

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

総合研究報告書

令和元年 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）が平成28年度から30年度に実施した「粉じん作業における除じん装置の有効性の検討」の成果を取りまとめたものです。

目次

- 1 . 研究の概要
 - 1 - 1 研究計画
 - 1 - 2 研究の目的、必要性及び特色・独創的な点
- 2 . 除じん装置に関する情報収集
 - 2 - 1 集じんシステム性能の実験室規模試験法に関する I S O の進行状況
 - 2 - 2 集じんシステムのメーカーでのインタビュー
 - 2 - 3 大学での集じんシステム評価試験の見学
 - 2 - 4 研究者の意見交換
- 3 . 作業環境における性能評価
 - 3 - 1 作業環境で使用されている除じん装置の性能評価のための測定装置
 - 3 - 2 作業環境で使用されている除じん装置の性能測定
 - 3 - 3 結果とまとめ (平成 2 8 年度)
- 4 . 実験室における性能評価
 - 4 - 1 測定装置
 - 4 - 2 除じん装置
 - 4 - 3 結果 (平成 2 9 年度)
 - 4 - 4 まとめ
 - 4 - 5 結果 (平成 3 0 年度)
 - 4 - 6 まとめ
- 5 . 除じん装置のろ布の捕集性能測定
- 6 . 考察
 - 6 - 1 除じん装置に関する現状分析
 - 6 - 2 提言

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。

1-1 研究計画

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。(図1-1参照)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。

平成29年度研究計画

- 1) 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。(図1-1)
- 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)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。

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タなどを用いる。(図1-1)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。

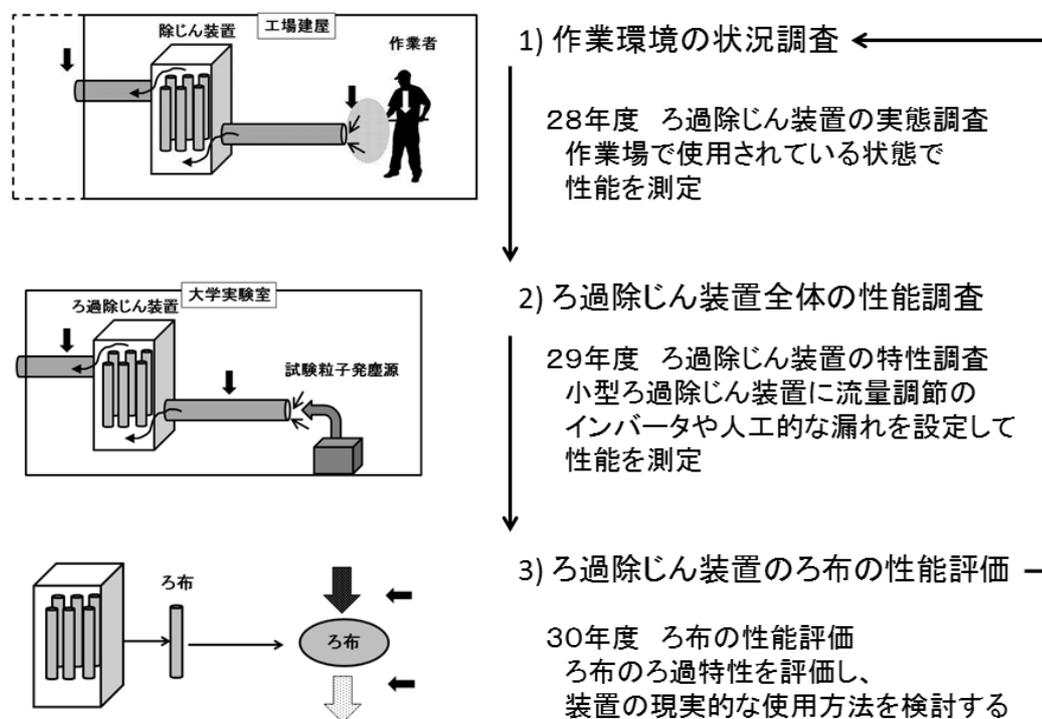


図1-1 研究の流れ図

小型ろ過除じん装置の性能測定に必要な手法を提案する。1) 現状の確認、2) 小型ろ過除じん装置全体の特性の調査、3) 使用されているろ布の性能評価を行い、小型ろ過除じん装置を使用する場合に必要な性能確認の方法や装置を提案する。

除じん装置とは

粉じん障害防止規則第13条において、粉じんの種類と除じん装置の指定があり、ヒュー

ムについてはろ過除じん方式と電気除じん方式、そのほかの粉じんではこれに加えてサイクロンとスクラバーが認められている。本研究の対象はろ過除じん方式の小型除じん装置であるが、集じん方式には1) バグフィルタと2) エアフィルタの二種類がある (Kanaoka 2018)。バグフィルタは袋状の布や不織布に粉じんを流通・捕集する構造で、電気掃除機などでしばしば見られる。バグフィルタそのものの捕集効率は高いとはいえず、捕集した粒子によってできた粉体層により捕集するが(図1-2参照) 通気抵抗が次第に上昇するのでときどき払落しを行っている。粉じん払落しは手で振動する手動もあるが、定期的に高圧空気をろ布の下流から上流に向かって噴射する方法がパルスジェット方式である。エアフィルタは微小な繊維からなる疎な構造体でフィルタ内部で粒子を捕集し、防じんマスクなどで使用されており、粉じんの濃度が低いクリーンルームなどで設置されている。エアフィルタは、特にHEPA フィルタは、始めから高い分離性能があるが、高濃度の粉じんを捕集すると粉じんが堆積して通気抵抗が上昇し、払い落とす方法がないので短時間で使用できなくなる欠点がある(図1-2参照)。従って局所排気装置などで使用する小型除じん装置の基本構造は図1-3で示すようなバグフィルタであるが、排気口下流にエアフィルタを取り付ける組み合わせの構造の選択もある。構造は電気掃除機と同様であるが、処理風量は数 m³/min から 100m³/min までである。ファンモータは3相交流 200V が一般的である。低価格であり、バグフィルタの圧力損失を示す水柱マンメータ(透明ビニール管)以外の表示装置はない。

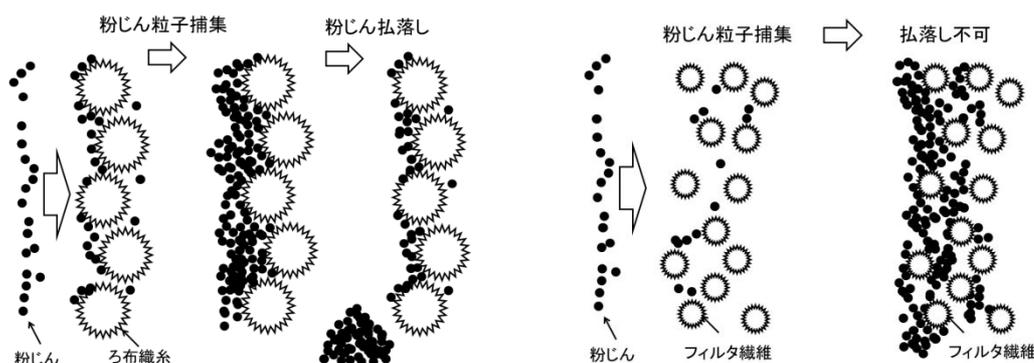


図1-2 バグフィルタ(左)の集じん過程とエアフィルタ(右)の集じん過程
バグフィルタはろ布表面に粉じん粒子が捕集堆積し、次第に捕集効率と通気抵抗が上昇する。堆積粉じんを払落して繰り返し使用する。エアフィルタの繊維間に堆積した粉じんは払落しできない。

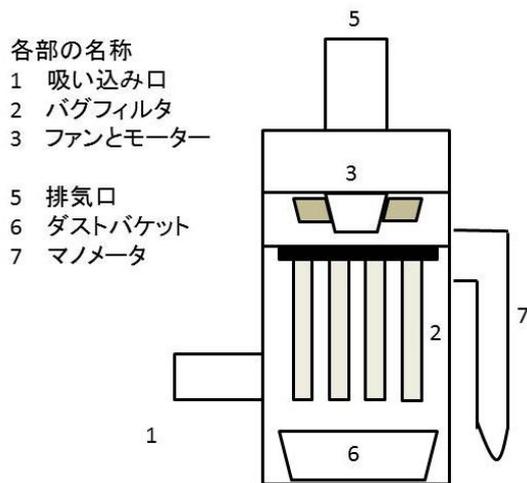


図 1 - 3 ファン内蔵型小型除じん装置

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い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って、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, JU0EH, 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）において行った。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。

平成 30 年度は、測定は集塵装置全体について再度測定し、さらにろ布試料のみについて粒子径別の性能測定を行った。

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) Kanaoka C: Fine particle filtration technology using fiber as dust collection medium, KONA Powder and Particle Journal 36:88-113 (2019).
- 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)
- 3) 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. 除じん装置に関する情報収集

2-1 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コンペ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年に就任したコンペナーが、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。

以下これまでの審議状況の概要

平成28年度第1回集じん技術小委員会WG-C作業部会 議事概略

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 「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 議事概略

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 議事概略 (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 $0.5\text{g}/\text{m}^3$ 以上となるようにする。また、集塵機へのダクト流速を $1.5\text{m}/\text{s}$ 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 議事概略

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： 供給量(kg) Mean ± 5%以内。
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：
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。
温度/湿度補正は行わない。
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。

規格委員会/集じん技術委員会
第1回 WG-B 及び第1回 WG-C 合同委員会 議事概略

日 時： 平成 29 年 4 月 27 日(木) 13:15～16:10

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 19 名

議 事：

1. 集じん技術委員会

1.1 委員会の構成

- ・昨年度と同体制で進める。

1.2 本年度の方針

- ・WG7 は、3 月に PWI22301 を提出し、投票が開始された。引き続きフィルタ評価を計画に沿って推進する。
- ・WG5 は、昨年度のラウンドロビンテストの問題点を踏まえ、早期に本年度テストを実施して、PWI 骨子を確立する。パリ会議の前に、関係者(米国、中国)と協議する。
- ・ISO TC142 全体会議 2017 年 9 月 25～28 日 パリ

2. WG-B 委員会

2.1 H29 年度の計画

- ・資料(WG-B 本年度計画案)に従って報告

2.2 ろ布サンプリングの実施状況

3. WG-C 委員会

3.1 H28 年度ラウンドロビンテスト実施結果の報告

<問題点>

- ・パルスジェット時に払落しエアが入口ノズルを粉じんが逆流し粒子供給に影響が見られた。
- ・入口ノズルに粉体が付着、ノズル外に粉体が落下した。総粉体供給率は 99.3%であった。99.3%なら問題無しとするレベルではないのか。
- ・試験粉体濃度が風量低下により、初期 2.5g/m³ 最終 3.6g/m³ に変化した。

**平成 29 年度集じん技術委員会
第 2 回 WG-C 作業部会および WG-B 委員会 議事概略**

日 時： 平成 29 年 9 月 12 日(火) 13:00～17:20

場 所： 広島大学工学部 A4 棟 1F 第 3 類大会議室
広島県東広島市鏡山一丁目 3 番 2 号

出席者 13 名
明星 欠席

議 題：

1. WG-C 作業部会

1.1 ISO/TC142/WG5 パリ会議への方針

1.2 ISO16313-2 提案試験方法・手順の検討

(個々の手順、測定装置、測定方法の実施可能性の確認)

2. WG-B 委員会

2.1 ISO/TC142/WG 7 パリ会議への方針

2.2 劣化評価の検討

3. その他

ワーキンググループ予算、集じん分科会からの連絡、他

議 事：

1. WG-C 作業部会

1.1 ISO/TC142/WG5 パリ会議への方針 (金岡委員長)

(1) PWI16313-1 (Part1) は、activation については賛成多数であったが、エキスパートを出して案文作りに積極的に関与すると表明した P-body が 5ヶ国集まらず、結果的に承認されなかった。

(2) パリ会議では、Part1 の方針を聞いたうえで、Part2 との統合を提案する。これまでどおり Part1, 2 と別々で規格化することになったときには、参加国を増やす方策を模索する。

(3) Part1 が Part2 に同調できるような規格作りを進める。

1.2 ISO16313-2 提案試験方法・手順の検討

1.2.1 広島大学ラウンドロビンテスト実験設備の見学

・払落シエアが入りノズルを逆流し粒子供給に影響が見られた。

・入りノズルに粉体が付着、ノズル外に粉体が落下した。

・アトマイズ(炭酸カルシウム)は、関東ロームよりも機器に付着しやすい傾向があり、実験者が粉体供給機の閉塞を監視する必要があった。

2. WG-B 委員会

2.1 ISO/TC142/WG 7 パリ会議への方針

(1) WG-7 の PWI は、積極的に案文作りに参加する国 5カ国を確保し承認された。今後、参加国継続維持努力が必要。

(2) 規格化は JIS ベースで進める予定だが、参加国との論点としてパリ会議で、次の 6 項

目の提言を予定する。

- 1) 稼働中集じん機からのろ布サンプリング方法（位置、本数、手順、取扱い等）
- 2) サンプリングする時期や集じん機の運転条件
- 3) ラボでやるべき事（取扱い上の注意等）
- 4) サンプルろ布から、試験片を採取する場所とサイズ
- 5) サンプルろ布並びに試験片の測定項目と方法
- 6) 測定結果の評価に付いて（ANNEX への例示等）

ISO/TC 142/WG7 Meeting Minutes

Cleanable filter media used in industrial applications

September 26, 2017 (09:00-12:00)

1. Opening of Meeting

2. Roll Call of delegates and Introductions

C. Kanaoka (JISC), C. Desquilles (AFNOR), K. Fukui (JISC), K.-J. Choi (KATS), X. Sun (SAC), J. Liu (SAC), N. Mao (SAC), A. Morishita (JISC), A. Untz (ANSI), R. Romanò (UNI), K. Morris(BSI), S. Hiner (BSI)

3. Approval of the Agenda (N033)

4. Previous minutes

1) The title and scope of WG7 modified as follows by resolution N 175 (Atlanta 7):

Old Title: Durability of cleanable dust control filter media used in dust removal applications. Old scope: To develop test methods useful to assess the durability of filter media for industrial applications. New Title: Cleanable filter media used in industrial applications. New scope: To develop test methods useful to assess the performance and characteristics of cleanable filter media for industrial applications.

2) “Sampling and test method for cleanable filter media taken from filters of systems in operation”, has been approved as a preliminary work item by resolution N 176 (Atlanta 8).

5. Work Items

1) Confirmation of WG 7 convenor

Prof. C. Kanaoka committed to continue in his term of convenor of WG 7 for a further period of three years. That was unanimously approved.

2) The result of NWIP ballot

“Sampling and test method for cleanable filter media taken from filters of systems in operation” had been approved by the NWIP ballot and registered as NWI (stage 20.00).

3) The Draft “Sampling and test method for cleanable filter media taken from filters of systems in operation”

-Prof. K. Fukui (JISC) explained the targeted points which have been discussed among JISC members.

4) Discussion the draft

- Reference media has to be specified to create the baseline to be enabled to compare.
 - Necessary to add item of Personal Protection to ensure worker's safety and health.
 - How to clean up the test specimen, such as sonicator, vacuum cleaner, brush or scraper, depends on the analysis to be done.
 - Required measurement items should be Tensile strength, Coefficient of extension, and Air permeability. Coefficient of extension is supposed to be "Elongation ratio to maximum elongation"
 - Optional measurement items are proposed such as thickness of filter, stiffness, and cohesiveness.
- Prof. C. Kanaoka requests further comments to submit later by Email.

6. Any other business

None

7. Approval of resolutions

- Confirmation of WG 7 convenor
- Develop ISO/NP 22031

8. Schedule of the next meeting

- 1) Prof. C. Kanaoka will send the revised draft to WG members with request for their comments by Mid-October.
- 2) He will update the draft reflecting their comments by the end of October.
- 3) Internet Meetings will then set to discuss the latest draft.
- 4) 2018 Plenary Meeting
Meet in conjunction with Plenary in Beijing from Sep. 18 to 21.

平成 29 年度 第 2 回 集じん技術委員会 議事概略
(合同開催 第 3 回 WG-B および第 2 回 WG-C)

日 時： 平成 29 年 10 月 17 日(金) 13:00～16:30

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

出席者： 14 名

明星 欠席

議 題：

- 1 . 金岡委員長より ISO/TC142/WG5 および WG7 会議(パリ)出張報告
- 2 . WG-B 委員会
- 3 . WG-C 委員会
- 4 . その他

議 事：

- 1 . 金岡委員長より ISO/TC142/WG5 および WG7 会議(パリ)出張報告(資料 13)

(1)WG-5 ISO16313-PART 1 は不承認であった。ドイツは PART-1 にて全ての集じん機試験方法が規定されることを反対した。ドイツでは VDI 規格として集じん機の用途別に規格があることからである。

VDI にて集じん機における規格に何があるかを協会にて調査をする。

(2)PART2 : Part1 に対するドイツのコメントで、規格の適用範囲を限定することが強調されたので、Part2 は小型装置しかも不特定多数のユーザーを対象とする集塵装置に限定することとなった。

平成 30 年度集じん技術委員会 第 1 回 WG-C 作業部会 議事概略

日 時： 平成 30 年 6 月 5 日(火) 14:30 ~ 16:20

場 所： 日本粉体工業技術協会 東京事務所 5F 会議室
東京都文京区本郷 2 - 26 - 11 種苗会館

出席者 (敬称略・順不同)

委員長 : 森下あや子(アマノ)
副委員長 : 福井国博(広島大学)
(出席者 13 名) 明星 出席

欠席者 : (欠席者 3 名)

配布資料 : 集じん技術委員会資料-1 ISO-TC142 N0578 N0578 Scedule

【WG-C 関係】

資料 C-1 ISO-TC142 N0574 N0578 Result of voting on active of ISOPWI 16313-1

資料 C-2 ISO 16313-2WD

資料 C-3 議事録コメント 井村氏

資料 C-4 炭酸カルシウム調査結果

資料 C-5 Poll About Test Dust WG5

議 題：

1. 集じん技術委員会からの報告
2. Part-1 の投票結果 (C-1) について
 - ・ Part-1 の Activation は昨年 5 カ国以上確保できないため、4 月期限に再投票が実施され 6 カ国にて認められた。なお、今回もドイツは反対したがエキスパートを派遣する意思を出した。
3. テスト方法(C-2~3) について
 - ・ ダクト内での試験粉体の均一分散法は Part-1 がステアマンドディスクの設置を明記されている。Part-2 は ANNEX に分散方法等を紹介する形とし、投入方法は特定しないものとする。
4. 試験粉体の再利用(C-4~6) 並びに国内調達試験粉体について
 - ・ 配布資料データ(Sheet 23)は 3 回リサイクル(新品使用含む)したデータを示す。炭酸カルシウムのデータを C-4 に示す。なお、本データは Atomite(炭酸カルシウム)に類似したものに調査した。炭酸カルシウムは、Part1 でも採用されており、安全性や入手性に優れる。
 - ・ 調査した炭酸カルシウムに対し d50 における安定性(できれば粒度分布の入手)、100kg 程度を購入した際の価格を調べる。
5. Part-2 における Stage-1、Stage-2 の対応について
6. ラウンドロビンテストについて

平成 30 年度集じん技術委員会 第 2 回 WG-B 委員会 議事概略

日 時： 平成 30 年 6 月 5 日(火) 13:00 ~ 14:30

場 所： 日本粉体工業技術協会 東京事務所 5F 会議室
東京都文京区本郷 2 - 26 - 11 種苗会館

出席者 (敬称略・順不同)

委員長 : 福井国博(広島大学)
(出席者 13 名) 明星出席

欠席者 : (欠席者 7 名)

配布資料 : 集じん技術委員会資料-1 ISO-TC142 N0578 N0578 Scedule

【WG-B 関係】

資料 B-1 S 社提供実稼働集じん機運転データ

資料 B-2 報告書 20180531-提出

資料 B-3 カット 0.1 μm のろ布資料物性表

資料 B-4 AESC-14L-501 耐久 50 ~ 300 時間 Rev-01

資料 B-5 22031 投票内容

資料 B-6 ISO_CD_22031 19aprile

資料 B-7 ろ布性能・劣化・トラブル調査手法

議 題：

1. 集じん技術委員会からの報告
2. ろ布抜き取り試験(B-1)について
3. ろ布耐久試験結果報告(B-2 ~ 4)について
4. 投票について (B-5 ~ 6)について
5. ろ布性能・劣化の状態・トラブル調査の手法 (B-7)について
6. 今後の予定

集じん技術委員会
平成 30 年度 第 2 回集じん技術委員会合同委員会 議事概略
(第 3 回 WG-B および第 2 回 WG-C 委員会 合同開催)

日 時： 平成 30 年 10 月 22 日(月) 13:00 ~ 16:30

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

出席者 (敬称略・順不同)

委員長 : 金岡千嘉男(金沢大学名誉教授)
(出席者 15 名) 明星出席
(欠席者 5 名)

配布資料 : 共通資料-1 平成 30 年度北京出張報告書

【WG-B 関係】

資料 B-1 Agenda
資料 B-2 candidate of next working item
資料 B-3 ISO CD 22031 0920-F
資料 B-4 WG7 Minutes Beijing meeting 2
資料 B-5 ろ布耐久試験結果報告書 20181020
資料 B-6 ろ布耐久試験結果報告書 20181019

【WG-C 関係】 ISO-TC142-WG5 は WG5 と略す。

資料 C-1 WG5 N0073 WG5 Update for TC141
Plenary 180920
資料 C-2 WG5 N0074 Beijing meeting Agenda
Revised 180920
資料 C-3 WG5 N0075 WG5 N0069 16313-
資料 C-4 WG5 N0076 PW116313-2 Draft 20180920
資料 C-5 WG5 N0077 PW116313-2 Presentation and Data
資料 C-6 WG5 N0078 Beijing meeting Minutes 180920
資料 C-7 20181022 報告用

議 題：

1. 平成 30 年度 北京出張報告 (ISO/TC142 報告)

2. 第 3 回 WG-B 委員会

2-1 北京会議において(配布資料 B-1 ~ B-4)

・「ろ布の試験方法について、一般物性(質量,厚さ,強度等, JIS1913 : 2010 一般不織布の試験方法, ISO 9073 part1-7 Textiles-Test methods for nonwovens) 通気度については JIS L1096 織物及び編物の生地試験方法, 8.26 C 法, ISO9237:1996 Textiles-Determination of the permeability of fabrics to air などがある。

また、TAPPI(Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Inc、パルプ製紙業界技術協会)規格もあるが、これは紙についての試験法であり、密度が小さく通気度が大きいフェルト類には適用が難しいだろう。

2-2 ろ布耐久試験結果報告について(配布資料 B-5 ~ B-6)

・CD は「刷毛等で粉じんを落とす」とあるが、実際の試験では「水洗い 超音波洗浄 乾燥」とした。

・実機からの使用済ろ布の採取は JIS-Z-8910 に則した採取が難しい場合がある。これは今回使用済ろ布がリテーナを先に抜き取ることができず、ろ布と同時に引き抜きを実施した。また、ろ布はリテーナと密着しており、ろ布のみとする際に、カッターに

てろ布を切り裂き、リテーナより外している。実際の使用済ろ布の採取は JIS に記載した方法が困難なことも予想される。そのため、JIS に則らない場合の採取方法は、ろ布を切り裂く際にルーパ部にて切断する等の配慮を、規格に記載すべきである。

3. 第3回 WG-C 委員会

3-1 北京会議において(PART-1 について<配布資料 C-6>)

3-2 北京会議において(PART- 2 について<配布資料 C-6>)

- ・試験粉体特定は説明を避けた。試験粉体として炭酸カルシウムは各国にて安価に入手可能である感触が掴めた。ただし、炭酸カルシウムは平均粒子径、同分布度等の確認および限定を行う必要がある。なお、他の国は試験粉体の再利用に難色を示した。

3-3 試験結果報告について(配布資料 C-4,7)

- ・配布資料 C-7 の試験粉体はアトマイトを乾燥した新品を使用した。試験中の試験粉体は時間毎の粒子径度分布を測定し、試験途中での新品取替は実施していない。
- ・配布資料 C-7 はろ布差圧が 0.5kPa 程度まで上昇したが、先回の試験報告では 0.6kPa 程度まで上昇した。
- ・試験粉体は N76 記載の「乾燥と保管」を「新規開封したものを使用」へ変更する。

3-4 ラウンドロビンテストについて

4. その他

5. 今後の予定

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2-1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2-1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。

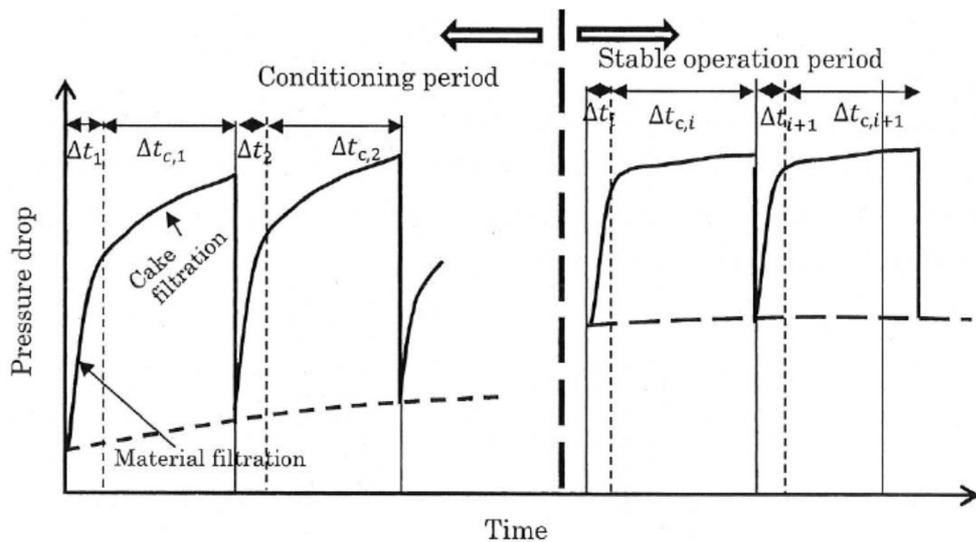


Figure 3 Pressure drop behavior with time

図2-1 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 - 2 集じんシステムのメーカーでのインタビュー

前節のISO審議参加メーカーに除じん装置についてインタビュー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ーアに送り、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(取扱い説明書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。VNA15 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H E P A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。

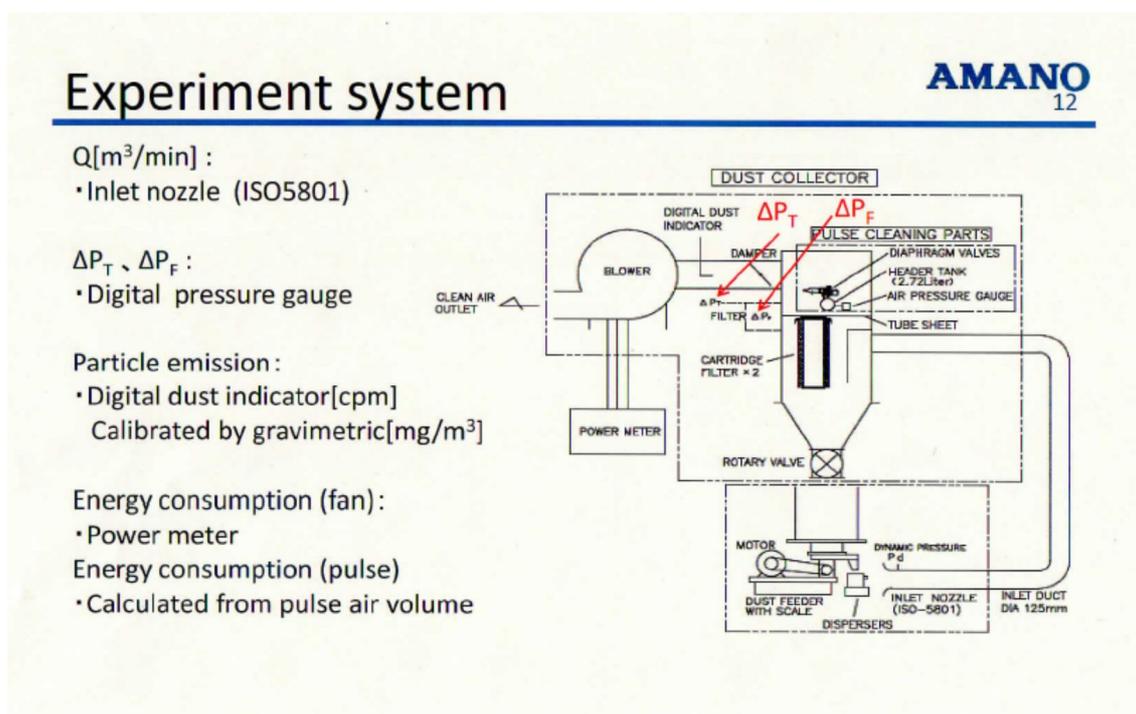


図2-2 パルスジェット式除じん装置の性能評価のための粉体の分散方法

下部で粉体定量供給器から小型遠心プロアに送り、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	
バケット	○				①バケット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2-3 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。
バケツ	○			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 2 - 4 手動払落し式の除じん装置の点検表

2 - 3 大学での集じんシステム評価試験の見学

参加者：明星

広島大学大学院工学研究科 福井国博 教授 訪問

日時：平成 29 年 3 月 1 日 13 時から 15 時

場所：広島大学大学院工学研究院

広島県東広島市鏡山一丁目 4 番 1 号

除じん装置について以下の項目について質問し実験を見学した。

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（商品名 ATOMITE）を米国から輸入した。ISOの性能評価で試験粉体として使用が予定されている。一部を本研究で使用するため提供いただき使用した。

