

有害粒子状物質除去用フィルターの  
粒径別ろ過捕集効率の評価方法に関する研究

平成6～8年度 特別研究報告書

労働省産業医学総合研究所

有害粒子状物質除去用フィルターの  
粒径別ろ過捕集効率の評価方法に関する研究  
特別研究報告書

研究担当 明星 敏彦  
杉本 光正

研究期間 平成6～8年度

## 有害粒子状物質除去用フィルターの粒径別ろ過捕集効率の評価方法に関する研究

平成6年～8年

人間工学特性研究部 明星敏彦、杉本光正

本研究の社会的背景（平成12年4月付け）

1990年頃、米国国立労働安全衛生研究所(NIOSH)と鉱山保安局(MSHA)が行っている防じんマスクの性能検定の規格が変更され、より微小な試験粒子を用いるとの先行情報があった。この規格変更は1995年にNIOSH 42 CFR 84としてスタートした。本研究はこのような情勢を動機として計画された。

わが国でも1995年（平成7年）から規制緩和推進計画の一環として防じんマスクについて国家検定のあり方を見直すとの閣議決定を受けて、効率的な試験設備の開発等を行い、民間代行化を図ることとなった。同時に国際整合性のある新しい規格の要求が内外からあった。

防じんマスクの規格変更には現在市場にある保護具の性能、試験装置の開発と試験装置の評価方法の開発、新規格下での保護具の性能推定などが必要となってくる。規制緩和についての先の決定に基づき保護具についての調査研究が関係機関で始まったが、本研究はそれより数年先行しており、本研究の成果はそれらの調査研究にも利用された。

2000年9月には新しい防じんマスクの規格が公示され、新規格に基づく国家検定の民間代行化が予定されている。

## 内容

研究計画書 平成6年度から8年度

### 本研究に関する主な公表物

- 1) 個人用呼吸保護具に関する研究、労働基準 1998, No. 8
- 2) 講座 作業関連疾患 防じんマスク、産業医学ジャーナル 1996, Vol. 19, No. 3
- 3) 日本における防じんマスク・防毒マスクの性能保証制度、空気清浄 1999, Vol. 37, No. 4
- 4) Equivalent diameter of standard quartz dust used as a test aerosol for the dust respirator, Ind. Health, 1996, 34, 217-225
- 5) Comparative study of challenge aerosols for performance test for dust respirators, Ind. Health, 1997, 35, 502-507
- 6) DMA, CNCを用いたエアロゾル粒度分布の迅速測定法の一つの試み、エアロゾル研究、1999, 14, 154-157
- 7) A simple method to determine the length distribution of fibrous aerosols, Aerosol Sci. and Technology, 1999, 30, 30-39
- 8) Removal of aerosols by bubbling through porous media, Aerosol Sci. and Technology, 1999, 31, 249-257
- 9) 防じんマスクのフィルター性能の一指標、日本労働衛生工学会第34回学会、1994
- 10) 単分散シリカビーズを用いた防じんマスク用フィルターの捕集効率測定、日本労働衛生工学会第35回学会、1995
- 11) 電気移動度分級装置による微小粉じんの測定、日本労働衛生工学会第37回学会、1997
- 12) 防じんマスク試験用シリカ粉じんの荷電量、第12回エアロゾル科学・技術研究討論会、1995
- 13) DMA, CNCを用いたフィルター捕集効率の迅速測定、第14回エアロゾル科学・技術研究討論会、1997
- 14) 防じんマスク等に係る検討会報告書、防じんマスク等に係る検討会、2000
- 15) 官報、省令「労働安全衛生規則及び機械等検定規則の一部を改正する省令」、2000

# 有害粒子状物質除去用フィルターの粒径別ろ過捕集効率の評価方法に関する研究

平成6年～8年

明星敏彦、杉本光正

## 研究の意義目的

作業環境中の有害粉じんは鉱山等で発生する比較的大きな破碎粉じんから溶接作業等での金属ヒューム、さらには原子力発電所等で発生する放射性エアロゾル等の微小な粉じんまで、その産業形態により種々の物質、異なる粒度分布からなる。この粒子状物質除去に用いられるフィルターは呼吸保護具や局所排気装置の中で使用されてきた。しかし、このフィルターはこれまで粉じんの粒径に対応した捕集効率の検討がほとんどなされていないまま使用されている。特に0.5ミクロン（一万分の五ミリ）以下の粒子に対するフィルターの捕集効率に関してはこれまで適切な測定装置がないこともあり、全く行われていない。従って、粒径の大きな粉じんに対して捕集効率が高いフィルターであっても、0.5ミクロン以下が多く含まれる粉じんに対して捕集効率が低くなることが予想され、結果として作業環境の汚染や作業員への健康障害を引き起こす恐れがある。

近年、IC産業等におけるクリーン化技術の進歩とともに微小な粉じんの粒子の大きさや濃度を測定する装置も急速に進歩してきた。また試験用粒子の発生方法についても新しい知見が得られてきている。これらの新しい技術を用いてフィルターのろ過捕集効率を粒径別に、特に微小粒径に対して測定してろ過捕集特性を明らかにし、その性能評価法を確立する。

## 研究の概要

フィルターの粒径別捕集効率の評価法を確立するために、測定用粉じんとして日本で使用されているシリカ粉じん、米国やECで使用されている食塩やオイルミスト、作業環境で多い金属ヒュームを取り上げて、これらの粒子に対するフィルターの粒径別ろ過捕集効率の測定並びに評価を行い、粉じん発生法を含めたフィルターのろ過捕集性能の評価法を研究する。

- (1) シリカ粉じんを用いて粒径別のフィルター捕集効率を計測するシステムを構築する。
- (2) シリカ粉じんでは粒径別の捕集効率を計測し、現在の測定法で得られた値と比較検討する。
- (3) 金属ヒュームを用いて粒径別のフィルター捕集効率を計測するシステムを構築する。
- (4) 金属ヒュームを用いて粒径別の捕集効率を計測し、各粒子で得られた捕集効率について比較検討する。
- (5) 食塩粒子およびオイルミストを用いて粒径別のフィルター捕集効率を計測するシステムを構築する。
- (6) 食塩粒子およびオイルミストを用いて粒径別の捕集効率を計測し、各粒子で得られた捕集効率について比較検討する。

(7) ここで得られたフィルターの捕集効率の結果を基にフィルターのろ過性能評価法を確立する。  
シリカ粉じんを用いたフィルターの捕集効率測定法の確立

平成6年度

シリカ粉じんを用いたフィルターの捕集効率測定法の確立

シリカ粉じんを用いて粒径別のフィルター捕集効率を計測するシステムを構築する。さらにシリカ粉じんでは粒径別の捕集効率を計測し、現在の測定法で得られた値と比較検討する。このため試験用に用いる防じんマスクないしそのフィルターを購入する必要がある。他にポリスチレンラテックス標準粒子など必要。

平成7年度

金属ヒュームを用いたフィルターの捕集効率測定法の確立

溶接作業、炉前作業などで発生する金属ヒュームはその粒径が標準粉じんとして使われるシリカ粉じんより細かいことが知られている。従って、フィルターのろ過捕集効率はシリカ粉じんより低いことが予想される。そこで本年度は鉛などの金属ヒュームを用いて粒径別のフィルター捕集効率を計測するシステムを構築する。さらに前年度に得たシリカ粉じんでは粒径別の捕集効率と比較検討する。このため金属ヒュームの発生装置、粒子測定装置などの設備、また試験用に用いる防じんマスクないしそのフィルターを購入する必要がある。

平成8年度

食塩粒子およびオイルミストを用いたフィルターの捕集効率測定法の確立および試験用粒子の比較検討

防じんマスクの捕集性能を測定するためには試験用の粉じんが必要である。この粉じんをなににするかは性能評価に大きく影響する。現在防じんマスクの構造規格においてはシリカ粉じんを用いているが、微粒子用マスクの試験用粒子としてはJIS-T8160では食塩粒子が用いられている。また欧米では既に防じんマスクの試験用粒子として食塩粒子およびオイルミストを用いた規格が先行している。これらの粒子は従来のシリカ粉じんより約十分の一の粒径であり、0.05から1ミクロンの範囲で各規格とも試験粒子の粒度分布が規定されている。従って、フィルターのろ過捕集効率はシリカ粉じんより低いことが予想される。

本年度は最終年度であり今後の試験用粒子の動向も踏まえて、食塩粒子とDOP粒子（オイルミスト）を用いて粒径別のフィルター捕集効率を計測するシステムを構築する。さらに過去に得たシリカ粉じんや鉛ヒューム粒子での粒径別の捕集効率と比較検討する。

昭和25年4月10日第3種郵便物認可 平成10年8月1日発行（毎月1回1日発行）第50巻第8号 通巻第590号

# 労働基準

8

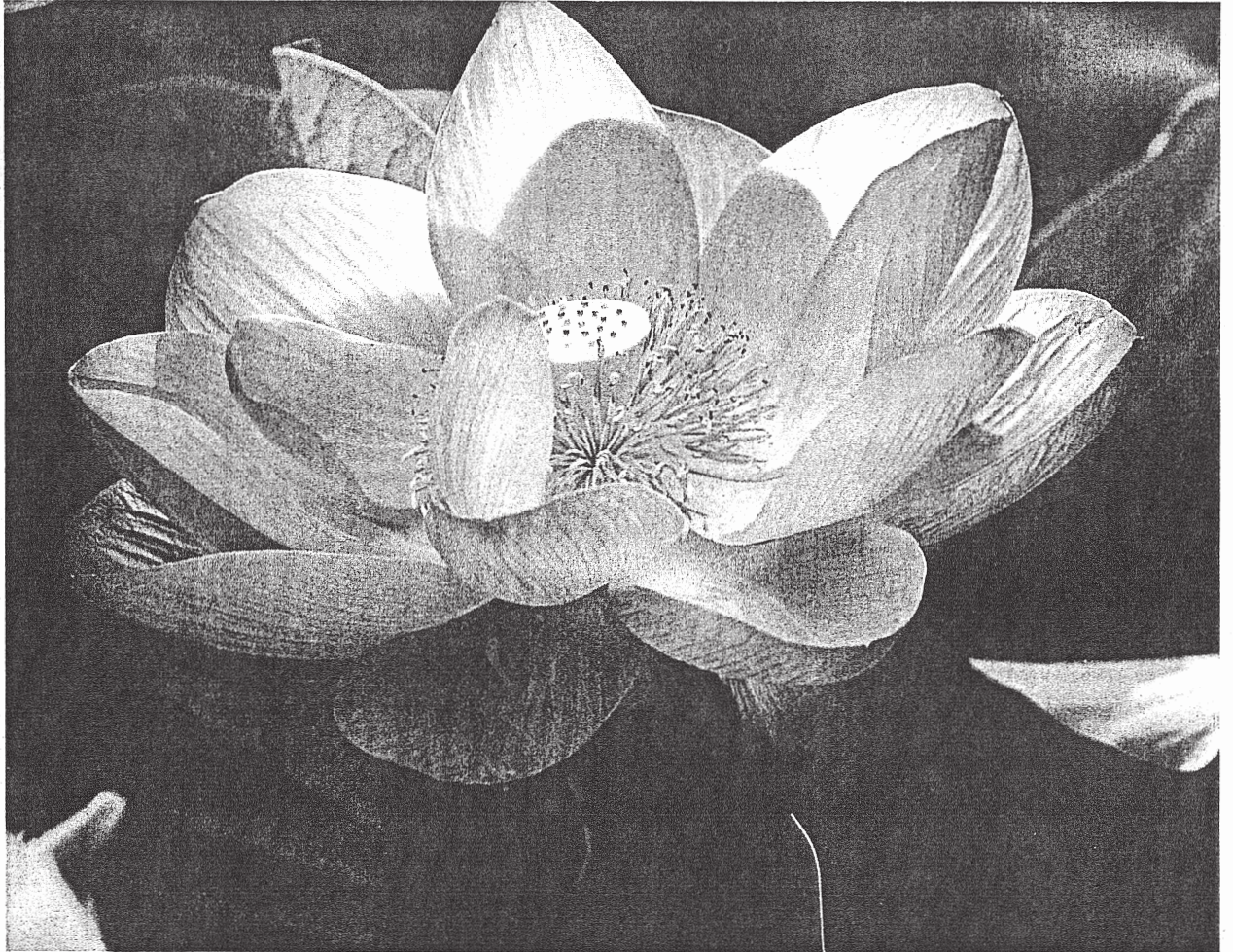
1998

労働省労働基準局編

特集

産業安全研究所

総合的な安全技術の確立と普及を目指して



編集協力 全国労働基準関係団体連合会 / 日本労務研究会発行



# 個人用呼吸保護具に関する研究

人間工学特性研究部 主任研究官

明星 敏彦

## 1、はじめに

個人用呼吸保護具は有害物質の発生する作業環境で広く使用されている。作業環境対策として工学的対策を優先するが、発生源付近での作業や非常作業では呼吸保護具は不可欠である。個人用呼吸保護具は息苦しい、気休めに過ぎない、毒ガスを連想するなど良くないイメージで受け止められている面もあるが、通気抵抗が少なく息苦しくない、またデザイン的にも自然な保護具も現れてきている。本文では産業医学総合研究所における個人用呼吸保護具（防じんマスクと防毒マスク）の検定の紹介と検定方法に関する研究について述べる。

## 2、防じんマスクと防毒マスクの検定

図1に示すような呼吸を保護する保護具がJIS規格で規定されている。保護具は大きく分けると環境中の有害物をろ過して清浄な空気を与えるろ過式と環境中の空気をあてにせず他に空気源をもつ給気式がある。各性能はJIS規格が規定しているが、特に防

じんマスクと防毒マスクについては労働省が労働安全衛生法第四二条の規定に基づく規格で型式検定を行っている。この検定に合格し標準がなければ有効な防じんマスク、防毒マスクとして使用できない。

防じんマスク、防毒マスクは大きく分けて面体、ろ過材（フィルターないし吸収缶）、吸気弁、排気弁、しめひもなどの部品から構成される。作業環境中の空気はろ過材を通り、吸気弁、面体内へと着用者の肺力で吸気され、同じく肺力で排気弁を通って排気される。このように肺の吸引力によって粉じんやガスがろ過されるため、ろ過材の性能だけでなく面体その他すべての構成要素が性能に関わってくる。面体を中心にした分類では全面形、半面形取り替え式、使い捨て式と呼ばれる形状がある。取り替え式マスクはろ過材が直結している直結式と腰部に取り付けたろ過材と連結管で面体を接続する隔離式と呼ばれるマスクもある。

当研究所（正確には前身の労働衛生研究所から）はこの防じんマスクと防毒マスクの性能試験を昭和三四年（防じんマスク）昭和三七年（防毒マスク）よりそれぞれ実施してい

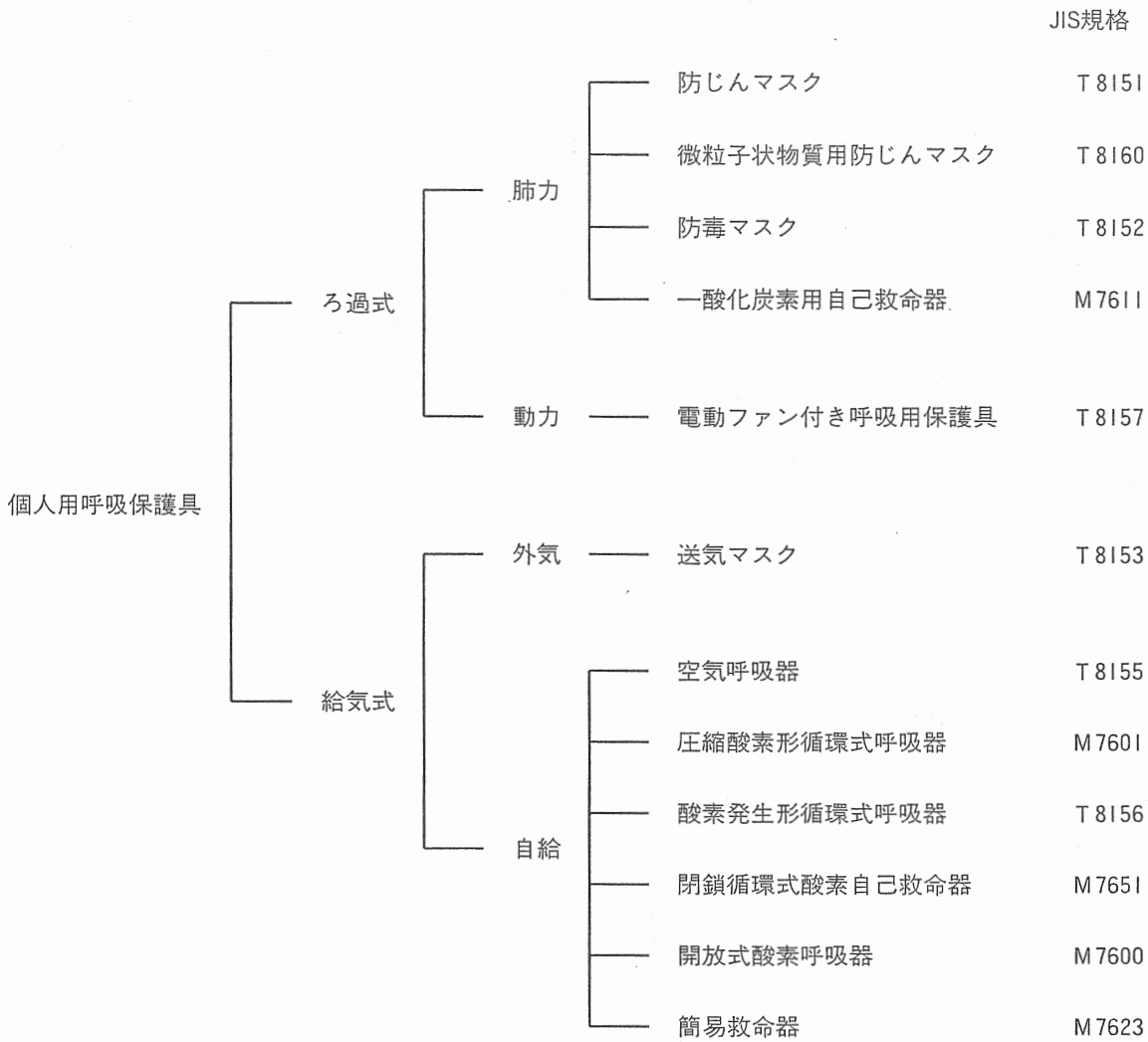
る。二名の検定員と筆者を含む二、三名の研究員が、現在検定とその関連の研究に携わっている。今、検定合格の防じんマスクは約二〇〇型式、防毒マスクは約九〇型式、防毒マスク吸収缶は約六〇型式あると推定される。最近では防じんマスクでは昭和五八年と昭和六三年にまた防毒マスクでは平成二年と平成八年に国家検定のための規格が改訂され、これに伴い必要となる評価方法についての研究が当研究所でなされた。

