

研究成果報告

IRIDの研究開発の状況

2021年 12月8日

国際廃炉研究開発機構（IRID）

高守 謙郎

各補助事業の解説動画及び報告資料は <https://irid.or.jp>にてご覧いただけます。

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の技術開発

■ 組合員 ・ 国立研究開発法人：2 法人

日本原子力研究開発機構（JAEA）、産業技術総合研究所（AIST）

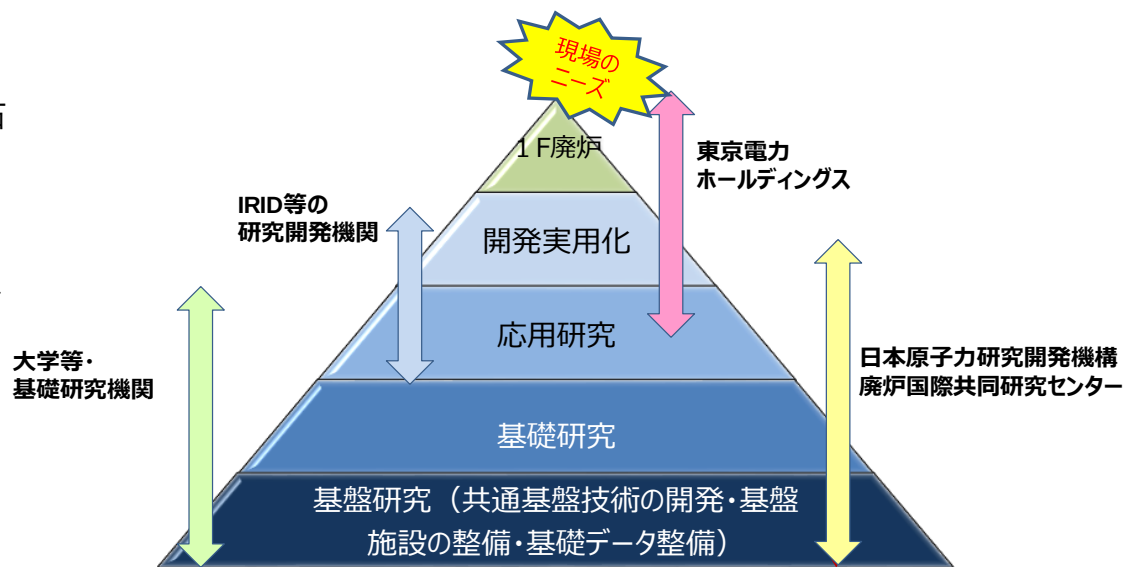
・ メーカー等：4 社

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：12社

北海道電力(株)、東北電力(株)、東京電力HD(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)

- ・ 福島第一原子力発電所の廃炉作業を可能とすること。
- ・ 設計可能な技術構成プランを開発・提供し、エンジニアリングを支援。



研究開発の体制

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り出した燃料集合体の長期健全性評価

2016.3終了

3. 廃棄物対策に係る研究開発

固体廃棄物の
先行的処理手法
技術

2019.3終了

固体廃棄物の
処理・処分
技術

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

燃料デブリ取り出し技術

燃料デブリ・炉内構造物取出 臨界管理・基盤技術小型中性子検出器

2019.3終了

燃料デブリ・
炉内構造物
取り出し技術・工法
開発

燃料デブリ・
炉内構造物取出
ダスト集塵
システム

燃料デブリ
収納・移送
・保管技術

燃料デブリ取り出し
安全システムの
開発

環境整備技術

＜安定状態の確保＞

RPV/PCVの
腐食抑制・耐震性評価

2018.3終了

PCV漏えい箇所の
補修・止水及び実規模試験

2018.3終了

PCV内水循環技術 実規模試験

2019.3終了

内部調査・分析技術

＜間接的調査＞

＜直接的調査＞

RPV内燃料デブリ検知技術・評価

2018.3終了

総合的な炉内状況把握の高度化

2018.3終了

PCV詳細調査技術

2019.3終了

RPV
内部調査
技術

PCV詳細調査
X-6 α ネ
実証（自主）

PCV詳細調査
堆積物
実証（自主）

燃料
デブリ性状
把握・分析

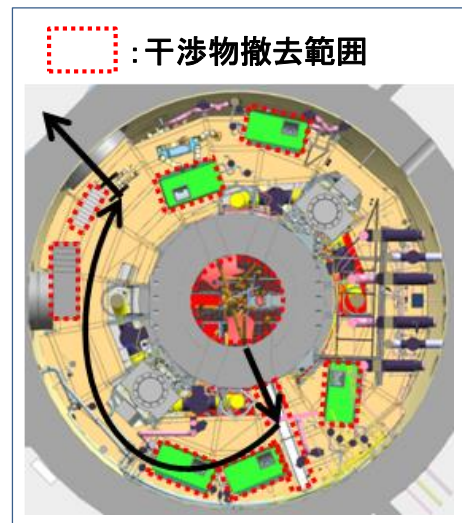
燃料デブリ
サンプリング・
規模拡大
技術

バックグラウンド

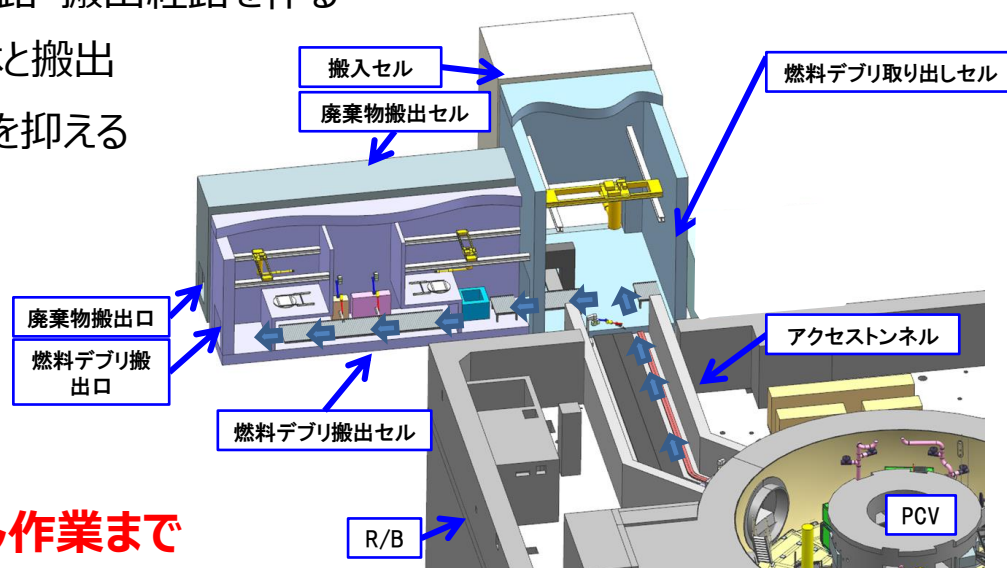
- 事故後の現場がスタート：
 - 現場状況が不明確：調査；燃料デブリの所在、量、物性の把握
 - 高放射線・高汚染環境：作業線量；遠隔作業/ロボットの活用
- 不定型の燃料を取り扱う設備：原子力発電システムでない
 - 作業設計；回収・収納・移送・保管の**すべての作業を新たに設計**
 - 作業環境の構築；遮蔽や放射性物質のバウンダリの補修/構築/維持
- 前例がない：モデル、ビジョン、具現化された要求事項が無い
 - **デブリ取り出しシナリオ**の設定
 - **リスクの推定/評価と原子力安全を保証**する技術構成の綿密な検討
- 要素技術開発の実施や技術レベルの高度化にあたって重要な事項
 - ・ **現場調査**（作業対象物、作業エリアと環境、損傷状況 等）
 - ・ 作業の**概念設計**と機能要求及び開発ニーズの明確化
 - ・ リスクの推定と**安全設計の方針**、とりわけ具体的要求事項の抽出

