

# IRIDの研究開発の状況

平成30年8月2日

国際廃炉研究開発機構（IRID）

清浦英明

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

# 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<sup>ハ</sup>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

# 本日はご紹介する内容

---

- I 終了した主なプロジェクトの成果  
(至近1年程度)
  
- II 現在取組中の主な研究開発

---

# I 終了したプロジェクトの主な成果

---

# 目次

## 1. 格納容器補修技術

- サプレッションチェンバ脚部補強
- サプレッションチェンバ内充填止水

## 2. 内部調査技術

- テレスコピック(釣りざお)型

## 3. 燃料デブリ取出しに関連する技術

- 耐震評価技術

---

# 1. 格納容器補修技術

補強や止水などの**補修技術の実用化に一定の目途**

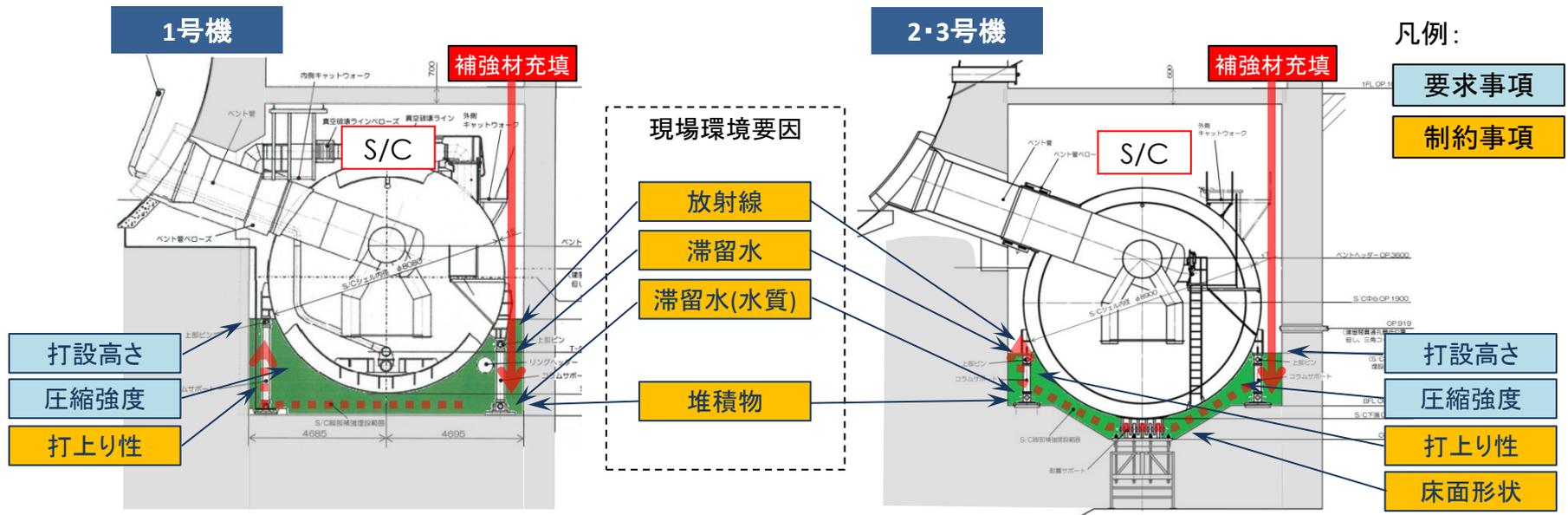
# サブプレッションチェンバ (S/C) 脚部補強

## ■ 目的

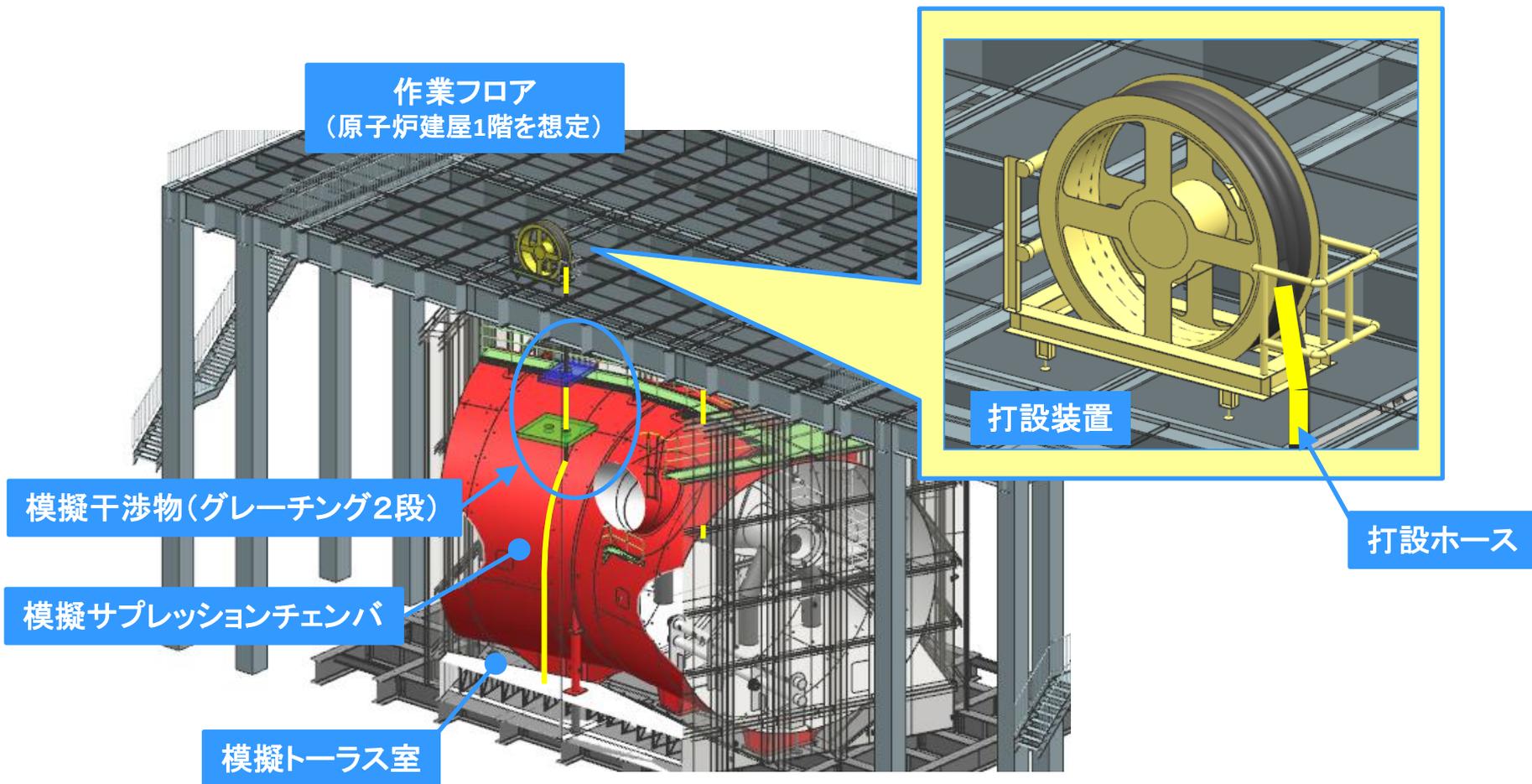
S/Cの耐震性を向上させるため、トラス室上階の床面から補強材（モルタル）を充填し、**S/C下部を埋設補強する工法の開発**

## ■ 開発状況

実規模試験を行い、**実機施工の実現性について見通しを得た。**



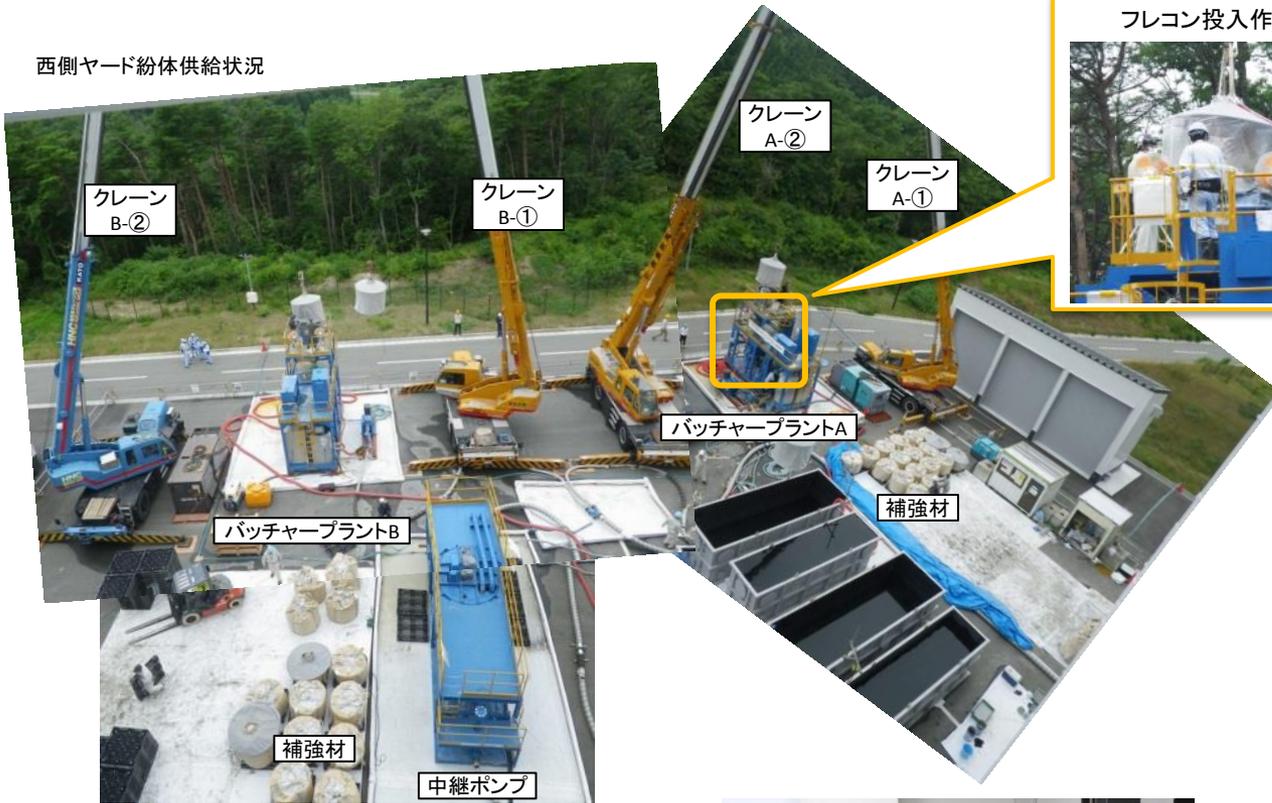
# S/C脚部補強の実規模試験イメージ



試験体概要(フルスケール1/8セクタ)(2号機模擬)  
(試験場所: JAEA 檜葉遠隔技術センター)

