

# IRIDが取り組む研究開発の概要

東北大学「原子炉廃止措置工学概論」

2016年9月15日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)

開発計画部長

桑原 浩久

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。

# 講義内容

1. IRIDの紹介

2. 研究開発の状況（概要）

3. 大学との連携

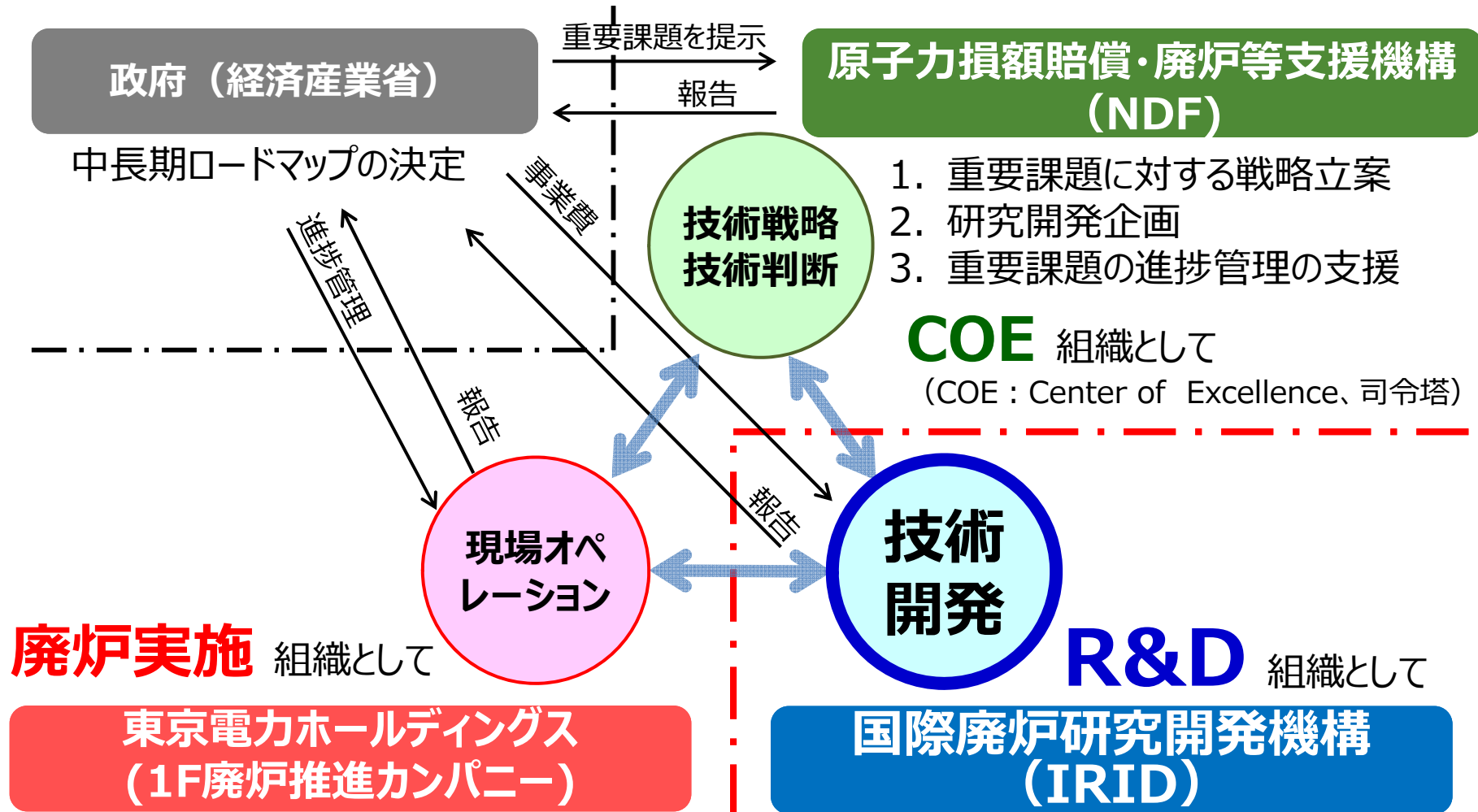
4. みなさんに期待すること



# 1. IRIDの紹介

# 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

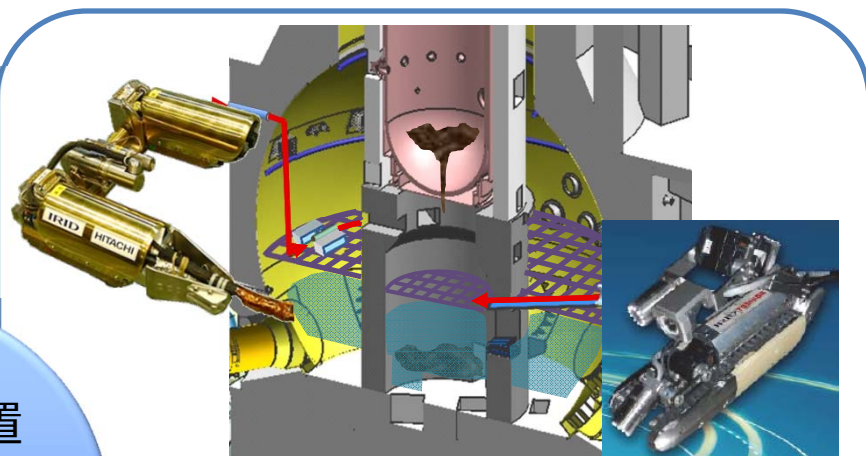


国際顧問との会議

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**  
に取り組みます。

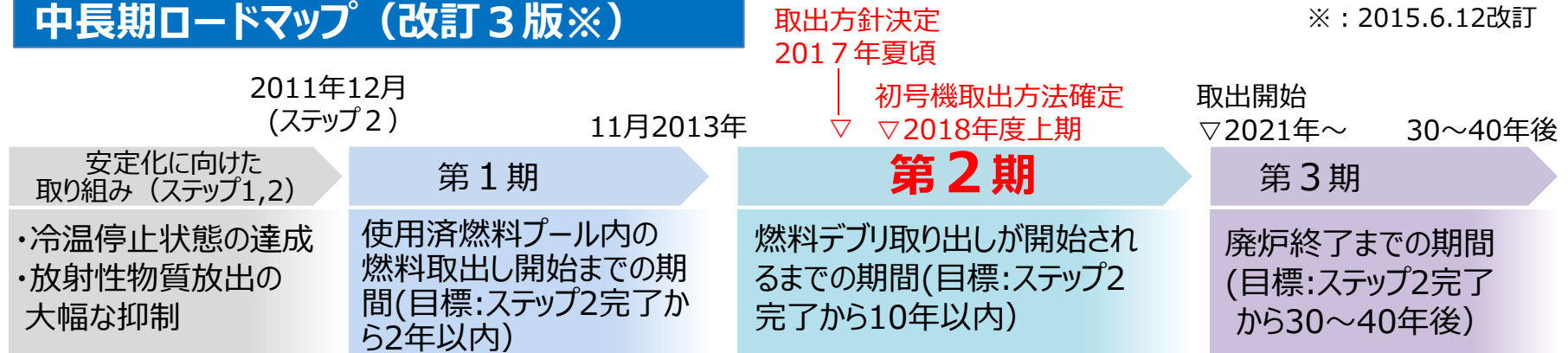


「サイエンスアゴラ2015」での  
廃炉ロボットのデモ

# IRIDの研究開発スコープ

## 中長期ロードマップ<sup>o</sup> (改訂3版※)

※ : 2015.6.12改訂

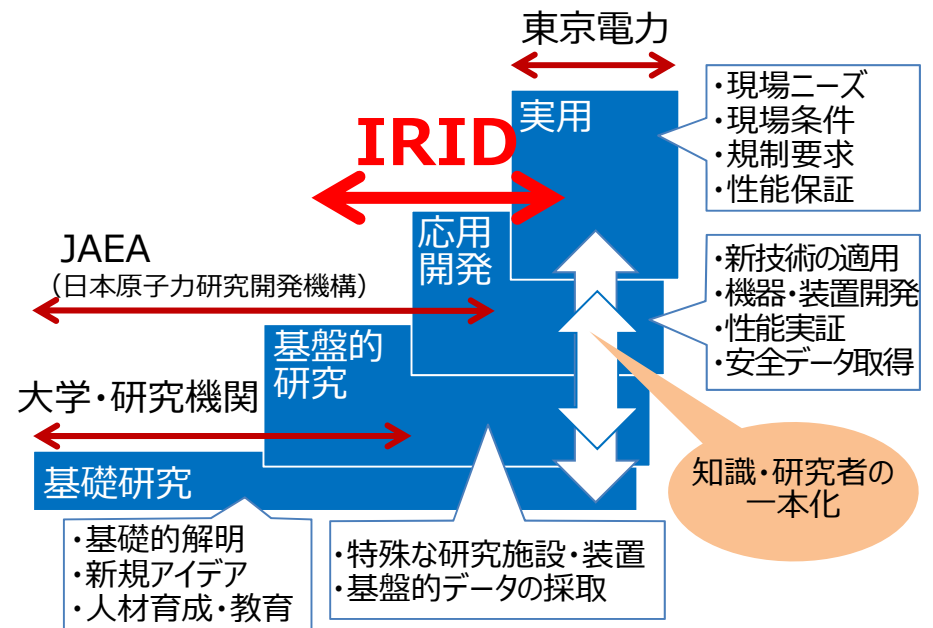


## 廃炉事業

- 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



NDF「戦略プラン2015」より



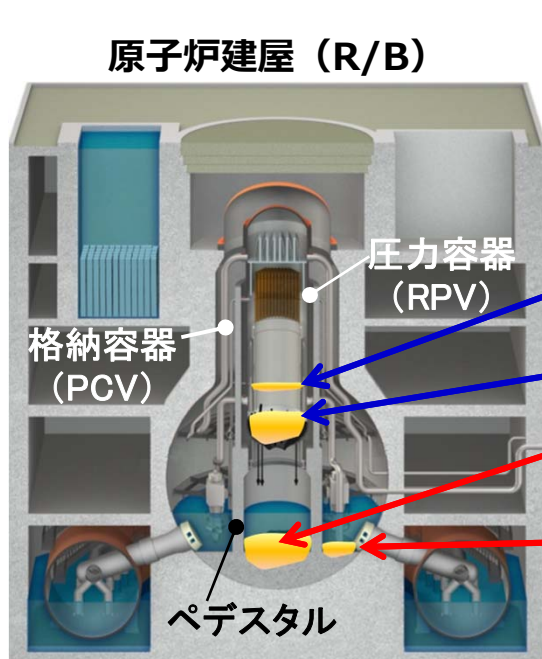
## 2. 研究開発の状況（概要）

## 略語

- ▶ 福島第一原子力発電所⇒「1 F」
- ▶ 燃料デブリ⇒「デブリ」



# 今、デブリはどうなっているか？



   : 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DESTAL内側	157	146	213
ペDESTAL外側	107	49	130
合計値	279	237	364

