

# 平成26年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金 燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業

## 平成27年度成果報告

2016年4月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)

# 1. 本事業の実施内容

## 【目的】

中長期ロードマップでは平成33年頃に燃料デブリの取り出しが計画されており、具体的な開発を推進する必要がある。そのため、平成27～28年度は取り出し方針の決定に向けて、必要となる工法詳細ステップやシステム概要の実現性を検討し、開発計画の策定を行う。

なお、本国プロの開発項目は、平成26年度に実施した国プロの抽出した開発案件であるとともに、平成26年度の要素試験より得られた成果に基づき代表3工法(冠水-上アクセス工法、気中-上アクセス工法、気中-横アクセス工法)からの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選定されたものである。

## 【平成27年度の主な実施内容】

### ①各要素試験の総合調整及び要素試験の結果分析

中長期ロードマップや戦略プラン、各号機の最新の状況や技術開発ニーズ、部分提案事業者による要素試験を含めた各要素試験の計画を整理する。

### ②工法実現性を見極めに必要な要素試験

燃料デブリ取り出し工法として、冠水-上アクセス工法、気中-上アクセス工法、気中-横アクセス工法の3工法を対象とし、工法の実現性を評価するために必要なデータ・情報を取得するため要素試験を実施する。

### ③研究開発の運営

廃炉作業や他の研究開発と連携しながら、研究開発を推進する。

## 2. 実施スケジュール

大分類	小分類	平成27年度												平成28年度												備考 (最新状況)
		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月				
1. 各要素試験の総合調整及び要素試験の結果分析	a. 要素試験計画案策定/成果の整理			要素試験計画案整理																						
	b. まとめ																					まとめ				
2. 工法実現性の見極めに必要な要素試験 i) 大型構造物の取り出しにおける汚染拡大防止技術 ① 汚染拡大防止技術を確認するための作業ステップ単位のスケールモデル試験	a. 試験計画			試験計画																						
	b. 1/4モデル試作/試験装置試作					1/4モデル試作/試験装置試作																				
	c. 要素試験																									
	d. まとめ																					まとめ				
ii) RPV内燃料デブリの取り出しにおける汚染拡大防止技術 ① 気中一上アクセス工法におけるRPV内アクセス装置のRPV内面シール及び装置下部シールに関する試験	a. 試験計画			試験計画																						
	b. 試験装置試作					試験装置試作																				
	c. 要素試験																									
	d. まとめ																					まとめ				
iii) 燃料デブリへのアクセス技術 ① 液圧マニピュレータに関する試験 ② 冠水工法におけるRPV内アクセス装置に関する試験 ③ 気中一横アクセス工法におけるペDESTAL内アクセス装置に関する試験	a. 試験計画			試験計画																						
	b. 試験装置試作					試験装置試作																				
	c. 要素試験																									
	d. まとめ																					まとめ				
	a. 試験計画			試験計画																						
	b. 試験装置試作					試験装置試作																				
	c. 要素試験																									
	d. まとめ																					まとめ				
	a. 試験計画			試験計画																						
	b. 試験装置試作					試験装置試作																				
	c. 要素試験																									
	d. まとめ																						まとめ			
iv) 燃料デブリ取り出しにおける遠隔作業技術 ① 遠隔作業用柔構造アームに関する試験	a. 試験計画			試験計画																						
	b. 試作/機器手配					試作/機器手配																				
	c. 要素試験																									
	d. まとめ																					まとめ				
主要なマイルストーン				▲ 開発条件/開発目標の設定	▲ 要素試験計画案の総合調整(関係機関による評価・確認)					▲ 年度報告			▲ 中間成果の整理(関係機関による評価・確認)						▲ 工法ごとのとりまとめ含む全体成果の整理(関係機関による評価・確認)			▲ 最終報告書提出				

## 2. 実施スケジュール

大分類	小分類	平成27年度									平成28年度									備考 (最新状況)			
		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月		1月	2月	3月
iv) 燃料デブリ取り出しにおける遠隔作業技術 ② 燃料デブリ収納缶の取扱い装置に関する試験	a. 試験計画				試験計画																		
	b. 試験装置試作									試験装置試作													
	c. 要素試験																						
	d. まとめ																						
v) 燃料デブリ取り出しにおける汚染拡大防止技術 ① 冠水工法のプラットフォーム／セルに関する試験  ② 気中一横アクセス工法のセルに係る遠隔シール溶接のためのPCV溶接装置に関する試験	a. 試験計画				試験計画																		
	b. 試験装置試作																						
	c. 要素試験																						
	d. まとめ																						
	a. 試験計画				試験計画																		
	b. 試験装置試作																						
	c. 要素試験																						
	d. まとめ																						
vi) 燃料デブリ取り出しにおける作業員の被ばく低減技術 ① 上アクセス工法に適用する形状追従、軽量遮蔽体に関する試験	a. 試験計画				試験計画																		
	b. 軽量化遮蔽体試作																						
	c. 要素試験																						
	d. まとめ																						
vii) 燃料デブリ取り出しにおける切削・集塵、視覚・計測技術 ① 燃料デブリの切削・集塵技術の性能に関する試験	a. 試験計画				試験計画																		
	b. 試験体試作																						
	c. 要素試験																						
	d. まとめ																						
主要なマイルストーン				▲ 開発条件・開発目標の設定	▲ 要素試験計画案の総合調整 (関係機関による評価・確認)					▲ 年度報告			▲ 中間成果の整理 (関係機関による評価・確認)						▲ 工法ごとのとりまとめを含む 全体成果の整理 (関係機関による評価・確認)	▲ 最終報告書提出			

## 2. 実施スケジュール・体制表

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 全体計画の策定と技術統括のとりまとめ</li> <li>○ 技術開発の進捗などの技術管理のとりまとめ</li> </ul>

連携する開発プロジェクトチーム

日立GEニュークリア・エナジー株式会社	株式会社東芝	三菱重工業株式会社	燃料デブリ性状把握
<p>【要素試験・技術開発】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①汚染拡大防止技術を確認するための作業ステップ単位のスケールモデル試験</li> <li>②気中一上アクセス工法における RPV 内アクセス装置の RPV 内面シール及び装置下部シールに関する試験</li> <li>③遠隔作業用柔構造アームに関する試験</li> <li>④上アクセス工法に適用する形状追従、軽量遮蔽体に関する試験</li> <li>⑤燃料デブリの切削・集塵技術の性能に関する試験</li> </ul>	<p>【要素試験・技術開発】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①冠水一上アクセス工法における RPV 内アクセス装置に関する試験</li> <li>②燃料デブリ収納缶の取扱い装置に関する試験</li> <li>③冠水工法のプラットフォーム／セルに関する試験</li> <li>④燃料デブリの切削・集塵技術の性能に関する試験</li> </ul>	<p>【要素試験・技術開発】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①液圧マニピュレータに関する試験</li> <li>②気中一横アクセス工法におけるペDESTAL内アクセス装置に関する試験</li> <li>③気中一横アクセス工法のセルに係る遠隔シール溶接のための PCV 溶接装置に関する試験</li> </ul>	燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発
			燃料デブリ臨界管理技術の開発
			固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発
			格納容器内部調査技術の開発

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.1 各要素試験の総合調整及び要素試験の結果分析

- ①中長期ロードマップや戦略プラン、各号機の最新の状況や技術開発ニーズ、部分提案事業者による要素試験を含めた各要素試験の計画を整理した。
- ②以下に示す部分提案事業者も含め、開発目標、技術仕様、年度末報告内容、中間成果内容について全体提案者としてとりまとめた。

No.	部分提案事業者※	実施内容
1	大成建設(株)	燃料デブリの切削・集塵技術の性能に関する試験。
2	浜松ホトニクス(株)	視覚・計測技術の性能に関する試験。
3	COMEX NUCLEAIRE	燃料デブリの切削・集塵技術の性能に関する試験。

※補助事業の一部を実施する事業者。

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### i) 大型構造物の取り出しにおける汚染拡大防止技術

##### ① 汚染拡大防止技術を確認するための作業ステップ単位のスケールモデル試験

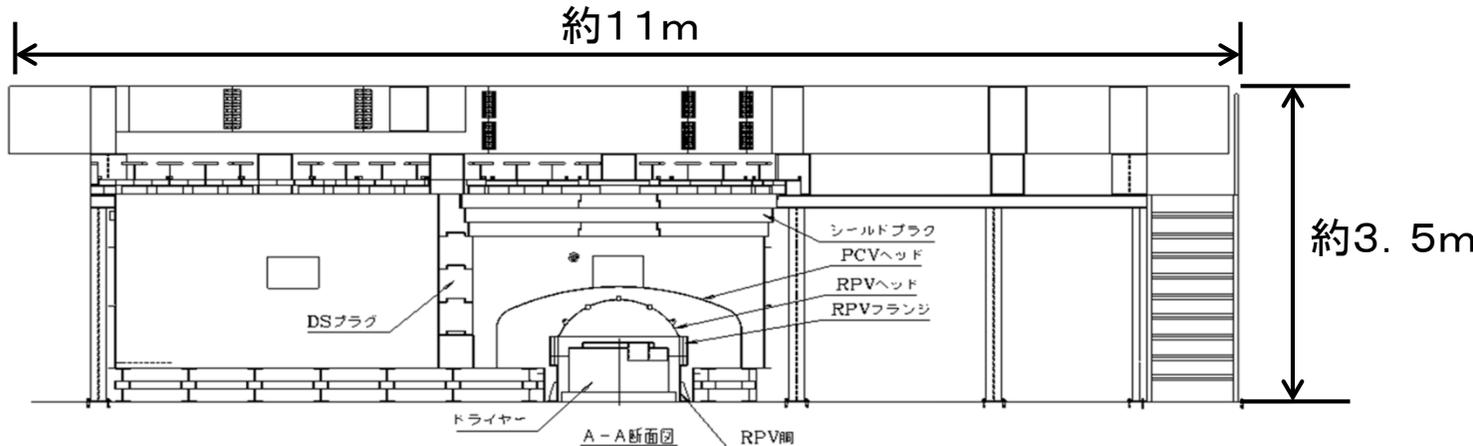
###### 【目的: 開発目標】

1/4程度のスケールモデルを使用した要素試験において、課題の抽出・整理が実施され、対応方針が検討されていること。検討の中には、エリア区分・汚染拡大防止用シートに関する検討が含まれていること。(終了時目標TRL: レベル4)

