

IRIDシンポジウム2017 in いわき
「燃料デブリ取り出しに挑む」

燃料デブリの取り出し

～IRIDが取り組む研究開発の状況～

2017年8月3日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)
開発計画部 部長
奥住 直明

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。

目次

1. PCV補修・止水技術開発
2. 燃料デブリ取り出し技術開発
 - ・上アクセス工法
 - ・横アクセス工法
 - ・安全系システム
3. 収納・移送・保管技術開発

目次

1. PCV補修・止水技術開発

2. 燃料デブリ取り出し技術開発

- ・上アクセス工法
- ・横アクセス工法
- ・安全系システム

3. 収納・移送・保管技術開発

PCVの外観（建設写真）

「ドライウェル（D/W）」：S/Cより
上部のPCV

「PCV貫通部」：配管貫通部、
電気配線貫通部等

1号機 約150か所
2号機 約200か所
3号機 約190か所

「機器ハッチ」：大型機器の搬出入口

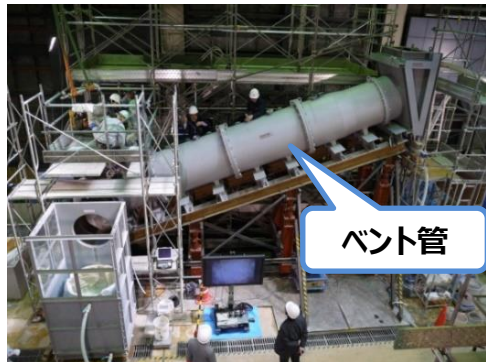
「ベント管」：D/WとS/Cの連絡配管

「サプレッションチェンバ（S/C）」：
事故が起きた時に発生した蒸気を
S/C内の水で凝縮し、PCVの圧力の
上昇を抑える。

「エアロック」：人の出入口

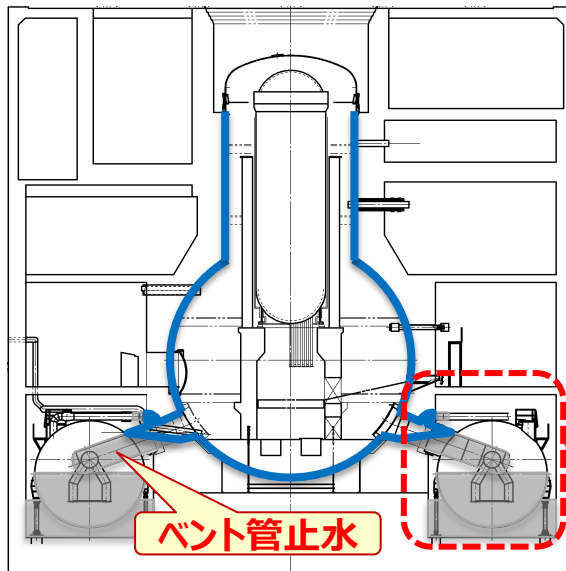
「Browns Ferry Unit 1 under construction 1966.Sep.」
Tennessee Valley Authority – TVA's 75th Anniversary webpage

ベント管止水試験



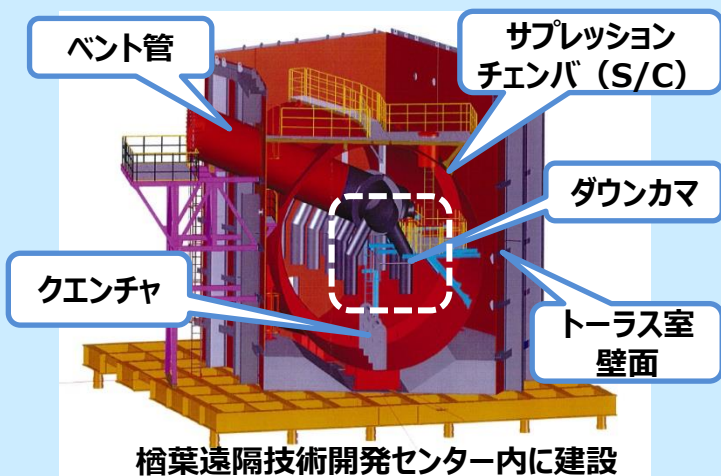
1 / 2 スケール試験体で止水性能を確認 (工場)

— : 補修・止水範囲

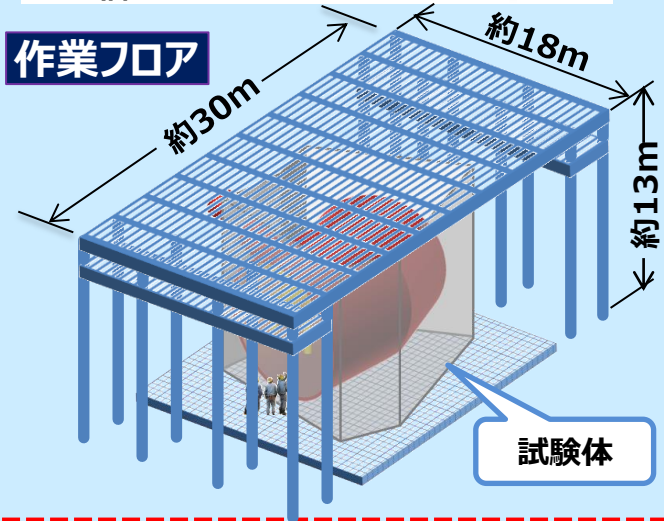


実規模試験体を用いた試験

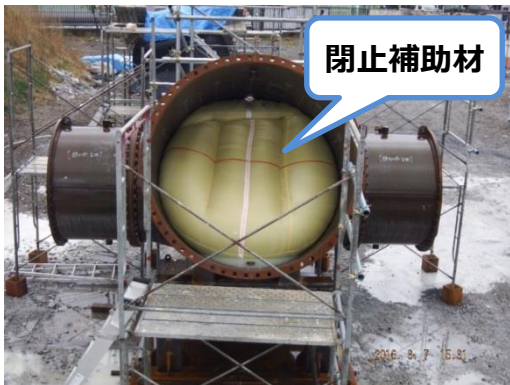
実規模試験体 (1/8セクター)



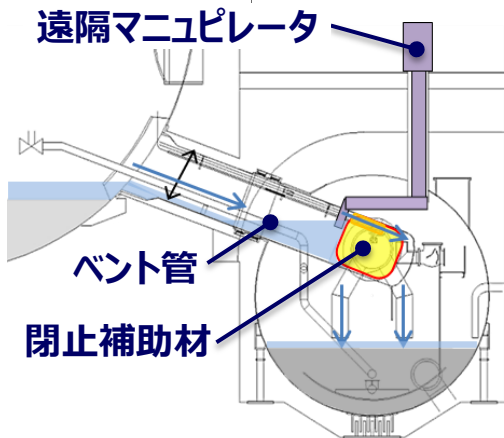
作業フロア



閉止補助材止水試験



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)



実規模試験体を使った手順確認

目的

- 実規模試験体を使って実工事を念頭とした手順書を作成し、**実機適用性を判断**する。

主な取り組み

- 次の3つの止水工法について、施工性確認試験及び打設試験を行い手順を確認する。
 - ① ベント管止水
 - ② S/C内充填止水
 - ③ S/C脚部補強

試験期間

2016.11～2018.3



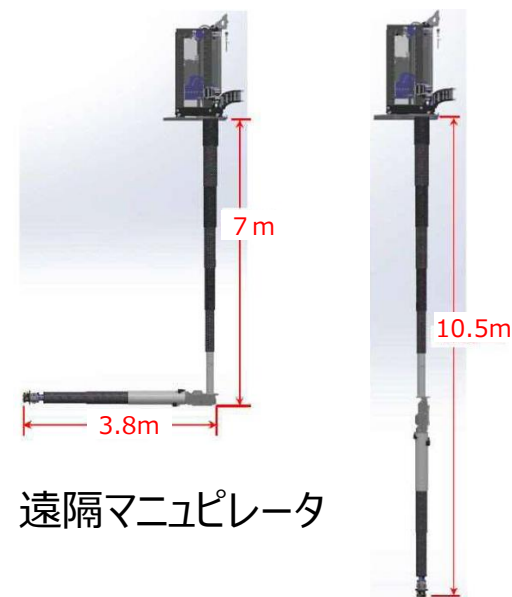
試験体外観



試験体内部 (S/C内部)



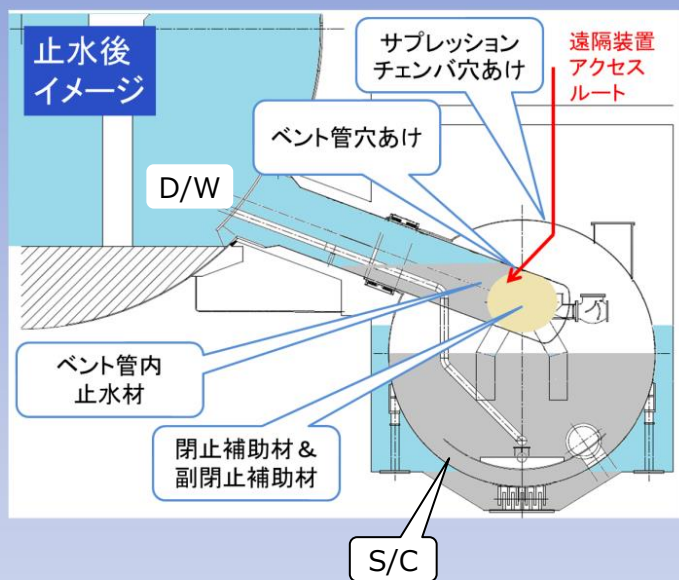
S/C脚部補強施工性確認試験



遠隔マニピレータ

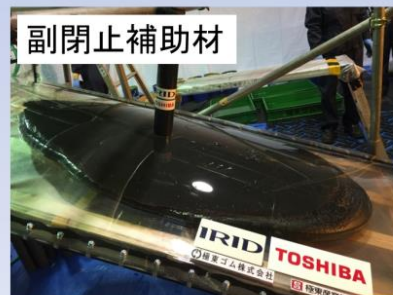
ベント管止水技術

- D/WとS/Cを連結しているベント管を止水し、**D/W内を水張り**が出来る状態にすることを目的とした技術開発。



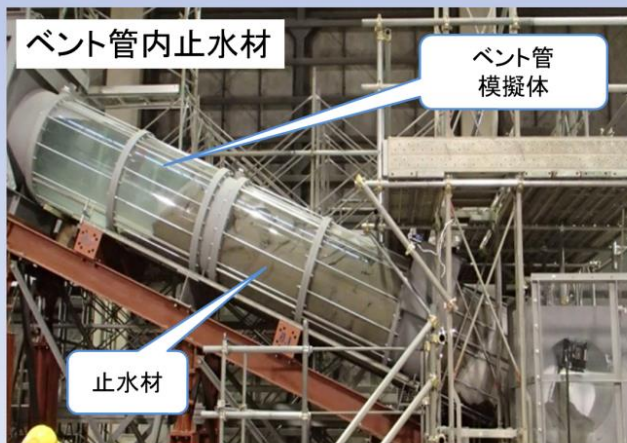
【候補材】

閉止補助材：アラミド系繊維
副閉止補助材：高耐放射性ゴム等
ベント管内止水材：セメント系材料等



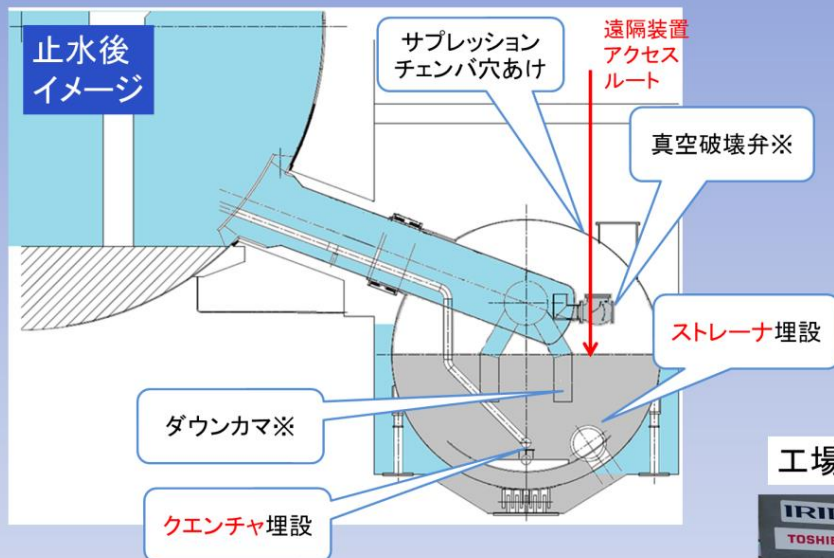
【実施手順】

- ① サプレッションチェンバ及びベント管へ穴あけ
- ② ベント管内へ閉止補助材展開及び副閉止補助材による隙間充填
- ③ ベント管内に止水材を打設



S/C内充填止水技術

- S/C内外の流路となる**配管端部（クエンチャ、ストレーナ）**を止水することを目的とした技術開発。また、**ダウンカマまでを埋設**してベント管止水のバックアップとしての役割も検討中。