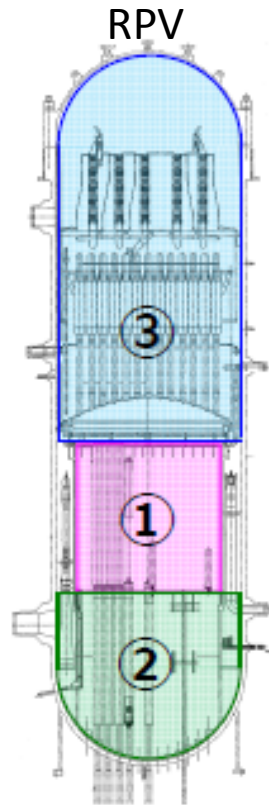
「代表値」：現時点において最も確からしい値。

「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DESTAL底部**のデブリが多い（80%以上）

# (参考) 2号機ミュオン調査結果



## <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)

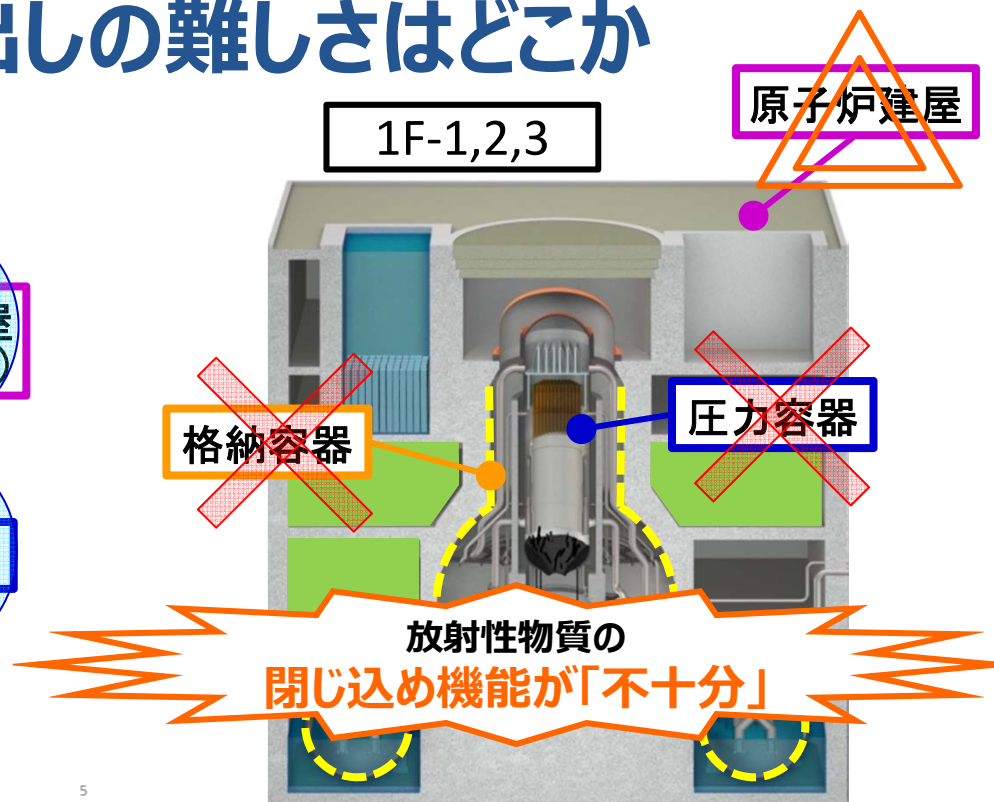
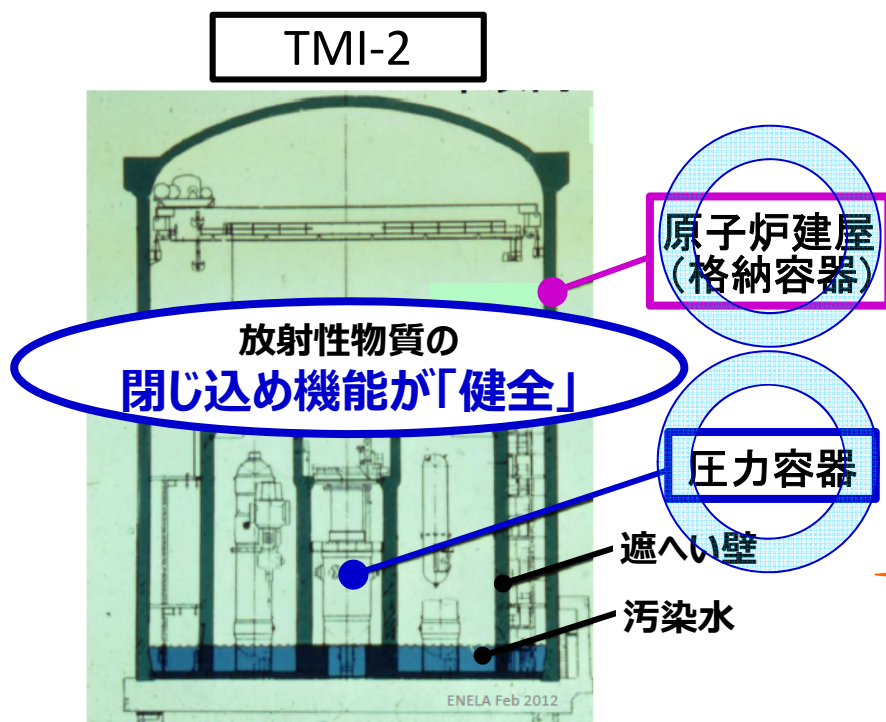
測定期間 : H28.3.22  
~7.22

※ 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

# 1Fデブリ取り出しの難しさはどこか



約133トン	← デブリ総量 →	約880トン (3基)
ほぼRPV内、一部が配管内	← デブリの拡がり →	ペDESTAL底部に落下、底部コンクリートを浸食
(オペフロ線量) 除染・遮蔽後※ :約1mSv/h	← 放射線量 →	(オペフロ線量) 現在:数十～数百mSv/h

