

# 国際廃炉研究開発機構における 研究開発の状況について

2017年10月20日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)  
石橋英雄

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。

# 1. IRIDの事業概要

## 2. 研究開発の進捗状況

(燃料デブリ取出しに係る主な研究開発)

2-1.総合的な炉内状況把握

2-2.燃料デブリ検知 (ミュオン調査)

2-3.原子炉格納容器 (PCV) 内部調査

2-4.原子炉圧力容器 (RPV) 内部調査

2-5.PCV補修・止水技術

2-6.燃料デブリ取り出し技術

2-7.燃料デブリ収納・移送・保管技術

## 3. まとめ

# 1. IRIDの事業概要

# 国際廃炉研究開発機構(IRID)の概要

## 1. 名称

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

(IRIDアイリッド: **I**nternational **R**esearch **I**nstitute for Nuclear **D**ecommissioning)

## 2. 設立

2013年8月1日 (経済産業大臣認可)

## 3. 目的

廃止措置に関する試験研究、その他組合員の技術水準の向上及び実用化を図る事業を行う

## 4. 組合本部

〒105-0003 東京都港区西新橋2-23-1 3東洋海事ビル5F

(電話番号) 03-6435-8601 (代表)

(ホームページアドレス) <http://www.irid.or.jp>

## 5. 組合員 (18法人)

国立研究開発法人：日本原子力研究開発機構、産業技術総合研究所

プラント・メーカー等：東芝エネルギーシステムズ(株)、日立GEニュークリア・エナジー (株)、三菱重工業 (株)、  
(株) アトックス

電力会社等：北海道電力 (株)、東北電力 (株)、東京電力ホールディングス (株)、中部電力 (株)、  
北陸電力 (株)、関西電力 (株)、中国電力 (株)、四国電力 (株)、  
九州電力 (株)、日本原子力発電 (株)、電源開発 (株)、日本原燃 (株)

# IRIDの事業内容

## ▶ IRID事業の3本柱

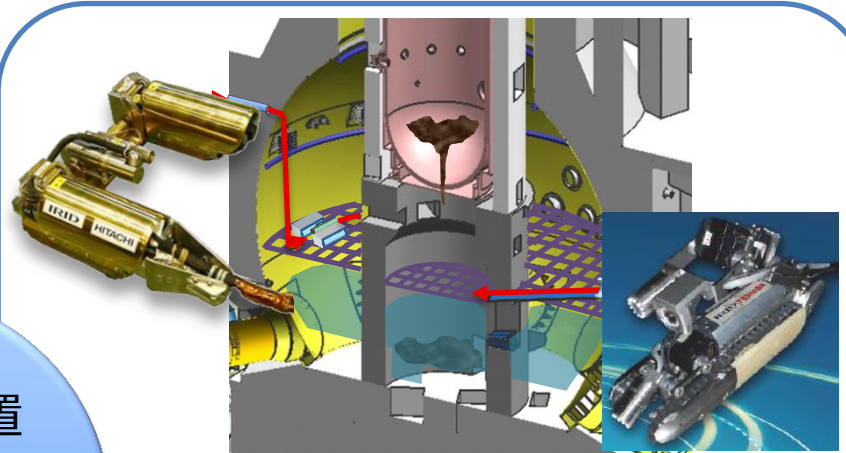


国際顧問との会議

2. 廃止措置に関する  
**国際、国内  
関係機関との  
協力**を推  
進します。

1. 廃止措置  
に関する  
**研究開発**  
を行います。

**IRID**



格納容器内部調査ロボットの開発

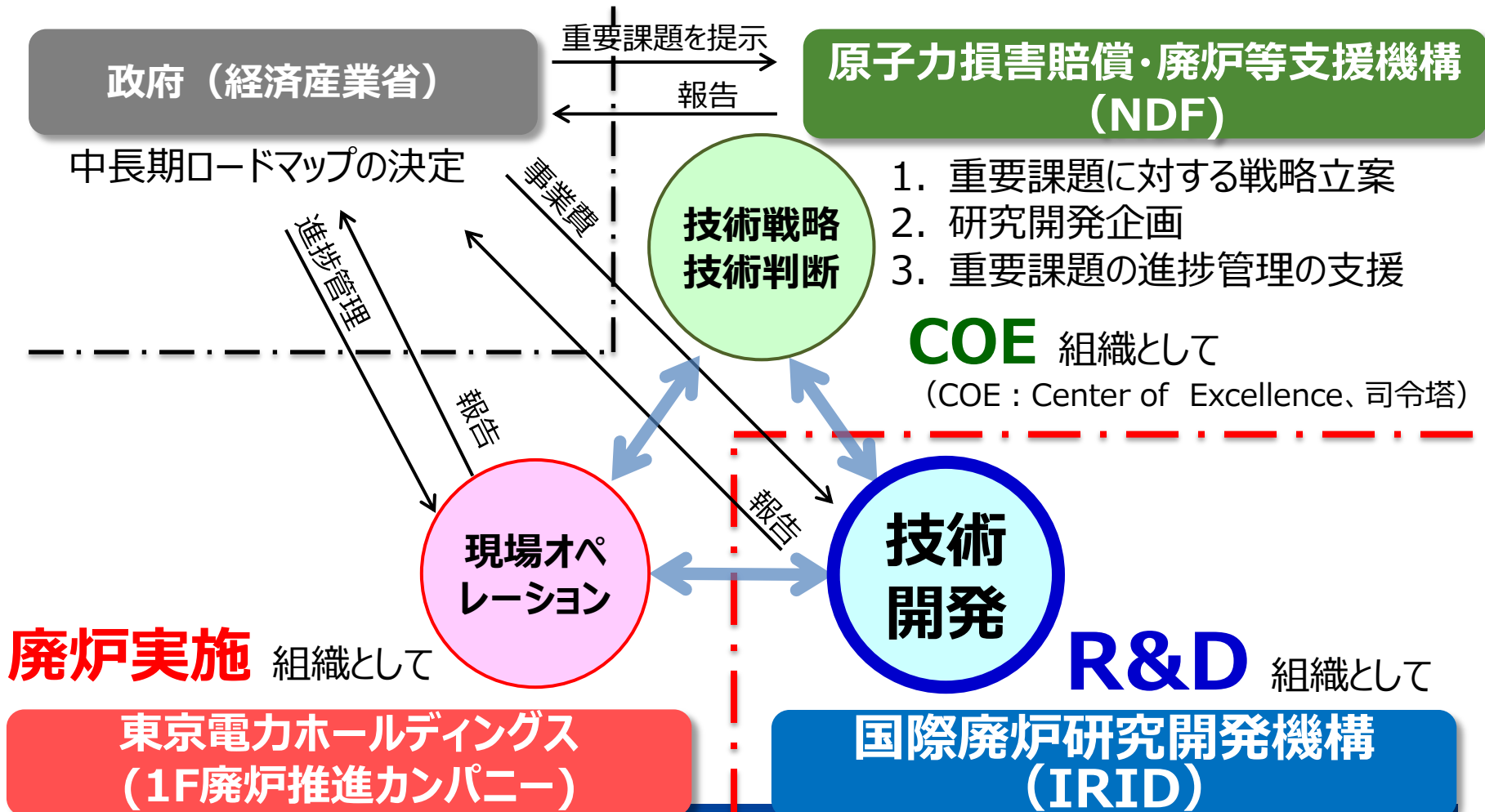
3. 研究開発  
に関する  
**人材育成**  
に取り組めます。



IRIDシンポ2017「燃料デブリ取出しに挑む」での  
大学によるパネル発表

# IRIDの役割

- ▶ 4者（政府、NDF、東京電力、IRID）が連携して1F廃炉を推進。
- ▶ **IRIDは技術開発の実施者（R&D組織）**として貢献。

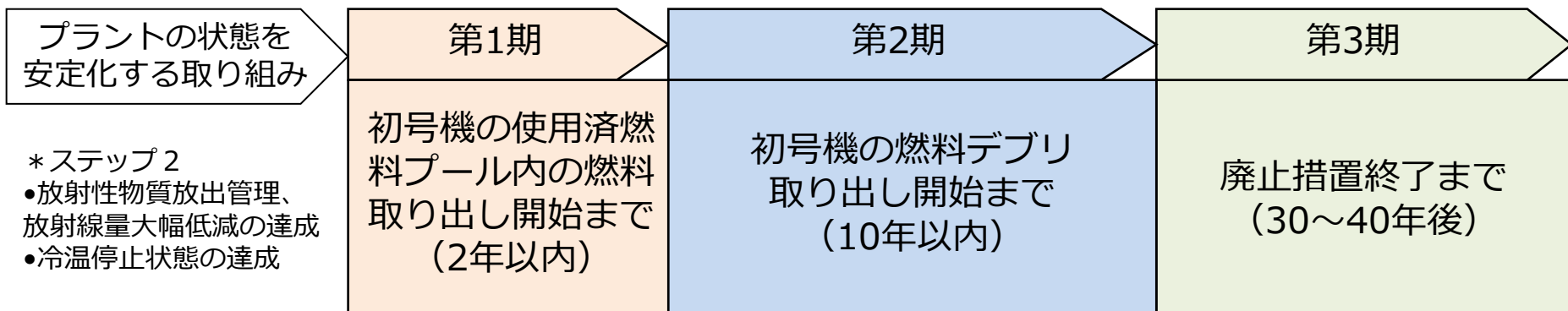


# 中長期ロードマップの概要

2011年12月  
【ステップ2\*完了】

2013年11月

2021年12月



( )内はステップ2完了からの期間

↑  
2013年11月18日に4号機使用済燃料プールから燃料取り出し開始

○中長期ロードマップは、2017年9月26日に改訂された。

○目標工程(マイルストーン)の明確化

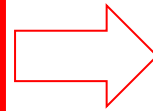
【燃料デブリ取り出し】

- ・号機毎の燃料デブリ取り出し方針の決定 2017年
- ・初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定 2019年度
- ・初号機の燃料デブリ取り出しの開始 2021年内

# IRIDの研究開発スコープ

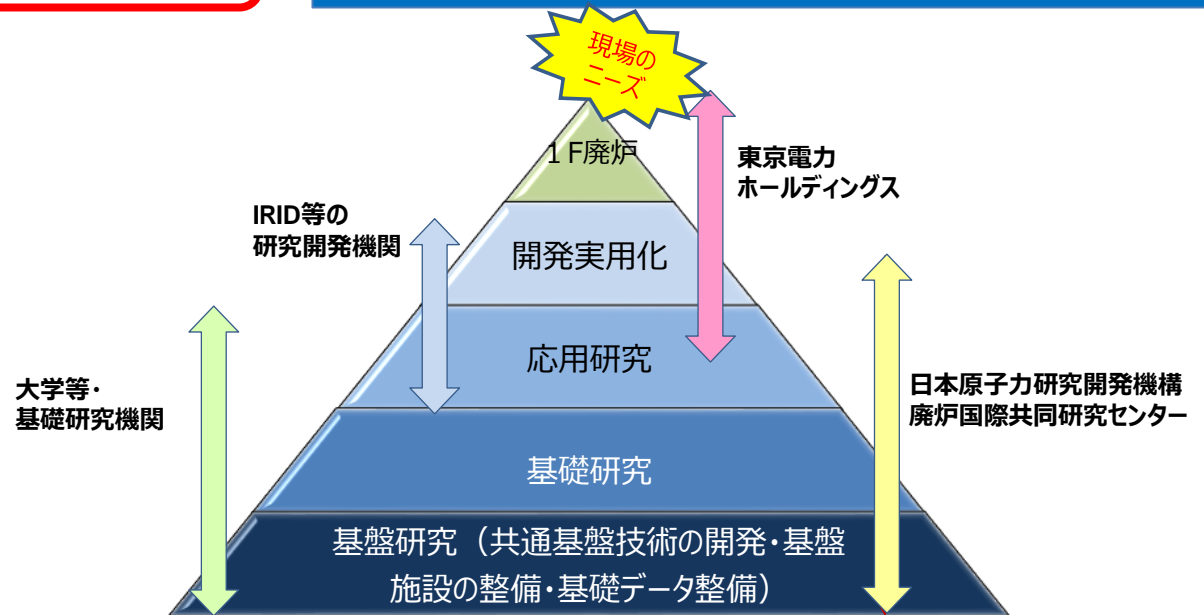
## 廃炉事業

- 原子炉の冷温停止状態の継続
- 滞留水処理（汚染水対策）
- 発電所全体の放射線量低減・汚染拡大防止
- 使用済燃料プールからの燃料取り出し
- 燃料デブリ取り出し
- 固体廃棄物の保管・管理と処理・処分に向けた計画
- 原子炉施設の廃止措置計画



