

平成28年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金」 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化

平成30年度最終報告

令和元年7月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)

目次

1. 「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化」の目的と目標
2. 平成27～28年度実施した事業の実績
3. 本事業の概要
4. 本事業の実施スケジュールおよび実施体制
5. 補助事業の内容
6. 本事業の実施内容
 - 1)燃料デブリの拡散防止に係る技術開発
 - ①燃料デブリの回収システムの開発
 - ②燃料デブリの切削・集塵システムの開発
 - ③燃料デブリの拡散防止工法の開発
 - 2)取り出し装置設置のための要素技術開発
 - ①作業セルに関する要素技術開発
 - ②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発
 - 3)燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発
7. まとめ
8. 実施目的を達成するための具体的目標

1. 「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化」の目的と目標

【燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化の目的】

1Fでは、核燃料が炉内構造物とともに溶融し、燃料デブリとしてRPV内及びPCV内に存在していると考えられる。

RPV及びPCV内部の燃料デブリは、現在未臨界状態にあると考えられるが、事故によって原子炉建屋、RPV、PCV等が損傷している等、プラント自体が当初設計とは異なる不安定な状態に置かれているため、燃料デブリを取り出して燃料デブリの未臨界状態を維持し、放射性物質の拡散を防止して安定な状態にする必要がある。

上記の背景のもと、本事業は、「東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」(以降、中長期ロードマップ)に基づき、2021年内に最初のプラントにおいて燃料デブリ取り出しを開始することを目標に検討を実施する。

本事業は、東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策に資する技術の開発を支援する事業を、「中長期ロードマップ」及び「研究開発プロジェクトの進捗状況及び次期計画の方向性」(廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議(第39回))に基づき行うことで、福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策を円滑に進めるとともに、我が国の科学技術の水準の向上を図ることを目的とする。

具体的には、燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・装置の選定・実施に資するため、燃料デブリや炉内構造物を取り出す工法及び装置について技術開発を実施する。技術開発の対象とする燃料デブリ取り出し工法は、上アクセス工法及び横アクセス工法とする。

【開発全体の目標】

大規模な燃料デブリ取り出しを実施することを目標に検討を行う。

2. 平成27～28年度実施した事業の実績

開発した基盤技術の適用例(1/3)

工法の例



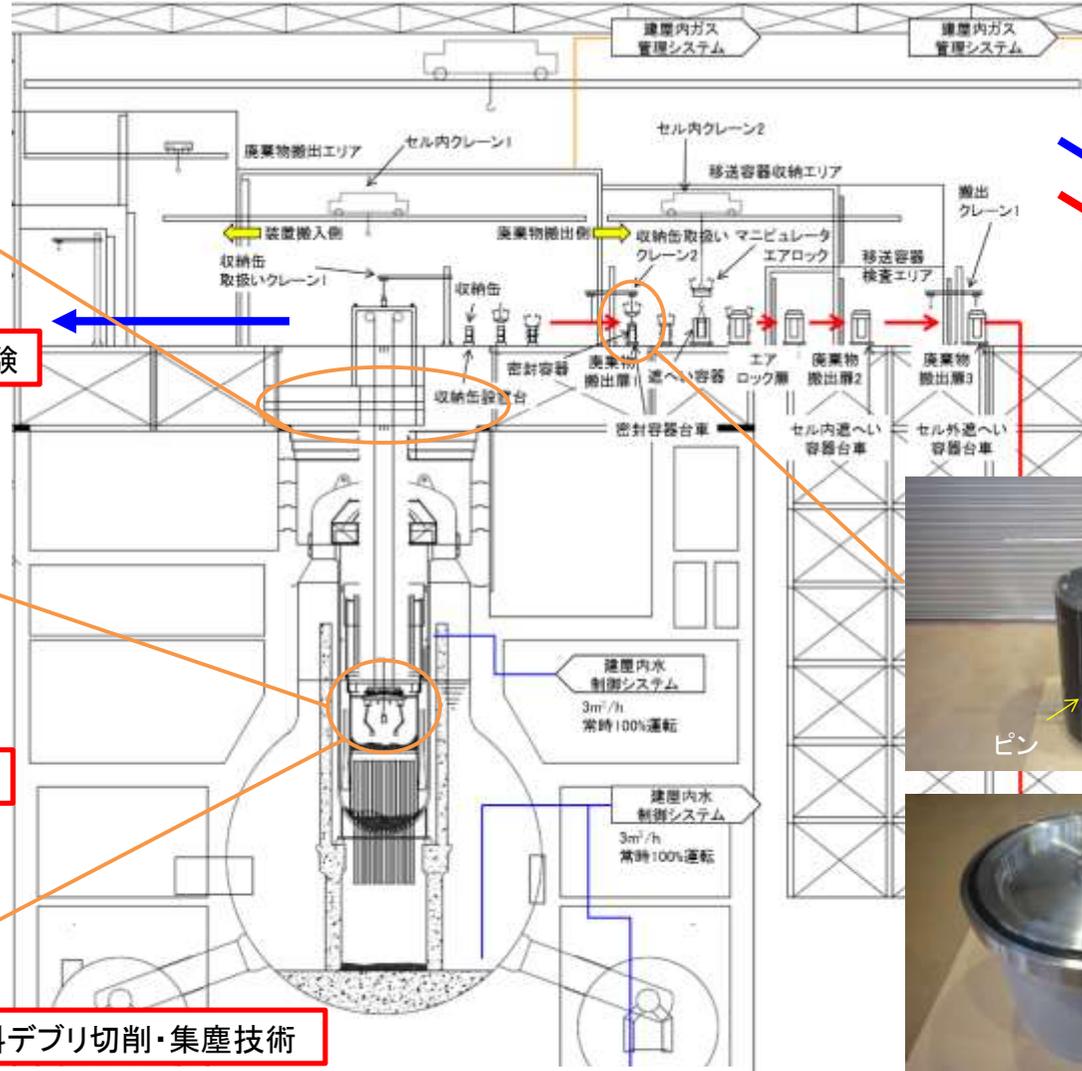
○プラットフォーム／セルに関する試験



○ORPV内アクセス装置に関する試験



○燃料デブリ切削・集塵技術



装置の動線
燃料デブリの動線



ピン 蓋閉め治具



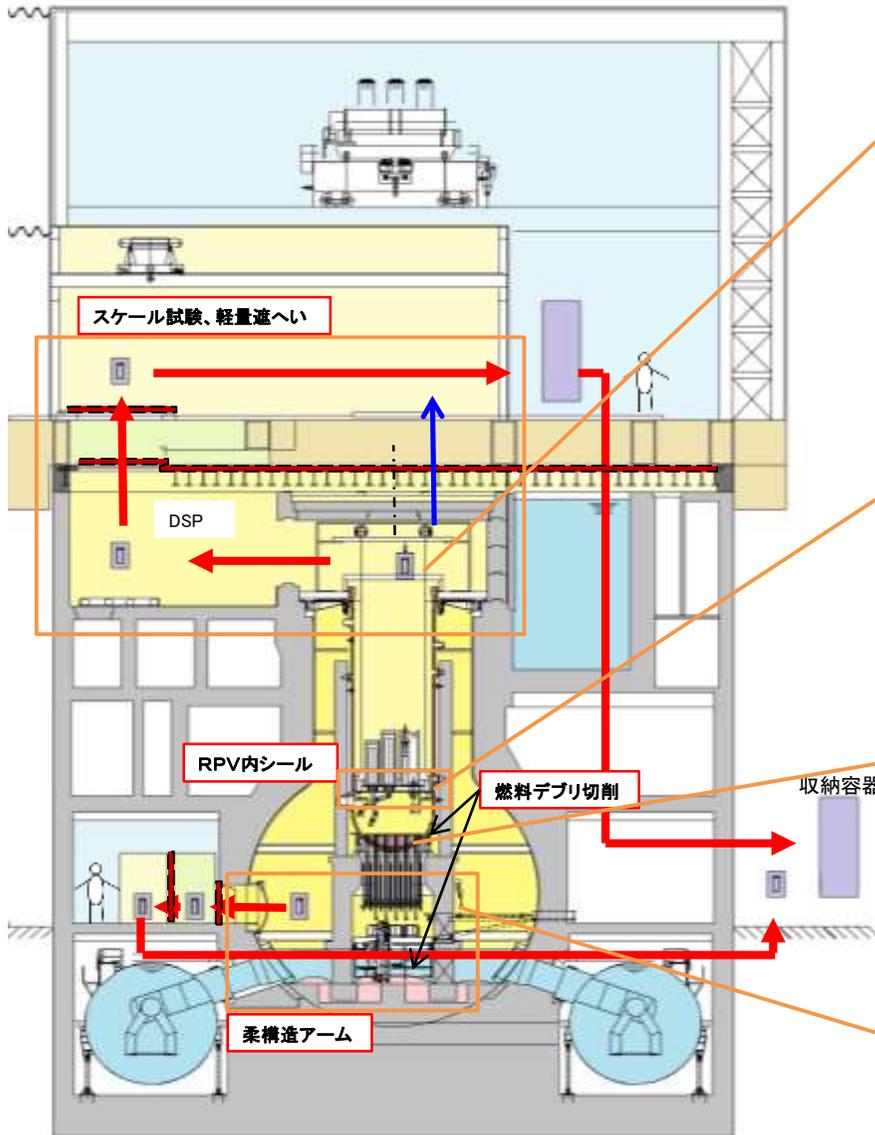
容器(蓋)

○収納缶取扱い装置に関する試験

これは一例であり、今後見直す可能性あり。工法を見直した場合でも適用可能なように、コンセプトレベルの技術課題に対して要素試験を実施した。

2. 平成27～28年度実施した事業の実績

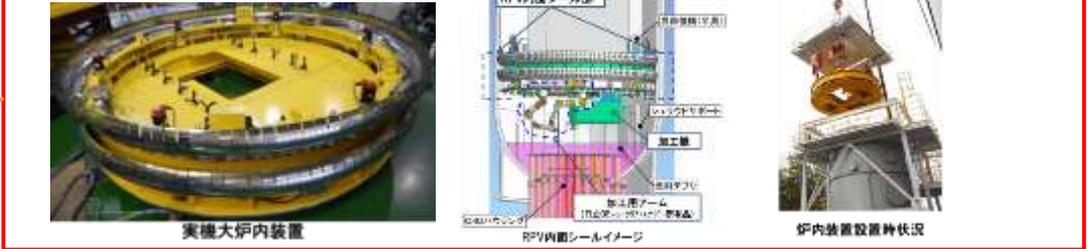
開発した基盤技術の適用例(2/3)



○スケール試験、軽量遮へいの開発



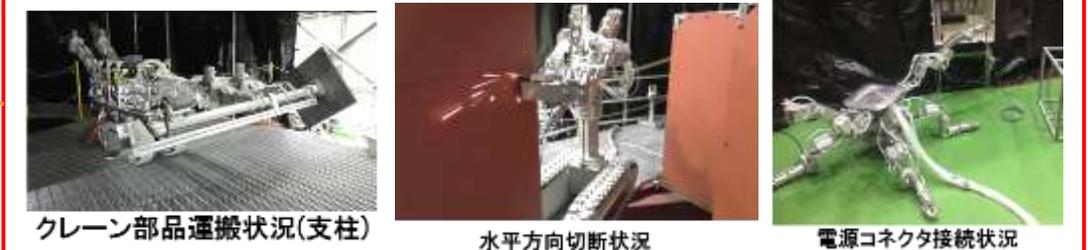
○ORPV内シール技術の開発



○燃料デブリ切削技術の開発



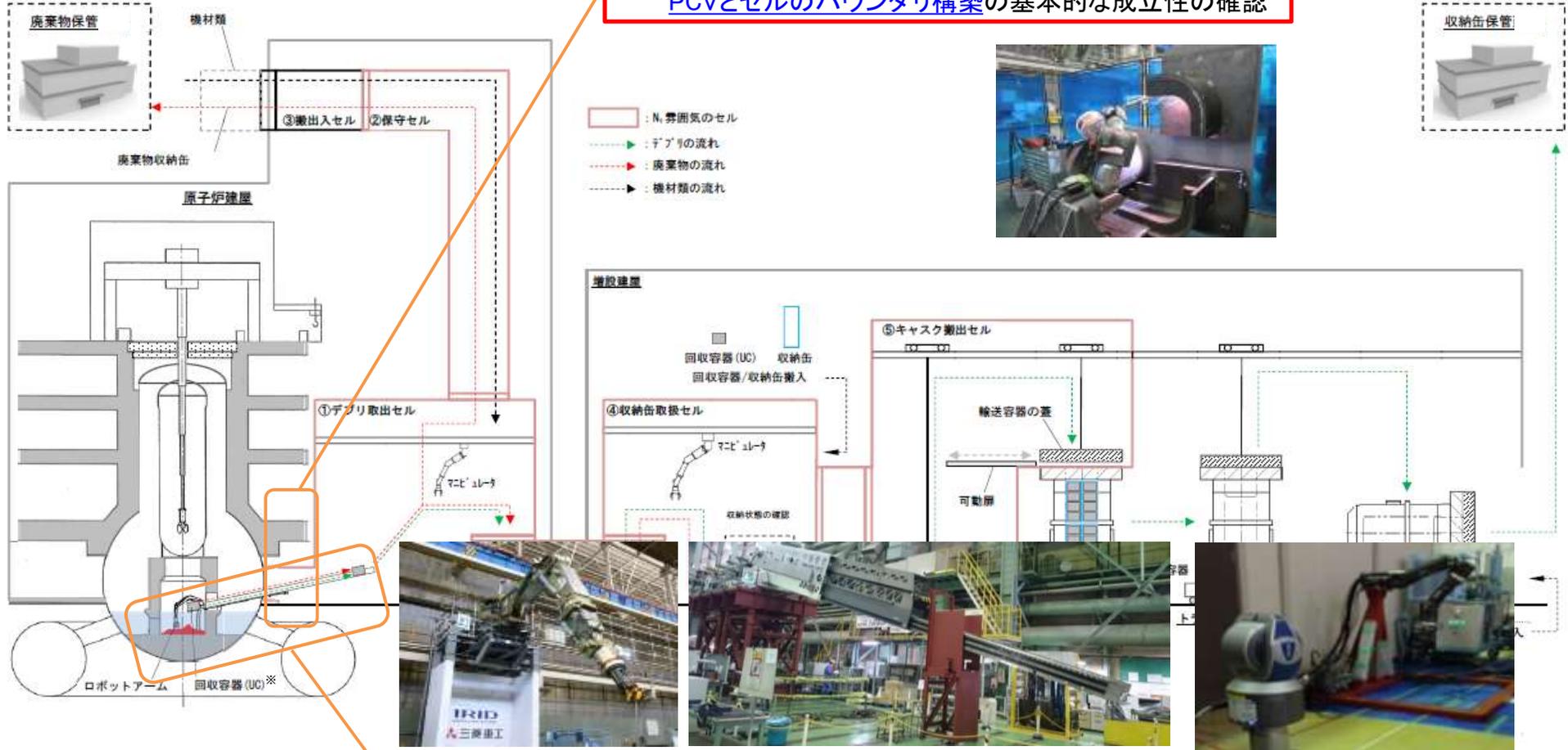
○柔軟構造アームの開発(気中-横アクセス工法)



2. 平成27～28年度実施した事業の実績

開発した基盤技術の適用例(3/3)

○ 遠隔シール溶接のためのPCV溶接装置に関する試験
PCVとセルのバウンダリ構築の基本的な成立性の確認



○ ペDESTAL内アクセス装置に関する試験
ロボットアームとアクセスレールの基本的な成立性の確認

○ 液圧マニピュレータに関する試験
制御ロジック構築のための基礎データを取得
 ロボットアーム開発のための基礎試験

※: ユニット缶をUCと略す

3. 本事業の概要

3.2 基盤技術開発の基本方針

本事業における計画を遂行するにあたり、主な対応方針について以下に記載する。

【基本方針】

原子力損害賠償・廃炉等支援機構による「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2017」(以下、「戦略プラン2017」という)を踏まえて基盤技術の開発方針を定め、戦略プラン2017の提言に沿って検討・開発内容を選定する。

3. 本事業の概要

3.2 基盤技術開発の基本方針

【戦略プラン2017の提言】

1. 燃料デブリ取り出しを、準備工事から搬出・処理・保管及び後片付けまで、現場における他の工事等と調整も含め、全体最適化を目指した総合的な計画として検討を進めること。
2. 先行して着手すべき燃料デブリ取り出し方法を設定した上で、徐々に得られる情報に基づいて、柔軟に方向性を調整するステップ・バイ・ステップのアプローチを進めること。
3. 燃料デブリ取り出しの完遂に向けて、様々な工法の組合せが必要になることを前提とすること。
4. 気中工法に軸足を置いて、予備エンジニアリング、研究開発等を進めていくこと。
5. まず、PCV底部の燃料デブリの取り出しに重点を置いて取組を進め、その過程において得られる知見や経験を踏まえて常に見直しを行うこと。
6. 最初にPCV底部の燃料デブリにアクセスするルートとしては、PCVの横方向からのアクセス(横アクセス工法)から検討を進めていくこと。以下は、本工法による工事に係る留意点である。
 - 作業現場の放射線量低減
 - 水位コントロール技術の確立
 - セルの接続技術の確立とエリアの確保



- “気中-横アクセス工法によるPCV底部の燃料デブリ取り出し”に必要な技術に軸足をおいて検討・開発する。
- 上記と同様に回収技術、切削・集塵技術等の工法に依らない共通技術についても、気中-横アクセス工法に適用性が高いものに軸足を置いて検討・開発する。
(例: 粒・粉状燃料デブリの回収、MCCI燃料デブリの加工等)
- PCV内部調査等で得られた情報等を踏まえ、一つの工法・方式だけでは対応できない状況も考慮し、様々な工法・方式を組み合わせる柔軟に対応できるように、選択肢を用意する。

3. 本事業の概要

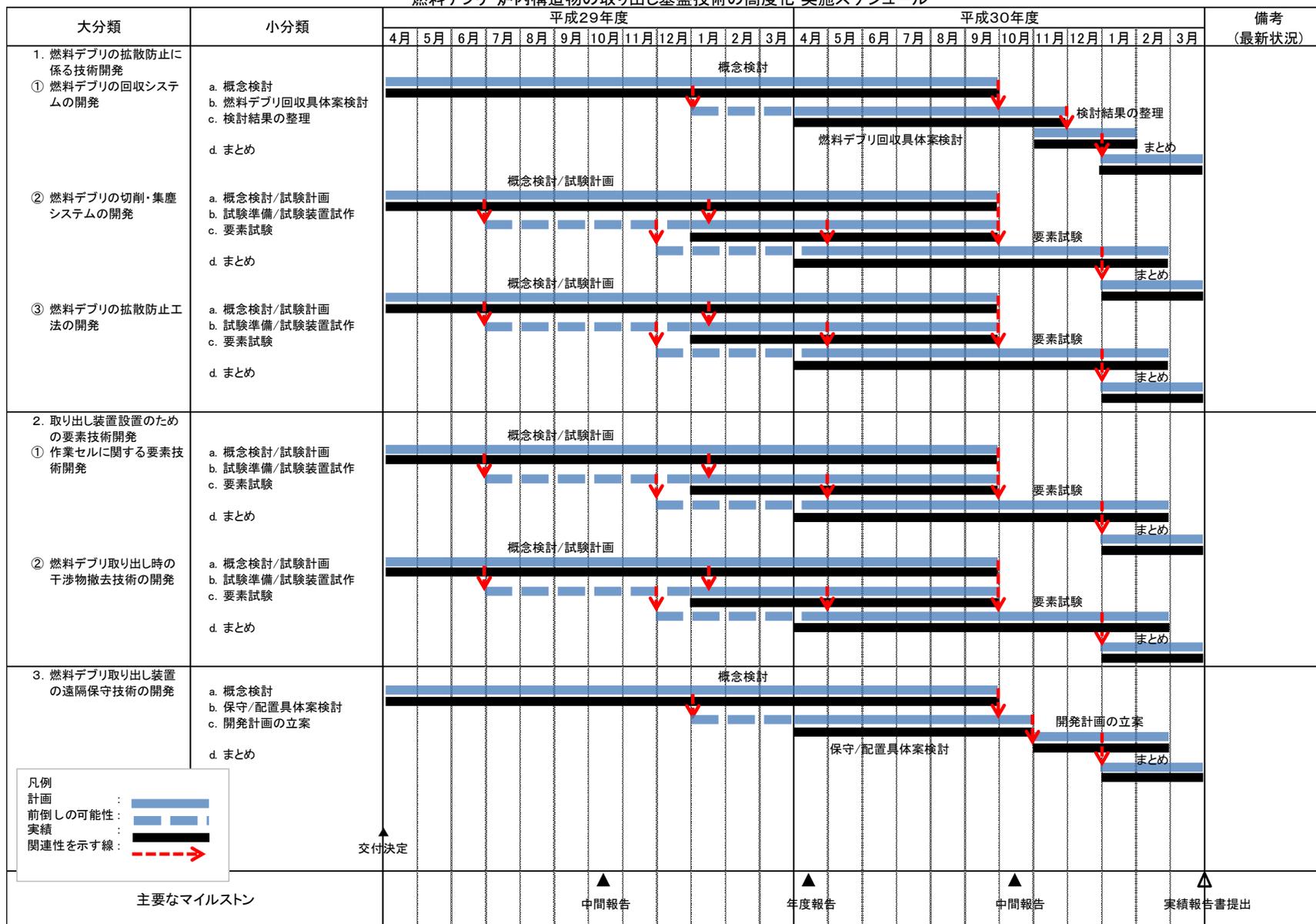
3.2 基盤技術開発の基本方針

前項までの方針に基づき、公募の開発項目ごとの実施方針を以下のように定める。

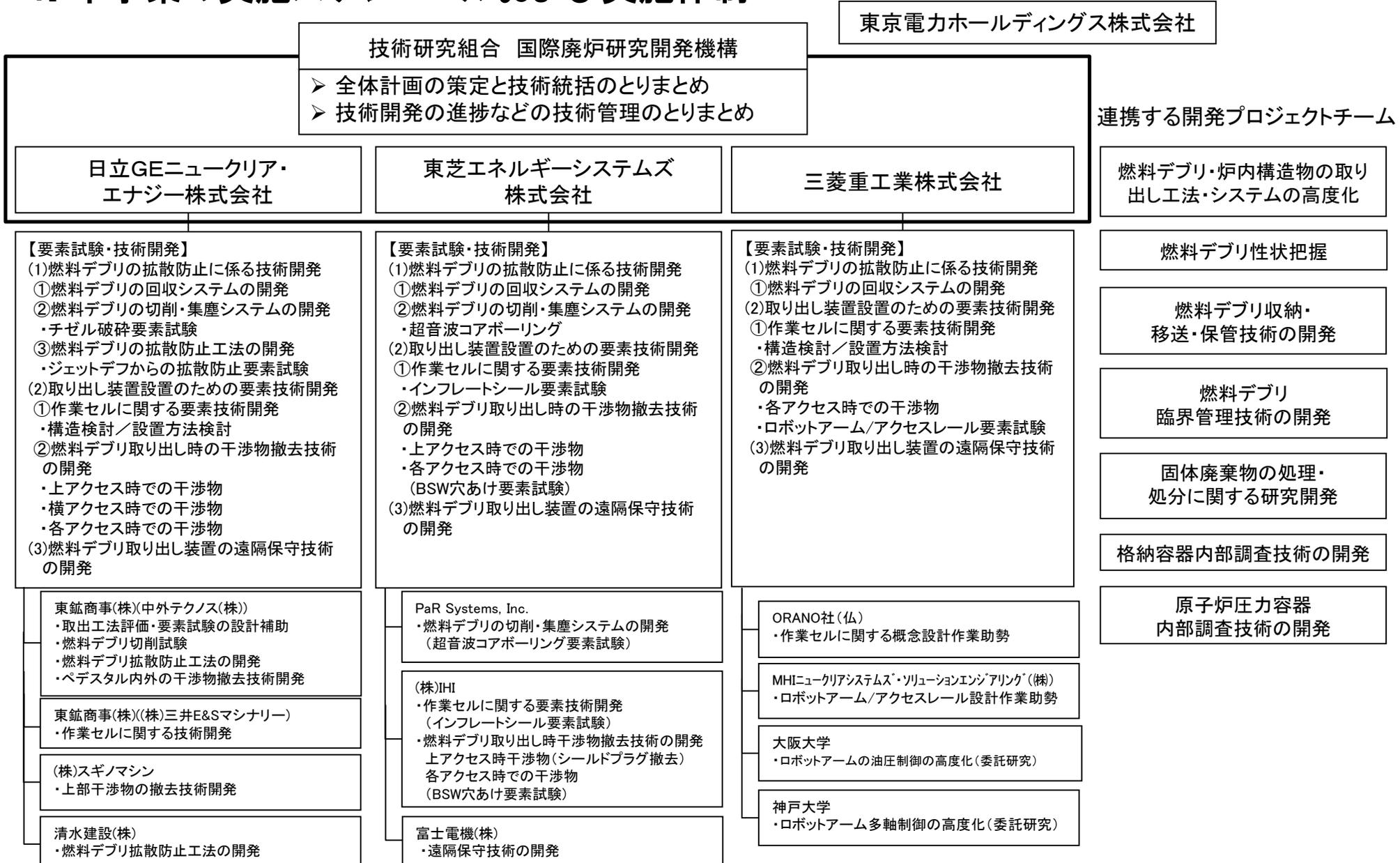
公募の開発項目	実施方針	参照
1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発 ① 燃料デブリの回収システムの開発	回収技術は共通技術であるが、横アクセス工法により、PCV底部の燃料デブリ(切削により発生した燃料デブリを含む)の回収プロセスを想定し、必要な技術の検討・開発を行う。	No.14～
② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発	切削・集塵技術は共通技術であるが、横アクセス工法により、PCV底部の燃料デブリを切削・集塵するために必要な技術の検討、開発を行う。	No.67～
③ 燃料デブリの拡散防止工法の開発	燃料デブリ取り出し作業に伴い、PCV底部の燃料デブリが、ベント管、S/C等に拡散することを防止するための技術の検討・開発を行う。	No.110～
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発 ① 作業セルに関する要素技術開発	特に安全(閉じ込め)機能確保にかかわるセルとPCVとの接続技術については、代替案も含めて検討・開発を行う。また、セルの搬入・設置技術は作業員被ばくに、セルによる原子炉建屋への影響評価は非常時の安全機能確保にかかわる課題であり、これらについても検討・開発を行う。	No.128～
② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発	横アクセス工法により、PCV底部の燃料デブリに到達するまでの干渉物を対象に、撤去工法・技術の検討・開発を行う。 上アクセス工法については、撤去工法・技術の検討を行ったうえで、優先度・困難度が高い部分について開発を行う。	No.186～
3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発	横アクセス工法のセル内設備を例に遠隔保守の基本的な考え方を整理し、保守設備の検討・開発計画に展開する。	No.383～

4. 本事業の実施スケジュールおよび実施体制

燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化 実施スケジュール



4. 本事業の実施スケジュールおよび実施体制



5. 補助事業の内容

【目的】

平成29年度～平成30年度は、平成29年9月に示された燃料デブリ取り出し方針に基づいて、方針への適用性を考慮しながら設計検討と要素試験を実施し、初号機の燃料デブリ取り出しに向けて、実機向け装置の開発に着手できるようにする。

【本事業の主な事業内容】

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

燃料デブリ取り出し時のダスト等の拡散防止を目的とし、燃料デブリの状態に応じた効率的な回収技術や、取り出し時に発生するダストの集塵技術の開発を実施する。

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

燃料デブリ取り出し時は現場が高線量であり、多くの作業を遠隔で行う必要があるため、燃料デブリ取り出し時に想定される作業毎に必要な遠隔技術の開発を行う。

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

燃料デブリ取り出し機器・装置（燃料デブリ切削・集塵システム、コンテナや作業テーブル、監視装置やそれを取り扱うロボットアーム等）は、高線量エリアに設置されることから、原則、遠隔で保守を行う必要がある。そのため、燃料デブリを取扱うことに配慮した機器・装置に関する保守方法の考え方の整理、及びそれに沿った保守方法の検討、実現性の評価及び課題の抽出並びに実機での合理的な対応方針について検討を行う。

6. 本事業の実施内容

6.1 開発計画

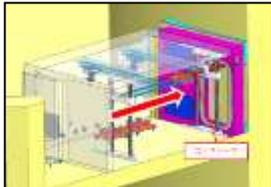
本事業において検討する主な実施内容を示す。詳細な実施内容は、次紙以降に示す。



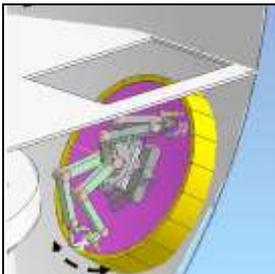
横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法



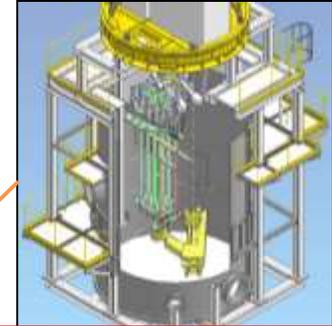
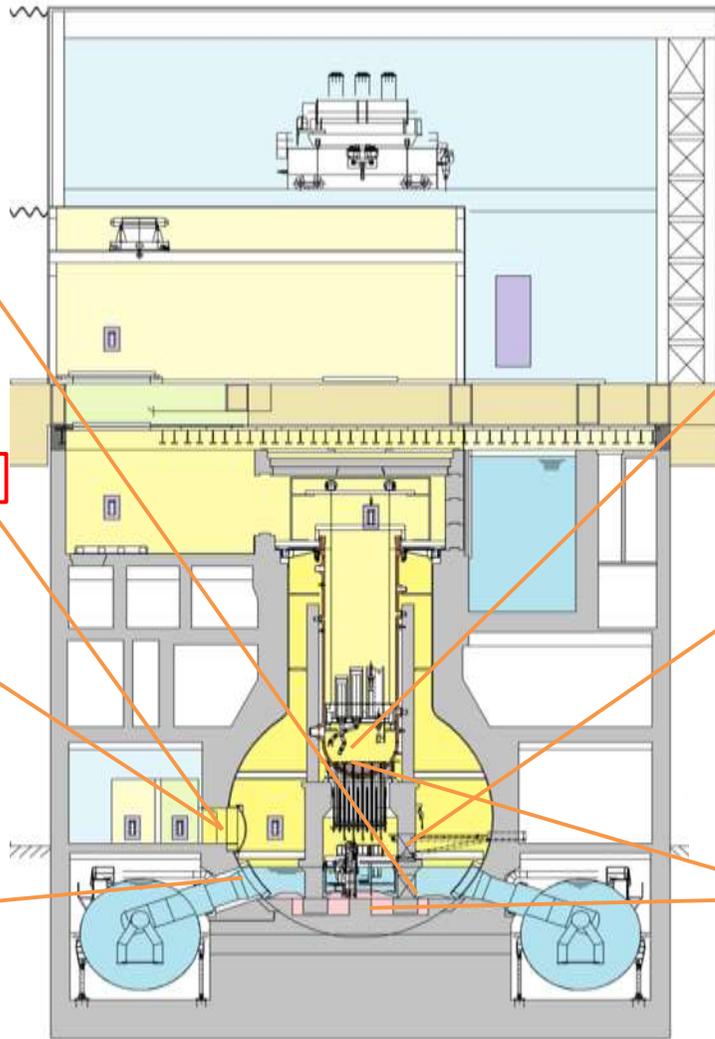
作業セルシール方法(インフレーションシール)



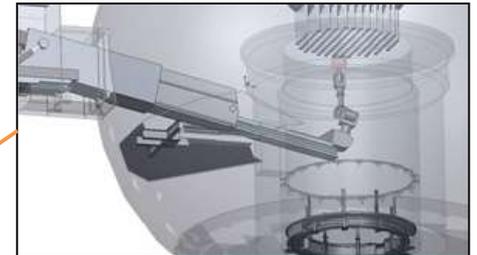
生体遮へい壁穴開け



サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置



干渉物および炉底部の撤去技術開発



ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認



燃料デブリの拡散防止の観点で有効な加工方法

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

- ① 燃料デブリの回収システムの開発
- ② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発
- ③ 燃料デブリの拡散防止工法の開発

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

- ① 作業セルに関する要素技術開発
- ② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

PCV内に存在すると考えられる様々な燃料デブリの状態(破片状、汚泥状、微細(粉)燃料デブリ等)に応じた効率的な回収方法及びシステムを開発する。回収した燃料デブリを収納缶等へ送るための移送保管システムについても検討を行う。

下記の項目について、燃料デブリの回収方法及びシステムを検討する。また、必要に応じて要素試験を実施することにより課題を抽出し整理する。

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

- 燃料デブリの分布と性状について整理した。
- 上記の整理結果に基づき吸引、把持手段を整理した。

b. 燃料デブリのユニット缶収納方法

- a項の検討結果をもって、燃料デブリのユニット缶への収納方法を具体化した。

c. 燃料デブリの水分調整方法(脱水、乾燥など)

- 燃料デブリの水分調整方法については、水素発生量との関係性について一部を確認した。

d. ユニット缶の収納缶収納方法及び搬出方法

- ユニット缶サイズについては、 $\phi 200\text{mm}$ を基本ケースとして検討を実施した。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

①燃料デブリの回収システムの開発

- 開発の目的
 - PCV内に存在すると考えられる様々な燃料デブリの状態に応じた効率的な回収方法及びシステムを開発する。
- 解決すべき課題
 - 燃料デブリ性状、量の具体化設定(金属層、切株燃料、粉、塊、小石、クラスト燃料デブリの割合)
 - 粒燃料デブリ吸引回収工法の具体化
- 開発の進め方
 - 燃料デブリ回収量の想定
 - ✓ 燃料デブリ性状、分布、加工方法の想定
 - ✓ 加工後の燃料デブリ性状、量の想定
 - 把持・吸引等の回収プロセスの具体化
 - ✓ 回収機器の調査、ベンチマーク
 - ✓ 回収システムのトレードオフ
 - 系統システムとの取合条件検討
 - 収納缶への収納移送システムの検討
- 得られる成果
 - 燃料デブリ回収までの一連作業の成立性
 - 粒燃料デブリ回収システムの仕様
 - 燃料デブリ回収速度(スループット)

6. 本事業の実施内容

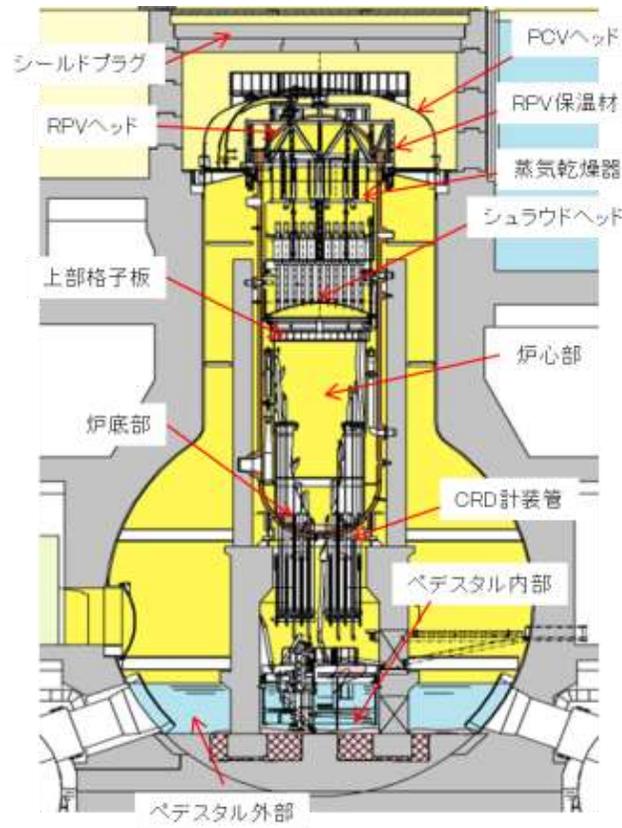
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

i) 燃料デブリ性状、量の想定値を具体化(1号機)



No.	分布位置	性状	主な状態	特徴	質量[t]		燃料デブリ物性	
					MAAP	寸法	組成	
1	炉心部	切株燃料	すべて崩落している可能性もあるが、燃料集合体存在の可能性あり	燃料集合体の一部が溶融せず残留	0~3	~4m	燃料UO2 被覆管Zry-2	
		粉状、小石状	残存構造物に付着あるいは積層して存在	溶融した炉心材料が急冷され、小片化		数μm~数cm	(U, Zr)O2 (Zr, U)O2	
2	炉底部	粉状、小石状	大部分を炉底部のクラスタが占める	溶融した炉心材料が急冷され、小片化	7~20	数μm~数cm	(U, Zr)O2 (Zr, U)O2	
		塊状	クラスタ部にはZr金属やZrBが存在し、硬く韧性のある部位が存在	ゆっくり冷却され塊となったもの		厚さ数十cm	(U, Zr)O2 (Zr, U)O2	
		クラスタ(岩盤状)		溶融した金属と酸化物燃料が混合固化した燃料デブリ		厚さ0.1~1m	(U, Zr)O2、 (Zr, U)O2、 Zr(O), Fe	
3	CRD/計装管	構造物+付着燃料デブリ	管内部の隙間や外面に燃料デブリが付着して存在	RPV下端から下方の部分のSUS配管内を燃料デブリが流路閉塞		侵入長10数cm	(U, Zr)O2、 (Zr, U)O2、SUS	
4	ペDESTAL内	MCCI/粉状、小石状	複数の層をなしており、大部分が塊状のMCCIであると思われる	溶融した炉心材料がRPVから漏出し、分散急冷固化 MCCI進行時クラスタ破損、溶融コリウムの噴出により小片化	120~209	50μm~20cm	(U, Zr)O2、 (U, Zr) SiO2	
		MCCIクラスタ	気孔率が高く、韧性が低い燃料デブリが多量に存在	壁面には金属成分を含んだ噴出物が付着、床面は中空構造、上部クラスタは気孔多く金属成分は少量		厚さ0.1~1m	(U, Zr)O2、 (U, Zr) SiO2、 SiO2	
		塊状MCCI		上部は硬いコリウムであるが気孔率大下部は気孔率小で硬い中央部または壁近傍に金属球在り		数10cm~	(U, Zr)O2、 (U, Zr) SiO2、 SiO2	
		金属層		MCCIの底部に比較的均一に分布		検討中	Fe、FeSiO2、Fe-Zr	
5	ペDESTAL外	MCCI/粉状、小石状	ペDESTAL内部位ほど明確な層分離はなく、クラスタおよび塊状MCCIが存在	ペDESTALから流出した小石状燃料デブリが存在	70~153	50μm~20cm	(U, Zr)O2、 (U, Zr) SiO2	
		MCCIクラスタ/塊状MCCI		ペDESTALから流出したコリウムがコンクリートと反応・凝固 金属成分やや多い		~0.5m	(U, Zr)O2、 (U, Zr) SiO2、 SiO2、FeSiO2	

6. 本事業の実施内容

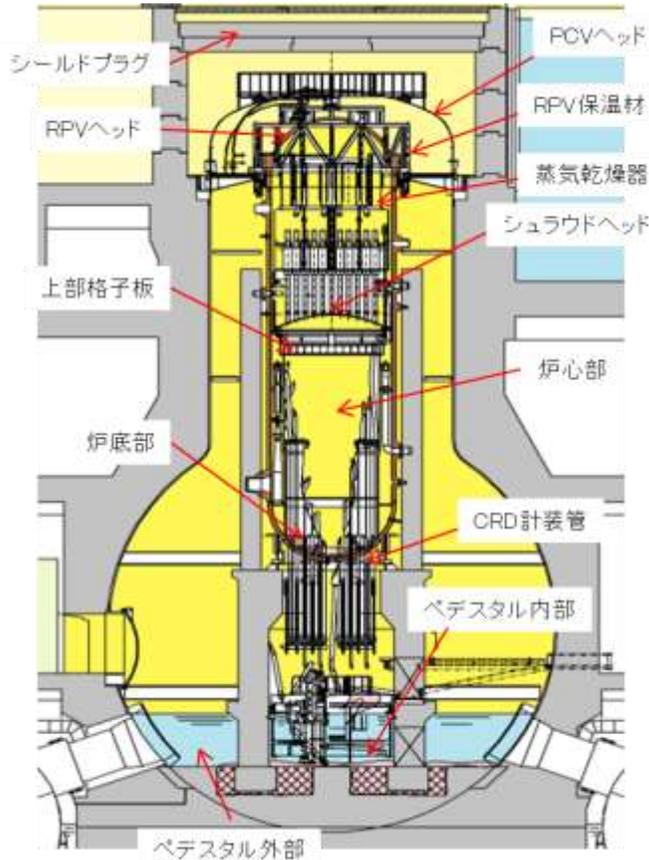
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

i) 燃料デブリ性状、量の想定値を具体化(2号機)



No.	分布位置	性状	主な状態	特徴	質量[t]	燃料デブリ物性	
					MAAP	寸法	組成
1	炉心部	切株燃料	炉心外周部に燃料集合体存在	炉心外周部の燃料集合体の上部溶解し、切り株燃料が僅かに残る 溶融物金属成分25%	0~51	~4m	UO ₂ , ZrO ₂ , (U, Zr)O ₂ , Zr(O)
		粉状、小石状	残存構造物に付着あるいは積層して存在	溶融した炉心材料が急冷され、小片化		数μm~数cm	(U, Zr)O ₂ (Zr, U)O ₂
2	炉底部	粉状、小石状	炉底部中心に燃料デブリが存在	溶融した炉心材料が急冷され、小片化	25~85	数μm~数cm	(U, Zr)O ₂ (Zr, U)O ₂
		塊状	UO ₂ が主成分の燃料デブリ(ペレット状も存在)と推定	ゆっくり冷却され塊となったもの		厚さ数十cm	(U, Zr)O ₂ (Zr, U)O ₂
		クラスト(岩盤状)	外周部はCRGTが解けずに残る	溶融した金属と酸化物燃料が混合固化した燃料デブリ		厚さ0.1~1m	(U, Zr)O ₂ , (Zr, U)O ₂ Zr(O), Fe
3	CRD/計装管	配管	管内部の隙間や外面に燃料デブリが付着して存在	RPV下端から下方の部分のSUS配管内を燃料デブリが流路閉塞		侵入長10数cm	(U, Zr)O ₂ , (Zr, U)O ₂ , SUS
4	ベDESTAL内	粉状、小石状	注水のタイミングが早かったため、溶融燃料デブリがほとんどMCCIを形成せずに凝固	溶融した炉心材料がRPVから漏出し、分散急冷固化し、分散コンクリートとはほとんど反応せず	102~223	50μm~20cm	UO ₂ , Zr(O) (U, Zr)O ₂ , Fe
		塊状	サンピットではMCCIの形成可能性あり	凝固した塊状燃料デブリが均等に分布 サンピットにてMCCI形成の可能性		厚さ15cm	UO ₂ , Zr(O) (U, Zr)O ₂ , Fe (U, Zr)SiO ₂
5	ベDESTAL外	粉状、小石状	ベDESTAL部から凝固した燃料デブリが流出 大部分は粉、小石状	ベDESTALから流出した小石状燃料デブリが存在	3~142	50μm~20cm	UO ₂ , Zr(O) (U, Zr)O ₂ , Fe
		塊状		ベDESTALから流出したコリウムがコンクリートと反応・凝固 金属成分やや多い		侵食量~0.25m	UO ₂ , Zr(O) (U, Zr)O ₂ , Fe (U, Zr)SiO ₂

6. 本事業の実施内容

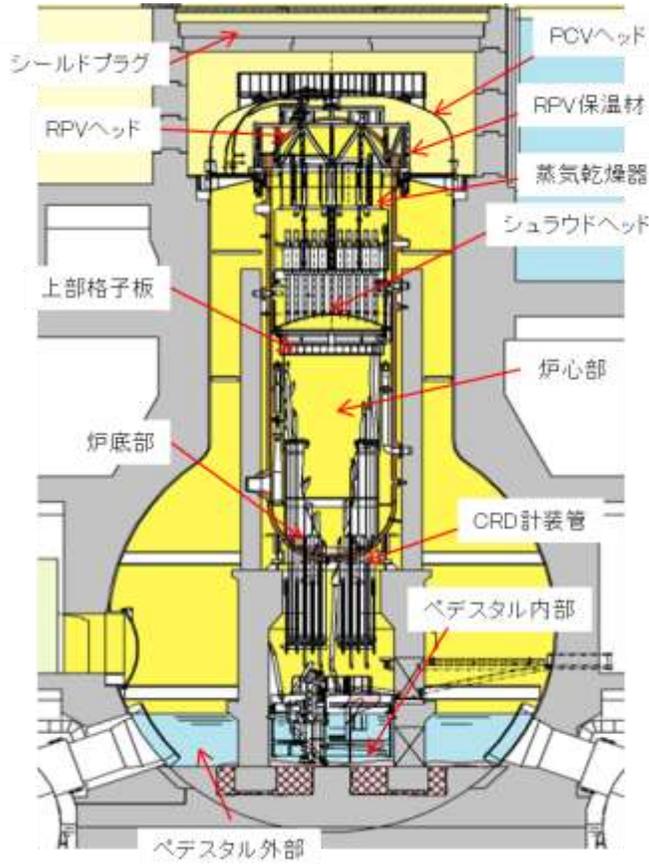
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

i) 燃料デブリ性状、量の想定値を具体化(3号機)



No.	分布位置	性状	主な状態	特徴	質量[t]	燃料デブリ物性	
					MAAP	寸法	組成
1	炉心部	切株燃料	大部分の燃料が溶融し炉心外周部に健全な燃料集合体が存在(MAAP)	炉心外周部の燃料集合体の上部が溶解し、切り株燃料が僅かに残る	0~31	~4m	UO ₂ 、ZrO ₂ 、(U、Zr)O ₂ 、Zr(O)
		粉状、小石状	残存構造物に付着あるいは積層して存在	溶融した炉心材料が急冷され、小片化		数μm~数cm	(U、Zr)O ₂ (Zr、U)O ₂
2	炉底部	粉状、小石状	MAAP、SAMPSONとも下部プレナムには燃料デブリは少量	溶融した炉心材料が急冷され、小片化	21~79	数μm~数cm	(U、Zr)O ₂ (Zr、U)O ₂
		塊状				ゆっくり冷却され塊となったもの	厚さ数十cm
		クラスト(岩盤状)	溶融した金属と酸化物燃料が混合固化した燃料デブリ	厚さ0.1~1m	(U、Zr)O ₂ 、(Zr、U)O ₂ Zr(O)、Fe		
3	CRD/計装管	配管	管内部の隙間や外面に燃料デブリが付着して存在	RPV上端から下方の部分のSUS配管内を燃料デブリが流路閉塞		侵入長10数cm	(U、Zr)O ₂ 、(Zr、U)O ₂ 、SUS
4	ベDESTAL内	粉状、小石状	注水のタイミングが早かったため、溶融燃料デブリがほとんどMCCIを形成せずに凝固。サンプルではMCCIの形成可能性あり	溶融した炉心材料がRPVから漏出し、分散急冷固化し、分散コンクリートとはほとんど反応せず	92~277	数μm~数cm	UO ₂ 、Zr(O) (U、Zr)O ₂ 、Fe
		塊状				凝固した塊状燃料デブリが均等に分布。サンプルにてMCCI形成の可能性	厚さ15cm
5	ベDESTAL外	粉状、小石状	ベDESTAL部位から凝固した燃料デブリが流出。大部分は粉、小石状	ベDESTALから流出した小石状燃料デブリが存在	0~146	50μm~20cm	UO ₂ 、Zr(O) (U、Zr)O ₂ 、Fe
		塊状				ベDESTALから流出したコリウムがコンクリートと反応・凝固。金属成分やや多い	侵食量~0.20m

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

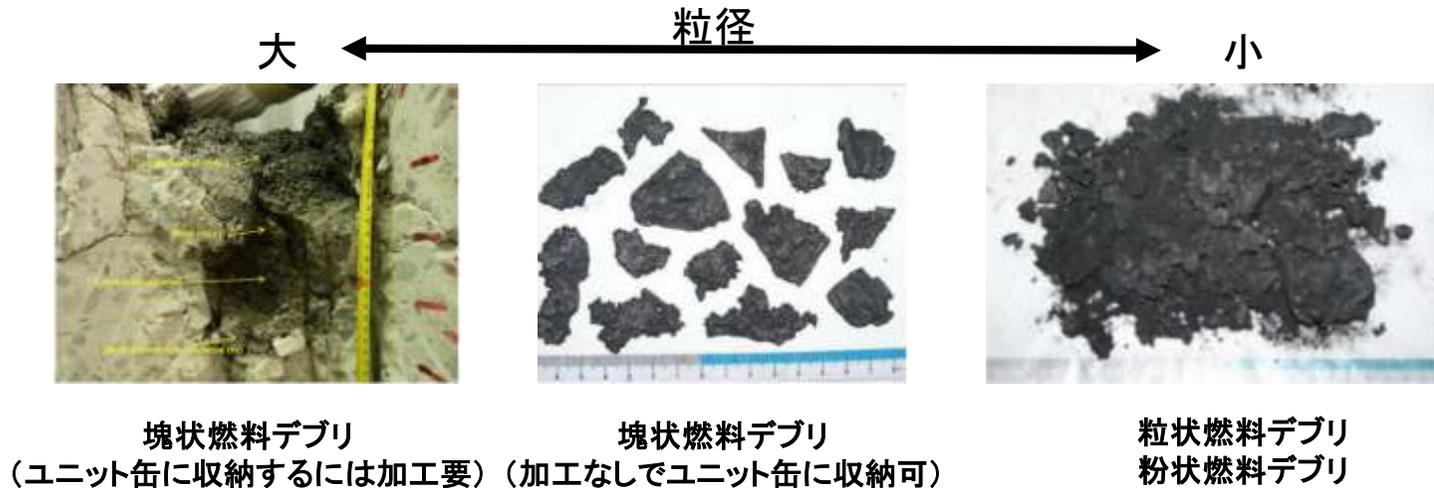
1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリの粒径による分類と回収方法

PCV内には、ユニット缶(φ200mm×H200mm)に収納するには加工が必要な塊状のもの、加工せずにユニット缶に収納可能な塊状のもの、粒・粉状のもの、様々な粒径の燃料デブリが存在。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリの粒径による分類と回収方法

分類	粒径	回収方法	備考
粉状	0.1mm未満	液相系システムによる吸引。	※1
粒状	0.1mm～10mm	ポンプによる吸引。	※2
塊状	10mm～100mm (加工せずにユニット缶に収納可能なサイズ)	バケツ状のツールで掬う、または、トング状のツールで掴む。	※3
	100mm以上 (ユニット缶に収納するには加工が必要なサイズ)	ユニット缶に収納可能なサイズに加工し、加工後の粒径に応じて※1～※3の何れかの方法で回収。	※4

- ※1：0.1mm未満の燃料デブリは沈殿せずに浮遊すると考えられるため、液相系の循環システムで吸引回収する。
- ※2：比較的粒子サイズの小さい粒状の燃料デブリは、掬う・掴む等による回収に比べ、ポンプによる吸引が回収時間も短いと考えられるため、ポンプによる吸引回収とする。
- ※3：ポンプで吸引できない塊状燃料デブリは、加工が必要なもの、加工が不要なものに分類される。加工が不要なものについては、バケツ状のツールで掬うことを基本とし、構造物の直近の燃料デブリ等で掬うことが困難な場合は、トング状のツールで掴んで回収する。
- ※4：ユニット缶に回収するには加工が必要なサイズの燃料デブリについては、ユニット缶に収納可能なサイズに加工し、加工後の粒径に応じて※1～※3の何れかの方法で回収する。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

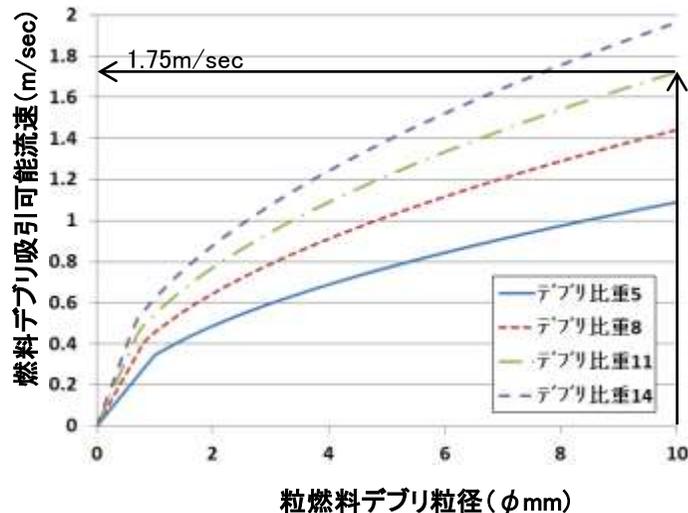
a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

i) 燃料デブリの吸引前提条件の整理

粒燃料デブリ吸引回収システムの具体化検討の前段階として、前提条件を以下の通り設定した。

- | | |
|--------------|-----------------------------------|
| ① 粒燃料デブリ粒径 | $\phi 0.1 \sim \phi 10 \text{mm}$ |
| ② 燃料デブリ比重 | 比重2~11 |
| ③ 燃料デブリ吸引流速 | 2m/sec(下図参照) |
| ④ 粒燃料デブリ回収速度 | 検討中 |



- ・ 静止水中の終末沈降速度を超える流速であれば、粒子の吸引が可能。
- ・ 粒燃料デブリの想定粒径と比重から、静止水中の終末沈降速度を求め、燃料デブリの吸引可能流速とした。
- ・ 計算の結果、最大(粒径 $\phi 10 \text{mm}$ 、比重11)の流速 1.75m/sec に対して余裕を見込み、吸引流速を 2m/sec に設定する。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

ii) 吸引方式検討

粒燃料デブリの吸引方式として、「床上※からの吸引方式」及び「水中からの汲み上げ方式」の2方式が考えられる。

本項ではそれぞれの方式の主な課題について検討する。

	床上※からの吸引方式	水中からの汲み上げ方式
イメージ図	<p>(吸引ホースはロボットアーム先端に取付)</p> <p>固液分離装置 吸引装置</p> <p>PCV</p> <p>燃料デブリ</p>	<p>固液分離装置 吸引装置</p> <p>ロボットアーム (システムはロボットアーム先端に取付)</p> <p>PCV</p> <p>燃料デブリ</p>
主な課題	<ul style="list-style-type: none"> 必要付帯設備内容の確認 床上の設置スペース有無 燃料デブリ吸引流速でのホース圧損の影響確認 	<ul style="list-style-type: none"> 吸引回収システムの保守性 ロボットアームの積載荷重の制限に対応したシステム重量及びサイズ 回収した燃料デブリの収納缶への収納方法

※ 「床上」とは原子炉建屋1階の床上を示す。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

ii) 吸引方式検討

(1) 床上からの吸引方式の検討

前項にて抽出した主な課題に対し、以下方法にて検討する。

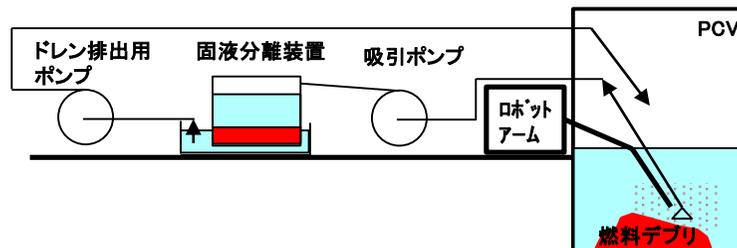
<設置スペース有無>

- ・遮へい壁やメンテナンス機器等の想定される付帯設備の抽出を行う。
- ・原子炉建屋1階床面に設置するにあたり、想定した付帯設備の概略の配置検討を行う。

<燃料デブリ吸引流速での吸引可否検討>

- ・ポンプによる吸引で流体の飽和蒸気圧が低下しすぎると気泡が発生し、ポンプが空転する(吸引出来ない)可能性あるため、仮設定した設置位置にて燃料デブリ吸引流速(2m/s)で吸引できるか机上検討を行う。

以上の検討により、床上からの吸引方式による粒燃料デブリ吸引回収システムの成立性を評価する。



床上からの吸引方式 系統イメージ図

- ・吸引ホースはロボットアームに取付
- ・固液分離装置からのドレンはPCV内へ返送

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

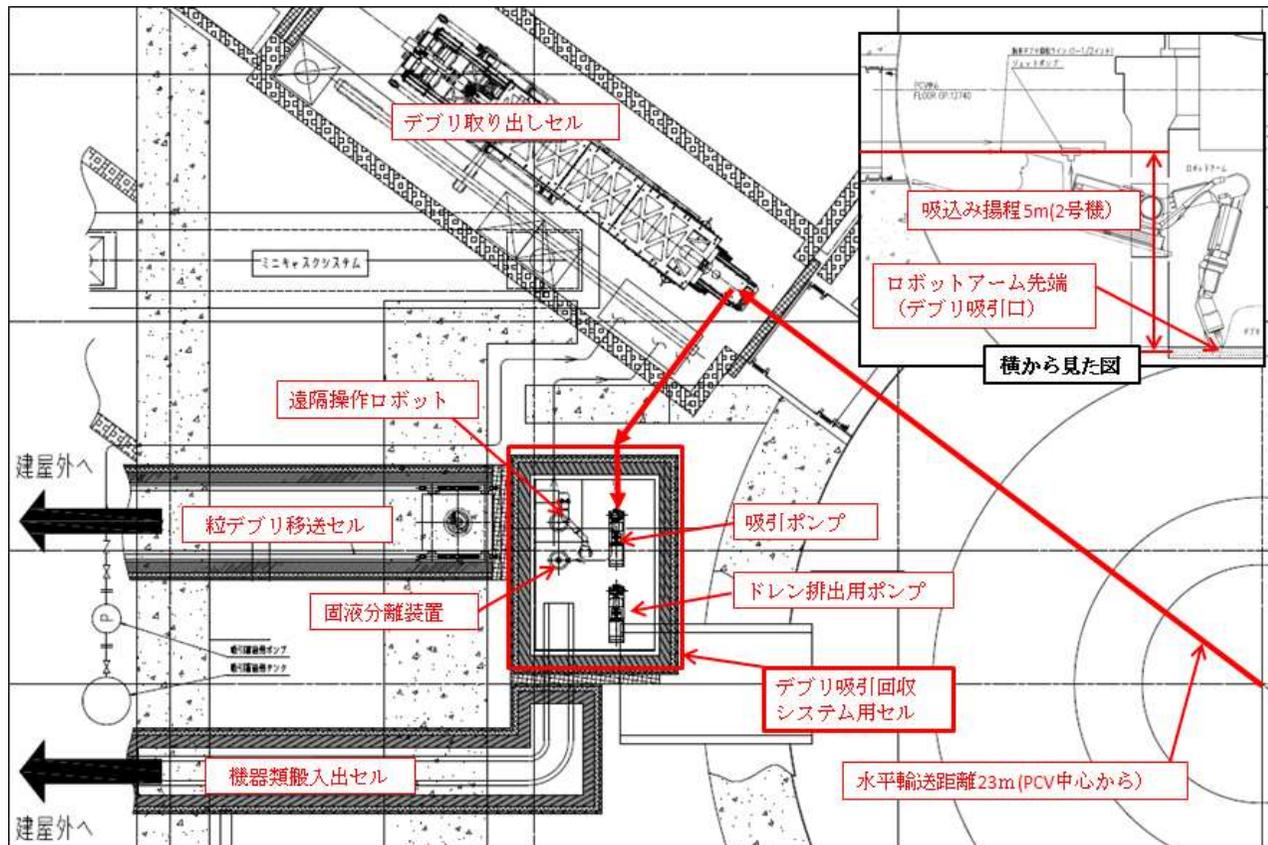
1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

(1) 床上からの吸引方式の検討



床上からの吸引方式 燃料デブリ吸引回収システム概略設置検討図

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

(1) 床上からの吸引方式の検討

以下吸引条件にて流体中に気泡が発生するか(所定の流速で吸引できるか)机上にて検討した。

条件		備考
流速	2m/s	机上計算で求めたφ10mm、比重11の終末沈降速度
配管水平距離	23m	PCV中心からポンプまでの水平距離
水温	35°C	保守側に温度が高い2号機のPCV内温度

<1号機>

吸引口径	1-1/2インチ	2インチ	3インチ
PCV水位／吸込揚程(m)	2.8m／3m		
気泡	発生	発生	発生せず (吸引可)

<2号機>

吸引口径	1-1/2インチ	2インチ	3インチ
PCV水位／吸込揚程(m)	0.3m／5m		
気泡	発生	発生	発生

<3号機>

吸引口径	1-1/2インチ	2インチ	3インチ
PCV水位／吸込揚程(m)	6.5m／1m		
気泡	発生せず (吸引可)	発生せず (吸引可)	発生せず (吸引可)

【結果】

- ・ 3号機のみ気泡の発生なく、粒燃料デブリを吸引できる見込みを得た。
- ・ 1、2号機では流体中に気泡が発生し、粒燃料デブリを所定の流速で吸引することができない。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

(1) 床上からの吸引方式の検討

<設置スペース有無の確認結果>

- ・ 原子炉建屋の外部に設置するとPCV内部からの配管長が長くなり過ぎるため、原子炉建屋1階のX-6ペネ近傍に付帯設備を設置することで付帯設備の配置検討を実施。
- ・ アクセス装置の搬出入作業との干渉を避けるために、燃料デブリ取り出しセル内と分けて付帯設備の配置検討を実施。
- ・ 粒燃料デブリを捕集したユニット缶を外部に搬出するための設備が必要
- ・ 吸引回収システムの構成機器類に対するメンテナンス作業に伴い、機器や機材を搬入出するための設備が必要。
- ・ 吸引回収システムの構成機器類に対するメンテナンス作業のために、遠隔操作機器が必要
- ・ 比較的大きなスペースが必要なため、原子炉建屋1階に設置スペースを確保することは難しい。

<燃料デブリ吸引流速でのホース圧損の影響確認結果>

- ・ 3号機のみ、キャビテーション無く粒燃料デブリを吸引できる見込みを得た。
- ・ 1、2号機ではキャビテーションが発生し、粒燃料デブリを吸引することができない。

【結論】

- ・ 床上からの吸引方式は1～3号機共通のシステムとすることは出来ない。
- ・ 原子炉建屋1階の狭隘部に多くの付帯設備を設置することが必要。

よって、主案の粒燃料デブリの吸引回収方式として検討するには、**デメリットが大きいと判断**。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

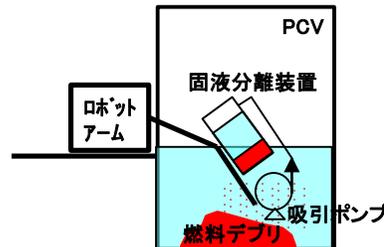
(2) 水中からの汲み上げ方式の検討

ii) 項にて抽出した主な課題に対する対応案を以下に示す

なお、水中からの汲み上げ方式の系統イメージ図を下図に示す。

主な課題	対応案
吸引回収システムの保守性	ポンプなどの機器は耐放射線性の問題から、定期的な交換が必要であるが、 ロボットアームと同時に取り出し、交換、メンテナンスを行う。
システムのサイズ及び重量	ロボットアームに粒燃料デブリ吸引回収システムを取り付けることを想定し、 ロボットアームのハンドリング可能なサイズ、重量とした設計とする。
回収した燃料デブリの収納缶への収納方法	ロボットアーム引き揚げ時に、 ロボットアームのメンテナンス用遠隔操作ロボットにて、燃料デブリを捕集したユニット缶を取り外し、収納缶へ収納する。

また水中で使用可能な市販ポンプのベンチマークを行い、ロボットアームへのシステム配置案を作成して問題点を抽出することにより、水中からの汲み上げ方式による粒燃料デブリ吸引回収システムの成立性を評価する。



・吸引ポンプ、固液分離装置ともロボットアームに取付

水中からの汲み上げ方式 系統イメージ図

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

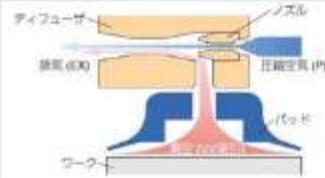
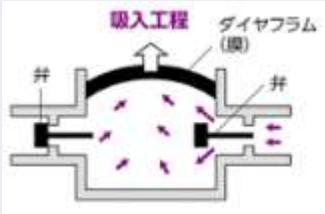
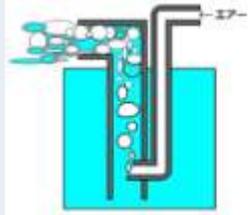
① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

(2) 水中からの汲み上げ方式の検討

○ 水中で使用可能な市販ポンプのベンチマーク結果(1/2)

種類	噴射(エジェクタ)ポンプ	ダイヤフラムポンプ	エアリフトポンプ
原理特徴	特殊ポンプに分類される。 駆動流体入口、輸送流体入口、吐出口と3つのポートを有しており、駆動流体入口より駆動用の流体を吹き込み負圧を発生させ、輸送流体入口より輸送用の流体を吸引し、吐出口より吐出し輸送用の流体を輸送するもの。 動的機器が無い為、故障しにくい特徴を持つが、他機械式ポンプに比べエネルギー効率が悪い。	容積ポンプの一種。 ダイヤフラムの容積変化により流体に圧力を与え、流体を輸送する。	特殊ポンプに分類される。 水中に立てた管内の下端部付近に圧縮空気を送り、管内外に比重差を発生させ、その時に上昇する気泡と共に管下端より流体を吸引し輸送する。動的機器が無い為、故障しにくい特徴を持つが、上昇気泡による駆動力のみである為、低揚程である。
略図			
主な用途等	脱気、脱泡、蒸留等、真空が必要な用途に用いられる例が多い。	TMIにて適用実績あり。 自吸能力あり、空運転も問題なく、また粘度の高い液体を扱うことができる。工業的、化学的、衛生用途等に使用される事が多い。	TMIにて適用実績あり。 浚渫工事時の排土輸送や温泉等の汲み上げに用いられる例が多い。
適用性/備考	× ・駆動流体の選定、処置、環境影響等、二次の問題が発生する。 ・駆動流体用ポンプも必要となる。	× ダイヤフラム材質は有機材であり、耐環境性は無いことから×とした。	× ・TMIほど水深無いため、流体駆動力小さい。 ・1F環境は狭窄でありロボットアームでの取り回し困難。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

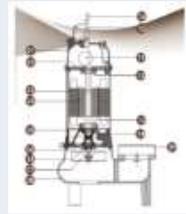
① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

(2) 水中からの汲み上げ方式の検討

○ 水中で使用可能な市販ポンプのベンチマーク結果(2/2)

種類	ハイドロターボポンプ	水中ポンプ
原理特徴	非容積(ターボ形)ポンプの一種。 動力源は水圧で、電源が使用できない等の特別な制約のある環境での使用を目的に設計されたポンプ。 ポンプ本体を対象液中に水没させ使用する。	非容積(ターボ形)ポンプの一種。 水中ポンプとは、モーターが防水加工されるなどして水中で使用できるポンプの総称。 主に渦巻きポンプが用いられている。 汚水(農業、雨水)や工事用排水等に使用されることもあり、小石等異物搬送性のあるポンプもある。
略図		
主な用途等	食品機械用や防爆環境下にて使用されている。	水処理関連施設や工事現場、商業施設や一般家庭などでの、水中での使用に用いられる。 水中に設置できるので、設置面積を取らないことやその騒音が抑えられるのが利点。
適用性/備考	△ 異物輸送性はφ6mmまで。	○ 異物輸送性φ10mm以上。

【結果】

ハイドロターボポンプ、水中ポンプでの適用の可能性が見込めることから、両者の概略検討を行う。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

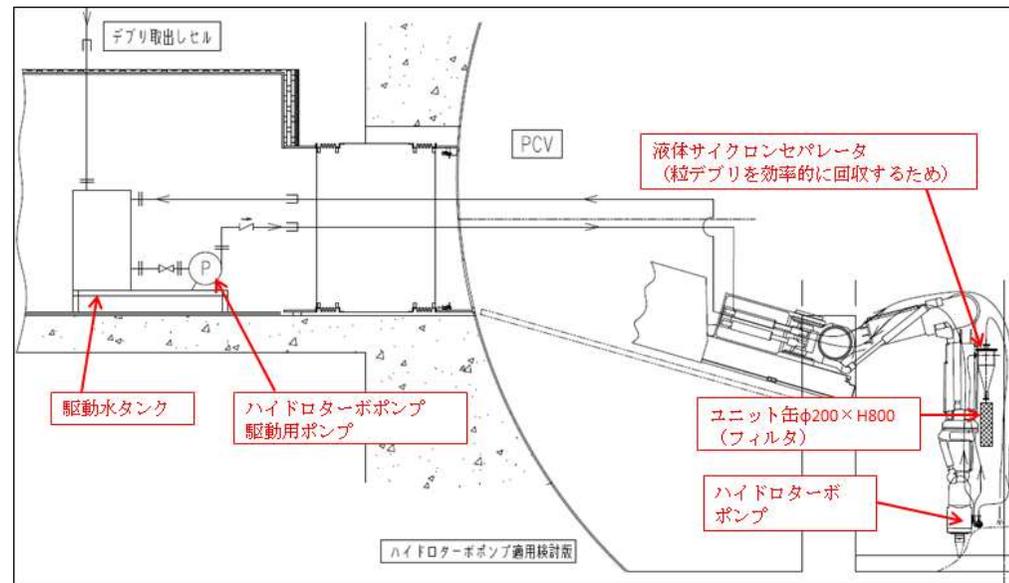
a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

(2) 水中からの汲み上げ方式の検討

(a) ハイドロターボポンプの概略成立性検討

- ロボットアームの荷重制限は満足する見込み(総重量約150kg)。
- ポンプ耐放射線性は今後検討。
- 床上に設置するハイドロターボポンプの駆動用ポンプ、駆動水タンクは運用を誤ると汚染する可能性があるので、汚染後のメンテナンス方法や遮へい壁を検討する必要あり。
- 市販ハイドロターボポンプの異物輸送性は $\phi 6\text{mm}$ であり、目標($\phi 10\text{mm}$)に合致せず、新規設計する必要がある。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

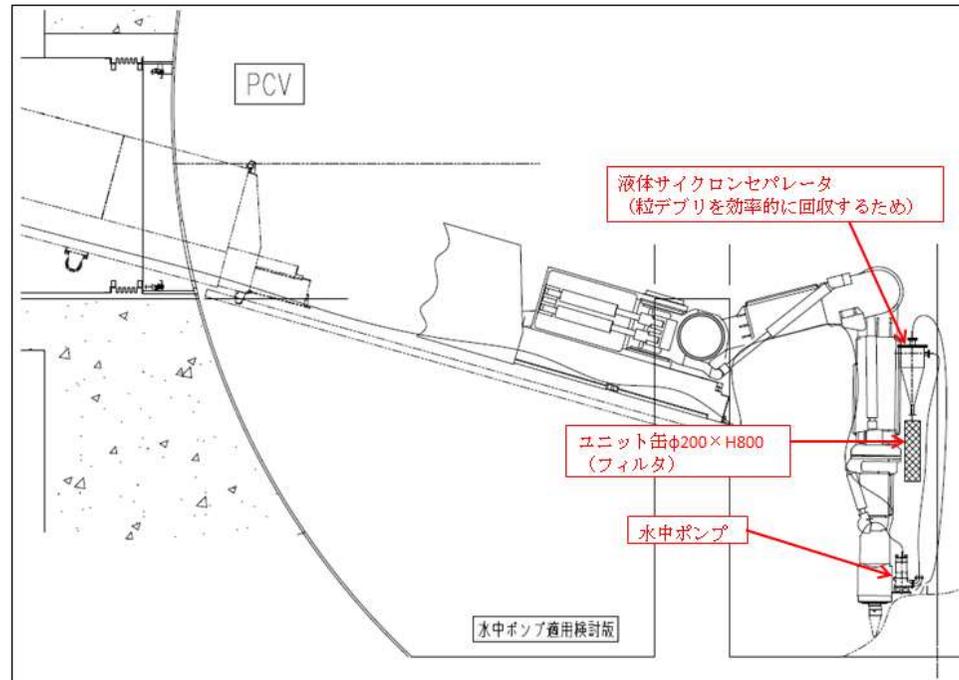
a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

(2) 水中からの汲み上げ方式の検討

(b) 水中ポンプの概略成立性検討結果

- ロボットアームの荷重制限は満足する見込み(総重量約170kg)。
- ポンプ耐放射線性は今後検討。
- 市販水中ポンプでの異物輸送性は目標($\phi 10\text{mm}$)以上のラインナップあり。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

(3) 成立性の概略検討結果

	床上からの吸引方式	水中からの汲み上げ方式	
		ハイドロターボポンプ	水中ポンプ
付帯設備	× 付帯設備大	△ 床上設置の駆動水ポンプ等の 遮へい壁が必要	○ 床上に新たな設備を設置する必 要無し
燃料デブリ 吸引流速	× 3号機のみ成立性あり	○ 成立性あり	○ 成立性あり
機材保守	× 個別に保守設備を設ける必要有	○ ロボットアームと同時に取り出し、保守を行う。	
ロボットアーム 積載	—	△ 小型化の検討が必要	
異物輸送性 (φ10mm以上)	○ 市場品に ラインナップあり	△ ラインナップはφ6mmまで。 要新規設計。	○ 市場品に ラインナップあり
まとめ	× 号機共通システム化は不可 多くの付帯設備が必要	△ 号機共通システム化は可能 床上に付帯設備が必要	○ 号機共通システム化は可能 床上の付帯設備は不要

【結論】 水中からの汲み上げ方式の「水中ポンプ」を主案として検討を進める。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

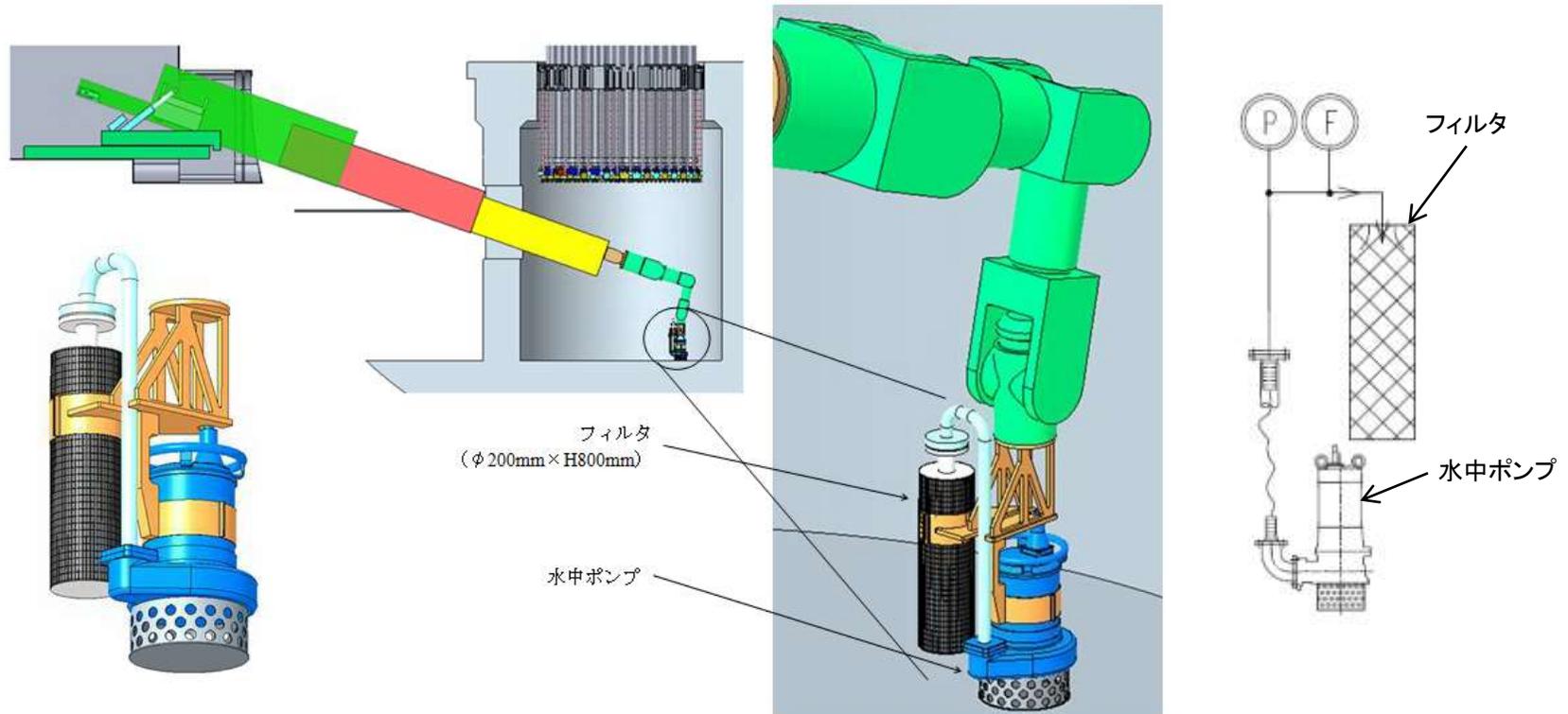
① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

iii) 水中からの汲み上げ方式成立性検討における検討課題

- ・ 「水中からの汲み上げ方式」の成立性検討結果におけるシステム構成案を下図に示す。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

iii) 水中からの汲み上げ方式成立性検討における検討課題

- ・ 今後の検討は、**水中ポンプを主案として進める**が、ポンプは水中ポンプに限定せず、**他型式のポンプの適用の可能性を除外しないよう、幅広く検討**する。

<配管>

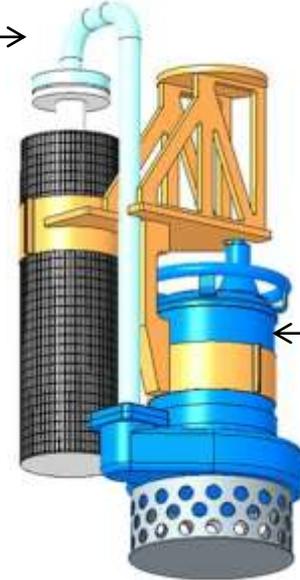
- ・ 配管内径の検討(詰まり防止)
- ・ 詰まり発生時の対応方法検討

<フィルタ>

- ・ 遠隔操作による交換方法の検討
- ・ フィルタ目開きの検討
- ・ フィルタ目詰まり、満杯検知方法の検討
- ・ フィルタ目詰まり時の解消法の検討

<全体>

- ・ 耐放射線性の検討(センサー類含む)
- ・ スループット量の検討
- ・ ロボットアーム、収納缶PJとの連携



<ポンプ>

- ・ ポンプ型式の選定
- ・ ストレーナ閉塞解消方法として、逆洗機構(軸流ポンプ等)の検討
- ・ 内部部品の摩耗量の検討
- ・ 遠隔による交換方法の検討

<ポンプストレーナ>

- ・ 燃料デブリ吸引に適した最適形状の検討
- ・ ストレーナ閉塞(詰まり)の検知、防止、解消方法の検討
- ・ 遠隔による交換方法の検討

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

<検討課題の抽出>

項目	課題	対応案
配管	配管詰まり(閉塞)防止	複数のメーカーより、詰まり(閉塞)防止として異物径×3倍以上の配管内径とする知見を聴取。異物径×3倍以上の配管内径での閉塞対策について検討する。
ポンプ	ポンプ流速及び容量の設定	<ul style="list-style-type: none"> ・i)項前提条件燃料デブリ吸引流速(2m/s)での吸引可否を検討する。 ・配管径と燃料デブリ吸引流速を仮設定し、ポンプ容量を検討する。
	<ul style="list-style-type: none"> ・ポンプ閉塞防止(ストレーナ) ・ポンプストレーナ閉塞検知方法及び閉塞防止、閉塞解消 	ポンプ閉塞防止として、ポンプの異物通過径より大きい粒子を吸引しないようストレーナを設ける。しかしストレーナ設置によりストレーナに閉塞が発生する可能性あり、閉塞検知方法や防止方法、解消方法を検討する。
液体サイクロンセパレータ	液体サイクロンセパレータの要否	粒燃料デブリを効率的に回収するため液体サイクロン設置を検討しているが、フィルタ圧損によるポンプ容量(吐出圧)を検討すると共にロボットアーム搭載性を考慮し、液体サイクロンの要否を検討する。
フィルタ	フィルタ目開き	<ul style="list-style-type: none"> ・回収する粒燃料デブリ(i)項参照)より、フィルタ目開きを検討する。 ・検討にあたり、フィルタでのケーキろ過や圧損も考慮する。
運用	スループット量(机上検討)	水中ポンプの流量低下から、スループット量を机上計算にて求める。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

<検討課題の抽出>

(1) 配管閉塞防止検討

水中ポンプを製作している複数のメーカーより、異物の配管内閉塞に関する知見の聴取結果を以下に示す。

- ・配管内寸法の設計条件は、各メーカーとも「**配管内径は異物径×3倍以上**」で同じ(一般的知見)。
- ・なお「配管内径は異物径×3倍以上」は**経験則であり理論的に導き出したものではない**。
- ・可能性は低い**が**、配管内径を**異物径×4倍、×5倍としても詰まることもある**。

以上聴取結果より、燃料デブリの最大径はφ10mmであり、保守側に配管内径は燃料デブリ径の5倍とし、配管は2インチ(内径φ50mm)に設定する。

但し、燃料デブリ径の5倍としても閉塞する可能性は否定できない事から、**閉塞時には遠隔にて配管を交換できる構造を次年度以降に検討**する。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

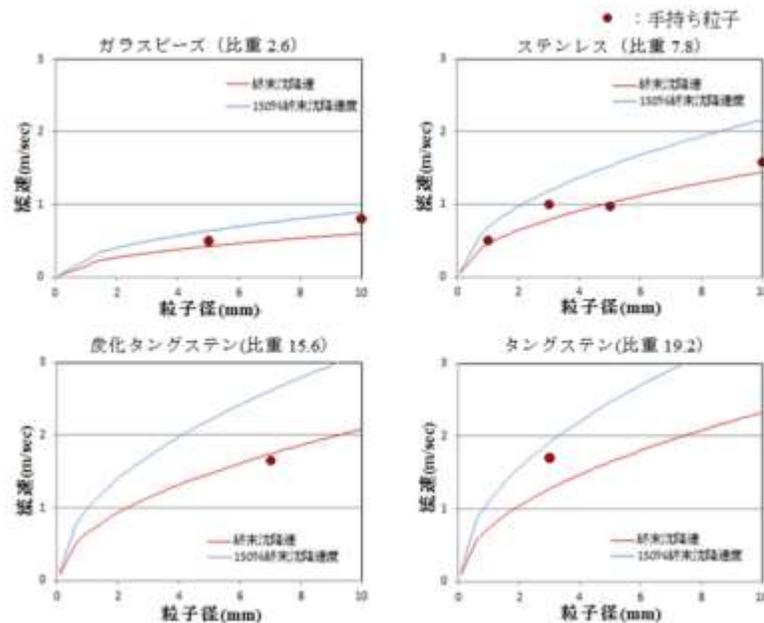
○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

<検討課題の抽出>

(2) ポンプ流速及び容量の設定

設定した燃料デブリ吸引流速(2m/sec)の確実性を確認するため、手持ちの粒子を用いて終末沈降速度を測定することによりポンプ流速を設定し、ポンプ容量を設定する。

粒子は終末沈降速度前後から終末沈降速度×1.5倍の流速の範囲で移送されたことから、**流速は保守側に1.75m/sec×1.5倍=2.625≒2.7m/secに設定する。**(下図参照)



<結果>

- ・ポンプ流速 2.7m/sec
- ・ポンプ容量 19.1m³/h
- ・ポンプ質量 20kg(暫定)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

<検討課題の抽出>

(3) ポンプ閉塞防止検討

- ・水中ポンプには、吸引可能な異物径を示した指標(異物通過径)がある。
- ・異物通過径を超える異物が吸引しないよう、防護用のストレーナが設けられている(下図参照)。
- ・防護用ストレーナの明確な設計根拠はなく、各メーカーのノウハウにより経験的に設計されている。



市販品のストレーナ形状は、粒燃料デブリ吸引回収システム用として最適化されたとは言い難いため、次年度以降に要素試験を通して、最適なストレーナ形状を検討する。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

<検討課題の抽出>

(4) ポンプストレーナ閉塞検知方法及び閉塞防止検討

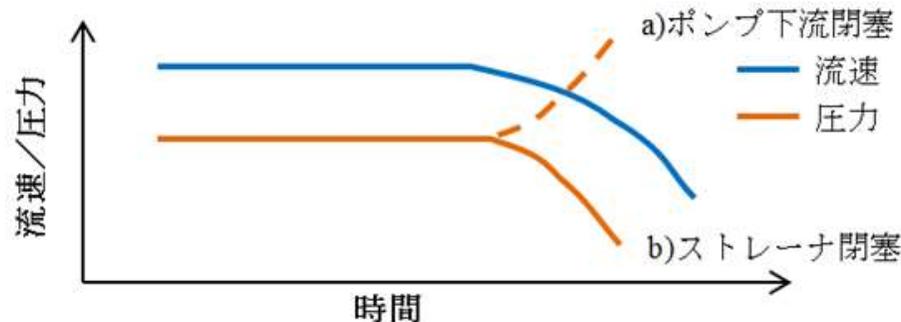
- ・運用時に水中ポンプのストレーナに異物が吸着・閉塞する可能性がある。
- ・運用に影響を与えるため、ストレーナが閉塞した際の検知案、閉塞防止案、閉塞解消案を検討する。

(ア) ポンプストレーナ閉塞検知案

iii)項に示した圧力計と流量計の組み合わせによるストレーナ閉塞検知方法を検討した。

- ・ポンプ下流にて閉塞が発生した場合、流速は低下し、圧力は上昇(a)参照)すると考えられる。
- ・ストレーナ閉塞時は、移送する水量が低下するので流速は低下し、圧力は低下すると考えられる(b)参照)。

よって、流速が低下した時の圧力下降を確認することにより、ストレーナの閉塞を検知できる可能性があると考え、次年度以降の要素試験により詳細検討を行う。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

<検討課題の抽出>

(イ) ポンプストレーナ閉塞防止案

燃料デブリ吸引流速を2.7m/secとした場合の各粒子の吸引可能粒子径は下表のとおり。

吸引対象	吸引可能粒子径 (燃料デブリ吸引流速(2.7m/sec)時)	備考
コンクリート	φ60mm	比重2.6と想定
ステンレス鋼	φ17mm	比重7.9と想定
二酸化ウラン	φ10mm	比重11.0と想定

ストレーナ閉塞防止案として、ストレーナに大きな燃料デブリが吸着しないよう、

- ・邪魔板等の構造物を設ける。
- ・他、大きな燃料デブリがストレーナ孔部に接触しないような構造とする。

ことが効果的と考える。

次年度以降の要素試験によりストレーナ閉塞防止形状の検討を行う。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

<検討課題の抽出>

(ウ) ポンプストレーナ閉塞解消案

閉塞を解消するための手段として、以下が考えられる。

- ・水中ポンプをON-OFFすることにより、ポンプ、配管内の水を重力により逆流させる。
- ・ポンプを水中ポンプではなく軸流ポンプとすることにより、軸流ポンプを逆回転させ逆流させる。

しかし、逆流にて閉塞が解消しない場合も考慮し、水中ポンプのストレーナを、遠隔操作にて容易に取り外せる構造を検討する必要もあると考える。

次年度以降に要素試験によるポンプON-OFFによる閉塞の解消や、軸流ポンプの適用性、遠隔操作による水中ポンプストレーナの交換方法を検討する。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

<検討課題の抽出>

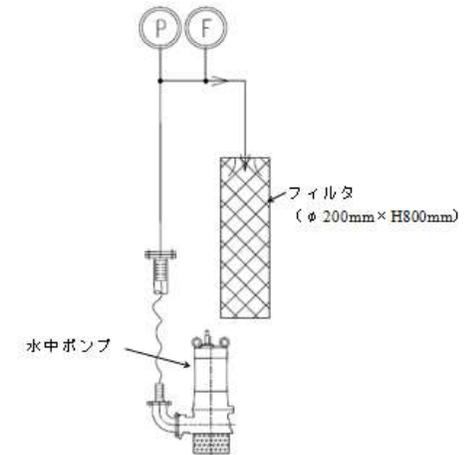
(5) 液体サイクロンセパレータの要否検討

液体サイクロンセパレータは、フィルタ初期圧損が大きい場合を考慮し効率的に粒燃料デブリを回収するため設けることを検討したが、液体サイクロンセパレータの要否は、ロボットアームの積載性に影響することから、液体サイクロンセパレータを不要にできる条件を検討した。

- フィルタ初期圧損が小さく、極端なポンプ吐出圧を要せず粒燃料デブリを移送できれば、液体サイクロンセパレータを不要にすることができる。
- 確実に粒燃料デブリ粒径 $\phi 0.1\text{mm}$ 以上を捕集するには、フィルタ目開き 0.1mm 以下とする必要があるが、粒燃料デブリ自体がろ材となるケーキろ過が発生すれば、目開きを 0.1mm 以上とする事が可能であり、フィルタ初期圧損が小さくなり、液体サイクロンセパレータを不要にすることができる。

右図に液体サイクロンを不要とするシステム構成を示す。

次年度以降の要素試験により、フィルタ初期圧損やケーキろ過発生の有無を確認することにより液体サイクロンセパレータの要否を検討する。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

<検討課題の抽出>

(6) フィルタ目開き量検討

前項にて記載した通り、

- ・粒燃料デブリ粒径は $\phi 0.1\text{mm}$ 以上で、確実に捕集するにはフィルタ目開き 0.1mm 以下とする必要がある。
- ・一方、捕集時に粒燃料デブリ自体がろ材となるケーキろ過が発生する可能性がある。
- ・ケーキろ過が発生することを期待すれば、フィルタ目開きは 0.1mm 以上とする事が可能。

次年度以降の要素試験により、ケーキろ過発生の有無を確認することにより、適切なフィルタ目開き量を検討する。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

<検討課題の抽出>

(7) スループット量検討

手持ちの機器を用いて燃料デブリ模擬粒子を吸引・搬送し、単位時間あたりの燃料デブリ模擬粒子の吸引量を測定し、スループット量を設定する。下図に単位時間あたりの燃料デブリ模擬粒子吸引量を測定した際の機器構成のイメージ図を示す。

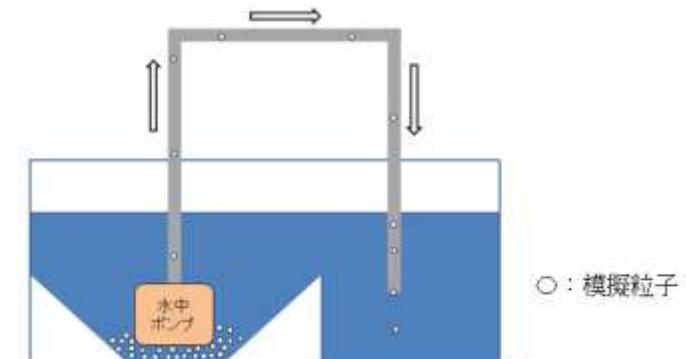
水槽左側内にアルミナ粒45kgを用意し、これが何分で水中ポンプにより水槽右側に移送できたか、移送時間を測定して単位時間あたりの燃料デブリ模擬粒子吸引量を求めた。

<吸引条件>

・吸引流速	2.7m/s
・配管内径	φ 50mm
・容量	19.1m ³ /h
・模擬粒子量	45kg(φ 0.1～φ 10mm粒子のアルミナ)

<吸引結果>

・吸引時間	8分18秒
・単位時間当たりの吸引量	325kg/h



よってスループット量を300kg/hに設定する。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリ吸引回収方法の検討

次年度以降の検討項目

本年度研究により明らかとなった課題に対し、次年度以降に以下の検討を行う。

機器	項目	検討内容
配管	閉塞対策	配管内径は保守側に燃料デブリ径 $\phi 10\text{mm} \times 5$ 倍に設定するが、配管閉塞の可能性は否定できない事から、遠隔にて配管を交換できる構造を検討する。
水中ポンプ	ストレーナ形状	ポンプ異物通過径を超える燃料デブリは吸引せず、目的とする大きさの燃料デブリを効率的に吸引できるストレーナ形状を要素試験にて検討する。
	ストレーナ閉塞検知、防止、解消対策	ストレーナの閉塞検知策、閉塞防止策、閉塞解消対策を要素試験にて検討する。
	ポンプ型式	水中ポンプに限定せず、軸流ポンプ等の他型式ポンプでの成立性を検討する。
	ポンプ交換方法	ポンプ故障に備え、セル内にて遠隔により容易に交換できる構造を検討する。
液体サイクロンセパレータ	液体サイクロンセパレータの要否	ケーキろ過やケーキ層厚さの発生状況により、液体サイクロンセパレータを不要にできる可能性がある。詳細は要素試験にて検討する。
フィルタ	フィルタ目開き	要素試験にて適切な目開き量を検討する。
	フィルタ満杯検知(目詰り)	フィルタの目詰り・満杯の検知は流量計と圧力計の組み合わせで検知可能だが、目詰りと満杯どちらが発生したか判別できないため、両者の判別方法を要素試験にて検討する。
	フィルタ交換方法	フィルタを遠隔操作ロボットで容易に取り外せる構造を検討する。
運用	スループット量算出	要素試験にて、吸引・捕集できる燃料デブリのスループット量を検討する。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

①燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○把持回収の対象となる燃料デブリ種類と回収方法

ペDESTAL内は構造物であっても燃料デブリ付着の可能性を考慮する必要があるため、把持対象となる燃料デブリは以下に分類される。

- (1)ペDESTAL内構造物(付着した燃料デブリ含む)
- (2)ペDESTAL底に溜まった加工不要な塊状燃料デブリ
- (3)ペDESTAL底に溜まった加工が必要な塊状燃料デブリ
- (4)ペDESTAL底で固まった燃料デブリ(ペDESTALの底に固着しているもの)

上記燃料デブリに対し、ユニット缶に収納するための加工要否、加工時の把持要否等について整理し、回収方法の検討を行なった。

6. 本事業の実施内容

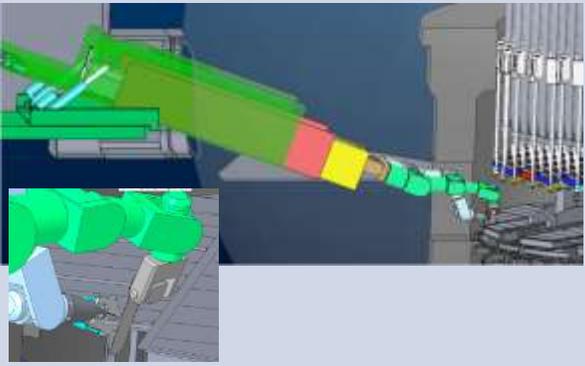
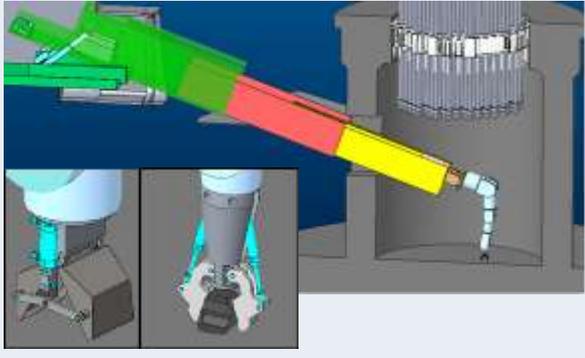
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 把持回収の対象となる燃料デブリ種類と回収方法

燃料デブリ種類	回収方法	回収イメージ
ペDESTAL内構造物 (付着した燃料デブリ含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・構造物を回収するには把持しながらの加工(切断)が必要。そのため、2本のアームでアクセスし、1本のアームで構造物を把持、もう1本のアームで切断する。 ・油圧アーム2本は寸法的に現実的でなく、また、複雑な形状の構造物にアクセスするには可動範囲の広い電動が有利なため、アームは電動とする。 	
ペDESTAL底に溜まった加工 不要な塊状燃料デブリ	<ul style="list-style-type: none"> ・加工が不要で把持回収のみのため、1本のアームで回収可能。 ・回収時間短縮の観点から、バケット状のツールで扱うことを基本とする。 ・構造物直近の燃料デブリ等で扱うことが困難な場合は、トング状のツールで掴んで回収する。 ・アームは油圧、電動どちらでも対応可能であるが、油圧の高出力は不要であることから、可動範囲が広く、スリムな電動とする。 	

6. 本事業の実施内容

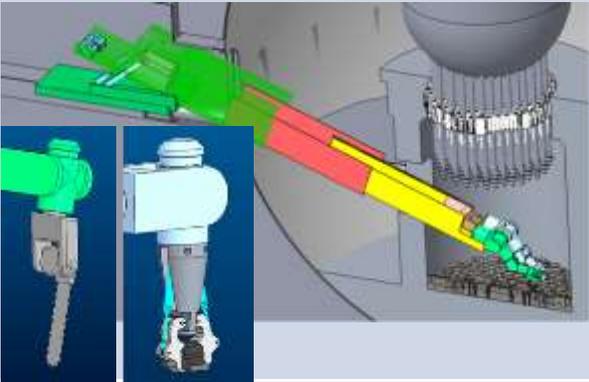
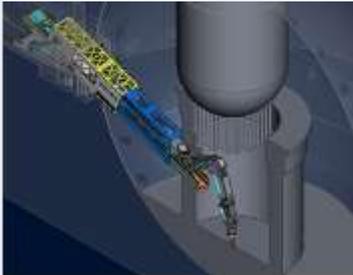
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

①燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○把持回収の対象となる燃料デブリ種類と回収方法

燃料デブリ種類	回収方法	回収イメージ
<p>ペDESTアル底に溜まった加工が必要な塊状燃料デブリ</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ユニット缶に収納するには加工が必要。そのため、2本のアームでアクセスし、1本のアームで燃料デブリを把持し、もう1本のアームで加工する。 ・油圧アーム2本は寸法的に現実的でないため、可動範囲が広く、スリムな電動とする。 	
<p>ペDESTアル底で固まった燃料デブリ(ペDESTアルの底に固着しているもの)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ユニット缶に収納するには加工が必要。 ・ペDESTアル底に固着しているため、把持は不要。そのため、1本のアームでアクセスし加工する。 ・アーム1本のため、油圧アームの適用が可能。加工時間短縮のため、高出力の油圧アームとする。 ・加工後は、「ペDESTアル底に溜まった加工不要な塊状燃料デブリ」同様の方法で回収する。 	  

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

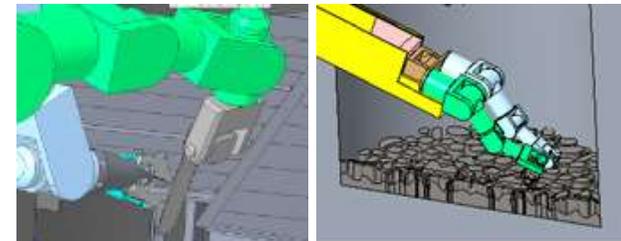
① 燃料デブリの回収システムの開発

b. 燃料デブリのユニット缶収納方法

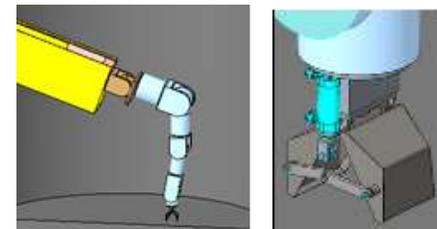
○ ユニット缶収納前の燃料デブリ把持状態

前項で実施した燃料デブリ回収方法の検討結果より、ユニット缶収納前の燃料デブリ把持状態は以下の3種類となる。

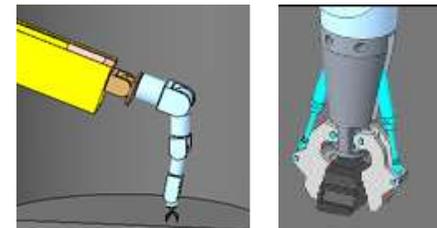
(1) 2本アームで、1本のアームはトング状のツールで構造物または塊状燃料デブリを把持、もう片方のアームは切断ツール。



(2) 1本アームで、バケット状のツールで燃料デブリを把持。



(3) 1本アームで、トング状のツールで燃料デブリを把持。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

b. 燃料デブリのユニット缶収納方法

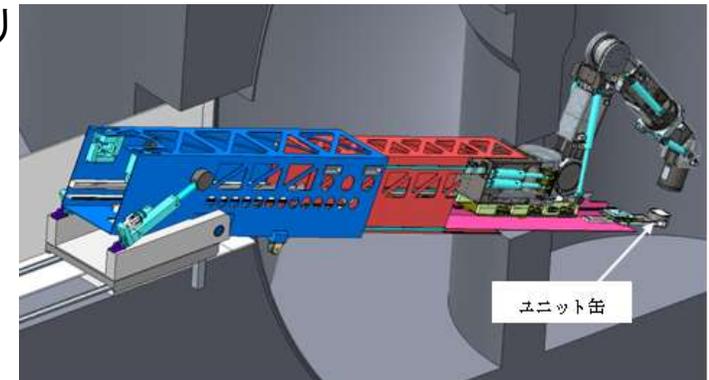
○ 燃料デブリ収納時のユニット缶位置

把持状態にある燃料デブリをアクセスレール上のユニット缶に収納する方法は、以下が考えられる。

- (1) アクセスレール上のユニット缶近傍に把持ツールを移動させて収納
- (2) アクセスレール上のユニット缶をアクセスレールから下ろして、把持回収作業近傍に移動させて収納

上記(2)については、以下のデメリットのみで、メリットがないため、(1)の「アクセスレール上のユニット缶近傍に把持ツールを移動させて収納」を採用することとする。

- ・ユニット缶設置場所の確保
- ・ユニット缶が転倒しないように保持する必要あり
- ・余分な作業であり、スループットに影響する



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

①燃料デブリの回収システムの開発

b. 燃料デブリのユニット缶収納方法

○ユニット缶収納時の要求事項と対応

要求事項	説明	備考
こぼさない	<ul style="list-style-type: none"> ・スループットを上げるには把持した燃料デブリはこぼさずに収納する必要あり。 ・アクセスレール上でこぼすと、アクセスレールの動作に影響する可能性あり。 	※1
適量を収納 (溢れない範囲で多量に収納)	<ul style="list-style-type: none"> ・スループットを上げるにはユニット缶搬送回数を減らす必要がある。 ・保管スペースの観点からもユニット缶数は出来るだけ少なくする必要がある。 	※2

※1 : 「こぼさない」については、トング状のツールで掴んでいる構造物または塊状燃料デブリは、ユニット缶近傍で把持を解放すれば対応可能と考えるが、バケット状のツールで把持している塊状燃料デブリを同じ方法で収納しようとする、ユニット缶がφ200mmと小径であるため、一部こぼれる可能性がある。

この対応策を検討した結果、小さい容器にこぼさずに入れる一般的な方法として漏斗を使用する方法があり、バケット状のツール使用時は1本アームのため、もう1本アームを設置し、そのアームに漏斗を持たせることとした。

※2 : 「適量を収納」については、ロボットアーム先端のカメラで確認すれば対応可能と考える。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

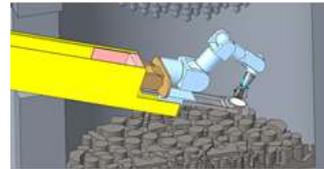
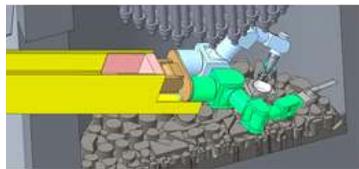
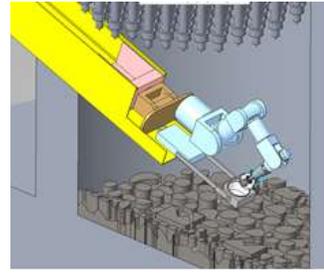
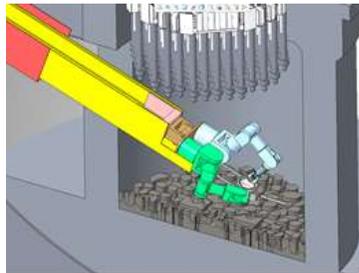
① 燃料デブリの回収システムの開発

b. 燃料デブリのユニット缶収納方法

○ ユニット缶収納方法の検討

トング状のツール把持した構造物または塊状燃料デブリはアクセスレール上のユニット缶近傍で把持を開放し、ユニット缶に収納する方法とした。

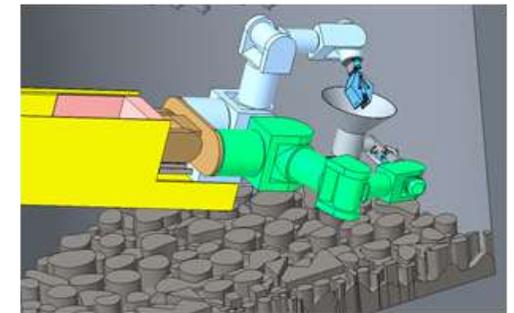
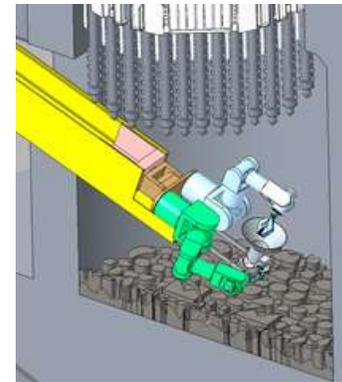
また、バケット状のツールで把持した塊状燃料デブリは片方のアームにバケット状のツール、もう片方のアームに漏斗を持たせて回収した燃料デブリをこぼさずに入れることとした。



