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工法・システムの高度化事業
平成28年度最終報告書

平成29年3月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構（IRID）

無断複製・転載禁止　技術研究組合　国際廃炉研究開発機構
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

目次

1. 本事業の実施内容
2. 実施スケジュール・体制表
3. 検討の進め方
4. 本事業の実施状況
   4.1 燃料デブリ・炉内構造物取り出し方針決定に向けたプラント情報の整理
   4.2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討
      ①工法実現性の検討【共通】
      ②工法実現性の検討【冠水-上アクセス工法】
      ③工法実現性の検討【気中-上アクセス工法】
      ④工法実現性の検討【気中-横アクセス工法】(PLAN-A)
      ⑤工法実現性の検討【気中-横アクセス工法】(PLAN-B1)
      ⑥工法実現性の検討【気中-横アクセス工法】(PLAN-B2)
   4.3 工法実現までの計画策定
   4.4 システムの概念検討
   4.5 取り出し装置の設計検討
   4.6 燃料デブリ・炉内構造物取り出しシステム・装置の開発計画策定
   4.7 燃料デブリのサンプリング及びシステム・装置の開発計画策定
5. まとめ

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

1. 本事業の実施内容

【目的】

中長期ロードマップおいて、燃料デブリの取り出しは平成33年内に開始される目標工程となっている。そのため、本事業においては、今後の燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けて必要となるプラント情報の整理、燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討及び取り出しシステム・装置の開発計画策定等を行う。

【平成28年度の主な実施内容】

①燃料デブリ・炉内構造物取り出し方針決定に向けたプラント情報の整理

燃料デブリ・炉内構造物取り出し方針の決定に必要なプラント情報等の条件について、最新のデータ・情報で整理した。

②燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

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工法について、燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討を行った。

③燃料デブリ・炉内構造物取り出しシステム・装置の開発計画策定

3工法の実現性を見極めるために必要な範囲を対象とし、システムの概念設計を実施した。

④燃料デブリのサンプリング及びシステム・装置の開発計画策定

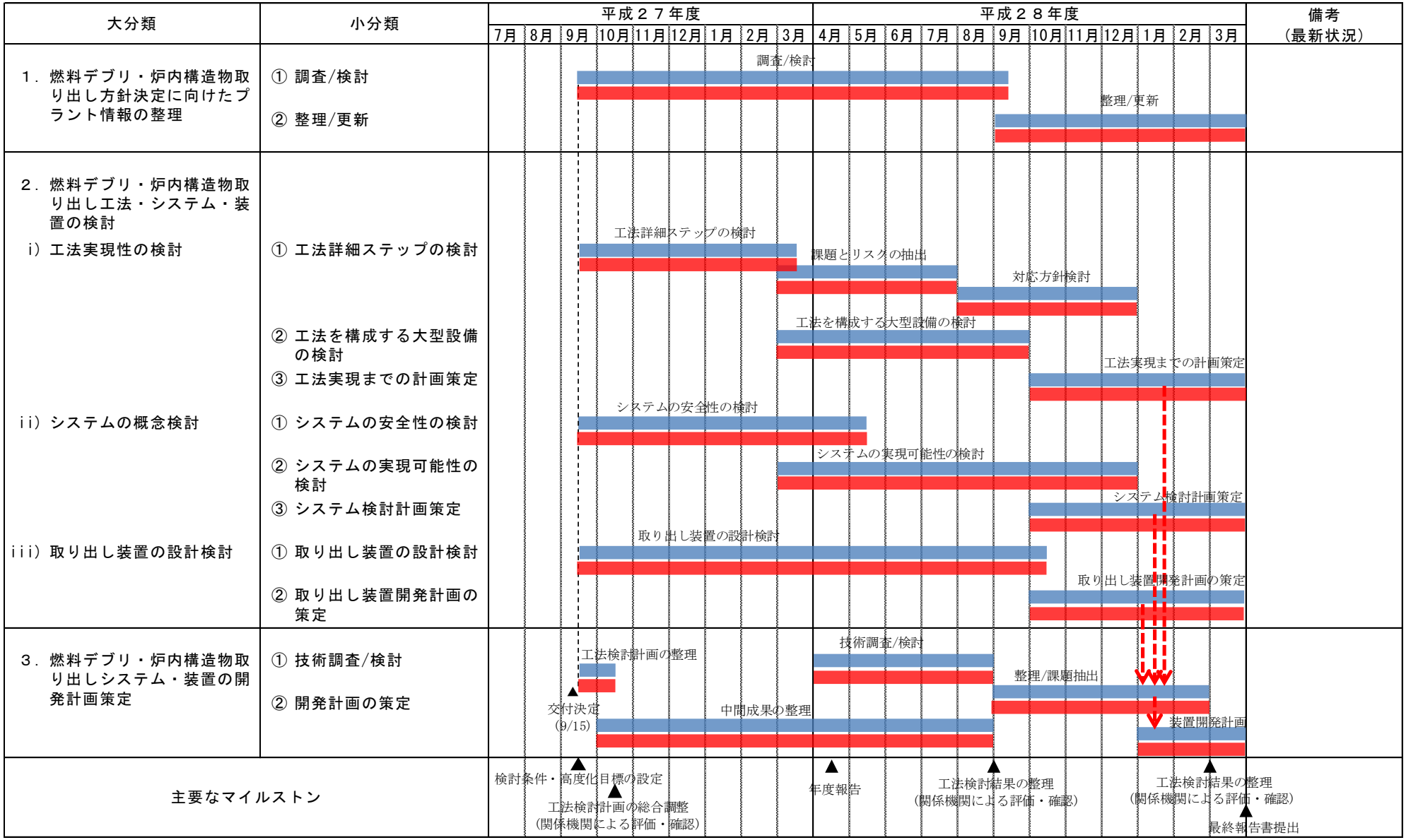
燃料デブリをサンプリングするシステム及び装置を検討した。

⑤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、研究開発を推進した。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

2. 実施スケジュール・体制表



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

2. 実施スケジュール・体制表

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	
４．燃料デブリのサンプリング及びシステム・装置の開発計画の策定	① 燃料デブリのサンプリングの全体計画の策定																						
	② PCV内燃料デブリのサンプリングの有用性の評価																						
	③ PCV内燃料デブリのサンプリングシステム・装置の設計検討																						
	④ RPV内サンプリング装置の概念設計																						
	⑤ PCV内燃料デブリサンプリングの開発計画の策定・更新																						
主要なマイルストン																							

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

2. 実施スケジュール・体制表

東京電力ホールディングス
株式会社

技術研究組合　国際廃炉研究開発機構

- ○ 全体計画の策定と技術統括のとりまとめ
- ○ 技術開発の進捗などの技術管理のとりまとめ

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
気中−上アクセス工法の取り纏め	冠水−上アクセス工法の取り纏め	気中−横アクセス工法の取り纏め
ⅰ）工法実現性の検討	ⅰ）工法実現性の検討	ⅰ）工法実現性の検討
①工法詳細ステップの検討	①工法詳細ステップの検討	①工法詳細ステップの検討
②工法を構成する大型設備の検討	②工法を構成する大型設備の検討	②工法を構成する大型設備の検討
③工法実現までの計画策定	③工法実現までの計画策定	③工法実現までの計画策定
ⅱ）システムの概念検討	ⅱ）システムの概念検討	ⅱ）システムの概念検討
①システムの安全性の検討	①システムの安全性の検討	①システムの安全性の検討
②システムの実現可能性の検討	②システムの実現可能性の検討	②システムの実現可能性の検討
③システム検討計画策定	③システム検討計画策定	③システム検討計画策定
ⅲ）装置の設計検討	ⅲ）装置の設計検討	ⅲ）装置の設計検討
①取り出し装置の設計検討	①取り出し装置の設計検討	①取り出し装置の設計検討
②取り出し装置開発計画の策定	②取り出し装置開発計画の策定	②取り出し装置開発計画の策定
ⅳ）サンプリング技術の開発（C＆R）	ⅳ）サンプリング技術の開発（C＆R）	ⅳ）サンプリング技術の開発

連携する開発プロジェクトチーム

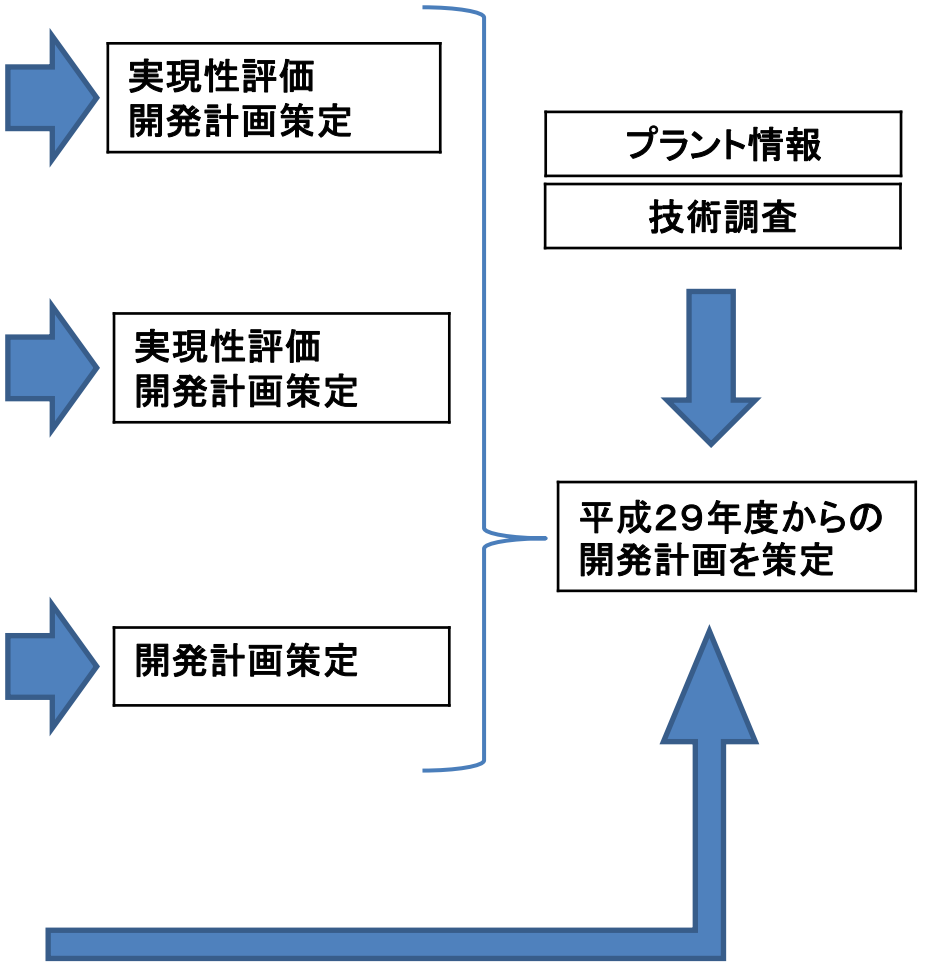
- 燃料デブリ性状把握
- 燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発
- 燃料デブリ臨界管理技術の開発
- 固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発
- 格納容器内部調査技術の開発
- 基盤技術開発事業

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

3. 検討の進め方

工法、システム、装置各々の検討結果を整理し、平成28年度末に開発計画を策定する。
本報告では、平成28年度最終報告までに実施した検討状況について示す。

1. 工法検討	工法詳細ステップの検討
	課題とリスクの抽出
	大型設備の検討
2. システム検討	安全性の検討
	実現性の検討 ・循環注水冷却システム ・負圧管理システム ・放射性ダスト処理システム ・臨界管理システム
3. 取り出し装置検討	装置の設計検討 ・耐放性、メンテナンス性 ・収納缶との取合い ・臨界検出器との取合い ・ダスト回収設備
4. サンプリング検討	・全体計画の策定 ・有用性の評価 ・システム・装置の設計検討 ・装置の概念設計 ・開発計画の策定・更新



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 1　燃料デブリ・炉内構造物取り出し方針決定に向けたプラント情報の整理

プラント情報の整理　　各PJ成果のアウトプット時期を整理し、更新。

項目	H26	H27	H28	H29	H30	H31	H32	H33	～
主要工程（ロードマップ、国プロ他）	技術開発	システム高度化/基盤技術	TRL-3,4	取り出し方針決定▽	▽取り出し方法確定	装置設計・製作・機能試験	TRL-5 モックアップ試験	TRL-6 ▽取り出し開始	
建屋内除染※1	線量低減工事（1～3号機）								
PCV漏えい箇所調査・PCV補修	PCV補修技術の開発			★実機適用性判断					
炉内状況把握			★炉内デブリ分布（解析、炉内状況把握）		★炉内デブリ分布（解析、炉内状況把握）				
デブリ検知技術（ミュオン）※1		★2号機	★1号機	※1　補助金事業ではなく東京電力からの委託事業として実施					
デブリ性状把握		★模擬デブリ作成試験	★デブリ性状の推定						
PCV内部調査 1号機		★B1調査	★B2調査	次フェーズ調査					
PCV内部調査 2号機			★A2調査	★A2’調査	次フェーズ調査				
PCV内部調査 3号機				★ペデスタル内状況調査					
RPV内部調査		★工法確定、許認可対応のニーズと調査スケジュールの対応確認		★実機向け装置、モックアップの計画					
臨界管理	臨界評価手法の確立/臨界管理技術の開発				★臨界管理方法案の提示/実機適用性判断のためのデータの提示				
収納・移送・保管	保管システム検討		★モックアップ用収納の仕様確定	収納缶開発	★モックアップ用収納缶製作完了				

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

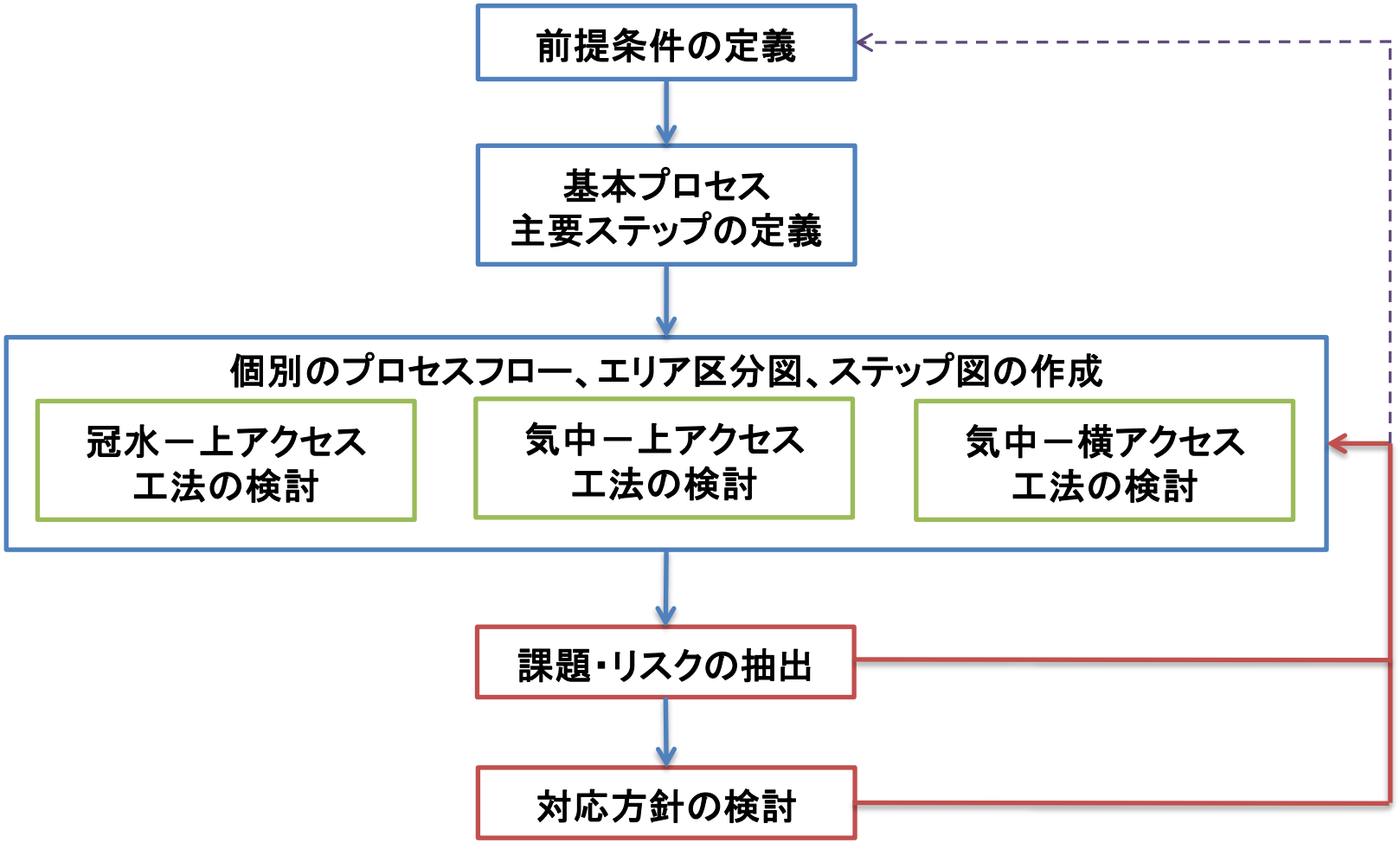
4. 本事業の実施状況

4. 2　燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

①工法実現性の検討【共通】(1/9)

工法詳細ステップ図の検討フロー図(案)(工法共通)

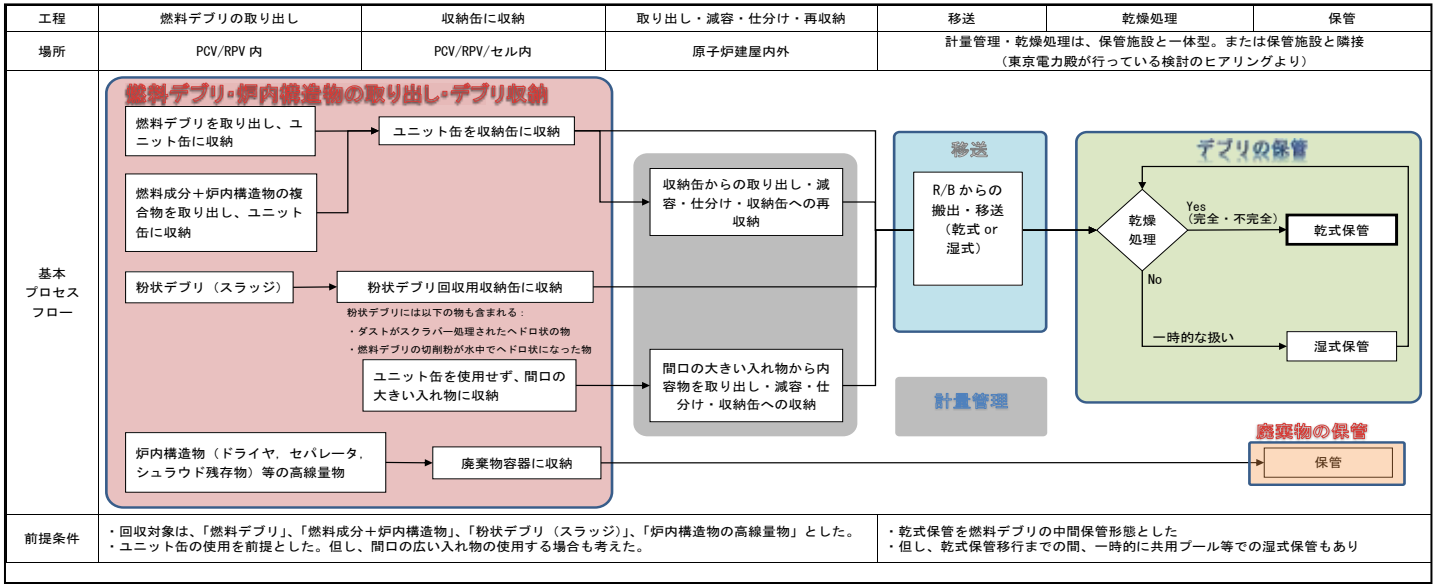
工法詳細ステップ図は、以下のフローに従って検討した。



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討
①工法実現性の検討【共通】(2/9)
検討手順

- 基本プロセスフロー図(工法共通)
- 検討ケースの整理
  - ・配置案毎
  - ・号機毎等
- 工法フロー図作成
- 作業ステップ検討
  - ・必要設備の概略物量
  - ・主要作業の概略期間
- 主要課題とリスクを抽出
- 対応方針を検討



基本プロセスフロー図

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

①工法実現性の検討【共通】(3/9)

燃料デブリ取り出しの主要ステップ

上アクセス工法の場合、燃料デブリにアクセスするために炉心燃料域より上の蒸気乾燥器等の構造物は全部、または一部を撤去する。また、横アクセス工法の場合、PCV底部の燃料デブリにアクセスするために、PCV内部の構造物は全部、または一部を撤去する。このように、燃料デブリ取り出しはアクセスルート構築を含むいくつかの主要なステップに分けられる。各工法の燃料デブリ取り出しの主要ステップを以下に示す。

燃料デブリ取り出しステップ（冠水ー上アクセス工法）

大分類	中分類	主な作業 （具体的には工法ステップ図で記載する）
環境整備	PCV水張り （本事業の検討範囲外）	● PCV補修・止水 ● PCV水張り
燃料デブリ取り出し準備作業	原子炉ウェル周り作業	● 設備設置 ● ウェルカバー、PCVヘッド、RPVヘッド等の穴開け／撤去
	RPV内作業	● 蒸気乾燥器、シュラウドヘッド等の切断／撤去
燃料デブリ取り出し	RPV内燃料デブリ取り出し	● RPV内構造物の切断／撤去 ● RPV内の燃料デブリ加工、回収
	RPV底部撤去	● RPV底部の切断／撤去
	ペデスタル内燃料デブリ取り出し	● ペデスタル内構造物の切断／撤去 ● ペデスタル内の燃料デブリ加工、回収
	収納缶への受け渡し	● 燃料デブリの収納缶への収納

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

①工法実現性の検討【共通】(4/9)

燃料デブリ取り出しステップ(気中ー上アクセス工法)

大分類	中分類	主な作業 (具体的には工法ステップ図で記載する)
燃料デブリ取り出し準備作業	原子炉ウェル周り作業	● 設備設置 ● ウェルカバー、DSPプラグ、PCVヘッド、RPVヘッド等の穴開け／撤去
	RPV内作業	● 蒸気乾燥器、シュラウドヘッド等の切断／撤去
燃料デブリ取り出し	RPV内燃料デブリ取り出し	● RPV内構造物の切断／撤去 ● RPV内の燃料デブリ加工、回収
	RPV底部撤去	● RPV底部の切断／撤去
	ペデスタル内燃料デブリ取り出し	● ペデスタル内構造物の切断／撤去 ● ペデスタル内の燃料デブリ加工、回収
	収納缶への受け渡し	● 燃料デブリの収納缶への収納

燃料デブリ取り出しステップ(気中ー横アクセス工法)

大分類	中分類	主な作業 (具体的には工法ステップ図で記載する)
燃料デブリ取り出し準備作業	R/B内作業	● 設備設置 ● R/B内干渉物撤去 ● PCV内へのアクセスルート構築(穴開け等)
	PCV内作業	● 設備設置 ● PCV内干渉物撤去
燃料デブリ取り出し	ペデスタル内燃料デブリ取り出し	● ペデスタル内構造物の切断／撤去 ● ペデスタル内の燃料デブリ加工、回収
	ペデスタル外燃料デブリ取り出し	● ペデスタル外構造物の切断／撤去 ● ペデスタル外の燃料デブリ加工、回収
	収納缶への受け渡し	● 燃料デブリの収納缶への収納

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

①工法実現性の検討【共通】(5/9)

■ インプットが定まらない状態において工法を検討するために、以下に検討条件を設定した。新たなインプットがあった場合は、更新する。

工法検討に関する主な仮定条件

No.	主な条件項目	仮定条件	条件の理由	備考
1	PCV水位	□ 冠水-上アクセス工法 冠水工法のPCV水位は、炉心冠水を基本とする。ただし、気中工法の水位にも対応可能とする。 □ 気中-上アクセス工法 現状水位を基本とする。 □ 気中-横アクセス工法 R/B 1階フロアレベル以下の水位とする。	□ 冠水-上アクセス工法 止水箇所の損傷による汚染水漏えいのリスクを低減させるため保有水量を少なく設定した。(最低限残存燃料・切り株燃料は冠水させる) □ 気中-上アクセス工法 水位コントロールの必要なし。 □ 気中-横アクセス工法 1階からのアクセスを可能にするため水位を1階フロアレベル以下に下げる必要がある。	
2	収納缶	内径φ220mm、400mm、内部高さ800～1500mmとする。 廃棄物コンテナは、1辺2m以内とする。 (想定重量は、約50ton(遮へい含む))	収納缶サイズは、収納缶PJとの合意事項。 廃棄物コンテナサイズは、ハンドリング条件による。 (収納缶のフタを含めて最大寸法2m以下と仮定)	
3	デブリ性状/定義	燃料デブリは、塊、粒、粉状のものが存在するものとする。上部格子板以下は、全て燃料デブリとして取り扱うものとする。 (燃料デブリと放射性廃棄物の考え方について次紙に示す)	回収方法を限定することなく、多様な燃料デブリの性状を想定する。 目視による燃料デブリか否かの判断が困難であると推定できるため、現状において上部格子板以下は、全て燃料デブリとして取り扱う。	
4	建屋健全性	ペデスタルは、健全であるものとする。	水遮へい(約40ton)や加工反力などの荷重を受ける必要がある。	
5	線量	作業エリアの線量は、1mSv/h以下であるものとする。	作業員による作業が実施可能な上限値。 (作業員被ばく量算出のベース)	

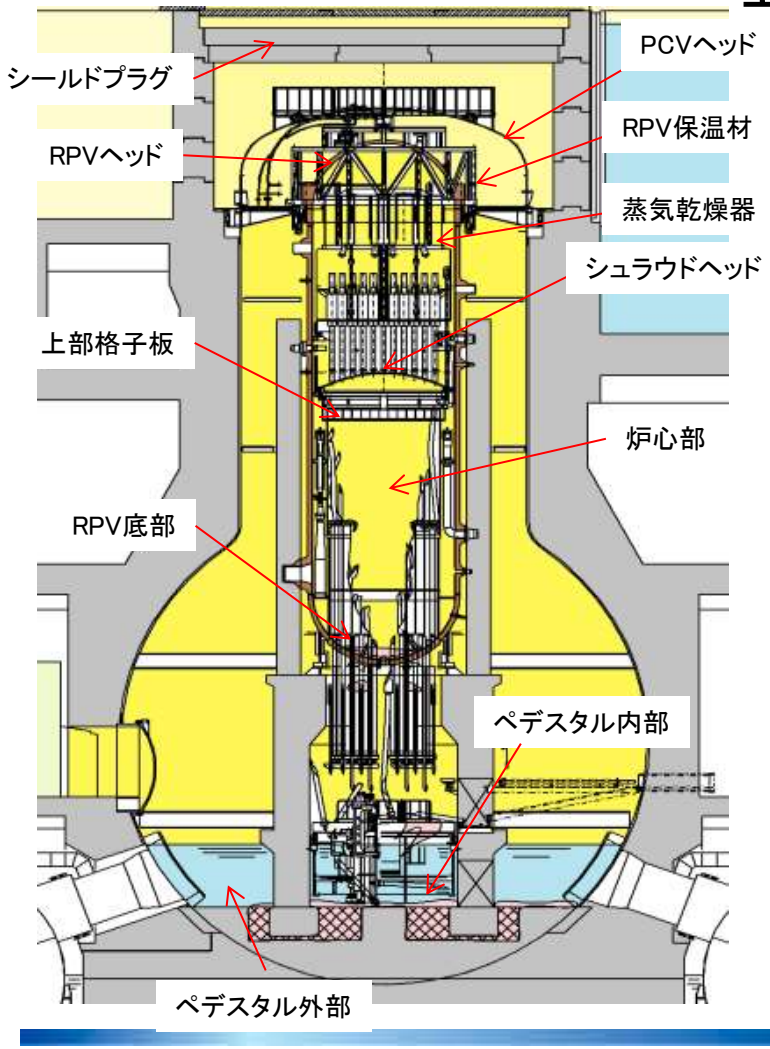
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

①工法実現性の検討【共通】(6/9)

■ 燃料デブリ※6・炉内構造物取り出しの期間、廃棄物量試算のための代表的な廃棄物の分類と重量を以下のように仮定する。



工法検討に関する主な仮定条件

廃棄物※5	分類※1	全体重量[ton]※2,3	撤去	
			上アクセス	横アクセス
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	○	×
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	○	×
RPV下部/CRDハウジングに付着した燃料デブリ	燃料デブリ	6	○	○
ペデスタル内部構造物	燃料デブリ	99	○	○
ペデスタル内部燃料デブリ	燃料デブリ	227	○	○
ペデスタル外部構造物	固体放射性廃棄物	-	×	○
ペデスタル外部燃料デブリ	燃料デブリ	146	×	○

※1:これらの分類は燃料デブリ・炉内構造物取り出しの期間、廃棄物量試算のための分類であり、この分類が変わっても現在検討している工法が影響を受けるものではない。ただし、分類のために特別なプロセス※4が入る場合は、工法に影響がある可能性がある。
※2:構造物、燃料デブリの全体の重量であり、取り出し重量とは一致しない。
※3:3号機を例に、固体放射性廃棄物重量は図面の値を記載し、燃料デブリは平成27年度の炉内状況把握PJによる結果を記載した。
※4:特別なプロセスとは、廃棄物の位置と、外観目視による確認以外のプロセスを指す。
※5:工法ごとに撤去が必要となる構造物が変更になる。
※6:ユニット缶に収納するためにユニット缶以下のサイズまで加工する必要があるものを燃料デブリとする。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

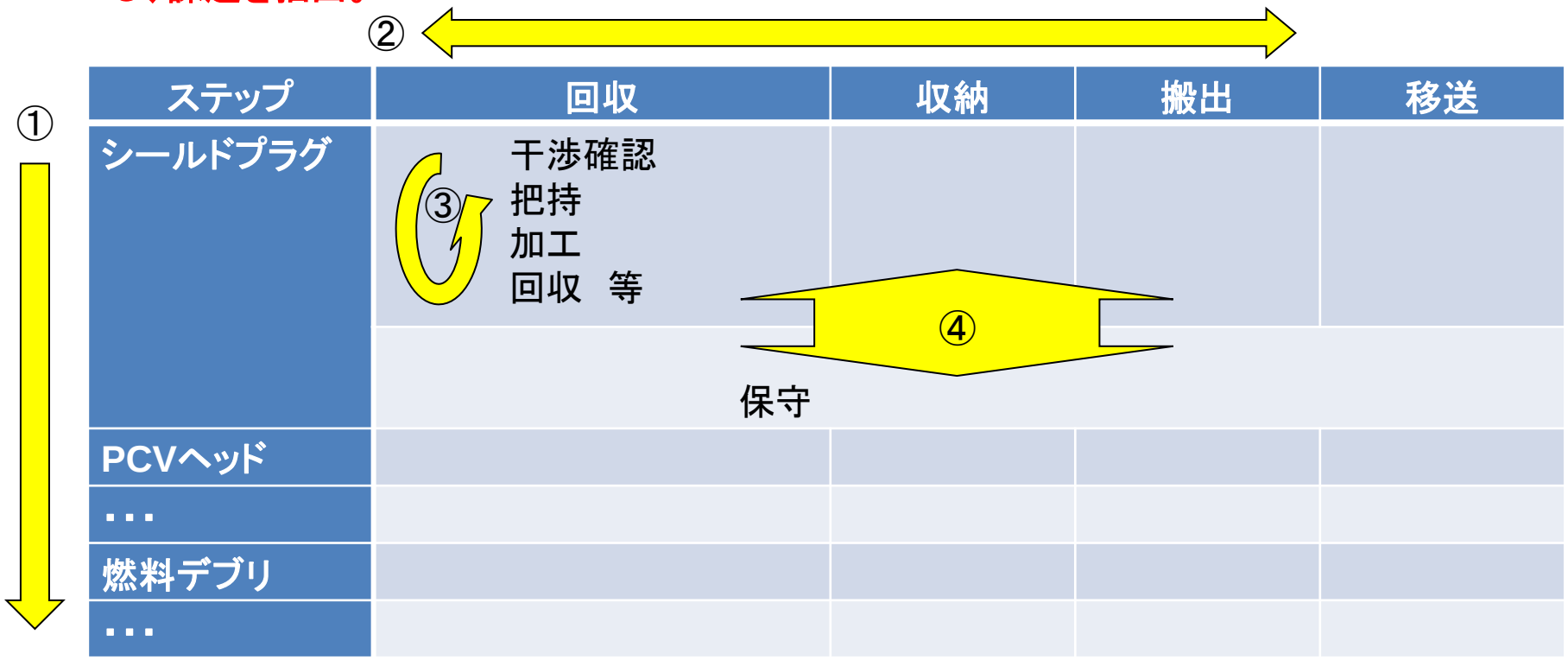
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

①工法実現性の検討【共通】(7/9)

課題およびリスク抽出の視点と工法ステップの種類と考え方

■工法ステップ図検討の切口

- 燃料デブリ取り出しは①～④のステップの繰返し。
- 各ステップの規模のイメージは、③＜②＜＜④＜＜＜①。
- 平成26年度の国プロでは①の切口で概略検討。
- 本年度は、**①の切口に加えて、代表的なステップについて、②～④の各切口でもステップ図を検討し、課題を抽出。**



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

①工法実現性の検討【共通】(8/9)

■ 本PJにおいて、燃料デブリ取り出しに関する概略期間を計算する。【撤去物量と加工時間】に関する主な仮定条件を以下に示す。条件は、安全検討で設定しているものと整合する。

○ 取り出し期間、取り出し日数/年、加工時間/日の設定

□ : 平常時 被ばく1次評価で設定した条件

番号	項目	単位	1号機	2号機	3号機	備考
1	燃料デブリ取り出し期間	年	10	10	10	設定
2	年間燃料デブリ取り出し日数	日/年	200	200	200	設定(メンテナンス期間などを考慮)
3	1日あたり燃料デブリ加工時間	時間/日	10	10	10	設定(ツール交換時間などを考慮)

○ 燃料デブリ取り出し速度の目標値

番号	項目	単位	1号機	2号機	3号機	備考
1	燃料総量(UO_2)	ton	77	107	107	工認資料より
2	燃料デブリ総量(燃料＋溶融金属)	ton	291	337	337	委託検討結果より
3	燃料デブリ総量(燃料＋溶融金属＋MCCI)	ton	417	534	534	委託検討結果より
4	年間燃料デブリ取り出し量	ton/年	41.7	53.4	53.4	
5	1日あたり燃料デブリ取り出し量	kg/日	209	267	267	
6	1時間あたり燃料デブリ加工量	kg/時間	**20.9**	**26.7**	**26.7**	⇒ システム検討の前提条件

○ 燃料デブリ取り出し作業サイクルのイメージ (作業ステップの切り口③)

番号	プロセス	1サイクル(1日:267kg)	2サイクル	3サイクル～
1	燃料デブリの加工(破砕、切断等)	10時間 (26.7kg/h)	10時間	10時間
2	先端ツールの交換(加工⇒回収ツール)			
3	燃料デブリの回収(把持、スコップ⇒ユニット缶)			
4	ユニット缶の移送(PCV内⇒セル)			
5	先端ツールの交換(回収⇒加工ツール)			
6	ユニット缶の収納缶へ収納・蓋閉め			
7	収納缶のキャスクへの収納・蓋締め			

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

①工法実現性の検討【共通】(9/9)

以下の視点に基づき、課題とリスクを抽出した。

課題・リスク抽出の視点

- **安全**
  - ・デブリ冷却
  - ・臨界管理
  - ・閉じ込め
  - ・火災、爆発防止
  - ・作業員被ばく
  - ・公衆被ばく
- **運用**
  - ・燃料デブリと廃棄物の仕分け
  - ・使用済み燃料プールからの燃料取り出し工事等との干渉
- **技術開発**
  - ・遮へい
  - ・ダストの飛散防止
  - ・遠隔化、自動化
  - ・メンテナンス性、装置故障時の対応
  - ・耐放射線性
  - ・作業監視

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

②工法実現性の検討【冠水-上アクセス工法】(1/9)

■冠水-上アクセス工法の基本方針

1Fの安全上、放射性物質の放出抑制(閉じ込め)が最も優先度が高い要求と考え、以下の方針とする。

- 放射性物質はバウンダリ内で取扱い
  - ✓ 一次バウンダリを汚染レベルの異なる3つのエリアに分ける
    - 高汚染エリア ： 燃料デブリを裸で取り扱う領域
      ⇒人の立ち入りは禁止
    - 中汚染エリア ： 燃料デブリを密閉して取り扱う領域
      ⇒短時間の立ち入りの可能性あり(レスキュー時等)
    - 低汚染エリア ： 燃料デブリを密封(気密シール)して取り扱う領域
      ⇒通常作業にて人の立ち入りを許容
  - ✓ バウンダリは二重化
    - 一次バウンダリ:PCV(D/W、S/C)、燃料デブリ取り出しセル(DSP)
    - 二次バウンダリ:R/B、トーラス室
  - ✓ バウンダリの搬出口(扉)は三重化
    - 扉の単一故障時にもバウンダリを開放することなくレスキュー可能
    - 各エリアで放射能濃度と表面汚染密度を下げて放出抑制
  - ✓ 閉じ込めに係わるシステムは多重化

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

②工法実現性の検討【冠水−上アクセス工法】(2/9)

■冠水−上アクセス工法の基本方針(続き)

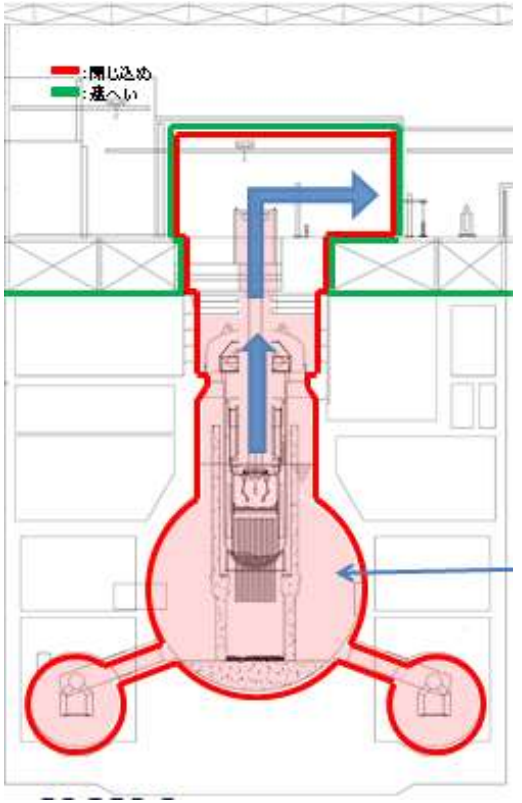
- 気体は負圧管理システムから管理放出。
- 液体(汚染水)はバウンダリ内に閉じ込め。
- 固体(燃料デブリ、固体放射性廃棄物)は、容器に閉じ込め、バウンダリの管理された開口部から、管理された手順で搬出。

■冠水−上アクセス工法のコンセプト

- 汚染水がバウンダリ外に漏えいするリスクを考慮し、可能な限り低い水位を設定
  - ✓ 保守的な仮定として、水の遮へい効果に頼らない物理的な遮へい
  - ✓ 気中環境の線量率を前提とした装置構成、保守・点検計画

  ⇒ 燃料デブリ取り出し工法としては気中工法との共通する範囲が拡大

- オペフロ上の燃料デブリ取り出しセルで閉じ込め・遮へい
  - ✓ シンプルな動線
  - ✓ 非常時の対応が比較的容易
  - ✓ R/Bへの負荷が増大するため、セル・設備を小型化



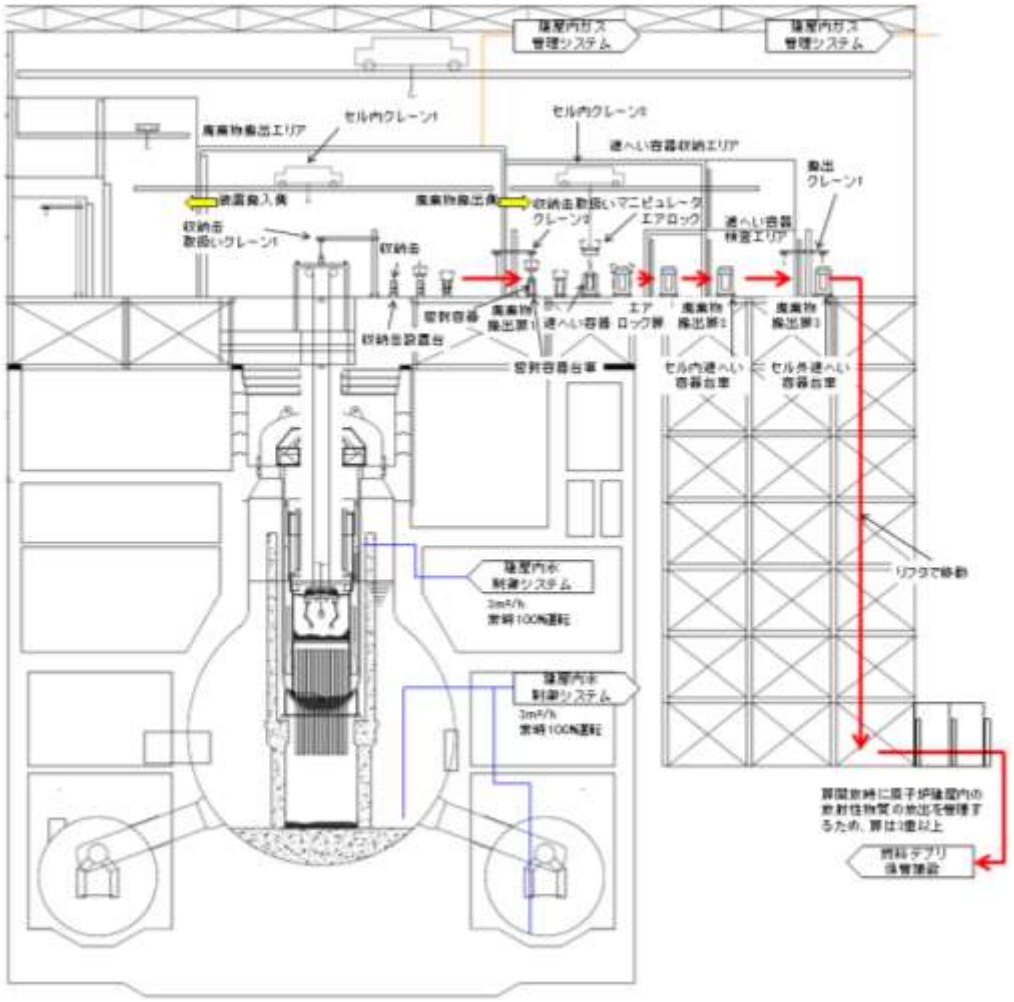
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

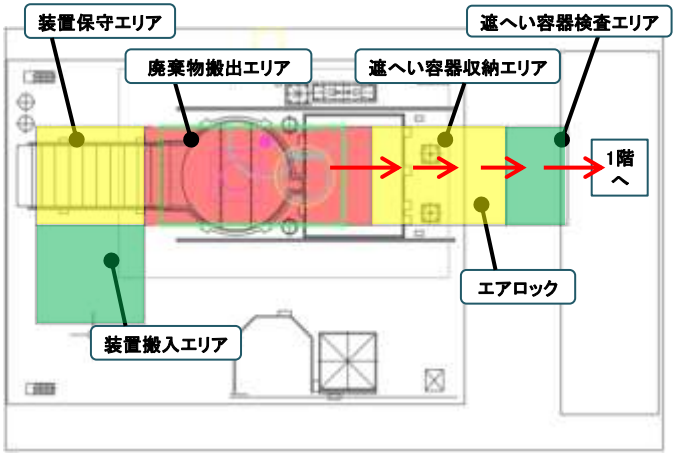
4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

②工法実現性の検討【冠水−上アクセス工法】(3/9)

冠水−上アクセス工法フロー図





RPV／PCV内 → 廃棄物搬出エリア

(1)燃料デブリ加工
(2)燃料デブリをユニット缶に回収
(3)ユニット缶吊上げ

(4)ユニット缶を収納缶に収納
(5)収納缶蓋閉め(密閉)
(6)収納缶表面除染
(7)収納缶移送

→ 遮へい容器収納エリア → エアロック → 遮へい容器検査エリア

(8)収納缶を密封容器に収納
(9)密封容器蓋閉め(気密)
(10)密封容器表面除染
(11)密封容器表面汚染検査
(12)密封容器を遮へい容器に収納
(13)遮へい容器蓋閉め(遮へい)
(14)遮へい容器移送