## 3、防じんマスク

防じんマスクは粉じん障害防止規則などで規制の対象となつている鉱物性粉じんや金属粉じんに対して使用することを想定しており、取り替え式マスク（ろ過材のみを取り替える）と使い捨て式マスクが認められている。粉じんは気中に粒子が浮遊している状態を指し、通常問題となる濃度では目で見えず、刺激反応がなければ検知することは困難である。粉じんろ過材であるフィルターは手に取るとフェルトや紙のように見える。フィルターは構成する繊維の一本、一本の粒子捕集の積み上げにより粉じんを除去するので、捕集効率には層の厚みとともに指数的に増加する。一方、通気抵抗は層厚みに比例して増加する。したがって、捕集効率を引き上げるとはそれほど困難ではないが、規格で通気抵抗に上限がある。各メーカーはその通気抵抗の範囲内で最良のろ過材の開発に努めている。

気流とともにろ過材に流入する粒子はこれらのフィルター繊維に捕集されるわけである。





その捕集メカニズムは活性炭にガスが吸着する現象ともふるい網に粒子がつかまる現象とも異なる。フィルター内では繊維の体積は全体

の数パーセントであり、非常に空隙に富んでいる。その各繊維周りを気流とともに通過する粒子は慣性衝突、ブラウン拡散、さえぎり

図1 個人用呼吸保護具の種類

効果、重力沈降、静電気沈着などにより繊維の表面に捕集される。これらの効果はエアフィルター粒子捕集効果としては加算的に取り扱うことができる。これらの捕集効果の一番及ばない粒子径は0.1から0.3μmであり、より小さな粒子も、またより大きな粒子もそれに比べれば捕集することは容易である。国家検定では現在2μm以下の粒子からなるシリカ粉じんを流量毎分三〇リットルで通過させた場合に九五%以上の粉じん捕集効率で合格としている。捕集効率測定装置のない一般ユーザーには防じんマスクのろ過材の性能は目視や着用では評価できないので、検定制度は代ってその性能の最低保障を行っている。当研究所において試験用粉じん、試験流量、排気弁、死積など検定の各項目について個別に評価検討がなされた。防じんマスクの性能を評価する場合、往復流で行うことは現実の呼吸に近い。しかし、装置が複雑になるため、検定では一定流量で通気し試験している。呼吸を模擬する往復流を発生する人工肺を開発し、この人工肺を用いた実験や被験者実験の結果から、通常の呼吸を毎分四〇リットルの一定流と等価とすることを提案した。また人工肺を用いた排気弁の動的漏れ試験はそれまでの試験方法である静的な弁の気密試験に置き換えられた。死積についてはマスク外形寸法から容積を求める簡便な方法が同じく検定で採用された。

産業の変化に伴い溶接ヒュームなど鉱物性粉じんより小さな粒子からなる粉じんに暴露されるケースも多くなっている。試験用粉じ

んを現行のシリカ粉じんから食塩粒子やオイルミストなどより小さい粒子からなる粉じんに置き換え、より厳密なる過捕集性能試験に移行する準備を行っている。

#### 4、防毒マスク

防毒マスクはガスや蒸気またはこれらと混在する粉じんを吸入する危険のある場合に使用される。対象となるガス蒸気はハロゲンガス、有機ガス、一酸化炭素、アンモニア、亜硫酸ガス、亜硫酸ガスいわゆるの六種類である。現在、ハロゲンガスは塩素、有機ガスはシクロヘキサンを試験用ガスとしている。防毒マスクの吸収缶は環境中の有害ガスをろ過する吸着剤（例えば活性炭がよく知られている）または触媒を充填したものであり、充填する薬剤は対象ガスによって異なる。また吸収缶の形式大きさも直結式小型、直結式、隔離式の三種類あり、検定試験はそれぞれ異なった条件で行われている。吸収缶が対象ガスを吸収しきれなくなった状態、つまり破過状態は通過する気流の条件が同じであれば、高濃度では短時間しか使用できないなど環境濃度と使用時間に関係する。この関係を示した破過曲線図が検定合格品では必ず添付されているので、この図と環境中の有害ガスの濃度、作業時間から適切な吸収缶を選択できる。

当研究所では検定を行う上で必要な濃度校正、流量校正、通気抵抗測定、湿度調節などの装置の製作、評価を継続的に行ってきた。特に有機ガス用吸収缶の除毒能力試験で用いられてきた四塩化炭素がオゾン層保護のため

平成七年末で使用禁止となることを受け、等価となる代替物質を探索する研究がなされた。ここで検討された物質の中からシクロヘキサンの新しい試験物質となった。

有機ガス用吸着剤である活性炭は微細な多孔質の内部構造を持ち、一グラム当たりの活性炭の表面積は約一、〇〇〇平方メートルと広い。活性炭の吸着性能はこの表面積に大きく依存する。各種活性炭の表面積を計測する、さらに薬剤を添加して除毒能力を増すなどガス吸着の基礎研究を行ってきた。吸収缶の性能は環境の温度、湿度に大きく影響される。検定では温度二〇℃で湿度五〇%の条件で試験を行っているが、例えば有機ガスであればこれより高温多湿の環境では性能が低下することがわかっていく。湿度による除毒能力への影響に関して市販の吸収缶を用いて評価実験を繰り返して、データを蓄積している。

その他、アンモニア用吸収缶の除毒能力試験用にこれまでの呈色反応試験からガスセンサーを用いる方法も提案した。

#### 5、呼吸用保護具の使用法

呼吸用保護具を選択する場合、その能力の限界を知る必要がある。過度の信頼は戒めなければならぬ。酸素濃度、有害物の種類と濃度など環境空気についての情報を必ず確認することが重要である。すべてのろ過式呼吸用保護具は酸素濃度が一八%以下の環境では使用できない。ろ過材は特定の有害物質のみを除去できるのであり、防じんマスクはガスに、防毒マスクは粉じんには役にたかない。

防毒マスクではさらにガスの種類に応じて吸収缶を選択する必要がある。また同じ有機ガスでもメタノール、二酸化炭素やアセトンなど低沸点の物質では前述の破過曲線図ほどの性能は期待できない。労働省では平成八年八月に基発五〇四号と五〇五号の通達で防毒マスクと防じんマスクの選択、使用等を示している。この通達には最近の研究結果も踏まえて適切な選択と使用の方法について示している。是非精読いただきたい。

防じんマスクや防毒マスクのように肺力で吸気するマスクでは、マスク面体と顔面との隙間があると漏れを生じ、マスク全体としてろ過材の本来の性能を得ることができない。このマスク面体と顔面の密着性はマスク使用時の重要な問題であるが、マスク面体の性能というよりも各作業者毎のマスク選択と着用時の確認という使用法の問題である。今後、研究としてろ過材の性能のようなハードウェアの問題から、顔面との密着性を定量的に評価するなど、ソフトウエアの問題にも目を向ける必要がある。

#### 6、あわす

個人用呼吸保護具の着用が完全であれば、じん肺や溶剤中毒は起きないはずであるが、現実には読者の御存知のとおりである。現場における呼吸保護具の使用については関係者の努力に期待するほかないが、捕集能力、除毒能力がより高く、通気抵抗がより低い（息苦しくない）製品が多くなるよう努力したい。

## 第1回

## —防じんマスク—

明星敏彦

## アブストラクト

防じんマスクは粉じん作業などで広く使用されている。作業環境対策としては工学的対策が優先であるが、発生源付近での作業や非定常作業では呼吸用保護具は不可欠である。防じんマスクは息苦しい、気休めに過ぎない、毒ガスを連想するなど良くないイメージで受け止められている面もあるが、通気抵抗が少なく息苦しくない、またデザイン的にも自然な保護具が現れてきている。本文では防じんマスク、電動ファン付き呼吸用保護具などの粉じん用呼吸保護具の紹介、関係の法律や規則、またろ過材であるエアフィルターの捕集原理について述べる。

## 1 はじめに

生産工程などから発生する粉じん、ミスト、ヒュームなどは作業環境中に漂って人体に吸入され悪影響を与える。粉じんを粉末と混同して考える人も多いが、気中に粒子が浮遊している状態を指し、通常問題となる濃度では目で見えず、刺激反応がなければ検知することは困難である。これらの粉じんやミストさらに煙、霧、雲などを一般にエアロゾルと呼び、これを除去する方法は完全な除じんを求められるクリーンルームなど最先端の工業にも応用されているが、起源は粉じんによる呼吸器障害の予防に始まっている。

微小な粉じん粒子を気中から取り除き清浄な空気を得る方法として、繊維などを充填したエアフィルターをろ過材としてろ過捕集する方法が広く用いられている。先年亡くなったエアロゾル学、特にエアフィルターの権威C.N.Devis<sup>1)</sup>はその著書Air filtrationでエアフィルターの歴史を記し

ているが、奇しくもそれは防じんマスクの歴史を示している。それによれば二千年前ローマ時代の大プリニウス(Plinius, 23-79)はその著Historia Naturalisの中で当時組織的に行われていた鉱山や関連産業において粉じんの問題が認識されており、化粧品として使用された炭酸鉛や色素として用いられた酸化鉛の製造において粉じんに暴露するとの記述がある。同時代の医師Dioscoridesは作業者が鼻と口を覆う布を使用していると記している。その後レオナルドダビンチ(1452-1519)は兵器として用いられるヒュームから身を守るため濡れた布を用いることを記している。

19世紀から病気予防などの目的で種々のマスクが考案された。麻、羊毛、綿、ガラス繊維、海綿などがろ過材として利用された。マスクの形態は1825年John Robertsによって始めて現在の隔離式全面型マスクに近い形態のものが消防士のために開発された。しかし、呼吸用保護具の大きな発展は第一次大戦での化学兵器の出現による。当時塩素やホスゲンだけでなく砒素のヒューム(arsenical smoke)も使用された。エアフィルターと同じく保護具に使用される活性炭も時を同じくして開発されてきたが、そのころから粉じんとガスは捕集方法が異なるとの認識が出てきた。つまり、活性炭ではヒュームのような粉じんは捕集できないということである。両大戦の間に欧州各国ではヒュームを捕集できるフィルターの開発が盛んに行われた。その結果、2種類のエアフィルターが誕生した。一つはアスベストを混入したフィルターで他はレジンフィルターと呼ばれるフィルターである。アスベストは開綿することにより非常に細い繊維を得ることができる。この繊維によ

って微小粒子を捕集する。レジンフィルターはデンマークのHansen (1873-1941) によって開発された羊毛に樹脂の微粒子を添着したエアフィルターである。この静電捕集型フィルターの元祖は樹脂がない場合に比べ劇的に捕集効率が上昇するが、圧力損失はほとんど増加しない。大戦前すでに欧州ではフィルター表面から繊維が剥落するアスベストフィルターが嫌われレジンフィルターが広く用いられていた。このAir filtrationの著者を英国エセックス大学に訪ねたとき第二次大戦中に南アでレジンフィルター用の樹脂を探した話を拝聴した。わが国における防じんマスクについての歴史的な詳述は木村<sup>2)</sup>が行っているのでここでは省略する。

防じんマスクは粉じん作業などで広く使用されているが、着用者にとって息苦しい、気休めに過ぎない、イメージが悪いなどと思われている。しかし、非常作業では呼吸用保護具は不可欠であり、通気抵抗が少なく息苦しくない、また自然なデザインの保護具も現れてきている。本文では粉じん用呼吸保護具の紹介、ろ過材であるエアフィルターの捕集原理について述べる。

## 2 防じんマスクの形状と使用について

### 2-1 防じんマスクの形状

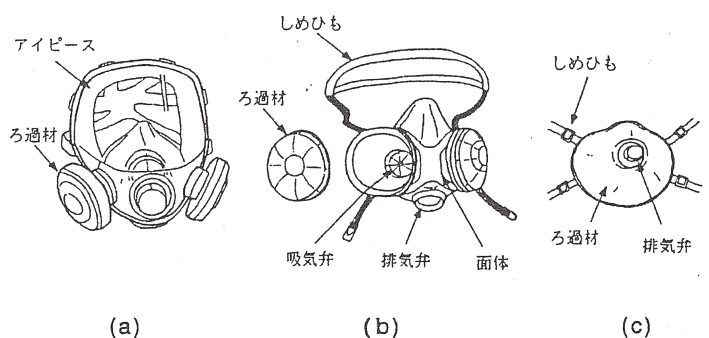
図1にマスクの構造を示す。防じんマスクにも種類があり構造と使用方法が異なっている。マスクは大きく分けて面体、ろ過材(エアフィルター)、吸気弁、排気弁、しめひもなどの部品から構成される。気流はろ過材から、吸気弁、面体内へと着用者の肺力で吸気され、同じく肺力で排気弁を通して排気される。このように肺の吸引力によって粉じんがろ過されるため顔との密着性が非常に重要であり、ろ過材のろ過能力だけでなく面体その他すべての構成要素が性能に関わってくる。

面体を中心にした分類では全面形、半面形取替え式、使い捨て式(半面形)と呼ばれる形状がある。また図1に示した取替え式マスクはろ過材が直結している直結式と呼ばれるが、他に腰部に取り付けたろ過材と連結管で面体を接続する隔離式と呼ばれる防じんマスクもある。隔離式ではろ過面積を大きくすることができる、空気取り入れ口を背部にすることにより粉じんの吸い込み量を低

減することができる利点がある。

全面形ではゴムなど柔軟な材質でできた面体に目を保護し視界を確保するアイピースを組み込んだものでしめひもによって頭部に固定する。全面形の利点は目を守るだけでなく、顔の起伏の緩やかなところで気密をとるため接顔部からの漏れ込みが少ないことである。しめひもでしっかり固定するため圧迫感があり、着脱が容易でないことはその裏返しといえる。取替え式では使用後はろ過材のみを交換する。劣化した弁なども取り替え可能である。

取替え式半面形は上述の全面形の下半分に近い形状をおり、目の保護能力はない。使用方法も全面形に近い。使い捨て式(半面形)マスクは面体そのものがろ過材でできており、英語ではfiltering facepieceと呼ばれている。エアフィルターの交換はマスク全体の廃棄となる。使い捨て式マスクは容易にかつ違和感なく使用できる利点がある。ろ過材としてのエアフィルターの性能は取替え式マスクで用いられているろ過材と同等であり、形の似ているガーゼマスクとは捕集効率の上で異質なものであるが、洗濯は不可であり、使用時間に制限があることに留意する必要がある。半面形のマスクでは鼻と口のみを覆う形態であるため、接顔部の形状が複雑になり、特に鼻梁の辺りで漏れを起こす可能性がある。



(a) 全面形取替え式 (b) 半面形取替え式 (c) 使い捨て式

図1 防じんマスクの形式と構造

### 2-2 電動ファン付き呼吸用保護具の形状

電動ファン付き呼吸用保護具は新しい製品であり、バッテリー駆動の電動ファンでろ過した空気を面体内に送り込む構造となっている。電動ファンは着用者の瞬時最大吸気流量より大きな気流を常に送風ので、マスク着用時の息苦しさを解消することができる。このため図2に示すように全面

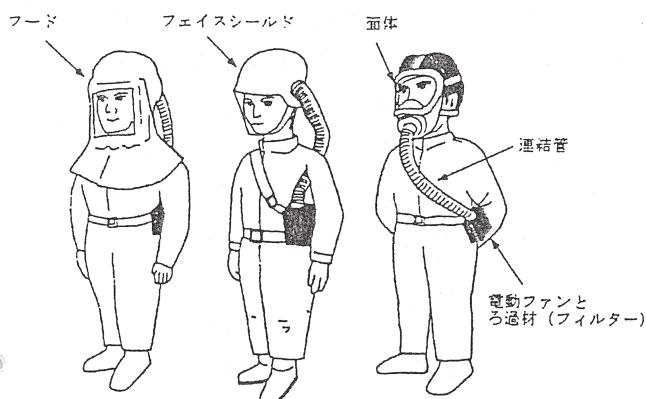


図2 電動ファン付き呼吸用保護具

型の面体を持つものだけでなく、フェイスシールド形、フード形など内部が陽圧であることを利用する形式も使用されている。呼吸が楽だけでなく面体内が湿らないなどの効果もある。

### 2-3 防じんマスクの使用についての規則

防じんマスクは周囲の粉じんを含む空気を着用

者の呼吸に必要な量だけろ過除じんすることにより、粉じん吸入による呼吸器等への障害を防止することを目的としている。労働安全衛生法22条に基づく表1に示すような各規則の条文で防じんマスクは使用者には備えることと、着用させること作業者には着用することが求められている。ここで指示されている有効な呼吸保護具とは、防じんマスクでは労働安全衛生法42条に基づいて労働省の行っている国家検定に合格している製品、また電動ファン付き呼吸用保護具ではJIS T8157に定める規格に適合する製品を指している。国家検定に合格している場合はマスクに合格標章が添付されている。電動ファン付き呼吸用保護具に関しては基発第767号通達で粉じん則および安衛則で有効な呼吸用保護具に該当するとある。しかしながら以上の保護具は酸素不足の空気、またガスや蒸気に対しては全く無効である。

表1 防じんマスクに関する法律、規則

|             |       |  |
|-------------|-------|--|
| 労働安全衛生法     | 第22条  | 事業者は、次の健康障害を防止するため必要な措置を講じなければならない。<br>一 原材料、ガス、蒸気、粉じん、酸素欠乏空気、病原体等による健康障害（以下続く）  |
| 労働安全衛生法     | 第42条  | 特定機械等以外の機械等で、危険若しくは有害な作業を必要とするもの、危険な場所において使用するもの又は危険若しくは健康障害を防止するため使用するもののうち、政令で定めるものは、労働大臣が定める規格又は安全装置を具備しなければ、譲渡し、貸与し、又は設置してはならない。 |
| 労働安全衛生規則    | 第593条 | 呼吸保護具等   |
| 粉じん障害防止規則   | 第7条   | 臨時の粉じん作業を行う場合等の適用除外*   |
|             | 同     | 第8条 研削といし等を用いて特定粉じん作業を行う場合の適用除外*   |
|             | 同     | 第27条 呼吸保護具の使用  |
| 鉛中毒予防規則     | 第58条  | 呼吸用保護具等  |
| 電離放射線障害防止規則 | 第38条  | 保護具  |

