

平成 28 年度厚生労働科学研究費補助金

労働安全衛生総合研究事業

粉じん作業における除じん装置の有効性の検討

平成 28 年度 総括研究報告書

平成 29 年 5 月

研究代表者

産業医科大学 産業生態科学研究所

労働衛生工学

明星敏彦

本報告書は、厚生労働省の労働安全衛生総合研究事業による委託業務として、産業医科大学（主任研究者 明星敏彦）が実施した平成28年度「粉じん作業における除じん装置の有効性の検討」の成果をとりまとめたものです。

目次

- 1 . 研究の概要と目的
 - 1 . 概要
 - 2 . 目的
- 2 . 研究方法
 - 1 除じん装置に関する情報収集
 - 2 測定装置の検討
 - 3 作業環境で使用されている除じん装置の性能測定
- 3 . 本年度の調査研究のまとめ
- 4 . 研究発表

1-1 研究の概要

粉じんの作業環境管理においてはプッシュプル換気を含む局所排気装置が前提であるが、近年除じん装置の性能は著しく向上している。特にろ過除じん方式は従来、堆積した粉じんによる捕集を前提としていたが、ろ布の性能向上に伴い粉じん払い落とし直後でも捕集性能が維持されるといわれている。

本研究では、粉じん障害予防規則にある移動式の局所排気装置又は別表第2第7項に掲げる特定粉じん発生源に設ける局所排気装置であって、ろ過除じん方式による除じん装置に着目して、この除じん装置の粉じん作業時の性能を評価し、現状の問題点を把握する。さらに除じん装置のろ材などの性能を実験室で検証する。

ろ過除じん方式の除じん装置の性能を確認することにより、有効な発散源対策の一つとして大型の局所排気装置と除じん装置を結合したシステムではなく、小型で可搬の除じん装置の利用が考えられる。これは粒子状物質が発生する特定化学物質障害予防規則などの対象となる作業環境においても同様に有効な発散源対策であると考えられ、波及効果が期待できる。

平成28年度研究計画

窯業や溶接の作業場において実際に使用されている小型のろ過除じん方式の除じん装置について、吸引前後の粉じん濃度、作業環境の状況、作業者の曝露状況を測定して、粉じんの現状を把握する。（別添図のI参照）粉じん濃度は光散乱型粉じん計を複数使用し、データを連続測定することで、測定点の相互関係を把握する。またハイポリウムエアサンプラを用いて現場の粉じんの質量濃度換算係数を求めて、より確実な質量濃度とする。ハイポリウムエアサンプラや粉じん計については新規に開発した装置も導入することで多角的な測定を行う。また環境中の粉じん粒子の成分についても分析する。また実験室において、申請者が保有している試験用粉じん発生装置や粒子径別の濃度測定装置の調整を行う。ろ過式除じん方式の除じん装置に用いる各種のろ材を収集する。

本報告書は平成28年度の研究結果である。以下は次年度以降の予定を示している。

平成29年度研究計画

- 1) 前年と同様に粉じん作業の現場での除じん装置の性能測定を行うとともに、購入した除じん装置に実験室において試験粉じんを供給し、入口・出口の粉じんの粒子径分布についても測定を試みる。（別添図I）
- 2) ろ過除じん方式除じん装置の仕様など情報収集を行い、ISO規格（TC142WG5）の進行状況の調査を行う。また除じん装置のメーカーや大学にも調査見学を行う。
- 3) 実験室において、除じん装置に用いる各種のろ材（ろ布）の小片について、除じん性能評価のため粉じん粒子径別の分離効率を求める準備をする。測定装置は、粒子径別の濃度を測定可能な走査型電気移動度測定装置（SMPS）や電気式減圧インパクトなどを用いる。捕集性

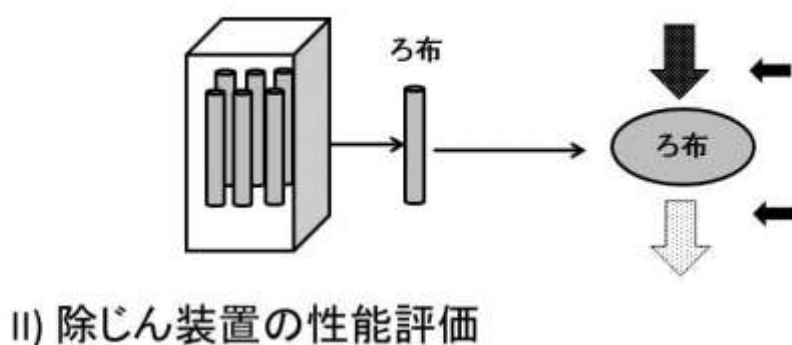
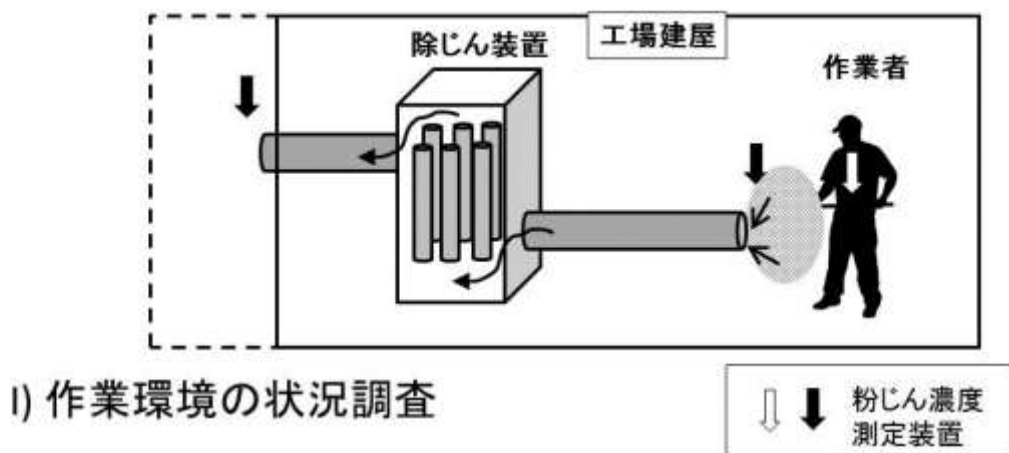
能測定装置によりろ材の粒子径別捕集効率を測定する。（別添図II）

4) ろ布が除じん装置に組み込まれた場合の注意点や点検項目を検討する。

平成30年度研究計画

1) 除じん装置に用いる各種のろ材（ろ布）の小片について、除じん性能評価のため粉じん粒子径別の分離効率を求める。測定装置は、粒子径別の濃度を測定可能な走査型電気移動度測定装置（SMPS）や電気式減圧インパクトなどを用いる。（別添図のII）そのほか前年度において不足のデータを集める。

2) 結果の解析と論文の作成を行う。



研究の流れ図

I) ろ過除じん方式除じん装置の有効性を装置全体として調査する。作業場で使用されている装置を直接性能測定する、及び小型の除塵装置を購入して大学に置いて試験粉じんを導入して性能を測定する。

II) ろ過除じん方式除じん装置のろ材（ろ布）について粒子径別の捕集性能を評価する。

1-2 研究の目的、必要性及び特色・独創的な点

現在、粉じん障害の新規有所見率は1%を切るまでになっており、じん肺対策の三管理の努力が実ってきているが今後も弛まず続ける必要がある。粉じんの作業環境管理においてはプッシュプル換気を含む局所排気装置が前提であるが、近年除じん装置の性能は著しく向上している。特にろ過除じん方式は従来、堆積した粉じんによる捕集を前提としていたが、堆積粉じんの払落しを頻回に行うパルスジェット方式の普及に伴うろ布の性能も向上し、粉じん払い落とし直後でも捕集性能が維持されるといわれている。(ナノ粒子安全性ハンドブック, 2012)

有機溶剤中毒予防規則などでは有効な発散源対策があり、かつ作業環境測定結果が第一管理区分であれば局所排気装置がないことも承認されている。しかし、粉じん障害防止規則については有害物の除害装置の原理が異なることから別途その有効性を検討する必要がある。

本研究では、粉じん障害予防規則 11 条第 4 項の「移動式の局所排気装置又は別表第 2 第 7 項に掲げる特定粉じん発生源に設ける局所排気装置であつて、ろ過除じん方式又は電気除じん方式による除じん装置を付設したものにあっては、」排出口は、屋外に設けられなくてもよいことに着目して、この除じん装置の作業現場での性能を評価し、作業環境の現状を把握する。

さらにろ過除じん方式除じん装置のろ材の捕集性能を実験室で検証する。ろ材の粒子捕集効率については既に防じんマスクろ過材を中心に不織布の捕集性能を測定して粒子のサイズ別の効率(通過率)を報告している(明星他, JUOEH, 2011)。この手法を除じん装置のろ材に応用することで初期捕集性能を推定する。またこのろ材が組みこまれた除じん装置の実際の性能を測定して有効性について検討する。本研究ではこれらの除じん装置の有効性についてのエビデンスを得ることを目的とする。

平成 28 年度は、除じん装置の情報収集のため、作業環境改善に用いる小型の除じん装置(処理空気量 150m³/min 以下の小型の除じん装置)について日本粉体工業技術協会が招集している ISO/TC142/WG5 国内委員会にオブザーバー参加した。国内メーカーおよび幹事大学でろ過除じん方式除じん装置の性能評価のラウンドロビンテスト(テスト条件を定めて各社で実施する性能試験)が予定されており、より性能情報が集約されると期待している。さらに溶接作業と耐火煉瓦の研磨作業環境で実際に使用されているろ過除じん方式除じん装置の性能を粉じん計を用いて測定し、併せて作業者の粉じんばく露状況を測定した。これらの測定結果は本報告書で示した。

平成 29 年度以降は、ろ過除じん方式除じん装置の性能測定を実験室(産業医科大学)において行う。測定は集塵装置全体とろ布試料のみについてそれぞれ行う。実験室であれば作業場に持ち込めない高価な粒子径別の濃度を測定可能な走査型電気移動度測定装置(SMPS)や電気式減圧インパクトなどを用いることができる。

本研究では除じん装置全体の性能と部品であるろ布の性能の両方について検討するとこ

ろに特徴がある。また ISO 規格（将来の J I S 規格）の検討会は除じん装置の新品の初期性能だけを対象にしているが、本研究では実際の使用状態での性能についても検討する点が異なっている。

引用文献

- 1) 明星 敏彦, 大藪 貴子, 大神 明, 森本 泰夫, 西 賢一郎, 角谷 力, 山本 誠, 轟木 基, 水口 要平, 李 秉雨, 橋場 昌義, 神原 辰徳: 防じんマスクのナノ粒子に対する捕集性能, JUOEH(産業医科大学雑誌), 33(2):163-171 (2011)
- 2) ナノ粒子安全性ハンドブック, 一般社団法人日本粉体工業技術協会編, 日刊工業新聞社発行(2012)

2. 研究方法

2-1 除じん装置に関する情報収集

2-1-1 集じんシステム性能の実験室規模試験法に関するISOの進行状況

TC142 対応国内審議団体である日本空気清浄協会からの依頼により日本粉体工業技術協会集じん分科会が対応している。工学的には「集じん装置（集塵装置）」という言葉がよく用いられており、「除じん装置」と同じ意味で使用されている。原文が「集じん装置」や「集じん」の場合は以下そのままとした。

ISO 16313 Part 2

Laboratory test of dust collection systems utilizing filter media online cleaned using pulses of compressed gas -Part 2 Dust collection systems for general applications

「パルスジェット式払い落とし方式を用いる集じんシステム性能の実験室規模試験法」

Scope

This standard provides the test procedure to predict the performance of dust collection system at actual usage by acceleration test. This standard applies to small-scale pulse cleaned dust collection system, whole of which is manufactured at the factory based on the maker's specification and is rather treated as maintenance free dust collector.

Purpose and justification of the proposal

This type dust collector is popularly used at various purposes and places. In many cases, users of this type of dust collector do not have enough knowledge and thus it is rather treated as maintenance free dust collector. As a result, user does not care about the maintenance and just replace filter media occasionally. In this situation, it is important to show the system performance before shipping the system.

これまでのISOの状況

TC142WG3において「パルスジェット式払い落とし方式を用いる集じんシステム性能の実験室規模試験法」を新WG5として分離してISO化することになったことに伴い、TC142対応国内審議団体、日本空気清浄協会の要請を受け、2010年7月7日のインターネット会議より参加。しかし、この規格は、大型エアフィルタを対象としており、エアフィルタの延長線上の試験法ではあるが、そのまま国際規格となると、産業用集じん装置であるバグフィルタシステムの性能評価法にも少なからず影響が出る可能性があるとの判断から、日本粉体工業技術協会の集じん分科会では、規格化に反対の立場で参加した。

しかし、具体的な論議はWG5コンベンナーの都合などのため、論議が停滞したままであったが、2014年に就任したコンベンナーが、論議の加速を宣言したため、日本としての立場を明確するため対案をもって論議に参加することを2014年2月開催の集じん分科会幹事会にお

いて決定した。そして、工場生産される「汎用小形集じん装置の標準試験法」を日本として提案することとなった。従来から論議されているファン非搭載システムをPart1とし、Part2をファン搭載システムと分離して規格化することし、プロジェクトリーダーを募集することとなった。

2016年度からの3年間(2019年の3月まで)に、DIS投票開始(段階 40.20)まで進める予定である。

以下審議状況の概要

平成28年度 第1回 集じん技術小委員会 WG-C 作業部会 概略

平成28年6月24日

日時： 平成28年6月24日(金) 13:30~17:00

場所： 日本粉体工業技術協会 京都本部会議室
京都府京都市下京区烏丸通六条上ル北町181番地 第5キョートビル8階

出席者 (11名)

議 事：

1. 産業医科大・明星教授が、WG-Cの取り組みと厚労省科研費での研究内容が類似していることを受け、オブザーバーとして今後同席することとなった。
2. 次回のISO142/WG-5会議が9月19日アトランタにて開催される。本作業部会議題は、すでに提出しているISO16313Part2のNew Work Item Proposal(N46)の再確認およびラウンドロビンテストの進め方を討議する。
3. 資料①「ISO/TC 142/WG5 N46」の確認について
4. ラウンドロビンテストへの協力について

平成 28 年度 第 2 回 集じん技術小委員会 WG-C 作業部会 概略

日 時： 平成 28 年 7 月 22 日(金) 13:30～16:30

場 所： 日本粉体工業技術協会 京都本部会議室
京都府京都市下京区烏丸通六条上ル北町 1 8 1 番地 第 5 キョートビル 8 階

出席 : (8 名)
欠席 : (2 名) 明星は欠席

議 題：

1. WG-5 ロードマップ
2. Part1 と Part2 の比較表の協議
3. その他(ラウンドロビン試験)

議 事：

1. WG-C のロードマップについて

1) 本活動の経緯

・TC142WG3において「パルスジェット式払い落とし方式を用いる集じんシステム性能の実験室規模試験法」を新WG5として分離してISO化することになったことに伴い、TC142対応国内審議団体、日本空気清浄協会の要請を受け、2010年7月7日のインターネット会議より参加。しかし、この規格は、大型エアフィルタを対象としており、エアフィルタの延長線上の試験法ではあるが、そのまま国際規格となると、産業用集じん装置であるバグフィルタシステムの性能評価法にも少なからず影響が出る可能性があるとの判断から、集じん分科会では、規格化に反対の立場で参加した。

しかし、具体的な論議はWG5コンベンナーの都合などのため、論議が停滞したままであったが、2014年に就任したコンベンナーが、論議の加速を宣言したため、日本としての立場を明確するため対案をもって論議に参加することを2014年2月開催の集じん分科会幹事会において決定した。そして、工場生産される「汎用小形集じん装置の標準試験法」を日本として提案することとなった。従来から論議されているファン非搭載システムをPart1とし、Part2をファン搭載システムと分離して規格化することし、プロジェクトリーダーを募集することとなった。