(加工しながら回収の場合)

(加工不要な場合)

トング状ツールによる燃料デブリのユニット缶収納方法



バケット状ツールによる燃料デブリのユニット缶収納方法

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

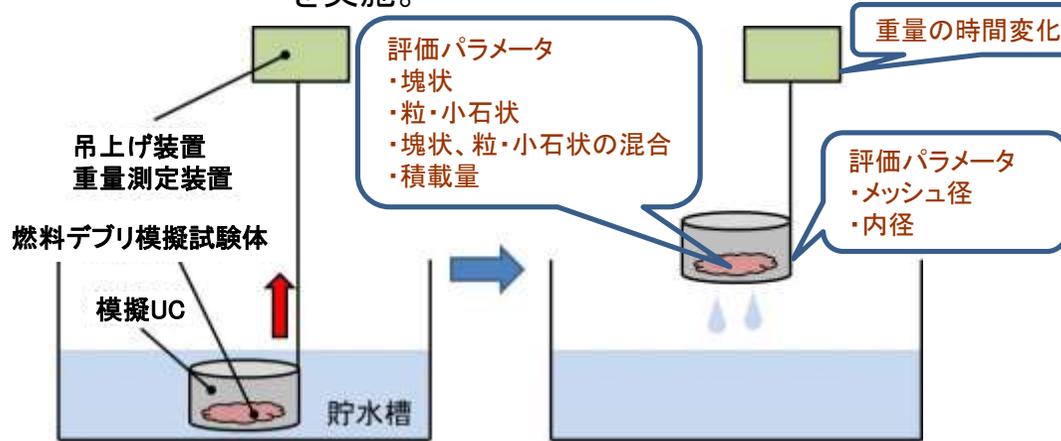
① 燃料デブリの回収システムの開発

c. 燃料デブリの水分調整方法(脱水、乾燥など)

燃料デブリの水分調整方法について、収納缶PJにて行われた試験及び解析結果に基づき考察した。

(1) UCによる水切り試験の概要(収納缶PJにて実施)

ユニット缶(UC)を模して底部に金網を設置したUC模擬体、燃料デブリ模擬試験体を用いた水切り試験を実施。



水切り試験概要図



(a) 粒径20-40mm

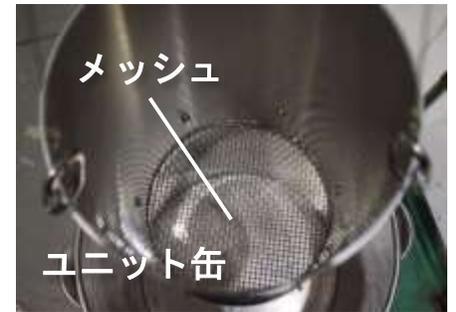


(b) 粒径5-15mm



(c) 粒径分布模擬※
(主な粒径5mm以下)

燃料デブリ模擬試験体



試験前



試験後

水切り試験状況

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

①燃料デブリの回収システムの開発

c. 燃料デブリの水分調整方法(脱水、乾燥など)

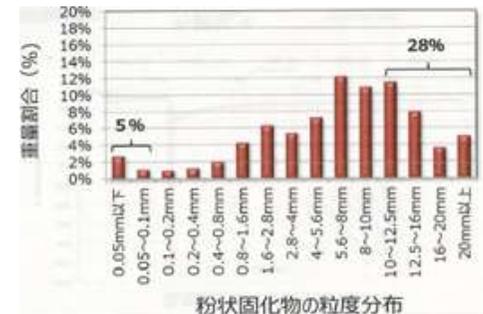
(2) UCによる水切り試験マトリクス(収納缶PJにて実施)

ユニット缶底部に金網サイズ:メッシュサイズ0.09mm~8mm(参考:回収対象の燃料デブリ粒径0.1mm)

燃料デブリ:塊状(20~40mm)、粒・小石状(5~15mm)、粒・小石状(実燃料デブリを想定した粒径分布を再現※)

No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
燃料デブリ模擬試験体	形状	塊状			粒・小石状(均一)				粒・小石状(分布)			粒・小石状(均一)
	粒径	20~40mm			5~15mm				粒径分布を模擬※			5~15mm
模擬UC	内径(mm)	150	200	200	150	150	200	200	150	150	150	200
	メッシュ径(mm)	4	4	8	4	8	4	8	0.09	4	4	4
試験条件	燃料デブリ模擬試験体 目標積載高さ	約100mm						約20mm		約100mm		
	水切り前の浸水時間	30分									24時間	

※:2015年度 燃料デブリ性状把握PJにおける金属セラミックス溶融固化体の試験結果の粒度分布を模擬(右図)



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

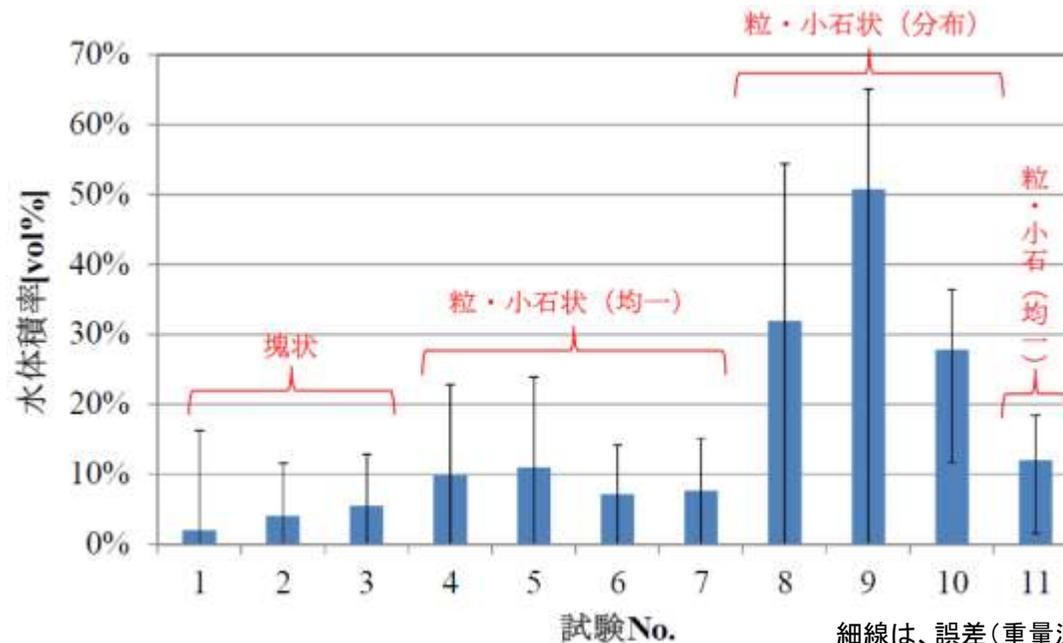
c. 燃料デブリの水分調整方法(脱水、乾燥など)

(3) 残留水分量計測結果(収納缶PJにて実施)

燃料デブリの形態で残留水分量には大きなばらつきが生じており、水切り後でも水体积が50%を超える結果となった。

⇒ 後述に述べるクライテリアを考えると、水切りで安全評価の緩和は見込めない。

(水切りは汚染拡大防止や乾燥時間短縮を目的に行うのが現実的。)



水切り検証試験結果

細線は、誤差(重量測定装置の計測誤差、模擬ユニット缶に付着した水分量)を考慮した水体积率の範囲を示す。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

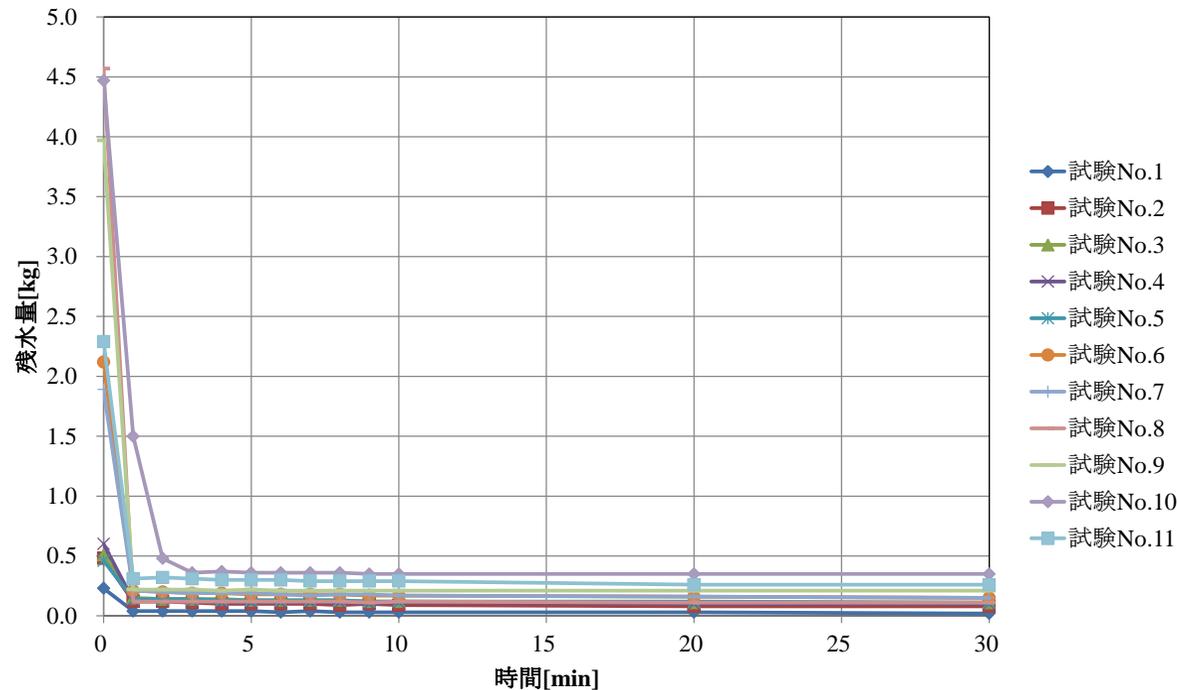
1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

c. 燃料デブリの水分調整方法(脱水、乾燥など)

(4) 水切り時間計測結果(収納缶PJにて実施)

残留水分量は、2分程度でほぼ横ばいとなり、10分経過後と30分経過後とでは大きな差はない。



水分量の経時変化

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

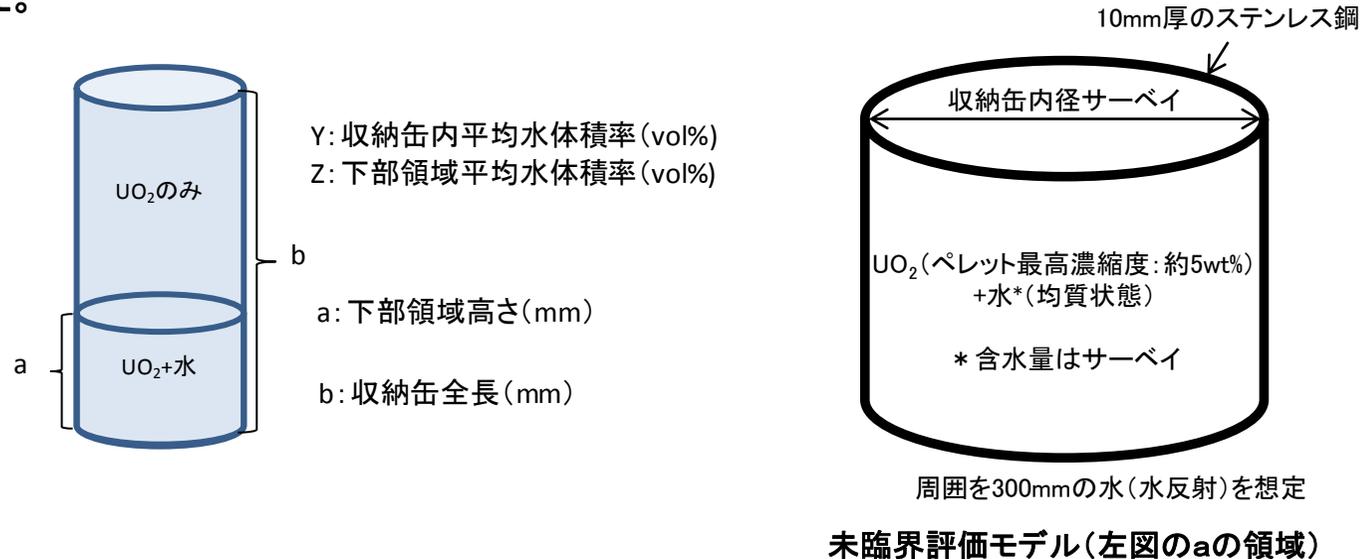
① 燃料デブリの回収システムの開発

c. 燃料デブリの水分調整方法(脱水、乾燥など)

(5) 臨界安全上の許容残留水分量の評価(収納缶PJにて実施)

収納缶形状(内径および高さ)と臨界安全上の収納缶内水量の制限値サーベイ結果(一例)を示す。

収納缶内で想定される燃料デブリと水の偏在(不均質)形態は、無限に存在するが、本検討では、収納缶内の水切り効果確認の観点から、収納缶底部に水が溜まった形を想定し未臨界維持の観点から許容水分量をサーベイした。



収納缶内の残留水すべてが、濃縮度4.9wt%のUO₂と最適減速状態となって収納缶底部に存在すると仮定。

(収納缶内平均水体积(Y)に対して、別途算出の最適減速状態となる含水率(下部領域平均水体积)(Z)より下部領域高さ(a(=b×Y/Z))を設定、未臨界が維持できる収納缶内径をサーベイした。)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

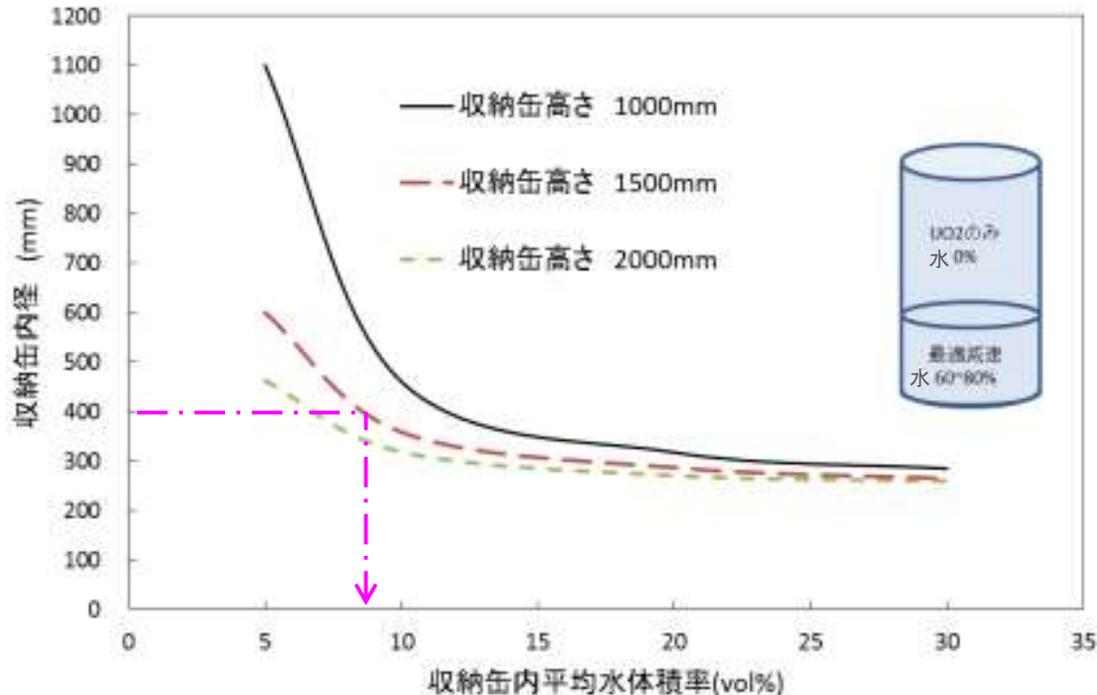
①燃料デブリの回収システムの開発

c. 燃料デブリの水分調整方法(脱水、乾燥など)

(5)臨界安全上の許容残留水分量の評価(収納缶PJにて実施)(つづき)

残留水が収納缶下部に溜まることを想定した検討では、収納缶内径を400mmにするためには、残留水分量を8%程度(収納缶高さ1500mmの場合)にする必要がある結果となった。

⇒水切りでは達成困難(さらに、不均質の条件は無限にあり、今回の検討が最も厳しい条件とは限らない。)



収納缶内の残留水すべてが、濃縮度4.9wt%のUO₂と最適減速状態となって収納缶底部に存在すると仮定した場合の収納缶内平均水体积率に対する収納缶内径評価結果

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

c. 燃料デブリの水分調整方法(脱水、乾燥など)

(5) 水素対策の観点からの許容残留水分量の評価(収納缶PJにて実施)

放射線分解による水素発生量検討において、水切りを想定した水分量(水量8ml)条件の結果は浸水状態(水量100ml)と大きな差はない。(水切りだけでは水素発生量の低減は期待薄。)

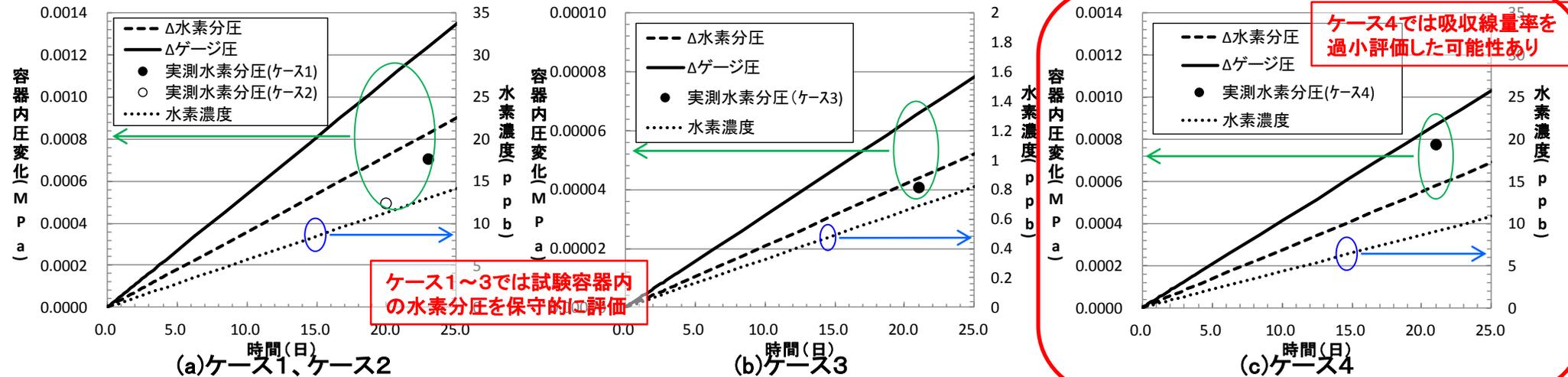


図 試験結果と解析結果の比較例
表 解析条件

項目	ケース1、ケース2	ケース3	ケース4	備考
吸収線量率	α線	21.5 Gy/h	—	試験結果から得られた水素発生速度(平均値)から設定
	β線、γ線	4.7 Gy/h	4.0 Gy/h	
水量	100 mL		8 mL	気相部の水素濃度算出に使用(放射線分解モデルによる解析上は未考慮)
海水成分濃度	塩化物イオン濃度で 5.6×10^{-4} mol/L (20 ppm) 相当			試験条件
ヨウ化物イオン濃度	1.0×10^{-4} mol/L			試験条件
温度	25°C			室温
時間	20日			試験条件

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

①燃料デブリの回収システムの開発

c. 燃料デブリの水分調整方法(脱水、乾燥など)

(6) 考察(まとめと課題)

収納缶PJの検討結果に基づいて考察した。

- ・水きり作業自体は、大きな時間を要する作業とはならないことが期待できる。
(収納缶PJの試験では燃料デブリ模擬試験体の積載高さ(最大100mm)の条件で約2分程度で水切り効果がほぼ飽和する結果が得られた。実際のUCの高さは試験の積載高さの2~4倍程度であり、水切りの所要時間が積載高さに比例すると仮定して補正すると、10-20分程度で水切り効果が飽和することが期待できる。)
- ・ただし、水切りによる水分量低減では、水素発生量や未臨界条件の緩和が期待できる水分量低減は期待できず、汚染拡大防止や乾式保管に必要な乾燥作業時間の低減を目的に行うことが現実的と考えられる。
- ・今後、上記を踏まえて、具体的な水切り作業の要領(タイミングや場所等)を調整する必要がある。
- ・水素発生量や未臨界条件の緩和のための水分量低減には、「乾燥作業」が必要と考えられるが、現在、乾燥要領等は収納缶PJにおいて検討が進められており、今後、成果を踏まえて具体的な方法や実施場所について調整する必要がある。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

d. ユニット缶の収納缶収納方法及び搬出方法

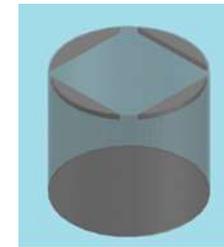
○ ユニット缶、収納缶の想定仕様

● ユニット缶の仕様:

- ユニット缶は、水切り可能な仕様とすること。
- 外径: $\phi 210\text{mm}$ (収納缶に収納可能なサイズ)を基本仕様とする。
- 高さについては、収納缶に収納可能なサイズ(800mm)迄で、工法に合わせて、調整可能
- ハンドリング機構についても、工法に合わせて検討する。

● 収納缶の仕様:

- 外径(胴体部): $\phi 230\text{mm}$ を基本仕様とする。
- 高さは、1000mm以下とし、収納缶PJにて、今後、具体化検討を行う。
- 蓋構造についても、収納缶PJにて、今後、具体化検討を行う。

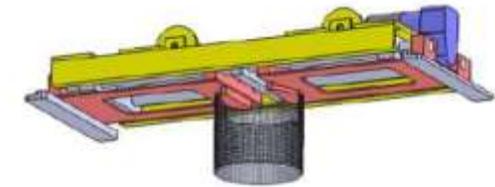


ユニット缶

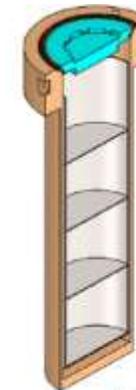
想定ユニット缶仕様

- 外形寸法: $\phi 210\text{mm} \times 200\text{mm}$
- 乾燥重量: 10kg
- 最大デブリ収納量: 50kg
- 平均デブリ収納量: 15kg
- 最大総重量: 60kg

ユニット缶の参考例



ユニット缶保持の参考例



収納缶

想定収納缶仕様

- 外形寸法: $\phi 340\text{mm} \times 960\text{mm}$
- 乾燥重量: 200kg
- 最大ユニット缶収納数: 4
- 最大デブリ収納量: 200kg
- 平均デブリ収納量: 60kg
- 最大総重量: 440kg

収納缶の参考例

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

d. ユニット缶の収納缶収納方法及び搬出方法

○ ユニット缶及び収納缶の取り扱い

- ・ ユニット缶： 高汚染エリア内で取り扱いを行う。
- ・ 収納缶： 中汚染エリア内で取り扱いを行う。
- ・ キャスク： 低汚染エリア内で取り扱いを行う。

○ ユニット缶及び収納缶の搬出に係る課題

- ・ 燃料デブリの回収作業に当たっては、燃料デブリを多量に取り扱う上に、燃料デブリの搬送作業を繰り返し、長期間にわたり行うことになるため、一回当たりの燃料デブリ回収作業に伴う汚染拡大を極力抑えることが必要(汚染が蓄積、拡大する)
- ・ ユニット缶を収納するために、収納缶を汚染エリアに入れた場合には、収納缶の表面に汚染物が付着し、収納缶が汚染される可能性がある。
- ・ 同様に、収納缶を収納するために、キャスクを中汚染エリアに入れた場合には、キャスクの表面が汚染される可能性がある。

表面汚染の計測・除染作業を実施しない場合、セル内の汚染レベルが継続的に増加し、結果として、メンテナンス時等の作業員の被ばく量が増加する。

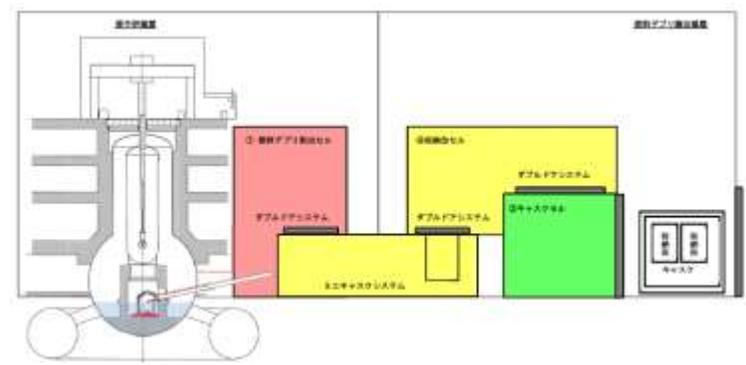


汚染エリアをまたいで、容器を移動させる場合

- ・ 表面汚染を計測し、容器が汚染されていないことを確認する。
- ・ 表面が汚染された場合、汚染レベルは規定値以下になるまで、容器表面の除染を行う。



表面汚染の計測・除染作業は非常に時間がかかり、スループットを大きく悪化させる



- 高汚染エリア： 燃料デブリと廃棄物を密封しない状態で取り扱う領域。
- 中汚染エリア： 燃料デブリを収納缶で取り扱う領域。あるいは、高汚染エリアに直接接続する領域。
- 低汚染エリア： 燃料デブリ等を密封して取り扱う領域。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

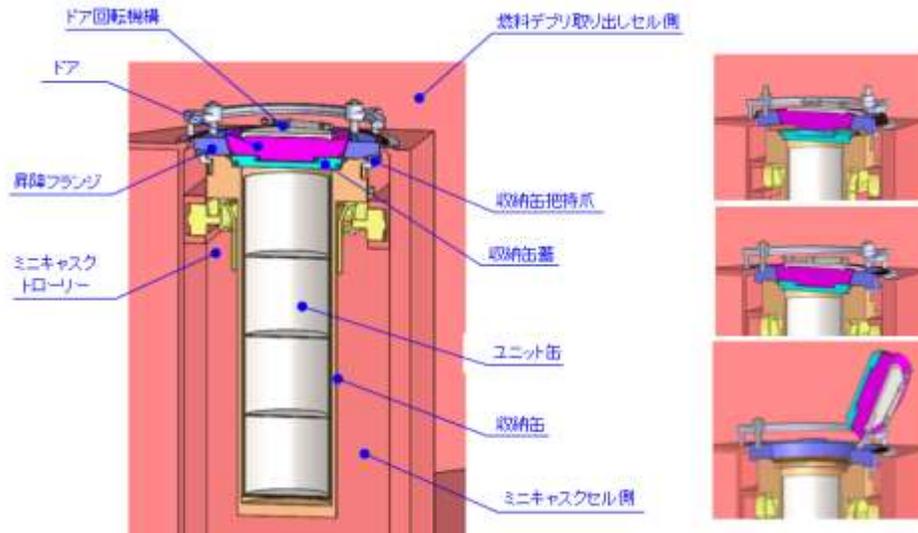
d. ユニット缶の収納缶収納方法及び搬出方法

以下の点を考慮して、ユニット缶の収納缶収納方法及び搬出方法を検討した。

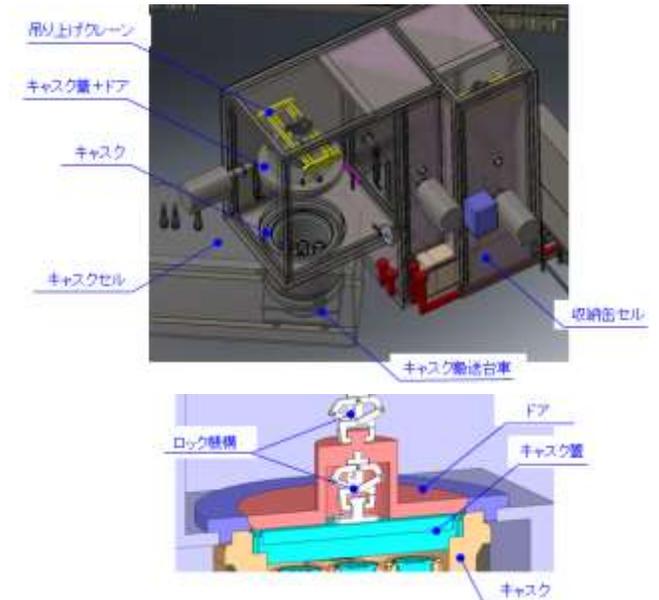
- ・ 燃料デブリの回収作業にともなう汚染拡大を抑制する。
- ・ スループットを向上させるために迅速かつ効率的に搬送を行う。

ダブルドアシステムの適用により

- ・ 容器を汚染レベルが高い側のエリアに搬入することなく、ユニット缶、収納缶の収納作業が出来る。
- ・ 気密性を維持した状態での搬出作業により、汚染拡大のリスク低減。
- ・ 汚染計測、除染作業の低減により、スループット向上。



収納缶のダブルドアの例



キャスクのダブルドアの例

6. 本事業の実施内容

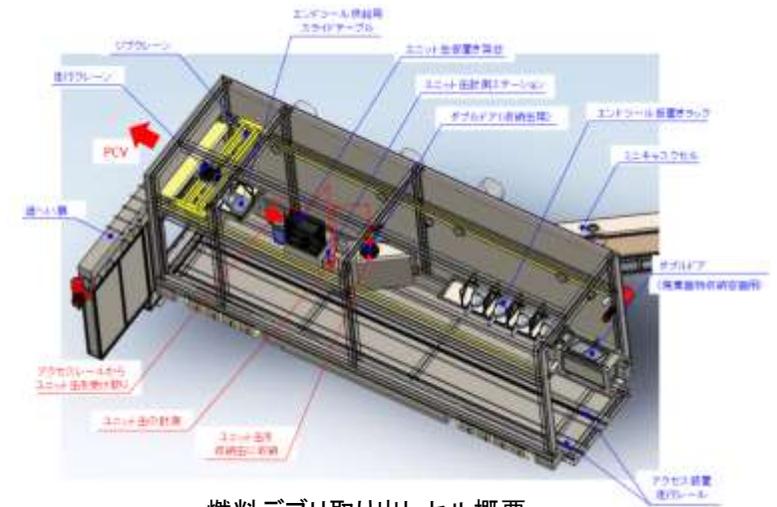
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

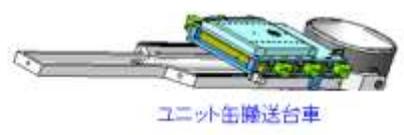
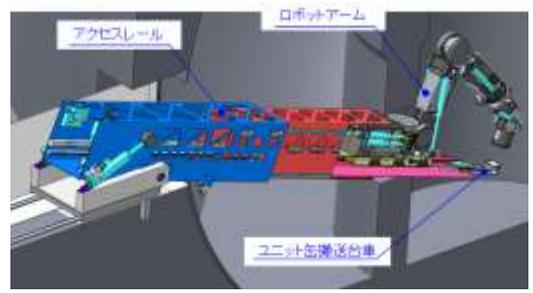
① 燃料デブリの回収システムの開発

d. ユニット缶の収納缶収納方法及び搬出方法

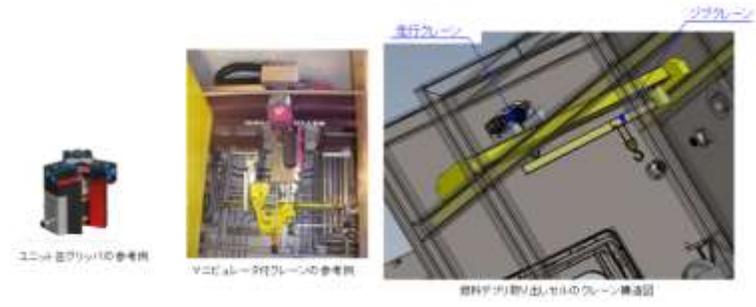
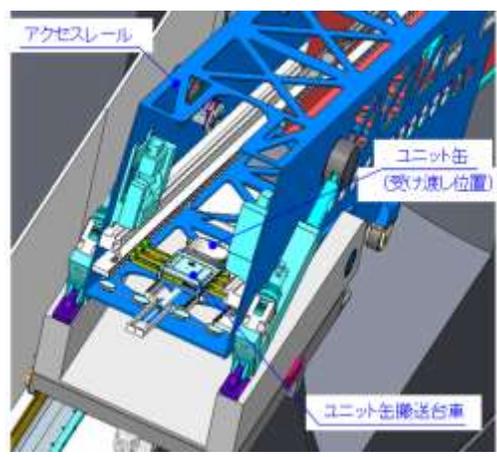
- 燃料デブリを収納したユニット缶は、アクセスレール上のユニット缶台車にて、PCV内から燃料デブリ取り出しセル内に搬送される。
- 燃料デブリ取り出しセル内で、マニピュレータ付きのクレーンにより、ユニット缶がアクセスレールより回収され、ミニキャスクセル内で待機する収納缶に、ダブルドアを介して、収納される。



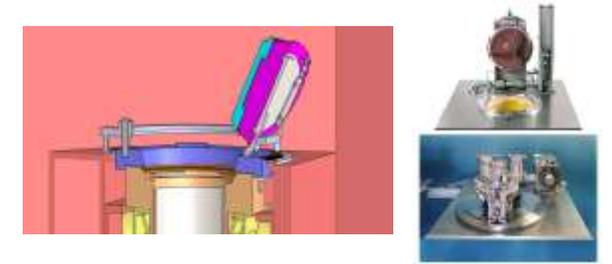
燃料デブリ取り出しセル概要



アクセスレール及びユニット缶搬送台車概要



マニピュレータ付きクレーンの参考例



ダブルドアの参考例

6. 本事業の実施内容

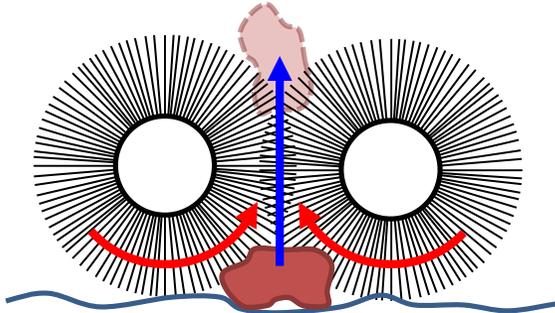
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

e. その他の燃料デブリの回収検討(回転ブラシのかき上げによる燃料デブリの回収検討)

粒子状燃料デブリや燃料ペレットの回収方法として、回転ブラシのかき上げによる燃料デブリ回収能力を調査



調査条件

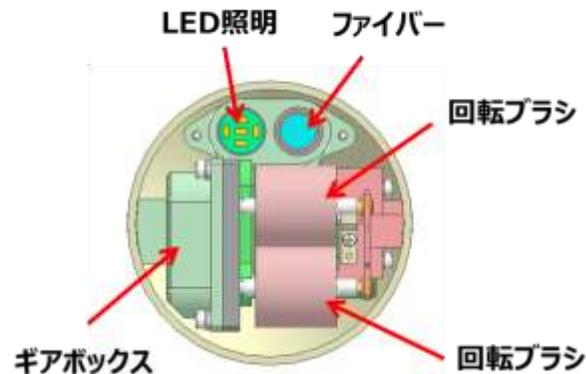
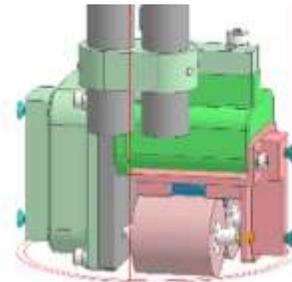
試験片: ϕ 3、5、10mmのSUS球

ブラシ材質: 610ナイロン

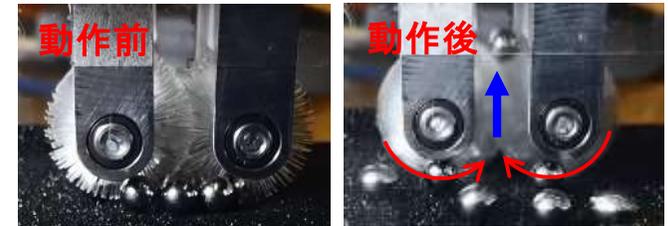
ブラシ回転数: 約50rpm

ブラシ寸法: およそ ϕ 20、幅20mm

ブラシ押しつけ力: 約24N



ϕ 5mmSUS球(約0.5g): かき上げ可



ϕ 10mmSUS球(約4.1g): かき上げ可



ϕ 5、10mm : かき上げ可能

ϕ 3mm (約0.1g): かき上げ不可

原因: ブラシへの接触が不足と推測

結果

ϕ 20mm回転ブラシを用いた、かき上げ回収方式により、5、10mmの燃料デブリ回収成立の見込みを得た。

課題

適用可能な燃料デブリの拡大(細径の燃料デブリなど)、かき上げた燃料デブリの回収方法

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

- ① 燃料デブリの回収システムの開発
- ② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発
- ③ 燃料デブリの拡散防止工法の開発

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

- ① 作業セルに関する要素技術開発
- ② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

燃料デブリを模擬したセラミック、金属とコンクリートとの混合物、汚染した構造物等を対象とした切削試験実績等の切削性能に関する情報を有している切削方法について切削性能試験を実施し、その方法で発生した切削粉やダストの発生量や粒度分布等のデータを取得する。また、その開発した切削方法に合わせ、集塵システムの開発を行い、発生する切削粉やダストに対する集塵効率のデータを取得する。

a. 燃料デブリの性状を考慮した有効な加工・切削方法の整理・検討

- 燃料デブリの性状に応じた加工・切削方法を整理した。
- 整理表の中から効果的な加工方法を選定。

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

- チゼル、超音波コアボーリングについて、加工要素試験を実施した。

c. 加工試験に使用するための燃料デブリ、汚染構造物模擬試験体の製作

- 加工要素試験に使用するMCCI模擬試験体を製作し、加工試験に適用した。

d. 加工時の切りくずやダストの回収方法と分析

- 燃料デブリの拡散防止措置として、切削・加工時の切りくず・ダストを回収するための局所回収システムを検討した。
- 加工要素試験時の切りくずについて、粒径分布などの廃液分析を実施した。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発 ②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

● 開発の目的

- 燃料デブリの加工に適用性がある加工技術について、その得失を把握するためのデータを取得する。
 - ✓ 切削性能(切削速度など)、切削粉、ダスト発生量、粒径分布
 - ✓ 集塵システムの開発

● 開発の進め方

- 燃料デブリの性状を考慮した有効な加工・切削方法の概念検討
- 加工用MCCI模擬試験体の選定(セラミック、金属とコンクリートとの混合物、汚染構造物等)
- 切削性能試験(切削粉やダストの発生量や粒度分布等のデータの取得)
- 集塵システムの開発(発生する切削粉やダストに対する集塵効率データを取得)

● 得られる成果

- 燃料デブリの性状に応じた加工・切削方法選定結果。
- スループットを検討するための加工データ。
- 局所回収システム(切りくず、ダストの拡散防止措置)の検討結果。
- 加工廃液の粒径分布などの分析結果。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

● 解決すべき課題(燃料デブリの加工技術選定の観点)

	要求内容	燃料デブリ加工技術選定の観点
安全要求※	核反応による異常な放射性物質の生成防止	(いずれの加工もリスクを有し、比較無し)
	燃料デブリの異常な温度上昇による放射性物質の放出防止	燃料デブリへの入熱が少ないこと。 (特に熱的加工は評価が必要)
	燃料デブリ、構造物の切削による異常な放射性物質の拡散の防止	大気中に放出されるヒューム(粉末、微粒子など)が少ないこと。 水中に放出される切りくず、粉末、などが少ないこと。
作業要求	燃料ペレット、燃料被覆管などの燃料集合体、炉内構造物、RPV、およびコンクリートなど様々な燃料デブリの加工ができる	電気伝導特性(導体、絶縁体)、機械的特性(硬さなど)、熱的特性(融点、沸点)などに依存せず加工ができること
	可能な限り短期間で燃料デブリを回収できる	加工速度が速いこと
	炉内やPCV内の狭隘部で燃料デブリにアクセス	加工装置(特に先端部分のヘッド)が小さいこと
	システムシステムへの影響が少ない	アシストガスなどの供給が少ないこと
		供給水やAWJの砥粒などが少ないこと
	作業エリアの成立性が高い	ユーティリティが少なく、出来るだけ付帯設備の規模が小さいこと
技術の入手性がある	現在でもベンダーから技術を入手できること	

※1:安全要求から燃料デブリの加工に係る要求だけを抜粋

- 選定の観点をもとに、有力と思われる加工方法を抽出し要素試験を実施。
- その後、装置検討時に、アクセス性などに基づく加工技術のラインアップをそろえる。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

a. 燃料デブリの性状を考慮した有効な加工・切削方法の整理・検討

 : 燃料デブリの加工に有力と評価

	様々な燃料デブリに対応	加工速度	アクセス性 (ヘッド小型)	入熱	ヒューム発生 (気中拡散)	切りくず発生量 (水中拡散)	ユーティリティ 小型化	供給可否	総合評価 /要素試験
コアボーリング	○	△	○	○	○	△	○	○	○
ディスクソー	○	○	△	○	○	○	○	○	○
ワイヤーソー	△	△	×	○	○	○	○	○	
バンドソー	△	△	×	○	○	○	○	○	
超音波コアドリル	△	△	○	○	○	△	○	○	○
油圧カッター	△	○	○	○	○	△	○	○	○
チゼル	△	○	○	○	○	○	○	○	○
AWJ	△	△	○	○	○	×	×	○	○
レーザガウジング	○	△	○	△	△*	△	×	○	○
プラズマアーク	×	×	○	△	×	△	×	○	
プラズマジェット	○	△	○	△	×	△	×	×	
ガス	×	△	○	△	×	△	△	○	
接触式アーク	×	×	○	△	×	△	△	△	
アークソー	×	×	×	△	×	△	△	△	
溶極式WJ	×	×	○	△	×	△	×	△	
レーザ掘削	○	△	○	○	×	△	×	△	

PCV底部のMCCI
燃料デブリの加工
の観点で加工
法を選定

※:レーザガウジングは昨年度の成果から気中であっても水流で除去することで気中飛散を抑制できることを確認。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

● チゼル加工の特徴

- 土木工事などにおいて、重機の先端などに取り付けて加工対象を打撃で破砕する加工方法であり、広く普及している。
- 一般的に岩盤の掘削、岩石の小割り、コンクリートの破砕などの用途に使用する。
- 平成27-28年度において、筋肉ロボットアームとチゼル加工ツールの組み合わせによりコンクリートブロックを破砕する予備試験を実施。



チゼル加工によるコンクリートブロック破砕状況

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

● 開発の目的

- チゼルの燃料デブリ加工への適用性の確認。
 - ✓ 燃料デブリのうち大部分を占めるMCCI燃料デブリの回収効率向上。
 - ✓ MCCI燃料デブリに対する加工速度の高い加工方法の適用性の確認。
 - ✓ 加工片の集塵技術に関する確認。
 - ✓ 加工片を含む加工廃液の特性調査。

● 解決すべき課題

- 燃料デブリ取り出し期間を1つの号機あたり目標10年(300kg/日)としている。しかし、これまでの加工方法において目標が達成できる見通しが得られていない。
- そこで、加工速度が高い加工方法であるチゼルの適用可否を確認する必要がある。

● 開発の進め方

- 平成27-28年度における確認事項
 - ✓ フェーズ1: 机上検討による適用性評価
 - ✓ フェーズ2: 予備試験の実施
- 本事業における確認事項
 - ✓ フェーズ3: 概念検討および要素試験計画の立案
 - ✓ フェーズ4: 試験機の製作および要素試験の実施

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

● 得られる成果

➤ MCCI燃料デブリに対する基本的な加工方法の実現性。

- スループットの検討。

⇒加工速度(〇〇[kg/h])を計測し、スループットを検討する。

- MCCI燃料デブリ加工後の試験体の粒径分布結果。

⇒MCCI燃料デブリ加工片の回収方法の検討へフィードバックする。

⇒水中への移行率を測定し、液相系システムの仕様へのインプットデータとする。

- MCCI燃料デブリ加工に対する課題。

⇒MCCI燃料デブリを加工するツールとしての適用性を確認、評価する。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

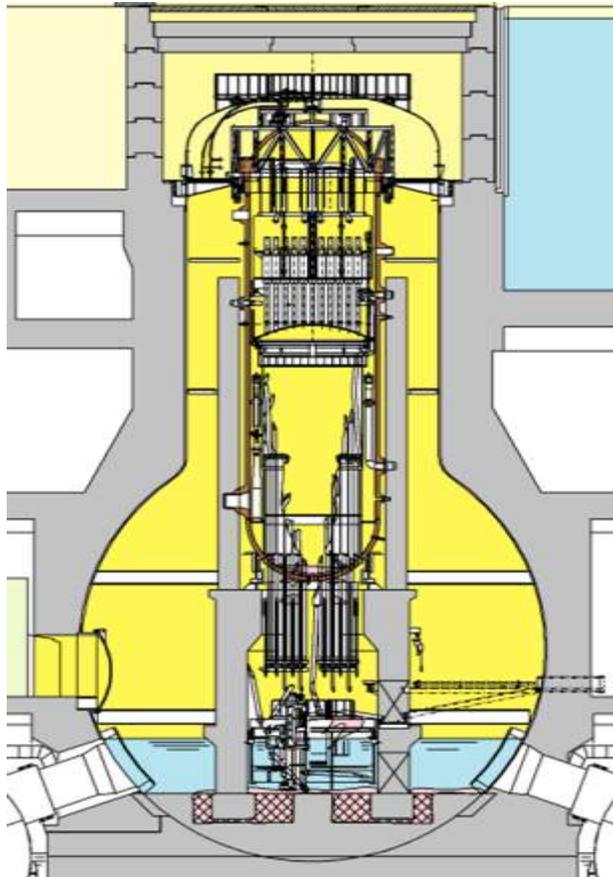
1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

チゼル加工は、解析結果などにより燃料デブリの大部分を占めるMCCI燃料デブリに対して効果が高いと想定し、予備試験を実施した。



	燃料デブリ種類	主な燃料デブリ	特徴	質量[t]	燃料デブリ物性
				MAAP	寸法
炉心部	切株燃料 (未溶融破損燃料)	すべて崩落している可能性もあるが、燃料集合体存在の可能性あり	燃料集合体の一部が溶融せず残留	0~3	~4m
	粉状、小石状	残存構造物に付着あるいは積層して存在	溶融した炉心材料が急冷され、小片化		数μm~数cm
炉底部	粉状、小石状	大部分を炉底部のクラストが占める	溶融した炉心材料が急冷され、小片化	7~20	数μm~数cm
	塊状	クラスト部にはZr金属やZrBが存在し、硬く韧性のある部位が存在	ゆっくり冷却され塊となったもの		厚さ数十cm
	クラスト(岩盤状)		溶融した金属と酸化物燃料が混合固化した燃料デブリ		厚さ0.1~1m
CRD/計装管	構造物+付着燃料デブリ	管内部の隙間や外面に燃料デブリが付着して存在	RPV下端から下方の部分のSUS配管内を燃料デブリが流路閉塞		侵入長10数cm
ペDESTAL内	MCCI/粉状、小石状	複数の層をなしており、大部分が塊状のMCCIであると思われる	溶融した炉心材料がRPVから漏出し、分散急冷固化MCCI進行時クラスト破損、溶融コリウムの噴出により小片化	120~209	50μm~20cm
	MCCIクラスト	気孔率が高く、靱性が低い燃料デブリが多量に存在	壁面には金属成分を含んだ噴出物が付着、床面は中空構造、上部クラストは気孔多く金属成分は少量		厚さ0.1~1m
	塊状MCCI		上部は硬いコリウムであるが気孔率大下部は気孔率小で硬い中央部または壁近傍に金属球在り		数10cm~
	金属層		MCCIの底部に比較的均一に分布		検討中
ペDESTAL外	MCCI/粉状、小石状	ペDESTAL内部位ほど明確な層分離はなく、クラストおよび塊状MCCIが存在	ペDESTALから流出した小石状燃料デブリが存在	70~153	50μm~20cm
	MCCIクラスト/塊状MCCI		ペDESTALから流出したコリウムがコンクリートと反応・凝固金属成分やや多い		~0.5m

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

MCCI模擬試験体に対し、チゼル加工を実施した。

予備試験結果に基づきエア駆動式のチゼルについて試験計画を実施した。

No.	チゼル種類	チゼル本数	加工状況/チゼル形状	加工結果状況	備考
1	電動駆動式	1本			
2	電動駆動式	1本			
3	エア駆動式	2本			

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

試験の進め方 概要

項目	試験目的(確認項目)	要素試験	組合せ試験	備考
基本機能	チゼル単体での加工性能の確認 (加工ピッチ、加工時間、加工手順、所定の大きさまで加工できるかなど)	○※	—	<ul style="list-style-type: none"> ・試験体が水に浸かった状態で加工を実施する。 ・加工後の加工片を回収し、粒径分布を確認する。
	チゼルを用いた破碎治具構成の検討、試験	○	—	
	破碎治具のインストール性(ペDESTAL内側底部)および加工時の一連の手順の確認	—	○	
	MCCI燃料デブリ層に対する適用性(性状不均一性への対応可否)	○	○	
試験体	御影石 (MCCI燃料デブリ層の固さを模擬し、入手しやすい材料として試験体に選定した。)	○	○	
	MCCI模擬試験体	○	○	

※: 予備試験を行う。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

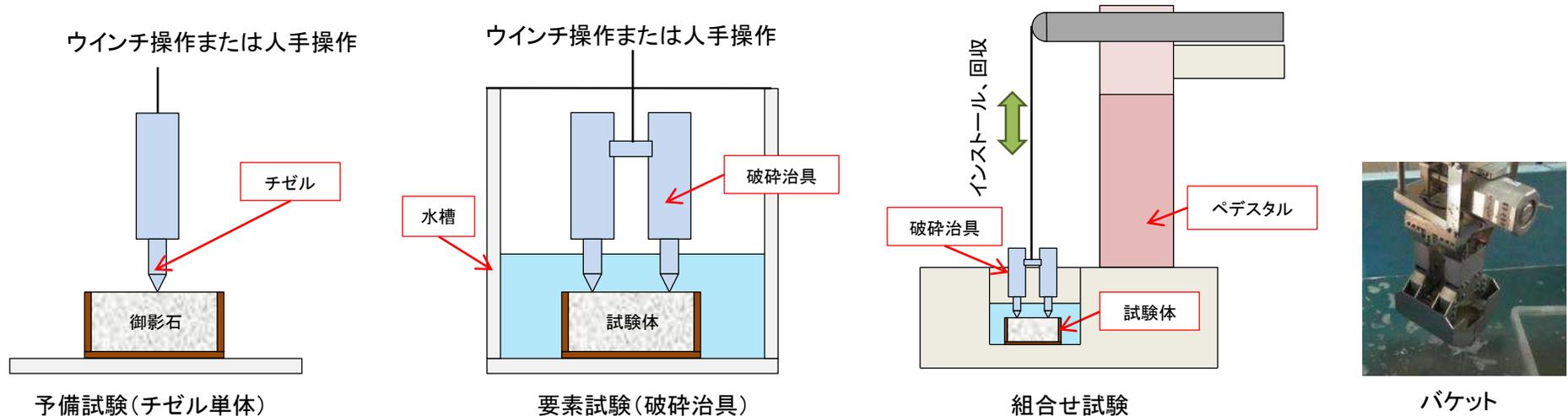
② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

試験の進め方 概要(試験体系概要)

- ① 予備試験(御影石): 御影石を使用して加工手順の検討、試験条件の確認(チゼル加工のピッチ、加工時間など)を行う。
- ② 要素試験(MCCI模擬試験体): 製作した破碎治具で試験体(御影石、MCCI模擬試験体)の破碎ができるか確認する。
- ③ 組合せ試験: ペDESTAL内側底部への破碎治具をインストールし、破碎治具(チゼル)でMCCI模擬試験体を加工し、バケツで破片を回収するまでの一連の手順を確認する。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

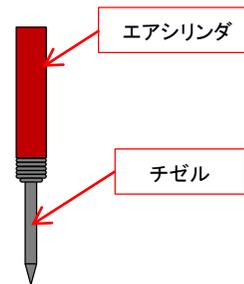
試験の進め方 概要(試験項目)

チゼルによる加工要素試験の試験項目

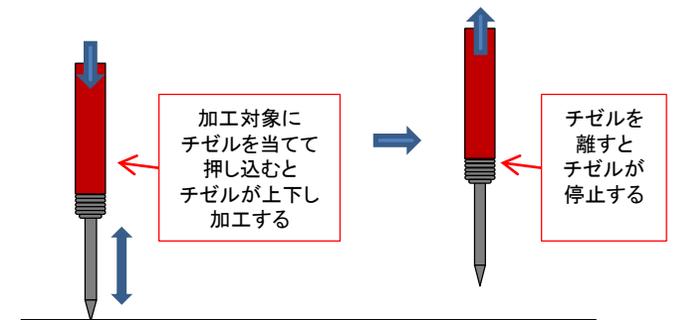
No.	試験名	試験体	装置	試験環境	確認項目			備考
					粒径分布	加工速度	その他	
1	予備試験	御影石	チゼル単体	気中/水中	—	—	加工手順	チゼル加工のピッチ、加工時間などを確認
2		御影石	破碎治具	水中	—	○		
3	要素試験	MCCI模擬試験体	破碎治具	気中/水中	○	○	スループット	
4	組合せ試験	MCCI模擬試験体	破碎治具	水中	—	○	総作業時間(参考取得)	

チゼルの仕様

No.	項目	仕様
1	全長	480[mm]
2	質量	8.3[kg]
3	チゼル種類	エア駆動式
4	打撃数	1250[bpm]



チゼルの構成のイメージ



チゼルの動作のイメージ

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

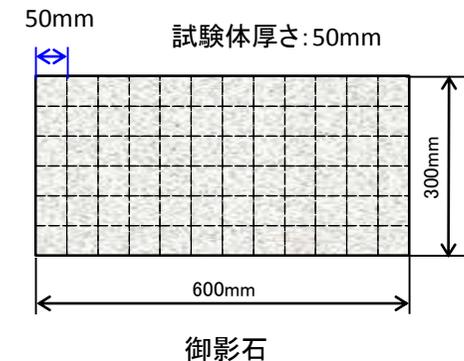
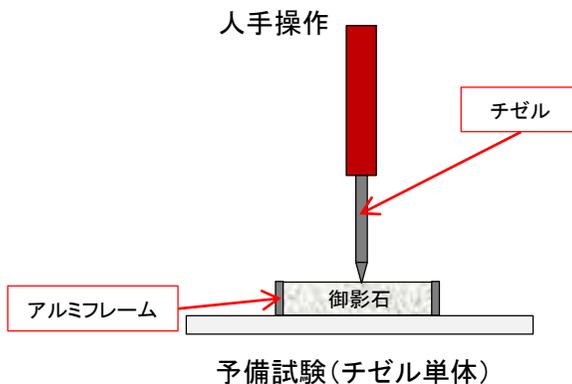
b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

① 予備試験(チゼル単体)の試験条件

- ・チゼル単体での加工手順の確認(チゼル加工のピッチ、加工時間など)を行う。
- ・まずは、人手でチゼルを操作して加工を実施して、試験の結果を参考に、チゼルを用いた破碎治具の構成の検討を行う。

No.	試験条件		設定根拠
1	試験体	御影石	MCCI燃料デブリ層の固さを模擬し、コンクリートより硬く、入手しやすい材料として試験体に選定した。
2	加工後寸法(目標)	□50mm	加工後の破片が回収しやすく、ユニット缶内径200mmに収納できるサイズとして設定した。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

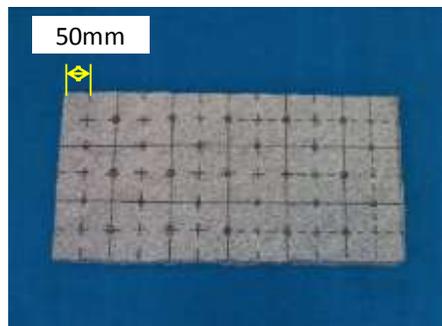
② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

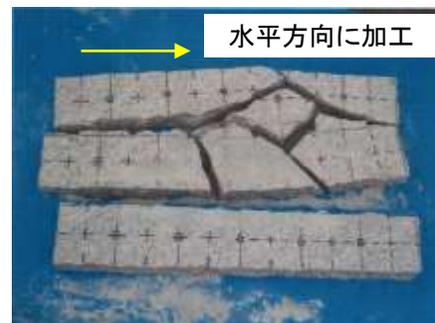
(1) チゼルによる加工要素試験

① 予備試験(チゼル単体)の試験結果

No.	試験結果	破碎治具仕様
1	試験体の端から順に加工をしていく方が位置決めの時間が短く加工が可能	試験体の端から50mmピッチで加工を実施する。
2	御影石は1点5秒の加工で破碎可能	1点の加工時間は5秒とする。
3	チゼル加工時の反力を抑えるために約30kgの荷重が必要	ペDESTAL内での作業に用いる装置の可搬重量やPCV内での取り扱いを考慮し、破碎治具が100kg以下になるようにするため、チゼルの本数は2本とする。 ((チゼル1本8.3kg+反力抑え30kg)×2+装置フレームなど=約100kg)



破碎前の御影石



破碎中の状況



破碎後の状況(□50mm以下)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

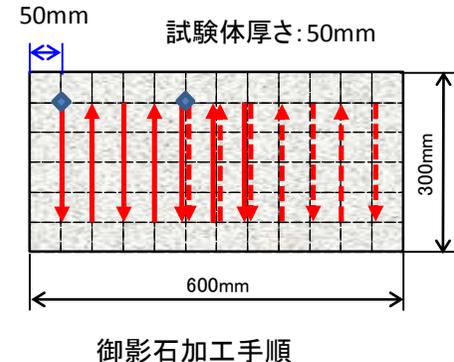
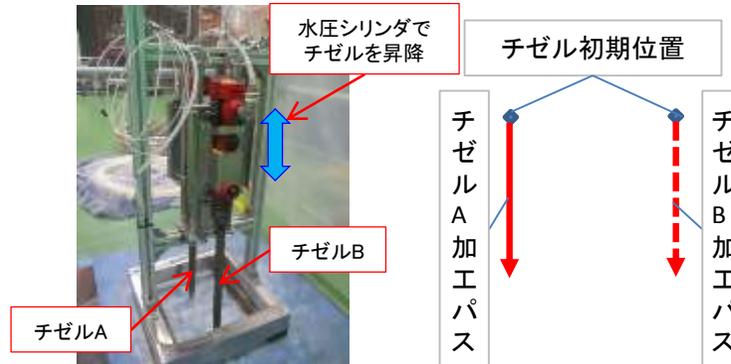
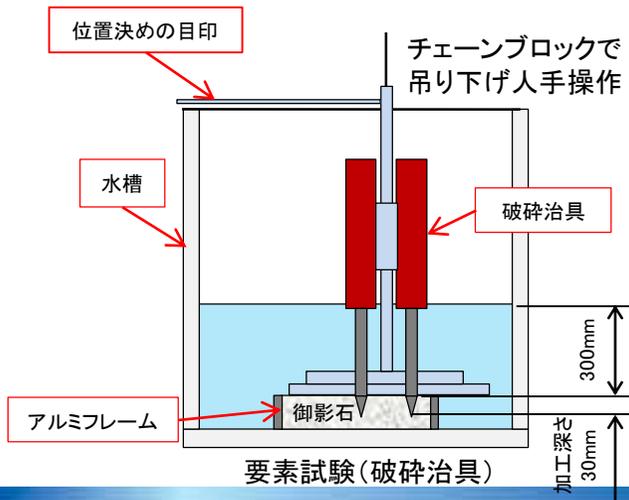
(1) チゼルによる加工要素試験

② 予備試験(破碎治具)の試験条件(水中での御影石の加工試験)

味見試験の結果から右表の試験条件で水中での御影石の加工試験を実施する。また、チゼルは治具自重で加工する。

なお、試験中の加工時間を計測するが、加工時間にはチェンブロックでの破碎治具の昇降、チゼルの位置決め、水圧シリンダでのチゼルの昇降にかかる時間を含む。

No.	項目	仕様
1	試験体	御影石 (300 × 600 × 50mm)
2	水位	御影石上面から300mm
3	加工手順	端から50mmピッチで加工(御影石全体を加工) 装置上部の目印を確認し、試験体を見ずに加工
4	加工時間	5秒(1点の加工時間)
5	加工深さ	御影石上面から30[mm]
6	測定項目	加工時間、加工重量、加工速度、粒径分布



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

②予備試験(破碎治具)の試験結果(水中での御影石の加工試験)

- ・加工開始直後に水が濁ったが、装置上部に付けた位置決め用の目印を参考に、加工ができることを確認した。
- ・加工時間は17分35秒、加工重量(御影石の重量)は22.3kgだったため、加工速度は76.2kg/hだった。
- ・破碎後の御影石の粒径分布は、全てUCに収納可能なサイズ(ϕ 200mm以下)であることを確認した。
→御影石はUCで回収可能なサイズに加工できており、計画通りの加工ができていると考え、この試験での加工条件でMCCI模擬試験体の加工試験を実施することとした。

粒径分布測定結果

分級範囲[mm]	重量[g]	割合[%]
~0.1	50.45	0.23
0.1~1	316.17	1.42
1~5	480.11	2.15
5~10	406.1	1.82
□10~□50	2769.77	12.40
□50~□70	2541.82	11.38
□70~□100	7598.87	34.03
□100~ ϕ 200	8167.67	36.58
加工重量[kg]	22.3	
加工時間[min]	17.6	
加工速度[kg/h]	76.2	



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

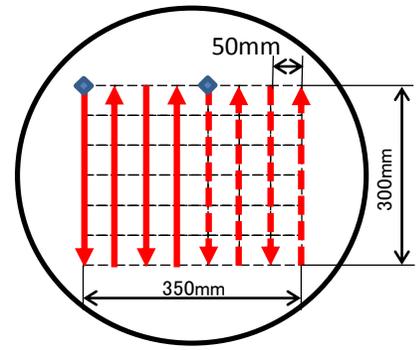
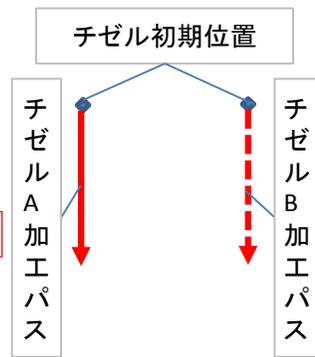
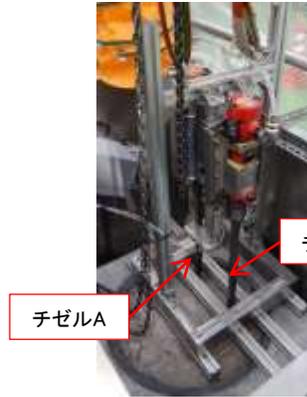
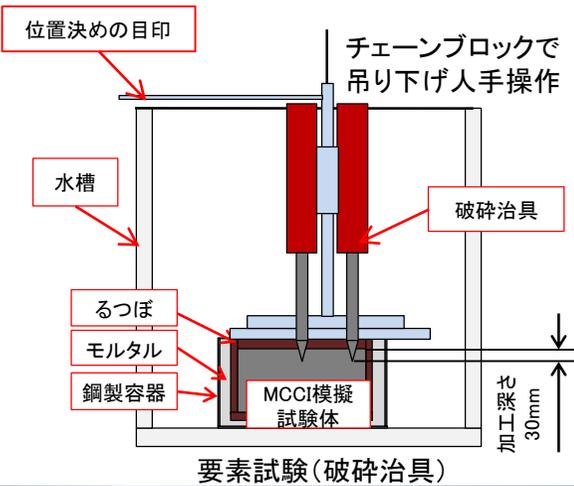
③ 要素試験の試験条件(気中でのMCCI模擬試験体の加工試験)

水中でのMCCI模擬試験体加工試験の実施前に、気中でのMCCI模擬試験体の加工試験を実施する。

なお、試験中の加工時間を計測するが、加工時間にはチェンブロックでの破碎治具の昇降、チゼルの位置決め、水圧シリンダでのチゼルの昇降にかかる時間を含む。

No.	項目	仕様
1	試験体	MCCI模擬試験体(φ560×300mm)※
2	水位	気中
3	加工手順	端から50mmピッチで加工(加工範囲300×350mm) 装置上部の目印を確認し、試験体を見ずに加工
4	加工時間	5秒(1点の加工時間)
5	加工深さ	MCCI模擬試験体上面から30[mm]
6	測定項目	加工時間、加工重量、加工速度、粒径分布

※MCCI模擬試験体の製作についてはNo.103～104を参照。



MCCI模擬試験体加工手順

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

③ 要素試験の試験結果(気中でのMCCI模擬試験体の加工試験)

- ・チゼルを用いてMCCI模擬試験体を加工できることを確認した。
- ・加工時間は10分49秒、加工重量(破片の総重量)は6.53kgだったため、加工速度は36.2kg/hだった。
- ・破碎後の破片の粒径分布は、全て \square 100mm以下であることを確認した。
- ・1点の加工時間のうち、位置決めにかかる時間は約20秒/1カ所程度、加工時間が約5秒/1カ所だった。

粒径分布測定結果

分級範囲[mm]	重量[g]	割合[%]
~0.1	37.71	0.58
0.1~1	137.2	2.10
1~5	512.28	7.84
5~10	735.79	11.26
10~50	3814.19	58.38
50~70	938.92	14.37
70~100	357.52	5.47
100~	0	0.00
加工重量[kg]	6.53	
加工時間[min]	10.8	
加工速度[kg/h]	36.2	



加工前のMCCI模擬試験体



加工後のMCCI模擬試験体

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

③要素試験の試験結果(気中でのMCCI模擬試験体の加工試験)

- ・加工後の試験体から破片を回収したところ、加工深さは30mm程度の範囲が多かった。
- ・破碎後は空隙が多い部分(茶色っぽい破片)と空隙が少ない部分(灰色の破片)が確認された。
- ・試験体上面が盛り上がっている部分は破碎されていなかった。斜面になっており、チゼルがまっすぐ当たらず破碎ができなかった可能性がある。



茶色っぽい部分は空隙
だった部分が割れて空
隙の底面が露出したと
考えられる部分

上面が盛り上
がっている部分

破片除去後のMCCI模擬試験体



空隙が多い破片



空隙が少ない破片

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

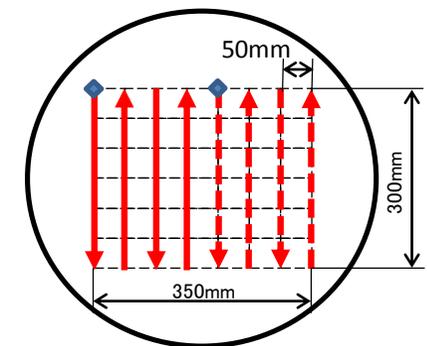
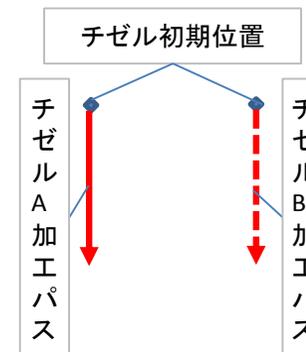
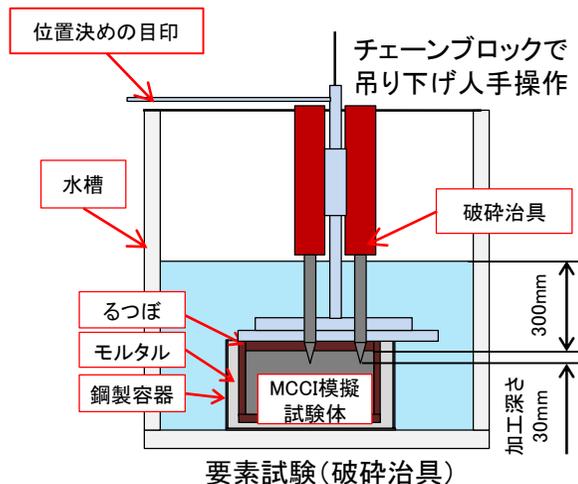
(1) チゼルによる加工要素試験

③ 要素試験の試験条件(水中でのMCCI模擬試験体の加工試験)

水中でのMCCI模擬試験体加工試験を実施する。

なお、試験中の加工時間を計測するが、加工時間にはチェーンブロックでの破碎治具の昇降、チゼルの位置決め、水圧シリンダでのチゼルの昇降にかかる時間を含む。

No.	項目	仕様
1	試験体	MCCI模擬試験体(φ560×300mm)
2	水位	MCCI模擬試験体上面から300mm
3	加工手順	端から50mmピッチで加工(加工範囲300×350mm) 装置上部の目印を確認し、試験体を見ずに加工
4	加工時間	5秒(1点の加工時間)
5	加工深さ	MCCI模擬試験体上面から30[mm]
6	測定項目	加工時間、加工重量、加工速度、粒径分布



MCCI模擬試験体加工手順

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

③要素試験の試験結果(水中でのMCCI模擬試験体の加工試験)

- ・加工開始直後に水が濁ったが、装置上部に付けた位置決め用の目印を参考に、加工ができることを確認した。
- ・加工後の破片を除去すると、破碎ができていない部分があることを確認した。
- ・加工時間は11分5秒、加工重量(破片の総重量)は6.78kgだったため、加工速度は36.7kg/hだった。
- ・破碎後の破片の粒径分布は、全て□70mm以下であることを確認した。
- ・加工中にチゼルの刃がMCCI模擬試験体に刺さり、チゼルの刃を上げるだけでは抜けないことが何度かあり、人の手で持ち上げて引き抜く場面があった。
- ・破碎ができない部分があるにも関わらず気中での試験と同程度の量が加工できていることから、加工した層は比重が大きいと考えられる。



加工前のMCCI模擬試験体



加工後のMCCI模擬試験体

粒径分布測定結果

分級範囲[mm]	重量[g]	割合[%]
~0.1	15.26	0.22
0.1~1	96.13	1.42
1~5	477.39	7.03
5~10	835.44	12.30
10~50	4116.43	60.62
50~70	1250.37	18.41
70~100	0	0.00
100~	0	0.00
加工重量[kg]	6.79	
加工時間[min]	11.1	
加工速度[kg/h]	36.7	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

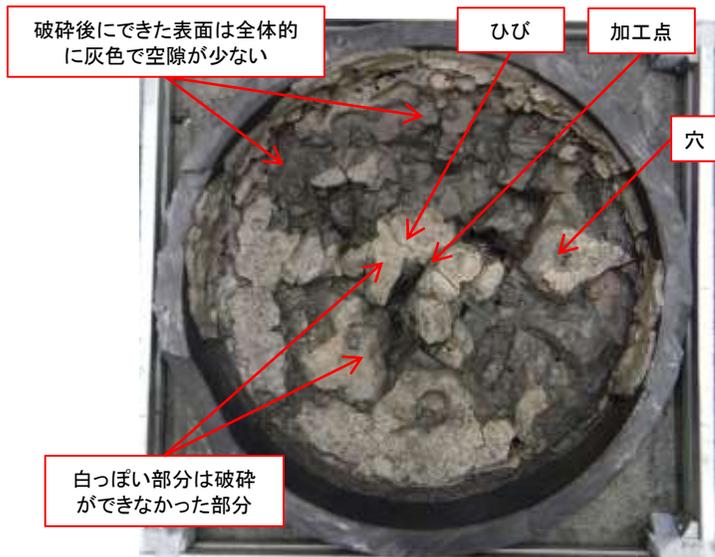
②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

③要素試験の試験結果(水中でのMCCI模擬試験体の加工試験)

- ・加工後の試験体から破片を回収したところ、破砕ができていない部分があることが確認された。
- ・加工できなかった部分について、気中で再度チゼルによる加工を実施した結果、小さめの破片ができた。
- ・破砕ができず、MCCI模擬試験体の表面が残ったままの部分についても、試験体にひびが入ったり、穴が掘られたりしていることから、チゼルの刃で加工はできているが、ひびが進展しきらなかったため、回収できる破片にならなかったと考えられる。



破片除去後のMCCI模擬試験体



当初加工後に回収した破片



追加加工後に回収した破片

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

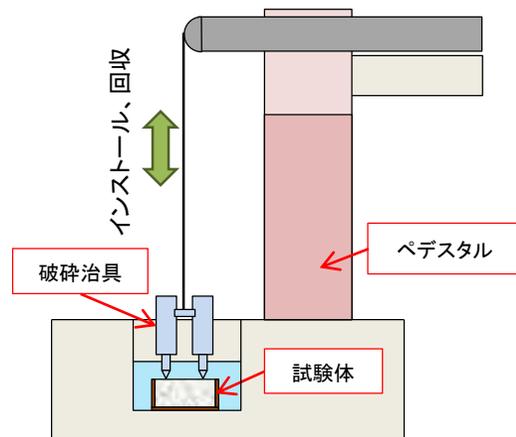
②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

④組合せ試験の試験条件

ペDESTAL内側底部への破碎治具のインストール、燃料デブリの加工から回収までの一連の手順を確認する。燃料デブリを加工する破碎治具と、破碎したMCCI模擬試験体を回収するツールは別のものを使用するため、ツールの交換は人手で行うこととし、それ以外の手順については遠隔装置での作業時間を確認することとした。



組合せ試験イメージ

No.	項目	仕様
1	試験体	MCCI模擬試験体(φ560×300mm)
2	水位	MCCI模擬試験体上面から300mm
3	加工手順	端から50mmピッチで加工を目標に、遠隔装置で位置決め
4	加工時間	5秒(1点の加工時間)
5	加工深さ	MCCI模擬試験体上面から30[mm](装置構造上の制約)
6	測定項目	破碎治具のインストール時間 MCCI模擬試験体の加工時間 MCCI模擬試験体の破片の回収時間(回収速度(〇〇kg/h))

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

④組合せ試験の試験結果

試験結果を以下に示す。

No.	測定項目	試験結果
1	破碎装置のペDESTAL内へのインストール時間	1回あたりのインストール時間: 150min
2	MCCI模擬試験体の加工時間	1か所あたりの位置決め・加工時間: 5min (試験では3か所実施)
3	破碎装置のペDESTAL外へのアンインストール時間	1回あたりのアンインストール時間: 40min
4	バケットのペDESTAL内へのインストール時間	1回あたりのインストール時間: 65min (バケットへの回収容器取り付けは人手で実施)
5	バケットによる破碎片の回収	1か所あたりの位置決め・回収時間: 4min (試験では1か所実施。) 回収対象物は砂状のものを利用。
6	回収した破碎片を回収容器へ収納	1か所あたりの収納時間: 15min (回収容器の位置決めは人手で実施)



組み合わせ試験の装置動作状況



加工後のMCCI模擬試験体

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

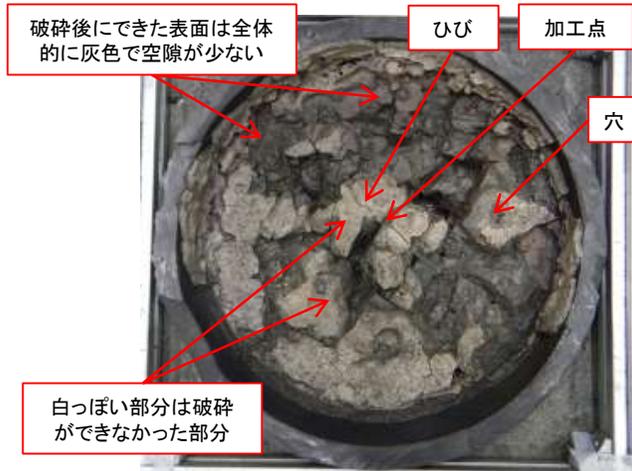
b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(1) チゼルによる加工要素試験

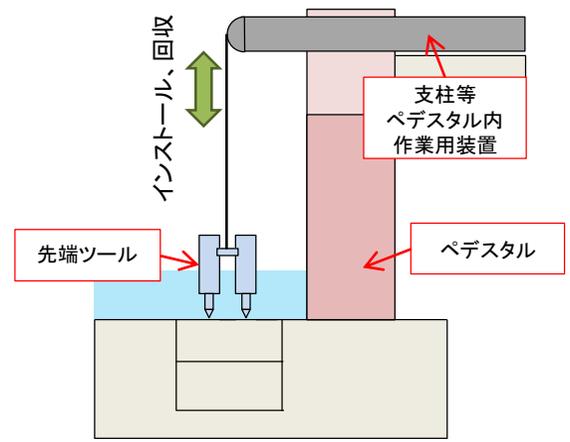
今後の課題と対応方針

※:「対応方針」記載内容は今後のエンジニアリング等で検討予定。

No.	課題	対応方針*
1	MCCI模擬試験体の破碎しやすさにバラツキがあり、加工できなかった部分があった。	チゼルでの加工時のピッチなど、適切な加工手順を検討する必要がある。
2	加工時間の内、破碎治具の位置決めにかかる時間の割合が多かった。	装置での位置決め時間を短くすることができれば加工速度を速めることができると考えられる。
3	チゼルでの加工速度を測定することができたが、遠隔でのツールの交換を含めた一連の時間は計測できていない	遠隔での装置の組み立て、先端ツールの交換(チゼル→燃料デブリ回収装置など)を試験で確認する。



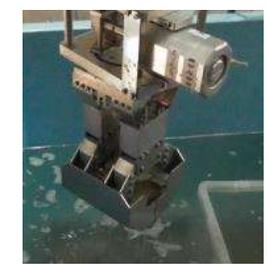
加工、破片除去後のMCCI模擬試験体



ペDESTAL内作業イメージ



破碎治具
(チゼル)



バケツ

先端ツールの例

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(2) 超音波コアボーリングによる加工要素試験

● 開発の目的:

- ・ 反力が小さく、ダストの拡散が少ない加工方法を用意。
- ・ 金属・セラミック・コンクリートおよびその複合材料に対応可能な加工方法実現。

● 開発最終目標

項目	判定基準/到達点	備考
	要素試験/プロトタイプ試験	
加工速度	30[kg/h]以上	300[kg/day]の目標
重量	50[kg]	マニピュレータの能力を考慮
加工径	75[mm]以上の可能性検討	前年度のコアボーリング試験 (66[mm])に対応
水量	0.004[m ³]目標	回収能力を考慮
その他	0.1[μm]以上の切削屑の 収集・分析を行う	切削屑回収システムに反映

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(2) 超音波コアボーリングによる加工要素試験

● 解決すべき課題：燃料デブリ加工への適用性の確認

・ 加工材質の多様化

- ・ 金属(延性材料)から酸化物(硬脆材料)が不連続に存在する材料の加工
- ・ 金属中に酸化物が析出していると、局部的に極めて硬い性状となる
- ・ 一般的には、対象物の性状に応じてビット、超音波の条件を変える。性状が一様でないと思われる1F燃料デブリに対する適用性は未知。

・ 加工速度の高速化

- ・ 既存技術ではビット径 ϕ 3mm程度。コアビットの大口径化などによる加工の高速化の可能性

・ 加工廃液中の二次生成物の粒径分布

● 得られる成果

- ・ 加工条件・加工性能(加工速度)→スループットの検討
- ・ サンプルング～小規模/大規模なども含めた適用箇所の検討
- ・ ダスト粒径分布

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(2) 超音波コアボーリングによる加工要素試験

開発の概要・手順

● 机上設計

既存技術にない、大口径(既存φ3mm→最終目標φ75mm)のコアビットの設計

本事業はφ38mm(1.5インチ)のヘッド開発を行い、性能試験からφ75mmの実現性を評価する

超音波振動子(圧電アクチュエータ)

段数、配置、電源部

増幅器の設計(大振幅化、横ぶれ防止)

有限要素法による振動シミュレーションで最適化(加工点振幅評価)

回転機構(高速モータ)

支持機構(高剛性化・共振周波数)

● 要素試験(既存工作機械を使用)

ビットの違いによる加工性を把握

加工特性の評価(加工速度、加工反力、切りくずなど)。燃料デブリ取り出しへの適用性を考察

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

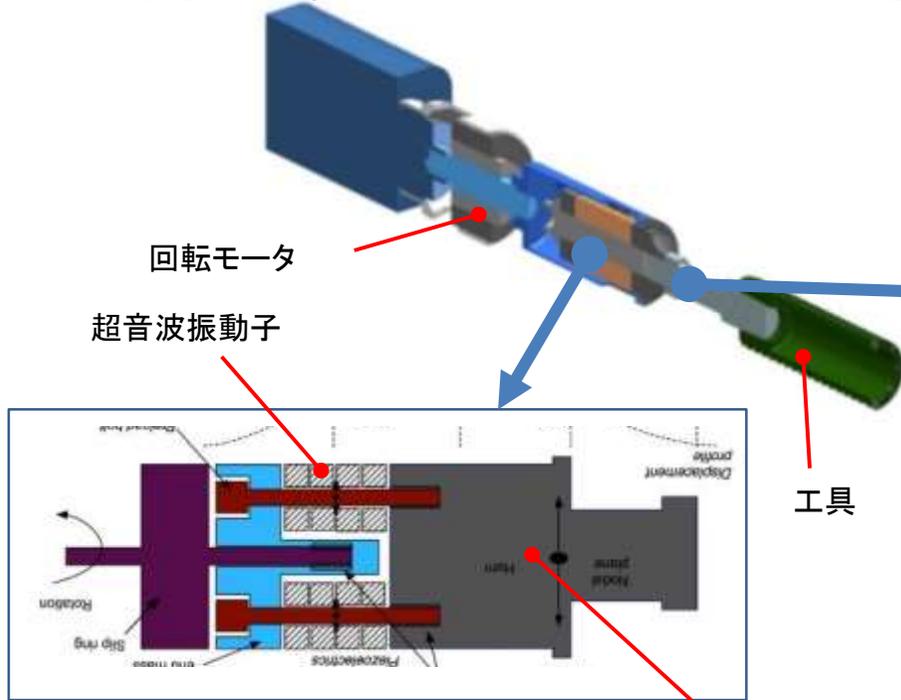
b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(2) 超音波コアボーリングによる加工要素試験

● 机上設計による加工ヘッドの開発

既存の技術にない、大口径(既存 $\phi 3\text{mm}$ →最終目標 $\phi 75\text{mm}$)の加工ヘッドの設計

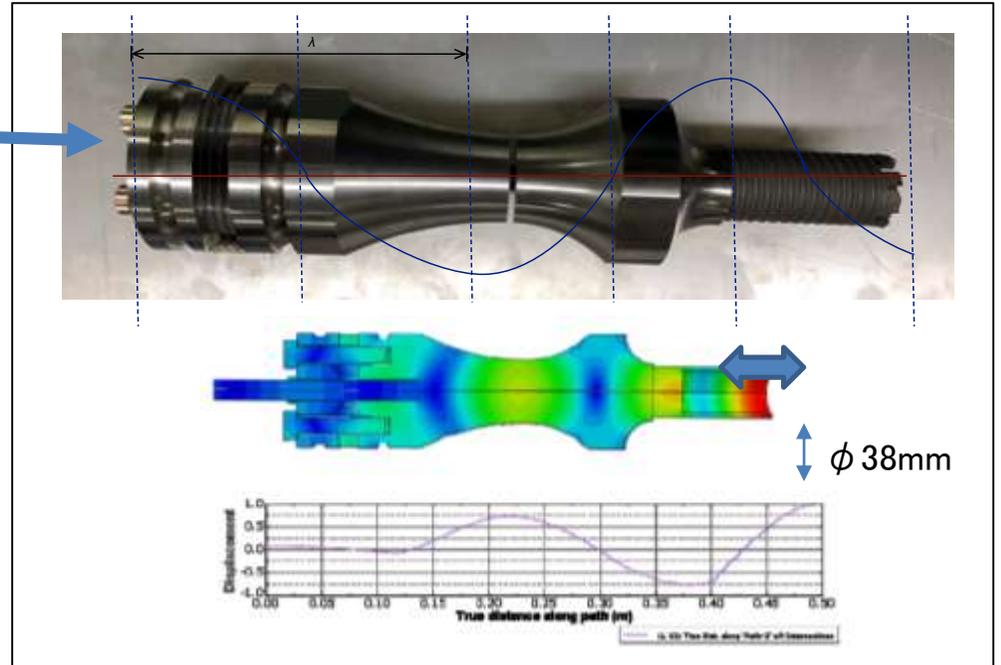
本事業は $\phi 38\text{mm}$ (1.5インチ)のヘッド開発を行い、性能試験から $\phi 75\text{mm}$ の実現性を評価する



超音波振動子の積層構造(マルチピエゾ)による大出力振動子を設計。

振動増幅器

振動増幅器：工具先端(上図右端)において、振幅が最大になるよう解析・最適化を実施。



$\phi 38\text{mm}$

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

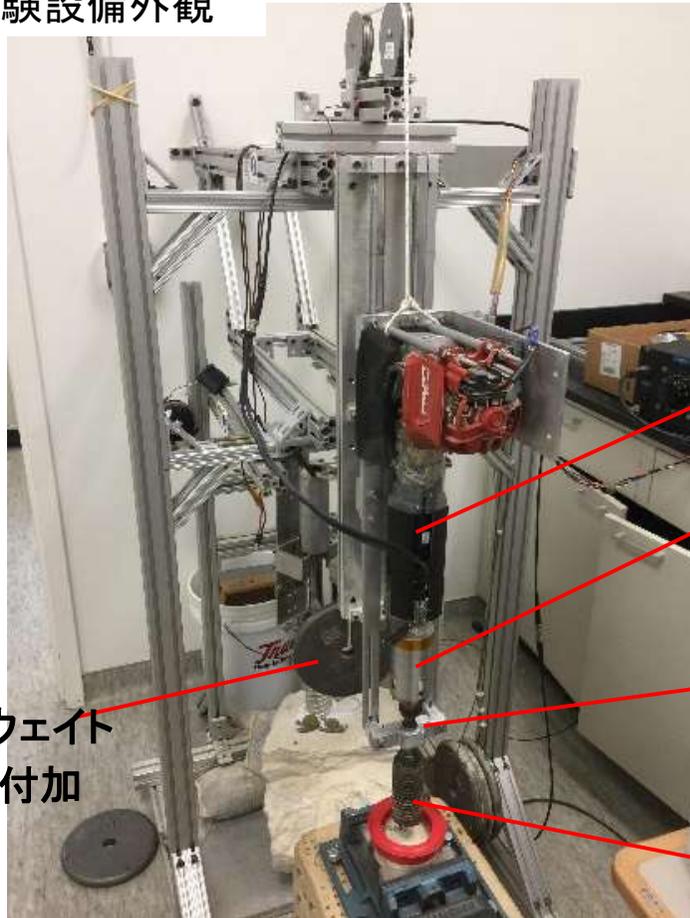
1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(2) 超音波コアボーリングによる加工要素試験

● 加工試験設備外観



カウンターウェイト
予荷重の付加

回転モータ

超音波振動子

超音波の縦振動を発生させる。

振動増幅器

超音波振動を伝送しながら振幅を増幅する。振動モードの遷移なきこと。

工具

試料を切削する刃先。

試験片の材質

材質	硬さ
ステンレス(304)	1.5 ~ 3GPa
ジルコニア(ZrO_2)	12 ~ 14GPa
アルミナ(Al_2O_3)	15 ~ 17GPa
コンクリート	—
ステンレス + ZrO_2 or Al_2O_3	—
燃料デブリ模擬試験体	—

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(2) 超音波コアボーリングによる加工要素試験

● 要素試験

- ダイヤモンドコートと電鑄の工具を使用し、比較評価
- 加工初期の切削速度はダイヤモンドコートコアが早いですが、ダイヤモンド砥粒の脱落や摩滅が多く長時間運用は不向きであることが判った。ビットについては今後も継続検討が必要。
- **電鑄ビットの駆動速度から、加工速度を求めると、約3.3kg/h(アルミナ)、0.63kg/h(ステンレス)。**
- 加工反力は1200Nで断面積あたりの圧力はMPaオーダー。**目標とするφ75mmのボーリングでは、約3000~4000Nの与圧が必要になる。**またこの場合、**加工速度は12.7kg/h**となる。



ダイヤモンドコートされたビットで切削されたセラミック(アルミナ)(左)と金属(ステンレス)(右)。

30mm ダイヤモンドコートコアビット				
	回転	回転 +超音波	回転	回転 +超音波
	アルミナ		ステンレス	
回転数rpm	2750	2750	2750	2750
深さmm	25.4	25	0.95	1.5
レートmm/min	32.1	89	0.95	1.85
反力N	1200	1200	1200	1200
Bit状態	良	良	不良	不良

1.5インチダイヤモンド電鑄ビット		
	回転	回転
	アルミナ	ステンレス鋼
回転数rpm	650	1150
深さmm	33	1.5
レートmm/min	6.0	1.15
反力N	1200	1200
Bit状態	良	良

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

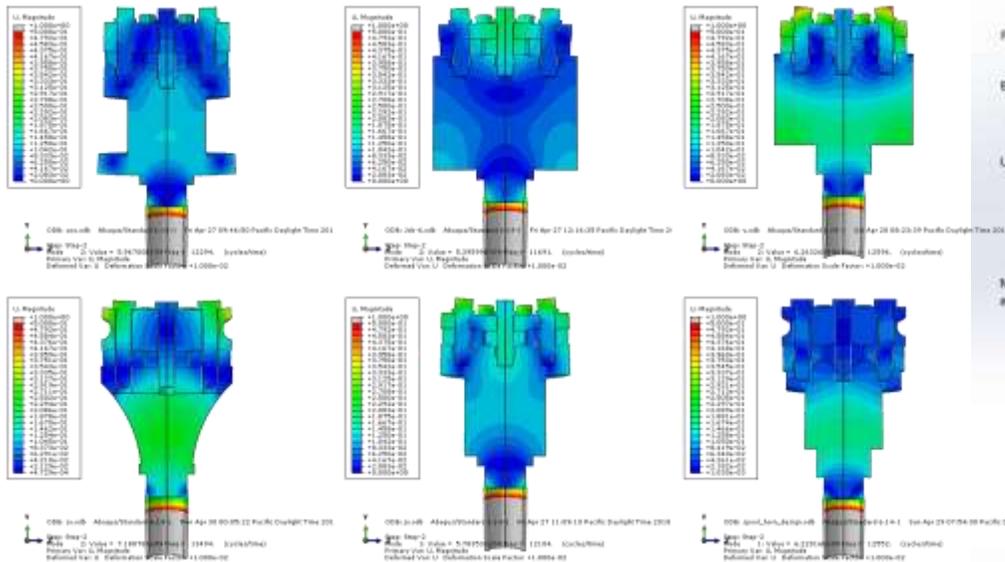
1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

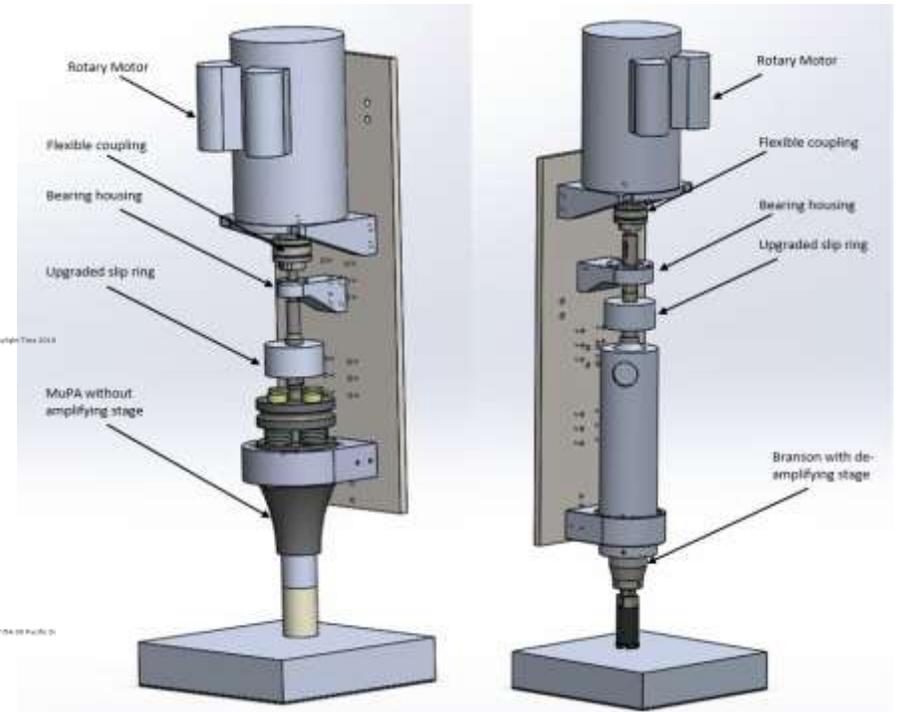
b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(2) 超音波コアボーリングによる加工要素試験

増幅器による縦振動モード(変位の大きさ)の違い、既存装置を利用した要素試験などから、超音波ユニットを選定した。



増幅器による縦振動モード(変位の大きさ)の違い(例)



MuSPAユニット

Bransonユニット

ユニットを選定した設計した加工装置

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

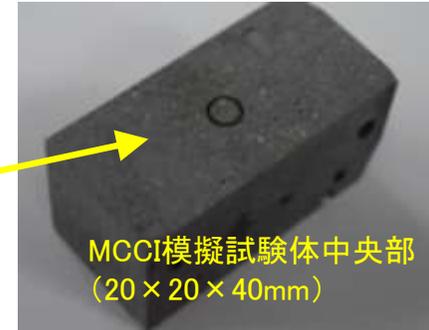
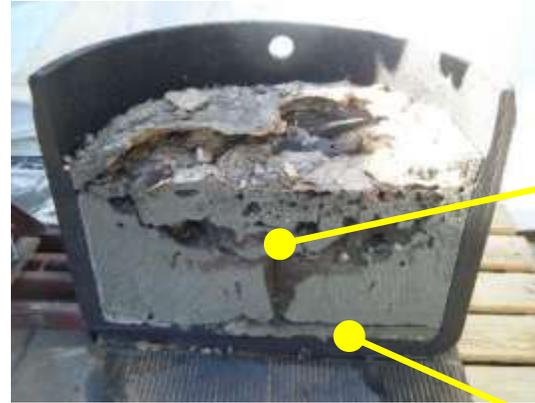
② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

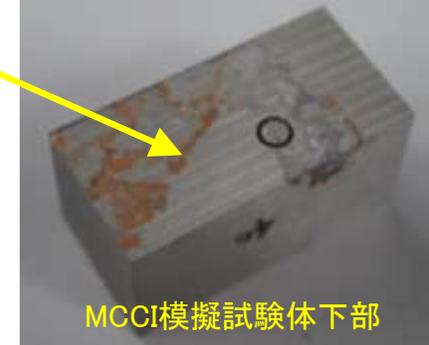
(2) 超音波コアボーリングによる加工要素試験

- 作成したMCCI模擬試験体の加工試験
燃料デブリ模擬試験体の、中央部と底部からサンプルを削り出して加工試験

- 工具：ダイヤモンド電鍍ビット(φ4.5mm)
- 工具回転数：800rpm
- 超音波振動数：50kHz
- 先端振幅：5μm
- 加工速度：0.8mm/min



MCCI模擬試験体中央部
(20×20×40mm)



MCCI模擬試験体下部



比較用(アルミナ、SUS)

	中央部	底部	比較用 (アルミナ、SUS複合材)
試料の状態	チャコールグレー色	金属光沢 電気抵抗はゼロであった	
加工反力	1.3MPa	3.3MPa	10.0MPa
加工速度	0.8mm/min (除去速度6g/h)	0.8mm/min (除去速度6g/h)	0.4mm/min (除去速度3g/h)

- 中央部、底部共に、断面積あたりの加工反力はMPaレベル。φ38mmアルミナ加工試験(前ページ)(φ38mm)と比べ直径は10倍異なるが、ほぼ同じオーダーとなっている
- 除去速度は毎時グラムオーダーで非常に少ない(断面積が小さいため)
- 加工断面積を大きくして目標のφ75mmとすると、3000~4000Nの加工反力が必要

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(2) 超音波コアボーリングによる加工要素試験

● 本事業の成果

- 市販されている4種類の構成に対し、BransonとMuSPAと称される構成を選定した。
- 最終目標とするφ75mm大口径コアビットに対応した振動ユニットの概念検討を実施。本事業は38mm(1.5インチ)口径について有限要素シミュレーションでの振動モード解析、試作機で解析を検証
- φ30mm、φ1.5インチコアビットを用いた加工試験を実施。金属、セラミックス、MCCI模擬試験体など燃料デブリで想定される様々な対象物の加工が可能であることを確認
- 加工速度は約3.3kg/h(アルミナ)、0.63kg/h(ステンレス)。単位断面積の加工反力はいずれもMPaオーダーが必要。目標とするφ75mm大口径ビットを想定すると、加工反力は3000～4000N、加工速度12.7kgと評価し加工速度が目標値には届かない。
- コアビットの材質を変化させ、加工速度と寿命の観点では各々一長一短であり、今後も継続検討が必要と考えられる。

● 今後の課題と対応計画

	課題	対応方針
1	燃料デブリ取り出しには加工速度が未達。加工速度向上の他、超音波加工に適した応用の抽出(例えばサンプリングなど)。	パラメータ試験などにより加工速度向上の可能性を探る。今後の開発段階で実施する。
2	コアボーリングを用いた燃料デブリ取り出しに向けた装置概念の検討(取り出し装置への超音波コアボーリングの実装)	装置の適用概念検討を(加工ヘッドの検討と取出し装置への組み込み等)、今後の開発段階で実施する。
3	切り込んだ材料下端(円柱の根元)の切り離しと回収方法	方法検討と要素試験を開発段階で実施。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ模擬試験体の加工要素試験

(2) 超音波コアボーリングによる加工要素試験

RPV上面アクセスによるRPV内燃料デブリ回収の概念

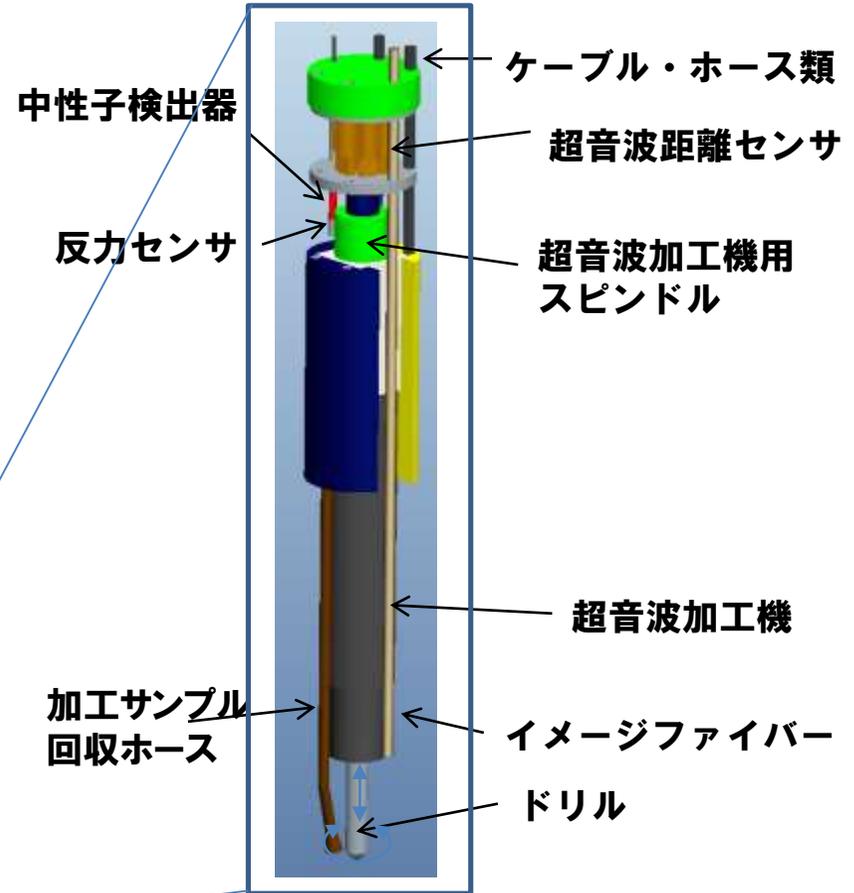
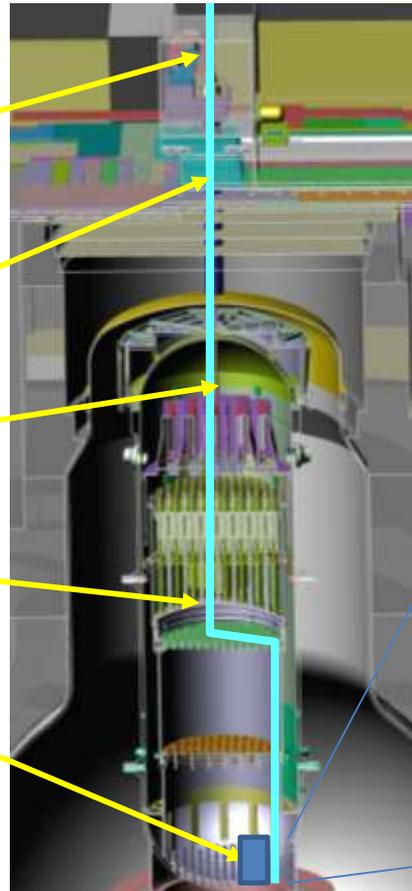
オペフロ作業セル
PCVとバウンダリを構成。セル外短時間作業のため遮へい機能。

搬出容器
サンプル搬出用、PCV内サンプリングと共通設計。

ガイドパイプ
PCVバウンダリを延長。

炉内アクセス装置
オペフロからシュラウドヘッドまで垂直アクセス。

炉内展開装置
炉心で水平展開し、炉心部昇降。



サンプル回収装置概念(加工紛、円柱状デブリ回収用)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

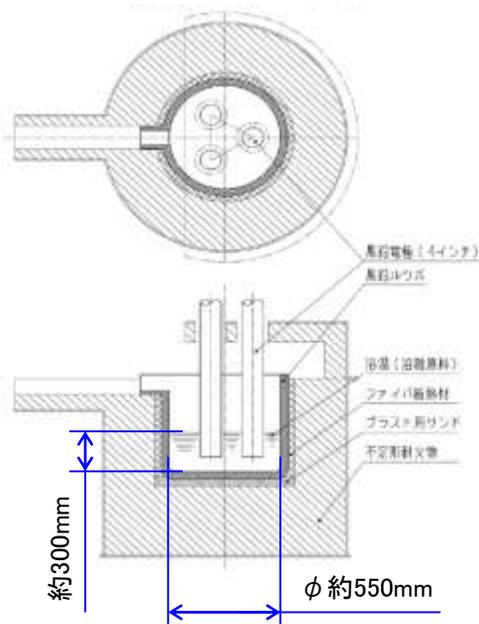
1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

c. 加工試験に使用するための燃料デブリ、汚染構造物模擬試験体の製作

a) MCCI模擬試験体

加工要素試験で使用する予定のMCCI模擬試験体については、「燃料デブリの性状把握PJ」内で2016年度に実施した大型MCCI試験を参考に、素材の種類・量・混合比を検討し、「燃料デブリの性状把握PJ」と打合せを実施して考え方に問題がないことを確認した。



溶融試験炉 (イメージ)

表 MCCI模擬試験体に用いる素材の量 (試験体1体あたり)

模擬体	素材名	密度	混合比	投入量[kg]
コンクリート	セメント	3.5	12:88	16.8
	骨材 (SiO ₂)	2.65		90.3
セラミック燃料デブリ	CeO ₂ (UO ₂ 模擬)	7.2	65:35	75.2
	ZrO ₂	5.65		31.3
金属燃料デブリ	Zr	6.52	51:49	23.1
	SUS	7.6		25.6

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

c. 加工試験に使用するための燃料デブリ、汚染構造物模擬試験体の製作

a) MCCI模擬試験体

MCCI模擬試験体の製作状況および製作後のMCCI模擬試験体を以下に示す。



原料セット後の状態



溶融池形成前の状態



最終試料投入時の溶融池の状態



止電後、自然冷却状態



溶融翌日の状態



チゼルによる加工試験前の状態

6. 本事業の実施内容

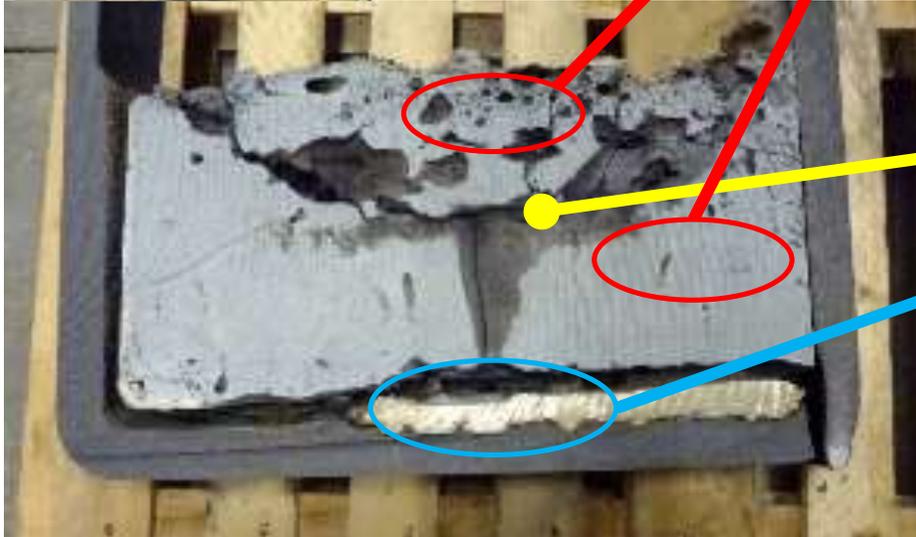
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

c. 加工試験に使用するための燃料デブリ、汚染構造物模擬試験体の製作

製作したMCCI模擬試験体の材料評価



上部：多孔質な酸化物層

中央部：緻密な酸化物層

- Ce、Zr、Si、Ca、Al、Oが主に検出
原材料のCeO₂、ZrO₂、セメント、碎石の構成元素と一致
- Ce_{4.66}(SiO₄)₃O、ZrO₂
- 圧縮強度：ばらつきが大きく、3点平均値は241.9～283.5[MPa]
- 密度：3.96～4.05×10³[kg/m³]