エタノールに分散して測定した試験粉体の中位径は $3.74 \mu\text{m}$ との報告を得た。

2) 粉体の分散方法

図 2 - 5 に粉体分散装置の写真をしめす。右上の粉体定量供給器（秤量装置の上）から小型遠心ブロアに送り、排気の気流で分散して除じん装置の入口（ベルマウス）上部へ入る。粉体供給速度と吸引空気量から粉じん濃度を決定している。設定濃度は $2.5\text{g}/\text{m}^3$ （炭酸カルシウム）であったがエジェクターがときどき粉体で閉塞し運転には見張りが必要であった。また粉じん濃度も変動している。



図 2 - 5 パルスジェット式除じん装置（アマノ PiF30）の性能評価のための粉体分散方法（広島大学）

3) 集塵機前後の配管状態

図2-6に試験装置の全体を示す。写真の左側がパルスジェット式除じん装置（アマノ PiF30）で右側が粉じん供給装置である。図2-7に除じん装置の前方を開いた様子を示す。左手前の縦のパイプがパルスジェット用の配管で奥のフィルタを取り出した様子が右側の写真である。



図2-6 パルスジェット式除じん装置の装置構成（広島大学）
左側がパルスジェット式除じん装置で右側が粉じん供給装置
出口濃度は上部（2階部）に設置してある粉じん計によっている。



図2 - 7 フィルタの状態 左 装てん状態、 右 取り外した状態
本試験装置(アmano PiF30)は4ユニットのフィルタが装てんされている。(広島大学)

2 - 4 研究者の意見交換

第1回研究検討会

日時：平成28年11月16日13時から開催

場所：産業医大産業生態科学研究所

北九州市

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JIS Z 8808 (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。

第2回研究検討会

日時：平成29年11月6日17時から19時

場所：ホテル静鉄プレジオ 静岡市

参加者：名古屋、村田、大藪、明星

討議次第；

1) 今回の日本労働衛生工学会での学会発表内容について

平成28年度の結果を発表した。事前に発表のスライドを確認して参加者から了解を得た。

2) 本年度の研究進行について

除じん装置の性能確認について、流量確認、圧損確認、その上で捕集性能確認に進めることでより経費のかからない性能確認とする方向で、装置の性能評価を進める。

ろ布に漏れがある状態を再現するような測定を行う。

粉じん計の粒径別の分離性能について、得られた測定結果を討論した。

3) 次年度以降の計画について

除じん装置の研究についてはこのプログラムで終了とする。

厚労科研費の報告書と進行運営について相談した。

第3回研究検討会

日時：平成30年1月16日9時から13時

場所：産業医科大学産業生態科学研究所

北九州市

講師：金岡 千嘉男 氏

金沢大学名誉教授、粉体工業技術協会集塵分科会委員長

参加者：大藪、明星

講演内容：エアフィルタ・バグフィルタの違いとそれぞれの利用方法について広範な情報を得た。

本研究の実験装置などの見学とコメントもいただいた。

資料

- 1) エアフィルタ・バグフィルタの活用技術（講演資料）
- 2) 集じん分科会資料

3. 作業環境における性能評価

3-1 作業環境で使用されている除じん装置の性能評価のための測定装置

測定装置について以下のように検討を行った。

3-1-1 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。(図3-1参照)

3-1-2 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。(図3-2参照)

3-1-3 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。(図3-3参照)

3-1-4 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。(図3-4、図3-5参照)

3-1-5 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3-7、図3-8参照)



図3-1 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3 - 2 PM2.5 サイクロンを取り付けた2台のLD - 5



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



図3 - 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3 - 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)

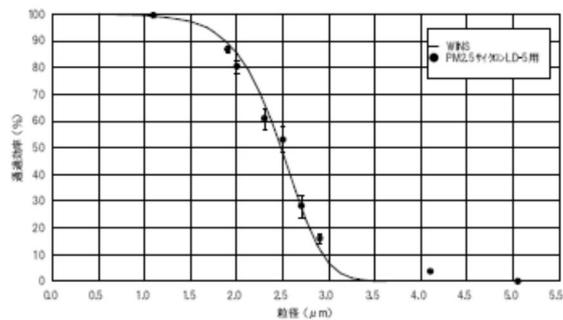
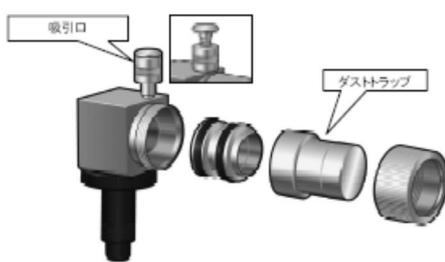


図3 - 6 PM2.5サイクロンの構造（左）と1.7 L/min吸引時の分離特性（右）
元々のPM2.5サイクロンは吸引口を閉塞できる構造となっていてインラインで使用できないので図2 - 5のように入口部をストレートにした形態で別に作成した。



図3 - 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。

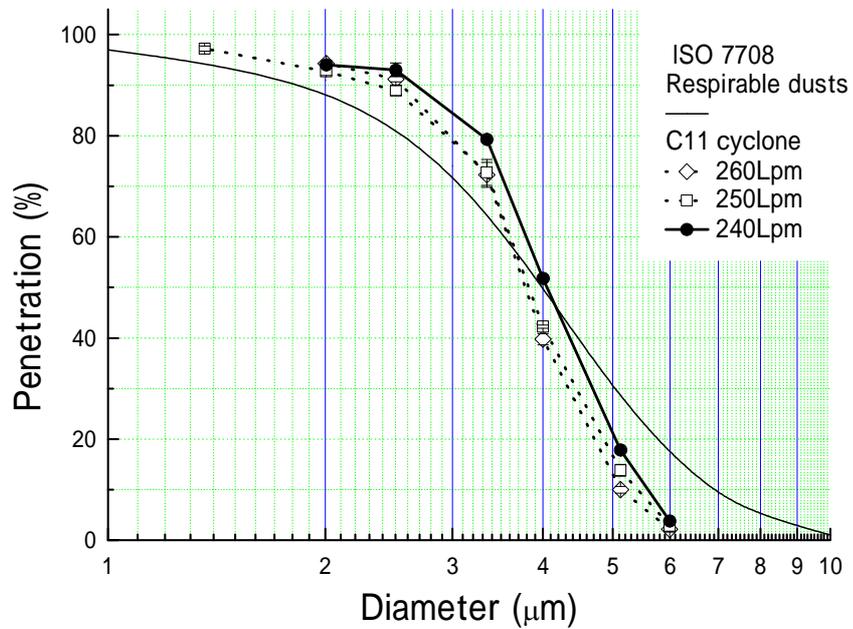


図3 - 8 ハイボリウムエアサンプラ用サイクロンの粒子径別の分離性能
 このサイクロンと分離性能については日本エアロゾル学会機関誌「エアロゾル研究」に報告。

3 - 2 作業環境で使用されている除じん装置の性能測定

3 - 2 - 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

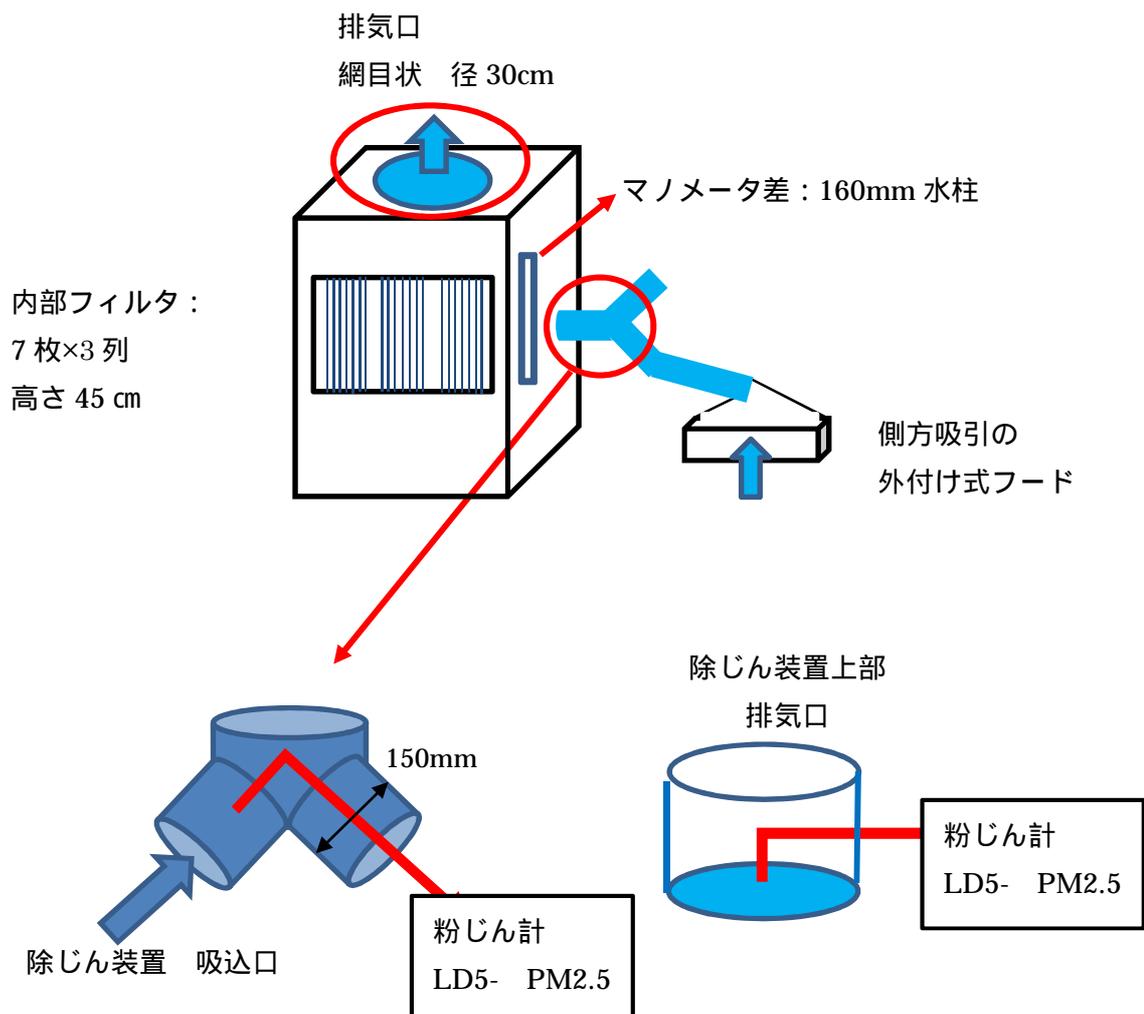


図3 - 9 除じん装置とサンプリング方法

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。

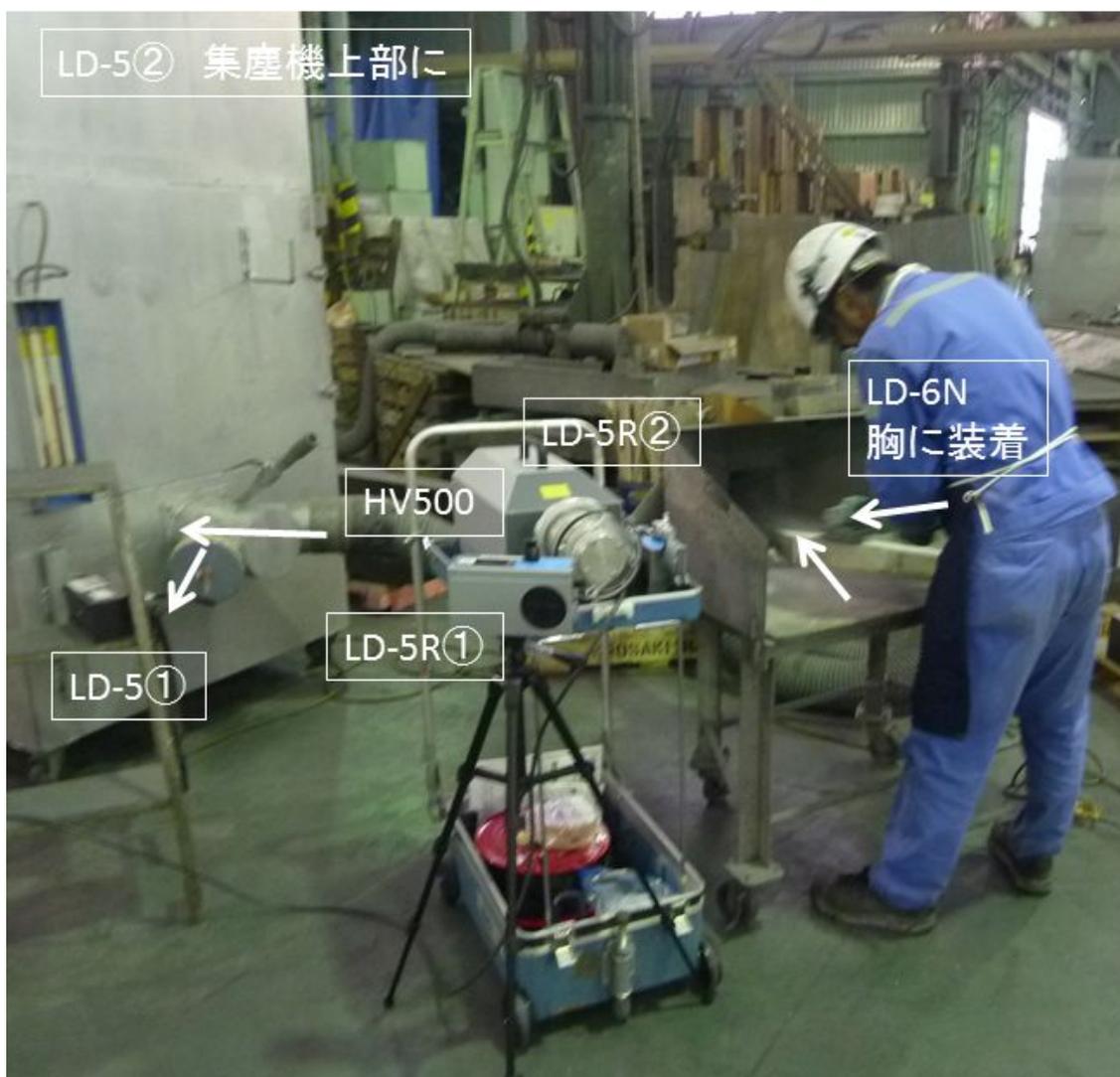


図3 - 10 除じん装置周囲の測定装置の配置図

LD-6N：個人曝露測定用

LD-5R：気中粉じん濃度

PM2.5 サイクロン付 LD-5R：気中粉じん濃度

HV500：吸入性粉じんの質量濃度測定用

PM2.5 サイクロン付 LD-5：除じん装置入口の粉じん濃度

PM2.5 サイクロン付 LD-5：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。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-5R	気中粉じん濃度							
LD-5R	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-5	PM2.5サイクロン付	集塵機入口の粉じん濃度						
LD-5	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-5R	LD-5R PM2.5サ イクロン	HV500	LD-5 集塵入口	LD-5 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/m^3 (13:47 ~ 14:02, 3.4m^3)

LD-5, LD-6N 質量濃度変換係数 K 値 $0.0021 \text{ mg/m}^3/\text{cpm}$

LD-5, LD-5R PM2.5 サイクロン付 K 値 $0.0031 \text{ mg/m}^3/\text{cpm}$

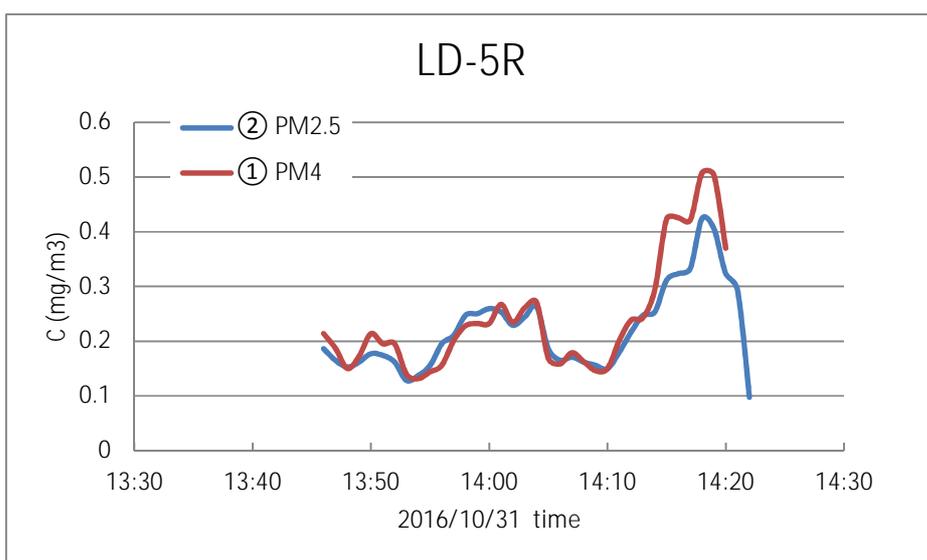
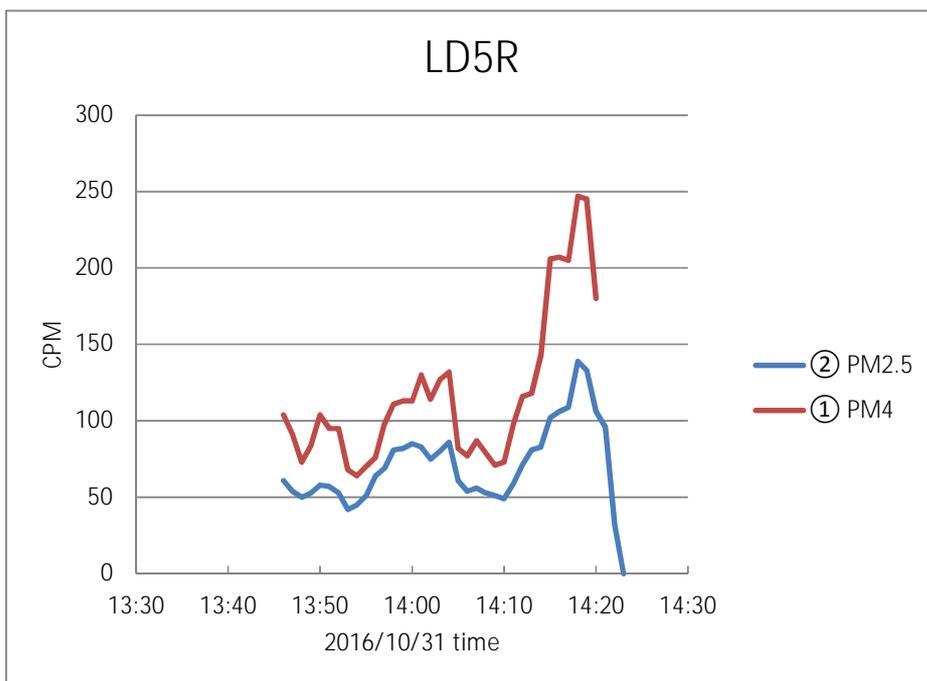


図 3 - 10 作業場所横での粉じん濃度、cpm 表示と K 値による質量濃度表示
K 値で質量濃度を求めればサイクロンの影響はほとんどない。

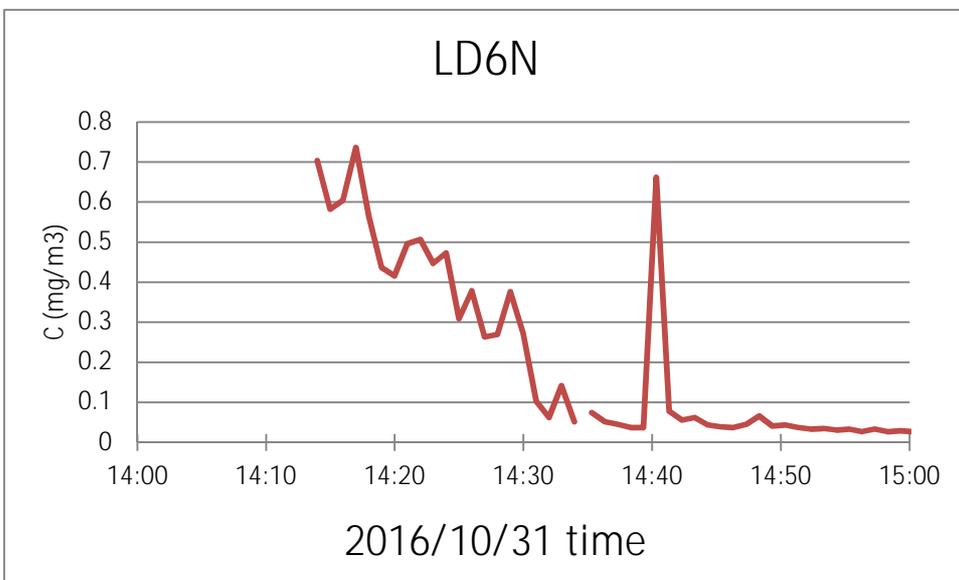
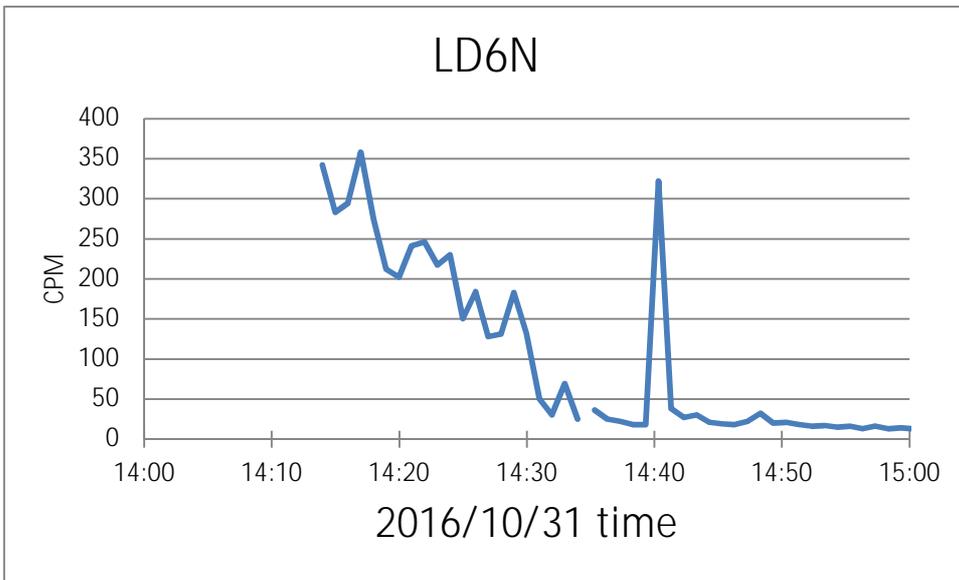


図3 - 1 1 作業者の胸の位置での粉じんの濃度、cpm表示とK値による質量濃度表示
 14:13~14:28まで作業をお願いした。作業台横よりは少し高い。
 14:40は粉じん計を折りたたんで片づけたためと思われる。

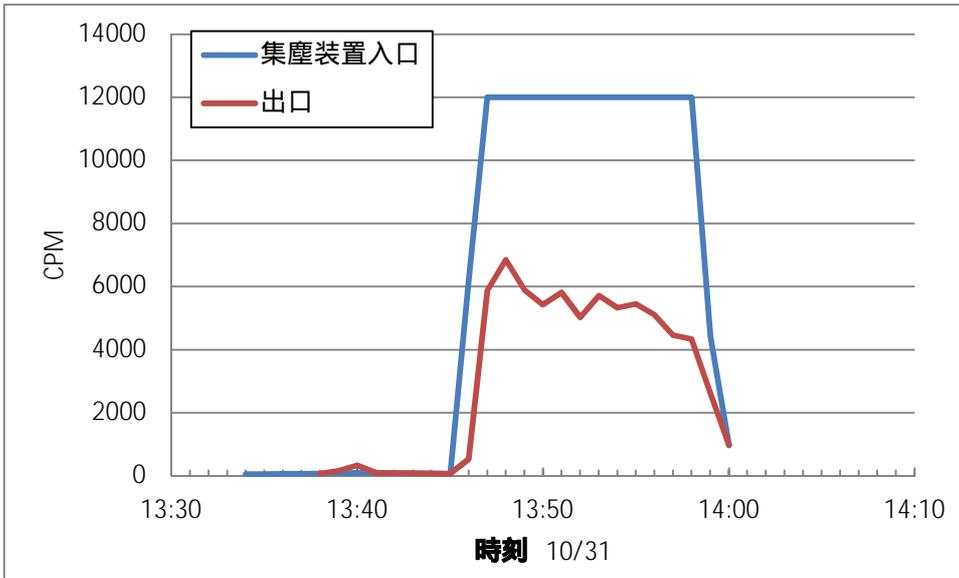
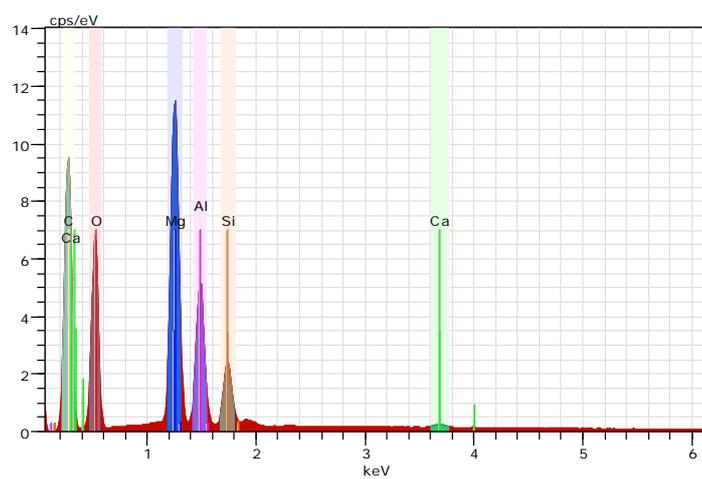
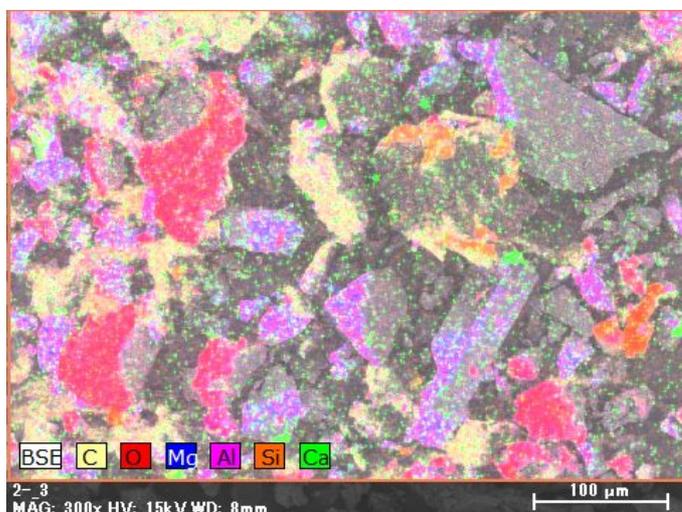
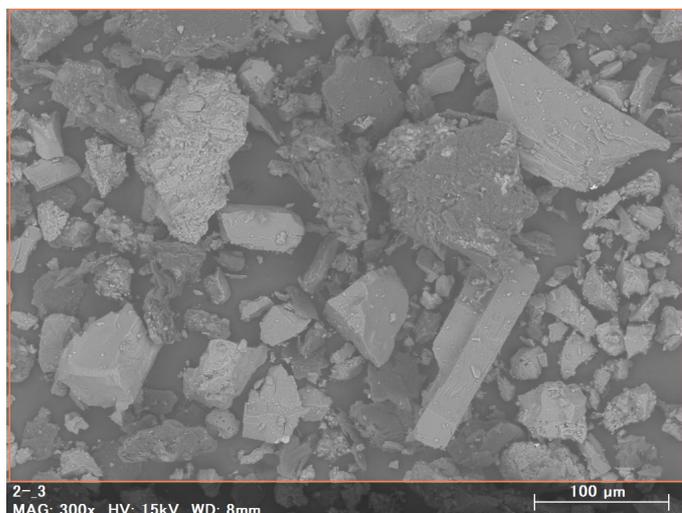


