

福島第一原子力発電所 燃料デブリ取り出し技術開発の状況

令和2年12月23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

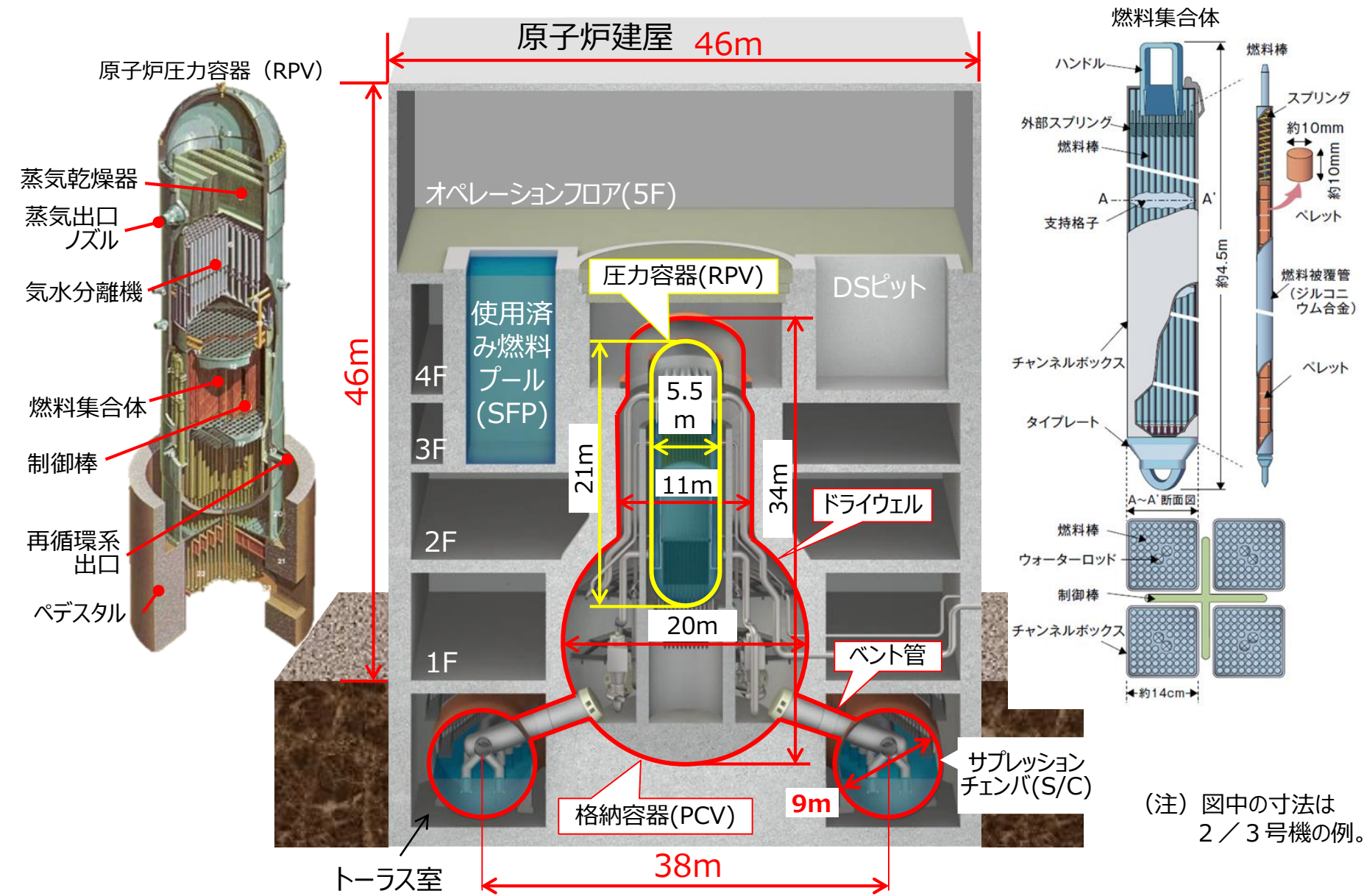
1. はじめに
2. 遠隔除染技術開発
3. 原子炉格納容器補修技術開発
4. 原子炉格納容器内部調査技術開発
 - (1)既に終了した調査
 - (2)今後計画している調査
5. 燃料デブリ取り出し技術開発

目 次

1. はじめに
2. 遠隔除染技術開発
3. 原子炉格納容器補修技術開発
4. 原子炉格納容器内部調査技術開発
 - (1)既に終了した調査
 - (2)今後計画している調査
5. 燃料デブリ取り出し技術開発

IRID紹介ビデオ

沸騰水型原子力発電所の構造



原子炉格納容器(PCV)の外観（建設写真）

「ドライウェル（D/W）」：S/Cより
上部のPCV

「PCV貫通部」：配管貫通部、
電気配線貫通部等

1号機 約150か所
2号機 約200か所
3号機 約190か所

「機器ハッチ」：大型機器の搬出入口

「ベント管」：D/WとS/Cの連絡配管

「サプレッションチェンバ（S/C）」：
事故が起きた時に発生した蒸気を
S/C内の水で凝縮し、PCVの圧力の
上昇を抑える。

「エアロック」：人の出入口

「Browns Ferry Unit 1 under construction 1966.Sep.」
Tennessee Valley Authority – TVA's 75th Anniversary webpage

1. プール燃料取り出しに係る研究開発

使用済燃料プールから取り出した燃料集合体の長期健全性評価

2016.3終了

2. 燃料デブリ取り出しに係る研究開発

除染・線量低減技術

R/B内の
遠隔除染
技術

2016.3終了

環境整備技術

PCV
漏えい箇所の
補修・止水
技術

2018.3終了

PCV
漏えい箇所の
補修技術の
実規模試験

2018.3終了

PCV内
水循環
技術

PCV内
水循環技術
実規模試験

＜安定状態の確保＞

RPV/PCVの
腐食抑制
技術

2017.3終了

RPV/PCVの
耐震性評価
手法

2018.3終了

燃料デブリ取り出し技術

燃料デブリ・
炉内構造物取出
臨界管理
技術

2019.3終了

燃料デブリ・
炉内構造物取出
基盤技術

2019.3終了

＜デブリ取り出し＞

燃料デブリ・
炉内構造物取出
基盤技術
**小型中性子
検出器**

2018.9終了

内部調査・分析技術

＜間接的調査＞

RPV内
燃料デブリ検知
技術

2016.7終了

総合的な
**炉内状況
把握**
の高度化

2018.3終了

＜直接的調査＞

PCV
内部調査
技術

2018.3終了

PCV
詳細調査
技術

2019.3終了

PCV詳細調査
X-6ハネ
実証

PCV詳細調査
堆積物
実証

RPV
内部調査
技術

燃料デブリ
サンプリング
技術

燃料
デブリ性状
把握・分析

燃料デブリ・
炉内構造物
**取り出し技術
開発**

燃料デブリ・
炉内構造物取出
**ダスト集塵
システム**

燃料デブリ
**収納・移送
・保管**技術

3. 廃棄物対策に係る研究開発

固体廃棄物の
先行的処理手法
技術

2019.3終了

固体廃棄物の
処理・処分
技術

目 次

1. はじめに
- 2. 遠隔除染技術開発**
3. 原子炉格納容器補修技術開発
4. 原子炉格納容器内部調査技術開発
 - (1)既に終了した調査
 - (2)今後計画している調査
5. 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。

原子炉建屋（R/B）

使用済
燃料
プール

PCV

作業、移動
エリアの除染

低所(床,下部壁面)用



吸引/ブラスト

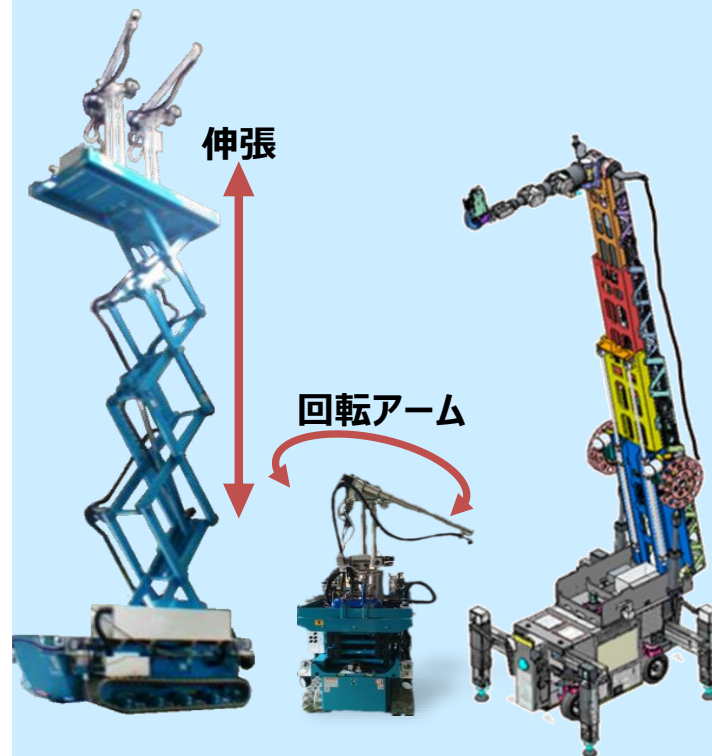


高圧水噴射

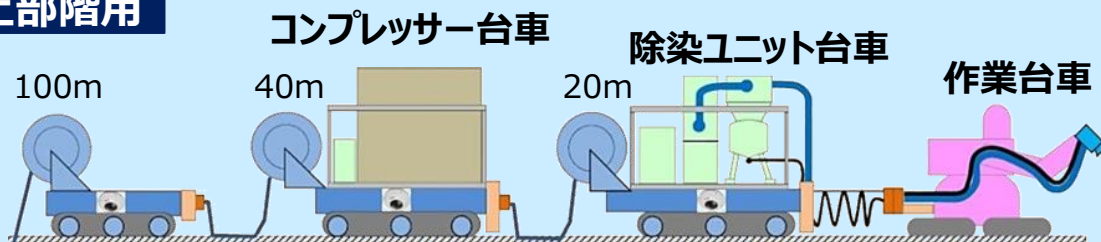


ドライアイ
スブラスト

高所用



上部階用

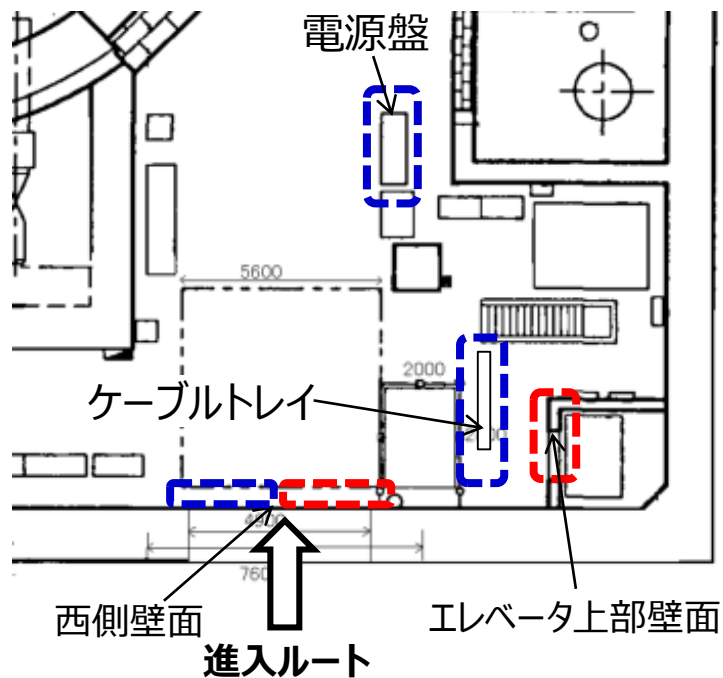


遠隔除染技術

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。

〔二コ〕：吸引 〔二コ〕：ドライアイス



コンテナから搬出する場面



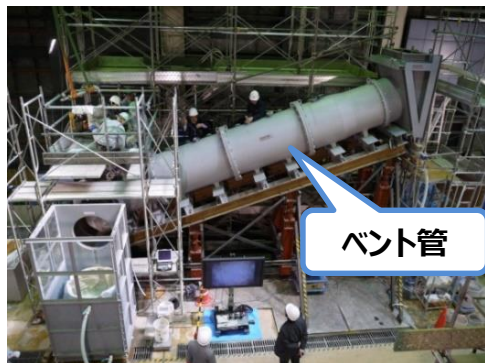
3号機R/B内への進入風景

目 次

1. はじめに
2. 遠隔除染技術開発
- 3. 原子炉格納容器補修技術開発**
4. 原子炉格納容器内部調査技術開発
 - (1)既に終了した調査
 - (2)今後計画している調査
5. 燃料デブリ取り出し技術開発