(15)遮へい容器表面汚染検査
(16)遮へい容器搬出

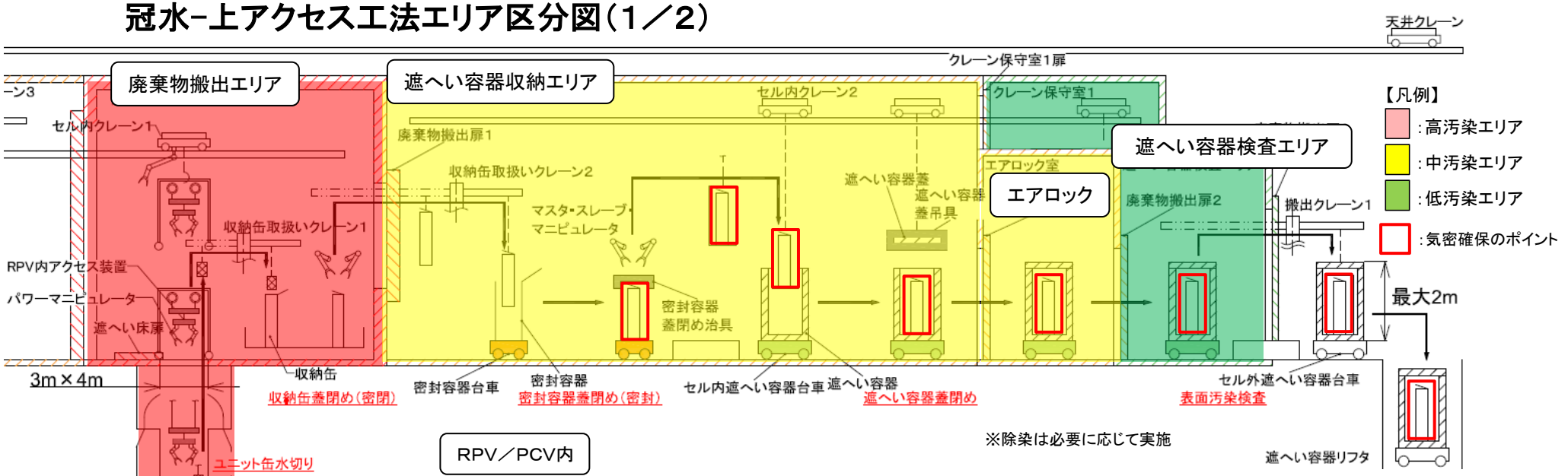
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

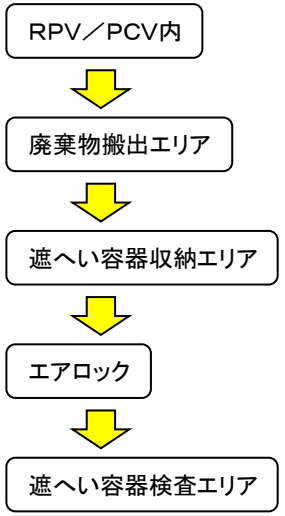
4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

②工法実現性の検討【冠水−上アクセス工法】(4/9)

冠水−上アクセス工法エリア区分図(1／2)





【燃料デブリ搬出プロセスのコンセプト】

- 一次バウンダリ内を汚染レベルの異なる3つのエリア(高／中／低)に分ける。
- 放射性物質を直接取り扱う作業は高汚染エリア内で実施する。
- 放射性物質は高汚染エリア内で収納缶に入れる*1。(密閉要求)
- 収納缶は中汚染エリア内で密閉容器に入れる。(密封要求→閉じ込め)
- 密閉容器は中汚染エリア内で遮へい容器に入れる。*2(遮へい)
- 遮へい容器は低汚染エリア内で表面汚染検査を受ける。
- マテハン設備等は、汚染拡大防止のために汚染区分の異なる3つ以上のエリアにまたがって移動しない。

*1:収納缶は密封容器で密封するため除染する必要はないが、中汚染エリアに持ち込まれる放射性物質を可能な限り低減するために除染する。

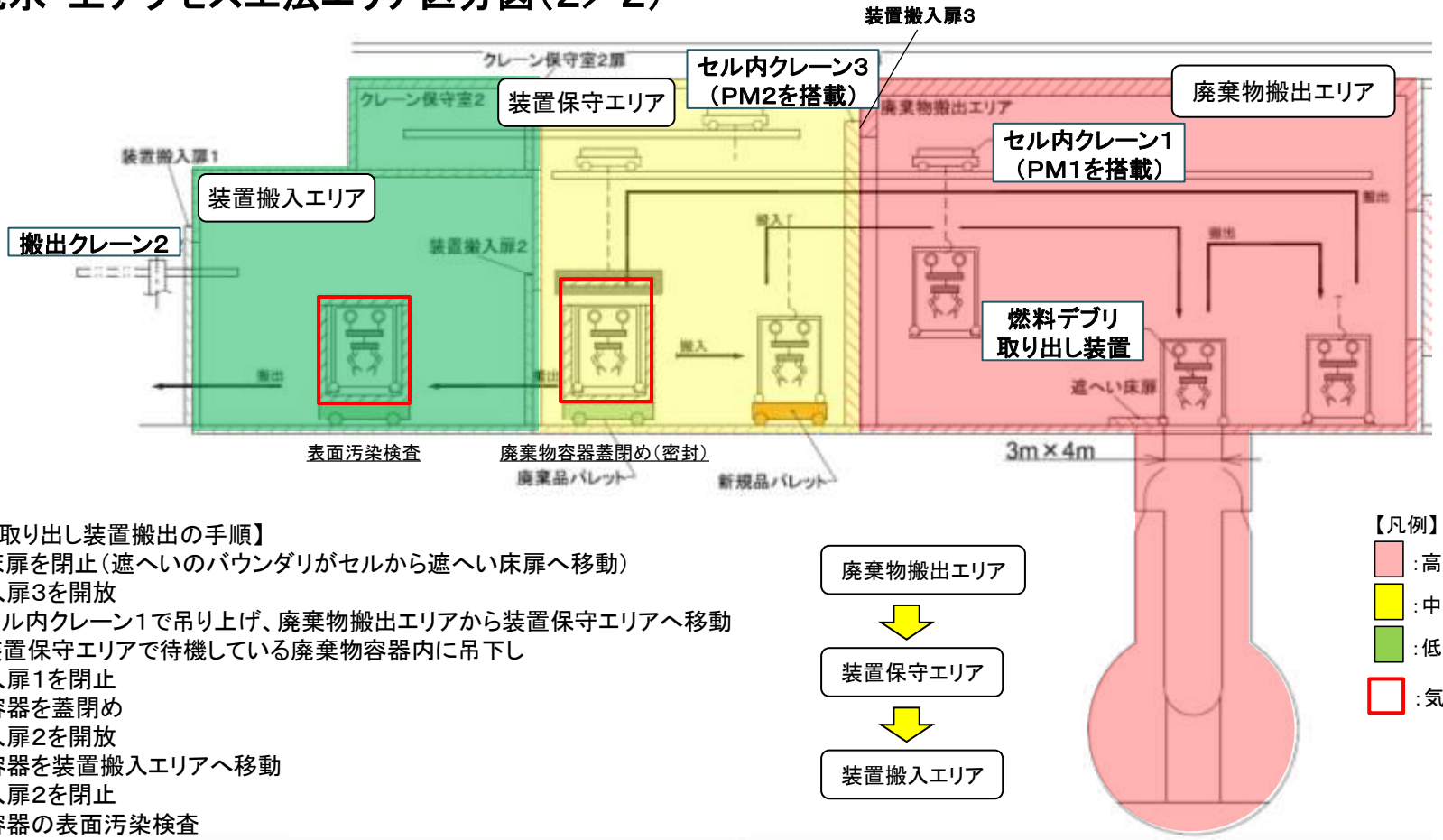
*2:遮へい容器は汚染させないために低汚染エリアで取り扱うことが望ましいが、密封容器を低汚染エリアに出す場合は低汚染エリアの壁に遮へいが必要になりセルが重量化するため、中汚染エリアで遮へい容器に入れる。

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

②工法実現性の検討【冠水−上アクセス工法】(5/9)

冠水−上アクセス工法エリア区分図(2／2)



【燃料デブリ取り出し装置搬出の手順】

1. 遮へい床扉を閉止(遮へいのバウンダリがセルから遮へい床扉へ移動)
2. 装置搬入扉3を開放
3. 装置をセル内クレーン1で吊り上げ、廃棄物搬出エリアから装置保守エリアへ移動
4. 装置を装置保守エリアで待機している廃棄物容器内に吊下し
5. 装置搬入扉1を閉止
6. 廃棄物容器を蓋閉め
7. 装置搬入扉2を開放
8. 廃棄物容器を装置搬入エリアへ移動
9. 装置搬入扉2を閉止
10. 廃棄物容器の表面汚染検査
11. 装置搬入扉3を開放
12. 廃棄物容器を搬出クレーン2で吊り上げ、セル外で待機している台車に吊下し
13. 装置搬入扉3を閉止

※各扉を閉止した後に各エリアの放射能濃度を下げるための換気時間を設ける
※除染は必要に応じて実施

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

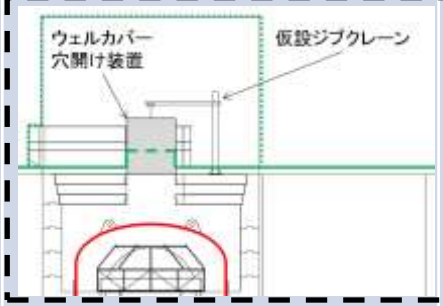
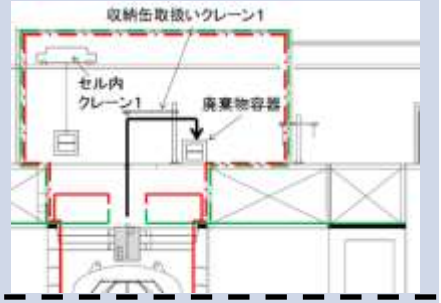
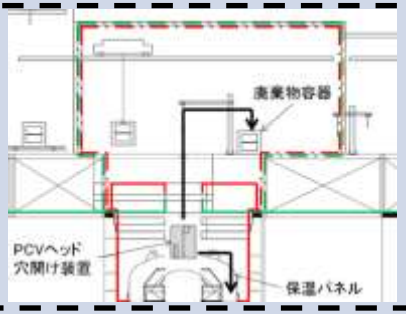
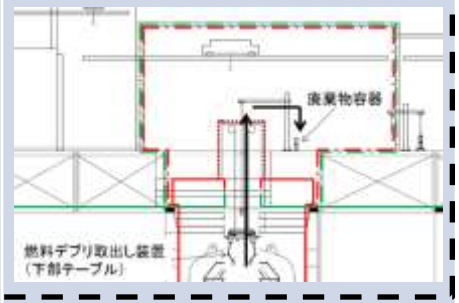
4. 本事業の実施状況

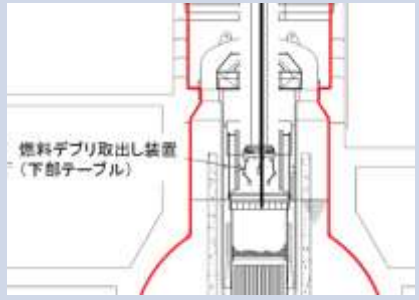
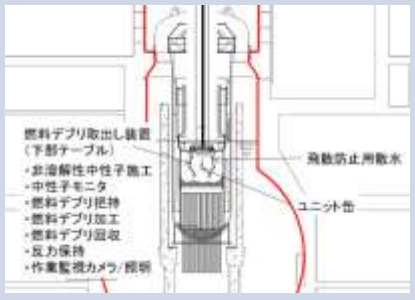
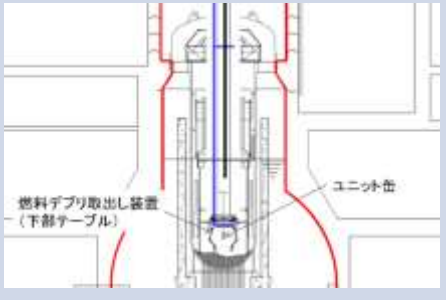
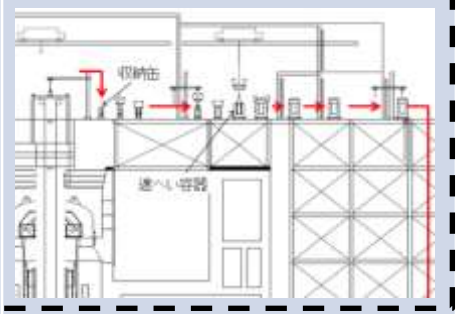
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

②工法実現性の検討【冠水−上アクセス工法】(6/9)

冠水−上アクセス工法 作業ステップ

■ステップの種類①について記載。(ステップの種類については、①工法実現性の検討【共通】(7/9)参照)

作業ステップ	シールドプラグ穴開け	PCVヘッド穴開け	RPV保温材穴開け	RPVヘッド穴開け
ステップ図 ①				

作業ステップ	炉内構造物穴開け	燃料デブリ取り出し（炉心部）	燃料デブリ取り出し（RPV底部）	収納缶搬出
ステップ図 ①				

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

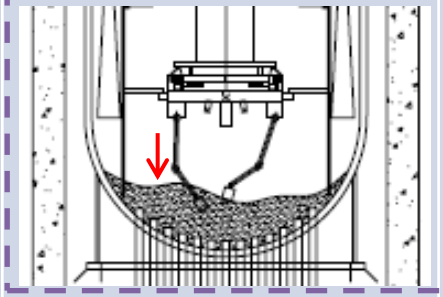
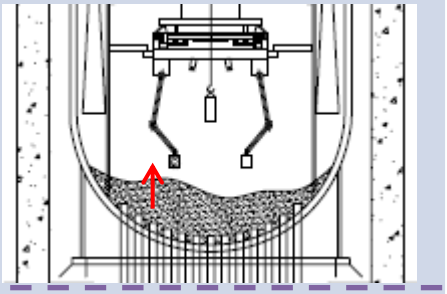
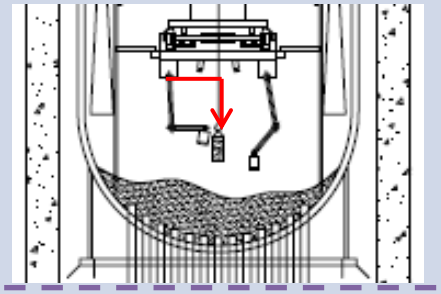
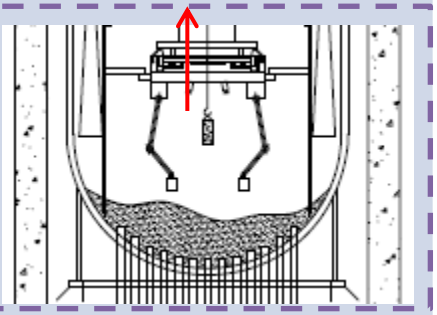
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

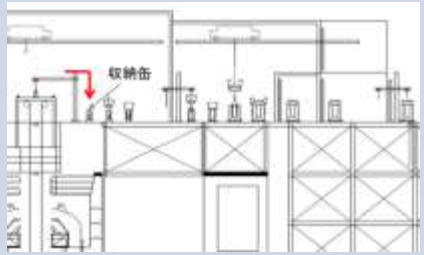
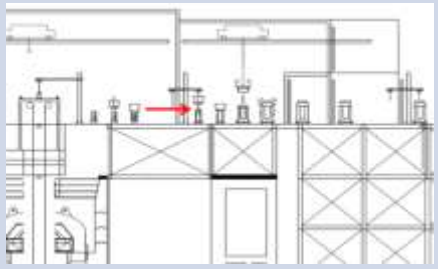
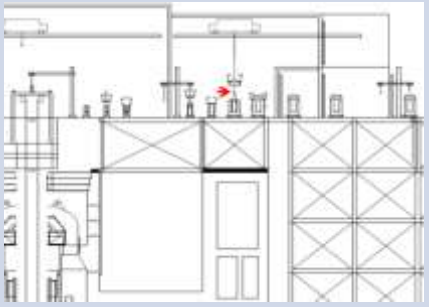
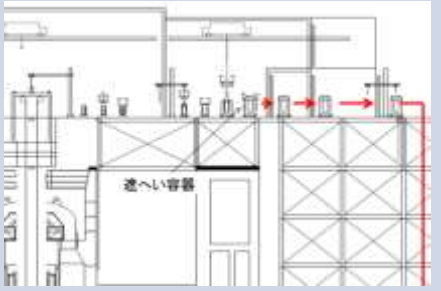
②工法実現性の検討【冠水−上アクセス工法】(7/9)

冠水−上アクセス工法 作業ステップ

■ステップの種類①、燃料デブリの②、③について記載。

（ステップの種類については、①工法実現性の検討【共通】(7/9)参照）

作業ステップ	燃料デブリ切削	燃料デブリ回収	燃料デブリをユニット缶に回収	ユニット缶をオペフロまで吊上げ
ステップ図 ③				

作業ステップ	ユニット缶を収納缶に格納	収納缶を密封容器に格納	密封容器を遮へい容器に格納	遮へい容器を搬出
ステップ図 ②				

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

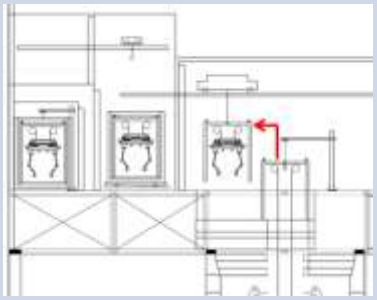
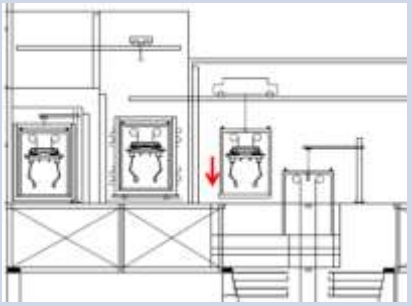
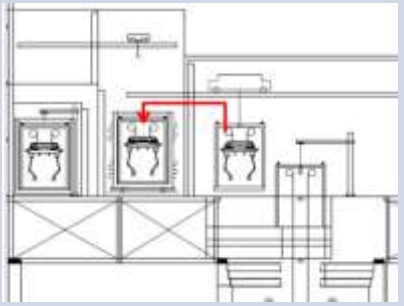
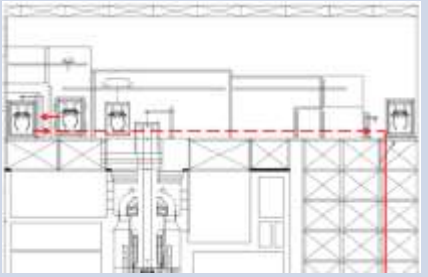
4. 本事業の実施状況

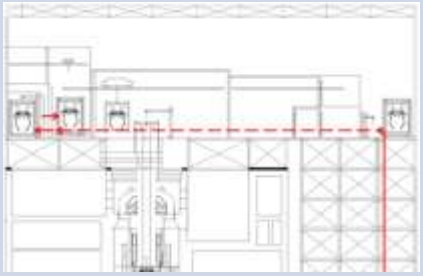
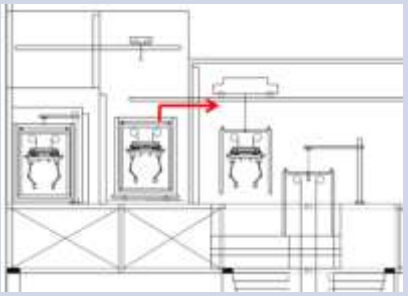
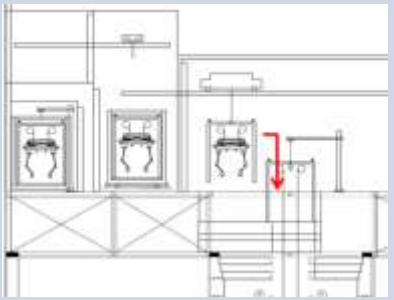
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

②工法実現性の検討【冠水−上アクセス工法】(8/9)

冠水−上アクセス工法 作業ステップ

■ステップの種類④について記載。(ステップの種類については、①工法実現性の検討【共通】(7/9)参照)

作業ステップ	装置撤去	装置蓋閉め(密閉)	装置密封	装置搬出
ステップ図 ④				

作業ステップ	装置搬入	装置取り出し	装置設置	
ステップ図 ④				

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

②工法実現性の検討【冠水−上アクセス工法】(9/9)

冠水−上アクセス工法 課題とリスク抽出結果

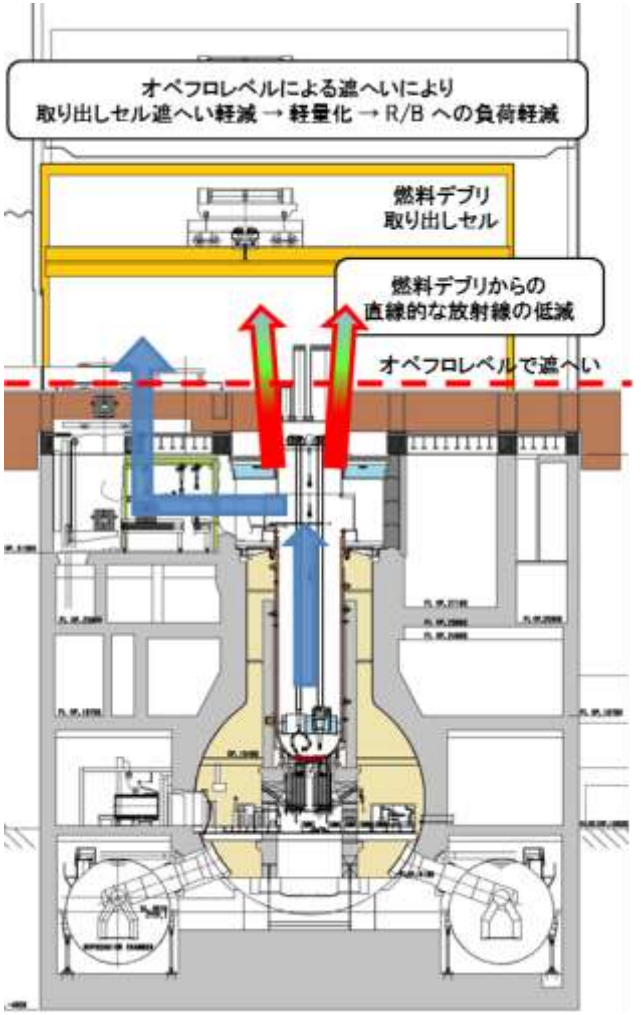
詳細ステップ図から課題とリスクを抽出し、それぞれの対応方針について検討した。

No.	ステップの種類	主な共通課題	対応方針	備考
①	主要ステップ	a. 建屋などの健全性。(重量物に対する耐性、バウンダリ維持) b. 遮へい、ダスト飛散防止対策。 c. 遠隔自動化および作業監視方法。 d. ダスト飛散防止対策。	a. ペデスタル損傷を考慮した対応策の検討。他PJの現場調査結果などの反映。 b. 基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 c. 基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 d. 負圧管理による水素濃度管理の検討具体化。RPV内部調査PJの検討結果の取り込み。	
②	各主要ステップでの回収、収納、搬出、移送	a. 遠隔自動化および作業監視方法。 b. 収納缶の蓋閉め方法。 c. 密封運搬時の水素発生対策。 d. エリア間移動時の容器除染方法。 e. 燃料デブリ、炉内構造物取り出し期間の精緻化・短縮	a. 基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 b. 収納缶PJとの連携強化。 c. 燃料デブリの水分除去検討および収納缶PJとの連携強化。 d. ハンドリングおよび除染方法の具体化。 e. 作業時間の仮定に根拠を持たせるために、モックアップにより作業時間の実力値を把握・改善	
③	各主要ステップでの加工、把持、回収など	a. 加工時のダスト飛散防止対策(局所排風機などの設置)。 b. 中性子検出器との連携。 c. 遠隔自動化および作業監視方法。 d. デブリ性状の把握(未臨界維持、金属爆発防止)と加工ツールの選定。 e. 燃料デブリ、炉内構造物取り出し期間の精緻化・短縮	a. 負圧管理システムの具体化と局所排風機などの検討。加工に関する基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 b. 臨界PJとの連携強化。 c. 基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 d. デブリ性状把握PJとの連携強化。 e. 作業時間の仮定に根拠を持たせるために、モックアップにより作業時間の実力値を把握・改善	
④	保守点検	a. 故障に対する復旧方法。 b. 遠隔自動化および作業監視方法。 c. 非常回収方法。	a. メンテナンス、復旧に関する作業ステップの具体化および基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 b. 基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 c. メンテナンス、復旧に関する作業ステップの具体化および基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。	

4. 本事業の実施状況
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

③工法実現性の検討【気中−上アクセス工法】(1/7)

工法フロー図およびエリア区分図に基づき工法詳細ステップを作成した。各作業ステップにおいて課題とリスクを抽出・整理し、対応方針について検討した。



■気中−上アクセス工法の基本方針

- 燃料デブリ近傍において遮へいおよびダスト閉じ込めを実施することで、**高線量・高汚染エリアの範囲を低減する。**
- 気中工法は、水遮へいが期待できない。そのため、**オペフロレベル以下において高汚染を閉じ込める**ことが望ましい。燃料デブリ取り出しルートとして**DSPを有効活用**し、エリア区分効果の向上と燃料デブリからの**直線的な線量を低減する。**
- 損傷した**R/Bへの負荷を低減**するためPCVを含めた構造物および建屋の改造を最小限にとどめる。
- オペフロは、作業員が作業することを考慮し、床面遮へいなどの必要な措置を講ずる。
- プラント情報の整理により得た条件および各PJの検討状況を考慮する。

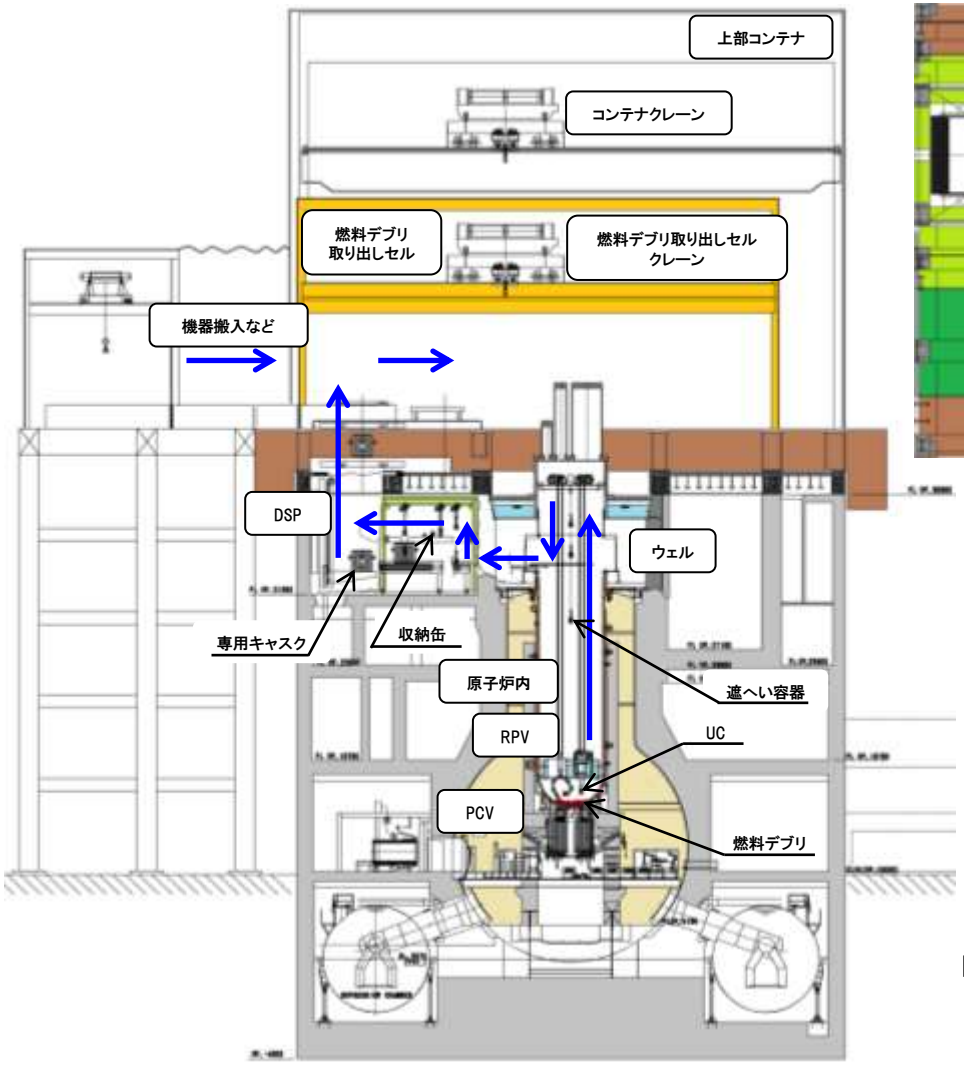
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

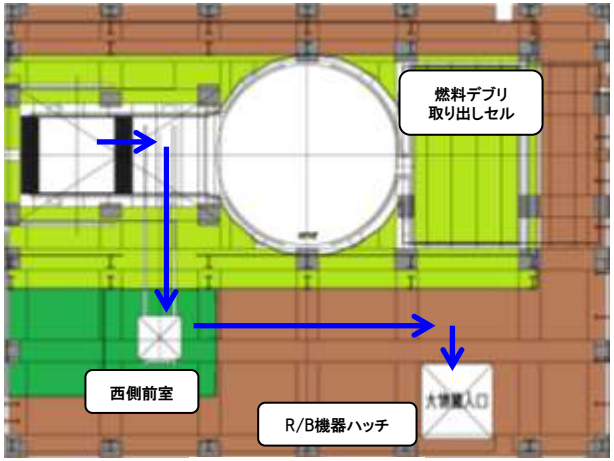
4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

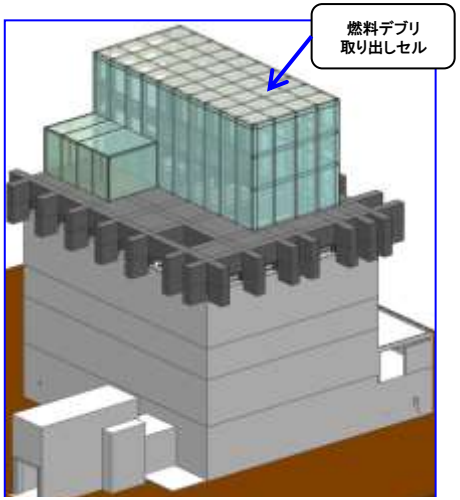
③工法実現性の検討【気中−上アクセス工法】(2/7)

気中−上アクセス工法フロー図。

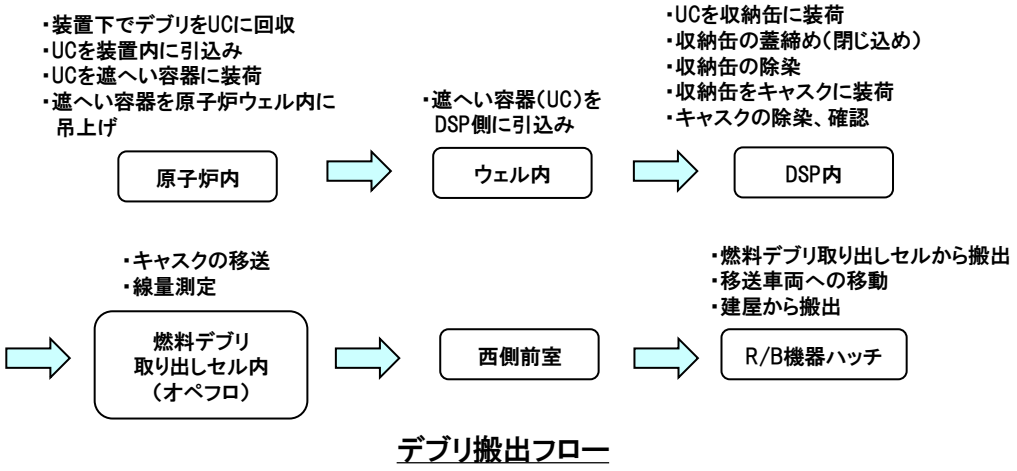




オペフロ上面図



燃料デブリ取り出しセルのイメージ
(上部コンテナを省略)



デブリ搬出フロー

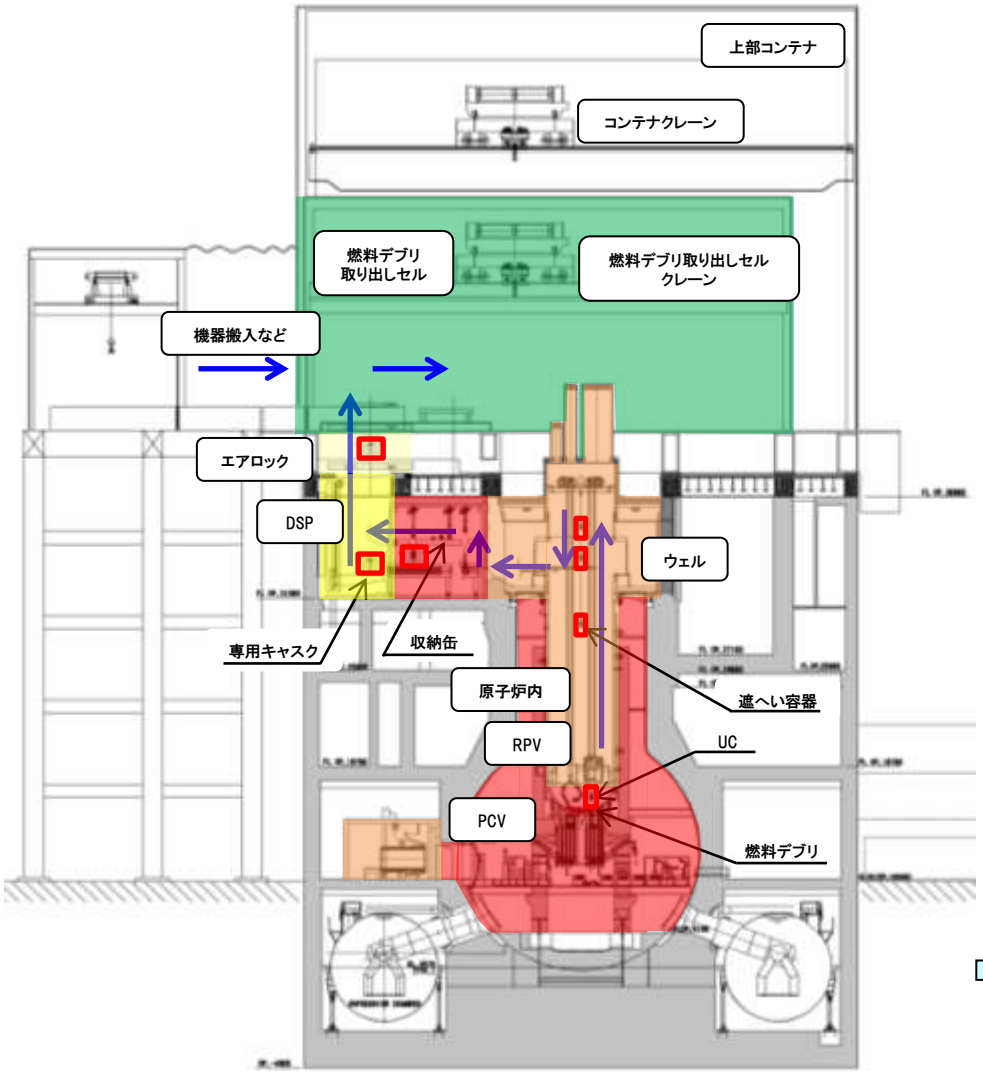
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

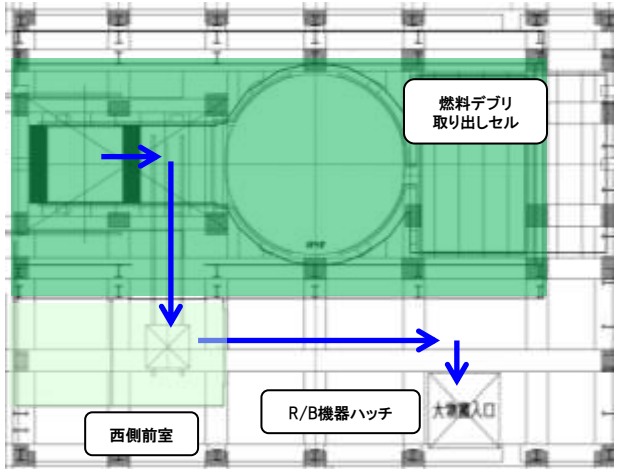
4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

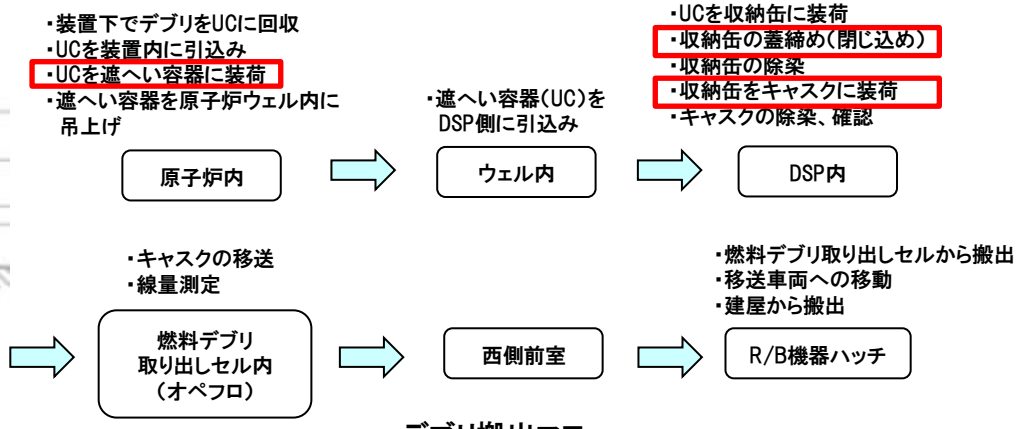
③工法実現性の検討【気中−上アクセス工法】(3/7)

気中−上アクセス工法エリア区分図。





オペフロ上面図



デブリ搬出フロー

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

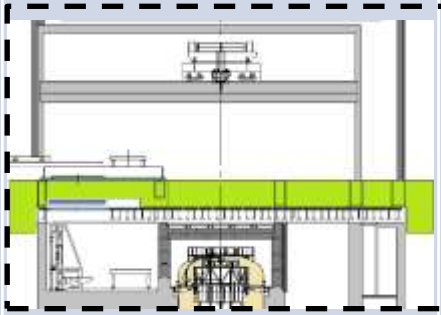
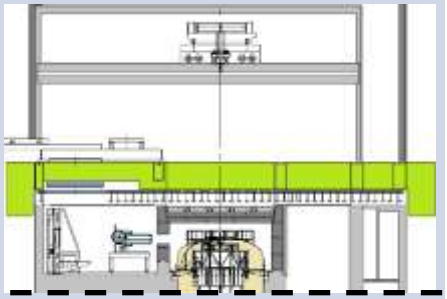
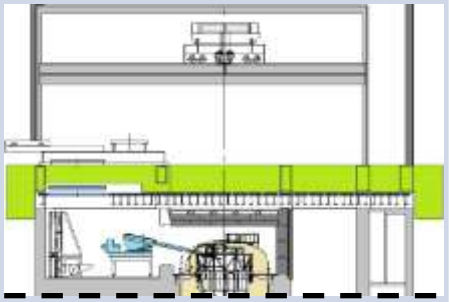
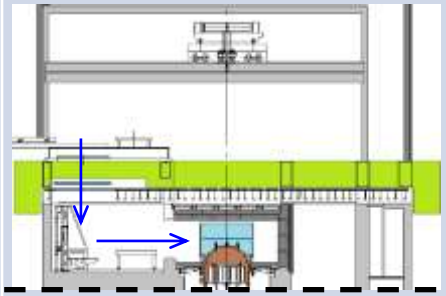
4. 本事業の実施状況

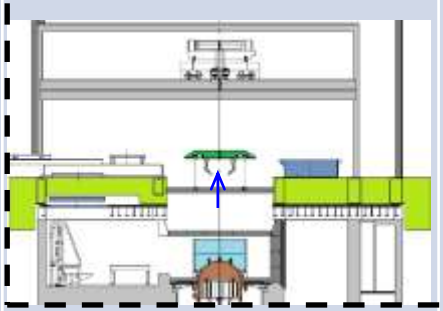
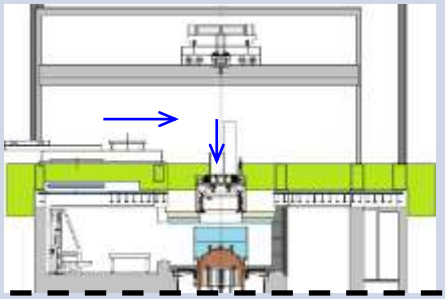
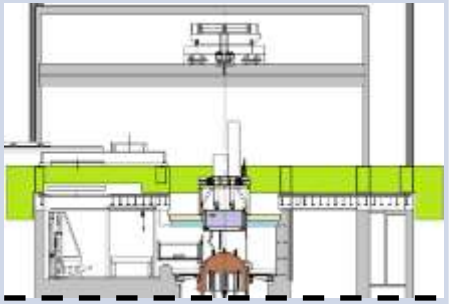
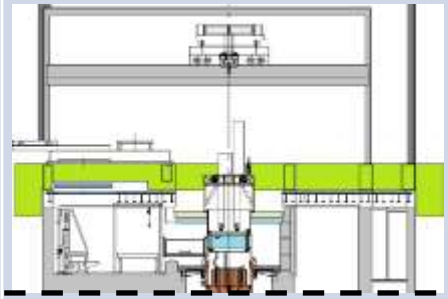
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

③工法実現性の検討【気中−上アクセス工法】(4/7)

気中−上アクセス工法 作業ステップ

■ステップの種類①について記載。(ステップの種類については、①工法実現性の検討【共通】(7/9)参照)

作業ステップ	燃料デブリ取り出しセル設置	DSPスロットプラグ撤去	PCVヘッド撤去	水遮へい設置
ステップ図 ①				

作業ステップ	シールドプラグ撤去	燃料デブリ取り出し装置設置	RPVヘッド撤去	炉内構造物撤去
ステップ図 ①				

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

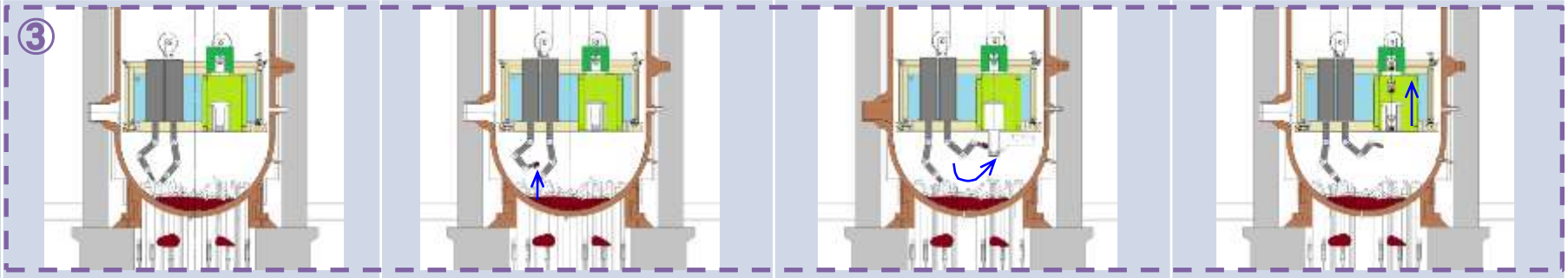
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

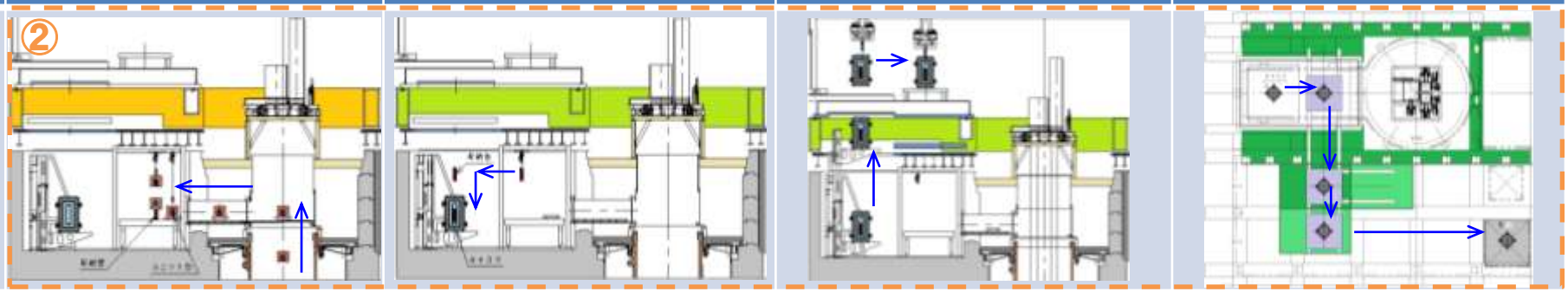
③工法実現性の検討【気中−上アクセス工法】(5/7)

