

# IRIDの研究開発の概況

日本原子力学会 2019年春の年会  
福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

平成31年3月20日  
茨城大学 水戸キャンパス

国際廃炉研究開発機構 (IRID)  
高守謙郎

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

# IRIDの研究開発プロジェクト

## 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

<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

<デブリ取り出し>

燃料デブリ・  
炉内構造物取出  
**臨界管理**  
技術

燃料デブリ・  
炉内構造物取出  
**工法・  
システム**

燃料デブリ・  
炉内構造物取出  
**基盤技術**

### 環境整備技術

PCV  
漏えい箇所の  
**補修・止水**  
技術

2018.3終了

PCV内  
**水循環**  
技術

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  
**実規模試験**

### 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

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・  
炉内構造物取出  
基盤技術  
**小型中性子**  
検出器

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  
**処理・処分**  
技術

固体廃棄物の  
**先行的処理手法**  
技術

# IRIDの技術開発

## 設計可能な技術構成プランを提供し、エンジニアリングを支援

### 1. リスクの上昇を抑制する

- **環境影響リスクを下げる**；安全システムの構築
- **作業線量を下げる**；遠隔機器，線量率低減，作業構成

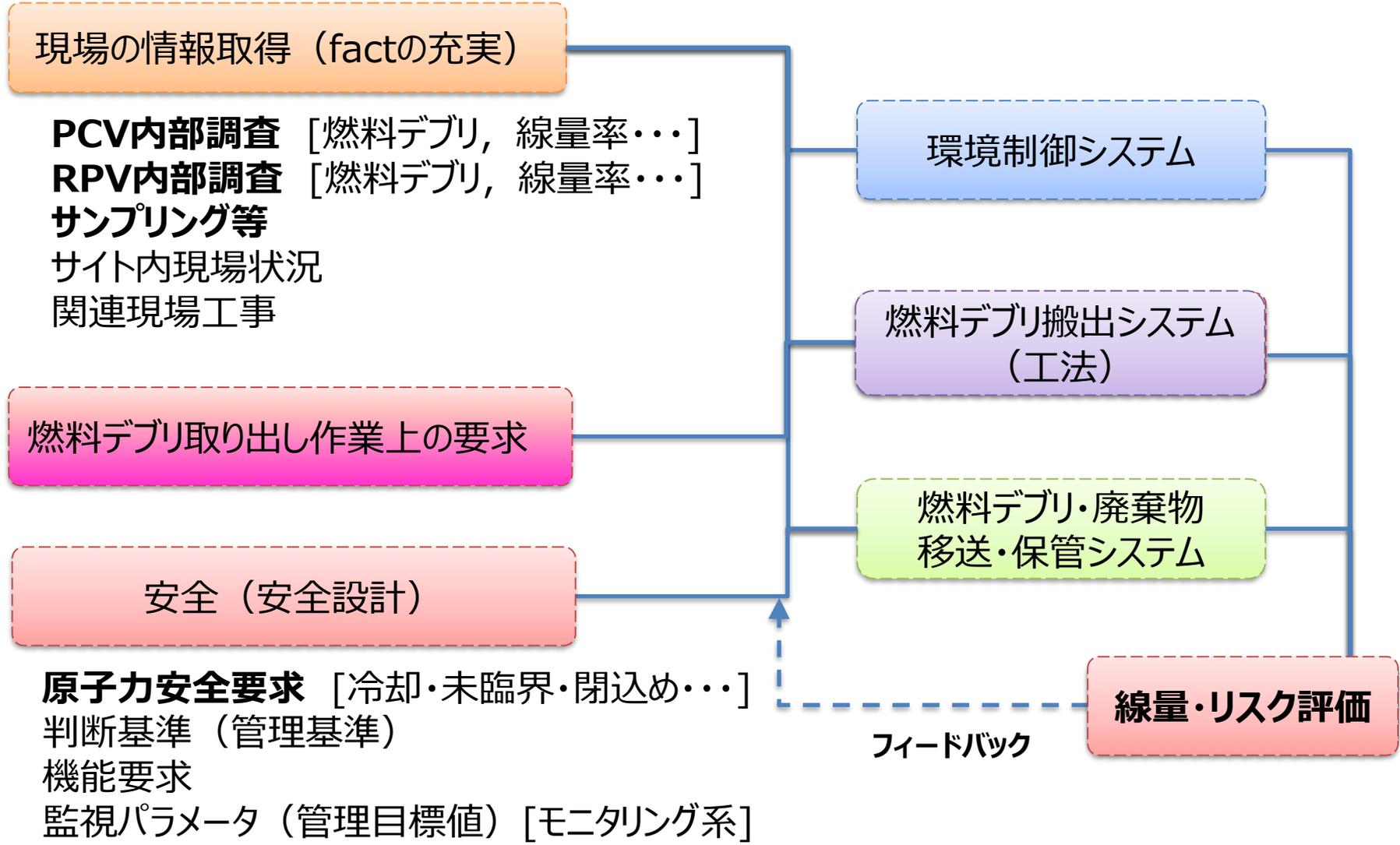
### 2. 30-40年間での廃炉を可能にする

- **FACTの充実**；燃料デブリ/廃棄物の特性・所在・量
- **シナリオの構築**；取り出し－収納－移送－保管
- **さまざまな選択肢**；工法のバラエティ，アクセス・切削・回収・搬出
- **設計可能性**；レイアウト、作業速度
- **エンジニアリングの展開**；現場への実装

# 燃料デブリの取り出し技術の開発-バックグラウンド

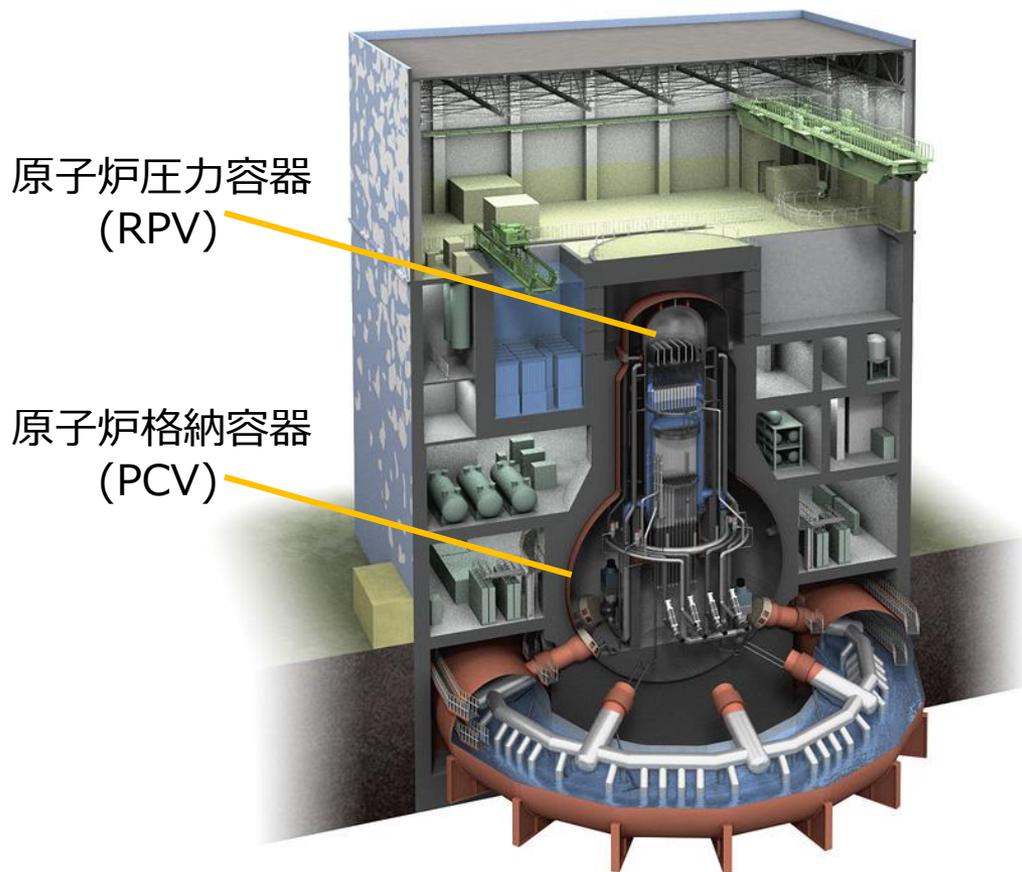
- 概念設計がきわめて重要, …ロバストな概念設計であること
  - 事故後の現場がスタート：高放射線環境  
現場状況が不明確  
現状のリスク
  - 不定型の燃料を取り扱う設備：原子力発電システムでない
  - 前例がない：モデル、ビジョン、具現化された要求事項が無い
- キーポイント
  - 最初に**安全要求事項の設定が必須** - 原子力安全
  - 現場調査 (**Factの充実**) - 評価・推定・仮説・調査による検証 他
  - 安全のための技術：閉込め、浄化、高放射線下計測、未臨界維持 他
  - 作業に要求される技術：遠隔操作、耐放射線性 他
- 工法と設計成立性の評価 - 作業線量、深層防護、リスクマネジメント  
現場作業・維持、スループット、動線、  
レイアウト 等の成立性

# 設計プロセスフロー 概要



# 燃料デブリの調査, Factの充実

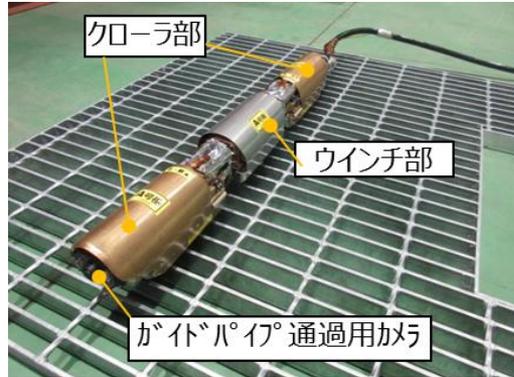
- 燃料デブリ取出しの設計を支援する情報の収集  
安全設計、アクセス・搬出経路、切削・回収・移送技術構成の検討を支援
- 燃料デブリの所在、構造物の損傷状況、干渉物や作業空間・環境



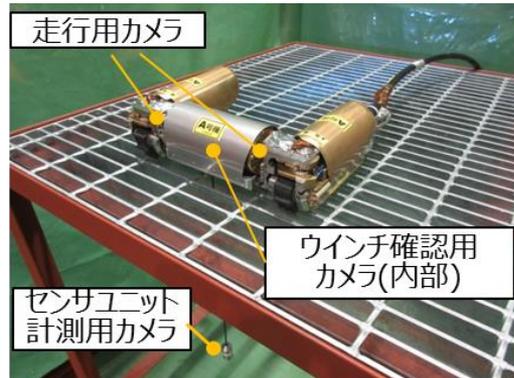
- 格納容器内部調査
  - ✓ 映像、線量率
  - ✓ デブリの特定、分布・堆積状態
- デブリサンプリング
  - ✓ 核燃料・吸収材濃度
  - ✓ 切削、飛散特性
  - ✓ 放射能濃度、線量率
- 原子炉圧力容器内部調査  
格納容器内部調査と同じ