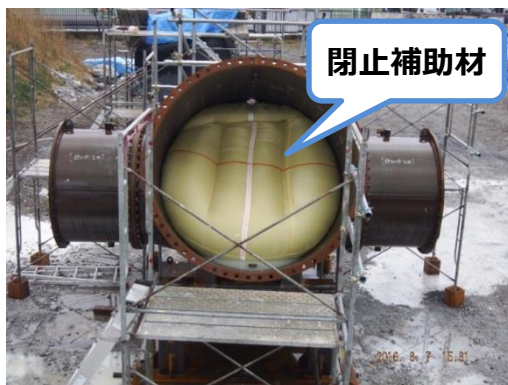
原子炉格納容器(PCV)補修・止水技術

ベント管止水試験



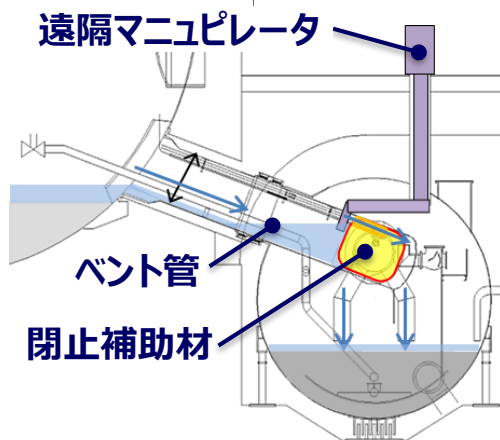
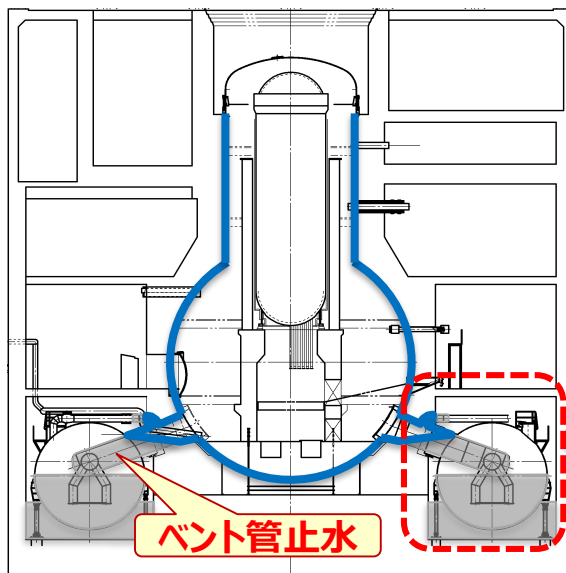
1 / 2スケール試験体で
止水性能を確認（工場）

閉止補助材止水試験



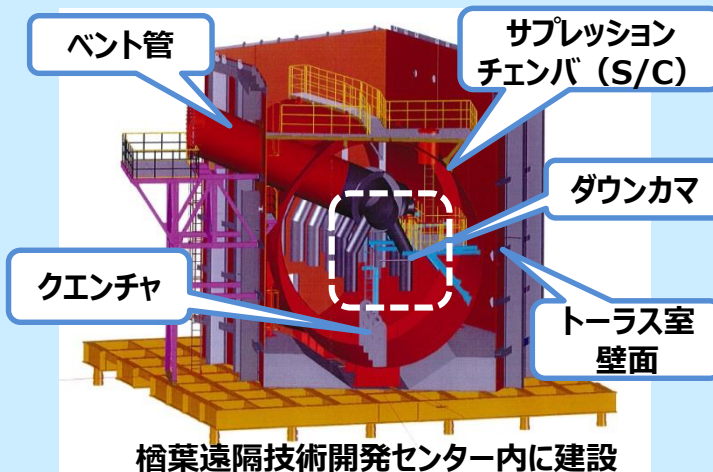
1 / 1スケール試験体で閉止補
助材の止水性能を確認（屋外）

— : 補修・止水範囲

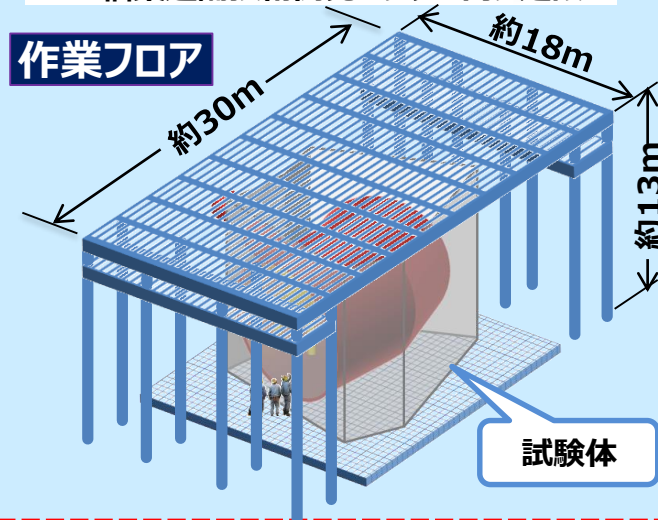


実規模試験体を用いた試験

実規模試験体（1/8セクター）



作業フロア



実規模試験体を使った手順確認 (JAEA 楢葉遠隔技術開発センター)

目的

- 実規模試験体を使って
実工事を念頭とした手順
書を作成し、**実機適用
性を判断**する。

主な取り組み

- 次の3つの止水工法について、施工性確認試験及び打設試験を行い手順を確認する。
 - ① ベント管止水
 - ② S/C内充填止水
 - ③ S/C脚部補強

試験期間

2016.11～2018.3



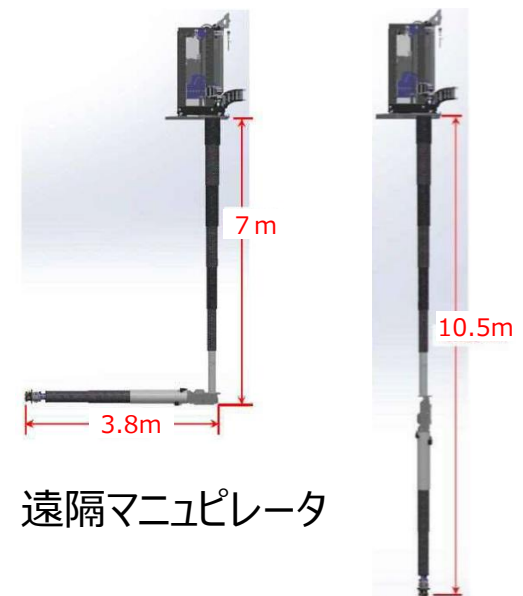
試験体外観



試験体内部 (S/C内部)



S/C脚部補強施工性確認試験



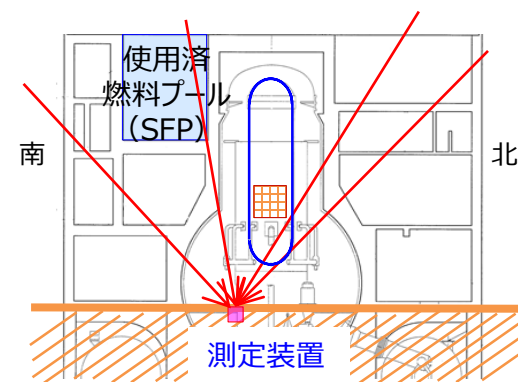
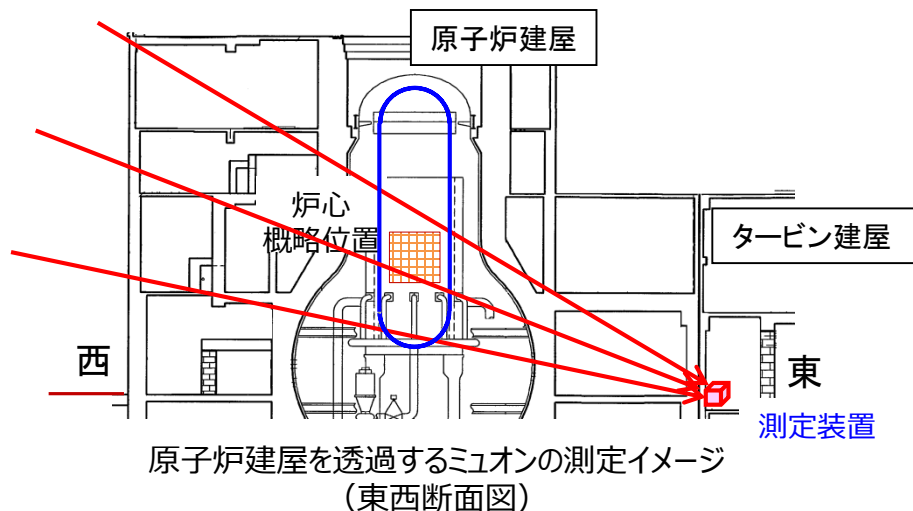
遠隔マニピレータ

目 次

1. はじめに
2. 遠隔除染技術開発
3. 原子炉格納容器補修技術開発
- 4. 原子炉格納容器内部調査技術開発**
 - (1)既に終了した調査**
 - (2)今後計画している調査
5. 燃料デブリ取り出し技術開発

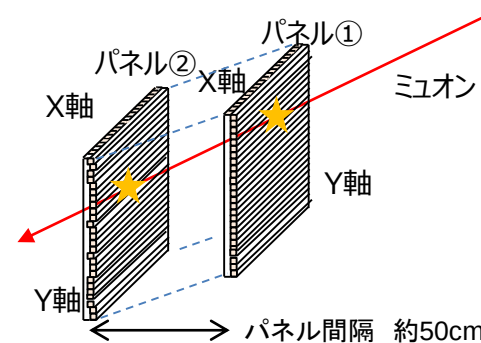
ミュオン透過法による測定

- ミュオンは、宇宙から飛来する放射線が大気と衝突する過程で発生する二次的な宇宙線。エネルギーが高く、物質を透過しやすい。
- 原子炉建屋を透過するミュオン数を測定し、その透過率から原子炉压力容器内の燃料デブリ分布をレントゲン写真のように撮影。（高密度の物質ほど透過しにくく、暗い影になる）

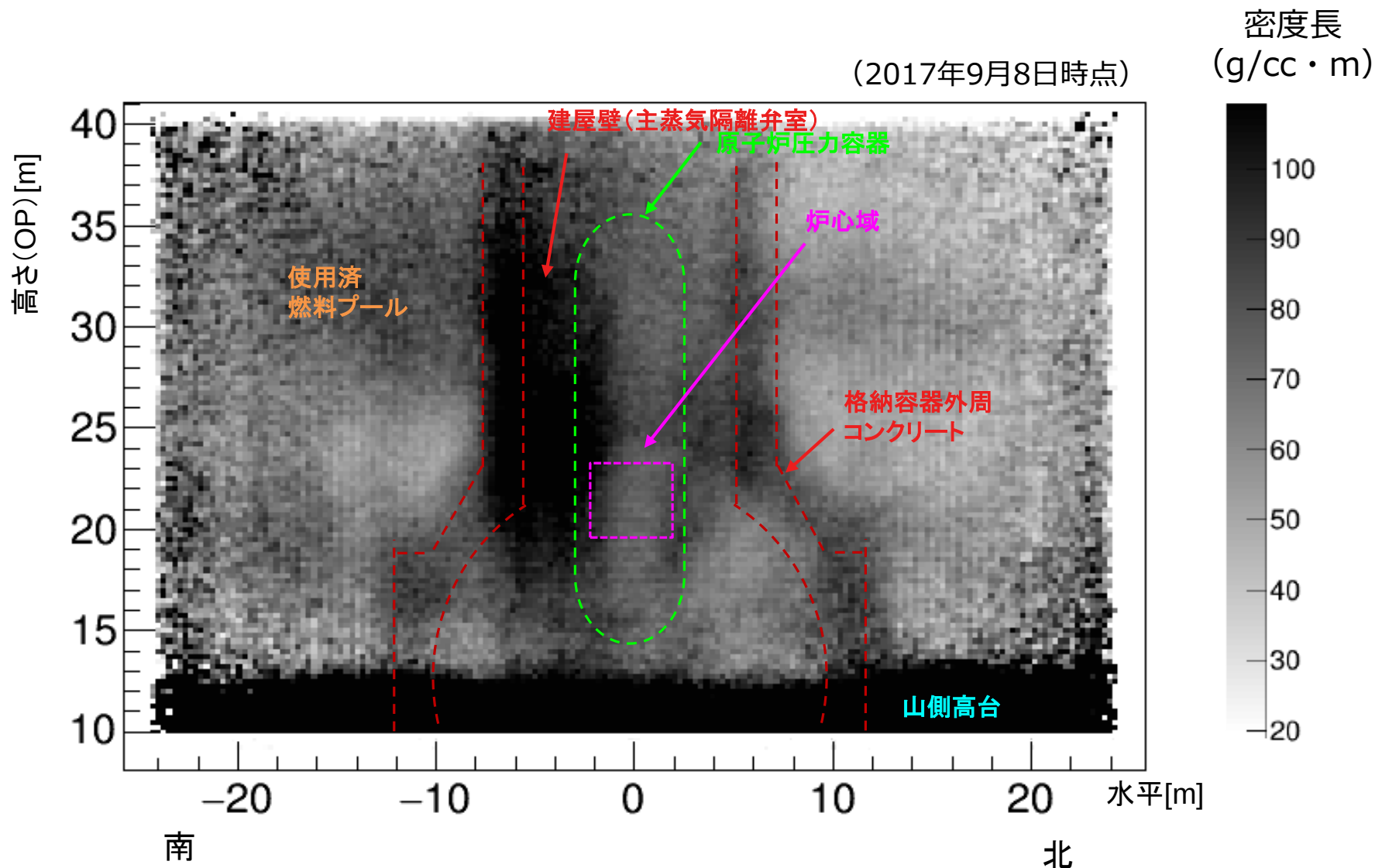


<ミュオン透過法測定装置の計測原理（イメージ）>

上空から飛来するミュオンを装置内部に配置した2枚のパネル検出器（プラスチックシンチレータ）で検知し、通過したパネルの座標からミュオンの軌跡を算出。



3号機ミュオン透過法測定結果



原子炉格納容器内部のロボット等による調査

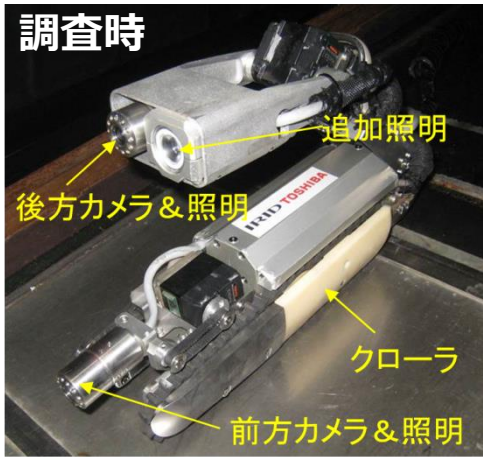
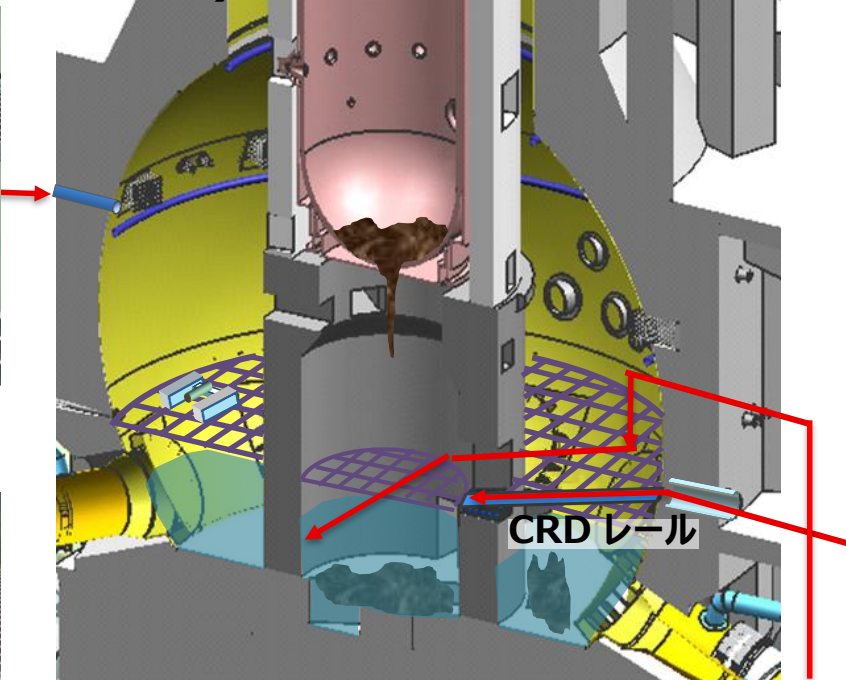
ペDESTル外側の調査（1号機）