\*呼吸保護具を使用した場合に適用を除外するの意

### 2-4 防護係数

呼吸用保護具の防護係数 (Protection factor ; PF) が欧米では広く用いられている。保護具の選択を包括的に行うため便利な方法であり、ここではNIOSH (米国労働安全衛生研究所) が出しているRespirator Decision LOGIC<sup>3)</sup>に基づいて紹

介する。保護具は同じ名称でも日米で異なった規格をもっていること、米国では個人暴露量に基づいた管理を行っているなどのため我が国では直接当てはまらないが、上記のブックレットは呼吸用保護具の総合的な選択に関して有益な情報を含んでいる。防護係数は保護具の外側での有害物の濃

度 (Co) と内側での有害物の濃度 (Ci) の比 (Co/Ci) で表され、1以上の値となる。これはフィルターの通過率 (Ci/Co) の逆数のようにも見えるが、作業時のマスクの接顔部からの漏れも含む総合的な性能を示す概念である。マスクを選択するときは暴露限界値 (REL) にそのマスクの防護係数 (PF) を掛けた値 (REL\*PF) が作業者の暴露濃度より大きくなければならない。NIOSHが定めた公定防護係数 (Assigned Protection Factor; APF) の粉じんに関するものを表2に示す。表の値は形式毎に示されており、例えば半面形マスクでは許容濃度の10倍までの気中濃度にしか対応できない。全体としてろ過式の呼吸用保護具に厳しい評価を下している。米国においても作業環境改善がまず第一である。

APFは作業現場でのマスク使用時に計測した防護係数を基にして決められた値で、マスク着用

法について教育された作業者が正しく面体の密着について注意して使用した場合に期待できる最小の防護係数であると定義されている。この場合の最小とは着用者の95%がこのAPFより大きな値をもつことを意味している。実際の作業時の防護係数を測定することは困難であり、米国の工業規格ANSI Z88.2の提示しているAPFは表2の値とは少し異なっているなどAPFの値は論争的になっている。実験室で得られる密着度の測定でははるかに大きな値が得られ、筆者の米国での経験では作業者のマスク選択時に行う定量密着試験 (高効率フィルターを使用) では合否ラインをAPFの10倍程度、例えば半面形ならば100、全面形ならば500ないし1000においていた。したがって許容濃度と同じくAPFの値が高い、低いという議論はあるが、ろ過材の性能をAPFにあわせて低くしてもよいとする動向は米国ではない。

表2 粉じん暴露に対する防護のためのマスクの公定防護係数APF<sup>(1)</sup>  
(NIOSH Respirator Decision LOGICのTable 1, pp13-14から、訳は著者)

| 公定防護係数 | マスクの種類   |
|--------|--|
| 5      | 一回使用マスクないしクォーターマスク <sup>[2]</sup>  |
| 10     | 粉じん用フィルターを備えた使い捨て式マスク <sup>[3]</sup> を含むろ過式の半面型マスク <sup>[2,4]</sup><br>粉じん用フィルター備えたるろ過式全面型マスク <sup>[5]</sup><br>半面型マスクを備えたデマンド弁 (負圧モード) で操作される送気マスク <sup>[2]</sup>   |
| 25     | 粉じん用フィルターとフードかフェイスシールドを備えた電動ファン付きろ過式マスク <sup>[4]</sup><br>フードかフェイスシールドを備えた連続気流で操作される送気マスク <sup>[4]</sup>   |
| 50     | 高効率フィルターを備えたるろ過式全面型マスク <sup>[2]</sup><br>半面体と高効率フィルターを備えた電動ファン付きろ過式マスク <sup>[4]</sup><br>デマンド弁 (負圧モード) で操作する全面型の送気マスク <sup>[2]</sup><br>面体と連続気流で操作される送気マスク <sup>[4]</sup><br>全面型マスクを備えデマンド弁 (負圧モード) で操作される空気呼吸器 <sup>[2]</sup> |
| 1000   | 半面型マスクを備えプレッシャデマンド弁ないし他の陽圧モードで操作される送気マスク <sup>[2]</sup>  |
| 2000   | 全面型マスクを備えプレッシャデマンド弁ないし他の陽圧モードで操作される送気マスク <sup>[2]</sup>  |
| 10000  | 全面型マスクを備えプレッシャデマンド弁ないし他の陽圧モードで操作される空気呼吸器 <sup>[2]</sup><br>全面型マスクを備えプレッシャデマンドないし他の陽圧モードで操作される送気マスクで、プレッシャデマンドないし他の陽圧モードで操作される補助の空気呼吸器 (SCBA) と組み合わせたマスク <sup>[2]</sup>   |

注1 高効率フィルターのみ0.05mg/m<sup>3</sup>以下の暴露限界を持つ微粒子に対する防護のため許可される。

注2 公定防護係数 (APF) は国立Los Alamos研究所 (LANL) によって、人間のボランティアのパネル (顔の形態別のグループを指す) で定量密着試験を行うことにより決定された。

注3 使い捨て式防じんマスクは定量密着試験を行い適切に着用するならば、APFに10を割当てることができる。

注4 APFは、LANLデータよりも最近報告された作業環境防護係数 (WPF) のデータないし研究室データに基づいている。

注5 APFは粉じん、ヒューム、ミスト用フィルターの捕集効率を考慮して決めた。

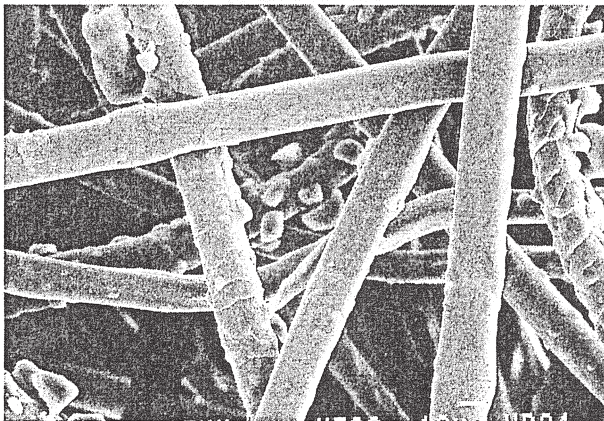
### 3 エアフィルターの捕集メカニズム

ろ過材としてのエアフィルターは手に取るとフェルトや紙のように見える。図3に防じんマスクで使用されているエアフィルターを電子顕微鏡で拡大した写真を示す。図の(a)は羊毛を用いた静電捕集型のフィルター（レジンフィルター）であり、(b)はろ紙型のフィルターである。これは微細なガラス繊維などで作られており現在はアスベストは入っていない。(a)より(b)の方がより細い繊維を用いていることがわかる。エアフィルターは構成する繊維の一本、一本の捕集の積み上げにより粒子を除去するので、捕集効率は層の厚みとともに指数的に増加する。一方、通気抵抗は層の厚みに比例して増加する。したがって、捕集効率を引き上げることはそれほど困難ではないが、防じんマスクは肺力で吸気できる通気抵抗しかゆるされない。各メーカーはその通気抵抗の範囲内で最良のろ過材の開発に努めている。ろ紙型は相対的に通気抵抗が高いためフィルターをプリーツ状に

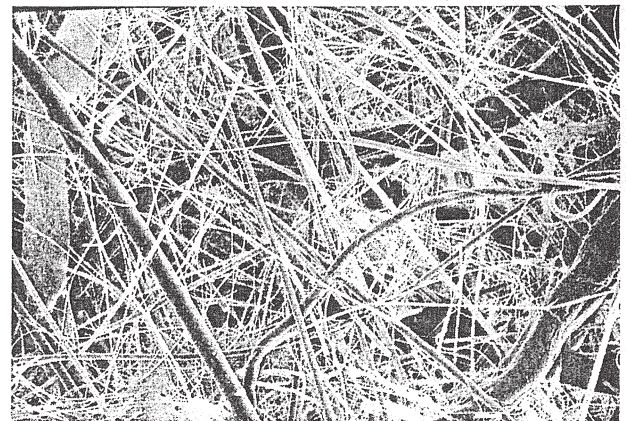
してろ過面積を増し、通気抵抗を下げている。静電捕集型フィルターも木村<sup>4)</sup>によればレジンフィルターのみではなくポリプロピレンなどを基材とするエレクトレットフィルターがあり、エレクトレットフィルターでも数種類の製造方法がある。

現在、ほとんどの使い捨て式マスクと取り替え式マスクの一部では静電捕集型フィルターを採用している。一方、産業用、環境測定用などでも使用されているろ紙型フィルターは防じんマスク用としては比較的新しく、取り替え式用としてプラスチックケースに入った状態で用いられる。両者の特徴を表3に示す。

気流とともに流れてくる粒子がこれらのフィルターに捕集されるわけであるが、そのメカニズムは活性炭にガスが吸着する現象ともふるい網に粒子がつまる現象とも異なる。エアフィルター内の繊維の体積は全体の数パーセントで非常に空隙に富んでいる。その各繊維周りを気流とともに通過する粒子は慣性衝突、ブラウン拡散、さえぎり効



(a) 静電捕集型フィルター



(b) ろ紙型フィルター

図3 防じんマスク用エアフィルターの繊維の電顕写真

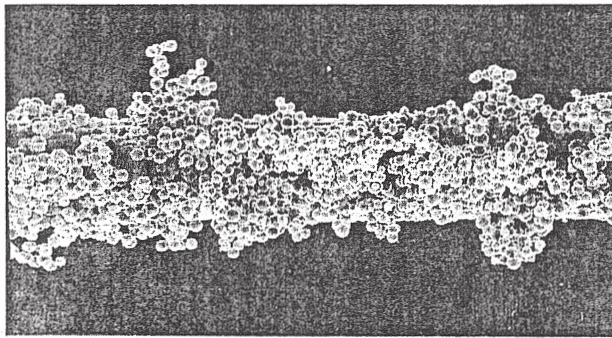
表3 防じんマスク用エアフィルターの特徴

|          | ろ紙形フィルター         | 静電捕集型フィルター                     |
|----------|------------------|--------------------------------|
| 捕集機構     | 慣性衝突, 拡散, さえぎり効果 | 静電気沈着, 慣性衝突, 拡散, さえぎり効果        |
| 通気抵抗     | 単位面積, 捕集効率あたり大   | 単位面積, 捕集効率あたり小                 |
| 固体粉じん堆積時 | 捕集効率上昇           | 捕集効率が初期より下がる場合がある              |
| 経年変化     | 少ない              | フィルターの種類, 製法, 湿度などにより劣化する場合がある |

果、重力沈降、静電気沈着などにより繊維の表面に捕集される。

慣性衝突、ブラウン拡散、さえぎり効果、重力沈降、静電気沈着は粒子径、繊維径、流速、粒子の帯びている静電気量、繊維の帯びている静電気量などによって強弱はあるが、エアフィルターの粒子捕集効果としては加算的に取り扱うことができる。これらの捕集効果の一番及ばない粒子径は0.1から0.3 $\mu\text{m}$ であり、より小さな粒子もより大きな粒子も比べれば捕集することは困難ではない。したがって、エアフィルターにとって捕集すべき粒子の大きさは重要な因子であり、文頭に示した砒素のヒュームは捕集しがたい大きさを狙った試みであり、一方、顕微鏡下での大きさが30 $\mu\text{m}$ 程度のスギ花粉を捕集することは防じんマスク用フィルターには容易いことである。

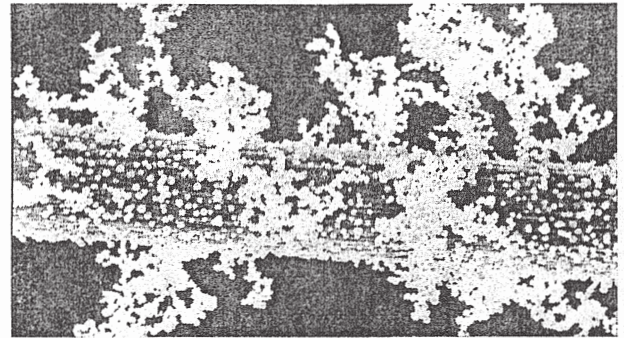
捕集メカニズムを見るため実験的に直径10 $\mu\text{m}$



(a) 粒子径約1 $\mu\text{m}$ 慣性衝突による。

(ひとの髪の毛の十分の一程度)に約1.0 $\mu\text{m}$ と0.3 $\mu\text{m}$ の金属鉛粒子を通過捕集させた結果<sup>5)</sup>が図4のそれぞれ(a)と(b)である。図4(a)は繊維の上流側の面に粒子が叩きつけられるように密に堆積している。これは慣性衝突によって捕集されていることを示している。一方、図4(b)は粒子が樹枝状に堆積成長している。これは拡散効果によって繊維全面に捕集された粒子の上にさらに粒子が捕集される現象である。エアフィルターで固体粉じんが堆積すると目づまりによって通気抵抗が上昇するとともに捕集効率も上昇することがあるのはこの現象のためである。

捕集された微小粒子はその付着力が粒子の受ける重力より大きいため、流れがあっても繊維の表面に固定される。しかし、液体からなるミストではこのような粒子の堆積物はできないので、捕集効率の顕著な上昇もない。



(b) 粒子径約0.3 $\mu\text{m}$ 拡散捕集による。

図4 10 $\mu\text{m}$ のタングステン線上に捕集された鉛粒子

希望する。

#### 4 おわりに

防じんマスク用のエアフィルターはその製造方法、捕集性能、ろ過面積、経年変化など各社まちまちである。そのため現在労働省は防じんマスクについては国家検定を行っており、2 $\mu\text{m}$ 以下の試験用シリカ粉じんに対して95%以上の捕集効率を求めている。捕集効率測定装置のない一般ユーザーにはフィルターの評価は不能であり、検定制度はその性能の最低保障を行っている。米国のNIOSH(前述)の検定制度や欧州規格ではさらにろ過材の捕集性能別に複数のクラス分けを持ち、またミストに対する捕集性能の性能評価もおこなっている。読者、特にユーザーが呼吸用保護具に関心を持って下さること、その上で防じんマスクの性能評価方法についてのご意見を下さることを

#### 文 献

- 1) C. N. Davies, "Air filtration", Academic Press, London, (1973)
- 2) 木村 菊二, 「わが国における防じんマスク(第1報)-1970年頃までの研究と規格-」, 労働科学, 69, (10), 433-460, (1993)
- 3) National Institute for Occupational Safety and Health, "Respirator Decision LOGIC" U.S. Department of Health and Human Services, (1987)
- 4) 木村一志「静電フィルターの機能と応用」, 繊維学会誌, 51, 332-339, (1995)
- 5) 金岡, 江見, 平木, 明星, 「慣性さえぎり支配域におけるエアフィルター繊維上での粒子堆積形状」, 粉体工学会誌, 24, 74-80, (1987)

(みょうじょう としひこ・労働省産業医学総合研究所 労働環境研究部主任研究官)



### 第37巻 第4号

### ● 目 次 ●

|                           |        |    |
|---------------------------|--------|----|
| 【巻頭言】 私と空気清浄              | 平澤紘介   | 1  |
| 【特集】 呼吸用保護具の技術・性能評価の最近の動向 |        |    |
| 特集にあたって                   | 明星敏彦   | 3  |
| 呼吸用保護具の各国における性能保証制度       | 松村芳美   | 4  |
| 日本における防じんマスク・防毒マスクの性能保証制度 | 明星敏彦   | 12 |
| 防じんマスク用のろ過材               | 木村一志   | 17 |
| 防毒マスク用の吸収缶                | 田中 茂   | 25 |
| 電動ファン付き呼吸用保護具             | 山田比路史  | 33 |
| 【研究論文】                    |        |    |
| エアワッシャーにおける親水性エリミネータの有効性  | 稲葉 仁・他 | 39 |
| 抗菌性エアフィルタの研究              | 古橋正吉・他 | 46 |
| 【技術解説】                    |        |    |
| 空気中の細菌汚染と空気中の細菌汚染測定方法の進展  | 山崎省二   | 56 |
| 【技術集会】                    |        |    |
| 第16回エアロゾル科学・技術研究討論会に参加して  | 石津嘉昭   | 61 |
| 【講座】 ガスと粒子の測定法 (第3回)      |        |    |
| 有機物質のサンプリングと分析について        | 竹田菊男   | 65 |
| 【エアロゾルヴィジュアル】             |        |    |
| 試験用粉体 シリカ粒子               | 大塚一彦   | 73 |
| 試験用粉体 1種、2種、3種(けい砂粉)      | 山下憲一   | 74 |
| 【随想】                      |        |    |
| 競争と共生                     | 高橋幹二   | 75 |
| 【図書紹介】                    |        |    |
| 原子力の未来                    | 岡田孝夫   | 77 |
| 【アド・プレゼンテーション】            |        |    |
| ウエットマスター(株)               |        | 78 |
| 【会告】                      |        | 80 |

#### 編集委員

(五十音順)

|     |         |         |         |         |  |
|-----|---------|---------|---------|---------|--|
| 委員長 | 横 地 明   |         |         |         |  |
|     | 池 田 耕 一 | 一 条 和 夫 | 宇 高 博 和 | 坂 本 和 彦 |  |
|     | 鈴 木 道 夫 | 原 田 宙 幸 | 深 尾 仁   | 明 星 敏 彦 |  |
|     | 山 崎 省 二 | 山 下 憲 一 | 吉 田 隆 紀 |         |  |
| 事務局 | 大 竹 信 義 | 藤 原 きみ江 |         |         |  |

・コピーライト ©1999 社団法人日本空気清浄協会  
 本機関誌に掲載されたすべての記事内容は、社団法人日本空気清浄協会の許可なく転載・複写することは出来ません。

## 日本における防じんマスク・防毒マスクの性能保証制度

The certification system for dust respirators and gas masks in Japan

明星敏彦 Toshihiko Myojo

### Abstract

The dust respirators and gas masks shall be passed the approval test for these respirators in Japan. Article 44-2 of Industrial Safety and Health Law mentions that designated machines, including dust respirators and gas masks, undergo the model certification examination to be conducted by the Minister of Labour or his/her substitutes. Standards for dust respirators and standards for gas masks are provided to conduct the examination. The certification system started from 1950 on dust respirators and from 1962 on gas masks and continues for half a century although the standards were revised following the advancement of technology.

In this paper, the author introduces present performance tests of dust respirators and gas masks for model certification examination.

