

平成 29 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 29 年度 総括研究報告書

平成 30 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29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 . 除じん装置に関する情報収集
- 3 . 研究方法
 - 1 測定装置の検討
 - 2 除じん装置の性能測定
- 4 . 本年度の結果
 - 1 除じん装置の粉じん捕集効率
 - 2 除じん装置の漏れの影響
- 5 . 考察
- 6 . 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。(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。

本報告書は平成29年度の研究成果である。以下は次年度以降の予定を示している。

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。

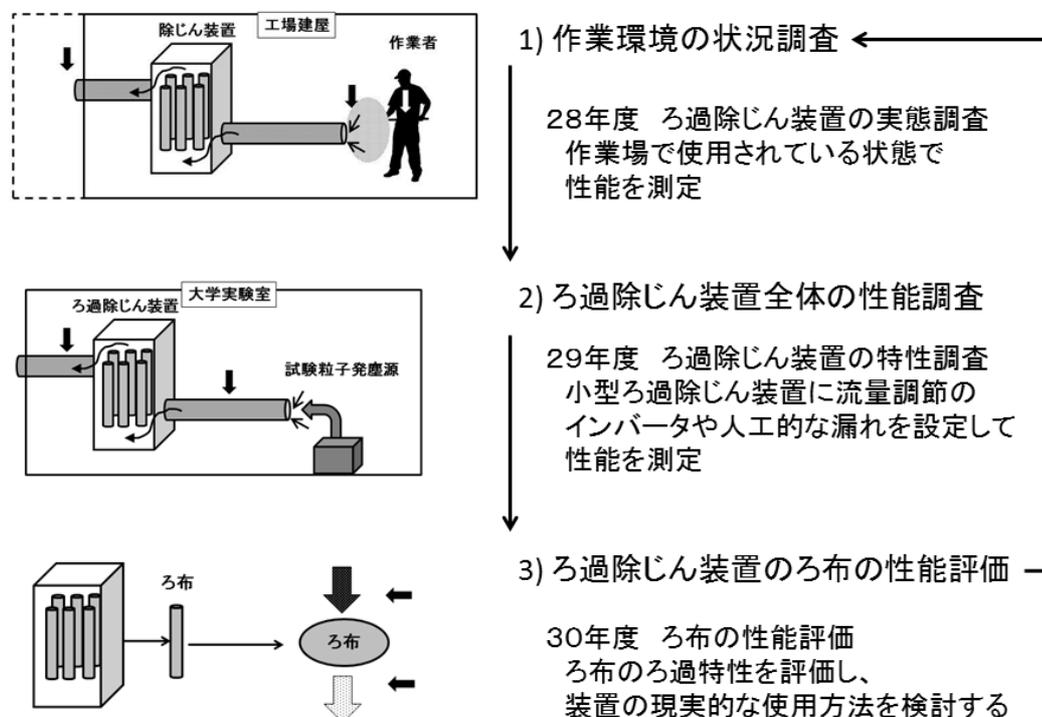


図1-1 研究の流れ図

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 m^3/min から $100\text{m}^3/\text{min}$ 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。

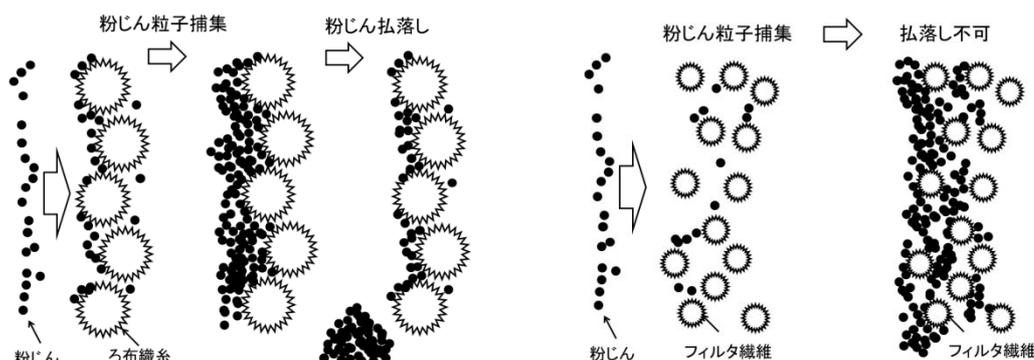


図1 - 2 バグフィルタ (左) の集じん過程とエアフィルタ (右) の集じん過程

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。

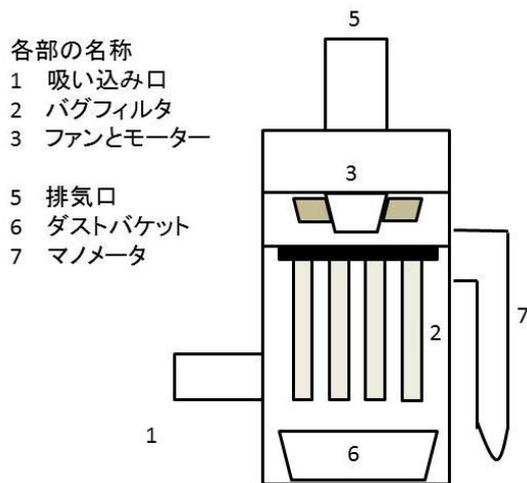


図 1 - 3 ファン内蔵型小型除じん装置

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タ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) Kanaoka C: Fine particle filtration technology using fiber as dust collection medium, KONA Powder and Particle Journal, Advance publication by J-Stage (2018)
- 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 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 1 8 1 番地 第 5 キョートビル 8 階

出席者 (1 1 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 1 9 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 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 $0.5\text{g}/\text{m}^3$ 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 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 議事録

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り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 議事録

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。漏れまでどおり 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 議事録 (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。