作業概念の想定（基本的事項）の例

- **作業環境の確立** 作業線量低減がデブリ取出し実現のキーポイント
 - 線源撤去, 遮蔽, 汚染除去, 漏洩リスク低減
- **安全システムの設置** 作業員や環境への影響を小さくする
 - 安全要件をみたす環境制御系統の概念を確立
(汚染拡大防止、未臨界維持 他)
- **アクセス経路の構築** 遠隔作業機器や燃料デブリの搬出入
 - 機器ハッチ（大型開口）の開放と連絡トンネル
 - 格納容器への新たな開口の設置
- **干渉物の撤去** 格納容器内での移動経路・搬出経路を作る
 - 遠隔操作による機器や構造材の解体と搬出
- **燃料デブリの切削・回収** ダストの発生を抑える
 - 切削装置、回収装置
- **燃料デブリや汚染廃棄物の搬出と保管**
より確実な管理された保管状態
 - 収納缶、移送・保管設備
- **核心部は設備設置からデブリ取り出し作業まで
すべて遠隔作業かつ、精密な作業を要求される**



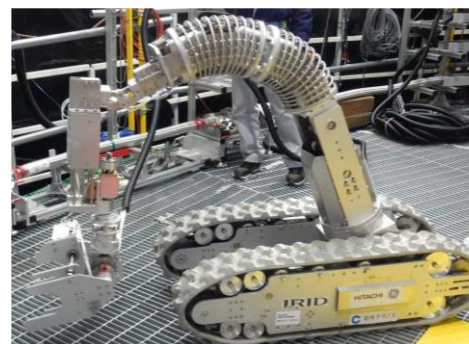
格納容器内干渉物撤去対象例



アクセス経路や搬出経路例

バウンダリの構成

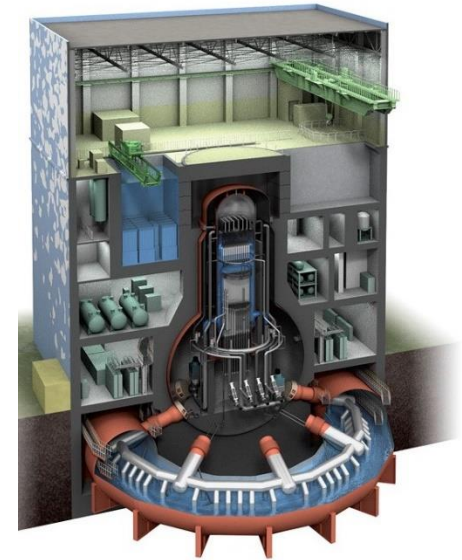
- 格納容器止水
- 水循環ラインの構築



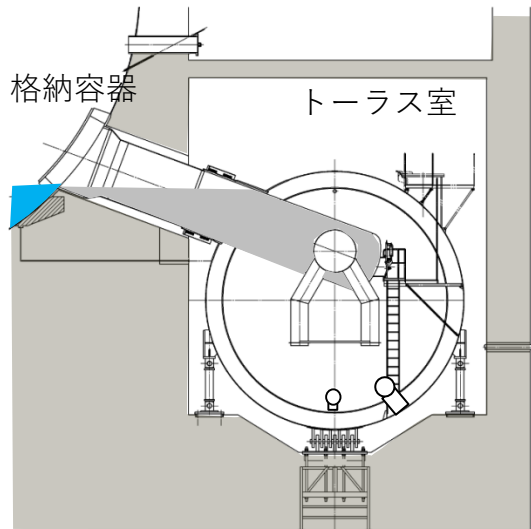
バウンダリを構成する技術開発 格納容器内液相の場合

主要要件

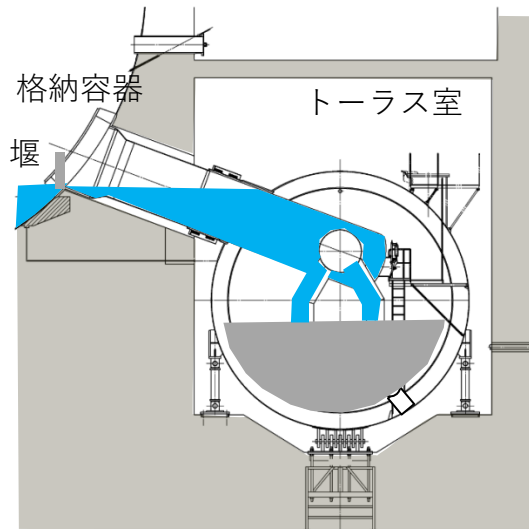
- 格納容器内からの冷却水や作業排水の漏洩を防止
- 水循環系を構築し、デブリ冷却と液相中のデブリ回収
- デブリ取り出し作業のための格納容器内水位を維持
- 安全要求／深層防護の構成を実装
- 現状の漏洩位置は未特定であり、さまざまなケースに対応できる技術構成