【実施手順】

- ①サブプレッションチェンバへ穴あけ
- ②サブプレッションチェンバ内へ止水材打設
- ③ストレーナ、クエンチャを埋設止水

※ダウンカマ、真空破壊弁を埋設止水(オプション)

工場試験(コンクリート打設中)



工場試験(ストレーナ埋設前)



【候補材】

サブプレッションチェンバ内止水材：
水中不分離性コンクリート

S/C脚部の補強技術

- S/C内充填止水により止水材の充填による重量増加が見込まれるため、S/Cを支える脚部の**耐震補強**を目的とした技術開発。

1号機

充填装置



補強材充填



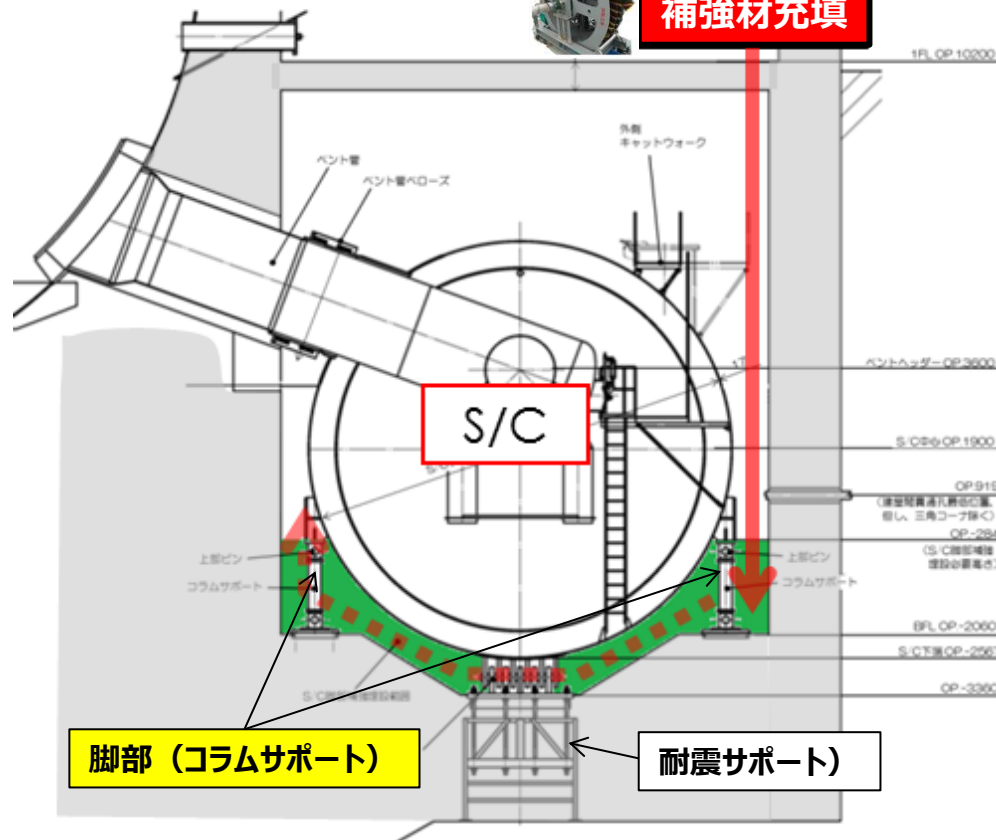
【候補材】水中不分離性モルタル

2・3号機

充填装置



補強材充填



目次

1. PCV補修・止水技術開発

2. 燃料デブリ取り出し技術開発

- ・上アクセス工法
- ・横アクセス工法
- ・安全系システム

3. 収納・移送・保管技術開発

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

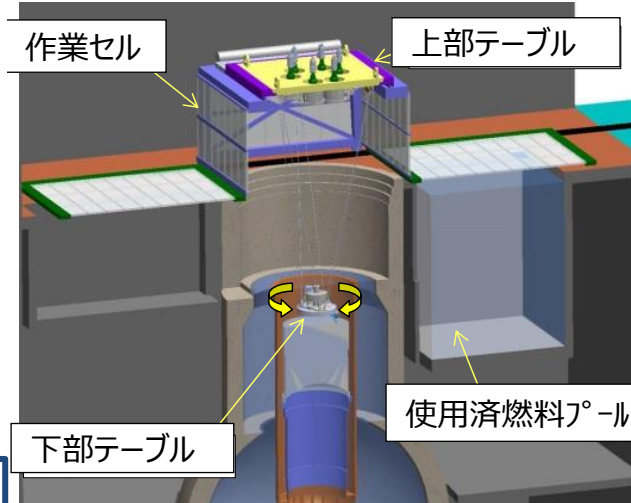
開発目的

- 主要3工法について、概念検討および工法詳細ステップ図を作成し、基盤技術開発の成果と合わせ、**工法実現性の評価**を行う。

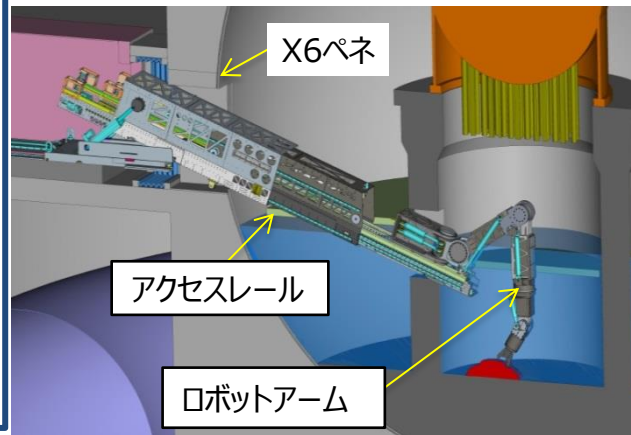
開発期間

2015.9～2017.3

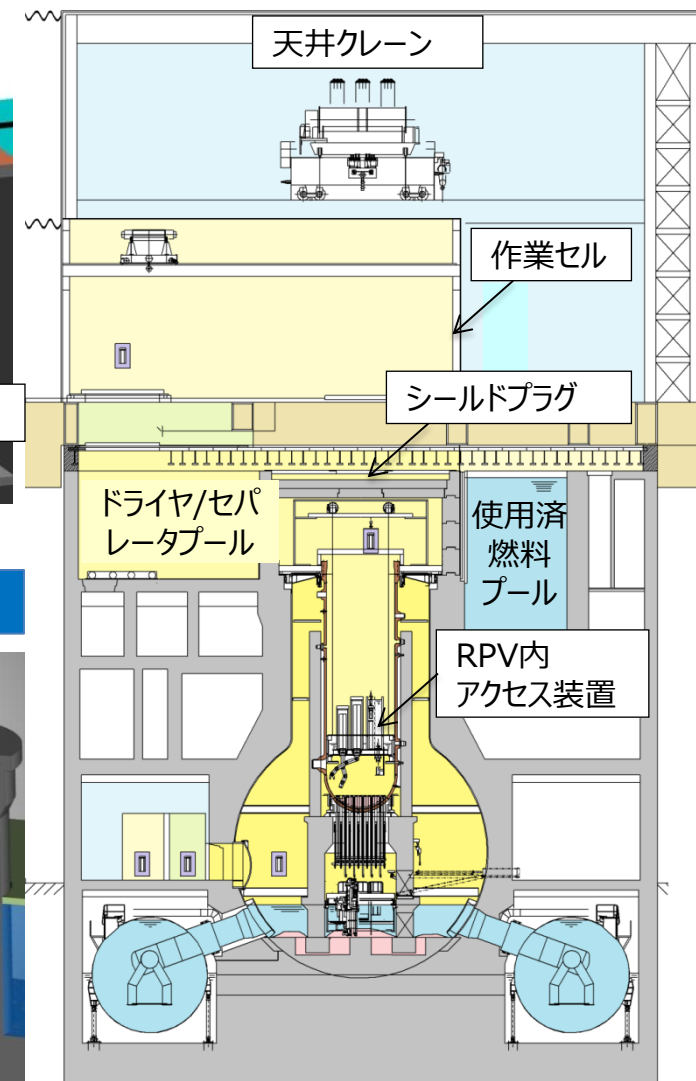
冠水-上アクセス工法（概念）



気中-横アクセス工法（概念）



気中-上アクセス工法（概念）



目次

1. PCV補修・止水技術開発

2. 燃料デブリ取り出し技術開発

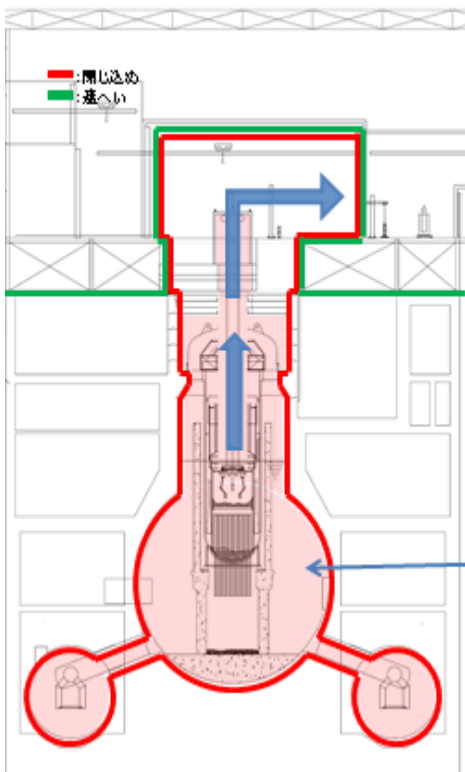
- ・上アクセス工法
- ・横アクセス工法
- ・安全系システム

3. 収納・移送・保管技術開発

上アクセス工法～デブリ搬出ルート～

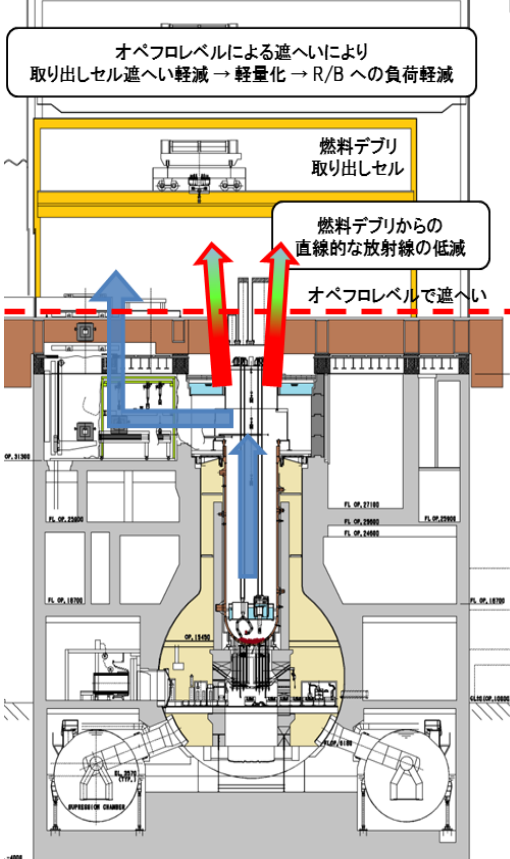
- 上アクセス工法は、閉じ込めと遮へいの要求を満足し、かつ建屋負荷を許容範囲内に収める工法として、搬出ルートを以下の**2ルート**について検討。

【ルートA】



- オペフロ上の**デブリ取り出しセル**で遮へい
 - **シンプル**な動線。
 - **非常時の対応**が比較的容易。
 - R/Bへの負荷が増大するため、セル・設備の小型化が必要。

【ルートB】



- オペフロの**シールドプラグを残して遮へい**
 - デブリからの直接線をシールドプラグで遮へい
 - ① **損傷したR/Bへの負荷軽減**が可能。
 - ② デブリ取り出しセルの遮へい機能を軽減可（**軽量化**）。
 - **DSPを作業スペース**（収納缶への収納など）として活用。

