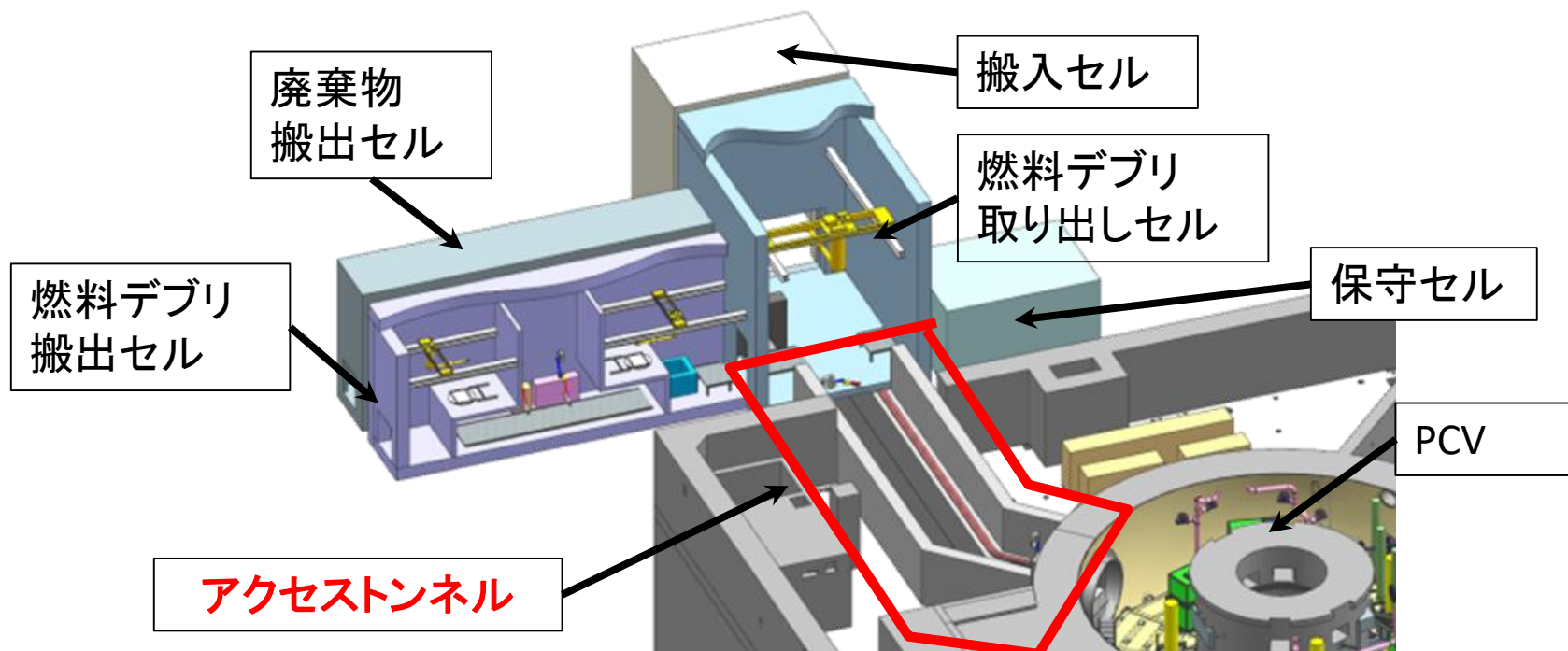
【上アクセス工法の例】：構造物一体撤去・搬出工法

原子炉建屋



【横アクセス工法】トンネル施工技術

- アクセストンネル工法では、**重量物のトンネル（約800トン）**を原子炉建屋外から**精密な位置制御で送り出し、格納容器へ接続**させる必要有
- 橋梁等の工事で実績がある重量物送り出し工法を応用し、**狭隘部に曲がった形状の重量物トンネルを送り出す技術**を開発中