・2016年度からの3年間(2019年の3月まで)に、DIS投票開始(段階 40.20)まで進める予定。

2. Part-1 と Part-2 の比較表に関する協議

以下略

平成28年度 第2回 集じん技術小委員会 概略 (合同開催 第2回 WG-B 及び第2回 WG-C)

日 時： 平成28年9月2日(金) 13:30～16:30

場 所： 日本粉体工業技術協会 東京事務所階上 6F 大会議室
東京都文京区本郷 2-26-11 種苗会館

出席者 (20名)

議 事：

1. 集じん技術小委員会

- ・産業医科大・明星教授が、WG-Cの取り組みと厚労省科研費での研究内容が類似していることを受け、オブザーバーとして今後参加することとなった。

以下略

2. WG-C 委員会

3.1 装置概要の進捗について

3.2 ラウンドロビンテスト

- ・WG-5の主目的は同一の試験手順によって各社装置の実使用時に対応する性能測定が出来る試験法を確立することである。
- ・試験はブラックボックス法に基づいて行う。すなわち、実験時間短縮のための加速(連続払い落とし)及び使用試験用粉体、その供給速度以外は、各装置仕様に基づいて行う。
- ・出口濃度の測定には、質量法と90度光散乱法がPart1では規定されているが、光散乱式は相対濃度になるため、評価が難しい。
- ・試験粉体は統一したい。
- ・ラウンドロビンテストの条件は、入口粉体供給量を一定とするが、装置の安定運転時での濃度が0.5g/m³以上となるようにする。また、集塵機へのダクト流速を1.5m/s以上、試験粉体をフライアッシュとし、進めるものとする。

平成 28 年度 第 3 回 集じん技術小委員会 WG-C 委員会 概略

日 時： 平成 28 年 10 月 18 日(火) 15:10～16:40

場 所： 日本粉体工業技術協会 東京事務所階上 6F 大会議室
東京都文京区本郷 2-26-11 種苗会館

出席者 (14 名)

議 題：

- 1 ファン非搭載システムの Part1 とファン搭載システムの Part2 の差異に関する議論
- 2 ラウンドロビン試験条件検討

議 事：

1. Part1 と Part2 の差異に関する議論

2. ラウンドロビン試験条件の検討

【試験条件】

- 1) 検討の視点：試験装置及び測定機器を付ける事により集じん装置そのものの特性に影響しないで試験することが必要。
- 2) 流量測定：入口ノズル(ISO5801)にて実施。設置位置は試験粉体を供給するフィーダーの後とする。測定は常時測定とする。
- 3) 試験粉体供給
機器：規定しない。
精度：①供給量(kg) Mean±5%以内。
②分散精度 できるだけ分散するようにする。
設置位置：入口ノズルの前面に設置。
- 4) 漏れチェック：吸込口を全閉にして漏れ音の有無で確認。
- 5) 濃度測定
測定方法：
①デジタル粉じん計にて連続測定を行う。重量法(円形ろ紙法)で K 値(個数濃度(cpm)質量濃度(mg/m³)変換係数)を求めて校正する。
②温度/湿度補正は行わない。
③測定位置は排気側単管とするがどの位置で測定するか。
- 6) 圧力測定：圧力(差圧)センサ取付け位置は内部気流の影響を受けない位置とする。
- 7) 測定器の精度：Part2 でも各測定機器のレンジと精度を測定方法に記載する。

以下は、討議時間が充分に取れなかったため、メールにて討議する。

- 8) 測定ステージ

- 9) 試験粉体の入口濃度

Part1 は、2.5g/m³(炭酸カルシウム)である。

ISO集じんシステム性能の実験室規模試験法に関する論点

1) パルスジェットを備えたろ過式除じん装置では、ろ布前後の圧力差は、**図1-1**に示すように粉じんの堆積によって上昇し、定期的に入るパルスジェット（圧縮空気をろ布の上流側から下流側に噴射）により払落しが行われ、低下する。圧力損失の低下は集塵性能の低下を意味する。ろ過式除じん装置はこれを繰り返して**図1-1**右に示すように除じん性能が定常状態になる。除じん性能は、ろ布と粉じん粒子の組み合わせと払落しの間隔の時間の平均値となる。

2) ISOの論点は、始めの調整期をどのように行い、どこまで行ったら安定期といえるかである、と理解した。

3) パルスジェットのないろ過式除じん装置ではファン停止後にろ布を外部から揺することで粉じんの払落しをする。通常は作業中には払落しは行わないため捕集性能は大きく変化しない。

4) 風量調整にインバータ制御を用いることは、欧州では主流（80%程度）だが、米国や中国ではまだ多くない（10%程度）との報告があった。

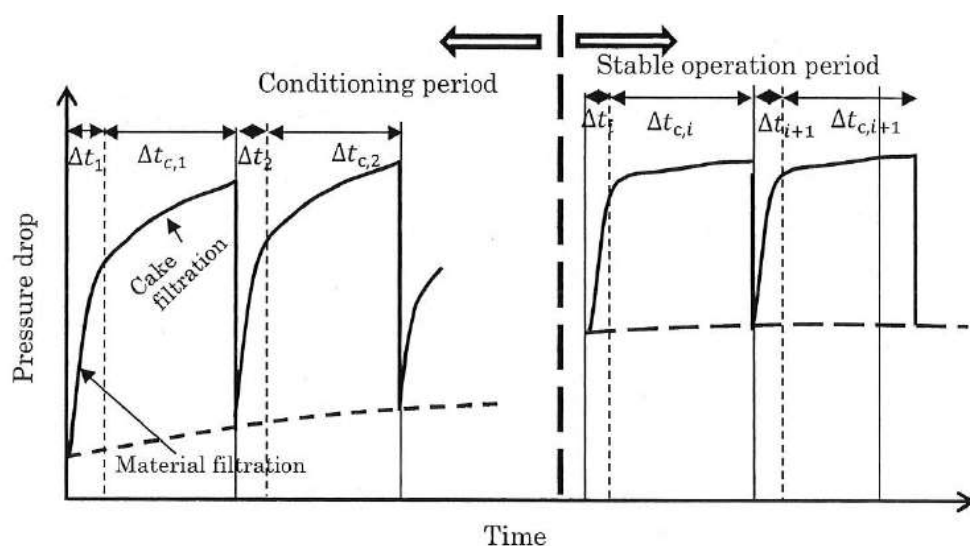


Figure 3 Pressure drop behavior with time

図1-1 パルスジェットを備えたろ過式除じん装置のろ布前後の圧力差の時間変化
左は初期の粉じん堆積状態、右は安定期の粉じん堆積状態。

(ISOワーキンググループの未公開資料から)

2-1-2 集じんシステムのメーカーのヒアリング

前節のISO審議参加メーカーに除じん装置についてヒアリングを行った概要を以下に示す。

参加者：明星

アマノ株式会社細江事業所 訪問

日時：平成29年2月3日13時から16時

場所：静岡県浜松市北区細江町気賀

除じん装置について以下の項目についてお尋ねした。(下線部は質問事項)

1) 試験用の粉体の入手方法

試験粉体として炭酸カルシウムを米国から輸入した。ISOの方法として使用予定である。国内ではJIS標準粉体(関東ローム8種)を使用することが多い。

2) 粉体の分散方法

粉体定量供給器から小型遠心ブロアに送り、排気の気流で分散している。

これについては関東ローム8種を分散してパルスジェット集じん装置に導入している実験を見学した。構成は図1-2を参照。

3) 集塵機前後の配管状態

パルスジェットの除じん装置についてフレキシブルダクトを用いて接続している。

4) 集塵機のメンテについて一般点検チェックリストは購入したVNA15の取説にあるようなものか

ほぼ同じであることを確認。明確に定量する方法はない。資料添付

5) 購入したVNA15について

インバータをつけて問題ないか。

インバータは取り付け可能で過負荷保護装置には問題ない。

排気口にダクトを付けてはいけない理由(取扱説明書7ページ)

集塵装置の函体が密閉されていないので背圧があると箱から漏れる恐れがある。

ろ布の交換の周期はどれくらいか

2から3年間で適正な使用期間と考えている。

ろ布のサプライは集塵機メーカーだけでなくサードパーティの製品が多く、性能の保証は難しい。純正品でないろ布の場合、吹き漏れや火災事故が起こってから初めてメーカーに連絡がある。

ろ布の使用時間の目安

特にない。

ダンパーで流量を調節するとき差圧はどう考えるのか。流量とろ布の状態の両方では？

2から3年間で適正な使用期間だが、ろ過速度が速いとろ布内の目詰まりが進みそこま

でもたない。

6) 点検チェックリスト

排気口から粉じんが漏れる。VNA 15 取扱い説明書 37ページ

フィルタの破損と取り付け不良

目視で行う。

この見つけ方は、目視によるか。付属する差圧計は関係するか。

目視で 10 mg/m^3 が漏れた場合、粉じんの観測が目視で可能であり、
集塵機の性能として 50 mg/m^3 以下としているのでこれで良としている。

大型の集塵装置では 30 mg/m^3 以下を保証している。

集塵装置出口にHEPAフィルタなどを着けることは可能で、レーザー加工機などでは行っている。

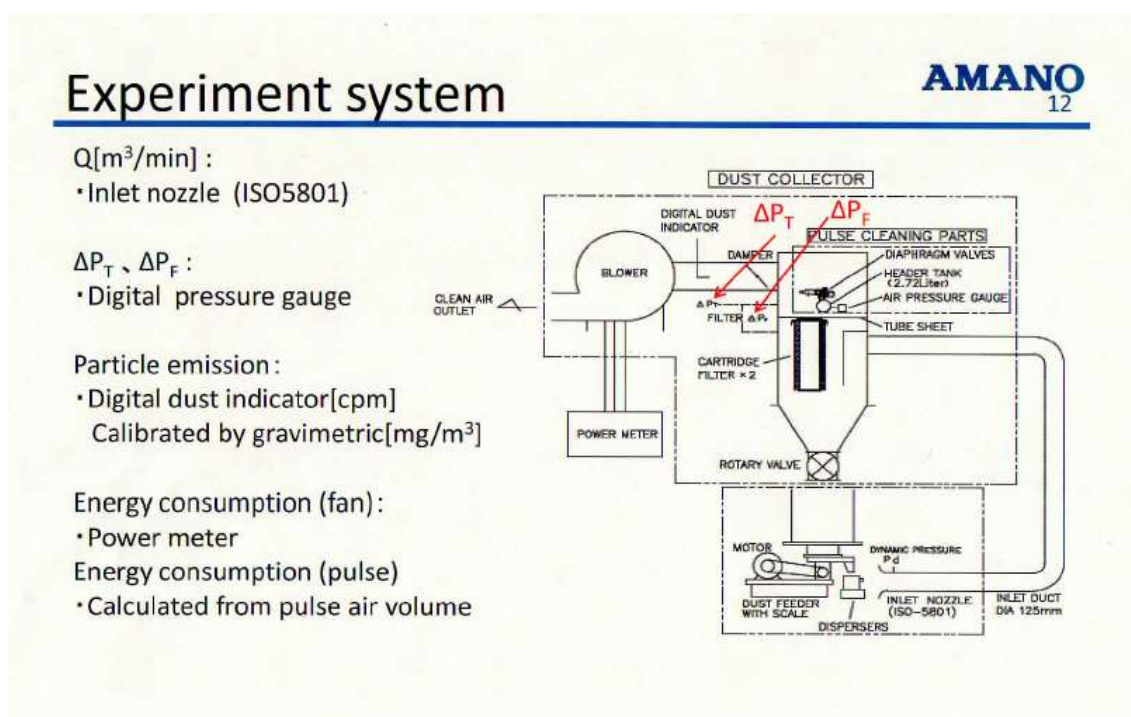


図1-2 パルスジェット式除じん装置の性能評価のための粉体の分散方法

下部で粉体定量供給器から小型遠心ブロアに送り、排気の気流で分散している。上部は除じん装置

8. 定期点検

下記の点検周期は一般的な事例としています。貴社規定の点検項目がある場合や、点検周期が下記の点検周期よりも短い設定であれば、その点検規定に従って点検してください。

点検箇所	点検の周期				方法・内容
	毎日	1週間毎	1ヶ月毎	1年毎	
バケツ	○				①バケツ内部の粉塵は毎日排出する。
排気の粉塵もれ	○				①排気から粉塵が漏れていないか点検する。粉塵漏れがあればフィルターの取付け状態を点検し、必要に応じて交換する
フィルター		○			①フィルター点検扉を開けて取付け状態を点検する。取付け不良があるときは正しく取付ける。 ②フィルター点検扉を開け破損の有無・汚れ具合を点検する。破損がある場合は交換する。 ③フィルターの目詰まり状態を確認する。フィルターに付着した粉塵の払落しをしても改善されない場合は交換する。
フード ダクト/ホース 本機内外面		○			①取付け状態を点検する。不良があるときは、正しく取付ける。 ②破損・変形の有無を点検する。破損・変形がある場合は、修理・交換をする。 ③フード/ダクト/ホースの粉塵の有無を点検する。堆積がある場合は、粉塵の除去と堆積を防ぐように配管を調整する。 ④本機の内外面および配管内に粉塵が堆積しないように清掃する。
各部パッキン			○		①各部パッキンの取付け状態を確認する。パッキンが切れているなどの劣化が確認できた場合は、交換する。
フィルター レギュレーター				○	①ドレン量を窓から確認して、必要に応じてドレン抜きをする。
ダイヤフラム弁				○	①1年に1～2回程度点検し、動作不良や破損が確認できた場合は、弊社支店・営業所にご連絡ください。
ヘッダーパイプ				○	①1年に1～2回ドレン抜きをする。
電源コード				○	①電源コードの劣化、破損、取付け状態を点検する。被覆が破れて芯線が出ているときはただちに使用を中止し、交換する。
モーター	2～3年ごとに保守点検が必要です。弊社支店・営業所にご連絡ください。				

図1-3 パルスジェット式除じん装置の点検表

◆定期点検表

定期点検は、必ず実行してください。

点検箇所	点検の周期			方法・内容
	毎日	1週間毎	1ヶ月毎	
排気の粉塵もれ	○			1. 排気から粉塵がもれていないか点検する。粉塵もれがあれば、フィルターの取付状態を点検またはフィルター交換をする。
バケット	○			1. 捕集した粉塵を毎日排出する。粉塵の処理は、貴社の規定および関連法規に従って処理してください。
フード ダクト/ホース 本体内外面		○		1. 取付状態を点検する。不良があるときは、正しく取り付け。 2. 破損・変形の有無を点検する。破損・変形がある場合は、修理・交換をする。 3. ダクト/ホース・フードの内部に粉塵堆積がないか点検する。粉塵堆積がある場合は粉塵を除去し、堆積を防ぐように配管の調整等をする。 4. 本体の内外面および配管内に粉塵が堆積しないように清掃する。
フィルター		○		1. フィルター点検蓋を開けて取付状態を点検する。取付け不良があるときは正しく取付ける。 2. フィルター点検蓋を開けて破損の有無・汚れ具合を点検する。破損がある場合や、フィルターの払い落としをしても粉塵が落ちない場合は交換する。
電源コード			○	1. 電源コードの劣化、破損、取付状態を点検する。被覆が破けて芯線が出ているときはただちに使用を中止し、交換する。 2. 電源プラグ使用の場合は、破損・変形の有無を点検する。
モーター	2～3年ごとに保守点検が必要です。弊社支店・営業所にご連絡ください。			