※ : 事故直後は数十mSv/h

# 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(1PJ)

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

## 2. 燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発(12PJ)

### 除染・線量低減技術

R/B内の  
**遠隔除染**  
技術

2016.3終了

### 補修・止水技術

PCV  
漏えい箇所の  
**補修・止水**  
技術

PCV  
漏えい箇所の  
補修技術の  
**実規模試験**

### 燃料デブリ取り出し技術

<安定状態の確保>

RPV/PCVの  
**健全性評価**  
技術

燃料デブリ  
**臨界管理**  
技術

<デブリ取り出し>

燃料デブリ・  
炉内構造物取出  
**工法・  
システム**

### 内部調査・分析技術

<直接的調査>

**PCV  
内部調査**  
技術

**RPV  
内部調査**  
技術

燃料  
**デブリ  
性状  
把握**

<間接的調査>

RPV内  
**燃料デブ  
リ検知**  
技術

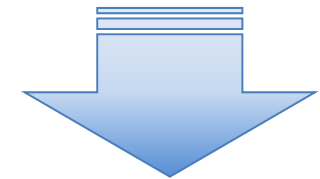
総合的な  
**炉内状況  
把握**  
の高度化

燃料デブリ・  
炉内構造物取出  
**基盤技術**

燃料デブリ  
**収納・移送  
・保管**技術

## 3. 廃棄物に係る研究開発(1PJ)

固体廃棄物の  
**処理・処分**  
技術



**14PJが  
進行中**

# 各研究開発プロジェクトの目的

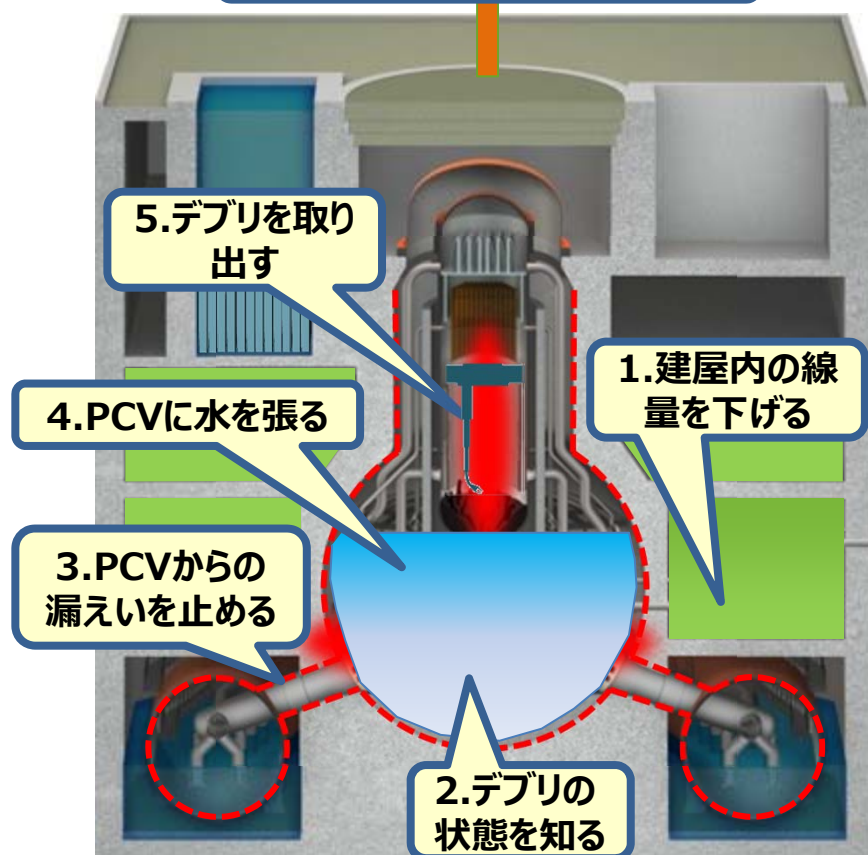
## 1. 建屋内の線量を下げる

- **遠隔除染**装置の開発

## 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

## 6. デブリを収納・移送・保管する



## 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

# 遠隔除染技術

除染

デブリ調査

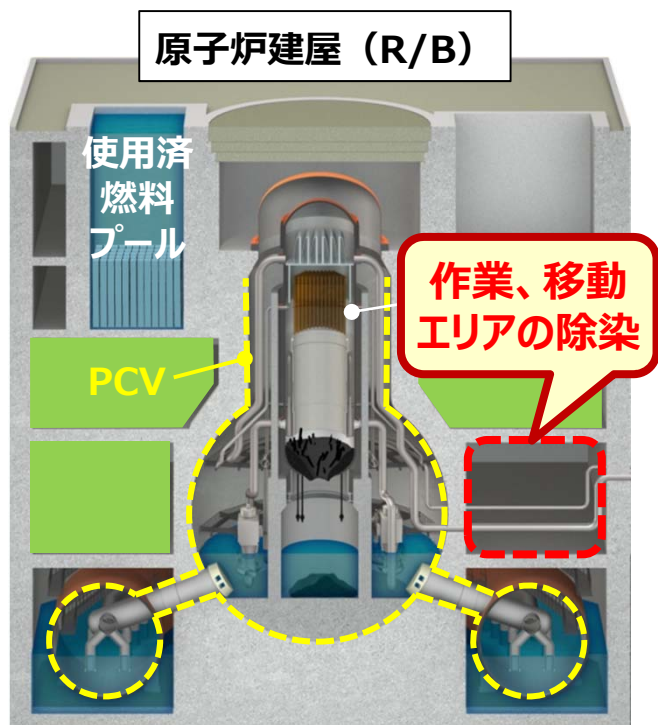
PCV補修

デブリ取出

収納・移送・保管

## 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。



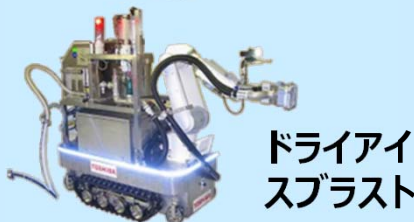
## 低所(床, 下部壁面)用



吸引/ブラスト

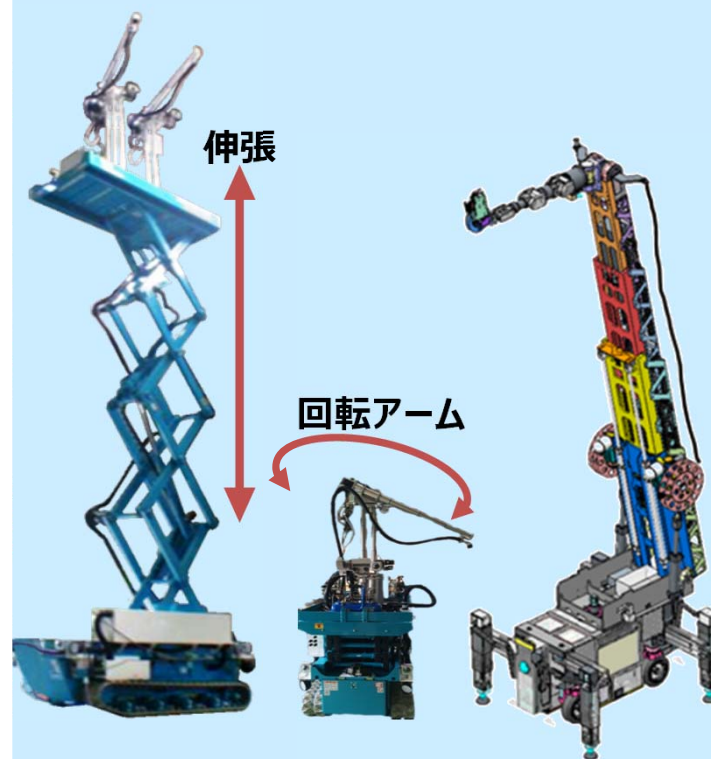


高圧水噴射

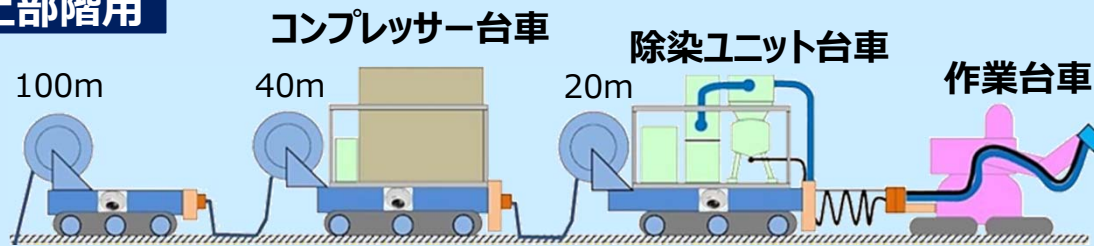


ドライアイスブラスト

## 高所用



## 上部階用



# 遠隔除染技術

除染

デブリ調査

PCV補修

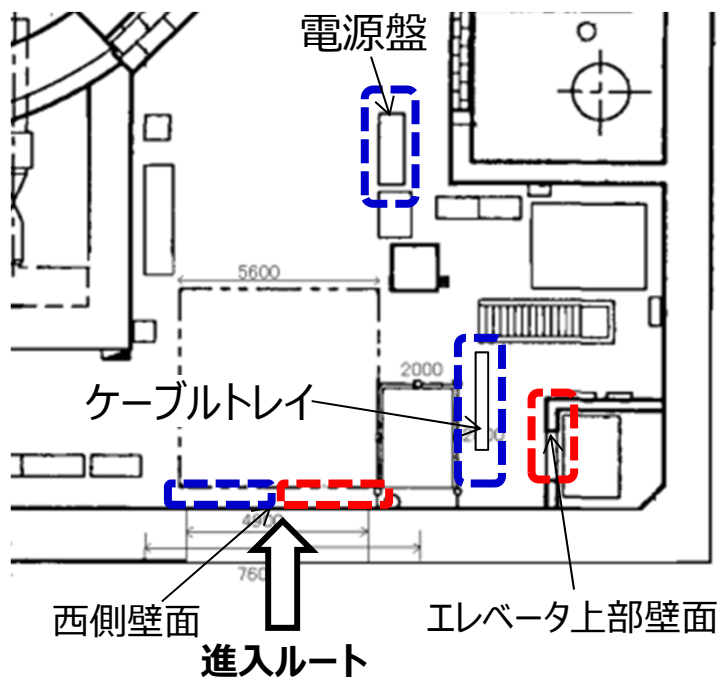
デブリ取出

収納・移送・保管

## 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  
ラスト除染を実施。

〔二〕：吸引      〔一〕：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

# 1~3号機の放射線量

除染

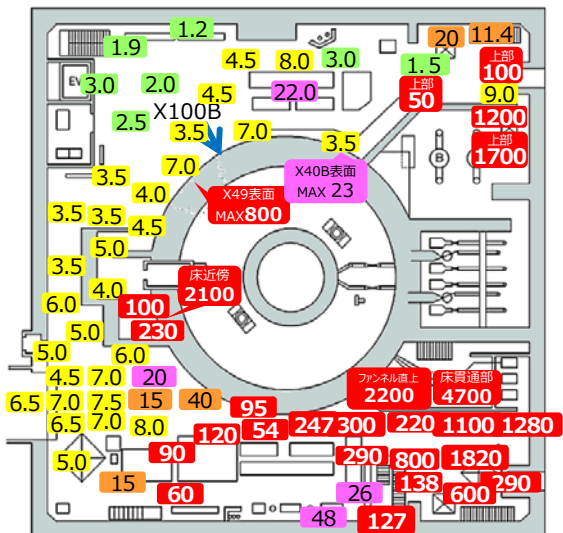
デブリ調査

PCV補修

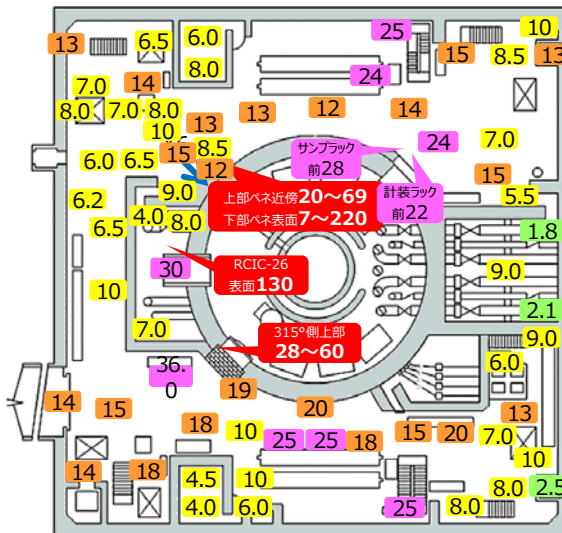
デブリ取出

収納・移送・保管

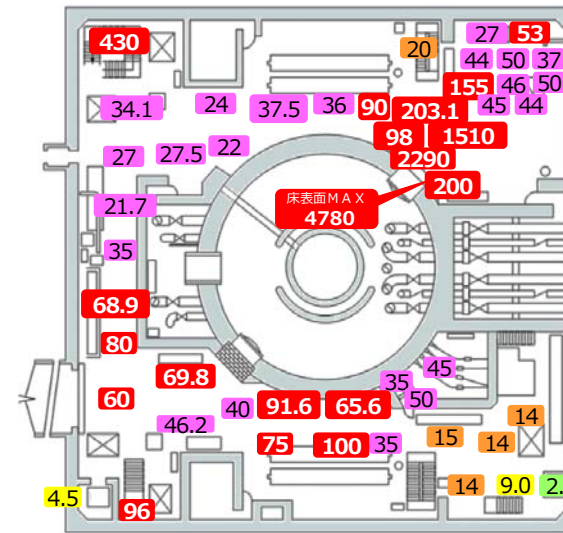
1号機1階



2号機1階

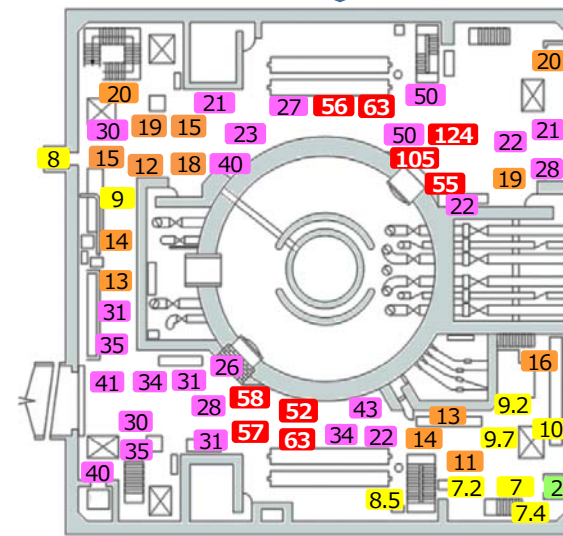
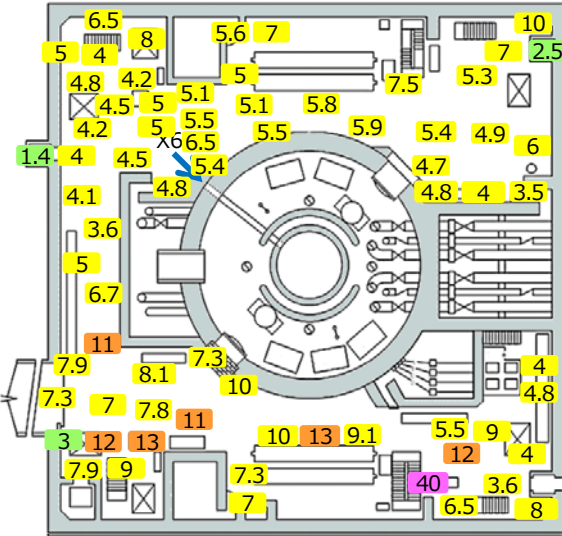
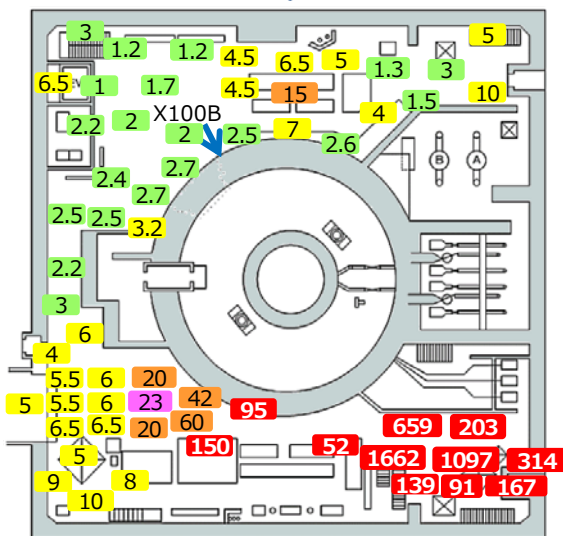


3号機1階



2012~2013年調査

2014~2015年調査



3mSv/h 以下

3mSv/h ~ 10mSv/h

10mSv/h ~ 20mSv/h

20mSv/h ~ 50mSv/h

50mSv/h 以上



# PCV内部調査技術

## ペDESTAL外側の調査（1号機）

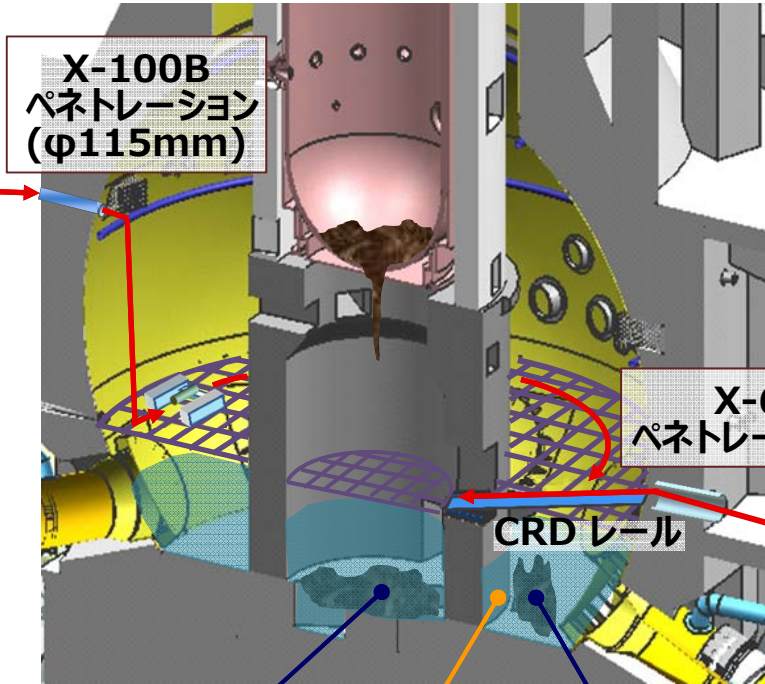
○形状変化型ロボット（B2調査）

## ペDESTAL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DESTAL内燃料デブリ (イメージ)  
ペDESTAL外燃料デブリ (イメージ)



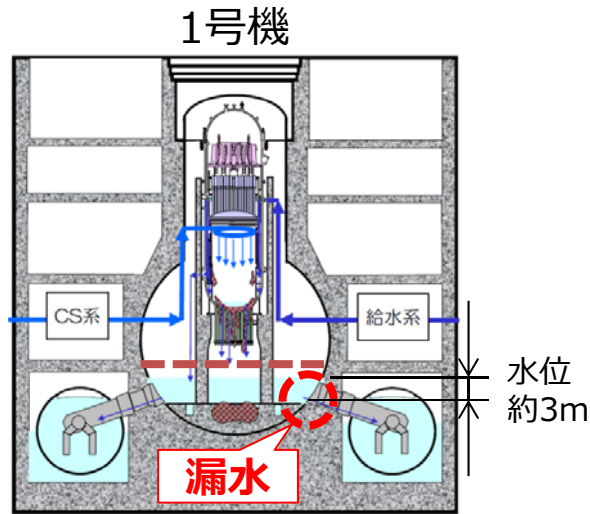
変形



(注) 上の写真はB1調査時のロボットです。

# PCV内部調査方針

除染 **デブリ調査** PCV補修 デブリ取出 収納・移送・保管



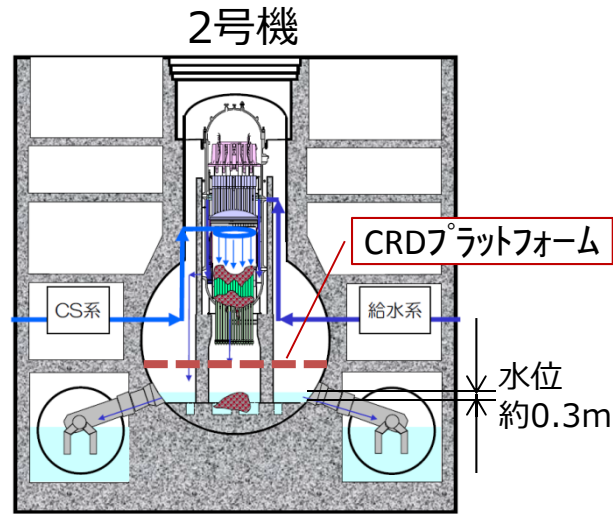
核燃料：約69トン

デブリ量(トン)	
炉内	15トン
炉外	264トン

**ペDESTAL外側**  
調査を優先(デ  
ブリの**シェル**へ  
の**到達状況**)

作業員アクセス口

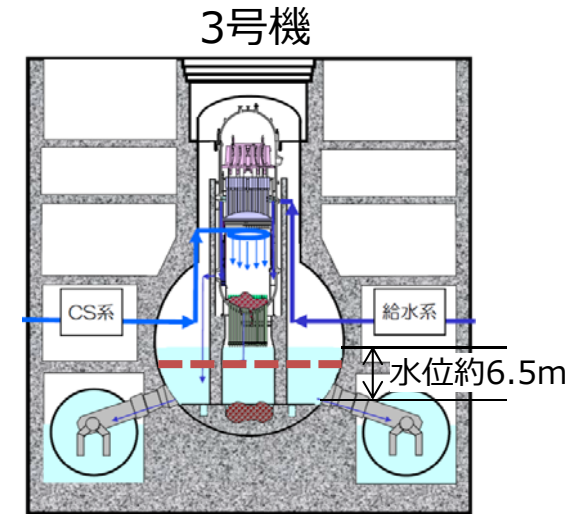
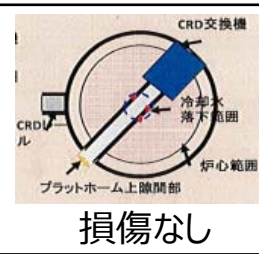
デブリのイメージ