気中−上アクセス工法 作業ステップ

■ステップの種類①、燃料デブリの②、③について記載。

(ステップの種類については、①工法実現性の検討【共通】(7/9)参照)

作業ステップ	燃料デブリ切断	燃料デブリ回収	燃料デブリをユニット缶に回収	ユニット缶を搬送容器で移送
ステップ図				

作業ステップ	ユニット缶を収納缶に装荷	収納缶をキャスクに装荷	キャスクを新オペフロ上へ移送	R/B機器ハッチより搬出
ステップ図				

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

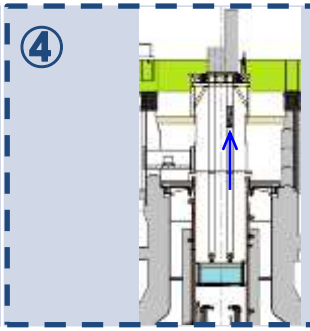
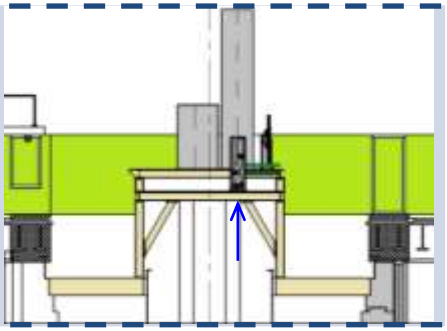
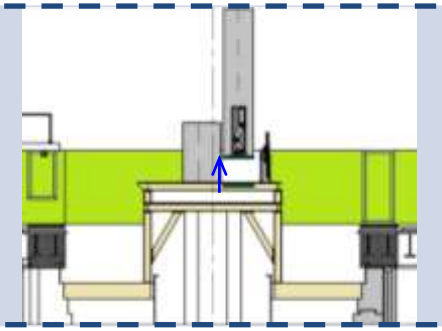
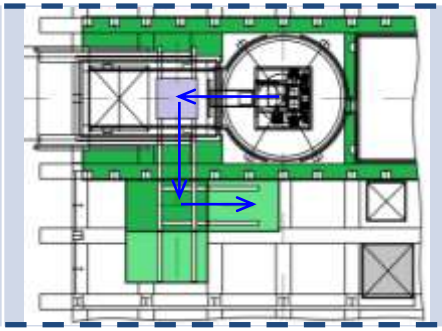
4. 本事業の実施状況

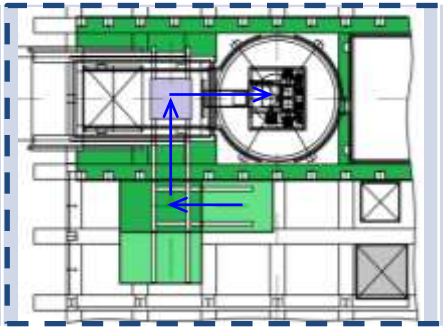
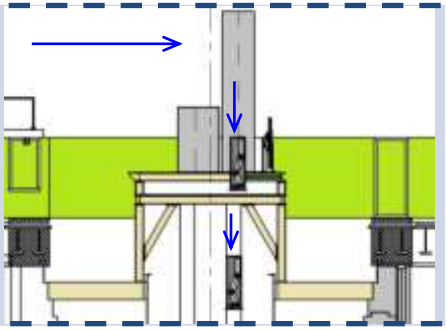
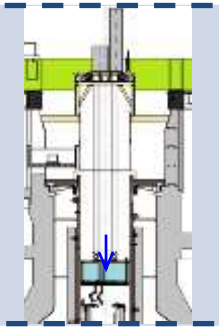
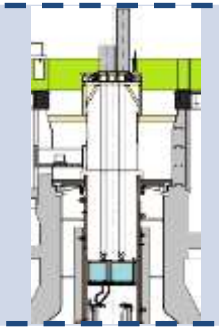
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

③工法実現性の検討【気中−上アクセス工法】(6/7)

気中−上アクセス工法 作業ステップ

■ステップの種類④について記載。(ステップの種類については、①工法実現性の検討【共通】(7/9)参照)

作業ステップ	個別装置吊上げ	個別装置回収	個別装置回収容器切離し	メンテナンスルームへ搬送
ステップ図	④ 			

作業ステップ	個別装置搬入	個別装置吊下げ	燃料デブリ取り出し装置に再設定	作業再開
ステップ図	④ 			

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

③工法実現性の検討【気中−上アクセス工法】(7/7)

気中−上アクセス工法 課題とリスク抽出結果

詳細ステップ図から課題とリスクを抽出し、それぞれの対応方針について検討した。

No.	ステップの種類	主な共通課題	対応方針	備考
①	主要ステップ	a. 建屋などの健全性。(重量物に対する耐性、バウンダリ維持) b. 遮へい、ダスト飛散防止対策。 c. 遠隔自動化および作業監視方法。 d. ダスト飛散防止対策。	a. ペデスタル損傷を考慮した対応策の検討。他PJの現場調査結果などの反映。 b. 基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 c. 基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 d. 負圧管理による水素濃度管理の検討具体化。RPV内部調査PJの検討結果の取り込み。	
②	各主要ステップでの回収、収納、搬出、移送	a. 遠隔自動化および作業監視方法。 b. 収納缶の蓋閉め方法。 c. 密封運搬時の水素発生対策。 d. エリア間移動時の容器除染方法。	a. 基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 b. 収納缶PJとの連携強化。 c. 燃料デブリの水分除去検討および収納缶PJとの連携強化。 d. ハンドリングおよび除染方法の具体化。	
③	各主要ステップでの加工、把持、回収など	a. 加工時のダスト飛散防止対策(局所排風機などの設置)。 b. 中性子検出器との連携。 c. 遠隔自動化および作業監視方法。 d. デブリ性状の把握(未臨界維持、金属爆発防止)と加工ツールの選定。	a. 負圧管理システムの具体化と局所排風機などの検討。加工に関する基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 b. 臨界PJとの連携強化。 c. 基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 d. デブリ性状把握PJとの連携強化。	
④	保守点検	a. 故障に対する復旧方法。 b. 遠隔自動化および作業監視方法。 c. 非常回収方法。	a. メンテナンス、復旧に関する作業ステップの具体化および基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 b. 基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 c. メンテナンス、復旧に関する作業ステップの具体化および基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。	

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(1/19)

1Fの安全上、放射性物質の放出抑制(閉じ込め)が最も優先度が高いと考え、以下の方針とする。

- 放射性物質はバウンダリ内で取扱い
  - ✓ 一次バウンダリを汚染レベルの異なる3つのエリアに分ける
    - ・高汚染エリア ： 燃料デブリを裸で取り扱う領域 ⇒ 完全遠隔作業で、人力による作業は禁止。
    - ・中汚染エリア ： 燃料デブリを密閉して取り扱う領域 ⇒ レスキュー時のみ、人力作業の可能性有り。
    - ・低汚染エリア ： 燃料デブリを密封(気密シール)して取り扱う領域 ⇒ 通常作業にて、人力による作業を許容。
  - ✓ バウンダリは二重化
    - 一次バウンダリ:PCV(D/W、S/C)、燃料デブリ取り出しセル
    - 二次バウンダリ:R/B、トーラス室
  - ✓ バウンダリの搬出口(扉)は三重化
    - 扉の単一故障時にもバウンダリを開放することなくレスキュー可能
    - 各エリアで放射能濃度と表面汚染密度を下げて放出抑制
  - ✓ 閉じ込めに係わるシステムは多重化

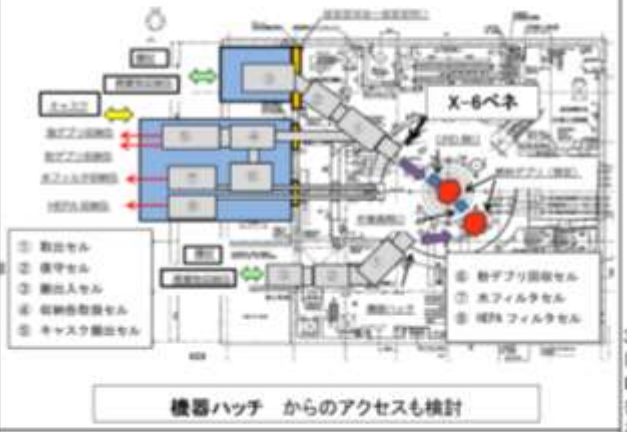
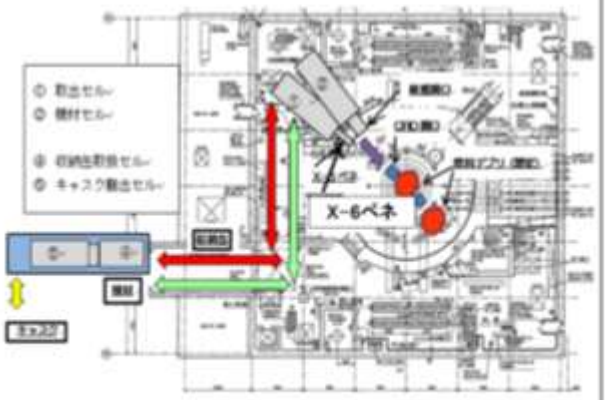
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(2/19)

気中−横アクセス工法 号機毎の検討ケース

号機		1号機	2,3号機	備考
配置検討の基本的考え方		比較的アクセスのし易いPCV西側を使用して、燃料デブリの搬出は **機器ハッチ** から	比較的アクセスのし易いPCV西側を使用して、燃料デブリの搬出は **X-6ペネ** から	
配置計画	PLAN-A 燃料デブリは R/B・PCVを開口 して搬出			3号機に関しては、水位コントロールの成立性を考慮する必要有り。
	PLAN-B 燃料デブリは 機器ハッチ から搬出			

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

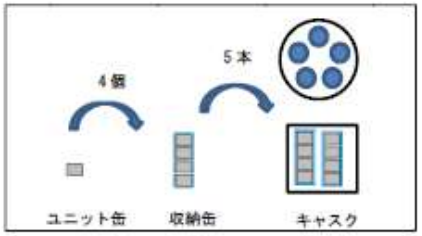
④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(3/19)
気中−横アクセス工法フロー図(PLAN-A)

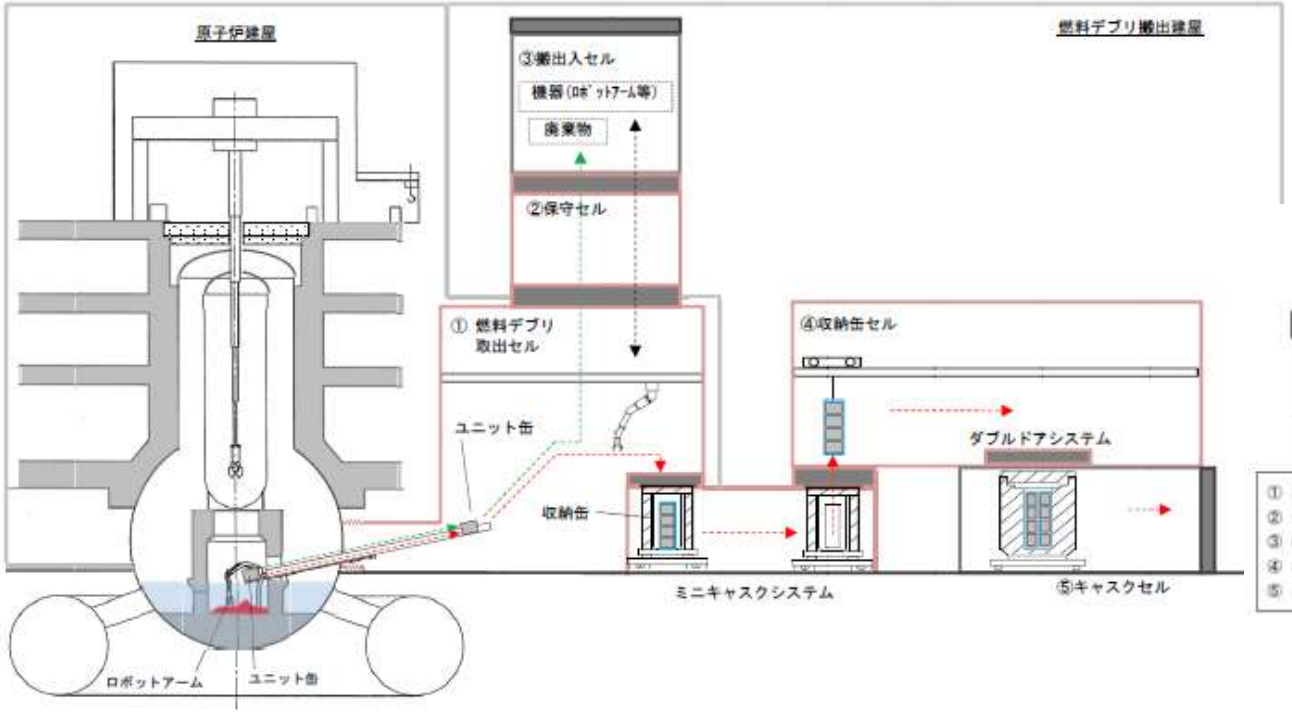
コンセプト:PCV内作業の最小化

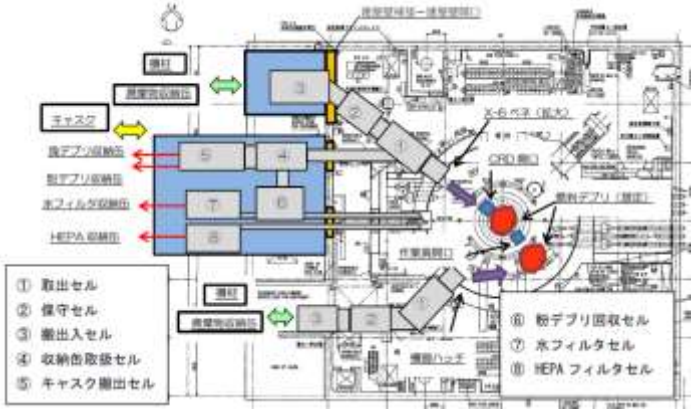
↓

・作業員被ばくの低減
・遠隔機器のメンテナンス性向上

ユニット缶：φ200×H200mm　(燃料デブリ：約 15Kg 相当、充填率は 0.3 を想定)
収納缶　：ユニット缶 4 個分　(燃料デブリ：約 60Kg 相当)
キャスク　：収納缶 5 本分　(燃料デブリ：約 300kg 相当)







©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

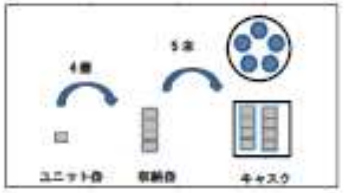
④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(4/19)
エリア区分図 燃料デブリ搬出フォロー(作業ステップの切り口②)

コンセプト ・スループットの確保
・汚染拡大の低減

↓

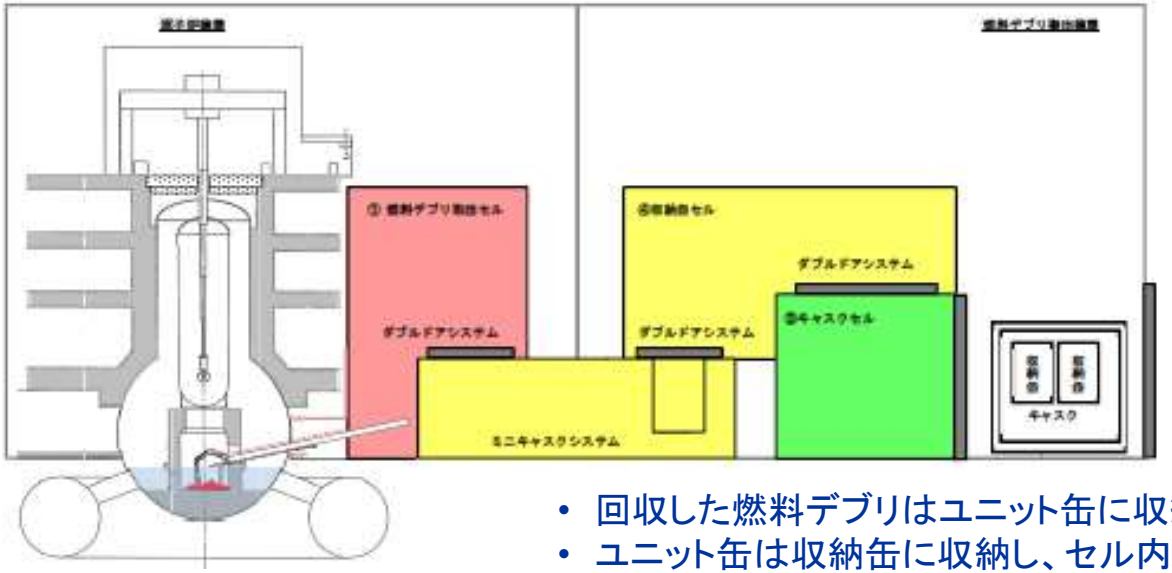
ダブルドアシステムの採用

ユニット缶：φ200×H200mm		(燃料デブリ：約15Kg相当、充填率は0.3を想定)
収納缶	：ユニット缶4個分	(燃料デブリ：約60Kg相当)
キャスク	：収納缶5本分	(燃料デブリ：約300kg相当)



キャスク搬出回数 ：1回/日(設定値)

- デブリの回収目標：300kg/日
- 1回/日のキャスクによる搬出



【凡例】
- ：高汚染エリア
- ：中汚染エリア
- ：低汚染エリア

- 回収した燃料デブリはユニット缶に収納
- ユニット缶は収納缶に収納し、セル内を搬送
- 各セル間は、ダブルドアシステムを適用することにより、汚染の拡大を低減

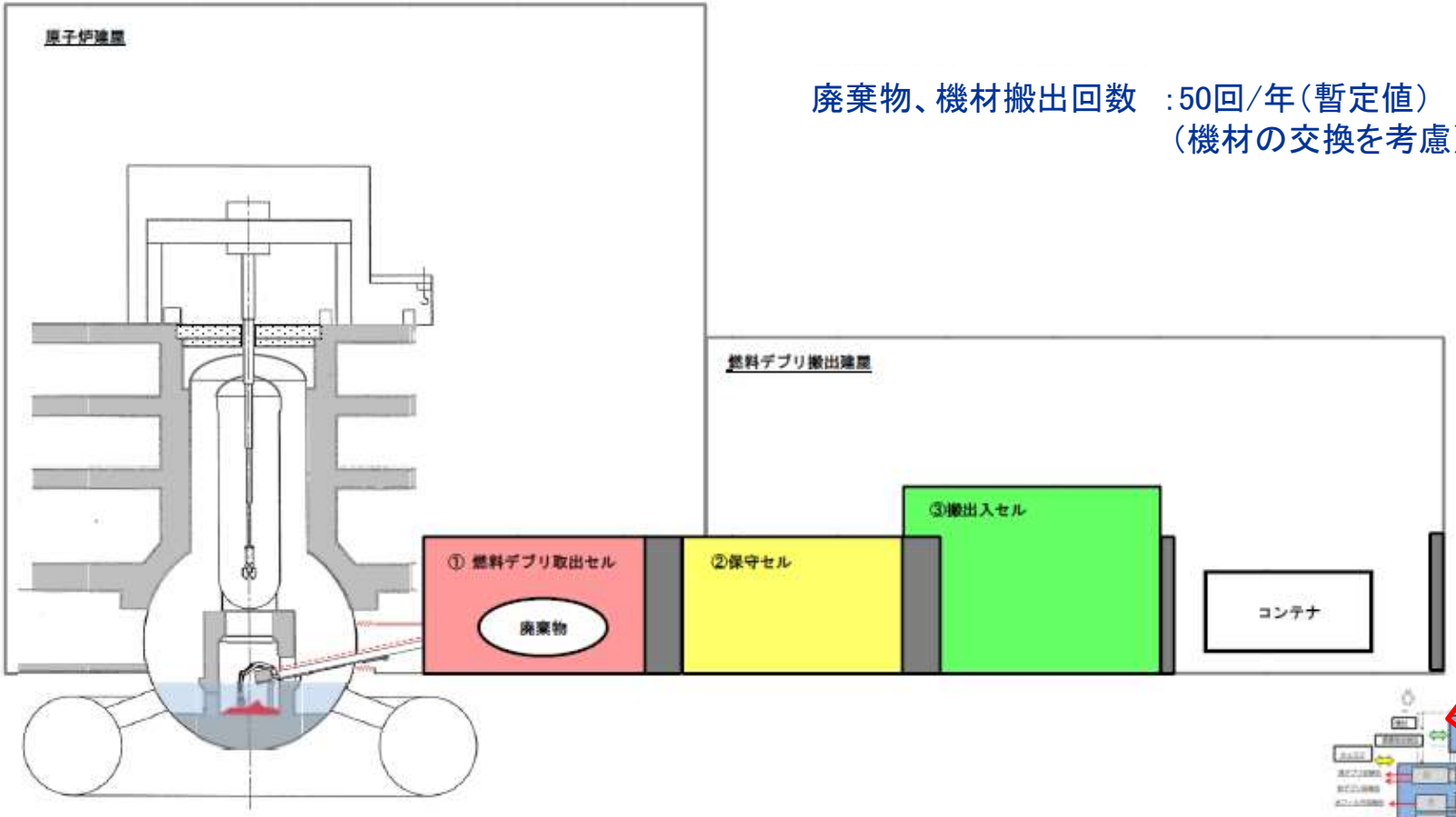
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(5/19)

エリア区分図 燃料デブリ搬出フォロー(作業ステップの切り口②)



廃棄物、機材搬出回数 :50回/年(暫定値)
(機材の交換を考慮)

- 廃棄物、機材は、コンテナに収納し、外部に搬出
- 保守セル/搬出入セル間でダブルドアシステムを適用することにより、汚染の拡大を低減

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

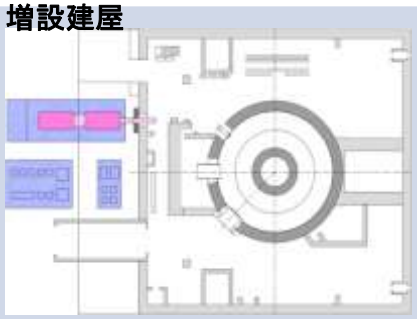
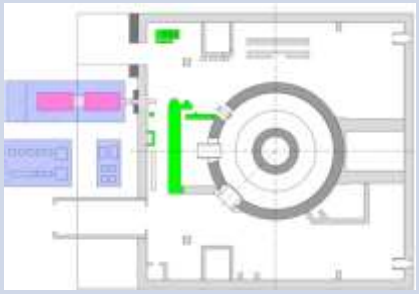
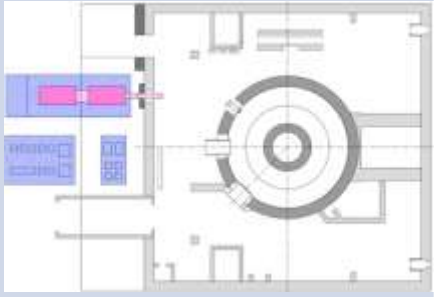
4. 本事業の実施状況

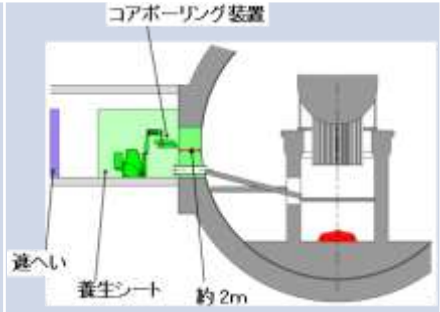
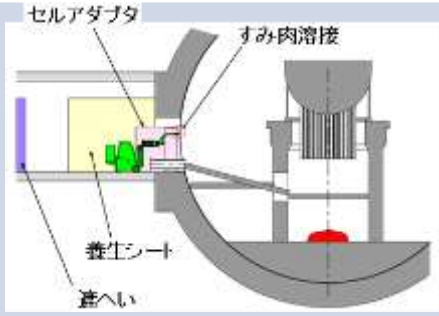
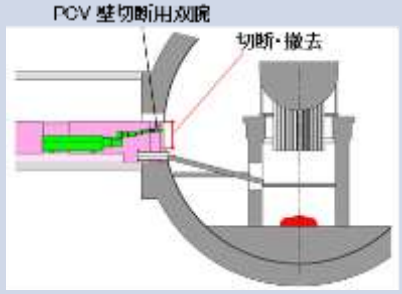
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(6/19)

作業ステップ(PLAN−A)

燃料デブリ取り出し準備作業、R/B準備作業

作業ステップ	増設建屋建設 建屋壁開口	セル等の設置範囲の 干渉物撤去	徹底除染	
ステップ図				

作業ステップ	PCVコンクリート開口	PCV-セルアダプタ溶接	セルの搬入・設置	PCV壁(鉄板)開口
ステップ図				

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

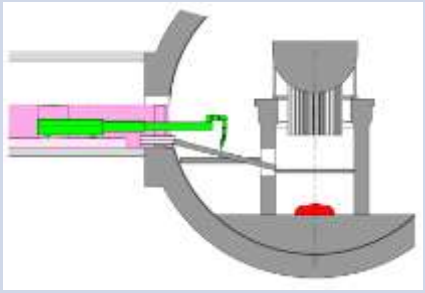
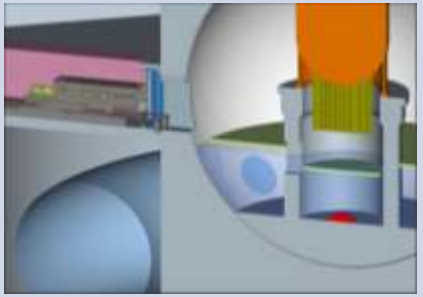
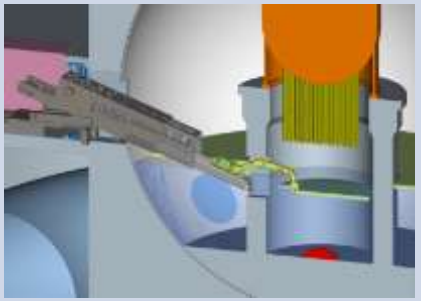
4. 本事業の実施状況

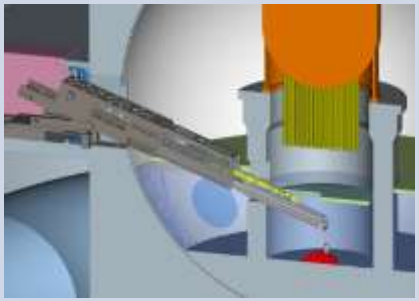
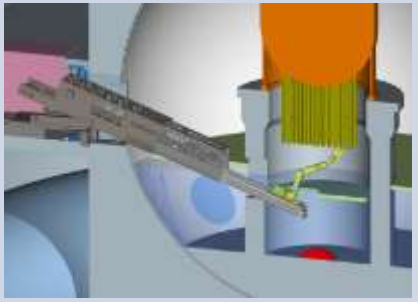
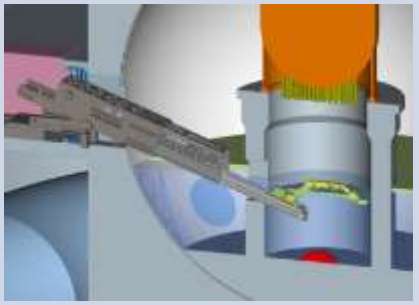
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(7/19)

作業ステップ(PLAN−A)

燃料デブリ取り出し準備作業/PCV内干渉物撤去作業

作業ステップ	CRDレール切断	小型マニピュレータ・レール搬入	レール設置の干渉物撤去(グレーチング)
ステップ図			

作業ステップ	臨界監視装置の設置	ペデスタル内干渉物撤去(CRD)	ペデスタル内干渉物撤去(グレーチング)
ステップ図			

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

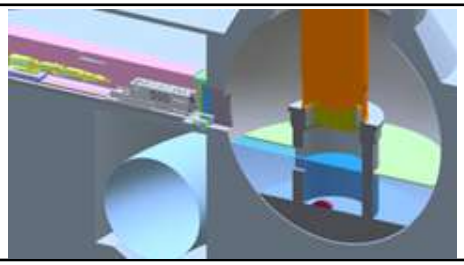
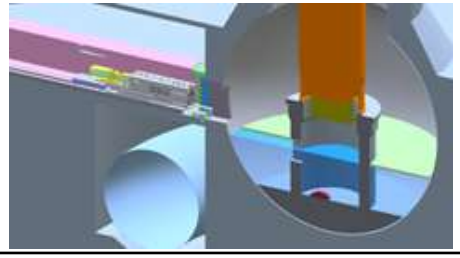
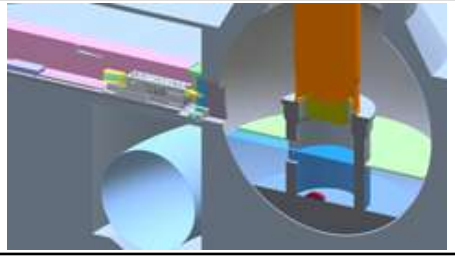
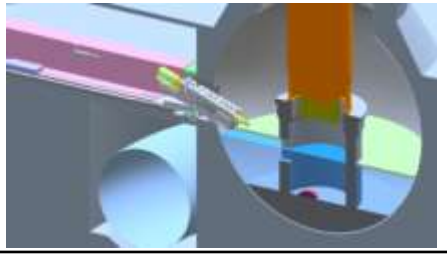
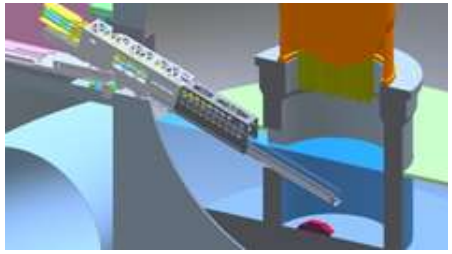
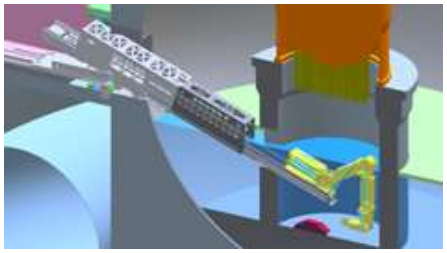
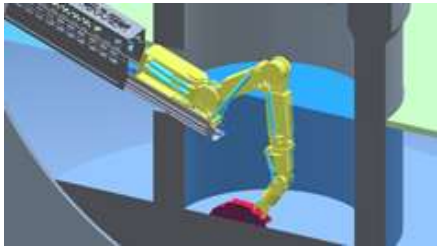
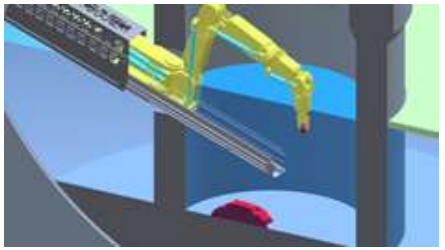
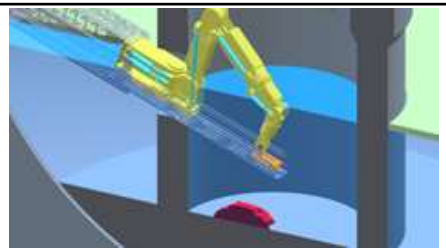
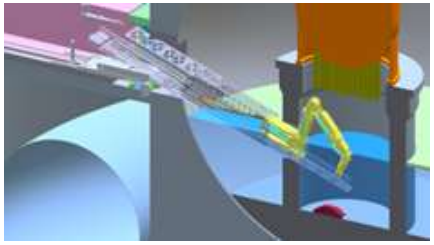
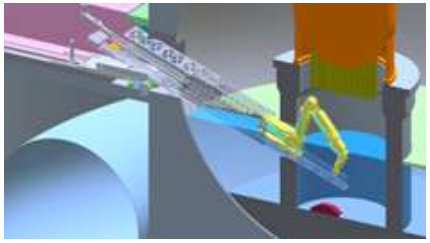
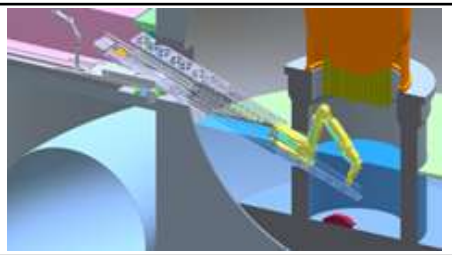
4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(8/19)

作業ステップ(PLAN−A)

燃料デブリ取り出し/ペデスタル内燃料デブリ切削作業(ロボットアーム、アクセスレール)

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切削
			
9.デブリをアクセスレール上のユニット缶に回収	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.マニピュレータでデブリをユニット缶ごと収納缶に収納
			

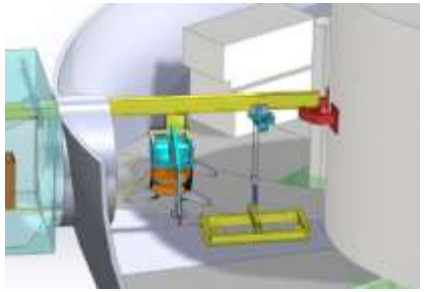
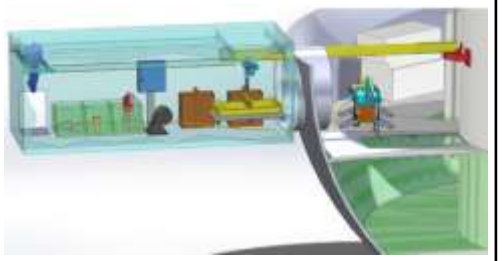
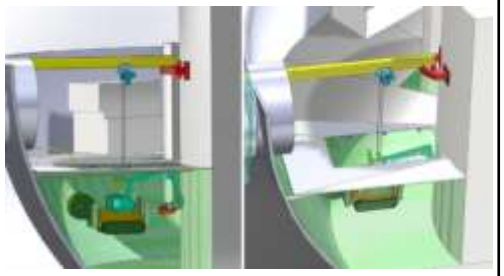
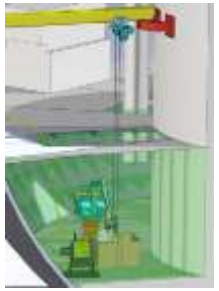
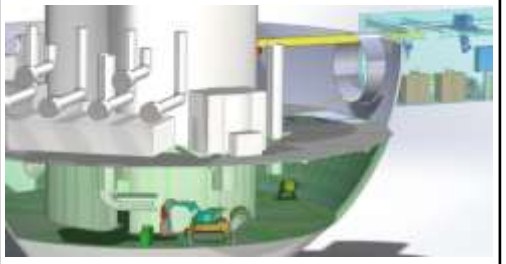
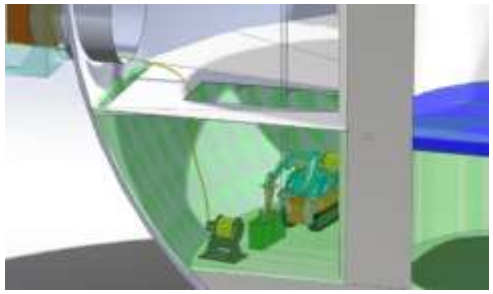
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

④工法実現性の検討【気中-横アクセス工法】(9/19)

作業ステップ(PLAN-A)/ 燃料デブリ取り出し/ペデスタル外燃料デブリの切削作業(自走式ROV)

1.セル設置状況	2.ROVのPCV内搬入	3.グレーチング開口	4.撤去したグレーチングの撤去
			
5.ROVのPCVへの投入	**6.PCV内干渉物の撤去**	**7.撤去した干渉物の搬出**	**8.ﾍﾟﾃﾞｽﾀﾙ外ﾃﾞﾌﾞﾘの切削**
			
9.ﾍﾟﾃﾞｽﾀﾙ外ﾃﾞﾌﾞﾘの切削(ｺｱ抜き)	**10.回収容器への収納**	**11.回収容器のペデスタル内搬入**	
			

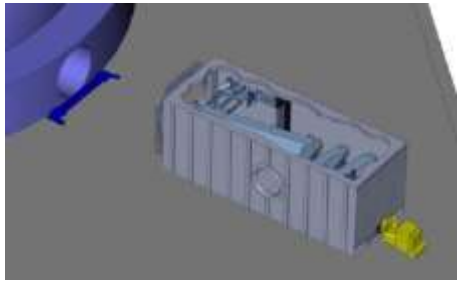
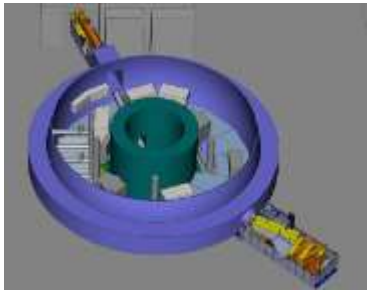
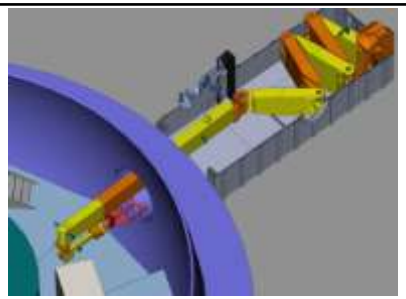
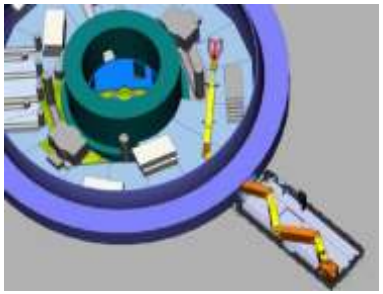
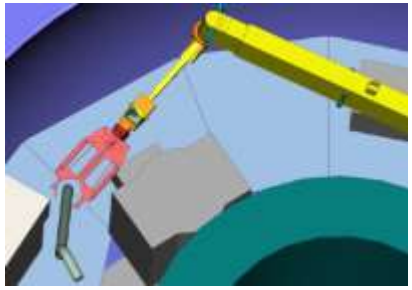
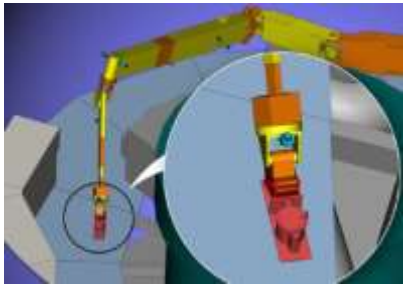
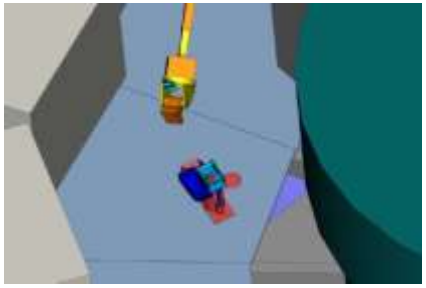
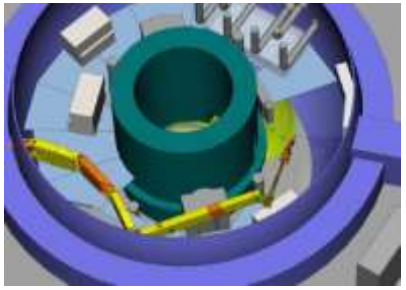
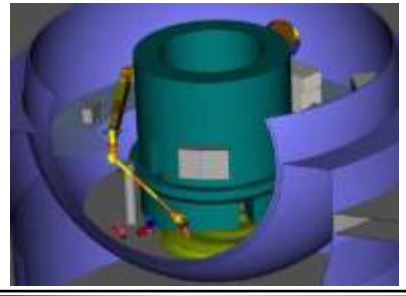
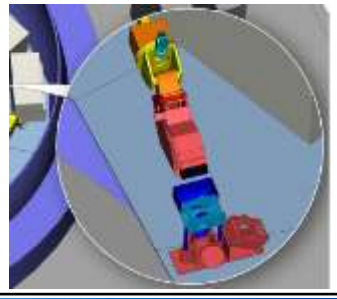
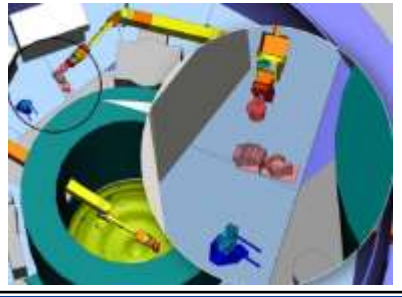
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

④工法実現性の検討【気中-横アクセス工法】(10/19)

作業ステップ(PLAN-A)/ 燃料デブリ取り出し/ペデスタル外燃料デブリ切削作業(ブーム型アーム)

1.セル搬送	2.セル設置状況	3.アームのPCV内アクセス①	4.アームのPCV内アクセス②
			
5.障害物の撤去	**6.ユニット缶ベースの設置**	**7.回収用ファンネルの取り付け**	**8.ペデスタル外デブリへのアクセス**
			
9.ペデスタル外デブリの切削	**10.デブリのユニット缶への回収**	**11. ユニット缶の搬出**	
			

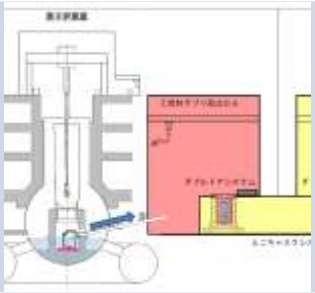
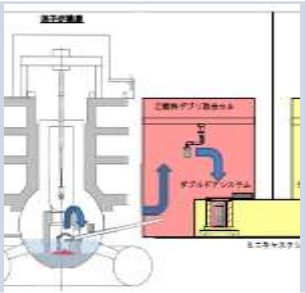
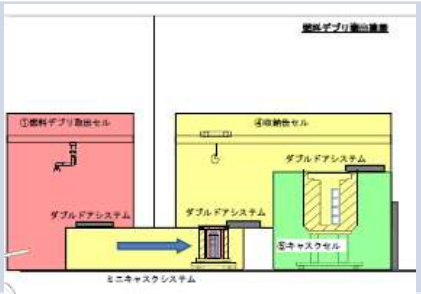
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

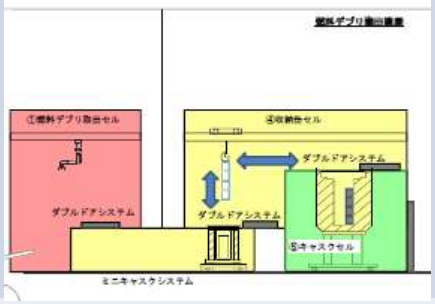
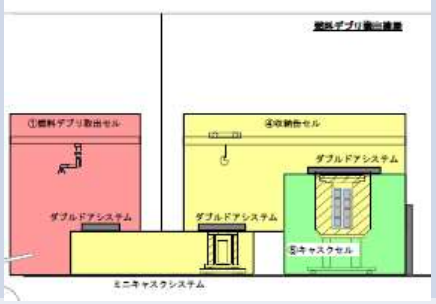
4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(11/19)

作業ステップ(PLAN−A)/ 燃料デブリ取り出し/収納缶への受け渡し作業

作業ステップ	セル内への燃料デブリの回収	収納缶のミニキャスクへの装荷	ミニキャスク移送
ステップ図			
	燃料デブリを収納したユニット缶がPCV内から回収される。	ユニット缶をミニキャスク内の収納缶に挿入する。	ミニキャスクシステムで、収納缶を移送する。

作業ステップ	収納缶取り出し	キャスク収納	キャスク搬出
ステップ図			
	収納缶を、ミニキャスク内から取り出す。	収納缶をキャスクに収納する。	キャスクを外部に搬出する。

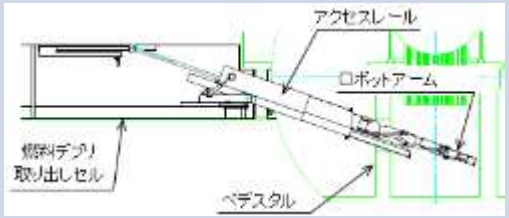
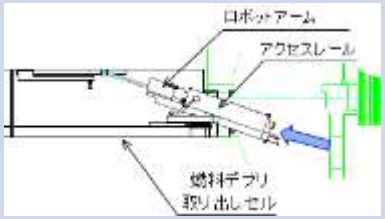
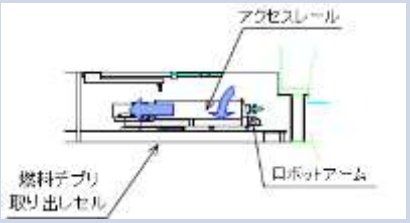
【補足説明】ミニキャスクシステムは、ミニキャスク(移送容器)を装備した台車を用い、セル内でデブリを搬送するシステムです。
ミニキャスクシステムとダブルドアシステムの組み合わせにより、収納缶を燃料デブリ取り出しセル内に持ち込むことなく、デブリの搬出を可能とし、外部への汚染の拡大を防止するとともに、搬出に際する収納缶の除染作業を軽減し、デブリの搬出効率を高めることを意図しています。