中央部：引け巣

下部：金属層

- Fe、Cr、Ni、Mo、Cが主に検出
原材料のステンレス鋼の構成元素と一致
- γ-Fe、α-Fe
- ビッカース硬さ：HV 514、HV 474
- 密度：7.27、7.47×10³[kg/m³]

6. 本事業の実施内容

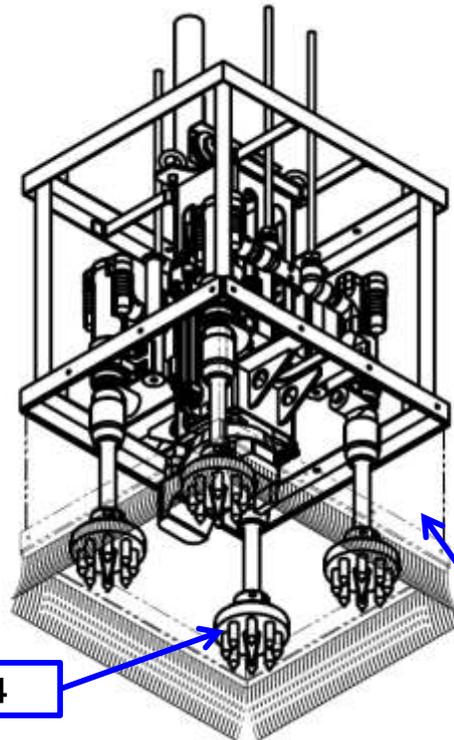
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

d. 加工時に発生する粉塵の回収(集塵)方法と分析

- ・ チゼル加工に関する局所回収システムを検討した。



チゼル×4

加工局所回収フロー

汚染拡大防止シート内において燃料デブリ(MCCI)をチゼルで加工する。

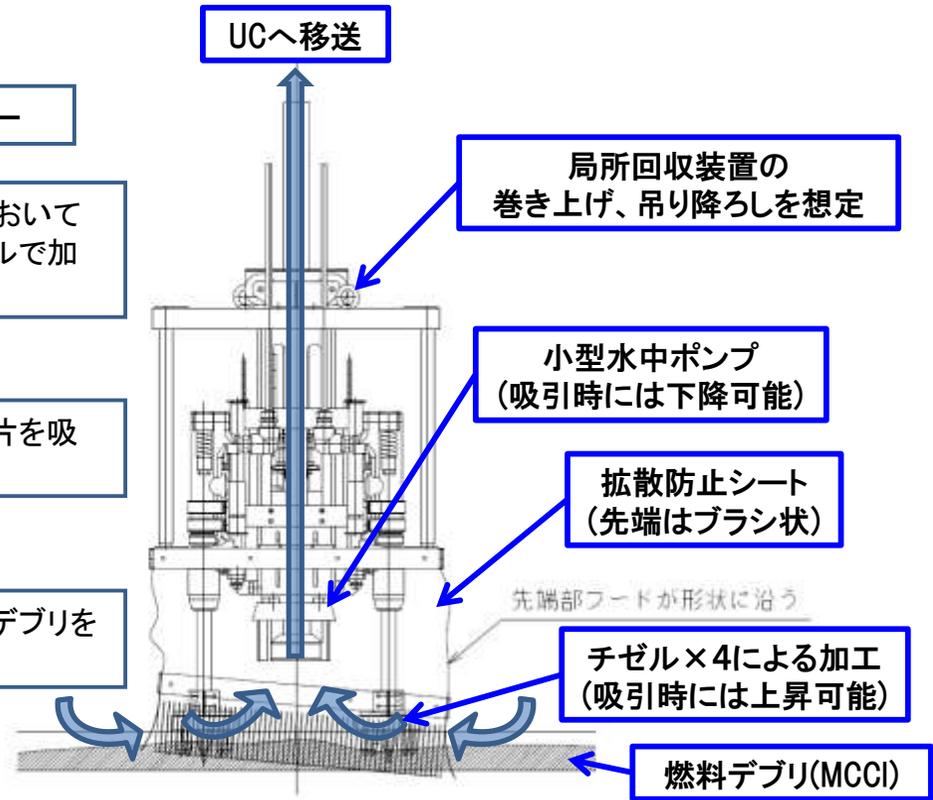


小型水中ポンプで、加工片を吸引する。



吸引ホースを通じて燃料デブリをUCに移送する。

拡散防止シート (先端はブラシ状)



UCへ移送

局所回収装置の巻き上げ、吊り降ろしを想定

小型水中ポンプ (吸引時には下降可能)

拡散防止シート (先端はブラシ状)

先端部フードが形状に沿う

チゼル×4による加工 (吸引時には上昇可能)

燃料デブリ(MCCI)

チゼル加工の局所回収装置イメージ

チゼル加工の局所回収装置作業中イメージ

6. 本事業の実施内容

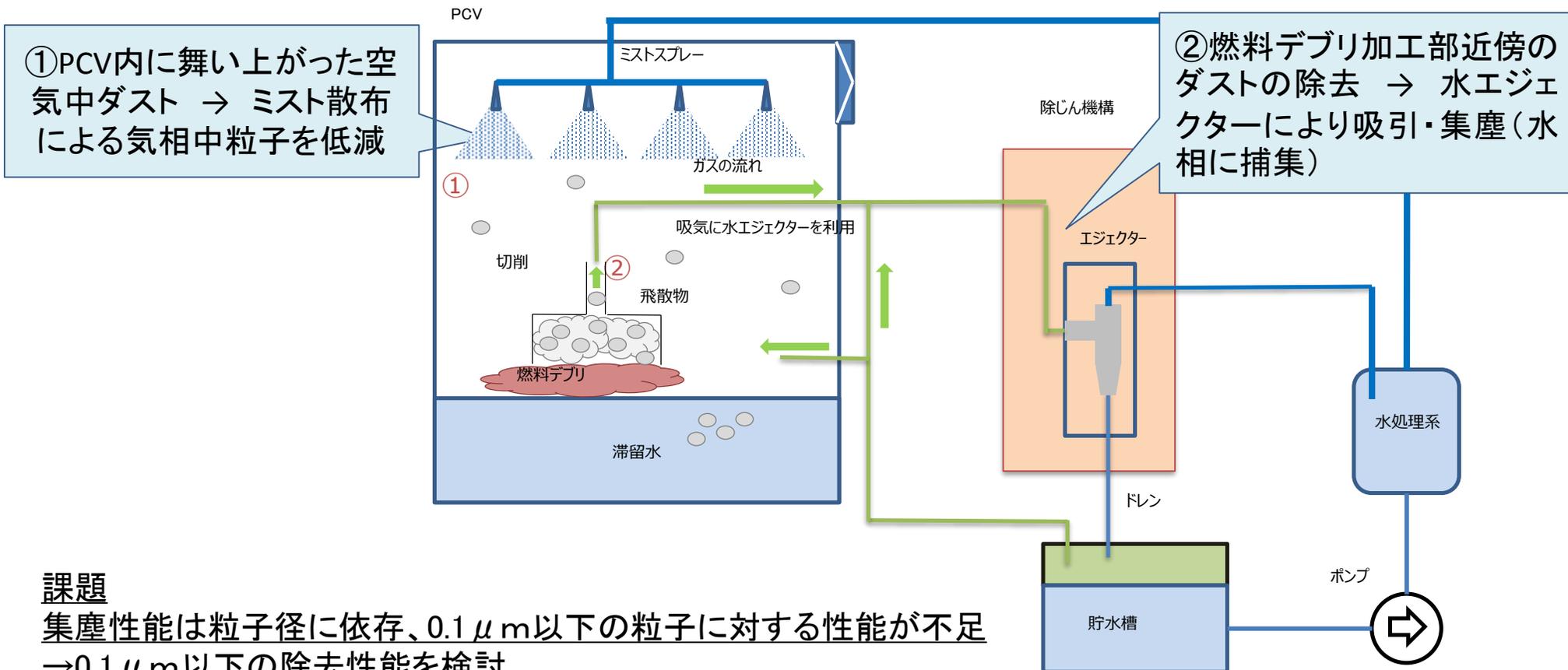
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

d. 加工時に発生する粉塵の回収(集塵)方法と分析

発生したダストは、最終的には系統で浄化されるが、加工点近傍にて可能な範囲で集塵・浄化を指向する



課題

集塵性能は粒子径に依存、 $0.1 \mu\text{m}$ 以下の粒子に対する性能が不足
→ $0.1 \mu\text{m}$ 以下の除去性能を検討

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

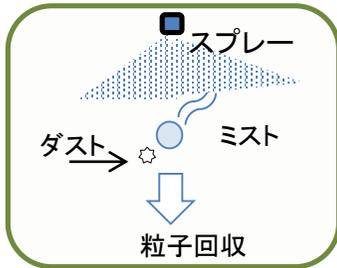
d. 加工時に発生する粉塵の回収(集塵)方法と分析

ミストによる回収

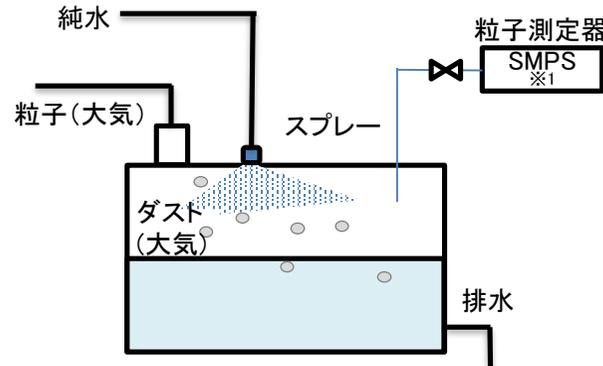
水ミストによる浮遊粒子の回収効率を検討

パラメータ: ミスト濃度 (100ml/min、200ml/min)

試験方法: 容器内の大気中ダスト粒子濃度(入口)を測定し、水ミストを一定時間散布後のダスト粒子濃度(出口)を測定



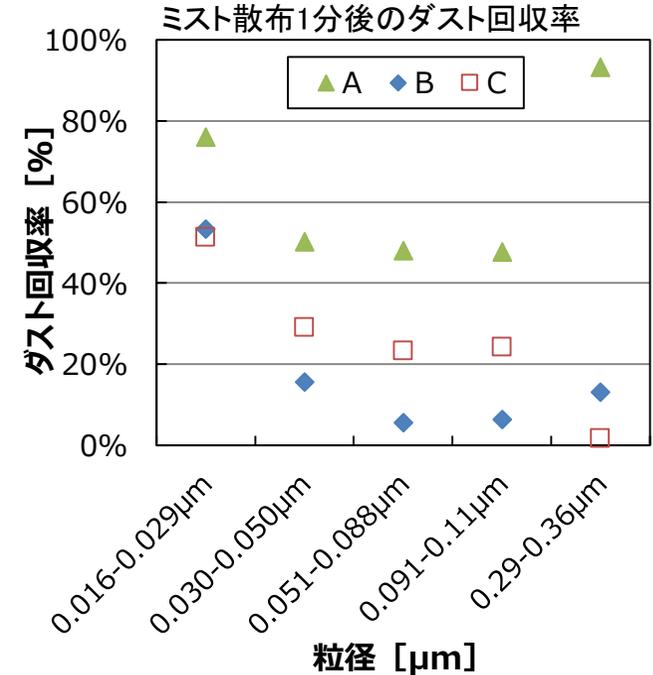
ダスト回収イメージ



容器: 200L (Φ: 0.6m h: 0.9m)

スプレーによる除塵試験フロー図

※1 SMPSモデル3081
(測定範囲(0.016~0.6 μm))



ミストノズル仕様(凡例詳細)

凡例(ノズル)	A	B	C
ノズル形式	フルコーン式	フラット式	
粒子径※2[μm]	20	100	100
流量[mL/min]	50	100	200

※2 ノズル高さ300mmにおける粒子径

$$\text{回収率}[\%] = \frac{(\text{容器内のダスト粒子濃度} - \text{ミスト散布後の容器内ダスト粒子濃度})}{\text{容器内のダスト粒子濃度}} \times 100$$

【結果】

- ・ミストは小粒径・高濃度が望ましい
- ・ミストによって、0.1μm以下の粒子に対する回収の見込みが得られた

【課題】

実機PCV内での機器設計及び設置方法

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

d. 加工時に発生する粉塵の回収(集塵)方法と分析

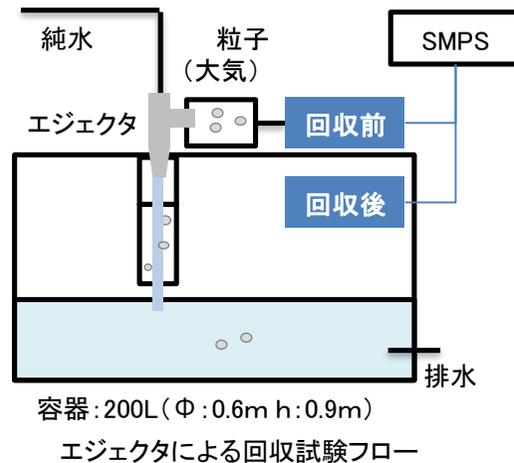
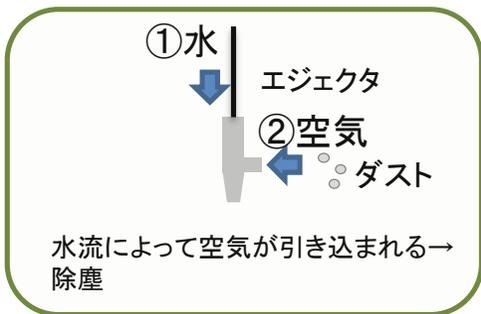
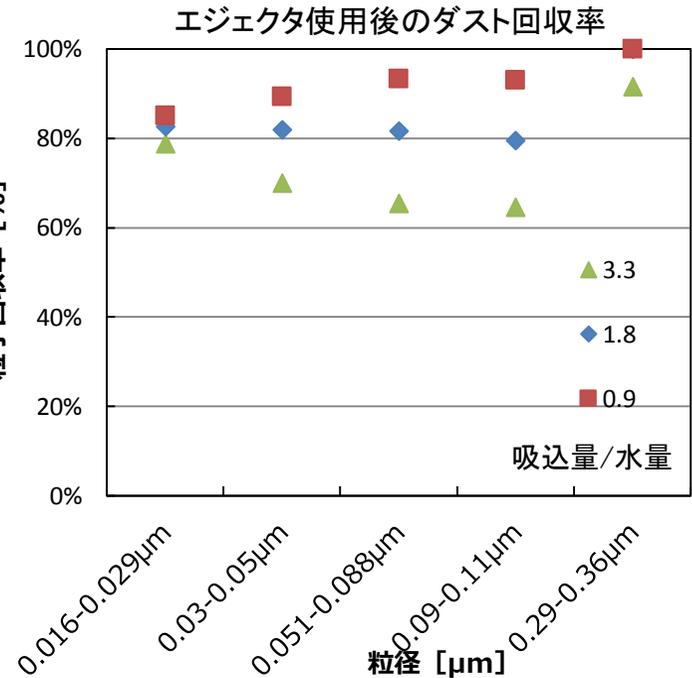
エジェクタによる回収

エジェクタ(高圧流体による低圧流体の引き込み効果)による浮遊粒子の回収効率を検討

パラメータ: 水量と吸引ガス量の比

試験方法: 容器内をN₂で置換したのち粒子濃度を測定(回収前)し、エジェクタに水を通水して大気を吸引し容器内の粒子濃度(回収後)を測定

回収率 [%] = (大気粒子濃度 - エジェクタ使用後の容器内粒子濃度) ÷ 大気粒子濃度 × 100



【結果】

- ・水量に対する吸込み量は小さいことが望ましい
- ・エジェクタによって、0.1μm以下の粒子に対する回収の見込みが得られた

【課題】

- ・加工と組み合わせた装置検討と性能評価(気体浄化システムへの影響)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

- ① 燃料デブリの回収システムの開発
- ② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発
- ③ 燃料デブリの拡散防止工法の開発

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

- ① 作業セルに関する要素技術開発
- ② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

③燃料デブリの拡散防止工法の開発

a. サプレッションチェンバー(S/C)への汚染拡大防止措置

● 開発の目的

- 燃料デブリから近い位置での拡散防止工法の実現性確認。
- 燃料デブリ拡散防止工法の課題抽出。

● 解決すべき課題

- ペDESTAL内、外の燃料デブリを加工すると燃料デブリが小片化し、汚染水の流れなどによりジェットデフからS/Cなどに拡散する可能性がある。
- 燃料デブリがS/Cなどに拡散すると燃料デブリの回収範囲が広がり、取り出し期間が長くなる可能性がある。
- 現状においてS/Cなどに燃料デブリが存在すると仮定した場合、燃料デブリの拡散により再臨界する可能性がある。
- ペDESTAL内、外は狭隘環境下であり、遠隔操作による作業の成立性を確認する必要がある。

● 開発の進め方

- フェーズ1: 汚染拡大防止工法の概念検討を実施
- フェーズ2: 汚染拡大防止工法の選定
- フェーズ3: 要素試験計画の立案
- フェーズ4: 試験機の製作および要素試験の実施

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

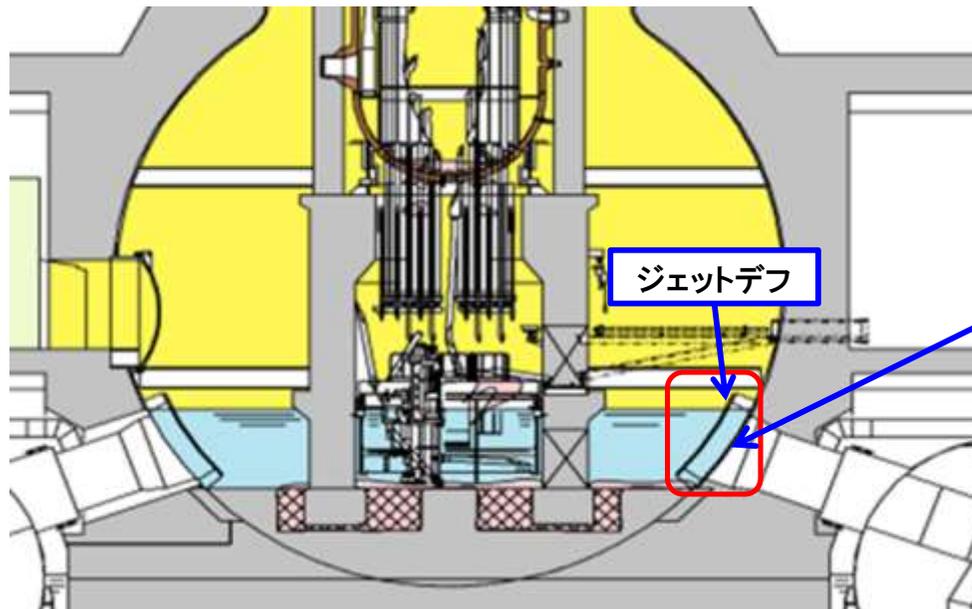
1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

③燃料デブリの拡散防止工法の開発

a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

● 得られる成果

- ジェットデフによる汚染拡大防止工法の実現性。
- 水中の燃料デブリに対する汚染拡大防止工法について基本的な設置性について確認する。
- 汚染拡大防止工法における課題の抽出結果と開発計画の策定。



汚染拡大防止工法適用箇所※

※汚染拡大防止工法の適用箇所、作業手順、作業実施時期等の詳細検討は、予備エンジンにて対応予定

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

③燃料デブリの拡散防止工法の開発

a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

開発、進め方の概要を示す。机上検討の結果、実現性の高いと考えるモルタル打設による堰構築手法について、予備試験を行う。

No.	サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置検討項目	検討内容および試験目的(確認項目)	概念検討	予備試験	備考
1	ジェットデフへの汚染拡大防止措置案の比較	ジェットデフに対する汚染拡大防止措置方法について、実施可能な案を抽出し、実現性の比較を行う。	○	—	
2	具体的な止水方法の抽出	比較評価の結果、実現性の高いジェットデフに対する汚染拡大防止措置方法において、具体的な止水方法を比較検討する。	○	—	モルタル打設による堰構築手法を抽出
3	汚染拡大防止堰の設置範囲検討	汚染拡大防止堰の設置範囲を検討する。	○	—	
4	堰構築方法の検討	汚染拡大防止堰の構築方法を検討し、汚染拡大防止措置への要求機能を整理する。	○	—	
5	汚染拡大防止堰の成立性確認	実現性の高いと考えるモルタル打設による堰構築手法について、成立性を確認するための予備試験を実施する。			
		型枠の設置確認		○	
		モルタル打設		○	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

③燃料デブリの拡散防止工法の開発

a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

概念検討により実現性が高いNo.3の汚染拡大防止工法を選定した。

No.	工法概要	汚染拡大防止効果		工法難易度 (想定)	備考
		気中	水中		
1	<p>燃料デブリ</p> <p>閉止板を溶接などで接合</p> <p>溶接などで肉盛り</p>	高	高	高	狭隘部の遠隔溶接が困難と想定
2	<p>燃料デブリ</p> <p>堰を設置</p>	低	高	中	気中の汚染拡大は、負圧管理システムとの組み合わせを想定
3	<p>燃料デブリ</p> <p>閉止板を設置</p> <p>堰を設置</p>	中	高	中	気中の汚染拡大は、負圧管理システムとの組み合わせを想定

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

③燃料デブリの拡散防止工法の開発

a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

堰を構築する方法について概念検討を実施した。

堰と止水材を組み合わせる方法については、止水性が高いと考えられるが、複数の要素を組み合わせるため、遠隔での施工に課題があると考えられる。

そこで、堰と止水材を組み合わせる方法について、概念検討および予備要素試験を実施して、遠隔施工時の課題を抽出することとした。

No.	止水方法	施工性	止水性	評価	評価
1	堰単体(板、土のうなど)	高	中	○	設置範囲に凹凸がある場合の止水が課題
2	止水材単体	低	高	△	止水材を所定の範囲に留めることが難しい
3	堰+止水材	中	高	○	施工性に課題があるが、所定の範囲に止水性を持つ堰を構築できる

No.	止水方法	施工性	止水性	耐放射線性	評価	評価
1	セメント系材料	中	中	高	○	施工が難しいが耐放射線性に優れる
2	非セメント系材料 (有機系材料)	中	高	低	△	耐放射線性が低いものが多く、メンテナンスの頻度が高くなる

【凡例】○:実現性は高い/△:実現性あり/×:実現性は低い

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

③燃料デブリの拡散防止工法の開発

a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

堰と止水材(モルタル)を組み合わせる方法の中で、型枠内にモルタルを打設して堰を構築する方法が実現性が高いと考え、予備要素試験を実施することとした。

No.	イメージ図	断面図	使用材料	評価
1			吹き付けモルタル (水中作業不可)	吹付け箇所までノズルを移動させる必要があるため、遠隔施工性が悪い
2			流動性モルタル (水中作業可※) ※気中用と水中用で材料が異なる	型枠内に材料を打設すればよいので遠隔施工性が良い。 →予備試験で実現性を確認する。
3			流動性モルタル (水中作業可※) ※気中用と水中用で材料が異なる	遠隔施工性は良いがモルタルの使用量が増える。

6. 本事業の実施内容

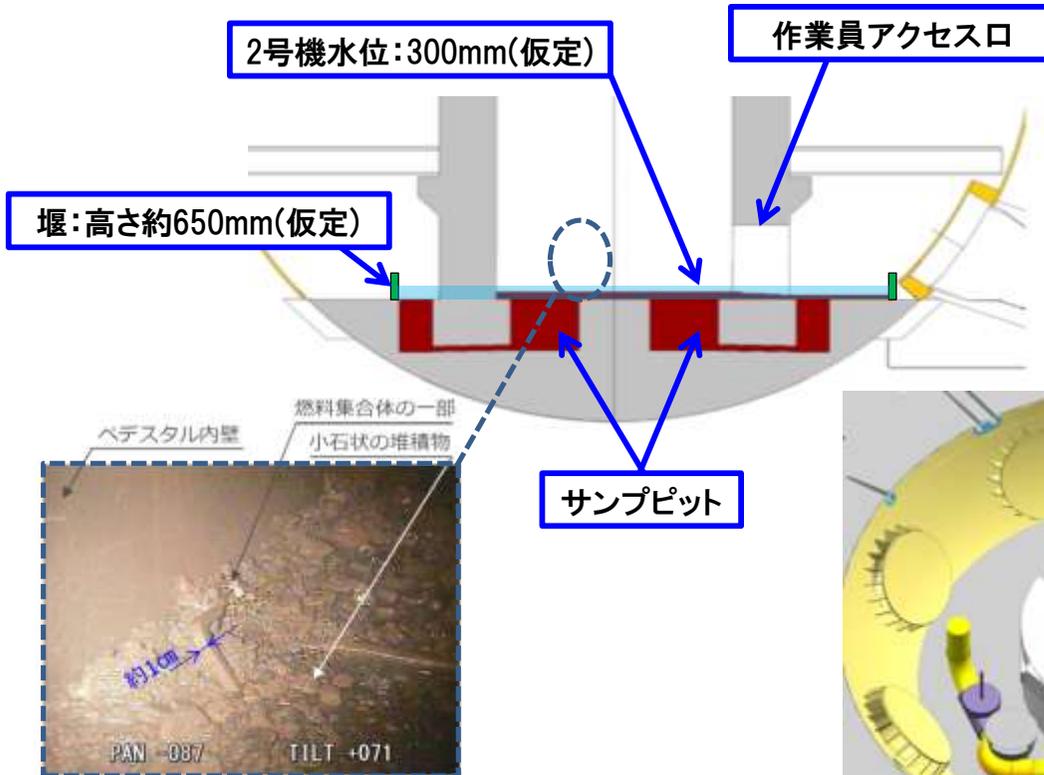
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

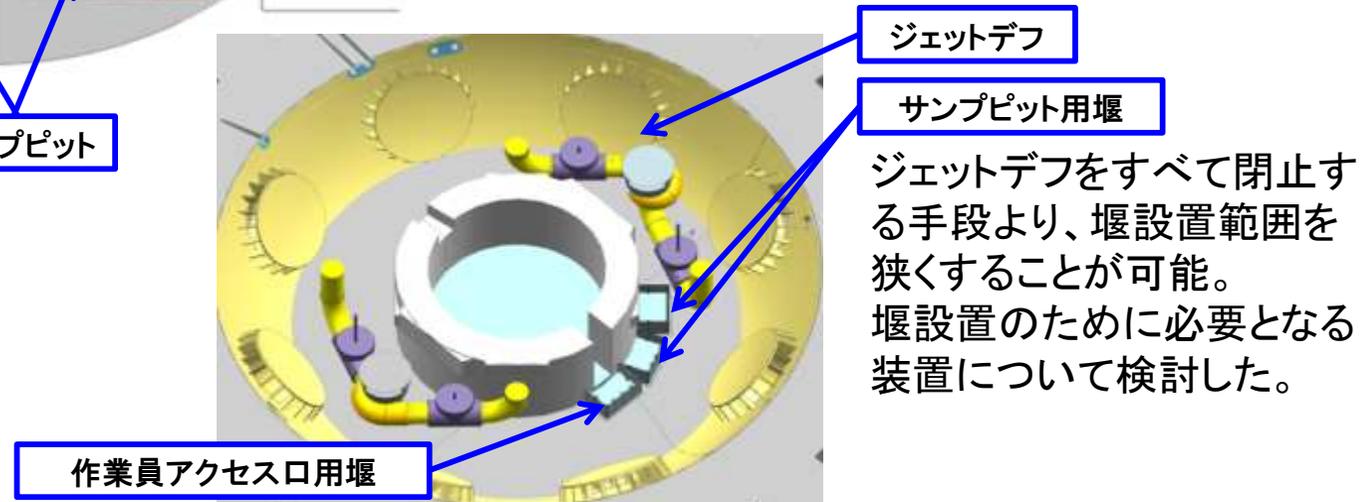
③ 燃料デブリの拡散防止工法の開発

a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

2号機PCV内部調査結果に基づき、汚染拡大防止範囲を最小化するため、汚染拡大防止堰の設置範囲が最小となるケースを検討した。



ペDESTAL内の燃料デブリがペDESTAL外に広がるルートとして、作業員アクセス口とサンプピットが考えられる。大部分の燃料デブリがペDESTAL内に存在するケースとして、汚染拡大防止措置を検討した。



2号機PCV内部調査結果
ペDESTAL底部写真

6. 本事業の実施内容

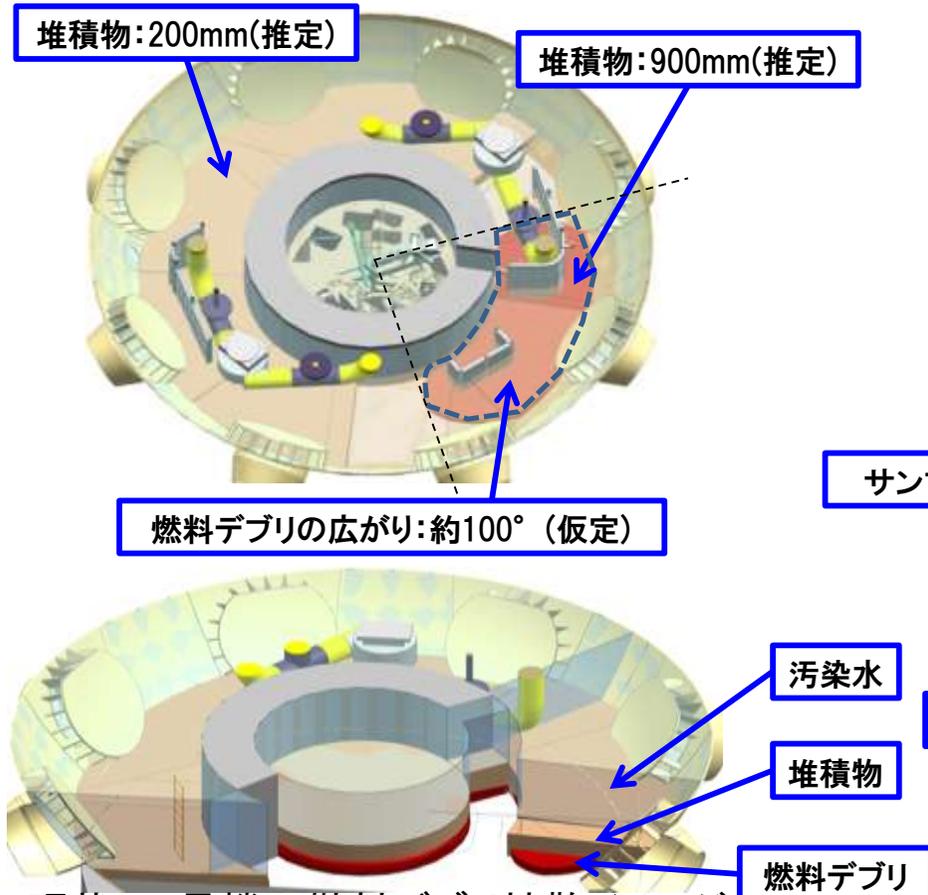
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

③ 燃料デブリの拡散防止工法の開発

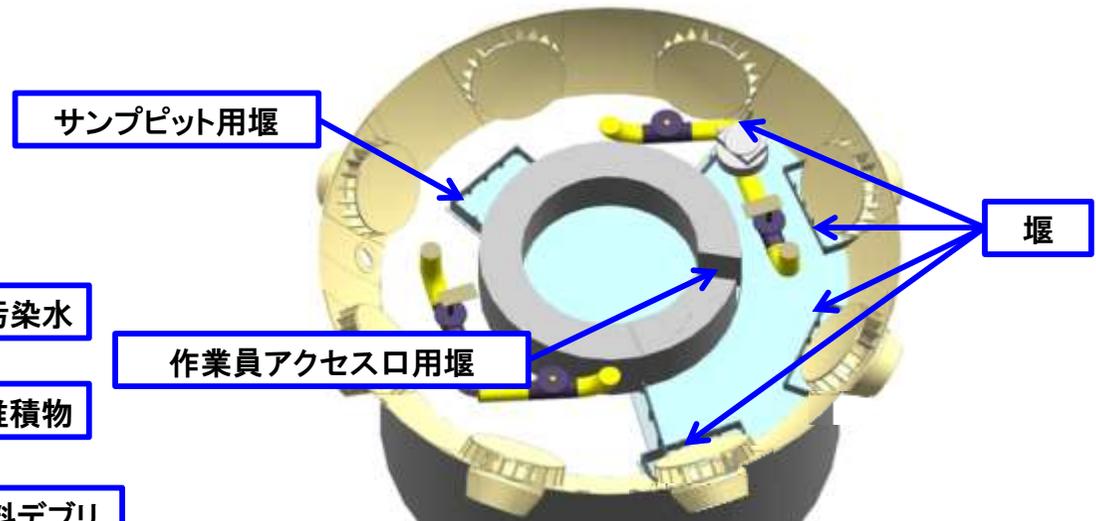
a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

1号機について2号機と同様に汚染拡大防止措置が最小となるケースについて検討した。



現状の1号機の燃料デブリ拡散イメージ

ジェットデブすべてに堰を設置するケースと比較し、設置範囲が狭くなるが、堆積物撤去後に、水位を低下させる必要がある。
堰設置に必要な装置について検討した。



1号機の汚染拡大防止措置最小化イメージ

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

③ 燃料デブリの拡散防止工法の開発

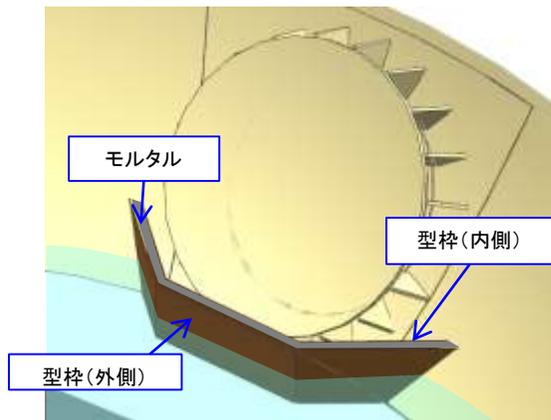
a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

堰の構造として、ジェットデフ周りに型枠を設置し、型枠内にモルタルを充填して堰を構築する方法を検討した。

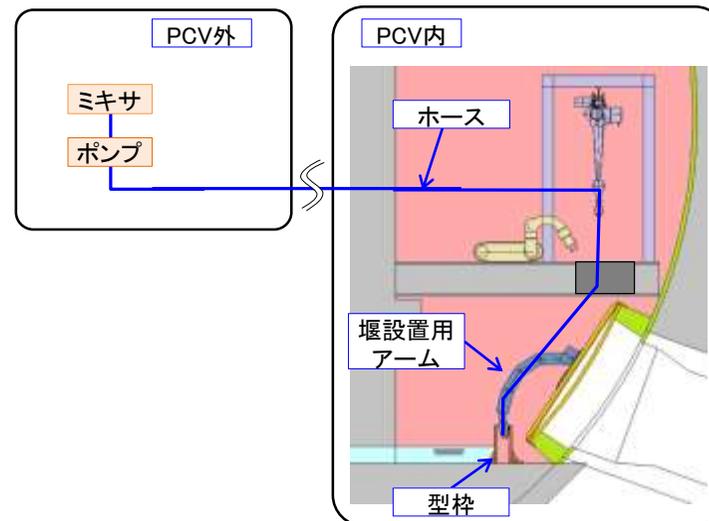
なお、堰設置に用いる堰設置用アームはペDESTAL外燃料デブリ取り出し作業、ペDESTAL外干渉物撤去作業においても活用可能なよう装置の共通化および効率化を図る。

【汚染拡大防止堰の構築方法概要】

- PCV外に設置したミキサでモルタルを練り混ぜ、ポンプでモルタルを圧送する。
- ジェットデフの周りに型枠を設置し、モルタルを打設する。
(モルタルを打設する箇所は気中とする。)



汚染拡大防止堰イメージ



堰構築のためのモルタルの打設イメージ

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

③ 燃料デブリの拡散防止工法の開発

a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

汚染拡大防止措置に必要な機能や課題を整理するため、作業ステップを検討した。

試験実施範囲

作業ステップ	グレーチング穴あけ準備	グレーチング穴あけ	インストール装置の準備	アームベースの設置
ステップ図	<p>穴あけ装置 D/W1階 ジェットデフ</p>	<p>グレーチング穴あけ</p>	<p>インストール装置</p>	<p>インストール装置 アームベース インストール</p>
作業ステップ	堰設置用アームの設置	型枠の設置準備	型枠の設置	型枠内の排水の準備
ステップ図	<p>インストール装置 堰設置用アーム インストール</p>	<p>揚重機 作業補助装置</p>	<p>型枠</p>	<p>ポンプ ホース</p>

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

③ 燃料デブリの拡散防止工法の開発

a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

汚染拡大防止措置に必要な機能や課題を整理するため、作業ステップを検討した。

試験実施範囲

作業ステップ	型枠内の排水	モルタルの打設設備準備 (ポンプ、ホースなど)	モルタルの打設	モルタル打設設備の撤去
ステップ図				
作業ステップ	堰設置用アーム/アームベースの撤去	閉止板の設置設備準備	ジェットデブ閉止板の設置 (閉止板展開)	閉止板の設置設備の撤去
ステップ図				

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

③燃料デブリの拡散防止工法の開発

a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

汚染拡大防止措置作業ステップを検討した結果より、汚染拡大防止措置に対する要求機能を整理した。

● 汚染拡大防止措置への要求機能

- ジェットデフに堰設置用アームを設置するために必要となる、PCV1階グレーチング開口を設置することが可能であること。
- PCV1階グレーチング開口よりジェットデフに取り付けるアームのベースを設置することが可能であること。
- PCV1階グレーチング開口よりジェットデフのアームベースに堰設置用アームを設置することが可能であること。
- PCV1階グレーチング開口より堰を設置するために必要となる機材を搬入することが可能であること。
- ジェットデフに設置した堰設置用アームによってジェットデフ周辺に堰を設置することが可能であること。または、作業員アクセス口、サンプピットに堰を設置することが可能であること。
- 堰と同様に気中による汚染拡大防止を目的としたジェットデフ閉止板が設置可能であること。
- 上記作業を遠隔で実施するための監視が可能であること。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

③燃料デブリの拡散防止工法の開発

a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

予備要素試験として、以下の2つの試験を実施し、汚染拡大防止措置の成立性を確認した。

(1)型枠の設置確認試験

型枠を遠隔装置で設置可能か確認する試験。

【確認事項】

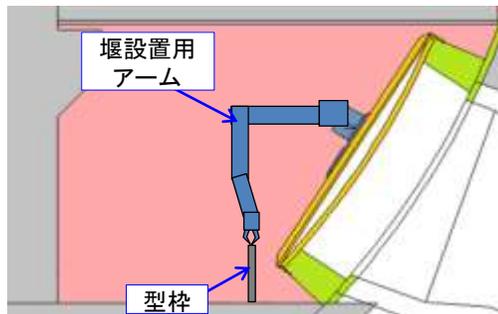
- 型枠を堰設置用アームで設置することができるか。

(2)モルタル打設試験

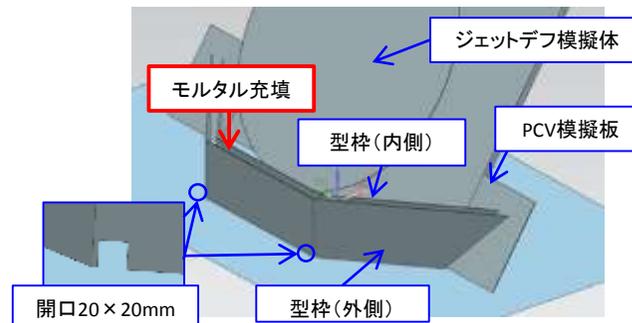
型枠へモルタルを打設して堰が構築可能か確認する試験。

【確認事項】

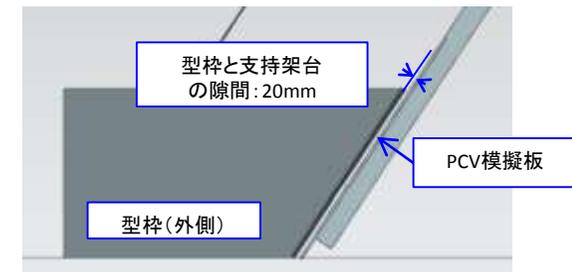
- 型枠の内側にモルタルを打設し、堰を構築することができるか。
(型枠とPCV内面の設置面に隙間があった場合でも問題ないか)
- 堰設置用アームでホースを把持してモルタルを充填可能か。



堰設置用アームによる型枠設置イメージ



モルタル打設試験体概要



モルタル打設試験体概要(側面)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

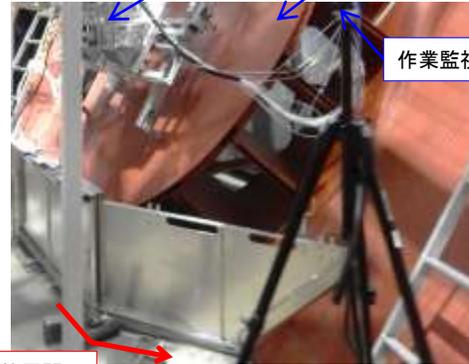
③ 燃料デブリの拡散防止工法の開発

a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

型枠の設置確認試験の結果、型枠を堰設置用アームでジェットデフの周囲に設置できることを確認した。



型枠設置状況(設置中)



型枠展開

型枠設置状況(設置完了後)



型枠設置状況



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

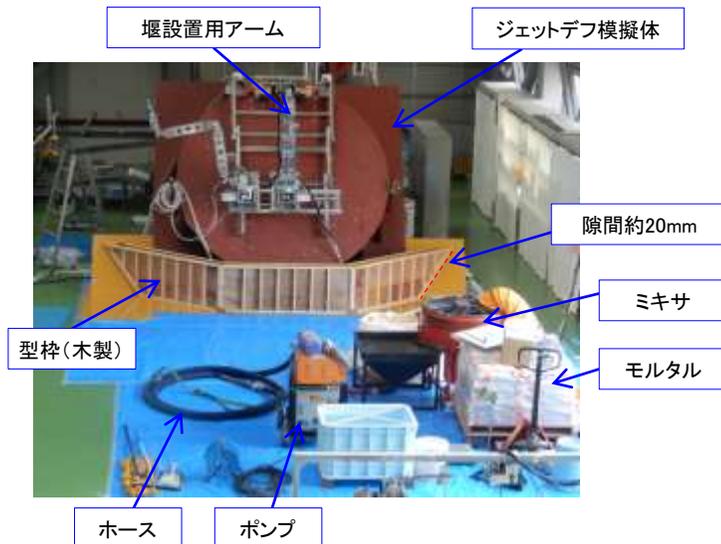
1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

③ 燃料デブリの拡散防止工法の開発

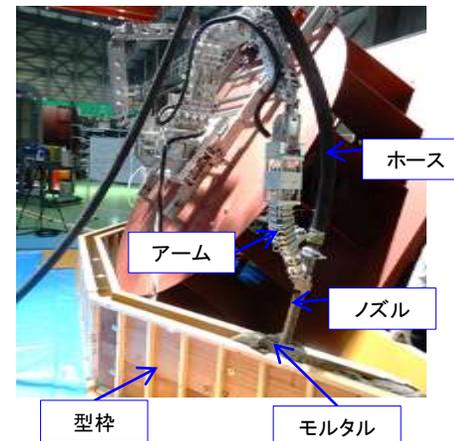
a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

モルタル打設試験を実施し、型枠へモルタルを打設して堰が構築可能であることを確認した。

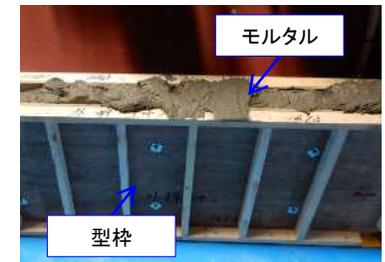
- 型枠の内側にモルタルを打設し、堰を構築することができることを確認した。
- 型枠とPCV内面の設置面に約20mmの隙間があってもモルタルで閉止可能であることを確認した。
- 堰設置用アームの可動範囲内であれば、ホースを把持してモルタルを充填することができることを確認した。(アームの可動範囲外は人の手でモルタルを充填した。)



試験エリア全景



モルタル充填状況



打設完了後の型枠上面



打設完了後の隙間の状況

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

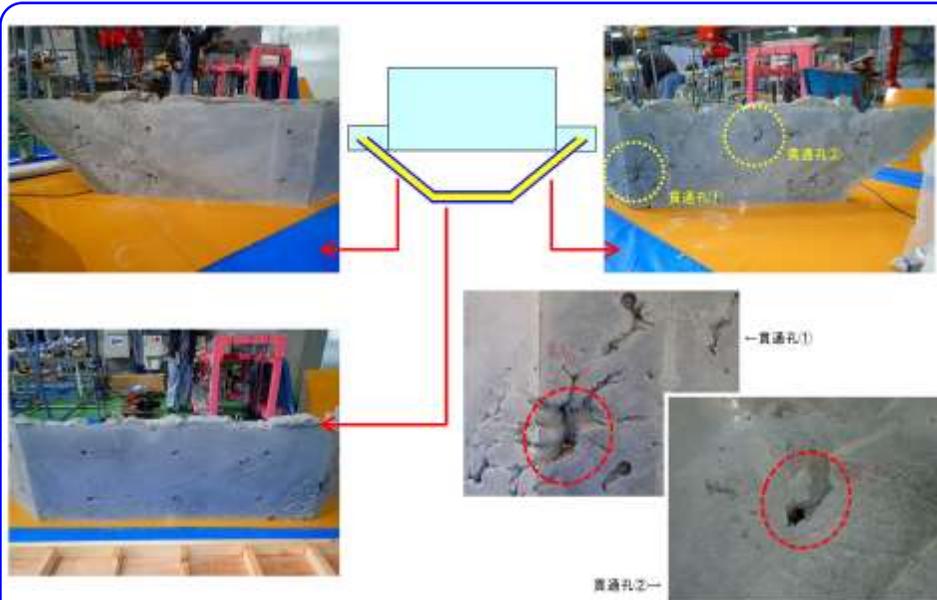
1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

③燃料デブリの拡散防止工法の開発

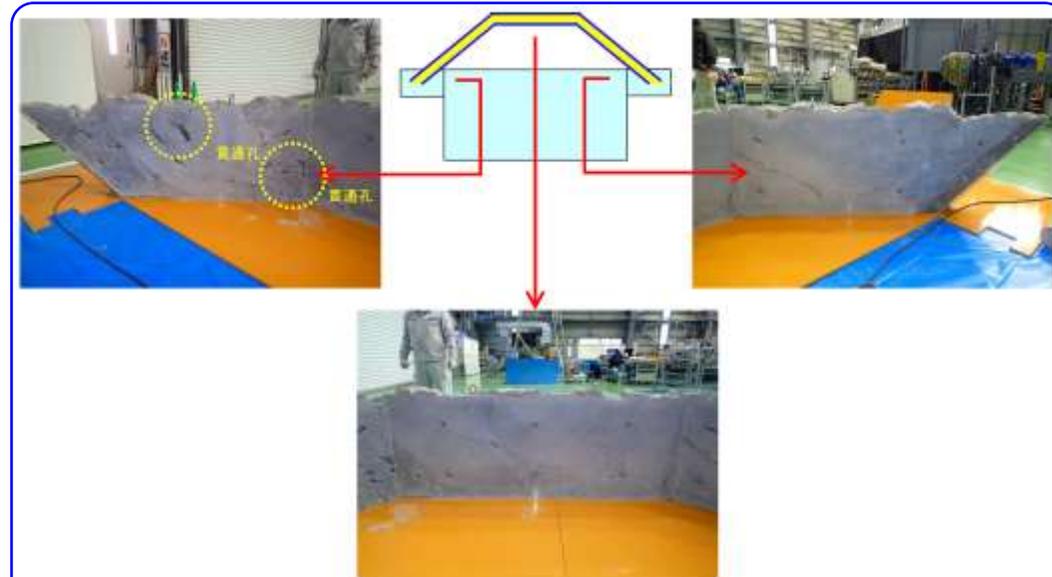
a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

モルタル打設後の型枠を取り外して打設したモルタルの状況を確認した。

- おおむねモルタルは良好に打設されており、堰形状を保持していることが判明した。
- 向かって右側面に2箇所、貫通孔が発見された。
- 今回の打設ではモルタルの送り出し中に空気が混入していたため、今後、対策を行うことでモルタルの構築度合いは向上が見込まれる。また、型枠との組合せも含めて検討必要。



脱型後の堰の状況(外側)



脱型後の堰の状況(内側)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

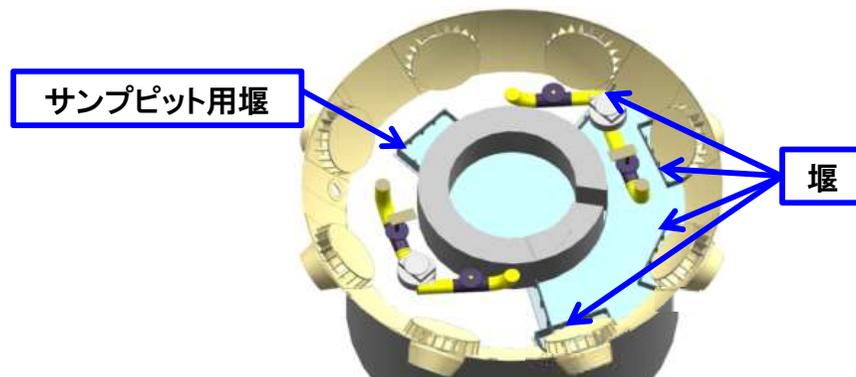
1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

③燃料デブリの拡散防止工法の開発

a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

今後の課題と対応方針

No.	課題	対応方針※
1	モルタルを充填するホースを型枠上の所定の位置に設定することが難しかった。 (現状ではホースを真上から降ろす必要があり、グレーチングの開口範囲が広がってしまう。)	堰単体(土のうなど)で堰を構築可能かなどを含め、施工がしやすい方法について検討して、要素試験を実施する。(※) (遠隔装置による堰の設置性確認試験、堰の止水性確認試験など)
2	堰設置後は堰の外側の水の排水をするためのポンプや配管が必要だと考えられる。	上記の試験に合わせて、堰の外側の水を排水するポンプ、配管の設置性などの確認試験を実施する。
3	堰設置後に漏えいが発生するリスクがある。	長期健全性を担保するため、遠隔補修方法などを検討する。



※:「対応方針」の(※)については次年度以降に検討する。その他は今後のエンジニアリング等で検討予定。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

- ① 燃料デブリの回収システムの開発
- ② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発
- ③ 燃料デブリの拡散防止工法の開発

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

- ① 作業セルに関する要素技術開発
- ② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

燃料デブリ取り出し時は現場が高線量であり、多くの作業を遠隔で行う必要があるため、燃料デブリ取り出し時に想定される作業毎に必要な以下の遠隔技術の開発を行う。

① 作業セルに関する要素技術開発

燃料デブリ取り出し装置を内包する作業セル設置については、遠隔作業によるセル設置が必要であり、例として横アクセスにおいては原子炉建屋内の狭隘かつ高線量エリアのPCVアクセス部(X-6ペネ等)、上アクセスにおいては高線量エリアであるオペフロのウェル上といったアクセス部と作業セルとの気密性や強度を確保する必要がある。

主な開発検討項目として以下を含むものとし、必要に応じて要素試験を実施することにより課題を抽出し整理する。

a. 上アクセス、横アクセス作業セルの設置方法、原子炉建屋への負担低減と取り扱い性向上

- セル・工法検討の設計条件を最適化した。
- 横アクセス工法適用時の原子炉建屋の実現性(耐震性、建屋開口部の影響、床面荷重、セルの設置手順等)に関する概念検討作業を実施した。

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

- 溶接によるシール方法に関しては、平成28年度までに要素試験を実施し、成立見込みを確認。
- インフレートシールによるシール方法に関する要素試験を実施した。

c. 作業セルの気密性能とダスト飛散防止性能の確保

- 作業セルの気密性とダスト飛散防止性については、システム側の負圧管理システムと協調し、セルに所要の放射性物質の閉じ込め性能を検討する。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

- 開発の目的

- 作業セルへの要求事項を整理し、セル概念の具体化により、セル設置方法、建屋強度の確認を含め、作業セルの成立性の向上。

- 解決すべき課題

- セル概念の具体化

- ✓ ソースターム、メンテナンスエリア明確化
- ✓ 複数種類ロボットのセル共用化検討
- ✓ セル内機器のメンテナンス項目、方法の具体化
- ✓ 遮へい扉、ダブルドアシステム、エアロックシステムの高度化、コスト低減
- ✓ セル内プロセス具体化による燃料デブリ回収速度(スループット)の向上
- ✓ 遮へい重量の低減

- セルの設置方法の具体化

- ✓ PCVコンクリート開口方法の詳細検討
- ✓ ダスト飛散防止方法検討(特にPCV壁とコンクリート部の隙間対応)
- ✓ 高線量環境下での重量物据付工法の具体化

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

● 開発の進め方

- 作業セルへの要求事項の整理
- セル概念の具体化
 - ✓ 各作業セルへの要求機能の割り付け
 - ✓ 燃料デブリ性状、取扱量の想定
 - ✓ セル遮へい厚の計算
 - ✓ セル構造の検討
 - ✓ セル関連機器(遮へい扉、気密扉、ハンドリング設備等)の検討
- セルの設置方法の具体化
 - ✓ PCVコンクリート開口方法の検討
 - ✓ PCVとのセルとのシール方法の検討
 - ✓ セル搬入方法の検討
- 建屋強度の確認
 - ✓ 建屋開口に関わる建屋強度の確認
 - ✓ セル設置に関わる建屋強度の確認

● 得られる成果

- PCV内装置搬入から燃料デブリ/干渉物回収までの一連作業の成立性
- セル内プロセス具体化による燃料デブリ回収速度(スループット)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

安全要求に基づき、セルに対する課題を整理

基本安全要求	安全要求(例)	セルに対する課題		解決方法
バウンダリによる放射性物質の閉じ込め	気体中の放射性物質の安全基準で許容される以上の漏えい防止	静的バウンダリによる閉じ込め	セルの気密化(扉システム、貫通部等)	既存技術に基づき概念検討を実施
			PCV-セルの接続部のシール	類似の適用事例がないため、要素試験でシール性を検証
		動的バウンダリによる閉じ込め	扉システム	既存技術(ダブルドア、エアロック等)に基づき概念検討を実施
外部被ばくに対する防護	直接放射線による過大な被ばく防止のための遮へい	外部に対するセルの遮へい		ソースターム、廃棄物の動線等を明確にして概念検討を実施
作業員の被ばく低減のための設計	遮へい、汚染・線量区分の適切な設定と被ばくを低減する遠隔保守及び動線等システム設計	作業員立ち入りエリアに対するセルの遮へい		作業員立ち入りエリアを明確にして概念検討を実施
		セルの搬入・設置、レイアウト、動線		セル内プロセスを明確にして概念検討を実施
		セル内機器、セルの保守		保守対象機器、保守の方法、保守の実施場所等を明確にして概念検討を実施 必要に応じて要素試験を計画
作業員の被ばく低減のための運転管理	被ばく低減のための運転方法、保守計画及び作業管理	セルの機能分担、レイアウト、動線		セル内プロセスを明確にして概念検討を実施
		セル内機器、セルの保守		保守対象機器、保守の方法、保守の実施場所等を明確にして概念検討を実施 必要に応じて要素試験を計画

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

a. 上アクセス、横アクセス作業セルの設置方法、原子炉建屋への負担低減と取り扱い性向上

○セル・工法検討の設計条件

セル・工法検討に関する設計条件について、インプットを整理するとともに、インプットが得られていないものについて仮定した。なお、今後得たデータは、適時更新する。

項目	No.	詳細項目	設計条件など	備考
項目No.1 放射線関連項目	1	燃料デブリの線源強度	JAEA-Data/Code 2012-018に記載されている冷却期間10年の数値を引用する。	
	2	PCV内の放射線量	1. ペDESTAL内(1~3号機共通) 100~1000Sv/h 2. ペDESTAL外(1~3号機共通) 10~100Sv/h	炉内構造物の落下と現場調査結果を考慮
	3	原子炉建屋内の放射線量	現状のエリア線量とする。	
	4	セル遮へい外表面の線量	1. 作業員の通常アクセスが無いエリア:1mSv/h以下 2. 作業員がアクセスするエリア:0.1mSv/h以下 3. システムPJと調整し、値を設定する。	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

a. 上アクセス、横アクセス作業セルの設置方法、原子炉建屋への負担低減と取り扱い性向上

○セル・工法検討の設計条件

項目	No.	詳細項目	設計条件など	備考
項目No.2 原子炉建屋建屋 及び耐震	1	地上階床面の耐荷重	1. 1号機 : X6ペネ前: 1.22ton/m ² 、マンホール前: 4.88ton/m ² 2. 2/3号機: X6ペネ前: 4.9ton/m ² 、その他: 1.22ton/m ²	
	2	地震加速度	1. 900Galの地震加速度を想定。 2. 耐震PJと調整し、値を設定する。	
	3	セルの高さ	1. 原子炉建屋内に設置するセルの高さは、原子炉建屋1階天井以下とする。 2. 各セルの高さは、必要機能により工法ごとに異なる。	
項目No.3 PCV及び ペDESTAL内 アクセス開口 サイズ	1	機器ハッチサイズ	1. 1号機: φ3.0m 2. 2/3号機: 高さ2.5m	
	2	X-6ペネ部開口サイズ	1. アクセス口として使用するかどうか、開口を拡大するかどうか工法により異なる。 2. サンプリングPJとサンプリング工事完了後の状態と引き渡し条件を調整する。	
	3	ペDESTALの 開口サイズ	1. 1号機: CRD開口: H1970mm W790mm 作業員アクセス口: H1724mm W755mm 2. 2/3号機: CRD開口: H1900mm W750mm 作業員アクセス口: H1900mm W750mm	
	4	ペDESTALの強度	1. ペDESTALは、当初の強度を保持している想定とする。 2. 内部調査によりペDESTALの健全性を確認する。	
	5	PCVの水位	1. PCV水位は、コントロール可能である。 2. PCV水位は、原子炉建屋1階床レベル以下とする。(横アクセス工法の場合)	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

a. 上アクセス、横アクセス作業セルの設置方法、原子炉建屋への負担低減と取り扱い性向上

○セル・工法検討の設計条件

項目	No.	詳細項目	設計条件など	備考
項目No.4 燃料デブリ 回収方法	1	燃料デブリの定義	1. 上部格子板以下(CRDレールを除く)は燃料デブリとする。 2. ペDESTAL外については、作業員アクセス開口から外部に流れ出たものを燃料デブリとして取り扱う。	本PJによる定義
	2	塊燃料デブリ	1. 直径10mmを超えるものを塊燃料デブリと定義する。 2. ユニット缶以上のサイズは、ユニット缶に入るサイズに加工して回収する。 3. ユニット缶サイズ以下のもので加工の必要がないものは、そのまま回収する。	
	3	粒燃料デブリ	1. 直径10mm～0.1mmの範囲を粒燃料デブリと定義する。 2. 吸引などで回収する。	
	4	粉燃料デブリ	1. 直径0.1mm未満を粉燃料デブリと定義する。 2. 吸引などで回収する。 3. システム側の水処理で回収する場合について今後調整する。	
	5	燃料デブリの臨界	再臨界管理手段については、臨界PJと調整する。	
	6	燃料デブリの回収範囲	1. ペDESTAL内は、ドレンサンプルピット深さ以上まで全域回収。 2. ペDESTAL外は、ドレンサンプルピット深さ以上まで全域回収。 3. 詳細は、調査、サンプリング結果により回収範囲を決定。	
	7	塊燃料デブリの加工方法	本報告書内、燃料デブリの切削・集塵システムの項目参照。	
	8	ユニット缶	1. φ400mm×H400mm以下とする。 2. φ200mmをベースとし、収納缶PJより提示があったサイズから工法側で選定する。	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

a. 上アクセス、横アクセス作業セルの設置方法、原子炉建屋への負担低減と取り扱い性向上

○セル・工法検討の設計条件

項目	No.	詳細項目	設計条件など	備考
項目No.4 燃料デブリ 回収方法	9	収納缶	<ol style="list-style-type: none"> φ400mm×H2000mm以下とする。 φ200mmをベースとし、収納缶PJより提示があったサイズから工法側で選定する。 	
	10	キャスク	収納缶PJとの間で、輸送キャスクの仕様を協議し、決定する。	
	11	燃料デブリの水切り乾燥	<ol style="list-style-type: none"> ユニット缶は、水切り可能な構造とする。 燃料デブリの水分調整が、収納缶PJにおいて再評価されている水素発生に対し効果が高いと判断可能な場合は、必要に応じて検討する。 形状により再臨界を管理することができないφ400mmの収納缶について、水分量を収納缶PJ、臨界PJと調整する。 	
	12	燃料デブリからの発生水素対策	<ol style="list-style-type: none"> 収納缶PJの評価結果待ち。 燃料デブリ搬送中の水素対策が必要な場合は、燃料デブリの水分調整や容器のベントなどを考慮する。 	
	13	ユニット缶の計量管理項目	保障措置にかかわる計量管理は、補助事業とは別にJAEA主体で検討されている。	
	14	収納缶の計量管理項目	<ol style="list-style-type: none"> 保障措置にかかわる計量管理は、補助事業とは別にJAEA主体で検討されている。 一般的な容器全体の質量測定は、実施する。 	
	15	キャスクの搬出前検査及び計量管理項目	保障措置にかかわる計量管理は、補助事業とは別にJAEA主体で検討されている。	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

a. 上アクセス、横アクセス作業セルの設置方法、原子炉建屋への負担低減と取り扱い性向上

○セル・工法検討の設計条件

項目	No.	詳細項目	設計条件など	備考
項目No.5 干渉物及び 廃棄物の回収	1	干渉物の定義	燃料デブリを取り出すために撤去が必要となるものを干渉物とする。	
	2	干渉物の放射線量	1000Sv/h以下とする。	
	3	燃料デブリと廃棄物の 識別	燃料デブリと廃棄物の識別は、他PJで検討中。	
	4	干渉物の撤去の順序	工法により撤去対象物および撤去範囲が異なる。	
	5	廃棄物の回収容器	1. 容器は、水切り可能なものとする。 2. 容器の大きさは、PCV開口以下とする。	
	6	廃棄物回収用コンテナ	詳細は、廃棄物PJで検討する。	
	7	干渉物の加工・ 切断方法	工法により撤去対象物および撤去範囲が異なるため、それぞれに適した加工・切断方法を検討する。	
	8	廃棄物の搬出の しきい値	1. 搬出前に廃棄物回収用コンテナの放射線量などを検査する。 2. しきい値は、廃棄物PJで検討する。	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

a. 上アクセス、横アクセス作業セルの設置方法、原子炉建屋への負担低減と取り扱い性向上

○セル・工法検討の設計条件

項目	No.	詳細項目	設計条件など	備考
項目No.6 アクセス装置の運用・メンテナンス	1	アクセス装置の搬入/搬出	1. バウンダリを維持しながら搬入/搬出を行う。 2. 装置は、工法ごとに異なる。	
	2	アクセス装置へのユーティリティ供給	1. 各工法により、必要となるユーティリティが異なる。 2. アクセス装置の駆動源は、油圧、水圧、電動など工法ごとに異なる。	
	3	アクセス装置のメンテナンス	1. カメラ交換などのライトメンテナンスは、原子炉建屋内において遠隔作業で実施する。 2. メンテナンス項目は、工法ごとに異なる。	
	4	カメラの交換	カメラの耐放射線性は、100kGyとする。	
	5	アクセス装置の交換頻度	アクセス装置の耐放射線性は、1MGyを目標とする。	
	6	アクセス装置の非常回収	1. 故障しても回収可能なよう検討する。 2. 非常回収手段は工法ごとに異なる。	
	7	先端ツールの交換	先端ツールの交換方法は、工法ごとに異なる。	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

a. 上アクセス、横アクセス作業セルの設置方法、原子炉建屋への負担低減と取り扱い性向上

○セル・工法検討の設計条件

項目	No.	詳細項目	設計条件など	備考
項目No.7 セルの運用・ メンテナンス	1	燃料デブリの回収速度	300kg/日以上を目標とする。	
	2	セルの汚染区分	高汚染エリア、中汚染エリア、低汚染エリアの3つのエリアに分ける。	
	3	セル内の負圧管理	1. 二次バウンダリは、-64PaG程度とする。(大気との差圧) 2. 一次バウンダリは、セルの区分ごとに100PaG程度の差圧を設ける。	
	4	セル内の換気	1. 水素発生などの対策としてセルの換気を実施する。 2. 窒素の活用については、システム側と検討する。	
	5	セルの運転・ メンテナンス	1. セル内の運転・メンテナンスは、原則として遠隔作業で実施する。 2. 非常時において、遠隔作業で対応できない場合に限り、作業員による作業を考慮する。	
	6	セルの配置	1. 原子炉建屋外に増設建屋を設置する。 2. 原子炉建屋内配置、原子炉建屋外配置は、工法ごとに異なる。	
	7	セル内の監視方法	セル内の温度、圧力、放射線量、中性子量、水素濃度、酸素濃度等を監視し、併せてカメラ等によりセル内を俯瞰的に監視する。	
	8	燃料デブリ及び 廃棄物の搬送	1. 汚染拡大防止手段を講じて搬送する。 2. 搬送手段は、最終的にはキャスクで搬送する。	
	9	セルの据付方法	セルの据え付け方法は、工法ごとに異なる。	
	10	セルとPCVの接続	1. 汚染拡大防止や閉じ込めを考慮した接続とする。 2. 接続方法と手段は、工法ごとに異なる。	
	11	セル内の除染方法	1. 具体的な除染方法について検討する。 2. 除染方法と手段は、工法ごとに異なる。	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

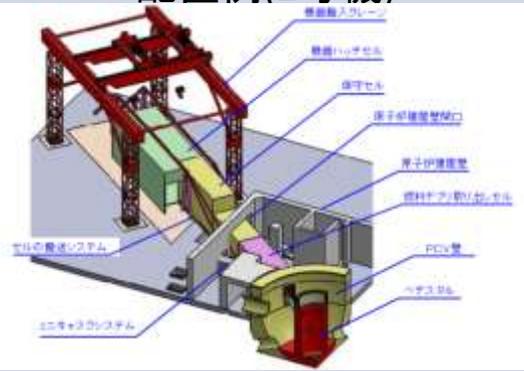
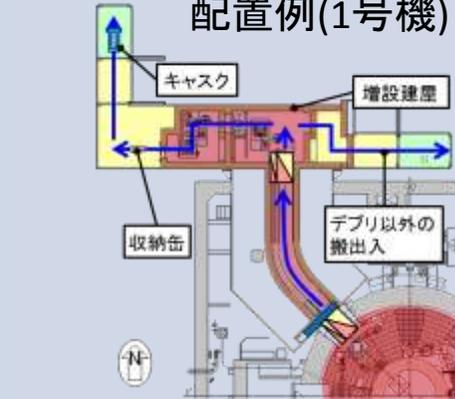
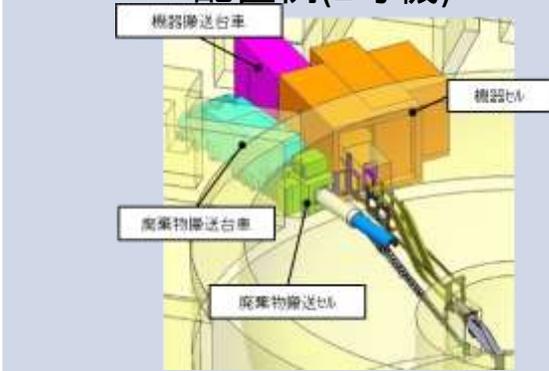
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

a. 上アクセス、横アクセス作業セルの設置方法、原子炉建屋への負担低減と取り扱い性向上

○原子炉建屋への負担軽減に関する検討

- 原子炉建屋への負担を軽減するため、床荷重制限に対する対応について検討した。

PLAN-A			PLAN-B			PLAN-C		
<p>配置例(2号機)</p> 			<p>配置例(1号機)</p> 			<p>配置例(2号機)</p> 		
原子炉建屋内セル重量	床荷重	床荷重許容量	原子炉建屋内セル重量	床荷重	床荷重許容量	原子炉建屋内セル重量	床荷重	床荷重許容量
軽量化について一部を検討	4.9 ton/m ² 以下	4.9 ton/m ²	800 ton	0 ton/m ²	4.88 ton/m ²	軽量化について一部を検討	7 ton/m ² 以下	4.9 ton/m ²
<ul style="list-style-type: none"> セルを直線的に配置し、比較的大きな開口を原子炉建屋の外壁に開けることを想定。 セルは搬送レーンにて原子炉建屋外部より搬入・設置する。 原子炉建屋の健全性を維持するために開口部の補強を検討する。(原子炉建屋への負荷が比較的大きい) 吊り橋方式により、外部に荷重を逃がすことにより床荷重の低減について一部を検討した。 BSWと原子炉建屋外部の支持点でセルの荷重を支える方式。 			<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋外の増設建屋とPCVをアクセストンネルで接続する工法を検討した。 アクセストンネルの荷重は、原子炉建屋壁とBSWで両端支持とし、原子炉建屋1階床への荷重はないものとして検討した。 			<ul style="list-style-type: none"> セル、搬送台車等は、原子炉建屋1階フロア内に配置。 装置メンテや、燃料デブリは、搬送台車により、外部の増設建屋に移送。 機器セルや搬送台車は、大梁上に配置することで、床荷重許容値の上積みを確認する。さらに敷鉄板等により、荷重分散を行い、床荷重を低減する方法の一部を検討した。 		

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

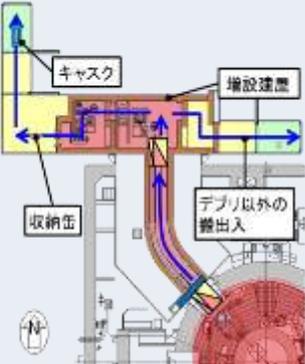
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

a. 上アクセス、横アクセス作業セルの設置方法、原子炉建屋への負担低減と取り扱い性向上

○原子炉建屋への負担軽減に関する検討

- 床荷重制限に対する対応方針を策定し、課題を抽出した。

No.	セル設置ケース	原子炉建屋内準備方針				セル設置に関する 対応方針	課題	備考
		壁	壁補強	柱	PCV			
1	原子炉建屋壁を開口し柱を撤去しない工法(PLAN-B) 	撤去	—	—	既存の開口利用	<ol style="list-style-type: none"> 原子炉建屋1階に配置されると想定するシステム側装置のため、原子炉建屋1階にかかる荷重を可能な限り軽減する。 作業員の被ばく低減を考慮し、増設建屋側よりアクセストンネルを片持ちでPCVまで送り出す。 設置工事時は、原子炉建屋1階床に荷重をかけない。 アクセストンネル設置完了後は、原子炉建屋壁とBSWで両端支持とし、原子炉建屋1階床に荷重をかけない。 	<ol style="list-style-type: none"> アクセストンネル送り出しにかかわる狭隘部ハンドリングの実現性。 PCVとの接続位置まで送り出す精度の実現性。 重量物のハンドリング実現性。 アクセストンネルとPCVのシール方法実現性。 	
2	原子炉建屋壁を開口し補強を行う工法(PLAN-A)	撤去	あり	—	新規開口設置	詳細について一部を検討		
3	原子炉建屋壁を開口しない工法(PLAN-C)	—	—	—	新規開口設置			

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

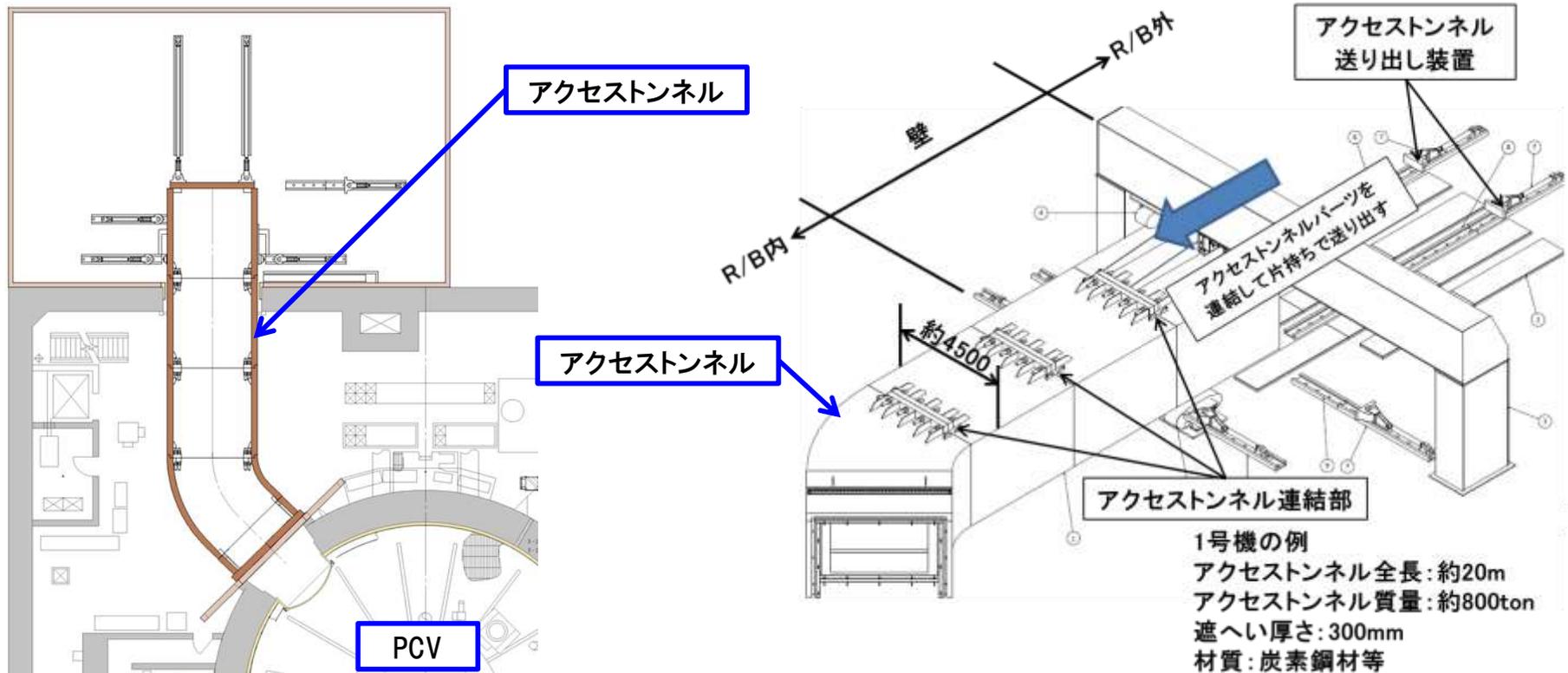
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

a. 上アクセス、横アクセス作業セルの設置方法、原子炉建屋への負担低減と取り扱い性向上

○原子炉建屋への負担軽減に関する検討

- 課題に対し、セル(アクセストンネル)の構造を具体化した。また、燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化事業において、概念検討結果の実現性を確認するため、要素試験を実施した。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

a. 上アクセス、横アクセス作業セルの設置方法、原子炉建屋への負担低減と取り扱い性向上

○ 建屋側の検討

建屋の検討は、事業者および建築側とも調整して進めていくこととする。

- 上アクセス工法と横アクセス工法の組合せによる燃料デブリ取り出し工事を想定し、設置される設備の原子炉建屋耐震性への影響概略評価を検討中。
- 原子炉建屋の耐震性に対する原子炉建屋の壁開口及びPCV開口の影響の評価を検討した。
- 床面荷重許容値を考慮した、燃料デブリ取り出しセルの設置・固定方法を検討した。
- 原子炉建屋の健全性を考慮した燃料デブリ取り出しセルの据付手順を検討した。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

①作業セルに関する要素技術開発

b. PCVとのセルとのシール方法の検討

● セルアダプタ設計の主な仕様

溶接方法	TIG片側隅肉溶接
開先	なし(トーチのアクセス性を考慮)
主要材料	SM490B(溶接部)、SUS316等
機能	負圧維持可能な気密性の確保
検査	[溶接前]隙間確認、[溶接後]外観、耐圧・漏えい試験
その他	・地震変位はベローズで吸収(水平・鉛直各20mmを想定) ・ベローズ(薄板)は冗長性の観点から二重化を指向

● 溶接によるシールにおける課題等

➤ H28に溶接試験(部分モデル)を実施し、実現の見通しを得ている。

①今後の課題等

溶接データ拡充(溶接要領及び装置の見直し、溶接補修方法、TIG溶接でまれに生じるスケールの手入れ、仮付け方法等)

PCV表面塗装・錆除去方法の選定及び確認

開先合せ方法(表面計測に基づく開先加工から開先合せまでの遠隔操作)

金属二重ベローズ(薄板)の製作性(冗長性確保、代替手段についてもあれば検討)

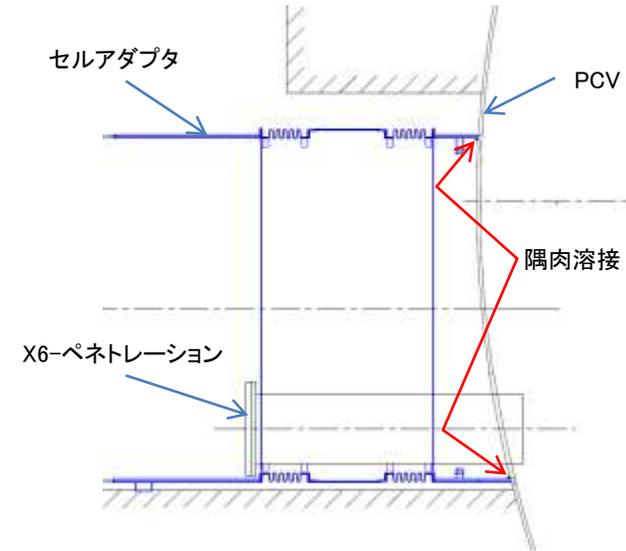
PCV材料の健全性確認(1号機。遠隔操作による硬さ測定による推定、PCV開口後の材料による検証等。)

②溶接施工データ拡充(規制当局との議論等で必要に応じ追加実施)

③実機形状(フルサイズ)による工法検証(施工要領、仮付け方法、変形量(部分モデルでは模擬できない)の検証)

④溶接士トレーニング

[補足]②及び③では遠隔溶接の技量向上及び溶接士の絞り込みも兼ねて行い、④では絞り込んだ溶接士のトレーニングを行う。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

● シール方法の比較

○:長所等, ▲課題(試験で確認した課題), ●短所又は課題

比較項目		インフレートシール(EPDM)	溶接
特徴	シール性	○現場の被シール面の凹凸になじんでシールする ●遠隔での定期的なシール交換作業が発生	○恒久的にシールする ●遠隔での溶接作業の難易度が高い
施工作業性	(遠隔含む)作業難易度	○不確かな被シール面への適用性が比較的良好 ▲遠隔作業の難易度は高いため、遠隔操作による実機サイズのシール作業の試験を実施した	○遠隔溶接の難易度は高いため、遠隔操作による部分モデルの溶接試験(開先ギャップ、三次元曲面)を実施し、適用可能の見通し得ている ●PCV表面計測を開先加工に反映することで凹凸に追従させる工法、遠隔作業による開先合わせの工法の確立が必要 ●溶接補修方法、TIG溶接でまれに生じるスケールの手入れの確立が必要 ●仮付け方法、溶接歪の影響確認を含むフルサイズでの検証が必要
	確認・検査	▲試験で確認した	○外観及び漏えい確認
保守作業性	保守・交換	▲定期的に交換。遠隔作業の難易度は高いため、シール面の手入、代替バウンダリの確保、及びシール交換作業の試験を実施した	○基本的に監視のみ
異常時/ 事故時対応	シール部の劣化	○放射線劣化するため定期交換する ○地震等による相対変位は柔軟性で追従、慣性力は無視できる	○地震等の相対変位および慣性力は、ベローズにより追従 ○炭素鋼は腐食代を予め考慮するため、発生可能性が低い
	異常の検出	○シール内圧の監視によりシール材の劣化を検知 ●シール性能はバウンダリ圧力により間接的に監視	●シール性能はバウンダリ圧力により間接的に監視
	復旧	▲シール交換と同じ手順となる。実機作業の試験を実施した	●シール材吹付け等で対応可能だが、燃料デブリ取り出し装置等の干渉回避必要
廃棄物	廃材発生	●交換により廃材発生	○基本的にはなし
適用実績	原子力関連施設等	○再処理施設のセルのバウンダリ構成物として一般的に使用 ●遠隔交換は小型シールのみ大型シールはない	○溶接によるバウンダリは一般的 ●遠隔作業の開先合わせ、仮付、本溶接は難易度が高い

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

● 開発の概要

作業全景写真



遮へい扉模擬体

BSW模擬体

ドライウェルマニピュレータ

PCV模擬体

※主要な試験は
暗幕環境下で実施

遠隔操作卓

マニピュレータ操作卓

- ✓ BSW開口試験で得られた模擬開口に対して、バリ取りや型枠-コンクリート間の隙間部のシール処置などのインフレートシール設置準備作業を実施する。
- ✓ ドライウェルマニピュレータを用いた遠隔操作により、搬送用プレートの設置・撤去作業を実施する。
- ✓ ドライウェルマニピュレータを用いた遠隔操作により、シールの設置・交換作業を実施する。試験を通じて作業手順およびアーム位置データを確立し、カメラ画像にて適切にシールが設置されていることを確認する。
- ✓ (シール面の状態を変化させながら)シール性
- ✓ (気密度)の確認を行う。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

● 開発の概要

単体試験通過条件:インフレートシールのバウンダリとしての適用性が評価されていること。適用性があると判断される場合は、インフレートシールによるシール性の要素試験が実施されていること。

組合せ試験通過条件:インフレートシールの遠隔交換にかかわる要素試験が実施され、遠隔交換の実現性が確認できていること。

凡例:

- ◎ 試験の目的を達成した
- △ 試験にて一部課題残る
- ▲ 試験にて目的達成できず
- 試験実施せず

フェーズ	試験目的(確認項目)	単体試験	組合せ試験	備考
①シール設置前準備作業				
設置面表面処理	BSW-PCV間の異物・BSW型枠のバリ・反りの除去方法について、遠隔作業のためのデータを取得する。	—	◎	人手で実施
コーキング	BSW型枠-コンクリート間隙間部分をコーキング材等で埋め、遠隔作業のためのデータを取得する。	—	◎	人手で実施
②シール設置				
インフレートシールの設置/交換	ドライウェルマニピュレータを用いた遠隔操作により、インフレートシールの搬送・設置および交換することができる。	—	◎※	-
	インフレートシールがBSW-PCV間のギャップの内側に挿入され、BSW開口の正常な位置に、捻じれ等なく設置できたことを目視確認する。	—	◎	-
	設置後に目標のシール性能を有することを確認できる。	—	◎	-
③シール性				
通常運転時のシール性	曲面・ガイド溝なし・余盛/型枠段差ありの条件でシールできる。	◎	◎	-
シールの給圧喪失時のシール性	内圧がなくなっても、シールの弾力性でシール性を維持する。	◎	◎	-

※BSW-PCV間のギャップが設計範囲内の箇所は遠隔操作にて挿入可能なことを確認したが、ギャップが設計値より狭い(44mm未満)箇所では、設置困難であった。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

- 開発の概要 試験の実施によって得られた知見 ①シール設置前準備作業

検証項目	データ	備考
設置面表面処理 (ブラシなど)	人手作業にて、バリ取り、フラップホイールによる設置表面の清掃を行った。作業手順の雛形を把握し、当該作業がマニピュレータを用いた遠隔操作により実施可能な見通しを得た。	
コーキング	人手作業にて、BSW型枠の浮き上がり部、BSW型枠の継ぎ目部にコーキング材を塗布した。作業手順の雛形を把握し、当該作業がマニピュレータを用いた遠隔操作により実施可能な見通しを得た。	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

- 開発の概要 試験の実施によって得られた知見 ②シール設置 (1 / 2)

検証項目	データ	備考
共通	<ul style="list-style-type: none"> ・今回使用したドライウェルマニピュレータおよび俯瞰カメラにより、一連のシール搬送、設置、交換に関する遠隔作業が実施可能であることを確認した。 ・実環境を模擬した試験設備にて、一連の遠隔作業において最適なカメラ / 照明の配置データを取得した。 ・運転時間は、日を重ねるごとに習熟し、より短時間で実施可能であったことから、実機ではさらなる習熟を重ねればさらに短時間で実施可能となる見通しである 	
搬送用プレートの搬入	<ul style="list-style-type: none"> ・ドライウェルマニピュレータを用いた遠隔操作により、搬送用プレートが搬入 / 設置可能であることを確認した。 ・実機想定時間: 3h 	搬送用プレートをマニピュレータに装着した状態⇒PCV壁に設置するまでの時間
インフレートシールの設置	<ul style="list-style-type: none"> ・ドライウェルマニピュレータを用いた遠隔操作により、インフレートシールがBSW-PCV間の所定の位置に設置できることを確認した。ただし、ギャップが設計値より狭かった箇所については設置困難であった。 ・インフレートシールを設置可能な作業手順および確認項目を確立し、各手順におけるアーム位置データを取得した。 ・実機想定時間: 42h 	<p>試験ではギャップが狭かったおよそ1/3のエリアについてシール設置困難だったため、実際に実施した2/3のエリアでの実績から全体の時間を算出。</p> <p>マニピュレータ先端ツールの交換⇒インフレートシールをBSW-PCV間のギャップへ挿入完了までの時間</p>

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

● 開発の概要 試験の実施によって得られた知見 ②シール設置 (2 / 2)

検証項目	データ	備考
インフレートシールの撤去	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔操作にてインフレートシールを撤去し、機器セルまで搬出可能であることを確認した。 ・実機想定時間:4h 	試験実績:4h インフレートシールを撤去し、機器セルまでシールを搬出するまでの時間
搬送用プレートの搬出	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔操作にて搬送用プレートとマニピュレータを接続し、機器セルまで搬出可能であることを確認した。 ・実機想定時間:3.5h 	試験実績:3.5h 搬送用プレートがPCV上に設置された状態から、マニピュレータに接続し機器セル内に仮設置するまでの時間
設置位置・ねじれ	<ul style="list-style-type: none"> ・インフレートシールが適切に設置され、ねじれが無いことを、カメラにて視認できることを確認した。 	

③シール性

検証項目	データ	備考
気密試験① マニピュレータで設置(通常時)	リーク量:1.5m ³ /h (合格基準:40m ³ /h) リーク量は合格基準を満たす。	空間圧力:300Pa インフレートシール圧力:0.08MPa
気密試験② マニピュレータで設置(給圧喪失時)	リーク量:6.3m ³ /h (合格基準:40m ³ /h) 供給圧喪失時でも合格基準を満たす。	空間圧力:300Pa インフレートシール圧力:0MPa
気密試験② 手で設置(コーキングなし)	リーク量:3.6m ³ /h (合格基準:40m ³ /h) BSW型枠部のコーキングなしでも合格基準を満たす。	空間圧力:300Pa インフレートシール圧力:0.08MPa

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

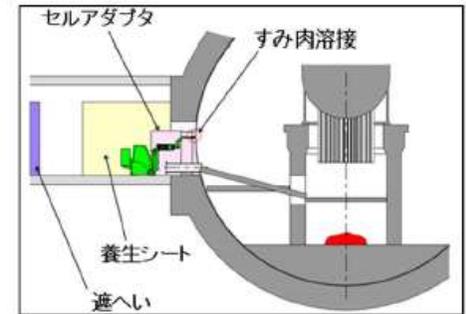
b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

● 開発の目的

- 安全要求の中でも最上位の要求である「放射性物質の閉じ込め」のためのバウンダリの構築手法のひとつである、PCVとセルとの間の気密性向上(シール)の方法・技術を確立する。
- 遠隔による、シールの設置・交換の方法・技術を確立する。
 - ✓ 閉じ込めバウンダリの構築の検討については以下の項目も挙げられる。
 - ・ 既存の1次バウンダリ(PCV等)の気密性向上 → 工法・システムPJで検討
 - ・ 新設する1次バウンダリ(セル等)気密設計 → 本PJで検討
 - ・ 1次バウンダリ内の負圧管理 → 工法・システムPJで検討
 - ✓ PCVとセルとの間のシール方法として、先行して以下を検討している。
 - ・ 溶接によるシール(右図)

長期間に渡って高い信頼性が期待できるが、施工管理が難しく、施工条件(ギャップ等)にも制約がある
→ 前年度までに要素試験で遠隔溶接の成立見込みを確認
 - ・ シール材(有機シール材等)によるシール

溶接に比べて施工性がよく、適用範囲も広いが、定期的な交換が必須(PCV内部調査のように短期間の作業(交換なし)では実績あり)



● 解決すべき課題

- シール材によるシールについて、長期間の運用も含めて燃料デブリ取り出しの作業セルとPCVとの間のシールへの適用性を検証する必要がある。
- シール材の遠隔による設置・交換の成立性・安全性を検証する必要がある。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(1) シール方法とシール性能

(a) 要求機能を達成するための手段

- PCV、セル、及びPCVとセルの接続部(シール部)で構成されるバウンダリを構築
- バウンダリ内を負圧管理することで許容される以上の放射性物質の漏えいを防止
- シール部の構成手段として以下を考慮

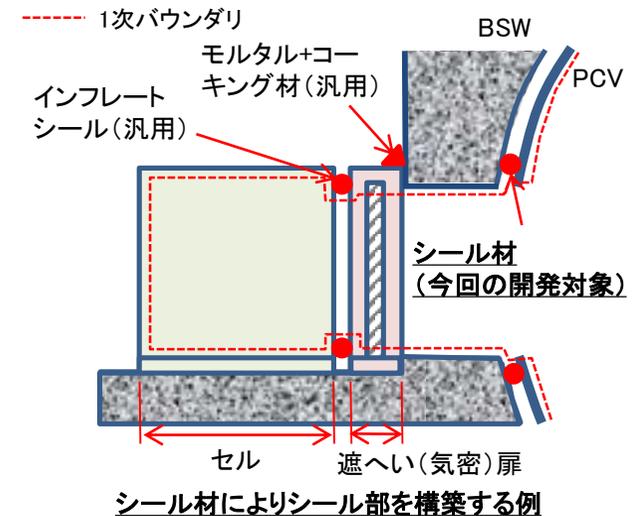
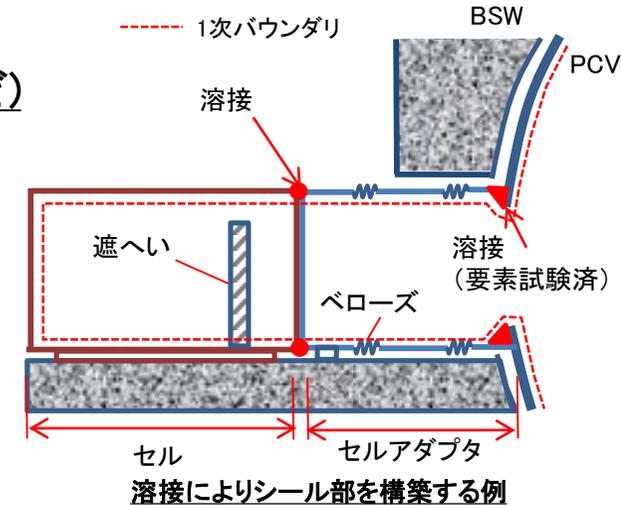
➢ 溶接によりシール部を構築

- ・ 長期間に渡って高い信頼性が期待できる
- ・ 施工管理が難しく、施工条件(ギャップ等)にも制約がある
⇒前年度までに要素試験で遠隔溶接によるシール部構築の成立見込みを確認

➢ シール材によりシール部を構築

- ・ 溶接に比べて施工が容易で、適用範囲が広い
- ・ 定期的な交換が必須であり、長期的な運用に課題
⇒**本技術開発で交換の成立性を確認した**

溶接、シール材の双方に課題が残るため、現段階で二者択一を行わず、並行して開発。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

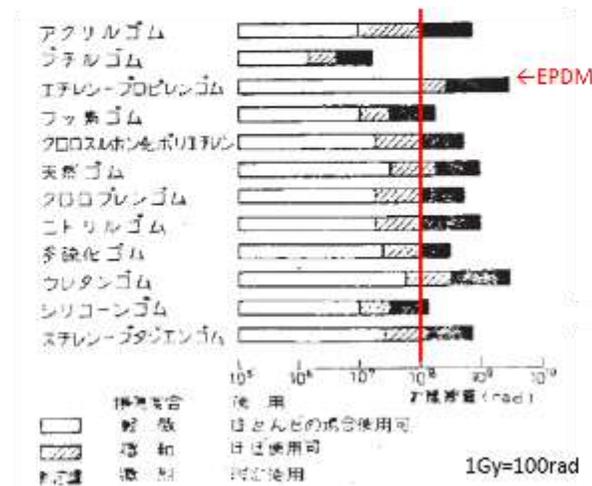
(1) シール方法とシール性能

(b) インフレートシールの材質の選定・評価

シール材料は、EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer: 一般呼称はエチレン-プロピレンゴム)を選定した。EPDMは、原子力施設で実績がある材料であり耐放射線性が高く、耐熱性や耐熱水性等のバランスのよい材料である。ウレタンゴムもEPDMと同等の耐放射線性を有するが、耐熱性、耐熱水性においてEPDMに劣る。EPDMは10⁶[Gy]程度まで耐放射線性を有するとのデータがあり、100Sv/hの環境では、約1年2ヶ月の耐久性となる。

	エチレン・プロピレン ゴム (EPDM)	ウレタンゴム	フッ素ゴム	シリコンゴム
シール性	○ 一般にシール材として広く使用されている材料である。耐熱水性に優れている。	× 一般にシール材として広く使用されている材料である。しかし、耐熱性、耐水性、耐湿性は低い。	○ 一般にシール材として広く使用されている材料である。耐熱水性に優れている。	× 一般にシール材として広く使用されている材料である。しかし、耐ガス透過性に劣る。
加工性	○ 一般に広く使用されている材料であり加工性に優れている。	○ 一般に広く使用されている材料であり加工性に優れている。	○ 一般に広く使用されている材料であり加工性に優れている。	○ 一般に広く使用されている材料であり加工性に優れている。
実績	◎ 放射線環境下で広く使用されており実績がある。	× 原子力施設での使用は比較的少ない。	○ 放射線環境下で使用されており実績がある。	◎ 原子力施設で広く使用されており実績がある。
耐放射線性	◎ 他のゴム材料と比較して耐放射線性に優れている。	◎ 他のゴム材料と比較して耐放射線性に優れている。	△ EPDM、ウレタンゴムよりは劣る。	△ EPDM、ウレタンゴムよりは劣る。
総合評価	◎	×	△	×

◎優、○良、△可



「原子力産業に要求される高分子材料」日本原子力研究所 から引用
<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JAERI-M-9412.pdf>

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(1) シール方法とシール性能

(c) シール断面形状の選定

断面形状は下表の評価により、矩形と菱形のインフレートシールに絞り込んだ。
シールの断面形状は、異常時の自立性、シール性を重視し、菱形断面に軸足を置いて検討を進める。

評価項目		断面形状評価			
		矩形	菱形	山型	リップ式
シール性	BSW-PCVのすき間 (幅 約50mm、三次元球面)	○	○	○	△柔軟性、追従性が少ない
	熱膨張時、地震時の 相対変位の吸収	○	○	○	△柔軟性、追従性が少ない
	PCVの溶接線凹凸との交差	△漏れが生じる。	△漏れが生じる。	×接触面が狭いため漏れる。	×接触面が狭いため漏れる。
ハンドリング性	遠隔装置でのハンドリング (搬入・据付・交換)	○	○内部を負圧にして挿入	×折りたたみ性 △挿入抵抗	△リップの引っかかり
異常時の考慮	異常時の考慮 (チューブエア圧が抜けた時)	△位置は保持できない。 △接面圧力が立たないため 漏れが生じる。	○位置を保持できる。 △接面圧力があるため、 漏れ抑制を期待できる。	○位置を保持できる。 △接面圧力があるため、 漏れ抑制を期待できる。	○位置を保持できる。 △接面圧力があるため、 漏れ抑制を期待できる。
総合評価		△	○	×	×

○: 良い
△: 悪い
×: 実現性低

6. 本事業の実施内容

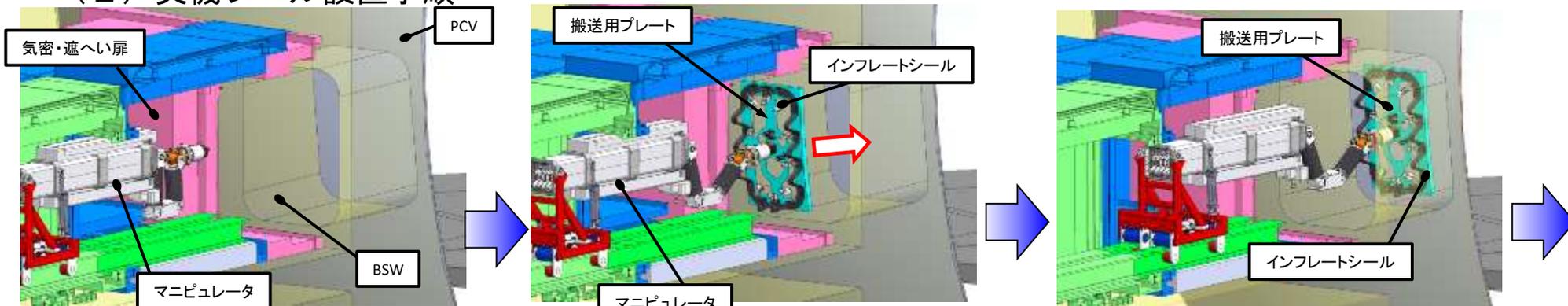
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

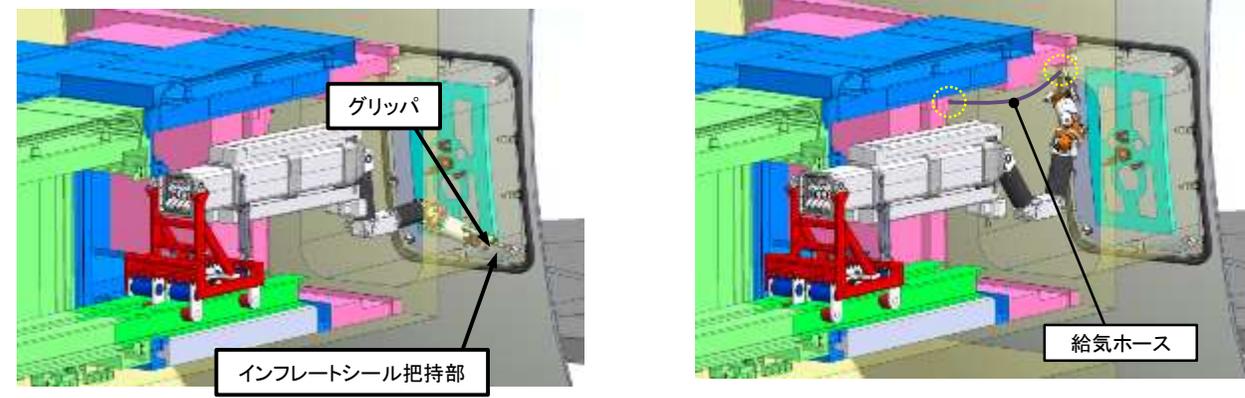
(2) 実機シール設置手順



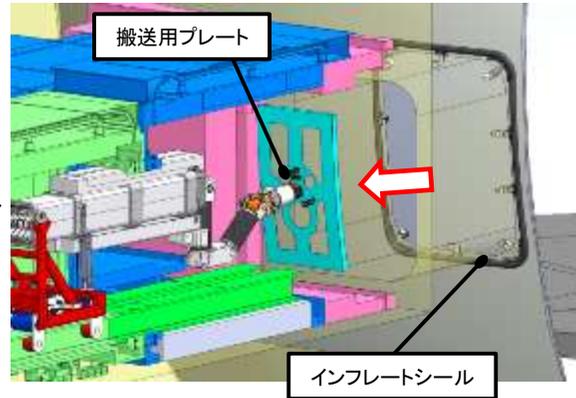
<ステップ1: 設置準備>
・BSW開口、マニピュレータの搬入・設置を完了させ、インフレートシールの設置が可能な状態とする。

<ステップ2: インフレートシールの搬送>
・インフレートシールを固定された搬送用プレートをマニピュレータにて搬送する。

<ステップ3: 搬送用プレートの設置>
・搬送用プレートをPCV表面に設置する。搬送用プレートの表面に取付けたマグネットにてPCV表面と固定する。



<ステップ4: インフレートシールの設置>
・インフレートシールに予め取り付けられた把持部を一つずつグリッパにより把持して、所定の位置に移動させる。
・給気ホースを接続してインフレートシールに空気を注入し、気密確認を行う。



<ステップ5: 搬送用プレートの搬出>
・マニピュレータを使用し、搬送用プレートを搬出する。

6. 本事業の実施内容

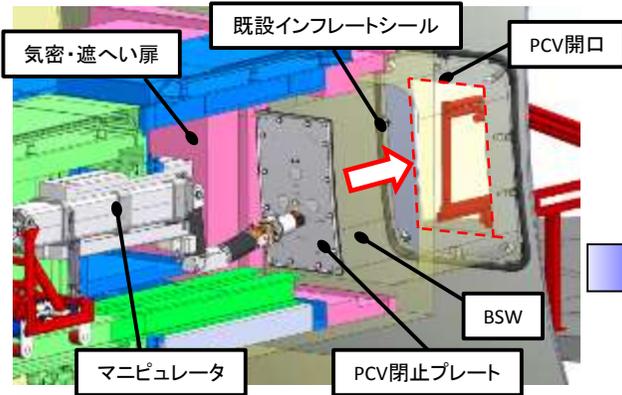
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

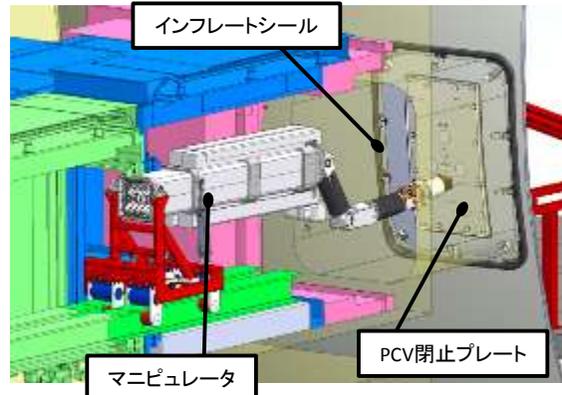
① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

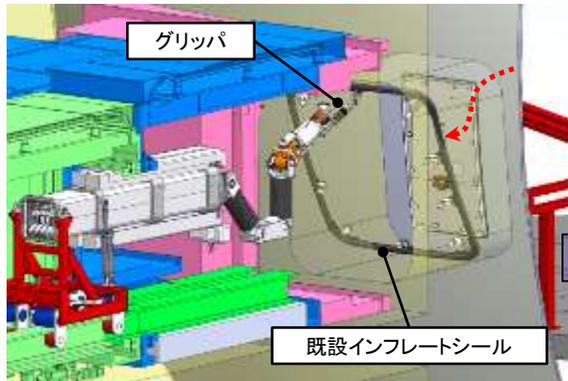
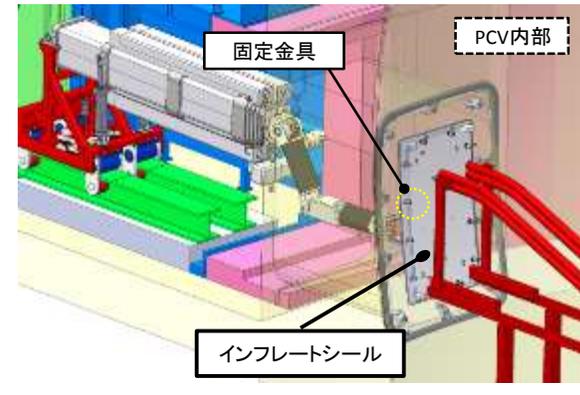
(2) 実機シール設置手順



