

# 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

2016年10月20日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)

劔田裕史

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（主なもの）

2-1.遠隔除染技術

2-2.総合的な炉内状況把握

2-3.燃料デブリ検知（ミュオン調査）

2-4.原子炉格納容器(PCV)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: International Research Institute for Nuclear Decommissioning)

## 2. 設立

2013年8月1日 (経済産業大臣認可)

## 3. 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>

## 4. 組合員 (18法人)

独立行政法人：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：(株)東芝、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)

## 5. 理事会

理事長：劔田 裕史 副理事長：新井 民夫 専務理事：吉澤 厚文

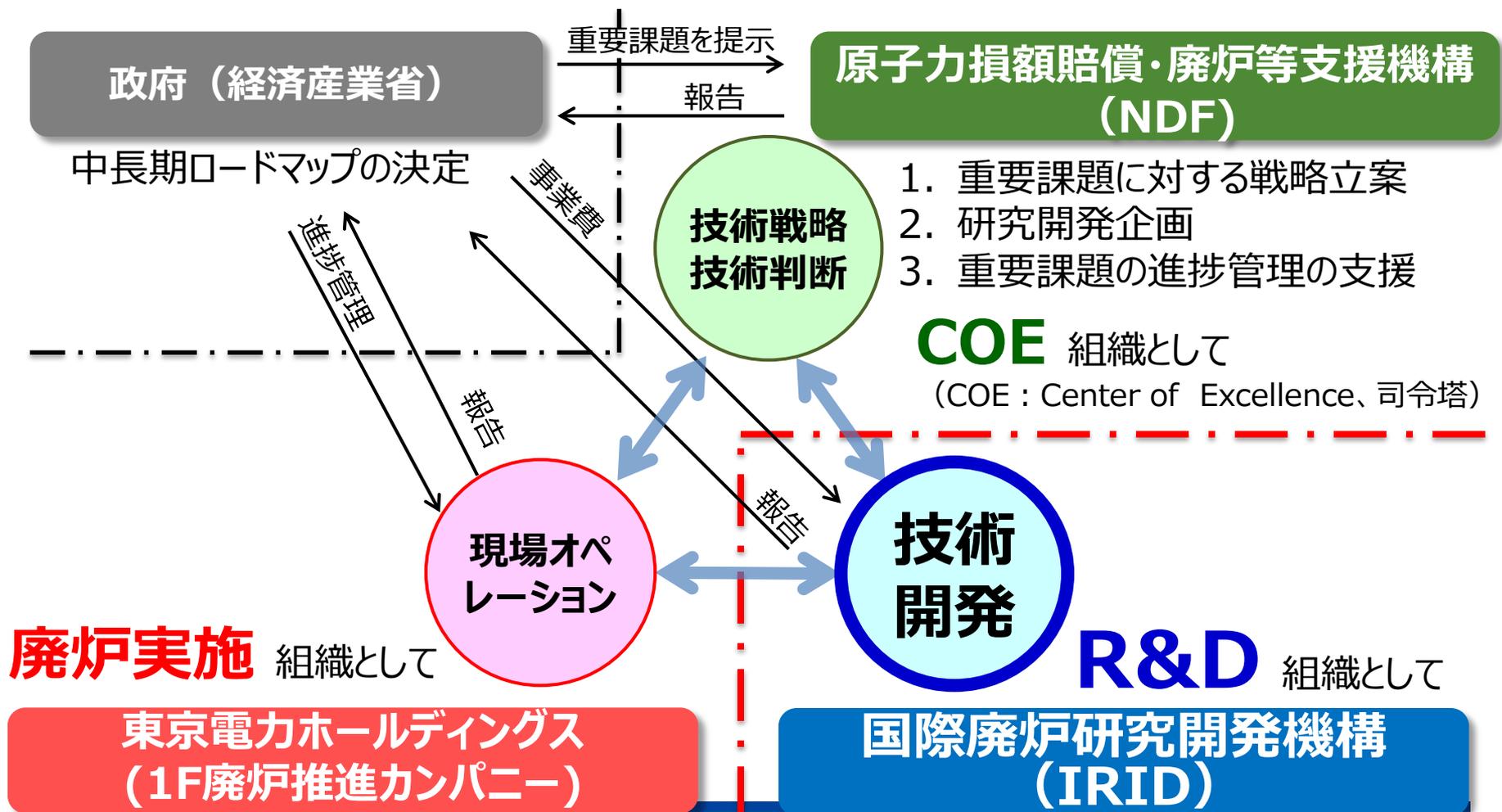
理事：藤原博次、魚住 弘人、門上 英、岸本 邦和、瀬戸 政宏、

畠澤 守、松本 純、森山 善範

監事：磯部 篤

# 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。

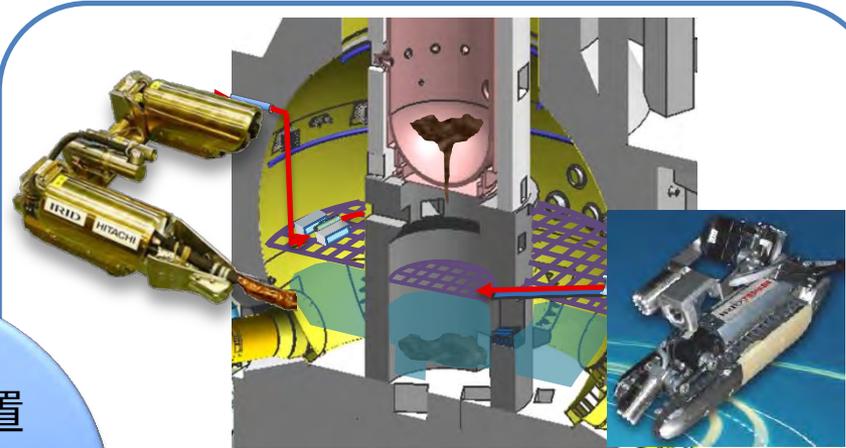


# IRIDの事業内容

## ▶ IRID事業の3本柱



国際顧問との会議



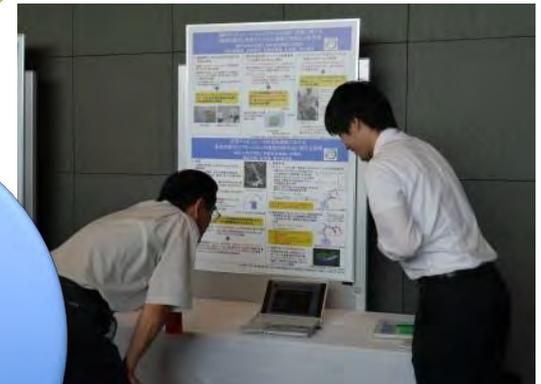
格納容器内部調査ロボットの開発

1. 廃止措置  
に関する  
**研究開発**  
を行います。

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。

**IRID**

3. 研究開発  
に関する  
**人材育成**  
に取り組めます。



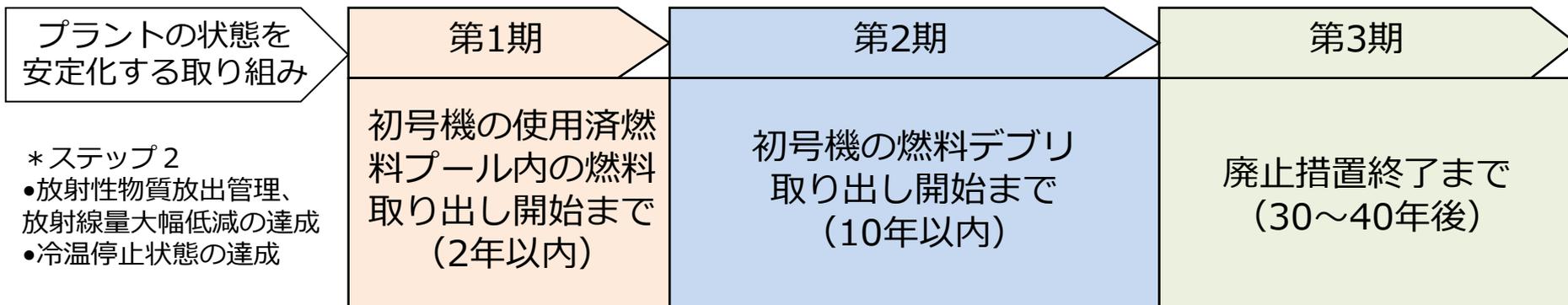
IRIDシンポ2016「廃炉の  
未来を担う」での  
大学によるパネル発表

# 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、2015年6月12日に改訂された。

○目標工程(マイルストーン)の明確化

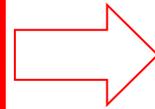
【燃料デブリ取り出し】

- ・号機毎の燃料デブリ取り出し方針の決定 2017年夏頃
- ・初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定 2018年度上半期
- ・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

