

# 燃料デブリ取り出し代替工法 情報提供依頼(RFI)の結果について

2014年4月25日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

# RFIの公募から情報受付まで

# RFIの目的

- IRIDでは、経済産業省より「燃料デブリ取り出し代替工法の検討のための技術調査事業」を受託しており、本技術調査事業の一環として情報提供依頼(RFI)を実施。
- 本RFIは、中長期ロードマップの記載<sup>\*1</sup>に従い、燃料デブリ取り出しに向けた代替工法を検討し、そのために必要となる技術を特定する際に、関連する情報を産業界、学界及び政府系機関等から広く求めるもの。
- 収集した情報は、今後行われる概念検討(C/S) や、技術的なフェージビリティ調査(F/S)<sup>\*2</sup> に活用される。
- また、本RFIが世界各国の関係者との協働と連携の機会となることも期待。

\*1:「過酷な事故の影響を受けた原子炉格納容器の上部まで冠水させるための技術は、多段階で難しい課題を抱えており、原子炉格納容器上部まで冠水することが困難となる場合も想定される。このため、原子炉格納容器に水を張らずに燃料デブリを取り出す代替工法についても併せて検討を進めていく。」(中長期ロードマップより)

\* 2:政府予算の状況によるが、2014年の春/夏頃に技術提案の公募 (RFP) を予定。

# RFIの内容

## トピックA: PCV/RPV内部調査

### A-1:工法の概念検討 (以下、例)

- ① カメラ等の調査装置の内部への挿入方法
  - a. 配管/ペネトレーション等の既存の貫通孔の活用
  - b. 新たな貫通孔の穿孔
  - c. 作業員の被ばく低減の観点から考えた、貫通部の遮蔽方法及び機器操作方法
- ② 外部からの測定による燃料デブリ位置の推定方法等

### A-2:必要とされる技術 (以下、例)

- ① 高度計測技術 (カメラ、線量計、温度計等)
  - a. 高性能光学機器 (カメラ等)、その他の計測技術(超音波、レーザー等)
  - b. 計測機の制御技術、情報伝送技術
- ② 炉内にある物質が燃料デブリか否かを判別するための技術

## トピックB: 燃料デブリ取り出し

### B-1:工法の概念検討 (以下、例)

- ① PCV上面から燃料デブリへ水中でアクセス
  - ② PCV上面から燃料デブリへ気中<sup>\*1</sup>でアクセス
  - ③ PCV側面から燃料デブリへ気中<sup>\*1</sup>でアクセス
  - ④ PCV下面から燃料デブリへ気中<sup>\*1</sup>でアクセス
- \*1 部分的冠水を含む

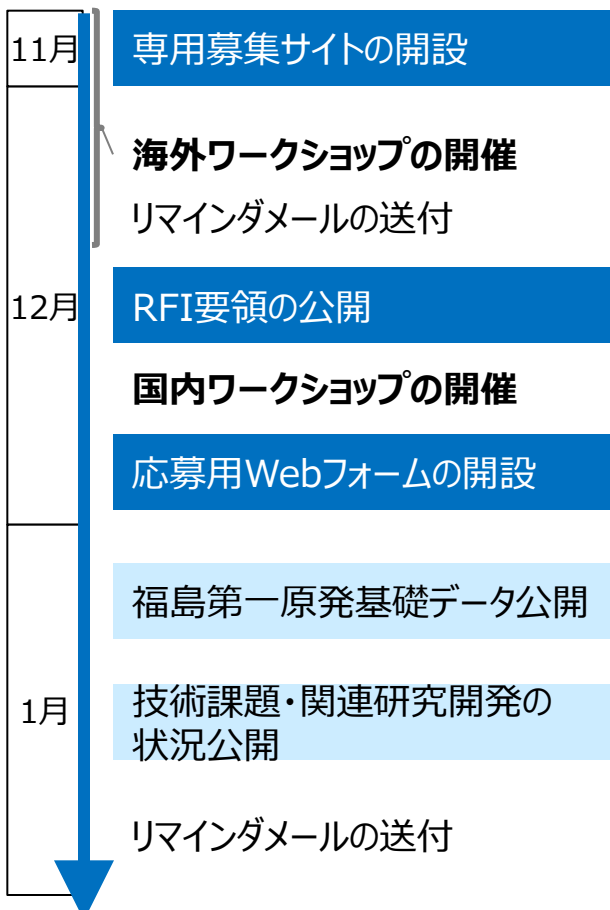
### B-2:必要とされる技術 (以下、例)

- ① 燃料デブリ取り出しに関する技術 (切り出し、吸引)
- ② 長い距離でも制御能力に優れる遠隔操作型のマニピュレーター等の機器・装置
- ③ 高線量の燃料デブリからの遮蔽技術
- ④ 高放射線環境下で作動する装置・設備
- ⑤ 横からまたは下部からのアクセスを実現するために建屋コンクリート、PCVの穴を開けるための機器・装置
- ⑥ PCV/RPV中で取り出し前に燃料デブリを安定保管する技術

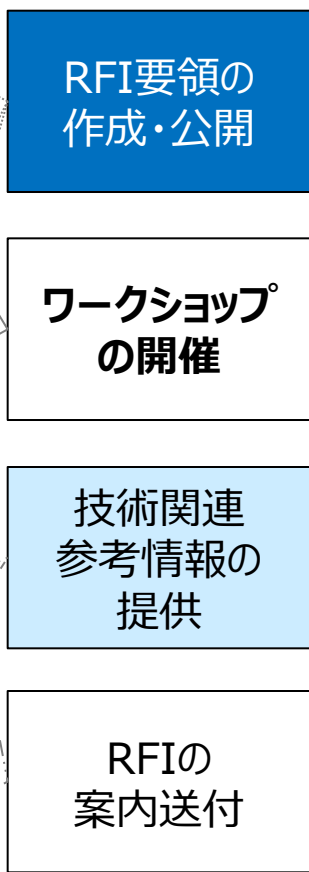
# RFI要領の公開と募集活動の経緯

2013年秋より、RFI要領の公開、検討に必要な参考情報の提供とともに、周知・募集活動を実施した。

## RFI要領の公開・募集活動



## 活動内容の概要



- RFIの実施に当たり、応募者の利便のため、**専用の募集サイトを開設**し、要領を掲載すると共に、**入力フォーム**を作成
- RFIの実施背景と目的の説明、参加呼びかけのため、国内外でワークショップを開催**
  - 開催地：イギリス、フランス、アメリカ、カナダ、ドイツ、日本
  - 各会とも関連企業、研究機関等から数十名程度参加
  - 日本での参加は約130名
- RFIへの情報提供にあたり参考となる技術データをweb上に公開**
  - 福島第一原発の基礎データ(構造・外寸、等)
  - 技術課題や国内研究開発の進捗
- RFIの実施や参考情報の公開について関連企業・学会・協会に連絡（メールにて）
  - 国内外の関連学会、業界団体
  - 過去のワークショップ参加企業

