

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29年度成果報告

平成30年4月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)

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・炉内構造物に取り出し工法・技術の選定・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. 前年度(平成27~28年度)実施した事業の実績

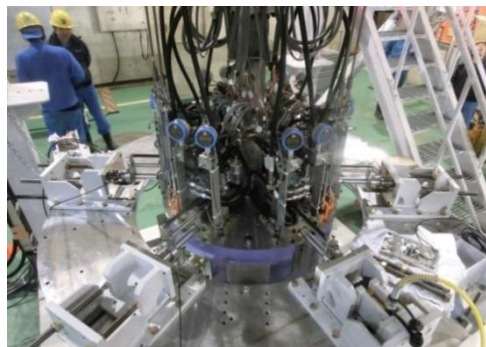
No.2

開発した基盤技術の適用例(1/3)

工法の例



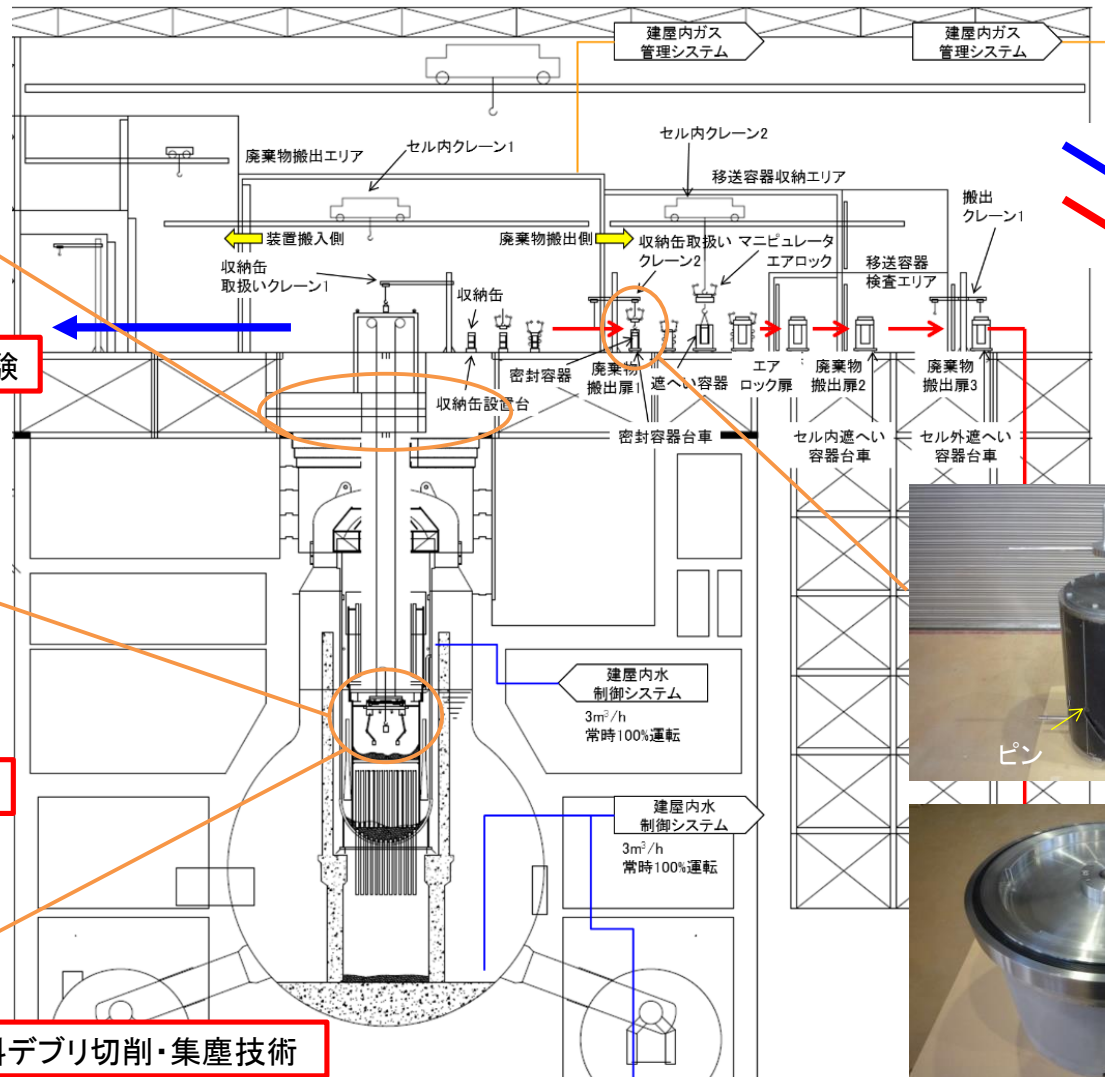
○プラットフォーム／セルに関する試験



○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

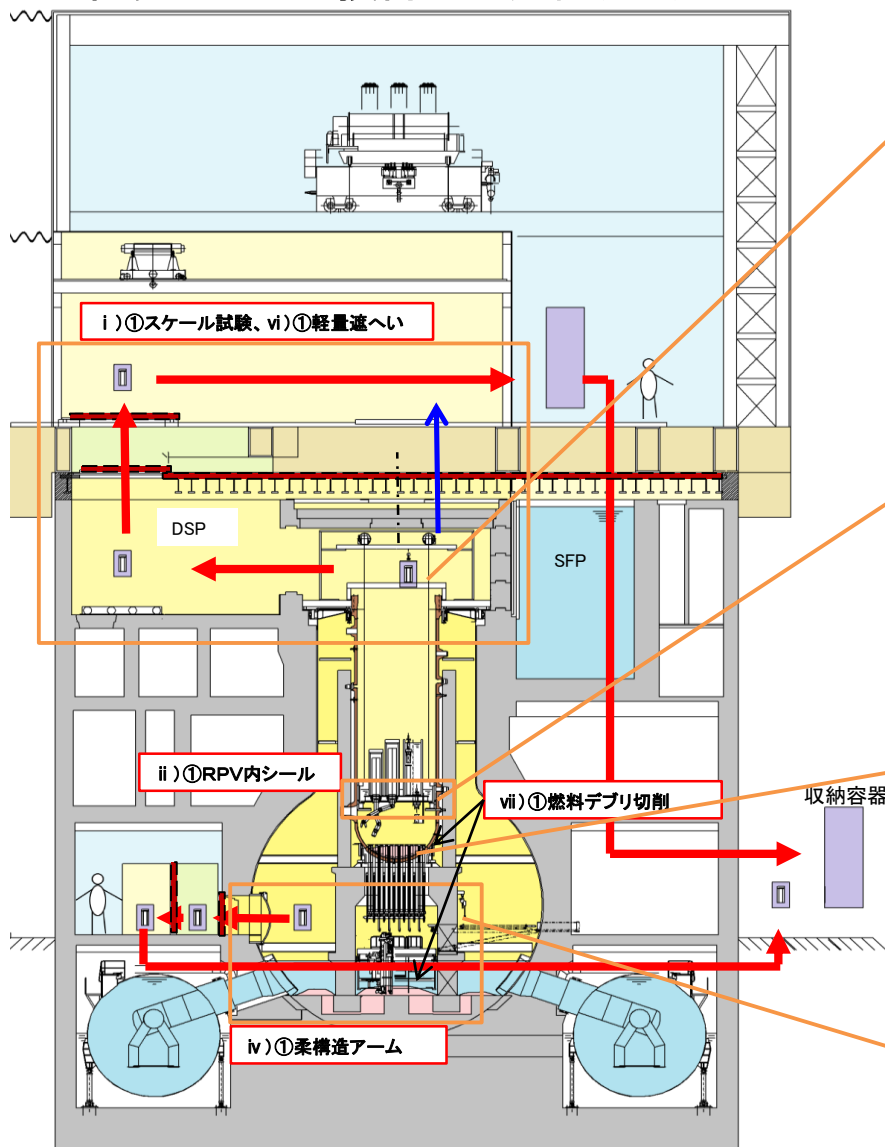


○収納缶取扱い装置に関する試験

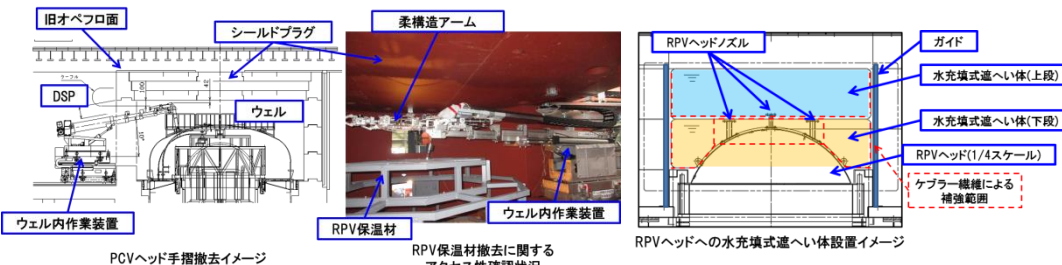
これは一例であり、今後見直す可能性あり。工法を見直した場合でも適用可能なように、コンセプトレベルの技術課題に対して要素試験を実施した。

2. 前年度(平成27~28年度)実施した事業の実績

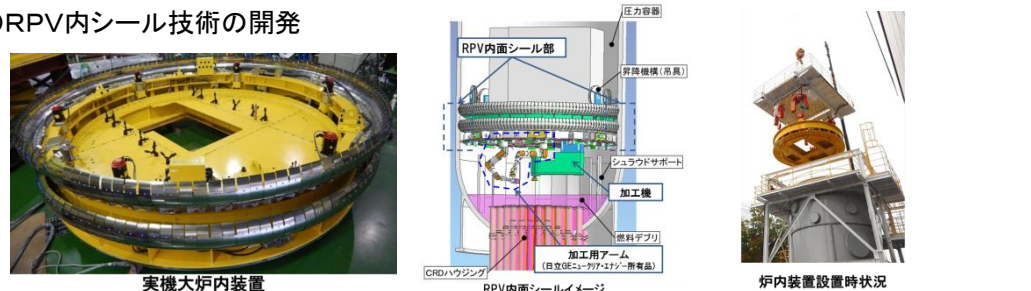
開発した基盤技術の適用例(2/3)



○スケール試験、軽量遮へいの開発



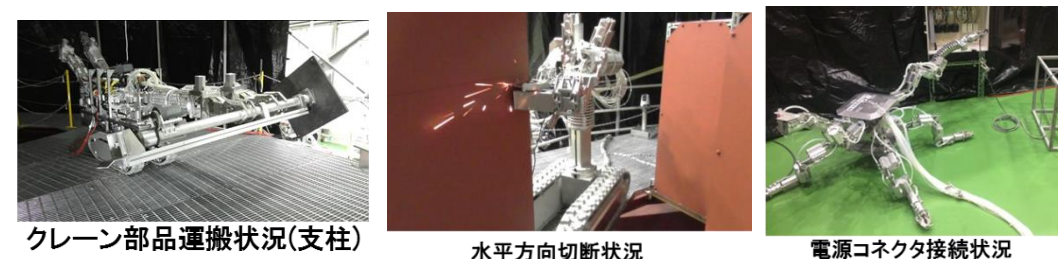
○RPV内シール技術の開発



○燃料デブリ切削技術の開発

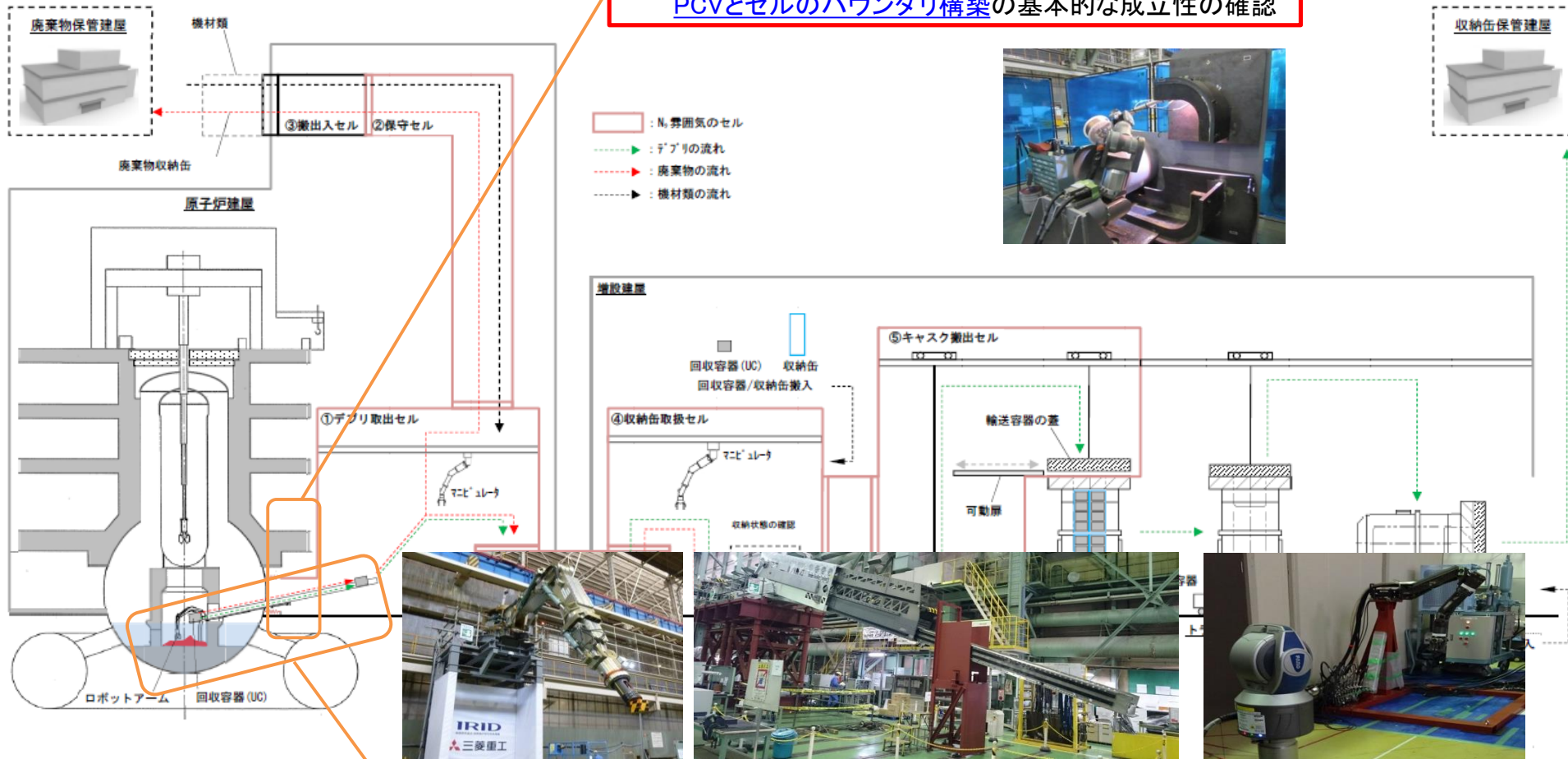


○柔構造アームの開発(気中-横アクセス工法)



2. 前年度(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

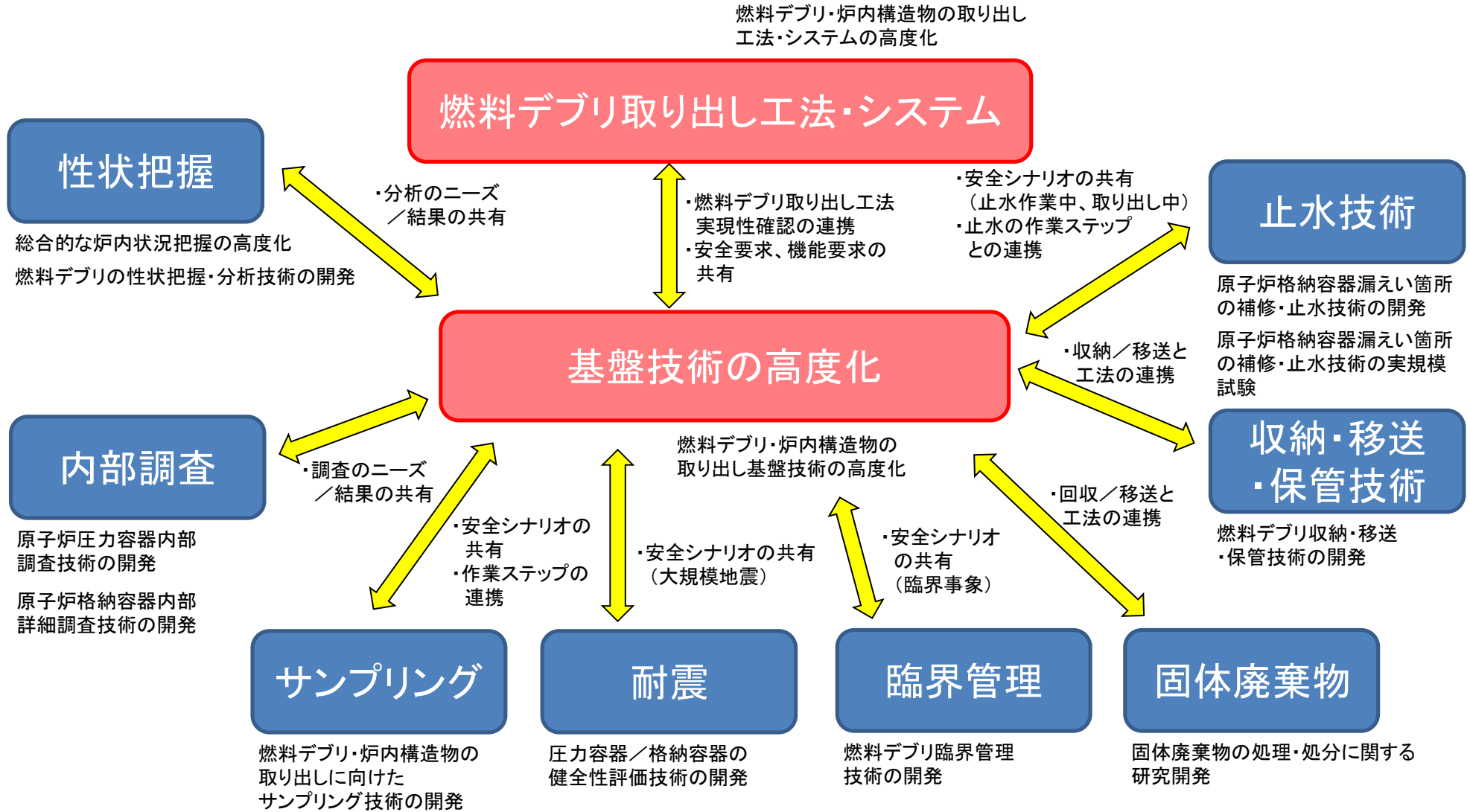


○ ペDESTAL内アクセス装置に関する試験
ロボットアームとアクセスレールの基本的な成立性の確認

○ 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

3. 本事業の概要

3.1 他事業との連携



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で進めること。
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。
- 回収技術、切削・集塵技術等の工法に依らない共通技術も、“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”を想定した条件に軸足をおいて検討・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

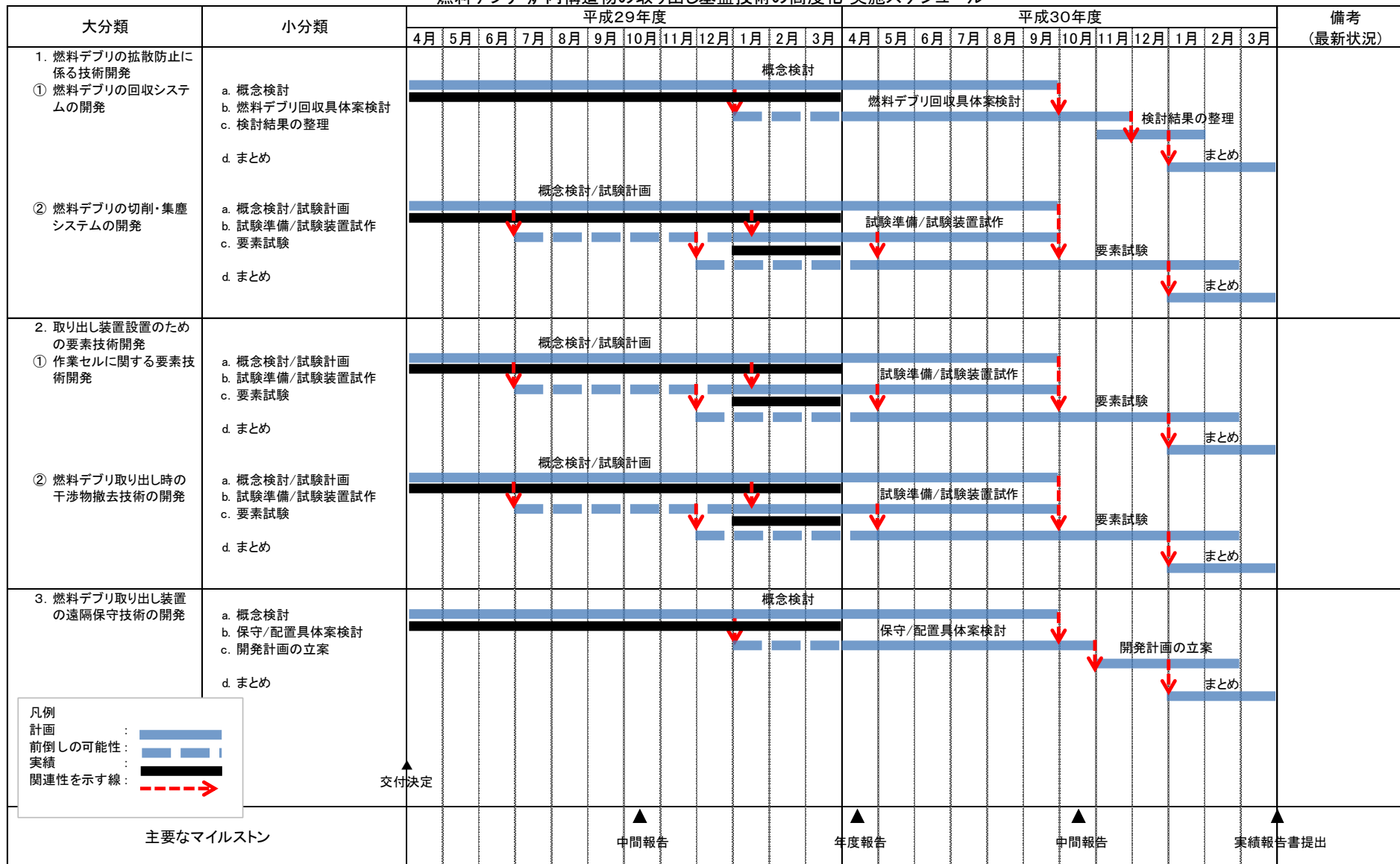
3.2 基盤技術開発の基本方針

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.12～
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.37～
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.53～
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.61～
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.94～
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.174～

4. 本事業の実施スケジュール

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



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。

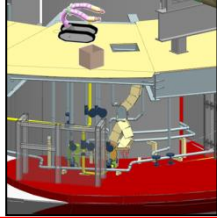
3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

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。

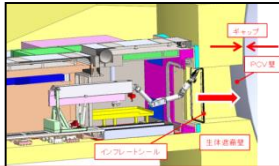
6. 本事業の実施内容

6.1 開発計画

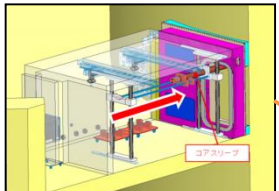
本事業において検討する実施項目案を示す。詳細な実施内容は、次紙以降に示す。



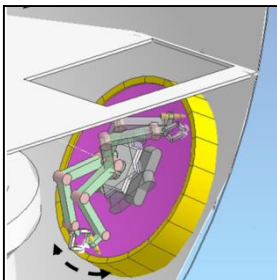
横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法



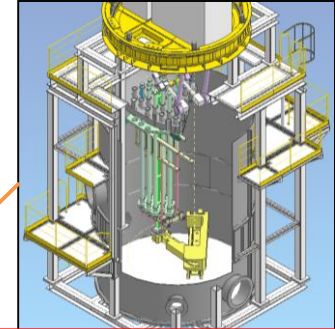
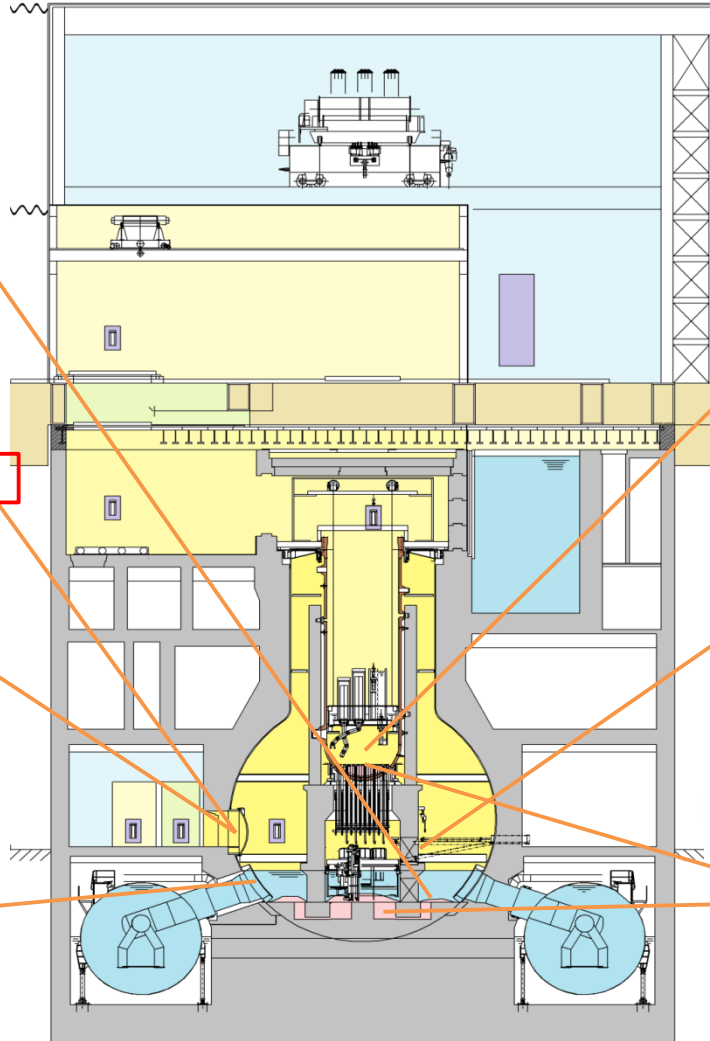
作業セルシール方法(インフレーションシール)



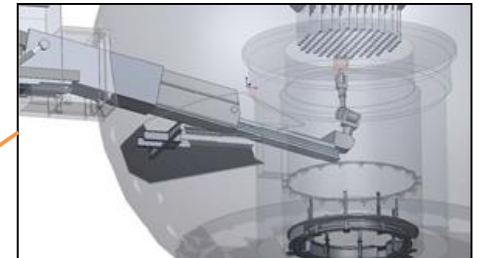
生体遮へい壁穴開け



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)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に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中。
- 上記の整理結果に基づき吸引、把持手段を検討中。

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。

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を確認中。

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。

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(塊、粒、粉デブリの割合)
 - 粒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

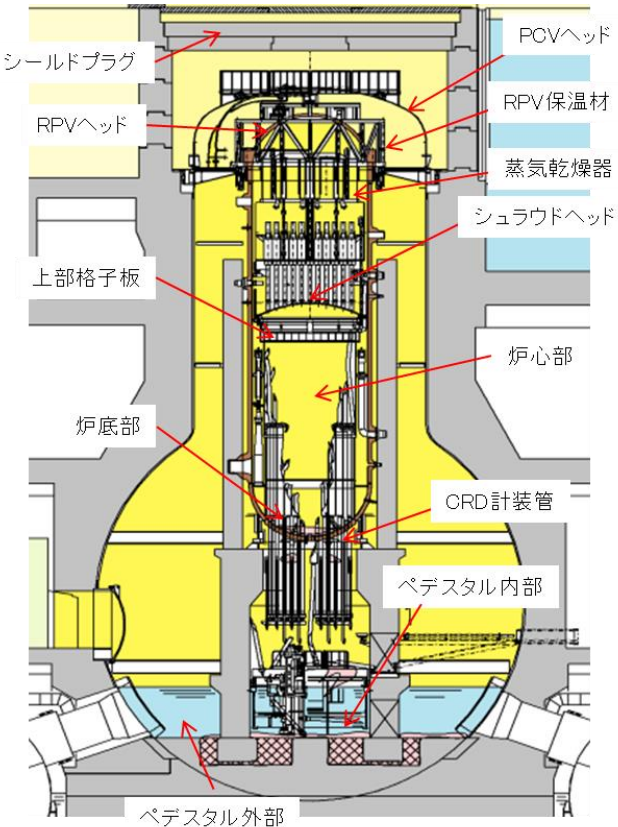
6.2 実施内容

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

○燃料デブリ性状、量の具体化設定として1号機の燃料デブリの分布と性状について整理中。



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	(U,Zr)O2 (Zr,U)O2
		塊状	クラスト部にはZr金属やZrBが存在し、硬く塑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)O2,(Zr,U)O2 Zr(O),Fe
3	CRD/計装管	構造物十付着燃料デブリ	管内部の隙間や外面に燃料デブリが付着して存在	圧力容器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進行時クラスト破損、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	(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	(U,Zr)O2, (U,Zr) SiO2
		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

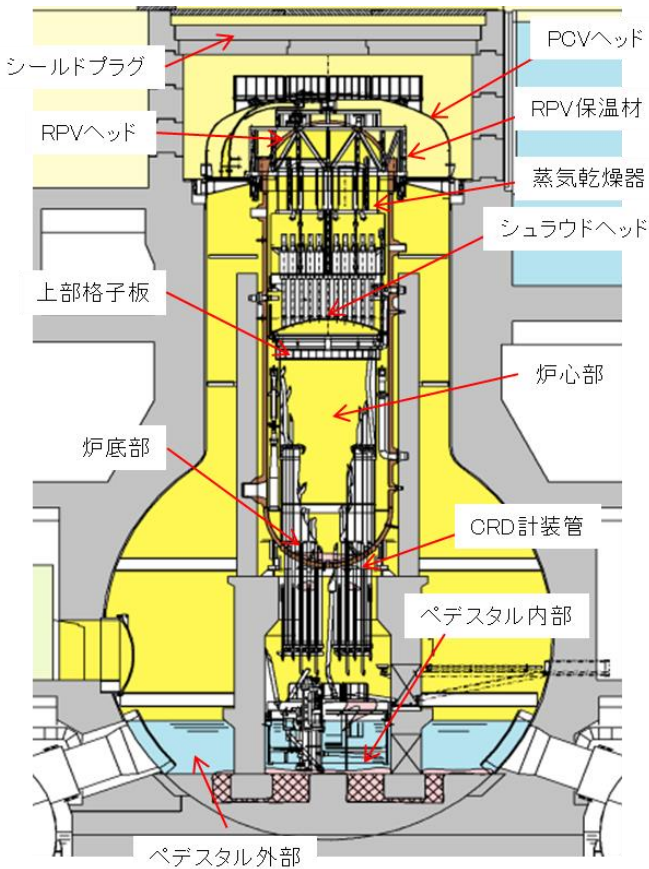
6.2 実施内容

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

○燃料デブリ性状、量の具体化設定として2号機の燃料デブリの分布と性状について整理中。



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 外周部はCRGTが解けずに残る	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)	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	圧力容器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	ペ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	サンプルピットでは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 サンプルピットにてMCCI形成の可能性		厚さ 15cm	UO ₂ ,Zr(O) (U,Zr)O ₂ , Fe (U,Zr)SiO ₂	
5	ペDESTAL外	粉状、小石状	ペ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	ペ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	ペDESTALから流出したコリウムが コンクリートと反応・凝固 金属成分やが多い	ペDESTALから流出したコリウムが コンクリートと反応・凝固 金属成分やが多い		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

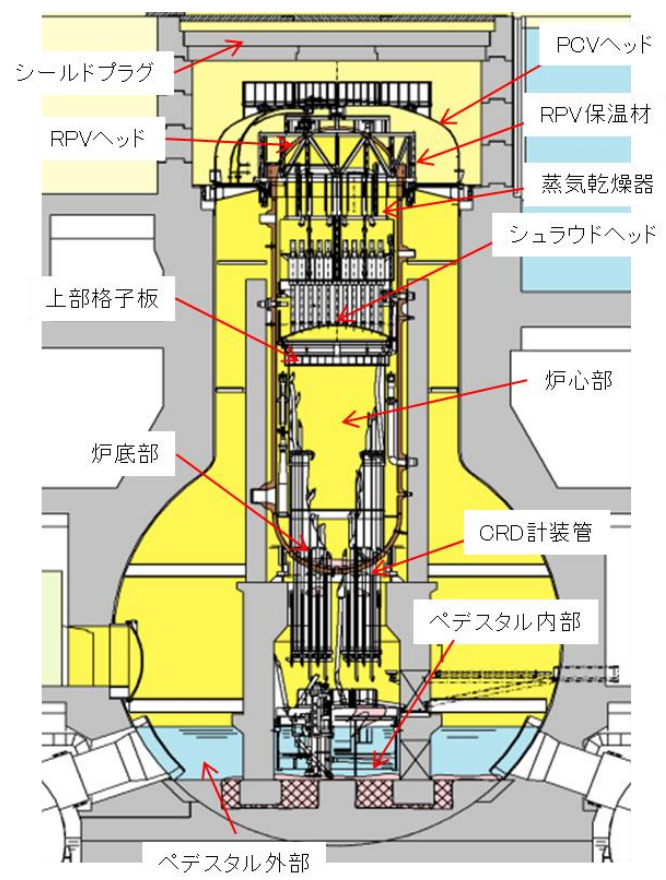
6.2 実施内容

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

○燃料デブリ性状、量の具体化設定として3号機の燃料デブリの分布と性状について整理中。



No.	分布位置	性状	主な状態	特徴	燃料デブリ物性		
					質量[t]	寸法	
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	(U,Zr)O ₂ (Zr,U)O ₂
		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	圧力容器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	ペ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 サンプビットでは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 サンプビットにてMCCI形成の可能性		厚さ 15cm	UO ₂ ,Zr(O) (U,Zr)O ₂ , Fe (U,Zr)SiO ₂
5	ペDESTAL外	粉状、小石状	ペ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	ペ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		ペDESTALから流出したコリウムがコンクリートと反応・凝固 金属成分や多い		侵食量 ~0.20m	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

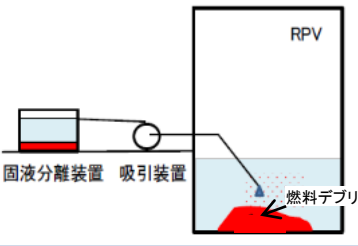
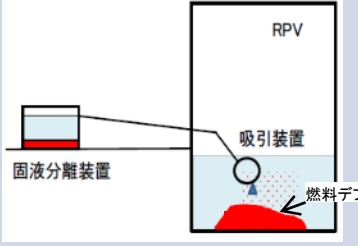
① 燃料デブリの回収システムの開発

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 燃料デブリの吸引前提条件の整理

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

- ① 回収燃料デブリ粒径 φ 0.1 ~ φ 10mm
- ② 吸引燃料デブリ比重 比重 2 ~ 11
- ③ 燃料デブリ吸引流速 2m/sec
- ④ 燃料デブリ吸引揚程 約5m: 保守側に2号機を想定
- ⑤ システム設置場所 設置スペース、機器の交換およびメンテナンス性を考慮

	床上吸引		水中からの汲み上げ	
イメージ図				
適用性/備考	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ロボットアーム上の設置スペース最小 ・ロボットアームの荷重制限に影響なし 	△	<ul style="list-style-type: none"> ・PCV内へのポンプ搬入困難 (故障時の対応困難) ・ロボットアームの荷重制限に影響あり