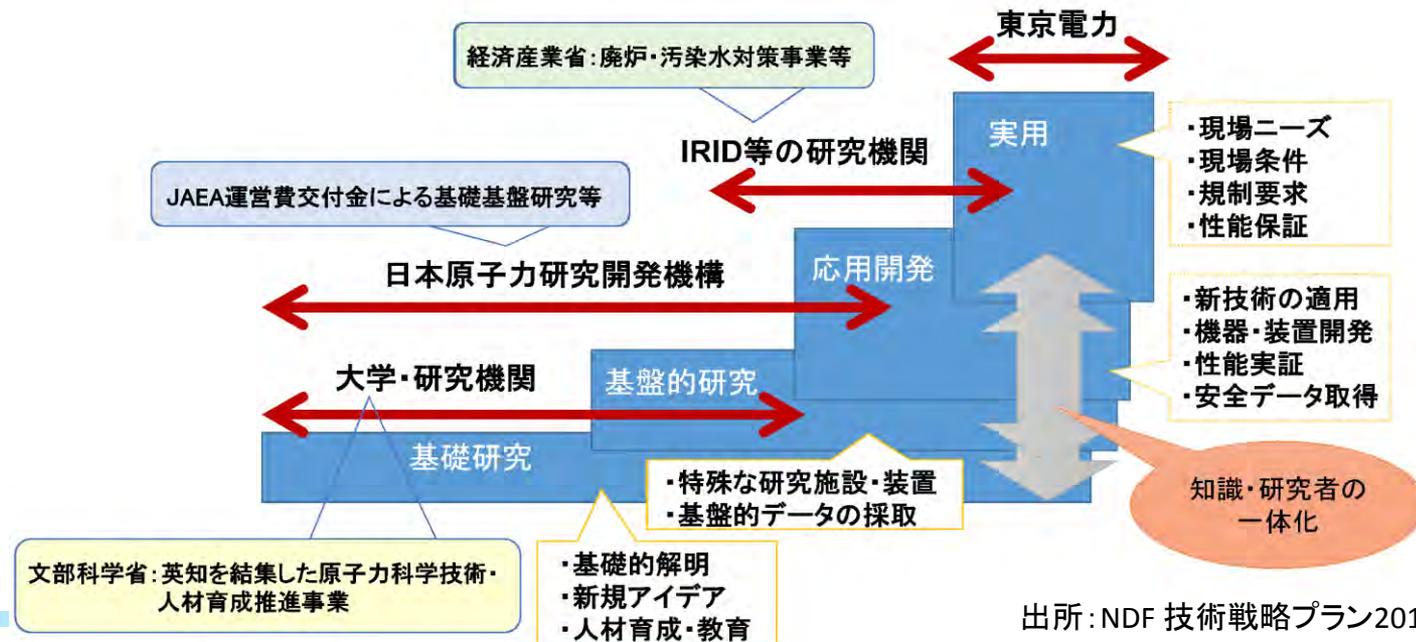
## 廃炉事業

- 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



## 2. 研究開発の進捗状況（主なもの）

2-1. 遠隔除染技術

2-2. 総合的な炉内状況把握

2-3. 燃料デブリ検知（ミュオン調査）

2-4. 原子炉格納容器(PCV)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

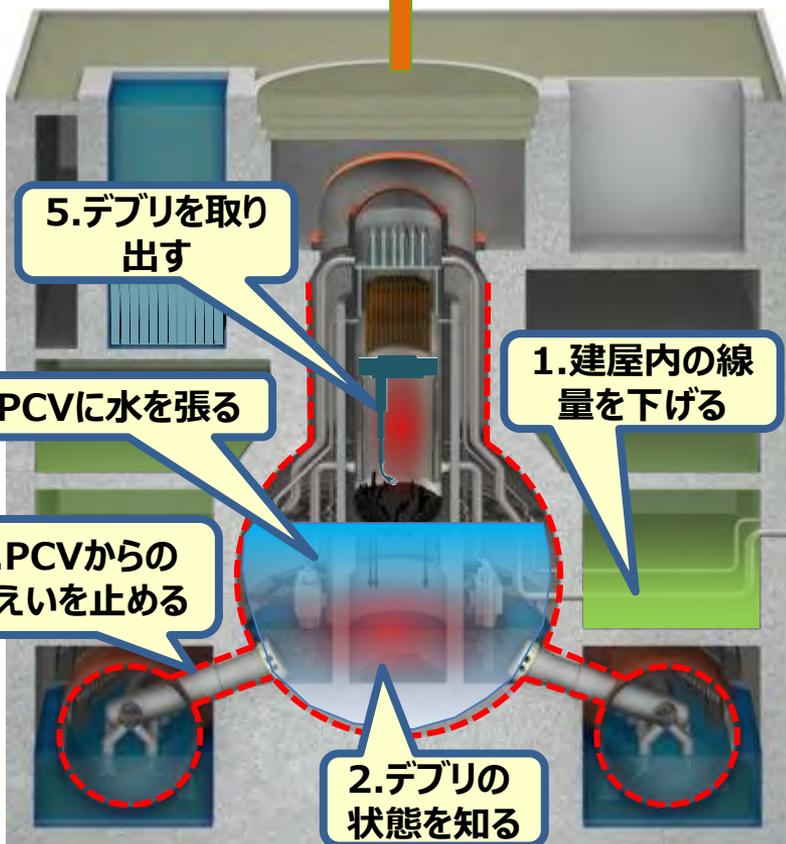
2-7. 燃料デブリ収納・移送・保管技術

# 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

# 2-1.遠隔除染技術

## 除染技術開発の課題

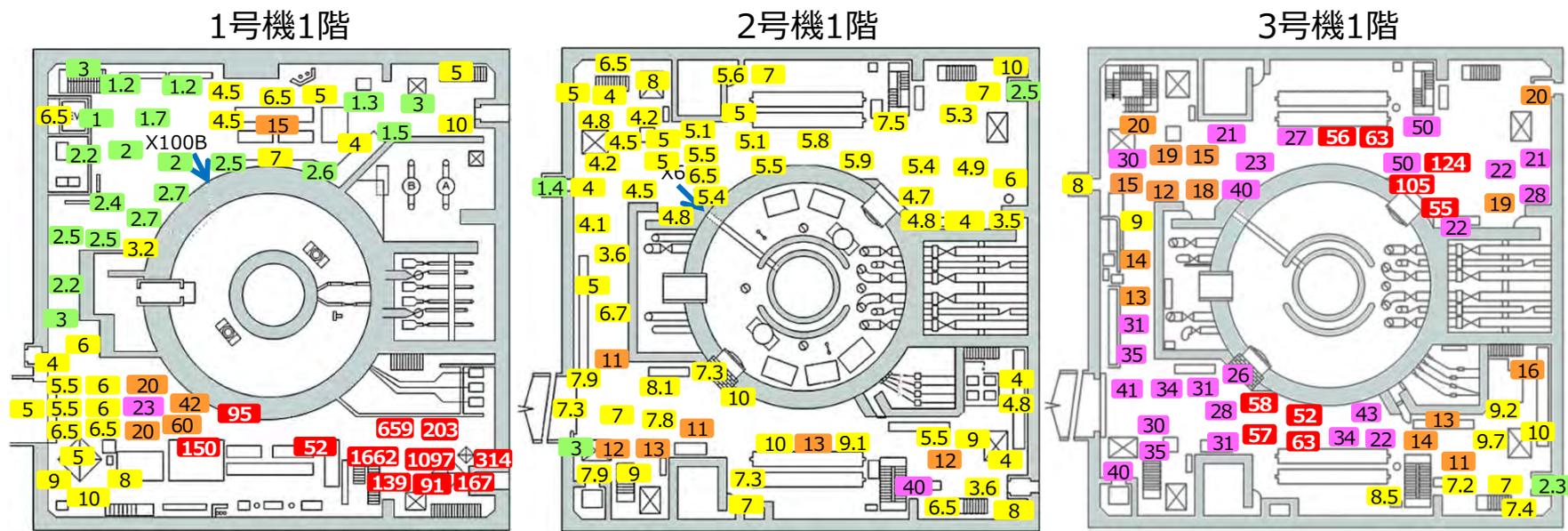
従事者の線量限度：1年間で50mSv、5年間で100mSv  
作業エリア：3 mSv/h、アクセスルート：5 mSv/h

漏えい箇所調査、補修等の各種作業を円滑に進めるためには、作業場所の環境改善が必要

### 課題

- 高線量エリアでの作業
  - 多様な汚染形態／多様な作業場所への対応要
- ⇒
- ・ 遠隔技術の確立
  - ・ 対象部位ごとの仕様検討・開発

### 1～3号機の放射線量状況 2014年～2015年調査



3mSv/h 以下

3mSv/h ~10mSv/h

10mSv/h ~20mSv/h

20mSv/h ~50mSv/h

50mSv/h 以上

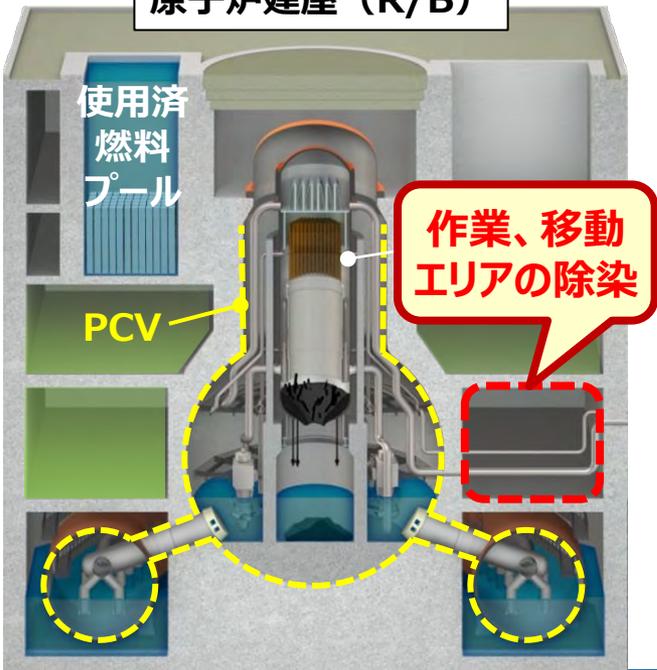
「建屋内の空間線量率について」  
東京電力 H25.3.22  
を参考に作成