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。

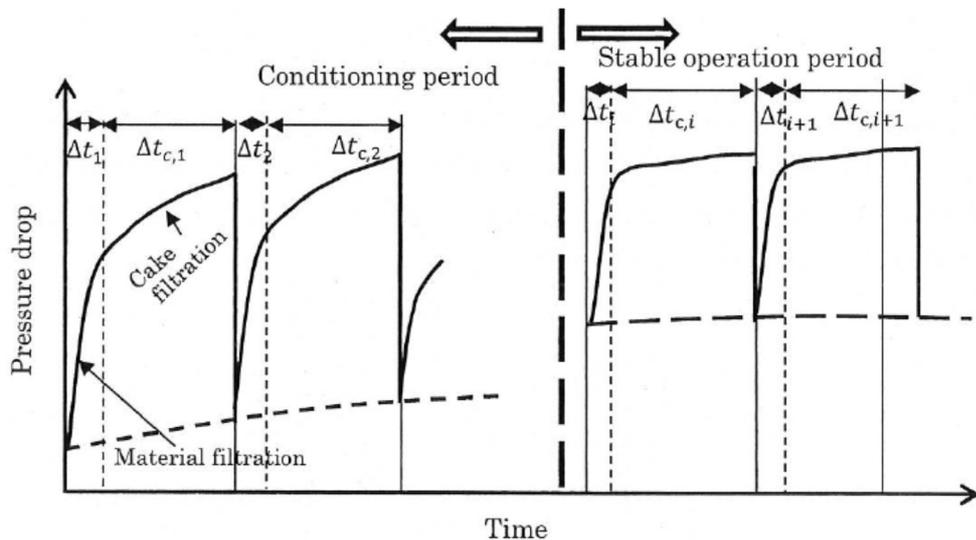


Figure 3 Pressure drop behavior with time

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 - 2 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）から小型遠心ブローアに送り、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 - 2 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2-3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2-4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2-3 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 - 4 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（アマノ 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 - 3 研究者の意見交換

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 2 階談話室
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。

2 - 4 研究者の意見交換

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（2 - 2の結果）

3. 研究方法

3-1 測定装置の検討

3-1-1 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3-1)

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

3-1-3 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3-5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3-7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3-1 PM2.5サイクロンを取り付けた2台のLD-5



図3 - 2 本体から外したLD - 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3 - 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)

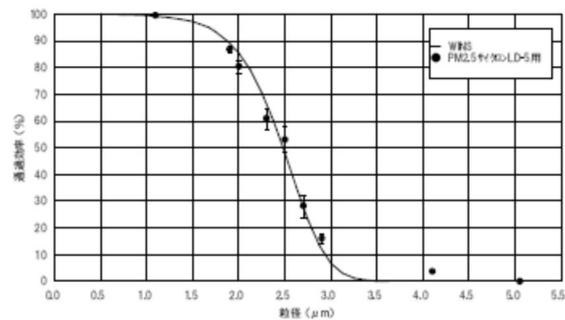
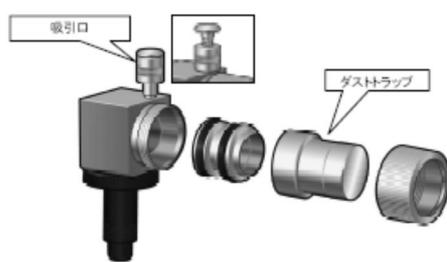


図3 - 4 PM2.5サイクロンの構造（左）と1.7 L/min吸引時の分離特性（右）
元々のPM2.5サイクロンは吸引口を閉塞できる構造となっていてインラインで使用できないので図2 - 5のように入口部をストレートにした形態で別に作成した。



図3 - 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

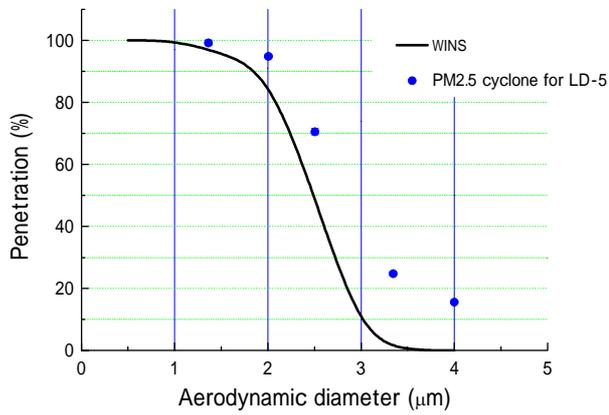


図3 - 6 PM2.5サイクロンの粒径別の1.7 L/min吸引時の分離性能
図中の青のキーが本研究で測定した結果、実線はPM2.5の分離の定義（WINS）。

2017/10/27

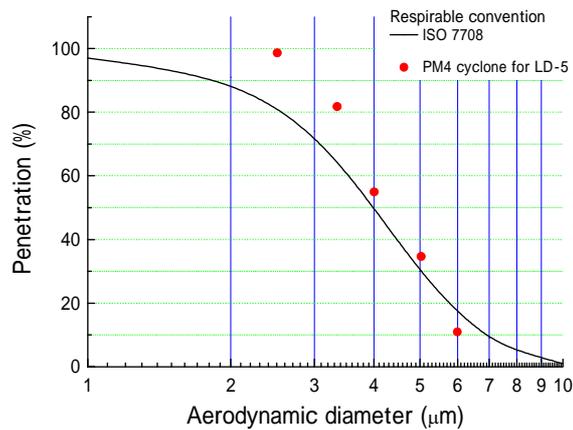


図3 - 7 PM4サイクロン（下）の粒径別の1.7 L/min吸引時の分離性能
図中の赤のキーが本研究で測定した結果、実線は吸入性粉じんの定義の線。

3 - 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 3 - 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 3 - 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）