核燃料：約94トン

炉外のデブリ量(トン)	
解析等	195トン
ミュオン調査	0~30トン

**ペDESTAL内側**  
調査を優先(**プ  
ラットフォーム**の  
**損傷状態**)



核燃料：約94トン

デブリ量(トン)	
炉内	21トン
炉外	343トン

**ペDESTAL内側**  
調査を優先(**プ  
ラットフォーム**の  
**損傷状態**)

CRD交換機

CRDL

プラットホーム上隙間部

炉心範囲

冷却水落下範囲

落下物

溶融穴

一部破損

大規模破損

## 記号

### ▶ 「B2」、「A2」の意味

⇒ペデスタル**外側**調査を「**B**」

⇒ペデスタル**内側**調査を「**A**」

⇒数字は、調査のステップ

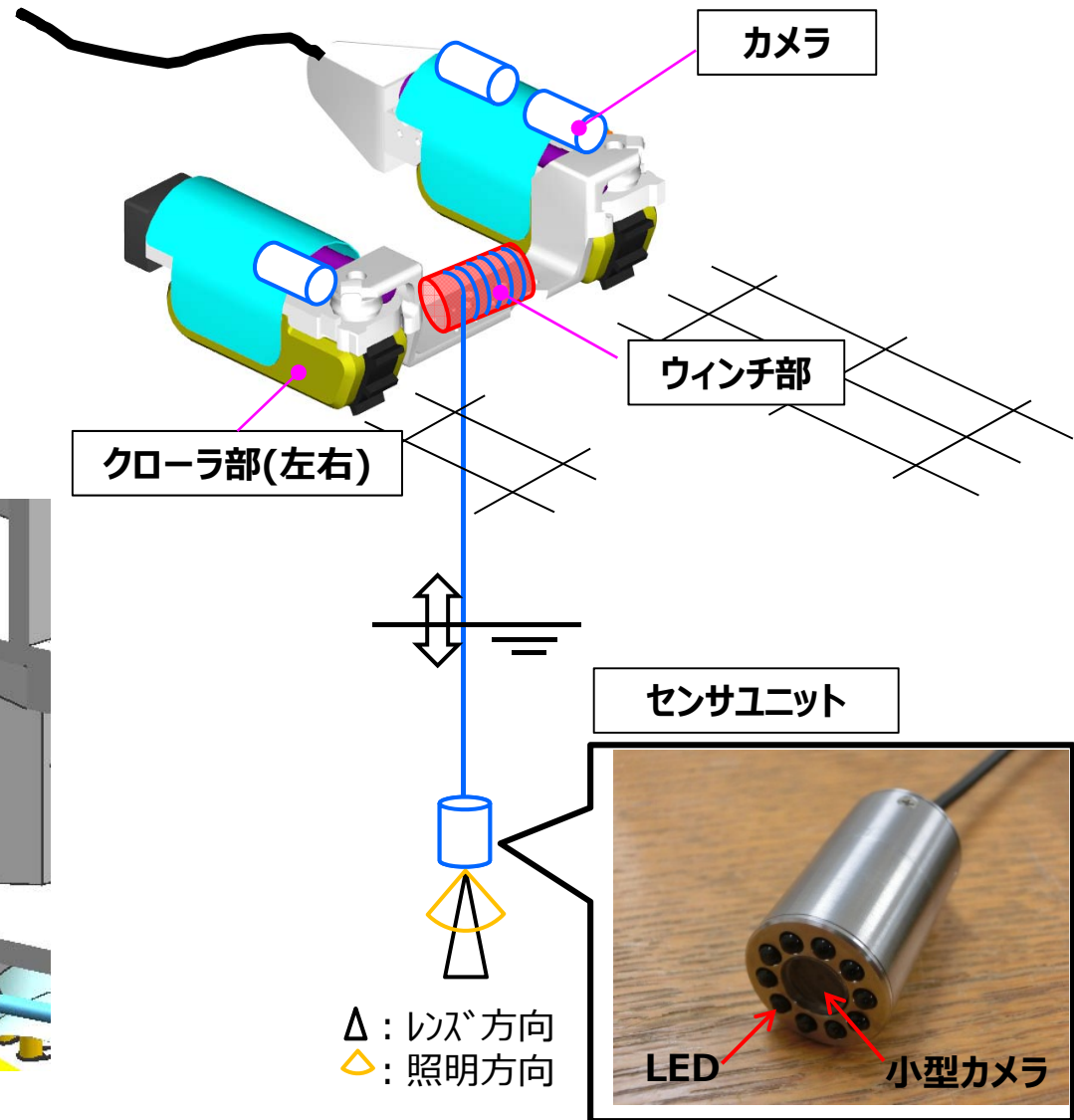
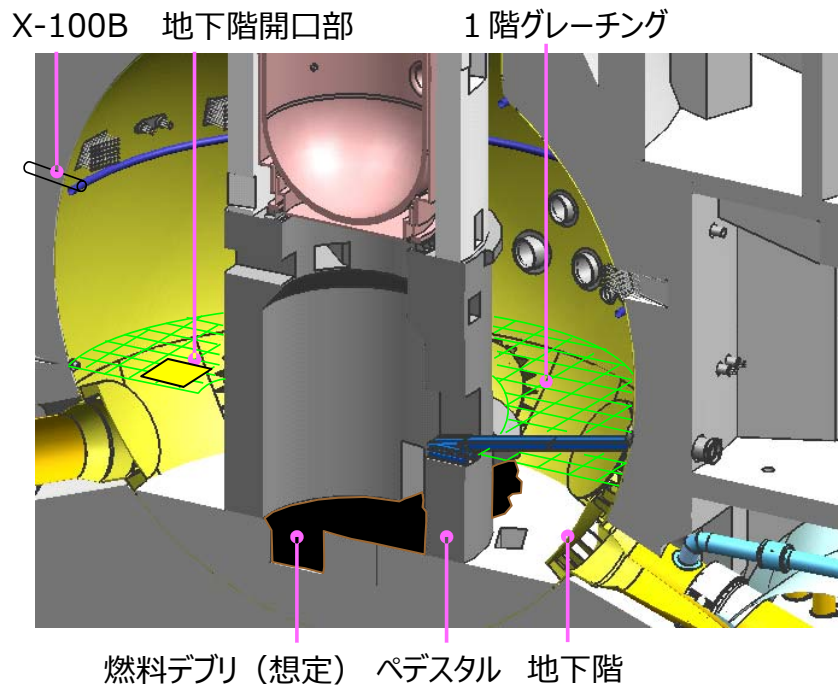
# 1号機ペDESTAL外調査 (B2調査)

## 【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】

- 2016年度中



# 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】

- 線量低減後早期に実施

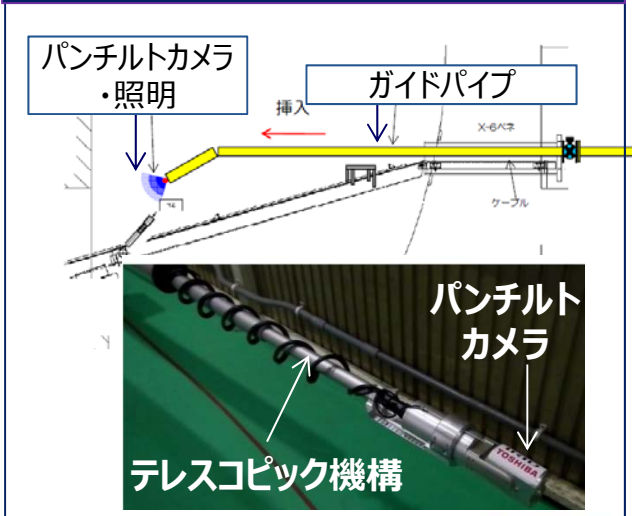
## 調査手順

1. ペデスタル内事前確認

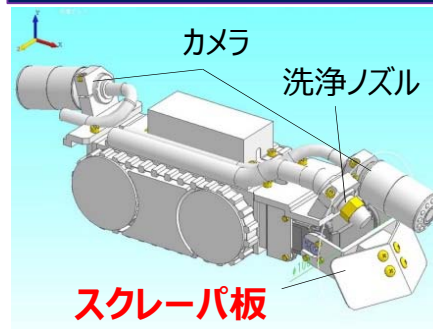
2. レール上堆積物除去

3. A2調査

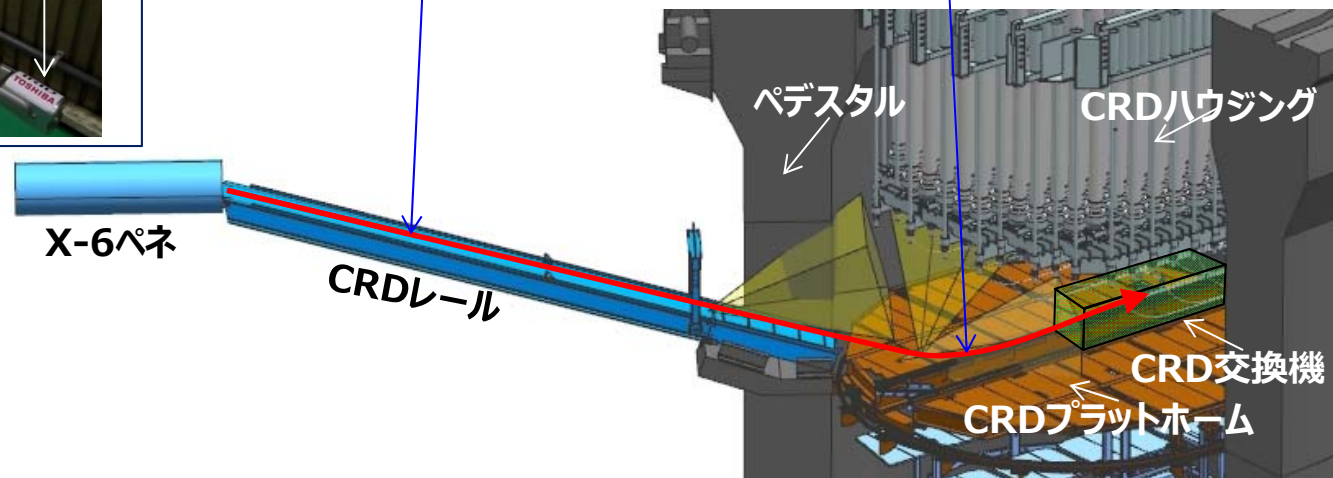
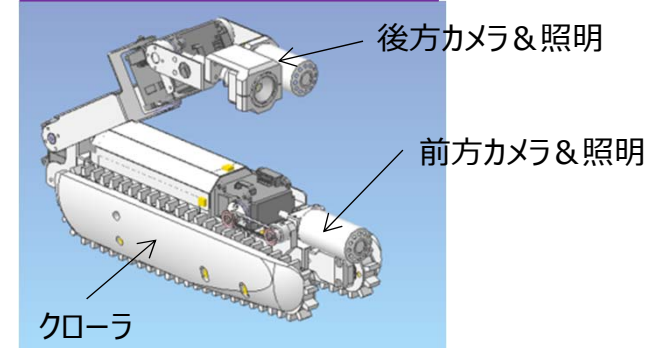
## 1. 事前確認装置