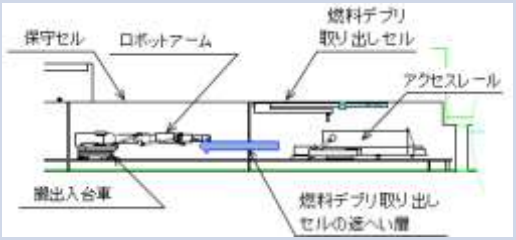
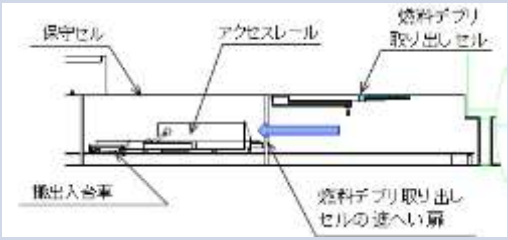
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(12/19)
作業ステップ(PLAN−A)/メンテナンス作業

作業ステップ	装置の引き上げ準備	PCVからの装置の引き上げ	セル内への装置の搬入
ステップ図			
	ロボットアームを搬出姿勢に変更し、引き揚げ作業の準備を行う	アクセスレールを伸縮させ、ロボットアームをPCV内から引き上げる。	アクセスレールの傾きを水平にし、後退させることで、ロボットアームをセル内に搬入する。

作業ステップ	ロボットアームの搬出	アクセスレールの搬出	
ステップ図			
	ロボットアームをアクセスレールから引き抜き、外部に搬出する。	アクセスレールを外部に搬出する。	

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(13/19)
工法を構成する大型設備の検討(PLAN−A)/デブリ取り出しセル

セルの必要機能

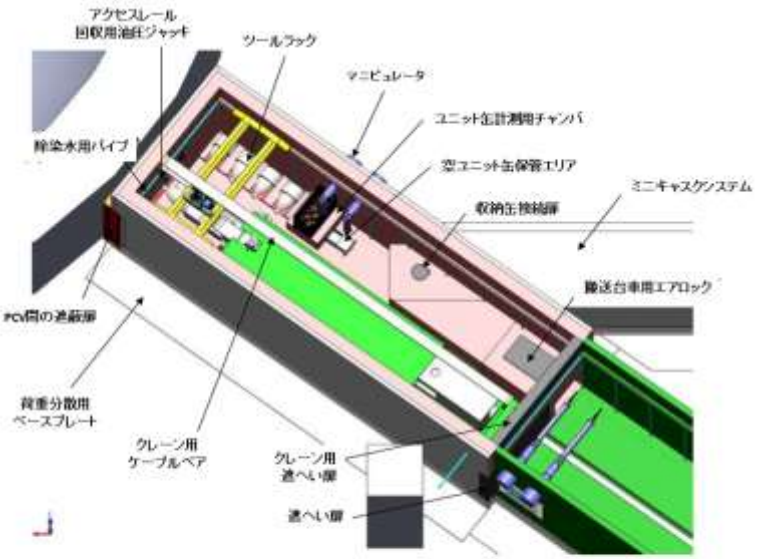
- 燃料デブリを外部に搬出する。
- 装置をPCV内に搬送及びPCV内部から回収／搬出する。
- 装置に対して、作業に必要なユーティリティを供給する。
- 汚染拡大防止のため、放射性物質を内部に閉じ込める。
- 装置のメンテナンスを行う。
- 周囲の放射線量の増加を低減するために、遮へいする。

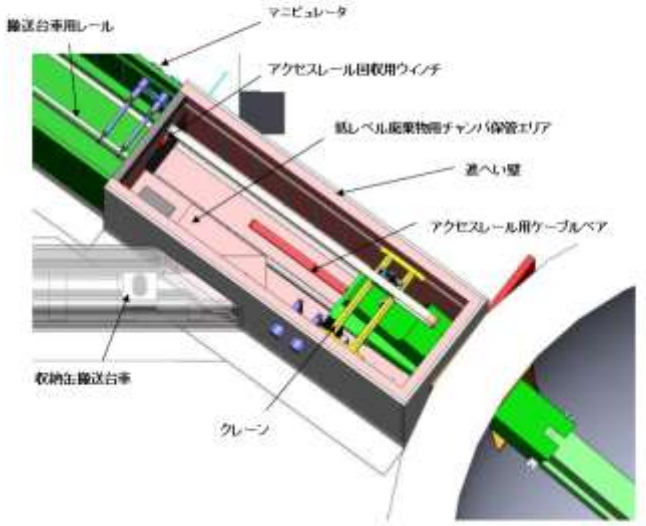
セルのコンセプト

- 原則、全ての作業を遠隔操作
- 作業員の介在する作業はR/B外で実施
- 装置・機器の通常ライトメンテナンス
- 機器のヘビーメンテナンスについては、設備外に搬出後に実施
- 燃料デブリの搬出系統と装置・機器の搬出入系統を分ける。
- セル間の接続部に対しては、ダブルドアシステムを適用
- X-6ペネに対して直線に配置し、機器の搬出入を円滑化

課題

セル重量の低減、セル内機器のメンテナンス、セルの安全機能確保、
セル内の除染、セルの耐震性、セル遠隔設置・接続





©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

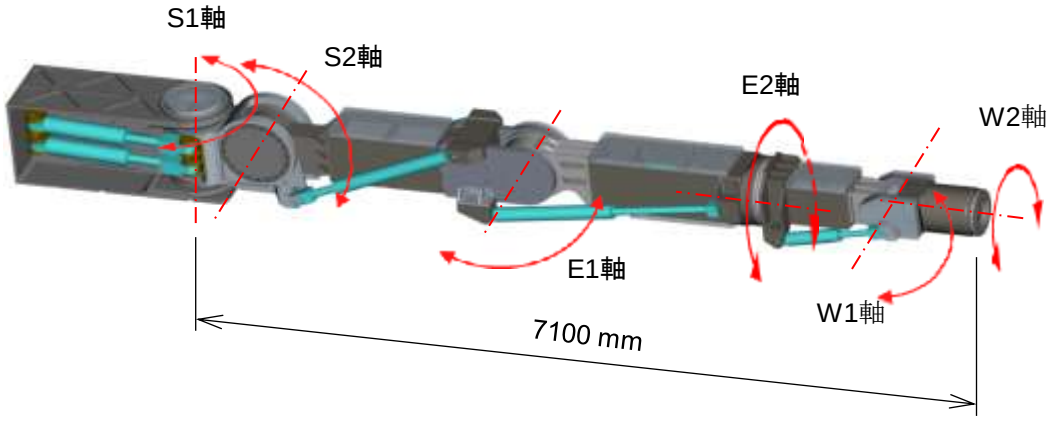
4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(14/19)
取り出し装置の設計検討(PLAN−A)/ペデスタル内アクセス装置・ロボットアーム

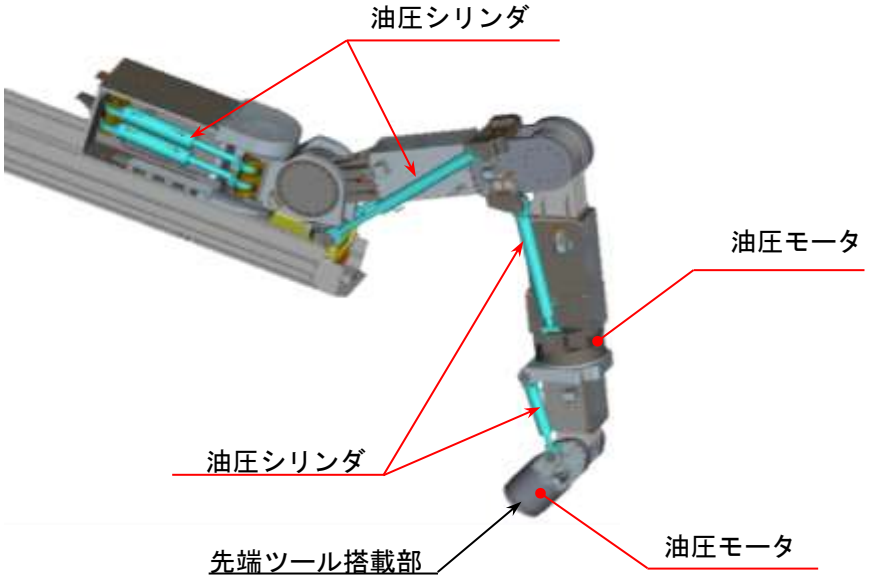
ロボットアームの必要機能

- 先端ツールを案内・位置決めする機能
- 切削時反力(2000kgf)に対する剛性
- 非常時に装置を脱出させる機能



ロボットアームのコンセプト

- 先端ツールを任意の姿勢で案内・位置決めできる6軸を採用
- 姿勢・位置制御ロジックの構築
- 小型で高出力が期待できる油圧を採用
- 非常脱出を想定した油圧シリンダの二重化



課題

- 先端ツール具体化/・ デブリ掘削作業時の振動の影響
- 搬入出時のケーブル処理
- 軽量化/・ 制御性/・ 保守性/・ 耐放射線性

補足

- 個別の詳細内容については、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)」の最終報告に記載する。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(15/19)
取り出し装置の設計検討(PLAN−A)/ペデスタル内アクセス装置・アクセスレール

アクセスレールの必要機能

- PCV側面からペデスタルのCRD開口への橋渡しによるアクセスルートの確保
- ユニット缶(燃料デブリ)、ロボットアームの搬入出機能
- 遠隔敷設

アクセスレールのコンセプト(軸構成)

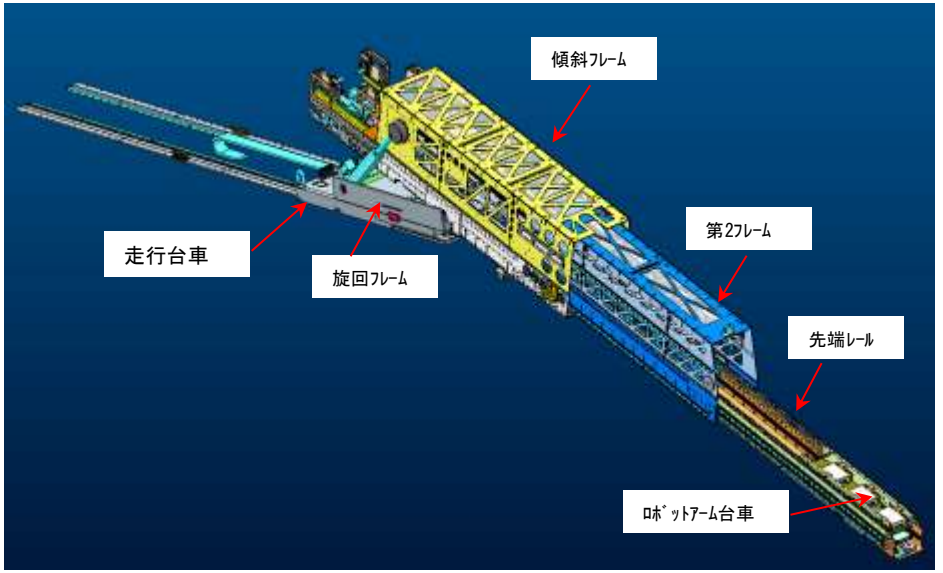
- 遠隔操作でのペデスタル開口への位置決め・敷設に必要な可動部(傾斜、伸縮、旋回)
- アクセスレール本体のセル内移動(セル内走行)
- ロボットアーム台車・デブリ台車移動(レール内走行)

課題

・ 小型化/・ 保守性/・ 非常時対応/・ 耐放射線性

補足

- 個別の詳細内容については、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)」の最終報告に記載する。



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

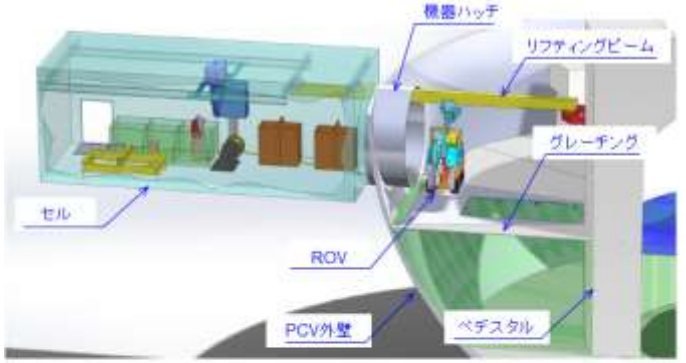
④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(16/19)
取り出し装置の設計検討(PLAN−A)/ペデスタル外アクセス装置・ROV

ROVの必要機能

- PCVの機器ハッチからPCV内部に搬入
- PCV内部の環境(高放射線、気中及び水中)を考慮し、遠隔操作で作業が可能
- ペデスタル外の干渉物を切断、除去、搬送
- ペデスタル外デブリを加工、撤去、搬送

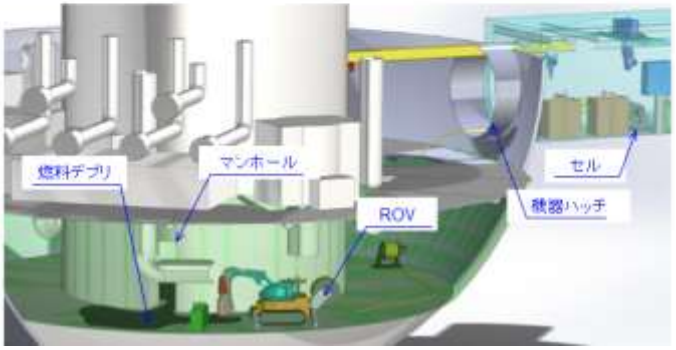
ROVのコンセプト

- 作業の効率化と故障時のサポートを目的とし、2台のROVをPCV内に搬入
- 既存のROVをベースに、PCV内の環境に適応するための開発を実施
- ROVは、接続されるユーティリティーケーブルの処置のために、ケーブルドラムを装備
- PCV内でのユーティリティーケーブルの処置のために、PCV内に中継のケーブルドラムを設置



課題

- PCV内の環境に適応性、ペデスタル外干渉物の撤去、
- PCV内でのROV用ケーブルの処置、ROVの故障時の対応



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

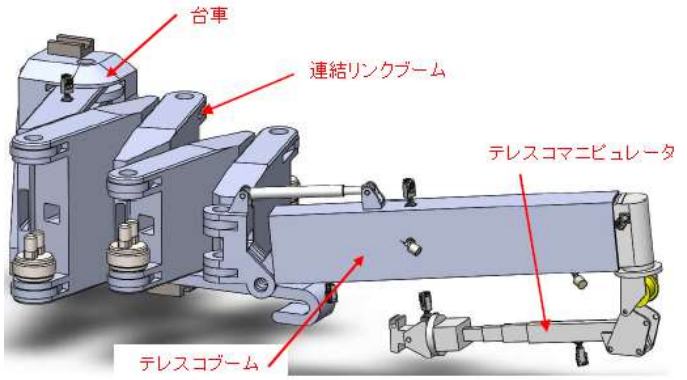
4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(17/19)
取り出し装置の設計検討(PLAN−A)/ペデスタル外アクセス装置・ブーム型アーム

ブーム型アームの必要機能

- PCVの機器ハッチを介して、PCV内部にアクセス
- PCV内部の環境(高放射線、気中及び水中)を考慮し、遠隔操作で作業が可能。
- ペデスタル外の干渉物を切断、除去
- ペデスタル外デブリを加工、撤去、搬送

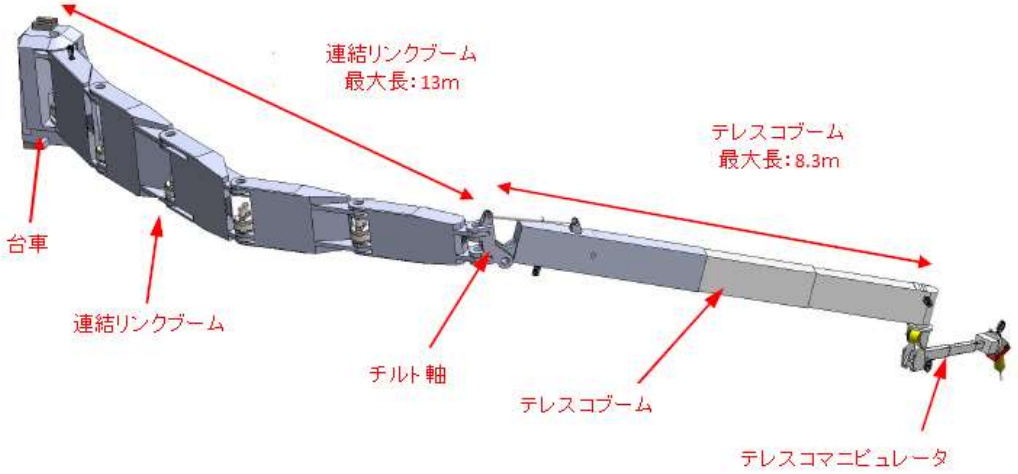


ブーム型アームのコンセプト

- 折り畳んだ連結リンク部を展開し、ブームを延伸し、PCV内部にアクセス
- チルト機能で機器ハッチとPCV床面のレベル差を吸収
- 先端部にPCV内での各種作業を行うためのマニピュレータを装備
- アクチュエーターを2重化するとともにクラッチを装備

課題

- PCV内の環境に適応性、ペデスタル外干渉物の撤去、
- 燃料デブリの加工方法、燃料デブリの回収方法、
- ブーム型アームの故障時の対応



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(18/19)
課題とリスクの抽出結果(PLAN−A)(1/2)

分類	主要課題	今後の対応
R/B準備作業	R/B建屋壁開口の成立性	建設会社との間で共同検討により成立性の確認
	R/B建屋内干渉物撤去と除染の方法	事前調査により詳細な干渉物撤去計画を策定
	重量物の搬入設置方法	詳細検討により実現性確認
	PCVコンクリート開口作業中の掘削作業によるダストの飛散防止	密閉された仮設の作業エリアの具体化検討
	PCVコンクリート開口の工法	諸条件を考慮した工法の具体化検討
	セルアダプタ設置作業手順	溶接部の健全性を確保する作業手順の確立
	セルの遠隔設置・接合工法	遠隔設置、接合、接合部の検査・補修方法の具体化検討 据付時の床面荷重に関する緩和策の検討
	PCV壁及びPCV内干渉物の切断工法	対象物の情報収集と切断工法の確立 遠隔操作の切断装置の具体化検討 閉じ込め性を考慮した所要設備の検討
ペデスタル内干渉物撤去作業	ペデスタル内干渉物の撤去工法	干渉物の情報収集と切断工法の確立 遠隔操作装置の具体化検討 廃棄物の回収、搬出方法の具体化検討
ペデスタル内燃料デブリ取り出し作業	ペデスタル内の状況把握	内部調査・サンプリングの結果を設計検討に反映 ペデスタル強度については評価方法を検討
	燃料デブリの加工方法	内部調査・サンプリングの結果を踏まえて、適切な加工方法を選定 作業時間短縮のため加工/回収作業を平行実施するためのツールの一体化検討
	デブリの回収方法	加工した燃料デブリの回収方法の具体化 搬出時間を考慮したデブリの回収方法の検討
	装置の作業監視	内部調査の結果を参考とする。 切断要素試験にて加工作業時の視認性を確認

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

④工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(19/19)
課題とリスクの抽出結果(PLAN−A)(2/2)

分類	主要課題	今後の対応
ペデスタル内 燃料デブリ撤去作業	装置の耐放射性、メンテナンス性	装置の耐放射性、メンテナンス性の具体化検討
	装置への駆動源供給方法	実現可能なケーブル・ホースの供給、処理方法の確立 ケーブル・ホースの脱着方法の確立
	装置の搬出入方法	セル内及びPCV内の装置の搬出入方法の確立 所要設備の具体化検討
	装置故障時の回収方法	装置故障時の非常回収方法の具体化検討
ペデスタル外 燃料デブリ撤去作業	ペデスタル外干渉物の撤去	PLRポンプの撤去方法の検討 ペデスタル外の干渉物に関する情報収集
	燃料デブリの加工方法	燃料デブリに対して有効な加工方法の特定
	燃料デブリの回収方法	PCV内部の視界の悪化を抑制する機構の検討 低視界下で燃料デブリを効率的に回収する機構の検討
	故障時の対応	非常回収方法の具体化
収納缶への受け渡し作業	汚染拡大の防止	大型のダブルドアシステムの実現性検討
	搬出作業時間	装置・設備の詳細化と搬出作業時間の短縮化検討
	機器故障時の対応	装置・設備の詳細化とメンテナンス性の検討
	燃料デブリの線源強度	PCV内部調査やサンプリングの結果を反映
	燃料デブリの落下・滞留	落下の発生確率を低減し、飛散を抑制、防止する搬送手法の検討 落下した燃料デブリの回収方法の検討
	R/B建屋の床面荷重	セル重量の低減によるR/B床面負荷荷重の低減を検討 床面の補強等によるR/B床面荷重制限値の緩和の検討

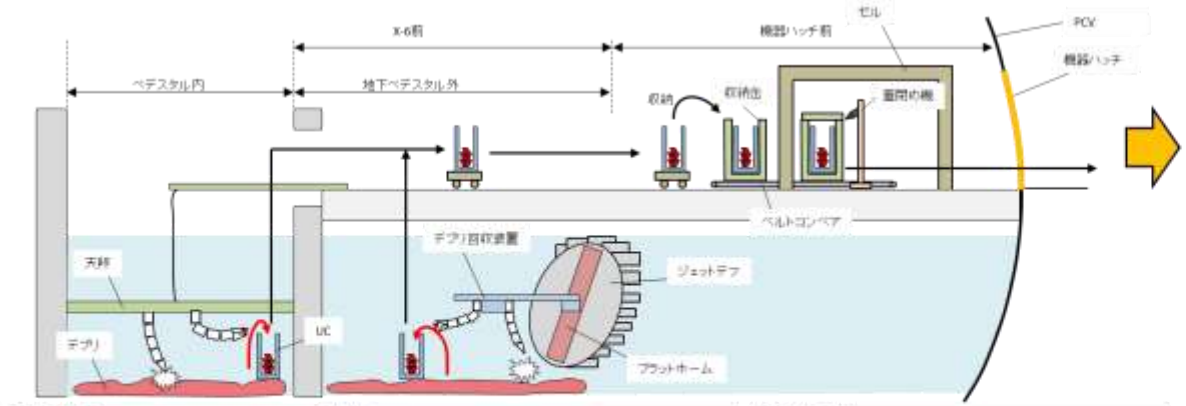
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑤工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(1/11)

フロー図(PLAN−B1)

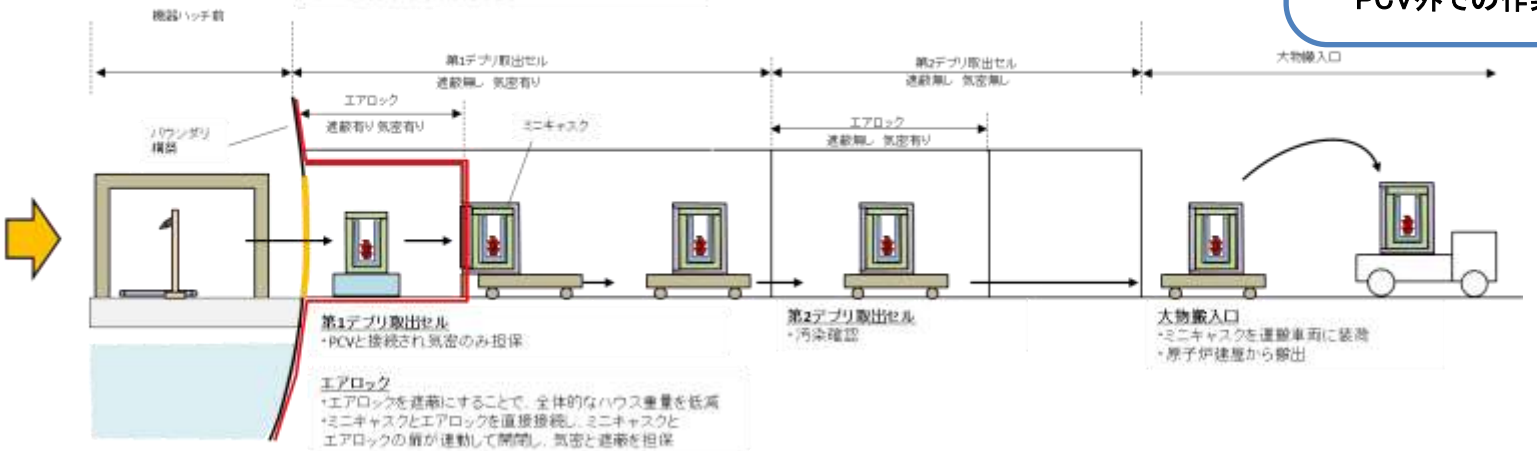


ペデスタル内
・筋肉アーム付天秤でデブリを破砕、UCに回収
・天秤のペデスタル内での突っ張りで破砕の反力を受ける
・UCは、搬重機などで回収
・破砕したデブリは吸引システムで吸引することも検討

X-6前
・回収したUCを運搬台車などで、機器ハッチ前まで運搬
・他の運搬方法も検討

地下ペデスタル外
・ジェットデフに取り付けたプラットホームにデブリ回収装置を取り付ける
・デブリ回収装置の筋肉アームでデブリを破砕、回収する
・UCは、搬重機などで回収
・破砕したデブリは吸引システムで吸引することも検討
・必要に応じて、複数箇所のジェットデフにプラットホームやデブリ回収装置を取り付ける

機器ハッチ前
・機器ハッチ前でUCを収納缶に収納
・収納缶の蓋しめる
・除染をする
・ベルトコンベアでPCV外まで搬送する



第1デブリ取出セル
・PCVと接続され気密のみ担保

エアロック
・エアロックを遮蔽にすることで、全体的なハウス重量を低減
・ミニキャスクとエアロックを直接接続し、ミニキャスクとエアロックの扉が連動して開閉し、気密と遮蔽を担保

第2デブリ取出セル
・汚染確認

大物搬入口
・ミニキャスクを運搬車両に装荷
・原子炉建屋から搬出

PLAN−B1のコンセプト

- PCV内での閉じ込めにより汚染拡大を防止する。
- 既存のハッチ(機器ハッチ)を使用。
  (R/B・PCVの改造を最小化する)
  (X−6ペネ開口拡大でも対応可能)
- 燃料デブリに取り出し装置本体が接近して取り出し作業を実施する。

基盤技術開発で実現性の確認

実現性が高い作業を燃料デブリ近傍(PCV内)で実施。
→PCV内における作業が困難な場合は、PCV外での作業を考慮する。

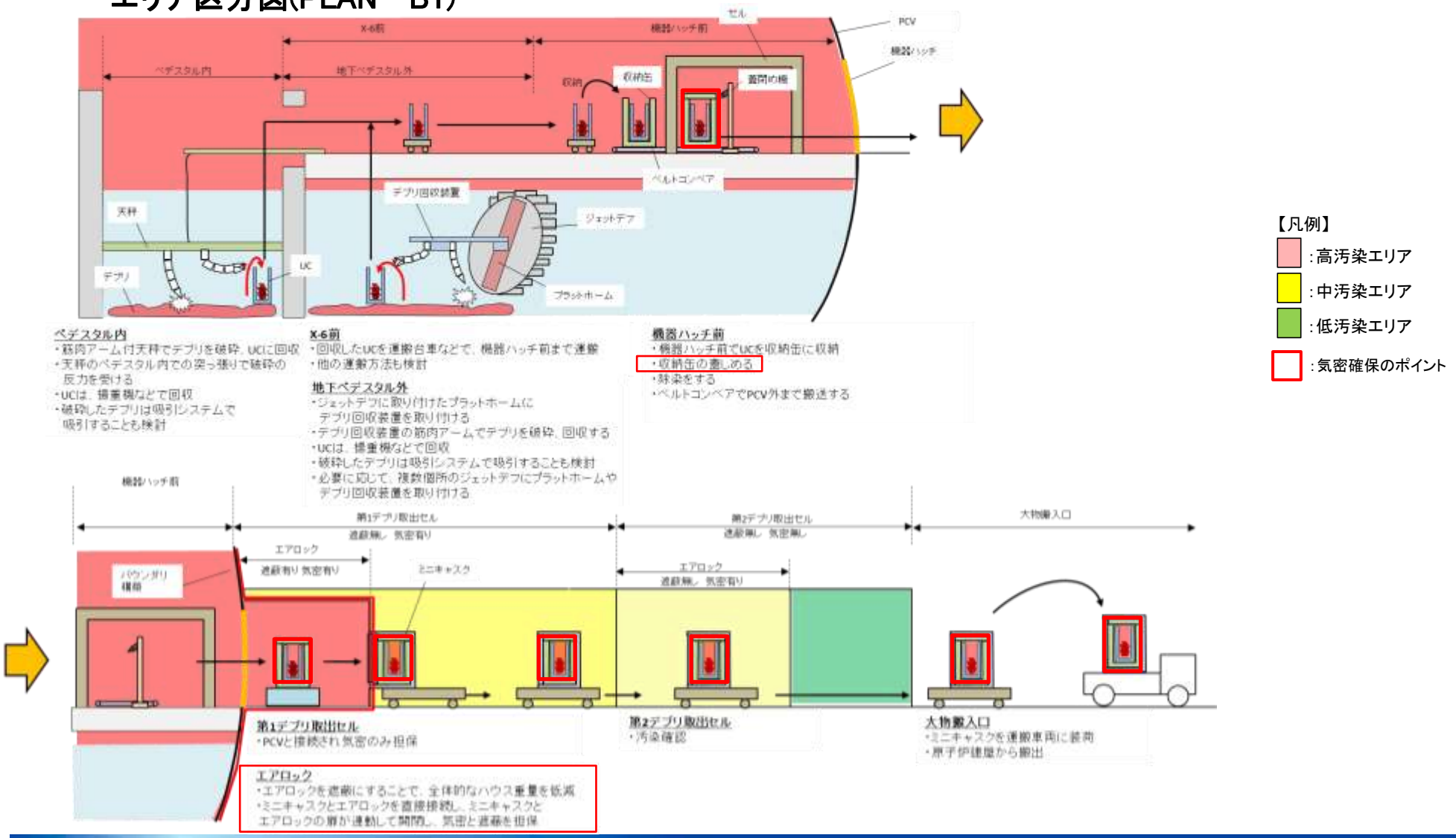
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑤工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(2/11)

エリア区分図(PLAN−B1)



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

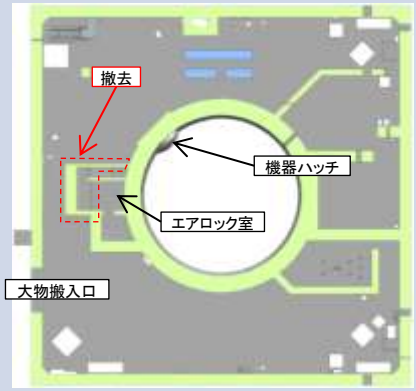
4. 本事業の実施状況

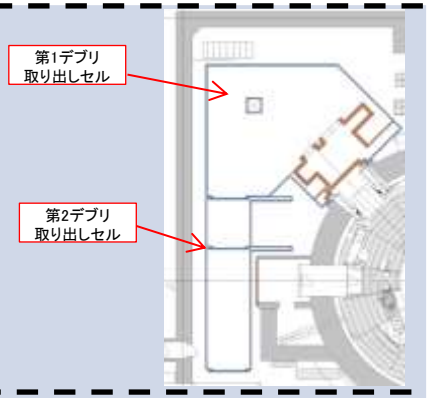
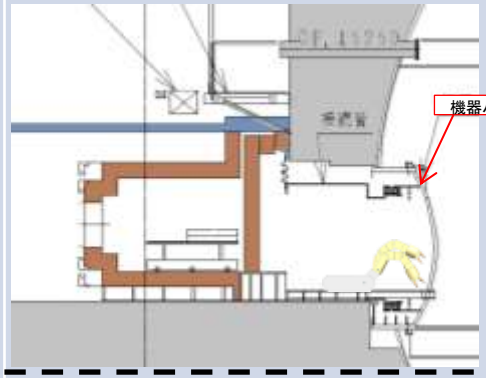
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑤工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(3/11)

燃料デブリ取り出し準備作業/R/B内(PLAN−B1)

■ステップの種類①について記載。(ステップの種類については、①工法実現性の検討【共通】(7/9)参照)

作業ステップ	パーソナルエアロック室前壁撤去	機器ハッチ前 第1デブリ取り出しセル設置	遮へいブロック撤去	セルとPCV接続
①ステップ図				

作業ステップ	第2デブリ取り出しセル設置	機器ハッチ扉開放		
①ステップ図				

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

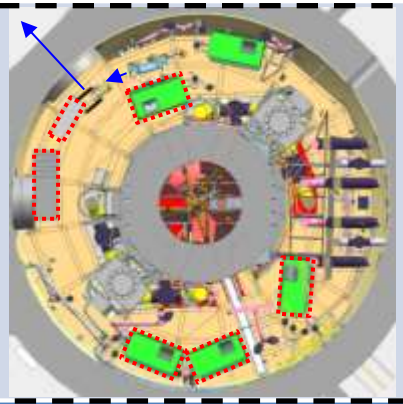
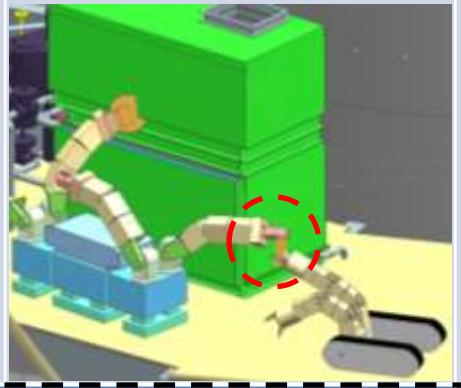
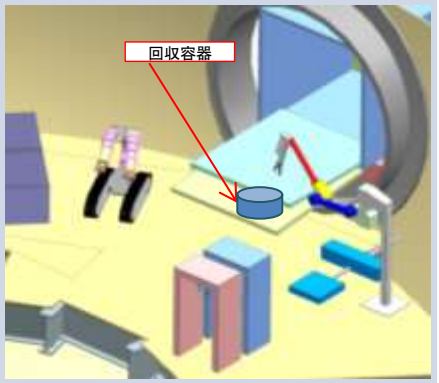
4. 本事業の実施状況

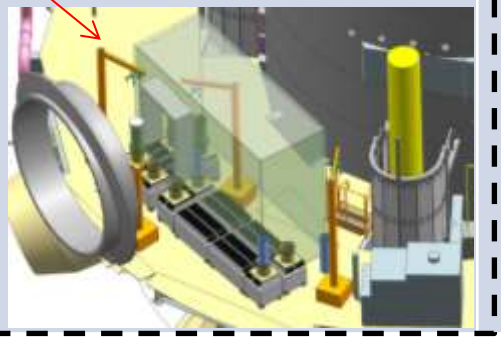
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑤工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(4/11)

燃料デブリ取り出し準備作業/PCV内(PLAN−B1)

■ステップの種類①について記載。(ステップの種類については、①工法実現性の検討【共通】(7/9)参照)

作業ステップ	PCV内1階 干渉物撤去	干渉物 切断片回収	切断片搬出	
① ステップ図				

作業ステップ	機器ハッチ前 デブリ搬出システム設置		
① ステップ図			

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

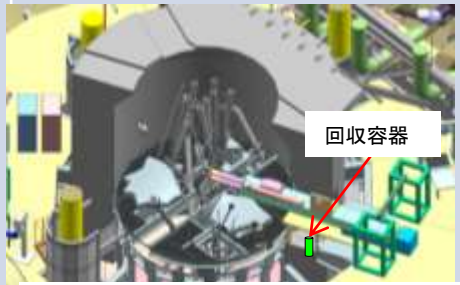
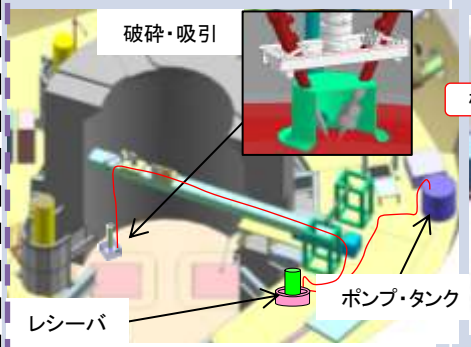
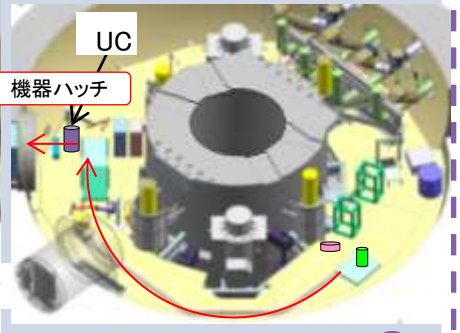
4. 本事業の実施状況

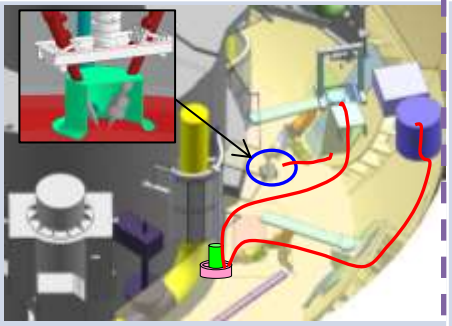
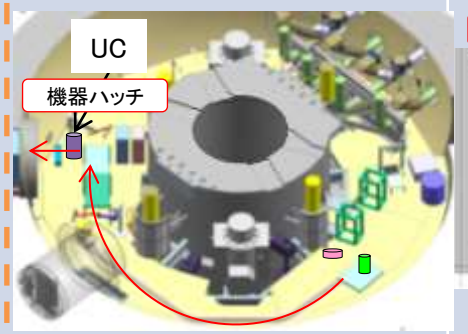
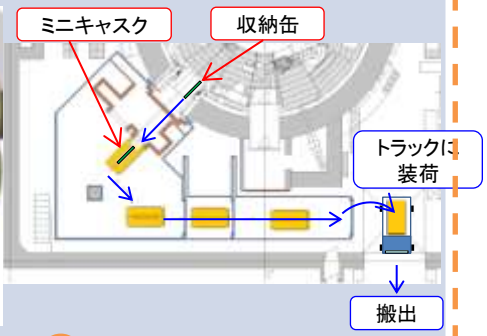
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑤工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(5/11)

燃料デブリ取り出し作業/ペデスタル内外(PLAN−B1)

■ステップの種類①、燃料デブリの②、③について記載。(ステップの種類については、①工法実現性の検討【共通】(7/9)参照)

作業ステップ	ペデスタル内1階 干渉物撤去	ペデスタル内地下階 干渉物撤去	ペデスタル内地下階 デブリ撤去	デブリ搬出
①ステップ図	 双腕型切断回収ツールをCRD搬出入口に挿入し、ペデスタル内干渉物(CRD交換台車など)を撤去。	CRD搬出入口から更にレールを伸長し、奥のペデスタル内干渉物を撤去	 ペデスタル底部に破砕・吸引装置を投入し、ペデスタル内デブリ取り出し	 ③

作業ステップ	ジェットデフプラットフォーム・デブリ取り出し装置設置	デブリ破砕回収	燃料デブリ水切り 蓋閉め・除染・搬出	R/B内デブリ搬出 (ペデスタル内外共通)
①ステップ図		 ③		 ②

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

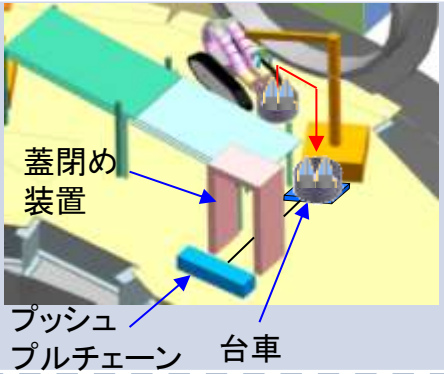
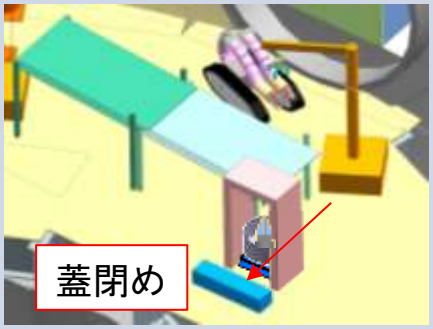
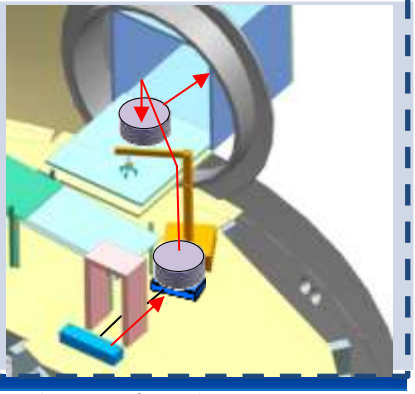
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑤工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(6/11)

メンテナンスステップ(PLAN−B1)

■ステップの種類④について記載。(ステップの種類については、①工法実現性の検討【共通】(7/9)参照)

作業ステップ	初期状態(ロボット故障)	機器の搬入 (切断ロボット、運搬ロボット、運搬容器)	切断・搬送
④ ステップ図			

作業ステップ	デブリ搬出システムまで運搬	プッシュプルチェーン台車に搭載	蓋閉め・除染	PCVから搬出
④ ステップ図				

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑤工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(7/11)

工事実現のための必要設備概略物量の検討

詳細作業ステップより、必要設備のリストを作成した。

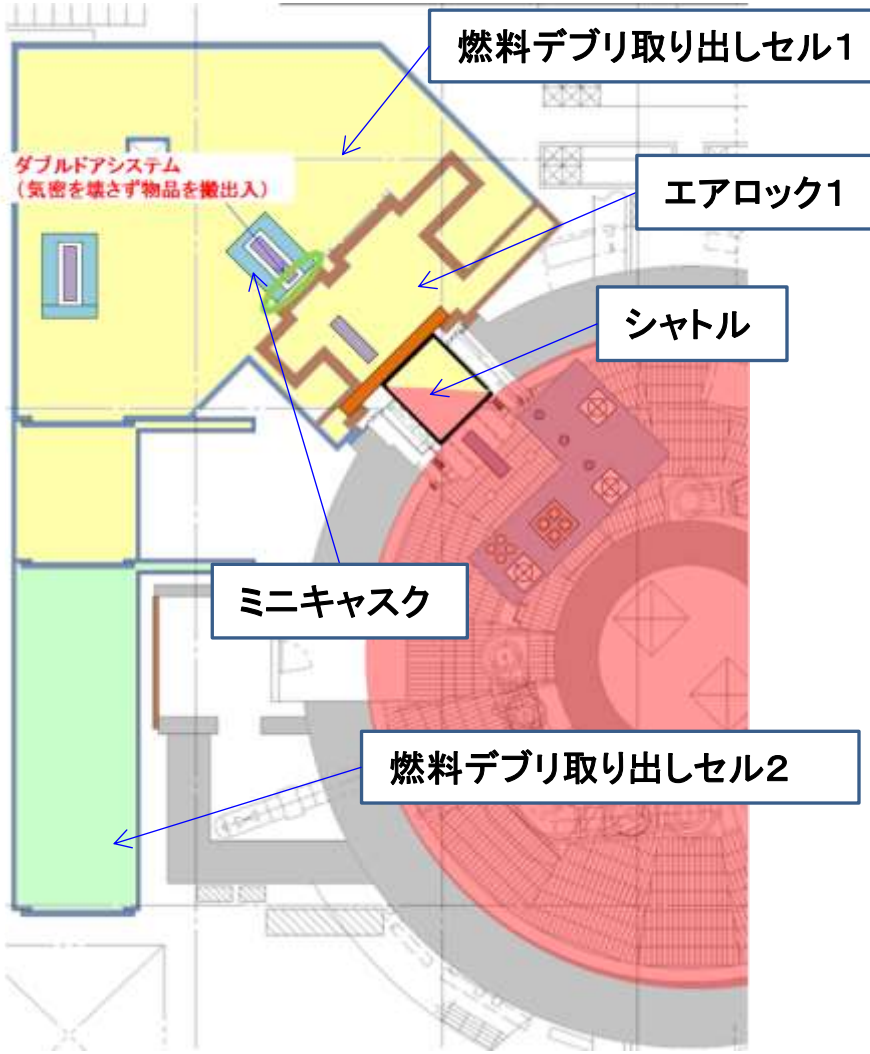
No.	機器名称	用途	設置場所	備考
1	PCV内1階補助設備	搬送用レール設備 CRD開口部前揚重機	PCV内	
2	ペデスタル内デブリ撤去装置	ペデスタル内レール設備 レール上走行装置	PCV内	
3	ペデスタル外デブリ撤去装置	ジェットデフ用プラットホーム	PCV内	
4	ペデスタル内上方撤去装置	RPV下鏡より下部のCRDハウジング等を撤去するための装置	PCV内	
5	アダプタ	PCVとセルをつなぐ機器	機器ハッチ前	
6	デブリ取り出しセル1	PCVから取り出したデブリを収納缶に詰めてさらにキャスクへと詰める	機器ハッチ前	
7	デブリ取り出しセル2	キャスクの最終蓋締めの確認を行う	機器ハッチ前	
8	シャトル	PCVからセルに出す撤去物やセルからPCV内に入れる搬入品を運搬する	機器ハッチ前	
9	収納缶　蓋締め装置	収納缶の蓋締めを行う	第一セル内	
10	容器洗浄装置	収納缶の洗浄を行う	第一セル内	
11	燃料デブリ水きり装置	燃料デブリの水切りを行う	第一セル内	
12	収納缶検査装置	収納缶の蓋締め検査を行う	第一セル内	
13	ダブルドアシステム	収納缶をキャスクに入れる際の汚染拡大防止設備	第一セル内	
14	キャスク用蓋締め装置	キャスクの蓋締めを行う	第二セル内	
15	キャスク用検査装置	キャスクの蓋締め検査を行う	第二セル内	