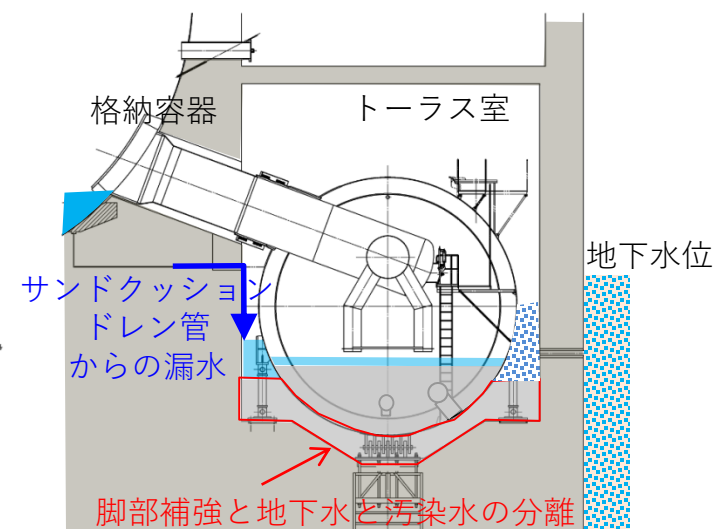
S/Cからの漏洩防止（止水工事）の検討例



ベント管止水工法

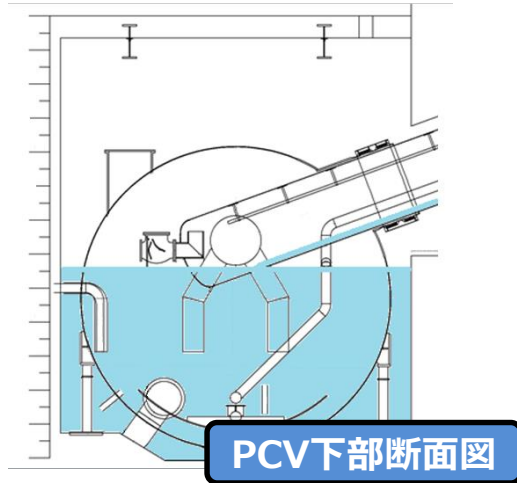


S/C充填止水工法

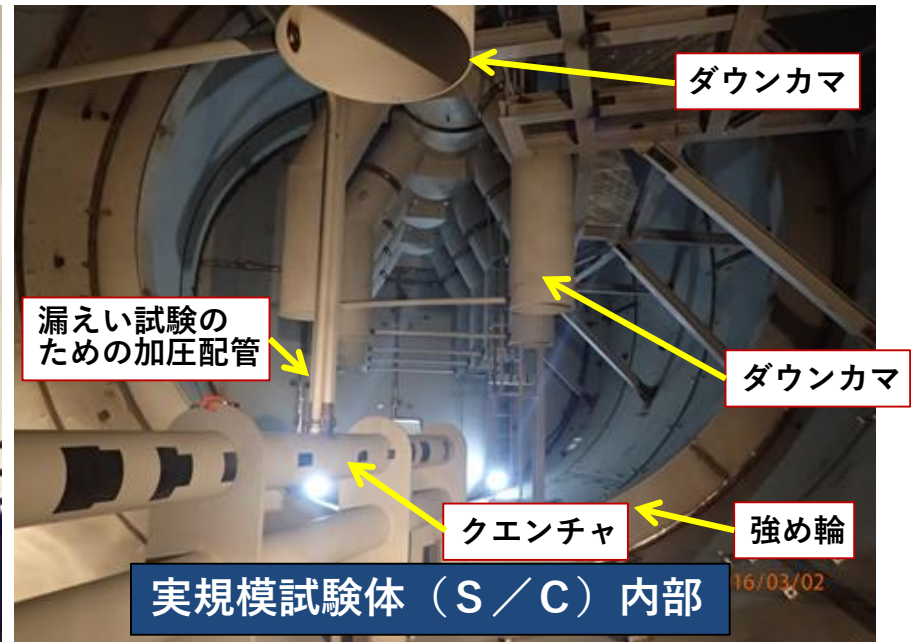


脚部補強 + S/C室内周止水（1号機）

実規模試験体による止水等技術の開発と実証



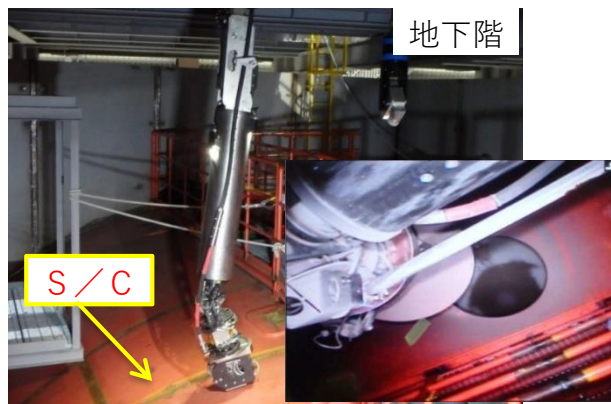
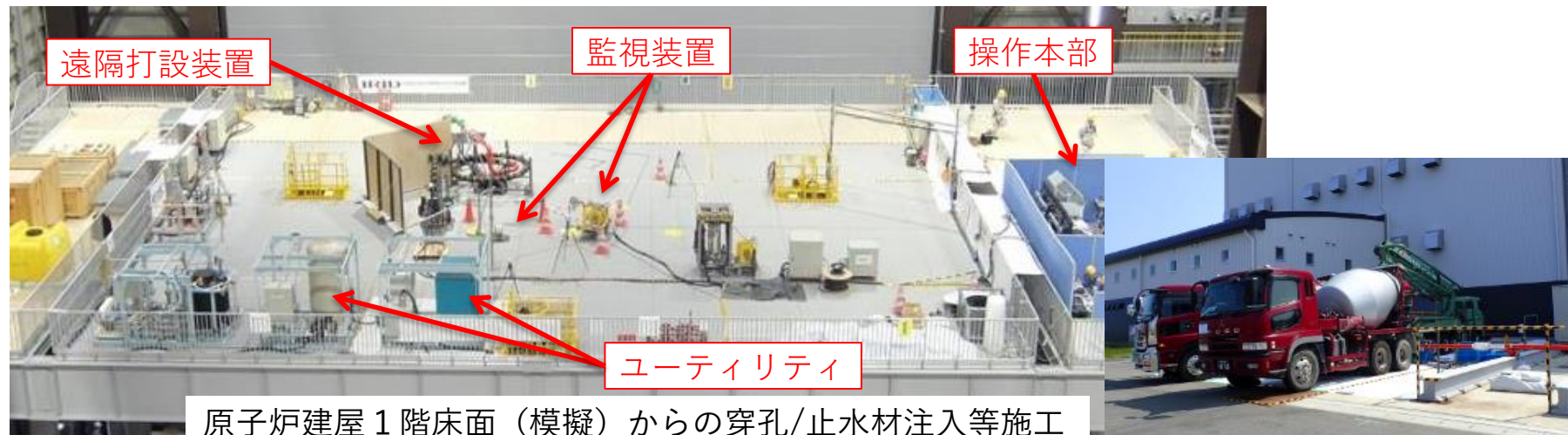
- ✓ 模擬対象プラント：2 / 3号機
- ✓ 模擬対象設備：
トラス室壁面及び原子炉格納容器下部のうち1 / 8エリア
- ✓ 試験体サイズ：約18m×約20m×約12m
- ✓ 試験体重量：約650ton（架台重量：約214ton）
- ✓ S / C直径：約9m
- ✓ ベント管直径：約2m



実規模試験体 止水材打設試験

S / C 内充填止水及びベント管止水試験の様子

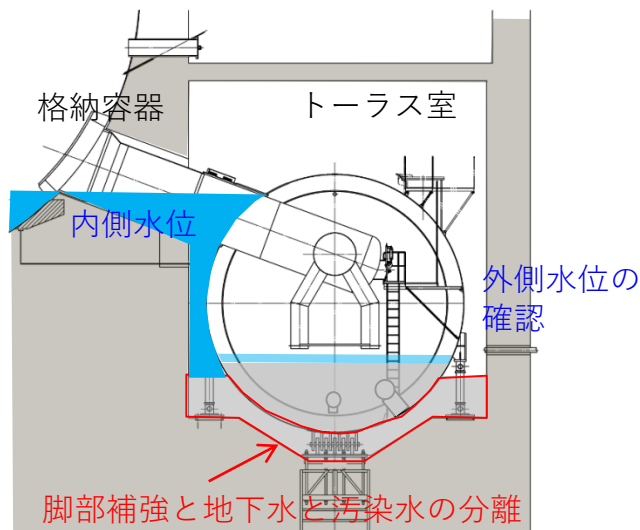
FRM (Fukushima Repair Machine) と呼称するロボットアームを用いた遠隔施工により
S / C とベント管への穿孔及びベント管内干渉物撤去までの一連の遠隔施工手順を実証。



遠隔穿孔等の様子

実規模試験体 止水材打設試験

止水確認試験：S/C室内周水張による外周への漏洩確認



実規模試験体S/C内外周側状況



左図：内側水位，右図：外側床面
外周への漏えいは確認されなかった

断面観察試験：ワイヤソーにより試験体の切断を実施



ワイヤソー切断後状況

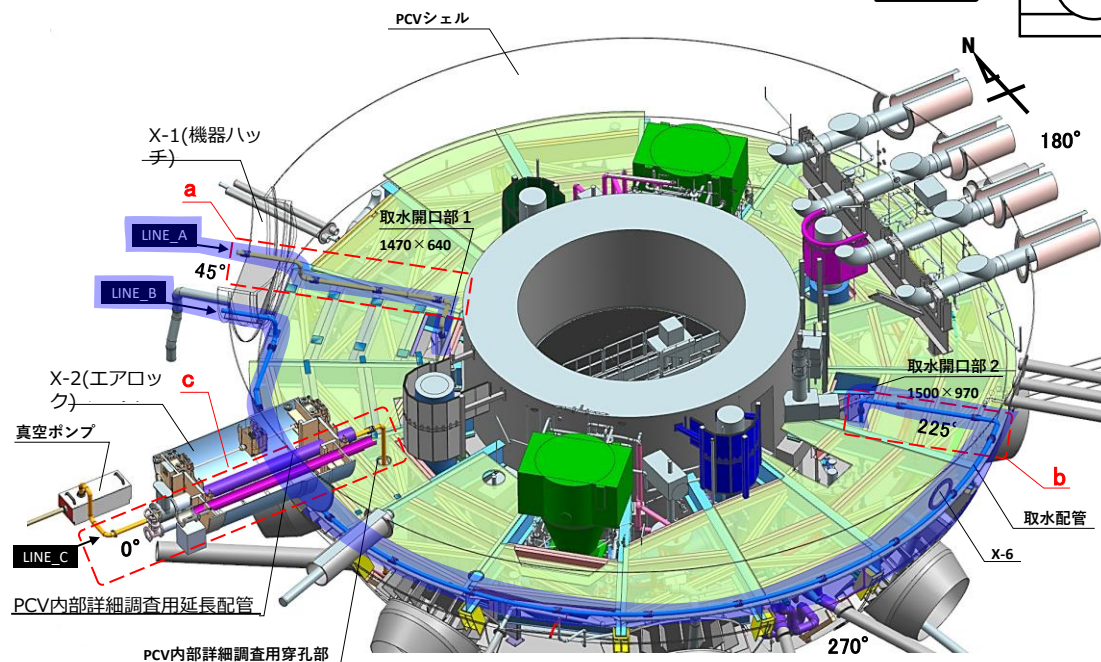
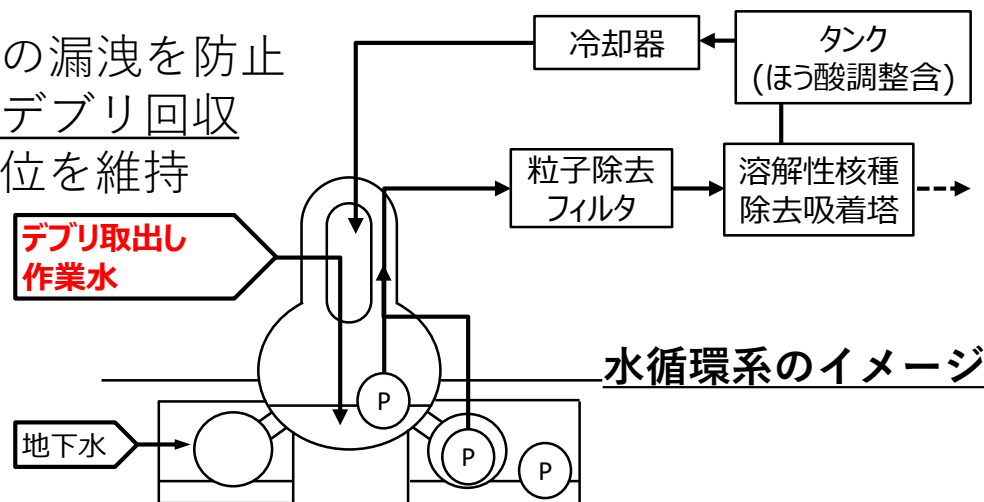