# RFIの結果

およそ6割の情報が日本国内から、4割の情報が海外から寄せられた。

RFIの募集分野	合計	国別内訳								
		日	米	英	独	仏	ベルギー	加	露	
PCV/RPV トピックス 内部調査	A-1：工法の概念 検討	33	20	7	3	-	2	-	1	-
	A-2：必要とされる 技術	58	32	6	10	6	2	2	-	-
燃料 デブリ取り出し トピックス	B-1：工法の概念 検討	43	23	8	3	2	5	-	1	1
	B-2：必要とされる 技術	60	41	7	3	4	2	2	-	1
合計（情報件数）	<b>194</b>	116	28	19	12	11	4	2	2	

貴重な情報をお寄せ頂いた皆様に心より感謝致します

# 燃料デブリ取り出し冠水工法 の説明(CG)

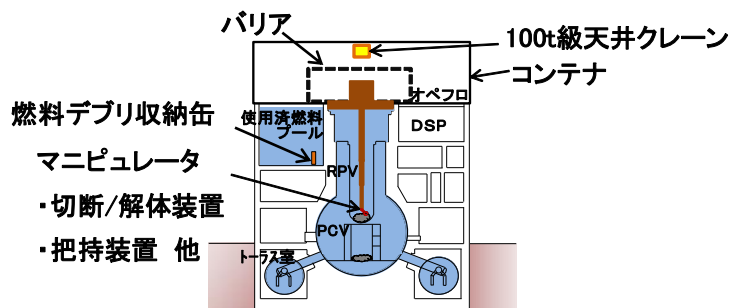
# 用語の定義

**冠水工法** 燃料デブリを冠水させた状態で取り出す工法で、燃料デブリの切断と収納を水中で行う。

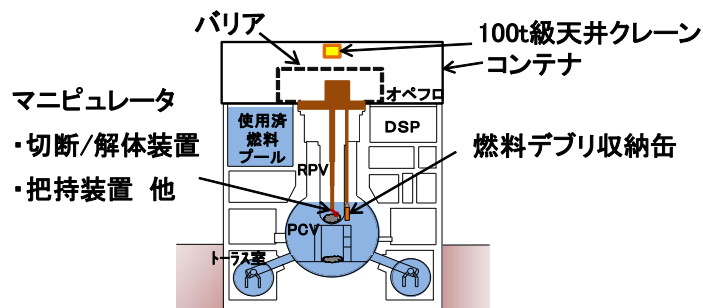
**気中工法** 冠水工法に対する代替工法であり、燃料デブリの切断あるいはその収納のいずれか、あるいは両方を気中で行う。

## 例

冠水工法

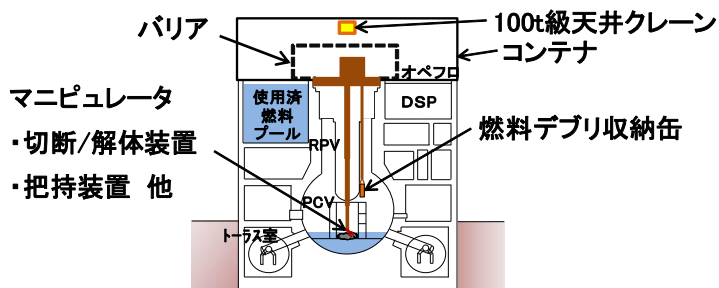


燃料デブリの切断と収納を水中で行う

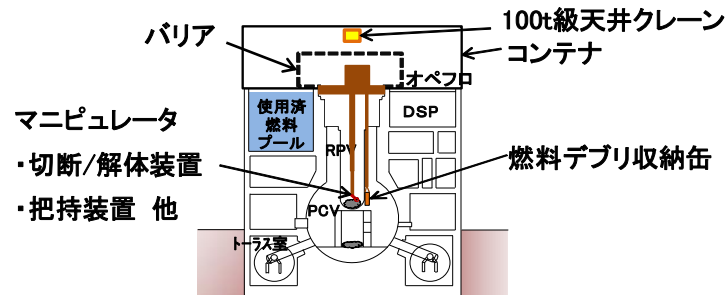


燃料デブリの切断と収納を水中で行う (PCV一部浸水)