###### 【平成27年度検討内容】

- スケール試験、設備・装置の設計、製作断面図状況報告
- エリア区分用のフィルムシートの選定状況報告
  - 工法選定のために円筒シートの気密試験を実施
- 作業ステップごとに必要となるエリア区分用のフィルム、シート等設置装置、遮蔽およびエリアごとの気密性を保持する装置の検討に関する状況報告
  - エリア区分用の隔離シートを用いた気密試験を実施

###### 【スケールモデル試験設備 計画図検討状況】



左図の1/4スケールモデル計画図を基にモックアップ設備を製作し、各ステップの汚染拡大防止方法などについて検討を行う。

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### ii)RPV内燃料デブリの取り出しにおける汚染拡大防止技術

##### ①気中-上アクセス工法におけるRPV内アクセス装置のRPV内面シール及び装置下部シールに関する試験

###### 【目的:開発目標】

RPV内面シール性能及び装置下部構造部のシール性能に関する、基本的な成立性及び検討課題が確認されていること。(終了時目標TRL:レベル4)

###### 【平成27年度検討内容】

- 炉内装置のRPVシールの部分的な要素試験の計画と試験の実施  
板バネ方式、円弧板方式およびブロック方式などによるシール性能を確認する。
- 炉内装置の装置形状、動作軸仕様、装置外径、ケーブル敷設および遠隔接続箇所に関する検討状況報告
- 旋回駆動部の部分要素試験の実施  
リングシール方式、ラビリンスシール方式およびラビリンス+水シール方式などによるシール性能を確認する。
- 開閉ポートの要素試験の実施  
面シール方式、ブラシシール方式、テーパーシール方式およびラビリンスシール方式などによるシール性能を確認する。

###### <RPVシールの部分要素試験条件>

- ①シール種類:板バネ方式、円弧板方式、ブロック方式
- ②シール性能確認方法:圧力計による差圧維持の確認
- ③模擬条件:RPV内面60度 1/1スケール

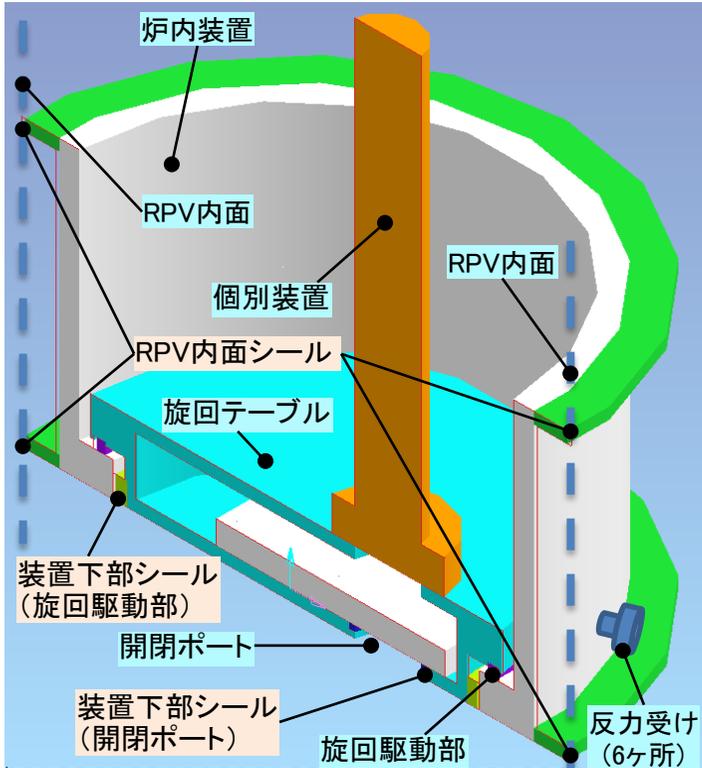
### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### ii) RPV内燃料デブリの取り出しにおける汚染拡大防止技術

##### ① 気中-上アクセス工法におけるRPV内アクセス装置のRPV内面シール及び装置下部シールに関する試験

【炉内装置検討状況】



【RPV内面シール要素試験状況】



円弧板によるシール (Seal by circular arc plate)



板バネによるシール (Seal by plate spring)

炉底部の燃料デブリを個別装置で加工する際に汚染拡大を防止するため、RPV内面と炉内装置間のシールについて確認する。

RPV内面模擬

板バネ

(炉内装置側)

#### — 今後の実施(報告)内容 —

- 2015年度課題からのシール方式改良案の提示
- スケールモデルを使用した要素試験の準備状況報告
- フルスケールモデルによる部分模擬試験(回転、開閉ポートの開閉含む)においてシール性能および遮蔽性能を確認し課題を抽出、整理する

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### v) 燃料デブリ取り出しにおける汚染拡大防止技術

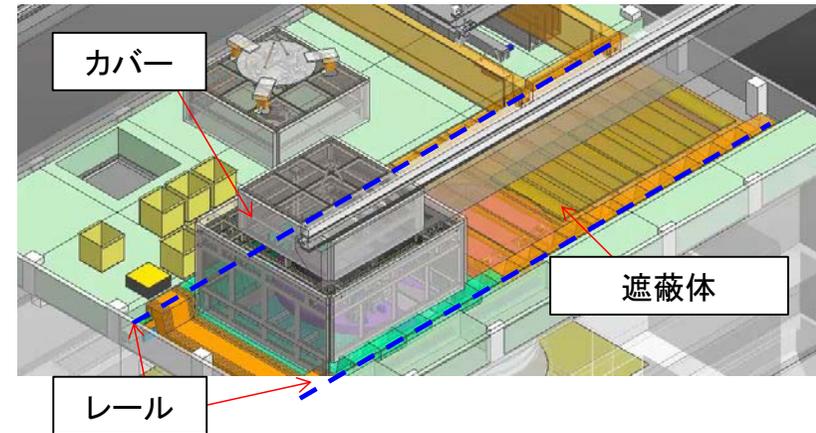
##### ① 冠水工法のプラットフォーム／セルに関する試験

###### 【目的: 開発目標】

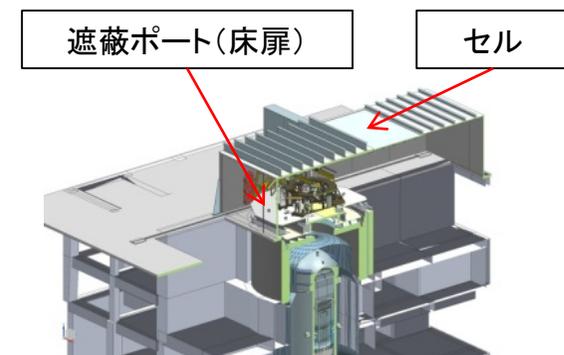
プラットフォーム／セルの基本設計が完了し、部分試作、またはスケールモデル試験で成立性を検証する方式が選定されていること。部分試作、またはスケールモデル試験が行われ、装置を成立させるための課題とリスクの抽出・整理がされ、対応方針が検討されていること。  
(終了時目標TRL: レベル4)

###### 【本年度実施内容】

- 固定式および移動式のセルの概念について、安全要求から展開した機能要求、建屋／コンテナへの影響、および作業性の観点から比較・評価
- 放射性物質の放出抑制のバウンダリ維持、汚染拡大防止に有利な固定式を選択
- セルの主要な機能である遮蔽と飛散防止(気密性)に関して、セルの遮蔽ポート(床扉)の基本設計を行い、試作・試験計画を立案(実施中)



移動式セルの例



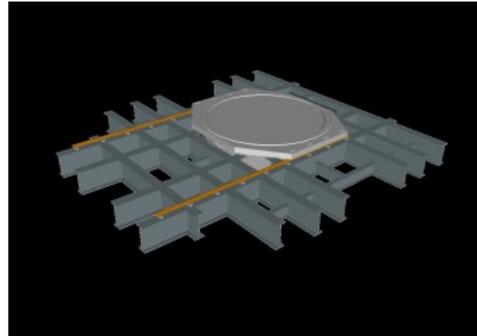
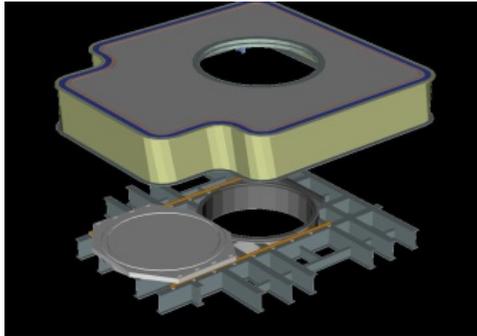
固定式セルの例

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### v) 燃料デブリ取り出しにおける汚染拡大防止技術

##### ① 冠水工法のプラットフォーム／セルに関する試験



##### <基本仕様(暫定)>

- ① 要求機能: 遮蔽、気密
- ② 遮蔽厚さ: 340mm
- ③ 設計差圧: -300Pa
- ④ 開口:  $\phi$  5500mm

##### <遮蔽ポートの試験項目>

- ✓ 遮蔽ポートの1/1スケール要素試作
- ✓ 開閉扉の動作確認
- ✓ シール部の気密確認

#### ■ 今後の実施(報告)内容

- プラットフォーム／セルの試作状況
- 要素試験計画書
- プラットフォーム／セルの部分試作、またはスケールモデル試験により、遮蔽・放出抑制機能を満足できることを確認する。
- 試験結果に基づく課題の抽出と改良提案。