内部確認（解体）

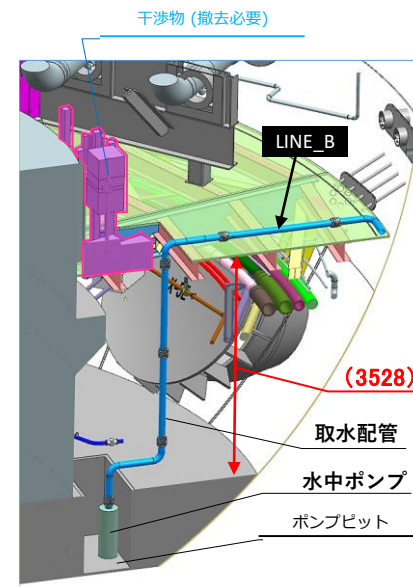
循環ラインの構築

主要要件

- 格納容器内からの冷却水や作業排水の漏洩を防止
 - 水循環系を構築し、冷却と液相中のデブリ回収
 - デブリ取り出し作業のためのPCV水位を維持
 - 安全要求／深層防護の構成を実装
 - 現状の漏洩位置は未特定であり、さまざまなケースに対応できること
- デブリ取出し
作業水



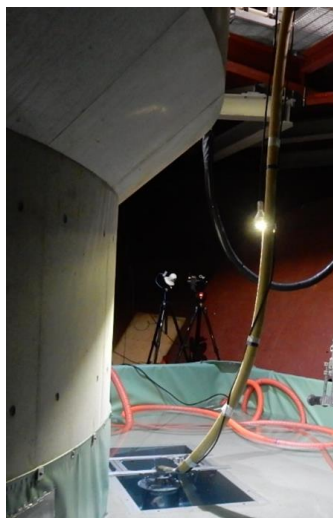
PCV内 1 階と取水ライン構築（青線）イメージ



床面ピットからの取水イメージ

循環ラインの構築 格納容器内模擬遠隔作業

- 事故後のPCV内での遠隔作業による取水ライン構築を模擬設備にて実証



柔構造作業アーム

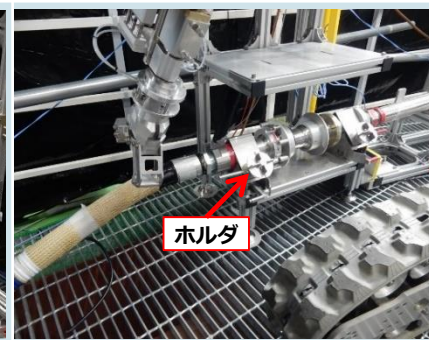
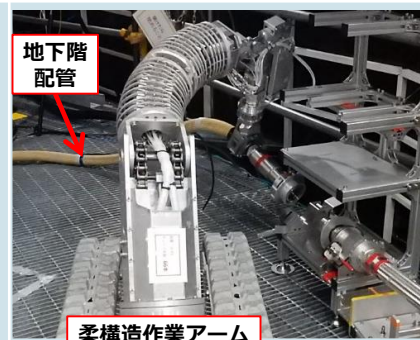


STEP

地下階配管を引き回し

ホルダを閉じて
配管を固定

配管
接続
作業



配管接続作業

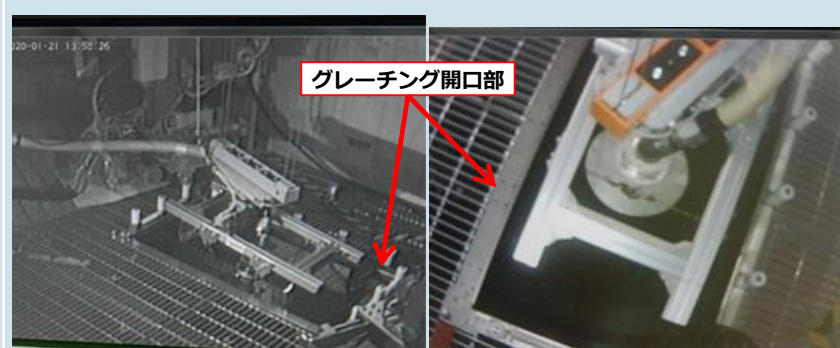
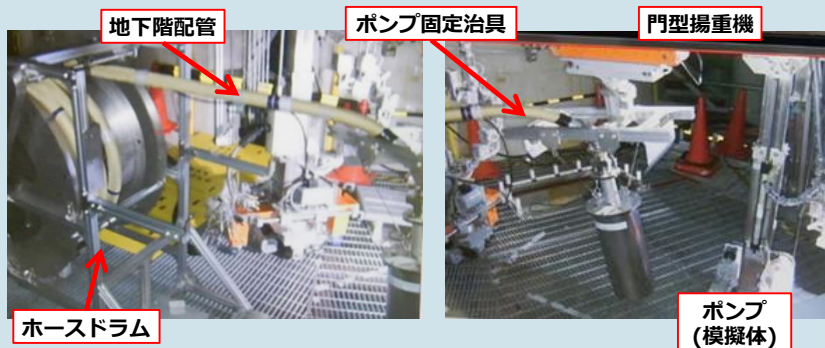
PCV床面ピットへの取水ポンプ設置

STEP

開口部までポンプを搬送

ポンプをピットに設置

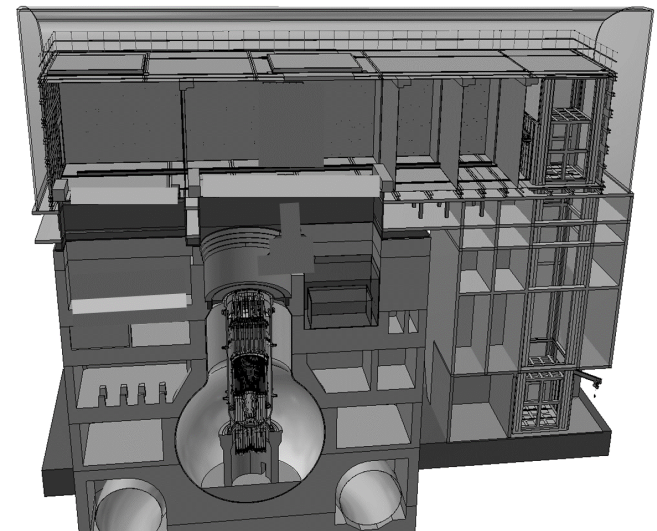
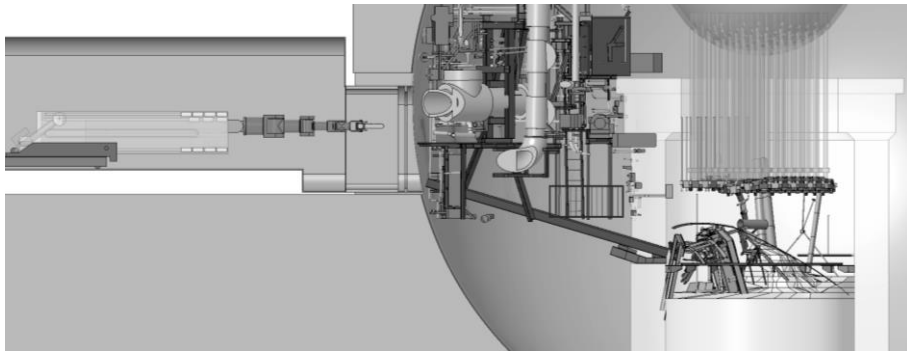
ポン
プ
設
置
作
業