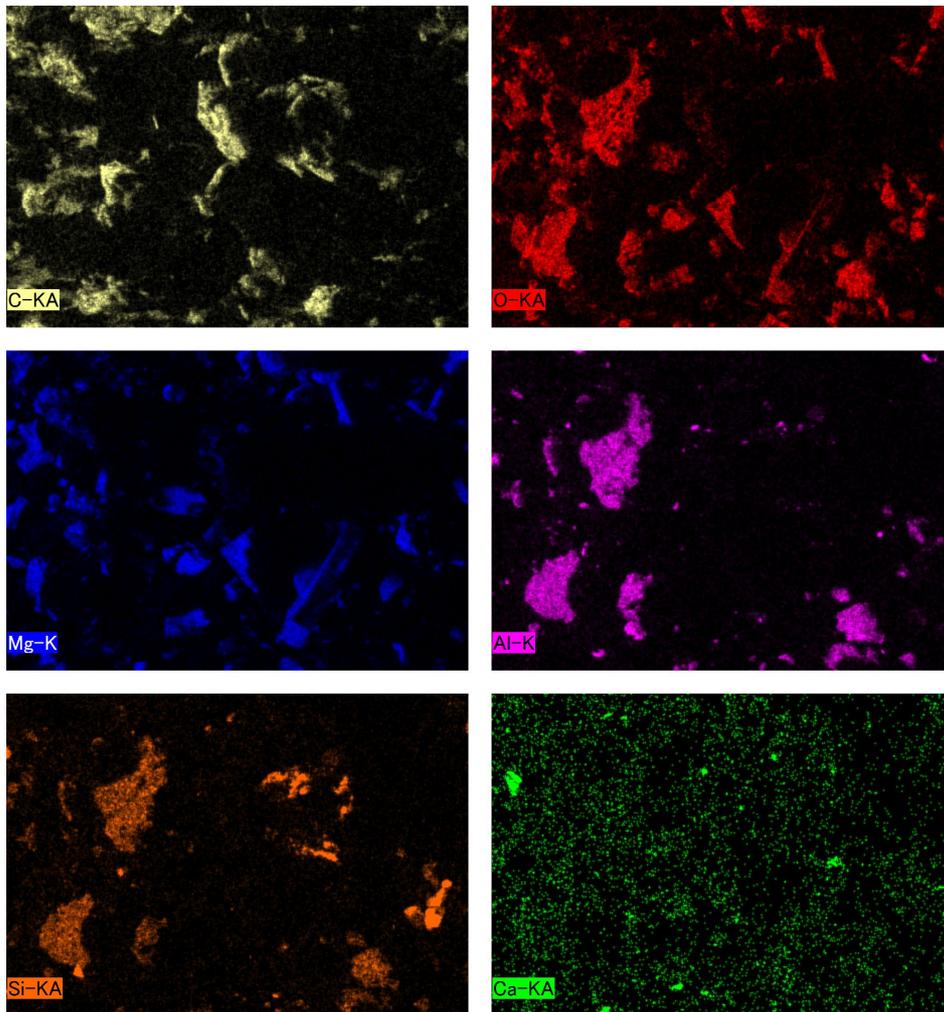
図3 -1 2 除じん装置の入口と出口の粉じん濃度、cpm 表示

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 - 13 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。

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

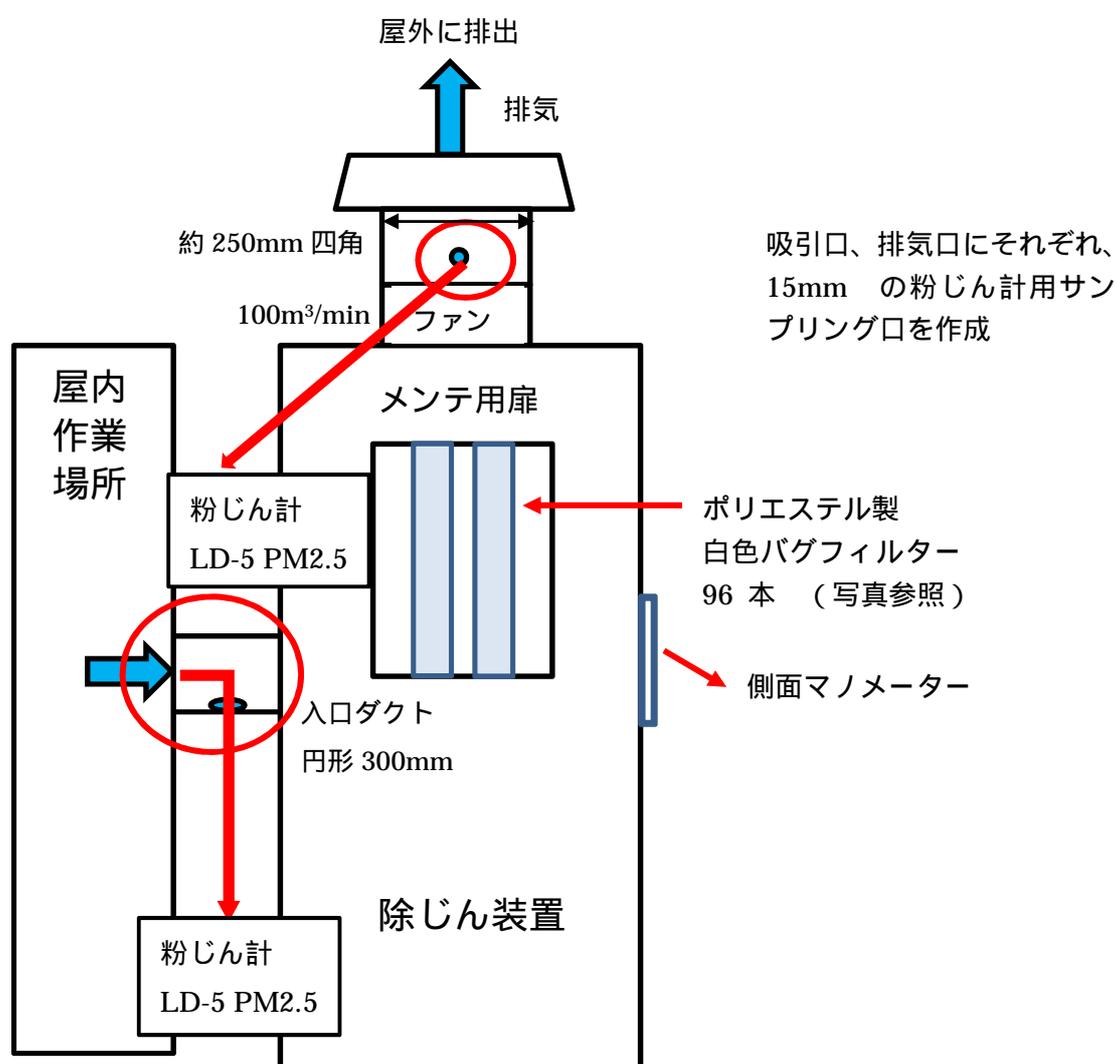


図 3 - 1 4 屋外に設置された除じん装置と測定装置

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 - 15 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
除じん装置出口（左面上の ）: 粉じん計
接続：導電性シリコンチューブ 2m長

LD-5 PM2.5

LD-5 PM2.5

図3 - 16 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。

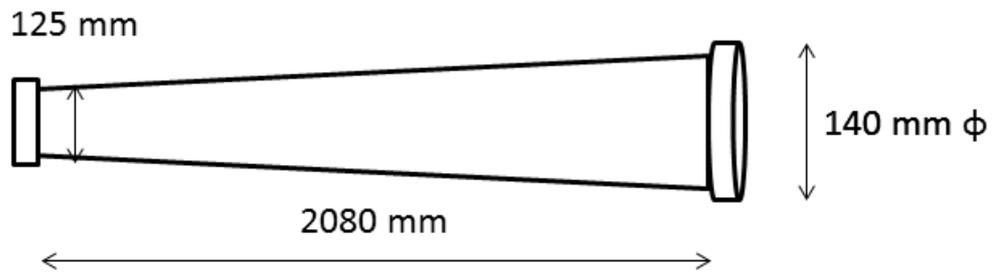


図3 - 17 ろ布のサイズ

計算上のろ布表面積 A は

$$A = 2.08 \times (0.125 \times 2 + 0.44) / 2 = 0.7176 \text{ m}^2$$

全体で 96 本のろ布面積 68.9 m²

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



図3 - 18 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 : LD-5R PM2.5

粉じん計 : LD-5R PM2.5

吸入性粉じん用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

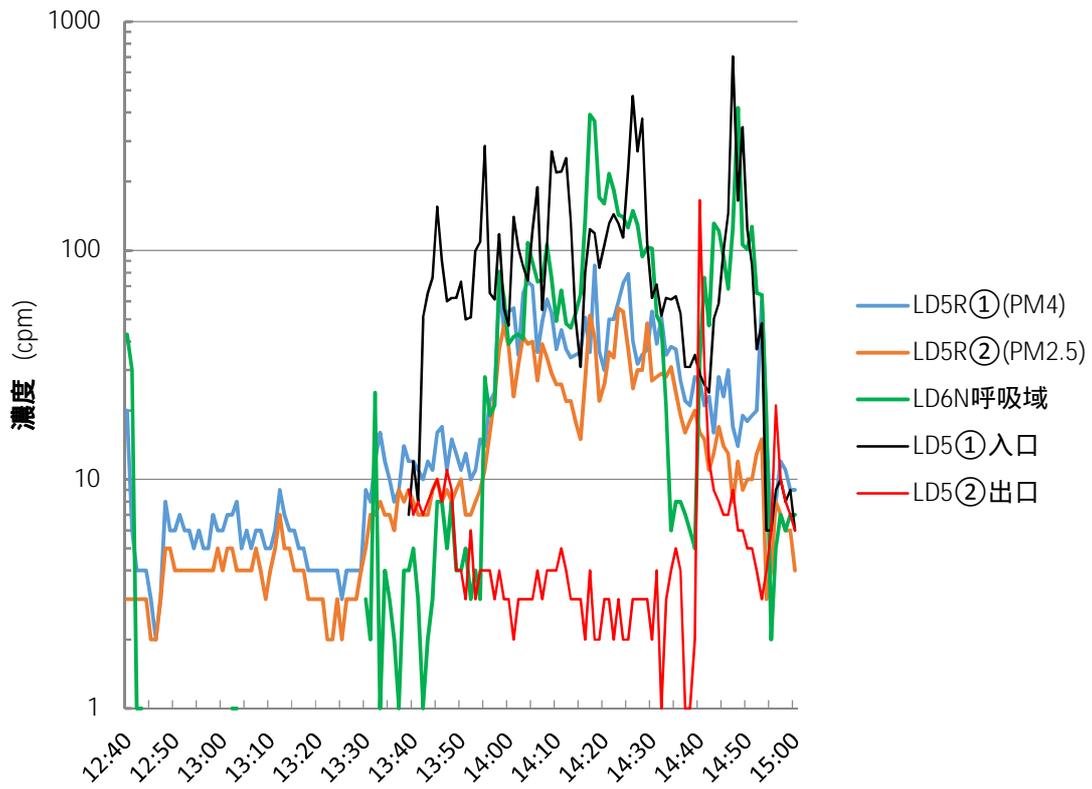


図3 - 19 全ての粉じん計の測定結果 (cpm表示)

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

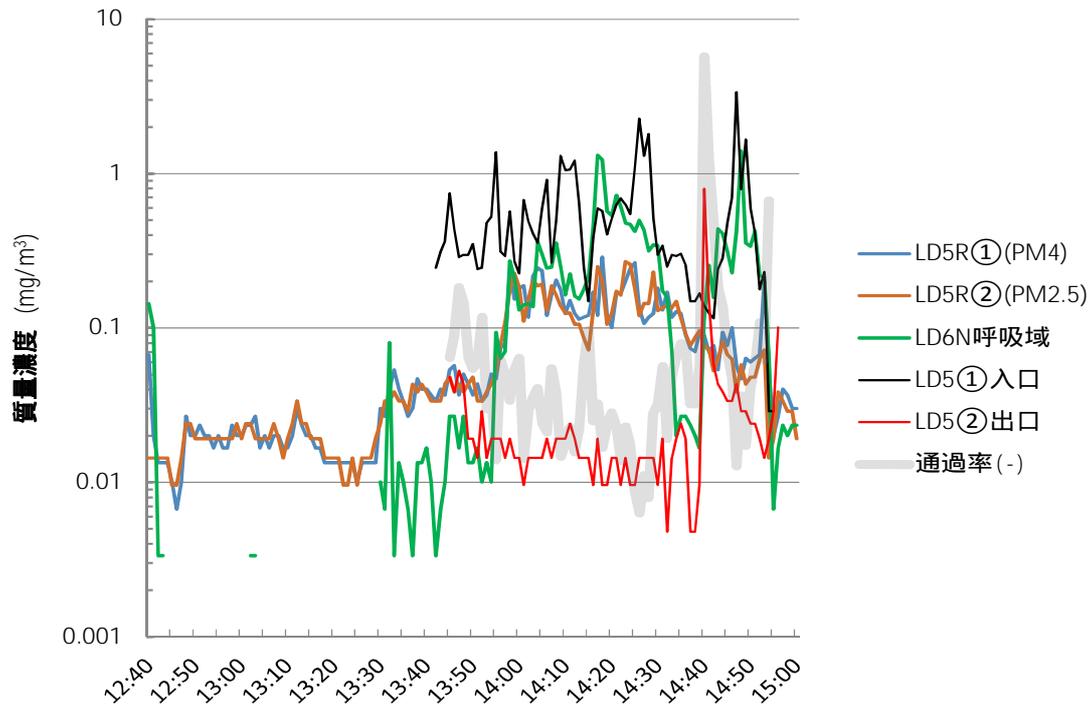


図3 - 20 全ての粉じん濃度測定結果

大学から計測を開始、現場到着は13:30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

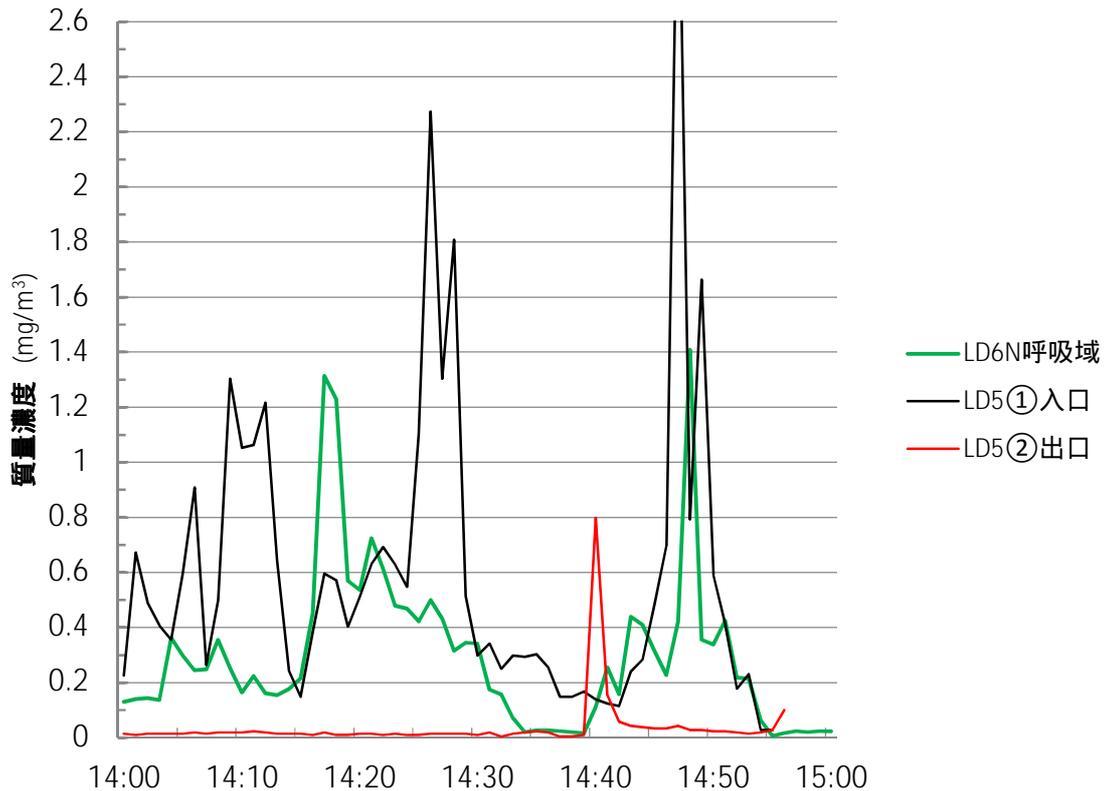


図3 - 2 1 除じん装置入口と出口での粉じん濃度及び作業者呼吸域での濃度
除じん装置入口と作業者呼吸域での濃度は同様の傾向があったが、一致しない時間もある。
除じん装置にはほかのフードからも気流が入り混ざっているためと思われる。
ほかのフードでの作業はサンダー掛けなど溶接ではない。
休憩時間のため除じん装置の電源の切れた時間は不明だが 14:30 分ごろと思われる。
14:40 における出口濃度の一時増加は除じん装置の電源を入れたためと思われる。これで出口濃度が正しく測定されていることがわかる。

2016/11/02

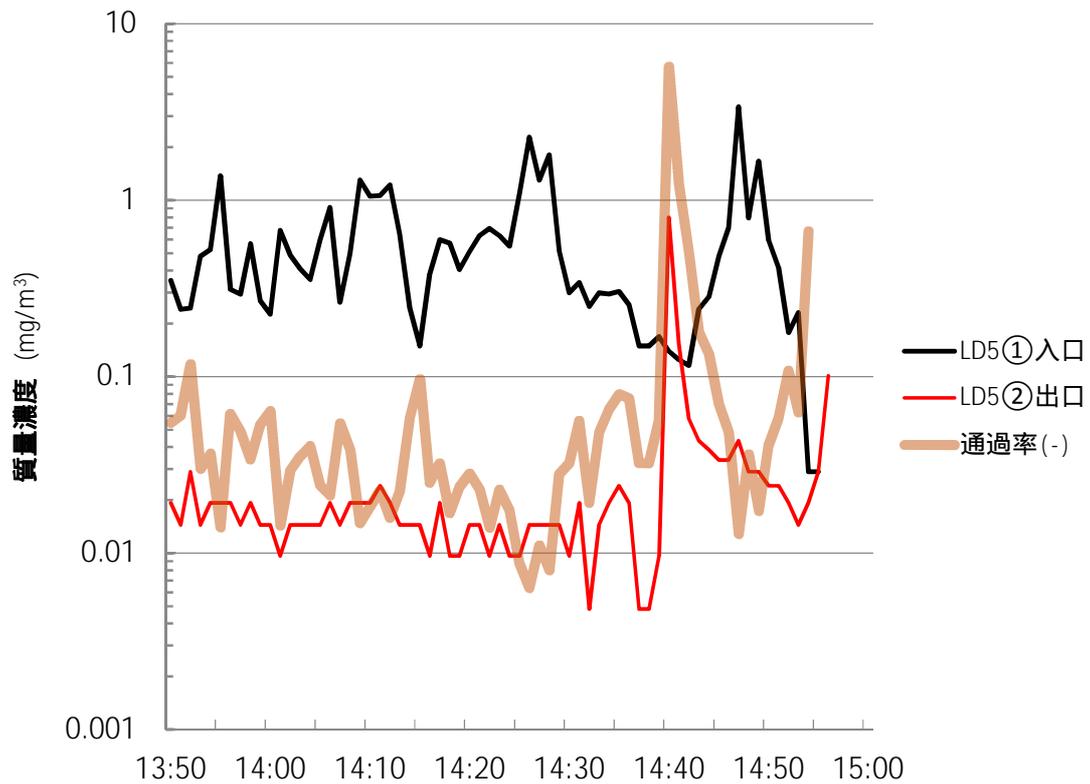


図3 - 2 2 除じん装置入口と出口での粉じん濃度及びその比（通過率）

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

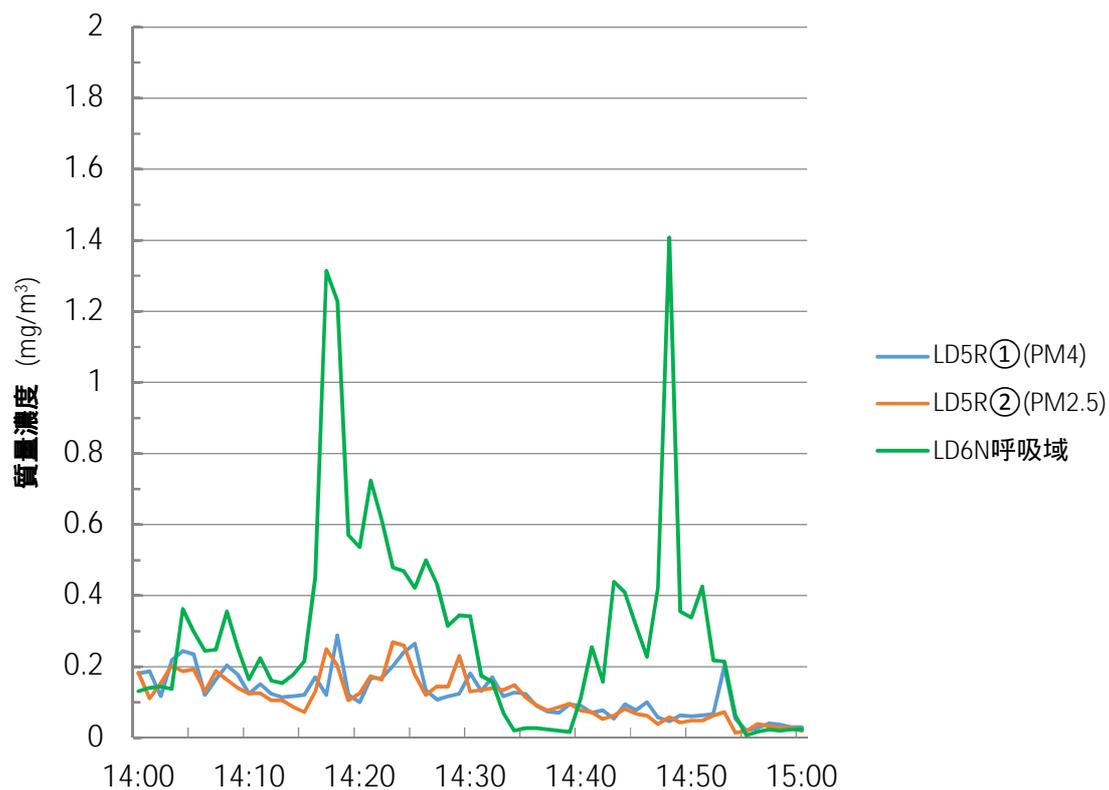
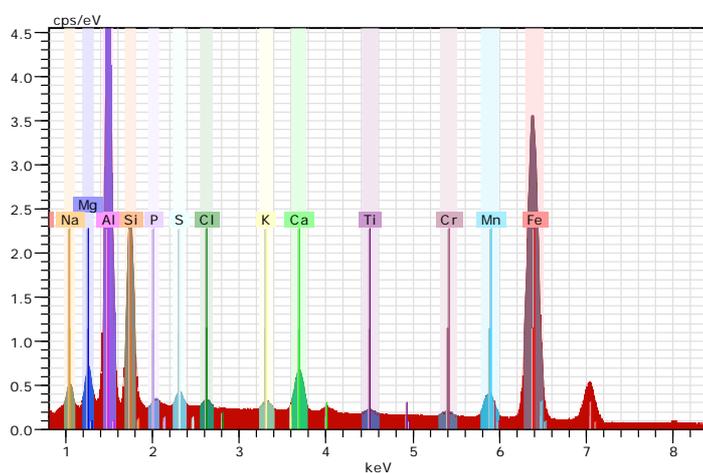


図3 - 2 3 溶接作業における作業者呼吸域と作業者後での粉じん濃度
LD-5R に PM2.5 サイクロンを付けたものと付けないもので、K 値を用いて質量濃度に変換した場合には違いはほとんどない。

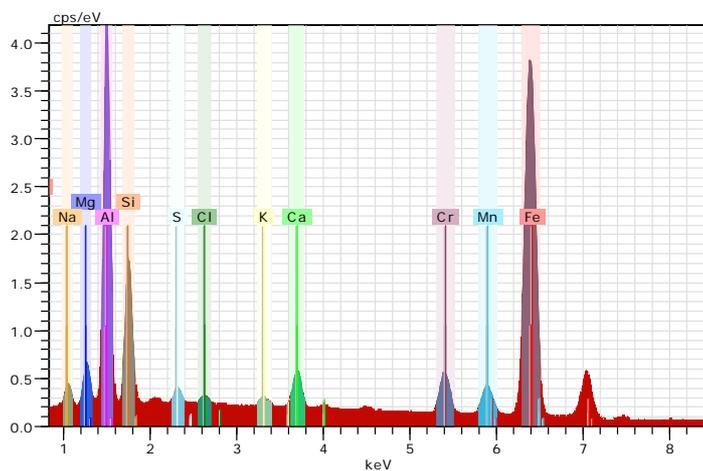
図3 - 24 集じんろ布に捕集されていた粒子の観察
溶接ヒュームを主とした粒子



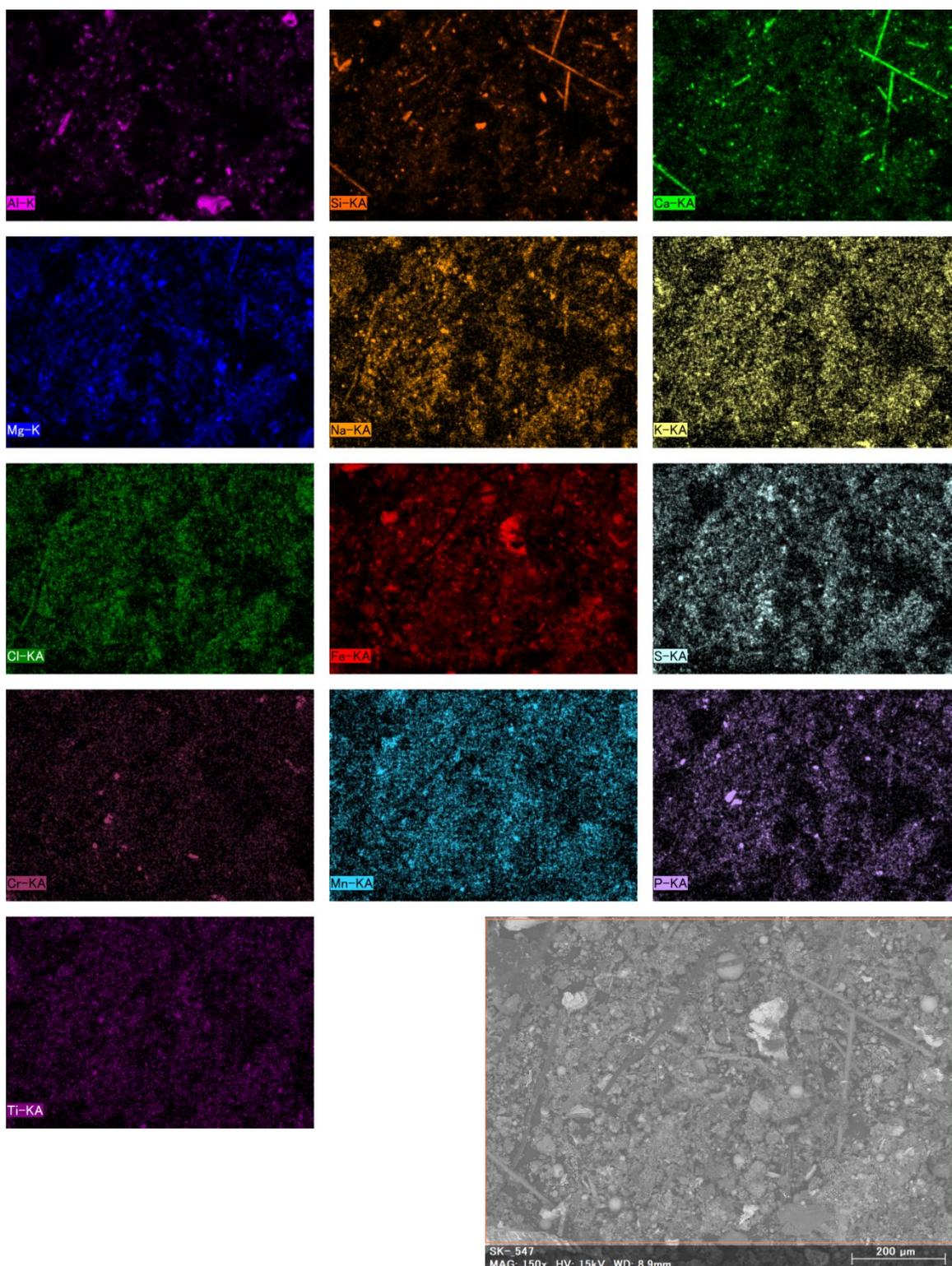
ろ布内の粉じんを回収し、これを走査型電子顕微鏡で写真撮影した。また付属するエネルギー分散型X線分析 (Energy dispersive X-ray spectrometry、EDX、EDS)で溶接に由来すると思われる表示のような種類の元素が認められた。