3 - 2 除じん装置の性能測定

3 - 2 - 1 除じん装置を含む実験装置

図3 - 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。

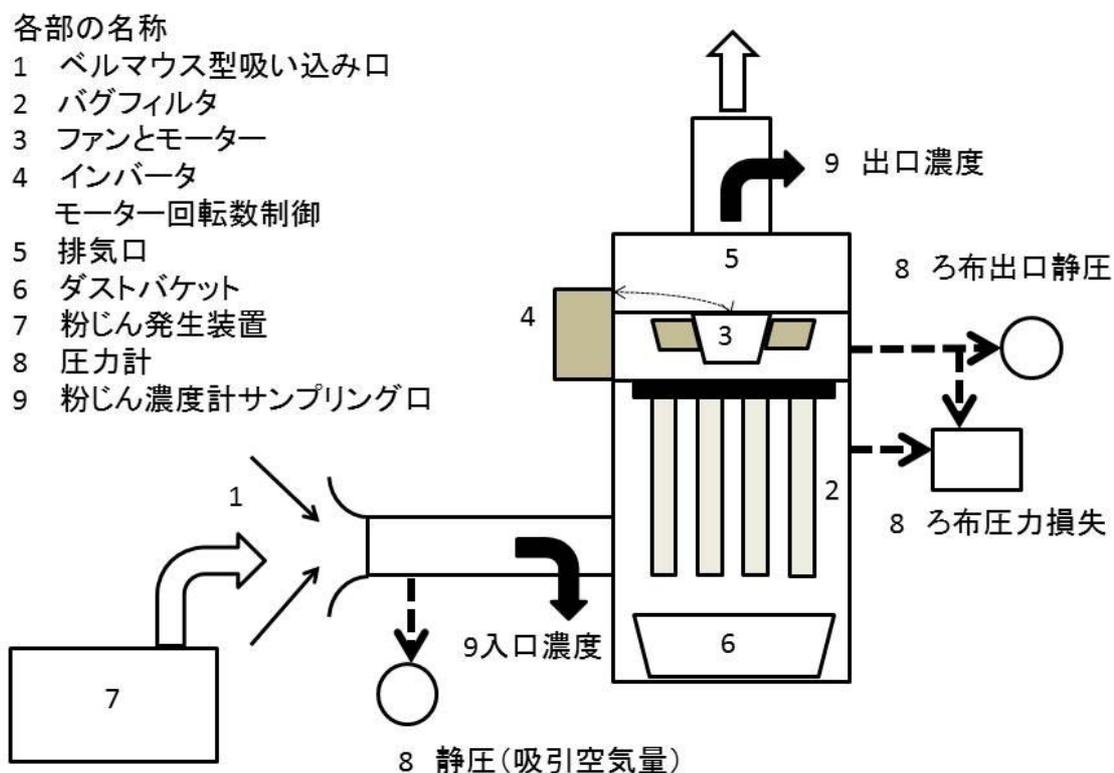


図3 - 9 実験装置の構成

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（柴田科学(株)DF-3）に石灰粉（アトマイト）のみを供給して、エジェクター機構で吸引分散した。装置に供給した粉体と最後に残った粉体の重量から供給量を計測した。

3 - 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3 - 10に示す。

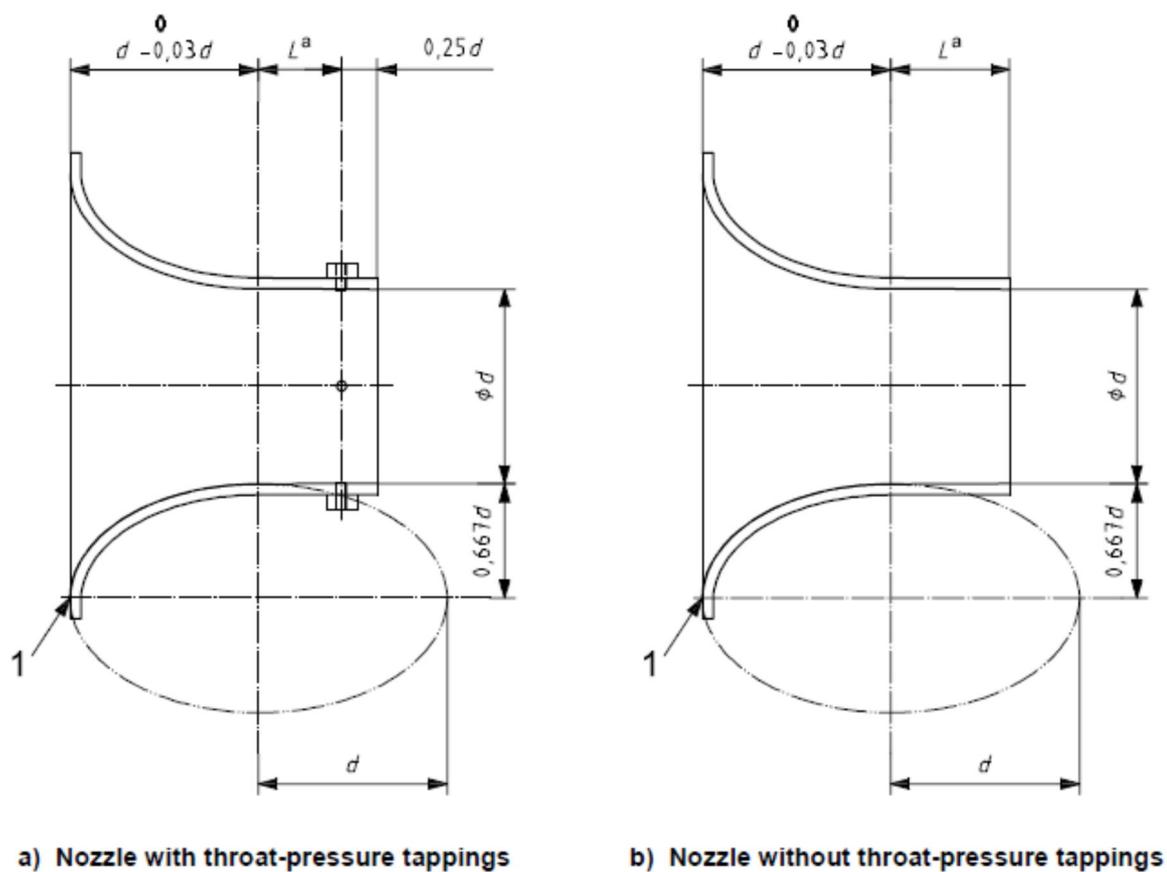


図3 - 10 ベルマウスと圧力タップの位置 $L_a=0.6d$

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 (m^3/s) は以下の式で求められる。

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

ここで ρ は空気の密度 (1.2 kg/m^3) 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 3 - 1 1 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。