○形状変化型ロボット（B2調査）



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）



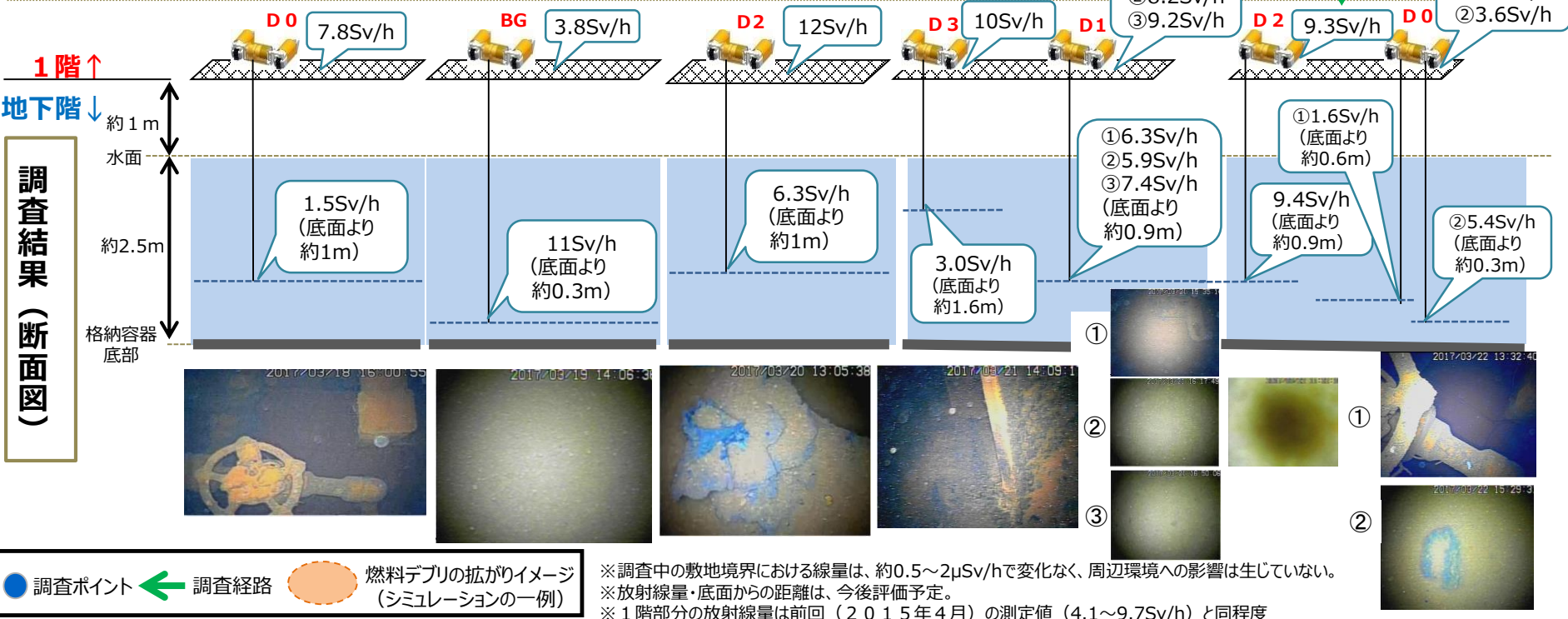
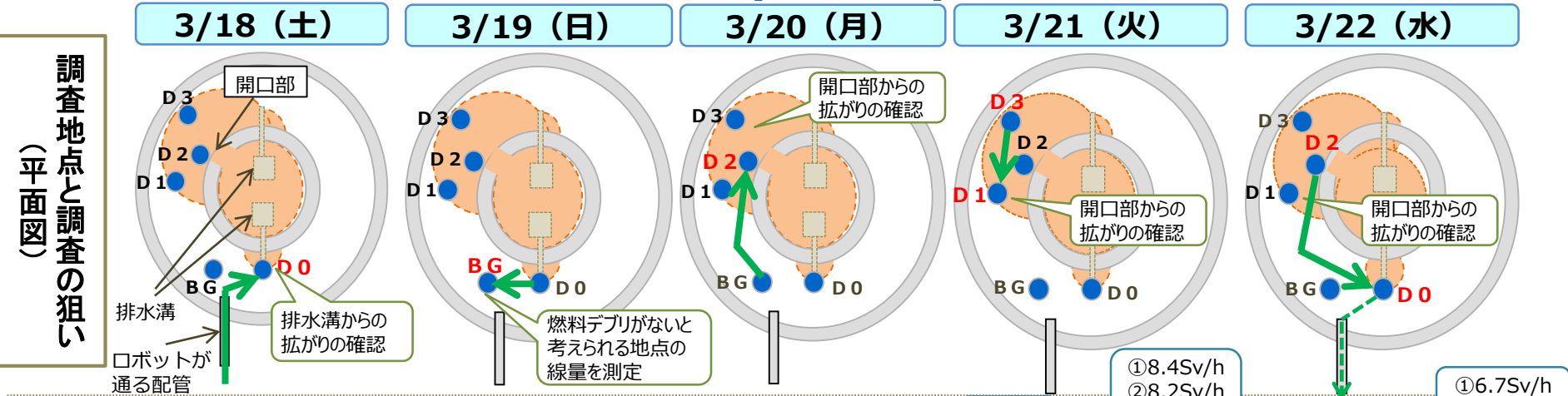
ペDESTル内側の調査（3号機）



○水中遊泳型ロボット

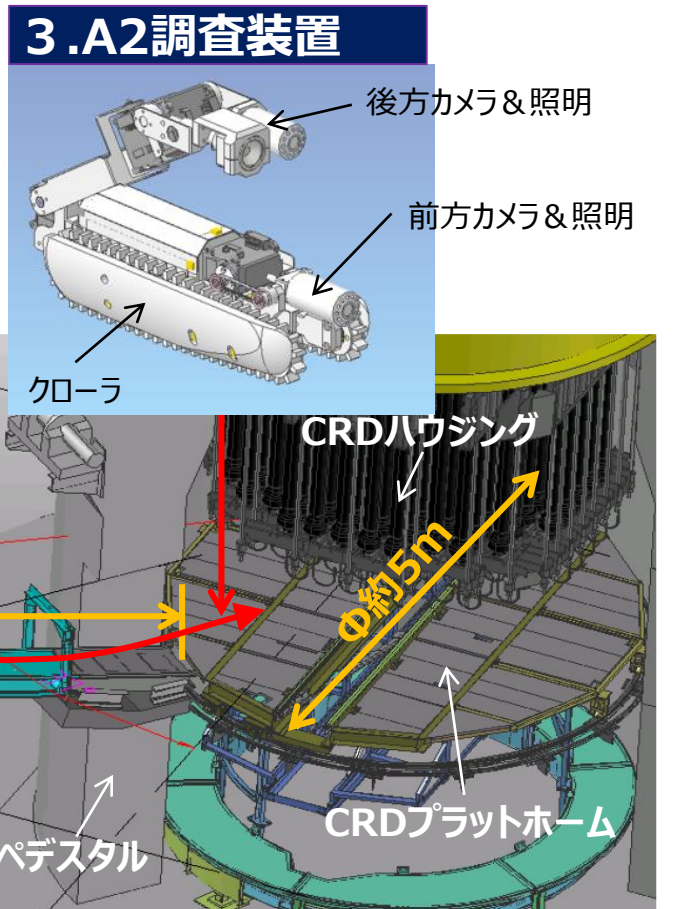
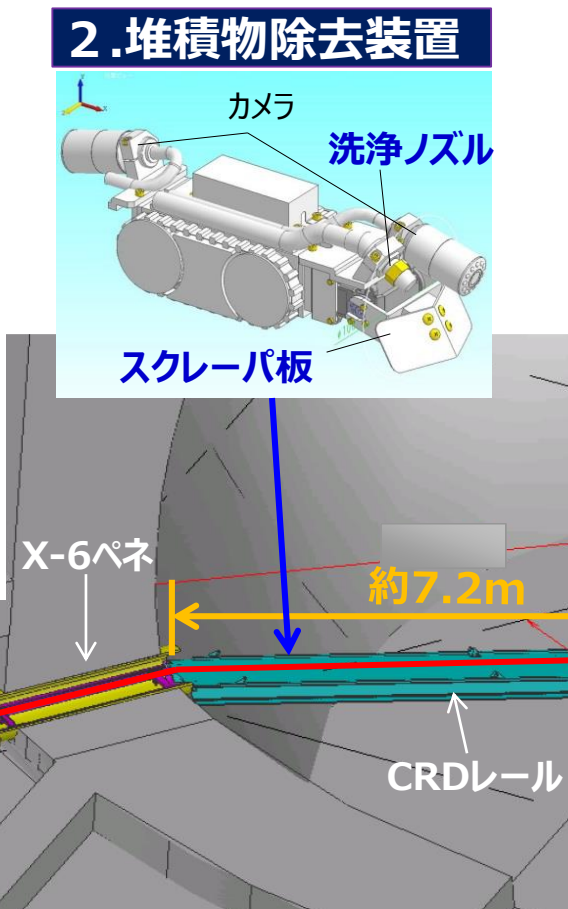
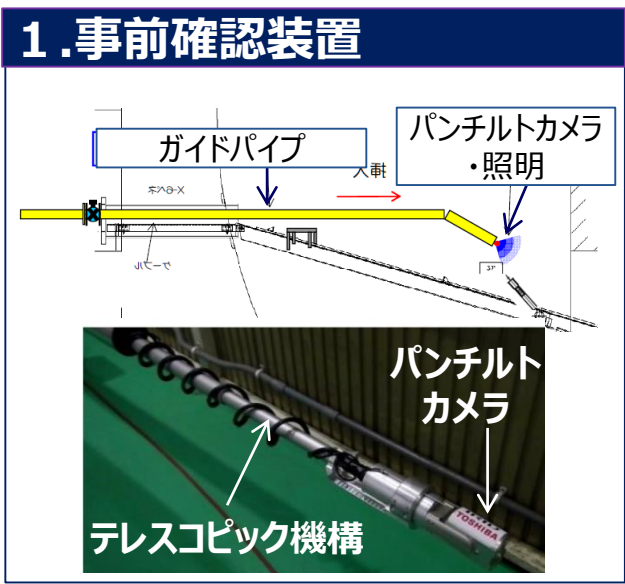
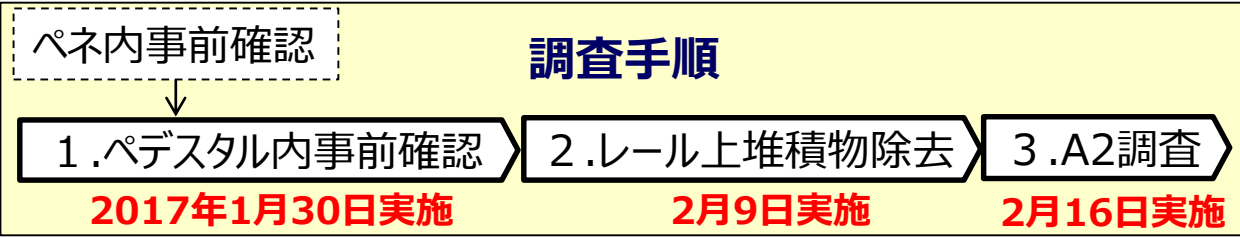
1号機 ペデスタル外調査(2017.3)

調査地点と調査の狙い
(平面図)