気中工法



燃料デブリの収納を気中で行う



燃料デブリの切断も収納も気中で行う



# 提供された情報の分類・整理

# IRID内部の作業手順

提供情報の精査

ブレインストーミング

分類・整理

技術要件の抽出

表3 燃料デブリ取り出し代替工法についてご提供いただいた情報の分類とキーワード

トピックス	大分類	No.	中分類	提案要件*	キーワード	
A-1: 概念検討	機器を内部に投入	1	上部(新たに穿孔して)	1	コアローピング、SPPアクセス	
		2	側面(既存のベネを通して)	3	スネークアーム、水中からのアクセス、潜水艇型ハッチ、エアロック	
		3	側面(新たに穿孔して)	3	遠隔操作、マニピュレータ、予3品、陸上、遊水の経路	
		4	側面	2	ロボット、Y線、X線、超音波	
		5	下部	1	潜水	
	直接測定	6	放射線	8	中性子、γ線カメラ、スネーク型ロボット、SiC半導体検出器、放射線検出マッピング、分光計、ダイヤモンドセンサ、放射線センサ、モニタリングセンサ	
		7	熱	1	電測器	
		8	元素分析	2(2)	レーザー誘起プラズマ分光法(LIBS)、パルスレーザー、ラマン、質量、遠隔分析	
		9	カメラ	10	内視鏡測定ツール、PIZDAカメラ、放射線センサ、温度センサ、光線検出器、冷却器、放射線検出器、検出器、外部カメラ、水中	
		10	ファイバースコープ	2	水中カメラ、石炭ガス、放射線	
		11	超音波	6	ソナーマッピング、超音波探査、UWP法、変位センサ、水中センサ(WBS)、3Dマッピング	
		12	レーザースキャナ	2	測手法、水中、空中	
		13	その他	1	放射線マッピング	
		14	モニタリング	4	SD、可視化	
		15	X線、γ線、中性子	3	γ線計測器、固体角検出器、デジタルカメラ/検出器	
A-2: 必要とされる技術	環境整備	16	放射線	1	内部環境モニタリング、音波、電気信号受検器、非破壊的評価	
		17	放射線管理・放射線シミュレーション	5	3D、末端状態の確認、希ガス、K-88、シミュレーションソフト、バーチャルリアリティ、放射線分布地図	
		18	水位	2	Siの水位、超音波浮力計(UF)、中性子線放射線計測器、壁面移動車両	
		19	放射線計測	1	放射線計測、化学分析、検出器	
		20	放射線	1	放射線計測、検出器、放射線計測器	
	アクセス技術	21	マニピュレータ	5	ロボットマニピュレータ、ロボットアーム、設置機	
		22	ロボット(水中)	2	潜水艇、潜水ロボットシステム	
		23	ロボット(陸上)	6	クローラ、滑車、測定器搭載	
		24	ロボット(水陸両用)	6	スネークアーム、遠隔操作、可視化、代替環境、試験設備、ロボット性能向上、遠隔操作無人搬送車、スイングドラスラフ、小気圧環境、アクセスシステム	
		25	切断・穿孔	6	ハイスピードコアドリル、遠隔、超高温液体窒素冷却装置による穿孔、研摩材進入による腐蝕抑制、レーザー切断機(空気・水)、シミュレーション	
		26	放射線検出器	10	電子線線、放射線検出器、放射線計測器、無線LAN、遠隔用ファイバースコープ、石炭ガス大気口検出器、水中カメラ、可視化、音波センサー、1000の放射線検出器、遠隔操作	
		27	上部	5	気体ガスで物入りデブリを浮上させる工法、遠隔操作止水工法など	
		28	下部	2	冠水させた状態で下からアクセスする工法	
		29	上部	7	閉鎖プラグを用いた工法、プラグフォームを下より上から閉鎖する工法、マニピュレータを用いた工法、上部からの放射線検出器の設置工法など	
		30	側面	7	プラグフォームを下より上から閉鎖する工法、開口部に遠隔操作可能な部材を設ける工法など	
B-1: 概念検討	水中工法*	31	側面	7	デブリ・炉内構造物を搬出し、ロボットアームで取り出す工法、新たなエアロックを設ける工法など	
		32	下部	4(2)	遠隔操作による搬出・回収する工法など	
		33	化学的方法	3	化学的方法による溶解回収する工法、浸透メッキ工法	
		34	RPV/PCV以外	2	RPV/PCV以外の場所にてデブリがある場合の回収方法	
		35	その他	2(2)	遠隔操作による回収する工法など	
	B-2: 必要とされる技術	デブリ切断	36	機械的	5(2)	切断機、カッター、ウォータージェット、超音波液体窒素、放電溶融
			37	熱的(レーザー)	1	アーク、ジェット
			38	熱的(レーザー)	8(1)	遠隔、ファイバースコープ、レーザー遠隔操作装置、超音波による距離把握、水中切断、真中切断、CO2レーザー
			39	超音波	4	High Intensity Pressure, Imprintable Graphite Minn、超音波装置
			40	分断	1	中性子、γ線によるデブリの崩壊
		環境整備	41	放射線(一時保管)	4	輸送、貯蔵、コンテナ、キャニスター
			42	搬出管理	2	表面汚染サーベillance、シミュレーションソフト、3Dバーチャルリアリティ
			43	遮蔽	5(1)	鉛、鉛板、鉛コンクリート、鉛スクリーン、遮蔽材料、遮蔽材料、遮蔽材料
			44	除去	3	化学除去、RTVレジシ
			45	止水	2(2)	流動性セメント、流動性グラウト材
アクセス技術	46	遠隔操作	3	ロボット、スラフ、可視化、遠隔操作		
	47	マニピュレータ	12	テレオペレーション、遠隔操作、遠隔操作、モバイルロボットプラグフォーム、大型マニピュレータ、遠隔操作、遠隔操作、遠隔操作		
	48	ロボット(デブリ除去)	3(1)	キャッチャー、遠隔操作、遠隔操作、遠隔操作		
	49	切断・穿孔	1	遠隔操作、遠隔操作		
	50	デブリ対策	7	遠隔操作、スタック制御防止、自立浮遊水中放射線検出装置、遠隔操作		

\*1 トピックスの分類は、IRIDが独自に再評価したため、提案者の分類と異なる場合があります。(0)内は、汚染水RPのうち燃料デブリ/RFにも該当すると考えられるもの。  
\*2 冠水工法(燃料デブリの切断と回収容器への収納をすべて水中で行う工法)、水中工法(燃料デブリの切断と回収容器への収納のうち、一部は冠水で実施する工法)。

(配布資料ご参照)

多岐に渡る情報の全体像を把握するために、  
提供された情報を分類・整理

# 提供された情報の分類・整理 A:PCV/RPVの内部調査

## A-1: 概念検討

大分類	No.	中分類	提案件数
機器を内部に投入	1	上部 (新たに穿孔して)	1
	2	側面 (既存のペネトレーションを通して)	3
	3	側面 (新たに穿孔して)	3
PCV外部からの測定	4	側面	2
	5	下部	1

## A-2 : 必要とされる技術

大分類	No.	中分類	提案件数
直接測定	6	放射線	8
	7	熱	1
	8	元素分析	2 (2)
直接観察	9	カメラ	10
	10	ファイバースコープ	2
	11	超音波	6
	12	レーザーสキャナ	2
	13	その他	1
間接測定	14	ミュオン	4
	15	X線、γ線、中性子	3
	16	AE法	1
	17	臨界管理・被ばく線量シミュレーション	5
環境整備	18	水位	2
	19	ホットセル	1
	20	光源	1
	21	マニピュレータ	5
アクセス技術	22	ロボット(水中)	2
	23	ロボット(陸上)	6
	24	ロボット(水陸両用)	6
	25	切断・穿孔	6
	26	耐放射線部品	10

\* 提案件数について:

トピックスの分類は、IRIDが独自に再評価したため、提案者の分類と異なる場合がある。( )内は、汚染水RFIのうち燃料デブリRFIにも該当すると考えられるもの。

# 提供された情報の分類・整理

B:PCV/RPVからの燃料デブリ取り出し / C:その他

## B-1: 概念検討

大分類	No.	中分類	提案件数
冠水工法	27	上部	5
	28	下部	2
気中工法	29	上部	7
	30	上部・側面併用	7
	31	側面	7
	32	下部	4 (1)
その他	33	化学的方法	3
	34	RPV/PCV以外	2
	35	その他	2 (6)

## C: その他

大分類	No.	中分類	提案件数
テーマ外	50	テーマ外	7

## B-2 : 必要とされる技術

大分類	No.	中分類	提案件数
燃料デブリ切断	36	機械的	5 (2)
	37	熱的(プラズマ)	1
	38	熱的(レーザ)	8 (1)
燃料デブリ回収	39	安定固化	4
	40	分類	1
	41	容器(一時保管)	4
環境整備	42	被ばく管理	2
	43	遮蔽	5 (1)
	44	除染	3
	45	止水	2 (2)
	46	水処理	3
アクセス技術	47	マニピュレータ	12
	48	ロボット(燃料デブリ除去)	3 (1)
	49	切断・穿孔	1

- 冠水工法(燃料デブリの切断と収納容器への収納をすべて水中で行う工法)
- 気中工法(燃料デブリの切断と収納容器への収納のうち、一部もしくは全てを気中で行う工法)。