### キーワード：

呼吸用保護具、規格、検定、防じんマスク、防毒マスク

### 1. はじめに

防じんマスクは溶接作業など粉じんやヒュームが発生する作業で、防毒マスクは塗装作業など種々の蒸気・ガスが発生する作業で使用されている。呼吸用保護具の不必要な作業環境にするための換気・排気など工学的対策が優先されるべきであるが、発生源付近での作業や点検修理など非常作業ではこれらのマスクは不可欠である。ここでは防じんマスク・防毒マスクの性能を担保するため行われている検定制度を紹介する。

### 2. 呼吸用保護具の国家検定

労働安全衛生法第42条では危険もしくは健康障害を防止するために使用するもののうち政令で指定するものは、労働大臣が定める規格を具備しなければ譲渡・貸与・設置してはならないとしている。また同法第44条の2では42条の機械等の中で政令で定めるものを製造または輸入した者は労働大臣またはその指定するものが行う型式労働省産業医学総合研究所

検定を受けなければならないとある。以上の法に基づき呼吸用保護具である防じんマスクと防毒マスクは労働省の機械等検定規則に基づいて型式検定を行っている。

防じんマスクの検定について初期のころの様子を先人の記述を参考にすると<sup>1-3)</sup>、戦後の20年代、日本にまだ炭坑や金属鉱山が沢山あったころ作業者の健康を守るために珪肺（じん肺）対策の規則ができ、防じんマスクを備えよとの指示も出たが、ではどのようなマスクを使用したらよいかという問題にあたった。粉じんについての科学的な知見や測定方法の不完全な中、行政、メーカーなどの関係者は防じんマスクの規格制定に奮闘され、昭和25年末にJIS規格が出来上がった。時を同じくして労働衛生保護具検定規則（機械等検定規則の前身）と防じんマスクの規格も公布され検定を開始するに至った。当時まだGHQ支配下ですべてお伺いをたてなければならぬ時代であり、規格制定の過程について読むと先人の苦勞が想像されるが、一方、草創期のバイタリティを感じる。初期の検定（性能評価）は、労働省産業医学総合研  
原稿受理 平成11年 9月24日

究所の前身である労働省労働衛生研究所の設立前であったため労働科学研究所が行っていた。しかし、昭和35年から労働省労働衛生研究所に検定が移行され現在に至っている。

防毒マスクは用途が戦前の軍用中心から戦後産業用に転換された後、昭和30年にJISが制定され、防じんマスクにすこし遅れて昭和37年から労働省労働衛生研究所において検定（性能評価）を開始した。防毒マスクの場合、ガスの種類が多く、どの範囲までカバーするかという問題に、つまりガス種別のマスクの需要に対して技術的・労力的な限界との妥協に時間がかかったものと思われる。

それから半世紀、防じん・防毒マスクともにJISの番号も移り、試験法も何度か改訂され、今日に至っている。規制緩和の時代になり、近い将来、検定制度の大きな変化も予想されるが、本文では現状について紹介する。

現在、呼吸用保護具メーカーまたは輸入代理店は新規の型式の保護具を防じんマスク・防毒マスクとして販売するときは労働省労働安全衛生部環境改善室に書類申請しなければならない。環境改善室において書類審査、所在地審査（保護具の性能保証体制についての立ち入り審査）の後、マスク現品を産業医学総合研究所に送付し、試験を依頼する。産業医学総合研究所では性能試験の後、環境改善室に試験成績を回答する。すべての項目で問題がなければ合格証が交付され、申請者はマスクに国家検定合格の標章をつけて販売することができる。産業医学総合研究所ではメーカーから直接マスクの性能評価を請け負うことはしない。型式検定合格の有効期間は5年間でその後は更新申請となる。図1に合格標章を示すが、防じんマスク・防毒マスクには必ず添付されている。

### 3. 防じんマスクの規格と試験

#### 3.1 防じんマスクの形状

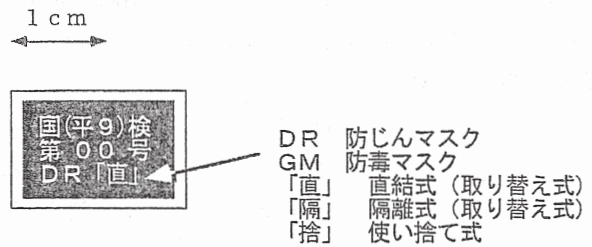


図1 面体上合格標章の例  
表示の年は合格の年を指す

図2に防じんマスクの構造を示す。防じんマスクにも種類があり構造と使用方法が異なっている。マスクは大きく分けて面体、ろ過材（エアフィルタ）、吸気弁、排気弁、しめひもなどの部品から構成される。気流はろ過材から、吸気弁、面体内へと着用者の肺力で吸気され、同じく肺力で排気弁を通して排気される。したがって、ろ過材のろ過能力だけでなく面体その他すべての構成要素が性能に関わってくる。

面体を中心にした分類では全面形、半面形取り替え式、使い捨て式（半面形）と呼ばれる形状がある。また図2に示した取り替え式マスクはろ過材が直結している直結式と呼ばれるが、他に腰部に取り付けたろ過材と連結管で面体を接続する隔離式と呼ばれる防じんマスクもある。取り替え式では使用後はろ過材のみを交換する。劣化した弁なども取り替え可能である。

全面形はゴムなど柔軟な材質でできた面体に目を保護し視界を確保するアイピースを組み込んだものでもしめひもによって頭部に固定する。全面形の利点は目を守ることだけでなく、顔の起伏の緩やかなところで気密をとるため接顔部からの漏れ込みが少ないことである。

取り替え式半面形は上述の全面形の下半分に近い形状をおり、目の保護能力はない。使い捨て式（半面形）マスクは面体そのものがろ過材でできている。エアフィルタの交換はマスク全体の廃棄となる。半面形のマスクで

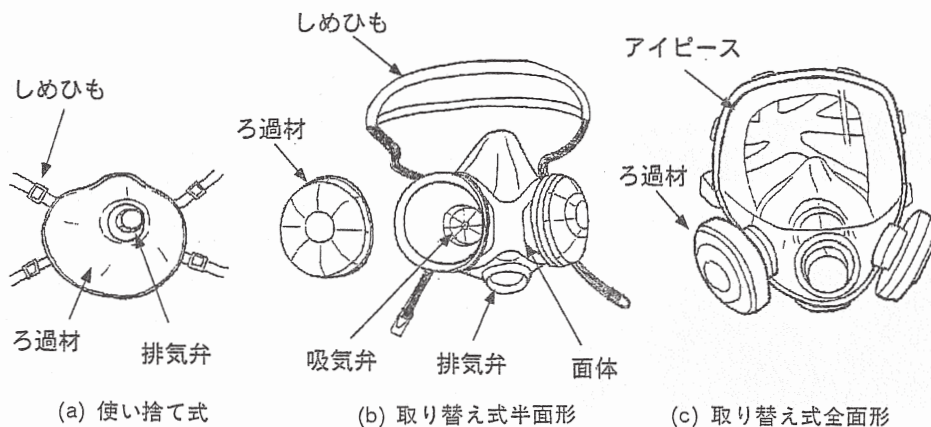


図2 防じんマスクの構造

は鼻と口のみを覆う形態であるため、接顔部の形状が複雑になり、特に鼻梁の辺りで漏れを起こす可能性がある。

### 3.2 規格と試験

防じんマスクの JIS 規格は JIS T 8151<sup>4)</sup>に規定されているが、検定は労働安全衛生法第42条に基づく防じんマスクの規格<sup>5)</sup>に従って性能評価を行っている。JIS T 8151では防じんマスクの規格にない試験法も取り入れているが、現在防じん・防毒マスクに関しては JIS 認証の製品はなく、検定に合格した製品が市場に出ている。

防じんマスクの規格は8条からなり、種類・材料・強度試験・構造・性能試験・表示等・適用除外について記されている。種類は既に3.1に概略を示した。構造についての定量的な規定は時代とともに削除され、かなり自由度が増してきている。表示についても既に図1に標章を示したが、その他に製造者名、製造年月、型式の名称などが表示されている。検定の定量的評価として以下の強度試験・性能試験があげられる。

#### ○ 強度試験

強度はしめひも取り付け部と隔離式防じんマスクの連結管取り付け部について規定がある。しめひも取り付け部の試験の様子を図3に示す。全面型では98N(10kg荷重)、半面型では49N(5kg荷重)の引っ張り荷重をかけ破断、離脱の有無を調べている。また使い捨て式では1kgの引張荷重をかける。試験機はサンプルの下部に分銅を下げ、サンプルを上方に引き上げる形態で荷重をかけている。

#### ○ 性能試験

性能試験には粉じん捕集効率、吸気抵抗、排気抵抗、

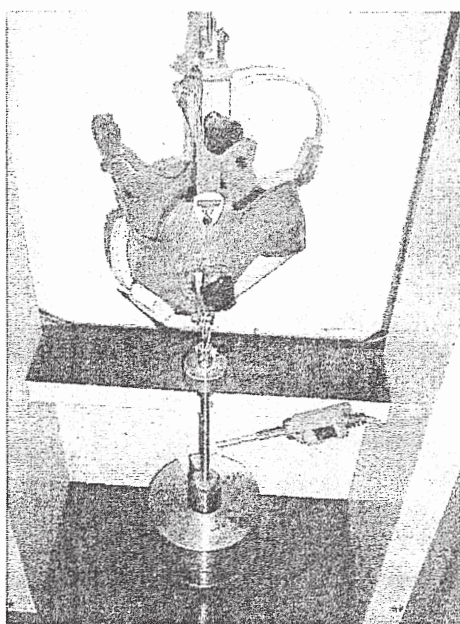


図3 しめひも取り付け部の試験

排気弁の動的漏れの試験がある。粉じん捕集効率試験はフィルタの捕集効率を測定することであるが、試験粉じんが石英粒子でその大きさが $2\mu\text{m}$ 以下、濃度が $30\pm 5\text{mg}/\text{m}^3$ との指定がある。またフィルタ単体ではなく防じんマスク全体の効率を通気流量 $30\text{L}/\text{min}$ で光散乱方式の粉じん濃度測定器で測定するとの指示がある。この条件で95%の粉じん捕集効率がなければならない。図4に石英粉じん発生装置(右)と光散乱方式の粉じん濃度測定器(左)の写真を示す。図の模擬人頭に試験すべき防じんマスクを取り付ける。

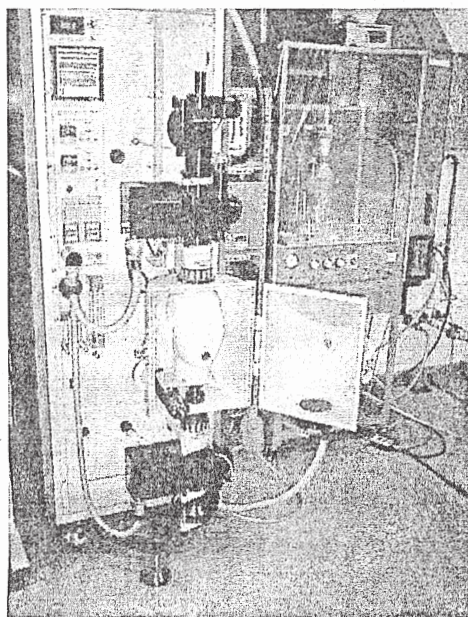


図4 石英粉じん発生装置(右)と光散乱方式の粉じん濃度測定器(左)

吸気抵抗、排気抵抗試験は流量 $40\text{L}/\text{min}$ でマスクの外側から内側へと内側から外側へ通気した場合の内外の圧力差を測定するもので、それぞれ80パスカル以下(排気弁のない使い捨て式マスクでは50パスカル以下)でなければならない。ここで吸気抵抗のほとんどはフィルタの圧力損失によるものである。図4の装置は吸気抵抗も同時に計測することができる。

排気弁の動的漏れ試験は排気弁が確実に閉閉するかを呼吸模擬装置を用いて往復気流を発生させ、石英の試験用粉じんと光散乱方式の粉じん濃度測定器で漏れ率として計測する試験である。

図5に平成元年から約5年間に検定申請された防じんマスクの吸気抵抗と漏れ率(=100%-捕集効率)の測定値(平均値)を示した。図で1点が一型式に相当する。肺力で吸引する防じんマスクではフィルタはHEPAフィルタのような高い捕集効率より低い圧力損失を求めている。捕集効率が95%以下(漏れ率5%以上)となるこ

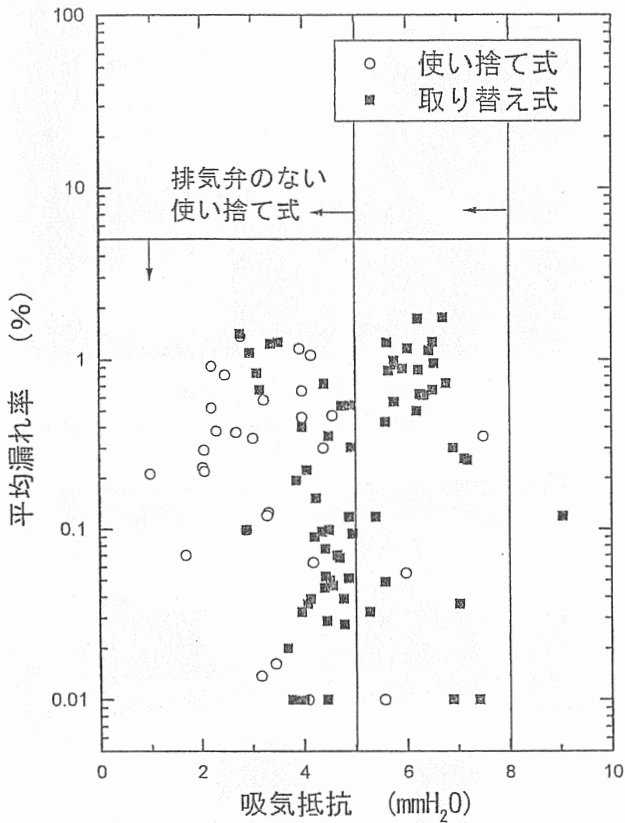


図5 防じんマスクの吸気抵抗と漏れ率の関係

とは稀であるが、時に吸気抵抗試験で不合格になる場合がある。

#### 4. 防毒マスクの規格と試験

##### 4.1 防毒マスクの形状

図6に防毒マスクの構造を示す。構造は防じんマスクと共通点が多い。マスクは大きく分けて面体、ろ過剤である吸収缶、連結管、吸気弁、排気弁、しめひもなどの部品から構成される。吸収缶を腰部に取り付け連結管で面体を接続する隔離式、吸収缶を面体に直結する直結式、直結式小型と呼ばれる防毒マスクがある。面体を中心にした分類では全面形、半面形と呼ばれる形状があるが、面体部分については防じんマスクと同じ特徴をもっている。吸収缶には対象とするガスの種類別に表1に示すような区分があり、缶にその区分や色が表示されている。

##### 4.2 規格と試験

防毒マスクのJIS規格はJIS T 8152<sup>6)</sup>に規定されているが、事情は防じんマスクと同じく防毒マスクの規格<sup>7)</sup>に従って性能保証されている。しかし、JIS T 8152には酸性ガス、青酸ガス、硫化水素、臭化メチルなど規格で保証されていない種類のガス吸収缶の規定もあるので、それらが必要な場合はメーカーに相談されるとよい。防

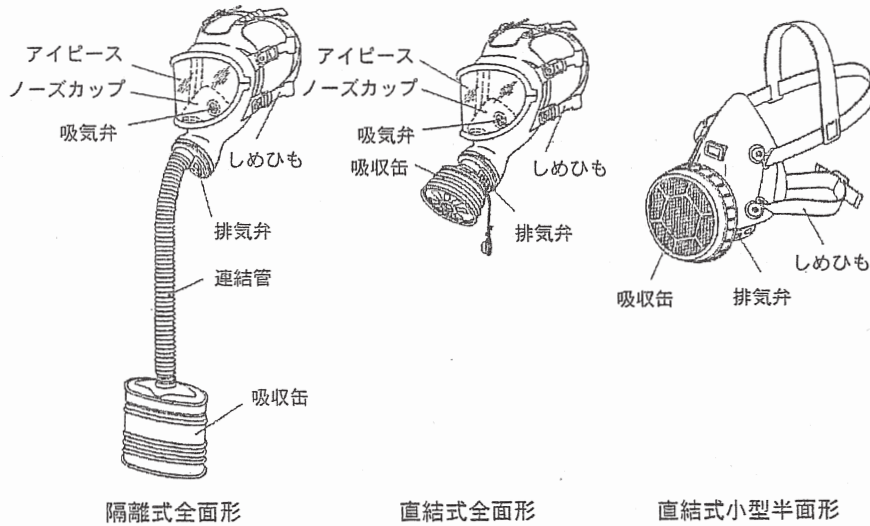


図6 防毒マスクの構造  
JIS T8152から

表1 防毒マスク用吸収缶の種類と性能試験の方法

| 防毒マスクの区分 (表示色) | 有害物質           | 試験ガス    | 濃度測定方法               |
|----------------|----------------|---------|----------------------|
| ハロゲンガス用 (灰・黒)  | ハロゲンのガスまたは蒸気   | 塩素ガス    | ガス吸収法 (液体捕集法)        |
| 有機ガス用 (黒)      | 有機化合物のガスまたは蒸気  | シクロヘキサン | ガス分析計 (FIDガスクロマトグラフ) |
| 一酸化炭素用 (赤)     | 一酸化炭素          | 一酸化炭素   | ガス分析計 (定電位電解法)       |
| アンモニア用 (緑)     | アンモニア          | アンモニア   | ガス分析計 (赤外線吸収光音響法)    |
| 亜硫酸用 (黄赤)      | 亜硫酸ガス          | 亜硫酸ガス   | ガス分析計 (紫外線パルス蛍光法)    |
| 亜硫酸イオウ用 (白・黄赤) | 亜硫酸ガスおよびイオウの蒸気 | 亜硫酸ガス   | ガス分析計 (紫外線パルス蛍光法)    |

毒マスクの規格は9条からなり、適用範囲・種類・材料・強度試験・構造・性能試験・表示等・適用除外について記されている。構造や強度試験についての規定は防じんマスクと近い。

#### ○ 性能試験

防毒マスクの試験は防じんマスクと異なり面体と吸収缶を別個に試験をする。防毒マスクとしての検定だけでなく、吸収缶単体の検定も行っている。ここでは吸収缶の試験の概略を示す。防毒マスクの規格で対象とする有害物質を表1に示す。これらの吸収缶を試験するための試験ガス蒸気についても表1に示した。性能試験では吸収缶にこれらの試験ガスを指定の濃度で通過させたとき、規定の時間下流でガスが指定濃度以下であればよい。試験ガス濃度はガスの種類と吸収缶の形態によって異なるが、例えば有機ガス用隔離式吸収缶では試験ガスであるシクロヘキサンの濃度が0.5%で100分間出口ガス濃度が5 ppm以下であればよい。図7に有機ガス発生装置の写真を示す。シクロヘキサンは常温では液体であるので、蒸発・凝縮法で温度を制御することで一定濃度のシクロヘキサン蒸気を発生している。図の奥は調湿装置であり、湿度50%の条件で測定を行っている。図8に試験ガスを通気するために恒温室内に設置した直結小型吸収缶(左)と隔離式吸収缶(右)を示した。