2号機 ペデスタル内上部調査(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



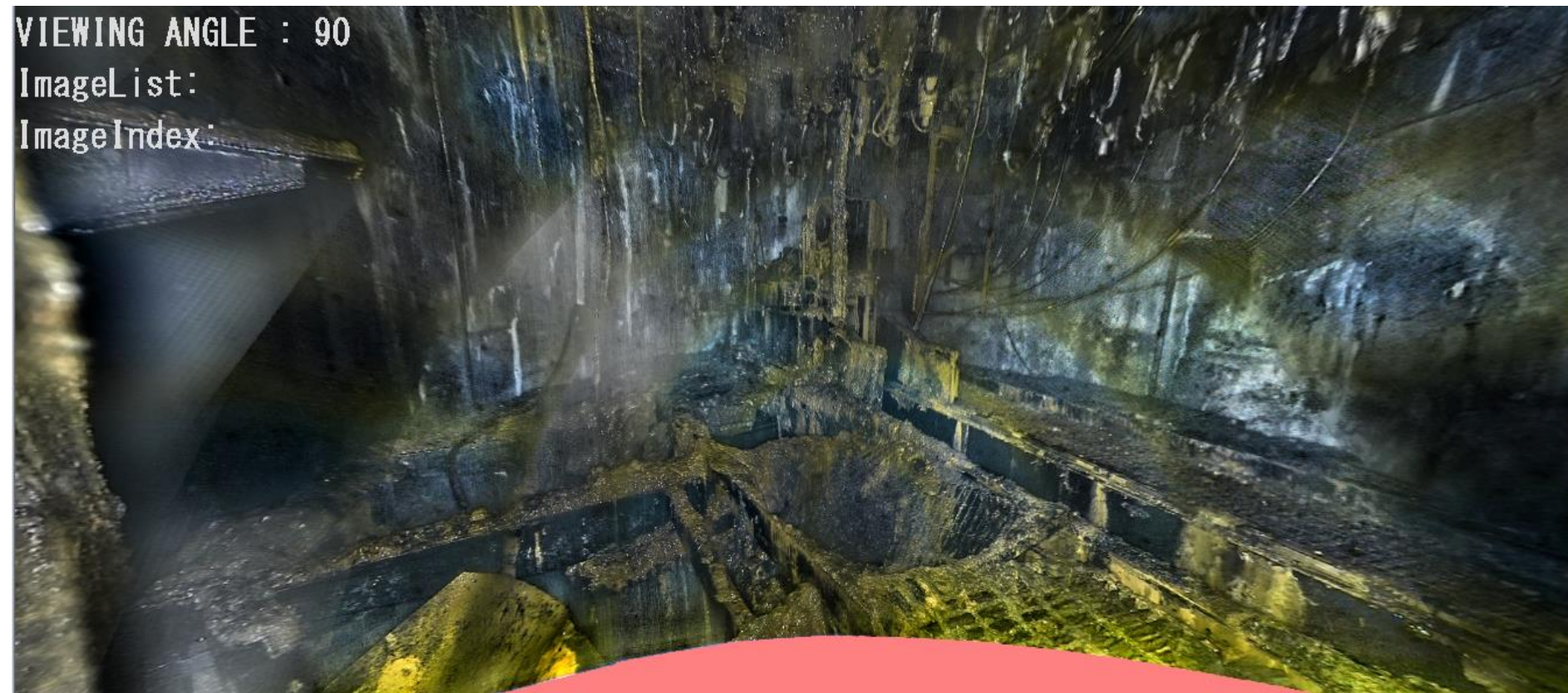
2号機 ペデスタル内上部調査(A2調査 2017.1~2)

ペデスタル内 上部 (画像処理後)

VIEWING ANGLE : 90

ImageList:

ImageIndex:



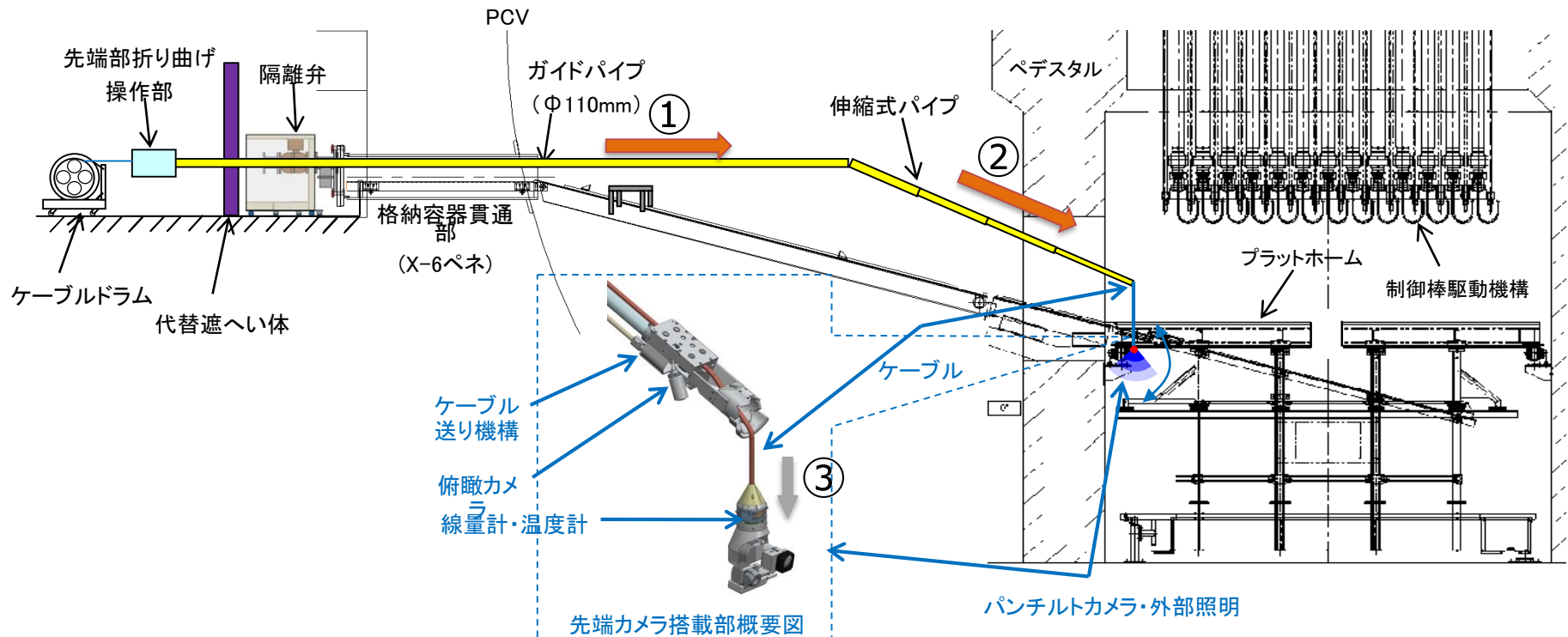
2号機 ペDESTAL内下部調査(A2'調査 2018.1)

■調査内容

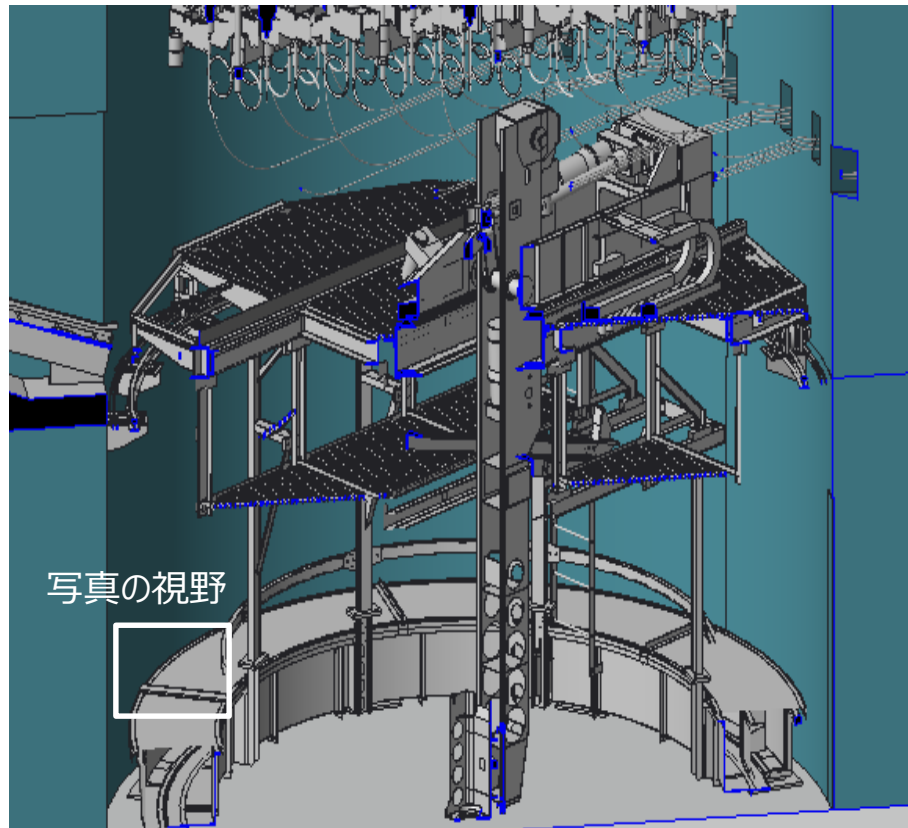
プラットホーム下の状況確認

■調査手順

- ①ガイドパイプ挿入 ⇒ ②伸縮式パイプ伸展
⇒ ③パンチルトカメラ吊降し ⇒ ④調査



2号機 ペデスタル内下部調査(A2'調査 2018.1)



