

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)」

2020年度最終成果報告

2021年7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. 本研究の背景・目的
 1. 1 本研究が必要な理由
 1. 2 本研究の成果の反映先と寄与
2. 本研究の実施項目及び目標
 2. 1 本研究の実施項目及び目標
 2. 2 本研究の課題
 2. 3 実施項目間の関連性
3. 他研究との連携
4. 本研究の実施体制
5. 本研究の実施スケジュール
6. 本研究の実施内容
 6. 1 ダスト集塵・飛散抑制システムの開発
 6. 2 ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発
 6. 3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験
7. まとめ
8. 実施目的を達成するための具体的目標

1. 本研究の背景・目的

1.1 本研究が必要な理由

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様々な加工方法が検討、開発されている一方、加工によってダストが気相に移行する放射性物質量は、飛散抑制を考慮していない保守的な評価となっている。(※1)

今後、合理的な環境制御システム設計及び保守・運用計画を作成するにあたり、加工によってダストが気相に移行する実力値を確認する必要がある。



本研究では、燃料デブリの加工時に発生するダストの集塵システムの開発、及び燃料デブリ(※2)加工時におけるダスト飛散データ(ダストの気相、液相への移行率、集塵効率)の取得を行う。

※1：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)より

※2：本研究では1F実燃料を模擬した酸化ウラン(UO₂)、セリア、燃料被覆管を用いる。

1. 本研究の背景・目的

1.2 本研究の成果の反映先と寄与

燃料デブリの加工時に発生するダストの集塵・飛散抑制システムを開発し、燃料デブリ加工時のダスト飛散データ取得に寄与する。

本研究の成果

◆加工部近傍における下記の情報

- ・試験片の欠損体積
- ・空中に飛散したダストの粒径分布
- ・飛散せず落下もしくは水に移行したダストの総量



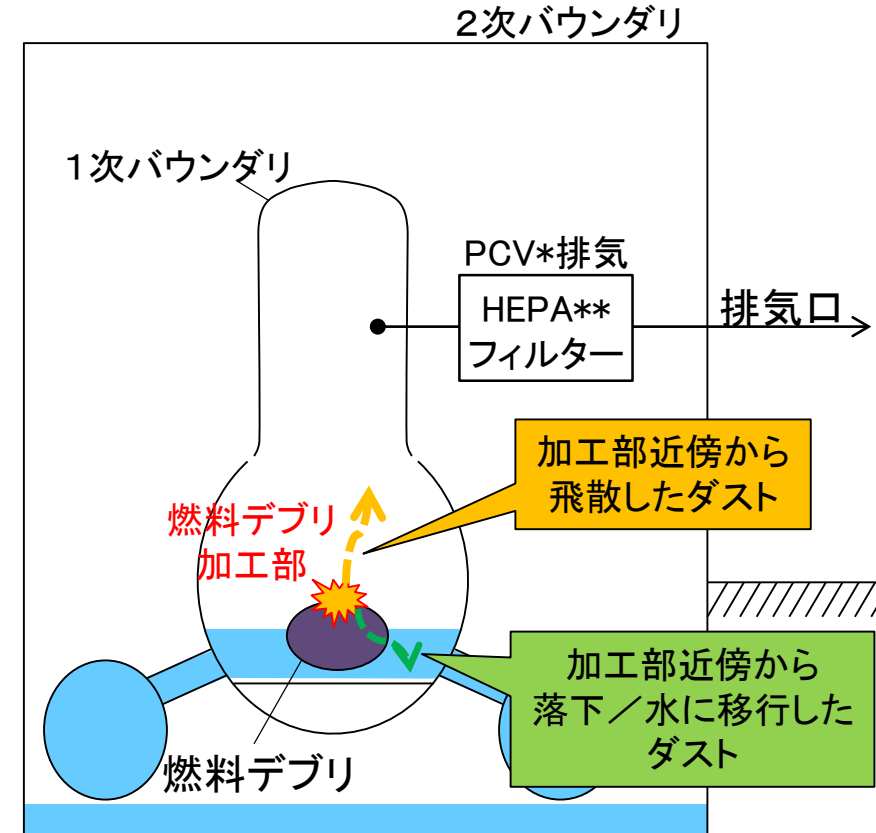
加工時被ばく評価・環境制御システム影響評価 (気相、液相)

◆被ばく評価

- ・ダスト飛散に伴う現場の被ばく評価

◆環境制御システム影響評価(気相、液相)

- ・異常時のモニタリングや換気システムの最適化
- ・PCV*内液相のダスト濃度評価
(水処理系への影響評価)



加工部近傍でのダスト飛散、落下／水に移行するイメージ

2. 本研究の実施項目及び目標

2.1 本研究の実施項目及び目標

(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。

(目標) 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

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

(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検討を行う。

(目標) ①遠隔保守方法と必要設備の概念設計

(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、加工工法に対して試験要領、試験マトリックス及び試験体系を検討する。また、ダスト評価試験装置を設計、製作し、同試験機にて燃料デブリ模擬試験体に対するダスト飛散試験を行い、加工ヘッド周辺の空間へのダストの気中移行率、水中移行率を評価する試験を行う。

(目標) ①ダスト集塵・飛散抑制評価要領の策定

②ダスト集塵・飛散抑制評価試験

2. 本研究の実施項目及び目標

2.2 本研究の課題

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」(平成29～30年度実施)でダスト集塵・飛散抑制システム(ミスト、水エジェクタ)でのダスト飛散抑制効果を評価した。本成果を活用した本PJの課題は下記のとおり。

(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

⇒下記の実施項目にて対応

- (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

- ・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

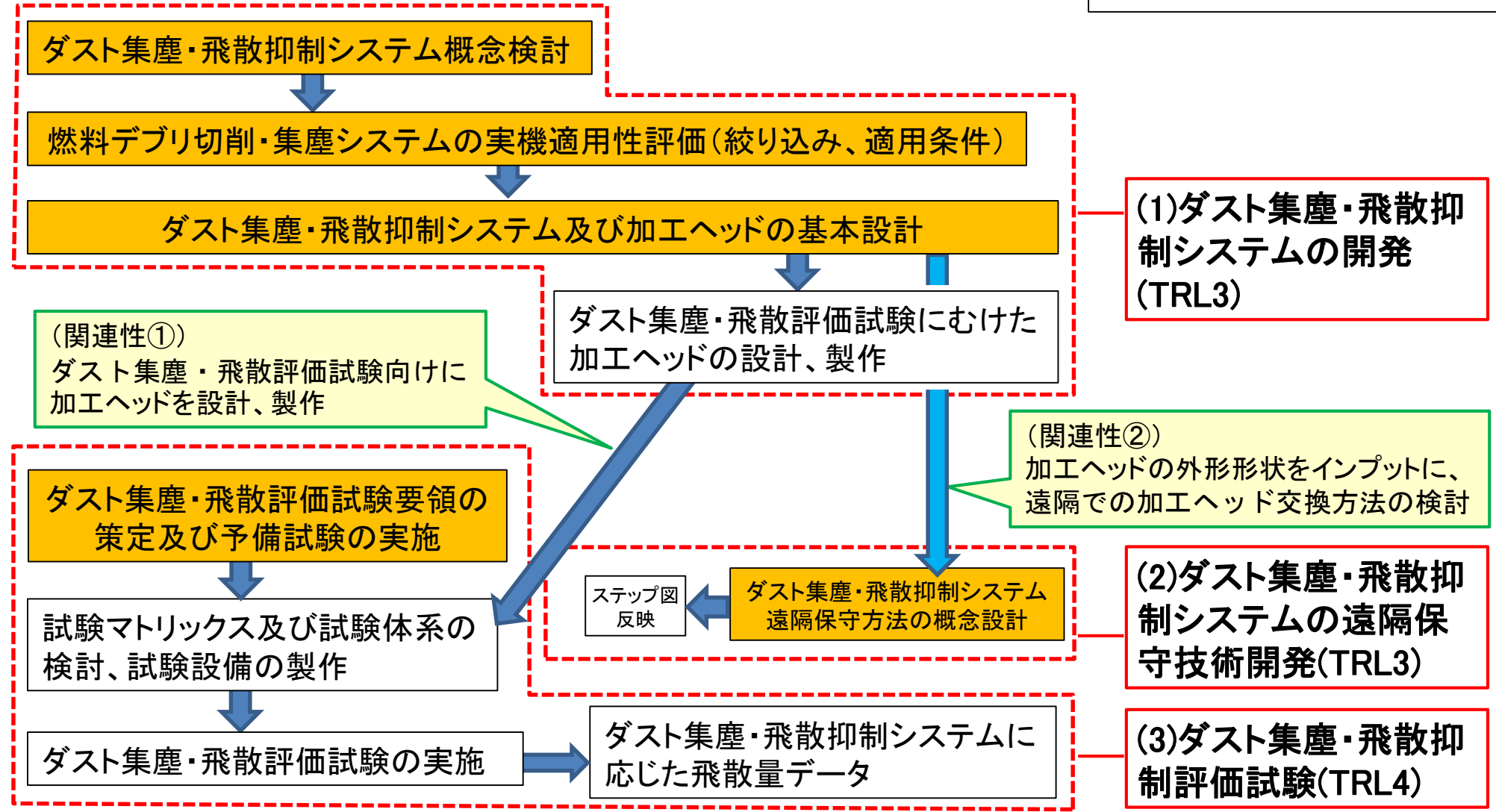
⇒下記の実施項目にて対応

- (3)ダスト集塵・飛散抑制評価試験

2. 本研究の実施項目及び目標

2.3 実施項目間の関連性

■ …前年度(2019年度)実施済



3. 他研究との連携

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

- ・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

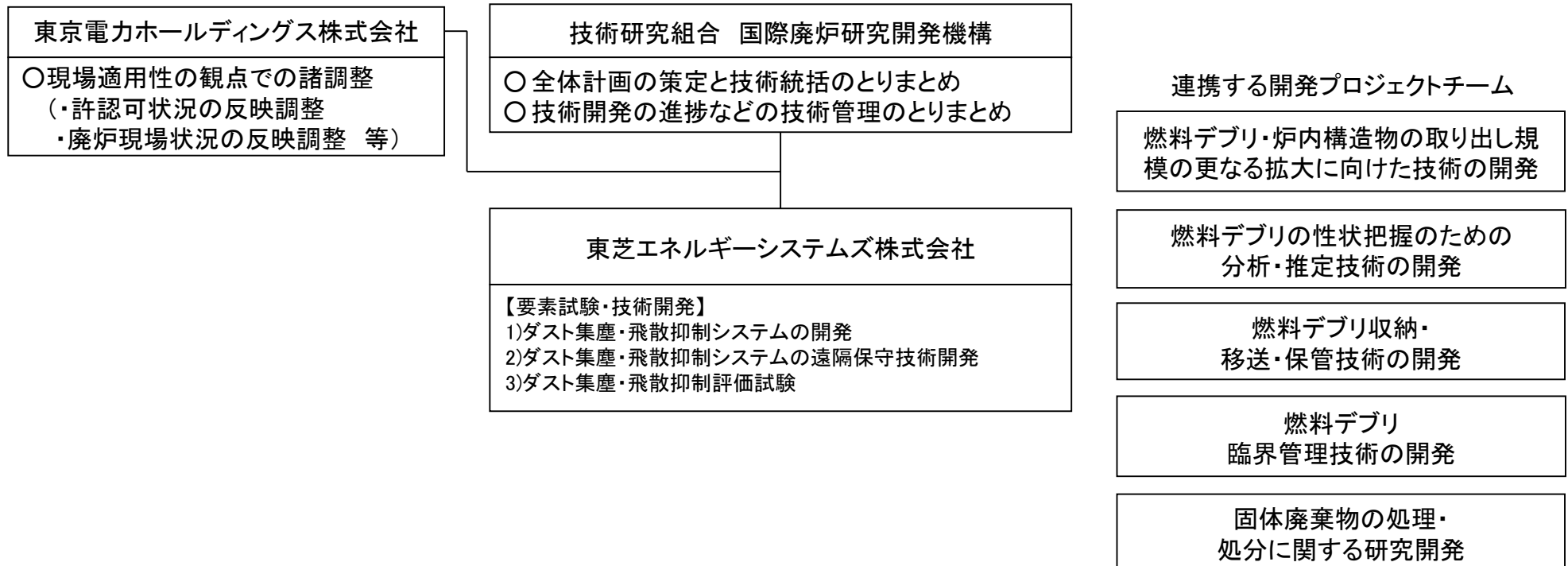
- 1) 適用が見込まれる加工工法 (①)
- 2) PCV内の気流解析 (①)
- 3) 環境制御システムと放射能濃度管理目標値 (②)
- 4) 加工対象物に対するダスト量からの放射能濃度換算係数 (②)

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) 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）

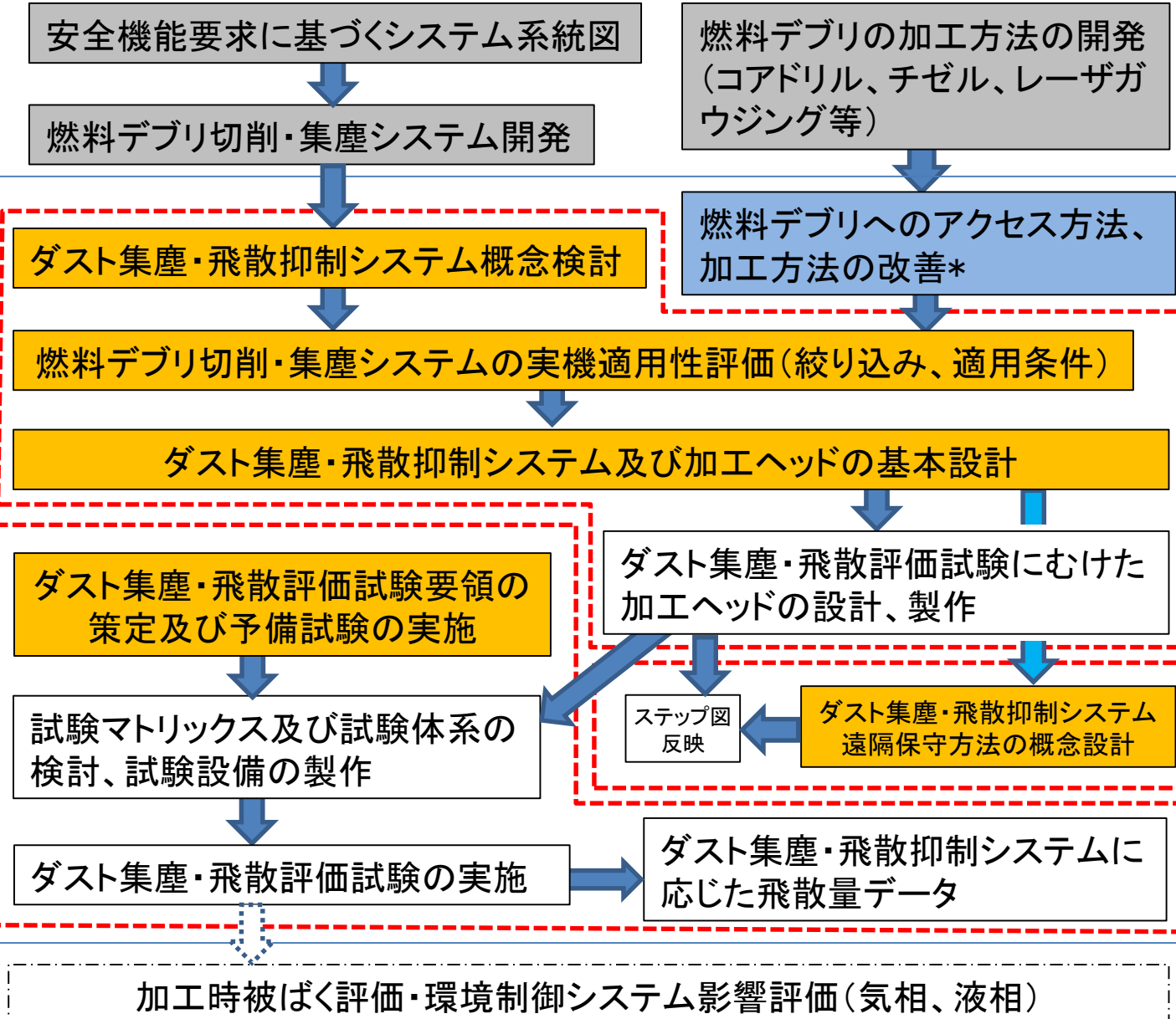
4. 本研究の実施体制

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ズ株式会社と技術開発において連携し、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。



6. 本研究の実施内容

全体計画（検討プロセス）



■ ...前年度(2019年度)実施済

従来の補助事業の成果

2019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)

※ダスト集塵・飛散評価試験結果をインプットに、別PJで検討

6. 本研究の実施内容

6.1 ダスト集塵・飛散抑制システムの開発

実施内容と達成度（黒字：2019年度実施内容、青字：2020年度実施内容）

(1) ダスト集塵・飛散抑制システムの開発(*1)		実施内容／達成度	
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	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。 (終了時目標TRL:レベル3)	「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	ダスト集塵技術の得失評価としてフィルタ、水エジェクタ、ミストの3点で評価を行い、実機適用性や保守性の観点から水エジェクタ、ミストが優れていることを確認した。(2019年度完了)
		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	加工ヘッドの外形寸法や重量、加工時の反力や電源、ユーティリティに関し、実機適用性の観点で適合していることを確認した。 (2019年度完了)
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	「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。 (終了時目標TRL:レベル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	加工ヘッドの基本仕様として、外形寸法や重量、加工時の反力や電源、ユーティリティに関する一覧表を作成した。(2019年度完了)
		系統図、概念設計図	・加工ヘッドの系統図、概念設計図を作成した。 (2019年度完了) ・2020年度上期は前年度(2019年度)検討されたダスト集塵・飛散抑制機能付きの加工ヘッドの基本設計に基づき、(3)ダスト集塵・飛散抑制評価試験に向けた加工ヘッドを設計し、製作完了した。 (2020年度完了)

*1：8. 実施目的を達成するための具体的目標より

6. 本研究の実施内容

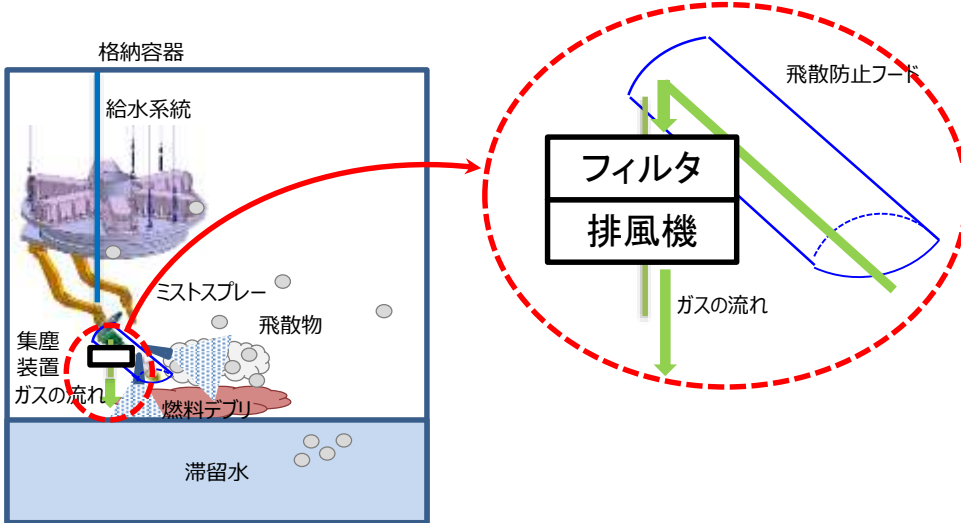
6.1 ダスト集塵・飛散抑制システムの開発

【ダスト集塵技術 実機適用性及び保守性の観点での得失評価】

○ダスト集塵・飛散抑制システムの構成イメージ

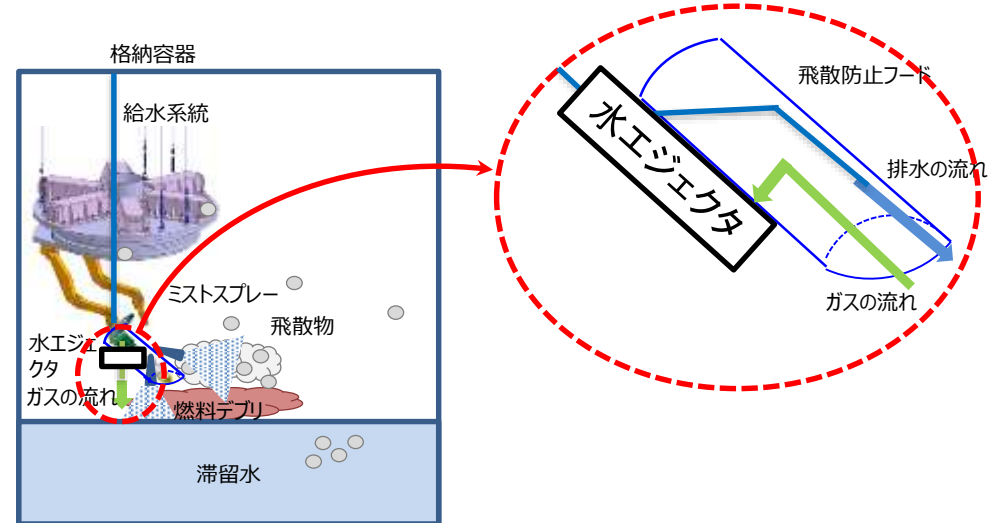
(フィルタ方式)

- 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



(水エジェクタ方式)

- 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



6. 本研究の実施内容

6.1 ダスト集塵・飛散抑制システムの開発

【ダスト集塵技術 実機適用性及び保守性の観点での得失評価】

・実機適用性

項目	A:フィルタ	B:水移行 (水エジェクタ)	C:ミスト
集塵効果 ※1	低い (フィルタが濡れる ことで吸引力が低 下する可能性がある ため)	あり	あり
設置負荷 ※2	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	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	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)

・実機保守性

項目	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
集塵水処理 ※3	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	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 (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：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。

※3：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。

実機適用性及び保守性の観点からは水エジェクタ、ミストが優れていることから、本PJでは水エジェクタとミストに着目して開発を進めた。

6. 本研究の実施内容

6.1 ダスト集塵・飛散抑制システムの開発

【「燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術の開発」で選定された加工工法】

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	
ベDESTAL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	
ベDESTAL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			
ベDESTAL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			

(補足)
燃料デブリ取り出し工法については様々な工法/ルートが検討されており、それぞれ名称がつけられている。各プラン/ルートの概要は下記のとおり。

- ・横取り出し PLAN-A: PCV側面に開口を空けて複数のセルを設置する工法
- ・横取り出し PLAN-B: アクセストネルの活用による号機を問わない工法
- ・横取り出し PLAN-C: X-6ベネを活用した工法
- ・上取り出し ルートA: オペフロ上の燃料デブリ取り出し用セルで遮へいし、燃料デブリを搬送するルート
- ・上取り出し ルートB: オペフロのシールドプラグを残して遮へいし、燃料デブリを搬送するルート

(凡例)
青色: 刃物等の金属類を用いた切断
オレンジ: レーザー等を用いた切断

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)