# S/C脚部補強の実規模試験の様子

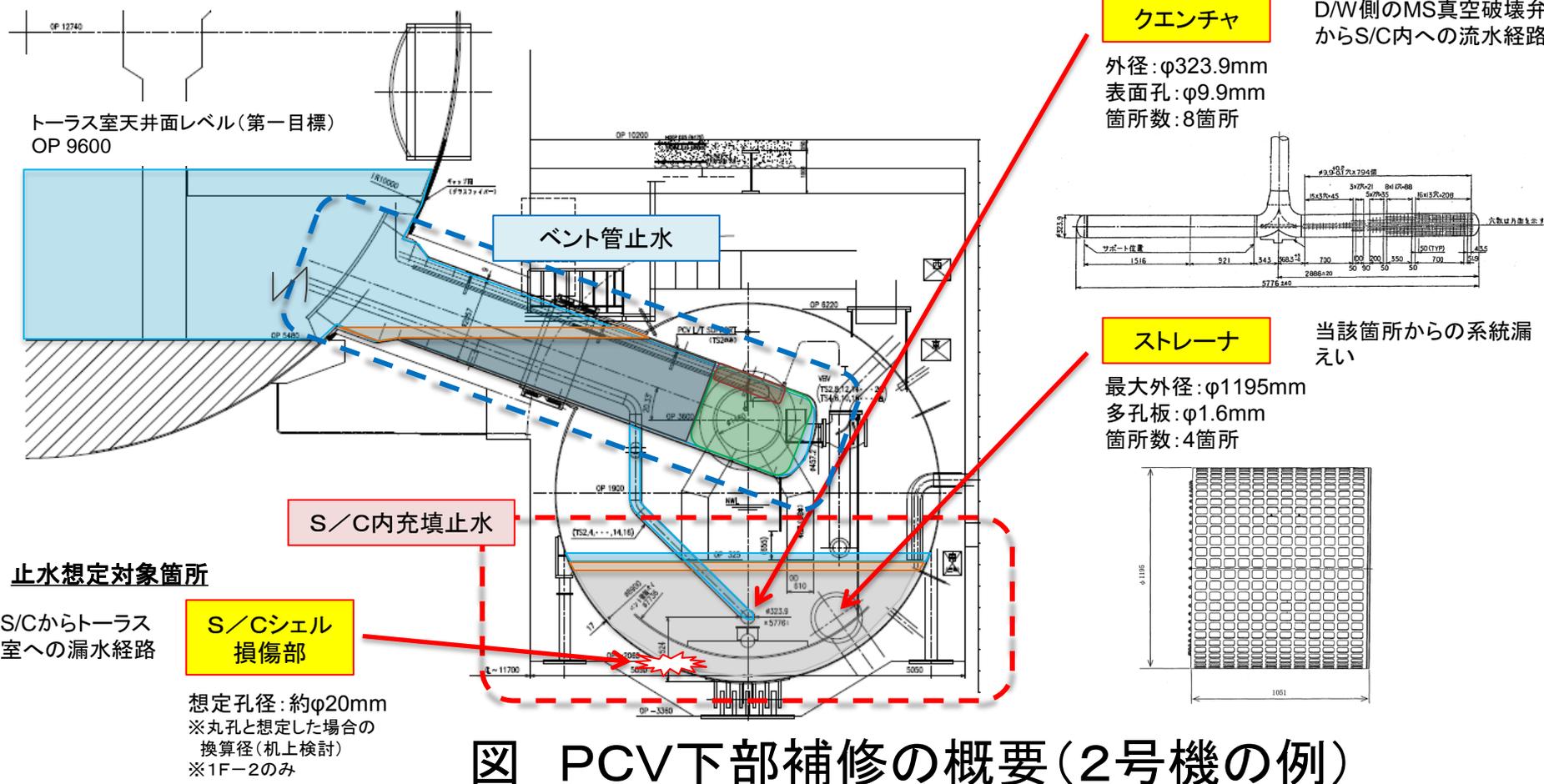
西側ヤード粉体供給状況



# S/C内充填止水

## ■ 目的

## S/Cへの流入経路・S/Cからの漏えい経路の止水工法の開発

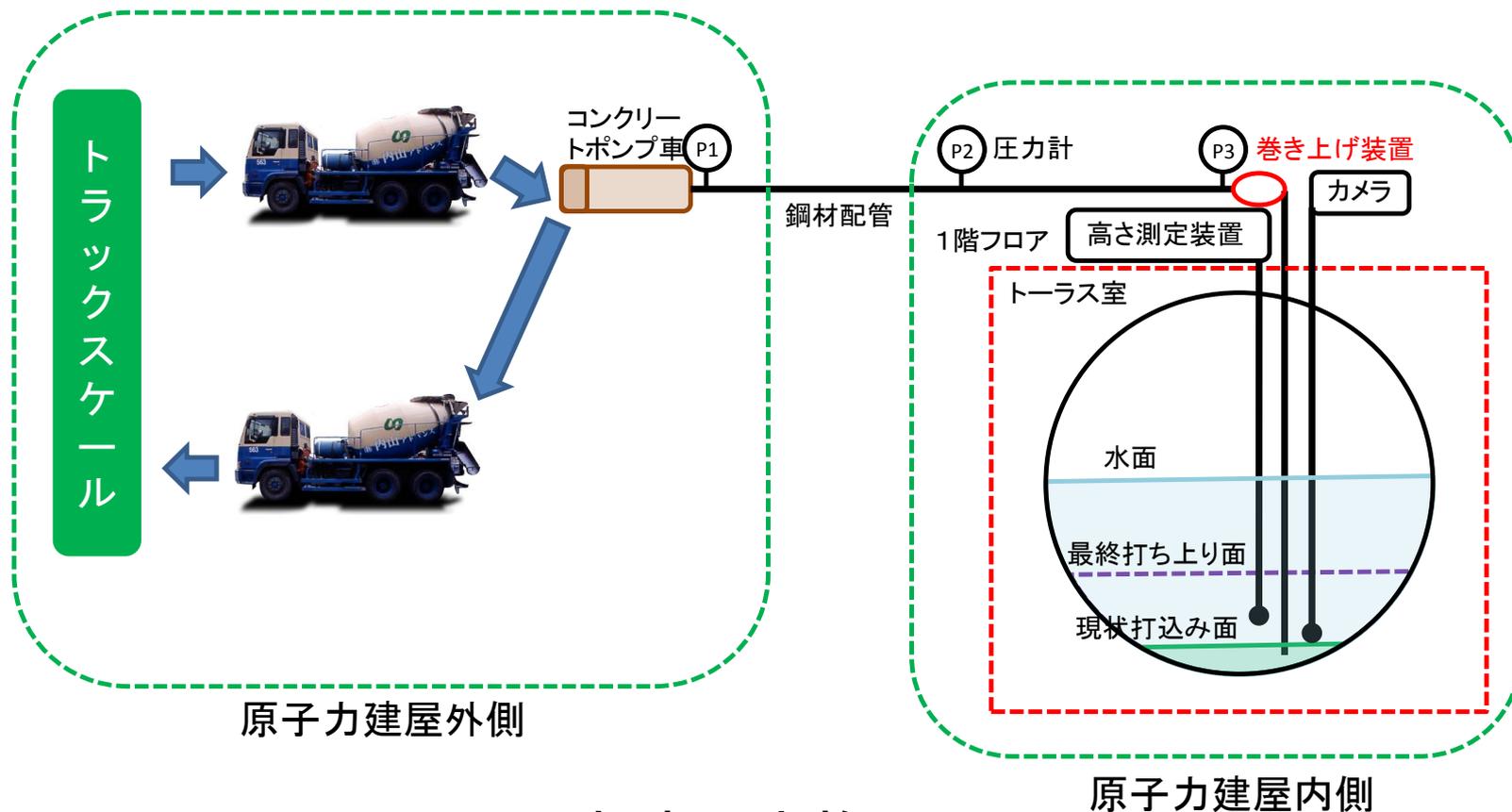


# S/C内充填止水

## ■ 開発状況

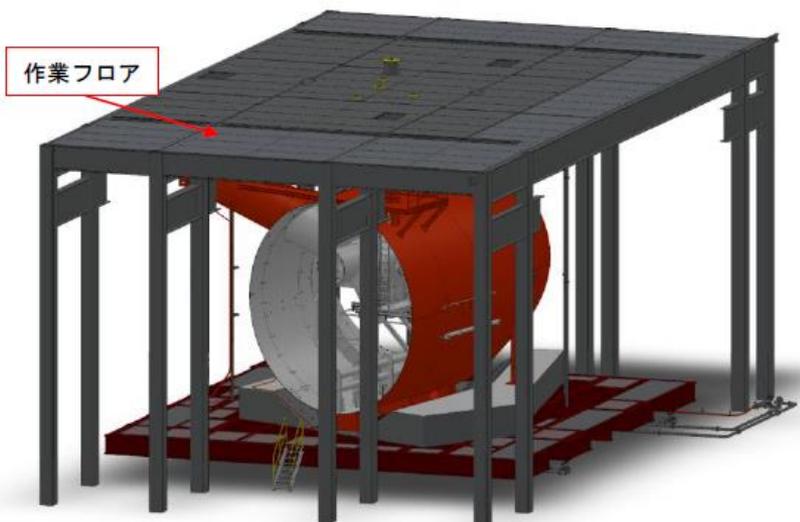
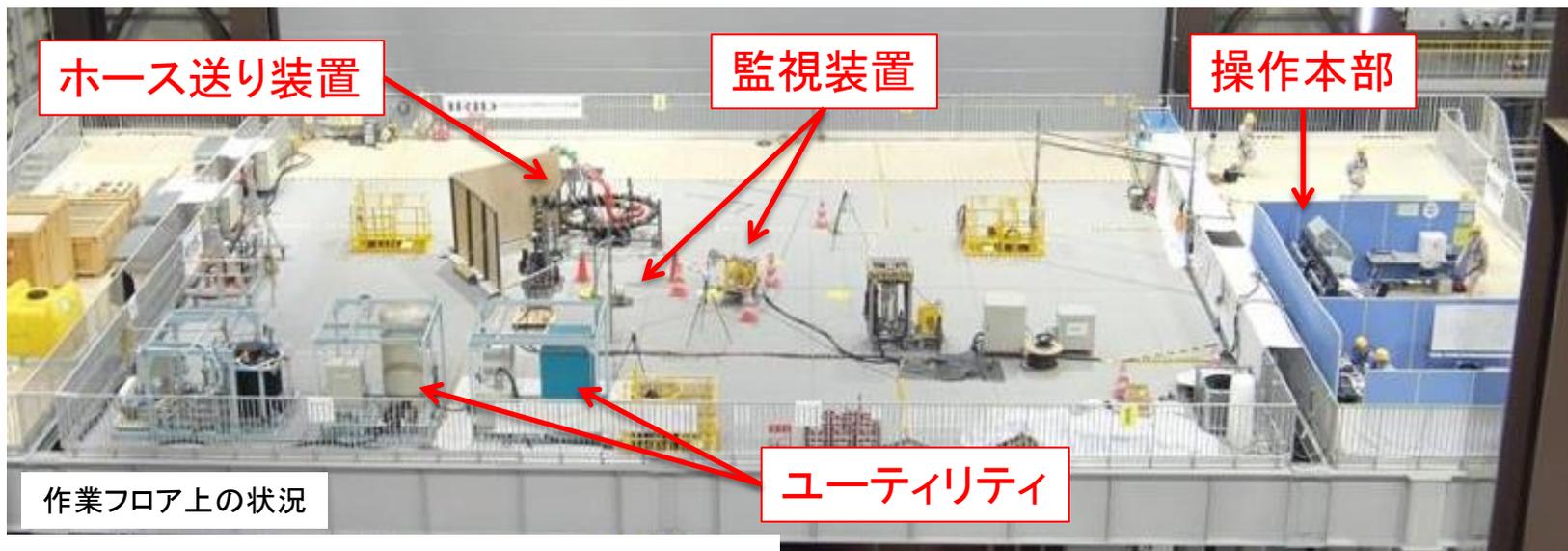
実規模試験を行い、**実機施工の実現性について見通しを得た。**

S/C内のコンクリート打込み状況図



## S/C内の充填止水施工システム

# S/C内充填止水の実規模試験の様子



試験体概要(フルスケール1/8セクタ)(2号機模擬)  
(試験場所: JAEA 檜葉遠隔技術センター)



コンクリートポンプ車とアジテータ車の配置状況

---

## 2. 内部調査技術

テレスコピック（釣りざお）型調査装置の**現地実証が成功、ペDESTAL内下部の画像を取得**

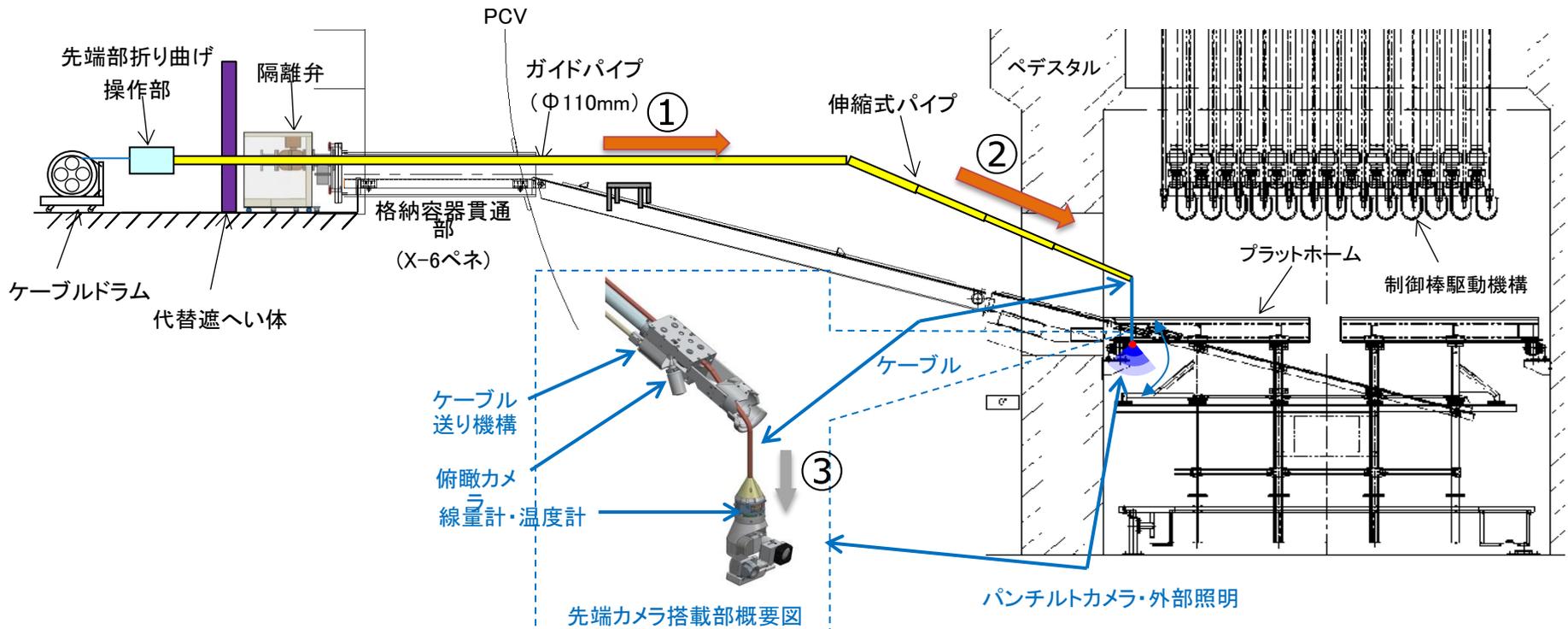
# 釣りざお型調査装置の実証試験（2号機調査ルート）

## ■調査内容

プラットフォーム下の状況確認

## ■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

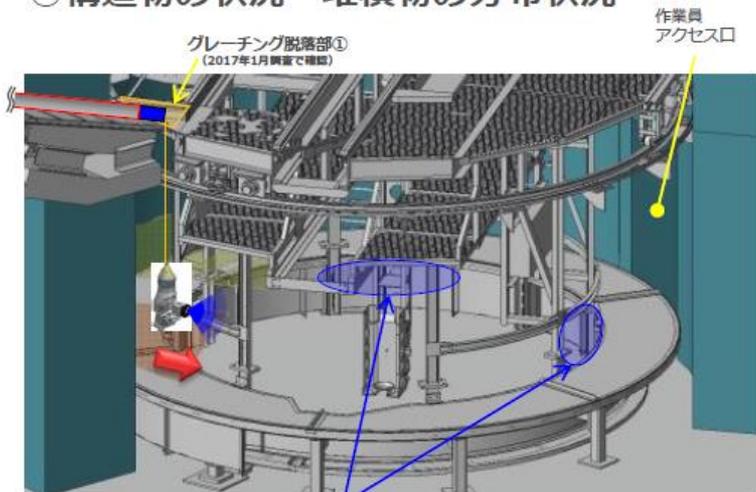


# 釣りざお型の実証試験で得られた画像例

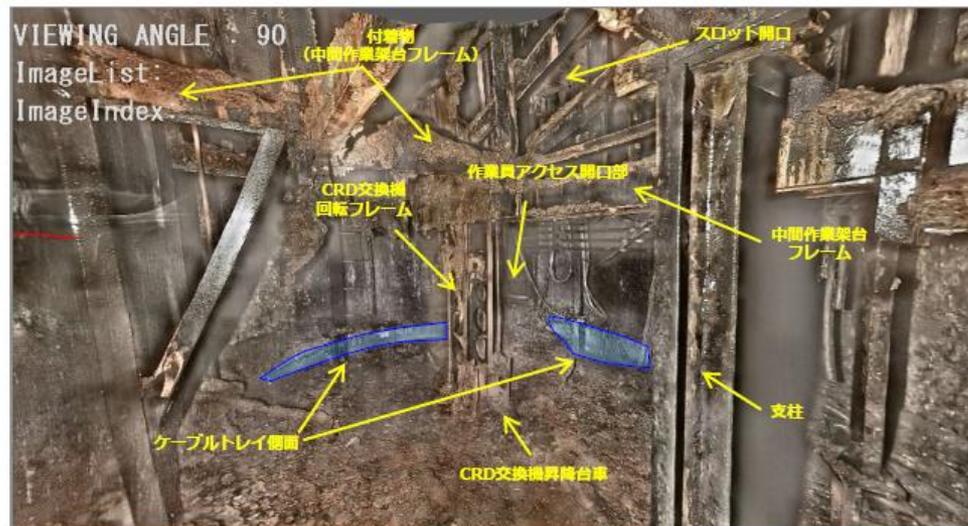
## 3. 調査結果 ④ペデスタル底部 (1 / 4)



### ○ 構造物の状況・堆積物の分布状況



ケーブルトレイ側面を確認した範囲 → カメラ方向



- ・ CRD交換機回転フレーム、中間作業架台フレーム、支柱、ケーブルトレイ等の構造物について、大きな変形や損傷が無いことを確認した。
- ・ 小石状・粘土状に見える堆積物がペデスタル底部全体に堆積していることを確認した。
- ・ 堆積物は熔融物が固化したもののように見える一方で、ケーブルトレイ(ステンレス鋼、厚さ4mm)の変形が確認されていないことから、ケーブルトレイの上に堆積し始めた際の堆積物温度が、ケーブルトレイに熱変形を生じさせる温度ではなかった可能性がある。



(参考) 2号機定検時  
※運転時には上記構造物はPCV内より撤去

「福島第一原子力発電所2号機原子炉格納容器内部調査結果について(2018年4月26日 廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議(第53回)報告資料)」より抜粋