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### v) 燃料デブリ取り出しにおける汚染拡大防止技術

##### ② 気中一横アクセス工法のセルに係る遠隔シール溶接のためのPCV溶接装置に関する試験

###### 【目的:開発目標】

PCVとセルのバウンダリ構築に必要な設計(溶接装置、溶接要領、溶接部の強度)に資する基本的な成立性及び検討課題が確認されていること。(終了時目標TRL:レベル3)

###### 【試験内容】

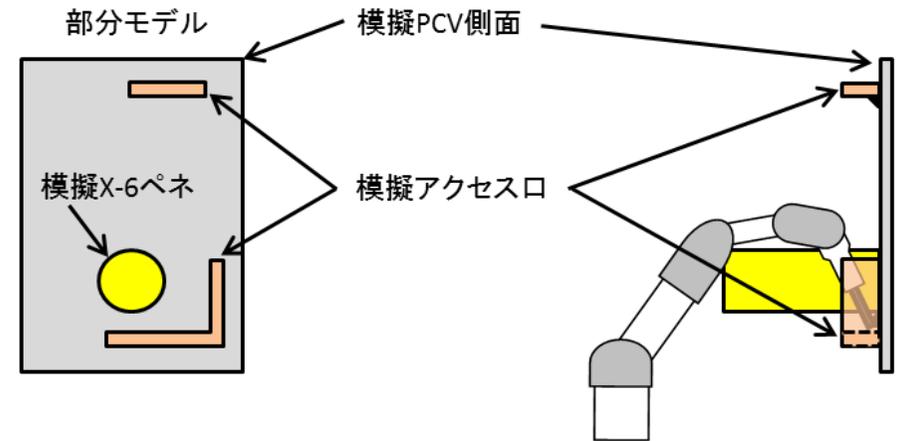
X-6ペネの狭隘部で溶接可能な溶接ヘッドを試作し、溶接試験を実施する。

###### <試験項目>

- ① 実機狭隘部を模擬した溶接試験
  - ・ 溶接要領の妥当性確認
- ② 溶接部断面の確認
  - ・ 溶接品質の確認
- ③ 溶接部サンプルの引張強度確認
  - ・ 設計参考用データの取得

###### <溶接部性能>

- ① 30m水頭圧 (0.3MPa)



試験イメージ

### 3. 本事業の実施状況

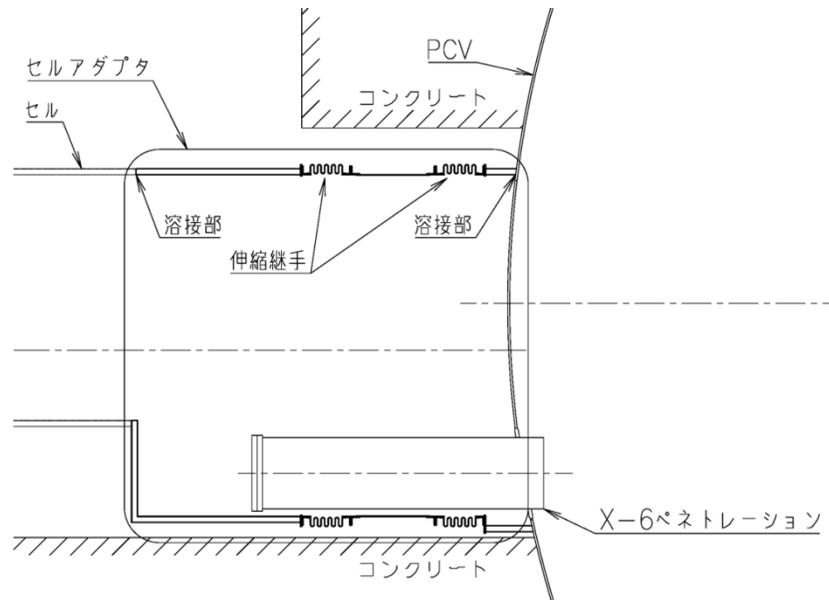
#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### v) 燃料デブリ取り出しにおける汚染拡大防止技術

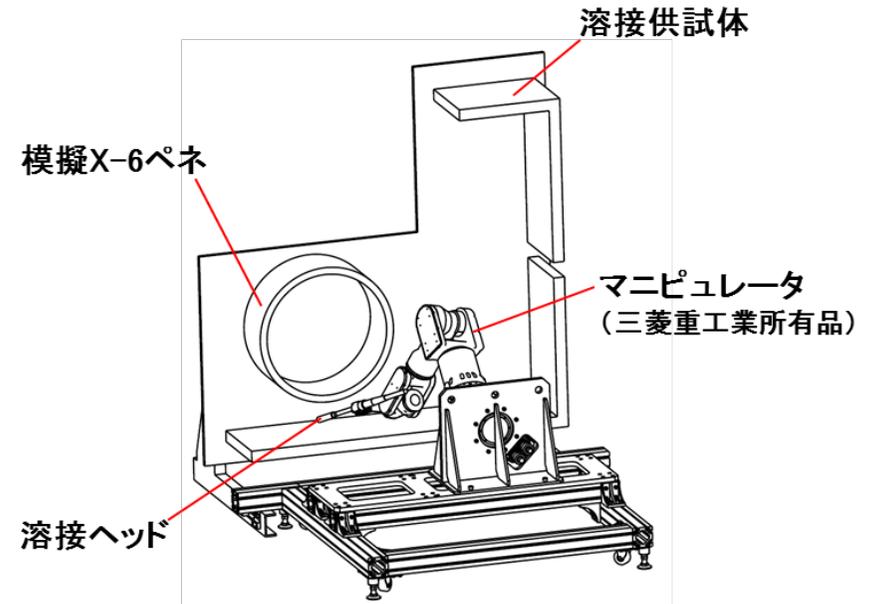
##### ② 気中一横アクセス工法のセルに係る遠隔シール溶接のためのPCV溶接装置に関する試験

##### 【実施状況】

PCVと溶接するセルアダプタの構造および溶接仕様に基づく、溶接試験装置と供試体の仕様検討中。



セルアダプタ構造



溶接試験装置

#### ■ 今後の実施(報告)内容

- 溶接試験装置の試作状況
- 溶接試験計画

- 溶接試験結果
- 試験結果からの成立性確認、課題の抽出および整理

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### vi) 燃料デブリ取り出しにおける作業員の被ばく低減技術

##### ① 上アクセス工法に適用する形状追従、軽量遮蔽体に関する試験

###### 【目的:開発目標】

水充填式遮蔽体の試作・試験を実施し、基本的な成立性及び検討課題が確認されていること。  
(終了時目標TRL:レベル4)

###### 【平成27年度検討内容】

- PCVヘッド取り出し時およびRPVヘッド取り出し時において使用する水充填式遮蔽体の設計検討状況報告  
PCVヘッドに水充填式遮蔽体を適用した場合のひずみをシミュレーションにおいて確認する。  
また、設定した水充填式遮蔽体の回収試験により回収状況を確認する。
- 水充填および水抜き試験の実施  
排水ノズル3種類を使用し、排水圧力(大気圧/負圧)の違いにより排水状況に変化があるか確認する。
- 試験結果からの課題の抽出
- スケール試験計画立案

###### <PCVヘッド水充填式遮蔽体検討>

- ① PCVヘッド上に一体型の水充填式遮蔽体を設置することで検討する

###### <水充填および水抜き試験条件>

- ① 給水前の水袋内の状態が、空気あり、なしで水充填状況の変化を確認する
- ② 排水ノズル:スリットタイプ、メッシュタイプ、ホース穴あきタイプ
- ③ 排水圧力:大気圧、負圧(-80kPa)

### 3. 本事業の実施状況

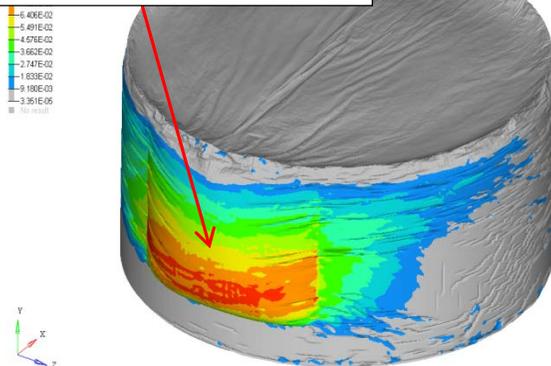
#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### vi) 燃料デブリ取り出しにおける作業員の被ばく低減技術

##### ① 上アクセス工法に適用する形状追従、軽量遮蔽体に関する試験

##### 【設計検討状況】

##### 応力が比較的高い部分



1. PCVヘッドに水充填式遮蔽体を適用した場合のひずみシミュレーションの例

##### 【回収要素試験状況】



2. 水充填式遮蔽体の回収に関する要素試験

##### 【水充填/水抜き要素試験状況】



3. 水充填および水抜き試験

1. シミュレーション結果から実機への適用性を検討中。
2. 水充填式遮蔽体設定後の回収方法について検討中。
3. 水充填および水抜き要素試験結果から、ノズル形状および水抜き圧力条件などについて検討中。

##### — 今後の実施(報告)内容 —

- 水充填式遮蔽体設置装置に関する検討状況報告
- 遠隔操作による水充填および水抜き試験の実施(継続)
- スケールモデルによる部分要素試験の実施
- 試験結果報告
- 組合せ試験を実施し、各作業ステップにおける課題を抽出するとともに、検討した水充填式遮蔽体の運用について、検討している工法への適用性を確認する
- 組合せ試験結果報告