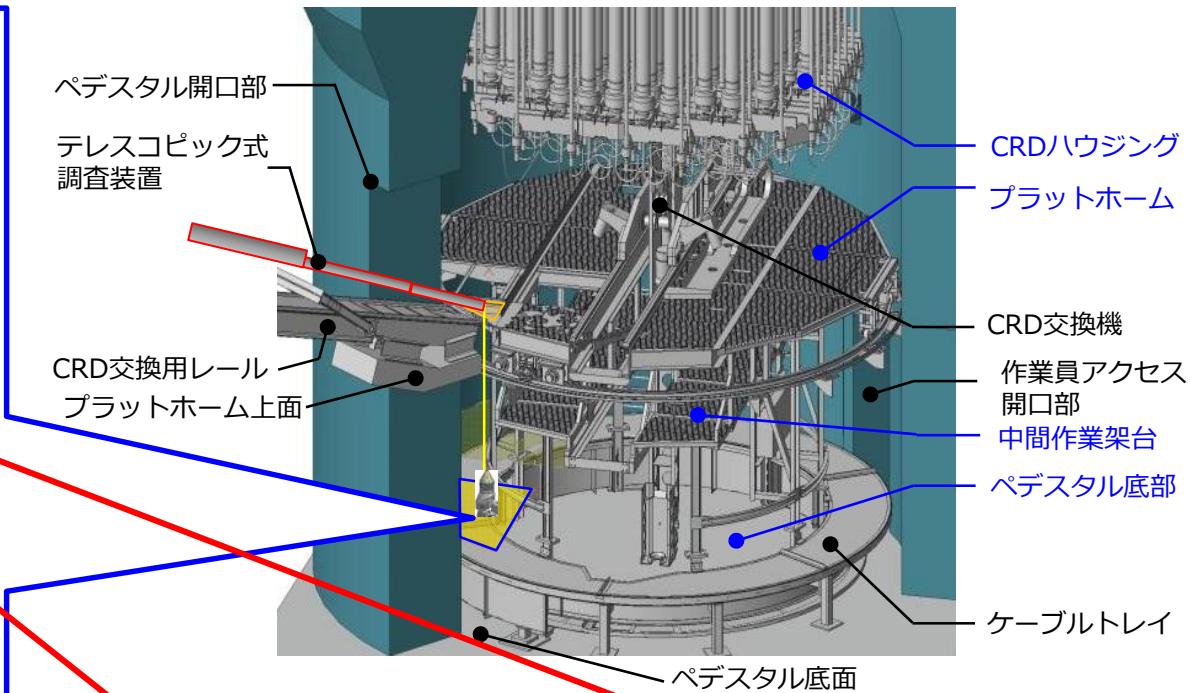
写真の視野

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，
ペデスタル内 内壁付近



2号機 ペデスタル内下部調査(A2''調査 2019.2) **TEPCO**



堆積物接触前

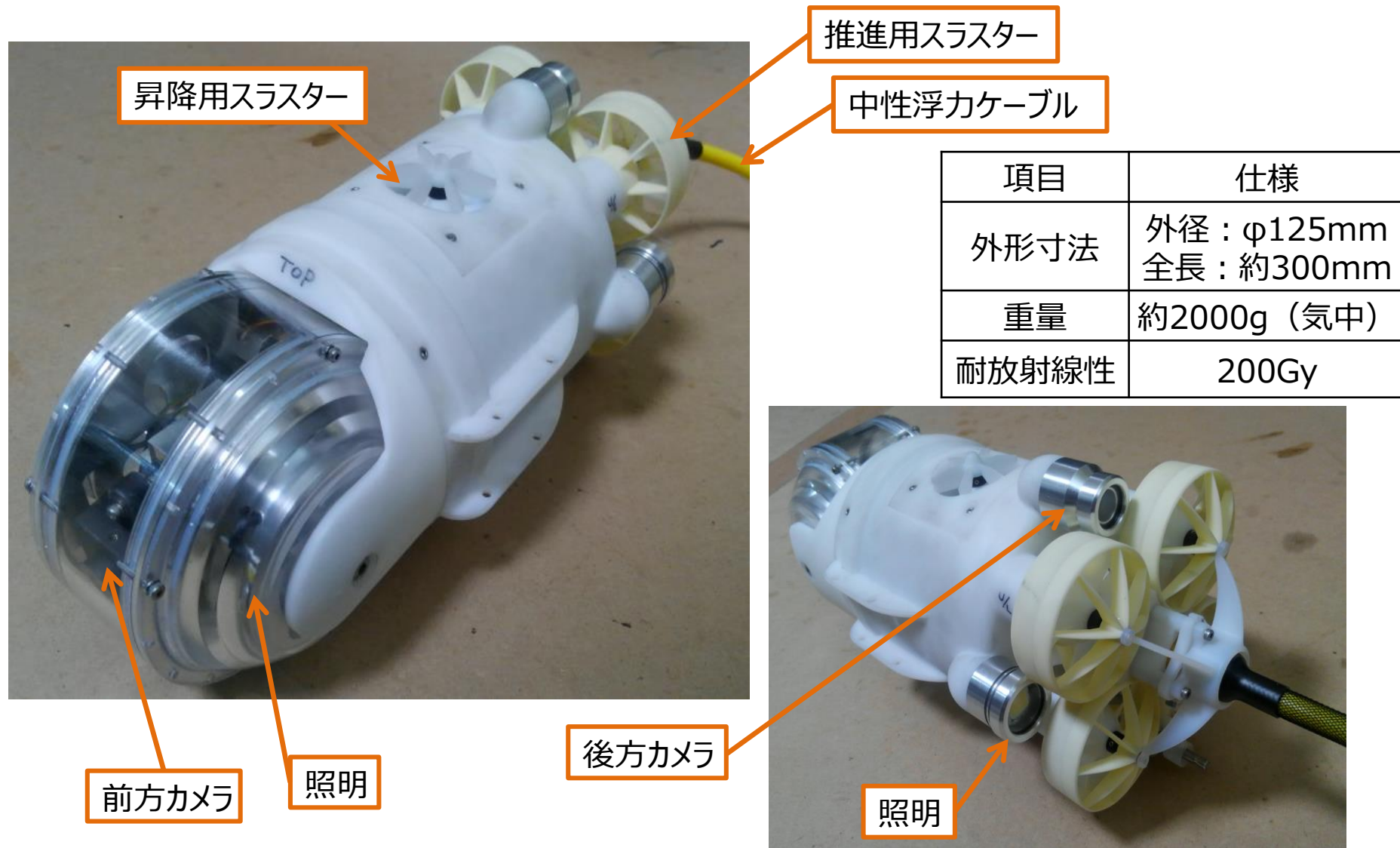


堆積物接触中



堆積物接触後

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. ペデスタル内下部

IRID
TEPCO



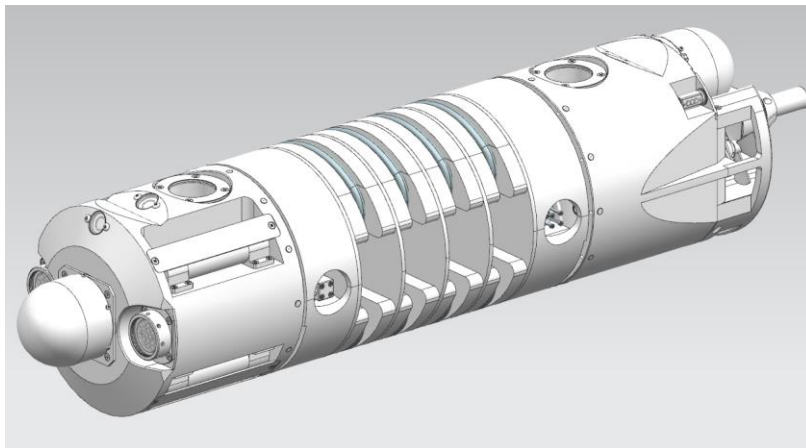
「3号機原子炉格納容器内部調査について（2017年11月30日 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議（第48回）報告資料）」より抜粋

目 次

1. はじめに
2. 遠隔除染技術開発
3. 原子炉格納容器補修技術開発
- 4. 原子炉格納容器内部調査技術開発**
 - (1)既に終了した調査
 - (2)今後計画している調査**
5. 燃料デブリ取り出し技術開発

ボート型アクセス装置

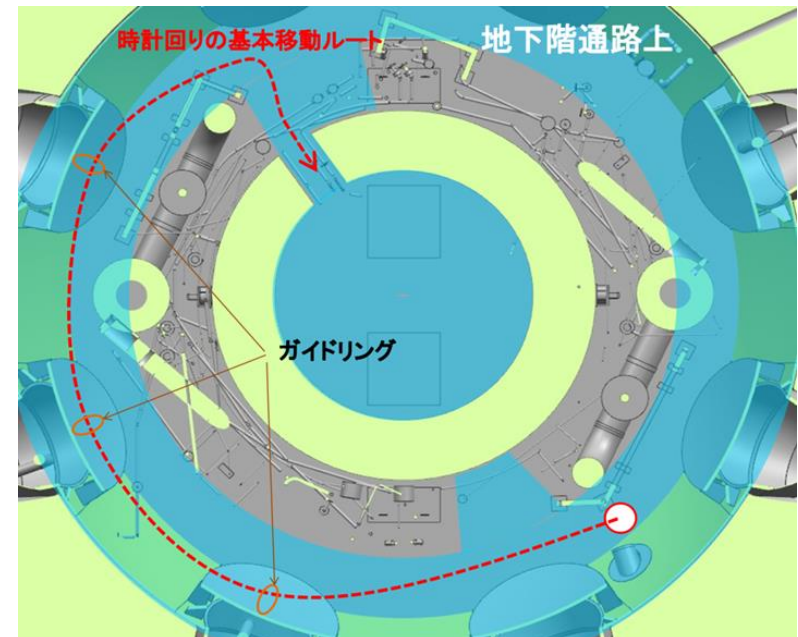
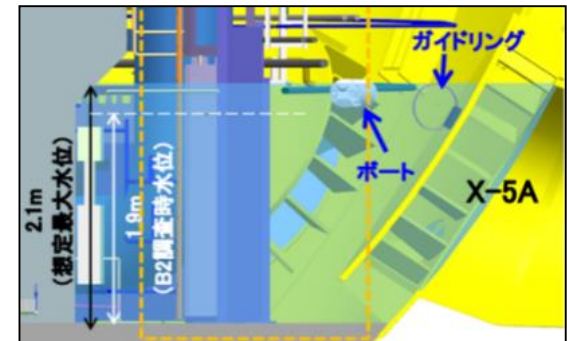
- 格納容器内の水の上を航行して、広範囲に移動可能なボート型アクセス装置を製作中



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

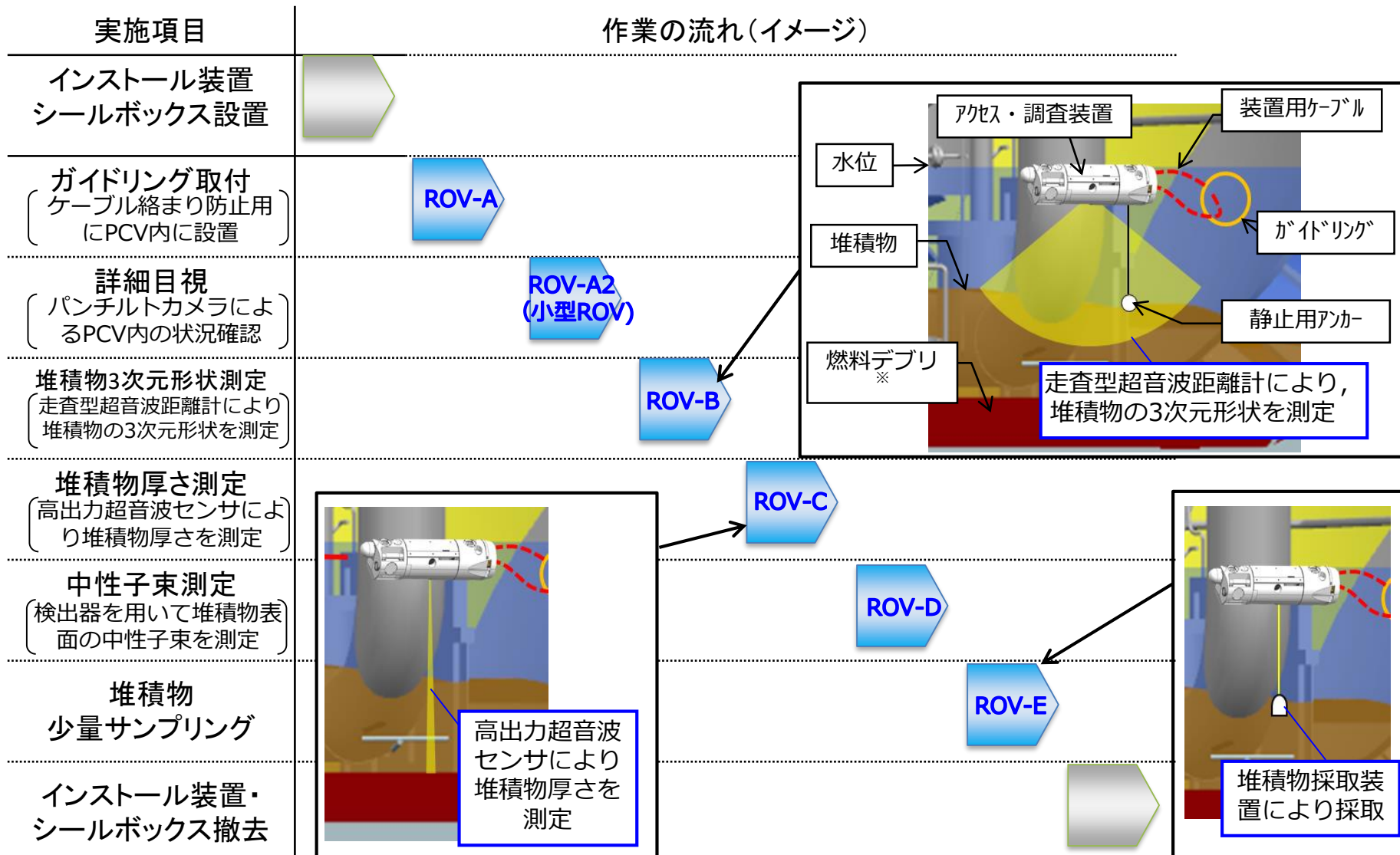
ボート型アクセス装置外観



ボート型アクセス装置の動線

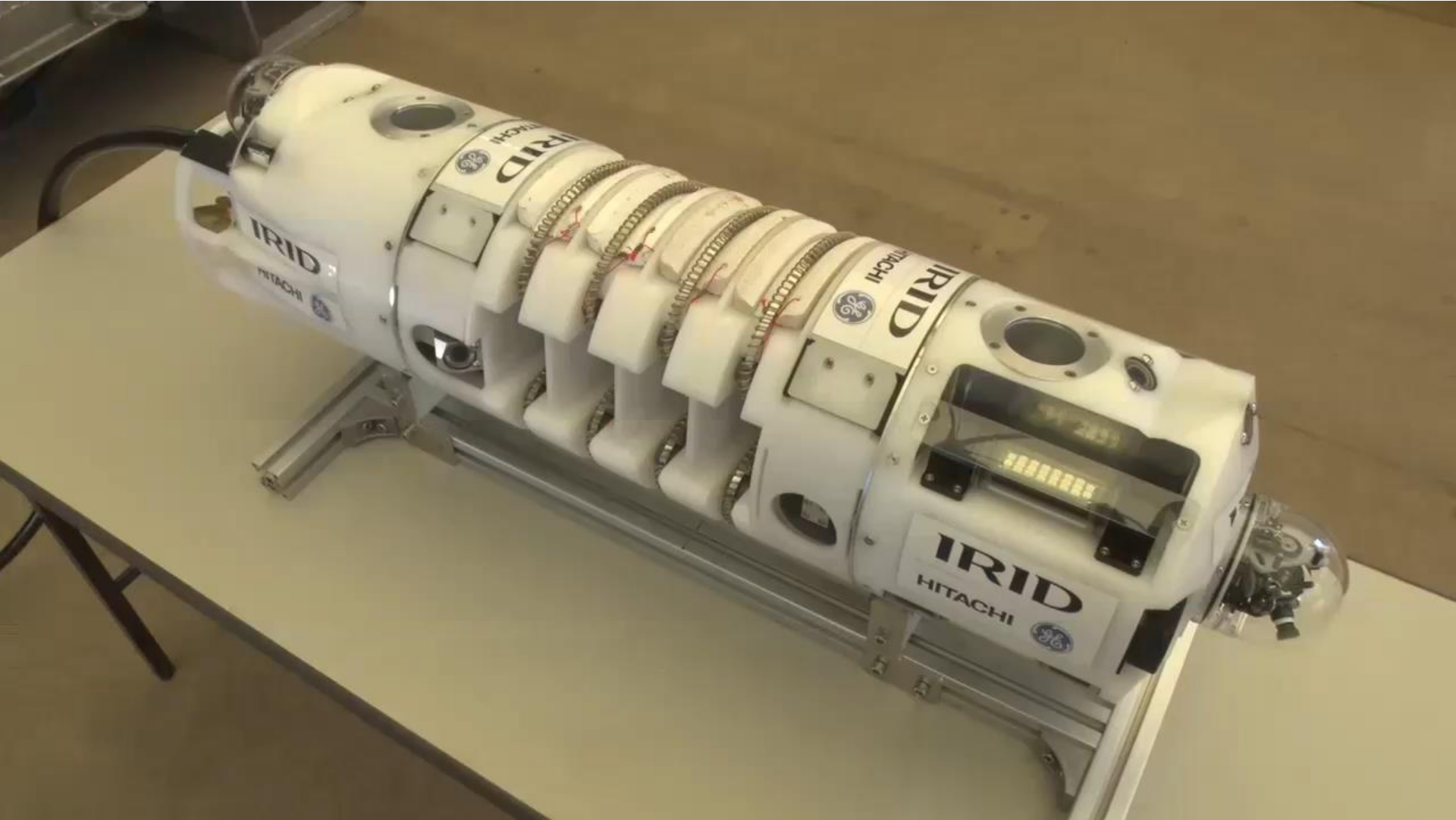
1号機：ボート型アクセス装置(X-2ペネからのPCV内部調査)