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

○ 燃料デブリの吸引回収方法の検討

粉燃料デブリ・粒燃料デブリの吸引回収システムの具体化検討の前段階として、適用機器(フィルタ、ポンプ)の技術マッピング作業を実施した。

なお、フィルタの技術マッピング実施にあたり、

- ① 比重差を利用した分離方法
 - ② 粒子サイズ差を利用した分離方法
 - ③ 化学的性質を利用した分離方法他
- に分けて実施した。

ポンプについては、

- ① 非容積形(ターボ形)ポンプ
 - ② 容積形ポンプ
 - ③ その他
- に分けて実施した。

6. 本事業の実施内容

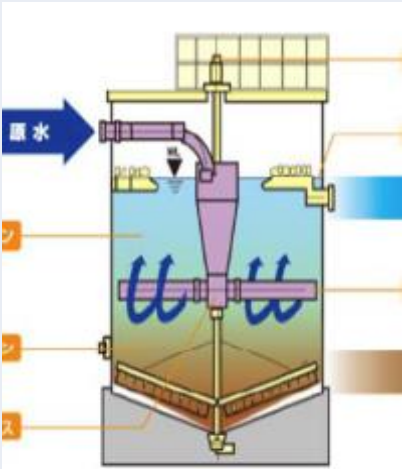
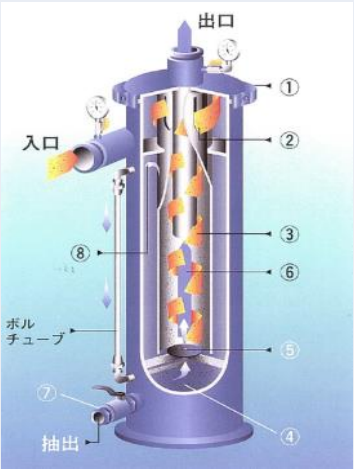
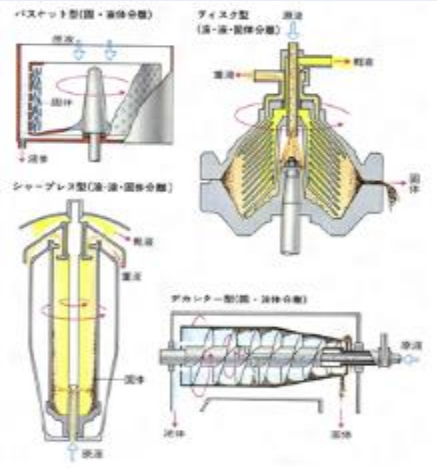
6.2 実施内容

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

a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

フィルタ技術マッピング: ① 比重差を利用するもの

種類	沈降分離機	液体サイクロン	遠心分離機(脱水機)
原理・特徴	<p>タンク内の滞留中に比重差により粒子を沈降させて分離、上澄みを処理水として排出するもの。 槽内に構造物を設けて分離効率を高めたものもある。粒子サイズ適用範囲が大きい事が特徴であり、更に凝集剤の添加により微粒子の分離性能を向上させることが多い。</p>	<p>装置内を流れる流体に旋回流を与え、遠心力により粒子と水を分離するもの。 構造が単純である。 比重の大きい方が効率が良い。</p>	<p>ローターを高速回転させ、強力な遠心力を与えて、粒子と水を分離する。 粒子の排出機構など構造が複雑になりやすい。</p>
略図			
主な用途等	<p>上下水道、一般産業排水のSS分離に広く適用されている。</p>	<p>一般産業排水処理に適用されているが、最近では下水処理への適用が進められている(最初沈殿池の代替)。</p>	<p>生産設備での固液分離へ適用されている。</p>
適用性/備考	<p>△ 凝集剤により2次廃棄物量が増える。駆動部が多く、メンテナンス性が悪い。</p>	<p>○ 駆動部が少なく、メンテナンス性に優れる</p>	<p>× 駆動部が多く、構造が複雑。メンテナンス性が悪い。</p>

6. 本事業の実施内容



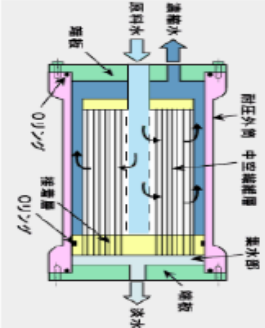
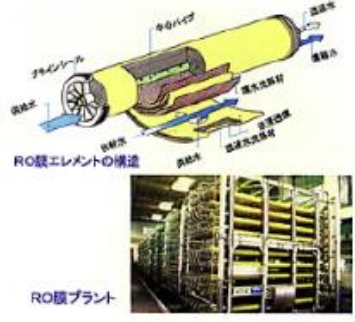
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

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

フィルタ技術マッピング: ② 粒子の大きさを利用するもの

種類	砂ろ過・メディアフィルター	オートストレーナー	MF/UF膜分離	RO膜分離
原理・特徴	<p>充填物を充填した槽内に通水し、充填物の隙間で粒子を捕捉する。逆洗により捕捉した粒子を分離回収する。 高压で通水するものもある。 使用する充填物が砂、アンスラサイトの場合は砂ろ過塔、高分子材料の場合はメディアフィルターと呼ぶ。</p>	<p>スクリーンを内蔵した槽内に旋回流を与え、クロスフローで粒子を分離する。旋回流によってスクリーンの表面が洗浄され、閉塞を防止する。 スクリーンの目開きを変えることで分離する粒子サイズを変更することが可能。</p>	<p>多孔質な膜の一方から通水し、膜を透過した水を回収する。孔径より大きな粒子は膜で阻止され分離する。 有機膜と無機膜がある。</p>	<p>水分子を透過する膜に一方から高压で通水することで、水分子のみを透過させて水を回収する。溶解している分子を分離することができる。</p>
略図				
主な用途等	<p>砂ろ過塔は上下水道、一般産業排水のSS分離(低濃度)に広く適用されている。</p>	<p>発電所の海水取水システムに適用されている。 1F滞留水処理装置への適用実績あり。</p>	<p>有機膜の処理装置は一般産業排水、発電所排水に適用されている。 無機膜は1F(ALPS)に適用されている。</p>	<p>海水淡水化装置として広く適用されている。 1F冷却水の脱塩装置に適用されている。</p>
適用性/備考	<p>△ 駆動部が少ない反面、メディア交換で2次廃棄物量が増える。</p>	<p>○ 駆動部が少なく、メンテナンス性に優れる。</p>	<p>△ 駆動部が少なく、微粒子まで捕捉できる。 無機膜の場合は耐放性がある。</p>	<p>× 駆動部が少なく、微粒子(イオン)まで捕捉できる。粒子除去としては過剰仕様。 有機膜のため、耐放性に課題がある。</p>

6. 本事業の実施内容


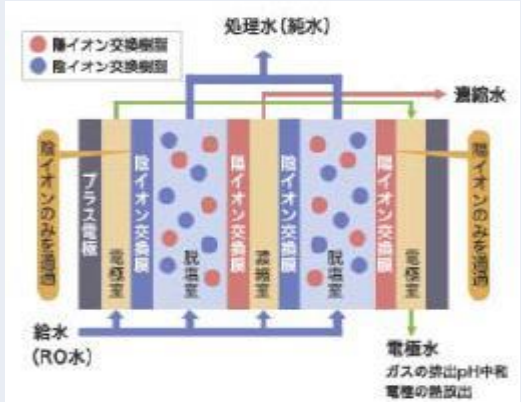
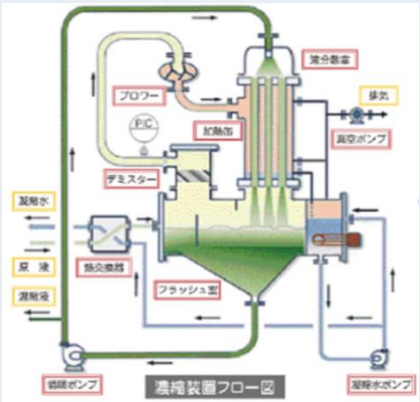
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

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

フィルタ技術マッピング: ③ 化学的性質を利用するもの他

種類	吸着塔	電気透析	蒸発濃縮装置
原理・特徴	<p>吸着剤を充填した塔内に通水し、化学的性質、電気化学的性質を利用して溶解している成分(分子、イオン)を結合させ除去する。</p> <p>吸着剤として、活性炭(有機物)、イオン交換樹脂(陽イオン、陰イオン)、キレート樹脂(重金属)、ゼオライト(セシウム等)、タンニン酸、等、目的に応じて使用する剤が異なる。</p>	<p>イオン交換膜を介した装置内の両側に電極を配し、通電することで、液中のイオンを移動させて分離・濃縮する。</p>	<p>水を蒸発させて濃縮水とし清澄な蒸留水を得る。通常の常圧式と減圧式がある。</p>
略図			
主な用途等	給水処理、排水処理への適用事例は多い。	廃液からの酸・アルカリ回収などに適用されている。	原子力発電所(1F含む)の廃液処理に適用されている。
適用性/備考	<p>×</p> <p>粒子除去としては不向き。溶解性(イオン)では適用可能。 駆動部が少ないため、メンテナンス性は良い。 定期的に吸着材の交換が必要であり、2次廃棄物量が増える。</p>	<p>×</p> <p>構造が複雑で、且つ、透析膜(分離膜)は有機材のため、耐放性に課題がある。</p>	<p>×</p> <p>蒸発濃縮装置は、溶解性物質の分離(濃縮水と蒸留水)を目的としており、粒子除去としてはスラッジが蓄積し伝熱性能が低下するため不向き。 溶解性では適用可能。</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

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

フィルタ技術マッピング: ④まとめ

回収する燃料デブリ粒径を考慮し、

○比重差を利用した方法では、メンテナンス性と耐放性に優れている液体サイクロン方式の粒子分離方法が優れていると考えた。粒子サイズを利用した分離方法としては、オートストレーナーが有望と考えた。

○化学的性質を利用した手法他は、粒子除去には不向き。

○オートストレーナーは旋回流を利用していることから、液体サイクロンの一種と考えられる。燃料デブリ回収においては、液体サイクロンを候補として検討する。

表 ダスト粒子径と除去技術対応表

前提条件での粒子捕集範囲

		1nm	100nm	10μm	1mm
①	沈降分離機				
	液体サイクロン				
	遠心分離機(脱水機)				
②	砂ろ過・メディアフィルタ				
	オートストレーナー				
	MF膜				
	UF膜				
	RO分離膜				
③	吸着塔				
	電気透析				
	蒸発濃縮装置				

6. 本事業の実施内容


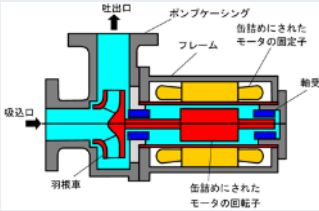
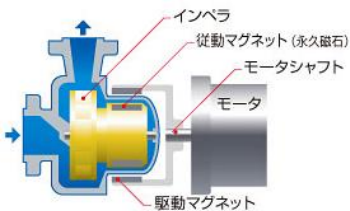
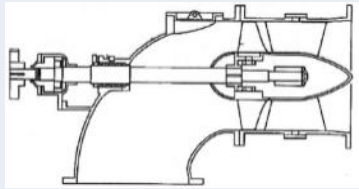
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

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

ポンプ技術マッピング: ① 非容積形(ターボ形)ポンプ

種類	渦巻きポンプ	キャンドモータポンプ	マグネットポンプ	軸流ポンプ
原理・特徴	非容積(ターボ形)ポンプの一種。羽根車(インペラー)の回転により流体に遠心力を与えて圧力を高め、流体を輸送する。ポンプとしては最も多く製作されている。	非容積(ターボ形)ポンプの一種。羽根車(インペラー)と回転子(ロータ)が同一容器内に納められ缶詰化(英語のCANに由来)されており、無漏洩であることが特徴。	非容積(ターボ形)ポンプの一種。羽根車(インペラー)と従動マグネットが同一容器内に納められ、駆動マグネットを回転することにより従動マグネットを回転させ羽根車(インペラー)を回転させる。キャンドモータと同様、無漏洩であることが特徴。	非容積(ターボ形)ポンプの一種。船のスクリューに似た形状の羽根車の回転により流体に揚力を与えて軸方向に流体を輸送する為のポンプ。遠心(渦巻き)ポンプと比較し低揚程で大容量の用途に用いられることが多い。
略図				
主な用途等	水道・下水道の送水ポンプから化学プラント用のプロセスポンプまで、多様な用途に使用されている。	無漏洩である特徴を有する事から、化学プラント等で特に漏洩が許されない溶液を輸送する場合に用いられる。マグネットポンプに比べ高压設計が可能。	無漏洩である特徴を有する事から、化学プラント等で特に漏洩が許されない溶液を輸送する場合に用いられる。	大容量の特徴を生かし、河川排水や農業灌漑に使用される例が多い。
適用性/備考	○ 多様なポンプが製作されており、土砂等を輸送する浚渫工事にも適用実績あり、異物輸送性も大きい(φ10mm以上)	△ 異物輸送性が小さい(φ2mm程度)	× キャンドポンプモータと比較し、低圧設計	× 必要な用途は高揚程、低容量であり、要求に合致しない

6. 本事業の実施内容


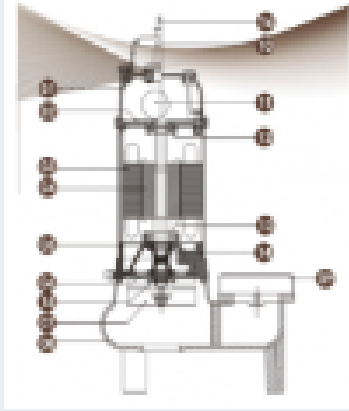

6.2 実施内容

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

ポンプ技術マッピング: ① 非容積形(ターボ形)ポンプ

種類	ハイドロターボポンプ	水中ポンプ	PAAC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。	非容積(ターボ形)ポンプの一種。 原理的に目新しいものはないが、ケーシング内部のインペラ、回転軸とその支持部は一体構造(MSU: Mobile Sub-unit)で、モータ側より交換可能な構造となっている事が特徴。 また別オプションにより遠隔交換可能。
略図			
主な用途等	食品機械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。	放射性流体を移送する目的で設計されたものであり、再処理工場等にて使用されている。
適用性/備考	△ ・異物輸送性低(φ6mm) ・RPV内へのポンプ搬入困難	△ RPV内へのポンプ搬入困難	× ・異物輸送性低(φ0.3mm) ・RPV内へのポンプ搬入困難

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

ポンプ技術マッピング: ② 容積形ポンプ

種類	ピストンポンプ	ダイヤフラムポンプ	ギヤ(歯車)ポンプ	モノポンプ (ねじポンプ)
原理・特徴	容積ポンプの一種。 ピストンの往復による容積変化により流体に圧力を与え、流体を輸送する。	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。	容積ポンプの一種。 ギヤの形をした羽根車が回転し、歯車のかみ合わせにより、流体を輸送する。	容積式ポンプの一種。 らせん状の軸(ロータ)を回転することにより、管状のケーシング(ステータ)との間の容量(キャビティ)を変化させ、流体を輸送する。
略図				
主な用途等	吐出圧を高く設定することが出来るため、高圧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。	粘度の高い流体(オイル等)の輸送に適しており、油圧用途に使われる事が多い。	食品(味噌、シロップ)、化学(エマルジョン、溶剤)、環境(汚泥、活性炭スラリー)、製紙(パルプ)等、主に高粘度の流体の輸送に使用されることが多い。
適用性/備考	× 高圧仕様は今回要求に合致しない。	△ 自吸能力は4mであり、5mに満たない。	× 異物輸送性低	× 異物輸送性低

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

ポンプ技術マッピング: ③ その他ポンプ

種類	噴射(エジェクタ)/真空ポンプ	エアリフトポンプ	サイフォン式
原理・特徴	<p>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。</p>	<p>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。</p>	<p>厳密にはポンプではない。 何らかの液体を、高い位置にある出発地点と低い位置にある目的地点を管でつないで流す際、管内が液体で満たされていれば、管の途中に出発地点より高い地点があってもポンプでくみ上げることなく流れ続ける。</p>
略図			
主な用途等	<p>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。</p>	<p>TMII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。</p>	<p>水道設備等</p>
適用性/備考	<p>△</p> <ul style="list-style-type: none"> 故障しにくくメンテナンス性が高い。 異物に対する適用性が高くコンパクトなシステムである。 	<p>△</p> <ul style="list-style-type: none"> TMIIほど水深無いため、流体駆動力小さい。 1F環境は狭窄であり取り回し困難と予想。 	<p>×</p> <ul style="list-style-type: none"> 異物輸送性に制限なし。 動的機器なし。 設備規模大。

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

ポンプ技術マッピング: ④ まとめ

○非容積形(ターボ形)ポンプでは、異物輸送性の観点から渦巻きポンプが優れていると考えた。

○容積形では、ダイヤフラムポンプが有望と考えられるものの、前提条件である揚程5mに満たない。

○ポンプに関しては、渦巻きポンプが前提条件に合致しているので、渦巻きポンプを前提として検討する。また、副案として水中ポンプ、真空ポンプについても適用を検討する。

表 燃料デブリ吸引ポンプ 評価(技術マッピングで△以上を記載)

		異物輸送性 (φ10mm以上)	吸込み揚程 (5m以上)	PCV搬入性	評価結果
①	渦巻きポンプ	○	○	○ (ホースのみ)	○ 前提条件でのポンプ要求仕様
	キャンドモータポンプ	△ (φ2mm)	○	○ (ホースのみ)	△:燃料デブリ径により適用可。
	ハイドロターボポンプ	△ (φ6mm)	—	×	△:燃料デブリ径により適用可。また、PCV搬入できれば適用可。 但しPCV内でのメンテナンス困難。
	水中ポンプ	○	—	△	△:PCV搬入できれば適用可。但しPCV内でのメンテナンス困難。
②	ダイヤフラムポンプ	○	△ (4m)	○ (ホースのみ)	△:吸込み揚程により適用可。但し脈動あり。
③	噴射(エジェクタ) 真空ポンプ	○	○	△	△:PCV搬入できれば適用可。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

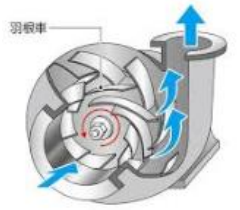
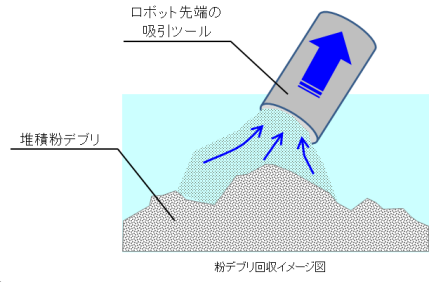
1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

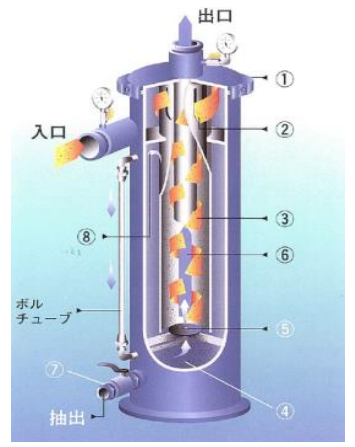
a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段

○ 粉燃料デブリ吸引回収方法の具体化の例

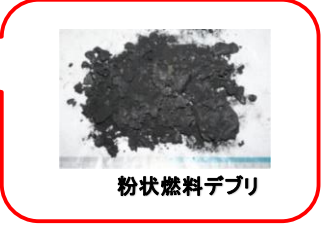
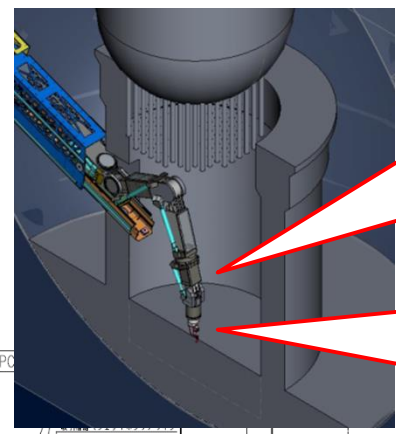
- 各想定構成機器の組み合わせによる粉燃料デブリの吸引回収システムを具体化検討中。
- PCV内での粉燃料デブリの吸引機構から、粉燃料デブリの分離・回収、収納缶への収納、搬出までを範囲とする。
- 想定した粉燃料デブリの吸引回収システムから、今後の検討課題を抽出する。



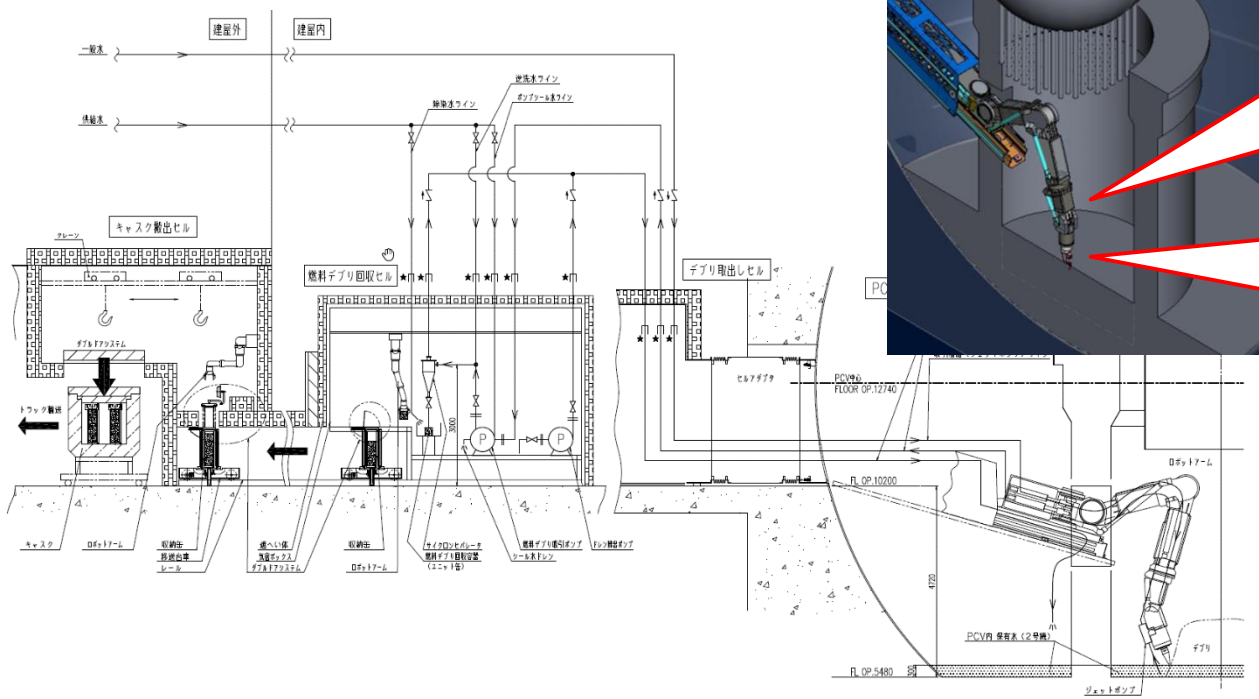
燃料デブリ吸引ポンプ (渦巻きポンプ)



燃料デブリ分離機 (サイクロンセパレータ)



粉状燃料デブリ



6. 本事業の実施内容

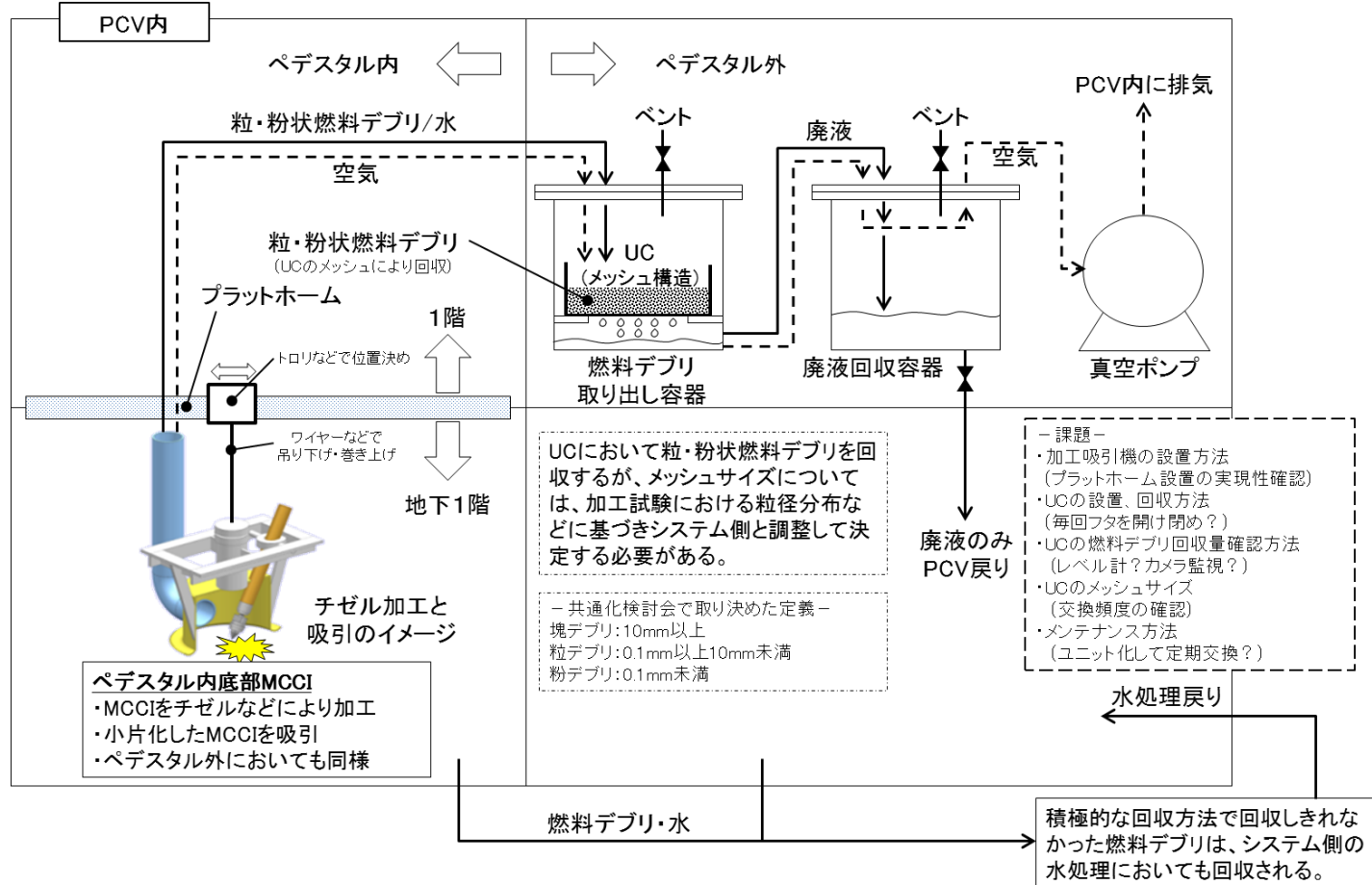
6.2 実施内容

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

○ 粒デブリ吸引回収工法の実例



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

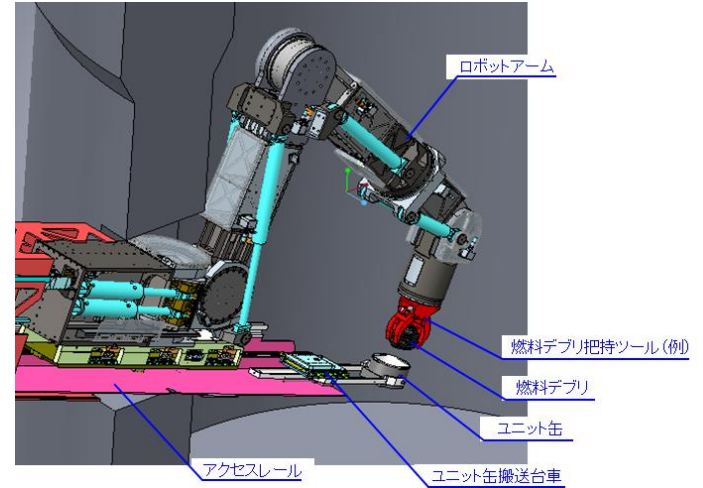
1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

① 燃料デブリの回収システムの開発

b. 燃料デブリのユニット缶収納方法

○ 燃料デブリの把持回収方法・ユニット缶収納方法の検討

- 加工した燃料デブリを、把持しユニット缶に収納回収する作業手順と必要となる回収機構を検討中。
- 燃料デブリの加工方法も考慮しつつ、大きな塊燃料デブリは掴む方式、小さな塊燃料デブリは掬う方式を検討中。
- ユニット缶に適量を収納する方法についても検討中。



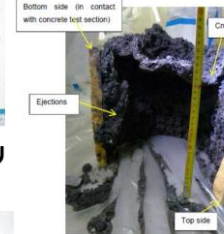
燃料デブリ回収ツールの例



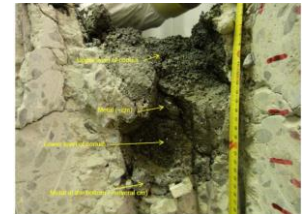
小石状燃料デブリ



粉状燃料デブリ



クラスト



塊状MCCI

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)

- 燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発プロジェクトにて未臨界性維持及び水分の放射線分解に伴う水素発生による水素爆発防止(水素発生量の低減)、腐食抑制等の観点から、燃料デブリ及び収納缶に残留する水分の影響を検討中。
- 今後、同プロジェクトからの水分調整方法に関する要求条件を調整のうえ、概念検討を実施予定。

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

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

- 燃料デブリの性状が把握できていない回収開始後の初期段階では、燃料デブリの臨界防止の観点から、 $\phi 210\text{mm}$ の収納缶を使用することが想定される。
- 従って、先ずは、 $\phi 210\text{mm}$ のユニット缶を主眼として、燃料デブリの回収搬出方法の検討を進める。
- 但し、将来、燃料デブリの臨界の可能性が無いと判断された場合、スループットの向上を意図して $\phi 400\text{mm}$ のユニット缶の適用が想定されるので、 $\phi 400\text{mm}$ のユニット缶の適用も考慮に入れる。

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

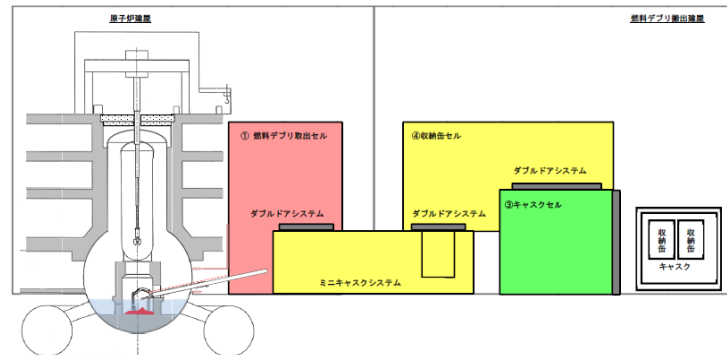
d. ユニット缶の収納缶収納方法及び搬出方法

○ 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。



- 高汚染エリア： 燃料デブリや廃棄物を裸で取り扱う領域。
- 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。

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

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

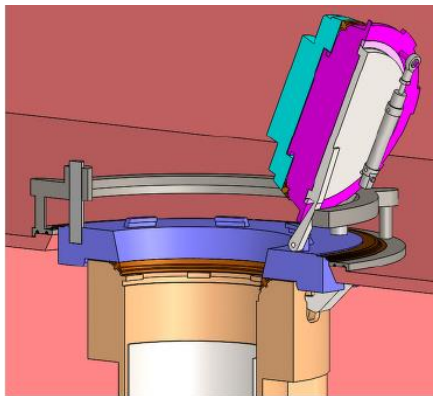
以下の点を考慮して、ユニット缶の収納缶収納方法及び搬出方法を検討中。

- 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。

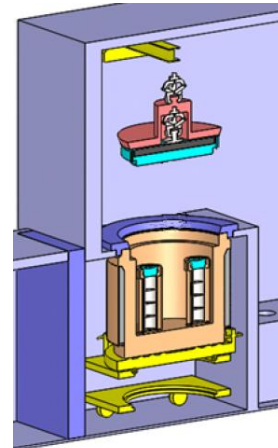
検討例:ダブルドア

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。
- ダブルドアの遠隔メンテナンスが課題。



収納缶のダブルドアの例



キャスクのダブルドアの例

注記:

ダブルドアシステムでは、容器がセルの壁または床に接続され、気密性が保持されるとともに、容器の蓋とセル側の扉が接続され、同時に開閉されます。

6. 本事業の実施内容

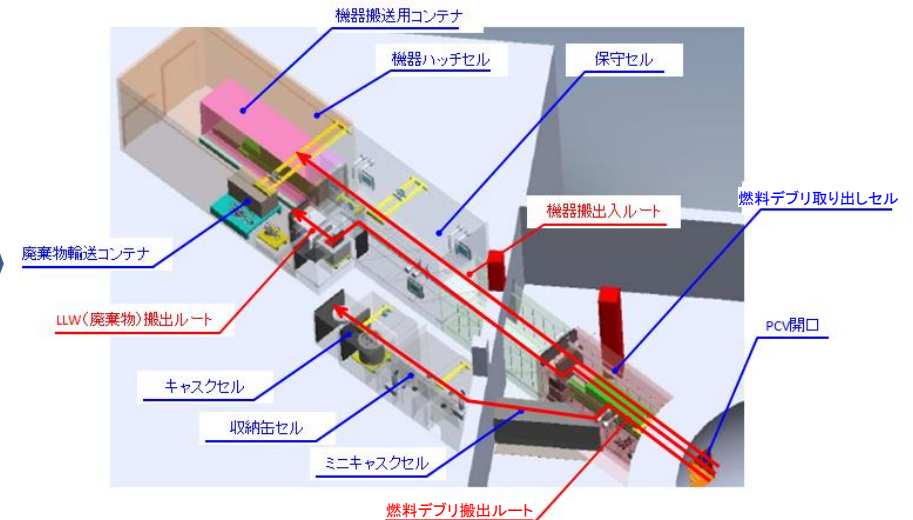
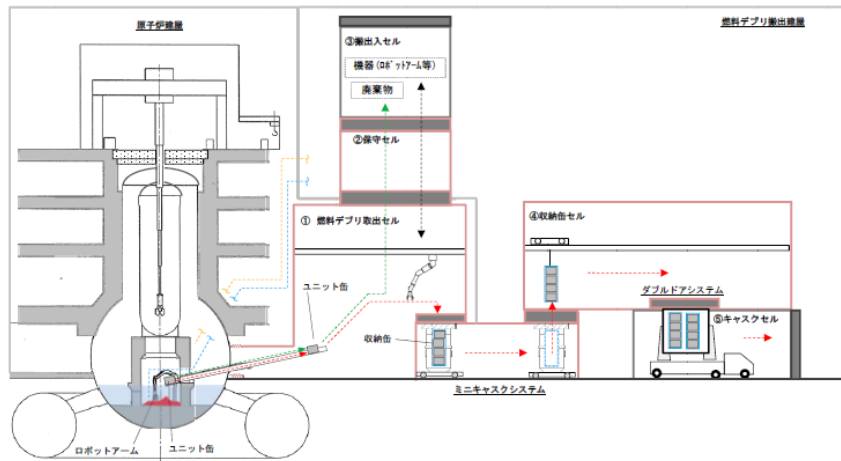
6.2 実施内容

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

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、収納缶に必要なプロセスを想定
 - ・ ユニット缶の搬送、臨界計測、汚染計測、ユニット缶の収納、収納缶の搬送等
- ユニット缶、収納缶の搬送に必要な搬送機器を具体化
 - ・ クレーン、搬送台車、遮へい扉、ダブルドア、除染装置等
- ユニット缶、収納缶の搬送プロセスを具体化し、設備のレイアウトに展開
- ユニット缶、収納缶の搬送の各プロセスに係る時間を計算し、最終的には、燃料デブリ搬出のスループットを算出
 - ・ スループットの改善方法も検討
 - ・ $\Phi 400\text{mm}$ のユニット缶の効果についても比較検討



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
- 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・検討中。
- 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、加工要素試験を計画中。

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燃料デブリ、汚染構造物模擬試験体の仕様について検討中。

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中。
- 加工要素試験時の切りくず・ダスト回収方法及び回収した切りくず・ダストの分析方法については、今後調整する。

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

● 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。
- スループット評価を具体化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*1	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、圧力容器、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内の狭あい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	○	△	○	○	○	△	○	○	○ 済み
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	△	△	○	○	○	△	○	○	○ 未 ←
油圧カッター	△	○	○	○	○	△	○	○	○
チゼル	△	○	○	○	○	○	○	○	○ 未 ←
AWJ	△	△	○	○	○	×	×	○	○ 済み
レーザガウジング	○	△	○	△	△*1	△	×	○	○ 済み
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	○	△	○	○	×	△	×	△	