# 原子炉格納容器内部のロボット等による調査

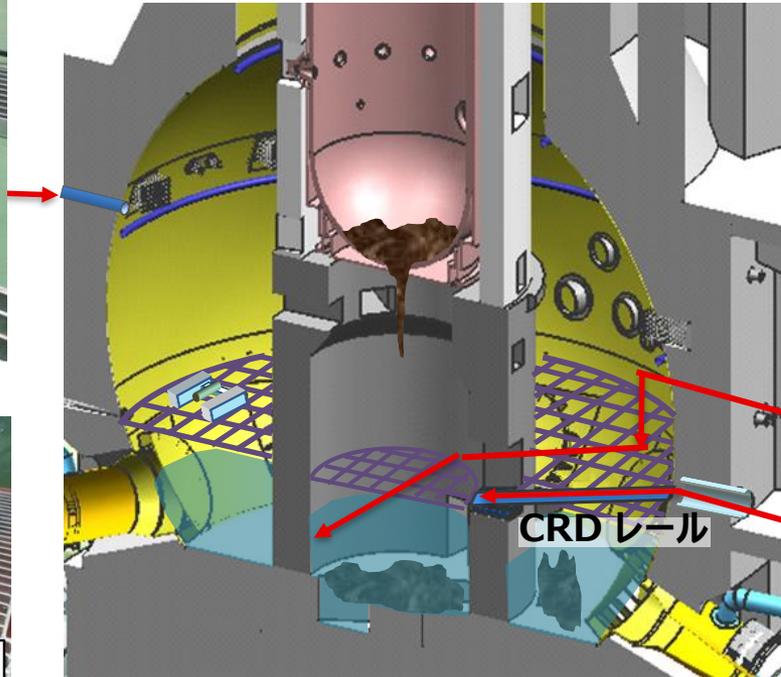
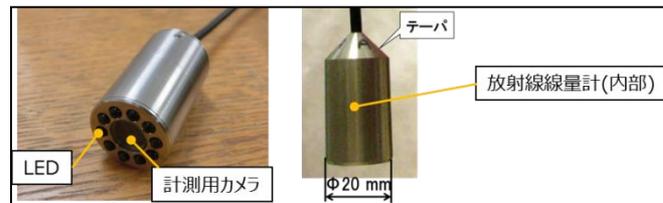
## ペDESTル外側の調査（1号機）



I型(ガイドパイプ通過時)



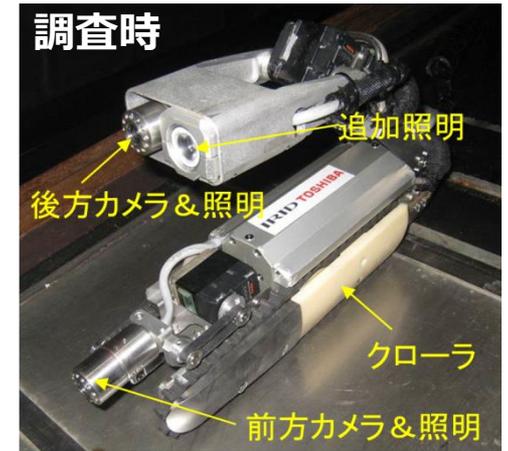
II型(平面走行時)



CRD レール

## 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）

昇降用スラスタ

前方カメラ

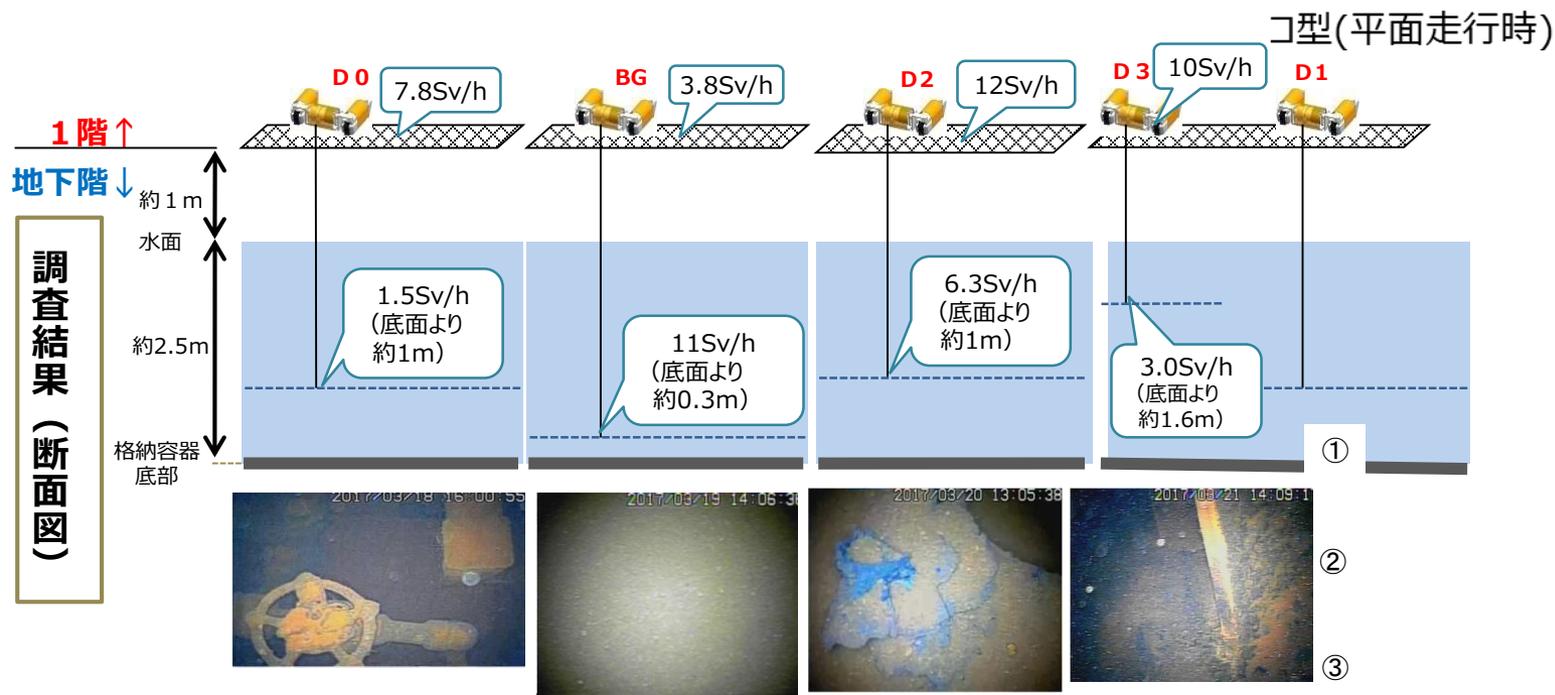
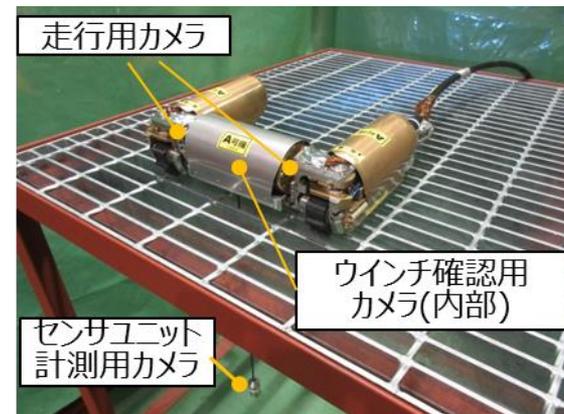
推進用スラスタ

照明

### ○水中遊泳型ロボット

# これまでの調査結果：1号機

- ・クローラー型ロボットを格納容器内に投入。
- ・ペDESTAL外部周回やペDESTAL外底部を調査。
- ・底部に堆積物を確認。

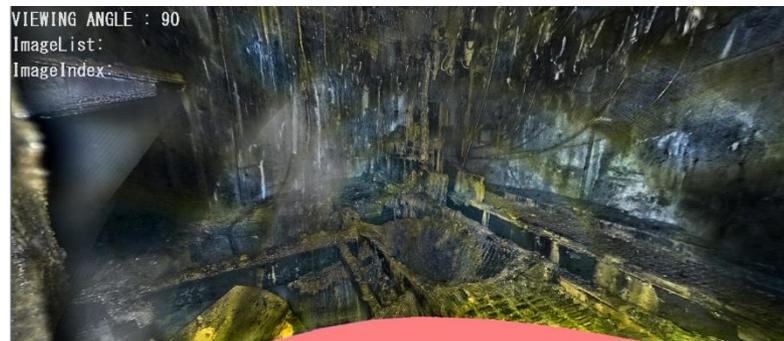


格納容器内ペDESTAL外底部の様子

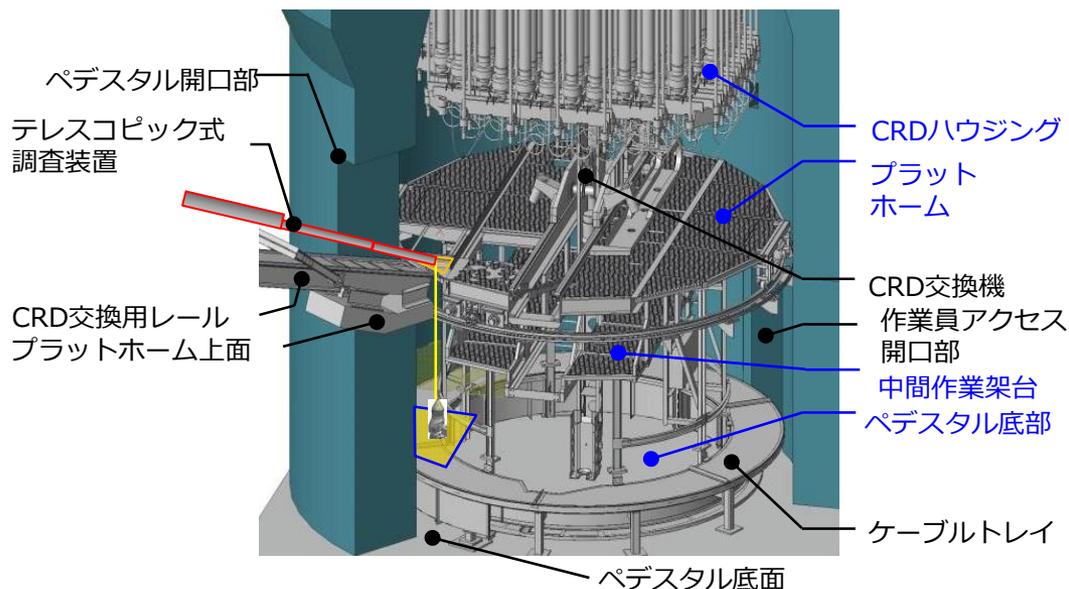
# これまでの調査結果：2号機



テレスコピック機構付きパンチルトカメラ



ペDESTル内 上部 (画像処理後)



釣り下げ式カメラ、接触（つかみ）機構

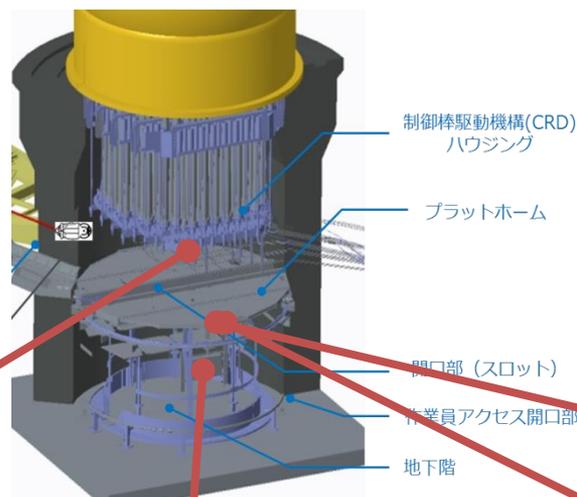
- ・ペDESTル内部の損傷状況と堆積物を確認。
- ・ペDESTル下部での堆積物及びその可動性を調査。