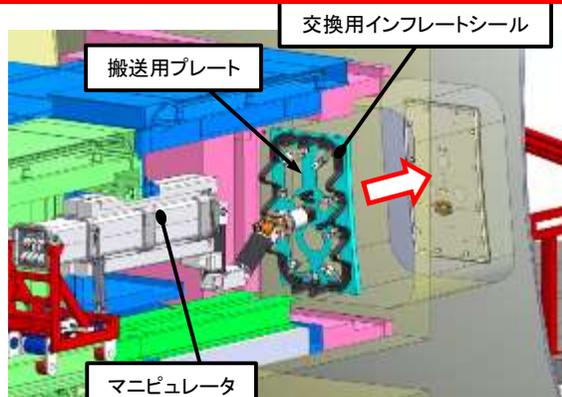
<ステップ1: PCV閉止プレートの搬送>
・PCV閉止プレートをマニピュレータにて搬送する。



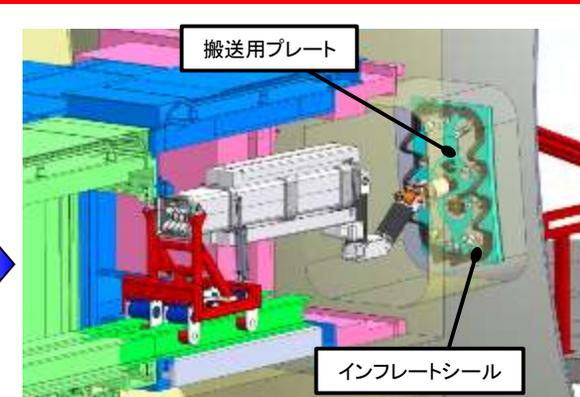
<ステップ2: PCV閉止プレートの固定>
・PCV閉止プレートをPCV開口部に設置する。
・シール機構部のシリンダを動作させ、PCVとシール機構部を固定し、PCV開口部をシールする。



<ステップ3: 設置準備>
・既設インフレートシールを所定の位置から取外し、撤去する。



<ステップ3: インフレートシールの搬送>
・インフレートシールが固定された搬送用プレートをマニピュレータにて搬送する。



<ステップ4: 搬送用プレートの設置>
・搬送用プレートの裏面に取付けたマグネットにてPCV閉止プレートへ設置する。

6. 本事業の実施内容

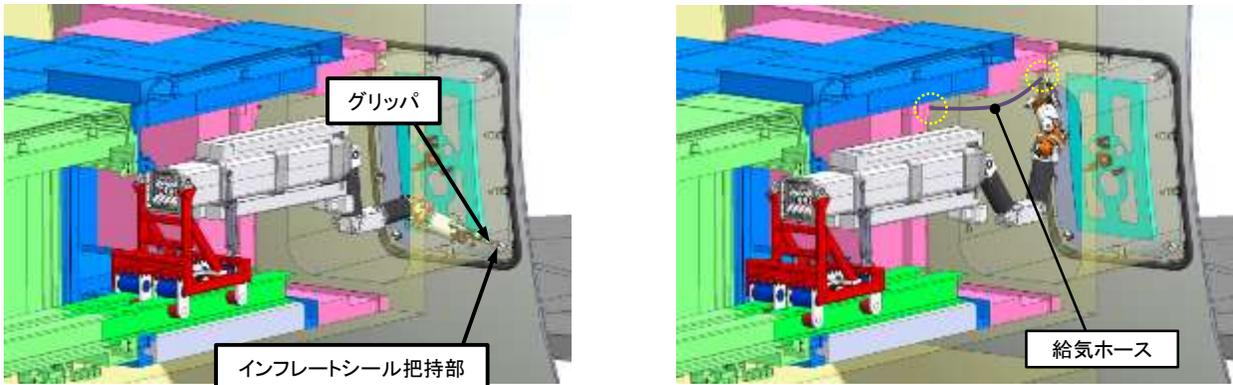
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(2) 実機シール設置手順



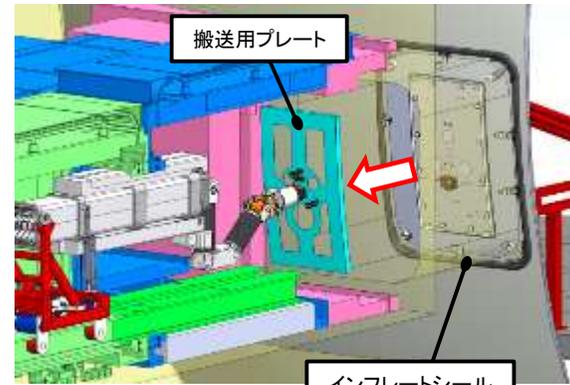
グリッパ

インフレートシール把持部

給気ホース

<ステップ5: インフレートシールの設置>

- ・インフレートシールに予め取り付けられた把持部を一つずつグリッパにより把持して、所定の位置に移動させる。
- ・給気ホースを接続してインフレートシールに空気を注入する。



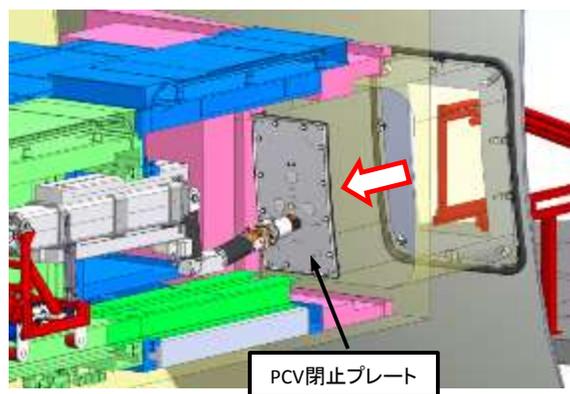
搬送用プレート

インフレートシール

<ステップ6: 搬送用プレートの搬出>

- ・マニピュレータを使用し、搬送用プレートを搬出する。

インフレートシール搬送・設置と同様



PCV閉止プレート

<ステップ7: PCV閉止プレートの搬出>

- ・マニピュレータを使用し、PCV閉止プレートを搬出する。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(3) シールに係る基本要件仕様の整理

[1] 基本要件

- バウンダリによる放射性物質の閉じ込め
- シール部に対する要求条件(目標値)
 - 差圧:-100Paに対する漏えい量:40m³/h以下※
 - 設計差圧:500Paに対してシール部が健全であること。
 - シール部の異常を検知できること。
 - 保守時にも1次バウンダリの負圧(通常運転差圧)を維持できること。

※:ガス管理システムの風量を3000m³/hとし、このうち、1000m³/hは再循環、1000m³/hはセル内の換気に割り当てられ、残りの1000m³/hがバウンダリの負圧維持に寄与すると仮定しPCVとセルの表面積比で割り振った値にマージンを見込んで設定。

- 作業員の被ばく低減
 - 要求機能を達成するための手段: 完全遠隔作業を計画
 - シール部に対する要求条件: 遠隔操作によりシール部の据付/交換ができること。

[2] 環境条件

- 線量率:(原子炉建屋1階):5~10mSv/h、(PCVシェル外壁付近):10~100Sv/h
- 温度:-7~40℃
- 湿度: バウンダリ外:外気と同程度、バウンダリ内:≤99%
- 設計寿命:50年(ただし消耗品は保守時に交換可能であること。)
- BSW-PCVのギャップ幅は最大50mm(公称値44mm(+6mm/-0mm))
- BSWおよびPCVは三次元球面(SR=10m)
- 熱膨張と地震時の相対変位の和は±5mmと仮定
- PCV外表面上に高さ3mm、幅20mmの溶接線を想定

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(4) シールに係る確認項目の整理

◆ 単体試験通過条件：シール性の要素試験によりインフレートシールのバウンダリとしての適用性が評価されていること。

◆ 組合せ試験通過条件：インフレートシールの遠隔交換試験により、遠隔交換の実現性が確認できていること。

凡例：

◎ 試験の目的を達成した

フェーズ	試験目的(確認項目)	単体試験	組合せ試験	備考
①シール設置前準備作業				
設置面表面処理	BSW-PCV間の異物・BSW型枠のバリ・反りの除去方法について、遠隔作業のためのデータを取得する。	—	◎	人手で実施
コーキング	BSW型枠-コンクリート間隙間部分をコーキング材等で埋め、遠隔作業のためのデータを取得する。	—	◎	人手で実施
②シール設置				
インフレートシールの設置/交換	ドライウェルマニピュレータを用いた遠隔操作により、インフレートシールの搬送・設置および交換することができる。	—	◎	ギャップ幅[mm] 公称： 50～44 試験範囲：54～39 挿入可能範囲 人手 : 54～39 遠隔 : 54～44
	インフレートシールがBSW-PCV間のギャップの内側に挿入され、BSW開口の正常な位置に、捻じれ等なく設置できたことを目視確認する。	—	◎	
	設置後に目標のシール性能を有することを確認できる。	—	◎	
③シール性				
通常運転時のシール性	曲面・ガイド溝なし・余盛/型枠段差ありの条件でシールできる。	◎	◎	リーク量規格 <40m ³
シールの給圧喪失時のシール性	内圧がなくなっても、シールの弾力性でシール性を維持する。	◎	◎	リーク量規格 <40m ³

6. 本事業の実施内容

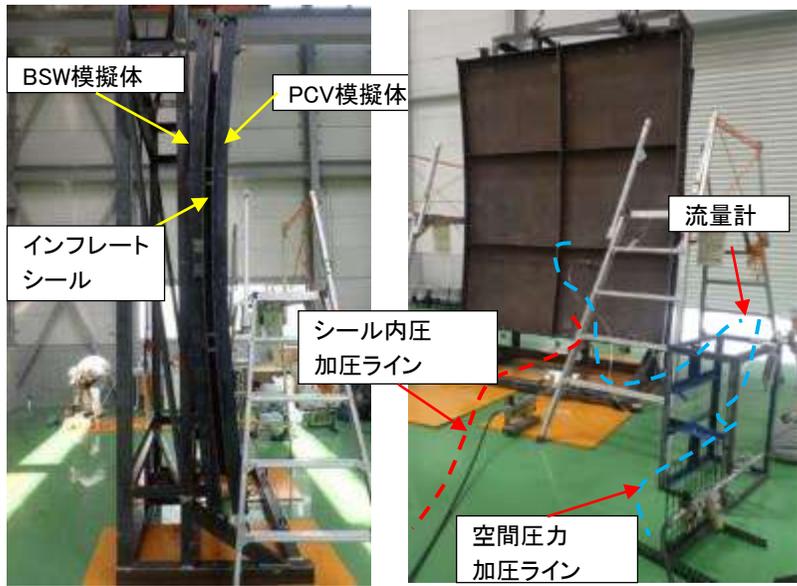
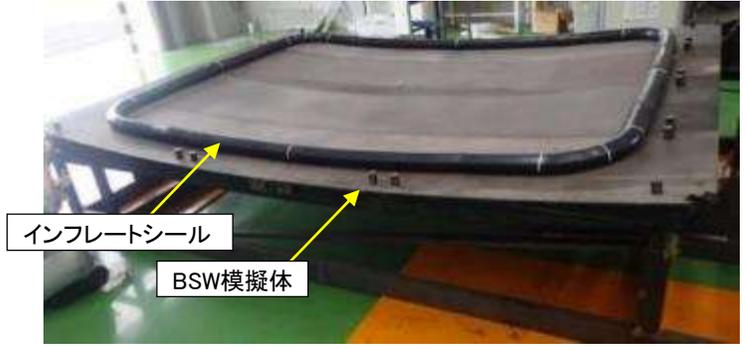
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

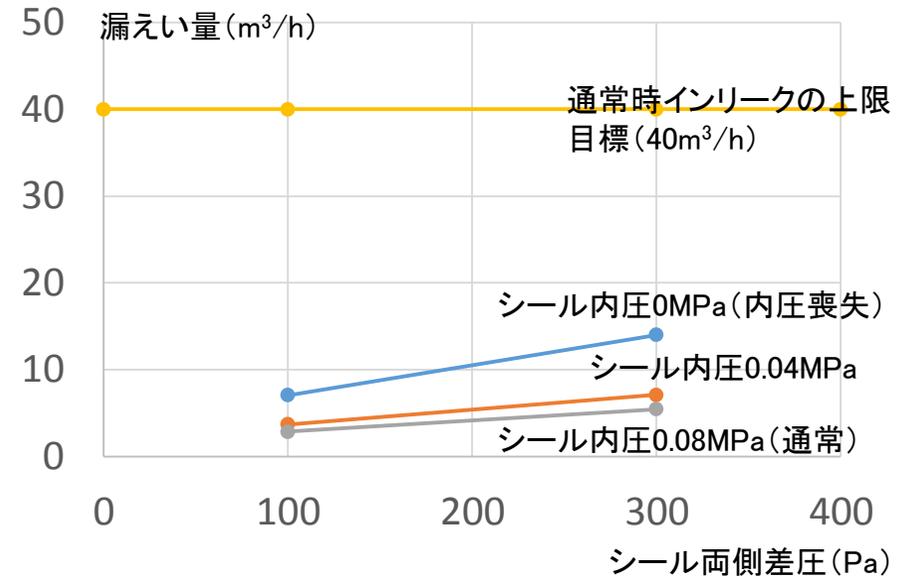
b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(5) 試験状況(シール性能の確認試験)



試験条件

	仕様値	変動値	いじわる試験
PCV内圧	-100Pa(g)	~300Pa(g)(正圧)	~500Pa(g)
シール内圧	0.08MPa	0~0.1MPa	0MPa(内圧喪失)
PCV/RSW間隙	44mm	44~50mm(公差)	55mm
板材のつなぎ目	—	溶接余盛3mm 継ぎ目段差2mm	—



シール両側差圧に対する漏えい量(グリース無し)

6. 本事業の実施内容

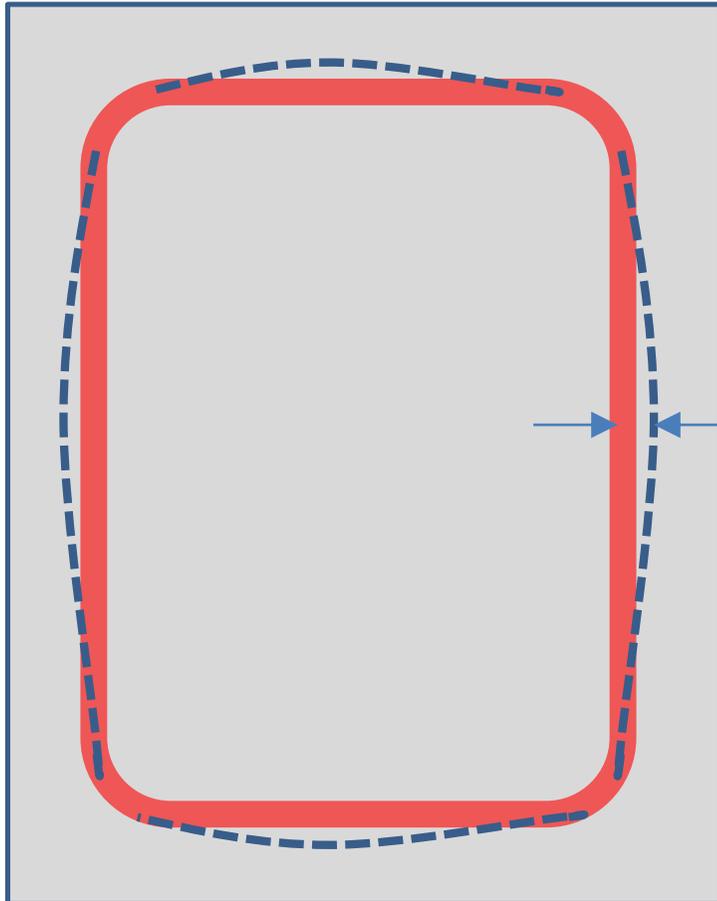
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(5) 試験状況(設置時のシール形状変化)



シールを固定する際に

内圧付加前(赤実線)から内圧(0.08MPa)を付加させた後(青点線)にシールは太鼓形状に膨らむ

膨らむ大きさは最大7mm

膨らんだ後は、シールがPCVおよびBSW壁面と接するため変動は無し。

シールの試験は、膨らんだ状態で実施

膨らみは最大7mm

6. 本事業の実施内容

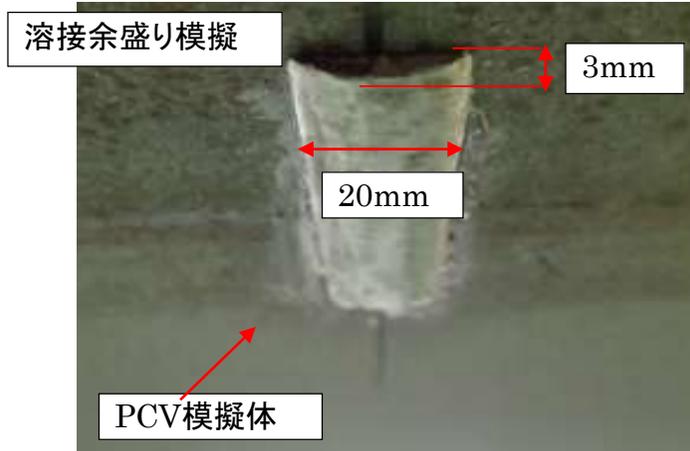
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(5) 試験状況(不連続なシール面[溶接部・つなぎ目]の観察)



(a) 溶接余盛り模擬体



(b) シール内圧0MPa時



(c) シール内圧0.08MPa時



(d) BSW型枠継ぎ目中央段差(2mm)



(e) BSW型枠継ぎ目部シール



(f) 発泡漏れ

6. 本事業の実施内容

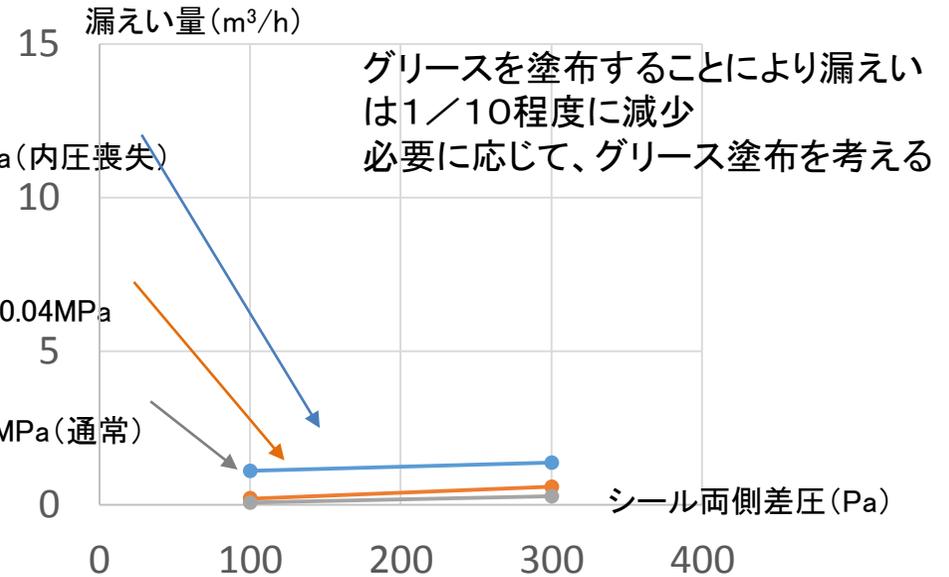
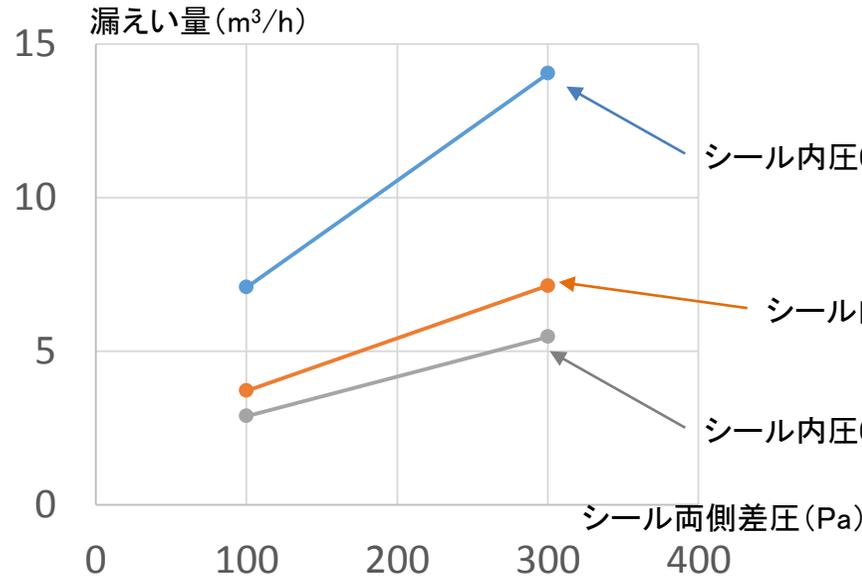
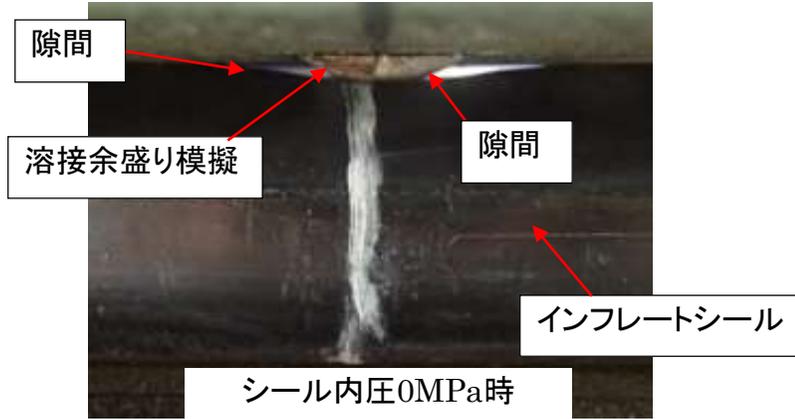
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(5) 試験状況(不連続なシール面に対するシリコングリースの効果)



6. 本事業の実施内容

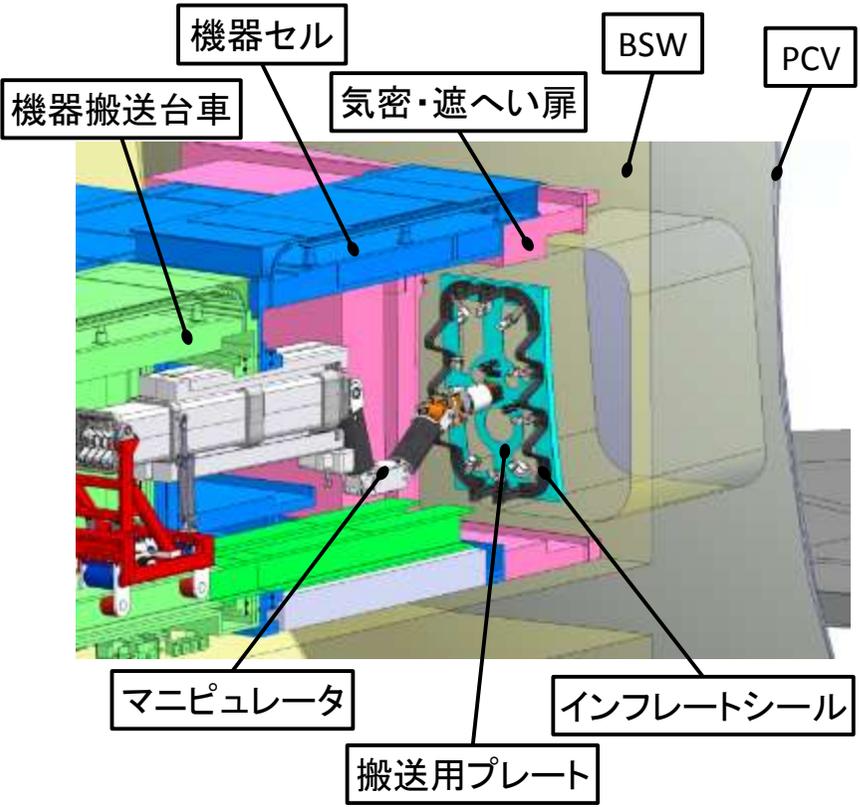
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

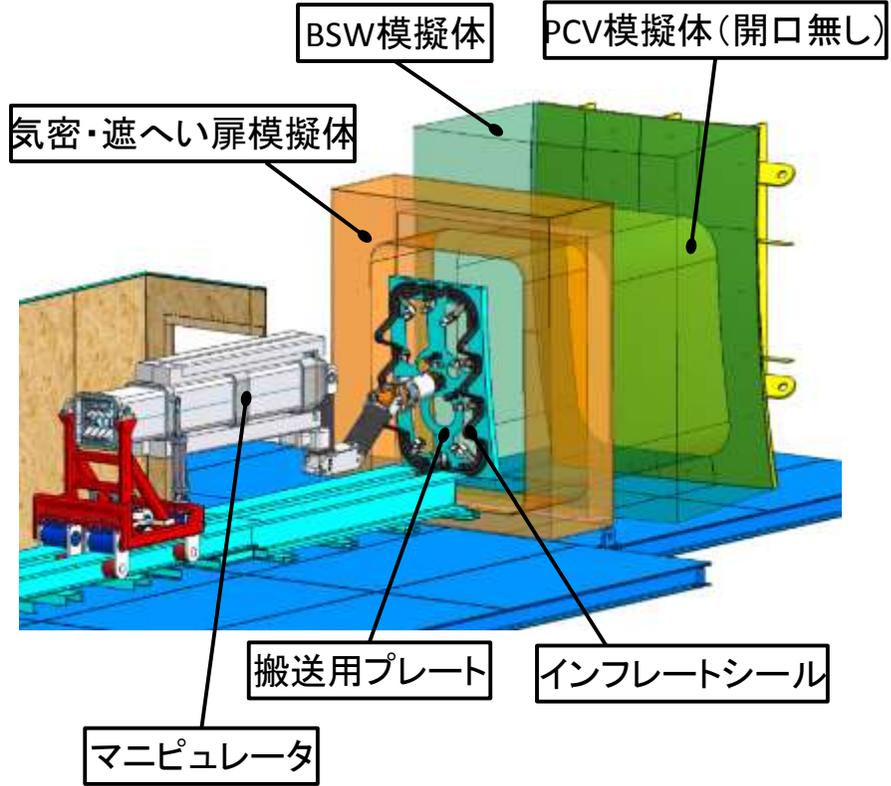
① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(6) 組合せ試験における実機模擬度 (試験装置の構成)



実機 装置構成*



組合せ試験 機器構成

※: 実機装置は、組合せ試験結果をおよび今後の設計進捗に伴い変更となる可能あり。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(6) 組合せ試験における実機模擬度 (試験装置の体系)

		要素試験(組合せ試験)	実機	備考(実機との相違)
シール材	断面形状	菱形断面	菱形断面	—
	材料/成形方法	EPDM/金型成型	EPDM/金型成型	—
	サイズ/形状	実規模/四角	実規模/四角	—
	マニピュレータとの 取り合い部	あり	あり	—
PCV-BSWギャップ	PCV壁面/BSW型枠面	炭素鋼板	炭素鋼板	—
	曲面	球面 R = 10m	球面 R = 10m	—
	ギャップ幅	公称値 44mm	公称値 44mm	—
BSW開口		あり	あり	—
マニピュレータ		あり	あり	構造・駆動軸を模擬
遮へい扉		あり(遮へいと気密機能なし)	あり(遮へいと気密機能あり)	開口寸法を模擬 厚さは実機より-150mm薄い
試験用気密蓋		あり	なし	試験用模擬体には遮へい扉に気密機能がないため、気密蓋で閉止して気密確認をおこなう。
機器セル・機器搬送台車		なし	あり	—
搬送用プレート		あり	あり	—
PCV閉止プレート		あり(形状模擬)	あり	インフレートシール交換時に障害物となる形状を模擬
シール給気ホース接続		汎用カップリング	遠隔用カップリング	試験では給気ホースの接続は人手

6. 本事業の実施内容

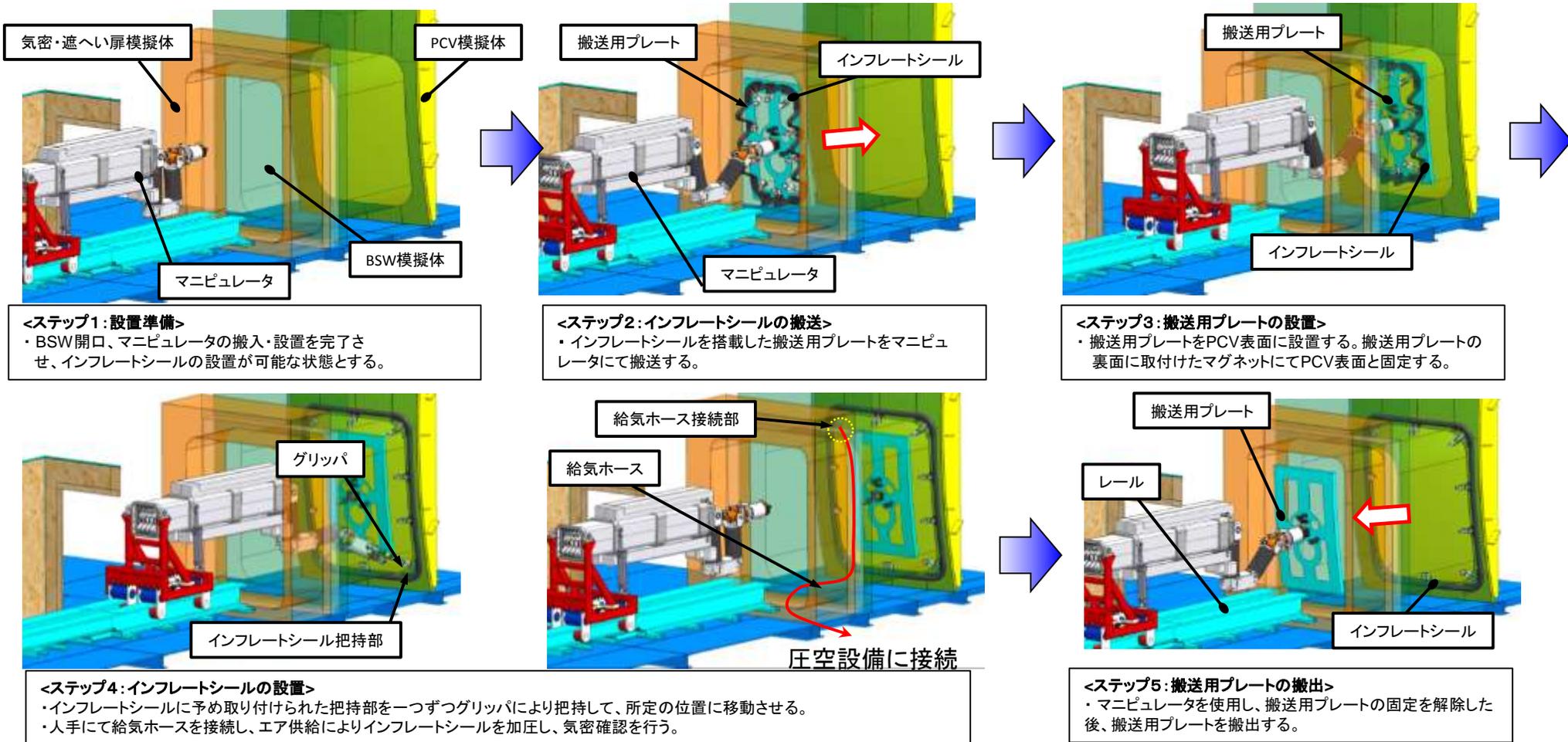
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(7) 組合せ試験におけるシール据付け試験手順



6. 本事業の実施内容

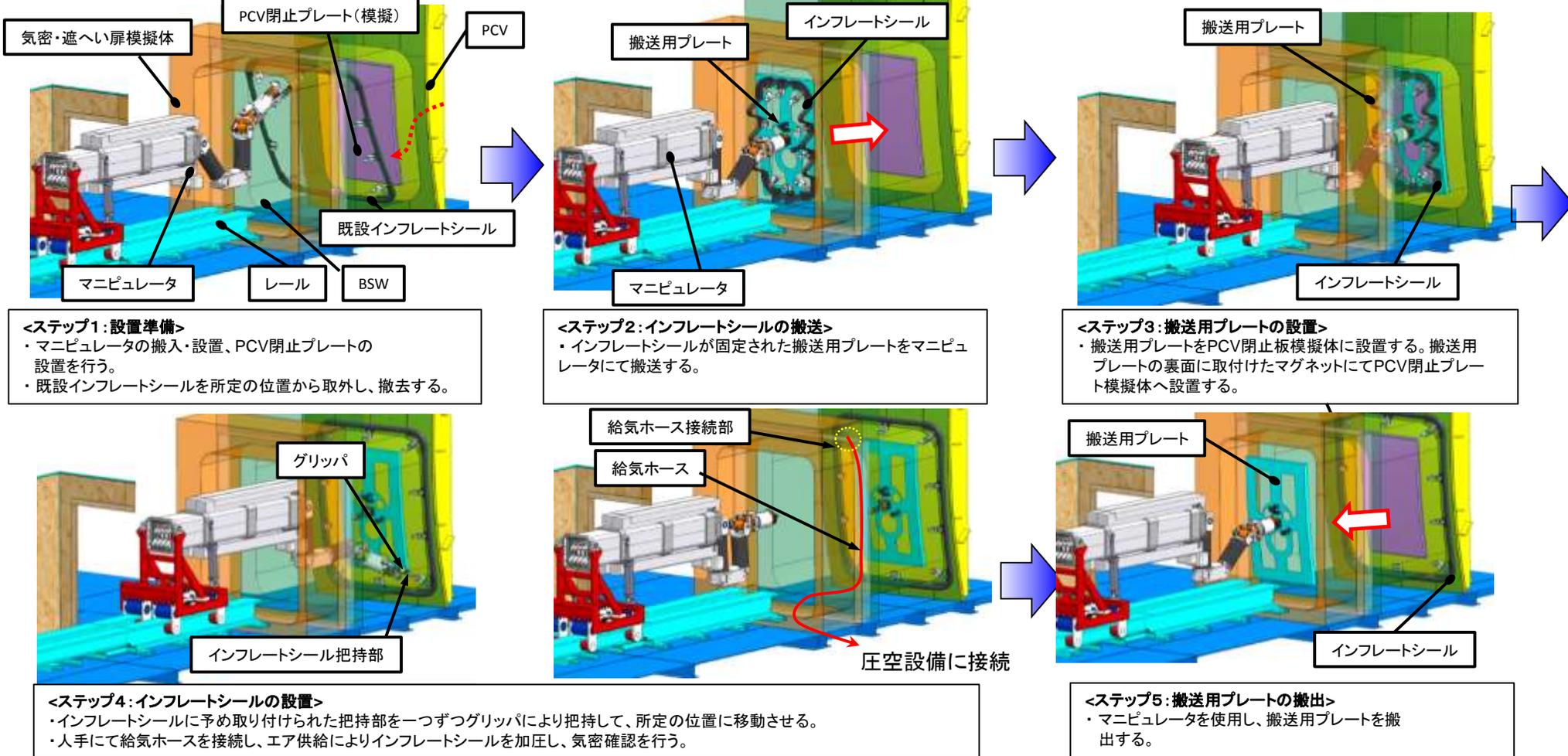
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(7) 組合せ試験におけるシール据付け試験手順 (シール交換時)



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

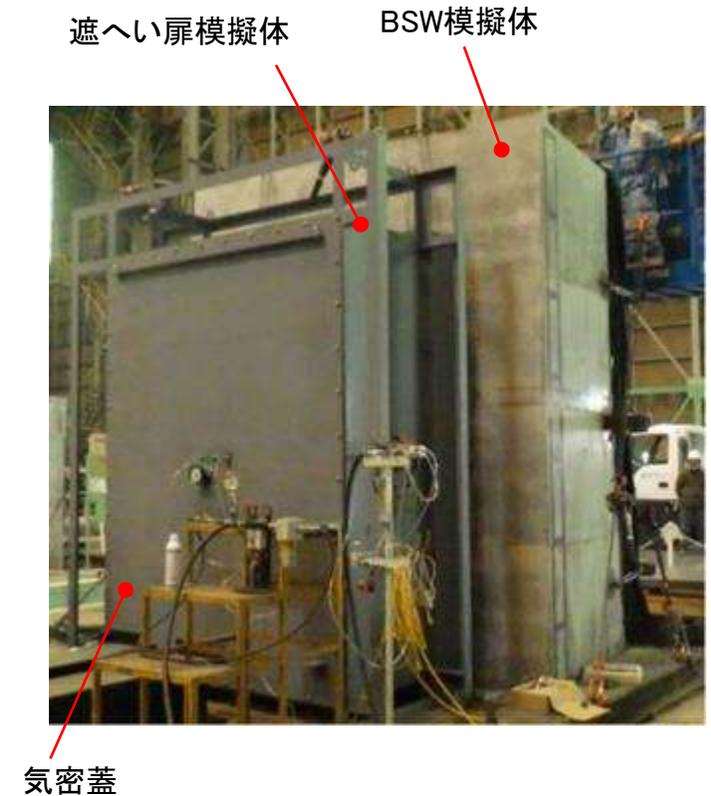
b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(8) 組合せ試験の結果

①シール結果の評価(気密試験)

試験条件

No.	項目	値・状態
1	空間圧力	300Pa以上 (300~330)
2	シール内圧	0MPa、0.08MPa
3	PCVB-BSW間ギャップ	公称値: 44~50mm 実測: 39~54mm
4	シール設置	遠隔/人手
5	表面状態	フラップホイールで清掃 異物除去
6	BSW型枠継ぎ目	コーキングで段差を埋めた状態 (コーキング塗布前も試験実施)
7	BSW型枠浮き上がり部	コーキングで段差を埋めた状態 (コーキング塗布前も試験実施)
8	PCV溶接線	上下の合計2か所に高さ3mm、 幅20mmの溶接線あり。
9	インフレートシール表面	シリコングリース塗布 (シリコングリース塗布前も試験実施)



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

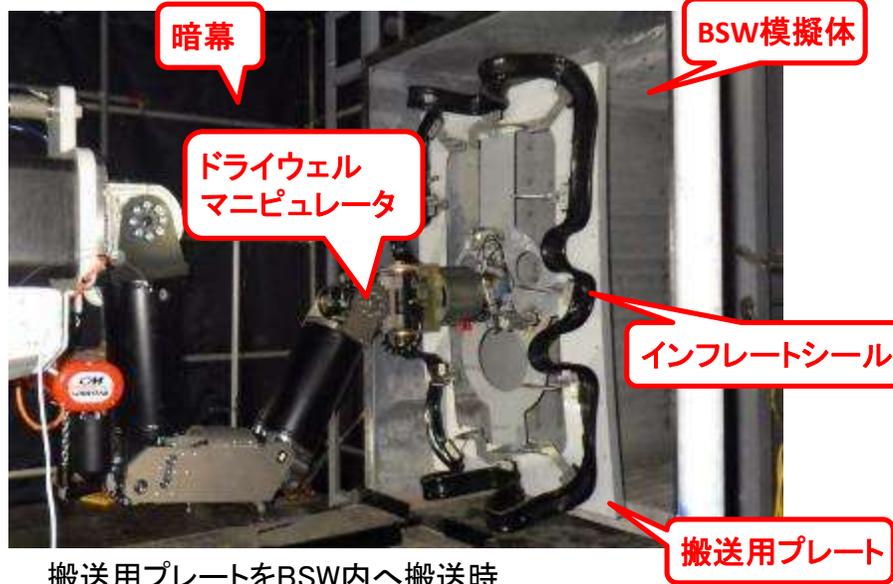
① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(8) 組合せ試験結果

② 設置/交換作業の評価: 搬送用プレートの搬入 / 搬出

- ドライウェルマニピュレータを用いた遠隔操作により、搬送用プレートを機器セルからPCV上に搬入/設置が可能であることを確認した。
- マニピュレータを遠隔操作し、PCV上の搬送用プレートに接続し機器セルまで搬出可能であることを確認した。
- 上記作業に必要な作業手順およびアーム位置データを獲得した。
- 遠隔搬入 / 搬出に必要なカメラ / 照明の配置を取得した。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(8) 組合せ試験の結果

② 設置/交換作業の評価: 搬送用プレートの搬入 / 搬出

- BSW-PCV間のギャップが設計範囲内の箇所は遠隔操作にて挿入可能なことを確認した。BSW開口時のBSW型枠の浮き上がりにより、ギャップが狭くなる箇所は、挿入用治具などの工夫が必要。
- インフレートシールが適切に設置されていることが、カメラにて視認できることを確認した。



インフレートシールを
PCV上に仮置き時



インフレートシールを
ギャップに挿入時



遠隔挿入実施範囲



インフレートシール設置完了

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

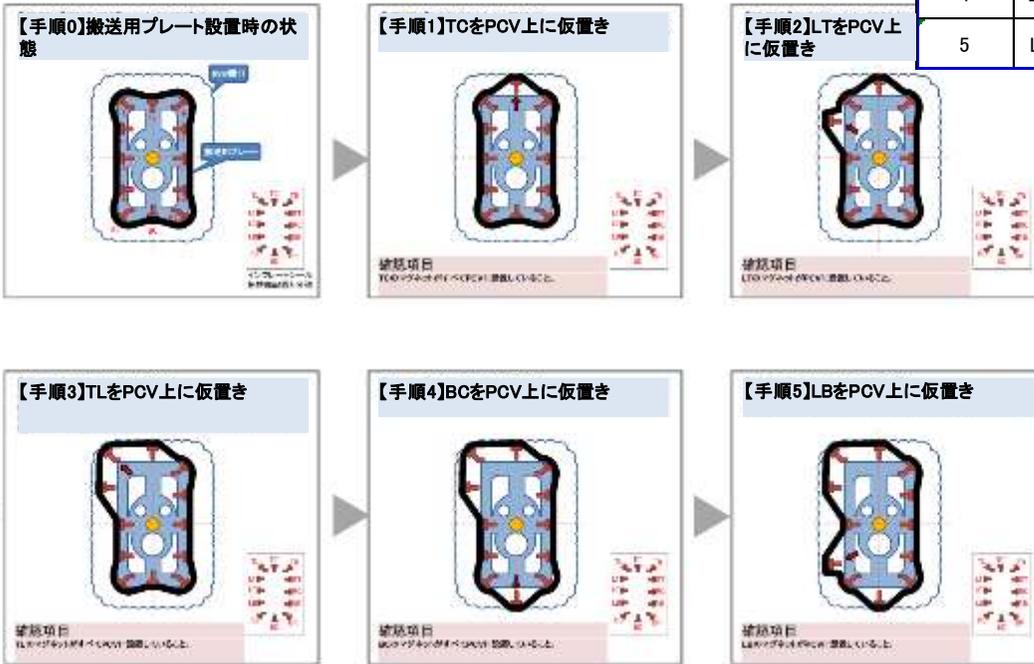
(8) 組合せ試験の結果

② 設置/交換作業の評価: 搬送用プレートの搬入 / 搬出

- インフレートシールを設置可能な作業手順および確認項目を確立した。
- 各作業手順におけるアーム位置データを取得し、再現性のある手順を確立した。

手順#	対象	確認項目	動作	アーム位置データ								
				Cart	Tilt	Shoulder Rotate	Shoulder Pivot	Elbow 1	Elbow 2	Wrist Pitch	Wrist Yaw	Wrist Rotate
1	TC	TCのマグネットがすべてPCVに設置していること	把持	2.54	-0	0.19	-32.7	66.57	50.69	-88.9	0.02	135.3
			設置	2.61	-0	0.187	-25.4	64.67	47.19	-88	0.02	135.3
2	LT	LTのマグネットがPCVに設置していること	把持	2.63	-0	40.78	-42.5	71.04	57.78	-87.9	0	135.7
			設置	2.61	-0	56.67	-29.5	65.59	48.43	-78.3	-1.4	118
3	TL	TLのマグネットがすべてPCVに設置していること	把持	2.6	-0	20.91	-48.5	87.22	54.5	-87.2	3.06	142.7
			設置	2.6	-0	48.33	-32.8	87.33	34.67	-85	3.06	120.3
4	BC	BCのマグネットがすべてPCVに設置していること	把持	2.74	-0	180.5	-23.5	66.94	35.14	-72.9	-0.1	90.48
			設置	2.7	-0	174.9	-15.5	58.92	35.1	-73	-0	134.6
5	LB	LBのマグネットがPCVに設置していること	把持	2.79	-0	158.6	-44.7	71.34	54.45	-72.2	8.2	134.6
			設置	2.7	-0	156.4	-18.7	68.3	26.48	-87.1	-0.1	54.21

インフレートシール 仮置き作業手順



各作業手順に対応したアーム位置データの参考値

インフレートシールPCV上仮置き作業 詳細手順および確認項目の一例

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

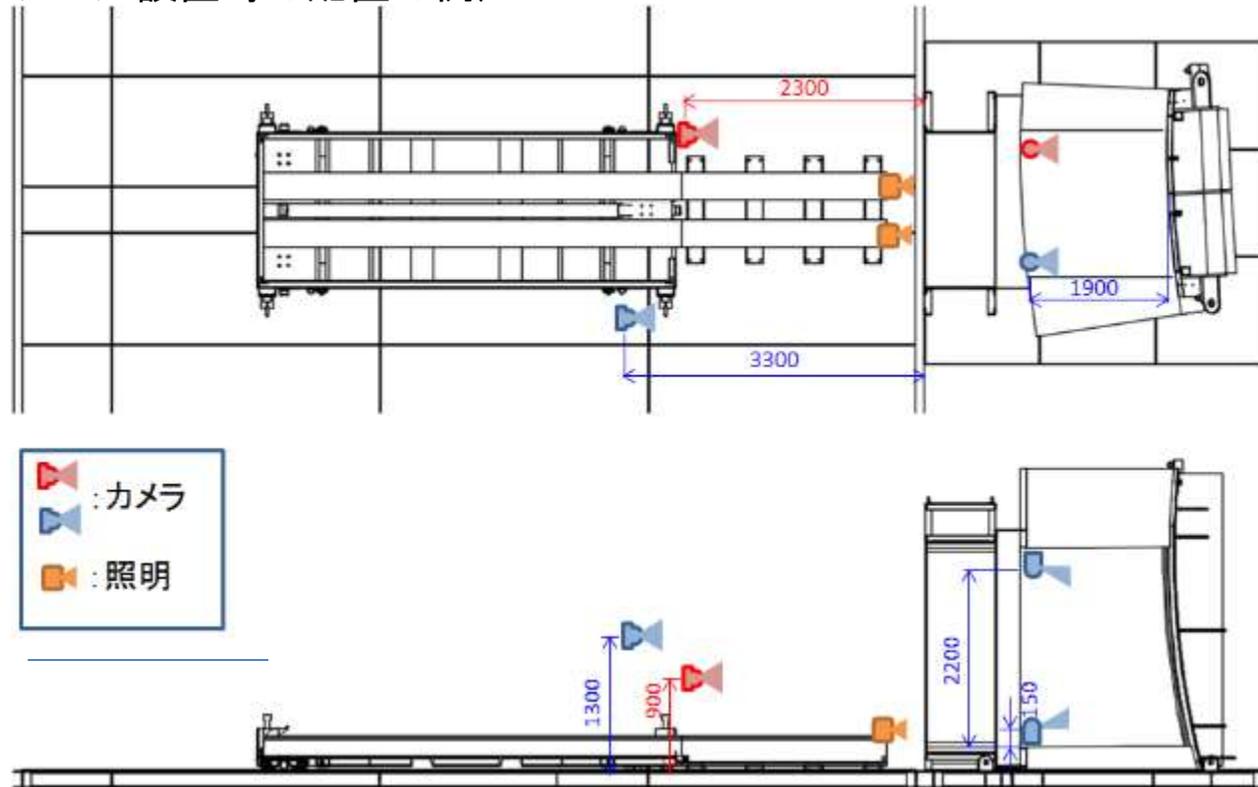
b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(8) 組合せ試験の結果

② 設置/交換作業の評価: 搬送用プレートの搬入 / 搬出

・実機環境を模擬した試験設備にて、一連の遠隔作業において最適なカメラ / 照明の配置データを取得した。

(下図はインフレートシール設置時の配置の例)



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

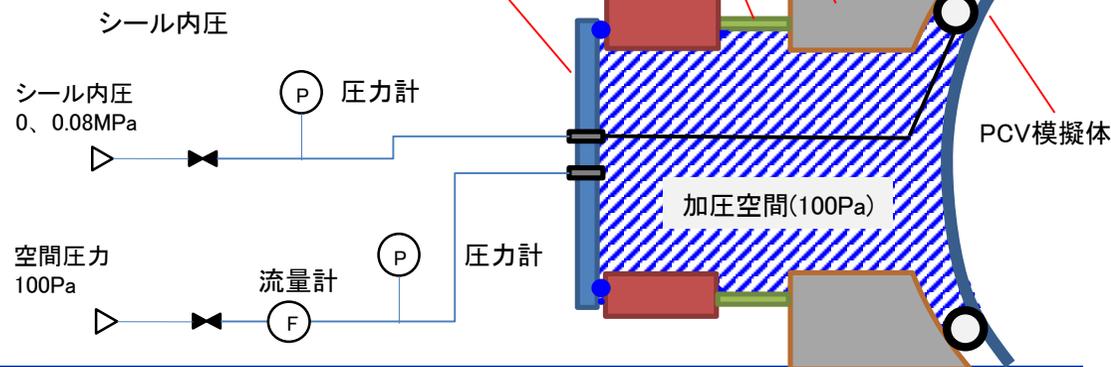
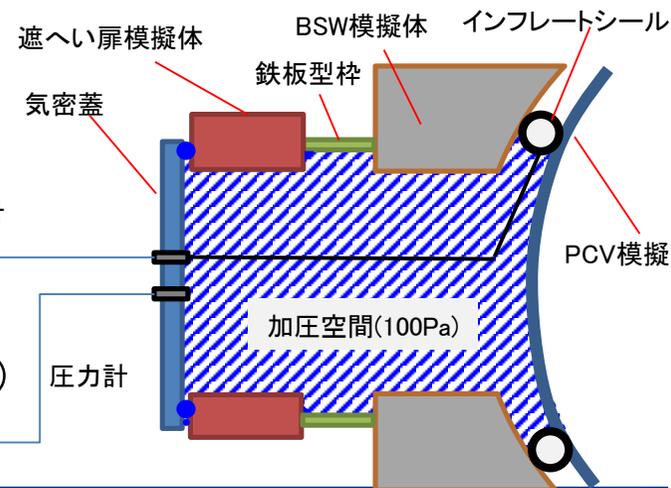
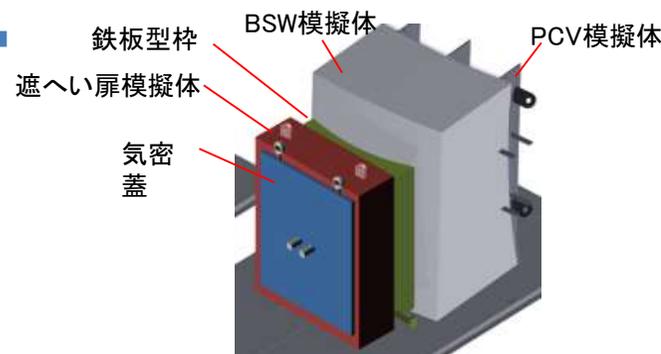
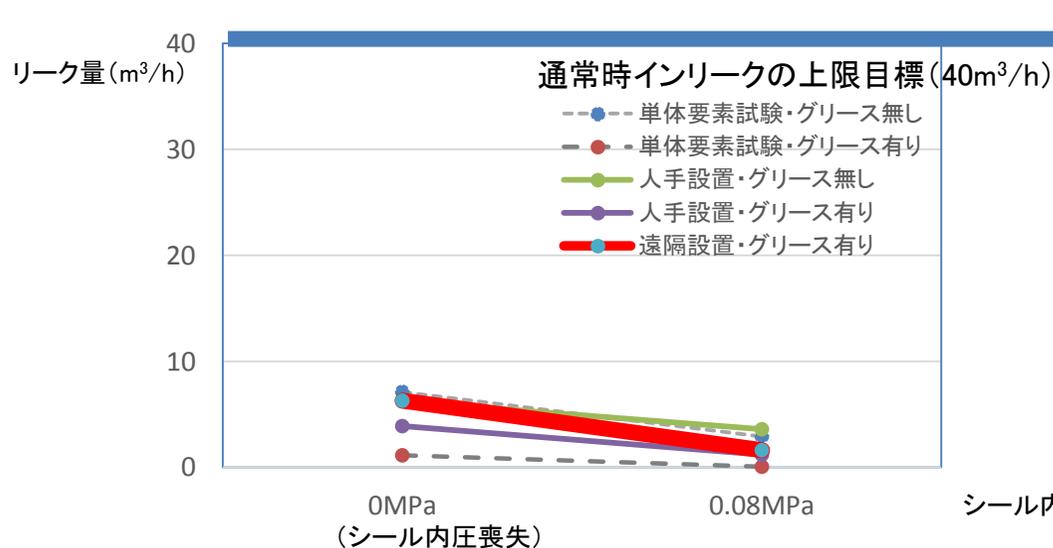
① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(8) 組合せ試験の結果

③ 遠隔作業での設置シールの気密試験

- 基本性能は単体要素試験で確認。遠隔設置時に、シールが単体要素試験と同等性能を得られることを確認。
- コーキングの有無、シール挿入(人手/遠隔)、インフレートシール圧力、の条件を変化(8ケース)
- 遠隔設置時においても、**単体要素試験と大差ないシール性能**が得られ、**合格基準の40[m³/h]**を満たした。



【手順】

1. インフレートシール内圧を供給(加圧)
2. 気密蓋を設置し、加圧空間を試験圧力(100Pa)まで加圧
3. 空間の圧力を100Paに保ち、供給流量を計測。供給量をインフレートシール部のリーク量とする。
4. 気密蓋、遮へい扉模擬体、鉄板型枠の部分からのリークはBSW開口前に事前確認

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(8) 組合せ試験結果

④ 設置前処理のためのデータ取り

(1) バリとり

BSW型枠部分のバリ取りは、エア駆動の回転砥石ツールを使用して、人手にて実施した。
ツールを対象に当てる角度を変えて、複数回走査することで、バリを落とすことができた。

(100mmを7s間程度のスピード)

【課題・対応】

バリ取りツール開発。対称部分への追従性。

シール面側にバリを残さないために、最後にツールを立てた状態で走査する。



① ツールを斜めに当てて走査 × 3回



② ツールを寝かせた状態で走査 × 1回



③ ツールを立てた状態で走査 × 2回

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

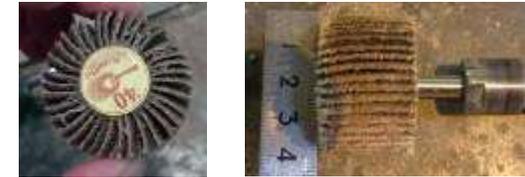
(8) 組合せ試験結果

④ 設置前処理のためのデータ取り

(2) ギャップ清掃: BSW-PCV間ギャップ清掃は、エア駆動のフラップホイールツールを使用して、人手にて実施した。1回の走査で清掃できる範囲が10~20mm程度の幅であるため、1回走査したら10mm奥へツールを挿入して次の走査を行う、という手順を15回程度繰り返して、150mm奥までの清掃を行った。

【フィードバック事項】今回使用したツール先端フラップホイール部の長さが約25mmで清掃できる範囲は10~20mmだったが、ツール先端部の長さをもっと長いものを選定すれば、一度に清掃できる範囲は広がり、走査回数は低減できるものとする。

【課題・対応】ギャップ清掃ツール開発



フラップホイール



1回走査したら10mm程度奥へ挿入

1回走査したら10mm程度奥へ挿入

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(8) 組合せ試験結果

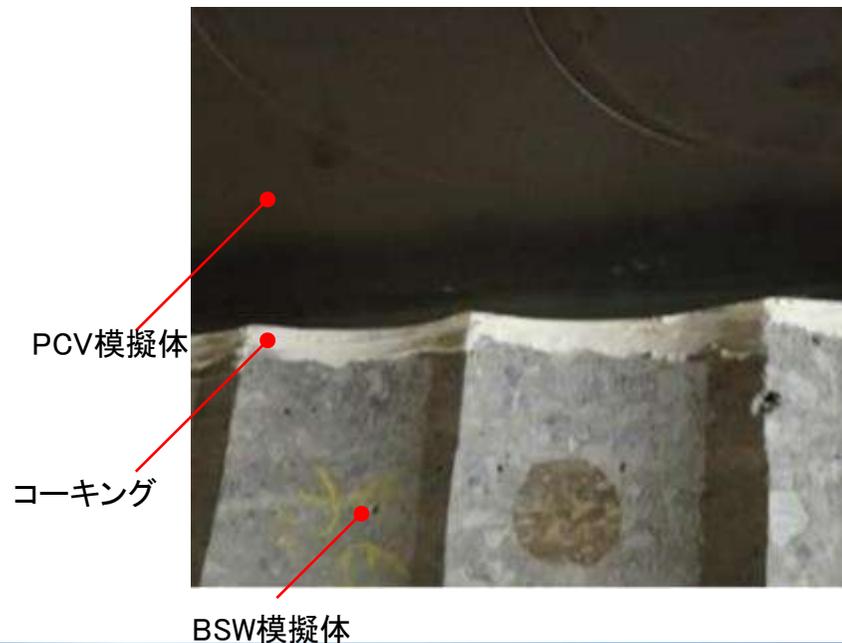
④ 設置前処理のためのデータ取り

(3) BSW浮き上がり部コーキング

BSW型枠の浮き上がり部分と、BSW型枠の継ぎ目部分へ、コーキング材を人手で塗布した。

【課題・対応】・コーキング材の耐放射線性を考慮した選定

- ・コーキング材塗布ツールの開発
- ・BSW-PCV間ギャップのモニタツールの開発



6. 本事業の実施内容

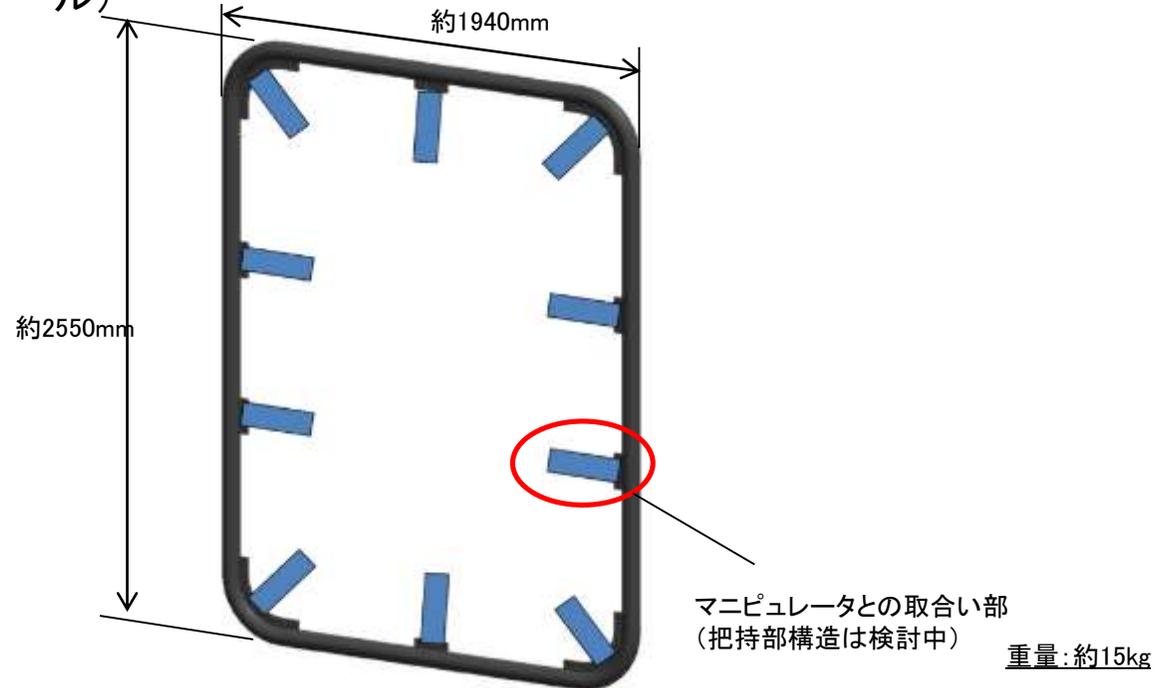
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(9) 試験機材 (インフレートシール)



	要素試験(組合せ試験)	実機	実機模擬度
断面形状	菱型断面	菱型断面	同等
材料/成形方法	EPDM/金型成型	EPDM/金型成型	同等
サイズ/形状	実規模/長方形	実規模/長方形	同等
マンピュレータとの取合い部	あり	あり	同等

6. 本事業の実施内容

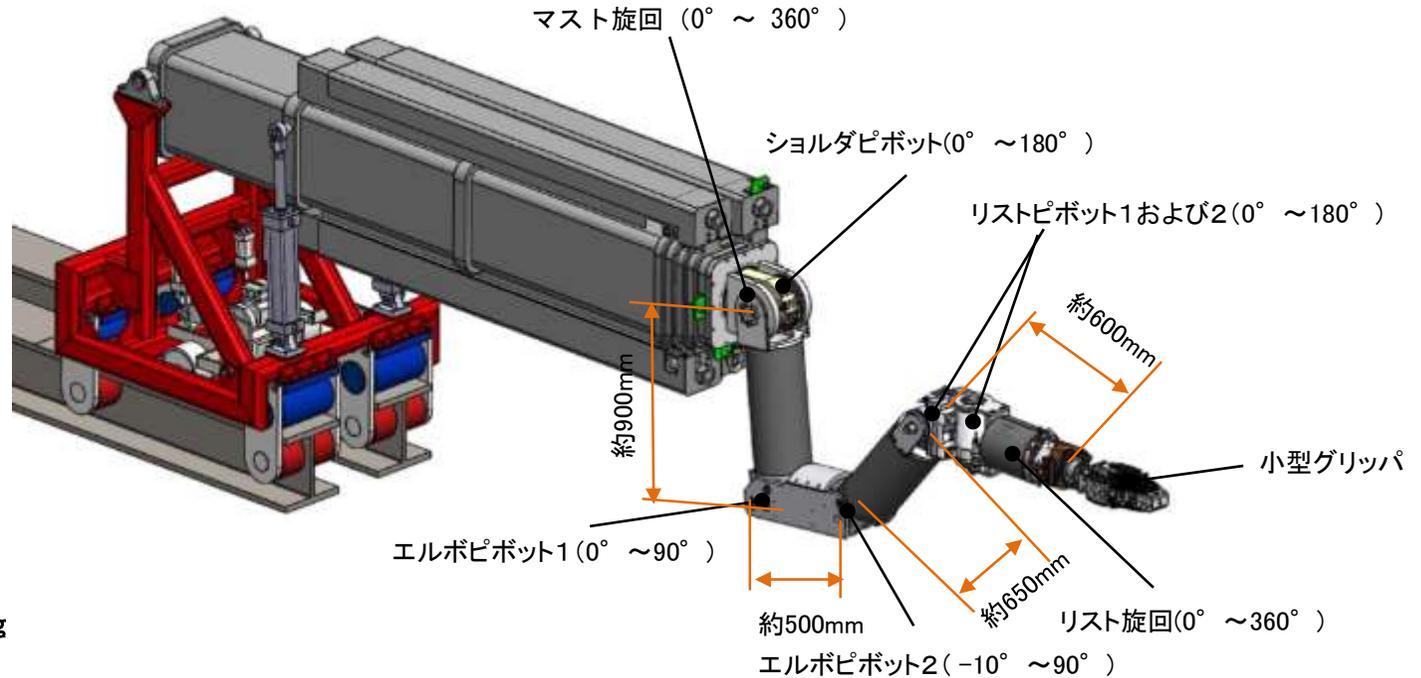
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(9) 試験機材 (マニピュレータ)



重量：約3000kg

	要素試験(組合せ試験)	実機	実機模擬度
アーム取扱荷重	約100kg	約100kg	同等
操作可能軸数	9軸	9軸	同等
アーム部最長到達距離	約2650mm(アーム根元部より)	約2650mm(アーム根元部より)	同等
アーム駆動方式	油圧駆動	油圧駆動	同等
走行方式	有軌道走行	有軌道走行	同等

6. 本事業の実施内容

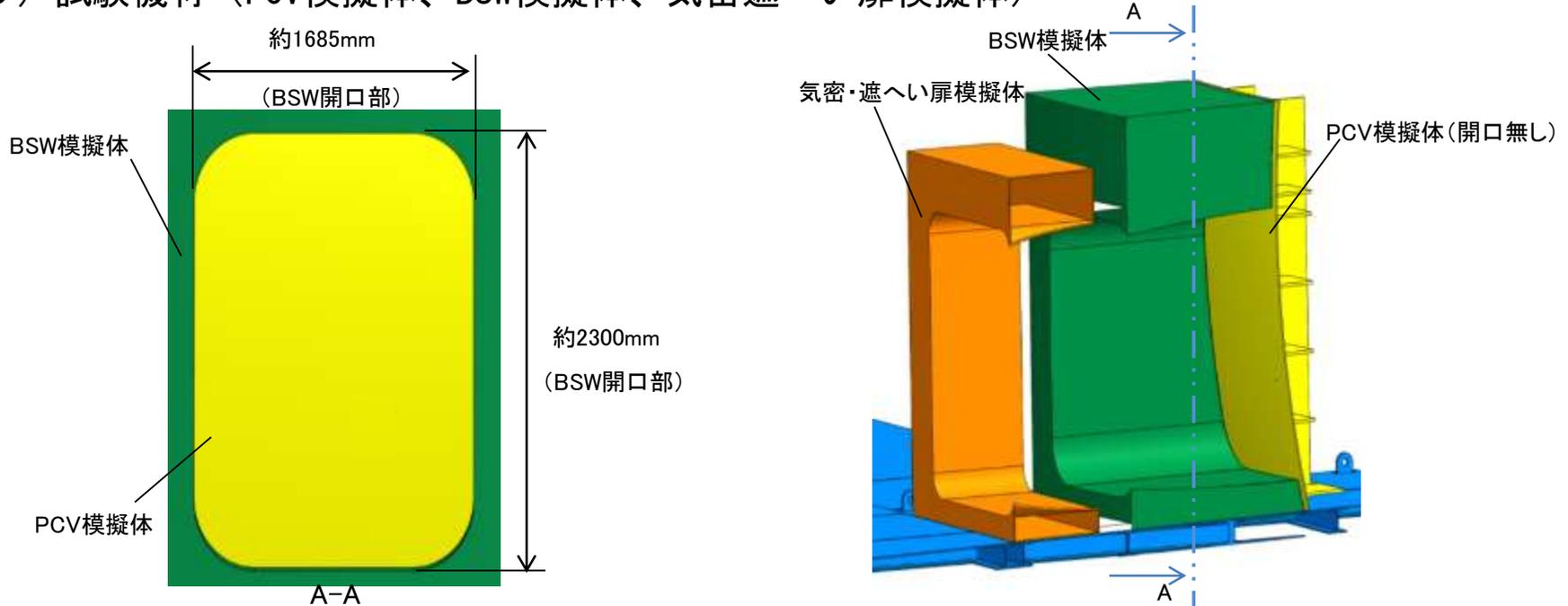
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(9) 試験機材 (PCV模擬体、BSW模擬体、気密遮へい扉模擬体)



		要素試験(組合せ試験)	実機	実機模擬度
PCV-BSWギャップ	PCV壁面/BSW型枠面	炭素鋼板	炭素鋼板	同等
	曲面	球面 R = 10m	球面 R = 10m	同等
	ギャップ幅	44mm	44mm	同等
BSW開口		あり	あり	同等
遮へい扉		あり	あり	開口寸法を模擬 厚さは実機より-150mm薄い

6. 本事業の実施内容

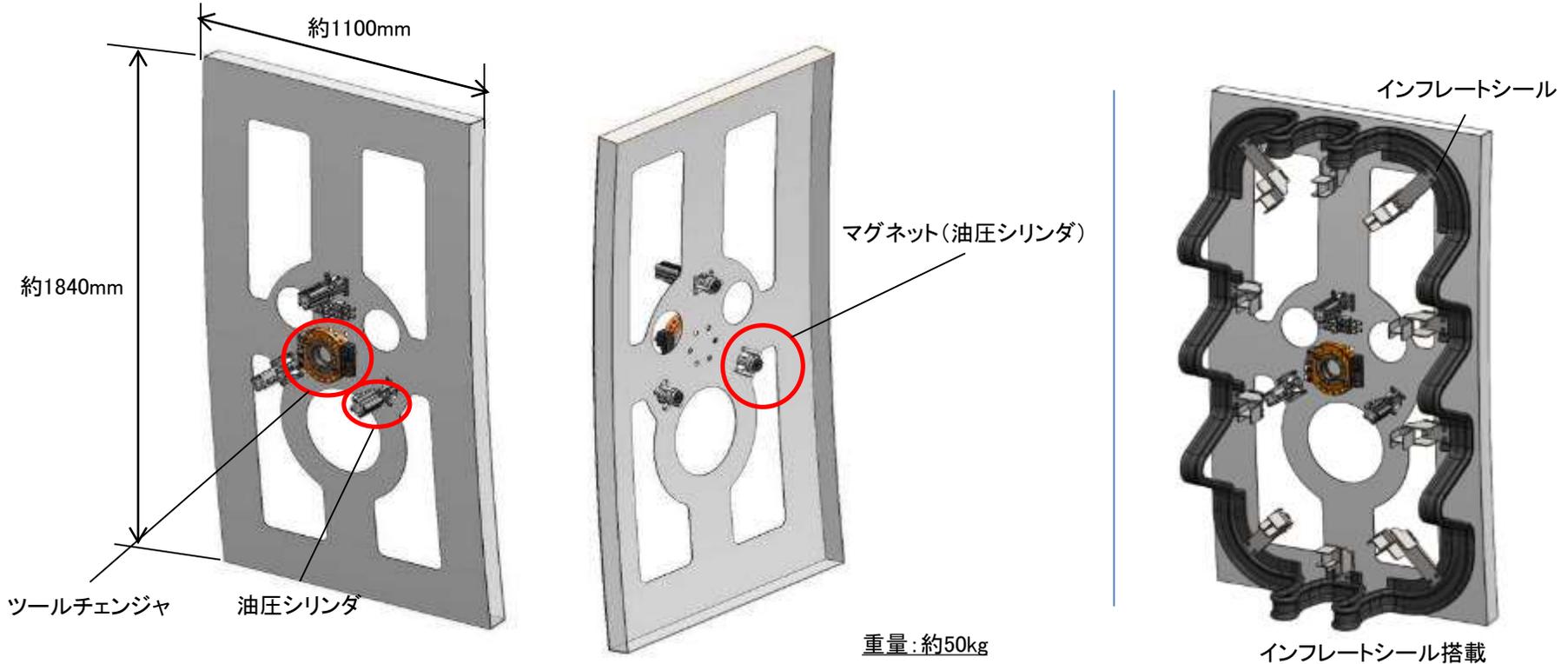
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(9) 試験機材 (搬送用プレート)



	要素試験(組合せ試験)	実機	実機模擬度
主要材質	炭素鋼	炭素鋼	同等
サイズ/形状	幅約1100mm x 高さ約1840mm/長方形	幅約1100mm x 高さ約1840mm/長方形	同等
マニピュレータとの取合い	ツールチェンジャ	ツールチェンジャ	同等
PCVとの固定	マグネット	マグネット	同等

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(10) 被ばく評価：レベル別基準（安全要求の記載事項）

「燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システムの高度化事業」資料より

	安全原則	安全要求	深層防護レベル			補足	
			レベル1	レベル2	レベル3		
公衆に対する防護	放射性物質の閉じ込め	気体中の放射性物質の安全基準で許容される以上の漏えい防止	0.1mSv/年	0.1mSv/1事象	5mSv/1事象	—	
		液体系の放射性物質の安全基準で許容される以上の漏えい防止				—	
		移送容器による放射性物質の漏えい防止				—	
	放射性物質の追加生成の防止	核反応による異常な放射性物質の生成防止				レベル3においては、放射性物質の閉じ込めと連携し、判断基準を達成	
		燃料デブリの異常な温度上昇による放射性物質の放出防止					
		燃料デブリ、構造物の切削による異常な放射性物質の拡散の防止					
放射線による過大な被ばくの防止	直接放射線による過大な被ばく防止のための遮へい	—					
作業員に対する防護	作業員の過大な外部被ばく・内部被ばくの防止	遮へい、汚染・線量区分の適切な設定と被ばくを低減する遠隔保守及び動線等システム設計	線量限度は100mSv/5年・50mSv/年	10mSv/1事象	100mSv/1事象		—
		被ばく低減のための運転方法、保守計画及び作業管理					—
安全機能を脅かすハザードの発生防止	設計条件及び設計上考慮すべき事項	金属粉じんと酸素の反応により火災が発生しない条件を維持すること	火災発生防止	火災発生防止	火災発生防止	—	
		可燃性ガスによる火災爆発が生じないように可燃限界以下に維持すること	火災発生防止	火災発生防止	火災発生防止	—	
プラント状態監視		プラント状態を把握するために監視すること	—	—	—	—	

- ① (安全原則)放射性物質の追加生成防止(レベル3)については、(安全原則)放射性物質の閉じ込め(レベル3)と連携により判断基準を達成(崩壊熱レベルが低い、臨界発生による被ばく影響の観点より判断)
- ② 金属粉じん及び可燃性ガスによる火災によりバウンダリ破損となった場合、被ばく影響が大きいと判断し、レベル1から3まで発生防止を判断基準とした。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(10) 被ばく評価：レベル2，3発生時の対応方針

レベル区分	等価開口面積	設定根拠	流量 差圧100Pa	検出方法	事象発生の防止策	事象発生時のリカバリ
レベル1	10cm ² 以下	差圧100Paで流量40m ³ /hを達成する開口面積	40m ³ /h	<ul style="list-style-type: none"> カメラによる隙間観察(シール外側にバックライト設置) シール外側にスモーク供給し、内側にて検出 シール把持部の位置をカメラ観察 シール内圧の変化 交換したシール部材の材料試験でデータ蓄積 		<ul style="list-style-type: none"> 異常が発生しないようシール材劣化の観察、隙間の観察 定期点検および交換
レベル2	100cm ² 以下	レベル1の10倍(シール幅50mm×シール長さ200mm部分が開口になったものと相当)	446m ³ /h	<ul style="list-style-type: none"> カメラによる隙間観察 	<ul style="list-style-type: none"> 異常が発生しないようシール材劣化の観察、隙間の観察 定期点検および交換 	<ul style="list-style-type: none"> 調査による異常部分の把握 再据え付け、部分交換、一体交換などの対策決定と対策実行し異常がない状態に戻す
レベル3	4500cm ²	シールが全くなかった時(シール幅50mm×シール1周9000mm)	20044m ³ /h	<ul style="list-style-type: none"> カメラでシールの有無を観察 	<ul style="list-style-type: none"> 調査による異常部分の把握 再据え付け、部分交換、一体交換などの対策決定と対策実行し異常がない状態に戻す 	<ul style="list-style-type: none"> 調査と異常事象、異常部分の把握 再据え付け、部分交換、一体交換などの対策決定と対策実行し異常がない状態に戻す

6. 本事業の実施内容

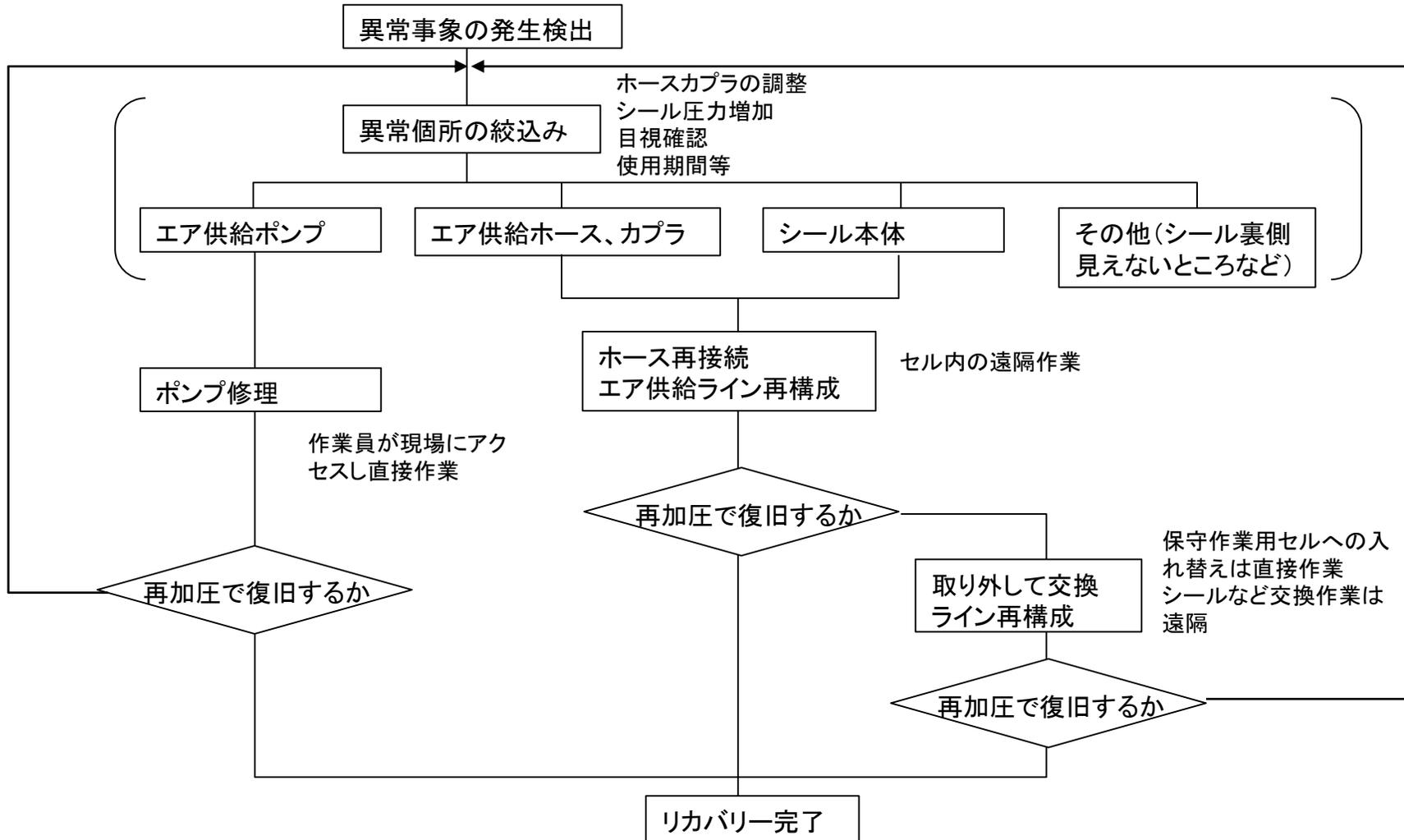
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(10) 被ばく評価：レベル2，3発生時の対応方針



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(11) 試験のまとめ

検証項目	データ	備考
①シール設置前準備作業		
設置面表面処理	マニピュレータでの養生の基礎データを取得。	人手作業
コーキング	マニピュレータでのコーキング材塗布の基礎データを取得。	人手作業
②シール設置		
共通	<ul style="list-style-type: none"> ・今回使用した「ドライウェルマニピュレータ」「俯瞰カメラ」により、シール搬送、設置、交換が実施可能。 ・遠隔作業において必要なカメラ / 照明の配置データを取得した。 	運転時間短縮には、オペレータの習熟が必要。
搬送用プレー搬入	・遠隔操作により、搬送用プレートを搬入 / PCV壁に設置可能。	実機想定時間: 3h
シールの設置	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔操作により、インフレートシールがBSW-PCV間に設置可能。 ・アームの作業手順および確認項目を確立し、各手順におけるアーム位置データを取得。 	実機想定時間: 42h 実機では、ギャップが狭い時に挿入する工夫が必要
シールの撤去	・遠隔操作にてインフレートシールを撤去し、機器セルまで搬出可能。	実機想定時間: 4h
搬送用プレート	・遠隔操作にて搬送用プレートを、機器セルまで搬出可能であることを確認した。	実機想定時間: 3.5h
設置位置・ねじれ	・インフレートシールの「設置位置」「ねじれの有無」を、カメラにて視認可能。	
③シール性試験結果		
シールのリーク試験	合格基準40m ³ /hに対し、遠隔設置したシールのリーク量が合格基準を満たした 通常使用圧力(0.08MPa): 1.5m ³ /h 供給圧喪失(0MPa): 6.3m ³ /h	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(1 1) 試験のまとめ

● 本事業の成果

- 合格基準40m³/hに対し、遠隔設置したシールのリーク量が合格基準を満たした
 - 通常使用圧力(0.08MPa): 1.5m³/h
 - 供給圧喪失(0MPa): 6.3m³/h
- 搬送用プレートの取り扱い、シールの取り扱いに関する一連の遠隔操作が可能であることを確認した
 - シールの設置、撤去に関するアームの作業手順および確認項目を確立し、各手順におけるアーム位置データを取得
 - 今回使用した「ドライウェルマニピュレータ」「俯瞰カメラ」により、シール搬送、設置、交換が実施可能であることを確認し、遠隔作業において必要なカメラ / 照明の配置データを取得した。

● 今後の課題(いずれも実機設計段階で対応)

	課題	対応方針
1	設置時間の短縮(試験では42時間)	作業員習熟訓練が必要
2	ギャップが想定(設計値)よりも大幅に狭い(広い)場合の対応	ギャップが狭い(広い)場合に対応できるシールの設計
3	ギャップが狭い場所へのシール挿入	挿入用治具などの採用

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

- ① 燃料デブリの回収システムの開発
- ② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発
- ③ 燃料デブリの拡散防止工法の開発

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

- ① 作業セルに関する要素技術開発
- ② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

燃料デブリ取り出しのためには、燃料デブリへのアクセスルート(上アクセス及び横アクセス)によって課題となる干渉物が存在するが、基本的には遠隔装置での対応になることから、必要な解体、撤去、回収及び搬出を可能とする遠隔技術の開発及び要素試験を実施する。その際には以下の点を考慮する。

- ・ 上アクセス時での干渉物: PCV上部構造物(ウェルシールドプラグ、PCVヘッド、RPVヘッド等)、RPV内部構造物(ドライヤ、セパレータ等)
- ・ 横アクセス時での干渉物: ペデスタル外機器
- ・ 各アクセス共通での干渉物: ペデスタル内機器(CRDハウジング(以下、CRD.Hとする)等)、原子炉建屋内構造物(汚染した計装ダクト、高線量配管等)※

なお、本検討にあたり、アクセスルートを構築するための干渉物撤去等、影響を及ぼす課題が抽出された場合は、その整理と対応策についての検討を行うこととする。

※: 原子炉建屋内構造物(汚染した計装ダクト、高線量配管等)は、燃料デブリ取り出し作業を実施する際に、撤去が必要となる場合において検討する。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

- 開発の目的
 - 燃料デブリにアクセスするために撤去が必要となる干渉物(燃料デブリが付着したのものも含む)について、撤去方法の実現性を確認する。
- 解決すべき課題
 - 遠隔作業性の実現性
 - ✓ 撤去手順や工法
 - ✓ 落下防止対策
 - ✓ ケーブル処理や作業監視方法
 - ✓ 撤去物搬出方法
 - 加工ツールの選定
 - ✓ 撤去用加工ツールの適用性
 - ✓ PCV開口加工時のダスト飛散防止対策

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

● 開発の進め方

- 撤去が必要となる干渉物の整理
- 干渉物の加工方法の検討
- 要素試験計画

工法によらない干渉物を選定し、撤去性を確認するための要素試験を計画

- ✓ 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法
(横アクセス工法も考慮)
 - ・ 炉底部(CRD.H含む)撤去方法
- ✓ 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法
 - ・ ペDESTAL外干渉物(配管・サポート類)撤去方法と手段
 - ・ PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段
- ✓ 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法
 - ・ ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段
 - ・ ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認
- 要素試験の実施による実現性の確認

● 得られる成果

- 干渉物撤去に関する加工方法の実現性
- PCV開口工法の実現性
- 各作業時間に基づくスループットの検討

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

以下に示す概念検討と要素試験を実施した。

なお、経済産業省・資源エネルギー庁による取り出し方針の決定を受けて、横アクセス工法に関連した技術開発に軸足をおいて要素試験を実施することとした。

共通

- 各工法で燃料デブリを取り出す際に撤去が必要となる干渉物について整理し、加工方法の適用性について検討した。また、干渉物撤去に関するスループットについて概念検討を実施した。

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

- 炉底部は、燃料デブリと金属構造物とが混ざり合って溶融して加工上の難易度が高いこと、CRD/CRD.H等の炉底部機器は、RPV側から切断すると拘束を失って落下してしまい※、他の構造物よりも落下防止対策の難易度が高いことから、炉底部の干渉物撤去方法に関する概念検討と要素試験を実施した。

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

- 横アクセス工法に軸足をおくとの方針を踏まえ、ペDESTAL内／外の燃料デブリにアクセスするうえでの干渉物について、主に優先度の観点で具体的な撤去方法を検討し、要素試験を実施した。

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

- ペDESTAL内の干渉物について、CRDなどの落下物撤去に関する要素試験を実施した。
- ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認に関する要素試験を実施した。
- 上アクセス工法及び横アクセス工法の組み合わせ撤去方法について、概念検討を実施した。

※: 3号機PCV内部調査の結果より、CRD支持金具は機能していないと想定。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

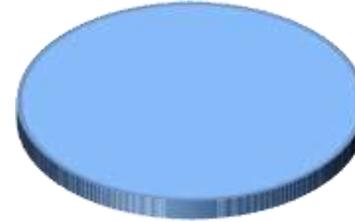
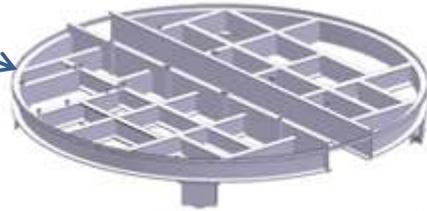
②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

干渉物撤去に関するスループットの分析方法について、概念検討を実施した。検討結果は、燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化事業において報告する。

➤ 構造物の単純化

撤去概略期間を算出するため、複雑な構造物は単純化する。

グレーチング支持構造物の例



単純化した場合の構造の例

構造単純化、板厚均一化など

➤ 切断速度の統一

切断方法により概略期間が左右されないよう切断方法を統一した。

表 6.1.2-1 各切断工法の板厚に対する切断速度一覧

板厚 (mm)	レーザ (mm/min)	プラズマアーク (mm/min)	AWJ (mm/min)	ワイヤーソー (m ² /h)
～5	3,000	900	300	0.05
6～35	250	400	70	0.05
36～150	40	60	15	0.05

切断速度は、JAEA「ふげん」原子炉解体切断工法の選定より引用

- ディスクカッター切断速度(IRID実測データ)
金属板厚～230mm切断時【86mm/min】

- ワイヤーソー(押し切り)切断速度(IRID実測データ)
鉄筋コンクリート切断幅800mm【30mm/min】

6. 本事業の実施内容

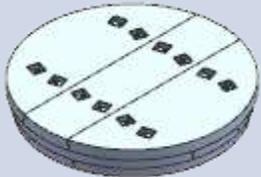
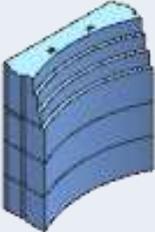
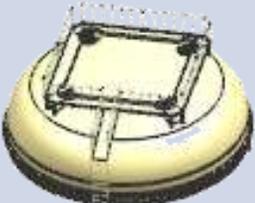
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法 撤去が必要となる干渉物(炉内構造物含む)について、整理した。

※: 撤去難易度は、相対的評価

No.	干渉物	概略仕様	加工方法の候補	撤去方法の例	撤去難易度※	備考
1	シールドプラグ 	主要材質 コンクリート	ワイヤーソー (押し切り)、 ディスクソー	① 原子炉ウエルから取り外し、加工架台に移設して細断し撤去する。 ② シールドプラグ上段から順次上記①の作業を繰り返す。	中	・損傷の状況、SFP燃料取り出しの計画に対応する撤去方法を検討。
2	DSPスロットプラグ 	主要材質 コンクリート	ワイヤーソー (押し切り)、 ディスクソー	① DSPに加工装置を設置する。 ② ワイヤーソー(押し切り)にて加工し、切断片を引き出して容器に収納・搬出する。 ③ 端部/残部等必要に応じて他の方法と組み合わせて加工し撤去する。	低	・2016年度国プロにおいてモックアップ試験を実施。
3	PCV上蓋 	主要材質 SS	ディスクソー、 ディスクカッター、 AWJ(PCV)	① 架台、手すり等を加工装置により細断し撤去する。 ② PCV上蓋を加工装置にて所定の大きさに細断して撤去する。	低	

6. 本事業の実施内容

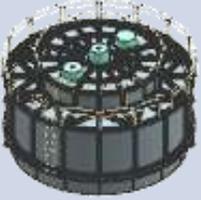
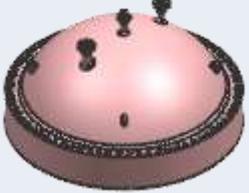
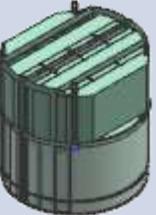
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

- a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法
撤去が必要となる干渉物(炉内構造物含む)について、整理した。

※: 撤去難易度は、相対的評価

No.	干渉物	概略仕様	加工方法の候補	撤去方法の例	撤去難易度※	備考
4	原子炉保温材 	主要材質 SS	ディスクソー、 ディスクカッター、 セーバーソー	① 上段の保温材を切り離し、その後 枠材を切断して撤去する。 ② 下段の保温材を切り離し、その後 枠材を切断して撤去する。	低	
5	RPV上蓋 	主要材質 低合金鋼	ディスクカッター、 AWJ	① RPVノズルを切断し、開口する。 ② ノズル開口部を起点にRPV上蓋を 細断して撤去する。	中	
6	ドライヤ 	主要材質 SUS	ディスクカッター、 セーバーソー、 AWJ	① 上部のドライヤユニットから順次 加工装置により細断して撤去する。 ② ドライヤ撤去後にスカート部を細 断して撤去する。	中	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

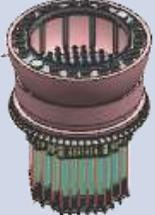
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

- a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法
撤去が必要となる干渉物(炉内構造物含む)について、整理した。

 : 要素試験実施

※: 撤去難易度は、相対的評価

No.	干渉物	概略仕様	加工方法の候補	撤去方法の例	撤去難易度※	備考
7	セパレータ 	主要材質 SUS	ディスクカッター、 セーバーソー、 AWJ	① 上部のセパレータから順次加工装置により細断して撤去する。 ② セパレータ撤去後に、シュラウドヘッドを細断し撤去する。	中	
8	炉心部 	主要材質 SUS	ディスクカッター、 フライス加工、 AWJ、レーザ	① 溶融・損傷状態に応じて、残存した構造物を上部から順次細断して撤去する。	高	・溶融による変形の可能性あり。
9	炉底部 	主要材質 低合金鋼/SUS	ディスクカッター、 フライス加工、 AWJ、レーザ	① 落下した構造物および燃料デブリは、上部から順次細断、破砕して撤去する。 ② CRD.H等はペDESTAL側からとの組み合わせにおいて順次細断して撤去する。	高	・溶融による変形の可能性あり。 ・CRD.Hの落下防止対策が困難。 ・CRD.Hは、横アクセス工法との関連性が高い。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

取り出し方針決定を考慮し、横アクセス工法においても関連性が高く、撤去時に落下防止対策が必要となり難易度が高い炉底部について要素試験を計画した。

● 開発の目的

- 狭隘部における加工性の実現性確認。
- 落下防止措置を考慮した加工法の実現性確認。
- 上アクセス工法および横アクセス工法またはその組み合わせによる加工性の実現性確認。

● 解決すべき課題

- 遠隔操作による作業性。
- 狭隘部の加工方法。
- CRD.Hの落下防止を考慮した撤去方法。

● 得られる成果

- 狭隘部に対する加工方法の実現性。
- 落下防止措置を考慮した加工方法の実現性。
→ CRD.Hの加工、運搬および容器への回収に関する作業性の確認。
- 上アクセス工法および横アクセス工法またはその組み合わせによる加工性の実現性。
- スループットの検討。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

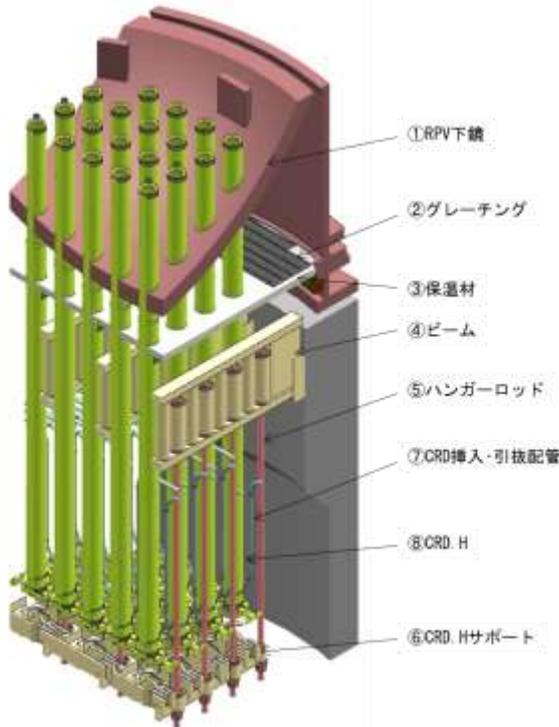
②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

炉底部の干渉物撤去として、狭隘、把持切断、落下防止など最も作業が困難と考えるCRD.H撤去作業を要素試験対象とした。

大：課題大 3点
 中：課題中 1点
 小：課題小 0点
 (既存技術で対応可能)

炉底部干渉物課題評価まとめ表



炉底部干渉物イメージ

No.	撤去対象	主な課題				課題評価	備考
		狭隘作業	把持しながら加工が必要(加工反力)	加工の難易度(板厚など)	落下防止が必要		
1	RPV下鏡	小	小	大	大	6点	
2	グレーチング	中	小	小	中	2点	
3	保温材	中	小	小	中	2点	
4	ビーム	中	中	大	中	6点	
5	ハンガーロッド	中	中	中	中	4点	
6	CRD.Hサポート	中	中	中	中	4点	
7	CRD挿入・引抜配管	中	中	小	中	3点	
8	CRD.H	大※1	大※2	大※3	大※4	12点	

※1：撤去するCRD.Hと他のCRD.Hの間隔が狭隘であるため「大」

※2：CRD.H内部に燃料デブリが存在すると仮定すると他の構造物と比較し、加工反力が大きくなるため「大」

※3：*2と同様にCRD.H内部や付着した燃料デブリを考慮し「大」

※4：CRD.H内部の構造物や燃料デブリの落下防止を考慮するため「大」

：要素試験模擬範囲

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

開発、進め方の概要を示す。CRD.Hの切断については、燃料デブリの付着を考慮し、単体試験において切断性の確認を行った。

No.	炉底部干渉物撤去フェーズ	検討内容および試験目的(確認項目)	単体試験	組合せ試験	備考
1	炉底部燃料デブリ加工	<ul style="list-style-type: none"> 炉底部燃料デブリおよび干渉物撤去に関する概念検討を行う。 CRD.Hの撤去に関する要素試験結果に基づき実現性に関する判断が可能と推定。 (CRD.Hの撤去が炉底部において最も困難な作業だと推定) 	-	-	別途加工試験を実施
2	燃料デブリ回収/移送				
3	RPV下鏡開口				
4	グレーチング保温材撤去				
5	ハンガーロード撤去				
6	CRD.Hサポート撤去				
7	CRD.H切断ツール位置決め	CRD.H切断ツールが所定の位置に設置可能であり、CRD.Hを把持できること。		○	
8	CRD.H回収ツール位置決め	CRD.H回収ツールが所定の位置に設置可能であり、CRD.Hを把持できること。		○	
9	CRD.Hの切断ツールによる切断	適応可能と考える切断方法により、計画した切断位置において切断可能であること。	○	○	切断ツール選定のため予備試験を実施
10	切断片回収ツールによる搬送	切断されたCRD.Hを把持しながらUC近傍まで搬送可能であること。		○	
11	回収アームによるUCへの回収	回収ツールのCRD.H切断片をUCに収納可能であること。		○	

○：試験実施

6. 本事業の実施内容

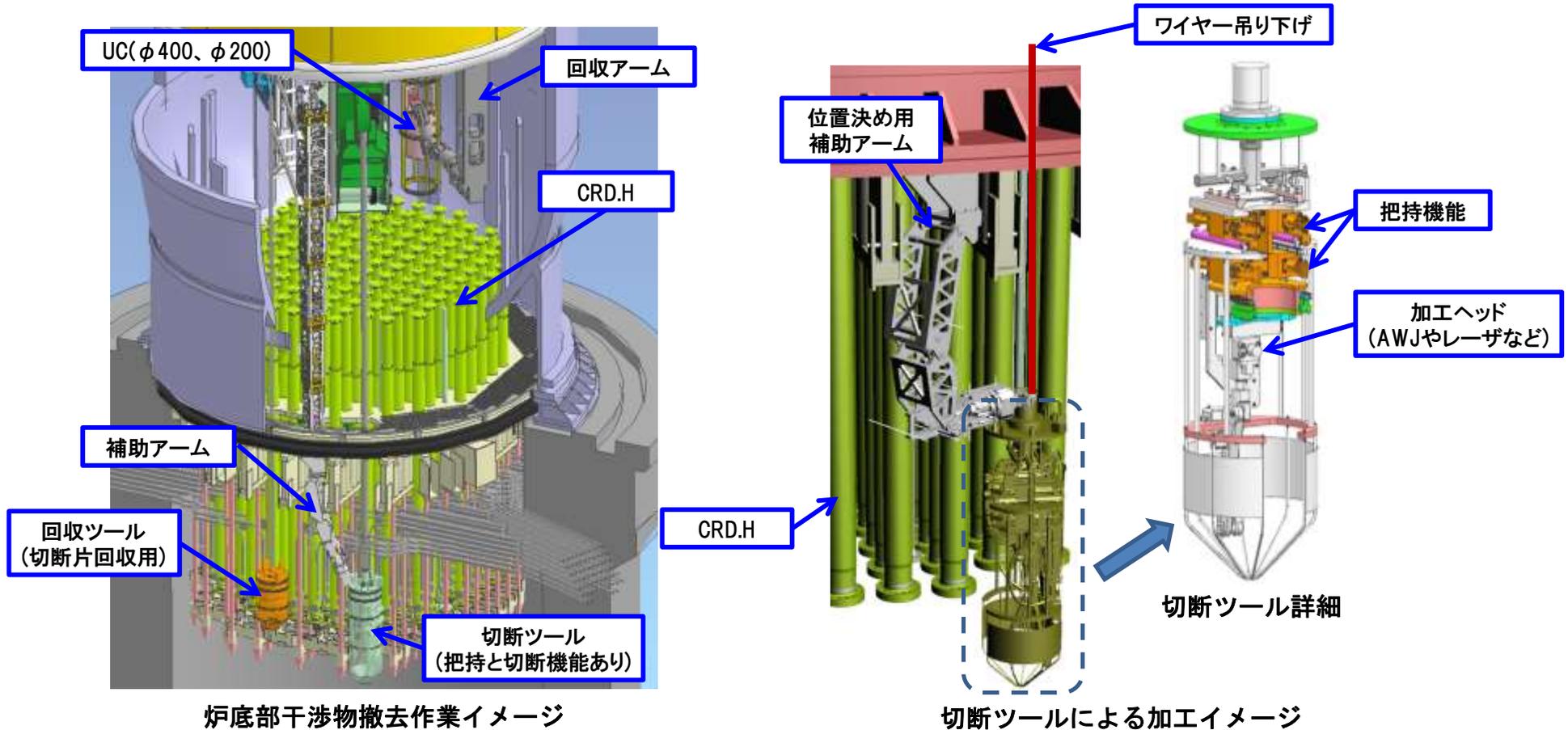
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

炉底部(CRD.H含む)の干渉物撤去作業イメージを以下に示す。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

炉底部(CRD.H含む)の干渉物撤去に関する主な検討方針を整理した。

No.	項目	検討方針	備考
1	干渉物撤去手順	<ul style="list-style-type: none"> シールドプラグ、DSPスロットプラグ、PCV上蓋、原子炉保温材、RPV上蓋、ドライヤ、セパレータ、炉心部(燃料デブリ含む)を撤去後、炉底部の燃料デブリおよびCRD.Hを撤去する手順とする。 	
2	搬出ルート	<ul style="list-style-type: none"> 炉底部の干渉物は、上アクセス工法において撤去する方針とし、オペフロを通して搬出するものとする。 別途上アクセス工法および横アクセス工法の組み合わせについても概念検討を行う。 	
3	RPV底部からCRD.Hへのアクセス箇所	<ul style="list-style-type: none"> 溶融した燃料デブリによる損傷が大きいと思われるRPV底部中心からのアクセスは困難であると想定し、比較的損傷が少ないと考えられるRPV内面下部より新規開口を設けてアクセスするものとする。 PCV、RPV内部調査完了後は、調査結果によりアクセス方法を見直す。 	
4	アクセス開口	<ul style="list-style-type: none"> RPV内面下部にCRD.Hを落下させることなく開口可能な寸法を設置する前提とする。 2、3号機の開口サイズにおいて検討を行う。* 	
5	CRD.H切断装置	<ul style="list-style-type: none"> 切断に必要な、「把持」、「切断」、「落下防止」、「回収」および位置決め機能を有するものとする。 開口寸法と作業効率を考慮し、機能を複数の装置に分割する。 	
6	CRD.H切断ツール	<ul style="list-style-type: none"> 既存技術より、狭隘作業とCRD.H形状に合った切断ツールを選定する。 選定したツールにより切断予備試験を実施し、要素試験で使用する切断ツールを選定する。 	
7	落下防止	<ul style="list-style-type: none"> CRD.H切断時の落下防止について考慮する。 CRD.H内部に存在すると考えられる溶融物などの落下防止についても対策を講ずる。 	

※:スルーポットの分析対象である3号機をベースに概念検討と要素試験を行う。1号機については、概念検討を行う。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

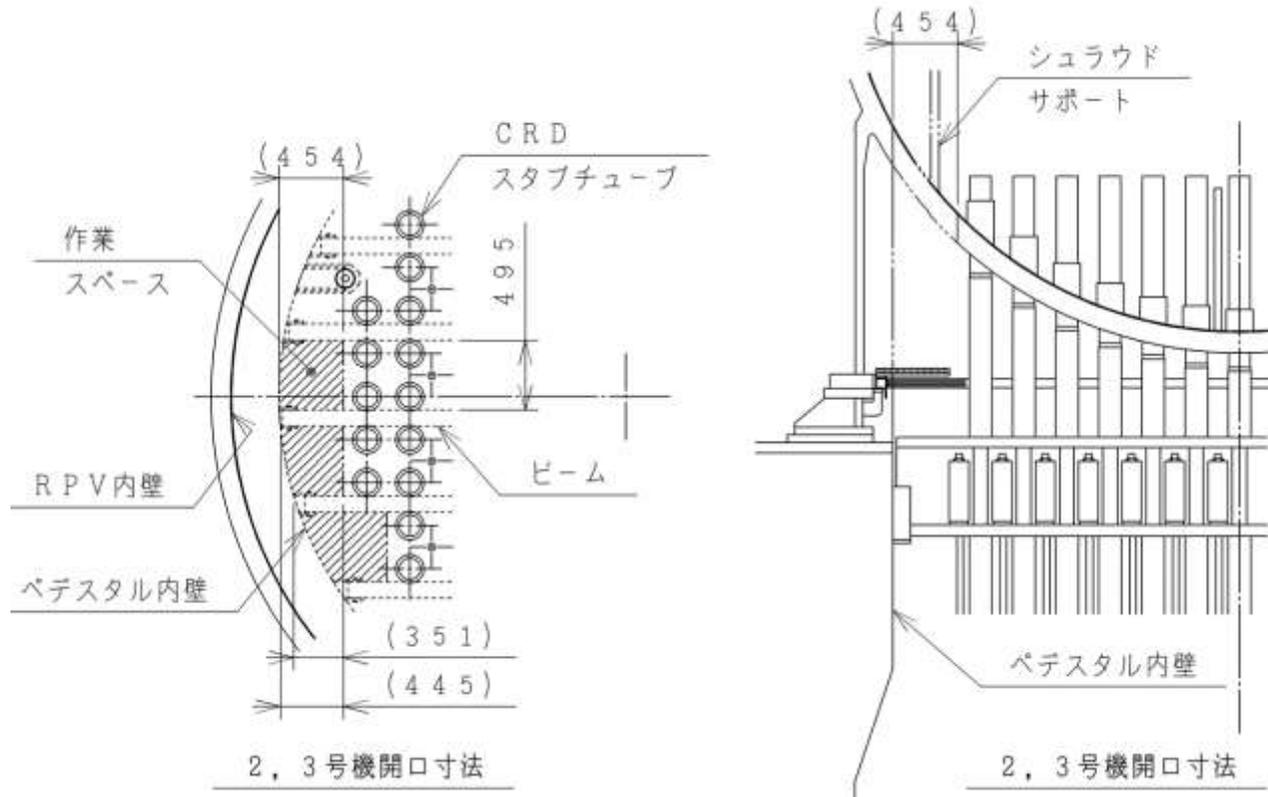
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