まだ要素試験を実施していない加工法について、PCV底部のMCCIデブリの加工の観点で加工法を選定

*1: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

● チゼル加工の特徴など

- 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。
- 広く一般的に普及している加工方法。
- 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、筋肉ロボットとチゼル加工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。

- ✓ 燃料デブリのうち相当な割合を占める可能性のあるMCCI生成物の回収効率向上。
- ✓ MCCIIに対する加工速度の高い加工方法の実現性の確認。
- ✓ 加工片の集塵技術に関する実現性の確認。
- ✓ 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。そのため、加工速度が高い加工方法の実現性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に対する基本的な加工方法の実現性。
- スループットの具体化。
- MCCI加工廃液の粒径分布結果。
- MCCI加工に対する課題。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

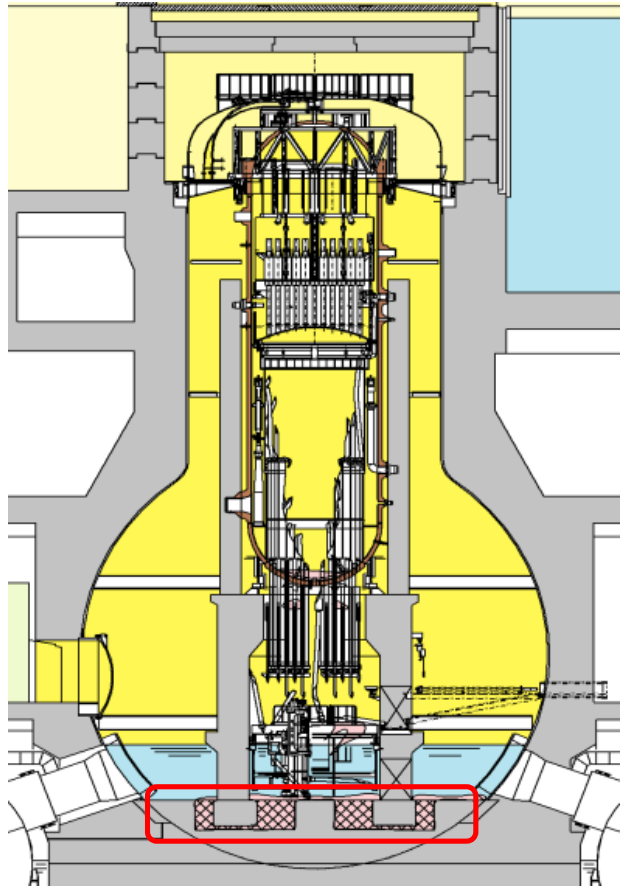
1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

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 (未熔融破損燃料)	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、硬く靱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	圧力容器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
ベデスタル内	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
ベデスタル外	MCCI/粉状、小石状	ベデスタル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	ベデスタル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		ベデスタル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

模擬MCCI試験体(日立GEニュークリア・エネルギー提供品)に対し、チゼル加工を実施した。予備試験結果に基づきチゼル加工試験計画および試験装置を計画中。

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

(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する。

✓ 超音波コアボーリングの特徴

- 一般的なコアボーリングに比べて反力が小さい。
(前年度の要素試験(ビット径φ66mm)では最大1.5tonを負荷)
- 惑星探査用に開発。様々な硬い性状の対象物に対して実績あり。
- 小型・軽量

● 解決すべき課題

➤ 超音波コアボーリングの燃料デブリ加工への適用性の確認が必要。

- ✓ 金属を含む対象物(一部に極めて硬い性状が推定される)の加工性(加工速度)
- ✓ 加工廃液中の二次生成物の粒径分布
- ✓ ロバスト性(一般的な使用方法は、対象物の性状に応じてビット、超音波(ノ音波)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)
- ✓ 右図はビット径φ3mm程度であり、高効率化のためにコアビットの大口径化が必要



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

● 開発の進め方

- 1F燃料デブリへの適用性が未知なため、フェーズを分けて開発
 - ✓ フェーズ1: 机上検討による適用性評価と試験計画立案
 - ✓ フェーズ2: 要素試験による適用性評価
 - ✓ フェーズ3: プロトタイプ試験
- 次フェーズに移る前に、有識者によるレビュー等を受審

● 得られる成果

- 金属を含む対象物に対する加工条件・加工性能(加工速度) →スループット評価の具体化
- 加工廃液中の粒径分布結果 →システムPJへのインプット
- 加工に対する課題 →1F実機への適用性／開発課題

● 開発目標

- 加工速度
 - ✓ ペDESTAL底部の模擬MCCIを対象とした加工試験において30kg/h以上(1日10時間作業として300kg/日が達成可能な値)の加工量が確保できることを最終目標とする。
 - ✓ フェーズ2の要素試験にて最終目標の実現性、拡張性を確認する。
- 加工ツール質量
 - ✓ ロボットなどによる遠隔での取り扱い性を考慮し、加工ツールの質量は、50kg以下を目標とする。

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

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

● 試験条件

➤ 試験片(計画):

✓ 単体試験片、及び単体試験片の組合せ

材質	硬さ
ステンレス	1.5 ~ 3GPa
ジルコニア (ZrO ₂)	12 ~ 14GPa
アルミナ (Al ₂ O ₃)	15 ~ 17GPa
コンクリート	—
ステンレス + ZrO ₂ or Al ₂ O ₃	—

✓ 模擬燃料デブリ(コールド)

- 対象燃料デブリは、ペDESTAL底部のMCCIとする。
- 試験片仕様は今後調整。

➤ 加工二次生成物の計測(計画):

✓ 前年度までに実施したコアボーリング試験と同様に、加工廃液中の粒径計測を計画。

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

● 試験手順及び判定基準

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

※ 判定基準/到達点は、検討の進行により変更の可能性あり。

6. 本事業の実施内容

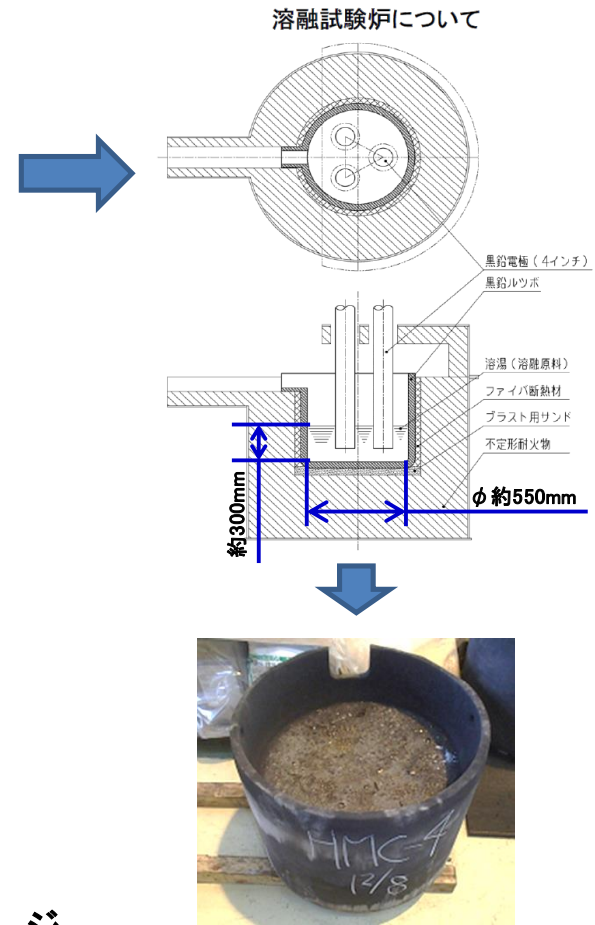
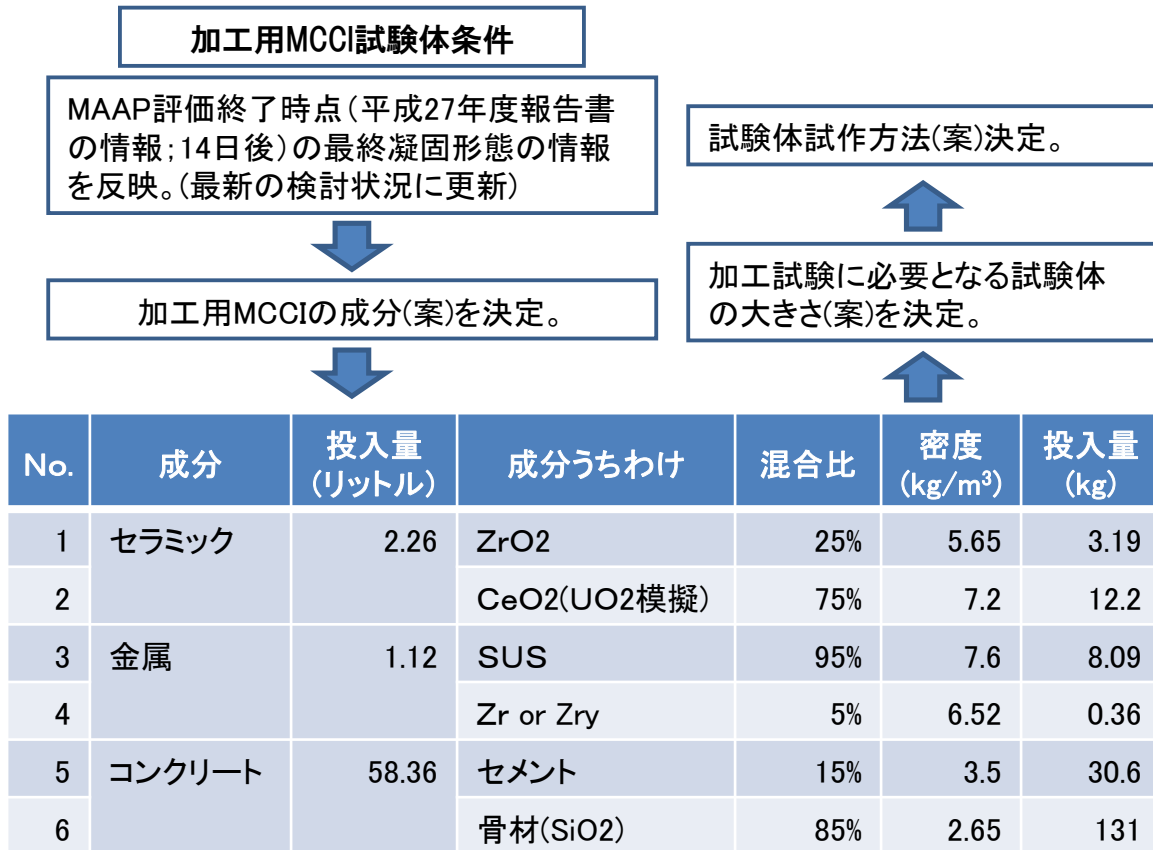
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

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

- MAAPの解析結果に基づき試験体の概念検討を実施中。[燃料デブリ性状把握PJと協力して加工用MCCI試験体を試作予定。](#)



加工用MCCI試験体試作イメージ

6. 本事業の実施内容

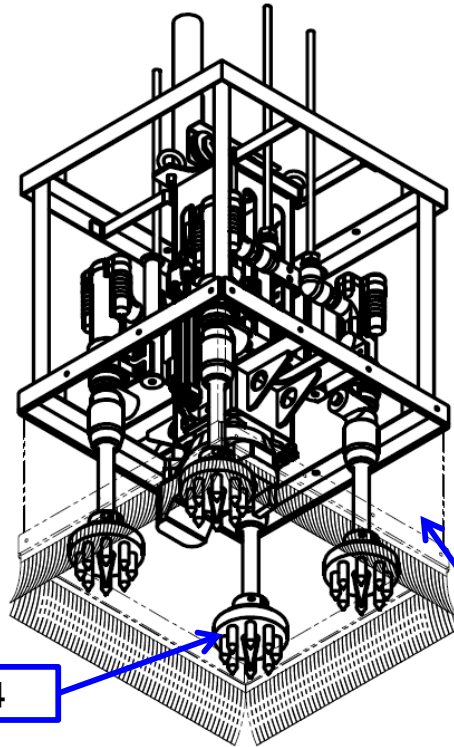
6.2 実施内容

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. 加工時の切りくずやダストの回収方法と分析

- ・ チゼル加工に関する局所回収システムを検討中。
- ・ 加工要素試験時の切りくず・ダスト回収方法及び回収した切りくず・ダストの分析方法については、今後調整する。



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。

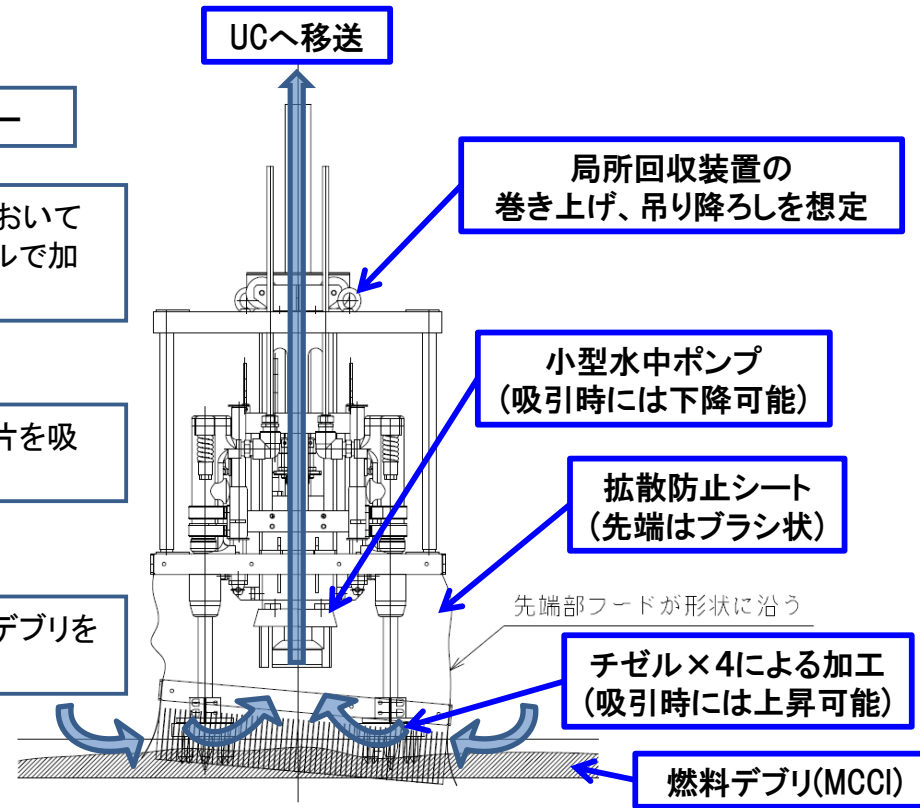


小型水中ポンプで、加工片を吸引する。



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

- 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。
- 遠隔操作による狭隘部の作業性。

● 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

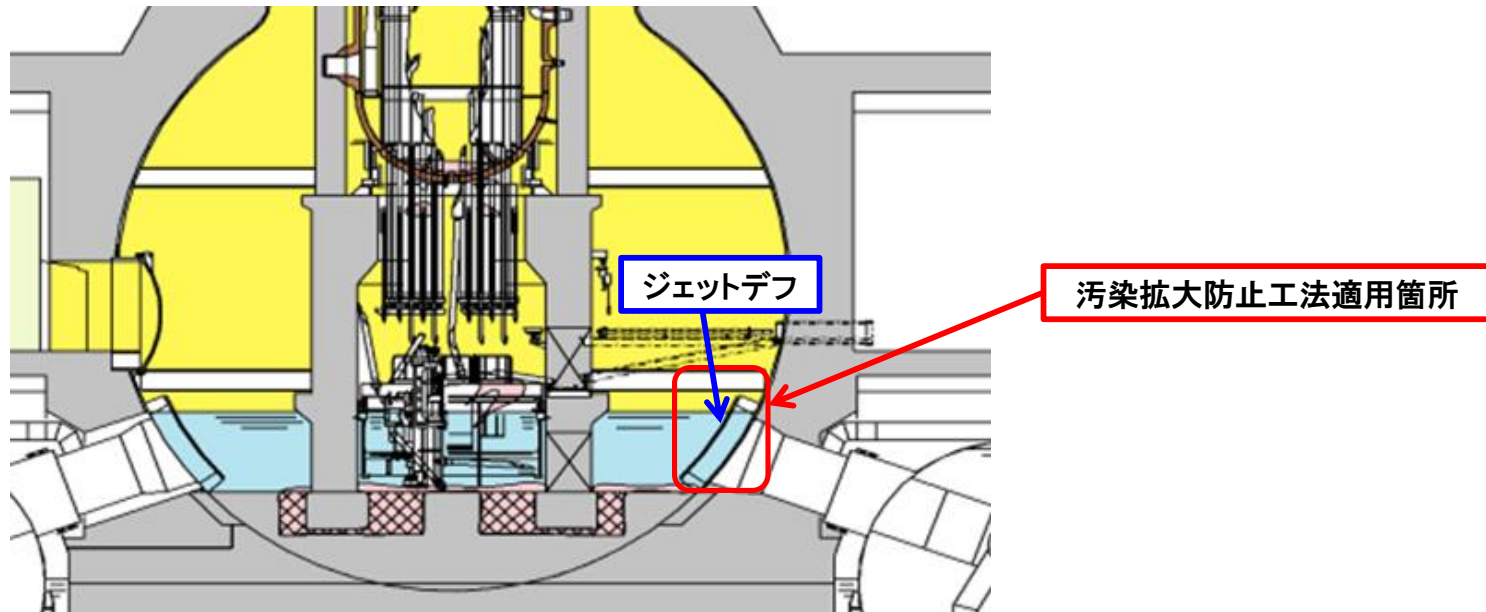
1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

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。
- 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。



6. 本事業の実施内容

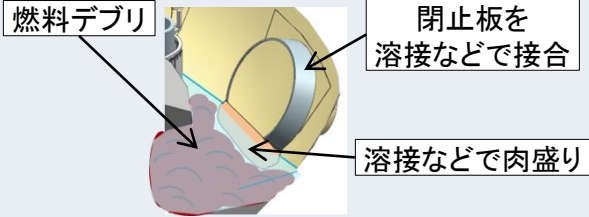
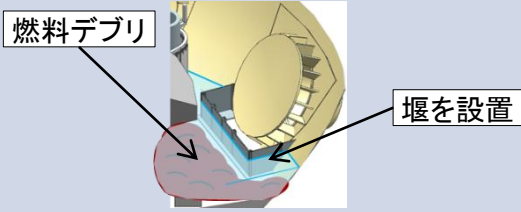
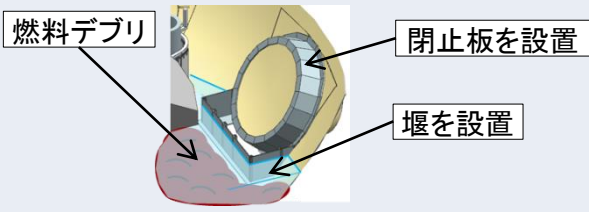
6.2 実施内容

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。今後、工法ステップなどを検討するとともに要素試験計画を立案し、工法実現性を確認する要素試験を実施する。

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

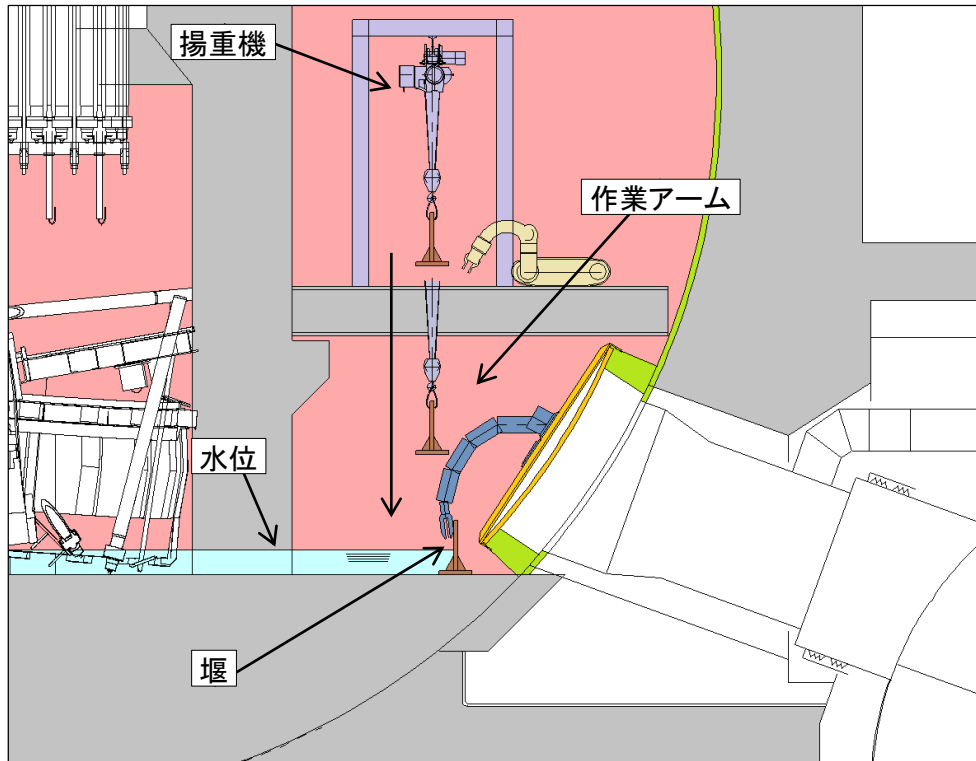
6.2 実施内容

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

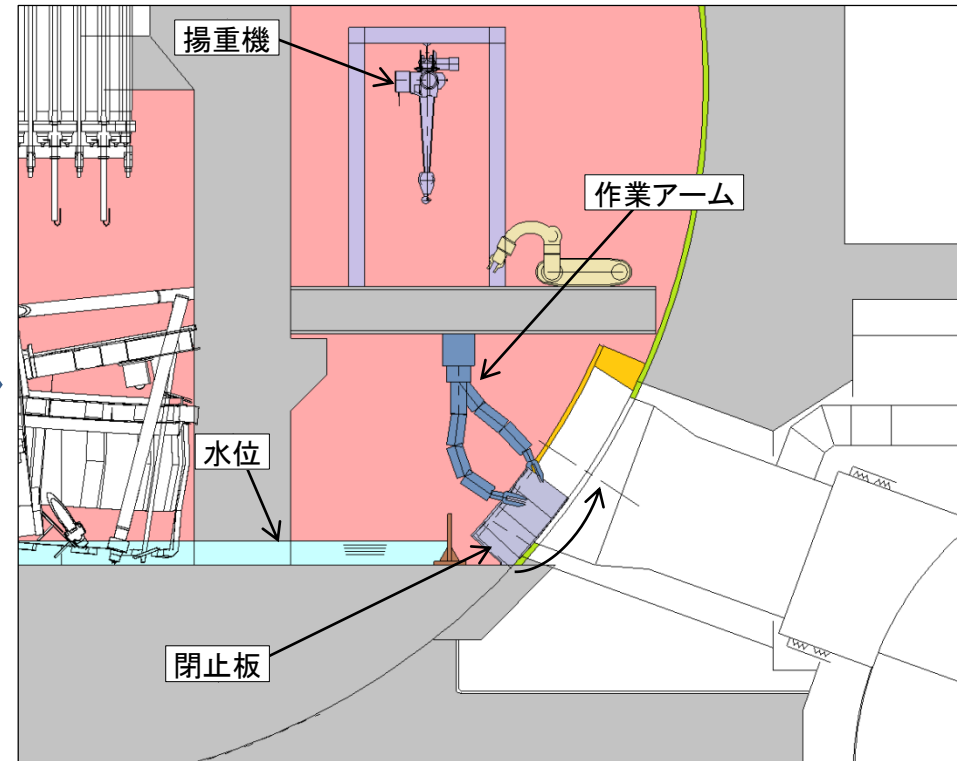
③ 燃料デブリの拡散防止工法の開発

a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

工法の実現性を確認するための要素試験イメージを以下に示す。水位低による作業性を確認し、課題を抽出する。



堰設置イメージ



閉止板設置イメージ

6. 本事業の実施内容

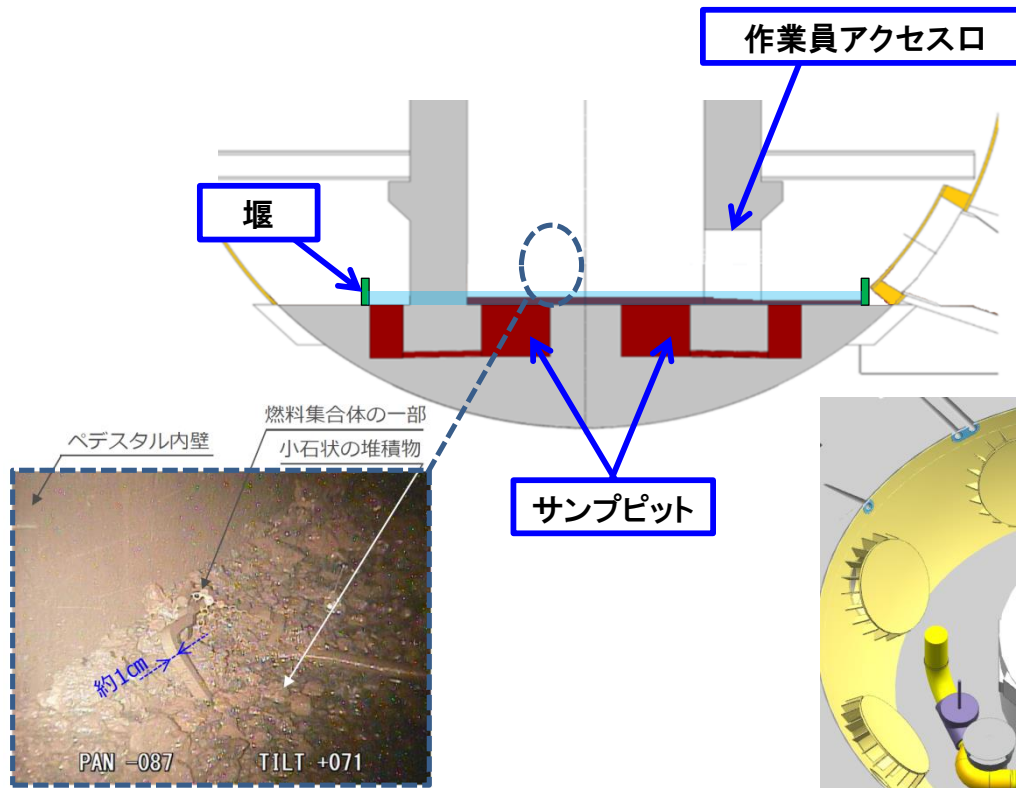
6.2 実施内容

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

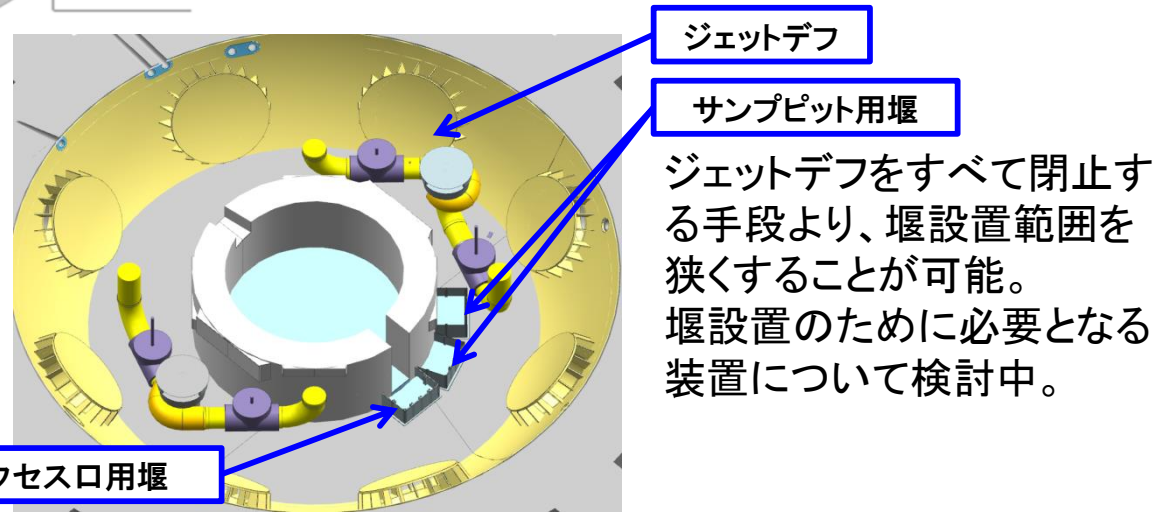
2号機PCV内部調査結果に基づき、汚染拡大防止範囲を最小化するため、汚染拡大防止堰の設置範囲が最小となるケースを検討中。



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ル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



ジェットデフをすべて閉止する手段より、堰設置範囲を狭くすることが可能。堰設置のために必要となる装置について検討中。

6. 本事業の実施内容

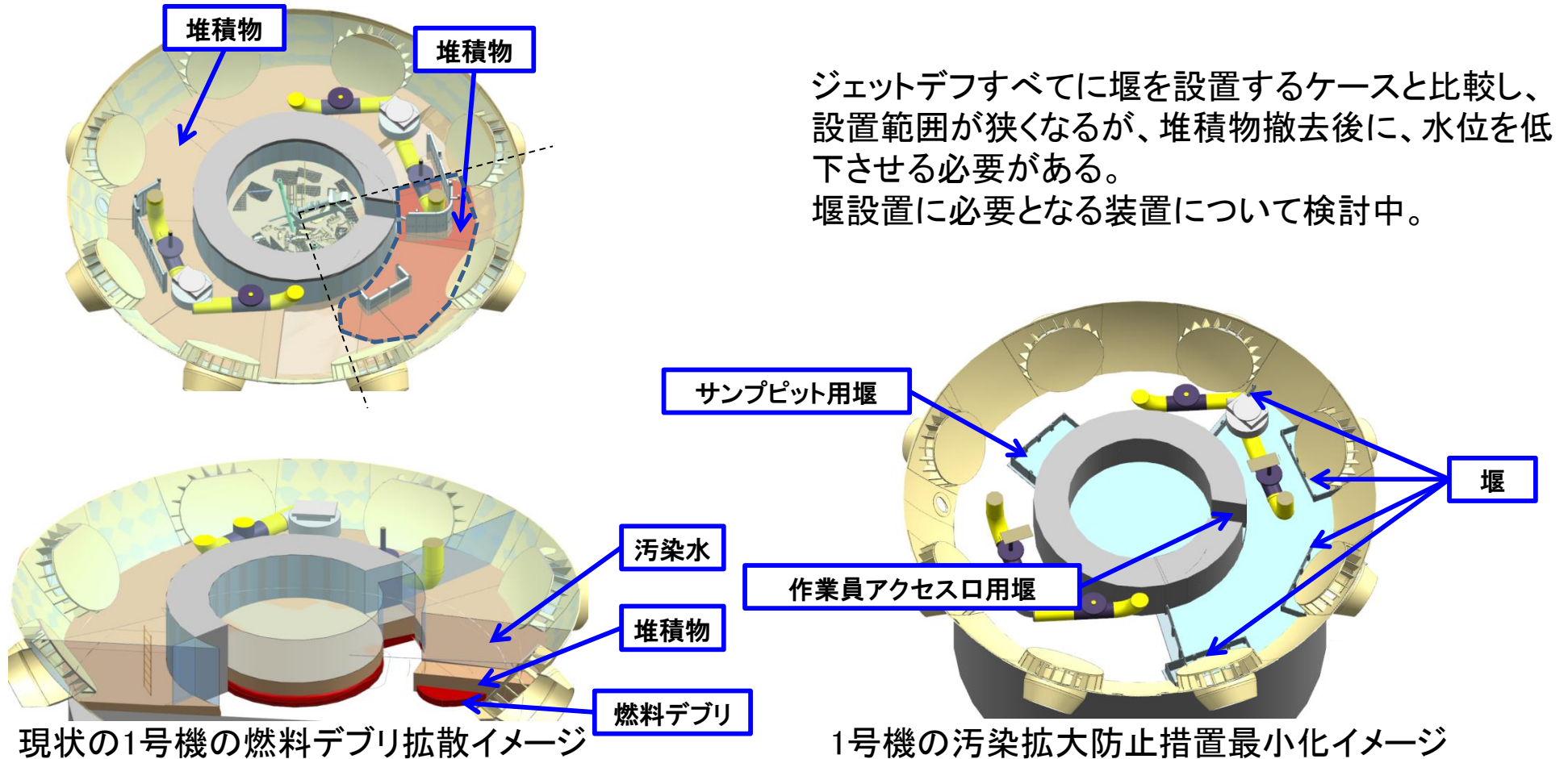
6.2 実施内容

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。



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中。

6. 本事業の実施内容

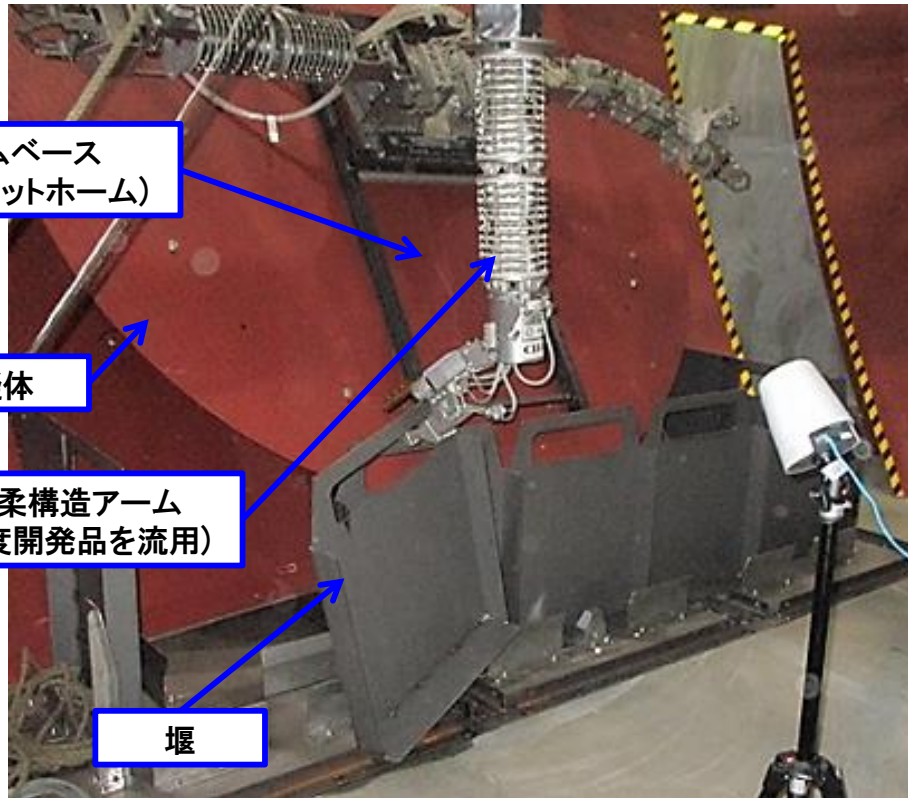
6.2 実施内容

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

堰を設置する装置の検討の一環として、平成28年度に開発した柔構造アーム(筋肉ロボット)を流用した予備試験を実施し、課題を抽出中。



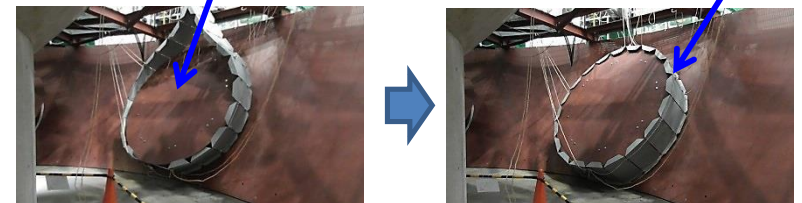
堰設置装置検討のための予備試験状況

堰設置用柔構造アーム開発方針

- 堰設置だけでなくペ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。

ジェットデフ模擬体

閉止板



閉止板設置のための予備試験状況

堰により汚染拡大防止を図るとともに、気中からの汚染拡大防止対策として、ジェットデフに閉止板を設置する工法について検討中。
(写真は、作業員による閉止板設置試験状況)

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
- 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の最適化作業を実施中。
- 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計画中。

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、前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計画中。