■ 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種類準備する予定。



※：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

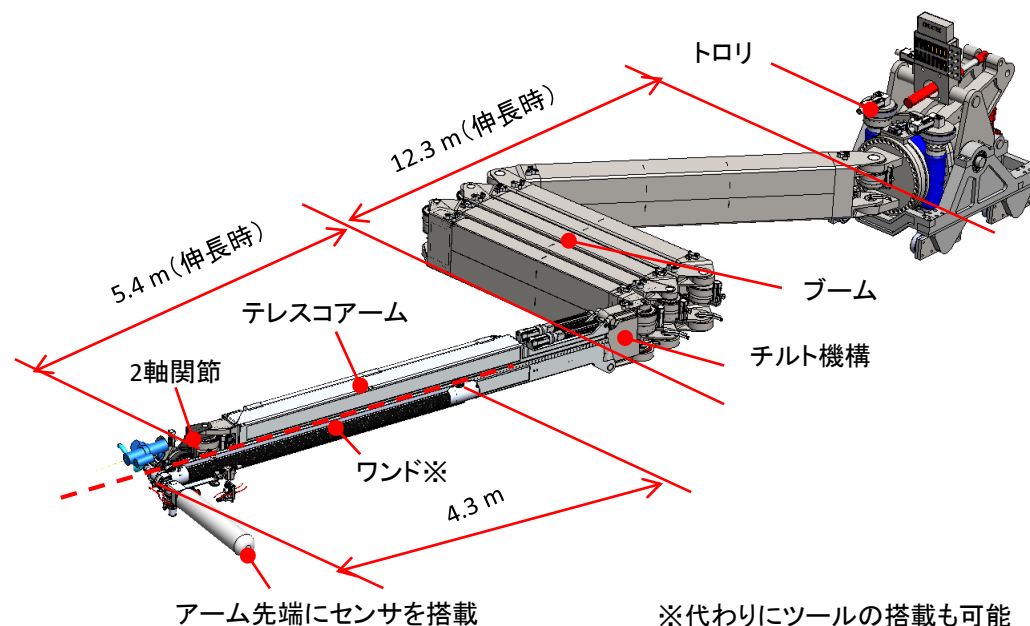
1号機：ボート型アクセス装置



アーム型アクセス装置

■ 制御棒駆動機構メンテナンス用の格納容器貫通部（X-6ペネ）を通じて広範囲にアクセス可能なアーム型アクセス装置を製作中

- アーム全長約22 m
- 10 kgまでの調査装置を搭載可能



アーム型アクセス装置

格納容器貫通部ハッチ開放

■ 格納容器貫通部（X-6ペネ）の開放

アーム型アクセス装置を投入するX-6ペネの開放技術を開発中

✓ ハッチ開放時の閉じ込め機能

✓ 遠隔でのハッチ開放

隔離部屋

- 搬入/組立/搬出性確認



隔離部屋搬入イメージ



隔離部屋組立状態

ハッチ開放装置

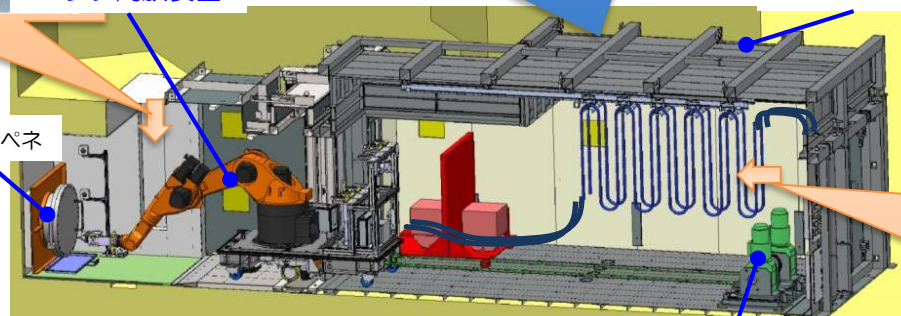
- 開放作業性確認 etc



X-6ペネ

ハッチ開放装置

X-6ペネ



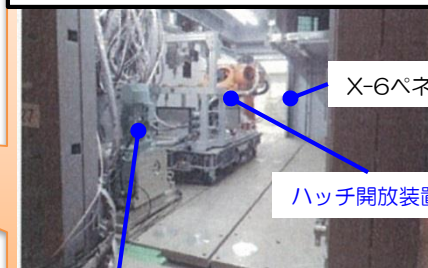
隔離部屋

救援用
ワイヤーツール

← カメラ撮影方向

ハッチ開放装置

- 走行性確認 etc



X-6ペネ

ハッチ開放装置

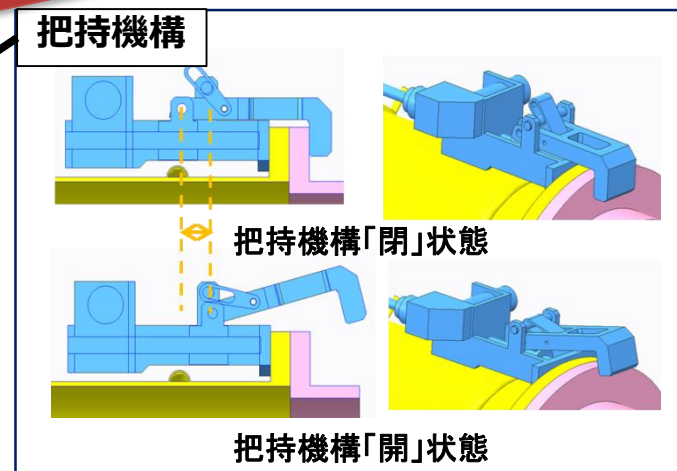
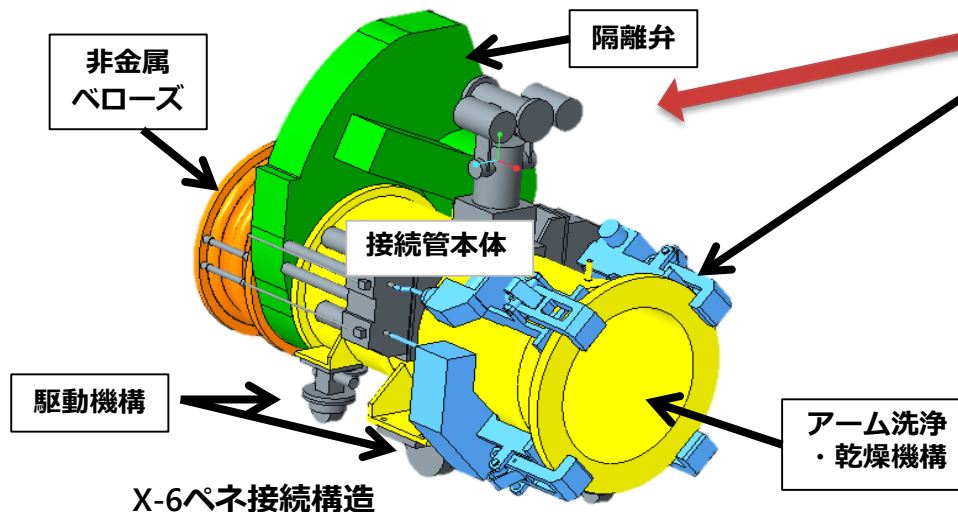
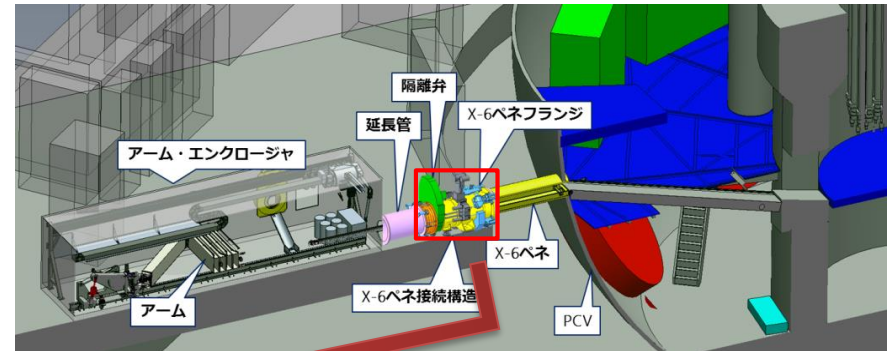
救援用
ワイヤーツール

アーム型のアクセスルート

■ 格納容器への接続構造体

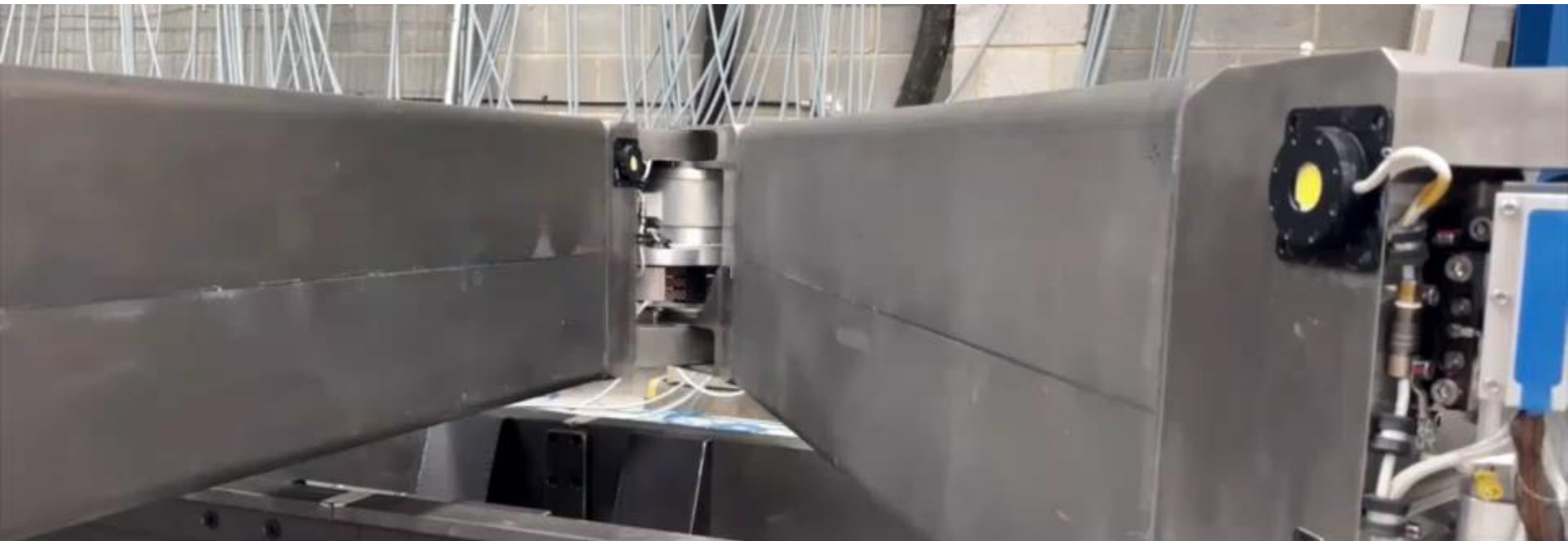
以下の機能等を有する接続構造体を開発中

- ✓ 遠隔で既存のペネフランジに接近・取りつく機能
- ✓ 把持機構の耐震性
- ✓ 閉じ込め機能
- ✓ アーム通過性の維持



接続構造体外観

アーム型アクセス装置(動画)

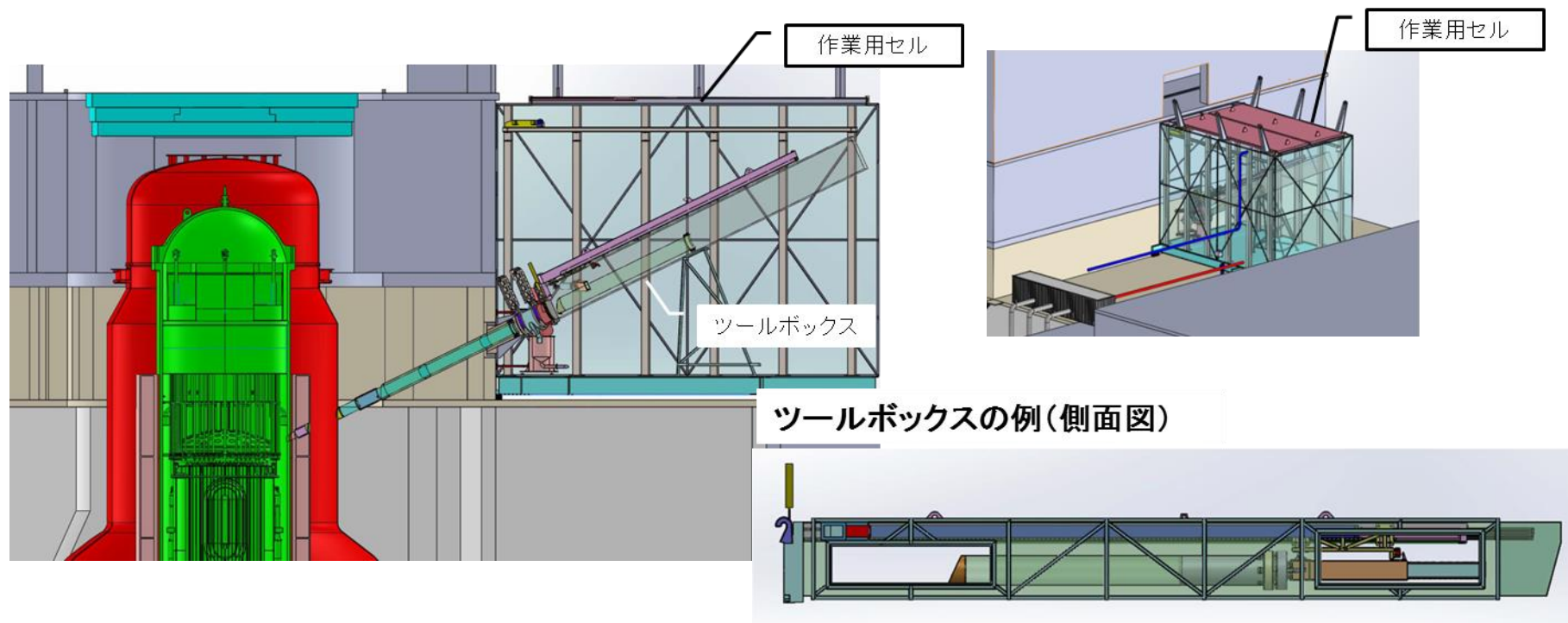


原子炉格納容器内試験的取出し・内部詳細調査技術の開発
燃料デブリへアクセスするロボットアーム等の日英共同開発の状況



圧力容器内部調査技術

- 上部から圧力容器にアクセスし内部調査するための要素技術は、今後の装置試作に向け、あらかた検証済
- 加えて側面から圧力容器にアクセスするための要素技術を開発中