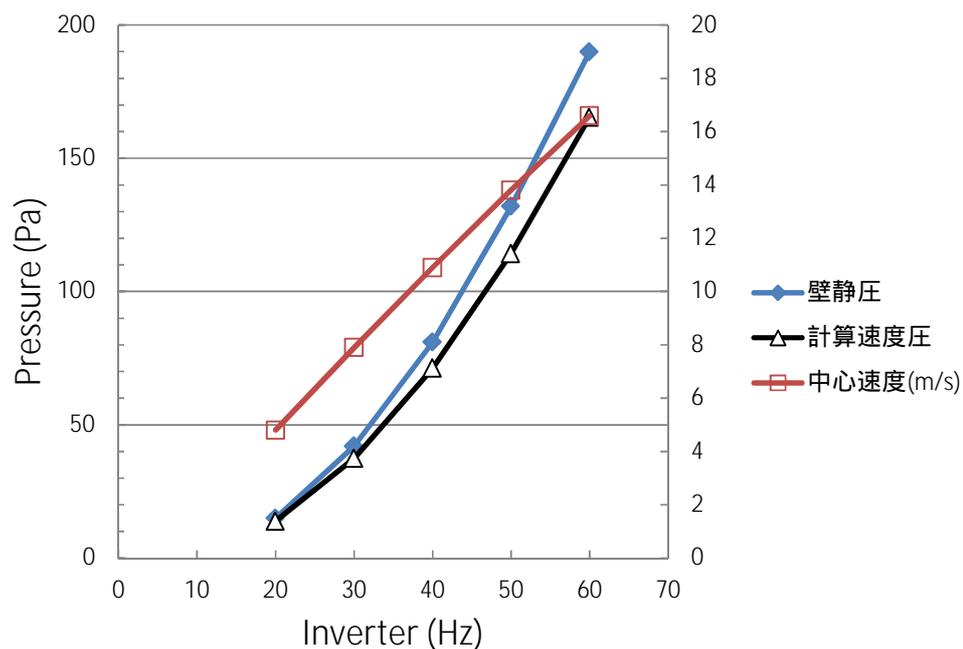


図 3 - 1 1 インバータ周波数とベルマウス下流静圧と熱線風速計によるダクト中心風速およびそれから計算される速度圧

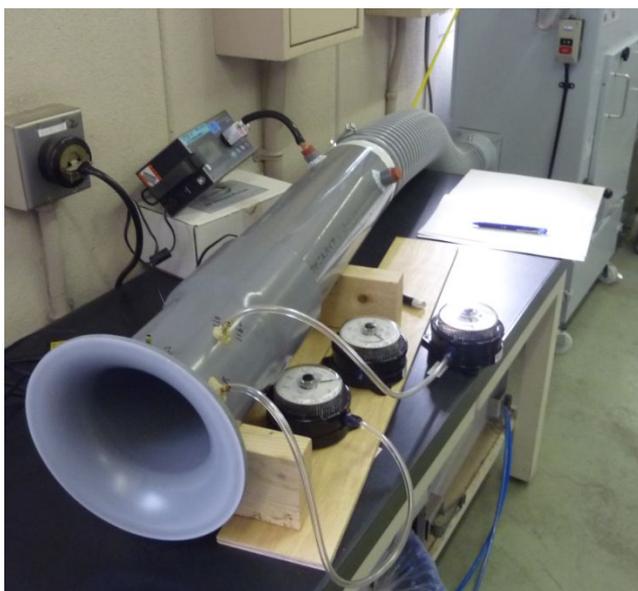


図 3 - 1 2 入口のベルマウスと圧力タップ

3 - 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3-13参照)。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3-13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3-14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3-13 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3-14 ろ布の表面 左 帆布フィルタ 右 ファインフィルフィルタ
写真のサイズは最小0.2mm(線の幅)

3 - 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3 - 15**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。

各部の名称

- 1 ベルマウス型吸い込み口
- 2 バグフィルタ
- 3 ファンとモーター
- 4 インバータ
モーター回転数制御
- 5 排気口
- 6 ダストバケット
- 7 粉じん発生装置
- 8 圧力計
- 9 粉じん濃度計サンプリングロ

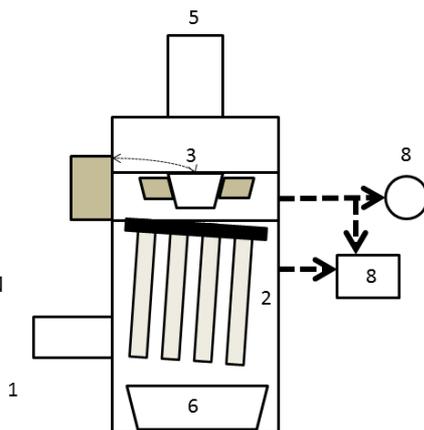


図3 - 15 ろ布の取り付け状態の検討

右の写真は8mmのスペーサーを入れて隙間を作った状態。

3 - 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3 - 16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。