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、R/B1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、ドレンサンプピット深さ以上まで全域回収。 2. ペDESTAL外は、ドレンサンプ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. ϕ 400mm × H400mm以下とする。 2. ϕ 200mm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	1. $\phi 400\text{mm} \times \text{H}2000\text{mm}$ 以下とする。 2. $\phi 200\text{mm}$ 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	1. ユニット缶は、水切り可能な構造とする。 2. 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。 3. 形状により再臨界を管理することができない $\phi 400\text{mm}$ 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	1. 収納缶PJの評価結果待ち。 2. 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	1. 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。 2. 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定義は、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性は、 1×10^6 Gy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	セル内において、温度、圧力、放射線量、中性子量、水素濃度、酸素濃度、視覚状態監視等を監視する。	
	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
軽量化検討中	4.9 ton/m ² 以下	4.9 ton/m ²	軽量化検討中	0 ton/m ²	4.88 ton/m ²	軽量化検討中	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。 セルは搬送レールにて原子炉建屋外部より搬入・設置。 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を検討中。 BSWと原子炉建屋外部の支持点で両端支持とし、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中。 アクセストンネルの荷重は、BSWと原子炉建屋壁で両端支持とし、原子炉建屋1階床への荷重はないものとして計画。 			<ul style="list-style-type: none"> セル、搬送台車等は、原子炉建屋1F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、荷重を大梁、BSW、原子炉建屋壁に伝達することで床荷重の低減を検討中。さらに敷鉄板等により、荷重分散を行い、床荷重の低減を計画。 		

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

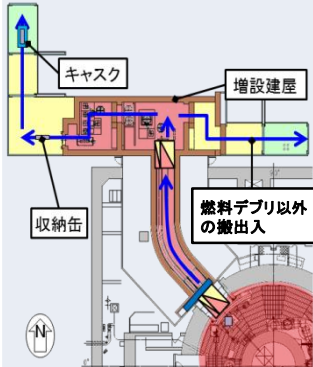
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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

○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	R/B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、BSWと原子炉建屋壁で両端支持とし、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	詳細検討中		
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

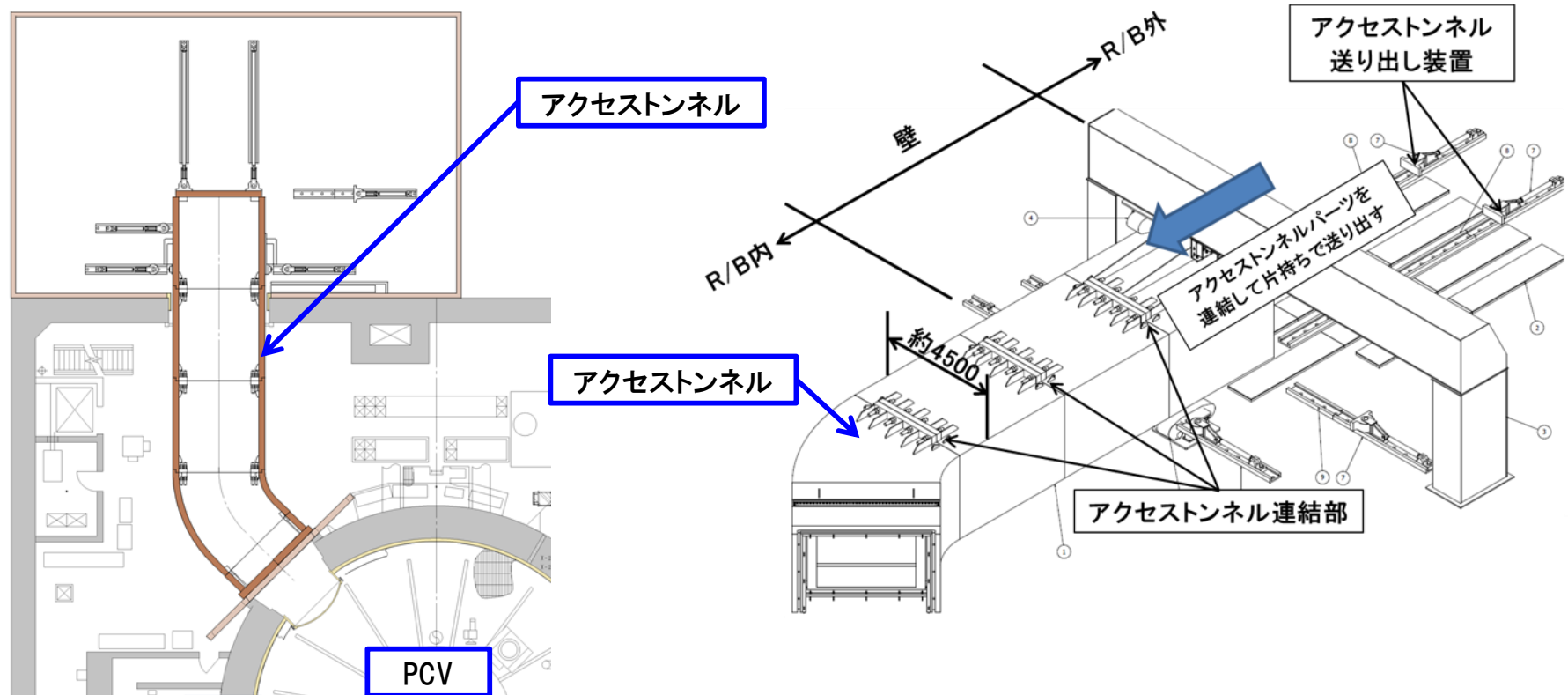
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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、要素試験を計画中。



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

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

- 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。
- 原子炉建屋の壁開口及びPCV開口が、原子炉建屋の影響の評価を検討中。
- 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・固定方法の検討を計画中。
- 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の検討を計画中。

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

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)

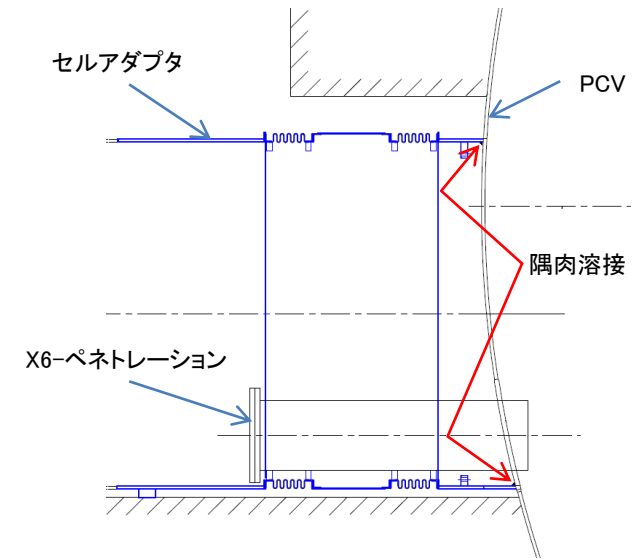
PCV材料の健全性確認(1号機。遠隔操作による硬さ測定による推定、PCV開口後の材料による検証等。)

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

※②及び③:遠隔溶接の技量向上及び溶接士の絞り込み、④:溶接士のトレーニング



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

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

● シール方法の比較

○:長所等, ▲課題(課題解決の試験を準備又は実施中), ●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準備中。	○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	●検討中	○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準備中。	○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。実機作業の試験を準備中	●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

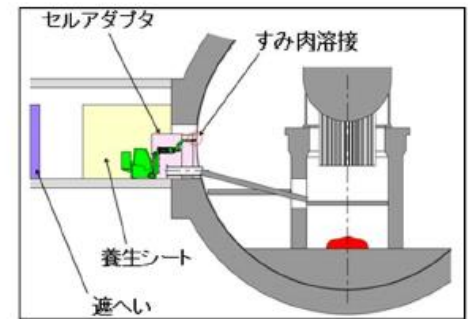
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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」のために、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
 - ・ 新設する1次バウンダリの(セル等)気密設計
 - ・ 1次バウンダリ内の負圧管理
 - ✓ これまで、PCVとセルとの間のシール方法として、以下を検討している。
 - ・ 溶接によるシール(右図)
 - ・ シール材(有機シール材等)によるシール



● 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)

● 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

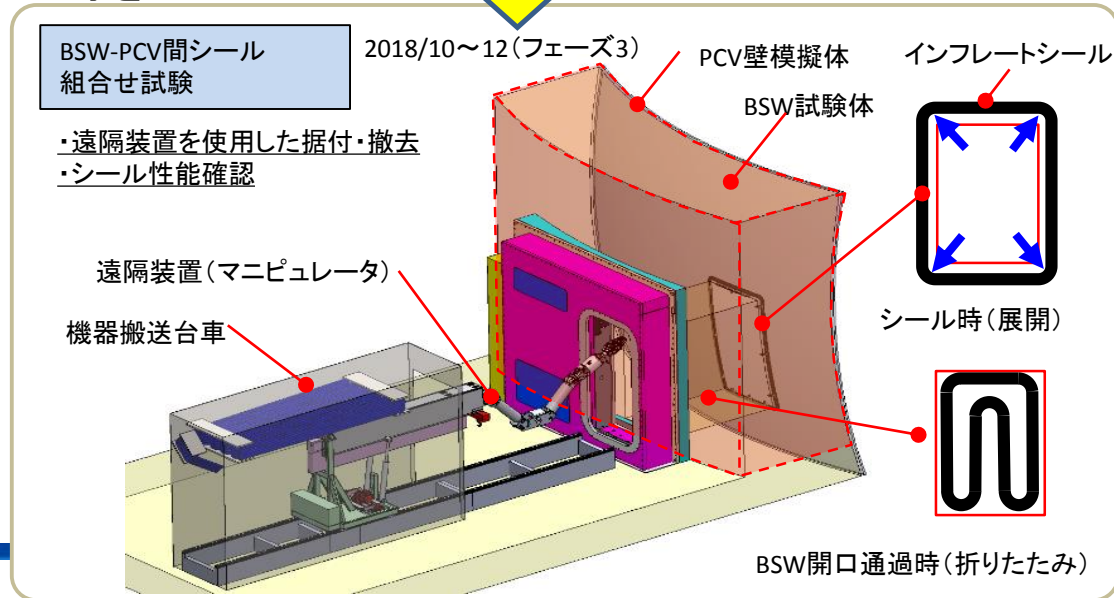
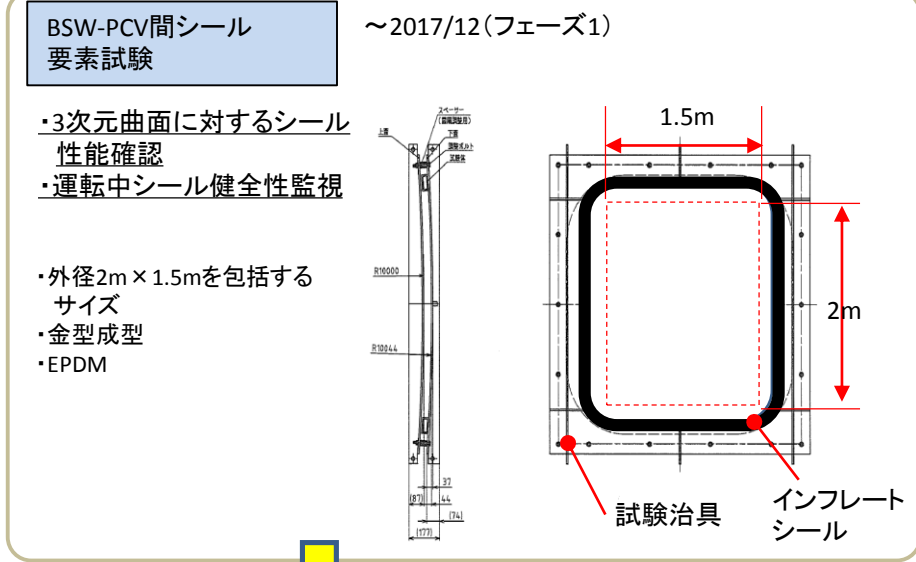
b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

● 開発の進め方

- シール材の適用性を見極めながら、フェーズを分けて開発
 - ✓ フェーズ1: 机上検討と予備試験による適用性評価と試験計画立案
 - ✓ フェーズ2: 単体要素試験による適用性評価
 - ✓ フェーズ3: M/U体を用いた組合せ要素試験
- 次フェーズに移る前に、有識者によるレビュー等を受審

● 得られる成果

- PCV/セル間シール材の選定・評価結果
- シール材によるシール機構の設計仕様
 - ✓ 適用可能範囲等
- シール材の据付・保守手順(案)
 - ✓ 3次元曲面に対する据付・保守手順
 - ✓ 代替バウンダリを確保の手順



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)

● 開発目標

- 各供用状態に対して、要求条件に示した差圧に対する漏えい量を達成できること
 - ✓ 3次元曲面に対するシール性能確認治具にて、要素試験を実施
- 遠隔操作により据付・撤去ができること
 - ✓ BSW開口通過時は折りたたみ、シール時に展開する
- 保守時に、代替バウンダリを確保し、作業員環境の安全が維持・確保できること

● 環境条件(例):

- 線量率(原子炉建屋1階): 5~10mSv/h
線量率(PCVシェル外壁付近): 10~100Sv/h
→PCV内と同等まで線量が上昇すると想定
- 温度: 0~40℃
- 湿度: 外気と同程度

※具体的数値は、検討中に定める。

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)

● 試験条件・判定条件(例)

- PCV、BSWの形状は図面情報に基づき3次元曲面を模擬
- BSW開口: 2m×1.5m(仮)
- 以下で漏えい試験を実施
 - ✓ 圧力降下法試験にて、試験時間30分間で、試験圧力300Paの50%の圧力を維持できる
 - ✓ 発泡漏れ試験にて、連続する発泡又は、気泡の成長もしくは気体の噴出がない
- 遠隔装置を使用した据付・撤去
 - ✓ 開口から100mm(仮)まで円滑に挿入できる
 - ✓ ギャップからシールを円滑に取り外せる

※試験条件・判定条件の具体的数値は、検討中に定める。

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) 要求機能

- シール部は、基本的安全要求に基づくバウンダリを構成する要素の一つであり、基本的安全要求からシール部に対する要求機能を抽出する。
 - バウンダリによる放射性物質の閉じ込め
- シール部の設置、保守・交換作業においては安全要求を満足すること。
 - 作業員被ばくの低減

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

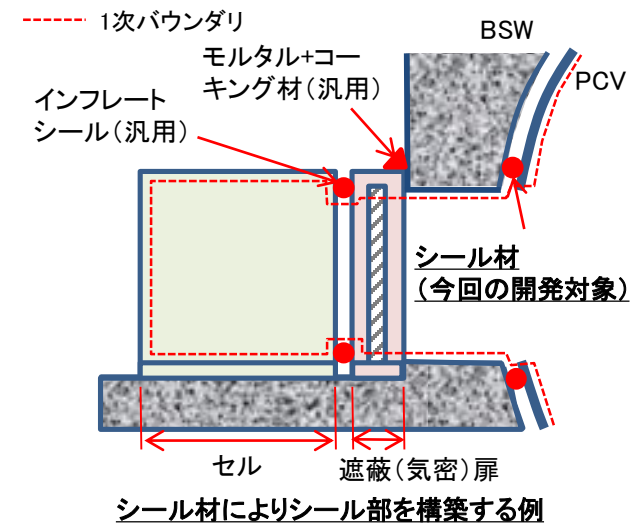
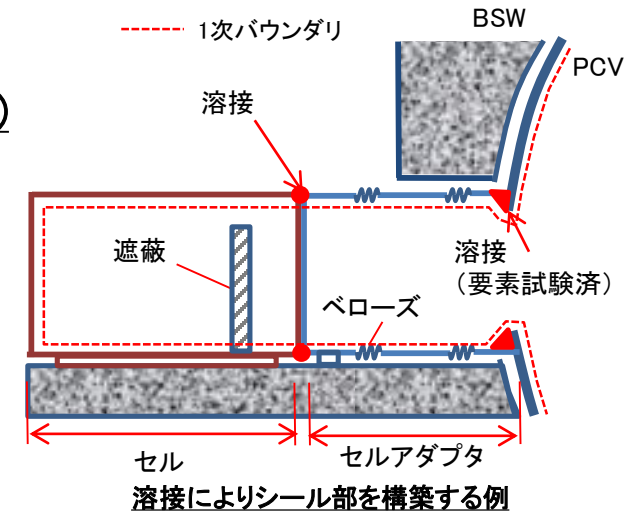
① 作業セルに関する要素技術開発

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) 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
⇒**本技術開発で成立性を確認予定**

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)

(3) 要求条件

- 通常時において、シール部の漏えい量を $40\text{m}^3/\text{h}$ 以下とすること。
 - 換気風量 $1000\text{m}^3/\text{h}$ で負圧目標値 -100Pa を達成できる開口面積から設定
 - 1次バウンダリ表面に均等に開口があると仮定し、セルの表面積あたり開口量をシール部の許容開口面積として設定
 - 開口面積では管理できないため、目標の負圧を付加した場合の漏えい流量を目標値として設定。
- 設計差圧: 設定した圧力(※)に対してシール部が健全であること。
- 相対変位: $\pm 5\text{mm}$ に対してシール部が健全であること。
 - 地震時のPCVと原子炉建屋との相対変位を想定
- シール自身の形状変化によってシール性(漏えい量: $40\text{m}^3/\text{h}$ 以下)が低下しないこと。
- シール部には経年劣化しにくい材料を使用すること。
- シール部は定期的に保守(点検・交換)ができること。
- 燃料デブリ取り出し作業中にシール部の異常を検知できること。
- 保守時にも1次バウンダリの閉じ込めを維持できること。
- シール部の設置、運転(保守)に係わる作業員被ばくを低減すること。 ※具体的数値は、検討中に定める。

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)

(4) 基本機能に対する課題と対策

基本機能	課題	対策	備考
シール部の漏えい量: 40m ³ /h以下	PCVの曲面に対するシール	要素試験(単体)で確認	基礎試験でも確認済
	シール材のためのガイド溝のない面でのシール	要素試験(単体)で確認	
	施工部に溶接線等の段差がある場合のシール	要素試験(単体)で確認	基礎試験でも確認済
設計差圧: 設定した圧力(※)に対してシール部が健全であること。	同上	要素試験(単体)で確認	
相対変位: ±5mmに対してシール部が健全であること。	同上	要素試験(単体)で確認	
シール自身の形状変化によってシール性(漏えい量: 40m ³ /h以下)が低下しないこと。	同上	要素試験(単体)で確認	
	シールの給圧喪失時のシール機能維持	要素試験(単体)で確認	
シール部には経年劣化しにくい材料を使用すること。	高線量環境におけるシール材の耐久性	耐放射線性に優れるEPDMを採用	
シール部は定期的に保守(点検・交換)ができること。	遠隔操作による作業の実現性	要素試験(組合せ)で確認	
	据付状態のバラツキに対するシール性	要素試験(組合せ)で確認	
	保守によるスループットへの影響低減	要素試験(組合せ)で確認	
燃料デブリ取り出し作業中にシール部の異常を検知できること。	シール部の異常の検知方法	シールの内圧をモニタリング	
保守時にも1次バウンダリの閉じ込めを維持できること。	仮閉止時のバウンダリのシール性	机上検討で実現性を確認 今後検証要	
シール部の設置、運転(保守)に係わる作業員被ばくを低減すること。	救援・復旧時の作業員被ばく低減	作業員作業が必要な場合は、作業時間を測定して作業員被ばく量の評価に反映。	

※具体的数値は、検討中に定める。

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)

(5) インフレートシールの材質の選定・評価

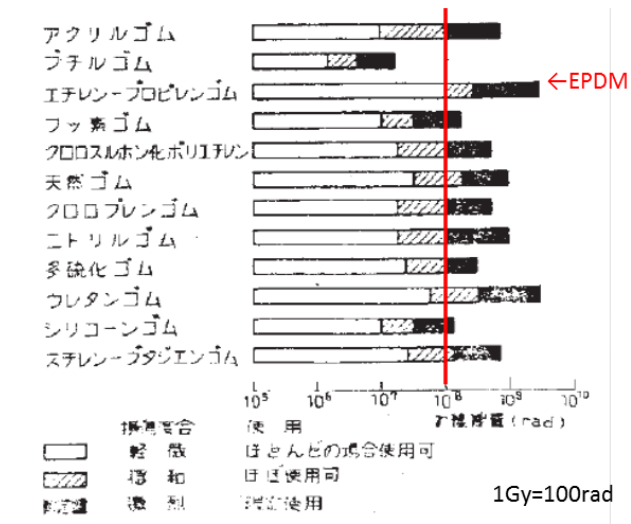
シール材料は、EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer: 一般呼称はエチレン-プロピレンゴム) を選定した。EPDMは、原子力施設で実績がある材料であり耐放射線性が高く、耐熱性や耐熱水性等のバランスのよい材料である。

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 10^6 [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、耐ガス透過性で劣る。
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://jollisrch-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

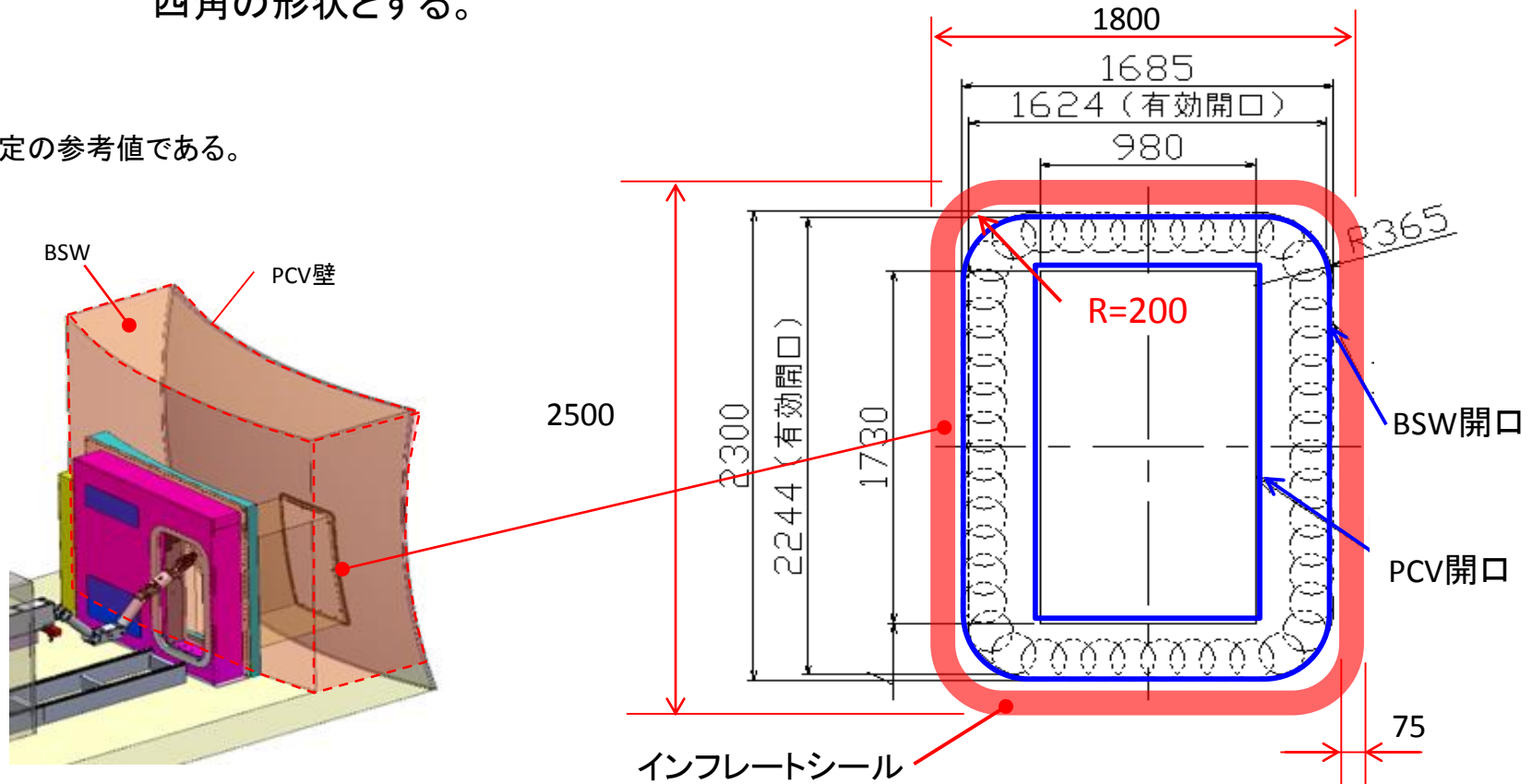
① 作業セルに関する要素技術開発

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)

(6) シール周形状の検討

インフレートシール周形状は、マニピュレータでの据付性を考慮し、BSW開口に沿った四角の形状とする。

※寸法は暫定の参考値である。



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

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)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

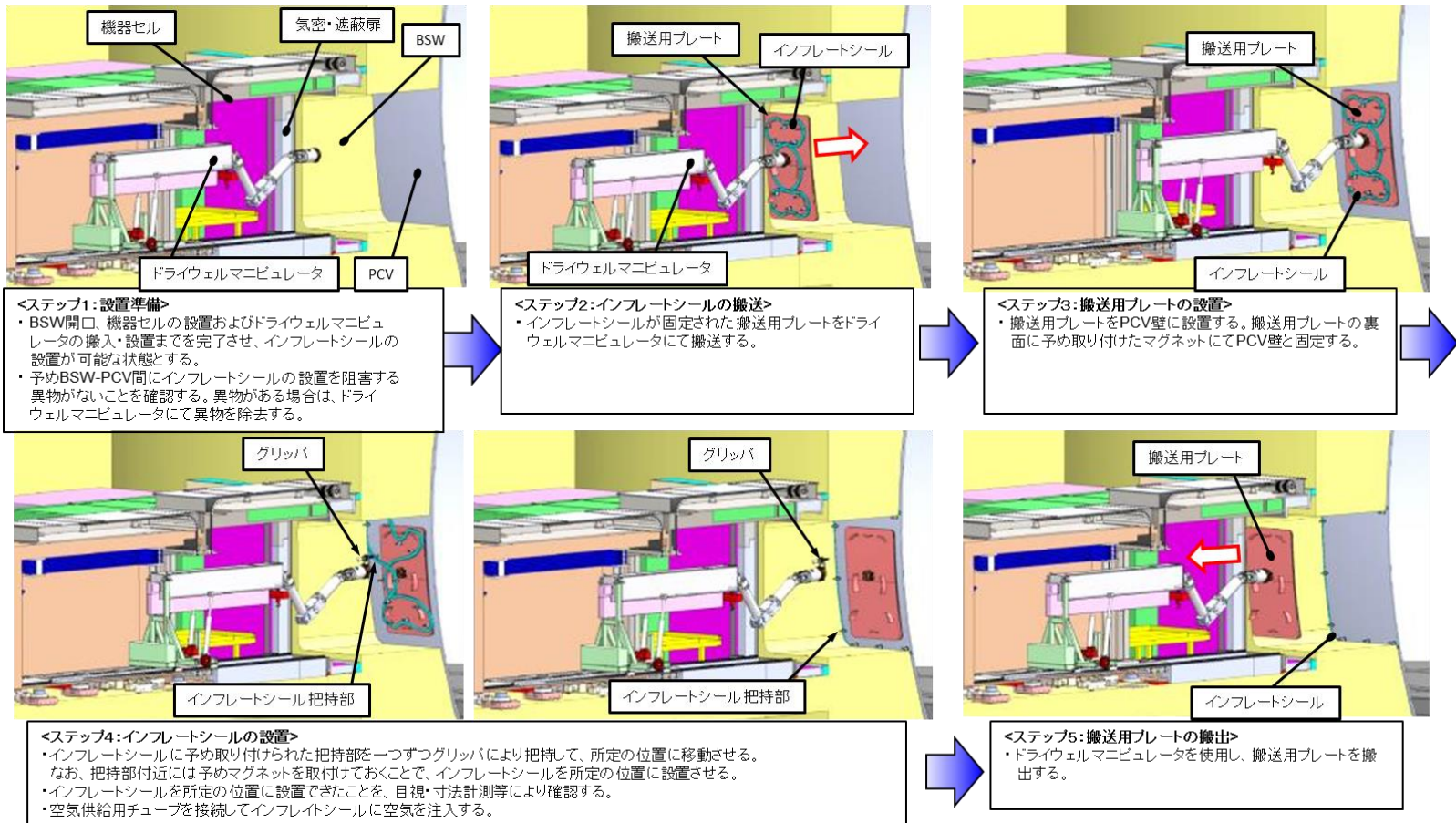
6.2 実施内容

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)

(8) インフレートシールの遠隔据え付け手順



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

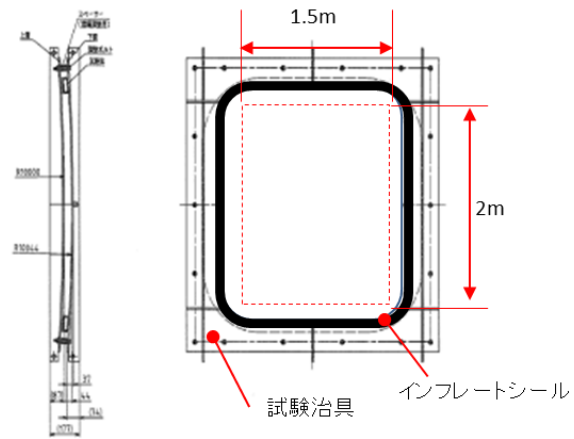
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

① 作業セルに関する要素技術開発

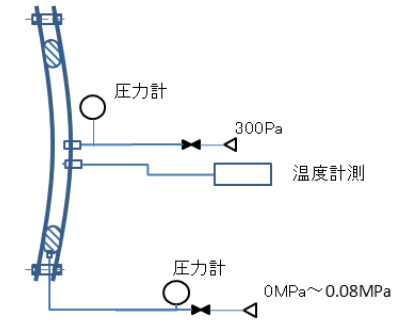
b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)

(9) 単体試験計画

試験手順及び判定基準



【シール製作】
 ・金型成型
 ・EPDM
 ・取り合い用突起部あり



【試験手順】

- ①シール試験体を2枚の曲面の板ではさみ、既定のギャップ幅に圧縮する。
- ②シール内を加圧する。
- ③シール内側のシールと試験治具で囲われた空間を規定のシール圧※に加圧する。
- ④追従性と気密性の確認をする。
- ⑤試験圧力を保ち、漏えい量を測定する。
- ⑥シール周方向への変形量を計測する。
- ⑦試験体を立てた状態とし、シール位置の保持ができることを確認する。

※ 試験圧力は設計差圧から余裕をみた値として300Paに設定する。
 また、シール圧の上限値を確認する試験として、徐々に圧力を上昇させ500Paまでの範囲で上限値を確認する試験を行う。

試験パラメータ

シール内圧 [MPa]	ギャップ幅[mm]	溶接余盛模擬
0	50	なし
0	55	なし
0.03	55	なし
0.08	55	なし
0	50	あり(高さ3mm)
0.03	50	あり(高さ3mm)
0.08	50	あり(高さ3mm)
0	50	あり(高さ1mm)
0.03	50	あり(高さ1mm)
0.08	50	あり(高さ1mm)

確認項目	判定基準
追従性	接触面に隙間がないこと
気密性 (発泡漏れ)	連続する発泡、気泡の成長、気体噴出がないこと
漏えい量測定	運転差圧時に換算した漏えい量が、許容漏えい量以下であること。
シール位置保持	試験体を立てた状態で、シール位置が動かないこと。
シール周形状 (四角から丸形状へ膨らむことを想定)	シール周形状に顕著な変形がないこと。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

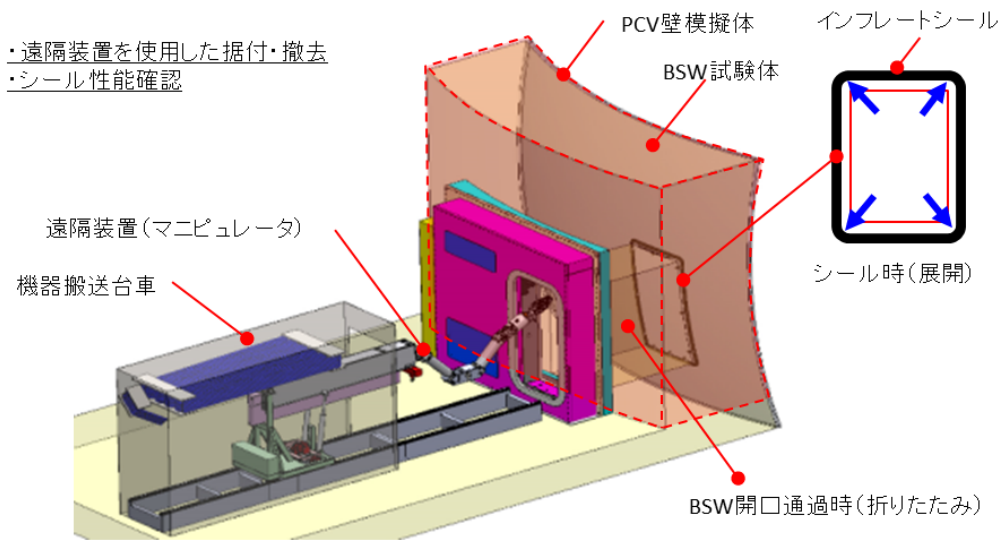
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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) 組み合わせ試験計画

試験手順及び判定基準



確認項目・手順	判定基準
インフレートシールを据付治具に取り付け、マニピュレータで把持する。	インフレートシールを所定の据付位置に取り付けられること。 インフレートシールをマニピュレータで把持できること。
BSW開口を通過してインフレートシールを搬入する	インフレートシールとBSW開口が干渉ないこと。
ギャップへのインフレートシール挿入・固定	ギャップへインフレートシールを所定の位置まで円滑に挿入できること。 インフレートシール位置を固定できること。
インフレートシール内を加圧後、シール性能確認(発泡漏れ試験)	連続する発泡又は、気泡の成長もしくは気体の噴出がないこと。
漏えい量測定	試験圧力300Paを維持した状態で測定した流量が、許容漏えい量以下であること。
ギャップからのインフレートシール取外し	ギャップからインフレートシールを円滑に取り外せること。
BSW開口を通過してシールを搬出する。	インフレートシールとBSW開口と干渉ないこと。
インフレートシール交換手順	インフレートシール交換手順が成立すること

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

- 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DESTAL外機器
- ・ 各アクセス共通での干渉物: ペDESTAL内機器(CRDハウジング等)、原子炉建屋内構造物(汚染した計装ダクト、高線量配管等)^{※1}

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。

※1: 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(付着した燃料デブリも含む)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ハウジング含む)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

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計画中。

なお、中長期ロードマップにおけ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中。

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ハウジング等の炉底部機器は、RPV側から切断すると拘束を失って落下してしまい*1、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計画中。

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、要素試験を計画中。

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計画中。
- 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計画中。
- 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、概念検討を計画中。

*1: 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

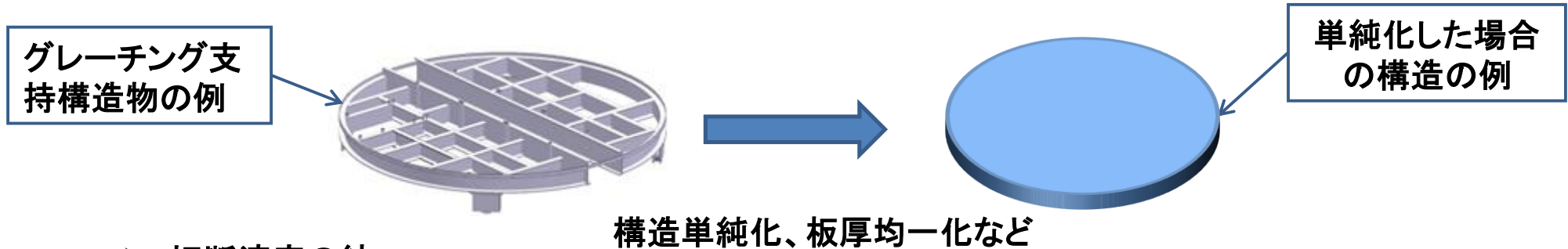
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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試算方法について、概念検討を実施中。

➤ 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。



➤ 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)	レーザー (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)
板厚～230mm切断時【86mm/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