炉底部(CRD.H含む)の干渉物撤去に必要な開口の設置条件について確認した。

RPV内面下部に設置することが可能な開口を図に示す。狭隘であるため、CRD.H撤去に必要な機能を複数の装置に分割する方針とした。



7. 本事業の実施内容

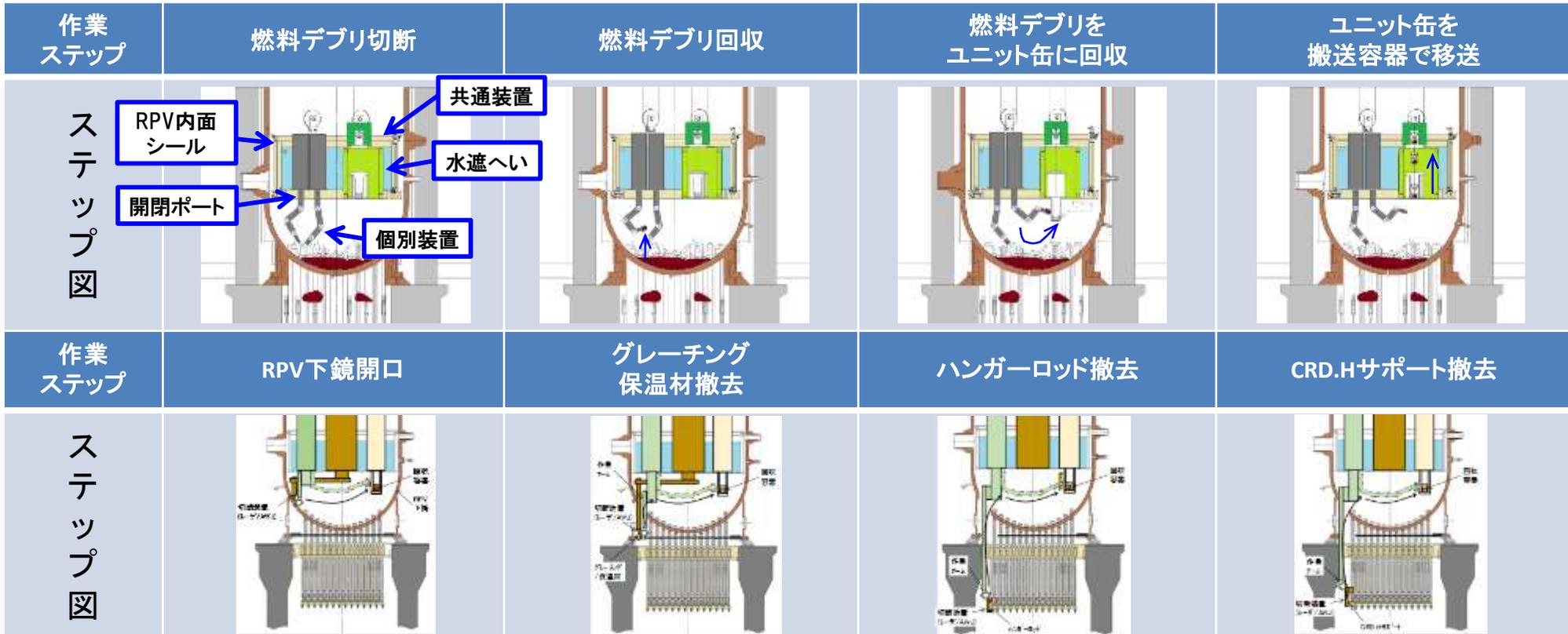
7.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

炉底部(CRD.H含む)の干渉物撤去および燃料デブリ取り出し作業に必要な機能や課題を整理するため、作業ステップを検討した。なお、開発する装置は汚染拡大防止技術として平成26年度補助事業※開発成果(RPV内面シールや開閉ポート)の考え方を踏襲し、作業中の気密とダスト飛散防止および遮へい対策とした。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

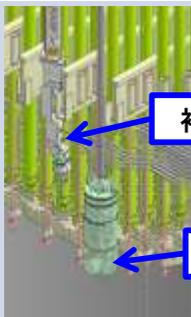
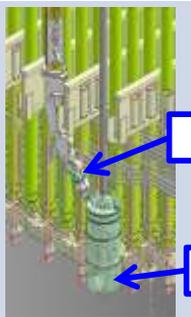
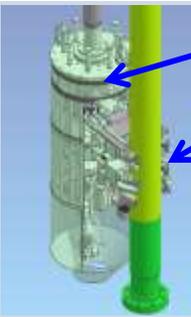
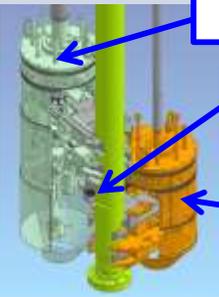
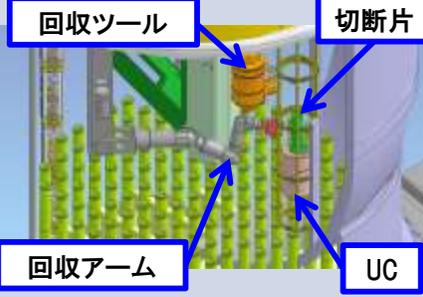
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

炉底部(CRD.H含む)の干渉物撤去および燃料デブリ取り出し作業に必要な機能や課題を整理するため、作業ステップを検討した。

: 要素試験模擬範囲

作業 ステップ	CRD.H 切断ツール設置	補助アーム設置	補助アームによる 切断ツール位置決め	切断ツールによる CRD.Hの把持
ステップ 図	 <p>吊り下げ CRD.H 切断ツール</p>	 <p>補助アーム 切断ツール</p>	 <p>補助アーム 切断ツール</p>	 <p>切断ツール CRD.H把持箇所</p>
作業 ステップ	回収ツール位置決め CRD.H把持(落下防止)	切断ツールによる CRD.Hの切断	回収ツールによる 切断片回収	切断片の UCへの回収
ステップ 図	 <p>補助アーム 回収ツール</p>	 <p>切断ツール 加工ヘッド (AWJ、レーザなど) 回収ツール (落下防止)</p>	 <p>切断片 UC 回収ツール</p>	 <p>回収ツール 切断片 UC 回収アーム UC</p>

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

炉底部(CRD.H含む)の干渉物撤去および燃料デブリ取り出し作業ステップを検討した結果より、燃料デブリ取り出し装置への要求機能を整理した。

: 要素試験対象範囲

● 燃料デブリ取り出し装置への要求機能

- 燃料デブリ取り出し装置により、想定している炉底部の干渉物および燃料デブリを加工可能であること。また、想定した干渉物および燃料デブリに対し、有効な加工ツールを適用可能であること。
- 燃料デブリ取り出し装置により、加工した干渉物および燃料デブリを容器に回収し、搬出ルート上に搬出可能であること。
- 燃料デブリ取り出し装置により、CRD.Hを撤去するために必要となる、RPV底部に開口を設置することが可能であること。
- RPV底部開口を通じてCRD.H近傍に、CRD.H撤去装置を設定可能であること。
- CRD.H撤去装置により、CRD.Hを落下させることなく切断加工が可能であること。
- 加工したCRD.H片を搬出ルート上に搬出可能であること。
- 上記作業を遠隔で実施するための監視が可能であること。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

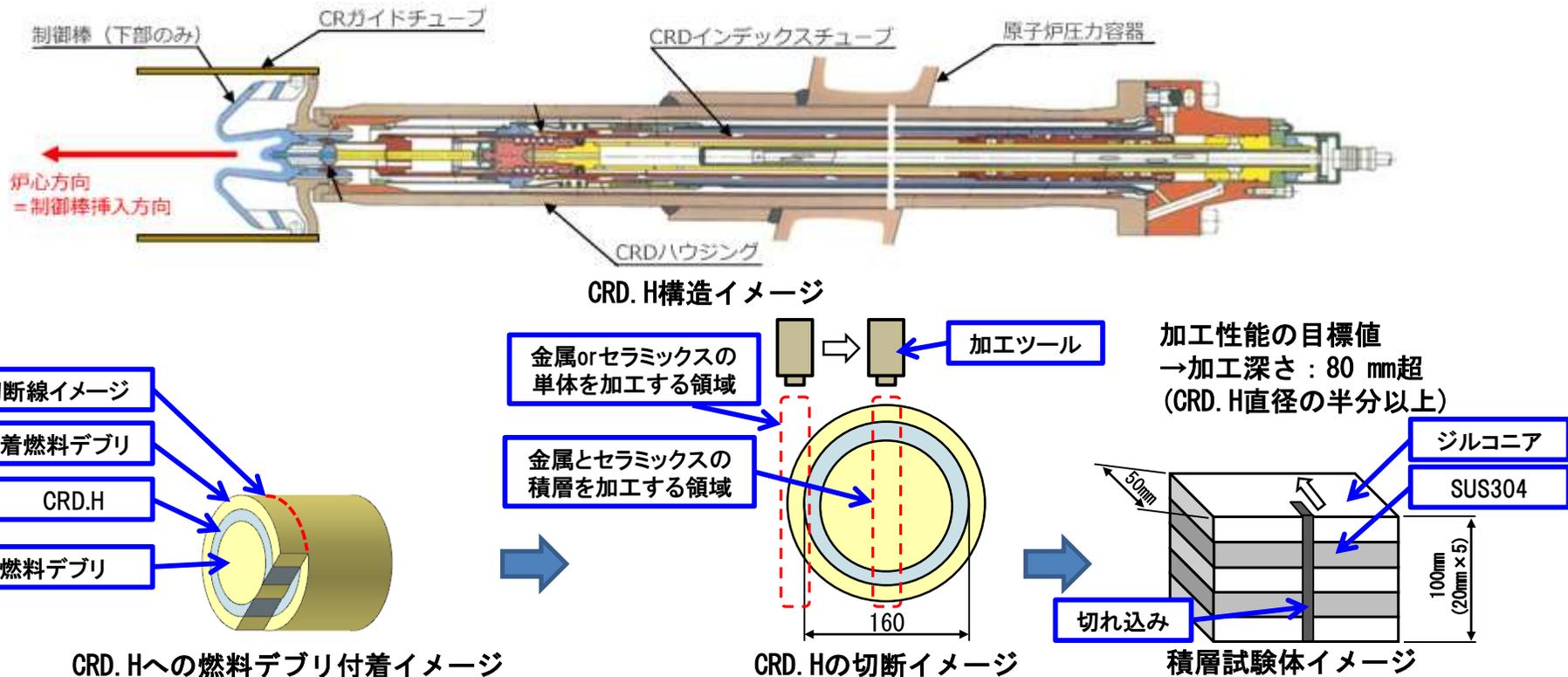
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

要求機能に基づき、干渉物(付着した燃料デブリ含む)に対し、有効と考えている加工手段を選定するにあたって予備試験に使用する模擬体について検討した。

試験体は、CRD.Hの外表面および内部に燃料デブリが付着したことを想定し、多層構造とした。



6. 本事業の実施内容

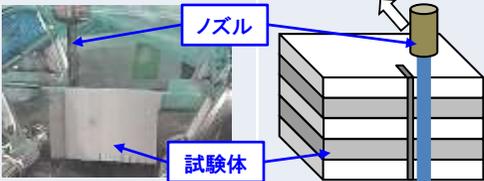
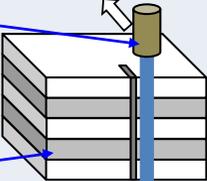
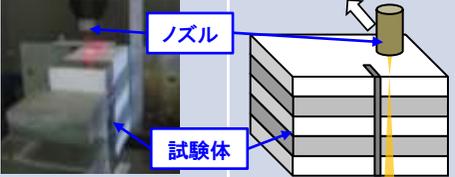
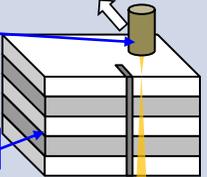
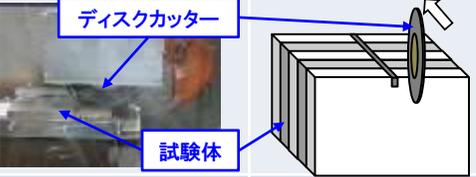
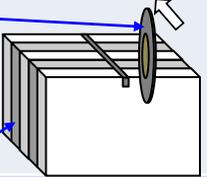
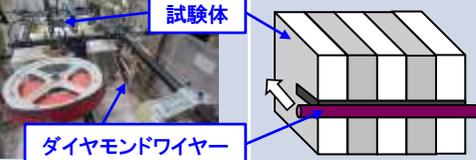
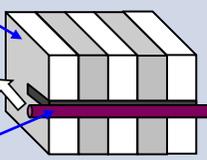
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

要求機能に基づき、干渉物(付着した燃料デブリ含む)に対し、有効と考えている加工手段について適用可否を確認するために予備試験を実施した。 □ : CRD.H撤去装置加工ツールに選定

No.	加工ツール	試験状況		加工効率(代表値) =深さmm×長さmm/加工時間min	結果説明	評価
		装置外観	模式図			
1	AWJ (350MPa)			75 mm ² /min (= 56 mm × 50 mm/37.5 min)	<ul style="list-style-type: none"> レーザーと比較して加工深さが浅いが、加工条件の改善により、切断への適用が可能になると判断。 廃棄物量が多い点が課題。 (供給量: 500 g/min) 	△
2	レーザー (8kW)			602 mm ² /min (= 100 mm × 50 mm/8.3 min)	<ul style="list-style-type: none"> 加工深さから、切断への適用が可能と判断。 	○
3	ディスク カッター			750 mm ² /min (= 1.5 mm × 100 mm/0.2 min)	<ul style="list-style-type: none"> CRD.Hを1回切断するのに10回以上カッター交換を要する点が課題。 (約1500mm²の切削で性能低下を確認) 装置小型化に課題あり。 	×
4	ワイヤー ソー			1000 mm ² /min (= 25 mm × 100 mm/2.5 min)	<ul style="list-style-type: none"> ワイヤーの消耗が早く、CRD.Hを1~2回切断する度にワイヤー交換を要する点が課題。 (約20minの加工で性能低下を確認) 装置小型化に課題あり。 	×

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

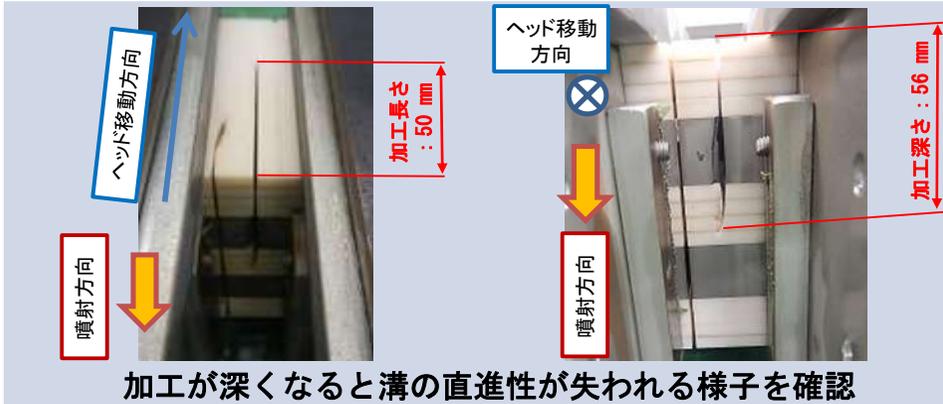
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

補足として、積層試験体の加工後外観写真を示す。

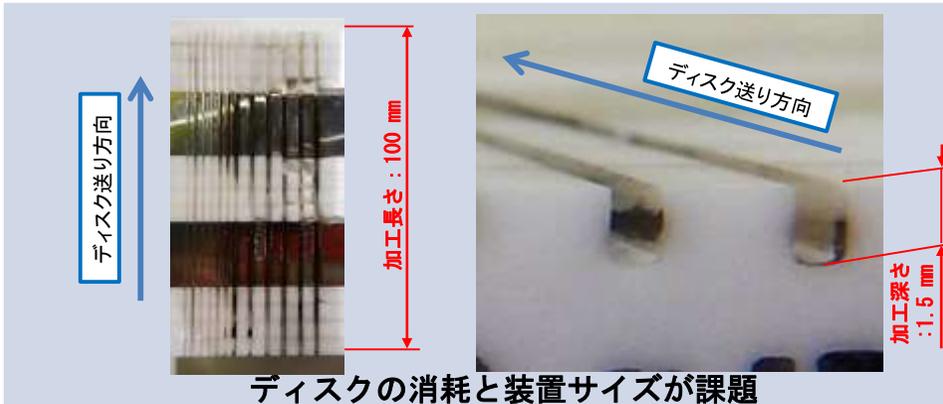
1. AWJ (350 MPa)



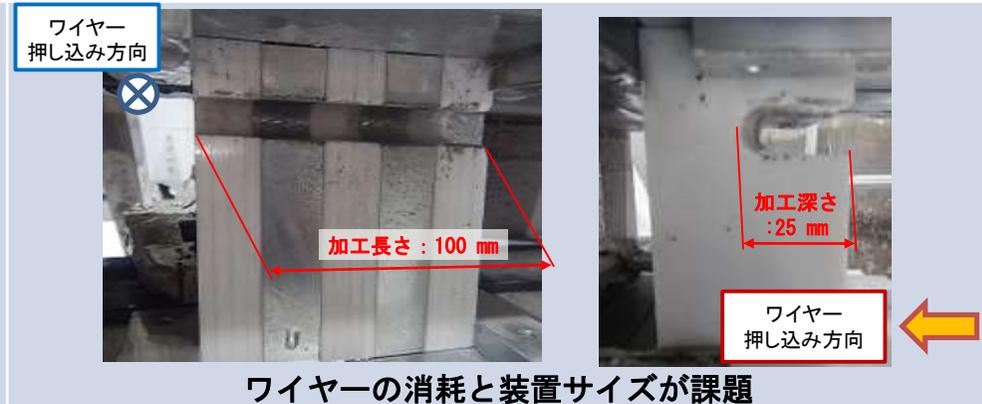
2. レーザ (8 kW)



3. ディスクカッター



4. ワイヤソー



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

要求機能・予備試験結果から、CRD.Hを撤去するために必要となるCRD.H撤去装置について基本仕様を整理した。

No.	要求機能	必要となる機能	CRD.H撤去装置の基本仕様	備考
1	RPV底部開口を通じてCRD.H近傍に、CRD.H撤去装置を設定可能であること。	<ul style="list-style-type: none"> CRD.H部にユーティリティ供給も含めて設定可能であること。 CRD.H近傍において、切断位置の詳細な位置決めが可能であること。 	<ul style="list-style-type: none"> RPV底部の開口にアクセス可能な寸法とする。 RPVよりユーティリティ供給も考慮し、CRD.H近傍に装置を吊りおろす仕様とする。 CRD.H近傍において詳細な位置決めが可能なよう補助アームを設置する。 	
2	CRD.H撤去装置により、CRD.Hを落下させることなく切断加工が可能であること。	<ul style="list-style-type: none"> CRD.Hが切断可能であること。 切断後においてもCRD.Hの切断片を落下させないこと。 	<ul style="list-style-type: none"> 切断予備試験において選定した切断ツールを設置する。 切断時は、加工反力に備えCRD.Hを把持する。把持箇所は、切断片が回収可能なよう切断線の上側とする。把持と切断機能を一体化した加工ツールとする。 切断後に切断片が落下しないようCRD.Hを把持する。回収可能なよう把持箇所は、切断線の下側とする。把持と落下防止機能を一体化した回収ツールとする。 	
3	加工したCRD.H片を搬出ルート上に搬出可能であること。	<ul style="list-style-type: none"> 切断後においてもCRD.Hの切断片を把持可能であること。 搬送中の落下防止を考慮すること。 切断片をUCに収納可能であること。 	<ul style="list-style-type: none"> 回収ツールによりCRD.H切断片を把持し、落下防止を考慮しながらUC近傍まで搬送可能な仕様とする。 回収ツールの切断片をUCに収納するために、UC近傍に回収アームを設置する。 	
4	上記作業を遠隔で実施するための監視が可能であること。	それぞれの作業を監視可能であること。	それぞれの作業を監視可能なように、装置やアーム近傍などにカメラを設置する。	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

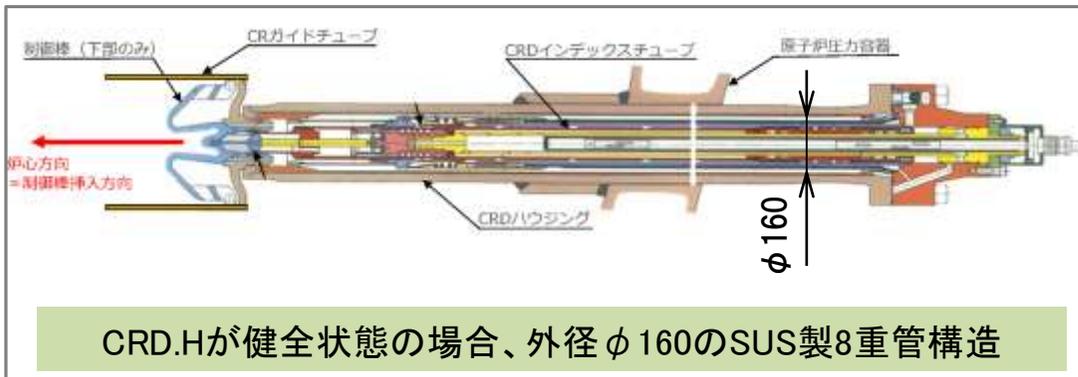
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

モックアップ試験で用いる切断条件を検討するための基礎試験に使用する模擬体について検討した。

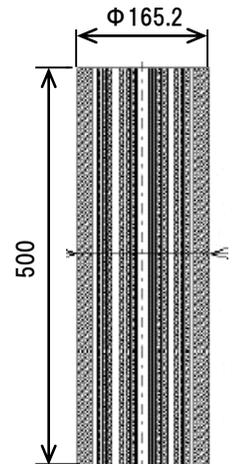
試験体は、CRD.Hの損傷が小さい場合と大きい場合の2種類を準備することとした。



切断対象の損傷が小さい場合のCRD.Hイメージ
⇒配管のみを模擬した試験体を準備



SUS製8重管試験体



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

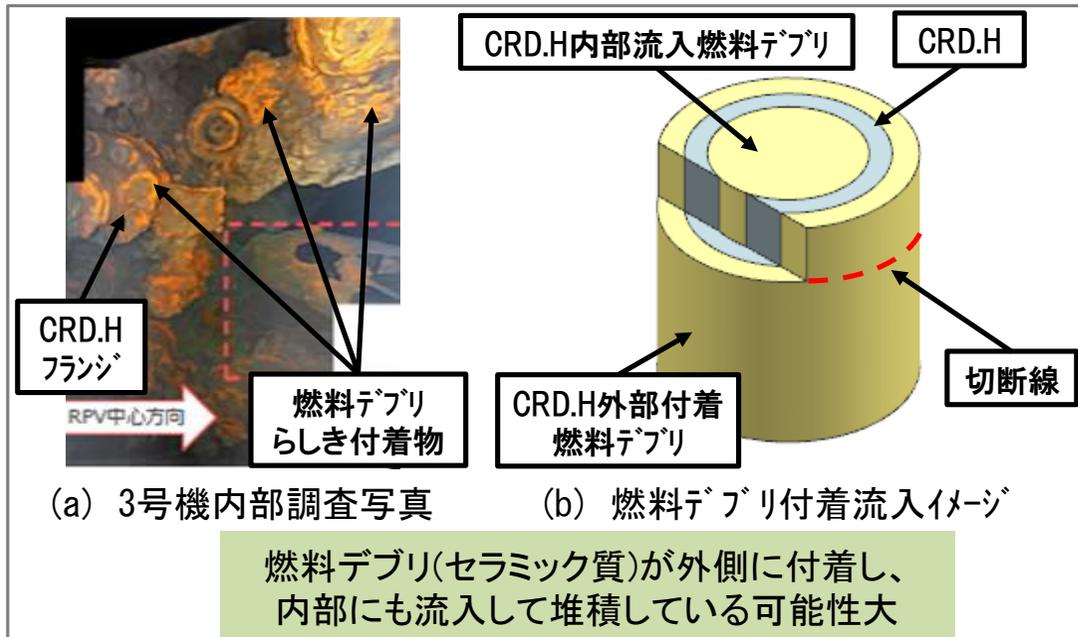
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

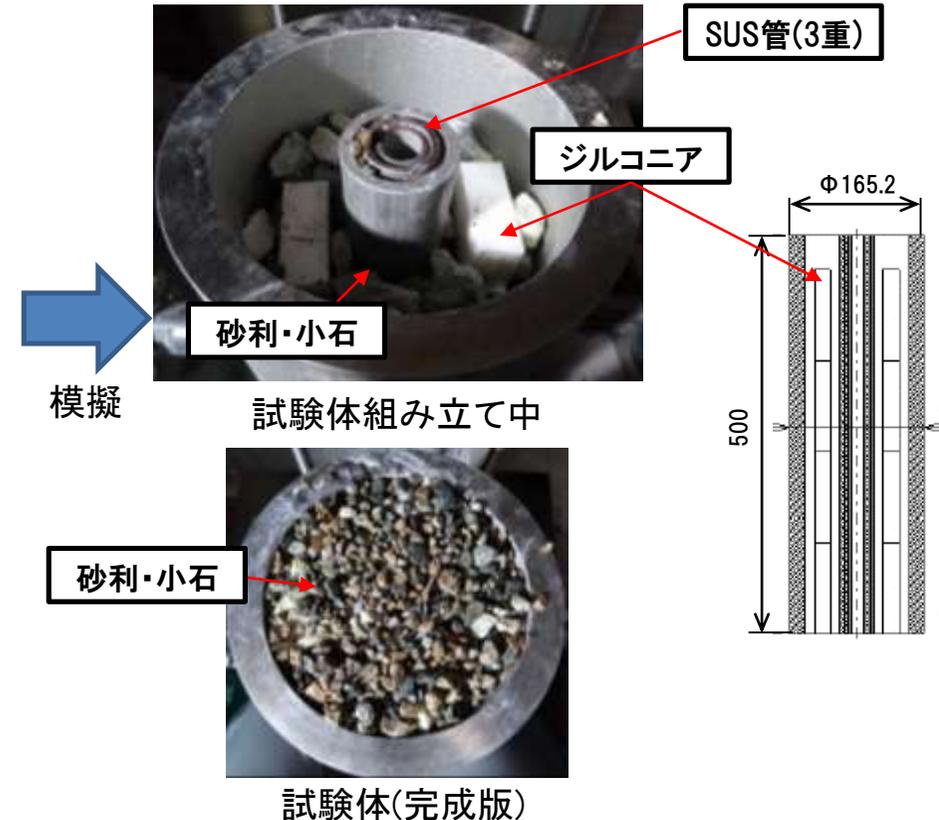
a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

モックアップ試験で用いる切断条件を検討するための基礎試験に使用する模擬体について検討した。

試験体は、CRD.Hの損傷が小さい場合と大きい場合の2種類を準備することとした。



切断対象の損傷が大きい場合のCRD.Hイメージ
⇒配管内に燃料デブリが堆積している状況を模擬するため、SUS多重管内にセラミックスおよび砂利・小石を詰めた試験体を準備



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

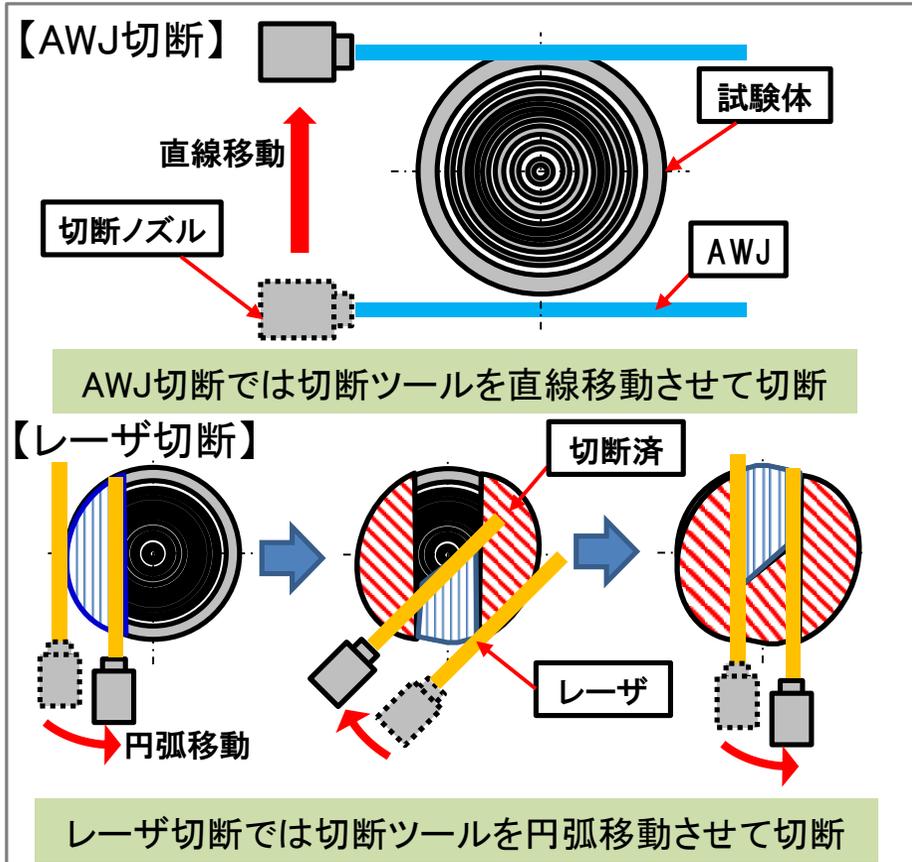
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

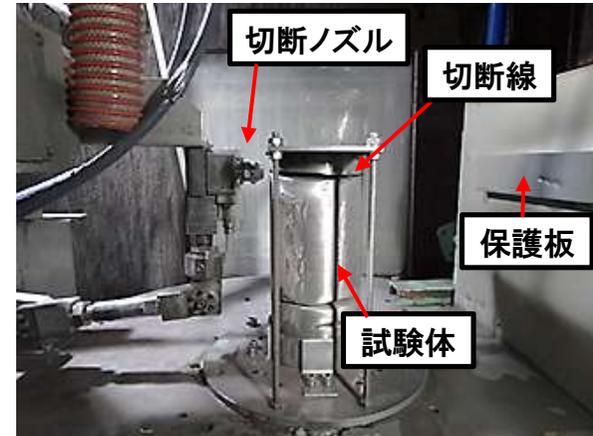
a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

基礎試験での切断方法・確認項目について検討した。

● CRD.H模擬試験体の切断イメージ



● 試験装置構成(AWJ切断の例)



● CRD.H模擬試験体切断後の主な確認項目

- ・分断の可否
- ・切断所要時間(実測+送り速度から概算)
- ・廃棄物量(切断所要時間から概算)
- ・多重管内容物の落下有無

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

基礎試験を実施し、試験体を分断するための所要時間を算出した。

● AWJ切断結果(代表例)

No.	試験体	試験状況	所要時間(代表値) =CRD.H直径÷送り速度×切断回数	試験条件、結果説明
1	SUS製8重管 (損傷小模擬)	 切断ノズル側  切断ノズル反対側	約11 min (= $\phi 160 \text{ mm} \div 15 \text{ mm/min} \times 1 \text{ 回}$)	<ul style="list-style-type: none"> ポンプ圧力:245MPa、送り速度:15mm/min、アブレシブ供給量:1800g/min 1回切断でCRD.H直径の160mmを切断可能 アブレシブ排出量:約20kg (11min × 1800g/min)
2	SUS製多重管 +セラミックス (損傷大模擬)	 正面側  分断 ジルコニア (左:切断ノズル側、右:反対側)	約320 min (= $\phi 160 \text{ mm} \div 1 \text{ mm/min} \times 2 \text{ 回}$)	<ul style="list-style-type: none"> ポンプ圧力:245MPa、送り速度:1mm/min、アブレシブ供給量:1800g/min 1回切断でジルコニアを分断可能 ※切断ノズル反対側のSUS管に切れ残りが確認されたため、試験体の分断には2回切断が必要と判断。 アブレシブ排出量:約580kg (160min × 1800g/min × 2)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

基礎試験を実施し、試験体を分断するための所要時間を算出した。

● レーザ切断結果(代表例)

No.	試験体	試験状況	所要時間(代表値)	試験条件、結果説明
1	SUS製8重管 (損傷小模擬)	 切断中  切断後	約207 min	<ul style="list-style-type: none"> レーザー出力:8kW、送り速度:6mm/minおよび30mm/min 円弧軌道で切れ残り部を複数回繰り返し切断することにより試験体を分断
2	SUS製多重管 +セラミックス (損傷大模擬)	 切断後  分断後	約207 min	<ul style="list-style-type: none"> 上記と同じ条件で実施し、分断可能

6. 本事業の実施内容

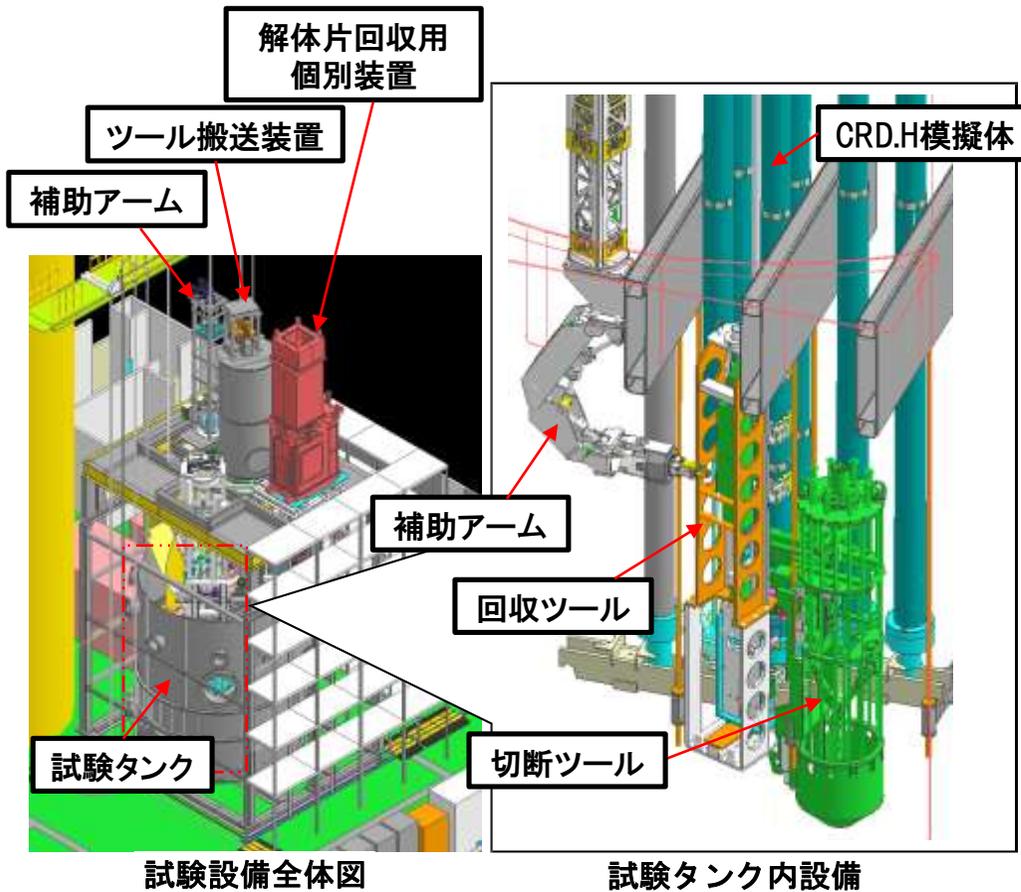
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

整理した基本仕様に基づき、CRD.H撤去装置を製作した。



試験タンク外観

6. 本事業の実施内容

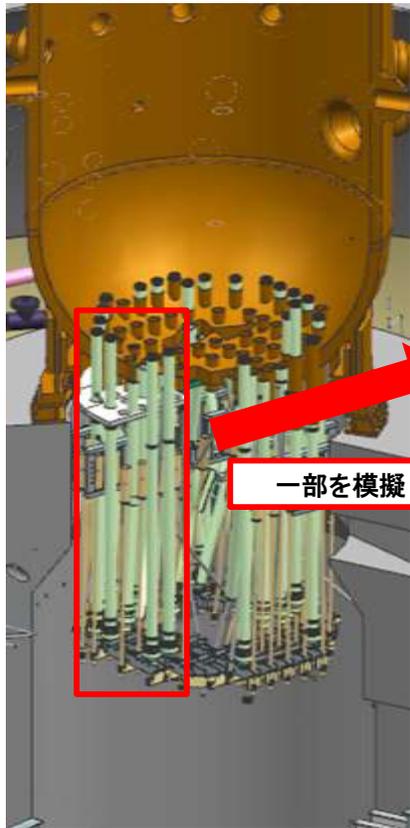
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

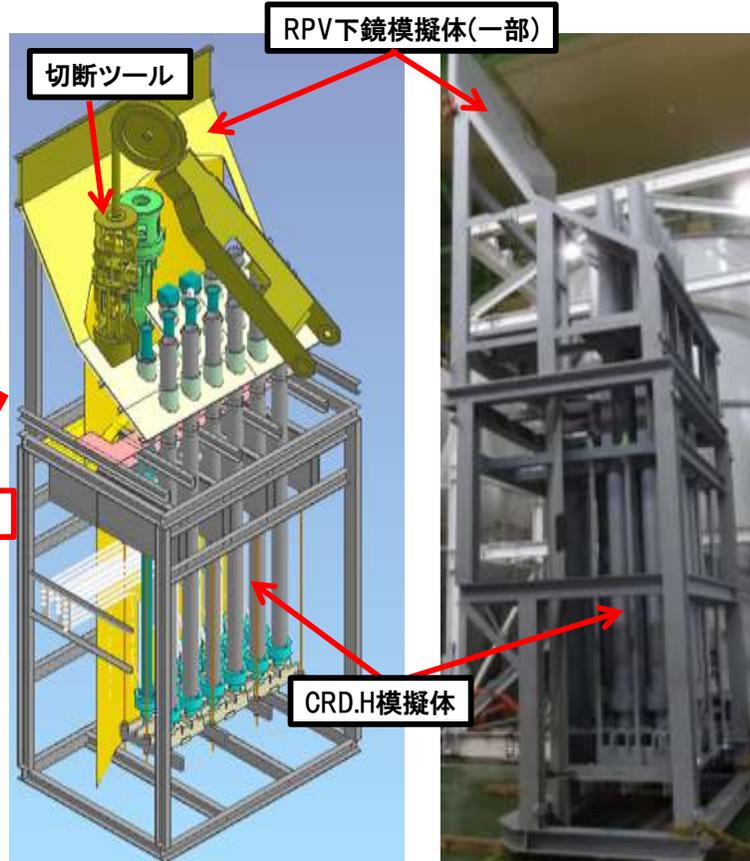
② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法
模擬体は、内部調査結果を考慮し、準備した。

切断するCRD.H模擬体は配管内に燃料デブリが堆積している状況を模擬し、SUS多重管内にセラミックス(ジルコニア)を詰めたものを用いた



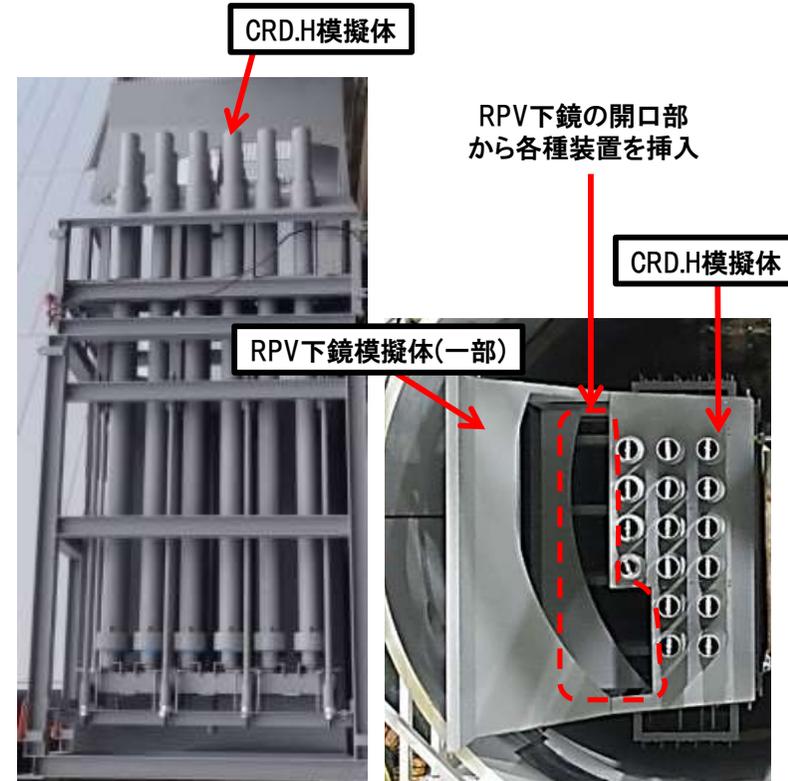
炉底部干渉物イメージ



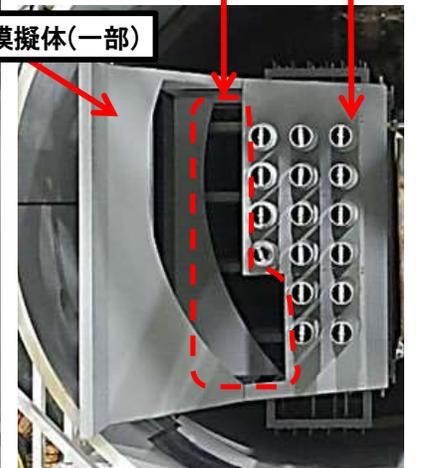
模擬体イメージ



模擬体



模擬体正面



模擬体上面

6. 本事業の実施内容

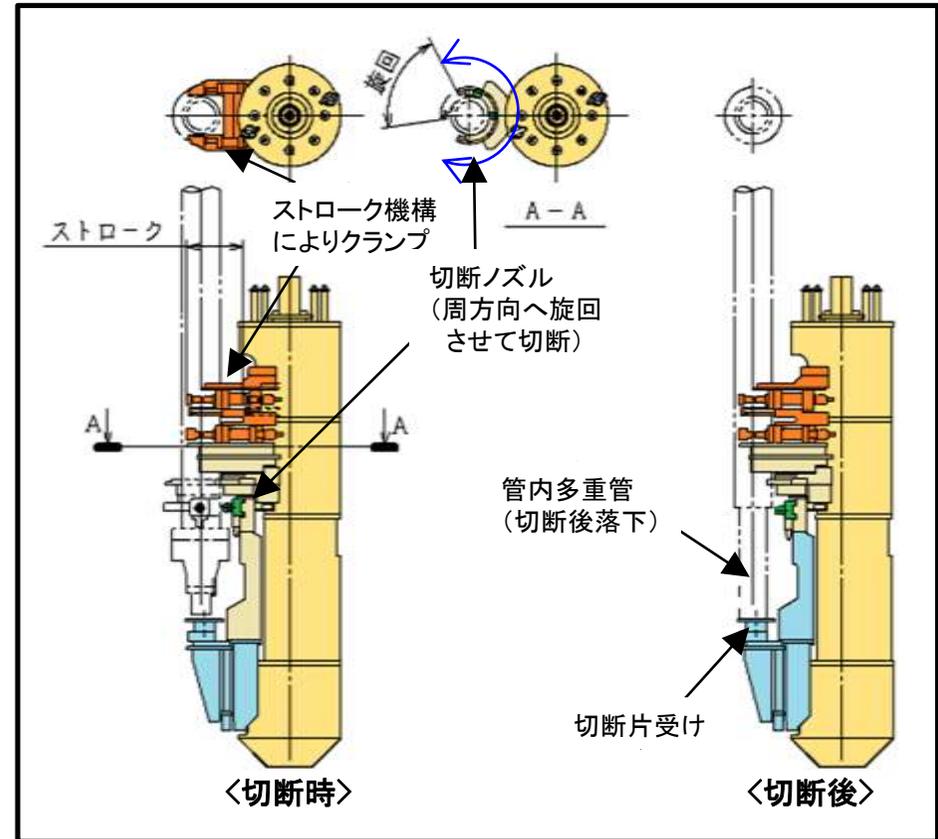
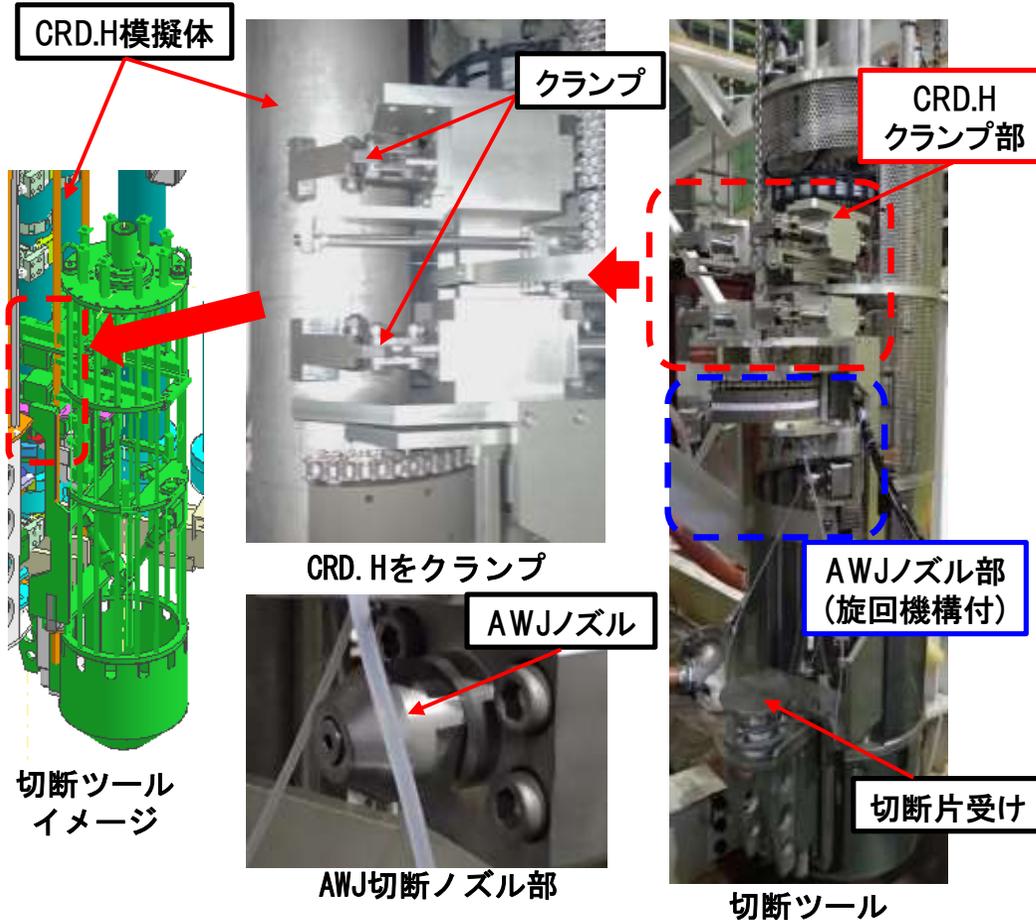
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

CRD.H撤去装置の概要を以下に示す。



切断ツールの主な動作

6. 本事業の実施内容

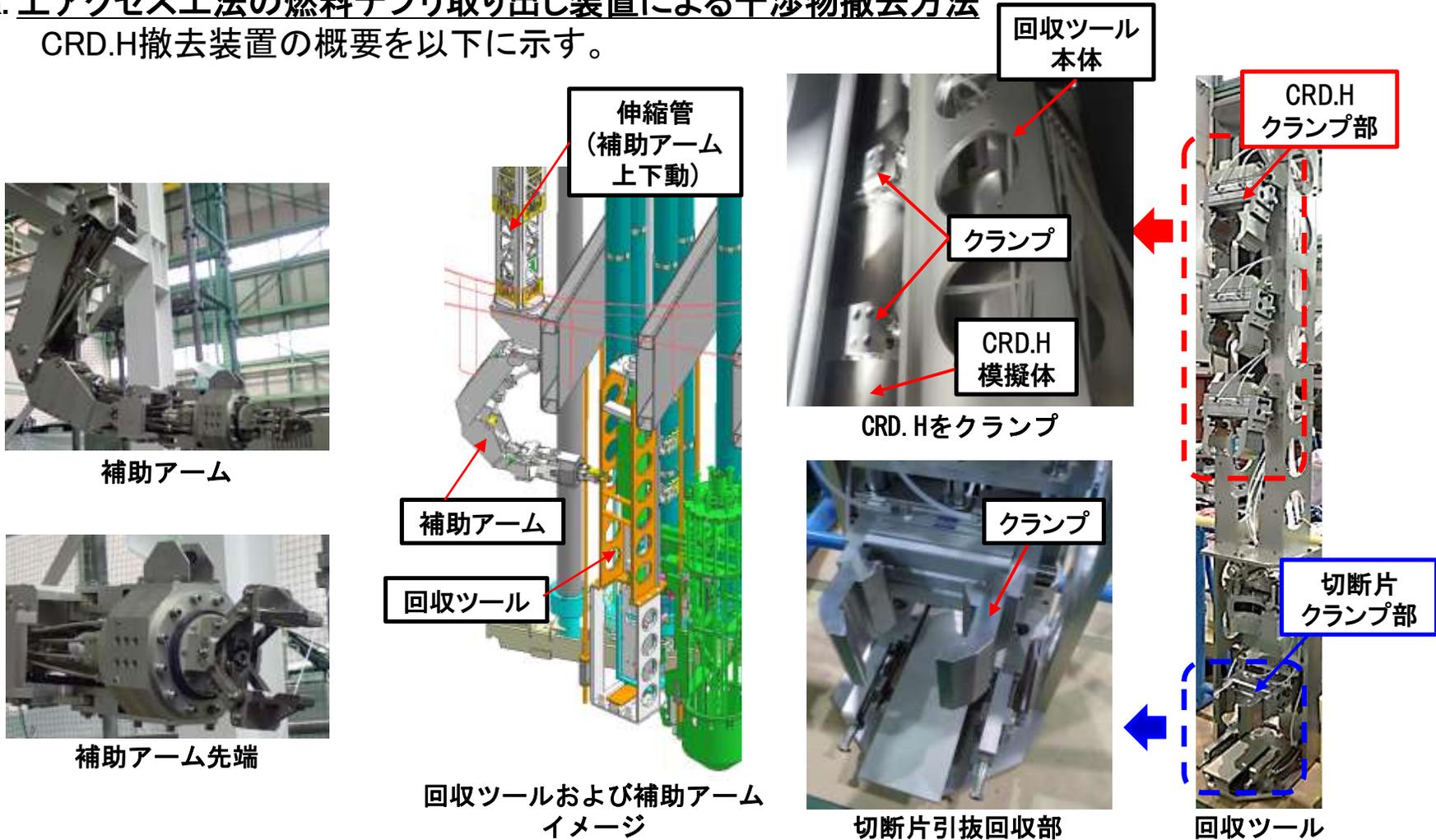
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

CRD.H撤去装置の概要を以下に示す。



6. 本事業の実施内容

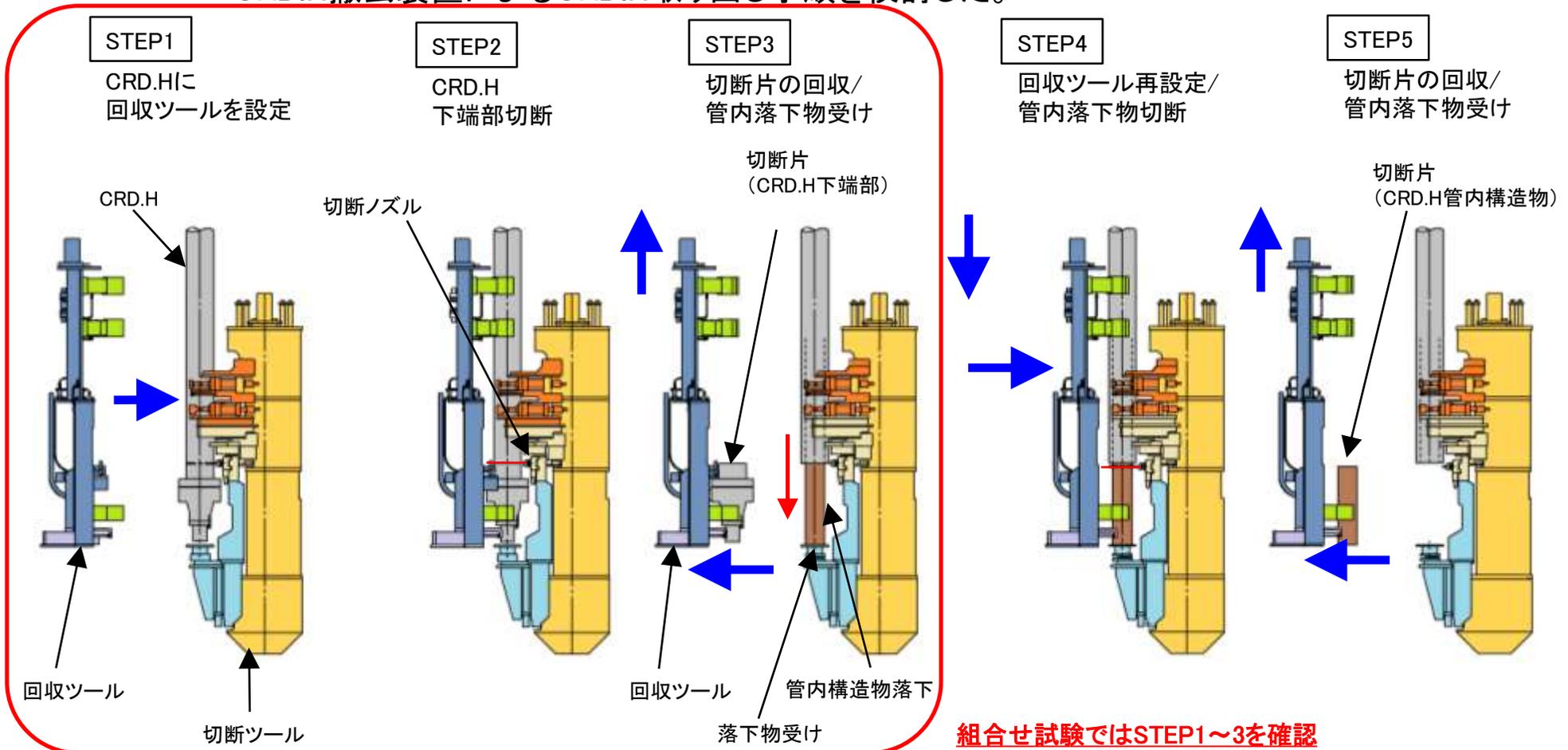
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

CRD.H撤去装置によるCRD.H取り出し手順を検討した。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

要素試験を実施した結果を以下に示す。

No.	試験項目	試験手順	判定基準	試験結果	備考
1	CRD.H切断試験 切断ツール位置 決め	切断ツールを補助アームにおいてCRD.Hの切断予定箇所に設置する。	切断ツールが補助アームなどにより所定の位置に設置可能であり、CRD.Hを把持できること。	下鏡開口部から切断ツールをインストールし、CRD.Hを把持可能であることを確認した。	
2	回収ツール位置 決め	補助アームにおいて回収ツールを位置決めし、切断後の落下防止措置として、CRD.Hを把持する。	回収ツールが補助アームなどにより所定の位置に設置可能であり、CRD.Hを把持できること。	下鏡開口部から回収ツールをインストールし、CRD.Hを把持可能であることを確認した。	
3	切断ツールによる切断	切断ツールによりCRD.Hを切断する。(AWJ、レーザ切断)	AWJやレーザなどの切断方法により、計画した切断位置において切断可能であること。	切断ツールに搭載したAWJにより、落下防止用にCRD.Hを把持しながら切断が可能であることを確認した。	
4	回収ツールによる搬送	切り離されたCRD.H切断片を把持したままUC近傍まで搬送する。	切断されたCRD.Hを把持しながらUC近傍まで搬送可能であること。	回収ツールでCRD.H切断片を把持し、UC近傍まで引き上げ可能であることを確認した。	
5	回収アームによるUCへの回収	回収ツールより回収アームにおいてCRD.H切断片を回収し、UCに収納する。	回収ツールにあるCRD.H切断片を回収アームによりUCに収納可能であること。	回収ツールが抱えている切断片を回収アームで把持し、UCに収納可能であることを確認した。	
6	遠隔監視試験	遠隔監視可能な位置にカメラを設置する。	遠隔監視により上記作業が可能であること。	基本的に上記作業は遠隔監視で実施した。	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

要素試験中の作業時間を計測し、スループットの分析に適用した。作業時間の計測結果を以下に示す。 : 作業時間測定範囲

作業ステップ	CRD.H切断ツール設置 (設置時間:約39分) ※切断ツール位置決め・吊り下ろし	補助アーム設置 (設置時間:約25分) ※補助アーム位置決め・吊り下ろし
ステップ図		
作業ステップ	切断ツール位置決め・把持 (位置決め・把持時間:約59分) ※補助アームによる位置決め・把持	CRD.H回収ツール設置 (設置時間:約33分) ※回収ツール位置決め・吊り下ろし
ステップ図		

6. 本事業の実施内容

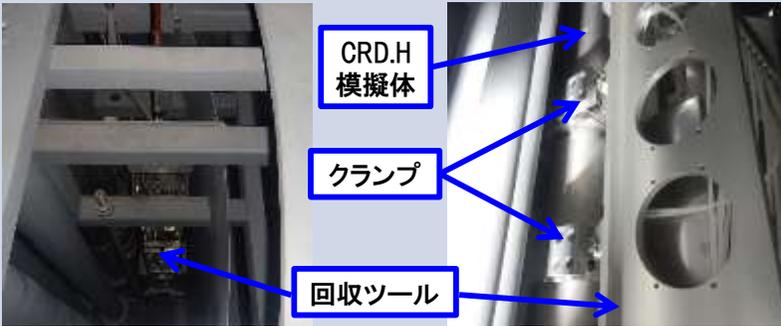
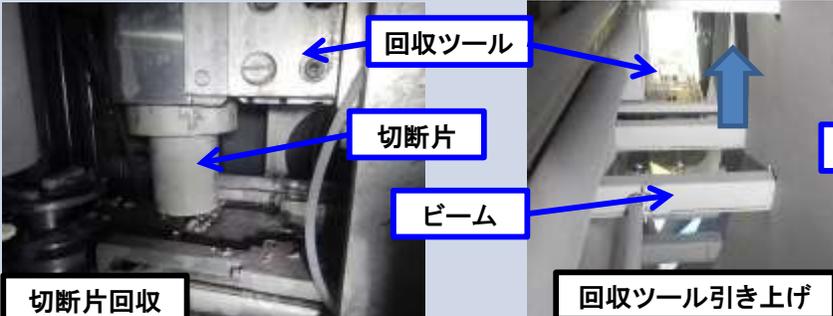
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

要素試験中の作業時間を計測し、スループットの分析に適用した。作業時間の計測結果を以下に示す。 : 作業時間測定範囲

作業 ステップ	回収ツール位置決め・把持 (位置決め・把持時間:約29分)	CRD.Hの切断 (切断時間:約271分)
ステップ 図		
作業 ステップ	切断片回収・回収ツール引き上げ (切断片回収・回収ツール引き上げ時間:約55分)	切断片のUCへの回収 (回収アームでの切断片把持・回収時間:約49分)
ステップ 図		

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

要素試験における作業時間を表にまとめた。

No.	試験項目	作業内容	各ステップの作業時間	合計作業時間(1回あたり)	備考
1	CRD.H切断試験 切断ツール位置 決め	切断ツールを補助アームにおいてCRD.Hの切断予定箇所を把持する。	<ul style="list-style-type: none"> 切断ツール設置: 約39分 補助アーム設置: 約25分 切断箇所把持: 約59分 	合計: 約2.1時間	
2	回収ツール位置 決め	補助アームにおいて回収ツールを位置決めし、切断後の落下防止措置として、CRD.Hを把持する。	<ul style="list-style-type: none"> 補助アーム退避: 約25分 回収ツール設置: 約33分 補助アーム設置: 約25分 落下防止把持: 約29分 	合計: 約1.9時間	
3	切断ツールによる切断	切断ツールによりCRD.Hを切断する。(AWJ、レーザ切断)	<ul style="list-style-type: none"> 補助アーム退避: 約18分 AWJ切断時間: 約271分 	合計: 約4.9時間	切断対象の損傷が大きい場合のCRD.H模擬体を切断(SUS多重管+ジルコニア)
4	回収ツールによる搬送	切り離されたCRD.H切断片を把持したままUC近傍まで搬送する。	<ul style="list-style-type: none"> 補助アーム設置: 約35分 切断片引抜時間: 約13分 回収ツール引き上げ時間: 約42分 	合計: 約1.5時間	
5	回収アームによるUCへの回収	回収ツールより回収アームにおいてCRD.H切断片を回収し、UCに収納する。	<ul style="list-style-type: none"> 切断片把持: 約13分 切断片のUCへの回収: 約36分 	合計: 約0.9時間	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

各作業ステップで抽出された課題と対応方針を以下に示す。

No.	試験項目	試験結果	主な課題	対応方針※
1	CRD.H切断試験 切断ツール位置 決め	下鏡開口部から切断ツールをインストールし、CRD.Hを把持可能であることを確認した。	<ul style="list-style-type: none"> ・CRD.H把持の際の位置合わせ ・CRD.H把持確認方法 	<ul style="list-style-type: none"> ・CRD.H把持部付近にカメラを設置 (設置方法は課題) ・横工法との組み合わせにより、下方からカメラ、ファイバー等を挿入して視野を確保
2	回収ツール位置 決め	下鏡開口部から回収ツールをインストールし、CRD.Hを把持可能であることを確認した。	<ul style="list-style-type: none"> ・CRD.H把持の際の位置合わせ ・CRD.H把持確認方法 	
3	切断ツールによる切断	切断ツールに搭載したAWJにより、落下防止用にCRD.Hを把持しながら切断が可能であることを確認した。	<ul style="list-style-type: none"> ・AWJによる装置および周囲構造物の損傷防止 ・アブレシブ(研磨材)の飛散・堆積 ・二次廃棄物量(1.8kg/min)の低減 ・切断片、破片の落下防止 	<ul style="list-style-type: none"> ・狭隘部での切断を減らす工法の検討(※) ・AWJによる切断回数の低減 ・落下許容量の評価
4	回収ツールによる搬送	回収ツールでCRD.H切断片を把持し、UC近傍まで引き上げ可能であることを確認した。	<ul style="list-style-type: none"> ・切断片の引抜方法 (切断片が傾く等により引き抜けない事象あり) 	<ul style="list-style-type: none"> ・引抜回数を減らす工法の検討(※) ・回収ツールの構造見直し
5	回収アームによるUCへの回収	回収ツールが抱えている切断片を回収アームで把持し、UCに収納可能であることを確認した。	<ul style="list-style-type: none"> ・切断片の落下防止 ・回収アームによる切断片把持確認方法 	<ul style="list-style-type: none"> ・回収回数を減らす工法の検討(※) ・切断片把持部付近にカメラを設置
6	遠隔監視試験	基本的にも上記作業は遠隔監視で実施した。	<ul style="list-style-type: none"> ・狭隘部への遠隔でのカメラ設置方法 	<ul style="list-style-type: none"> ・監視が困難な場所での作業を減らす工法の検討(※)

※:「対応方針」の(※)については次年度以降に検討する。その他は今後のエンジニアリング等で検討予定。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

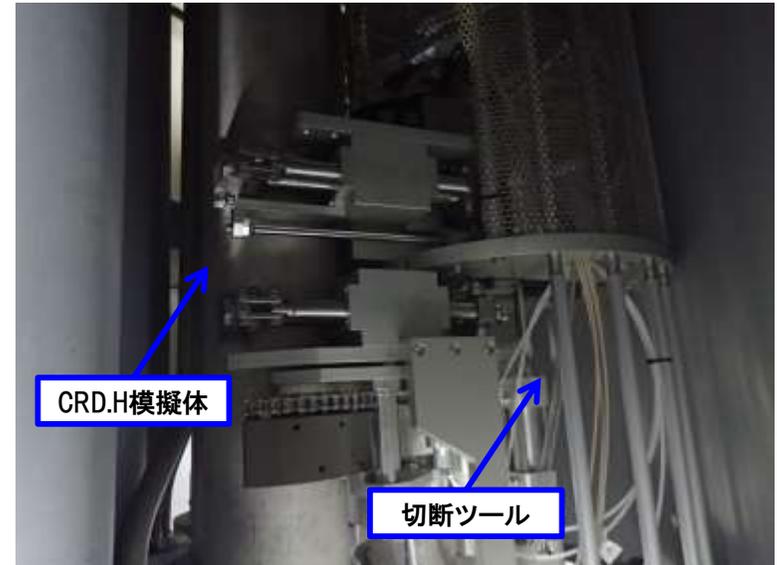
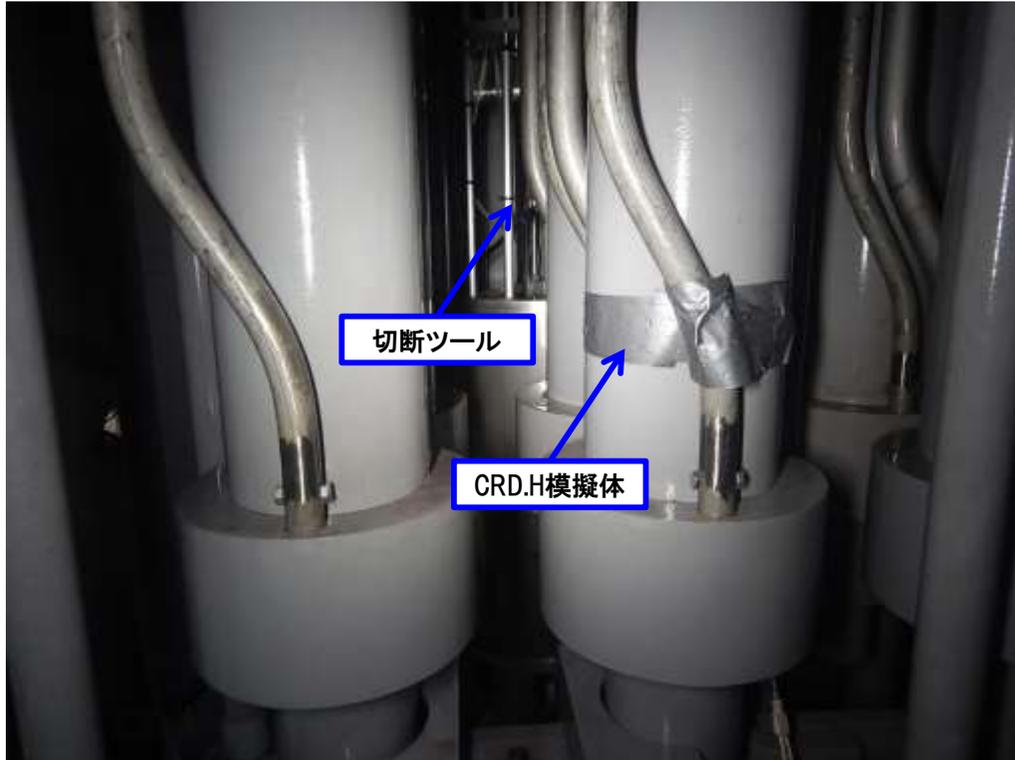
②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

要素試験中の主な課題を以下に示す。

● CRD.H把持の際の位置合わせ・把持確認方法

⇒切断ツール(回収ツール)周囲には多数のCRD.H等があり、狭隘であるためカメラでの監視が困難



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

要素試験での主な課題を以下に示す。

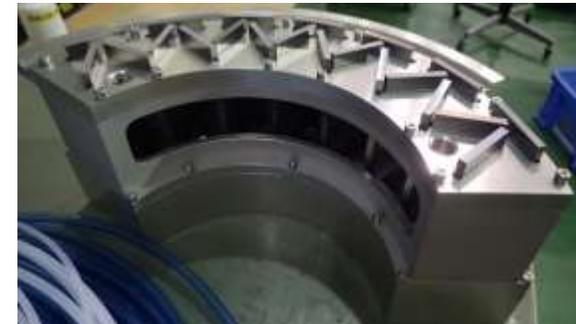
● AWJによる装置および周囲構造物の損傷



回収ツール



回収ツールの損傷防止のため、AWJが当たる位置に超硬のキャッチャーを設置していたが、激しく損傷



新品のキャッチャー



ICMハウジング*
模擬体

CRD.H模擬体の周囲にある
ICMハウジング模擬体が損傷

※ICMハウジング：中性子計測ハウジング

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

要素試験での主な課題を以下に示す。

- アブレシブ(研磨材)の飛散・堆積 [アブレシブ排出量: 1800g/min]
⇒装置駆動部に堆積すると動作不良の原因となる
- CRD.H内容物(ジルコニア破片等)の落下
⇒切断ツールの切断片受けで完全に落下物を受け止め切れない



フランジ上への堆積



回収ツール駆動部への堆積



試験タンク底部への落下

6. 本事業の実施内容

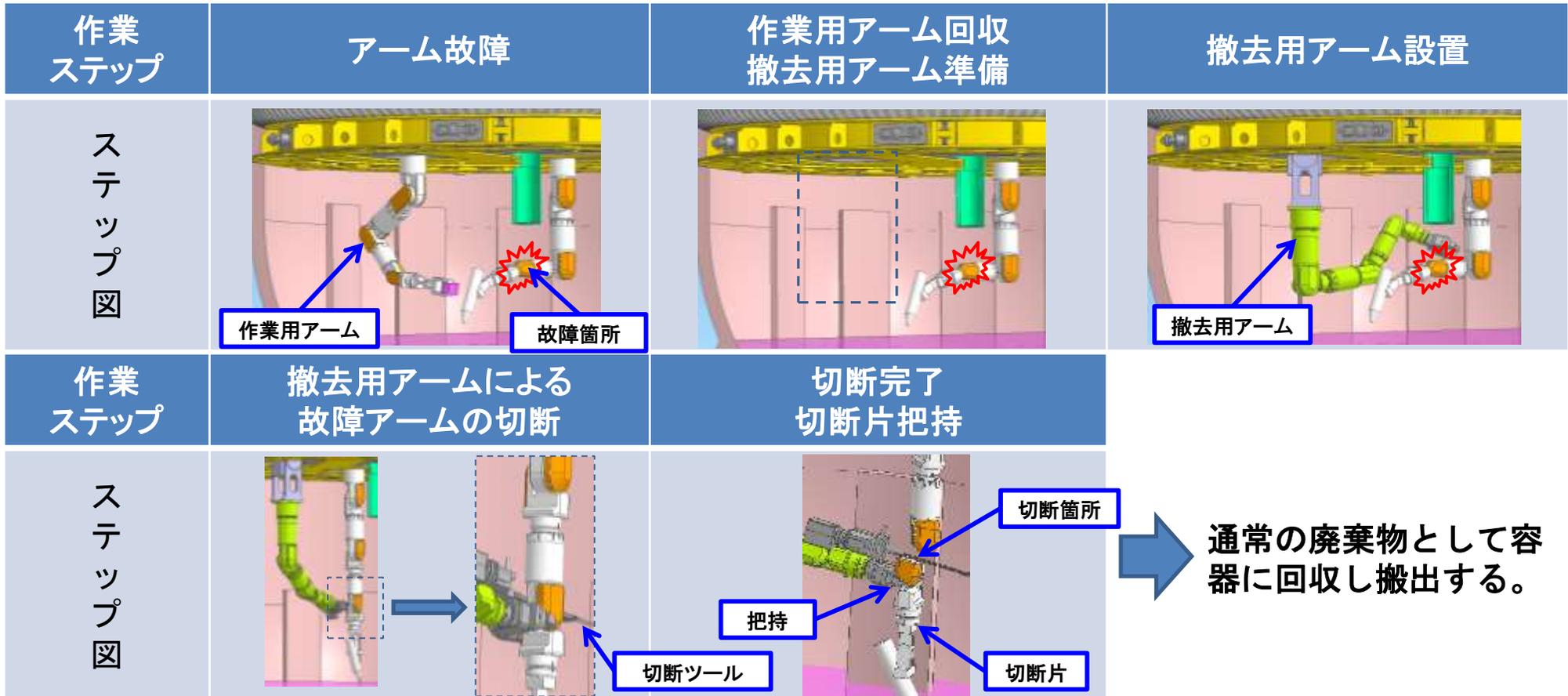
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

非常時を想定した回収方法について概念検討を実施した。



6. 本事業の実施内容

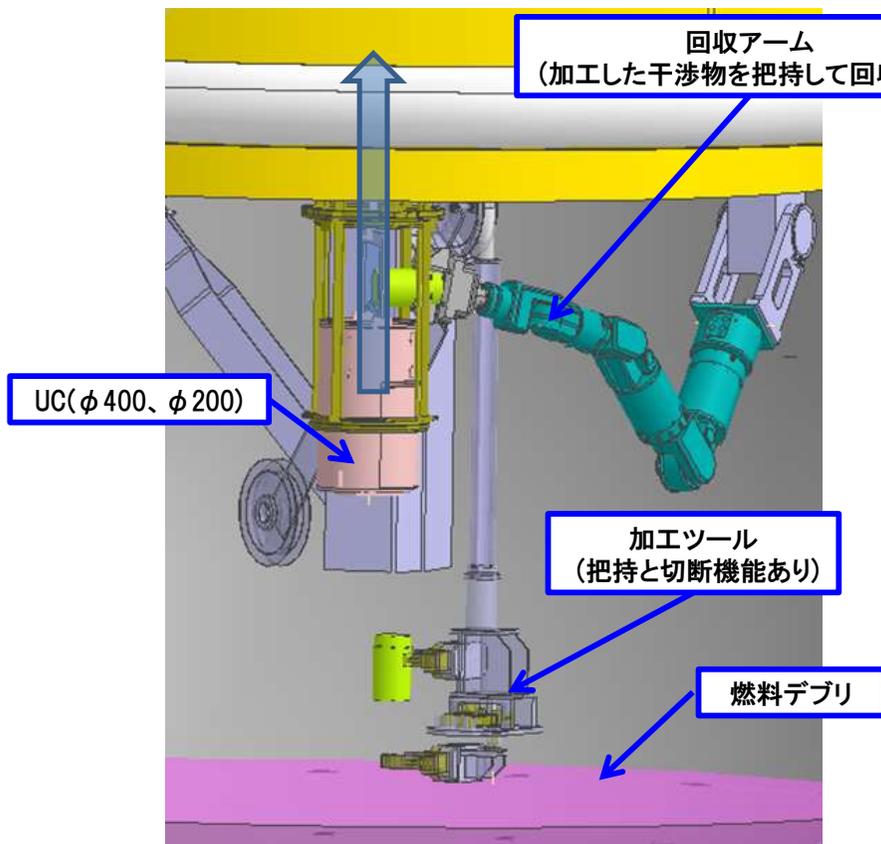
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

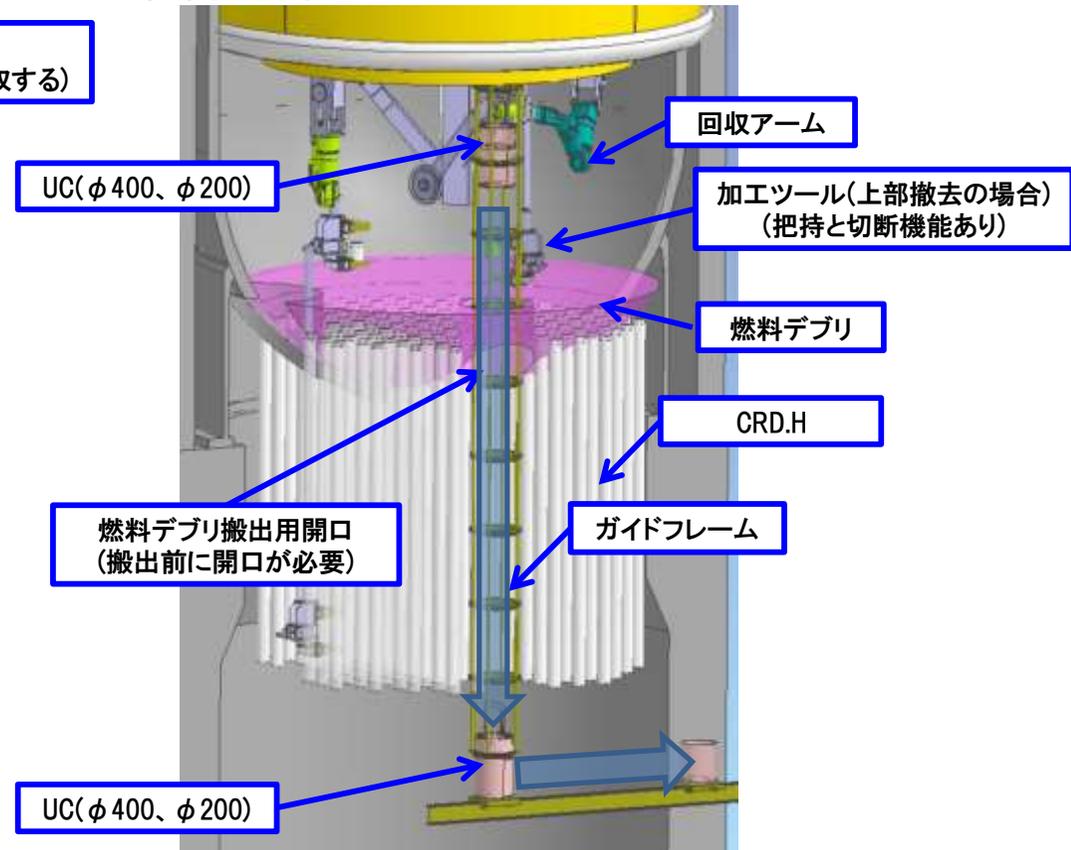
② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

燃料デブリおよび干渉物を上アクセス工法で撤去し、横アクセス工法の搬出ルートを活用して搬出する上横組み合わせ工法について検討した。



上アクセス工法のための搬出イメージ



上横組み合わせ工法のための搬出イメージ

6. 本事業の実施内容

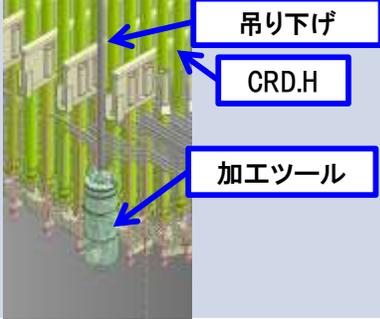
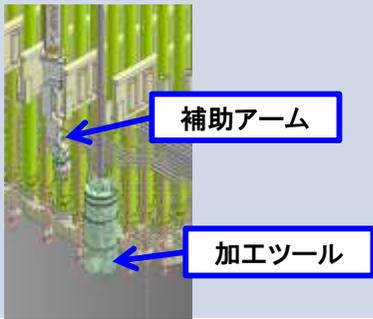
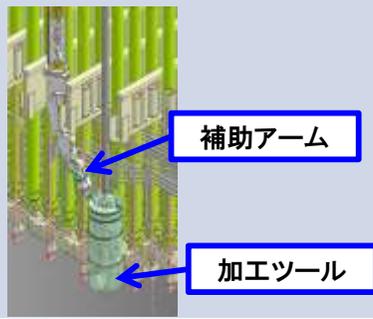
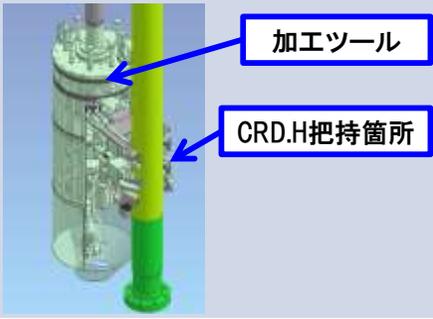
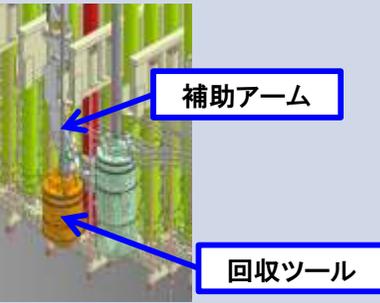
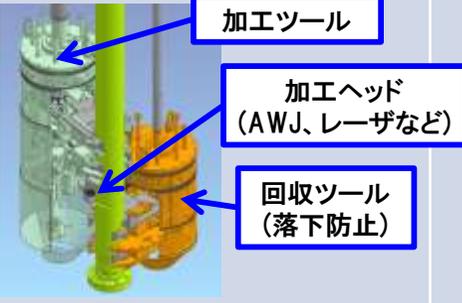
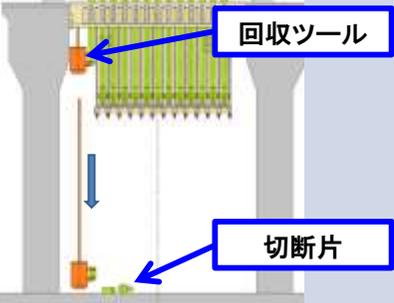
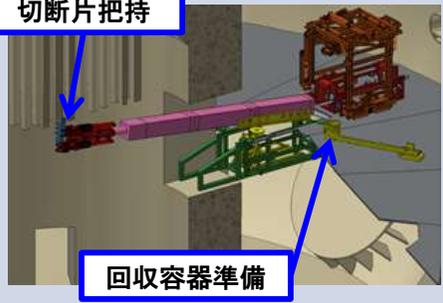
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

上横組み合わせによる干渉物撤去工法のステップ※について検討した。

作業ステップ	CRD.H 加工ツール設置	補助アーム設置	補助アームによる加工ツール位置決め	加工ツールによるCRD.Hの把持
ステップ図	 <p>吊り下げ CRD.H 加工ツール</p>	 <p>補助アーム 加工ツール</p>	 <p>補助アーム 加工ツール</p>	 <p>加工ツール CRD.H把持箇所</p>
作業ステップ	回収ツール位置決め CRD.H把持(落下防止)	加工ツールによるCRD.Hの切断	切断片のペDESTAL底部への仮置き	横アクセス工法による切断片の把持
ステップ図	 <p>補助アーム 回収ツール</p>	 <p>加工ツール 加工ヘッド (AWJ、レーザなど) 回収ツール (落下防止)</p>	 <p>回収ツール 切断片</p>	 <p>切断片把持 回収容器準備</p>

※:横アクセス工法による燃料デブリ取り出しが完了したあとにCRD.Hを撤去した場合を想定。

6. 本事業の実施内容

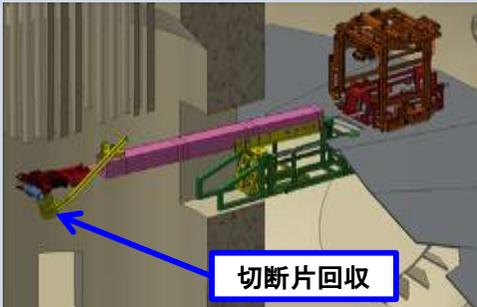
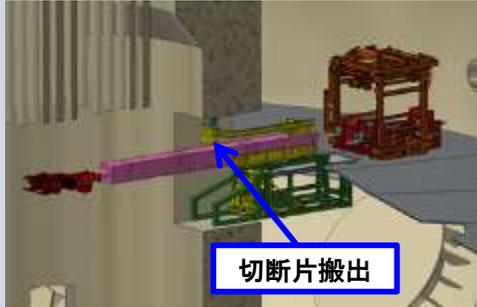
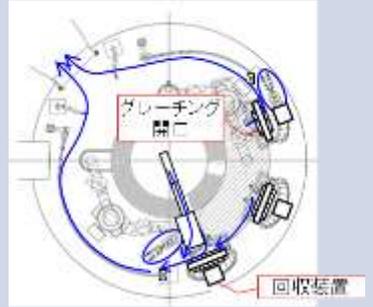
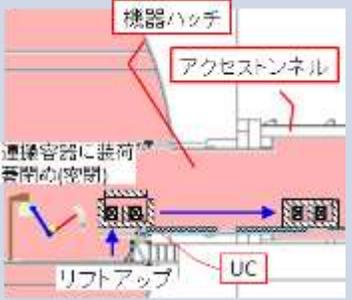
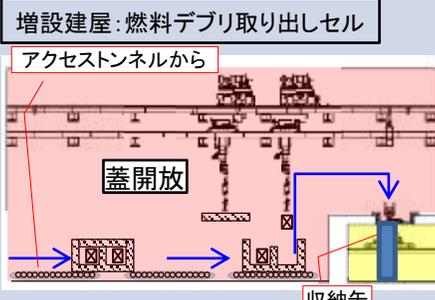
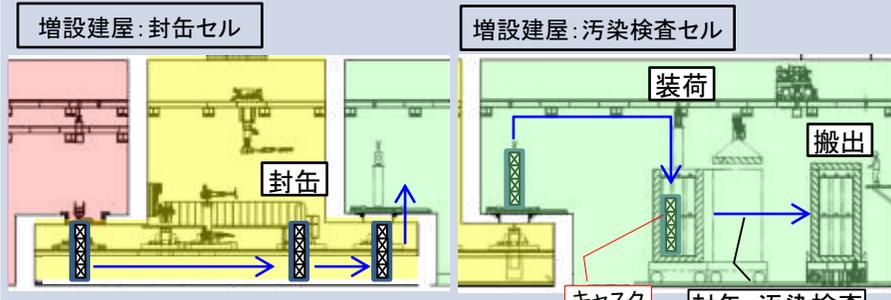
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

上横組み合わせによる干渉物撤去工法のステップ※について検討した。

作業ステップ	切断片の容器回収	切断片のペDESTAL外搬出	切断片のPCV外搬出
ステップ図			
作業ステップ	搬出 (機器ハッチ～アクセストンネル)	搬出 (赤エリア～黄エリア)	搬出 (黄エリア～屋外搬出)
ステップ図			

※:横アクセス工法による燃料デブリ取り出しが完了したあとにCRD.Hを撤去した場合を想定。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

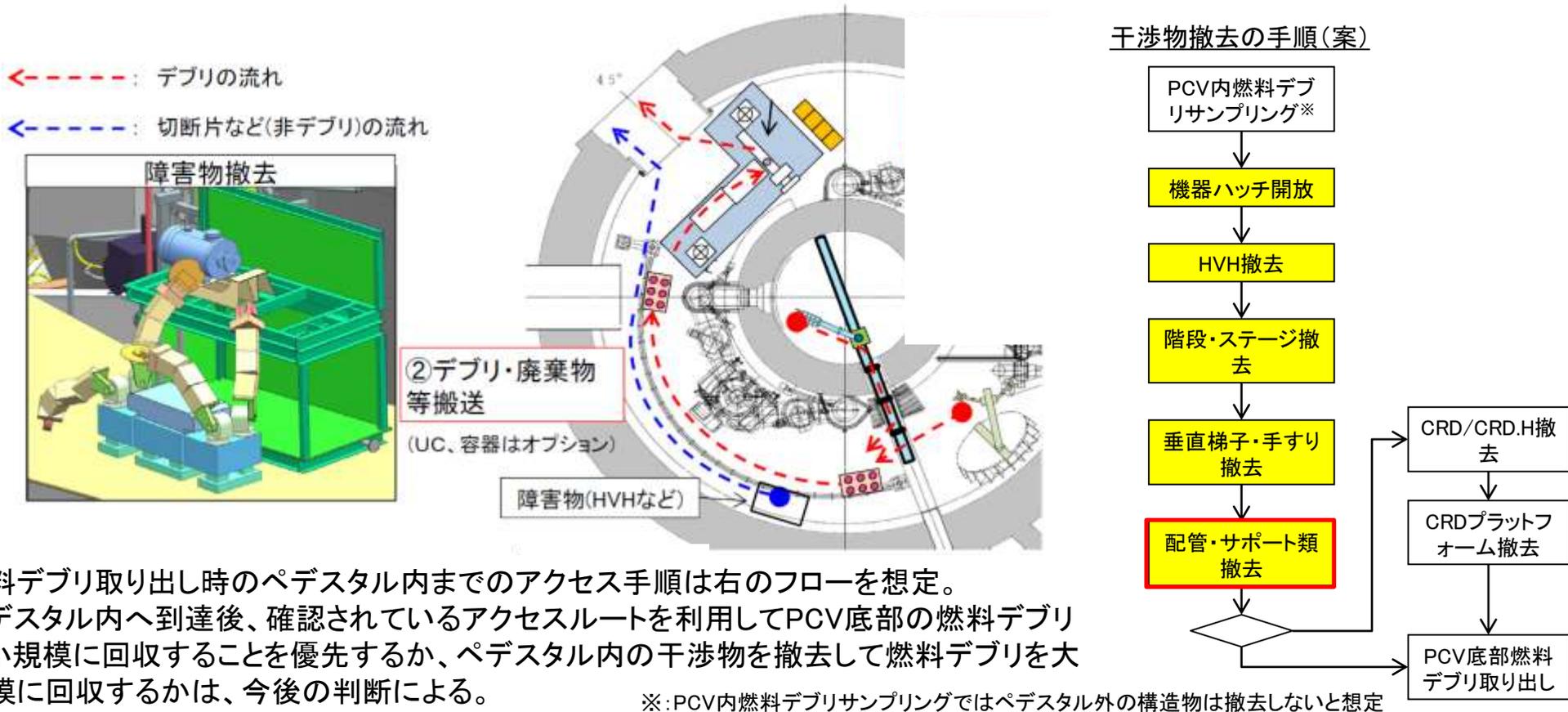
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

: 要素試験実施

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

撤去が必要となる干渉物について、PCV内部詳細調査、PCV内燃料デブリサンプリングから燃料デブリ取り出しまでのステップを考慮して、撤去手順を想定した。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

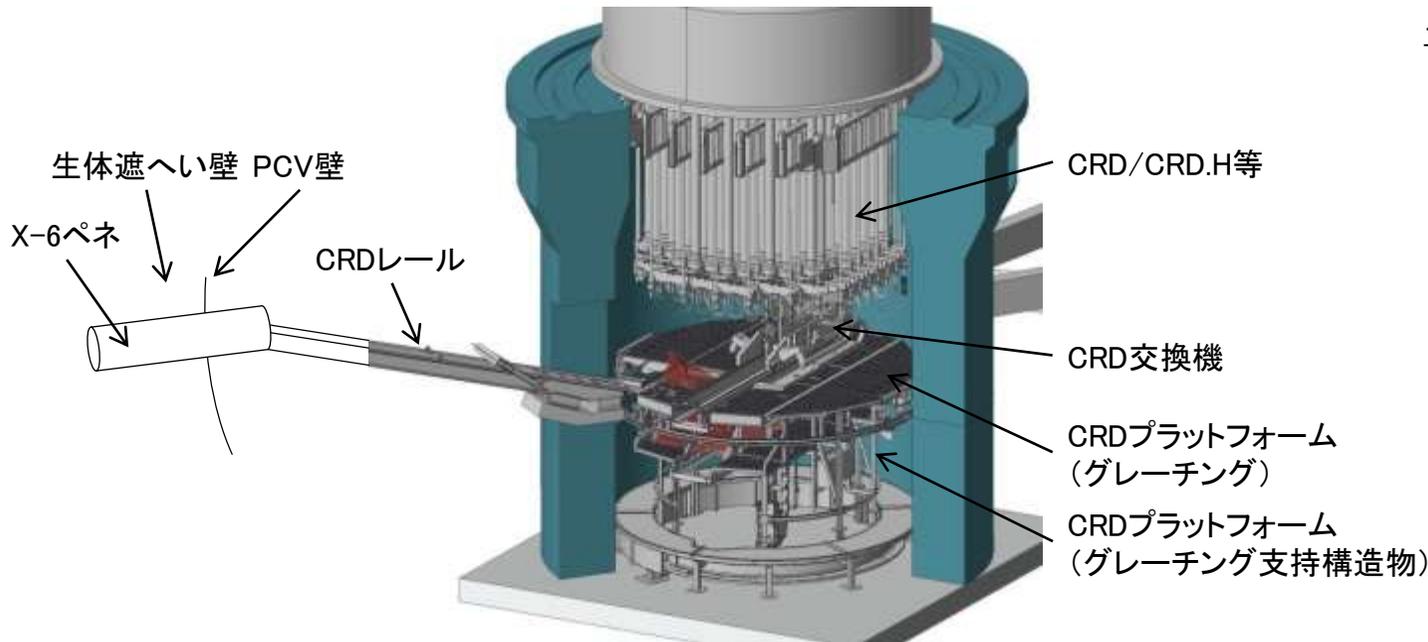
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

: 要素試験実施

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

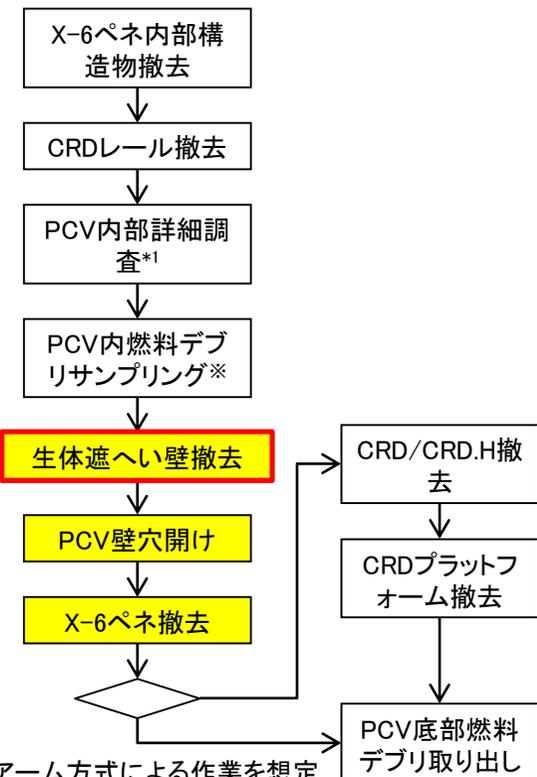
撤去が必要となる干渉物について、PCV内部詳細調査、PCV内燃料デブリサンプリングから燃料デブリ取り出しまでのステップを考慮して、撤去手順を想定した。



燃料デブリ取り出し時のペDESTAL内までのアクセス手順は右のフローを想定。ペDESTAL内へ到達後、確認されているアクセスルートを利用してPCV底部の燃料デブリを小規模に回収することを優先するか、ペDESTAL内の干渉物を撤去して燃料デブリを大規模に回収するかは、今後の判断による。

※: PCV内部詳細調査、PCV内燃料デブリサンプリングは、アーム方式による作業を想定

干渉物撤去の手順(案)



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

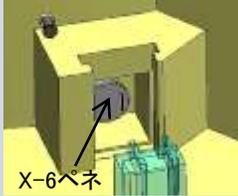
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法 撤去が必要となる干渉物について、整理した。

 : 要素試験実施

※: 撤去難易度は、相対的評価

No.	干渉物	概略仕様	加工方法の候補	撤去方法の例	撤去難易度※	備考
1	生体遮へい壁 	主要材質 鉄筋コンクリート	コアボーリング ワイヤソー	① X-6ペネ周辺のコンクリートを切除・撤去。 ② 遮へい扉を設置。 ③ コアボーリングでBSWを連孔穴開け。 ④ コアはスリーブ搬出。	中	
2	X-6ペネ	主要材質 SA516 Gr. 70	コアボーリング 熱切断(レーザ、ガス)	① BSW外面にX-6を囲う気密・遮へいセルを設置。 ② X-6周辺コンクリートをコアリングで除去。 ③ 露出したコンクリートスリーブを長手方向に切断・除去。 ④ 露出したX-6スリーブを外側からトリミング切断。 ⑤ X-6周辺のPCV壁を切断する。	低	X-6ペネを撤去する工法の場合、PCV壁とともに切断して撤去。 X-6ペネの開口をそのまま使う工法の場合、X-6ペネ内の干渉物はPCV内部詳細調査時に撤去されていると仮定。
3	PCV壁	主要材質 SA515 Gr. 70	熱切断(レーザ、ガス)	① BSW内面とPCV間にインフレートシール設置。 ② 切断位置をマーキング。 ③ 切断線に沿って、レーザ切断。 ④ 切断片は容器に収納して搬出。	低	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法 撤去が必要となる干渉物について、整理した。

※: 撤去難易度は、相対的評価

No.	干渉物	概略仕様	加工方法の候補	撤去方法の例	撤去難易度※	備考
4	CRDレール 	主要材質 SUS+SS	ディスクカッター、 セーバーソー、熱 切断(レーザ、ガ ス)	① ディスクカッター等で切断。 ② 切断片は容器に収納して搬出 (機器ハッチへ)。	中	PCV内部詳細調査時に 撤去されていると仮定。
5	グレーチング 	主要材質 SS	ディスクカッター、 セーバーソー	① ディスクカッター等で切断。 ② 切断片は容器に収納して搬出 (機器ハッチへ)。	低	
6	グレーチング支持 構造物 	主要材質 SS	ディスクカッター、 セーバーソー	① ディスクカッター等で切断。 ② 切断片は容器に収納して搬出 (機器ハッチへ)。	低	

6. 本事業の実施内容

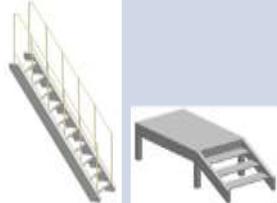
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法 撤去が必要となる干渉物について、整理した。

※: 撤去難易度は、相対的評価

No.	干渉物	概略仕様	加工方法の候補	撤去方法の例	撤去難易度※	備考
7	機器ハッチ+ 遮へいプラグ 	主要材質 ・遮へいプラグ: 鉄筋コンクリート ・ハッチ:SS	遮へいプラグ: ワイヤーソー ハッチ: ディスクカッター	① 遮へいプラグはワイヤーソー等で押し切り切断。 ② ハッチはディスクカッター等で切断。 ③ 切断片は容器に収納して搬出。	中	セルとの接続方法と合わせて検討する。
8	HVH 	主要材質 SS	ディスクカッター、 セーバーソー、 油圧カッター	① 外装パネルはディスクカッターで切断。 ② 内装装置は要検討(適したものを選定する)。 ③ 切断片は容器に収納して搬出(機器ハッチへ)。	高	・高所のダクトの切断 ・狭隘部作業 ・複合・複雑形状の切断等(前年度までに試験実施)
9	エアロック前階段・ ステージ 	主要材質 SS	ディスクカッター、 セーバーソー	① ディスクカッター等で切断。 ② 切断片は容器に収納して搬出(機器ハッチへ)。	低	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

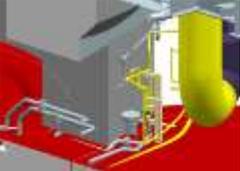
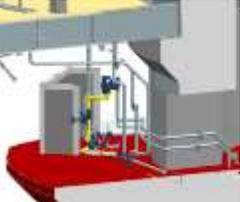
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法 撤去が必要となる干渉物について、整理した。

: 要素試験実施

※: 撤去難易度は、相対的評価

No.	干渉物	概略仕様	加工方法の候補	撤去方法の例	撤去難易度※	備考
10	垂直梯子・手すり 	主要材質 SS	ディスクカッター、 セーバーソー	① ディスクカッター等で切断。 ② 切断片は容器に収納して搬出(機器ハッチへ)。	低	
11	配管・サポート類  PLR配管裏(地下)  サンプルピット周辺(地下)	主要材質 SS	ディスクカッター、 セーバーソー	① ディスクカッター等で切断。 ② 切断片は容器に収納して搬出(機器ハッチへ)。	中～高	配管単体の切断は比較的容易であるが、設置位置や配管類が集中している部分へのアクセス性および作業手順が高難度である。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL外機器は、工法によらない共通的な撤去範囲であり、撤去難易度などから、作業員アクセス口近傍の構造物(配管、サポート等)について要素試験を計画する。

- 開発の目的
 - 狭隘部における加工性の実現性確認。
 - 落下防止措置を考慮した加工法の実現性確認。

- 解決すべき課題
 - 狭隘部の加工方法。
 - 遠隔操作による作業性。

- 得られる成果
 - 狭隘部に対する機器設置性の確認。
 - 対象干渉物の容器への回収と地下1階から1階への搬出に関する作業性について確認する。
 - スループットの検討。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

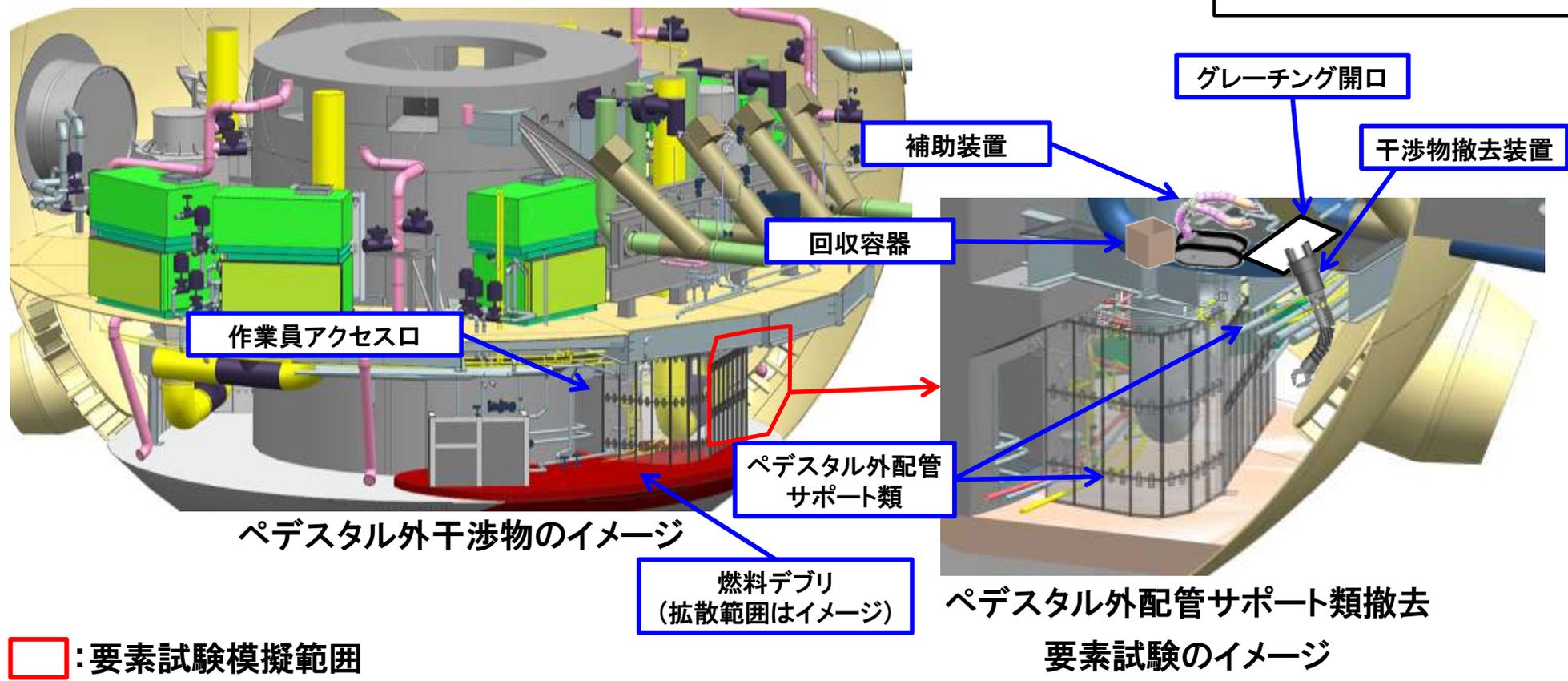
b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL外配管サポート類撤去要素試験イメージを以下に示す。

模擬範囲箇所の選定理由

- ① プラットフォームの近傍である（ペDESTALへのプラットフォーム設置のため）。
- ② 1階部分には、MS配管があり狭隘である。
- ③ 地下階部には、PLRポンプがあり、狭隘である。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

開発、進め方の概要を示す。

No.	ペDESTAL外干渉物撤去フェーズ	検討内容および試験目的(確認項目)	要素試験	備考
1	地下階進入開口の設置	グレーチング切断装置を所定の位置に設置後、グレーチングの落下を防止しながら、切断を行い、地下階への進入用開口を設置できること。	○	
2	地下階進入ルート上干渉物の加工	専用装置をインストール後、狭隘環境下で干渉物へアクセスし、干渉物の落下を防止しながら、その加工ができること。	○	
3	地下階進入ルート上干渉物の回収	加工した干渉物を回収容器に収納し、グレーチング上へ搬出後、PCV外への搬出ルートにて回収容器を運搬できること。	○	
4	ペDESTAL外干渉物撤去装置の設置	<ul style="list-style-type: none"> グレーチング上から専用撤去装置をインストールし、ジェットデフ上に撤去装置プラットフォームを設置できること。 グレーチング上から作業アームをインストールし、プラットフォーム上に作業アームを設置できること。 	○	
5	干渉物の加工	狭隘環境下で干渉物へアクセスし、干渉物の落下を防止しながら、その加工ができること。	○	
6	干渉物の回収	加工した干渉物を回収容器に収納し、グレーチング上へ搬出後、PCV外への搬出ルートにて回収容器を運搬できること。	○	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