その他のガスはガスボンベから空気で希釈して図8に示すサンプルに供給している。表1に示すガス分析計の校正は拡散セルまたはパーミエーションチューブの重量変化をエレクトロバランスを用いて測定して得たガス濃度から別途行っている。

排気抵抗、吸気抵抗試験は防毒マスクでは面体のみを対象として流量40L/minでマスクの外側から内側へと内側から外側へ通気した場合の内外の圧力差を測定し、排気抵抗80パスカル以下、吸気抵抗は隔離式では70パスカル以下、直結式および直結小型では50パスカル以下でなければならない。この吸気抵抗は吸収缶の抵抗を含んでおらず、吸収缶については一般的なもの(一酸化炭素、亜硫酸いおう用を除く)では隔離式では250パスカル以下、直結式および直結小型では220パスカル以下でなければならない。したがって、例えば直結式小型防毒マスクでは合算して最大270パスカルになる可能性があり、防毒マスクは防じんマスクに比べかなり吸気抵抗が大きい。

## 5. おわりに

防じんマスク・防毒マスクの検定制度に関しても他の検定と同じく規制緩和、民間移行が指示されており、遠からずその方向に移行するものと思われる。また、国際

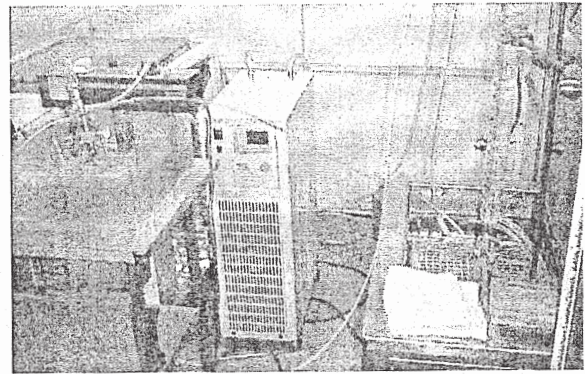


図7 有機ガス発生装置  
手前右が蒸発凝縮型の蒸気発生装置で後方左が調湿装置

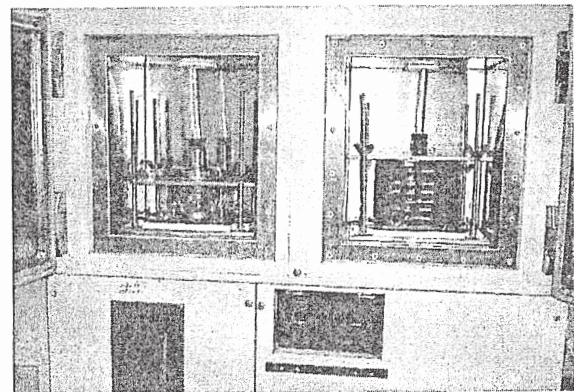


図8 試験のため恒温室内に設置した直結小型吸収缶(左)と隔離式吸収缶(右)

的整合性のある規格、市場開放による国際競争なども進むものと予測される。しかし、最近途上国で国内生産されている保護具にふれる機会があり、その努力は認めるものの品質的には日本製に比べ見劣りがした。このような製品も今後輸入される可能性がある。これらの新しい状況に接して、50年におよぶ保護具の検定制度を新しい世紀に適するような制度に移行するために先人に比すような奮闘が必要な時期に来ている。

#### 引用文献

- 1) 高野喜義、「防じんマスク・防毒マスクの歴史」、セイフティダイジェスト14, (10), 375-389, (1968)
- 2) 志賀四郎、「防じんマスクの変遷」、セイフティダイジェスト, 6, (8), 357-364, (1960)
- 3) 木村菊二、「わが国における防じんマスク(第1報) -1970年頃までの研究と規格-」、労働科学, 69, (10), 443-460, (1993)
- 4) 防じんマスク JIS T 8151 (1991)
- 5) 防じんマスクの規格 平成9年労働省告示第120号 (1997)
- 6) 防毒マスク JIS T 8152 (1994)
- 7) 防毒マスクの規格 平成8年労働省告示第1号 (1996)

## Equivalent Diameter of Standard Quartz Dust Used as a Test Aerosol for the Dust Respirator

Toshihiko MYOJO and Mitsumasa SUGIMOTO

*National Institute of Industrial Health  
Nagao, 6-21-1, Tama-ku, Kawasaki, 214 Japan*

(Received February 8, 1996 and in revised form April 23, 1996)

**Abstract:** In the standard of the approval test for dust respirator certification, test aerosols are defined as air containing quartz particles of 2  $\mu\text{m}$  or smaller<sup>1)</sup>. However, it is well-known that the filtration efficiency of air filters depends on the size of the test aerosol particles. Alternative test aerosols containing submicron size particles will be studied for use in future approval test of dust respirators. Before searching for alternatives, characterization of currently-used quartz dust, e.g. information about size and electrostatic charge of the aerosol particles, should be determined.

The currently-used approval test measures filtration efficiencies with a light scattering photometer. The photometer gives overall aerosol concentration, while Aerodynamic Particle Sizer (APS-33B, TSI Inc., St. Paul, U.S.A.) is able to give the number concentration for each particle size based on the aerodynamic diameter ranging from 0.9 to 2.0  $\mu\text{m}$ . In this study, equivalent diameter was defined as the diameter at which penetration has the same value when measured by APS-33B and by light scattering photometer. The equivalent diameter for the ten filter samples for dust respirator was around 1  $\mu\text{m}$ , irrespective of neutralization of the test aerosol.

**Key words:** Test aerosol — Dust respirator — Certification — Quartz dust

### INTRODUCTION

According to the current certification program for dust respirators<sup>1)</sup>, the performance of the filter has been evaluated using quartz dust. Until 1962, it had been tested by using limestone dust and filter performance was evaluated based on mass. More than three decades ago, a research and development project of National Institute of Industrial Health provided a high performance dust filter composed of wool felt coated with p-tert-butylphenol resin<sup>2, 3)</sup>. Accompanying the development of this filter, the evaluation method of filtration efficiency was changed to the light-scattering method using photometers. This evaluation method using light-scattering photometers and quartz dust was authorized as an item of the test standard for dust respirators in Japan.

The standards of dust respirators only specifies that the size of quartz particles must be less than 2  $\mu\text{m}$  in diameter. Consequently, even broad size distributions are allowable as the test aerosol particles as far as they satisfy the requirement. The results of the present performance test on filtration efficiency were reproducible. However, it is well-known that the filtration efficiency of air filter depends on the size of test aerosol particles. Furthermore, the light scattering photometer used to measure aerosol concentration is not size selective but its sensitivity depends on the size of test aerosol particles<sup>4, 5</sup>). The current test method mentioned above may exhibit poor filtration efficiencies for aerosols containing submicron size particles.

Johnston *et al.*<sup>6</sup>) measured the electrostatic charge distribution of quartz and other mineral dusts dispersed by four mechanical dispersers. The quartz particles were found to be predominantly negatively charged. The charge levels on quartz dust can not be disregarded when aerosols are used as standard test aerosols for the dust respirators. Further, quartz dust is well-known to be a toxic substance causing silicosis. We need to search alternative test aerosols that can be used for approval test of dust respirators.

Sodium chloride aerosol is already used in other performance tests of the respiratory protective equipment<sup>7-10</sup>), such as leakage rate test for facepieces of respirators<sup>7</sup>) and dust respirators for fine particles<sup>8</sup>) according to the Japanese Industrial Standard (JIS). This aerosol can be used as an alternative to quartz dust as a test aerosol. However, replacement of test particles may change the measured filtration efficiency, because the sodium chloride aerosol contains submicron size particles defined that more than 90% of aerosol particles must be smaller than 0.5  $\mu\text{m}$  in diameter.

The aim of this study is to determine the dominant size of quartz particles of the test aerosol used in the certification of dust respirators. In order to measure the filtration efficiency for each size range of test aerosol, an aerodynamic particle sizer (APS-33B, TSI Inc., St. Paul, U.S.A.) was combined with the instruments used for the standard performance test. Equivalent diameters of test aerosol particles used in the standard test were determined from the filtration efficiencies obtained by both APS-33B and standard light-scattering-photometers installed in the test system.

#### EXPERIMENTAL APPARATUS AND PROCEDURE

Figure 1 shows the system to measure the filtration efficiency of the dust respirators. During the collection efficiency test for dust respirators, the dust concentrations should be measured with photometers detecting the scattered light by aerosols. The instrument (AP634, Shibata Scientific Technology Ltd., Tokyo) used in this study was formerly used for national approval test at National Insti-



tute of Industrial Health. It is composed of a box to set up a test filter, two detectors of light scattering photometers upstream and downstream the sample, the electric power supply for the detectors, and an indicator for dust concentration. Before measurement of the filtration efficiency, the instrument was adjusted by ordinary checkup procedures for standard scattering intensity and photomultiplier dark current.

For the filtration efficiency test, two sampling probes for APS-33B were inserted upstream and downstream the instrument and were switched by two ball valves driven by air actuators. The sampling time period was two and a half minutes for each side. The inner diameter of the sampling lines and ball valves was 10 mm. In order to reduce inlet aerosol concentration to a range measurable by APS-33B, 1/100 diluter (TSI Inc. Diluter 3302) was added upstream APS-33B.

Aerodynamic Particle Sizer (APS-33B) measures aerodynamic diameter based on the flight time of the particle in the acceleration nozzle<sup>11)</sup>. In the accelerating flow field, larger particles fly slower than smaller particles due to inertia. Particles ranging from 0.5 to 30  $\mu\text{m}$  can be detected by this instrument.

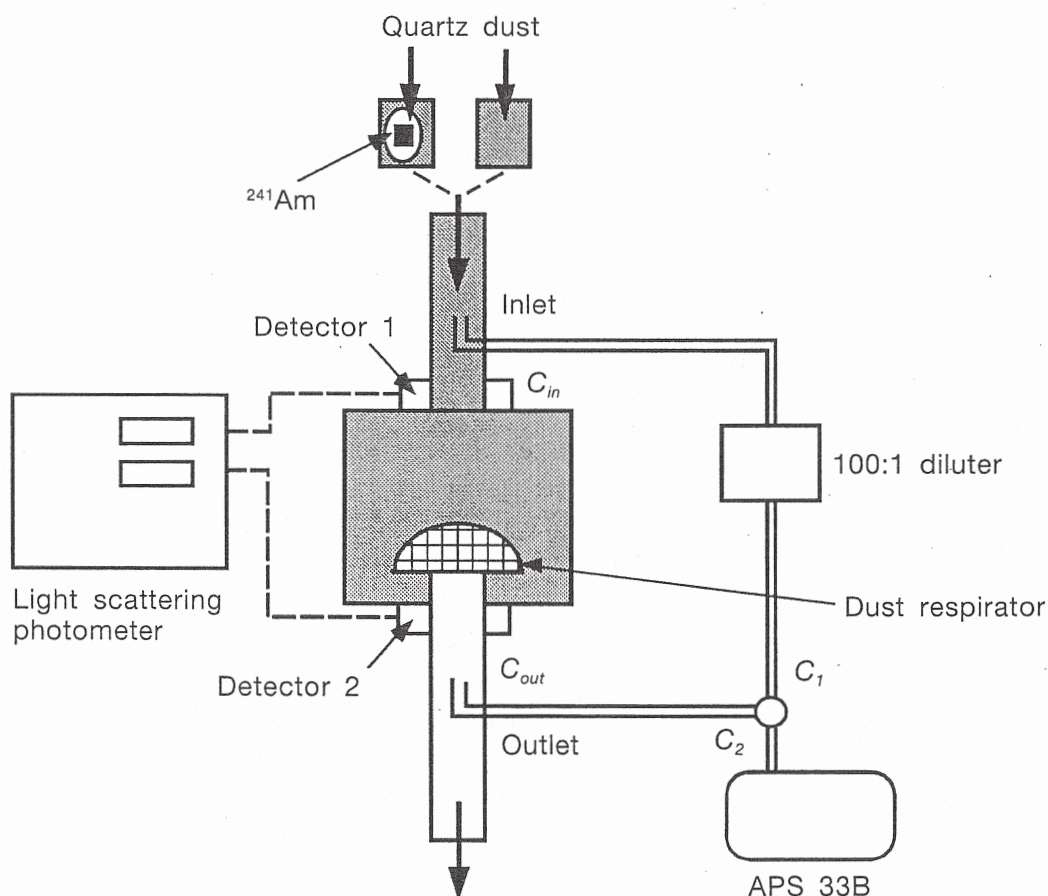


Fig. 1. Experimental apparatus to evaluate the filtration efficiency of air filters.

Chen and Willeke<sup>12)</sup> and Chen *et al.*<sup>13)</sup> have already examined the particle-size dependence of aerosol penetration through filtering facepieces and cartridge-type dust respirators. By measuring the penetration of corn oil aerosols from 1 to 4  $\mu\text{m}$  with APS-33B, and from 0.1 to 1  $\mu\text{m}$  with a laser aerosol spectrometer (LAS-X PMS Inc., Boulder, USA), they showed consistent data from these instrument.

Quartz powder is fed by an ejector type dust feeder (DF-5, Shibata Scientific Technology LTD., Tokyo), and then blown into a plenum chamber whose the volume was 27  $\text{m}^3$ . The quartz particles passed through the horizontal elutriator which removed particles of 2  $\mu\text{m}$  or more, and then were introduced into the test section shown in Figure 1. The inlet concentration of the test aerosol was kept about 5  $\text{mg}/\text{m}^3$  which was lower than the standard concentration of 30  $\text{mg}/\text{m}^3$  for the national approval test because 5  $\text{mg}/\text{m}^3$  is the minimum controllable concentration of the present generation system, and it is nearly the maximum measurable concentration for APS-33B without coincidence error. For some cases, radioisotope  $^{241}\text{Am}$  (3.7 MBq;  $\alpha$  ray source) was added upstream the test section to neutralize the electrostatic charges on dust particles.

Because this system can not control humidity, we have avoided days with extremely low or high humidity to generate the aerosol. The humidity in this study ranged from 30 to 60%RH.

In this study, six types of reusable filters and four types of filtering facepieces were used as test pieces. The filtration efficiencies of the eight pieces were measured for each type of filter. We define the equivalent diameter as the aerodynamic diameter of which penetration measured by APS-33B is the same as that measured by the photometers used for the approval test. If monodisperse quartz dust of equivalent diameters can be obtained as the test aerosol, both APS-33B and the photometers should indicate the same filtration efficiency for a test filter.

## RESULTS AND DISCUSSION

Before the filtration performance test, a filter holder was connected to the sampling line for APS-33B and the quartz particles of the test aerosol were collected on a Nuclepore filter to ascertain particle size. Figure 2 shows a scanning electron micrograph of the collected quartz dust. Particles prepared by any milling process are commonly irregular in shape. The aerodynamic diameter of a particle measured by APS-33B is defined as the diameter of a unit-density sphere that has the same settling velocity as the particle in question. In industrial hygiene, the aerodynamic diameter is widely considered the most important size parameter because it is closely related to the deposition of dust and mist in the respiratory tract. As these irregularly-shaped particles have void and absorbed water, actual density of such quartz particles, as shown in Figure 2 is difficult to determine.

The penetration  $P$  (%) and filtration efficiency  $F$  (%) can be defined as below.

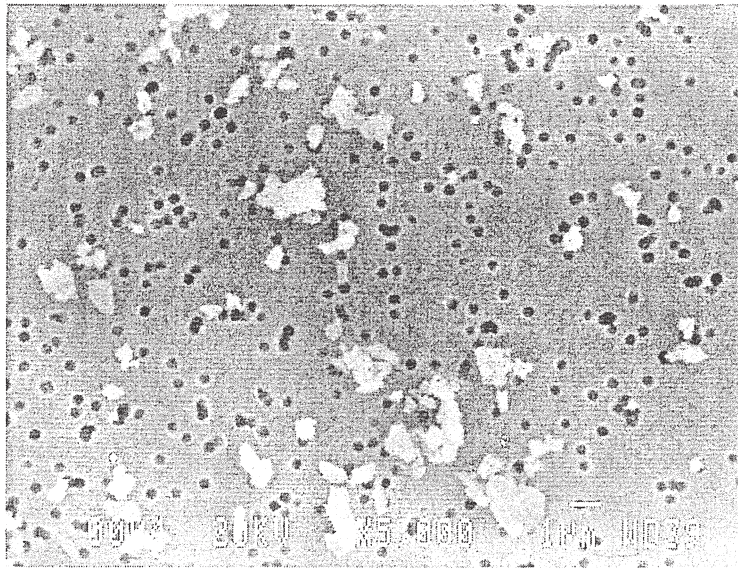


Fig. 2. Scanning electron micrograph of quartz particles collected on Nuclepore filter.

$$\begin{aligned} P &= 100 - F \\ &= (C_{\text{out}}/C_{\text{in}}) \times 100 \end{aligned} \quad (1)$$

where  $C_{\text{in}}$  and  $C_{\text{out}}$  are the concentrations upstream and downstream the test filter. However, as we used a dilutor for upstream sampling line, Equation (1) is changed as below.

$$P = (C_2/C_1 \cdot DL) \times 100 \quad (2)$$

$C_1$  and  $C_2$  are the concentrations measured by APS-33B from upstream line and downstream line as shown in Figure 1. DL is dilution factor.  $P = 100\%$ , it corresponds to without any filter, is substituted for Equation (1).

$$DL = C_2/C_1 \quad (3)$$

Figure 3 shows the relationship between aerodynamic diameter and dilution factor DL as defined in Equation (3). Our preliminary experiments revealed that the average dilution factor DL is 94.5 in this system. Although APS-33B can detect particles greater than  $0.5 \mu\text{m}$  in diameter, DL changed sharply for quartz particles with diameters smaller than  $0.9 \mu\text{m}$ . APS-33B might not count all of these small particles. The results of APS-33B in this system were valid for dust particles ranging from  $0.9$  to  $2.0 \mu\text{m}$ .