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑤工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(8/11)
工法を構成する大型設備の検討(PLAN−B1)(1/2)



➢ PCV内作業と設備重量について

汚染をなるべく拡散させないようにPCV内において燃料デブリの水切り、容器除染および蓋閉めなどの作業を実施する方法を検討したが、配置スペースの観点からPCV外での作業についても考慮することとした。

しかし、PCV外で作業を実施する場合は、PCVの遮へい効果が期待できないため、新たな遮へいが必要となり建屋への負担が増加する。

上記に関する検討ケースについて次のページにまとめた。

大型設備名称
エアロック1
燃料デブリ取り出しセル1
燃料デブリ取り出しセル2
柱・梁
シャトル
ミニキャスク

床耐荷重　4.88t/m^2(設工認申請値)

	重量 [ton]	面積 [m2]	床荷重 [ton/m2]
大型設備合計	713	169	4.2

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

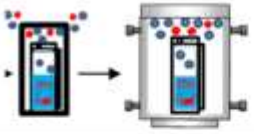
⑤工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(9/11)

工法を構成する大型設備の検討(PLAN−B1)(2/2)

大型設備設置と床荷重およびエリア区分に関する検討を燃料デブリの水切り実施エリアの観点からケースごとに検討した。

取り出したデブリを水切りしない場合の問題点

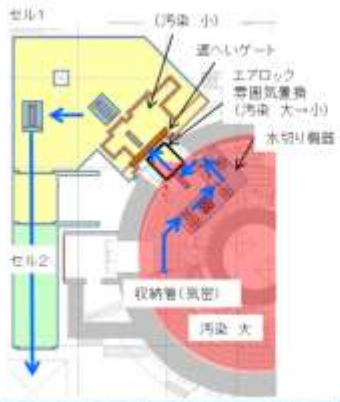
・汚染拡散の防止対策要
・水素発生の時間管理が必要
・水素放出による水素爆発の可能性



水切り場所のケーススタディにより課題の明確化

・ケース1:PCV内で水切り → PCV内への機器設置が厳しい
・ケース2:作業セル内で水切り → 遮へい体が大きくなり、床耐荷重が厳しい
・ケース3:他建屋で水切り → 汚染エリアの拡大

ケース1 水切り場所:PCV内

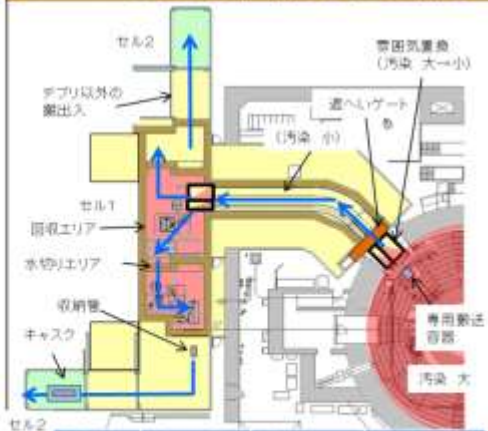


検討項目	遮へい重量	床荷重	床荷重許容値
計算値	713(ton)	4.2(ton)	4.88(ton/m²)

ケース2 水切り場所:作業セル内

検討項目	遮へい重量	床荷重	床荷重許容値
計算値	1450(ton)	8.7(ton/m²)	4.88(ton/m²)

ケース3 水切り場所:他建屋(気密搬送)



検討項目	遮へい重量	床荷重	床荷重許容値
計算値	791(ton)	4.83(ton/m²)	4.88(ton/m²)

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑤工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(10/11)
課題とリスクの抽出結果(PLAN−B1)(1/2)

分類	主要課題	今後の対応
R/B準備作業	R/B建屋壁開口の成立性	建設会社との間で共同検討により成立性の確認
	R/B建屋内干渉物撤去と除染の方法	事前調査により詳細な干渉物撤去計画を策定
	重量物の搬入設置方法	詳細検討により実現性確認
	PCVコンクリート開口作業中の掘削作業によるダストの飛散防止	密閉された仮設の作業エリアの具体化検討
	PCVコンクリート開口の工法	二次廃棄物回収などを考慮した工法の具体化検討
	セルアダプタ設置作業手順	溶接部の健全性を確保する作業手順の確立
	セルの遠隔設置・接合工法	遠隔設置、接合、接合部の検査・補修方法の具体化検討 据付時の床面荷重に関する緩和策の検討
	PCV壁及びPCV内干渉物の切断工法	対象物の情報収集と切断工法の確立 遠隔操作の切断装置の具体化検討 閉じ込め性を考慮した所要設備の検討
PCV内準備作業	PCV内干渉物撤去方法	遠隔操作による撤去方法の具体化検討 (基盤技術開発において開発継続予定)
	PCV内設備組み立て方法	遠隔操作による設備組み立て方法の具体化検討 (基盤技術開発において開発継続予定)
	ジェットデフプラットフォーム設置方法	遠隔操作による設置方法の具体化検討 (基盤技術開発において開発継続予定)
	PCV内への機器配置スペース	PCV内作業の具体化検討、PCV外で作業した場合の実現性の検討および課題の抽出
ペデスタル内/外干渉物撤去作業	ペデスタル内/外干渉物の撤去工法	干渉物の情報収集と切断工法の確立 遠隔操作装置の具体化検討 廃棄物の回収、搬出方法の具体化検討

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑤工法実現性の検討【気中−横アクセス工法】(11/11)
課題とリスクの抽出結果(PLAN−B1)(2/2)

分類	主要課題	今後の対応
ペデスタル内/外 燃料デブリ撤去作業	ペデスタル内/外の状況把握	内部調査・サンプリングの結果を設計検討に反映 ペデスタル強度については評価方法を検討
	燃料デブリの加工方法	内部調査・サンプリングの結果を踏まえて、適切な加工方法を選定 作業時間短縮のため加工/回収作業を平行実施するためのツールの一体化検討
	デブリの回収方法	加工した燃料デブリの回収方法の具体化 搬出時間を考慮したデブリの回収方法の検討
	装置の作業監視	内部調査の結果を参考とする 切断要素試験にて加工作業時の視認性を確認
	装置の耐放射性、メンテナンス性	装置の耐放射性、メンテナンス性の具体化検討
	装置への駆動源供給方法	実現可能なケーブル・ホースの供給、処理方法の確立 ケーブル・ホースの脱着方法の確立
	装置の搬出入方法	セル内及びPCV内の装置の搬出入方法の確立 所要設備の具体化検討
	装置故障時の回収方法	装置故障時の非常回収方法の具体化検討
収納缶への受け渡し作業	汚染拡大の防止	大型のダブルドアシステムの実現性検討
	搬出作業時間	装置・設備の詳細化と搬出作業時間の短縮化検討
	機器故障時の対応	装置・設備の詳細化とメンテナンス性の検討
	燃料デブリの線源強度	PCV内部調査やサンプリングの結果を反映
	燃料デブリの落下・滞留	落下の発生確率を低減し、飛散を抑制、防止する搬送手法の検討 落下した燃料デブリの回収方法の検討
	R/B建屋の床面荷重	セル重量の低減とR/B床面荷重制限値の緩和の検討

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

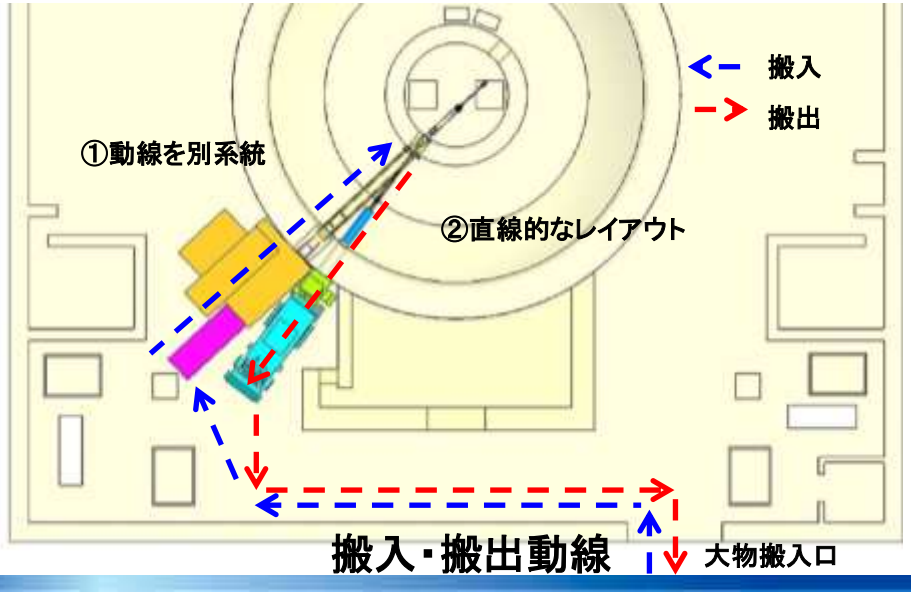
4. 本事業の実施状況

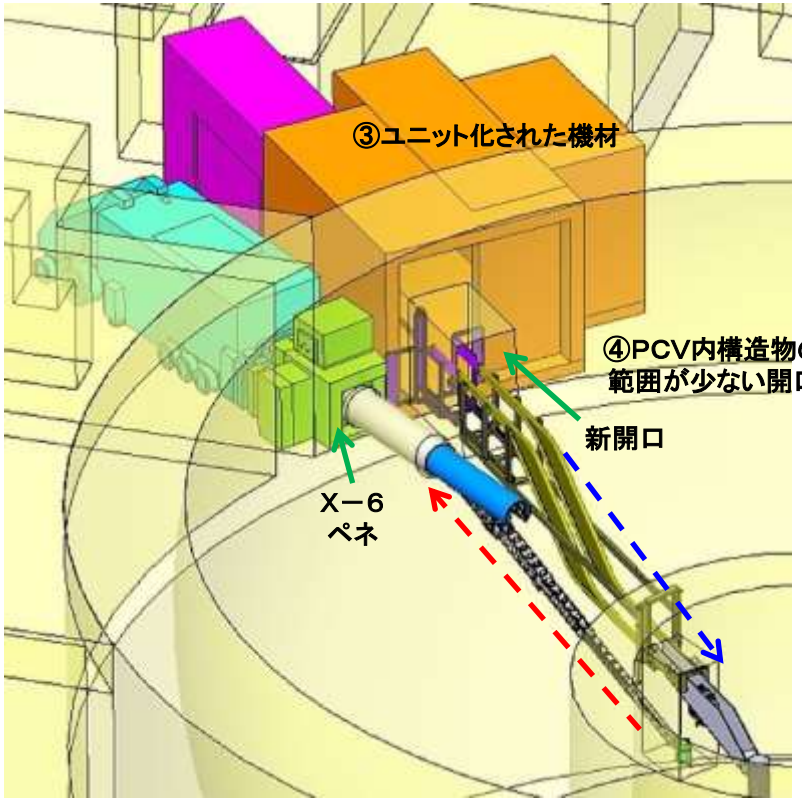
4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑥工法実現性の検討【気中−横アクセス工法（PLAN−B2）】（1/12）

■気中−横アクセス工法（PLAN−B2）のコンセプト

- 装置搬入・廃棄物搬出の動線を別系統
- 直線的なレイアウト
  →シンプルな動線
  →非常時の対応が比較的容易
- 機材は工場でユニット化
  →現場作業を低減
  →多様なニーズに対応可能
- 開口は、PCV内構造物の撤去範囲が少ない位置を選定





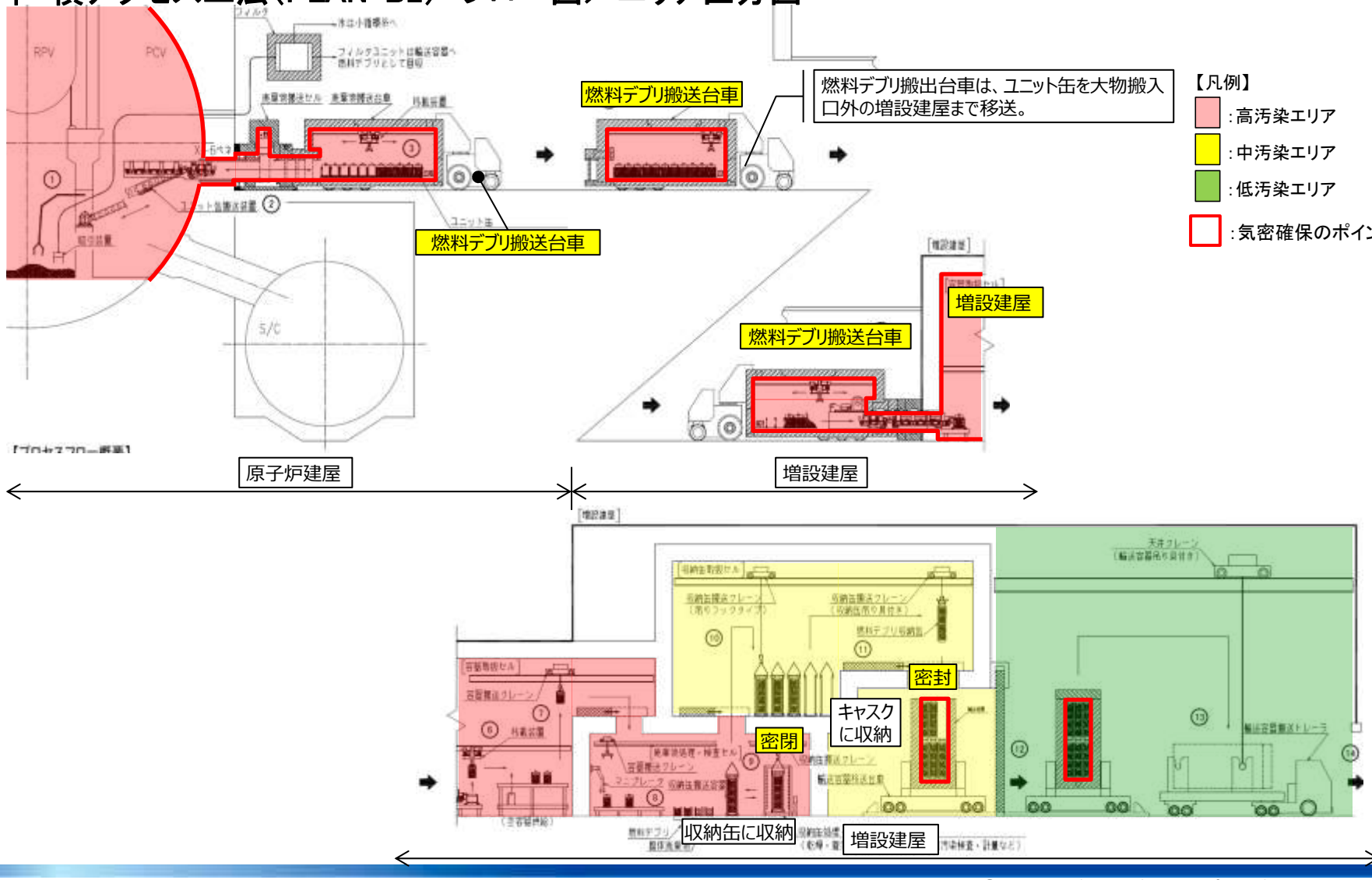
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑥工法実現性の検討【気中−横アクセス工法（PLAN−B2）】(2/12)

気中−横アクセス工法（PLAN−B2） フロー図／エリア区分図



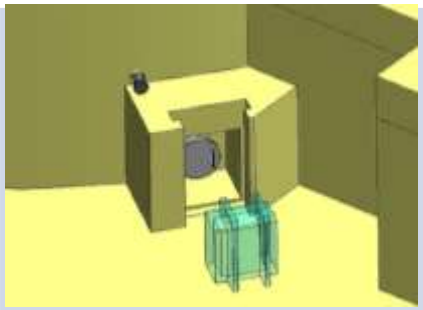
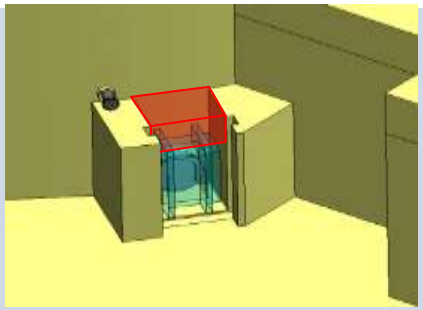
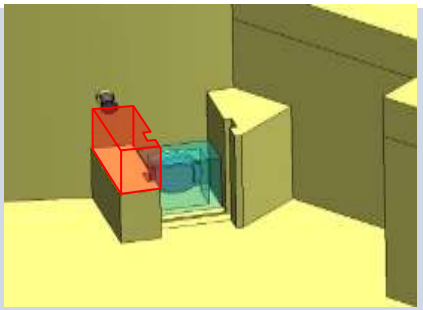
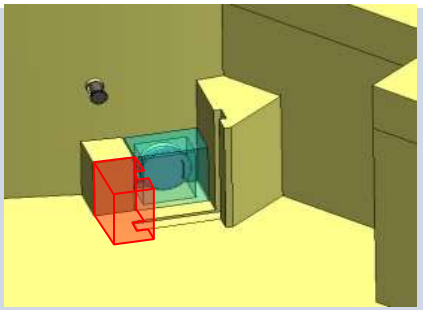
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

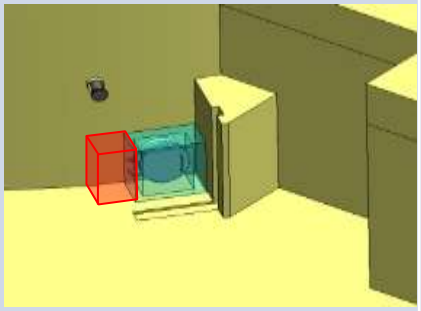
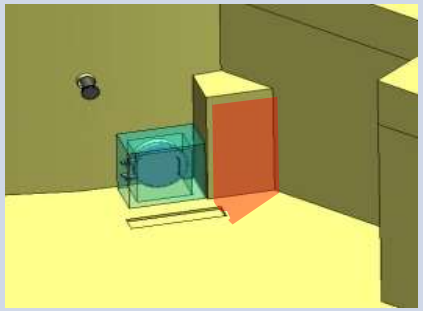
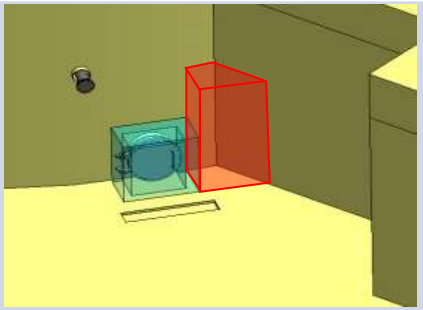
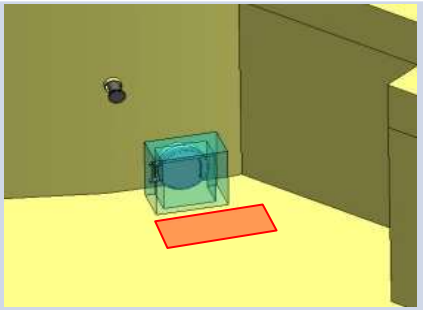
4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑥工法実現性の検討【気中−横アクセス工法（PLAN−B2）】（3/12）

燃料デブリ取り出し準備作業/原子炉建屋内作業/干渉物撤去（X−6ペネ周辺のコンクリート）（PLAN−B2）

作業ステップ	仮設遮へい体を配置	中央上部コンクリートを切除・撤去	左上部コンクリートを切除・撤去	左下部コンクリートを切除・撤去1
ステップ図				

作業ステップ	左下部コンクリートを切除・撤去2	右部コンクリートを切除・撤去1	右部コンクリートを切除・撤去2	床面の溝をモルタル・鉄板で補修
ステップ図				

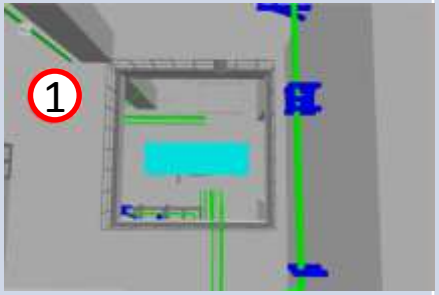
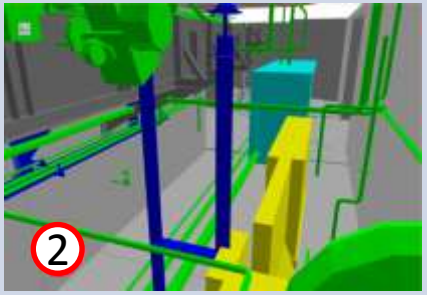
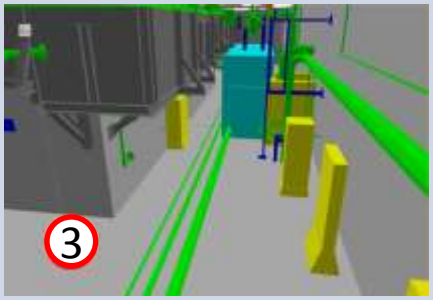
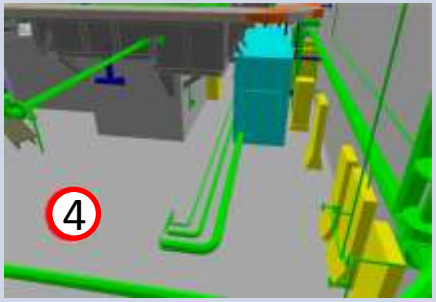
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

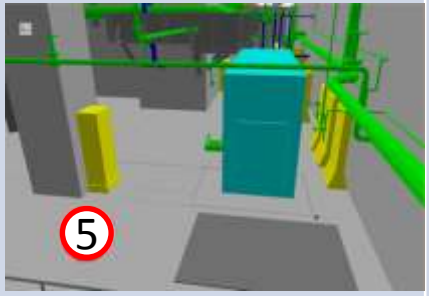
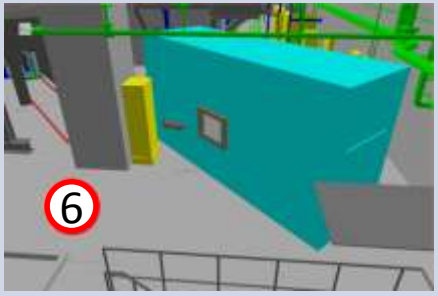
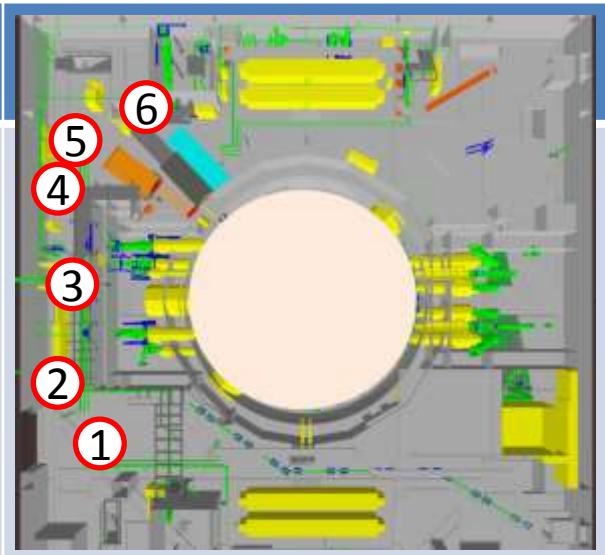
4. 本事業の実施状況

4. 2　燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑥工法実現性の検討【気中−横アクセス工法（PLAN−B2）】(4/12)

燃料デブリ取り出し準備作業/原子炉建屋内作業/据付機材搬入（PLAN−B2）

作業ステップ	大物開口入口	大物開口前	西側通路入口	西側通路中央
ステップ図				

作業ステップ	西側通路端	1階45°　方位　設置場所近傍	
ステップ図			

※ステップ図の各図は、平面図上の数字の位置に対応

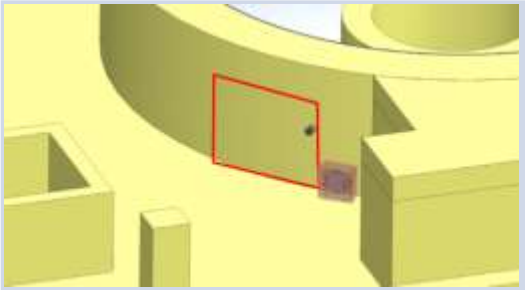
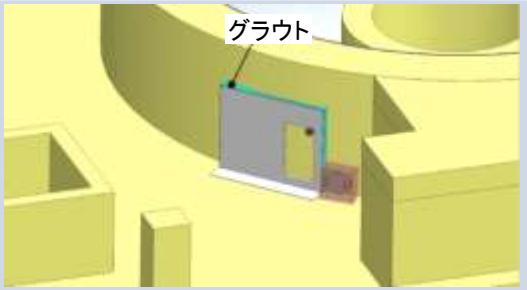
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

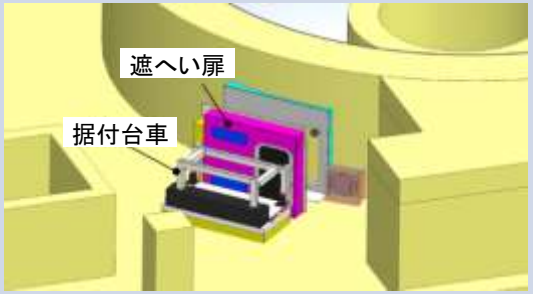
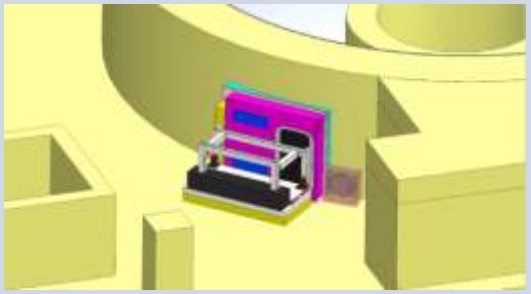
4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑥工法実現性の検討【気中−横アクセス工法（PLAN−B2）】(5/12)

燃料デブリ取り出し準備作業/原子炉建屋内作業/遮へい扉据付（PLAN−B2）

作業ステップ	遮へい扉据付位置をマーキング	鉄板型枠を固定	グラウト充填
ステップ図			

作業ステップ	据付台車で遮へい扉を搬入	据付台車で遮へい扉を据付	据付台車を取り外し
ステップ図			

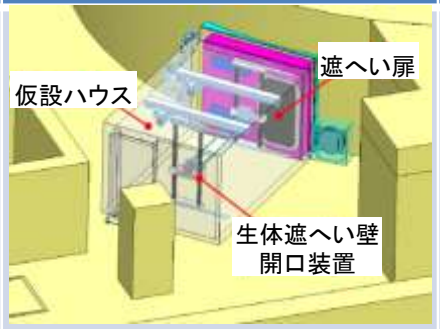
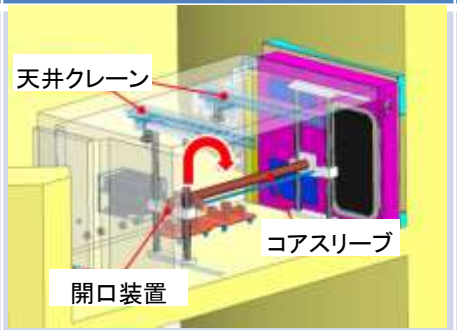
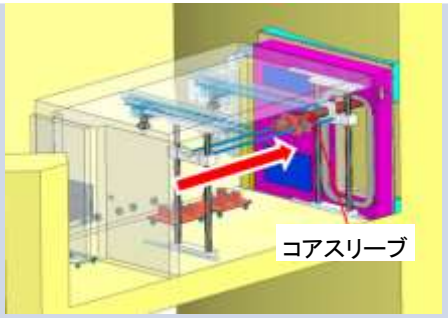
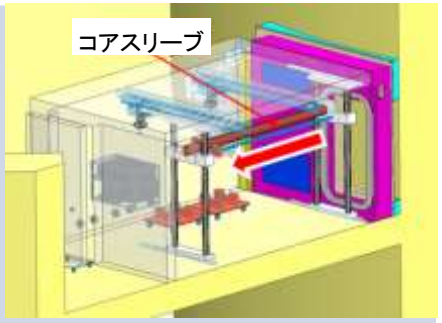
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

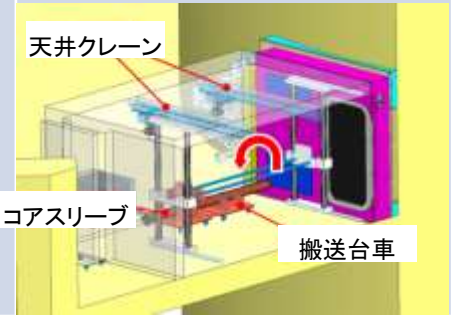
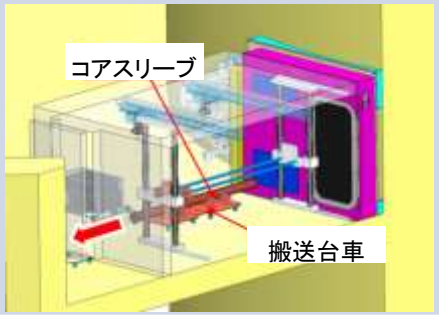
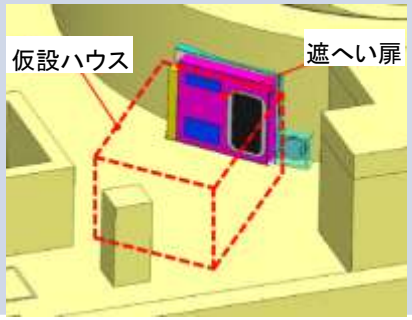
4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑥工法実現性の検討【気中−横アクセス工法（PLAN−B2）】(6/12)

燃料デブリ取り出し準備作業/原子炉建屋内作業/生体遮へい壁への開口（PLAN−B2）

作業ステップ	仮設ハウス及び生体遮へい壁開口装置の設置	コアスリーブの搬入・生体遮へい壁開口装置への搭載	生体遮へい壁の開口	コアスリーブの回収
ステップ図				

作業ステップ	コアスリーブ搬出のための搬送台車への搭載	コアスリーブの搬出	仮設ハウス及び生体遮へい壁開口装置の撤去	
ステップ図				

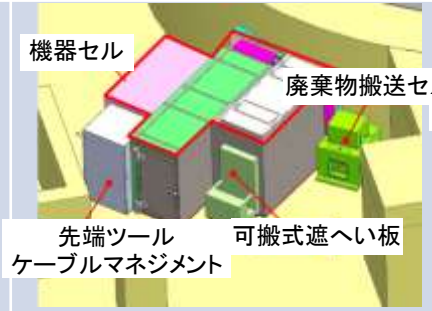
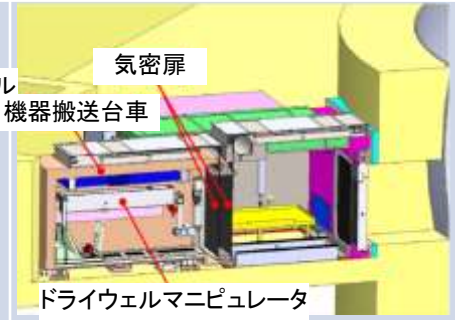
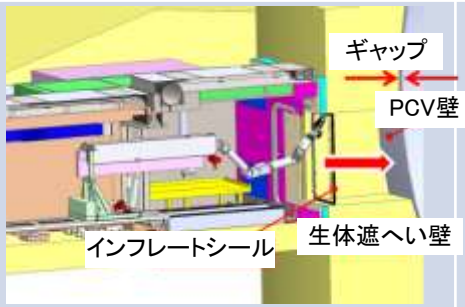
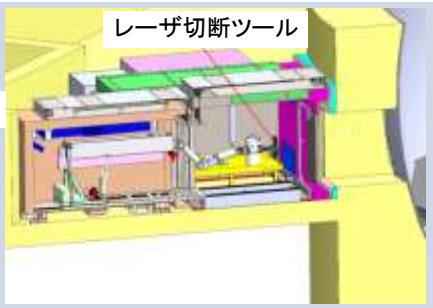
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

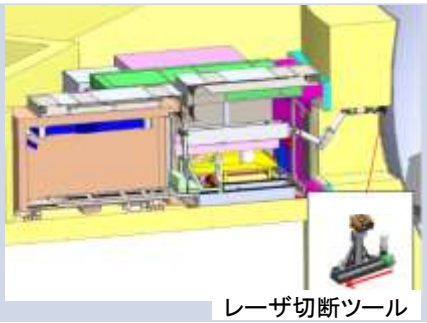
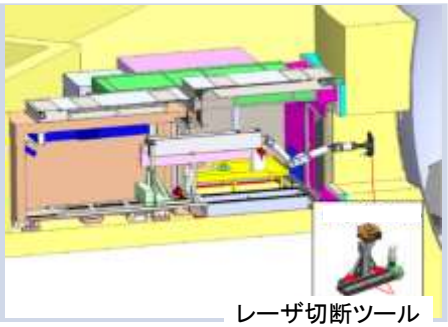
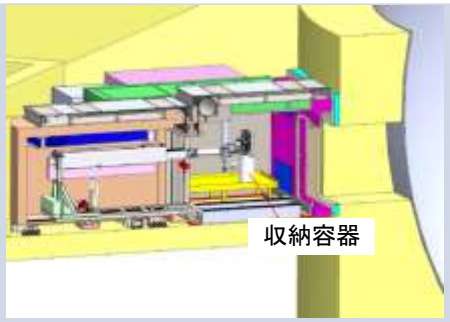
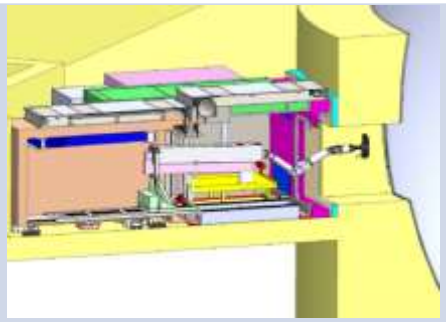
4. 本事業の実施状況

4. 2　燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑥工法実現性の検討【気中−横アクセス工法（PLAN−B2）】（7/12）

燃料デブリ取り出し準備作業/原子炉建屋内作業/PCVへの開口（PLAN−B2）

作業ステップ	機器セル・廃棄物搬送セル等の設置	ドライウェルマニピュレータの搬入	インフレートシールの設置	マニピュレータに切断ツールを装着
ステップ図				

作業ステップ	PCV壁を切断	マグネットで切断片を把持	切断片を遮へい容器へ収納	PCVの開口
ステップ図				

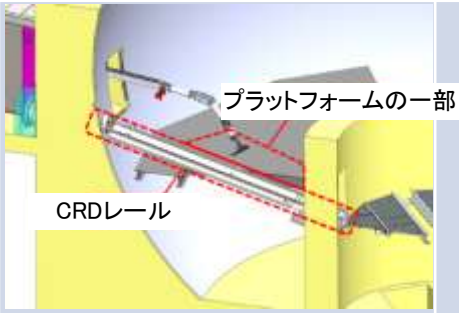
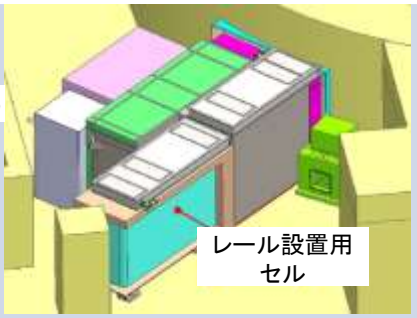
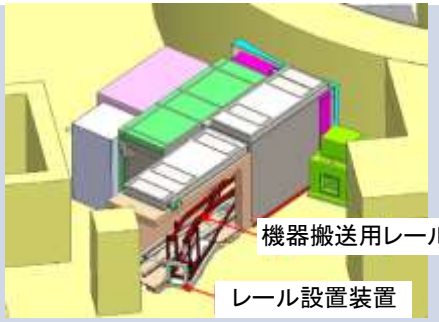
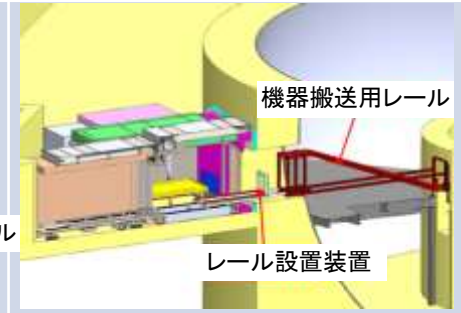
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

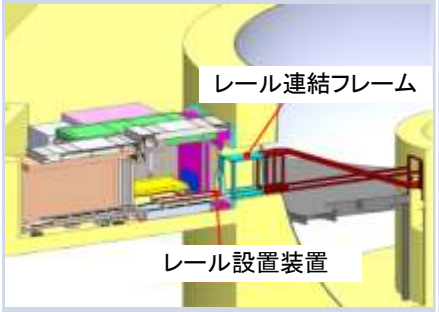
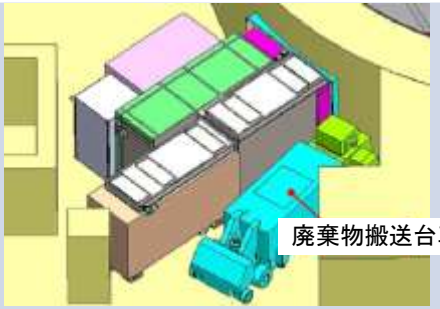
4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑥工法実現性の検討【気中−横アクセス工法（PLAN−B2）】(8/12)

燃料デブリ取り出し準備作業/PCV内干渉物撤去作業/搬送レールの設置（PLAN−B2）

作業ステップ	PCV内障害物の撤去	レール設置用セルの搬入	機器搬送用レール及びレール設置装置の搬入	機器搬送用レールの設置
ステップ図				

作業ステップ	レール連結フレームの搬入・設置	マニピュレータ搬送装置の搬入	機器搬送台車の設置	廃棄物搬送台車の設置
ステップ図				

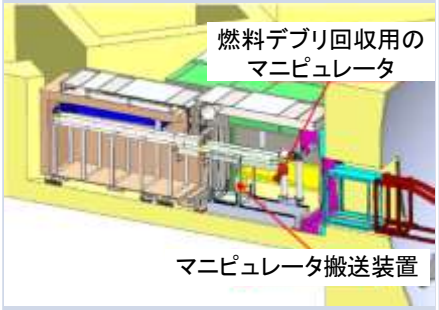
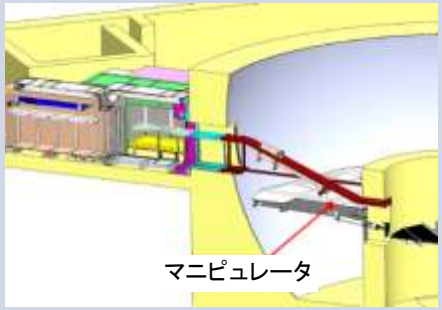
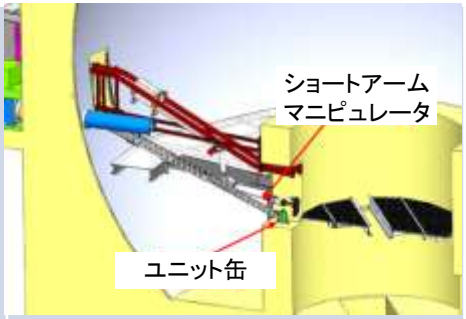
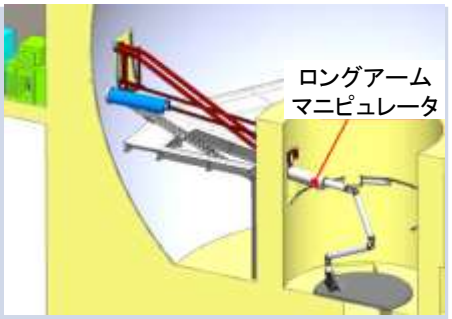
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

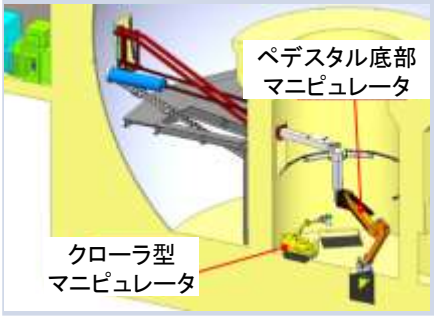
4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑥工法実現性の検討【気中−横アクセス工法（PLAN−B2）】（9/12）

燃料デブリ取り出し/ペデスタル内外構造物・燃料デブリの回収/燃料デブリの回収（PLAN−B2）

作業ステップ	燃料デブリ回収用マニピュレータの機器セルへの搬入1	燃料デブリ回収用マニピュレータの機器セルへの搬入2	RPVペデスタル内構造物・燃料デブリの回収①−1	RPVペデスタル内構造物・燃料デブリの回収①−2
ステップ図				

作業ステップ	RPVペデスタル内構造物・燃料デブリの回収②			
ステップ図				

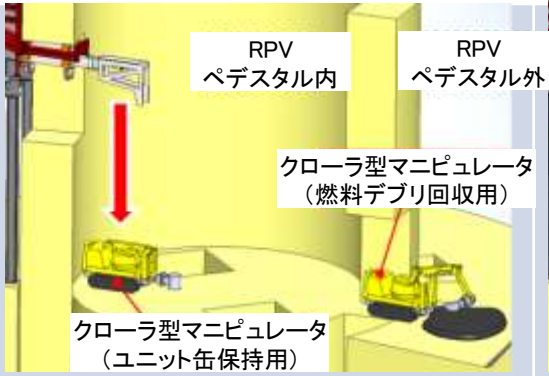
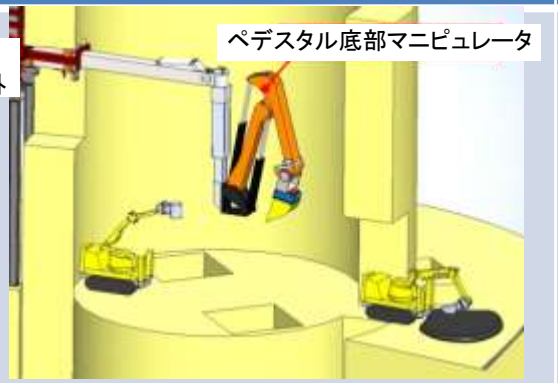
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

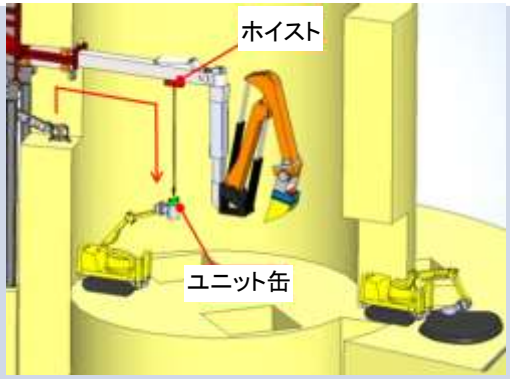
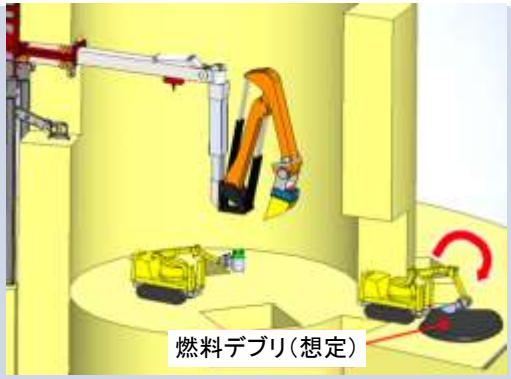
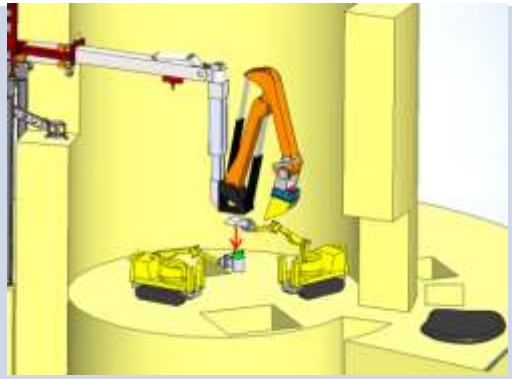
4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑥工法実現性の検討【気中−横アクセス工法（PLAN−B2）】（10/12）

