2-② 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発、同（ダスト集塵システムの技術開発）

事業の目的

燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けて必要な機器・装置及びシステム、安全確保に関わる技術について、これまでに得られた研究開発成果に基づき、必要となる要素技術開発及び試験を実施する。主には、アクセス構築に必要となる原子炉建屋（R／B）、原子炉格納容器（PCV）に存在する干渉物撤去技術や燃料デブリ集塵、回収等の各種技術等について、高線量下・高汚染下、不確定要素を含む環境条件での遠隔作業、閉じ込め機能維持等の安全の確保や燃料デブリ取り出し期間の継続的な作業を考慮した技術開発を行う。また、燃料デブリ・炉内構造物の取り出し時の安全確保のシステムに関わる各要素技術の開発を行う。

1. 事業の内容と進捗状況

下記2. 関連事業の結果及び「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化」の結果を反映、統合して、次の開発を実施する。

（1）燃料デブリ取り出し工法の開発

現場情報等を踏まえて、原子炉圧力容器（RPV）及びPCVに存在する燃料デブリを取り出すために必要なアクセスルートを構築する技術を開発中である。燃料デブリ取り出しの工程短縮を可能とする干渉物撤去技術について、R／BやPCV内の設備の調査結果に基づく、ずれ、変形、破損等の状況を想定し、撤去を行うための技術を検討しており、上アクセスによる大型構造物の取り出し方法、搬送方法（**図1**）、横アクセスによるペデスタル内外の干渉物撤去方法（**図2**）の検討を実施中である。

また、干渉物撤去技術以外の技術として、視界不良かつ狭隘環境での遠隔操作支援手法の開発（**図3**）やサプレッションチェンバ（S／C）への汚染拡大防止方法、セル設置に関わるR／Bへの影響低減方法（**図4**）、ユニット缶状態でのR／Bからの移送方法（**図5**）等について技術開発を実施中である。