Figure 4 shows the relationship between aerodynamic diameter and penetration P through the test filters using quartz dust with and without neutralizer. The

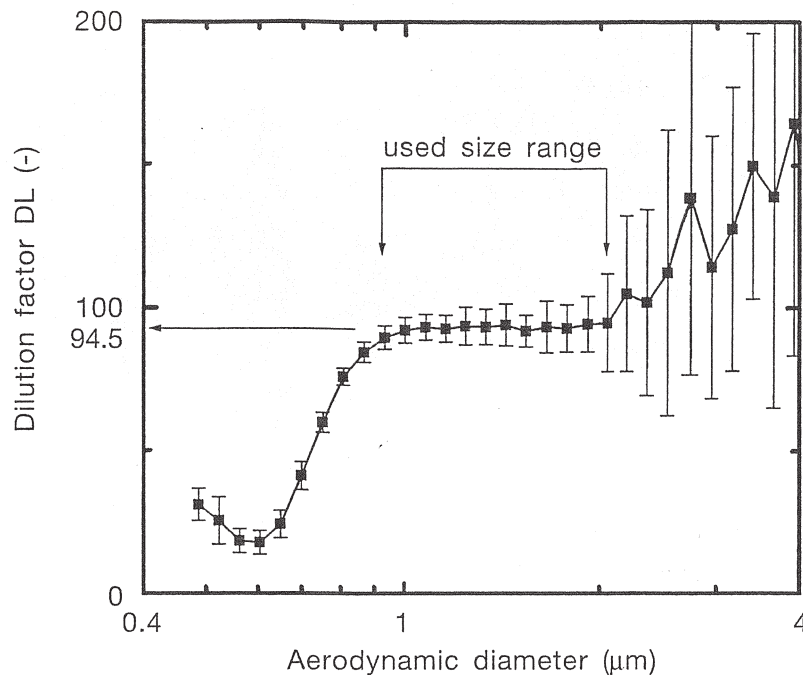


Fig. 3. Relationship between aerodynamic diameter of quartz particles and dilution factor DL. ( $DL = C_2/C_1$  without filter)

penetration of filters depends on the diameter of the aerosol particles. Error bars in the figure refer to the standard deviations of the eight test samples. Filter #1 and filter #2 in Figure 4 are typical examples among the ten types of filters, and both are made by the same manufacturer. Penetration largely depends on the type and brand of filters. The measured penetration curves for other filters showed different dependencies on particle diameter.

The results using neutralized dust show higher penetrations than when no neutralizer was used. This suggests that filter performance may be overestimated if electrostatic charge is not considered for the test aerosol.

The present standards of dust respirators do not account for electrostatic charge of test aerosol and the testing procedures are performed without the use of neutralizer. Powder dispersion in the air by the dust feeder induces electrostatic charges on the particles. The weak radioisotope used in this study may not emit enough a ray to achieve the equilibrium charge distribution due to the high concentration and the high flow rate of the test aerosol passing through the neutralizer. Further quantitative measurements are needed to clarify the relationship between electric charges on the particles and filtration efficiency.

Figure 5 shows the relationship between aerodynamic diameter and penetration of quartz dust. Filtration efficiency obtained from photometers are also shown in the figure. From the figure, the equivalent diameter is 1.0  $\mu\text{m}$  for filter #1 and 1.1  $\mu\text{m}$  for filter #2. This equivalent diameter is related to the sensitivity of the

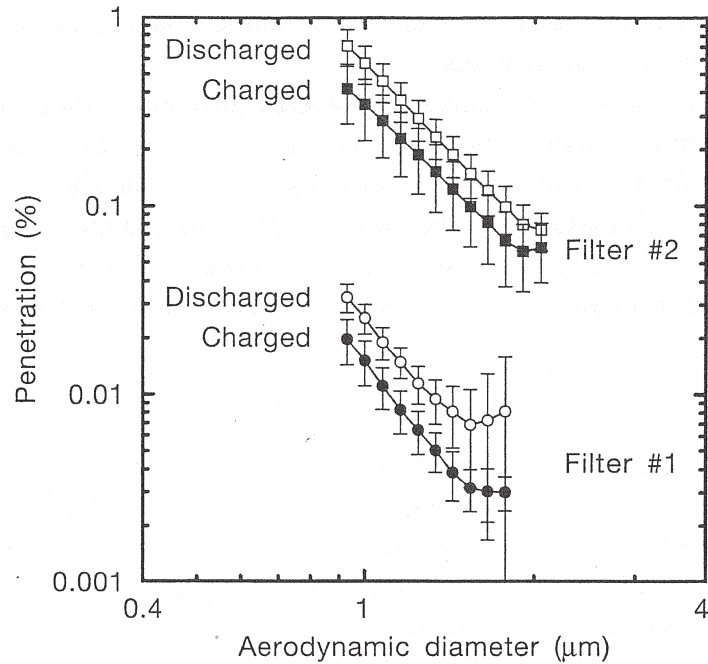


Fig. 4. Relationship between aerodynamic diameter and penetration of two test filters. The figure shows cases of normal test aerosol and aerosol discharged by  $^{241}\text{Am}$ .

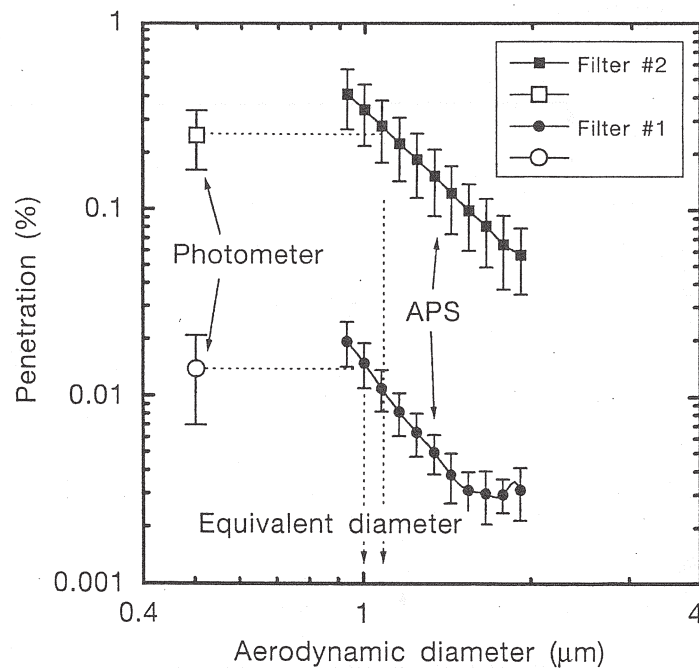


Fig. 5. The penetration of test filters as measured by APS-33B and light scattering photometers (AP634). Penetration by the photometers shows no information about particle diameter. The equivalent diameter is defined as the aerodynamic diameter measured by APS-33B, which shows the same penetration through the test filter as that measured by the photometer.

light scattering photometer, the penetration curve relationship to size, and the size distribution of the test aerosols.

In Figure 6, equivalent diameters indicated different values for the ten types of filters, with and without neutralizer as shown. Some test filters attract dust by electrostatic force, while others collect dust only by inertia and diffusion effects. All equivalent diameters for the test filters were around 1  $\mu\text{m}$  irrespective of neutralization of the test aerosol. The variance of the equivalent diameters in Figure 6 are attributable to the different dust collection mechanisms of each filter.

### CONCLUSION

This study indicates that the size of the quartz particles used in the current national approval test for dust respirators is equivalent to about 1  $\mu\text{m}$  of aerodynamic diameter. Recently, the high performance masks to remove submicron particles, for example welding fume, were demanded at many workplaces. In addition, the use of charged quartz dust may cause misunderstandings regarding the filter performance. Improvements in the testing methods prescribed in the present standards of dust respirators will be required in future. Equivalent diameter data for test aerosols will be useful to make comparisons between the filtration performance as measured by present test aerosol and when using alternative submicron test aerosols.

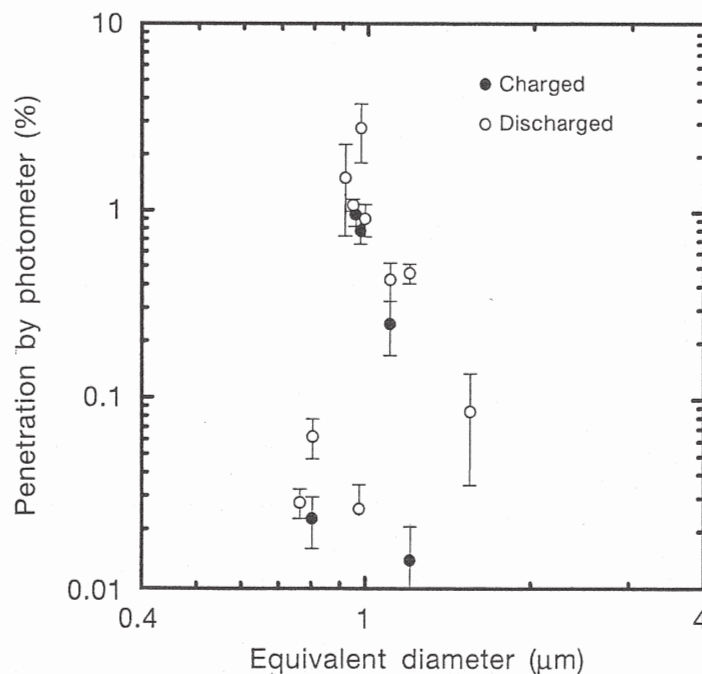


Fig. 6. Equivalent diameters of dust respirators. Penetration was measured by the light scattering photometer.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Mr. Takuro Sohma, Ms. Kanna Matsuura, and Mr. Makoto Shindo for their assistance.

## REFERENCES

- 1) Standards for dust respirators. The Ministry of Labour Japan, Notification No. 19 1988.
- 2) Koshi S. Studies on the high efficiency dust respirator. *Bull Nat Inst Ind Health* 1960; 3: 23-39.
- 3) Soda R. An investigation of molecular structure of the polymer synthesized from p-tert-butylphenol and formaline with ammonia by means of an infrared spectroscopy. *Bull Nat Inst Ind Health* 1960; 3: 40-55.
- 4) Koshi S. On the characteristics of the digital dust indicator. *Ind Health* 1960; 2: 189-207.
- 5) Homma K. Measuring method for mass concentration of suspended particulate matter. *Kankyō Jouhou Kagaku* 1978; 7: 30-7 (in Japanese).
- 6) Johnston AM, Vincent JH, Jones AD. Electrical charge characteristics of dry aerosols produced by a number of laboratory mechanical dispensers. *Aerosol Sci Tech* 1987; 6: 115-27.
- 7) Leakage rate testing method for facepieces of respirators. Japanese Industrial Standard JIS T-8159 1983.
- 8) Dust respirators for fine particles. Japanese Industrial Standard JIS T-8160 1993.
- 9) Respiratory protective devices—Particle filters—Requirements, testing, marking. European Standard EN 143 1990.
- 10) Respiratory protective devices. Code of Federal Regulations Title 42 Part 84, Public Health Service, U.S.A. 1995.
- 11) Remiarz RJ, Agarwal JK, Quant FR, Sem GJ. Real-time aerodynamic particle size analyzer. The Proceedings of the International Symposium on Aerosols in the Mining and Industrial Work Environment. Minneapolis: Ann Arbor Science, Michigan 1983; 3: 879-95.
- 12) Chen CC, Willeke K. Aerosol penetration through surgical masks. *Am J Infect Cont* 1992; 20: 177-84.
- 13) Chen CC, Ruuskanen J, Pilacinski W, Willeke K. Filter and leak penetration characteristics of a dust and mist filtering facepiece. *Am Ind Hyg Assoc J* 1990; 51: 632-9.

# Comparative Study of Challenge Aerosols for Performance Test for Dust Respirators

Toshihiko MYOJO\* and Mitsumasa SUGIMOTO

National Institute of Industrial Health, 21-1, Nagao 6-chome, Tama-ku, Kawasaki 214, Japan

*Received June 13, 1997 and accepted July 28, 1997*

**Abstract:** A comparative study of challenge aerosols was conducted to review a performance test for dust respirators. The national approval test for dust respirator certification in Japan requires that air containing quartz particles of smaller than 2  $\mu\text{m}$  in diameter should be used as the test aerosol. Aerosols with broad size distributions may therefore be used as the test aerosols. In view of the international harmonization of respirator certification standards, it is necessary to use alternative test aerosols for the approval test for dust respirators. The present study was undertaken to measure the collection efficiency of filters by using three kinds of test aerosols, i.e., quartz dust, sodium chloride and dioctyl sebacate mist aerosols. We used the cartridges of dust respirators and filtering facepieces from eight Japanese and foreign manufacturers, all of which have been certified by the national approval test. Good correlation among the measured collection efficiencies was found for the three test aerosols, but penetrations with sodium chloride and dioctyl sebacate mist aerosols were more than 10 times those of quartz dust aerosol.

**Key words:** Test aerosol, Dust respirator, Certification

## Introduction

According to the current certification program for dust respirators<sup>1)</sup>, the standards for dust respirators specify only that the quartz particles must be less than 2  $\mu\text{m}$  in diameter. The present performance test of filtration efficiency has been continued for three decades, but it is known that the filtration efficiency of an air filter depends on the size of test aerosol particles. Furthermore, a light scattering photometer is used to measure the total aerosol concentration but its sensitivity depends on the size distribution of test aerosols.

In our previous study<sup>4)</sup>, the equivalent diameter was defined as the aerodynamic diameter at which penetration has the same value when measured with an Aerodynamic Particle Sizer (APS-33B, TSI Inc., St. Paul, U.S.A.) and with a light scattering photometer. The equivalent diameter for the ten filter samples for dust respirator was around 1  $\mu\text{m}$  for quartz particles. The standards for dust respirators

mentioned above should exhibit poor filtration efficiencies for aerosols containing submicron size particles, such as welding fumes and oil mist. Furthermore, quartz dust is known to be a toxic substance causing silicosis. We need to search for alternative test aerosols that can be used in the approval test for dust respirators.

Sodium chloride (NaCl) aerosol has already been used in other performance tests, i.e., the respiratory protective equipment in Japanese Industrial Standard, the standard for particulate filters (EN 143) in the European Union, the NIOSH standard for air-purifying particulate respirators in the USA (42 CFR Part 84) and others<sup>5-9)</sup>. Oil mist aerosols, i.e., dioctyl phthalate (DOP), dioctyl sebacate (DOS), and paraffin oil, are also widely used for test of dust filters including those in dust respirators. These potential alternative aerosols contain mainly submicron size particles.

Flow rate through test filters is also an important factor in the performance test. The current standard flow rate is 30 l/min, the same as the average flow rate in the inspiratory flow in human breathing. However, the new NIOSH standard

\*To whom correspondence should be addressed.



on air purifying particle respirators (42 CFR Part 84) requires 85 l/min and the European Standard for particulate filters (EN 143) chooses 95 l/min as the peak inspiratory flow rate.

The aim of this study is to compare the performances of three test aerosol particles, i.e., quartz dust, NaCl and DOS mist, based on the filtration efficiencies of filters of two test flow rates.

## Experimental Apparatus and Procedure

Figure 1 is a schematic diagram of the system for measuring the filtration efficiency of the dust respirators. During the test, the dust concentrations are measured with photometers (AP634, Shibata Scientific Technology Ltd., Tokyo) which detect the scattered light by aerosols and was adopted in the past for national approval test. It is composed of a box to install a test filter, two light scattering photo-detectors upstream and downstream the test filter, the electric power supply for the detectors, and an indicator which shows the dust concentration.

The sampling probe was inserted to measure the size distribution of test aerosols. When the inlet aerosol concentration was too high for the instruments to measure it, a 1/100 diluter (TSI Inc. Diluter 3302, USA) was used,

as shown in Figure 1. A differential mobility analyzer (DMA; size range from 0.01 to 0.3  $\mu\text{m}$ ), optical particle counter with a pulse height analyzer (OPC; RION, KC01A with KH02, Tokyo; size range from 0.3 to 5.0  $\mu\text{m}$ ), and scanning electron microscope (SEM; JEOL, JSM 6100, Tokyo) were used to measure the size distribution. The size analysis of SEM photographs was performed on Power Macintosh 7100/66AV computer using NIH Image program developed at National Institutes of Health and available from the internet anonymous FTP from zippy.nimh.nih.gov.

In this study, 30 l/min was adopted as the basic flow rate through the respirator. Also we measured the filtration efficiency at 85 l/min which was chosen as the NIOSH standard for comparing air-purifying particulate respirators with each other.

Quartz dust, NaCl aerosol and DOS mist aerosols were generated as test aerosols separately. Quartz powder was fed by an ejector type dust feeder (Shibata Scientific Technology LTD., DF-5 type, Tokyo), and then blown into a plenum chamber. The quartz particles passed through the horizontal elutriator which removed particles 2  $\mu\text{m}$  in diameter or larger, were then introduced into the test section shown in Figure 1. The inlet concentration of the test aerosol was kept at about 5 mg/m<sup>3</sup> which was lower than the standard

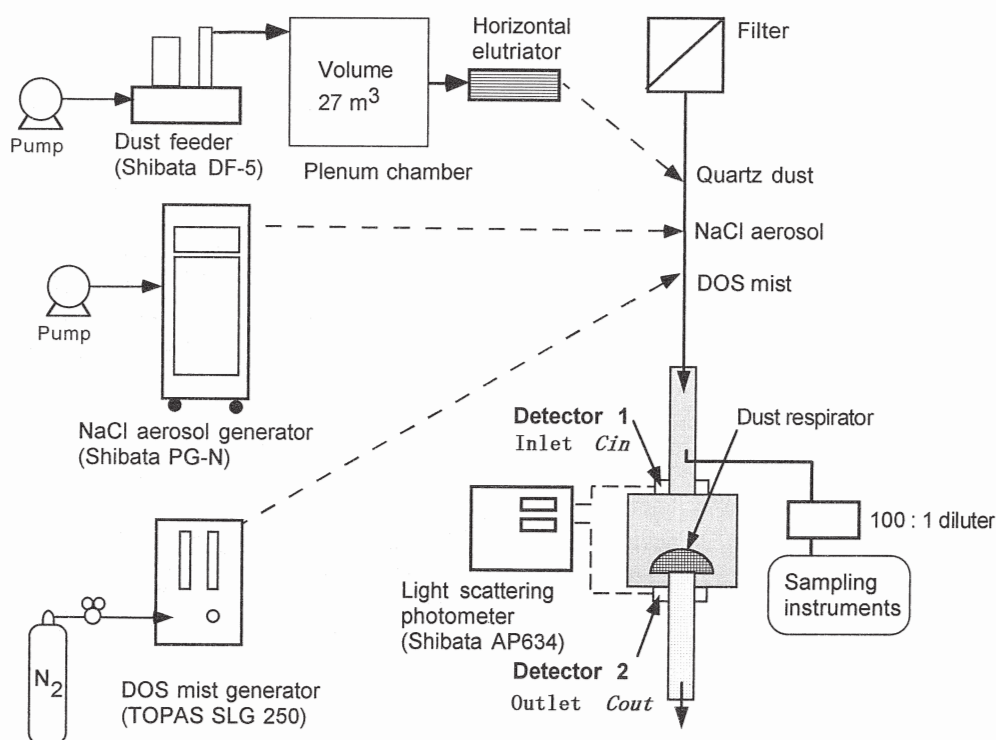


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

concentration of  $30 \text{ mg/m}^3$  required for the national approval test. The neutralizer for electrostatic charges on dust particles was not added in this study. To avoid the undesirable or unexpected effects of humidity, the experiment was carried out when the humidity ranged from 30 to 60%RH.