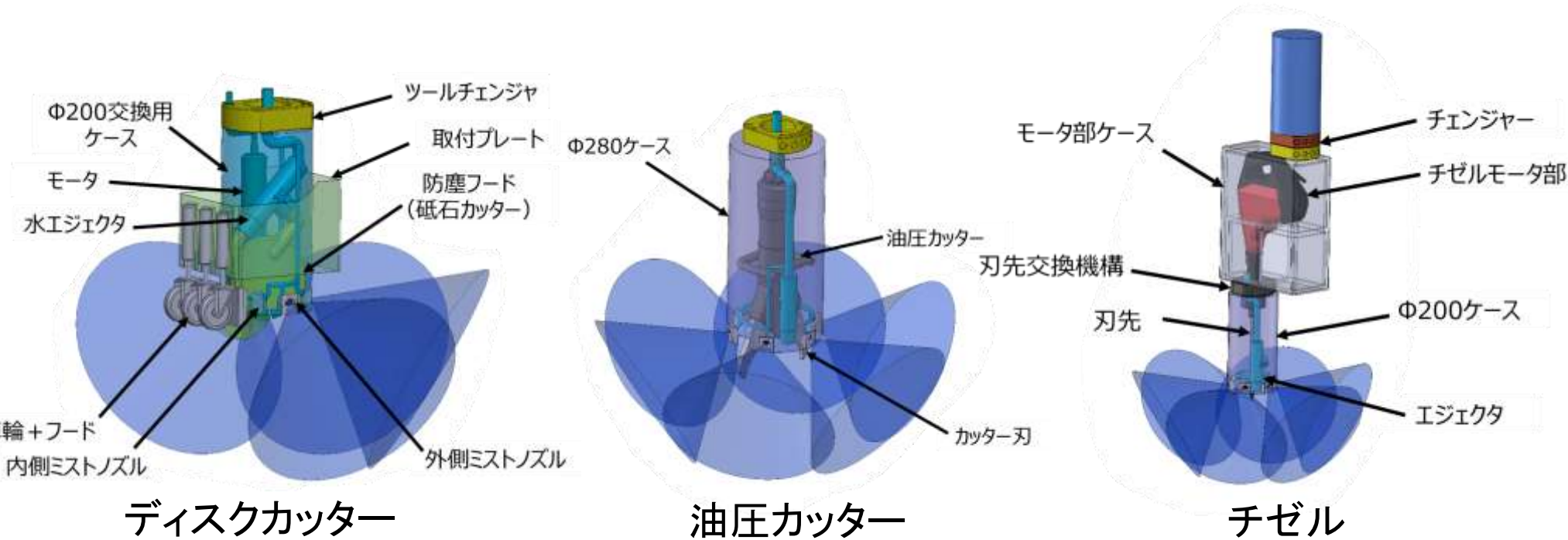
従来の国の補助事業※1で、上記切断・加工法の適用が想定されている。

6. 本研究の実施内容

6.1 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

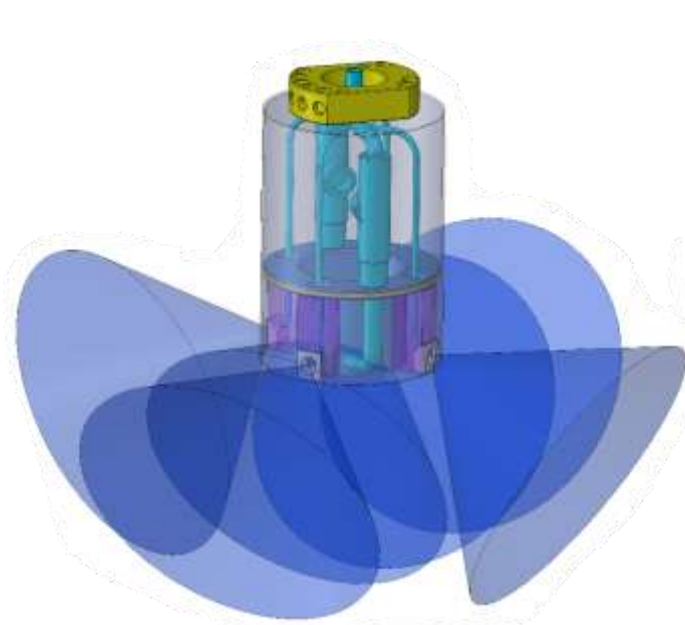


6. 本研究の実施内容

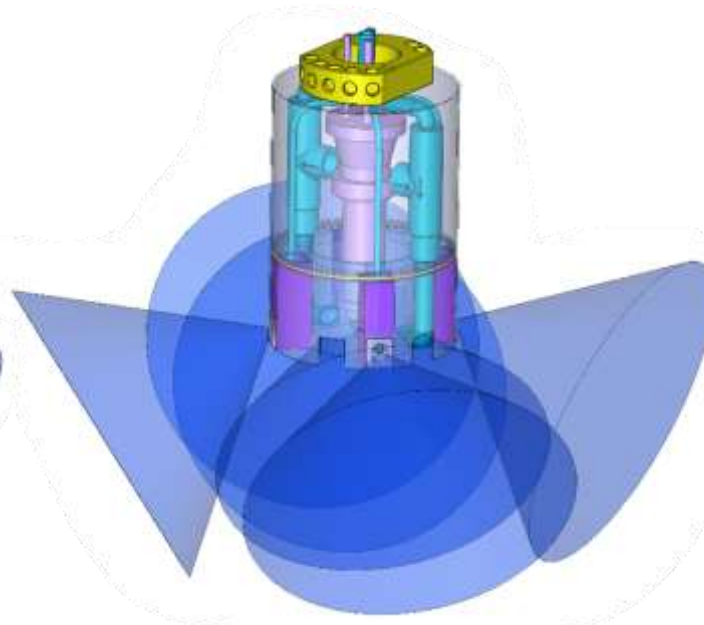
6.1 ダスト集塵・飛散抑制システムの開発

【ダスト飛散抑制加工ヘッドの概念検討(続き)】

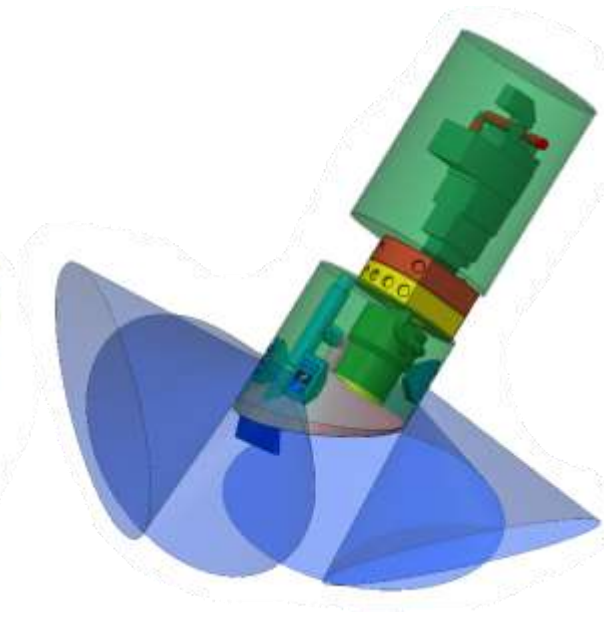
○熱的切断加工ヘッド



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°)

水エジェクタ及びミストは、小型軽量のため、燃料デブリ取り出しに適用の可能性のある加工ヘッドに応用可能であることを確認

6. 本研究の実施内容

6.1 ダスト集塵・飛散抑制システムの開発

【加工ヘッドの実機適用性評価】

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	○	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。 (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)
加工時反力	約1000N以下 (予備試験結果)	○	
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	約1.2m ³ /h	○	平均使用水量2.2m ³ /h ^[1] 以下

<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 研究報告書(最終報告) 平成29年3月

加工ヘッドの外形寸法や重量、加工時の反力や電源、ユーティリティに関し、実機適用性の観点で適合していることを確認。

6. 本研究の実施内容

6.1 ダスト集塵・飛散抑制システムの開発

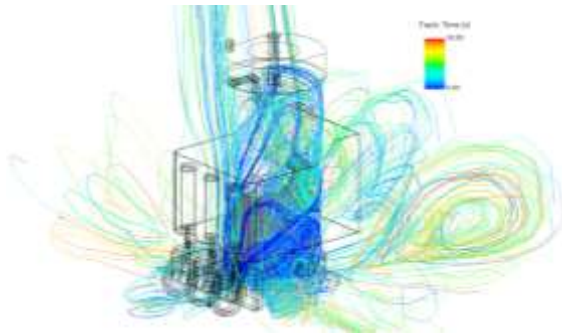
【ダスト集塵・飛散抑制機能付きディスクソーの基本設計】

ダスト集塵・飛散抑制機能付き加工ヘッドの基本設計として、ディスクソー周辺にフードを設け、フード内部を水エジェクタで吸気しダストを排水に移行、周囲に漏れいたしたダストを捕集するためミスト散布を行う設計とした。

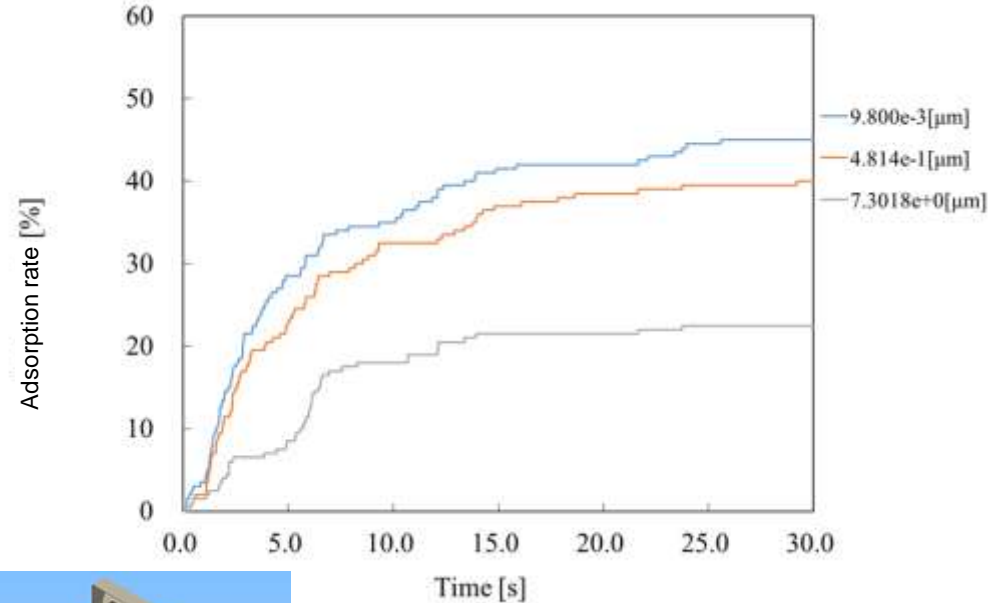
そのダスト集塵・飛散抑制機能付き加工ヘッドについて、気流解析を実施した。

・解析により得られた知見

- 集塵フードを取り付けることでエジェクタ吸引時の吸引風速が向上することを確認。
- 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であることを確認。



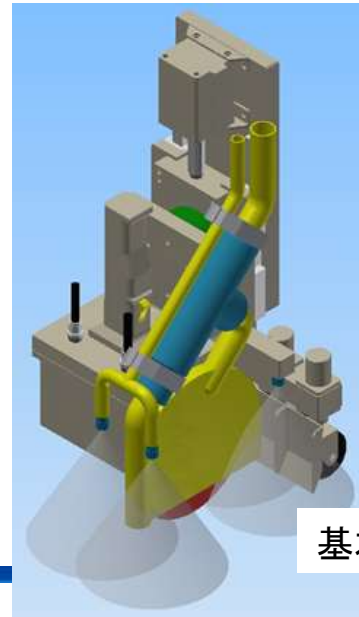
気流解析・粒子挙動解析結果



エジェクタ吸引率(*1)

(注記)

※1: エジェクタに吸引されるダストの割合



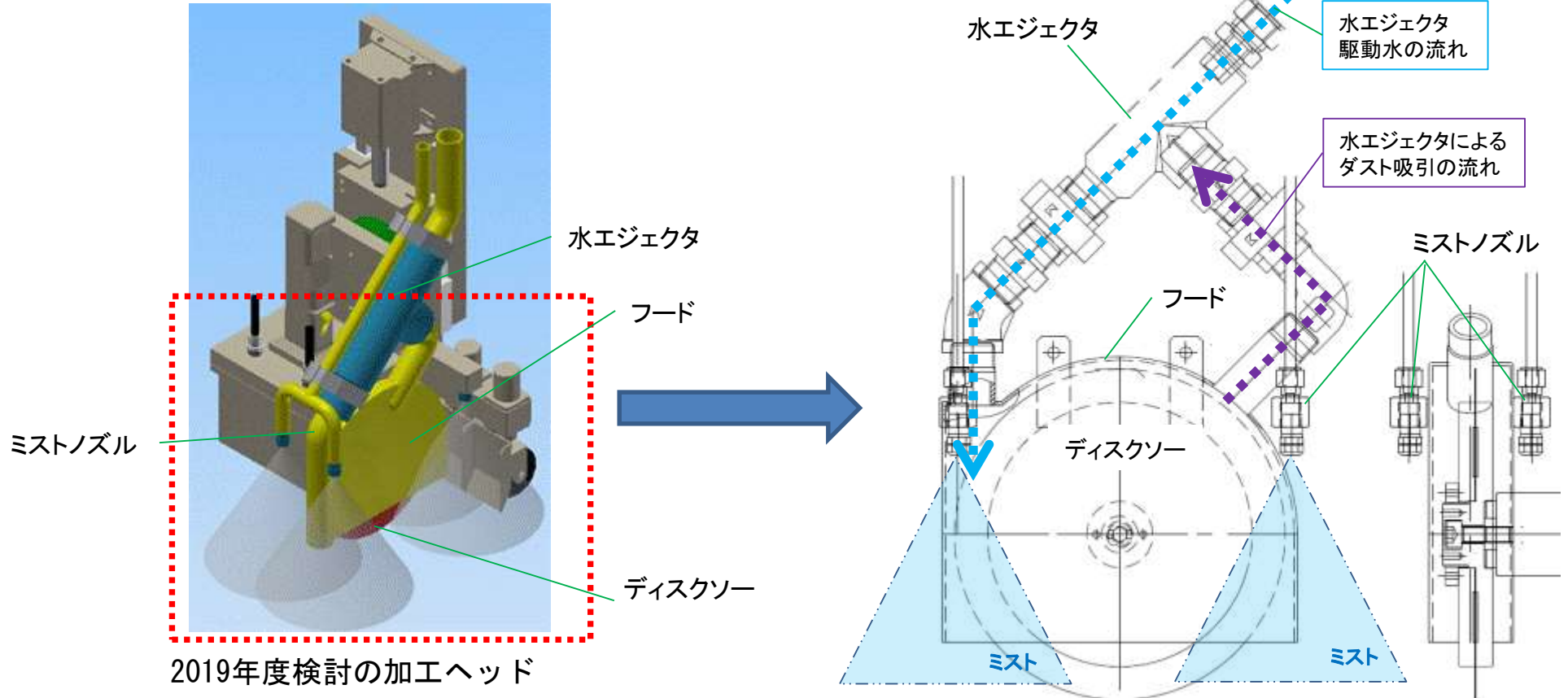
基本設計結果

6. 本研究の実施内容

6.1 ダスト集塵・飛散抑制システムの開発

【(3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験向け加工ヘッドの設計】

前述のダスト集塵・飛散抑制機能付きの加工ヘッドの基本設計に基づき、
(3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験向けの加工ヘッドを設計



2019年度検討の加工ヘッド

(3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験向け加工ヘッド

(補足1) 水エジェクタでのダスト吸引やミストによるダストの捕集について
水エジェクタ駆動水により、エジェクタ内が負圧となり、フード内に飛散した
ダストを吸引する。吸引されたダストは水エジェクタ駆動水と混ざり、液相として
下方へ落下。また、フード外に飛散したダストはミストノズルから噴霧されたミスト
により捕集され、液相として下方へ落下する。

6. 本研究の実施内容

6.2 ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発

実施内容と達成度（黒字：2019年度実施内容、青字：2020年度実施内容）

(2) ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発(*1)			実施内容／達成度
①遠隔保守方法と必要設備の概念設計	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)	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄物の抽出 ・交換ステップ図の作成 	<ul style="list-style-type: none"> ・通常時、及び故障時(非常時)の遠隔保守を想定し、交換部品や廃棄物を抽出し、また遠隔での加工ヘッドの交換ステップ図を作成した。(2019年度完了) ・2020年度上期は、前年度(2019年度)検討された交換プロセス及びステップ図について、(1)ダスト集塵・飛散抑制システムの開発で設計した加工ヘッドにステップ図を反映した。(2020年度完了)

*1：8. 実施目的を達成するための具体的目標より

6. 本研究の実施内容

6.2 ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発 【通常時、及び故障時(非常時)の遠隔保守を想定した交換部品や廃棄物の抽出】

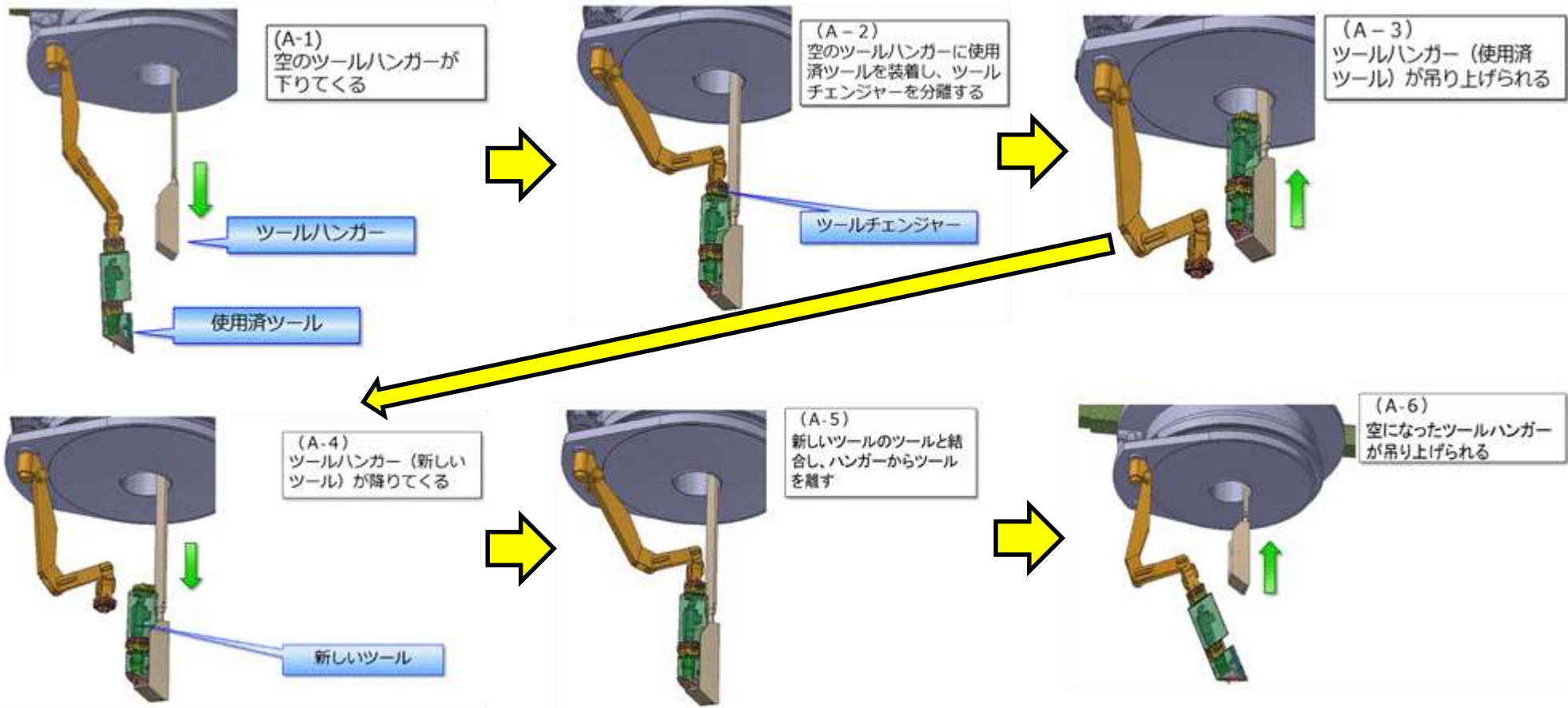
	加工方法	廃棄物			
		通常時	故障時	通常時(消耗品)	故障時(故障品)
機械的切断	チゼル	<ul style="list-style-type: none"> 刃先鈍り、欠け、破損 ミストノズルの目詰まり 放射線によるエジェクタ用ホース、ミスト用のホースの劣化 	<ul style="list-style-type: none"> 回転軸の湾曲 モータ停止 ツールチェンジャーの脱落 	<ul style="list-style-type: none"> チゼル刃 ミストノズル エジェクタ用ホース ミスト用ホース 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<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 	<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 	<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 	<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 	<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 	<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 	<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 	<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 	<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 	<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 	<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 	<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 	<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 	<ul style="list-style-type: none"> プラズマジェットツール

6. 本研究の実施内容

6.2 ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発

【加エツール交換方法の検討】

上取り出し工法の場合、ユニット缶の昇降する開口部を活用して加エツールを交換するプロセス及びステップ図を検討した。

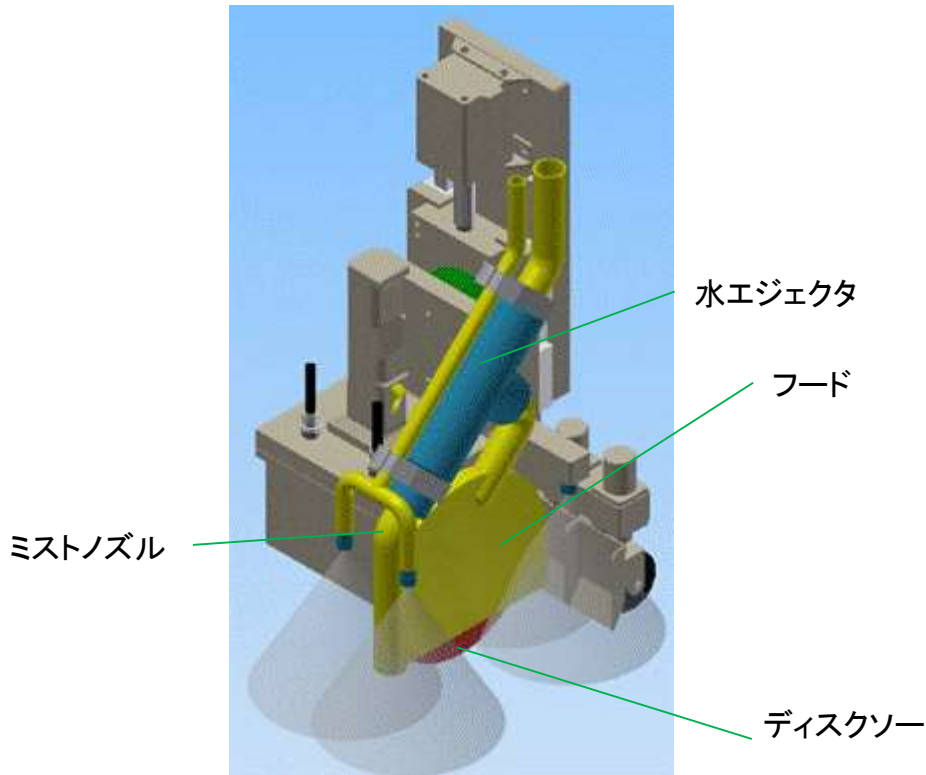


6. 本研究の実施内容

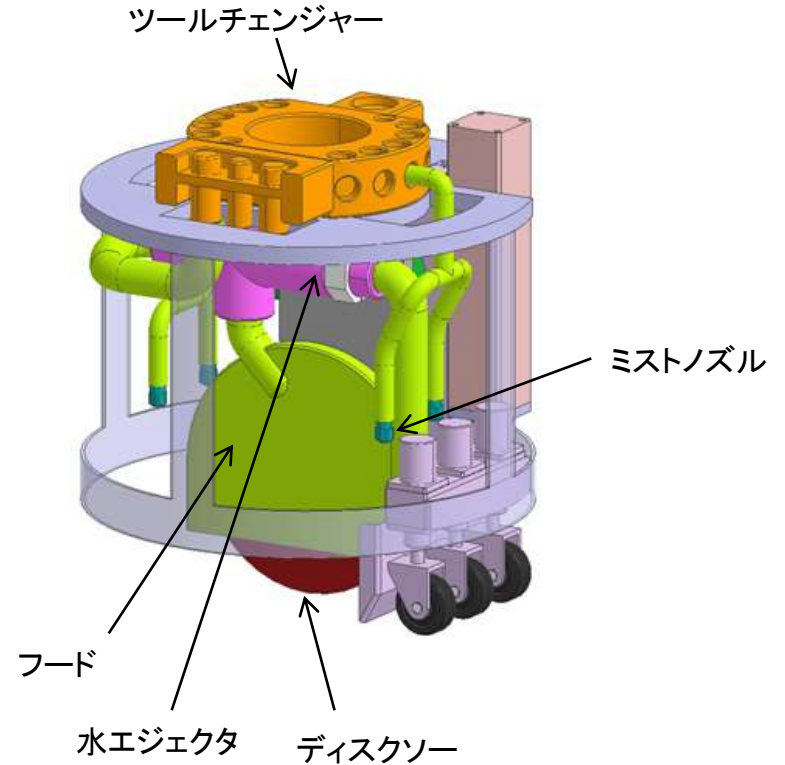
6.2 ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発

加工ツール交換方法の検討

前ページ(2019年度実施)にて検討された交換プロセス及びステップ図について(1)ダスト集塵・飛散抑制システムの開発で設計した加工ヘッドにステップ図を反映。なお、本ステップ図は加工ヘッドの非常(破損)時/故障時の対応も含まれる。