ポンプ移送／ピット内設置作業

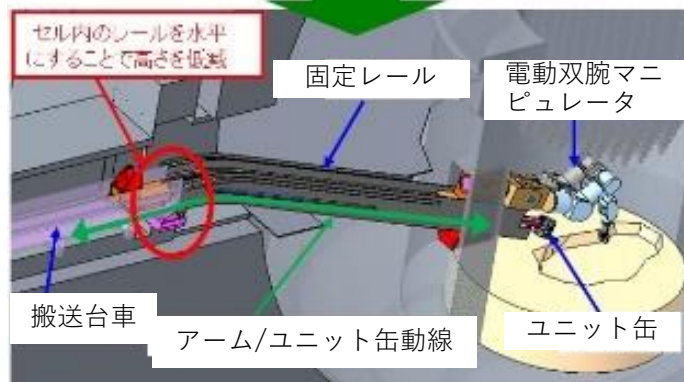
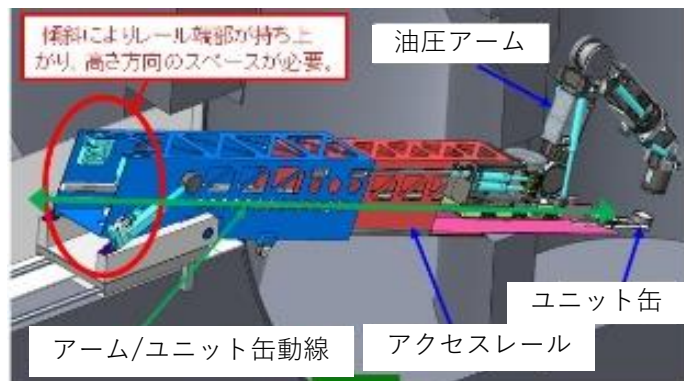
規模を拡大した燃料デブリ取り出し

- 横取り出し
- 上取り出し



横取り出しプランの例①

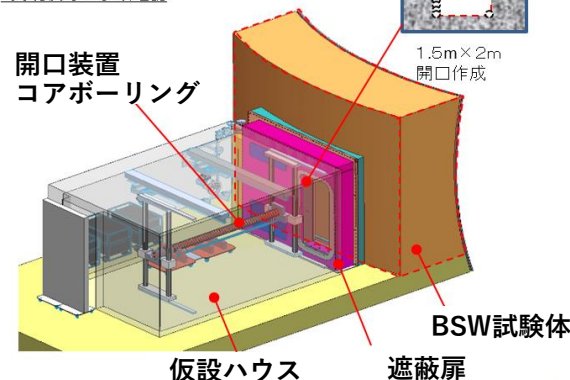
- 最短距離での格納容器内ペDESTALへのアクセス経路
- レール等による移動・搬送経路
- 精密さとペイロードを要求する作業を可能とするレール上のマニピュレータ



固定レール方式のアクセス装置の成立性評価と検証

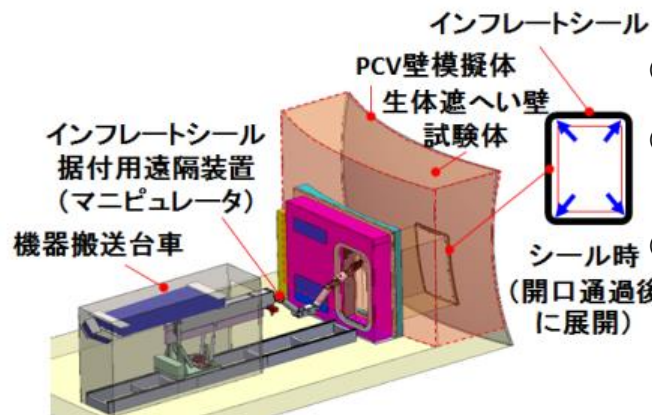
- ・高線量下での自動開口装置
- ・スタック時の救援装置
- ・実規模での手順確認

開口装置
コアボーリング



格納容器新規開口
生体遮へい壁撤去要素試験

- コアボーリングにて生体遮蔽壁(BSW)を開口し、燃料デブリへのアクセスルートを形成
- 生体遮へい壁の模擬体を用いた、遠隔開口技術に関する要素試験を実施中

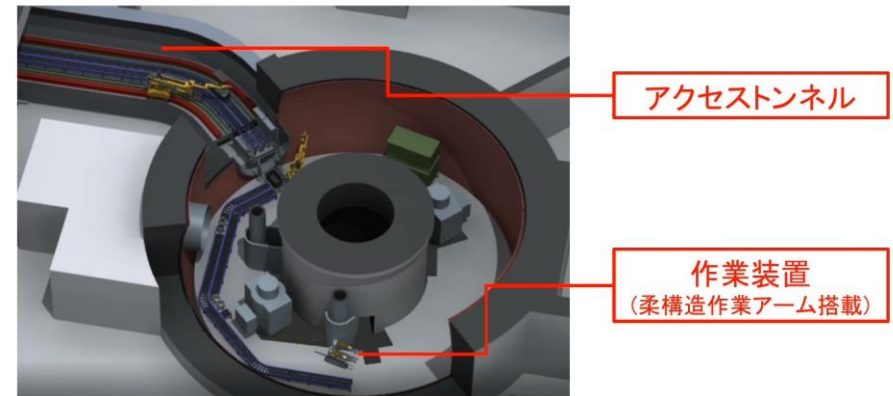
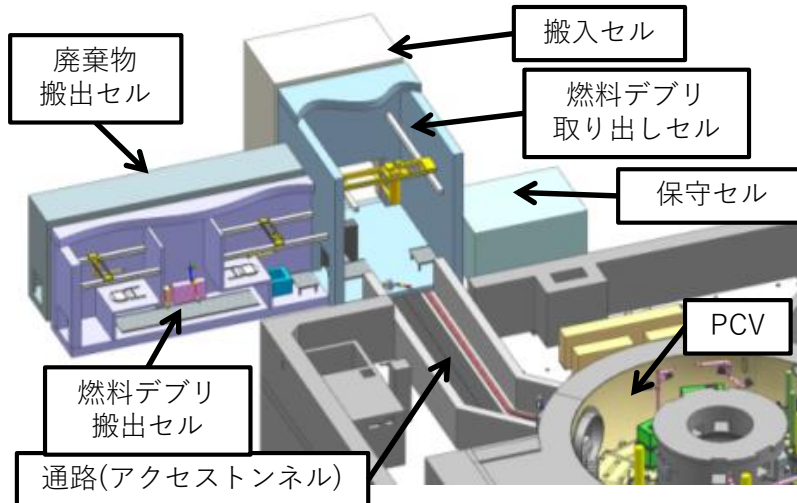


開口部のバウンダリ形成
インフレートシール要素試験

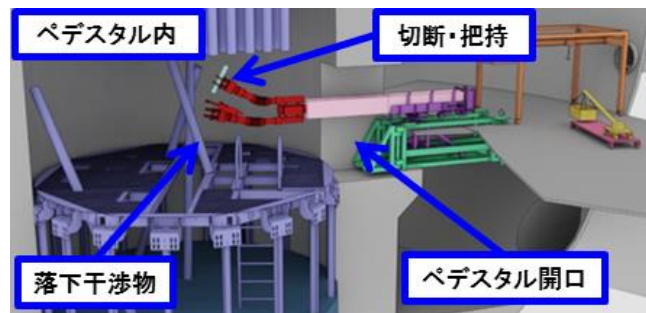
- PCVと作業セルを気密接続
- 再処理施設等で実績のあるインフレートシールを採用
- 3次元曲面のPCV壁への気密確保、遠隔取扱試験を実施中

横取り出しプランの例②

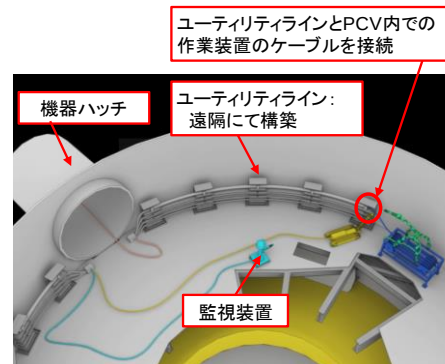
- 広い格納容器開口による大規模／多様な遠隔機器の出入りとサービスラインの設置を可能とする
- 重量干渉物撤去等の工事も可能
- 格納容器内下部全域を作業対象として想定