**IRIDはこの分野のR&Dを担当**

## 研究開発の全体像



出所：NDF 技術戦略プラン2017

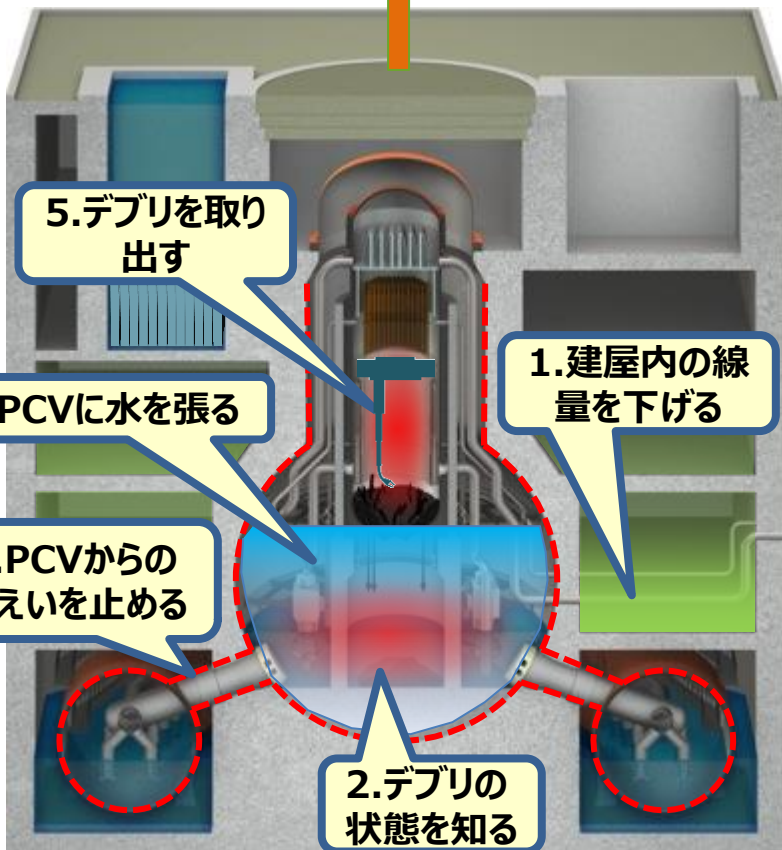


# 各研究開発プロジェクトの目的

## 1. 建屋内の線量を下げる

- **遠隔除染**装置の開発

## 6. デブリを収納・移送・保管する



## 2. デブリの状態を知る

- ◎ 間接的に知る
  - **解析**による炉内状況把握
  - **宇宙線ミュオン**を利用した透視
- ◎ 直接的に知る
  - **PCV内部**調査、**RPV内部**調査

## 3,4. PCVの漏えいを止める、水を張る

- PCV**補修・止水**技術の開発
- PCV補修・止水**実規模試験**

## 5. デブリを取り出す

- デブリ取り出し**基盤技術**の開発
- デブリ取り出し**工法・システム**の開発
- **臨界管理**技術の開発

## 6. デブリを運びだし、保管する

- デブリ**収納・移送・保管**技術の開発

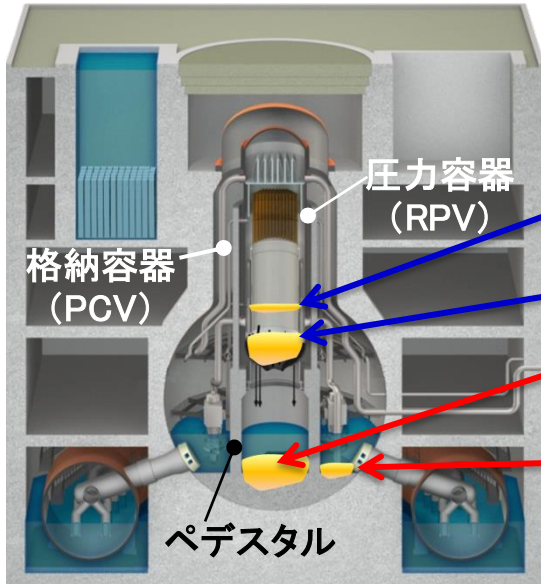
## 2. 研究開発の進捗状況

(燃料デブリ取出しに係る主な研究開発)

- 2-1. 総合的な炉内状況把握
- 2-2. 燃料デブリ検知 (ミュオン調査)
- 2-3. 原子炉格納容器 (PCV) 内部調査
- 2-4. 原子炉圧力容器 (RPV) 内部調査
- 2-5. PCV補修・止水技術
- 2-6. 燃料デブリ取り出し技術
- 2-7. 燃料デブリ収納・移送・保管技術

# 2-1.総合的な炉内状況把握

原子炉建屋 (R/B)



  : RPV内

  : RPV外

(単位: トン)

	1号機	2号機	3号機
場所	代表値※	代表値※	代表値※
炉心部	0	0	0
RPV底部	15	42	21
ペデスタル内側	157	146	213
ペデスタル外側	107	49	130
合計値	279	237	364

「代表値」: 現時点において最も確からしい値。

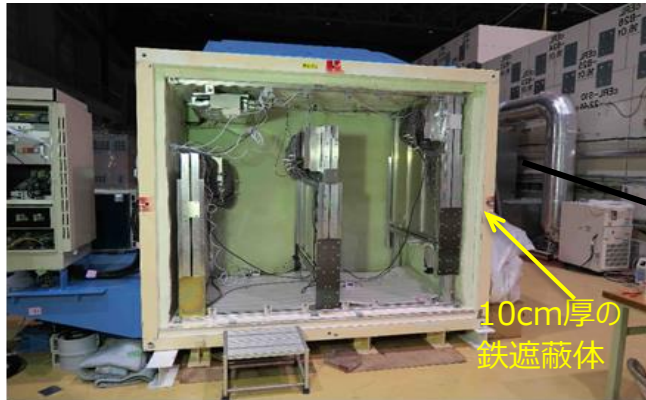
「推定重量」: 燃料+溶融・凝固した構造材 (コンクリート成分を含む)

- ▶ 解析結果及び実機調査データ (温度データ、ミュオン測定、PCV内部調査等) を総合的に分析・評価。

**ペデスタル底部**のデブリが多い (80%以上)

# 2-2.燃料デブリ検知 ～1号機ミュオン調査～

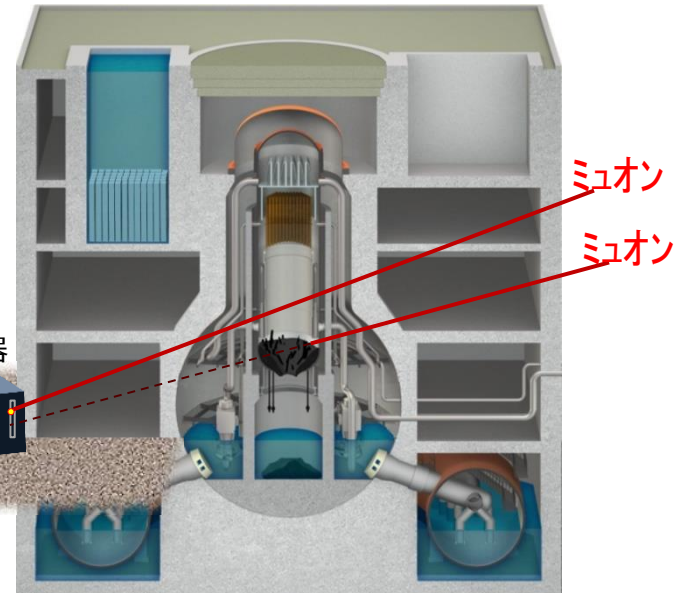
## 測定装置



10cm厚の鉄遮蔽体

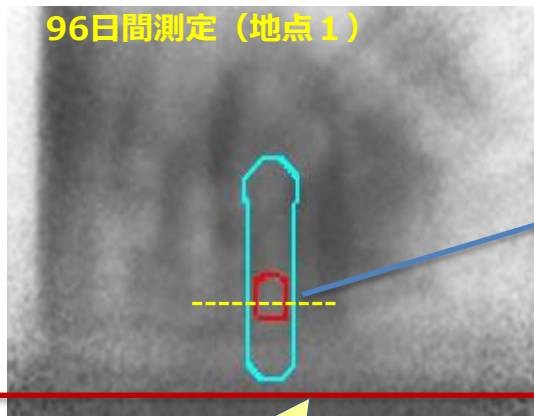
(約2.5mX2.0mX高さ2.1m)

ミュオン検出器



## 透過率の測定結果と分析結果

96日間測定 (地点1)

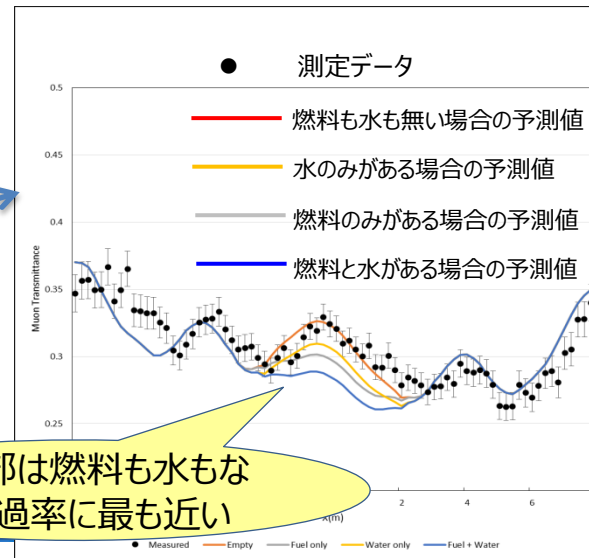


水平線

水平線近くは不鮮明

炉心部は燃料も水もない透過率に最も近い

測定値と予測値との比較 (炉心部透過率)

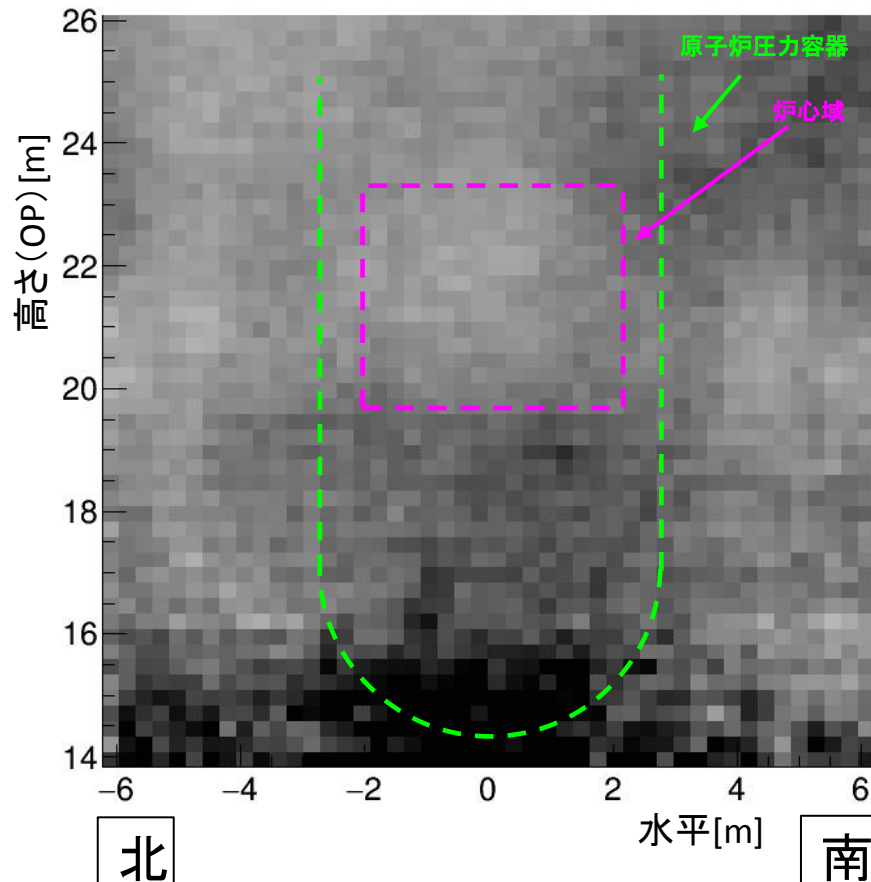


1号機では  
炉心部に  
燃料がない  
と評価

# ～2号機及び3号機ミュオン調査結果（透過法）～

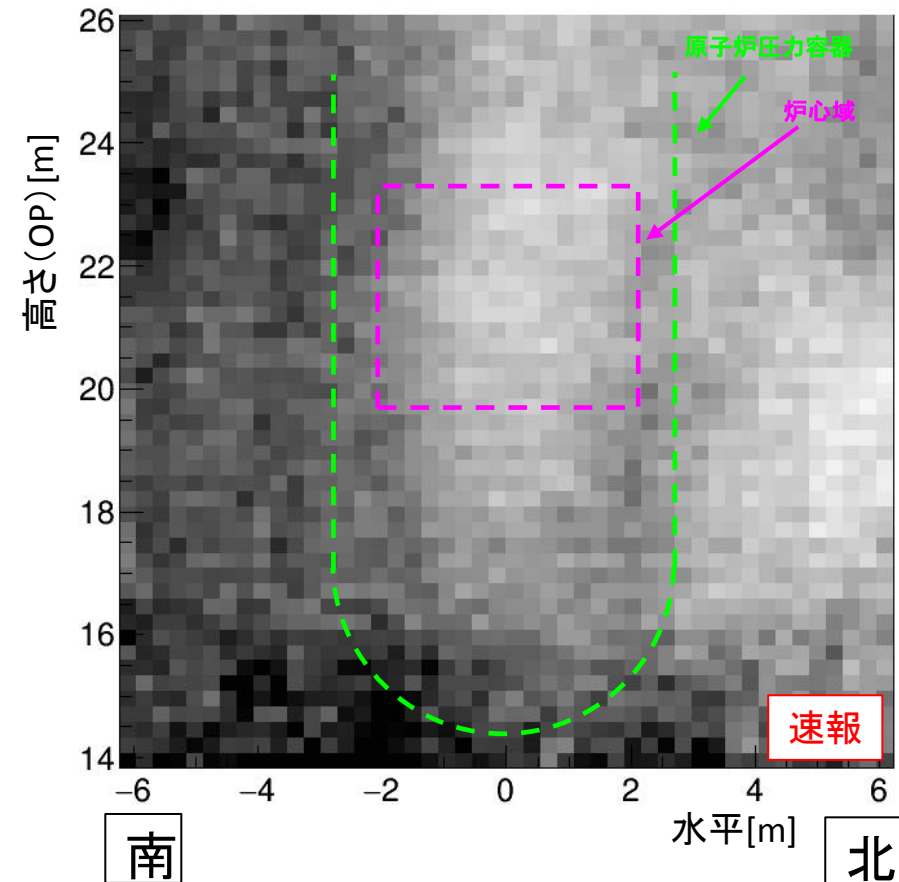
- 2号機では原子炉底部付近に高密度物質の存在が推定されている。
- 3号機の原子炉压力容器内部には，2号機の原子炉压力容器底部で確認されたような大きな高密度物質の存在は確認できていない。