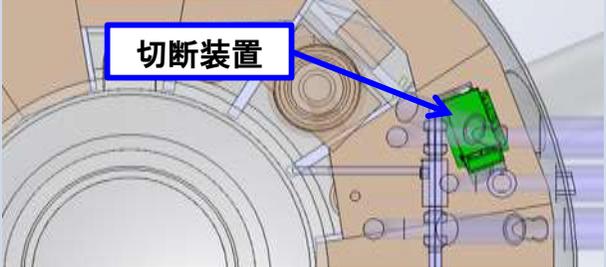
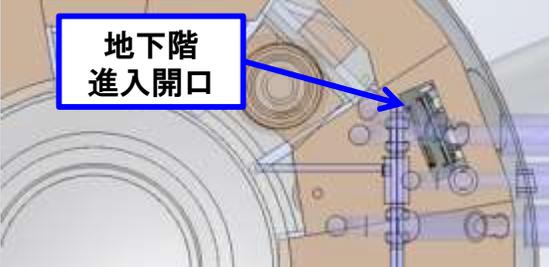
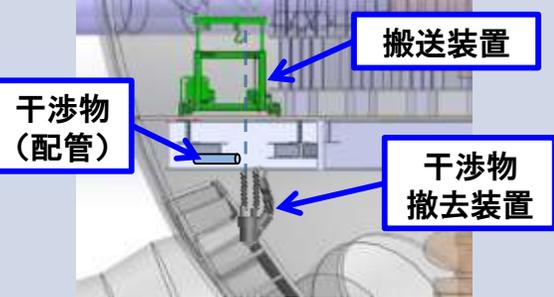
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL外干渉物撤去に必要な機能や課題を整理するため、作業ステップを検討した。

作業 ステップ	A. 地下階進入開口の設置準備 (グレーチング切断装置の搬入)	B. 地下階進入開口の設置 (グレーチング切断)	C. 地下階進入ルート上干渉物の 撤去装置インストール
ス テ ッ プ 図	 <p>切断装置</p>	 <p>地下階 進入開口</p>	 <p>搬送装置</p> <p>干渉物 (配管)</p> <p>干渉物 撤去装置</p>
内 容	グレーチング切断装置等を搬入し、開口設置作業の準備を実施	グレーチングを切断し、地下階への進入開口を設置	地下階進入ルート上に存在する干渉物を撤去するための装置をインストール
要 求 機 能	想定する開口設置位置に切断装置を搬入し、位置決めできること	グレーチングの落下防止策を講じながら切断できること	グレーチング開口より進入できること

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

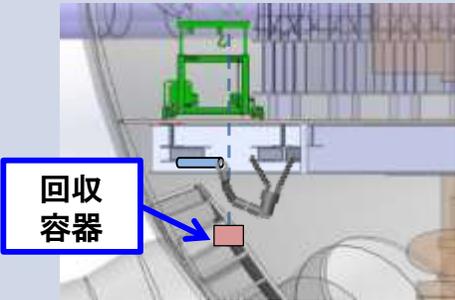
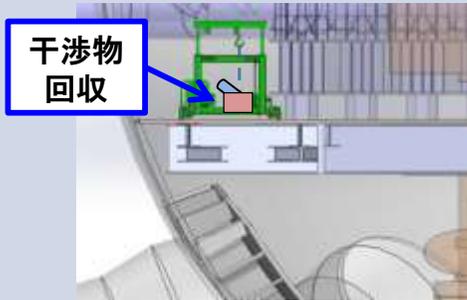
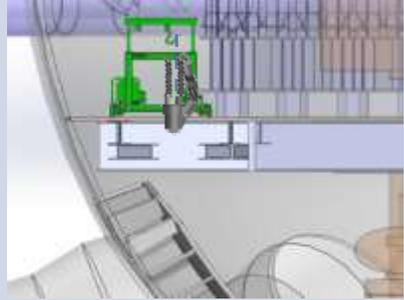
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL外干渉物撤去に必要となる機能や課題を整理するため、作業ステップを検討した。

作業 ステップ	D. 干渉物の把持・切断	E. 干渉物を搬出ルート上へ回収	F. 地下階進入ルート上干渉物の 撤去装置アンインストール
ステップ 図			
内容	干渉物へアクセスし、切断加工後に切断片を回収容器へ収納	地下階から回収容器を回収し、PCV外への搬出ルート上に回収容器を運搬	撤去装置をグレーチング上へアンインストール
要求機能	<ul style="list-style-type: none"> ・干渉物へアクセスできること ・干渉物を落下させることなく加工できること ・狭隘環境で適用可能な加工ツールを有すること 	<ul style="list-style-type: none"> ・干渉物を回収容器へ収納できること ・回収容器をグレーチング上へ搬出できること ・回収容器を運搬できること 	撤去装置を引き上げできること

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

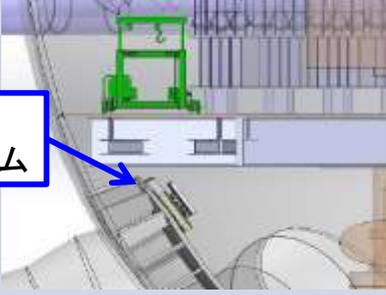
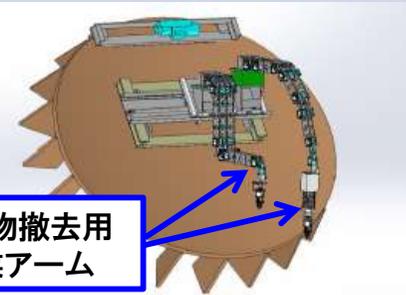
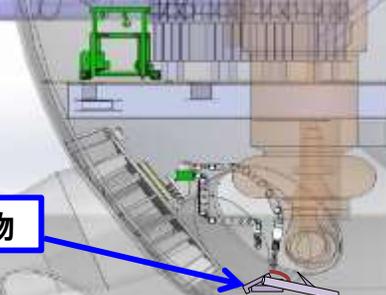
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL外干渉物撤去に必要な機能や課題を整理するため、作業ステップを検討した。

作業 ステップ	G. ペDESTAL外干渉物撤去装置 の準備	H. 干渉物撤去用作業アーム の設置	I. 干渉物へのアクセス
ス テ ッ プ 図			
内 容	<p>グレーチング上より撤去装置のプラットフォームをインストールし、ジェットデフへ設置</p>	<p>グレーチング上より作業アームをインストールし、プラットフォームへ設置</p>	<p>作業アーム先端を撤去対象となる干渉物近傍へ移動</p>
要 求 機 能	<ul style="list-style-type: none"> ・グレーチング開口より挿入できること ・プラットフォームをジェットデフへ設置できること 	<ul style="list-style-type: none"> ・グレーチング開口より挿入できること ・作業アームをプラットフォームへ設置できること 	<p>干渉物へアクセスできること</p>

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

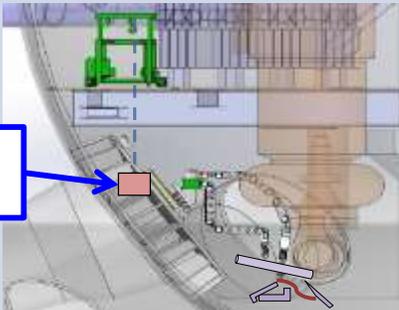
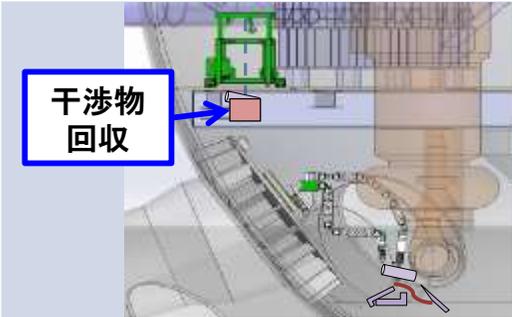
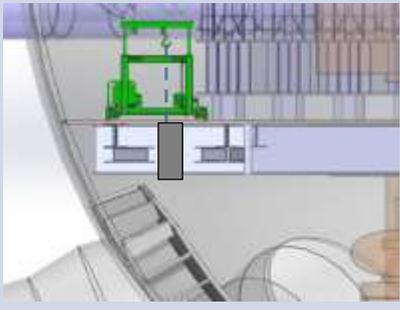
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL外干渉物撤去に必要となる機能や課題を整理するため、作業ステップを検討した。

作業ステップ	J. 干渉物の把持・切断	K. 干渉物を搬出ルート上へ回収	L. 装置アンインストール
ステップ図			
内容	切断加工後に切断片を回収容器へ収納	地下階から回収容器を回収し、PCV外への搬出ルート上に回収容器を運搬	撤去装置をグレーチング上へアンインストール
要求機能	<ul style="list-style-type: none"> ・干渉物を落下させることなく加工できること ・狭隘環境で適用可能な加工ツールを有すること 	<ul style="list-style-type: none"> ・干渉物を回収容器へ収納できること ・回収容器をグレーチング上へ搬出できること ・回収容器を運搬できること 	撤去装置を引き上げできること

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL外干渉物撤去作業ステップと各ステップでの要求機能を検討した結果より、干渉物撤去装置の仕様と作業時の課題を整理した。

ステップ	要求機能	装置の基本仕様	作業時の課題
A	想定する開口設置位置に切断装置を搬入し、位置決めできること	想定する開口設置位置に搬入可能なサイズ(機器ハッチ開口1.5m×1.5m)、重量(グレーチング耐荷重500kg/m ²)のグレーチング切断装置であること	<ul style="list-style-type: none"> 開口位置への位置決め 装置運搬中の不具合の発生(落下、スタック等)
B	グレーチングの落下防止策を講じながら切断できること	グレーチング切断片の落下防止手段を有すること	切断片の落下
C	グレーチング開口より進入できること	グレーチング開口(1.9m×0.7m:径方向梁間、周方向梁の撤去を最小とする)を通過可能なサイズであること	<ul style="list-style-type: none"> 装置の挿入方法 装置挿入中の不具合の発生(落下、スタック等)
D	干渉物へアクセスできること	想定する干渉物の切断位置決めができること	干渉物の切断位置決め
	干渉物を落下させることなく加工できること	干渉物切断片の落下防止手段を有すること	切断片の落下
	狭隘環境で適用可能な加工ツールを有すること	<ul style="list-style-type: none"> 想定する干渉物を切断可能なツールを有すること 切断ツールの交換ができること 回収容器(φ390mm×400mm:収納保管WGで検討しているUCと同等)へ収納可能なサイズで切断できること 	<ul style="list-style-type: none"> 想定するサイズ以下での干渉物の切断 切断ツールの交換方法

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL外干渉物撤去作業ステップと各ステップでの要求機能を検討した結果より、干渉物撤去装置の仕様と作業時の課題を整理した。

ステップ	要求機能	装置の基本仕様	作業時の課題
E	干渉物を回収容器へ収納できること	<ul style="list-style-type: none"> ・回収容器の移動手段を有すること ・地下階への挿入、グレーチング上への搬出が可能なサイズ(グレーチング開口1.9m×0.7m)、重量(50kg:現状想定している1回あたりの最大搬出重量)の回収容器を備えること ・干渉物の切断片を収納可能なサイズ(φ390mm×400mm:収納保管WGで検討しているUCと同等)の回収容器であること 	<ul style="list-style-type: none"> ・回収容器への切断片の回収方法 ・回収容器落下、スタック時の復旧方法 ・回収容器からの切断片の落下
	回収容器をグレーチング上へ搬出できること		
	回収容器を運搬できること		
F	撤去装置を引き上げできること	撤去装置の回収手段を有すること	<ul style="list-style-type: none"> ・装置の引き上げ方法 ・装置引き上げ中の不具合の発生(落下、スタック等)
G	グレーチング開口より挿入できること	グレーチング開口(1.9m×0.7m)を通過可能なサイズであること	<ul style="list-style-type: none"> ・装置の挿入方法 ・装置挿入中の不具合の発生(落下、スタック等)
	プラットフォームをジェットデフへ設置できること	プラットフォームをジェットデフへ固定できること	プラットフォームの固定位置決め

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL外干渉物撤去作業ステップと各ステップでの要求機能を検討した結果より、干渉物撤去装置の仕様と作業時の課題を整理した。

ステップ	要求機能	装置の基本仕様	作業時の課題
H	グレーチング開口より挿入できること	グレーチング開口(1.9m×0.7m)を通過可能なサイズであること	<ul style="list-style-type: none"> 装置の挿入方法 装置挿入中の不具合の発生(落下、スタック等)
	作業アームをプラットフォームへ設置できること	作業アームをジェットデフ上のプラットフォームへ固定できること	作業アームの固定位置決め
I	干渉物へアクセスできること	想定する干渉物の切断位置決めができること	干渉物の切断位置決め
J	干渉物を落下させることなく加工できること	干渉物切断片の落下防止手段を有すること	切断片の落下
	狭隘環境で適用可能な加工ツールを有すること	<ul style="list-style-type: none"> 想定する干渉物を切断可能なツールを有すること 切断ツールの交換ができること 回収容器(φ390mm×400mm:収納保管WGで検討しているUCと同等)へ収納可能なサイズで切断できること 	<ul style="list-style-type: none"> 想定するサイズ以下での干渉物の切断 切断ツールの交換方法

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL外干渉物撤去作業ステップと各ステップでの要求機能を検討した結果より、干渉物撤去装置の仕様と作業時の課題を整理した。

ステップ	要求機能	装置の基本仕様	作業時の課題
K	干渉物を回収容器へ収納できること	<ul style="list-style-type: none"> ・回収容器の移動手段を有すること ・地下階への挿入、グレーチング上への搬出が可能なサイズ(グレーチング開口1.9m×0.7m)、重量(50kg:現状想定している1回あたりの最大搬出重量)の回収容器を備えること ・干渉物の切断片を収納可能なサイズ(φ390mm×400mm:収納保管WGで検討しているUCと同等)の回収容器であること 	<ul style="list-style-type: none"> ・回収容器への切断片の回収方法 ・回収容器落下、スタック時の復旧方法 ・回収容器からの切断片の落下
	回収容器をグレーチング上へ搬出できること		
	回収容器を運搬できること		
L	撤去装置を引き上げできること	撤去装置の回収手段を有すること	<ul style="list-style-type: none"> ・装置の引き上げ方法 ・装置引き上げ中の不具合の発生(落下、スタック等)
共通	各種装置を遠隔操作できること	装置組立て、干渉物へのアクセス、干渉物の撤去等の作業を遠隔操作で実施できること	周辺環境と作業装置の状況を把握しながらの遠隔操作
	作業を遠隔で実施するための監視ができること	各作業に必要な視点・視野を確保可能な監視手段を有すること	各作業に必要な視点・視野の提供

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL外干渉物撤去作業の各ステップで抽出した課題に対し、要素試験の実施可否、要素試験での確認内容を検討した。

ステップ	作業時の課題	概念検討	要素試験	内容	要素試験での確認項目
A	開口位置への位置決め	○	○	狭隘環境でのグレーチング切断装置の移動・設置方法の検討。	位置決め時間
	装置運搬中の不具合の発生(落下、スタック等)	○	—	上記試験で抽出した課題とあわせて不具合事象と復旧方法を机上で整理し、装置仕様へ反映。	—
B	切断片の落下	○	○	切断片の落下防止策を試験にて確認。	・干渉物把持方法 ・切断時間
C	装置の挿入方法	○	○	グレーチング下への装置挿入手順と方法を検討。	・装置挿入手順 ・装置挿入時間
	装置挿入中の不具合の発生(落下、スタック等)	○	—	上記試験で抽出した課題とあわせて不具合事象と復旧方法を机上で整理し、装置仕様へ反映。	—
D	干渉物の切断位置決め	○	○	狭隘環境での切断位置決め方法を検討。	・位置決め手順 ・位置決め時間
	切断片の落下	○	○	切断片の落下防止策を試験にて確認。	干渉物把持方法
	想定するサイズ以下での干渉物の切断	○	○	狭隘環境での干渉物切断方法を検討。	干渉物切断時間
	切断ツールの交換方法	○	—	切断試験の結果から切断ツールの交換頻度を机上で検討し、装置及び交換方法へ反映。	—

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL外干渉物撤去作業の各ステップで抽出した課題に対し、要素試験の実施可否、要素試験での確認内容を検討した。

ステップ	作業時の課題	概念検討	要素試験	内容	要素試験での確認項目
E	回収容器への切断片の回収方法	○	○	回収容器への切断片回収時間を計測。	・切断片回収時間 ・回収容器搬送時間
	回収容器落下、スタック時の復旧方法	○	—	上記試験で抽出した課題とあわせて不具合事象と復旧方法を机上で整理し、装置仕様へ反映。	—
	回収容器からの切断片の落下	○	—	切断片回収試験で抽出した課題とあわせて落下防止策を机上で検討し、回収方法へ反映。	—
F	装置の引き上げ方法	○	○	グレーチング上への装置引き上げ手順と方法を検討。	・装置引き上げ手順 ・装置引き上げ時間
	装置引き上げ中の不具合の発生(落下、スタック等)	○	—	上記試験で抽出した課題とあわせて不具合事象と復旧方法を机上で整理し、装置仕様へ反映。	—
G	装置の挿入方法	○	○	グレーチング下への装置挿入手順と方法を検討。	・装置挿入手順 ・装置挿入時間
	装置挿入中の不具合の発生(落下、スタック等)	○	—	上記試験で抽出した課題とあわせて不具合事象と復旧方法を机上で整理し、装置仕様へ反映。	—
	プラットフォームの固定位置決め	○	○	狭隘環境でのプラットフォーム移動・設置方法の検討。	位置決め時間

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL外干渉物撤去作業の各ステップで抽出した課題に対し、要素試験の実施可否、要素試験での確認内容を検討した。

ステップ	作業時の課題	概念検討	要素試験	内容	要素試験での確認項目
H	装置の挿入方法	○	○	グレーチング下への装置挿入手順と方法を検討。	・装置挿入手順 ・装置挿入時間
	装置挿入中の不具合の発生 (落下、スタック等)	○	—	上記試験で抽出した課題とあわせて不具合事象と復旧方法を机上で整理し、装置仕様へ反映。	—
	作業アームの固定位置決め	○	○	狭隘環境での作業アームの移動・設置方法の検討。	位置決め時間
I	干渉物の切断位置決め	○	○	狭隘環境での切断位置決め方法を検討。	・位置決め手順 ・位置決め時間
J	切断片の落下	○	○	切断片の落下防止策を試験にて確認。	干渉物把持方法
	想定するサイズ以下での 干渉物の切断	○	○	狭隘環境での干渉物切断方法を検討。	干渉物切断時間
	切断ツールの交換方法	○	—	切断試験の結果から切断ツールの交換頻度を机上で検討し、装置及び交換方法へ反映。	—

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL外干渉物撤去作業の各ステップで抽出した課題に対し、要素試験の実施可否、要素試験での確認内容を検討した。

ステップ	作業時の課題	概念検討	要素試験	内容	要素試験での確認項目
K	回収容器への切断片の回収方法	○	○	回収容器への切断片回収時間を計測。	・切断片回収時間 ・回収容器搬送時間
	回収容器落下、スタック時の復旧方法	○	—	上記試験で抽出した課題とあわせて不具合事象と復旧方法を机上で整理し、装置仕様へ反映。	—
	回収容器からの切断片の落下	○	—	切断片回収試験で抽出した課題とあわせて落下防止策を机上で検討し、回収方法へ反映。	—
L	装置の引き上げ方法	○	○	グレーチング上への装置引き上げ手順と方法を検討。	・装置引き上げ手順 ・装置引き上げ時間
	装置引き上げ中の不具合の発生(落下、スタック等)	○	—	上記試験で抽出した課題とあわせて不具合事象と復旧方法を机上で整理し、装置仕様へ反映。	—
共通	周辺環境と作業装置の状況を把握しながらの遠隔操作	○	○	各作業ステップでの遠隔操作時に必要な機能の確認。	各作業を遠隔で実施する際の課題抽出
	各作業に必要な視点・視野の提供	○	○	各作業ステップでの監視方法・位置の確認。	・カメラ設置位置 ・カメラ設置台数

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

要素試験における確認項目および作業実現性を判断するための判定基準について検討した。

No.	試験項目	該当作業ステップ	試験手順	判定基準	取得データ
1	干渉物撤去準備	A、B	グレーチング切断装置を搬入し、開口部を設置する。	計画した位置にグレーチング開口部を設置可能であること。	<ul style="list-style-type: none"> ・位置決め時間 ・設置位置 ・グレーチング切断時間
2	ルート上干渉物撤去	C、D、F	想定した干渉物を落下させることなく切断する。	想定した切断位置に切断ツールの位置決めを行い、干渉物を切断できること。	<ul style="list-style-type: none"> ・位置決め手順 ・位置決め時間 ・干渉物把持方法 ・干渉物切断時間 ・装置挿入・引き上げ時間
3	ペDESTAL外干渉物撤去	G、H、I、J、L	同上	同上	同上
4	干渉物搬出	E、K	干渉物を回収した容器を、搬出ルート上に搬出する。	容器を、搬出ルート上に搬出可能であること。	<ul style="list-style-type: none"> ・切断片回収時間 ・回収容器搬送時間
5	遠隔操作・監視試験	共通	各ステップでの作業をカメラ映像で確認しながら遠隔操作で実施する。	上記試験がカメラにより監視され、遠隔作業により実施可能であること。	<ul style="list-style-type: none"> ・各作業を遠隔で実施する際の課題抽出 ・カメラ設置位置 ・カメラ台数

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

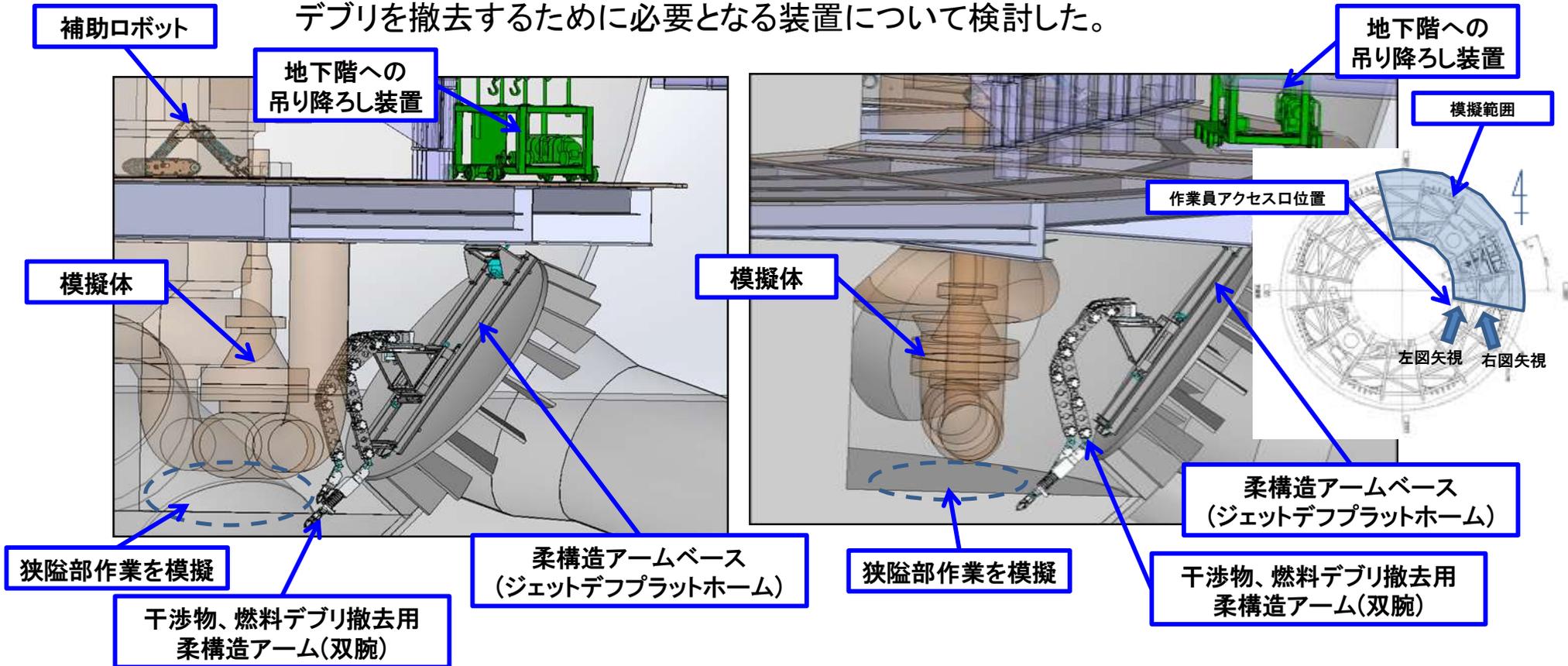
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

狭隘部模擬に関する模擬体、ペDESTAL地下階へのアクセス方法および干渉物や燃料デブリを撤去するために必要となる装置について検討した。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

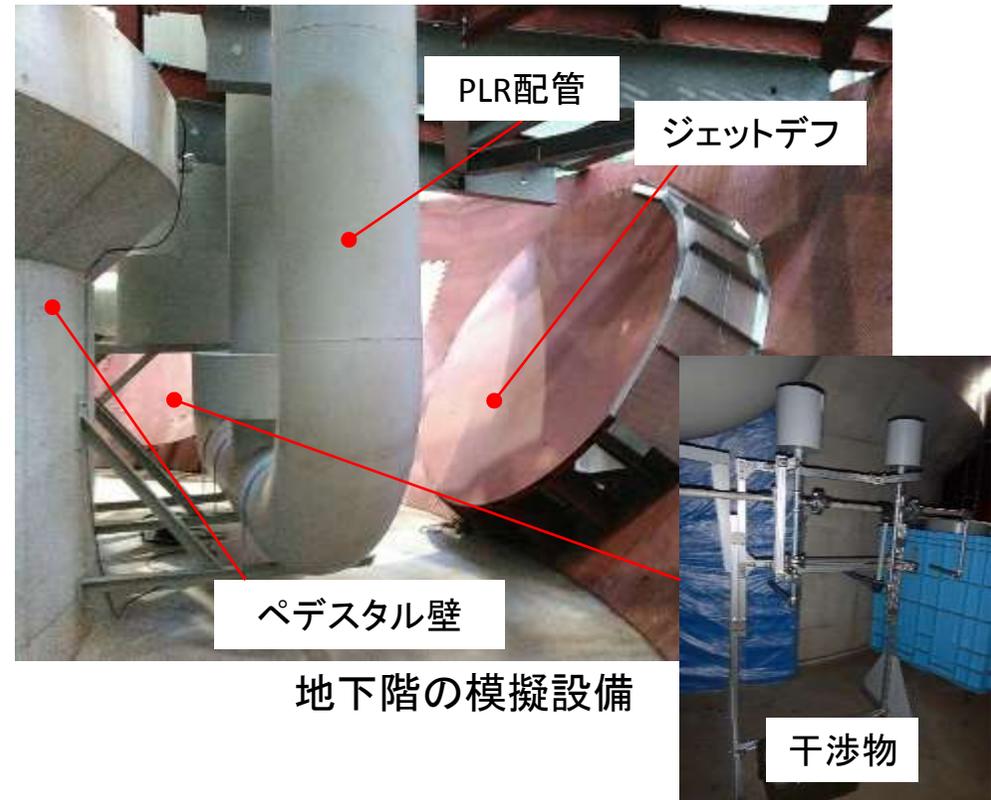
b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL外干渉物撤去試験に使用した模擬設備の外観を以下に示す。



グレーチング上の模擬設備



地下階の模擬設備

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

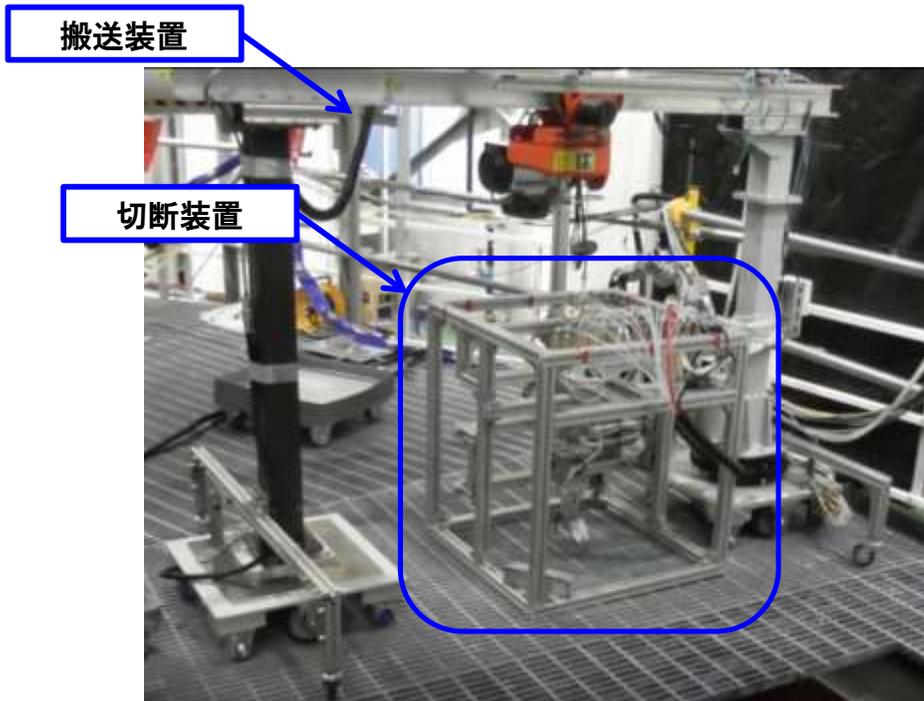
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

試験に使用した装置(搬送装置と切断装置)の外観と主要仕様を以下に示す。



搬送装置と切断装置の外観

搬送装置の主要仕様

項目	仕様	備考
装置寸法	L800 × W2360 × H1354mm	
台車可搬重量	200kg	
台車移動速度	約0.05m/s	床面走行時
ウィンチ昇降速度	約0.05m/s	

切断装置の主要仕様

項目	仕様	備考
装置寸法	L750 × W750 × H750mm	
装置重量	80kg	
動作範囲	0.5m	固定時の最大切断可能範囲
切断ツール	セーバーソー(レシプロソー)	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

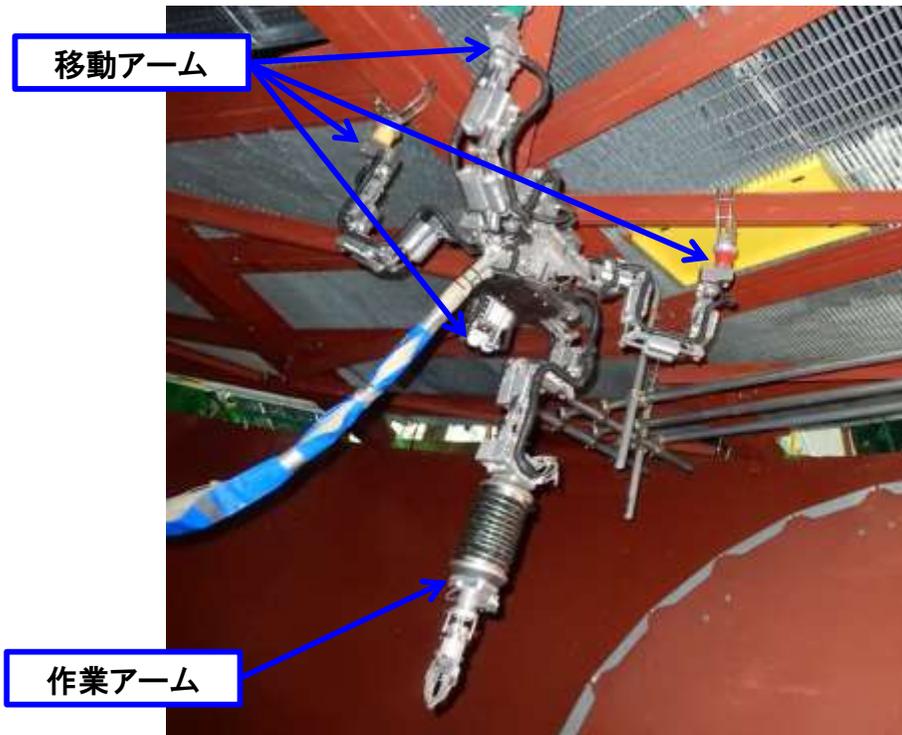
②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

試験に使用した装置(ルート上干渉物撤去装置)の外観と主要仕様を以下に示す。

ルート上干渉物撤去装置の主要仕様



項目	仕様	備考
装置寸法	L3086 × W400 × H310mm	
装置重量	100kg	
可搬重量	10kg	

ルート上干渉物撤去装置

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

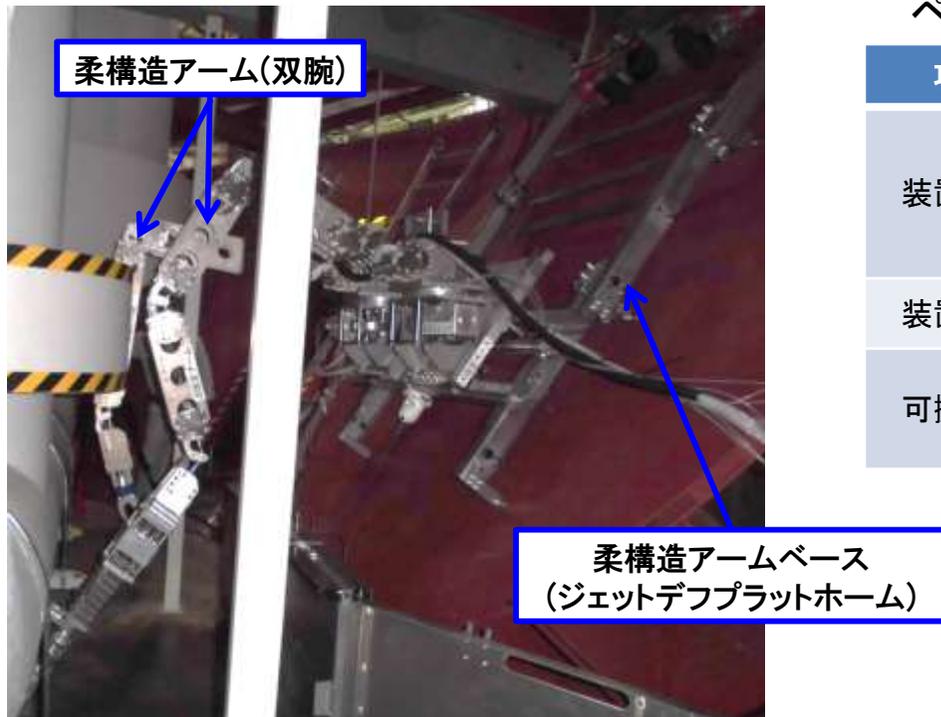
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

試験に使用した装置(ペDESTAL外干渉物撤去装置)の外観と主要仕様を以下に示す。



ペDESTAL外干渉物撤去装置の主要仕様

項目	仕様	備考
装置寸法	L2200 × W1500 × H400mm (ベース部) アーム長: 2300mm、 2800mm	
装置重量	400kg	
可搬重量	10kg (アーム長2800mm) 20kg (アーム長2300mm)	

ペDESTAL外干渉物撤去装置

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

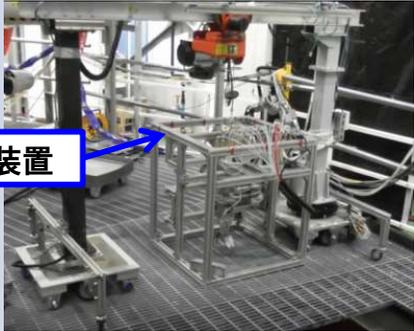
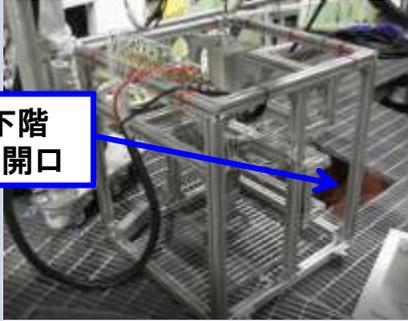
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

要素試験中の作業時間を計測し、スループットの分析に適用した。また、各作業ステップでの装置動作状況も示す。

作業ステップ	A. 地下階進入開口の設置準備 (グレーチング切断装置の搬入)	B. 地下階進入開口の設置 (グレーチング切断)	C. 地下階進入ルート上干渉物の 撤去装置インストール
装置動作状況	 <p>切断装置</p>	 <p>地下階 進入開口</p>	 <p>干渉物 (配管)</p> <p>干渉物 撤去装置</p>
作業時間	位置決め時間: 約2時間/ヶ所 [開口対象位置近傍から開始]	グレーチング切断時間: 約16時間/ヶ所 [約2時間/回(1マス500mm□)]	装置インストール・設定: 約0.5時間/ヶ所 [グレーチング下の梁着座まで]

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

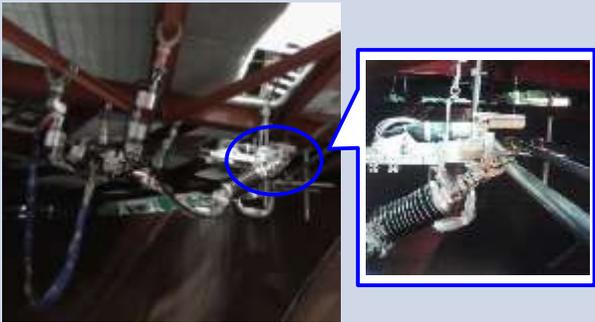
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

要素試験中の作業時間を計測し、スループットの分析に適用した。また、各作業ステップでの装置動作状況も示す。

作業 ステップ	D. 干渉物の把持・切断・回収	E. 干渉物を搬出ルート上へ回収	F. 地下階進入ルート上干渉物の 撤去装置アンインストール
装置 動作 状況			
作業 時間	<ul style="list-style-type: none"> ・位置決め時間: 約0.3時間/ヶ所 [対象箇所までの移動・干渉物把持] ・干渉物切断時間: 約1分/回 [φ48.6mm、1.6tのSS配管] ・切断片回収時間: 約0.1時間/回 [回収容器への切断片の投入] 	<p>回収容器搬出時間: 約0.3時間/回 [回収容器を吊り上げ、搬送台車に載せるまで]</p>	<p>装置引き上げ時間: 約0.3時間/ヶ所</p>

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

要素試験中の作業時間を計測し、スループットの分析に適用した。また、各作業ステップでの装置動作状況も示す。

作業ステップ	G. ペDESTAL外干渉物撤去装置の準備	H. 干渉物撤去用作業アームの設置	I. 干渉物へのアクセス
装置動作状況			
作業時間	装置インストール・設定: 約2時間/ヶ所 [開口部への位置決め後に開始]	装置インストール・設定: 約6時間/ヶ所 [開口部の位置決め後に開始]	位置決め時間: 約0.2時間/ヶ所 [最大アクセス長の干渉物把持]

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

要素試験中の作業時間を計測し、スループットの分析に適用した。また、各作業ステップでの装置動作状況も示す。

作業ステップ	J. 干渉物の把持・切断	K. 干渉物を搬出ルート上へ回収	L. 装置アンインストール
装置動作状況			
作業時間	<ul style="list-style-type: none"> 干渉物切断時間: 約1.5分/回 [φ27.2mm、3.9tのSUS配管] 切断片回収時間: 約0.1時間/回 [回収容器への切断片の投入] 	回収容器搬出時間: 約0.3時間/回 [回収容器を吊り上げ、搬送台車に載せるまで]	装置引き上げ時間: 約8時間/ヶ所

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

要素試験における作業時間を表にまとめた。イメージを以下に示す。

No.	試験項目	作業内容	1回あたりの作業時間	合計作業時間	備考
1	干渉物撤去準備 (ステップA～C、 G、H)	位置決め後、グレーチング 開口装置により開口を設置し、 ルート上・ペDESTAL外干渉物 撤去装置をインストールする。	グレーチング開口1か所あたりの 作業時間:約27時間	対象か所は、2か所 合計:約54時間	ペDESTAL外 燃料デブリ広 がり120° の場合
2	ルート上 干渉物撤去 (ステップD)	ルート上に存在する干渉物を 切断し、回収容器に収納する。	1回あたりの干渉物撤去時間: 約3.4時間	切断・収納回数は、4回 合計:約13.6時間	長さ1mの 円筒構造物 を0.2m毎に 切断の場合
3	ペDESTAL外 干渉物撤去 (ステップI、J)	想定した干渉物を切断し、回収 容器に収納する。	1回あたりの干渉物撤去時間: 約0.6時間	切断・収納回数は、4回 合計:約2.4時間	
4	干渉物搬出 (ステップE、K)	干渉物を回収した容器を、 搬出ルート上に搬出する。	1回あたりの回収容器搬出時間: 約0.3時間	搬出回数は、5回 合計:1.5時間 (ルート上干渉物、ペDESTAL 外干渉物それぞれ上記時間 を要する)	
そ の 他	装置 アンインストール (ステップF、L)	ルート上・ペDESTAL外干渉物 撤去装置をグレーチング上へ アンインストールする。	グレーチング開口1か所あたりの 作業時間:約9時間	対象か所は、2か所 合計:18時間	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL外干渉物撤去方法と手段

要素試験の結果と各ステップで抽出した主な課題を示す。

No.	試験項目	試験結果	主な課題	対応方針※
1	干渉物撤去準備	グレーチング切断装置を搬入し、地下階への進入用開口を設置	グレーチング切断装置の遠隔位置決め時間の短縮	切断装置の移動操作支援機能の検討
			グレーチング切断時間の短縮	切断手順・方法の見直し、高速化
			機器ハッチ前から作業場所への切断装置の搬送	装置・機材の搬出入方法の具体化(※)
			遠隔での切断作業の監視	監視装置の遠隔構築方法の具体化(※)
2	ルート上干渉物撤去	グレーチング上から専用撤去装置をインストールし、狭隘環境に設置した模擬体を加工	撤去装置のインストール時間の短縮	インストール方法の効率化
			切断位置決め時間の短縮	操作支援機能の検討
			干渉物撤去範囲の拡大	装置移動ルートの具体化
			開口部遠方での作業監視方法	搭載カメラ映像と合わせて外部視点を提供する方法の検討
3	ペDESTAL外干渉物撤去		撤去装置のインストール・組み立て時間の短縮	インストール・組み立て方法の効率化
			遠隔での作業監視	監視装置の遠隔構築方法の具体化(※)
			撤去装置のアンインストール時間の短縮	アンインストール方法の効率化
4	干渉物搬出	加工した干渉物を回収容器に収納し、グレーチング上へ搬出	回収容器と運搬容器の接続部構造と遠隔着脱方法	遠隔着脱が容易な構造と方法の検討
			切断片の回収容器への収納時間の短縮	撤去装置と回収容器の位置決め時間の高速化
			回収容器の搬入・搬出時間の短縮	回収容器の搬入・搬出方法の効率化(※)
5	遠隔操作・監視試験	遠隔操作で実施するために必要なカメラ配置を検討	遠隔での作業監視	監視装置の遠隔構築方法の具体化(※)
			遠隔作業範囲の拡大	作業装置・周辺設備の構築作業遠隔化(※)

※:「対応方針」の(※)については次年度以降に検討する。その他は今後のエンジニアリング等で検討予定。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

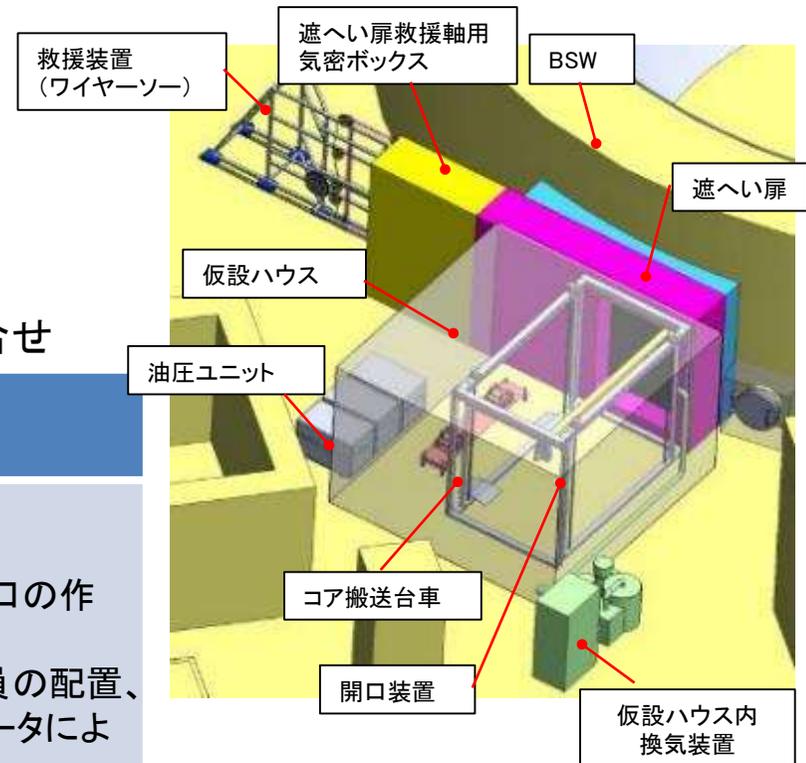
②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

- 開発の目的：PCVの穴開け方法と手段の確立
- 基本要件仕様：
 - ・ 作業セル設置のために必要な開口を確保できること。
 - ・ 既存PCVを損傷しないこと。
 - ・ 切削屑・廃水による放射性物質の拡散を低減すること。
 - ・ 作業に伴う作業員被ばくを低減すること。
- 開発の進め方：目的に合わせ単体要素、組合せ試験を組合せ

単体要素試験 (基礎データの取得)	組み合わせ要素試験 (作業プロセスの確認)
<p>原理の確認</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 厚さ1.8mコンクリートの穴開けができること(鉄筋、強度の経年変化、食いつき角度の変動)。 ・ 加工パラメータ確認 作業所要時間、必要な給水量、回収用の開口勾配 ・ スタック時の救援方法 	<p>プロセスの確認</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 連続穴開けによる大型開口の作成 ・ コア交換などに係る作業員の配置、作業時間を測定。測定データにより被ばく評価。 ・ ハウス内での作業性を確認



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

● 試験における確認項目と目標

- ・ 単体試験通過条件：BSW模擬体に穴開け可能であること。
- ・ 組合せ試験通過条件：フルスケールの模擬干渉物を作成し、撤去の手順及び方法などについて実現性が確認できていること。

凡例：

◎ 試験の目的を達成した

フェーズ	試験目的(確認項目)	単体試験	組合せ試験	備考
①BSW開口作業時				
コアスリーブの搬入/搬出	コアスリーブの搬入/出、開口装置への搭載/取り外しに関する時間データを取得する。	—	◎	
BSWの開口	BSW模擬体(1.8m厚、鉄筋、型枠付)に穴開け(単孔・連孔)ができる。	◎	◎	
	ダストの発生量を確認し、作業環境への影響を評価する。	◎ 目視観察	◎ 定量化	
	BSW模擬体に対して、実寸大の位置決め、穴開け(外周部のみ)ができる。	—	◎	
	遠隔における冷却水の状態が把握できる(カメラ・マイク)	—	◎	
②スタック時の救援作業時				
コアスリーブ切断	ワイヤーソーでコアスリーブが切断できる。	◎	—	
大口径コアスリーブの取り付け	大口径コアスリーブの取り付けに関する時間データを取得する。	—	◎	
大口径コアリング	通常口径でのコアリングで発生したスタックがレスキューできる。	◎	—	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

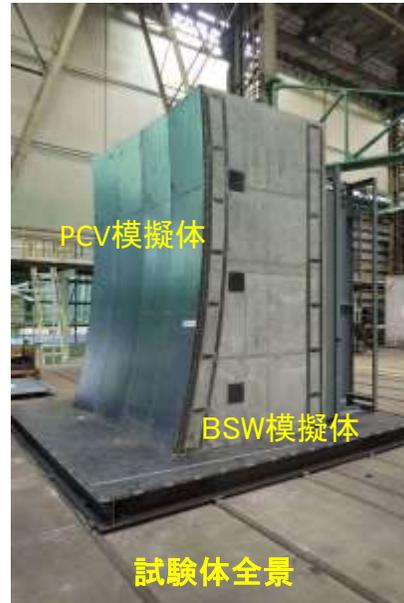
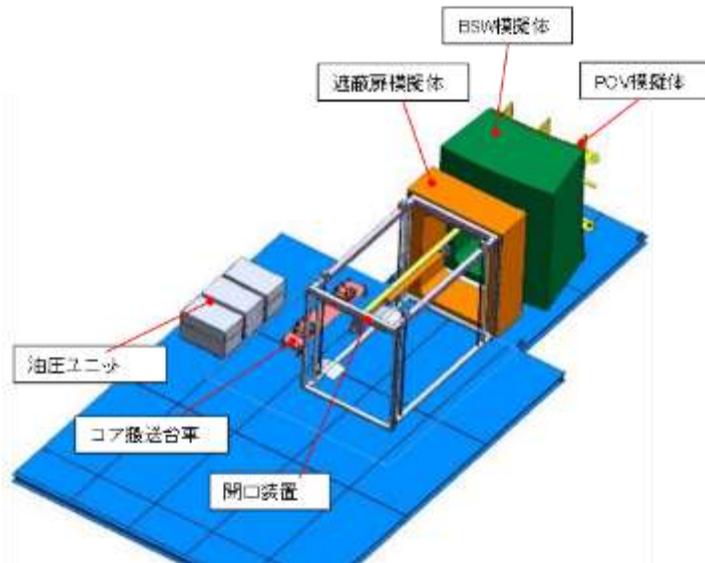
②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

● 試験手順

- BSW、PCVの実機大模擬体を用い、遠隔操作によるコアボーリングにて開口作業を実施する。開口部の寸法、BSW型枠の変形やバリの評価を行う。
- 開口作業に必要な冷却水、開口作業に伴い発生し、冷却水中および気中に飛散するダストについて、量、流出先、粒度分布など実機での回収装置設計に用いるデータを取得する。
- スタック発生時の救援作業の成立性を検証する。
- コアビットの交換作業時間を測定する



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

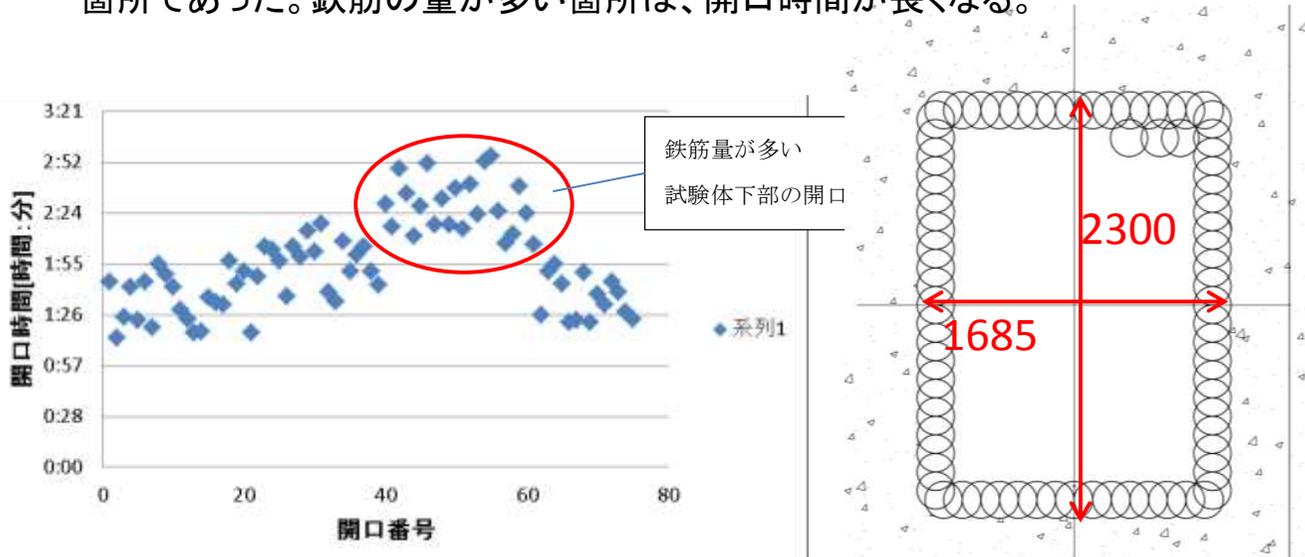
②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

● 試験結果

- 外周部(開口径200mm、ピッチ100mm)の開口作業を実施、合計75か所。
- 開口寸法は、横1685×縦2300mmの設計値に対し、
手前(BSW外側):横1682~1695mm、縦2303~2308mm
奥(PCV側):横1681~1699、縦2297~2312.5
と、若干奥のほうがばらつきが大きくなるが0.2%程度に抑えられた。
- 開口時間は、1時間13分~2時間56分とばらつきがあるが、平均1時間55分/箇所であった。鉄筋の量が多い箇所は、開口時間が長くなる。



1本当たりの開口所要時間

開口位置計画



開口したBSW模擬体

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

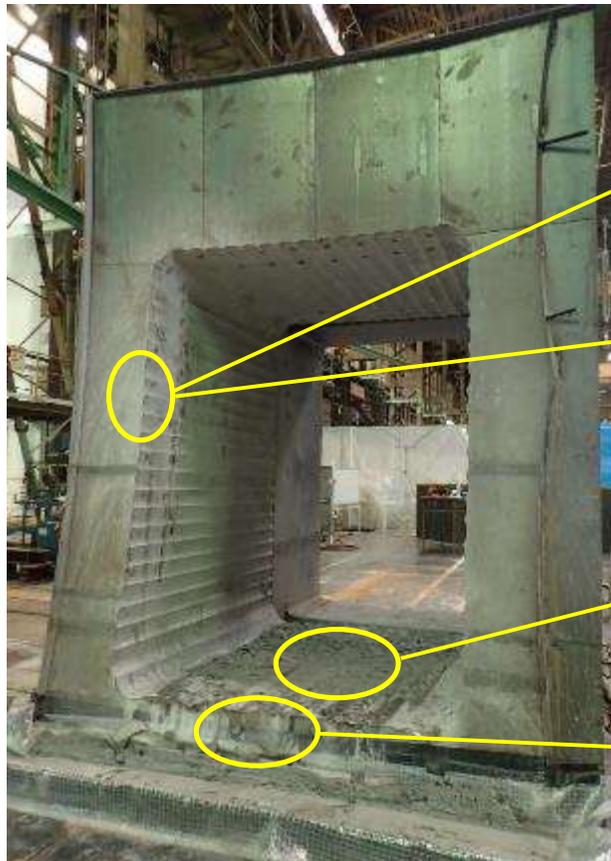
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

● 抽出された課題



確認された状況	実機向け設計時の方針
	<p>BSW型枠にバリ(約1~5mm、最大10mm)インフレートシール設置前にはバリ除去が必要、今回の組合せ試験において、バリ除去の試験を行った。</p>
	<p>BSW型枠がコンクリートから浮かび、めくれが発生(コンクリートとの隙間最大7mm)。めくれ部分は、シール設置に合わせてシーラントの塗布する。今回の組合せ試験で塗布方法を確認した。</p>
	<p>開口部床面にコンクリート切りくず(ノロ)が堆積する。乾燥すると固化するため、水で洗い流すか、鉄板養生などによる飛散防止処置を行う。</p>
	<p>BSW型枠の切断片、コンクリート切りくず(ノロ)がBSW型枠とPCVの間に落下。今回の組合せ試験でシール設置部の目視方法を確認。</p>

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

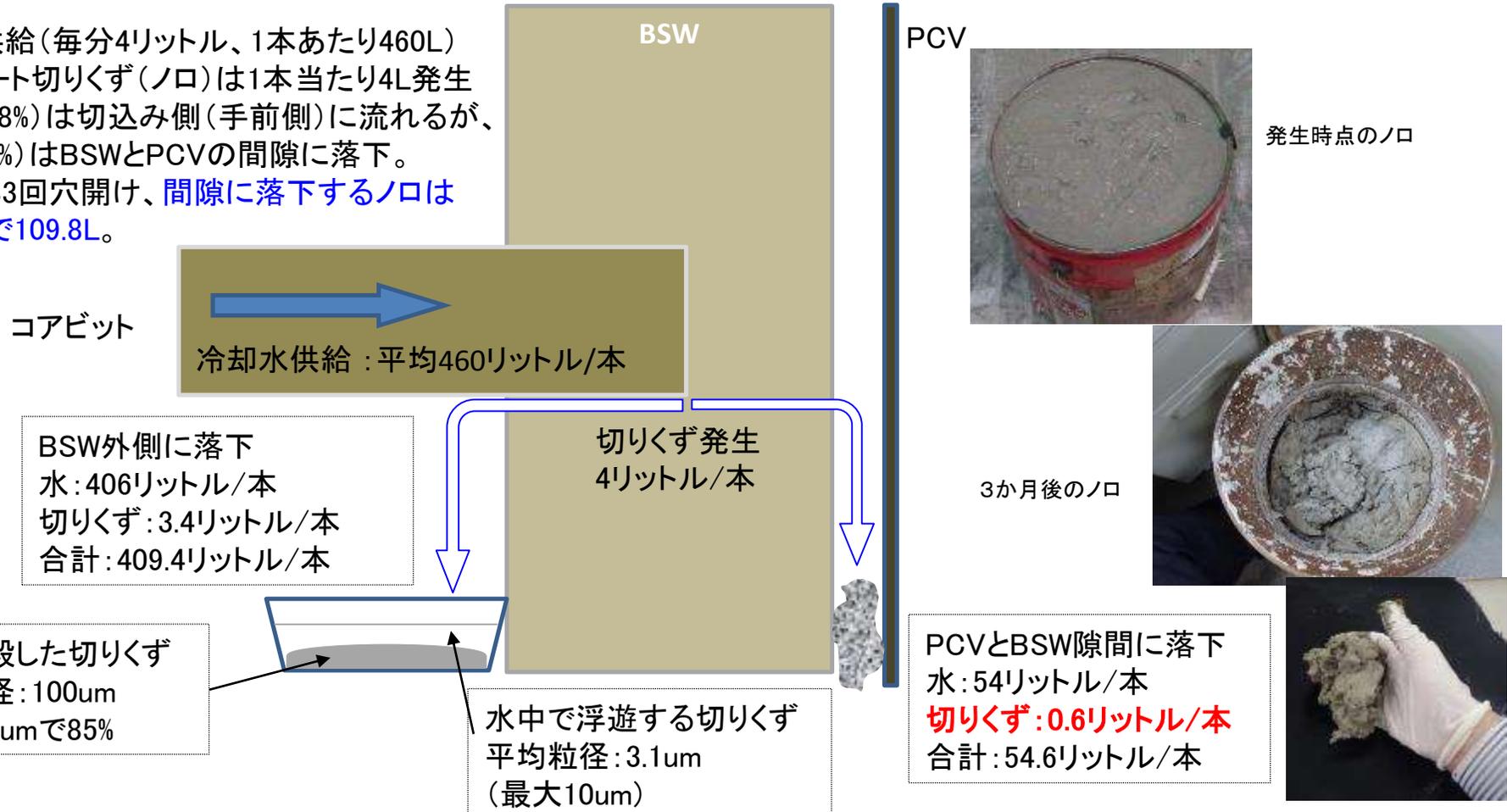
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

- 冷却水供給(毎分4リットル、1本あたり460L)
- コンクリート切りくず(ノロ)は1本当たり4L発生
- 409.4L(88%)は切込み側(手前側)に流れるが、54.6L(12%)はBSWとPCVの間に落下。
- 全体で183回穴開け、**間隙に落下するノロはトータルで109.8L。**



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

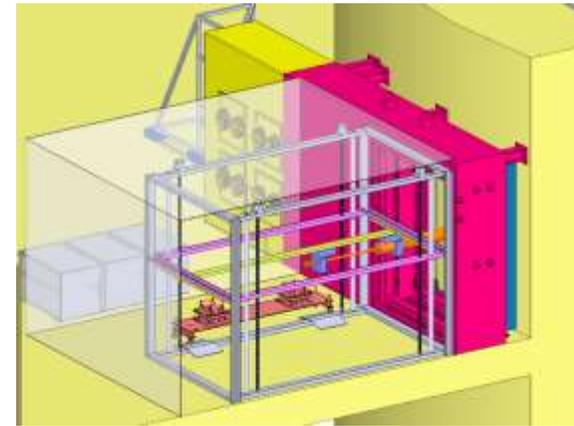
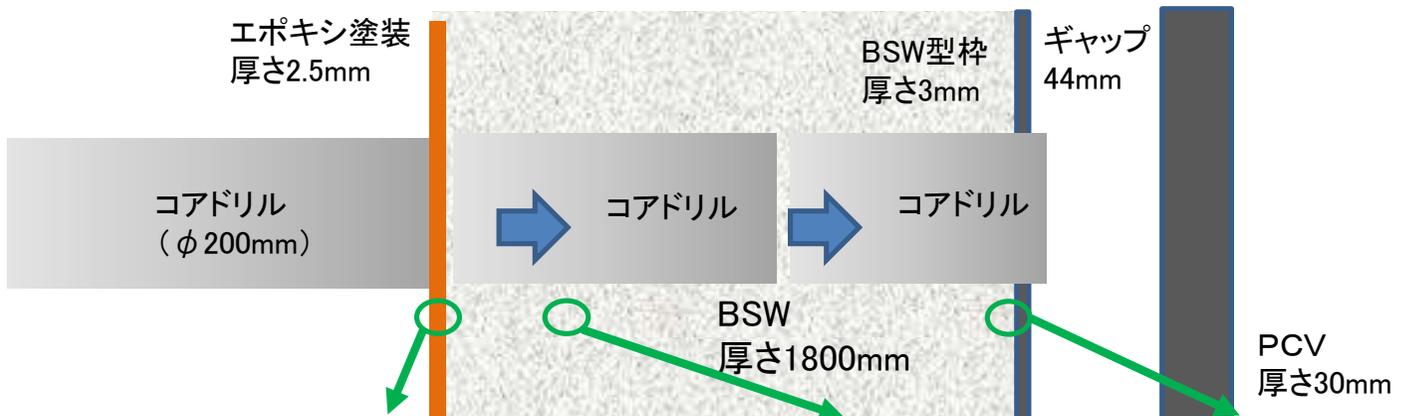
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

粉じんの評価(対象箇所の汚染状況)



BSW表面塗装 国プロ「建屋内の遠隔除染技術の開発」 2012年度にサンプル調査(実測)	コンクリート 表面・内部 (同左・実測)	BSW型枠表面 「RPV内部調査技術の開発」 2017年度に評価(推定(PCV内面))
<ul style="list-style-type: none"> 深さ最大1mm(厚さ2.5mm)まで汚染 浸透はエポキシの傷部分、塗装材料への浸透は無し 最大60kBq/cm² 汚染はCs134とCs137が支配的。 	<p>実測では汚染無し</p>	<p>表面汚染として下記を設定</p> <p>Cs : 8.5×10^{10}Bq/m²</p> <p>Pu : 2.07×10^3Bq/mm²</p>

- BSWで予想される汚染は、塗装面(外側)とBSW型枠の付着汚染であり、BSW全体では無く、当該部近傍の飛散に着目して評価を実施した。
- 今後のため、中央部の飛散データも採取した。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

BSW開口試験時に発生する粉じんの回収・評価計画

- 実機での汚染状態を考え、BSW表面近傍(ドリルの食いつき時)、型枠近傍(打ち抜き時)、BSW中間(比較用)の3か所での粉じん発生を評価する。表層付近の飛散量を測定したいため、できるだけ当該位置近傍の範囲を狙う。
- 実機で、汚染が塗装部にとどまっていることを反映し、BSW表面には建屋壁面と同じくエポキシ塗装を施す。
- 単独穴開け時と連続穴開け時の2ケースとする。
- BSW外側表面(ドリル食いつき側)とBSW型枠(ドリル打ち抜き側)の両側からダストを回収する。
- ダスト回収フードから吸引し、粉じんの総量(重量)と、サンプル抽出した粉じんの粒度分布を測定。削り取られた量に対する粉じん発生量を飛散率として算出する。算出方法は以下の通り

飛散率 = (回収した粉じんの量(実測値)) / (削った量)

削った量 = 削られた断面積(実測) × 工具の移動量(工具の座標値変化)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

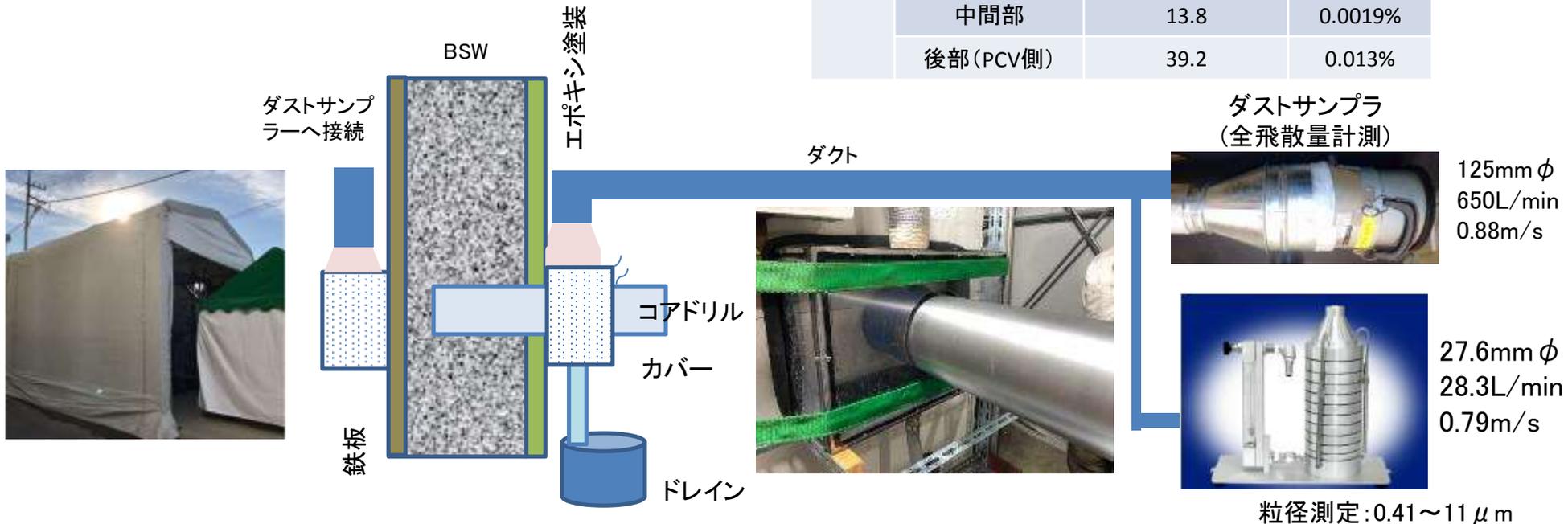
② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

- BSW開口作業で気中に飛散する粉じんを回収し総発生量および飛散率、粒径分布を測定
- 飛散率は0.002～0.028%程度に分布

		回収粉じん(mg)	飛散率(%)
単孔	表層部	47.7	0.028%
	中間部	3.0	0.0028%
	後部(PCV側)	0.2	0.00003%
連孔	表層部	6.1	0.0072%
	中間部	13.8	0.0019%
	後部(PCV側)	39.2	0.013%



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

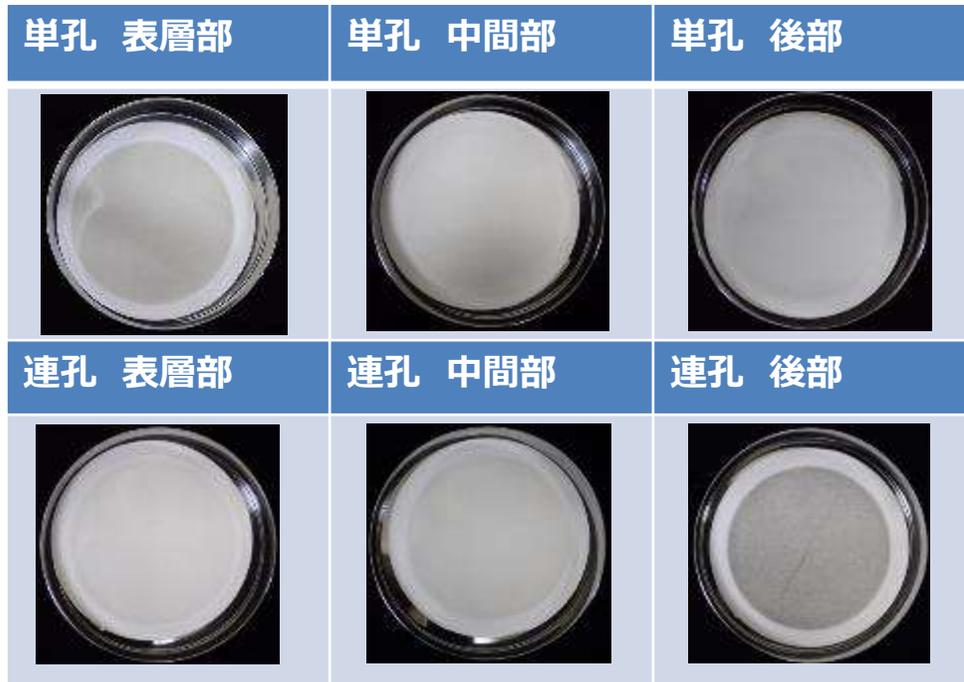
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

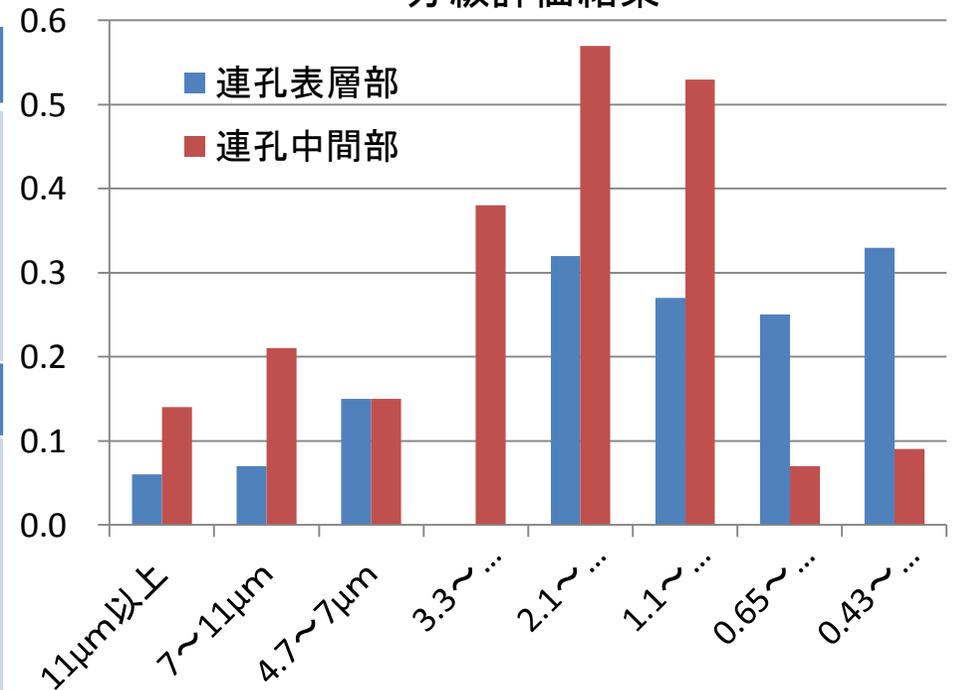
b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

ダストサンプラーによる測定結果・外観写真



分級評価結果



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

- コアスリーブの搬入／搬出に関する作業員の動線確認
- 開口完了後、コアスリーブの交換作業(スリーブ搬出・新スリーブ搬入) 時間データを取得。実工事を一部模擬し、タイベック・全面マスク・手袋の装備着用下での交換作業も実施。
- 作業員の3人グループは妥当。
- 交換時間は、装備有無によらず10～17分／回。今回は寒かったこともあり装備による大きな変化はなかった。(測定前に既に何回も作業を実施しており、習熟度は同じ)
- 当該位置での放射線量は5～10mSv/h。一人当たり、2～3mSv/回の被ばく量が想定され、被ばく低減が重要。
- 実機に向け、開口装置の構造見直しなどで、作業時間短縮を図ってゆく



タイベック、全面マスク、手袋等の装備有無	コアチューブ交換時間
装備なし	10分～17分
装備あり	11分～15分

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

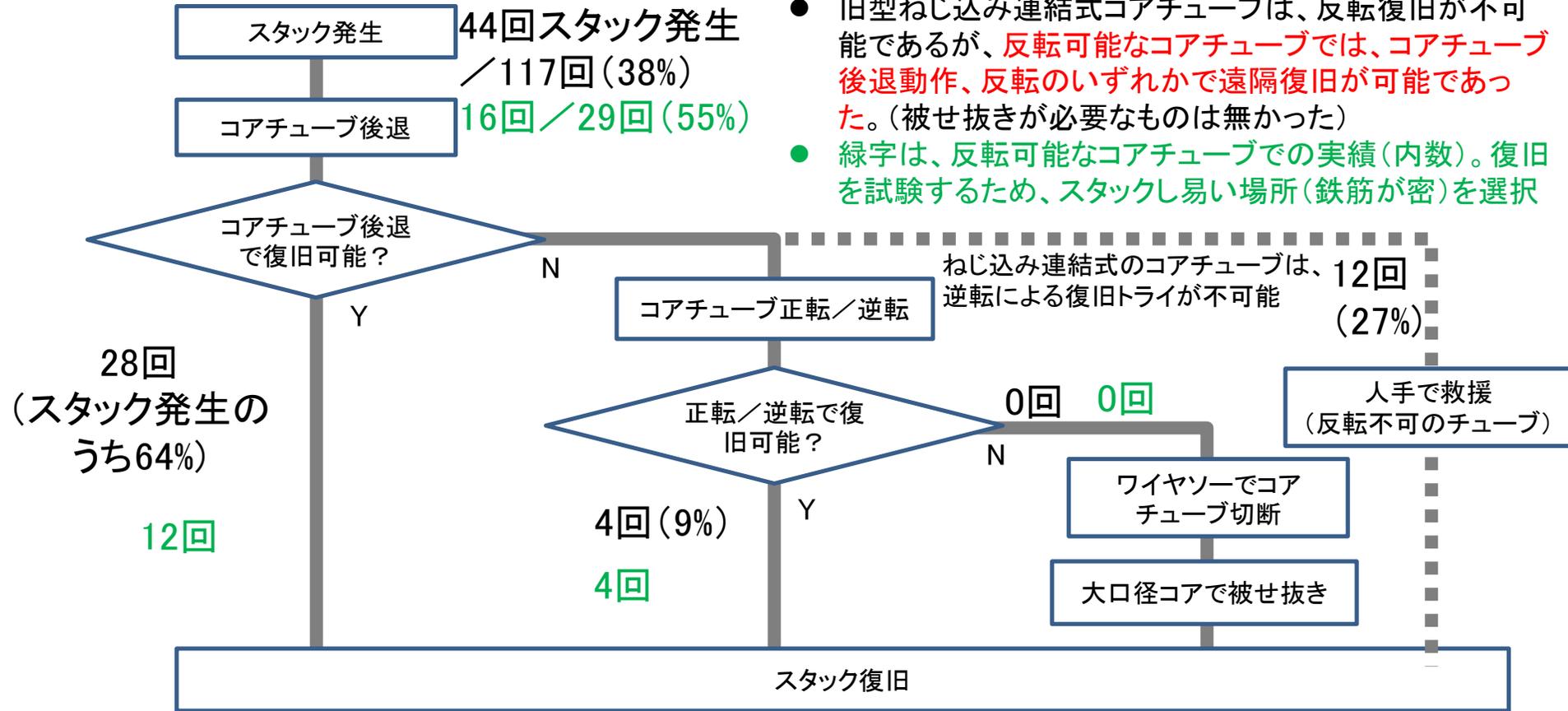
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

スタック時救援・復旧回数



- 117回の穴あけのうち44回 (38%) でスタック発生。
- 旧型ねじ込み連結式コアチューブは、反転復旧が不可能であるが、反転可能なコアチューブでは、コアチューブ後退動作、反転のいずれかで遠隔復旧が可能であった。(被せ抜きが必要なものは無かった)
- 緑字は、反転可能なコアチューブでの実績(内数)。復旧を試験するため、スタックし易い場所(鉄筋が密)を選択

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

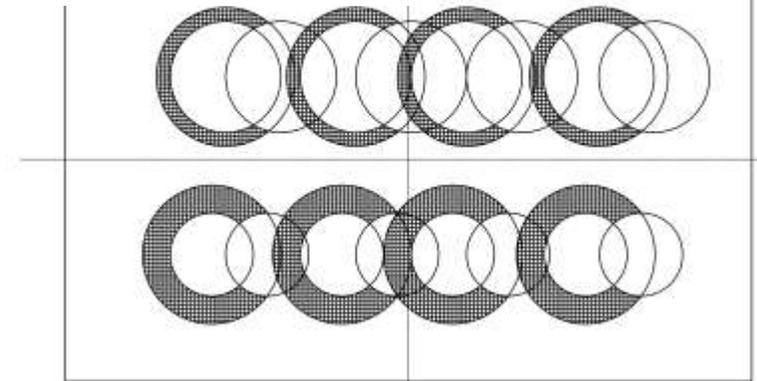
b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

スタック時の被せ抜き復旧

- スタック時に後退、逆転による解除ができないことを想定
- スタックしたコアよりも大口径コアで被せ抜き
- コア径、ビット厚さなどの組合せ(→スリーブ加工される厚さ)を変化(右図)
- 8ケース実施、平均約3時間のコア抜きで解除
- 5ケースでスリーブ加工片の割れが発生。スリーブが薄くなると破砕
- うち3ケースで救援ボーリングのスタック発生。いずれも後退動作で解除可能(1~2分/回)

外側: 救援用ボーリング
内側: スタックしたボーリング



スタックしたコアの模擬



スタックしたコアの模擬

スタック状態の模擬



大口径コア

大口径コアでの被せ抜き

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

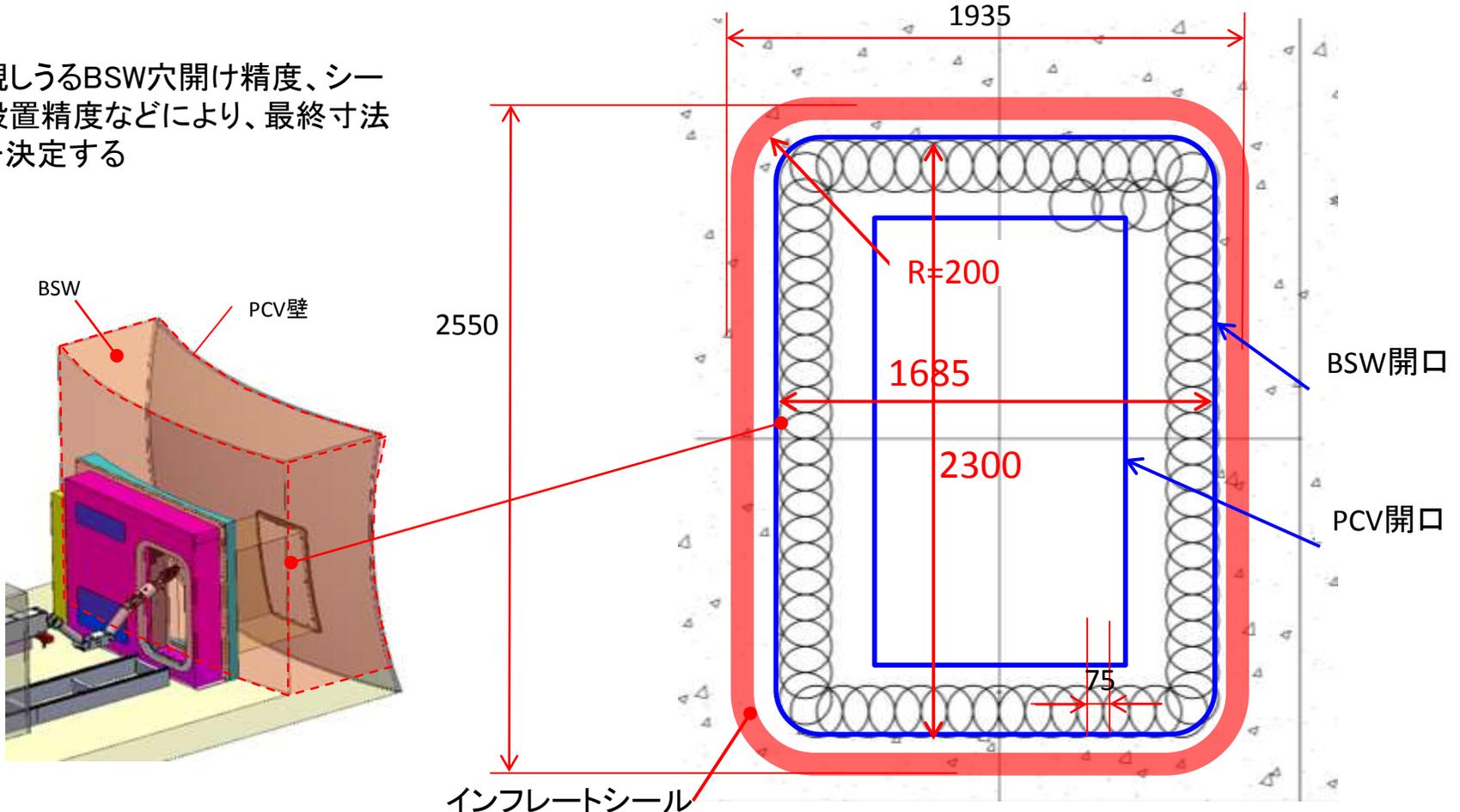
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

- 実現しうるBSW穴開け精度、シール設置精度などにより、最終寸法値を決定する



6. 本事業の実施内容

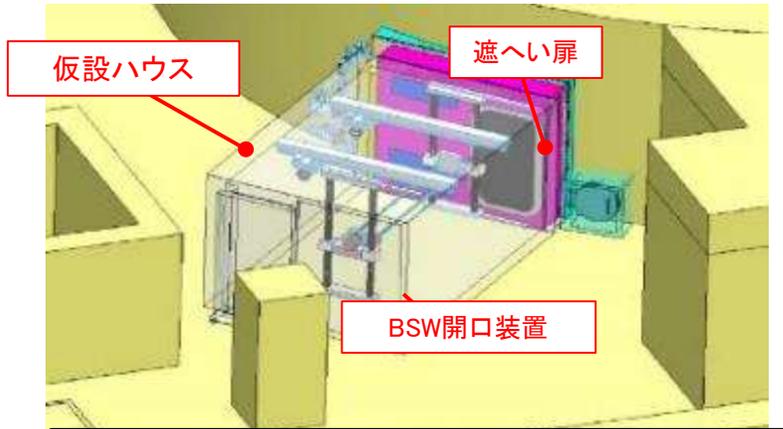
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

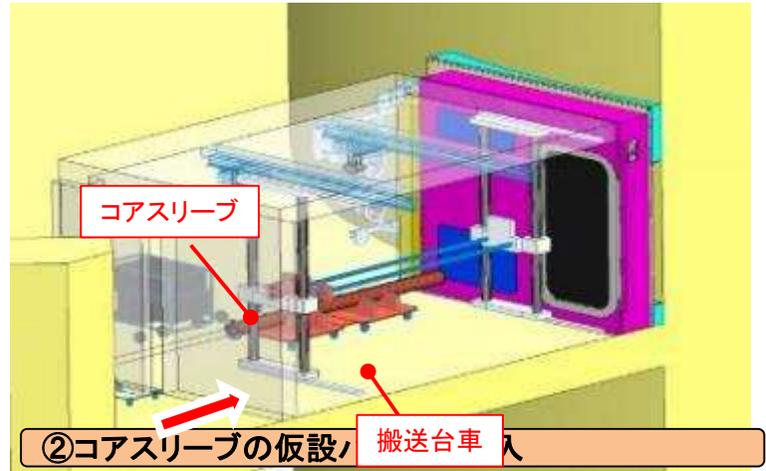
②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

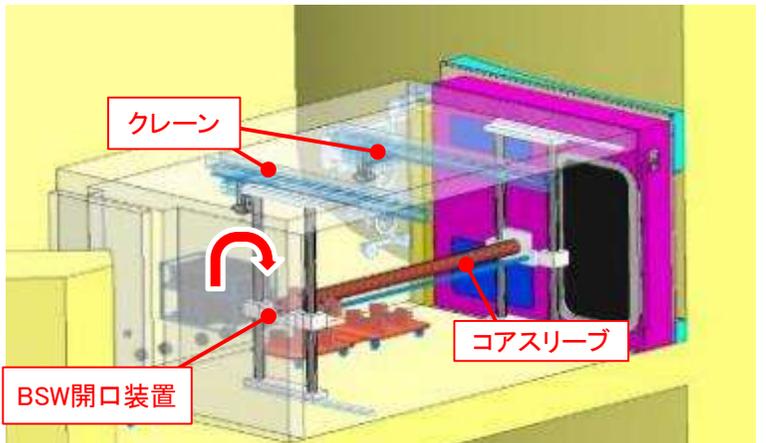
(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段



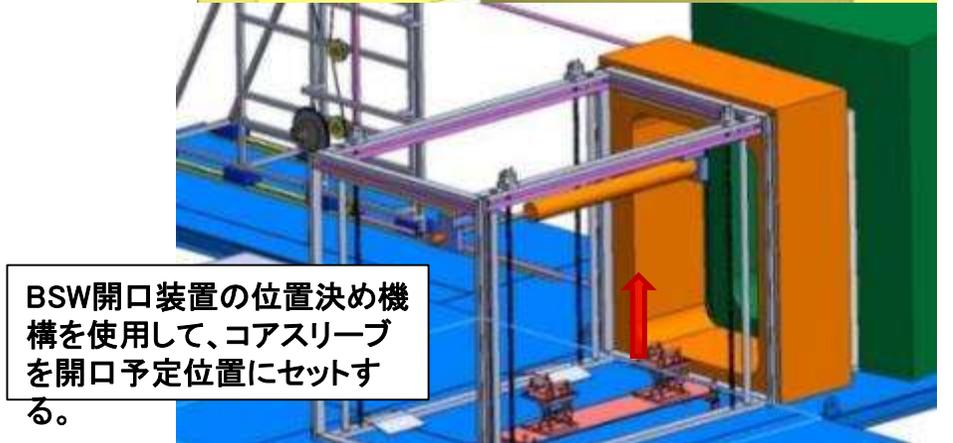
①仮設ハウスおよびBSW開口装置の設置



②コアスリーブの仮設搬送台車への搬入



③BSW開口装置へのコアスリーブ搭載



④BSW開口装置の位置決め

6. 本事業の実施内容

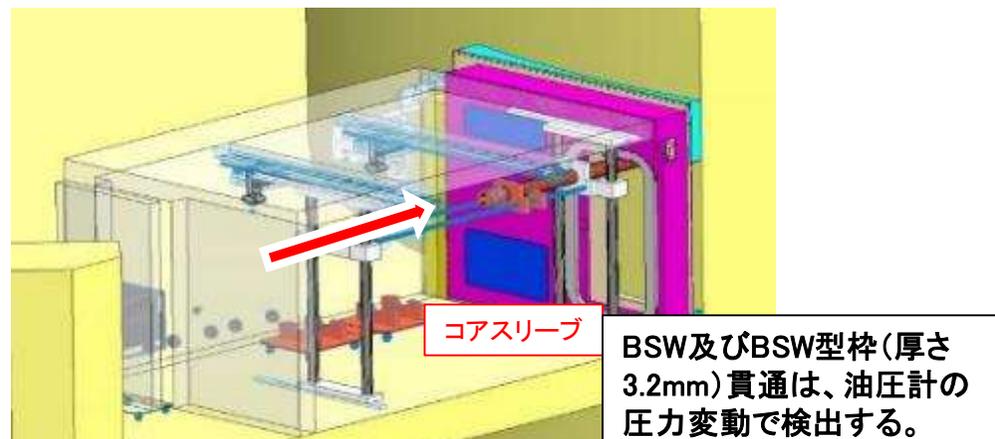
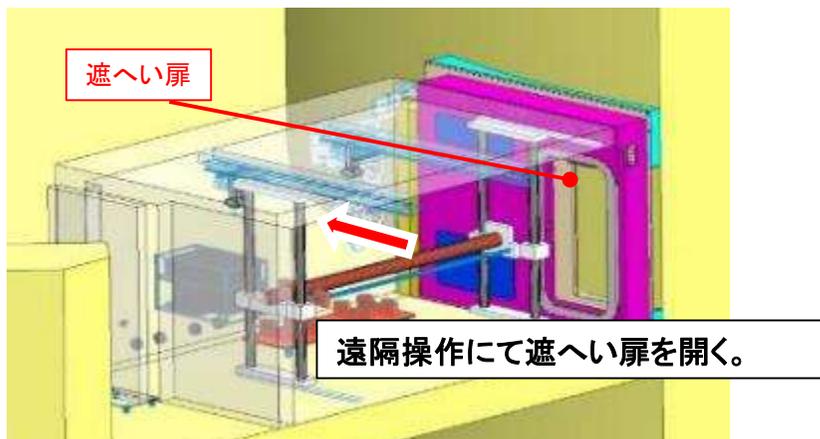
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

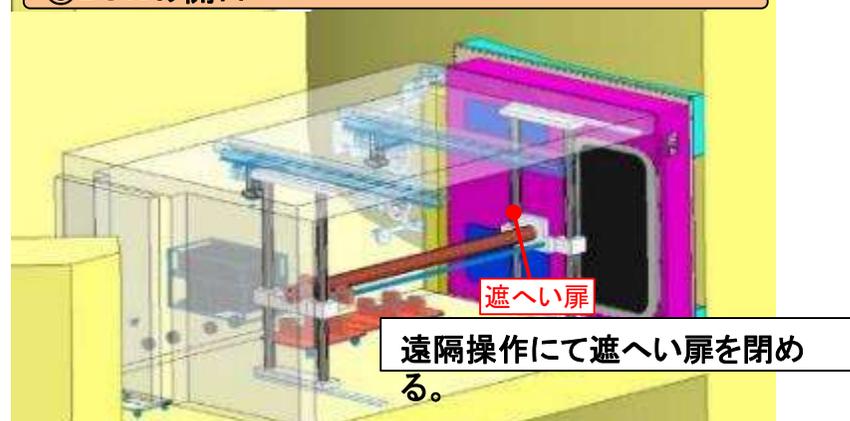
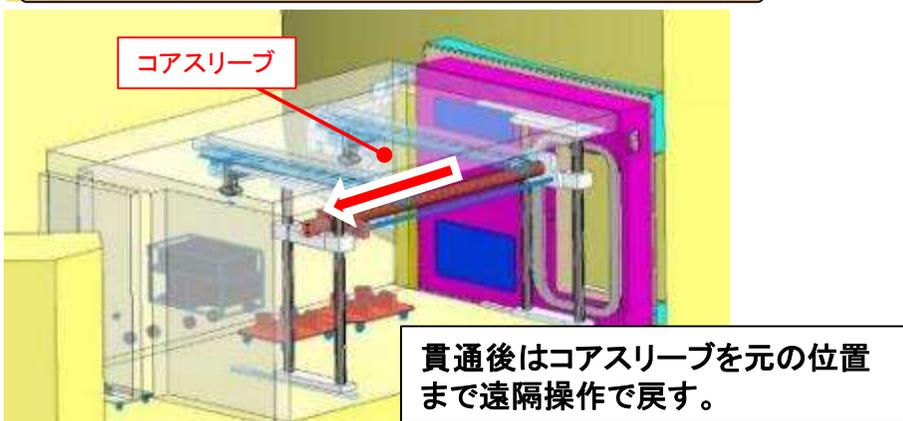
b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段



⑤ 遮へい扉の開作業

⑥ BSWの開口



⑦ コアスリーブの回収

⑧ 遮へい扉の閉作業

6. 本事業の実施内容

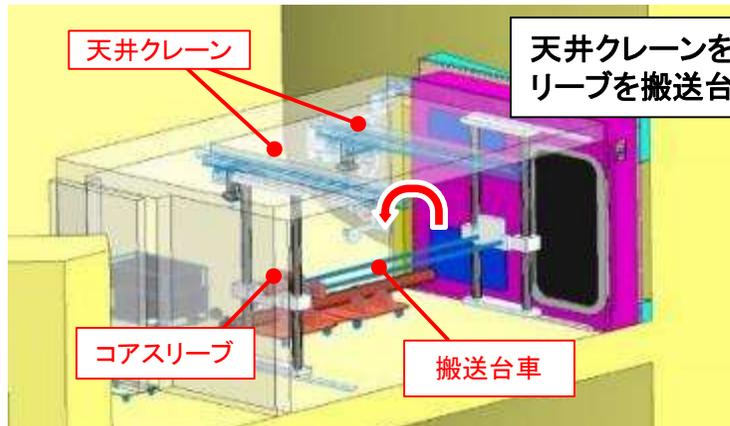
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

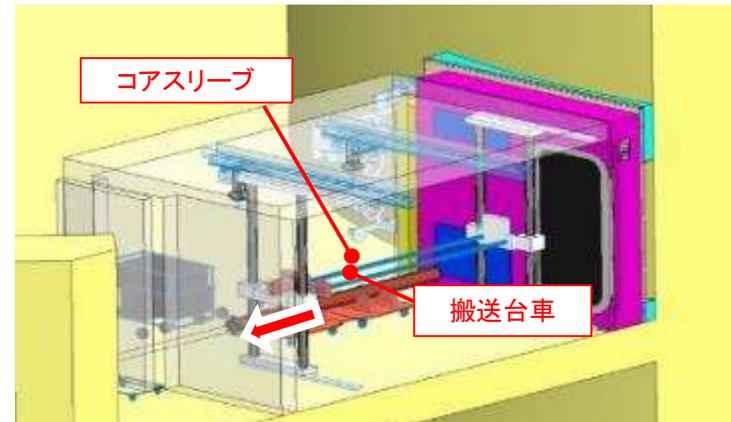
b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段



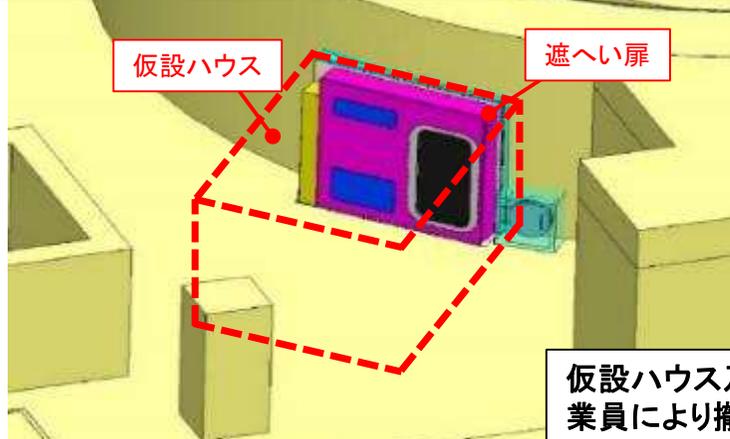
天井クレーンを使用しコアスリーブを搬送台車へ搭載する。

⑨搬送台車へのコアスリーブの搭載



⑩コアスリーブの搬出

使用済みコアスリーブを仮設ハウス外へ搬出する。
※手順2)～10)を繰り返す



仮設ハウス及びBSW開口装置を作業員により撤去する。

⑪仮設ハウスおよびBSW開口装置の撤去

6. 本事業の実施内容

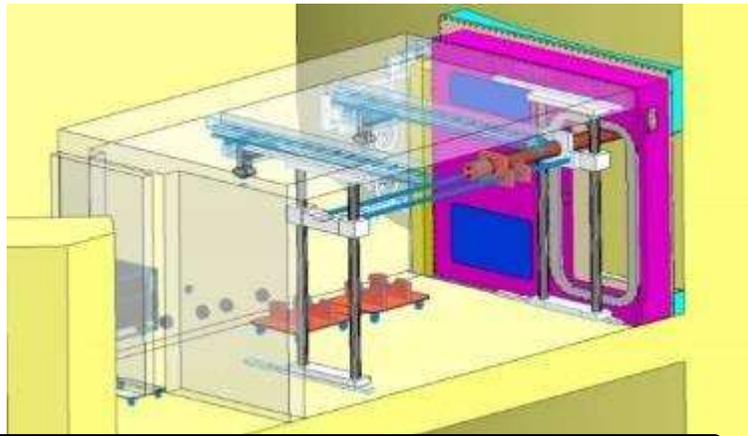
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

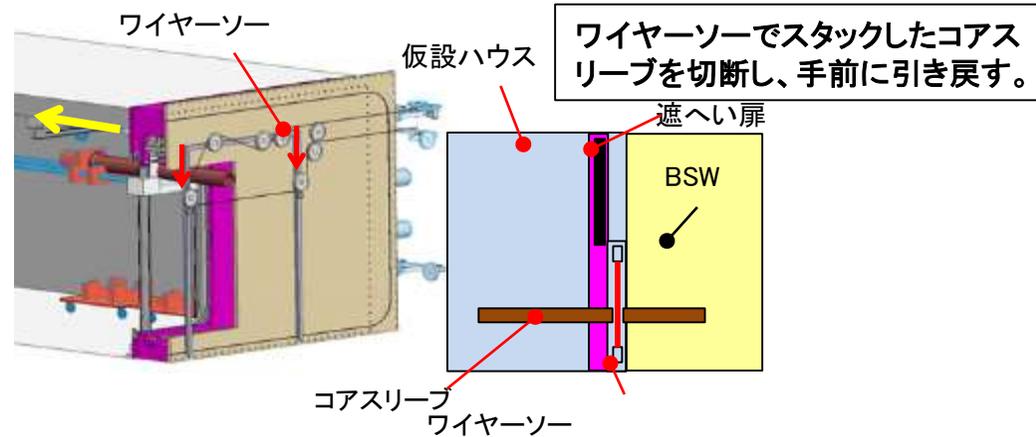
②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

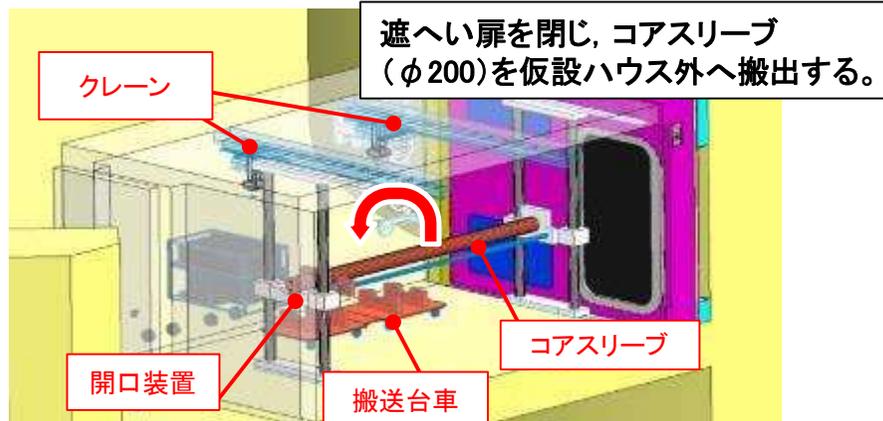
(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段



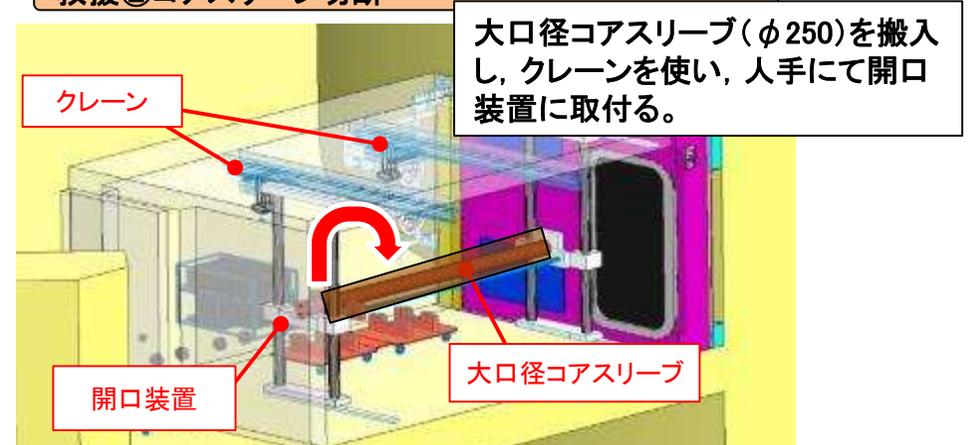
救援①スタック状態(作業前)



救援②コアスリーブ切断



救援③コアスリーブ取外し



救援④大口径コアスリーブ取付

6. 本事業の実施内容

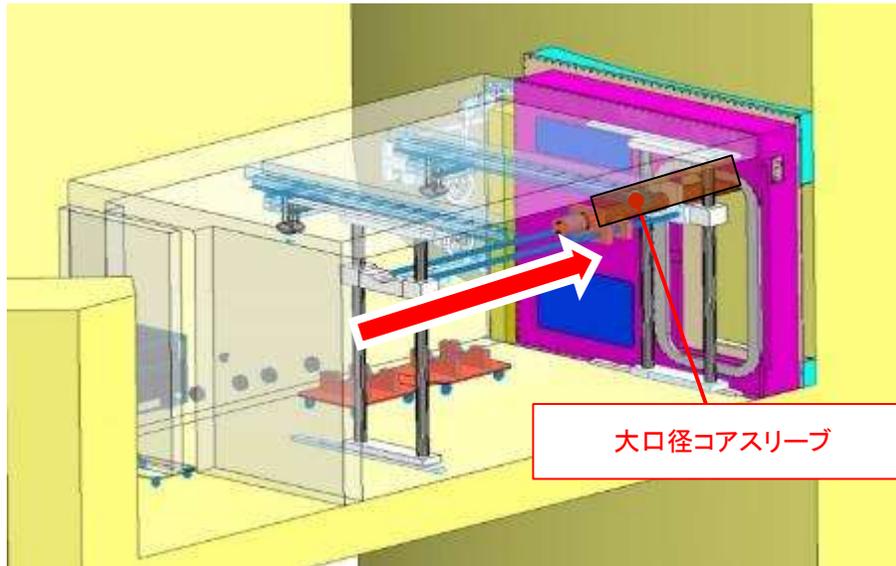
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

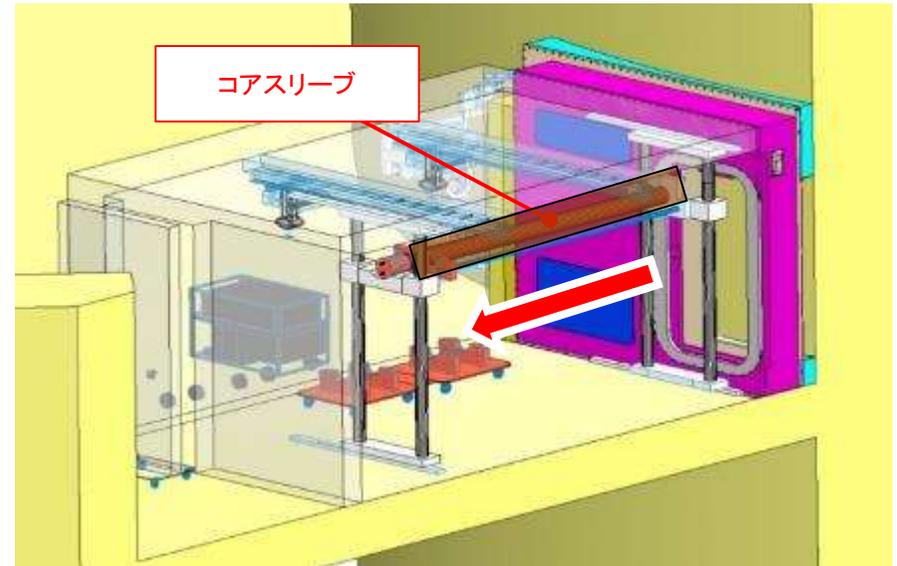
b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段



救援⑤大口径でのコアリング

遠隔操作で遮へい扉を開ける。
BSWに残ったφ200のコアスリーブを覆うように、遠隔操作にて大口径コアスリーブを位置決め・送り込み、BSW及びBSW型枠(厚さ3.2mm)貫通までBSWを開口する。貫通は油圧計の圧力変動で検出する。



救援⑥コアスリーブの回収

6. 本事業の実施内容

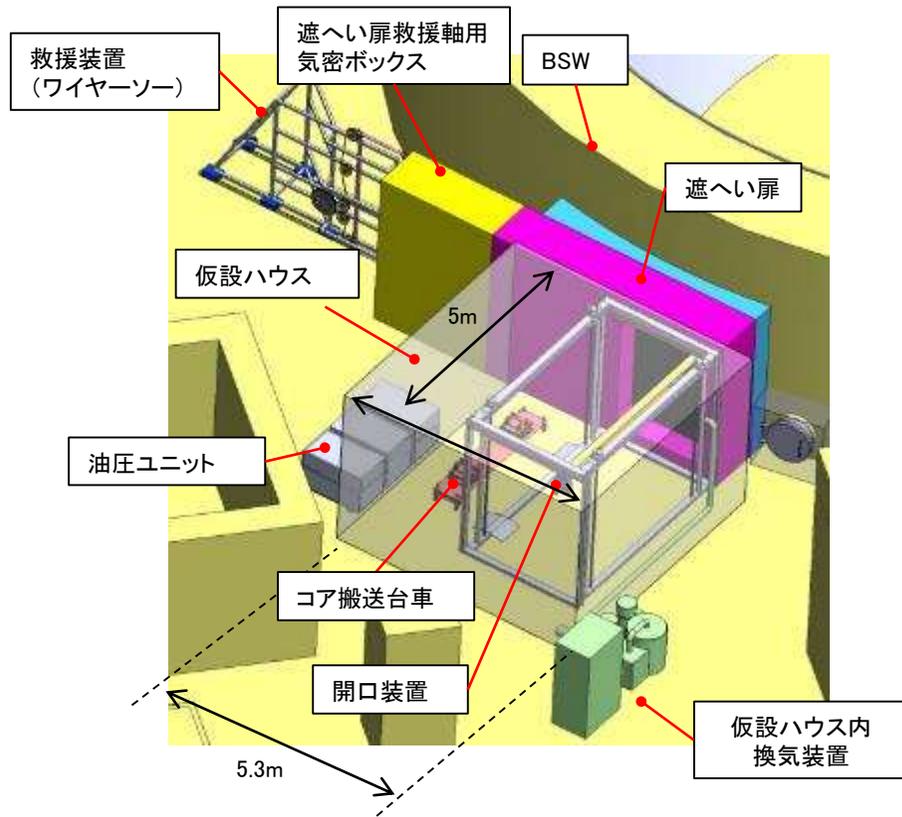
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