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### iii) 燃料デブリへのアクセス技術

##### ① 液圧マニピュレータに関する試験

###### 【目的: 開発目標】

燃料デブリ取り出し用マニピュレータの設計に資する位置制御性に関する基本的な成立性及び検討課題が確認されていること。(終了時目標TRL: レベル3)

###### 【試験内容】

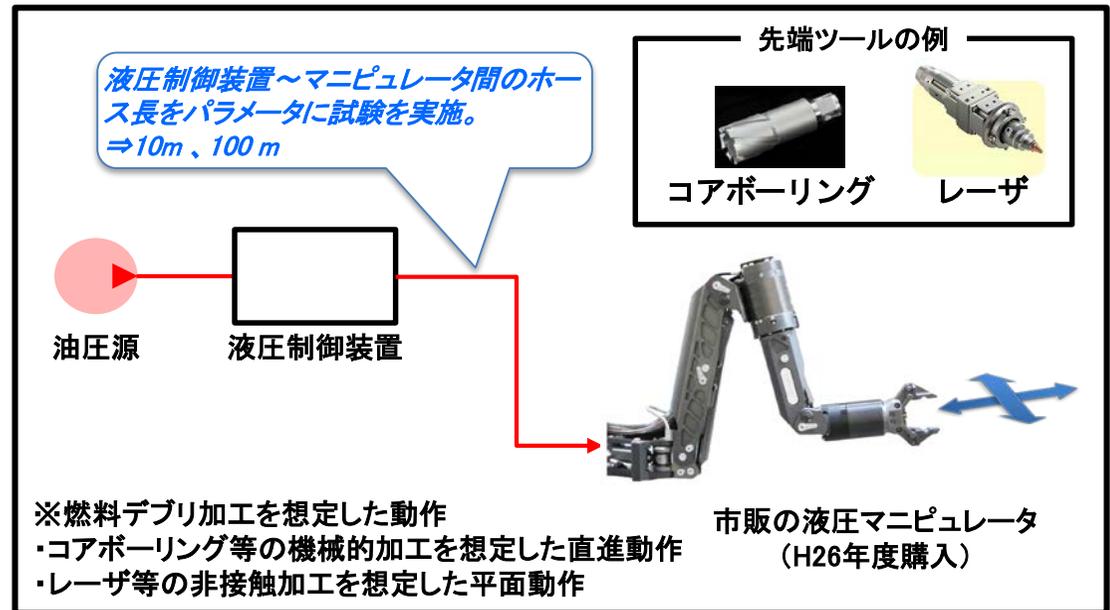
市販の液圧マニピュレータを用いて、下方向(直進)と横方向(平面)の2パターンの動作試験を実施し、位置決め精度、軌跡精度を確認する。

###### ＜試験条件＞

- ① ホース長10m、100m
- ② 先端負荷15kg
- ③ 先端移動速度2mm/秒程度

###### ＜位置制御性＞

- ① 目標位置決め精度:  $\pm 2\text{mm}$



### 3. 本事業の実施状況

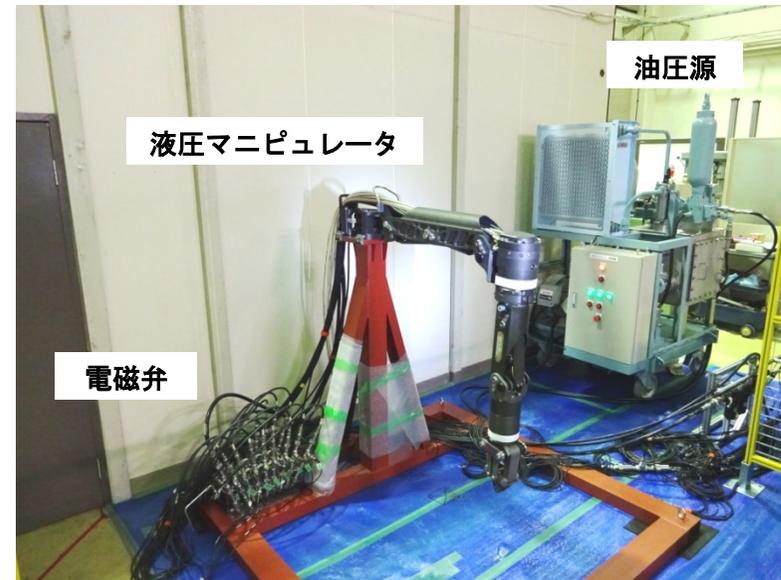
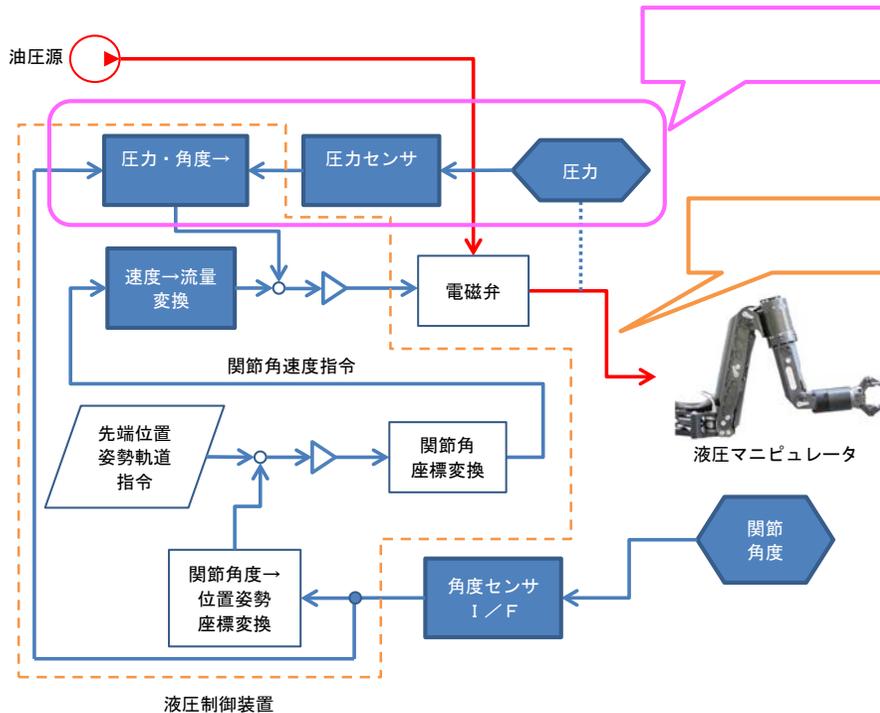
#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### iii) 燃料デブリへのアクセス技術

##### ① 液圧マニピュレータに関する試験

##### 【実施状況】

圧力フィードバックシステムを追加中。



試験装置

#### ■ 今後の実施(報告)内容

- 制御特性確認試験
- 試験結果からの成立性確認、課題の抽出および整理

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### iii) 燃料デブリへのアクセス技術

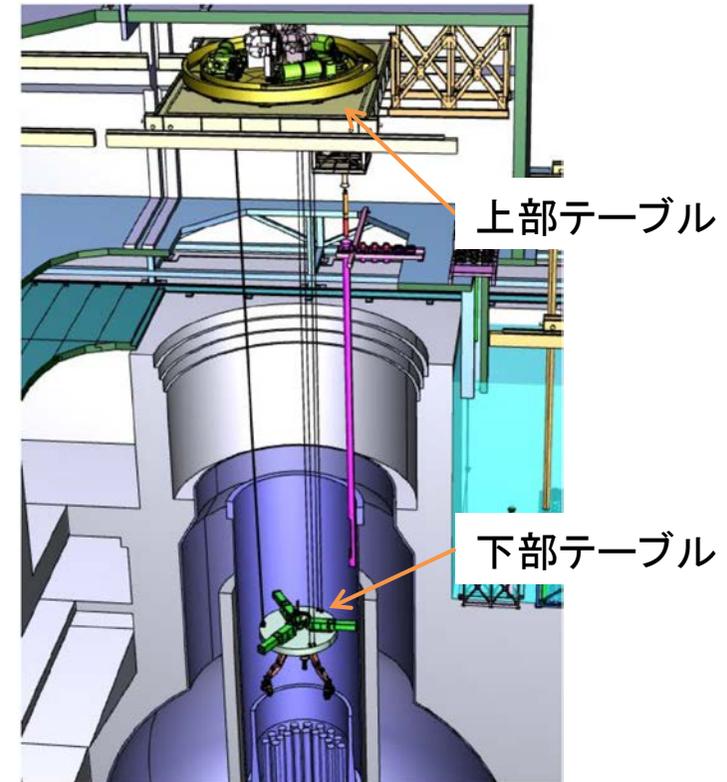
##### ② 冠水-上アクセス工法におけるRPV内アクセス装置に関する試験

###### 【目的: 開発目標】

RPV内アクセス装置の基本設計が完了し、部分試作、またはスケールモデル試験で成立性を検証する方式が選定されていること。部分試作、またはスケールモデル試験が行われ、装置を成立させるための課題とリスクの抽出・整理がされ、対応方針が検討されていること。(終了時目標TRL: レベル4)

###### 【本年度実施内容】

- RPV内アクセス装置の水平方向反力の支持方式について、RPV壁に支持機構を張り出す方式と、ワイヤの張力の水平方向成分で支持する方式を比較・評価
- より大きな反力を支持できる張出し方式について、装置の設置・操作・メンテナンス・非常時の回収の観点で基本設計を実施
- RPV内アクセス装置の要素試験項目を抽出(整理中)