# 2-1.遠隔除染技術

## 開発のニーズ

建屋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)



IRID

## 低所(床,下部壁面)用



吸引/ブラスト

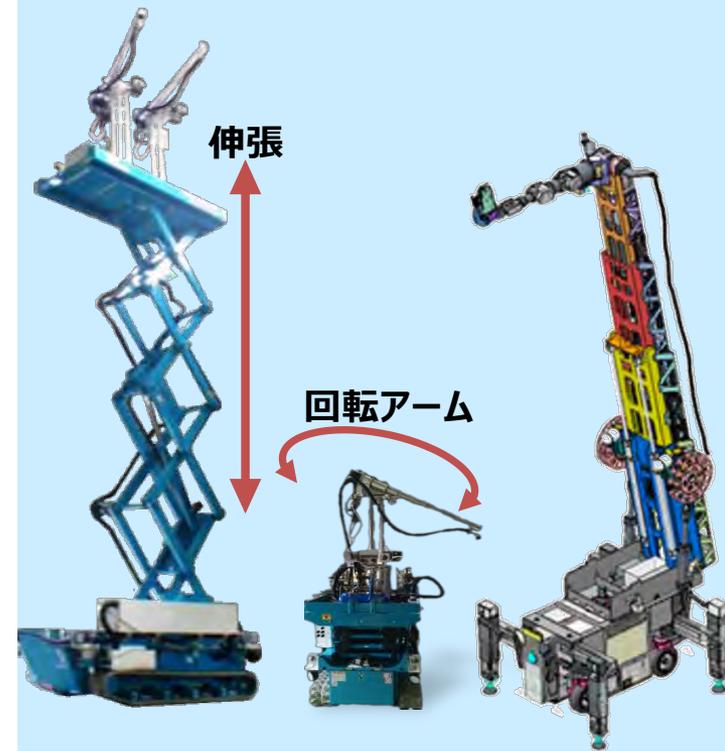


高圧水噴射

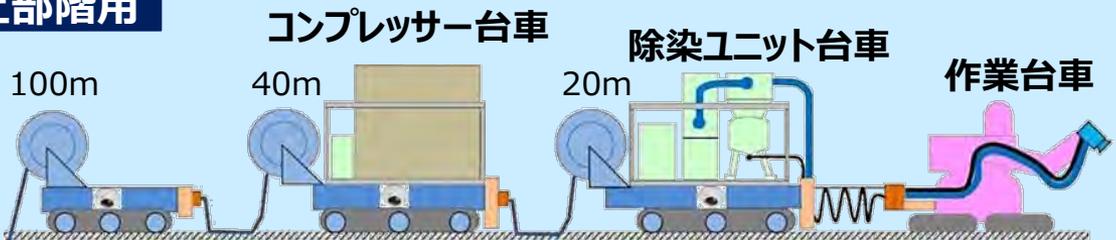


ドライアイスブラスト

## 高所用



## 上部階用



# 2-1.遠隔除染技術

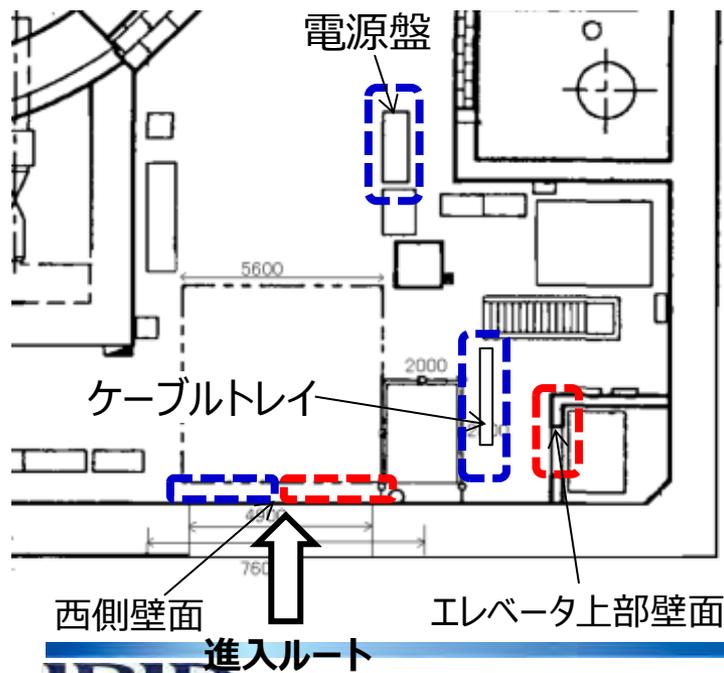
## 現場への適用（3号機）

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

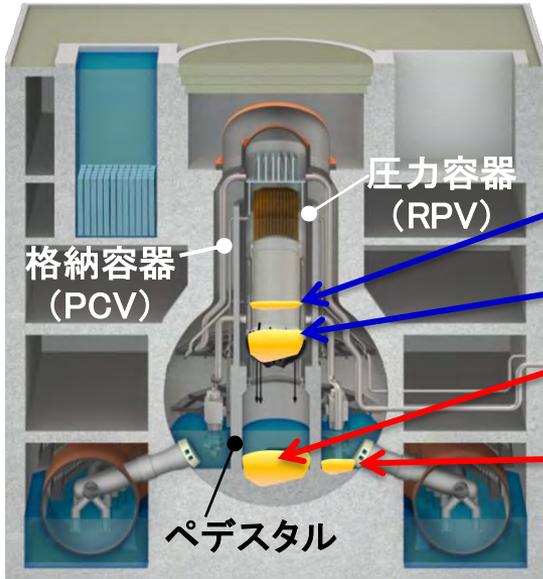
□ : 吸引      □ : ドライアイス



3号機R/B内への進入風景

## 2-2.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。

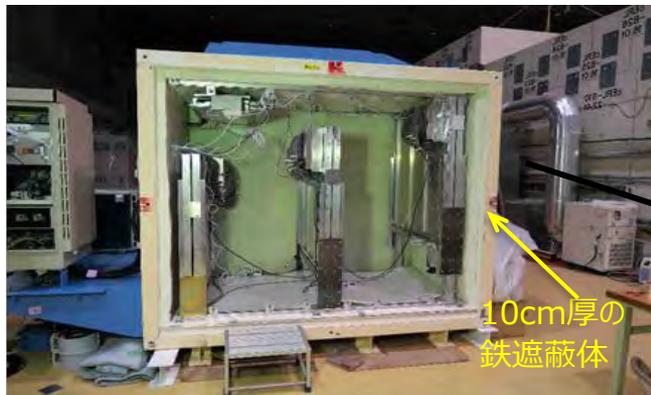
「推定重量」: 燃料+溶融・凝固した構造材 (コンクリート成分を含む)

- ▶ 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)

# 2-3.燃料デブリ検知 ～1号機ミュオン調査～

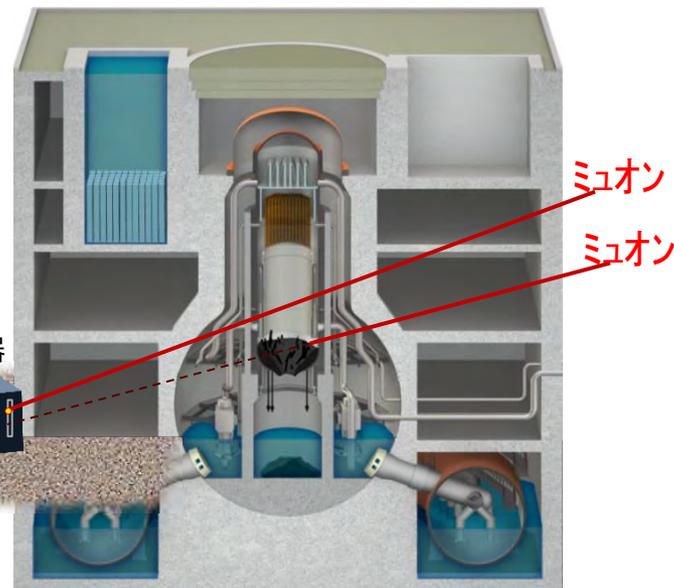
## 測定装置



10cm厚の鉄遮蔽体

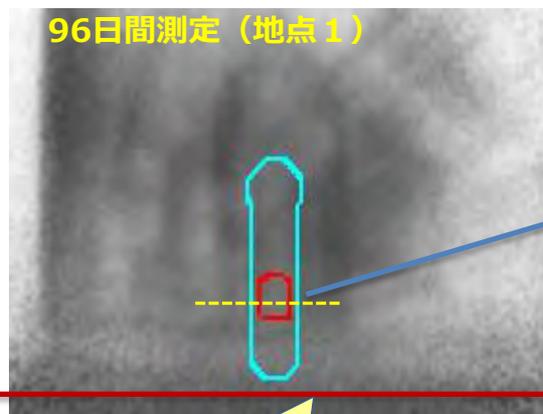
(約2.5mX2.0mX高さ2.1m)

ミュオン検出器



## 透過率の測定結果と分析結果

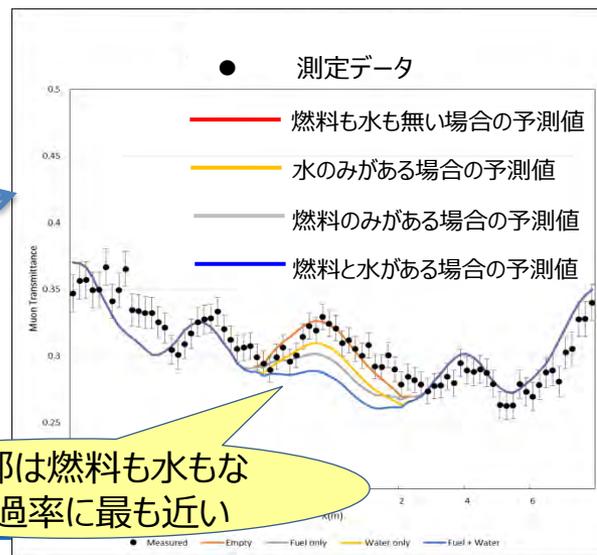
96日間測定 (地点1)