2019年度検討の加工ヘッド



本年度検討の加工ヘッド

(補足)前年度(2019)検討からの加工ヘッドの相違点について

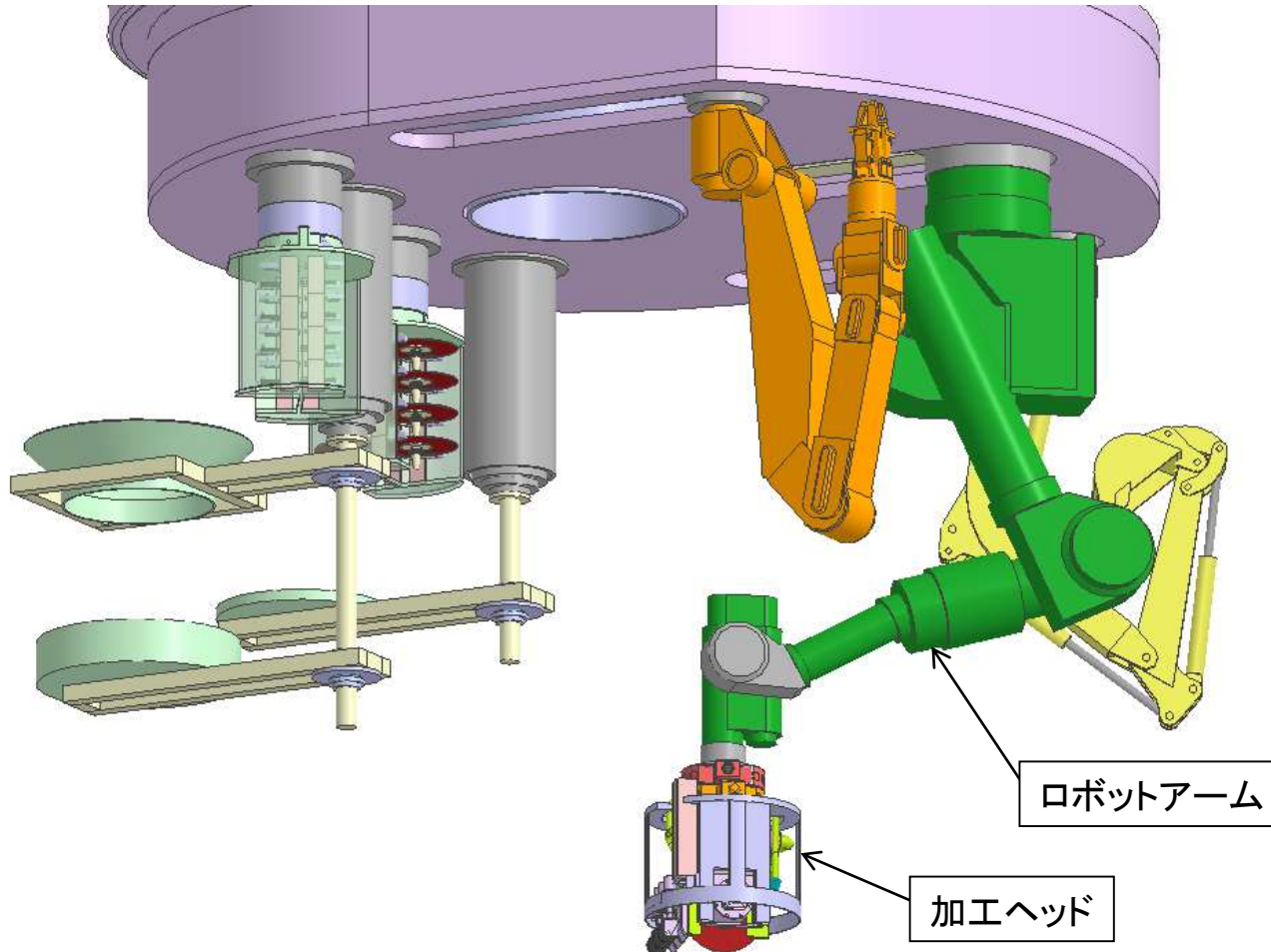
・ユニット缶に加工ヘッドが納まるようサイズ設計を実施。(ディスクソー、ミストノズル、水エジェクタは変更無し)