ペDESTル内 下部



# これまでの調査結果：3号機



水中ROV



No.16



No.17



No.18



No.19

- ・水中ROVを格納容器内部に投入し、ペデスタル内部を調査。
- ・ペデスタル下部や、ペデスタル内構造物上に溶融物固化物を確認。

# これまでの作業 格納容器内部のロボットによる調査

## ■調査

### ● 格納容器内部調査

- 線量率分布
- 燃料デブリの分布調査
- 格納容器内設備損傷状況

### ◆ 1号機格納容器内 ペDESTAL外

- グレーチング上を移動し、カメラ付き線量計を水面下に投入して調査

### ◆ 2号機格納容器内 ペDESTAL内

- CRDレールを経由して直接ペDESTAL開口部へ侵入

### ◆ 3号機格納容器内 ペDESTAL内

- 水位が高いため、遊泳ロボットを採用
- 着水後、潜水によりペDESTAL入口から内部へ

### □ 遠隔機器類の耐放射線仕様等さまざまな要求事項への対応に成功

湿潤、暗闇、通信環境、予期せぬ障害物、自己位置、サイズ制約 etc

### □ 獲得したノウハウ

既存のペネトレーションを利用したロボットの投入・回収、バウンダリ構築（放射性物質閉じ込め） etc

# 設計からの調査ニーズの例と今後の調査

## デブリ取り出し設計

アクセス・搬出設計、切削工法、回収工法

- ・燃料デブリの所在：拡散範囲、分布、量
- ・硬さ、切削特性
- ・線量率分布、放射線強度

## 未臨界維持

未臨界維持設計

- ・燃料デブリの特性：核燃料濃度、分布、量
- ・中性子吸収剤濃度：B, Gd濃度
- ・減速材分布：水位、デブリ中の水分量

## 放射性ダスト抑制・浄化

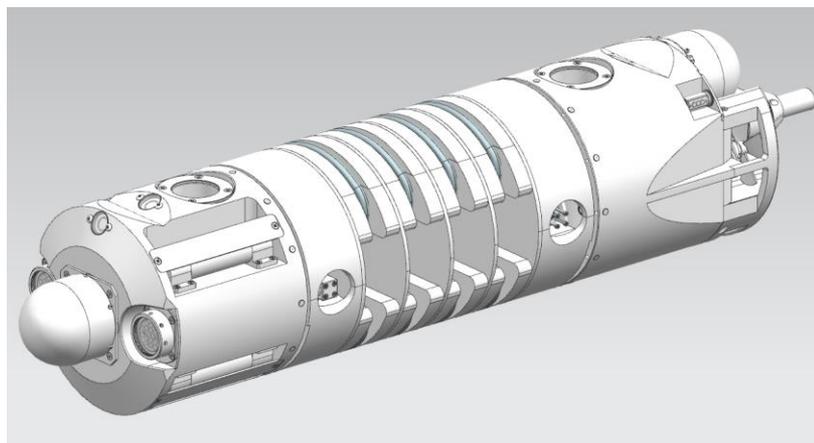
漏洩抑制設計

- ・燃料デブリの特性：（加工切削）飛散性、溶解性、捕集特性、放射性物質濃度

- これまでの調査は、画像取得が中心
- より多くの情報を得るために、**これまでより大型なアクセス装置**を開発中
  - ✓ アーム型アクセス装置
  - ✓ ボート型アクセス装置

# 1号機：ボート型アクセス装置

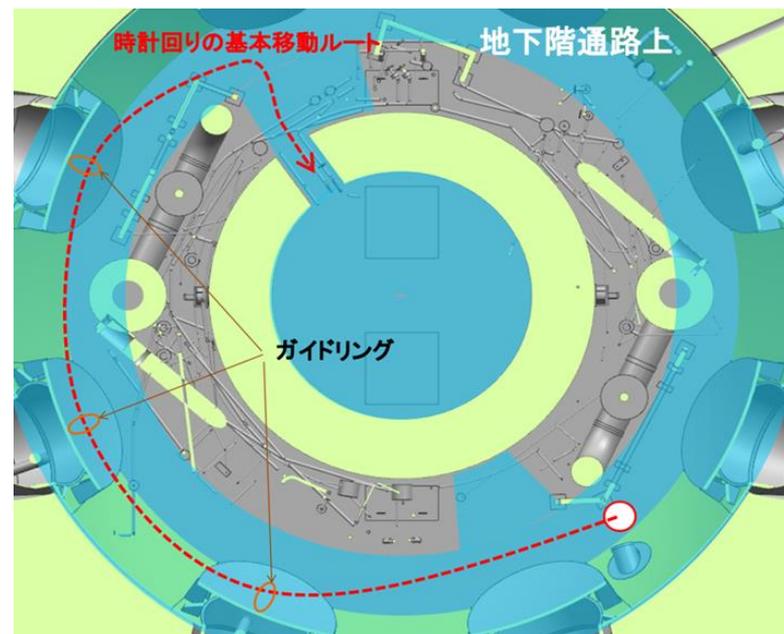
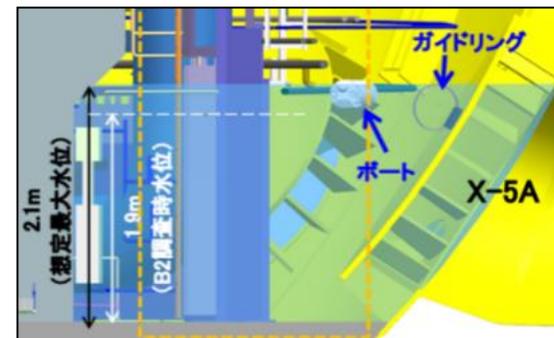
- 格納容器内の水の上を航行して、広範囲に移動可能なボート型アクセス装置を製作中