オペフロレベルによる遮へいにより
取り出しセル遮へい軽減 → 軽量化 → R/B への負荷軽減

燃料デブリ取り出しセル

燃料デブリからの直線的な放射線の低減

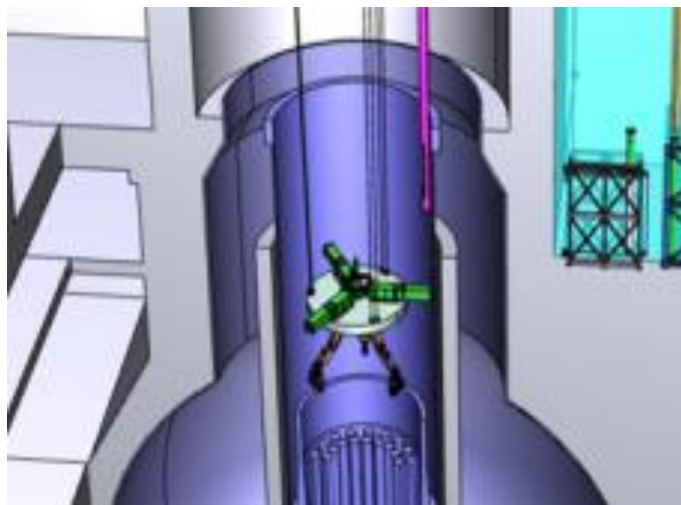
オペフロレベルで遮へい

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。

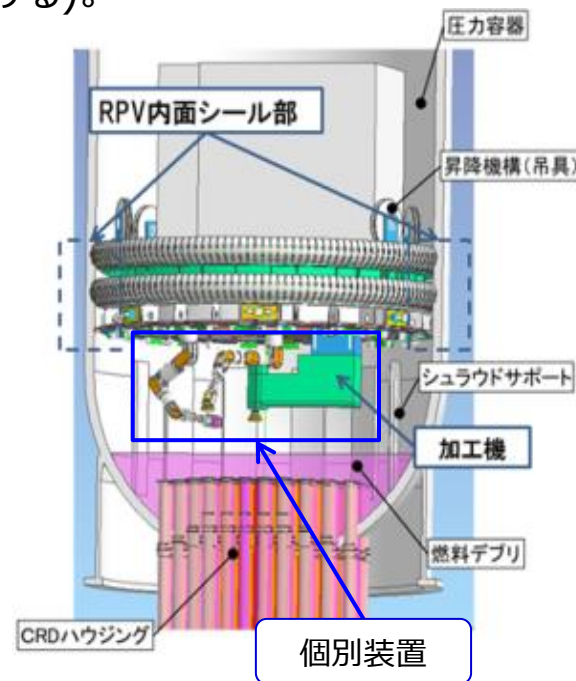
【装置A】

- 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。

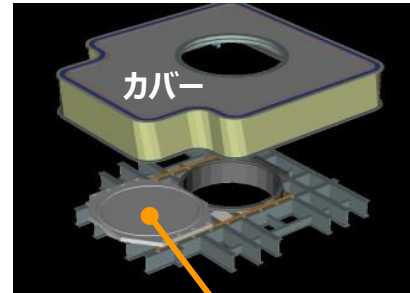
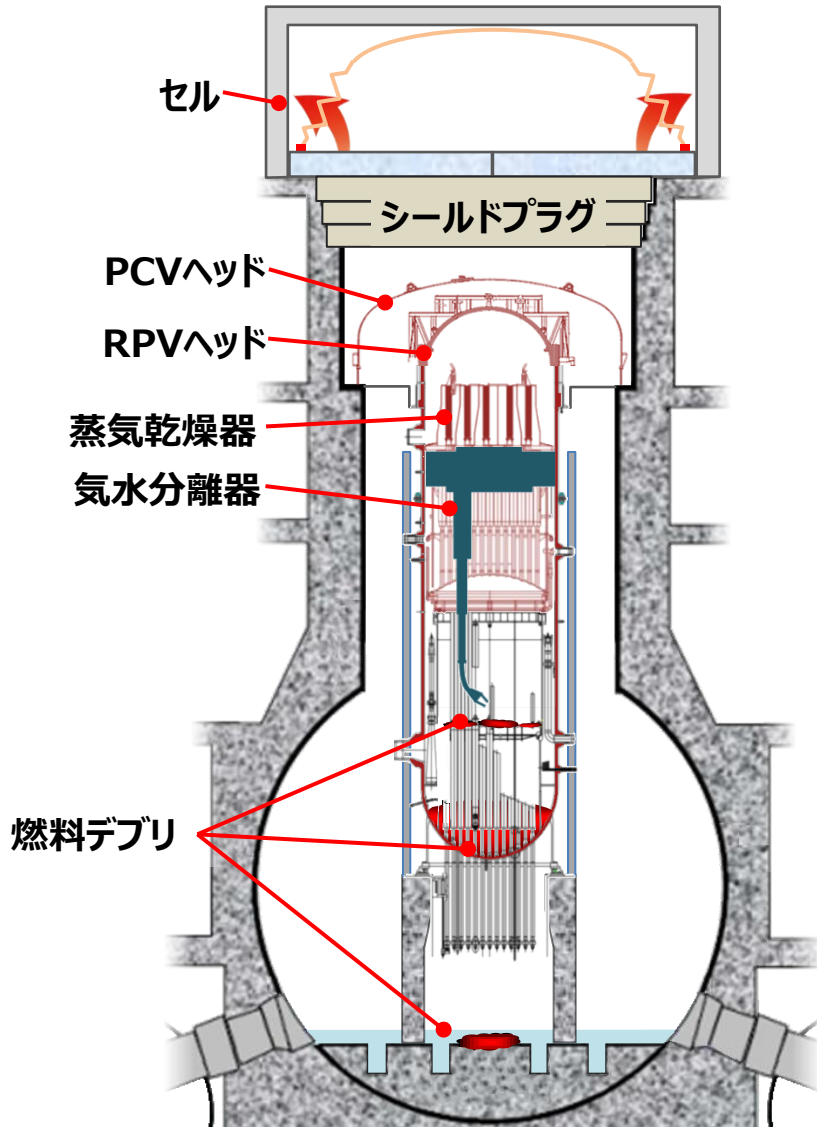


【装置B】

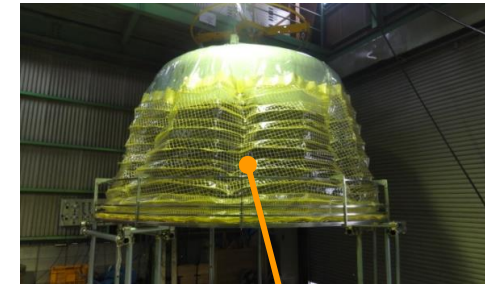
- 高汚染エリアを**最小化**
 - **放射性ダストをデブリ近傍で閉じ込める**ために、RPV内面でシール。
 - **個別装置はシールを維持したまま交換可能**なよう設計 (シールを維持したまま加工ツールを交換する)。



上アクセス工法～デブリ取り出し方イメージ～

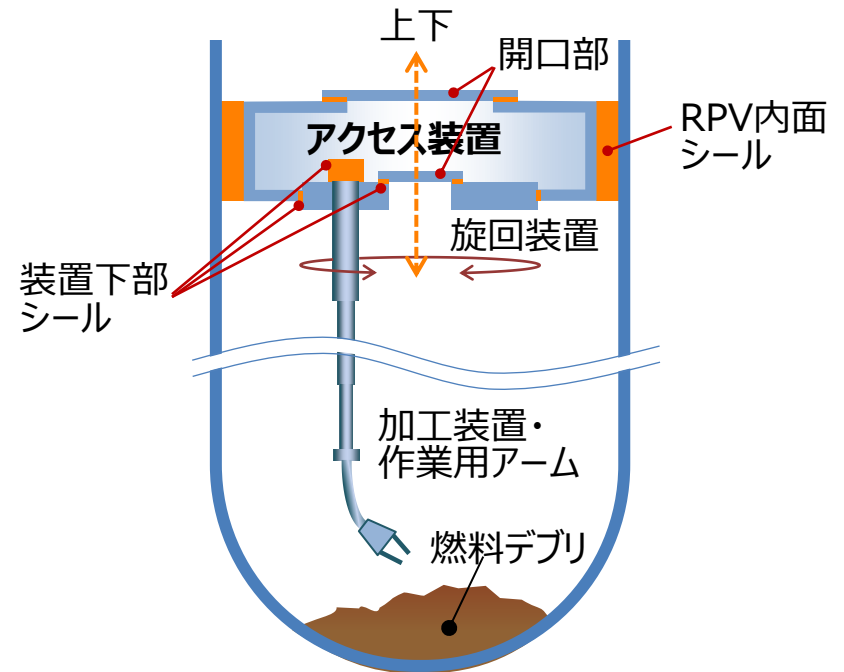


開閉式遮へいポート



ダスト飛散防止用フィルム

RPV内アクセス装置 (イメージ)



目次

1. PCV補修・止水技術開発

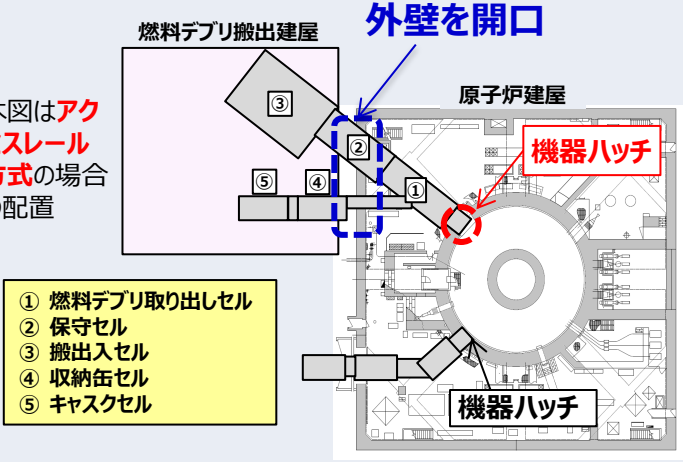
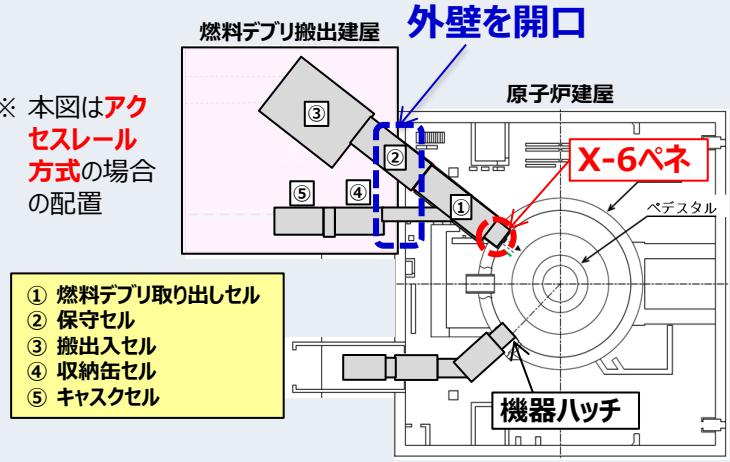
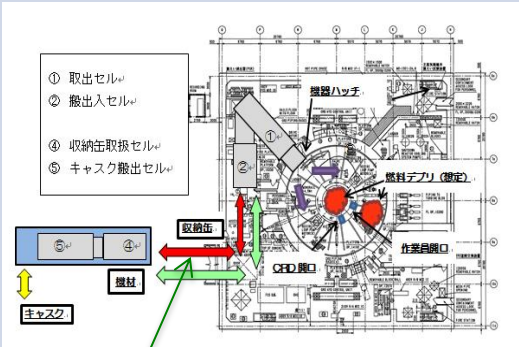
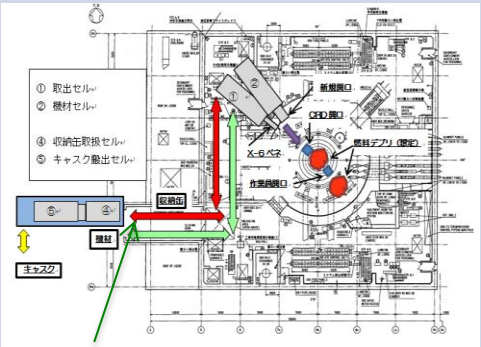
2. 燃料デブリ取り出し技術開発