## 2. 堆積物除去装置



## 3. A2調査装置



# PCV補修・止水技術

除染

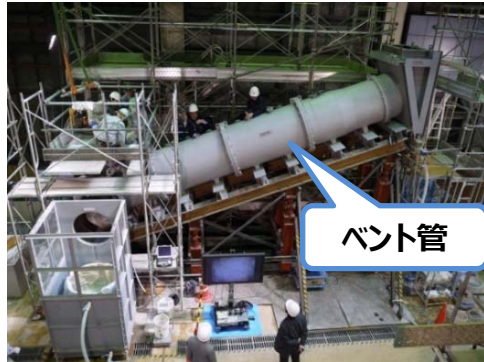
デブリ調査

**PCV補修**

デブリ取出

収納・移送・保管

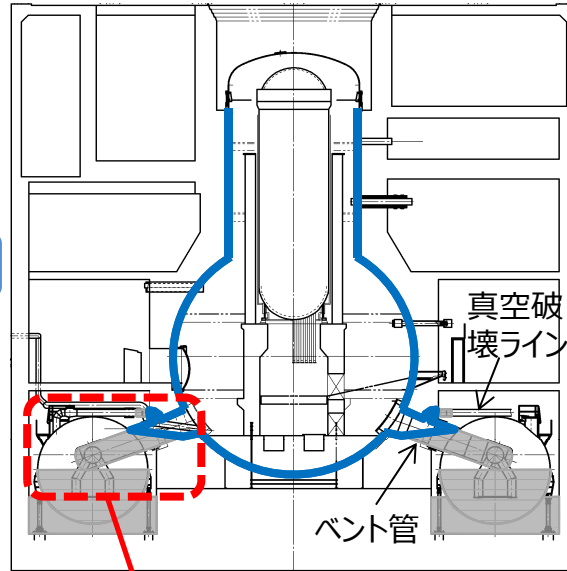
## ベント管止水試験



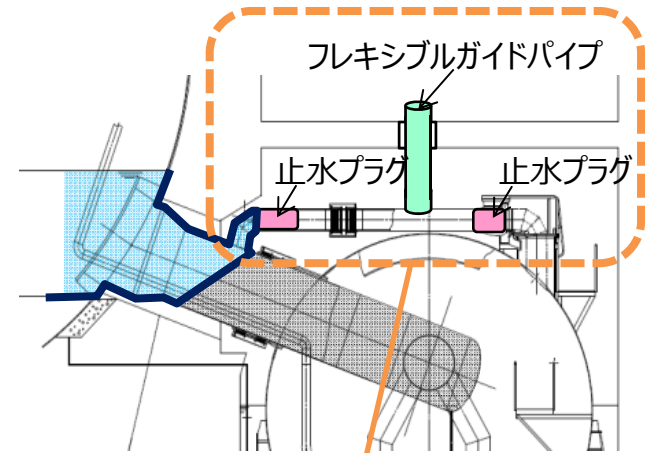
ベント管

1 / 2スケール試験体で  
止水性能を確認（工場）

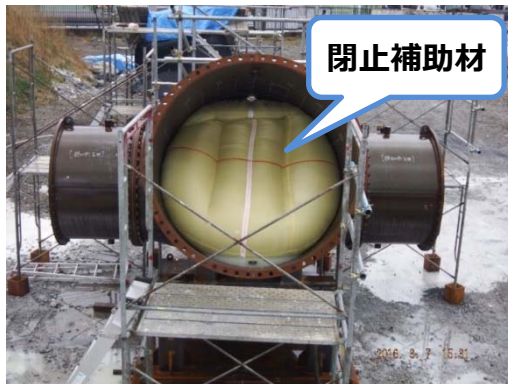
— : 補修・止水範囲



## 真空破壊ライン止水工法（1号機）

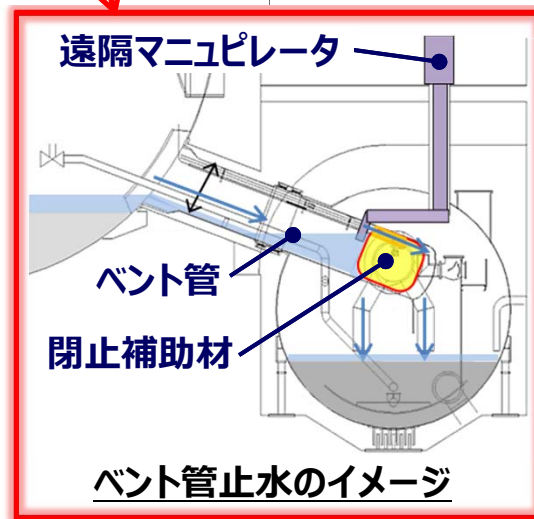


## 閉止補助材止水試験



閉止補助材

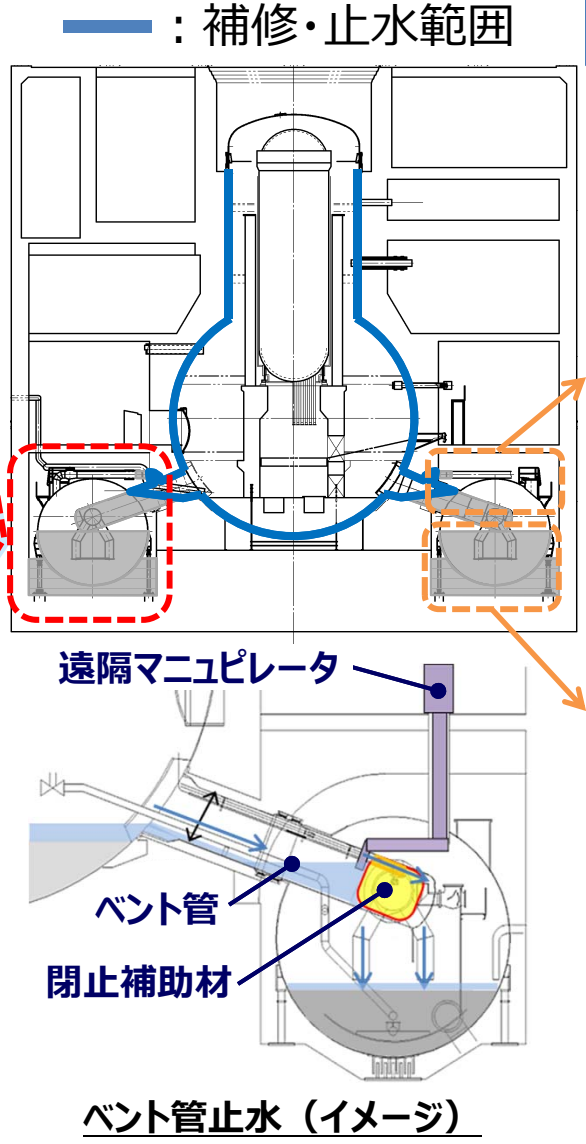
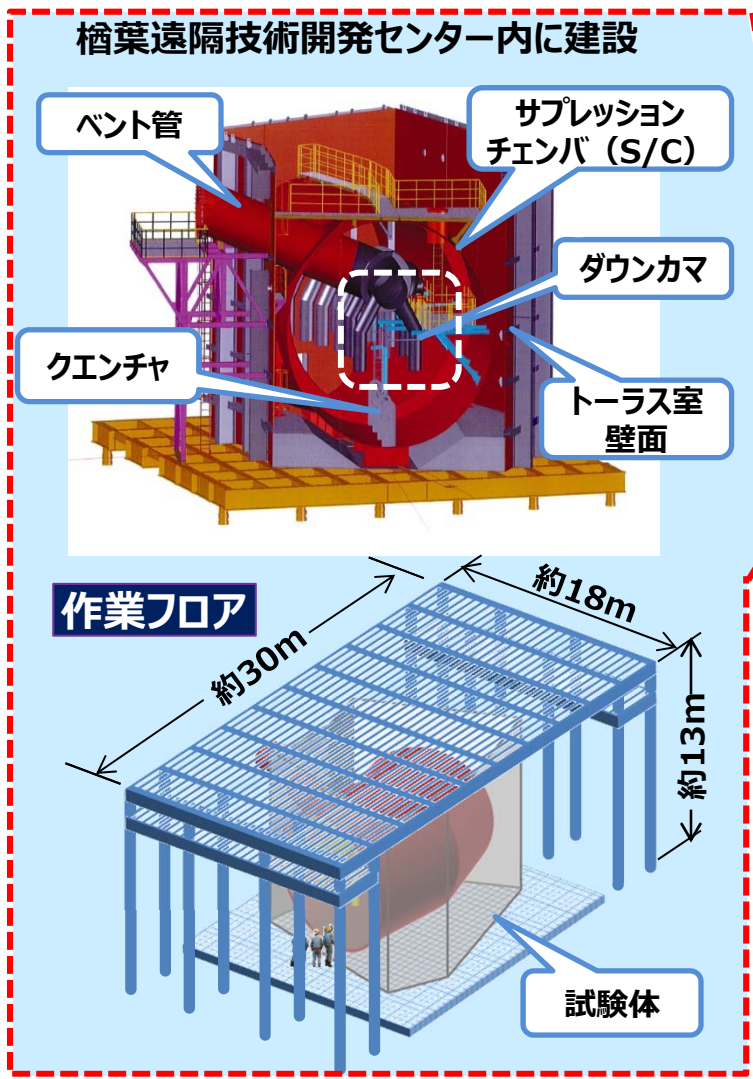
1 / 1スケール試験体で閉止補  
助材の止水性能を確認（屋外）