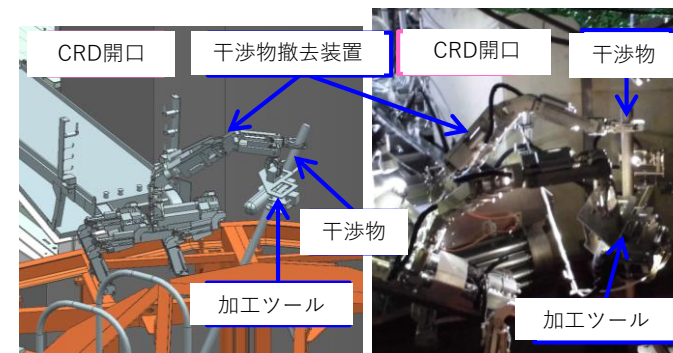
原子炉格納容器



ペDESTAL内干渉物撤去要素試験



ユーティリティ敷設概念



ペDESTAL内干渉物撤去試験

アクセストンネル送り出し試験

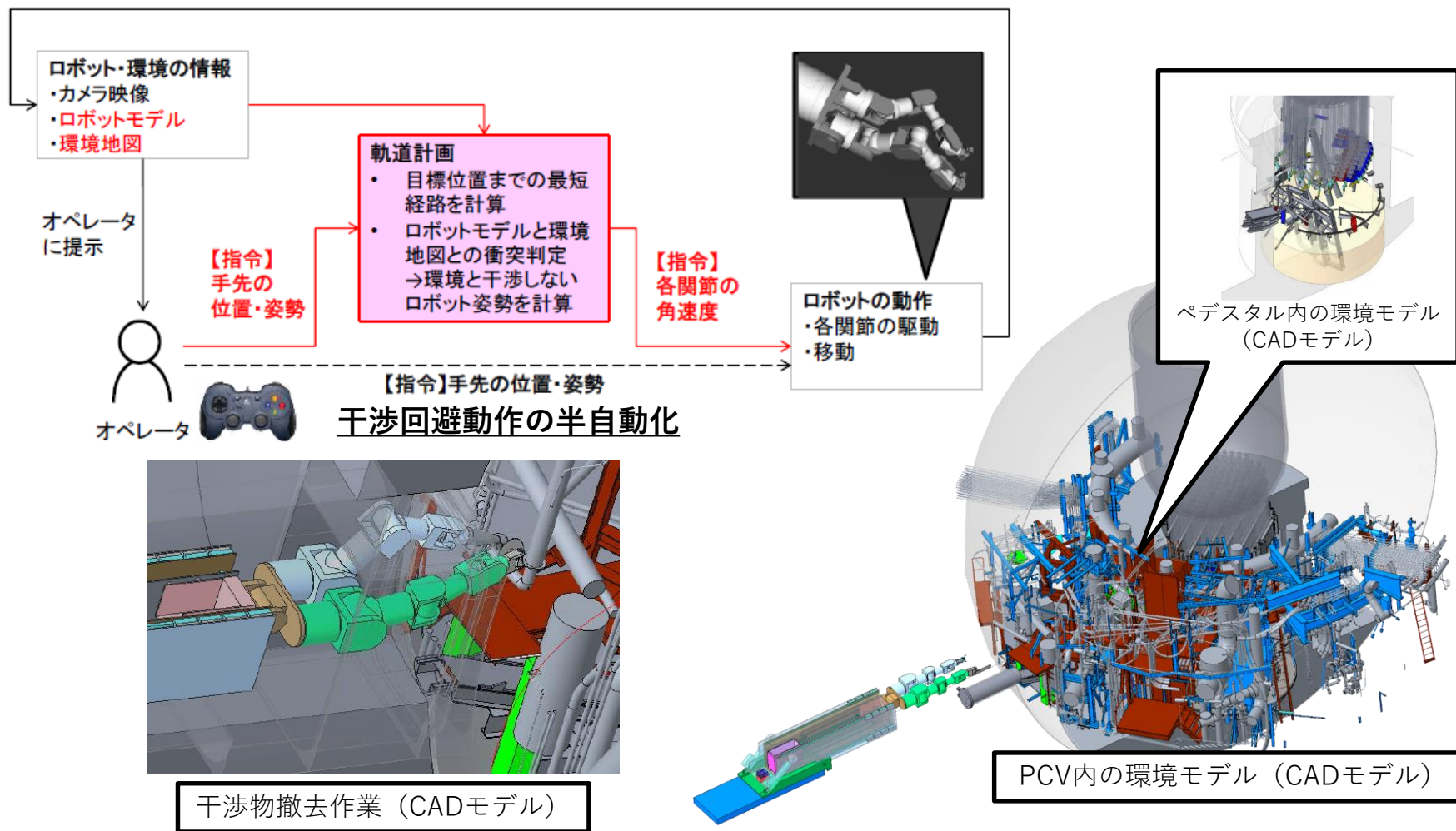
- 遮蔽付きバウンダリトンネル
- 格納容器内と新設建屋（デブリ処置、メンテ等）内を連結
- 押し出し工法と遠隔作業による連結

ステップ1 直線送り出し

遠隔作業操作の支援例

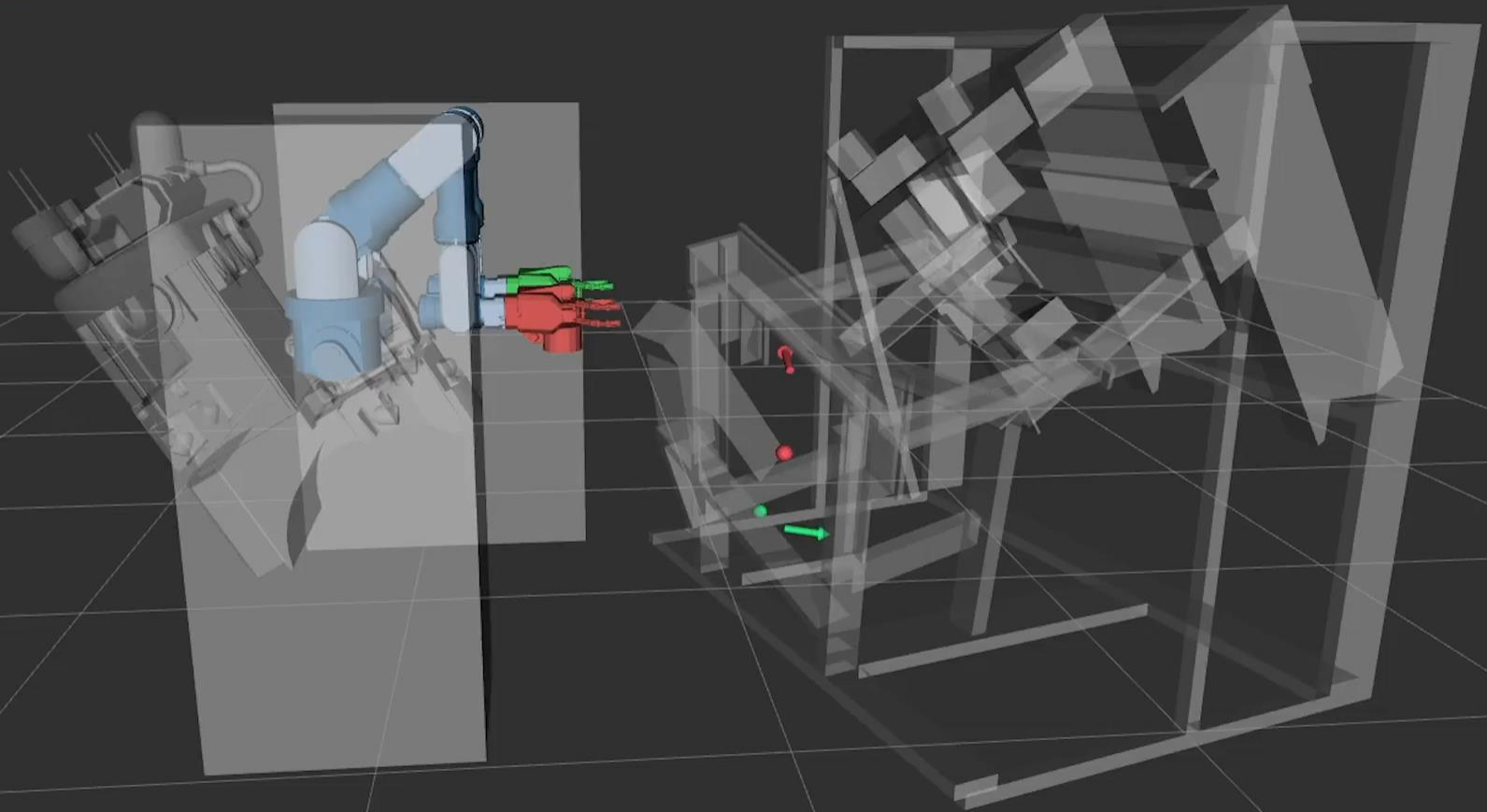
視界不良かつ狭隘環境において、ロボットを遠隔操作するオペレータの作業負担を軽減。操作の圧倒的迅速化と接触等リスクの低減を図れる制御手法を開発中。（軌道計画法）