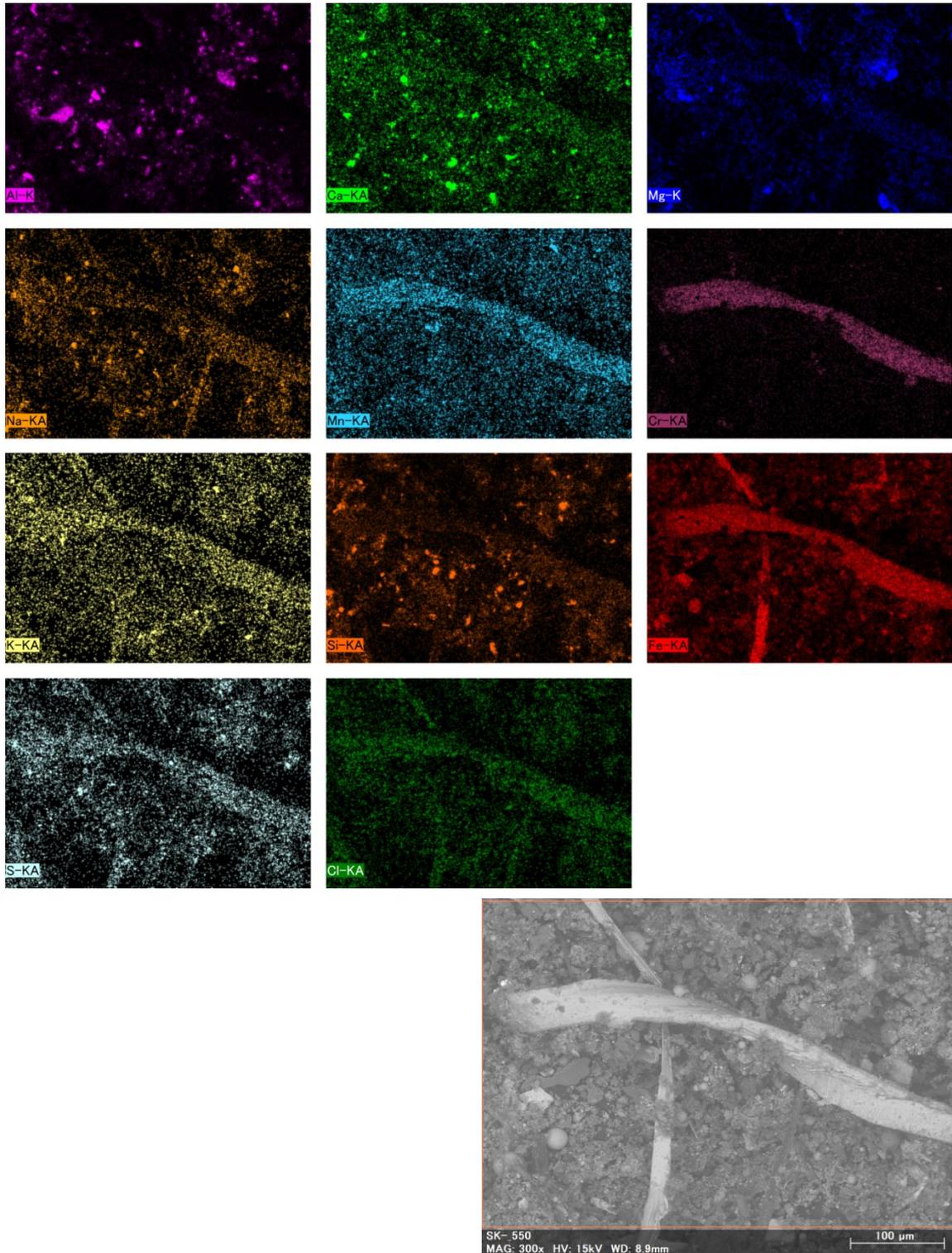
(a) 試料No. 1のEDXによる元素分析スペクトル



(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

2 - 2 - 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 - 25 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

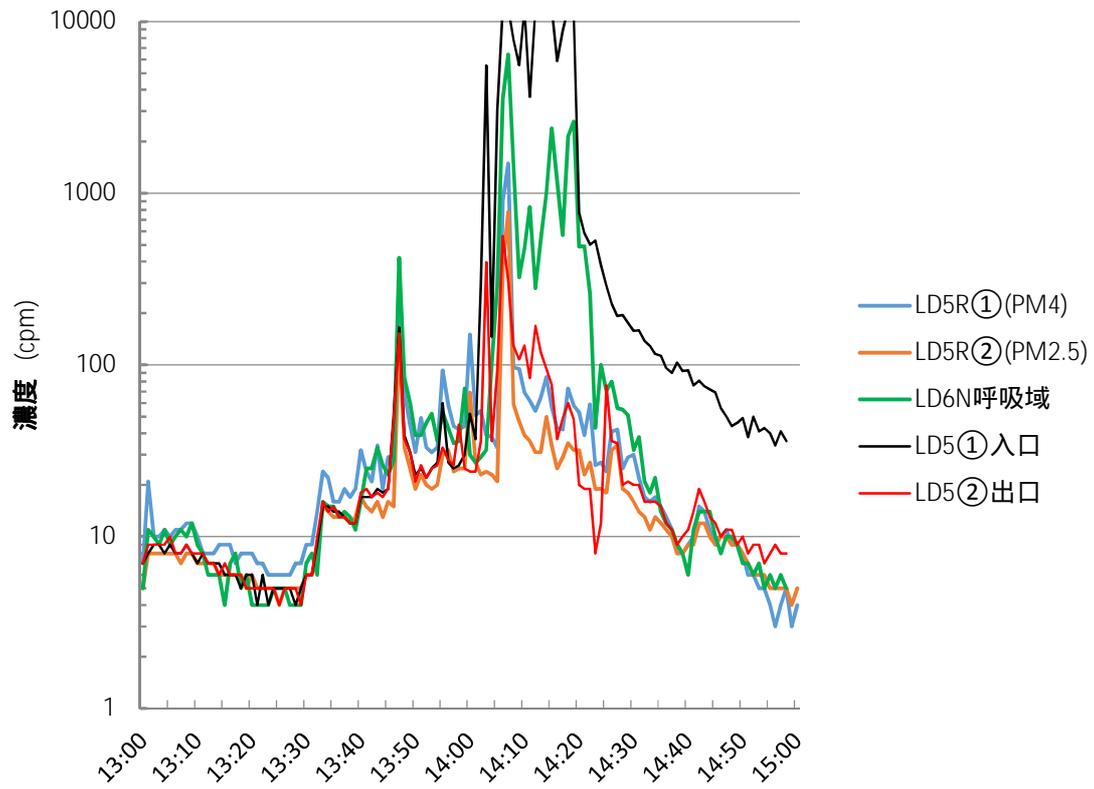


図3 - 26 全ての粉じん計の測定結果 (cpm表示)

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

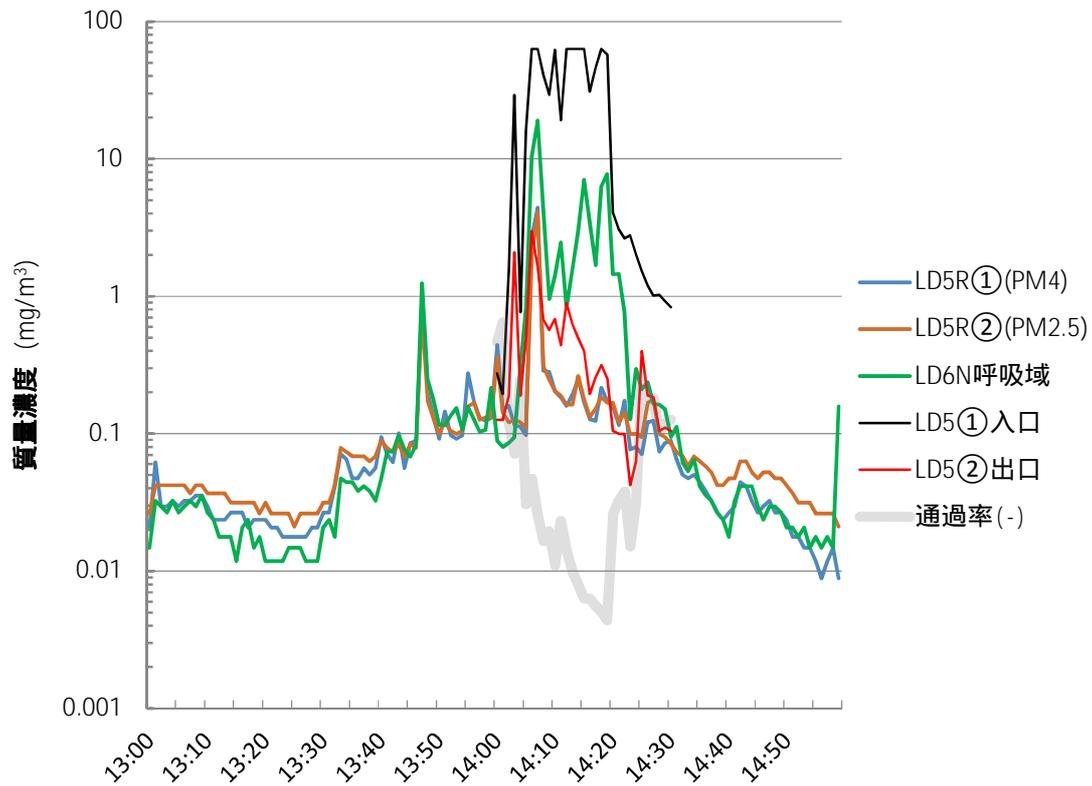


図3 - 27 全ての粉じん濃度測定結果

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 3.1m^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

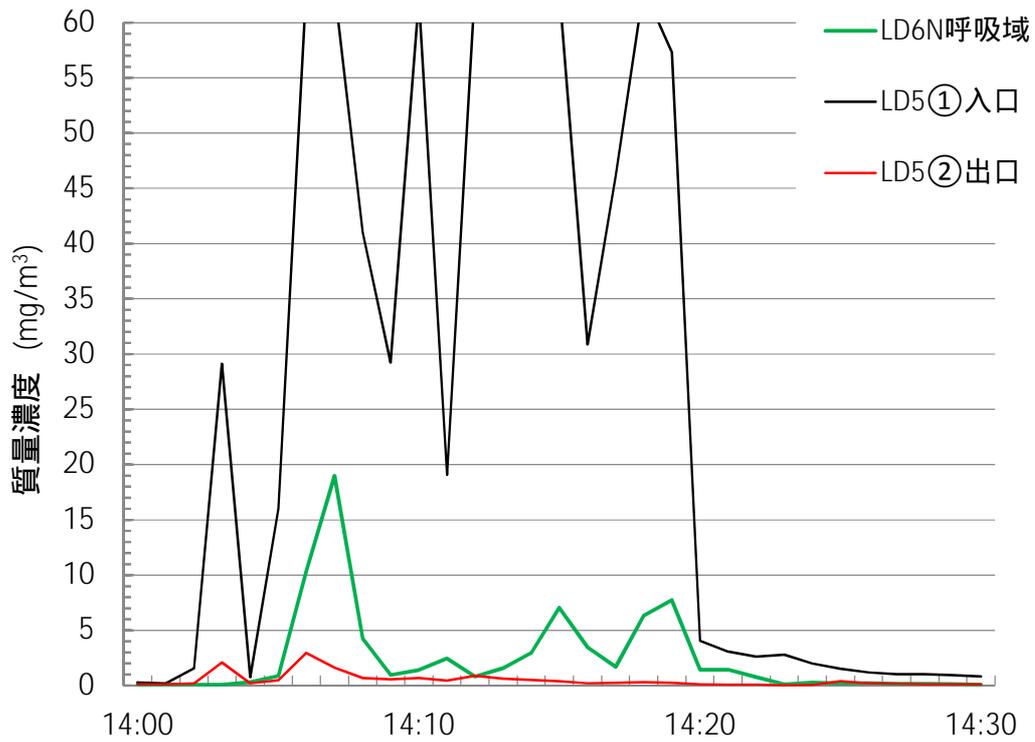


図3 - 28 除じん装置入口と出口での粉じん濃度及び作業者呼吸域での濃度
除じん装置入口と作業者呼吸域での濃度は同様の傾向があった。
除じん装置側の濃度が作業者呼吸域と比べかなり高く、局所排気装置として十分に機能していると思われる。

2017/3/13

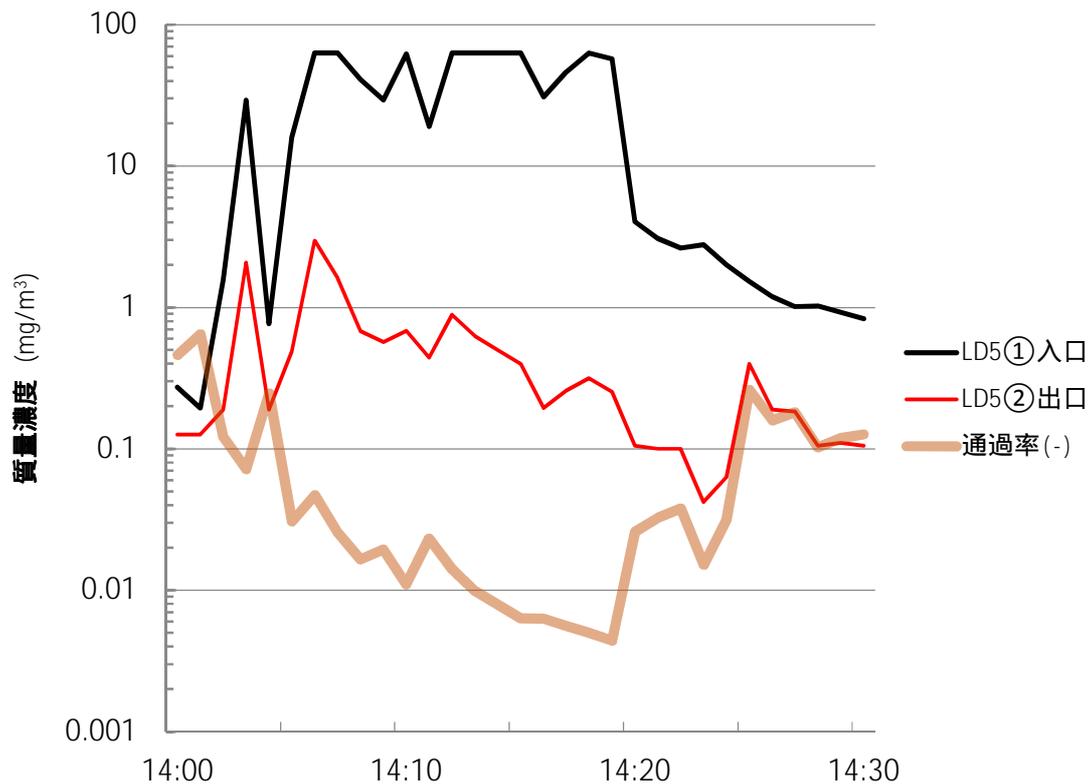


図3 - 29 除じん装置入口と出口での粉じん濃度及びその比（通過率）

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

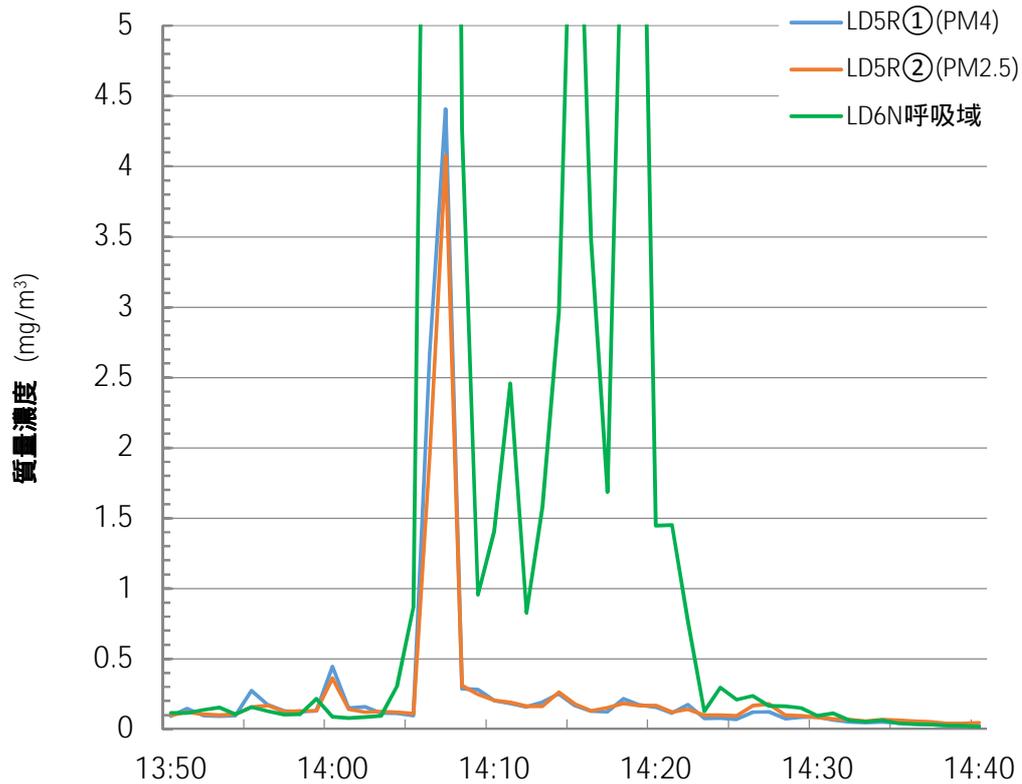


図3 - 30 研磨作業における作業者呼吸域と作業者後での粉じん濃度

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。電動グラインダー作業の作業者の立ち位置の変化で途中から定置（約 1 m）の粉じん計の濃度が低下した。

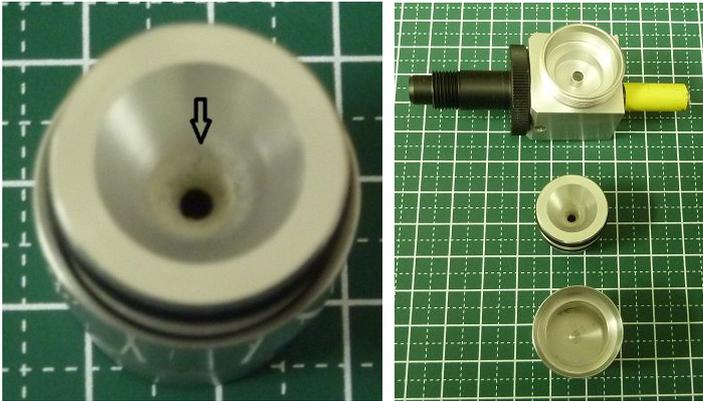


図3 - 3 1 除じん装置入口のLD - 5 に取り付けたPM2.5サイクロン内部に捕集された粉じん（測定3、実質15分間のサンプリング）

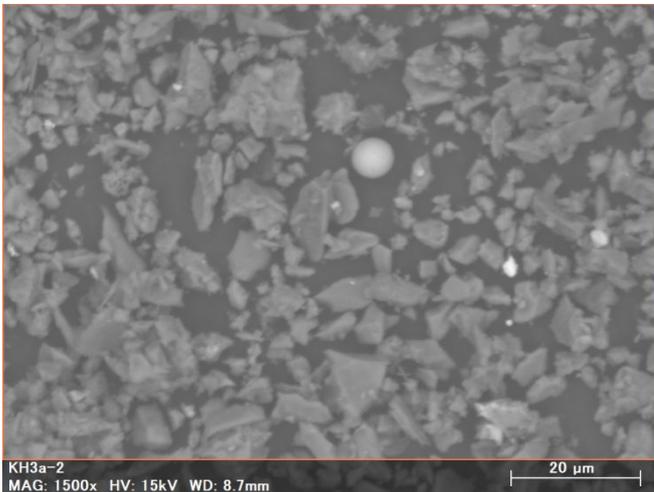
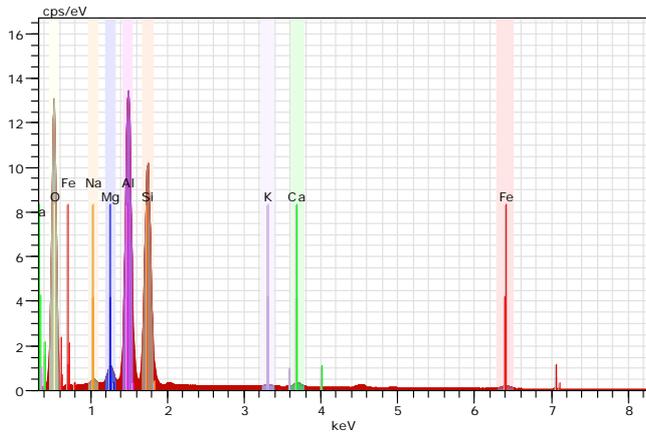


図3 - 3 2 PM2.5サイクロンに捕集された粉じんの走査型電子顕微鏡写真



E D Xによる元素分析スペクトル

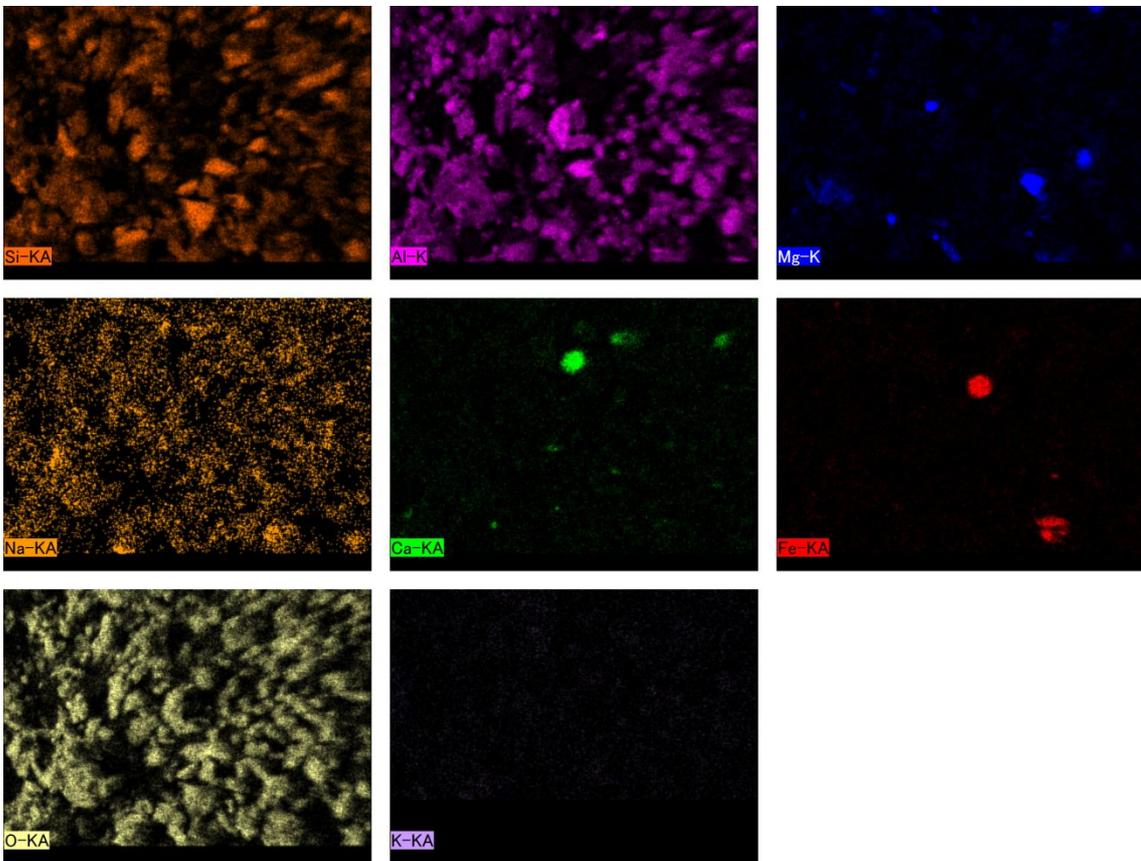


図3 - 33 PM2.5サイクロンに捕集された粉じんのEDXによる元素マッピング
 切削したレンガの成分であるシリカとアルミナ由来の元素とグラインダーの砥石由来と思われる元素が認められた。

3 - 3 結果とまとめ（平成28年度）

1) 除じん装置に関する情報収集による現状分析

ISO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。

ISOや既存のJIS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。

4 . 実験室における性能評価

4 - 1 測定装置

測定装置について以下のように検討した。

4 - 1 - 1 粉じん濃度測定装置 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。(図4 - 1)

平成30年度は除じん装置内の粉じん濃度も測定を行うため、PM2.5サイクロンを取り付けた旧型の粉じん計(柴田科学LD-3K)2台を加えて多点で測定を行った。LD-3Kは十分な吸引能力がないので粉じん計排気口にサンプリングポンプ(柴田科学300)を接続し、吸引流量1.7 L/minを維持した。

4 - 1 - 2 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4 - 3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。(図4 - 2、図4 - 3)必ずしも添付の分離性能(PM2.5サイクロン、図4 - 4)ではないが大粒子をカットできることを確認した。

4 - 1 - 3 柴田科学 PM4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4 μm となる構造とした。図4 - 5の左側の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。図4 - 7に実測したサイクロンの分級特性を示した。今回標準粒子(ポリスチレンラテックス粒子)を用いて既報(明星ほか、エアロゾル研究2017)と同様の方法で確認した。



図 4 - 1 PM2.5 サイクロンを取り付けた 2 台の L D - 5



図 4 - 2 本体から外した L D - 5 入口 (左) と PM2.5 サイクロン (右) 中央はインライン吸入口



図 4 - 3 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)

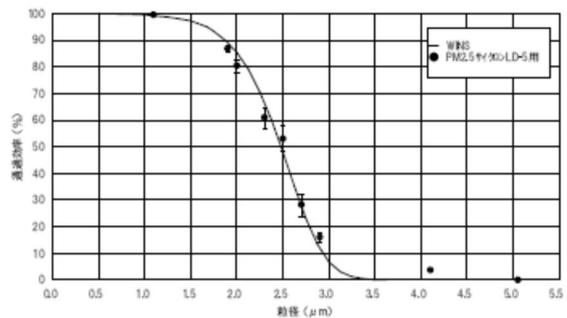
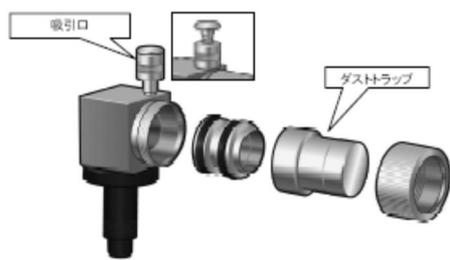


図4 - 4 PM2.5サイクロンの構造(左)と1.7 L/min吸引時の分離特性(右)
 元々のPM2.5サイクロンは吸引口を閉塞できる構造となっていてインラインで使用できないので図2 - 5のように入口部をストレートにした形態で別に作成した。



図 4 - 5 PM2.5 サイクロン (左) と PM4 サイクロン (右)
PM4 サイクロンの方が胴の径が少し大きい。

2017/11/2

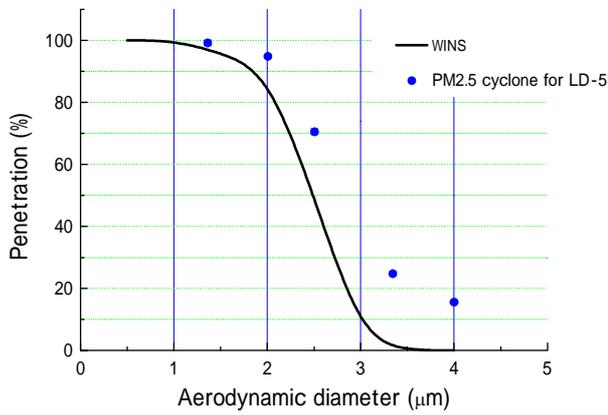


図 4 - 6 PM2.5 サイクロンの粒径別の 1.7 L/min 吸引時の分離性能
図中の青のキーが本研究で測定した結果、実線は PM2.5 の分離の定義 (WINS)。

2017/10/27

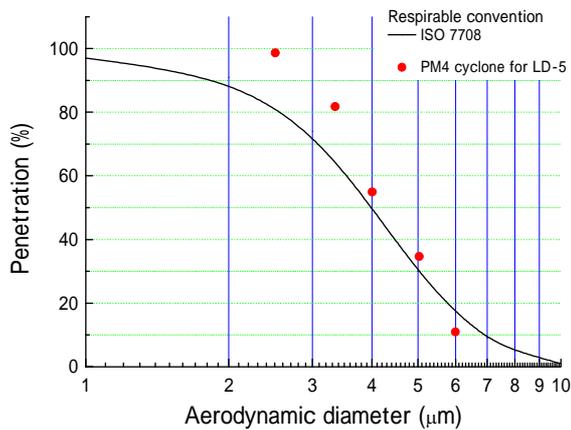


図 4 - 7 PM4 サイクロン (下) の粒径別の 1.7 L/min 吸引時の分離性能
図中の赤のキーが本研究で測定した結果、実線は吸入性粉じんの定義の線。

4 - 1 - 4 粒径別粉じん濃度測定装置（電氣的減圧インパクト、ELPI）

電氣的低圧インパクト（以下 ELPI, DEKATI 東京ダイレック株）は本体に収納されているコロナチャージャ、12段のカスケードインパクト、各インパクトに接続されたエレクトロメーター、吸引用外付けのエアポンプ、制御・計測用 PC で構成されている。運転・停止、運転パラメータ設定、データ表示・集録等は専用ソフトで行うことができる。吸引空気量 10 L/min で吸引された粒子は、コロナチャージャで荷電された後に 12 段のインパクトに入り、各段でミクロンサイズの大きな粒子からナノ粒子まで順に衝突板に捕集される。また各インパクトのノズル径とノズル数は、後段になるほど流速を大きく、減圧にすることで微小な粒子を捕集できるように設計されている。衝突板に捕集した荷電粒子はエレクトロメーターによりその電荷量（電流量）を測定され、粒子個数ないし粒子質量が計算により求められる。本体重量は 20kg 以上で付属ポンプも同程度の重量があり、見た目ほど移動が容易とはいえない。

除じん装置の入口と出口に各々サンプリング口を LD-5 と同じ場所に取り付け、ELPI は 1 台であるので交互に濃度を測定した（図 4 - 8 参照）。このため測定時間は 10 分間ほど必要で濃度変動に影響される。除じん装置の通過率は ELPI の入口と出口の電流量の比を取ることによって求めた。ここで使用した ELPI の 12 段の各衝突板の平均分離径は以下のとおりである。

- Stage 1) 0.039 μm
- Stage 2) 0.070 μm
- Stage 3) 0.118 μm
- Stage 4) 0.199 μm
- Stage 5) 0.314 μm
- Stage 6) 0.481 μm
- Stage 7) 0.758 μm
- Stage 8) 1.224 μm
- Stage 9) 1.945 μm
- Stage 10) 3.07 μm
- Stage 11) 5.15 μm
- Stage 12) 8.10 μm