## 2号機



## 3号機

(2017年7月20日時点)



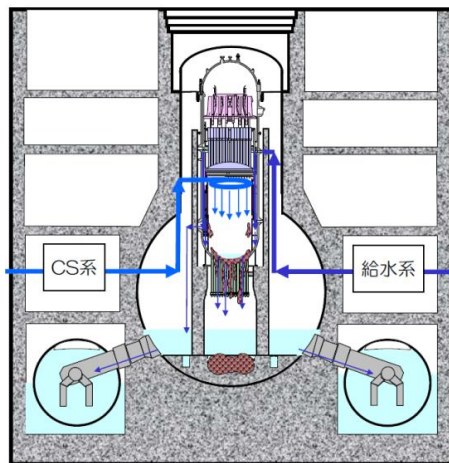


# 2-3.原子炉格納容器(PCV)内部調査

## PCV内部調査の目的

- 燃料デブリ取り出しに向けて、原子炉格納容器内の燃料デブリの位置、状況を調査する
- 圧力容器を支持するペDESTAL等々の状況を確認する

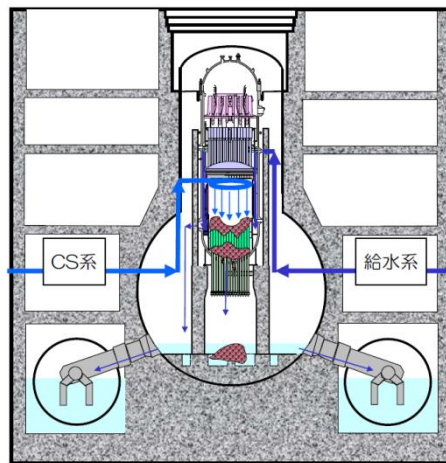
## 調査および調査装置の開発方針



1号機

- ・溶融燃料は、ほぼ全量がRPV下部プレナムへ落下、炉心部には殆ど燃料が存在せず

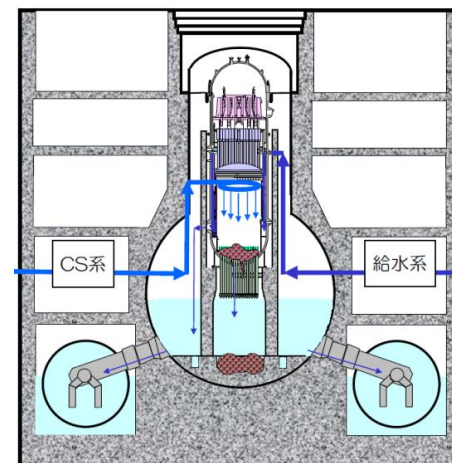
- ・燃料デブリのペDESTAL外側までの拡散の可能性から、ペDESTAL外側の調査を優先



2号機

- ・溶融した燃料のうち、一部は下部プレナムまたはPCVペDESTALへ落下、燃料の一部は炉心部に残存と推測

- ・ペDESTAL外側までの拡散の可能性低く、ペDESTAL内側の調査を優先
- ・3号機はPCV内の水位高く、1・2号機で使用予定のペネが水没の可能性あり、別方式の検討要



3号機

# ～PCV内部のロボットによる調査～

## ペDESTル外側の調査（1号機）

○形状変化型ロボット（B2調査）



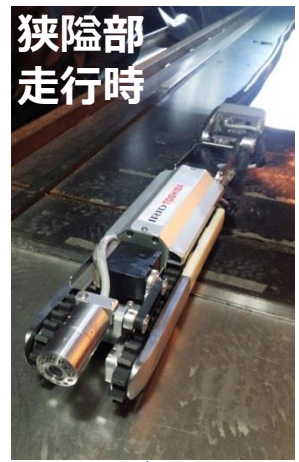
変形



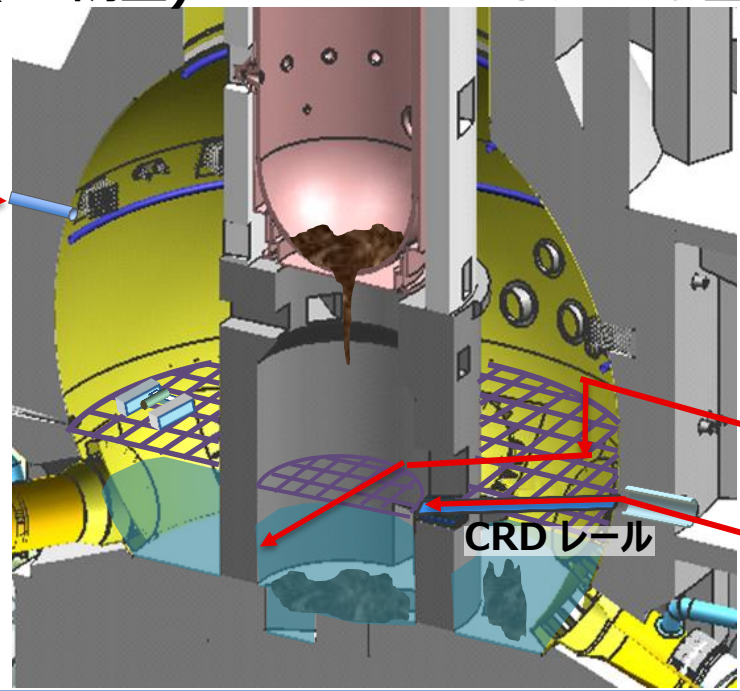
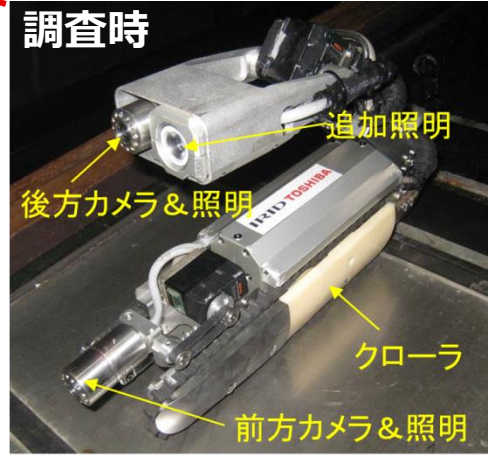
(注) 上の写真はB1調査時のロボットです。

## ペDESTル内側の調査（2号機）

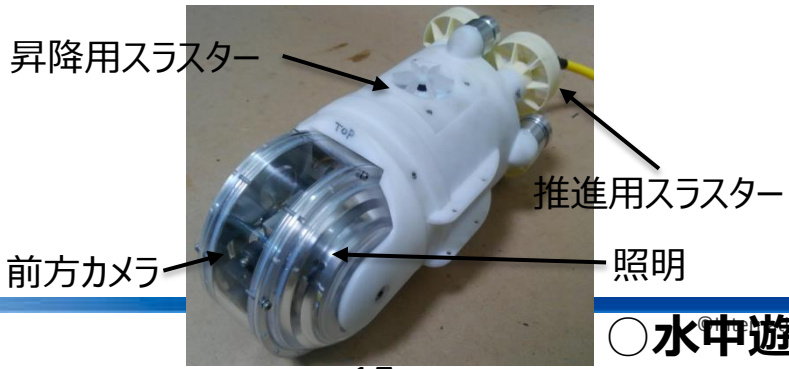
○クローラ型遠隔調査ロボット（A2調査）



変形



## ペDESTル内側の調査（3号機）



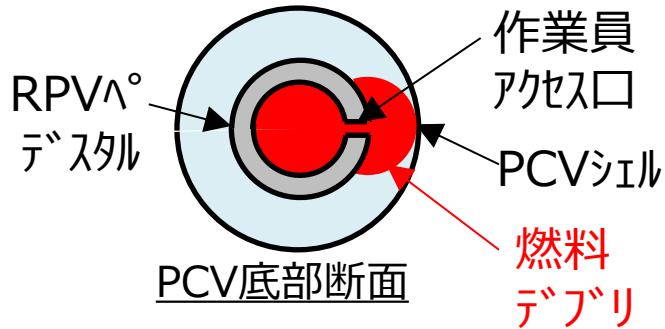
○水中遊泳型ロボット (Nuclear Decommissioning)



# ～ 1号機ペデスタル外調査 (B2調査) ～

## 【調査目的】

- ① 燃料デブリの広がり状況の確認
- ② 燃料デブリのPCVシェルへの到達有無の確認



## 【実施時期】

2017年3月

## 【取得情報】

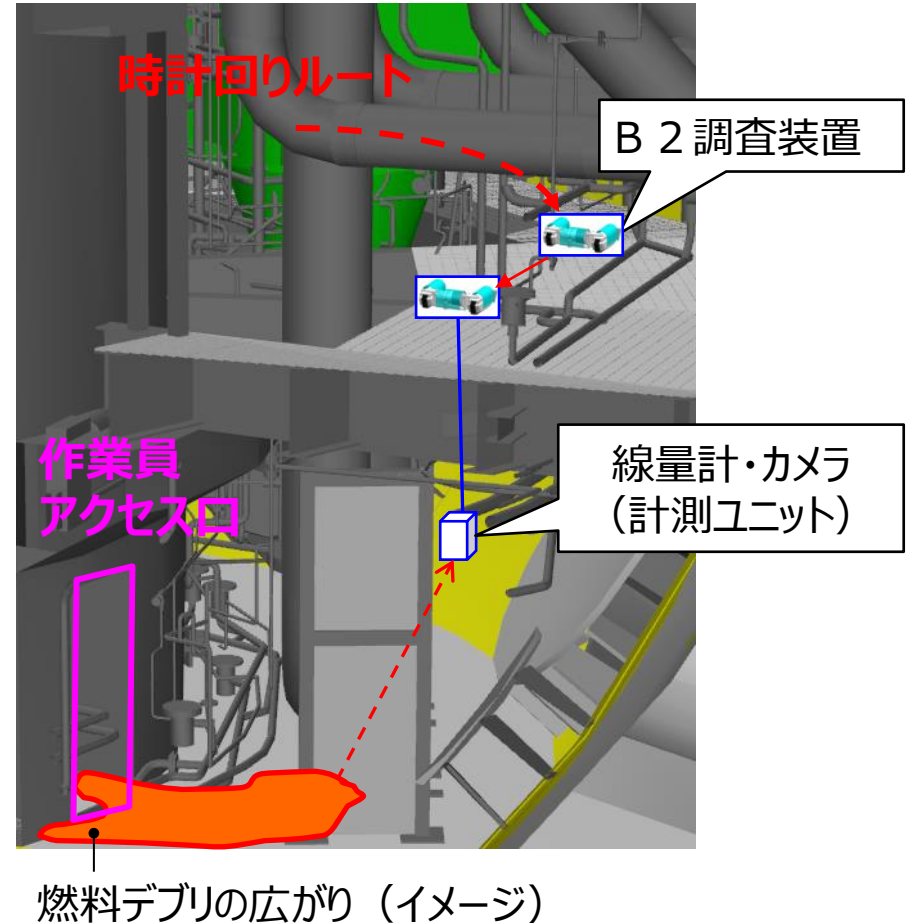
- ・ 降下ポイントの高さ方向の線量率分布
- ・ 地下階床面の近接映像

↓ 組合せ評価

①、②を判定

## 【調査工法】

B 2 調査装置が1階グレーチング上を走行。線量計・カメラを降下させる。





# ～B2調査 各調査ポイントの放射線量と画像～

3/18 (土)