6. 本研究の実施内容

6.2 ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発

加工ヘッド交換ステップ図

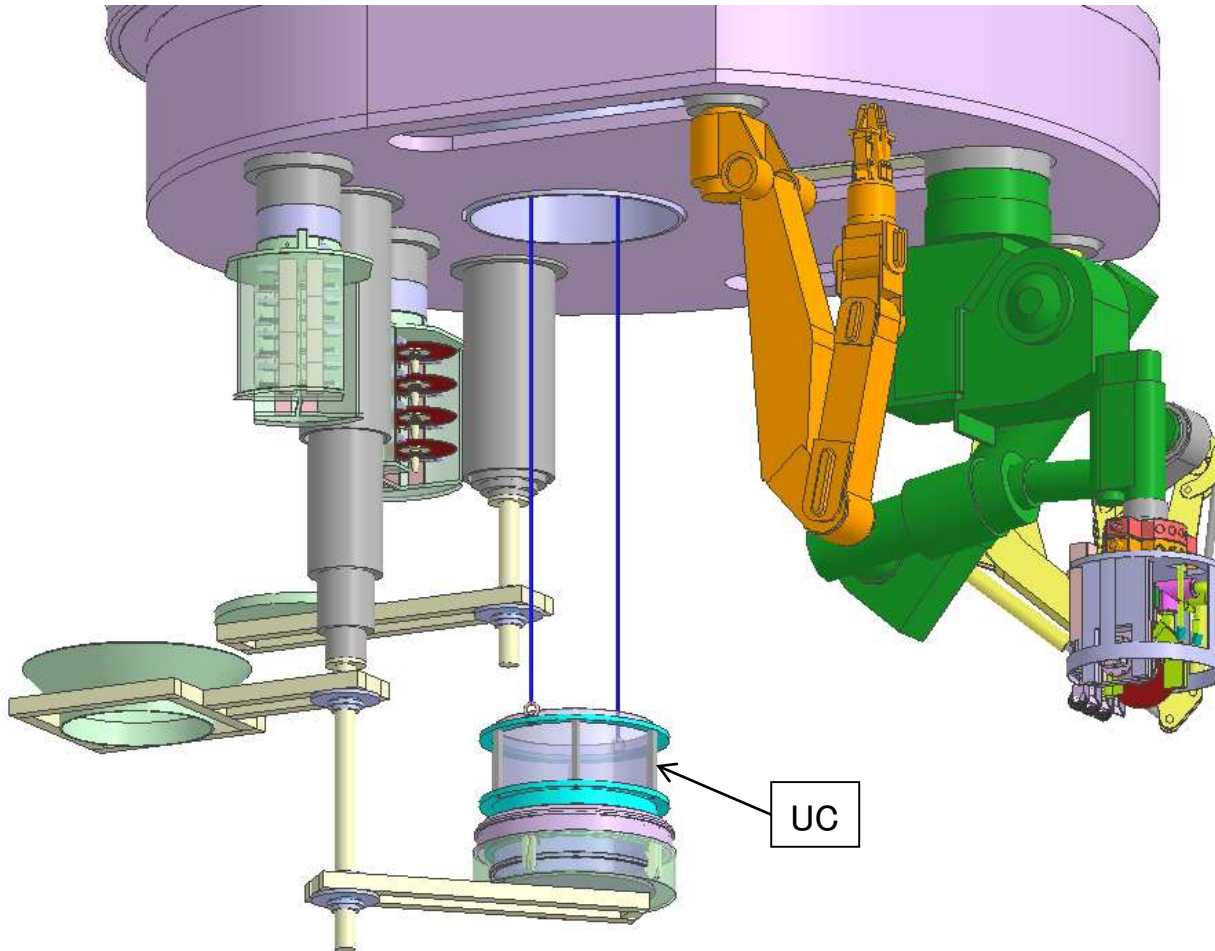
①加工ヘッド交換開始状態



6. 本研究の実施内容

6.2 ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発

加工ヘッド交換ステップ図

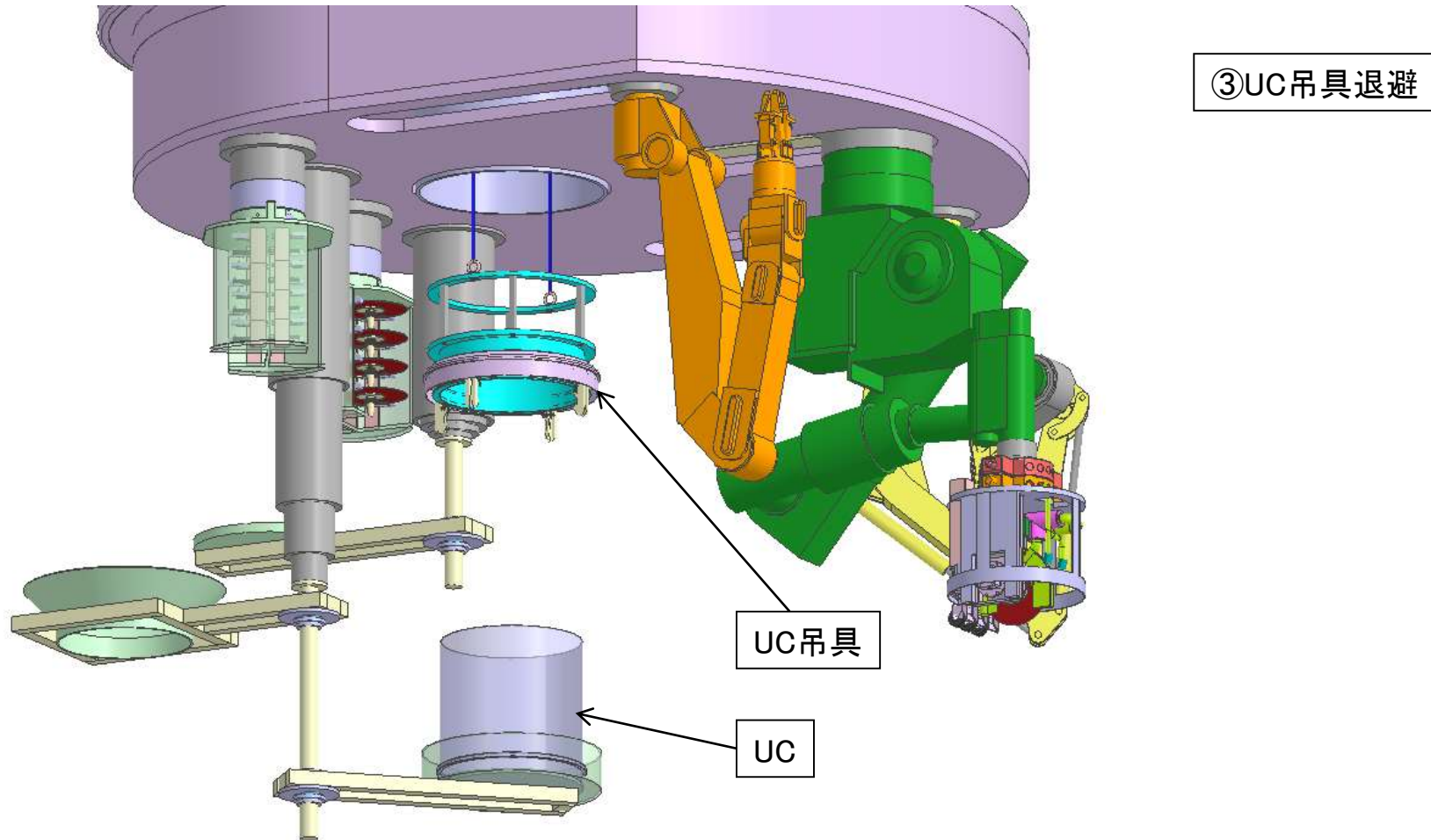


②ユニット缶(以下、UC)吊降し

6. 本研究の実施内容

6.2 ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発

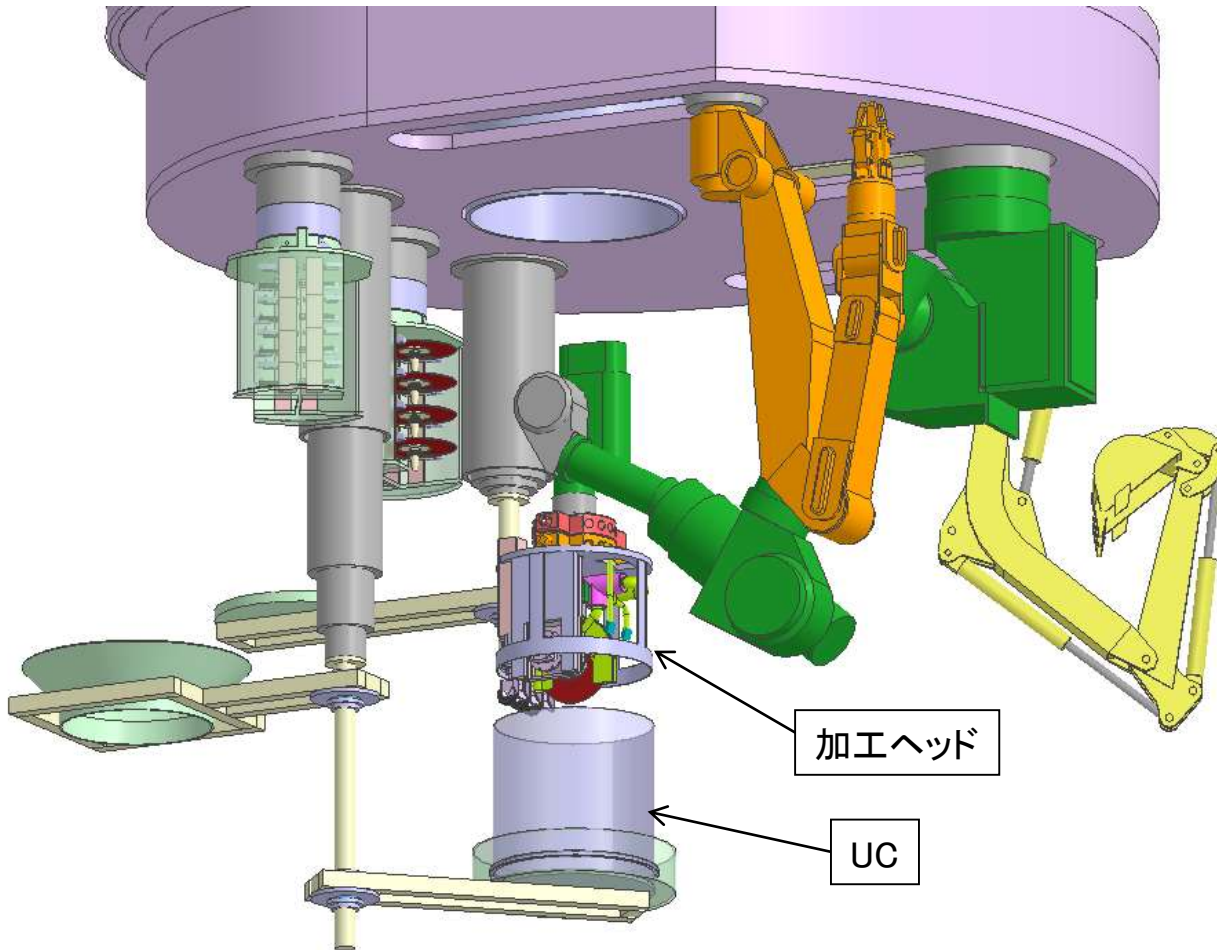
加工ヘッド交換ステップ図



6. 本研究の実施内容

6.2 ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発

加工ヘッド交換ステップ図

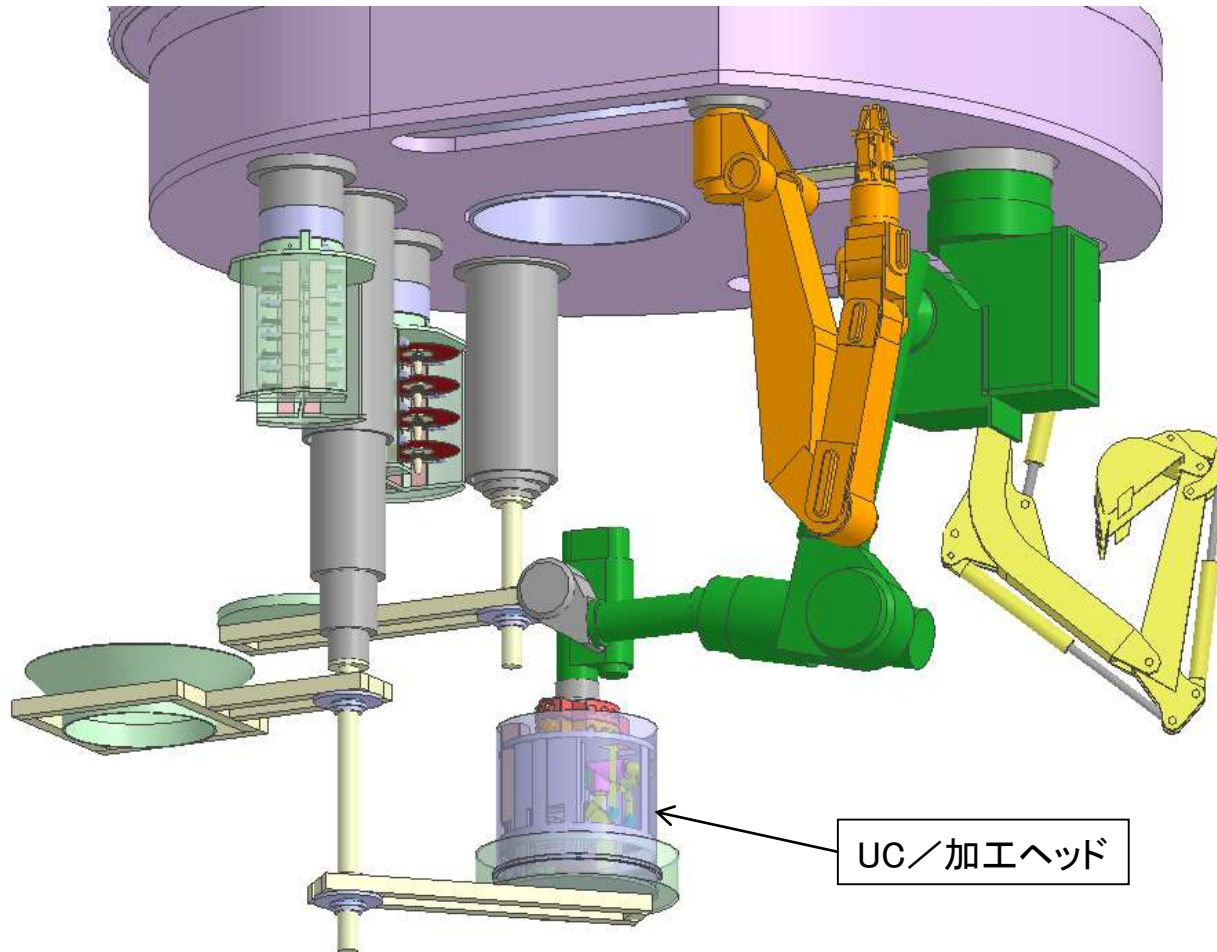


④加工ヘッドをUC上に移動

6. 本研究の実施内容

6.2 ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発

加工ヘッド交換ステップ図



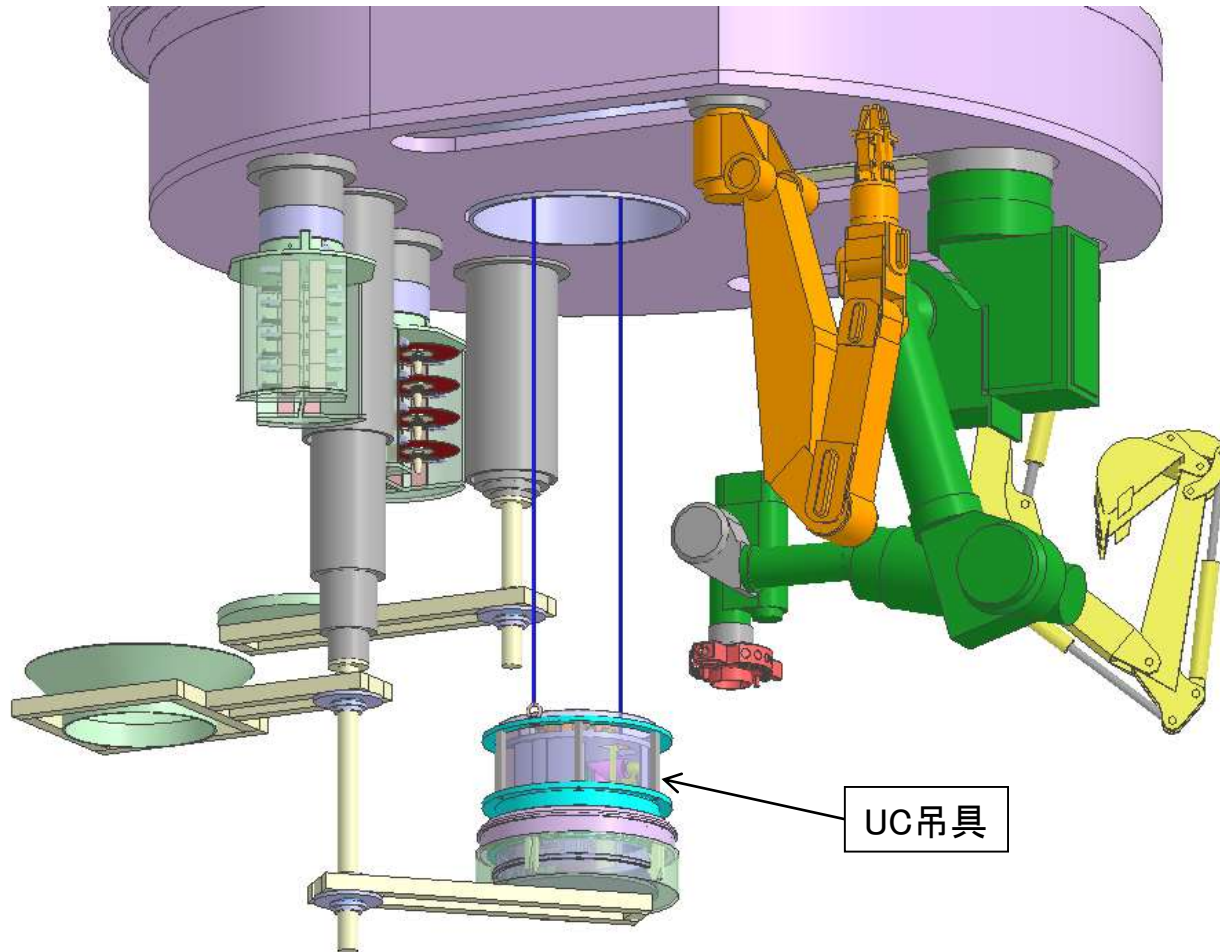
⑤加工ヘッドをUCに収納

UC/加工ヘッド

6. 本研究の実施内容

6.2 ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発

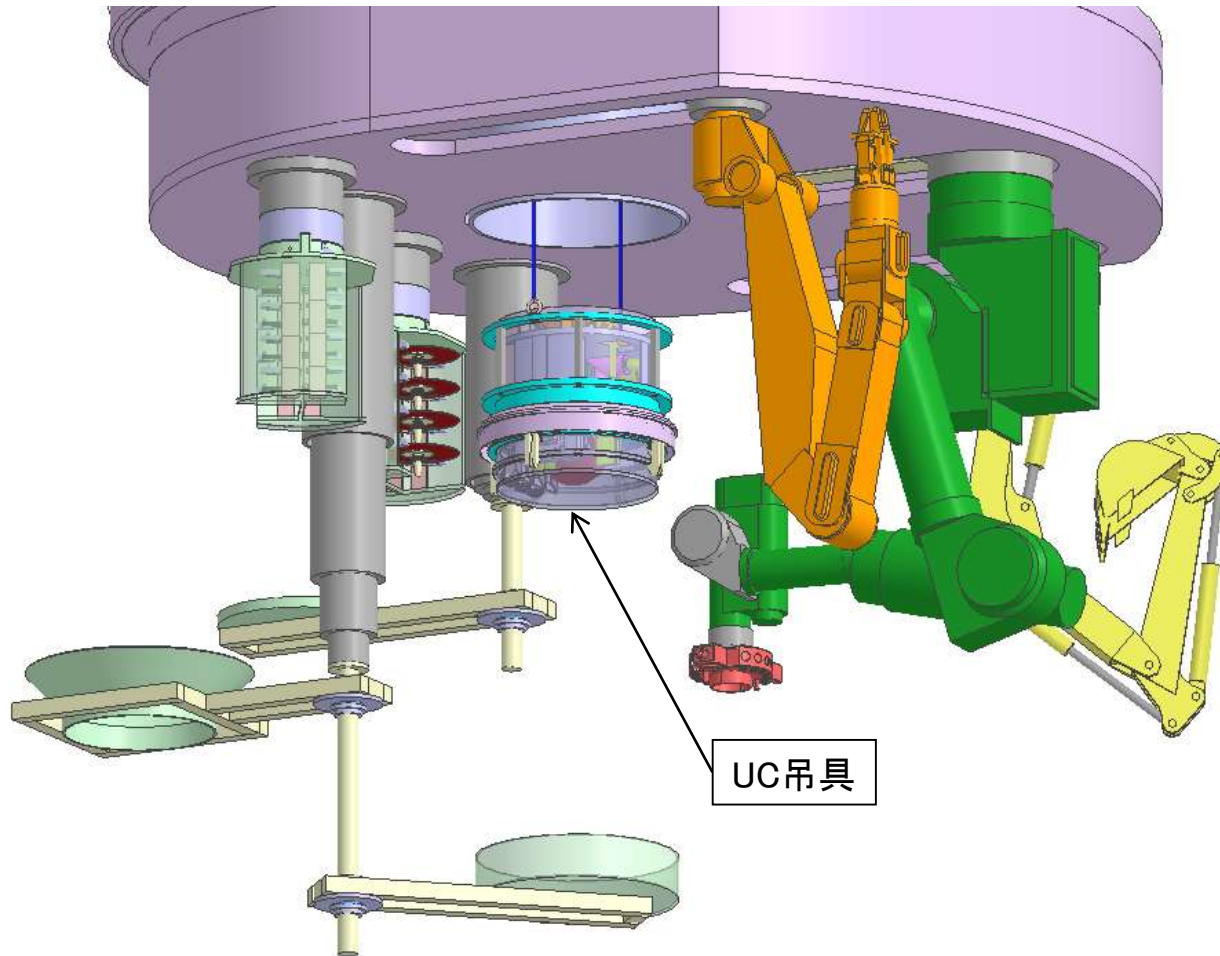
加工ヘッド交換ステップ図



6. 本研究の実施内容

6.2 ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発

加工ヘッド交換ステップ図



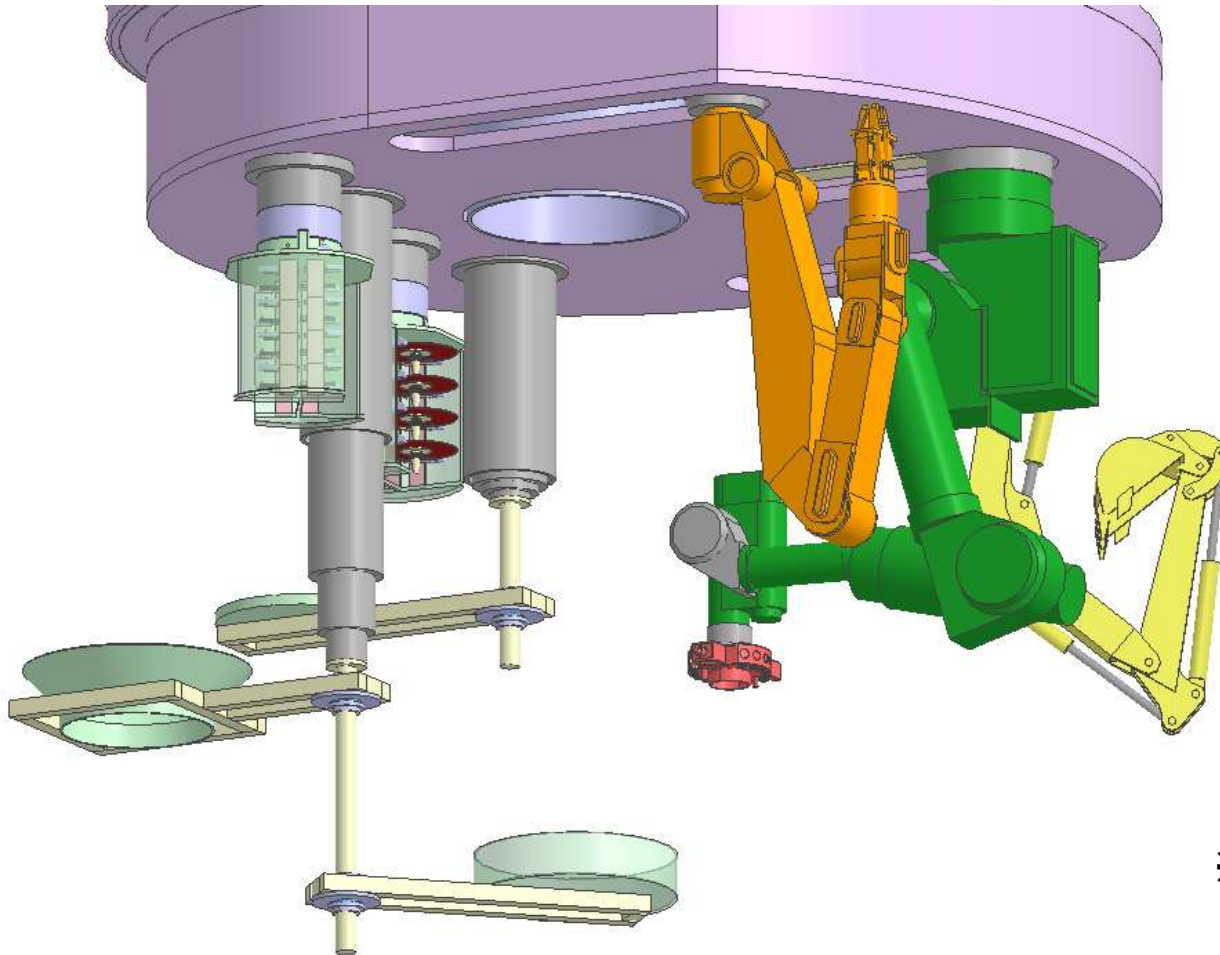
⑦UC吊具／UCを吊上げ。

6. 本研究の実施内容

6.2 ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発

加工ヘッド交換ステップ図

⑧動作不良加工ヘッドの回収完了



※ロボットアームへの新規加工ヘッドの取付はこの逆順で行う。

6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

実施内容と達成度（黒字：2019年度実施内容、青字：2020年度実施内容）

(3) ダスト集塵・飛散抑制評価試験(*1)		実施内容／達成度	
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)	国内外で行われてきた加工時のダスト評価試験を調査	国内外で行われた加工時のダスト評価試験の調査を実施した。(2019年度完了)
		ダスト評価試験要領の確立	試験手順や構成などダスト評価試験要領を確立した。また、同試験要領による予備試験を行い、ダスト評価試験要領と試験装置構成が有効であることを確認した。(2019年度完了) ・試験マトリックス、試験体系を検討した。(2020年度完了)
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)	加工工法の中から代表工法を選定	1F実燃料デブリに近いダスト飛散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を代表工法として選定。(2019年度完了)
		・気中や液体中へのダスト飛散率等の計測。 ・ダスト集塵・飛散抑制システムの稼働による廃棄物量(気相／液体中へのダスト飛散率)の計測	気中や液体中へのダスト移行率やダスト集塵・飛散抑制システムの稼働による気相／液体中へのダスト飛散率を計測した。(2020年度完了)

*1：8. 実施目的を達成するための具体的目標より

6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【国内外で行われた加工時のダスト評価試験の調査】

評価試験要領を策定するため、国内外で行われてきた加工時のダスト評価試験調査を実施。

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	—
気中微量子生成量測定	—	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	調査の結果、飛散ダストの評価に分級捕集(カスケードインパクト/ELPI)、落下ダストはふるいによる分別・重量測定を用いられていることを確認。		

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」

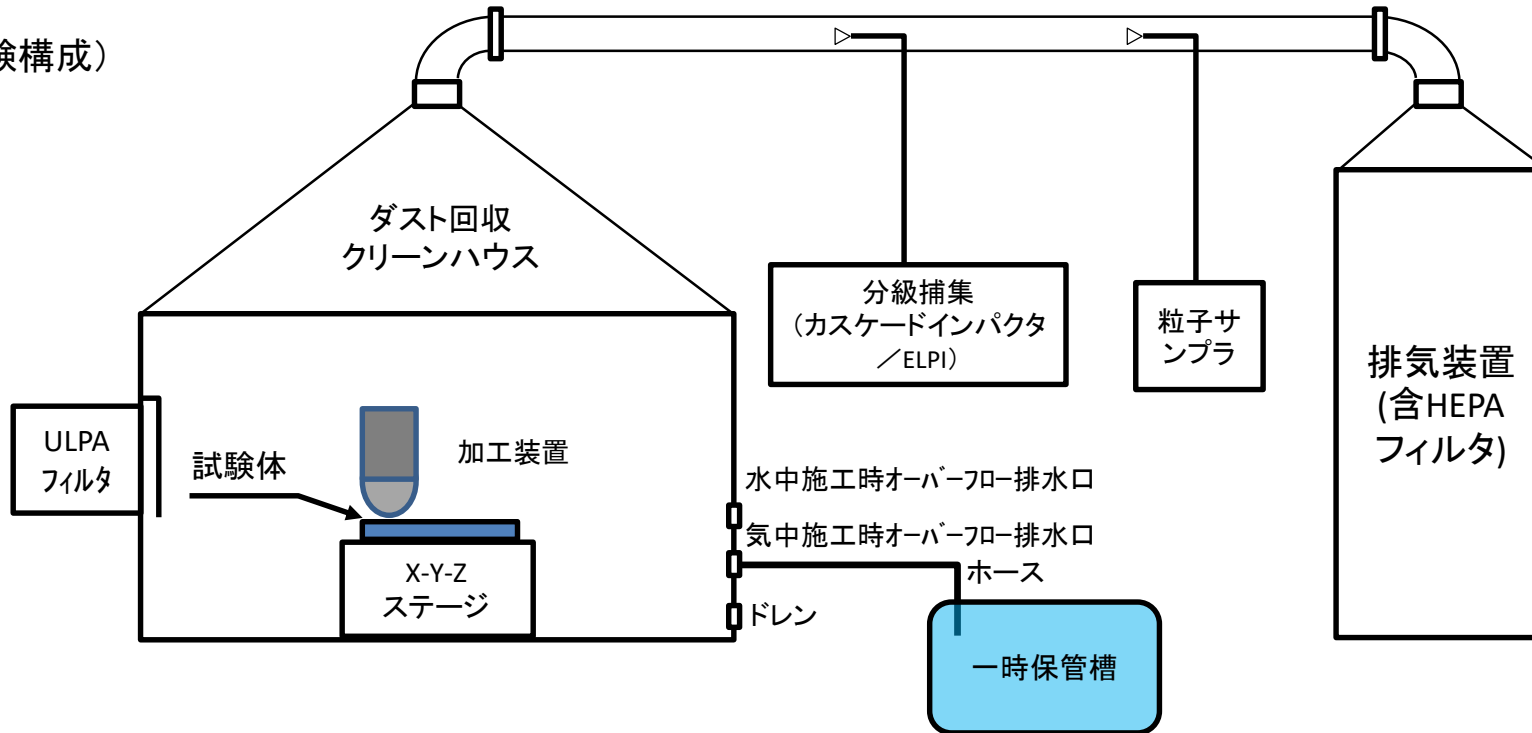
6. 本研究の実施内容

6.3 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の確立】

ダスト評価試験調査結果を元に、試験構成や手順などダスト評価試験要領を確立した。

(試験構成)



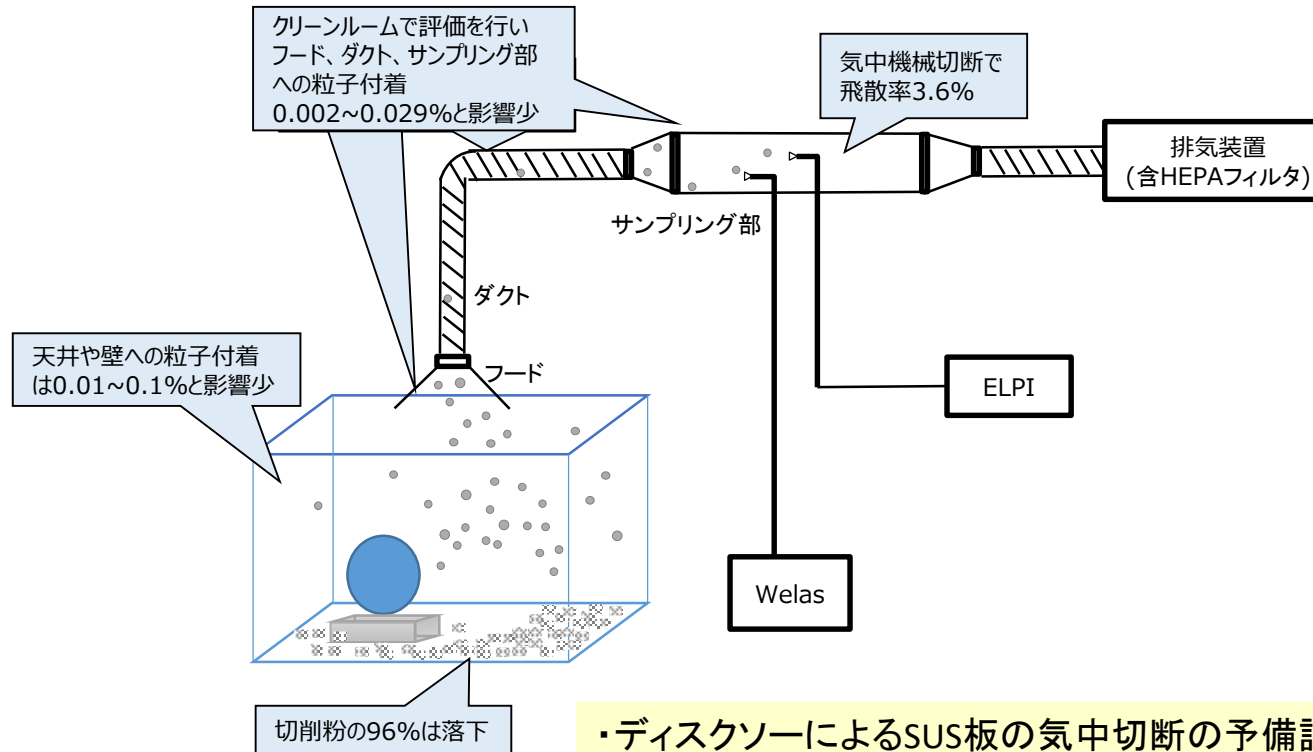
(試験手順)

- ①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)。
- ②粒子サンプラを起動させる。
- ③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)。
- ④粒子サンプラの試料を回収。
- ⑤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)。

6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【ディスクソーの予備試験(続き)】



- ・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ことを確認。

6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

ダスト集塵・飛散抑制評価試験の試験計画の検討

【本PJのこれまでの経緯と本年度(2020年度)の実施内容】

(2019年度)

- ・国内外で行われた加工時のダスト評価試験の調査
- ・ダスト集塵・飛散評価試験要領の策定し予備試験を実施。
(SUS板での切断/ダスト飛散試験)

⇒予備試験によって、

加工ヘッド、ダスト評価試験要領及び試験装置構成が有効であることを確認。

(2019年度 計画変更)

- ・燃料デブリ加工時等のダスト対策に資するデータ拡充を目的として下記試験を追加

- ①UO₂燃料ペレット加工時のダスト評価試験
- ②ジルカロイ加工時のダスト評価試験

- ・燃料デブリ取り出し工法の開発と連携して、ダスト集塵・抑制機能を付与した、回転式カッターでのダスト評価試験に絞り込み。

(絞り込み理由)

UO₂燃料ペレット加工時のダスト評価試験をデータが無いことから、

同燃料ペレットの試験を優先するため、ダスト集塵・飛散抑制評価試験設備内の管理区域(*)で使用可能な回転式カッターとした。

(2020年度)

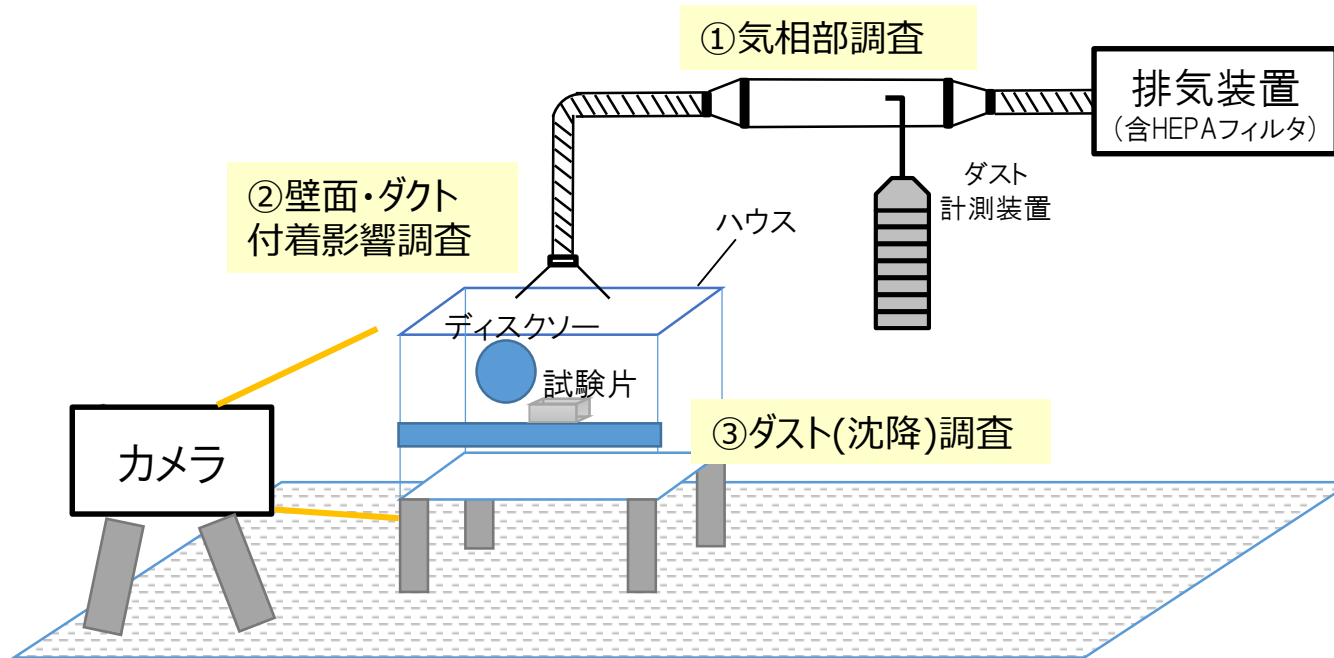
- ・試験片にUO₂ペレットやジルカロイを用いたダスト評価試験を実施。

6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験概要】


ディスクソーによるダスト粒径分布測定を実施



6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験片】

No.	名称	試験片	検討状況
1	炉内燃料 デブリ	UO ₂ ペレット模擬体 ①未照射BWR燃料ペレット*1 ②セリアペレット*1	次頁 (i)参照
		切り株燃料模擬体 ③燃料被覆管＋セリアペレット	次頁(ii)参照
2	燃料デブリの付着した構造物	セリアペレットとステンレス鋼が溶融固化した試験体	次頁(iii)参照。*2
3	模擬MCCI	模擬MCCI 	・IRID/日立GEの2018年度成果に基づき、1体製作完了。

(注記) *1: RI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。

*2: 溶融物付着前の構造物表面の酸化被膜、クラッドの付着については、切断時の欠損量に占める割合が少ないと想定し、ダスト試験に対する影響は軽微と考慮し、模擬しない。

6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【模擬材の検討】

(i) UO_2 ペレットと比較のための模擬材料について

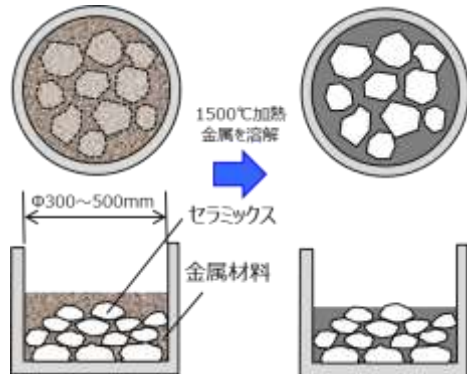
- 未照射BWR燃料として UO_2 をペレットに焼成し、評価試験に使用。
(選定理由) 化学式や比重、製造法が実燃料と同一のため(ただし天然ウランを使用)
- RI管理区域の作業の制約から、 UO_2 模擬材としてセリアをペレットに焼成し、評価試験に使用。
(選定理由) セリアは比重が大きく($7.3g/cm^3$)、硬さが UO_2 とほぼ同等であり、 UO_2 と同様に焼成が可能。
なお、 UO_2 模擬材として他PJでも実績あり。

(ii) 切り株燃料模擬体について

- ジルカロイ被覆管にセリアペレットを装填した燃料棒の模擬体を実験に使用。
(選定理由) 被覆管には実燃料と同じジルカロイを選定。被覆管内の残留燃料には上記セリアペレットを使用。

(iii) 燃料デブリの付着した構造物の模擬体について

- 金属とセラミックスが熔融固化した試験体を作製し、評価試験に使用。
(選定理由) 構造物は燃料デブリ付着により熔融し、燃料デブリとともに固化した状態にあると推定されるため、金属とセラミックスが固化した模擬材を試験に用いる。燃料デブリ性状把握PJで検討された加工用試験体を作製することとし、セラミックスにはセリア、金属にはステンレス鋼(SUS304)を選定する。



金属セラミックス熔融固化試験体の作製方法^[1]

[1]「燃料デブリの性状把握」平成26年度中間報告書



(1) 加熱前(材料をるつぽに装填した状態)

(2) 加熱後(るつぽから取り外し後)

金属セラミックス熔融固化試験体の作製外観例^[2]

[2]「燃料デブリ取り出し技術の開発」平成27年度報告書

6. 本事業の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験（飛散抑制のための塗布剤）

- 塗布剤を塗布した燃料デブリ模擬材（1種類）を評価試験に使用。
- 塗布剤は、臨界管理PJで開発されている水ガラスタイプ中性子吸収材*）を用いる。
（選定理由）飛散抑制とともに臨界防止の効果も期待できる。また、基礎特性のほか、輸送性や施工性、副次的な影響について顕著な課題がないことが確認されているため。

*）水ガラスに中性子吸収物質 Gd_2O_3 を混ぜたもの。液状で、時間が経過すると固化する。平面以外にも凹凸表面や斜面に対して適用できる。燃料デブリの取り出し前に表面に塗布して臨界防止に用いる。燃料デブリ表面に塗布膜を形成させることにより臨界抑制効果とともに、燃料デブリ加工時の発生粉の飛散抑制効果も期待されるため、試験に供する。

		水ガラスタイプ中性子吸収材 (TX-10)	充填材（阪大/JAEA） (スメクトンST+高分子ゲル)	塗布材（東大/JAEA） (ジオポリマー) ※7	超重泥水（早大/千葉工大/地盤工学会）
代表成分		一号ケイ酸ソーダ ($Na_2 \cdot nSiO_2 \cdot xH_2O$)、セメント (SiO_2 、 CaO 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 $CaSO_4$)、第一リン酸ナトリウム ($NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$)、イオン交換水 (H_2O)、酸化ガドリニウム (Gd_2O_3) (※1)	合成珪酸マグネシウム $Na_{0.33}Si_4Mg_{2.67}O_{10}(OH)_2$ ポリアクリル酸ナトリウム ($C_3H_3NaO_2$) _n 蒸留水 H_2O (※5, 6)	メタカオリン $2.13SiO_2+1Al_2O_3$ 水酸化ナトリウム NaOH 水ガラス $2.18SiO_2+1Na_2O+8.96H_2O$ 超純水 H_2O (粘度測定の際は $3.8SiO_2:1Al_2O_3:1Na_2O:13H_2O$)	Na型ベントナイト パライト ニリン酸ナトリウム 水道水 (※8)
硬化性		約90分で粘性が増大 ※2	ゲル状まま	大気中では徐々に粘性増大	—
粘度 [mPa・s]		約1,000 ※3	約60～約7,000 ※5	2,000～5,000	約30～10,000,000 ※8
熱安定性		400℃まで安定 ※3	約523℃まで安定 ※5	—	—
照射特性 (γ線)	気中照射	36MGyで割れなし、変色なし ※3	3MGyで気泡発生 ※5	1.15、0.35 MGyで水素、酸素、窒素発生。	—
	水中照射	見かけの水素発生G値は設計G値未満 ※3	— (水素発生の懸念あり) ※5	—	—
輸送性		配管で50m以上輸送可能 ※2	—	—	—
施工性		すき間浸透、傾斜面被覆、被覆厚さとも比較的良好 ※2, 3	—	—	—
副次影響	防錆対策	水質調整要 ※1	—	—	—
	後続工程	収納缶環境は設計内、廃棄物について評価済み ※3, 4	—	—	—

※1 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に向けた技術の開発」令和元年度中間報告書

※2 平成26年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費補助金「燃料デブリ臨界管理技術の開発」平成28年度報告書

※3 平成27年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費補助金「燃料デブリ臨界管理技術の開発」2017年度報告書

※4 平成29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工法・システムの高度化（臨界管理方法の確立に関する技術開発）」平成30年度報告書

※5 JAEA-Review-2019-029 ※6 SDS ※7 JAEA-Review-2019-037

※8 第52回 地盤工学研究発表会 2017年7月 D-03（せん断速度とせん断応力の関係より算出）

6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験マトリックス設定の考え方】

- ダスト集塵・飛散抑制評価試験として、飛散抑制システム(ミスト、水エジェクタ)の基本的なダスト飛散抑制効果を確認するため、 UO_2 ペレットの模擬材であるセリアペレットについて、ミスト、水エジェクタ単独と、それらの組み合わせによるダスト飛散試験を実施した。
- 他試験片(切り株燃料模擬体、燃料デブリ付着構造物、模擬MCCI)については、ダスト飛散抑制の効果を確認するため、飛散抑制システム(ミスト、水エジェクタ)稼働の有無によるダスト飛散試験を実施した。
- MCCIはPCV炉底部で水没している可能性があることから、模擬MCCIのダスト飛散試験では、気中での試験に加え、模擬MCCIを水没させた状態での試験を実施した。
- 上昇流によるダストの飛散影響を確認するため、上昇流を変えた場合のダスト飛散試験や、飛散防止材の効果を確認するため、飛散防止材を散布したセリアペレットの切削試験、及びカッター回転数による影響を確認するため回転数を変えた場合の切削試験を実施した。

(補足)

- 本試験ではダイヤモンドカッターを使用。ダイヤモンドカッターは熱に弱いことから、必要に応じ、加工助剤として水を切断中に塗布した。
- UO_2 ペレットでの試験については、管理区域内での安全上の理由から(火災防止の観点)、加工助剤である水を切断中に塗布した。

6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験マトリックス】

切削対象	気中 切断	水を用いた飛散抑制方法						
		ミスト 単独	エジェクタ 単独	加工助剤 (水)単独	ミスト+ エジェクタ	加工助剤(水)		
						ミスト	エジェクタ	ミスト+ エジェクタ
UO ₂ ペレット	-	-	-	○	-	-	-	-
セリア ペレット	○	○	○	○ ※1 ※2 ※3	○	○	○	-
燃料被覆管 +セリア	○	-	-	-	-	-	-	○
デブリ付着 構造物	○	-	-	-	○	-	-	-
模擬MCCI	○ ^{※4}	-	-	-	○	-	-	-