各アクセス工法において想定される干渉物となる機器等は以下である。

①RPVへの上アクセス工法：ウェルシールドプラグ、PCVヘッド、RPVヘッド、炉内構造物等

②PCVへの横アクセス工法：R／B内（特にペネトレーション周辺）、ペデスタル外、ペデスタル内の機器、設備、配管等

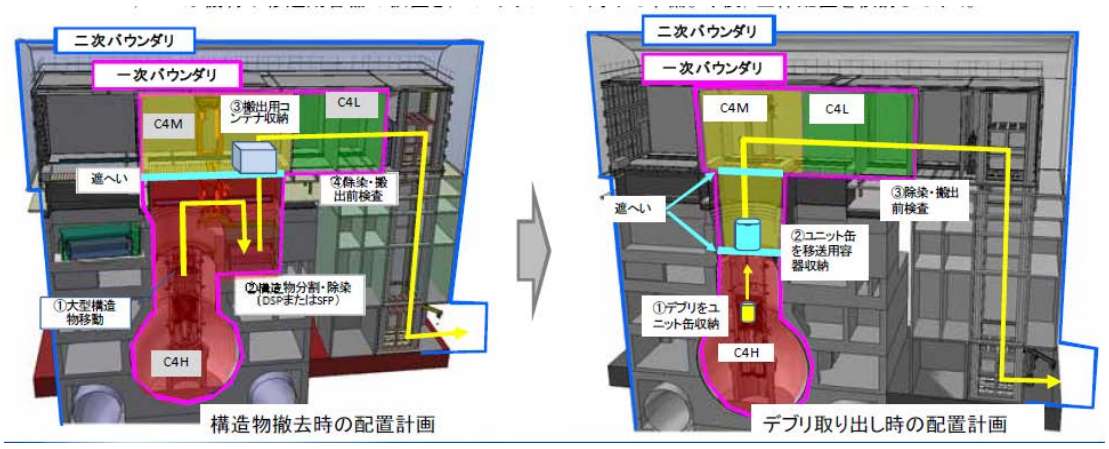


図1　上アクセスによる大型構造物の取り出し、搬送方法の概念

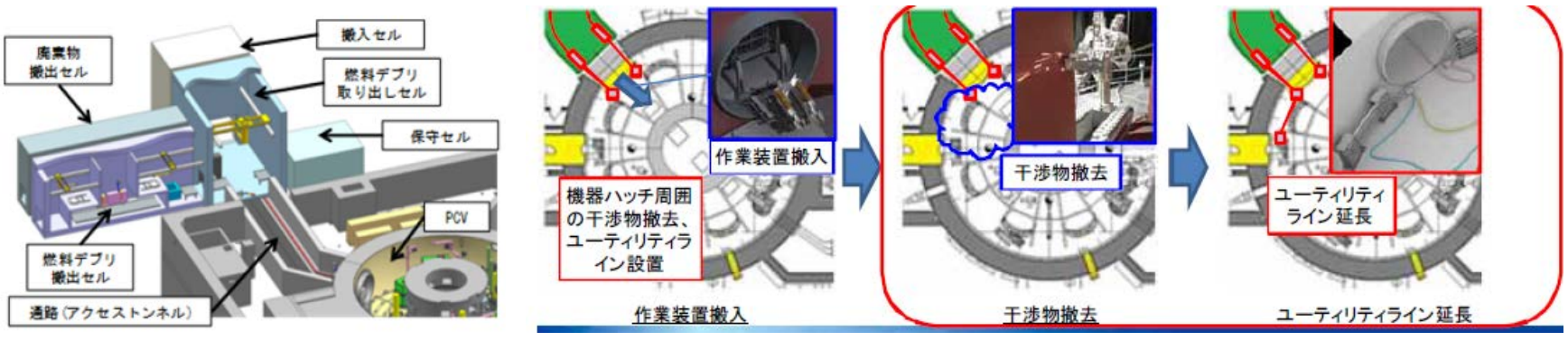


図2　横アクセスによるペデスタル内外の干渉物撤去、ユーティリティライン設置の概念

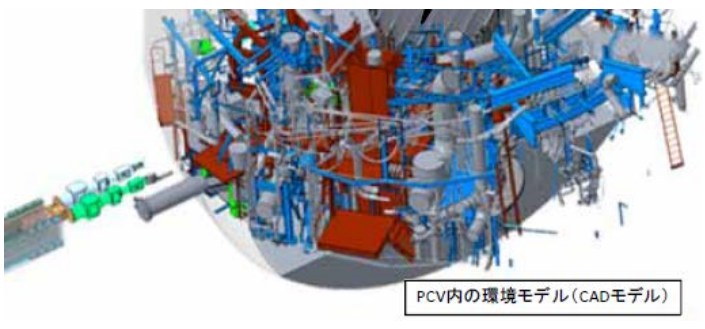


図3　視界不良かつ狭隘環境での遠隔操作支援手法の開発

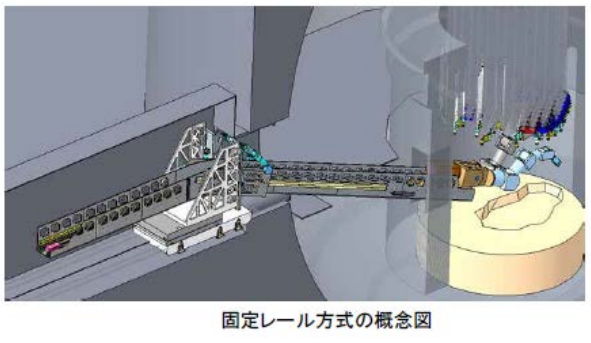


図4　セル設置に関わるR／Bへの影響低減方法の開発

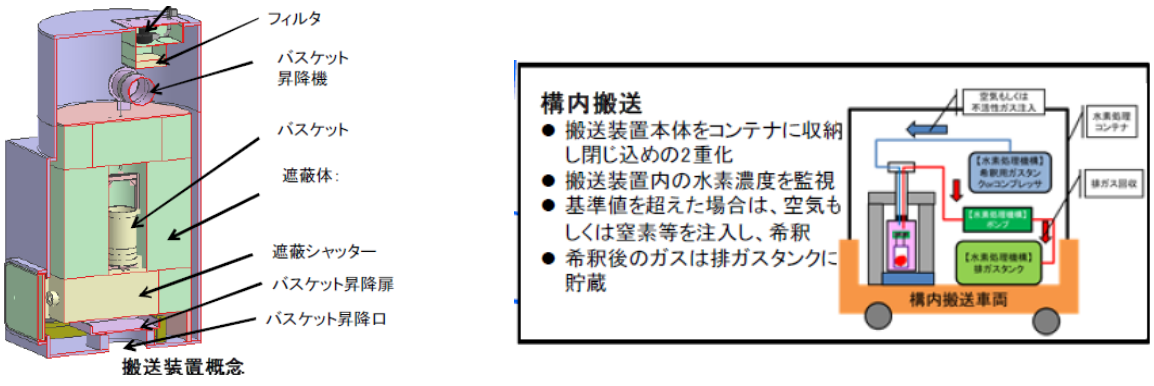


図5　ユニット缶状態でのR/Bからの移送方法の揮発

2-② 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発、同（ダスト集塵システムの技術開発）

（2）燃料デブリ取り扱い技術の開発

①PCV内　燃料デブリ集塵・回収システムの技術開発

a, 燃料デブリ加工時発生ダストの集塵システムの開発

燃料デブリの切削等の加工には、燃料デブリの特性と、加工によって発生するダストの発生影響等を考慮して、コアボーリング、ディスクソー、チゼル等の機械的な方法、レーザー等の熱的な方法、高圧ジェットブラストによる方法等の適用が検討、開発されている。このような様々な加工方法、加工環境によって発生するダストの特性に合わせた、気中、液中での発生箇所でのダストの集塵システムの開発、及び、発生箇所近傍での集塵を補完するPCV内でのダストの拡散を可能な限り抑制するシステムの開発を実施中である。（**図6、図7、図8、図9**）