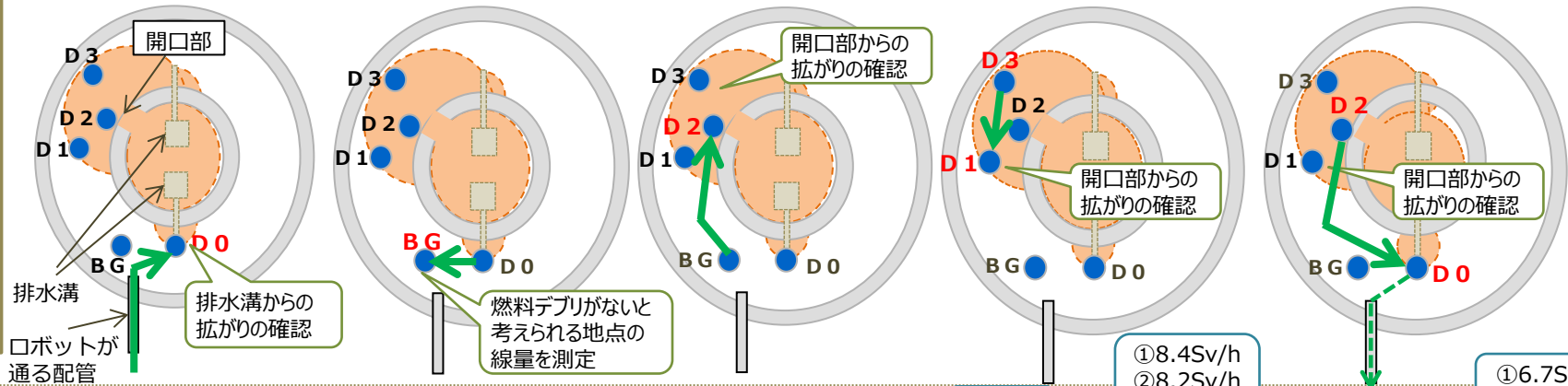
3/19 (日)

3/20 (月)

3/21 (火)

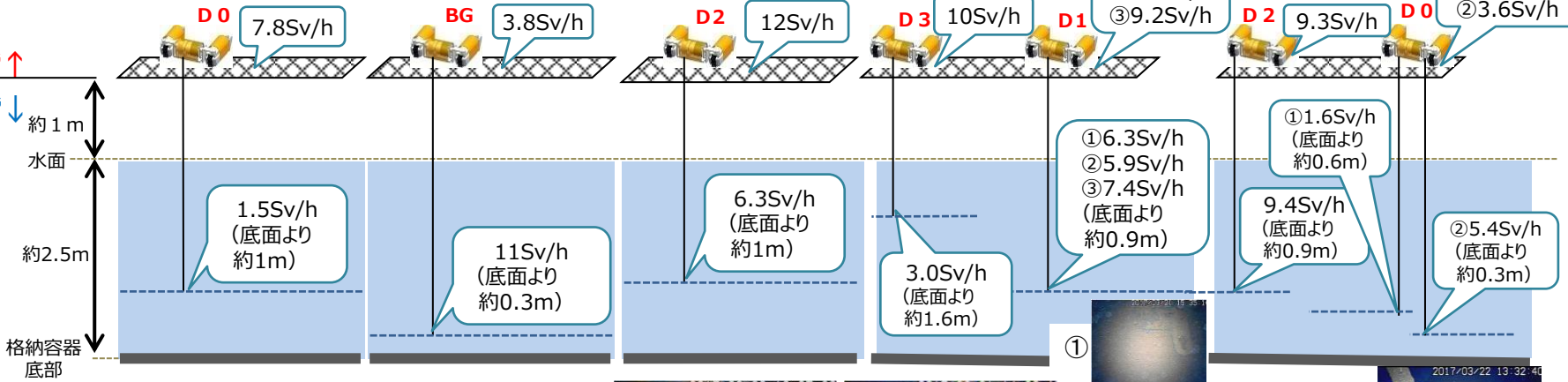
3/22 (水)

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0.5～2μSv/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号機ペデスタル内上部調査 (A2調査) ～

## 【調査方法】

- カメラによる撮影

## 【実施時期】

- 2017年1～2月

ペネ内事前確認

## 調査手順

1. ペデスタル内事前確認

2017年1月30日実施

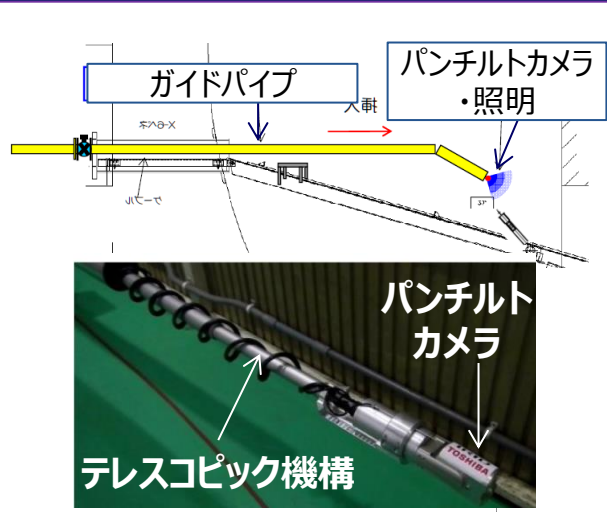
2. レール上堆積物除去

2月9日実施

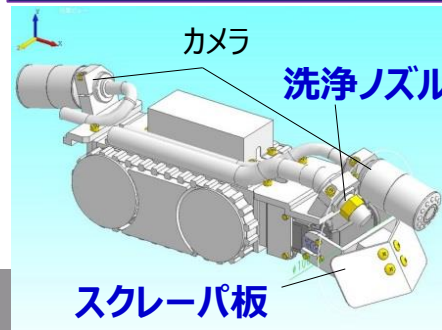
3. A2調査

2月16日実施

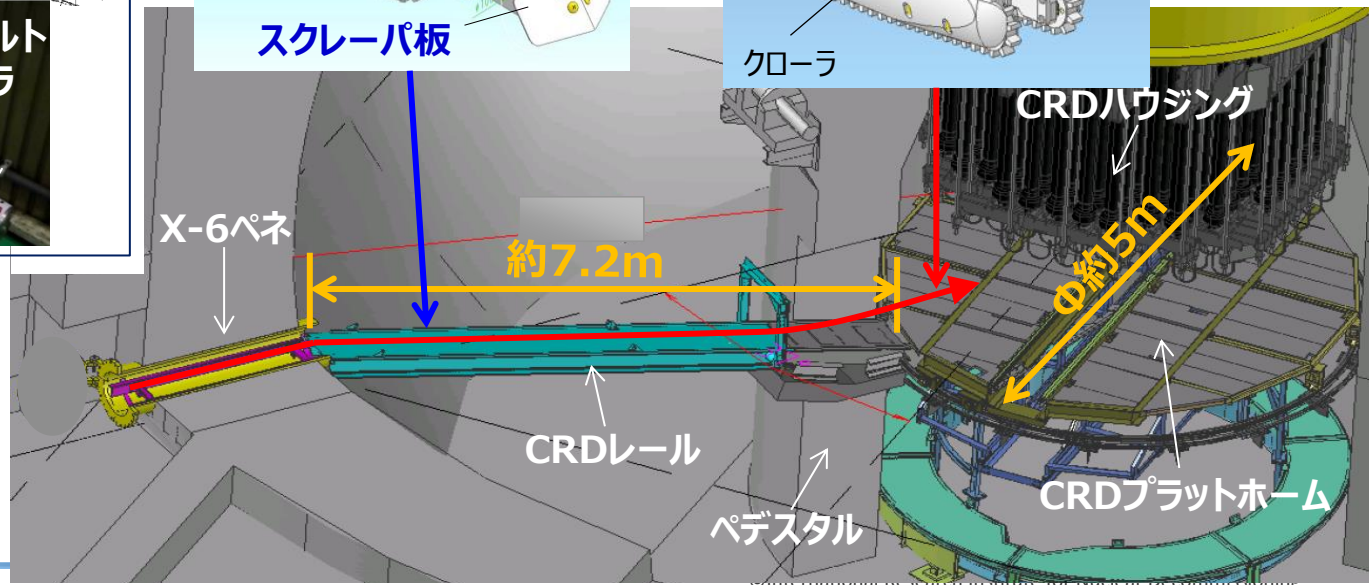
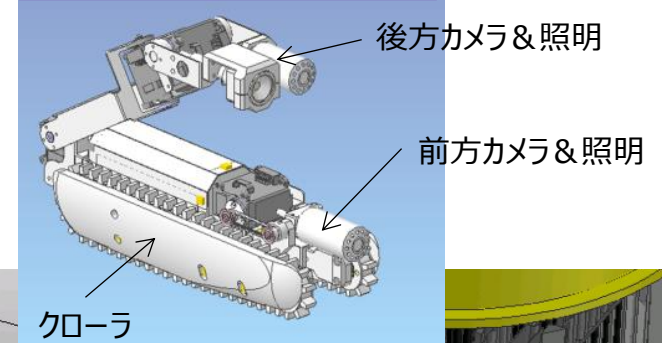
## 1. 事前確認装置