側面穴開け調査工法のイメージ

目 次

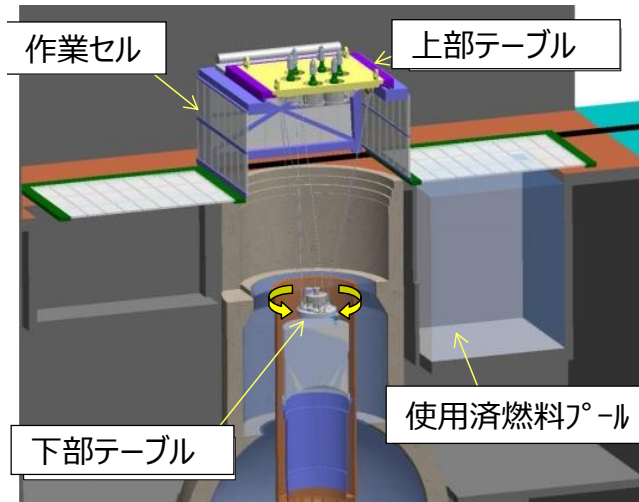
1. はじめに
2. 遠隔除染技術開発
3. 原子炉格納容器補修技術開発
4. 原子炉格納容器内部調査技術開発
 - (1)既に終了した調査
 - (2)今後計画している調査
5. 燃料デブリ取り出し技術開発