➤ 干渉物撤去スループットに関する回収とハンドリングに関する条件を仮定した。

No.	項目	仮定条件	備考
1	年間干渉物撤去日数	200日間(作業日数以外はメンテナンス日とする)	
2	1日の干渉物加工時間	24時間以内	
3	干渉物量	横アクセス工法のプランごとに、燃料デブリ取り出しのために必要となる干渉物量について検討中。	
4	干渉物加工ツール	1. JAEA「ふげん」原子炉解体切断工法による。 2. ディスクカッター 3. 炉底部(CRDハウジング)、生体遮へい壁、ペDESTAL外側の配管およびサポート類、ペDESTAL内構造物については、本事業の要素試験で適用可能な加工ツールを選定する。	
5	干渉物加工速度	1. JAEA「ふげん」原子炉解体切断工法による。 2. ディスクカッター：板厚～230mm切断時【86mm/min】 3. 炉底部(CRDハウジング)、生体遮へい壁、ペDESTAL外側の配管およびサポート類、ペDESTAL内構造物については、本事業の要素試験結果を参考に試算する。	
6	干渉物回収方法	把持、すくうなどの実績がある回収方法で回収速度を検討中。	
7	干渉物収納容器サイズ	1. 1回でハンドリング可能な重量を100kg(鉄ブロック換算で一辺約230mm)と仮定した。 2. 横アクセス工法のプランごとに、PCV開口以下のサイズにおいて検討中。	
8	干渉物ハンドリング速度	実績があるハンドリング方法でハンドリング速度を検討中。	

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

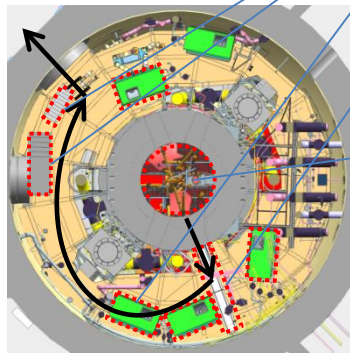
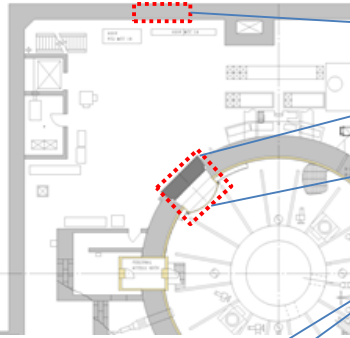
➤ 干渉物撤去スループットの2018年度末アウトプットイメージを以下に示す。

□ : 干渉物撤去試験計画中

加工ツールの例

No.	干渉物	分類	全体重量 (ton)	撤去対象	撤去期間		
					コアボーリング	AWJ	ディスクカッター
1	原子炉建屋壁	廃棄物		○	建築側による検討が必要。		
2	遮へいプラグ	廃棄物		○	〇〇日	〇〇日	〇〇日
3	機器ハッチ	廃棄物		○	〇〇日	〇〇日	〇〇日
4	ペDESTAL外干渉物 (HVH、階段、ステージなど)	廃棄物		○	〇〇日	〇〇日	〇〇日
5	CRDレール	廃棄物		○	〇〇日	〇〇日	〇〇日
6	グレーチング	燃料デブリ*1		○	〇〇日	〇〇日	〇〇日
7	グレーチング支持構造物	燃料デブリ*1		○	〇〇日	〇〇日	〇〇日
8	CRD等(落下物)	燃料デブリ*1		○	〇〇日	〇〇日	〇〇日
9	CRD交換装置	燃料デブリ*1	9	○	〇〇日	〇〇日	〇〇日
10	CRDハウジング	燃料デブリ*1	6	○	〇〇日	〇〇日	〇〇日
合計:					〇〇〇日	〇〇〇日	〇〇〇日

□ : 干渉物撤去範囲



*1: 燃料デブリとして取り扱うが、加工速度は、本事業における要素試験結果を考慮する。

6. 本事業の実施内容

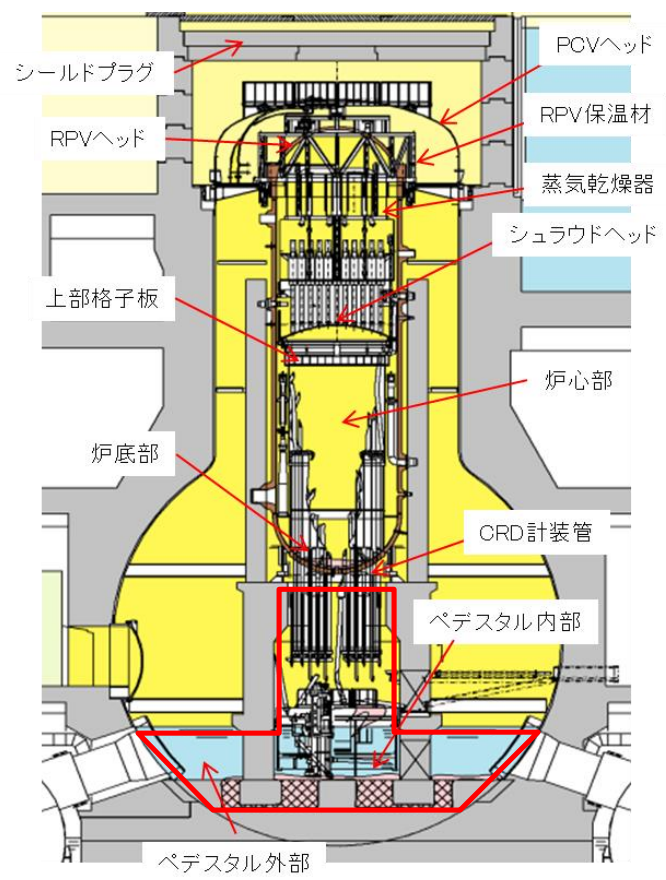
6.2 実施内容

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

横アクセス工法における燃料デブリ取り出しに関するスループットの試算方法について、概念検討を実施中。

 : 横アクセス工法の取り出し対象範囲。



No.	分布位置	性状	主な状態	特徴	質量[t]		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10cm	(U,Zr)O ₂ (Zr,U)O ₂	
		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デブリが付着して存在	圧力容器上端から下方の部分のSUS配管内をデブリが流路閉塞		侵入長10数cm	(U,Zr)O ₂ , (Zr,U)O ₂ ,SUS	
4	ペDESTAL内	粉状、小石状	注水のタイミングが早かったため、溶融デブリがほとんど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	92~277	数μm~数cm	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	凝固した塊状デブリが均等に分布		厚さ15cm	UO ₂ ,Zr(O) (U,Zr)O ₂ , Fe (U,Zr) SiO ₂	
5	ペDESTAL外	粉状、小石状	ペDESTAL部位から凝固したデブリが流出	ペDESTALから流出した小石状デブリが存在	0~146	50μm~20cm	UO ₂ ,Zr(O) (U,Zr)O ₂ , Fe	
		塊状	大部分は粉、小石状	ペDESTALから流出したコリウムがコンクリートと反応・凝固		金属成分や多い	侵食量~0.20m	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

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

横アクセス工法における燃料デブリ取り出しに関して仮定条件を設定。

No.	項目	仮定条件	備考
1	燃料デブリ取り出し期間目標	1号機:10年間、2号機:10年間、3号機:10年間	
2	年間燃料デブリ取り出し日数	200日間(作業日数以外はメンテナンス日とする)	
3	1日の燃料デブリ加工時間	10時間以内	
4	燃料デブリの量	総量が最も多い3号機を想定する。(CRD計装管付着:6ton*、ペDESTAL内:最大277ton、ペDESTAL外:最大146ton、合計:429ton)	
5	燃料デブリ加工ツール	<ol style="list-style-type: none"> MCCI:チゼル加工、超音波コアボーリングなど。 CRD計装管付着:ディスクカッター、AWJ、レーザなど。 金属類付着:ディスクカッター、AWJ、レーザなど。 	
6	燃料デブリ加工速度	<ol style="list-style-type: none"> チゼル加工、超音波コアボーリング:本事業の要素試験結果による。 ディスクカッター、AWJ、レーザ:干渉物撤去と同様の加工速度。 コアボーリング:3.25kg/h(2016年度試験結果) レーザガウジング:4.76kg/h(2016年度試験結果) 	
7	燃料デブリ回収方法	吸引、把持、すくうなどの実績がある回収方法で回収速度の仮定を検討中。	
8	燃料デブリ収納缶サイズ	φ200mmをベースに、φ400mmの使用を考慮する。	
9	燃料デブリハンドリング速度	実績があるハンドリング方法でハンドリング速度の仮定を検討中。	

*1:平成27年度の炉内状況把握PJIによる検討結果。

6. 本事業の実施内容

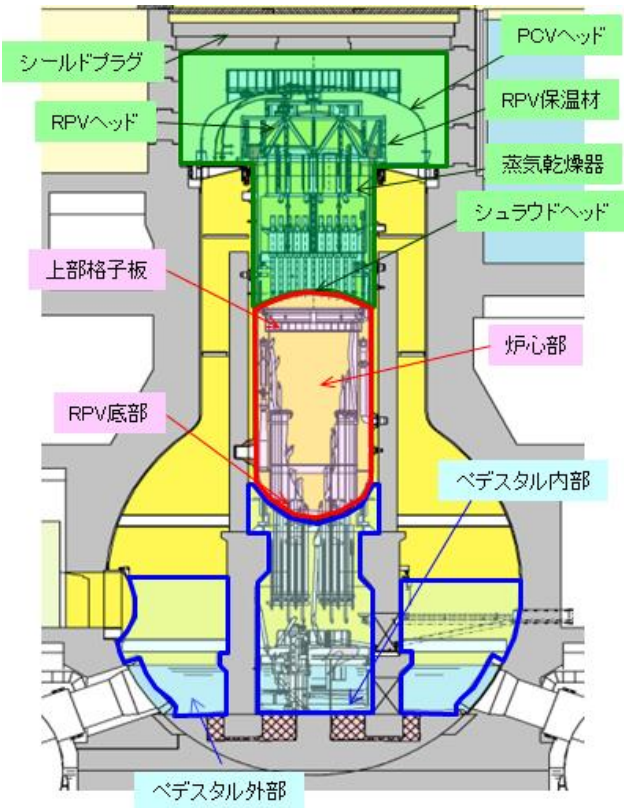
6.2 実施内容

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

横アクセス工法における燃料デブリ取り出しスループットの2018年度末アウトプットイメージを以下に示す。

加工ツールの例



廃棄物	分類	全体重量 [ton]	撤去対象	撤去期間		
				チゼル加工	ディスクカッター	AWJ
シールドプラグ	固体放射性廃棄物	465	×	—	—	—
PCVヘッド	固体放射性廃棄物	48	×	—	—	—
RPV保温材	固体放射性廃棄物	13	×	—	—	—
RPVヘッド	固体放射性廃棄物	66	×	—	—	—
蒸気乾燥器	固体放射性廃棄物	31	×	—	—	—
シュラウドヘッド	固体放射性廃棄物	48	×	—	—	—
上部格子板	燃料デブリ	7	×	—	—	—
シュラウド	燃料デブリ	46	×	—	—	—
ジェットポンプ	燃料デブリ	12	×	—	—	—
炉心部燃料デブリ	燃料デブリ	31	×	—	—	—
RPV底部燃料デブリ	燃料デブリ	79	×	—	—	—
炉心支持板	燃料デブリ	11	×	—	—	—
RPV下部/CRDハウジングに付着した燃料デブリ	燃料デブリ*1	6	○	—	〇〇日 (〇.〇年)	〇〇日 (〇.〇年)
PCV穴あけ時の廃棄物	固体放射性廃棄物	40	○	コアボーリング: 〇〇日		
ペDESTAL内部構造物	燃料デブリ*1	90	○	〇〇〇〇日 (〇.〇年)	〇〇〇〇日 (〇.〇年)	〇〇〇〇日 (〇.〇年)
CRD交換台車	燃料デブリ*1	9	○	〇〇〇〇日 (〇.〇年)	〇〇〇〇日 (〇.〇年)	〇〇〇〇日 (〇.〇年)
ペDESTAL内部燃料デブリ	燃料デブリ*1	277	○	〇〇日	〇〇日	〇〇日
ペDESTAL外部構造物	固体放射性廃棄物	30	○	〇〇〇〇日 (〇.〇年)	〇〇〇〇日 (〇.〇年)	〇〇〇〇日 (〇.〇年)
ペDESTAL外部燃料デブリ	燃料デブリ	146	○	〇〇〇〇日 (〇.〇年)	〇〇〇〇日 (〇.〇年)	〇〇〇〇日 (〇.〇年)
合計期間				〇〇〇〇日 (〇.〇年)	〇〇〇〇日 (〇.〇年)	〇〇〇〇日 (〇.〇年)

*1: 上部格子板以下を燃料デブリと定義しているが、加工速度は、本事業の干渉物撤去要素試験結果を考慮する。

6. 本事業の実施内容

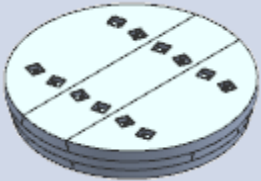
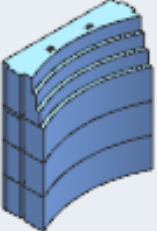
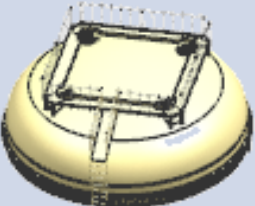
6.2 実施内容

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。
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。

注: 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 	① 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。	低	・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 	① 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 	① 主要材質 SS	ディスクソー、 カッター(架台等) 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

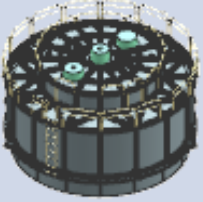
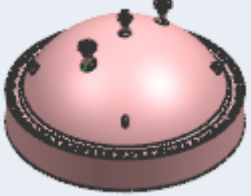
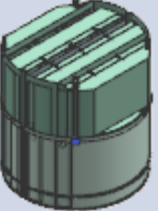
6.2 実施内容

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。

注: 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 	① 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 	① 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 	① 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

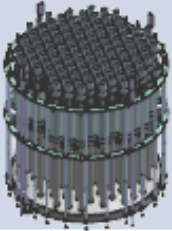
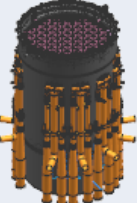
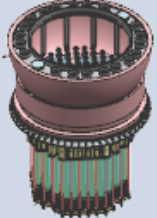
6.2 実施内容

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。

 : 要素試験計画中
注: 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 	① 主要材質 SUS	ディスクカッター、 セーバソー、 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 	① 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 	① 主要材質 低合金鋼/SUS	ディスクカッター、 研削加工(フライス)、 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ハウジング等はペ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ハウジングの落下防止対策が困難。 ・CRDハウジングは、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。
- 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ハウジング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。
- 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

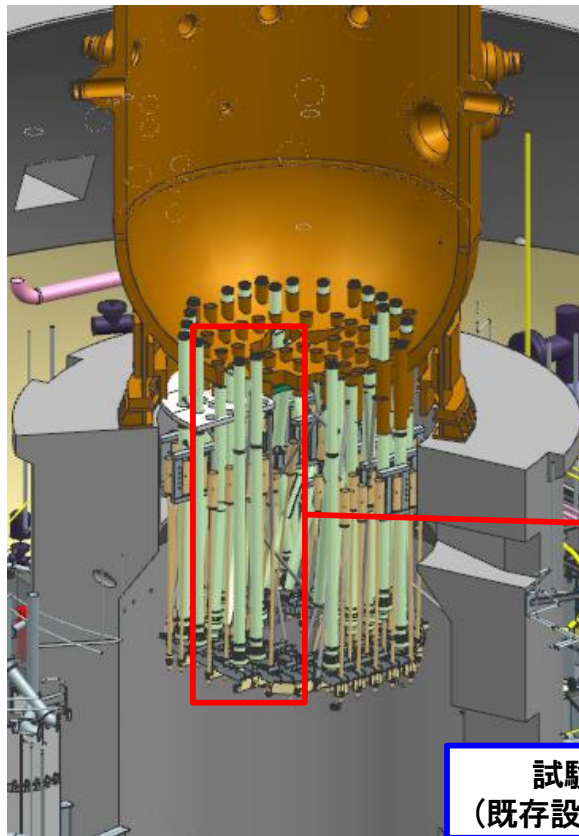
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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

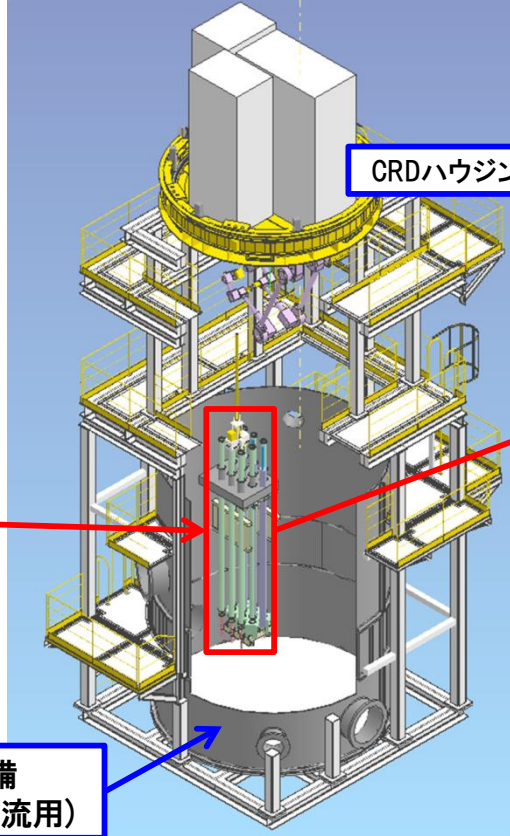
炉底部干渉物撤去要素試験イメージを以下に示す。

□ : 要素試験模擬範囲



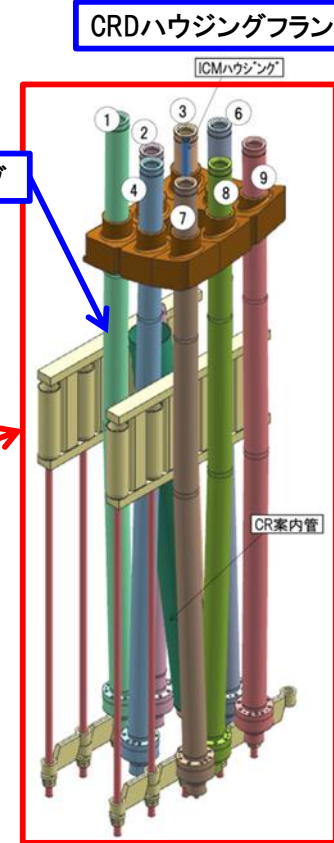
試験設備
(既存設備を流用)

炉底部干渉物イメージ



CRDハウジング

炉底部干渉物撤去要素試験イメージ
(試験設備は2016年度製作品を一部改造)



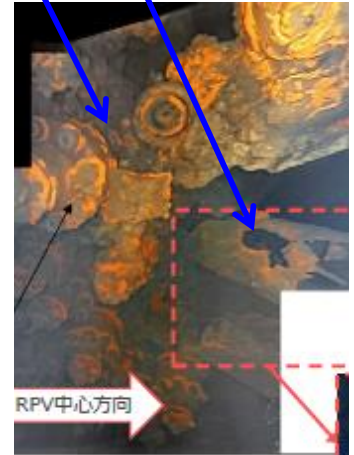
CRDハウジングフランジ

ICMハウジング

CR案内管

模擬体イメージ

破損部



3号機内部調査写真

3号機PCV内部調査結果を参考に、CRDハウジングの脱落や破損部を模擬可能な検討中。

狭隘部の作業性を確認するため、9本の模擬体による干渉物撤去試験を計画中。

6. 本事業の実施内容

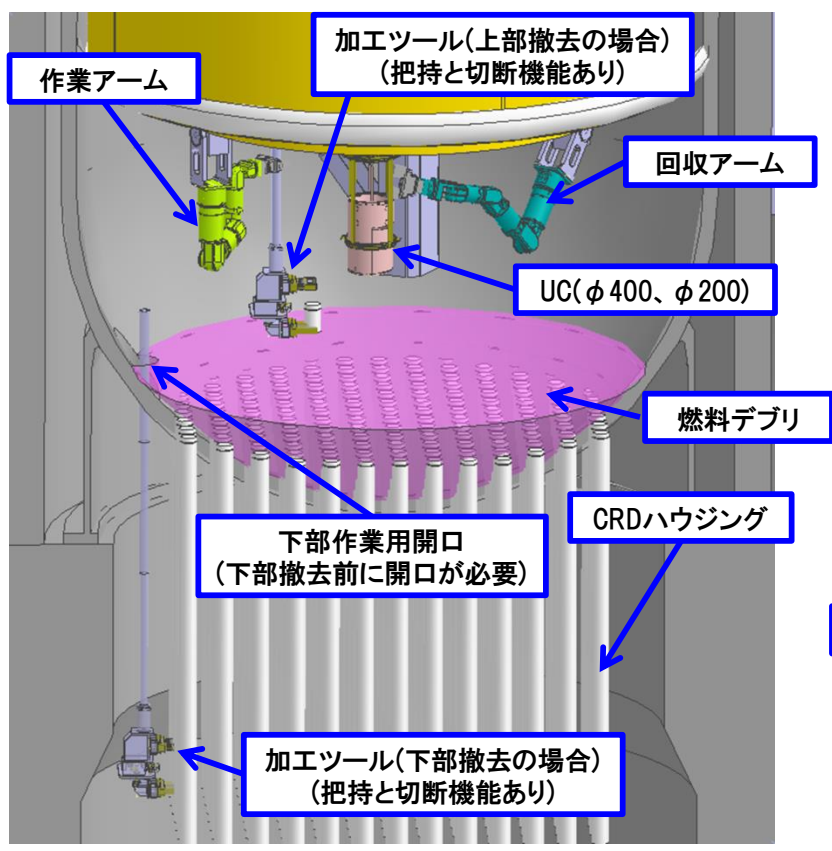
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

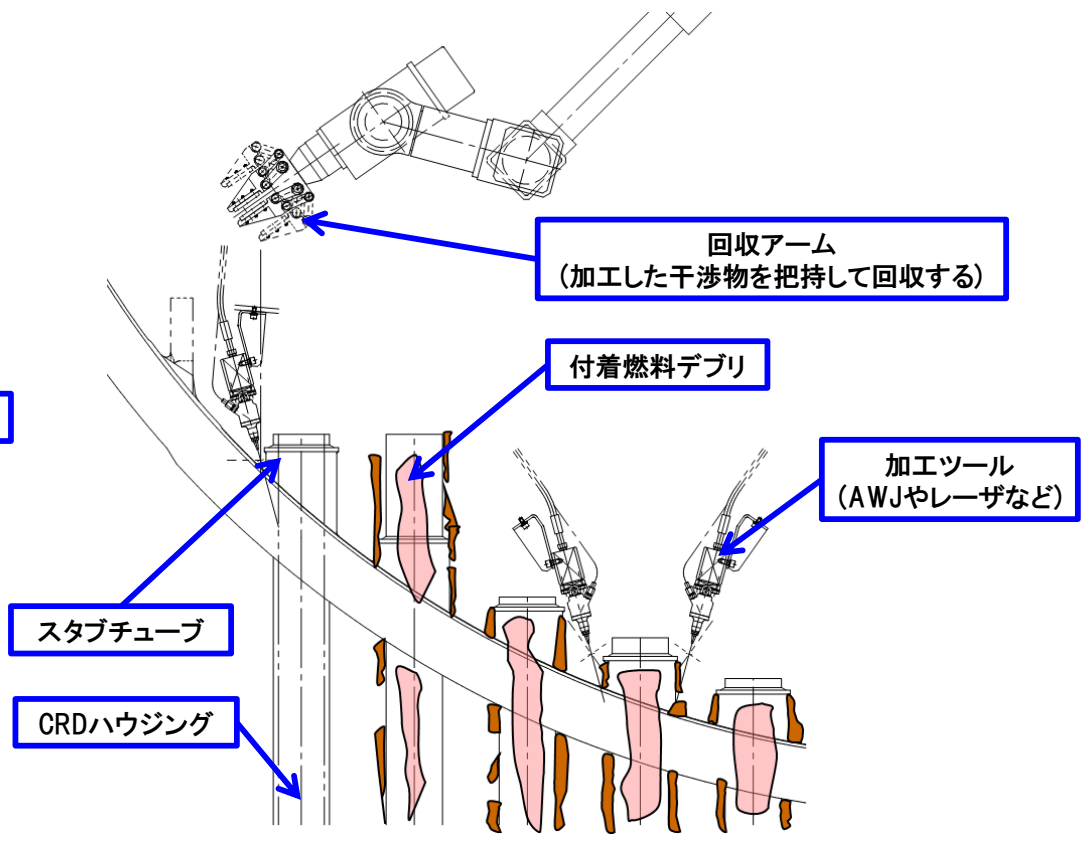
② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

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

炉底部干渉物撤去作業について概念検討を実施し、要素試験計画を実施中。



炉底部干渉物撤去作業イメージ



スタブチューブ撤去作業イメージ

6. 本事業の実施内容

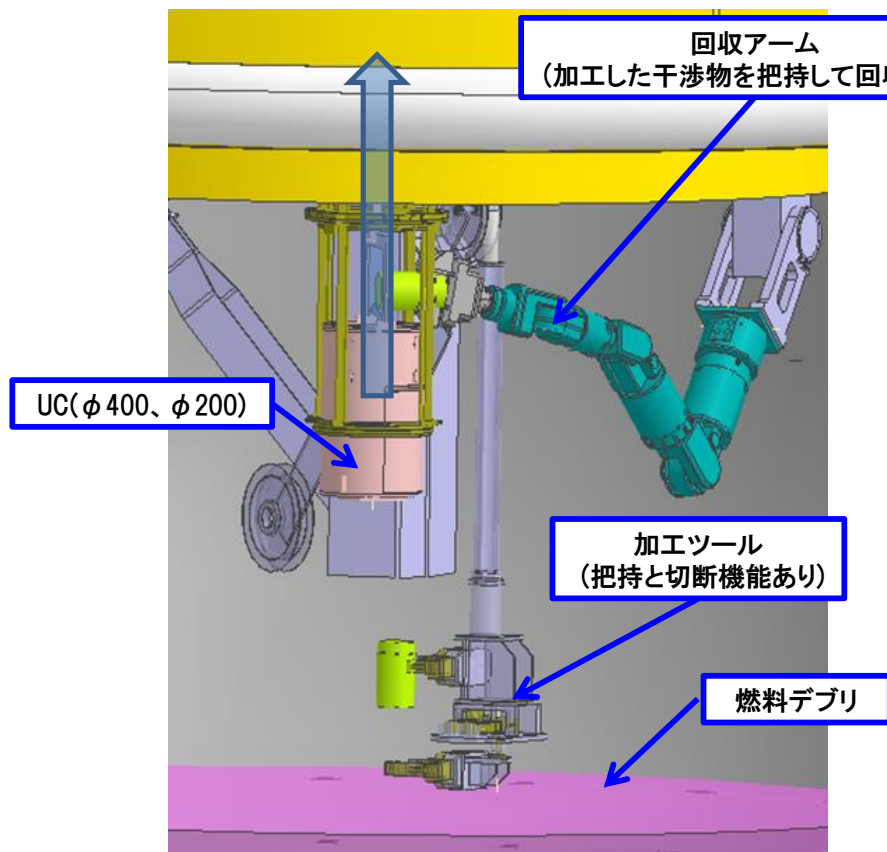
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

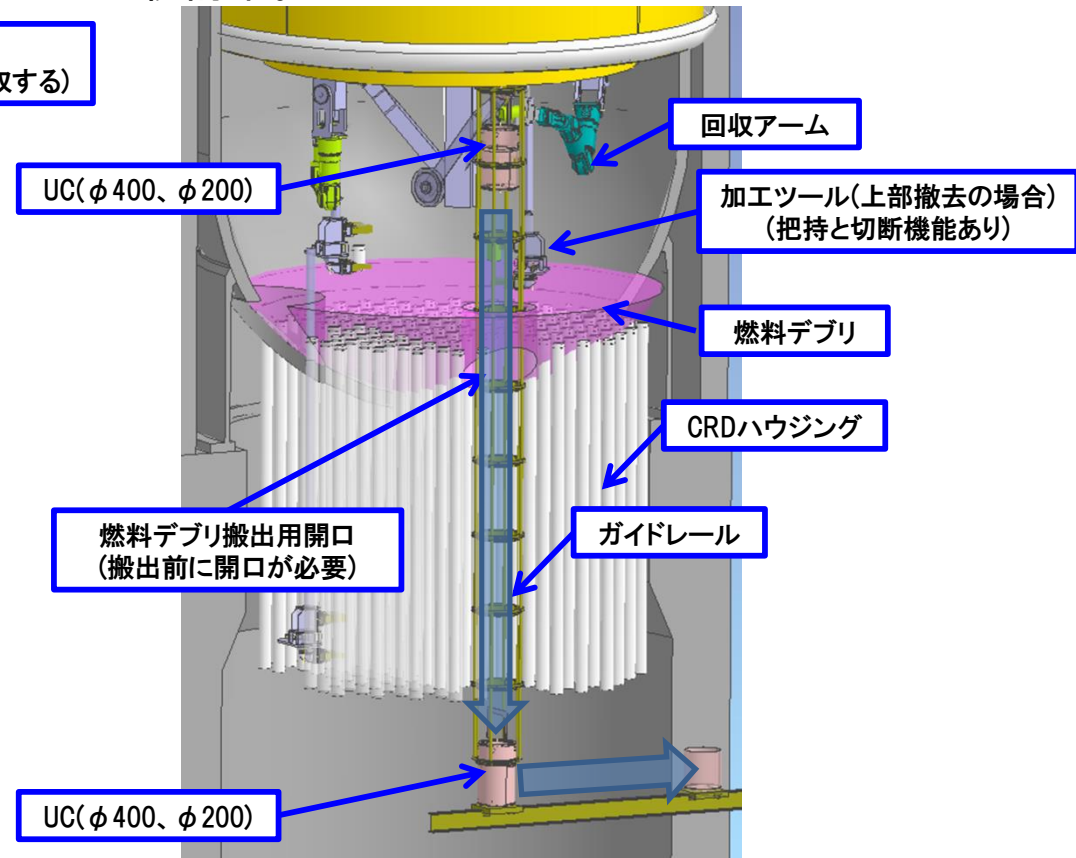
② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

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

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中。



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

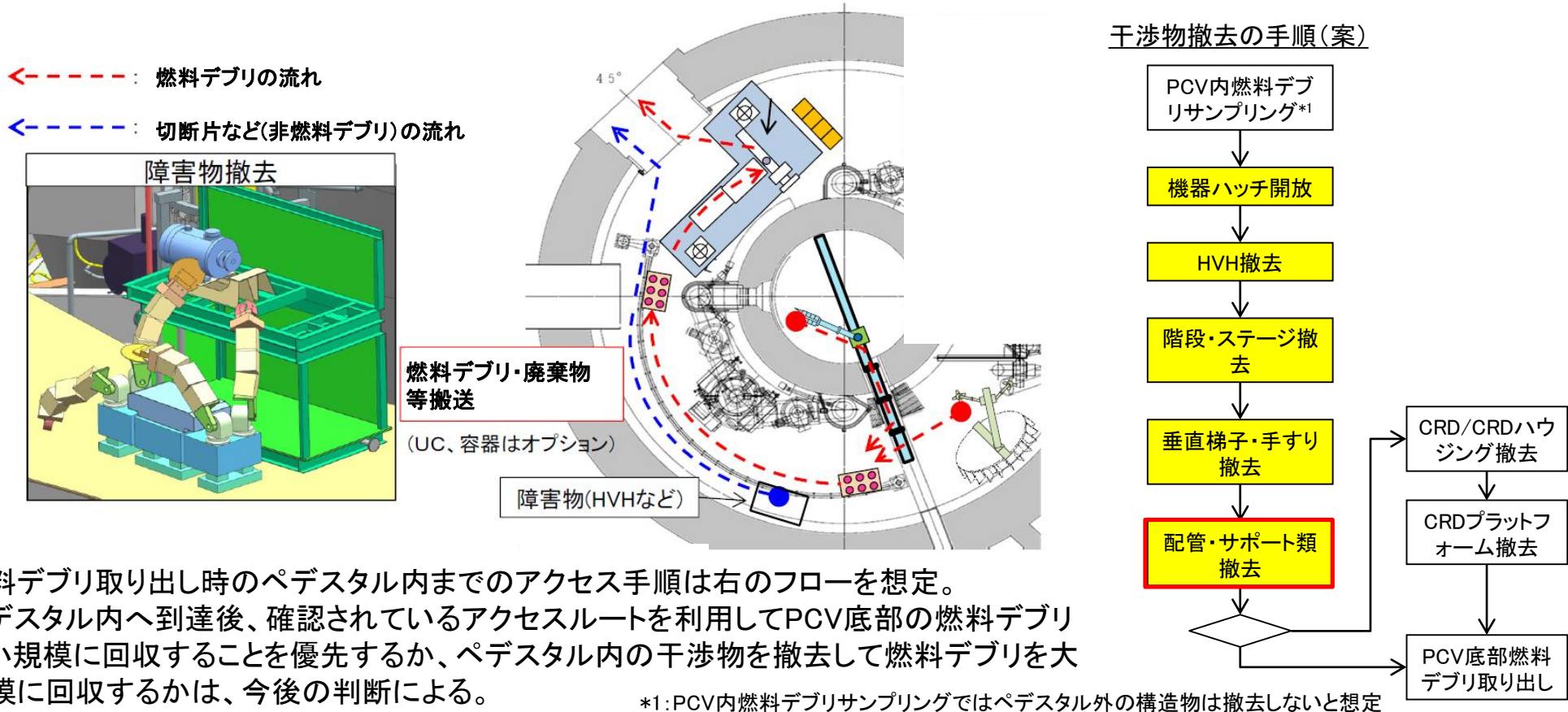
6.2 実施内容

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

: 要素試験計画中

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

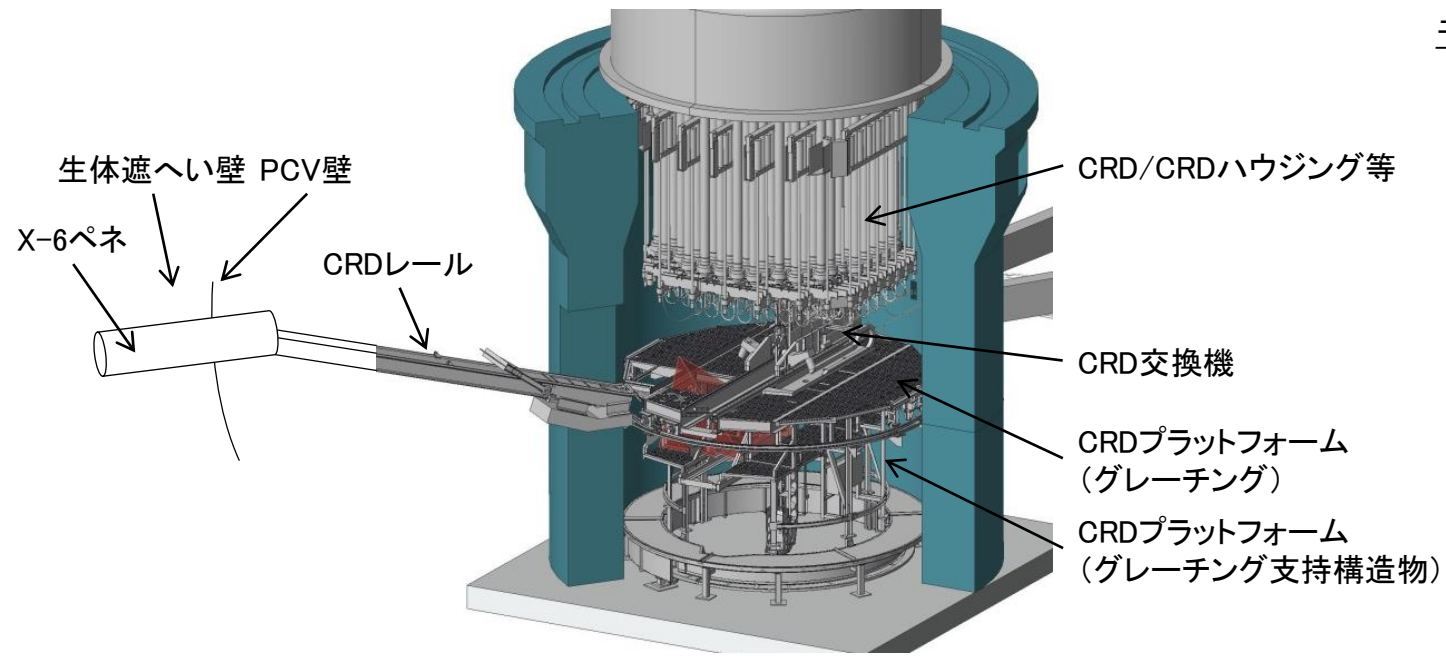
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