## 2. 堆積物除去装置



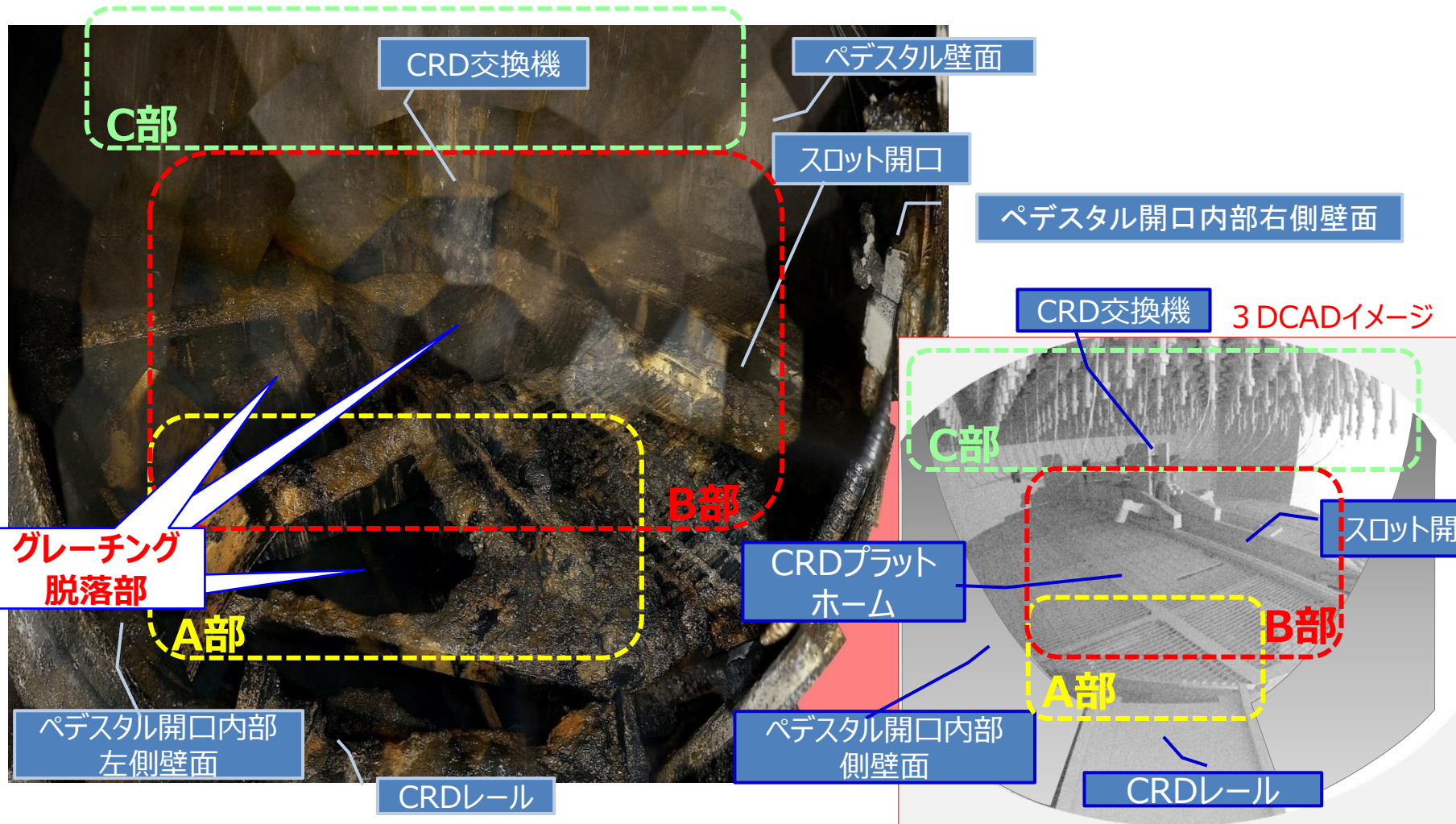
## 3. A2調査装置





# ～ 2号機ペデスタル内調査結果～

調査日：2017年1月30日



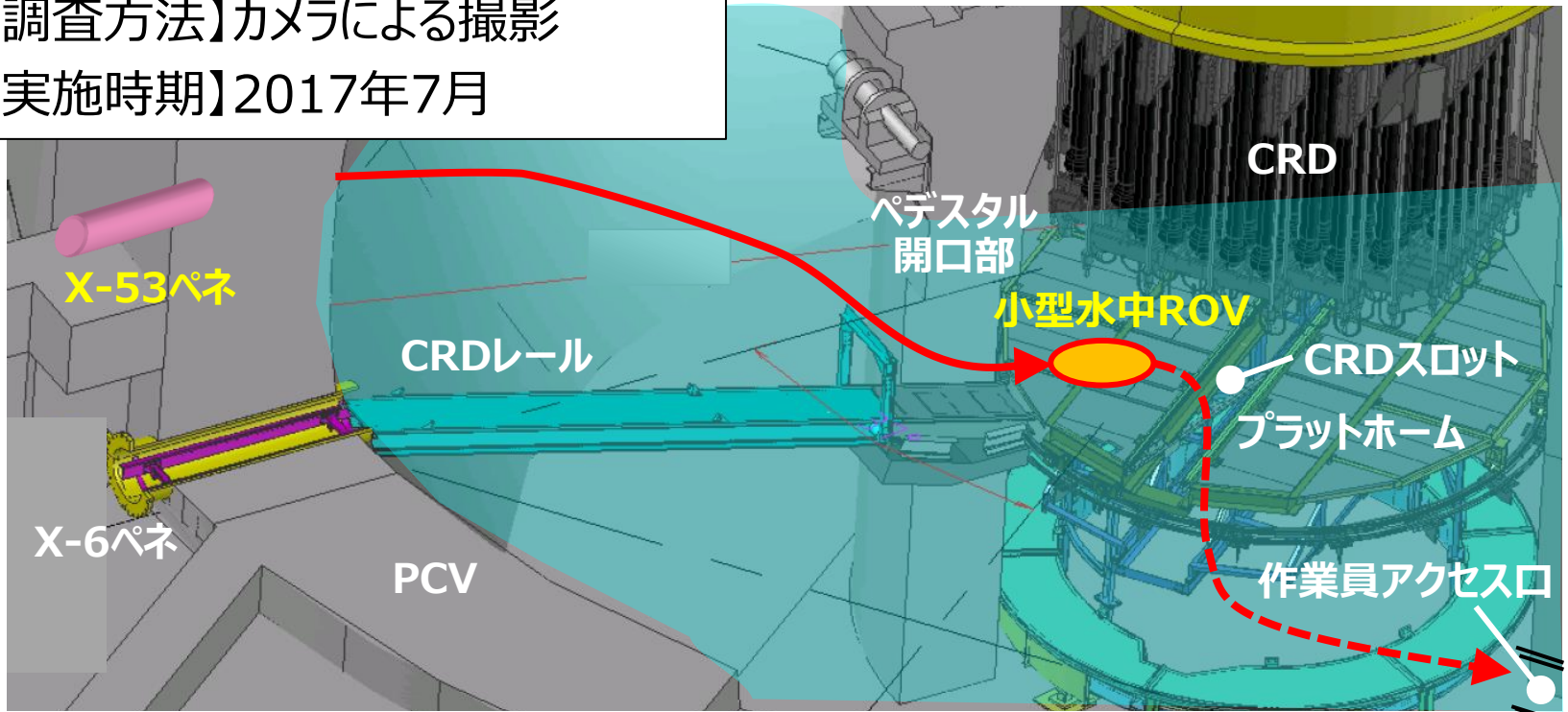
▶ CRDプラットホームの**グレーチングが脱落**しているが、フレームは残存している。

※上記画像は、東電HDにて鮮明化した画像をもとに画質改善したものを全天球化

## ～ 3号機ペDESTAL内調査～

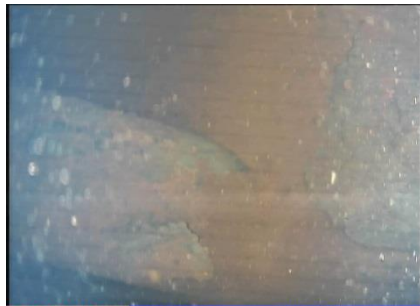
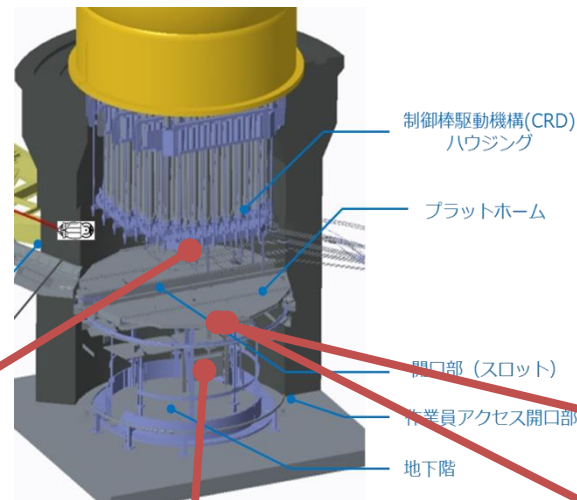
【調査方法】カメラによる撮影

【実施時期】2017年7月



- ① **配管貫通部 (X-53ペネ)** からアクセスしペDESTAL内に侵入。**プラットフォーム、CRD下部**の損傷状況を確認する。
- ② ペDESTAL地下階へのアクセスルートを確認する。
- ③ 地下階への進入が可能であれば、**ペDESTAL底部デブリ**の堆積状況や作業員アクセス口から**ペDESTAL外へのデブリの流出**状況を確認する。

# ～画像取得結果(ペデスタル内)～



TOSHIBA PITCH -013 TILT -092

No.16



TOSHIBA PITCH -011 TILT -073

No.17



TOSHIBA PITCH -009 TILT -090

No.18



TOSHIBA PITCH 005 TILT -053

No.19

・ペデスタル下部や、ペデスタル内構造物上に溶融物が固化したと思われるものを確認した。



## ～今後の展開を考える～

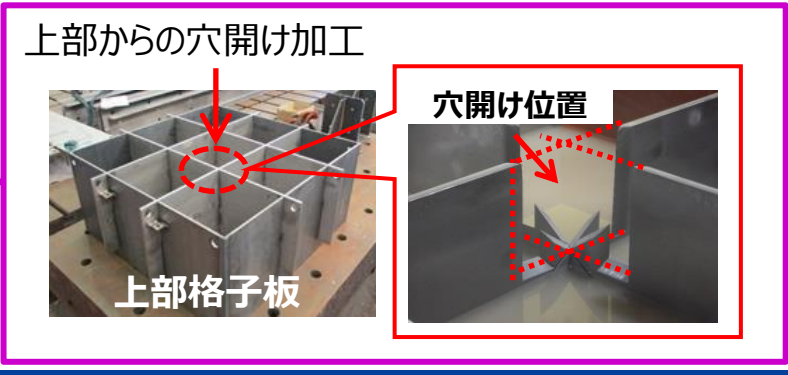
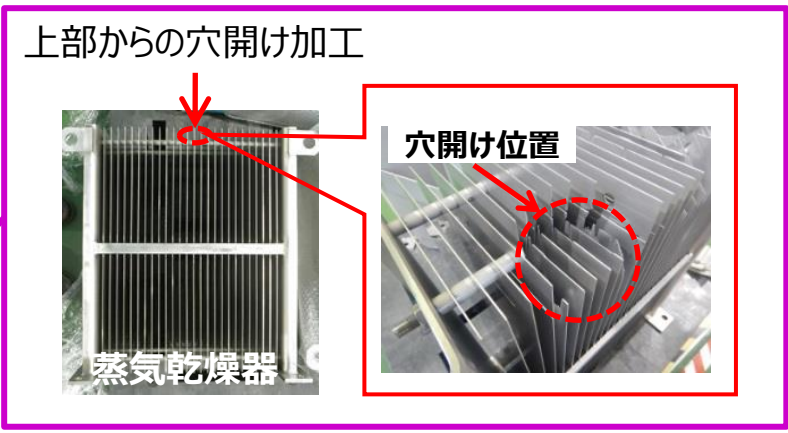
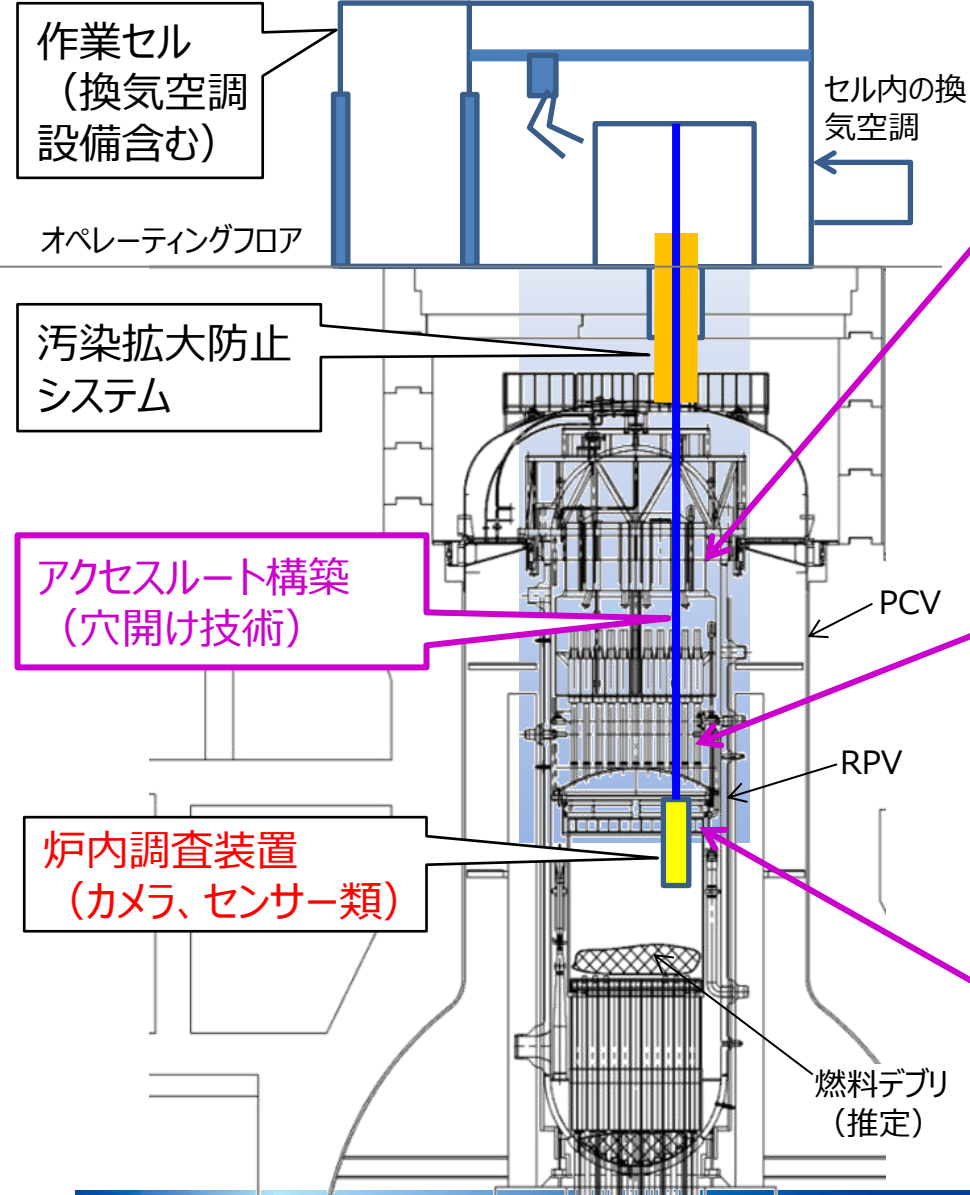
### ■ PCV内調査の拡充：燃料デブリの所在（分布・量）

- 得られた情報の活用
- 獲得したノウハウ（例）
  - バウンダリの確保、ケーブルマネジメント、確実な回収、耐放射線を考慮した機器、PCV外準備作業 遠隔操作、モックアップ訓練の効果 etc
- 教訓・課題（例）
  - 走破性、干渉物（損傷機器）への対応、堆積物
  - 自己位置確認
  - ロボットサイズ、機能拡張、貫通部口径の拡大 etc