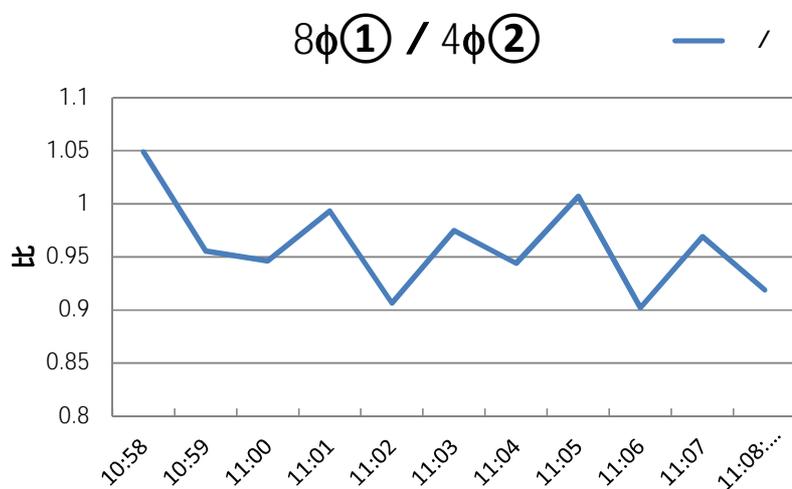


図3 - 16 サンプリング管の径と濃度の比

4 . 本年度の結果

4 - 1 除じん装置の粉じん捕集効率

4 - 1 - 1 帆布フィルタの結果

3 - 1 と 3 - 2 で測定手法を確認の上、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 - 1 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 (2.5 g/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 - 2 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 - 3 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 - 1 から図 4 - 3 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 - 3 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 - 4 である。図 4 - 3 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 - 4 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 - 2 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1000cpm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。

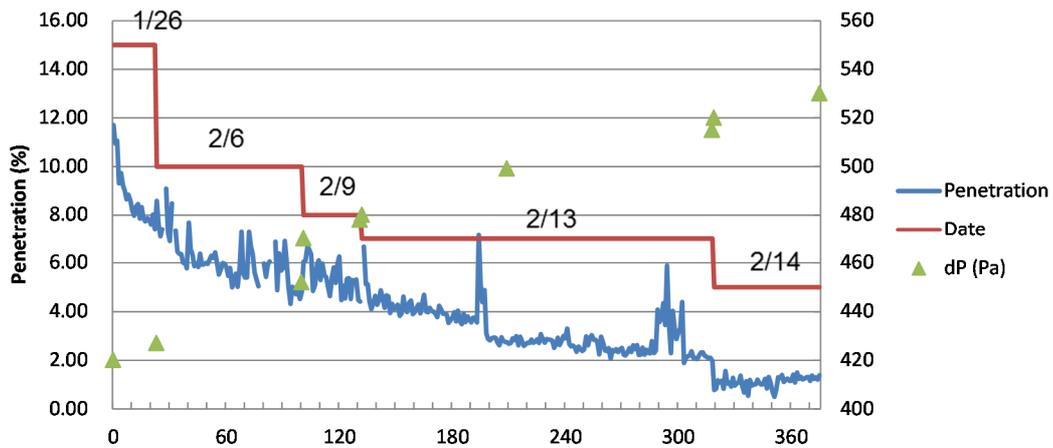
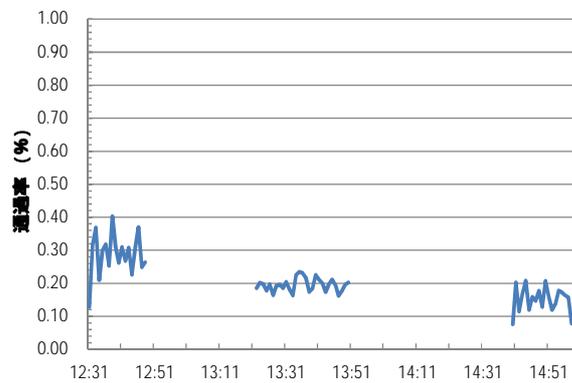