ガイドリング取付用の例

- 直径：φ25cm
- 長さ：約1.1m
- 推力：25N以上

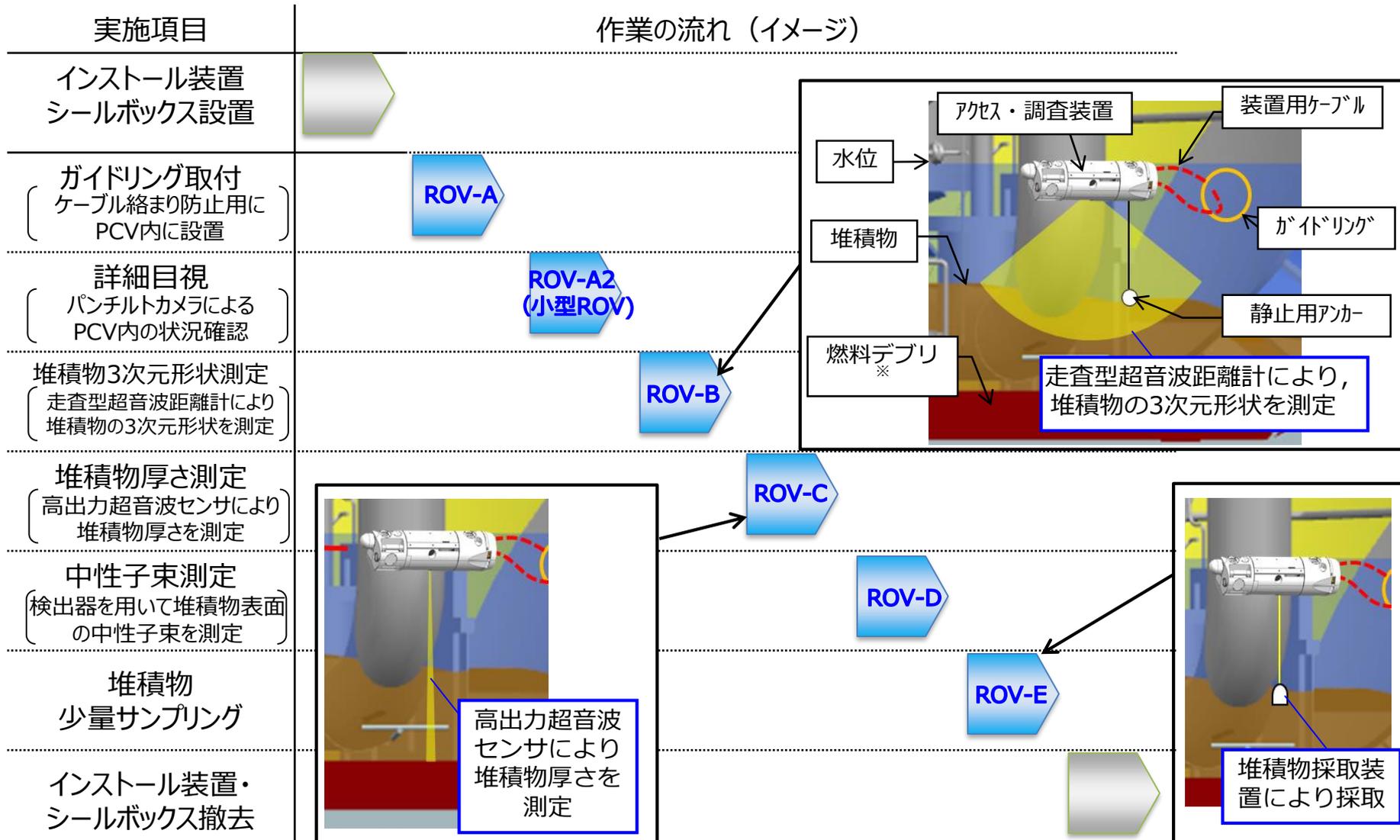
ボート型アクセス装置外観



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

- 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。

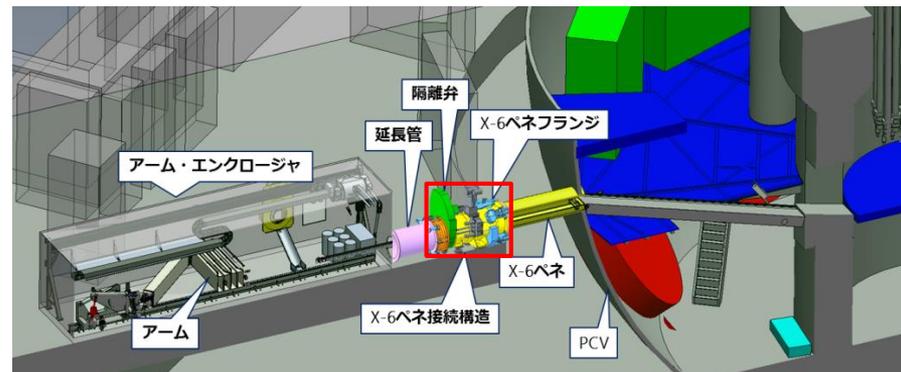


※：堆積物の厚さや燃料デブリの有無及び厚さは未知だが、説明のためイメージとして記載

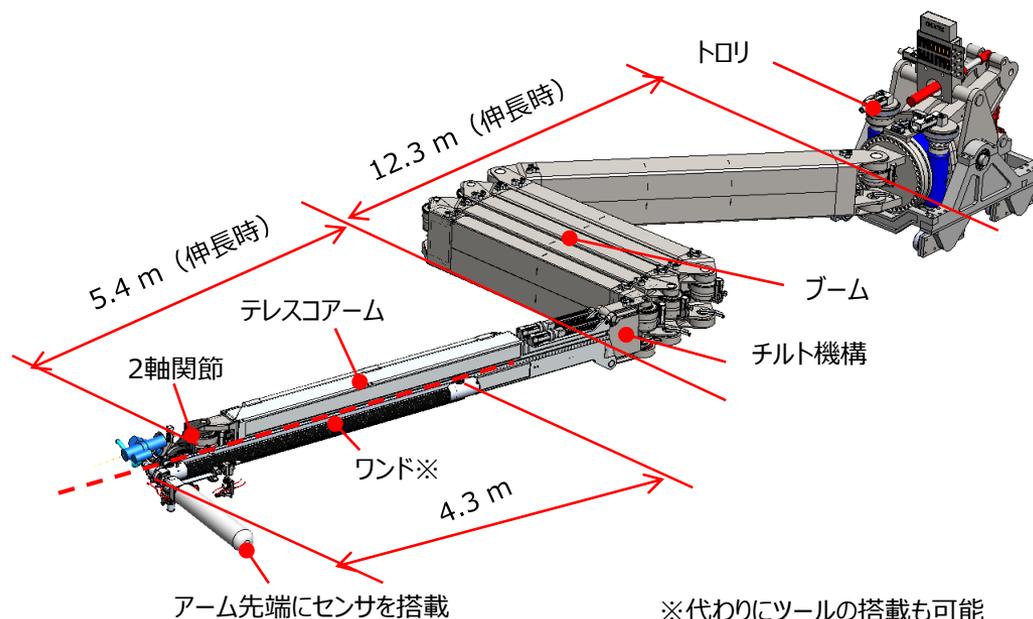
# アーム型アクセス装置

■ 制御棒駆動機構メンテナンス用の格納容器貫通部を通じて広範囲にアクセス可能なアクセス装置

- アーム全長約22 m
- 10 kgまでの調査装置を搭載可能



貫通部と隔離機構



※代わりにツールの搭載も可能

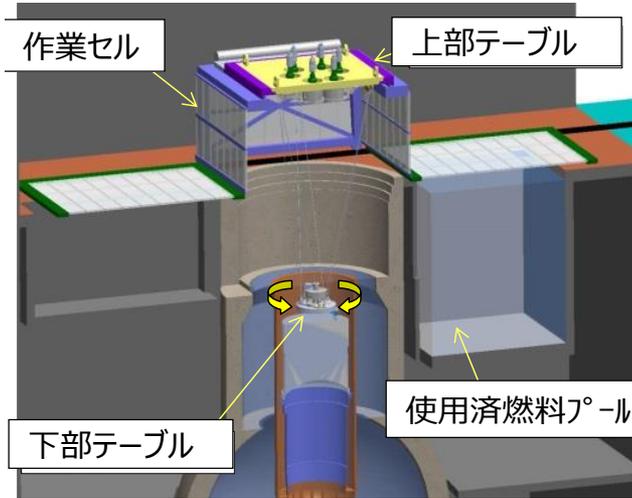
## アーム型アクセス装置

# デブリ取り出し工法の開発

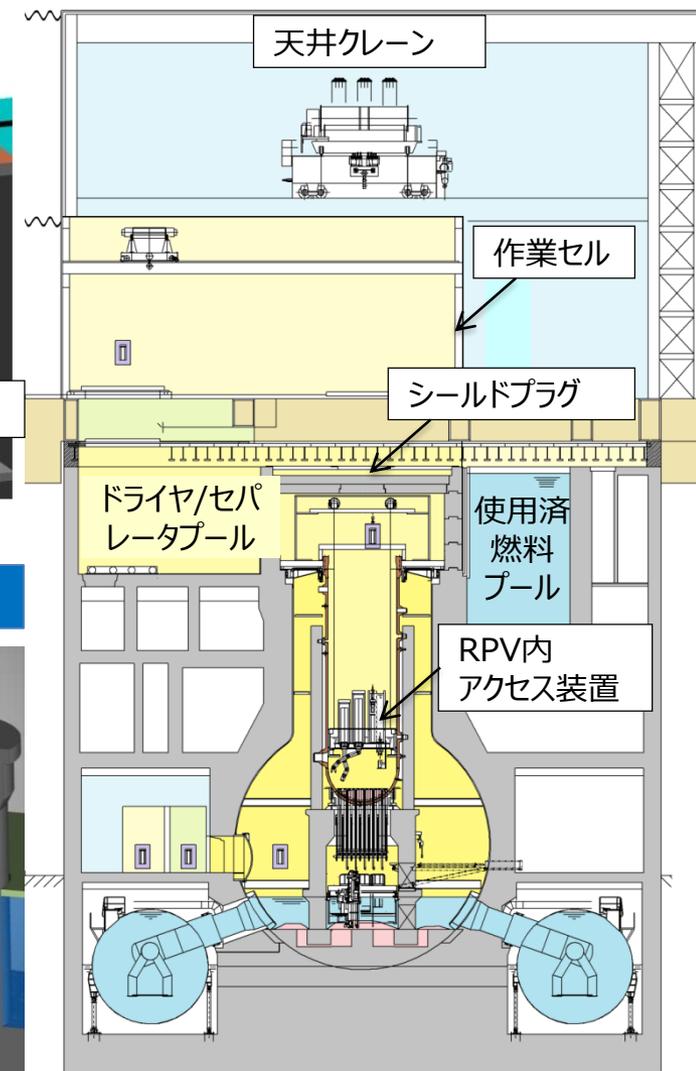