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

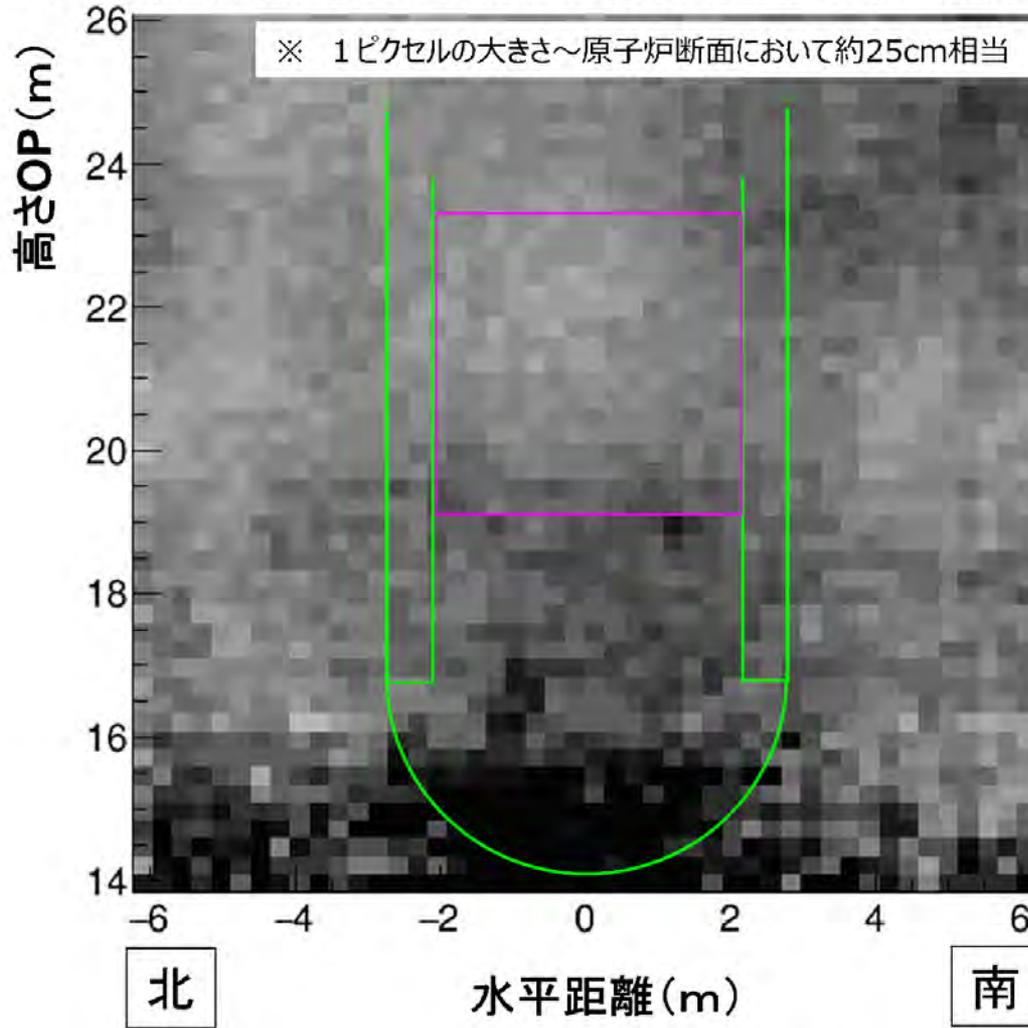
測定値と予測値との比較 (炉心部透過率)



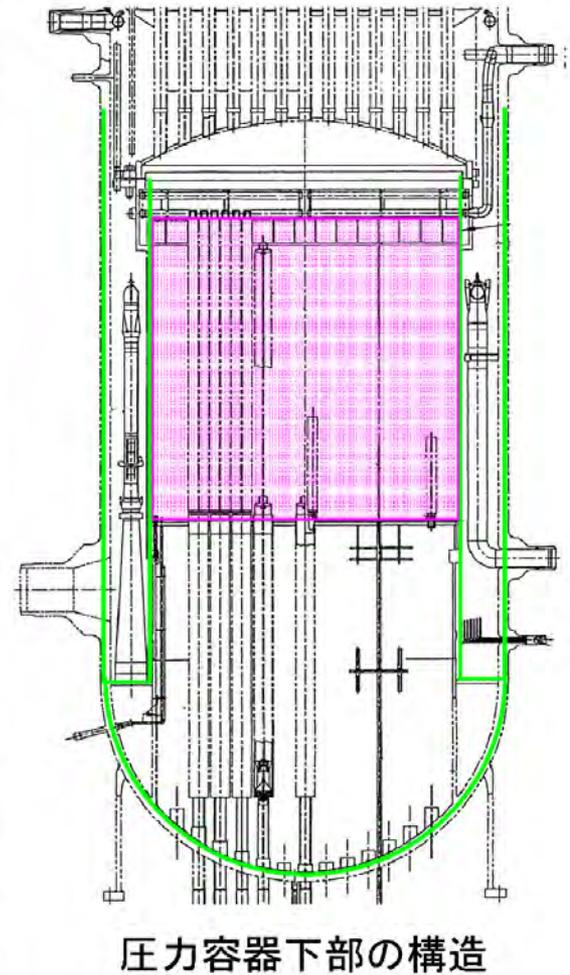
1号機では  
炉心部に  
燃料がない  
と評価

## 2-3. 2号機ミュオン調査結果

- 圧力容器底部に燃料デブリと思われる高密度物質の影を確認。



(測定結果 H28.7.22 時点)



H28.7.28東京電力HD公表資料から引用

# 2-3. 2号機ミュオン調査結果

RPV

## ＜RPV内に存在する物質質量＞

(測定結果 H28.7.22 時点)

	評価結果 [ton]		(参考) 事故前の物質質量* [ton]
① 炉心域 (シュラウド内)	約20~50	評価結果の 不確かさ ~数十トン程度	約160 (燃料集合体) 約15 (制御棒)
② 圧力容器底部	約160		約35 (構造物) 水の影響は非考慮
合計 (①+②)	約180~210		約210
(参考) ③ 圧力容器上部	約70~100	ほぼ同じ	約80 (構造物)

測定期間：H28.3.22  
~7.22

※ 設計上の重量。簡便のため、一部考慮していない構造物あり。  
また、ミュオン測定は実際には斜めに見上げる方向に測定しているため、正確に一致するものではない。

- ▶ 燃料デブリの**大部分は圧力容器底部に存在**している  
(東京電力HDによる推定)

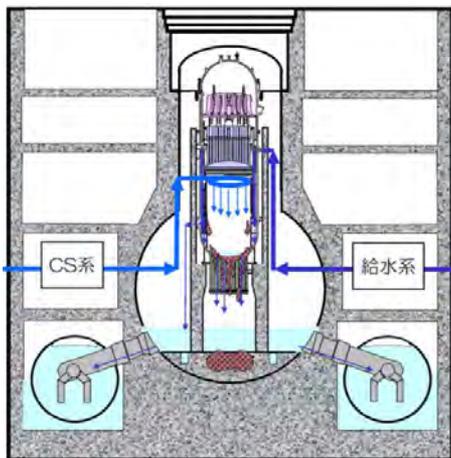
H28.7.28東京電力HD公表資料から引用

# 2-4.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

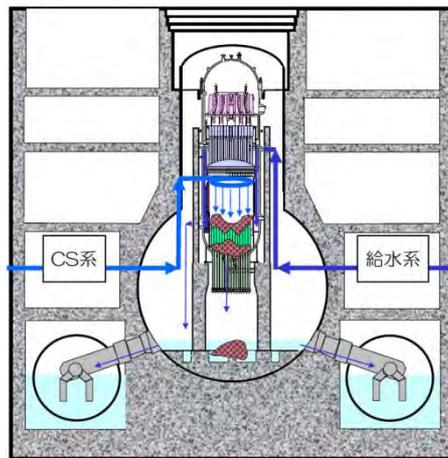
## 調査および調査装置の開発方針



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

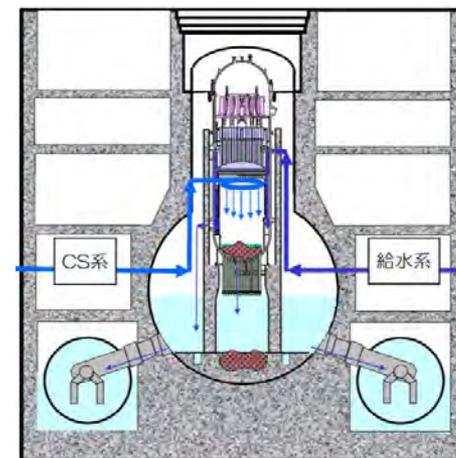
- ・燃料デブリのペDESTAL外側までの拡散の可能性から、ペDESTAL外側の調査を優先