図 4 - 1 除塵装置（帆布フィルタ）の粉じん通過率（左縦軸）とろ布圧力損失（右縦軸）の経時変化

1月26日から2月14日まで、経過時間は分単位



2018/2/28

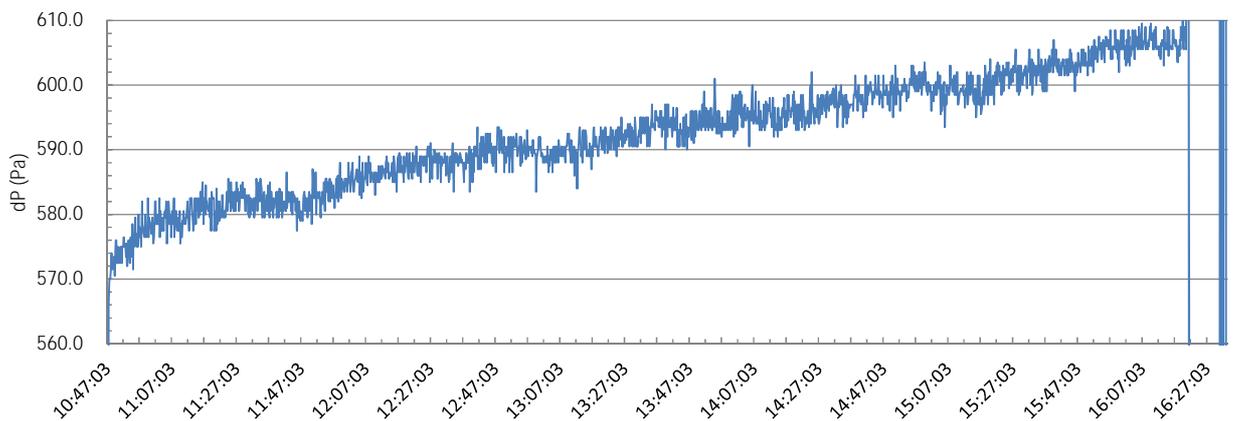


図 4 - 2 除じん装置（帆布フィルタ）の粉じん捕集効率（上）とろ布圧力損失（下）の経時変化（最終日2月28日）

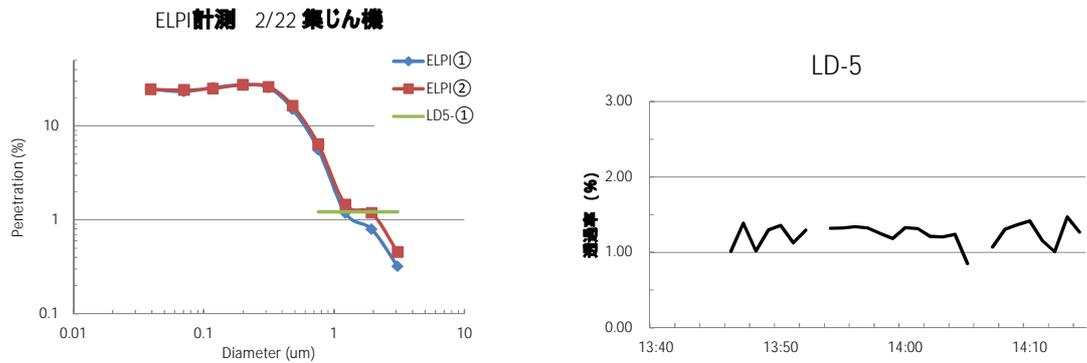


図4 - 3 ELPI と粉じん計 LD-5 を用いた除じん装置（帆布フィルタ）の石灰粉じんの通過率の測定

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。

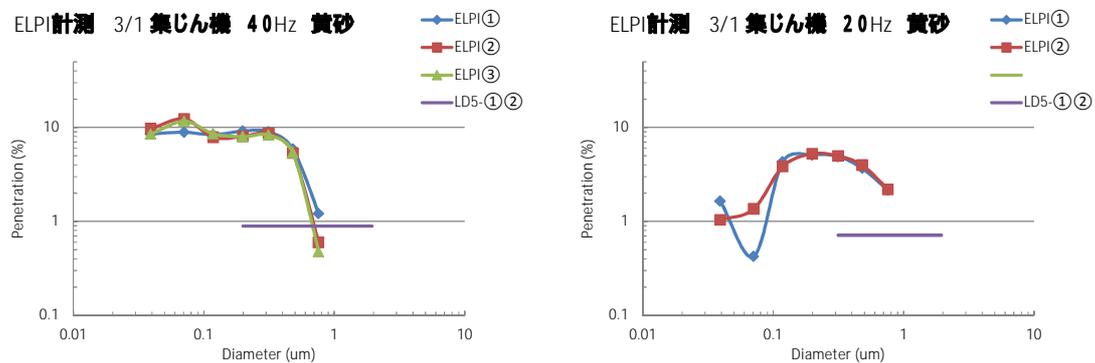


図4 - 4 ELPI と粉じん計 LD-5 を用いた除じん装置（帆布フィルタ）の通過率の測定
測定対象粒子は黄砂じん、石灰粉じんの通過率は0.2%以下（図4 - 2 参照）

左は除じん装置を40Hzで運転、右は20Hzで運転した場合。

4 - 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 - 5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 - 6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。始めの通過率は約0.2%であり、払落し前(図4 - 2)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 - 5 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

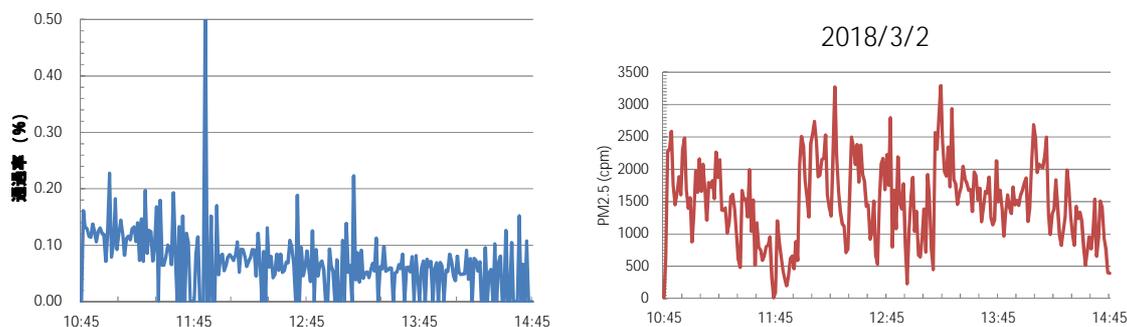


図4 - 6 払落し後の除じん装置の捕集性能と供給した石灰粉じんの濃度

4 - 1 - 3 帆布フィルタの表面状態

図4 - 7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 - 3と同じく2月22日後の状態(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 - 6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 - 7 帆布フィルタの表面の顕微鏡写真

4 - 1 - 4 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 - 8 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 - 9 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。