図 4 - 8 電氣的低圧インパクト（ELPI）の分離粒径と外観（手前の台車上）

4 - 2 除じん装置

4 - 2 - 1 除じん装置を含む実験装置

図4-9に実験に使用した装置の構成を示す。小型集じん装置（アマノ㈱ VNA15 型 0.75 kW 200V 3相）にインバータ（三菱電機㈱ FR-D720, 0.75 kW 200V 3相）を接続し、60Hz を上限にモータの周波数を制御してファン風量を調節した。小型集じん装置は前年度の作業環境で使用されていた除じん装置に比べ風量は4分の1であるが同種の構造である。ろ布の圧力損失はデジタル微差圧計（㈱クローネ、KS2700、0 - 1000 Pa、1 Pa 単位）を用いて連続測定をした。その他の圧力はマノスターゲージにより測定した。吸引空気量は塩ビ製のベルマウスを用い、ISO5801 で使用されている壁の静圧が速度圧を示すという方法を採用した。

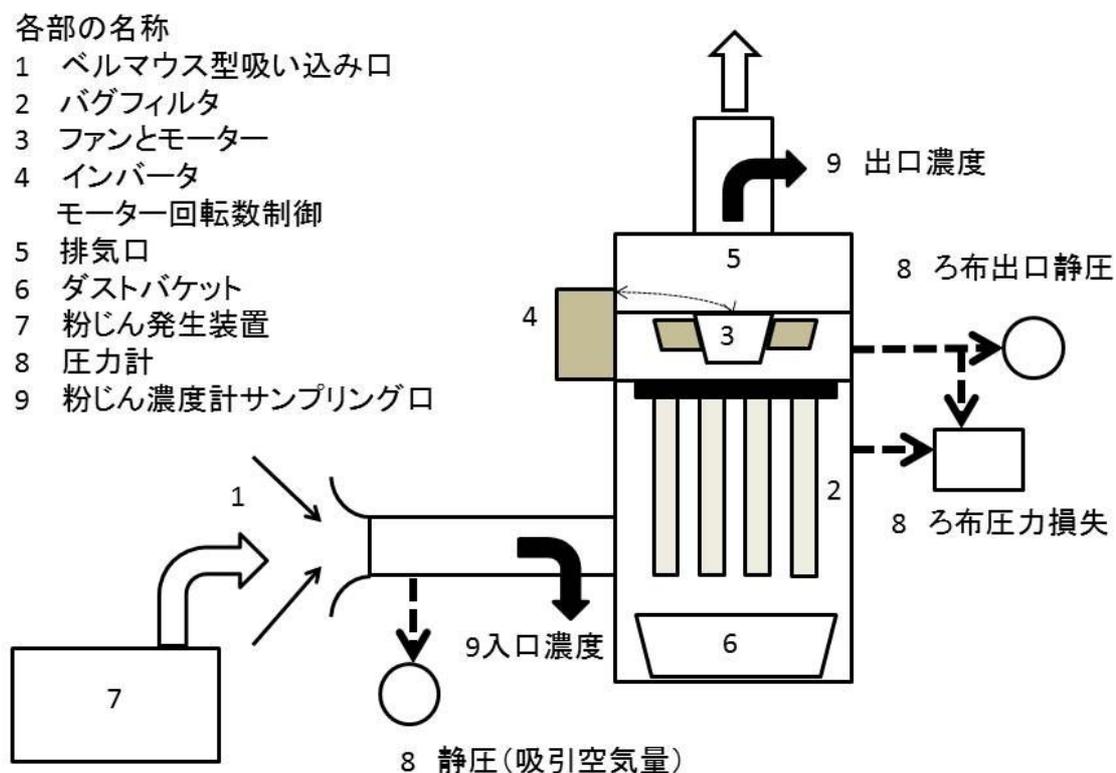


図4-9 実験装置の構成

ろ布はこの集じん装置純正の2種類のろ布、帆布フィルタとファインフィル（FF）フィルタを使用した。吸引口の内径は125mmで排気口の内径は200mmであり、粉じん計の入口側のサンプリング管（銅管）は内径4mm、出口側のサンプリング管（銅管）は内径8mmにして粉じん計（LD-5 PM2.5 サイクロン付）に接続した。吸引口はベルマウス管を

取り付け、排気口は屋外に出した。

試験用粉じんの発生は種々検討して、最終的にテーブルフィーダー・エジェクター（柴田科学(株)DF-3）を採用した。（図4 - 10参照）DF-3 のホッパー（写真左の黒い蓋の内部）に石灰粉（アトマイト）を供給して、回転テーブルの溝に入った粉体を左のエジェクター機構で吸引分散した。最終的にホッパー底部に粗い金網を置き、粉体の塊を壊すようにした。

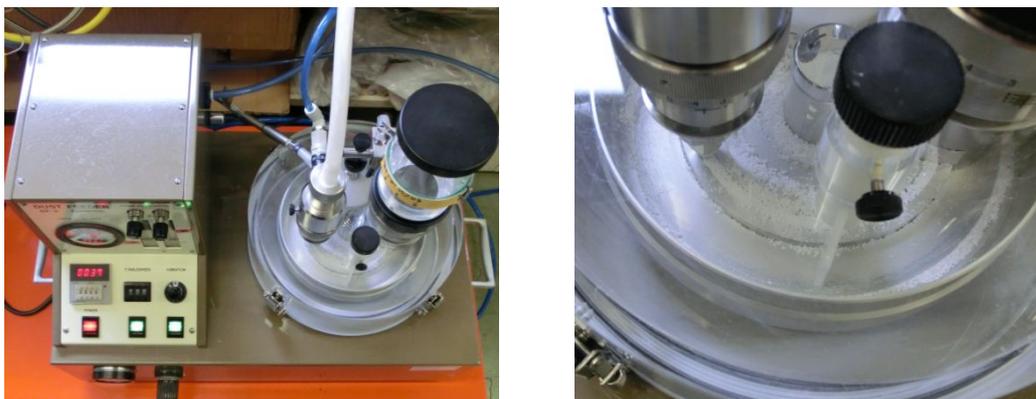


図4 - 10 テーブルフィーダ（柴田科学(株)DF-3）と溝を改造した回転テーブル（右）

4 - 2 - 2 除じん装置の吸引風量の計測

入口の風量計測にはベルマウスを用いた。ISO5801 Industrial fans - Performance testing using standardized airways で示されているベルマウスを図4 - 11に示す。

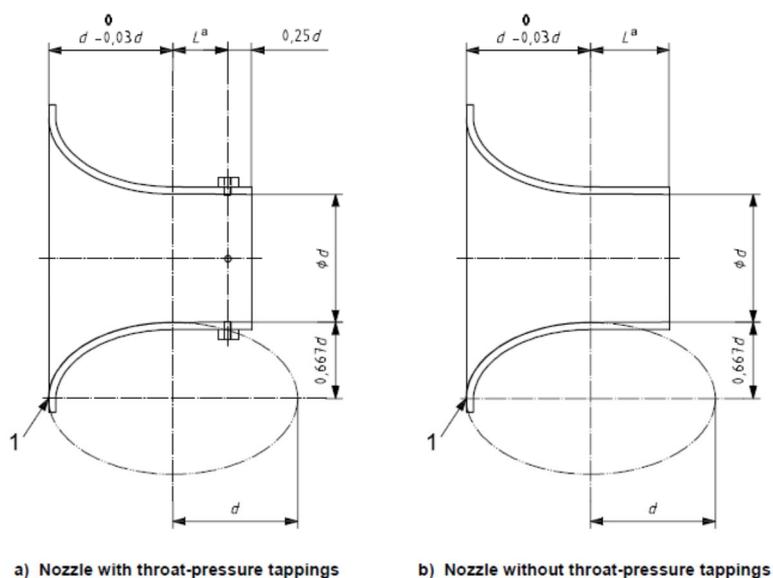


図4 - 11 ベルマウスと圧カタップの位置 $L_a=0.6d$

ベルマウスは入口部の圧力損失がほとんどないため、静圧 (= 速度圧 + 圧力損失) が速度圧となる。ここで測定された圧力 P(Pa)を速度圧として体積流量 Q(m³/s)は以下の式で求められる。

$$Q = 0.25 \pi d^2 \sqrt{2 P/\rho}$$

ここでρは空気の密度 (1.2 kg/m³) である。吸引口 の内径 d は 125mm であり、これを基準に圧力タップ (入口から 117mm) を設置したが、一カ所のみである。測定結果を図 4 - 1 2 に示す。ベルマウス下流での速度圧はダクト中心の風速から計算された速度圧と近い結果を示した。

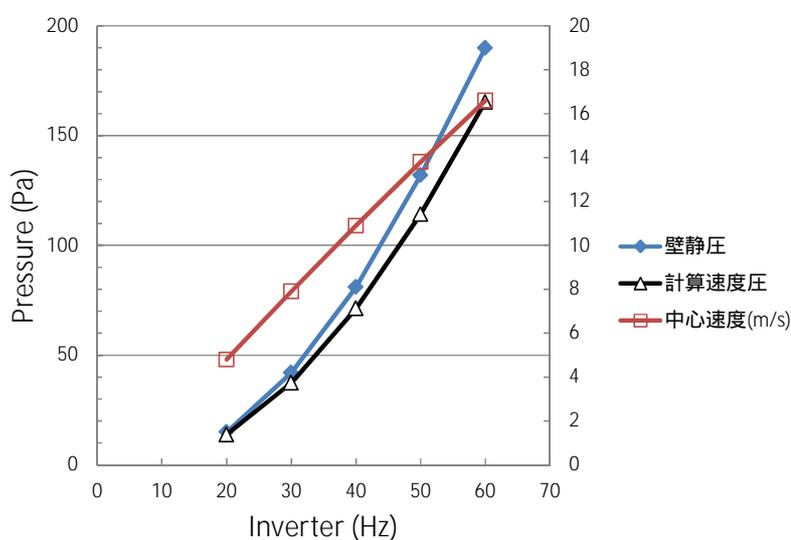


図 4 - 1 2 インバータ周波数とベルマウス下流静圧と熱線風速計によるダクト中心風速およびそれから計算される速度圧



図 4 - 1 3 入口のベルマウスと圧力タップ

4 - 2 - 3 除じん装置のろ布の構造

ろ布はこの集じん装置純正の2種類のろ布、帆布フィルタとファインフィルフィルタ(FF)を使用した。ろ布は封筒型で10枚が一つの枠に固定されている(図4-14参照)。ろ布の面積としては0.42m x 0.48mが10枚の前後で2倍で総計4.03m²となる。風量が10m³/minでは平均面速度は4cm/sとなる。図4-14の黒い部分が気密をとるためのパッキンで厚みが約8mmの軟質ゴムである。

帆布フィルタとファインフィルフィルタ(FF)の表面の顕微鏡写真を図4-15に示す。帆布フィルタは木綿の布であり、ファインフィルフィルタは木綿の布にフッ素樹脂多孔質膜をラミネート加工したものである。カタログ仕様では帆布フィルタは10μm程度の乾いた粉体を対象とし、ファインフィルフィルタは10μm以下の乾いた粉体を対象としている。



図4-14 ろ布の構造 下流側からの写真
波状の板はスペーサーで黒い部分がパッキン



図4-15 ろ布の表面 左 帆布フィルタ 右 ファインフィル(FF)フィルタ
写真のサイズは最小0.2mm(線の幅)

4 - 2 - 4 除じん装置のろ布取り付け

試験粉体を用いた集じんにおいては、この2種類のろ布を指示通り除じん装置に装着して使用した。しかし、取り付け部の漏れについて検討するため、**図4 - 16**に示すようにろ布に隙間を作って風量と圧力損失を計測した。スペーサーは磁石棒で厚みが6.3mm、8.0mmと後半10.3mmも使用した。パッキンのゴムの厚みは約8mmであり、ゴム表面に圧着時にできる凹みはあるが8.0mmスペーサーとほぼ同じである。

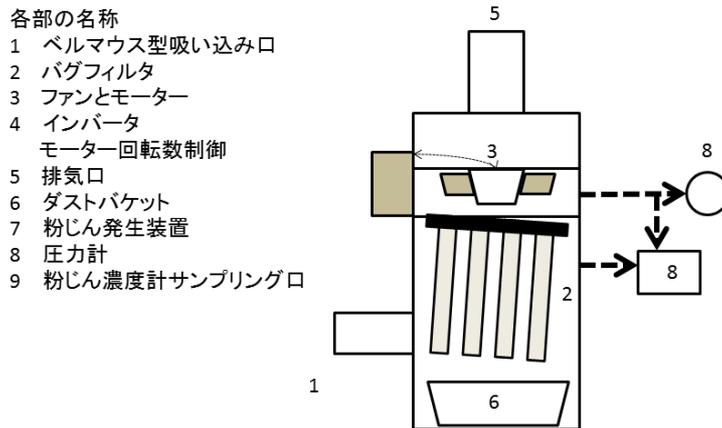


図4 - 16 ろ布の取り付け状態の検討

右の写真は8mmのスペーサーを入れて隙間を作った状態。

4 - 2 - 5 粉じん計の取り付けとサンプリング管の径の比較

試験粉体を分散し、ダクトに内径4 mmと8 mmの2本のサンプリング管を近接して挿入して濃度をサイクロン付粉じん計 LD-5 で計測した結果を図4 - 17に示す。LD-5の吸引空気量は1.7 L/minであり、内径4 mmでは吸引速度は2.25 m/s、内径8 mmでは0.56 m/sである。除じん装置はインバータを40Hzで運転し、ダクト内の平均風速は11.5 m/sであった。平均すると両者の濃度比は96%であり、ほぼ同じであることがわかった。ダクト内の風速の方が大きいのでサンプリング管に流入する粒子の濃度はダクト内に比べ増加することが予想される。除じん装置出口の平均風速は4.5 m/sであるので、除じん装置の入口濃度測定には内径4 mmの管、出口には内径8 mmの管を使用した。サンプリング管内外の速度比は入口で0.2、出口で0.12となる。上流下流とも同程度の速度比であり、両者の比をとる通過率測定でのサンプリング流量の影響は少ないと思われる。

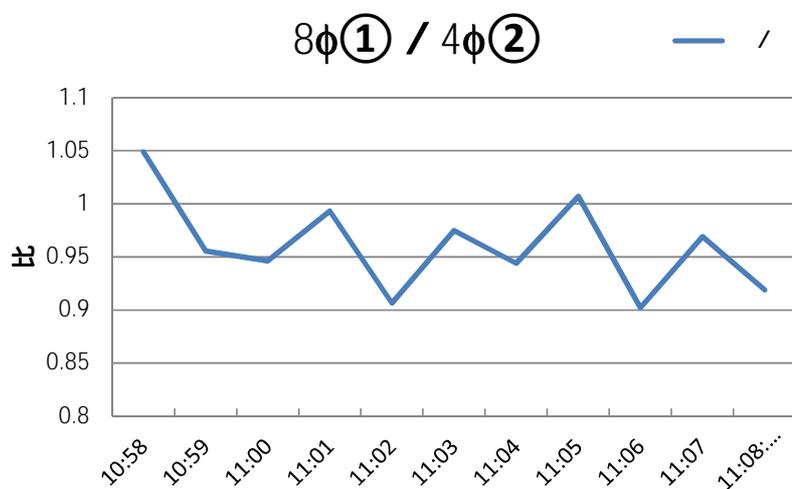


図4 - 17 サンプリング管の径と濃度の比

4 - 2 - 6 粉じんサンプリング管の除じん装置へ取り付け

平成 30 年度は、除じん装置に孔をあけ、内径 4.5 mm の 4 本のサンプリング用銅管をろ布の前後に 130mm 挿入し、サイクロン付粉じん計 LD-3K で濃度を計測する構成とした。設計図と写真を図 4 - 1 8 に示す。除じん装置内部は負圧であり、1.7 L/min を確保するため LD-3K の吸引補助にミニポンプ (MP 300NII) を用いた。

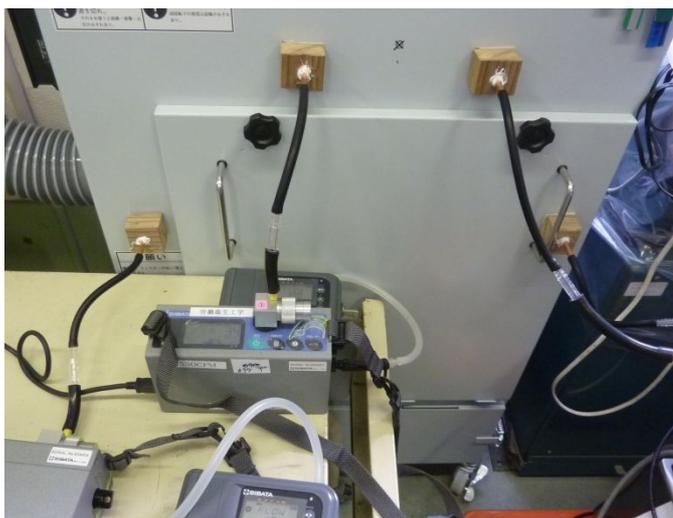
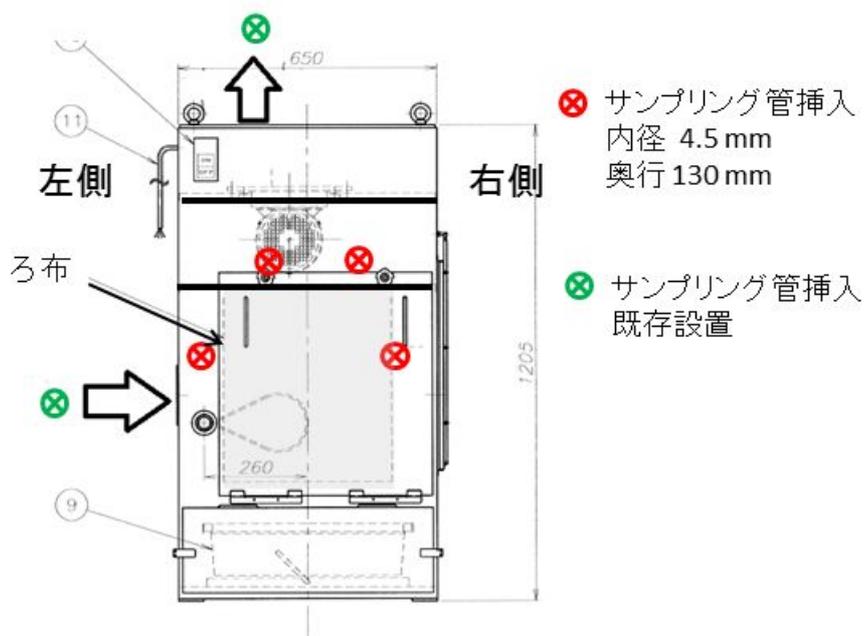


図 4 - 1 8 除じん装置へのサンプリング管の取り付け

上がるろ布の下流、下がるろ布の上流となる。写真はサンプリング管とミニポンプを接続した粉じん計

4 - 3 結果（平成29年度）

4 - 3 - 1 - 1 帆布フィルタの捕集性能

石灰粉を噴霧分散して帆布フィルタを装着した除じん装置に2台のLD-5を用いて除じん装置の入口・出口濃度を連続測定した。ファンモータの運転はインバータを40Hzとし、ベルマウスの静圧から得られた始めの吸引空気量は $8.1 \text{ m}^3/\text{min}$ （11 m/sのダクト内風速、ダクト内径125mm）であった。1月26日から2月14日までの結果をつないだもので、二成分流動層による石灰粉じん発生が不安定なため、2月9日に粉体供給をテーブルフィーダー・エジェクター（柴田科学DF-3）に変更した。

結果を図4-19に新たに粉じんを供給し始めてからの変化を示す。帆布フィルタの初期の捕集効率は低く、通過率が10%を超えているが、6時間程度で1%ほどまで低下する。当初、石灰粉じん発生が不安定なため入口濃度が安定しない状態であったが、PM2.5サイクロン付LD-5の質量濃度換算係数は約 $0.003 \text{ (mg/m}^3/\text{cpm)}$ であり、質量濃度は $1\sim 5 \text{ mg/m}^3$ ほどであった。ISOで審議されている供給濃度（ 2.5g/m^3 ）の1000分の1ほどであった。しかし、この濃度でも捕集効率は上昇し、2月16日に1時間、2月22日に30分間、2月27日に2時間、2月28日に5時間半の石灰粉じん発生と集じんを続けた。最終日の通過率と圧力損失の測定結果を図4-20に示す。2月28日には通過率は0.2%を切っていたが、ろ布圧力損失は始めの415Paから600 Paまで上昇した。

ELPIを用いて除じん装置の捕集性能を2月22日に測定した。粉じん計LD-5も同時に計測し、両者を比較した。図4-21に示す結果から帆布のバグフィルタを用いた除じん装置は、LD-5では1.2%の通過率であっても、サブミクロンの粉じん粒子の通過率が20%を超えることがわかる。バグフィルタは粉じん層の隙間で粒子を遮り効果で捕集するため、粉じん層と同程度の大きさの粒子は捕集する。しかし、ここでは粉じんの堆積は薄く微小粒子捕集は期待できないと思われる。

作業環境において捕集対象の発じん源の粒子濃度がそれほど高くなく、また断続的な発生の場合に初期捕集効率の劣るここで用いたろ布を用いると、粉じん層は長時間形成されず、払い落としは長時間（日単位）で行わなくてもよいと思われる。

図4-19から図4-21まで通して流入する石灰粉じんの濃度が低下するとLD-5の示す通過率も高くなる。これを確かめるため石灰粉を分散せず、大気じんの濃度が高い日に図4-21と同様の測定をファンの周波数を変えて実施した結果が図4-22である。図4-21の通過率と分離径の交点から粉じん計LD-5で計測している石灰粉じん粒子の大きさは1から $2 \mu\text{m}$ であることがわかる。これは粉じん計に取り付けたPM2.5サイクロンが作動しているためと思われる。一方、図4-22に示すように大気じんを用いるとこのサイズは $1 \mu\text{m}$ 以下となり、大気じんの中にミクロンサイズの粒子が少ないためと思われる。LD-5で大気じんを使用して測定すると、石灰粉じんの通過率は0.2%以下（図4-20参照）の状態であっても計測した通過率は1%ほどであった。また除じん装置を20Hzで運転した場合（面速を下げた場合）は40Hzに比べ通過率は低下している。

LD-5 を用いた通過率測定では、上流側の濃度が 1000 cpm 程度あれば 0.1% 程度までの通過率が測定可能である。しかし、上流側の濃度が低下すると下流の濃度も減少し、かつ大気じんの微小粒子が中心となるため通過率は上昇する。このため上流側の濃度が極端に低下した場合は欠測値とした。

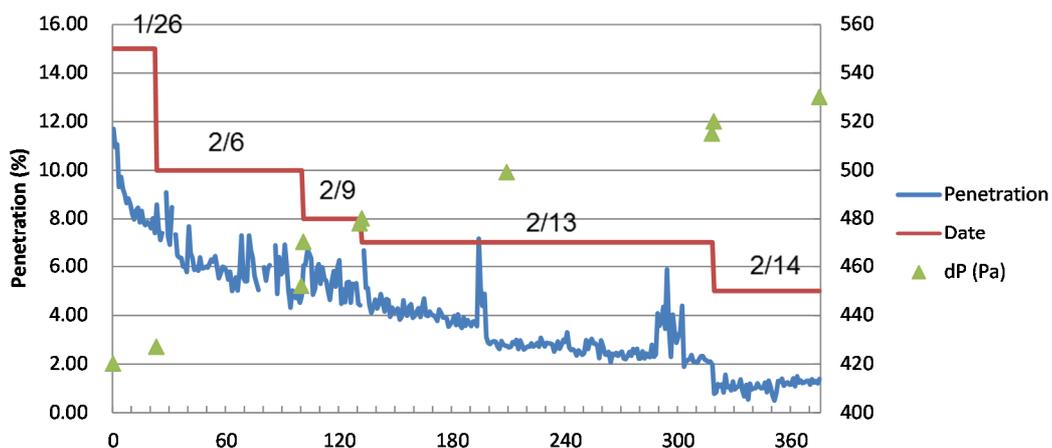
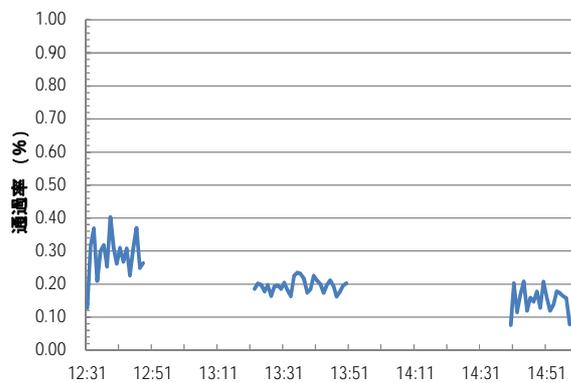


図 4 - 1 9 除塵装置（帆布フィルタ）の粉じん通過率（左縦軸）とろ布圧力損失（右縦軸）の経時変化

1月26日から2月14日まで、経過時間は分単位



2018/2/28

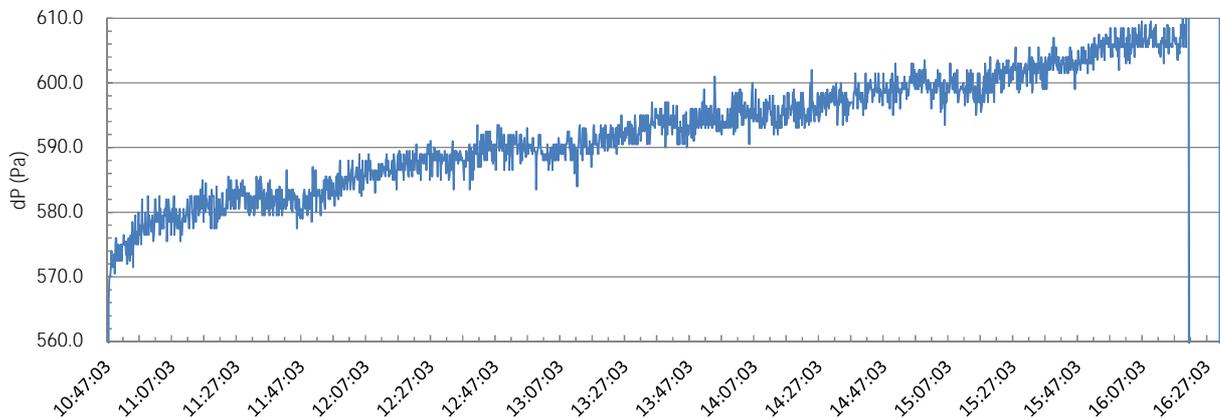


図4 - 20 除じん装置（帆布フィルタ）の粉じん捕集効率（上）とろ布圧力損失（下）の経時変化（最終日2月28日）

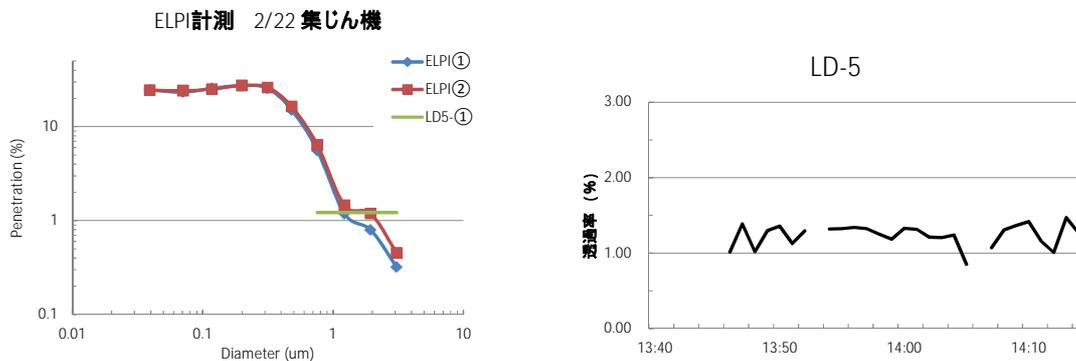


図4 - 21 ELPI と粉じん計 LD-5 を用いた除じん装置（帆布フィルタ）の石灰粉じんの通過率の測定

左 ELPI と LD-5、右 LD-5 の結果、右の図の欠測は発生濃度が極端に低下したため。

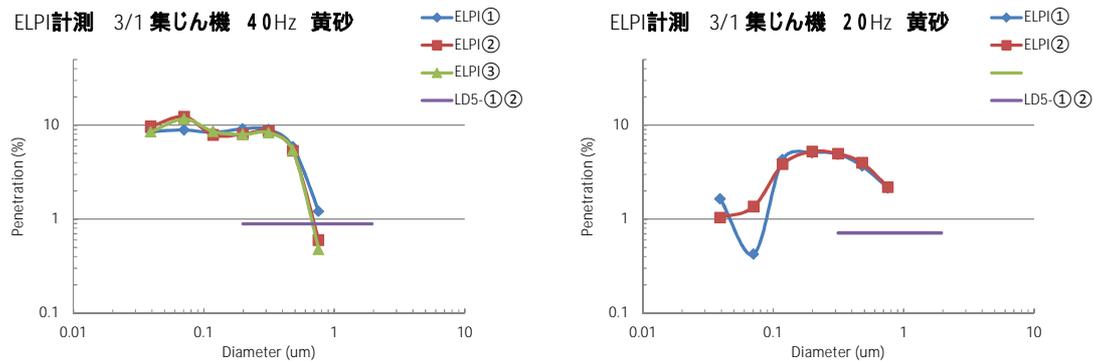


図4 - 2 2 ELPI と粉じん計 LD-5 を用いた除じん装置（帆布フィルタ）の通過率の測定
測定対象粒子は黄砂じん、石灰粉じんの通過率は0.2%以下（図4 - 2 参照）
左は除じん装置を40Hzで運転、右は20Hzで運転した場合。