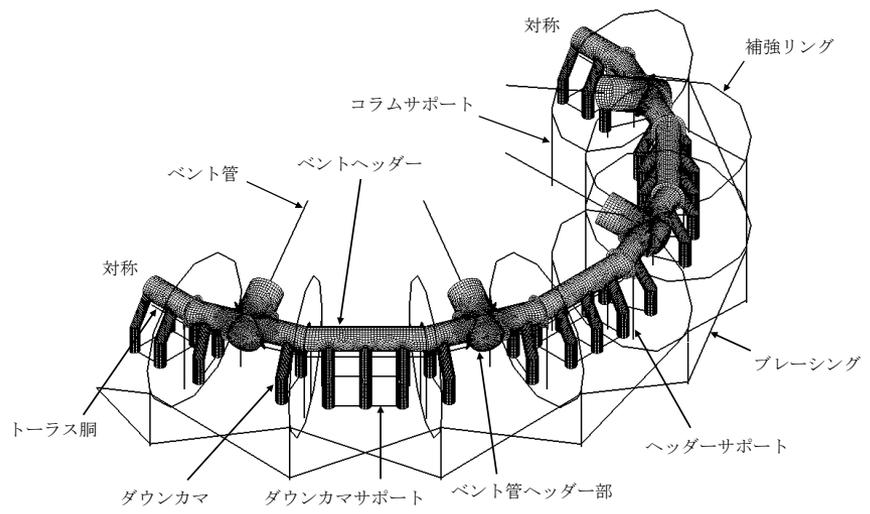
---

### 3. 燃料デブリ取り出しに関連する技術

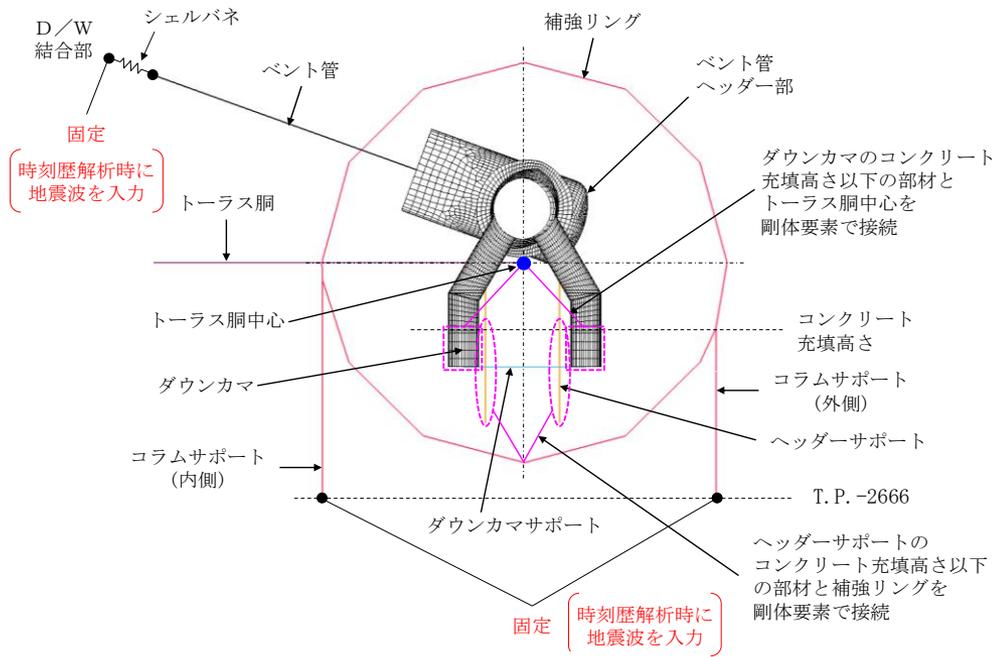
燃料デブリ取り出しに際して**重要な構造物の耐震性評価技術を確立**

# サプレッションチェンバ系の耐震性評価手法の例

## ■ サプレッションチェンバなどについて、弾塑性解析による評価手法を構築



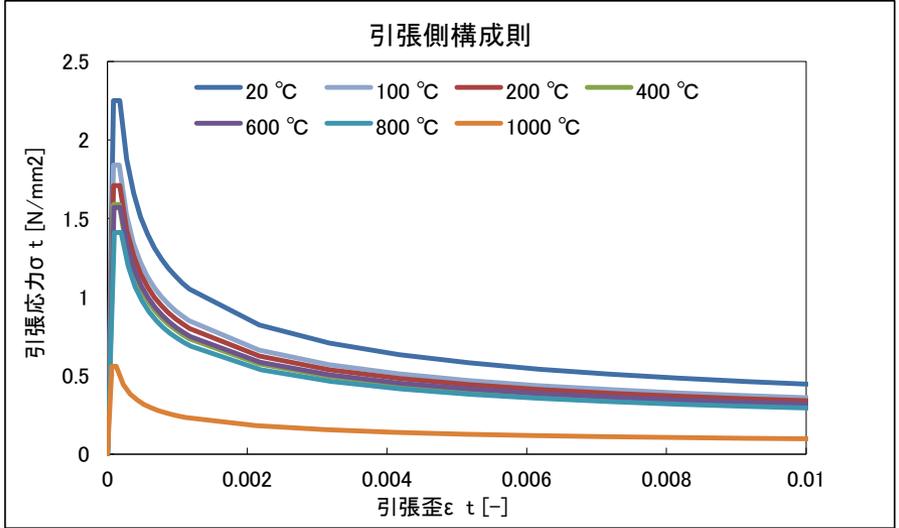
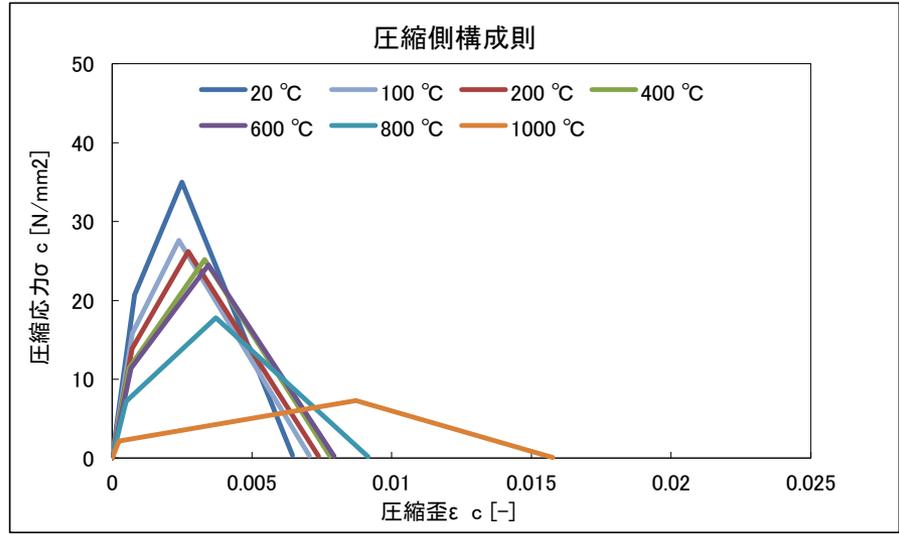
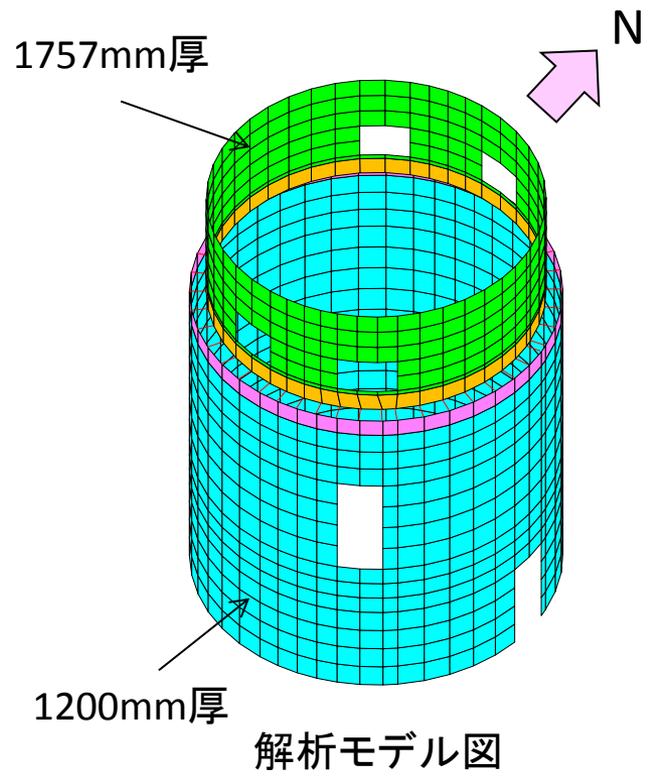
ベント系+S/C系の解析モデル



詳細図 (断面)

# 原子炉本体基礎の耐震性評価手法の例

■ 鉄筋コンクリート製の原子炉本体基礎について、実験等に基づき、**事故時の高温影響を考慮した解析手法を確立**



コンクリートの応力ひずみ関係

---

## Ⅱ 現在取組中の主な研究開発

---

# 目次

## 1. 調査技術

- 格納容器内アクセス装置
- デブリ検知技術
- 形状計測技術
- 圧力容器内部調査工法

## 2. 燃料デブリ取出し技術

- 工法実現に向けた開発
- デブリ取出しを支える技術

# 1. 調査技術

- **格納容器内アクセス装置**
  - ✓ アーム型
  - ✓ ボート型
  - ✓ アクセスルート構築技術
- **デブリ検知技術**
  - ✓ CdTe半導体検出器＋B10検出器
- **形状計測技術**
  - ✓ 走査型超音波距離計
  - ✓ レーザ光切断法
- **圧力容器内部調査工法**
  - ✓ 側面穴開け調査工法

# 格納容器内アクセス装置

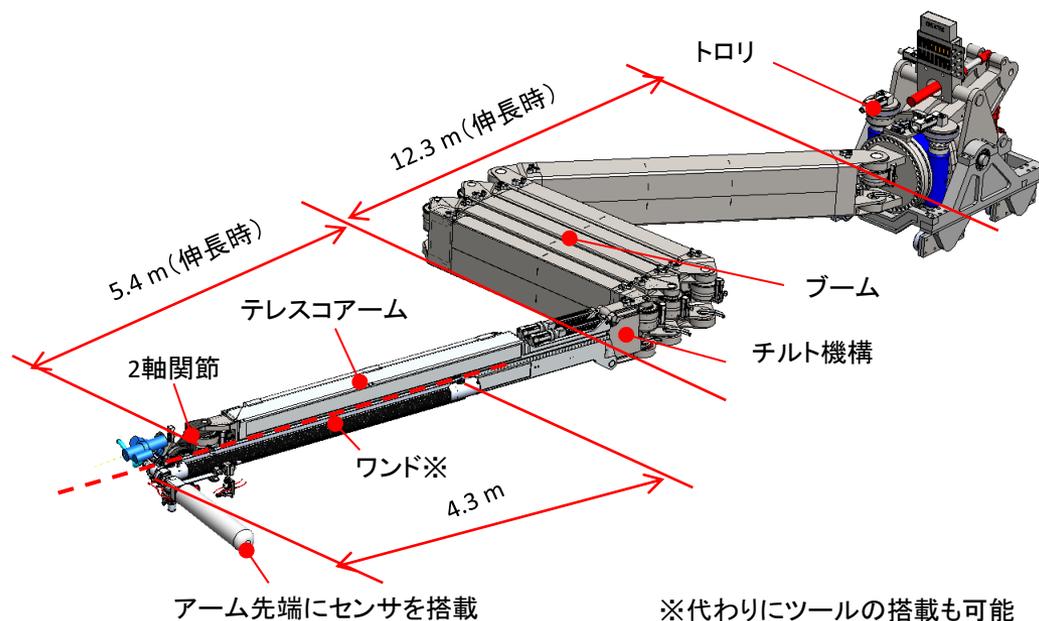
---

- 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**

# 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

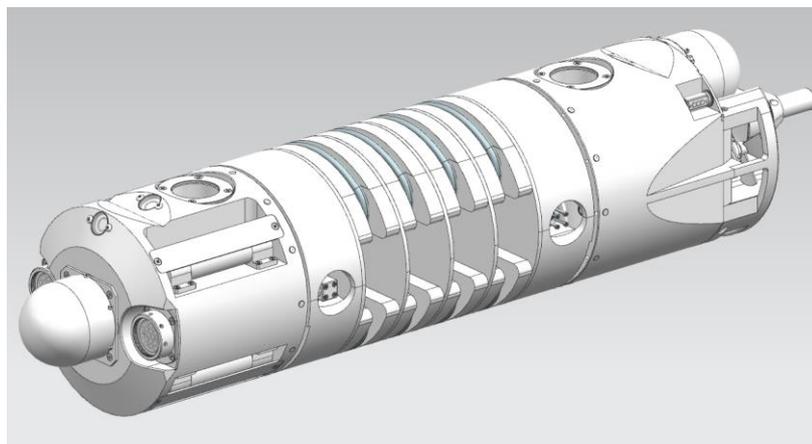
- アーム全長約22 m
- 10 kgまでの調査装置を搭載可能



## アーム型アクセス装置

# ボート型アクセス装置

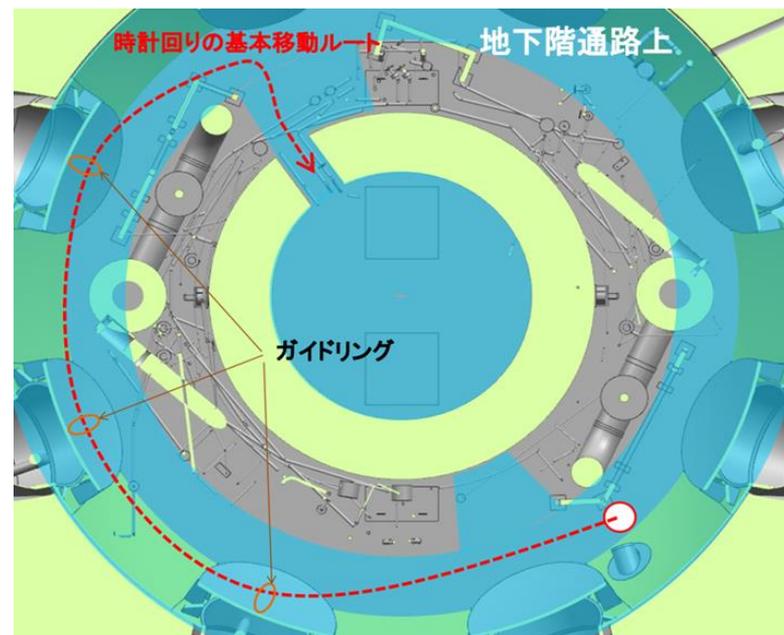
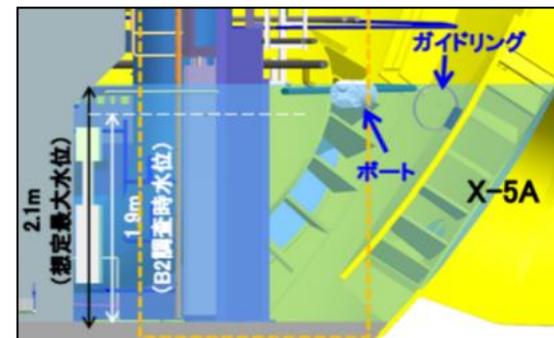
- 格納容器内の水の上を航行して、広範囲に移動可能なボート型アクセス装置を製作中



ガイドリング取付用の例

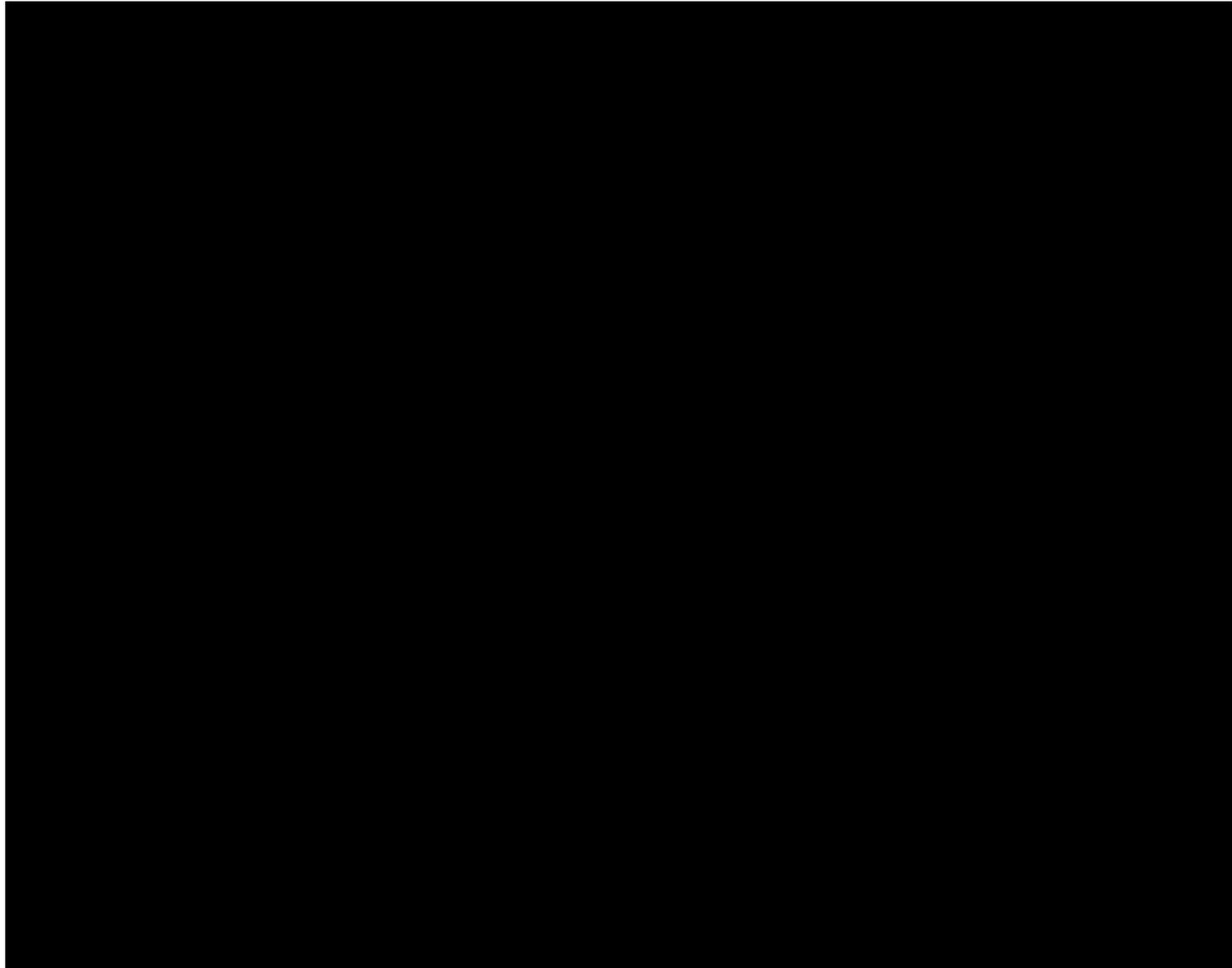
- 直径:  $\phi 25\text{cm}$
- 長さ: 約1.1m
- 推力: 25N以上