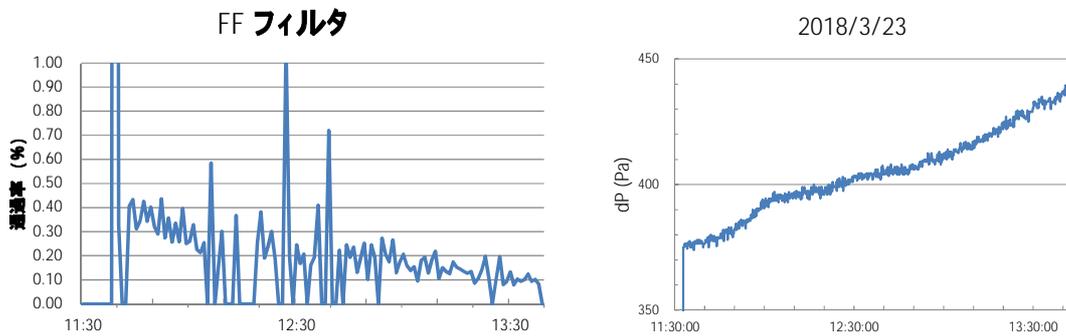


図 4 - 8 FF フィルタを装着した除じん装置の捕集性能とろ布の圧力損失の変化

ELPI計測 3/23 集じん機 40Hz 石灰

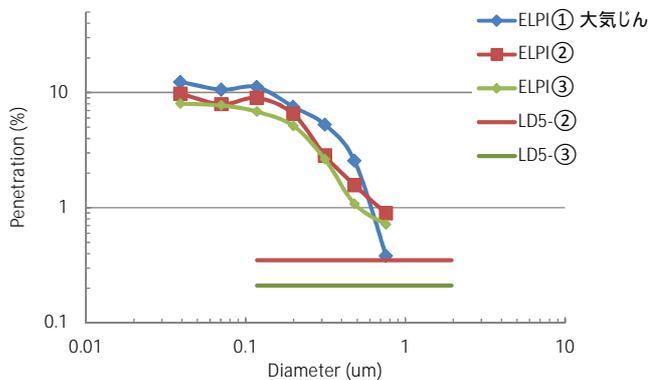


図 4 - 9 ELPI と粉じん計 LD-5 を用いた除じん装置 (FF フィルタ) の通過率の測定

4 - 1 - 5 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 - 2 除じん装置の漏れの影響

4 - 2 - 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 - 1 0 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、3 - 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 - 1 1 である。図 4 - 1 0 と図 4 - 1 1 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 - 1 1 を拡大した図 4 - 1 2 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 3 - 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。

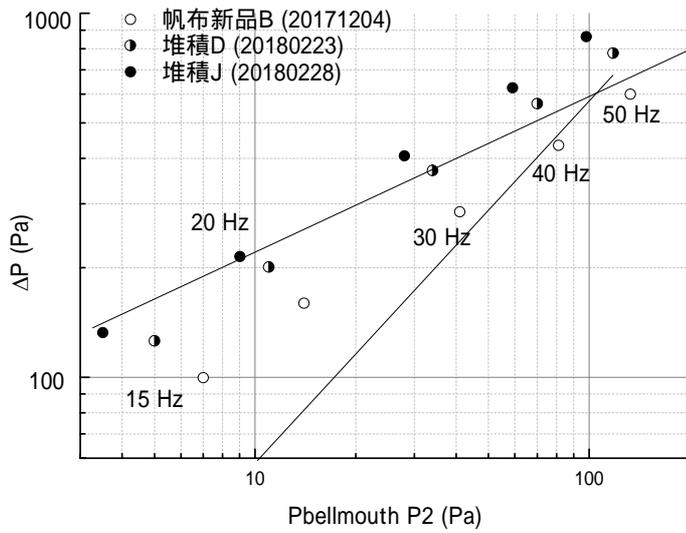


図4 - 1 0 粉じんの堆積とともに変化する入口速度圧（吸引風量の二乗）と圧力損失の関係

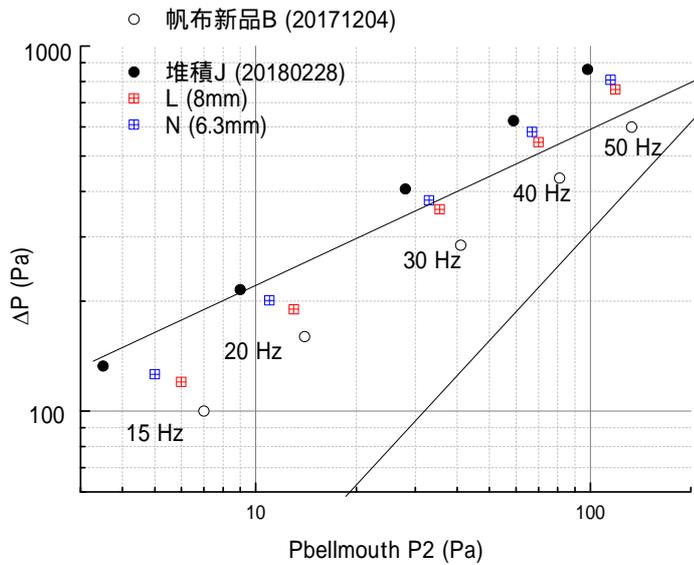
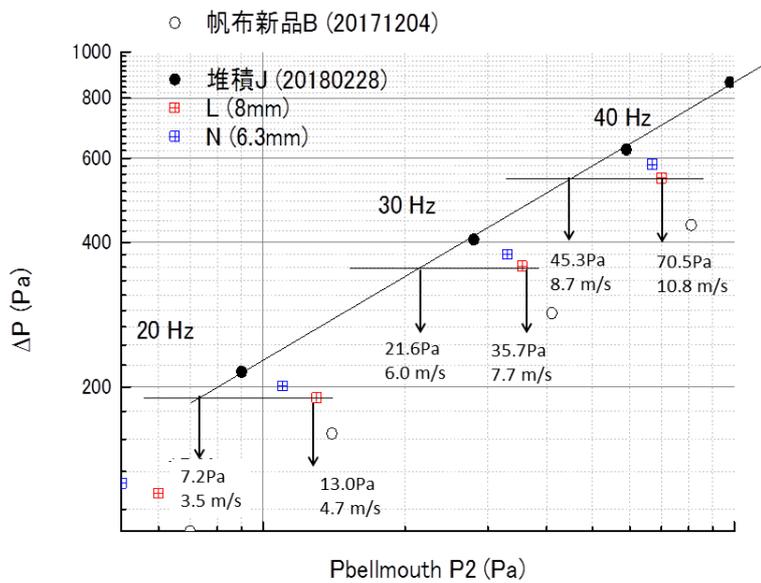


図4 - 1 1 フィルタ取り付け部の漏れとともに変化する入口速度圧（吸引風量の二乗）と圧力損失の関係

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 - 1 2 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 - 2 - 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 - 1 3 に結果を示す。一方、3 - 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 - 1 4 である。図 4 - 1 3 と図 4 - 1 4 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 - 1 4 を拡大した図 4 - 1 5 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 - 1 2 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空気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。