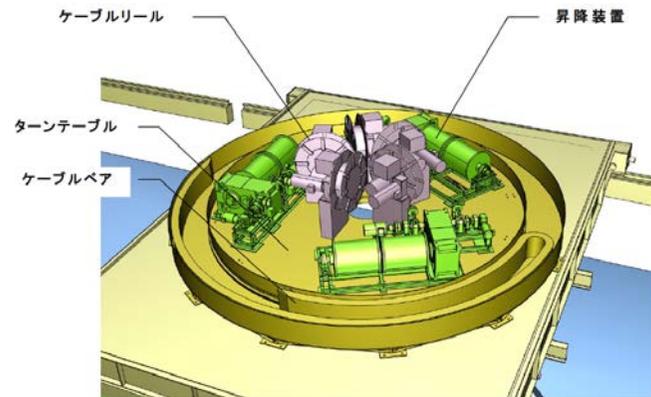
RPV内アクセス装置(案)

### 3. 本事業の実施状況

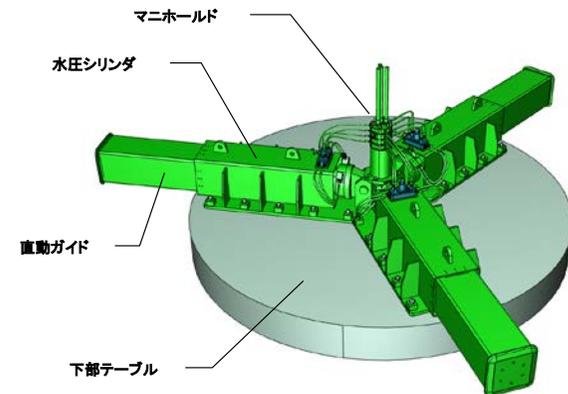
#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### iii) 燃料デブリへのアクセス技術

##### ② 冠水-上アクセス工法におけるRPV内アクセス装置に関する試験



上部テーブル



下部テーブル

##### <基本仕様(暫定)>

- ① 支持方式: シリンダ張出し式
- ② 揚程: 47m
- ③ 上部テーブル定格荷重: 148kN
- ④ 下部テーブル水平方向支持反力: 15kN

##### <試験項目(案)>

- ✓ RPV内作業の共通プラットフォームとなる下部テーブルの1/1スケール要素試作
- ✓ 支持機構の基本動作確認、(単一)故障時の復旧・回収性確認
- ✓ 適切な支持方法の確認(接触支持／押付け支持)
- ✓ 上部テーブルは、セルとの取合い等の設計条件を反映して2017年度以降に試作・試験を計画

##### ■ 今後の実施(報告)内容

- RPV内アクセス装置の試作状況
- 要素試験計画書
- RPV内アクセス装置の部分試作、またはスケールモデル試験により、RPV内部で要求される作業が可能であることを確認する。
- 試験結果に基づく課題の抽出と改良提案。

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### iii) 燃料デブリへのアクセス技術

#### ③ 気中一横アクセス工法におけるペDESTAL内アクセス装置に関する試験

##### 【目的: 開発目標】

実機ベースのプロト機の設計に資するペDESTAL内アクセス装置に関する基本的な成立性及び検討課題が確認されていること。(終了時目標TRL: レベル4)

##### 【試験内容】

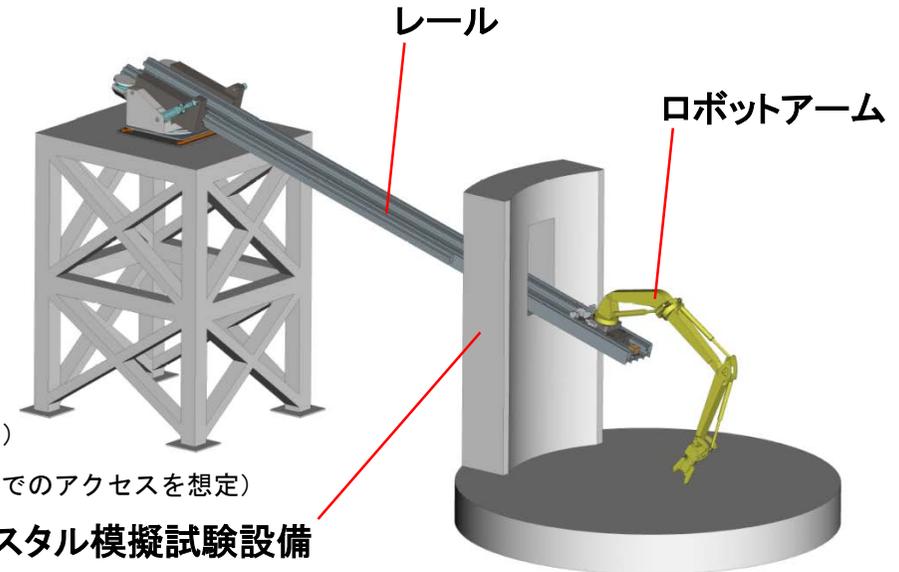
ロボットアーム及びペDESTAL内アクセスレールの試設計・試作を行い、実機配置を模擬した試験設備により、アクセスレール敷設からの一連の作業に関する動作試験を実施し、その成立性を確認する。

##### <試験項目>

- ① ロボットアームの位置決め精度確認
- ② レールの遠隔敷設性確認
- ③ ペDESTAL内へのアクセス性確認
- ④ ペDESTAL内での掘削模擬動作確認

##### <ロボットアーム仕様>

- ① 先端負荷: 2 ton (径60mm程度のコアボーリングを想定)
- ② アーム長: 6.5 m (RPV底部からペDESTAL底面下1.5mまでのアクセスを想定)



試験イメージ

##### <参考>

液圧マニピュレータに関する試験を含め、制御システムのチューニングに関して大阪大学との共同実施を計画中。

### 3. 本事業の実施状況

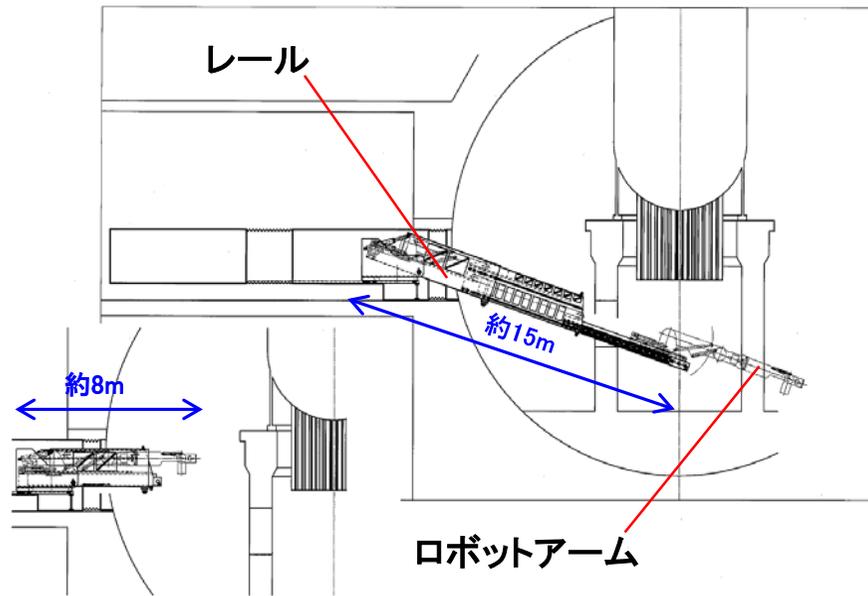
#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### iii) 燃料デブリへのアクセス技術

##### ③ 気中一横アクセス工法におけるペDESTAL内アクセス装置に関する試験

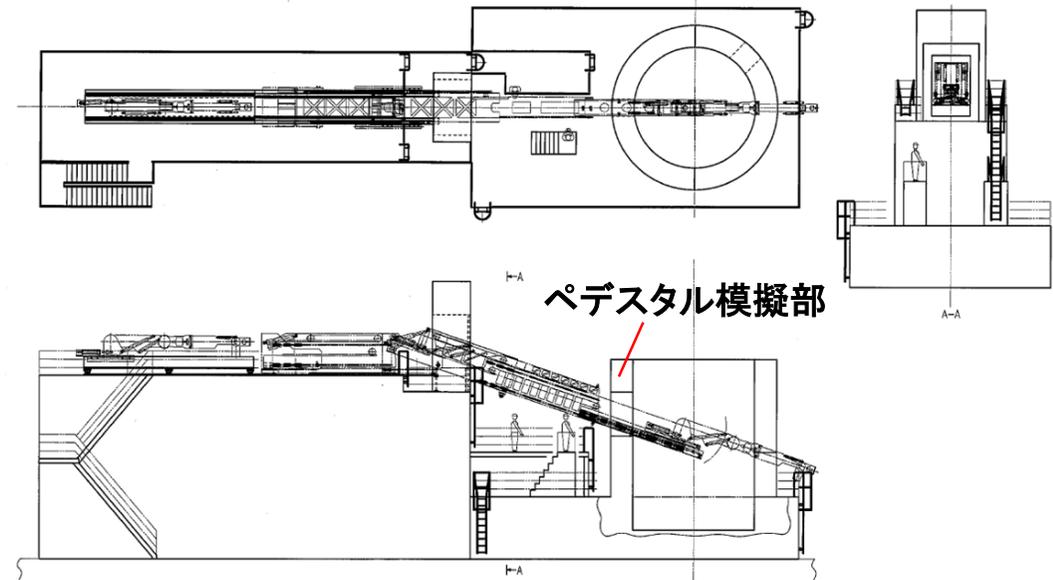
##### 【実施状況】

- ・ロボットアーム、レール、試験設備を設計中。



(搬入時)