 : 要素試験計画中

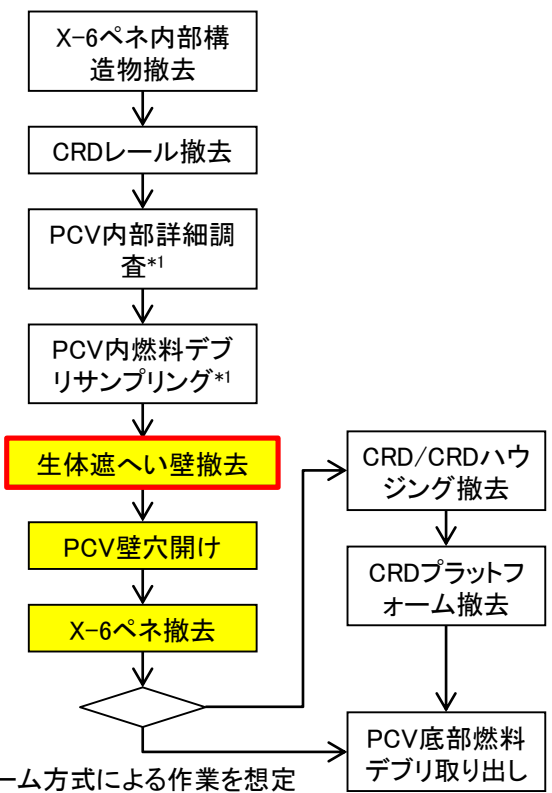
②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

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。



干渉物撤去の手順(案)



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。

*1: 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

6. 本事業の実施内容

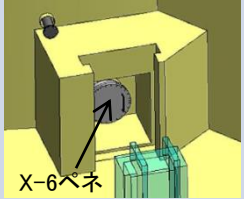
6.2 実施内容

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。

: 要素試験計画中
注: 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 	① 主要材質 鉄筋コンクリート	コアボーリング ワイヤーソー	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	① 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	① 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


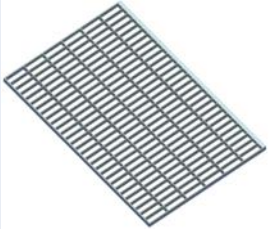

6.2 実施内容

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。

注: 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 	① 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 	① 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 	① 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


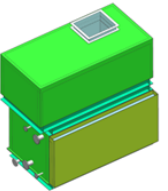
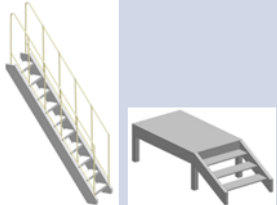
6.2 実施内容

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。

注: 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 	① 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	
8	HVH 	① 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 (前年度試験実施)
9	エアロック前階段・ ステージ 	① 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

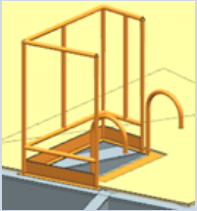
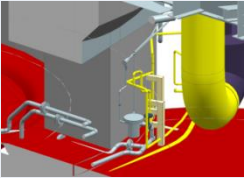
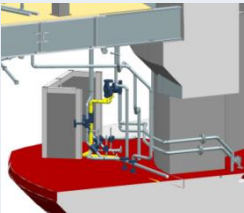
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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。

 : 要素試験計画中

注: 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 	① 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)	① 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配管や配管サポート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。
 - スループットの具体化。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

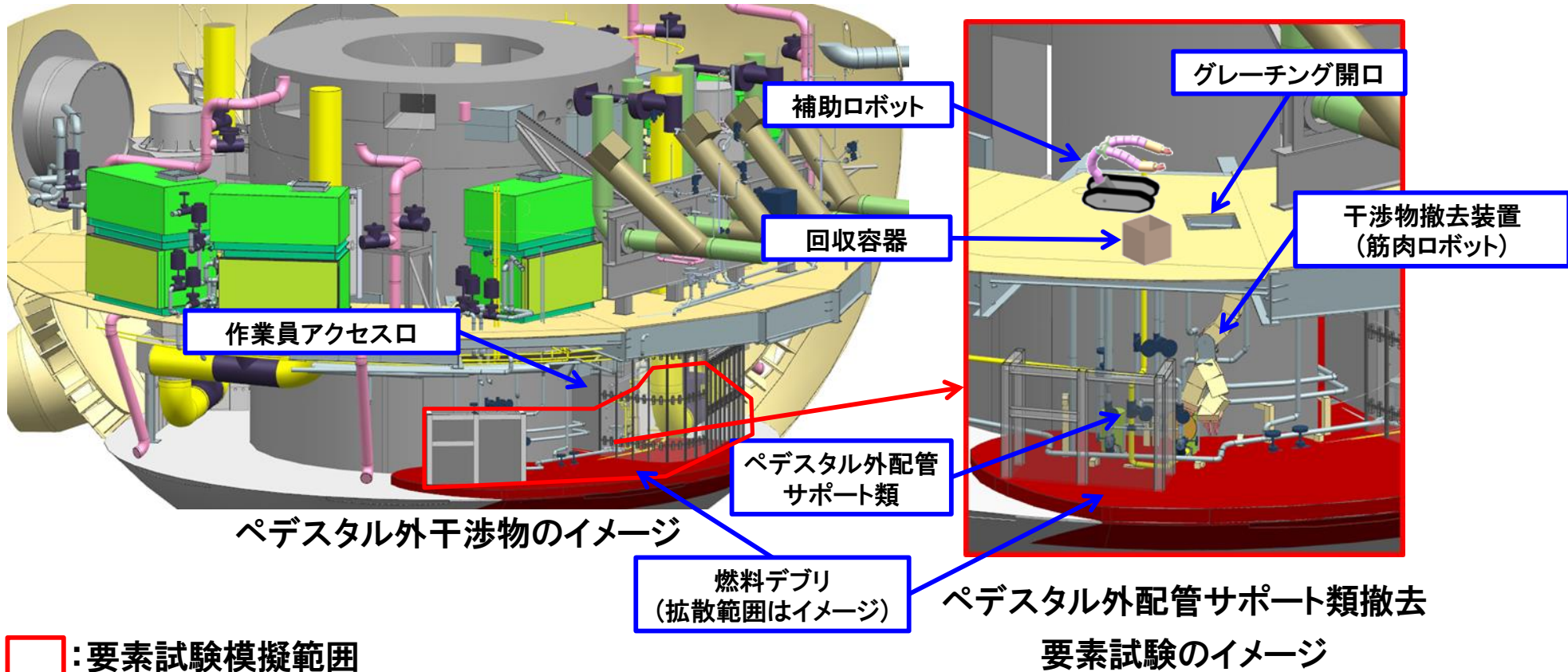
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

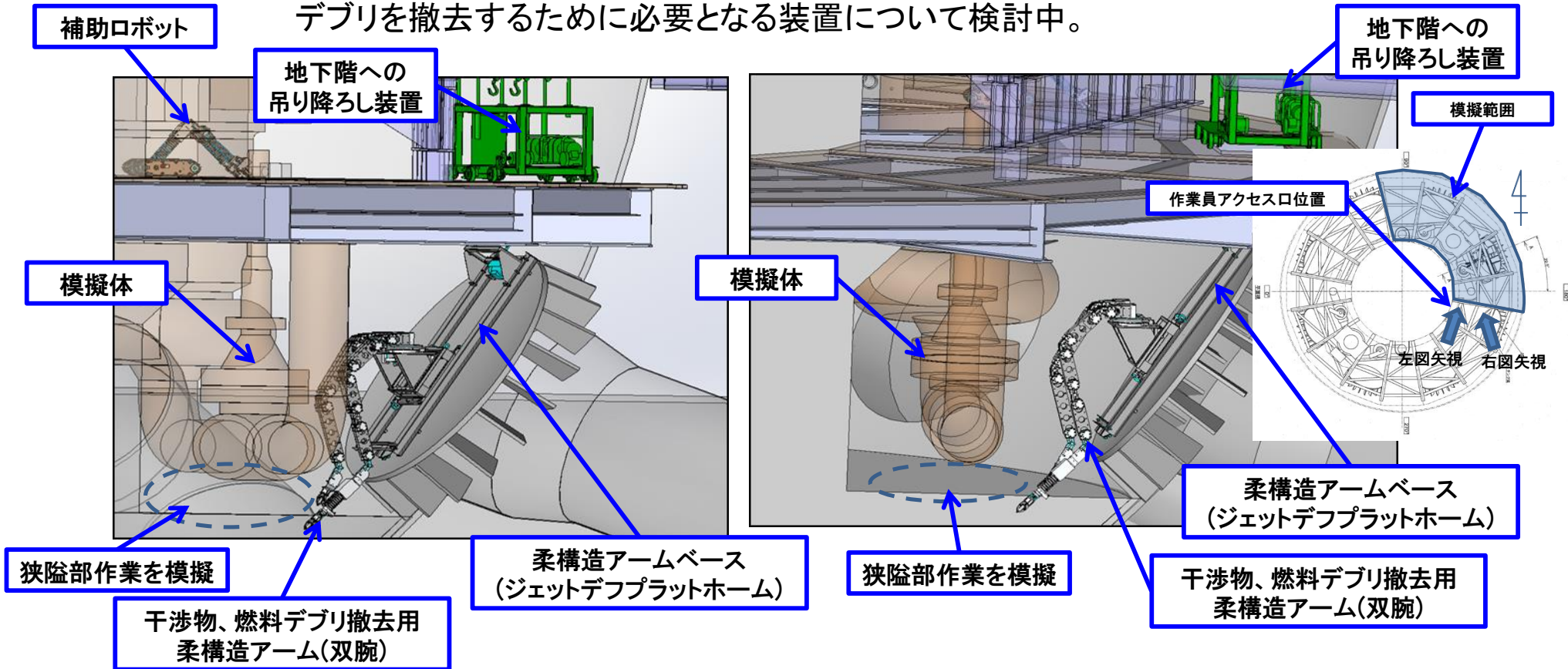
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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

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の穴開けの方法と手段を確立する。

✓ いずれの工法も、X-6ペネを拡大または周辺に開口を追加するコンセプトであり、生体遮へい壁(BSW)とPCV壁は共通の干渉物。

✓ BSW穴開けの方法として、コアボーリングを計画

- 遠隔操作ではあるが、既存技術であり、通常時は大きな課題なし

● 解決すべき課題

➤ 異常時も含めた、遠隔操作によるBSW穴開け(コアボーリング)の実現性を確認する必要がある。

➤ 加工時のダスト、廃液の拡散抑制の実現性を確認する必要がある。

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

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

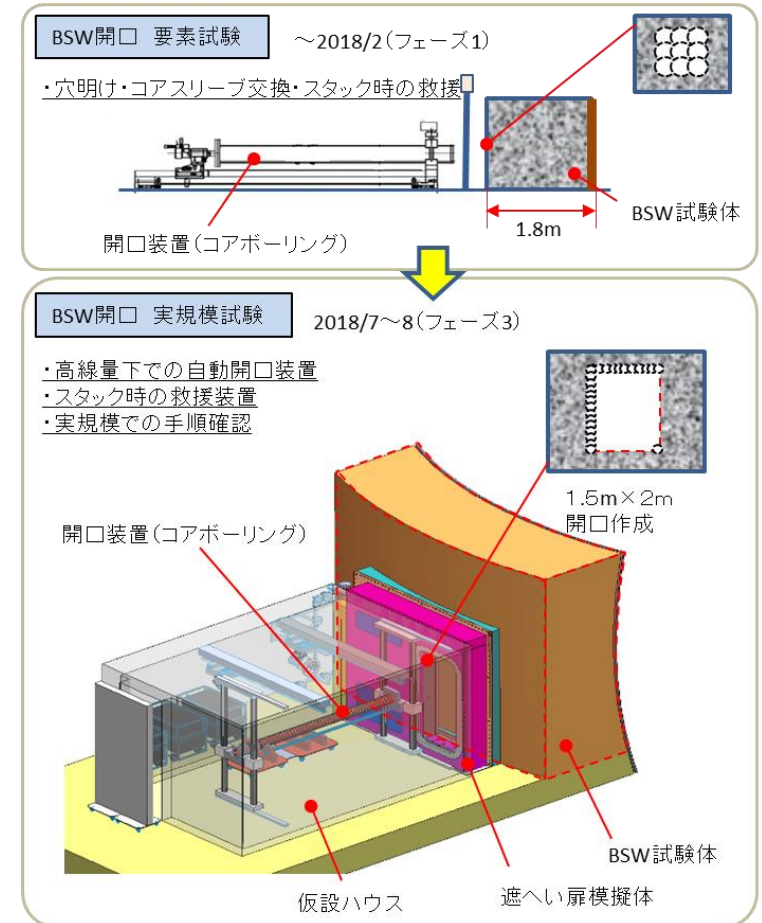
(2) PCVの開口を拡大してアームなどをアクセスする工法における穴開け方法と手段

● 開発の進め方

- 実現性の見極めと、柔軟な計画立案のためフェーズを分けて開発
 - ✓ フェーズ1: 机上検討による適用性評価と試験計画立案
 - ✓ フェーズ2: 要素試験による適用性評価
 - ✓ フェーズ3: M/U体を用いたプロトタイプ切削試験
- 次フェーズに移る前に、有識者によるレビュー等を受審

● 得られる成果

- 開口技術の選定・評価結果
- 保守・救援手順(案)
 - ✓ 異常状態から救援手順
 - ✓ 仮設セル内でのコアスリーブの交換手順



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

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

● 開発目標

- 穴開け装置・位置決め装置が円滑に組み合わせ動作すること。
- 実規模サイズの動作範囲で、装置が円滑に動作し穴開けできること。
- 実規模サイズの動作範囲で救援手順を実施し、異常状態から復旧できること。
- 仮設セル内クレーンを使用して、コアスリーブの交換作業ができること。
- 切削屑回収・廃水処理機器が正常に機能すること。

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

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

● 試験条件・判定条件(例)

- コアスリーブ: 200mm または 250mm(救援用)
- 試験体寸法:

項目	値
高さ	0.8m
幅	1.2m
奥行	1.8m
※0.8m×1.2mの片面表面(PCV側に相当)には3.2mmの鋼板を模擬する。	

- 目標時間:
 - ✓ 穴開け・引き抜き 併せて3時間/本
 - ✓ スタック復旧 0.5時間

※具体的数値は、検討中に定める。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

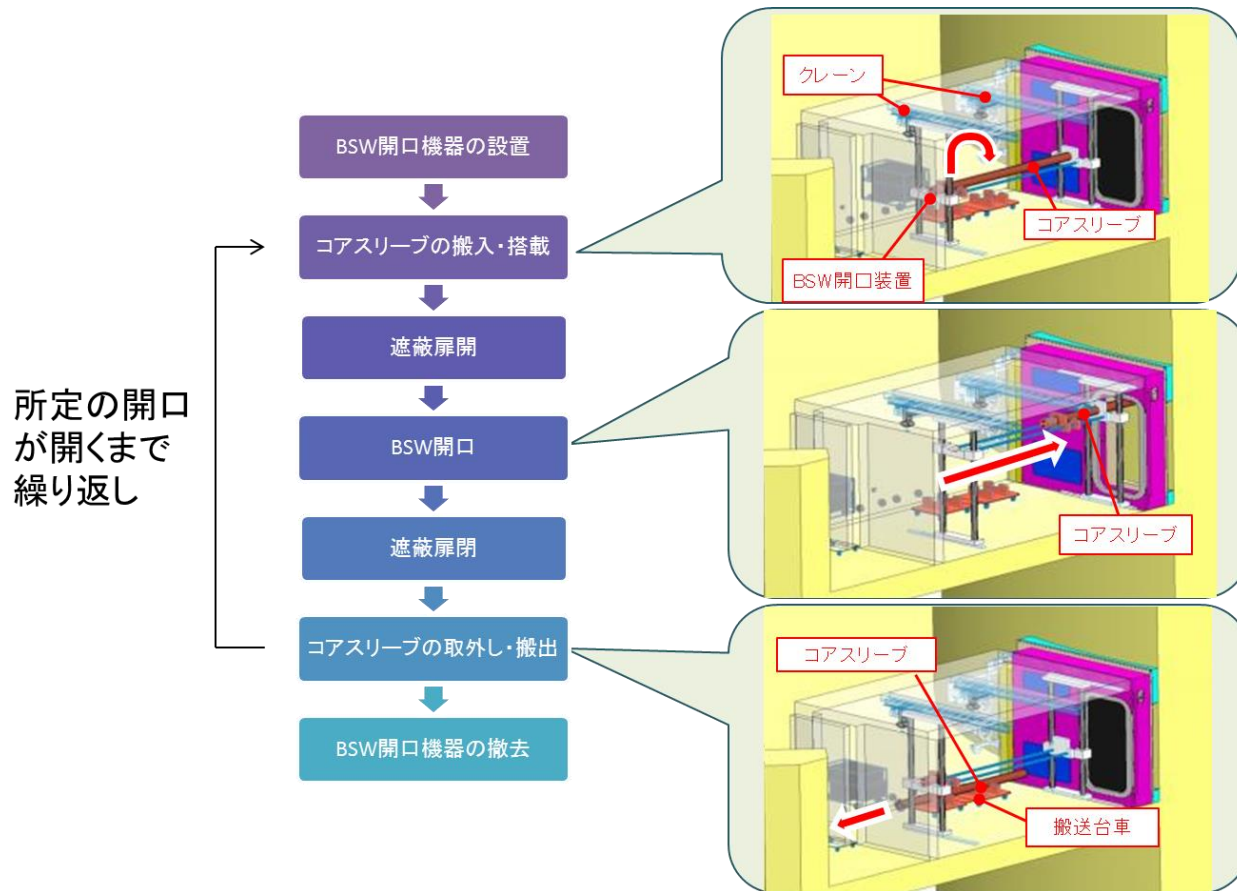
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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

● BSW開口フロー



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

(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

● 試験概要と確認事項

以下2段階の試験で成立性の確認を進めていく。試験条件は横アクセス工法Plan-B2をもとに設定するが、他工法との共通技術として試験を実施する。

①要素試験(単体試験)

BSWの厚み(1.8m)・硬さ・配筋を模した試験体を作成。

開口装置により開口(コアボーリング)を実施

⇒コンクリートコアの回収ができることを確認

連孔ができることを確認

スタック時の救援作業ができることを確認

②要素試験(組合せ試験)

BSWの厚み・硬さ・配筋およびPCV壁を模した試験体を作成

作業セルを模した仮設ハウスを設置

⇒(要素試験と同内容を確認)

位置決め精度を確認

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

● 要求条件

- ◆ 作業セル設置のために必要な開口を確保できること。
- ◆ 既存のPCVを損傷しないこと。
 - BSW穴開けは既存の1次バウンダリの外で行う作業であり、BSW穴開けに伴い既存の1次バウンダリが崩れないことが求められる。
- ◆ 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。

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

● 環境要求条件

◆ 原子炉建屋1階 X-6ペネ近傍を想定

- 線量率(原子炉建屋1階): 5~10mSv/h
- 床面耐荷重: 4.9ton/m²
- 高さ制限: 3m(RHR配管に干渉しない)

◆ BSWの仕様:

- 材質: 強度500~600kg/cm²の鉄筋コンクリート、設計時の鉄筋配置を考慮
- 厚さ: 1.8m、BSW背面には型枠鋼板(3.2mm)を想定
- D38-SD345の鉄筋が2層2段(幅方向ピッチ: 約180~200mm, 高さ方向ピッチ: 約200~400mm)で配置

◆ 温度: 0~40°C

◆ 湿度: 外気と同程度

◆ 設計寿命: 最大1年程度(穴開け作業期間のみ)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

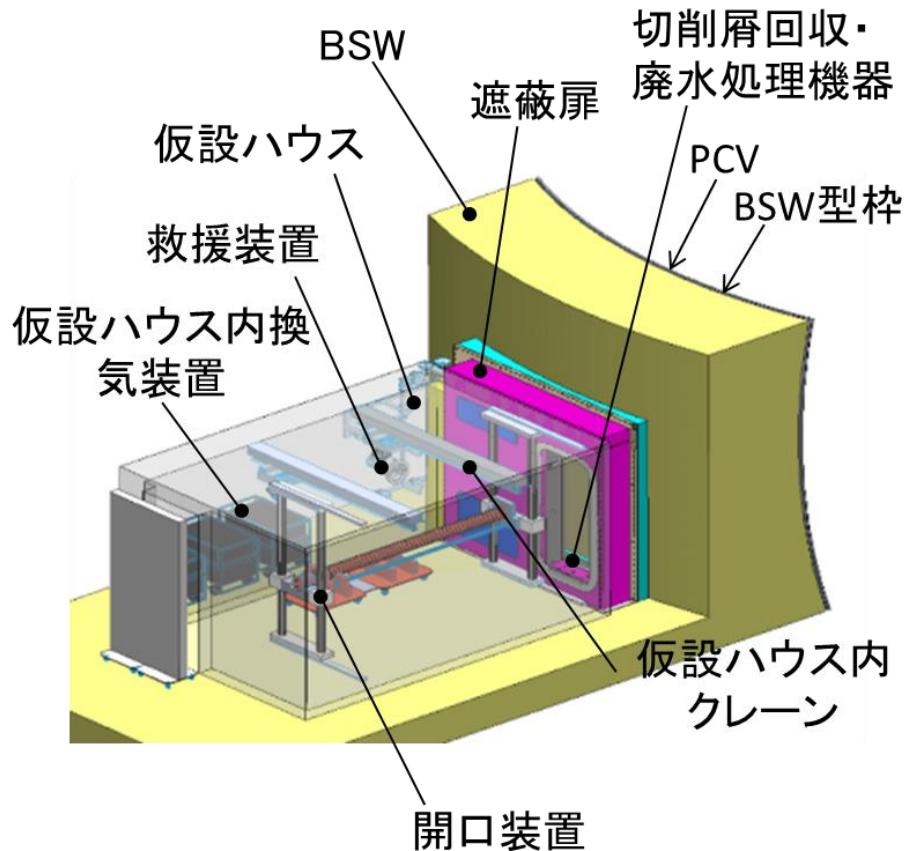
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

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開口装置の基本構成



試験装置・機器		実機
BSW		設計基準強度: 225kg/cm ² *1 厚さ: 1800mm 配筋: D38-SD345 (2層2段) サイズ: 外径R11700×内面SR10074 型枠: 3.2mm鋼板 (片側)
	開口装置	コアスリーブ φ200×3540L (予定)
開口装置	駆動装置	回転・送り共に油圧モータを使用
	位置決め装置	X-Y装置で全自動により位置決めする。
救援装置	ワイヤーソー	BSW・遮蔽扉間に設置し、コアスリーブを切断する。
	大口径コア	φ250×3540L (予定)
遮蔽扉		遮蔽と気密機能を有する扉を設ける。
仮設ハウス		汚染拡大防止を目的に設置し、開口作業を行う。
仮設ハウス内クレーン		ハウス内での作業用にクレーンを2基設置する。
仮設ハウス内換気装置		発生する粉塵等は、フィルター付きの換気装置で集塵する。
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。

*1:実強度500～600kg/cm²を模擬した試験体を製作する。
注記: 現計画であり、今後の設計進捗に応じて見直す可能性があります。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

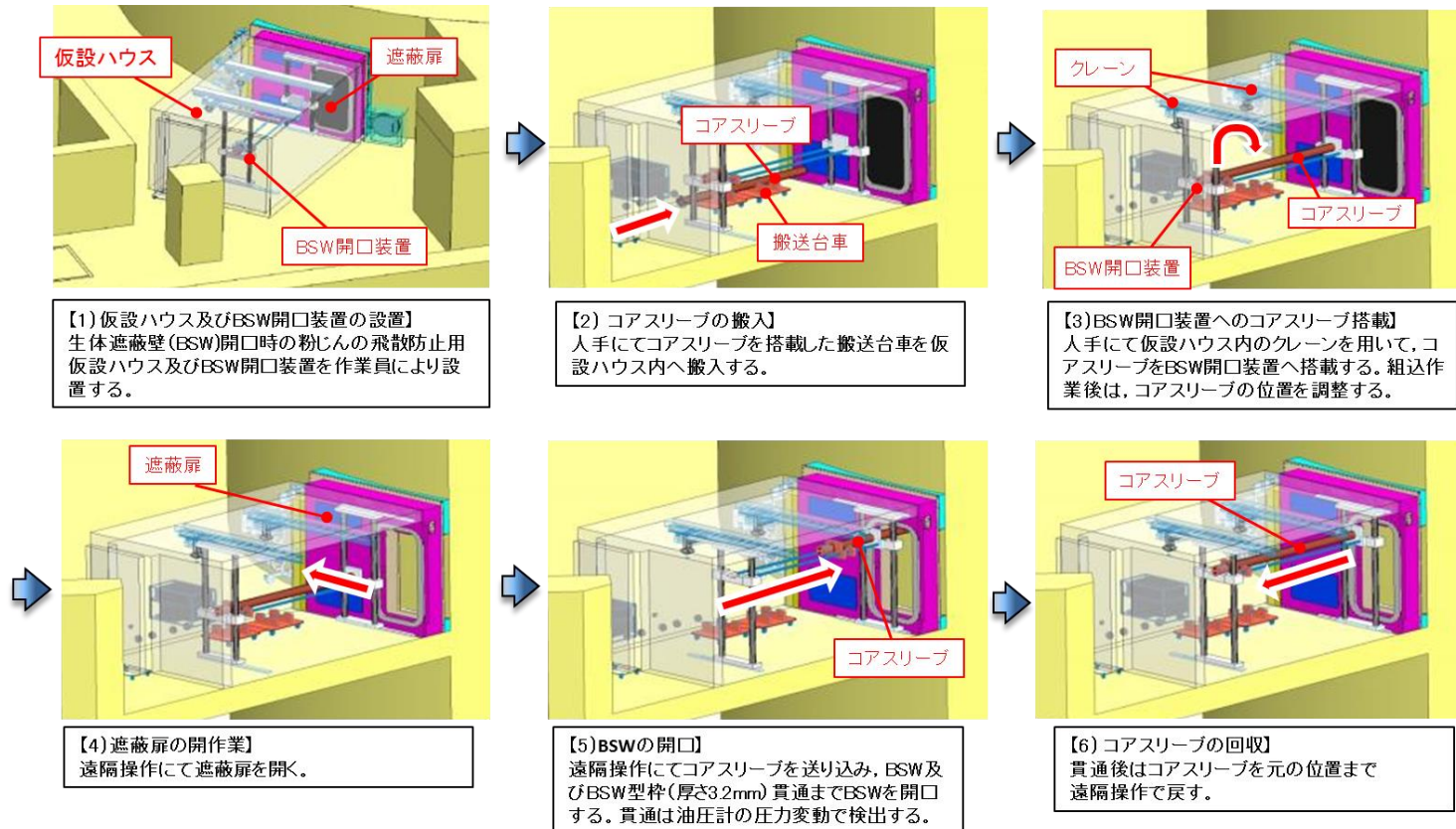
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

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開口作業手順 (1/2)



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

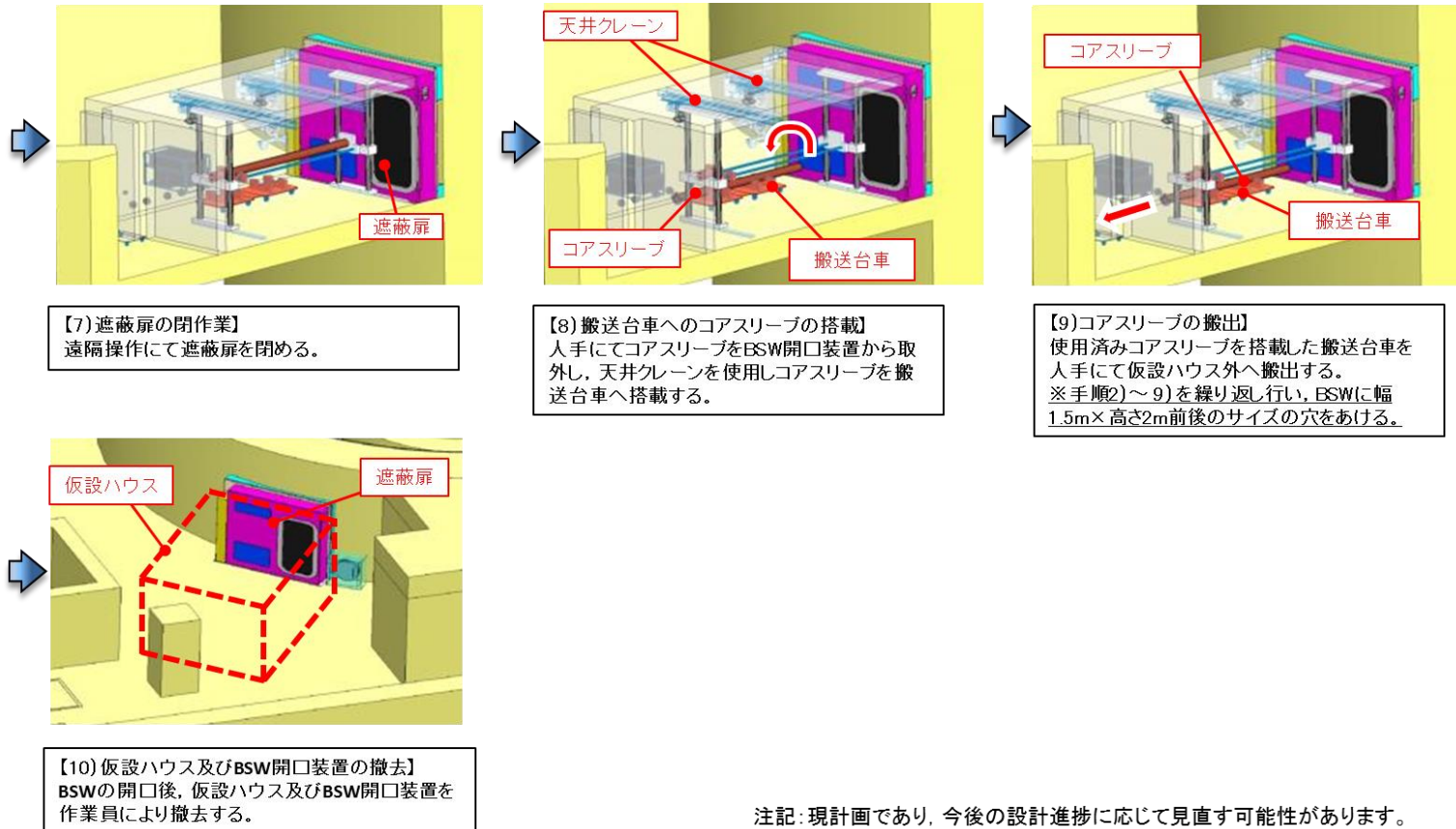
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

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開口作業手順 (2/2)



注記：現計画であり、今後の設計進捗に応じて見直す可能性があります。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

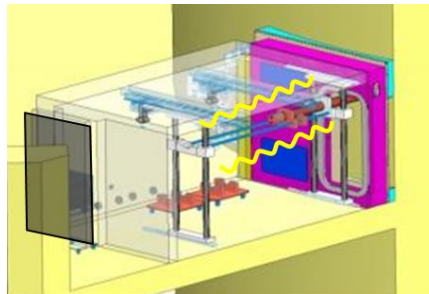
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

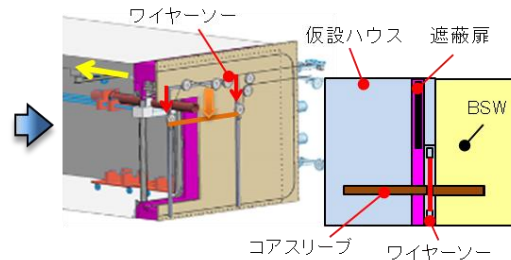
b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(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

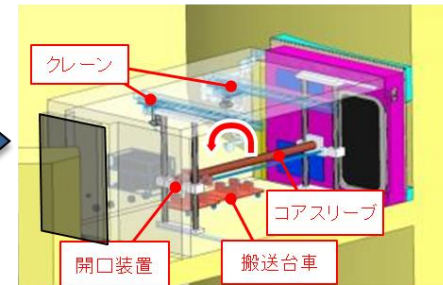
● スタック時の救援作業手順



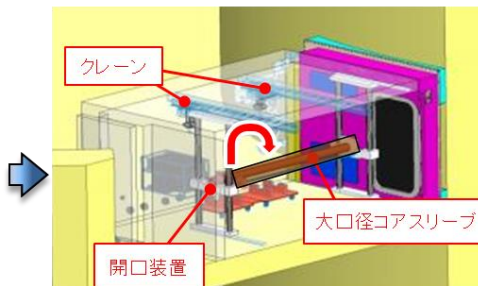
【0】スタック状態(作業前)
コアリング時に鉄筋の小片を噛み込み、コアスリーブ(φ200)がスタックする。



【1】コアスリーブ切断
BSW・遮蔽扉間に設置したワイヤソーを使用して、スタックしたコアスリーブを遠隔操作で切断する。切断後は、コアスリーブを遠隔操作で手前に引き戻す。

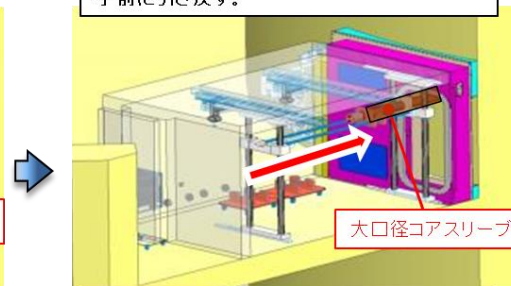


【2】コアスリーブ取外し
遠隔操作で遮蔽扉を閉じ、コアスリーブ(φ200)をクレーンで、作業員により取外し、搬送台車へ搭載し、仮設ハウス外へ搬出する。

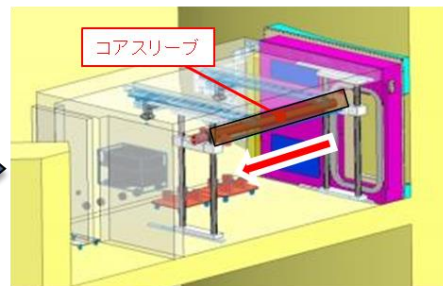


【3】大口径コアスリーブ取付
大口径コアスリーブ(φ250)を搬入し、クレーンを使い、人手にて開口装置に取付る。

注記：現計画であり、今後の設計進捗に応じて見直す可能性があります。



【4】大口径でのコアリング
遠隔操作で遮蔽扉を開ける。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32mm)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。



【5】コアスリーブの回収
貫通後は遠隔操作でコアスリーブを元の位置まで戻し、遠隔操作で遮蔽扉を閉める。大口径コアスリーブはクレーンを使い、人手にて取外し、コアスリーブ搬送台車へ搭載する。(⇒以降は、通常運転時の手順2)に戻る)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

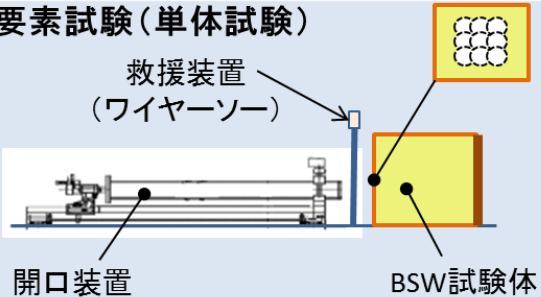
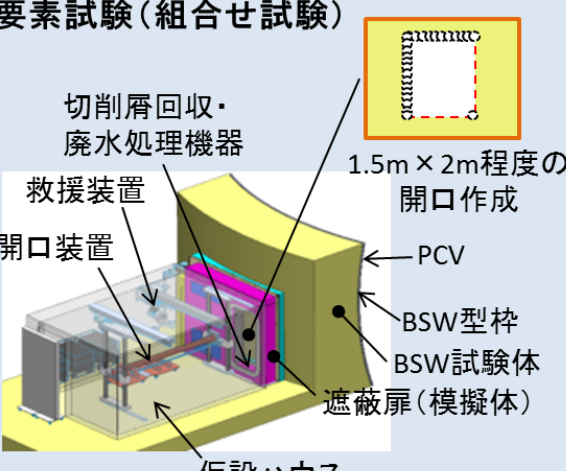
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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