## 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

# ボート型アクセス装置 単体試験の様子



# アクセスルート構築技術

---

これまでの内部調査よりも大型のアクセス装置を格納容器内に投入するためのアクセスルートを構築する技術を開発中

- アーム型アクセス装置のアクセスルート構築技術（**格納容器貫通部ハッチ開放**）

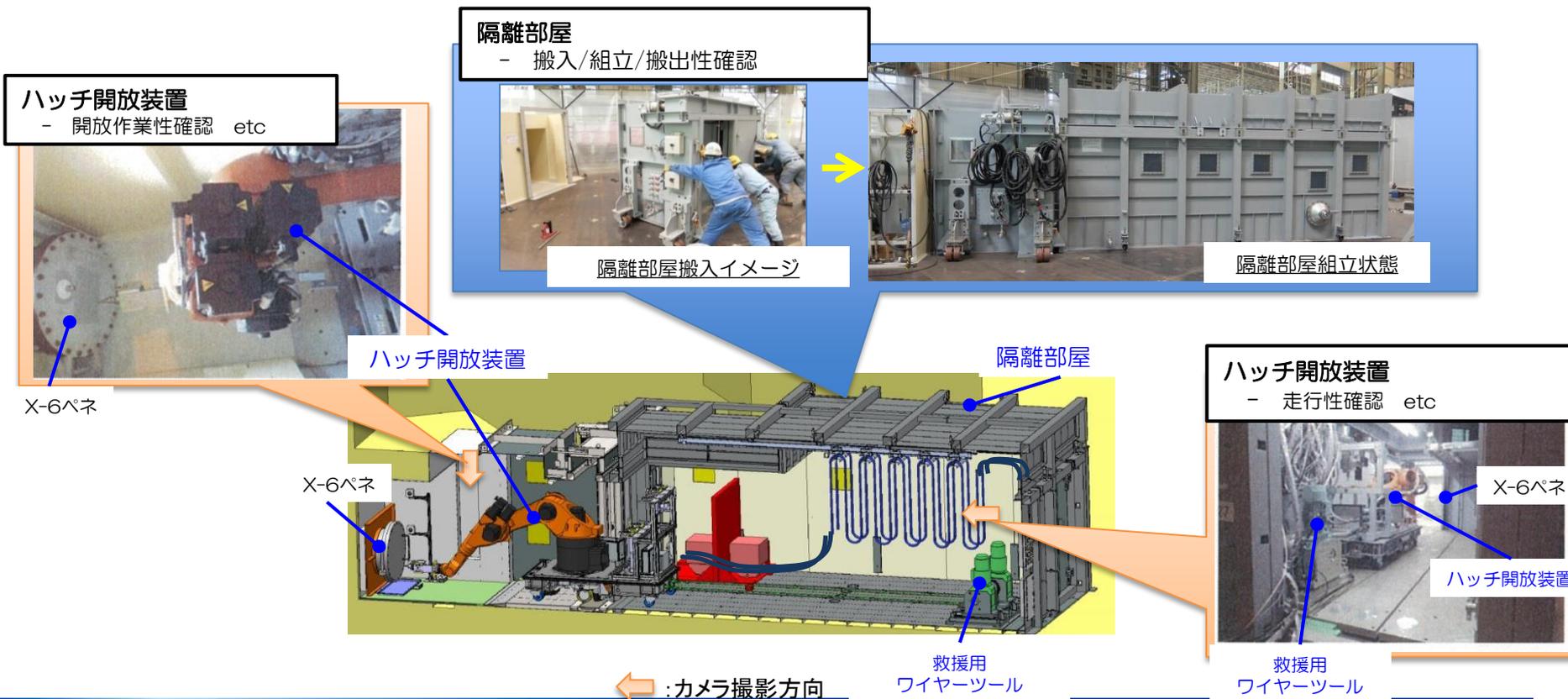
# 格納容器貫通部ハッチ開放

## ■ 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

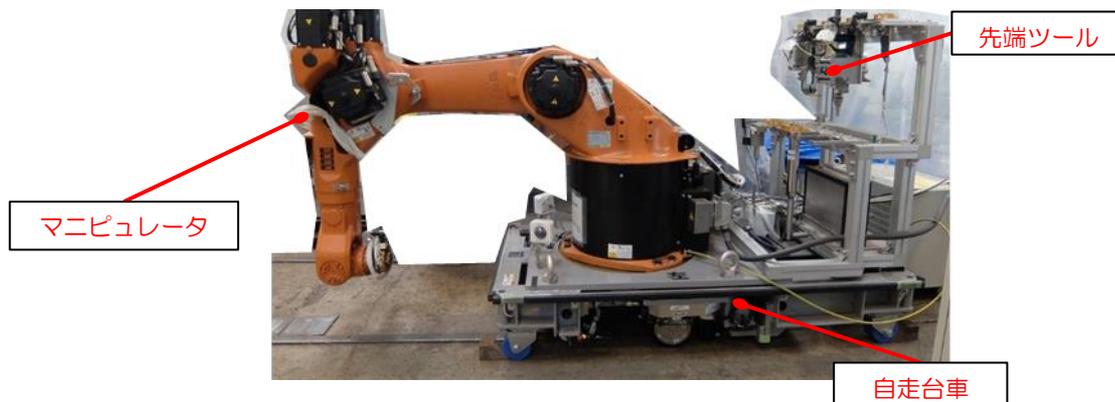
✓ ハッチ開放時の閉じ込め機能

✓ 遠隔でのハッチ開放

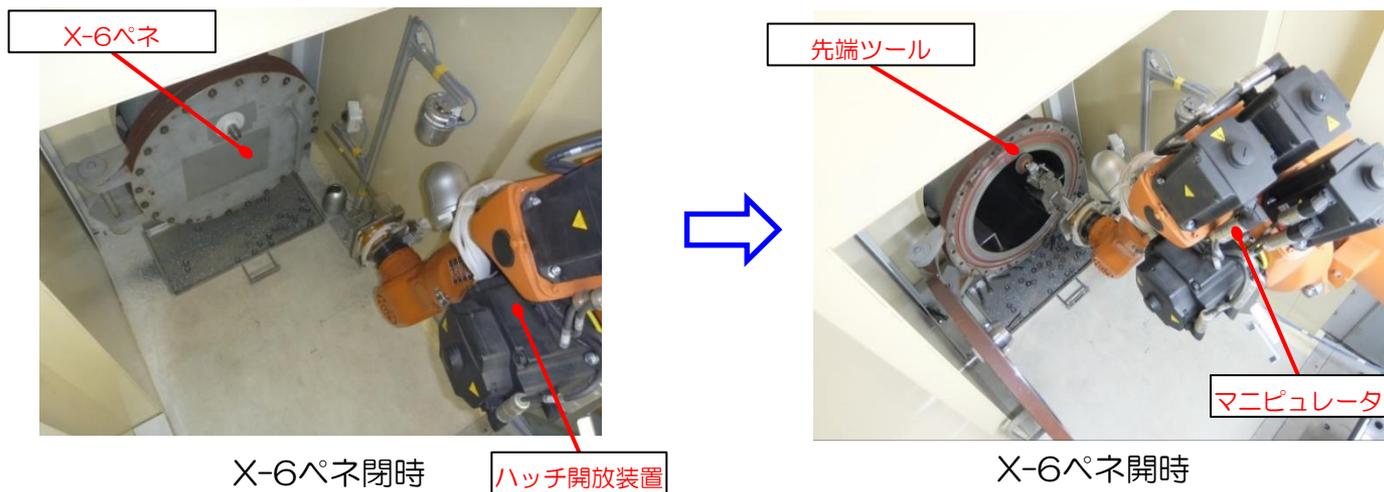


# ハッチ開放装置

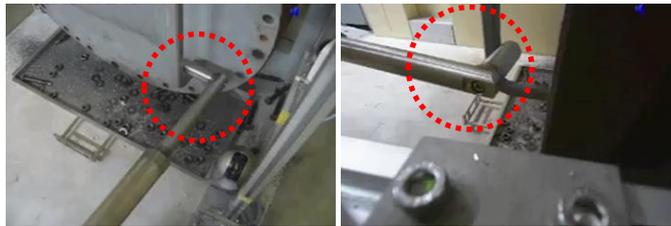
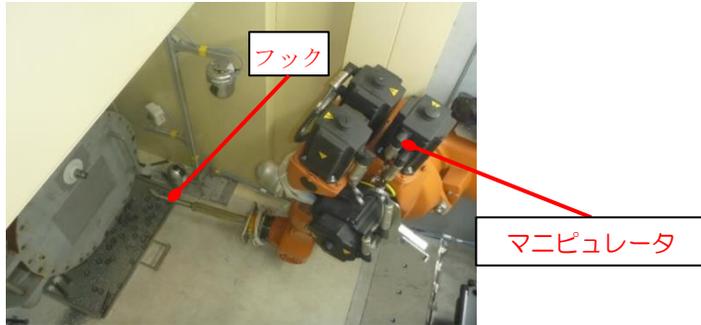
## ■ ハッチ開放装置の外観



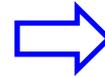
## ■ ハッチ開放装置 X-6ペネ開放前後の外観



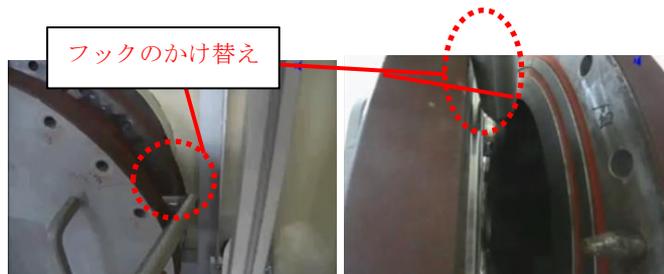
# ハッチ開放手順



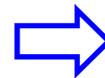
①フックを取手にかける



②フック先端でハッチ開放



③フックをハッチ裏面へかけ替え



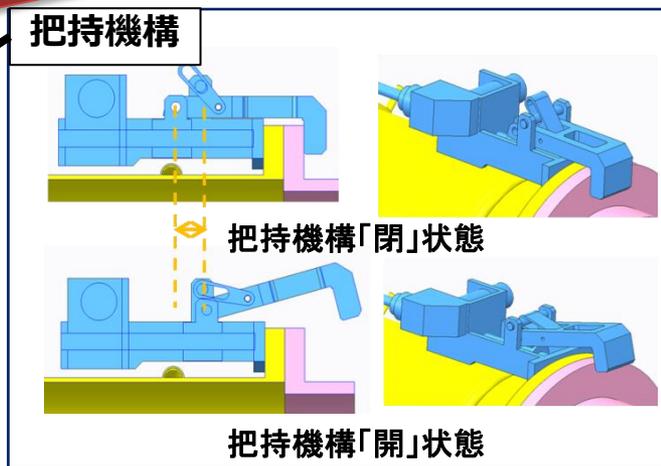
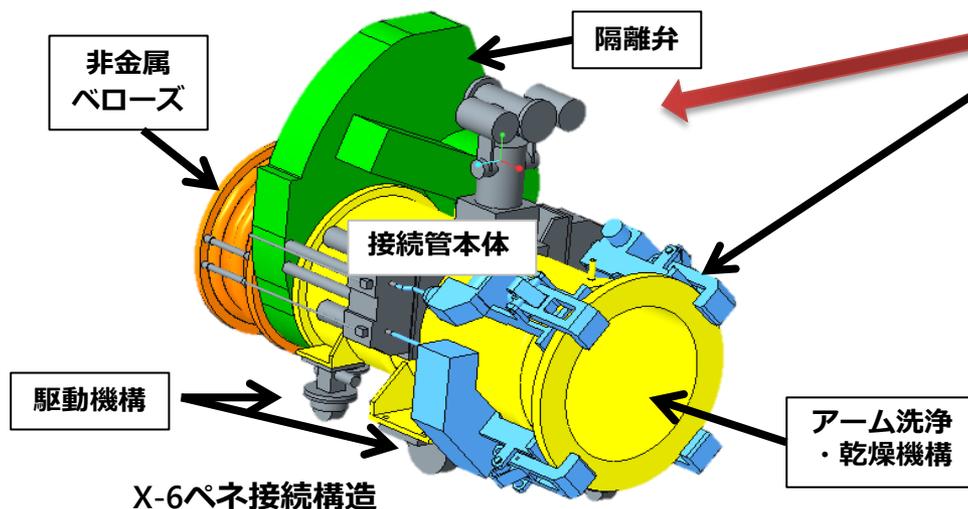
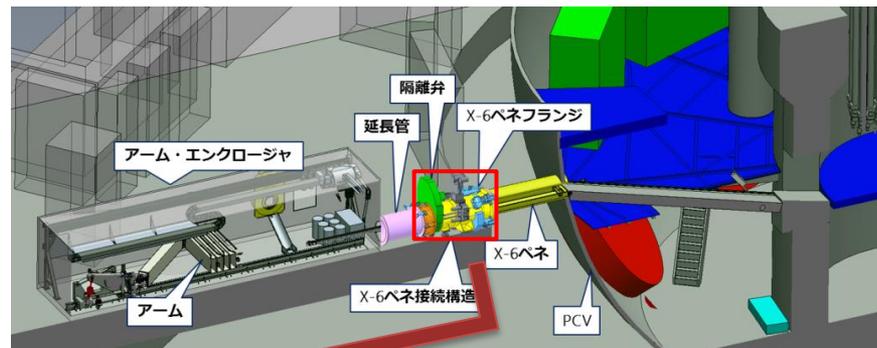
④ハッチ開放完了

# 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



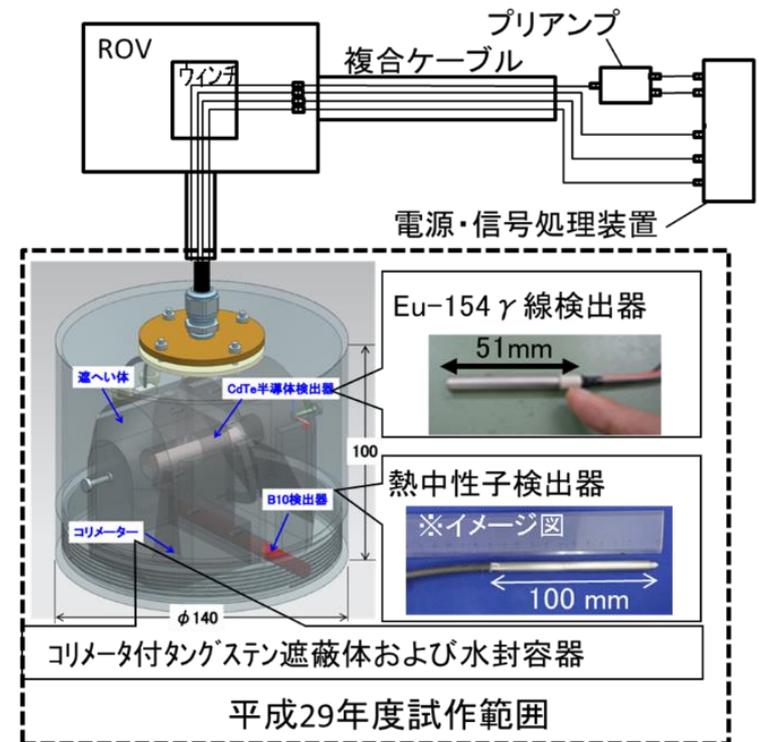
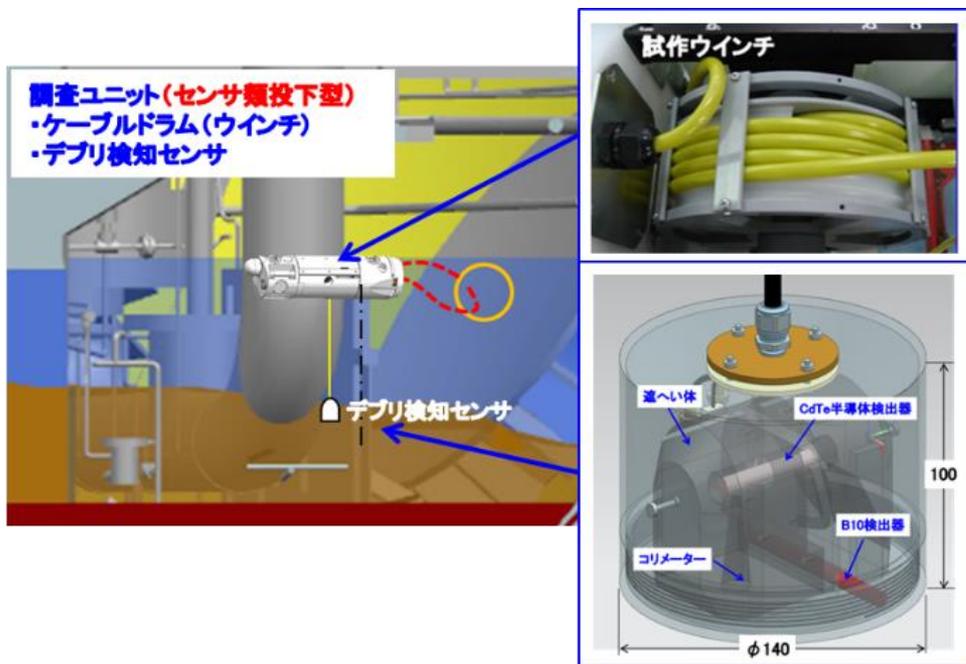
## 接続構造体外観