4 - 3 - 1 - 2 帆布フィルタの払落しの後の結果

上記の石灰粉じんの発生と捕集で一区切りとして、バグフィルタの上の粉じんを除じん装置の払落し機構を用いて手で払落しを行った。その前に内壁から回収した石灰粉は30gであり、後に手動で払い落として回収した石灰粉は24gであった。手で払落しを行った後にダストバケットに落下した石灰粉の様子を図4 - 2 3に示す。粉体のほとんどは吸引口近くの奥左側にのみ落下しており、吸引口近くの（奥の）ろ布表面に堆積した粉じんと思われる。これは粗大粒子がろ布に直接衝突することを避けるため多孔板が設置されており、ろ布の置かれた空間は粉じんが一樣に広がるには狭いためと思われる。このことから厚い粉体層が集塵をしているということではなく、ろ布の表面に僅かに粉体層があれば99%ほどの捕集効率で集塵できることがわかる。

払落し後の除じん装置の捕集性能を測定した結果と上流の粉じん計の濃度の変化を図4 - 2 4に示す。粉じん発生が低下すると通過率が上昇するが、ここでは安定して高濃度の粉じんの発生ができた。最初の通過率は約0.2%であり、払落し前（図4 - 2 0）とほとんど同じで低下は見られなかった。圧力損失は、払落し前610Paから605Paまで低下したが、この4時間で615Paまで再度上昇した。

その後、3月6日に石灰粉を12g、3月7日に26gを粉じんとして供給し、最終的に圧力損失は635Paまで上昇し吸引風量は40Hzで7.3 m³/min（9.9 m/sのダクト内風速、ダクト内径125mm）であった。ここでさらに手動で払落しを行った。払落し後の圧力損失は625Paまで低下し、吸引流量は7.5 m³/min（10.2 m/sのダクト内風速、ダクト内径125mm）であった。ダストバケットに回収した石灰粉は6.8gであった。



図4 - 2 3 払落し直後のダストバケットの石灰粉
画面上方左が粉じん吸引口近く、画面下が取り外し蓋側

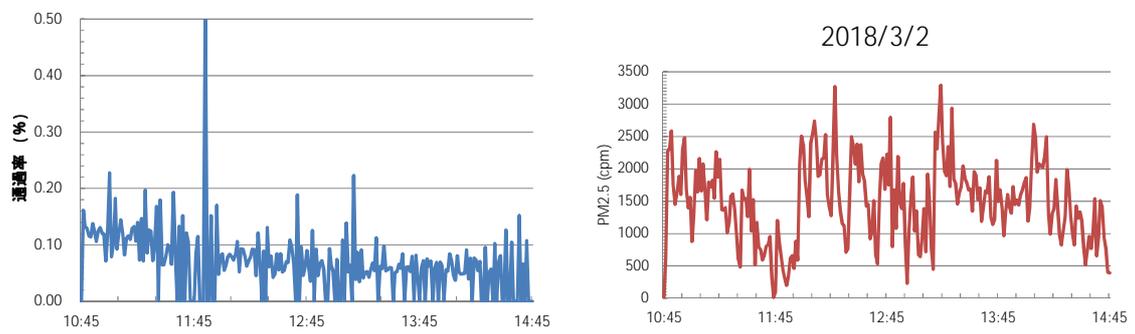


図4 - 2 4 払落し後の除じん装置の捕集性能と供給した石灰粉じんの濃度

4 - 3 - 1 - 3 帆布フィルタの表面状態

図4 - 25に吸引口とは反対側のろ布の表面の顕微鏡写真を新品と比較して示す。粉じん堆積状態は図4 - 21と同じく2月22日後の状態ではLD-5の通過率は1%程度である。その後LD-5の通過率が0.1%程度となり、手動で払落しを行った最終状態(図4 - 24に示す測定を行った後)で、ろ布を除じん装置から取り外して表面を再度顕微鏡撮影した。石灰粉じんの堆積量は、吸引口側(除じん装置奥)と反対側(除じん装置の開口部)では異なっていた。石灰粉は付着しやすいため払落し後も表面に付着していると考えら、他の粉じんでは同じとはいえないと思われる。



(左) 新品 (右) 石灰粉堆積(中間2月22日) 黒い部分はろ布に引いた油性ペンの線



最終の石灰粉堆積状態、(左) 吸引口と反対側のろ布表面 (右) 吸引口側のろ布表面

図4 - 25 帆布フィルタの表面の顕微鏡写真

4 - 3 - 2 - 1 ファインフィル (FF) フィルタの結果

除じん装置に FF フィルタを装着し、2 台の LD-5 を用いて除じん装置の入口・出口濃度を連続測定した。ファンの運転は帆布フィルタと同じくインバータを 40Hz とし、ベルマウスの静圧から得られた始めの吸引空気量は $9.5 \text{ m}^3/\text{min}$ (13 m/s のダクト内風速、ダクト内径 125mm) であった。粉体供給はテーブルフィーダー・エジェクター (柴田科学 DF-3) を用いた。

粉じん計 LD-5 による通過率の結果を図 4 - 2 6 に示す。FF フィルタの初期の捕集効率は高く、通過率が 0.5% 以下であった。同時に ELPI を用いて除じん装置の捕集性能を測定し、粉じん計 LD-5 の結果と比較した。結果を図 4 - 2 7 に示す。サブミクロン粒子に対しても捕集性能は帆布フィルタに比べ高いと思われる。

ここで測定した結果からは FF フィルタは低圧力損失で高効率であり、性能が高いが、単価は帆布フィルタの 3 倍であり、現場のろ材の選択で採用されるか問題は残る。

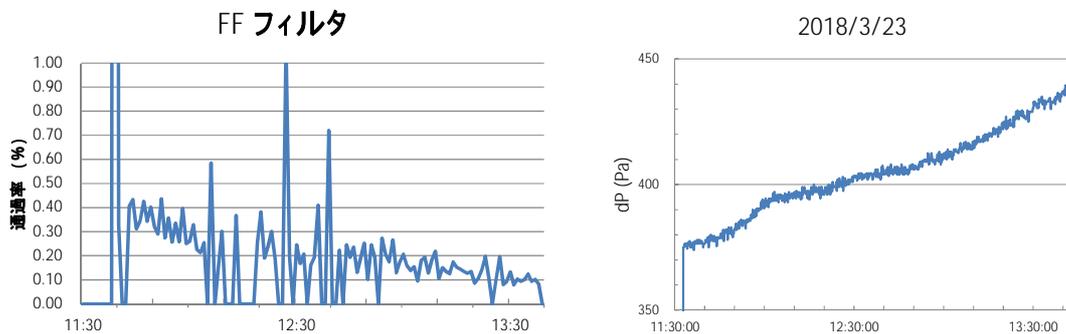


図 4 - 2 6 FF フィルタを装着した除じん装置の捕集性能とろ布の圧力損失の変化

ELPI計測 3/23 集じん機 40Hz 石灰

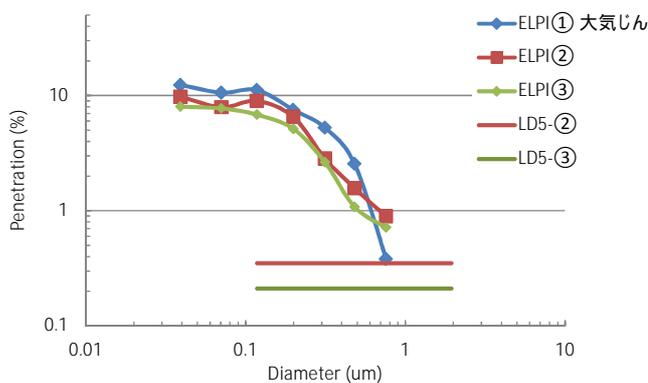


図 4 - 2 7 ELPI と粉じん計 LD-5 を用いた除じん装置 (FF フィルタ) の通過率の測定

4 - 3 - 2 - 1 ファインフィル (FF) フィルタの結果

除じん装置に FF フィルタを装着し、2 台の LD-5 を用いて除じん装置の入口・出口濃度を連続測定した。ファンの運転は帆布フィルタと同じくインバータを 40Hz とし、ベルマウスの静圧から得られた始めの吸引空気量は $9.5 \text{ m}^3/\text{min}$ (13 m/s のダクト内風速、ダクト内径 125mm) であった。粉体供給はテーブルフィーダー・エジェクター (柴田科学 DF-3) を用いた。

粉じん計 LD-5 による通過率の結果を図 4 - 2 6 に示す。FF フィルタの初期の捕集効率は高く、通過率が 0.5% 以下であった。同時に ELPI を用いて除じん装置の捕集性能を測定し、粉じん計 LD-5 の結果と比較した。結果を図 4 - 2 7 に示す。サブミクロン粒子に対しても捕集性能は帆布フィルタに比べ高いと思われる。

ここで測定した結果からは FF フィルタは低圧力損失で高効率であり、性能が高いが、単価は帆布フィルタの 3 倍であり、現場のろ材の選択で採用されるか問題は残る。

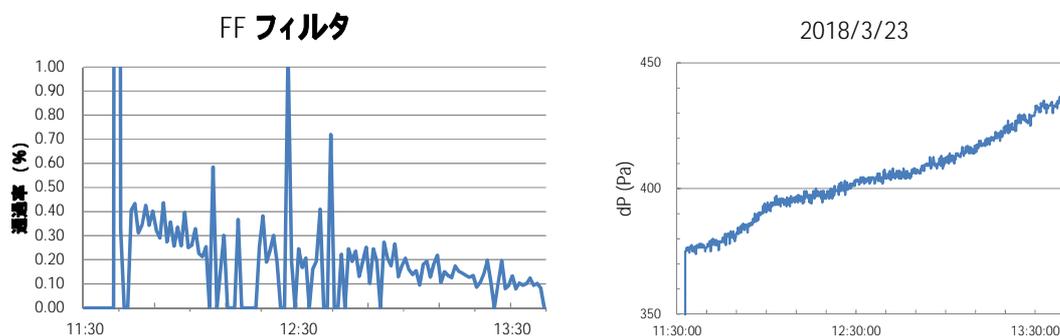


図 4 - 2 6 FF フィルタを装着した除じん装置の捕集性能とろ布の圧力損失の変化

ELPI 計測 3/23 集じん機 40Hz 石灰

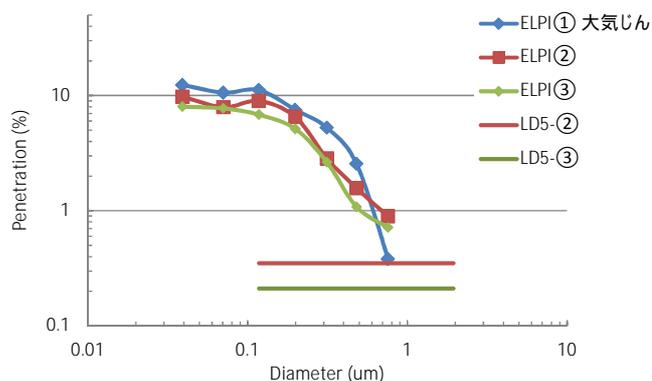


図 4 - 2 7 ELPI と粉じん計 LD-5 を用いた除じん装置 (FF フィルタ) の通過率の測定

4 - 3 - 2 - 2 FF フィルタの払落し後の結果

LD-5 を用いた通過率はすでに測定下限にあるので、以後、石灰粉じんの発生による粉じんの堆積のみを進めた。その後、計 18 g を除じん装置に供給して、FF フィルタ上の粉じんを払落し機構を用いて払落しを行った。ダストバケットに回収した粉体量は 3.5 g であり、他はろ布表面と装置内壁にあるものと考えられる。

4 - 3 - 3 除じん装置の漏れの影響

4 - 3 - 3 - 1 吸引風量と帆布フィルタの圧力損失

帆布フィルタを除じん装置に設置して石灰粉じんを供給し、吸引風量と圧力損失を測定した。吸引風量はインバータでファンモータの回転数を 15 Hz ~ 50 Hz の範囲で調整した。粉じん堆積とともに風量は減少し、圧力損失は増加する。図 4 - 2 8 に入口速度圧と圧力損失の関係を示す。図中の実線は 1 : 1 と 1 : 0.5 の傾きを示し、風量の 2 乗（速度圧）に比例か、風量の 1 乗に比例かを検討した。ろ布だけでは層流で風量の 1 乗に比例すると思われるが、内部の構造からその中間となり、風量が増加すると乱流の 2 乗に近くなることがわかる。一方、4 - 2 - 4 の項で示した除じん装置のろ布取り付け部に隙間を作る方法で、同じく風量と圧力損失の関係を示したのが図 4 - 2 9 である。図 4 - 2 8 と図 4 - 2 9 を重ねても各回転数で結果はほぼ同じライン上に乗る。漏れがある場合（乱流）と粉じん堆積だけの場合（層流）で本来傾向が異なるはずであるが最大 8mm ほどの隙間では違いは明確ではなかった。隙間からの漏れ量（風量）を図 4 - 2 9 を拡大した図 4 - 3 0 に示すように図的に推定した。同じ圧力損失で漏れのある場合とない場合での風量（ダクト内速度）を求めた。帆布フィルタで隙間が 8mm のとき 40Hz でファンを運転した場合は 10.8 m/s、漏れない場合は 8.7 m/s となり、比率は 80% となる。同様に 30Hz で 78%、20Hz で 75% となる。従って 40Hz では 20% の漏れの量（風量の比）と予想される。回転数の低い場合の方が漏れが多いように見える。速度圧と風速の関係式は 4 - 2 - 2 に示した。

取り付け部に漏れがあると、除じん装置を運転しても圧力損失は上昇せず吸引風量は維持され、フードとしての性能は維持されているように見えるが、排気に粉じんが含まれることになり、室内に排気した場合は危険である。

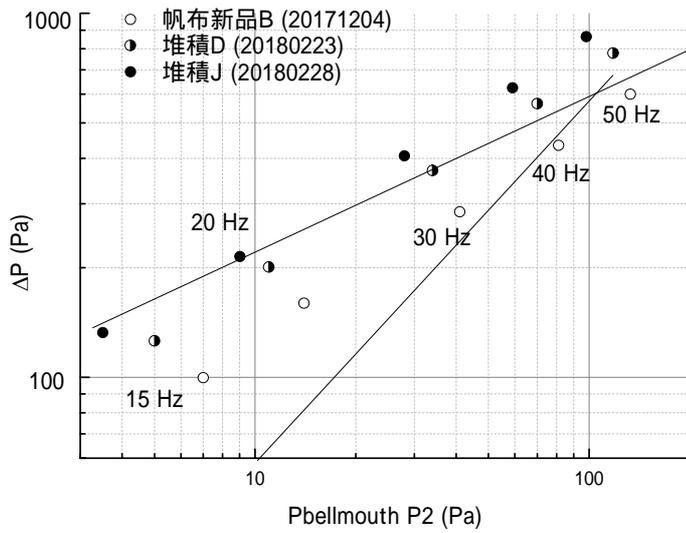


図4 -2 8 粉じんの堆積とともに変化する入口速度圧（吸引風量の二乗）と圧力損失の関係

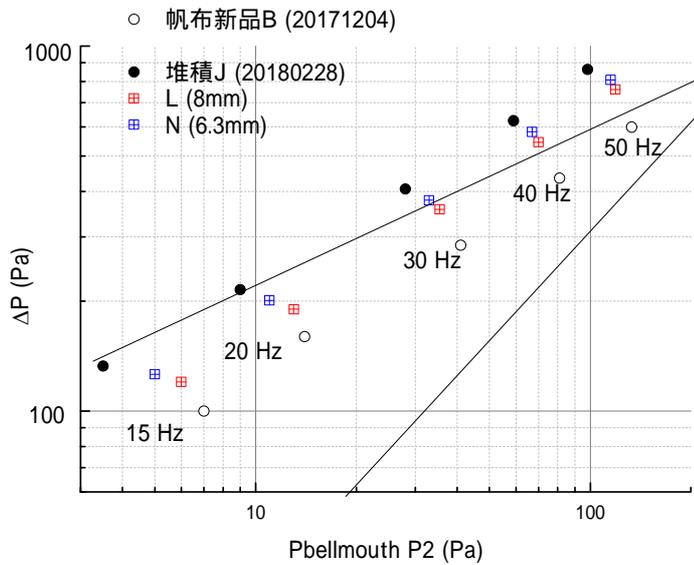
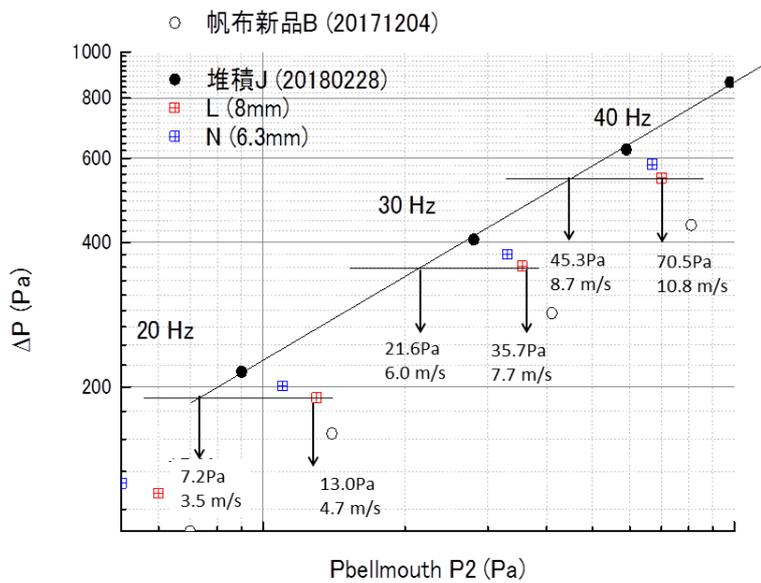


図4 - 2 9 フィルタ取り付け部の漏れとともに変化する入口速度圧（吸引風量の二乗）と圧力損失の関係

漏れのない場合と取り付け部に隙間を6.3mmと8mm置いた場合の結果



1

図4 - 30 フィルタ取り付け部の漏れと入口速度圧（吸引風量の二乗）と圧力損失の関係

同じ圧力損失で吸引する場合の漏れの有無の推定ための方法として除じん装置のフィルタ部を通過する風量（左）と漏れを含んだ全吸引風量（右）の組（隙間8mmの場合）

4 - 3 - 3 - 2 ファインフィル (FF) フィルタの圧力損失と風量

FF フィルタを除じん装置に設置して石灰粉じんを供給し、吸引風量と圧力損失を測定した。風量はインバータでファンモータの回転数を 15 Hz ~ 50 Hz の範囲で調整した。粉じん堆積とともに風量は減少し、圧力損失は増加する。図 4 - 3 1 に結果を示す。一方、4 - 2 - 4 で示した除じん装置のろ布取り付け部に隙間を作る方法で同じく風量と圧力損失の関係を示したのが図 4 - 3 2 である。図 4 - 3 1 と図 4 - 3 2 を重ねても各回転数で結果はほぼ同じライン上に乗る。漏れがある場合と粉じん堆積だけの場合では、帆布フィルタの 8mm の隙間に比べ違いは明確ではなかったため、さらに大きな 10.3mm の隙間を作成して測定した。8mm と 10.3mm の隙間では漏れの違いは大きいと推定された。

漏れの量 (風量) を図 4 - 3 2 を拡大した図 4 - 3 3 に示すように図的に推定した。同じ圧力損失で漏れのある場合とない場合での風量 (ダクト内速度) を求めた。FF フィルタで隙間が 10.3mm のとき 40Hz でファンを運転した場合は 11.5 m/s、漏れない場合は 9.6 m/s となり、比率は 83% となる。同様に 30Hz で 80%、20Hz で 77% となる。従って 40Hz では 17% の漏れと予想される。回転数の低い場合の方が帆布フィルタと同じく漏れが多いように見える。図 4 - 3 0 で示した帆布フィルタと 8mm の隙間の組み合わせで比較すると、FF フィルタの比率は 40Hz で 94% となる。同様に 30Hz で 95%、20Hz で 90% となり、帆布フィルタに比べ漏れの量は少ないことがわかる。この比率について帆布フィルタと FF フィルタの結果を表 4 - 1 にまとめた。ファンの風量を大きくすると (回転数を増すと) 漏れは少なくなる傾向がある。またフィルタの粉じん堆積が進むと漏れは増加する。

同じ方法で FF フィルタに 8mm の隙間を入れて 50Hz でファンモータを運転した場合に粉じん計 LD-5 で除じん装置前後の 대기じん濃度を測定した結果は 5.5% の漏れで、流量から推定される漏れは 3% であり、両者は近い関係を示した。

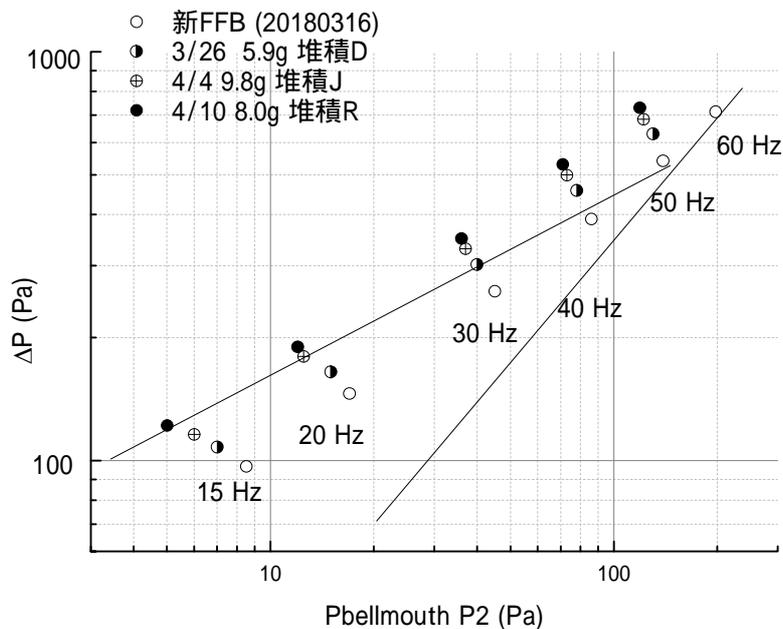


図4 - 3 1 FFフィルタの粉じんの堆積とともに変化する入口速度圧（吸引風量の二乗）と圧力損失の関係

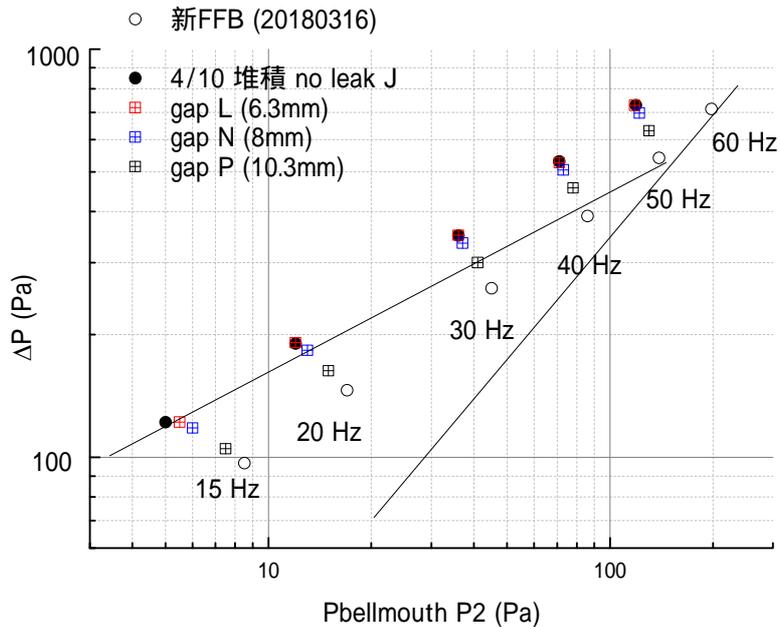
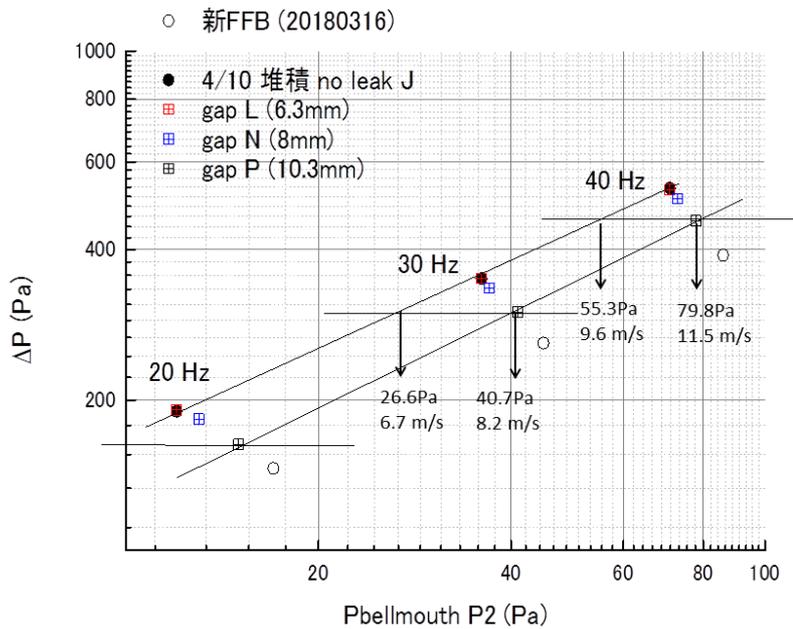


図4 - 3 2 フィルタ取り付け部の漏れとともに変化する入口速度圧（吸引風量の二乗）と圧力損失の関係

漏れのない場合と取り付け部に隙間を6.3mm、8mm、10.3mm置いた場合の結果



1

図 4 - 3 3 フィルタ取り付け部の漏れと入口速度圧（吸引風量の二乗）と圧力損失の関係

同じ圧力損失で吸引する場合の漏れの有無の推定ための方法として除じん装置のフィルタ部を通過する風量（左）と漏れを含んだ全吸引風量（右）の組（隙間 10.3mm の場合）

表 4 - 1 各吸引風量と隙間と漏れの比率（ろ過空気風量 V_c / 全空気風量 V_{leak} ）の関係

帆布フィルタ 2月28日 最終

8mm leak	V_c (m/s)	V_{leak} (m/s)	Ratio (%)
15Hz	2.2	3.2	70.6
20Hz	3.5	4.7	74.5
30Hz	6.0	7.7	77.9
40Hz	8.7	10.8	80.6
50Hz	11.5	14.1	81.6

FFフィルタ 4月10日 最終

8mm leak	V_c (m/s)	V_{leak} (m/s)	Ratio (%)
15Hz	2.8	3.1	90.3
20Hz	4.2	4.7	89.4
30Hz	7.5	7.8	95.5
40Hz	10.4	11.0	94.5
50Hz	13.5	14.3	94.4

FFフィルタ 3月26日

8mm leak	V_c (m/s)	V_{leak} (m/s)	Ratio (%)
15Hz	3.3	3.4	95.5
20Hz	4.8	5.0	95.6
30Hz	7.9	8.3	95.2
40Hz	11.0	11.5	95.7
50Hz	14.4	14.8	97.3

FFフィルタ 4月10日 最終

10.3mm leak	V_c (m/s)	V_{leak} (m/s)	Ratio (%)
15Hz	2.5	3.5	71.4
20Hz	3.9	5.0	78.0
30Hz	6.7	8.2	80.9
40Hz	9.6	11.5	83.5
50Hz	12.5	14.7	85.0

図 4 - 3 0、4 - 3 3 参照

4 - 4 まとめ

4 - 4 - 1 性能測定装置

本研究で用いた測定装置などについて以下にまとめる。

1) 石灰粉じんの分散は凝集しやすく、ISO 関係でも安定分散に苦労しているが、本研究でも分散装置で閉塞を起こすことがしばしばあった。テーブルフィーダー・エジェクターに交換してから取り扱いはかなり容易になった。

2) 粉じん計 (LD-5) に PM2.5 用サイクロンを取り付けた測定装置は、測定対象の粉じんの大きさを規定できること、除じん装置入口側の高濃度の粉じんが流入しても粉じん計を守ることができる利点を確認された。

3) 既存の ISO などの除じん性能測定方法は入口側粉じん濃度を分散装置の粉体供給量を吸引空気量で割ったものとしており、本研究のように入口・出口ともに同じ粉じん計を使用して測定していない。粒子径の規定された通過率を得ることのできる本研究の測定法の方が優れていると考える。

4) 本研究で試作した PM2.5 用サイクロンと吸入性粉じん用サイクロンの性能を確認した。

5) 非等速サンプリングについて検討した。サンプリング管の内径を 4 mm (吸引風速 2.25 m/s) と 8 mm (吸引風速 0.56 m/s) で比較してここで使用した 10 m/s ほどの風速では通過率測定に影響がないことを確認した。

6) 除じん装置入口の風速は、ベルマウス型の吸引口を用いることで測定が可能であった。静圧 (速度圧) 測定位置は結果に影響するので ISO5801 に従った位置にするべきと考える。

4 - 4 - 2 帆布フィルタ

帆布フィルタの結果について以下にまとめる。

1) 帆布フィルタは初期の通過率が 10% 以上あり、使用とともに通過率は減少する。現場での使用状況では、新品から約 1 カ月間の使用で除じん性能がでるようになるといわれている。昨年度の現場測定でも同様の帆布フィルタを使用していたが、新品の交換から約 2 ヶ月後に測定した結果であり、そこでは 0.1% ほどの通過率であった。