- ・上アクセス工法
- ・横アクセス工法**
- ・安全系システム

3. 収納・移送・保管技術開発

横アクセス工法～デブリ搬出ルート～

■ デブリ搬出ルートについて、以下の**2ケース（PLAN-A、B）**について検討。

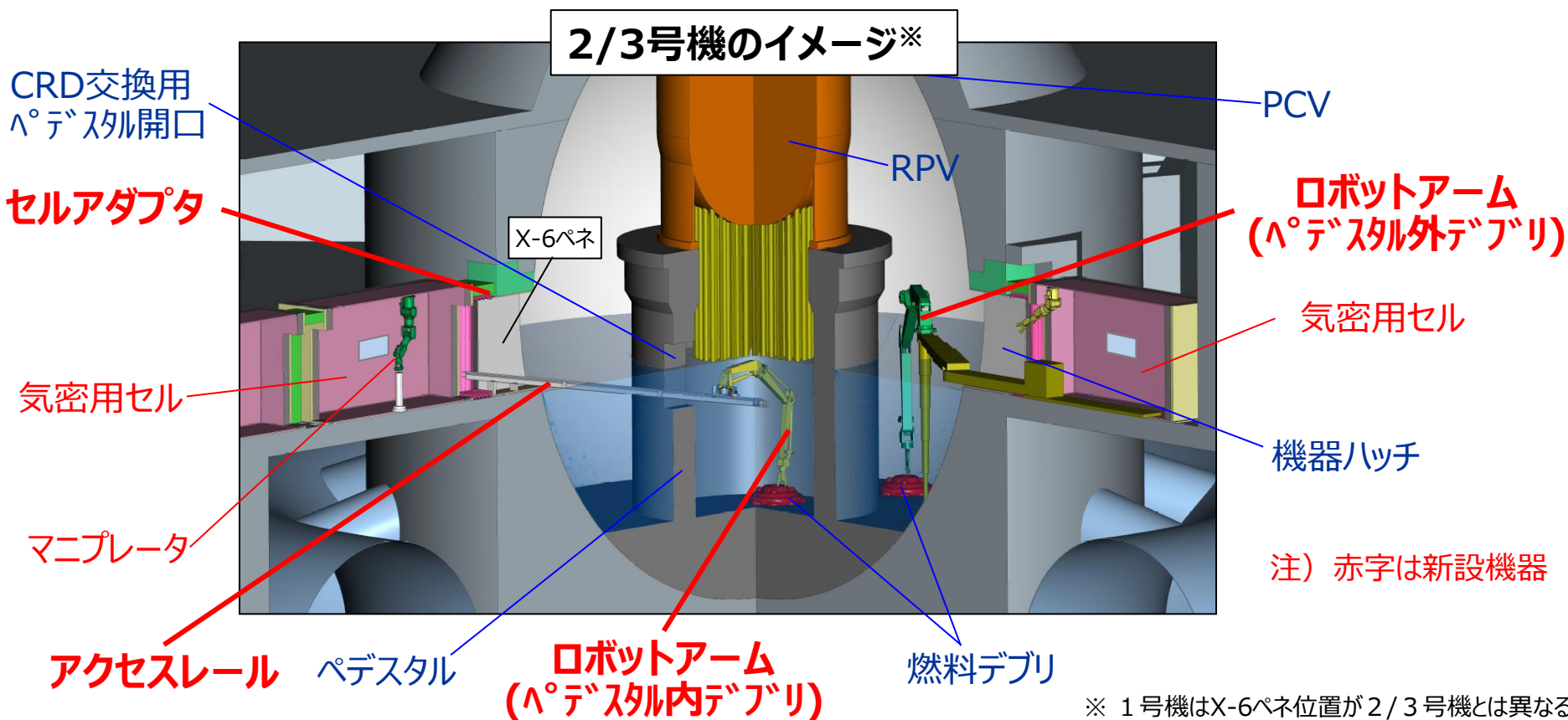
号機	1号機	2/3号機
配置の基本的な考え方	<p>・比較的アクセスのしやすいPCV西側を使用して、デブリの搬出は「機器ハッチ」から。</p>	<p>・比較的アクセスのしやすいPCV西側を使用して、デブリの搬出は「X-6ペネ」から。</p>
<p>PLAN-A</p> <p>デブリはR/B外壁を開口して搬出</p>	<p>※ 本図はアクセスレール方式の場合の配置</p> 	<p>※ 本図はアクセスレール方式の場合の配置</p> 
<p>PLAN-B</p> <p>デブリはR/B大物搬入口から搬出</p>	 <p>大物搬入口</p>	 <p>大物搬入口</p>

配置計画

【PLAN-A】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。

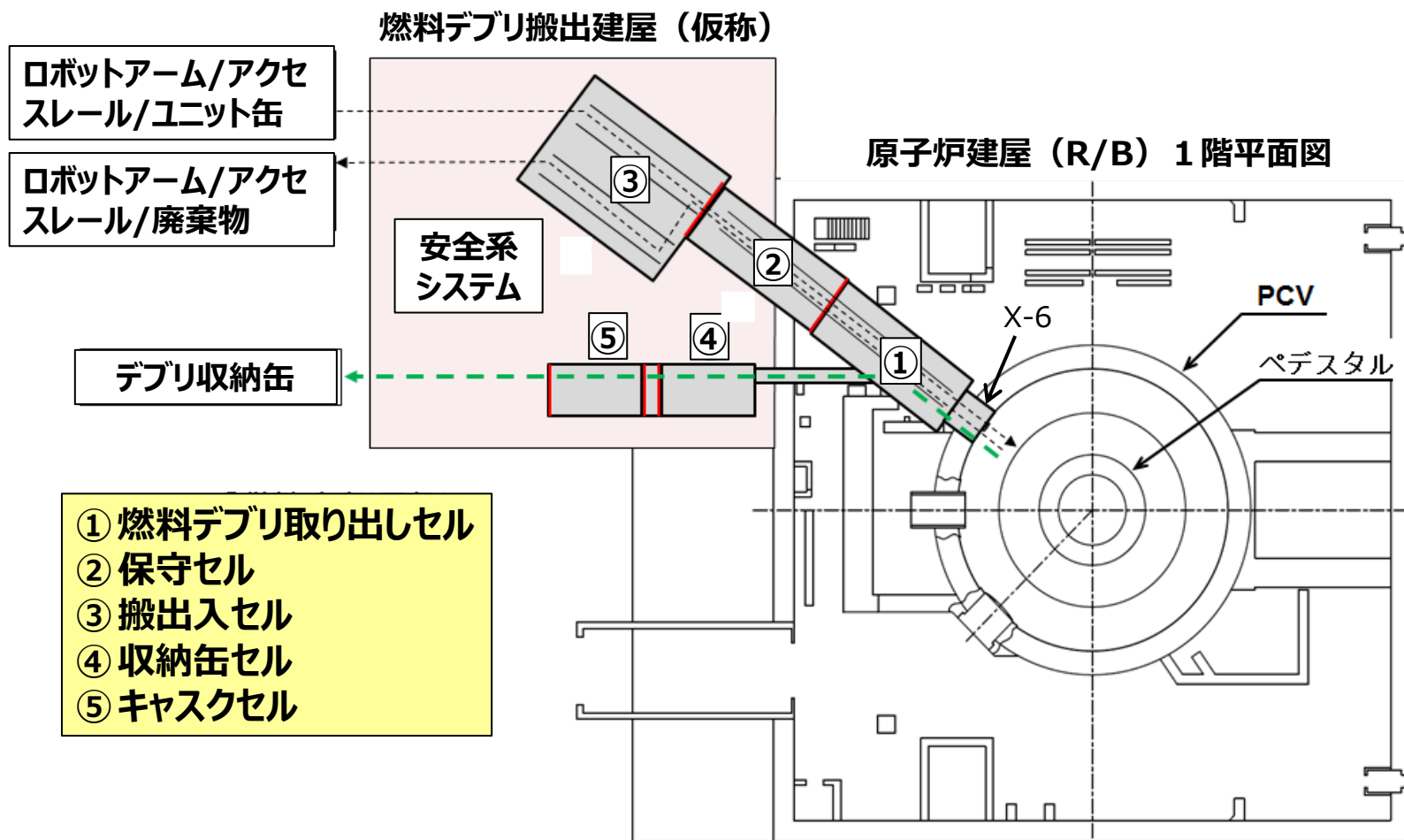


※ 1号機はX-6ペネ位置が2/3号機とは異なる

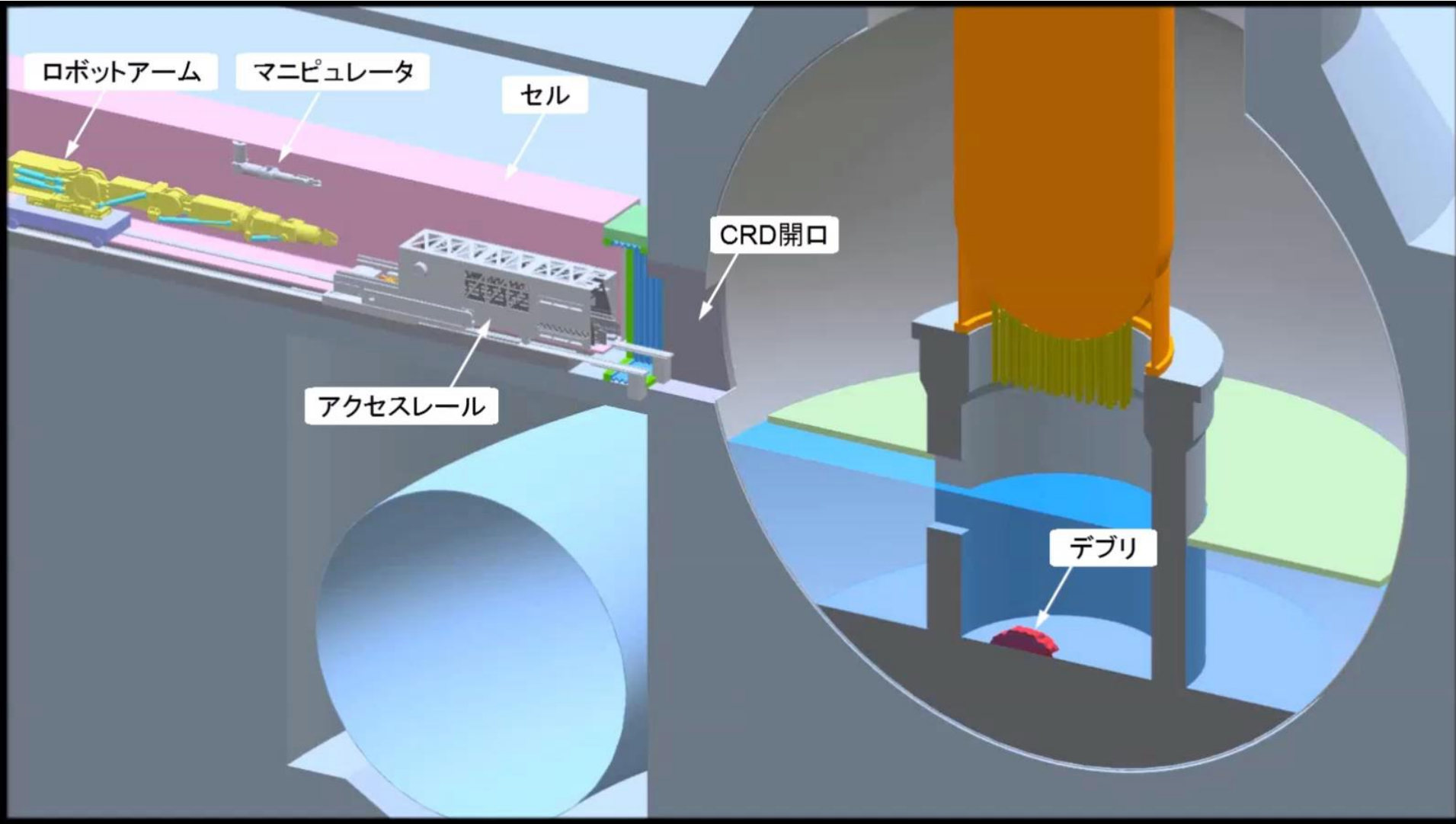
【PLAN-A】アクセスレール方式～レイアウト～

レイアウト

- 気密/遮へい機能を有した**複数のセルを連結**し、R/B1階フロアに設置。
- **燃料デブリ搬出建屋**（仮称）をR/B脇に増設。安全系システムも併せて収納。



【PLAN-A】アクセスレール方式～取り出しイメージ～(動画)



【PLAN-A】アクセスレール方式～工場モックアップ～(動画)