※法令により定められた定期自主検査の検査内容は上記と異なります。検査内容については、除じん装置の定期自主検査指針に従ってください。

※点検時は、安全のため本機への電源供給を切ってください。また、適切な保護具と機材を使用してください。

図1-4 手動払落し式の除じん装置の点検表

2-2 測定装置の検討

2-2-1 柴田科学 LD-6N

光散乱方式の粉じん計で作業者の呼吸域での粉じんの個人曝露濃度を測定するための装置。作業者に装着をするために専用のエプロンを今回作成した。

2-2-2 柴田科学 LD-5

光散乱方式の粉じん計で作業環境測定に使用されている。今回は除じん装置の入口・出口に取り付け濃度測定に使用した。粉じん計を守るためオプションのPM2.5分離サイクロンを取り付けた。吸引流量が1.7 L/minに固定されている。

2-2-3 柴田科学 LD-5R

光散乱方式の粉じん計で作業環境測定に使用されている。LD-5の後継機である。同じ場所でPM2.5分離サイクロンの有無の2台により測定した。吸引流量が1.7 L/minに固定されている。

2-2-4 柴田科学 PM2.5サイクロン（新規作成）

吸引流量が1.7 L/minにおいて50%カット径が2.5 μm となる。特に図2-5の中央に示すサイクロンは本研究のために試作したもので、除じん装置入口出口の濃度を測定するためインラインで使用できる構造とした。

2-2-5 ハイボリウムエアサンプラ用サイクロン（新規作成）

ハイボリウムエアサンプラ（柴田科学 HV-500F）にフィルタ（東京ダイレック T60A20）を装着し、またハイボリウムエアサンプラ用の新しいサイクロンを装着してサンプリングした。質量濃度はフィルタの前後の秤量により測定した。このサイクロンは吸引流量240L/minで50%カット径が4 μm となる。これについての詳細は原著論文で発表した（掲載受理）。このサイクロンはインパクト方式とは異なり再飛散防止のための粘着剤は不用で使用後は内部を分解洗浄するだけでよい。



図2-1 エプロンに固定した柴田科学 LD-6N

右写真の中央上部から空気を吸引する。



図 2-2 PM2.5 サイクロンを取り付けた 2 台の LD-5



図 2-3 PM2.5 サイクロンを取り付けた LD-5 R (上)
元々の柴田科学 LD-5 R (下)



図2-4 本体から外したLD-5入口（左）とPM2.5サイクロン（右）、中央は通常のインライン吸入口



図2-5 本体から外したPM2.5サイクロン(右)と集塵装置装着用PM2.5サイクロン(中)

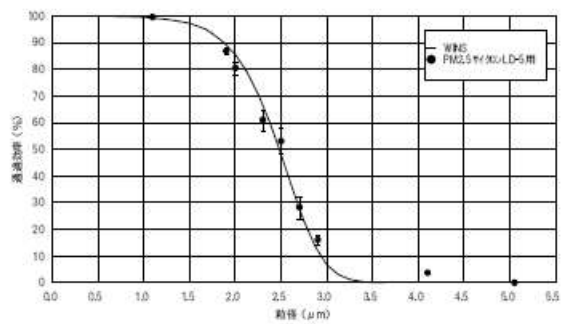
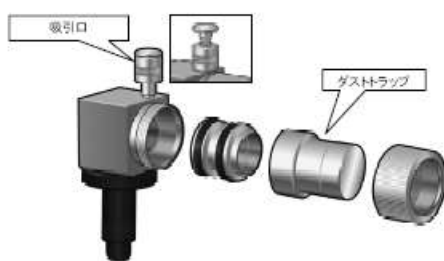


図2-6 PM2.5サイクロンの構造（左）と1.7 L/min 吸引時の分離特性（右）
元々のPM2.5サイクロンは吸引口を閉塞できる構造となっていてインラインで使用できないので図2-5のように入口部をストレートにした形態で別に作成した。



図2-7 ハイボリウムエアサンプラ用のサイクロン
 左の図の白の矢印はサンプリング気流の方向を示している。

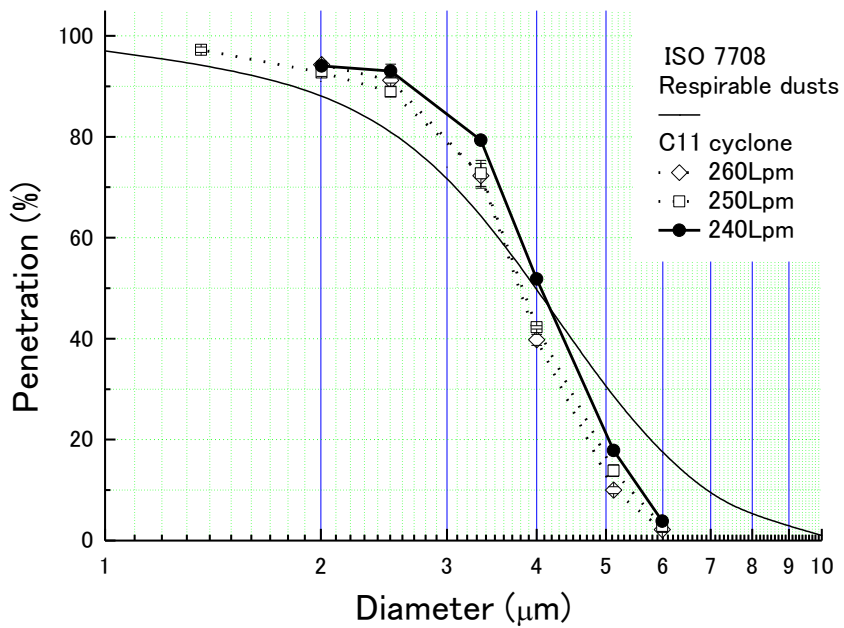


図2-7 ハイボリウムエアサンプラ用サイクロンの粒子径別の分離性能
 このサイクロンと分離性能については日本エアロゾル学会機関誌「エアロゾル研究」に本年論文掲載受理されたものと同じである。

2-3 作業環境で使用されている除じん装置の性能測定

2-3-1 局所排気装置と除じん装置の性能測定 その1

実施日：2016.10.31 の 13:30 から

参加者：明星、大藪、筒井

模擬レンガ研磨作業

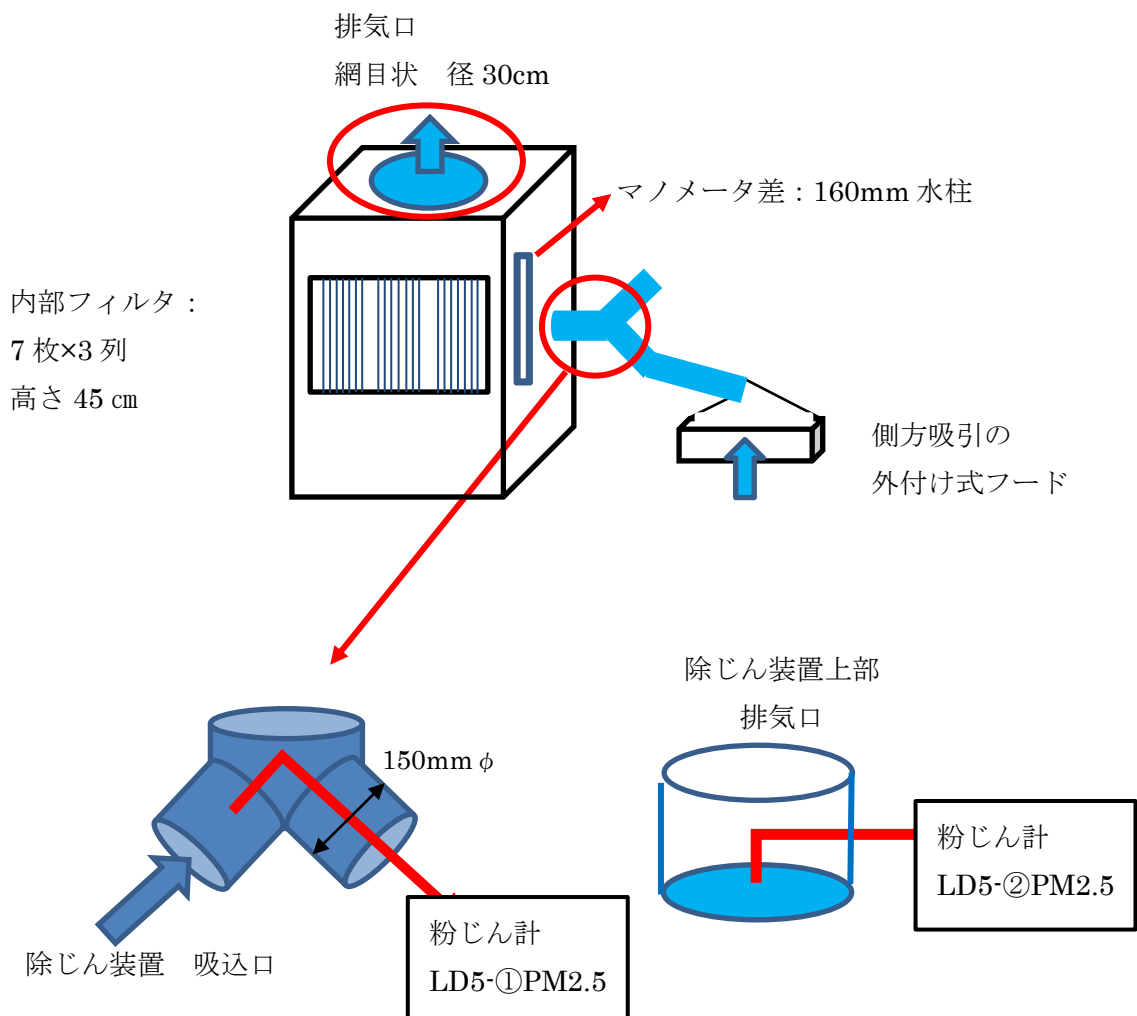


図3-1 除じん装置とサンプリング方法

除じん装置はファン内蔵型でその入口と出口にそれぞれ銅管（内径 8mm）のサンプリング管を図のように取り付けた。LD5には図2-2のように PM2.5 サイクロンを取り付けた。

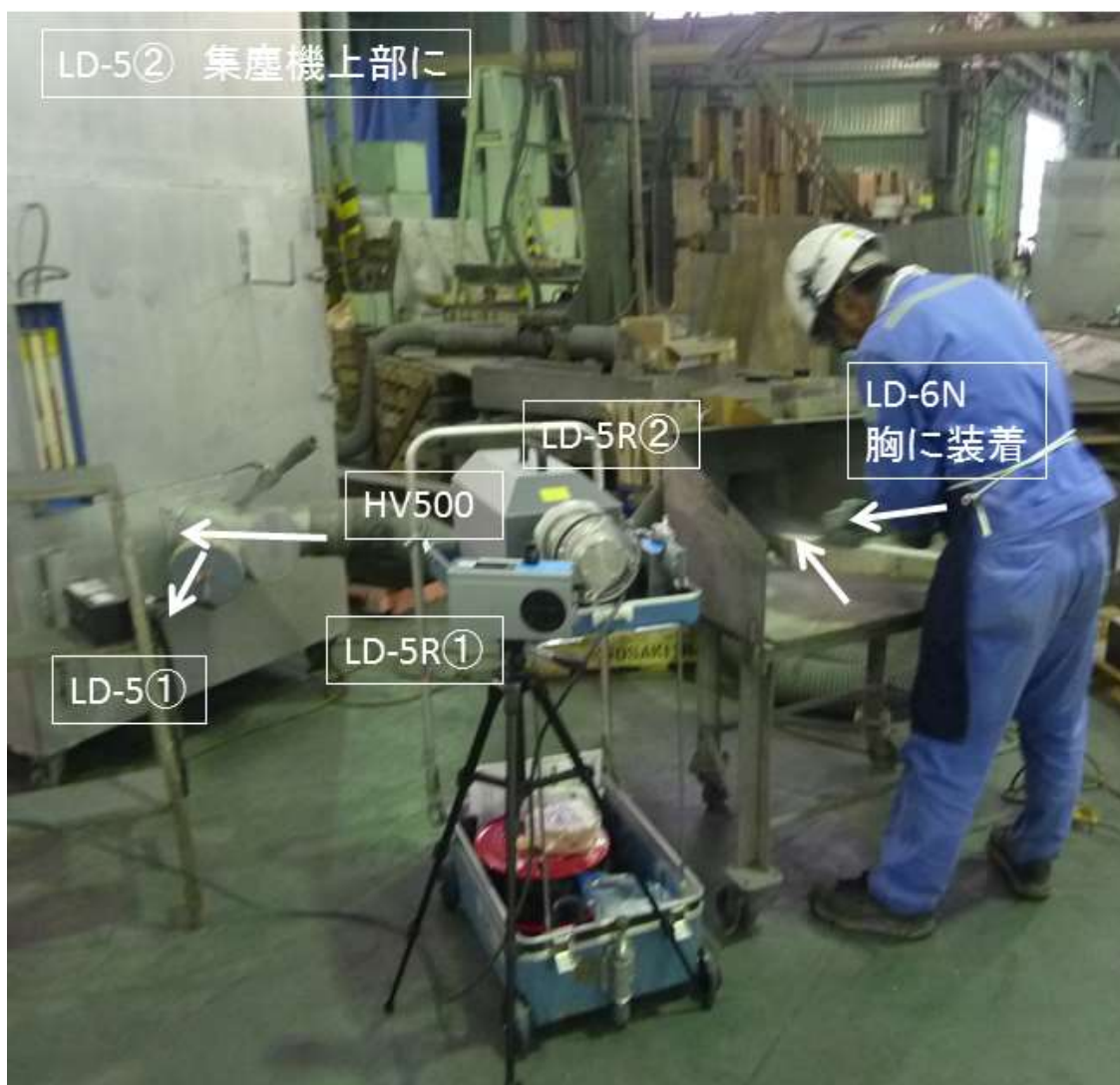


図3-2 除じん装置周囲の測定装置の配置図

LD-6N 個人曝露測定用

LD-5R① 気中粉じん濃度

LD-5R② PM2.5 サイクロン付 気中粉じん濃度

HV500 吸入性粉じんの質量濃度測定用

LD-5① PM2.5 サイクロン付 除じん装置入口の粉じん濃度

LD-5② PM2.5 サイクロン付 除じん装置出口の粉じん濃度

作業は作業台（側方吸引のフード付き）でレンガを手持ちグラインダーで連続して約15分間研磨する。今回の測定のための模擬作業である。

側方吸引のフード付き作業台（フード開口部 102 x 34 cm で 1.6m/s）の吸引量は 33m³/min ほど、テーブル端で風速 0.5～0.6 m/s。

表 研磨作業記録

	LD-6N 個人曝露測定用							
	LD-5R① 気中粉じん濃度							
	LD-5R② PM2.5サイクロン付 気中粉じん濃度							
	HV500 吸入性粉じんの質量濃度測定用							
	LD-5① PM2.5サイクロン付 集塵機入口の粉じん濃度							
	LD-5② PM2.5サイクロン付 集塵機出口の粉じん濃度							
時間	模擬作業	集塵機	LD-6N	LD-5R①	LD-5R② PM2.5サ イクロン	HV500	LD-5① 集塵入口	LD-5② 集塵出口
13:45				start	start		start	start
13:46		start						
13:47	start					start		
14:00	stop							
14:02		stop				stop		
		start						
14:13	start		start					
14:15							外に移動	外に移動
14:20				stop				
14:22					stop			
14:28	stop							
14:33		stop	stop					

粉じん濃度測定結果

HV 質量濃度 (吸入性粉じん) 0.19 mg/m³ (13:47~14:02, 3.4m³)