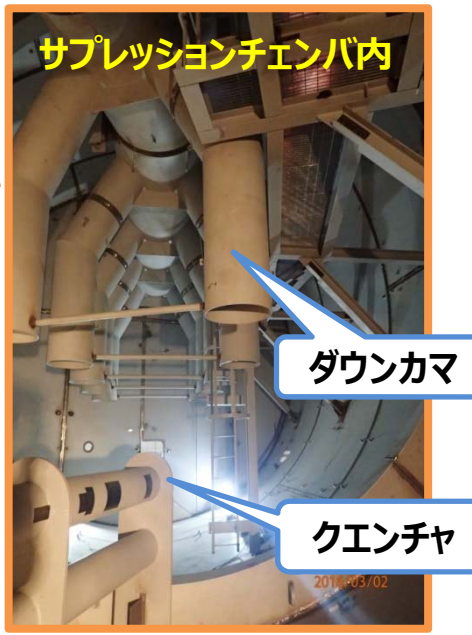
1/1スケール試験体

# PCV実規模試験

## 実規模試験体 (1/8セクター)



## 試験体内部状況



# 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

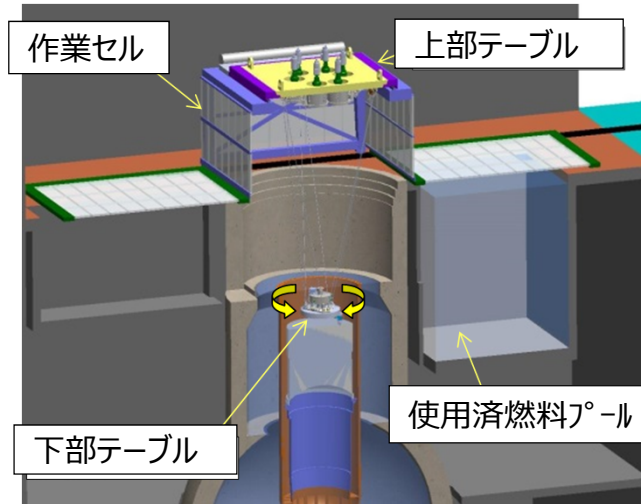
## 基盤技術の開発



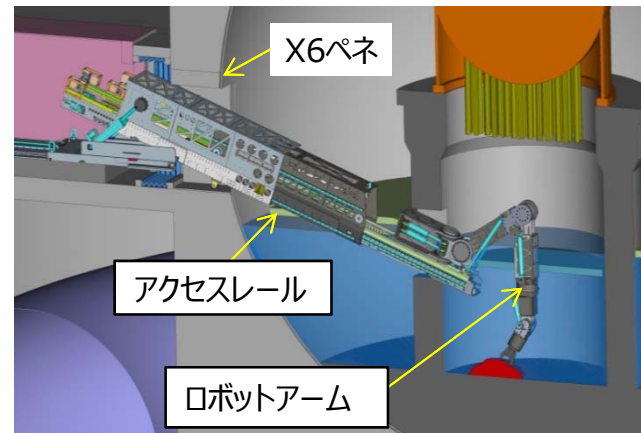
ロボットアーム



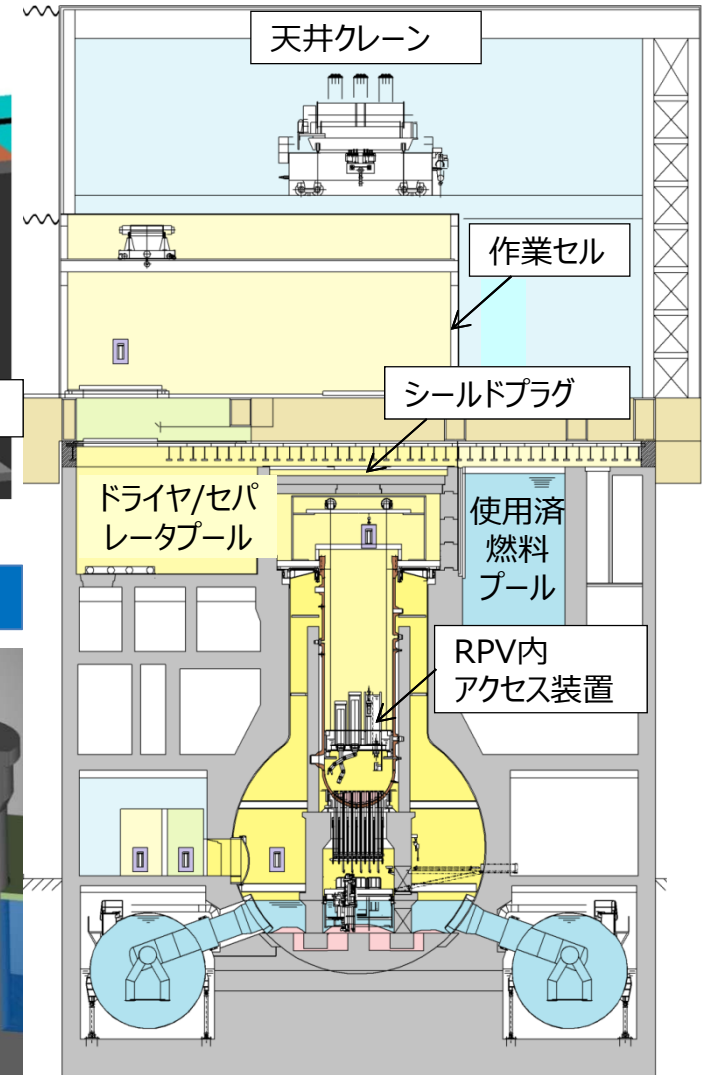
## 冠水-上アクセス工法（概念）



## 横アクセス工法（概念）

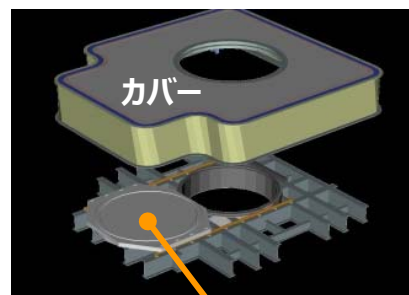
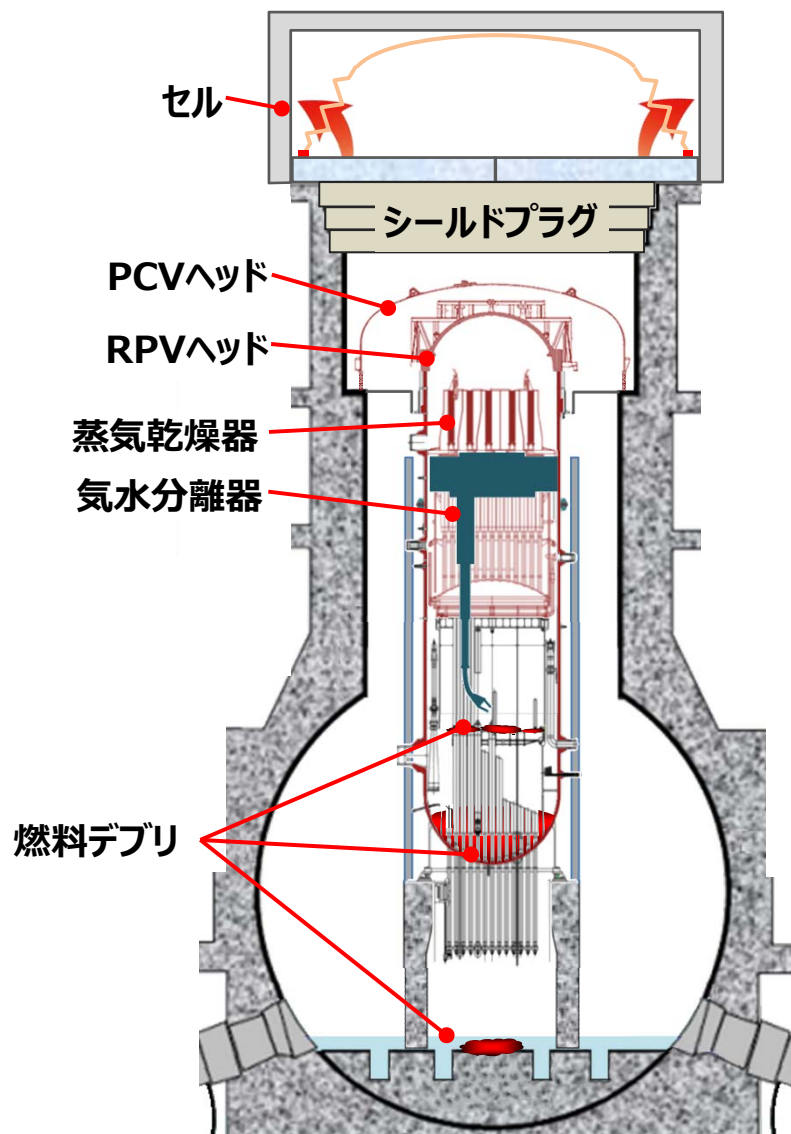