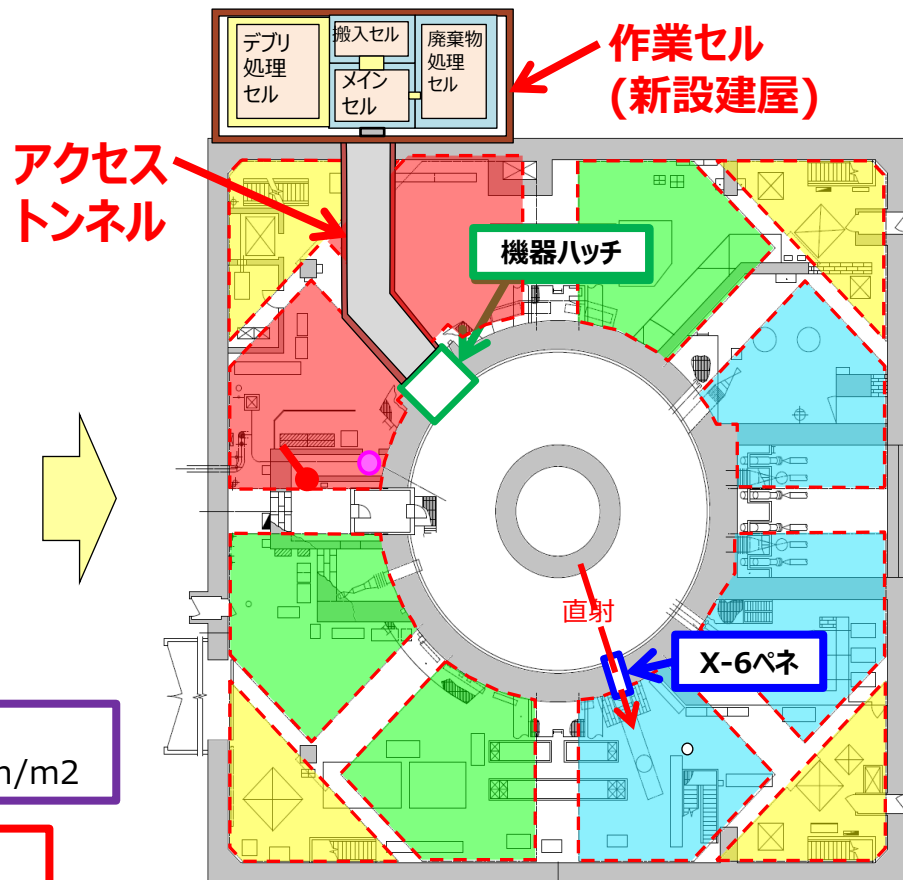
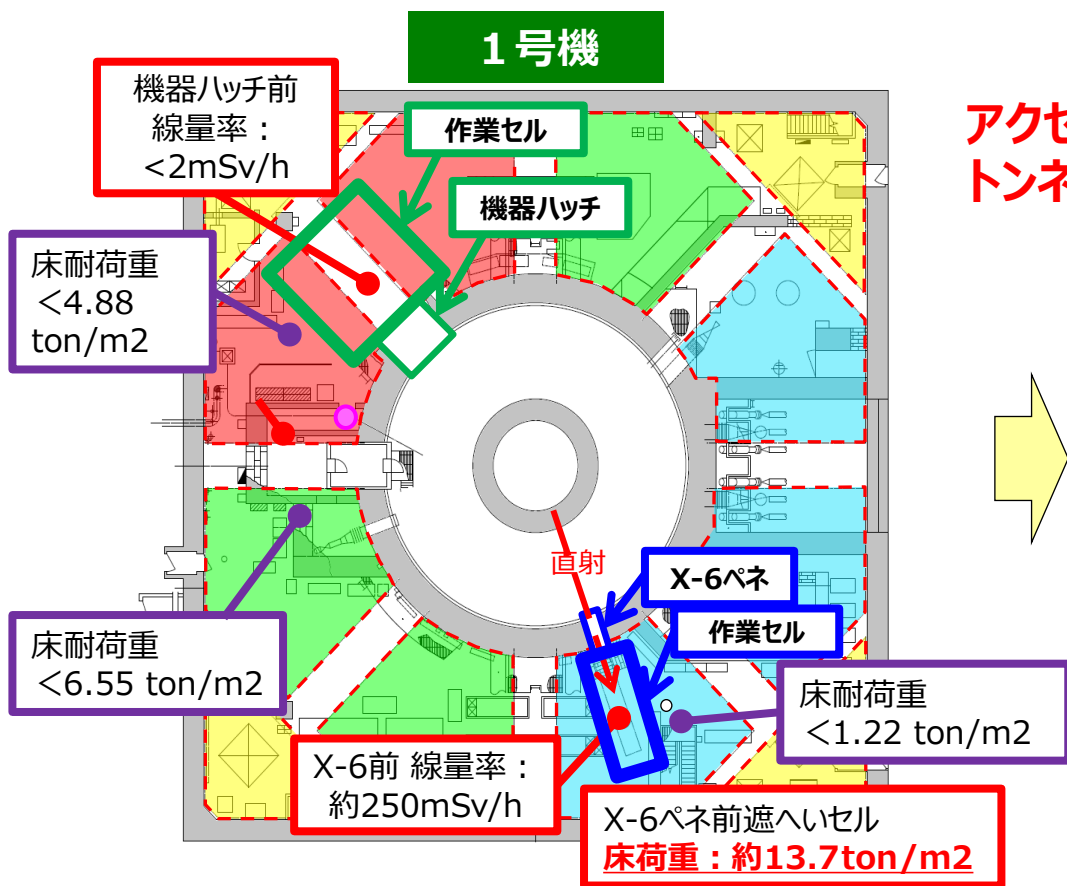
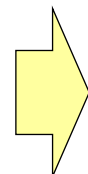
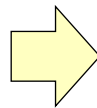
【PLAN-A'】アクセストンネル方式～コンセプト～

■ 1号機R/B 1階の制約条件

- 周囲線量率：全エリア高い
- 床耐荷重：作業セル（遮へい重量物）設置は厳しい

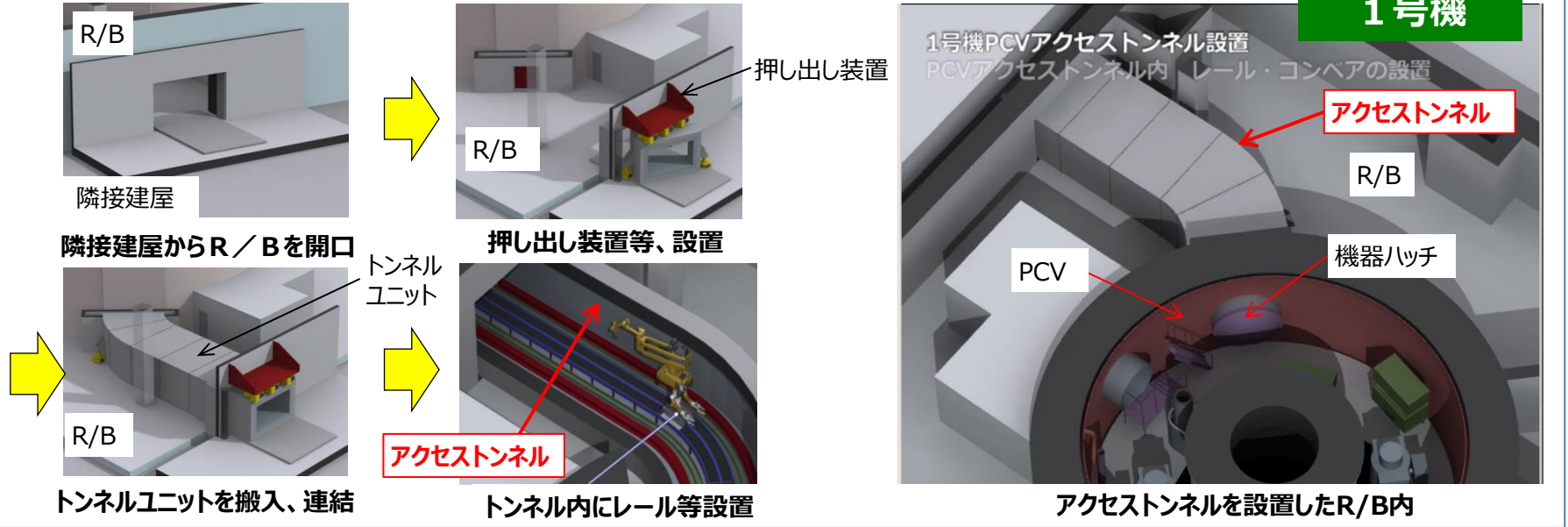
■ アクセストンネル方式のコンセプト

- ① 作業員の接近は新設建屋までとする
(1階フロアでの作業を最小化)
- ② 1階床への荷重負担を軽減

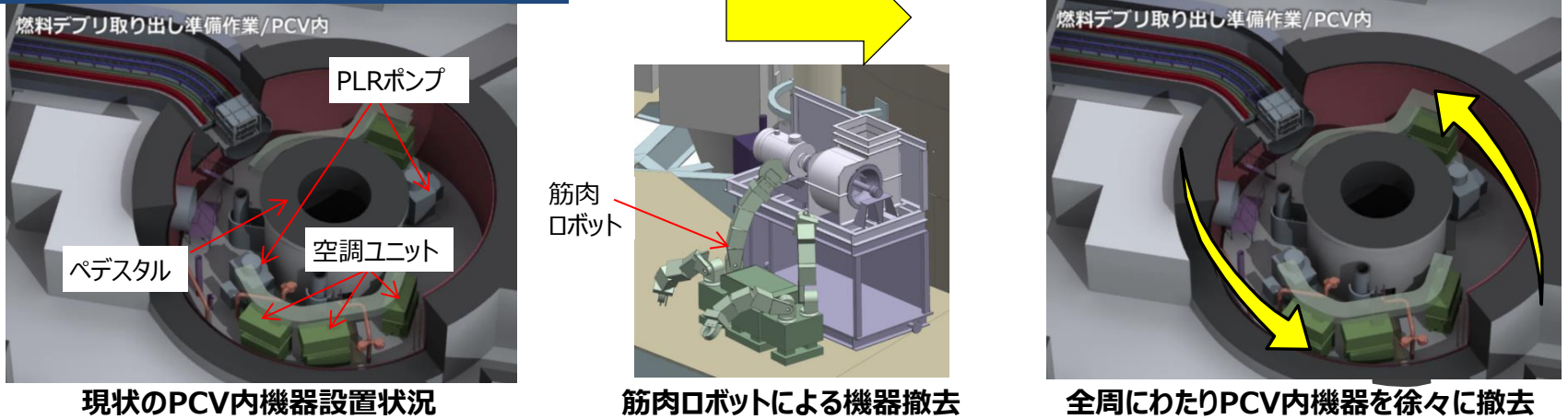


【PLAN-A'】アクセストンネル方式～トンネル構築～

隣接建屋・アクセストンネル構築

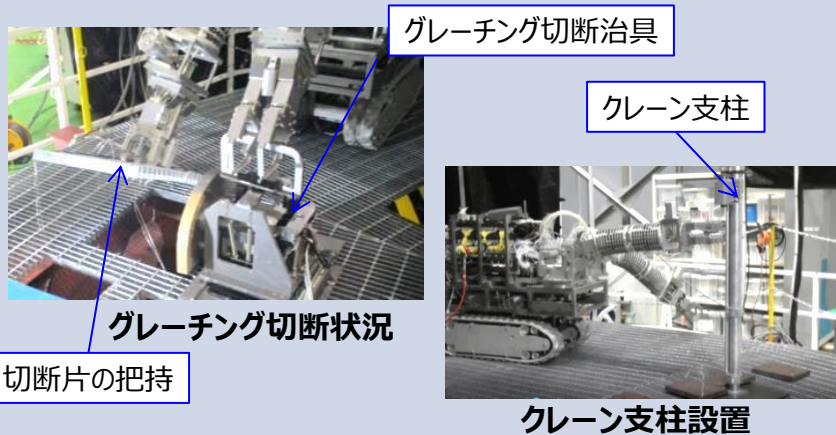
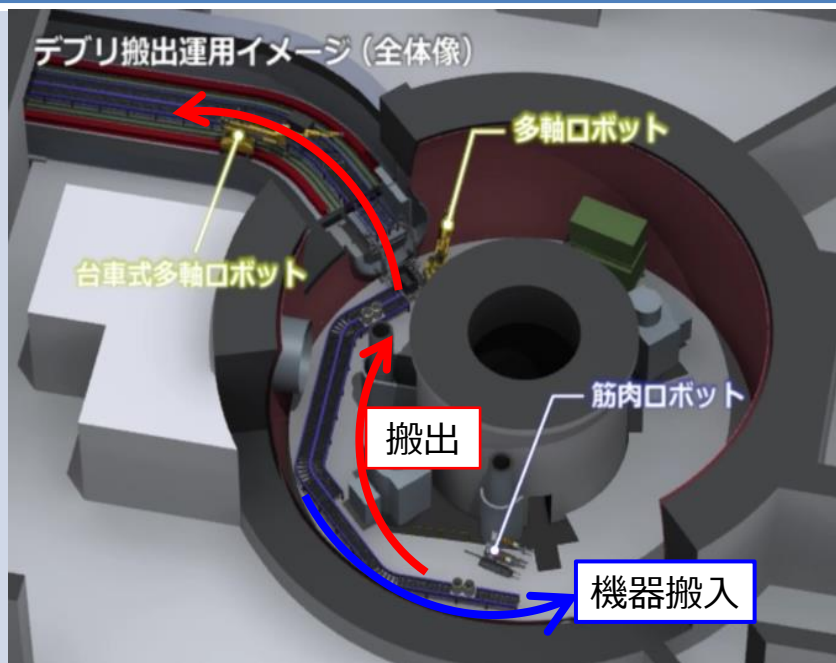


PCV内環境構築（障害物撤去）

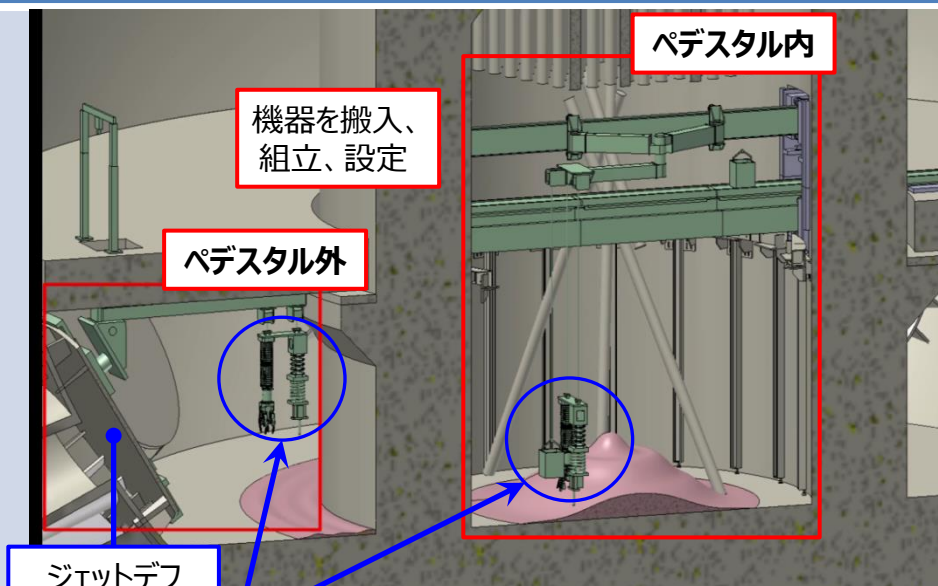


【PLAN-A´】アクセストネル方式～デブリ搬出～

デブリの搬出(イメージ)