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

# 2-4.PCV内部調査（調査ロボット）

## ペDESTル外側の調査（1号機）

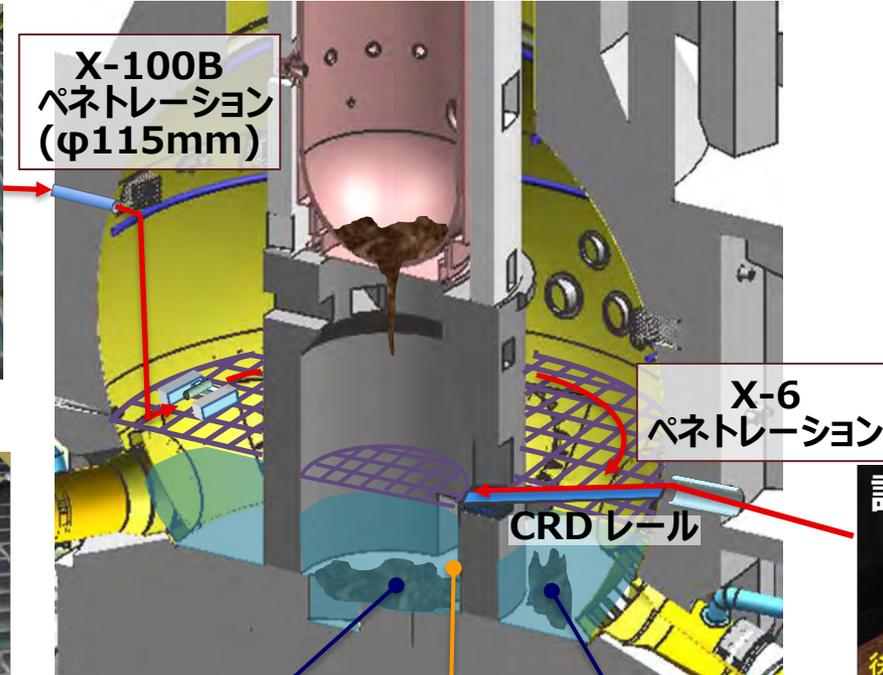
### ○形状変化型ロボット（B1調査）

## 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）



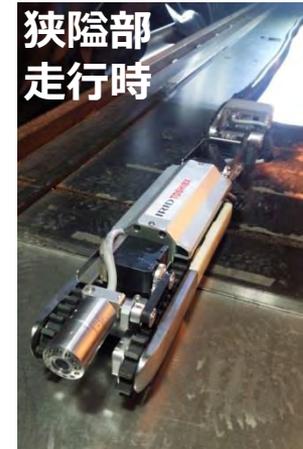
変形



ペDESTル内  
燃料デブリ  
(イメージ)

1号機作業員  
アクセス口

ペDESTル外  
燃料デブリ  
(イメージ)



変形



# 記号

- ▶ 「B1」、「A2」の意味
  - ⇒ペデスタル**外**調査を「**B**」
  - ⇒ペデスタル**内**調査を「**A**」
  - ⇒数字は、調査のステップ

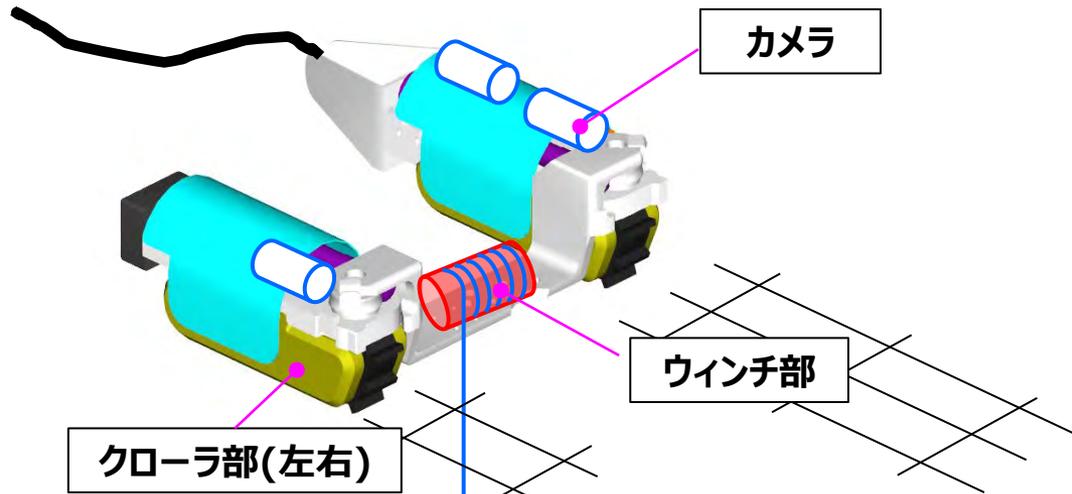
# 1号機ペDESTAL外調査 (B2調査)

## 【調査方法】

- 線量率の3次元的計測
- 水中カメラによる撮影

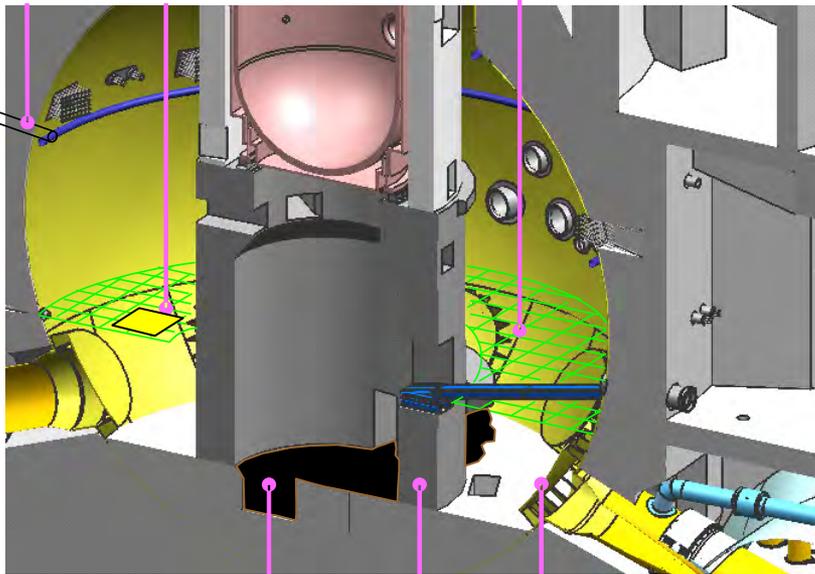
## 【実施時期】

- 2017年3月 (目標)

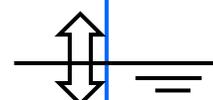


X-100B 地下階開口部

1階グレーチング



燃料デブリ (想定) ペDESTAL 地下階



センサユニット



△ : レンズ方向  
 ◇ : 照明方向

# 2号機ペDESTAL内調査 (A2調査)

## 【調査方法】

- カメラによる撮影

## 【実施時期】

- 2017年1~2月(目標)