## 技術的課題

- 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

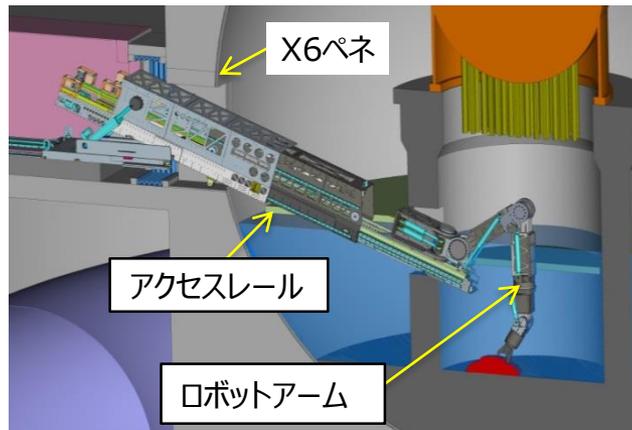
## 冠水-上アクセス工法（概念）



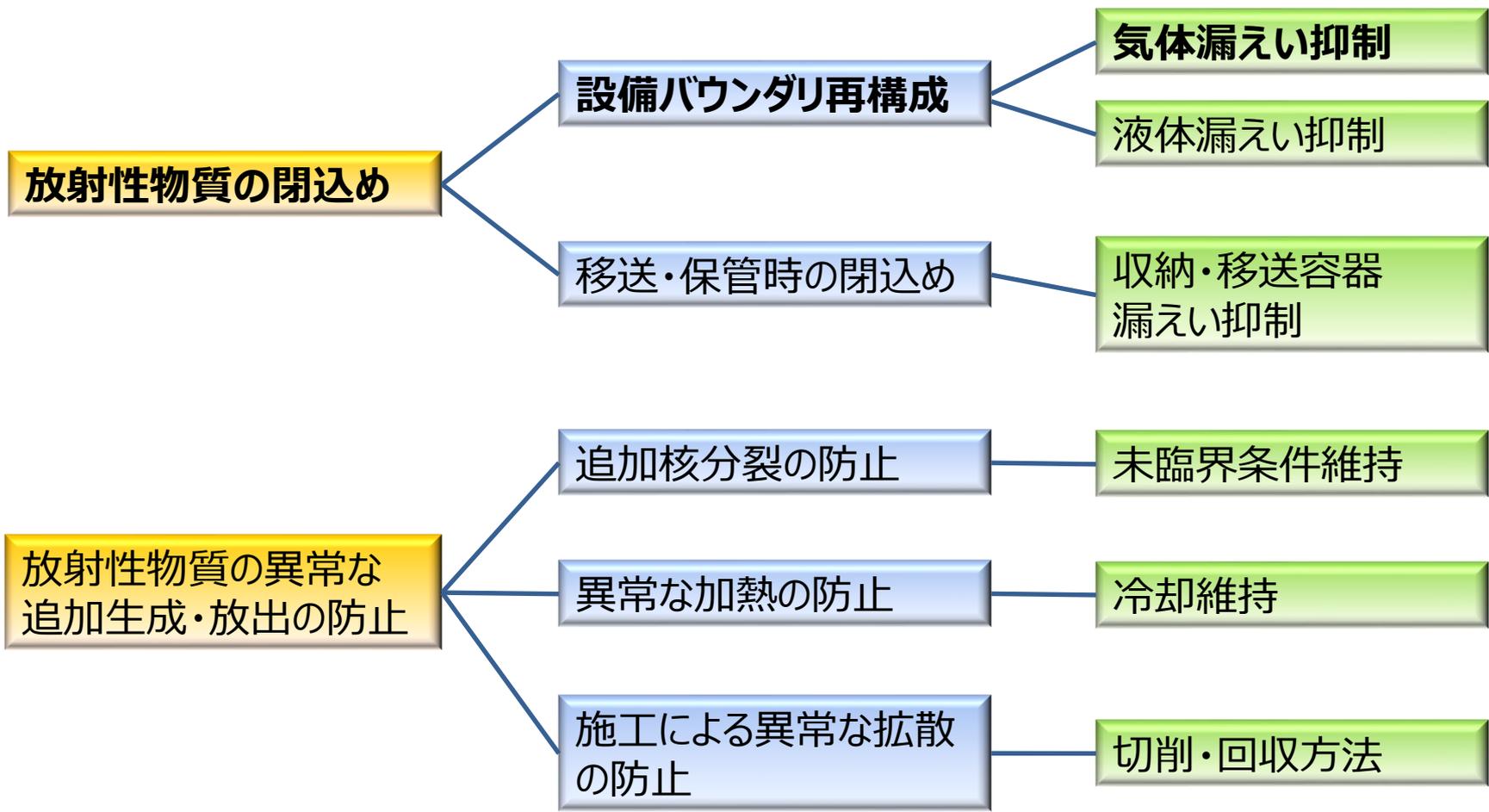
## 気中-上アクセス工法（概念）



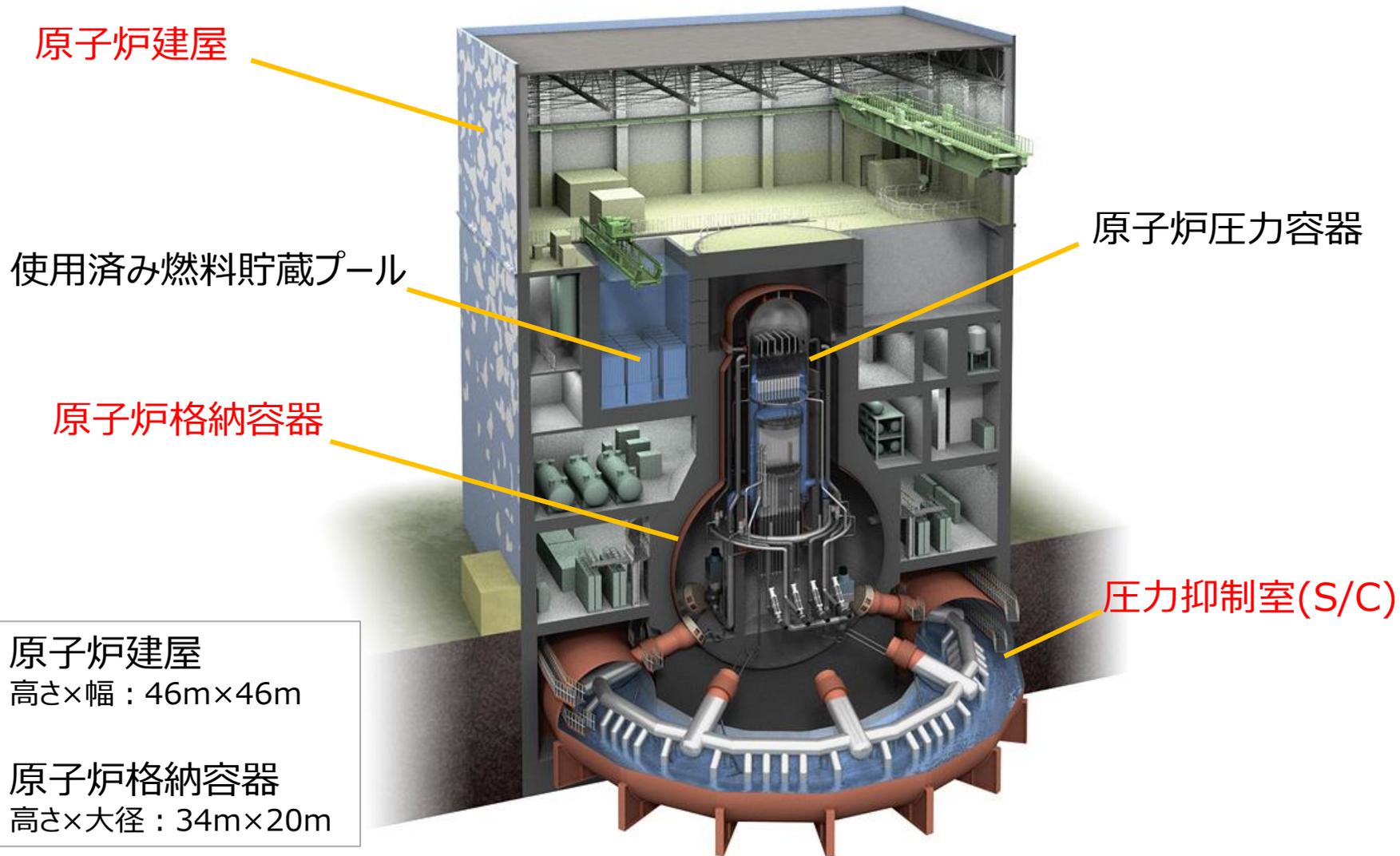
## 気中-横アクセス工法（概念）



# 安全設計とその実装の検討例



# 沸騰水型原子力発電所 原子炉建屋

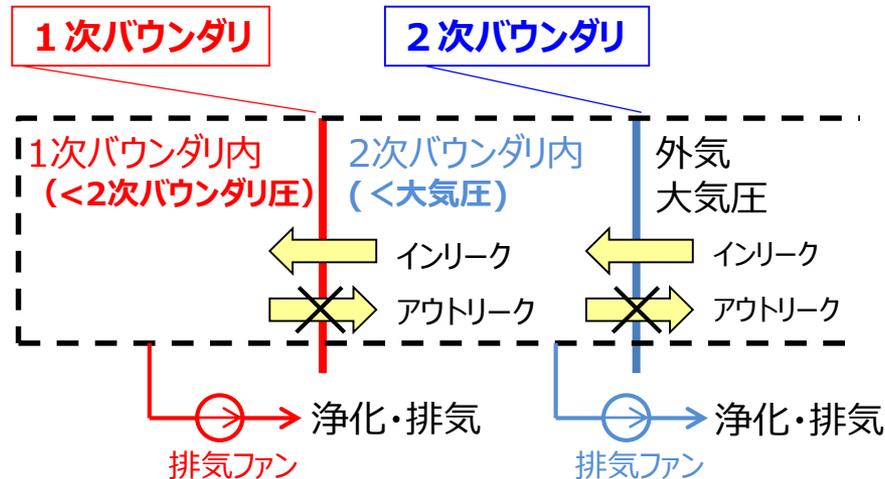


原子炉建屋イメージ

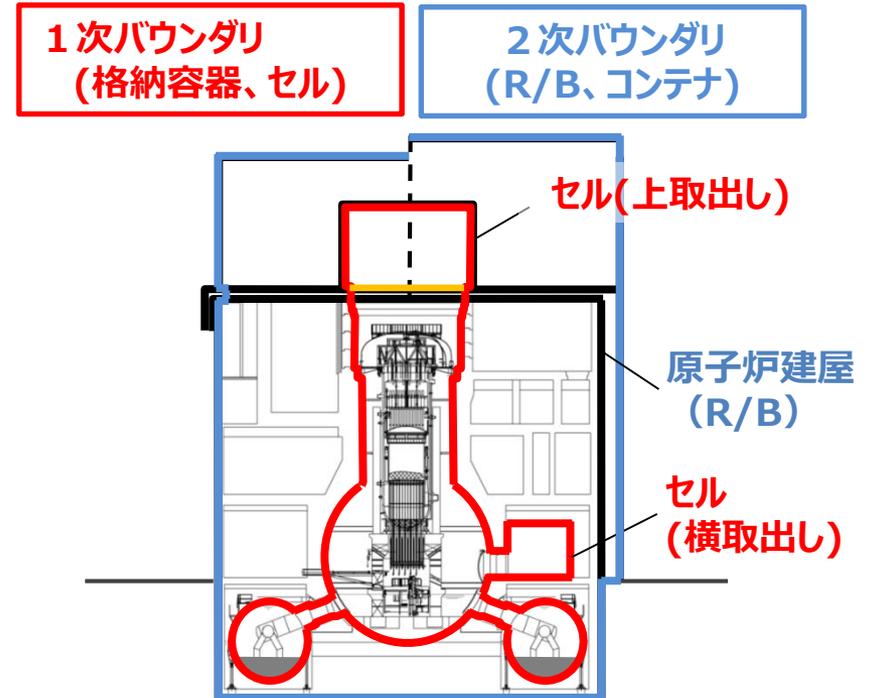
# 気相バウンダリ再構築（案）

動的バウンダリによる 発生した放射性ダストの閉じ込め

- PCV損傷部の補修を可能な範囲で実施
- 排気ファンによりPCV及びR/B内の圧力を負圧に維持
- 負圧維持（作業中常時）
- 多重化（1次/2次バウンダリ）の検討
- 排気の浄化