LD-5, LD-6N 質量濃度変換係数K値 0.0021 mg/m³/cpm

LD-5, LD-5R PM2.5 サイクロン付 K値 0.0031 mg/m³/cpm

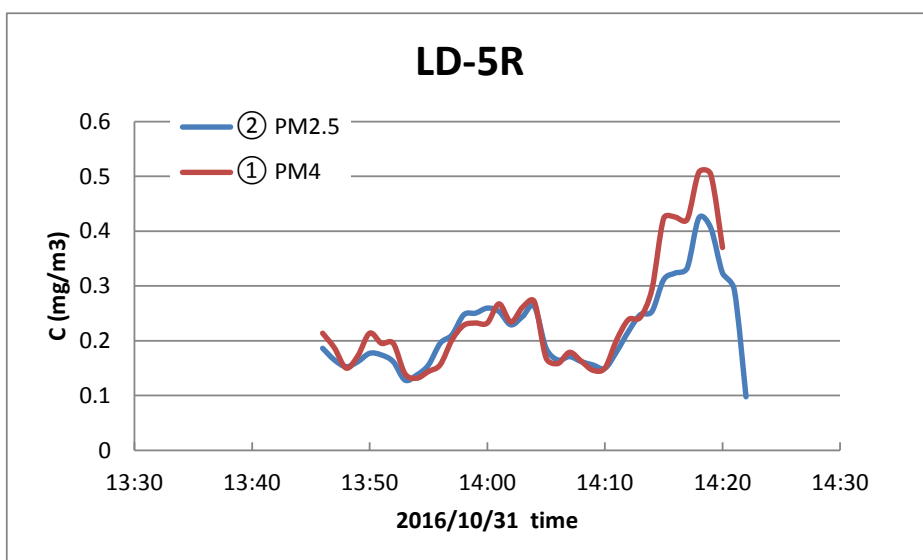
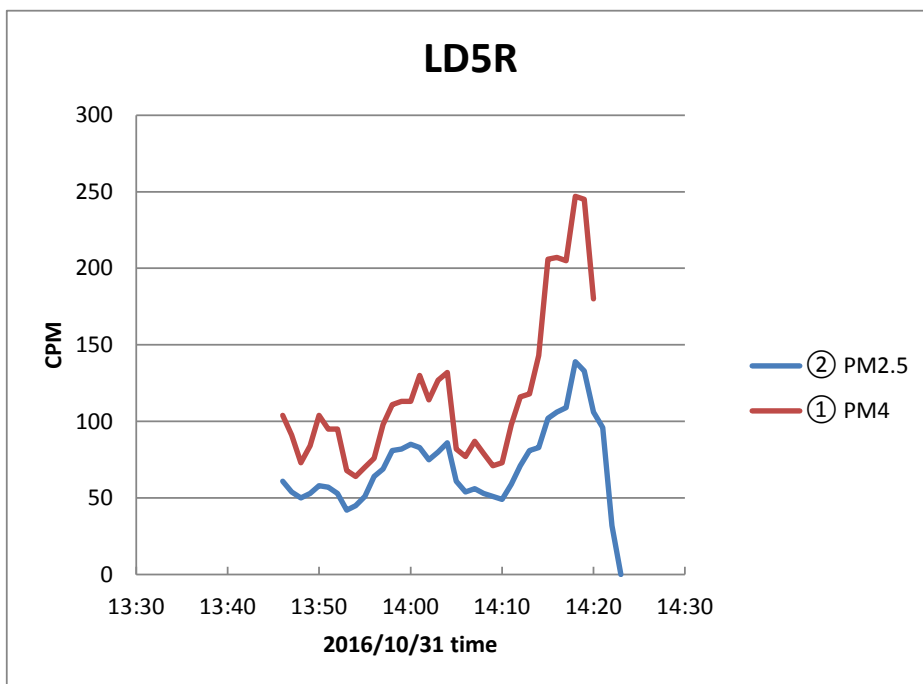


図 3-3 作業場所横での粉じん濃度、cpm 表示と K 値による質量濃度表示
K 値で質量濃度を求めればサイクロンの影響はほとんどない。

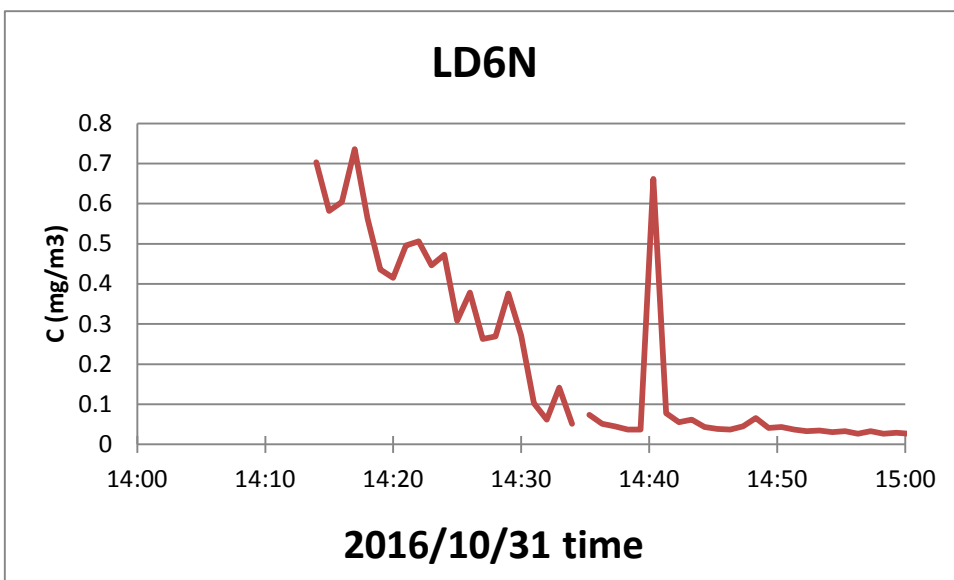
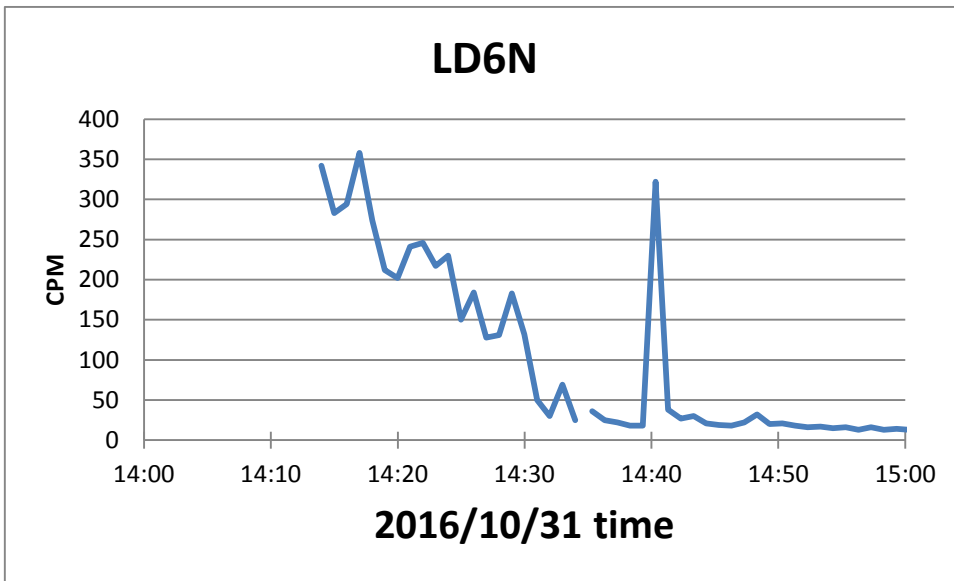


図3-4 作業者の胸の位置での粉じんの濃度、cpm表示とK値による質量濃度表示
 14:13~14:28まで作業をお願いした。作業台横よりは少し高い。
 14:40は粉じん計を折りたたんで片づけたためと思われる。

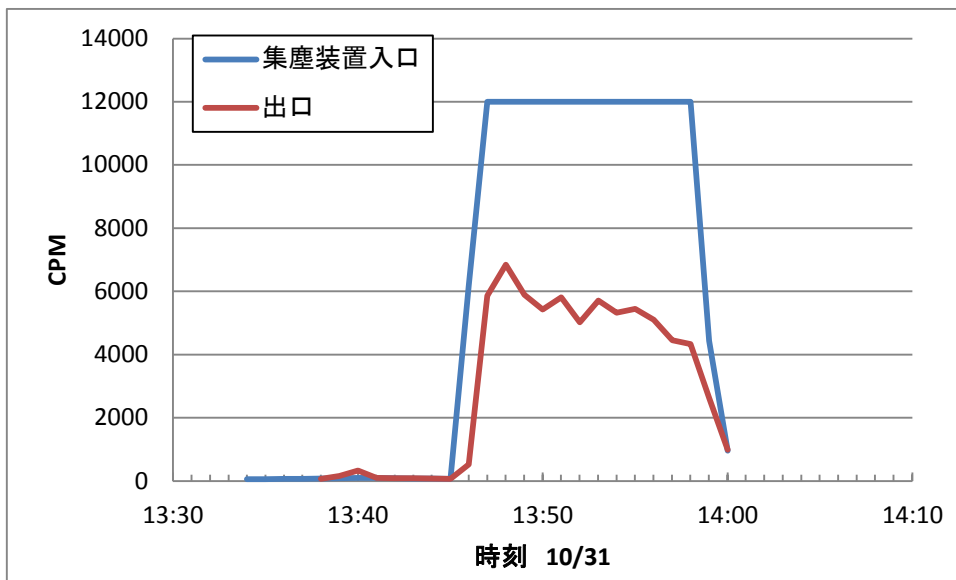
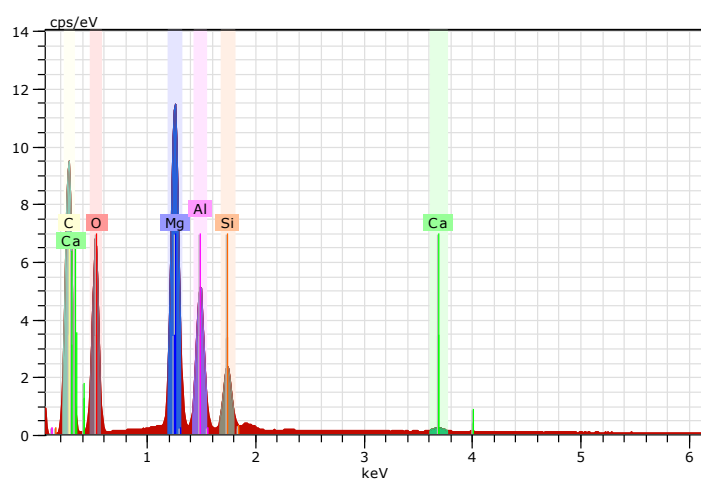
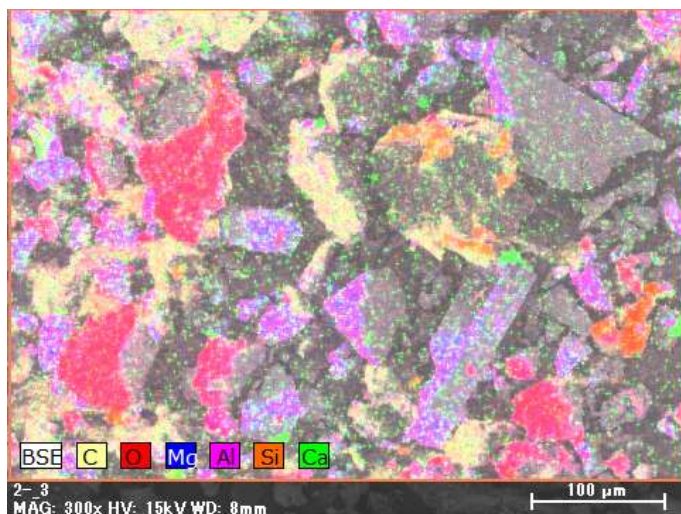
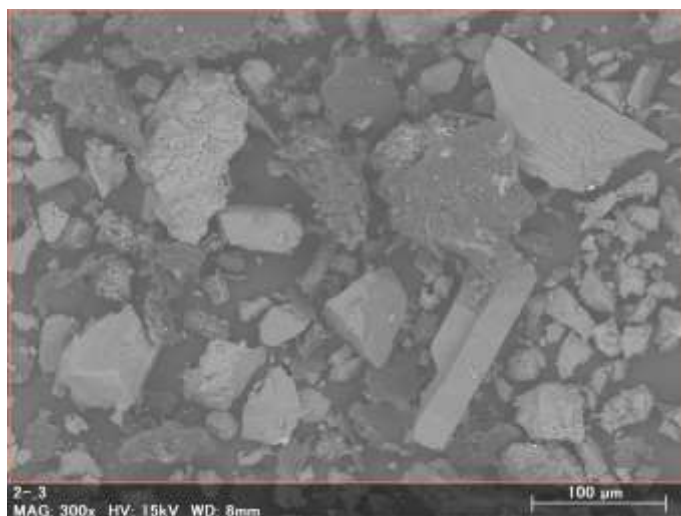