ロボットアーム/レール計画



試験設備全体計画

#### ■ 今後の実施(報告)内容

- 試作状況
- 動作試験計画

- 動作試験結果
- 試験結果からの成立性確認、課題の抽出および整理

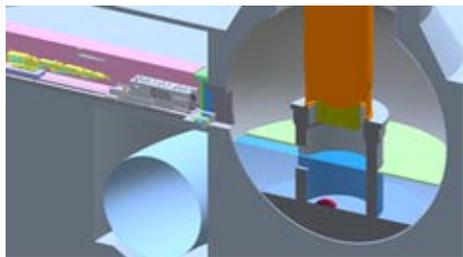
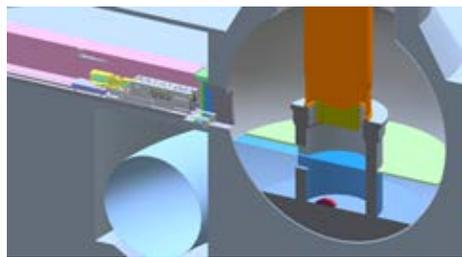
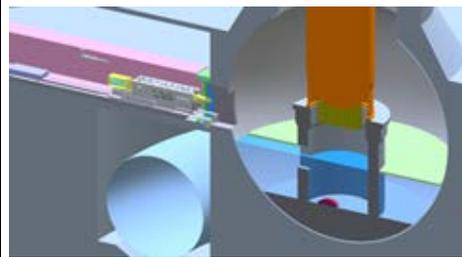
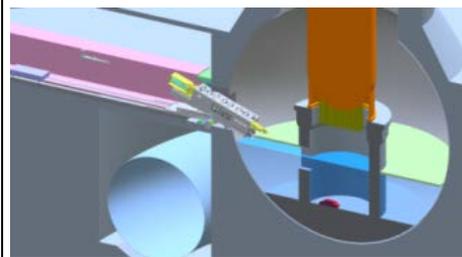
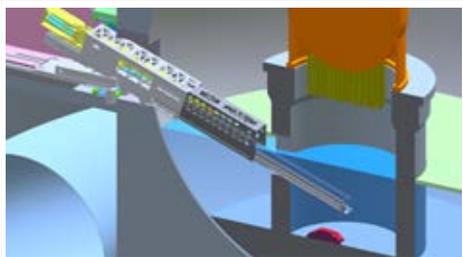
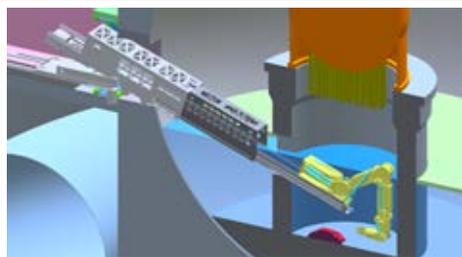
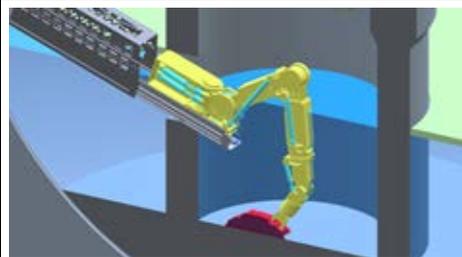
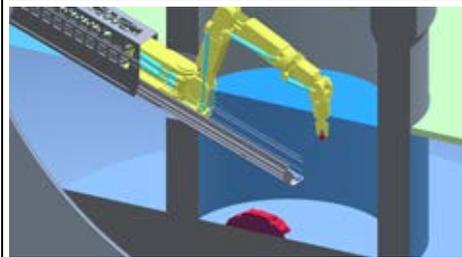
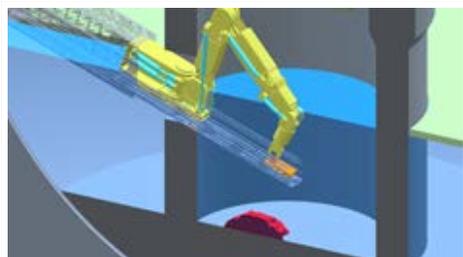
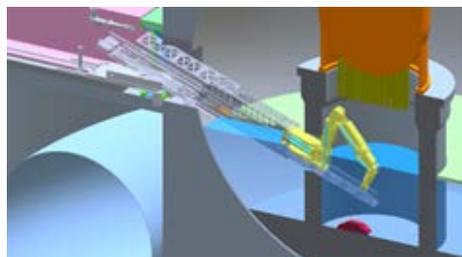
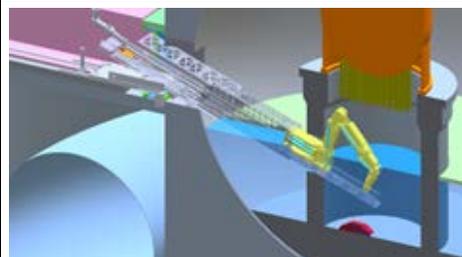
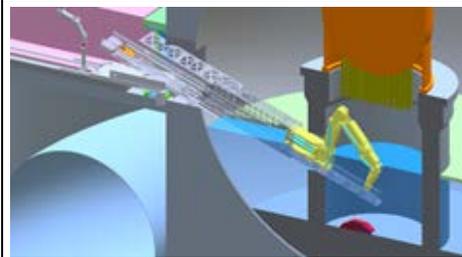
### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### iii) 燃料デブリへのアクセス技術

#### ③ 気中一横アクセス工法におけるペDESTAL内アクセス装置に関する試験

【参考】 燃料デブリ取り出しのイメージ(2号機、X-6ペネアクセス)

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	4. アクセスレールを CRD 交換用開口にむけて傾ける
			
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	7. ロボットアームを燃料デブリへアクセス	8. ロボットアームの先端ツールにより燃料デブリを掘削
			
9. 掘削した燃料デブリをアクセスレール上の台車に載ったユニット缶に回収	10. ユニット缶をレール上にある台車によりセル内に移送	11. セル内のマニピュレータでユニット缶にアクセス	12. セル内のマニピュレータで燃料デブリをユニット缶ごと収納缶に収納
			

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### iv) 燃料デブリ取り出しにおける遠隔作業技術

##### ① 遠隔作業用柔構造アームに関する試験

###### 【目的: 開発目標】

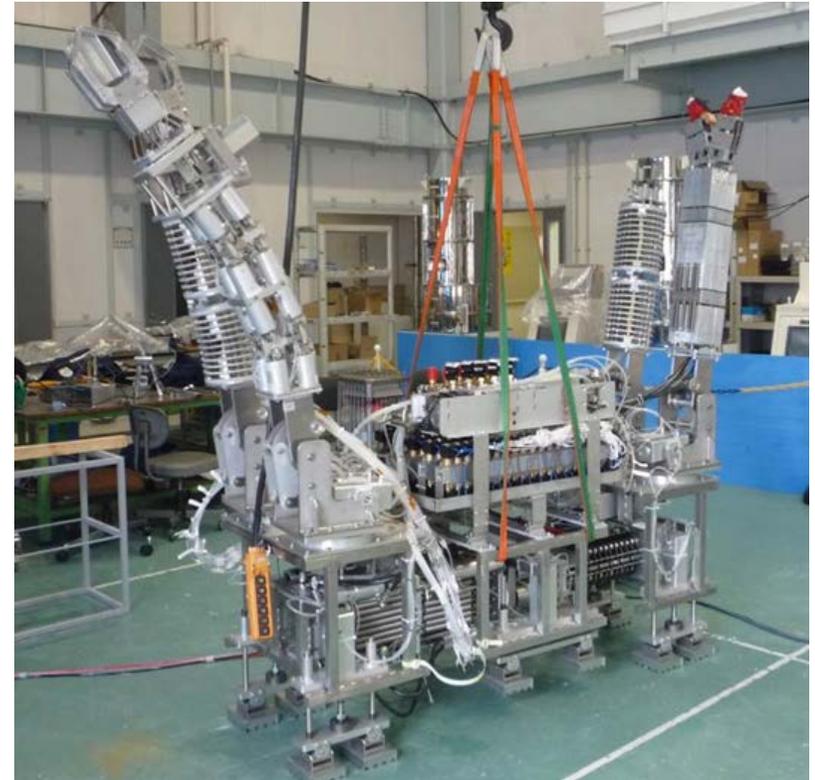
気中一横アクセス工法を念頭に、遠隔作業用柔構造アームを応用した装置のアクセス性、遠隔作業の操作性およびハンドリングといった作業性が確認されており、基本的な成立性及び検討課題が確認されていること。(終了時目標TRL:レベル4)

###### 【平成27年度検討内容】

- 柔構造アーム1次試作機の製作状況報告
- 柔構造アーム実機仕様イメージ提示

###### ＜試作機仕様＞

- ① アーム数: 4本
- ② 駆動源: 水圧シリンダ、バネ
- ③ 想定作業
  - PCV内の機器を撤去する
  - PCV内に機器を設置する
  - 監視、物品の移動などの補助作業



柔構造アーム1次試作機製作状況写真

### 3. 本事業の実施状況

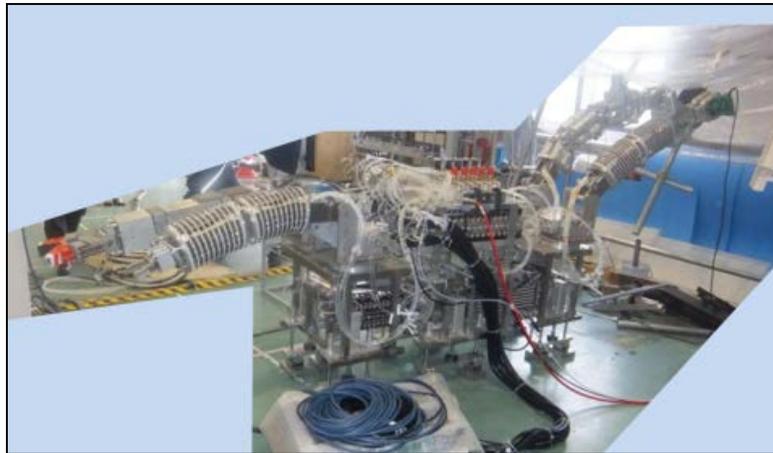
#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### iv) 燃料デブリ取り出しにおける遠隔作業技術