# 提供された情報の紹介

## — 工法の代表例 —

# 内部調査

## 主な課題

- ・作業スペースの確保
- ・バウンダリの確保

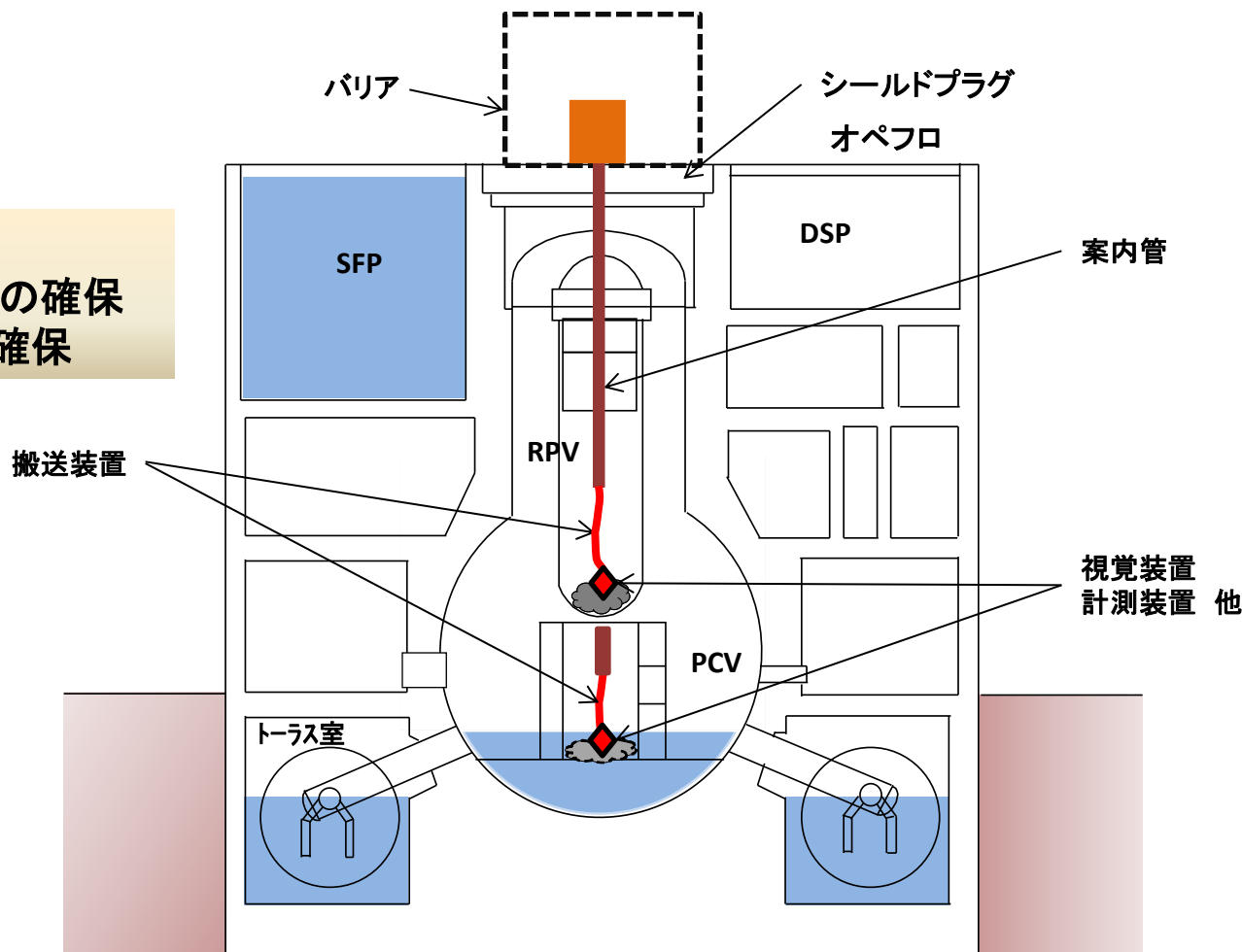
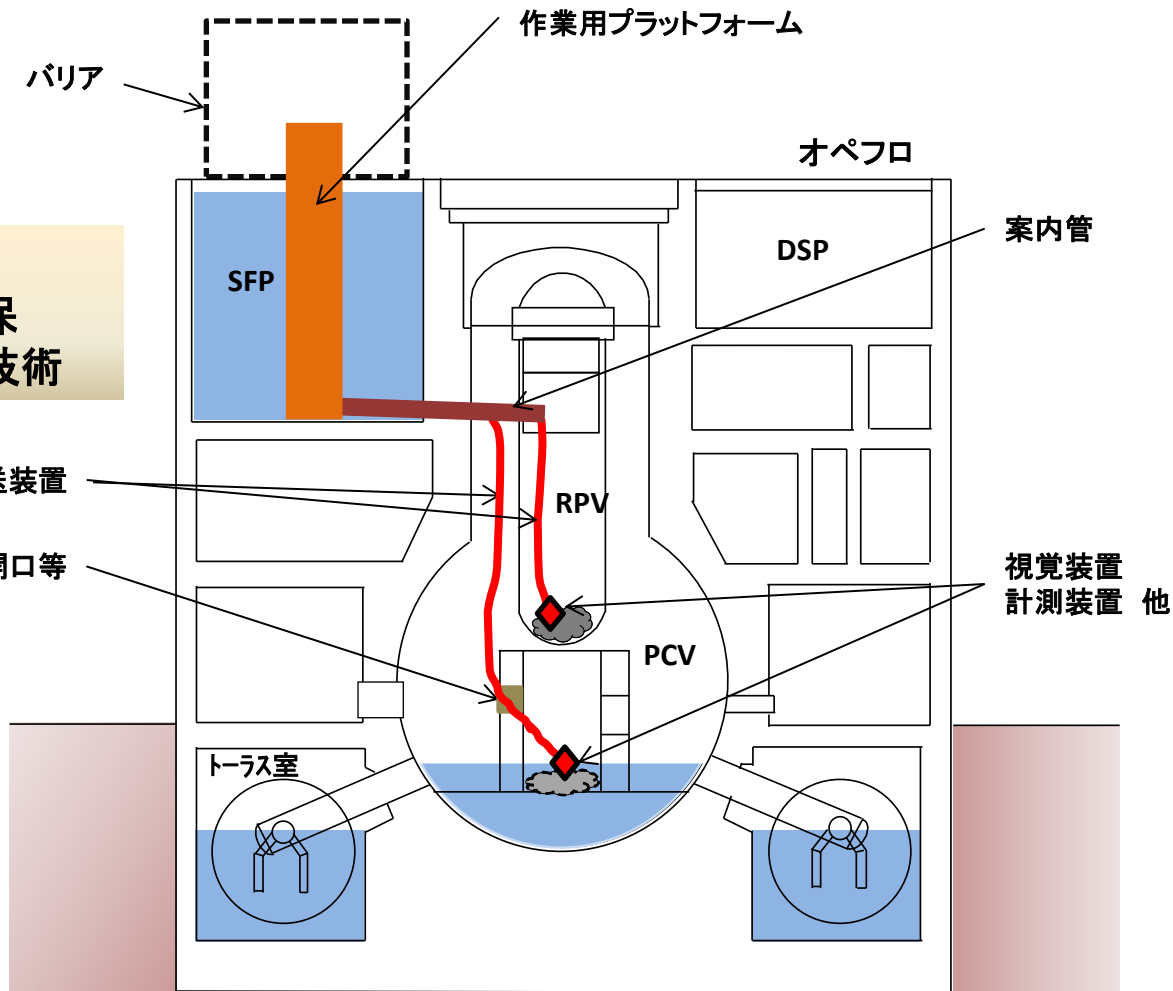