## 気中-上アクセス工法（概念）

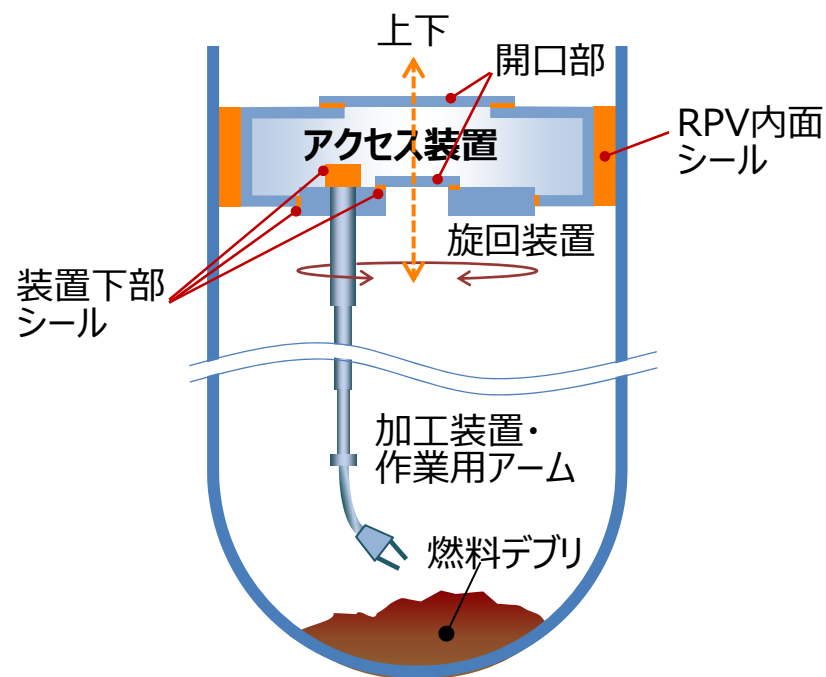




# 気中-上アクセス工法による燃料デブリ取り出し（イメージ）



## RPV内アクセス装置（イメージ）



# 収納・移送・保管技術

除染

デブリ調査

PCV補修

デブリ取出

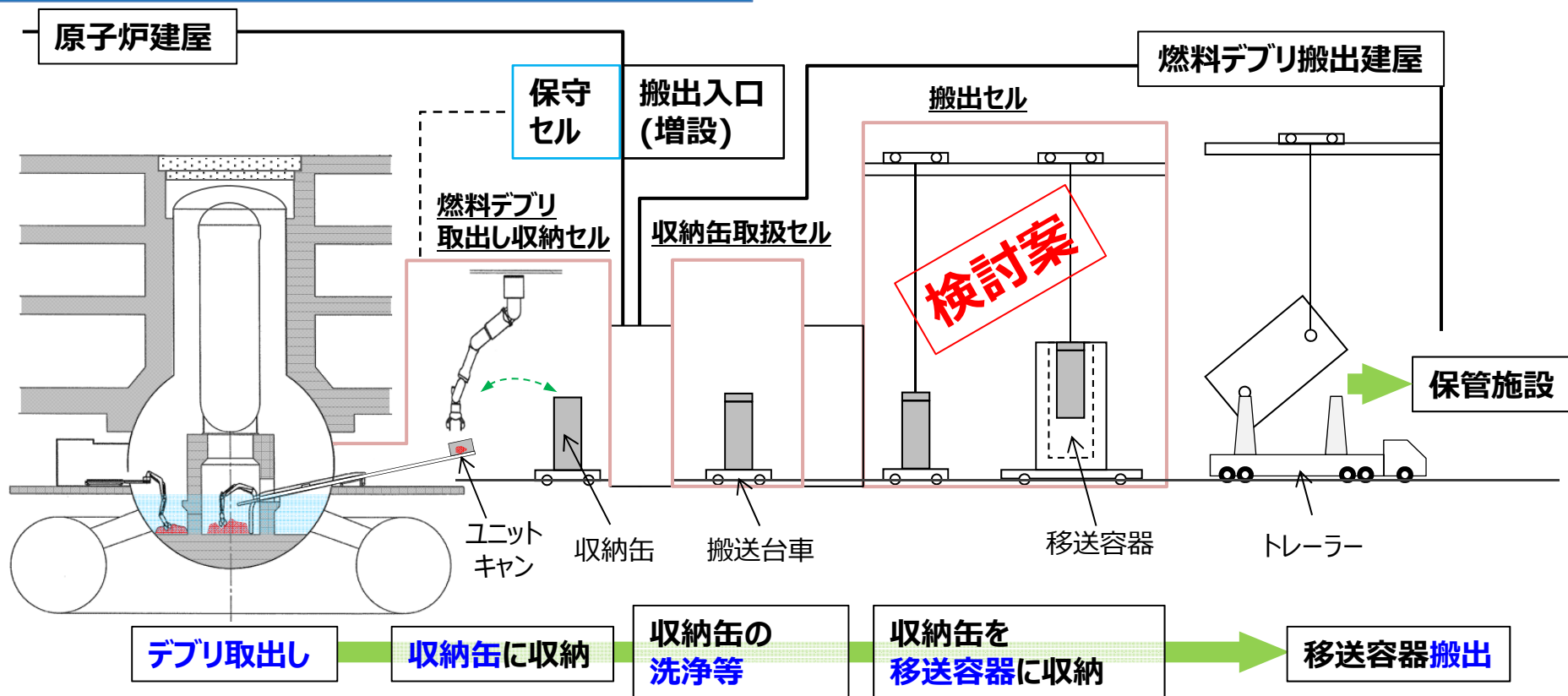
収納・移送・保管

## 収納缶の設計

⇒1F固有の課題に対処

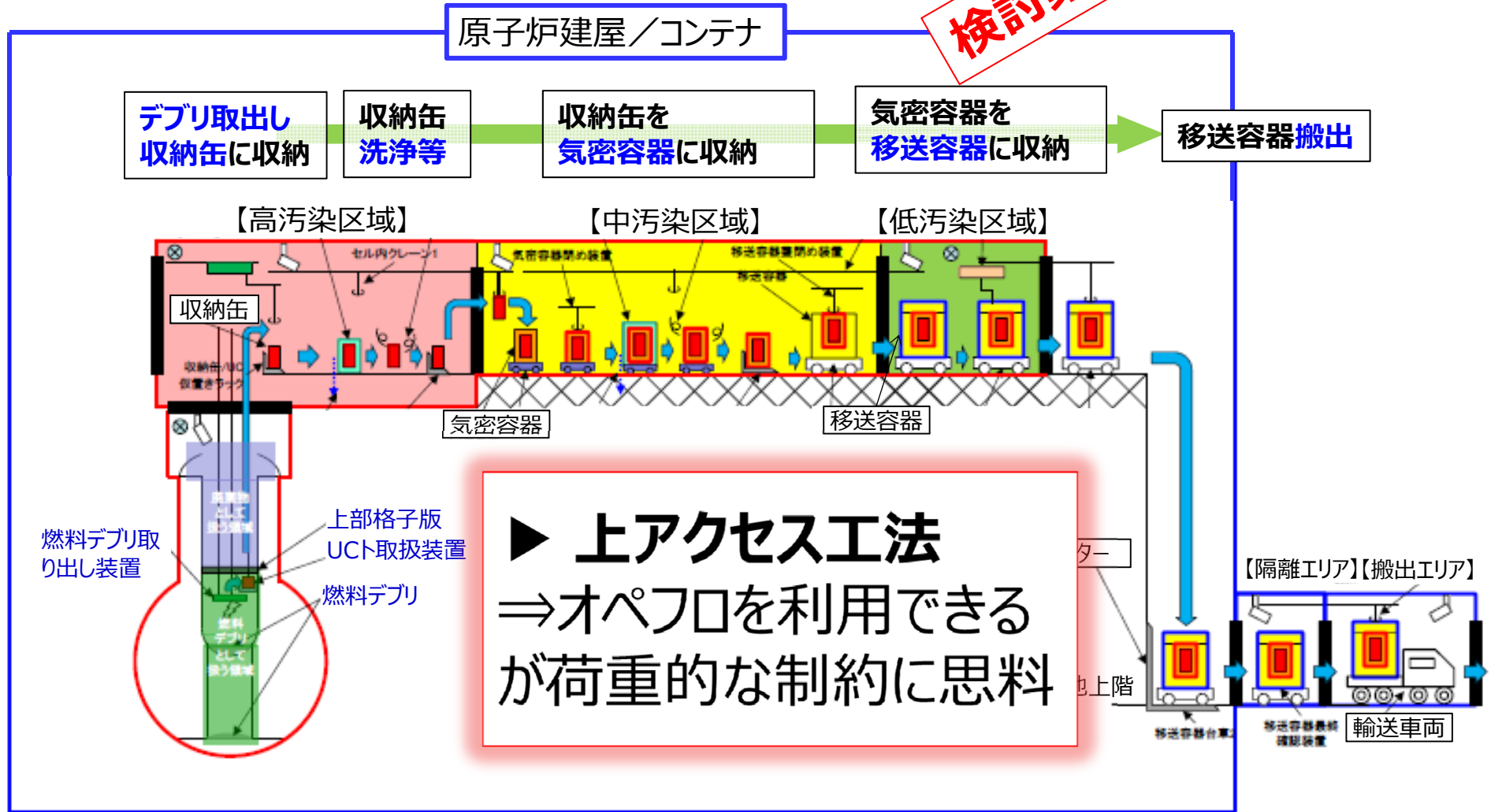
- 燃焼度と濃縮度が高い→**反応度高**
- コンクリートとの溶融生成物→コンクリート中の水分の放射線分解による**水素発生**
- 海水注入、計装ケーブル他との溶融→**塩分**の影響、**不純物**の混入

## 移送方法（気中-横アクセス工法の場合）



## 移送方法（上アクセス工法の場合）

検討案



## 研究開発まとめ ～IRIDが目指すところ～

- ▶ 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。

### 3. 大学との連携

# 大学との連携事例 1 ～遠隔除染技術の開発～

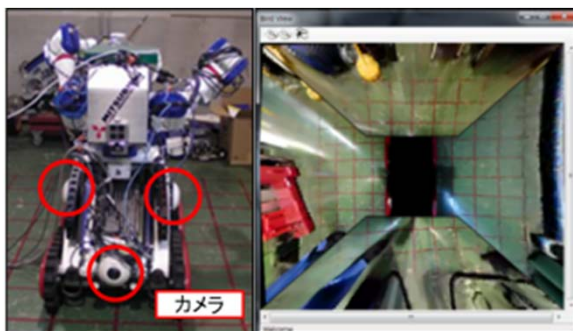
## 技術的課題

- カメラの情報のみでは**周囲の状況を把握しにくく**、ロボットの操作がしにくい。
- 多関節マニピュレータを狭い場所で動かすことは、**操作が複雑**で難しい。

採用済

### 周辺把握 1 【東京大 山下研究室】

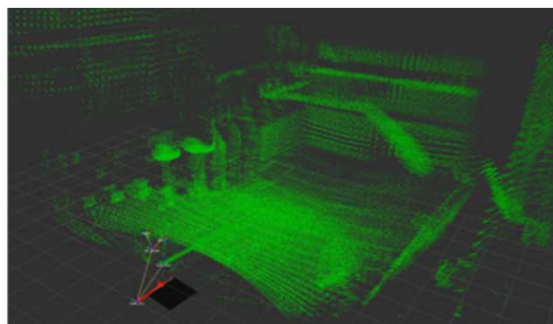
- 複数のカメラ画像を補正した**疑似俯瞰画像**表示技術



MEISTeRの疑似俯瞰画像

### 周辺把握 2 【筑波大 坪内研究室】

- カメラやレーザセンサによる**3Dマッピング**表示技術

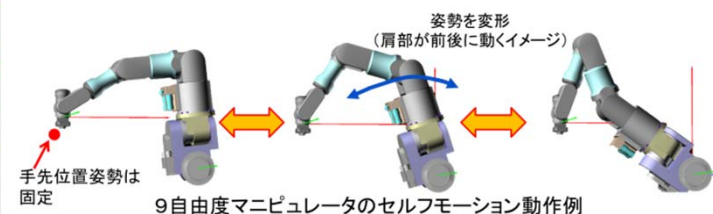


3Dマッピング画像

### 操作性向上 【神戸大 横小路研究室】

- 多自由度マニピレータの**セルフモーション\***技術

\* : マニピレータの手先とベースを固定した状態で全体の形を変化させる動作



セルフエモーション動作

検討中

## 大阪大学との連携

**コマツみらい建機協働研究所**  
【吉灘研究室】  
建設機械を遠隔で自在にコントロールするためのシステムについて研究

**複合メカニクス部門 機械動力学領域**  
【石川研究室】  
力学系理論・制御理論を基に、外部環境との間に働く拘束力がいかに物体を移動させるかについて研究

**知能機械学部門 動的システム制御学領域**  
【大須賀研究室】  
「ダイナミクス」と「制御」の本質を基に、動的システムの新たな設計原理を構築について研究

## ロボットアーム開発

- 液圧マニピュレータ、ロボットアームの位置制御性の向上(位置決め精度向上)

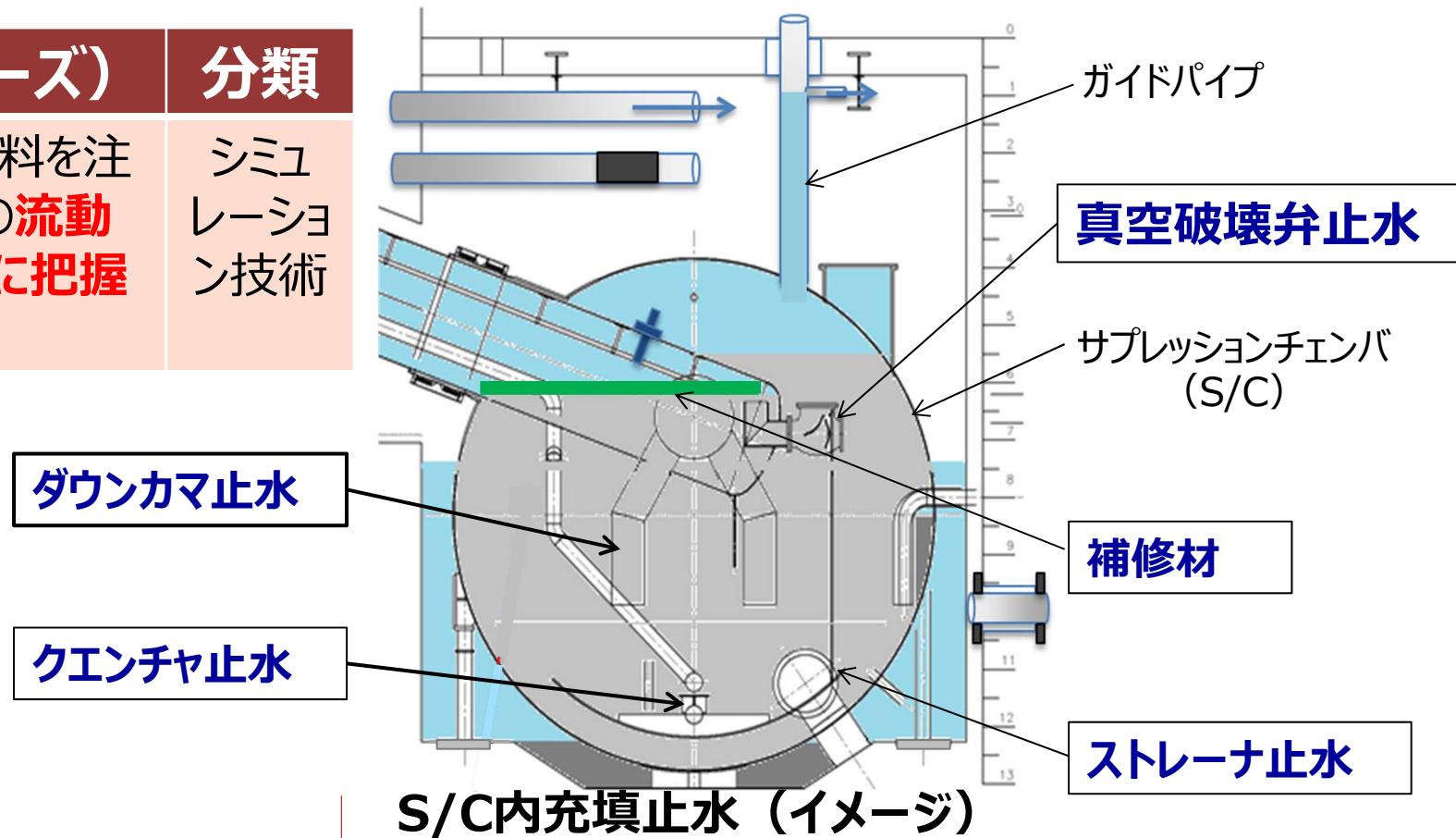


# 大学に対するIRIDニーズ～補修・止水の例～

## 技術的課題

- S/C内充填止水（ダウンカマ止水、クエンチャ止水、ストレーナ止水、真空破壊弁止水）の**実規模試験は何度もできない。**

課題（ニーズ）	分類
セメント系材料を注入した場合の <b>流動挙動を事前に把握したい。</b>	シミュレーション技術





## 4. みなさんに期待すること

# IRIDシンポジウム2016 (概要)

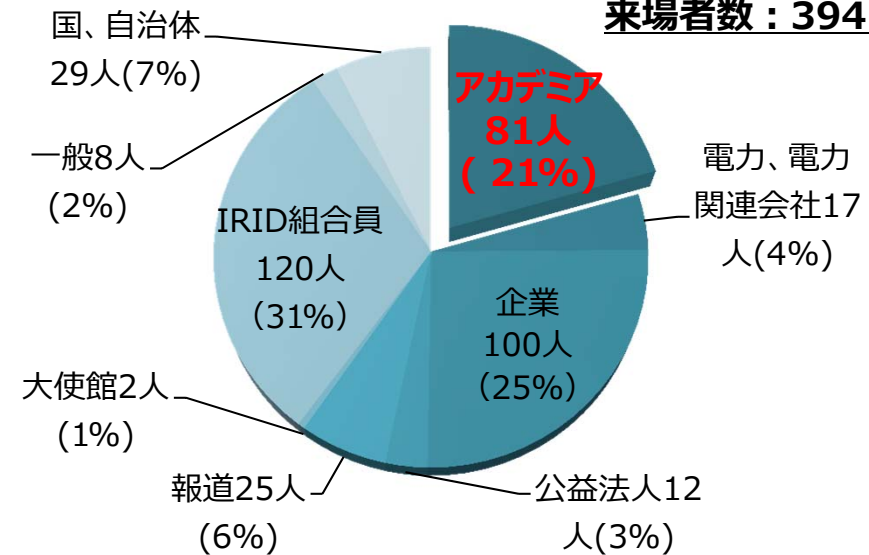
## 【実施日】

- 施設見学：8月3日  
(福島第一、楡葉遠隔技術開発センター)
- シンポジウム：8月4日

## 【シンポジウム開催場所】

- 東京大学 武田ホール

来場者数：394(人)