The NaCl aerosol was generated by an aerosol generator (Shibata Scientific Technology Ltd., PG-N type) which nebulized 10% and 1% water solutions of sodium chloride and dried them. The inlet concentration of the test aerosol was kept about  $30 \text{ mg/m}^3$  at 30 l/min and 10% solution.

Similarly, DOS mist aerosol was generated by SLG 250 aerosol generator (TOPAS, Germany) which vaporized DOS with sodium chloride nuclei and then reheated it to be monodispersed. The company provided data showing that a particle size range from 0.1 to  $5 \mu\text{m}$  can be covered with geometric standard deviations  $\sigma_g$  less than 1.15 for DOS. DOS aerosol of  $0.3 \mu\text{m}$  in diameter was used. The sizes distribution of DOS aerosol were monitored by an OPC. The inlet concentration was kept around  $10 \text{ mg/m}^3$  at 30 l/min.

In this study, 16 types of filters and filtering facepieces were used as test pieces. These filters and filter cartridges from eight Japanese and foreign manufacturers have been certified in Japan. Felt type filters for reusable dust respirators were tested with original facepieces which were fixed onto the holders with silicon glue. One unit of filter cartridges was mounted and tested without a facepiece. The filtering facepieces were fixed on the flange shaped mounter with silicon glue, as in the ordinary certification procedure.

The filtration efficiencies of the four pieces were measured and averaged for each type of filter. In order to avoid a dust load on the filters, new test filters were used for each test and measured filtration efficiencies for 5 min from one minute after the beginning. The correlation between the filtration efficiencies was checked for the three test aerosols.

## Results and Discussion

Before the filtration performance test, the aerosol particles of quartz and NaCl were collected on a Nuclepore filter to ascertain particle size. Figure 2 (a) is a SEM photograph of the collected quartz dust. The quartz particles prepared by any milling process are usually irregular in shape.

Figure 2 (b) is a SEM photograph of NaCl particles that collected on a Nuclepore filter. The NaCl aerosol made by 10% solution was observed under dry conditions. Most of the particles are of single cubic shape and there were no aggregation of particles even at a concentration as high as

around  $30 \text{ mg/m}^3$ .

A projected area equivalent diameter was measured as representative diameter of quartz using the image analyzing software. The count median diameter is  $0.63 \mu\text{m}$  and the geometric standard deviation,  $\sigma_g$ , is 1.8, as shown in Figure 3. As the density of quartz is  $2.5 \text{ g/cm}^3$ , the calculated aerodynamic diameter of quartz dust is around  $1 \mu\text{m}$ . This is in good agreement with the equivalent diameter reported previously<sup>4)</sup>.

Two kinds of NaCl aerosol were generated using 10% and 1% water solutions of sodium chloride. Size distributions of NaCl aerosol determined by means of DMA and the image analyzing software are also shown in Figure 3. The step method of DMA developed by Adachi *et al.*<sup>10)</sup> was used in

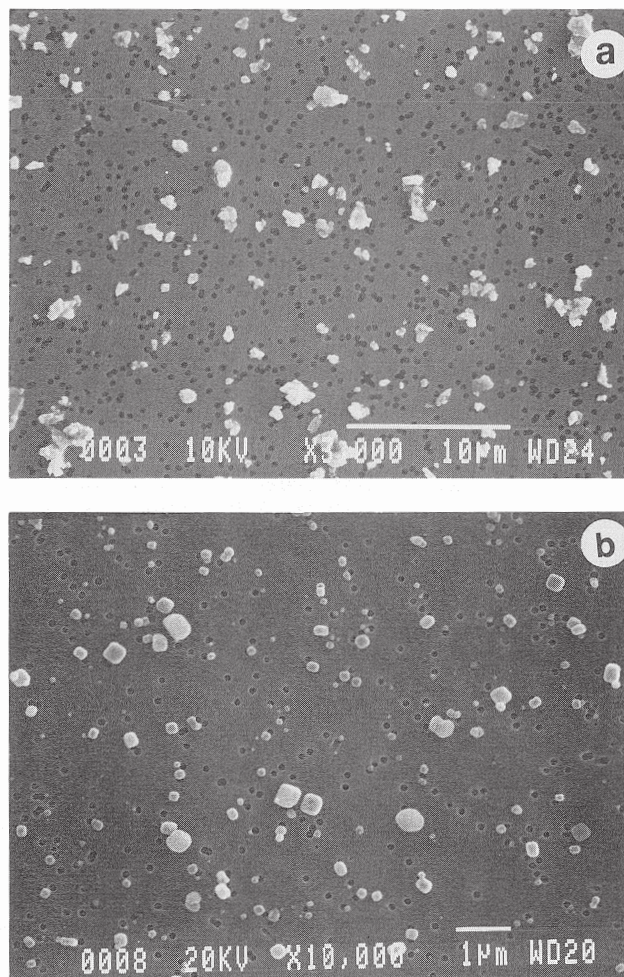


Fig. 2. SEM photographs of dust particles collected on Nuclepore filter

(a) quartz dust (magnification  $\times 3,000$ ), (b) NaCl aerosols particles (magnification  $\times 10,000$ ).

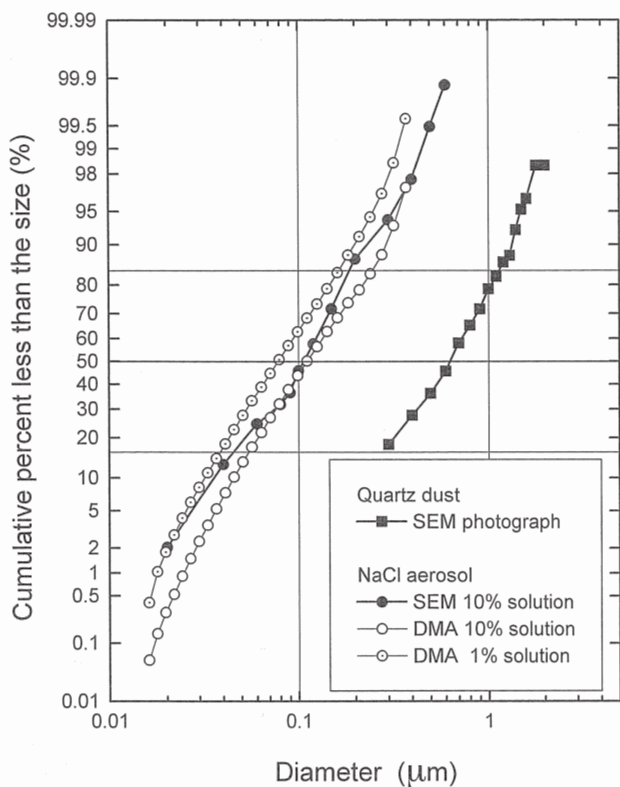


Fig. 3. Size distributions of quartz dust and two kinds of NaCl aerosols

this measurement. The results obtained by SEM and DMA show the same count median diameter; 0.1 μm for a 10% solution of sodium chloride. The geometric standard deviation, σg, is 1.8 determined by SEM photographs. The count median diameter is 0.07 μm for a 1% solution by DMA.

The penetration P (%) and filtration efficiency F (%) can be defined as below.

$$P = 100 - F = (C_{out} / C_{in}) * 100 \tag{1}$$

where C<sub>in</sub> and C<sub>out</sub> are the concentrations upstream and downstream the test filter. Penetration largely depends on the type and brand of filters. We classified the test filters into two groups: electrostatic and mechanical types. The electrostatic type includes all filtering facepieces and nonwoven filters in which electrostatic charges were applied to their fibers and particles mainly removed by the electrostatic force. The mechanical type filters were made of fine glass fibers and packed in a cartridge and did not carry any charges.

Figure 4 shows the correlation between penetrations through the same test filters using quartz dust and NaCl

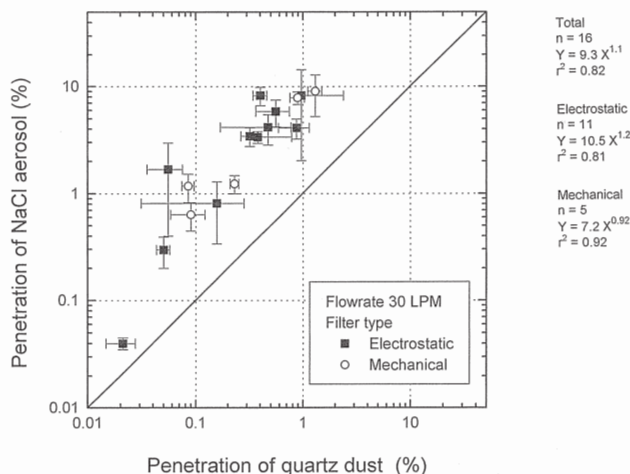


Fig. 4. The correlation between penetrations of test filters by quartz dust and NaCl aerosol at 30 l/min n is the sample number and r is the correlation factor.

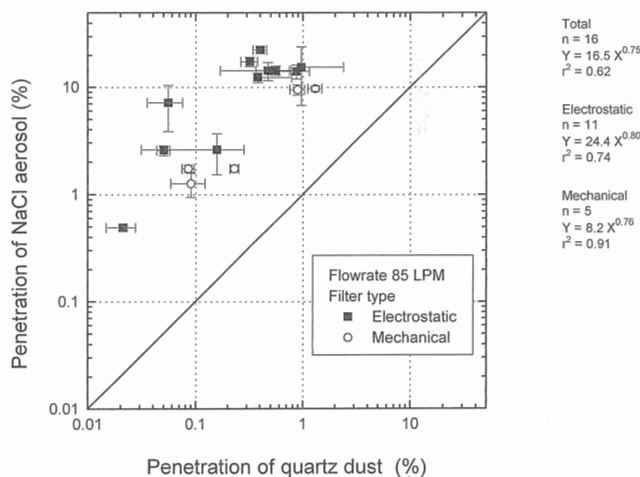


Fig. 5. The correlation between penetrations through test filters by quartz dust at 30 l/min and NaCl aerosol at 85 l/min

aerosol at 30 l/min. Error bars in the figure refer to the standard deviations of the four test pieces. The penetration by NaCl aerosol is almost 10 times the penetration by quartz dust. There is no difference of the penetration between electrostatic and mechanical filters.

Figure 5 shows the correlation between penetrations through the same test filters using quartz dust at 30 l/min and NaCl aerosol at 85 l/min to compare the Japan standard with the USA standard for dust respirators. For the electrostatic type filter, the penetration by NaCl aerosol at 85 l/min jumped up 25 times the penetration measured by the current standard, but the penetrations of mechanical filters

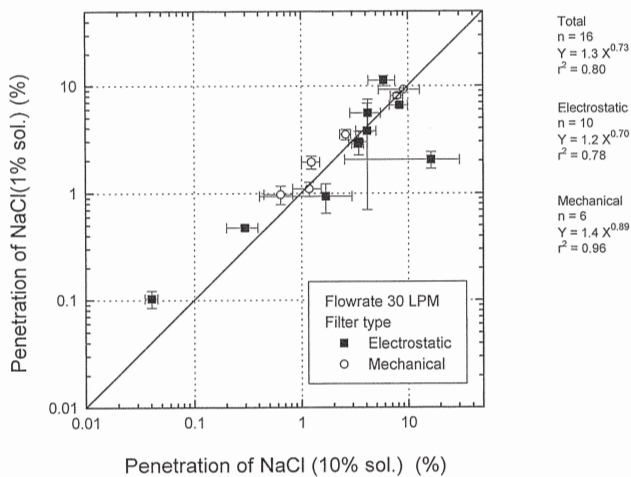


Fig. 6. The correlation between penetrations of test filters by two kinds of NaCl aerosols at 30 l/min

The aerosols were generated using 10% and 1% water solutions of sodium chloride.

at 30 and 85 l/min were similar to each other. 5% as the maximum penetration, that is, more than 95% as filtration efficiency, is a criterion of the present certification program. In general, an increase in the flow rate increases the filtration efficiency for large particles ( $>1 \mu\text{m}$ ) due to the inertia effect but decreases the filtration efficiency for small particles ( $<1 \mu\text{m}$ ) due to the diffusion and electrostatic effects.

Figure 6 shows the correlation between penetrations using two kinds of NaCl aerosols at 30 l/min. The NaCl aerosol using 1% solution had smaller in size than that of 10% solution, as shown in Figure 3. However, these aerosols shows similar penetrations for the test filters. And no difference between both type of filters was detected in penetration. Since filtration efficiency of air filters depends on the size of the test aerosol particles, light scattering photometers may not be able to detect very fine particles less than  $0.1 \mu\text{m}$  in diameter. It is easy to obtain a higher aerosol concentration with a 10% solution than with a 1% solution. To generate challenge aerosols, 1 or 2% solution is widely used for dust respirator certification<sup>7-9</sup>). If the penetrations are the same, a 10% solution is more favorable than a 1% solution on accuracy of measurement and the dust load test.

Figure 7 shows the correlation between penetrations through the same test filters using NaCl aerosol and DOS mist at 30 l/min. The calculated mass median diameter of NaCl aerosol obtained with the Hatch equation is  $0.28 \mu\text{m}$ , similar to the diameter of DOS mist. Both aerosols which contained submicron particles dominantly are comparable

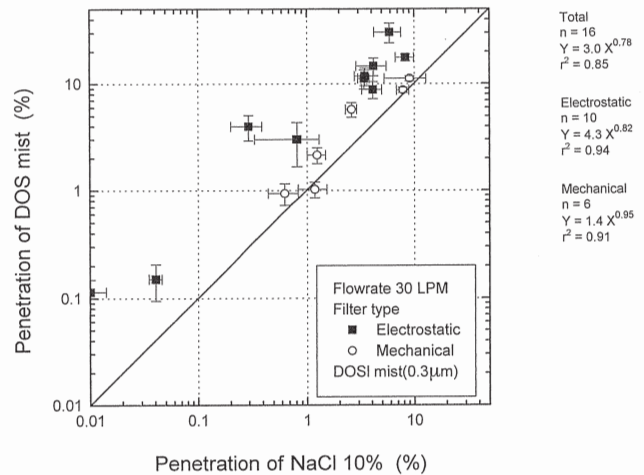


Fig. 7. The correlation between penetrations of test filters by NaCl aerosol and DOS mist at 30 l/min

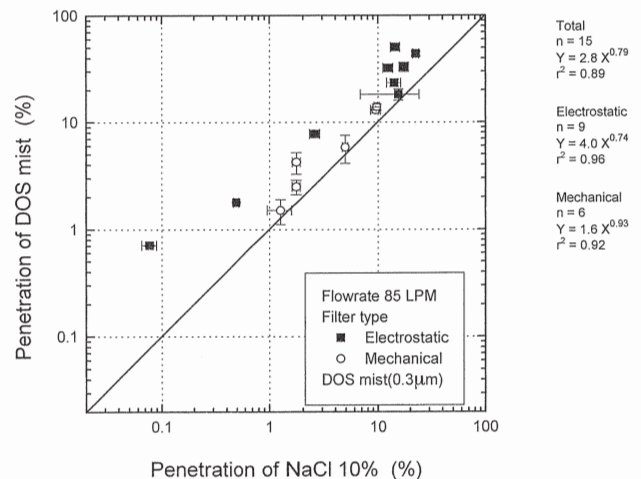


Fig. 8. The correlation between penetrations of test filters by NaCl aerosol and DOS mist at 85 l/min

with each other in penetration. For the electrostatic type filter, the penetration of DOS aerosol is 4.2 time greater than the penetration of NaCl aerosol but the penetrations of mechanical filters using NaCl and DOS mist were similar to each other. Figure 8 shows the same correlation between penetrations using NaCl aerosol and DOS mist aerosol at 85 l/min. The results are almost the same as in Figure 7. The reason for the high penetration of DOS through electrostatic filter is that DOS mist cover the fiber surface after deposition, and weaken the electrostatic effect of the filter fiber<sup>11</sup>), but solid particle has no such effect.

The data on the correlation among test aerosols will be useful in estimating filtration efficiencies of each test aerosol

and in reviewing the certification program. As we have no international standard for the certification of respirators, nominal values of filtration efficiency or penetration are depend deeply on the certification procedure, i.e., test aerosols and test instruments. Only way to equalize the criteria for various certification programs is exchanging some test filters. Because the filters for dust respirators have a huge variety, such as filter structure, filtering area and its material, filters actually used in respirators are recommended as test samples rather than artificial standard filters.

### Conclusion

A comparative study of challenge aerosols, quartz dust, NaCl aerosol and DOS mist, revealed that the penetrations of test filters NaCl aerosol and DOS mist were more than ten times those by standard quartz dusts used in the current national approval test, because submicron particles are dominant in the two test aerosols. Nowadays, the high performance masks to remove submicron particles, for example welding fume, are requested from many workplaces. Improvements in the testing methods prescribed in the present standards for dust respirators will be required in the near future.

### References

1) The Ministry of Labour Japan (1988) Notification No.

- 19 Standards for dust respirators.
- 2) Koshi S (1960) On the characteristics of the digital dust indicator. *Ind Health* **2**, 189–207.
  - 3) Homma K (1978) Measuring method for mass concentration of suspended particulate matter. *Kankyou Jouhou Kagaku* **7**, 30–7 (in Japanese).
  - 4) Myojo T, Sugimoto M (1996) Equivalent diameter of standard quartz dust used as a test aerosol for the dust respirator. *Ind Health* **34**, 217–25.
  - 5) Japanese Industrial Standard JIS T-8159 (1983) Leakage rate testing method for facepieces of respirators.
  - 6) Japanese Industrial Standard JIS T-8160 (1993) Dust respirators for fine particles.
  - 7) European Standard EN 143 (1990) Respiratory protective devices-Particle filters-Requirements, testing, marking.
  - 8) Code of Federal Regulations Title 42 Part 84, Public Health Service, U.S.A. (1995) Respiratory protective devices.
  - 9) Australian/New Zealand Standard AS/NZS 1716, (1994) Respiratory protective devices.
  - 10) Adachi M, Okuyama K, Kousaka Y, Moon SW, Seinfeld JH, (1990) Facilitated aerosol sizing using the differential mobility analyzer. *Aerosol Sci and Technol* **12**, 225–39.
  - 11) Kanaoka C, (1989) Time dependency of air filter performance. *J Aerosol Res Japan* **4**, 256–64.