### ■ RPV内の調査

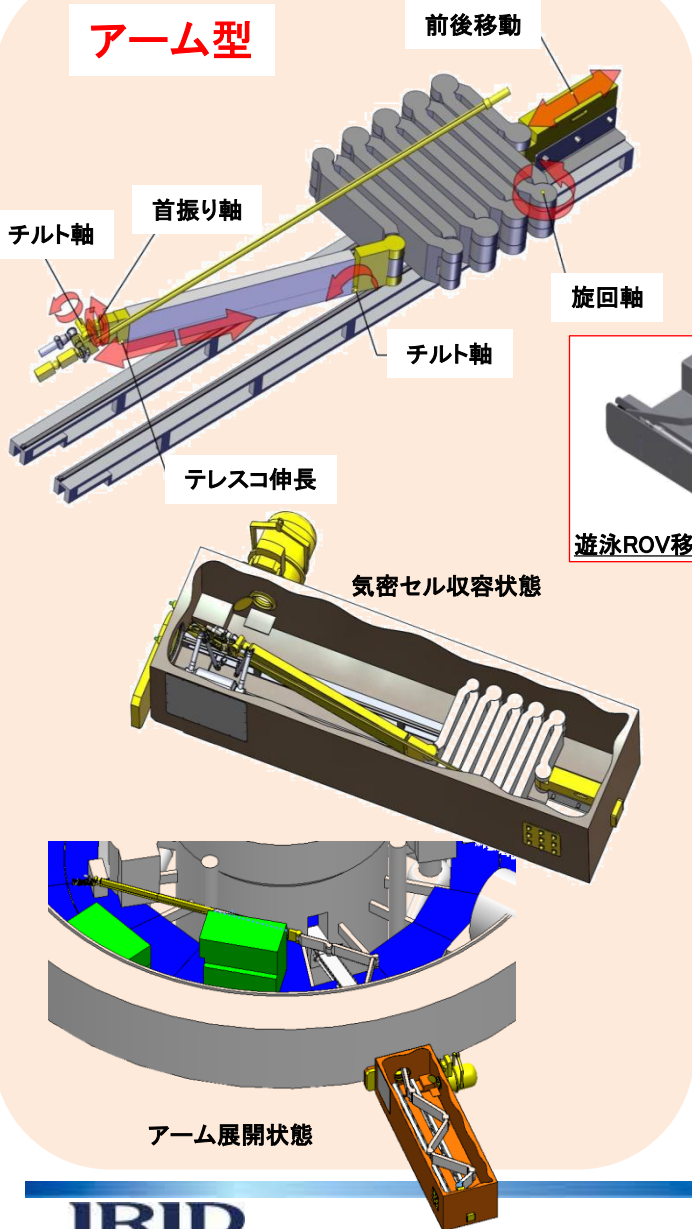
### ■ 燃料デブリのサンプリング

# 2-4.原子炉压力容器(RPV)内部調査；上部穴あけによるRPV内部調査（開発中）



# ～燃料デブリサンプリング（アクセス装置）の検討例～

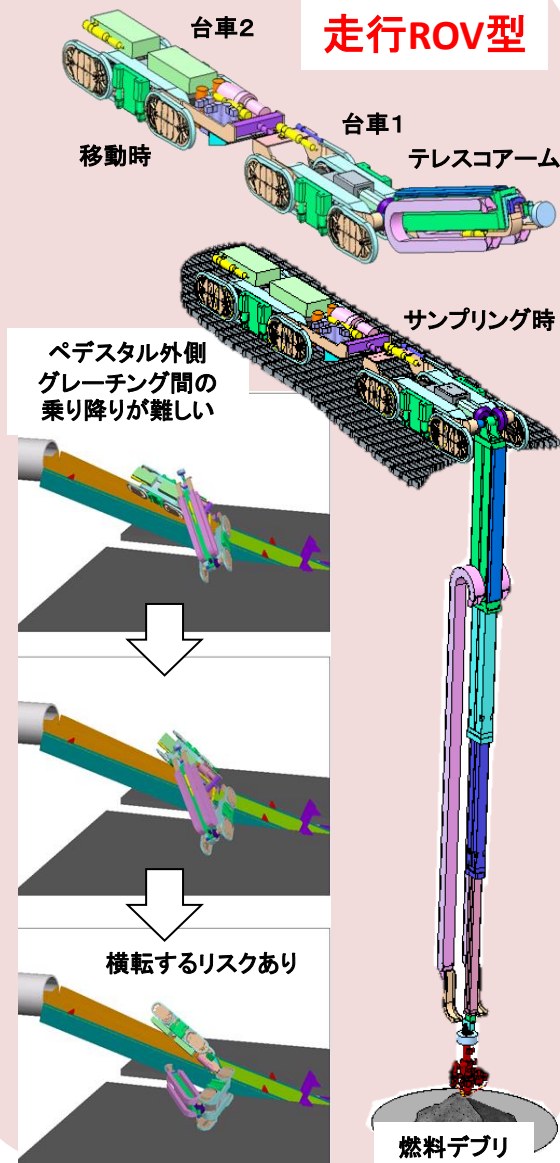
## アーム型



## 遊泳ROV型



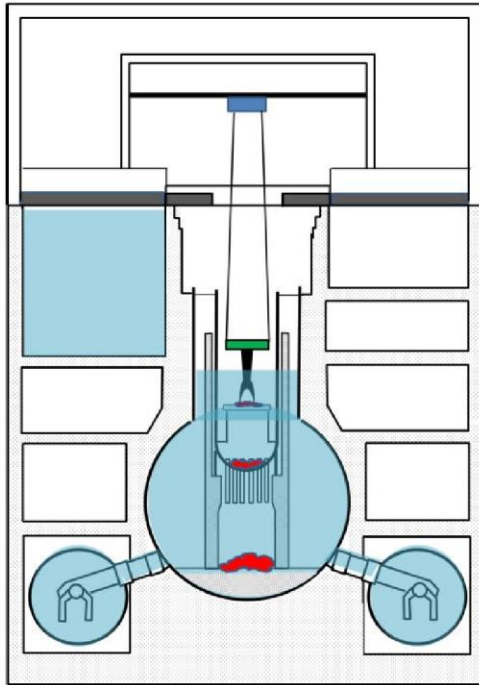
## 走行ROV型





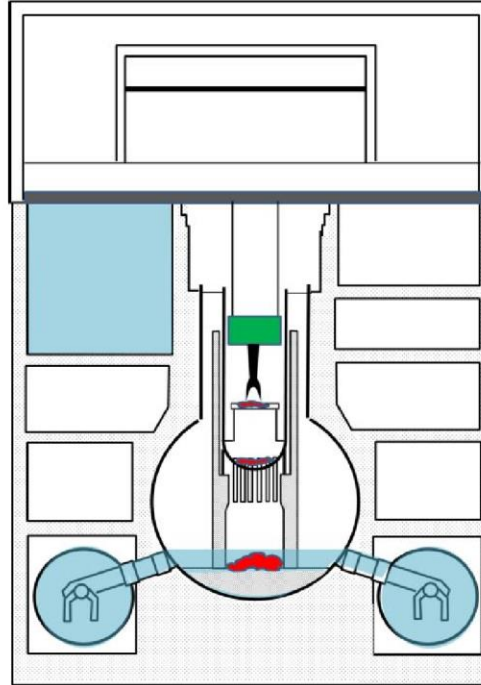
## 2-5.PCV補修・止水技術

### 重点的に検討を進める燃料デブリ取り出し工法



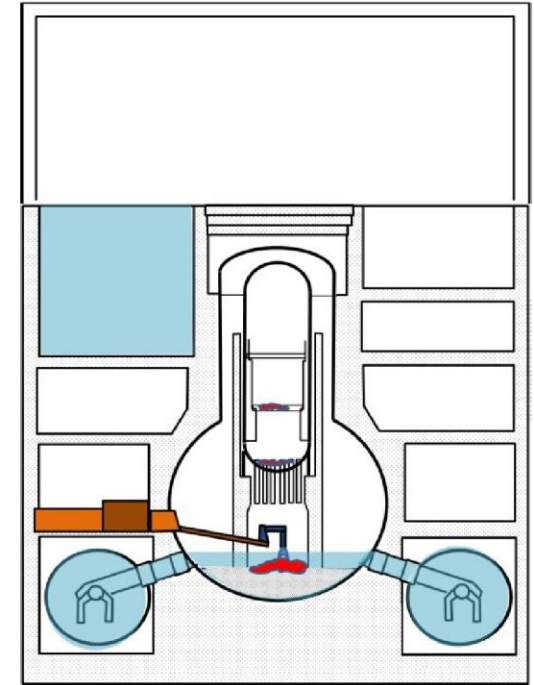
a. 冠水-上アクセス工法

燃料デブリ上方の炉内構造物取り出しが完了していることを前提としたイメージ



b. 気中-上アクセス工法

燃料デブリ上方の炉内構造物取り出しが完了していることを前提としたイメージ



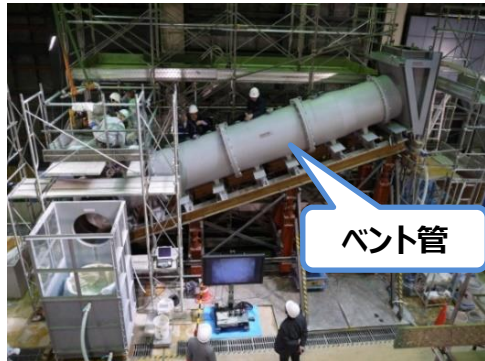
c. 気中-横アクセス工法

PCV内RPVペDESTAL外側の機器、干渉物撤去が完了していることを前提としたイメージ

出所：NDF 技術戦略プラン2016

# 2-5.PCV補修・止水技術

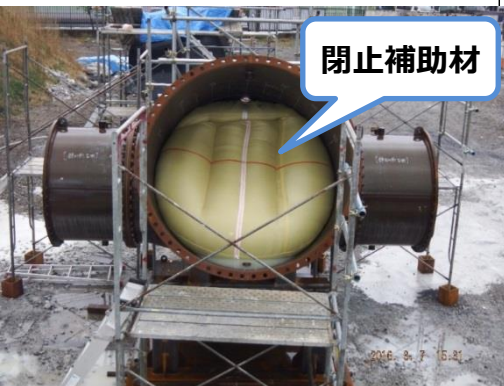
## ベント管止水試験



ベント管

1 / 2スケール試験体で  
止水性能を確認（工場）

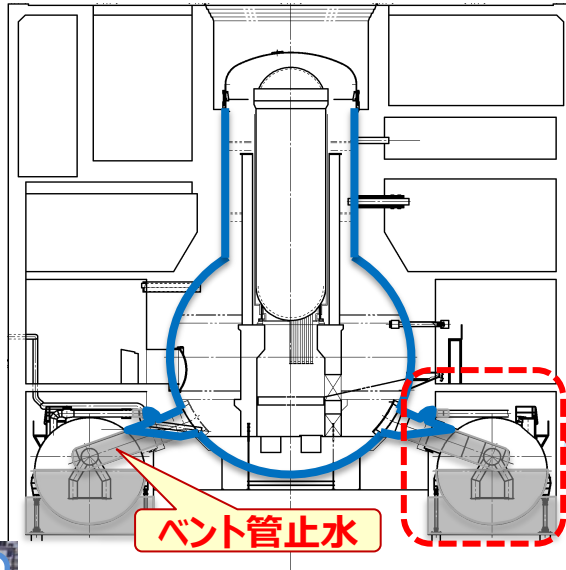
## 閉止補助材止水試験



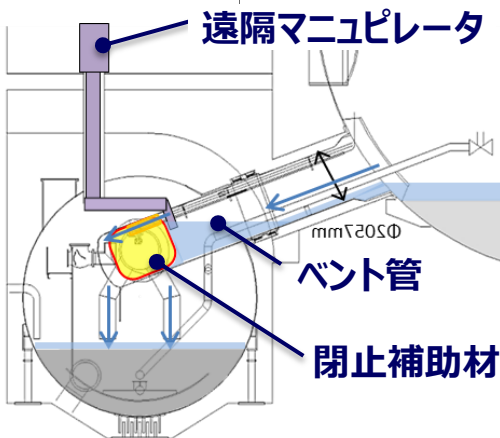
閉止補助材

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



ベント管止水



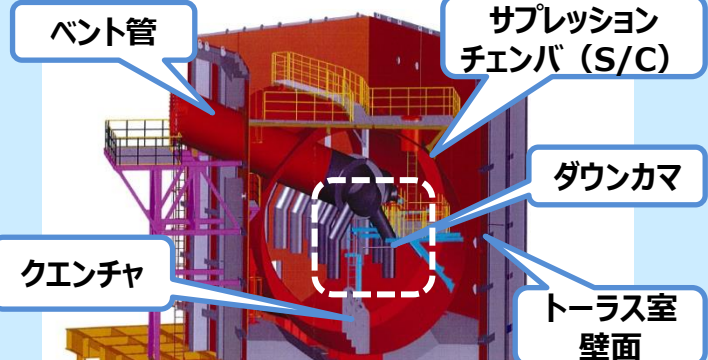
遠隔マニピレータ