※1 上昇流0.03 m/s, 0.10 m/s

※2 飛散防止材あり・なし

○：実施

※3 回転数500rpm, 1000rpm

※4 気中・水中試験

-：実施なし

6. 本研究の実施内容

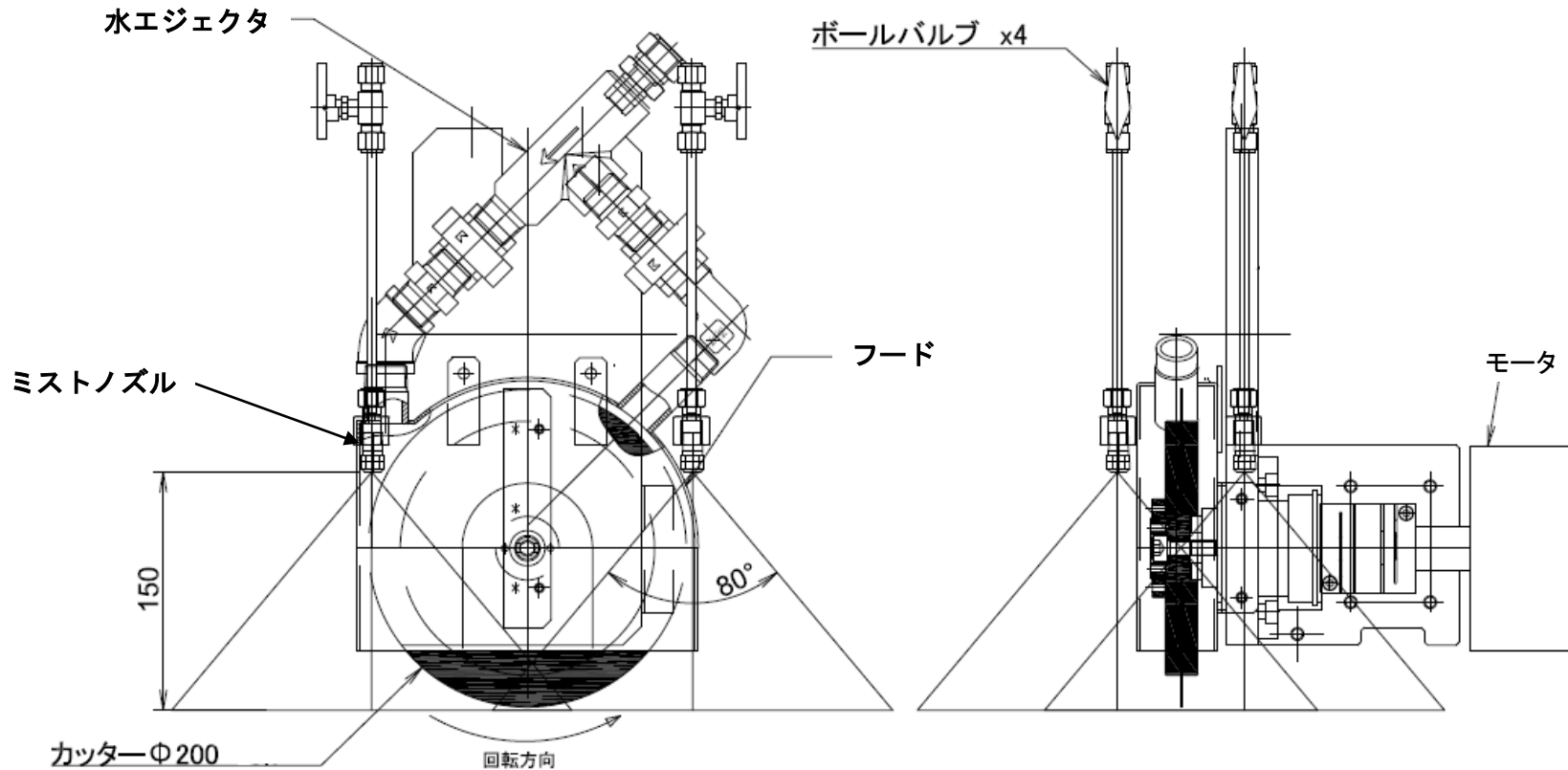
6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験構成】

切削部の詳細構造を示す。

ダイヤモンドカッター周辺に、ダスト集塵・抑制方法として水エジェクタとミストノズルを搭載した。

なお、一部の試験ではカッター保護のため切削部に少量の水を掛けながら試験した。



6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験構成(外観写真)】

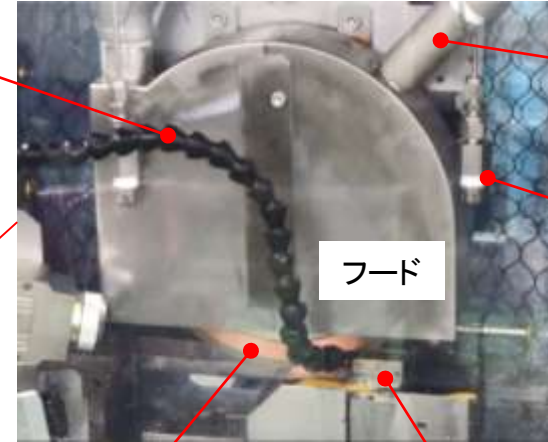


ELPI

カスケード
インパクト

ダスト
サンブラ

加工助剤(水)ノズル

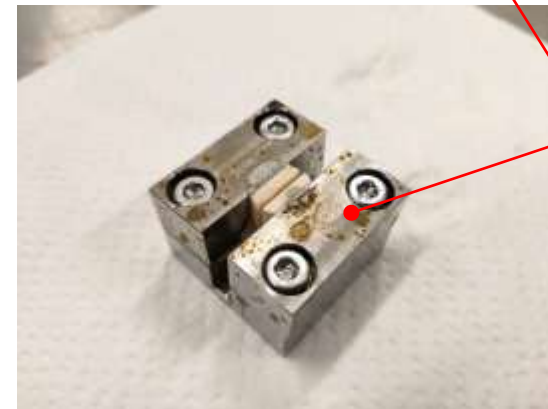


水エジェクタ
吸引口

ミストノズル

フード

回転刃
(カッター)



試験体

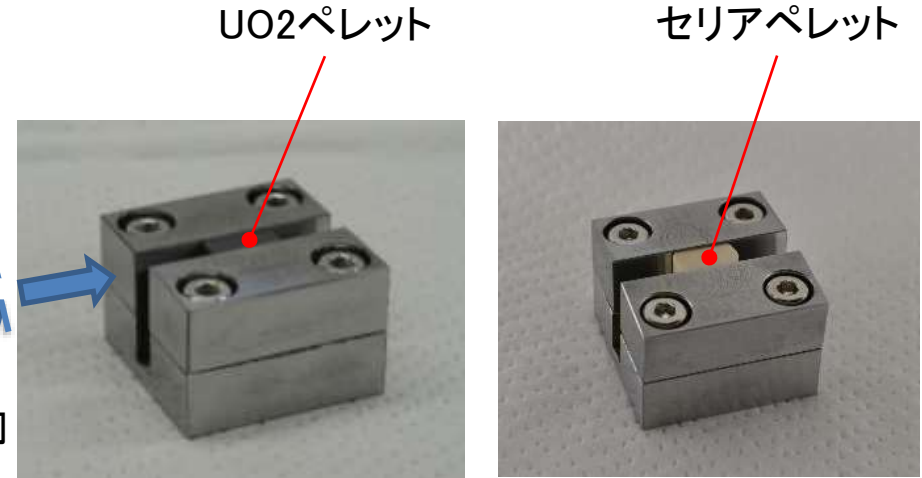
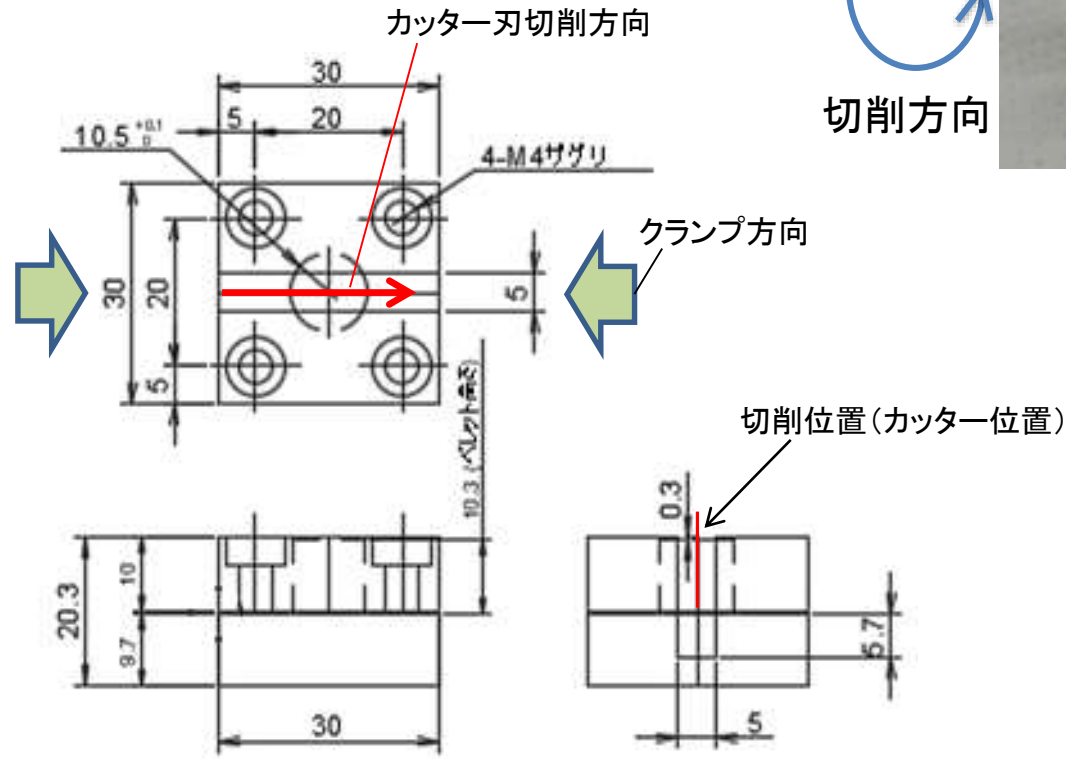
6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験体】

UO₂/セリアペレット1個

UO₂あるいはセリアペレット1個を装着
飛散防止剤(中性子吸収剤)を塗布したもの
を製作した。



セリアペレット
(中性子吸収剤を塗布)



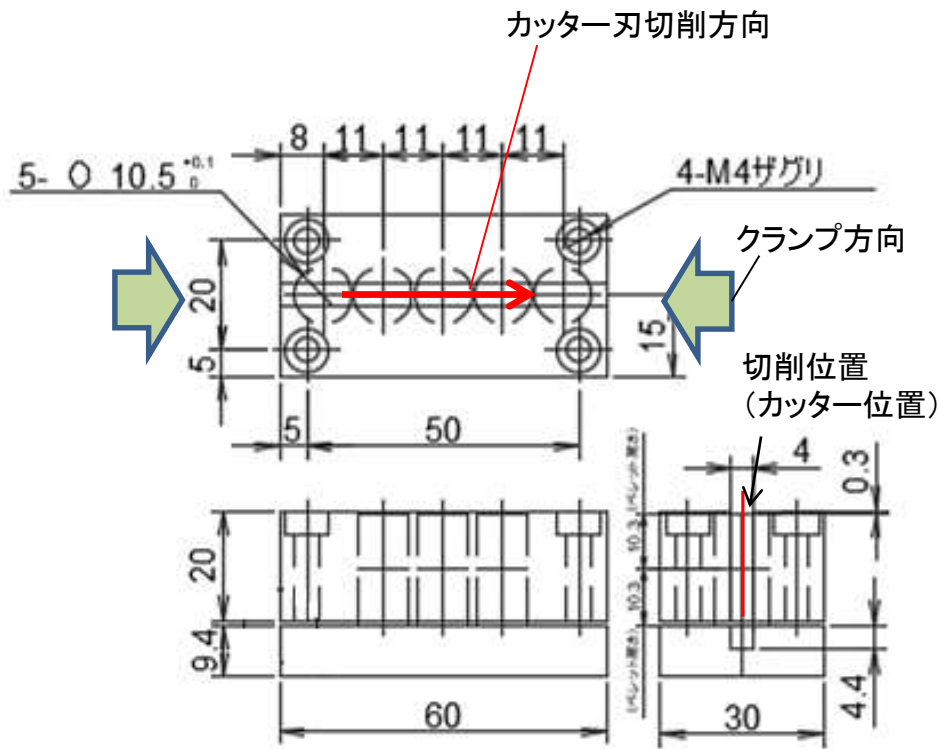
6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

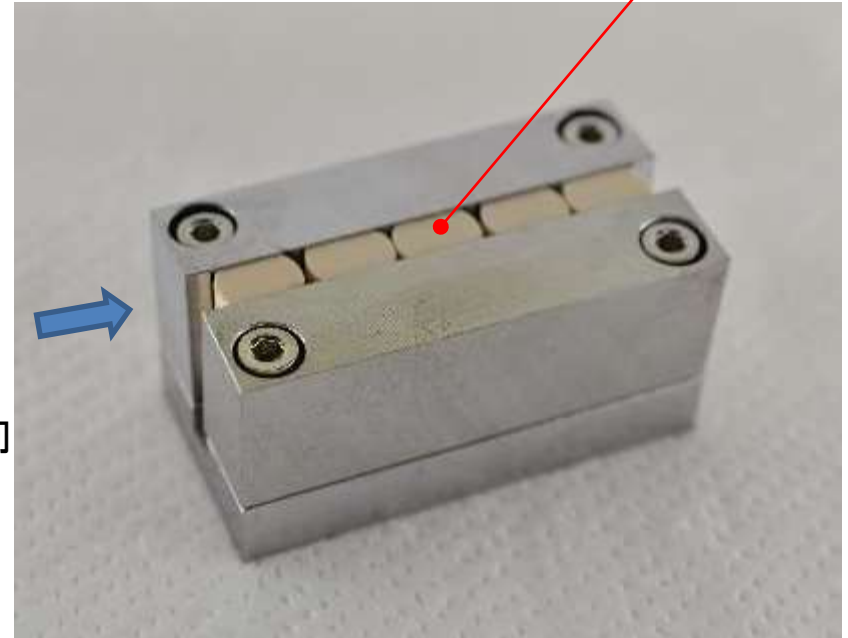
【試験体】

セリアペレット10個

ダスト飛散量を増やすため、セリアペレット10個を5列2段に装着した。



セリアペレット(5列 x 2段)



6. 本研究の実施内容

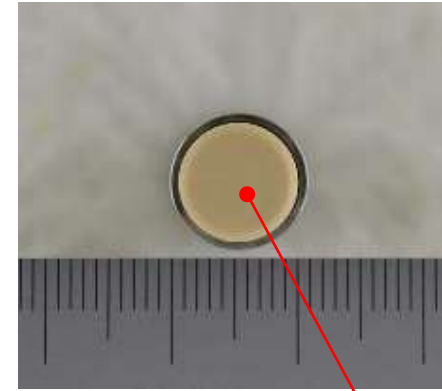
6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験体】

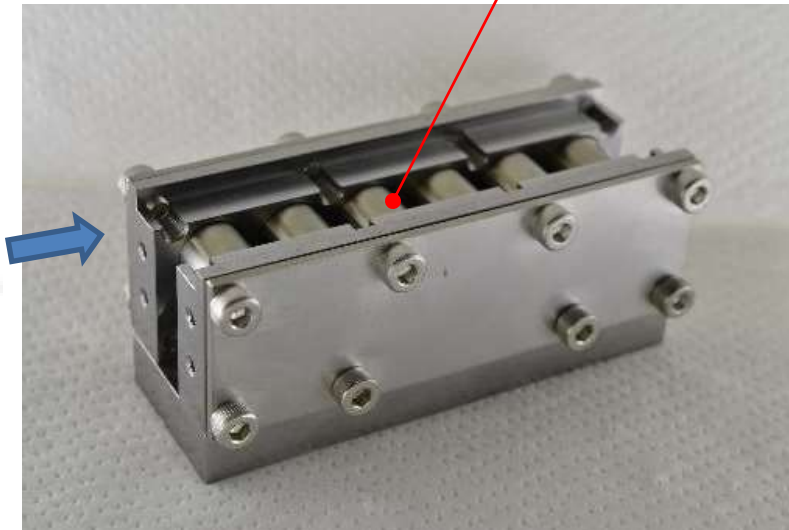
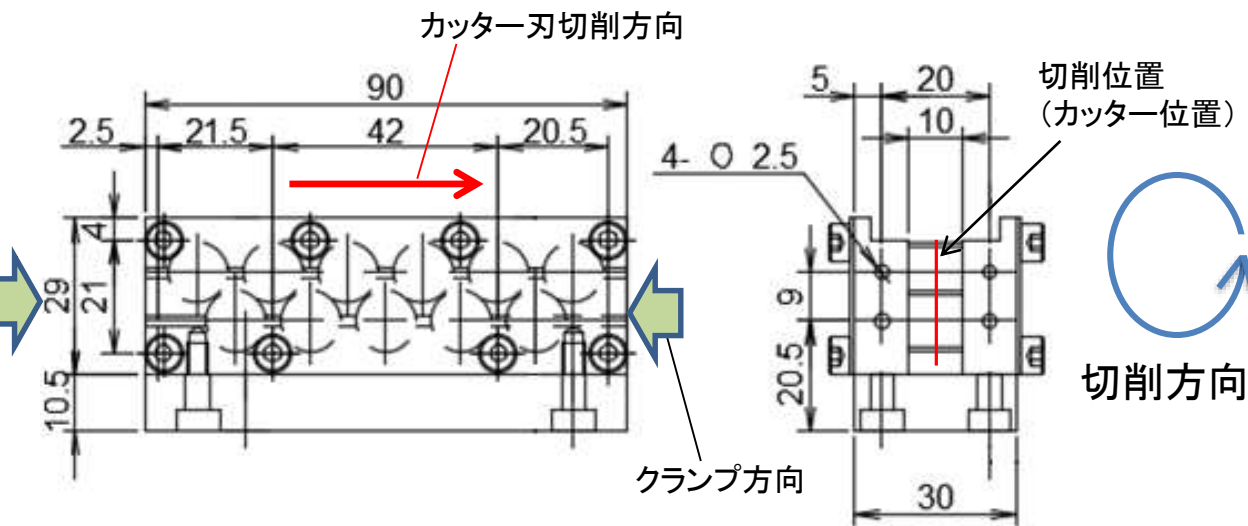
燃料被覆管＋セリアペレット

ジルカロイ燃料被覆管内にセリアペレットを挿入したものを11個装着した。

(燃料被覆管とセリアペレットの隙間は0.1mm程度)



燃料被覆管＋セリアペレット
(11個)



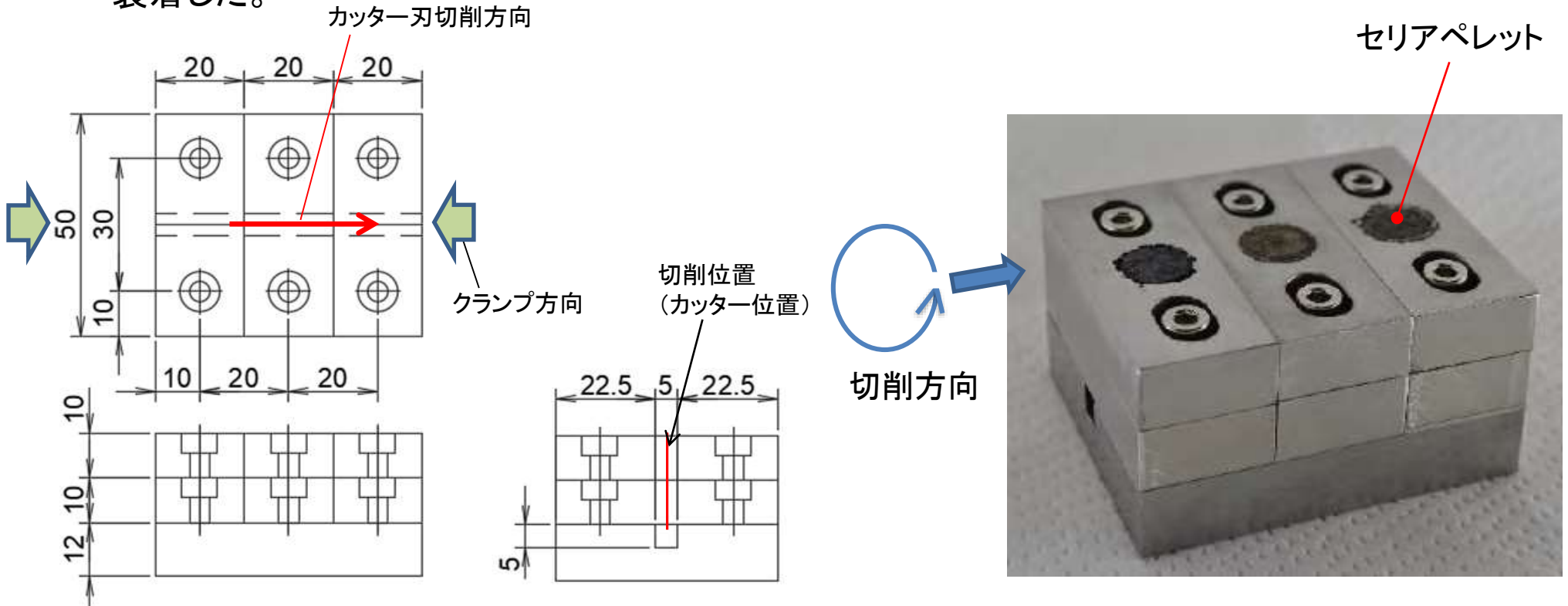
6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験体】

燃料デブリの付着した構造物

セリアペレットを溶融したSUS304と共に固化し、試験片を切り出して6個(3列×2段)を装着した。



6. 本研究の実施内容

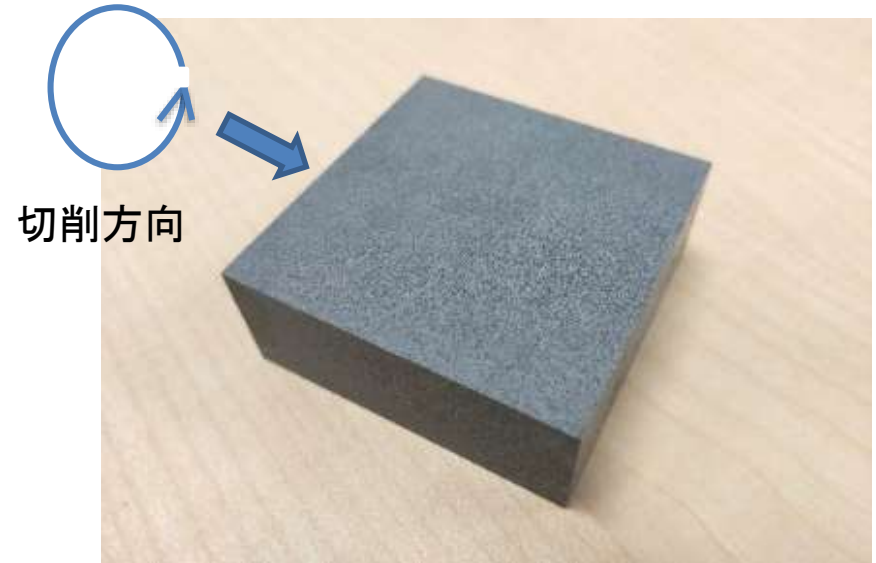
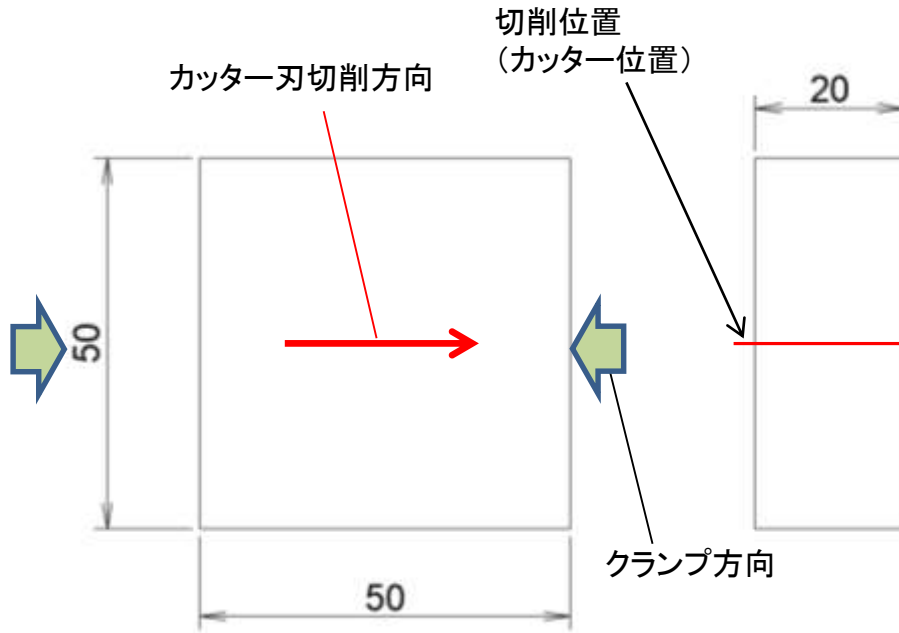
6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験 【試験体】