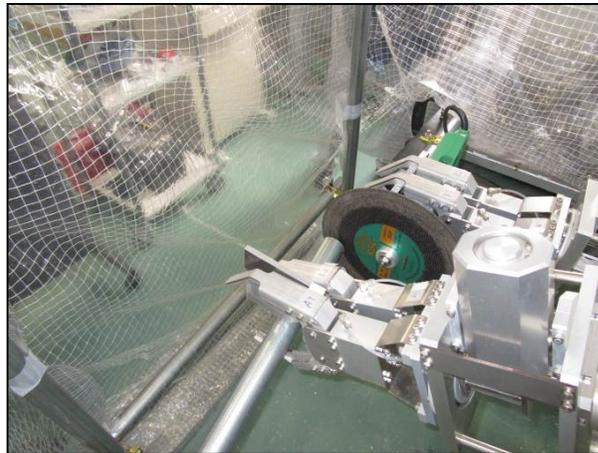
##### ① 遠隔作業用柔構造アームに関する試験

前年度に要素試験を実施した柔構造アームに基づき、燃料デブリ取り出し、PCV内での機器撤去および作業補助を主目的とした試作機を製作した。また、試作機において以下に示す動作を確認した。

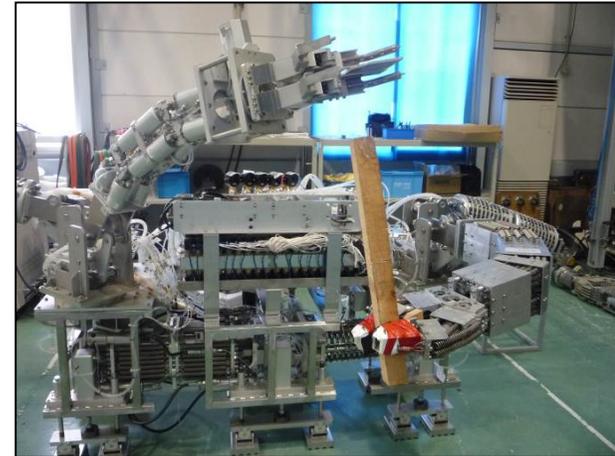
- 移動(自走可能)
- 2つのアームを使用し、鋼材をつかみながらグラインダーによる鋼材の切断
- 切断した鋼材の把持
- アーム間の機材の受け渡し



柔構造アーム1次試作機製作状況写真



鋼材をつかみながらグラインダーによる鋼材の切断状況



アーム間の機材の受け渡し状況

#### — 今後の実施(報告)内容 —

- 1次試作機の課題整理と実機向け仕様の検討
- 柔構造アーム実機仕様機を使用した要素試験計画提示
- 気中一横取り出しを想定した要素試験を実施し、燃料デブリ取り出しおよび機器撤去について検討している工法への適用性を確認する

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### iv) 燃料デブリ取り出しにおける遠隔作業技術

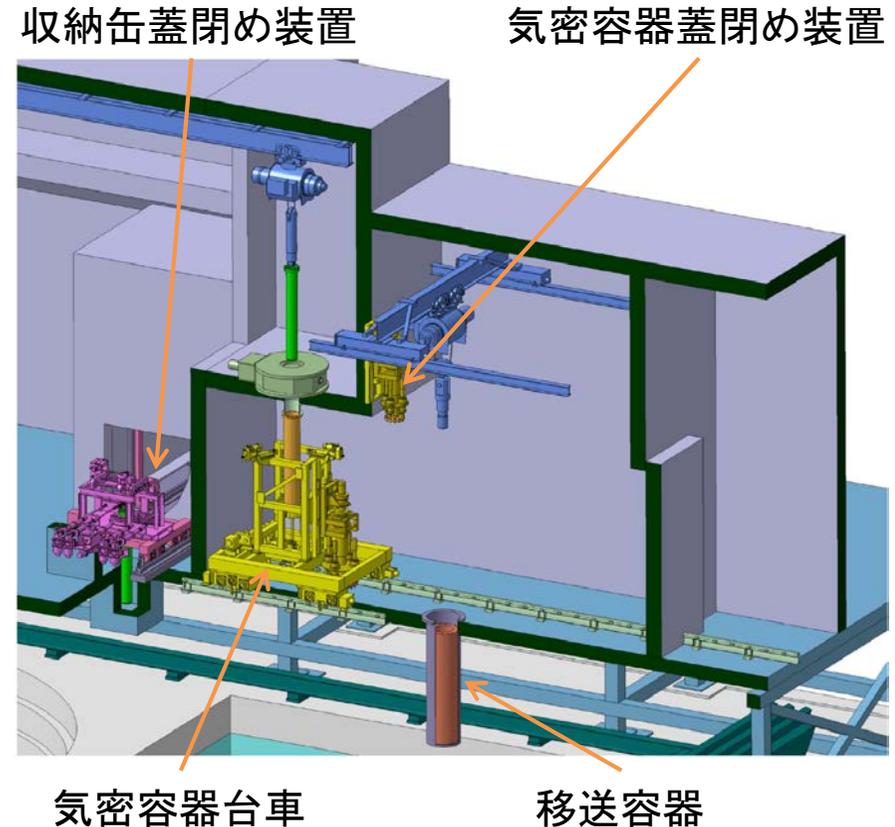
##### ② 燃料デブリ収納缶の取扱い装置に関する試験

###### 【目的: 開発目標】

収納缶炉内取扱い装置の基本設計が完了し、部分試作、またはスケールモデル試験で成立性を検証する機構が選定されていること。部分試作、またはスケールモデル試験が行われ、装置を成立させるための課題とリスクの抽出・整理がされ、対応方針が検討されていること。(終了時目標TRL:レベル4)

###### 【本年度実施内容】

- 収納缶の搬出プロセスに沿った収納缶取扱い装置の基本設計を実施
- 収納缶蓋閉め装置の要素試験項目を抽出(整理中)



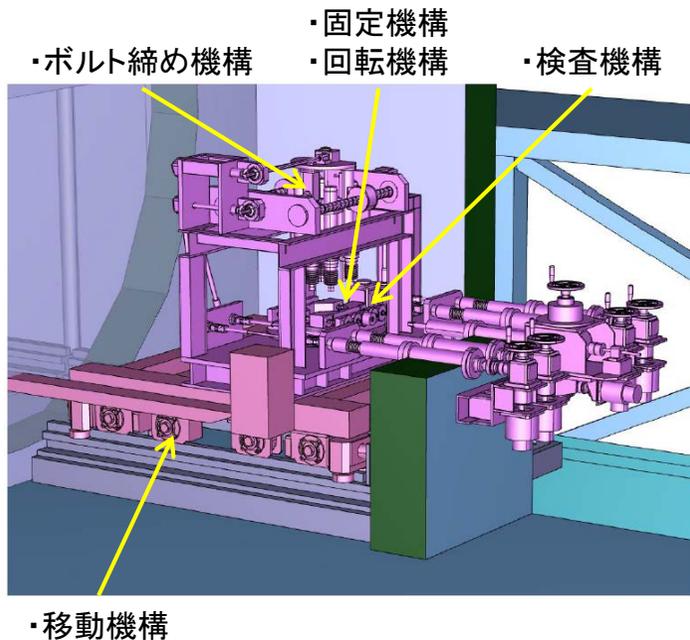
収納缶取扱い装置(案)

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### iv) 燃料デブリ取り出しにおける遠隔作業技術

##### ② 燃料デブリ収納缶の取扱い装置に関する試験



収納缶蓋閉め装置(案)

##### <基本仕様(暫定)>

- ① 基本機能: 収納缶蓋閉め、蓋閉め後の確認
- ② 蓋閉め仕様: ボルト締め、密閉(固体の流出なし)以上
- ③ 収納缶寸法: 円筒部外径240mm

##### <試験項目(案)>

- ✓ 収納缶蓋閉め装置の1/1スケール要素試作
- ✓ ボルト締め機構の基本動作確認
- ✓ 適切な締付け方法、手順の確認
- ✓ 遠隔メンテナンスのための分離・搬出性の確認

##### ■ 今後の実施(報告)内容

- 収納缶蓋閉め装置の試作状況
- 要素試験計画書
- 収納缶蓋閉め装置の部分試作、またはスケールモデル試験により、炉内で要求される作業が可能であることを確認する。
- 試験結果に基づく課題の抽出と改良提案。

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### vii) 燃料デブリ取り出しにおける切削・集塵、視覚・計測技術

##### ① 燃料デブリの切削に関する試験

##### ボーリング加工試験

##### 【目的: 開発目標】

選定された加工技術について、加工試験が実施され、関係機関による評価・確認がされていること。  
(終了時目標TRL: レベル3)

##### 【平成27年度検討内容】

- 前年度課題からのビット改良案の提示
- ノンコアビットによる試験計画の立案
- 共通試験体の仕様検討結果報告※1
- インプリビットおよびストラタビット※2試作品による金属試験体の切削要素試験

※1: 共通試験体については、IRIDより部分提案事業者に仕様を提案し、現在詳細を調整中。

※2: ストラタビットは、刃単体の金属切削試験を実施し、現在ビットとして製作中。

##### < 新型試作品ビットによる金属加工試験条件 >

- ① 切りくず排出および切削初期段階の安定性を向上させたφ66のインプリネイティッドビットを使用する。
- ② 試験体: SUS304のブロックを使用する。
- ③ ビット回転数: 150 ~ 250min<sup>-1</sup>
- ④ 給圧: 15 kN

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### vii) 燃料デブリ取り出しにおける切削・集塵、視覚・計測技術