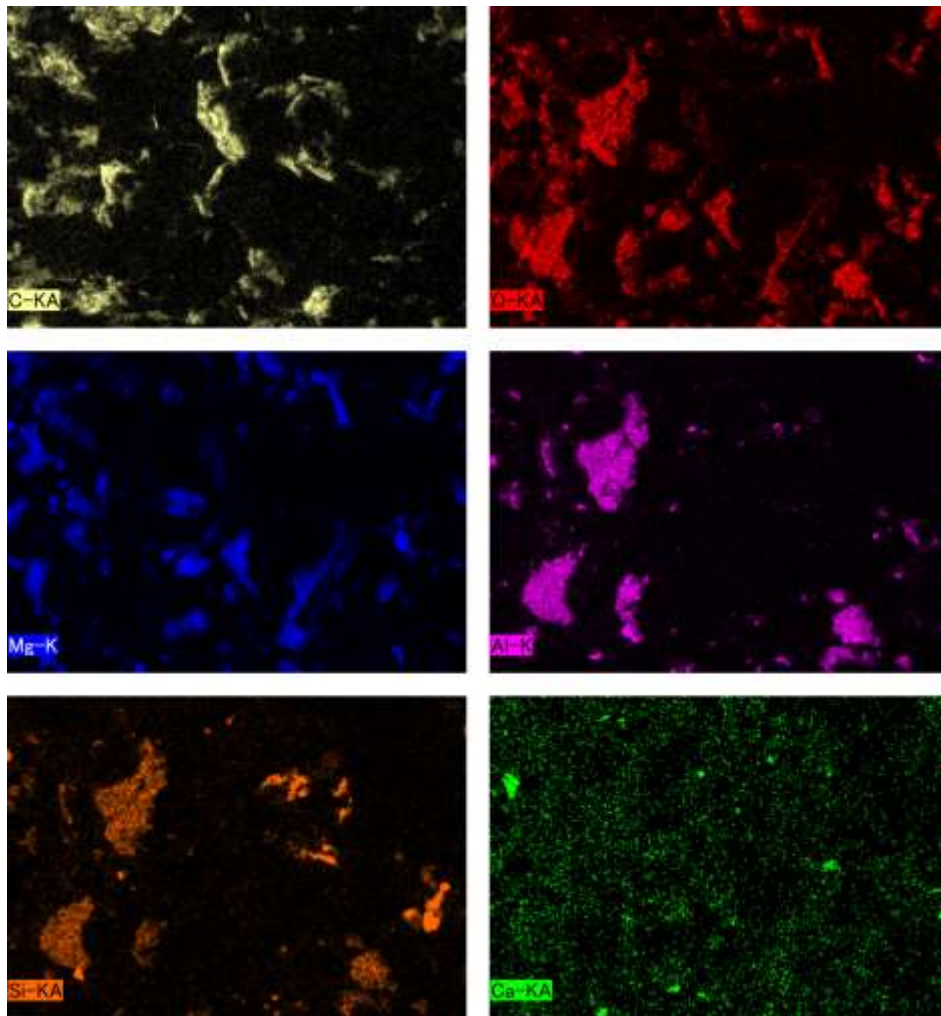
図 3-5 除じん装置の入口と出口の粉じん濃度、cpm 表示

除じん装置入口の濃度は作業中、濃度計が振り切っているため測定できず、集じん効率を求めることができなかった。

図3-6 除じん装置内の粒子の走査型電子顕微鏡写真と元素マッピング



EDXによる元素分析スペクトル



個別の元素のマッピング

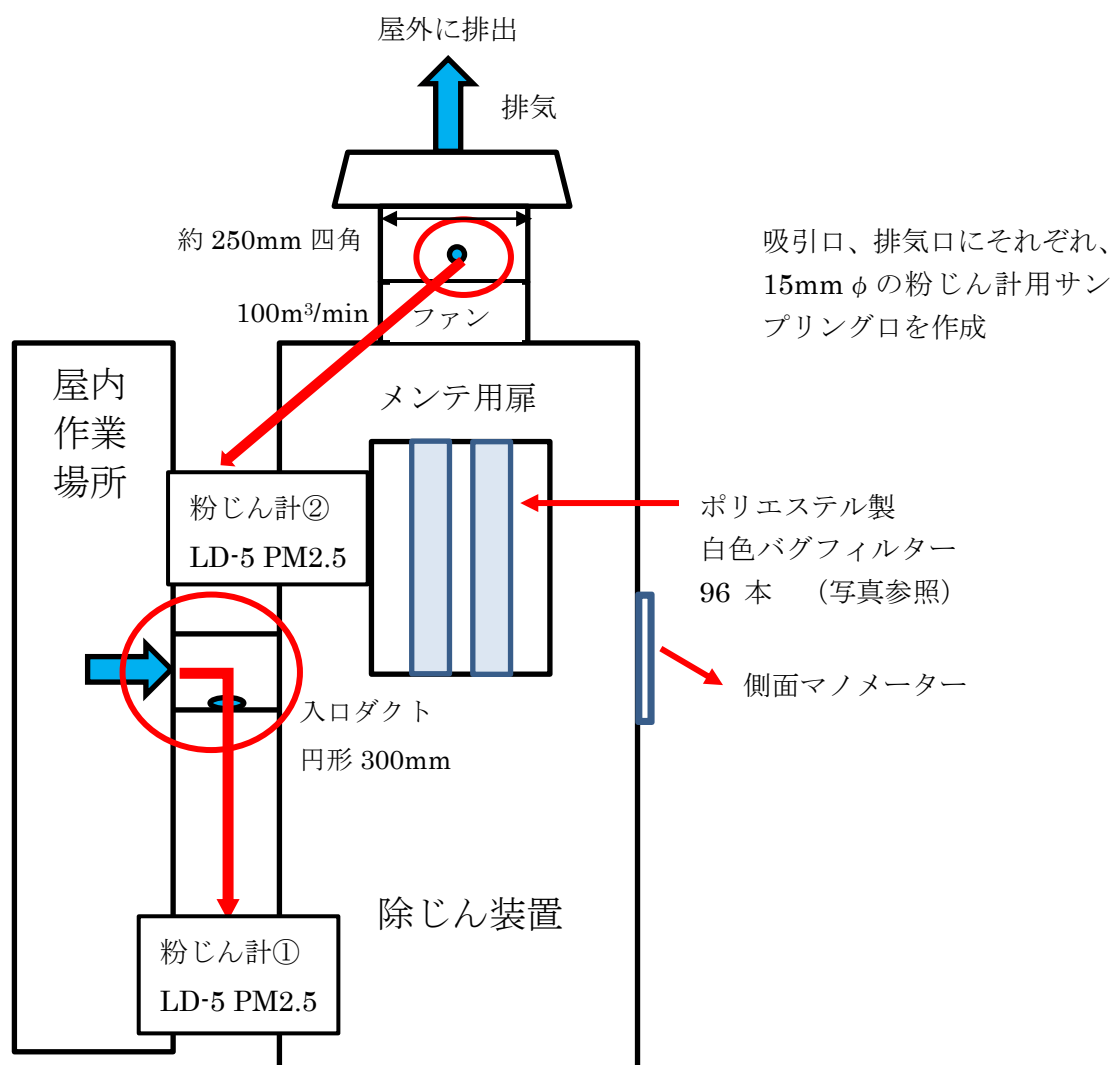
粉じん粒子はシリカとアルミナと思われる。

2-3-2 局所排気装置と除じん装置の性能測定 その2

実施日：2016. 11. 2

模擬溶接作業

参加者：明星、大藪、筒井



屋外に設置された集塵装置

図3-7 除じん装置と測定装置

除じん装置はファン内蔵型でその入口と出口にそれぞれ銅管（内径 8mm）のサンプリング管を図のように取り付けた。LD5 には図2-2のように PM2.5 サイクロンを取り付けた。



図3-8 除じん装置の写真

除じん装置の外観写真 正面の左面
左面中央高さの扉内にろ布あり

同 正面の右面

除じん装置入口（左面下の○） 粉じん計① LD-5 PM2.5

除じん装置出口（左面上の○） 粉じん計② LD-5 PM2.5

接続 導電性シリコンチューブ 2m長

図3-9 右写真 除じん装置内の様子

除じん装置内のろ布の状態



下の写真

左は粉じんの入口

右は折った状態



ろ布を逆さ吊りで、気流は袋状のろ布内部から外へ流れる。捕集された粉じんはろ布内部に溜まっており、取り出し直後は、ろ布外面は真っ白な状態であった。写真の表面の汚れは取り外し後に粉じんがこぼれた結果。

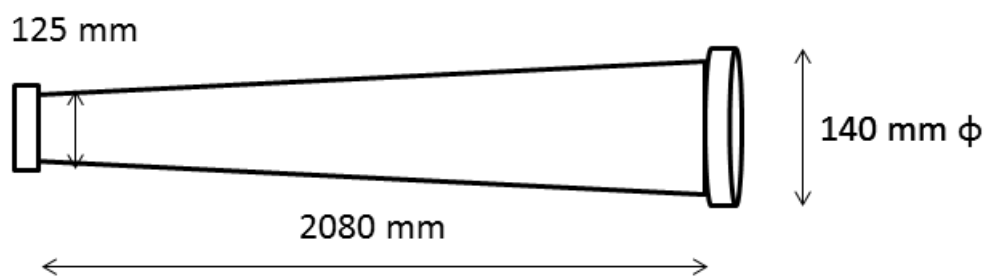


図3-10 ろ布のサイズ

計算上のろ布表面積 A は

$$A = 2.08 \times (0.125 \times 2 + 0.44) / 2 = 0.7176 \text{ m}^2 \quad \text{全体で 96 本のろ布面積 } 68.9 \text{ m}^2$$

ろ過速度 $V = Q/A = 100/60/A = 0.024 \text{ m/s}$ かなり低速



図3-11 建屋内の作業環境 模擬溶接作業

粉じん計 LD-6N 作業者のエプロン

粉じん計① LD-5R PM2.5

粉じん計② LD-5R PM2.5

吸入性粉じん用サイクロンHV

囲い式フード（間口 180 cm、高さ 145 cm）の開口面で風速 0.3m/s

フード内の円形ダクト開口部は直径 20 cm で風速 18m/s、推定吸引量は 33m³/min。

表 溶接作業記録

14:09	作業開始
14:13 頃	30 秒くらい休止
14:14-16	作業休止
14:16	少し発生
14:17	発生再開
14:24	1 分くらい休止
14:25	発生再開
14:28	休憩
14:42	発生再開
14:47	15 秒くらい休止
14:50	作業終了

作業は囲い式フード内の作業台で鉄板に溶接を行う模擬作業。作業者は 1 名途中で作業場全体の休憩が入り、停止、フードも停止した。

2016/11/02

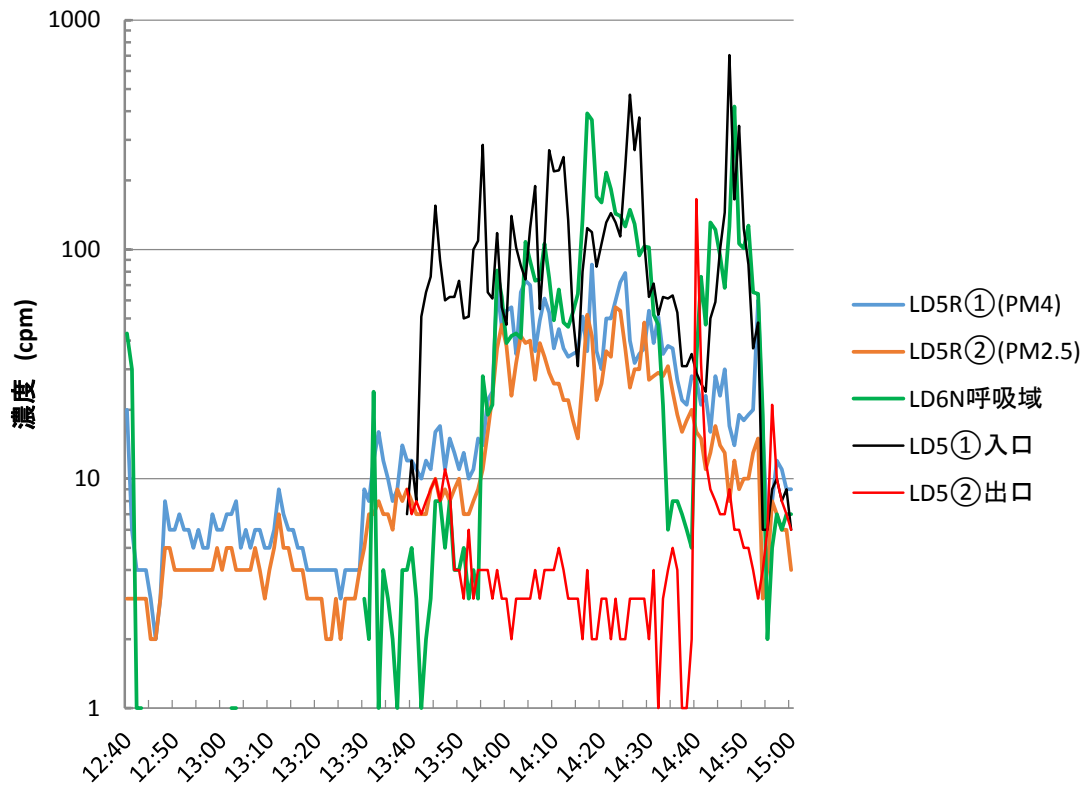


図3-12 全ての粉じん計の測定結果 (cpm表示)

大学から粉じん計の計測を開始、現場到着は13:30ごろ、すべて終了までデータ記録。

LD-5R, LD-6N 作業環境を測定。

LD-5 除じん装置の入口・出口に設置。

2016/11/02

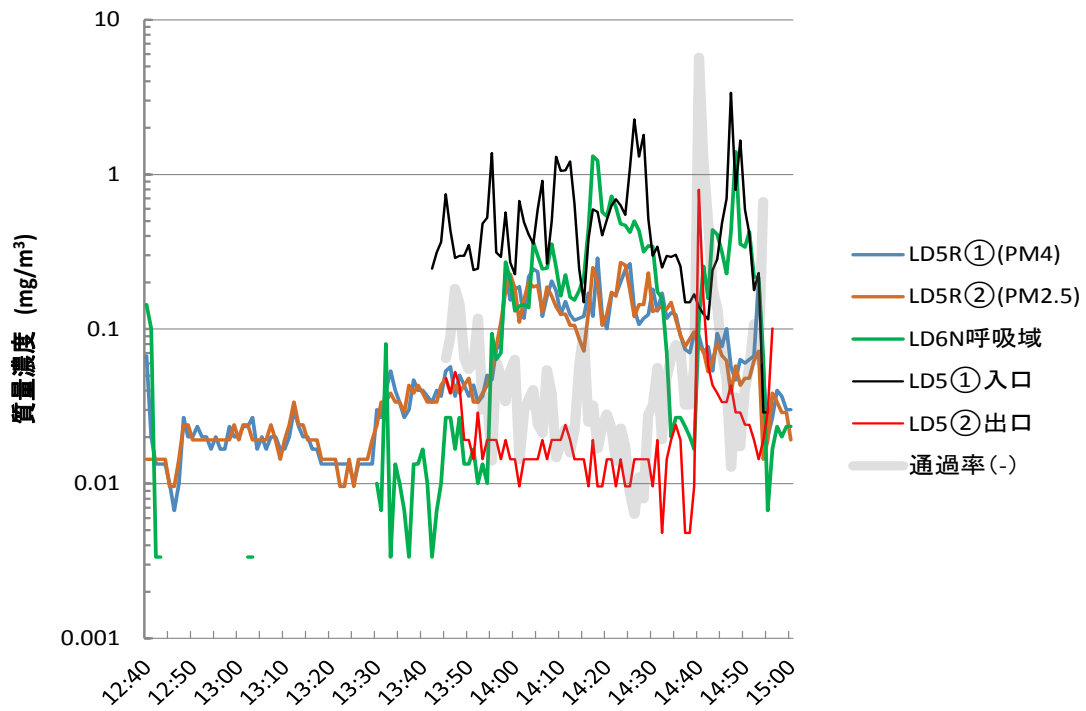


図3-13 全ての粉じん濃度測定結果

大学から計測を開始、現場到着は13:30ごろ

HV 質量濃度 (吸入性粉じん) 0.155 mg/m^3 (14:09-14:29, 空気量 5.0m^3)

LD-5, LD-6N 質量濃度変換係数K値 $0.0034 \text{ mg/m}^3/\text{cpm}$

LD-5, LD-5R PM2.5 サイクロン付 K値 $0.0048 \text{ mg/m}^3/\text{cpm}$

除じん装置前後の濃度比、通過率 (-)

2016/11/02

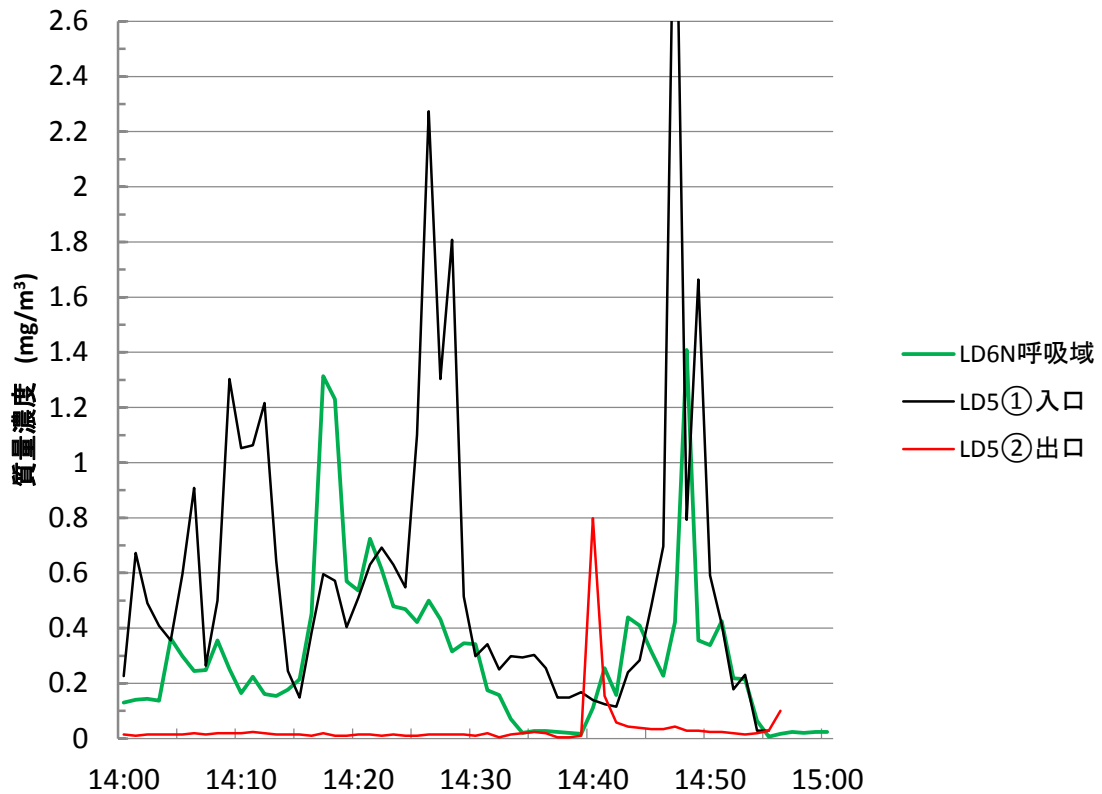


図3-14 除じん装置入口と出口での粉じん濃度及び作業者呼吸域での濃度
除じん装置入口と作業者呼吸域での濃度は同様の傾向があったが、一致しない時間もある。除じん装置にはほかのフードからも気流が入り混ざっているためと思われる。ほかのフードでの作業はサンダー掛けなど溶接ではない。休憩時間のため除じん装置の電源の切れた時間は不明だが14:30分ごろと思われる。14:40における出口濃度の一時増加は除じん装置の電源を入れたためと思われる。これで出口濃度が正しく測定されていることがわかる。