ペDESTAL内外デブリの回収(イメージ)



先端ツールの例

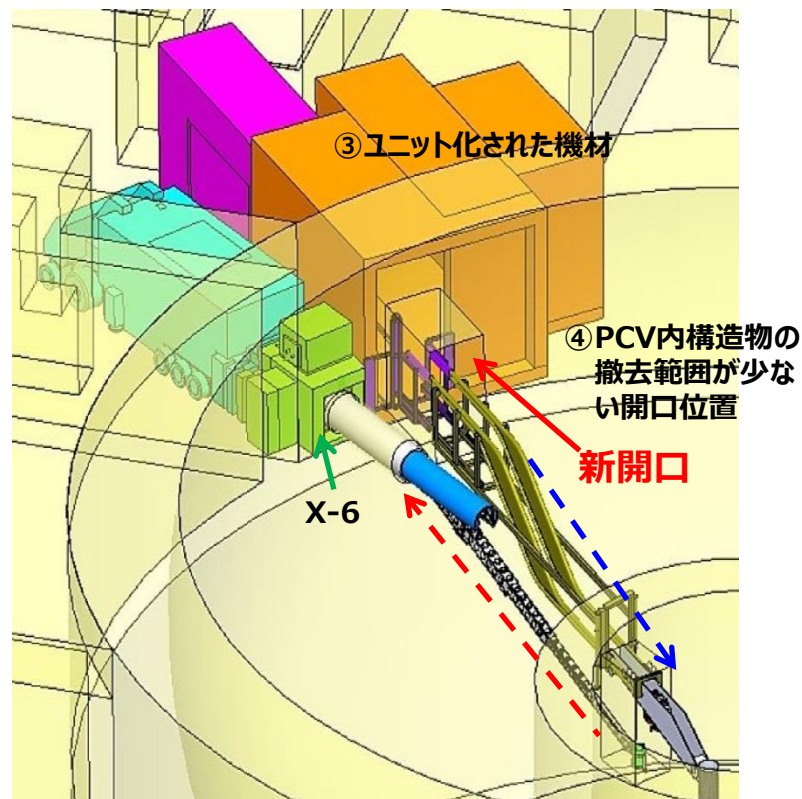
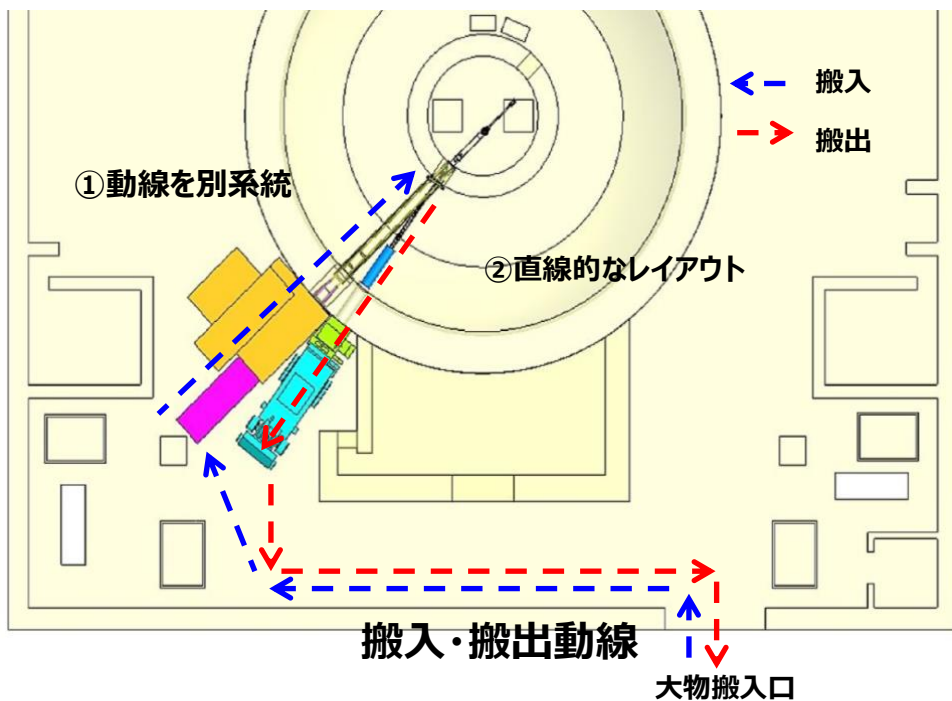


横 接 近 工 法
作 業 ス テ ッ プ

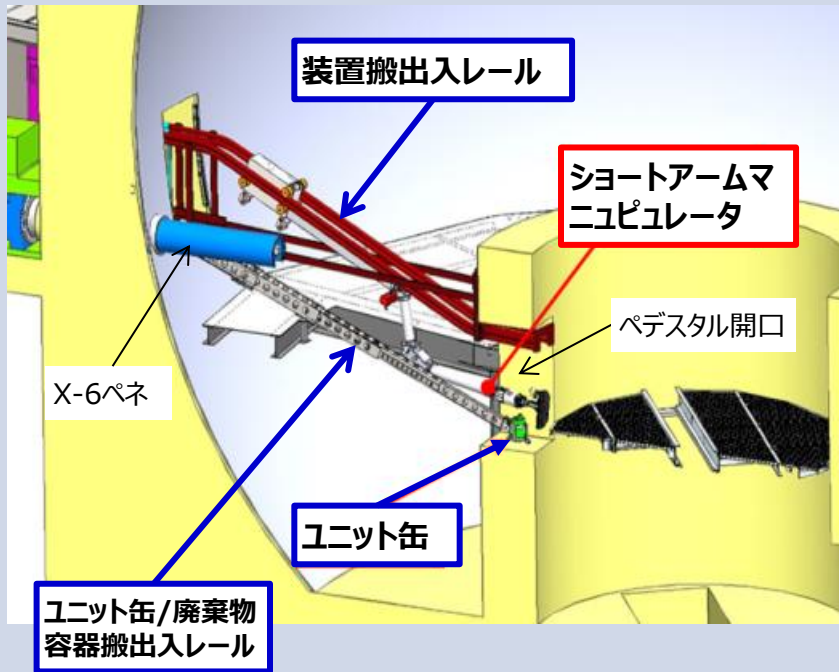
【PLAN-B】PCV新開口方式

■ X-6ペネ脇のPCVに新開口を設置。

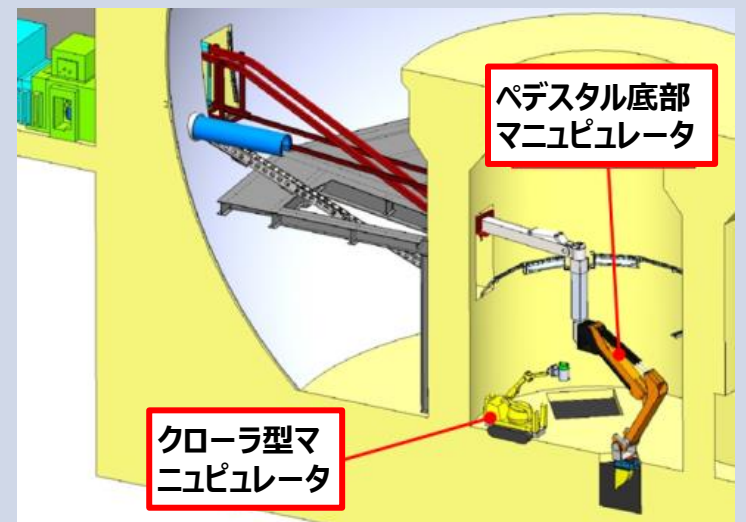
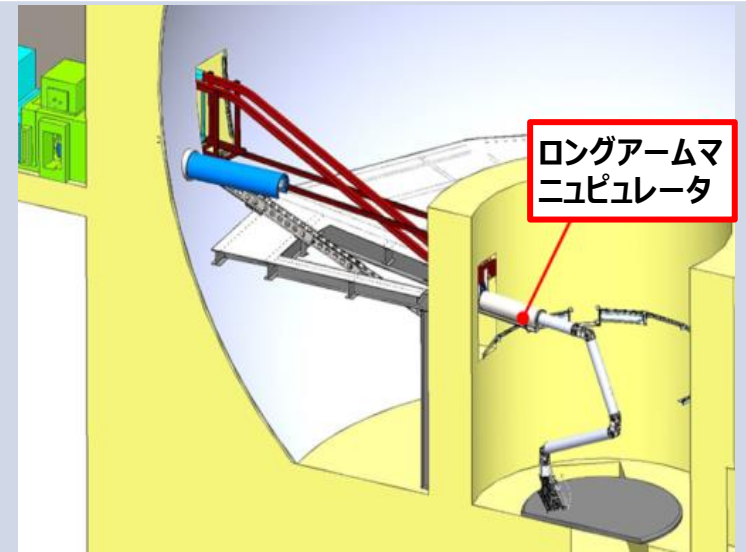
- ①装置搬入とデブリ・廃棄物搬出の動線を別系統に。
- ②直線的なレイアウト→シンプルな動線のため非常時の対応が容易
- ③機材は工場でユニット化→現場作業を低減
- ④開口は、PCV内構造物の撤去範囲が少ない位置を選定



ペDESTアル内落下物の回収（イメージ）



ペDESTアル内デブリの回収（イメージ）



基盤技術開発

除染

デブリ調査

PCV補修

デブリ取出

収納・移送・保管

開発目的

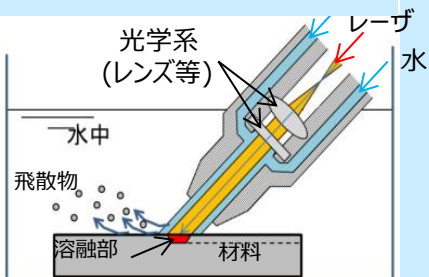
- 取り出し工法の基盤となる技術を**要素試験（縮尺モデル、実機サイズモデル）**により成立性を確認する。

コアボーリング加工

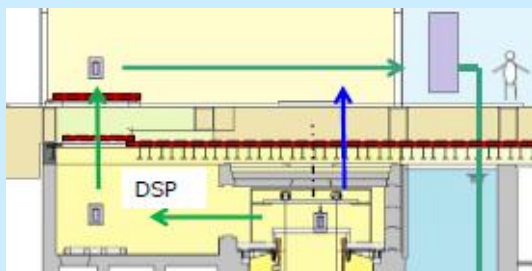


切削技術
(例)

レーザガウジング加工

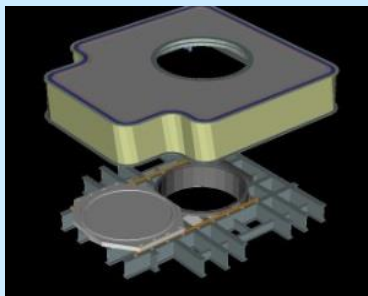


上アクセス工法作業ステップ確認

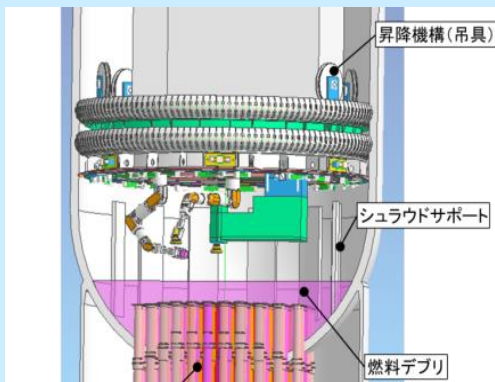


汚染拡大防止・遮へい技術
(例)

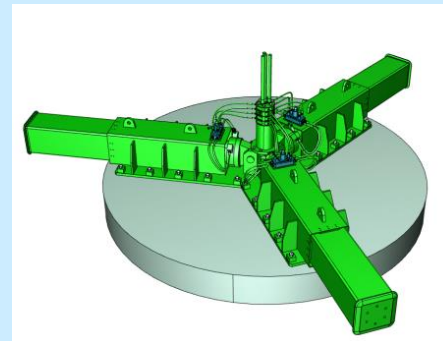
遮へいプラットフォーム



RPV内面シール



反力支持装置



アクセス技術
(例)