##### ① 燃料デブリの切削に関する試験

ボーリング加工試験【ビット改良案の提示/ノンコアビットによる試験計画の立案】

前年度実施したコアボーリング試験より、切りくずの排出および切削初期の安定性に課題があることがわかったため、それらを改善するために新型試作品のビットを検討した。

##### ー 新型試作品ビットの検討ー

- 刃の角度を鋭角にして切削初期の安定性について改善を試みる。(No.1,2)
- 刃にRを設けるおよび切りくず排出用の溝に角度をつけることによって切りくず排出改善を試みる。(No.3,4)

改良ビットの製作



ノンコアビット試作品イメージ  
ノンコアビットの試験計画立案中



従来のΦ66 インプリ  
ネイテッドビット



No.1: 外高テーパー1



No.2: 外高テーパー2



No.3: 角Rストレート



No.4: 角R斜め加工

改良ビットにおいて金属切削試験を実施

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### vii) 燃料デブリ取り出しにおける切削・集塵、視覚・計測技術

##### ① 燃料デブリの切削に関する試験(ボーリング加工試験)

#### 改良ビットにおける金属切削試験結果

No.	ビット形状	ビット写真	給圧 (kN)	金属加工結果 (材質:SUS)	切削初期の 安定性	切りくずの 排出性	備考
1	外高テーパー1		15		良好	良好	
2	外高テーパー2		15		良好	良好	
3	角R ストレート		15		可	良好	
4	角R 斜め加工		15		可	良好	刃に欠けあり(刃に対し引っ張り方向に欠けた)

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

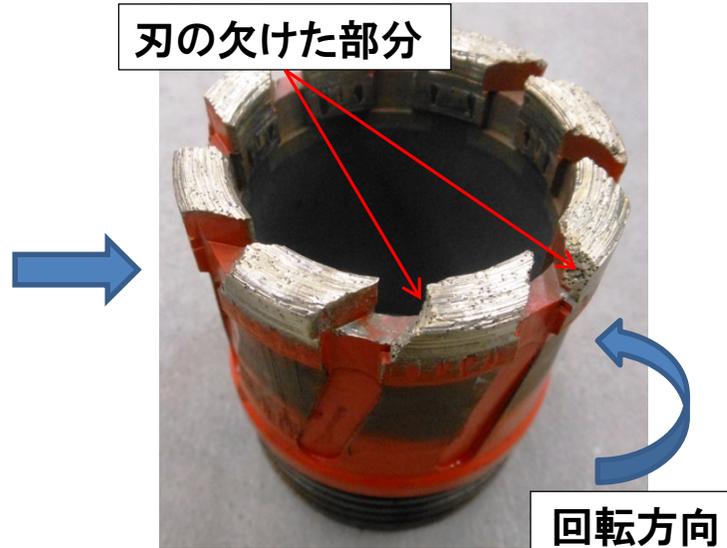
##### vii) 燃料デブリ取り出しにおける切削・集塵、視覚・計測技術

##### ① 燃料デブリの切削に関する試験(ボーリング加工試験)

外高テーパのビットは、従来のものより切削初期の安定性が向上した。また、切りくずの排出性についても良好であった。刃の形状をひし形状に変更したNo.4においては、欠けが確認された。形状を変更したため強度が低下したと推定する。



No.4: 角R 斜め加工(試験前)



No.4: 角R 斜め加工(試験後)



No.4: 角R 斜め加工時の切りくずの例

#### — 今後の実施(報告)内容 —

- ビット試作品による要素試験の実施(継続)
- 共通試験体の製作および部分提案者への供給
- 改良ビットによる要素試験により口切および切りくず排出状況を確認し、模擬燃料デブリ試験体の加工性を確認する
- ノンコアビットにより模擬燃料デブリ試験体の加工性を確認する

### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### vii) 燃料デブリ取り出しにおける切削・集塵、視覚・計測技術

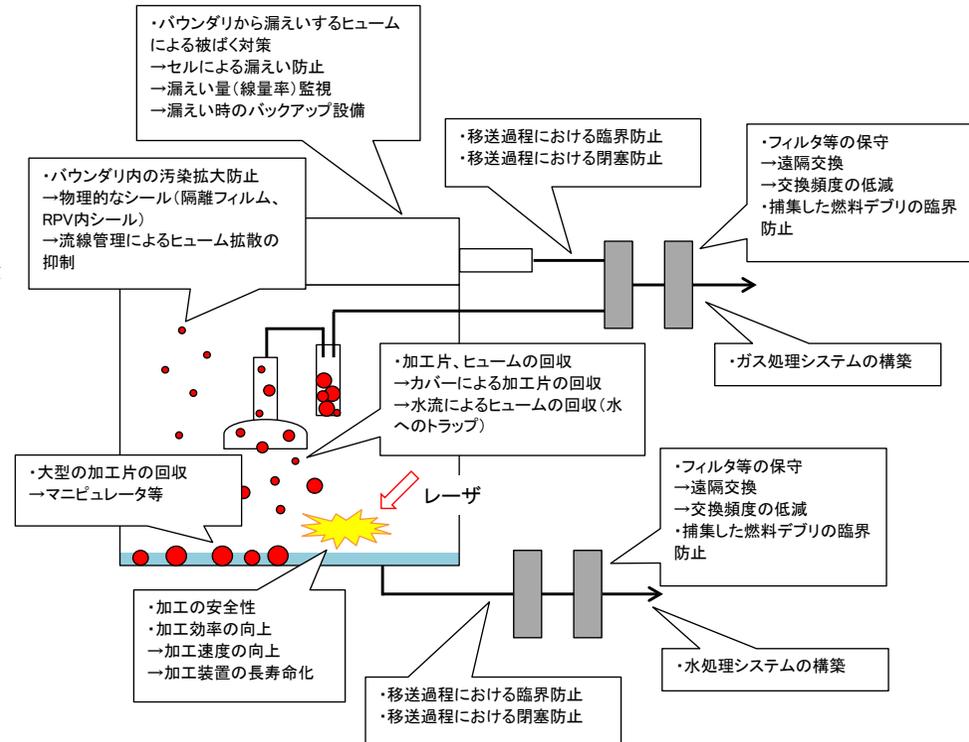
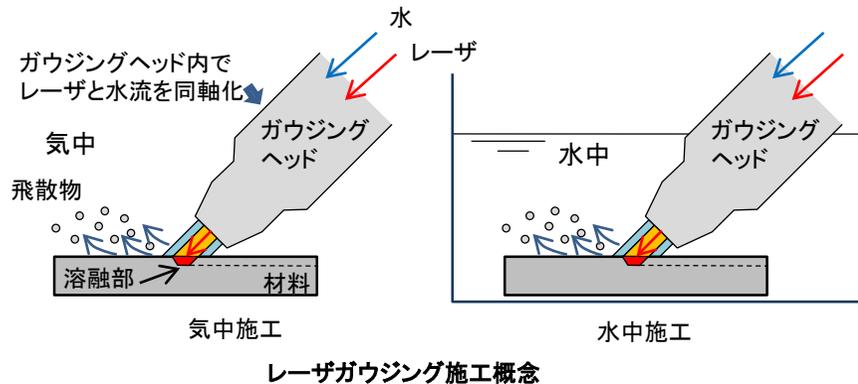
##### ① 燃料デブリの切削・集塵技術の性能に関する試験(レーザ加工試験)

#### 【目的:開発目標】

選定された加工技術について、加工試験が実施され、関係機関による評価・確認がされていること。上記の評価・確認の結果を受けて、集塵試験が実施され、試験を実施した集塵技術について性能が示されていること。(終了時目標TRL:レベル3)

#### 【本年度実施内容】

- 燃料デブリの加工にレーザを適用するための課題を抽出・整理。
- 課題解決に向けた試験計画を立案
- 特に、小粒径の二次生成物の発生と除去に係わるデータを取得、評価(予定)



### 3. 本事業の実施状況

#### 3.2 工法実現性の見極めに必要な要素試験

##### vii) 燃料デブリ取り出しにおける切削・集塵、視覚・計測技術

##### ① 燃料デブリの切削・集塵技術の性能に関する試験(レーザ加工試験)

###### <試験・評価項目>

- ✓ 施工パラメータを変化させて、加工効率、水中／気中に移行する二次生成物の重量、粒径分布を測定
- ✓ 気中に移行する二次生成物(ヒューム)の拡散防止方法選定のための試験解析評価(計画中)
- ✓ ガス中のヒューム除去効果の確認試験(計画中)

###### <試験片仕様>

- ✓  $\text{UO}_2$ の溶融、蒸発を保守的に模擬するために、 $\text{UO}_2$ より融点、沸点の低い $\text{Al}_2\text{O}_3$ を使用
- ✓ 金属構造物はオーステナイト系ステンレス鋼で模擬
- ✓ データ取得・拡充を目的とし、性状が均一な $\text{Al}_2\text{O}_3$ 単体、ステンレス鋼単体、および組合せ試験片を使用  
→ 共通試験片化

#### ■ 今後の実施(報告)内容

- レーザ加工関連要素試験の実施状況
- 試験結果からの課題の抽出と改良案の提示
- 共通試験片の制作および部分提案者への提供
- レーザ加工の実機適用性(加工効率、加工片・二次生成物の回収性、耐放射線性)を確認・評価
- 試験結果からの課題の抽出および整理



組合せ試験片の例

## 用語説明(1/2)

No.	用語	説明	備考
1	PCV	原子炉格納容器	
2	RPV	原子炉圧力容器	
3	X-6ペネ	PCV配管貫通部の一つ	
4	セルアダプタ	PCVとセルを繋ぐピースのこと	
5	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	
6	ストラタビット	ダイヤモンド焼結体を使用したビット	
7	ノンコアビット	コアが残らないビット	
8	給圧	ボーリングビットに供給する圧力	

## 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。	