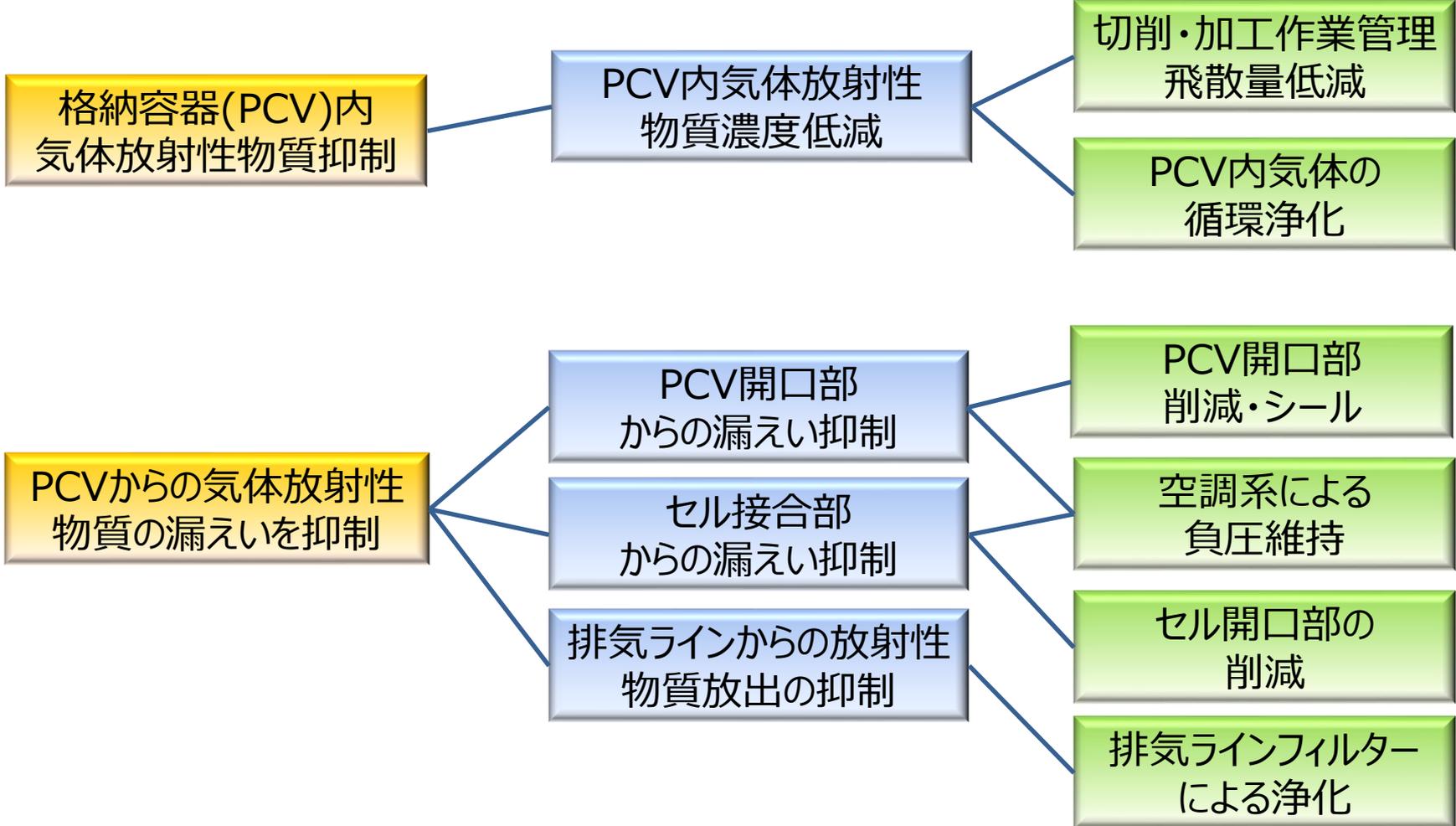


負圧勾配システムの検討



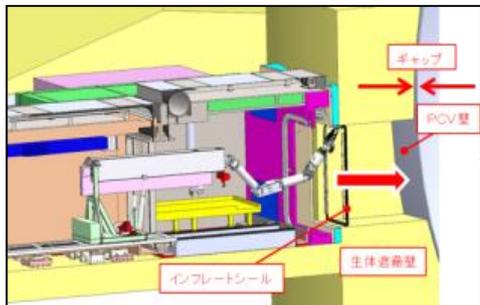
気相バウンダリのイメージ

# 気体中の放射性物質の漏えい防止(例) (ポイントの整理)

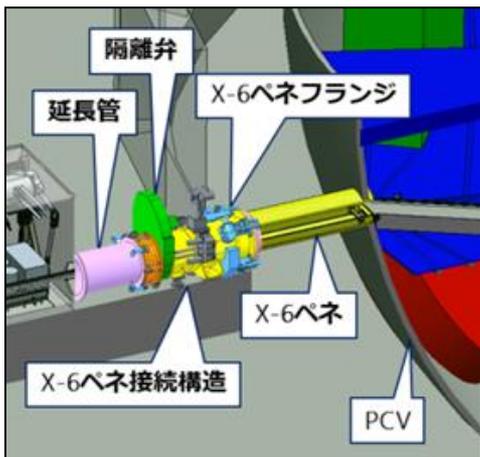


# 技術開発課題(例) 動的バウンダリの成立性①

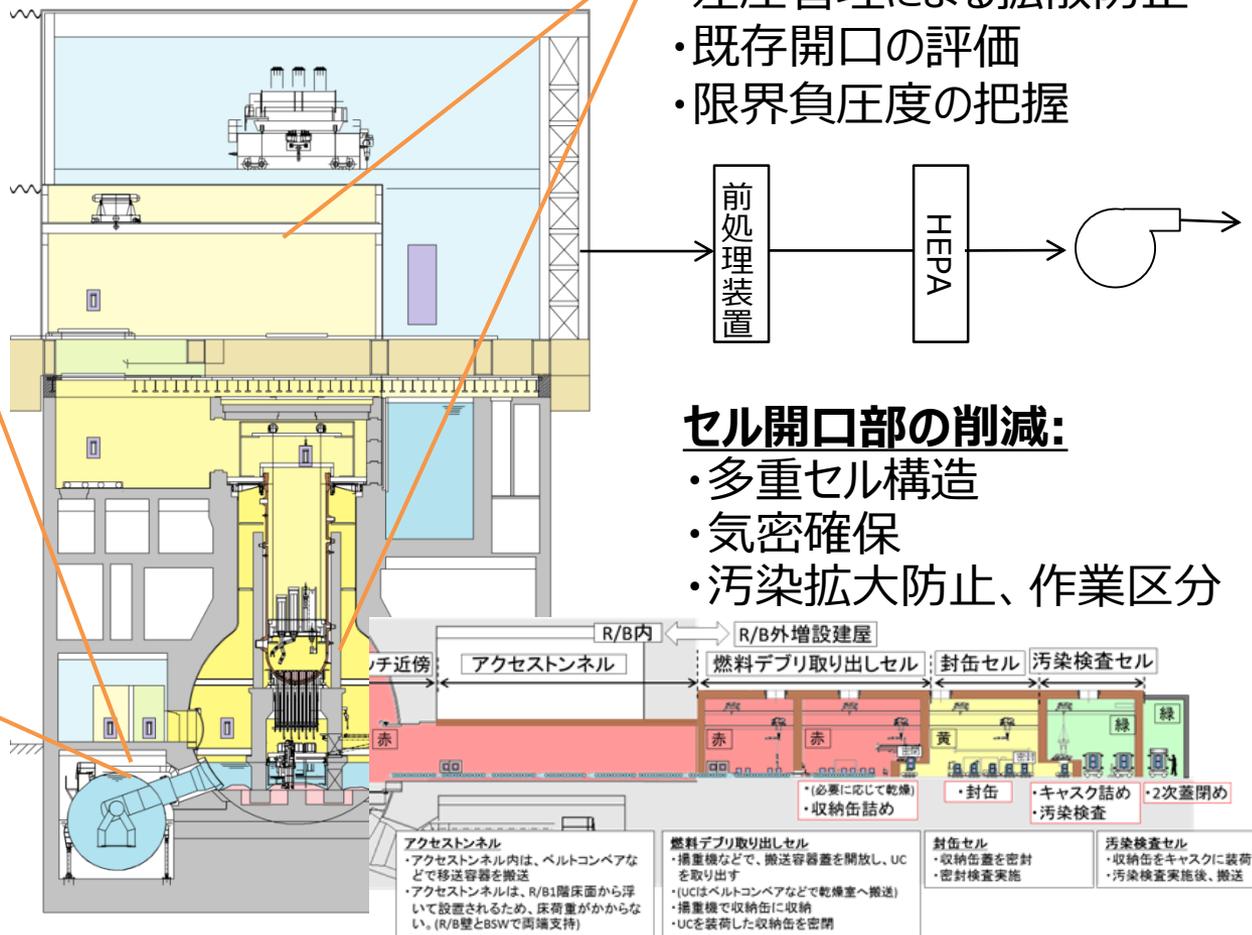
## PCV開口部削減・シール： ・新規開口と漏えい抑制



新規開口／作業セルシール方法  
(インフレートシールの場合)



X-6貫通部接続構造



## 空調系による負圧維持：

- ・差圧管理による拡散防止
- ・既存開口の評価
- ・限界負圧度の把握

## セル開口部の削減：

- ・多重セル構造
- ・気密確保
- ・汚染拡大防止、作業区分

**アクセストンネル**  
 ・アクセストンネル内は、ベルトコンベアなどで移送容器を搬送  
 ・アクセストンネルは、R/B1階床面から浮いて設置されるため、床荷重がかからない。(R/B壁とBSWで両端支持)

**燃料デブリ取り出しセル**  
 ・揚重機などで、搬送容器蓋を開放し、UCを取り出す  
 ・(UCはベルトコンベアなどで乾燥室へ搬送)  
 ・揚重機で収納缶に収納  
 ・UCを装荷した収納缶を密閉

**封缶セル**  
 ・収納缶蓋を密閉  
 ・密封検査実施

**汚染検査セル**  
 ・収納缶をキャスクに装荷  
 ・汚染検査実施後、搬送

・(必要に応じて乾燥)  
 ・収納缶詰め  
 ・封缶  
 ・キャスク詰め  
 ・汚染検査  
 ・2次蓋閉め

デブリ取出し／機器搬入・デブリ搬出経路

# 技術開発課題(例) 動的バウンダリの成立性②

## 切削・加工作業管理 飛散量低減：

- ・ダスト発生抑制, 集塵, 加工速度 (スループット), PCV内再循環浄化



コアビット



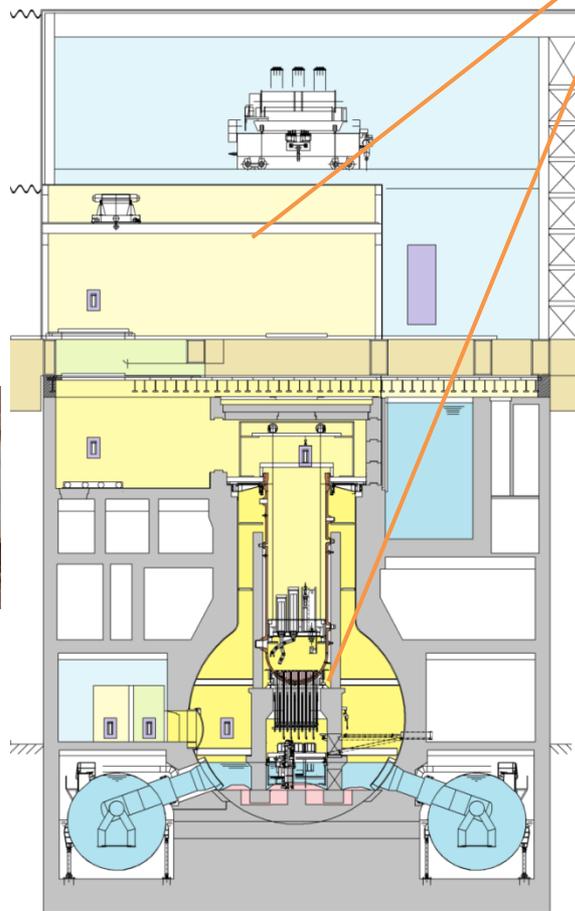
チゼル加工予備試験



超音波チゼル



レーザーガウジング

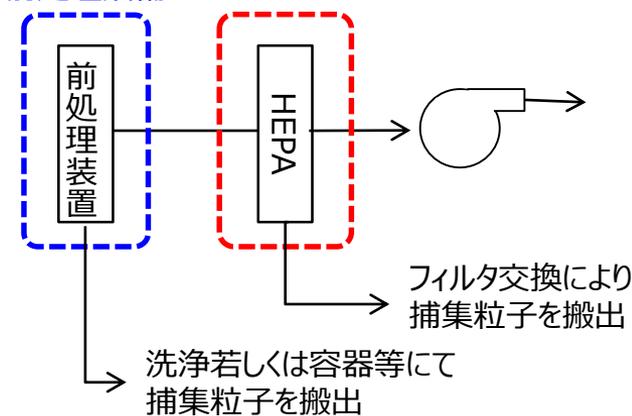


デブリ分離機 (サイクロンセパレータ)

## 排気ラインフィルター浄化：

- ・浄化性能 (DF)

前処理設備 最終処理設備



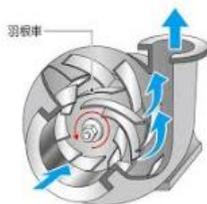
気相系粒子捕集・除去設備 構成 (案)

粒径分布

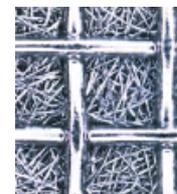
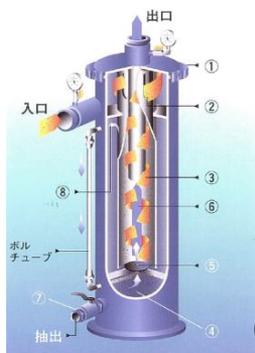
プロセス条件 (流量等)

ガス組成 (湿度等)

逆洗・遠隔回収・遠隔交換 等



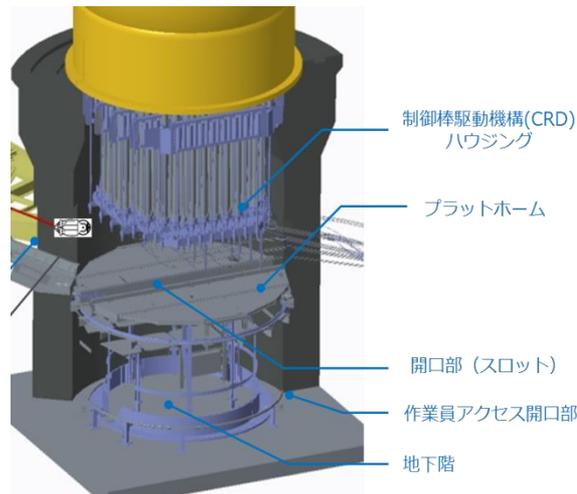
デブリ吸引ポンプ



HEPA (左: グラスファイバー, 右: 金属)

# 何を取り出さなければならないのか

- 燃料デブリ, **MCCI** (Molten Core Concrete Interaction, 溶融炉心コンクリート相互作用)
- 炉心燃料域以下 (上部格子板含む) の構造物
- ペDESTAL内構造物
- アクセス・搬出経路の干渉物 等