2) 帆布フィルタは圧力損失が始めの 1.3 倍ほど上昇したところで 1% 以下になるが、石灰の粉じんはフィルタ表面にうっすらと堆積している程度である。図 2 - 1 の時間 圧力損失曲線で、急速に圧力損失が上昇する始めの領域と考えられる。この状態での粉じんの払落しでは、粉じんが多く堆積していた流入部だけで起こり、払落し後も通過率や圧力損失に大きな変化を与えなかった。これについては石灰粉の付着性が強いことも原因かもしれない。

3) 粒子径別の濃度測定装置である ELPI で測定した結果からは帆布フィルタはサブミクロン粒子 (1 μm 以下の粒子) を十分に捕集しないこと (20% ほどの通過率) がわかった。

4) 速度圧 (ダクト内速度の 2 乗) と圧力損失の関係からは粉じん堆積による圧力損失上昇とフィルタ接続部 (パッキン) の漏れの関係は得られなかった。フィルタ接続部に漏れ

があると吸引風量が維持されているように誤解することがわかった。粉じん吸引後も圧力損失が増加せず、吸引風量が維持されている場合は除じん装置の性能に疑問を持つ教育がある。

4 - 4 - 3 FF フィルタ

FF フィルタの結果について以下にまとめる。

- 1) FF フィルタの初期捕集性能は高く、通過率は始めから 1 % 以下であった。
- 2) FF フィルタは帆布フィルタの 3 倍の価格であった。
- 3) ELPI で測定した結果からは FF フィルタもサブミクロン粒子 (1 μ m 以下の粒子) を十分に捕集しないこと (10 % ほどの通過率) がわかった。
- 4) 速度圧 (ダクト内速度の 2 乗) と圧力損失の関係からは粉じん堆積による圧力損失上昇とフィルタ接続部 (パッキン) の漏れの関係は帆布フィルタと同じく得られなかった。
- 5) これまでの結果からは風量から推定される漏れの量と粉じん計を用いて測定される漏れの量は近いことが示唆されたが、今後さらに検討する必要がある。

4 - 5 結果（平成30年度）

4 - 5 - 1 除じん装置の粉じん捕集効率

昨年度実施した帆布ろ布の試験では石灰粉じんの発生が安定しなかったため、本年度、新しい帆布ろ布を取り付けて性能を再度測定した。また3 - 2 - 6に示したように除じん装置本体に銅管のサンプリング管を4カ所取り付けて、入口・出口だけでなく、内部の状態を知ることを目的とした。除じん装置の漏れの影響を知るため、前年と同じ値の差圧(610 Pa)まで石灰粉をろ布に堆積させた後、漏れを作って内部の粉じん濃度を測定し、流量から推定される漏れ率と粉じん濃度から得られる漏れ率を比較検討した。

4 - 5 - 1 - 1 帆布フィルタの結果

石灰粉を噴霧分散して帆布フィルタを装着した除じん装置にPM2.5サイクロンを取り付けた2台のLD-5と2台のLD-3Kを用いて除じん装置の入口・出口濃度と除じん装置内部のろ布上流・下流を連続測定した。またELPIも同時に除じん装置内部のろ布上流・下流を計測し、通過率を求めた。

ファンモータの運転はインバータを40Hzとし、ベルマウスの静圧(84 Pa)から得られた始めの吸引空気量は $8.7\text{ m}^3/\text{min}$ (11.8 m/s のダクト内風速、ダクト内径125mm)であった。1月30日10時から16時までテーブルフィーダー・エジェクター(柴田科学DF-3)を途中の粉体供給時を除き連続運転した。

図4 - 34に新たに粉じんを供給し始めてからの変化を示す。帆布フィルタの初期の捕集効率は低く、通過率は10%を超えているが、6時間程度で1%ほどまで低下する。ろ布(図4 - 18左側上下管)前後で通過率を測定すると除じん装置の前後の約2倍の通過率が計測される。この原因は図4 - 35 - に示すように出口側の濃度はほとんど変わらないが、入口側は約2倍高いことが原因といえる。これは除じん装置内部でろ布の集じん以外に気流速度が内部で急減して粉じん濃度が低下することが考えられる。またろ布出口とファン下流では10%ほど減少している。図4 - 35 - 参照。

なおLD-5を用いた通過率測定では、上流側の濃度が $3\text{ mg}/\text{m}^3$ 程度(1000 cpm)あれば0.1%程度までの通過率が測定可能である。しかし、上流側の濃度が低下すると下流の濃度も減少し、かつ大気じんの微小粒子が中心となるため通過率は上昇する。このため上流側の濃度が極端に低下した場合は欠測値とした。

PM2.5サイクロン付LD-5の質量濃度換算係数(K値)はここでは約 $0.003\text{ (mg}/\text{m}^3/\text{cpm)}$ であり、質量濃度は $1\sim 5\text{ mg}/\text{m}^3$ ほどであった。ISOで審議されている供給濃度($2.5\text{ g}/\text{m}^3$)の1000分の1ほどであった。ろ布圧力損失は始めの420Paから6時間で560 Paまで上昇した。粉じん計のK値と吸引流量から推定される石灰粉じんの除じん装置への流入量とろ布上の堆積量は始めの3時間で3.8gと2.0gであり、6時間全体で14.1 gと7.0 gであった。この間に通過率は3時間後で4分の1、6時間後で20分の1となった。

帆布フィルタ 2019/1/30

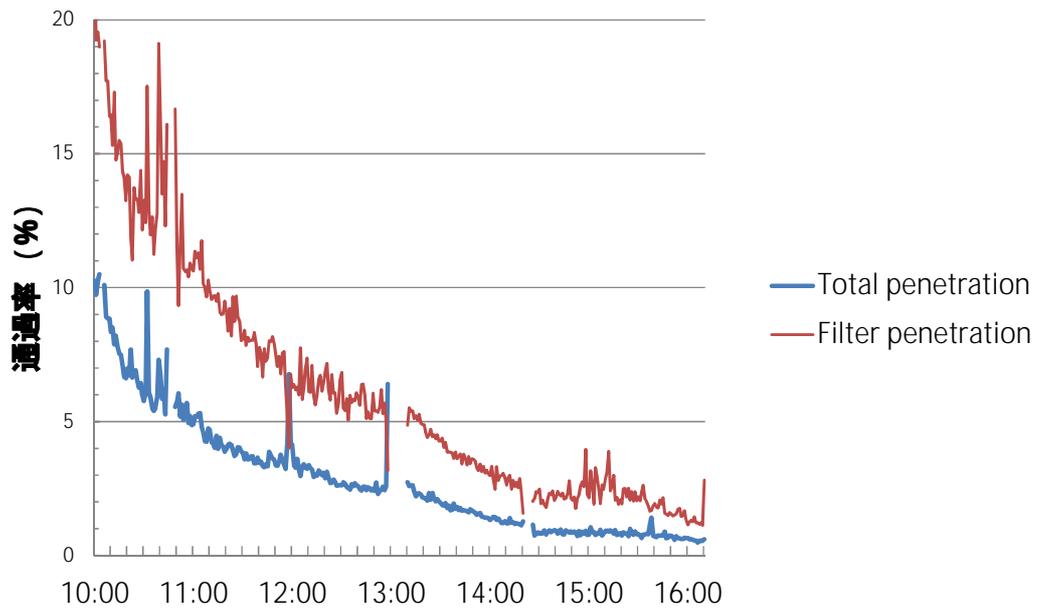


図4 - 3 4 除じん装置前後と帆布フィルタ前後の粉じん通過率の経時変化
1月30日新品から開始しての経過時間(単位は時分)

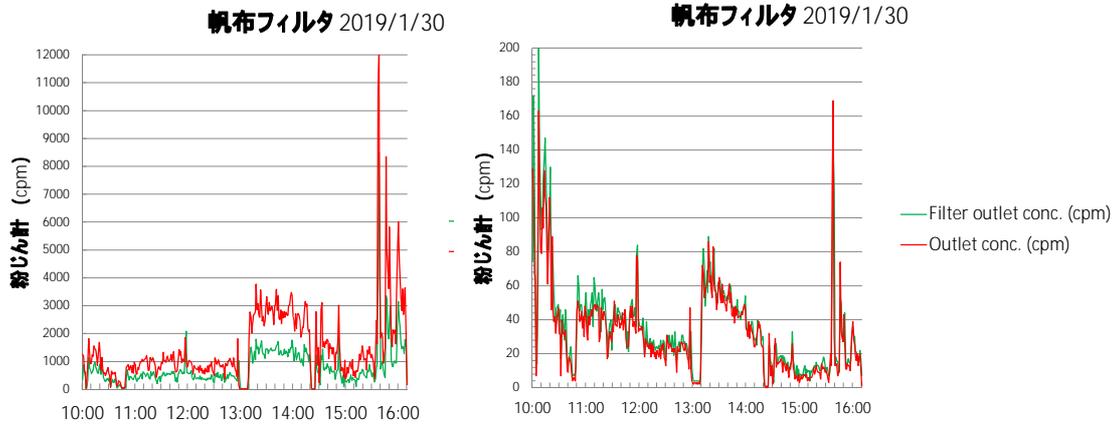


図 4 - 3 5 - 除じん装置前後と帆布フィルタ前後の粉じん計の粉じん濃度 (cpm 単位)
 上流側濃度 (左) 下流側濃度 (右)
 午後に石灰粉をフィーダーのホッパーに再供給するため 10 分間ほどの中断有

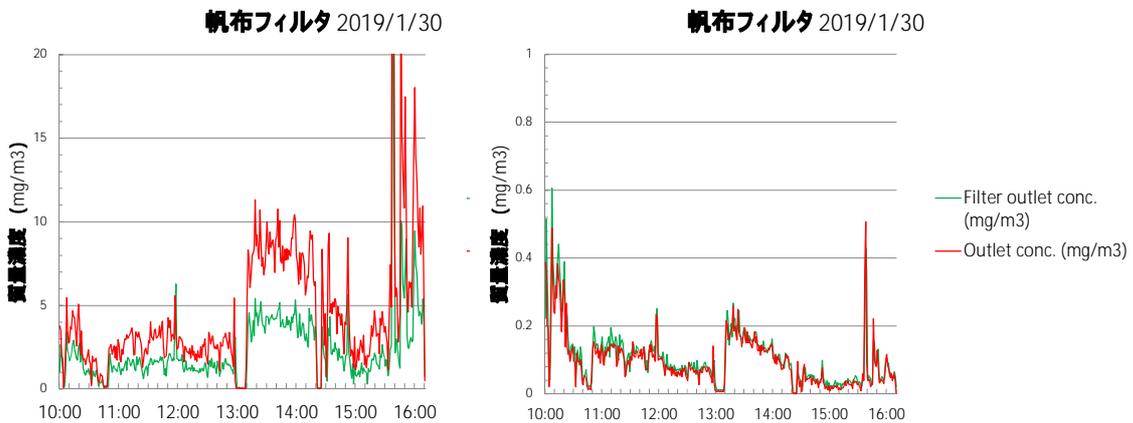


図 4 - 3 5 - 除じん装置前後と帆布フィルタ前後の粉じん計の粉じん濃度 (mg/m³ 単位)
 上流側濃度 (左) 下流側濃度 (右)
 午後に石灰粉をフィーダーホッパーに再供給するため 10 分間ほどの中断有
 PM2.5 サイクロン付 LD-5 の質量濃度換算係数 (K 値) を 0.003 (mg/m³/cpm) とした。

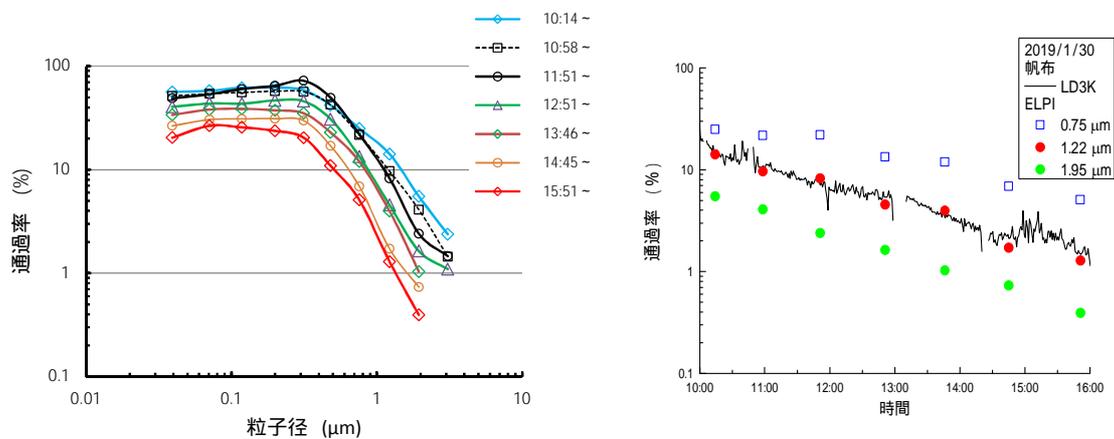


図4 - 3 6 ELPI を用いた除じん装置のろ布前後の粒子径別の通過率(左)とELPI の0.75, 1.22, 1.96 μm サイズレンジの通過率の時間変化と粉じん計によるろ布前後の通過率 (図4 - 1) の時間変化の比較 (右)

ろ布の前後を切り替えて濃度測定をするため 10 分間ほど必要で時間はその中央値。(左) 同時に計測した粉じん計 (LD-3K) による通過率との比較では 1.22 μm レンジがよい対応を示した。(右)

ELPI を用いて除じん装置の捕集性能を同時に計測し、両者を比較した。図4 - 3 6 に ELPI を用いた帆布フィルタ前後 (図4 - 1 8 の右側上下のサンプリング管) の通過率の測定結果を示す。前後を切り替えて濃度測定をするため全体で 10 分間(下流 3 分間、上流 3 分間、下流 3 分間と清浄空気の置換) ほど必要で、図に示す時間はその中央時間である。約 1 時間ごとに計測した。図4 - 3 6 に示す結果から、帆布のバグフィルタを用いた除じん装置は、PM2.5 サイクロン付粉じん計で 1~2% の通過率であっても、サブミクロンの粉じん粒子の通過率が 20% を超えることがわかる。PM2.5 サイクロン付粉じん計 (LD3K) による通過率との比較では 1.22 μm レンジが粉じん計とよい対応を示した。

バグフィルタは粉じん層の隙間で粒子を遮り効果で捕集するため、粉じん層と同程度の大きさの粒子は捕集する。しかし、粉じんの堆積とともにサブミクロンの粒子の通過率も下がっており、一定の捕集は期待できると思われる。

図4 - 3 6 右の各測定時でのろ布の圧力損失は、変動はあるが凡そ 422Pa, 448Pa, 476Pa, 502 Pa, 522Pa, 544 Pa, 558Pa で上昇した。

除じん装置内部の粉じん濃度の違いを見るため、**図4 - 18**のろ布上流側の左右のサンプリング管にPM2.5サイクロン付粉じん計(LD-3K)を接続し、石灰粉を供給して粉じん濃度の計測を行った。同時に除じん装置前後の濃度をサイクロン付粉じん計(LD-5)に接続して計測した。3台のサイクロン付粉じん計の濃度の測定結果を合わせて**図4 - 37**に示す。除じん装置の通過率はLD-5で測定して、0.5%程度となっている。3時間の石灰粉じんの発生で、ろ布前後の差圧は590 Paに上昇した。左右で粉じん濃度に少し違いが見えるので比を取った結果を**図4 - 38**に示す。変動はあるが常に100%を超えているので、粉じん入口と反対側の右側の方が濃度は少し高いと思われる。

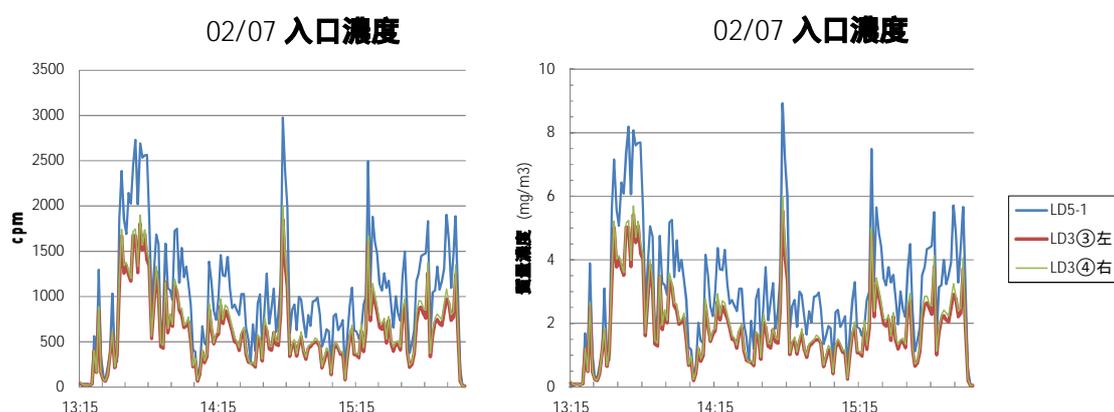


図4 - 37 除じん装置入口と帆布フィルタ上流左右の粉じん計の粉じん濃度
(cpm単位、左)と(換算した質量濃度、右)

PM2.5サイクロン付LD-5の質量濃度換算係数(K値)を0.003 (mg/m³/cpm)とした。

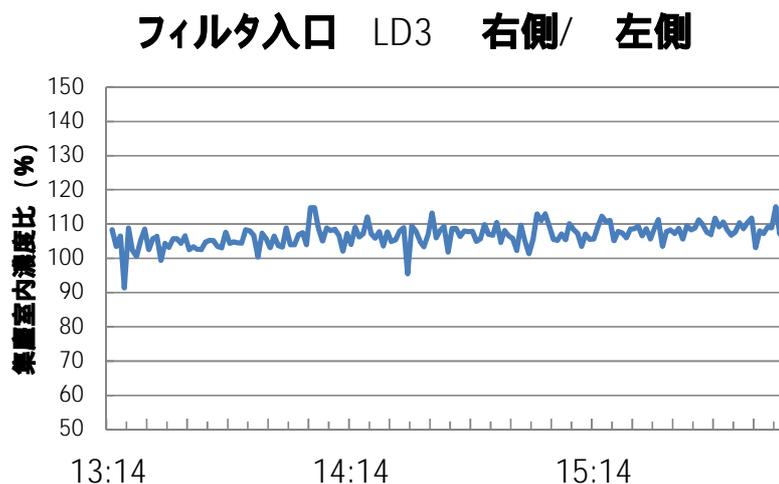


図4 - 38 帆布フィルタ上流左右の粉じん計の粉じん濃度比
粉じん入口と反対の右側の濃度が少し高い。

さらに粉じんの堆積を進めるため石灰粉を導入した。2時間の発生で、ろ布の差圧は 590 Pa から 609 Pa に上昇した。ここでは除じん装置前後 (LD-5) と除じん装置右側のサンプリング管を使用してろ布上流と下流の濃度を測定し、通過率をそれぞれ求めた。図 4 - 3 9 に入口濃度と出口濃度をそれぞれ cpm で示した。テーブルフィーダーのホッパー底部に凝集体を壊すように金網を入れることで発生濃度はこれまでで一番安定した。また図 4 - 4 0 にそれぞれの通過率を示した。通過率は除じん装置入口出口の方がろ布の前後より約半分、図 4 - 3 4 と同じであった。ろ布出口と除じん装置出口の間にファンがあるが、図 4 - 3 5 と同じく濃度の大きな変化はなかった。

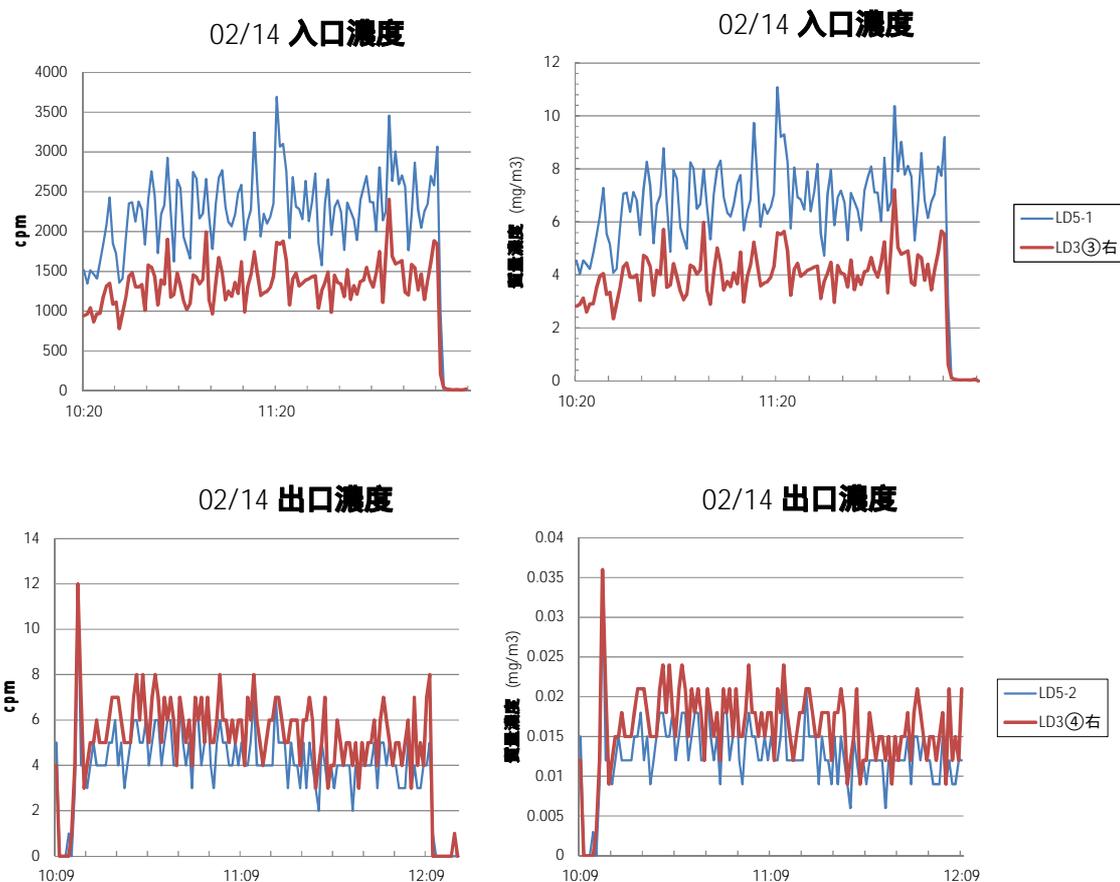


図 4 - 3 9 除じん装置入口とろ布入口 (上) 除じん装置出口とろ布出口 (下) の濃度
 図の左右は (cpm) と (mg/m³)
 PM2.5 サイクロン付 LD-5 の質量濃度換算係数 (K 値) を 0.003 (mg/m³/cpm) とした。

集塵装置 通過率 02/14

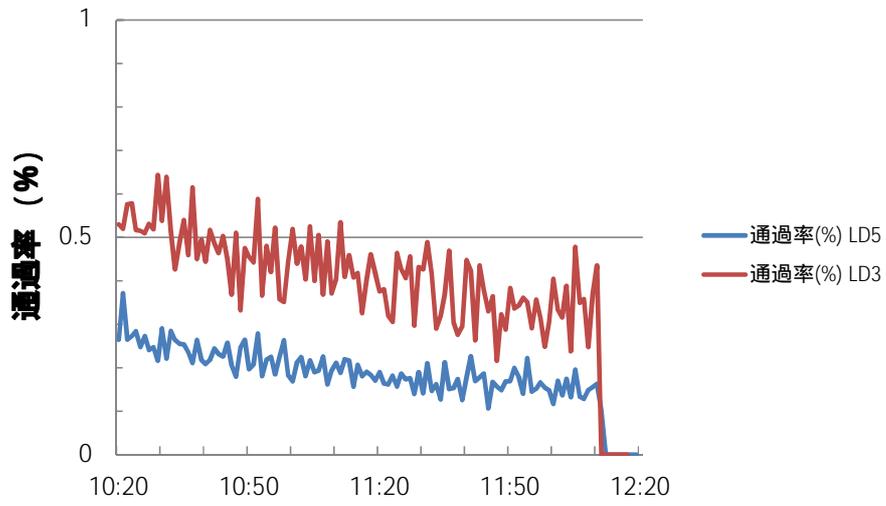


図4 - 40 除じん装置入口と出口での通過率(LD-5)とろ布入口と出口での通過率(LD-3K)

4 - 5 - 2 除じん装置の漏れの影響

4 - 5 - 2 - 1 吸引風量と帆布フィルタの圧力損失による漏れ率

帆布フィルタを除じん装置に設置して石灰粉じんを供給し、吸引風量と圧力損失を測定した。吸引風量はインバータでファンモータの回転数を 15 Hz ~ 50 Hz の範囲で調整した。粉じん堆積とともに風量は減少し、圧力損失は増加する。図 4 - 4 1 に入口速度圧と圧力損失の関係を示す。4 - 2 - 4 の項で示した除じん装置のろ布取り付け部に隙間を作る方法で、8 mm と 10.3 mm の隙間を作り、同じく風量と圧力損失の関係を測定して示した。隙間からの漏れ量（風量）を図的に推定した。同じ圧力損失で漏れのある場合とない場合での風量（ダクト内速度）を求めた。帆布フィルタで隙間が 8 mm のとき 40Hz でファンを運転した場合は 11 m/s、漏れない場合は 10.3 m/s となり、比率は 94 %となる。同様に隙間が 10.3 mm のとき 40Hz でファンを運転した場合は 11.7 m/s、漏れない場合は 9.6 m/s となり比率は 82 %となる。漏れは 100 から引いた値、6 %と 18 %と推定される。速度圧と風速の関係式は 4 - 2 - 2 に示した。

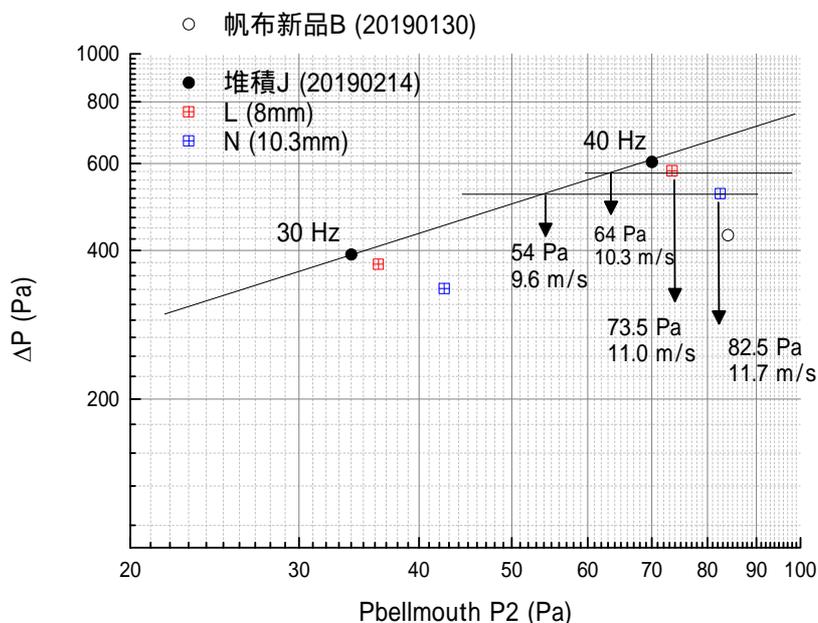


図 4 - 4 1 フィルタ取り付け部の漏れと入口速度圧（吸引風量の二乗）と圧力損失の関係

同じ圧力損失で吸引する場合の漏れの有無の推定方法として除じん装置のフィルタ部を通過する風量（左）と漏れを含んだ全吸引風量（右）の組流量から推定される漏れ率は隙間 8 mm で 6 %、隙間 10.3 mm で 18 %

4 - 5 - 2 - 2 ろ布取り付け部の隙間と粉じんの漏れ率

取り付け部に漏れがあると、除じん装置を運転しても圧力損失は上昇せず吸引風量は維持され、フードとしての性能は維持されているように見えるが、排気に粉じんが含まれることになり、室内に排気した場合は危険である。吸引速度からの漏れの推定は前年度に報告したが、本年度は除じん装置前後（LD-5）と除じん装置右側のサンプリング管を使用し、ろ布上流と下流の濃度(LD-3K)を20分間測定し、通過率（漏れ率）をそれぞれ求めた。図4 - 42に隙間8 mmでの出口濃度と漏れ率を示した。また図4 - 43に隙間10.3 mmで出口濃度と漏れ率を示した。通過率は除じん装置出口の方がろ布下流よりかなり低い値となった。ろ布出口と除じん装置出口の間にファンがあるが、図4 - 35と同じく濃度の大きな変化はなかった。除じん装置入口出口の濃度から求められる平均の漏れ率は隙間8 mmで5.2%、隙間10.3 mmで13%であり、流量から推定される6%と18%と近い値を示した。しかし、隙間を設定した除じん装置右側では、ろ布出口の粉じん濃度も除じん装置出口より相当高くなる。