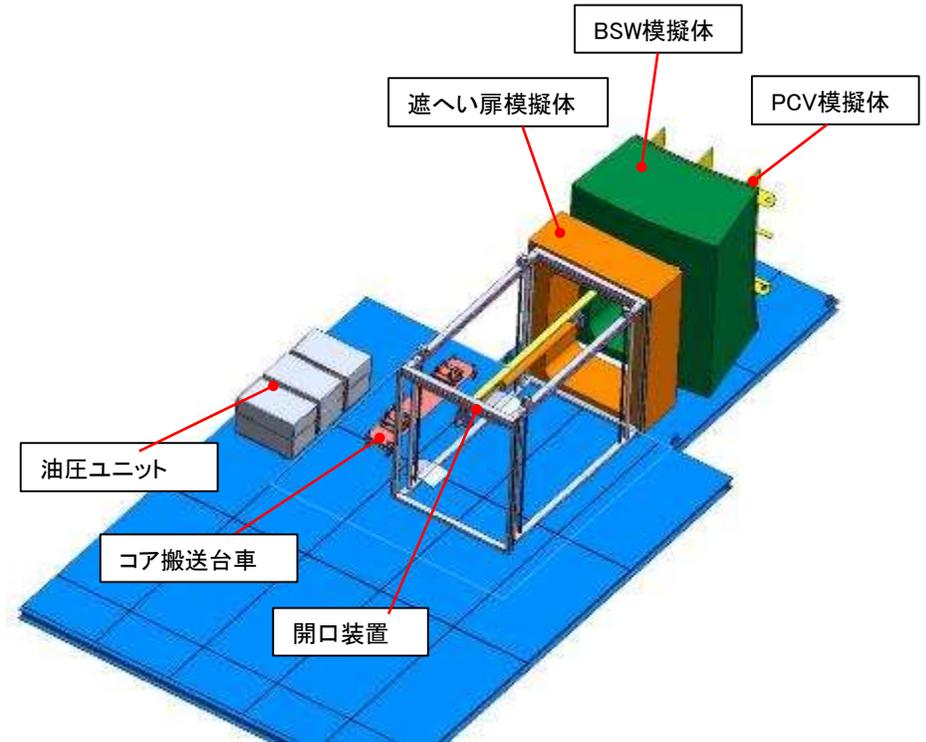
②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段



実機 機器構成



組合せ試験 機器構成

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

試験装置・機器		要素試験(組合せ試験)	実機	備考(実機との相違)
BSW		設計基準強度:51N/mm ² 厚さ:約1800mm 配筋:D38-SD345(2層2段) サイズ:外径R11700×内面SR10069 型枠:3.2mm鋼板(片側)	設計基準強度:225kg/cm ² (22N/mm ²) 厚さ:約1800mm 配筋:D38-SD345(2層2段) サイズ:外径R11700×内面SR10069 型枠:3.2mm鋼板(片側)	高経年調査により計測された強度の実測値とする。
開口装置	コアスリーブ	φ200×2309L(予定)	同左	—
	駆動装置	回転・送り共に油圧モータを使用	同左	—
	位置決め装置	X-Y装置で全自動により位置決める。	同左	—
	大口径コア	φ250×2309L(予定)	同左	—
コア搬送台車		搬送およびコアスリーブ交換に使用	同左	—
救援	ワイヤソー	BSW・遮へい扉間に設置し、コアスリーブを切断する。	BSW・遮へい扉間に設置し、コアスリーブを切断する。	—
遮へい扉		開口部の寸法を模擬した模擬体	遮へいと気密機能を有する扉を設ける。	開口寸法を模擬 厚さは実機より-150mm薄い
仮設ハウス		なし	あり	寸法制約は床面に印を付ける
仮設ハウス内換気		なし	あり	ハウスを設置しないため
切削屑回収・廃水処理機器		コアリング時に発生するノロ(コンクリート屑+水)を回収する。	同左	同等

6. 本事業の実施内容

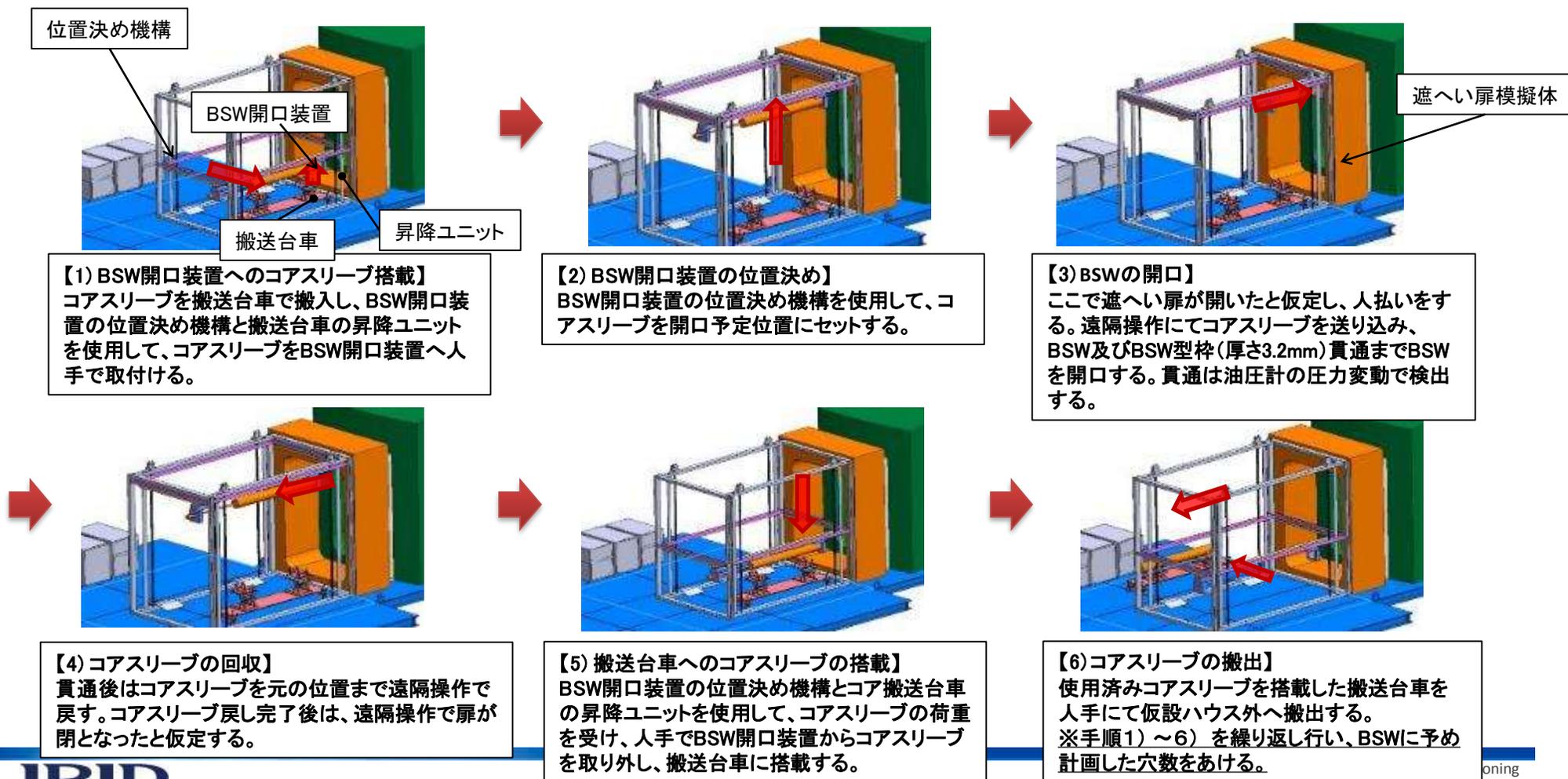
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段



6. 本事業の実施内容

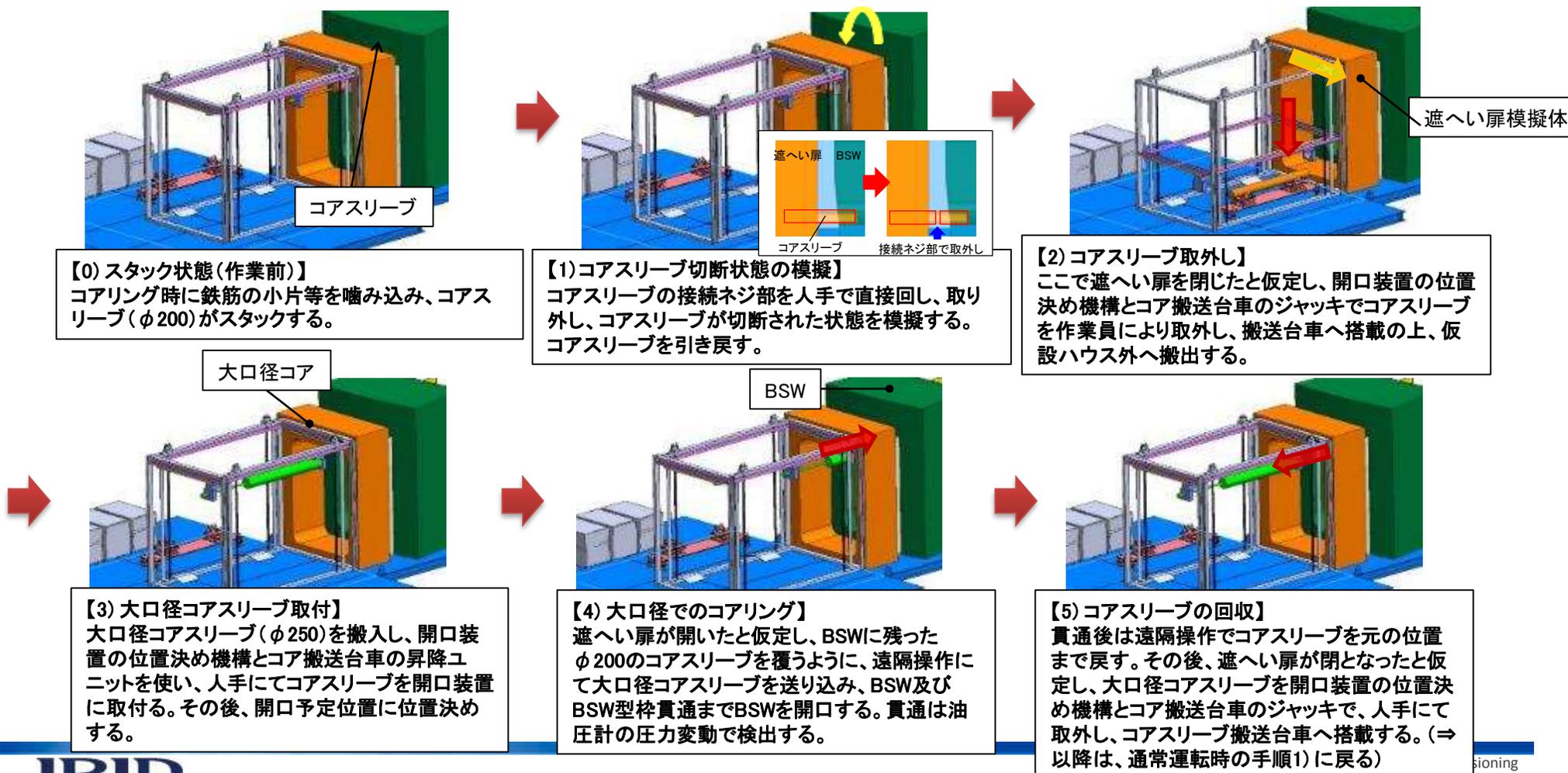
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

フェーズ	No.	管理パラメータ
①BSW開口作業時		
仮設ハウス及びBSW開口装置の設置	1-1	仮設ハウス、開口装置の設置位置、水平度
コアスリーブの搬入	2-1	ハウス内に搬入確認
BSW開口装置へのコアスリーブ搭載	3-1	コアスリーブの開口位置(座標)
遮へい扉の開作業	4-1	遮へい扉の開閉寸法、位置(座標)
BSWの開口	5-1	(1)開口貫通時の行き過ぎ量 PCVを損傷しない(1次バウンダリを壊さない)こと。 以下項目をモニタし開口進捗を把握する。 ・コアスリーブ回転の油圧ゲージ ・排水の色 ・開口時の音 ・コアボーリングの押し込み量(座標)
コアスリーブの回収	6-1	コアスリーブの位置(座標)
遮へい扉の閉作業	7-1	遮へい扉の位置(座標)
搬送台車へのコアスリーブの搭載	8-1	台車へのコアスリーブ搭載位置
コアスリーブの搬出	9-1	ハウス外に搬出確認
仮設ハウス及びBSW開口装置の撤去	10-1	建屋外に撤去確認
②スタック時の救援作業時		
コアスリーブ切断	11-1	切断装置の位置(座標)
コアスリーブ取外し	12-1	コアスリーブの位置(座標)
大口径コアスリーブ取付	13-1	3-1と同じ。
大口径でのコアリング	14-1	5-1と同じ。
コアスリーブの回収	15-1	コアスリーブの位置(座標)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

検証項目	データ	備考
BSW開口	穴開け加工により、燃料デブリ取出装置のアクセス開口を作成できた 開口寸法は、横1685×縦2300mmの設計値に対し、 手前(BSW外側)：横1682～1695mm、縦2303～2308mm 奥(PCV側)：横1681～1699、縦2297～2312.5(誤差最大で0.5%)	運転パラメータ 回転数：204rpm 油圧計圧力：5～10MPa 冷却水：4リットル/分
1本当たりの開口時間	1時間55分/開口 (MAX:2時間56分 MIN:1時間13分)	
ダスト発生量	ダストの発生量を確認した 単孔：47.7mg(表層部) 3.3mg(中間部) 0.2mg(後部) 連孔：6.1mg(表層部) 13.8mg(中間部) 39.2mg(後部)	気中への飛散率 0.002～0.028%
流出量(セル側)	手前側(BSW外側)：353.4リットル/本(うち切りくずの量3.4リットル/本) 奥川(PCV側)：54.6リットル/本(うち切りくずの量0.6リットル/本)	
スタック発生頻度	主に鉄筋の剥離片噛み込みによるスタックが発生した(26開口/75開口)	
スタック時救援試験の成立	スタック時は①ボーリング逆回転、②コアボーリング切断、③大径コアボーリングによる被せ加工、の手順とし、いずれも試験で可能であることを確認した	
コアボーリングビット交換・搬入搬出時間	ボーリングの交換、搬入搬出作業を模擬的にを行い、11～15分/回の所要時間し、想定被ばく量2～3mSv/人を確認した。	防護服着用
現地工事・実機設計に向けた課題	<ul style="list-style-type: none"> BSW型枠端部のバリ(最大約10mm)、めくれ(最大約7mm)。インフレートシール設置試験で、除去可能を確認し機械化データを採取。 BSWとPCV間隙、開口部床面へのきりくず堆積、BSW型枠切断片落下。 ボーリング交換作業での被ばく量低減。 	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

b.横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

● 本事業の成果

- BSWの模擬体を使用した開口試験を実施し、コアボーリングを用いた穴開け加工により、燃料デブリ取出装置のアクセス開口を作成することが確認できた
 - 1時間55分/開口 (MAX:2時間56分 MIN:1時間13分)
 - 開口寸法は横1685×縦2300mmの設計値に対し、誤差最大で0.5%(縦2312.5mm)
- 運転パラメータを採取し、以下の条件で開口が実現できることを確認した
 - 回転数:204rpm、油圧計圧力:5~10MPa、冷却水:4リットル/分
- 使用する水と切りくず(1本当たり合計408リットル)のうち、平均約11%(54.6リットル)はPCV側に流出することを確認。型枠を残して流出させない対策など、実機での課題を抽出
- 気中に放出するダストは0.002~0.028%であることを確認。

● 今後の課題(いずれも実機設計段階で対応)

	課題	対応方針
1	型枠(切断した端部)のバリ(最大約10mm)、めくれ(最大約7mm)など変形	シール取り付け前にグラインダなどで変形を除去(シール取り付け技術試験で確認済み)
		狭いギャップに対応するシールの設計
		型枠のみ残し最後に切り出し
2	水のPCV側流出の削減	切りくずはシール取り付け前に除去
3	コアボーリング交換時の被ばく低減	フレーム構造の変更

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

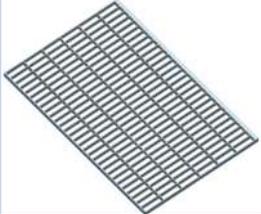
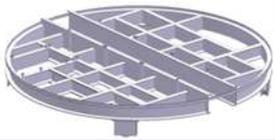
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法 撤去が必要となる干渉物について、整理した。

: 要素試験実施

※: 撤去難易度は、相対的評価

No.	干渉物	概略仕様	加工方法の候補	撤去方法の例	撤去難易度※	備考
1	グレーチング 	主要材質 SS+燃料デブリ	ディスクカッター、 セーバーソー	① ディスクカッター等で切断。 ② 切断片は容器に収納して搬出 (機器ハッチへ)。	中	・燃料デブリが付着。 ・変形・溶損により不定 形な形状が予測され る。
2	グレーチング支持 構造物 	主要材質 SS+燃料デブリ	ディスクカッター、 セーバーソー	① ディスクカッター等で切断。 ② 切断片は容器に収納して搬出 (機器ハッチへ)。	高	・燃料デブリが付着。 ・変形・溶損により不定 形な形状が予測され る
3	CRD等(落下物) 	主要材質 SUS+燃料デブリ	ディスクカッター、 セーバーソー	① ディスクカッター等で切断。 ② 切断片は容器に収納して搬出 (機器ハッチへ)。	高	・燃料デブリが付着。 ・炉内構造物などの落 下が予測される。 ・変形・溶損により不定 形な形状が予測され る。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

- c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法
撤去が必要となる干渉物について、整理した。

: 要素試験実施

※: 撤去難易度は、相対的評価

No.	干渉物	概略仕様	加工方法の候補	撤去方法の例	撤去難易度※	備考
4	CRD交換装置 	主要材質 SS+アルミ+SUS+燃料 デブリ	ディスクカッター、 セーバーソー	① ディスクカッター等で切断。 ② 切断片は容器に収納して搬出 (機器ハッチへ)。	高	・燃料デブリが付着 ・変形・溶損により不定 形な形状が予測され る。

要素試験は、撤去対象干渉物の落下防止措置を考慮した加工、容器への回収およびペDESTAL内からペDESTAL外への搬出について確認可能な模擬試験体を用いて実施する。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

上アクセス工法および横アクセス工法共通かつ工法によらない共通の干渉物としてペDESTAL内への落下物やペDESTAL内構造物について要素試験を計画する。

● 開発の目的

- 狭隘部における加工性の実現性確認。
- 落下防止措置を考慮した加工法の実現性確認。

● 解決すべき課題

- 遠隔操作による作業性。
- 狭隘部の加工方法。
- 落下防止を考慮した撤去方法。

● 得られる成果

- 狭隘部に対する機器設置性の確認。
- 落下防止措置を考慮した加工方法の実現性。
- 対象干渉物の加工および容器への回収とペDESTAL内からペDESTAL外への搬出に関する作業性について確認する。
- スループットの検討。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

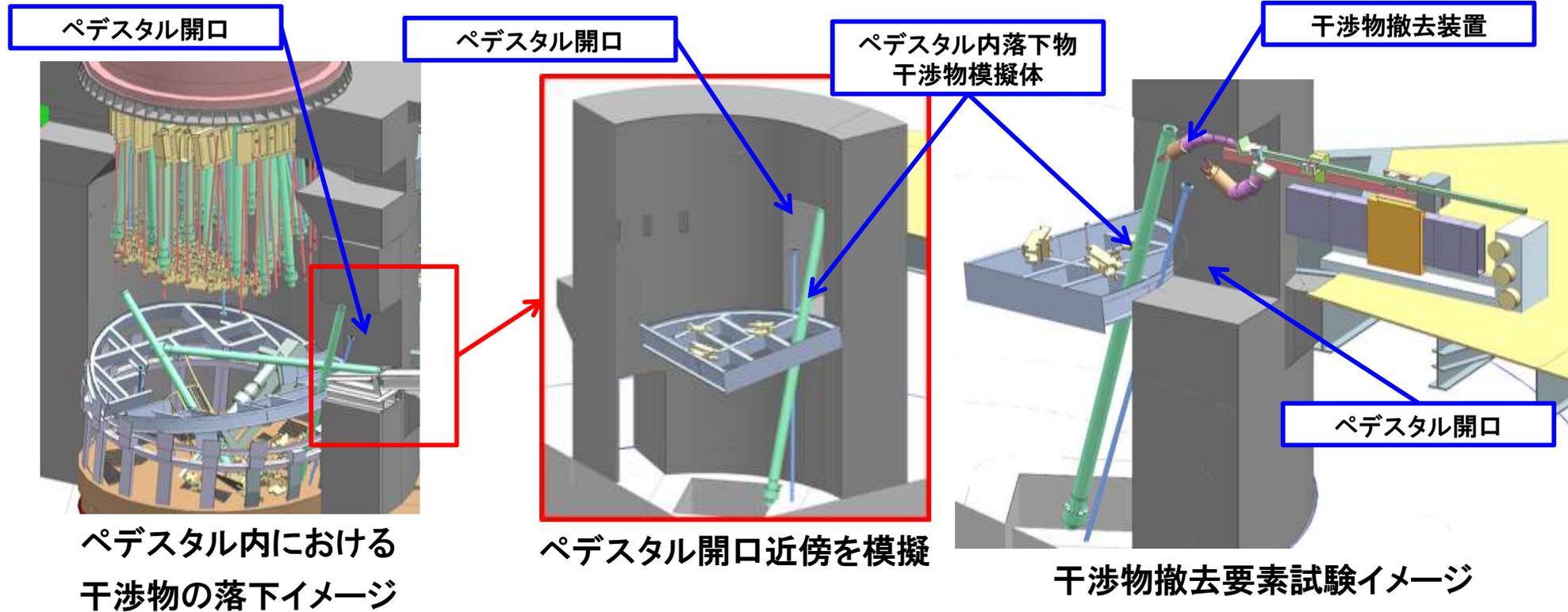
c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL内落下物撤去要素試験イメージを以下に示す。

模擬範囲箇所の選定理由

- ① 炉底部構造物は落下している可能性大(1F-3 PCV内部調査結果より)。
- ② 干渉物がペDESTAL開口部近傍に存在する場合、撤去装置の可動スペースが狭く厳しい条件となる。



: 要素試験模擬範囲

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

開発、進め方の概要を示す。

No.	ペDESTAL内干渉物撤去フェーズ	検討内容および試験目的(確認項目)	要素試験	備考
1	干渉物撤去装置の搬入	複数の部品で構成される干渉物撤去装置をPCV内にそれぞれ搬入後、ペDESTAL開口部付近まで運搬できること。	○	
2	干渉物撤去装置の組立て	遠隔装置を用いて、構成部品を組み立て、ペDESTAL開口部に干渉物撤去装置を設置できること。	○	
3	ペDESTAL内の状況確認	干渉物撤去装置に取り付けたカメラ等を用いて、ペDESTAL内部の損傷状況、撤去対象となる干渉物の状況を確認できること。	○	
4	ペDESTAL開口部近傍の干渉物の撤去	干渉物撤去装置をペDESTAL内へ進入させ、撤去対象となる干渉物へアクセスし、干渉物の落下を防止しながらその加工ができること。	○	
5	干渉物の回収	加工した干渉物を回収容器に収納できること。	○	
6	回収容器の搬出	干渉物を収納した回収容器をペDESTAL外へ搬出後、PCV外への搬出ルート上へ運搬できること。	○	
7	ペDESTAL内の干渉物の撤去	ペDESTAL内の撤去対象物までの距離に応じて、干渉物撤去装置の支柱を延長させ、干渉物の落下を防止しながらその加工ができること。	○	
8	干渉物の回収・搬出	加工した干渉物を回収容器に収納後、回収容器をペDESTAL外へ搬出し、PCV外への搬出ルート上へ運搬できること。	○	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

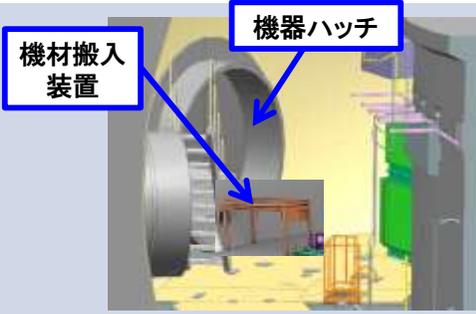
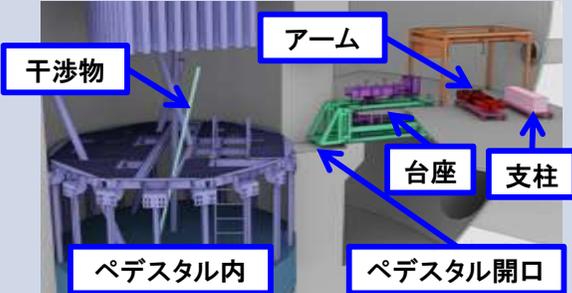
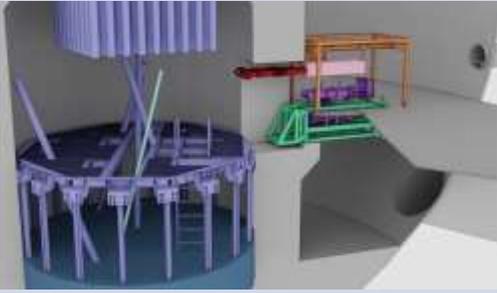
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL内干渉物撤去に必要な機能や課題を整理するため、作業ステップを検討した。

作業ステップ	A. 干渉物撤去装置をPCV内へ搬入	B. 干渉物撤去装置をペDESTAL開口へ移動	C. 干渉物撤去装置の組立て(繰り返し)
ステップ図			
内容	干渉物撤去装置の構成部品をPCV内へ搬入	機材搬入装置を用いて、干渉物撤去装置の構成部品をペDESTAL開口部付近まで運搬	干渉物撤去装置の構成部品を遠隔装置を用いて組上げ
要求機能	PCV内へ構成部品を搬入できること	構成部品をペDESTAL開口部付近まで運搬できること	構成部品を設置・組立てできること

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

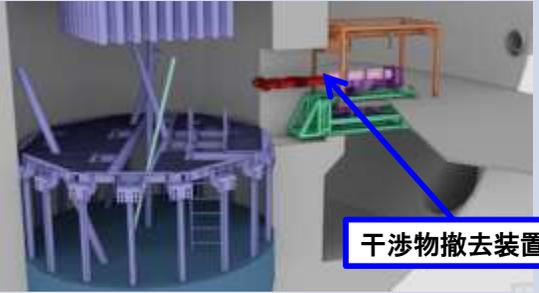
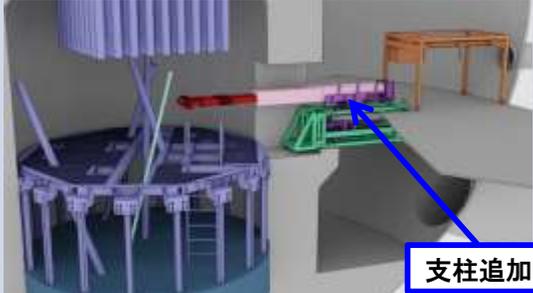
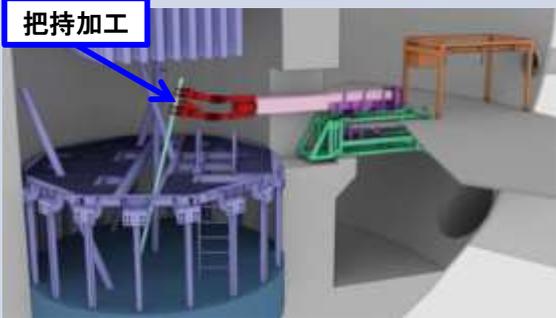
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL内干渉物撤去に必要な機能や課題を整理するため、作業ステップを検討した。

作業 ステップ	D. ペDESTAL内状況の確認	E. ペDESTAL開口近傍の 干渉物へアクセス	F. ペDESTAL開口近傍の 干渉物の撤去(気中・水中)
ス テ ッ プ 図			
内 容	<p>ペDESTAL内進入前にカメラ等を用いて内部の損傷状況、撤去対象となる干渉物の状況を確認</p>	<p>干渉物撤去装置をペDESTAL内へ進入させ、撤去対象となる干渉物へアクセス</p>	<p>干渉物の落下防止を考慮して撤去作業を実施</p>
要 求 機 能	<p>ペDESTAL内進入前に内部状況を観察できること</p>	<p>干渉物へアクセスできること</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・干渉物を落下させることなく加工できること ・狭隘環境で適用可能な加工ツールを有すること

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

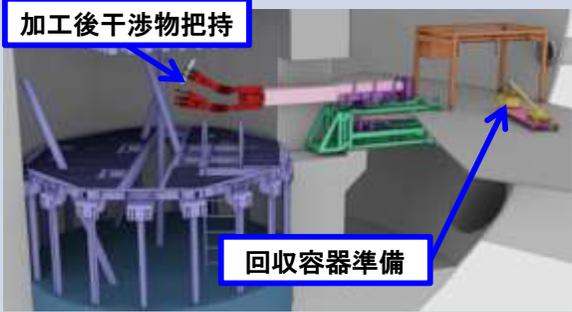
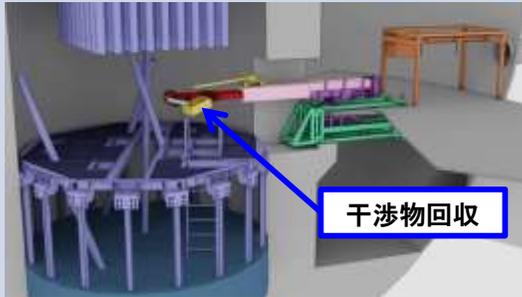
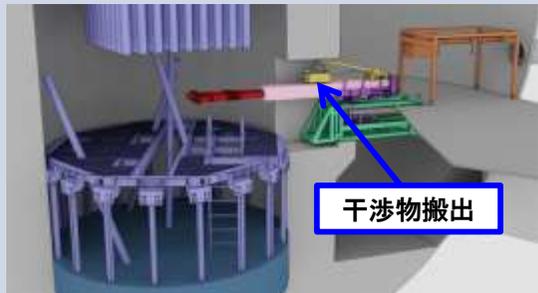
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL内干渉物撤去に必要な機能や課題を整理するため、作業ステップを検討した。

作業 ステップ	G. 干渉物の回収容器準備	H. 干渉物を回収容器へ収納	I. 回収容器をペDESTAL外へ搬出
ステップ 図			
内容	<p>撤去した干渉物をペDESTAL内からペDESTAL外へ搬出するための回収容器を準備</p>	<p>干渉物撤去装置を用いて撤去した干渉物を回収容器へ収納</p>	<p>ペDESTAL内からペDESTAL外へ回収容器を搬出</p>
要求 機能	<p>回収容器をペDESTAL内へ挿入できること</p>	<p>干渉物を回収容器へ収納できること</p>	<p>干渉物を収納した回収容器をペDESTAL外へ搬出できること</p>

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

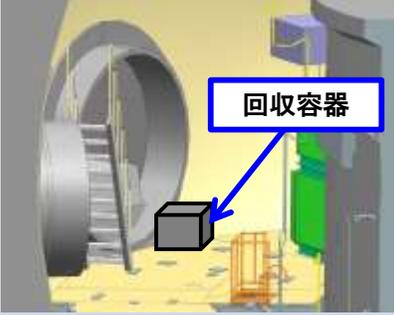
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL内干渉物撤去に必要な機能や課題を整理するため、作業ステップを検討した。

作業 ステップ	J. 回収容器をPCV外へ搬出	K. 干渉物撤去装置の支柱を延長	L. 開口奥側の干渉物を撤去 (開口近傍の作業と同様)
ステップ 図			
内容	回収容器をPCV外への搬出 ルート上へ運搬	撤去対象である干渉物までの アクセス長に応じて干渉物撤去 装置を伸長	作業ステップFからKを繰り返して 実施しながらペDESTAL内の 干渉物を撤去
要求 機能	回収容器を運搬できること	アクセス長を調整できること	—

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL内干渉物撤去作業ステップと各ステップでの要求機能を検討した結果より、干渉物撤去装置の仕様と作業時の課題を整理した。

ステップ	要求機能	装置の基本仕様	作業時の課題
A	PCV内へ構成部品を搬入できること	PCV内へ搬入可能なサイズ(機器ハッチ開口1.5m×1.5m)、重量(グレーチング耐荷重500kg/m ²)の構成部品から構成できること	PCV外からPCV内への構成部品の運搬
B	構成部品をペDESTAL開口部付近まで運搬できること	ペDESTAL開口部付近へ運搬可能なサイズ(PLRポンプ脇通路幅1.8m)、重量(グレーチング耐荷重500kg/m ²)の構成部品から構成できること	<ul style="list-style-type: none"> ・ペDESTAL開口部付近への構成部品の運搬 ・構成部品運搬中の不具合の発生(落下、スタック等)
C	構成部品を設置・組立てできること	構成部品の設置位置決め、据付、組立てができること	<ul style="list-style-type: none"> ・接続部での不具合の発生(咬み込み、変形等) ・構成部品の位置決め方法
D	ペDESTAL内進入前に内部状況を観察できること	観察用センサ(カメラ等)を搭載できること	観察用センサのペDESTAL内への挿入
E	干渉物へアクセスできること	想定する干渉物の切断位置決めができること	干渉物の切断位置決め

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL内干渉物撤去作業ステップと各ステップでの要求機能を検討した結果より、干渉物撤去装置の仕様と作業時の課題を整理した。

ステップ	要求機能	装置の基本仕様	作業時の課題
F	干渉物を落下させることなく加工できること	干渉物の落下防止手段を有すること	切断片の落下
	狭隘環境で適用可能な加工ツールを有すること	<ul style="list-style-type: none"> ・想定する干渉物を切断可能なツールを有すること ・切断ツールの交換ができること ・回収容器(φ390mm×400mm:収納保管WGで検討しているUCと同等)へ収納可能なサイズで切断できること 	<ul style="list-style-type: none"> ・想定するサイズ以下での干渉物の切断 ・切断ツールの交換方法
G	回収容器をペDESTAL内へ挿入できること	<ul style="list-style-type: none"> ・回収容器の移動手段を有すること ・ペDESTAL内への挿入、干渉物を収納してペDESTAL外への搬出が可能なサイズ(ペDESTAL開口0.79m×1.97m)の回収容器を備えること ・干渉物の切断片を収納可能なサイズ(φ390mm×400mm:収納保管WGで検討しているUCと同等)の回収容器であること 	<ul style="list-style-type: none"> ・回収容器への切断片の回収方法 ・回収容器落下、スタック時の復旧方法 ・回収容器からの切断片の落下
H	干渉物を回収容器へ収納できること		
I	干渉物を収納した回収容器をペDESTAL外へ搬出できること		

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL内干渉物撤去作業ステップと各ステップでの要求機能を検討した結果より、干渉物撤去装置の仕様と作業時の課題を整理した。

ステップ	要求機能	装置の基本仕様	作業時の課題
J	回収容器を運搬できること	<ul style="list-style-type: none"> ・回収容器の運搬手段を有すること ・ペDESTAL開口部付近からPCV外への搬出ルート上へ運搬可能なサイズ(φ390mm×400mm: 収納保管WGで検討しているUCと同等)、重量(50kg: 現状想定している1回あたりの最大搬出重量)の回収容器であること 	回収容器運搬中の不具合の発生(落下、スタック等)
K	アクセス長を調整できること	<ul style="list-style-type: none"> ・アクセス長の伸縮が可能な構成であること ・想定する干渉物の切断位置決めができること 	<ul style="list-style-type: none"> ・接続部での不具合の発生(咬み込み、変形等) ・干渉物の位置把握
L			
共通	各種装置を遠隔操作できること	装置組立て、干渉物へのアクセス、干渉物の撤去等の作業を遠隔操作で実施できること	周辺環境と作業装置の状況を把握しながらの遠隔操作
	作業を遠隔で実施するための監視ができること	各作業に必要な視点・視野を確保可能な監視手段を有すること	各作業に必要な視点・視野の提供

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL内干渉物撤去作業の各ステップで抽出した課題に対し、要素試験の実施可否、要素試験での確認内容を検討した。

ステップ	作業時の課題	概念検討	要素試験	内容	要素試験での確認項目
A	PCV外からPCV内への構成部品の運搬	○	—	PCV内への搬出ルートや搬出方法に応じた試算を机上検討で実施。	—
B	ペDESTAL開口部付近への構成部品の運搬	○	○	構成部品を運搬する装置を試作し、運搬時間の参考値を取得。	運搬時間(参考値として)
	構成部品運搬中の不具合の発生(落下、スタック等)	○	—	上記試験で抽出した課題とあわせて不具合事象と復旧方法を机上で整理し、装置仕様へ反映。	—
C	接続部での不具合の発生(咬み込み、変形等)	○	—	組立試験で抽出した課題とあわせて不具合事象と復旧方法を机上で整理し、装置仕様へ反映。	—
	構成部品の位置決め方法	○	○	構成部品の位置決め作業を遠隔で実施し、手順や監視方法を検討。	・設置位置 ・組立て手順 ・組立て時間
D	観察用センサのペDESTAL内への挿入	○	○	ペDESTAL内干渉物の状況確認に必要なセンサ設置位置を検討。	観測用センサ設置位置
E	干渉物の切断位置決め	○	○	狭隘環境での切断位置決め方法を検討。	・位置決め手順 ・位置決め時間

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL内干渉物撤去作業の各ステップで抽出した課題に対し、要素試験の実施可否、要素試験での確認内容を検討した。

ステップ	作業時の課題	概念検討	要素試験	内容	要素試験での確認項目
F	切断片の落下	○	○	切断片の落下防止策を試験にて確認。	干渉物把持方法
	想定するサイズ以下での干渉物の切断	○	○	狭隘環境での干渉物切断方法を検討。	干渉物切断時間
	切断ツールの交換方法	○	—	切断ツールの寿命や交換方法は、単体試験/机上検討にて実施。	—
GHI	回収容器への切断片の回収方法	○	○	回収容器への切断片回収時間を計測。	切断片回収時間
	回収容器落下、スタック時の復旧方法	○	—	上記試験で抽出した課題とあわせて不具合事象と復旧方法を机上で整理し、装置仕様へ反映。	—
	回収容器からの切断片の落下	○	—	切断片回収試験で抽出した課題とあわせて落下防止策を机上で検討し、回収方法へ反映。	—

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL内干渉物撤去作業の各ステップで抽出した課題に対し、要素試験の実施可否、要素試験での確認内容を検討した。

ステップ	作業時の課題	概念検討	要素試験	内容	要素試験での確認項目
J	回収容器運搬中の不具合の発生(落下、スタック等)	○	—	試験で抽出した課題とあわせて不具合事象と復旧方法を机上で整理し、装置仕様へ反映。	回収容器搬送時間
K L	接続部での不具合の発生(咬み込み、変形等)	○	—	組立試験で抽出した課題とあわせて不具合事象と復旧方法を机上で整理し、装置仕様へ反映。	—
	干渉物の位置把握	○	○	撤去装置のアクセス長の延長方法とアクセス可能距離の把握。	・アクセス長延長手順 ・アクセス長延長時間
共通	周辺環境と作業装置の状況を把握しながらの遠隔操作	○	○	各作業ステップでの遠隔操作時に必要な機能の確認。	各作業を遠隔で実施する際の課題抽出
	各作業に必要な視点・視野の提供	○	○	各作業ステップでの監視方法・位置の確認。	・カメラ設置位置 ・カメラ設置台数

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

要素試験における確認項目および作業実現性を判断するための判定基準について検討した。

No.	試験項目	該当作業ステップ	試験手順	判定基準	取得データ
1	干渉物撤去装置準備	A、B、C、K	構成部品を搬入し、干渉物撤去装置を組み立てる。	計画した位置に干渉物撤去装置が設置可能であること。	<ul style="list-style-type: none"> ・構成部品運搬時間 ・設置位置 ・組立て手順 ・組立て時間
2	干渉物撤去(気中)	D、E、F、L	想定した干渉物を落下させることなく切断する。	想定した切断位置に切断ツールの位置決めを行い、干渉物を切断できること。	<ul style="list-style-type: none"> ・位置決め手順 ・位置決め時間 ・干渉物把持方法 ・干渉物切断時間
3	干渉物撤去(水中)	D、E、F、L	切断位置の位置決め時間、切断時間等は、No.2の気中で取得したデータを参照するため、No.4の切断片回収のみ実施する。		
4	干渉物搬出	G、H、I、J	干渉物を回収した容器を、搬出ルート上に搬出する。	容器を、搬出ルート上に搬出可能であること。	<ul style="list-style-type: none"> ・切断片回収時間 ・回収容器搬送時間
5	遠隔操作・監視試験	共通	各ステップでの作業をカメラ映像で確認しながら遠隔操作で実施する。	上記試験がカメラにより監視され、遠隔作業により実施可能であること。	<ul style="list-style-type: none"> ・各作業を遠隔で実施する際の課題抽出 ・カメラ設置位置 ・カメラ台数

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

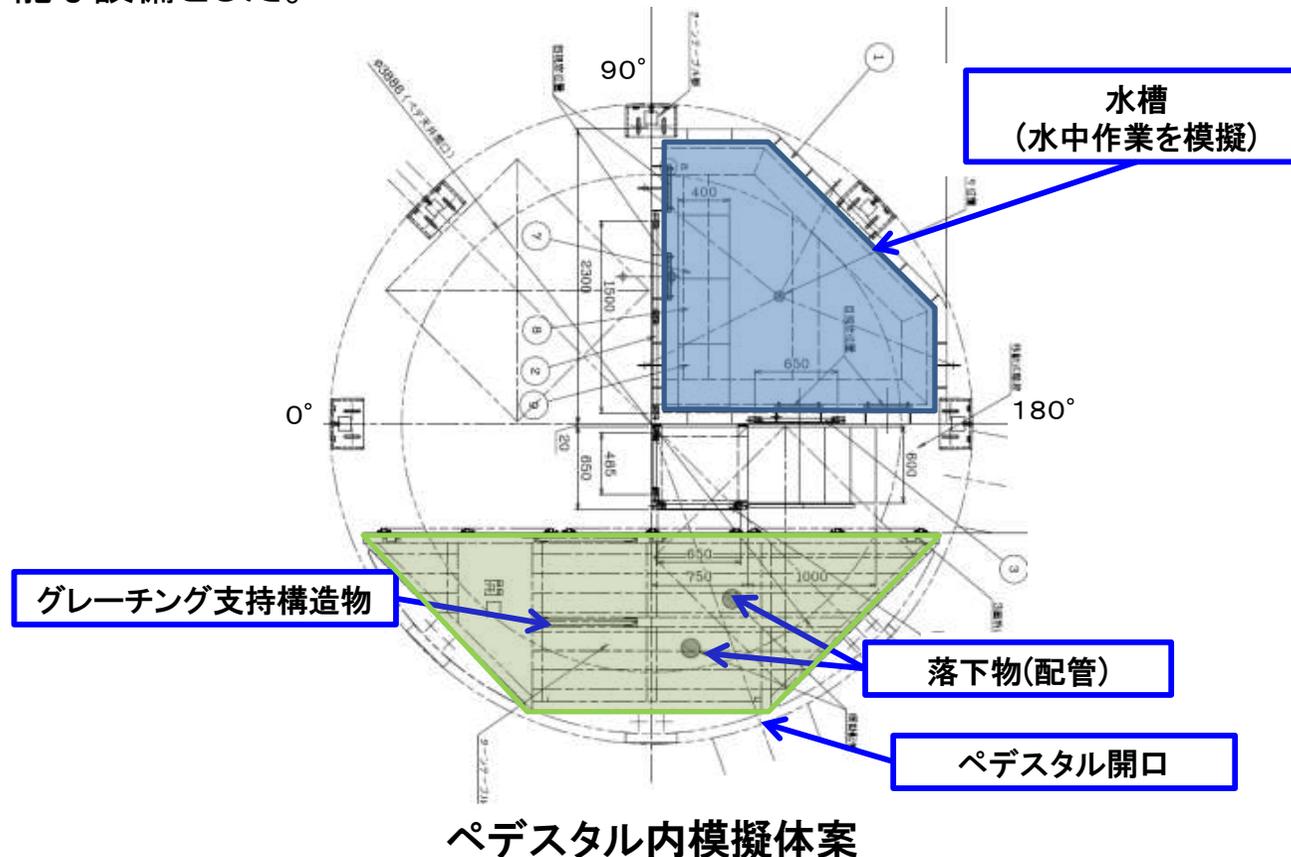
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL内模擬については、落下物を模擬するとともに、水中作業にも対応可能な設備とした。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

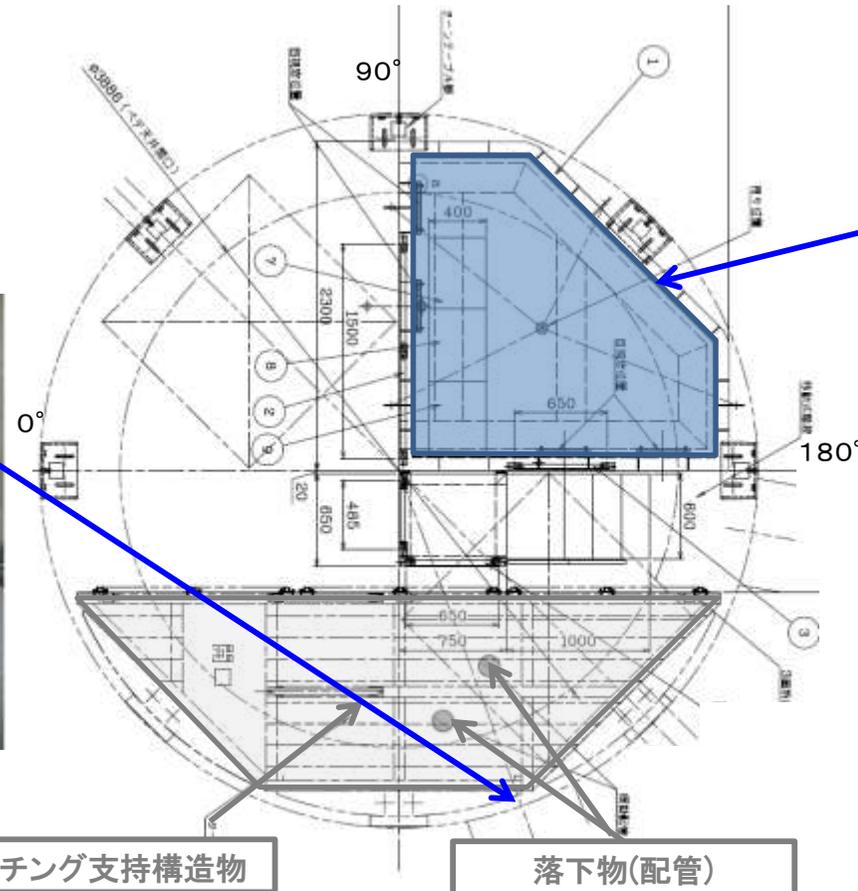
c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL内干渉物撤去試験に使用した模擬設備(ペDESTAL開口、水槽)の外観を以下に示す。



ペDESTAL開口



グレーチング支持構造物

落下物(配管)



水槽
(水中作業を模擬)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

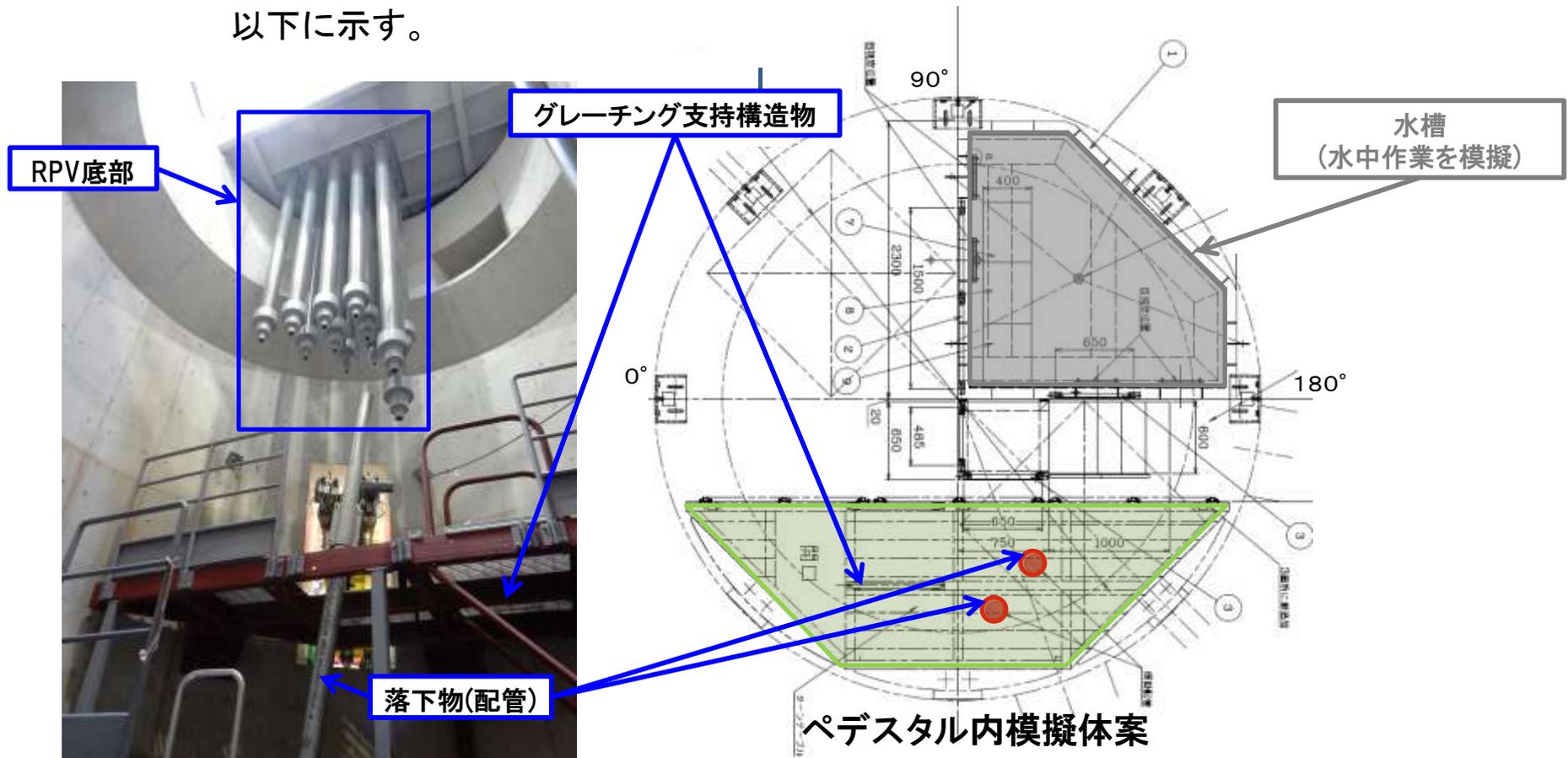
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

ペDESTAL内干渉物撤去試験に使用した模擬設備（RPV底部、落下物）の外観を以下に示す。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

試験に使用した装置(機材搬入装置)の外観と主要仕様を以下に示す。



機材搬入装置の外観

機材搬入装置の主要仕様

項目	仕様	備考
装置寸法	L1725 × W1500 × H1695mm	
装置重量	550kg	
可搬重量	400kg	
移動速度	約0.02m/s	床面走行時

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

試験に使用した装置(搬送台車)の外観と主要仕様を以下に示す。
ペDESTAL外で使用したものと共通。



搬送台車の外観

搬送台車の主要仕様

項目	仕様	備考
装置寸法	L750 × W640 × H230mm	
装置重量	50kg	
台車可搬重量	200kg	
台車移動速度	50mm/s	床面走行時

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

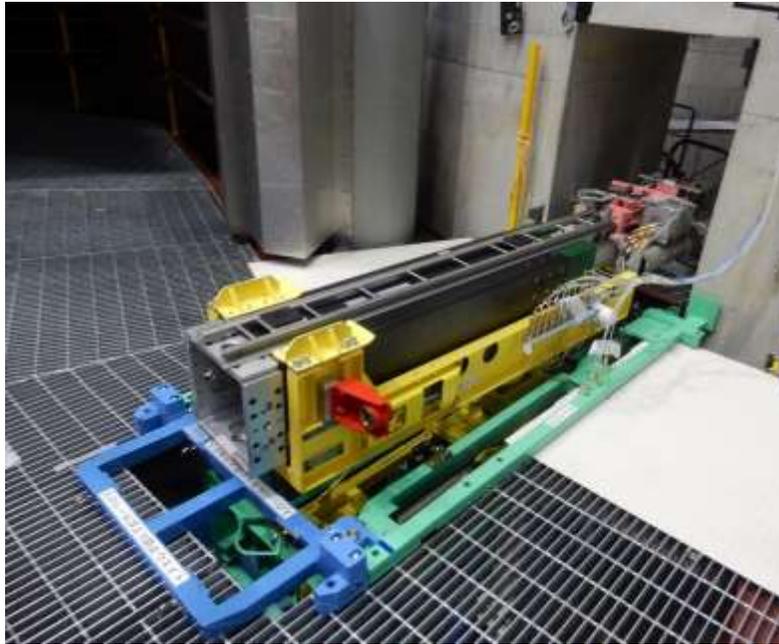
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

試験に使用した装置(干渉物撤去装置ベース部)の外観と主要仕様を以下に示す。



干渉物撤去装置ベース部の外観

干渉物撤去装置ベース部の主要仕様

項目	仕様	備考
装置寸法	L3005 × W1100 × H897mm	梁なし
装置重量	550kg	梁なし
動作範囲	前後: 最大1400mm パン: ±15° チルト: ±15°	梁最大4本接続
切断ツール	セーバーソー(レシプロソー)	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

試験に使用した装置(干渉物撤去装置アーム部)の外観と主要仕様を以下に示す。



干渉物撤去装置アーム部の外観

干渉物撤去装置アーム部の主要仕様

項目	仕様	備考
装置寸法	L1500 × W359 × H545mm	
装置重量	120kg	
可搬重量	20kg	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

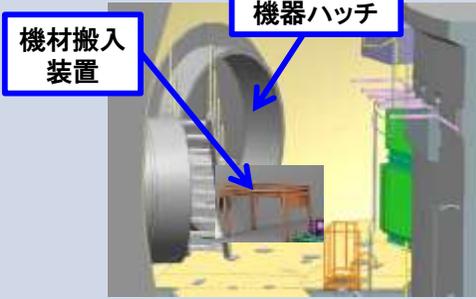
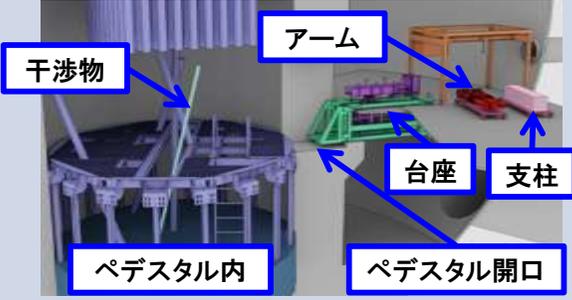
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

要素試験中の作業時間を計測し、スループットの分析に適用した。なお、ステップ図に試験時の装置動作状況を挿入している。

作業 ステップ	A. 干渉物撤去装置をPCV内 へ搬入	B. 干渉物撤去装置をペDESTAL 開口へ移動	C. 干渉物撤去装置の組立て (位置決め・設置の繰り返し)
装置 動作 状況			
作業 時間	— [試験実施範囲外]	構成部品運搬時間: 約1時間/回 [ペDESTAL開口近傍から開始]	装置組み立て設置: 12時間 [ベース部と梁2本設置まで]

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

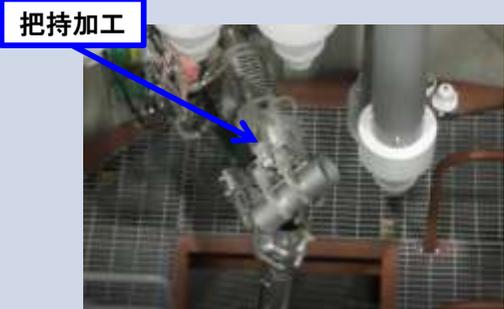
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

要素試験中の作業時間を計測し、スループットの分析に適用した。なお、ステップ図に試験時の装置動作状況を挿入している。

作業ステップ	D. ペDESTAL内状況の確認	E. ペDESTAL開口近傍の干渉物へアクセス	F. ペDESTAL開口近傍の干渉物の撤去(気中・水中)
装置動作状況			
作業時間	—	位置決め時間: 約0.5時間/ヶ所	干渉物切断時間: 約0.2時間/回 [φ114mm、6tのSUS配管]

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

要素試験中の作業時間を計測し、スループットの分析に適用した。なお、ステップ図に試験時の装置動作状況を挿入している。

作業ステップ	G. 干渉物の回収容器準備	H. 干渉物を回収容器へ収納	I. 回収容器をペDESTAL外へ搬出
装置動作状況			
作業時間	回収容器挿入時間: 約0.2時間/回	切断片回収時間: 約0.2時間/回	回収容器搬出時間: 約0.2時間/回

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

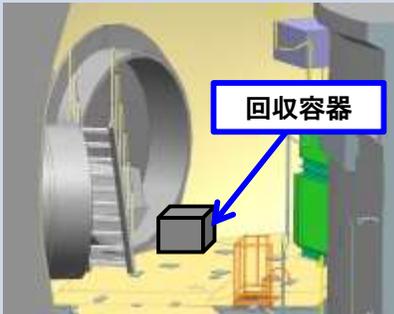
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

要素試験中の作業時間を計測し、スループットの分析に適用した。なお、ステップ図に試験時の装置動作状況を挿入している。

作業ステップ	J. 回収容器をPCV外へ搬出	K. 干渉物撤去装置の支柱を延長	L. 開口奥側の干渉物を撤去 (ステップE、Fの繰り返し)
装置動作状況			
作業時間	— [試験実施範囲外]	アクセス長延長時間: 約2時間/回	・位置決め時間: 約1時間/ヶ所 ・干渉物切断時間: 約2分/回 [φ48.6mm、1.6tのSS配管]

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

要素試験中の作業時間を計測し、スループットの分析に適用した。作業時間の算出結果を以下に示す。

No.	試験項目	作業内容	1回あたりの作業時間	合計作業時間	備考
1	干渉物撤去装置準備 (ステップB、C)	機材を搬入し、干渉物撤去装置を組み立てる。	—	合計:約19時間	機材7つの搬送と装置設置・組立て時間の合計
2	干渉物撤去(気中) (ステップD～F)	想定した干渉物を切断し、回収容器に収納する。	1回あたりの干渉物撤去時間: 約0.7時間	切断回数は、4回 合計:2.8時間 (長さ1mの円筒構造物を0.2m毎に切断の場合)	
3	干渉物撤去(水中) (ステップD～F)	水中環境下において、想定した干渉物を切断し、回収容器に収納する。	1回あたりの干渉物撤去時間: 約0.7時間	切断回数は、4回 合計:2.8時間 (長さ1mの円筒構造物を0.2m毎に切断の場合)	気中と同等と仮定
4	干渉物搬出 (ステップG～I)	干渉物を回収した容器を、搬出ルート上に搬出する。	1回あたりの搬出時間:約2.2時間	搬出回数は、5回 合計:11時間	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(1) ペDESTAL内干渉物撤去方法と手段

要素試験の結果と各ステップで抽出した主な課題を示す。

No.	試験項目	試験結果	主な課題	対応方針※
1	干渉物撤去装置準備	構成部品を搬入し、干渉物撤去装置を設置・組み立て	構成部品の設置位置決め時間の短縮	搬入装置への移動操作支援機能の検討
			機器ハッチ前から作業場所への構成部品の搬送	構成部品の搬出入方法の具体化(※)
			構成部品接続作業の遠隔化	遠隔接続が容易な構造と方法の検討
2	干渉物撤去	ペDESTAL開口部近傍の狭隘環境に設置した模擬体を加工	切断位置決め時間の短縮	操作支援機能の検討
			干渉物撤去範囲の拡大	干渉物撤去ルート具体化
			開口部遠方での作業監視方法	搭載カメラ映像と合わせて外部視点を提供する方法の検討
3	干渉物搬出	加工した干渉物を回収容器に収納し、ペDESTAL外へ搬出	回収容器と運搬容器の接続部構造と遠隔着脱方法	遠隔着脱が容易な構造と方法の検討
			切断片の回収容器への収納時間の短縮	撤去装置と回収容器の位置決め時間の高速化
			回収容器の搬入・搬出時間の短縮	回収容器の搬入・搬出方法の効率化(※)
4	遠隔操作・監視試験	各ステップを遠隔操作で実施するために必要なカメラ配置を検討	遠隔での作業監視	監視装置の遠隔構築方法の具体化(※)
			遠隔作業範囲の拡大	作業装置・周辺設備の構築作業遠隔化(※)

※:「対応方針」の(※)については次年度以降に検討する。その他は今後のエンジニアリング等で検討予定。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 課題

- 2015、2016年度の要素試験で、ロボットアームとアクセスレールの単体機能については確認したが、各装置を組み合わせた一連動作の確認は行っていない。
これら装置のセルからペDESTAL内への搬入、ペDESTAL内での燃料デブリ掘削動作の成立性は工法の成立のキーであり、セル等他設備への影響も大きいため、組み合わせ試験による成立性確認、課題抽出を実施しておく必要がある。

● 2015、2016年度の試験成果

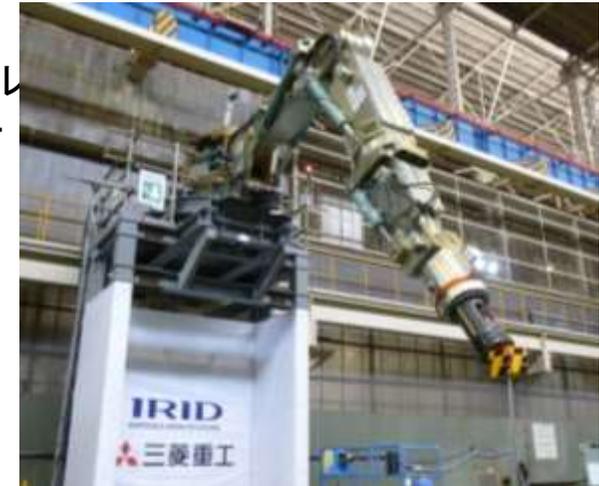
- 装置を製作し、単体で以下の試験を実施。
装置単体での必要機能の成立性、設計の妥当性を確認。

<ロボットアーム試験>

- ①非常脱出性確認
- ②位置決め精度確認
- ③強度確認

<アクセスレール試験>

- ①遠隔展開性確認
- ②強度確認



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

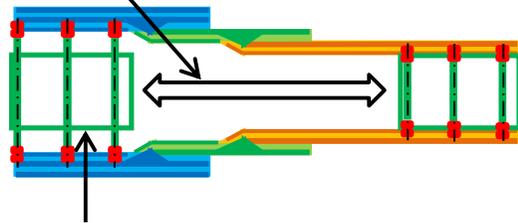
c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

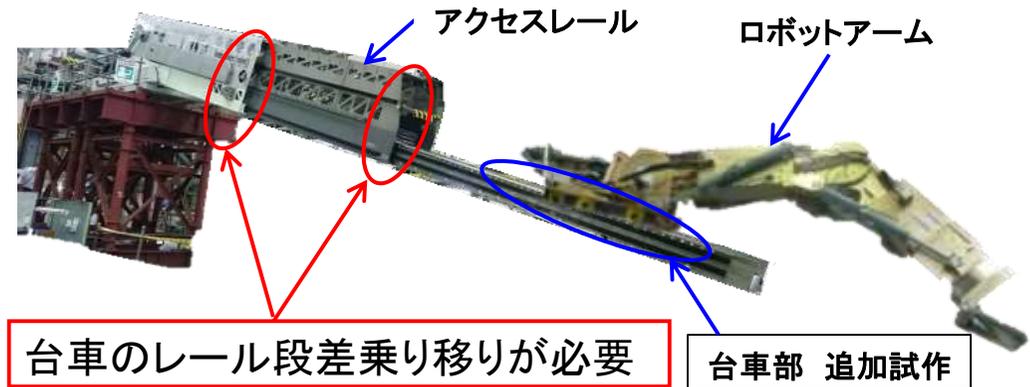
● 技術開発要素

技術的課題：ロボットアームをレール先端まで案内するには台車のレール段差乗り移りが必要。

課題①：台車のレール段差乗り移り
(レール幅に沿って車輪が幅方向に移動)



課題②：台車のセンタリング
(車輪が台車幅方向に移動しながら台車はレールセンタを維持)



上記課題を解決するための台車構造を検討し、試作・試験で成立性を確認する。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 開発の目的

- ロボットアームとアクセスレールの組み合わせによる動作を模擬し、干渉物/燃料デブリの撤去に係る基本的な動作の成立性及び各装置の遠隔操作性を確認する。

● 開発の進め方

- 干渉物、燃料デブリ撤去方法の概念検討
 - ✓ 必要となるアーム(干渉物撤去装置)の検討
 - ✓ 各種アームのペDESTAL内搬入方法検討
- 要素試験計画
 - ✓ 試験方法、試験項目の検討
 - ✓ 既製作品(2015、2016年度製作)流用、新規製作品の検討
- 試験準備、要素試験
 - ✓ 試験装置製作
 - ✓ 試験設備製作
 - ✓ 要素試験

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 開発目標

項目	判定基準／到達点	備考
一連作業の成立性	ペDESTAL内への装置搬入から燃料デブリ掘削、回収の一連作業が遠隔で行なえること。	<ul style="list-style-type: none"> ロボットアームのペDESTAL内案内（アクセスレール上の走行） ロボットアームのレールへの固定 ユニット缶のセル内搬送（搬送台車による回収） (※) 燃料デブリ掘削動作は対象外（掘削後回収する動作を模擬）
故障を想定した非常回収機能の成立性	駆動源喪失時のロボットアーム・アクセスレールのセル内回収が可能なこと。	<ul style="list-style-type: none"> ロボットアームのセル内回収（台車回収） アクセスレールの収縮 アクセスレール水平への姿勢変更
一連作業のカメラによる遠隔操作性	装置搭載カメラによる遠隔操作により、アクセスレール展開、ロボットアーム先端位置決めが可能なこと。	<ul style="list-style-type: none"> アクセスレールのペDESTAL開口通過 ロボットアーム先端位置決め
スループット分析に必要な各作業の時間計測	各作業に要する時間が想定値以下であること。	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 得られる成果

- ペDESTAL内への装置搬入から燃料デブリ掘削、回収の一連作業の成立性
台車機能、非常脱出を含む一連作業の成立性が確認されることにより、セル～ペDESTAL内へのアクセス方法が一つ確立され、様々な装置、回収容器の搬入出が可能となる。
また、一連作業に要する時間を計測することにより、これまで机上検討で算出していたセル～ペDESTAL内のアクセス時間が実測値となり、スループットの精緻化が可能となる。
- ペDESTAL内への装置搬入から燃料デブリ掘削、回収の一連作業のカメラによる遠隔操作性
現計画のカメラ台数・配置による遠隔操作性を確認し、必要に応じカメラ配置を見直すことにより、遠隔操作に必要なカメラ配置が明確となる。
- 詳細な課題の抽出及び対応策
試験を通じ想定外の課題が抽出され、対応策を検討することにより、次年度以降の開発計画への反映が可能となる。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

凡例：
○ 試験実施
— 試験実施せず

● 試験目的(確認項目)

フェーズ	試験目的(確認項目)	2015、2016年度 要素試験 (単体試験)	2017、2018年度 要素試験 (組合せ試験)	備考
①アクセス装置搬入時				
アクセスレールへのロボットアーム設置	ロボットアームがアクセスレール上に設置可能であること。	—	○	
アクセスレールの遠隔展開	装置搭載カメラ画像により、実機寸法を模擬したペDESTAL開口に遠隔で展開可能なこと。	○	○※1	
ロボットアームのペDESTAL内搬入	アクセスレールを介してロボットアームが搬送可能であること。	—	○	
②干渉物/燃料デブリ加工・回収時				
干渉物、燃料デブリ加工(掘削)	干渉物、燃料デブリ加工(掘削)時のロボットアーム位置決めが可能であること。	○	○※1	
	干渉物、燃料デブリ加工(掘削)時の反力支持に対して、ロボットアーム/アクセスレールが問題なく動作可能であること。	○	○※2	
ユニット缶のセル内移送(搬送台車のアクセスレール内走行)	アクセスレールの搬送台車を用いて、ユニット缶の搬送が可能であること。	—	○	

※1:暗闇で実施、搭載カメラの画像による操作 ※2:組合せ状態での反力の影響確認

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 試験目的(確認項目)

凡例:
○ 試験実施
— 試験実施せず

フェーズ	試験目的(確認項目)	2015、2016年度 要素試験 (単体試験)	2017、2018年度 要素試験 (組合せ試験)	備考
③アクセス装置故障時				
非常脱出	ロボットアーム、アクセスレールの故障を想定した状態で、ロボットアーム、アクセスレール回収操作が可能であること。	—	○	
④その他・全般				
アクセス装置の搬入～干渉物・燃料デブリの加工・回収～アクセス装置の回収	アクセス装置の搬入～干渉物・燃料デブリの加工・回収～アクセス装置の回収迄の一連作業が遠隔操作で実施可能であること。	—	○	
	スループットの算出に必要な各作業に要する時間を計測。	—	○	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

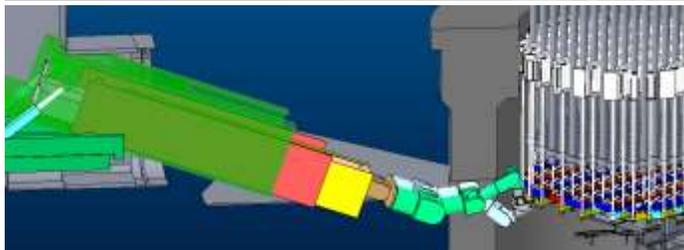
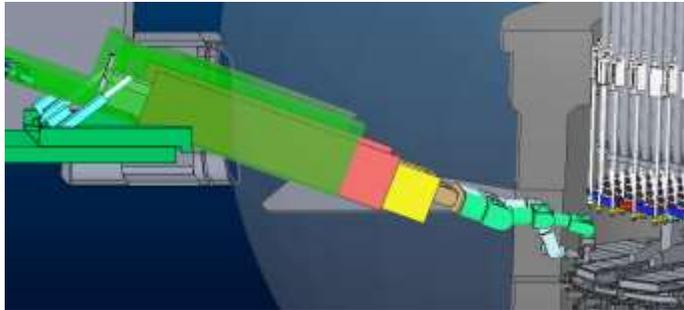
② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

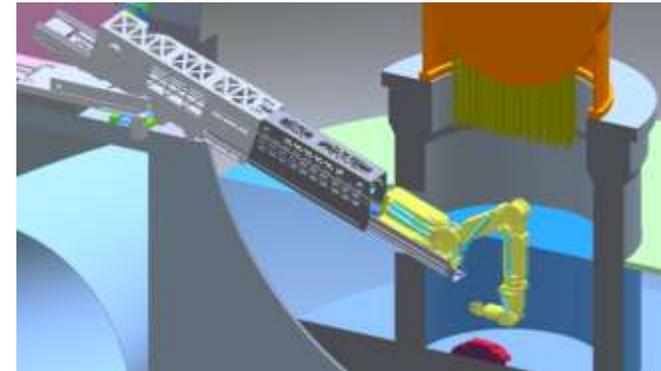
(2) ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 概念検討

- 一昨年度の概念検討において、ペDESTAL底に溜まった燃料デブリへのアクセス方法として加工反力2tonの液圧式ロボットアームとアクセスレールを検討した。
- 一方、グレーチング等の干渉物に対しては、負荷の軽い加工方法で撤去可能であることが想定されることから液圧式に比べ可動範囲の広い電動アームによるアクセス方法を検討した。
- 何れのアームにおいてもアクセスレールによるペDESTAL内への案内は必要であるため、アームとレールを組み合わせたアクセス性確認、一連の動作性確認試験を計画する。



電動アームによる干渉物撤去



液圧式ロボットアームによる燃料デブリ取り出し

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

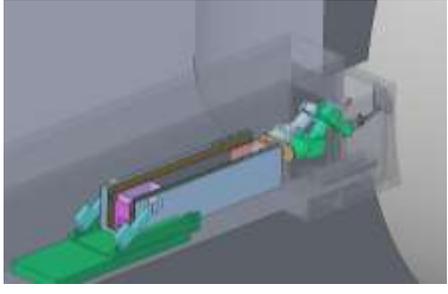
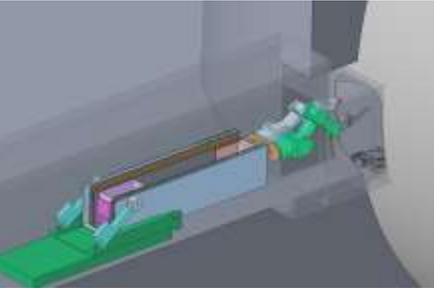
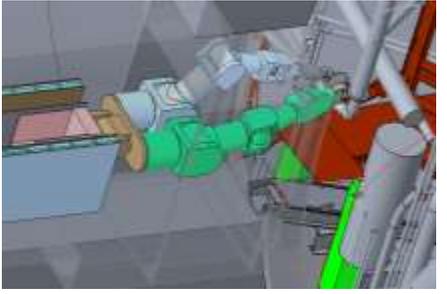
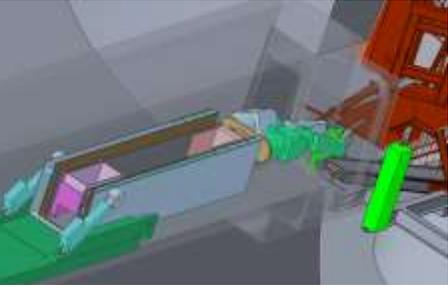
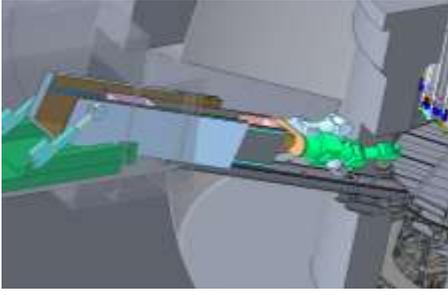
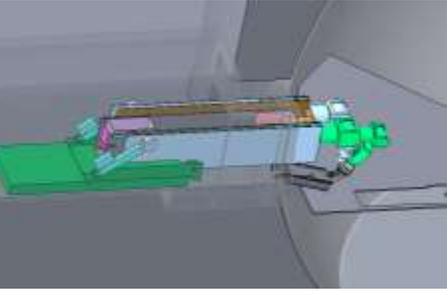
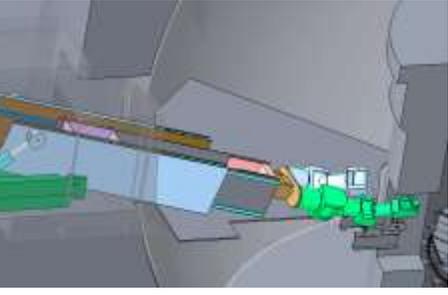
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

【干渉物撤去イメージ】

1. PCV 壁切断	2. PCV 壁切断 (CRD レール接続部は残す)	3. 配管類切断	4. PCV 内の X-6 ペネ上方グレーチング切断
			
5. CRD レールを奥側から切断	6. CRD レール手前側を切断	7. 残った X-6 ペネを切断	8. CRD レール周辺のグレーチング切断
			

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

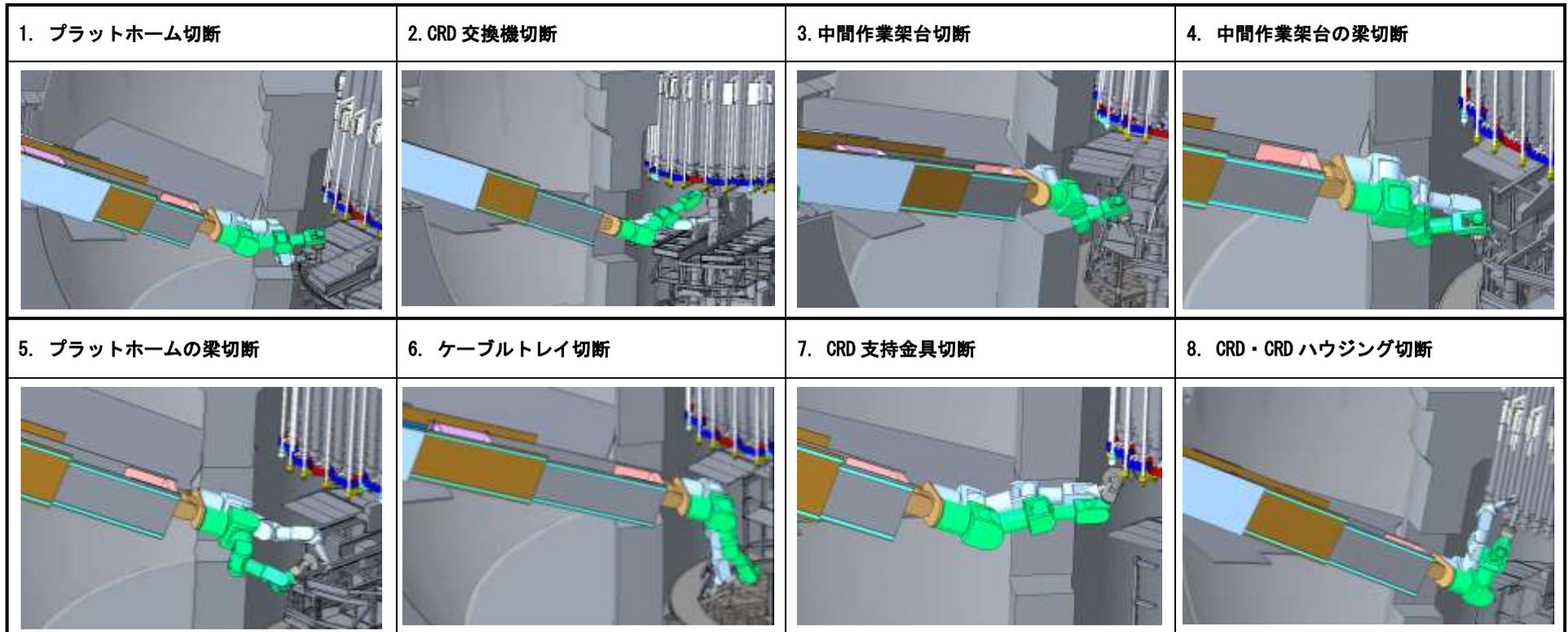
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

【干渉物撤去イメージ】



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 要素試験の進め方

- 概念検討において、干渉物撤去は電動アーム、燃料デブリ取り出しは液圧式ロボットアーム方式を検討。
- 何れのアーム方式においても、アクセスレールによるペDESTAL内への案内は必要。
- 干渉物撤去と燃料デブリ取り出しではアームの駆動方式は異なるものの、一連の作業ステップはほぼ同じ。
- 寸法、質量ともに大きな液圧アームでアクセス性を確認すれば、電動アームはそれに含まれる。



一昨年度製作した液圧式ロボットアームとアクセスレールを組み合わせたアクセス性確認試験を計画

● 検証項目の抽出

- 干渉物撤去と燃料デブリ取り出しでは一連の作業ステップはほぼ同じであることから、燃料デブリ取り出しの作業ステップにて検証項目を抽出
- 抽出した検証項目に対し、以下の観点で、概念検討/要素試験に仕分け
 - ✓ 工法の実現性を早期に見極めるため、優先して検証試験を実施する項目を抽出（成否が工法・方式変更に影響する項目を確認）
 - ✓ 複数の課題に対し、段階的に実現性を確認

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

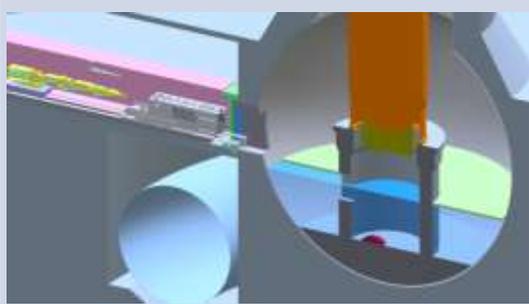
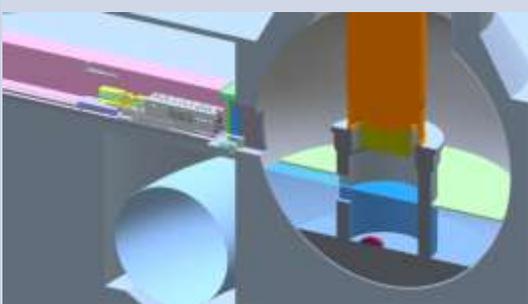
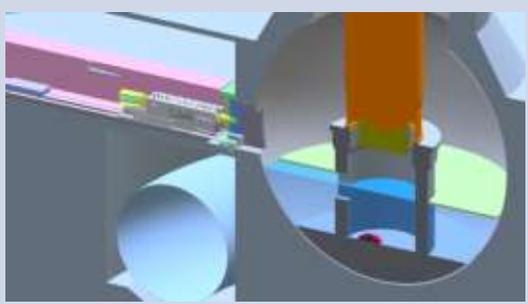
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 作業ステップと検証項目

作業ステップ	1. ロボットアームをセル内に搬入	2. ロボットアームをアクセスレールへ挿入	3. ロボットアームをアクセスレールに設置
ステップ図			
検証項目	(1) セル間の装置移動・走行 <ol style="list-style-type: none"> ① レール間の段差、位置ずれ対応 ② 停止位置精度 ③ 台車浮き上がり防止 (2) セル間移動時のユーティリティ供給 <ol style="list-style-type: none"> ① シャッター通過 ② ケーブル処理 	(1) アーム台車のアクセスレールへの乗り移り <ol style="list-style-type: none"> (2) アーム台車と搬送台車の連結 <ol style="list-style-type: none"> ① 連結位置検出 ② 搬送台車による位置合わせ ③ 駆動源断時の連結保持 	同左

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

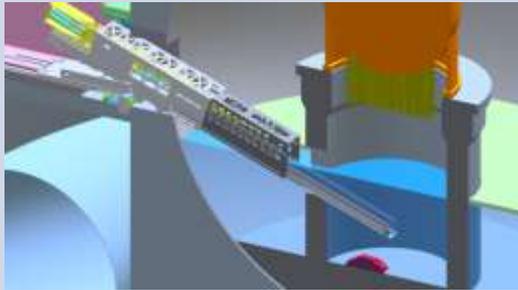
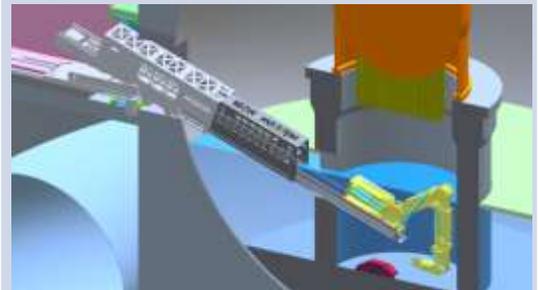
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 作業ステップと検証項目

作業ステップ	4. アクセスレールをCRD交換用開口に向けて傾ける	5. アクセスレールを伸長	6. ロボットアームを前進し、展開
ステップ図			
検証項目	(1) アクセスレール傾斜 <ul style="list-style-type: none"> ① 速度 ② 可動範囲 ③ ケーブル処理 ④ 停止精度 ⑤ 振動有無 ⇒ 一昨年度、要素試験実施済み	(1) アクセスレール伸縮 <ul style="list-style-type: none"> ① 速度 ② 可動範囲 ③ ケーブル処理 ④ 停止精度 ⑤ 振動有無 (2) アクセスレール遠隔展開 (カメラによる位置決め可否) ⇒ 一昨年度、要素試験実施済み (暗闇でのカメラによる位置決め可否は未確認)	(1) 台車移動 <ul style="list-style-type: none"> ① 速度 ② 可動範囲 ③ ケーブル処理 ④ 停止精度 ⑤ 振動有無 ⑥ レール接続段差部の台車走行性 (2) ロボットアーム遠隔案内 (3) アーム台車のレールへの固定 <ul style="list-style-type: none"> ① 保持力 ② 駆動源断時の固定保持

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

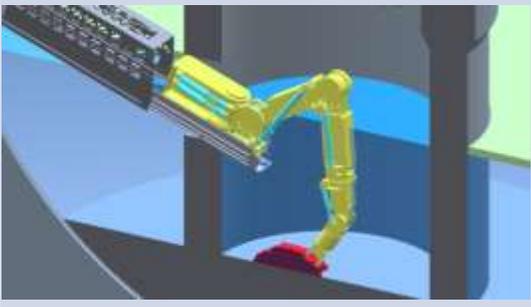
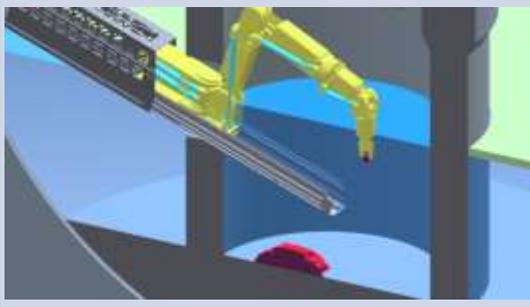
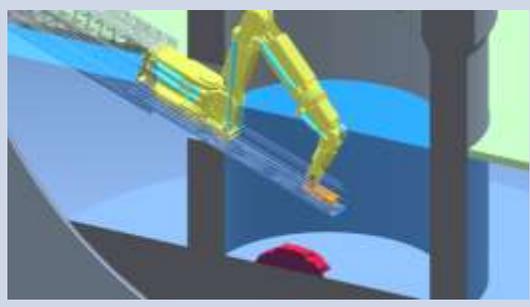
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 作業ステップと検証項目

作業ステップ	7. ロボットアームを燃料デブリへアクセス	8. ロボットアームの先端ツールにより燃料デブリを掘削	9. 掘削した燃料デブリをアクセスレールの台車に載ったユニット缶に回収
ステップ図			
検証項目	(1) カメラによる干渉物、燃料デブリへの位置決め (2) ロボットアーム先端の位置決め精度 ⇒ 一昨年度、要素試験実施済み	(1) 干渉物撤去手順 (2) 干渉物撤去方法 (3) 燃料デブリ掘削方法 (4) 干渉物、燃料デブリ掘削時の切粉回収 (5) 燃料デブリ掘削反力支持	(1) 干渉物、燃料デブリ把持方法 (2) ユニット缶に収納可能な寸法の見極め方法

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

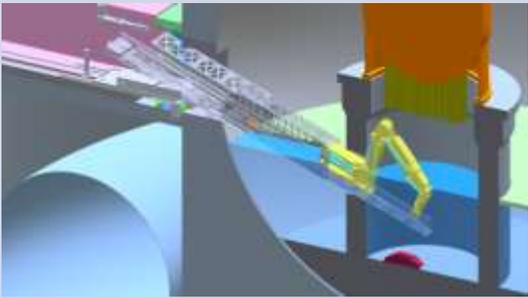
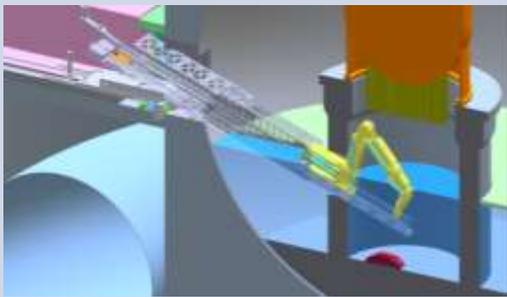
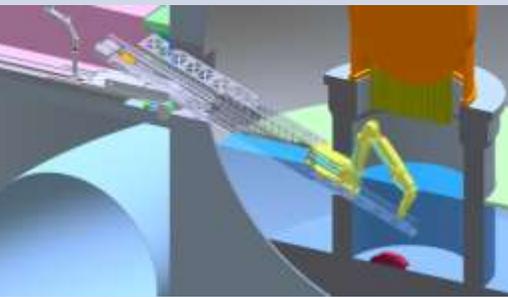
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 作業ステップと検証項目

作業ステップ	10. ユニット缶をレール上にある台車によりセル内に移送	11. セル内のマニピュレータでユニット缶にアクセス	12. セル内のマニピュレータで燃料デブリをユニット缶ごと収納缶に収納
ステップ図			
検証項目	(1) 搬送台車移動 <ol style="list-style-type: none"> ① 自重による下降 ② 速度 ③ 可動範囲 ④ 停止精度 ⑤ 振動有無 ⑥ レール接続段差部の台車走行性 	(1) ユニット缶の把持方法 (ユニット缶形状)	(1) 収納缶へのユニット缶収納方法 (2) 収納缶の構造 <ol style="list-style-type: none"> ① 蓋締め ② 乾燥 ③ ガス抜き

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 作業ステップと検証項目

作業ステップ	その他
ステップ図	—
検証項目	(1) 非常脱出 ① ロボットアームの搬出姿勢への変更 ⇒ 一昨年度、要素試験実施済み ② ロボットアームのセル内回収(台車移動) ③ アクセスレール収縮 ④ アクセスレール水平 ⑤ アクセスレールのセル内回収 (2) 耐環境性(放射線、温度、湿度、粉塵、異物) (3) メンテナンス性(カメラ交換) (4) 先端ツール交換 (5) 一連作業の成立性 (6) スループット

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 検証項目と検証方法

No	主要課題	検証項目	検証方法		備考
			概念検討	要素試験	
1	セル間の装置移動	(1) セル間の装置移動・走行 ① レール間の段差、位置ずれ対応 ② 停止位置精度 ③ 台車浮き上がり防止 (2) セル間移動時のユーティリティ供給 ① シャッター通過 ② ケーブル処理	○ (移動・走行クレーンで実績あり)	—	概念検討結果により今後の対応判断
2	アクセスレールへのロボットアーム設置 (ロボットアームの重心が台車の車輪の外)	(1) アーム台車のアクセスレールへの乗り移り (2) アーム台車と搬送台車の連結 ① 連結位置検出 ② 搬送台車による位置合わせ ③ 駆動源断時の連結保持	○ ((1)項)	○ ((2)項)	(1)項については、概念検討結果により今後の対応判断

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 検証項目と検証方法

No	主要課題	検証項目	検証方法		備考
			概念検討	要素試験	
3	アクセスレールの遠隔展開 ・ 傾斜 ・ 伸縮 ・ ペDESTALへの固定 ・ カメラによる位置決め	(1) アクセスレールの遠隔展開 ① 速度 ② 可動範囲 ③ ケーブル処理 ④ 停止精度 ⑤ 振動有無 (2) カメラによる位置決め可否	—	○ ・ 一昨年度実施済み ・ 今年度は暗闇で実施	
4	ロボットアームのペDESTAL内搬入 (台車のレール接続部の段差乗り越え)	(1) 台車のアクセスレール内走行 ① 速度 ② 可動範囲 ③ ケーブル処理(ロボットアーム) ④ 停止精度 ⑤ 振動有無 ⑥ レール接続段差部の台車走行性 (2) ロボットアームの遠隔案内 (カメラによるロボットアーム先端位置把握可否) (3) アーム台車のレールへの固定 ① 保持力 ② 駆動源断時の固定保持	○ (ケーブル処理:ベア、リール等で実績あり)	○ (ケーブル処理除く)	ケーブル処理については、概念検討結果により今後の対応判断

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 検証項目と検証方法

No	主要課題	検証項目	検証方法		備考
			概念検討	要素試験	
5	干渉物、燃料デブリの加工(掘削)	(1) カメラによる燃料デブリ、干渉物へのロボットアーム位置決め	—	○ ・ 一昨年度実施済み ・ 今年度は暗闇で実施	装置搭載カメラ画像によるターゲットへの位置決め
		(2) ロボットアーム先端の位置決め精度	—	— ・ 一昨年度実施済み	
		(3) 干渉物、燃料デブリの加工(掘削)	○	(○)*	要素試験の結果を参考に概念検討実施

※: 燃料デブリ加工要素試験及び干渉物撤去要素試験にて実施

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 検証項目と検証方法

No	主要課題	検証項目	検証方法		備考
			概念検討	要素試験	
5	干渉物、燃料デブリの加工(掘削)	(4) 干渉物、燃料デブリの加工(掘削)時の切粉回収	○	(○)*	要素試験の結果を参考に概念検討実施
		(5) 干渉物、燃料デブリの加工(掘削)時の反力支持	—	○	組合時の下向き2ton押付による剛性確認
6	加工した燃料デブリのユニット缶回収	(1) 干渉物、燃料デブリ把持方法 (2) ユニット缶に収納可能な寸法の見極め方法	○	—	概念検討結果により今後の対応判断
7	ユニット缶のセル内移送 (台車のレール接続部の段差乗り越え)	(1) 搬送台車のアクセスレール内走行 ① 自重による下降 ② 速度 ③ 可動範囲 ④ 停止精度 ⑤ 振動有無 ⑥ レール接続段差部の台車走行性	—	○	台車の機能確認

※: 燃料デブリ加工要素試験及び干渉物撤去要素試験にて実施

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 検証項目と検証方法

No	主要課題	検証項目	検証方法		備考
			概念検討	要素試験	
8	ユニット缶を収納缶に 収納	(1) ユニット缶把持方法(ユニット缶形状) (2) 収納缶へのユニット缶収納方法	○	—	概念検討結果 により今後の対 応判断
		(3) 収納缶の構造 ① 蓋締め ② 乾燥 ③ ガス抜き	収納缶PJにて検討		
9	非常脱出	(1) ロボットアームの搬出姿勢への変更	—	— ・ 一昨年度 実施済み	
		(2) ロボットアームのセル内回収(台車移動) (3) アクセスレール収縮 (4) アクセスレール水平	—	○	セル内からのウ インチによる引っ 張りを想定した 非常脱出可否確 認

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 検証項目と検証方法

No	主要課題	検証項目	検証方法		備考
			概念検討	要素試験	
9	非常脱出	(5) アクセスレールのセル内回収	○ (別台車による牽引を想定。牽引台車は多数実績あり。)	—	概念検討結果により今後の対応判断
10	耐環境性	(1) 耐環境性(放射線、温度、湿度、粉塵、異物)	○	—	概念検討結果により今後の対応判断
11	メンテナンス性	(1) メンテナンス項目検討 (2) メンテナンス方法検討	○	—	概念検討結果により今後の対応判断

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 検証項目と検証方法

No	主要課題	検証項目	検証方法		備考
			概念検討	要素試験	
12	先端ツール交換	(1) 遠隔ツール交換方法検討 (2) ツール搬入出方法検討	○	—	概念検討結果により今後の対応判断
13	一連作業の成立性	(1) 一連作業実施し、課題の抽出	—	○	想定している燃料デブリ回収に必要な一連動作を確認し、新たな開発課題有無を確認
14	スループット	(1) スループット確認	—	○	スループットを分析するための作業時間計測

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

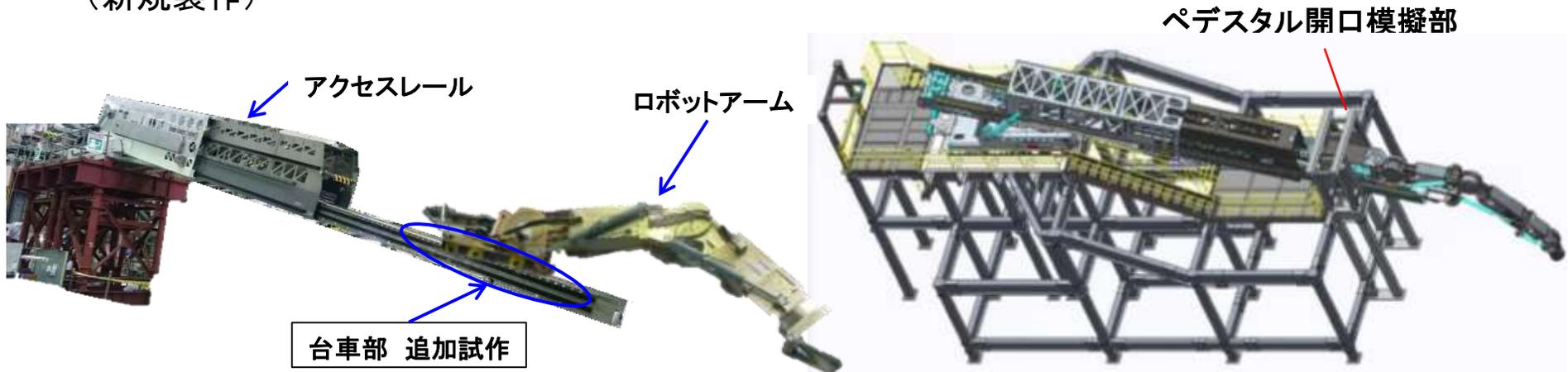
②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 試験装置概要

- ①ロボットアーム : 液圧6軸マニピュレータ
(製作済み) 加工反力2ton(径60mm程度のコアボーリングを想定)
アーム長7.1m(RPV底部からペDESTAL底面下1.5mまでのアクセスを想定)
- ②アクセスレール : 3段伸縮式レール
(台車部を追加製作) セル床面、ペDESTAL CRD開口に固定
- ③試験設備 : セル床面部、および、ペDESTAL開口部を模擬
(新規製作)



試験設備全体計画

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

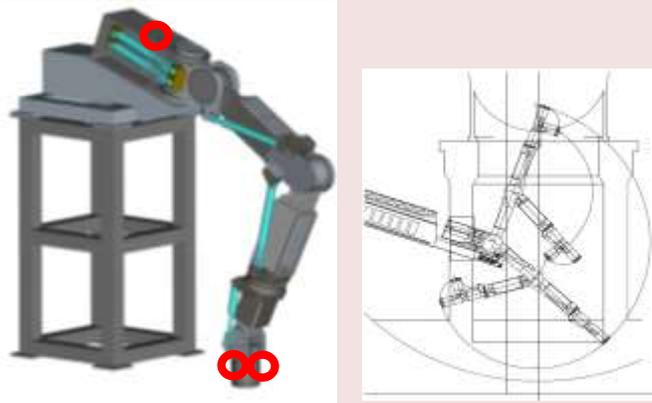
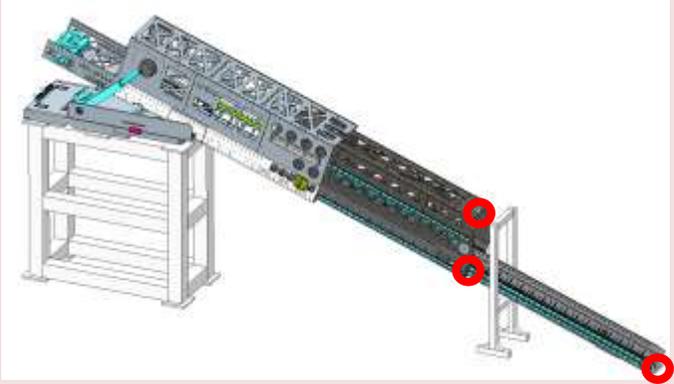
② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 試験装置概要

○ カメラ設置予定位置

	ロボットアーム	アクセスレール
図		
仕様機能	<ul style="list-style-type: none"> ①先端負荷: 2000kg (径60mm程度のコアボーリングを想定) ②アーム長: 7100mm (ペDESTAL底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) 	<ul style="list-style-type: none"> ①3段伸縮式 ②ロボットアームのペDESTAL内案内 (ペDESTAL開口までの案内を想定) ③ユニット缶の、セル⇄ペDESTAL内移動
寸法重量	幅700×アーム長7100×高さ920mm 質量 : 約4ton	幅1900×長さ8700(縮時)×高さ2500mm 長さ17000(伸時) 質量 : 約24ton

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

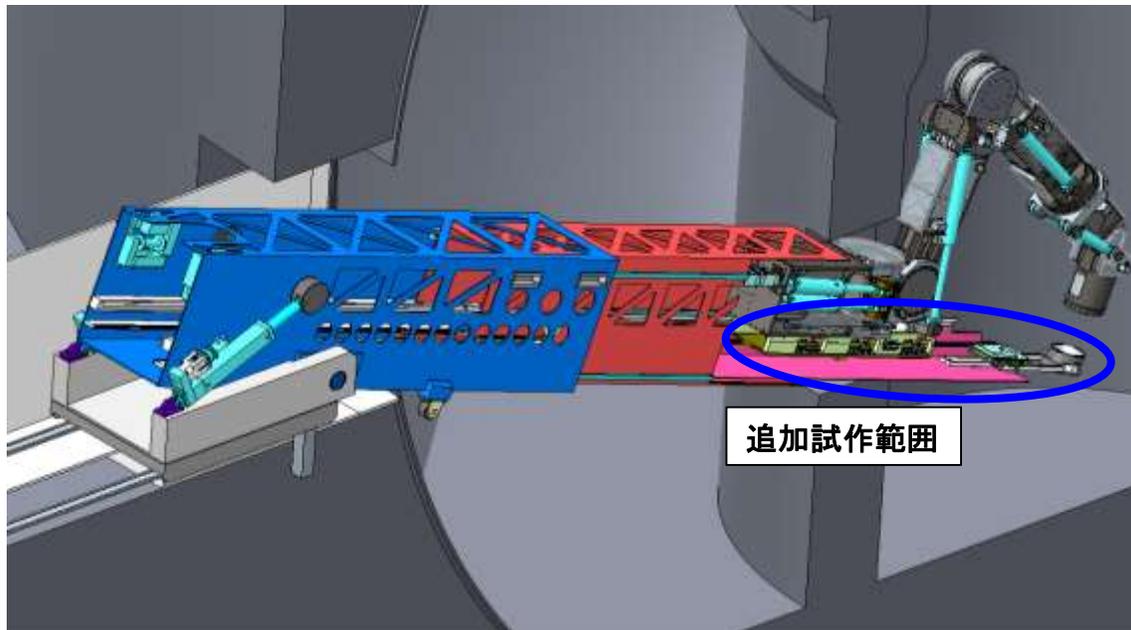
② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

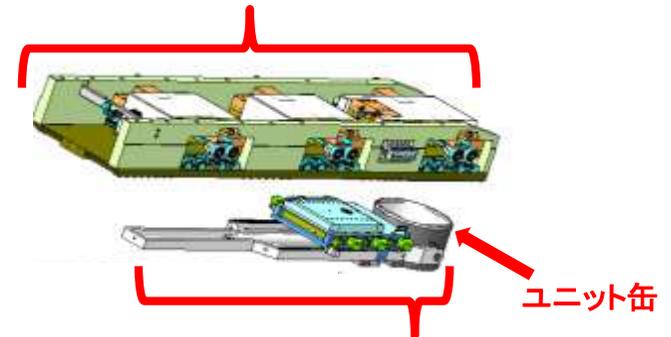
● 試験装置概要

一昨年度試作したアクセスレールに、ロボットアームと取合う台車部を追加製作し、組み合わせ試験実施。



アーム台車

- ・搬送台車との連結機構を具備
(移動時は搬送台車と連結)
- ・レールとの固定機構を具備
(連結解除時はレールに固定)



搬送台車

- ・ワイヤ操作でレール上を移動



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

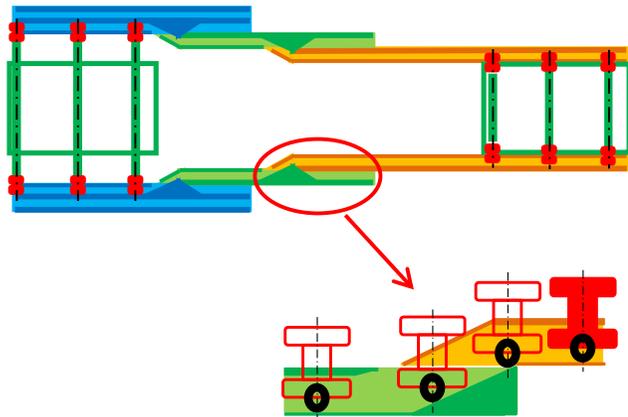
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