mmφ205  
ベント管

閉止補助材

## 実規模試験体を用いた試験

### 実規模試験体（1/8セクター）



ベント管

サプレッション  
チェンバ（S/C）

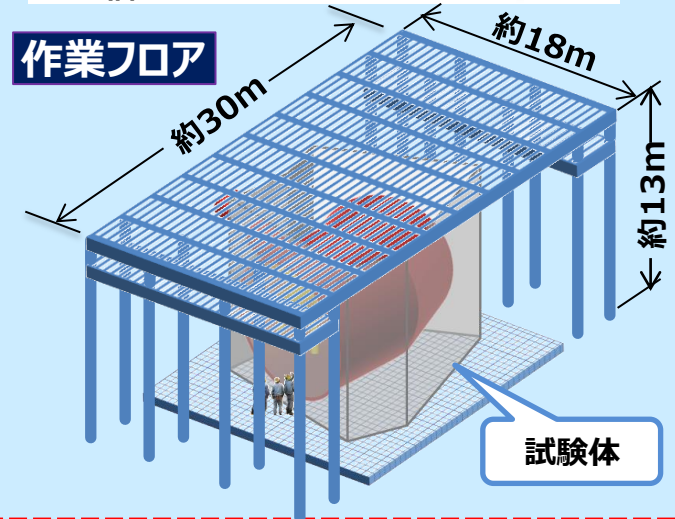
ダウンカマ

クエンチャ

トーラス室  
壁面

楢葉遠隔技術開発センター内に建設

### 作業フロア



約30m

約18m

約13m

試験体

# 2-6.燃料デブリ取り出し技術

## 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

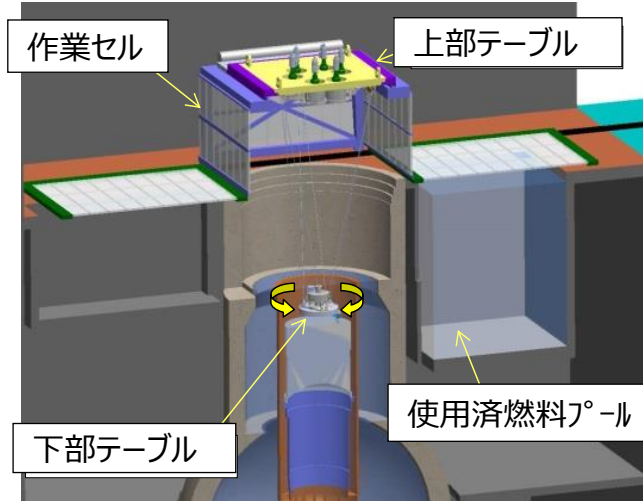
## 基盤技術の開発



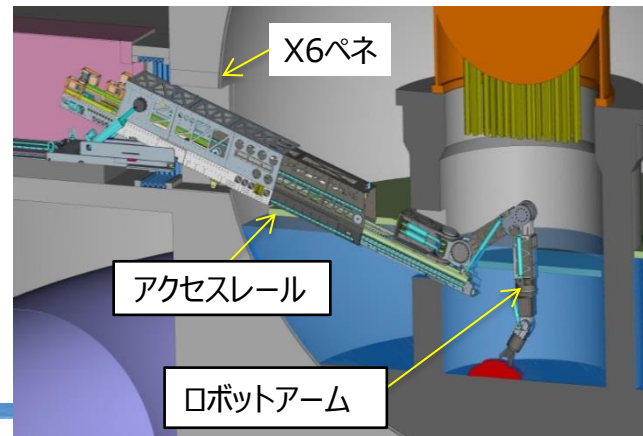
ロボットアーム



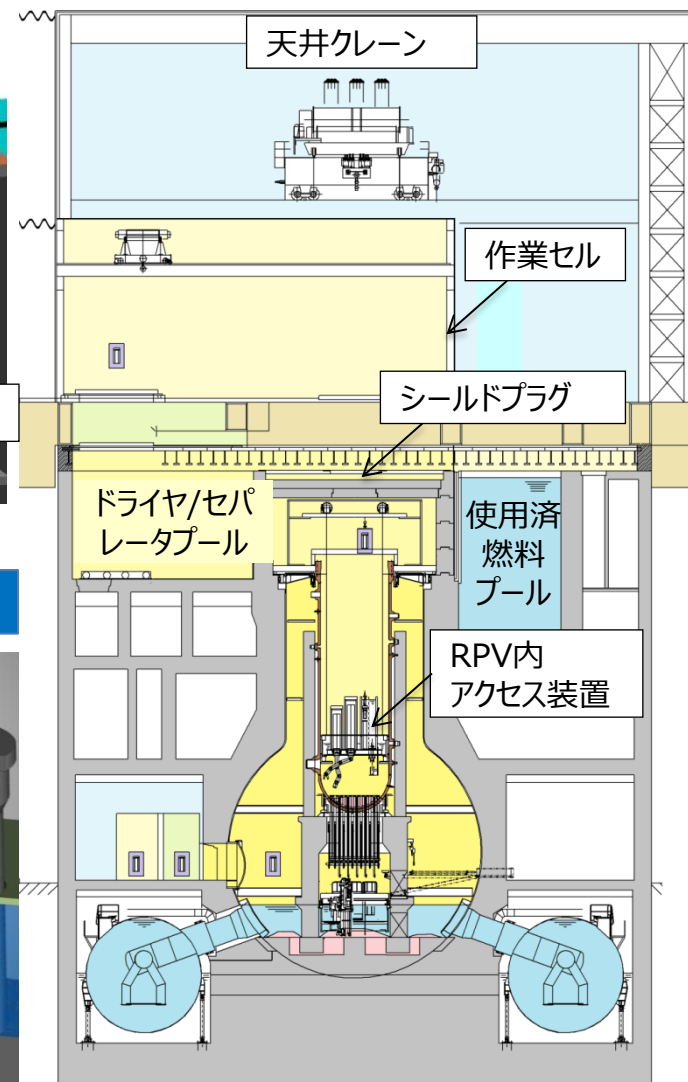
## 冠水-上アクセス工法（概念）



## 横アクセス工法（概念）



## 気中-上アクセス工法（概念）



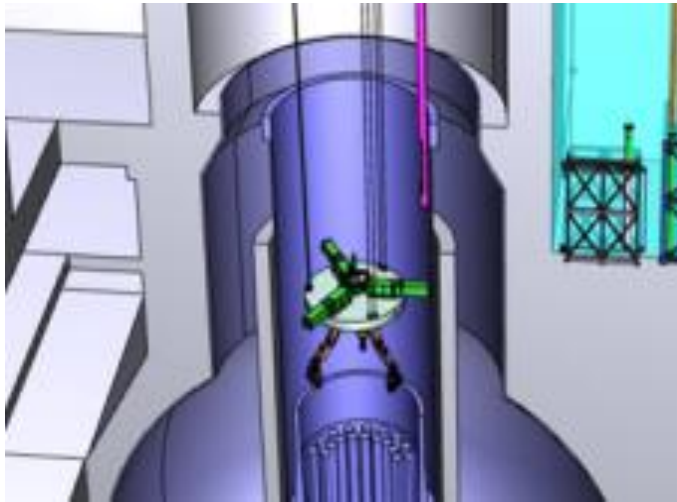


# 上アクセス工法～デブリ取り出し装置概念～

- 現状はRPV内部の損傷状況が分からないので、以下の**2ケース**について検討。

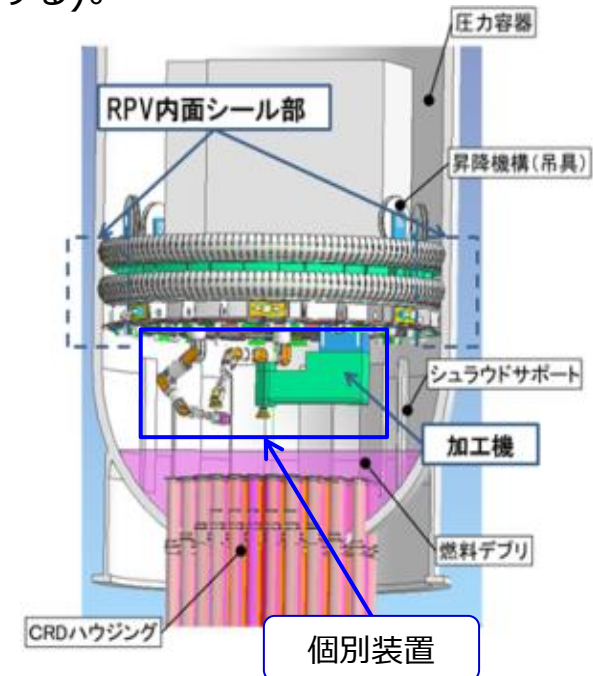
## 【装置A】

- 装置を**小型化**
  - RPV内に吊り下ろす部分を小型化し、**構造物の撤去範囲を縮小**。
  - 性状が不明な燃料デブリの加工を想定し、**大きな反力も支持**できる機構を設置。

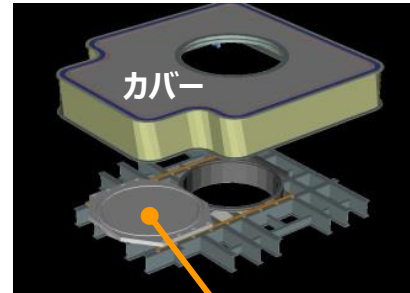
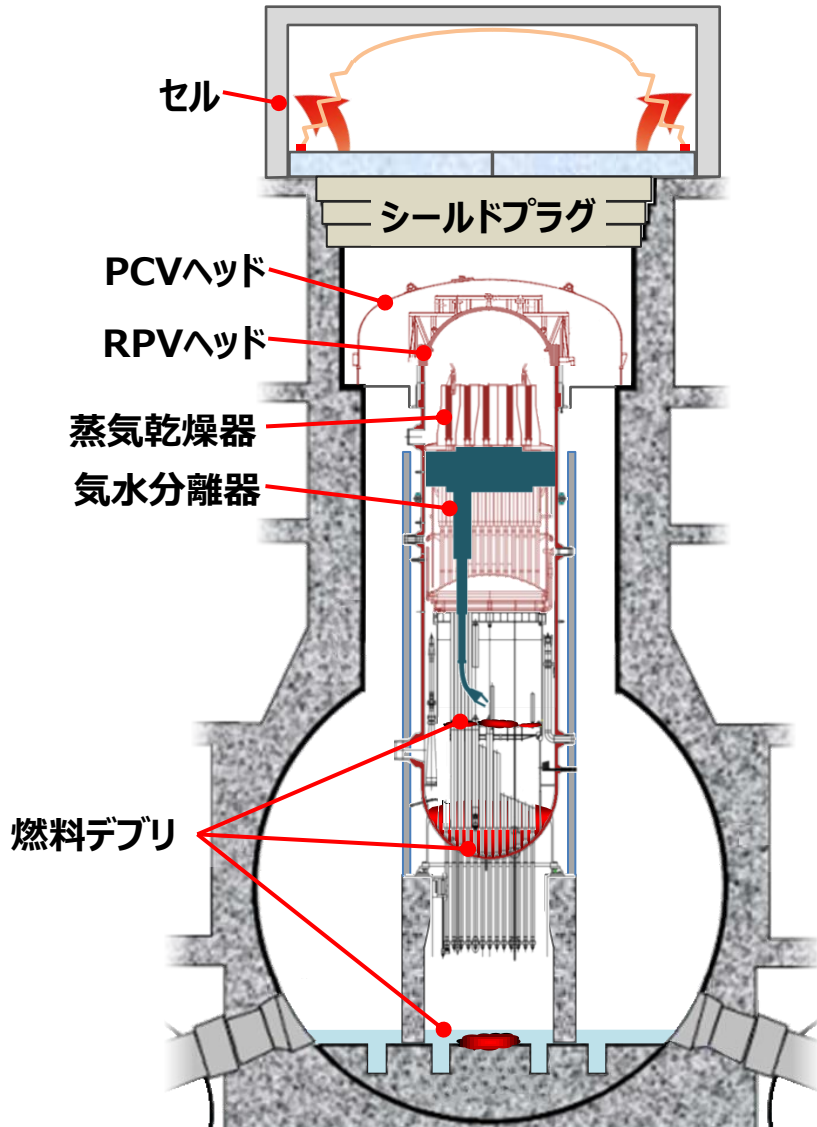


## 【装置B】

- 高汚染エリアを**最小化**
  - **放射性ダストをデブリ近傍で閉じ込める**ために、RPV内面でシール。
  - **個別装置はシールを維持したまま交換可能**なよう設計 (シールを維持したまま加工ツールを交換する)。