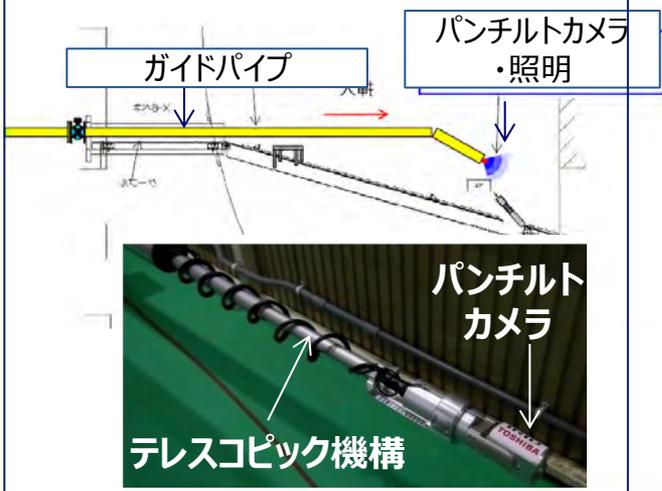
## 調査手順

1. ペDESTAL内事前確認

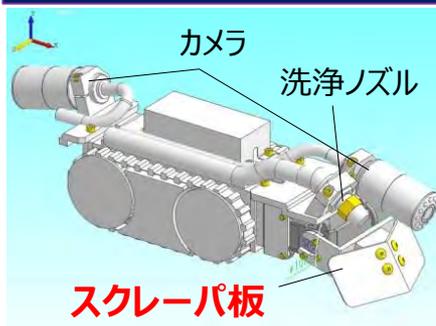
2. レール上堆積物除去

3. A2調査

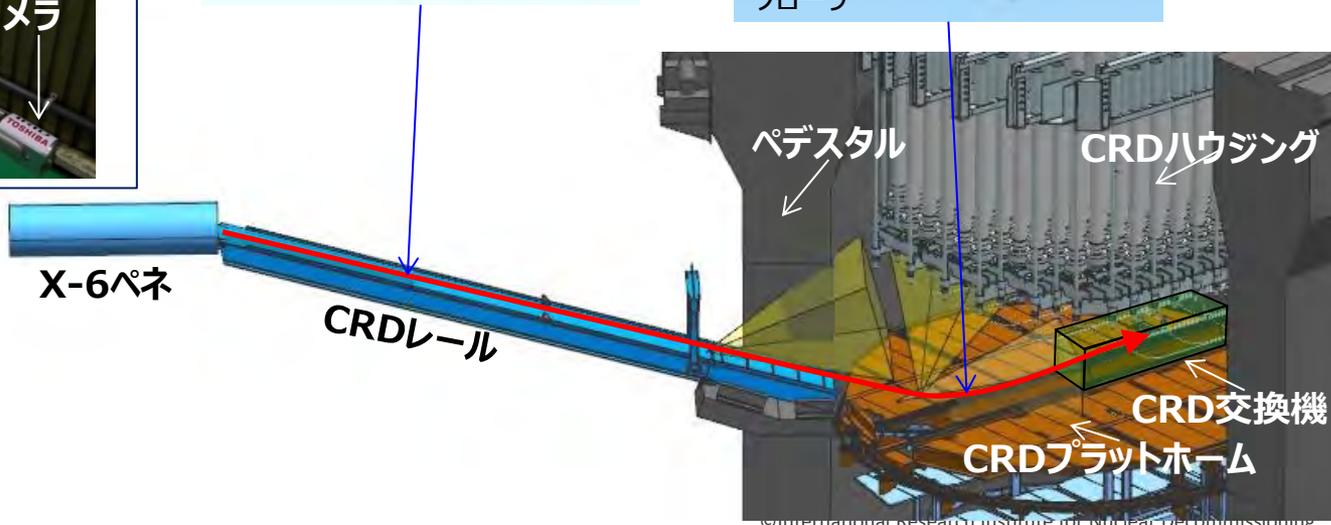
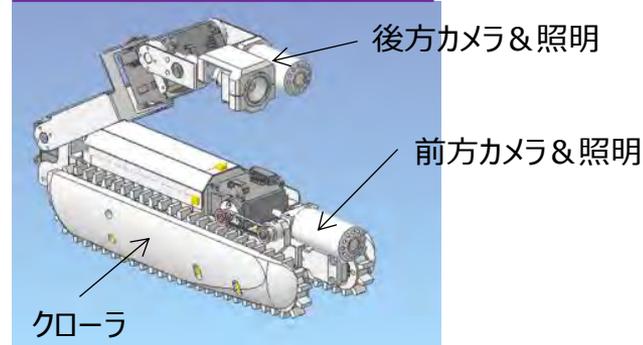
## 1. 事前確認装置



## 2. 堆積物除去装置

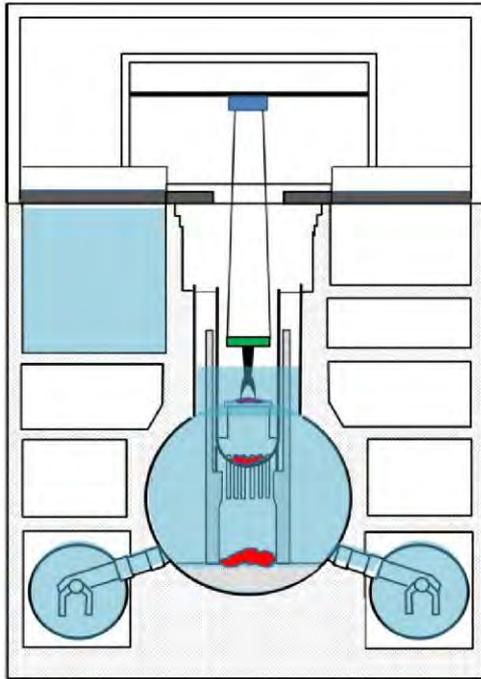


## 3. A2調査装置



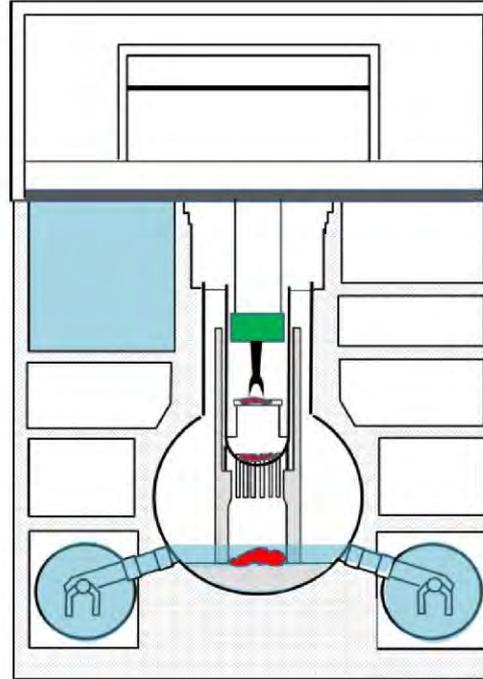
## 2-5.PCV補修・止水技術

### 重点的に検討を進める燃料デブリ取り出し工法



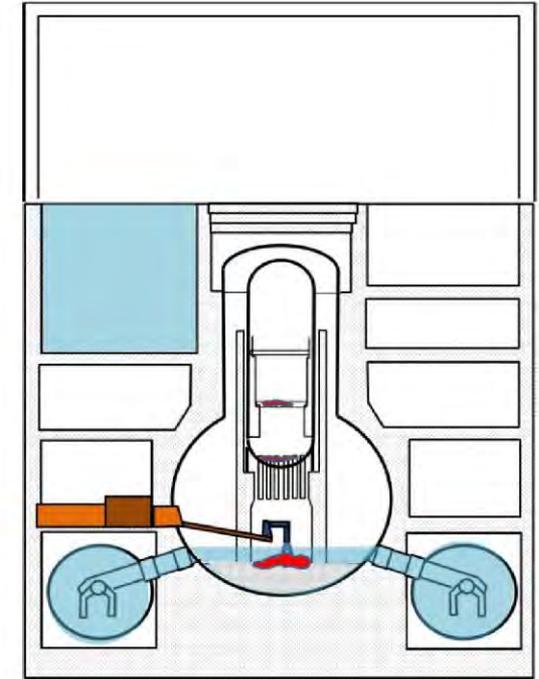
a. 冠水-上アクセス工法

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



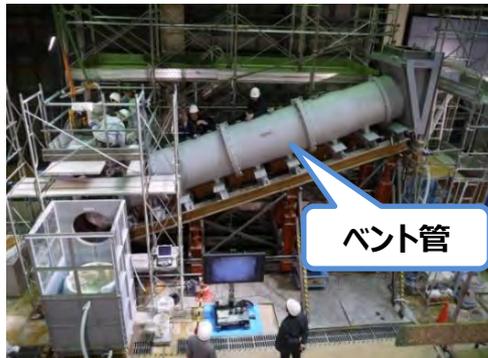
c. 気中-横アクセス工法

PCV内RPVペデスタル外側の機器、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

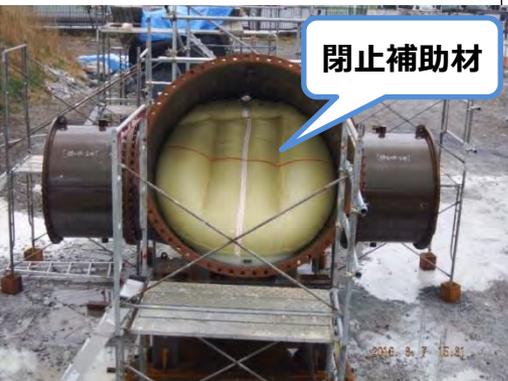
## ベント管止水試験



ベント管

1 / 2スケール試験体で  
止水性能を確認 (工場)