2016/11/02

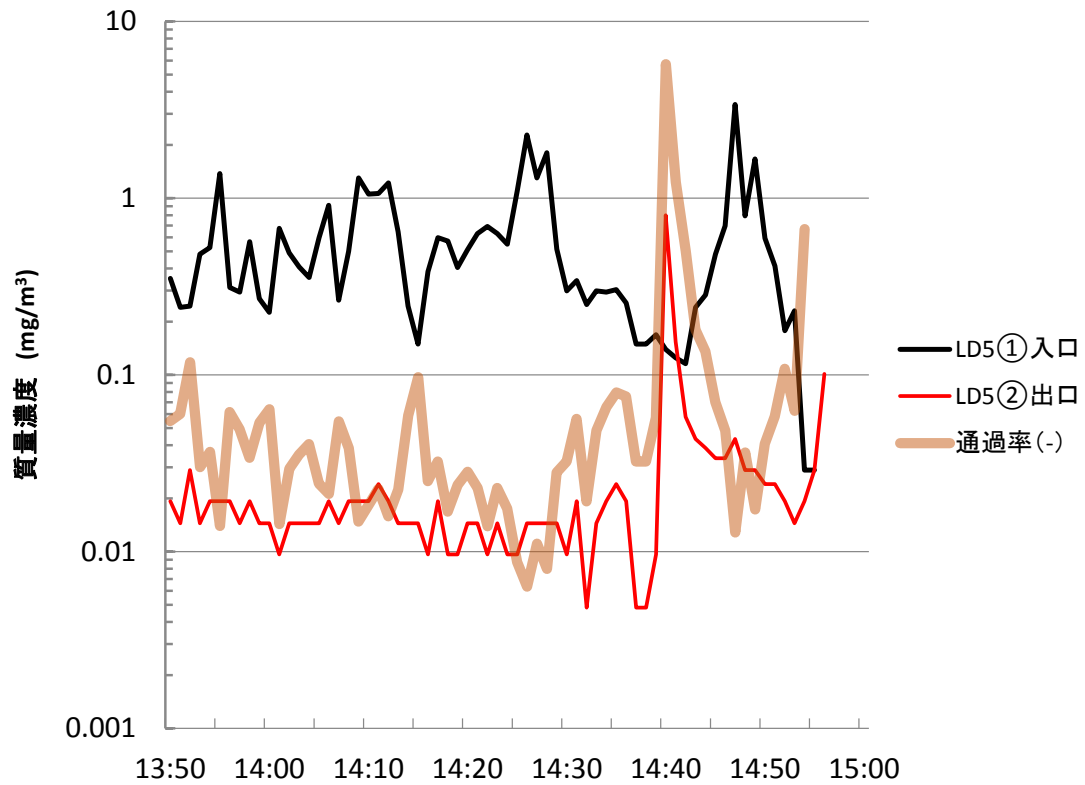


図3-15 除じん装置入口と出口での粉じん濃度及びその比（通過率）

14:40の出口濃度の瞬間の増加は除じん装置の電源を再起動したためと思われる。

電源の切れた時間は不明だが14:30分ごろと思われる。

13:50～14:25までの除じん装置の粉じん平均通過率は3.6%で良好であった。

2016/11/02

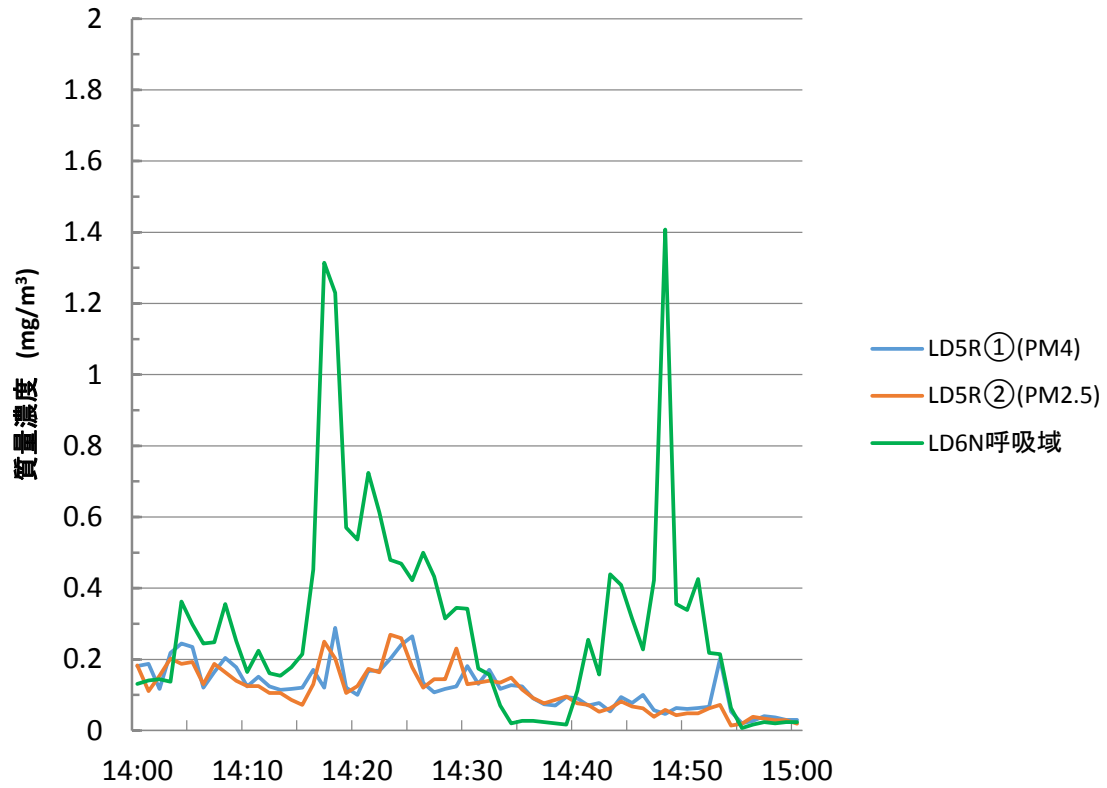
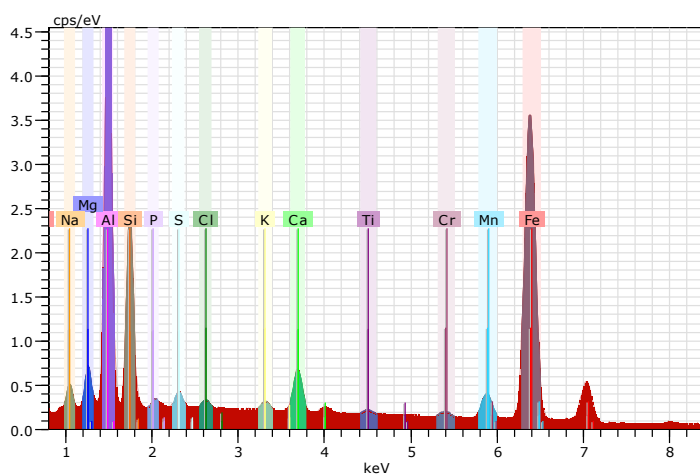


図3-16 溶接作業における作業者呼吸域と作業者後での粉じん濃度
LD-5RにPM2.5サイクロンを付けたものと付けないもので、K値を用いて質量濃度に変換した場合には違いはほとんどない。

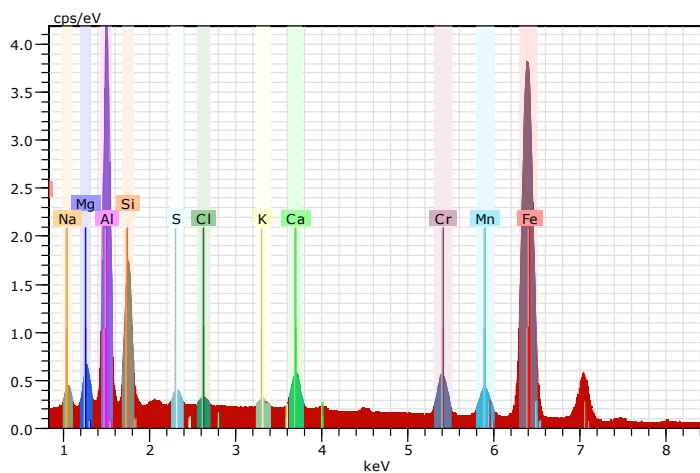
図3-17 集じんろ布に捕集されていた粒子の観察
溶接ヒュームを主とした粒子



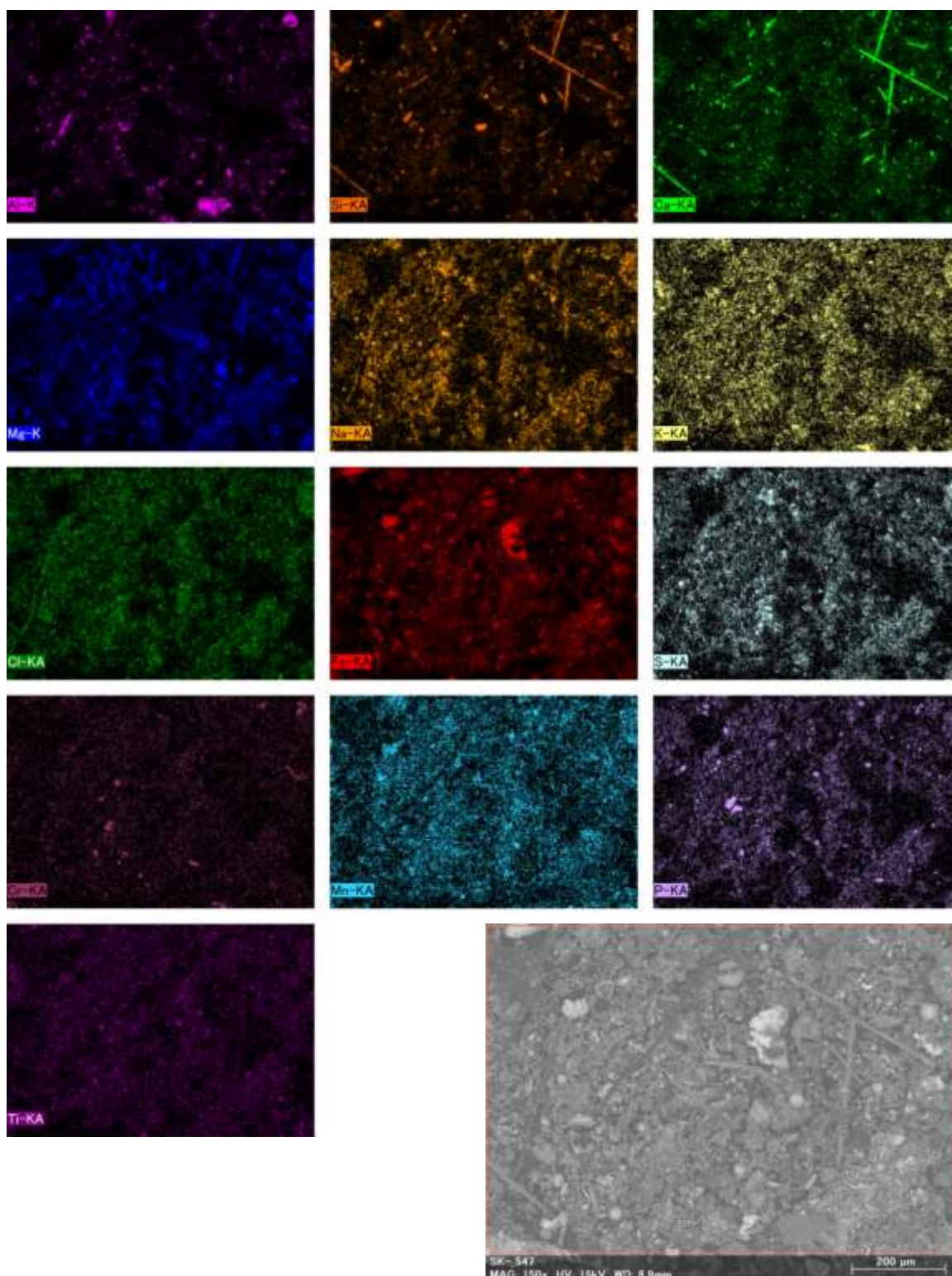
ろ布内の粉じんを回収し、これを走査型電子顕微鏡で写真撮影した。また付属するエネルギー分散型X線分析 (Energy dispersive X-ray spectrometry、EDX、EDS)で溶接に由来すると思われる表示のような種類の元素が認められた。