模擬MCCI

セリア粉末、ZrO₂粉末、SUS粉末、セメント等を材料としたMCCI模擬体から試験体を切り出した。



MCCI模擬体



6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【加工条件及び試験条件】

＜加工条件＞*

回転カッター(メタル合金付きカッター)

回転数: 1000rpm

加工速度: 10mm/min

*燃料デブリ取り出しPJでの選定結果に基づく



メタル合金付きカッター

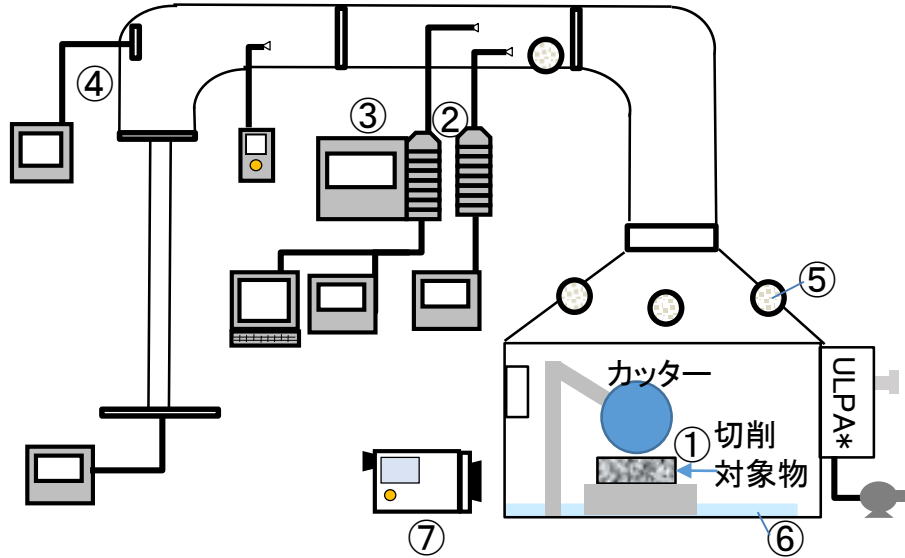
＜試験条件＞

	気中切断	除塵方法 (水散布)		
		カッター加工助剤(水)	ミスト	エジェクタ
イメージ				
水量 [L/min]	0	1	0.05	17.75
その他	—	—	ミスト粒径20μm	—

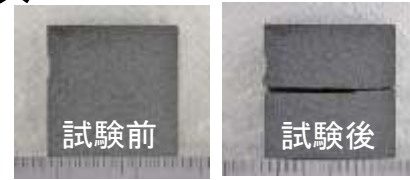
6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【評価方法】

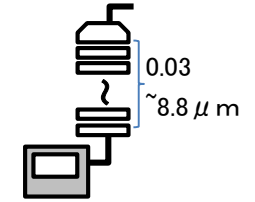


① 切削重量



切削重量: 試験前後の試験片およびカッター重量差を算出

②・③ カスケードインパクト捕集



粒度分布: 試験前後の捕集板重量差を算出重量が検出限界以下の場合はSEM*観察による粒子個数評価から算出

④ ダストサンプラ捕集



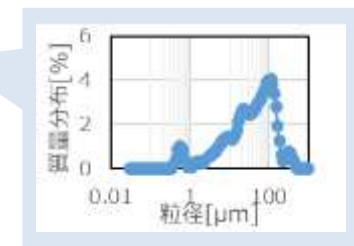
回収重量: 試験前後のろ紙重量差を算出

⑤ 付着影響確認

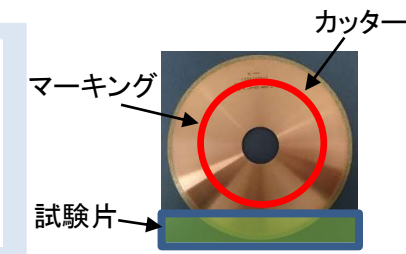


壁面等にろ紙やカーボンテープを貼付。試験後に付着した粒子数(SEM**)や成分(XRF***)からダスト付着量を算出

⑥ 切削排水の固形分量、粒径分布



⑦ 視認性確認



- ＜評価＞
- ・回収飛散ダスト率(①・④)、④が検出限界の場合②
 - ・飛散粒子の粒径分布(②・③)
 - ・壁面や天井への粒子付着(⑤)
 - ・切削排水の分析(⑥)
 - ・視認性確認(⑦)

*ULPA: Ultra Low Penetration Air Filter

**SEM: 走査型電子顕微鏡

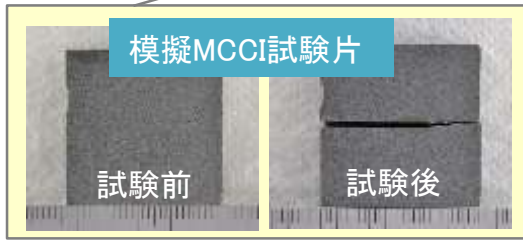
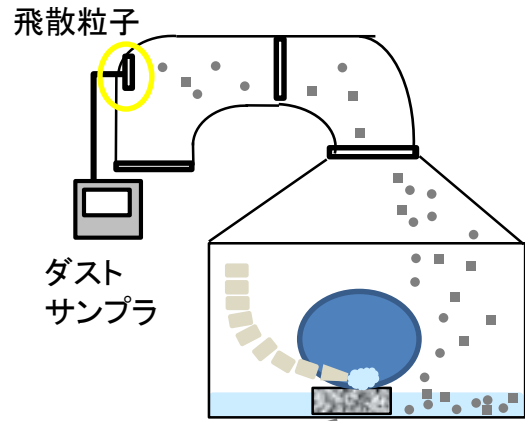
***XRF: 蛍光X線分析装置

6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

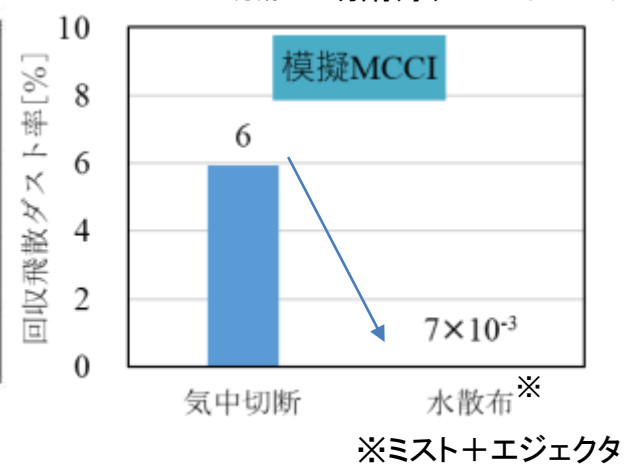
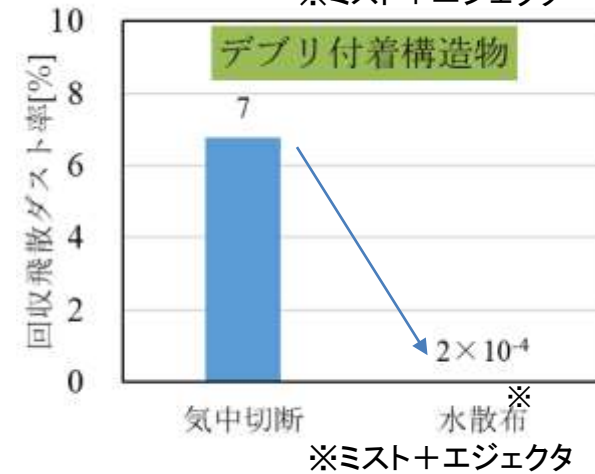
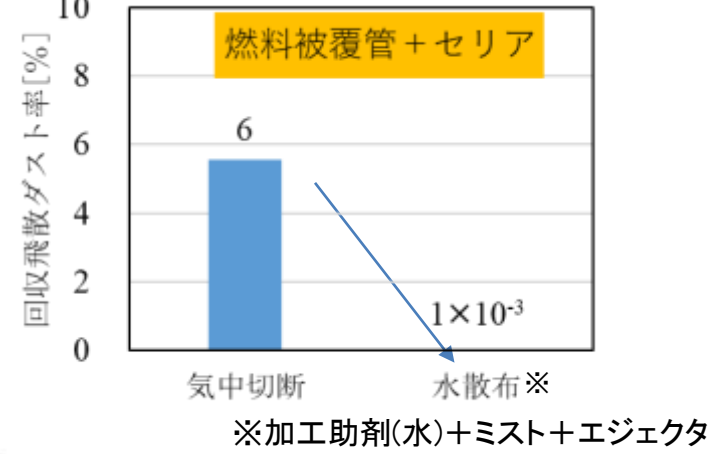
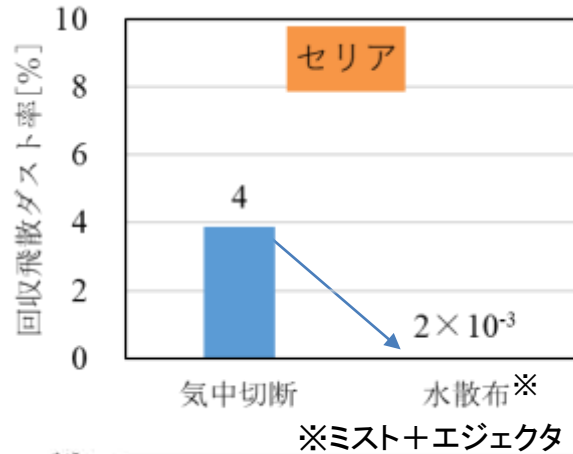
【試験結果】 水を用いた飛散抑制効果の確認

試験片による回収飛散ダスト率・飛散抑制効果への影響



$$\text{回収飛散ダスト率}[\%] = \frac{\text{飛散重量}}{\text{切削重量}} \times 100$$

切削重量: 試験前後の試験片重量差分+カッター破損重量
 飛散重量: 試験前後のダストサンプラ捕集重量差分



- ・気中切断では回収飛散ダスト率4~7%
- ・水散布(ミスト、加工助剤(水)、エジェクタ)によってダスト飛散抑制効果を確認(飛散抑制率86~99%)
- ・試験片による回収飛散ダスト率・飛散抑制効果の顕著な違いは確認されなかった

6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験結果】

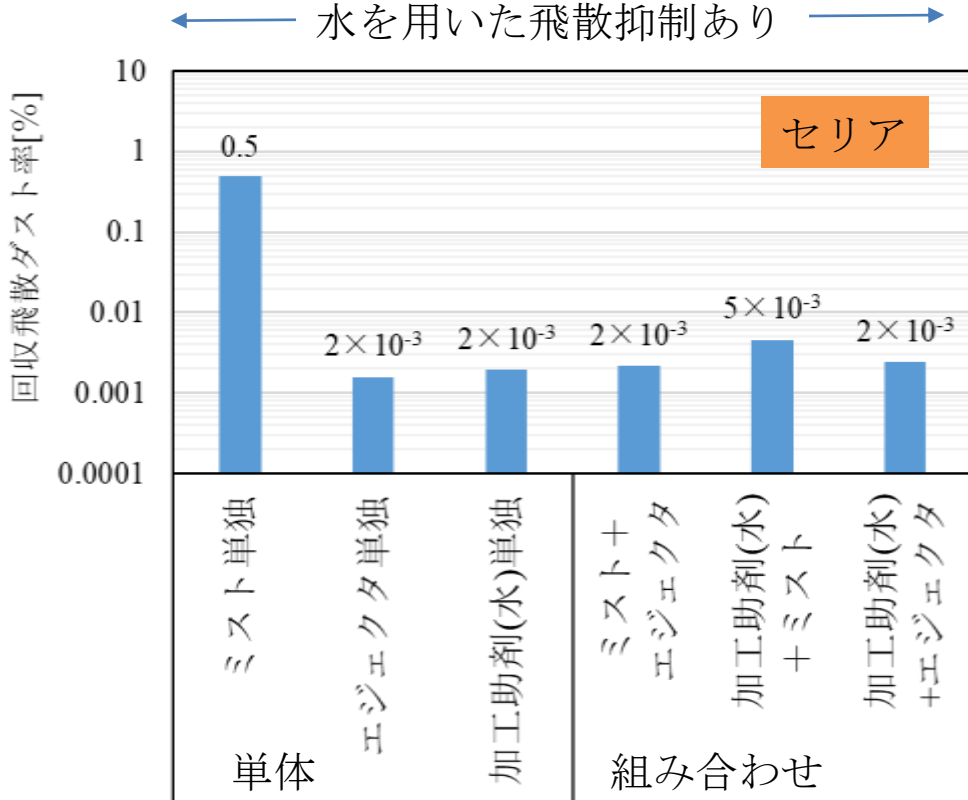
水を用いた飛散抑制効果の比較

水を用いた飛散抑制方法による飛散抑制効果への影響

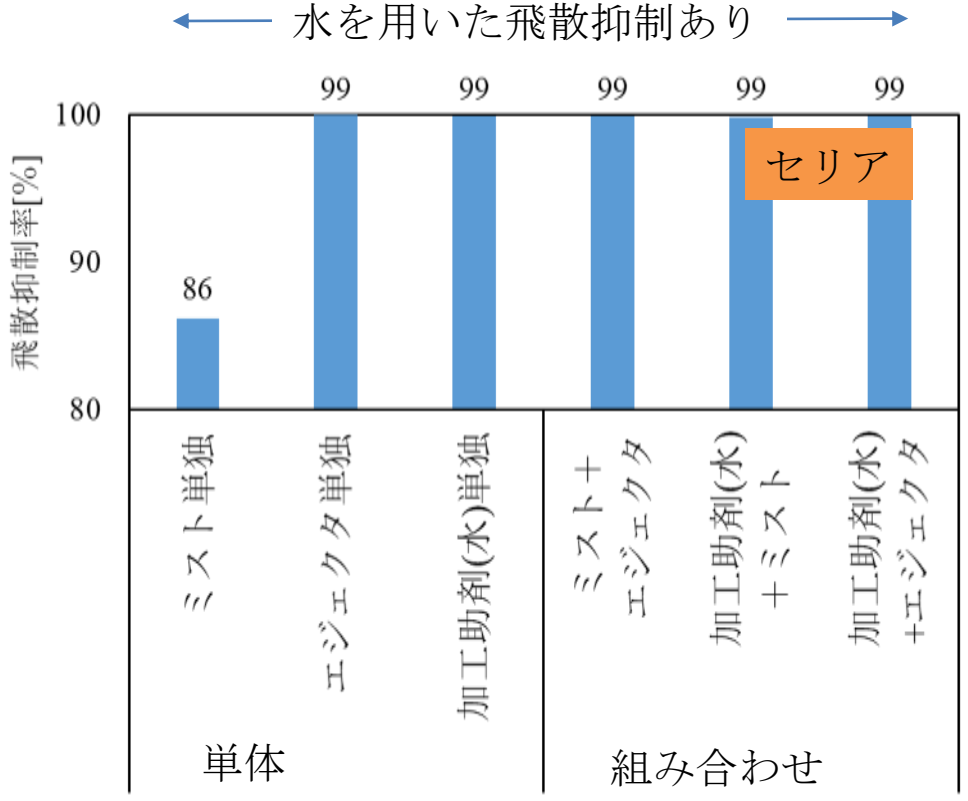
$$\text{飛散抑制率}[\%] = \frac{A-B[\text{mg}]}{A[\text{mg}]} \times 100$$

A: 気中切断の飛散重量、B: 水を用いた飛散抑制*後の飛散重量
 飛散抑制*: ミストやエジェクタ、加工助剤(水)散布など

回収飛散ダスト率



飛散抑制率



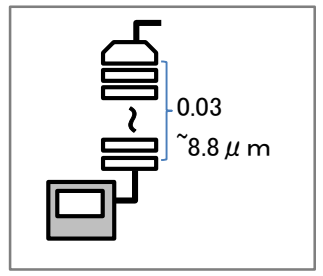
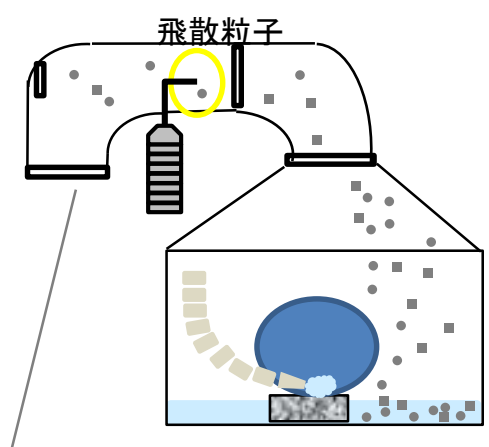
- ・水散布方法の回収飛散ダスト率を比較
- ・ミスト単体で、気中切断(4%)の約1/10
- ・その他で気中切断(4%)の約1/1000

- ・水散布方法の飛散抑制率を比較
- ・飛散抑制率はミスト単体で86%
- ・その他は99%以上

6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

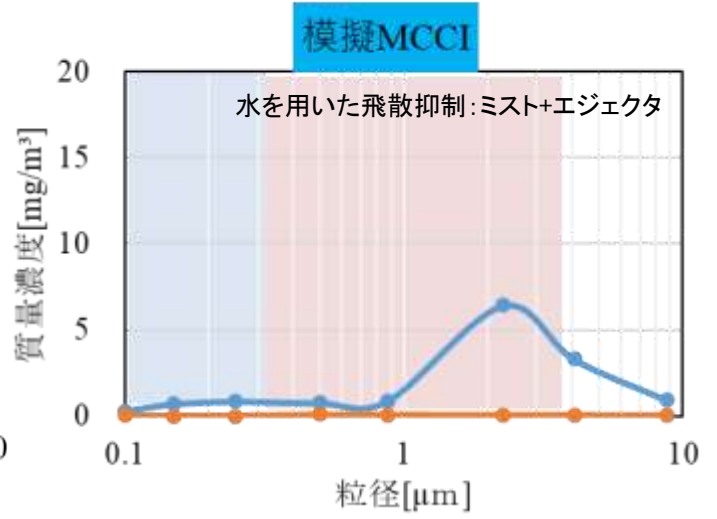
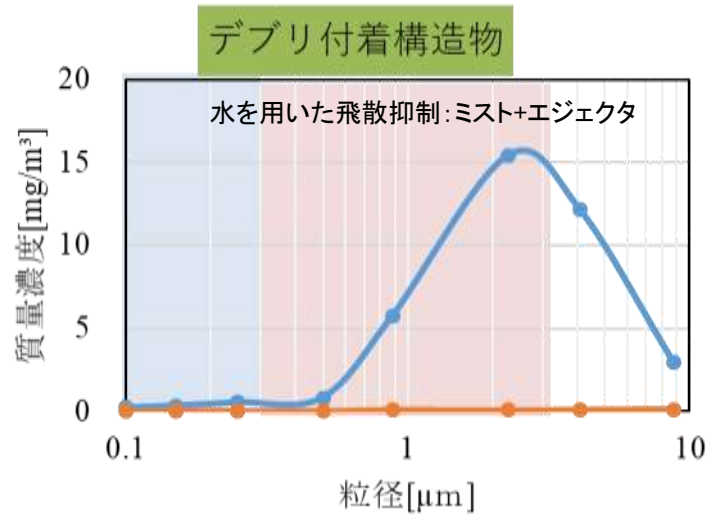
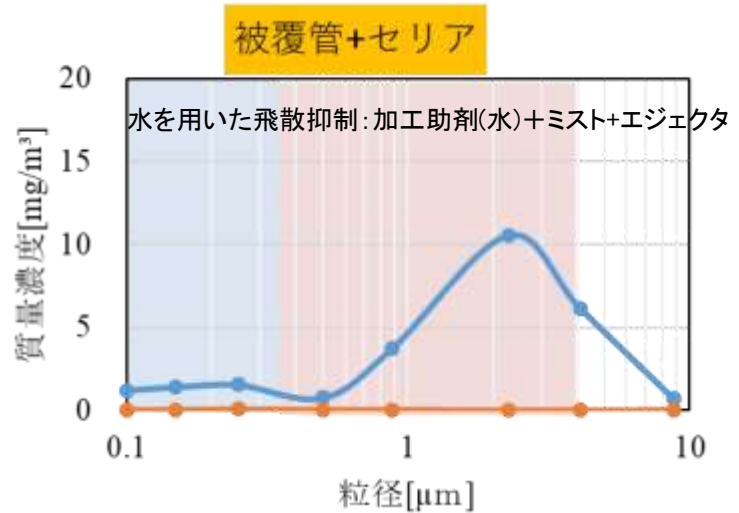
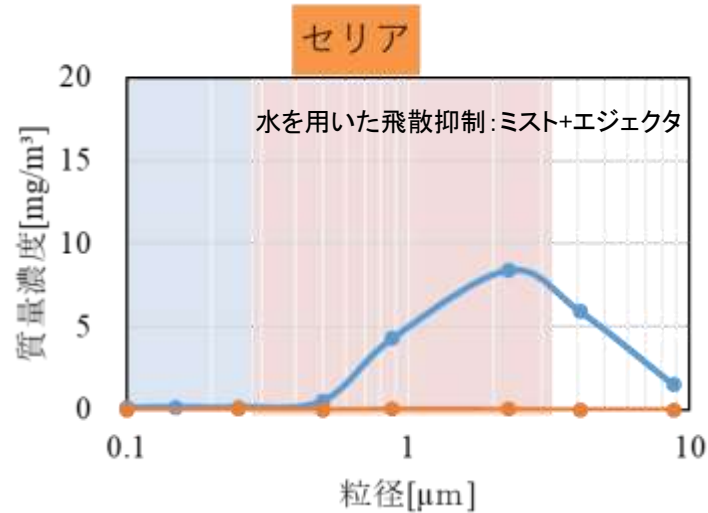
【試験結果】 水を用いた飛散抑制による飛散ダスト粒径分布への影響



0.1~0.3μm
HEPA捕集困難範囲

0.3~3μm
HEPA捕集対象範囲

— 気中切断
— 水を用いた飛散抑制

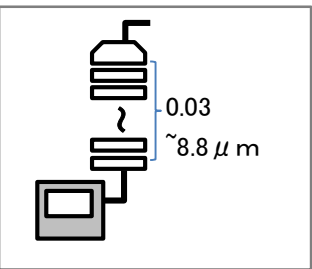
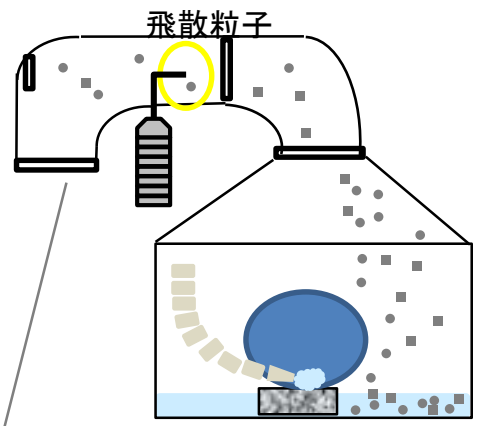


- ・気中切断では、いずれも粒径分布のピークは2~3μm
- ・飛散抑制システムによってダストの飛散抑制効果があることを確認。

6. 本研究の実施内容

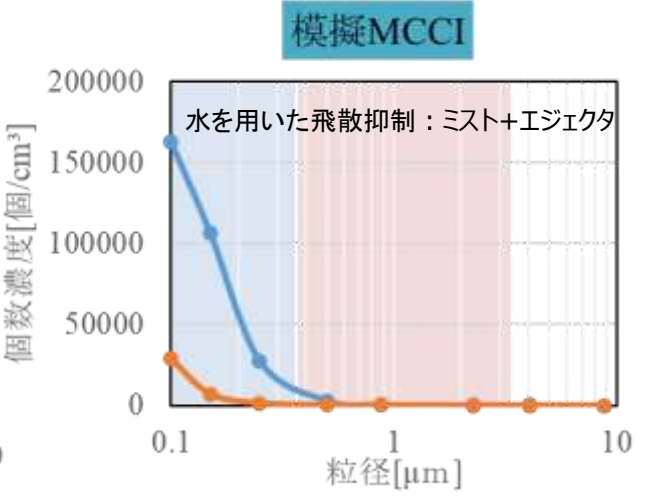
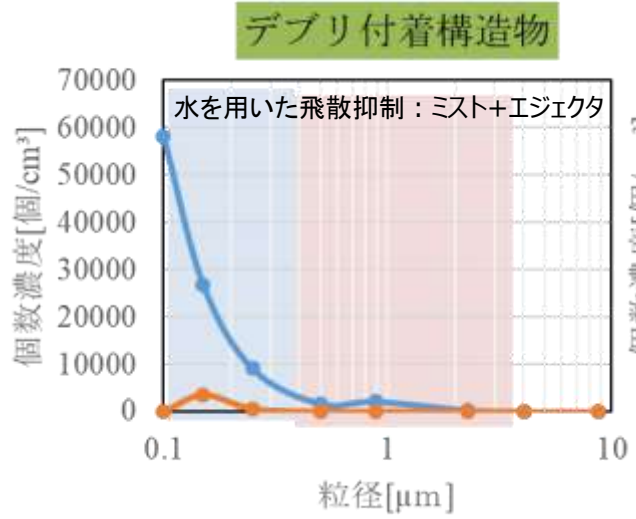
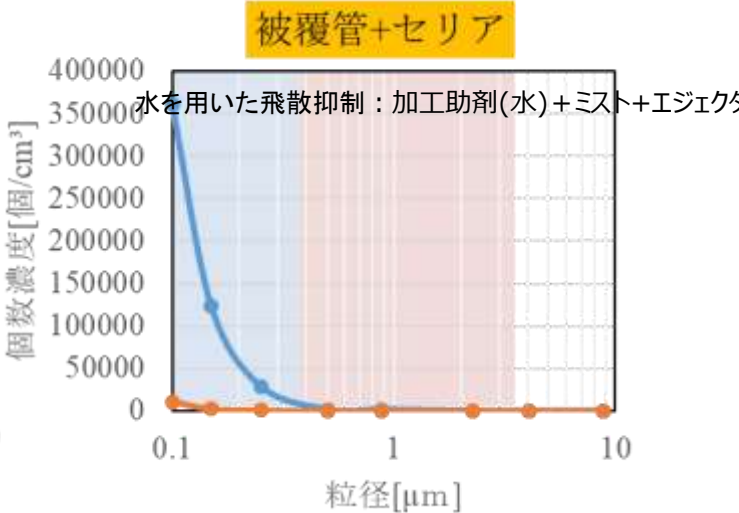
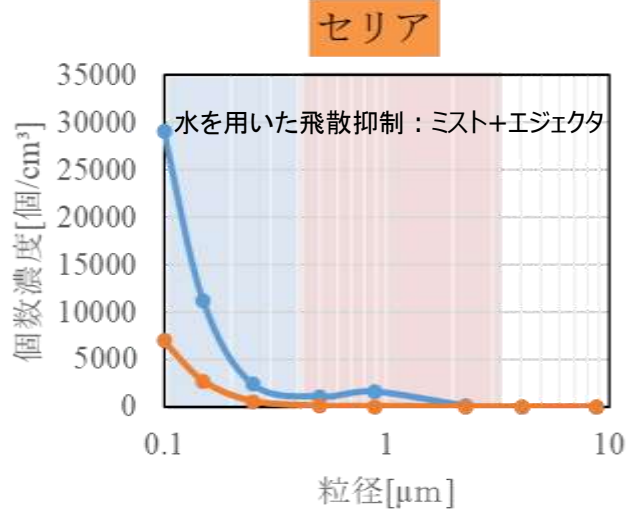
6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験結果】水を用いた飛散抑制による飛散ダスト粒径分布への影響