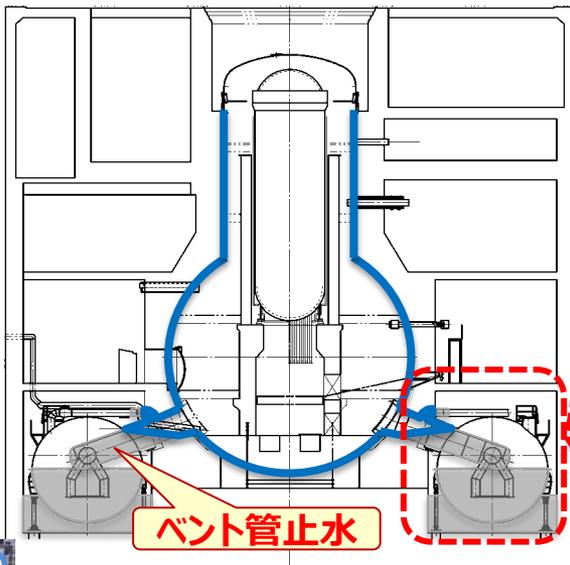
## 閉止補助材止水試験



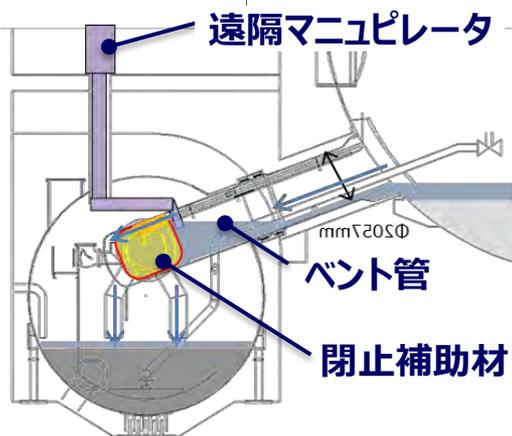
閉止補助材

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

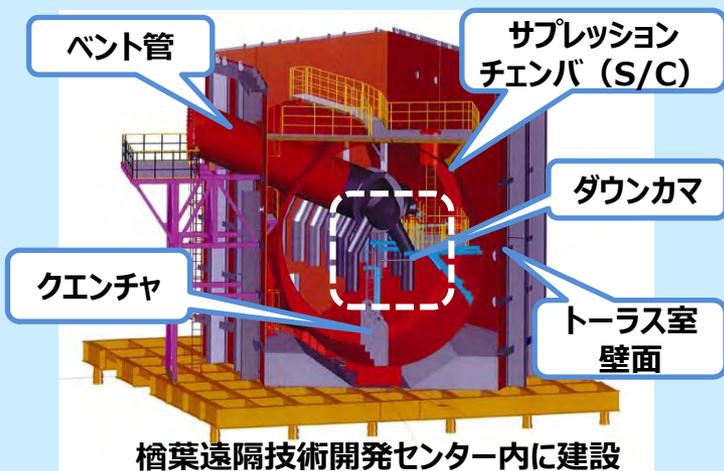


ベント管止水



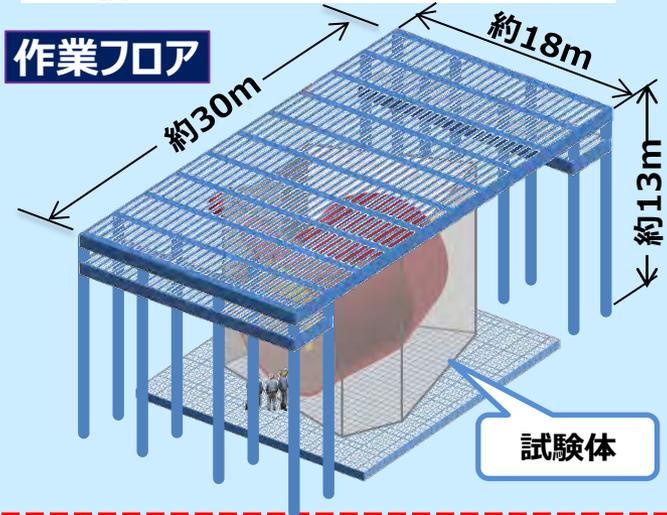
## 実規模試験体を用いた試験

### 実規模試験体 (1/8セクター)



楢葉遠隔技術開発センター内に建設

### 作業フロア



試験体

© International Research Institute for Nuclear Decommissioning

# 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

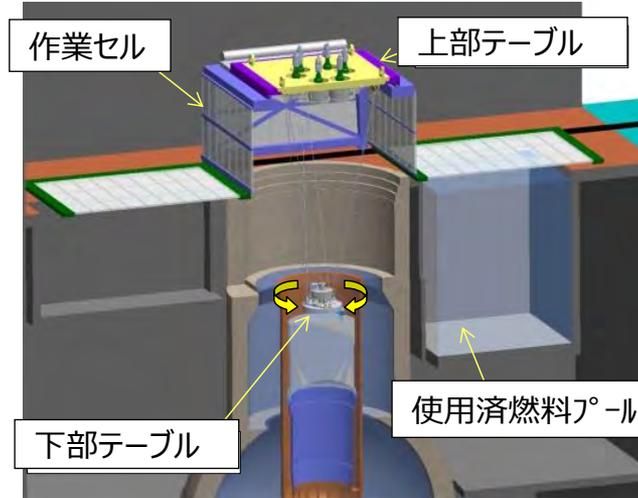
## 基盤技術の開発



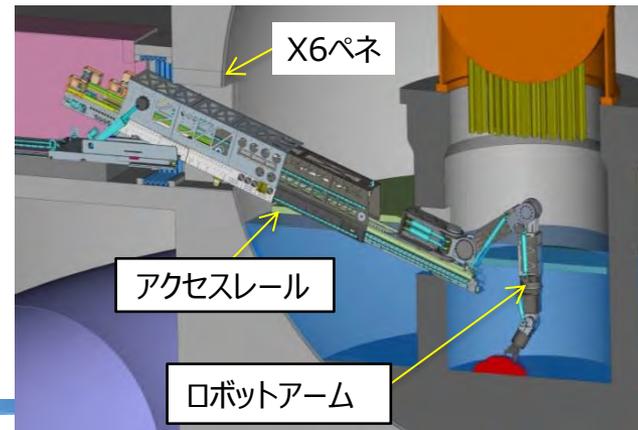
ロボットアーム



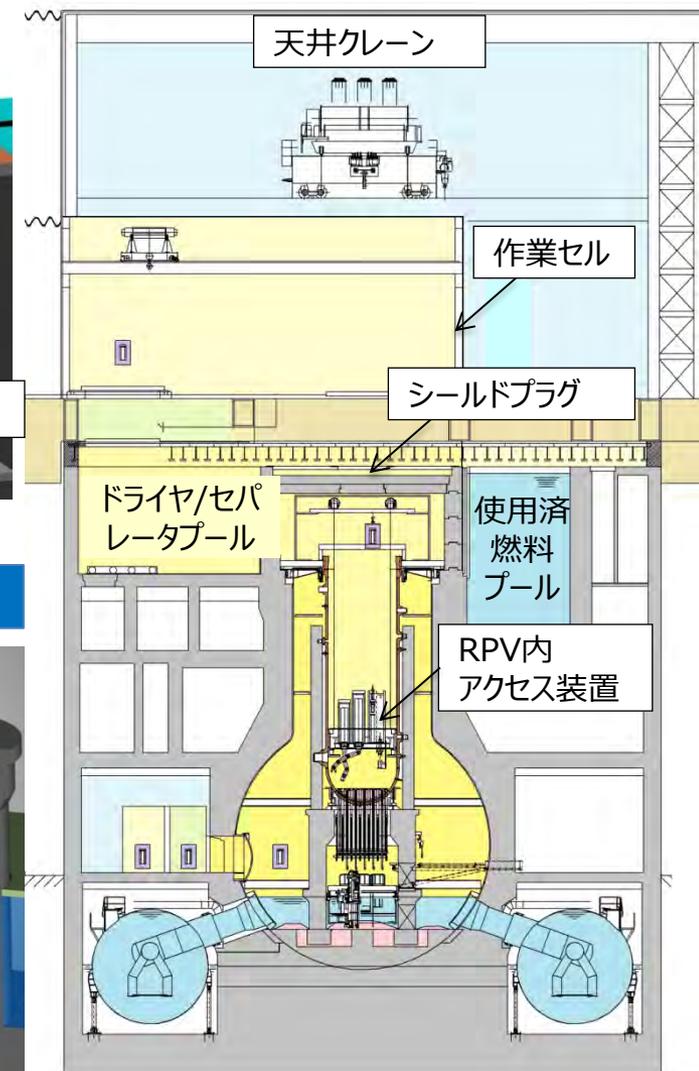
## 冠水-上アクセス工法（概念）



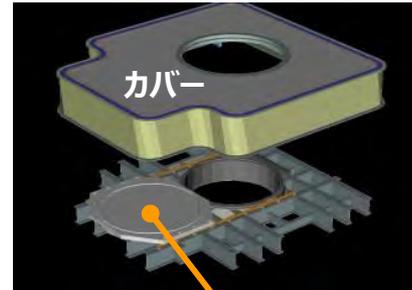
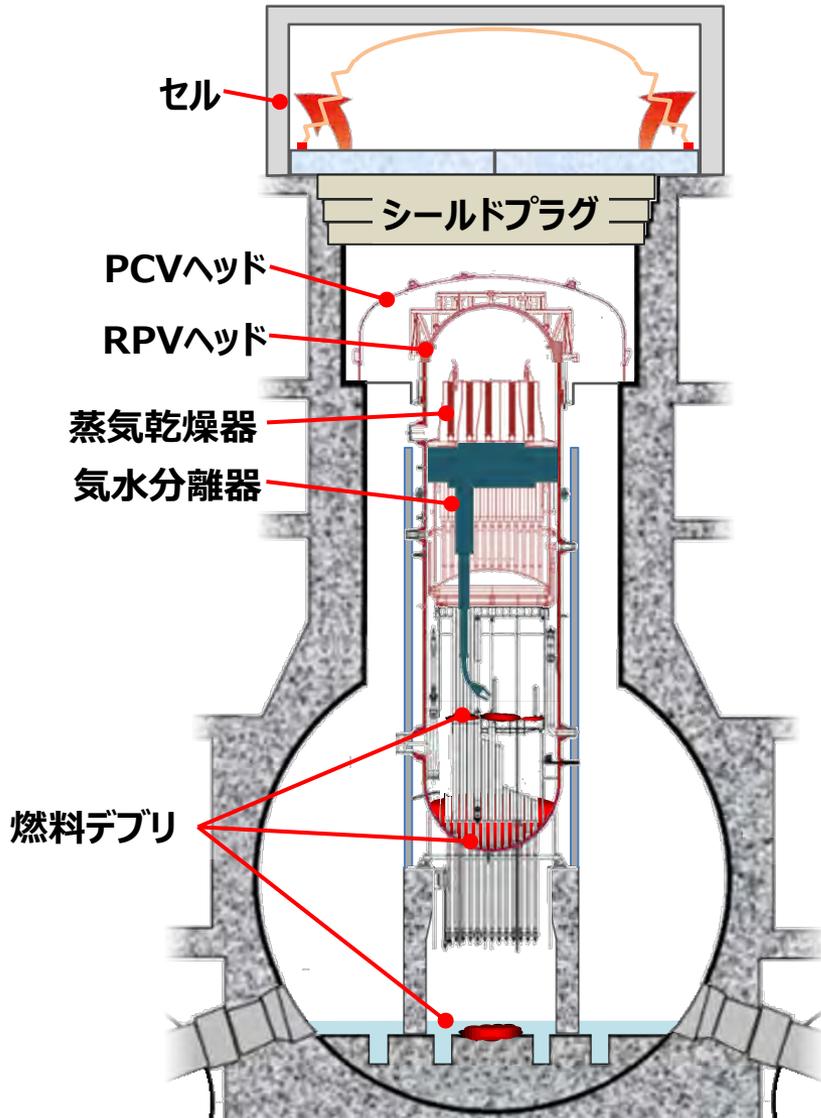
## 横アクセス工法（概念）