# 1. 調査技術

- 格納容器内アクセス装置
  - ✓ アーム型
  - ✓ ボート型
  - ✓ アクセスルート構築技術
- **デブリ検知技術**
  - ✓ CdTe半導体検出器＋B10検出器
- 形状計測技術
  - ✓ 走査型超音波距離計
  - ✓ レーザ光切断法
- 圧力容器内部調査工法
  - ✓ 側面穴開け調査工法

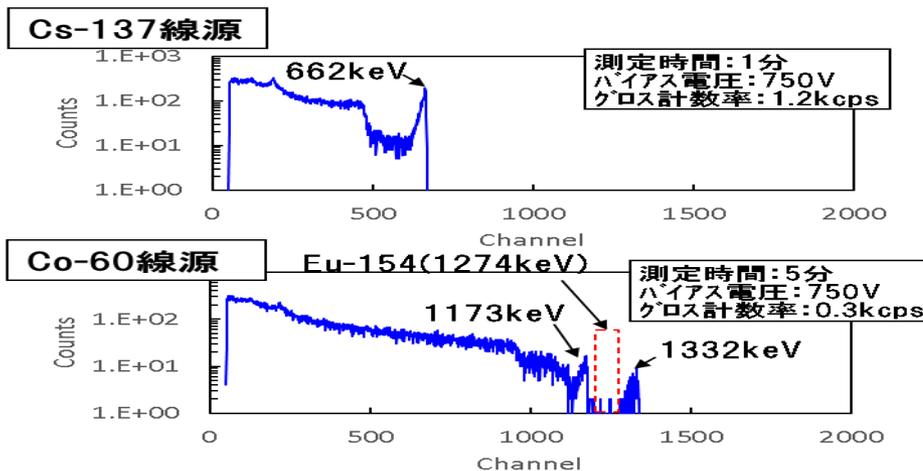
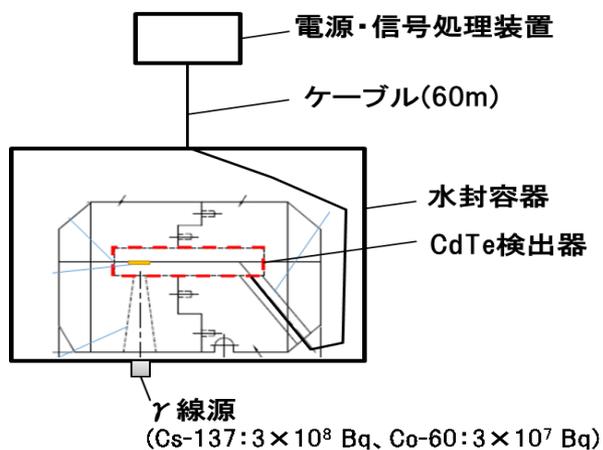
# デブリ検知技術

- これまでの調査で視認した堆積物中の**燃料デブリ**を検知するための**放射線計測技術**を開発中
- **Eu-154 $\gamma$ 線検出器**（CdTe半導体検出器）と**熱中性子検出器**（B10検出器）を**併用**し、確実なデブリ検知を目指す

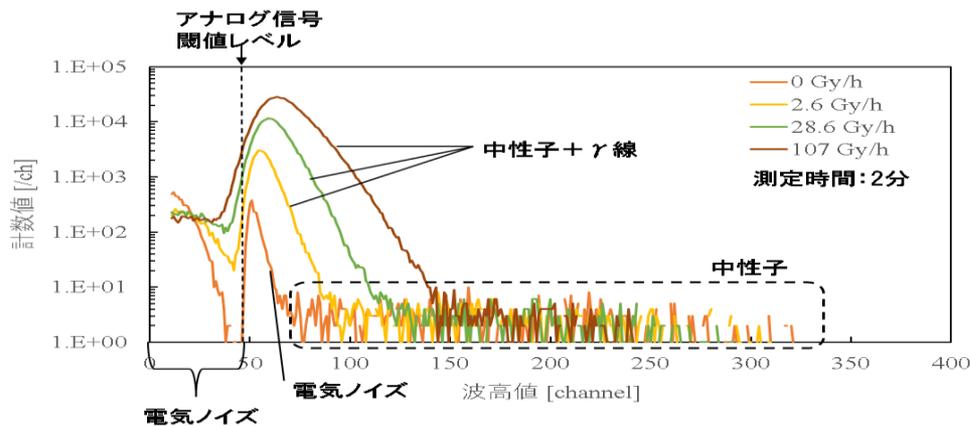
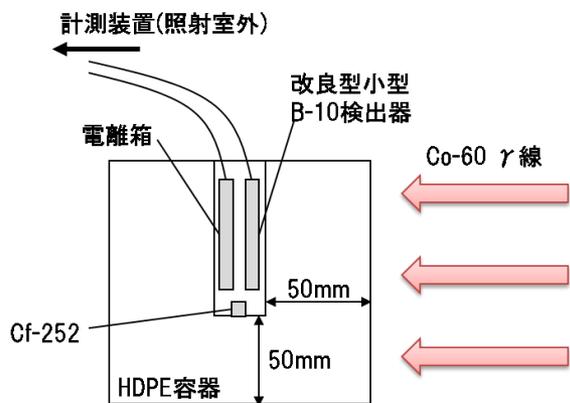


全体&システム構成イメージ

# デブリ検知技術



(a) CdTe半導体検出器の単体試験結果例



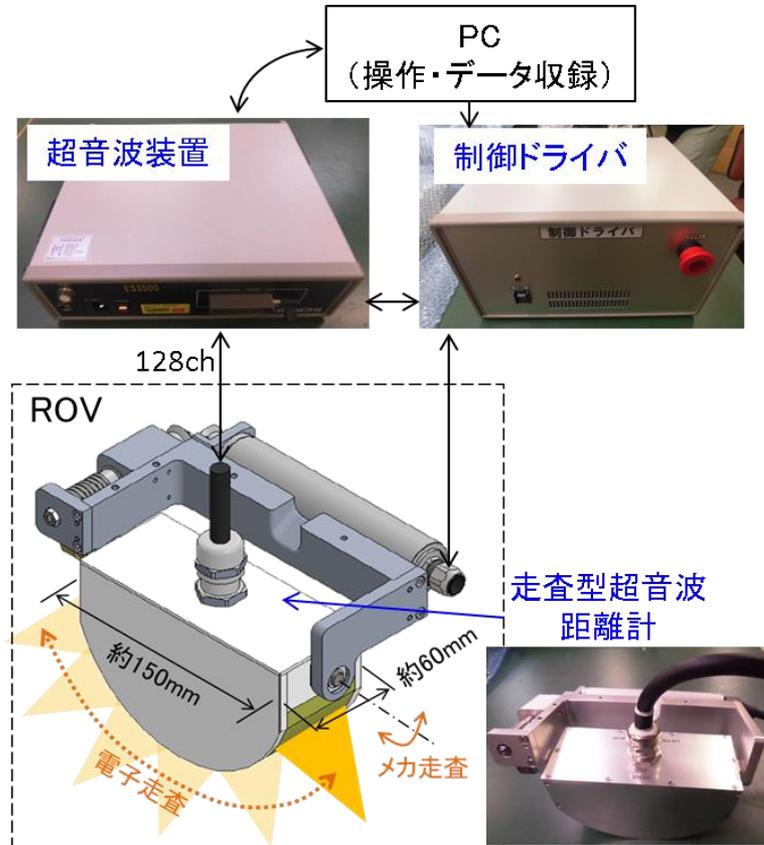
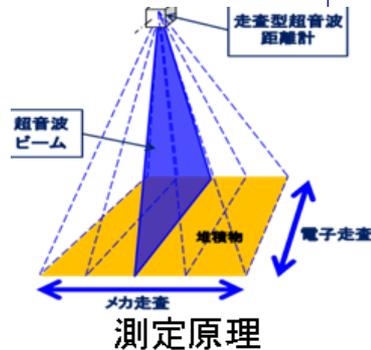
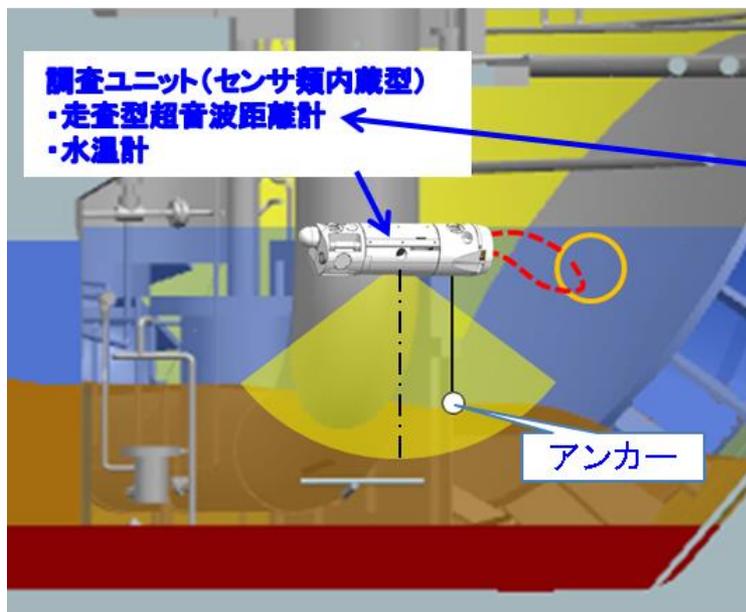
(b) B10検出器の単体試験結果例

# 1. 調査技術

- **格納容器内アクセス装置**
  - ✓ アーム型
  - ✓ ボート型
  - ✓ アクセスルート構築技術
- **デブリ検知技術**
  - ✓ CdTe半導体検出器＋B10検出器
- **形状計測技術**
  - ✓ 走査型超音波距離計
  - ✓ レーザ光切断法
- **圧力容器内部調査工法**
  - ✓ 側面穴開け調査工法

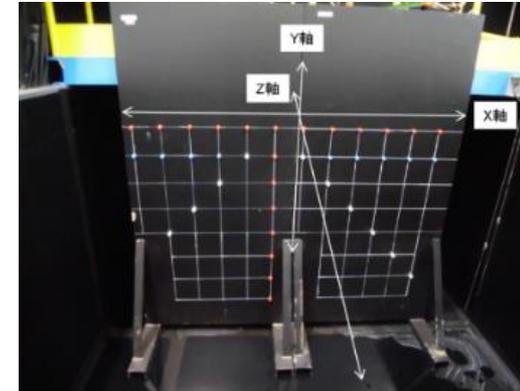
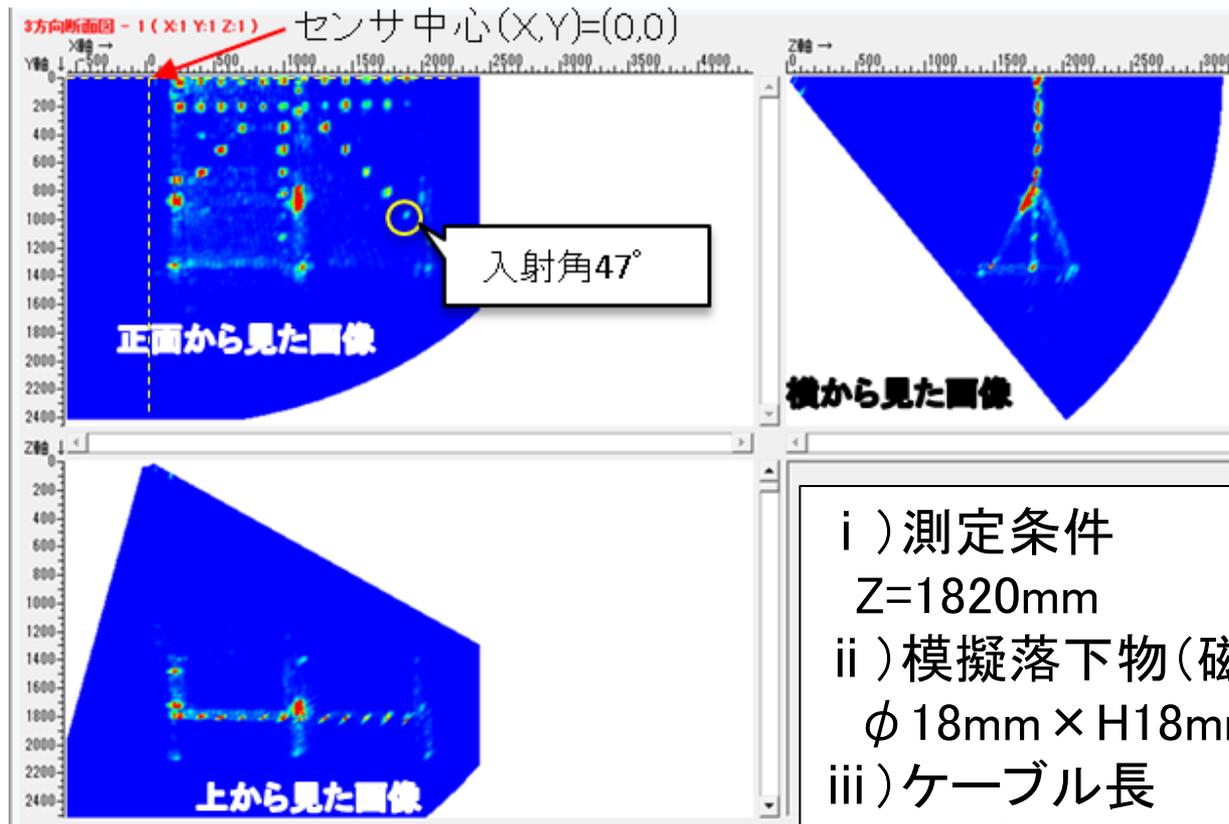
# 形状計測技術

## ■ 形状計測の技術開発 (走査型超音波距離計)



# 走査型超音波距離計の要素試験例

## ■ 形状計測の技術開発（走査型超音波距離計）



- i) 測定条件  
Z=1820mm
- ii) 模擬落下物(磁石)寸法:  
φ 18mm × H18mm
- iii) ケーブル長  
60m(実機品と同一仕様)

検証試験の例

# 形状計測技術

## ■ 形状計測の技術開発 (レーザー光切断法)

検証試験の例(点群データの重ね合わせ性検証)



測定対象

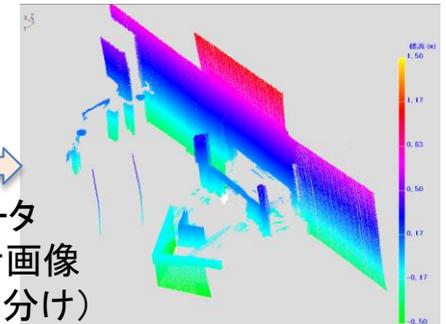
複数の位置姿勢  
で測定



測定データ

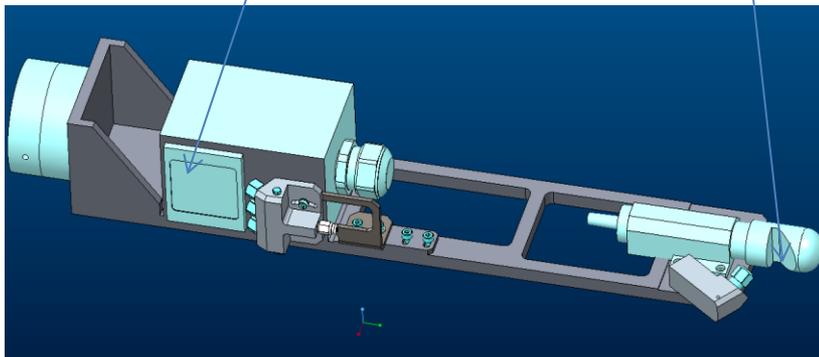
複数データを  
重ね合わせ

点群データ  
重ね合わせ画像  
(高さ方向色分け)