図1 上部から穿孔して調査する工法(シールドプラグから)【中分類1】

# 内部調査



主な課題  
・バウンダリの確保  
・穿孔場所/穿孔技術

図2 上部から穿孔して調査する工法(SFPから)【中分類1】

# 内部調査

## 主な課題

- ・アクセス距離
- ・RPVへのアクセス方法

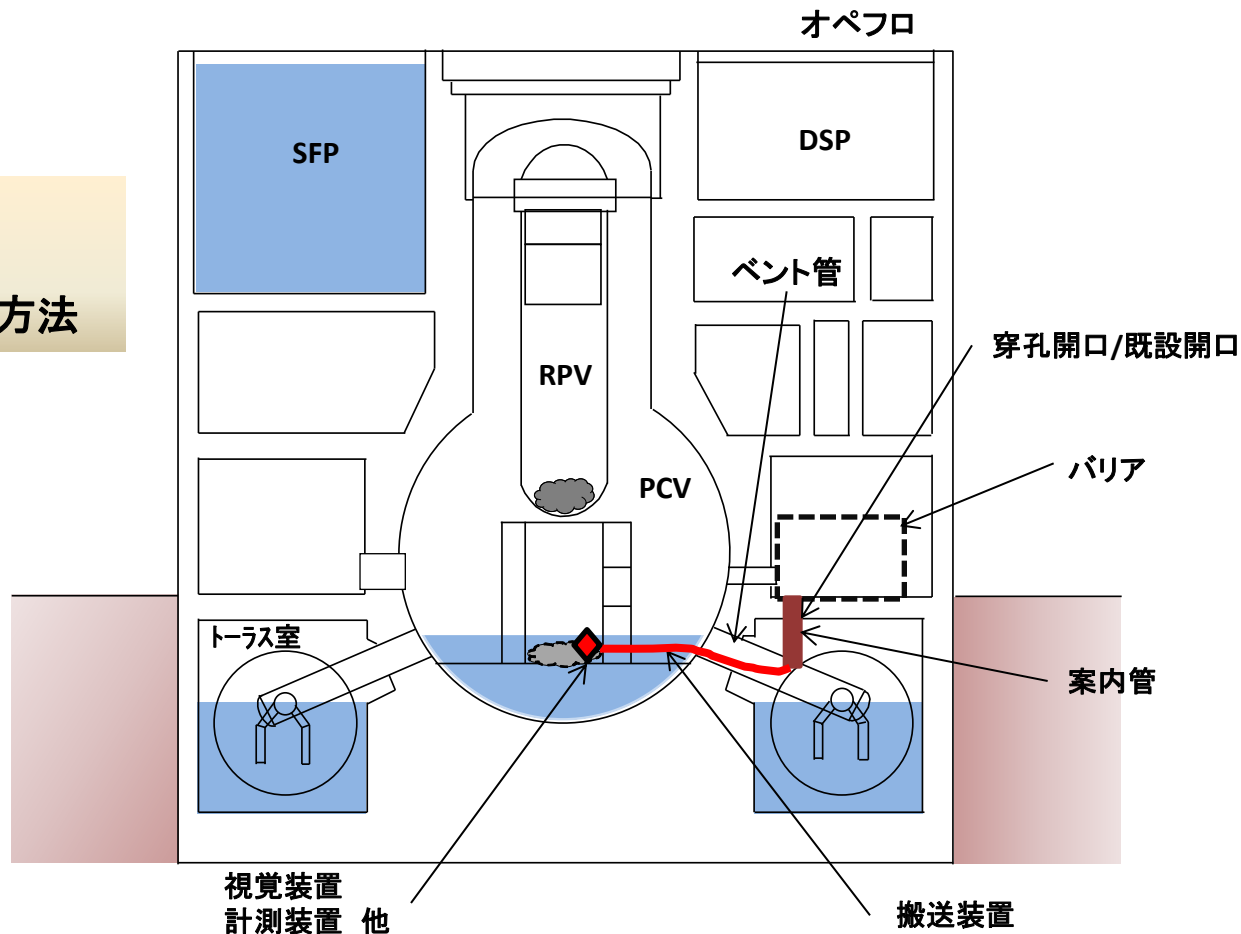


図3 ベント管からPCV下部を調査する工法【中分類2】



# 燃料デブリ取り出し

- 主な課題**
- ・バウンダリの確保
  - ・遮蔽プラグの設置精度
  - ・作業時の反力の制御

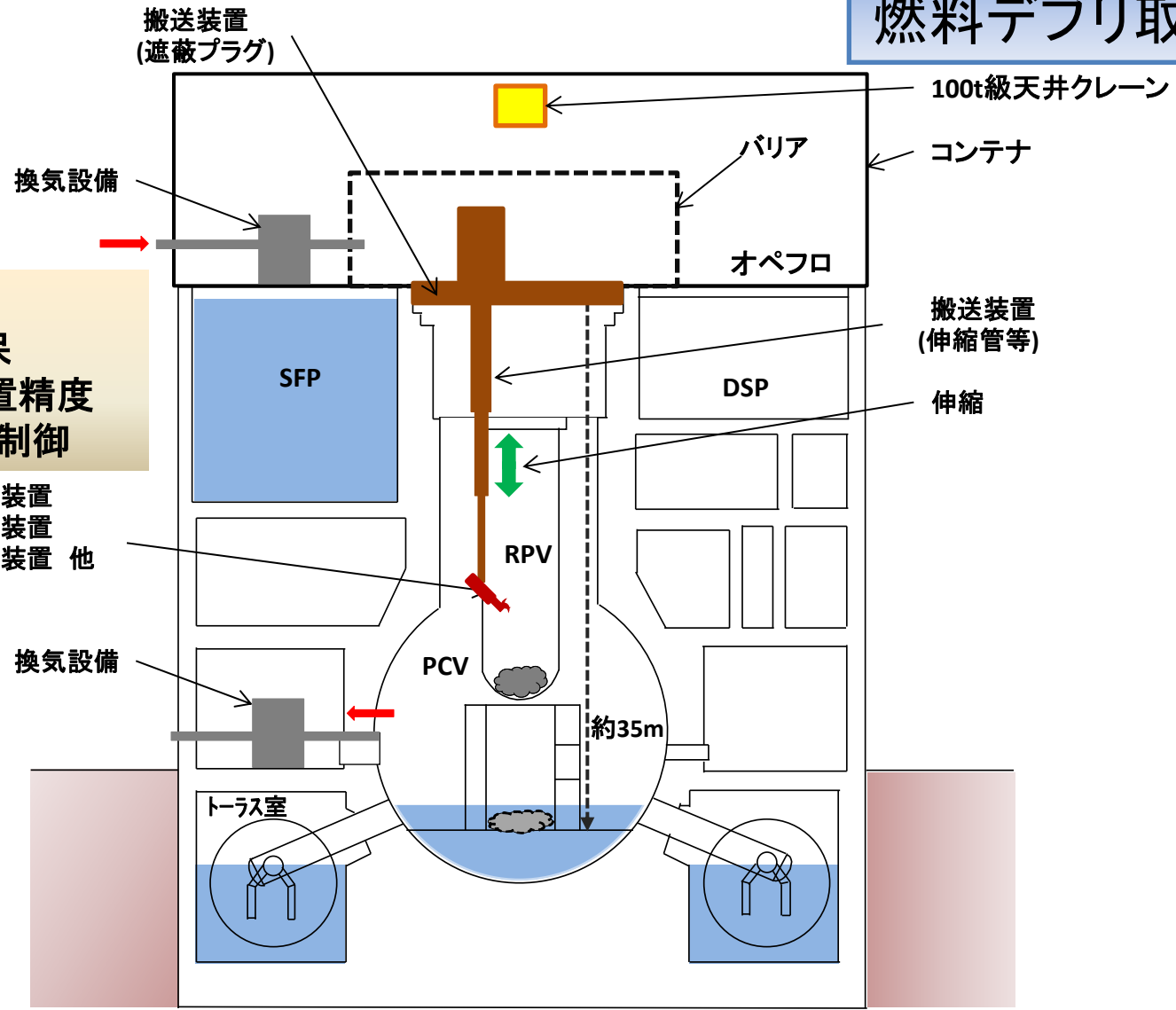


図4 気中でオペフロに遮蔽プラグを設置し取り出す工法【中分類29】