燃料デブリ取り出し/ペデスタル内外構造物・燃料デブリの回収/燃料デブリの回収（PLAN−B2）

作業ステップ	クローラ型マニピュレータの搬入	ペデスタル底部マニピュレータの搬入	ユニット缶の搬入（1）
ステップ図			

作業ステップ	ユニット缶の搬入（2）	RPVペデスタル外の燃料デブリの回収	燃料デブリの収納
ステップ図			

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑥工法実現性の検討【気中−横アクセス工法（PLAN−B2）】(11/12)

気中−横アクセス工法（PLAN−B2） 課題とリスク抽出結果

詳細ステップ図から課題とリスクを抽出し、それぞれの対応方針について検討した。

No.	ステップの種類	主な共通課題	対応方針	備考
①	主要ステップ	a. 建屋などの健全性。(重量物に対する耐性、バウンダリ維持) b. 遮へい、ダスト飛散防止対策。 c. 遠隔自動化および作業監視方法。 d. ダスト飛散防止対策。 e. 各ステップで必要な開口工法 f. 機器の搬入設置方法 g. 気密性の確保	a. ペデスタル損傷を考慮した対応策の検討。他PJの現場調査結果などの反映。 b. 基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 c. 基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。3次元マッピング技術の開発など d. 負圧管理による水素濃度管理の検討具体化。RPV内部調査PJの検討結果の取り込み。 e. 開口工法の確立。 f. 事前調査により詳細な干渉物撤去計画を策定。 g. インフレートシールの開発。	
②	各主要ステップでの回収、収納、搬出、移送	a. 遠隔自動化および作業監視方法。 b. 収納缶の蓋閉め方法。 c. 密封運搬時の水素発生対策。 d. エリア間移動時の容器除染方法。 e. 燃料デブリ、炉内構造物取り出し期間の精緻化・短縮 f. マニピュレータの搬送手法	a. 基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 b. 収納缶PJとの連携強化。 c. 燃料デブリの水分除去検討および収納缶PJとの連携強化。 d. ハンドリングおよび除染方法の具体化。 e. 作業時間の仮定に根拠を持たせるために、モックアップにより作業時間の実力値を把握・改善 f. 搬送のための要素技術の開発。	

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 2 燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

⑥工法実現性の検討【気中−横アクセス工法（PLAN−B2）】（12/12）

気中−横アクセス工法（PLAN−B2） 課題とリスク抽出結果

詳細ステップ図から課題とリスクを抽出し、それぞれの対応方針について検討した。

No.	ステップの種類	主な共通課題	対応方針	備考
③	各主要ステップでの加工、把持、回収など	a. 加工時のダスト飛散防止対策(局所排風機などの設置)。 b. 中性子検出器との連携。 c. 遠隔自動化および作業監視方法。 d. デブリ性状の把握(未臨界維持、金属爆発防止)と加工ツールの選定。 e. 燃料デブリ、炉内構造物取り出し期間の精緻化・短縮 f. 冷却水に混入する粉状燃料デブリの回収方法。	a. 負圧管理システムの具体化と局所排風機などの検討。加工に関する基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 b. 臨界PJとの連携強化。 c. 基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 d. デブリ性状把握PJとの連携強化。 e. 作業時間の仮定に根拠を持たせるために、モックアップにより作業時間の実力値を把握・改善。 f. 回収技術の確立。	
④	保守点検	a. 故障に対する復旧方法。 b. 遠隔自動化および作業監視方法。 c. 非常回収方法。	a. メンテナンス、復旧に関する作業ステップの具体化および基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 b. 基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。 c. メンテナンス、復旧に関する作業ステップの具体化および基盤技術開発結果を取り込んだ検討具体化。	

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 3 工法実現までの計画策定

各工法の課題を整理した結果、共通課題としては、【遮へい】【汚染拡大防止】【遠隔作業】となった。
共通課題より開発計画を策定した。

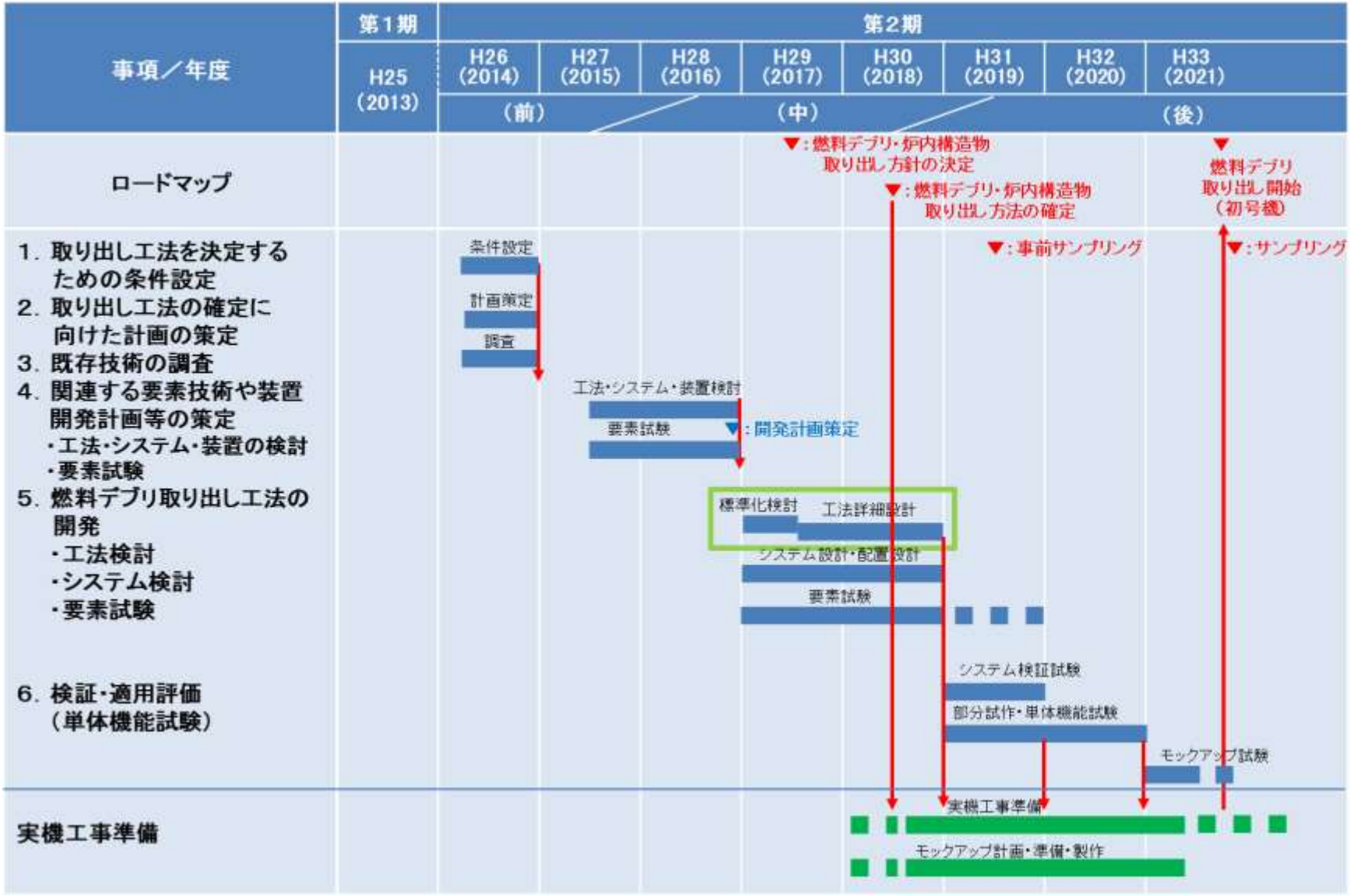
No.	共通課題	共通課題からの検討概要	開発計画(案)	備考
1	遮へい	検討した工法ステップごとに、どこで遮へいするのか、どの程度の遮へいが必要となるのかを要素試験もふまえ継続して検討していく必要がある。	1. 作業セルの開発 2. 上横組合せ工法の検討 3. 前年度実施の要素試験継続 4. 工法の標準化・共通化検討	
2	汚染拡大防止	検討した工法ステップごとに、どこで閉じ込めるのか、閉じ込め方法の実現性はあるのかということを確認するため、要素試験もふまえて継続して検討していく必要がある。	1. 上横組合せ工法の検討 2. 作業セルの開発 3. 粉状デブリの回収技術 4. 収納缶水分量調整技術の開発 5. 搬出物の表面汚染管理技術 6. 前年度実施の要素試験継続 7. 工法の標準化・共通化検討 8. S/Cへの汚染拡大防止技術の開発	
3	遠隔作業	燃料デブリ取り出し装置をはじめ、補助的な遠隔装置について要素試験もふまえて継続して検討していく必要がある。 また、メンテナンス性および非常回収についても検討する必要がある。	1. 構造物他の解体技術 2. 燃料デブリ切削技術 3. 遠隔作業技術 4. 搬出物の表面汚染管理技術 5. 前年度実施の要素試験継続 6. ペデスタル侵食時の対策検討	

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 3 工法実現までの計画策定

工法実現までの全体的な開発スケジュールを検討した。



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 4 システムの概念検討

①システムの安全性の検討（安全要求と基本的な機能要求）

「人と環境を放射線リスクから防護する」を達成するための安全要求及びシステムへの機能要求を整理

■ 燃料デブリ取り出しおける安全要求及び機能要求 (1/2)

安全要求	機能要求		目的
燃料デブリの崩壊熱を除去できること(崩壊熱除去)	通常時	注水による冷却	崩壊熱除去(かけ流しによる冷却)
		D/W水位の維持(水位制御機能)	崩壊熱除去（水没による冷却）
	異常時	注水による冷却	崩壊熱除去(かけ流しによる冷却)
		D/W水位の維持(水位制御機能)	崩壊熱除去（水没による冷却）
	監視機能	注水流量の監視	
		D/W水位・水温・気温の監視	
燃料デブリの未臨界を維持し、臨界を防止できること(未臨界維持)	通常時	中性子吸収材による臨界防止	臨界防止
	異常時	中性子吸収材投入による臨界の停止	臨界発生時の対処
	監視機能	中性子束の監視	
		D/Wガス中のKr/Xe濃度の監視	
		D/W水位監視	
気体系の放射性物質の漏えい防止できること(放射性物質の放出抑制)	通常時	1次バウンダリ内(PCV)の負圧維持	PCV内気体漏えい防止
		放射性物質の放出抑制	放出抑制
	異常時	1次バウンダリ内(PCV)の負圧維持	異常時PCV内気体漏えい防止
		2次バウンダリ内(R/B)の負圧維持	異常時建物内気体漏えい防止
		放射性物質の放出抑制	異常時の放出抑制
	監視機能	1次バウンダリ圧力の監視	
		2次バウンダリ圧力の監視	
		放出放射能の監視	

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 4 システムの概念検討

①システムの安全性の検討（安全要求と基本的な機能要求）

■ 燃料デブリ取り出しおける安全要求及び機能要求 (2/2)

安全要求	機能要求		目的
液体系の放射性物質の漏えい防止できること (放射性物質の放出抑制)	通常時	トーラス室と地下水の水位差の管理	環境漏えい防止
		PCVからトーラス室への漏えいの防止又は低減	トーラス室放射能濃度低減
		PCV水位の維持	破損個所からの漏えい防止
	異常時	トーラス室と地下水の水位差の管理	異常時の環境漏えい防止
		トーラス室滞留水を移送・貯留する機能	異常時の環境漏えい防止
	監視機能	トーラス室水位	
		地下水水位	
火災、爆発を防止できること (火災・爆発の防止)	通常時	窒素注入による不活性化	不活性化による燃焼防止
		掃気（インリーク）による可燃性ガスの希釈	掃気による燃焼防止
	異常時	窒素注入による不活性化	異常時の不活性化による燃焼防止
		掃気（インリーク）による可燃性ガスの希釈	異常時の掃気による燃焼防止
	監視機能	D/Wガス中の水素濃度の監視	
作業場所、操作場所の環境線量を低減できること (作業員の被ばく低減)	通常時	作業場所の環境線量低減 (配置等を考慮し具体化)	取り出し作業中の作業員の被ばく低減
	異常時	緊急時操作場所の環境線量低減 (配置等を考慮し具体化)	緊急時操作場所の運転員の被ばく低減
	監視機能	作業場所の線量率、放射能濃度等 (配置等を考慮し具体化)	

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

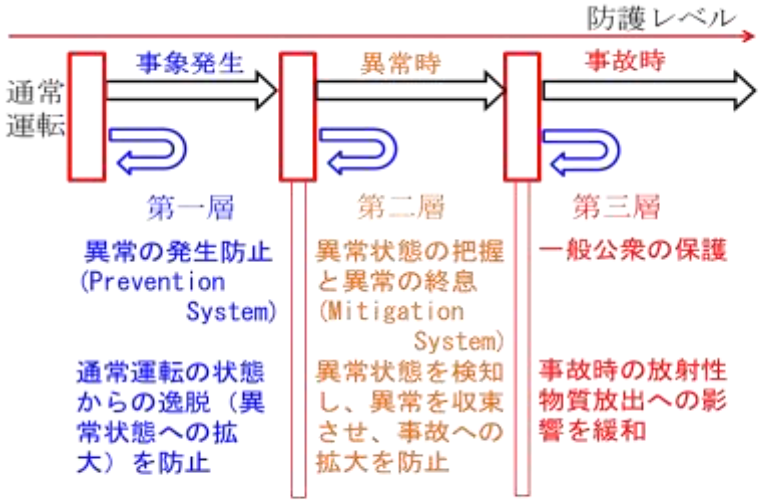
4. 4 システムの概念検討

①システムの安全性の検討（燃料デブリ取り出し時の深層防護の検討）

■ デブリ取り出し時の安全の目的を達成するための防護レベルを設定

⇒ 安全機能を構築するのに必要な発生防止、影響緩和、事故の一般公衆防護の3層で考え、
各々の防護のレベルを設定し安全機能別に整理した

特定原子力施設での深層防護の考え方



○ 深層防護の設定例（気体系漏えい防止機能）

項目		第一層（異常の発生防止）	第二層（異常状態の把握と異常の終息）	第三層（一般公衆の保護）
気体系漏えい防止	状態と層の役割	負圧監視系で監視し、空調系により負圧管理によりPCVに動的機器によるバウンダリを形成、デブリ取り出し時に発生する放射性ダスト等は浄化設備を介して系外に放出し、有意な放射性物質放出を防止する。	負圧監視系で負圧維持能力が低下した場合は、取り出し作業を停止させ、換気系により速やかにPCV内雰囲気を浄化しリーク箇所を特定・修復。負圧監視系で検知できないPCVからのリークが発生した場合は、建物内のエリアモニタ、ガスサンプリングで検知し取り出し作業を停止させ、リーク箇所を特定・修復。PCVリーク発生時に建屋内にリークした放射性物質は2次バウンダリの浄化設備で処理。	第二層までの設備で終息できず、有意な放射性物資の放出に発展した場合、建物内に可搬式フィルタユニットを設置して、環境への放出量を最小化する。
	設備	・負圧監視系 ・空調系による負圧管理 ・空調系のフィルタ	・負圧監視系 ・取り出し停止 ・建物内のエリアモニタ・ガスサンプリング ・2次バウンダリと建屋換気空調系	・可搬式フィルタ・ファンユニット

深層防護の検討結果の例

・第一層：動的機器、状態を監視する系統については単一故障の対策として多重化又は多様化を要求
・第二層：動的機器及び監視系に加え静的機器についても多重化又は多様化を要求
（単一故障を想定した場合の安全機能の維持のため）
・第三層：第二層の機能が失敗した場合でも可搬式設備等を用いて一般公衆の影響を緩和
対応例①：配管に接続部を設け、可搬式のポンプを接続できるようにする。
対応例②：建物内に可搬式フィルタ装置を用意

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 4 システムの概念検討

①システムの安全性の検討（被ばく評価の計算）

主要システムの成立性の確認を目的とした予備検討として被ばく評価を実施。

■ 平常時敷地境界被ばく線量

PCV及びR/Bの閉じ込め機能の不確実さも考慮して、平常時の被ばく線量を計算

ケース	1次バウンダリ	2次バウンダリ	漏えい検知	年間線量
ケース1	負圧管理(漏えいなし)	―	―	8.4μSv/y
ケース1-1	1%漏えい	バウンダリなし	漏えい検知有	50μSv/y
ケース1-2	1%漏えい	1%漏えい	漏えい検知有	8.9μSv/y
ケース2	常時1%漏えい	バウンダリなし	―	8400μSv/y
ケース3	常時1%漏えい	常時1%漏えい	―	100μSv/y
ケース4	常時1%漏えい	常時10%漏えい	―	860μSv/y
ケース5	常時0.1%漏えい	常時10%漏えい	―	93μSv/y
平常時の目標線量				100μSv/y (0.1mSv/y)

PCVの漏えいがない場合、既存技術の捕集対策を行えば、平常時の目標線量を満足できる見込み

PCV漏えいがある場合、早期の漏えい検知及び取り出し停止などの対応で、平常時目標線量の範囲で対応できる可能性がある。

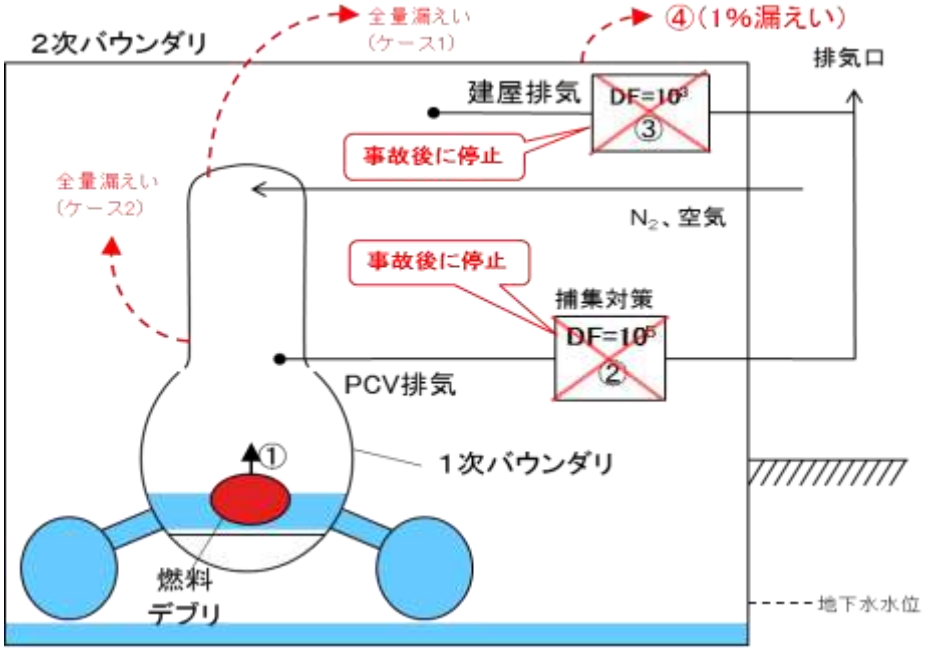
平常時被ばく評価の検討結果

- 漏えい検知及び被ばく線量低減の観点から、2次バウンダリの構築が必要になると考えられる。
- 平常時被ばく評価では、α核種が被ばく量の約9割を占めており、α核種の飛散防止対策が重要
- 1次バウンダリと2次バウンダリの漏えい率のバランスで目標線量達成が決まり、1次の漏えい率が高いと建物内の汚染が高くなる(メンテナンス時の作業従事者被ばくが厳しくなる)ため、1次バウンダリの漏えい率を極力下げることが望ましい。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況
4. 4 システムの概念検討
①システムの安全性の検討（被ばく評価の計算）

■ 事故時敷地境界被ばく線量 （PCVの負圧維持に失敗する事象（気中熱的加工を想定））



計算ケース	ケース1	ケース2
PCV気相部の漏えい	全量が環境に漏えい	全量が建屋に漏えい
2次バウンダリ（R/B）による閉じ込め	なし	あり
2次バウンダリ（R/B）からの漏えい割合	－	1%
敷地境界被ばく評価結果(mSv)	4.7E+01	5.2E-01

気相部の全量放出の場合、事故時の判断基準（5mSv）を超過
30分以内に検知・工程停止を行えば、5mSv以下の見込み

事故時（PCVの負圧維持に失敗）被ばく評価の検討結果

・2次バウンダリの閉じ込め機能の確保が被ばく低減上重要
・ケース1（全量が環境放出）では、5mSvを超過する時間余裕は、約30分（ダクトの換気風量：2000m³/h）
⇒電源系も含めてPCV換気系の多重化を行い、何らかの要因で負圧維持に失敗しても、
早期に予備系への切替を行うことが可能なように設備設計上の対策を行うことが必要

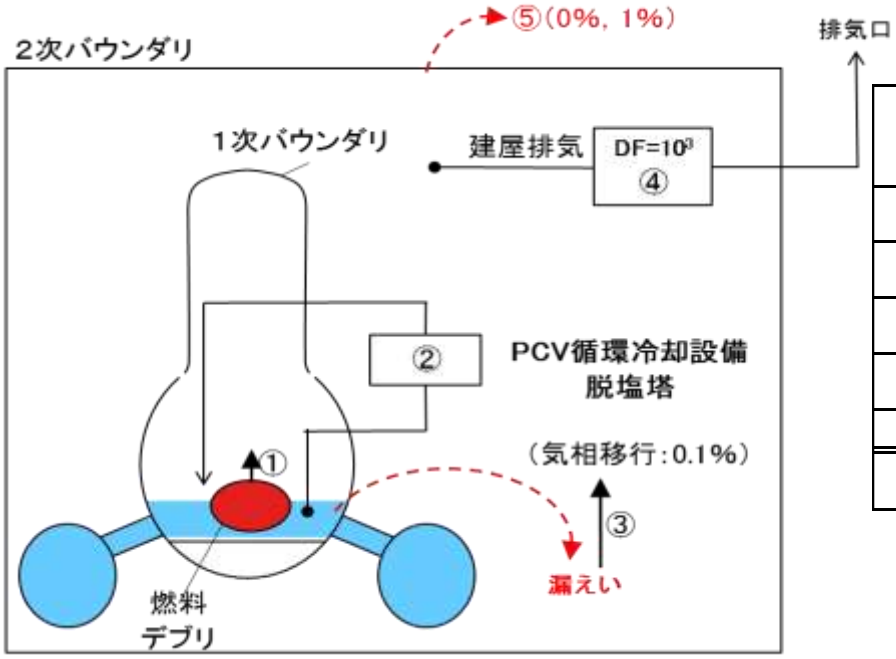
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 4 システムの概念検討

①システムの安全性の検討（被ばく評価の計算）

■ 事故時敷地境界被ばく線量 （PCV内の循環冷却水が建屋内に漏えい事象（水中機械的加工を想定））



計算ケース	ケース3	ケース4	ケース5
PCV循環冷却水 漏えい量[m^3]	1.0	←	←
PCV循環冷却水 浄化の有無	なし	あり	←
漏えい液体の気相移行割合[%]	0.1%	←	←
2次バウンダリ(R/B)による閉じ込め	なし	なし	あり
2次バウンダリ(R/B)からの漏えい割合	－	－	1%
敷地境界被ばく評価結果(mSv)	2.5E-02	6.3E-03	6.9E-05

少量漏えい（ 1m^3）であえば、
約0.03mSv程度の被ばく線量

事故時（ PCV内の循環冷却水が建屋内に漏えい）被ばく評価の検討結果

・ケース3（浄化なし・2次バウンダリなし）で、判断基準（5mSv）を超過する漏えい量は、200m^3程度であり、
約10時間の時間余裕がある（循環ポンプの流量を20m^3/hとする場合）

・浄化を考慮し、2次バウンダリの閉じ込めを考慮する場合（1%漏えい時）は、循環冷却水の全量が漏えいした場合でも判断基準（5mSv）を超過しない
⇒被ばく低減対策として、浄化及び2次バウンダリの構築が重要

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況
4. 4　システムの概念検討
①システムの安全性の検討（安全機能維持に対する課題の整理）

■安全機能維持に対する課題の整理結果 （1/2）

項目	課題	対応
気中飛散率・水中移行率	現状はデータがないため、加工時の飛散率は廃止措置環境影響評価ハンドブックのデータを用いており、飛散率は全核種で一律となっている。このため、加工方法ごとに気中への飛散率、水中への移行率のデータ取得が課題となる。	新規データ取得による精緻化
粒径分布	粒子フィルタ等の被ばく低減設備の効果は粒径分布に依存するため、粒径分布データ取得が課題。デブリの加工方法で粒径分布に影響がある場合はこれも考慮する必要がある。	新規データ取得による精緻化
フィルタ等の除去効率	HEPAフィルタ直列2段を想定した。フィルタの交換頻度等の成立性を今後確認し、交換頻度が多い場合は、何らかの対策設備の検討が課題となる。	環境放出の低減に関する設備対応検討
PCV内放射能濃度の制限	α核種等の影響をさらに低減する場合は、PCV内放射能濃度の制限も選択肢の一つとなる。濃度制限する場合は、制限核種の濃度を監視する設備の検討が課題となる。また、被ばく影響の大きいα核種等の放射能濃度の制限値を設ける場合は、その設定ロジックの検討が必要となる。	運転管理対応及び必要な設備の検討
PCV漏えい発生時の検知	PCV漏えい発生時の検知方法については、検知時間の要求、計測による漏えいを検知方法(放射線を計測するのか、放射能濃度を計測するのか)、高線量区画に設置する場合はバックグラント対策等、検知の具体化が課題となる。	運転管理対応及び必要な設備の検討

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況
4. 4 システムの概念検討
①システムの安全性の検討（安全機能維持に対する課題の整理）

■安全機能維持に対する課題の整理結果 （2/2）

項目	課題	対応
外部事象	外的事象の安全設計への考慮の具体化が課題であり、事故事象選定の見直しを行うなど設備設計への取り込みを考慮する。	ハザード解析による必要な設備の検討
2次バウンダリの頑健性	2次バウンダリの負圧管理による被ばく低減効果は重要であり、2次バウンダリがどの程度の頑健性（耐震性）を持つかが課題となる。	新規データ取得による精緻化
設備信頼性	既存原子力施設は設計等で十分信頼性が向上しているが、廃炉関連設備を含めた信頼性の確保が課題となる。	環境放出の低減に関する設備対応検討
設備の点検管理	デブリ取り出しでは、作業従事者の被ばく（高線量）などの理由で点検管理が困難な箇所も想定され、点検管理も事故事象選定時の重要な要素となるため、課題である。	運転管理対応及び必要な設備の検討
電源等の構成	2系統から外部電源を供給、非常用発電設備、蓄電池（全交流動力電源喪失時に一定の時間、安全機能を維持）、電源車（可搬設備）など、電源喪失のリスクを低減する措置の検討が課題となる。	運転管理対応及び必要な設備の検討

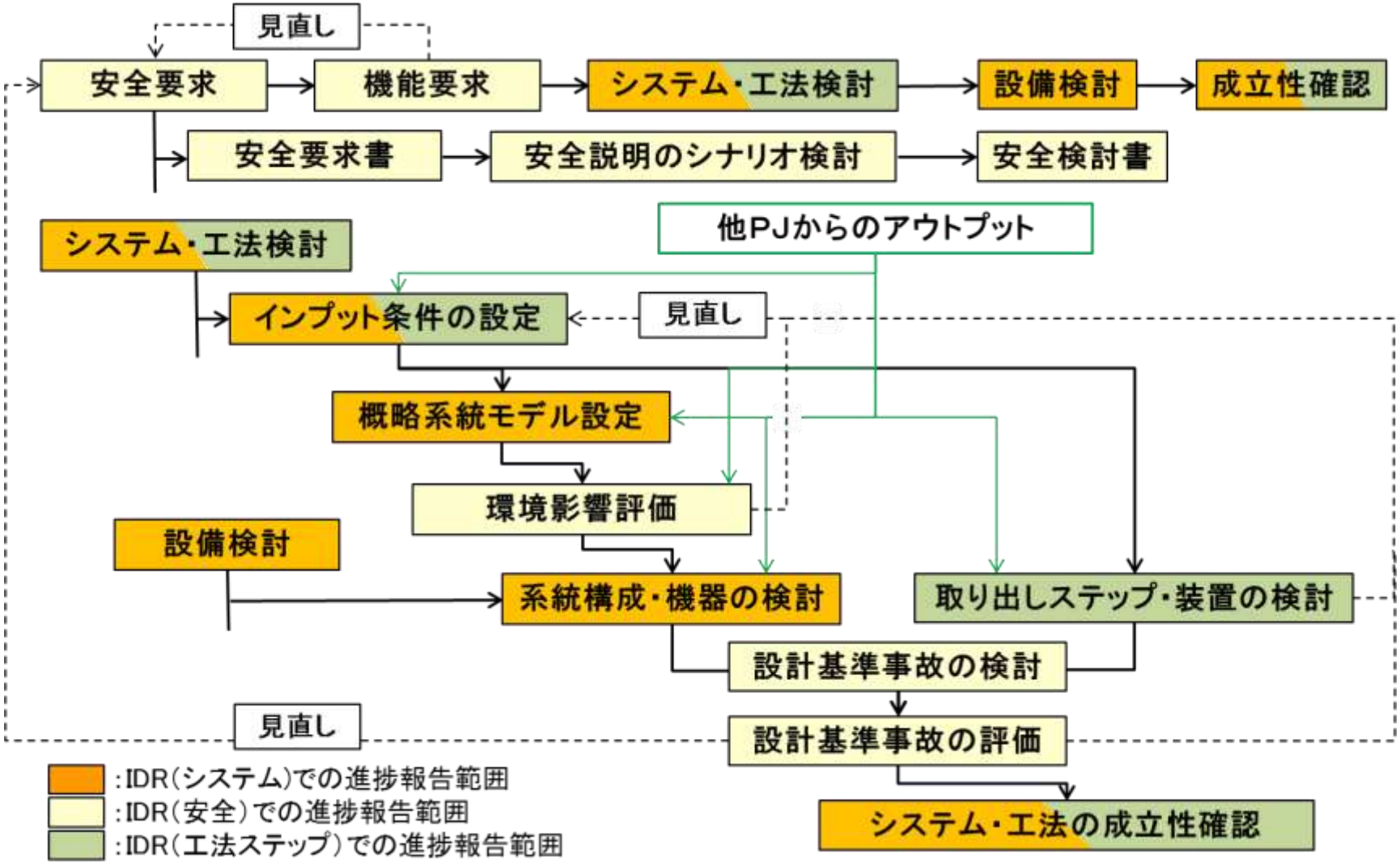
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 4 システムの概念検討

② システムの実現可能性の検討（検討方法）

安全要求を達成するための機能要求に基づき、システムを検討。



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

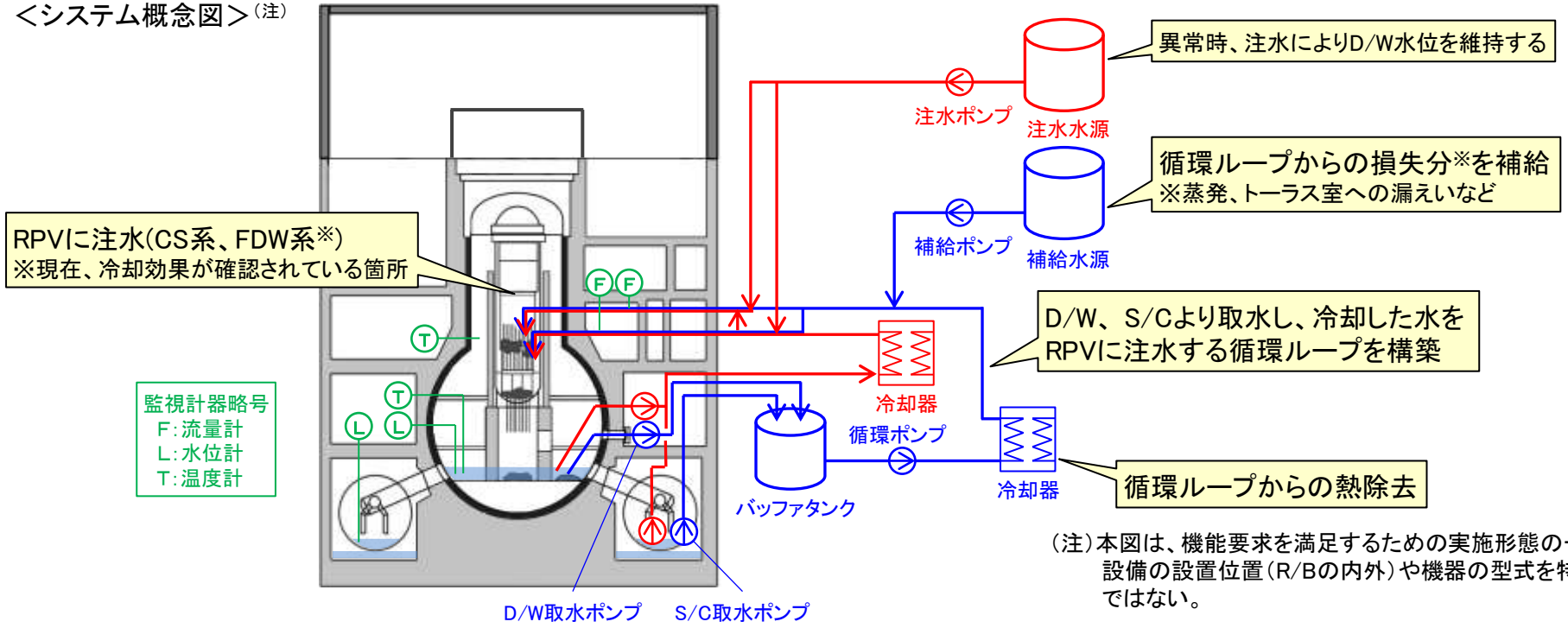
4. 4 システムの概念検討

② システムの実現可能性の検討（機能要求とシステム概略構成）

機能要求を達成するためのシステム概略構成を、安全要求／機能要求毎に検討。（下図は、一例）

安全要求	機能要求		
A：燃料デブリの崩壊熱を除去できること (崩壊熱除去)	通常時	A-1	注水(かけ流し)による冷却
		A-2	D/W水位の維持(水位制御機能)
	異常時	A-3	注水(かけ流し)による冷却
		A-4	D/W水位の維持(水位維持機能)
	監視機能	A-5	注水流量の監視
		A-6	D/W水位・水温・気温の監視

＜システム概念図＞（注）



（注）本図は、機能要求を満足するための実施形態の一例であり、設備の設置位置（R/Bの内外）や機器の型式を特定するものではない。

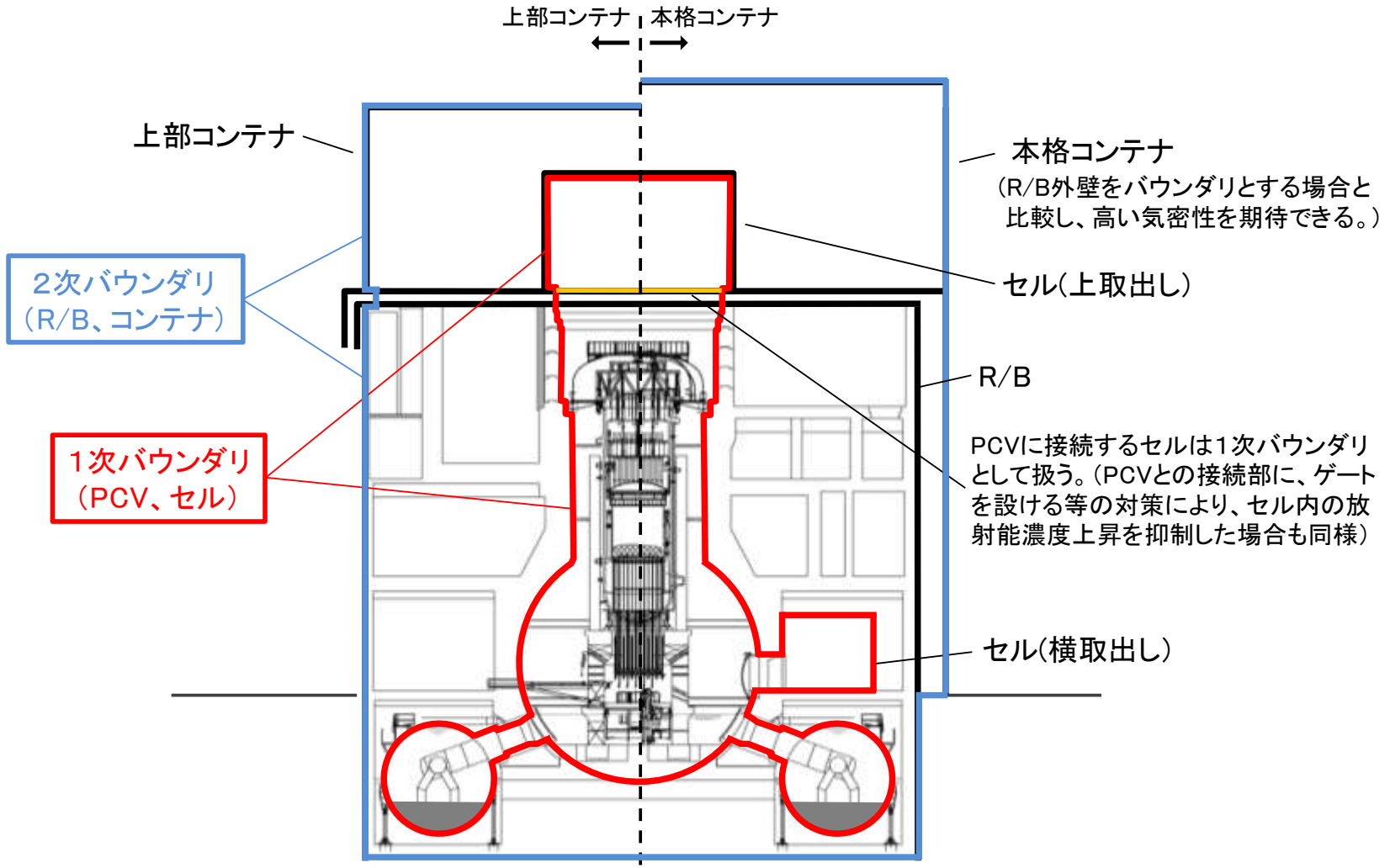
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 4 システムの概念検討

② システムの実現可能性の検討（検討の前提条件）

関連PRJと連携し、システム検討条件を設定。（一例として、バウンダリの確保に関する条件を記載）



図．燃料デブリ取り出し時のバウンダリ概念図

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

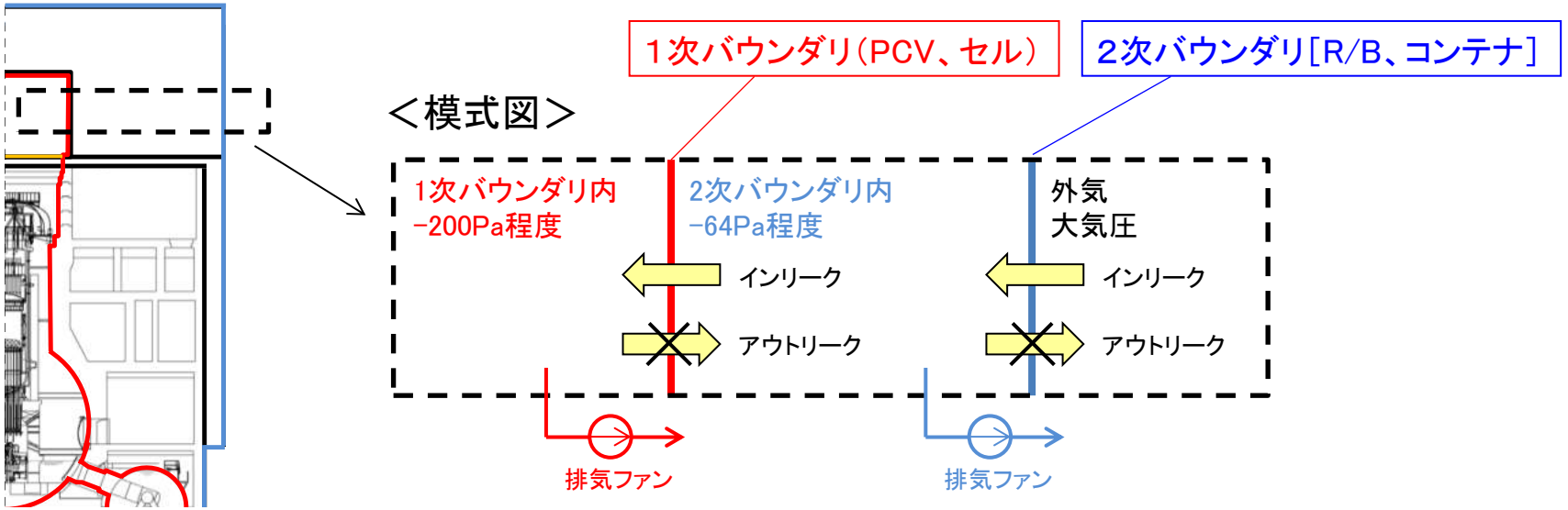
4. 4 システムの概念検討

② システムの実現可能性の検討（検討の前提条件）

［気相のバウンダリ確保］

・動的機器による圧力差（負圧）を管理することにより、放射性物質の放出抑制を達成する方針。

対象		機能	達成条件	必要設備（動的機器）
気相	1次バウンダリ（PCV、セル）	1次バウンダリから2次バウンダリへの漏えいを防止	1次バウンダリを2次バウンダリより負圧に維持	排気ファン（1次バウンダリ）
	2次バウンダリ（R/B、コンテナ）	2次バウンダリから環境（外気）への漏えいを防止	2次バウンダリを外気より負圧に維持	排気ファン（2次バウンダリ）



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

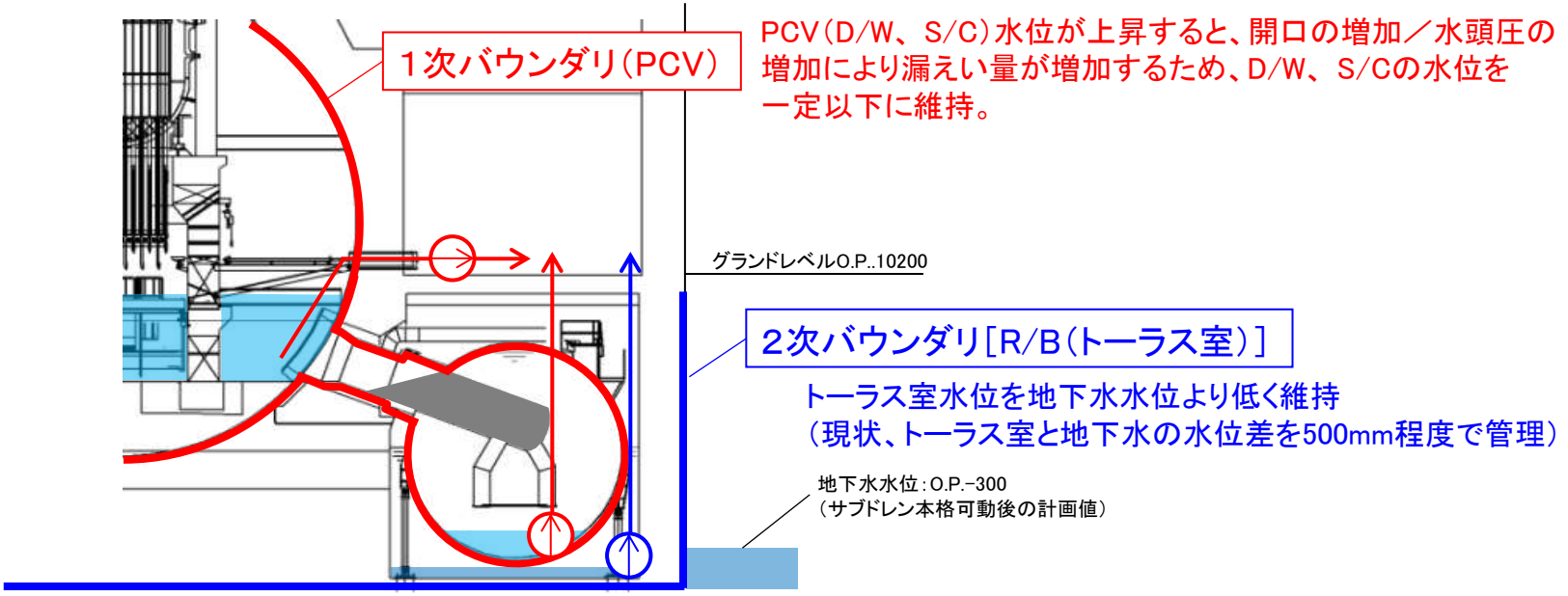
4. 4 システムの概念検討

② システムの実現可能性の検討（検討の前提条件）

［液相のバウンダリ確保］

・動的機器による建屋内外の水位差を管理することにより、放射性物質の放出抑制を達成する方針。

対象		機能	達成条件	必要設備（動的機器）
液相	1次バウンダリ（PCV）	1次バウンダリから2次バウンダリへの漏えいを抑制	D/W、S/Cの水位を一定以下に維持し、トーラス室への漏えい量を抑制する。	D/W、S/C 取水ポンプ
	2次バウンダリ［R/B(トーラス室)］	2次バウンダリから環境（地下）への漏えいを防止	トーラス室水位を地下水水位より低く維持	トーラス室 取水ポンプ