3号機格納容器内  
ペDESTAL内

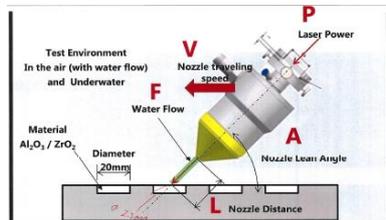


2号機格納容器内底部,  
ペDESTAL内 内壁付近

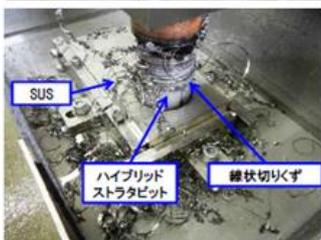
TOSHIBA PITCH -011 TILT -073

# 切削・回収と保管容器の検討

## 燃料デブリ切削方法の例



レーザーガウジング



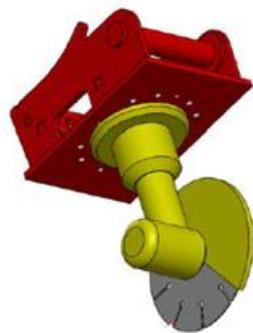
コアボーリング



チゼル

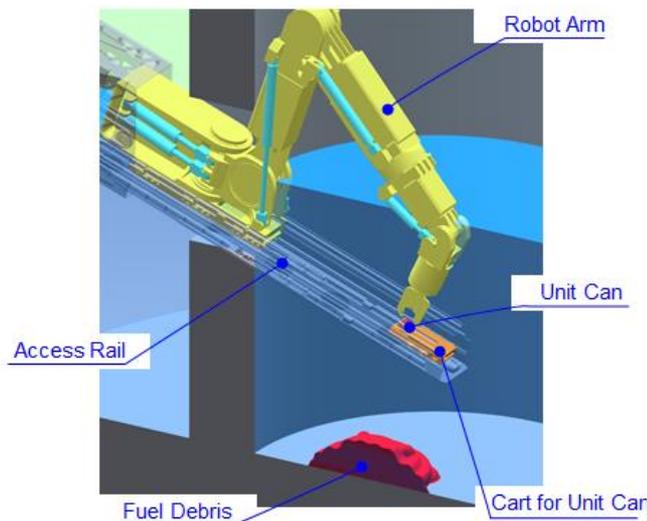


レーザーカッティング

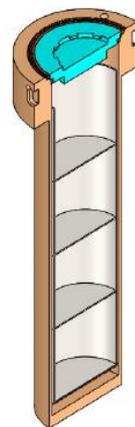


ダイヤモンドディスクカッター

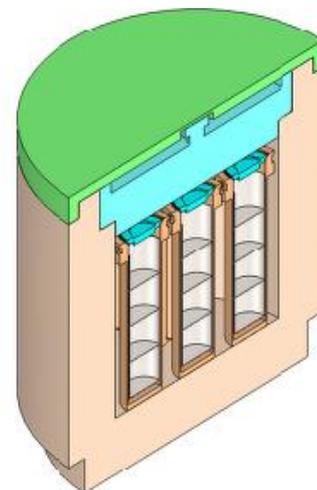
## 燃料デブリ収集・保管の検討



回収ツール例



納缶 イメージ



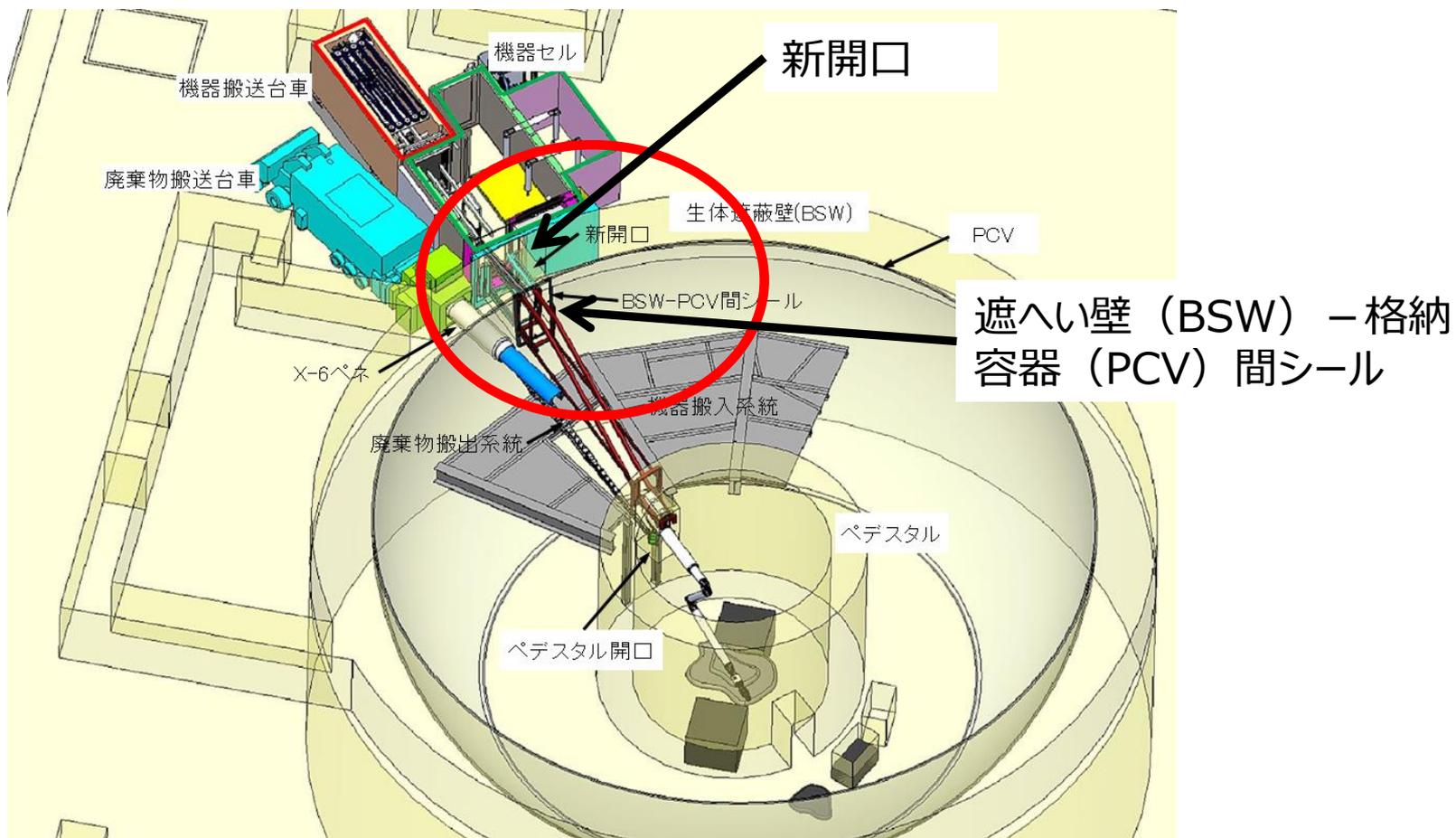
キャスク イメージ

# アクセス工法 装置の投入とデブリ搬出の経路

- これまで検討してきた取り出し工法（横アクセスの場合）
  - 移動セル工法
  - アクセストンネル工法
  - アクセスレール工法
  
- 燃料デブリ取り出し作業を支える様々な要素技術を順次検証中

# 移動セル工法を実現するための技術

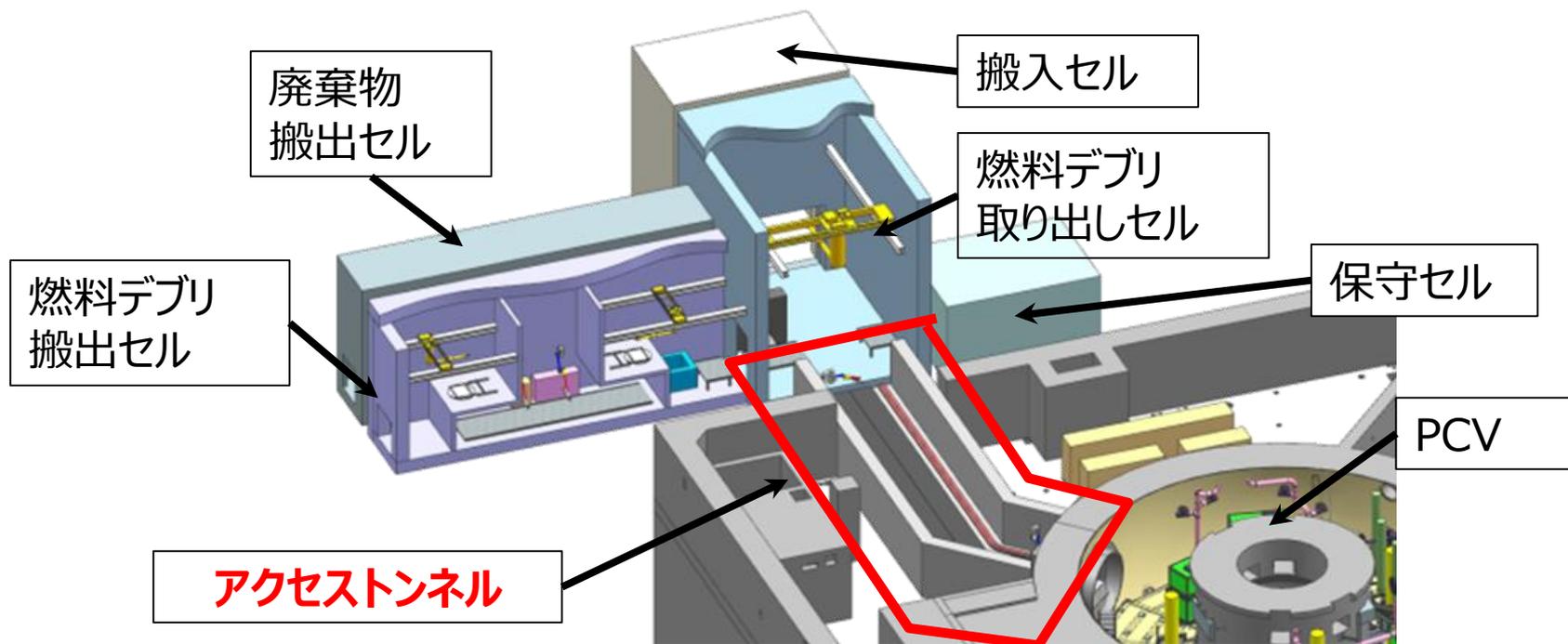
## ■ 新開口を設けるための要素技術を開発中



移動セル工法のイメージ

# アクセストンネル工法を実現する技術

- 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

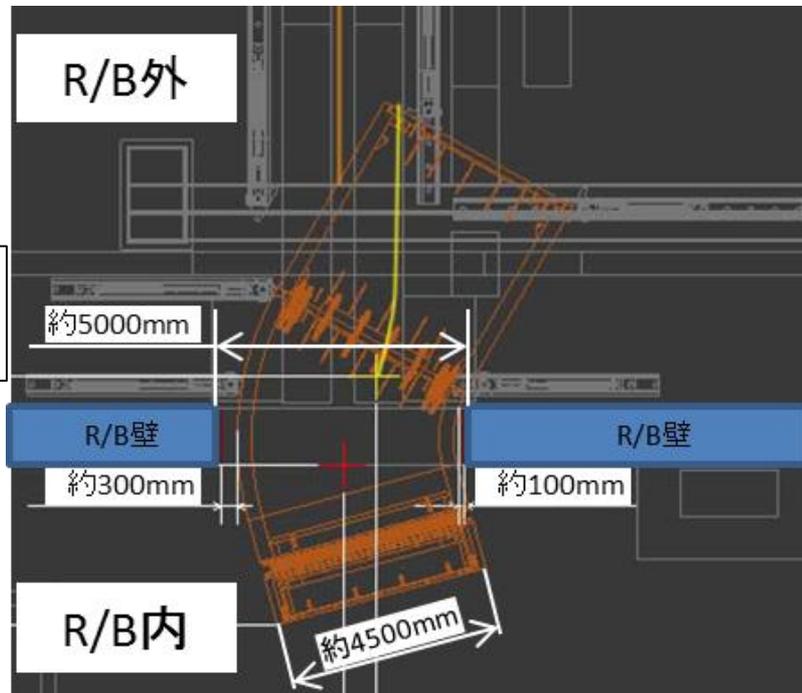
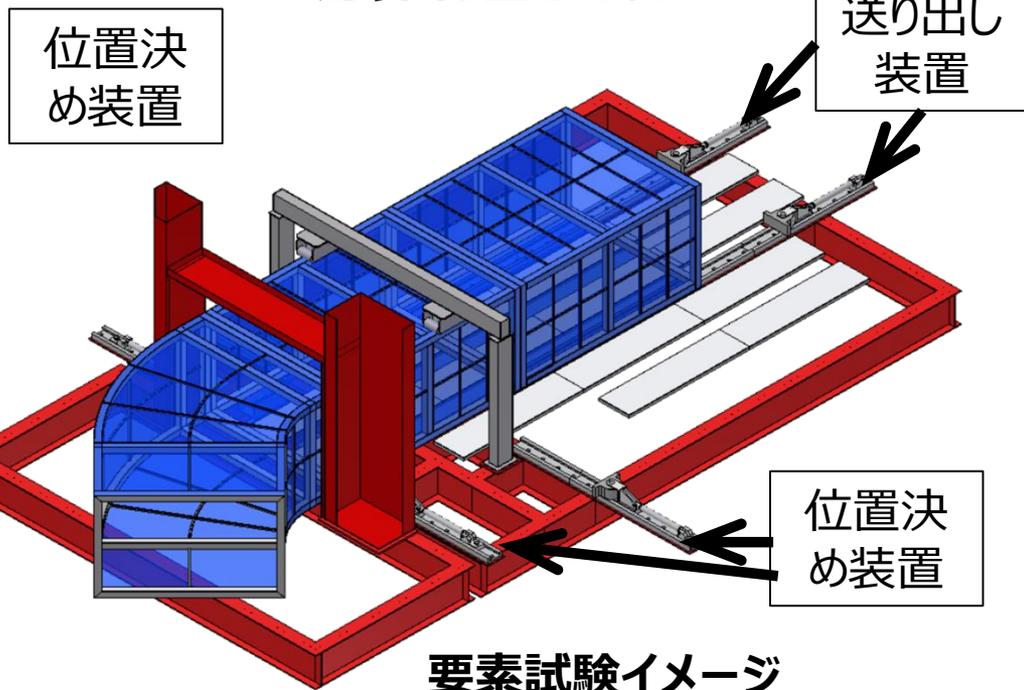