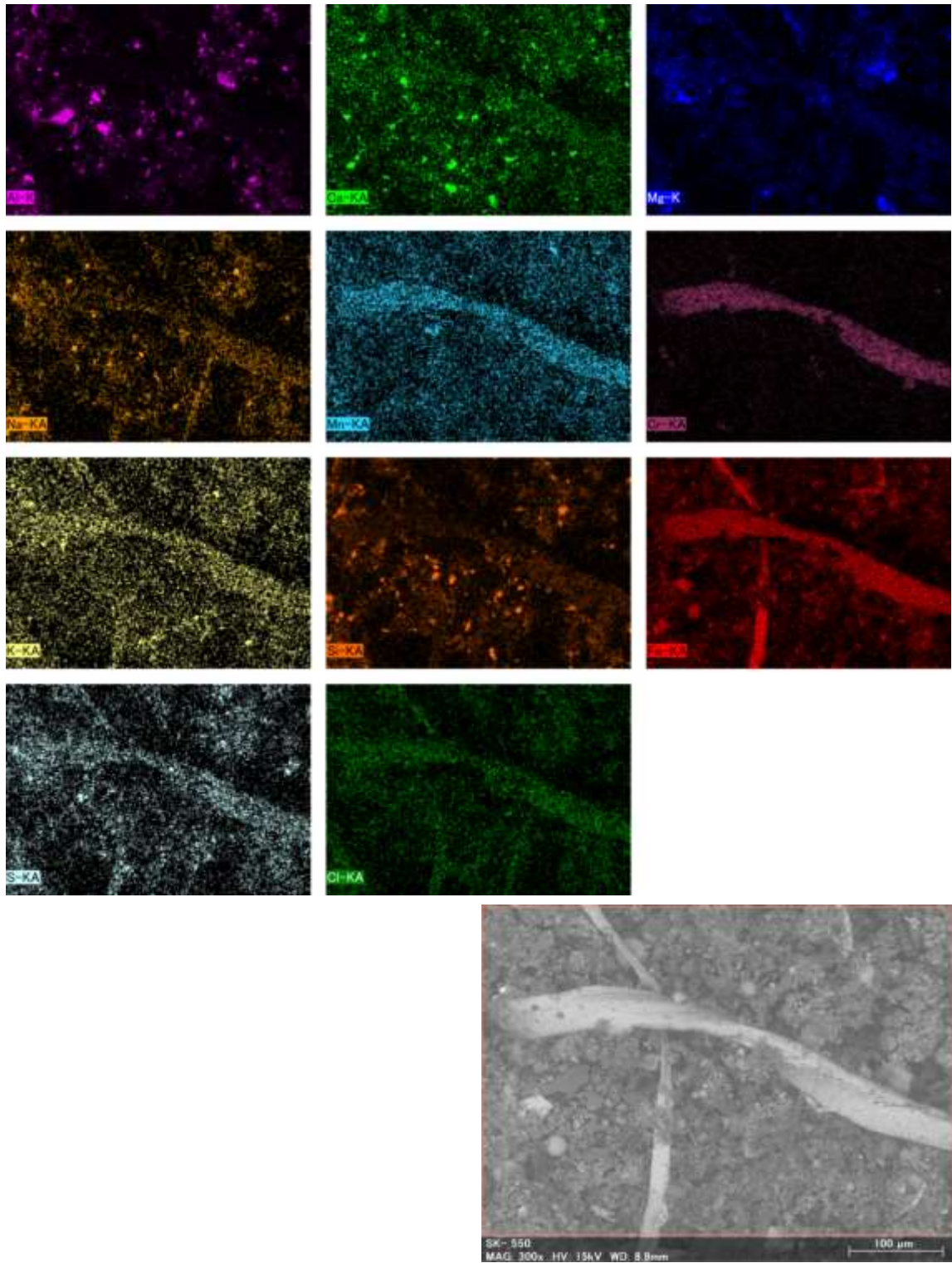
(a) 試料No. 1のEDXによる元素分析スペクトル



(b) 試料No. 2のEDXによる元素分析スペクトル



(c) SEM像と元素マッピング 試料 No. 1



(d) SEM像と元素マッピング 試料 No. 2

第一回研究検討会 平成 28 年 11 月 16 日開催

参加者：明星、大藪、名古屋、村田

測定結果の資料についての参加者からのコメント

1) 厚労省への提言内容について

2) 除じん装置の性能評価

サンプリングにおいて等速吸引で行ったか。

同じく J I S Z 8 8 0 8 (排ガス中のダスト濃度の測定方法) の調査

等速吸引について検討

ダクト内流速は 24 から 26 m/s であった。

LD-5 の吸引速度は 1.7 L/min で管径は 8mm で吸引口では 0.56 m/s となる。気流とサンプリング吸引速度の比は 0.023 となり、非等速吸引のため実際より高濃度となる。

既報では吸引速度比が 0.023 で 2 μm の粒子で 10% ほど高濃度となる。より大きな粒子ではさらに影響を受ける。しかし、除じん装置の入口出口の濃度測定には LD-5 に PM2.5 サイクロンを取り付けて大きな粒子を除去する構造とした。今回、大きな粒子の影響はないものとする。

2-3-3 局所排気装置と除じん装置の性能測定 その3

実施日：2017.3.13 の 13：30 から

参加者：明星、大藪、筒井

模擬レンガ研磨作業 再測定

前回の性能測定1（2016.10.31 測定）の問題点

- 1) 測定において模擬作業と除じん装置の計測のタイミングが同期していなかった。
- 2) 除じん装置入口濃度が高く、粉じん計が上限濃度を示した。
- 3) 除じん装置出口濃度も高く、除じん装置は十分な運転状態といえないと判断された。

今回、同じ除じん装置のろ布（除じん装置はアマノ VN60、ろ布は帆布、下図参照）を新しいものに取り換え、約2ヶ月運転してろ布表面に粉じんが堆積した状態にした後、性能測定を行った。従って測定装置の概要は前々回（性能測定1）と同様で、性能測定結果の表示は前回（性能測定2）と合わせた。

今回の計測では、側方吸引のフード付き作業台（フード開口部 102 x 34 cm で 0.78m/s）で吸引量は 16 m³/min ほど、テーブル端で風速 0.2~0.6 m/s であった。

運転時の除じん装置のマノメータ差圧は 30mm 水柱であった。



図3-18 ろ布と取り付け金具からなるろ布ユニットと除じん装置に取り付けた状態
（左は新品で右側がろ布の袋、巻尺より左側が挿入するプラスチックスペーサー、右は装着して2ヶ月ほど使用後）

表 研磨作業記録

14:00 作業開始
14:02 除じん装置ON
14:05 作業開始
14:07 作業ストップ
14:09 作業再開
14:10 作業ストップ
14:11 発生再開
14:15 作業ストップ
14:16 発生再開
14:19 作業終了
14:23 除じん装置OFF

作業は外付け式フードの作業台でレンガの面を手持ち電動グラインダーで平らにする模擬作業。作業者は1名

2017/3/13

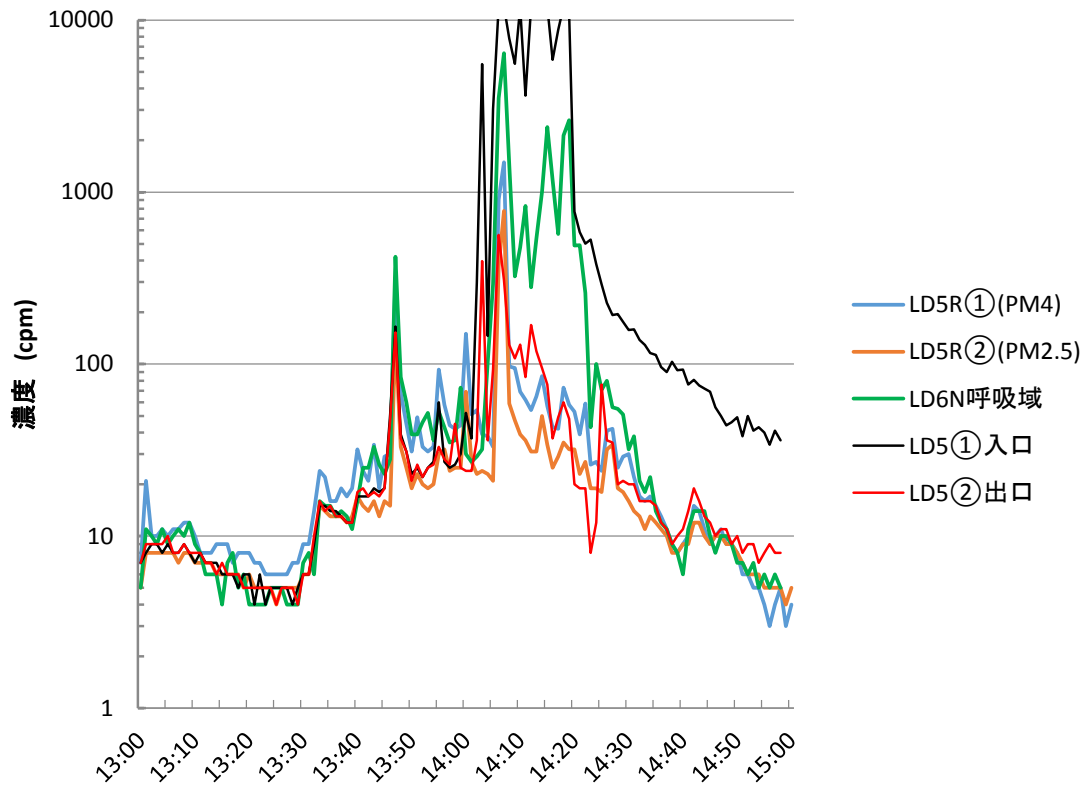


図3-19 全ての粉じん計の測定結果 (cpm表示)

大学から計測を開始、現場到着は13:40ごろ、測定終了は14:30ごろ。

LD-5R, LD-6Nは作業環境を測定。

LD-5は除じん装置の入口・出口に設置して濃度と通過率を測定した。

2017/3/13

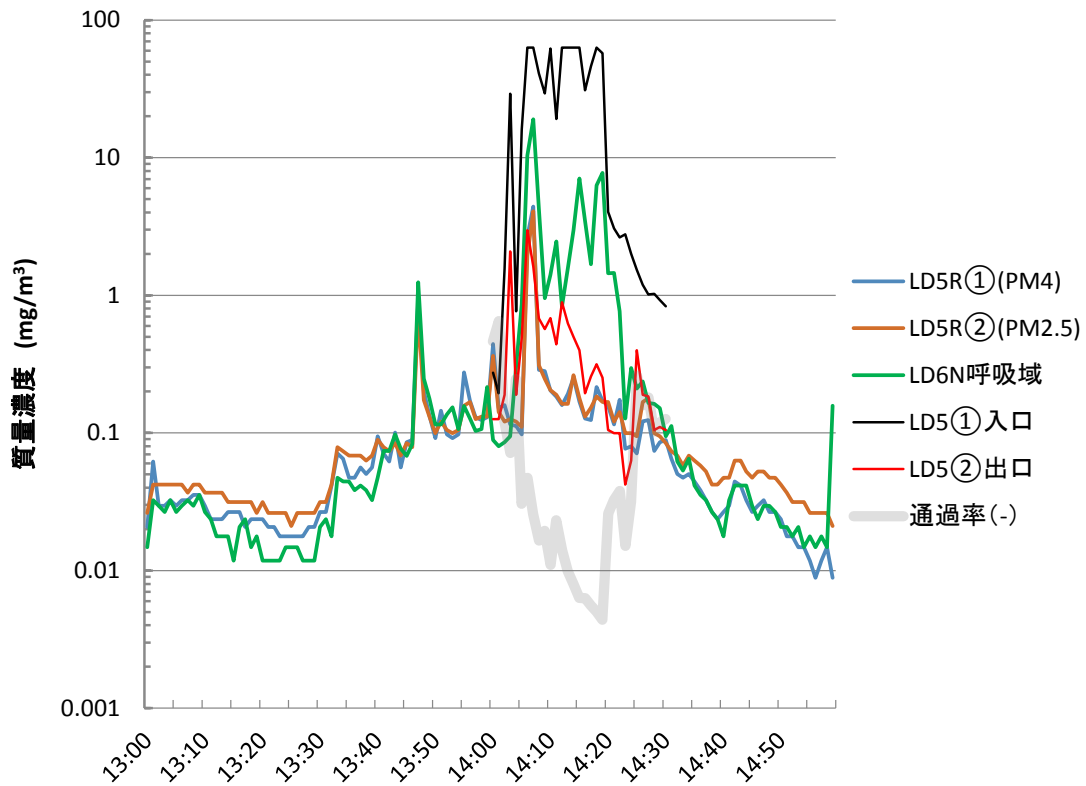


図3-20 全ての粉じん濃度測定結果

大学から計測を開始、現場到着は13:40ごろ、測定終了は14:30ごろ。

HV 質量濃度（吸入性粉じん）は 0.194 mg/m^3 （14:08-14:20, 空気量 3.1 m^3 ）

LD-5, LD-6N は質量濃度変換係数K値 $0.0030 \text{ mg/m}^3/\text{cpm}$ として計算。

LD-5, LD-5R PM2.5 サイクロン付ではK値 $0.0053 \text{ mg/m}^3/\text{cpm}$ として計算。

除じん装置前後の通過率（-）

2017/3/13

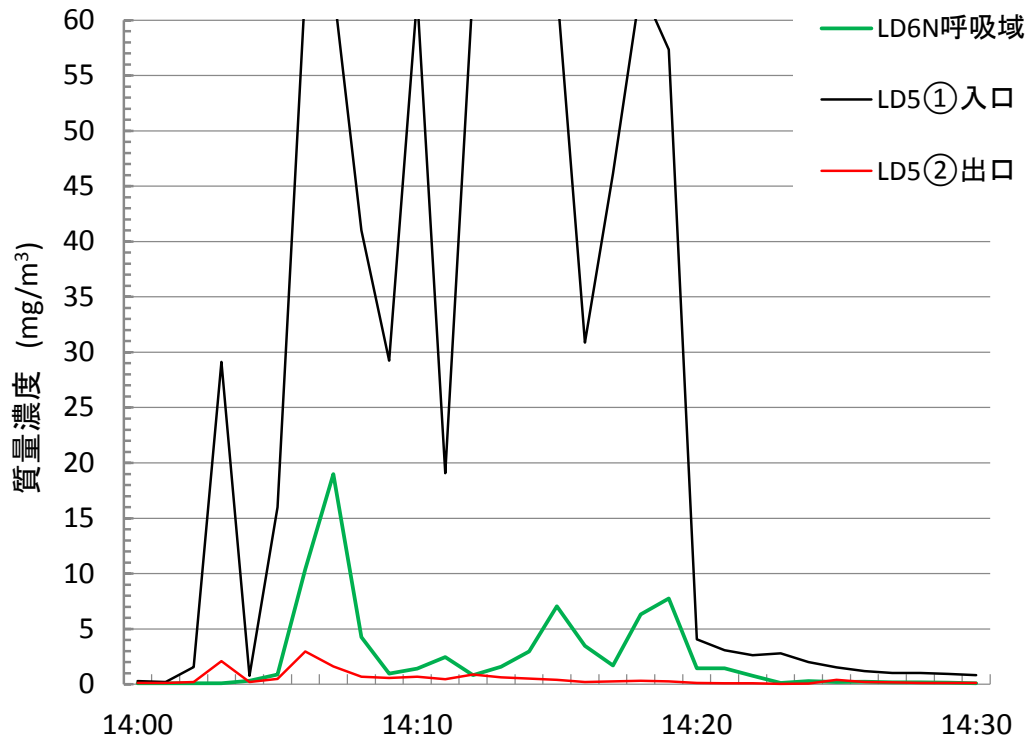


図3-21 除じん装置入口と出口での粉じん濃度及び作業者呼吸域での濃度
除じん装置入口と作業者呼吸域での濃度は同様の傾向があった。
除じん装置側の濃度が作業者呼吸域と比べかなり高く、局所排気装置として十分に機能していると思われる。