スキャナヘッド

カメラ



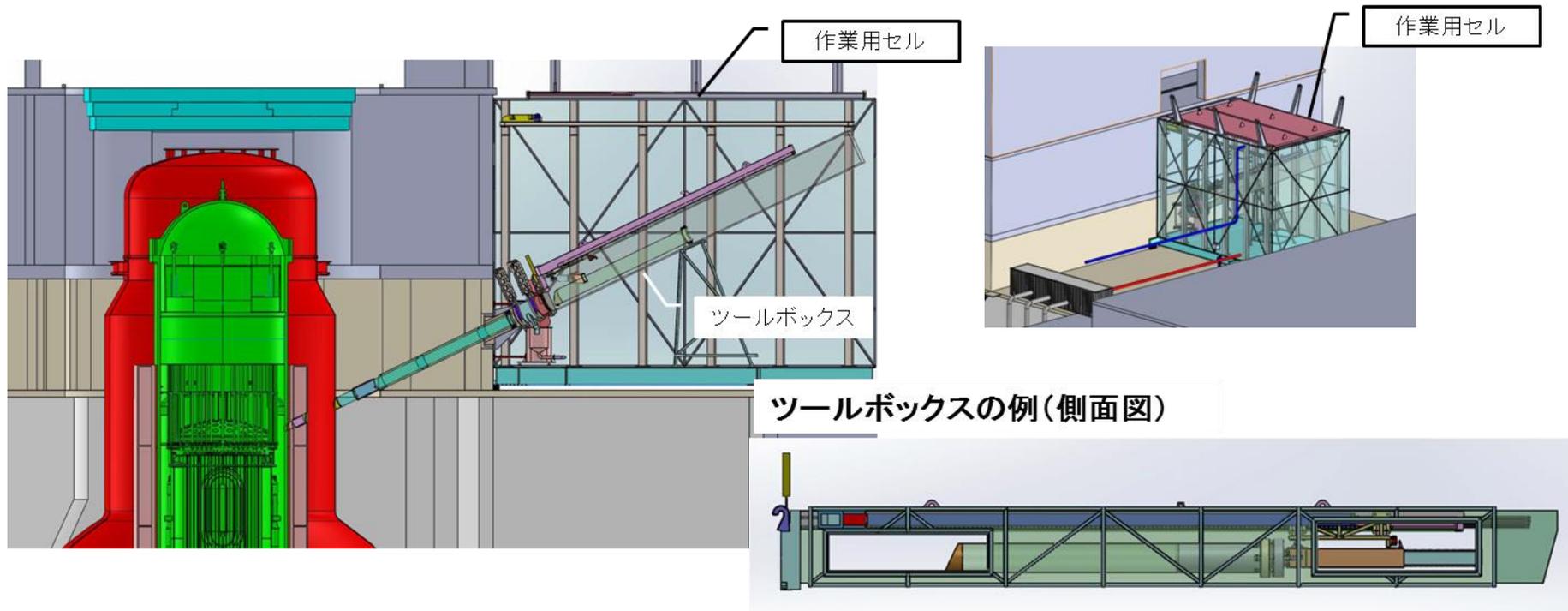
センサー外観

# 1. 調査技術

- **格納容器内アクセス装置**
  - ✓ アーム型
  - ✓ ボート型
  - ✓ アクセスルート構築技術
- **デブリ検知技術**
  - ✓ CdTe半導体検出器＋B10検出器
- **形状計測技術**
  - ✓ 走査型超音波距離計
  - ✓ レーザ光切断法
- **圧力容器内部調査工法**
  - ✓ 側面穴開け調査工法

# 圧力容器内部調査技術

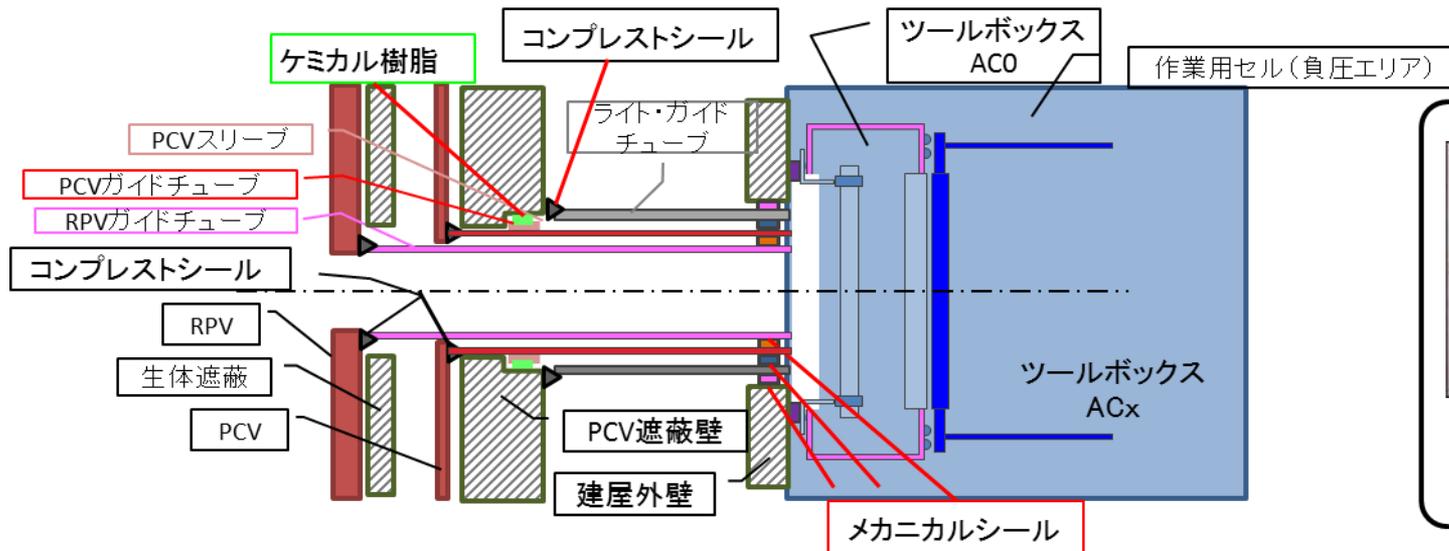
- 上部から圧力容器にアクセスし内部調査するための要素技術は、今後の装置試作に向け、あらかた検証済
- 加えて側面から圧力容器にアクセスするための要素技術を開発中



## 側面穴開け調査工法のイメージ

# 圧力容器内部調査技術

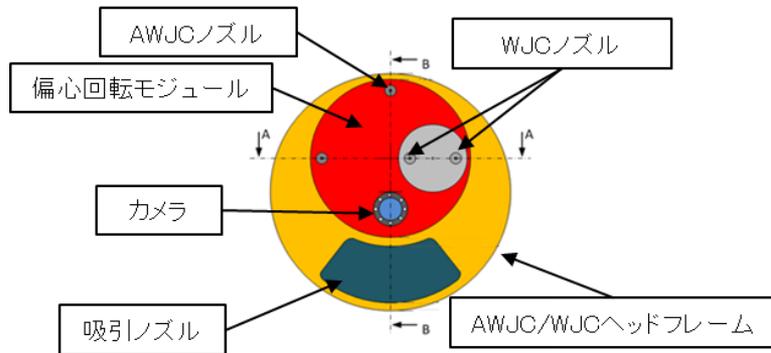
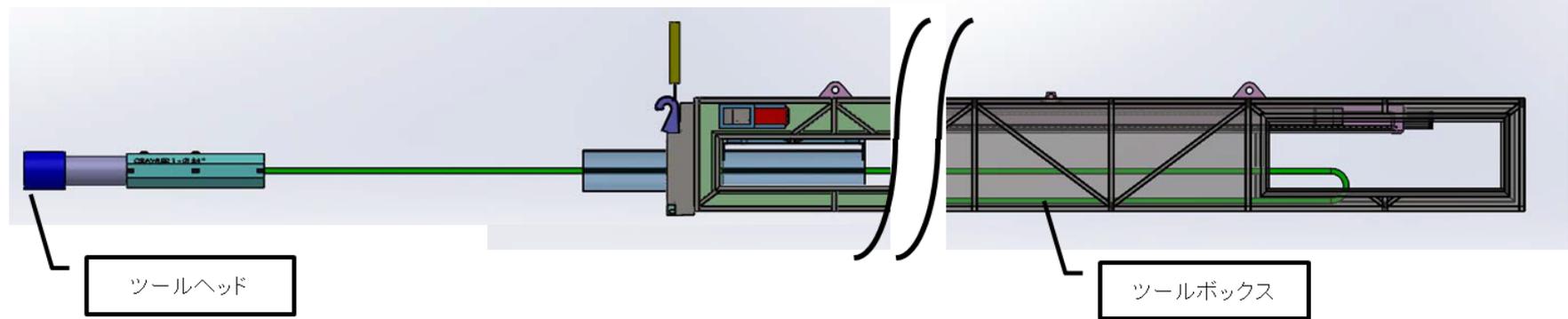
- 装置と既設構造物とのシールに用いるケミカル樹脂やゴム（コンプレストシール）について、要素試験で性能を検証予定



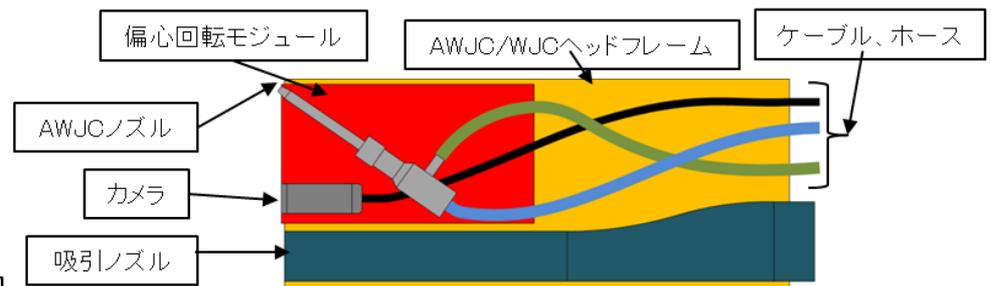
## 側面穴開け調査工法のバウンダリ構成イメージ

# 圧力容器内部調査技術

- コンクリートを掘削するウォータージェット（WJ）と、鉄筋及び鋼板を切削するアブレイシブウォータージェット（AWJ）を組み合わせたハイブリッドヘッドで調査孔を掘削。要素試験で施工性を検証予定。



ツールヘッドの平面図



ツールヘッドの側面図

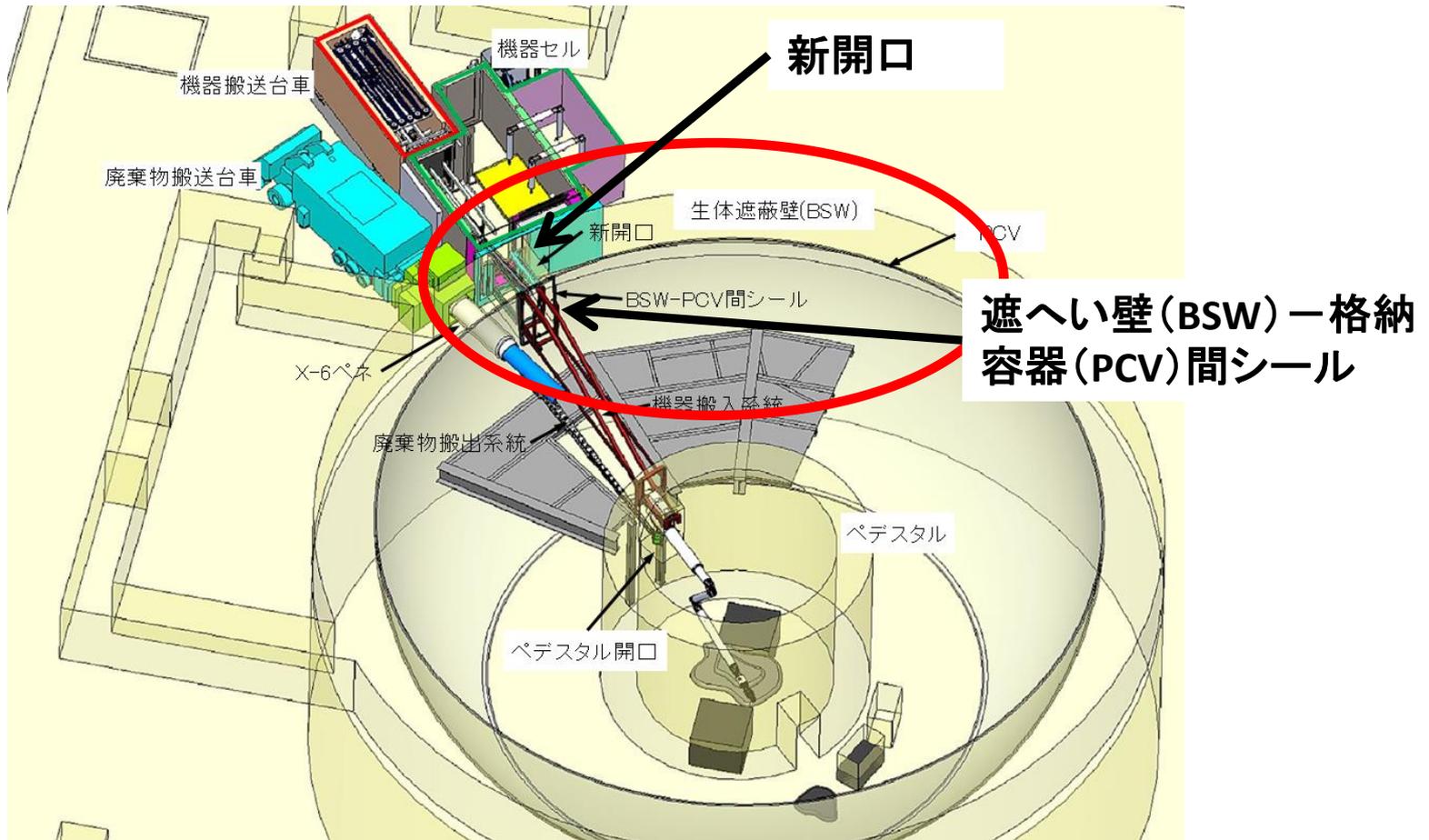
## 側面穴開け調査工法の穴開け工具（ツールヘッド）イメージ

## 2. 燃料デブリ取り出し技術

- 工法実現に向けた開発
  - ✓ 遮へい壁穴開け技術
  - ✓ 遮へい壁～格納容器間のシール技術
  - ✓ トンネル施工技術
  - ✓ アクセスレール～ロボットアーム組合せ動作試験
- 燃料デブリ取り出しを支える技術
  - ✓ 小型中性子検出器
  - ✓ 干渉物撤去技術