アクセストンネル工法の配置イメージ

# アクセストンネル工法を実現する技術



送り出し工法の例

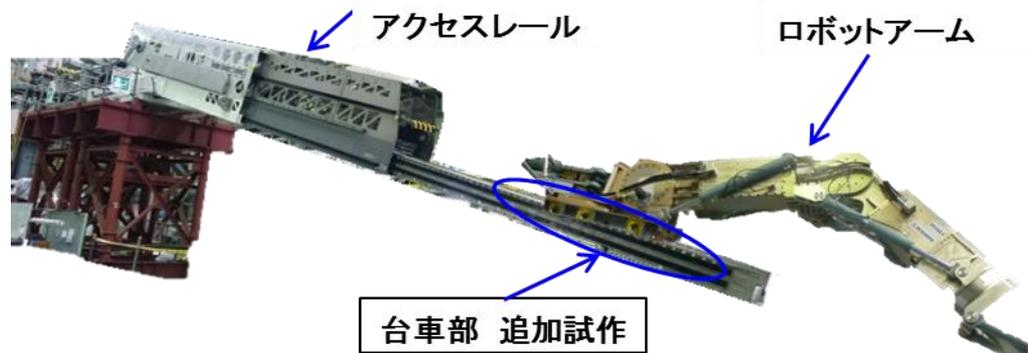
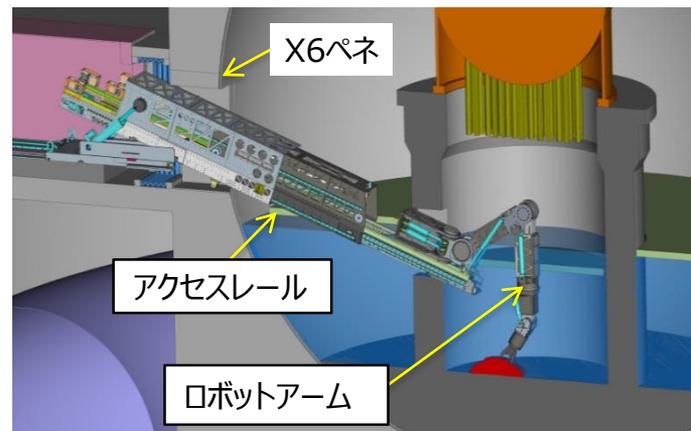


狭隘作業のイメージ

\*R/B : 原子炉建屋

# アクセスレール工法を実現する技術

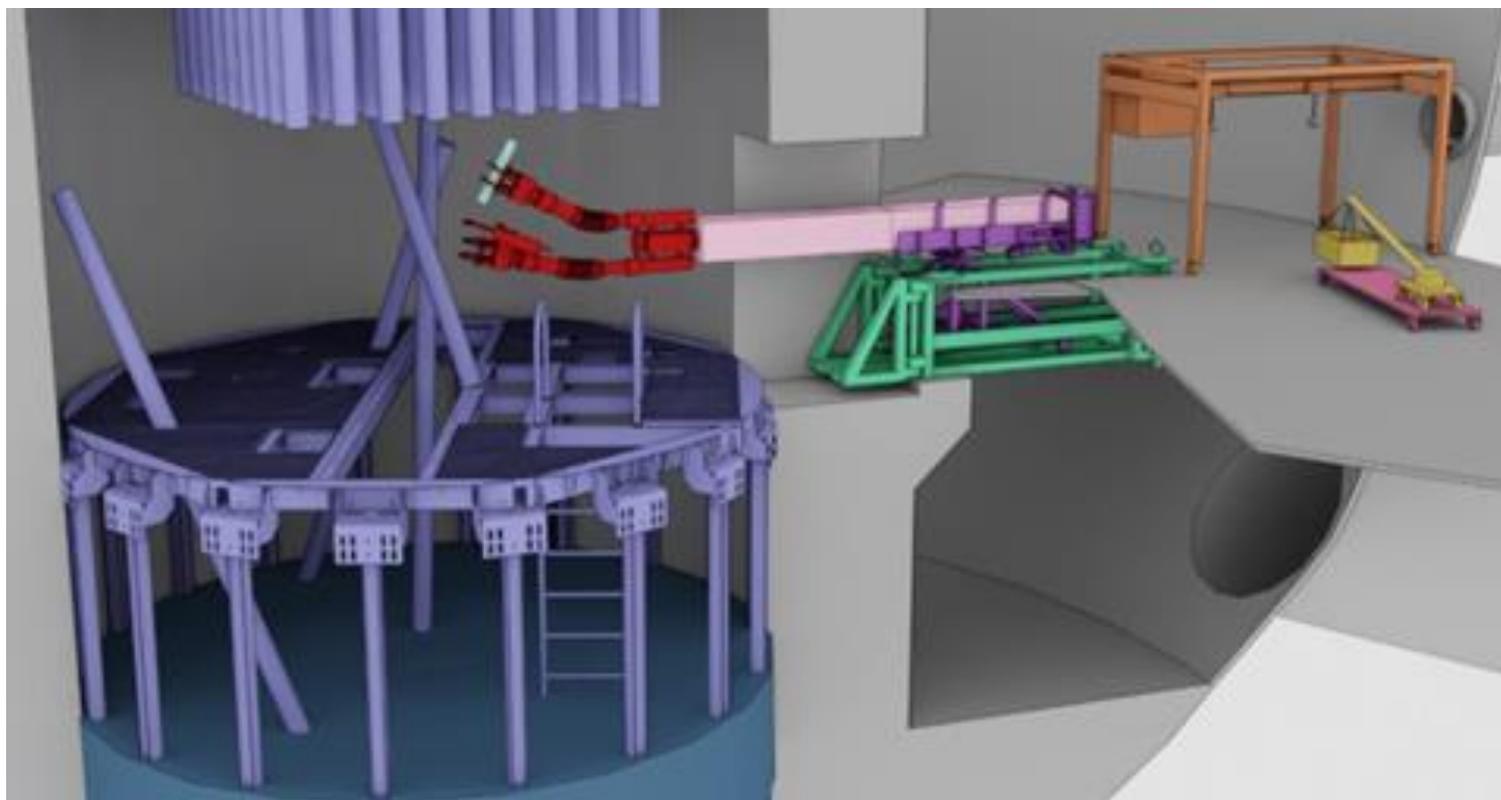
- それぞれ開発を進めてきた、アクセスレールとロボットアームを組み合わせた機能試験を計画中



組合せ機能試験イメージ

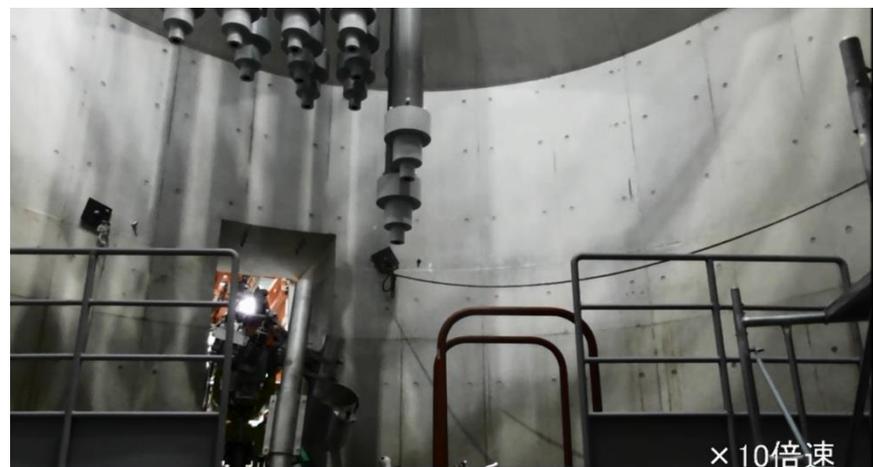
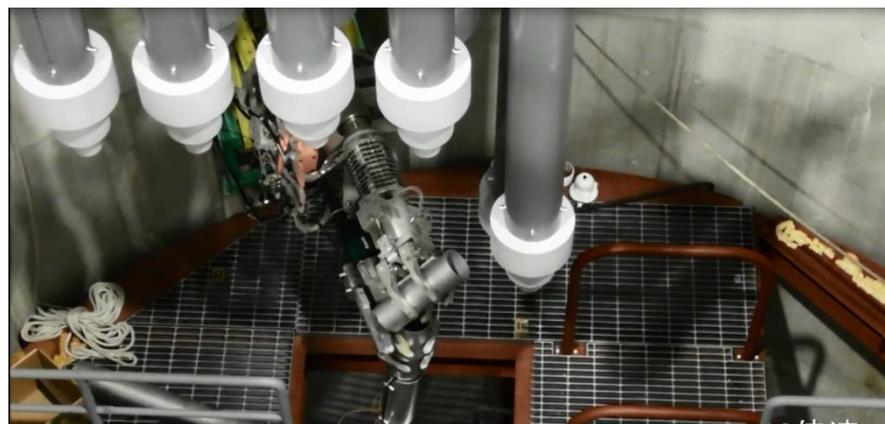
# 干渉物撤去技術

- これまでの内部調査でペDESTAL内には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

# ペDESTル内干渉物撤去 要素試験の様子



模擬ペDESTル内での構造物遠隔切断作業試験のようす

# まとめ

---

- 格納容器内部の詳細な状態把握に向けた技術開発に取り組んでおり、調査装置の試作機を製作している。
- 燃料デブリ取り出しにおける安全性をより高めるため、リスクと安全要求の検討を行い、リスク低減設備の技術開発を行っている。
- 燃料デブリ取り出し工法の実現に向け、各種要素技術を検証予定である。
- 燃料デブリ取り出し作業時に使用されうる技術を順次開発中である。