● 試験での評価項目

試験	評価項目
<p>要素試験(単体試験)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・コアリング作業が所定の精度で出来ること。 ・コアリングによる連孔が出来ること(狙いの孔位置からのずれを計測)。 ・コアリング作業時のパラメータを取得する(コア回転の油圧, 送り量, 使用水量)。 ・コンクリートコアの回収が出来ること。 ・コアスリーブの交換(着脱)が出来ること。 ・コアスリーブの救援・復旧が出来ること。
<p>要素試験(組合せ試験)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・要素試験(単体試験)で取得したパラメータを用いて, コアリング作業が所定の精度で出来ること。 ・コンクリートコアの回収が出来ること。 ・コアスリーブの交換(着脱)が出来ること。 ・コアスリーブの救援・復旧が出来ること。 ・実機を模した試験システム(コアスリーブ着脱・コアリング・ダスト回収・廃水回収・救援等)で実機相当のBSW試験体の開口が出来ること。 ・段取り替えの作業時間の計測と合理化が検討できるデータが取れること。

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

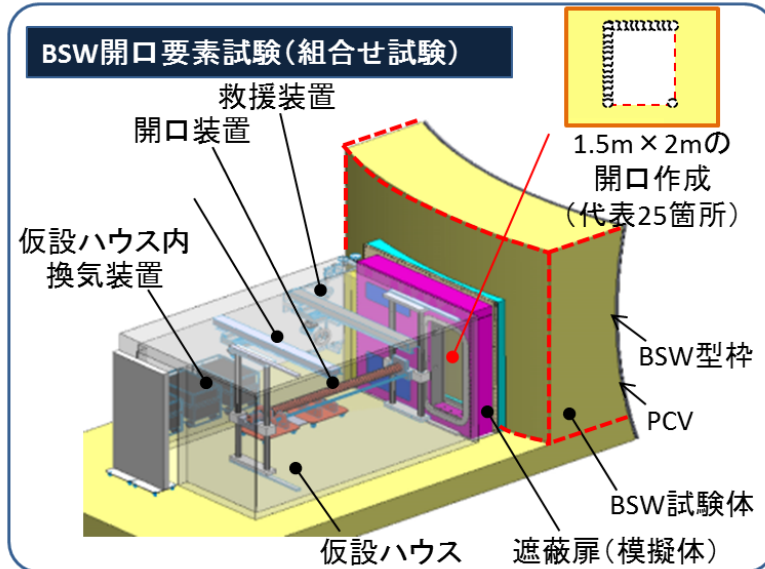
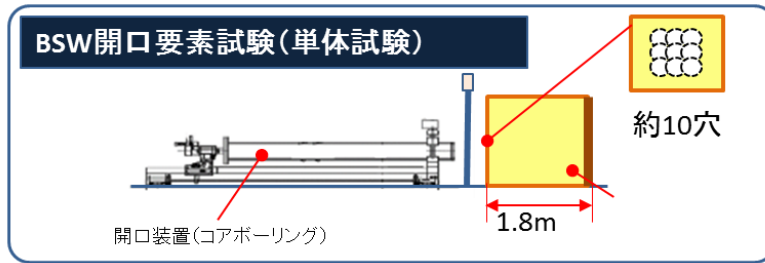
② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

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

(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

● 試験装置の基本構成

凡例 ○:実機相当, ○*:一部を模擬, ×:対象外



試験装置・機器		単体試験	組合せ試験
BSW試験体		○* (型枠を含む)	○ (型枠・PCVを含む)
開口装置	コアスリーブ	○*	○
	駆動装置	○*	○
	位置決め装置	×	○
救援装置	ワイヤーソー	○*	○
	大口径コア	○*	○
遮蔽扉		×	○*
仮設ハウス		×	○
仮設ハウス内クレーン		×	○
仮設ハウス内換気装置		×	○
切削屑回収・廃水処理機器		×	○*

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

● 試験手順及び判定基準

		判定基準/到達点	
		要素試験(単体試験)	要素試験(組合せ試験)
コアボーリング	開口	<ul style="list-style-type: none"> 試験体(強度, 厚さ, 配筋配置)に連孔して開口できる。 BSWの型枠を模擬した鋼板を合わせて開口できる。 設計上定めた勾配(43/200程度)で開口できる。 装置がスムーズに動作する。 最適なコアスリーブサイズ, ラップ代の判断材料の取得 	<ul style="list-style-type: none"> 開口装置・位置決め装置が円滑に組み合わせ動作し開口できること。 実規模サイズの動作範囲(制約の下)で, 装置が円滑に動作し穴開けできること。
	作業水量	予め定めた開口時の作業水量(給水量2L~3L/min)の妥当性を確認する。	
	作業時間	コアボーリング穴開け時の作業時間を把握する(目標時間:穴開け・引き抜き合わせて3時間/本)。	
	廃水	発生した廃水を受け, 発生量やその状態を把握する(ガラスの粒度・廃水性状(粘度)等)。	切削屑回収・廃水処理機器が正常に機能すること。
	開口終了時の検出・停止	穴開け終了端の行き過ぎ量は40mm以下であること。油圧モータの油圧計の圧力変動で管理する。	
コンクリートコアの回収	コアの回収	コアスリーブとコンクリートコアを試験体から引き抜き, 回収できること。	
	時間計測	コアスリーブ後退時間を把握する(目標時間:穴開け・引き抜き合わせて3時間/本)。	
コアスリーブ交換(着脱)	コアスリーブ交換用脱着	コアスリーブの交換, 着脱ができること。	仮設ハウス内クレーンを使用して, コアスリーブの交換作業ができること。
	時間計測	コアスリーブ交換, 脱着時間を把握すること(目標時間:0.5時間)。	
コアスリーブ救援・復旧	コアスリーブ救援・復旧	スタックの状態から復旧できること。(スタックしない場合は模擬して検証)	実規模サイズの動作範囲で, 救援手順を実施し, スタックの状態から復旧できること。
	頻度, 時間計測	スタック頻度と, 復旧時間の把握	
	コアスリーブ切断	所定の位置でコアスリーブをワイヤソーで切断できる。切断されたコアスリーブの挙動を把握	

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

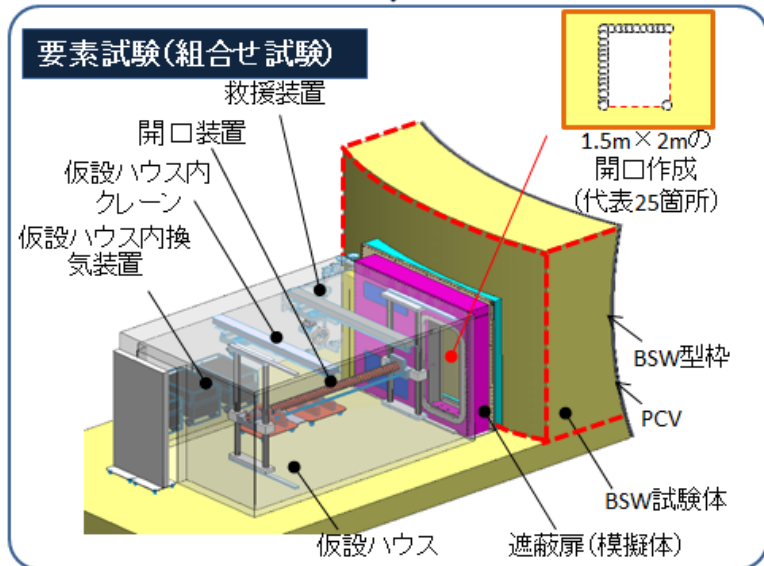
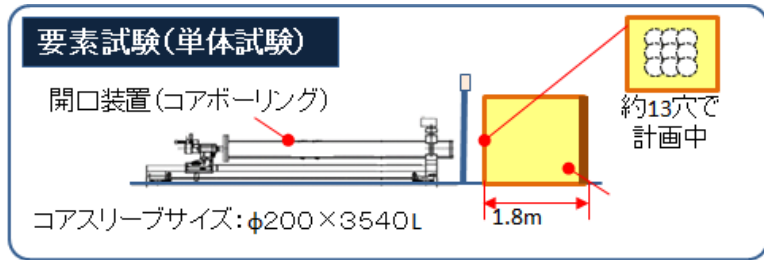
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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

● 単体試験での確認項目



No.	目的・影響	(単体試験)確認項目
①	<ul style="list-style-type: none"> 必要な開口確保(開口寸法の精度) インフレートシール据付性 	開口位置による真直度の変化 適切な開口位置範囲
②	<ul style="list-style-type: none"> 必要な開口確保(開口寸法の精度) インフレートシール据付性 	ラップ代の変化による真直度の変化 適切なラップ代範囲
③	<ul style="list-style-type: none"> 必要な開口確保 既存のPCVを損傷しないこと(1次バウンダリが崩れないこと) 	型枠の開口性 開口完了時の行き過ぎ量(位置・ラップ代の影響)
④	<ul style="list-style-type: none"> 削屑、排水の回収 	排水に必要な勾配
⑤	<ul style="list-style-type: none"> ユーティリティおよび廃水回収設備の仕様決定 	作業時に必要な水量
⑥	<ul style="list-style-type: none"> 全体工程期間 	作業時間
⑦	<ul style="list-style-type: none"> 必要な開口確保 	実機想定条件での連孔性
⑧	<ul style="list-style-type: none"> 救援 全体工程期間 	救援可否 (ワイヤーソーでのスリーブ切断)

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

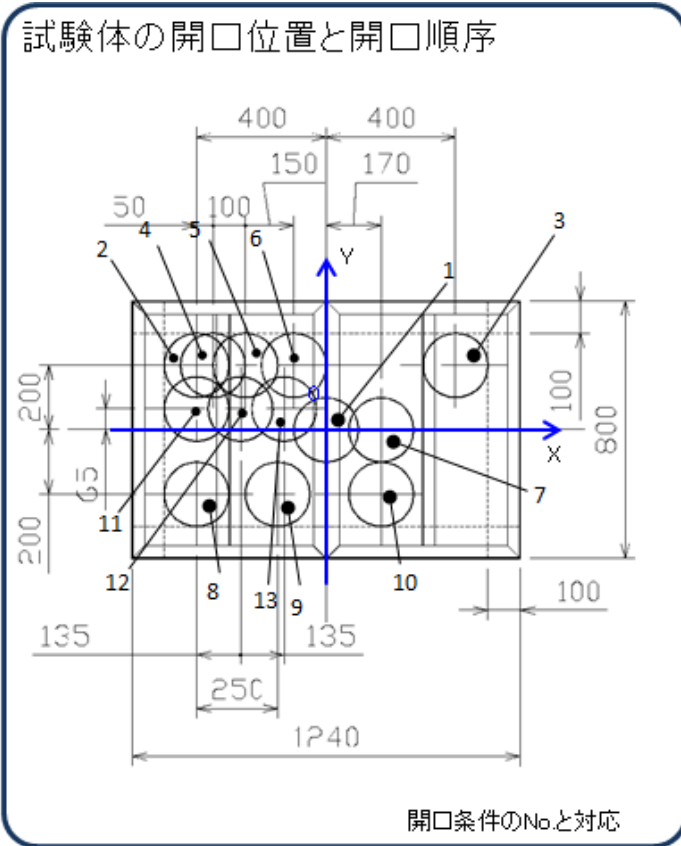
b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

(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

● 試験での評価項目

<開口条件詳細一覧>

No.	穴位置 (座標)*1		ラップ代	勾配	角度 [°]	主な 確認項目	補助的な 確認項目
	X	Y					
1	0	0	—	0	0	①*2真直度 ①真直度 ②ラップ代 ③型枠開口 ④廃水勾配 ⑤水量 ③型枠開口 ⑦*4 実機想定の変孔 ⑧救援	⑥作業時間
2	-400	200	—	0	0		
3	400	200	—	0	0		
4	-350	200	横150mm	0	0		
5	-250	200	横100mm	0	0		
6	-100	200	横50mm	0	0		
7	170	0	横30mm	0	0		
8	-400	-200	—	$\Delta 1/50$	0		
9	-150	-200	—	$\Delta 3/200^{*3}$	0		
10	170	-200	—	$\Delta 1/100^{*3}$	0		
11	-400	65	上65mm	$\Delta 3/200^{*3}$	4		
12	-265	65	上65mm, 横65mm	$\Delta 3/200^{*3}$	4		
13	-130	65	上65mm, 横65mm	$\Delta 3/200^{*3}$	4		



- *1: 試験体の中心を原点(X, Y=0, 0)とする。
- *2: 開口No.1との違いをNo.2, 3で確認する。
- *3: No.8の $\Delta 1/50$ で排水が困難な場合は、勾配を強める方向に見直す。
- *4: No.11~12は、実規模を意識した総合的な確認を行う。総合的な確認とは、実規模と同等の開口勾配・角度にした場合の開口可否(型枠含む)、作業水量、作業時間を指す。
- *5: 今後の設計進捗に応じて、見直す可能性がある。

確認項目の番号と対応

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

● 実機と試験体の比較

	実機	試験体	変更箇所の理由
形状	外径R11700×内面SR10074	幅1240×高さ800×奥行1800	合理的な切出しとする。
コンクリート種類	JIS A 5308 普通コンクリート (フライアッシュセメントB種) 呼び: 普通 225-15-25FB	JIS A 5308 普通コンクリート (普通セメント) 呼び: 普通 51-21-20N	
コンクリート強度	設計基準強度: 225kg/cm ² (22N/mm ²) * *: 但し, 高経年調査による実測値で50~60N/mm ² の箇所有。	設計基準強度: 51N/mm ² (実測値で50~60N/mmを目標)	実測値と同等とするため。
鉄筋種類	鉄筋コンクリート用棒鋼 D38×SD35 (JIS G3112)	鉄筋コンクリート用棒鋼 D38×SD345 (JIS G3112)	SI単位系への変更による 呼称変更(同等)
配筋 1層目	1段: 縦筋200mmピッチ, 横筋200mmピッチ 2段: 縦筋200mmピッチ, 横筋400mmピッチ ※床からの立上がり筋は120mmピッチ	同左	—
2層目	1段: 縦筋200mmピッチ, 横筋200mmピッチ 2段: 縦筋200mmピッチ, 横筋400mmピッチ ※床からの立上がり筋は120mmピッチ	同左	—
型枠	3.2mm鋼製型枠 ・接合部はジョイントボルトφ10 ・L40×40×3の形鋼で補強	同左	—
	100枚割り付け(取付け角度176.4°)	取付け角度を同じとする。	—

コンクリート呼びの説明(普通 ○○-××-△△◆◆)

普通: 普通コンクリート, ○○: 設計基準強度(225kg/cm²(22N/mm²), 51N/mm²), ××: スランプまたはスランプフロー(cm), △△: 粗骨材の最大寸法, ◆◆: セメント種類(FB: フライアッシュセメントB種, N: 普通セメント)

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

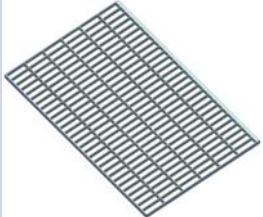


2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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。
撤去が必要となる干渉物について、整理した。

: 要素試験計画中

注: 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 	① 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 	① 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	<ul style="list-style-type: none"> 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) 	① 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	<ul style="list-style-type: none"> 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。

: 要素試験計画中

注: 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 	① 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。

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。
 - スループットの具体化。

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

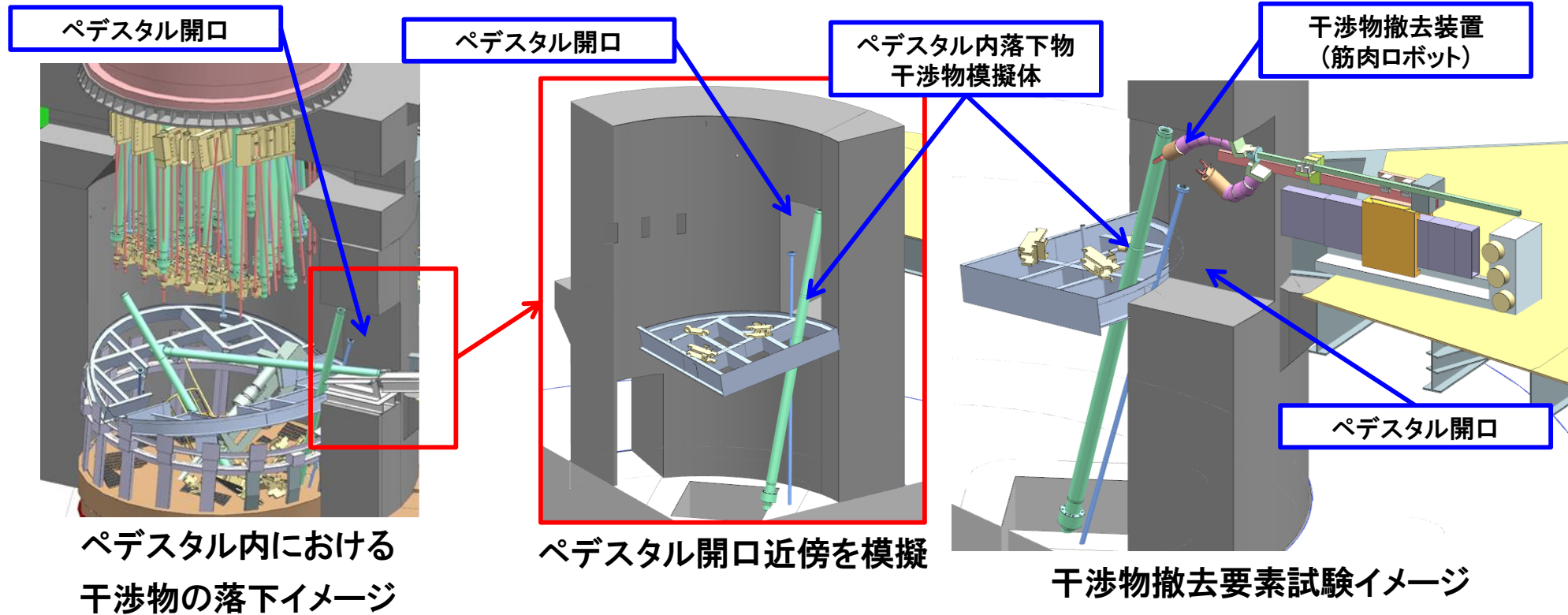
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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。



: 要素試験模擬範囲

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

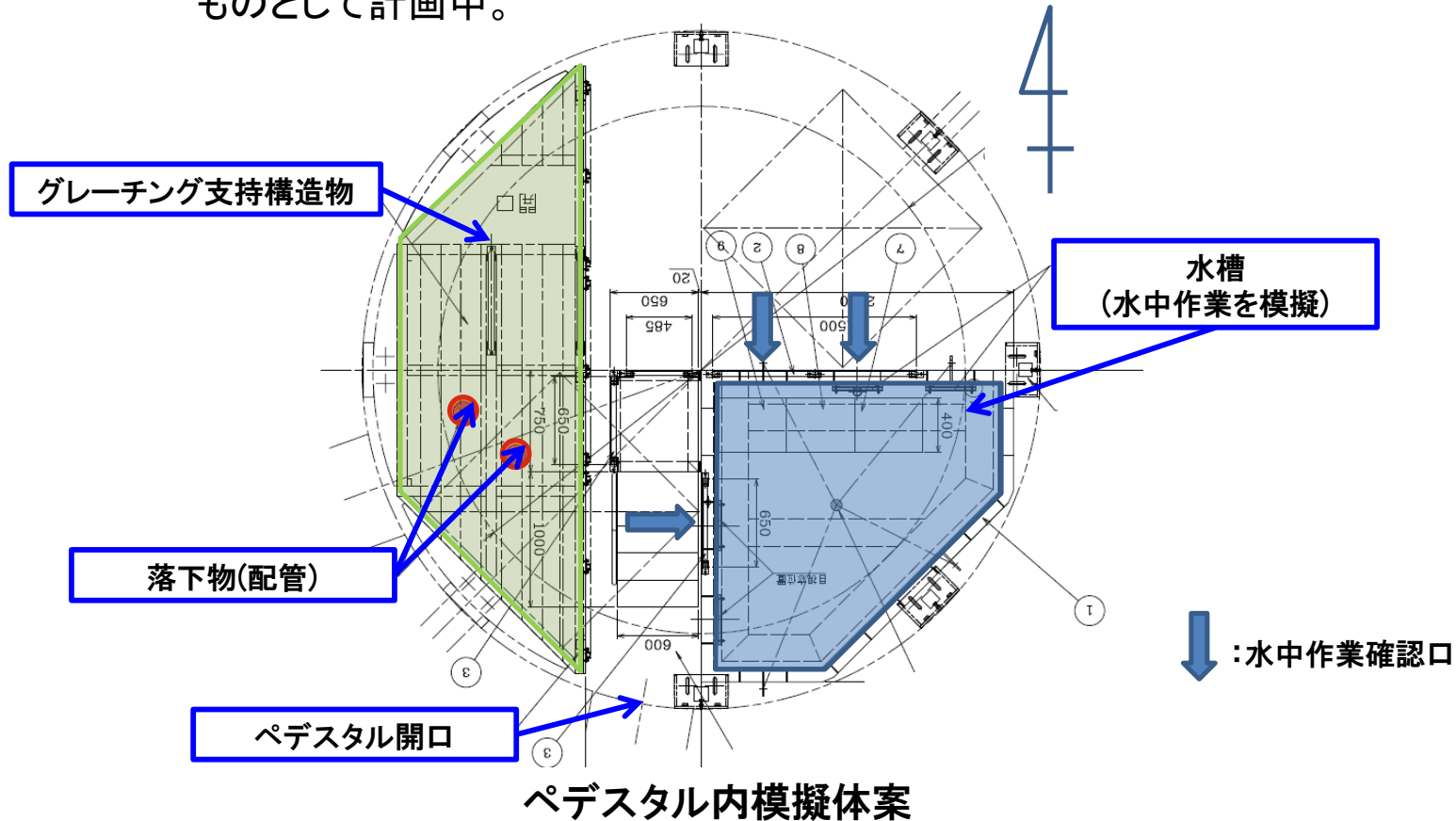
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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

ペDESTAL内模擬については、落下物を模擬するとともに、水中作業を考慮したものとして計画中。



6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

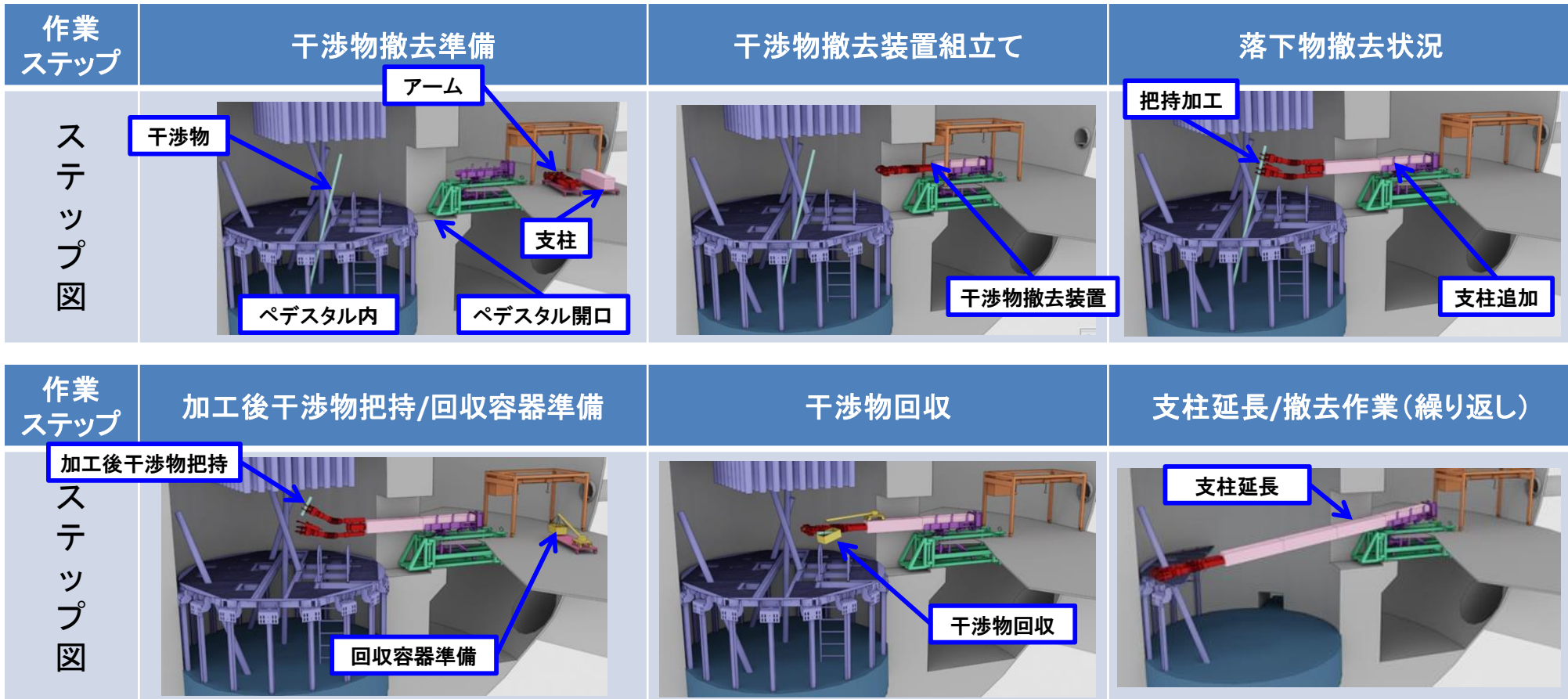
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

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内干渉物撤去について撤去手順を具体化し、要素試験に必要な設備を検討中。



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

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(昨年度製作)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

● 課題

➢ 昨年度の要素試験で、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。

● 昨年度の試験成果

➢ 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遠隔敷設性確認
- 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

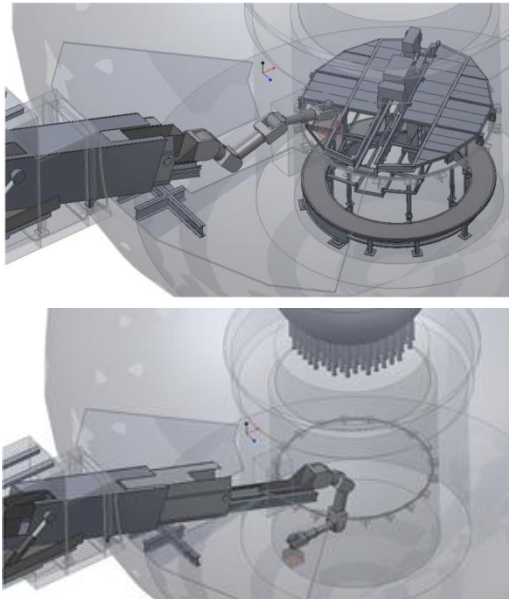
② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

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

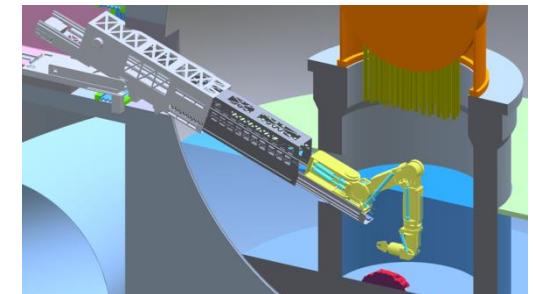
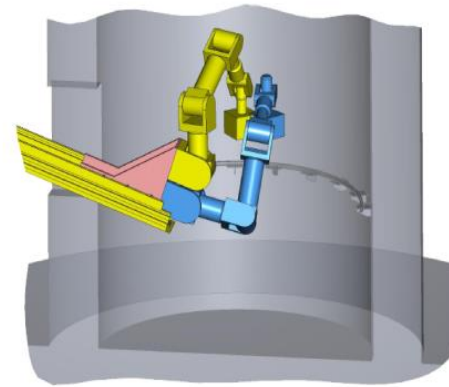
(2) ロボットアームとアクセスレールを組み合わせた動作性確認

● 概念検討

- 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。



干渉物撤去



燃料デブリ取り出し

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容


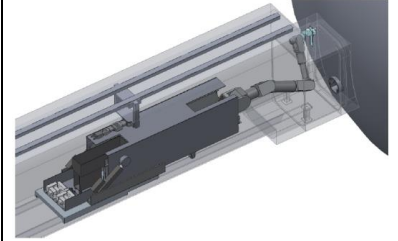
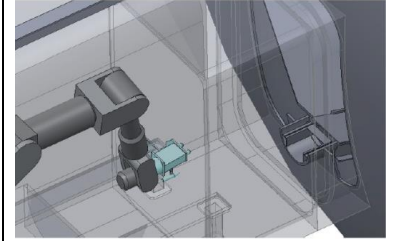
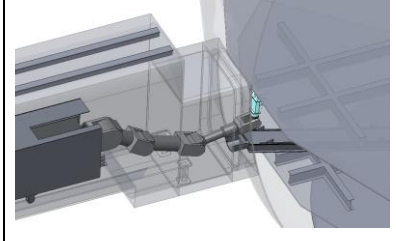
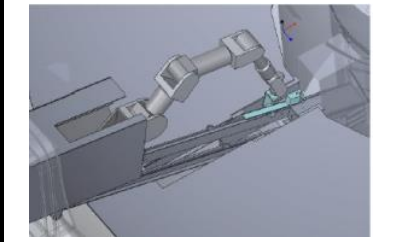
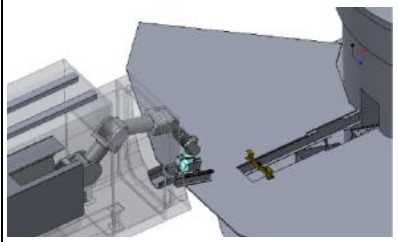
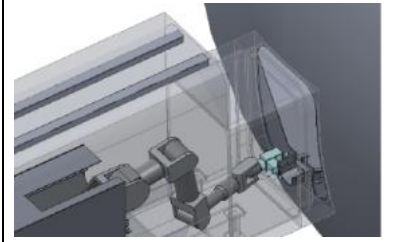
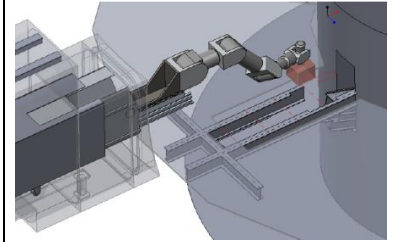
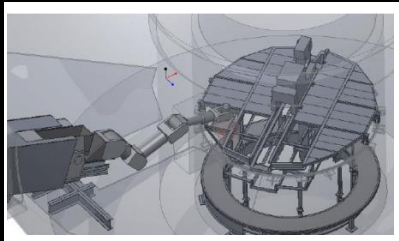
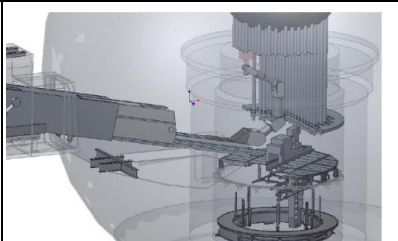
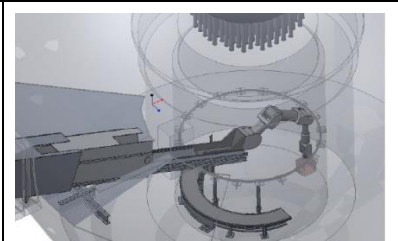

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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】

<p>1. X-6 ペネ切断 (CRD レール接続部は残す)</p> 	<p>2. PCV 壁切断</p> 	<p>3. PCV 壁切断 (CRD レール接続部は残す)</p> 	<p>4. PCV 内の X-6 ペネ上方グレーチング切断</p> 
<p>5. CRD レールを奥側から切断</p> 	<p>6. CRD レール手前側を切断</p> 	<p>7. 残った X-6 ペネを切断</p> 	<p>8. アクセスレール敷設の妨げとなるグレーチングを切断</p> 
<p>9. CRD 交換機を切断</p> 	<p>10. CRD を切断</p> 	<p>11. ペDESTAL 奥側の干渉物を撤去</p> 	<p>12. ペDESTAL 手前側の干渉物を撤去</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

● 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。



昨年度製作した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、本事業の検証/将来の検証、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

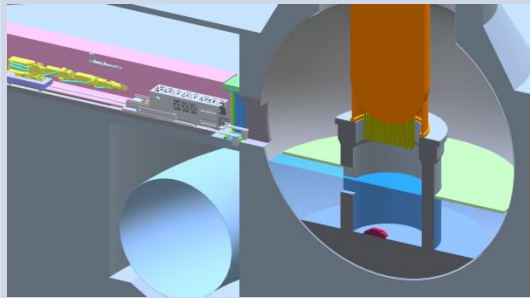
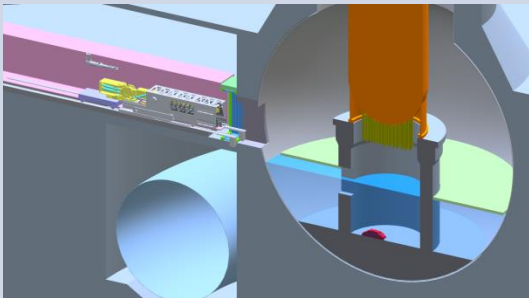
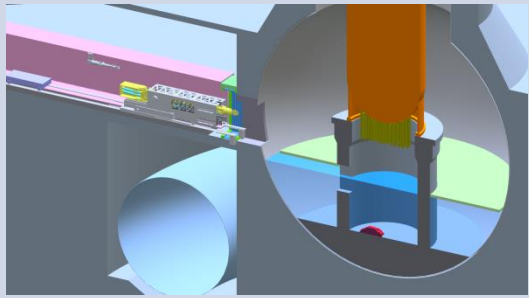
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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	<p>(1) アクセスレール傾斜</p> <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 <p>⇒ 昨年度、要素試験実施済み</p>	<p>(1) アクセスレール伸縮</p> <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 <p>(2) アクセスレール遠隔敷設 (カメラによる位置決め可否)</p> <p>⇒ 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)</p>	<p>(1) 台車移動</p> <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 <p>(2) ロボットアーム遠隔案内</p> <p>(3) アーム台車のレールへの固定</p> <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

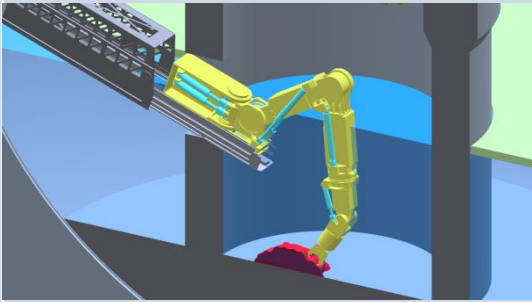
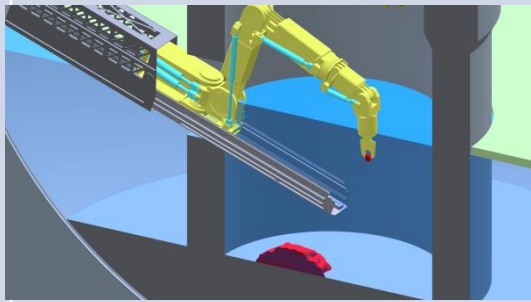
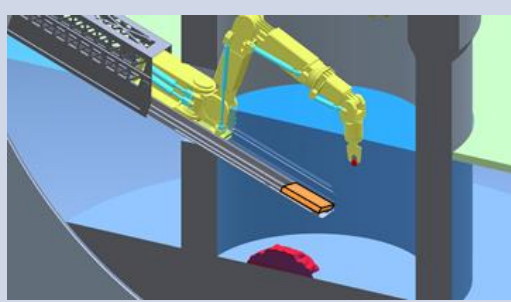
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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. ユニット缶をレール上にある台車により燃料デブリ回収位置に移動
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 ⇒ 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) 搬送台車移動 <ul 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

6. 本事業の実施内容

6.2 実施内容

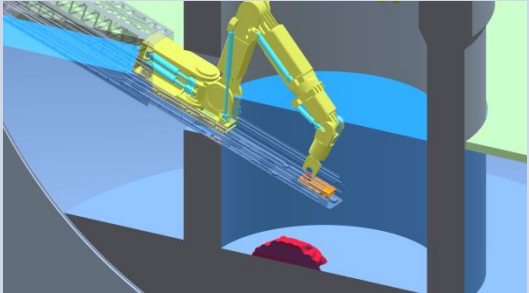
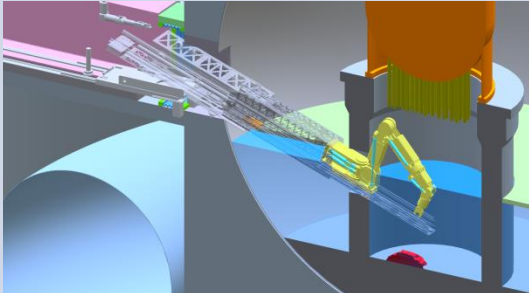
2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