ペDESTル内アクセスレール



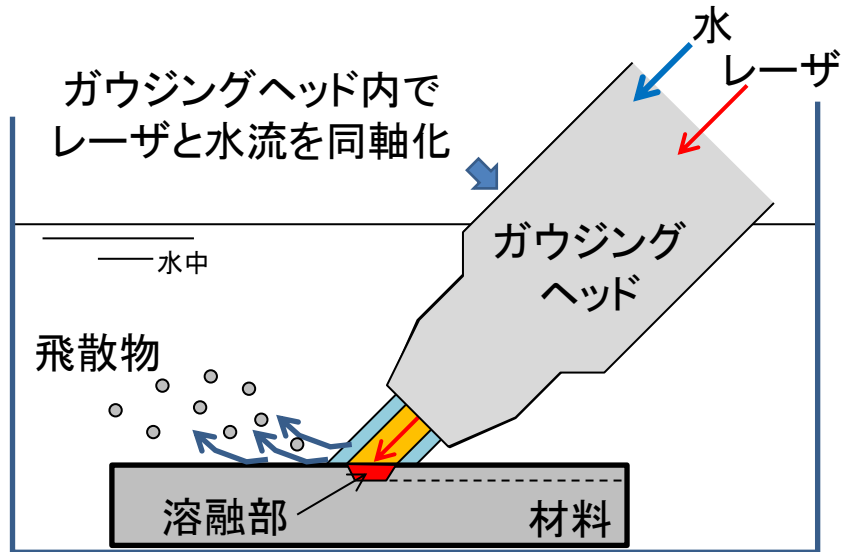
柔構造アーム



レーザーガウジング切削試験

【レーザーガウジングの原理】

- 水流にレーザーを透過させて、**水流とレーザーを同軸**にして材料表面に照射
- レーザ照射部を加熱、溶融させて、その**溶融物を水流で除去**



レーザーガウジングの概念図

水中でのレーザーはつり



H26年度試験結果

【レーザーはつり加工の特徴】

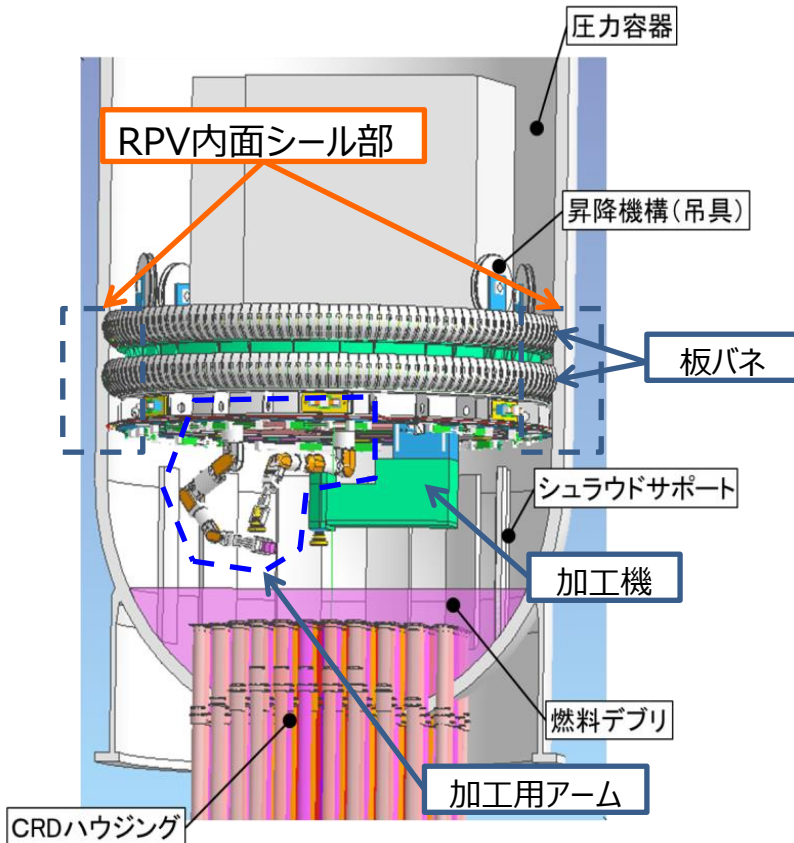
- 溶融除去した材料の99%以上が水中もしくは沈殿物として水槽内に溜まり、**気中への飛散する加工屑が少ない**
- **デブリの硬さに左右されない**加工方法
- レーザが透過可能な**水流を大気中に噴出することが難しい**（現状の課題）

レーザガウジング切削試験(動画)

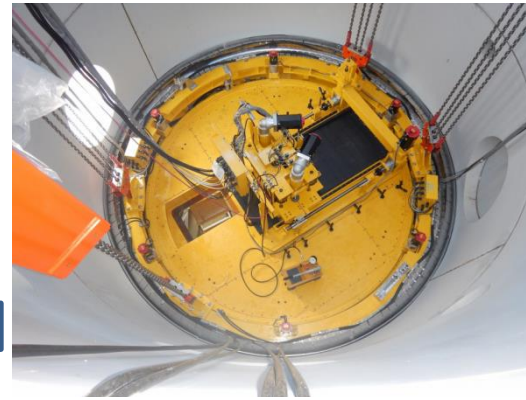


RPV内面シール性機能確認試験

- 気中-上アクセス工法におけるRPV内アクセス装置のRPV内面のシール性を実規模大（1/1スケール）試験設備を使って確認する。



RPV内面シールイメージ



共通装置（試験タンク吊り下ろし）



1/1試験模擬設備



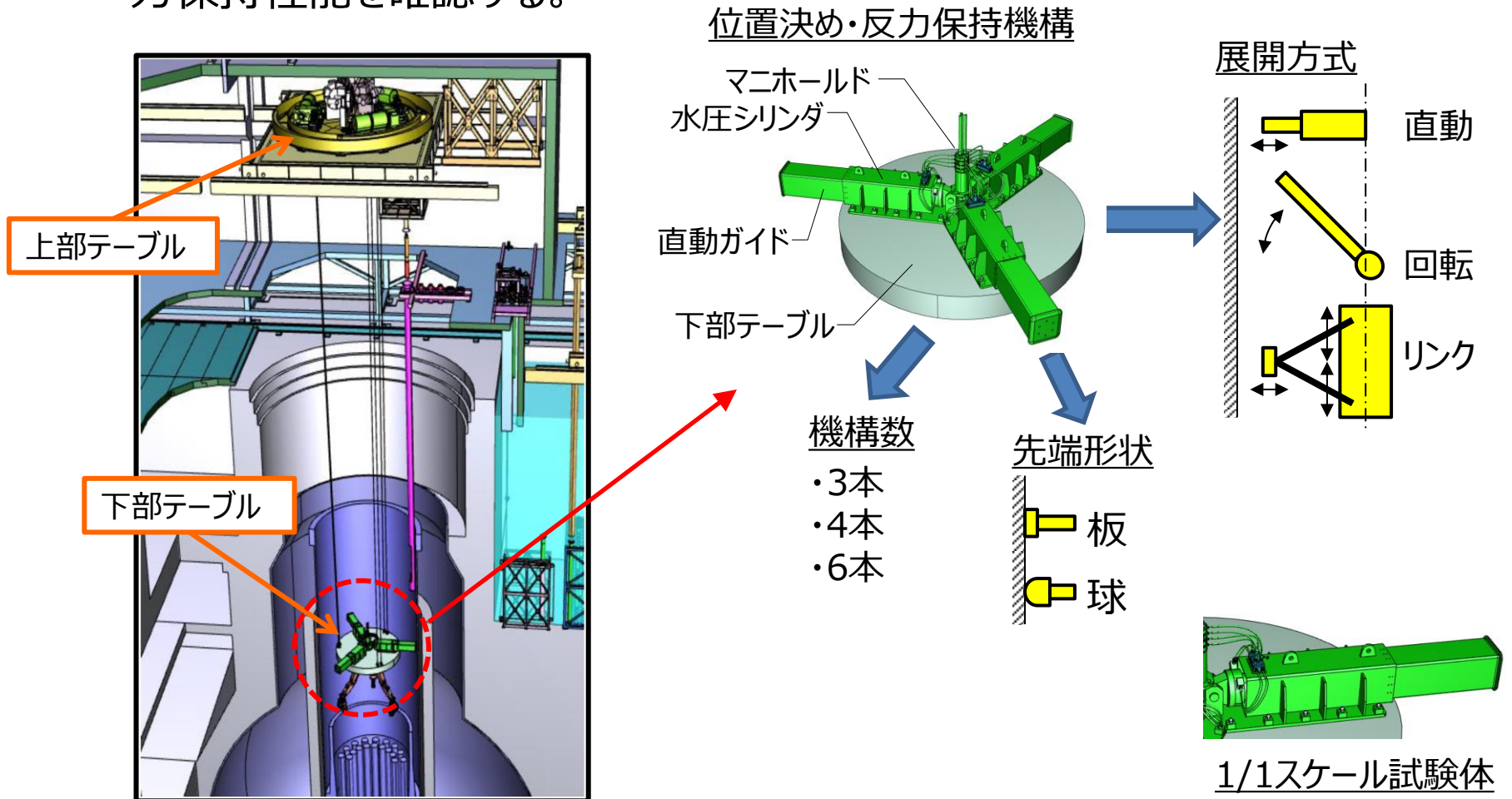
共通装置（全景）



共通装置（下面）

位置決め・反力保持機構機能確認試験

- 冠水-上アクセス工法におけるRPVアクセス装置の位置決め／反力保持機構の1/1スケール単体試験、および1/4スケールモデル試験により、位置決め・反力保持性能を確認する。



ロボットアーム／アクセスレール

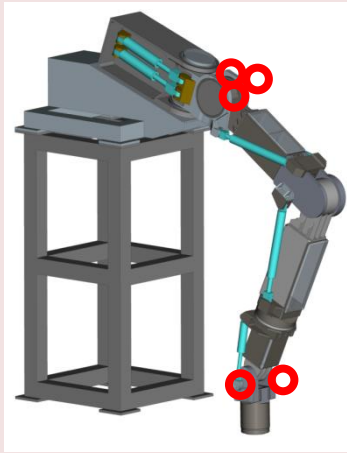
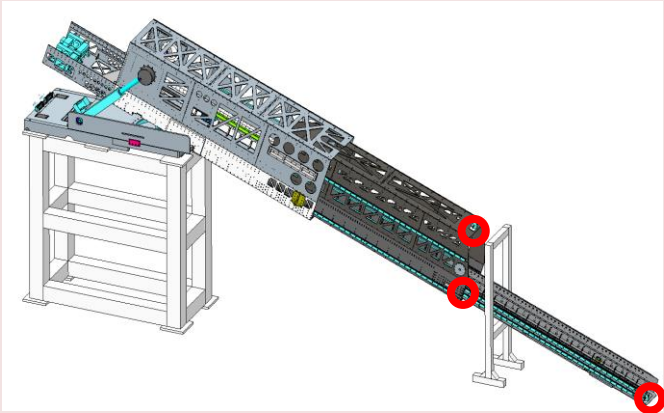
<ロボットアーム仕様>

- ①先端負荷：2,000kg
(径60mm程度のコアボーリングを想定)
- ②アーム長：7,100mm
(RPV底部からペDESTAL底面下1.5mまでのアクセスを想定)
- ③多軸：6軸 (先端ツール位置決めより選定)

<アクセスレール機能>

- ①ロボットアームのペDESTAL内案内
(ペDESTAL中央までの案内を想定)
- ②ユニット缶の、セル⇄ペDESTAL内移動

○ カメラ設置予定位置

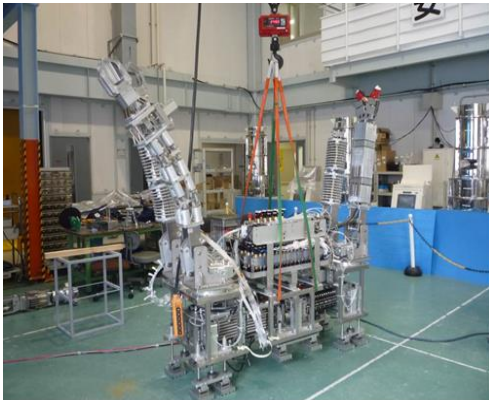
	ロボットアーム	アクセスレール
図		
寸法 重量	幅700×アーム長7,100 ×高さ920mm 質量：約3.5ton	幅1,900×長さ8,000 (縮時) ×高さ2,500mm 長さ17,000 (伸時) 質量：約14.5ton

柔構造アーム機能確認試験

- 耐放射性、耐衝撃性に優れる柔構造アーム（愛称：「筋肉ロボット」）の基本的な成立性および開発課題を抽出する。

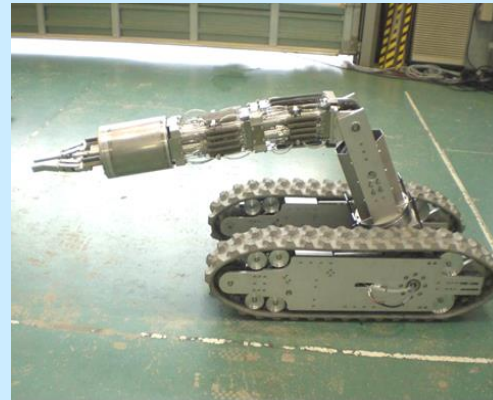
試作機 タイプⅠ

寸法：全長1800mm
幅630mm
高さ1000mm
重量：約690 k g



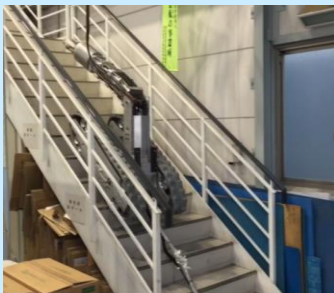
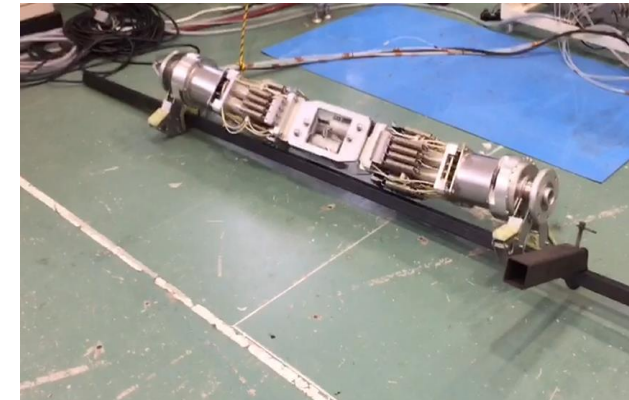
試作機 タイプⅡ