# 燃料デブリ取り出し

**主な課題**  
・バウンダリの確保  
・作業時の遮蔽

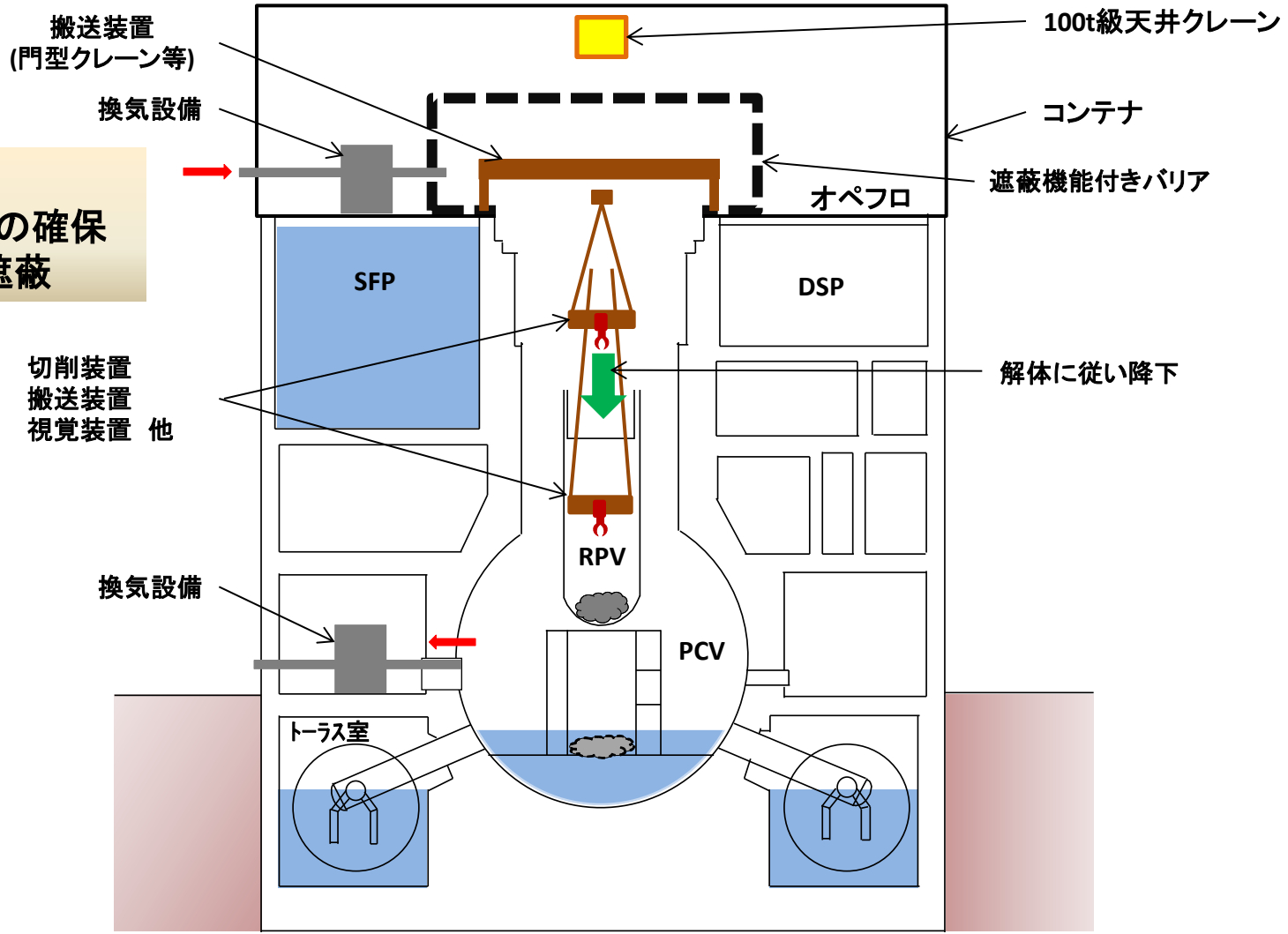


図5 気中でオペフロから装置本体を降ろしながら取り出す工法【中分類29】

# 燃料デブリ取り出し

**主な課題**  
・バウンダリの確保  
・作業時の遮蔽  
・進入開口の位置

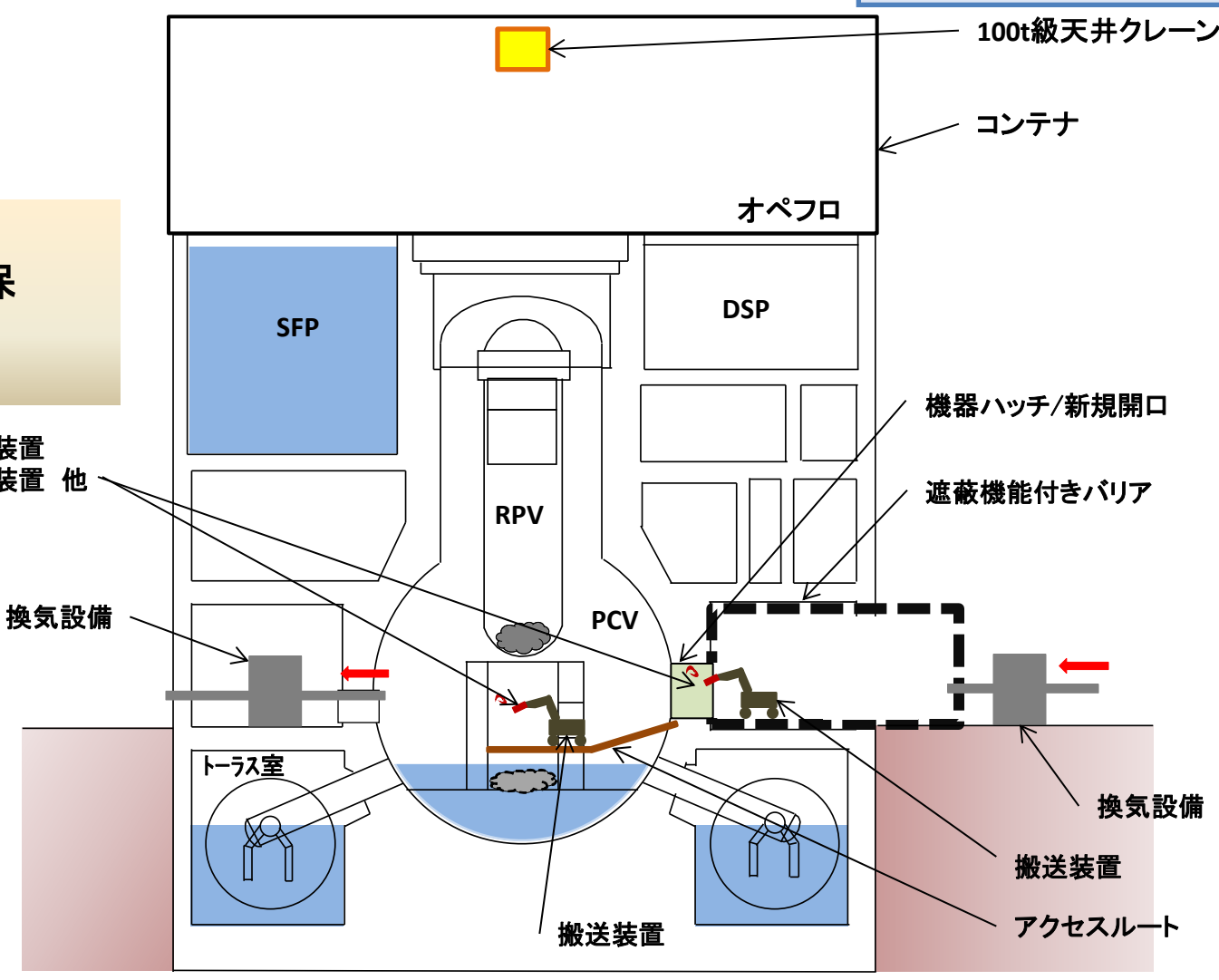


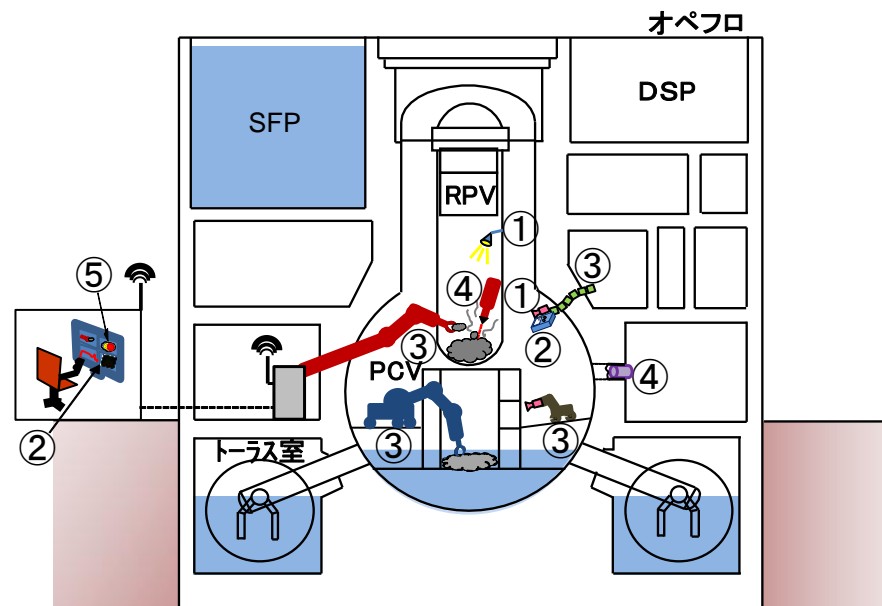
図6 気中で側面から取り出す工法【中分類31】

# 提供された情報の紹介

## — 技術の代表例 —

- ① 視覚技術 例:カメラ、内視鏡、ファイバ스코ープなど
- ② 計測技術 例:放射線測定、超音波探査、レーザスキャナ、元素分析など
- ③ 搬送技術 例:自走式ロボット(スネーク型、クローラ型、潜水型)、  
マニピュレータ(昇降、移動機構含む)など
- ④ 切削技術 例:プラズマ切断、レーザ切断、機械的切断、コアボーリングなど
- ⑤ 支援技術 例:臨界管理、デブリ安定固化、耐放射線部品など

耐放射線性に優れるとされるカメラ、各種マニピュレータ、レーザ切断技術など、多くの技術情報が寄せられた。



# 工法・技術に必要とされる技術要件

- バウンダリの維持（放射性物質の放出/汚染拡大防止）
- 遠隔操作性（高線量場における作業者の被ばく低減）
- 既存施設/内部構造物との干渉回避
- 炉内環境（気中、高線量、高湿度）への適応性
- メンテナンスフリーあるいは長期間の使用可能性