## プログラム

### 第1部

10:00~10:05	<b>開会挨拶</b> IRID 理事長 舘田 裕史
10:05~10:10	<b>来賓挨拶</b> 経済産業省 資源エネルギー庁 原子力事故災害対処審議官 平井 裕秀
10:10~10:40	<b>特別講演</b> 東京電力ホールディングス株式会社 常務執行役 増田尚宏
10:40~11:10	<b>報告「IRIDが取り組む研究開発の概要」</b> IRID 開発計画部長 桑原浩久
11:10~12:00	<b>講演「ロボットが担う廃炉技術～研究に励むみなさんに期待すること～」</b> IRID 副理事長 新井民夫(芝浦工業大学教育イノベーション推進センター教授) <small>(敬称略)</small>
12:00~13:30	昼食・休憩

### 第2部

#### 廃炉コミュニケーション・ステージ 各研究開発担当者

パネル、映像、ロボット展示などにより、研究開発を行っているエンジニアがみなさまのからのご質問にお答えします。

#### 展示内容

- |             |  |
|-------------|--|
| 13:30~16:00 | <b>パネル展示</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● IRID研究開発プロジェクトの最新情報</li> <li>● 大学等で原子力、廃炉の研究に取り組む学生たちの成果発表</li> <li>● 廃炉に取り組む企業の紹介 など</li> </ul> |
|             | <b>ロボット展示・デモ</b> <p>福島第一で活躍したロボット、現在開発中のロボット など</p>  |



16:00~16:10 閉会

# 施設見学会/シンポジウムの様子

## 【施設見学会（8月3日）】

### 福島第一見学



巡回バス内から見学



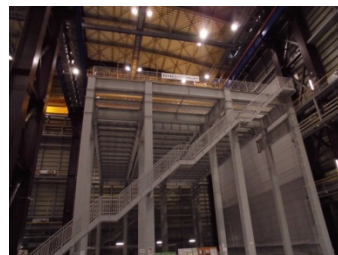
汚染水タンク

### 楢葉遠隔技術開発センター見学

PCV実規模試験体



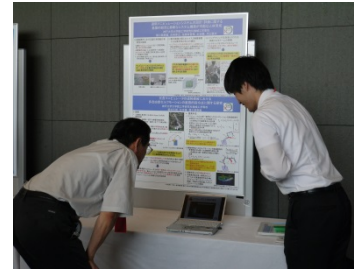
試験棟内集合写真



実規模試験作業床

## 【シンポジウム（8月4日）】

### アカデミアパネル展示



大学・学会(9枚)



高専・高専機構(3枚)

### ロボット展示・デモ



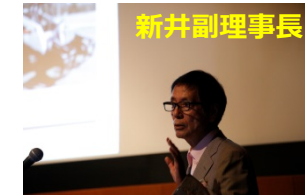
サソロボット



筋肉ロボット



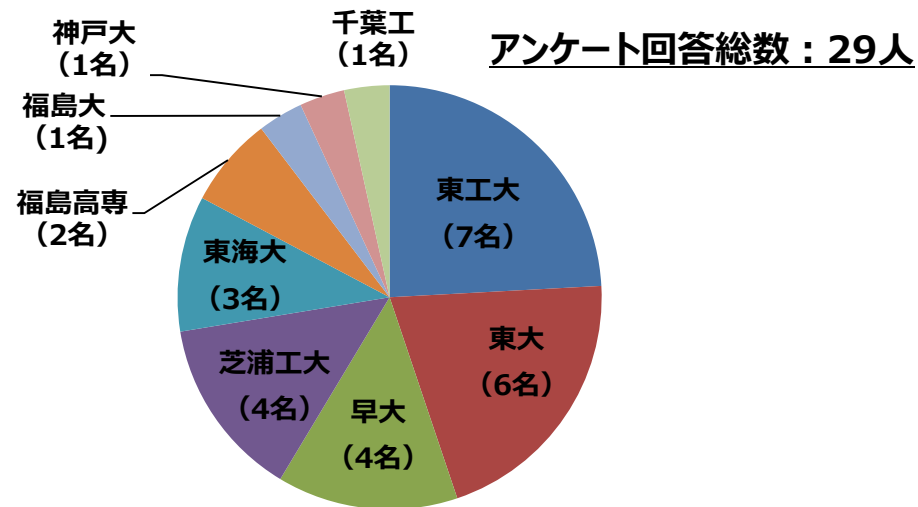
東京電力HD特別講演



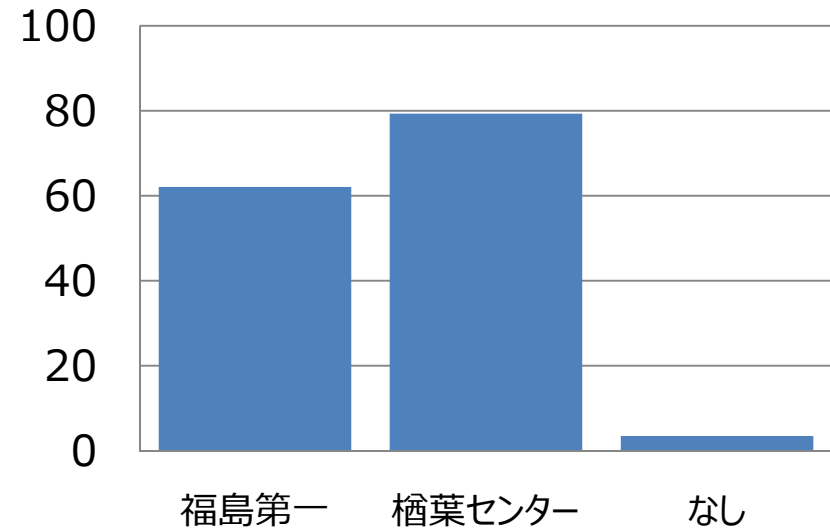
IRID講演

# アンケート結果（8月3日施設見学会）

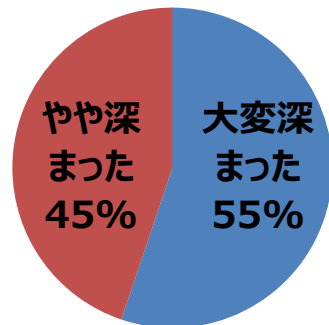
【見学先】福島第一、楢葉遠隔技術開発センター  
 【参加者】大学生29名



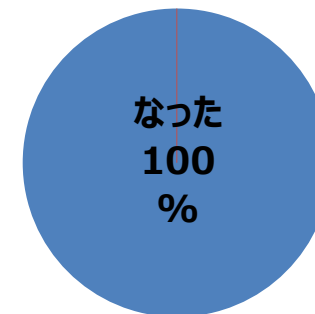
Q.興味を持った施設はどこですか。



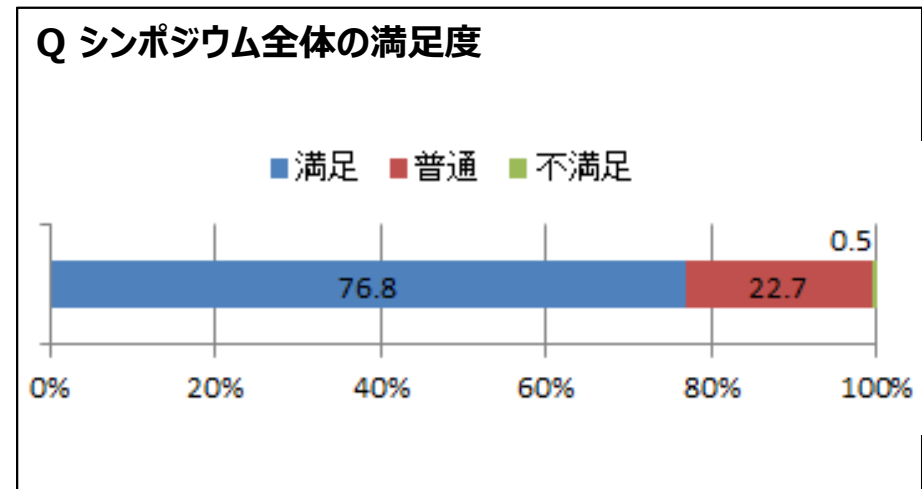
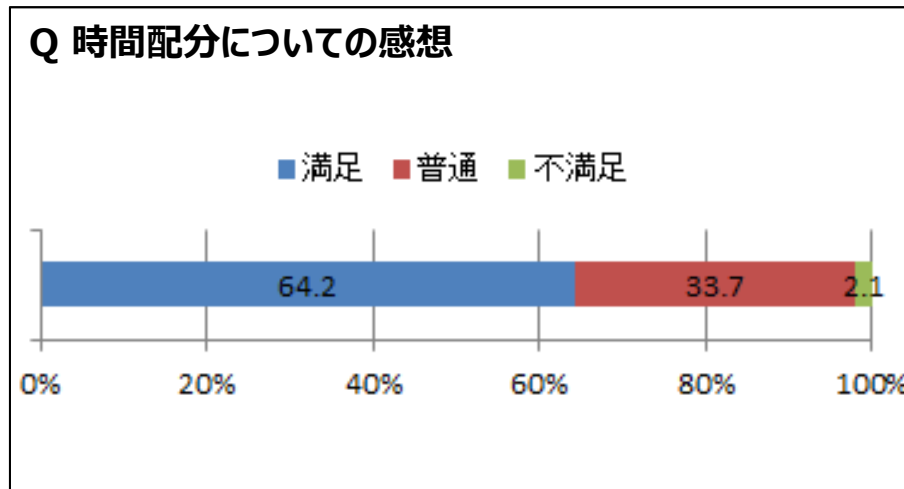
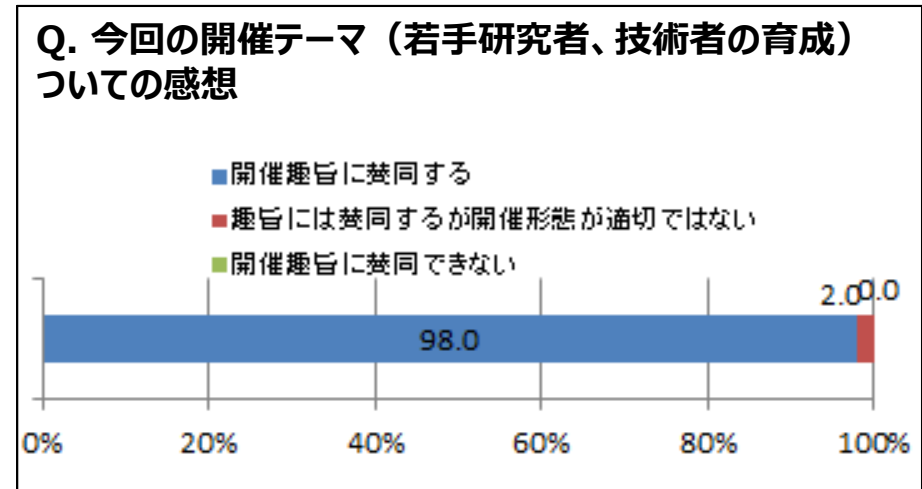
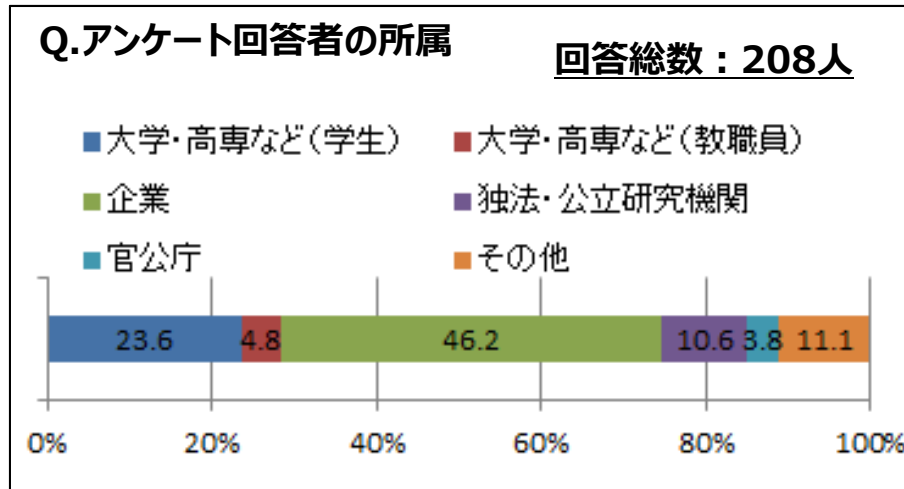
Q.廃炉について理解や興味が深まりましたか。



Q.今後のためになりましたか。



# アンケート結果（8月4日シンポジウム1/2）



## 1F廃炉の将来の担い手は？

- ▶ 廃炉は世代をまたいだ長期事業
- ▶ 現役技術者⇒次世代技術者へのたすきリレー



**学生の皆さん、**  
**廃炉の未来・解決に向けて、**  
**共に力を合わせよう**

**ご清聴ありがとうございました。**