寸法：全長2750mm
幅590mm
高さ350mm（胴部）
重量：約220 k g

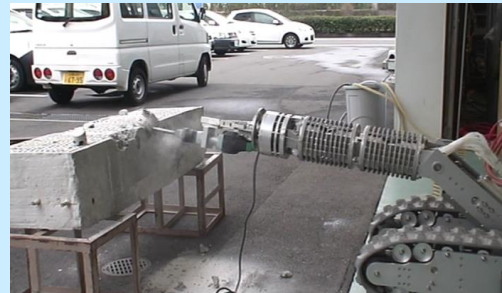


試作機 タイプⅢ

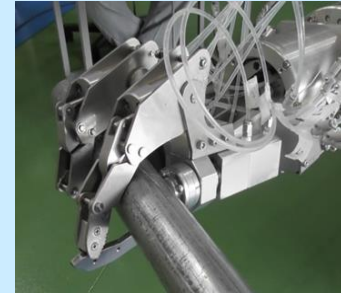
寸法：全長1635mm
幅430mm
高さ185mm（胴部）
重量：約64 k g



階段走行試験



コンクリート破砕試験



把持動作



模擬バルブ開閉

目次

1. PCV補修・止水技術開発

2. 燃料デブリ取り出し技術開発

- ・上アクセス工法
- ・横アクセス工法
- ・安全系システム**

3. 収納・移送・保管技術開発

安全系システム

除染

デブリ調査

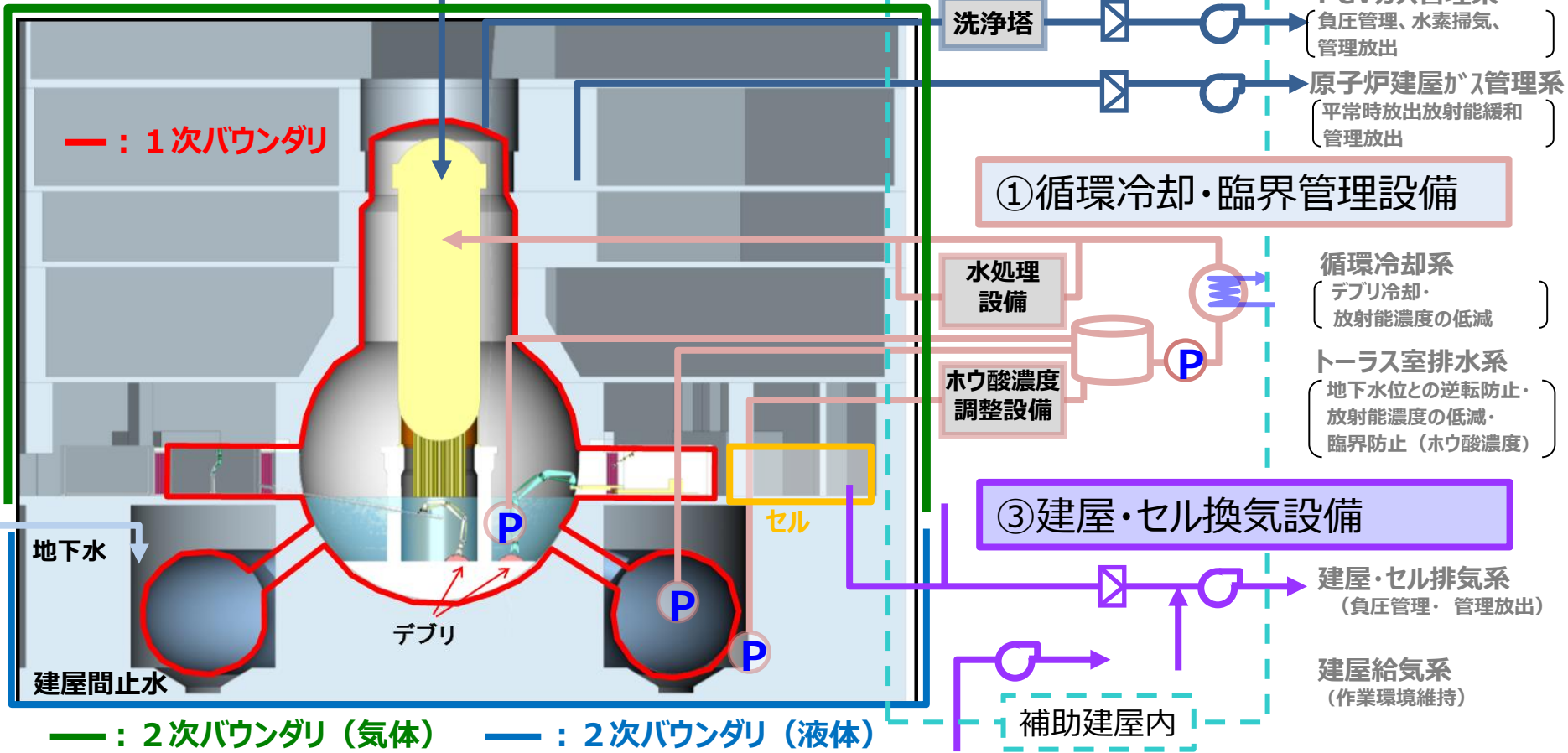
PCV補修

デブリ取出

収納・移送・保管

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次バウンダリ (気体)

— : 2次バウンダリ (液体)

目次

1. PCV補修・止水技術開発

2. 燃料デブリ取り出し技術開発

- ・上アクセス工法
- ・横アクセス工法
- ・安全系システム

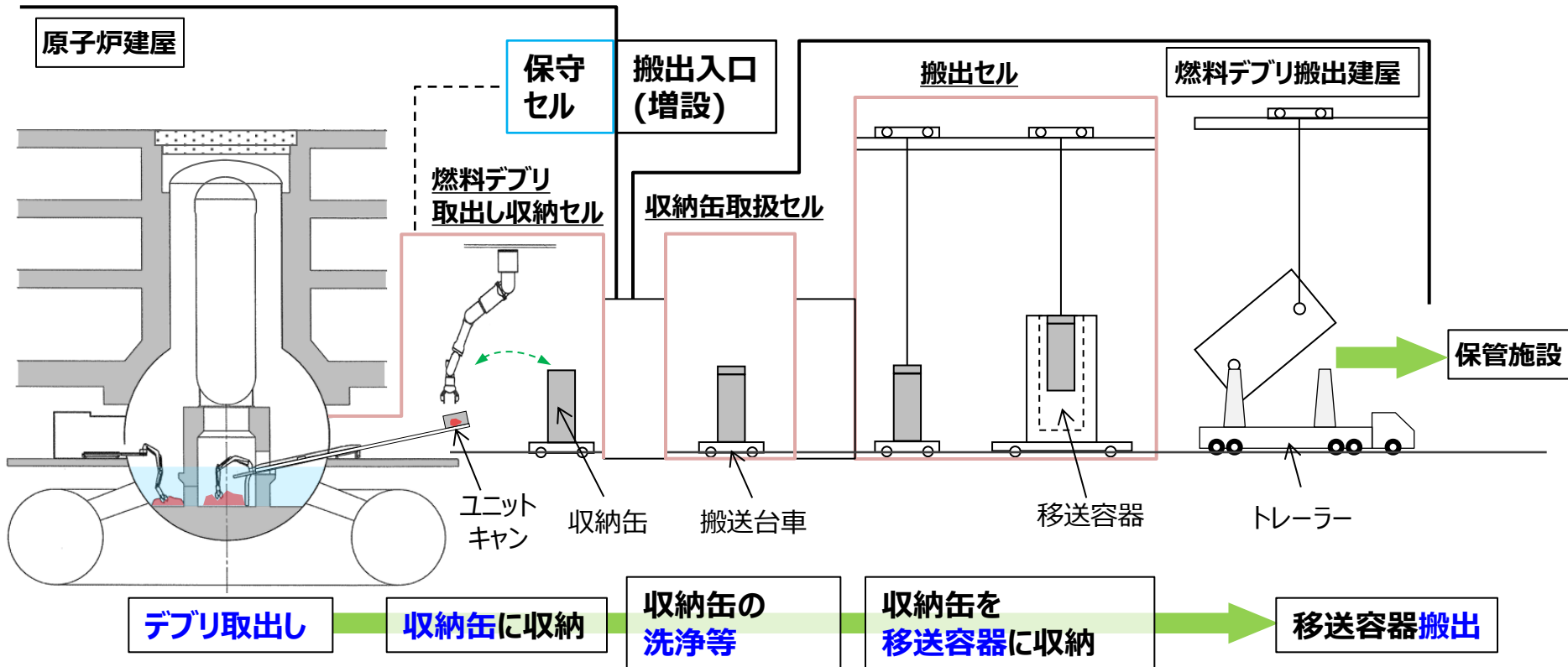
3. 収納・移送・保管技術開発

収納缶の設計

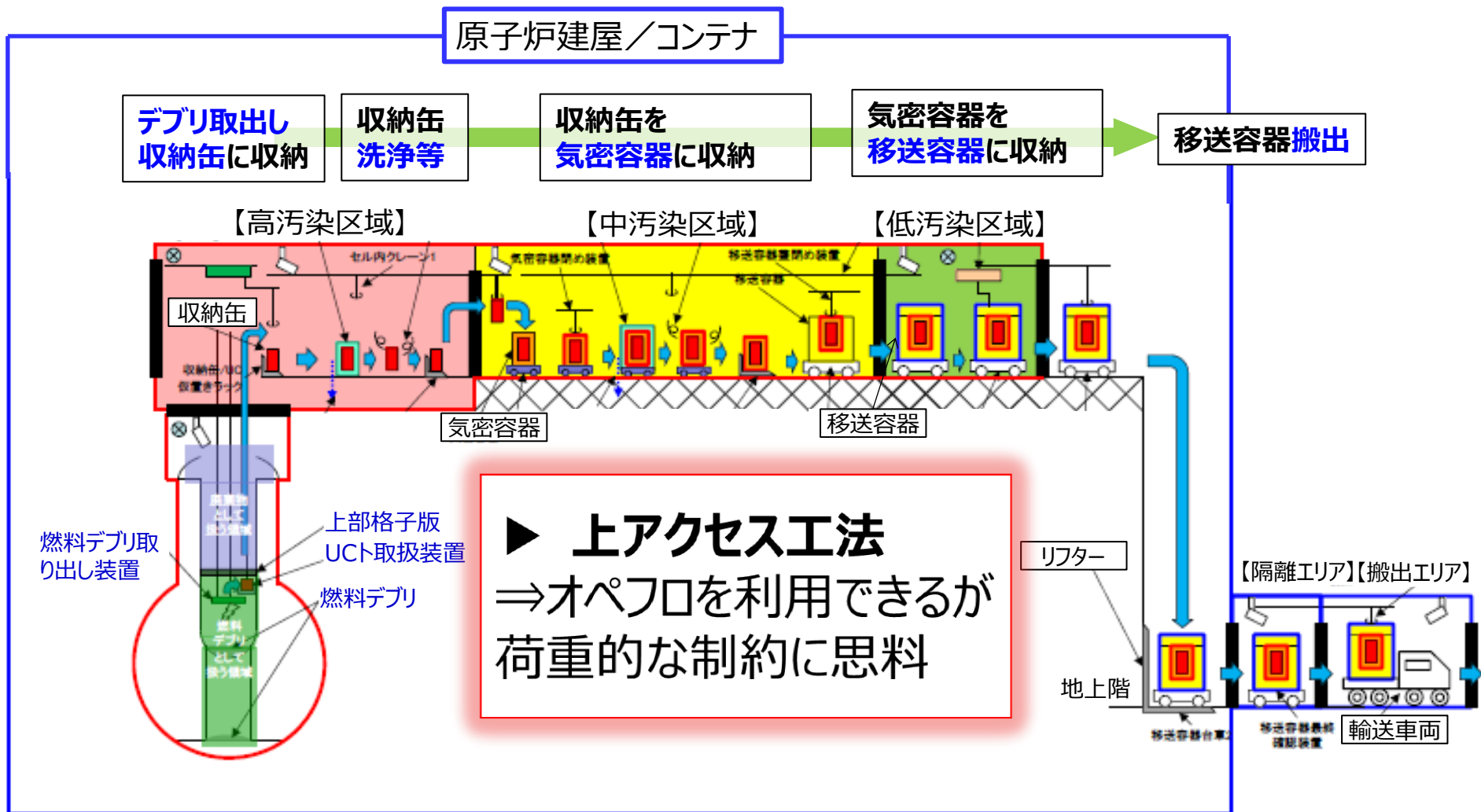
⇒1F固有の課題に対処

- 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）



移送方法（上アクセス工法の場合：例）



ご清聴ありがとうございました。