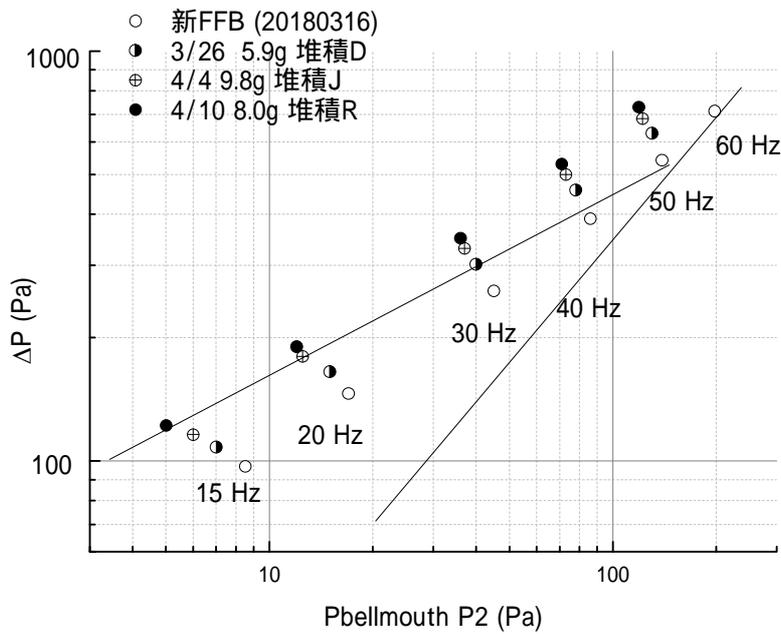


図 4 - 1 3 FFフィルタの粉じんの堆積とともに変化する入口速度圧（吸引風量の二乗）と圧力損失の関係

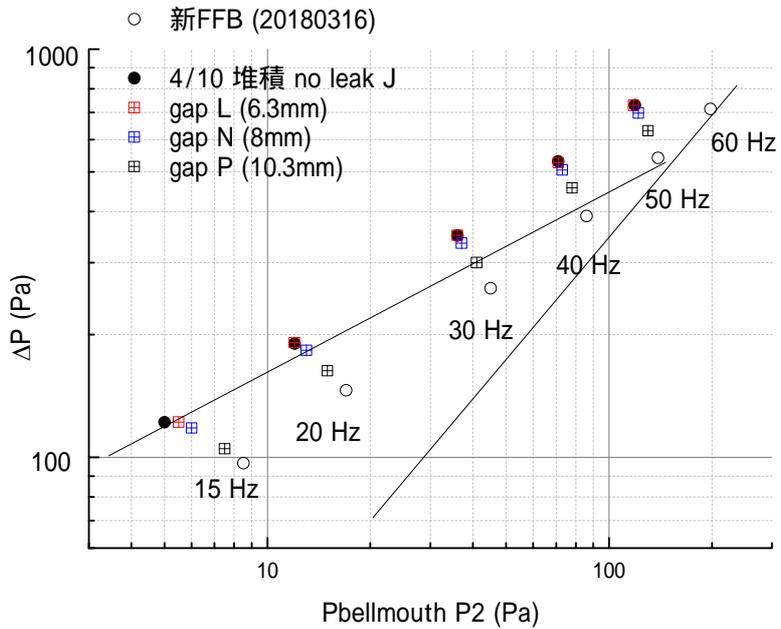
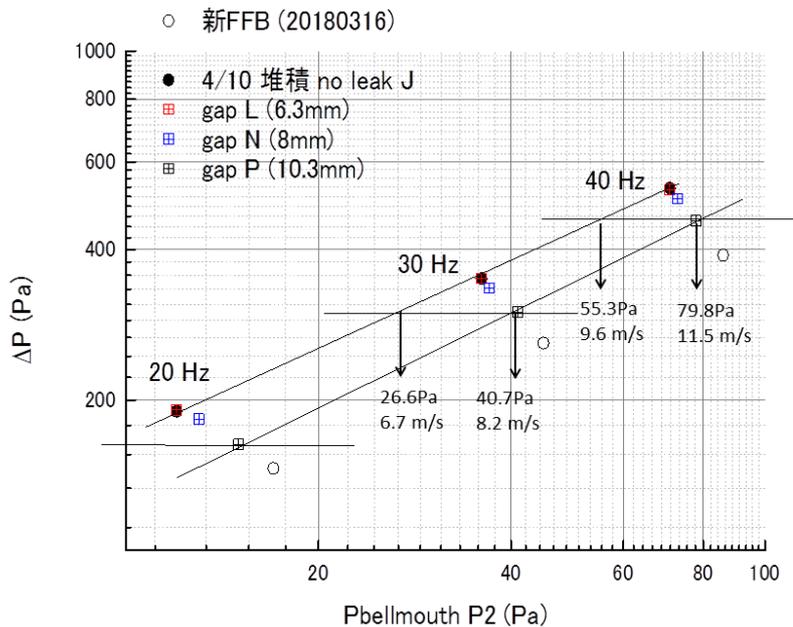


図 4 - 1 4 フィルタ取り付け部の漏れとともに変化する入口速度圧（吸引風量の二乗）と圧力損失の関係

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 - 1 5 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 Vc / 全空気風量 Vleak）の関係

帆布フィルタ 2月28日 最終

8mm leak	Vc (m/s)	Vleak (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	Vc (m/s)	Vleak (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	Vc (m/s)	Vleak (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	Vc (m/s)	Vleak (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 - 1 2、4 - 1 5 参照

5 . 考察

5 - 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。

5 - 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。

5 - 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。

5 - 4 提言

- 1) 通常の帆布フィルタでは初期に 10 % 程度は漏れがあり、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。
- 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。
- 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) 取り付けの確認には、除じん装置のフィルタ前後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。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に設置されていれば容易に実施できる。
- 5) 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。
- 6) バグフィルタの捕集性能が変動することは避けられないので、小型除じん装置の排気口に中性能のエアフィルタを取り付けて両者の組み合わせで性能保証 (通過率 1 % 以下) することが検討されるべきである。家庭用の真空掃除機では排気出口にエアフィルタ (HEPA フィルタなど) を取り付けることがしばしば行われている。

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

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.