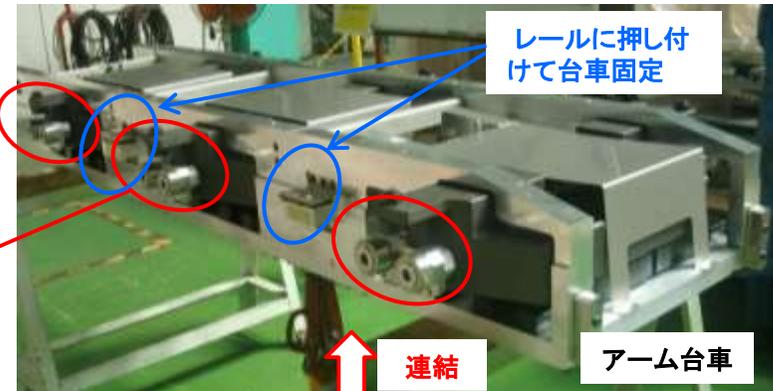
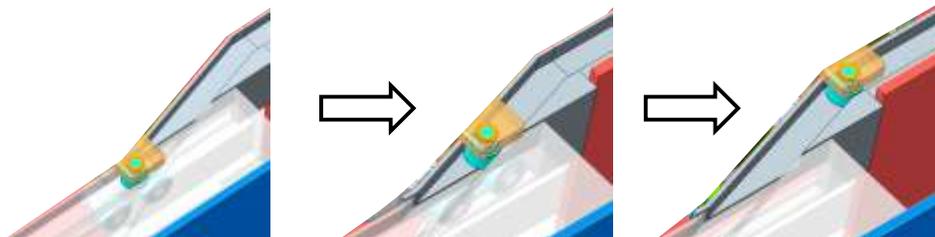
c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 試験装置概要



レールの溝に沿って車輪が移動し、レール接続部を乗り越える。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 試験内容

アクセスレールの台車部の試作を行い、実機配置を模擬した試験設備により、アクセスレール展開からの一連の作業に関する動作試験を実施し、その成立性を確認する。

- ①ロボットアームのペDESTAL内への搬入出模擬動作(レール接続段差部の台車走行性確認)
- ②ペDESTAL内での燃料デブリ掘削模擬動作
- ③加工した燃料デブリのユニット缶収納動作
- ④ユニット缶のアクセスレール上移動動作(レール接続段差部の台車走行性確認)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 試験項目と判定基準

No	試験項目	判定基準
1	アクセスレールへのロボットアーム設置	<ul style="list-style-type: none"> 台車固定が駆動源断時も保持されること。
2	アクセスレールの遠隔展開	<ul style="list-style-type: none"> 装置搭載カメラ画像により、実機寸法を模擬したペDESTAL開口に遠隔で展開可能なこと。
3	ロボットアームのペDESTAL内搬入	<ul style="list-style-type: none"> アクセスレール段差部をスムーズに通過できること。 アーム台車がロボットアーム動作中も保持されること。 アーム台車のレールへの固定が駆動源断時も保持されること。
4	干渉物、燃料デブリ加工(掘削)時のロボットアーム位置決め	<ul style="list-style-type: none"> 装置搭載カメラ画像によりターゲットへの位置決めが可能なこと。
5	干渉物、燃料デブリ加工(掘削)時の反力支持	<ul style="list-style-type: none"> 2tonの床面押し付け後、ロボットアーム、アクセスレールの各種動作に問題ないこと。
6	ユニット缶のセル内移送 (搬送台車のアクセスレール内走行)	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車が自重で下降可能なこと。 アクセスレール段差部をスムーズに通過できること。
7	非常脱出	<ul style="list-style-type: none"> ロボットアームのセル内回収(台車移動)が可能なこと。 アクセスレールの収縮が可能なこと。 アクセスレールの水平への姿勢変更が可能なこと。
8	一連作業の成立性	<ul style="list-style-type: none"> アクセスレール展開～ロボットアームのセル内回収までの一連作業が遠隔で行えること(遠隔で行えない作業については、課題として抽出、対応策を検討)。
9	スループット確認	<ul style="list-style-type: none"> 各作業に要する時間が想定値以下であること。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 試験結果

No.	項目	試験結果
1	アクセスレールへのロボットアーム設置	<p>(1) 搬送台車のアーム台車への位置合わせが遠隔操作で可能なことを確認。</p> <p>(2) 上記位置で搬送台車とアーム台車が遠隔操作で連結出来ることを確認。</p> <p>(3) 電断時も台車固定が保持されることを確認。</p>
2	アクセスレールの遠隔展開	<p>(1) 目視確認で遠隔展開出来ることを確認。</p> <p>(2) 搭載カメラ画像(明環境)で遠隔展開(ペDESTAL開口の通過)出来ることを確認。</p> <p>(3) 搭載カメラ画像(暗環境)で遠隔展開(ペDESTAL開口の通過)出来ることを確認。 ⇒ 搭載照明の照度が十分であることを確認。</p>



カメラ・照明
ペDESTAL開口
通過開始位置



レール搭載カメラの映像
開口通過開始位置



レール搭載カメラの映像
開口通過途中



暗闇模擬状況



開口通過開始位置



遠隔展開完了
(ペDESTAL開口への敷設完了)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

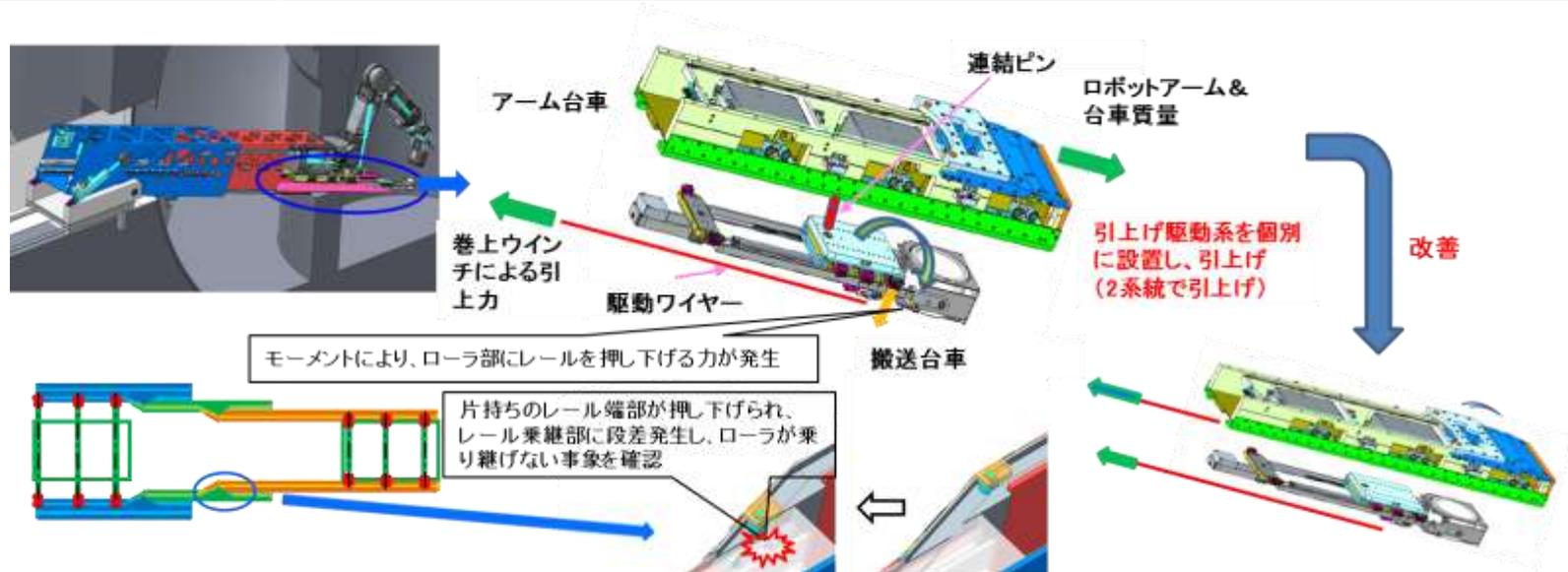
② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 試験結果

No.	項目	試験結果
3	ロボットアームのペ デスタル内搬入 (次ページに続く)	(1) アクセスレール段差部の通過 ・自重による下降が可能であることを確認。 ・アーム台車-搬送台車連結状態での引上動作時、レール乗継部で搬送台車倒れによる走行困難な事象発生。 ⇒ 各台車を個別に駆動できるようにワイヤーを2系統化する設計変更実施し、引上動作に問題ないことを確認。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

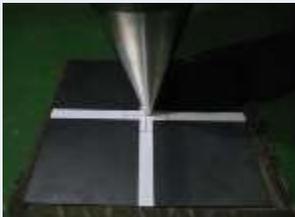
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 試験結果

No.	項目	試験結果
3	(前ページより続き) ロボットアームのペデスタル内搬入	<p>(2) ロボットアーム動作時、アーム台車固定が保持されることを確認。</p> <p>(3) 電断時も台車固定が保持されることを確認。</p>  
4	干渉物、燃料デブリ加工(掘削)時のロボットアーム位置決め	<p>(1) カメラ画像による目標物への位置決めが可能であることを確認。 ⇒ 搭載照明の照度が十分であることを確認。</p> <p>(a) 位置決め精度: 5mm (目標物との位置ずれ量)</p> <p>(b) 位置決め時間 位置決め開始位置から移動: 5min 隣の加工位置に移動: 2min</p>       

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 試験結果

No.	項目	試験結果
5	干渉物、燃料デブリ加工(掘削)時の反力支持	<p>(1) 2ton負荷の反力支持が可能であることを確認。 (2ton負荷後のロボットアーム、アクセスレールの各種動作が行えることを確認。)</p> <p>(2) アームを横に振った際、アーム偏荷重によるレールの微小傾きを確認。 ⇒ 実機適用時の課題として抽出 (対策案: クランプの増強)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  <p>アームの偏荷重でレールが約0.0° 傾く (2ton負荷前) ⇒ 実機ではクランプの増強が必要</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: left;"> <p>クランプ追加計画位置 (ロボットアーム側面からベデスタル開口内面に突っ張り)</p> <p>現状のクランプ位置 (レール側面からベデスタル開口内面に突っ張り)</p> </div> </div>

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

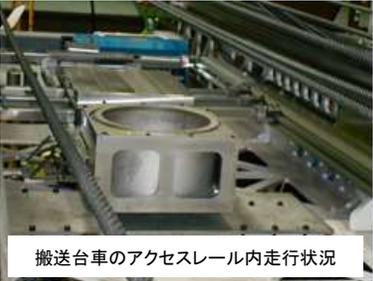
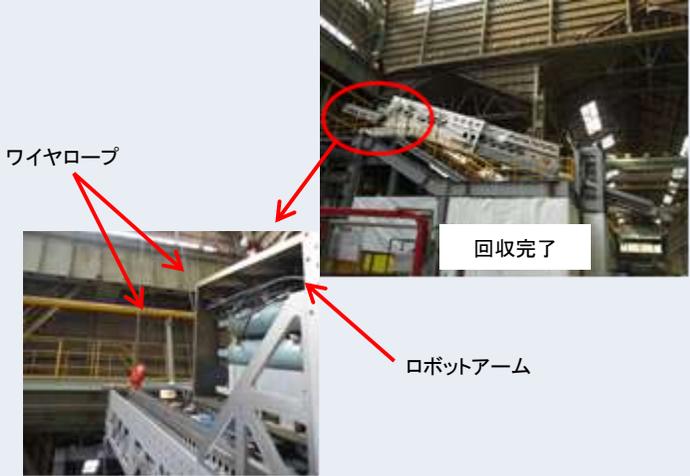
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 試験結果

No.	項目	試験結果
6	ユニット缶のセル内移送 (搬送台車のアクセスレール内走行)	<p>(1) 搬送台車の自重による下降が可能であることを確認。</p> <p>(2) アクセスレール段差部の通過が可能であることを確認。</p>  <p>搬送台車のアクセスレール内走行状況</p>
7	非常脱出 (次ページに続く)	<p>クレーンによるワイヤ操作で非常脱出可能であることを確認。</p> <p>(1) ロボットアームのセル内回収 (台車移動)</p> <p>(2) アクセスレール収縮</p> <p>(3) アクセスレール水平</p> <p>モータ・減速機を出力側から強制的に回すことに問題がなく、セル内に回収可能であることを確認。</p>  <p>ワイヤロープ</p> <p>回収完了</p> <p>ロボットアーム</p> <p>ロボットアームのセル内回収(台車移動)</p>

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

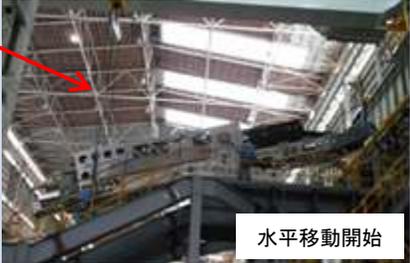
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 試験結果

No.	項目	試験結果	
7	(前ページより続き) 非常脱出	<p>ワイヤロープ</p>  <p>収縮開始</p> <p>ワイヤロープ</p>  <p>収縮完了</p> <p style="text-align: center;">アクセスレール収縮</p>	<p>ワイヤロープ</p>  <p>水平移動開始</p> <p>ワイヤロープ</p>  <p>水平移動完了</p> <p style="text-align: center;">アクセスレール水平</p>

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 試験結果

No.	項目	試験結果
8	一連作業の成立性	<p>上述の試験により、アクセスレール展開～ロボットアームのセル内回収までの一連作業が遠隔で行なえることを確認。</p> <p>試験を通じて実機に向けた課題を抽出、対応策を検討。⇒「課題と対応方針」参照</p>
9	スループット確認	<p>次ページに、各作業時間の計測結果をステップ図に記載。</p> <p>台車の移動時間が想定値を超えており、また、更なるスループット向上を目指し、ウインチ容量アップによる台車移動速度アップを検討。⇒「課題と対応方針」参照</p>

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

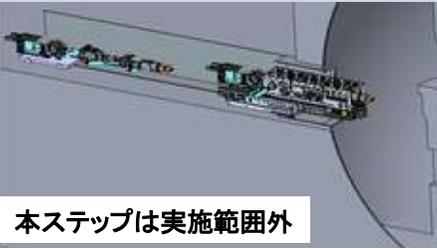
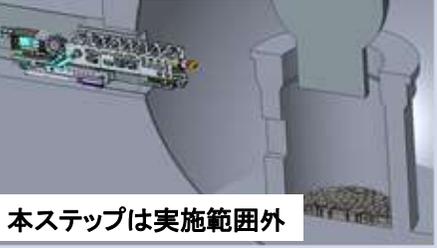
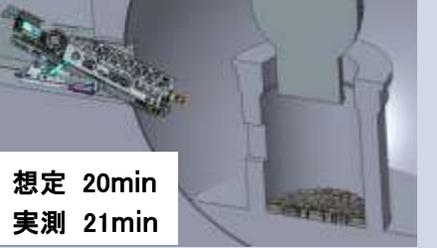
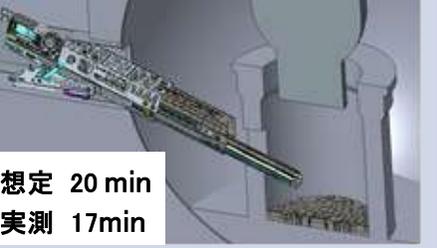
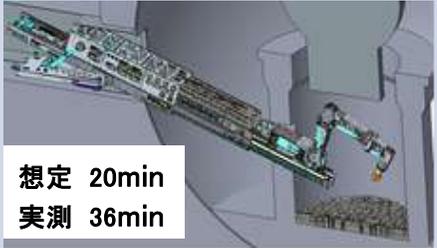
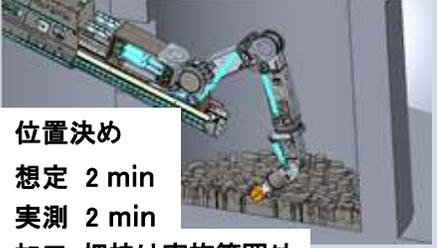
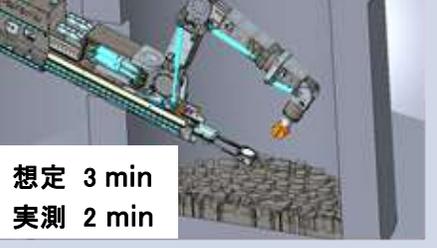
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 試験結果 (No.9 スループット確認)

<p>1. ロボットアームをセル内に搬入</p>	<p>2. ロボットアームをアクセスレールに設置</p>	<p>3. アクセスレールをCRD交換用開口に向けて傾ける</p>	<p>4. アクセスレールを伸長</p>
 <p>本ステップは実施範囲外</p>	 <p>本ステップは実施範囲外</p>	 <p>想定 20min 実測 21min</p>	 <p>想定 20 min 実測 17min</p>
<p>5. ロボットアームを前進し展開</p>	<p>6. ロボットアームで燃料デブリを加工・把持</p>	<p>7. ロボットアームを燃料デブリ回収姿勢に姿勢変更し、ユニット缶突出し</p>	<p>8. 把持した燃料デブリをアクセスレール上の台車に乗ったユニット缶に回収</p>
 <p>想定 20min 実測 36min</p>	 <p>位置決め 想定 2 min 実測 2 min 加工・把持は実施範囲外</p>	 <p>想定 3 min 実測 2 min</p>	 <p>想定 9 min 実測 1 min (アーム姿勢変更のみ) 燃料デブリの収納は実施範囲外</p>

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

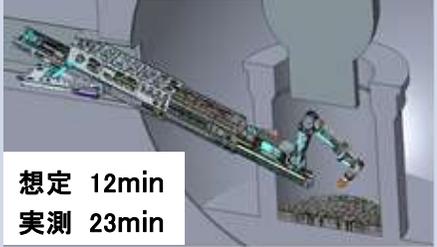
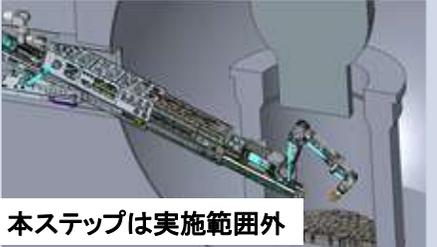
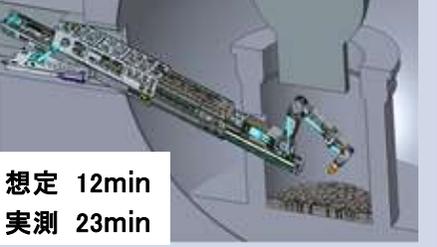
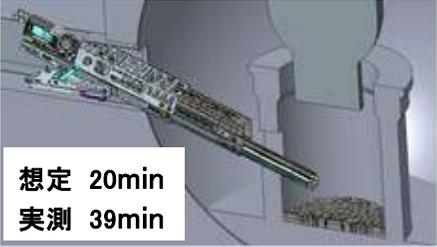
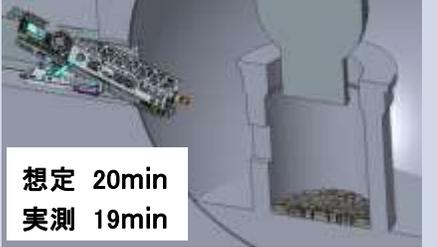
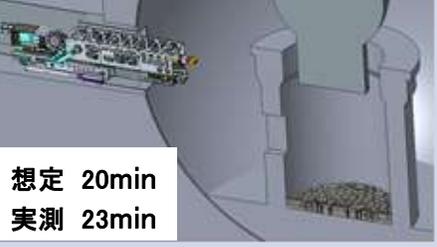
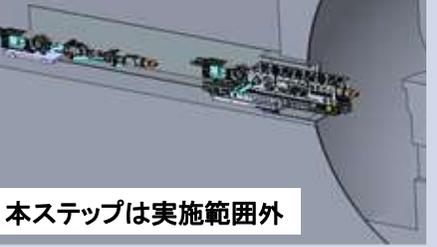
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 試験結果 (No.9 スループット確認)

<p>9. ユニット缶を搬送台車によりセル内に移送</p>	<p>10. セル内のマニピュレータでユニット缶にアクセス</p>	<p>11. セル内のマニピュレータで燃料デブリをユニット缶ごと収納缶に収納</p>	<p>12. ユニット缶搬送台車をアクセスレール先端に移動</p>
 <p>想定 12min 実測 23min</p>	 <p>本ステップは実施範囲外</p>	 <p>本ステップは実施範囲外</p>	 <p>想定 12min 実測 23min</p>
<p>13. ロボットアームを後退しセル内に回収</p>	<p>14. アクセスレールを収縮</p>	<p>15. アクセスレールを水平姿勢に変更</p>	<p>16. ロボットアームをセルから搬出</p>
 <p>想定 20min 実測 39min</p>	 <p>想定 20min 実測 19min</p>	 <p>想定 20min 実測 23min</p>	 <p>本ステップは実施範囲外</p>

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 得られた成果

- ペDESTAL内への装置搬入から燃料デブリ掘削、回収の一連作業の成立性
台車機能、非常脱出を含む一連作業の成立性が確認され、セル～ペDESTAL内へのアクセス方法が一つ確立され、様々な装置、回収容器の搬入出が可能となった。
また、一連作業に要する時間を計測することにより、これまで机上検討で算出していたセル～ペDESTAL内のアクセス時間が実測値となり、スループットの精緻化が図れた。
- ペDESTAL内への装置搬入から燃料デブリ掘削、回収の一連作業のカメラによる遠隔操作性
現計画のカメラ台数・配置による遠隔操作性を確認し、必要に応じカメラ配置を見直すことにより、遠隔操作に必要なカメラ配置を最適化できた。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

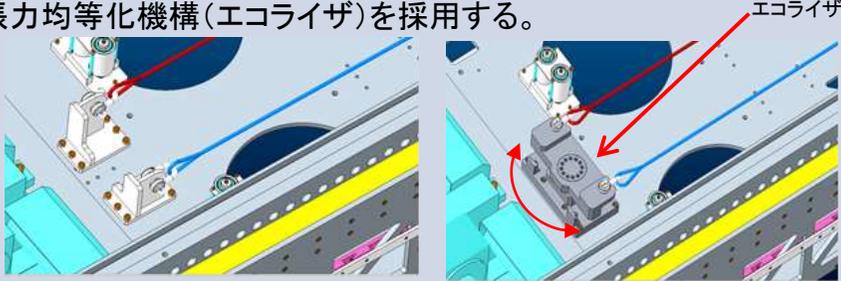
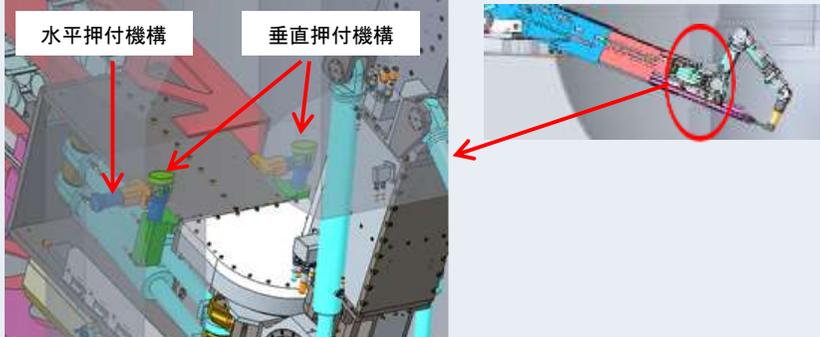
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 課題と対応方針

No	課題	対応方針*
1	<p>・電動ウインチワイヤロープ乱巻</p> <p>電動ウインチ2台運転に対し、ワイヤロープ張力が片方のみ作用した際、もう一方のワイヤロープに緩みが生じ、乱巻となる可能性がある。</p>	<p>張力均等化機構(エコライザ)を採用する。</p>  <p>エコライザ</p>
2	<p>・ロボットアーム負荷によるアクセスレール撓み、捻じれ</p> <p>アクセスレールへのロボットアーム垂直負荷(掘削反力)はアーム質量と相殺されるとの想定に対し、負荷試験の結果、アクセスレールに撓み、捻じれが生じ、ロボットアーム先端位置ずれ発生の要因となる。</p>	<p>ロボットアームからペDESTAL開口への押付機構を追加する。</p>  <p>改良前</p> <p>改良後</p> <p>水平押付機構</p> <p>垂直押付機構</p>

※:「対応方針」記載内容は、今後のエンジニアリング等で検討予定。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

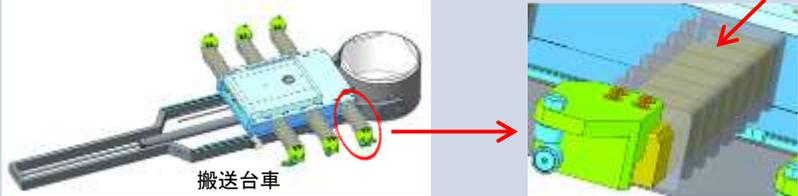
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 課題と対応方針

No	課題	対応方針※
3	<p>・除染性向上</p> <p>PCV内、ペDESTAL内に入れた設備をセル外に搬出する場合、洗浄により表面汚染、付着物除去が必要であり、実機向設備には除染性の向上のための異物侵入防止が求められる。</p>	<p>除染性向上のための異物混入防止処置を追加する。一例を以下に示す。</p> 

※:「対応方針」記載内容は、今後のエンジニアリング等で検討予定。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

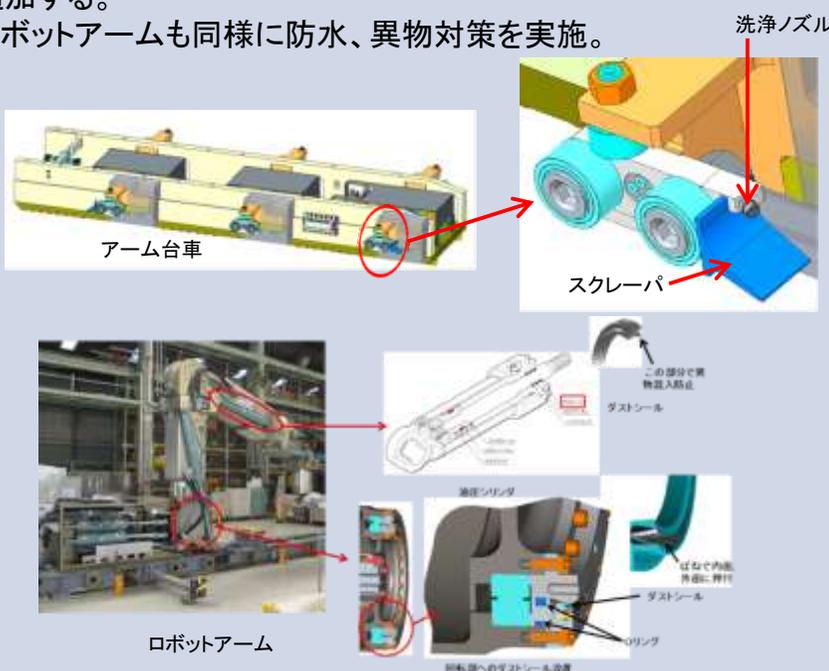
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 課題と対応方針

No	課題	対応方針*
4	<p>・台車走行阻害対策(スタック防止)</p> <p>アクセスレール内台車走行部に燃料デブリ小片等が侵入した場合、台車の走行阻害、台車回収不能が発生することから、実機向設備には異物侵入防止及び台車走行を阻害する異物排除が求められる。</p>	<p>洗浄ノズル、及び、台車前後へ異物排除のためのスクレーパを追加する。 ロボットアームも同様に防水、異物対策を実施。</p>  <p>洗浄ノズル</p> <p>スクレーパ</p> <p>アーム台車</p> <p>ロボットアーム</p> <p>この部分で異物侵入防止 ダストシール</p> <p>油圧シリンダ</p> <p>ばねで内装汚物を押し出す ダストシール</p> <p>ベリング</p> <p>回転部へのダストシール設置</p>

※:「対応方針」記載内容は、今後のエンジニアリング等で検討予定。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

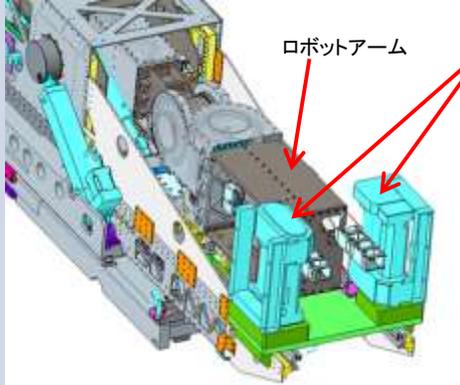
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 課題と対応方針

No	課題	対応方針*
5	<p>・台車搬入出機構の専用化</p> <p>アーム台車－搬送台車連結状態での引上動作時、レール乗継部で搬送台車倒れによる走行困難な事象発生。</p>	<p>各台車を個別に駆動できるようにワイヤーを2系統化するため、アーム台車用ウインチを追加する。</p> 
6	<p>・スループット向上</p> <p>台車の移動時間が想定値を超えており、また、更なるスループット向上が必要。</p>	<p>ウインチ設置スペースに余裕があるため、ウインチ容量アップを検討する。</p>

※:「対応方針」記載内容は、今後のエンジニアリング等で検討予定。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2) ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 目標と達成度評価

試験目標		達成度	
1	一連作業の成立性 ペDESTAL内への装置搬入から燃料デブリ掘削、回収の一連作業が遠隔で行なえること。	達成	<ul style="list-style-type: none"> アクセスレール展開～ロボットアームのセル内回収までの一連作業が遠隔操作で可能。
①	ロボットアームのペDESTAL案内	達成	<ul style="list-style-type: none"> アクセスレール段差部をスムーズに通過可能。
②	ロボットアームのレールへの固定	達成	<ul style="list-style-type: none"> ロボットアーム動作時、アーム台車固定が保持されることを確認。 電断時も台車固定が保持されることを確認。
③	ユニット缶のセル内搬送	達成	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車の自重による下降が可能であることを確認。 アクセスレール段差部をスムーズに通過可能。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 目標と達成度評価

試験目標		達成度	
2	故障を想定した非常回収機能の成立性 駆動源喪失時のロボットアーム・アクセスレールのセル内回収が可能なこと。	達成	・ セル内からのウインチによる引っ張りを想定した非常脱出試験を実施し、非常回収可能であることを確認。
①	ロボットアームのセル内回収(台車移動)	達成	・ クレーンによるワイヤ引っ張りで回収可能であることを確認。
②	アクセスレール収縮	達成	・ モータ・減速機を出力側から強制的に回すことに問題がなく、クレーンによるワイヤ引っ張りでセル内に回収可能であることを確認。
③	アクセスレール水平	達成	・ モータ・減速機を出力側から強制的に回すことに問題がなく、クレーンによるワイヤ引っ張りでセル内に回収可能であることを確認。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(2)ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 目標と達成度評価

試験目標		達成度	
3	一連作業のカメラによる遠隔操作性 装置搭載カメラによる遠隔操作により、アクセスレール展開、ロボットアーム先端位置決めが可能なこと。	達成	<ul style="list-style-type: none"> 装置搭載カメラによる遠隔操作可能な目途を得た。
①	アクセスレールのペDESTAL開口通過	達成	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔操作に必要なカメラ、照明の配置を確認。
②	ロボットアーム先端位置決め	達成	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔操作に必要なカメラ、照明の配置を確認。
4	スループット分析に必要な各作業時間の時間計測 各作業に要する時間が想定値以下であること。	未達	<ul style="list-style-type: none"> 台車の移動時間が想定値を超過。 更なるスループット向上も必要。 ⇒ ウインチ容量アップで台車移動速度アップ可能な見込み。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(3)ロボットアーム作動油の耐放射線性確認

● 開発目的

- ロボットアームのメンテナンス性、成立性を確認するため、作動油の耐放射線性試験を実施し、耐放射線性に関するデータを取得する。
(取得したデータは、実機用作動油の選定、メンテナンス計画に活用する。)

● 解決すべき課題

- ロボットアームは高出力、高い位置決め精度が必要なため、水圧ではなく油圧(難燃性作動油)を想定しているが、作動油に関する耐放射線性データがないため、メンテナンス要否・頻度が不明。

● 開発の進め方

- 作動油選定
- 試験・評価方法検討
- 耐放射線性試験

● 試験条件

- 線量率 : 5[kGy/h]で照射
(炉内の想定線量: 500Gy/hに対して、加速試験を意図し大きめに設定)
- 集積線量 : 2000[kGy]まで照射
(耐放射線性目標値: 1000kGyに対して余裕を見込んだ値)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(3)ロボットアーム作動油の耐放射線性確認

● 開発状況

➤ 作動油選定

昨年度までのロボットアーム機能確認試験で使用した作動油に加え、耐放射線性向上を目的として同メーカーが試作中の作動油、比較用として一般作動油を選定した。(作動油①～③)

作動油の設定比較表

No.	項目	作動油①	作動油②	作動油③
1	動粘度 [mm ² /s]	47.5 [40°C]	46.7 [40°C]	46 [40°C]
2	引火点	300[°C]	282[°C]	262[°C]
3	想定リスク	放射線の照射により、粘性増加 及び 分解によりガス発生		
4	その他	・ 脂肪酸エステル ・ 試作の大型液圧ロボットアームで使用した作動油	・ 脂肪酸エステル ・ 耐放射線性向上を目的としメーカーが試作中の作動油	・ 一般鉱物油系 ・ 一般的な作動油
5	メーカー	A社	A社	B社

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(3)ロボットアーム作動油の耐放射線性確認

● 開発状況

➤ 耐放射線性試験

照射試験が可能な試験場に試料容器を持ち込み、約5kGy/hで照射試験を実施。

ガス発生量：集積線量 100[kGy]を最大値とし、25/50/75/100[kGy]で評価

性状評価：集積線量2000[kGy]を最大値とし、250/500/1000/1500/2000[kGy]で評価

➤ 評価試験

・ガス発生量を確認。

(評価理由)ガス発生により、エア一溜まりが要因となり、駆動性に悪影響を及ぼす。

・性状(粘性、引火点)を確認。

(評価理由)

⇒粘性増加により、駆動性に速度低下、圧力不足などの悪影響を及ぼす。

⇒引火点の低下により、リスク低減対策(漏えい防止対策、発火源の想定)が必要となる可能性がある。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(3)ロボットアーム作動油の耐放射線性確認

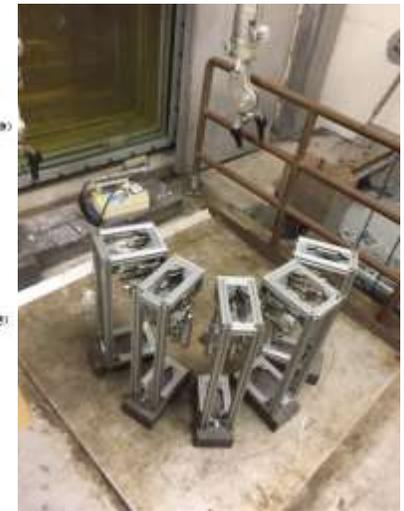
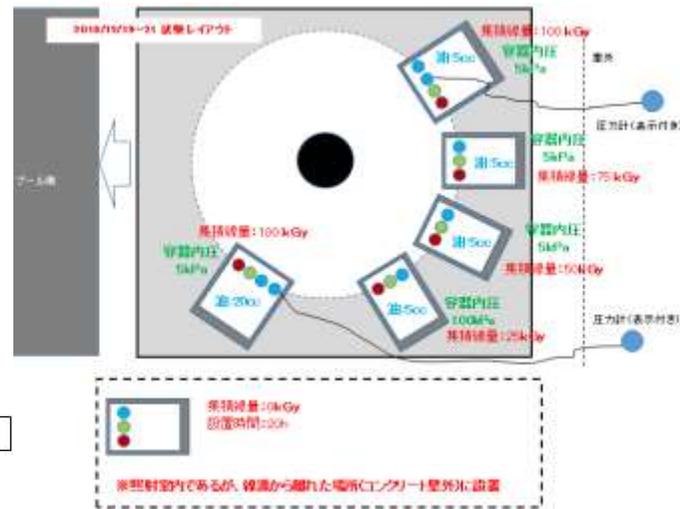
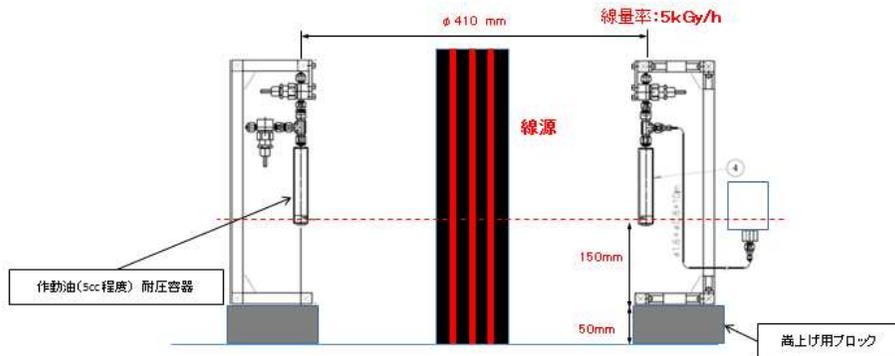
● 開発状況

➤ 照射試験状況

①ガス発生量試験

場所 : 大阪府立大学 放射線センター

実施期間 : 2018.12.19~12.21 (昼 連続照射)



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(3) ロボットアーム作動油の耐放射線性確認

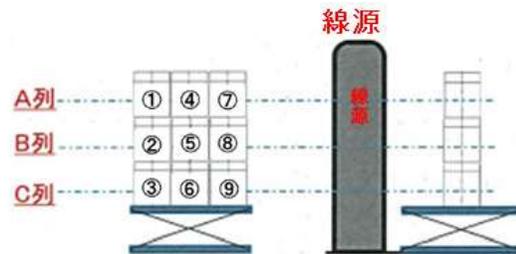
● 開発状況

➤ 照射試験状況

② 性状試験

場所 : 放射線振興協会 高崎

実施期間 : 2018.11.26～12.13 (昼・夜 連続照射)



・線量計にアミノグレイ(日立電線製アラニン線量計)を使用

・アミノグレイをオイルの入った缶①～⑨の中心に設置

線源中心からの距離 (cm)	80		72		64	
	位置	線量率 (kGy/h)	位置	線量率 (kGy/h)	位置	線量率 (kGy/h)
	①	5.36	④	5.35	⑦	5.55
	②	5.29	⑤	5.26	⑧	5.47
	③	5.73	⑥	5.36	⑨	5.50

※平均 5.4 kGy/h として照射時間を設定



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(3)ロボットアーム作動油の耐放射線性確認

● 開発状況

➤ 評価試験結果

①ガス発生量試験

試験結果よりG値※計算結果は、作動油③(鉍物系)が2.7~3.0、作動油①(エステル系)が1.0~1.2、作動油②(エステル系)は1.2~1.5程度となった。文献値のG値は脂肪族炭化水素の基油(LP350)で2.8、脂肪酸エステル油(ジエチルセバケート)で1.5であり、作動油①(エステル系)はこれらよりもやや低い傾向が確認されるが、今回結果と概ね一致が確認できた。G値としては妥当と判断。また、照射線量を変えたが全ての試料でG値が一定であった。今回の照射線量域(最大0.1MGy)では、分解反応がほぼ一様であることを示す。

※ ……ある溶液が放射線のエネルギーを100eV吸収することによって生成される、注目する化学種の原子もしくは分子の数をG値と呼ぶ。

第1表 基油の発生ガスのG値

試料名	脂肪族炭化水素系		エステル系油		芳香族系油	
	LP-350	N-350	ジエチルセバケート	アルキルジフェニルエーテル	ポリフェニルエーテル	
G (total gas)	2.8	1.4	1.5	5.6×10^{-1}	6.6×10^{-1}	
G(H ₂)	2.7	1.3	9.9×10^{-1}	5.3×10^{-1}	6.1×10^{-1}	
G(CH ₄)	5.1×10^{-2}	3.9×10^{-2}	2.6×10^{-2}	8.0×10^{-3}	—	
G(C ₂ H ₆)	1.4×10^{-2}	9.7×10^{-3}	2.7×10^{-2}	3.0×10^{-2}	—	
G(C ₃ H ₈)	1.7×10^{-2}	2.4×10^{-2}	5.7×10^{-2}	9.7×10^{-2}	—	
G(CO)	—	—	3.4×10^{-1}	—	—	
G(CO ₂)	—	—	1.5×10^{-1}	—	—	

図8 基油の発生ガスのG値 (早川等,日本原子力学会誌 Vol.26, No7(1984))⁴⁾

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(3)ロボットアーム作動油の耐放射線性確認

● 開発状況

➤ 評価試験結果

②性状試験

油性状分析結果、作動油①および②の2種類は、スラッジの発生こそ少ないものの、動粘度の変化が顕著であった。使用する照射線量への依存性が高いため、使用に際しては、集積線量の閾値を明確にすべきと考える。

作動油③は物性の変化は小さいもののスラッジ発生が確認されたため、系統への閉塞等への影響に留意する必要があると考える。

結果、全体を見て評価した結果、作動油①が最も適正があると考えられる。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(3)ロボットアーム作動油の耐放射線性確認

● 得られた成果

- 評価試験で得られたガス発生G値の評価により、分解反応がほぼ一様であることが判明した。ガス発生(エア一溜まり)は、油圧シリンダ動作に影響を及ぼす。そのため、エア一抜き作業が必要となる。文献「メカニカル防振器の研究開発(1)」原子力学会誌、Vol.33、No.1、1991に記載されているガス発生に伴う集積線量の閾値(約87kGy)を引用する。これを限界値とし、集積線量の監視を行いエア一抜き作業を実施する。
(0.5kGy/hの場合174h)
- 評価試験で得られた油性状分析結果より、最も早く到達する限界集積線量が、動粘度であることが判明した。基準値を上回る(閾値となる)集積線量が、約500[kGy]程度であった。これを限界値とし、集積線量の監視を行い油交換作業を実施する。
(0.5kGy/hの場合1000h)

※ エア一抜き、油交換は、シリンダのロッド側とヘッド側をバイパスラインで繋いで、油を送って実施する。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(3)ロボットアーム作動油の耐放射線性確認

● 課題と対応方針

No	課題	対応方針※
1	実機用作動油の選定、メンテナンス計画	得られた耐放射線性データを元に実機用の作動油の選定を行なう。作動油交換要否・頻度・交換方法等のメンテナンス計画を検討する。
2	放射線照射した作動油を用いた動作確認	実際に照射した作動油を用い、単軸シリンダ、または、液圧マニピュレータで動作確認を行ない、実機適用可否、メンテナンス計画の妥当性を確認する。

※:「対応方針」記載内容は、今後のエンジニアリング等で検討予定。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(4)液圧マニピュレータの力制御手法の開発

● 開発目標

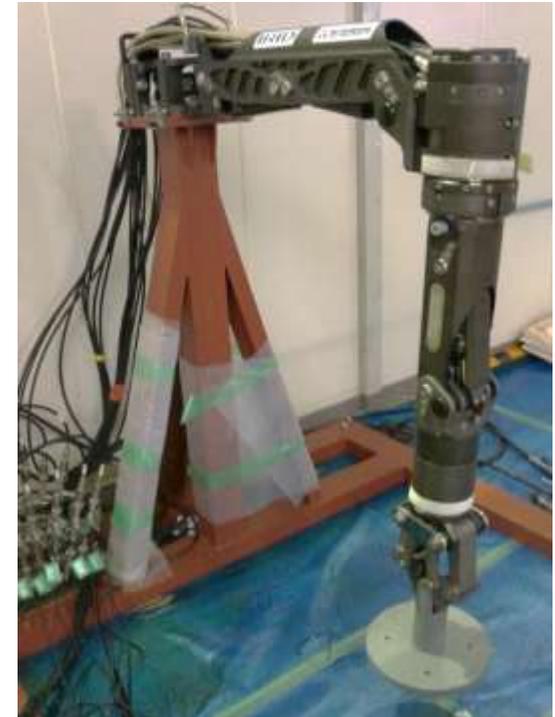
- シリンダに掛かる力推定、および、推定した力に基づく力制御手法の開発
- 位置制御と力制御の両立

● 課題

- ロボットアームによる燃料デブリ取り出し(例えば、ロボットアーム先端部の位置を保持した状態で、加工反力が変動するケース)では、ロボットアーム先端部の位置および押付力を制御する必要がある。位置制御については昨年度検討済みであるが、力制御については未検討。

● 開発の進め方

- 力推定方法の検討
- 力制御方法の検討
- 液圧マニピュレータ、シリンダによる力推定、力制御の適用試験



液圧マニピュレータ

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(4)液圧マニピュレータの力制御手法の開発

● 開発成果

➤ 1軸シリンダの力制御手法の開発

重力の影響をコントロールでき、他の軸の影響を受けない1軸シリンダの力推定、力制御の制御則を開発

・力推定手法の開発

油圧システムの特性を特定するシステム同定手法を用いて、油圧システムの特性を把握し油圧システムをモデル化した。

油圧シリンダの圧力、受圧面積と油圧システムモデルを用いてシリンダが発生する力を推定した。力の推定値は、力センサ計測値と比較し90%以上の精度で推定できた。

・力制御手法の開発

推定した力を用いて、古典制御(PID制御など)および現代制御(H_∞)を適用した力制御の有効性を確認した。

・位置制御と力制御の統合手法の確立

位置と力の両方を制御するため、位置制御と力制御を並列または直列に実施する手法の有効性を確認した。

シリンダ

押付け板 (固定)

力センサ

圧力センサ



1軸油圧シリンダ試験機

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(4)液圧マニピュレータの力制御手法の開発

● 開発成果

➤ 多軸アームの力制御手法の開発

・力推定手法の開発

各軸の油圧シリンダの圧力、受圧面積とリンク形状に基づき、おもりを持ち上げた時の各軸のトルクを推定し、推定したトルクから手先に加わる力を推定(算出)した。

力推定では、1軸で得られた知見を適用し、多軸アームにおける力推定手法の目途を得た。

・力制御手法の開発

推定した力を用いて、PID制御を実施し多軸アームにおける力制御手法の目途を得た。



液圧マニ試験機

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(4)液圧マニピュレータの力制御手法の開発

● 開発成果のまとめ

➤ 力推定、力制御手法の開発

1軸シリンダによる力推定、力制御の手法を確立した。

1軸シリンダで得られた知見を活用して多軸アームの力推定、力制御手法を開発し、液圧マニ試験機にて有効性を確認した。

➤ 位置制御と力制御の両立

位置と力を両立した制御手法を確立し、有効性を1軸シリンダにて確認し、多軸アームでの成立性の目途を得た。

● 開発成果から得られる技術とメリット

➤ カセンサを用いない力推定手法、力制御ロジックの確立

通常のカ制御にはロードセル等のカセンサを使用するが、油圧を用いた力推定手法の確立によりカセンサを用いないカ制御が可能となる。

カセンサが不要となることで、装置の小型化、省線化のメリットが得られる。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(4)液圧マニピュレータの力制御手法の開発

● 課題と対応方針

No	課題	対応方針※
1	開発した力推定、力制御手法の実機制御ロジック適用	力センサを使わずに、力推定ができるよう油圧を用いた力推定手法を実機設計に適用し、燃料デブリ切削時の先端ツール押付力を一定に保つ力制御、アーム先端の障害物への接触検知への適用可否を確認する。

※:「対応方針」記載内容は、今後のエンジニアリング等で検討予定。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

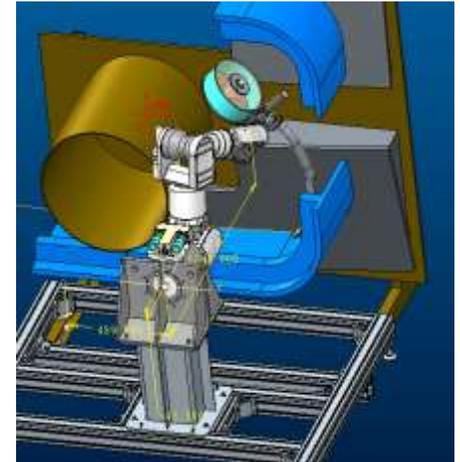
(5)多自由度ロボットの環境との干渉回避を考慮した動作計画手法の開発

● 開発目標

- 狭隘環境における作業軌道において、肘の干渉回避を考慮した最適な一連の動作点を生成する手法の開発

● 課題

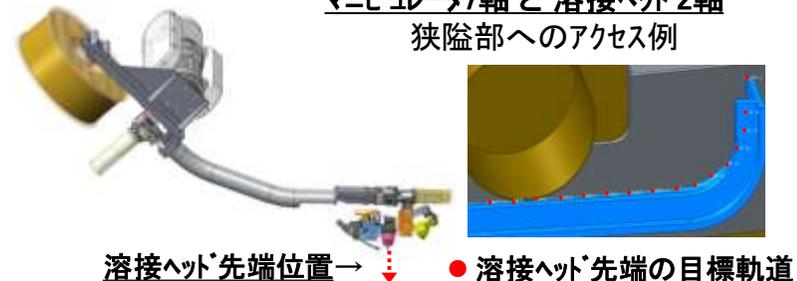
- 多自由度ロボット(例えば、アクセスレール+ロボットアーム、または電動マニピュレータ+溶接ヘッド等)により、狭隘部での可動範囲を拡大させることは可能となったが、狭隘部へのアクセス操作は、求められる位置決め精度によりオペレータにとって非常に困難となる場所がある。そこで、多自由度ロボットによる狭隘部における細かい作業への適用を想定し、周りに干渉しない連続的な軌道を自動的に計画する手法の開発が必要である。



マニピュレータ7軸と溶接ヘッド2軸
狭隘部へのアクセス例

● 開発の進め方

- 目的軌道と拘束条件の記述方法の検討
- 周囲環境の汎用的記述方法の検討
- 動作計画手法で生成された軌道の確認試験



溶接ヘッド先端位置→

● 溶接ヘッド先端の目標軌道

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

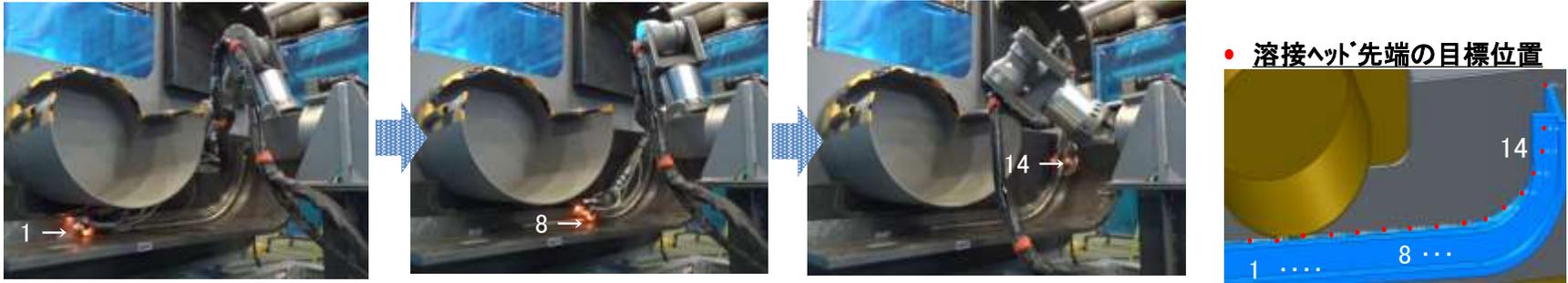
c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(5) 多自由度ロボットの環境との干渉回避を考慮した動作計画手法の開発

● 開発状況

- 従来の狭隘部での軌道生成は、ティーチングによりマニピュレータの肘と環境との干渉を回避させながら溶接ヘッド先端を目標位置に合わせた関節角度(θ_1 、 θ_2 … θ_n)データ及び軌道の作成を行っていた。

従来の軌道生成は、現場で試行錯誤に作業するため非常に手間がかかっていた。(数日)



➢ 動作計画手法(計算アルゴリズム)の検討

溶接作業で要求される動作軌道の作成において、軌道を先端位置の離散的な連なりとして表現し、以下に示す拘束条件を与え、各時刻における拘束誤差がなるべく小さくなるような関節角度を計算する手法(計算アルゴリズム)を検討した。

〈合致拘束〉 マニピュレータの溶接ヘッドの先端を、目標位置に合わせる。

〈干渉物回避の拘束〉 各時刻において、マニピュレータの姿勢(肘部分)と、周囲環境が干渉しない。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

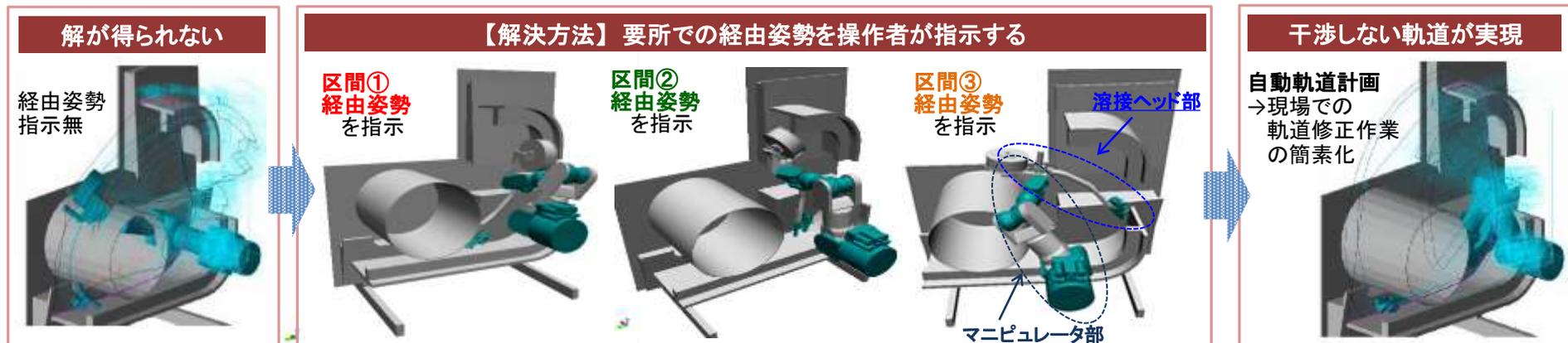
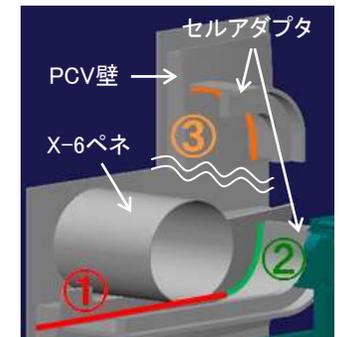
(5)多自由度ロボットの環境との干渉回避を考慮した動作計画手法の開発

● 開発状況

- 要求される動作軌道生成において、今回の作業対象のように形状が複雑である場合、不適当な初期値を与えると解が得られない恐れがあることが判明した。(左下図)
- 解決法として、要求される連続した動作軌道(区間①→区間②→区間③)の要所において、事前に経路姿勢を操作者が指示することにより、周りに干渉しない連続的な軌道を自動的に計画する手法を開発した。
- この手法により、溶接のスタート・ゴール・中間点を与えるだけで、干渉しない初期のマニピュレータの軌道作成及び現場での軌道修正作業が簡素化されることを確認した。

要求される動作軌道

区間①→区間②→区間③



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(5)多自由度ロボットの環境との干渉回避を考慮した動作計画手法の開発

● 得られた成果

➤ 干渉回避を考慮した最適な一連の動作点を生成する手法

- 通常、マニピュレータ等の先端位置及びマニピュレータの姿勢は、事前の現場でのティーチングにて作成を行うが、遠隔操作、狭隘環境ではこの作業が困難である。
- また、遠隔監視により干渉物を回避しつつ、作業進捗に応じて変化する狭隘部へマニピュレータのアクセス操作を行うことは、オペレータにとって多大な負担となる。
- 本手法の確立により、目的軌道と拘束条件(合致拘束と干渉物回避の拘束)を与えることで、マニピュレータ等の先端位置及びマニピュレータの姿勢の作成が可能となり、オペレータの負担軽減が可能となる。
- 目的軌道と拘束条件を修正し、マニピュレータ等の先端位置及びマニピュレータの姿勢の再構成も容易となり、現場での作業負荷の低減も可能となる。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

c.各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(5)多自由度ロボットの環境との干渉回避を考慮した動作計画手法の開発

● 課題と対応方針

No	課題	対応方針※
1	<p>多自由度ロボット動作時の周辺環境への接触防止</p> <p>本開発でロボットのティーチング等のオペレータの負荷は軽減されたが、燃料デブリ取り出し作業で時々刻々と状況が変化するPCV内では、オペレータのロボットの操作に時間がかかるものと予想される。</p>	<p>周辺環境とアームの位置関係や接触リスクをオペレータへ分かりやすく提示する環境地図構築について検討する。</p> <p>周辺環境とアームの接触を回避する動作の自動化について検討する。</p>

※:「対応方針」記載内容は、次年度以降に検討する。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

- ① 燃料デブリの回収システムの開発
- ② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発
- ③ 燃料デブリの拡散防止工法の開発

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

- ① 作業セルに関する要素技術開発
- ② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

① 上アクセス工法および横アクセス工法共通の遠隔保守に関する対応方針の検討

燃料デブリ取り出し機器・装置（燃料デブリ切削・集塵システム、コンテナや作業テーブル、監視装置やそれを取り扱うロボットアーム等）は高線量エリアに設置されることから、原則、遠隔で保守を行う必要がある。そのため、燃料デブリを取扱うことに配慮した機器・装置に関する保守方法の考え方の整理、及びそれに沿った保守方法の検討、実現性の評価及び課題の抽出並びに実機での合理的な対応方針について検討を行う。

主な開発検討項目として以下を含むものとし、必要に応じて要素試験を実施することにより課題を抽出し整理する。

a. 上アクセス工法及び横アクセス工法共通の遠隔保守に関する対応方針の検討

- 上アクセス工法については、遠隔保守の合理的な対応方針を検討するため、検討した収納缶移送装置について基本方針を纏めた。
- 横アクセス工法については、保守作業に関する基本条件を検討・調整中。今後、作業員のアクセス及び作業中の作業員の被ばくを考慮し、遠隔保守に関する基本方針を纏めた。

b. 上アクセス工法及び横アクセス工法における主な機器の配置及び動線

- 上アクセス工法については、収納缶移送装置を遠隔保守にあたって必要な主な機器の配置について基本方針を纏めた。
- 横アクセス工法については、セル・工法の検討の設計条件を検討・調整中。ホットセル・マニピュレータWGにて、横アクセス3工法に関するレビューを一次実施。今後、取り出し設備の運用性を考慮し、主要な機器の配置及び動線に関する基本方針をまとめた。

c. 技術開発計画の立案

- 検討結果を纏め、燃料デブリ取り出し設備に関する開発課題を抽出し、燃料デブリ取り出し作業の実現に向けた開発計画を策定した。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

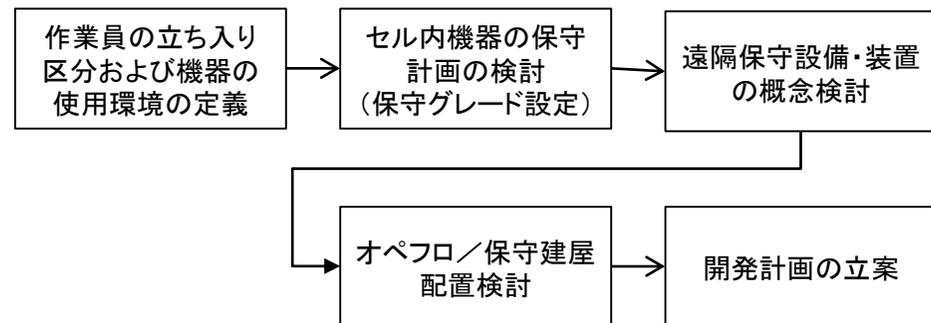
① 上アクセス工法および横アクセス工法共通の遠隔保守に関する対応方針の検討

- 開発の目的
 - 保守の考え方を統一し、保守“システム”としての成立性を示す。
- 解決すべき課題
 - 機器・装置によっては保守が考えられているものもあるが、機器・装置によって保守の考え方（遠隔／直接、保守の実施場所、保守機器等）がバラバラであり、システムとしての保守の成立性が不明。
 - 上記を考慮した場合、現状の機器・装置の構成・配置の成立性が不明。
- 開発の進め方
 - 保守の考え方（遠隔／直接、保守の実施場所等）を、1Fの遠隔保守の基本方針として定める。
 - ・ 作業員が立ち入るエリアを定義する。
 - ・ 遠隔保守でできること／できないことを明確にする。
 - 保守を考慮したオペフロ上／保守建屋の配置を検討する（レイダウン検討）。
 - 不足している技術を開発する（本事業では、開発計画を立案するまで）。

（検討フロー）

● 得られる成果

- セル内機器の保守基本方針（案）
 - ・ 作業員立ち入り区分
 - ・ 保守区分、等
- オペフロ／保守建屋配置検討
- 技術開発計画



6. 本事業の実施内容

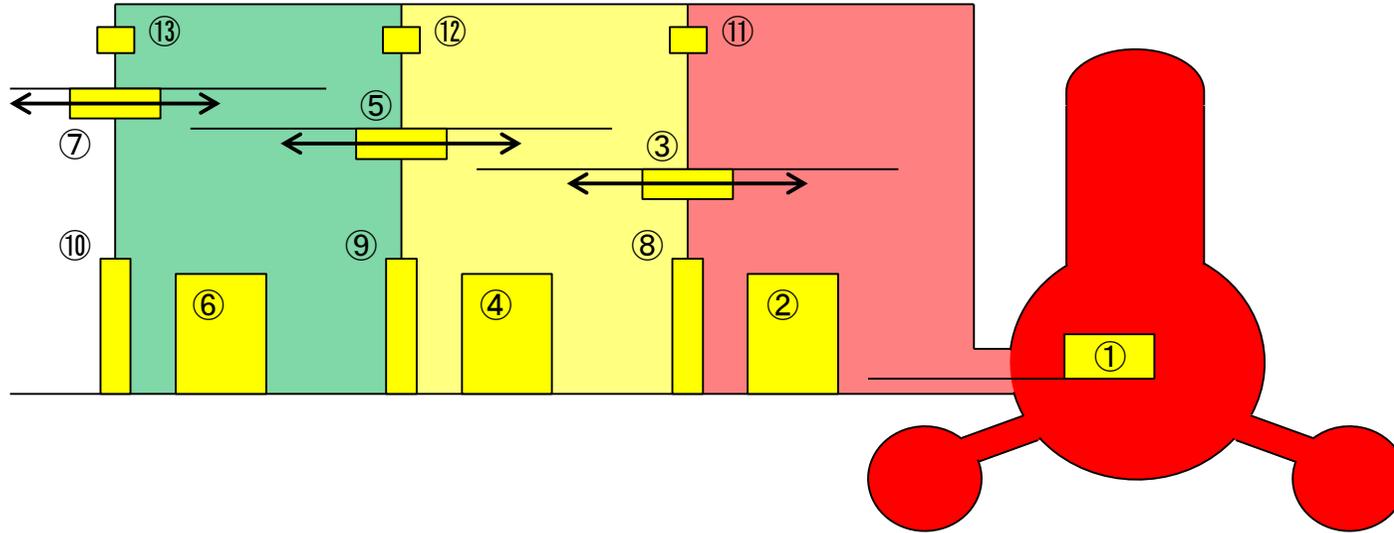
6.2 実施内容

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

① 上アクセス工法および横アクセス工法共通の遠隔保守に関する対応方針の検討

1Fにおける機器の使用環境条件の設定

【作業員立ち入り区分（案）と機器の使用環境】



- 低汚染エリア: 通常時に短時間作業員の立ち入りを想定する
- 中汚染エリア: 非常時に短時間作業員の立ち入りを想定する
- 高汚染エリア: 非常時も含めて作業員の立ち入りは想定しないが、万一の場合には作業員が立ち入ることができる対策を講じておく。
- 高汚染エリア: 非常時も含めて作業員の立ち入りは想定しない
- 保守対象機器 (右参照)

保守対象機器の例:

- ① PCV内で使用する機器
- ② セル(赤)内の常設機器
- ③ セル(赤)/セル(黄)間のマテハン機器
- ④ セル(黄)内の常設機器
- ⑤ セル(黄)/セル(緑)間のマテハン機器
- ⑥ セル(緑)内の常設機器
- ⑦ セル(緑)/セル外のマテハン機器
- ⑧ セル(赤)/セル(黄)間の扉
- ⑨ セル(黄)/セル(緑)間の扉
- ⑩ セル(緑)/セル外の扉
- ⑪ セル(赤)/セル(黄)間の貫通部
- ⑫ セル(黄)/セル(緑)間の貫通部
- ⑬ セル(緑)/セル外の貫通部

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

- ①上アクセス工法および横アクセス工法共通の遠隔保守に関する対応方針の検討
 機器の使用環境条件と除染の可能性に応じて、各機器の保守グレードを設定
 【機器使用エリアと保守グレード】

機器を使用するエリア	機器の種類		保守の考え方	保守グレード
高汚染エリア (赤)	①	PCV内で使用する機器	高汚染エリア内で遠隔操作により遠隔保守	1
			移動式遠隔操作により保守施設へ移送して保守	3
	②	セル(赤)内の常設機器	高汚染エリア内で遠隔操作により遠隔保守	1
			移動式遠隔操作により保守施設へ移送して保守	3
	③	セル(赤)／セル(黄)間のマテハン機器	遠隔操作により線源除去・除染が可能な場合、中汚染エリアへ移送し、中汚染エリア内で遠隔操作により遠隔保守	2
			移動式遠隔操作により保守施設へ移送して保守	3
⑧	セル(赤)／セル(黄)間の扉	中汚染エリア内で遠隔操作により遠隔保守	2	
中汚染エリア (黄)	④	セル(黄)内の常設機器	中汚染エリア内で遠隔操作により遠隔保守	2
			移動式遠隔操作により保守施設へ移送して保守	3
	⑤	セル(黄)／セル(緑)間のマテハン機器	遠隔操作により線源除去・除染が可能な場合、低汚染エリアへ移送し、低汚染エリア内で直接保守	4
	⑨	セル(黄)／セル(緑)間の扉	低汚染エリア内で直接保守	4
低汚染エリア (緑)	⑥	セル(緑)内の常設機器	低汚染エリア内で直接保守	4
	⑦	セル(緑)／セル外のマテハン機器	セル外で直接保守	4
	⑩	セル(緑)／セル外の扉	セル外で直接保守	4

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

- ①上アクセス工法および横アクセス工法共通の遠隔保守に関する対応方針の検討
 作業員の立ち入り区分（案）に応じた保守方法を保守グレードとして定義
 【保守グレードと遠隔／直接保守】

保守グレード	通常保守の方法	保守を実施するエリア	保守対象機器の使用エリア	備考
1	遠隔保守	高汚染エリア	高汚染エリア（赤）	
2	遠隔保守	中汚染エリア	高汚染エリア（赤）	非常時に短時間作業員が立ち入れるため、保守グレード1よりも難易度が下がる。 遠隔操作により放射線源の除去、除染が可能な場合に限る。不可の場合、保守グレード1となる。
			中汚染エリア（黄）	非常時に短時間作業員が立ち入れるため、保守グレード1よりも難易度が下がる。
3	遠隔or直接	保守施設	高汚染エリア（赤）	遠隔操作により機器・部品に付着した汚染を密封して移送できる場合に限る。不可の場合、保守グレード1となる。
			中汚染エリア（黄）	遠隔操作により機器・部品に付着した汚染を密封して移送できる場合に限る。不可の場合、保守グレード2となる。
4	直接保守	低汚染エリア	中汚染エリア（黄）	遠隔操作により放射線源の除去、除染が可能な場合に限る。不可の場合、保守グレード2となる。
			低汚染エリア（緑）	
—	廃棄	—	—	消耗品等。ただし、廃棄作業は作業を実施するエリアに応じて遠隔操作または直接作業で行う。
—	保守不要	—	—	経年劣化や故障のおそれがない構造材等。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

①上アクセス工法および横アクセス工法共通の遠隔保守に関する対応方針の検討

セル内機器の洗い出しと保守グレードの設定

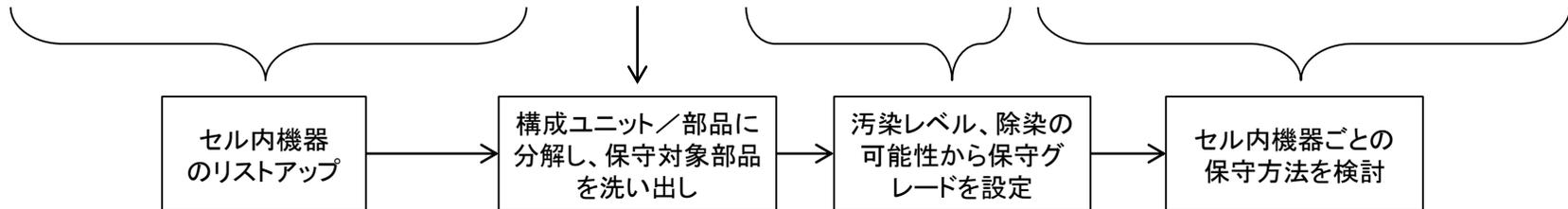
【セル内機器の保守計画の検討 機器リスト】

将来的に、エンジニアリングなどにおいて機器詳細設計を進めていく上で、機器ごとに保守方法や手順を検討する必要がある。まとめ方の例として以下に示す。

セル機器内をリストアップの上、セル内機器ごとの保守対象部品の洗い出しを行う。

セル内機器リスト

設置場所	機器名称	数量	種類・型式	保守単位 (構成ユニット ／構成部品)	汚染の レベル	除染の 可能性	保守 グレード	通常保守 の方法	保守の 実施エリ ア	メンテナンス方針	保守手順	消耗品 予備品	備考
C4H※	収納缶移送ジブクレーン 1	2	ジブクレーン 重量計測機能付き	①ホイスト ②ケーブルベア ③旋回装置 ④可撓性ケーブル ⑤ブーム及び軸受	高い	困難	3	直接保守 または ユニット交 換	保守施設	パワーマニピュレータ 等により分解し、遠隔 操作により保守施設へ 移送して保守	クレーン安全 規則による 定期自主 検査に準ず る	②ケーブル ベア ④可撓性 ケーブル	



※ C4H: 汚染区分の定義で、C4(漏えいにより重大な支障をもたらす可能性のある設備のある区域)区分で、汚染度高(H)であることを表す。

6. 本事業の実施内容

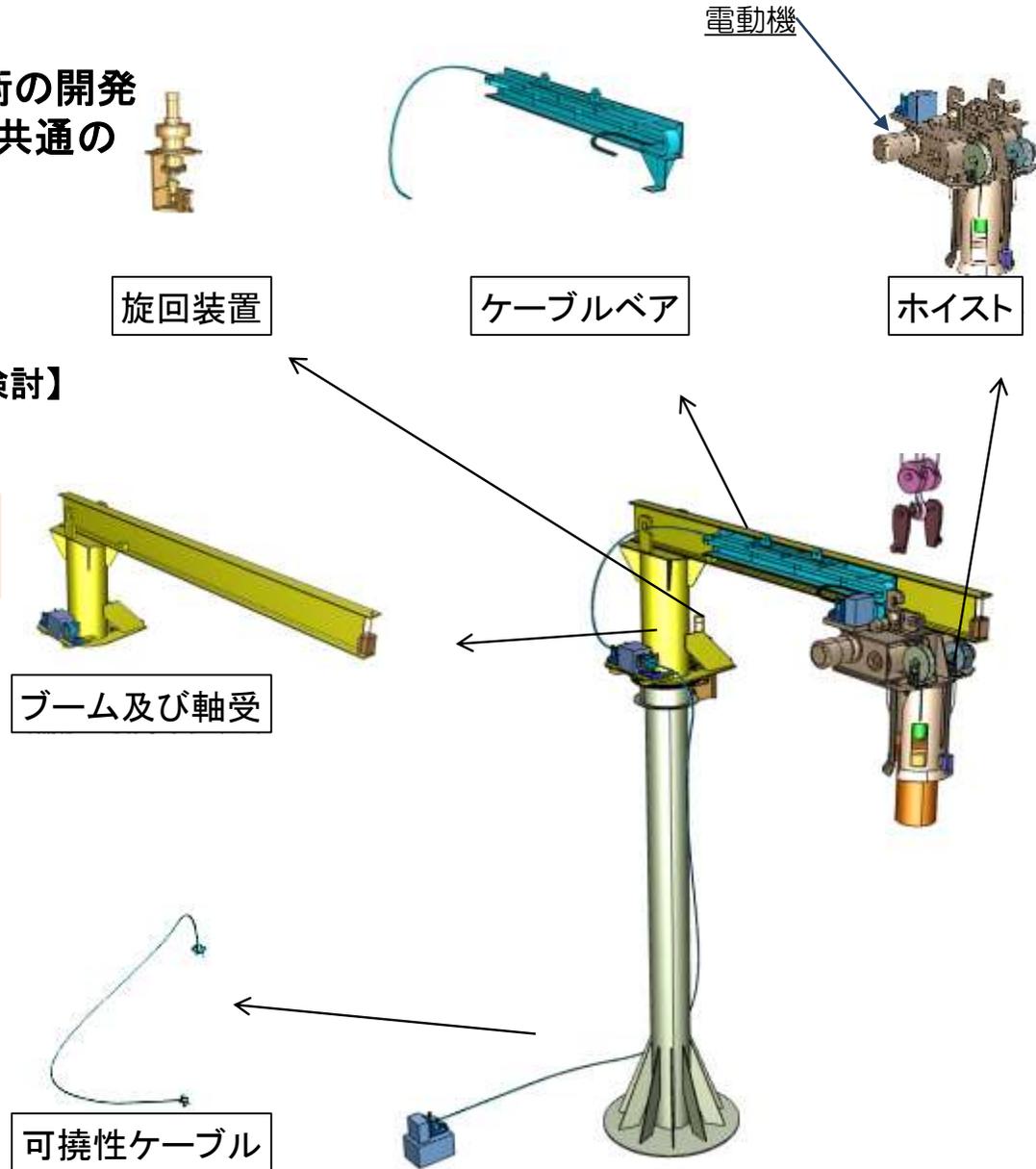
6.2 実施内容

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

① 上アクセス工法および横アクセス工法共通の遠隔保守に関する対応方針の検討

遠隔保守設備・装置の概念検討
【セル内機器の保守計画の検討 保守概念検討】

セル内機器の保守対象部品をユニットごとに分割
(次葉につづく)

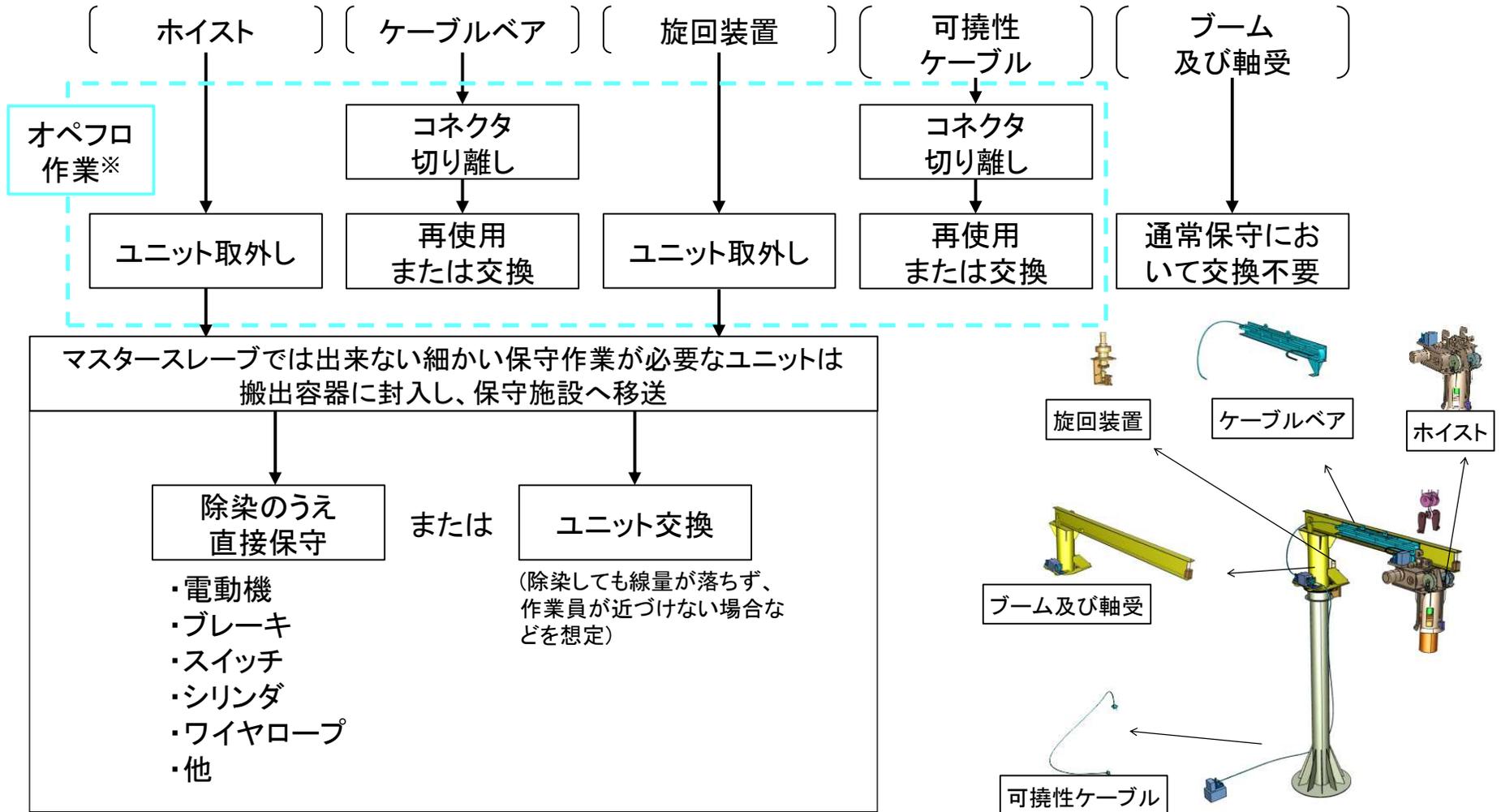


6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

①上アクセス工法および横アクセス工法共通の遠隔保守に関する対応方針の検討



※:セル内は作業員が立ち入れないため、オペフロ作業は「マスタースレーブマニピュレータ」等を用い作業することを想定

収納缶移送ジブクレーンの保守フロー(例)

6. 本事業の実施内容

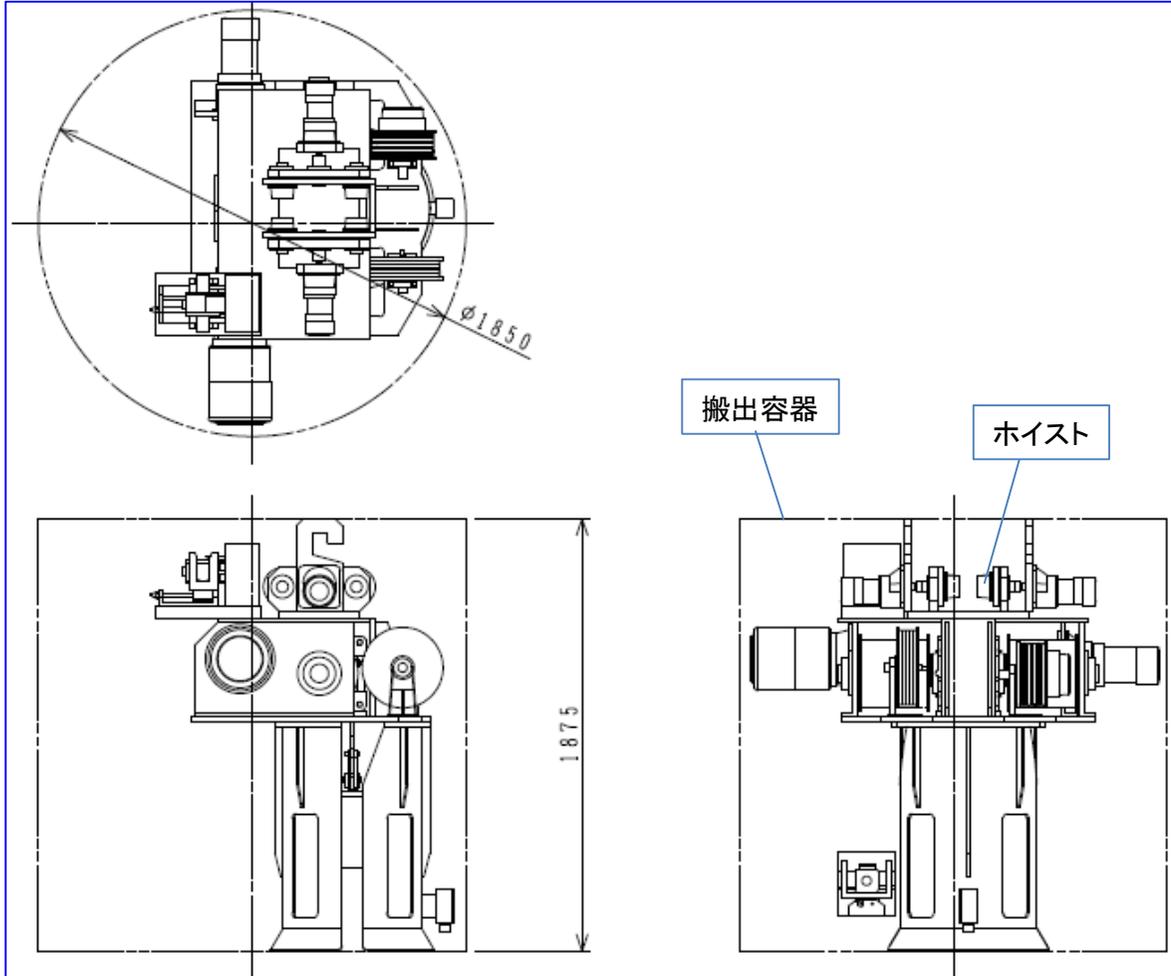
6.2 実施内容

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

① 上アクセス工法および横アクセス工法共通の遠隔保守に関する対応方針の検討

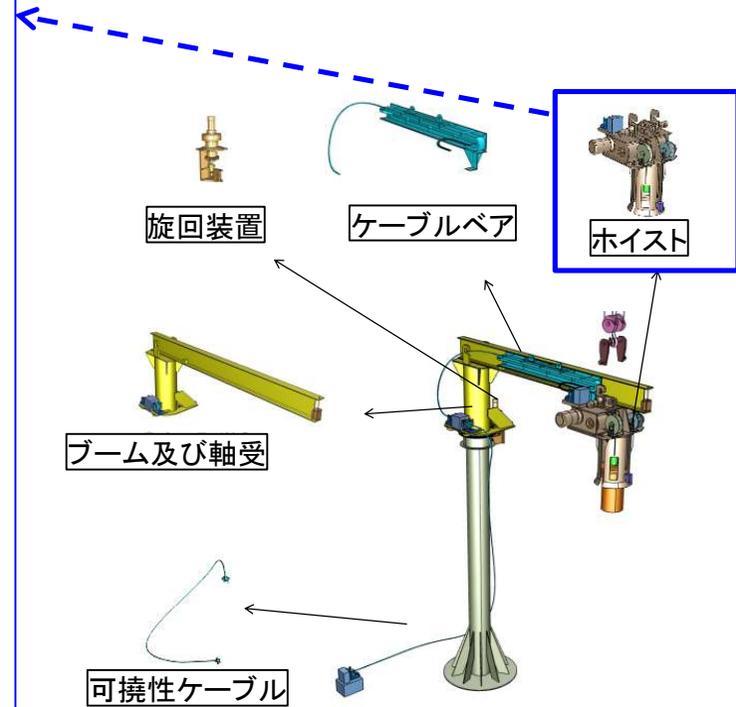
オペフロ／保守建屋 配置検討

【保守スペース検討】



収納缶移送ジブクレーン ホイスト

ユニットごとの大きさから
搬出容器の大きさを設定



6. 本事業の実施内容

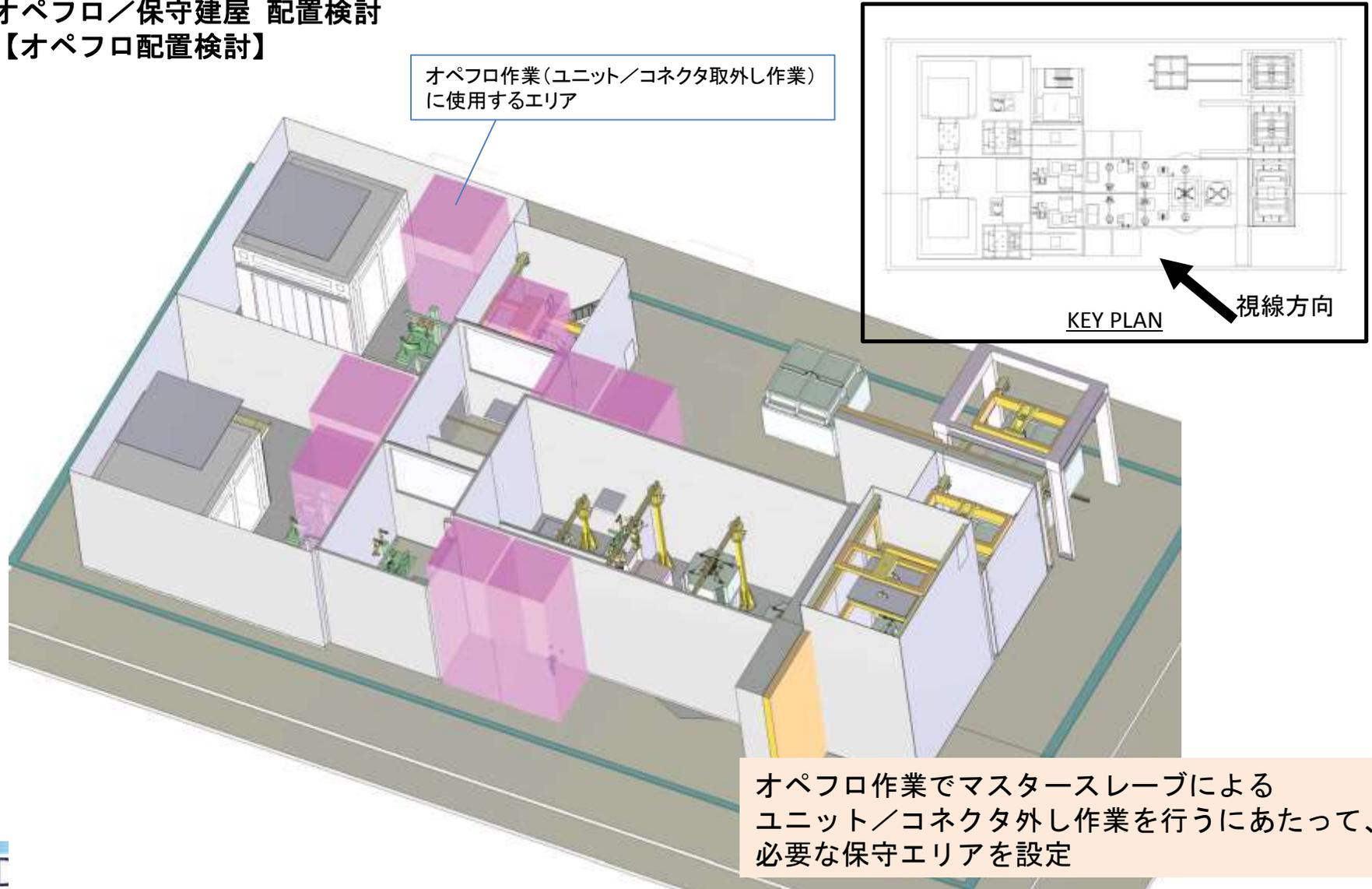
6.2 実施内容

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

② 上アクセス工法および横アクセス工法における主な機器の配置及び動線

オペフロ／保守建屋 配置検討

【オペフロ配置検討】



6. 本事業の実施内容

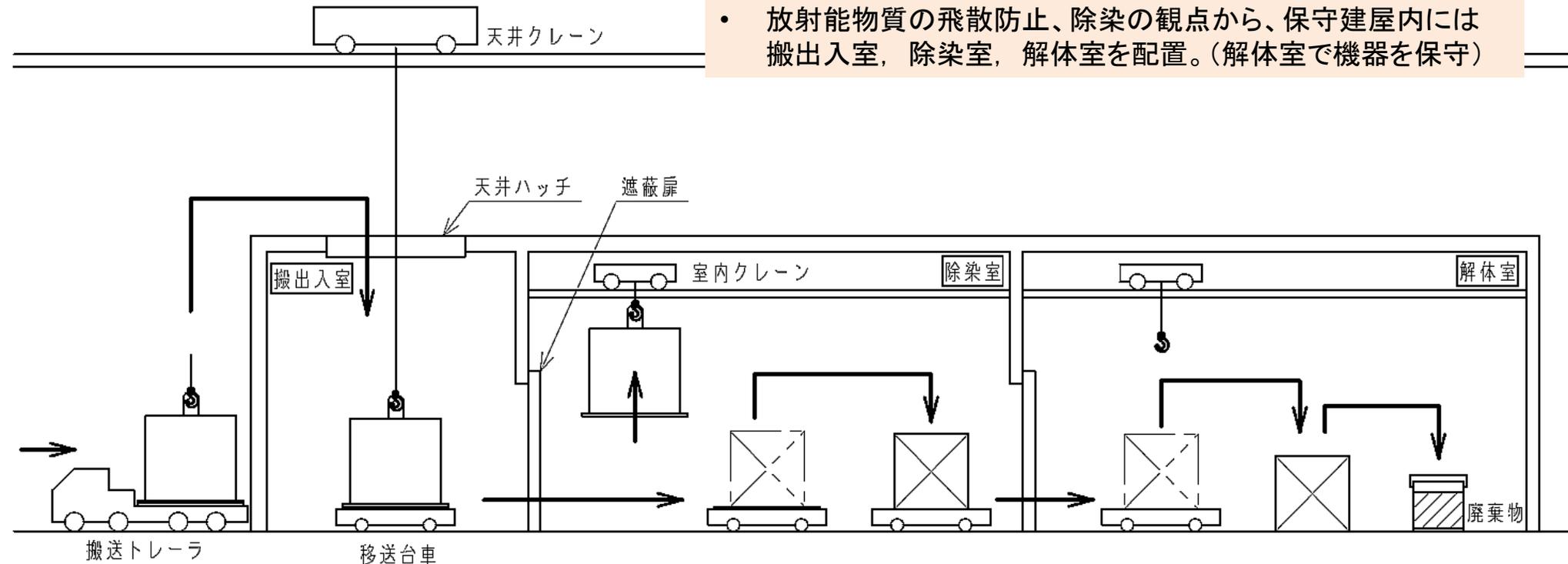
6.2 実施内容

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

②上アクセス工法および横アクセス工法における主な機器の配置及び動線

オペフロ／保守建屋 配置検討
【保守建屋 配置検討】

- 保守建屋内での保守内容をもとに、保守建屋の配置案を検討
- 放射能物質の飛散防止、除染の観点から、保守建屋内には搬出入室、除染室、解体室を配置。(解体室で機器を保守)



- 保守対象機器を収納した容器を原子炉建屋から移送

- 容器の搬入

- 容器を開封
- 保守対象機器の表面汚染検査及び除染
- 保守対象機器を解体室へ移送

- 保守対象機器の分解点検
- グリスアップ、部品交換
- 組立調整、ボルト増し締め
- 点検後の健全性確認

保守建屋内での機器受け入れの流れ(案)

6. 本事業の実施内容

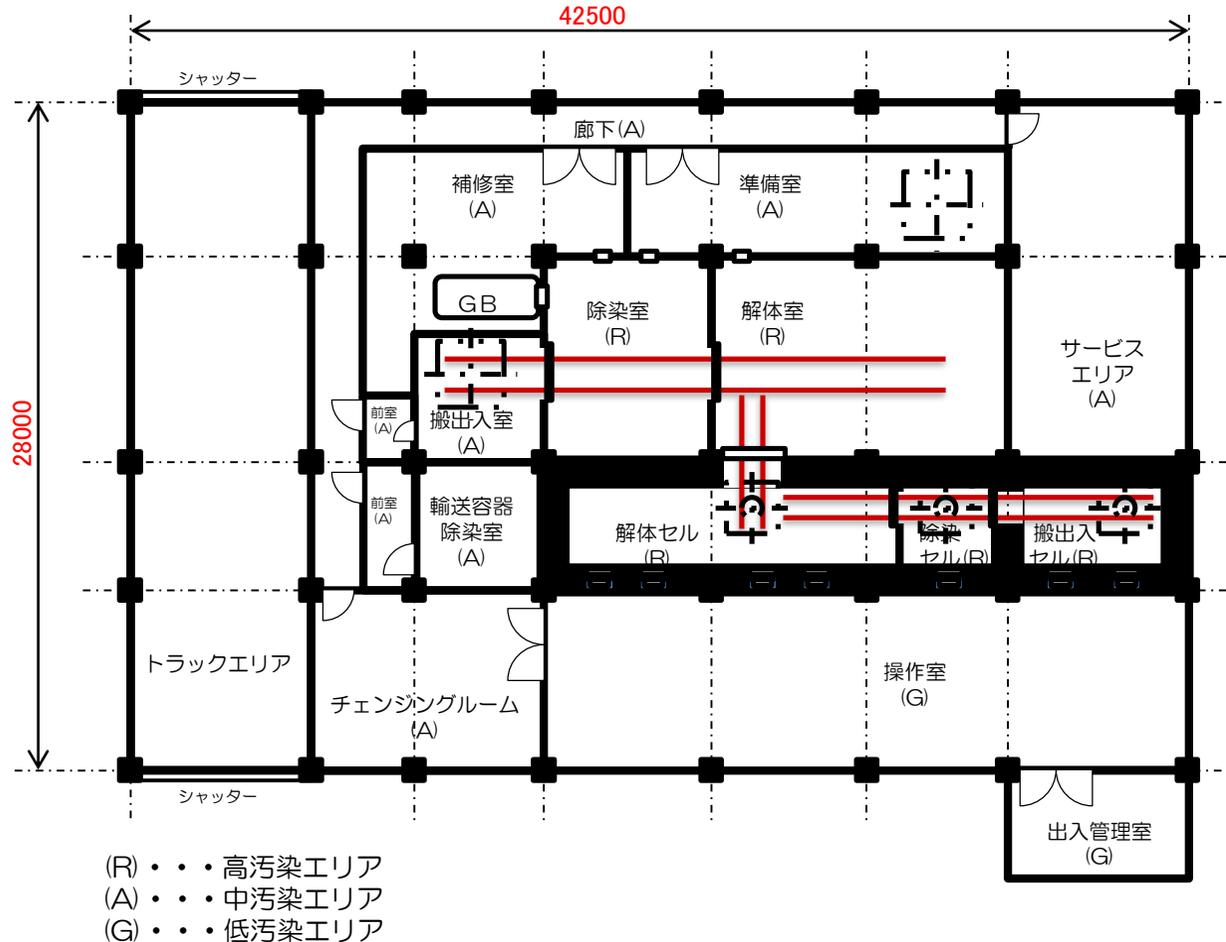
6.2 実施内容

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

②上アクセス工法および横アクセス工法における主な機器の配置及び動線

オペフロ／保守建屋 配置検討

【保守建屋 配置検討】



(各エリアの役割)

- ・トラックエリア: 搬出容器を受入
- ・除染室: 搬出容器から機器を取り出し、除染
- ・解体室: 一般機器を保守、組合せ動作確認
- ・補修室: 保守に時間のかかる精密機器を保守
- ・サービスエリア: 予備品、搬出容器置き場

搬出容器／機器の大きさや動線より
保守建屋に必要な広さ、エリアを設定

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

③技術開発計画の立案

- これまでの検討作業において抽出された技術課題について整理
- 使用環境、運転条件、取り合い条件など、実機設計の具体化のタイミングで、実効性のある課題解決を図る

項目	課題	内容
セル内機器の保守計画	分解／再組立時における位置決めスイッチの再現性確保	分解／再組立後の再現性に課題 セル内での細かな調整が不要となる設計を、個々の機器について具体化
収納缶洗浄・乾燥装置の遠隔保守	コネクタ、カプラの適用設計	マニピュレータによる遠隔操作で取付け／取外しができるコネクタやカプラ。コネクタを組み合わせて遠隔保守に適応した設計を詳細化し、遠隔保守手順を具体化
遠隔保守設備・装置の概念検討	機器収納容器の設計	いろいろな形状や重心位置を有する搬送物に対して、移送中の荷崩れによる機器の損傷を防止する工夫
セル内外の配置・レイダウン	原子炉建屋と保守施設との間の移送	機器収納容器の移送。容器の表面汚染の除染場所、汚染の拡散防止策の具体化、雨天時の対応
C4H※セル内クレーンの保守性	アクセス装置との取り合い、汚染拡散防止対策の検討	除染しやすく、作業被ばくの低減に留意した設計対応
機器の除染・汚染測定手順の具体化	除染、汚染計測作業の具体化	セル内機器を細かく分解することなく、遠隔操作での除染作業や汚染計測の手順を具体化。

※ C4H: 汚染区分の定義で、C4(漏えいにより重大な支障をもたらす可能性のある設備のある区域)区分で、汚染度高(H))であることを表す。

7. まとめ

(1)燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

①燃料デブリの回収システムの開発

- PCV底部の燃料デブリの回収プロセスを想定し、粉状の燃料デブリ回収システムに関する技術情報を整理した。
- 加工した燃料デブリおよび小石状の燃料デブリについて、効率的に回収作業を行うためのツールに関する技術情報を整理した。

②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

- 切削・集塵の対象となる燃料デブリについて、可能性のある存在箇所や状態などから効果的な加工方法および回収方法について整理した。
- MCCI模擬試験体に対してチゼル加工および超音波コアボーリングによる加工性確認試験を実施し、加工特性や加工速度を確認した。
- MCCI燃料デブリの成分や燃料デブリ模擬試験体としての試作方法などについて検討するとともに、実際に試作したものを加工試験において加工し加工廃液を分析することで粒径分布などのデータを取得した。

③燃料デブリの拡散防止工法の開発

- 燃料デブリ取り出し作業に伴い、PCV底部の燃料デブリが、ベント管、サプレッションチェンバー(S/C)等に拡散することを防止するために、PCV内に堰を設置する想定とした要素試験を実施し遠隔設置性などについて実現可能な見通しを得た。

(2)取り出し装置設置のための要素技術開発

①作業セルに関する要素技術開発

- セルの閉じ込めおよびPCVと接続する技術について比較し整理した。
- セルとPCV接続時のシール手段であるインフレートシールに関する要素試験を実施し、作業ステップの実現性確認および課題の抽出を行った。

7. まとめ

(2)取り出し装置設置のための要素技術開発(続き)

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

- 主に気中-横アクセス工法により、PCV底部の燃料デブリに到達するまでに撤去が必要となる干渉物について、加工手段を整理した。
- 干渉物の整理結果に基づき干渉物撤去に関する要素試験を実施し、作業ステップの実現性確認および課題の抽出を行った。
- 気中-上アクセス工法において撤去する炉底部の干渉物撤去要素試験を実施し、CRD.Hなどの基本的な切断手段や切断片の回収方法について確認した。
- 気中-横アクセス工法に関するペDESTAL内およびペDESTAL外の干渉物撤去要素試験を実施し、狭隘部における基本的な切断・回収作業について実現可能な見通しを得た。
- ロボットアームとアクセスレール組み合わせ要素試験により課題を抽出し、燃料デブリ/干渉物の撤去に係る基本的な動作の成立性を確認した。

(3)燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

- 気中-横アクセス工法のセル内設備を例に遠隔保守の基本的な考え方を検討し、保守区分や保守設備などについて整理した。

8. 実施目的を達成するための具体的目標

(1)燃料デブリの拡散防止に係る技術開発	
①燃料デブリの回収システムの開発	<p>燃料デブリの状態(破片状、汚泥状、微細(粉)燃料デブリ等)の回収方法とシステム及び回収した燃料デブリを収納缶等へ送るための移送保管システムについて検討及び要素試験を行い、燃料デブリの状態に応じて有効な回収・移送方法及びその作業ステップが特定できていること。</p> <p>(終了時目標TRL:レベル3)</p>
②燃料デブリの切削・集塵システムの開発 ・切削／研削要素試験	<p>切削技術に関し、要素試験により基本的な加工性が確認されていること。また、前年度の基盤技術開発事業から継続するものについては、抽出した課題が改善されていること。</p> <p>加工に関する集塵試験が実施され、集塵技術について性能が示されていること。</p> <p>(終了時目標TRL:レベル3)</p>
・チゼル破碎要素試験	<p>主にPCV底部の燃料デブリを対象とする加工試験を実施し、基本的な加工性が確認されていること。また、集塵試験が実施され、集塵技術について性能が示されていること。</p> <p>(終了時目標TRL:レベル3)</p>
・超音波コアボーリング	<p>超音波コアボーリングの燃料デブリ取り出しへの適用性について評価されていること。適用性があると判断される場合は、燃料デブリ模擬試験体の加工試験を実施し、加工性、発生するダストの量、粒径分布のデータが取得されていること。</p> <p>(終了時目標TRL:レベル3)</p>
③燃料デブリの拡散防止工法の開発 ・ジェットデフからの拡散防止要素試験	<p>要素試験によりジェットデフでの拡散防止技術について基本的な実現性が確認できていること。</p> <p>(終了時目標TRL:レベル3)</p>

8. 実施目的を達成するための具体的目標

(2)取り出し装置設置のための要素技術開発	
①作業セルに関する要素技術開発 ・構造検討／設置方法検討	作業セルの設置性、取り扱い性に関する概念検討がなされており、有効なセルの遠隔設置工法が特定され、その開発課題と対応方針が整理されていること。 (終了時目標TRL:レベル3)
・インフレートシール要素試験	インフレートシールのバウンダリとしての適用性が評価されていること。適用性があると判断される場合は、インフレートシールによるシール性の要素試験が実施され、シール性能が評価されていること。また、インフレートシールの遠隔交換に係わる要素試験が実施され、遠隔交換の実現性が確認できていること。 (終了時目標TRL:レベル4)
②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発	燃料デブリへのアクセスルートを確保するために必要な干渉物の遠隔撤去工法について検討及び要素試験を行い、有効な干渉物の撤去手順、工法及び必要な設備・装置が特定され、その開発課題と対応方針が整理されていること。 (終了時目標TRL:レベル3)
・上アクセス時での干渉物(ドライヤ、セパレータなど)	フルスケールの模擬干渉物を製作し、干渉物の基本的な撤去手順及び方法などについて実現性が確認できていること。 (終了時目標TRL:レベル4)
・横アクセス時での干渉物(ペDESTAL外機器)	フルスケールの模擬干渉物を製作し、干渉物の基本的な撤去手順及び方法などについて実現性が確認できていること。 (終了時目標TRL:レベル4)

8. 実施目的を達成するための具体的目標

(2)取り出し装置設置のための要素技術開発	
・原子炉建屋内構造物(PCV穴あけ)	フルスケールの模擬干渉物を製作し、干渉物の基本的な撤去手順及び方法などについて実現性が確認できていること。 (終了時目標TRL:レベル4)
・各アクセス共通での干渉物 (炉底部、ペDESTAL内機器)	フルスケールの模擬干渉物を製作し、干渉物の基本的な撤去手順及び方法などについて実現性が確認できていること。 (終了時目標TRL:レベル4)
・ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認	ロボットアームとアクセスレールの組み合わせによる動作を模擬し、燃料デブリ/干渉物の撤去に係る基本的な動作の成立性が確認できていること。 (終了時目標TRL:レベル4)
(3)燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発	
・保守方法の検討	燃料デブリ取り出し作業に関する主な機器及び装置の配置案と動線について概念的な検討がなされていること。 燃料デブリを取り扱う機器・装置に関する保守方法について基本的な実現性の評価、課題の抽出及び対応方針が示されていること。 (終了時目標TRL:レベル3)

用語説明(1/2)

No.	用語	説明
1	1F	福島第一原子力発電所
2	PCV	原子炉格納容器
3	RPV	原子炉圧力容器
4	CRD	制御棒駆動機構
5	オペフロ	オペレーティングフロア
6	DSP	機器貯蔵プール
7	SFP	使用済燃料プール
8	X-6ペネ	PCV配管貫通部の一つ
9	S/C	サブプレッションチェンバー
10	ジェットデフ	ジェットデフレクター
11	インフレートシール	膨張性のシール材
12	セルアダプタ	PCVとセルを繋ぐピースのこと
13	M/U体	モックアップ体
14	BSW	生体遮へい壁
15	MCCI	熔融炉心-コンクリート相互作用
16	UC	ユニット缶(燃料デブリを入れる容器)
17	AWJ	アブレイシブウォータージェット
18	HVH	空調ユニット
19	マテハン	マテリアル・ハンドリング

用語説明(2/2)

No.	用語	説明
1	TRL7	実用化が完了している段階。
2	TRL6	現場での実証を行う段階。
3	TRL5	実機ベースのプロト機を製作し、工場等で模擬環境下での実証を行う段階。
4	TRL4	開発、エンジニアリングのプロセスとして、試作レベルの機能試験を実施する段階。
5	TRL3	従来経験に応用、組合せによる開発、エンジニアリングを進めている段階。または、従来経験のほとんど無い領域で基礎データに基づき開発、エンジニアリングを進めている段階。
6	TRL2	従来経験として適用できるものがほとんど無い領域の開発、エンジニアリングを実施し、要求仕様を設定する作業をしている段階。
7	TRL1	開発、エンジニアリングの対象について、基本的内容を明確化している段階。