加えて、燃料デブリ取り出し代替工法に関しては、

- 支援設備（換気/ろ過/冷却）
- 大型設備の設置方法
- 優れた耐放射線性（燃料デブリへの接近）

上記要件は、提案公募（RFP）の  
技術仕様に反映される予定

燃料デブリ取り出し代替工法についてご提供いただいた情報の分類とキーワード

トピックス	大分類	No.	中分類	提案件数*1	キーワード	
A: PCV/RPVの内部調査	A-1: 概念検討	1	上部(新たに穿孔して)	1	コアボーリング、SFPアクセス	
		2	側面(既存のペネトレーションを通して)	3	スネークアーム、水中からのアクセス、潜水艦型ハッチ、エアロック	
		3	側面(新たに穿孔して)	3	遠隔操作、マニピュレータ、デコミ、除染、過去の経験	
		4	側面	2	ミュオン、γ線、X線、超音波	
		5	下部	1	音波	
	A-2: 必要とされる技術	直接測定	6	放射線	8	中性子、γ線カメラ、スネーク型ロボット、SiC半導体測定器、放射線強度マッピング、分光計、ダイヤモンドセンサ、耐放射線センサ、センサアセンブリ
			7	熱	1	崩壊熱
			8	元素分析	2(2)	レーザー誘起ブレイクダウン分光(LIBS)、パルスレーザー、プラズマ、輝線、遠隔分析
		直接観察	9	カメラ	10	内視鏡測定ツール、PTZカメラ、放射線センサ、温度センサ、光導電膜、冷陰極、耐放射線性、解像度、外装カバー、水中
			10	ファイバースコープ	2	レボルパー、石英ガラス、耐放射線
			11	超音波	6	ソナーマッピング、画像解析、UVP法、非線形法、水中センサ(WBS)、3Dマッピング
			12	レーザースキャナ	2	実寸法、水中、気中
			13	その他	1	燃料デブリ位置検索
		間接測定	14	ミュオン	4	3D、可視化
			15	X線、γ線、中性子	3	γ線計測器、固体飛跡記録計、デジタルX線パネル検知器
			16	AE法	1	内部弾性エネルギー、音波、電気信号変換、非破壊的評価
		環境整備	17	臨界管理・被ばく線量シミュレーション	5	3D、未臨界状態の確認、希ガス、Kr-88、シミュレーションソフト、バーチャルリアリティ、放射線分布地図
			18	水位	2	S/C水位、超音波探触子(UT)、中性子後方散乱探査機、壁面移動車両
			19	ホットセル	1	放射性試料、化学分析、隔離
			20	光源	1	シンチレータ、硫化亜鉛、太陽光発電
		アクセス技術	21	マニピュレータ	5	マルチセグメントアーム、ロングリーチ、軽量化
			22	ロボット(水中)	2	潜水艇、潜水ロボットシステム
			23	ロボット(陸上)	6	クローラ、潜水、測定器搭載
			24	ロボット(水陸両用)	6	スネークアーム、磁石接着、ばね鋼、代理環境、試験設備、ロボット性能向上、遠隔操作無人探査機、スイングドライブ式、小型連携式、アルキメデススクリュー
			25	切断・穿孔	6	ハイスピードコアドリル、遠隔、超高压液体窒素吹き付けによる穿孔、研磨材混入による鋼板切断、レーザー切断、小反力、トンネル技術
	26		耐放射線部品	10	電子機器、環境対応型水圧駆動制御技術、無線LAN、通信用光ファイバーケーブル、石英ガラス大口径ファイバ、高光エネルギー伝送、高出力レーザー光、1MGyの耐放射線性能、集積回路	
B-1: 概念検討	冠水工法*2	27	上部	5	炭酸ガスで粉砕した燃料デブリを浮上させる工法、凍結させ止水する工法など	
		28	下部	2	冠水させた状態で下からアクセスする工法	
	気中工法*2	29	上部	7	回転プラグを用いた工法、プラットフォームを下ろし上から順に解体する工法、マニピュレータを用いる方法、上部から機器が収納されたカプセルを下す工法、鉄のキューブにより遮蔽する工法など	
		30	上部・側面併用	7	プラットフォームを下ろし上から順に解体する工法、開口部に遮蔽機能付きの部屋を設ける工法など	
		31	側面	7	燃料デブリ・炉内構造物を裁断しロボットアームで取り出す工法、新たなエアロックを設ける工法など	
		32	下部	4(1)	建屋下に穴を掘って回収する工法など	
	その他	33	化学的方法	3	燃料デブリを化学的に溶解させる方法、電気メッキ手法	
		34	RPV/PCV以外	2	RPV/PCV以外の場所に燃料デブリがある場合の回収方法	
		35	その他	2(6)	建屋ごと埋設する方法など	
	B-2: 必要とされる技術	燃料デブリ切断	36	機械的	5(2)	掘削機、カッター、ウォータージェット、超高压液体窒素、放電破砕
37			熱的(プラズマ)	1	アーク、ジェット	
38			熱的(レーザー)	8(1)	遠隔、ファイバーレーザー、レーザー塗膜除去装置、超音波による距離把握、水中切断、気中切断、CO2レーザー	
燃料デブリ回収		39	安定固化	4	Hot Isostatic Pressing、Inprementable Graphite Mtrix、保管計画立案	
		40	分類	1	中性子/γ線による燃料デブリの同定	
		41	容器(一時保管)	4	輸送、処理、コンテナ、キャニスター	
環境整備		42	被ばく管理	2	表面汚染サーベイ装置、シミュレーションソフト、3Dバーチャルリアリティ	
		43	遮蔽	5(1)	ガンマ線遮蔽材、中性子遮蔽材、黄鉄鉱を用いた重コンクリート、鉄スケール、遮蔽解析、液体状遮蔽材、高比重樹脂	
		44	除染	3	化学除染、RTVレジン	
		45	止水	2(2)	流動性セメント、流動性グラウト材	
		46	水処理	3	ゲル化、スラッジ、ポリリン酸、キレート回収	
アクセス技術		47	マニピュレータ	12	テレスコープ式、昇降ワイヤ式、稼動脚付き、モバイルツールプラットフォーム、大型マストアーム、油圧式、双腕型グリッパ、耐放射線性能、CFRP製	
	48	ロボット(燃料デブリ除去)	3(1)	キャタピラ、稼動構造体自動施工		
	49	切断・穿孔	1	乾式穿孔ドリル、遠隔解体重機		
C: その他	テーマ外	50	テーマ外	7	調査戦略、スタック転倒防止、自立低高度空中放射線検出装置、公募方法など	

\*1 トピックスの分類は、IRIDが独自に再評価したため、提案者の分類と異なる場合がある。( )内は、汚染水RFIのうち燃料デブリRFIにも該当すると考えられるもの。

\*2 冠水工法(燃料デブリの切断と収納容器への収納をすべて水中で行う工法)、気中工法(燃料デブリの切断と収納容器への収納のうち、一部もしくは全てを気中で行う工法)。