- ・ オペレータの遠隔操作(マニピュレータの手先操作)によるロボット動作を基本とし、必要に応じて『**干渉物を自動回避**』する動きを反映する



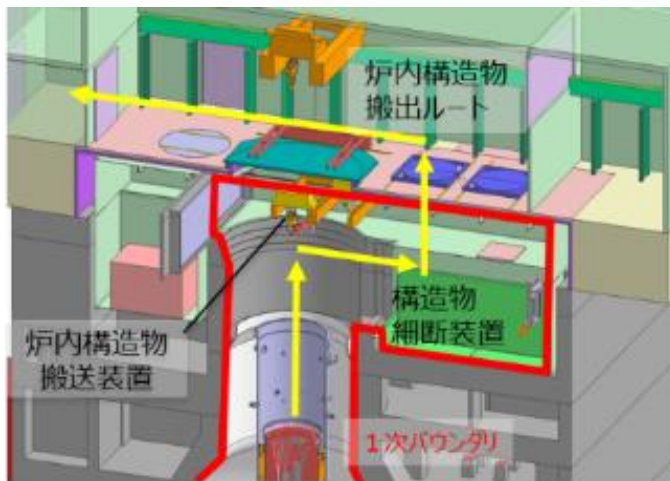
軌道計画法による遠隔作業の支援例

課題4

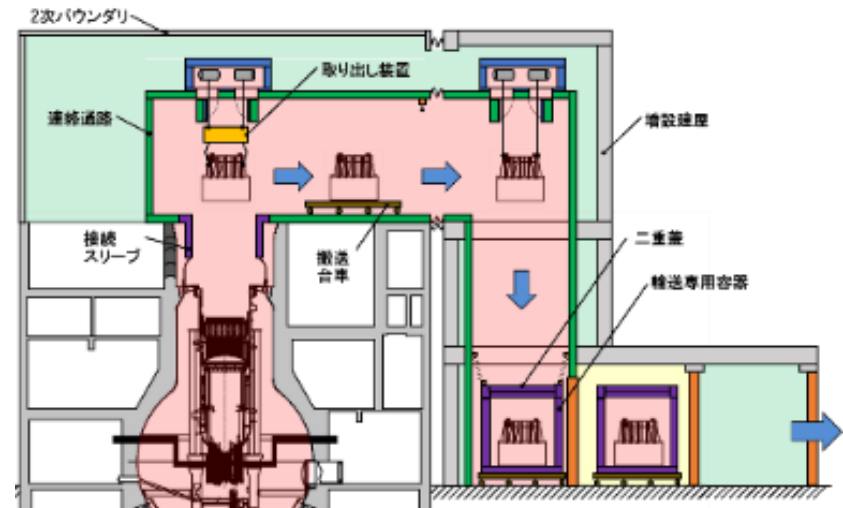


上取り出しプランの例

- 原子炉圧力容器内及び原子炉底部まわりのデブリ取り出し
- 炉内構造物の一体又は大規模サイズでの分割／取り出しにより作業ステップを減らし、迅速化・合理化を図る
- 炉内構造物材料の切断、切り離し、つり上げ方法
- 大規模サイズの排出物の容器への格納と移送