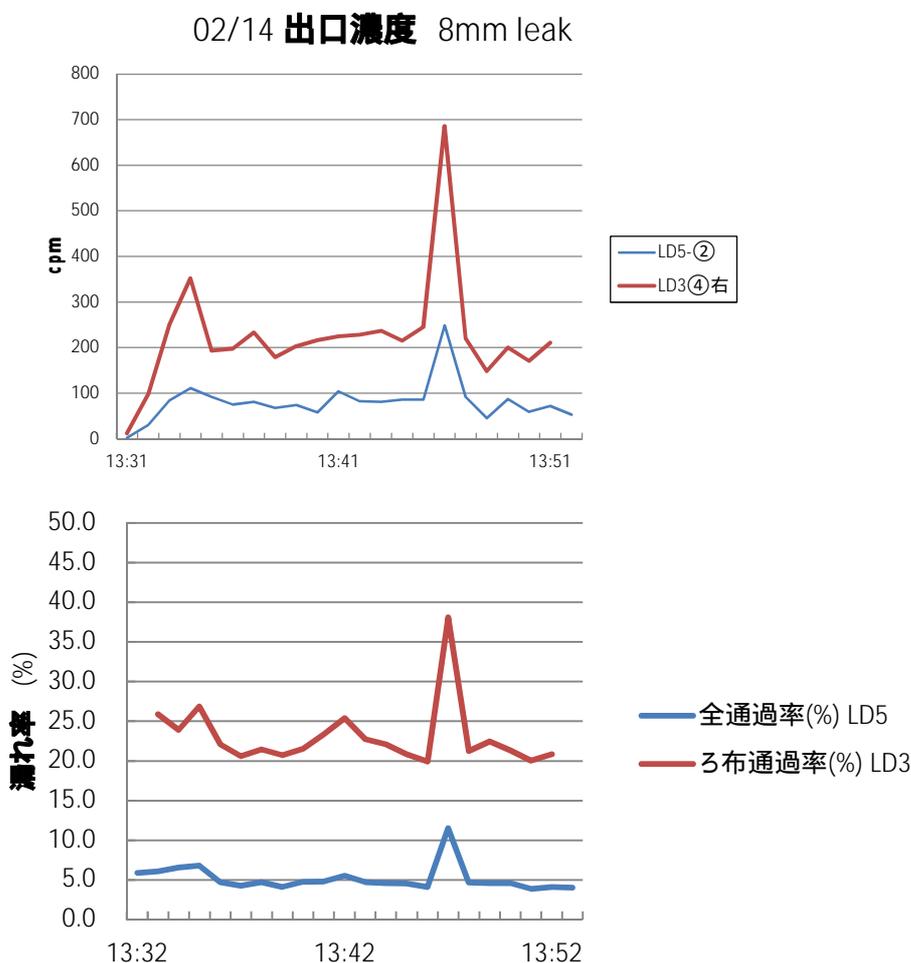


図4 - 42 隙間8 mmでの除じん装置出口とろ布出口の濃度と漏れ率

02/14 出口濃度 10.3mm leak

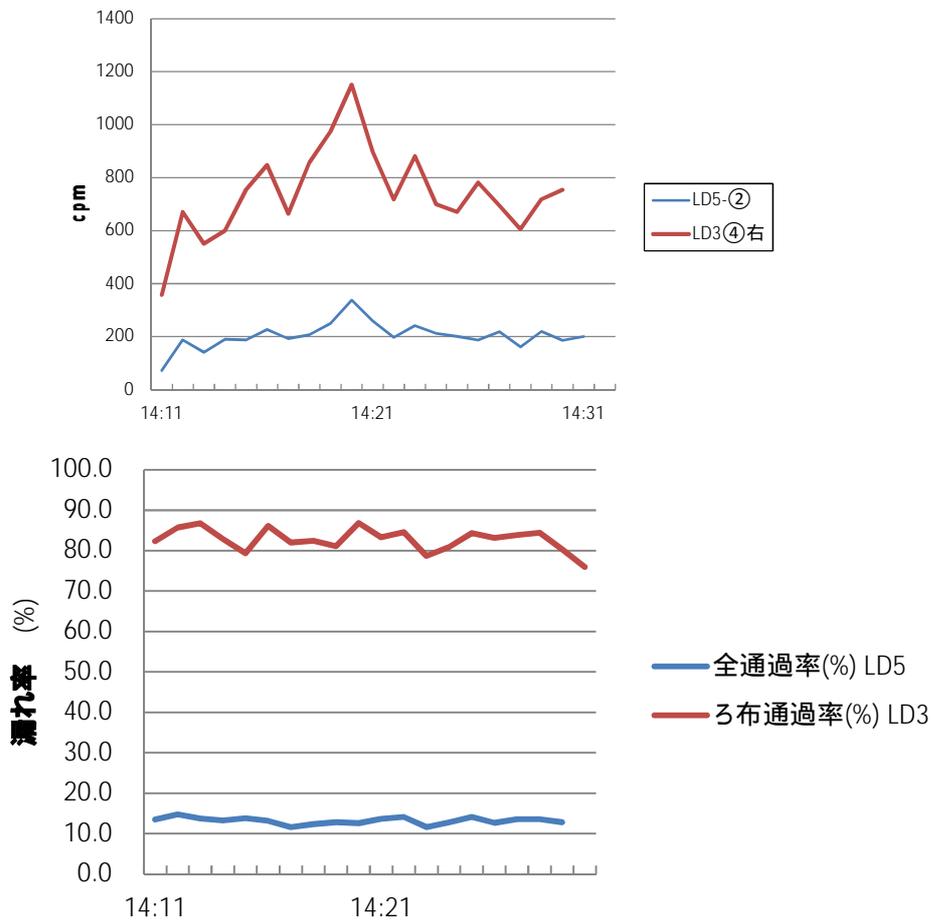


図 4 - 4 3 隙間 10.3 mm での除じん装置出口とろ布出口の濃度と漏れ率

4 - 6 まとめ

4 - 6 - 1 性能測定装置

本研究で用いた測定装置などについて以下にまとめる。

1) 石灰粉じんは凝集しやすく、ISO 関係でも安定分散に苦労しているが、本研究でも分散装置で閉塞を起こすことがしばしばあった。テーブルフィーダー・エジェクターに交換して、さらにテーブルの溝を拡大し、ホッパーの底部に金網を敷いて数ミリの塊を破碎するようにしてから粉体供給の安定はかなり容易になった。

2) 粉じん計 (LD-5 および LD-3K) に PM2.5 用サイクロンを取り付けた測定装置は、測定対象の粉じんの大きさを規定できること、除じん装置入口側の高濃度の粉じんが流入しても粉じん計を守ることができる利点が確認された。吸入性粉じん用サイクロンも作成したが、等速吸引の誤差が大きくなることが心配され、PM2.5 用サイクロンで測定を進めた。

3) 既存の ISO などの除じん性能測定方法は入口側粉じん濃度を分散装置の粉体供給量を吸引空気量で割ったものとしており、本研究のように入口・出口ともに同じ粉じん計を使用して測定していない。粒子径の規定された通過率を得ることのできる本研究の測定の方が優れていると考える。

4 - 6 - 2 帆布フィルタの再試験

帆布フィルタの結果について以下にまとめる。

1) 帆布フィルタは初期の通過率は石灰粉を分散し、PM2.5 サイクロン付粉じん計で測定して 10% 以上あるが、使用とともに通過率は減少する。除じん装置への流入量とろ布上の堆積量は始めの 3 時間で 3.8g と 2.0g であり、6 時間全体で 14.1 g と 7.0 g であった。この間に通過率は 3 時間後で 4 分の 1、6 時間後で 20 分の 1 となった。圧力損失は 1.33 倍ほどの上昇で、ろ布の表面にはうっすらと粉体が見える程度である。

2) 複数の粉じん計で同時計測することで除じん装置内部の粉じん濃度の違いをみた。除じん装置入口手前の濃度とろ布上流側では濃度はかなり異なり、約半分になっていた。内部の構造と流速の低下によると思われる。ろ布出口と除じん装置出口は間にファンを挟んでいるが差は大きくない。除じん装置内部の内部でもろ布の左右で濃度は異なり、入口と反対側が 5% 程度高い値を示した。

3) 粒子径別の濃度測定装置である ELPI で連続測定した結果からは、帆布フィルタは粒子径別に捕集効率がかなり異なり、ミクロン粒子 (1 μm 以上の粒子) は通過率は 1) の粉じん計の結果と同様であったが、サブミクロン粒子 (1 μm 以下の粒子) では十分に捕集しないことがわかった。前出の PM2.5 サイクロン付粉じん計の相当径は 1.2 μm 程度と考えられる。

4) フィルタ接続部の人工的な漏れの有無を速度圧 (ダクト内速度の 2 乗) とろ布の圧力損失の関係から漏れ率を推定することを試み、併せて粉じん計で漏れを直接測定し、両者はよい一致をみた。

5 . 除じん装置のろ布の捕集性能測定

5 - 1 ろ布ほかの測定試料

試料台（ろ過面積 100 cm²）に固定して内部に設置するため、直径 130 mm の円形に切った測定試料片を用いた（**図 5 - 1 参照**）。試料は、通過率測定装置の校正に使用する標準フィルタ HE1021 と除じん装置に使用したろ布を切り離して取り出して用いた。**表 5 - 1**にこれらの試料の詳細を示す。



図 5 - 1 試料台の写真

表 5 - 1 測定対象試料

No	メーカー	型式	状態	通気抵抗 (5cm/s 時)
1	3M	HE1021	新品	40 Pa
2	アマノ	帆布	洗濯	360 Pa
3	アマノ	帆布	使用済み前側	580 Pa
4	アマノ	帆布	使用済み後側	500 Pa
5	アマノ	FF	洗濯	160 Pa
6	アマノ	FF	掃除機吸引	180 Pa
7	アマノ	FF	使用済み前側	500 Pa
8	アマノ	FF	使用済み後側	560 Pa
9		ろ布	洗濯	80 Pa
10		ろ布	使用済み	140 Pa

5 - 2 試験粒子と試験エアロゾルの発生

試験用粒子には、粒径の揃ったポリスチレンラテックス粒子（PSL粒子、粒子径0.600から2.9995 μ mの5種類）を用いた。医療用ガラス製ネブライザーで懸濁液を噴霧・乾燥して試験エアロゾルを発生する方法を採用した。ネブライザーに各粒子を数滴入れ、約2 mLの蒸留水で希釈して乾燥空気を用いて分散する。粒子数濃度は、粒子径によってネブライザーに投入するPSL粒子懸濁液の滴数で調整した。試験用粒子の概要を表5 - 2に示す。発生した懸

濁液ミストにイオナイザー（SJ-M、キーエンス（株）、東京）を通過した希釈空気を加えて正負イオンを混合することで粒子の荷電の中和を試みた。

表 5 - 2 ポリスチレンラテックス粒子の特徴と OPC の測定レンジ

No	PSL 粒子径 (μm)	メーカー	量(滴/2mL)	OPC 測定レンジ
1	0.600	Duke	1	0.5 μm
2	1.005	Duke	1	1 μm
3	2.020	Duke	2	1 μm + 2 μm
4	2.504	Duke	2	2 μm
5	2.995	Duke	3	2 μm + 5 μm

5 - 3 通過率測定

図 5 - 2 に実験に使用した装置の構成を示す。粒子数濃度の測定は光散乱型粒子カウンタ（リオン（株）KC-52、以下OPC）を2台用いて同時計測を行った。PSL粒子の粒子径に対応するOPCのサイズ範囲を同じく表 5 - 2 に示す。OPCは0.3 μm から5 μm までを0.3-0.5, 0.5-1.0, 1.0-2.0, 2.0-5.0, 5.0 μm 以上の5段についてそれぞれの範囲の粒子数（差分値）を表示する。

サンプルボックス下部に試料をのせた試料台を設置する。試験流量は試料通過速度を5 cm/s と10cm/s とし、ろ過流量は30 l/min と60 l/min とした。表 5 - 2 の試験用粒子を導入して図 5 - 2 に示すような試料台の上流と下流にサンプリング口を取り付け、二台のOPC を用いて粒子径別の個数濃度を上流下流同時に測定し、その比から分級効率を求めた。該当する段の粒子はすべて PSL 粒子の公称径であるとした。

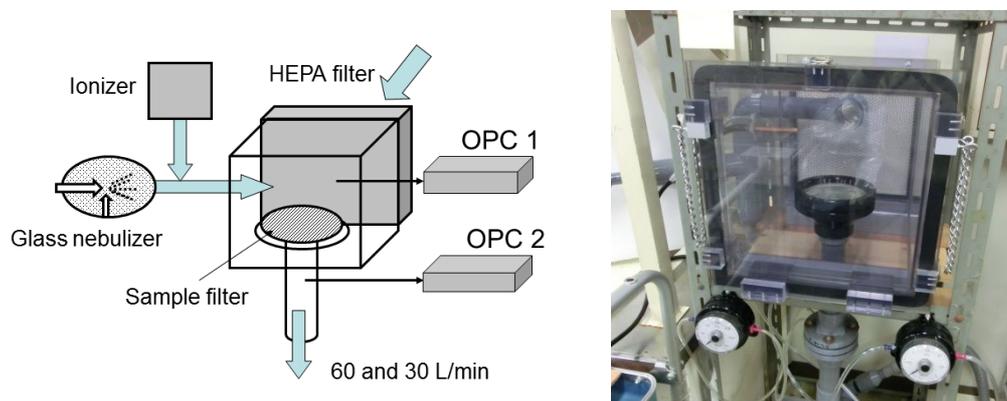


図 5 - 2 ろ布片の捕集性能測定装置の概要と写真

5 - 3 除じん装置のろ布の通過率の測定結果

バグフィルタは袋状の布や不織布に粉じんを流通・捕集する構造で、バグフィルタそのものの捕集効率は高いとはいえ、捕集した粒子によってできた粉体層により捕集する。エアフィルタは微小な繊維からなる疎な構造体でフィルタ内部で粒子を捕集する。図5 - 3にエアフィルタの一種で捕集性能測定装置の評価に使用する標準フィルタについてPSL粒子を用いて測定した結果を示す。エアフィルタはサブミクロン粒子で通過率が最大となることは知られており、ここでも0.6 μm で最大通過率を示し、粒子径が大きくなると急速に低下する。またフィルタ通過速度は速い方がより低い通過率を示している。

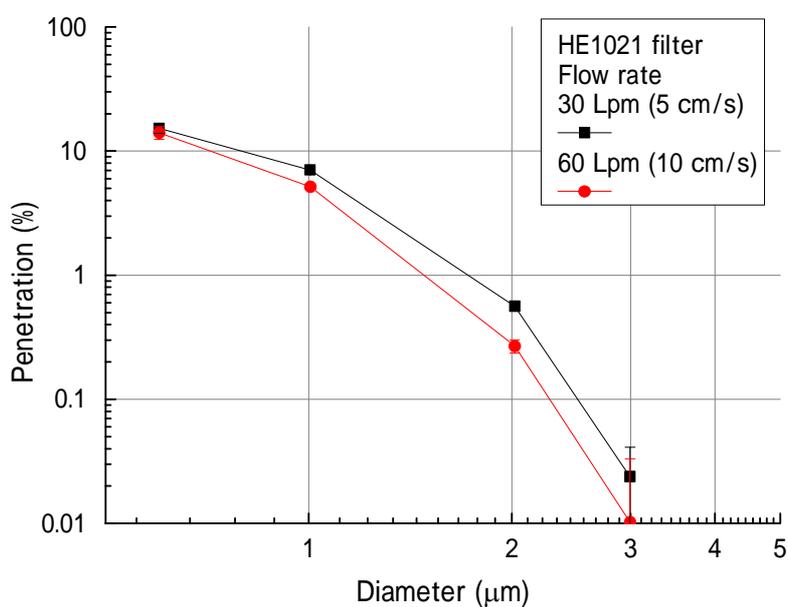


図5 - 3 標準フィルタ HE1021 の粒子径別の通過率
粒子径は標準 PSL の粒子径

5 - 3 - 1 帆布フィルタの通過率

除じん装置に付属していたろ布（帆布）で切り出して、洗濯したもの、手前側と背面側のろ布をできるだけ粉じんを落とさないように切り出した試料について、それぞれ PSL 粒子を用いて通過率を測定した結果を図 5 - 4 に示す。ろ布では気流速度が増加した場合により結果が出ない場合もあった。

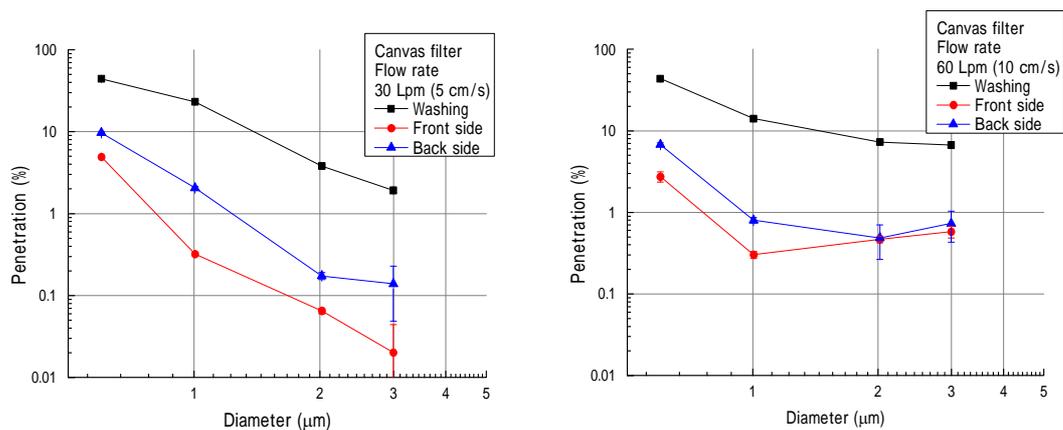


図 5 - 4 帆布フィルタの通過率
通過速度 5cm/s (左) と 10 cm/s (右)

5 - 3 - 2 FFフィルタの通過率

除じん装置に付属していたろ布（FFフィルタ）で切り出して、洗濯したもの、真空掃除機で粉じんを除去したもの、手前側と背面側のろ布をできるだけ粉じんを落とさないように切り出した試料について、それぞれPSL粒子を用いて通過率を測定した結果を図5-5に示す。ろ布では気流速度が増加した場合により結果が出ない場合もあった。洗濯したものはしわがよってろ布にダメージがあるように思われたので真空掃除機で粉じんを除去した試料も測定したが、大きな差はなかった。

FFフィルタは除じん装置に設置した場合に初期から低い通過率を示したが、試験粒子の濃度が希薄で堆積粉じんの影響が見られないこの測定では、通過率は高く性能の良さを示さなかった。

粉じん堆積時の通過率は帆布ろ布とFFフィルタでは場所の効果は逆であったが、表5-1の通気抵抗が高い方が通過率が低い結果で矛盾はしない。

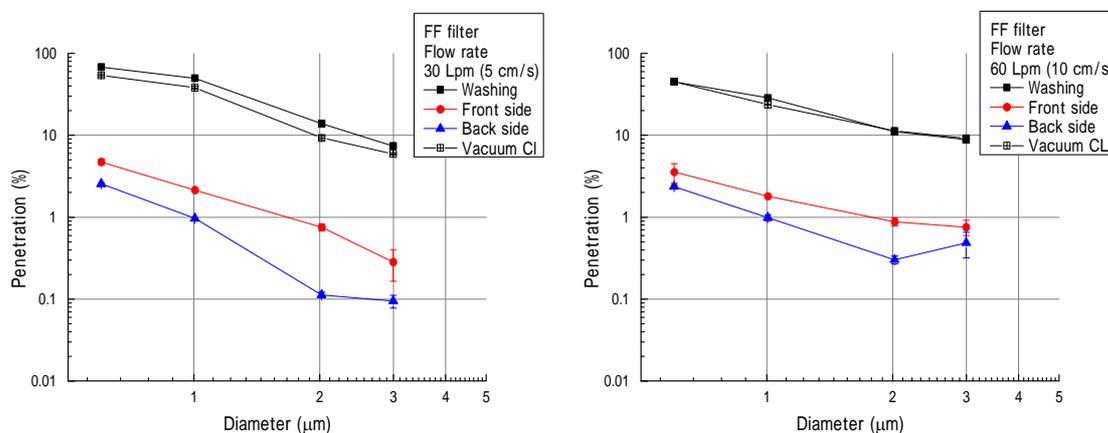


図5-5 FFフィルタの通過率
通過速度 5cm/s (左) と 10 cm/s (右)

5 - 3 - 3 現場使用のろ布フィルタの通過率

除じん装置から外した袋状のろ布（織布）を切り出して、洗濯したものとできるだけ粉じんを落とさないように切り出した試料について、それぞれ PSL 粒子を用いて通過率を測定した結果を図 5 - 1 1 に示す。結果は通気抵抗は低く、通過率はどちらも 1 μm で 50% を超えていた。図 5 - 1 2 に示すように粒子の堆積は狭い面積でも濃淡があった。また現場での運転状態でのろ布通過速度は約 2 cm/s であり、本試験の通過速度が速いことが原因かもしれない。

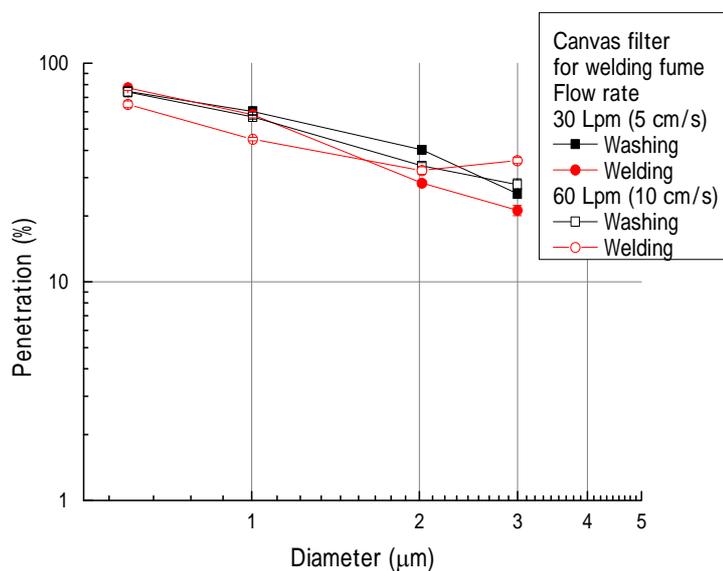


図 5 - 6 大型バグフィルタのろ布（織布）試料の通過率
使用後のろ布とそれを水洗した試料

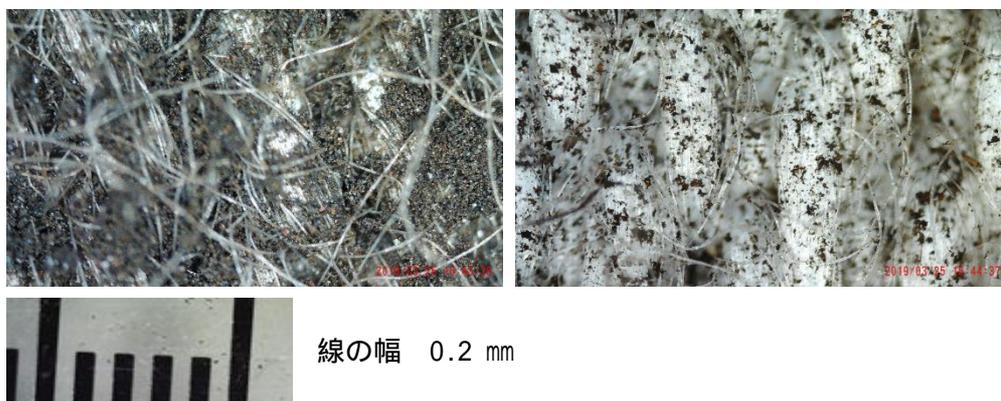


図 5 - 7 大型バグフィルタのろ布表面の拡大写真
観察場所によって堆積じんに濃淡がある。

5 - 4 ろ布試料の捕集性能試験のまとめ

エアフィルタの捕集性能（通過率）を測定する手法を除じん装置のろ布に応用した結果を以下にまとめる。ろ布はすべて織物タイプで不織布タイプの試料はなかった。

1) 標準粒子の希薄なエアロゾルを用いて光散乱粒子カウンタ（OPC）でろ布の通過率を計測した。

2) 本装置で測定した繊維層フィルタの一種である標準フィルタは、標準的な粒子径 - 通過率の関係を示した。

3) 帆布フィルタとFFフィルタは清浄状態では通過率はともに高く、違いは明確ではなかった。石灰粉が堆積した使用済みのフィルタでは除じん装置で示された結果と同様の違いを示した。粉じん負荷がない状態で（織物タイプの）ろ布の性能試験で性能の違いを示すことは難しい。

4) ろ布では大きな粒子で通過速度が速い場合に性能が下がることが示され、繊維層フィルタとは傾向が異なる。

5) 溶接ヒュームを中心とした現場の集じん装置で使用されていたろ布サンプルについての捕集性能はここでは高くなかった。実際の面速が本測定の 5 cm/s より低い速度であったので方法については更に検討が必要である。

6. 考察

6-1 除じん装置に関する現状分析

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る。除じん装置の性能試験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されることは少ない。またISOや既存のJIS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点に問題がある。

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はいない。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ことだが、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。

PM2.5サイクロン（50%分離径が2.5 μm 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ポ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 μm 以上の粉じんも粉じん計に影響を与えることがわかった。

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。

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。

6 - 2 提言

本研究では除じん装置のメーカー、研究者へのインタビューと作業環境で使用している除じん装置の前後にPM2.5サイクロン（大粒子を除去する）を取り付けた光散乱型の粉じん計を用いて捕集性能の測定、また実験室で試験粒子として石灰粉を、測定装置として同様のサイクロンを取り付けた粉じん計を用いて捕集性能の試験を行った。また粒子径別の捕集性能も測定した。この結果を元に以下のような提言をまとめる。

1) 通常の帆布フィルタを装着した除じん装置では、初期に粉じん計の測定で $1\mu\text{m}$ 程度の粒子が10%程度漏れており、作業環境での使用を考えると除じん装置から作業場内への排気は適当でない。特に作業環境の粉じん濃度が低い場合はこの状態が続くので、本研究で用いた石灰粉のような有害性の低い微粉体を予め供給してろ布に粉じん堆積層を形成し、除じん装置からの漏れを低下させることが勧められる。

2) ここで使用したFFフィルタのような初期の捕集性能のあるバグフィルタであれば、室内排気は可能で、フィルタ素材についてなんらかの性能保証、特に初期捕集性能の保証が必要である。しかしながら、織物タイプのろ布は新品での粒子捕集性能はいずれも低い値を示し、粉じん負荷時の定量的な評価法が必要と考えられる。

3) 除じん装置の通過率は粉じんの導入とともに低下し、ろ布上に粉じん層（ケーキ層）の形成を待たなくても1%以下になるので、捕集性能の測定（試験粉じん低濃度）と粉じん払落し性能の測定（試験粉じん高濃度）は分離してよいと考える。

4) 粒子径 $1\mu\text{m}$ 以上が主である粉砕や研磨でできた粉じんであれば織物のバグフィルタは有効である。しかし、粒子径 $1\mu\text{m}$ 以下の粉じんが主である溶接ヒュームや工業用ナノ材料では捕集性能は十分とはいえず、ろ布の粉じん堆積も遅いので屋内排気は勧められない。

5) 除じん装置の性能確認には、ろ布上流・下流で粉じん計による濃度測定が有効である。常時監視は必要なく、定期自主検査のタイミングでよい。

6) 除じん装置の捕集性能測定のため粉じんサンプリング管が装置、特にろ布下流に設置されていれば容易に実施できる。但し除じん装置の内部（ろ布の前後）は大気圧に比べ負圧であり、粉じん計の吸引流量の確認が必要である。

7) 新しいゴムパッキンの場合は多少の取り付け不具合も吸収するが、ゴムの経年劣化があると漏れが懸念される。バグフィルタ取り付け部の気密の確認が定期的に必要である。

9) 必要な保守の測定項目として、ろ布の圧力損失に加えて、吸引流量とろ布下流（または排気中）の粉じん濃度の作業中の連続測定を行えば、その捕集性能は確認可能である。

8) バグフィルタの捕集性能は粉じん堆積状態で変動することが避けられないので、屋内排気を行う場合は、小型除じん装置の排気口に中性能以上のエアフィルタを取り付けて両者の組み合わせで性能を担保することが検討されるべきである。

6 . 研究発表

学会発表

- 1) 明星敏彦：室内環境中のエアロゾルの実態 2017年11月 第76回日本公衆衛生学会総会、鹿児島市
- 2) 明星敏彦、大藪貴子、筒井隆夫、村田克、名古屋俊士：小型除じん装置の現場での集じん性能測定 2017年11月 日本労働衛生工学会、静岡市
- 3) 明星敏彦：防護係数を用いたリスク低減対策の包括評価 2017年12月 呼吸保護に関する研究発表会、東京都
- 4) 明星敏彦、大藪貴子、筒井隆夫、村田克、名古屋俊士：ろ過除じん装置の現場での集じん性能測定 2018年5月 第91回日本産業衛生学会、熊本市
- 5) 明星敏彦、大藪貴子、筒井隆夫、村田克、名古屋俊士：小型除じん装置の集じん性能測定の実験室での解析 2018年11月 第58回日本労働衛生工学会、富山市

原著

- 1) 明星敏彦、高久田恭平、小山博巳：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. エアロゾル研究 2017 32(2):112-117.
- 2) Myojo T, Nagata T, Verbeek J: The Effectiveness of Specific Risk Mitigation Techniques Used in the Production and Handling of Manufactured Nanomaterials: A Systematic Review. Journal of UOEH 2017 39(3):187-199.
- 3) Myojo T, Ono-Ogasawara M: Review; Risk Assessment of Aerosolized SWCNTs, MWCNTs, Fullerenes and Carbon Black. KONA Powder and Particle Journal 2018 35:80-88.