# デブリ取り出しに係る技術

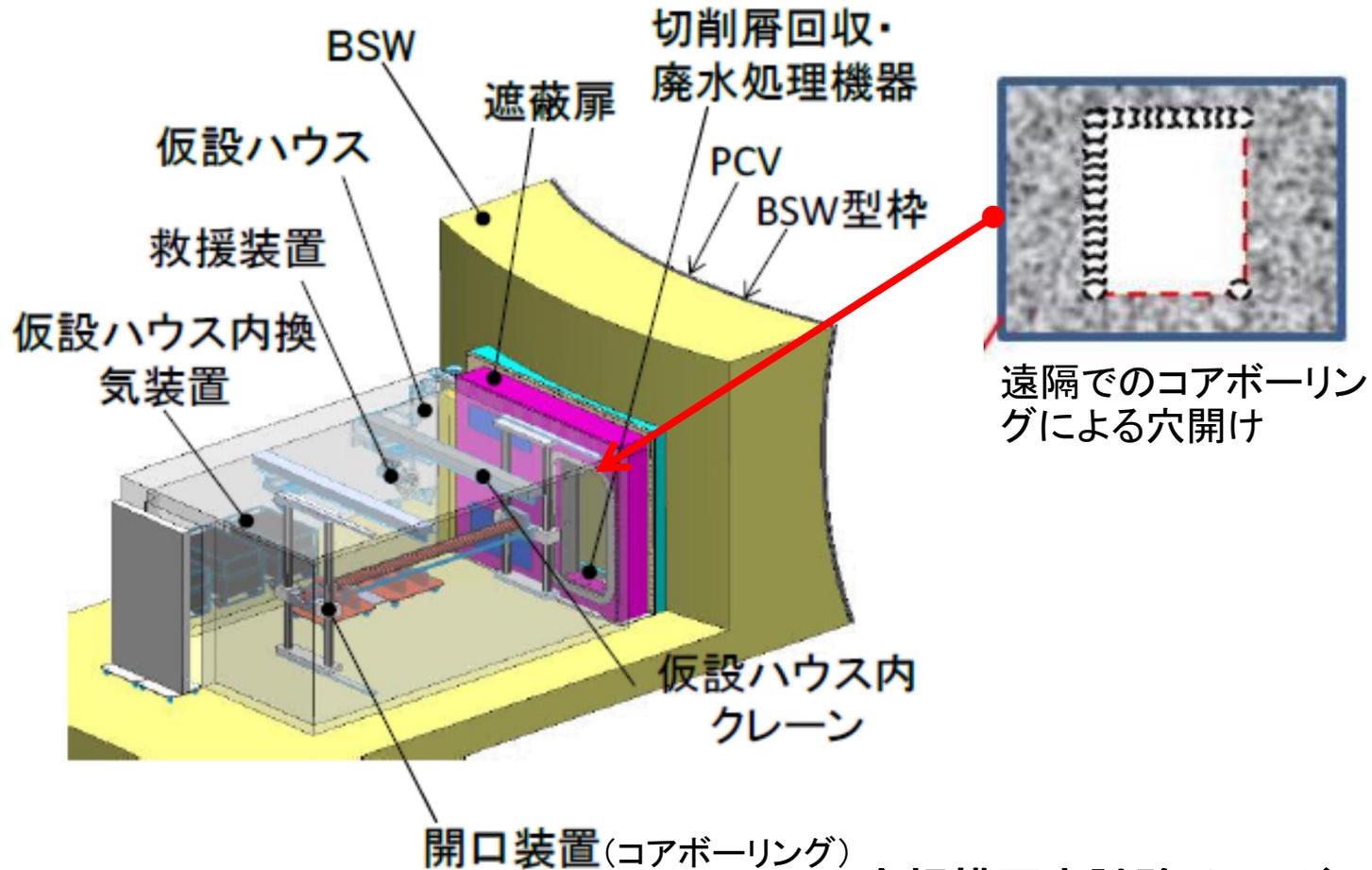
- デブリ取り出しの工法を実現するための要素技術を開発中



横アクセス工法の一例 イメージ

# 遮へい壁穴開け技術

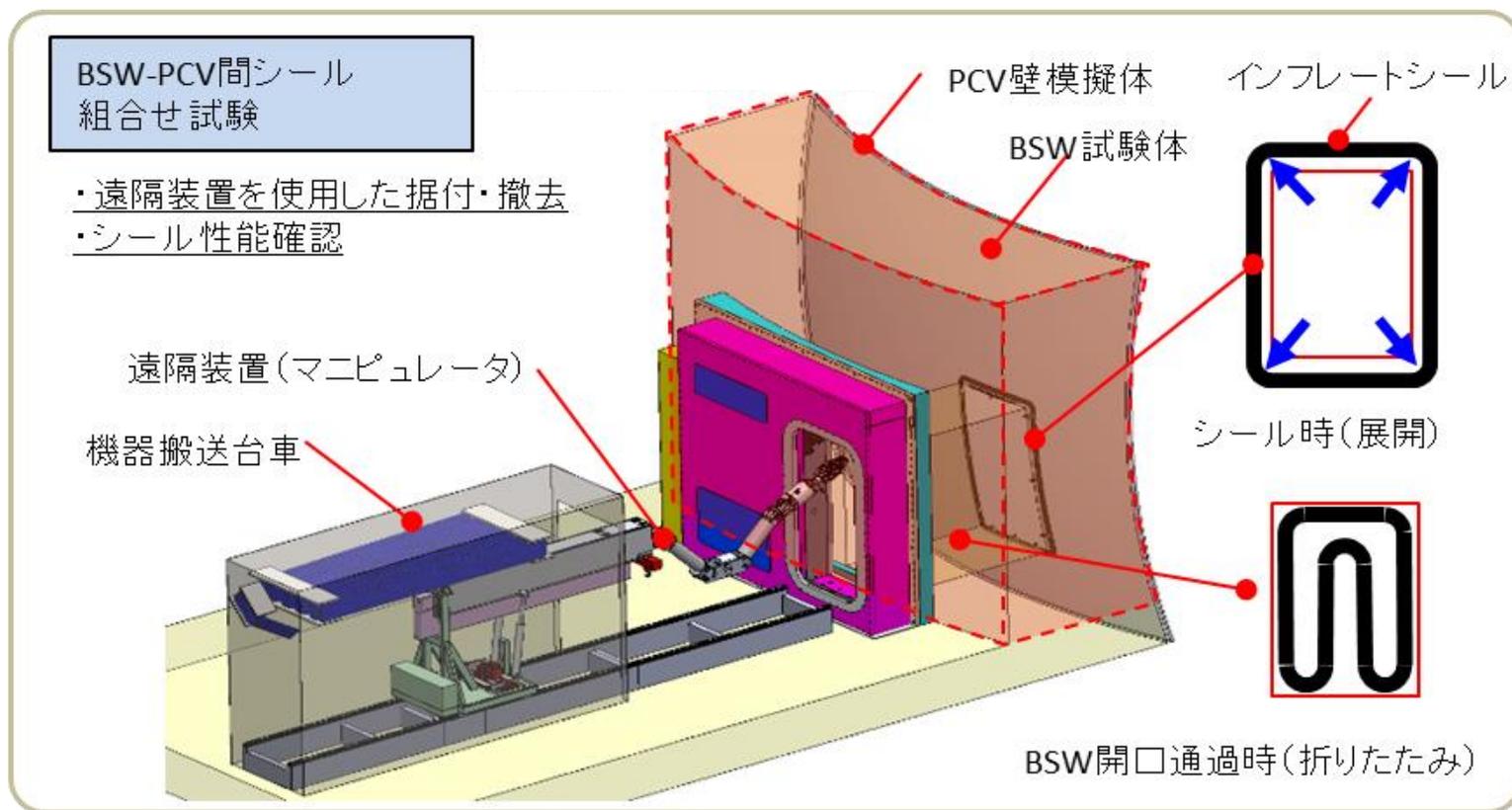
- 厚さ約 2 mの**頑健な鉄筋コンクリート製の遮へい壁**にコアボーリングを使って大きな**開口を設ける技術**を開発中



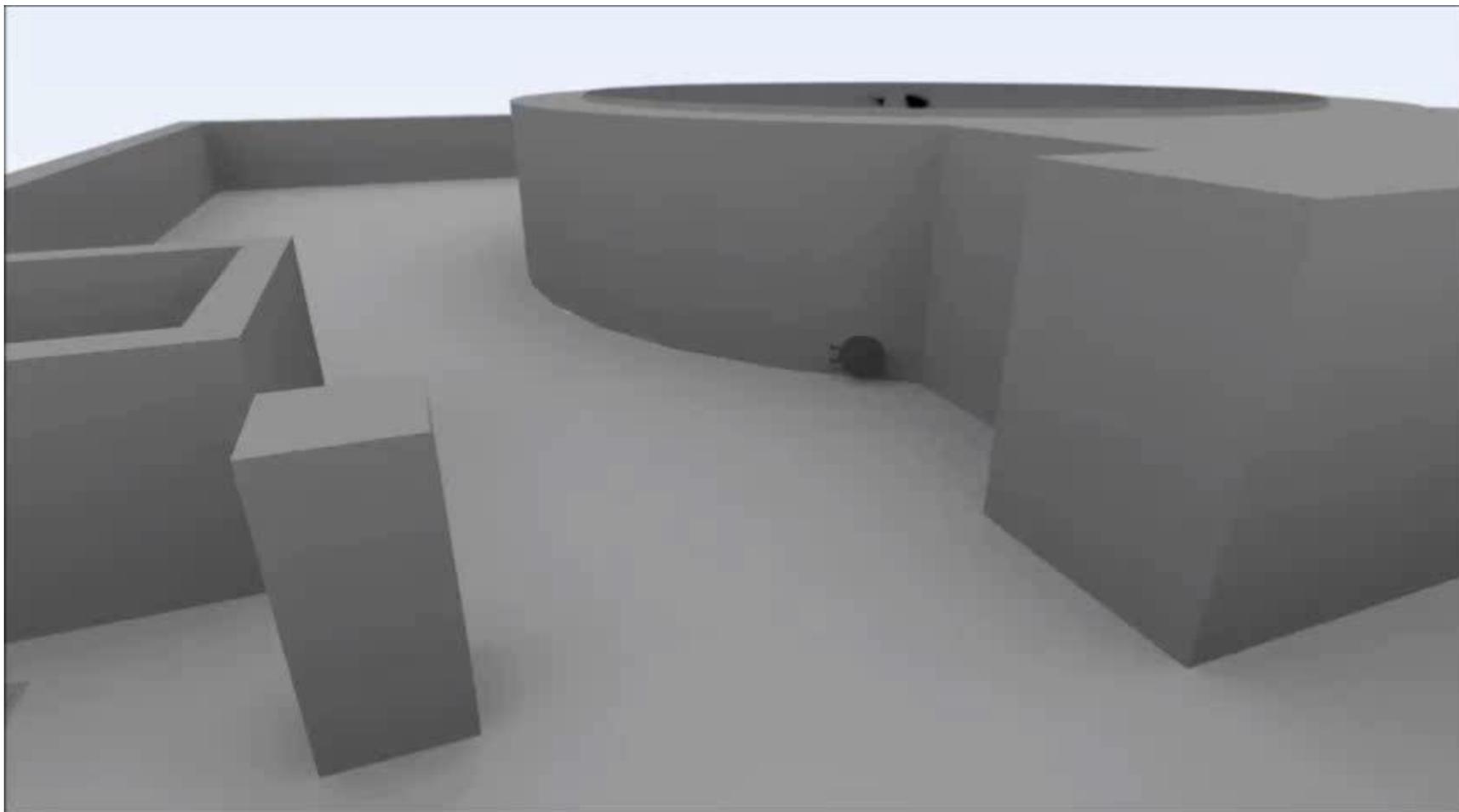
実規模要素試験イメージ

# 遮へい壁・格納容器間のシール技術

- 遮へい壁に穴を空けたのち、格納容器に開口を設ける際、遮へい壁と格納容器間に閉じ込めのバウンダリを構築する必要有
- **遮へい壁・格納容器間の間隙をシールする技術**を開発中



# 穴開け～シール設置 取り出し工法への適用イメージ

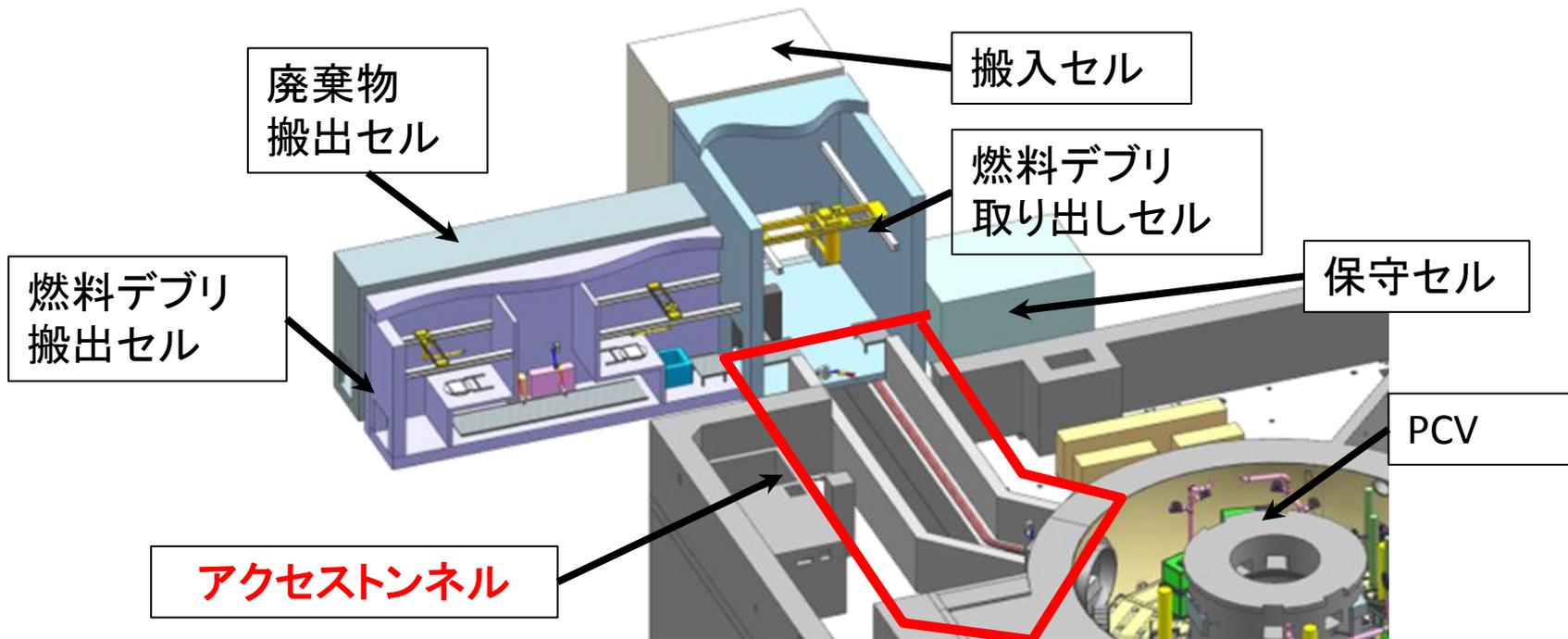


## 2. 燃料デブリ取り出し技術

- 工法実現に向けた開発
  - ✓ 遮へい壁穴開け技術
  - ✓ 遮へい壁～格納容器間のシール技術
  - ✓ **トンネル施工技術**
  - ✓ アクセスレール～ロボットアーム組合せ動作試験
- 燃料デブリ取り出しを支える技術
  - ✓ 小型中性子検出器
  - ✓ 干渉物撤去技術

# 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

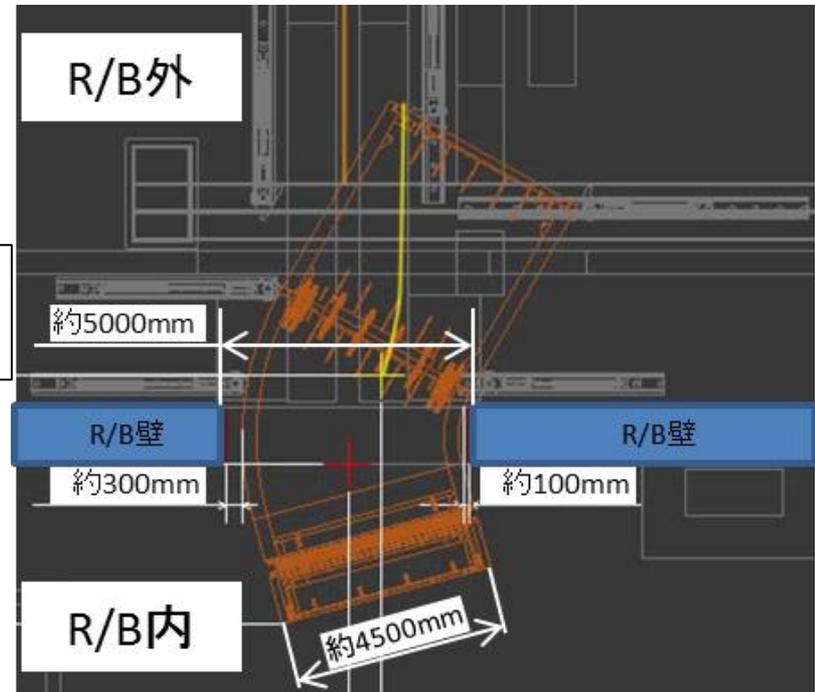
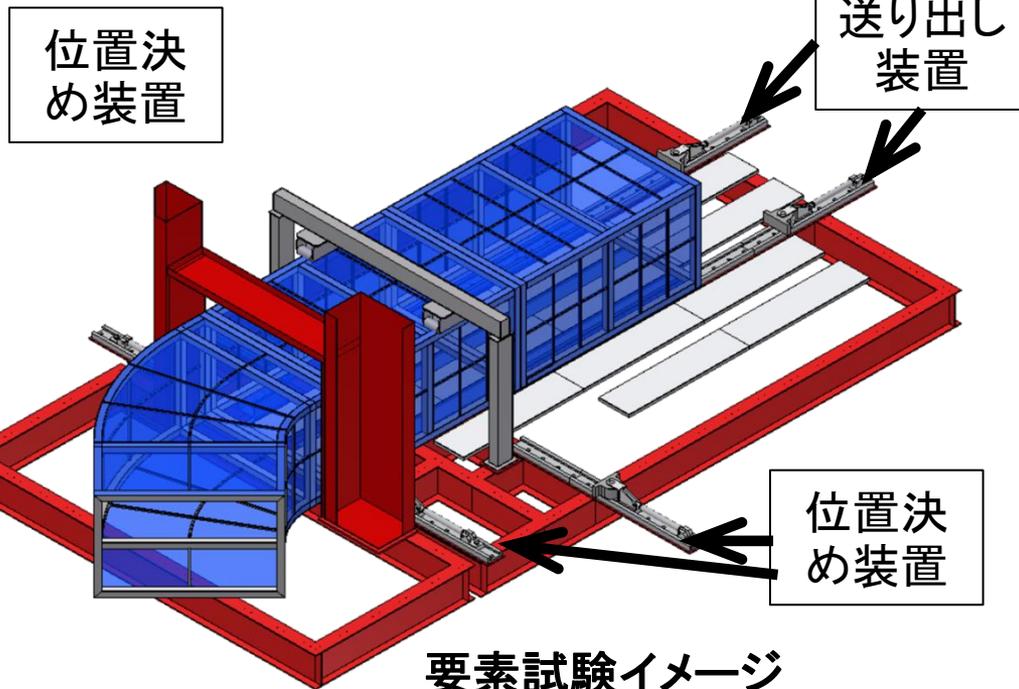