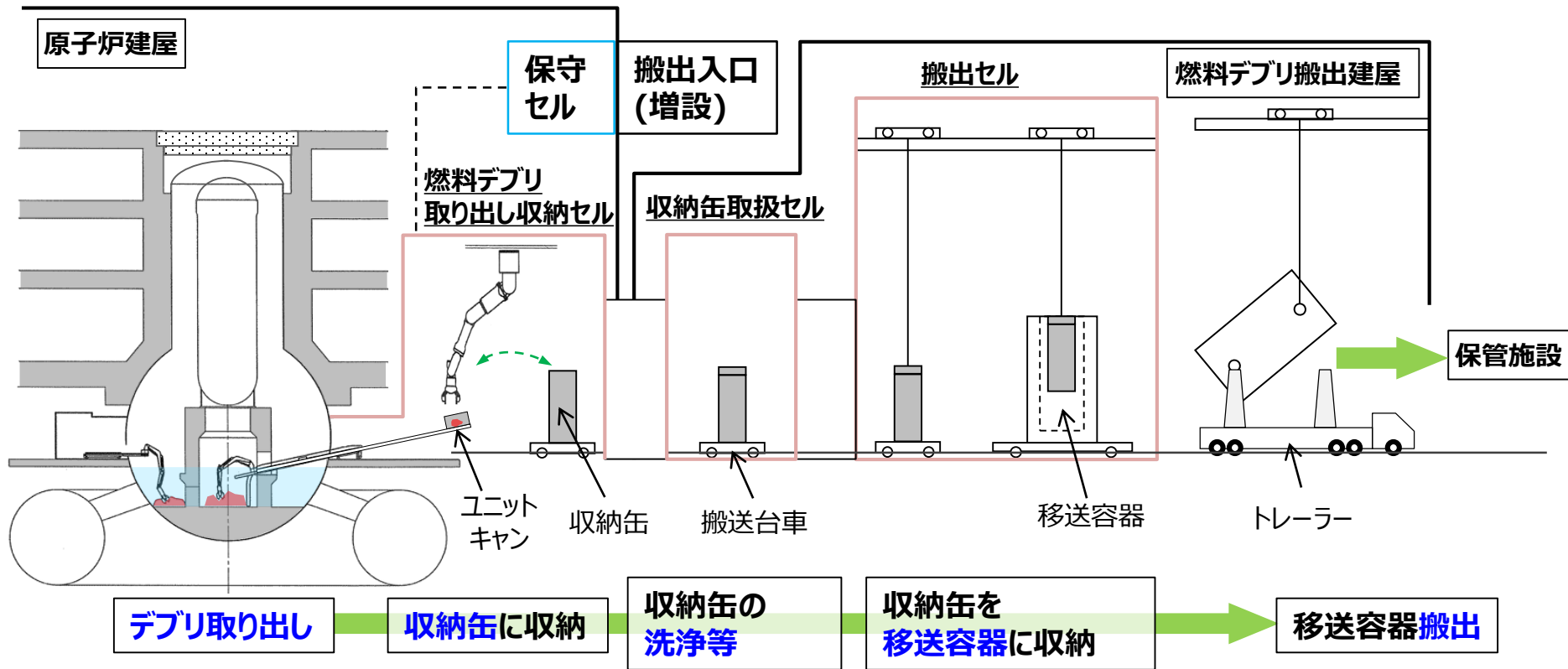
アクセストンネル工法の配置イメージ

収納・移送・保管技術

収納缶の設計 ⇒ 1F固有の課題に対処

- 燃焼度と濃縮度が高い→**反応度高**
- コンクリートとの溶融生成物→コンクリート中の水分の放射線分解による**水素発生**
- 海水注入、計装ケーブル他との溶融→**塩分**の影響、**不純物**の混入

移送方法（**気中-横アクセス工法**の場合：例）



デブリ取り出し時の重要項目

1. 閉じ込め

デブリの切削、はつり等を行う際に発生するダストを環境に放出しない。

2. 作業員被ばくの低減

作業時の作業員被ばくの低減を目指す。

3. 臨界防止

デブリ取り出しに伴う形状変化により臨界となるリスク回避。

4. 火災・爆発（不活性化）

デブリの切削、はつり等を行う際に発火、水素爆発防止。

5. 冷却

事故後時間が経過しており、崩壊熱は減少しているが、一定の冷却は必要。

ロボット学会におけるIRID講演履歴

1. 2017年9月11日

オープンフォーラム

廃炉に向けた日本原子力学会との連携と課題

「廃炉用ロボット技術と学会への期待」

IRID 副理事長 新井民夫

2. 2019年9月3日

日本ロボット学会学術講演会 RSJ2019 オープンフォーラム

「デブリ取り出し技術の開発における遠隔作業への期待」

IRID 開発計画部長 高守 謙郎

3. 2020年10月21日

第129回 ロボット工学セミナー『福島復興で活躍するロボット』

「福島第一原子力発電所の廃炉用ロボットの開発 ～ 課題と必要技術」

IRID 副理事長 新井民夫

4. 2022年9月9日

第40回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2022) オープンフォーラム

OF12: 廃炉に向けた日本原子力学会との連携と課題7

「IRIDにおけるロボット技術研究開発概況」

IRID 開発計画部部長 奥住直明

ご清聴ありがとうございました。