# 上アクセス工法～デブリ取り出し方イメージ～

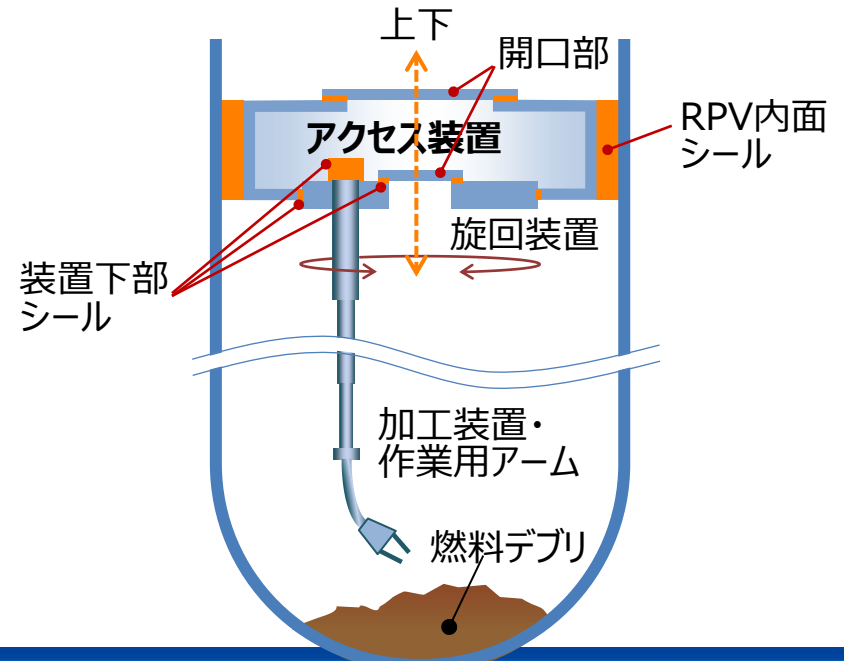


開閉式遮へいポート



ダスト飛散防止用フィルム

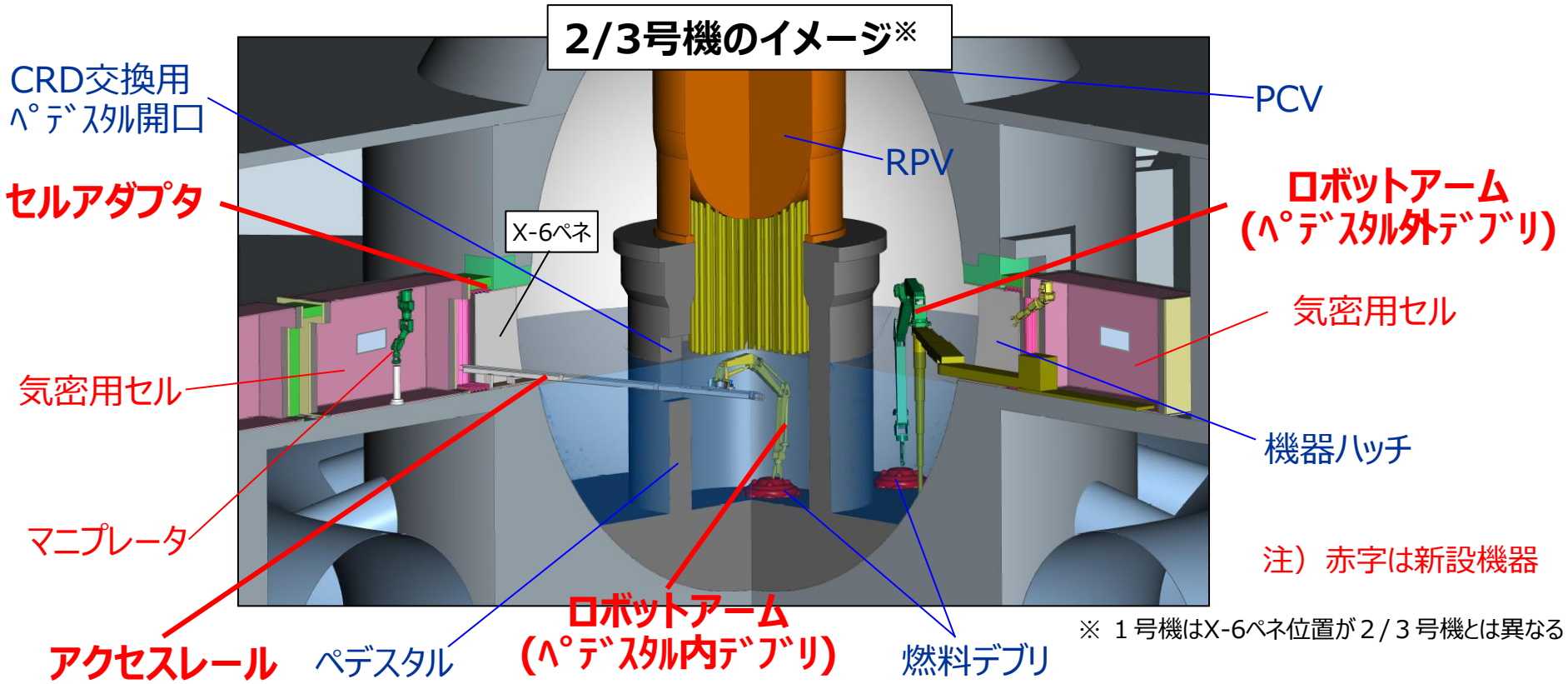
## RPV内アクセス装置 (イメージ)



# 横アクセス工法 ; アクセスレール方式～取り出しイメージ～

## デブリ搬出方法

- ペDESTAL「内」デブリ⇒X-6ペネからアクセスレールをペDESTAL内に挿入させ、ロボットアームを使って回収。
- ペDESTAL「外」デブリ⇒機器ハッチからロボットアームを使って回収。



# 基盤技術開発

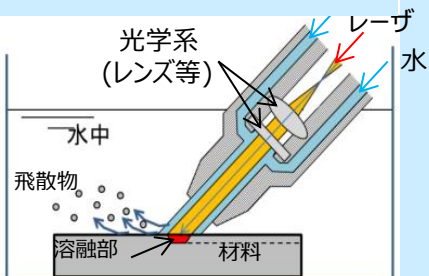
## 開発目的

- 取り出し工法の基盤となる技術を**要素試験（縮尺モデル、実機サイズモデル）**により成立性を確認する。

### コアボーリング加工

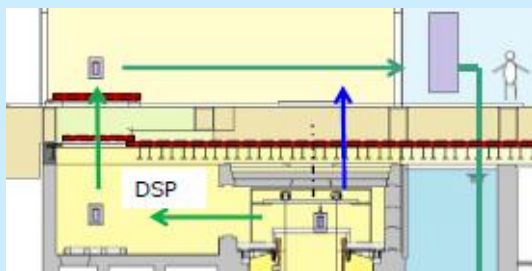


### レーザガウジング加工

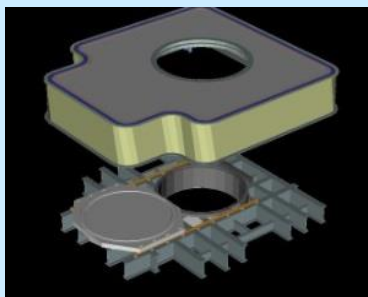


切削技術  
(例)

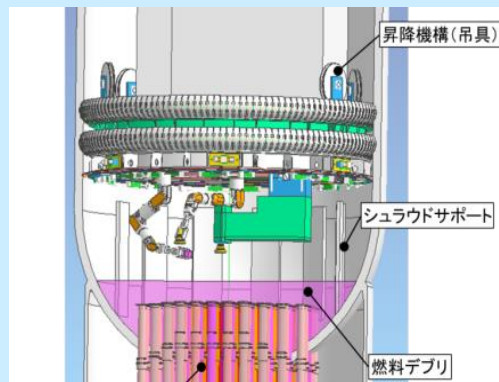
### 上アクセス工法作業ステップ確認



### 遮へいプラットフォーム

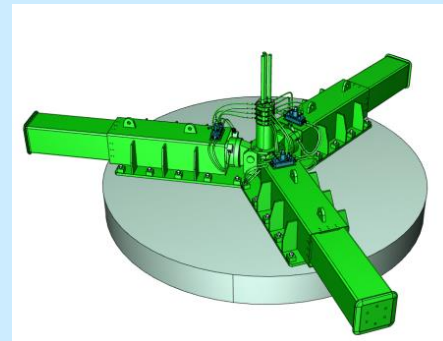


### RPV内面シール



汚染拡大防止・遮へい技術  
(例)

### 反力支持装置



### ペDESTル内アクセスレール



アクセス技術  
(例)

### 柔構造アーム

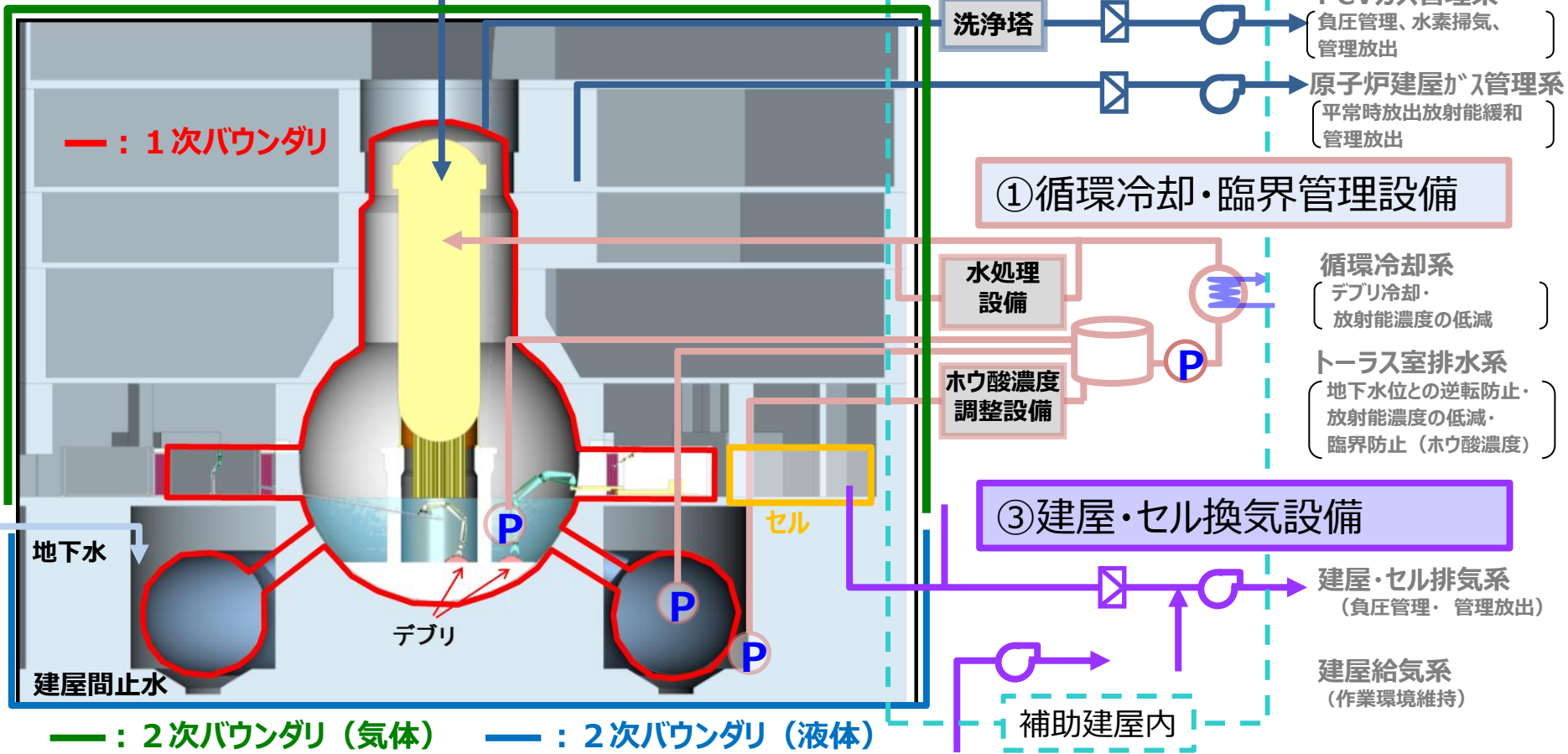




# 安全系システム

## 必要な安全機能

1. 冷却
2. 閉じ込め (負圧, トーラス室水位制御)
3. 不活性化 (火災・爆発防護)
4. 未臨界



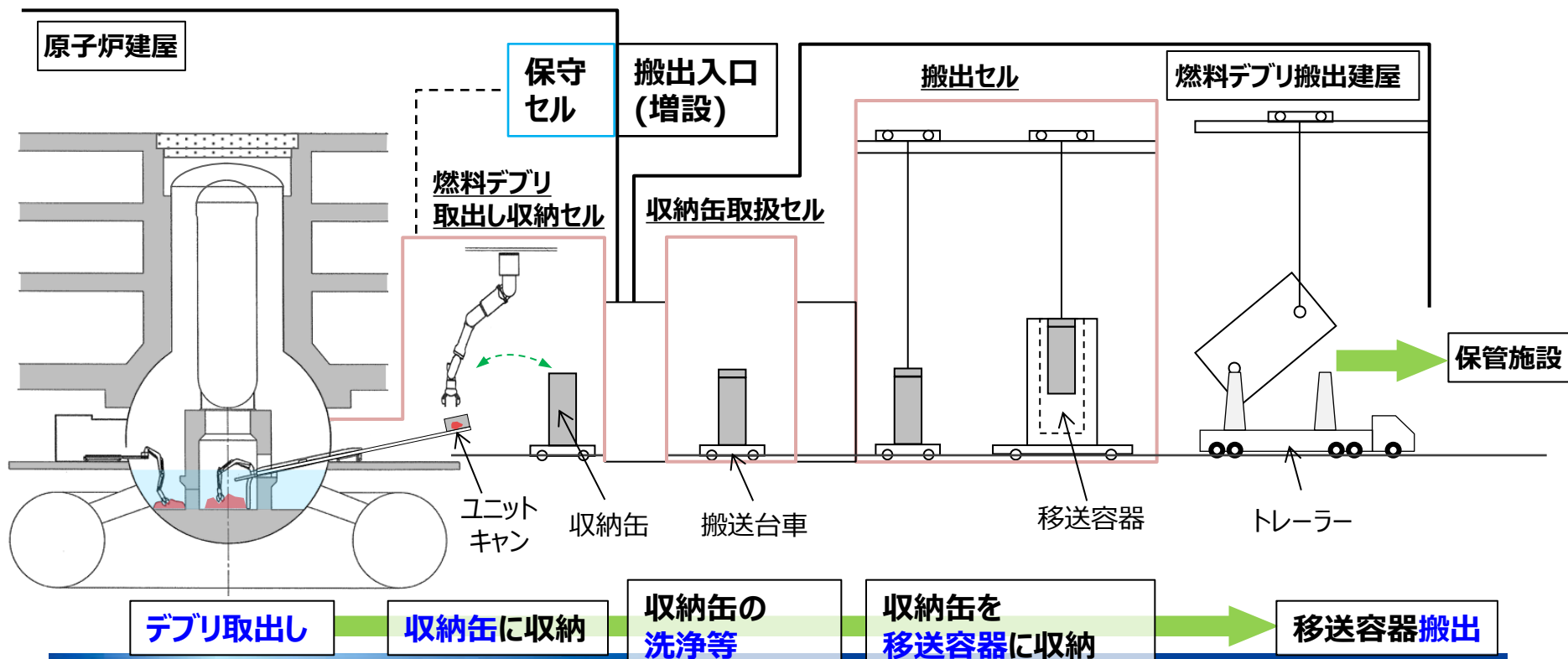


## 2-7.燃料デブリ収納・移送・保管技術

### 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）



# まとめ

- ▶ 全ては現場のため。「現場を良く知る」ことが開発の第一歩。
- ▶ しかし、放射線量の高い1F現場では調査をするにも被ばくを伴う。「現場の情報が限られた」なかで研究開発を進めないといけない。
- ▶ よって、現場の状況変化に柔軟に対応できる「ロバスト」な研究開発をしておくことが重要。最初から最適化を求め過ぎない。

「ロバスト」：多少の不確定要素があってもうまくいくこと。

ご清聴ありがとうございました