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. 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	11. ユニット缶をレール上にある台車によりセル内に移送
ステップ図		
検証項目	(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	(1) 搬送台車移動 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

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	<ul style="list-style-type: none"> (1) 非常脱出 <ul style="list-style-type: none"> ① ロボットアームの搬出姿勢への変更 ⇒ 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)	—	
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	—	○	

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敷設 ・ 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敷設 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	—	○ ・ 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)	

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	—	○ ・昨年度実施済み ・今年度は暗闇で実施	
		(2) ロボットアーム先端の位置決め精度	—	— ・昨年度実施済み	
		(3) 干渉物、燃料デブリの加工(掘削)	○	— (別要素試験で実施)	
		(4) 干渉物、燃料デブリの加工(掘削)時の切粉回収	○	—	
		(5) 干渉物、燃料デブリの加工(掘削)時の反力支持	—	○	

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

● 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	
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	○	—	
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	—	○	
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	○	—	
		(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		

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	(1) ロボットアームの搬出姿勢への変更	—	— ・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	—	○	
		(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。)	—	
10	耐環境性	(1) 耐環境性(放射線、温度、湿度、粉塵、異物)	○	—	
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	○	—	

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	○	—	
13	一連作業の成立性	(1) 一連作業実施し、課題の抽出	—	○	
14	スループット	(1) スループット確認	—	○	

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

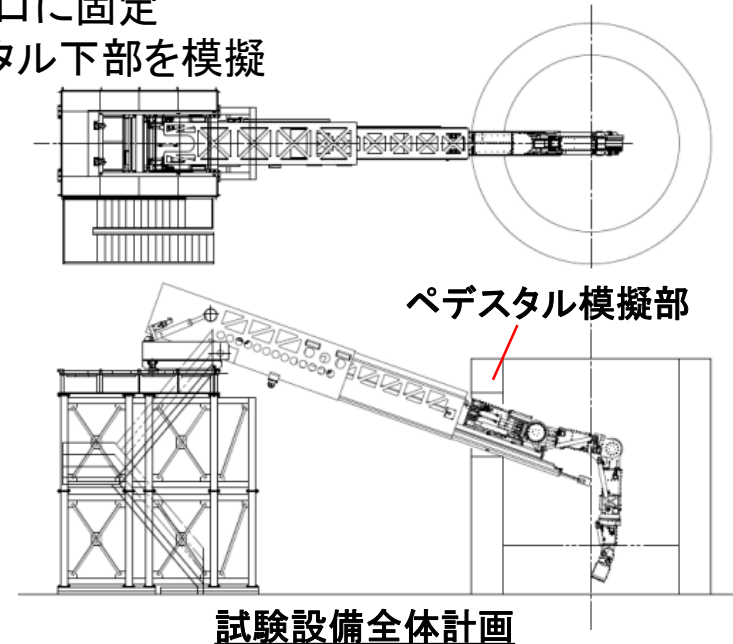
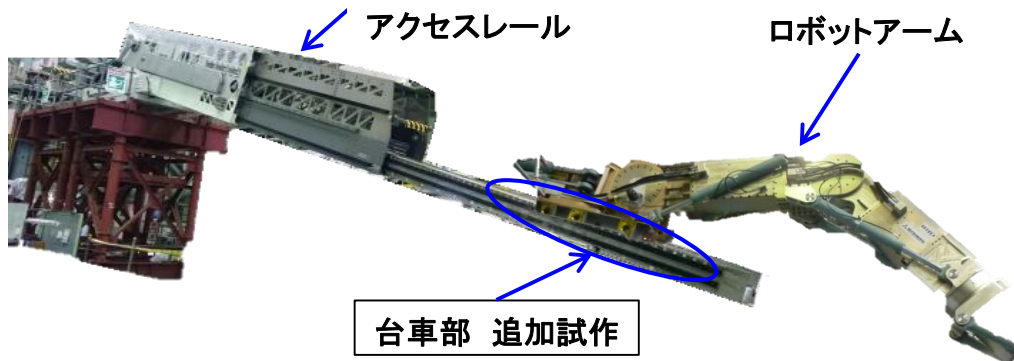
② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

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下部を模擬
(新規製作)



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

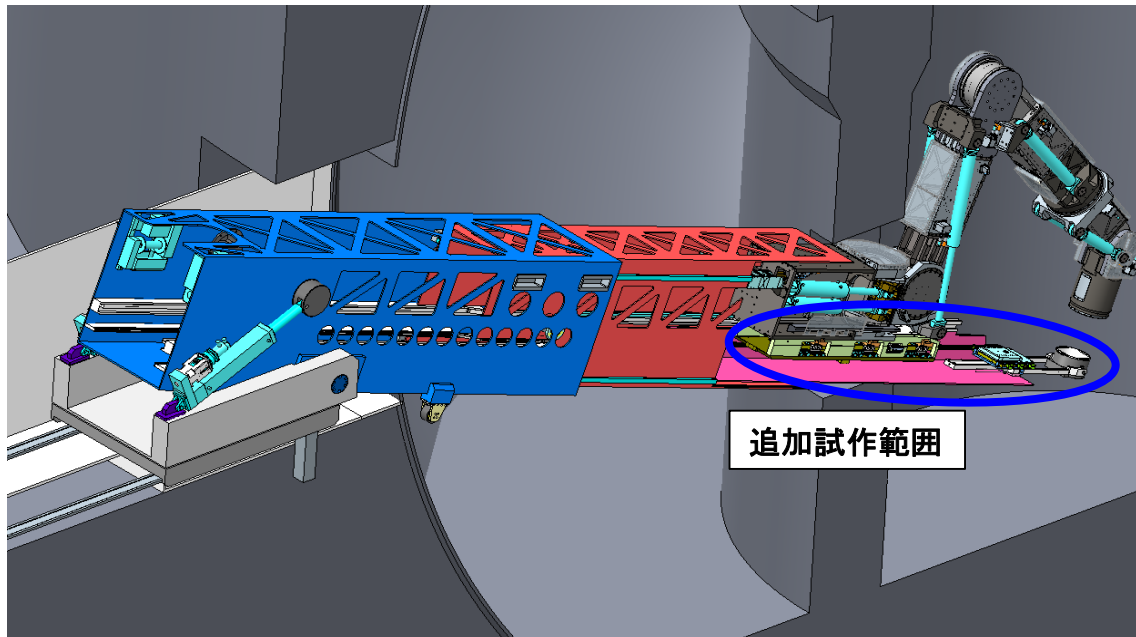
② 燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

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

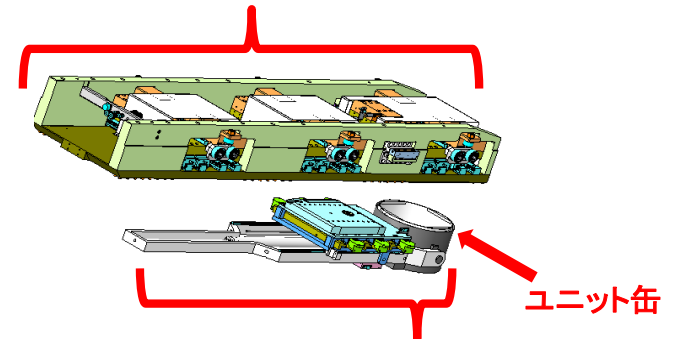
● 試験装置概要

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。



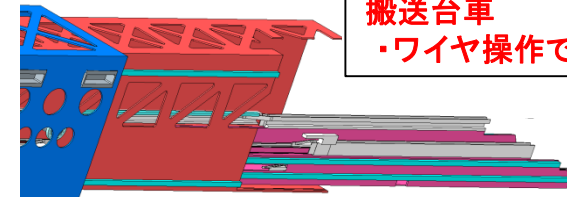
アーム台車

- ・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、アクセスレール敷設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)

● 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
- ペDESTAL内への装置搬入から燃料デブリ回収までの各作業時間(燃料デブリ掘削時間除く)
- 詳細な課題の抽出及び対応策

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

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"> アーム台車のアクセスレール乗り移りが可能なこと。 アーム台車と搬送台車が固定可能なこと。 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敷設	<ul style="list-style-type: none"> 装置に設置したカメラ、照明で、暗闇で遠隔敷設可能なこと。
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。 搬入時のペDESTAL内でのロボットアーム姿勢変更がカメラ画像にて可能なこと。 アーム台車のレール固定保持力〇〇以上(具体的判定値は検討中)。 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"> 装置に設置したカメラ、照明で、暗闇で位置決め可能なこと。
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で床面を押し、ロボットアーム、アクセスレールの挙動に問題ないこと。

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

● 試験項目と判定基準

No	試験項目	判定基準
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"> ロボットアームのアクセスレール搬入～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"> 一連の作業時間を計測し、10年以内であること(10年を超える場合は、対応策を検討)。

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

(3)ロボットアーム作動油の耐放性確認

● 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、作動油の耐放性試験を実施し、耐放性に関するデータを取得する。
(樹脂等の材料、電子部品等の耐放性に関するデータはある程度存在するが、作動油に関するデータはほとんどないため、耐放性試験が必要)。

● 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
- 耐放性試験

● 試験条件

- 線量率 : 試験設備側と今後調整
- 集積線量 : 今後調整、例) 100, 300, 500, 750, 1,000[kGy]

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性確認

- 得られる成果
 - ロボットアーム作動油の耐放性データ
- 開発状況
 - 作動油選定
これまで使用してきた作動油に加え、耐放性を期待できる作動油を選定中。
 - 試験・評価方法検討
耐放性試験の評価項目を抽出中。動粘度・酸化・汚染度・引火点の変化、ガス発生量をリストアップ。
 - 耐放性試験
試験管等の容器に入れた作動油にて実施計画中。

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

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

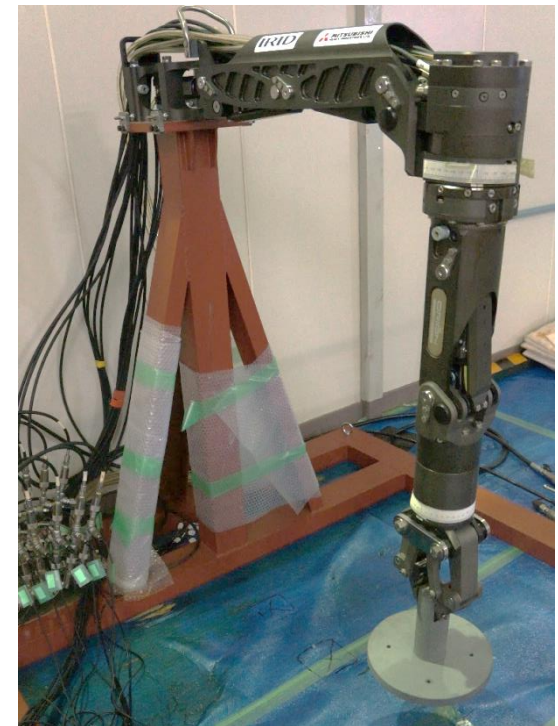
- シリンダに掛かる力推定、および、推定した力に基づく力制御手法の開発
- 位置制御と力制御の両立

● 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

● 開発状況

- 制御則の有効性を確認する試験装置の製作
制御則の検証が容易な、1軸油圧シリンダから構成される試験機を製作。
- シリンダに掛かる力推定の開発
圧力、差圧を用いた力推定やフィルタ設定による精度向上など、力推定方法を検討中。
力推定方法の有効性は、1軸油圧シリンダによる力をロードセルで計測して実際の力と比較し評価する。
- 力制御の開発
1軸油圧シリンダで、PI制御による作動確認を実施した。
それらの結果をベースに力制御の制御則を検討中。

6. 本事業の実施内容

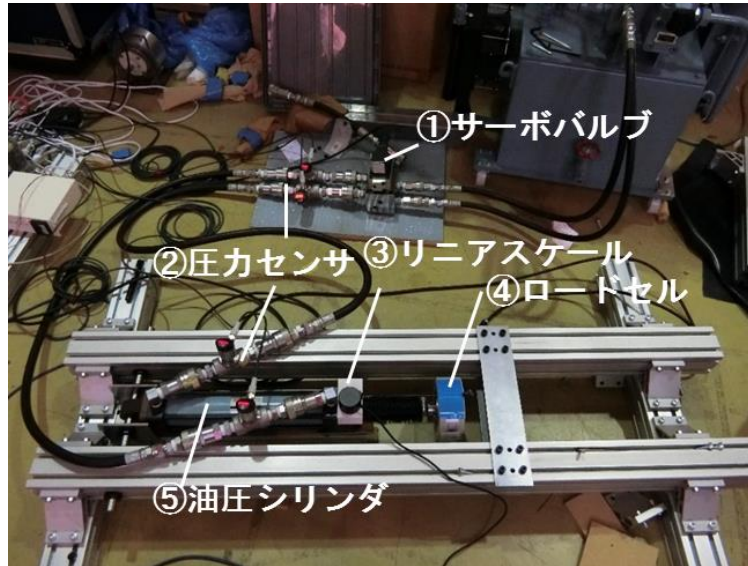
6.2 実施内容

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

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



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

(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

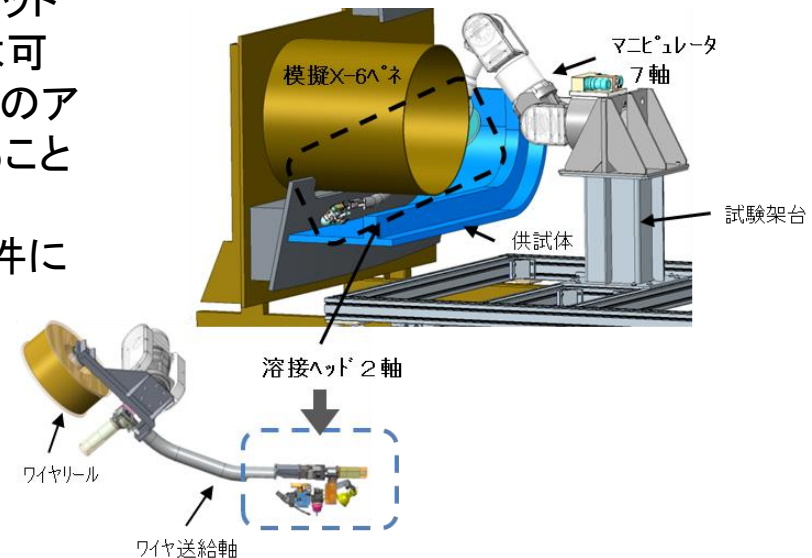
● 課題

- 複数ロボットの組み合わせ(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、作業進捗に応じて変化する狭隘部へのアクセス操作は、オペレータにとって非常に困難となることが予想される。

そこで、多自由度ロボットの干渉回避などの拘束条件に基づく動作計画手法の開発が必要である。

● 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



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

➤ 目的軌道と拘束条件の記述方法の検討

神戸大 田崎グループの先行研究(2013)である

「マルチボディシステムの拘束ベース多目的軌道計画法」を適用する。

- ・マルチボディとして表現された作業環境上の軌道計画手法を提案
- ・低優先度タスクが高優先度タスクに干渉しないことが保証
- ・物体を目的の位置に持っていく上で無駄の少ない動きで到達可能

起動計画法を直接適用する場合、

- ◆手先軌道と溶接経路の一致
- ◆各リンクと溶接対象との干渉回避

以上の拘束条件を充足する軌道を勾配法にもとづく最適化計算により生成する。

➤ 周囲環境の汎用的記述方法の検討

周囲環境もマルチボディとして表現する。

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

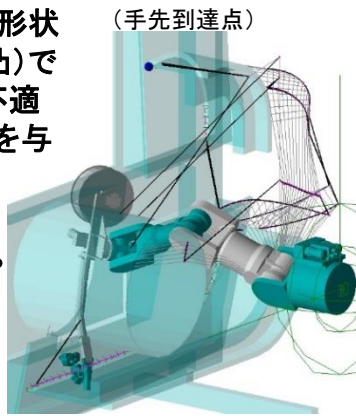
(5)多自由度ロボットの環境との干渉回避を考慮した動作計画手法の開発

● 課題と解決法

課題

<失敗例>

作業対象の形状が複雑(非凸)であるため、不適切な初期値を与えると解が得られない恐れがある。



解決法

<成功例>

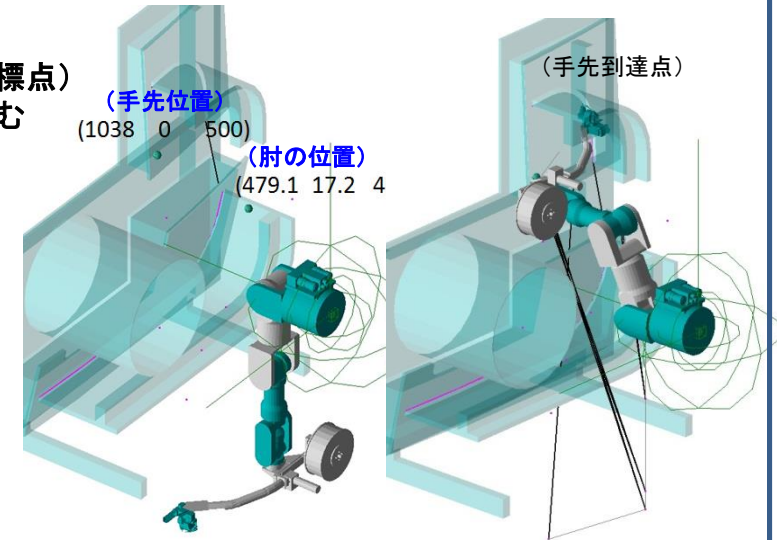
事前におおまかな経路点(仮想目標点)を指示し、以下の①②二段階を踏む計画法を提案。

①暫定軌道生成

手先と肘の位置を仮想目標点に一致させる。干渉回避は考慮しない。

②本軌道生成

①の暫定軌道を初期軌道とし、手先を溶接経路に一致させる。干渉回避を考慮する。



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

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

- 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る。

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

- 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。
- 横アクセス3工法に関する専門家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る。

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する。

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

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。

- 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。

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

● 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。
- 保守を考慮したセル内の機器配置・動線を検討する。
- 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)。

● 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
- セル内機器配置図
- 技術開発計画

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

● 検討方法

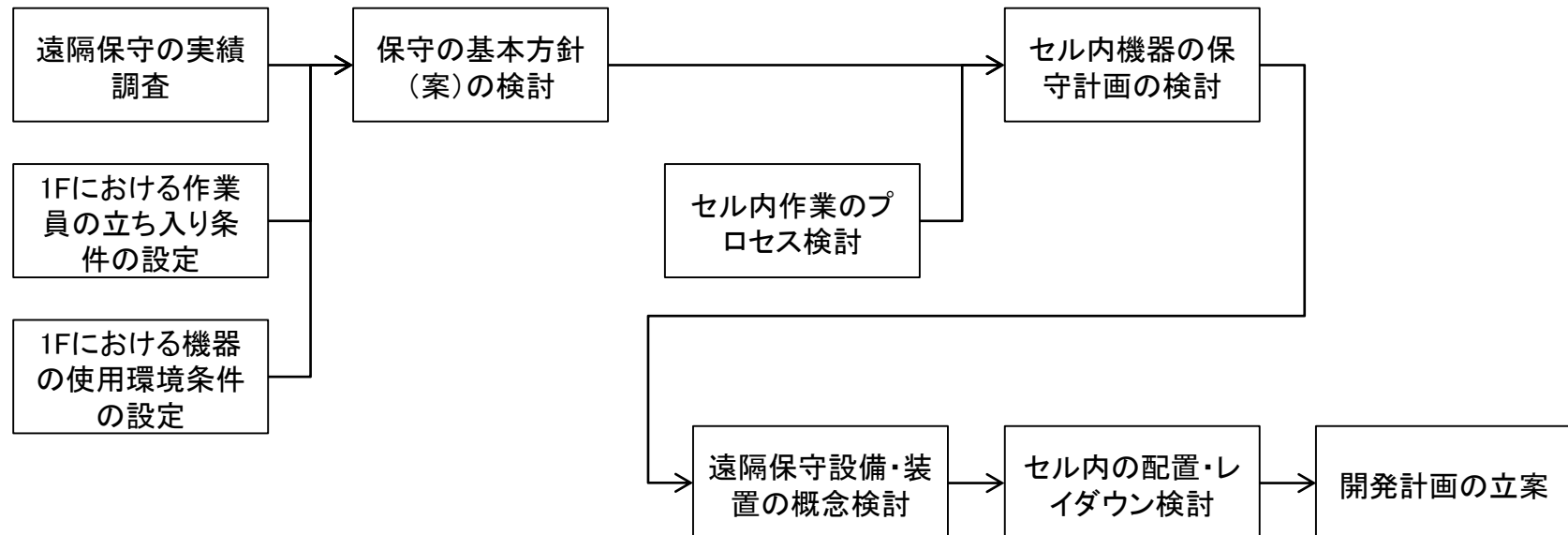
燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術に関して、以下の方針で検討を進める

- 既存の遠隔保守技術をベースに検討する
- 検討の対象は、1次バウンダリ内(作業セル内)の機器とする

● 検討するうえでのインプット

- 作業員被ばくの管理値
- 環境条件: 原子炉建屋内、増設建屋内の雰囲気線量率、放射能濃度等
- 原子炉建屋内のセルの制限: 高さ、重量等

● 検討フロー



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

● 検討状況

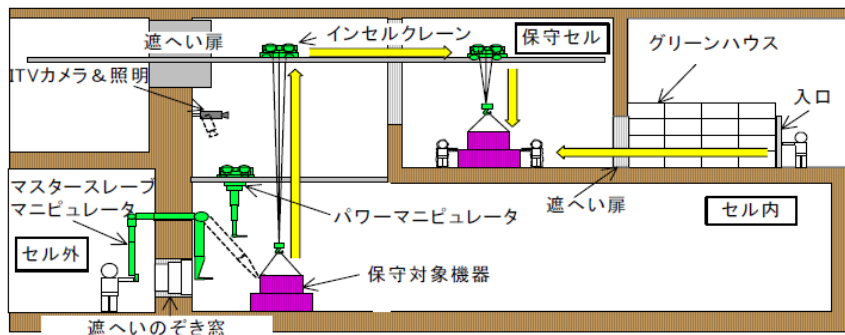
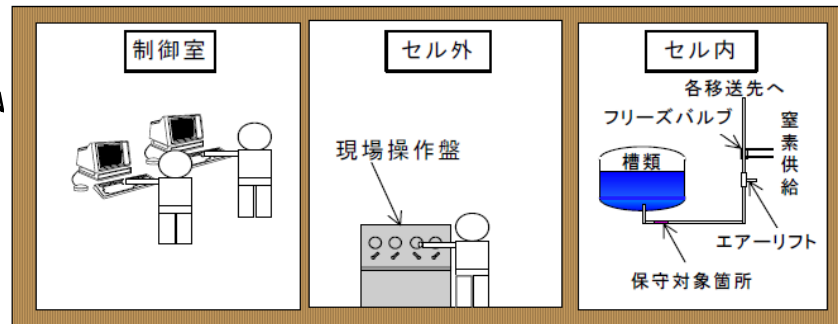
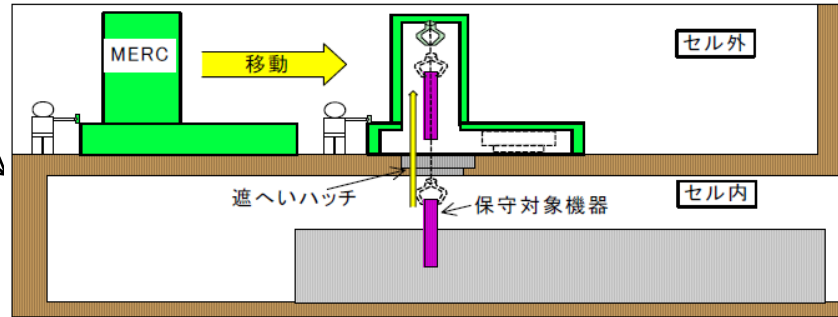
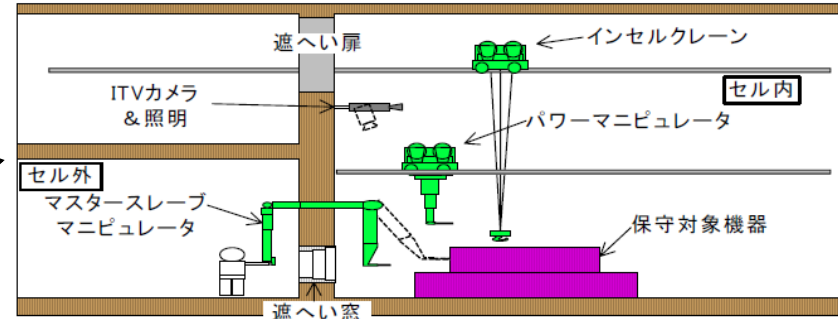
① 遠隔保守の実績調査

【保守方法と保守方式】

- 遠隔保守
 - ✓ 遠隔操作
 - ✓ 移動式遠隔操作
 - ✓ 運転操作
- 直接保守
- 遠隔+直接保守

【保守区分】

- 通常保守
- 非常保守



六ヶ所再処理工場における定型的保守作業事例集より引用

http://www.jnfl.co.jp/cycle-recycle/re_siken-tandt/pdf/re_siken-tandt3.pdf

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

②1Fにおける作業員の立ち入り条件の設定

【汚染区分】

- 前年度までは、汚染区分に応じて1次バウンダリ内をエリア分け

汚染区分	高汚染エリア(赤)	中汚染エリア(黄)	低汚染エリア(緑)	セル外
エリアの定義	放射性物質を解放状態で取り扱うエリア	放射性物質を密閉して取り扱うエリア	放射性物質を密封(気密シール)して取り扱うエリア	放射性物質を密封(気密シール)して取り扱うエリア
	通常時、高いレベルの汚染がある	高汚染エリアの放射性物質により高いレベルの汚染の可能性がある	高いレベルの汚染の可能性が非常に低い	高いレベルの汚染の可能性がない
管理目標値	今後設定			

【線量区分(案)】

- 保守時の作業員立ち入りエリアを設定するために、汚染区分に加えて線量区分を定義

線量区分	高線量エリア	中線量エリア	低線量エリア	セル外
エリアの定義	放射性物質を遮へいせずに取り扱うエリア	放射性物質(汚染は除く)を遮へいして取り扱うエリア	放射性物質(汚染は除く)を遮へいして取り扱うエリア	放射性物質(汚染は除く)を遮へいして取り扱うエリア
	放射性物質により極めて高い線量率にある	放射性物質は遮へいされているが、汚染により高い線量率にある	放射性物質は遮へいされており、汚染による線量率も低い	バックグラウンドの線量率以外は無視しうる程度に低い
管理目標値	今後設定			

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

②1Fにおける作業員の立ち入り条件の設定

【作業員立ち入り区分（案）】

- ・ 1次バウンダリ内の各部位を汚染区分、線量区分に応じて分類(上段)
- ・ 各エリアの作業員立ち入り区分を設定(下段)

線量区分 汚染区分	高線量エリア	中線量エリア	低線量エリア	セル外
	高汚染エリア (赤)	<ul style="list-style-type: none"> ● PCV内 ● セル(赤)内 (運転時) 	<ul style="list-style-type: none"> ● セル(赤)内 (保守時^{*1}) 	<ul style="list-style-type: none"> ● セル(赤)内 (保守時^{*1})
	D	D ^{*2}	D ^{*2}	—
中汚染エリア (黄)	<ul style="list-style-type: none"> ● セル(黄)内 (運転時) 	<ul style="list-style-type: none"> ● セル(黄)内 (保守時^{*1}) 	<ul style="list-style-type: none"> ● セル(黄)内 (保守時^{*1}) 	—
	D	C	C	—
低汚染エリア (緑)	— ^{*3}	— ^{*3}	<ul style="list-style-type: none"> ● セル(緑)内 	—
	D	C	B	—
セル外	—	—	—	A

【作業員立ち入り区分の凡例】

- D :非常時も含めて作業員の立ち入りは想定しない
 C :非常時に短時間作業員の立ち入りを想定する
 B :通常時に短時間作業員の立ち入りを想定する
 A :通常時に作業員の立ち入りを想定する

- *1: 保守時には、エリア内に汚染を除く放射性物質が存在しないか、遮へいされていることが前提。
 *2: 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。ただし、作業員が立ち入ることを前提とした保守の設計はしない。
 *3: 現状は、低汚染エリアでは遮へいされた放射性物質のみを取り扱う計画であり、該当するエリアは存在しない。

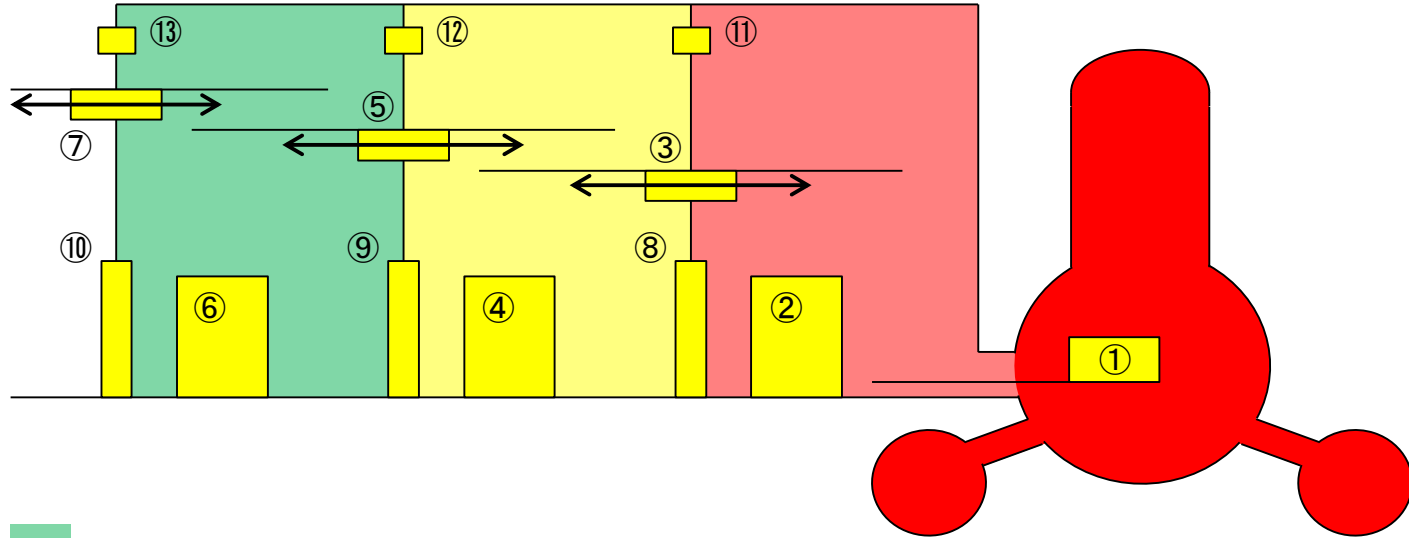
6. 本事業の実施内容

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

③1F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】



- B: 通常時に短時間作業員の立ち入りを想定する
- C: 非常時に短時間作業員の立ち入りを想定する
- D: 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。
- D: 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

- 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
- 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

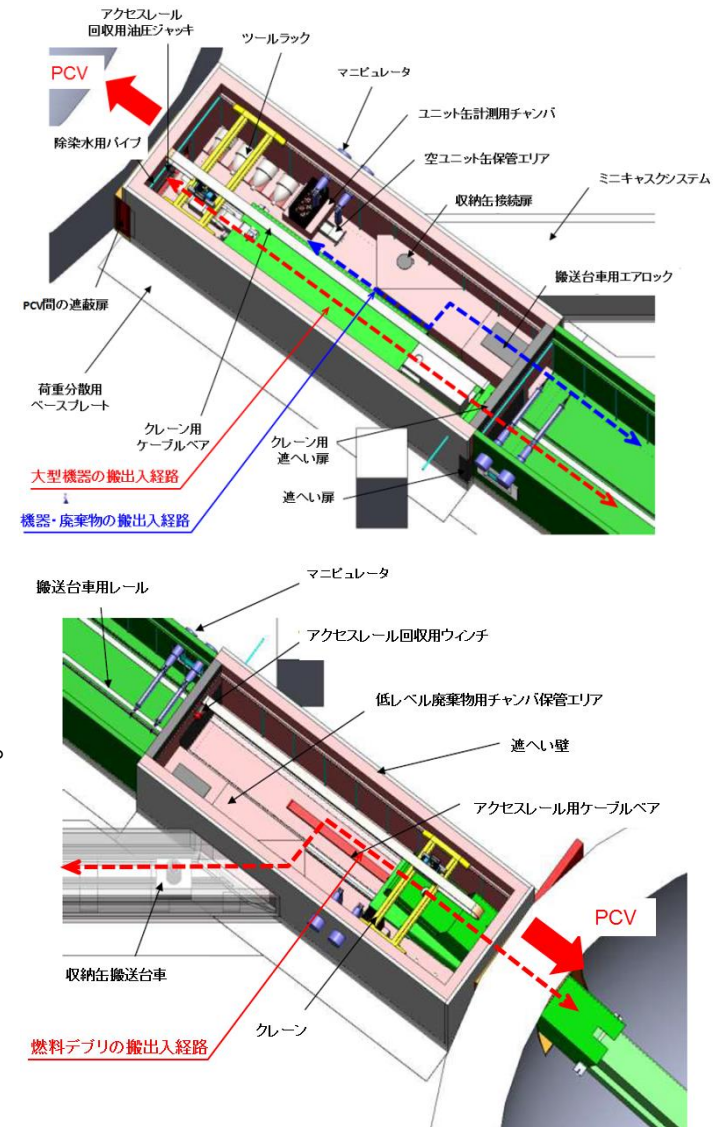
燃料デブリ取り出しセルの想定機能

以下の様な燃料デブリ取り出しセルの想定機能を果たすための機器の配置及び効率的な機器の輸送動線を検討する。

- 空のユニット缶を、ミニキャスク内の収納缶から取り出す。
- 空のユニット缶(4個)を保管し、アクセスレールに供給する。
- 燃料デブリを収納したユニット缶を、アクセスレールから受け取り、ミニキャスク内の収納缶に収納する。
- 回収された燃料デブリを含むユニット缶を計量(重量、放射線量等)する。
- ロボットアーム/アクセスレールに所要のユーティリティを供給する。
- 交換用のロボットアーム用先端ツール:4個を保管する。
- ロボットアームに交換用先端ツールを供給し、交換作業をサポートする。
- PCV内から回収された廃棄物(燃料デブリ以外)をアクセスレールより受け取り、保守セルに搬出する。
- 保守セルとの間でロボットアーム/アクセスレールの搬出入を行う。

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する。



セル内の機器配置と動線のイメージ図(検討項目)

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

- 燃料デブリ性状把握PJと協力し、燃料デブリの分布と性状について検討した。
- 上記検討結果から、回収システムについて検討中。

②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

- 燃料デブリの分布と性状から優先すべき加工技術開発について整理した。
- 加工、集塵に関する要素試験を検討中。

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時の拡散防止手段に関する概念検討を実施中。
- 燃料デブリ拡散防止に関する要素試験を検討中。

(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

- 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の検討結果に基づき、作業セルを検討するうえで必要となる設計条件について仮定した。
- インフレートシールに関する要素試験について検討中。

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

- 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中。
- 燃料デブリを取り出すために撤去が必要となる干渉物について整理した。
- 干渉物撤去にあたり開発要素が高いものに対し要素試験を検討中。

(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・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化事業の検討結果に基づき、エリア区分などの遠隔保守技術に関する設計条件を仮定した。
- 上記仮定条件のもと遠隔保守技術に関する概念検討を実施中。

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)デブリ等)の回収方法及び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	備考
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	インプリネイティッドビット	ダイヤモンドパウダーを使用したビット	
16	MCCI	溶融炉心-コンクリート相互作用	
17	ノンコアビット	コアが残らないビット	
18	UC	ユニット缶(燃料デブリを入れる容器)	
19	AWJ	アブレイシブウォータージェット	
20	HVH	空調ユニット	
21	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	備考
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	従来の経験を応用、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。	