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

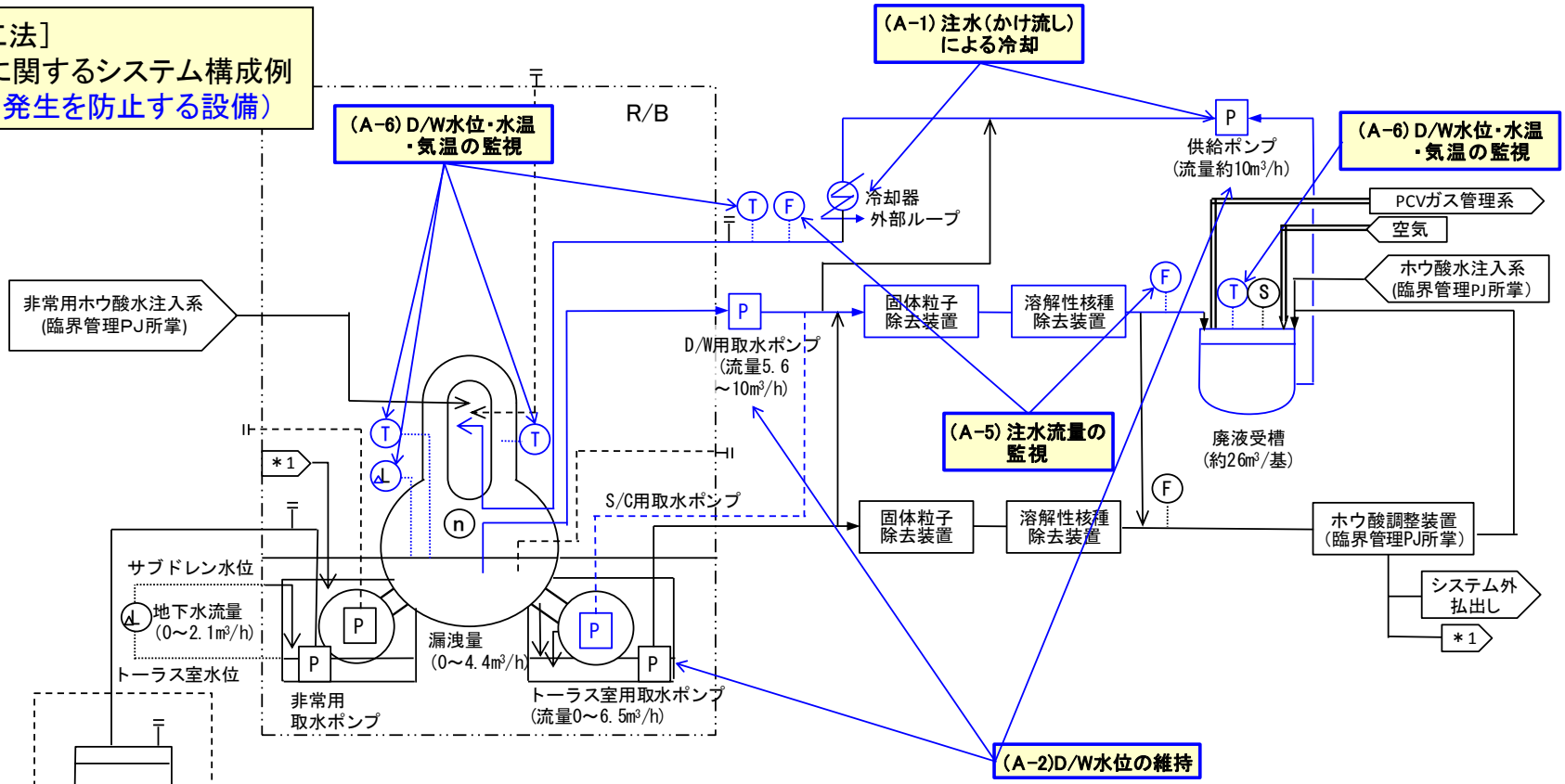
4. 本事業の実施状況

4. 4 システムの概念検討

② システムの実現可能性の検討（システム概念検討）

機能要求の達成および安全側での深層防護に関する議論を踏まえた、システム構成を検討。
（一例として、気中−横取り出し工法における、崩壊熱の除去に関する構成例を記載）

［気中ー横アクセス工法］
（A）崩壊熱の除去に関するシステム構成例
第一層（異常の発生を防止する設備）



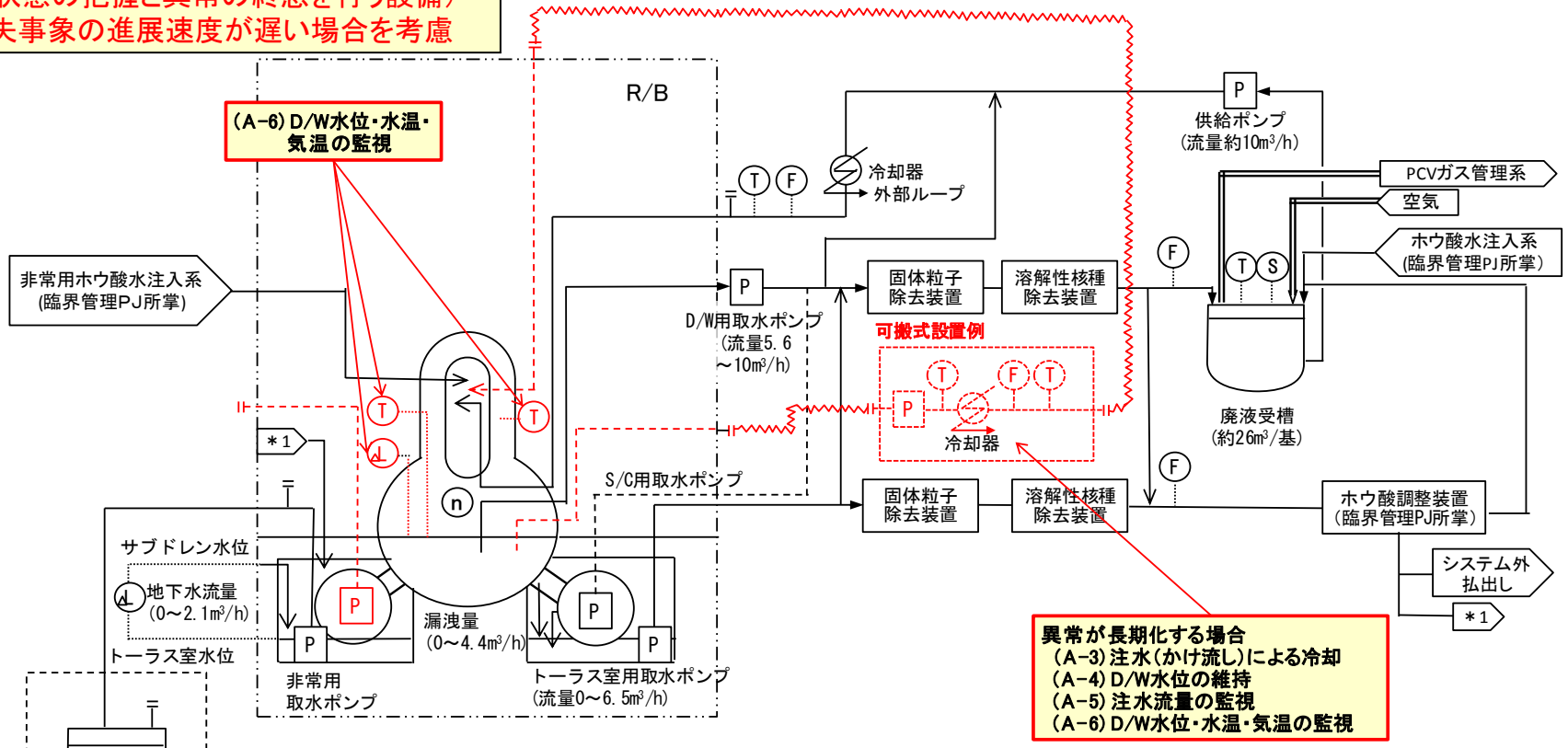
監視計器略号
P:ポンプ
F:流量計
ΔL:水位計
T:温度計
n:臨界近接監視
S:サンプリング

特記事項
・動的機器、計器類は多重化する（図では省略）。
・図上は機器の設置場所を補助建屋上に表示。

概要	かけ流しとD/W水位維持による崩壊熱除去機能を確保するため，D/W用取水ポンプ(and/or S/C取水用ポンプ)でPCV滞留水を取水し，計測等のため廃液受槽に移送した後，供給ポンプで冷却器に送り，冷却器で所定の温度まで下げた後，RPVに再注入する。

4. 本事業の実施状況
4. 4 システムの概念検討
② システムの実現可能性の検討（システム概念検討）

［気中－横アクセス工法］
（A）崩壊熱の除去に関するシステム構成例
第二層（異常状態の把握と異常の終息を行う設備）
冷却機能喪失事象の進展速度が遅い場合を考慮



監視計器略号
P：ポンプ
F：流量計
ΔL：水位計
T：温度計
n：臨界近接監視
S：サンプリング

特記事項
・動的機器、計器類は多重化する（図では省略）。
・図上は機器の設置場所を補助建屋上に表示。

概要	D/W水位，水温，気温および流量について異常を検知できるよう計器系を設ける。 機能損失時には，時間余裕の範囲内で異常個所の特定・修復を行う。 機能損失が長期化する場合には，緊急時接続フランジに可搬型設備をつなぎ込み，代替冷却を行う。

4. 本事業の実施状況

4. 4 システムの概念検討

② システムの実現可能性の検討（システム概念検討）

システム概念検討は3工法について行い、システム面での相対比較を行った。

【凡例】
◎：設備容量が「小」または信頼性が「高」
○：設備容量／信頼性が「同程度」
△：設備容量が「大」または信頼性が「低」

◆総合比較（気中－横アクセスを基準とした相対比較）

項目			工法		
			気中－横アクセス	気中－上アクセス	冠水－上アクセス
安全要求	A	崩壊熱除去	ベース	○	○～◎ ・デブリが水没しているため、注水が停止した時の時間的余裕が増加
	B	未臨界維持	ベース	○	△ ・ホウ酸供給設備が大型化
	C	放射性物質の放出抑制［気体系］	ベース ・条件によっては排ガス系統に洗浄塔が必要なる可能性あり	○ ・条件によっては排ガス系統に洗浄塔が必要なる可能性あり	○～◎ ・D/W水位より高い箇所のリークが少なければ、1次バウンダリの必要排気流量が低下
	D	放射性物質の放出抑制［水系］	ベース	○	△ ・漏えい対策が大幅増加（非常用バッファタンク、地上階）
	E	火災・爆発の防止	ベース ・RPVの不活性化対策は必要	○ ・RPVの水素滞留リスクが低下	○ ・RPVの水素滞留リスクが低下 ・PCV接続配管の水素滞留対策は追加
	F	作業員の被ばく低減	※作業員の被ばく低減対策については、配置等を考慮し具体化する。		
技術的な課題※	前提条件に関する課題		・D/W水位低下時にPCV開口面積が増加する可能性あり（1次バウンダリの必要排気量増加）		・地上階のPCV遠隔補修技術
	開発項目		・気中工法におけるPCV腐食抑制方法		・非常用バッファタンク（大容量）

※システム仕様に関わる項目（3工法共通の課題を除く）

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 4 システムの概念検討

③ システム検討計画策定（主要システムの課題抽出）

主要システムを構築するための特に大きな課題として、燃料デブリに由来する特性・設計条件が不透明であること、および現場施工に関するものが挙がられる。

- 取り出し実現のためのシステム上の主な技術面での課題は以下。
  - (a) 水系の設備（粒子除去装置／溶解性核種除去設備）の設計条件の確認／設定
    - 燃料デブリに由来する設計条件（粒径／比重、化学形態／溶解度）
    - 潜在的なリスク低減の観点での目標条件（放射能濃度制限値）
  - (b) 気体系の設備（前処理設備／粒子除去設備）の設計条件の確認／設定
    - 燃料デブリに由来する設計条件（粒径／比重）
    - 潜在的なリスク低減の観点での目標条件（PCV内／セル内の濃度制限値）
- 現場施工に関する全工法共通の主な課題は以下。
  - (a) 配置スペースの確保（干渉物撤去/除染/増設建屋の設置）
  - (b) バウンダリの構築技術（PCV下部補修、2次バウンダリ補修）
  - (c) 他PJとのエリア調整（サンプリング、PCV/RPV内部調査）

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 4 システムの概念検討

③ システム検討計画策定（配置検討の課題抽出）

システムの配置に関しては、配置スペースを確保するための対策と、具体的な配置設計を並行して進めていく必要がある。

(a)R/B内機器配置の実現性
干渉物撤去や線量低減による配置スペースの確保など、各号機の現場状況を踏まえた検討が必要。（本年度は、干渉物撤去や線量低減は前提条件として検討）
また、設計図書ベースの内容についても、床荷重の成立性確認などを進める必要がある。

(b) 設備設置候補場所
R/B内に配置できない設備について、補助建屋などの検討が必要。

(c) 既設建屋の利用
R/B以外の既設建屋（Rw/Bなど）の利用についても検討が必要。

(d) 分散配置における建屋間接続
システムが複数建屋に跨ることによって生じる接続配置や接続構造などの課題について、具体的な検討が必要。

(e) 耐震性考慮レベル
各設備への耐震要求レベルおよび建屋の耐震性を踏まえた検討が必要である。

(f) 配管ルート等の成立性確認
特に液体系システムの配管は、高い濃度の放射性物質を内包する可能性があるため、遮へい・漏えい対策なども合わせて検討する必要がある。

(g) 他PJとの配置調整
特にPCV周りのエリアは、PCV内部調査、燃料デブリサンプリング、その他PCV内の状態監視等でも使用される見通しである調整が必要。

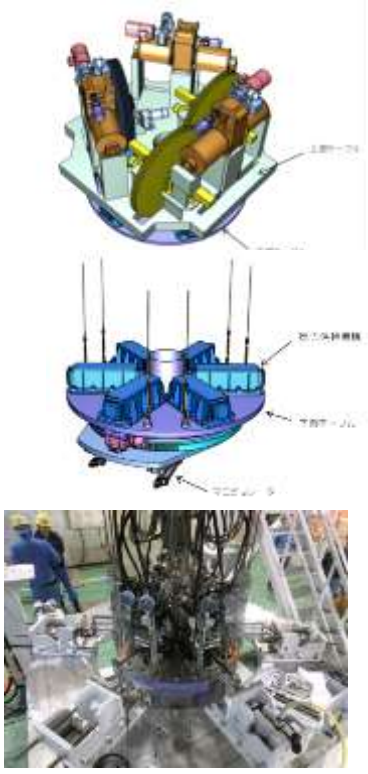
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

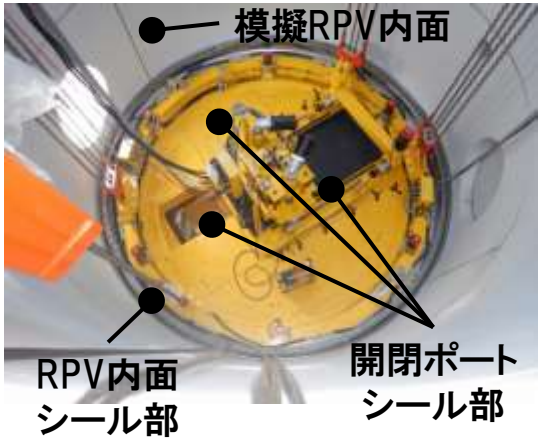
4. 5 取り出し装置の設計検討

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工法に対して、燃料デブリ取り出し装置の概念設計を行った。

耐放射線性、メンテナンス性向上対策および工事効率向上のための検討を実施し、開発計画を策定した。なお、個別の詳細内容については、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）」の最終報告に記載する。



冠水−上アクセス工法
取り出し装置



気中−上アクセス工法
取り出し装置

気中−横アクセス工法
取り出し装置

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

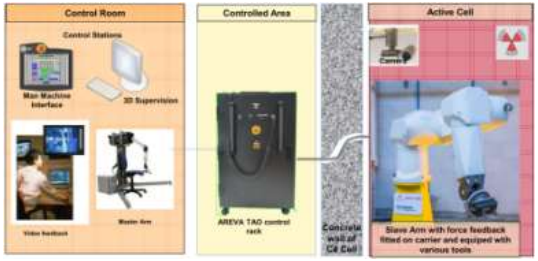
4. 本事業の実施状況

4. 6 燃料デブリ・炉内構造物取り出しシステム・装置の開発計画策定

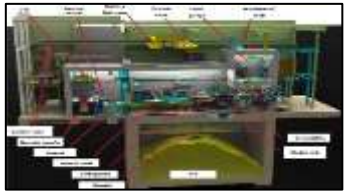
①既存技術の調査・検討(1/3)

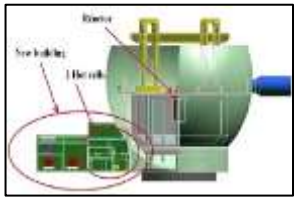
デブリ取り出しに関するホットセル、遠隔操作技術の調査の一環として仏国AREVA社を訪問した。
調査結果を工法やシステムに活用していく。

- 訪問日程：平成28年4月18日 ～ 21日
- 訪問場所：仏国AREVA社
- 調査項目
  - ホットセルについて
  - 重量機器のメンテナンスについて
  - 遠隔操作技術について
  - VR（Virtual Reality）技術について



遠隔操作システムの例　（AREVA社提供）





ホットセルの例　（AREVA社提供）

VRシステムの例　（AREVA社提供）

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 6 燃料デブリ・炉内構造物取り出しシステム・装置の開発計画策定

①既存技術の調査・検討(2/3)

破損燃料等の取り扱いに関する調査の一環として英国Sellafield社に訪問調査を行った。調査結果を工法やシステムに活用していく。

- 調査日程：平成28年5月25日 ～ 27日
- 訪問場所：英国Sellafield社

－調査項目－

- α核種の取り扱いについて
- 破損燃料の取り扱いについて
- スラッジの取り扱い技術について
- 水素管理技術について
- 遠隔操作技術について
- 除染技術について
- 臨界管理技術について
- ホットセル、放射性廃棄物処理施設見学

Sellafield (Central) Laboratory

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 6 燃料デブリ・炉内構造物取り出しシステム・装置の開発計画策定

①既存技術の調査・検討(3/3)

MCCI調査の一環として米国ANLに訪問調査を行った。調査結果を工法や加工技術などに活用していく。

- 調査日程：平成28年9月26日 ～ 27日
- 訪問場所：米国ANL

－調査項目－

- MCCIの特性
- MELCORシミュレーション結果
- MCCI試験試料の見学

MCCI試験 CCI-2試料

MCCI試験 CCI-2試料

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 6　燃料デブリ・炉内構造物取り出しシステム・装置の開発計画策定

②課題とリスク、開発計画の策定（1/6）

課題とリスクから開発計画を策定し、整理した。引き続き検討が必要だと考える開発計画について以下に示す。

（1）工法検討

a. 工法の標準化・共通化検討【要素技術検討に向けた事前検討】

- 2016年度までの成果を元に取り出し工法の閉じ込め、遮へい等の工法の標準化・共通化検討を実施する。
  - 上アクセス工法の統合。
  - 横アクセス工法の集約。

b. ペデスタル侵食時の対策検討【共通的な要素技術】

- 燃料デブリによるペデスタルの侵食が大きい場合を想定した、補修工法の概念検討、PCV内部調査結果を受けた詳細検討を実施する。

（2）工法検討に関する基盤技術開発(参考)

a. 燃料デブリ切削技術【共通的な要素技術】

・レーザ、ボーリング、チゼル、WJなどの継続、追加技術開発を行い、デブリ切削・回収の効率向上を図る。

・加工技術の加工速度向上を図る。

・遠隔保守方法の検討と、遠隔保守の実現性検証を実施する。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 6 燃料デブリ・炉内構造物取り出しシステム・装置の開発計画策定

②課題とリスク、開発計画の策定 (2/6)

（2）工法検討に関する基盤技術開発(続き)（参考）

b. 遠隔作業技術【標準化・共通化検討後実施】

・装置設定、切断・回収等の作業に対応するアームと既存技術を組み合わせた実機向け装置の開発を実施する。

・各種作業（PCV壁開口、干渉物撤去等）に合わせた遠隔装置の設計（サイズ等）最適化検討を実施する。

・遠隔保守方法の検討と、遠隔保守の実現性検証を実施する。

c. 構造物他の解体技術【上/横アクセス工法に応じた要素技術】

・RPV底部（CRDハウジング）、ドライヤ／セパレータ、炉内構造物や、PCV内機器の遠隔切断・解体、回収技術の開発を実施する。

・生体遮へい体、シールドプラグなど大型コンクリート構造物の遠隔切断・解体・回収技術の開発を実施する。

d. 粉状デブリの回収技術【共通的な要素技術】

・粉状デブリの回収、収納缶への収納方法と吸引などの要素技術開発を実施する。

・燃料デブリの状態(粒状、粉状)ごとの回収方法の検討。

・燃料デブリ加工部における局所的な燃料デブリ回収方法の検討。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 6　燃料デブリ・炉内構造物取り出しシステム・装置の開発計画策定

②課題とリスク、開発計画の策定 (3/6)

（2）工法検討に関する基盤技術開発(続き)（参考）

e. 作業セルの開発【標準化・共通化検討後実施】

・作業セル詳細設計と既存／新規バウンダリとの接続部シールに関する要素試験を実施する。（溶接方法、インフレートシール等）

f. 収納缶水分量調整技術の開発【共通的な要素技術】

・収納缶収納前の水分量調整（水切り方法など）の詳細検討、及び要素試験を計画し、試験を実施する。

g. 搬出物の表面汚染管理技術【共通的な要素技術】

・搬出物（収納缶、廃棄物容器）の除染方法の検討と、除染効果の検証試験を実施する。

h. 要素試験の継続試験【前年度からの継続要素技術】

- 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
- 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
- 液圧マニピュレータに関する試験
- 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
- 横アクセス工法におけるペデスタル内アクセス装置に関する試験
- 遠隔作業用柔構造アームに関する試験
- 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
- 上アクセス工法に適用する形状追従、軽量遮へい体に関する試験

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 6 燃料デブリ・炉内構造物取り出しシステム・装置の開発計画策定

②課題とリスク、開発計画の策定 (4/6)

（3）工法検討に伴う要素試験

a. 上横組合せ工法の検討【共通的な要素技術】

- RPV底部の解体や燃料デブリの搬出経路に関し、上／横アクセスの組合せ工法について検討する。

b. S/Cへの汚染拡大防止技術の開発【標準化・共通化検討後実施】

- S/Cへの汚染拡大防止技術の検討、要素試験を実施する。
  - ジェットデフにおける封止工法の検討。
  - 燃料デブリのS/Cへの移動防止および臨界防止の検討。

（4）安全系システムに関する概念設計【上/横アクセス工法に応じた要素技術】

a. 安全系システムの概念設計

- 被ばく評価等のパラメータスタディ
- 事故時対応設備の検討
- 安全系システムの運転／保守方針の検討
- 主要ユーティリティ設備概念検討
- デブリ取り出し時の装置／システムの配置計画

b. 燃料デブリ取り出しまでのシステム構築ステップの検討

- 気相バウンダリ構築（負圧管理への移行）ステップの検討と課題の抽出
- 液相バウンダリ構築（取水点構築他）ステップの検討と課題の抽出

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 6 燃料デブリ・炉内構造物取り出しシステム・装置の開発計画策定

②課題とリスク、開発計画の策定 (5/6)

（5）閉じ込め機能に関する技術開発【共通的な要素技術】

a. 気相バウンダリ構築に向けた開発

- 負圧時の影響評価
- コンテナの気密性に関する概念検討
- R/Bの気密性に関する概念検討

b. 液相系バウンダリ構築に向けた検討

- 異常時対応設備の概念検討（緊急排水設備／バッファタンク等）

（6）燃料デブリ（放射性物質）の捕集・除去に関する技術開発【共通的な要素技術】

a. 気相系の放射性物質の低減、除去対策の検討および評価

- デブリ、アルファ核種を含むダスト回収方法の検討と技術開発
- フィルタ等の二次廃棄物低減策の検討と技術開発
- HEPA等フィルタの目詰まり対策の検討と技術開発

b. 液相系の放射性物質の低減、除去対策の検討および評価

- アルファ核種を含む放射性物質（溶解性・非溶解性）の除去技術の検討

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 6　燃料デブリ・炉内構造物取り出しシステム・装置の開発計画策定

②課題とリスク、開発計画の策定 (6/6)

（7）燃料デブリ取り出しに伴うアルファ核種の検出システムの検討【共通的な要素技術】

a. 気相系のアルファ核種の検出技術およびシステムの検討と評価

- 既存検知技術の燃料デブリ取り出しへの適用検討
- 燃料デブリ取り出し時のα核種モニタリングシステムの概念検討
- 燃料デブリ取り出しに向けた開発計画の策定

b. 液相系のアルファ核種の検出技術およびシステムの検討と評価

- 既存検知技術の燃料デブリ取り出しへの適用検討
- 燃料デブリ取り出し時のα核種モニタリングシステムの概念検討
- 燃料デブリ取り出しに向けた開発計画の策定

（8）燃料デブリの基礎データ取得に関する計画策定と試験【共通的な要素技術】

a. 気相系

- 燃料デブリの移行率評価方法の検討（シナリオ、試験計画）
- 燃料デブリの移行率評価に資する基礎データ取得試験

b. 液相系

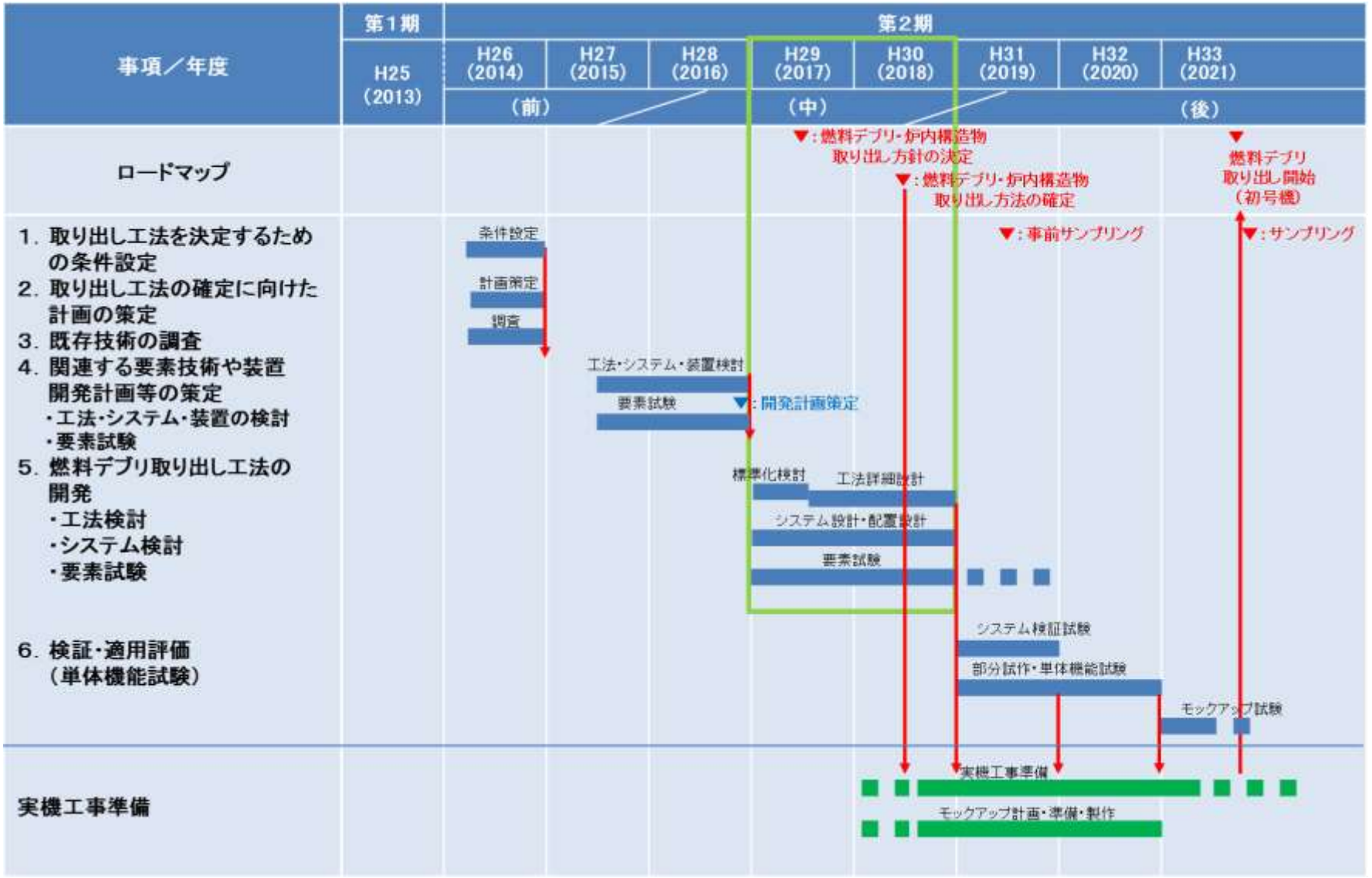
- 燃料デブリの飛散率評価方法の検討（シナリオ、試験計画）
- 燃料デブリからの溶出特性の評価方法の検討（シナリオ、試験計画）
- 燃料デブリの飛散率評価に資する基礎データ取得試験

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 6 燃料デブリ・炉内構造物取り出しシステム・装置の開発計画策定

全体的な開発スケジュールを以下に示す。

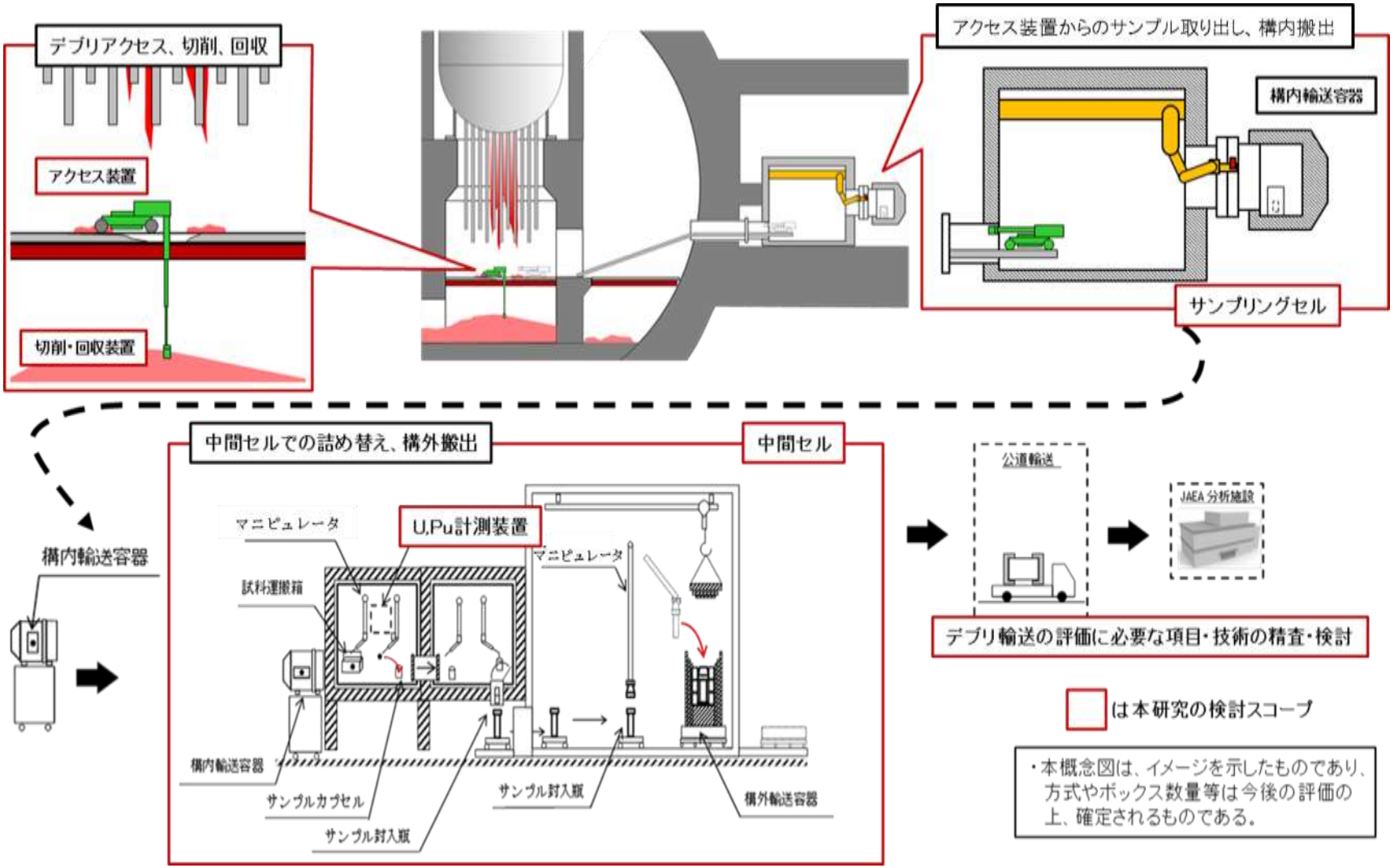


©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 7 燃料デブリのサンプリング及びシステム・装置の開発計画策定

燃料デブリをサンプリングするシステム及び装置を検討した。



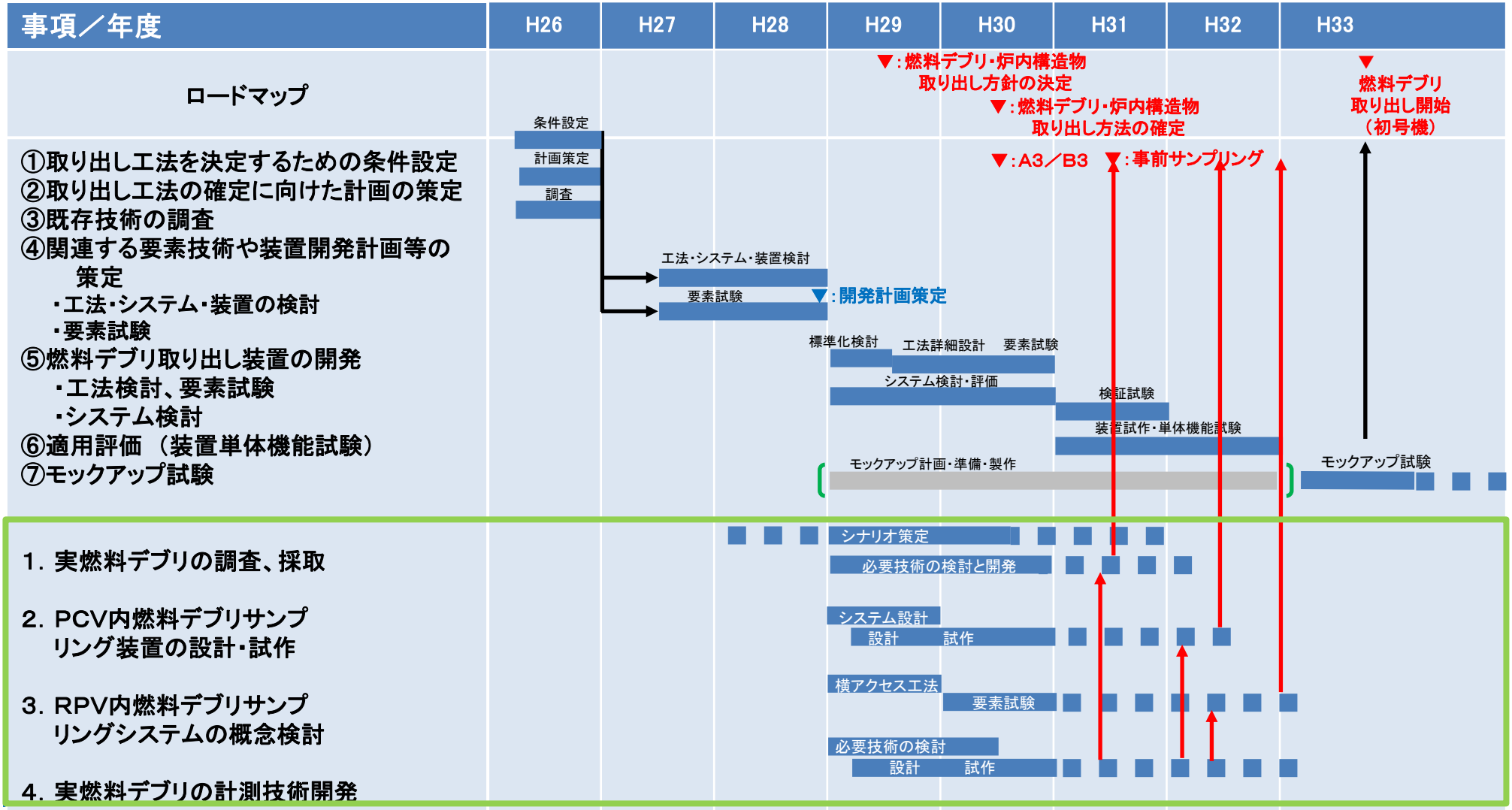
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 7 燃料デブリのサンプリング及びシステム・装置の開発計画策定

①燃料デブリのサンプリングの全体計画の策定

H31年度の事前サンプリング、H33年度以降のデブリ取り出しを目標に全体計画を策定した。



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 7 ②PCV内燃料デブリのサンプリングの有用性の評価

事前サンプリングのニーズの深掘りを行い、その有用性を確認した。以下は臨界管理のためのニーズ例

要求項目	重要度	形状	必要となるサンプル精度など	サンプリング対象部位	期待される効果	必要時期	代替方策
U/Pu濃度	◎	粉状	Pu/U比率で5～10%程度の精度で分かればよい	①PCV上部プラットフォーム上 ②PCV上部　CRD上 ③PCV下部　内側 ④PCV下部　外側	臨界評価では、PuとUが分離していないことを想定。その妥当性が確認できる。このため許認可期間の長期化防止に繋がると考えられる。また臨界事故のリスクが低減される。	許認可時（デブリ取り出し工事の着手了解を得る時期の直前まで待てる）	安全設備の設計変更（ホウ素濃度6000→12000ppm）
Gd濃度	◎	粉状	Gd/U比率で5～10%程度の精度で分かればよい		臨界評価では、UにGdが帯同していることを想定し、臨界リスク対策の合理化（必要となるホウ素濃度の低減（約2000ppm程度））を折り込んでいる。この妥当性を確認でき、許認可期間の長期化防止に繋がると考えられる。また臨界事故のリスクが低減される。		
U濃縮度	◎	粉状	U235の0.1～0.2wt%程度の精度があればよい		臨界評価では、集合体全体が混合し、高濃縮度Uの塊がないことを想定している。この想定の妥当性を確認でき、許認可期間の長期化防止に繋がると考えられる。また臨界事故のリスクが低減される。		
Fe含有率	○	粉状	U同位体合計に対するFeの重量比を5～10%の精度で分かればよい		臨界評価では、不確定さの大きさのためSUSなどの構造材の存在を無視している。構造材がどの程度混入しているか確認できれば、評価が保守的であることを示され、許認可期間の長期化防止に繋がると考えられる。		
B含有率	○	粉状	U同位体に対するB同位体合計の重量比を5～10%の精度で分かればよい		臨界評価では、不確定さの大きさのため制御棒由来のBの存在を無視しているが、デブリにどの程度混入しているか確認できれば、臨界評価が保守的であることが示され、許認可期間の長期化防止に繋がると考えられる。		
空隙度、密度	○	円柱状	其々相対的に10%程度の精度で確認できればよい		設備設計条件設定の目安となる。このため、設備の合理化や許認可期間の長期化防止に繋がると考えられる。		

◎：非常に重要な項目　○：大きなメリットのある項目

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 7 ③PCV内燃料デブリのサンプリングシステム・装置の設計検討（アクセス装置1/2）

アクセス装置についてはアーム型、遊泳ROV型、走行ROV型の弱点克服の検討結果を踏まえた比較評価を行い、アーム型が最適であると判断した。

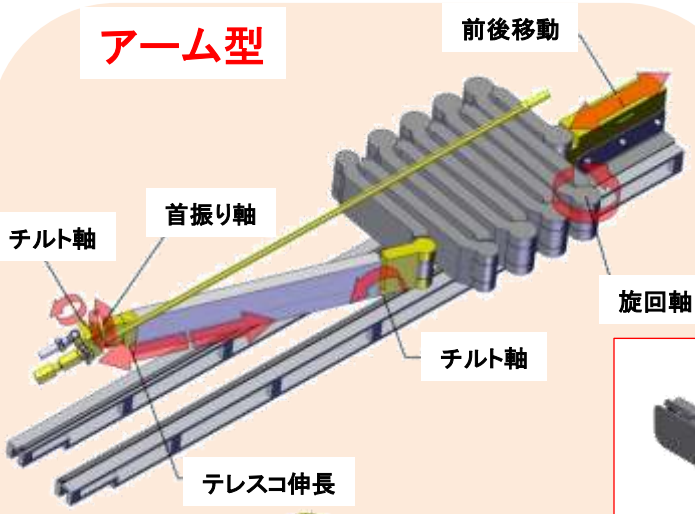
評価項目		アーム型	遊泳ROV型	走行ROV型
アクセス範囲		ほぼ全域(95%以上)	水中のみ	ペデスタル内側のみ
構造物の干渉回避		問題なし	問題なし	難易度高い
切削時の保持安定性		問題なし	円柱状サンプルは不可	問題なし
保守性		問題なし	問題なし	問題なし
故障時回収性		問題なし	難易度高い	難易度高い
デブリ形態	小石・砂状	○	△（水中のみ）	△（ペデスタル内側のみ）
	粉状（水中）	○	○（吸着機構 要）	△（ペデスタル内側のみ）
	粉状（気中）	○	×	△（ペデスタル内側のみ）
	円柱状（水中）	○	×	△（ペデスタル内側のみ）

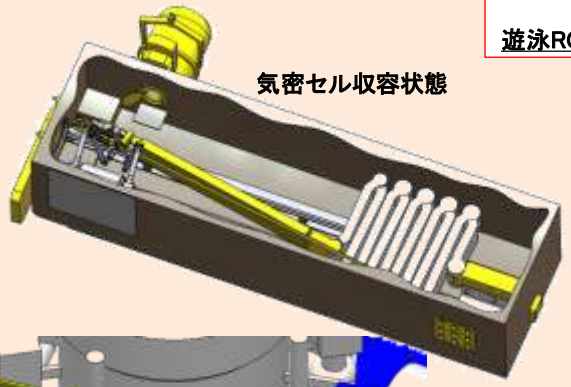
○：適用可　△：一部の領域で適用可　×：適用困難

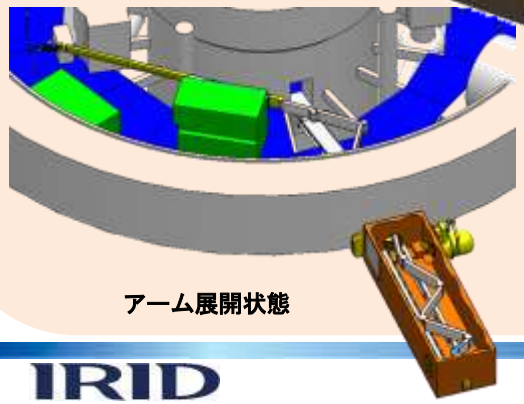
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況
4. 7 ③PCV内燃料デブリのサンプリングシステム・装置の設計検討（アクセス装置2/2）

アーム型

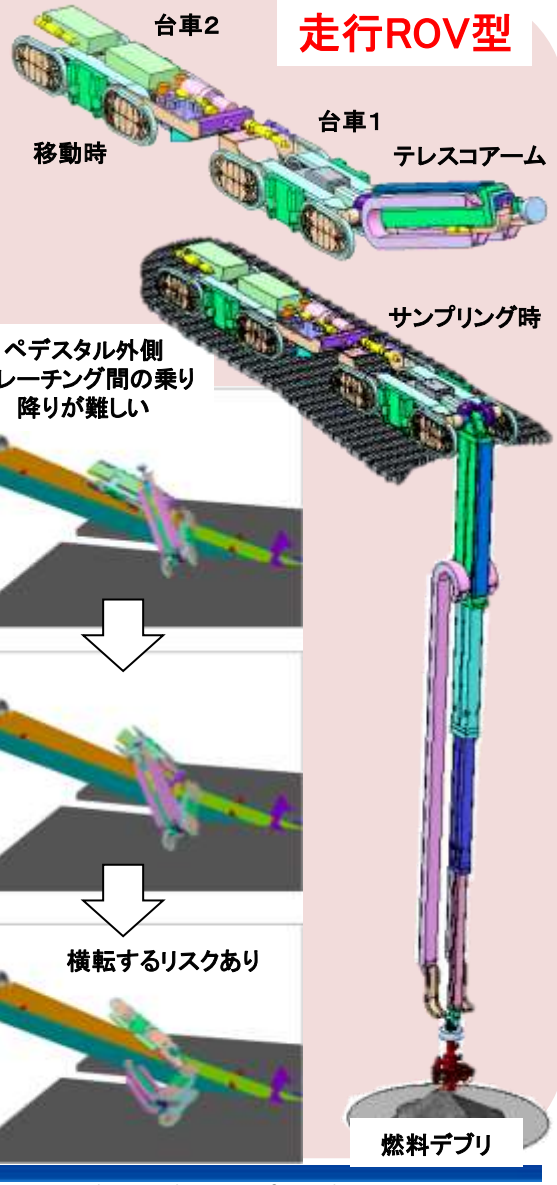






遊泳ROV型

走行ROV型



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 7 ③PCV内燃料デブリのサンプリングシステム・装置の設計検討（サンプリング工具1/2）