0.1~0.3 μ m
HEPA捕集困難範囲

0.3~3 μ m
HEPA捕集対象範囲



HEPAフィルタで捕集しにくいとされる粒径0.1~0.3 μ mのダストの飛散抑制効果を確認

6. 本研究の実施内容

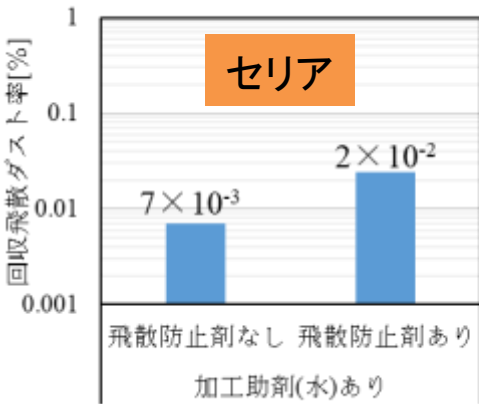
6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験結果】飛散防止剤、水中切断による飛散抑制効果への影響確認

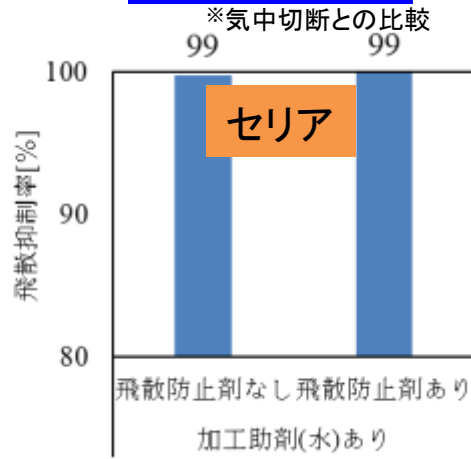
○飛散防止剤による飛散抑制効果への影響



回収飛散ダスト率

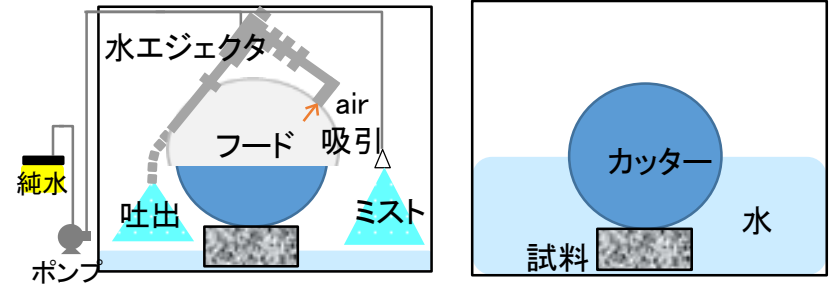


飛散抑制率*

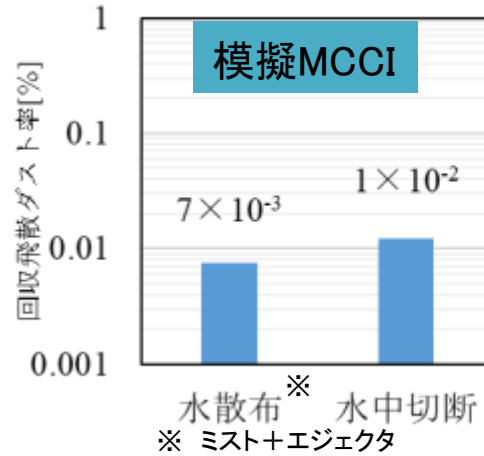


・水を用いた試験での
飛散抑制効果への影響は確認できなかった
水による除塵効果が大きいためと考えられる

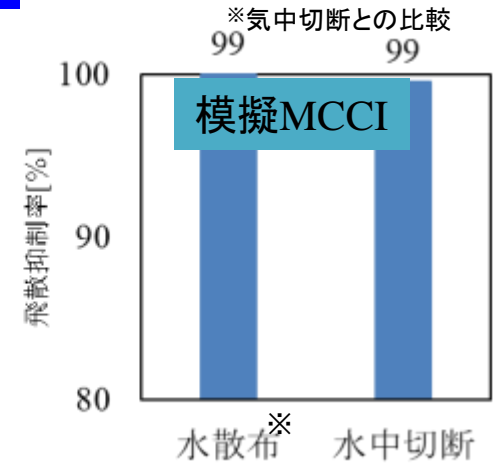
○水中切断による飛散抑制効果への影響



回収飛散ダスト率



飛散抑制率*



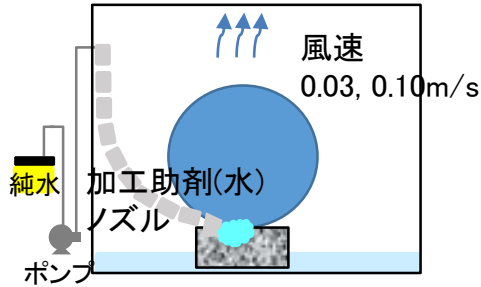
・水中切断と水散布の抑制効果の違いは確認できなかった
・水中切断での飛散抑制効果 > 99 % 確認

6. 本研究の実施内容

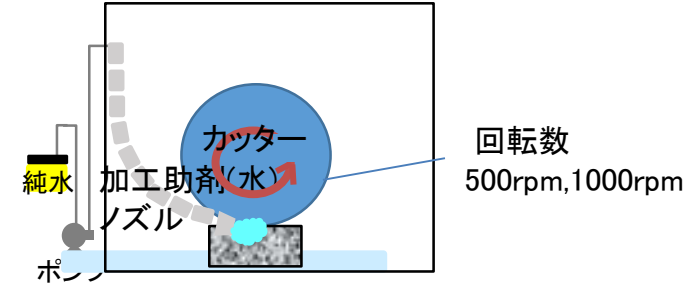
6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験結果】風速、カッター回転数による飛散抑制効果への影響確認

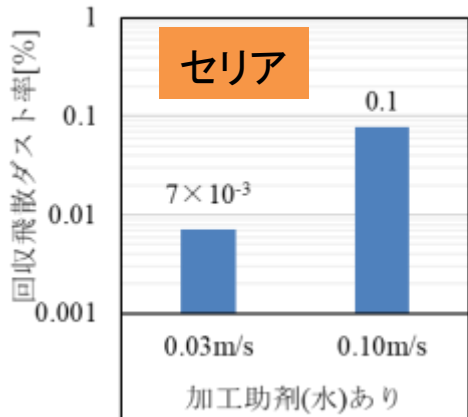
○風速による飛散抑制効果への影響



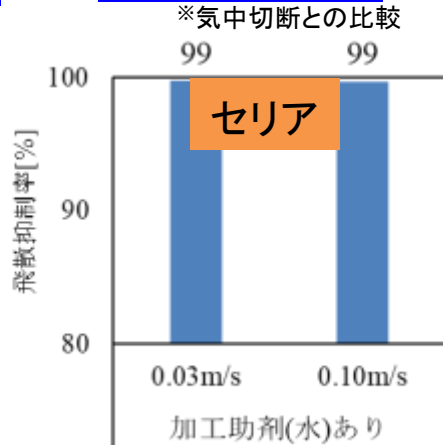
○カッター回転数による飛散抑制効果への影響



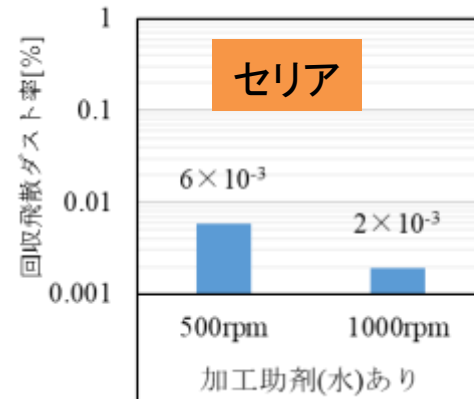
回収飛散ダスト率



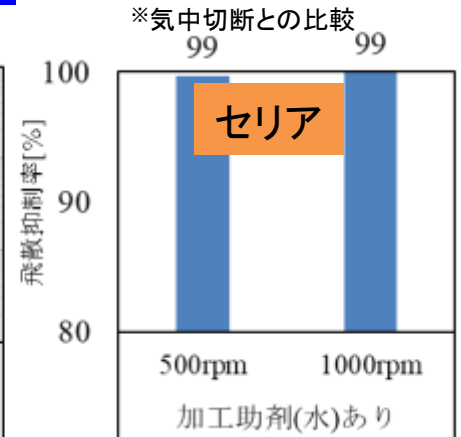
飛散抑制率※



回収飛散ダスト率



飛散抑制率※



- ・風速依存を確認、風速が速いと回収飛散ダスト率は増加傾向
- ・水を用いた試験での飛散抑制効果への影響は確認できなかった

- ・水を用いた試験での飛散抑制効果への影響は確認できなかった

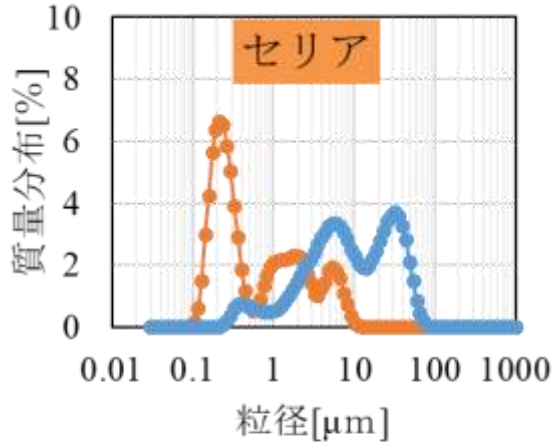
6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験結果】

水による飛散抑制の排水中ダストへの影響

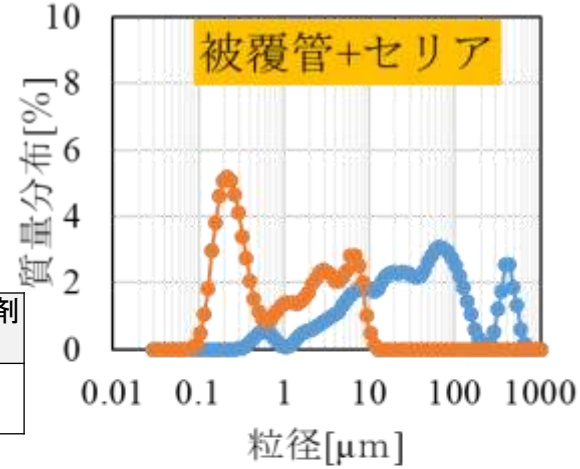
— 気中切断
— 水を用いた飛散抑制



	気中切断	水散布※
平均粒径 [μm]	8	1

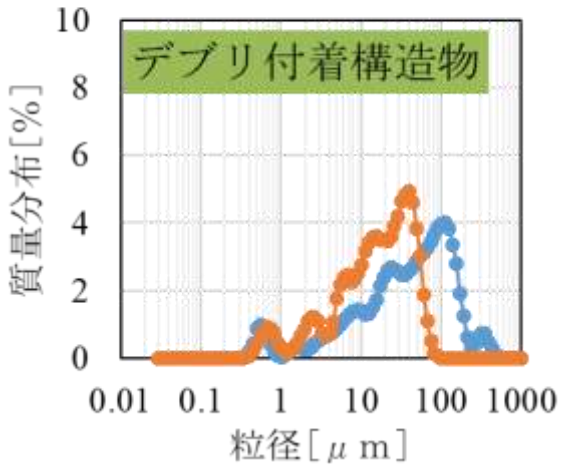
※水散布: ミスト+エジェクタ

	ミスト	エジェクタ	加工助剤(水)
平均粒径 [μm]	1	0.4	0.7



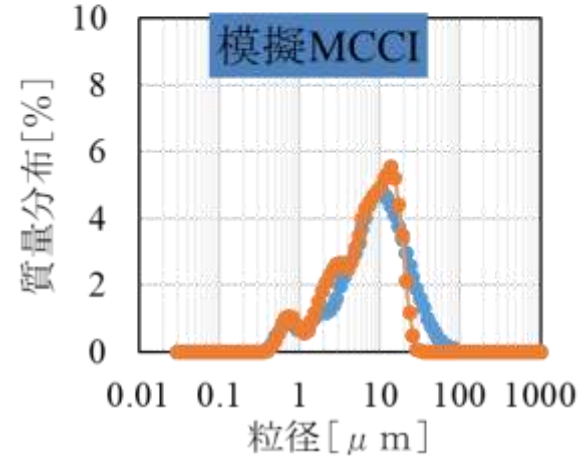
	気中切断	水散布※
平均粒径 [μm]	32	0.5

※水散布: 加工助剤(水)+ミスト+エジェクタ



	気中切断	水散布※
平均粒径 [μm]	42	16

※水散布: ミスト+エジェクタ



	気中切断	水散布※
平均粒径 [μm]	8	7

※水散布: ミスト+エジェクタ

排水中のダスト粒径分布は、気中切断時より飛散抑制システム使用時の方が小さい傾向。

6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験結果】視認性確認試験

【あるべき姿】

燃料デブリ加工時における目視確認方法

(平面方向の目視確認方法)

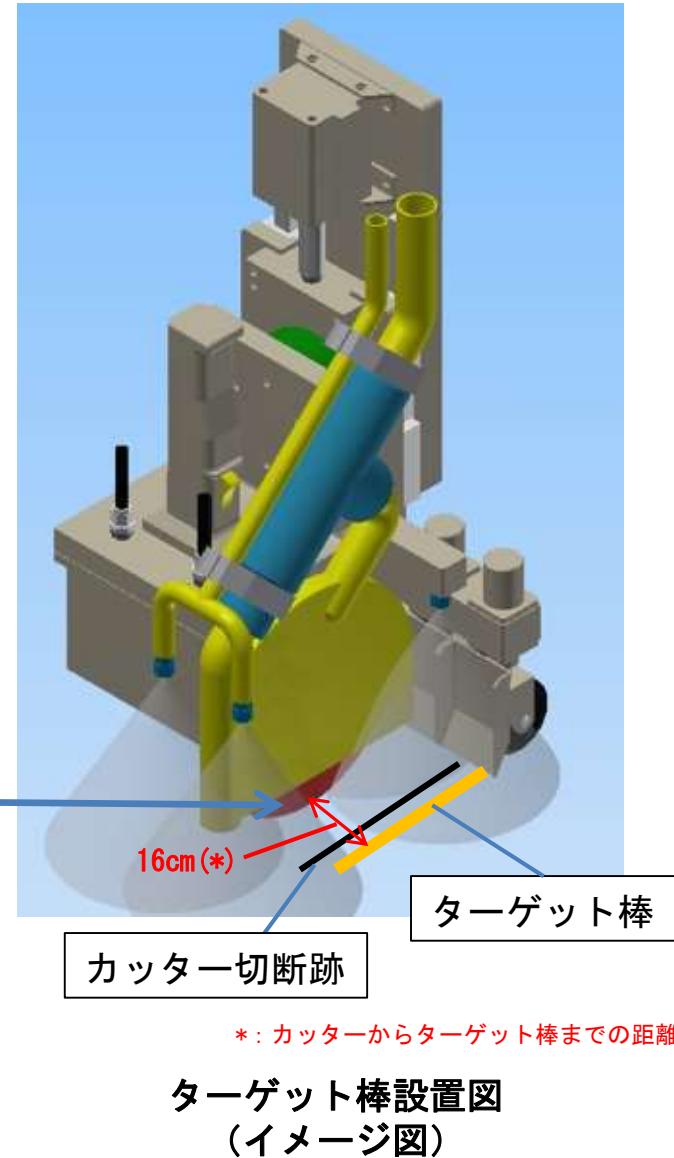
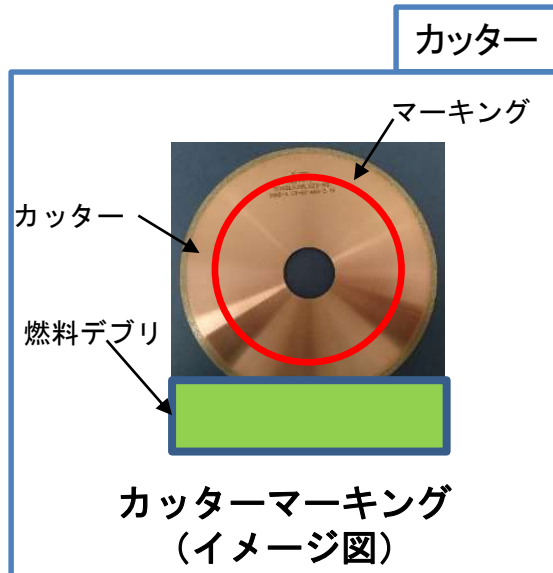
カッターと並行にターゲット棒設置し、ターゲット棒が既にカッターにて切断した切断跡よりも外側にあることを確認し切断する。

※ターゲット棒が切断跡より外側にあれば16cm以下に燃料デブリを切り出していることになる。

(深さ方向の目視確認方法)

カッターに同心円にマーキングを行い、切断中にマーキングを目視できると、所定の深さまでしか切れ込んでいないことを確認する。

次葉に本試験における視認性確認方法を示す。



*: カッターからターゲット棒までの距離

6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験結果】視認性確認試験

試験片切断時と並行して下記3点の視認性確認を行う。

①カッター切断幅の視認

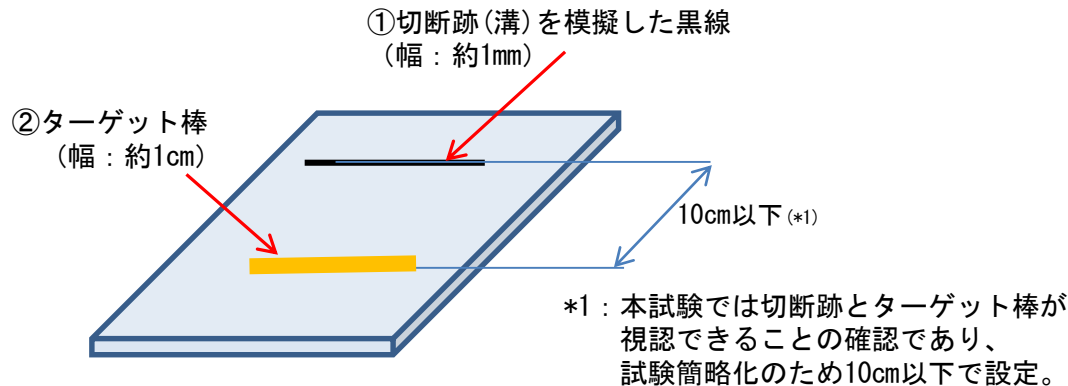
カッターで切断した切断跡を模擬した黒線を目視できることを確認する。

②ターゲット棒先端の視認

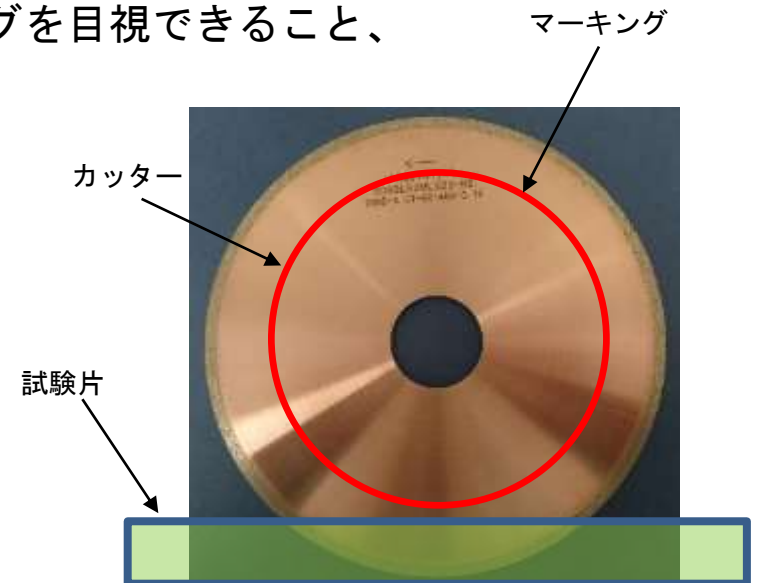
ターゲット棒を目視できることを確認する。

③切り込み深さの確認用 同心円マークの視認

カッターに同心円方向にマーキングを行い、マーキングを目視できること、所定の深さまでしか切れ込んでいないことを確認する。



- ①カッター切断幅の視認、
②ターゲット棒先端の視認試験
(イメージ図)



- ③切込み深さ確認
同心円マークの視認試験 (イメージ図)
※本図はカッター刃と試験片を切断方向から見て真横から見ている絵です。

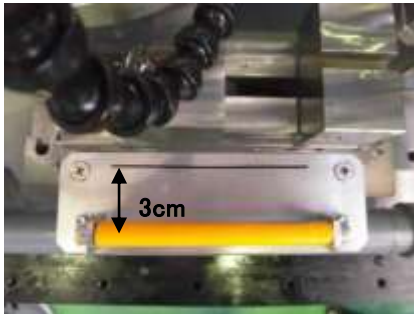
6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

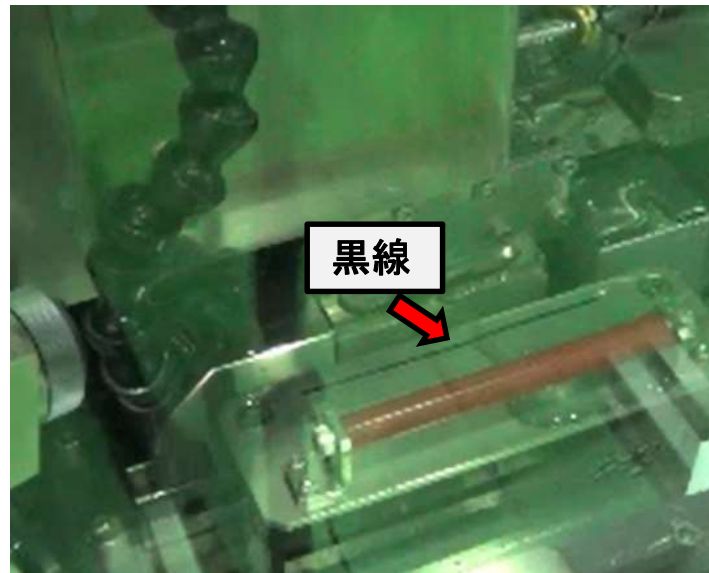
【試験結果】視認性確認試験

視認性確認試験のカメラ映像を示す。カッター切断幅確認のための黒線、ターゲット棒先端および切込み深さ確認のための同心円を確認することができた。

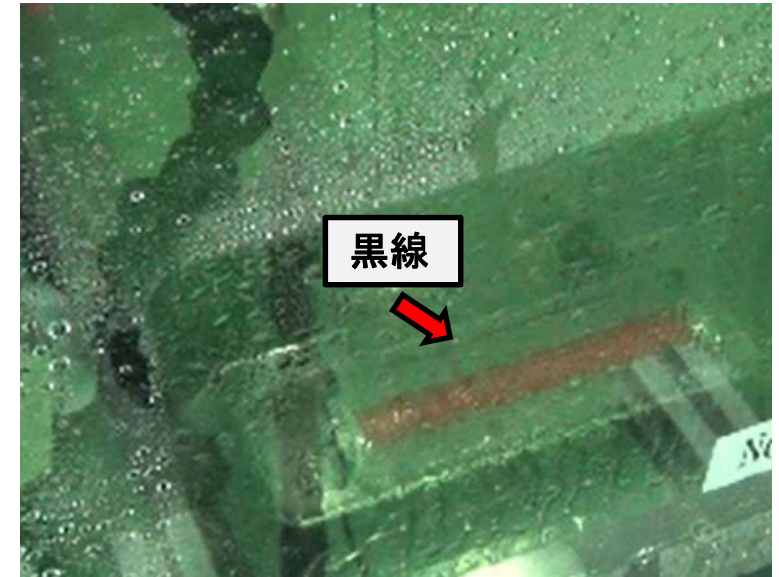
4.9.1 カッター切断幅確認(黒線、ターゲット棒)