デブリ取り出し工法

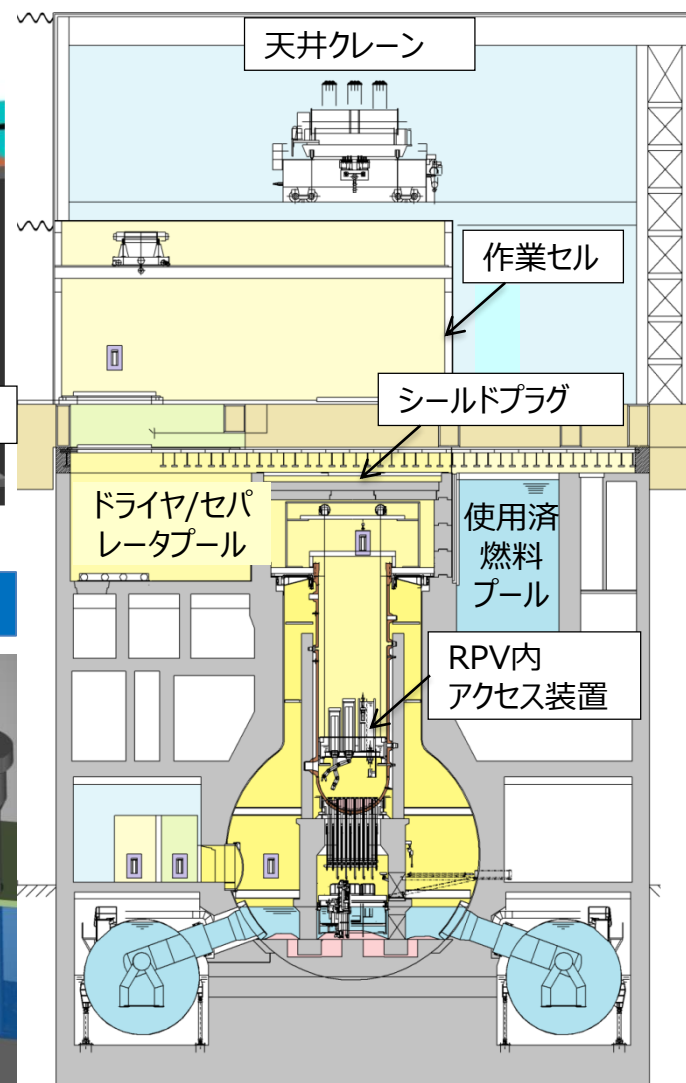
技術的課題

- **放射性ダストの閉じ込め**機能の確保
- **遠隔操作**技術の確立
- **被ばく低減・汚染拡大防止**技術の確立

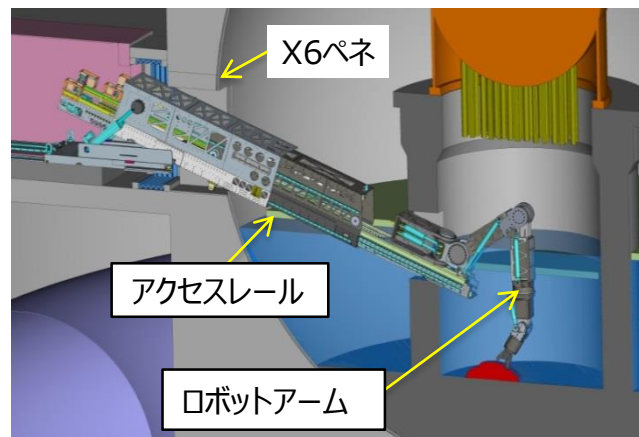
冠水-上アクセス工法（概念）



気中-上アクセス工法（概念）

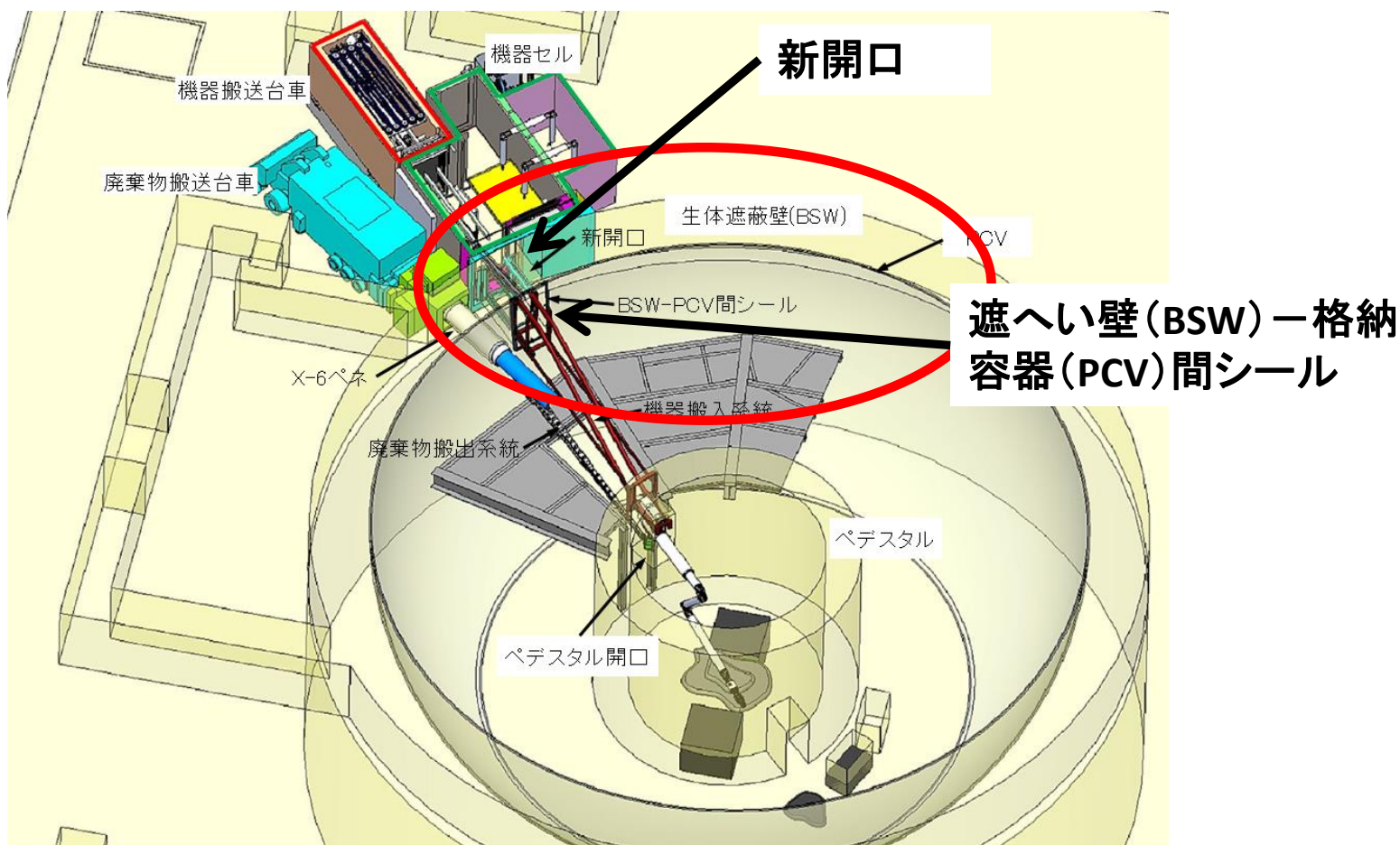


気中-横アクセス工法（概念）



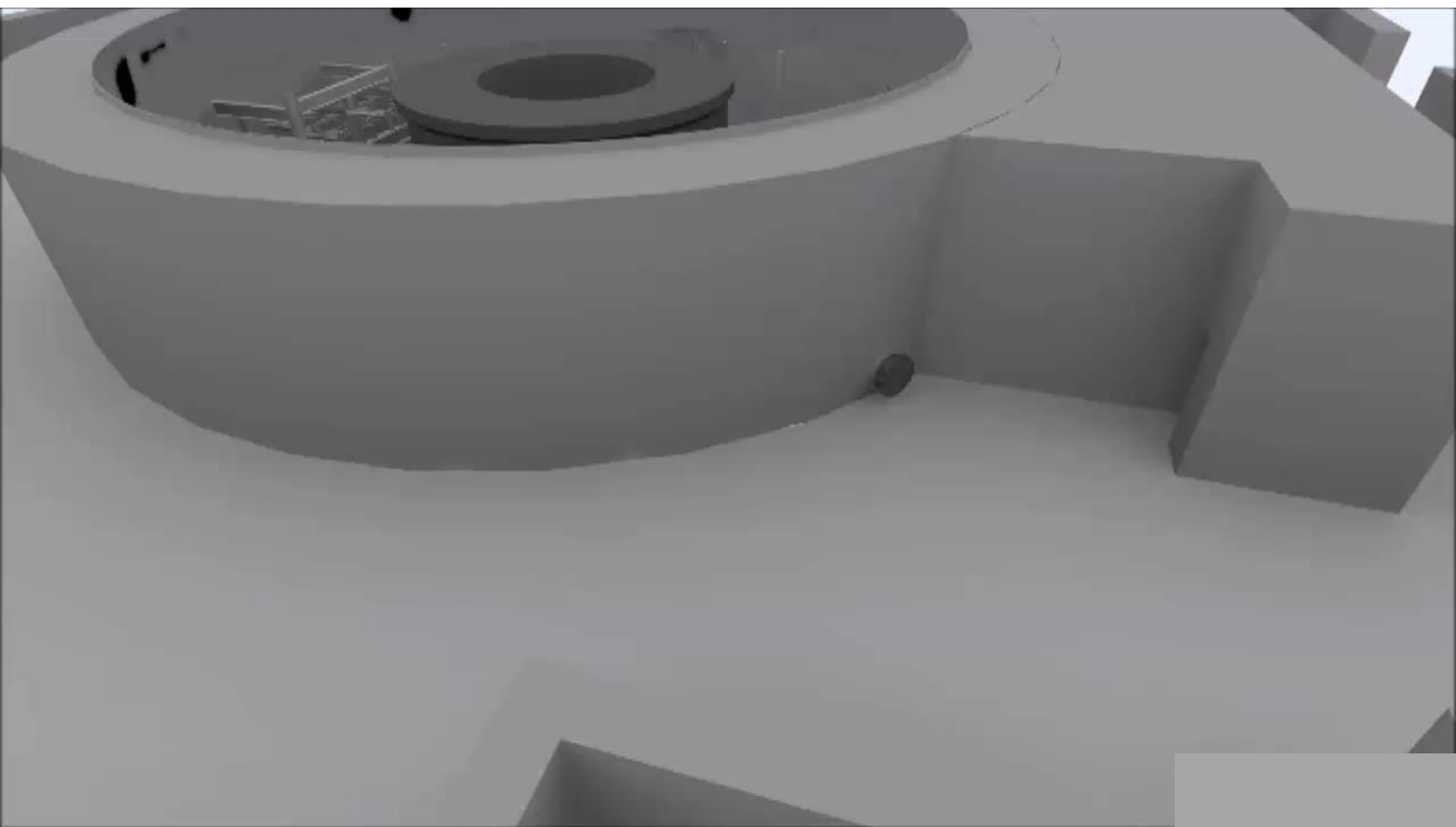
【横アクセス工法】デブリ取り出しに係る技術

■ デブリ取り出しの工法を実現するための要素技術を開発中



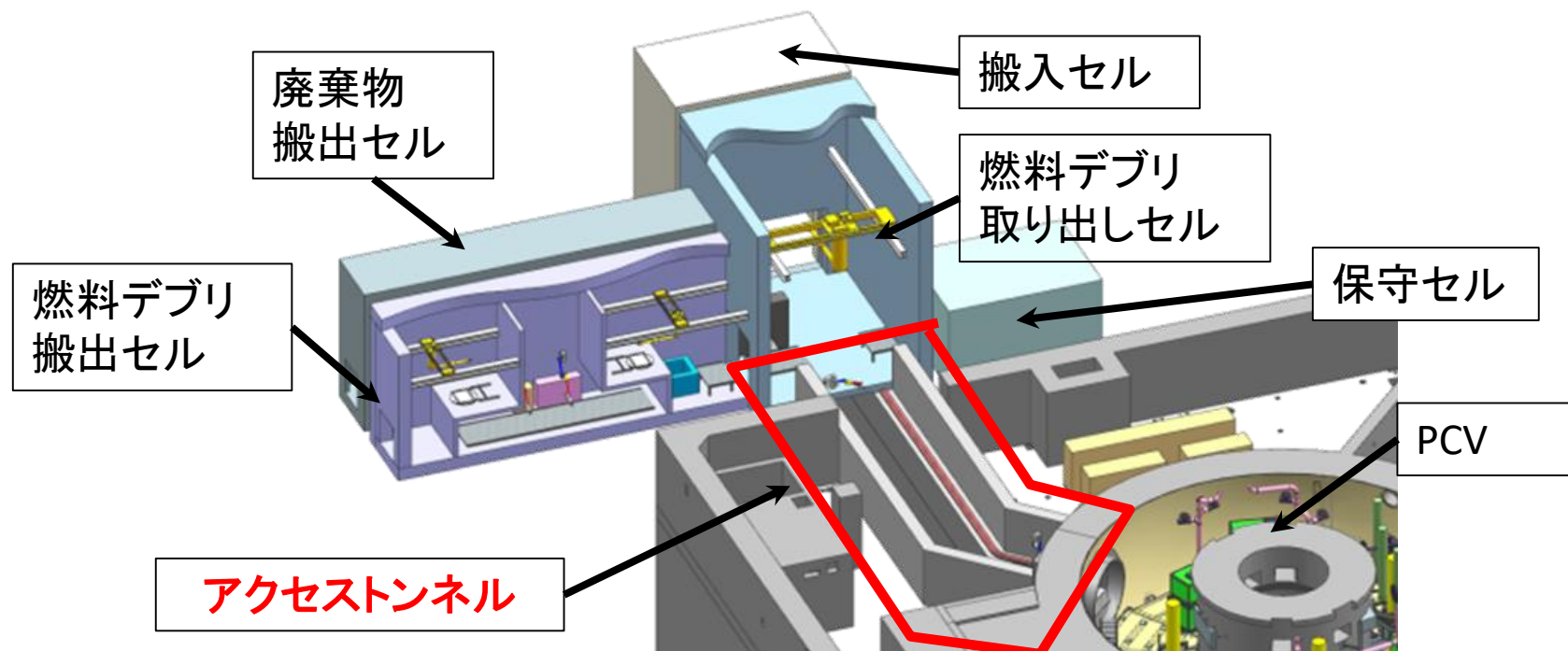
横アクセス工法の一例 イメージ

穴開け～シール設置 取り出し工法への適用イメージ



【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

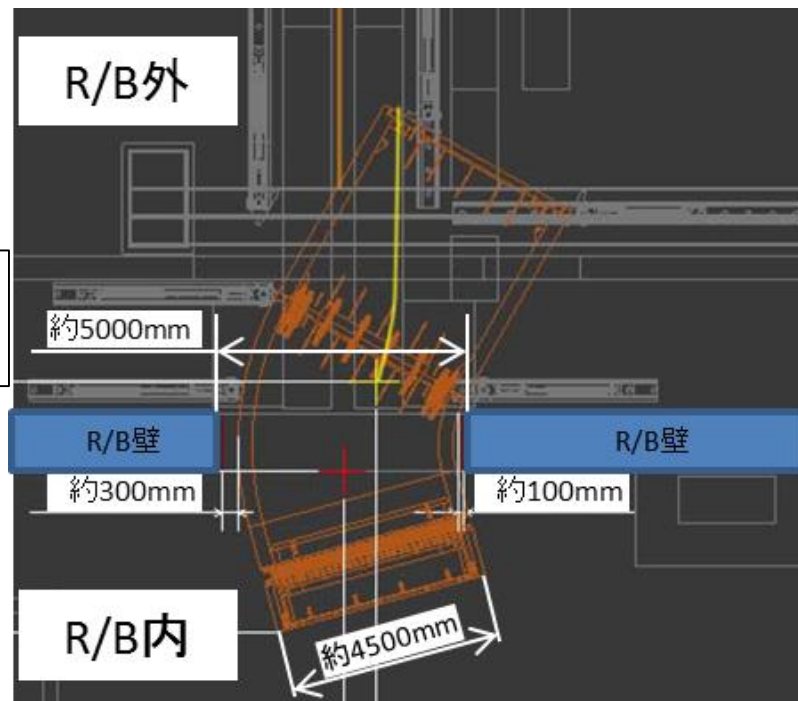
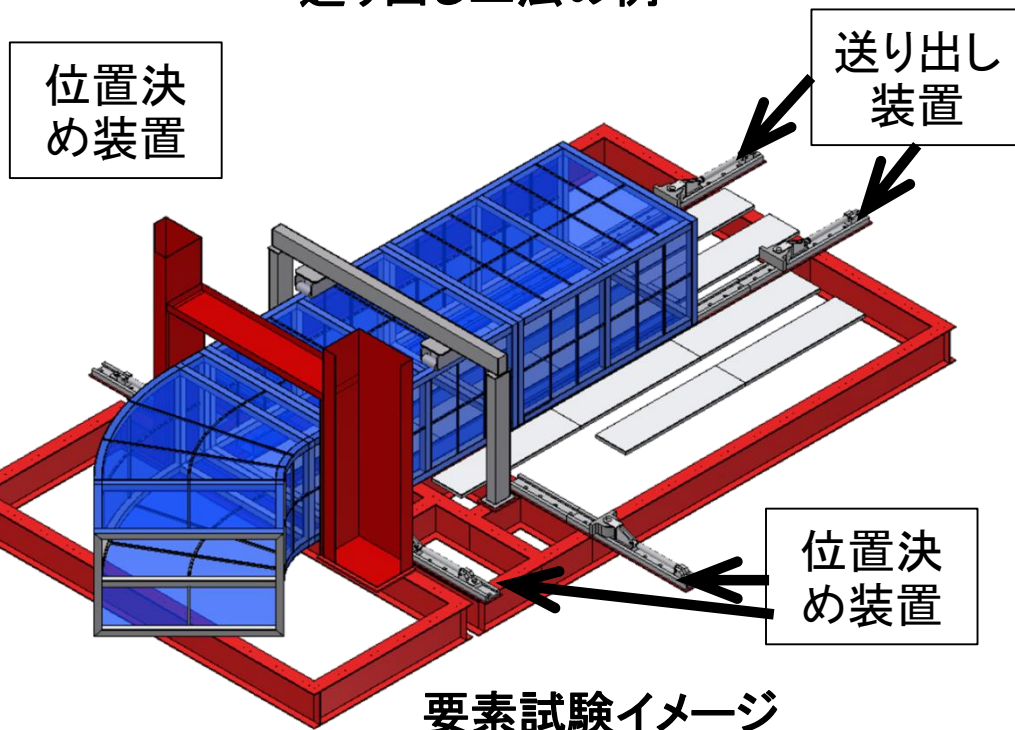


アクセストンネル工法の配置イメージ

トンネル施工技術の要素試験



送り出し工法の例

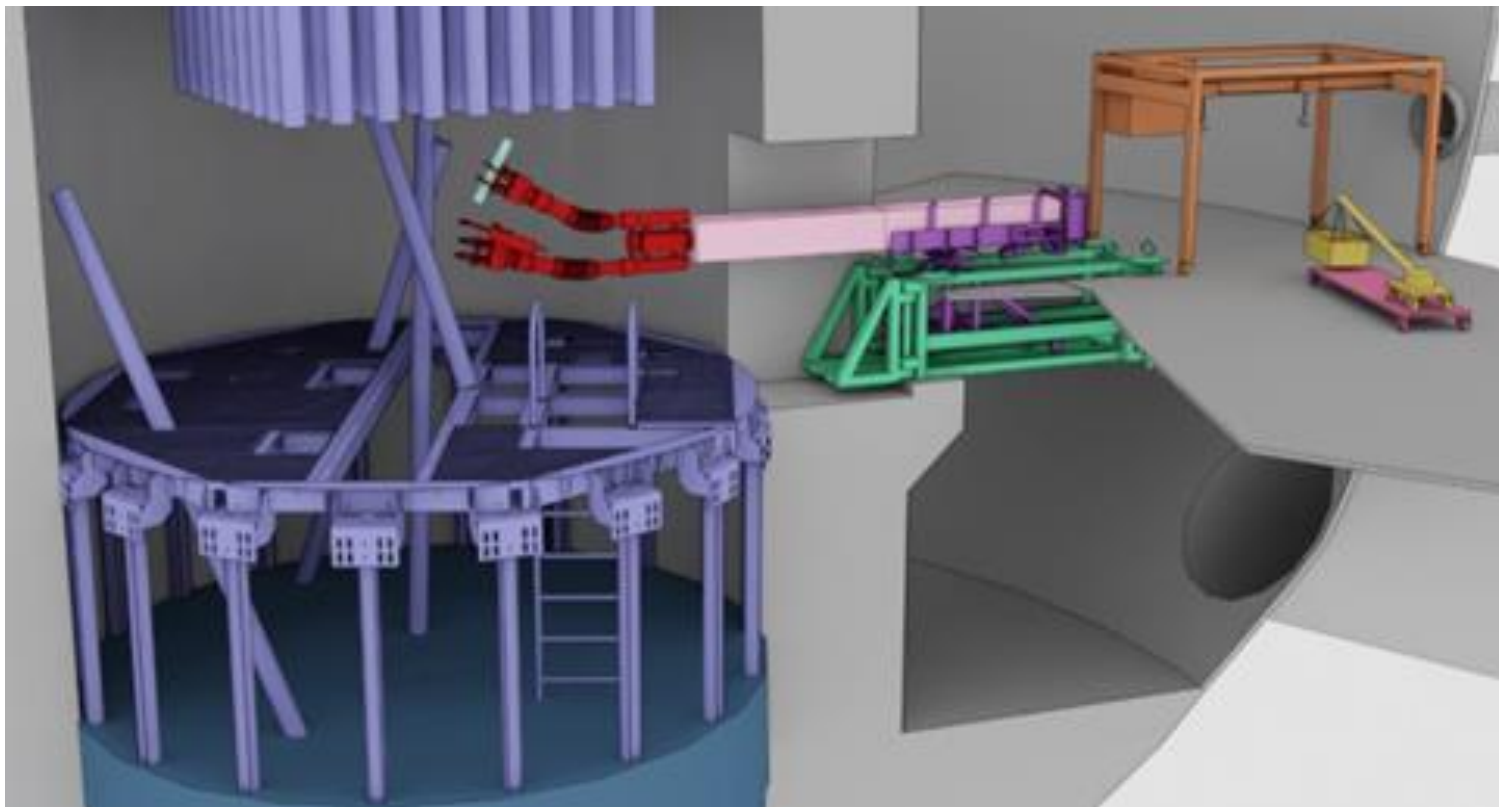


狭隘作業のイメージ

*R/B: 原子炉建屋

干渉物撤去技術

- これまでの内部調査でペデスタル内に大量のがれきが散乱している状況が明らかになりつつある
- これら干渉物の撤去技術を開発中



干渉物撤去の要素試験イメージ

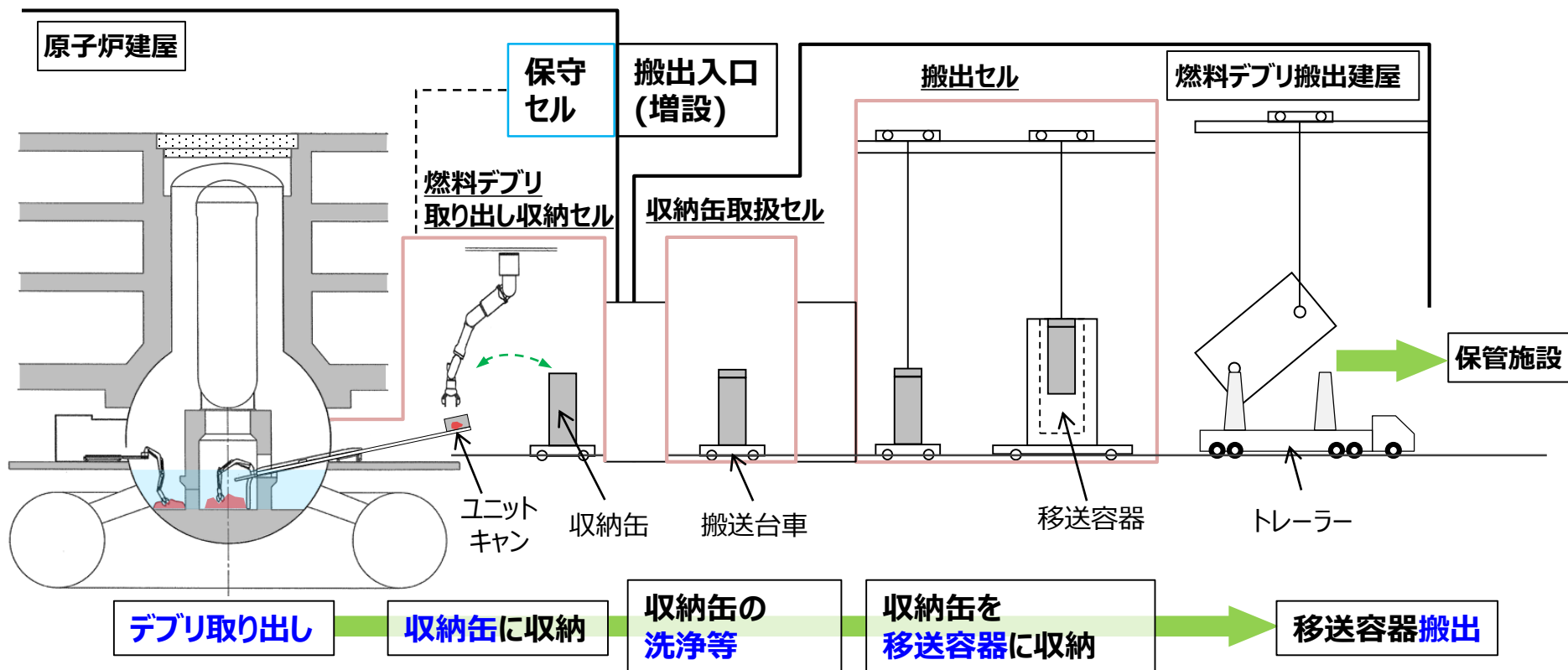
収納・移送・保管技術

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）



End of presentation