## 気中-上アクセス工法（概念）



# 気中-上アクセス取り出し工法 (イメージ)

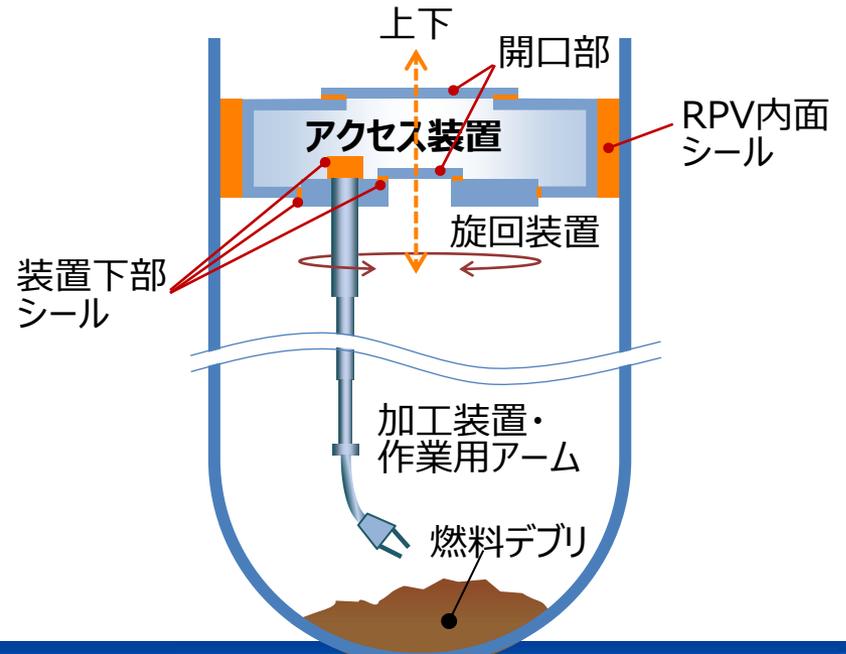


開閉式遮へいポート



ダスト飛散防止用フィルム

## RPV内アクセス装置 (イメージ)

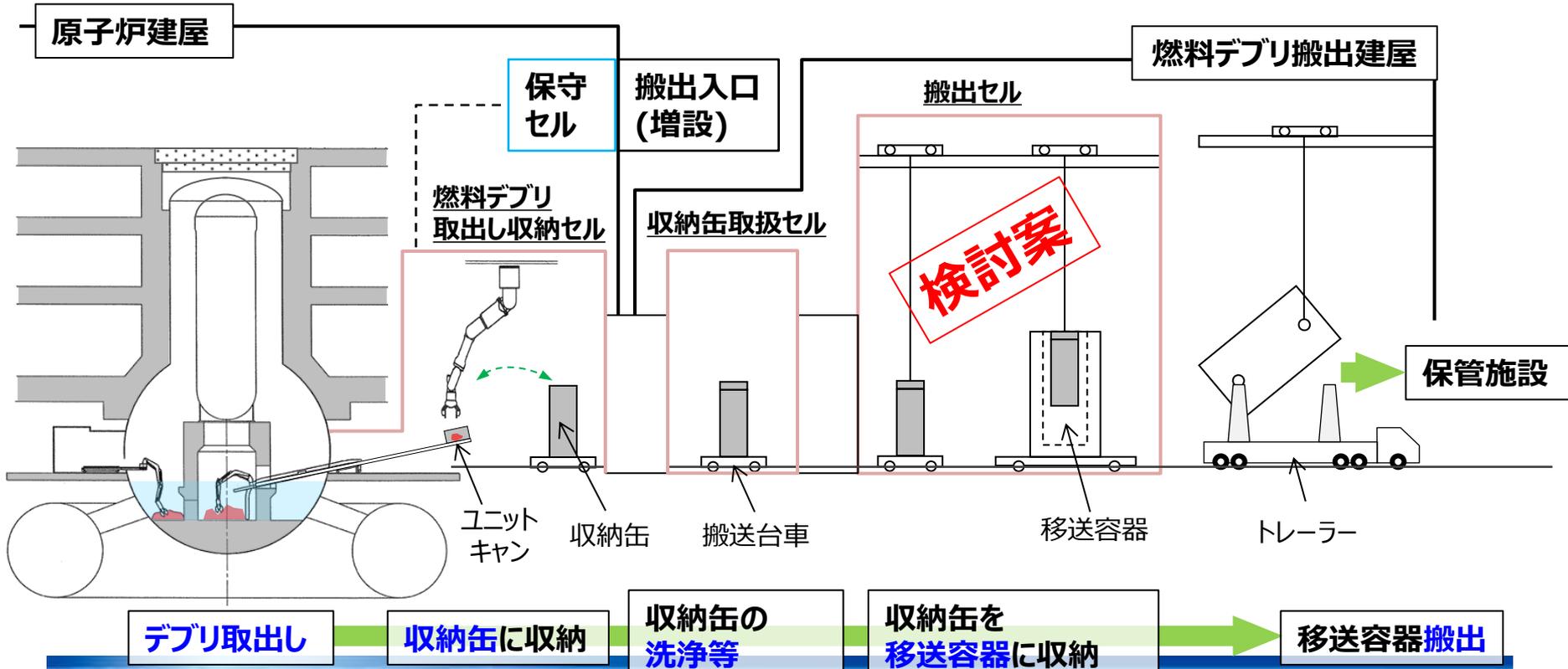


# 2-7.燃料デブリ収納・移送・保管技術

## 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

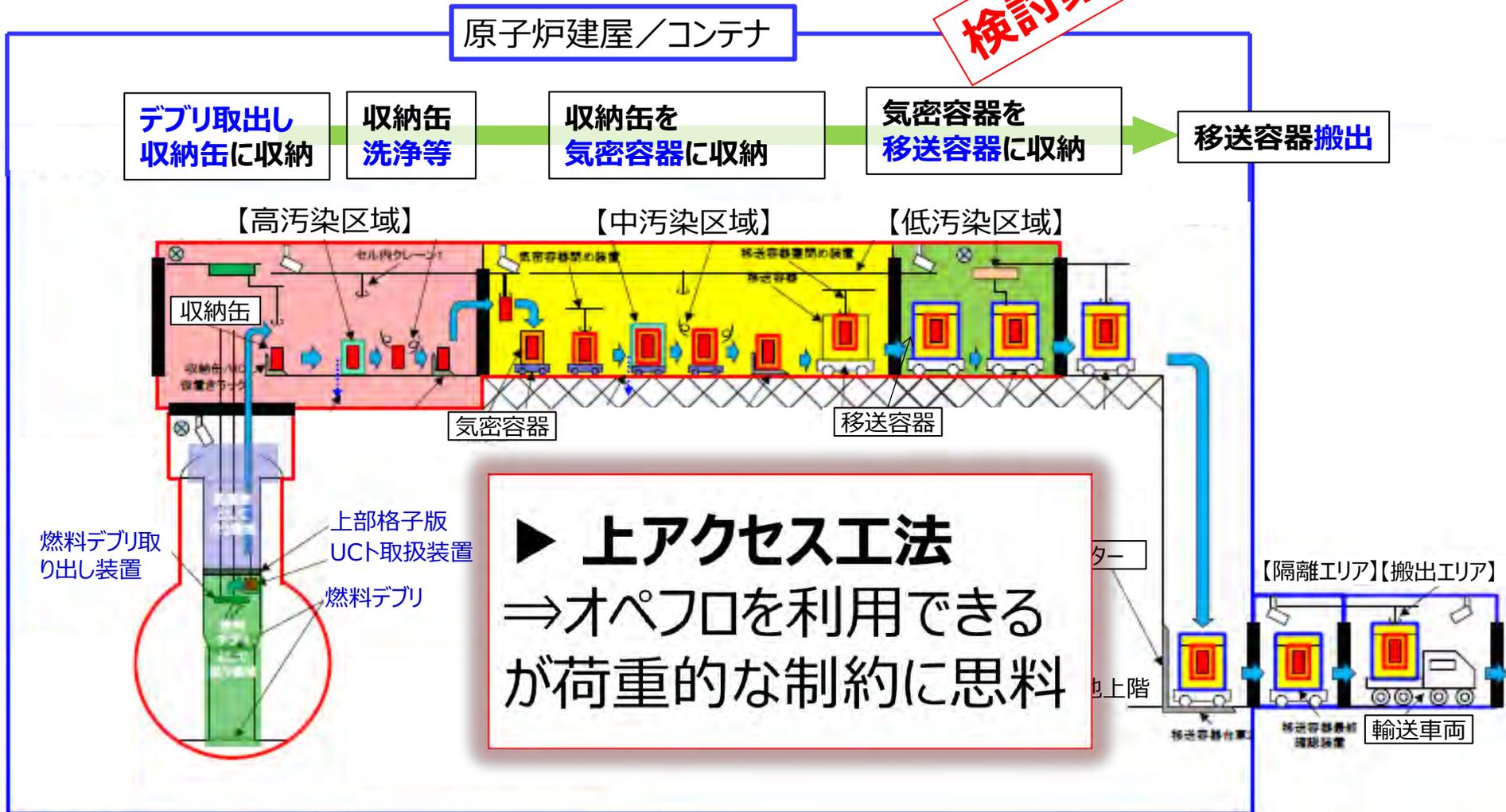
## 移送方法（気中-横アクセス工法の場合）



# 2-7.燃料デブリ収納・移送・保管技術

## 移送方法（上アクセス工法の場合）

検討案



**▶ 上アクセス工法**  
 ⇒ オペプロを利用できる  
 が荷重的な制約に思料

# 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