黒線とターゲット棒の距離



切削前



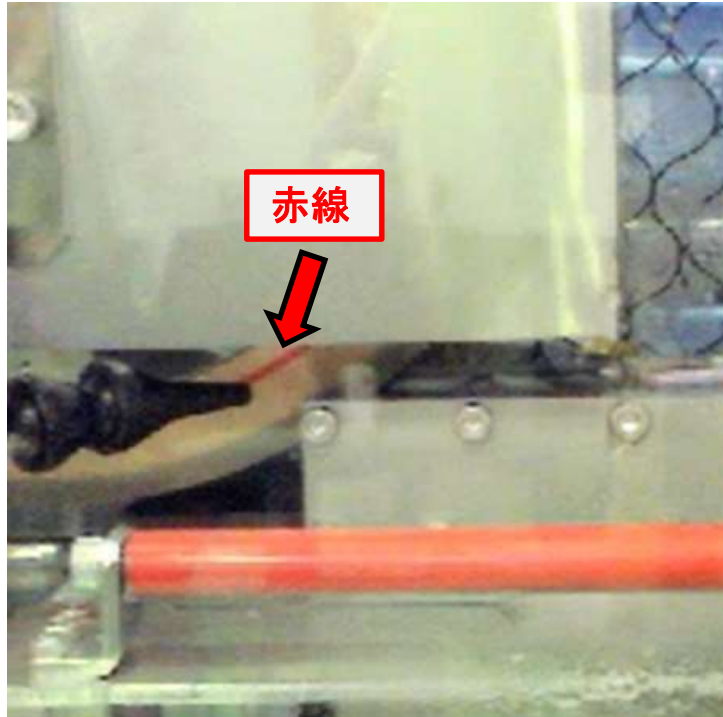
切削中

6. 本研究の実施内容

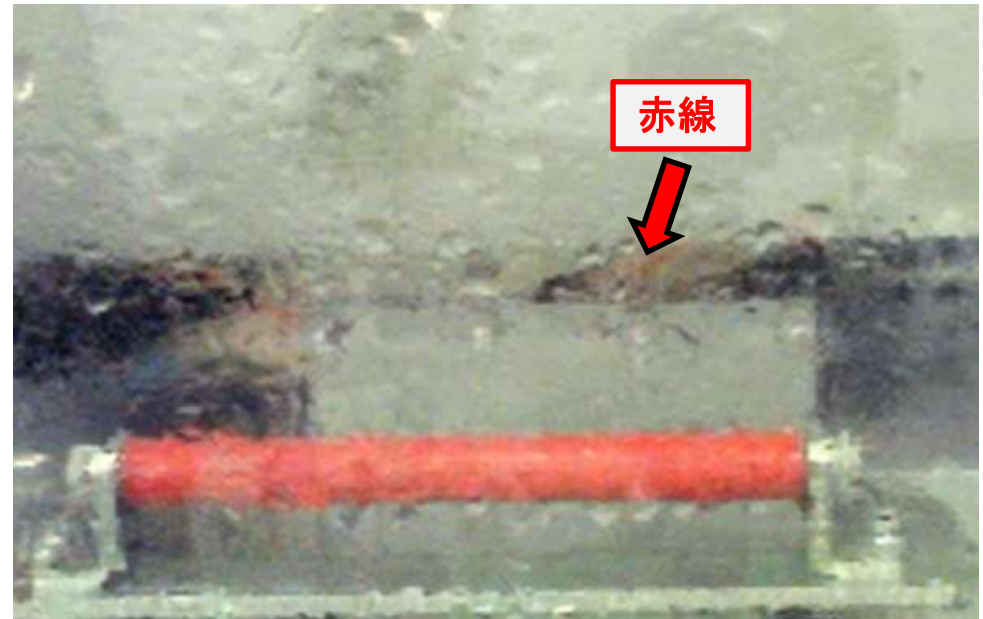
6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験結果】視認性確認試験

4.9.2 切込み深さ確認(同心円)



切削前



切削中

6. 本研究の実施内容

6.3 ダスト集塵・飛散抑制評価試験

【試験結果 まとめ】

- 各試験体の回収飛散ダスト率は、飛散抑制を行わない場合、4～7%であった。
- 飛散粒子の粒径分布は、質量濃度では2-3 μm 辺りにピークがあり、個数濃度では0.3 μm 以下が多く、各試験体で同様の傾向であった。
- ミストを使用した場合、回収飛散ダスト率が1/10程度に低減した。
- 水エジェクタあるいは加工助剤(水)を使用した場合、回収飛散ダスト率が1/1000程度に低減した。
- 水エジェクタ単体、加工助剤(水)単体、水エジェクタ+加工助剤(水)+ミストの3ケースでは、回収飛散ダスト率抑制効果に顕著な差はなかった。
- 飛散抑制を行った場合、HEPAフィルタで捕集しにくいとされる粒径0.1～0.3 μm のダストの飛散抑制効果が確認できた。
- 中性子吸収剤を用いた試験では、飛散抑制への影響は確認できなかった。

7. まとめ

ダスト集塵・飛散抑制システムの実機適用性評価や基本設計、遠隔保守の概念設計及びダスト評価試験装置の設計・製作とダスト評価試験による集塵システム性能の確認は終了し、本PJの目標は達成した。

(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、同システムや加工ヘッドの実機適用性評価や基本設計を行い、ミストや水エジェクタを実装した、加工ヘッドを設計、製作した。

(2)ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発

ダスト集塵・飛散抑制システム遠隔保守方法の概念設計として、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を明確にし、ステップ図を作成した。

(3)ダスト集塵・飛散抑制評価試験

選定された加工工法(ディスクソー)に対するダスト評価の試験要領や試験マトリックス及び試験体系を検討し、ダスト飛散試験を実施した。

今後、本PJで得られたデータについては、以下の技術開発分野にて活用されることが期待される。

- 燃料デブリ取り出し技術分野での加工ツール設計
- 環境制御分野での設備設計と運用・保守計画
- 水処理技術分野での設備設計と運用・保守計画

8. 実施目的を達成するための具体的目標

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

8. 実施目的を達成するための具体的目標

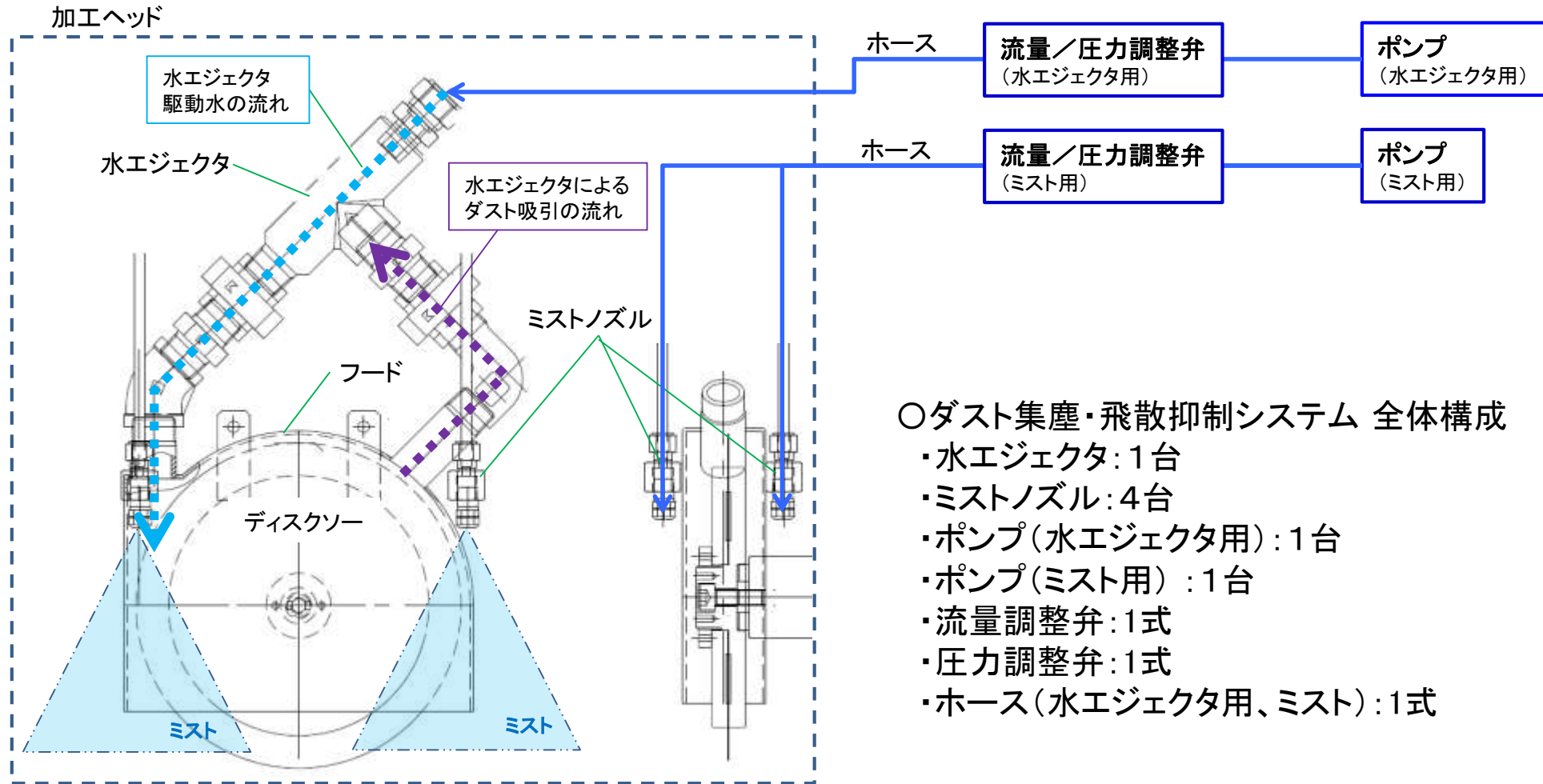
1)ダスト集塵・飛散抑制システムの開発	
①ダスト集塵・飛散抑制システムと加工ヘッドの概念設計と実機適用性評価	従来のダスト集塵技術の調査を行った上で、「燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術の開発」で選定された加工工法に対するダスト集塵技術の得失評価を行う。ダスト集塵技術の横アクセス工法・上アクセス工法に対する実機適用性の評価結果が示されていること。 (終了時目標TRL:レベル3)
②ダスト集塵・飛散抑制システムと加工ヘッドの基本仕様策定、系統設計	「燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けた技術の開発」で選定された加工工法に対するダスト集塵・飛散抑制システムと加工ヘッドの基本仕様の一覧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

8. 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	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)

添付資料

ダスト集塵・飛散抑制システム(ミスト、水エジェクタ) 全体構成



(参考) ツールチェンジャについて

ダスト集塵・飛散抑制システムの遠隔保守技術開発でロボットアームと加工ヘッドを接続する機構として記載した、ツールチェンジャについて下記に概要を示す。

(注記) 本内容はツールチェンジャの一般的な情報を示したものであり、実際の燃料デブリ取り出しでの使用を示したものではない。

(構造)

固定方式：ボールロック方式

(空圧によりツールチェンジャ①内のボールが動作し、ツールチェンジャ②と固定する)

(特徴)

- ・ 遠隔によるツールの着脱が可能。
- ・ ユーティリティ（液体、空気、電路）の接続が可能。
- ・ 一般的に使われている技術であり、信頼性が高い。

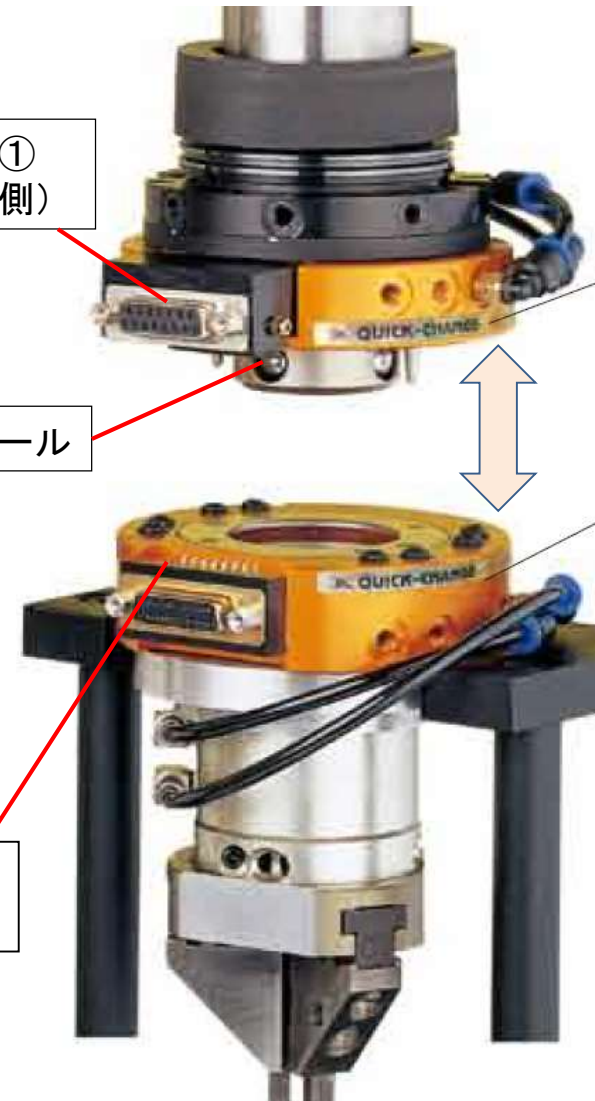
(主な用途)

- ・ ロボットアームによる加工作業や組立作業

ツールチェンジャ①
(ロボットアーム側)

ボール

ツールチェンジャ②
(加工ヘッド側)



(出典) ビー・エル・オートテック(株) カタログ (商品名：クイックチェンジ)

UO₂模擬材料の選定について(材質の比較)

材料	比重 (g/cm ³)	融点 (°C)	ビッカース 硬度 (GPa)	熱伝導率 (W/m・K)	他事業の使用実績	特記事項
UO ₂	10.96 [1]	2878 [1]	6 [2]	10 [2]	燃料デブリ性状把握PJにおいて、海外大型模擬燃料デブリ試験、国内小型模擬燃料デブリ試験の原材料として使用実績あり	破損燃料のUO ₂ ペレットおよび燃料デブリとして、本事業でUO ₂ 焼成体を使用。
セリア (CeO ₂)	7.22 [6]	2600 [1]	4~5 [5]	17 [4]	燃料デブリ取り出しPJにおいて、大型MCCI試験体製作のUO ₂ 模擬材として使用実績あり	比重が比較的大きく、硬さがUO ₂ とほぼ同等のセリアを、UO ₂ 模擬材として本事業で使用。
Al ₂ O ₃ (アルミナ)	3.6~3.9 [3]	2050 [1]	12~17 [3]	12~32 [3]	燃料デブリ取り出しPJにおいて、燃料デブリの模擬材として加工実験に使用実績あり。	比重が小さいため、本事業におけるダスト集塵・飛散抑制評価試験には使用しない。
ZrO ₂ (ジルコニア)	3.6~3.9 [3]	2720 [1]	11~13 [3]	3 [3]	燃料デブリ取り出しPJにおいて、燃料デブリの模擬材として加工実験に使用実績あり。	比重が小さいため、本事業におけるダスト集塵・飛散抑制評価試験には使用しない。
(U,Zr)O ₂ 燃料デブリ	6~11 [2]	2500 ~2700 [2]	6~14 [2]	1~10 [2]	燃料デブリ性状把握PJにおいて、TMI-2から採取された燃料デブリを物性評価した実績あり。	物性値は、燃料デブリ特性リスト ^[2] より引用

<出典> [1] 岩波 理化学辞典 第4版 岩波書店 1987年

[2] IRID 平成26年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費補助金

[3] 京セラ ファインセラミックス材料特性表 2020年4月

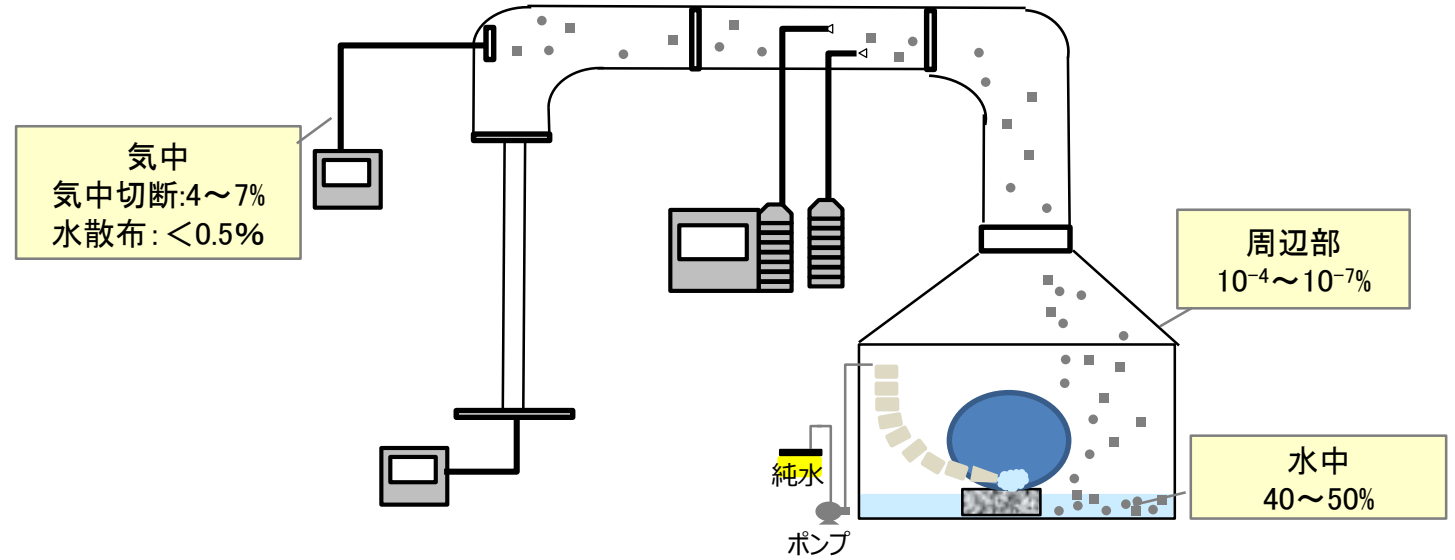
[4] 岩佐他、日本原子力学会2018年秋の大会、1D05

[6] S. J. Duclos, et. al., Phys. Rev. B 38, 7755 (1988).

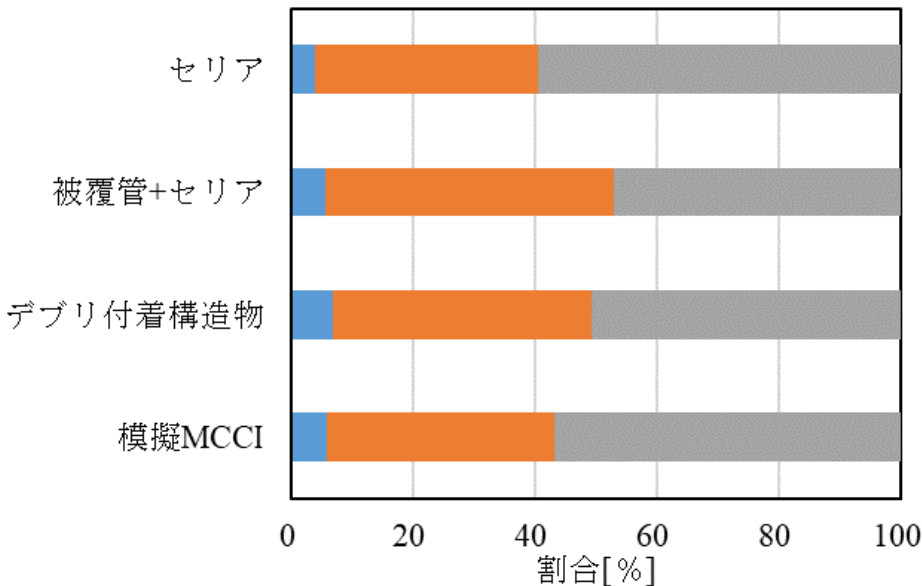
「燃料デブリの性状把握」研究報告書(中間報告)平成28年3月
(<https://www.kyocera.co.jp/prdct/fc/index.html>)

[5] IRID組合員提供データ

マスバランス評価(1/2)

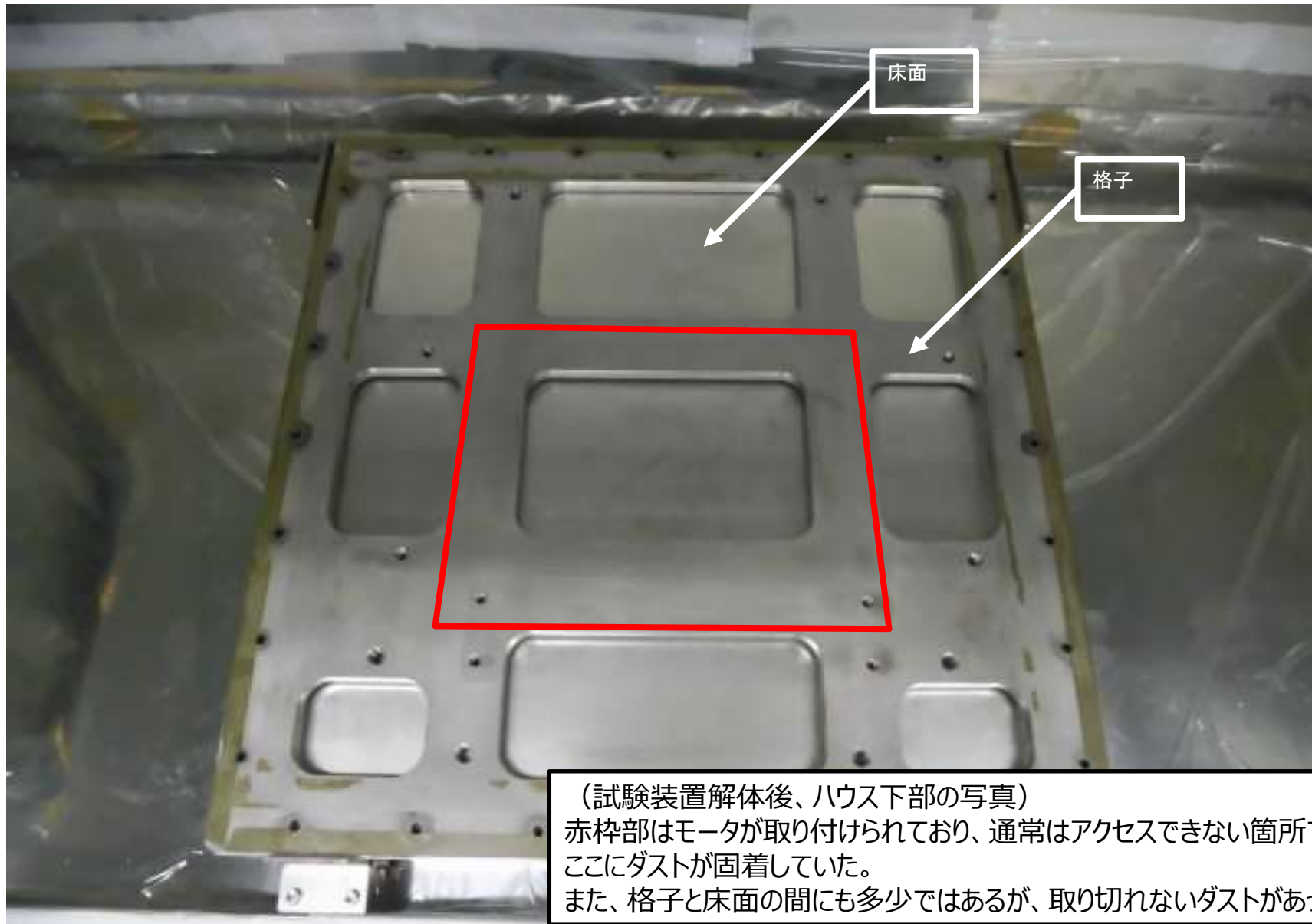


■ 気中 ■ 水中 ■ 周辺 ■ 不明



落下／排水中のダストについては、
 不明(回収不可のダスト)が多く、回収率が低いことを確認。
 ⇒原因として、試験装置の底部(次頁参照)にダストが
 残ったためと考えられる。

マスバランス評価(2/2)



(試験装置解体後、ハウス下部の写真)
赤枠部はモータが取り付けられており、通常はアクセスできない箇所であるが、ここにダストが固着していた。
また、格子と床面の間にも多少ではあるが、取り切れないダストがあった。