アクセストンネル工法の配置イメージ

# 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

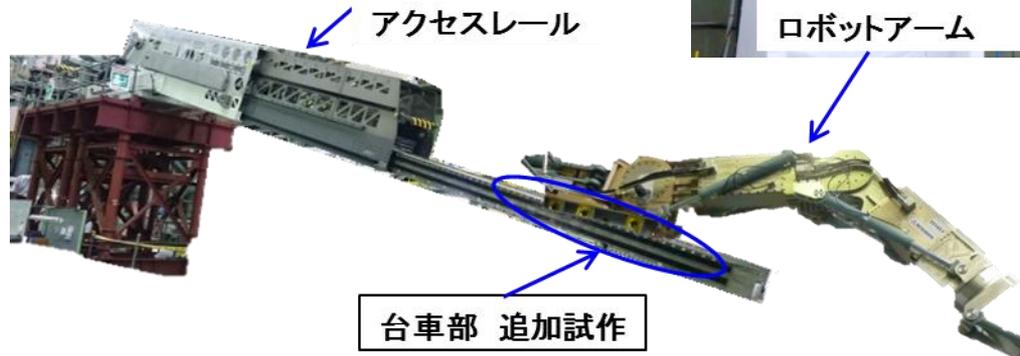
\*R/B: 原子炉建屋

## 2. 燃料デブリ取り出し技術

- **工法実現に向けた開発**
  - ✓ 遮へい壁穴開け技術
  - ✓ 遮へい壁～格納容器間のシール技術
  - ✓ トンネル施工技術
  - ✓ **アクセスレール～ロボットアーム組合せ動作試験**
- **燃料デブリ取り出しを支える技術**
  - ✓ 小型中性子検出器
  - ✓ 干渉物撤去技術

# デブリ取り出しに係る技術

- 干渉物撤去・燃料デブリ取り出しに共通の技術開発（**取り出し装置の動作確認**）
  - **アクセスレール・ロボットアーム（各々単体機能試験済）の組合せ機能試験**



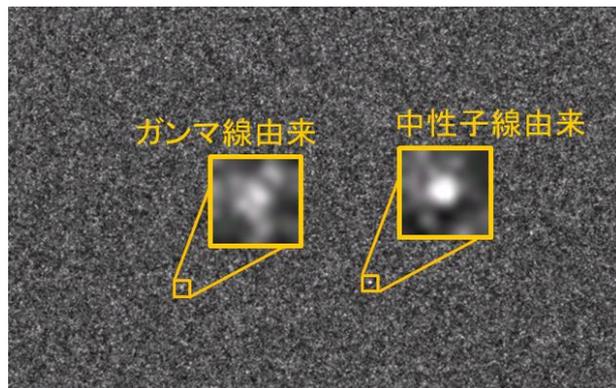
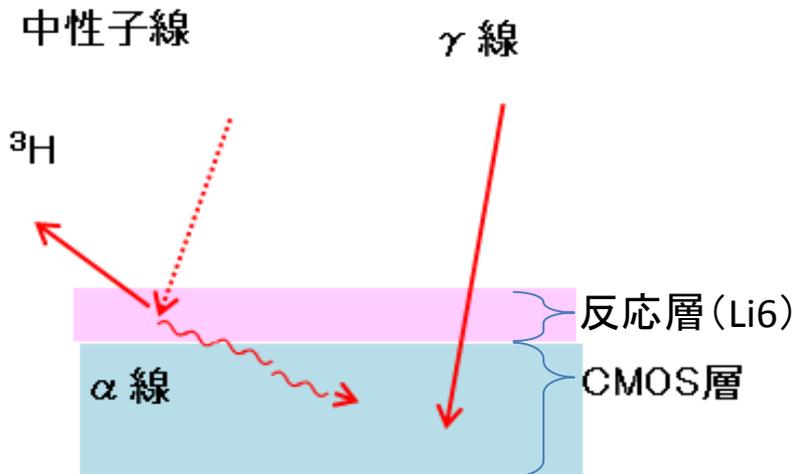
組合せ機能試験イメージ

## 2. 燃料デブリ取り出し技術

- **工法実現に向けた開発**
  - ✓ 遮へい壁穴開け技術
  - ✓ 遮へい壁～格納容器間のシール技術
  - ✓ トンネル施工技術
  - ✓ アクセスレール～ロボットアーム組合せ動作試験
- **燃料デブリ取り出しを支える技術**
  - ✓ **小型中性子検出器**
  - ✓ 干渉物撤去技術

# 小型中性子検出器

- 燃料デブリの加工や輸送、保管等のあらゆる局面での活躍が期待される**小型の汎用中性子検出器（CMOS型）**を開発中

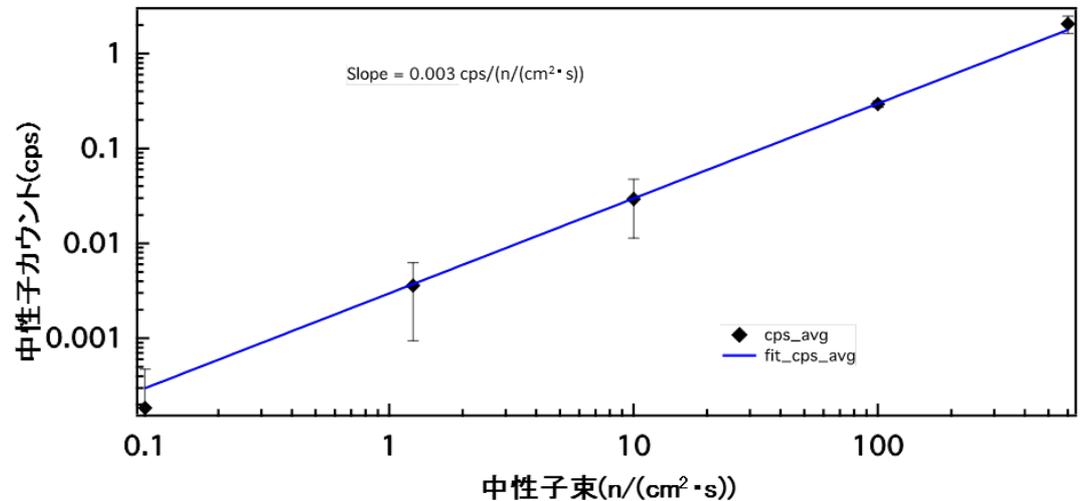
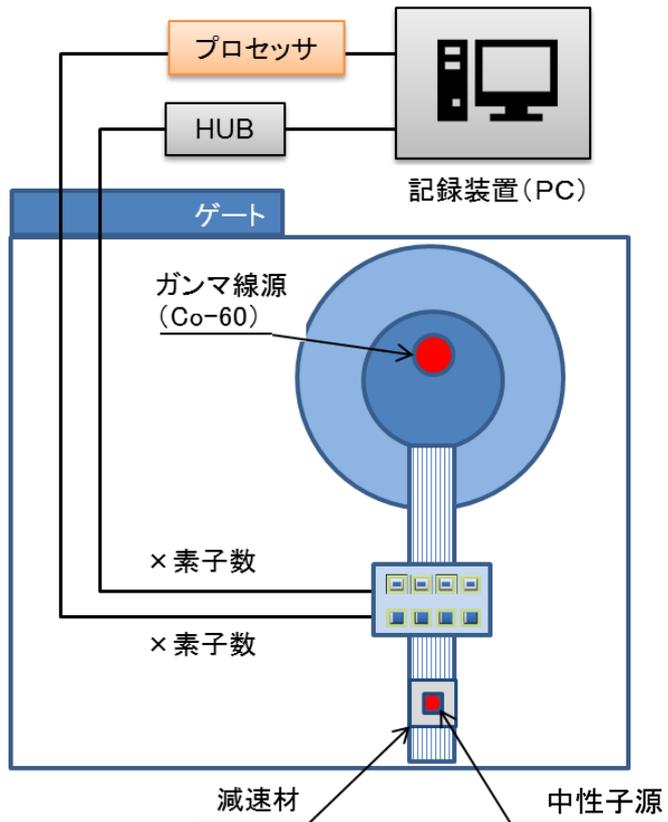


大きさの開発目標イメージ

CMOS型の測定原理

# 小型中性子検出器

- 高線量環境下 ( $\sim 1000\text{Gy/h}$ ) でも極小の中性子束 ( $0.1\text{n}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})$ ) が感知可能なセンサーを試作・検証中



(図中の直線は回帰直線、エラーバーは6素子の範囲を示す)

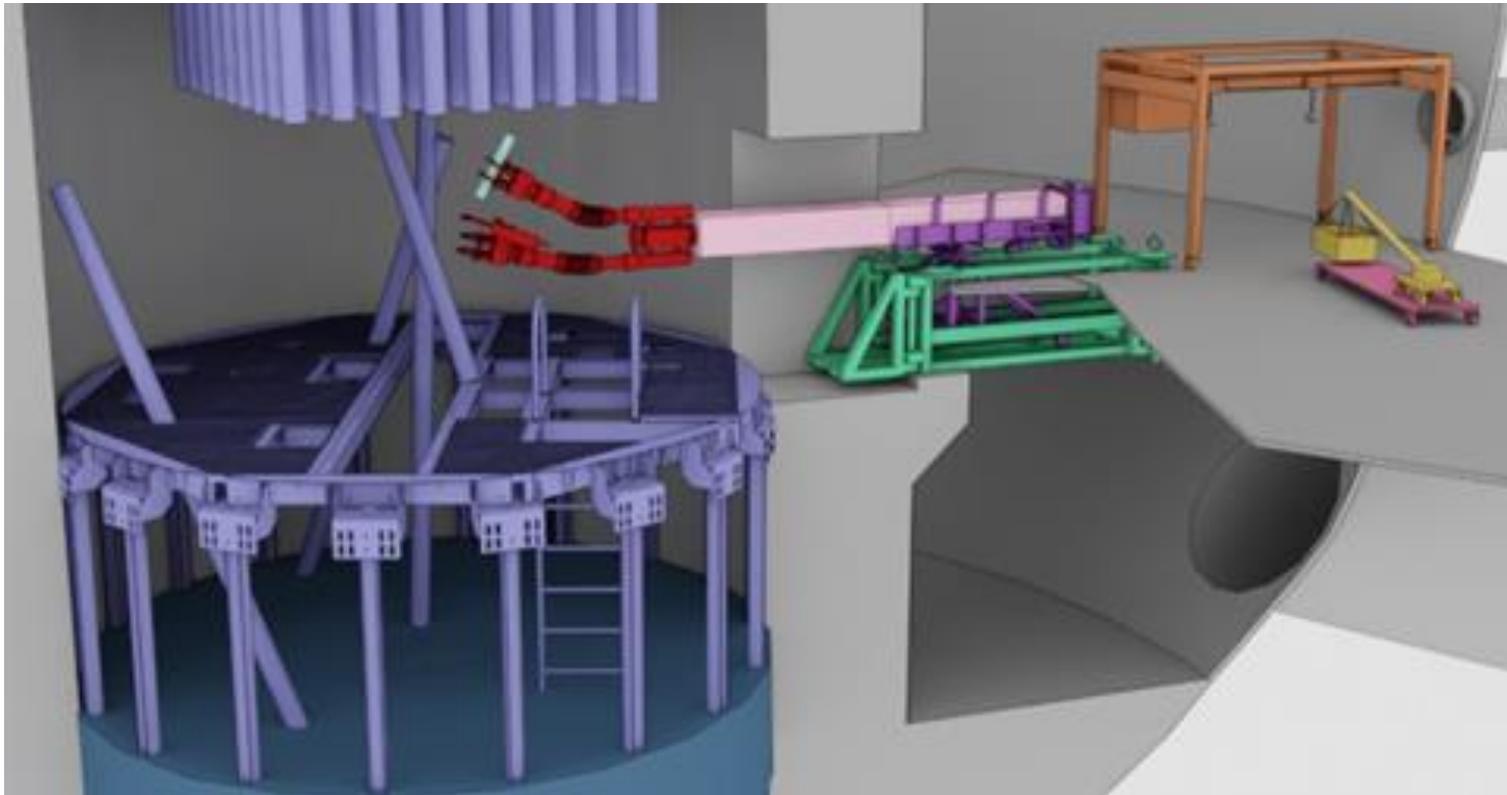
## 基礎試験の装置構成と結果例

## 2. 燃料デブリ取り出し技術

- **工法実現に向けた開発**
  - ✓ 遮へい壁穴開け技術
  - ✓ 遮へい壁～格納容器間のシール技術
  - ✓ トンネル施工技術
  - ✓ アクセスレール～ロボットアーム組合せ動作試験
- **燃料デブリ取り出しを支える技術**
  - ✓ 小型中性子検出器
  - ✓ 干渉物撤去技術

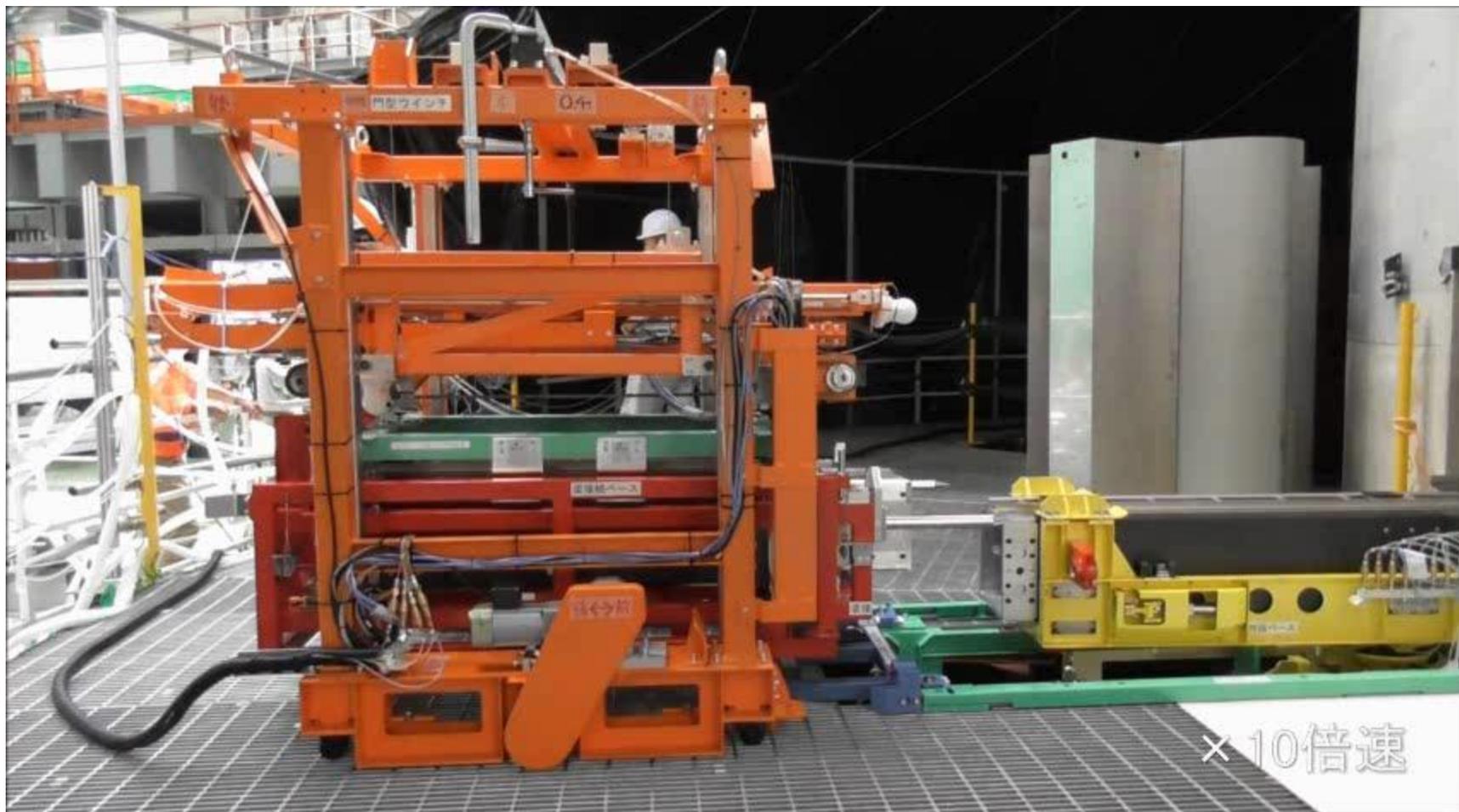
# 干渉物撤去技術

- これまでの内部調査でペDESTAL内にも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アル内干渉物撤去 要素試験の様子



# まとめ

- 格納容器補修技術や耐震評価技術など、廃炉のエンジニアリングに役立つ成果が上がりつつある。
- 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工法の実現に向けた各種要素技術を検証中である。



廃炉に向け着実に技術開発が進捗している。