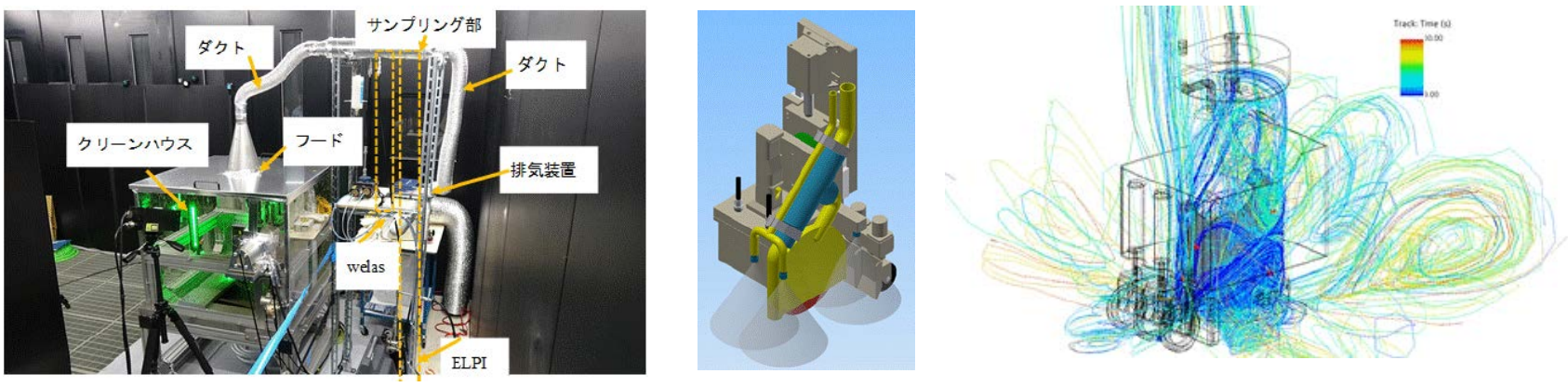


図６　ダスト集塵システムの開発（デイスクソー予備試験装置とツールの解析による基本設計）

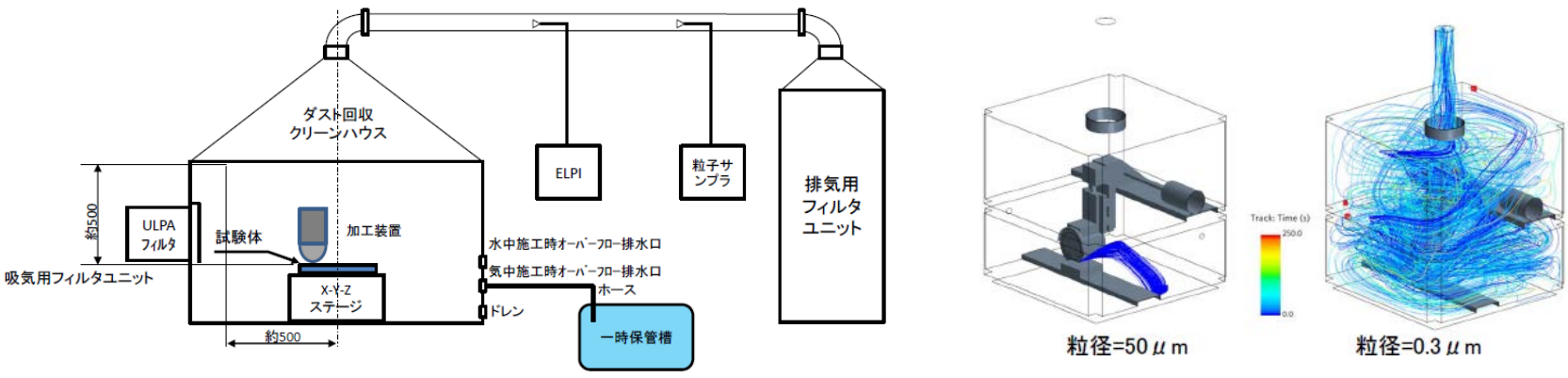


図７　ダスト集塵システムの開発（ダスト評価試験装置の概要と基本設計の解析例）

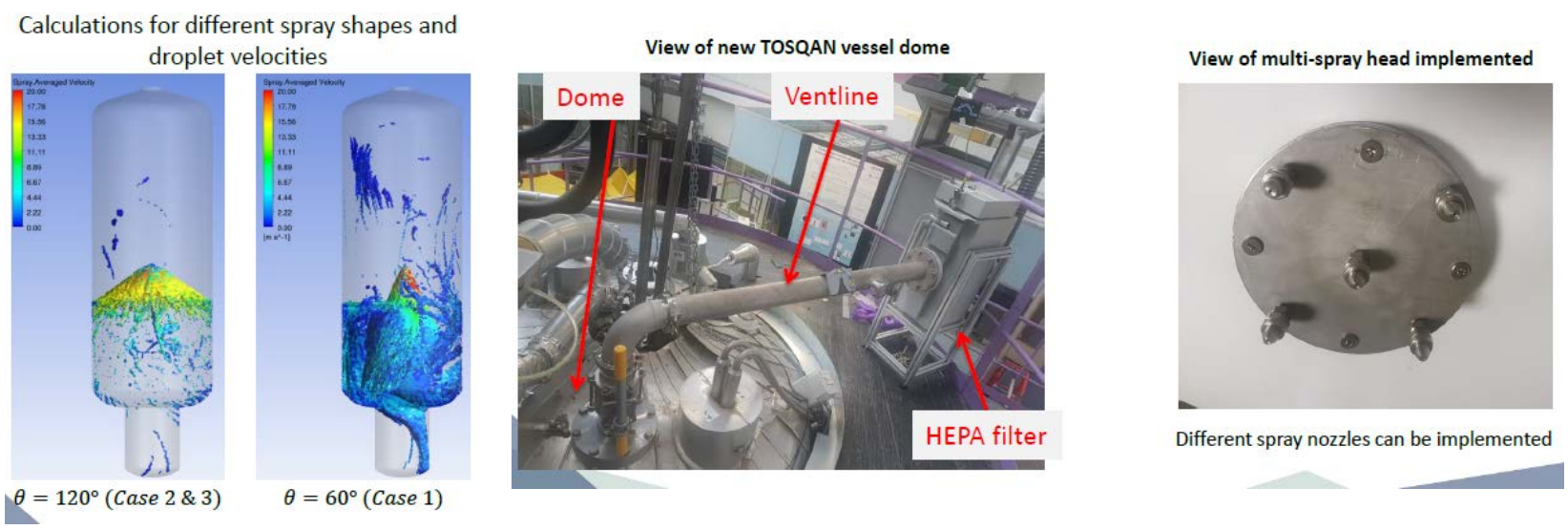


図８　ダスト集塵システムの開発（スプレースクラビング効果の解析とTOSQANの試験装置（ONET）

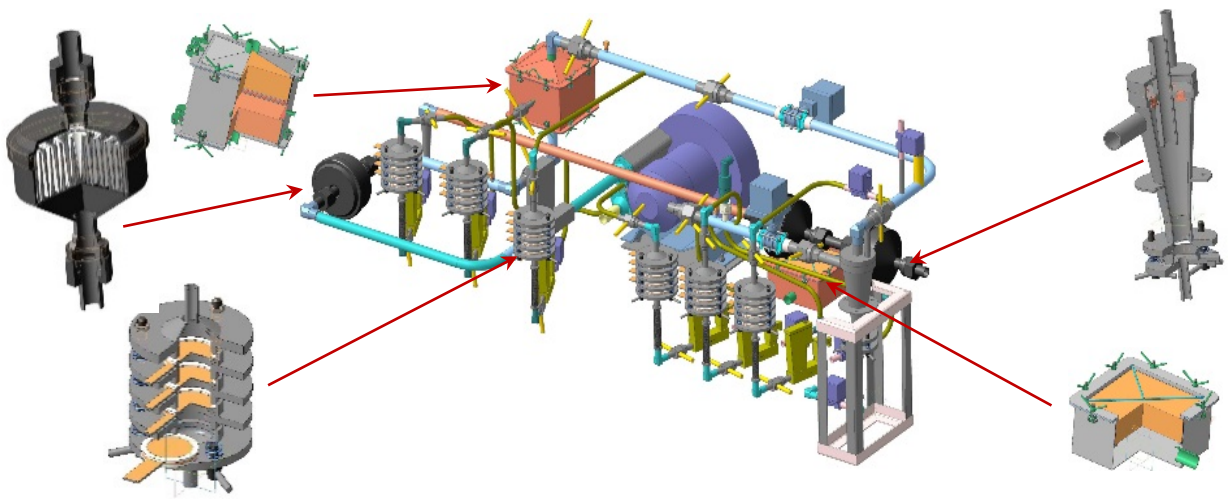


図９　ダスト集塵・飛散抑制システム開発（ホットセル 実験室規模ダスト捕集試験装置の設計（TENEX）

2-② 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発、同（ダスト集塵システムの技術開発）

（2）燃料デブリ取り扱い技術の開発

①PCV内　燃料デブリ集塵・回収システムの技術開発

b. 燃料デブリの状態に応じた回収、収納方法・システムの開発

PCV内にはRPV内の溶融損傷燃料に加えて、ペデスタル底部等の構造物上の様々な場所に、多様な状態（ルースデブリ、汚泥状、微細（粉）デブリ、破砕/切削等の加工によるデブリ等）で堆積する燃料デブリが存在する。燃料デブリ取り出しを効率化するために、燃料デブリの状態に応じた回収方法、容器への収納方法及びシステムの開発を実施中であり、特に、粒状燃料デブリの吸引回収、燃料デブリ・廃棄物の搬出プロセス技術の開発を進めている。（**図10**）

②液相内　燃料デブリ・堆積物の浄化・処理に関わる技術開発

a. 溶解性核種の除去技術の開発

燃料デブリから循環冷却水中に溶出すると考えられる溶解性核種の除去技術について、溶解性核種除去用吸着材に関するアルファ核種を対象とした要素試験を実施して最適な吸着材を選定し、吸着除去設備の概念システム設計を実施中である。また、中性子吸収材として使用するホウ酸調整に関する試験を実施中である。（**図11**）

b. PCV内から回収された堆積物等の処理技術の開発

PCV内底部等に存在する燃料デブリを含む堆積物の回収時には堆積物を含む回収液の発生があり、また、燃料デブリ取り出し作業時には循環冷却水系のフィルタ等を逆洗する場合に、固形物を含む廃液等が発生する。これらの取り扱い、保管にあたっては、その性状把握した上で液中から固形成分を分離することが、安全性、減容等の観点から必要である。液中から固形物を分離、収納するための処理技術について、収納効率、遠隔操作、保守等を考慮した技術の開発を行い、廃液処理設備の概念システム設計を実施中である。（**図11**）

③燃料デブリと廃棄物の仕分けに関わる技術の調査

PCV内から取り出された物を、燃料デブリと放射性廃棄物に仕分ける場合に必要となる技術を調査するとともに、仕分けを行うための方法について検討し、実現性の評価について、「燃料デブリの収納・移送・保管技術の開発」及び「固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発」等の関連事業とともに実施中である。

（注記）

燃料デブリ取り出しに関わる機器・装置及びシステムに関わる技術開発においては、以下について遠隔操作で扱う装置の取り扱い性、保守方法を考慮した開発を行うこととしている。

・高放射線量エリアに設置することから、遠隔での保守が原則となる。
・装置の汚染と必要な除染に配慮する必要がある。
・保守を行うための作業エリアが限られる。
・保守作業によって発生する放射性廃棄物を極力抑える必要がある。
・臨界監視装置の設置、取扱いに配慮する必要がある。

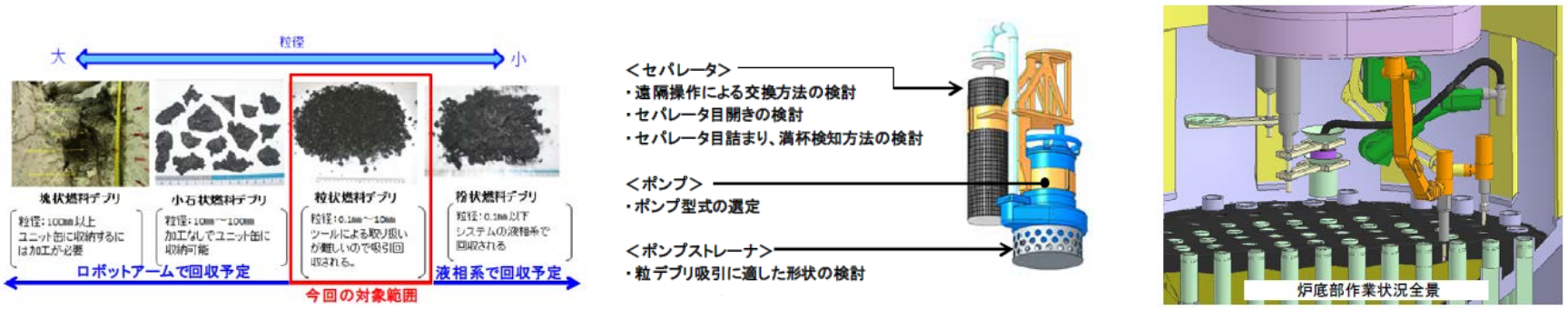


図10　燃料デブリの状態に応じた回収・収納システムの開発（粒状燃料デブリの吸引回収、RPV内燃料デブリの回収方法）

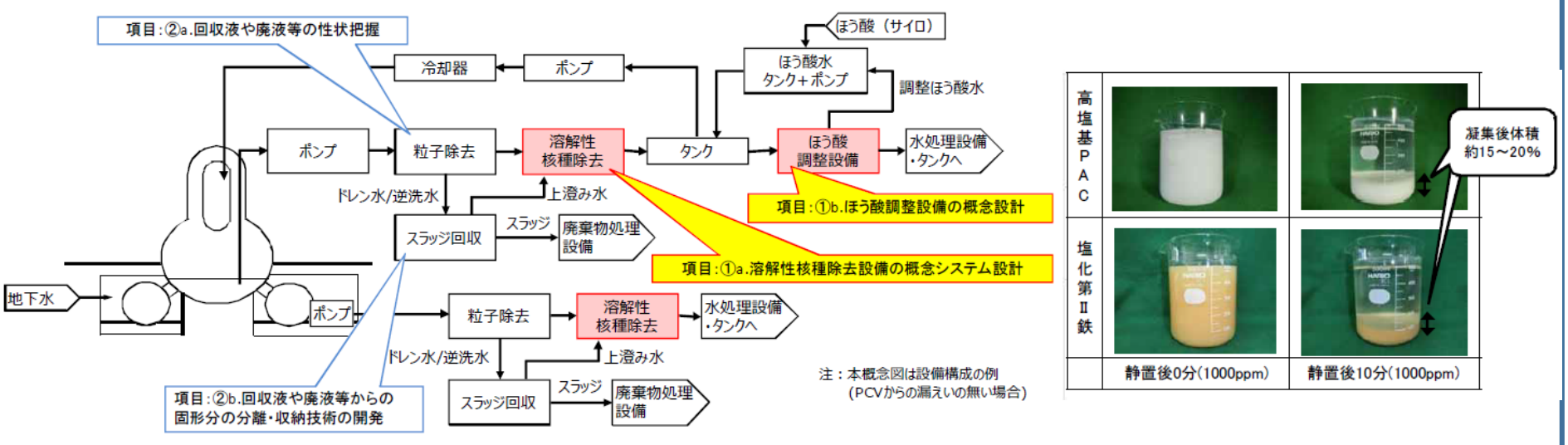


図11　燃料デブリ・堆積物の浄化・処理に関する技術開発（溶解性核種除去、ホウ酸調整、堆積物処理）

2-② 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発、同（ダスト集塵システムの技術開発）

（3）燃料デブリ取り出し作業時の安全確保に関わる技術開発

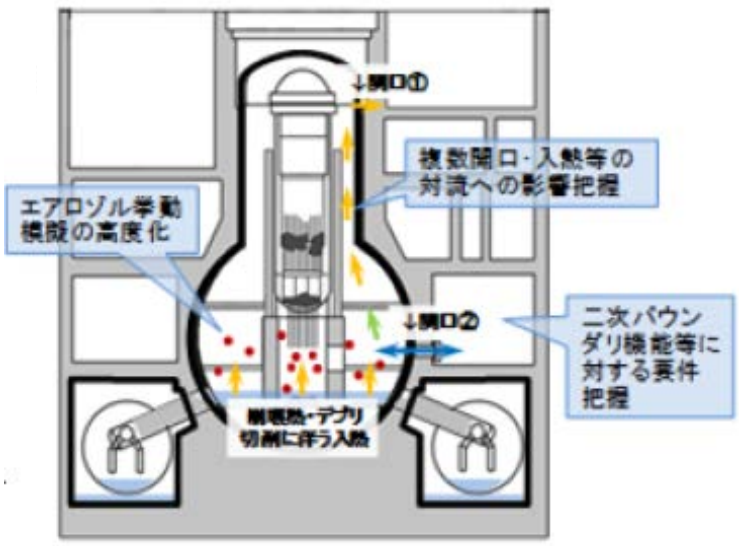
①閉じ込め機能に関わる要素技術開発

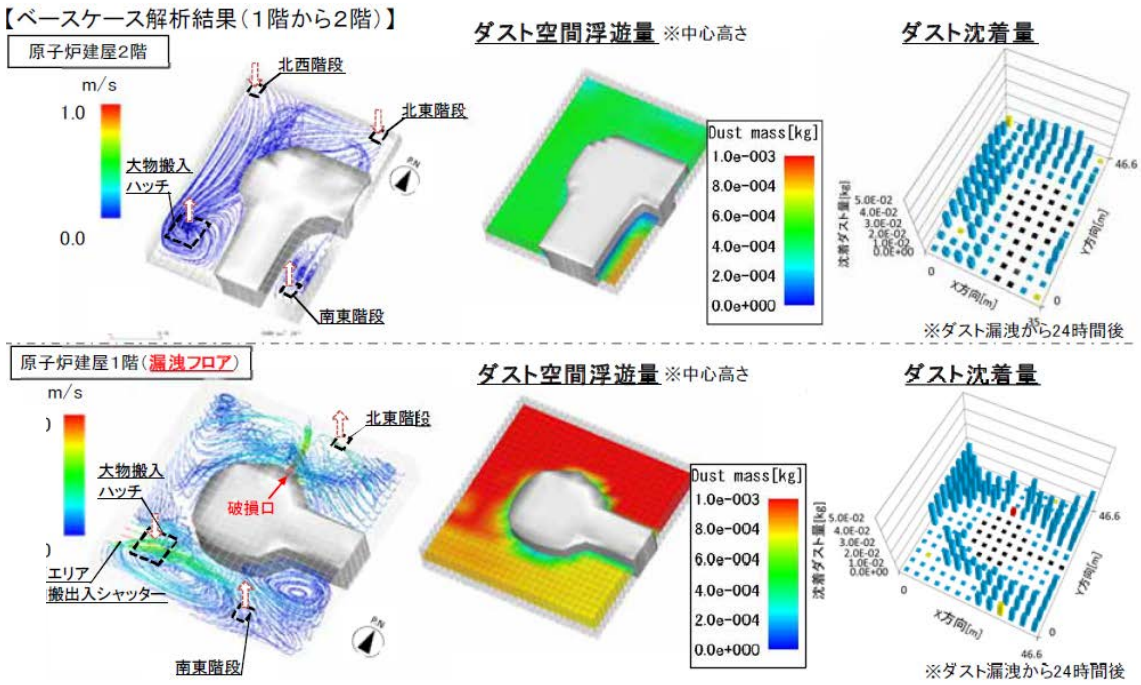
a. 閉じ込め機能に関わるダスト挙動予測技術の開発

公衆、作業員の安全を確保する観点で、閉じ込め機能は重要である。燃料デブリ加工時に発生するアルファ核種を含むダストのPCV内での挙動の予測に必要なPCV内部の気流解析とエアロゾル挙動の解析技術の組み合わせについて研究開発するとともに、R／B内での挙動予測を行うための解析モデルの拡張に関する開発を実施した。（**図12**）

b. 大型新設設備の既設接続部の閉じ込め技術の開発

燃料デブリ取り出しのための作業セル等、R／Bに設置する大型の新設設備について、PCV等の既設構造物との接続部の閉じ込め機能確保のための技術開発として、接続部の構造、工法、検査、シール材等の保守等について検討し、必要な要素試験を実施し、技術の成立性の検討を実施中である。（**図13**）





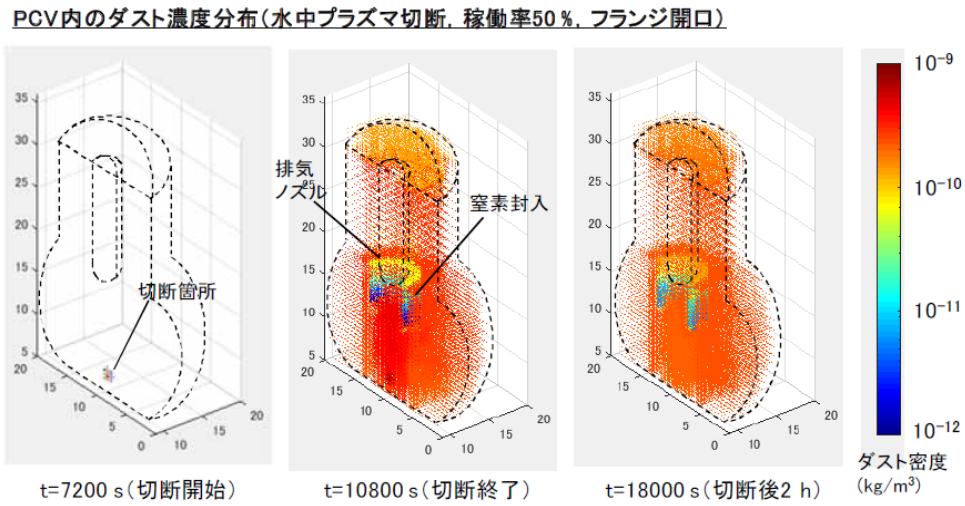
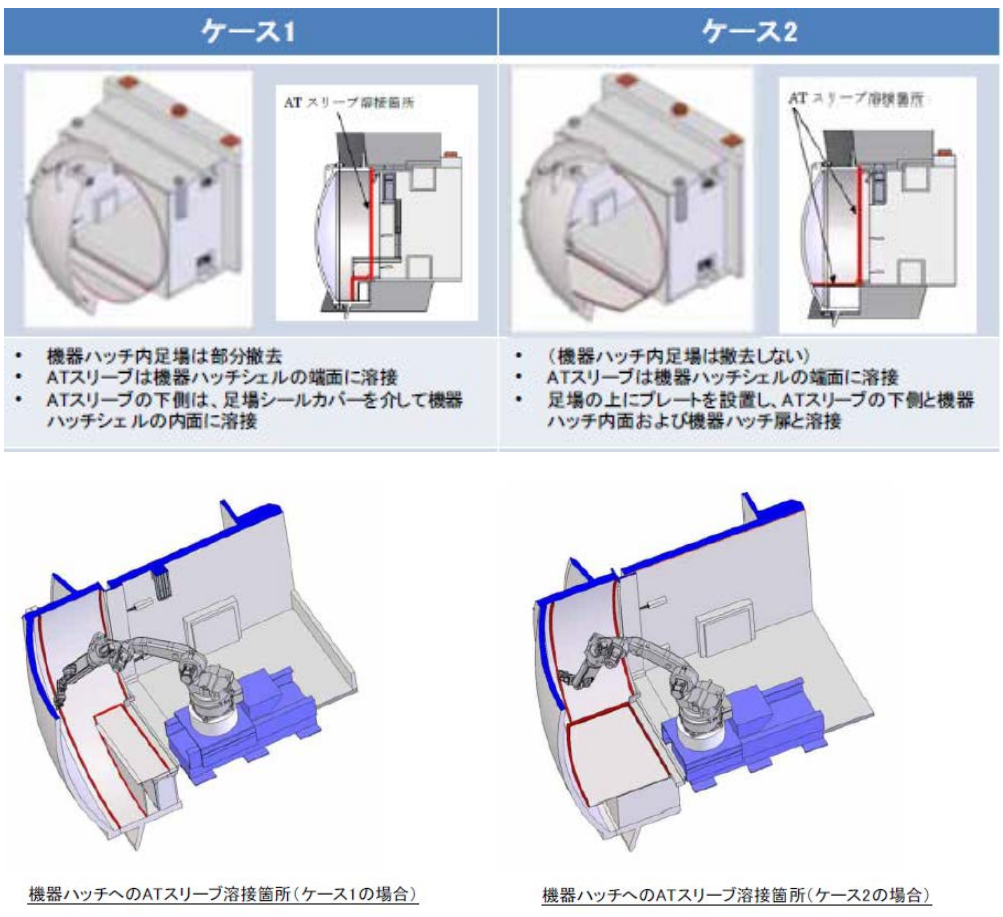
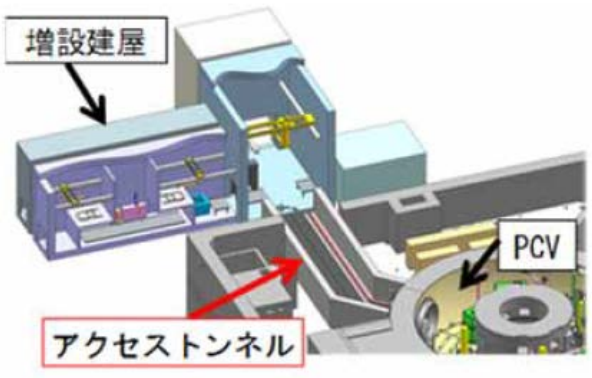


図12　PCV内でのダスト挙動予測技術の開発





PCVと増設建屋の接続イメージ

図13　接続部の閉じ込め機能確保技術の開発

2-② 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発、同（ダスト集塵システムの技術開発）

②臨界防止・監視に関わる要素技術開発

a.臨界監視の管理方法の技術開発

燃料デブリ取り出し作業に起因する臨界の発生を防止するためには監視しながら、慎重な取り出し作業が求められる。

そこで、福島第一原子力発電所の状態を模擬した大型で複雑な燃料分布体系での未臨界度測定精度を確認し、未臨界度測定の成立性を確認中である。

また、関連事業「燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業（小型中性子検出器の開発）」の成果を踏まえ、中性子検出器の現場への適用性について検討を実施中である。あわせて、東京電力ホールディングス株式会社のエンジニアリングと連携し、臨界近接監視手順の策定、管理パラメータの設定方法等を含む管理手順の立案等を行い、現場適用のための実証計画の策定等の検討を進めている。（**図14**）

b.臨界防止技術の開発

燃料デブリ取り出し時の燃料デブリの状態に応じた非溶解性中性子吸収材の使い分け方法や投入装置の概念設計等、非溶解性中性子吸収材の運用方法の検討を実施した（**図15**）。また、デブリ加工が非溶解性中性子吸収材に与える影響等を要素試験により確認し、運用方法の検討へ反映し、さらに放射線影響下での防錆剤の使用を考慮した環境における非溶解性中性子吸収材の構造材等への影響について検討を実施中である。

臨界近接監視の機能を3種類の検出器で実現

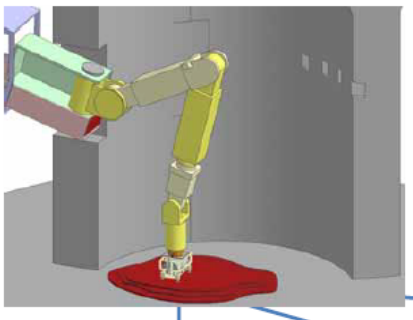
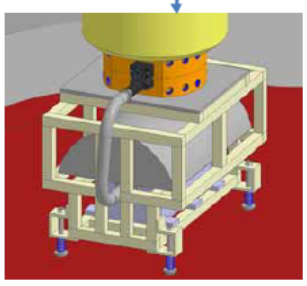
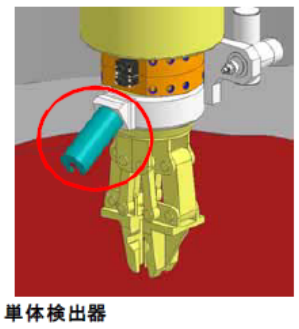


表　臨界近接監視用検出器の機能整理

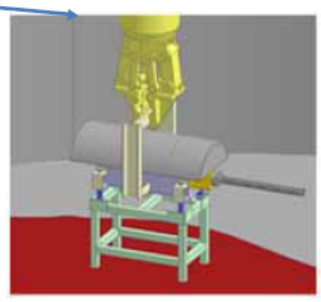
名　称	中性子検出器ユニット	単体検出器	再臨界検知用検出器
使用目的	作業前状態の把握	加工着手判断	予期せぬ変化の検知
機　能	未臨界度測定	加工前後の臨界近接監視	加工中の中性子束連続監視
	中性子増倍率の絶対値測定	中性子増倍率の相対変化測定	
形　態	デブリ上設置型	アーム搭載型	デブリ上設置型
重　量	120～150kg 現在、小型化検討中	30～50kg	30kg以下
計測時間	数日から1週間	10分程度	連続
測定点	取り出し開始点近傍の1点	加工位置に応じて、適宜移動させる。	同左



中性子検出器ユニット



単体検出器



再臨界検知用検出器

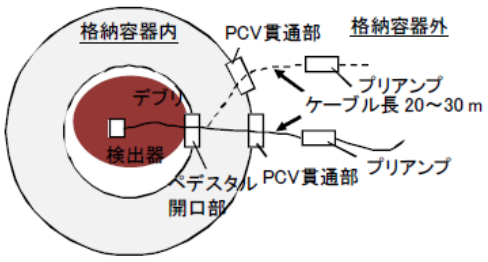
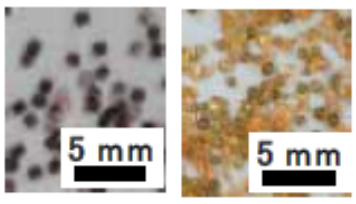


図1. 1F適用時の設置イメージ

図14　臨界監視の管理方法の技術開発（中性子検出器の現場への適用性確認）



B_4C金属焼結材（固体）

B・Gd入ガラス材（固体）

Gd_2O_3粒子（固体）

水ガラス／Gd_2O_3造粒粉材（粘性体）

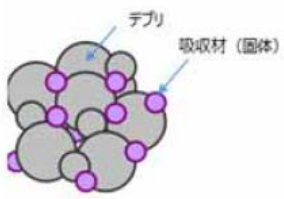


図1 小石状デブリに固体タイプの吸収材を使用

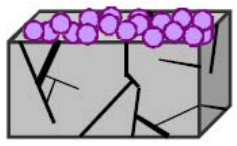


図2 岩盤状デブリに固体タイプの吸収材を使用

図3 小石状デブリに液体→固化タイプの吸収材を使用

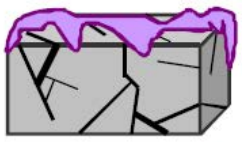


図4 岩盤状デブリに液体→固化タイプの吸収材を使用

図5 棒状デブリに液体→固化タイプの吸収材を使用

図6 凹凸の大きなデブリに液体→固化タイプの吸収材を使用

固体（粉体）向け投入装置の例

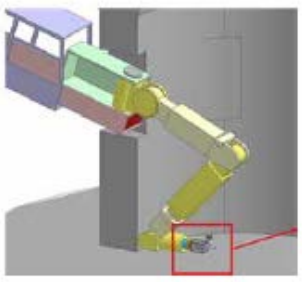


図15　臨界防止技術の開発（非溶解性中性子吸収材の投入、運用方法）

実施者

特記以外は、技術研究組合国際廃炉研究開発機構（IRID）

2-② 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発、同（ダスト集塵システムの技術開発）

2. 関連事業

これまで行われた関連事業における成果は以下のとおりである。

○燃料デブリ・炉内構造物の取り出し技術の開発 （2014年度）

（1）燃料デブリ取り出し工法確定に向けて、プラントデータや他プロジェクトの開発成果等の情報を収集・整理し、取り出し工法として実現性が高いと考えられる代表3工法（冠水－上アクセス、気中－上アクセス、気中－横アクセス）を選定し、課題を抽出、整理を行った。

（2）抽出された課題について、既存技術の調査を行い、対応策を検討し、必要な開発計画の策定を行った。

（3）燃料デブリ取り出しに必要と考えられる技術について、各種要素試験を行った。

○燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化 （2015～2016年度）

（1）代表3工法の実現性の検討

代表3工法について、プロセスフロー、作業ステップ図等を検討・作成し、要求仕様の設定及び課題の抽出を行った。

（2）安全確保のためのシステムの概念検討

燃料デブリ取り出し時に求められる安全要求、機能要求を整理し、安全を確保するための各種システムの構成を検討した。

また、検討されたシステムによる概略の被ばく影響評価を行った。

（3）燃料デブリ取り出し装置の概念検討

代表3工法に適用する燃料デブリ取り出し装置の概念検討を行った。

○燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化 （2017～2018年度）

（1）閉じ込め機能に関する技術開発

・負圧管理による閉じ込め機能確保のための要素技術開発として、解析、要素試験により、負圧管理による閉じ込め機能確保のための技術開発を行った。

（2）燃料デブリ由来のダストの捕集・除去に関する技術開発

・気体系システムにおけるダストの捕集・除去技術及び液体系システムにおけるダストおよび溶解性核種の捕集・除去技術について、既存技術の調査、比較を行い、優位技術について要素試験により知見の充実を図った。

（3）燃料デブリ取り出しに伴うα核種モニタリングシステムの検討

・燃料デブリ取り出し時のα核種のモニタリング技術について、既存技術について調査を実施し、実機適用の場合の課題の整理を行った。

（4）工法・システムの安全確保に関する最適化検討

・気中-横アクセスに軸足を置いた各号機への適用性を考慮した工法について設計条件を整理し、セルの設置工法などについて検討した。（**図16**）

・燃料デブリ取り出し時の公衆被ばく評価結果について見直を行い、重要となる作業者被ばくについての検討を行った。

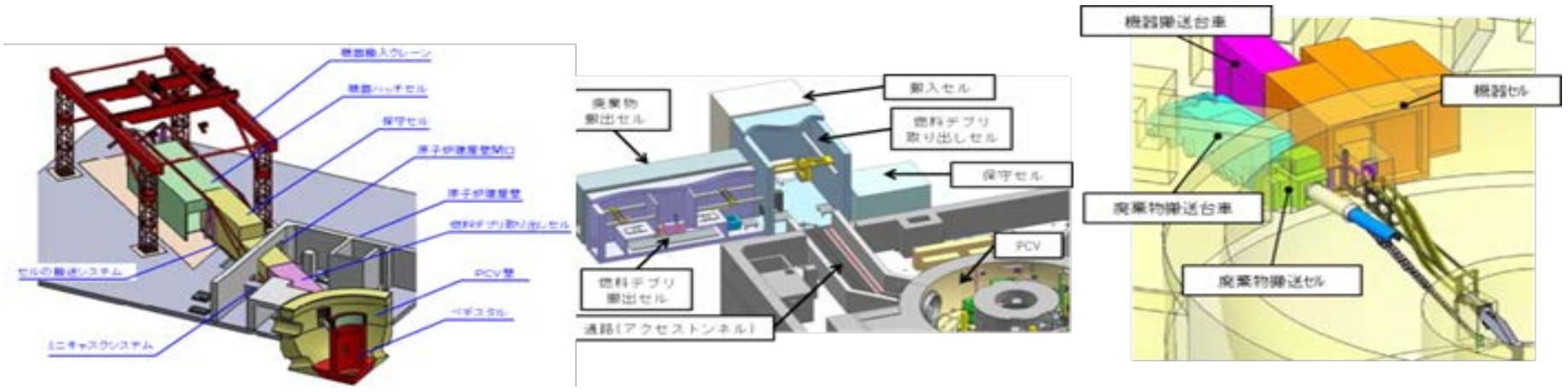


図16　燃料デブリ取り出しセルの設置イメージ

2011度	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
			燃料デブリ・炉内構造物の取り出し技術の開発						
				燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化					
				燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発（※）					

（※）2020年2月27日開催の廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議（第75回　資料4　その他）において公開された「2020年度廃炉研究開発計画について」に合わせ、事業名称を変更した。