2017/3/13

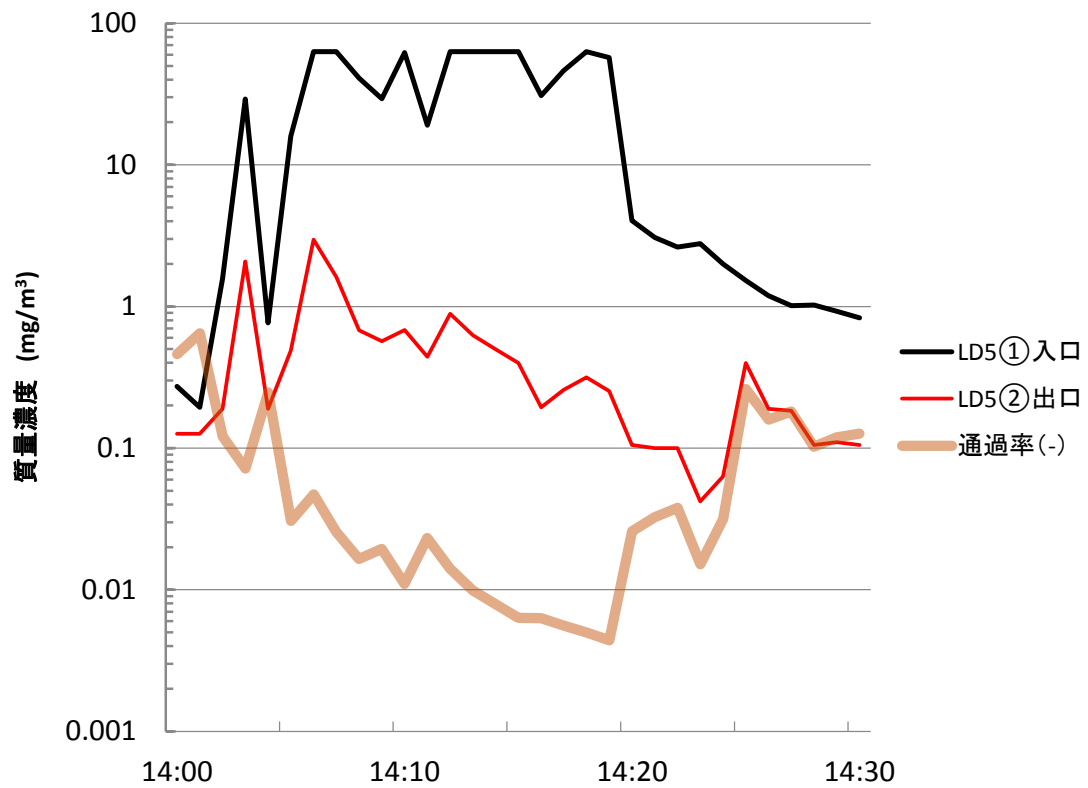


図3-22 除じん装置入口と出口での粉じん濃度及びその比（通過率）

模擬研磨作業を実施した14:05～14:19までの除じん装置の粉じん平均通過率は1.6%で良好であった。入口濃度は高濃度で粉じん計が飽和して上げ止まっている様子が見えるが、通過率は悪く見えるため安全側と見なした。

14:02と03は除じん装置の電源をON・OFFしたため変化したと思われる。

2017/3/13

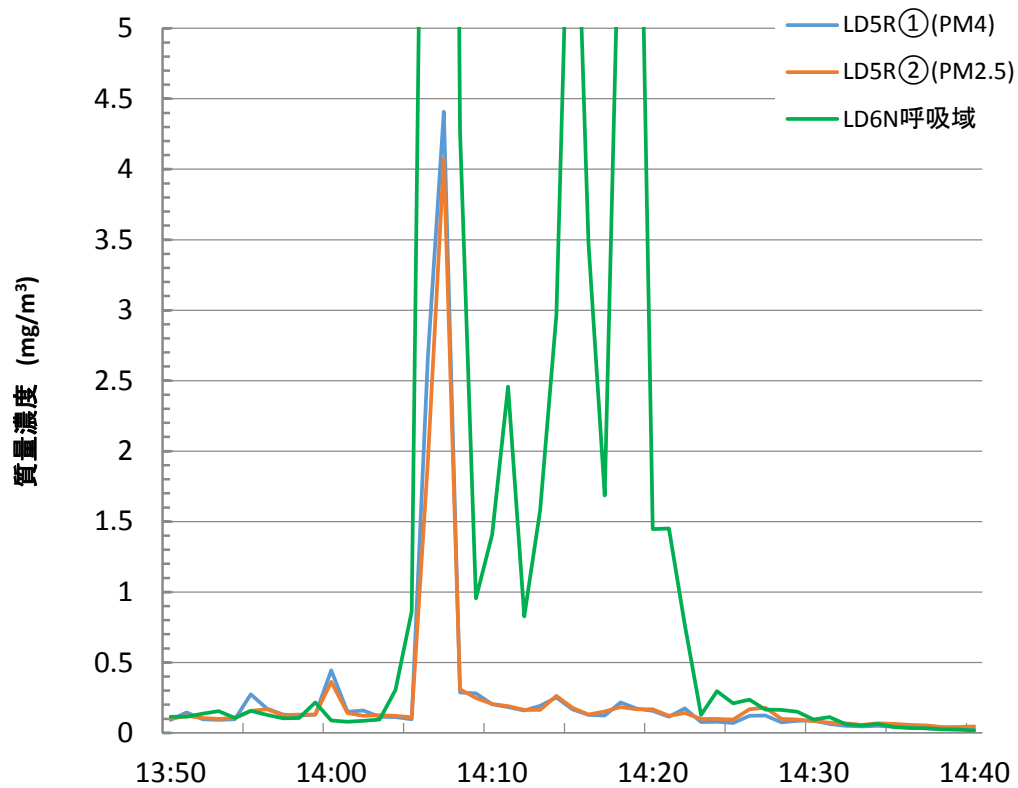


図3-23 研磨作業における作業員呼吸域と作業員後での粉じん濃度

LD-5RにPM2.5サイクロンを付けたものと付けないもので、K値を用いて質量濃度に変換した場合には違いはほとんどない。電動グラインダー作業の作業員の立ち位置の変化で途中から定置（約1m）の粉じん計の濃度が低下した。



図3-24 除じん装置入口のLD-5①に取り付けたPM2.5サイクロン内部に捕集された粉じん（測定3、実質15分間のサンプリング）

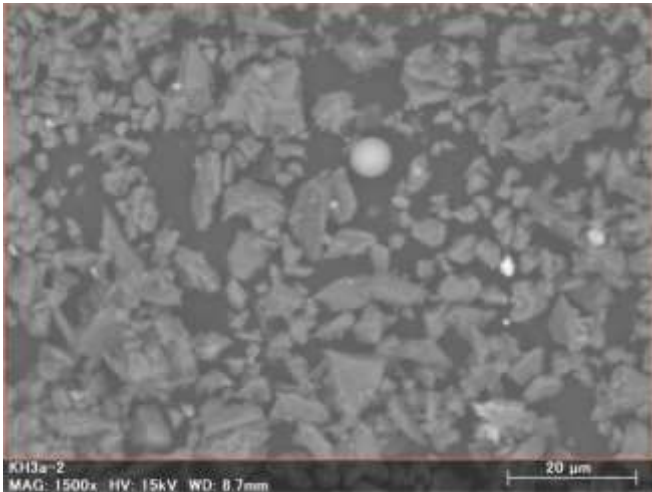
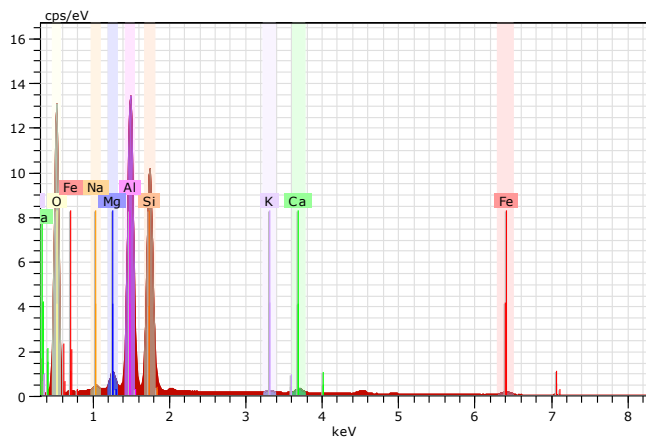


図3-25 PM2.5サイクロンに捕集された粉じんの走査型電子顕微鏡写真



EDXによる元素分析スペクトル

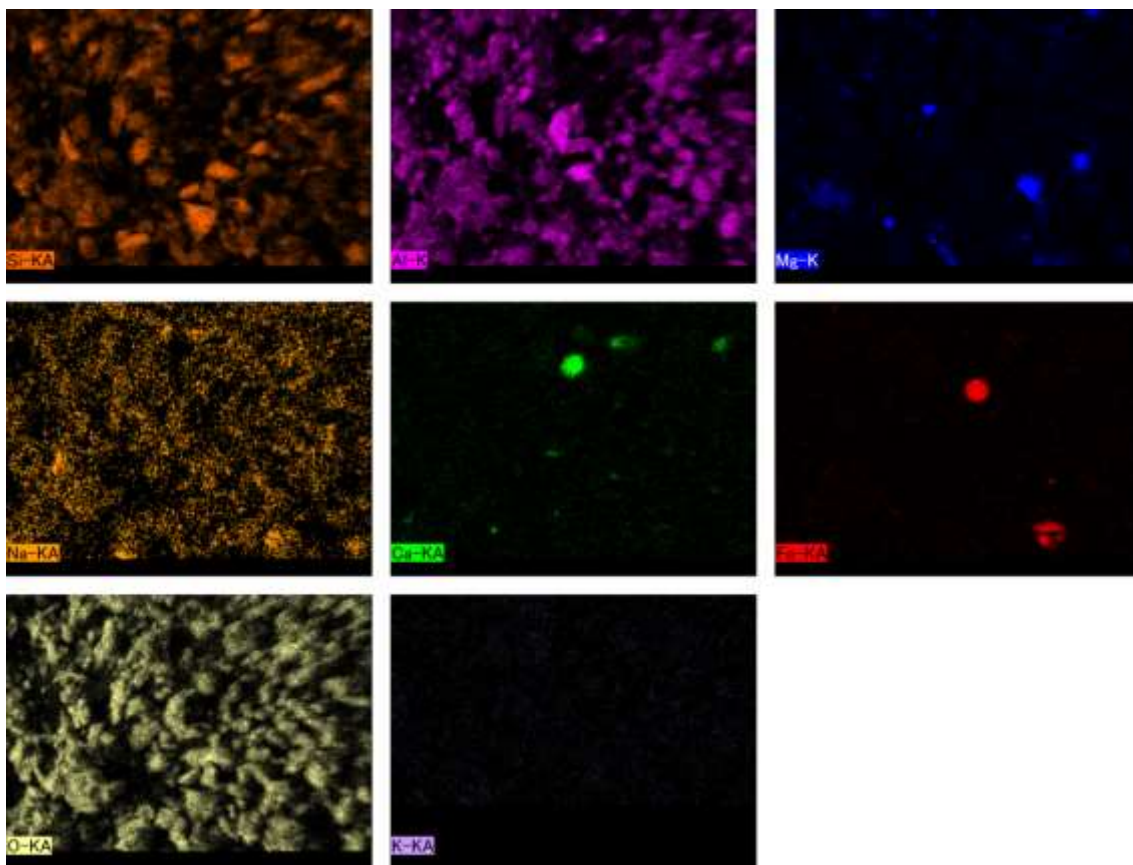


図3-25 PM2.5サイクロンに捕集された粉じんのEDXによる元素マッピング
 切削したレンガの成分であるシリカとアルミナ由来の元素とグラインダーの砥石由来と思われる元素が認められた。

3. 本年度の調査研究のまとめ

1) 除じん装置に関する情報収集による現状分析

I S Oのワーキンググループにおいて送風機内蔵型のパルスジェット方式ろ過式除じん装置の性能評価方法について議論されている。入口への試験粉体の種類、供給方法、供給濃度、供給時間などが検討課題である。ろ布を用いるろ過式の除じん装置は新しいろ布では捕集効率は低く、粉じんの堆積とともに捕集効率が次第に上昇するので、どの時点で性能を測定するか問題となっている。ここでは捕集効率が低い初期の状況については短時間ということで議論していない。

I S Oや既存のJ I Sでは、除じん装置の性能はすべての粒径の粒子の質量濃度の比で求めており、入口は供給した粉体の質量と吸引空気量、出口は粉じん計を用いた測定である。従って吸入性粉じんより大きな粒子は除去しやすく質量に占める割合も多いため性能をよく見せる問題がある。

除じん装置とろ布は必ずしも同じメーカーのもの（純正品）が現場で使用されていない。粉じんの堆積に寄らず高効率の捕集の可能なろ布もあるとの説明だが、実際は経済原則で選択されている。従って除じん装置メーカーも実際の除じん装置の性能を完全には把握していない。

調べた範囲では除じん装置の点検表は目視による点検のみで明確な数値の指標がない。

2) 測定装置の検討結果

個人曝露濃度測定ではLD-6Nをエプロンに取り付けて使用した。作業者は自分のエプロンの上に重ねてこのエプロンを着用しており、特に不満はなかった。

PM2.5サイクロン（50%分離径が2.5 μ mの性能）を粉じん計LD-5とLD-5Rに取り付けて測定を行った。また新しく開発したハイボリウムエアサンプラ用のサイクロン（吸入性粉じん条件）も使用して質量濃度測定と質量濃度変換係数K値を求めた。

PM2.5サイクロンの有無で粉じん計の感度が異なり、2.5 μ m以上の粉じんも粉じん計に影響を与えた。これは粒子からの反射や回折光によるもので光散乱によるものではないと考えられる。K値による補正を行えば質量濃度（吸入性粉じん）としては同様の時間変化を示した。

研磨作業に使用される除じん装置入口では、吸入性粉じんより大きな粉じん粒子が多量に吸引されており、粉じん計にとって厳しい条件であった。これらの粒子の一部はサンプリング配管内に沈降堆積するほどでPM2.5ないしはPM4の分粒装置が粉じん計前に必要であることがわかった。

呼吸域の粉じん濃度は、電動グラインダー（測定3）も溶接（測定2）も定置の粉じん計（1~1.5mくらいの距離）に比べ高い値を示した。この濃度は除じん装置入口濃度と比べて同じレベル（測定2）や低いレベル（測定3）であった。しかし、作業に伴って発じんしている場合は、呼吸域の粉じん濃度は高く、作業者は呼吸用保護具を着用する必要があることが再確認された。

ダクト内流速は最大 25 m/s ほどあり（測定 2）、LD-5 の吸引速度は 1.7 L/min で管径は 8mm で吸引口では 0.56 m/s となる。気流とサンプリング吸引速度の比は 0.023 となり、非等速吸引のため実際より高濃度となると予想される。既報では吸引速度比が 0.023 で 2 μm の粒子で 10% ほど高濃度となる。除じん装置の入口・出口の濃度測定に LD-5 に PM2.5 サイクロンを取り付けて大きな粒子を除去する構造としたため大きな粒子の性能測定への影響はないものとする。

3) 作業環境で使用されている集塵装置の性能測定

除じん装置の前後での濃度測定では、PM2.5 サイクロンを取り付けた LD-5 で入口・出口の粉じん濃度を測定して比（PM2.5 粒子通過率）を求めた。除じん装置の管理を良好に実施している場合は、除じん装置の平均通過率は 3.6%（測定 2）や 1.6%（測定 3）で良好であった。

除じん装置は粉じん堆積とともに流量も捕集性能も変化し、目安となる適当な定量的指標がないため管理の方策は、現状では目視であり、除じん装置管理者の経験に依存している。

除じん装置のファンを起動した直後に出口から粉じんが排出され、その後 1 から 2 分で急減することが観察された（測定 2）。これはろ布が膨らむときに粉じん粒子がろ布からこぼれる現象と思われる。粉じんを入口から供給せずにファンを ON・OFF して出口粉じん濃度を測定・観察することで除じん装置の状態を定量的に監視できる可能性がある。

以上の結果から、ろ過式の除じん装置の性能維持のためには、装置の吸引流量、ろ布の圧力損失およびろ布の性能確認などについて定量的な管理の指標が必要と思われる。

研究発表

学会発表

1) 粉じん個人曝露測定装置 PDS2 を用いた PM2.5 曝露測定

明星 敏彦、大藪貴子、日本産業衛生学会 平成 28 年 5 月 福島市

2) ハイポリウムエアサンプラ用直進サイクロンによる吸入性粉じんの分級

明星敏彦、高久田恭平、小山博巳、日本労働衛生工学会 平成 28 年 11 月 下関市

3) Systematic review for World Health Organization guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials: specific risk mitigation technique.

Toshihiko Myojo, Tomohisa Nagata, ISRP YOKOHAMA, 2016/11 横浜市

原著

技術論文「ハイポリウムエアサンプラ用の新たな直進型サイクロンの開発と評価」

明星敏彦、高久田恭平、小山博巳、エアロゾル研究 平成 29 年 2 月受理