DSPでの分割搬出イメージ



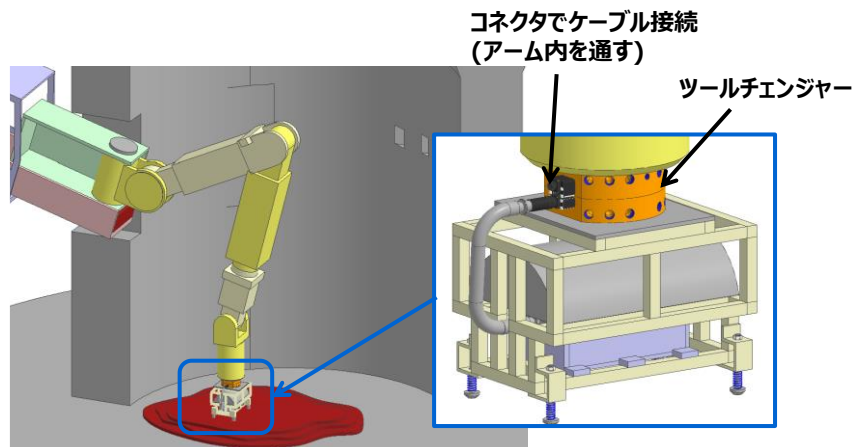
一体状態での搬出イメージ

安全システムの実装

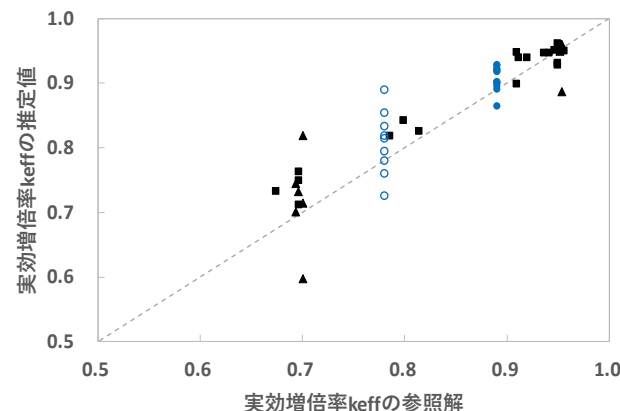
- 作業プロセスにおける未臨界維持

高感度・小型軽量化した中性子検出器候補の検討

臨界近接監視用として、現場投入性を高めた中性子検出器を開発



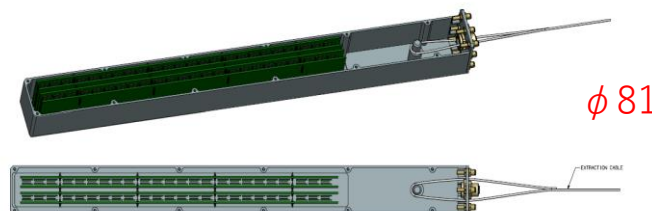
(a) ロボットアームに中性子検出器を搭載するイメージ



ファインマン α 法による未臨界度測定結果



コロナ型中性子検出器



SiC型中性子検出器



(d) マルチセル型He3比例計数管

3種類の検出器候補を試作し、耐ガンマ線性能、熱中性子感度、中性子時間分解能等の基本性能を確認。

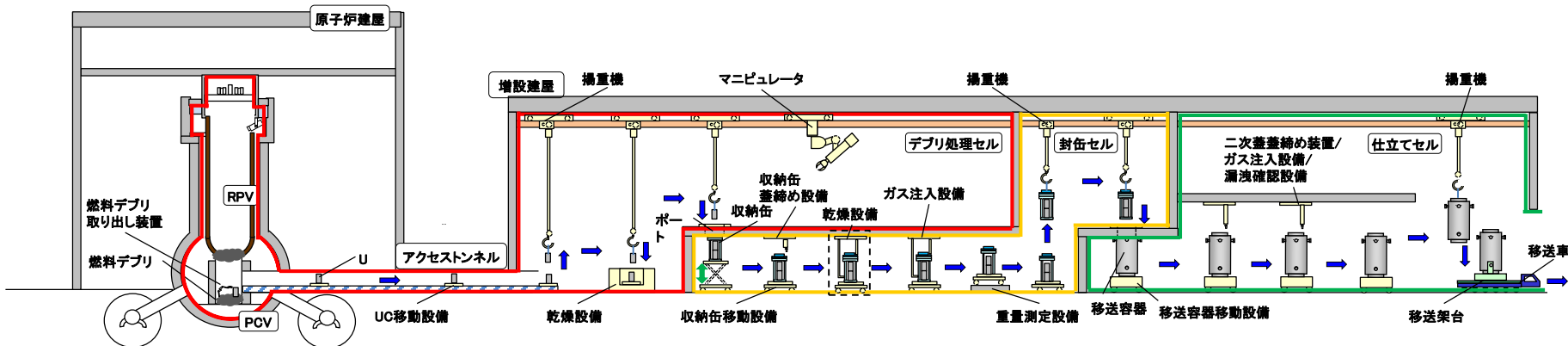
燃料デブリ収納缶の設計と試作



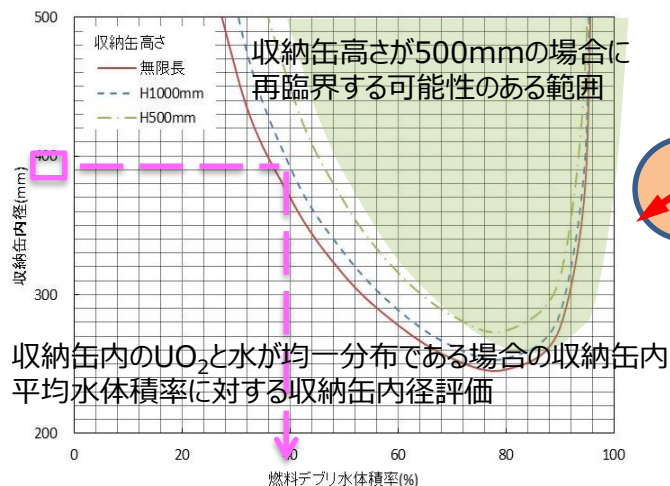
燃料デブリ収納缶の開発

主要要件

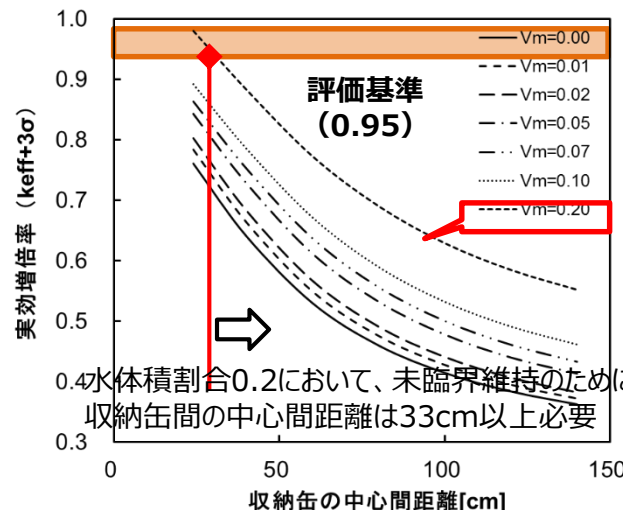
- 燃料デブリ等を作業現場にて収納。
- 保管施設への移送及び長期間の保管。
- 内容物の漏洩を防止。
- 未臨界を維持し水素爆発を防止。



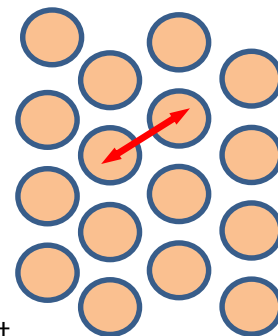
収納缶の取扱いフロー案（横アクセスの例）



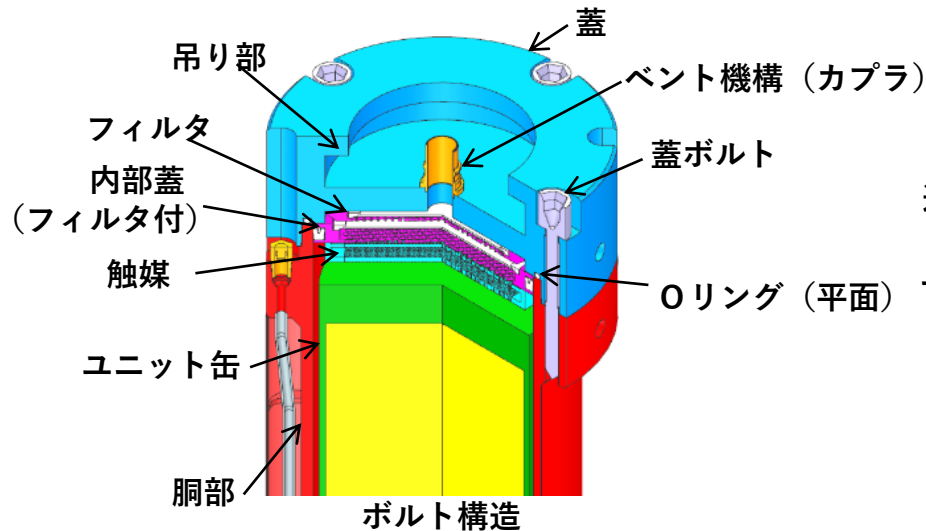
収納缶径による未臨界維持の保証



保管時の配列方法による未臨界維持の保証

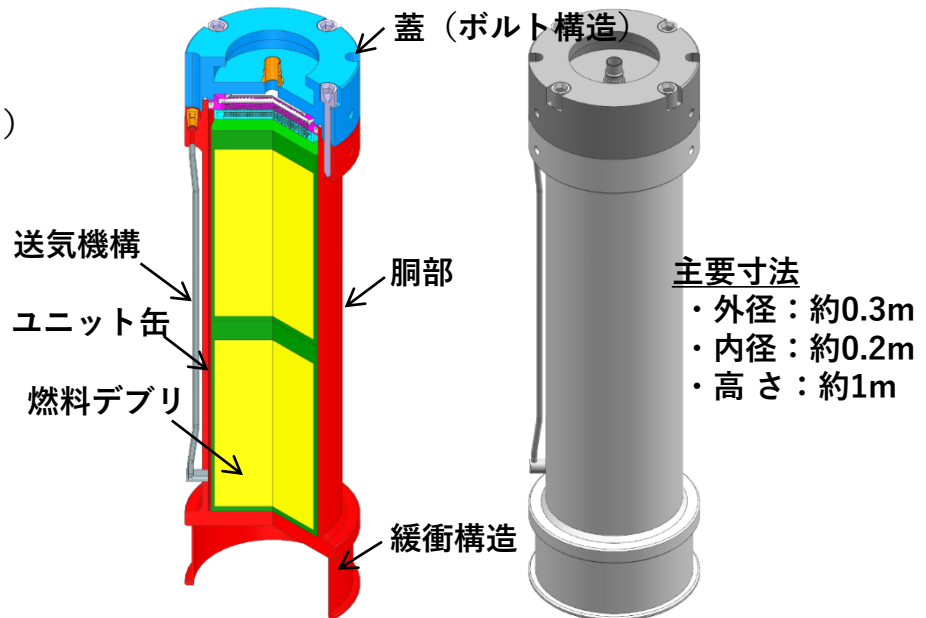


燃料デブリ収納缶の開発



(胴部内径220mm/送気機構ありの場合)

蓋構造 (シール, ベント (フィルター), 触媒)



主要寸法

- ・外径：約0.3m
- ・内径：約0.2m
- ・高さ：約1m

ボルト構造収納缶全体イメージ
(胴部内径220mm/送気機構ありの場合)



水素発生評価試験



(供試体の外観)



デブリ乾燥技術の開発

実機大収納缶構造検証試験

収納缶の傾斜落下

（ボルト構造／内径220mm／送気機構あり）

まとめ

- IRIDにおけるデブリ取り出し技術開発の概要についていくつかの例を紹介
 - ◆ 格納容器（PCV）止水、水循環ライン構築の実規模試験
 - ◆ デブリ取り出しの概念設計、技術構成、アクセスラインとバウンダリの構築、作業マニピレータの実装と作業支援
 - ◆ 収納缶の設計、試作及び落下試験
- ロボット／遠隔装置に求められる特性
 - ◆ には厳しい環境下での狭隘の作業エリアへの**移動**、**精密**作業かつ重量作業が求められることである。
 - ◆ ロボットの**作業環境の構築自体も遠隔作業**で行わなければならないことが1Fの遠隔作業の特徴である。
- 今後も引き続き技術開発を推進し、設計可能な技術構成をエンジニアリングへ提供してゆく。

End of presentation