サンプリング工具の基本タイプと高度化タイプの要素試作試験を行い、高度化タイプの切削・回収性が良好であった。粉状デブリサンプリングについては高度化タイプの性能向上を図っていく必要がある。また小石・砂状のデブリに対応する工具についても新たに開発を進める必要がある。

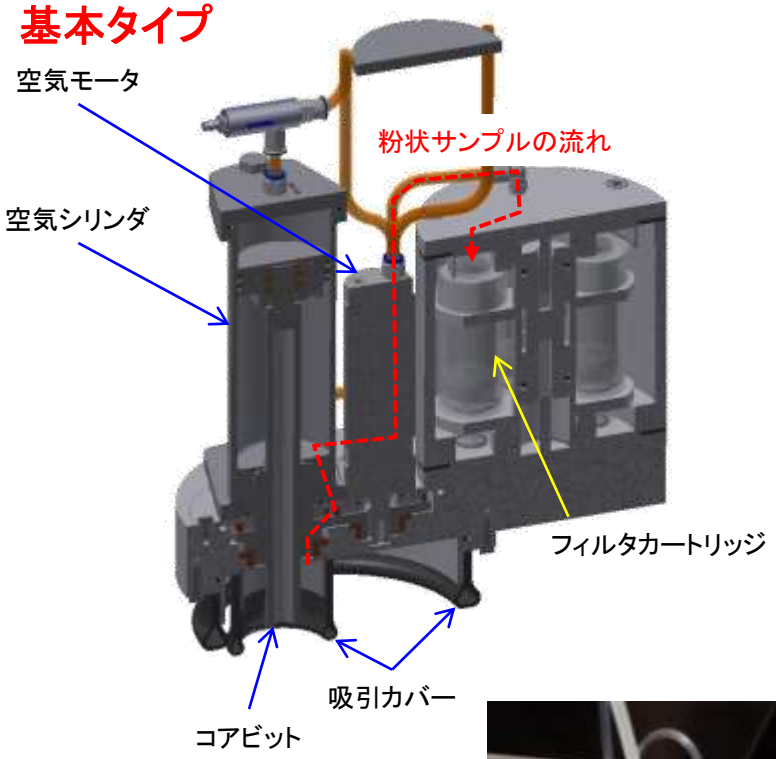
評価項目		吸引/把持のみ	基本タイプ 1本切削＋吸引（吸引カバー）	高度化タイプ 2本切削＋吸引（液状シール）
工具重量(10kg以下)		問題なし	問題なし	問題なし
工具押し付け力(500N以下)		不要	問題なし	問題なし
円柱切削速度(100mm/6時間)		該当なし	6時間以内は困難	問題なし
円柱状サンプル形状（割れ無し）		該当なし	割れリスクあり	問題なし
粉状サンプル粒径（1mm以下）		該当なし	問題なし	問題なし
切削粉回収率（90%以上）		該当なし	漏れリスクあり	吸引力の向上 要
デブリ形態	小石・砂状	○	×	×
	粉状（水中）	×	△（密着 要）	△（吸引力 要）～○
	粉状（気中）	×	△（密着 要）	△（小型化 要）～○
	円柱状（水中）	×	△（長時間 要）	○
技術課題		構造具体化・要素試験	高度化タイプとする	吸引力の向上 密着部の小型化

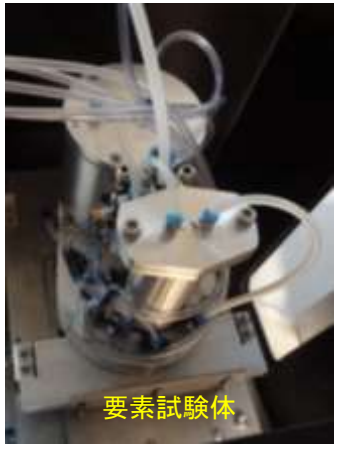
○：適用可　△：条件付きで適用可　×：適用困難または対象外

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

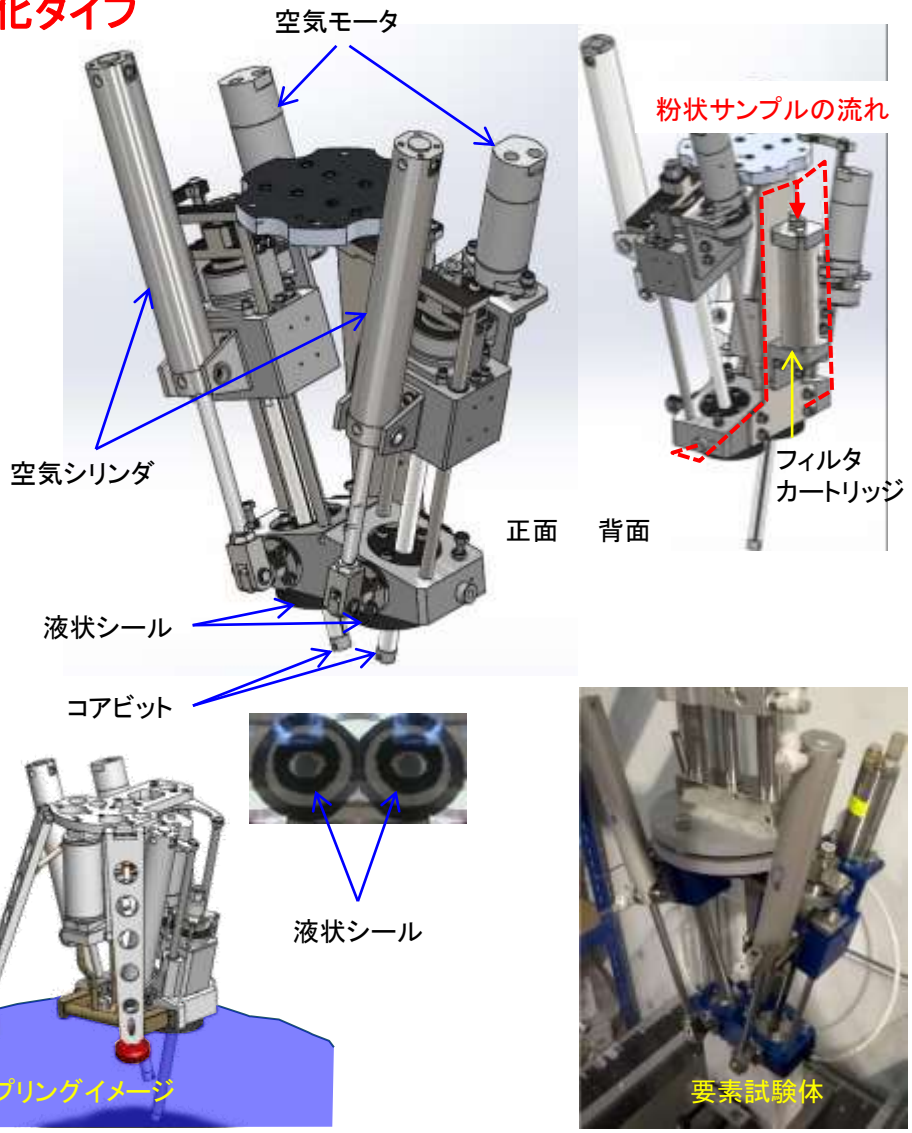
4. 本事業の実施状況
4. 7 ③PCV内燃料デブリのサンプリングシステム・装置の設計検討（サンプリング工具2/2）

基本タイプ





高度化タイプ



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 7 ③PCV内燃料デブリのサンプリングシステム・装置の設計検討（計測装置1/2）

サンプルを構外輸送する際にU, Pu量を計量する装置についてX線計測や中性子計測技術などを検討した。技術的には複合計測方式により多様なデブリサンプルに対応できる見通しが得られた。
当面の事前サンプリングの対応としては重量計測で対応することを指向するが、複合計測方式の計測精度評価等を進めていく必要がある。

評価項目		重量計測のみ	X線計測方式	複合計測方式
概要		重量計測値の全量をU, Puと見なす。	粉状・砂状のみを計測対象とし、X線計測のみを活用する。	粉状～円柱状までのすべてのサンプルを計測対象とする。
計測方法		重量計測	X線計測	X線計測、α線計測および中性子計測の組合せ
デブリ形態	粉状	○	○	○
	砂状	○	○	○
	小石状	○	×	○
	円柱状	×	×	○
分析性能（精度）		数%	10%	10%
技術課題		なし	なし	シミュレーションによる精度評価が必要

○：適用可　×：適用困難または対象外

初期のサンプリングではU, Puは100%と見なし、**重量計測のみで構外輸送する前提**とした。
複合計測方式の成立見通しは得られたが、シミュレーションによる精度評価が必要。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況
4. 7 ③PCV内燃料デブリのサンプリングシステム・装置の設計検討（計測装置2/2）

重量計測のみ	X線計測方式	複合計測方式
考え方： サンプル中のU, Pu以外の成分はないものと見なし、簡易な計量で構外輸送の手続きを行う。 メリット： 計測機器が小型で簡便 （精密電子天秤） リスク・デメリット： 規制側や受入自治体の了解が得られない可能性がある。 上記写真は、天秤イメージを示すものであり、セル内に設置する乾燥機付き天秤とは、異なる。	考え方： 確立された溶液中のU, Pu計測技術を応用し、粉状・砂状サンプルの計測を行う。 メリット： 確立された技術の応用であり、開発リスクが少ない。 リスク・デメリット： 粉状・砂状サンプルのみ応用可能。小石状や円柱状のサンプルには適用できない。 上記写真は、燃料溶解液中のU,Pu装置イメージを示すものであり、デブリサンプルを対象としたものとは、異なる。	考え方： 粉状、砂状、小石及び円柱状（塊状）のサンプル中に分布するU, Puを中性子計測、α計測、X線計測を組合わせて非破壊で計測する。 中性子計測において必要な燃焼度及びGd含有量の情報はα線計測及びX線計測によって推定する。 メリット： あらゆる形態のサンプル中のU、Pu量を非破壊で計測できる。デブリ取り出し時の搬出デブリのU, Pu量を仕分けや計量管理にも応用展開できる。 リスク・デメリット： 装置が3種類になり、投資が大きい。 上記写真は、中性子計測装置（左）とα計測装置（右）のイメージを示すものであり、デブリサンプルを対象としたものとは、異なる。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 7 ③PCV内燃料デブリのサンプリングシステム・装置の設計検討（中間セル1/2）

サンプルを構外輸送する際にU, Pu量を計量したり、構外輸送容器への移し替えを行うための中間セルは大幅な設備合理化を目指した。当面は計測装置を除外することで、設備規模を半減できる見通しを得た。当該概念は増設可能な設計とすることで、計測要求の不確実性に対応する。

評価項目		計測装置なし 概念	セルの統合概念	遮へい厚のみ合理化概念
概要		計測を重量計測のみとし、構外輸送容器への受け渡しのみとする	X線計測などのU，Pu量計測のためのセルを追加する	上期末のベースケースの遮へい厚を削減
セル数		2セル＋パネルハウス	3セル＋パネルハウス	5セル＋コンクリートセル
機能	サンプル 受取	受取・搬入・前処理セルで実施 重量計測（全量U, Puとする）	受取・搬入セルで実施	独立した受取セルで実施
	資機材 搬入			独立した搬入セルで実施
	計測		複合計測＋重量計測	←
	払出／搬出	払出セル／パネルハウス	←	払出セル／コンクリートセル
鉄遮へい厚(mm)		150	150	150
設置スペース（m）		12.6×8.5	15.0×11.0	15.5×11.7
デブリ形態	小石状	○	○	○
	砂状	○	○	○
	粉状	○	○	○
	円柱状	×（計測セル増設で○）	○	○
コスト指数		53	67	100
技術課題		サンプル取扱い作業の自動化検討	←	←
備考		計測セルの将来増設を考慮		

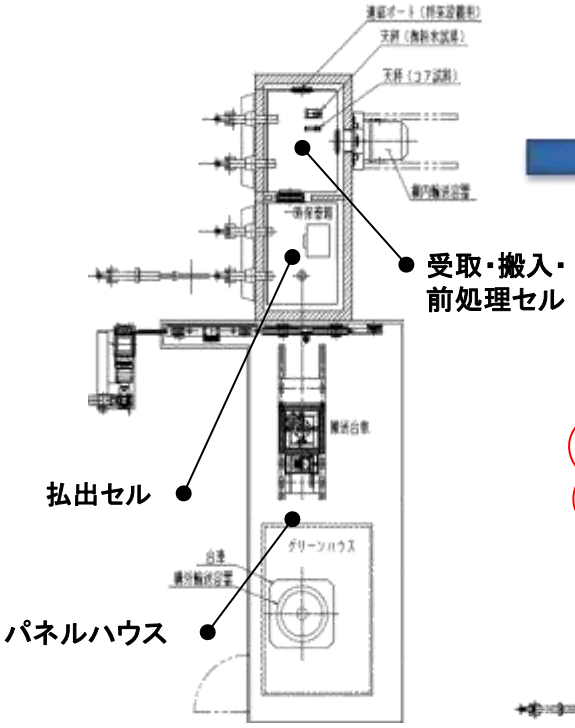
○：適用可　×：適用困難または対象外

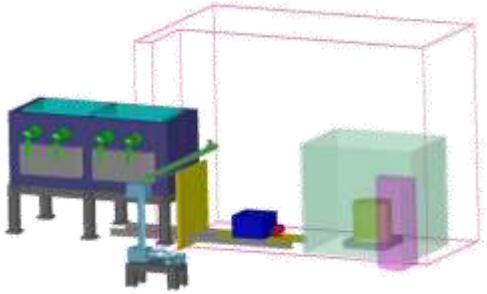
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

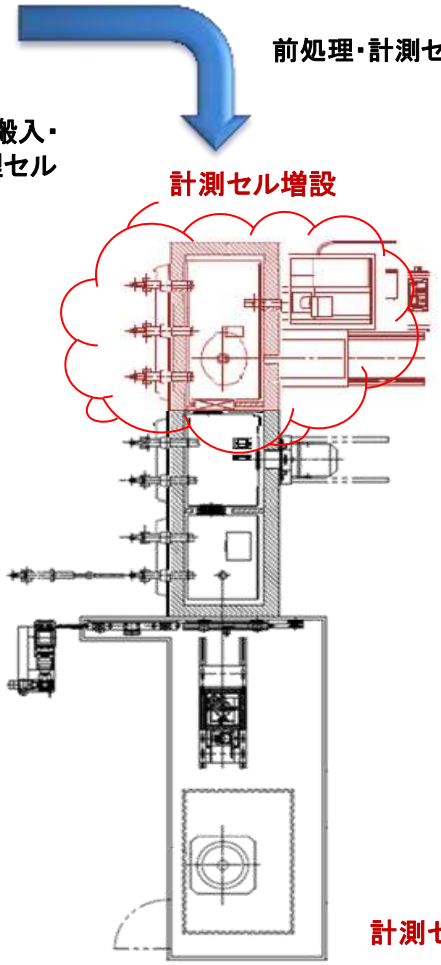
4. 7 ③PCV内燃料デブリのサンプリングシステム・装置の設計検討（中間セル2/2）

計測装置なし概念



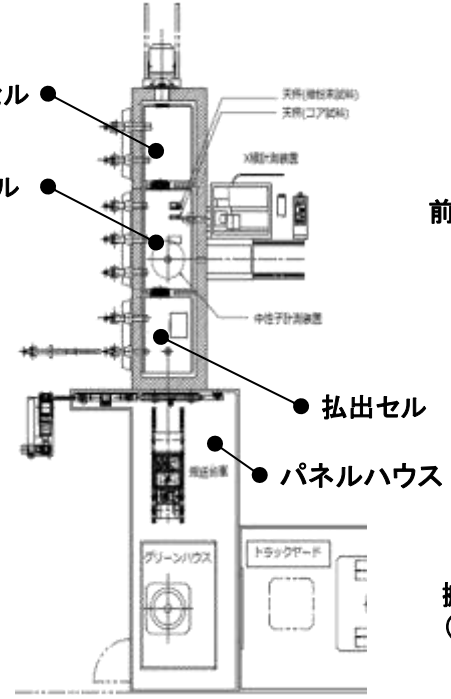


計測装置なしの鳥瞰図

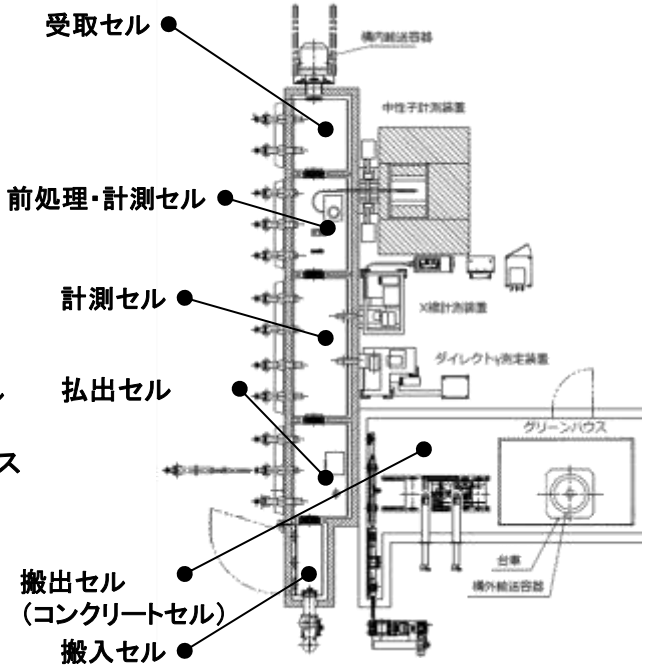


計測セルの増設イメージ

セルの統合概念



遮へい厚さのみ合理化概念



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 7 ③PCV内燃料デブリのサンプリングシステム・装置の設計検討（臨界安全システム1/2）

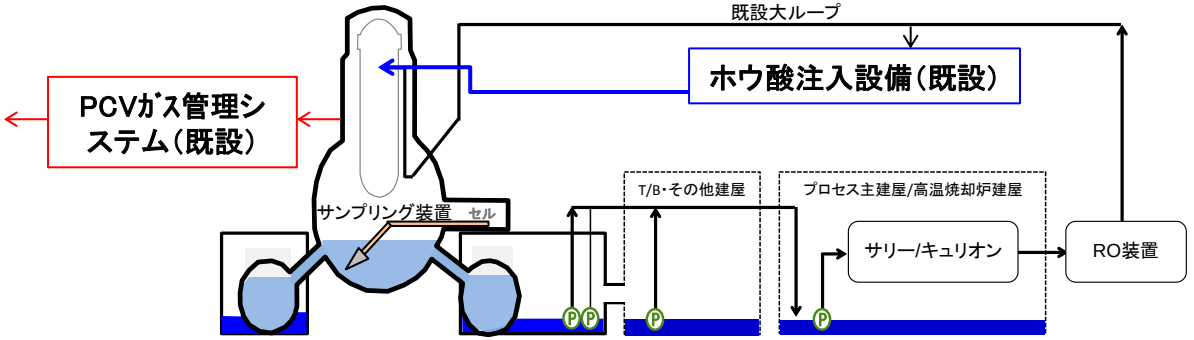
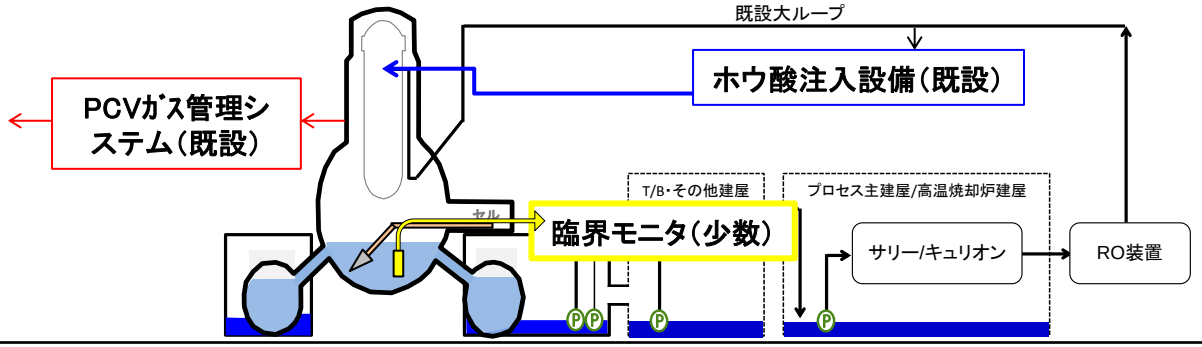
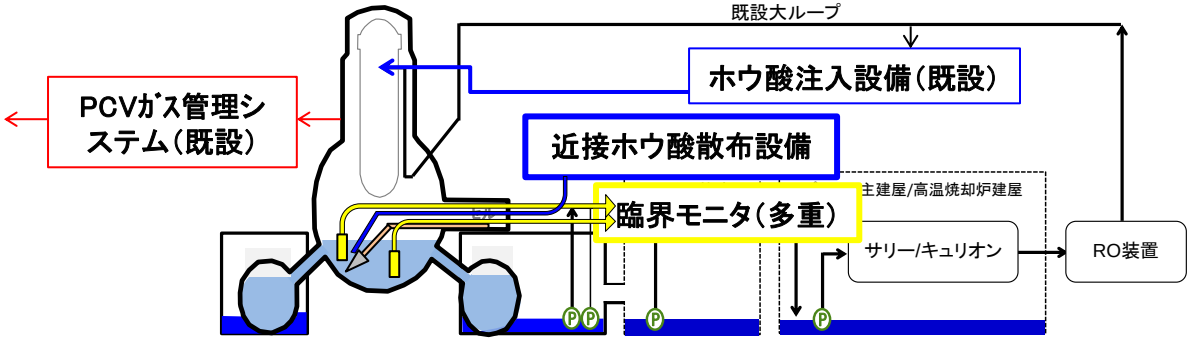
サンプリング中の臨界安全について詳細評価を行った。大規模な円柱状サンプリングでなければ臨界のリスクは無視でき、既存の安全設備で対応できる見通しを得た。将来の大規模サンプリングを見据えて、臨界モニタの開発は着手する必要がある。

評価項目		既設のみ	簡易設備追加	本格取り出し並	備考
設備構成		PCVガス管理システム＋循環ループのホウ酸注入設備	既設＋臨界モニタ（少数）	既設＋臨界モニタ（多重）＋近接ホウ酸散布設備	
デブリ形態	小石・砂状	○	○	○	
	粉状（水中）	○	○	○	
	粉状（気中）	○	○	○	
	円柱状（小規模）	×	○	○	Φ60×L100×P500以下なら臨界の影響なし
	円柱状（中規模）	×	○	○	Φ10×L1000×P500以下なら臨界の影響なし
	円柱状（大規模）	×	×	○	同上条件で多本数
技術課題		・特になし	・臨界モニタシステム開発 ・サンプリングシステムへの組込み	・臨界モニタシステム開発 ・サンプリング時期への適合性 ・ホウ酸注入設備の成立性	

○：適用可　×：適用困難または対象外

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況
4. 7 ③PCV内燃料デブリのサンプリングシステム・装置の設計検討（臨界安全システム2/2）

区分	臨界安全システム
既設のみ	
簡易設備追加	
本格取り出し並の設備	

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 7 ③PCV内燃料デブリのサンプリングシステム・装置の設計検討（漏えい安全システム1/2）

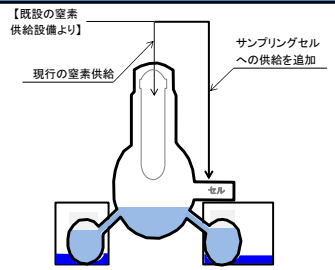
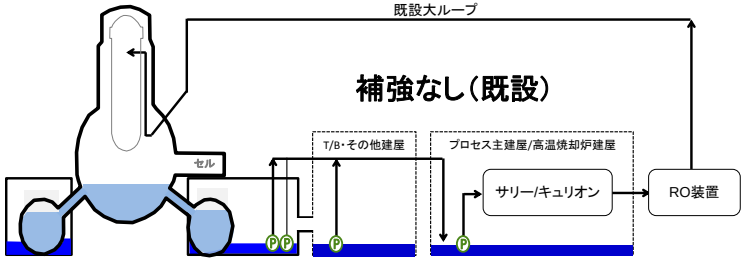
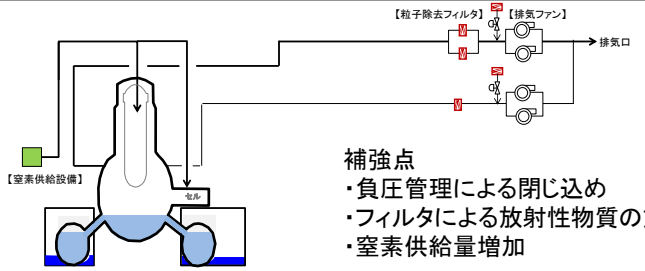
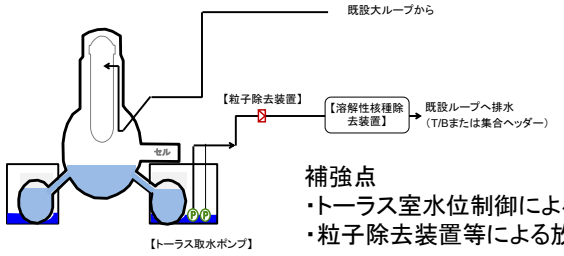
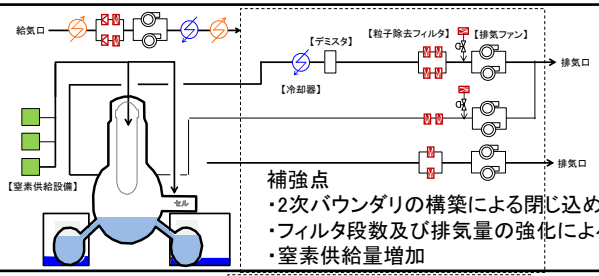
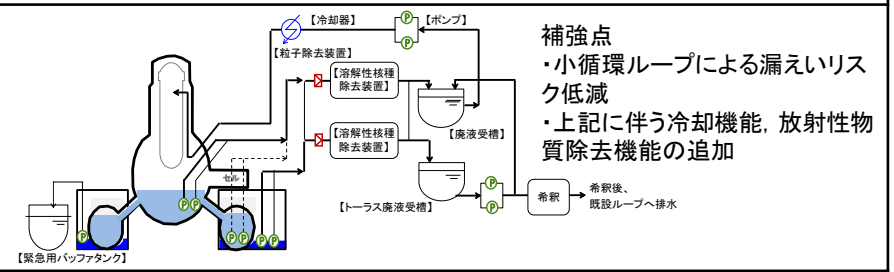
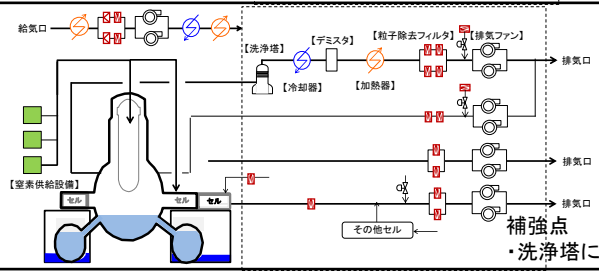
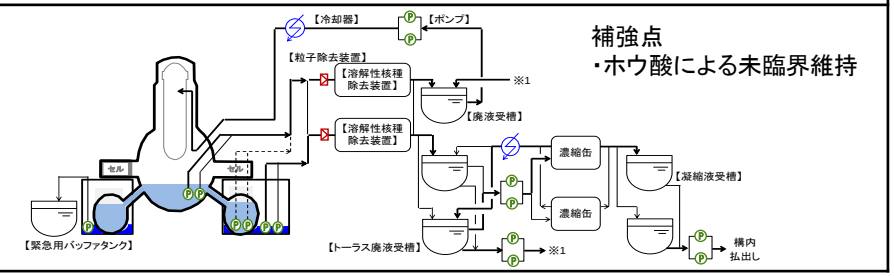
サンプリング中のα核種の漏えい安全について詳細評価を行った。α核種の漏えいが許容されないとの前提に立ち、追加設備の概要について具体化を行った。既存設備のみでは小石・砂状デブリのサンプリングが主体となる。

評価項目		既設のみ	簡易設備追加	本格取り出し並	備考
設備構成	気体系	窒素注入のみ	PCV負圧管理	PCV負圧管理（多重）	
	水系	大循環ループ	既設＋トーラス系粒子除去	小循環ループ	
デブリ形態	小石・砂状	○	○	○	
	粉状（水中）	○（備考）	○	○	サンプリングを既存設備で実現する場合、サンプリング工具の高度化（切削時の水回収機能追加等）が必要
	粉状（気中）	△（備考）	○	○	サンプリング工具を高度化とすることで実施可能な見通し
	円柱状（小規模）	×	○	○	
	円柱状（中規模）	×	△（備考）	○	サンプリング工具を高度化とすることで実施可能な見通し
	円柱状（大規模）	×	×	○	
技術課題		・特になし	・特になし	・特になし	

○：適用可　△：条件付きで適用可　×：適用困難または対象外

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況
4. 7 ③PCV内燃料デブリのサンプリングシステム・装置の設計検討（漏えい安全システム2/2）

区分	気体系システム	液体系システム
既設のみ	 補強なし（既設） ・サンプリングセルへの窒素供給ラインのみ追加	
簡易設備追加	 補強点 ・負圧管理による閉じ込め ・フィルタによる放射性物質の放出量低減 ・窒素供給量増加	 補強点 ・トーラス室水位制御による閉じ込め ・粒子除去装置等による放射性物質の移行量低減
本格取り出し並の設備	 補強点 ・2次バウンダリの構築による閉じ込め強化 ・フィルタ段数及び排気量の強化による放出量低減 ・窒素供給量増加	 補強点 ・小循環ループによる漏えいリスク低減 ・上記に伴う冷却機能，放射性物質除去機能の追加
（参考）本格デブリ取り出し設備	 補強点 ・洗浄塔によるフィルタ寿命延長	 補強点 ・ホウ酸による未臨界維持

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 7 ③PCV内燃料デブリのサンプリングシステム・装置の設計検討

事前サンプリングの全体システム構成を検討し、既設の安全システムで実現できる小石・砂状デブリと粉状デブリを対象とした「最小」システムの構成を検討した。

システム構成	最小		中間	最大	備考
アクセス装置	アーム型（備考）		←	←	ほぼ全域にアクセス可能な概念を選定
サンプリング工具	吸引/把持	切削＋吸引（液状シール）	切削＋吸引（吸引カバー）	切削＋吸引（液状シール）	切削が不要な小石・砂状デブリをターゲットとして選定
計測装置	重量計測のみ（備考）		左記＋X線計測	複合計測	当面のサンプリングはU, Pu 100%と見なして許認可対応する
中間セル	2セル+ パネルハウス		3セル+ パネルハウス	5セル＋ コンクリセル	開発要素なし
安全システム（臨界）	既設のみ （排気筒モニタ＋ 循環ループホウ酸注入系）		既設 ＋臨界モニタ（少数）	既設 ＋臨界モニタ（複数） ＋近接ホウ酸散布	
安全システム（漏えい）	既設のみ （窒素注入系＋大循環ループ）		既設 ＋負圧化設備 ＋トーラス系粒子除去	既設 ＋負圧化設備（多重） ＋小循環ループ化	
小石・砂状	○		○	○	
粉状（水中）	○		○	○	
粉状（気中）	○		○	○	
円柱状	×		△（備考）	○	直径15mm以下ならサンプリング工具の交換により「中間」でも可

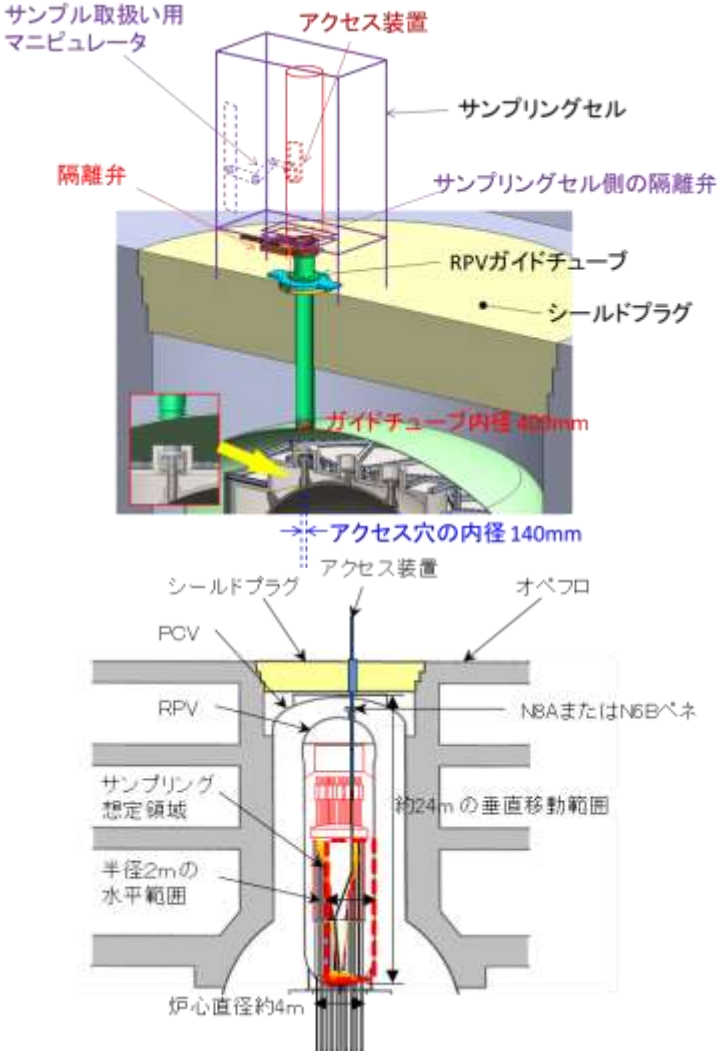
○：適用可　△：工具交換で適用可　×：適用困難

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

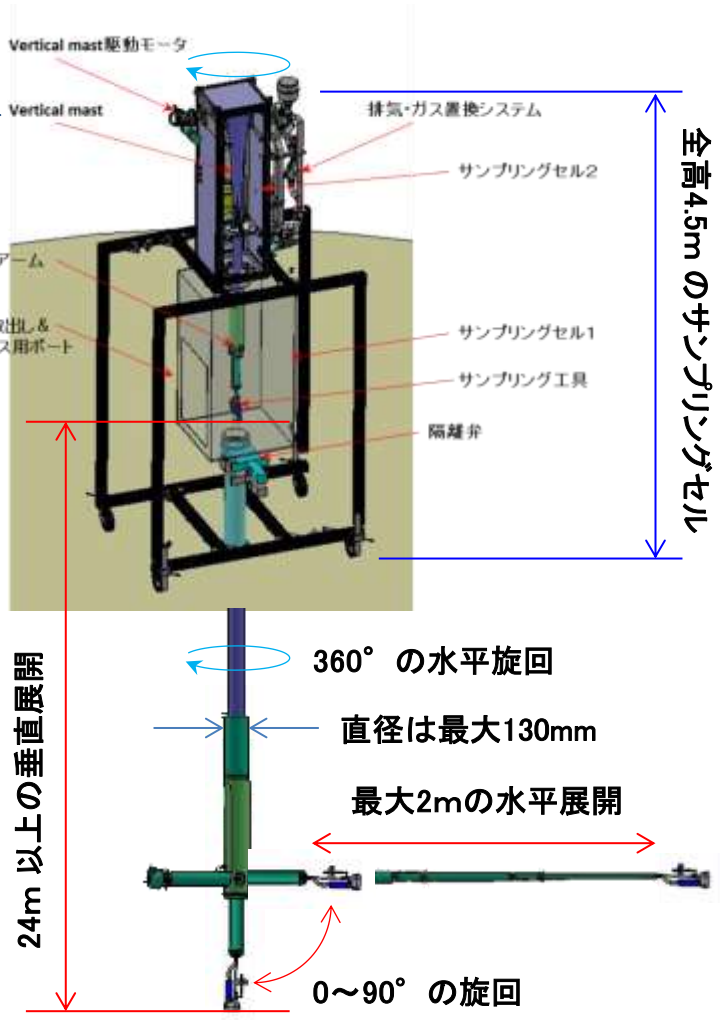
4. 本事業の実施状況

4. 7 ④RPV内サンプリング装置の概念設計

RPV内部調査で検討されているPCV上方からのアクセスによるサンプリング装置概念を検討した。
シールドプラグ上に設置し、RPV下端まで到達可能なアクセス装置およびサンプリングセル概念を構築した。



RPVサンプリング装置全体イメージ



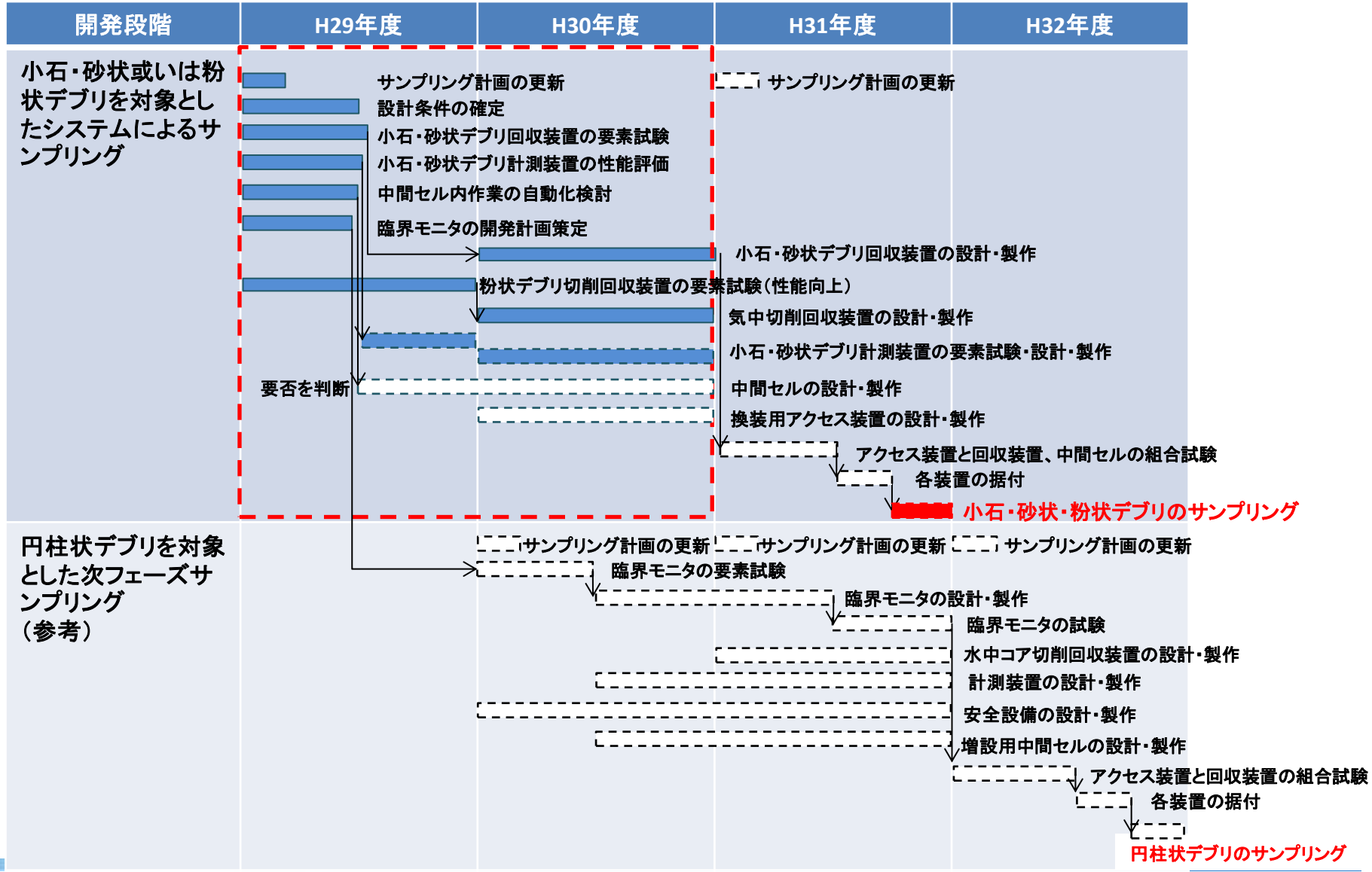
原子力施設でも適用実績のあるVertical Mastを鉛直動作に適用する概念を構築した。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

4. 本事業の実施状況

4. 7 ⑤PCV内燃料デブリサンプリングシステムの開発計画の策定・更新

H31年度のPCV事前サンプリングでは小石・砂状デブリおよび粉状デブリの採取を目標に開発計画を策定・更新した。



©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

5. まとめ(1/2)

①燃料デブリ・炉内構造物取り出し方針決定に向けたプラント情報の整理

- 燃料デブリ・炉内構造物取り出し方針の決定に必要なプラント情報等の条件について、 最新のデータ・情報へ見直した。
- 全体工程などから各PJからのインプット時期などについて整理した。

②燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システム・装置の検討

- 3工法のプロセスフロー図、エリア区分図を作成し、詳細ステップ図を作成後、課題とリスクを抽出した。
- 詳細ステップ図より、必要となる設備と大型設備について検討した。
- 安全要求から基本的な機能要求を整理した。
- 被ばく評価について試算した。
- 機能要求を達成するためのシステム概略構成(循環注水冷却システム、負圧管理システム、放射性ダスト処理システム、臨界管理システム)を、安全要求／機能要求毎に検討し、配置可能性も含めた課題の抽出を実施した。
- 取り出し装置に関する耐放性、メンテナンス性などについて検討した。
- 課題とリスクの抽出結果などから対応方針を策定した。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

5. まとめ(2/2)

③燃料デブリ・炉内構造物取り出しシステム・装置の開発計画策定

- 3工法の取り出し装置について耐放射線性、メンテナンス性向上対策および工事効率向上のための検討を実施し、開発計画を策定した。
- 国外視察などにより既存技術の取り入れを図った。

④燃料デブリのサンプリング及びシステム・装置の開発計画策定

- ニーズ分析及び安全解析の結果を元に小石・砂状・粉状デブリをターゲットとしたサンプリングシステムを具体化した。
- 2019年度サンプリングに向けた開発計画を策定した。

⑤研究開発の運営

- ベンダの技術など国内外の叡智を取り入れた検討を実施した。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

用語説明(1/3)

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	CRD	制御棒駆動機構	
4	オペフロ	オペレーティングフロア	
5	DSP	機器貯蔵プール	
6	SFP	使用済燃料プール	
7	X-6ペネ	PCV配管貫通部の一つ	
8	R/B	原子炉建屋	
9	D/W	ドライウェル	
10	S/C	圧力抑制室	
11	1F	福島第一原子力発電所	
12	マテハン設備	収納缶等を揚重・搬送する設備	
13	UC	ユニット缶	
14	MCCI	溶融炉心－コンクリート相互作用	
15	DF	除染係数	
16	キャスク	移送容器	
17	ROV	遠隔操作装置	
18	PLR	原子炉再循環	

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

用語説明(続き)(2/3)

No.	用語	説明	備考
19	ジェットデフ	ジェットデフレクタ	
20	IDR	IRIDデザインレビュー	
21	CS	炉心スプレイ	
22	FDW	給水	
23	WJ	ウォータージェット	
24	ミニキャスクシステム	小型のキャスク(移送容器)を装備した台車を用いて、セル内でデブリを搬送するシステム。	
25	回収用ファンネル	切削したデブリをユニット缶に収納するための漏斗状の補助ツール。	
26	B1調査	1号機ペデスタル外側、1階グレーチング上調査	
27	B2調査	1号機ペデスタル外側地下階調査	
28	A2調査	2号機ペデスタル内側プラットホーム上調査	
29	A2’調査	2号機プラットフォーム下の目視調査	
30	PM1	パワーマニピュレータ1	
31	PM2	パワーマニピュレータ2	
32	Rw/B	廃棄物処理建屋	

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

用語説明(TRLの説明)(3/3)

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。	

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning