

平成30年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金」
「燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発（燃料デブリのダスト集塵システムの技術開発）」

2019年度実施分成果報告

2020年8月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)

事業開始時の事業名称は「燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術の開発（燃料デブリのダスト集塵システムの技術開発）」であるが、廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議（第75回）において公開された2020年度廃炉研究開発計画に合わせ、「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（燃料デブリのダスト集塵システムの技術開発）」と変更した。

目次

1. 「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
(燃料デブリのダスト集塵システムの技術開発)」の目的と目標
2. 前年度(2017～2018年度)実施した事業の実績
3. 本事業の概要
4. 本事業の実施スケジュール
5. 本事業の実施体制
6. 補助事業の内容
7. 本事業の実施内容
 - 1)ダスト集塵・飛散抑制システムの開発
 - 2)ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発
 - 3)ダスト集塵・飛散抑制評価試験
8. まとめ
9. 実施目的を達成するための具体的目標

1. 「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 (燃料デブリのダスト集塵システムの技術開発)」の目的と目標

【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 (燃料デブリのダスト集塵システム技術開発)の目的】

東京電力ホールディングス(株)(東電HD)福島第一原子力発電所(1F)では、核燃料が炉内構造物とともに溶融し、燃料デブリとして原子炉圧力容器(RPV)内及び原子炉格納容器(PCV)内に存在していると考えられる。

RPV及びPCV内部の燃料デブリは、現在未臨界状態にあると考えられるが、事故によって原子炉建屋(R/B)、RPV、PCV等が損傷している等、プラント自体が当初設計とは異なる不安定な状態に置かれているため、燃料デブリを取り出して燃料デブリの未臨界状態を維持し、放射性物質の拡散を防止して安定な状態にする必要がある。

上記の背景のもと、本事業は、「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」(中長期ロードマップ)に基づき実施する。

本事業は、1Fの廃炉・汚染水対策に資する技術の開発を支援する事業を、中長期ロードマップ及び「2019年度廃炉研究開発計画」(廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議(第63回))に基づき行うことで、1Fの廃炉・汚染水対策を円滑に進めるとともに、わが国の科学技術の水準の向上を図ることを目的とする。

なお、本事業は、東電HDが行うエンジニアリングやプロジェクト管理と連携して実施され、本事業の成果は東電HDが行うエンジニアリングに活用される。

【開発全体の目標】

中長期ロードマップ」に基づき、福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策を円滑に進めるとともに、わが国の科学技術の水準の向上を図ることを目的とする。

2. 前年度(2017～2018年度)に実施した事業の実績

以下に示す要素試験を実施し、開発計画を策定した。(1/2)

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

①燃料デブリの回収システムの開発

- a. 燃料デブリ回収方法(吸引、把持など)と手段
- b. 燃料デブリのユニット缶収納方法
- c. 燃料デブリの水分調整方法(脱水、乾燥など)
- d. ユニット缶の収納缶収納方法及び搬出方法

②燃料デブリの切削・集塵システムの開発

- a. 燃料デブリの性状を考慮した有効な加工・切削方法の整理・検討
- b. 有効な加工・切削方法による燃料デブリ, 模擬試験体の加工要素試験
 - (1) チゼルによる加工要素試験
 - (2) 超音波コアボーリングによる加工要素試験
- c. 加工試験に使用するための燃料デブリ・汚染構造物模擬試験体の製作
- d. 加工時の切りくずやダストの回収方法と分析

③燃料デブリの拡散防止工法の開発

- a. サプレッションチェンバーへの汚染拡大防止措置

次紙に続く

2. 前年度(2017～2018年度)に実施した事業の実績

以下に示す要素試験を実施し、開発計画を策定した。(2/2)

2) 取り出し装置設置のための要素技術開発

①作業セルに関する要素技術開発

- a. 上アクセス、横アクセス作業セルの設置方法、原子炉建屋への負担低減と取り扱い性向上
- b. 作業セルシール方法(溶接、インフレートシール、水シールなど)
- c. 作業セルの気密性能とダスト飛散防止性能の確保

②燃料デブリ取り出し時の干渉物撤去技術の開発

- a. 上アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法
- b. 横アクセス工法の燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法
- c. 各アクセス共通での燃料デブリ取り出し装置による干渉物撤去方法

3) 燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発

- a. 上アクセス工法及び横アクセス工法共通の遠隔保守に関する対応方針の検討
- b. 上アクセス工法及び横アクセス工法における主な機器の配置及び動線
- c. 技術開発計画の立案

上記において開発した基盤技術の本事業に関連する適用例について以下に示す。

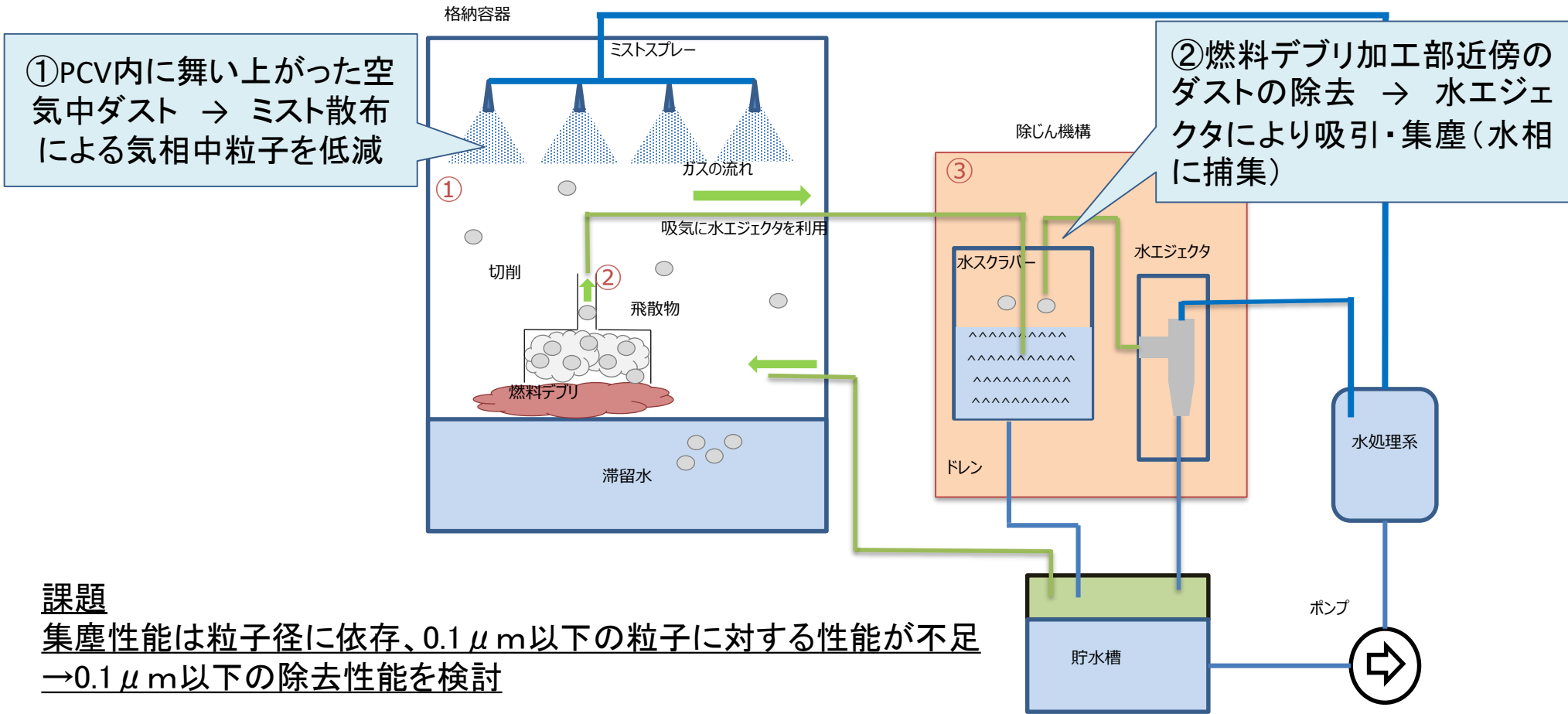
2. 前年度(2017~2018年度)に実施した事業の実績

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

d. 加工時の切りくずやダストの回収方法と分析

発生したダストは、最終的には系統で浄化されるが、加工点近傍にて可能な範囲で集塵・浄化を指向する



課題

集塵性能は粒子径に依存、 $0.1 \mu m$ 以下の粒子に対する性能が不足
→ $0.1 \mu m$ 以下の除去性能を検討

2. 前年度(2017~2018年度)に実施した事業の実績

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

d. 加工時の切りくずやダストの回収方法と分析

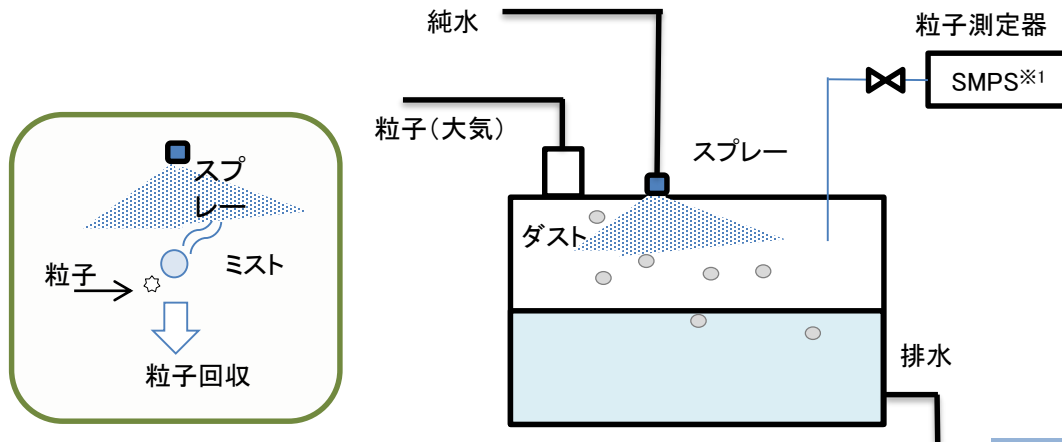
ミストによる回収

水ミストによる浮遊粒子の回収効率を検討

パラメータ: ミスト濃度 (100ml/min、200ml/min)

散布時間 (1, 4, 10分)

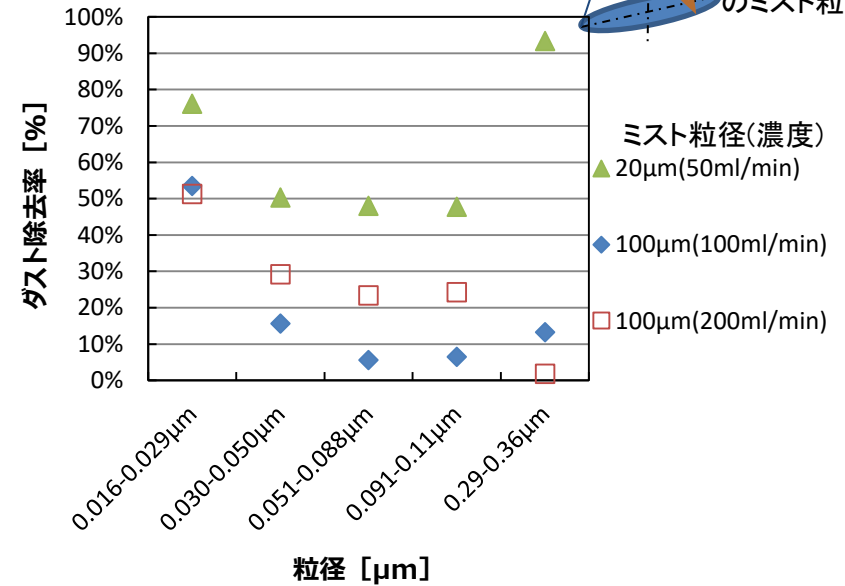
試験方法: 容器内の大気中の粒子濃度(入口)を測定し、水ミストを一定時間散布後の粒子濃度(出口)を測定



$$\text{回収率}[\%] = \frac{(\text{容器内の粒子濃度} - \text{ミスト散布後の容器内粒子濃度})}{\text{容器内の粒子濃度}} \times 100$$

※1 SMPSモデル3081(測定範囲(0.015~0.6 μm))

ミスト散布1分後のダスト回収率



・ミストは小粒径・高濃度が望ましい
 ・ミストによって、0.1μm以下の粒子に対する回収の見込みが得られた

2. 前年度(2017～2018年度)に実施した事業の実績

1) 燃料デブリの拡散防止に係る技術開発

② 燃料デブリの切削・集塵システムの開発

d. 加工時の切りくずやダストの回収方法と分析

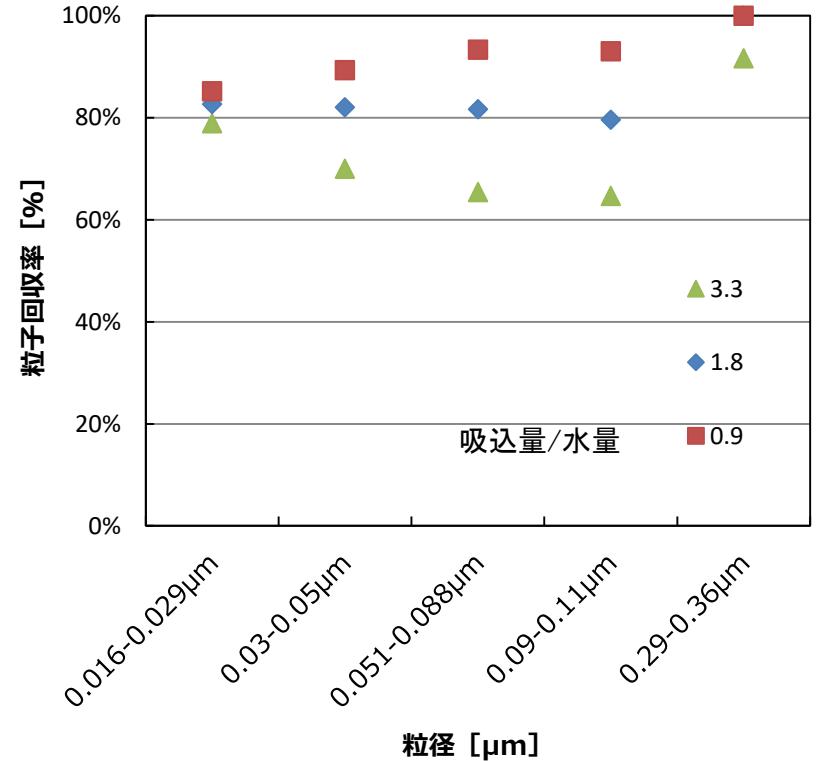
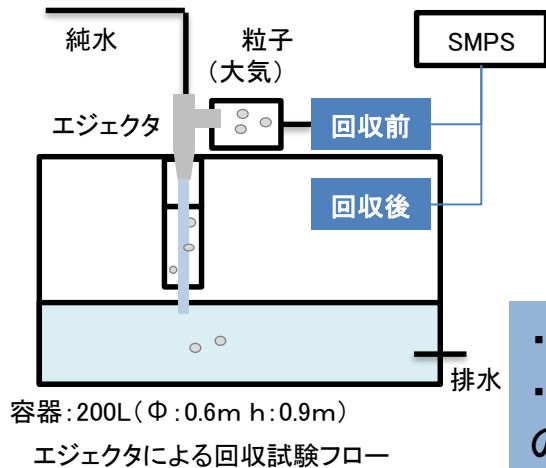
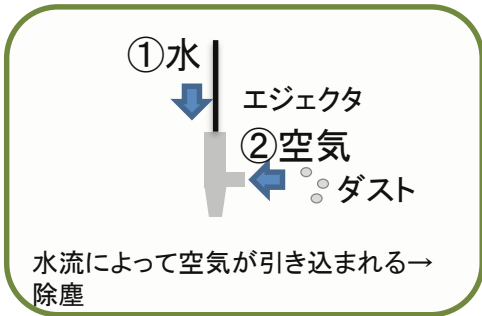
エジェクタによる回収

エジェクタによる浮遊粒子の回収効率を検討

パラメータ: 水量と吸引ガス量の比

試験方法: 容器内をN₂で置換したのち粒子濃度を測定(回収前)し、エジェクタに水を通水して大気を吸引し容器内の粒子濃度(回収後)を測定

回収率[%] = (大気粒子濃度 - エジェクタ使用後の容器内粒子濃度) ÷ 大気粒子濃度 × 100



・水量に対する吸込み量は小さいことが望ましい
・エジェクタによって、0.1μm以下の粒子に対する回収の見込みが得られた

3. 本事業の概要

3.1 他事業との連携

燃料デブリ取り出し検討の課題

- ①作業員の入域空間における安全確保の観点で放射能濃度の管理基準値を超えるのを避けるために、加工工法によっては、できるだけ加工部近傍でダストの発生と拡散を抑制する必要がある。
- ②上記環境制御システムの管理基準値の制約に対して、燃料デブリ加工工法（種類と加工パターン）を考慮してスループットを評価する必要がある。
- ③環境制御システムの除染効率（DF）に対し、フィルタ交換と廃棄物搬出の頻度を見極める必要がある。

①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※1

- ・燃料デブリ取り出し工法検討
- ・PCV内気流解析

②燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発

- ・燃料デブリの加工に伴う放射性飛散粒子の生成挙動を検討

主に連携するIRIDプロジェクト

ダストの影響を考慮したスループット

本PJへのインプット情報

- 1) 適用が見込まれる加工工法 (①)
- 2) PCV内の気流解析 (①)
- 3) 環境制御システムと放射能濃度管理目標値
- 4) 加工対象物に対するダスト量からの放射能濃度換算係数

本PJの目標とする成果

- 1) 多用が見込まれる加工ヘッドの概念設計とダスト発生量が多い加工ヘッドに対する除塵性能評価
- 2) 環境制御システムの制約からの加工パターン（加工条件および加工時間と休止時間の時間配分）の検討
- 3) ダスト集塵・飛散抑制システムの保守性を考慮した実機適用性（追加設備、取り扱い方法等）

※1 事業開始時の事業名称は「燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術の開発」であるが、廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議（第75回）において公開された2020年度廃炉研究開発計画に合わせ、「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」と変更した。

3. 本事業の概要

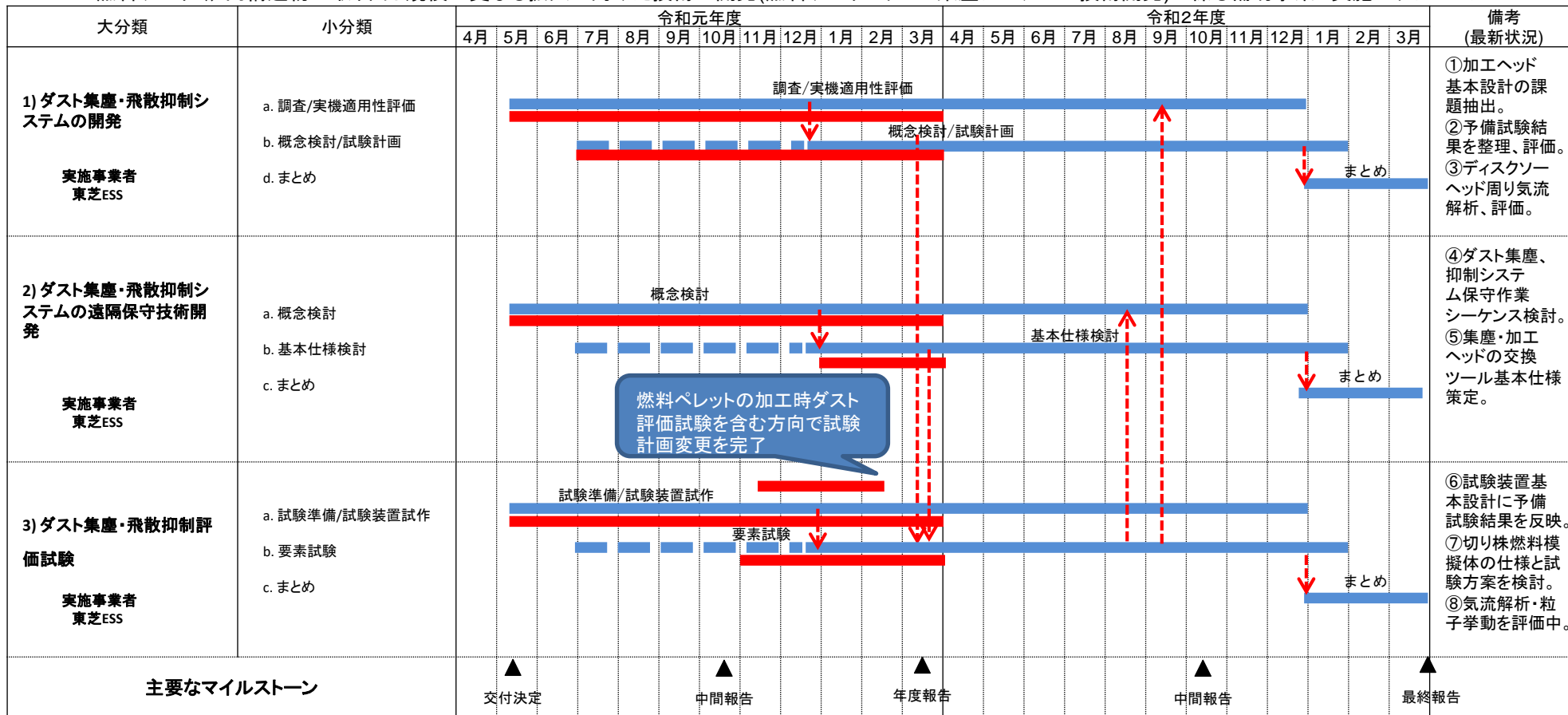
3.2 本プロジェクトの対応方針

本事業における計画を遂行するにあたり、主な対応方針について以下に記載する。

- ① 燃料デブリの加工時に発生するダストの集塵システムについて、高放射線量下・高汚染環境下、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。
- ② 本補助事業の関連事業である「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」と十分な情報連携を取りながら事業を進める。
- ③ 燃料デブリの切削等の加工には、燃料デブリの特性に応じた加工性の要求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。また、燃料デブリの切削等の加工は、気中だけでなく、液中で行われる場合もある。このような気中、液中での様々な加工方法によって発生するダストの特性を考慮した気中、液中での発生箇所でのダストの集塵システムの開発を行う。
- ④ 発生箇所でのダスト集塵システムを補完する、原子炉格納容器内でのダストの気中拡散を可能な限り抑制するシステムの開発を行う。これらのシステムの概念検討及び必要な要素試験を行う。システムの概念検討においては、遠隔で扱う装置の取り扱い性、保守方法を考慮し、システムの現場適用性を評価する。要素試験は、必要に応じて燃料デブリ模擬体等を製作して、集塵効率等の評価試験要領の策定とデータ取得を行い、ダスト集塵システムの除去性能を評価し、原子炉格納容器の換気系に必要な除染性能の負担軽減効果について評価する。
- ⑤ 集塵効率等のデータ取得に当たっては、東京電力のニーズを踏まえ、事務局を介して関係者（経済産業省、東京電力、原子力損害賠償・廃炉等支援機構）との協議を行った上で技術開発を進める。

4. 本事業の実施スケジュール

燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発(燃料デブリのダスト集塵システムの技術開発)に係る補助事業 実施スケジュール



(凡例)

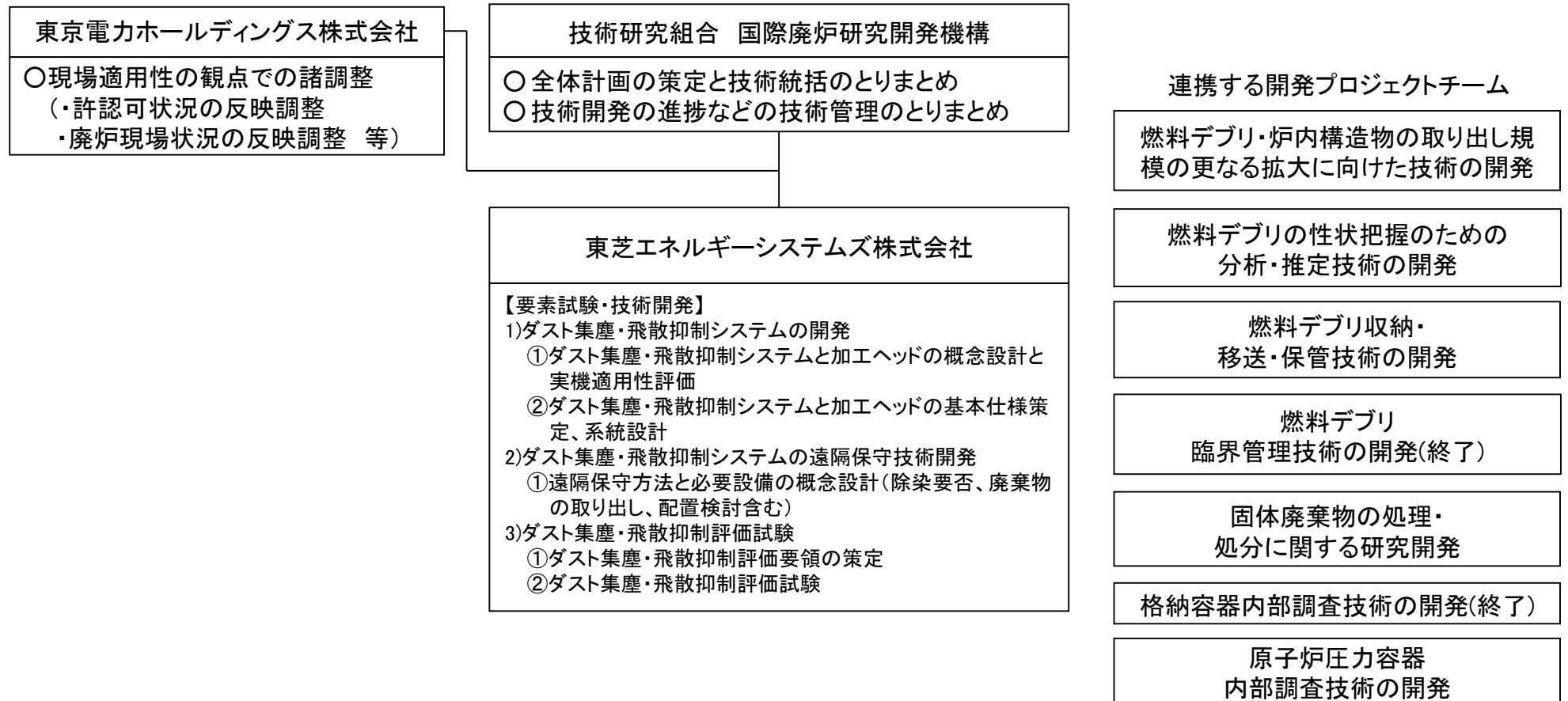
- . . . 計画工程
- . . . 前倒し工程
- . . . 実施済

5. 本事業の実施体制

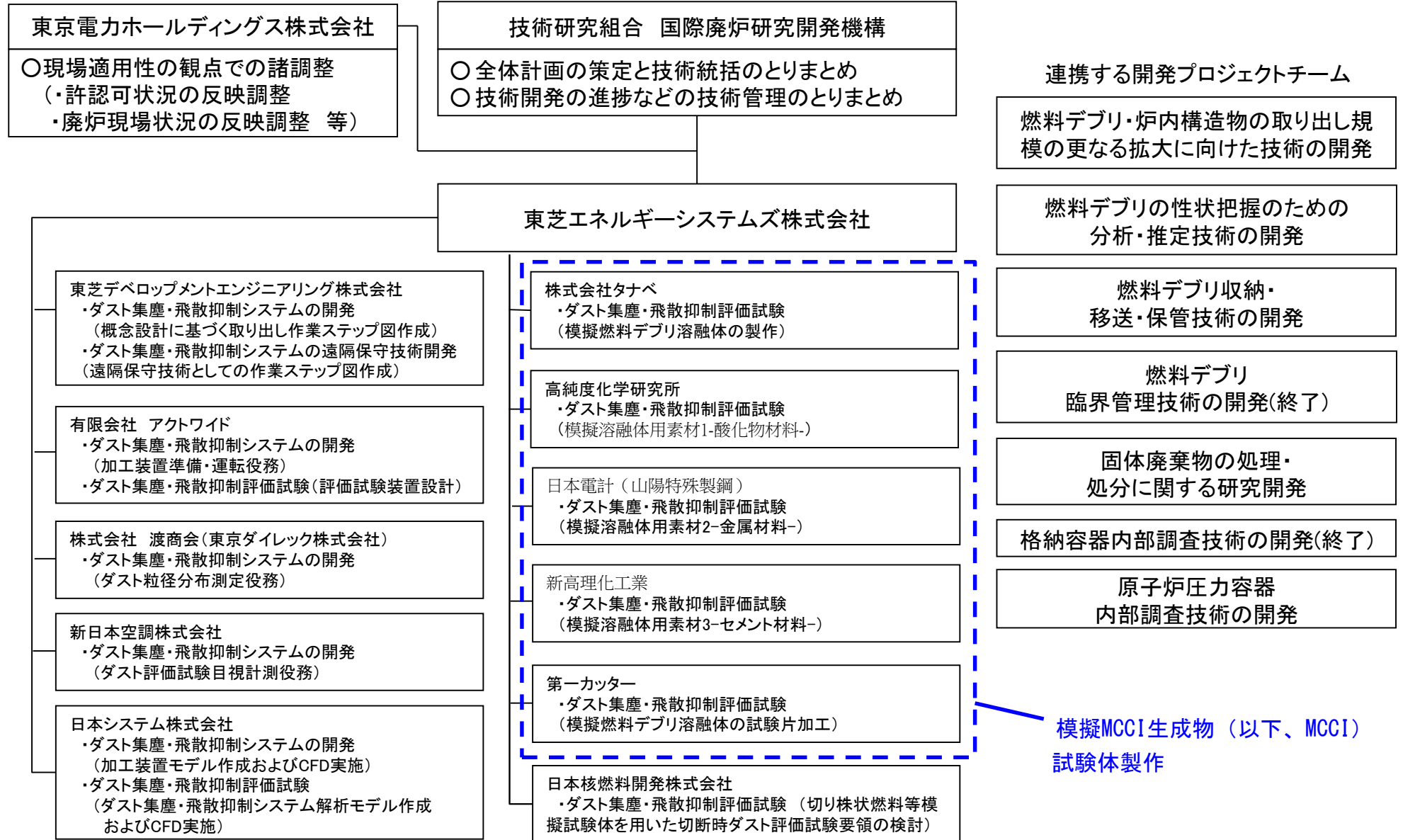
技術研究組合 国際廃炉研究開発機構では、東芝エネルギーシステム株式会社と技術開発において連携し、RPV及びPCV内部からの燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術(燃料デブリのダスト集塵システムの技術)を開発する。また、プロジェクトの全体管理は、技術研究組合 国際廃炉研究開発機構が行う。

本技術開発の目的は、工法選定に資するために、設計検討と要素試験を実施し、初号機の燃料デブリ取り出しに向けて、実機向け装置の開発に着手できるようにすることである。

溶融した燃料を取り扱う技術を開発するため、プラントメーカー及び事業者の知見・技術力を結集し、東芝エネルギーシステムズ株式会社が技術研究組合 国際廃炉研究開発機構の一員として開発に取り組む。



5. 本事業の実施体制



6. 補助事業の内容

【目的】

遠隔保守等の現場適用性を考慮した、燃料デブリ加工点近傍におけるダスト集塵・抑制システムの概念検討を行い、代表的な加工工法に対してダストの気相、液相への移行率、集塵効率を評価し、原子炉格納容器の換気系に必要な除染性能の負担軽減効果について評価する。

【本事業の主な事業内容】

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発

燃料デブリ加工時のダスト等の拡散防止を目的とし、加工点近傍における拡散防止構造と効率的な集塵技術や、拡散抑制技術について、従来技術を踏まえて現場適用性を評価する。

2) ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発

燃料デブリ取り出し機器・装置（燃料デブリ切削・集塵システム、コンテナや作業テーブル、監視装置やそれを取り扱うロボットアーム等）は高線量エリアに設置されることから、原則、遠隔で保守を行う必要がある。そのため、燃料デブリを取扱うことに配慮した機器・装置に関する保守方法の考え方の整理および保守方法の検討、実現性の評価及び課題の抽出並びに実機での合理的な対応方針について検討を行う。

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験

「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」で選定された加工工法について最もスループット向上が見込まれる工法のうち、ダストの発生が相対的に多いと想定される加工工法を選定する。加工工法に対して共通に適用できる試験要領を検討し、ダスト集塵・飛散抑制システムを備えた加工ヘッドの要素試験機を設計、試作し、想定される燃料デブリの材料状態を模擬した燃料デブリ模擬試験体に対して切削性能試験を行う。加工ヘッド周辺の空間へのダストの気中移行率、水中移行率、集塵効率を評価する試験を行う。

7. 本事業の実施内容

目次

全体計画

- 1) **ダスト集塵・飛散抑制システムの開発**
 - PCV内で加工時のダスト粒径分布の理論値検討
 - ダスト集塵・飛散抑制システム全体構成
 - ダスト飛散抑制加工ヘッドの概念検討
 - ディスクソーツールの予備試験
 - ディスクソーツールの基本設計
 - ディスクソーツールの実機適用性評価
- 2) **ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発**
 - 検討プロセス、検討内容
 - 保守作業抽出
 - 加工ツール交換方法の検討
 - 燃料デブリ取り出し装置に排風機を備えた場合の保守内容
- 3) **ダスト集塵・飛散抑制評価試験**
 - 従来のダスト評価試験の調査結果
 - ダスト評価試験の試験要領方針
 - 燃料デブリ模擬材
 - ダスト評価試験条件
 - ダスト評価試験装置の基本設計
 - 発生したダストの評価方法
 - ダスト評価試験結果の活用方法
- 4) **研究開発の運営**

7. 本事業の実施内容

全体計画（検討プロセス）

安全機能要求に基づくシステム系統図

燃料デブリ切削・集塵システム開発

燃料デブリの加工方法の開発
(コアドリル、チゼル、レーザガ
ウジング等)

従来の補助事業の
成果

ダスト集塵・飛散抑制システム概念検討

燃料デブリへのアクセス方法、
加工方法の改善※

令和元年度以降の
実施計画

※: 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で実施

燃料デブリ切削・集塵システムの実機適用性評価(絞り込み、適用条件)

ダスト集塵・飛散抑制システムの概念設計(適用範囲、寸法)

①ダスト集塵・飛散抑
制システムの開発
(TRL3)

ダスト集塵・飛散評価試験要
領の策定

ダスト集塵・飛散抑制システム
遠隔保守方法の概念設計

②ダスト集塵・飛散抑
制システムの遠隔保
守技術開発(TRL3)

ダスト集塵・飛散評価試験

加工速度に応じた飛散量データ

③ダスト集塵・飛散抑
制評価試験(TRL4)

加工時被ばく評価・環境制御システム影響評価(気相、液相)

7. 本事業の実施内容

全体計画（本プロジェクトの課題、実施内容、目標）

【課題】

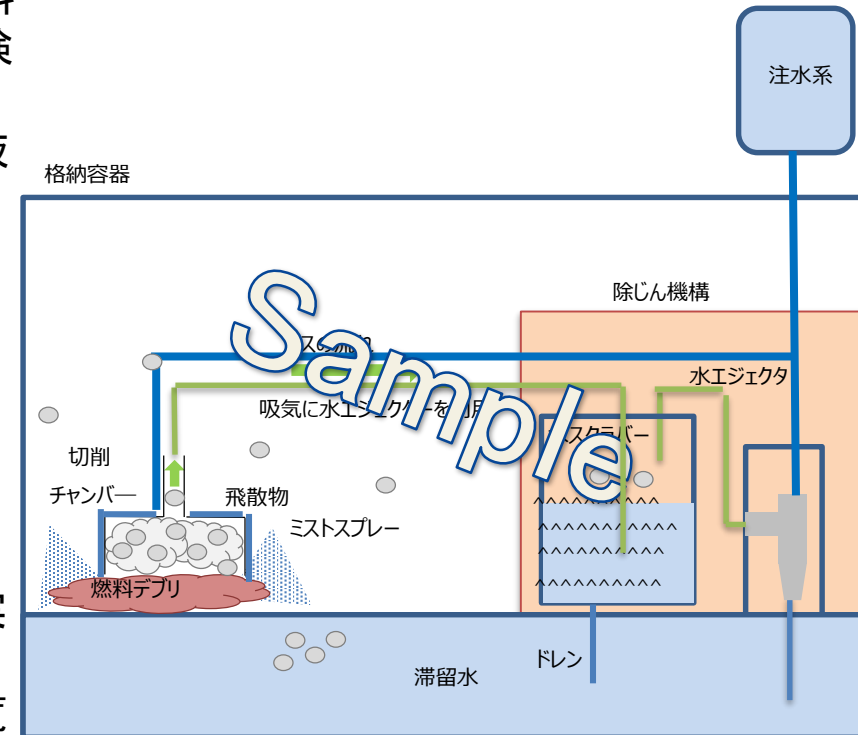
- 遠隔保守等の現場適用性を考慮した、気中および水中の燃料デブリ加工点近傍におけるダスト集塵・抑制システムの概念検討
- 原子炉格納容器内の各部における加工時のダストの気相、液相への移行率、集塵効率を評価
- 原子炉格納容器の換気系に必要となる除染性能の負担軽減効果の評価

【実施内容】

- ダスト集塵・飛散抑制システムの開発
- ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発
- ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【目標】

- ダスト集塵技術の横アクセス工法・上アクセス工法に対する実機適用性評価（TRL:3）
- ダスト集塵・飛散抑制システムと加工ヘッドの基本仕様の一覧表、系統図、概念設計図（TRL:3）
- 遠隔保守の装置や交換部品、廃棄物などの動線、概略配置、廃棄物量、除染要否と除染方法等の工法概念ステップ図（TRL:3）
- ダスト評価試験要領の確立（TRL:4）
- 燃料デブリ・構造物模擬試験体等に対する加工時ダスト評価試験で、ダスト集塵・飛散抑制性能を評価（TRL:4）

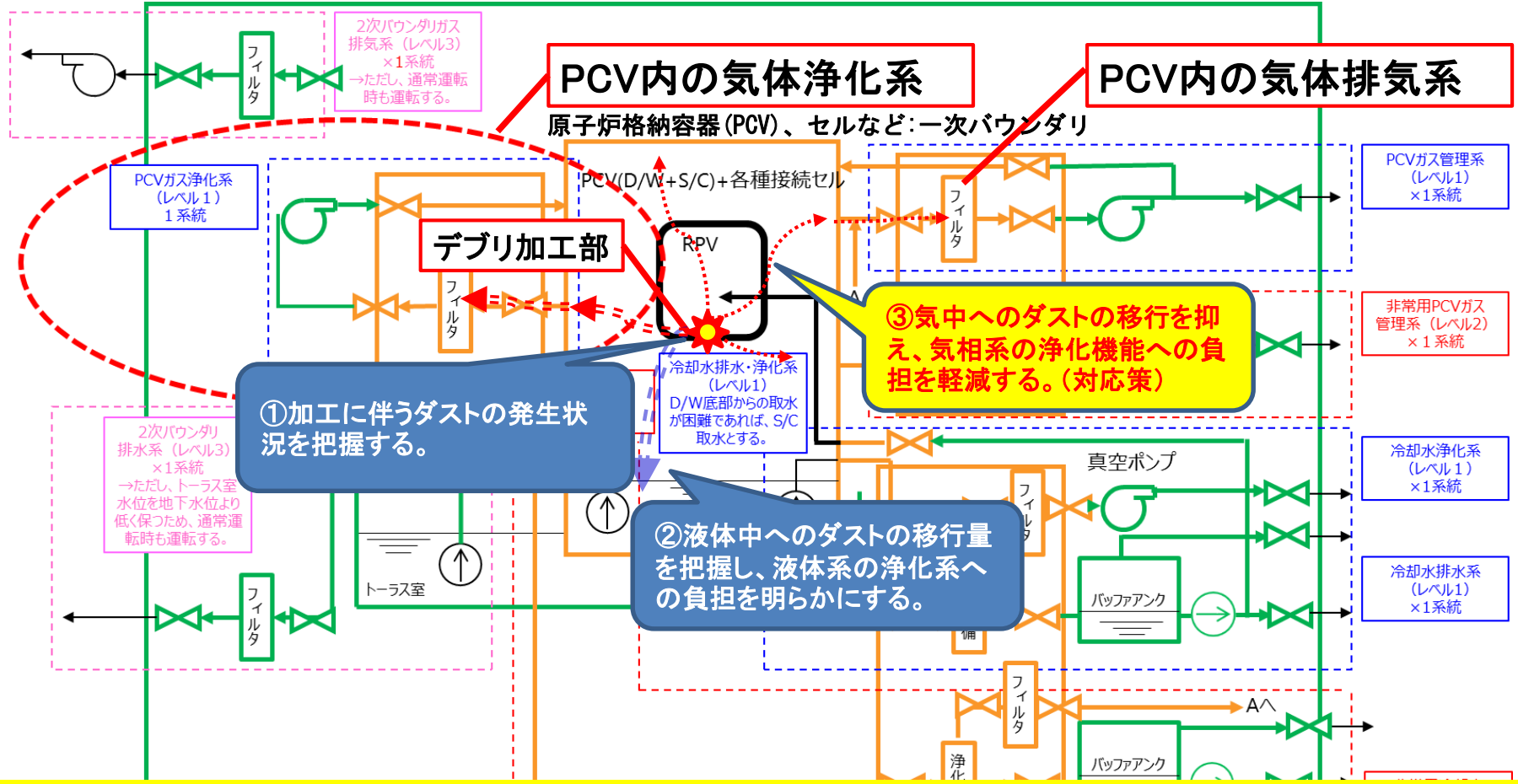


PCV内で浄化の事例
(除塵機構を加工装置に実装する場合)

7. 本事業の実施内容

全体計画(気相系、液相系環境制御システムに対する本事業の課題)

原子炉建屋(R/B)、コンテナなど:二次バウンダリ



- ・環境制御システムとは別に、PCV内部での燃料デブリ加工に伴うダストを把握し、飛散を抑制する。
- ・加工部周辺へのダスト飛散量を実力値としPCVガス管理システム設計、運用計画等へ参考インプットとする。

— : 一次バウンダリ
 — : 二次バウンダリ

7. 本事業の実施内容

全体計画（本研究開発の目標）

- デブリ取り出しの時系列に応じてPCV内での各種加工に伴いPCV内に浮遊するダスト量(加工に応じた実力値)を検討する。
- 気相に移行する放射性物質量は電中研「廃止措置工事環境影響評価ハンドブック(第3次版)(以降、「廃炉ハンドブック」)」を参照するが、適用される切断・加工法に応じた実力値を得ることで、フィルタの逆洗、交換頻度などの運用計画の見込み検討に寄与する。
- システム検証試験に投入できる第一歩となる集塵・加工ヘッド試作機(雛形)の切断時のダスト集塵、抑制機能の評価を行う。
- スループット評価精度を高め、加工速度の高速化の程度と環境制御システムとのバランスを見極める。(PCV内ガスの浄化性能に応じた加工速度の限界を把握)
- ダスト評価試験要領を確立する。

7. 本事業の実施内容

全体計画（安全要求、機能要求からの本事業の必要性）

【安全要求】

気体中の放射性物質の安全基準で許容される以上の漏えい防止

【機能要求(レベル1)】

- ・管理基準値以下に一次バウンダリ(PCV/セル)内放射性物質を低減
- ・気相中放射性物質の一次バウンダリからの漏えいを静的・動的バウンダリによる防止
- これまでの補助事業での被ばく評価の検討状況
- ・燃料デブリ取り出し時の被ばく評価では、燃料デブリ切断時のダスト発生量(ソースターム)及びPCV内の沈降効果等については保守的条件となっている。
 - －局所回収設備の効率:考慮なし
 - －ダストのPCV内沈降効果:考慮なし
 - (－燃料デブリ加工時の気相移行率→廃炉ハンドブックより)
- 本PJの必要性

バウンダリからのダスト漏えい抑制のためには、燃料デブリ切断におけるダスト発生量の低減が重要

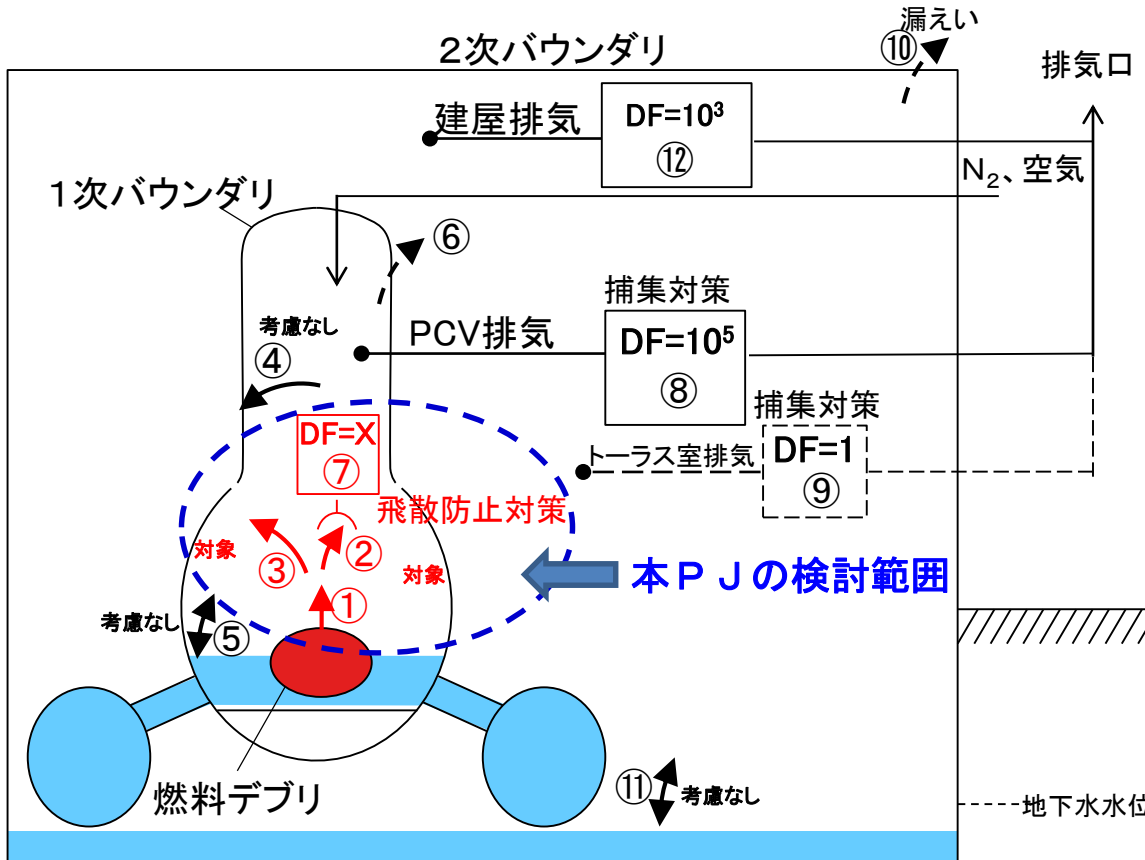
時系列での安全性の評価、合理的なシステム設計及び保守・運用計画に資するために、PCV内のダスト発生量(ダスト粒径分布等)、ダスト集塵・飛散抑制対応策(局所回収効果、PCV内除去効果等)の理論的検討及び実験的アプローチで被ばく評価の実力値の定量化を図る。

安全要求、深層防護レベル1機能要求に基づいて、燃料デブリ加工時のダスト飛散抑制を実現

7. 本事業の実施内容

全体計画（プロジェクトの範囲（1））

加工と局所回収（集塵・飛散抑制）に伴う原子炉格納容器内のダスト濃度をアウトプットとする。

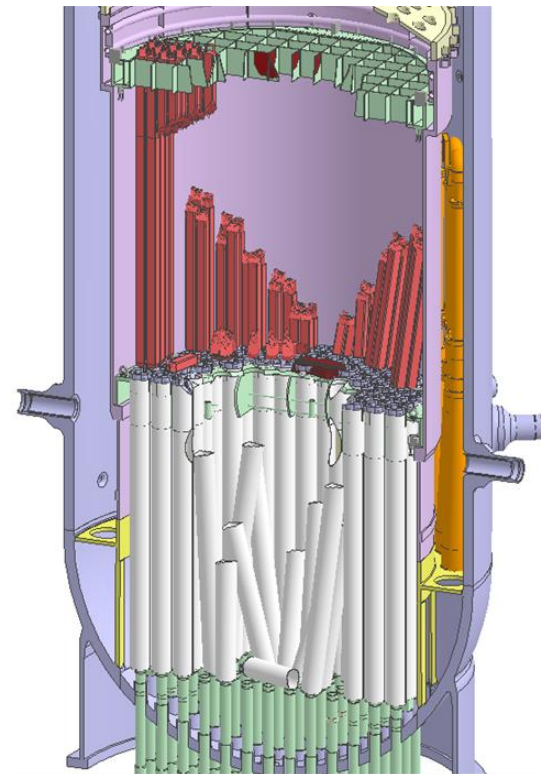
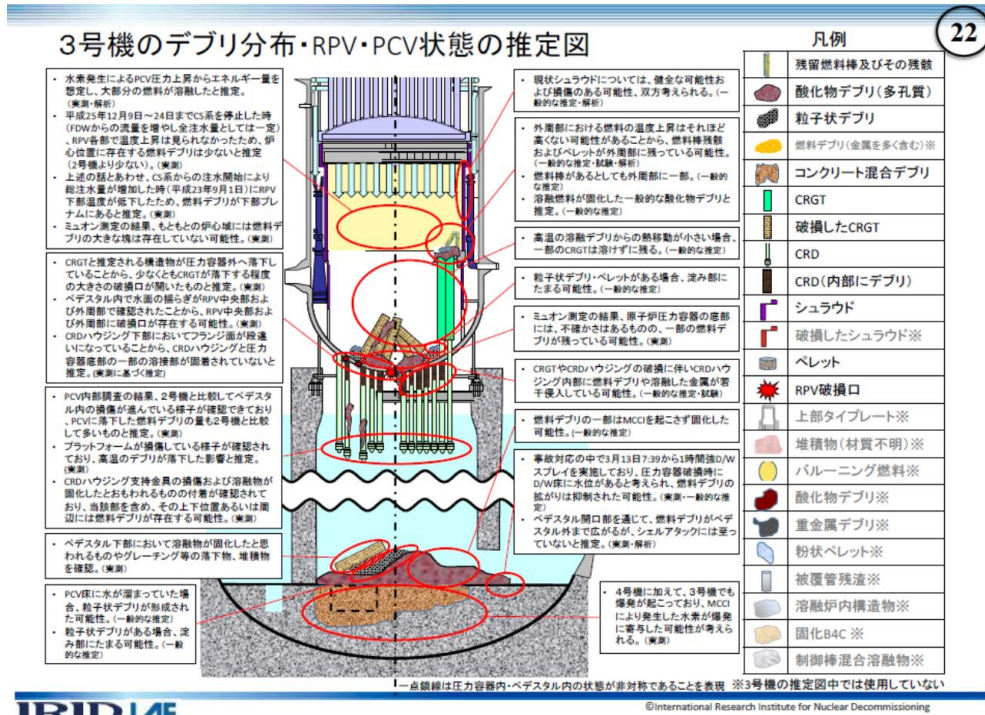


番号	内容	スコープ	備考
①	加工に伴う気相部移行	対象	気中、水中／熱的切断、機械切断を想定
②	局所回収装置への移行	対象	
③	局所回収装置未回収分	対象	
④	PCV内での沈着	対象外	表面付着分等
⑤	循環冷却水から気相部移行	対象外	
⑥	PCVから建物内への漏えい	対象外	
⑦	局所回収装置のDF	対象	
⑧	PCV排気系のDF	対象外	HEPA2段(DF=1,000×100)
⑨	トーラス室内排気系DF	対象外	
⑩	建物内からの漏えい	対象外	
⑪	トーラス室液相から気相部移行	対象外	
⑫	建屋換気系のDF	対象外	HEPA1段(DF=1,000)

7. 本事業の実施内容

全体計画（プロジェクトの範囲（2））

- ・燃料デブリ取り出しの一連の燃料デブリ取り出し作業における作業場所と切断、加工作業を考慮する。
- ・代表的な切断、加工作業を抽出して、ダスト評価試験を行う。(No.24参照)



出典：「廃炉・汚染水対策事業費補助金（総合的な炉内状況把握の高度化）」平成29年度成果報告 平成30年6月
 URL: <http://www.iri.or.jp/research/20170000/>

7. 本事業の実施内容

全体計画（プロジェクトの範囲（3））

[要求機能と仕様]

- ・燃料デブリ取り出しのアクセス装置で取り扱うことができ、加工可能範囲を著しく損なわない加工・集塵ヘッド、システムであること。（アクセス装置、加工装置の開発は含まない。）
- ・PCV内に設置、取り出し、保守作業ができるダスト集塵・飛散抑制システムであること。
- ・加工・集塵ヘッドからのダスト漏えい状況が定量化され、気流解析と組み合わせて、PCVガス管理システム(レベル1)に到達するダストインベントリーを定量化できるようになること。

[検討条件]

- ・加工点周りの環境: 気中および水中
- ・PCV内の環境: 想定される温度・湿度を考慮
- ・対象切断・加工方法: 燃料デブリ取り出しで適用が想定される切断・加工工法(要素試験、ダスト集塵評価試験では、代表工法を選定)

[目標を達成するための技術検討構成案]

- ・PCV内で加工時のダスト粒径分布の理論値検討
- ・燃料デブリ集塵・飛散防止ヘッド、システムの概念設計(取り出しや保守時の取り扱い方法を含む)
- ・加工時のダスト飛散状況の目視観察、映像取得
- ・所定の試験容器内で加工を行い、気中に浮遊する漏えいダスト量を計測

7. 本事業の実施内容

全体計画（燃料デブリ取り出し工法ごとの加工方法）

1) 機械切断

- ・ディスクカッター
- ・チゼル
- ・コアボーリング
- ・AWJ

2) 熱的切断

- ・レーザガウジング
- ・レーザ
- (・プラズマ)

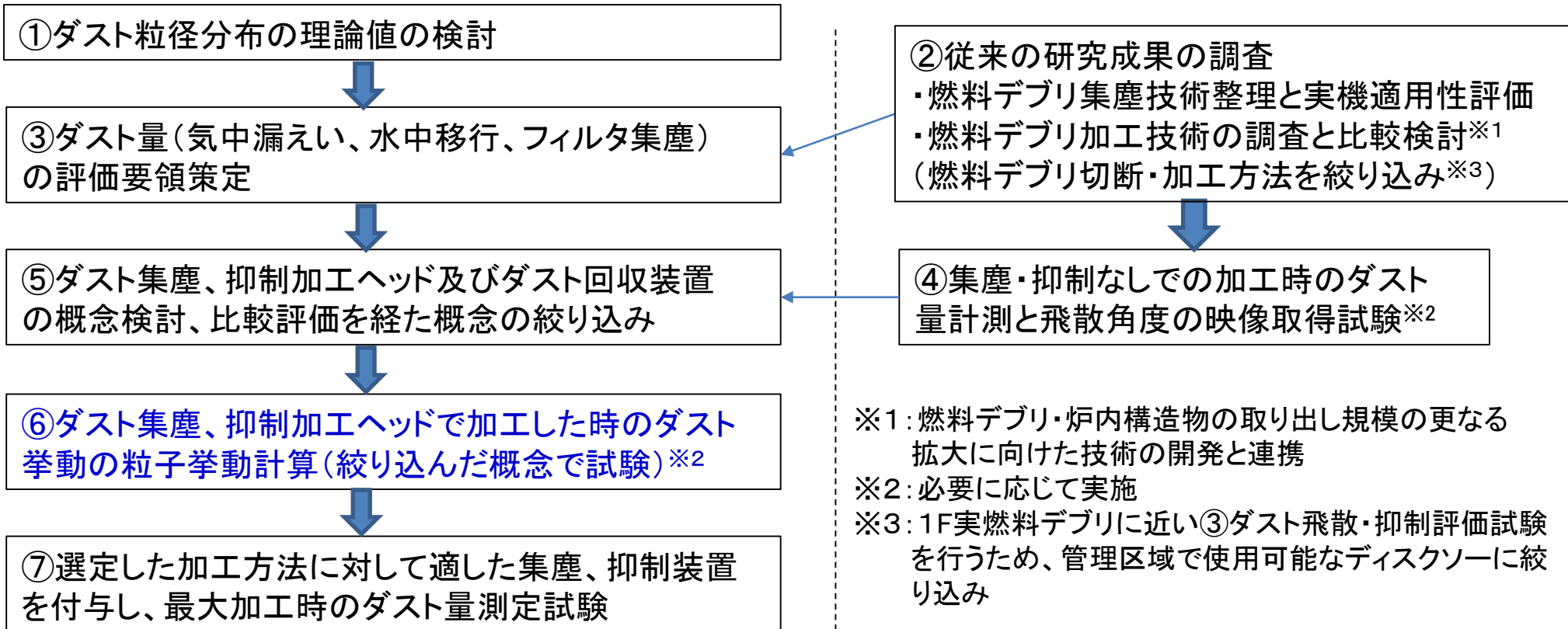
構造物	分類	ツール					
		横取り出し			上取り出し		
		PLAN-A	PLAN-B	PLAN-C	ルートA	ルートB	
シールドプラグ	固体放射性廃棄物	-	-	-	ワイヤーソー	ワイヤーソー	
DSスロットプラグ	固体放射性廃棄物	-	-	-	-	ワイヤーソー	
PCVヘッド	固体放射性廃棄物	-	-	-	レーザ/プラズマ	AWJ	
RPV保温材/配管	固体放射性廃棄物	-	-	-	レーザ/プラズマ	AWJ	
RPVヘッド	固体放射性廃棄物	-	-	-	レーザ/プラズマ	AWJ	
蒸気乾燥器	固体放射性廃棄物	-	-	-	バンドソー	AWJ	
シュラウドヘッド（気水分離器含む）	固体放射性廃棄物	-	-	-	ディスクカッター	ディスクカッター	
上部格子板	燃料デブリ	-	-	-	レーザ	AWJ	
シュラウド	燃料デブリ	-	-	-	-	AWJ	
ジェットポンプ	燃料デブリ	-	-	-	-	AWJ	
炉心部燃料デブリ	燃料デブリ	-	-	-	レーザガウジング	AWJ	
炉心支持板	燃料デブリ	-	-	-	レーザ	AWJ	
RPV底部燃料デブリ	燃料デブリ	-	-	-	レーザガウジング	レーザ	
RPV底部	燃料デブリ	-	-	-	AWJ レーザ	AWJ	
RPV下部/CRDハウジングと付着した燃料デブリ	燃料デブリ	ディスクカッター	ディスクカッター	ディスクカッター	AWJ レーザ	AWJ	
ペDESTアル内部構造物	燃料デブリ	ディスクカッター	ディスクカッター	ディスクカッター	ディスクソー	AWJ レーザ	
CRD交換機	燃料デブリ	ディスクカッター	ディスクカッター	ディスクカッター	ディスクソー	AWJ レーザ	
ペDESTアル内部燃料デブリ	燃料デブリ	塊状	コアボーリング	チゼル	ディスクカッター	チゼル	レーザ
		小石状	回収ツール	コアボーリング			
		粒状	吸引回収装置	レーザガウジング			
ペDESTアル外部燃料デブリ	燃料デブリ	塊状	コアボーリング	チゼル	ディスクカッター	-	-
		小石状	回収ツール	コアボーリング			
		粒状	吸引回収装置	レーザガウジング			

出典：※1)平成28年度補正予算 廃炉・汚染水対策 事業費補助金燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化(2018年度)

従来の国プロ※1で、上記切断・加工法の適用が想定されている。

7. 本事業の実施内容

全体計画（ダスト評価試験プロセス）



切断工法の開発と連携して、ダスト集塵・抑制機能を付与した回転式機械加工ヘッドでダスト評価試験を計画

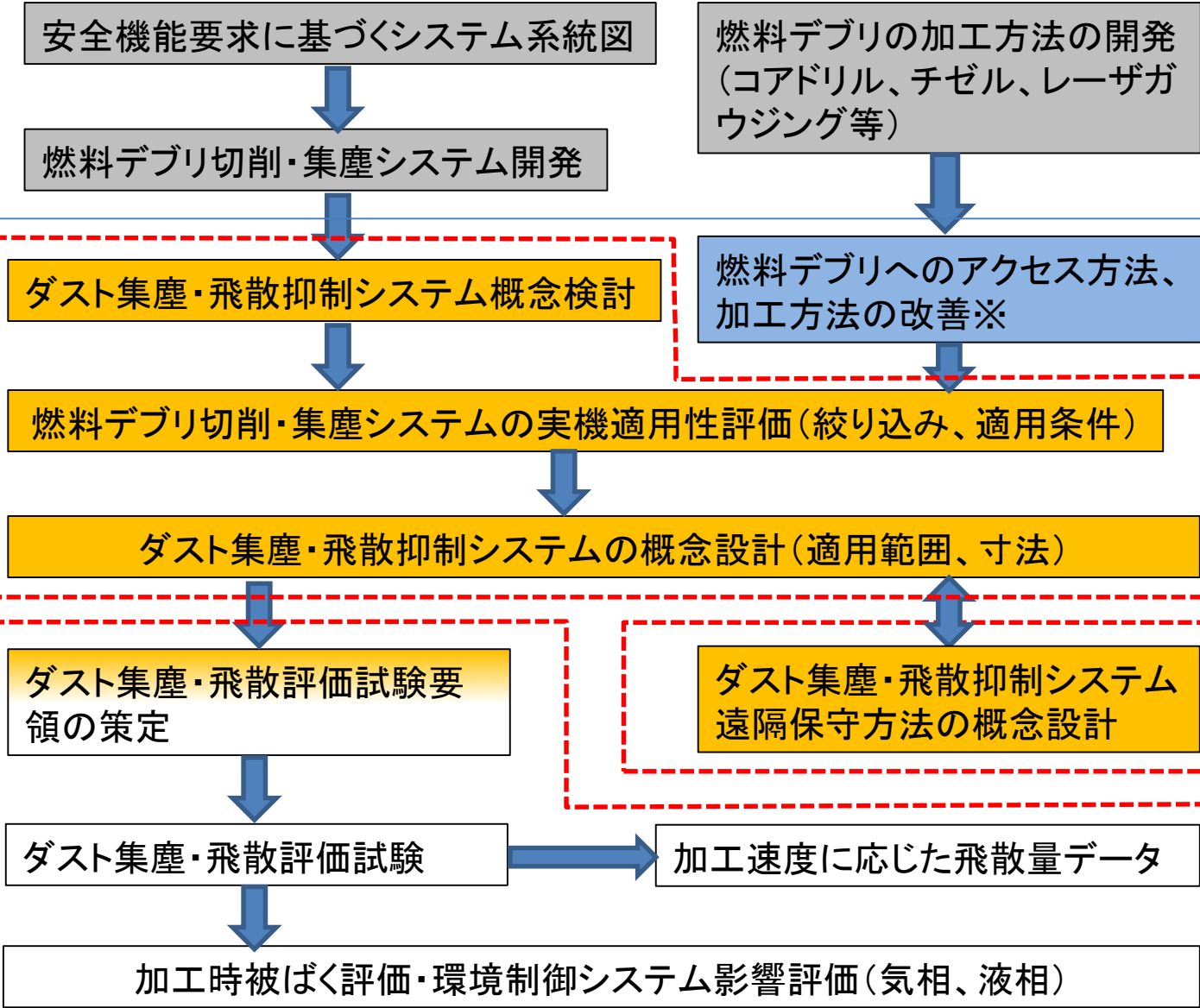
7. 本事業の実施内容(検討プロセス案)

■ ……2019年度 集塵PJにて実施済

従来の補助事業の成果

令和元年度以降の実施計画

※: 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で実施



①ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (TRL3)

②ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発(TRL3)

③ダスト集塵・飛散抑制評価試験(TRL4)

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発

原子炉格納容器(PCV)内に存在すると考えられる燃料デブリは様々な状態(破片状、汚泥状、微細(粉)燃料デブリ等)が組み合わさった状態であると想定される。燃料デブリ加工装置に装備され加工点近傍でダストの集塵・飛散抑制を行うシステムを開発する。

国内外で検討された集塵システムを広く調査し、得失を比較評価する。以下の仕様を考慮し、全体システム構成と加工ヘッドの概念設計を行い、「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」の工法概念検討及び安全要求と連携し、加工性能、加工に応じたダストの発生傾向やアクセス性の観点から実機適用に必要なシステムの仕様をまとめる。

- a. 燃料デブリの加工工法(ディスクソー、チゼル、レーザ切断等の熱切断、等)^{※1}
- b. 燃料デブリの飛散防止壁(フード、チャンバー、チャンバ内圧、チャンバ内気体組成)
- c. 表面形状不連続部に対する加工可能範囲
- d. 吸引回収系統構成(エジェクタ、排風機、サイクロンセパレータ、HEPAフィルタ等)
- e. 飛散防止材としてのミスト散布
- f. 配管やホース等の静的機器が一次バウンダリ外に配置された部分は二重化する
- g. ポンプなどの動的機器を使用する場合には、故障が見込まれるものは二重化する。
(通常点検時には燃料デブリ加工をしないので、通常点検による多重化は考慮しない。)

※1 「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」で選定される適用確度が高く、ダストの発生量が多い加工工法を選定する。

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発

[要求機能と仕様]

- 燃料デブリ取り出しのアクセス装置で取り扱うことができ、加工可能範囲を著しく損なわない加工・集塵ヘッド、システムであること。(アクセス装置、加工装置の開発は含まない。)
- PCV内に設置、取り出し、保守作業ができるダスト集塵・飛散抑制システムであること。
- 加工・集塵ヘッドからのダスト漏えい状況が定量化され、気流解析と組み合わせ、PCVガス管理システム(レベル1)に到達するダストインベントリーを定量化できるようになること。

[検討条件]

- 加工点周りの環境: 気中および水中(ダスト評価試験では代表的な環境条件を選択)
- PCV内の環境: 想定される温度・湿度を考慮
- 対象切断・加工方法: 燃料デブリ取り出しで適用が想定される切断・加工工法(要素試験、ダスト集塵評価試験では、代表工法を選定)

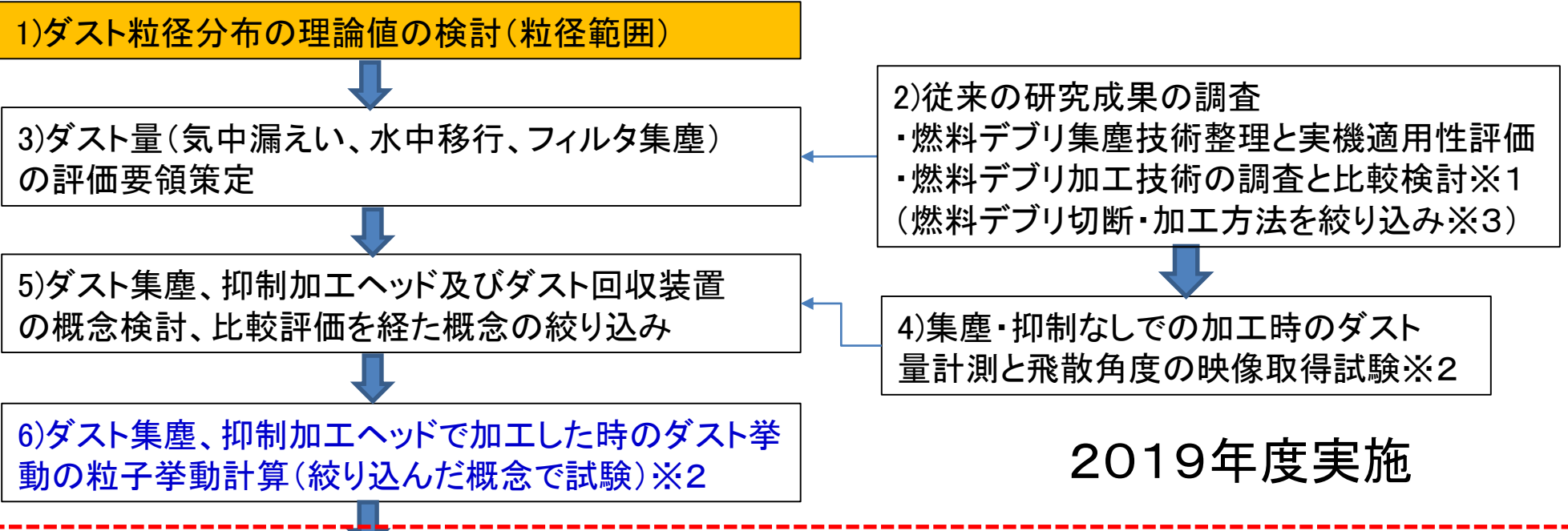
[目標を達成するための技術検討構成]

- PCV内で加工時のダスト粒径分布の理論値検討
- 燃料デブリ集塵・飛散防止ヘッド、システムの概念設計(取り出しや保守時の取り扱い方法を含む)
- 加工時のダスト飛散状況の目視観察、映像取得
- 所定の試験容器内で加工を行い、気中に浮遊する漏えいダスト量を計測

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (検討プロセス)

①ダスト集塵・飛散抑制システムの開発



2019年度実施

③ダスト集塵・飛散抑制評価試験

7)選定した加工方法に対して適した集塵、抑制装置を付与し、最大加工時のダスト量測定試験

- ※1: 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と連携
- ※2: 必要に応じて実施
- ※3: 1F実燃料デブリに近い③ダスト飛散・抑制評価試験を行うため、管理区域で使用可能なディスクローに絞り込み

気相、液相に飛散するダストの粒径分布上限を、ダスト除去原理・効果、終端速度の計算とPCV内の気流想定から検討

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（PCV内で加工時のダスト粒径分布の理論値検討）

【想定される浮遊ダストの粒径範囲（気相）】

【前提条件】

2018年度補助事業「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」における気流解析の成果より、格納容器内の上向き気流はN₂注入量を2000Nm³/hとした場合においても、数cm/sであった。

したがって、**終端速度10cm/s以上のダストは重力沈降により自然除去されると仮定する。**

【評価結果】

- ・UO₂ (密度11g/cm³)が終端速度に達するのは、**粒径が約15 μm。**
- ・MCCI (密度約2g/cm³)が同じ終端速度に達するのは**粒径が約40 μm。**

したがって、MCCIを使用する場合、粒径約40 μm以下のダスト除去を評価すれば良い。

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（PCV内で加工時のダスト粒径分布の理論値検討）

【想定される浮遊ダストの粒径範囲（液相）】

【前提条件】

液相系において、S/Cへのダスト流出がなくなること为目标とし、ベント管1本に対するダスト流出がなくなる粒径の最大値を算出する。

これは、燃料デブリ取り出しにおけるS/Cへの流出防止に整合させた概念であり、流出箇所をベント管1本とすることで流出流路面積が小さくなることから流速が大きくなり、除去対象とすべき粒径の範囲が大きくなるため保守的である。

PCV内注水	ベント管流出流量	ペDESTAL床面における垂直方向の流速
炉注水のみ	3m ³ /h	約0.4cm/s
炉注水＋加工水	5.2m ³ /h	約0.7cm/s

したがって、終端速度1cm/sのダストはD/W床へ沈降し、ベント管へ流出しないと仮定する。

【評価結果】

- ・UO₂(密度11g/cm³)が終端速度に達するのは、粒径が約50 μm。
- ・MCCI(密度約2g/cm³)が同じ終端速度に達するのは、粒径が約150 μm。

したがって、MCCIを使用する場合、粒径約150 μm以下のダスト除去を評価すれば良い。

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (検討プロセス)

①ダスト集塵・飛散抑制システムの開発

1)ダスト粒径分布の理論値の検討(粒径範囲)

3)ダスト集塵、抑制加工ヘッド及びダスト回収装置の概念検討、比較評価を経た概念の絞り込み

5)ダスト量(気中漏えい、水中移行、フィルタ集塵)の評価要領策定

6)ダスト集塵、抑制加工ヘッドで加工した時のダスト挙動の粒子挙動計算(絞り込んだ概念で試験)※2

2)従来の研究成果の調査

- ・燃料デブリ集塵技術整理と実機適用性評価
- ・燃料デブリ加工技術の調査と比較検討※1 (燃料デブリ切断・加工方法を絞り込み※3)

4)集塵・抑制なしでの加工時のダスト量計測と飛散角度の映像取得試験※2

2019年度実施

③ダスト集塵・飛散抑制評価試験

7)選定した加工方法に対して適した集塵、抑制装置を付与し、最大加工時のダスト量測定試験

※1: 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と連携

※2: 必要に応じて実施

※3: 1F実燃料デブリに近い③ダスト飛散・抑制評価試験を行うため、管理区域で使用可能なディスクソーに絞り込み

気中飛散ダストに対する集塵技術として、従来の研究成果を考慮し、集塵・飛散抑制システムを概念検討

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（ダスト集塵・飛散抑制システム全体構成）

全体構成候補の考え方→[集塵エリア]×[集塵・飛散抑制方法]の組み合わせ

- 1)ダスト集塵エリア:ダスト発生部位に対して、どの領域(エリア:①全体、②局部)での集塵を目論むか。
- 2)ダスト集塵・飛散抑制方法:A)気相中ダストを直接捕集、B,C)汚染水に移行させ汚染水として捕集

項目		ダスト集塵・飛散抑制方法		
		A: 排風機＋フィルタによる集塵(吸引回収)方式	B: 水エジェクタによる吸引、水移行方式	C: ミストによる凝集、水移行方式
ダ ス ト 集 塵 エ リ ア	①: 作業 空間 全体	加工装置とは別に、加工ヘッド周辺の気体を排風機で送気してフィルタで捕集する設備※1を設置。	加工装置とは別に、加工ヘッド周辺の気体を水エジェクタによる吸引で水中に凝集する設備※2を設置。	加工装置とは別に、作業空間にミストノズルと給水ラインを設置し、空間全体にミストを散布。
	②: 加工 部近 傍局 所	加工装置に、加工ヘッド内の気体を吸引する小型のフィルタ付き集塵装置を設置。	加工装置に、加工ヘッド内の気体を吸引するエジェクタと給水ホースを設置。	加工装置の加工ヘッドにミストノズルと給水ホースを設置し、加工ヘッド周辺にミストを散布。

※1: 気体系の浄化系統に相当する。

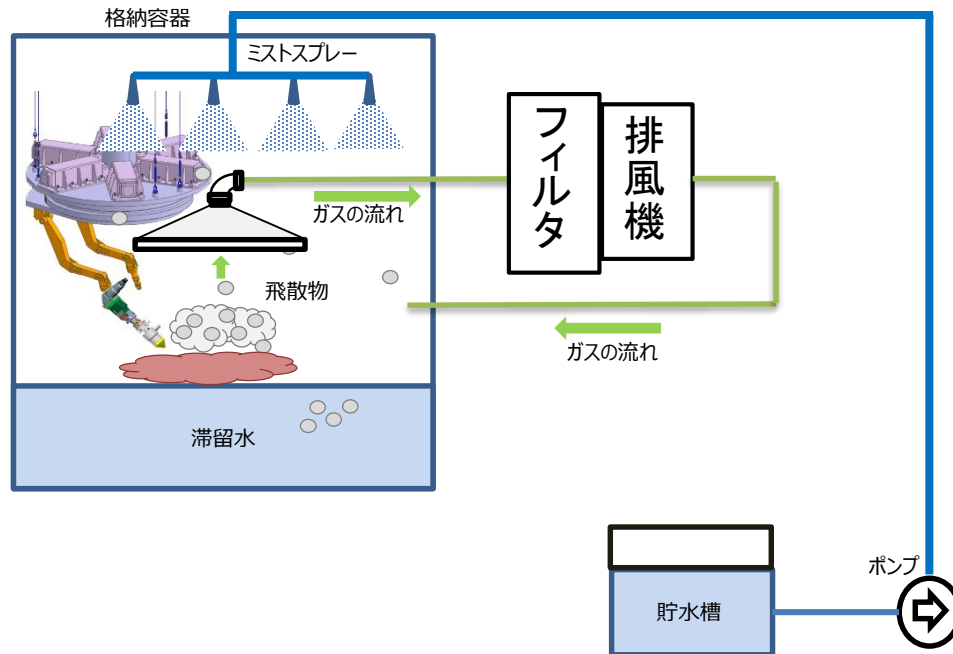
※2: スクラバー等を介してバッファタンクへの排水回収が考えられる。

7. 本事業の実施内容

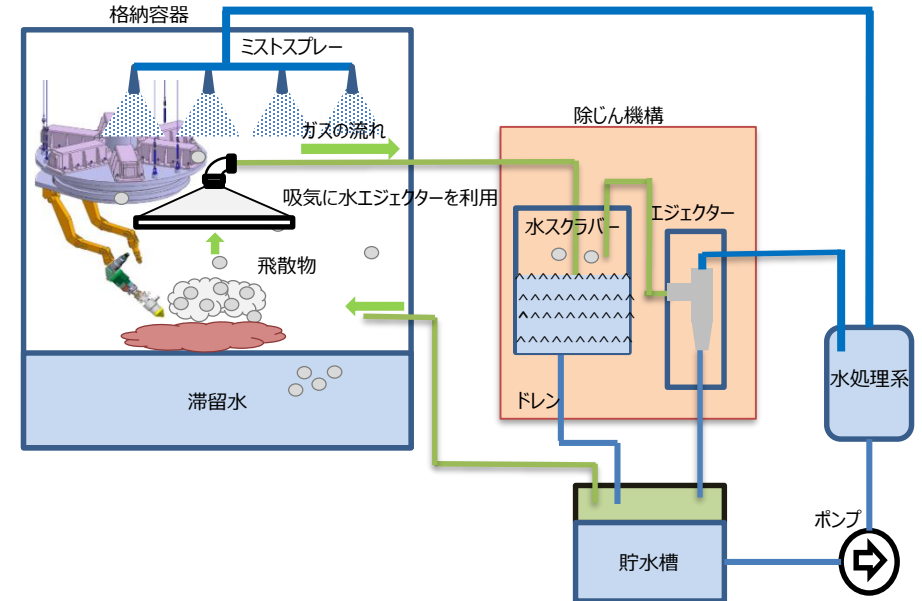
1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（ダスト集塵・飛散抑制システム全体構成）

○ダスト集塵・飛散抑制システムの全体構成

①作業空間全体でのシステムイメージ



A) 排風機＋フィルタによる集塵（吸引回収）方式
とC) ミストによる凝集、水移行方式の組み合わせ



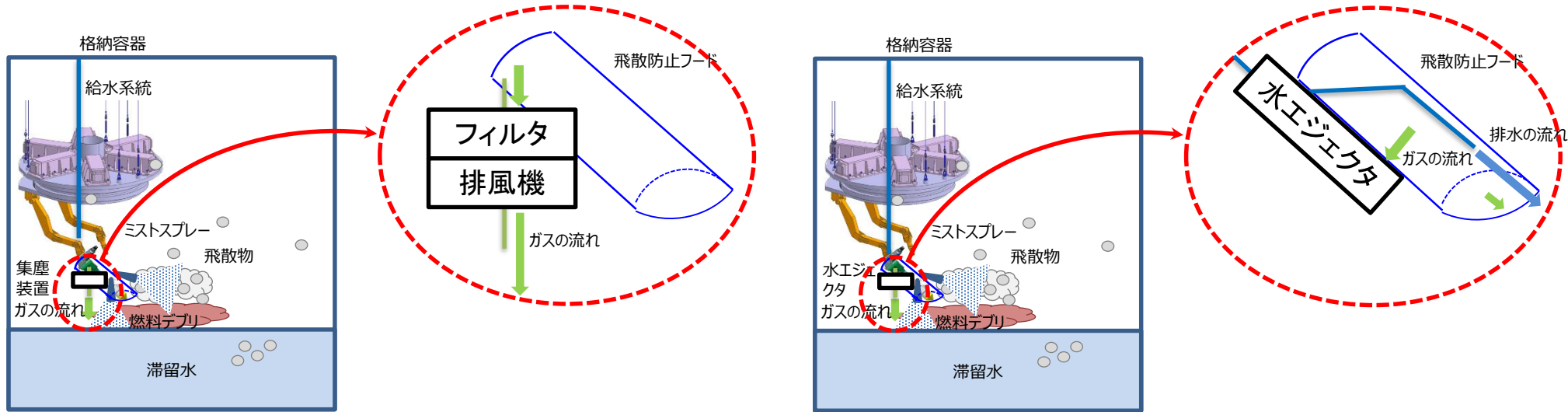
B) 水エジェクタによる吸引、水移行方式
とC) ミストによる凝集、水移行方式の組み合わせ

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（ダスト集塵・飛散抑制システム全体構成）

○ダスト集塵・飛散抑制システムの全体構成（続き）

②加工部近傍局所でのシステムイメージ



A) 排風機＋フィルタによる集塵（吸引回収）方式
とC) ミストによる凝集、水移行方式の組み合わせ

B) 水エジェクタによる吸引、水移行方式
とC) ミストによる凝集、水移行方式の組み合わせ

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（ダスト集塵・飛散抑制システム全体構成）

○ダスト集塵・飛散抑制システム全体構成の評価 ・実機適用性の観点での得失評価

本PJでは水エジェクタとミストに着目して開発を進める

項目	①作業空間全体			②加工部近傍局所		
	A:フィルタ	B:水移行	C:ミスト	A:フィルタ	B:水移行 (水エジェクタ)	C:ミスト
集塵効果※1	あり	あり	あり	あり	評価要 (規模限定のため)	評価要 (範囲限定のため)
設置負荷※2	大規模 (数年以上所要)	大規模 (数年以上所要)	大規模 (数年以上所要)	小～中規模 (燃料デブリ取り出し装置準備に含む)	小～中規模 (燃料デブリ取り出し装置準備に含む)	小～中規模 (燃料デブリ取り出し装置準備に含む)
設備のPCV 外事前設置 工事	必要 (保守用セル、排風機、遠隔交換機能フィルタ設置)	必要 (保守用セル、エジェクタ、スクラバ設備設置)	必要 (系統設置のための給水ホースの引き回しを想定)	不要 (加工装置に小型集塵装置搭載のため)	不要 (加工装置に小型集塵装置搭載のため。加工用水の一部を使用)	不要 (加工装置に小型集塵装置搭載のため。加工用水の一部を使用)
設備のPCV 内事前設置 工事	必要 (系統設置のため、ダスト引き回し作業を想定)	必要 (系統設置のため、2本のホース引き回し作業を想定)	必要 (系統設置のためホース引き回し作業、ミスト散布設備設置を想定)	事前設置 工事なし (加工ヘッドと集塵装置の着脱)	事前設置 工事なし (加工ヘッドの着脱)	事前設置 工事なし (加工装置への搭載、加工ヘッドの着脱)

※1：PCV内雰囲気において被ばく評価上影響が大きい粒径分布の集塵効果

※2：設置工事の負荷が高いと、取り出し工事スループット、保守作業負荷を増加させる。

7. 本事業の実施内容

- 1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (ダスト集塵・飛散抑制システム全体構成)
- (2) ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発の検討からの考察)

○ダスト集塵・飛散抑制システム全体構成の評価
 ・実機保守性の観点での得失評価

本PJでは水エジェクタとミストに着目して開発を進める

項目	①作業空間全体			②加工部近傍局所		
	A:フィルタ	B:水移行	C:ミスト	A:フィルタ	B:水移行 (水エジェクタ)	C:ミスト
フィルタ交換	必要 (廃棄物として搬出、頻度不確実)	不要	不要	必要 (廃棄物として搬出、頻度不確実)	不要	不要
集塵水処理 ※1	不要 (逆洗フィルタの場合は必要)	必要 (規模に応じ炉注水以上の容量)	不要 (PCV内に散布のため)	不要 (逆洗フィルタの場合はPCV内排水)	不要 (PCV内に排水のため)	不要 (PCV内に散布のため)
廃棄物量	多い	使用水量次第	少ない	多い	少ない	少ない
上記以外の 想定される 保守作業	1)加工ヘッド交換 2)ダスト集塵装置の保守	1)加工ヘッド交換 2)エジェクタ、スクラバ装置保守	1)加工ヘッド交換 2)ミスト散布設備移設	1)加工ヘッド交換(加工装置に搭載し、ツールチェンジャの場合)	1)加工ヘッド交換(加工装置に搭載し、ツールチェンジャの場合)	1)加工ヘッド交換(加工装置に搭載し、ツールチェンジャの場合)

※1：通常のPCV内滞留水の汚染水処理以外に加工時に回収する加工水の処理の要否を示す。

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（ダスト集塵・飛散抑制システム全体構成）

○全体構成の概念検討結果による開発の方向性

作業空間全体でダスト集塵・飛散抑制システムではなく、加工部近傍局所におけるダスト集塵・飛散抑制システムに着目

- 1) 作業空間全体でのダスト集塵・飛散抑制システムでは、取り出し工法依存性が高く、設置および保守の負荷、作業ステップ、設備設置スペースの必要性と燃料デブリ加工、回収作業との干渉リスクと作業可能範囲の制約、作業時間に影響を与える。
- 2) 加工部近傍局所のダスト集塵、飛散抑制システムの方が、汎用的かつ現実的である。
- 3) 被ばくに影響が大きい粒径分布のダストの発生を抑制することに注力
(ダストが発生したら、回収に負荷をかけざるを得ないので、ダスト発生を抑制)

理由：

- a) レーザ加工と水中レーザ加工のダスト発生結果の比較→低減効果あり
- b) 気中レーザガウジング加工におけるダスト発生傾向が水中レーザ加工に相当
- c) ダスト発生直後の拡散前に凝集を促進することが重要
- d) フィルタ D F 値が最も低いとされ、フィルタ性能の D F に設定される粒径 $0.3\mu\text{m}$ 近傍におけるダスト発生の抑制が重要

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (ダスト飛散抑制加工ヘッドの概念検討)

○加工方法の想定→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

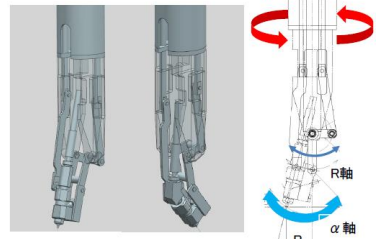
開発と連携し、選定

加工方法: 機械的切断

ディスクソー(砥石ソー)※1

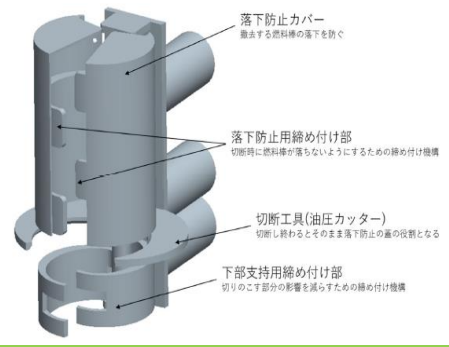


アブレイシブウォータージェット (AWJ)※2



ツールヘッドのリンク構造 ノズル駆動軸

油圧カッター ※1



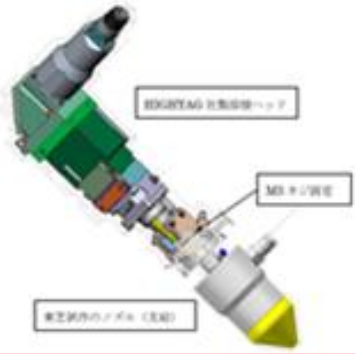
チゼル(はつり)※1



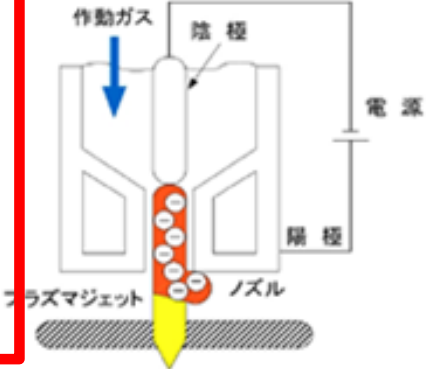
選定されたヘッドに対して概念設計

加工方法: 熱的切断

レーザガウジング ※3



プラズマジェット ※4



(補足) 燃料デブリの状況の全容が把握されていないこと、取り出し規模が拡大された燃料デブリ取り出しの適用は小規模取り出しの先であることから、現時点で適用の可能性のある加工工法については概念設計に留め、適用が見込めるディスクソーを一例に加工ヘッドを設定して、ダスト集塵システムの開発を進める。

- 出典:
- ※1)平成28年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化
 - ※2)平成27年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金 原子炉圧力容器内部調査技術の開発
 - ※3)平成26年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金 燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業 平成28年度
 - ※4)<https://jopss.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Technology-2015-047.pdf>

AWJほど廃棄物が発生せず、燃料デブリ取り出しに適用が見込まれるディスクソーとダスト評価実績のあるレーザガウジングを概念設計

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（ダスト飛散抑制加工ヘッドの概念検討）

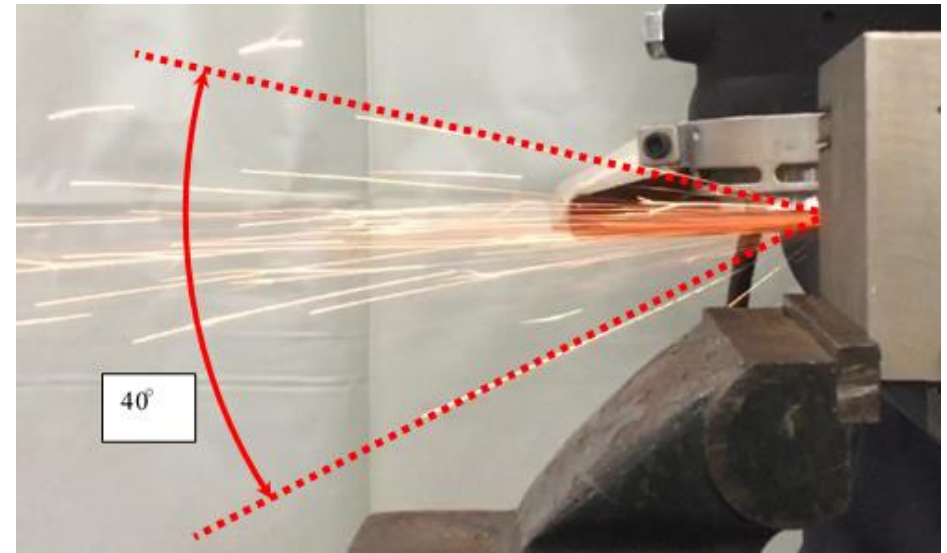
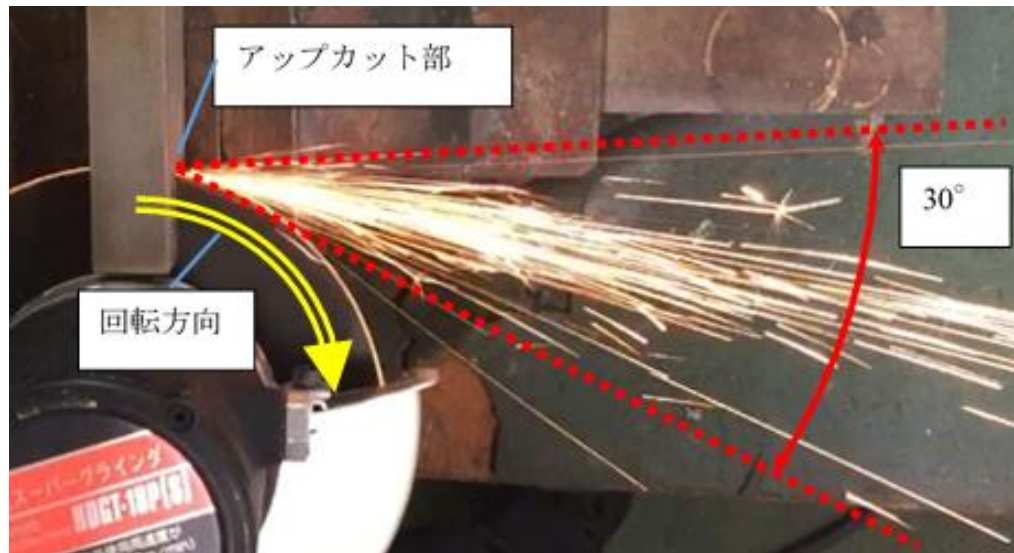
○加工方法によるダスト発生傾向の把握

・機械切断：ディスクソー（回転切断砥石）

目的：ディスクソーによる切断時に回転方向、被加工物の相対位置に対する主要な切粉の凡その飛散角度を把握し、ダスト飛散抑制対策の検討に活用するため。

気中加工観察から得られた知見：

- 切粉は加工点から接線から回転方向に約 30° 飛散
- 切粉は、ディスク面に対して約 40° の広がり飛散
- 金属臭から周囲にダストが漂っている。

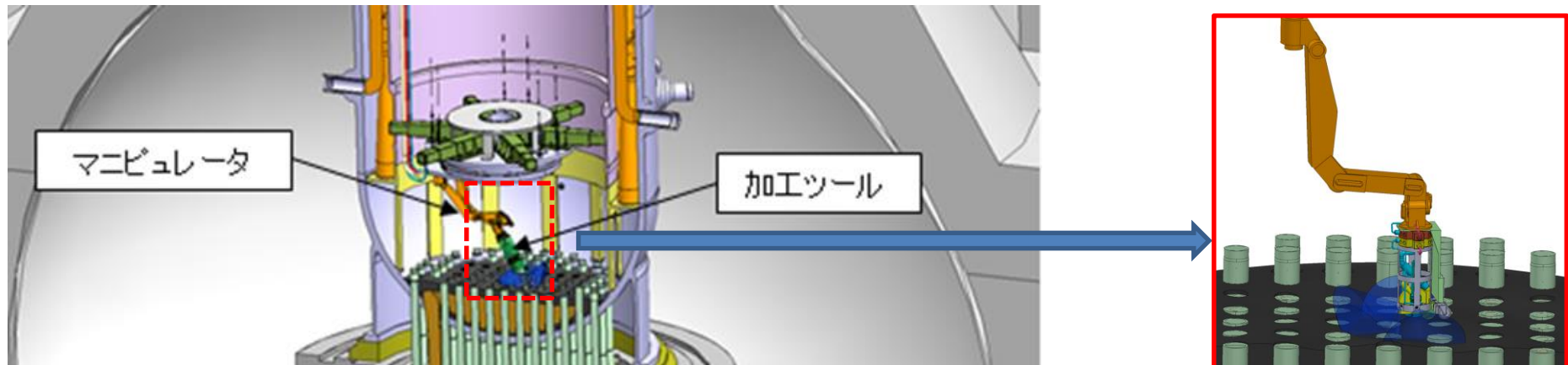


7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（ダスト飛散抑制加工ヘッドの概念検討）

ディスクソーの概念設計結果

- 加工と同時にエジェクタで飛散防止フード内の気体を混合し、水中に移行
- 切粉ガードとエジェクタ排水をアップカット部に噴射して水カーテンを形成し、飛散防止フードとともに、スパッタ(切粉)の飛散を抑制
- ヘッドから散逸するダストに対してミストを噴霧し、ダスト凝集を促進して拡散防止

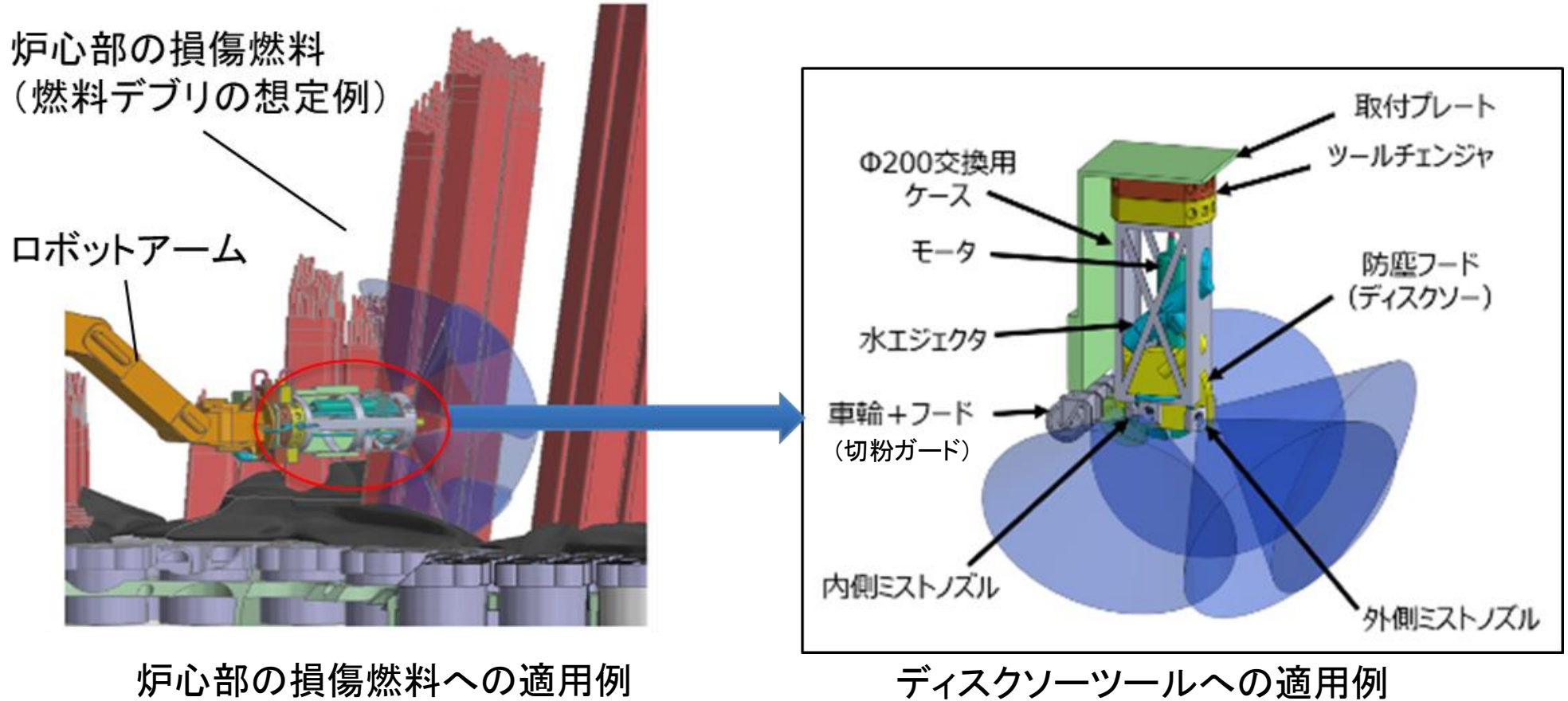


燃料デブリ上取り出しディスクソー適用概念

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (ダスト飛散抑制加工ヘッドの概念検討)

ディスクソーの概念設計結果



燃料デブリ上取り出しディスクソー適用概念

7. 本事業の実施内容

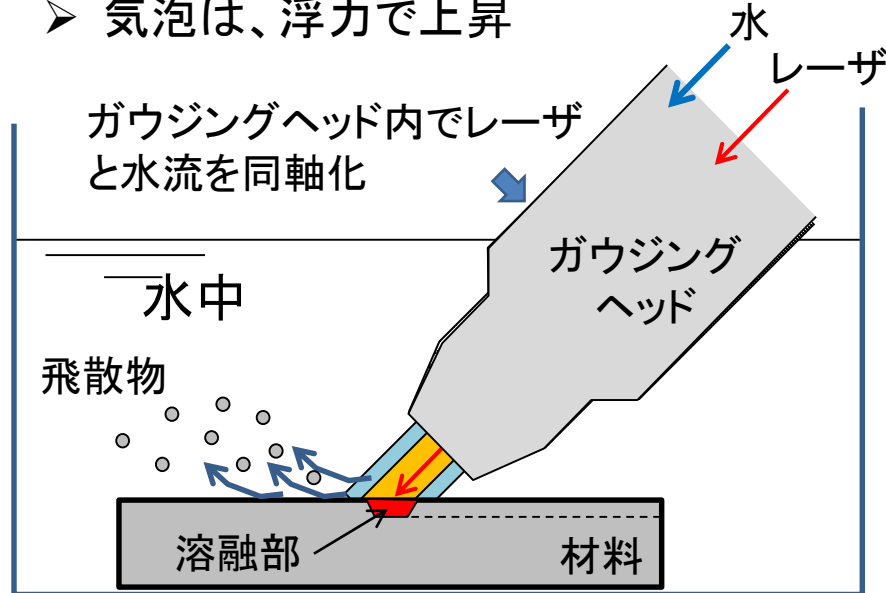
1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（ダスト飛散抑制加工ヘッドの概念検討）

○加工方法によるダスト発生傾向の把握

・熱的切断：レーザガウジング ※1

水中加工映像観察から得られた知見：

- 加工点を中心に水流方向に 8° の範囲で流れ発生
- 気泡は加工点からほぼ全方位に発生
- 加工対象物に応じて、加工点から放射状に飛散
- 気泡は、浮力で上昇



出典：

※1)平成26年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金 燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業 平成28年度最終報告書 平成29年3月

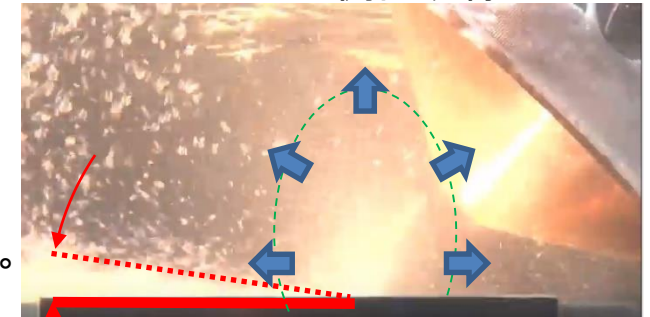
※2)<https://www.youtube.com/watch?v=Ea-jce6OIn8&feature=youtu.be>
<http://irid.or.jp/topics/%e7%87%83%e6%96%99%e3%83%87%e3%83%96%e3%83%aa%e3%81%ae%e3%80%8c%e3%83%ac%e3%83%bc%e3%82%b6%e3%82%ac%e3%82%a6%e3%82%b8%e3%83%b3%e3%82%b0%e6%8a%80%e8%a1%93%e3%80%8d%e3%81%ae%e9%96%8b%e7%99%ba%e3%81%ab/> より転載。



加工ヘッド正面映像※2



加工ヘッド側面映像※2



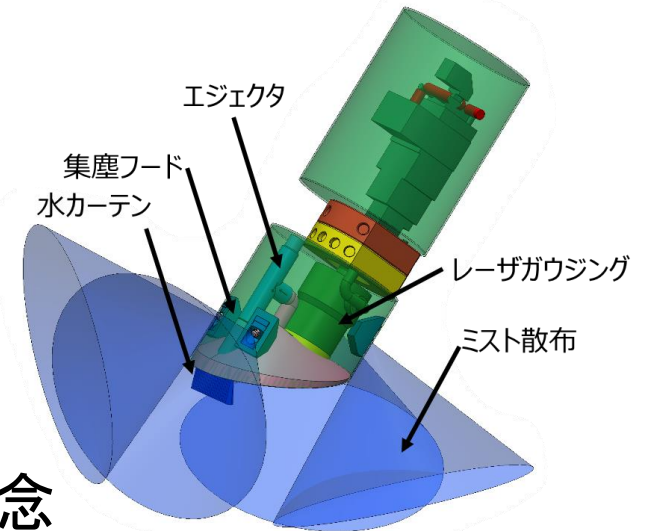
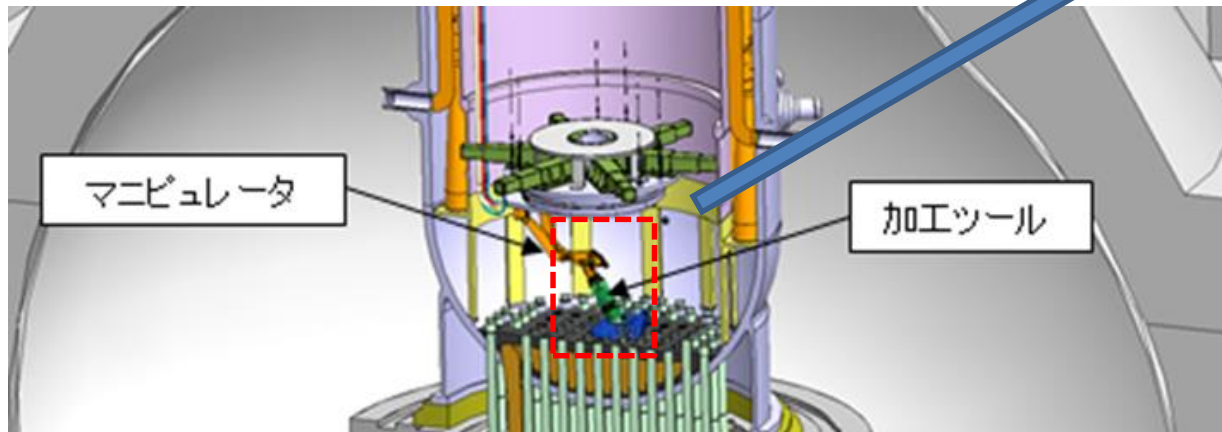
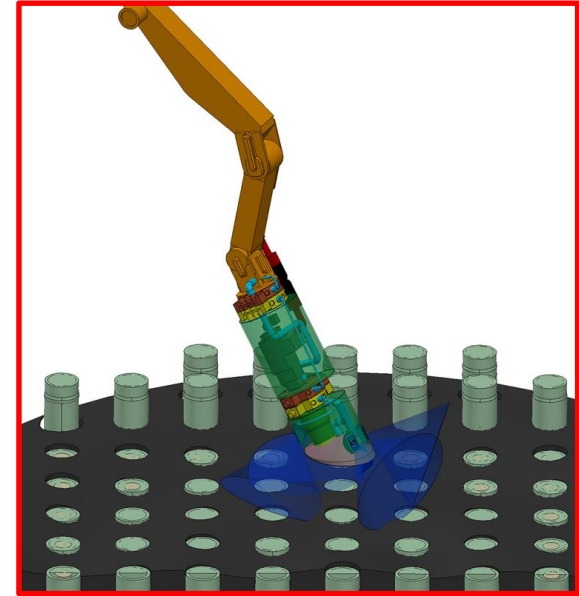
セラミック部加工時映像※2

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（ダスト飛散抑制加工ヘッドの概念検討）

レーザガウジングの概念設計結果

- 加工と同時にエジェクタで飛散防止フード内の気体を混合し、水中に移行
- エジェクタ排水をレーザ照射方向前方に噴射して水カーテンを形成し、飛散防止フードともに、スパッタ(切粉)の飛散を抑制
- ヘッドから散逸するダストに対してミストを噴霧し、ダスト凝集を促進して拡散防止



燃料デブリ上取り出しレーザガウジング適用概念

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（ダスト飛散抑制加工ヘッドの概念検討）

加工ヘッド構成のケーススタディ

No.	方式	排水方法	使用水量制限	除塵性能見込み	規模
①	水エジェクタ＋ 水カーテン散水	ヘッドからの PCV内排水	あり※1	評価要	小規模
②	水エジェクタ＋ スクラバ	スクラバから のPCV内排水	あり※1	あり※3	中規模
③	水エジェクタ＋ スクラバ＋ 排水タンク	排水タンクで の搬出、ある いはPCV内排 水	なし※2	あり※3	大規模

（注記）

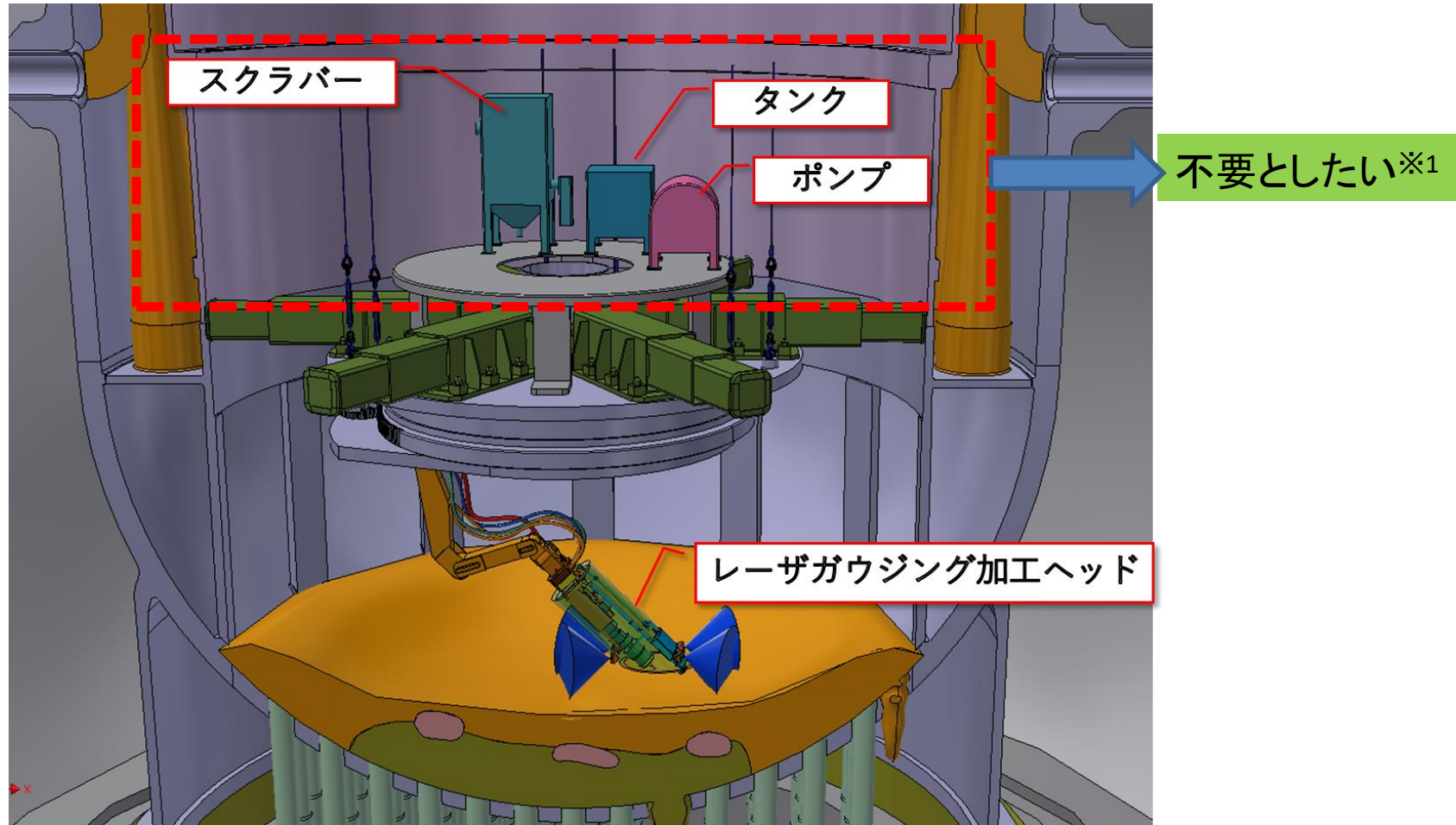
※1: 炉注水: 3m³/h以下、加工水＋エジェクタ水: 2.2m³/h以下の合計5.2m³/h以内での調整が望ましい。

※2: 排水タンク搬出あるいは炉注水を考慮したPCV内排水可能時のPCV内排水

※3: 平成28年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化の開発成果に基づく

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（ダスト飛散抑制加工ヘッドの概念検討）



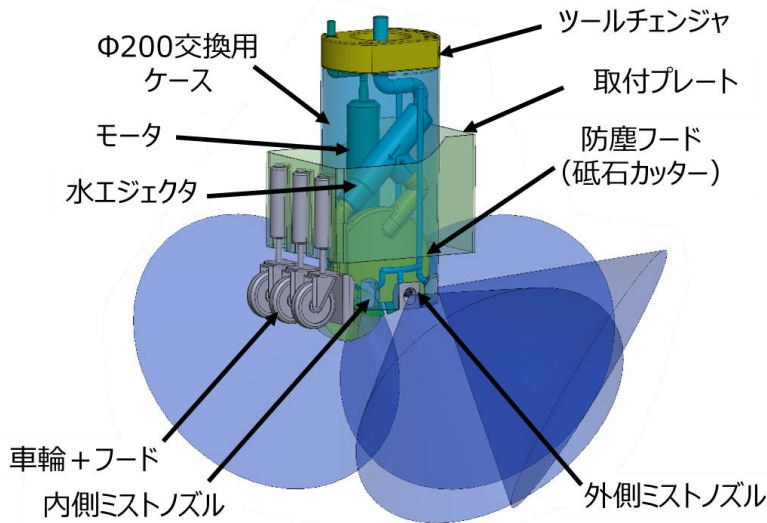
レーザーガウジングヘッドにエジェクタ用水を送ることで対応したい

※1 スクラバーとタンクを用いず、水エジェクタによって除塵された排水をPCV内に移送するため不要と考える

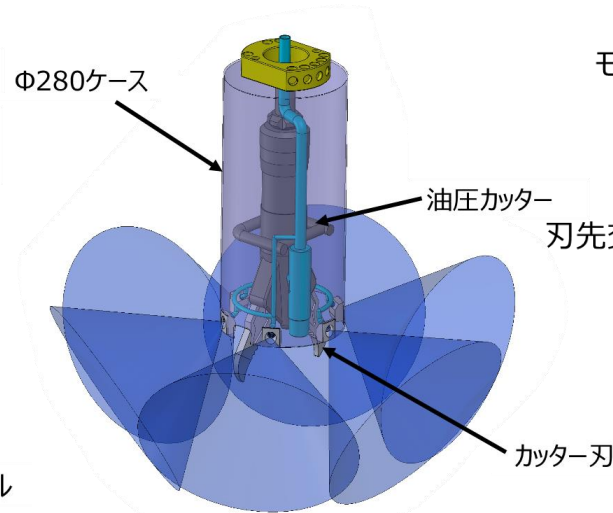
1)ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (ダスト飛散抑制加工ヘッドの概念検討)

○機械切断加工ヘッド

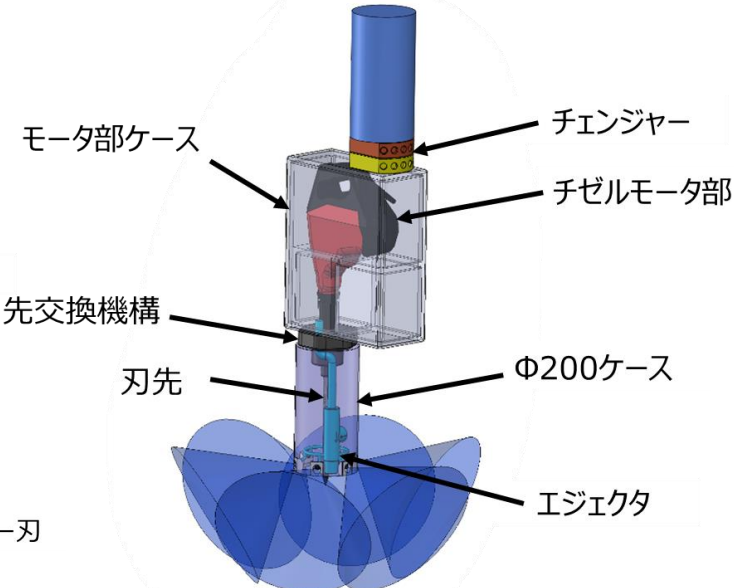
エジェクタ排水、ミスト散布は、一般的に適用の可能性のある加工ヘッドに応用可能



ディスクカッター



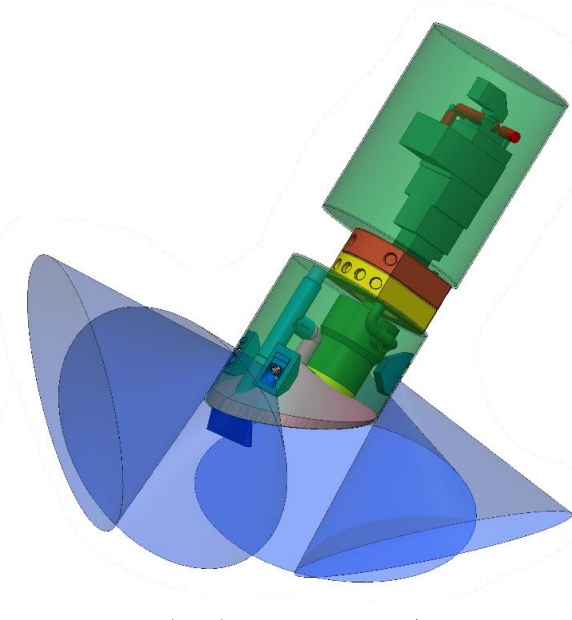
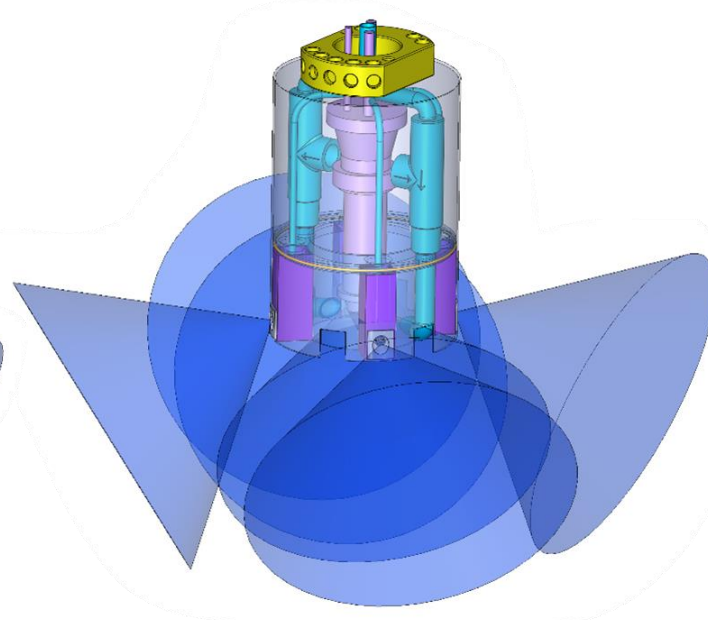
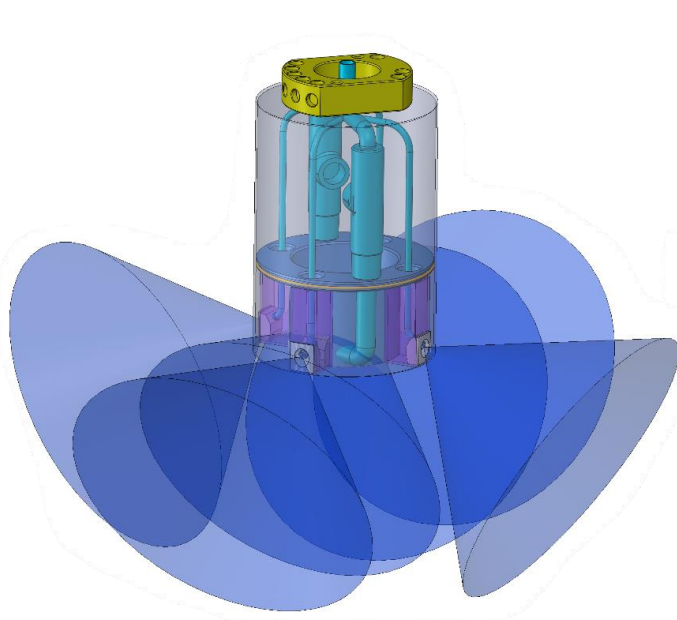
油圧カッター



チゼル

- 1)ダストや切粉の飛散の観察を含む予備試験
- 2)加工ヘッド周りの気流解析と粒子挙動計算
- 3)ダスト評価試験に向けた基本設計

1)ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (ダスト飛散抑制加工ヘッドの概念検討) ○熱的切断加工ヘッド



汎用集塵・飛散抑制ヘッド(90°)

レーザ切断(90°)

レーザガウジング
(60°)



用途:レーザ加工ヘッドなどの熱的切断加工ヘッドを内部に備え、板状構造物の切断に適用を想定

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (検討プロセス)

①ダスト集塵・飛散抑制システムの開発

1)ダスト粒径分布の理論値の検討(粒径範囲)

3)ダスト集塵、抑制加工ヘッド及びダスト回収装置の概念検討、比較評価を経た概念の絞り込み

5)ダスト量(気中漏えい、水中移行、フィルタ集塵)の評価要領策定

6)ダスト集塵、抑制加工ヘッドで加工した時のダスト挙動の粒子挙動計算(絞り込んだ概念で試験)※2

2)従来の研究成果の調査

- ・燃料デブリ集塵技術整理と実機適用性評価
- ・燃料デブリ加工技術の調査と比較検討※1(燃料デブリ切断・加工方法を絞り込み※3)

4)集塵・抑制なしでの加工時のダスト量計測と飛散角度の映像取得試験※2

2019年度実施

③ダスト集塵・飛散抑制評価試験

7)選定した加工方法に対して適した集塵、抑制装置を付与し、最大加工時のダスト量測定試験

※1: 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と連携

※2: 必要に応じて実施

※3: 1F実燃料デブリに近い③ダスト飛散・抑制評価試験を行うため、管理区域で使用可能なディスクソーに絞り込み

概念設計の適切性を確認するため、ディスクソー単体での加工時ダスト量とダスト量の飛散速度ベクトルなどを計測

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（ディスクソーツールの予備試験）

試験項目

Φ180mm切断砥石カッターでSUS板を加工し、
ダストの飛散状況を計測。

・微粒子可視化試験（レーザ光源使用）

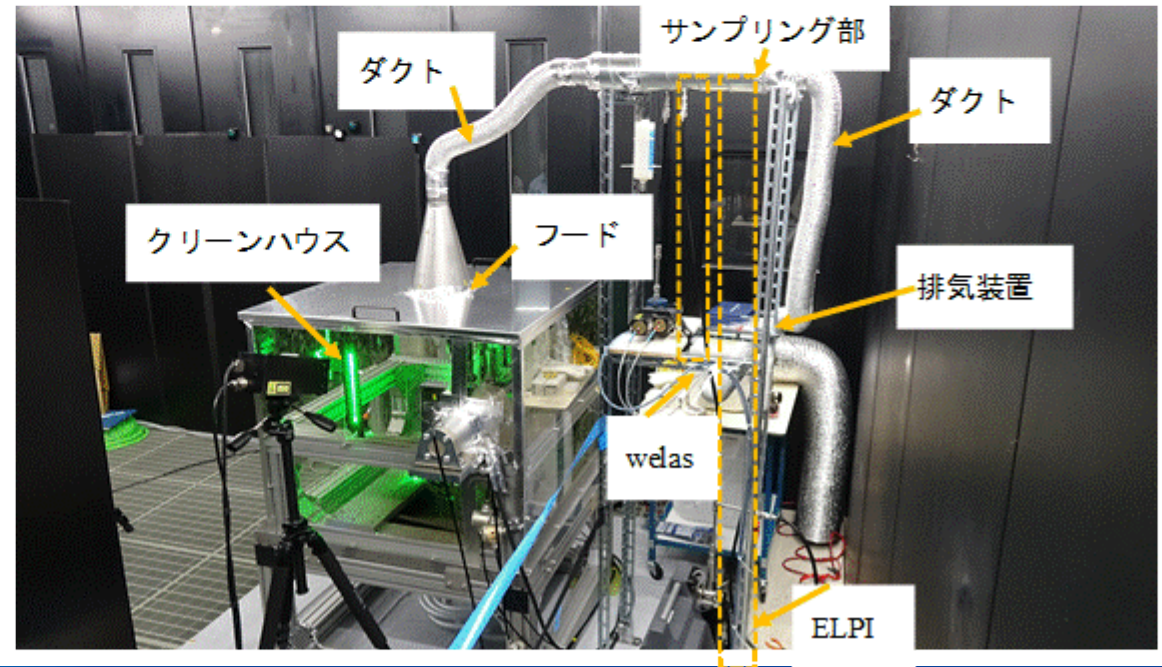
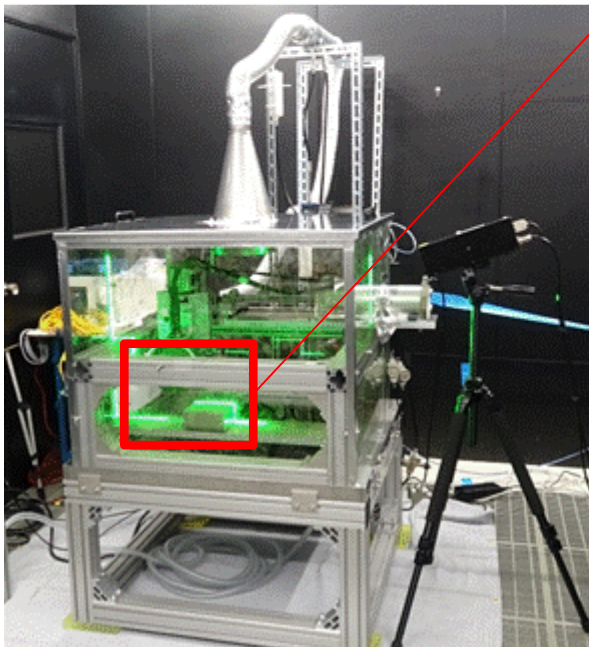
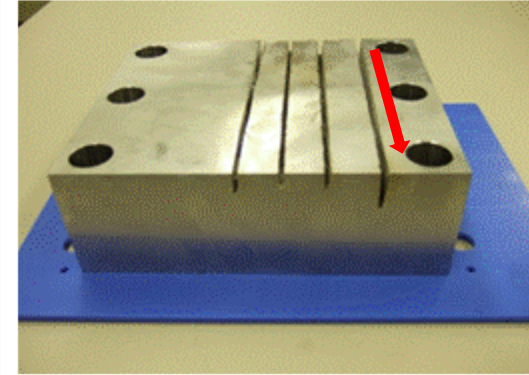
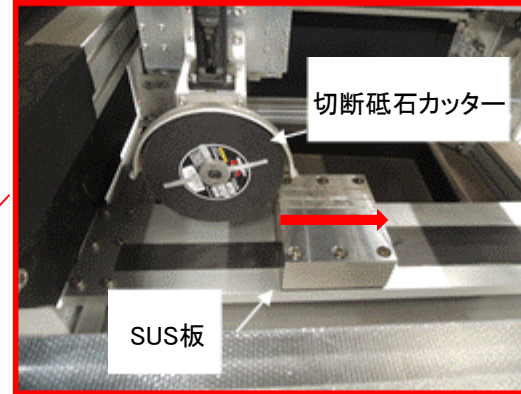
1) 超高感度カメラで映像取得

2) 高速カメラで映像、速度ベクトル取得、等

・ダスト計測

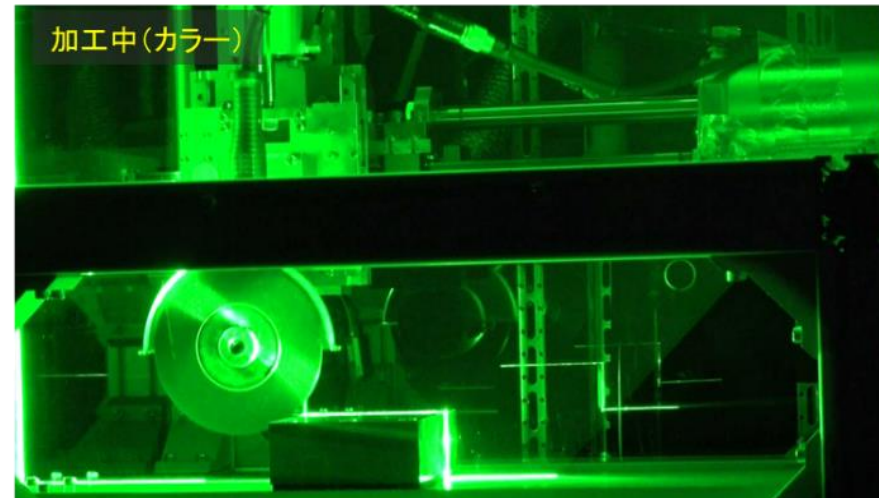
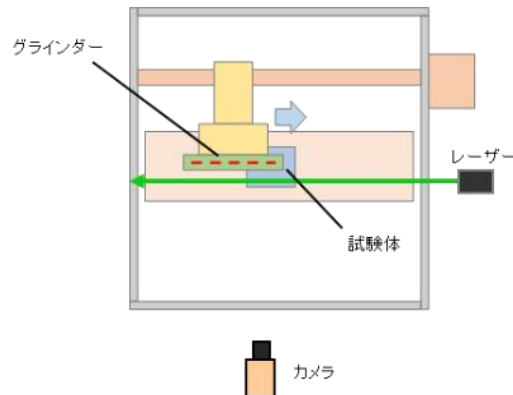
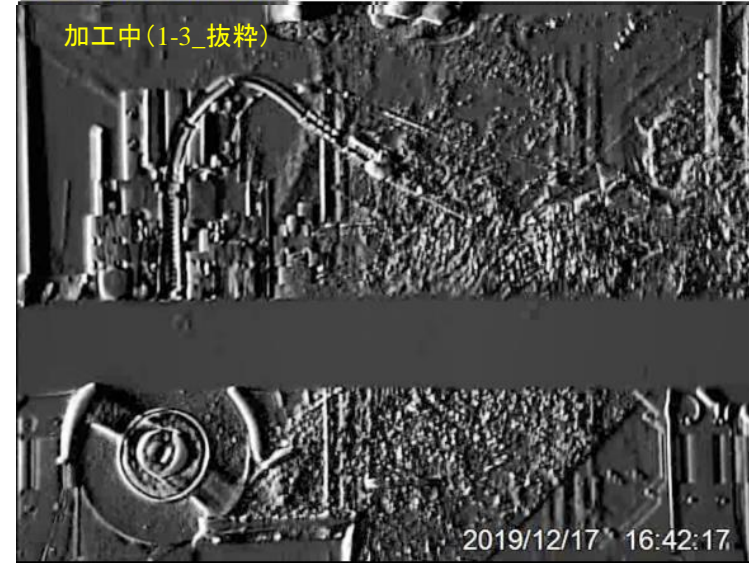
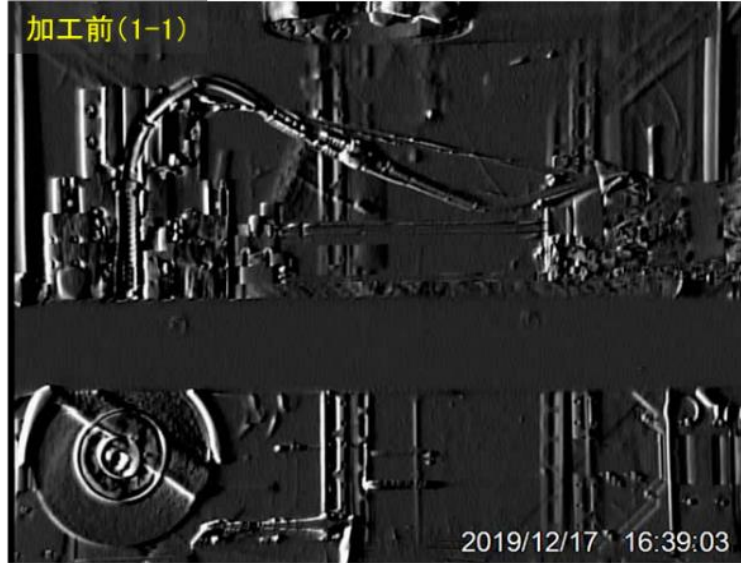
1) ELPI、welasによる粒径分布計測

2) ダストサンプル採取、観察



7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (ディスクソーツールの予備試験)
 微粒子可視化試験結果→微粒子が切削部から飛散し、拡散していることを確認。

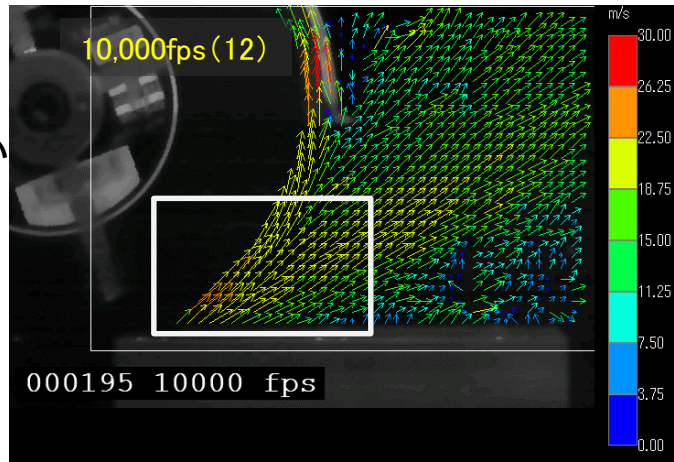


7. 本事業の実施内容

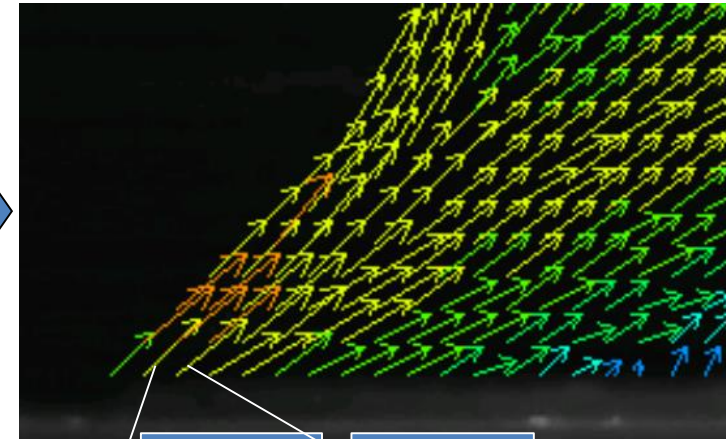
1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (ディスクソーツールの予備試験) 高速カメラによる切断砥石カッター加工時のダスト挙動撮影結果

速度の異なる火花(10,000fps)と細かい粒子(2,000fps)の挙動を観察するため、フレームレートを分けて撮影を行った。

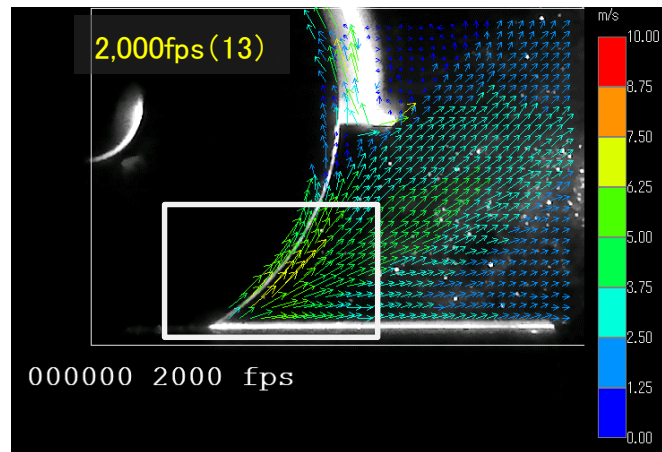
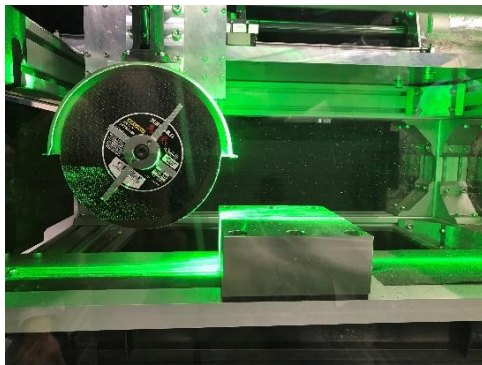
- ・回転速度: 3000rpm
- ・加工深さ: 約10mm
- ・火花状切粉は約22m/s、細かい粒子は約6m/sの速度で飛散。
- ・火花状切粉は、グラインダーのほぼ回転周速で飛散。



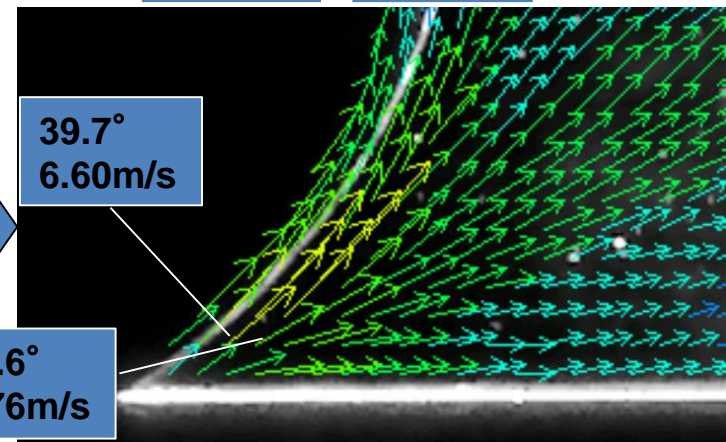
拡大



PIV (Particle Image Velocimetry):
連続撮影した2枚の画像(2時刻分の画像)を比較することにより流れの速度・向きを測定する方法である
粒子画像流速測定法



拡大



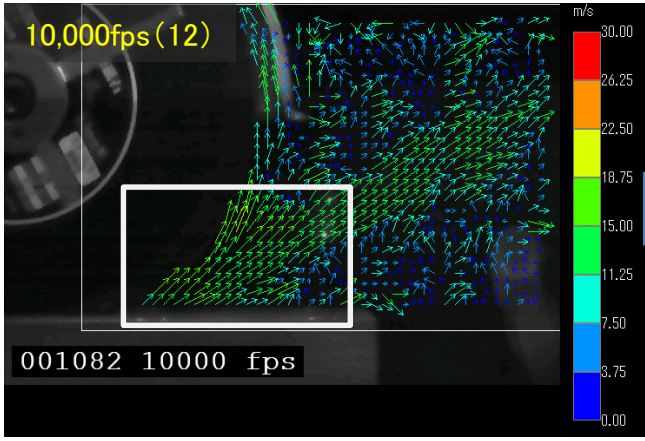
7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (ディスクソーツールの予備試験)

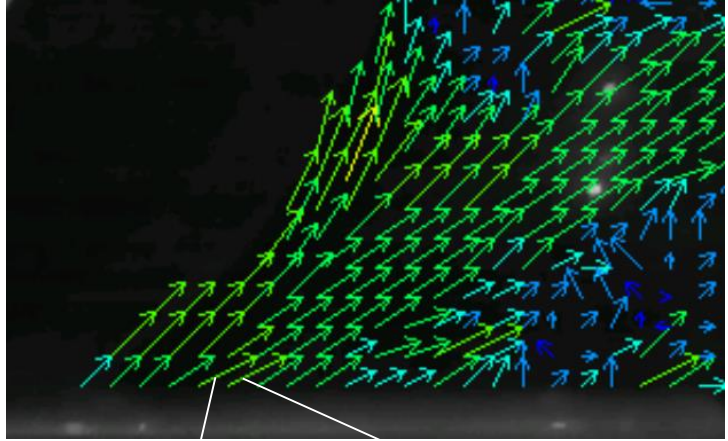
高速カメラによる切断砥石カッター加工時のダスト挙動撮影結果

速度の異なる火花(10,000fps)と細かい粒子(2,000fps)の挙動を観察するため、フレームレートを分けて撮影を行った。

- ・回転速度: 2000rpm
- ・加工深さ: 約10mm
- ・火花状切粉は約15m/s、細かい粒子は約5m/sの速度で飛散し、回転数に比例する傾向。
- ・砥石から離れた細かい粒子は速度の減衰が大きく、同条件で粒子画像流速測定法(PIV)処理を行うことができなかった。



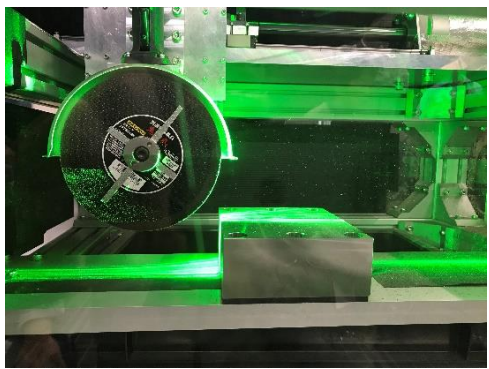
拡大



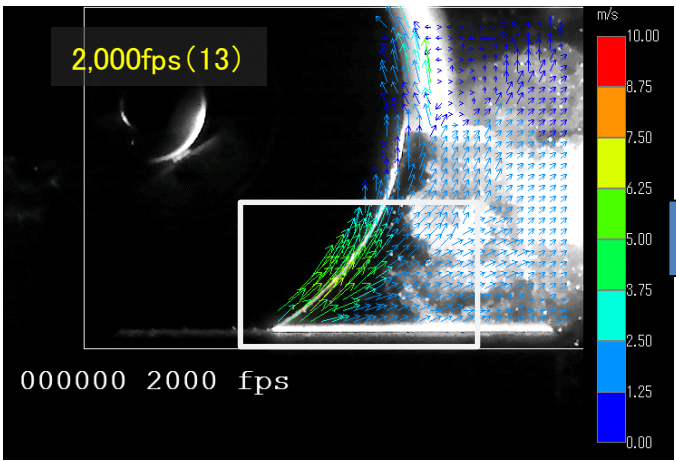
23.1°
15.74m/s

20.3°
15.61m/s

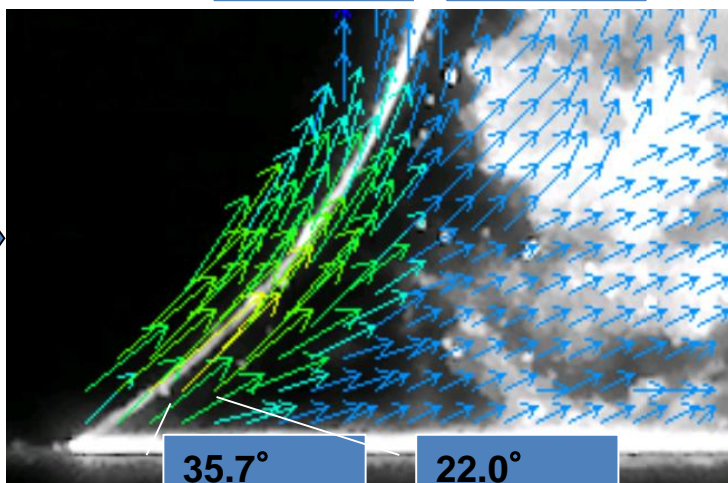
PIV結果



高速カメラ撮影画角



拡大



35.7°
4.70m/s

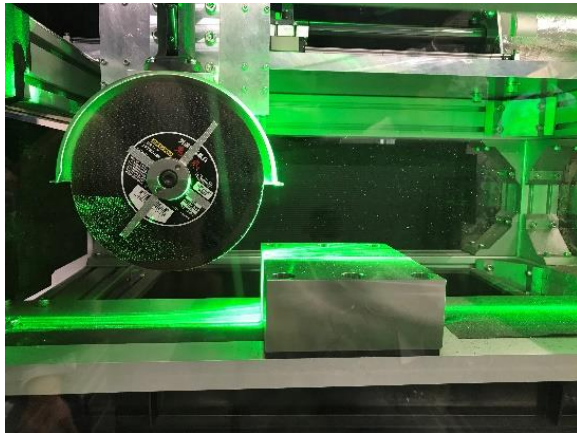
22.0°
4.56m/s

PIV結果

7. 本事業の実施内容

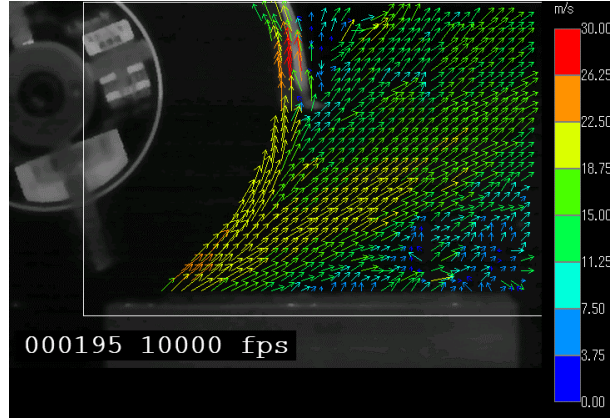
1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（ディスクソーの予備試験） 高速カメラによる切断砥石カッター加工時のダスト挙動撮影結果

- ・速度の異なる火花状切粉（10,000fps）と細かい粒子（2,000fps）の挙動を観察するため、フレームレートを分けて撮影を行った。
- ・積層静止画より粒子発生量：（3,000rpm） > （2,000rpm）
- ・加工深さ：約10mm

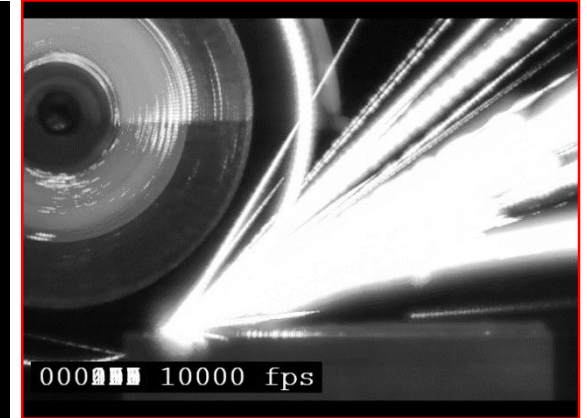


高速カメラ撮影画角

3,000rpm



PIV結果

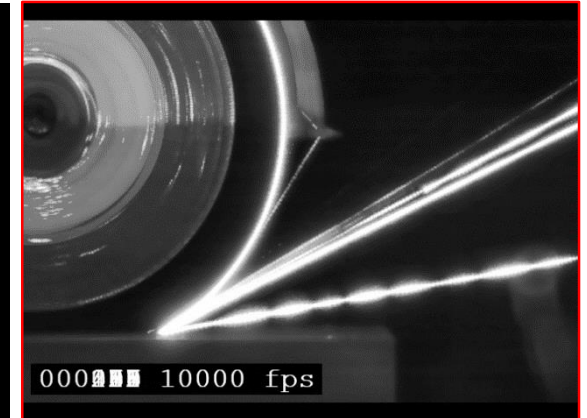


積層静止画(30秒間)

2,000rpm



PIV結果



30秒間の動画を積層させて作成した静止画

ディスクソーの回転速度：3000rpm、2000rpmで比較した結果、火花状切粉はいずれも回転周速に比例し、細かい粒子は低速度で挙動していることを確認。

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (検討プロセス)

①ダスト集塵・飛散抑制システムの開発

1)ダスト粒径分布の理論値の検討(粒径範囲)

3)ダスト集塵、抑制加工ヘッド及びダスト回収装置の概念検討、比較評価を経た概念の絞り込み

5)ダスト量(気中漏えい、水中移行、フィルタ集塵)の評価要領策定

6)ダスト集塵、抑制加工ヘッドで加工した時のダスト挙動の粒子挙動計算(絞り込んだ概念で試験)※2

2)従来の研究成果の調査

- ・燃料デブリ集塵技術整理と実機適用性評価
- ・燃料デブリ加工技術の調査と比較検討※1 (燃料デブリ切断・加工方法を絞り込み※3)

4)集塵・抑制なしでの加工時のダスト量計測と飛散角度の映像取得試験※2

2019年度実施

③ダスト集塵・飛散抑制評価試験

7)選定した加工方法に対して適した集塵、抑制装置を付与し、最大加工時のダスト量測定試験

※1: 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と連携

※2: 必要に応じて実施

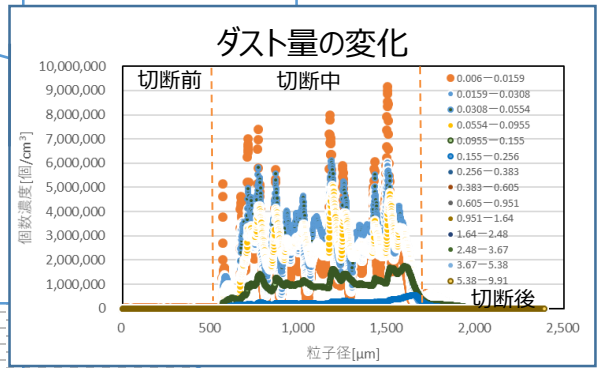
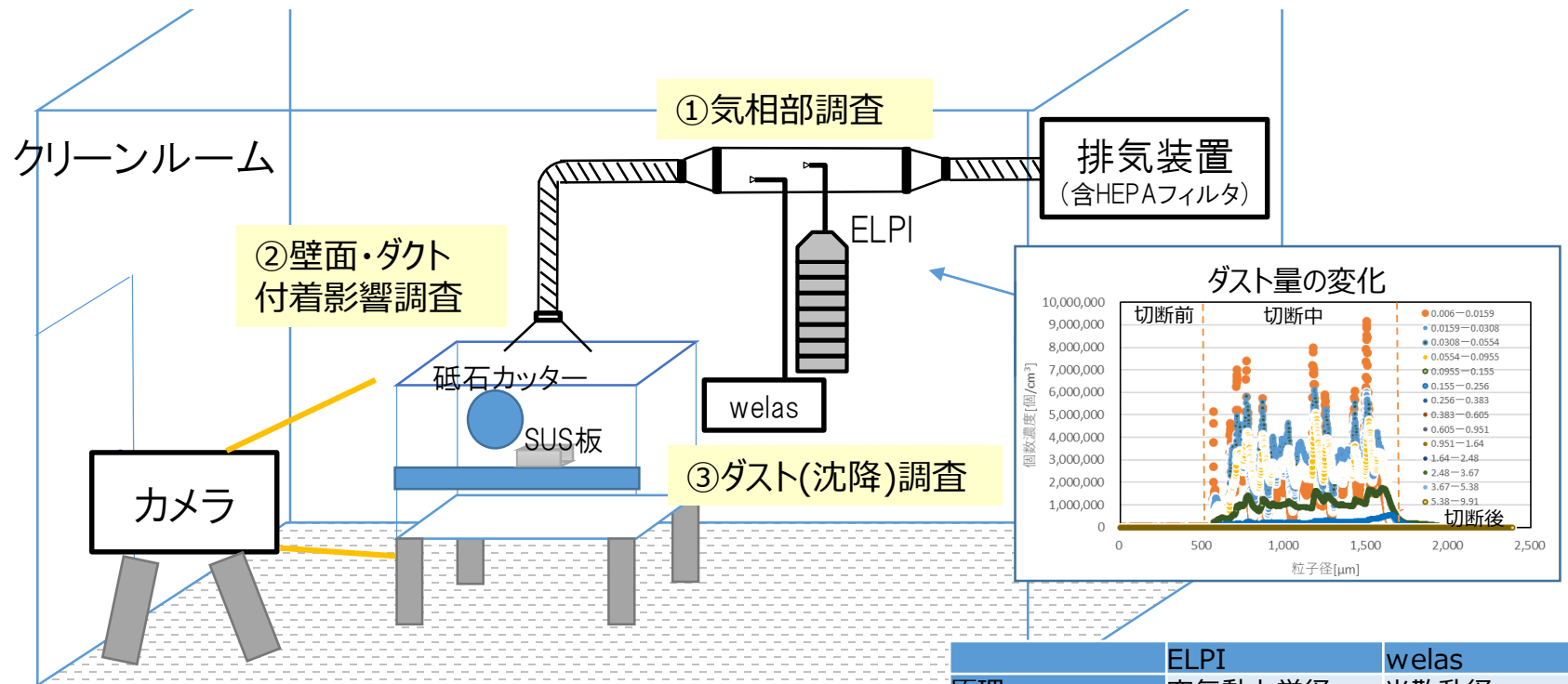
※3: 1F実燃料デブリに近い③ダスト飛散・抑制評価試験を行うため、管理区域で使用可能なディスクソーに絞り込み

当該概念のディスクソーツールを用いた場合のダスト評価試験要領と試験で得られるダストデータの見込みを確認

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (ディスクソーツールの基本設計)

クリーンルーム内で、機械切断(砥石カッター)による気中ダスト粒径分布測定、可視化を実施



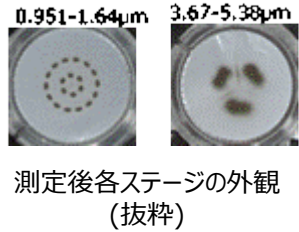
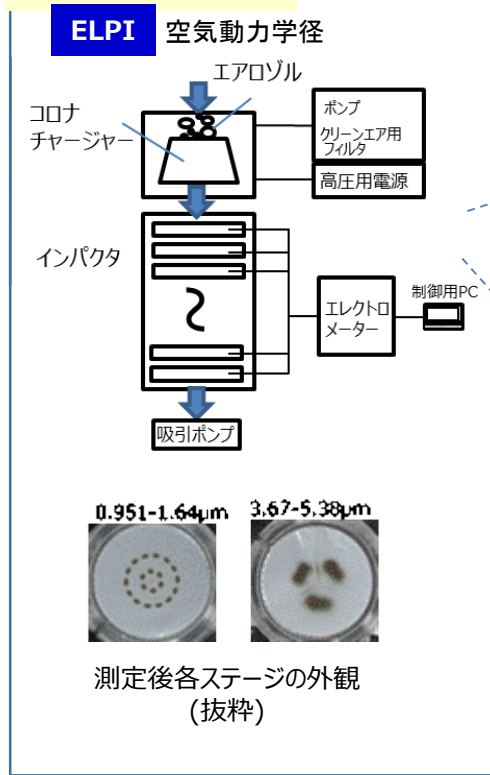
	ELPI	welas
原理	空気動力学径	光散乱径
リアルタイム	○	×
粒径範囲	0.006~10μm	10-40 μm
測定時間	捕集版毎で捕集量により制限	全量10 ¹⁵ 個で終了
捕集後サンプル取り扱い	回収可能	回収不可能

- 周辺環境を考慮した閉鎖系(クリーンルーム内)で、壁面やダクトへのダスト内面付着影響を確認(工具部分への被ばく影響考慮)
- 温度23 °C,上昇流0.02 m/secにおける気中機械切断(加工深さ:約20mm)でのダスト挙動を把握(格納容器内環境の環境模擬)
- 粗大粒子(10~40 μm)の影響を確認

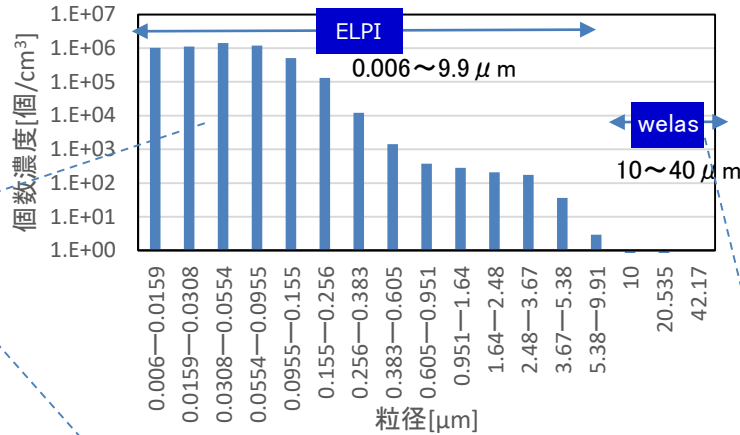
7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (ディスクソーツールの基本設計)

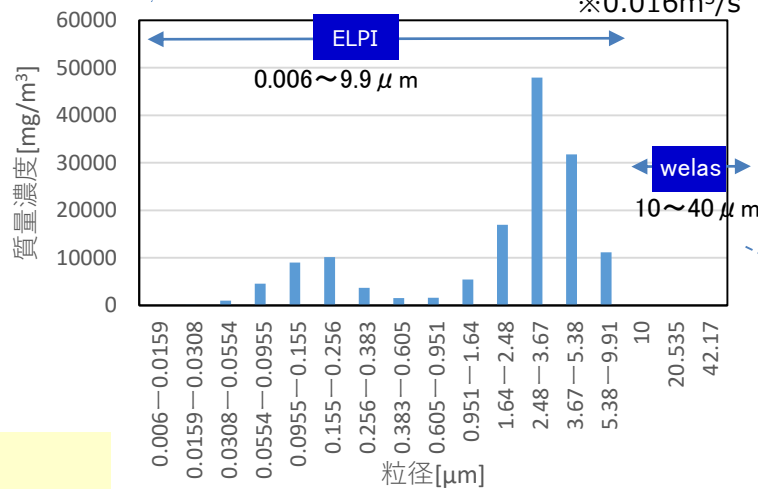
① 気相部調査



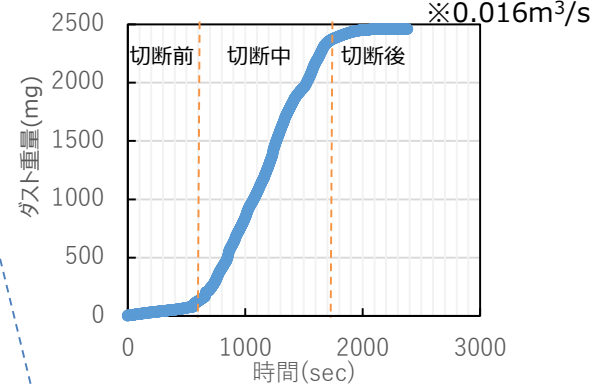
粒径ごとの個数濃度[個/cm³]



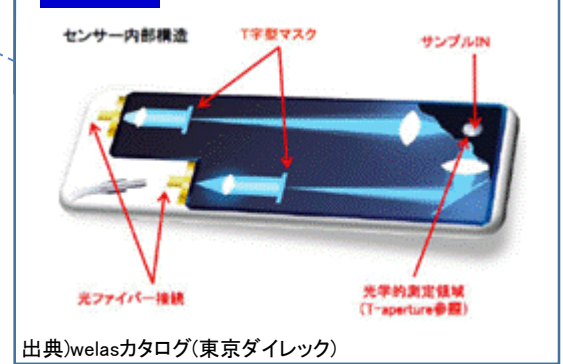
粒径ごとの質量濃度[mg/m³]



ダスト量の変化(積算)



welas 光散乱径



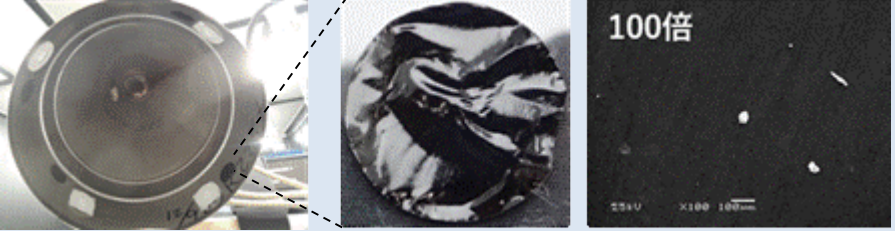
出典:welasカタログ(東京ダイレック)

気相粒子中に粗大粒子(10~40 μm)はほとんどみられなかった。

7. 本事業の実施内容

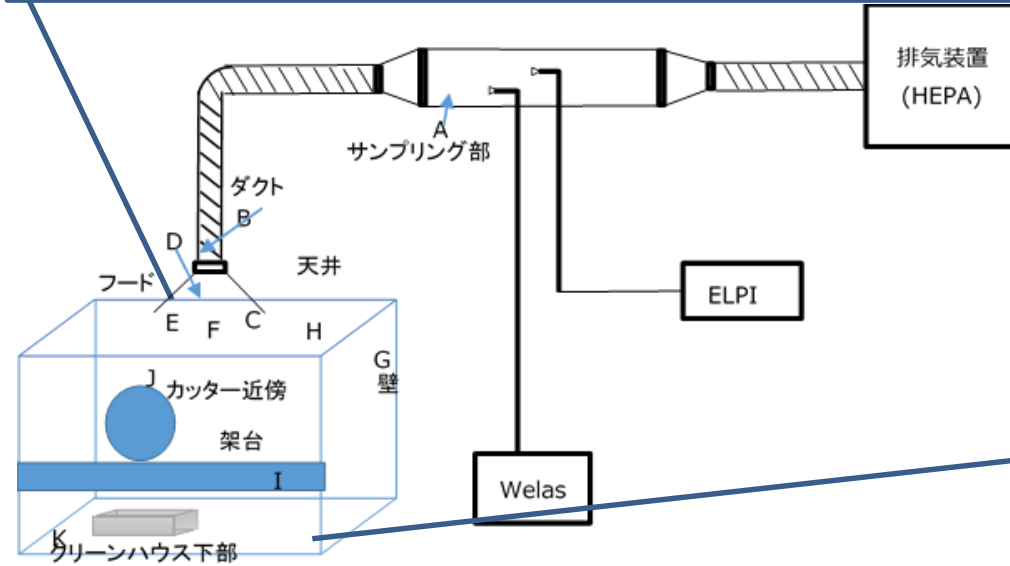
1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (ディスクソータールの基本設計)

②壁面・ダクト附着影響調査

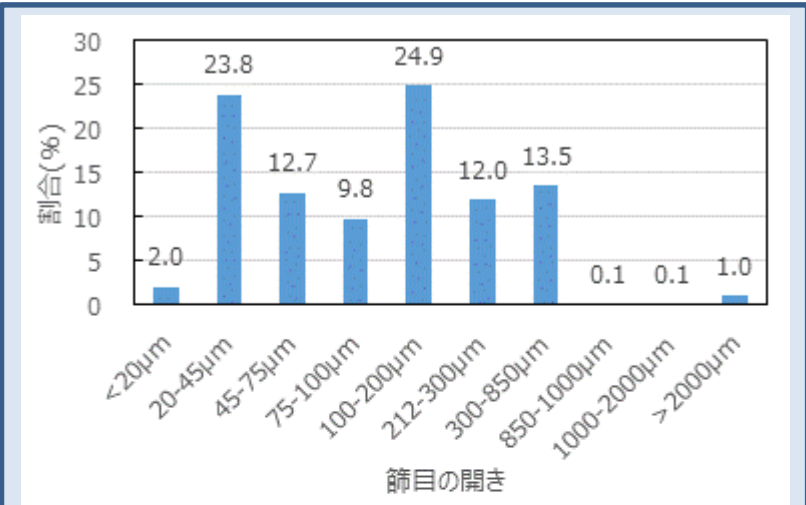


フード部にろ紙を付着させた様子 試験後ろ紙 試験後ろ紙のSEM二次電子像

試験容器内に設置したろ紙上のダストを分析し、面積当たりの重量を評価。試験装置との面積比から壁、床、ダクトに飛散したダスト量を推定



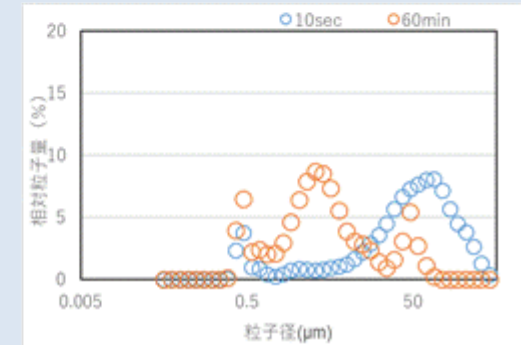
③ダスト(沈降)調査



切削ダストの金属篩による粒径分布結果



試験後回収した切削ダスト



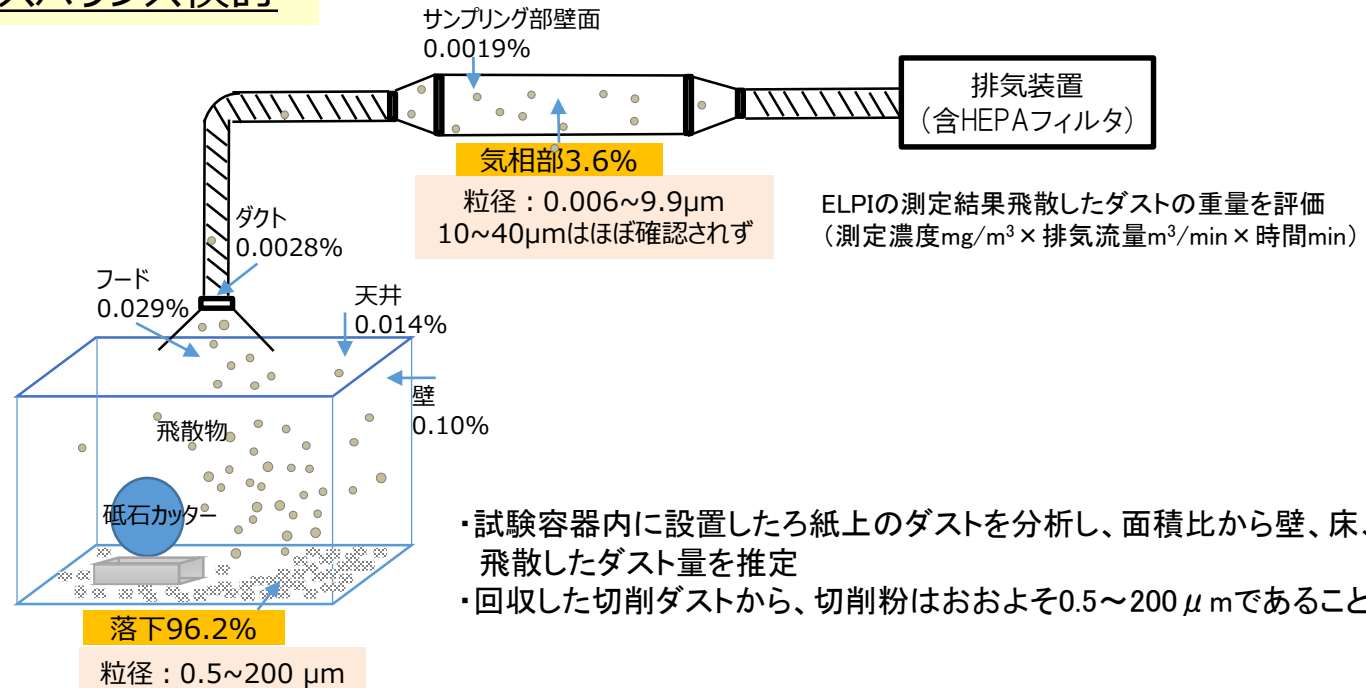
水中に懸濁した切削ダスト上澄みの粒径分布結果

- ・試験容器内に設置したろ紙上のダストを分析し、面積比から壁、床、ダクトに飛散したダスト量を推定
- ・下部に沈降したダストから、ダストはおおよそ0.5~200 μ mの範囲であることを確認

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（ディスクソーツールの基本設計）

ダストのマスバランス検討



- 本試験体系では、マスバランスの合計は約99.9%であり概ね評価できていることを確認した
- 気相に飛散したうち、粒径分布測定に至るまで壁面、天井付着による損失は約4%(全体の0.15%)と少ない
- 粗大粒子(10~40 μm)はPCVペデスタル内上昇流速から保守的に設定した0.02m/s程度の風速では気中にほとんど飛散しないことがわかったため、今後測定する必要性は少ない

→3)ダスト集塵・飛散抑制評価試験に対しても有効な知見が得られた。

7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (検討プロセス)

①ダスト集塵・飛散抑制システムの開発

1)ダスト粒径分布の理論値の検討(粒径範囲)

3)ダスト集塵、抑制加工ヘッド及びダスト回収装置の概念検討、比較評価を経た概念の絞り込み

5)ダスト量(気中漏えい、水中移行、フィルタ集塵)の評価要領策定

6)ダスト集塵、抑制加工ヘッドで加工した時のダスト挙動の粒子挙動計算(絞り込んだ概念で試験)※2

2)従来の研究成果の調査

- ・燃料デブリ集塵技術整理と実機適用性評価
- ・燃料デブリ加工技術の調査と比較検討※1 (燃料デブリ切断・加工方法を絞り込み※3)

4)集塵・抑制なしでの加工時のダスト量計測と飛散角度の映像取得試験※2

2019年度実施

③ダスト集塵・飛散抑制評価試験

7)選定した加工方法に対して適した集塵、抑制装置を付与し、最大加工時のダスト量測定試験

※1: 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と連携

※2: 必要に応じて実施

※3: 1F実燃料デブリに近い③ダスト飛散・抑制評価試験を行うため、管理区域で使用可能なディスクソーに絞り込み

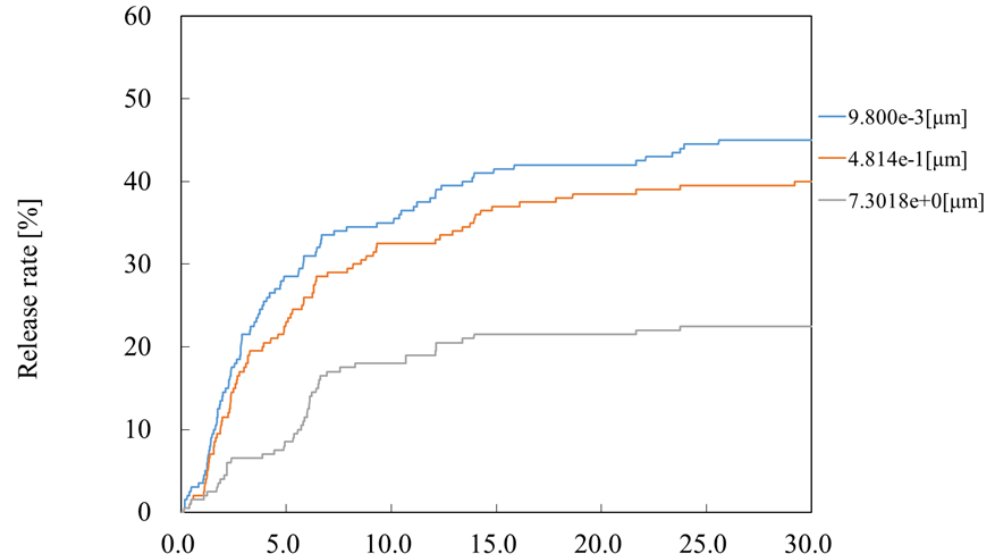
予備試験結果に基づき、ディスクソー単体での加工時ダスト挙動を気流・粒子挙動解析

7. 本事業の実施内容

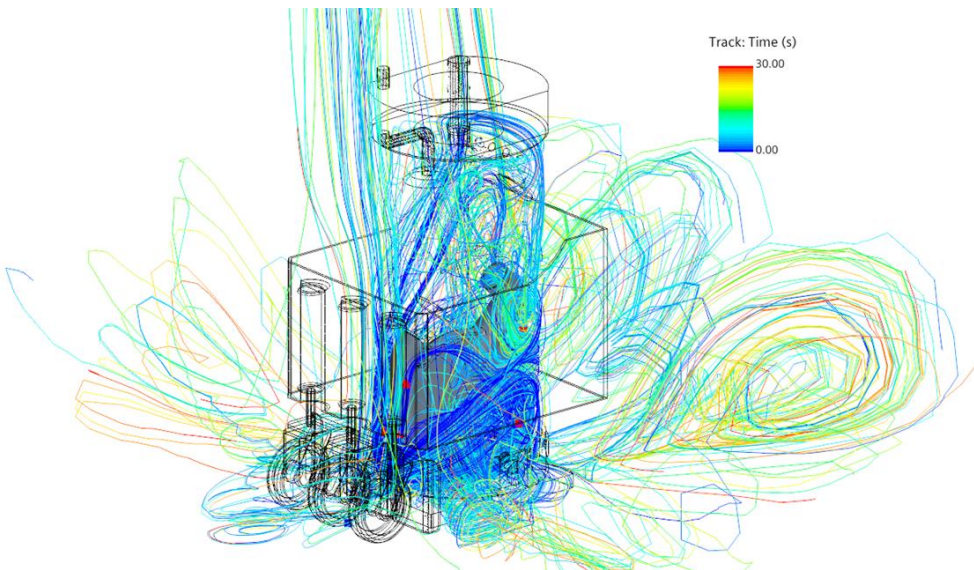
1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発 (ディスクソーの基本設計) ダスト集塵・飛散抑制機能付きディスクソーの基本設計結果

得られた知見

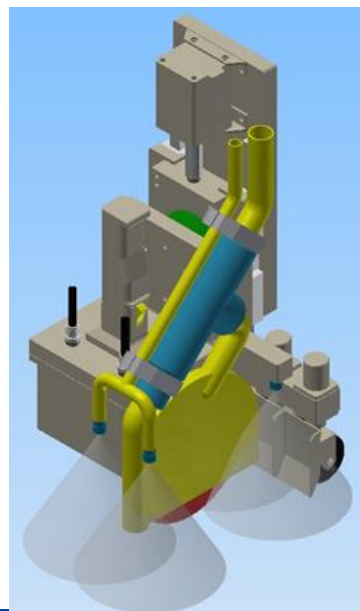
- エジェクタ流量を炉注水許容値まで増加させれば効果向上。
(現状DF見込み: 約2.6~4.5※1)
- エジェクタ吸引の集塵フードでの吸引風速向上
- 物理的な障壁(切粉ガード、外側円筒構造)が気流を制限し、ダスト飛散抑制に効果的。



Time [s]
エジェクタ吸引率(※1)(※2)



気流解析・粒子挙動解析結果
(粒径0.48 μm)※1



基本設計結果※1

(注記)
※1: φ 200mmディスクカッターの場合
※2: エジェクタに吸引されるダストの割合

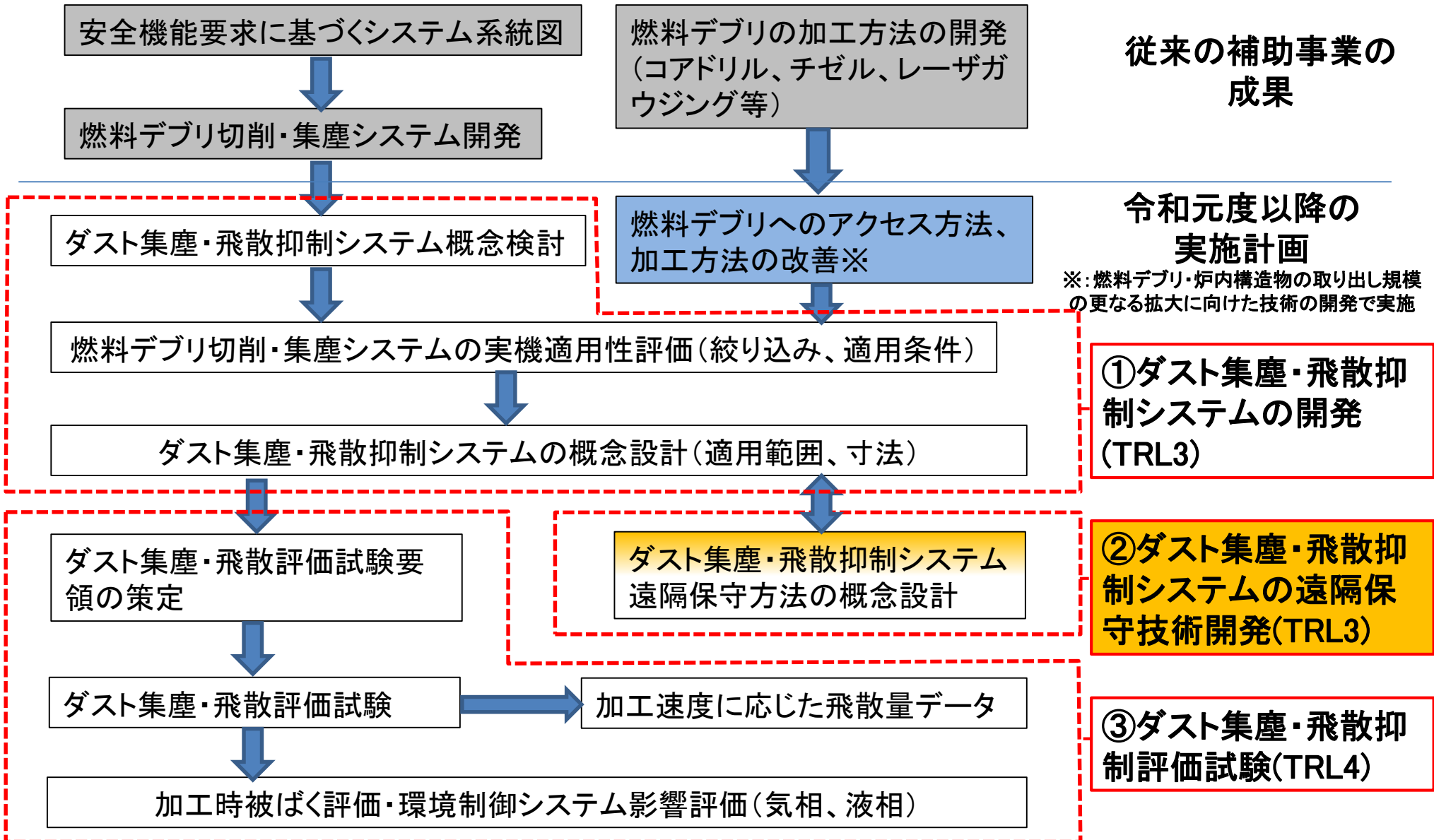
7. 本事業の実施内容

1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発（ディスクソーツールの実機適用性評価）

基本設計結果に対して、実機適用性の観点で適合していることを確認した。

項目	基本設計結果	実機適用性評価	判定基準
加工対象物の形状、寸法制約	特になし	○	1)接近可能な面に適用できること。 2)加工面の裏面へのアクセス要求、適用可能寸法等の制約条件がないこと。
加工ツール外形寸法 [mm]	縦約270×幅約200×高さ約530 (ディスク径φ200)	○	PCV内での着脱のため、搬出入できる寸法であること。 (参考基準:<□1m(暫定))
加工ツール重量	約500N以下	○	合力がマニピュレータの可操作力以下であること。
加工時反力	約1000N以下 (予備試験結果)	○	(参考基準:一般的なパワーマニピュレータのペイロード2000N以下)
電源仕様	三相交流200V、10A	○	1Fサイトで適用できる電源であること。(100V、200V等)
使用水量	加工時1.012m ³ /h	○	平均使用水量2.2m ³ /h以下

7. 本事業の実施内容(検討プロセス)



7. 本事業の実施内容

2) ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発

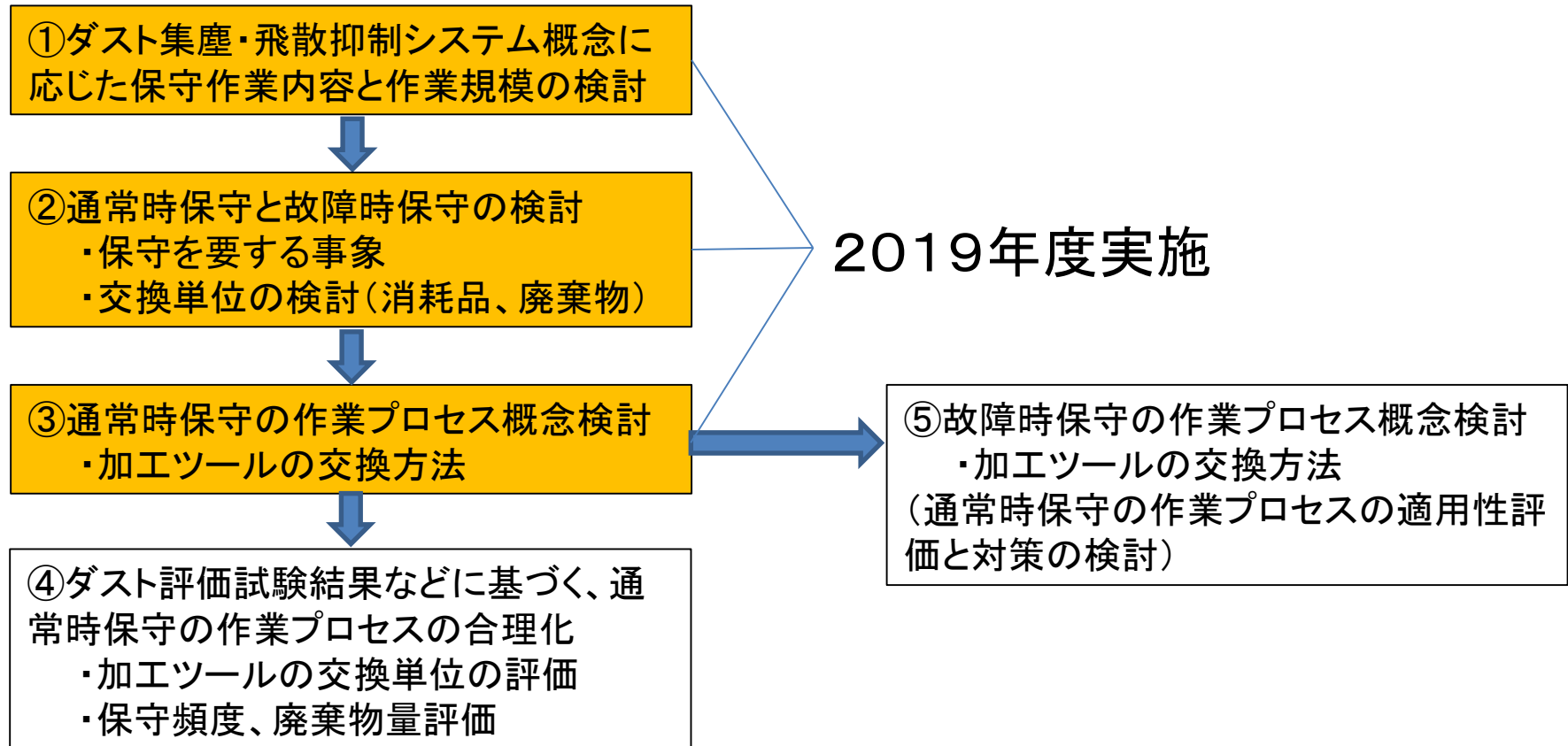
ダスト集塵・飛散抑制システムのうち、PCV内に設置される範囲は汚染物になり、フィルタや廃液タンクなどは廃棄物になるので、PCVあるいは一次バウンダリセル内等で以下の該当部品を遠隔操作で交換する方法を検討する。

- a. 1)のシステム構成の検討の結果、定期的に交換が必要な消耗品及び廃棄物を抽出する。当該部品の交換が必要になった場合には、一次バウンダリ内で交換を行い、容器等に封入する。
- b. ダスト集塵・飛散抑制システムを構成する動的機器等が故障すること、燃料デブリの加工機能と集塵機能を有する加工ヘッドの損傷を想定(特に、通常保守ができなくなる状況を想定)し、当該部品の交換が必要になった場合には、一次バウンダリ内で交換を行い、容器等に封入する。
- c. 保守を行う場所を検討する。(上記a.の通常保守の場合とb.の故障時保守の場合で分けて検討する。)
- d. 遠隔操作で取り出し、容器に封入・移送後、移送先で作業員による保守を行う場合には、容器への設置前あるいは保守場所での容器からの取り出し時の除染要否および必要に応じて除染方法を検討する。
- e. 上記a.通常保守とb.故障時保守で発生する廃棄物量を検討する。

7. 本事業の実施内容

2) ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発（検討プロセス）

②ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発



各種加工工法に対して通常時と故障時の保守作業を概念検討し、ディスクソーツールで保守作業への影響評価を計画

7. 本事業の実施内容

2) ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発（検討内容）

1) 定期的に交換が必要な消耗品（通常時保守）と動的機器等が故障または損傷（故障時保守）を想定し、抽出

2) 上記、保守作業に伴う消耗品、廃棄物の抽出と交換単位を検討

3) 加工ツールの交換方法を検討

4) 作業空間全体でダスト集塵、飛散抑制を行う機器の保守作業の想定

7. 本事業の実施内容

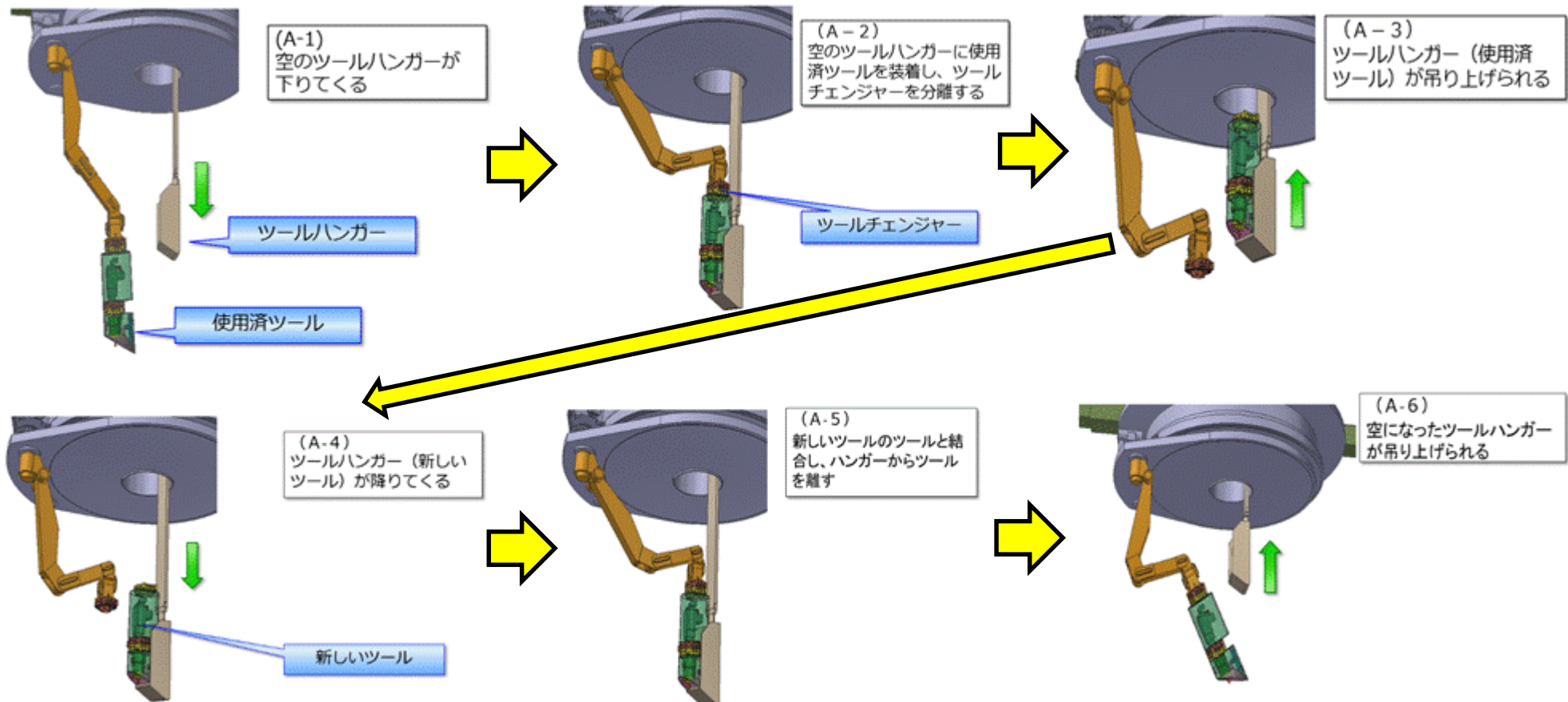
2) ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発（保守作業抽出）

	加工方法	劣化事象		交換単位	
		通常時	故障時	通常時（消耗品）	故障時（故障品）
機械的切断	チゼル	<ul style="list-style-type: none"> 刃先鈍り、欠け、破損 ミストノズルの目詰まり 放射線によるエジェクタ用ホース、ミスト用のホースの劣化 排風機フィルタの目詰まり 	<ul style="list-style-type: none"> 回転軸の湾曲 モータ停止 ツールチェンジャーの脱落 	<ul style="list-style-type: none"> チゼル刃 ミストノズル エジェクタ用ホース ミスト用ホース 排風機フィルタ 	<ul style="list-style-type: none"> エジェクタ/チゼル刃先 モーター部ケース
	コアボーリング	<ul style="list-style-type: none"> 刃先鈍り、欠け、破損 ミストノズルの目詰まり 放射線によるエジェクタ用ホース、ミスト用のホースの劣化 排風機フィルタの目詰まり 	<ul style="list-style-type: none"> 回転軸の湾曲 モータ停止 ツールチェンジャーの脱落 	<ul style="list-style-type: none"> コアボーリング刃 ミストノズル エジェクタ用ホース ミスト用ホース 排風機フィルタ 	<ul style="list-style-type: none"> コアボーリングツール
	ディスクソー	<ul style="list-style-type: none"> 刃先鈍り、欠け、破損 ミストノズルの目詰まり 放射線によるエジェクタ用ホース、ミスト用のホースの劣化 排風機フィルタの目詰まり 	<ul style="list-style-type: none"> 回転軸の湾曲 モータ停止 ツールチェンジャーの脱落 	<ul style="list-style-type: none"> ディスク刃 ミストノズル エジェクタ用ホース ミスト用ホース 排風機フィルタ 	<ul style="list-style-type: none"> ディスクソーツール (今後はディスクのみの交換も検討していく)
	油圧カッター	<ul style="list-style-type: none"> 刃先鈍り、欠け、破損 ミストノズルの目詰まり 放射線によるエジェクタ用ホース、ミスト用のホースの劣化 排風機フィルタの目詰まり 	<ul style="list-style-type: none"> 刃が元の位置に戻らない モータ停止 油圧ポンプの圧力低下 ツールチェンジャーの脱落 	<ul style="list-style-type: none"> カッター刃 ミストノズル エジェクタ用ホース ミスト用ホース 排風機フィルタ 	<ul style="list-style-type: none"> 油圧カッターツール
	AWJ	<ul style="list-style-type: none"> ミストノズルの目詰まり 放射線によるエジェクタ用ホース、ミスト用のホースの劣化 排風機フィルタの目詰まり 	<ul style="list-style-type: none"> WJ用、水圧ポンプの圧力低下 	<ul style="list-style-type: none"> ミストノズル エジェクタ用ホース ミスト用ホース 排風機フィルタ 	<ul style="list-style-type: none"> AWJツール
熱的切断	レーザガウジング	<ul style="list-style-type: none"> ミストノズルの目詰まり 放射線によるエジェクタ用ホース、ミスト用のホースの劣化 排風機フィルタの目詰まり 	<ul style="list-style-type: none"> レーザ出力低下 レーザ用水圧ポンプの圧力低下 	<ul style="list-style-type: none"> ミストノズル エジェクタ用ホース ミスト用ホース 排風機フィルタ 	<ul style="list-style-type: none"> レーザガウジングツール
	レーザ切断	<ul style="list-style-type: none"> レンズ曇り 光ファイバー消耗 ミストノズルの目詰まり 放射線によるエジェクタ用ホース、ミスト用のホースの劣化 排風機フィルタの目詰まり 	<ul style="list-style-type: none"> レーザ出力低下 	<ul style="list-style-type: none"> レンズ 光ファイバーケーブル ミストノズル エジェクタ用ホース ミスト用ホース 排風機フィルタ 	<ul style="list-style-type: none"> レーザツール
	プラズマジェット	<ul style="list-style-type: none"> 電極、或いはノズルの劣化。 ミストノズルの目詰まり 放射線によるエジェクタ用ホース、ミスト用のホースの劣化 排風機フィルタの目詰まり 	<ul style="list-style-type: none"> プラズマガスの圧力低下 	<ul style="list-style-type: none"> 電極 ノズル ミストノズル エジェクタ、水用ホース ミスト用ホース 排風機フィルタ 	<ul style="list-style-type: none"> プラズマジェットツール

7. 本事業の実施内容

2) ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発（加工ツール交換方法の検討）

上取り出し工法（ルートA）の場合、ユニット缶の昇降する開口部を活用して加工ツールを交換するプロセスを検討した。



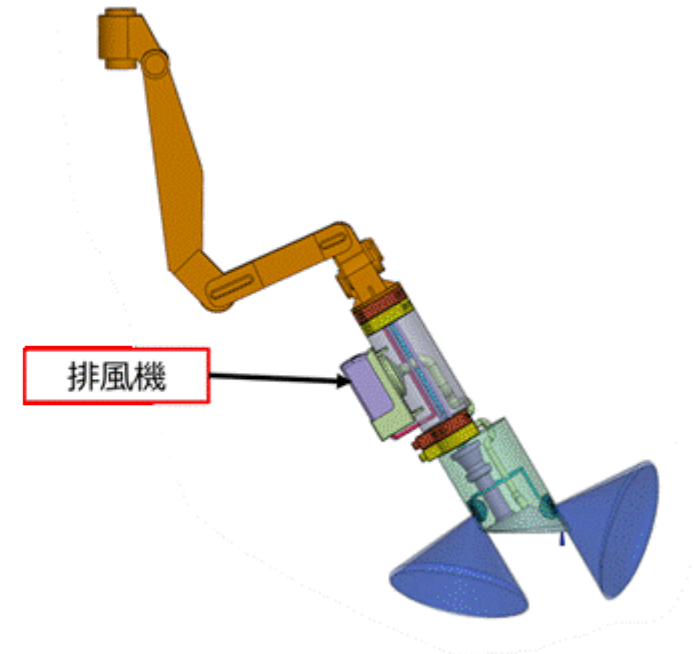
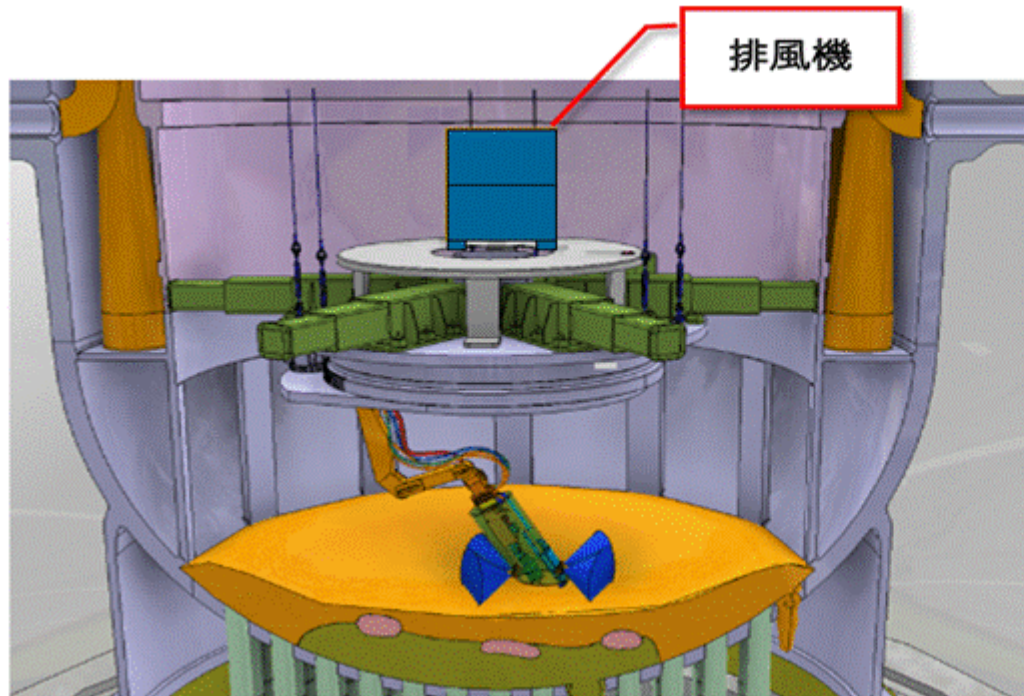
7. 本事業の実施内容

2) ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発 (燃料デブリ取り出し装置に排風機を備えた場合の保守内容)

・保守を要する想定事象

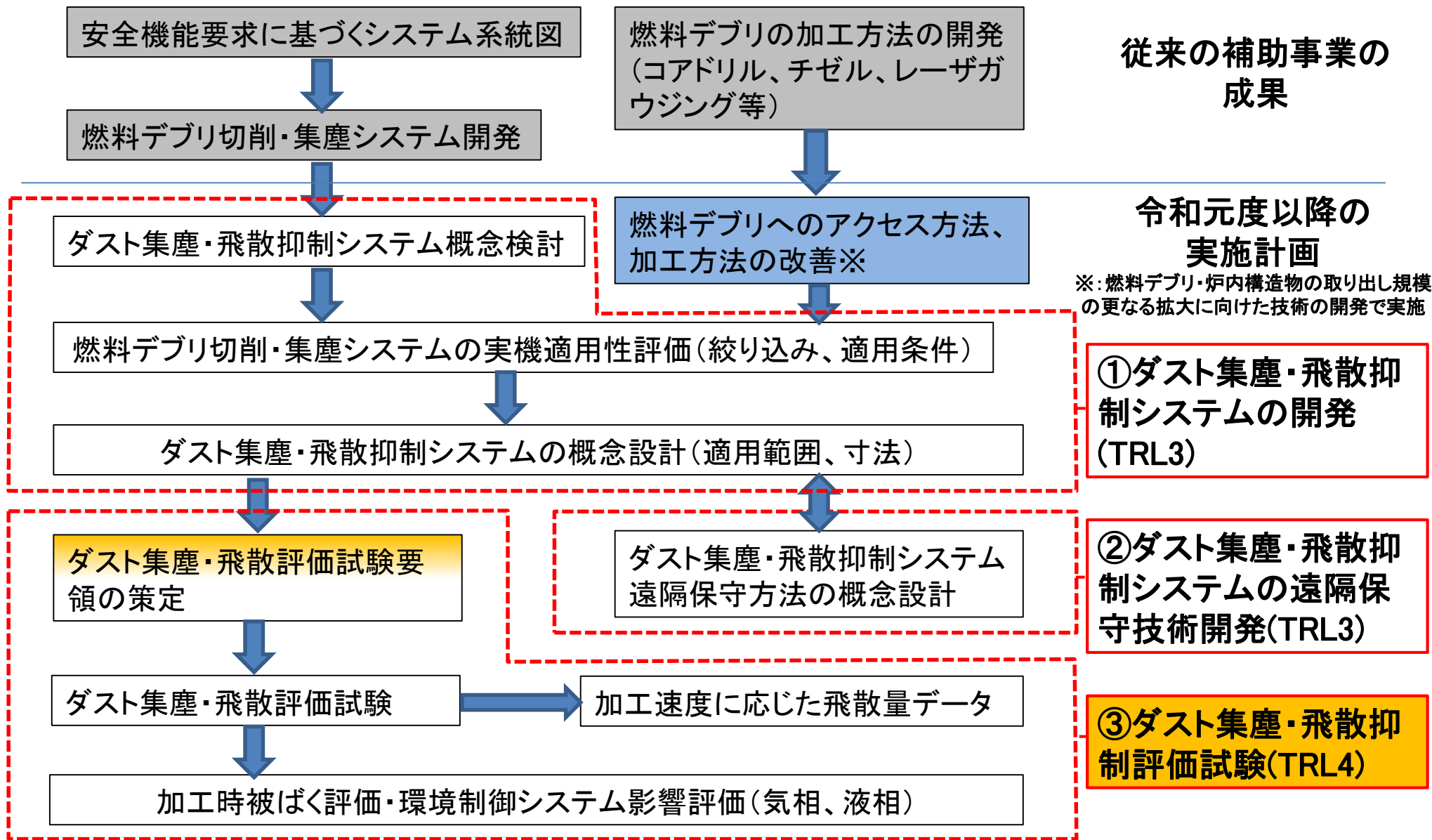
- 1) 排風機フィルタ目詰まり
- 2) 排風機自身の故障

→いずれも取り出し作業を中断し、遠隔交換必要



PCV内で機材の交換を伴う保守作業は不要としたい

7. 本事業の実施内容(検討プロセス)



7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験

国内外で行われてきた加工時のダスト評価試験を改めて調査し、評価結果を導出できる評価試験要領を策定する。燃料デブリを模擬したセラミック、金属とコンクリートとの混合物等を対象とした切削試験実績等の切削性能に関する情報を有している切削方法のうち、「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」で選定され、スループット向上が見込まれる工法の中から、ダストの発生が相対的に多いと想定される加工工法を選定する。この選定された加工方法についてアクセス性の観点から実機適用性を考慮しダスト集塵・飛散抑制システムを備えた加工ヘッドの要素試験機を設計、試作する。過酷事故で発生する放射性物質の粒径分布の傾向に関する情報を収集し、想定される燃料デブリの材料状態を模擬して、塊状の燃料デブリ(燃料デブリの付着した構造物、MCCI、炉内燃料デブリ)を加工性や比重の観点で模擬した試験体に対して切削性能試験を実施する。その工法で発生した切削粉やダストの発生量や粒度分布等のデータを取得する。また、開発した切削方法に合わせ、集塵システムの開発を行い、気中及び水中における加工時に発生する切削粉やダストに対する集塵効率のデータを取得する。

取得したデータに基づき、1)でまとめた集塵システムの仕様の見直しを行うとともに、集塵システムの有無でダスト漏えい量の計量結果を比較することで集塵性能を評価し、「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」のシステム安全設計の観点から、実機適用性を評価する

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（続き）

主な開発検討項目として以下を含むものとし、必要に応じて要素試験を実施することにより課題を抽出し整理する。

- a. 燃料デブリの拡散防止の観点で有効な加工方法による燃料デブリ模擬試験体等の加工。
- b. 加工時の切りくずやダストの回収方法と分析、加工効率に影響がないことの確認。
- c. 加工試験に使用するための燃料デブリ、汚染構造物模擬試験体等の製作。

集塵効率等のデータ取得にあたっては、東京電力のニーズを踏まえ、事務局を介して関係者（経済産業省、東京電力、原子力損害賠償・廃炉等支援機構）との協議を行った上で技術開発を進める。

（注記）

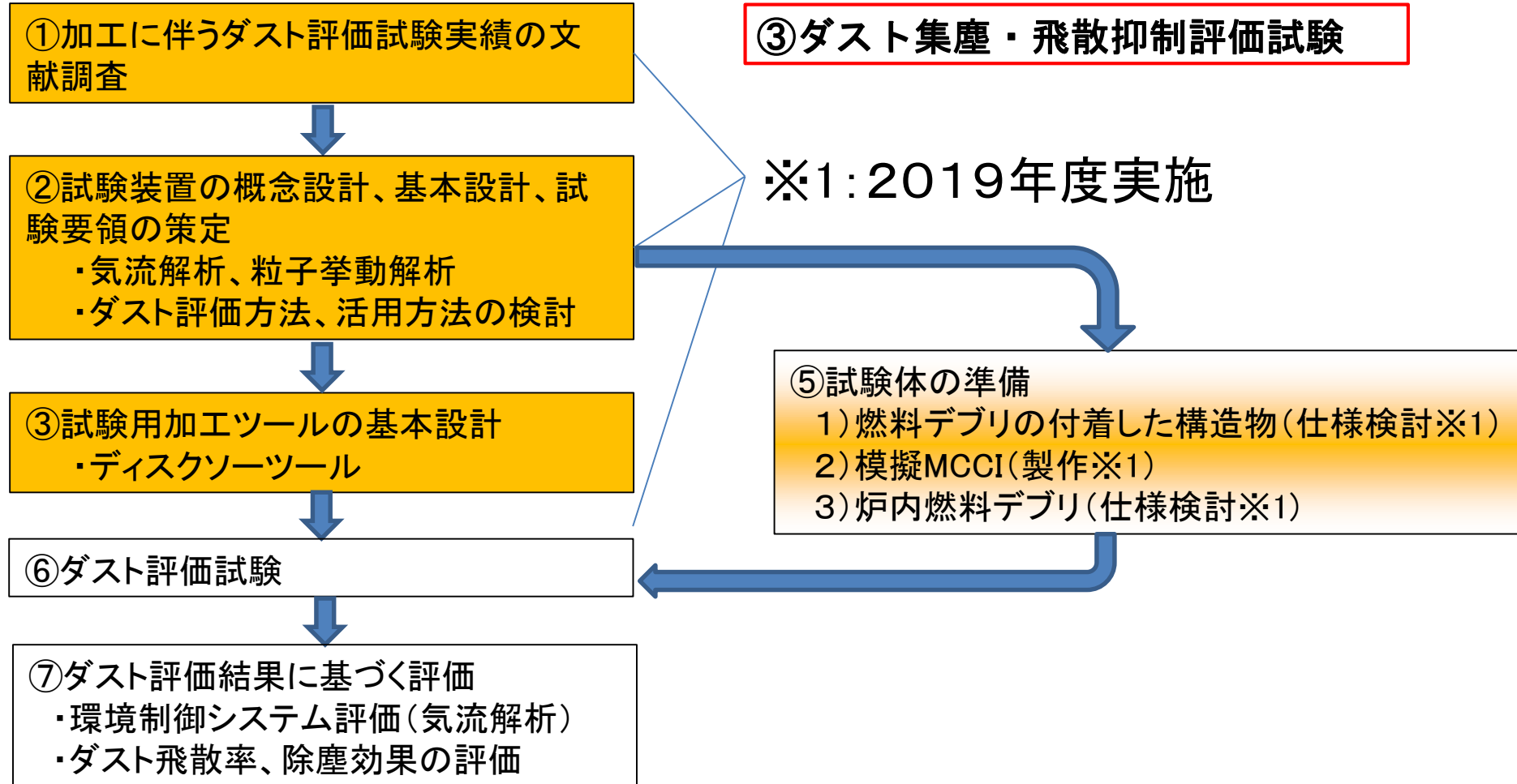
燃料デブリ取り出しに関わる機器・装置及びシステムに関わる技術開発においては、以下について遠隔操作で扱う装置の取り扱い性、保守方法を考慮した開発を行う。

- ・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。

上記の項目の開発の方向性及び要素試験による確認を実施するものについて次紙以降に示す。
（要素試験は、現時点による計画）

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（検討プロセス）



従来国内外で行われてきた加工時ダスト評価試験を調査し、試験装置の概念設計などに反映した。

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（従来のダスト評価試験の調査結果）

○評価試験要領を策定するために国内外で行われてきた加工時のダスト評価試験調査・試験環境と試験方法（測定・調査）

項目	レーザーガウジング試験装置(※1)	水中パラメータ試験装置(※2)	形状依存確認試験装置(※2)	サクレー研究所レーザー切断装置(※3)
規模	小規模	中規模	中規模	大規模
加工方法	レーザーガウジング	水中プラズマアーク切断	気中プラズマアーク切断	水中レーザー切断
気中集塵環境	大気環境下のアクリルケース内	クリーンハウス内クリーンエア清浄化	クリーンハウス内クリーンエア清浄化	純窒素注入清浄化
粉塵濃度測定	—	ELPI(Electrical Low Pressure Impactor)測定	ELPI(Electrical Low Pressure Impactor)測定	ELPI(Electrical Low Pressure Impactor)測定
粒径分布測定	分級捕集	分級捕集	分級捕集	—
気中微量生成量測定	—	粒子サンプラによる分取り換算測定	粒子サンプラによる分取り換算測定	最終段フィルタ採取量測定
気中ガス成分調査	対象成分: H ₂ 、O ₂ 、N ₂ 、CO、CO ₂	—	—	—
沈殿物粒子測定	ふるいによる分別、重量測定	—	—	—
水中浮遊物調査	重量測定、金属成分の調査	—	—	—
水中イオン分析	0.2μmフィルタ通過分の金属成分調査	—	—	—

出典:

※1)平成26年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金 燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業 平成28年度最終報告書 平成29年3月、※2)「平成18年度 発電用原子炉廃止措置工事環境影響評価技術調査(環境影響評価パラメータ調査研究)」(平成18年度経済産業省委託調査) 平成19年3月、※3)平成28年度補正予算 「廃炉・汚染水対策事業費補助金 (燃料デブリの性状把握・分析技術の開発)」研究報告書(最終報告)平成31年3月」

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（従来のダスト評価試験の調査結果）

○評価試験要領を策定するために国内外で行われてきた加工時のダスト評価試験調査・試験環境と試験方法(加工)

項目	レーザガウジング試験装置(※1)	水中パラメータ試験装置(※2)	形状依存確認試験装置(※2)	サクレー研究所レーザ切断装置(※3)
試験装置サイズ	W1050mm × D720mm × H688mm	約W10000mm × D10000mm × H8300mm	W3000mm × D2000mm × H2000mm (天井部 300Hmm)	—
加工方法	レーザガウジング	プラズマアーク切断	プラズマアーク切断	レーザ切断
評価対象材料	SUS304、アルミナ、ジルコニア	SUS304、炭素鋼(SS400)	SUS304、炭素鋼(SS400)	模擬燃料デブリ(MCCIなし、MCCI有)
出力	20kW(発振器出力)	600A(電流)	600A(電流)	3～8kW(Nd:YAGレーザ)
照射ビーム径／ノズル径	照射ビーム径 約Φ5mm	—	—	—
ノズル／ワーク間距離	40mm	—	—	—

出典:※1)平成26年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金 燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業 平成28年度最終報告書 平成29年3月
 ※2)「平成18年度 発電用原子炉廃止措置工事環境影響評価技術調査(環境影響評価パラメータ調査研究)」(平成18年度経済産業省委託調査) 平成19年3月
 ※3)平成28年度補正予算 「廃炉・汚染水対策事業費補助金 (燃料デブリの性状把握・分析技術の開発)」研究報告書(最終報告)平成31年3月」

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（従来のダスト評価試験の調査結果）

○IRID事業における加工に関連する試験結果の調査

・試験環境と試験方法（測定・調査）

プロジェクト名称		燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化	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基盤技術の高度化	燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術の開発			燃料デブリ・炉内構造物の取出技術の開発
試験実施時期		2018年度	2016年度	2018年度	2016年度			2016年度
加工条件								
加工方法		チゼル	コアボーリング		レーザガウジング			レーザ切断
環境条件	加工環境	気中	気中		気中	水中(水深 0.1~0.15m)		気中
評価対象材料		MCCI試験体	アルミナ/SUS304	(*2)BSW 模擬体(鉄筋コンクリート)	アルミナ/SUS304	ジルコニア/SUS304	アルミナ/SUS304	ジルコニア/SUS304
SUS304 ((*3) t20mm)								
評価条件								
条件	試験装置サイズ	不明	不明		W 1050mm × D 720mm × H 688mm			不明
粉塵濃度測定		—	—	ダストサンプラー	走査式ナノ粒子粒径分布計測器(粒径範囲:0.016~0.6μm)			—
計測器への煙道ダクト径		—	—	φ100mm	不明			—
試験体	φ560×300mm	不明	不明	幅1,240mm×高さ800mm 奥行約1.8m	不明			不明
欠損質量(g) (ダスト質量)	6,530	457.2	106.5	146	157	144	147	不明
欠損体積(mm ³)	(*6) 3,265,000	75,900	46,323	(*6) 24,579	(*6) 23,054	(*6) 24,242	(*6) 21,586	—
加工時間(min)	10.8	22	不明	2	2	2	2	不明
加工速度(kg/h)	36.2	(*7) 1.25	不明	(*7) 4.38	(*7) 4.71	(*7) 4.32	(*7) 4.41	—
加工速度(mm/min)	不明	2.86	不明	不明	不明	不明	不明	300
加工速度(g/min)	(*8) 603	(*9) 20.5	不明	73.0	79.0	72.0	74.0	(*10) 57.1
加工速度(kg/s)	(*11) 1.01E-02	(*11) 3.42E-	不明	(*11) 1.22E-03	(*11) 1.32E-03	(*11) 1.20E-03	(*11) 1.23E-03	(*11) 9.52E-04
加工速度(mm ³ /min)	(*12) 302,315	3,450	不明	(*12) 12,290	(*12) 11,527	(*12) 12,121	(*12) 10,793	(*13) 7,200
粒径分布測定	有	—	有	有	有	有	有	—
加工時微粒子挙動目視観察	無	無	無	無	無	無	無	—

出典：平成30年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発 より提供。

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（従来のダスト評価試験の調査結果）

○IRID事業における加工に関連する試験結果の調査（続き）

・試験環境と試験方法（測定・調査）

試験実施時期		2018年度	2016年度	2018年度	2016年度				2016年度
加工条件									
加工方法		チゼル	コアボーリング		レーザガウジング				レーザ切断
環境条件	加工環境	気中	気中		気中	水中(水深 0.1~0.15m)			気中
評価対象材料		MCCI試験体	アルミナ/ SUS304	(*2)BSW 模擬体(鉄 筋コンク リート)	アルミナ/ SUS304	ジルコニア /SUS304	アルミナ/ SUS304	ジルコニア /SUS304	SUS304 ((*3) t20mm)
評価条件									
ダスト種類	水中沈殿(g)	—	—	—	142.6	154.6	141.5	143.5	—
	水中浮遊(g)	—	—	—	12.6	9.7	12.7	4.9	—
	水中溶解(mg)	—	—	—	73.0	74.0	69.0	82.0	—
	気中飛散(mg)	—	—	3.00	13.6	12.0	2.7	2.7	—
	回収量合計(g) (付着成分)	—	—	—	155.2	164.3	154.2	148.4	—
	沈殿/除去(%)	—	—	—	97.7	98.5	98.3	97.6	—
	水中浮遊/除去(%)	—	—	—	8.6	6.2	8.8	3.3	—
	水中溶解/除去(%)	—	—	—	0.05	0.047	0.048	0.056	—
	気中飛散/除去(%) (飛散率)	—	—	(*14) 2.82E-03	(*14) 9.32E-03	(*14) 7.64E-03	(*14) 1.88E-03	(*14) 1.84E-03	—
	回収合計/除去(%)	—	—	—	106.3	104.7	107.1	100.9	—

(*1): 油圧ユニット SHIBUYA製HU-51MW(メイン最高出力: 20.6MPa, 送り用: 14.0MPa(メーカーカタログ値)) (*7): (欠損質量(g)/1000)/(加工時間(min)*60) (例. 457.2(g)/1000/22(min)*60 ≒ 1.25 (kg/h))

(*2): 設計基準強度: 225kg/cm² (実強度500~600kg/cm²を模擬した試験体(鉄筋コンクリート)を作成する。) (*8): kg/hをg/minへ変換(36.2(kg/h)*1000/60=603(g/min))

厚さ: 1800mm, 配筋: D38-SD345(2層2段), サイズ: 外径11700×内面SR10074, 型枠: 3.2mm鋼板(片側) (*9): (アルミナ 3.95g/cm³ + SUS304 7.93g/cm³)/2=5.94g/cm³. 3450mm³/min

→ 3.45cm³/min. 5.94g/cm³ * 3.45cm³/min ≒ 20.5g/min

(*3): 切断深さ20mm(切りきる)

(*4): PI(560/2)²*300

(*10): 加工速度(mm³/min)/1000*材料密度(g/cm³)*5)

(例. 7200(mm³/min)/1000*7.93(g/cm³)=57.1 (g/min))

(*5): 1240*800*1.8*1000

(*11): g/minをkg/sへ変換. 加工速度(g/min)/1000/60

(例. 603(g/min)/1000/60 ≒ 1.01E-02(kg/s))

(例. 6530(g)/2(g/cm³)*1000 ≒ 3,265,000 (mm³))

(*12): 欠損体積(mm³)/加工時間(min) (例. 3,265,000(mm³)/10.8(min) ≒ 302,315(mm³/min))

(*13): 報告書記載値である切断速度300mm/minに切断幅(1.2mm)と深さ(20mm)を乗じた値。

(*14): 気中飛散(mg)/欠損質量(mg) (例. 3.00(mg)/(106.5(g)*1000)*100 ≒ 2.82E-03(%))

アルミナ	ジルコニア	SUS304	MCCI	単位
3.95	5.68	7.93		2 g/cm ³

・アルミナ/SUS304: (アルミナ 3.95g/cm³ + SUS304 7.93g/cm³)/2=5.94g/cm³.

・ジルコニア/SUS304: (ジルコニア 5.68g/cm³ + SUS304 7.93g/cm³)/2 ≒ 6.81g/cm³.

出典: 平成30年度補正予算 廃炉・汚染水対策事業費補助金 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し規模の更なる拡大に向けた技術の開発 より提供。

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（ダスト評価試験の試験要領方針）

○加工時ダスト飛散試験要領（案）

・試験方法と条件

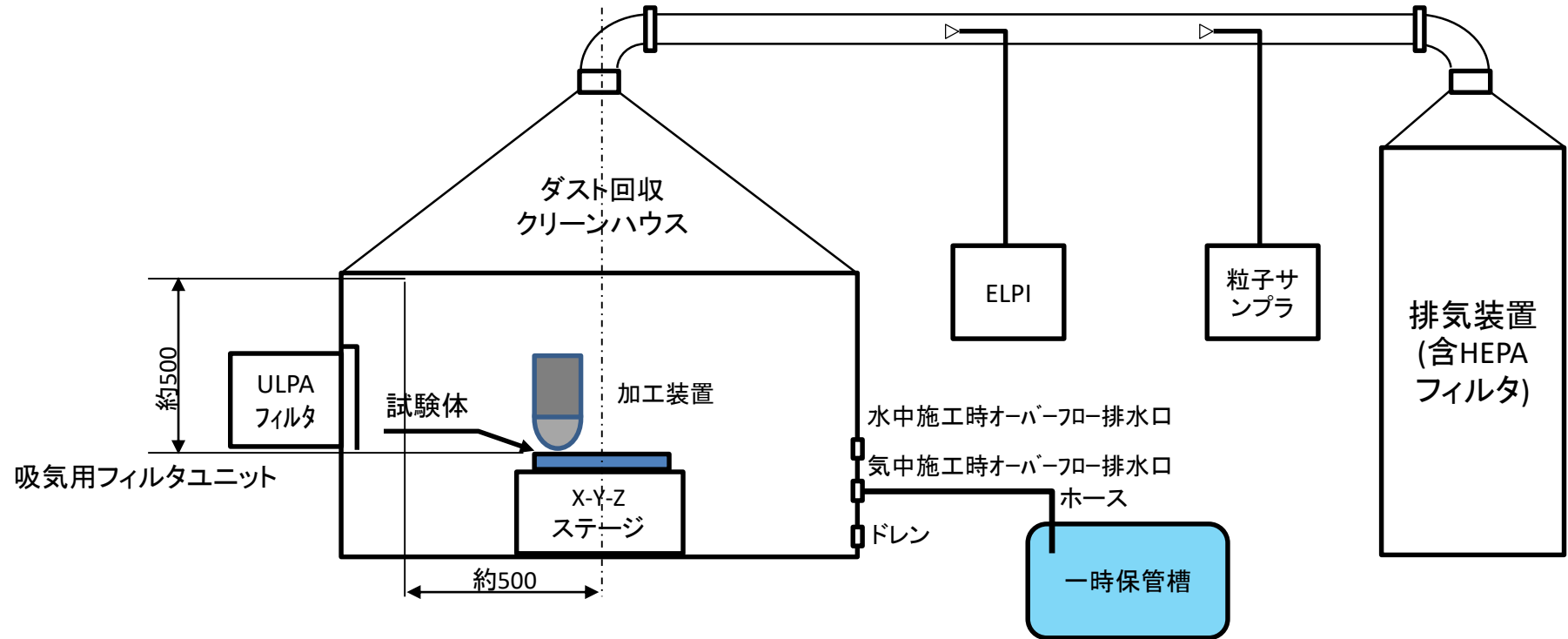
- ①加工部条件：気中（水際位置）、水中（水深100mm）
- ②加工方法：機械切断、熱的切断 ※1（この内、ダスト発生が多い各1工法を選定予定）
機械切断：ディスクカッター（砥石ソー）、アブレイシブウォータージェット（AWJ）、油圧カッター、チゼル（はつり）
熱的切断：レーザガウジング、プラズマジェット
- ③試験体の候補
 - A) 構造物模擬試験体
外形：120mm×120mm×20mm程度
材料 SUS304 等
 - B) 燃料模擬試験体
材料 セラミックス棒 等（被覆管模擬、埋め込み方法などは検討中）
 - C) MCCI模擬体
- ④ダスト調査用フード
ダスト回収クリーンハウス、ELPI、粒子サンプラ、
排気用フィルタユニット、吸気用フィルタユニット
- ⑤測定項目：粒子個数（個数濃度）の粒径分布、ダスト重量、落下したダスト粒径分布

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（ダスト評価試験の試験要領方針）

○加工時ダスト飛散試験要領(案)

加工時のダスト評価試験調査結果を元に、以下試験装置概観を設定した。



7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（ダスト評価試験の試験要領方針）

○加工時ダスト飛散試験要領（案）

加工時のダスト評価試験調査結果を元に、以下試験手順を設定した。

・試験手順

- ①クリーンハウス内排気し、ELPI(Electrical Low Pressure Impactor)によるダスト検出が規定値以下（検出下限以下）まで排気する。
- ②ダスト回収クリーンハウス内へ水注入（水位は試験条件による設定とする）。
- ③粒子サンプラを起動させる。
- ④加工装置にて試験体を加工（加工量および加工時間は試験条件による設定とする）。
- ⑤加工停止後、ELPIダスト検出が規定以下（検出下限以下）まで粒子サンプラを稼働させる。
- ⑥粒子サンプラの試料を回収。
- ⑦ダスト回収クリーンハウス内洗浄（残留水の排水、ハウス内面の洗浄、配管内部洗浄を行う）。

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（燃料デブリ模擬材）

燃料デブリ加工・集塵試験では、燃料デブリ取り出し時の燃料デブリの状態を保守的に考慮し、事故直後の経年劣化の少ない状態の模擬燃料デブリを想定

アクセス方法	上取り出し		横取り出し	
取り出し順序	構造物	材料	構造物	材料
1	ウエルプラグ	鉄筋コンクリート（ α 核種浸透）	CRD交換機	炭素鋼（デブリ、 α 核種付着）
2	P C Vヘッド	炭素鋼（ α 核種付着）	制御棒案内管（3号機相当）	SUS304（デブリ、 α 核種付着）
3	保温材	炭素鋼、アルミ（ α 核種付着）	堆積物	α 核種（対象外）
4	ドライヤ・セパレータ	SUS304（デブリ、 α 核種付着）	燃料デブリ（2号機相当）	燃料デブリ
5	上部格子板（デブリ扱い）	SUS316L（デブリ、 α 核種付着）	M C C I	燃料デブリ
6	炉内燃料デブリ	燃料デブリ	—	—

凡例： デブリの付着した構造物

M C C I

炉内燃料デブリ

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（燃料デブリ模擬材）

計画変更(試験計画見直し)の概要

[目的:燃料デブリ加工時等のダスト対策に資するデータ拡充]

- ①実際の UO_2 燃料ペレット加工時のダスト発生傾向を比較評価する。
- ②ジルカロイ加工時のダスト発生傾向を把握する。

[内容と効果]

①実際の燃料ペレットに機械加工法を適用した場合の発生ダストの傾向を把握することによって、模擬燃料デブリ(コールド材)に対する加工時ダスト試験結果との比較を通じて、関係性を把握する。

⇒加工性が厳しく高濃度の核燃料成分となる燃料ペレットを加工した場合のダストをフィルタで捕集し、画像により粒径分布計測、重量計測を行うことで、切り株燃料加工時のダストの飛散傾向を把握する。

②事故考慮した被覆管材等を用い、加工性の観点での機械特性等の把握と加工時に発生するダスト、切粉に含まれる元素含有量を測定する。

⇒ジルカロイ加工時のダストの飛散傾向を把握する。

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（燃料デブリ模擬材）

従来計画

- 加工対象：コールド模擬燃料デブリ、構造材
- ・ 場所：管理区域外
 - ・ 加工方法：機械切断、熱的切断
 - ・ ダスト計測方法：空気動力学径測定器（ELPI等）

計画変更

- 加工対象：コールド模擬燃料デブリ（模擬MCCI）
- ・ 場所：管理区域外（水深約100mm）
 - ・ ダスト計測方法：1) 空気動力学径測定器
2) フィルタ捕集ダスト粒径の画像・重量計測※

追加対象①：実物燃料ペレット（計画変更）

加工対象：BWR燃料ペレット（未照射）

- ・ 場所：管理区域内（気中、管理対象）
- ・ ダスト計測方法：フィルタ捕集ダスト粒径の画像・重量計測※

仕様変更②：切り株燃料デブリ模擬

加工対象：燃料被覆管＋コールド模擬ペレット

- ・ 場所：管理区域外（気中）
- ・ ダスト計測方法：1) 空気動力学径測定器
2) フィルタ捕集ダスト粒径の画像・重量計測※

- ・ 加工方法：切断砥石カッター（熱的切断なし）
- ・ 環境条件：燃料デブリの存在する部位の代表条件

※比較データ採取に関する補足

- ・ 追加対象①は、管理区域内のセル内での実施が必要なので、空間や水使用量の制約から、集塵・抑制システムとの組み合わせ試験と空気動力学径測定器での測定系の適用は困難であり、加工ツール、条件をそろえた、気中加工時におけるダスト発生状況の基礎データ取得となる。
- ・ 空気動力学径計測器で測定できるのは、ダスト粒径分布・量であり、フィルタに捕集されたダスト粒径を画像計測、重量計測等を行い、関係性を検討する。
（比較方法、関係付けの考察、机上検討を含む）

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（燃料デブリ模擬材）

計画変更(試験計画見直し)の経緯

・2018年度中の公募応募検討段階では、燃料デブリ模擬材(コールド材)を用いた試験方法の適用のみを考慮し、燃料構成材料に対する試験方法と体制構築の見通しが得られなかった。

・2019年度の集塵PJ※1の検討の中で、MRI事務局連絡会、MRI中間成果報告会でのダスト評価試験体の模擬性に関するコメントを踏まえて、日本核燃料開発株式会社(NFD)、原子燃料工業株式会社(NFI)等への燃料加工に関する聞き取り調査の結果、コールド材を用いた試験結果の実際の UO_2 (核物質管理対象物)やジルカロイ(金属火災・爆発の配慮要)との類似性評価を安全に行う方法と体制に検討できる見込みがあることが分かった。

・2019-2020年度の集塵PJにおいて、 UO_2 やジルカロイ加工時ダストとの類似性を確認することで、2021年以降の燃料デブリ取り出しに際しての1F実燃料デブリに対して、過剰な保守性を排除して、適切な信頼性をもったダスト予測評価ができないかと考えた。

※1 集塵PJ: 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開発(燃料デブリのダスト集塵システムの開発)

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（燃料デブリ模擬材）

No.	名称	変更前	変更後	検討状況
1	燃料デブリの付着した構造物	FPを模擬した粉体（硫酸バリウム粉）を付着したステンレス材	仕様検討要	・燃料デブリ性状把握PJ※1あるいは段階的な取り出し規模拡大PJ※2からの試験体、構成情報の提供が必要。
2	MCCI	模擬MCCI※3	変更なし	・IRID/日立GEの2018年度成果に基づき、1体製作完了。
3	炉内燃料デブリ	SUS管＋ジルコニアあるいはムライト（燃料デブリ取り出しPJより）	①燃料被覆管＋ジルコニアあるいはムライト、アルミナ等 ②未照射BWR燃料ペレット※4 ③ジルコニアあるいはムライト、アルミナ等のペレット状部材※4	・事故後に切り株燃料となる場合の試験体の製作方法を検討中。



※1 燃料デブリ性状把握PJ: 燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発

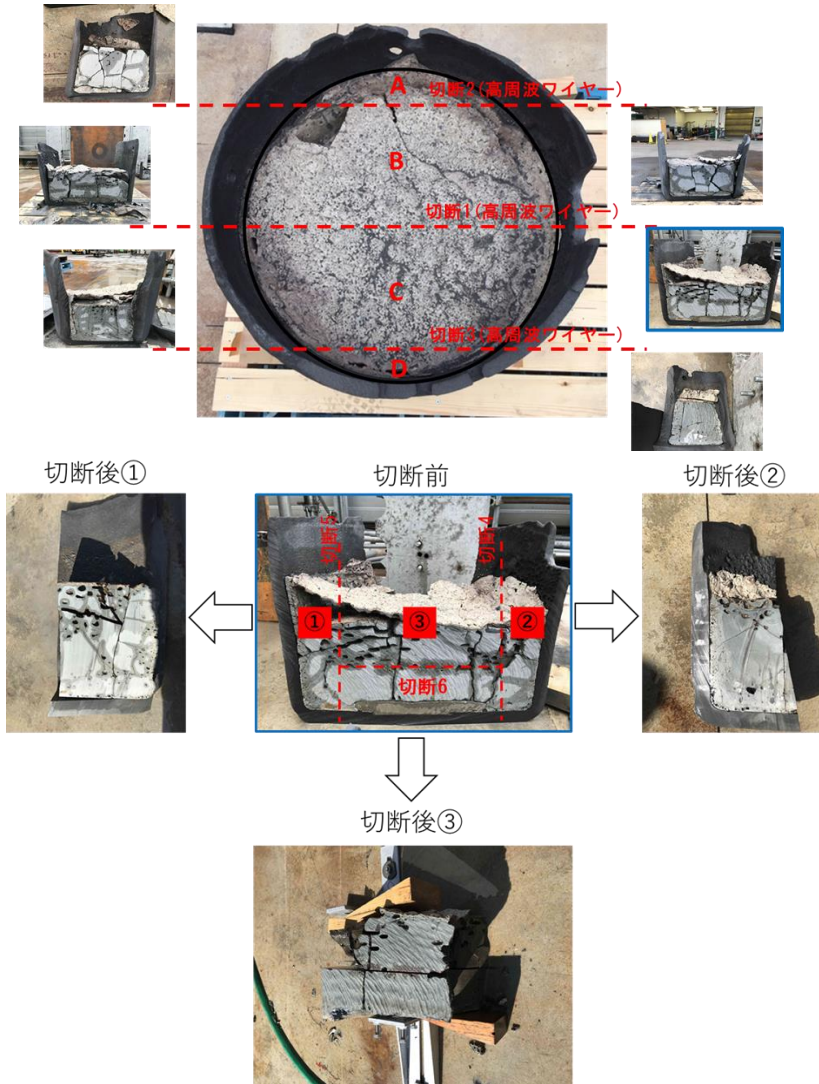
※2 燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し技術の開発

※3 “平成28年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金」燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化”プロジェクトにおいて作成したもの

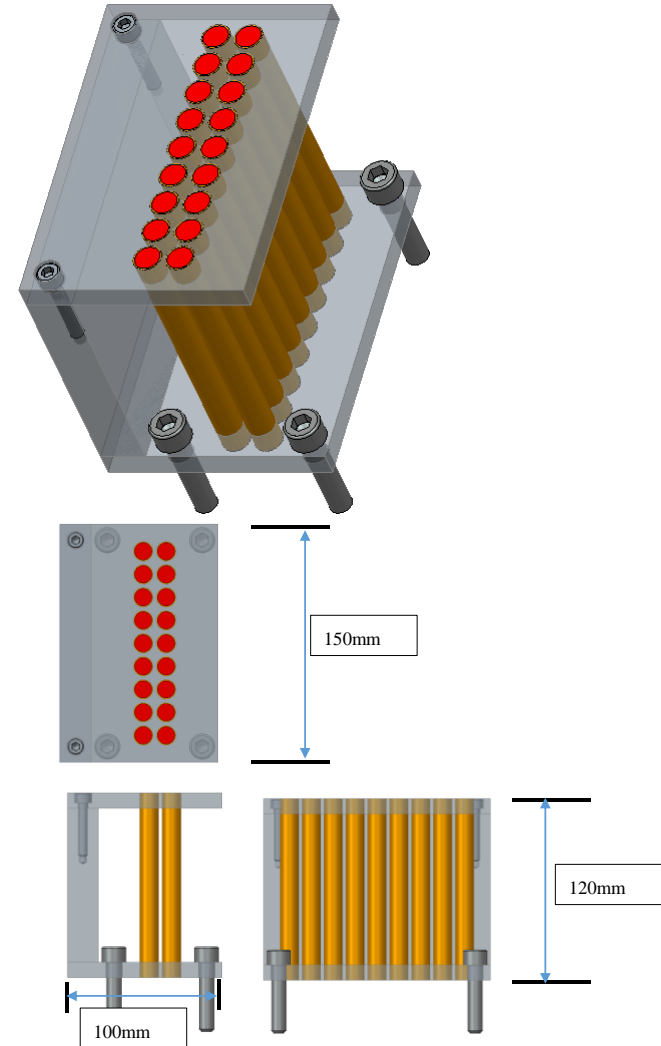
※4 管理区域内で回転式機械切断方法でダスト評価試験を実施。

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験 (燃料デブリ模擬材)



模擬MCCIの製作結果



炉内燃料デブリ模擬体(切り株燃料模擬体)の概念

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験 (ダスト評価試験条件)

計画変更(試験計画見直し)によって得られる試験条件



○...管理区域外作業
●...管理区域内作業

事業者	加工環境条件	SUS材(炉内構造物模擬材)	模擬MCCI	BWR燃料被覆管	模擬燃料ペレット(コールド)	未照射BWR燃料ペレット	模擬燃料デブリ(ホット)
IRID/ 東芝エネルギーシステムズ株式会社 ※1	気中	○	×	○※3(切り株燃料で炉心部に存在)	○(切り株燃料で炉心部に存在)	●※2 ・機械切断のみ適用した基礎試験 ・管理区域内作業	×
	水中	×	○(PCV底部に存在)	×	×	×	×
他事業者の想定	気中	?	?	?	?	?	● ・管理区域内作業

(注記)※1:材料ごとに適用する切断工法は、燃料デブリ取り出し工法の開発PJの方針に従う計画。

※2:管理区域内で適用できるフード寸法および集塵方法が限られているため、ダウンサイズした試験を行う。切断砥石による加工ツールは、同仕様のもを適用するが、水エジェクタやミスト散布など、連続的に注水を要するダスト集塵・飛散抑制システムを組み込んだ加工ヘッドは適用不可。

※3:模擬ペレットと組み合わせて試験を行うことを計画中。

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（ダスト評価試験条件）

No.	名称	変更前	変更後	検討状況
1	加工方法	・機械切断と熱的切断： 各1種類	・ <u>回転式機械切断1種類</u>	・段階的な取り出し規模拡大PJ※ ¹ での加工試験結果を受けて、工法を選定予定。
2	環境条件	・非管理区域 ・気中、水中	・ <u>燃料ペレット加工試験は管理区域（散水、注水無し）</u> ・上記以外は非管理区域 ・ <u>模擬燃料デブリの主に存在する部位に応じて気中あるいは水中で加工</u>	・設計検討と予備試験を実施。 ・燃料被覆管を用いて安全に試験を行う検討を実施中。 ・燃料ペレット加工試験の検討が必要。
3	ダスト分析方法 （粒径分布、ダスト量計測）	・気中浮遊成分 空気動力学径計測 ・水中浮遊成分 粒子画像・重量計測 ・沈降成分 ふるいで粒径仕分け	・気中浮遊成分 ① <u>空気動力学径計測（非管理区域での試験のみ適用）</u> ② <u>粒子画像・重量計測</u> ・水中浮遊成分 粒子画像・重量計測（ <u>非管理区域での試験のみ適用</u> ） ・沈降成分 ふるいで粒径仕分け	・試験体系と測定体系の整理と活用方法の検討。 （No.91参照）

※1 燃料デブリの段階的に規模を拡大した取り出し技術の開発

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験 (ダスト評価試験装置の基本設計)

ダスト評価試験での粒径分布で
粒子挙動解析を実施
(得られた知見)

- 約9割は煙道から流出を確認→試験は有効
- 掃気性は問題なし
- クリーンハウスへの給気口を全周均等に配置

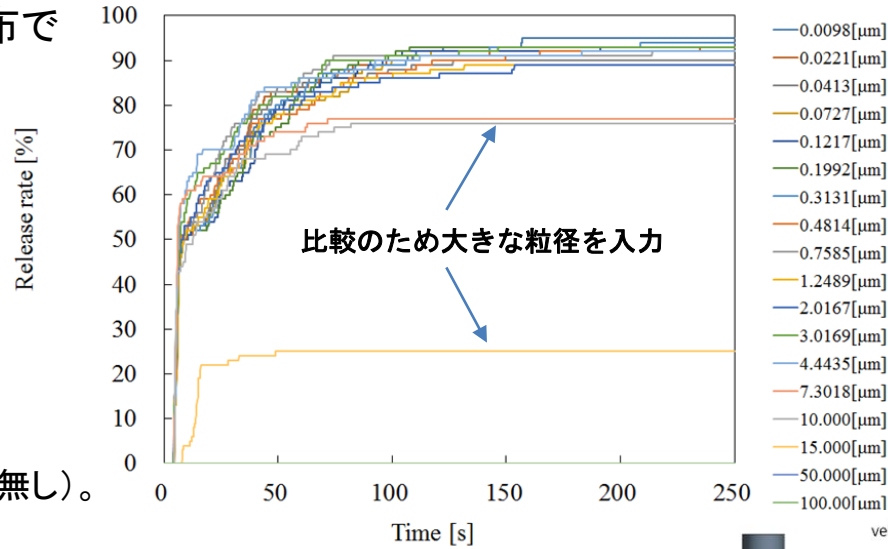
(解析条件)

- ・固気混相流で評価(湿度は考慮無し)。
- ・ダスト: ステンレス材

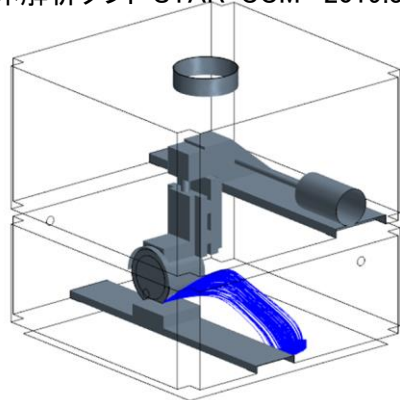
(解析結果)

0.3 μm の粒子は気流に伴って移行し、粒径50 μm のダストは落下している傾向を確認

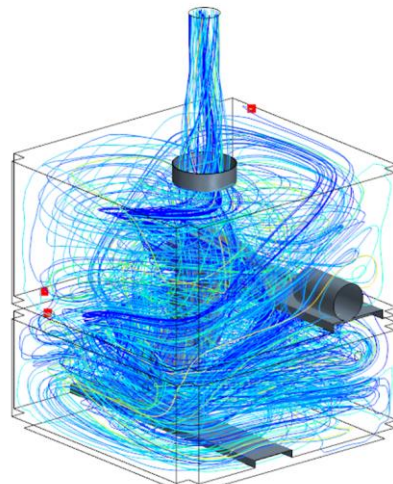
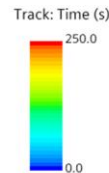
※熱流体解析ソフト STAR-CCM+ 2019.3を使用



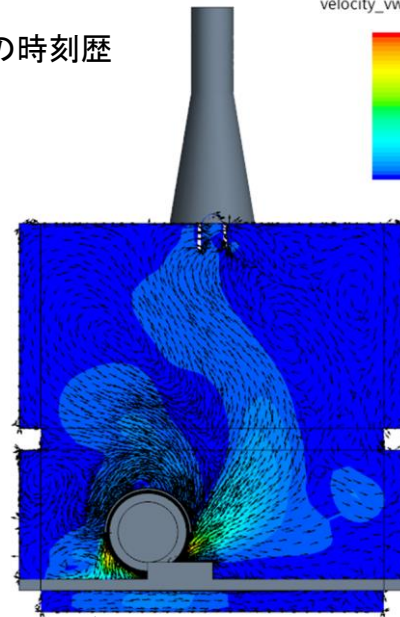
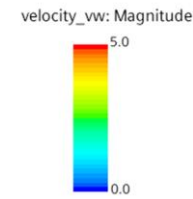
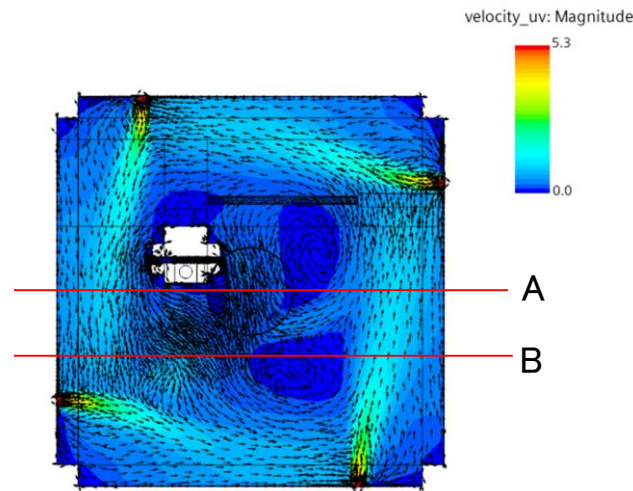
煙道流出率(※1)の時刻歴



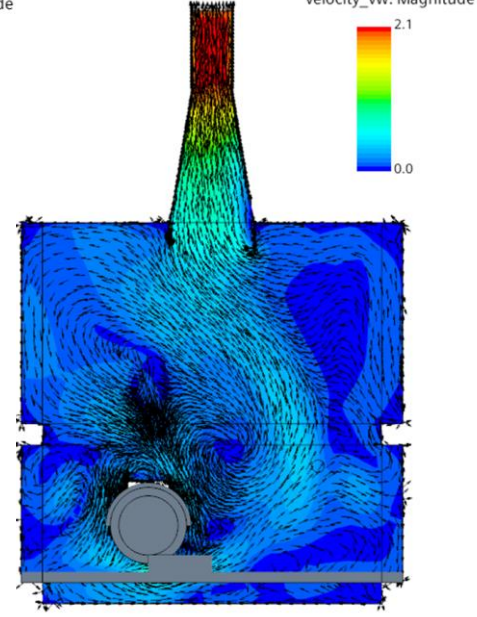
粒径=50 μm



粒径=0.3 μm



ディスク断面(A-A)



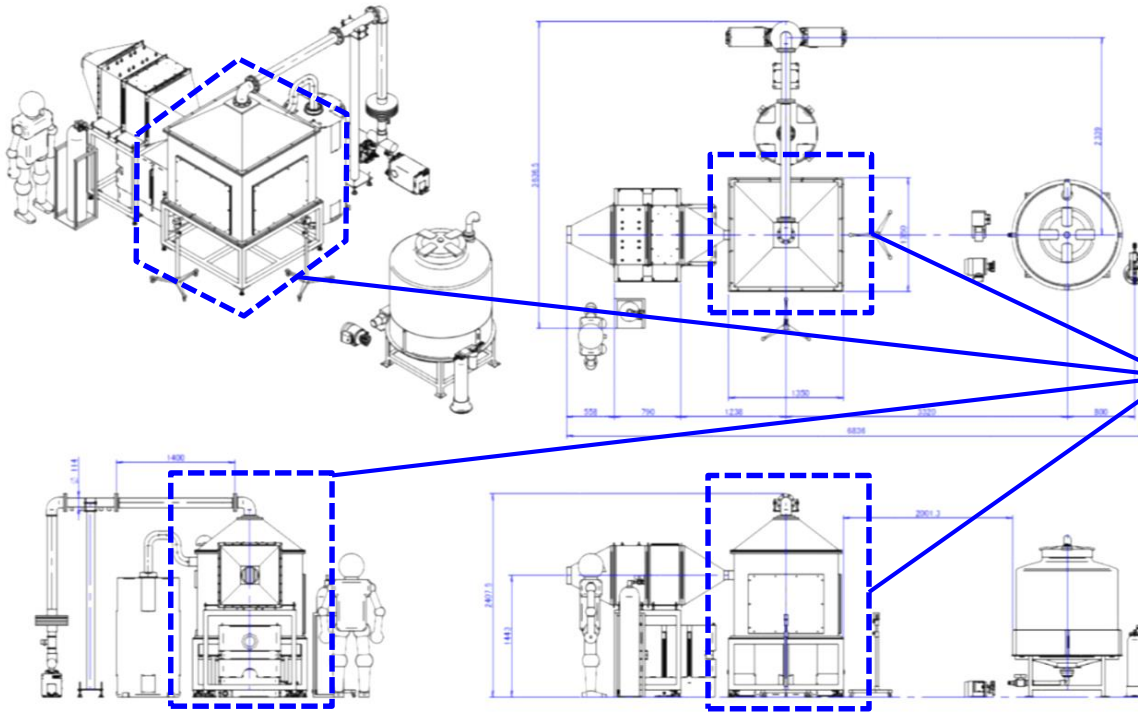
煙道中央断面(B-B)

7. 本事業の実施内容

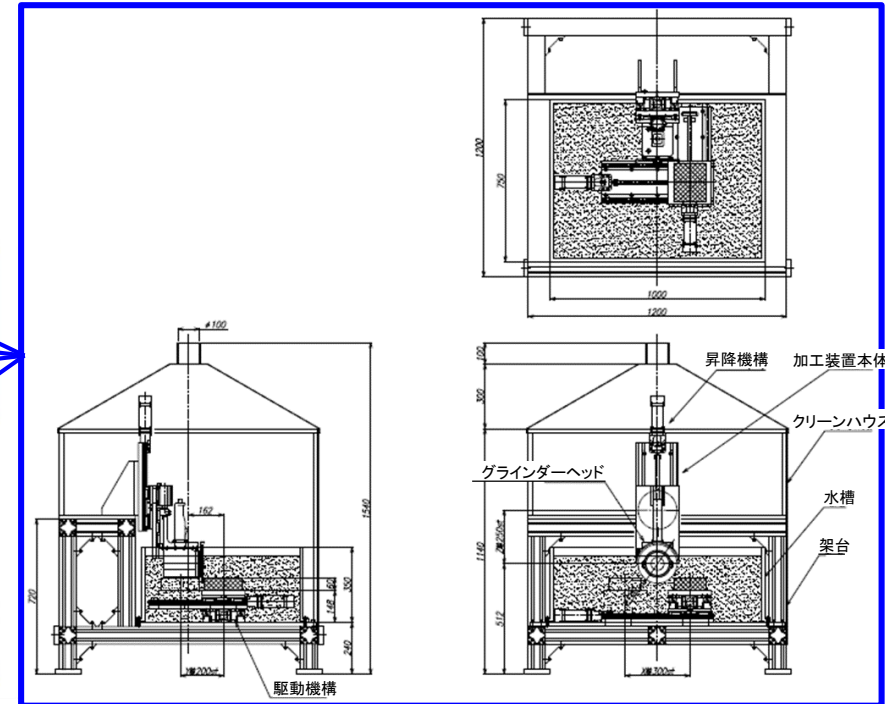
3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（ダスト評価試験装置の基本設計）

ダスト集塵・飛散抑制機能付きディスクソーツールに対するダスト評価試験装置の基本設計を行った。

- ・グラインダヘッド
- ・加工装置本体(グラインダヘッド用移動機構及び架台)
- ・同上用制御装置
- ・試験用水槽
- ・クリーンハウス(□1200mm(内断面))
- ・排気ダクト



ダスト評価試験装置全体構成



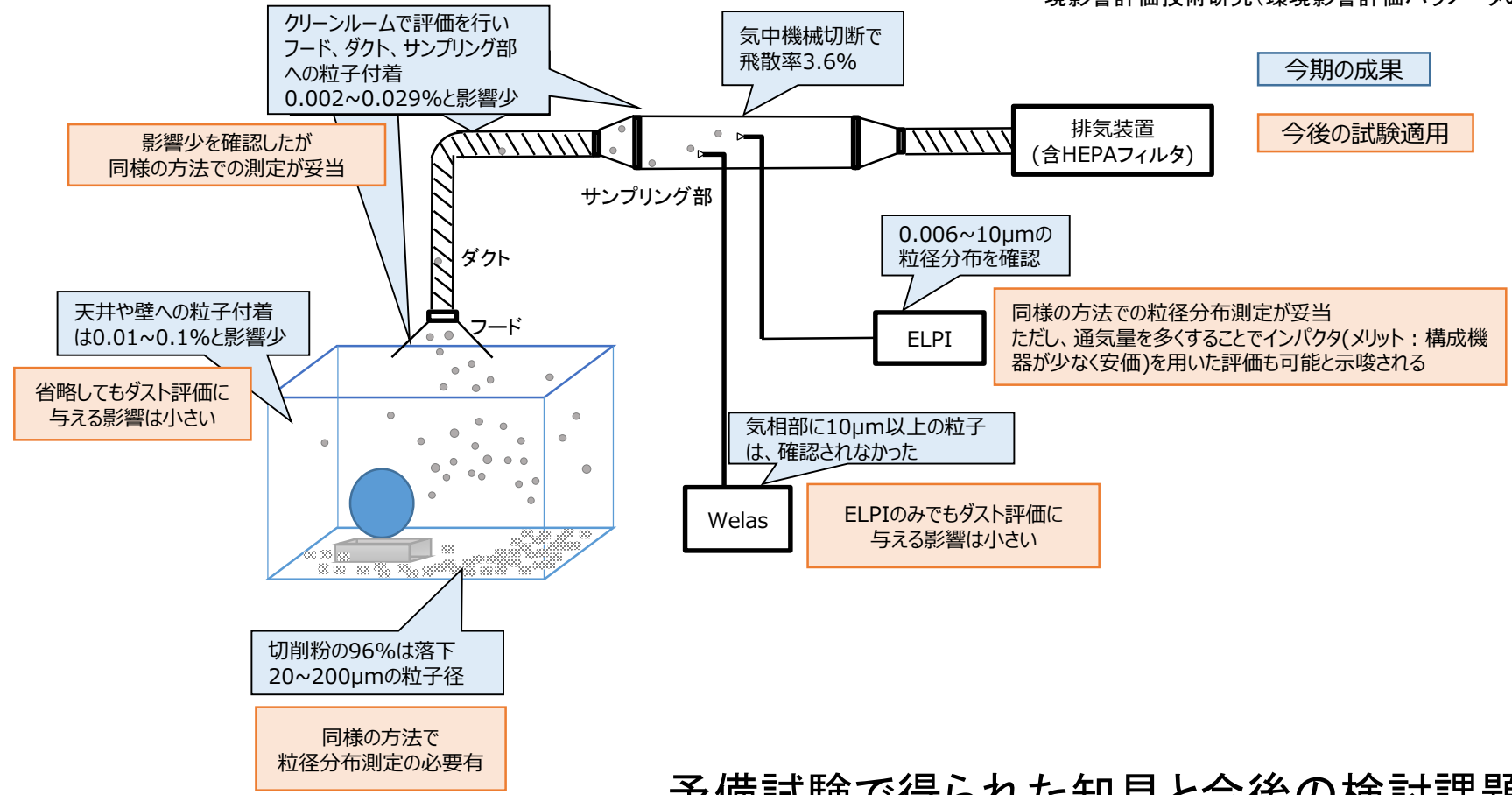
水中仕様の移動機構を水槽中に設置した試験装置

7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験（発生したダストの評価方法）

- ・ディスクソーによるSUS板の気中切断の予備試験での飛散率： 3.6%
- ・参考文献[1]による気中砥石カッター切断2.5 %と比較し、同等。
- 本試験方法による飛散率評価は妥当である。

出典:[1]電力中央研究所, H12年度 実用発電用原子炉廃止措置環境影響評価技術研究(環境影響評価パラメータの調査), 2001.

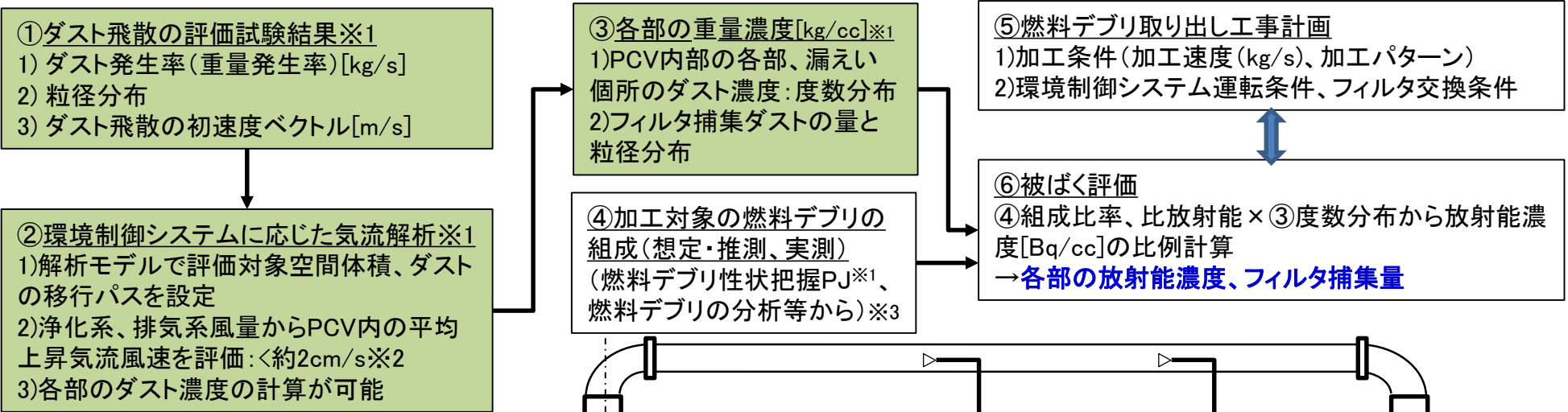


予備試験で得られた知見と今後の検討課題

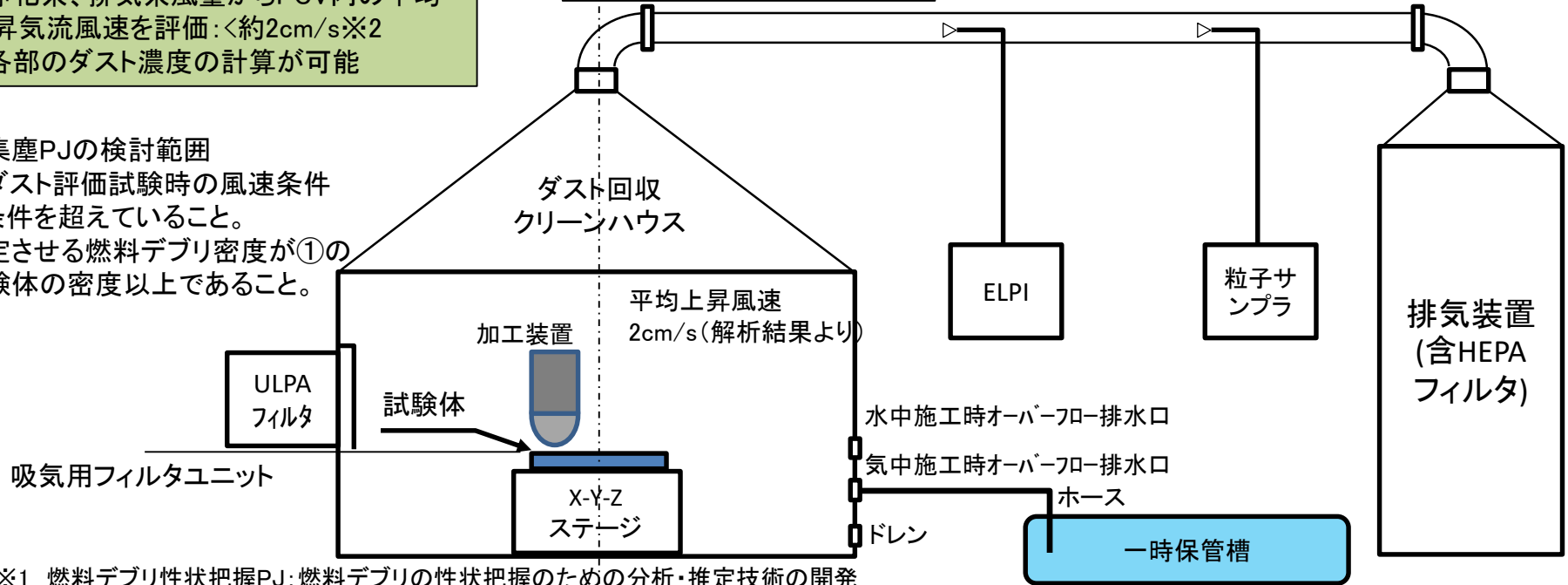
7. 本事業の実施内容

3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験 (ダスト評価試験結果の活用方法)

燃料デブリ性状把握PJ※1と加工時のダスト濃度の予測評価方法について継続協議予定。



注記)
 ※1: 本集塵PJの検討範囲
 ※2: ①ダスト評価試験時の風速条件がこの条件を超えていること。
 ※3: 想定させる燃料デブリ密度が①の模擬試験体の密度以上であること。



※1 燃料デブリ性状把握PJ: 燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発

・プロジェクト実施計画として、プロジェクトの目的、実施内容、目標、プロジェクトの範囲、実施方法の方針、スケジュールを検討した。各々の実施項目に対して、以下の検討状況を報告した。

1)ダスト集塵・飛散抑制システムの開発

- ・加工点近傍での気中ダストを低減するダスト集塵・飛散抑制システムを概念検討し、ディスクソーを用いた予備試験、気流解析、粒子挙動解析を通じて、ダスト集塵・飛散抑制機能付きのディスクソーツールの基本設計の適切性を確認した。

2)ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発

- ・PCVあるいは一次バウンダリセル内で加工工具などの消耗品を遠隔操作で交換する方法を検討し、加工ツール交換プロセス概念を明確にした。

3)ダスト集塵・飛散抑制評価試験

- ・ダスト集塵・飛散抑制システム設計とダスト評価試験に資するため、ディスクソーによる加工部近傍のダスト発生状況を把握する予備試験結果とダスト評価試験装置の気流解析、粒子挙動解析を通じて、ダスト評価試験要領と試験装置構成が有効であることが分かった。
- ・模擬燃料デブリの試験体仕様を検討し、PCV底部の模擬燃料デブリとしてMCCI(熔融炉心コンクリート反応)生成物の模擬体を製作した。

試験条件や開発仕様の明確化

要素試験や装置設計に着手する前までに、廃炉作業時に求められる要求レベルを事前に十分に検討し、これに対する既存技術での対応可能レベルを可能な限り定量的に評価する(現状の技術成熟度(TRL)を提示)。当該試験や装置の開発によって要求レベルに対しどの程度の精度までを確保することを目標とするか、関係者間で事前に共有したうえで、試験条件や設計仕様を策定することとする。

レベル	本事業に対応した定義	フィールド
7	実用化が完了している段階。	実運用
6	現場での実証を行う段階。	フィールド実証
5	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。	模擬実証
4	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。	実用研究
3	従来経験を活用, 組み合わせによる開発, 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	応用研究
2	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。	応用研究
1	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。	基礎研究

1)ダスト集塵・飛散抑制システムの開発	
①ダスト集塵・飛散抑制システムと加工ヘッドの概念設計と実機適用性評価	<p>従来のダスト集塵技術の調査を行った上で、「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」で選定された加工工法に対するダスト集塵技術の得失評価を行う。ダスト集塵技術の横アクセス工法・上アクセス工法に対する実機適用性の評価結果が示されていること。</p> <p>(終了時目標TRL:レベル3)</p>
②ダスト集塵・飛散抑制システムと加工ヘッドの基本仕様策定、系統設計	<p>「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」で選定された加工工法に対するダスト集塵・飛散抑制システムと加工ヘッドの基本仕様の一覧表、系統図、概念設計図が示されること。</p> <p>(終了時目標TRL:レベル3)</p>

9. 実施目的を達成するための具体的目標

2)ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発	
①遠隔保守方法と必要設備の概念設計 (除染要否、廃棄物の取り出し、配置検討含む)	ダスト集塵、飛散抑制システムおよび加工ヘッドの通常時、故障時の遠隔保守の装置や交換部品、廃棄物などの動線、概略配置、廃棄物量、除染要否と除染方法等の工法概念がステップ図で示されること。 (終了時目標TRL:レベル3)
3)ダスト集塵・飛散抑制評価試験	
①ダスト集塵・飛散抑制評価要領の策定	国内外で行われてきた加工時のダスト評価試験を調査し、実機に適用する加工工法の評価に応用できる評価試験要領が確立していること。 (終了時目標TRL:レベル4)
②ダスト集塵・飛散抑制評価試験	「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」で選定された加工工法の中から代表工法を選定し、実機での使用を考慮した加工ヘッドを想定して、設計・試作した要素試験機を用いて、燃料デブリ、汚染構造物模擬試験体等に対する加工試験、評価を行い、加工速度に応じた気中や液体中への移行率等のデータと加工効率、ダスト集塵・飛散抑制システムの稼働による廃棄物量が計測されていること。また、必要に応じて1)②の基本仕様の一覧表が見直されていること。 (終了時目標TRL:レベル4)

IRID

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
International Research Institute for Nuclear Decommissioning