DMA, CNCを用いたエアロゾル粒度分布の  
迅速測定法の一つの試み

明星敏彦

労働省産業医学総合研究所人間工学特殊研究部

エアロゾル研究 第14巻 第2号 pp. 154 - 157 (1999) 別刷

日本エアロゾル学会

## DMA, CNCを用いたエアロゾル粒度分布の 迅速測定法の一つの試み

明星 敏彦\*

### A Rapid Measurement Method for Aerosol Size Distributions Using DMA and CNC

Toshihiko MYOJO\*

Received 24 December 1998

Accepted 26 February 1999

**Abstract**—To accelerate measurement of particle size distributions by a differential mobility classifier (DMA) with a condensation nuclei counter (CNC), a computer-controlled rapid stepping mode was developed as an operation method. The rod voltage of DMA was varied stepwise every 6 seconds to select particles with a given mobility. Thirty aerosol concentrations were measured within 200seconds. Our system showed a 12 second time-delay between voltage shift and aerosol concentration response. After adjustment of the time-delay, the size distribution ranging from 0.014 to 0.373  $\mu\text{m}$  was determined by a stepping mode analysis (Adachi, 1990). For polystyrene latex aerosol and sodium chloride aerosol, the size distributions measured with the rapid stepping mode agreed with those measured by the ordinary stepping mode.

**Key Words** : Aerosol, Differential Mobility Classifier, Condensation Nuclei Counter, Scanning Mobility Particle Sizer.

#### はじめに

溶接ヒューム，ディーゼル排ガス中の粒子，たばこ煙などサブミクロンの粒子に対する健康影響に関心が高まっている。これらのエアロゾルの粒径別濃度のモニタリング，フィルタ，空気清浄機などの集塵装置の捕集性能の評価に微分型電気移動度分級装置（DMA），凝縮核計数器（CNC）の組み合わせによるエアロゾル測定装置が用いられている。エアロゾルの粒度分布測定においては電気移動度（粒径）に対応した電圧をDMAに印加後，粒子数を測定し，これを測定対象粒径範囲で10から30回電圧を変化させながら繰り返すステップ法と呼ばれる測定方法が始めに開発された<sup>1-4)</sup>。このステップ法による測定時間は1分布あたり30分ほ

ど必要となり，フィルタの捕集効率測定などでの実用性に乏しい。

DMA, CNCの組み合わせによりエアロゾルの粒度分布を短時間で測定する方法も Adachi ら<sup>5)</sup> により開発されたステップ法による測定法，Wang and Flagan<sup>6)</sup> による印加電圧を連続的に変化させるスキャニングモードによる測定法，さらに測定を高速化した Endo ら<sup>7)</sup> の方法が発表され，実用化されている。これらの方法は通常のステップ法で30から60分近く必要であった粒度分布測定時間を1分近くまで短縮することが可能となってきた。数分の測定時間であれば光学粒子カウンタ（OPC）などと同等の結果を得ることができる。Wang and Flagan によって開発された SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) は，TSI 社より市販され，0.01-0.3  $\mu\text{m}$  範囲のエアロゾル測定器として幅広い分野で用いられている。スキャニングモードにおいて測定で生じる分布の歪みについても続けて研究されている<sup>8)</sup>。しかし，CNC の能力もあり，SMPS で安定した分布を得るためには通常3分間ほど測定時間が必要と

\*労働省産業医学総合研究所人間工学特性研究部 主任研究官  
(〒214-8585 川崎市多摩区長尾6-21-1)

\*Senior Researcher, Department of Human Engineering,  
National Institute of Industrial Health  
6-21-1 Nagao, Tama, Kawasaki 214-8585

考える。SMPSは商品として一般化したがる、これまでのステップ法には一定体積中のある電気移動度の粒子の数を計測する単純さという利点がある。

本研究では現在のDMAとCNCの組み合わせでステップ法はどの程度測定時間を短縮できるか、その限界以上に短縮した場合どうなるかについて検討した。その結果を用いてステップ法を一部調整することで、短時間で粒度分布が測定可能な迅速ステップ法と名付けた操作方法を提案した。

### 実験装置と方法

Fig.1にDMAとCNCからなる粒度分布測定装置を示す。測定部はロッド径30mm、内径50mm、有効ロッド長さ400mmの二重円筒型の自製のDMA、CNC (TSI Inc., model 3022), 負高電圧電源(松定プレジジョン(株), HVL-10N)およびコンピュータ(EPSON,

PC 386 note W)からなる。この装置構成はTSI社のSMPSとDMAの形状は異なるものの本質的に同じである。有効ロッド長さ400mmを気流が通過する時間はFig.1に示す条件では2.7秒である。印加電圧はAdachiら<sup>5)</sup>の方法に従い、電気移動度 $Z_p$ で $1.0 \times 10^{-6}$ から $3.7 \times 10^{-9}$  ( $m^2/sV$ )の間を(電圧で33Vから9,238V, 粒径で $0.014$ から $0.373 \mu m$ ,  $\Delta Z_p = 0.2$ ) 29ステップ設定し、電圧を順次増加させる方向で計測した。30ステップ目は0Vに設定し、粒子数は0とした。この粒径範囲はフィルタの粒径別捕集効率を測定することを目指して設定した。粒度分布と総粒子数の解析は同じくAdachiらの方法で行った。一定時間間隔ごとにコンピュータからCNC内蔵のD/A出力にアナログ電圧値を出力させ、その電圧を高電圧電源で増幅してDMAに印加し、CNCで測定した粒子濃度をコンピュータに取り込む。電圧を順次増加させながら、以上の命令を繰り返すプログラムをMicrosoft Quick Basic ver.4.5で作成した。プログラム中でステップの周期は1秒間隔で変更可能である。

Fig.2に自動化した場合の時間経過とDMA電圧およびCNCの濃度取り込みのタイミングを示した。コンピュータはCNCに蓄積されている直近の2秒間の粒子数( $300 cm^3/min$ の流量で $10 cm^3$ の体積中)を取り込む。ステップ法では電圧設定の後、十分な時間が経過し系が定常状態に達してから粒子数を取り込むので電圧(mobility)と濃度の関係は対応している。一方、この時間間隔(ステップ周期)を次第に短くすると電圧とCNCで計数する濃度には図の迅速ステップ法で示されるような時間遅れが生じると予想される。この遅れ時間は測定系全体の特性であり、実測する必要がある。

試験用エアロゾルは $0.100 \mu m$ の単分散ポリスチレンラテックス粒子(PSL粒子, 日本合成ゴム製)を2回蒸留水に分散したものを実験日ごとに作成し、ガラス製ネブライザで噴霧乾燥して得た。同様に濃度0.1%, 1%, 10%の食塩水を噴霧乾燥して得た食塩エアロゾルも用いた。

### 結果と考察

Fig.3(a)にステップ周期を60秒から3秒まで次第に短くした場合の各ステップごとの粒子濃度を示した。試験エアロゾルの $0.100 \mu m$  PSL粒子は十分な時間が経過した場合、第20ステップ( $0.111 \mu m$ ,  $Z_p = 2.2 \times 10^{-8} m^2/sV$ )にピークを示す。しかし、ステップ周期が20秒を切ると次第に後段のステップでピークが観察され、また、ピークの形も鈍くなるのがわかる。Fig.3(a)

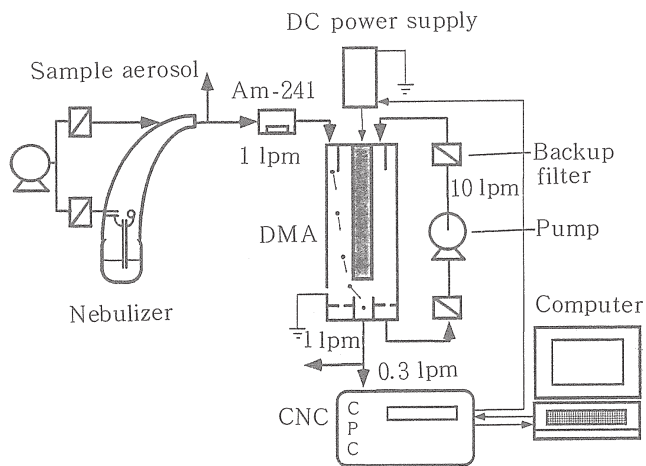


Fig.1 Differential mobility classifier (DMA) with condensation nuclei counter (CNC).

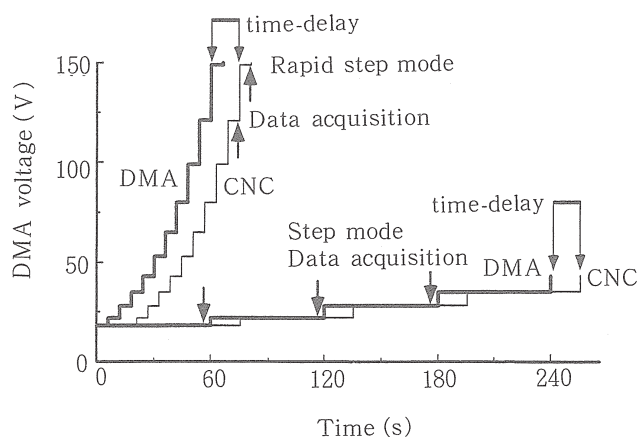


Fig.2 Conceptual diagram on the time chart of DMA voltage change and its time-delay in CNC.



から遅れ時間を12秒として図を再度描いたものがFig. 3 (b)である。ステップ周期12秒以下の線はそれぞれ12秒分ステップを移動させている。各ステップが粒径に対応するので重要な変更であるが、各線のピークは第20ステップに集まることがわかる。

濃度変化の時間遅れを計測するために $0.1\ \mu\text{m}$ のPSL粒子のピークがある第20ステップ前後の電圧変化による濃度の時間変化を計測した。Fig. 4に電圧を変化させた場合の2秒ごとの粒子濃度を示した。図は電圧0Vから第19ステップの電圧(1,241V)を100秒、第20ステップの電圧(1,517V)を100秒印加した場合と、電圧0Vから第20ステップの電圧を100秒、第21ステップの電圧(1,855V)を100秒印加した場合の結果を示している。濃度が増加、減少する場合ともにここで用いた装置系では単純な時間遅れが約6秒、濃度が一定するのに要する時間が約6秒であることがわかる。前

者の遅れは系のエアロゾルの通過時間、後者は配管やCNC内での混合によるものと考ええる。このことはFig. 3 (b)の12秒の時間遅れとはほぼ一致している。しかし、この遅れ時間やその要素はDMA, CNCなど装置が異なれば違った結果となると考えられる。高電圧用の信号電圧設定と実際の印加電圧の間の遅れ時間については濃度の変化に比べ十分に短いとして測定しなかったが、0ではない。

Figs. 3, 4の結果から、一定周期でDMAの電圧設定とCNCからの濃度の取り込みを行うプログラムを用いて迅速に粒度分布を測定する方法として3つの方法を考えた。

- 1) ステップ法での最短の時間と考えられる20秒周期で計測する。
- 2) 12秒の周期で計測し、1ステップ(12秒の系の遅れ時間)の遅れと見なす。

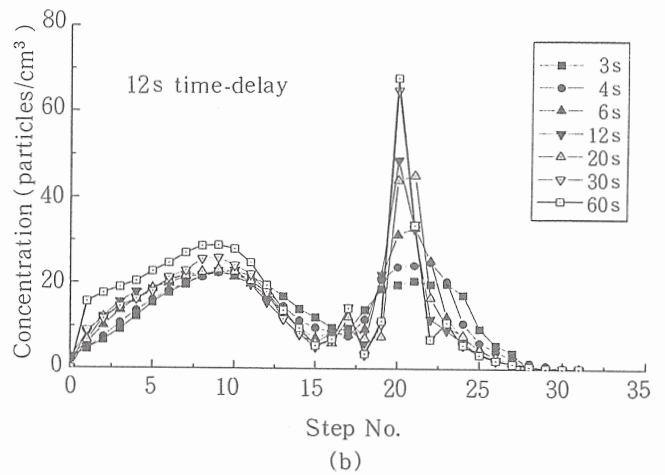
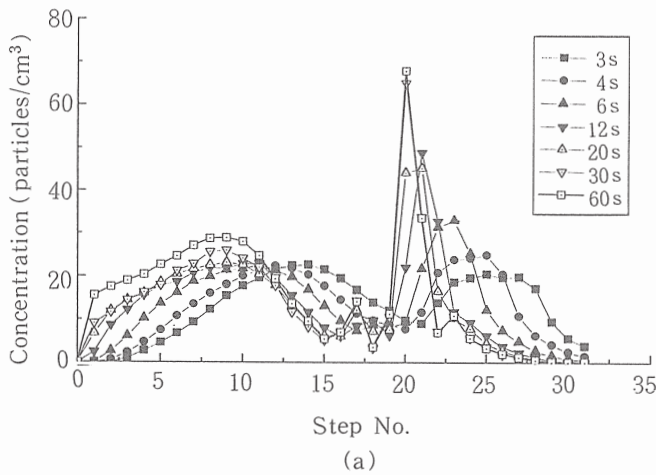


Fig. 3 Polystyrene latex aerosol concentrations at 31 steps of mobility measured by DMA with CNC. (a) is row data, and (b) is after time-delay adjustment.

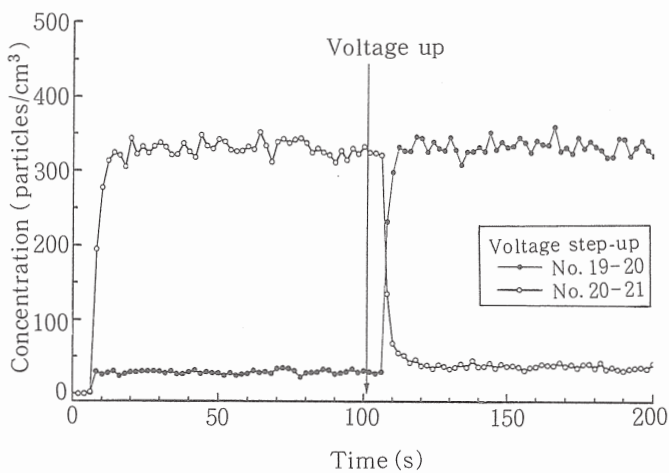


Fig. 4 Time response of aerosol concentration at voltage shift of DMA rod.

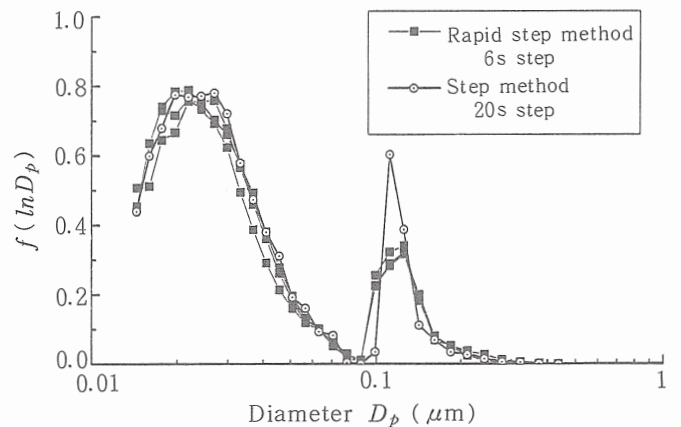


Fig. 5 Size distributions of polystyrene latex particle aerosol ( $0.100\ \mu\text{m}$ ) generated by glass nebulizer. Rapid stepping method takes 3 and half min and the stepping mode does 10 min.

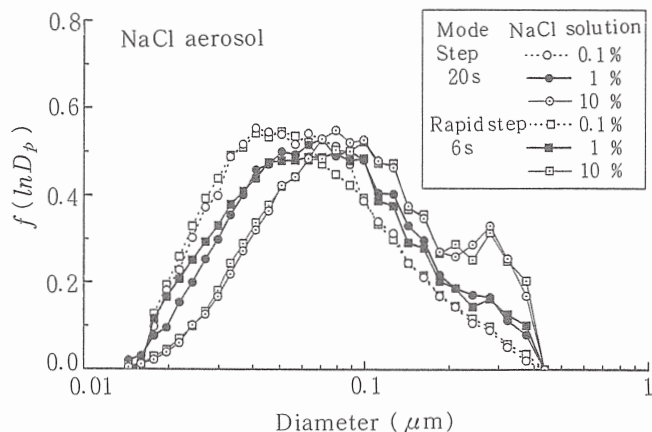


Fig.6 Size distributions of sodium chloride aerosol measured by step mode and rapid step mode.

3) 6秒の周期で計測し、2ステップの遅れと見なす。以上の中で1)のステップ法と3)の印加電圧を1ステップにつき6秒間隔で変化させ、約4分弱ですべて計測するという迅速なステップ法(迅速ステップ法)を試みた。迅速ステップ法では最終ステップ(電圧9,238V)においては3ステップ分延長して測定を行う。

Fig.5に0.100 $\mu\text{m}$ のPSL粒子エアロゾルの粒度分布を計測した結果を示す。ここではAdachiらの解析手法を用いて、測定粒径を0.013から0.43 $\mu\text{m}$ まで計算している。0.1 $\mu\text{m}$ 付近のピークがPSLの粒子を示し、それ以下の粒子は粒子を分散している液に由来すると考える。0.100 $\mu\text{m}$ のPSL粒子エアロゾルのピークが0.11 $\mu\text{m}$ 付近にあることはKnutson and Whitby<sup>1)</sup>の結果と同じである。迅速ステップ法と従来のステップ法(1ステップ20秒)は同じ粒度分布を示すが、迅速ステップ法ではCNCや配管内での混合などにより0.1 $\mu\text{m}$ のピークが鈍ることがわかる。0.196 $\mu\text{m}$ のPSL粒子エアロゾルを用いた結果もFig.5と同様であった。

Fig.6に多分散粒子からなる食塩エアロゾルの粒度分布の測定結果を示す。噴霧した食塩水の濃度の増加に伴い、平均粒径も増加していることがわかる。しかし、ステップ法による測定結果(○)と迅速ステップ法の結果(□)ではほとんど粒度分布に差はみられない。個数基準の幾何平均径は0.1%食塩水では0.06 $\mu\text{m}$ 、1%で0.08 $\mu\text{m}$ 、10%で0.10 $\mu\text{m}$ であった。また幾何標準偏差は1.8であった。この粒径分布は走査型電子顕微鏡写真の画像計測で得られた面積相当の平均径とも一致した<sup>9)</sup>。

ステップ法は1ステップ60秒と1ステップ20秒とで大きな違いは見られなかったが、1ステップ20秒でも測定には10分以上必要である。ここで示した迅速ステップ法では3分30秒の測定時間で0.02から0.3 $\mu\text{m}$ の粒径範囲について測定が可能である。

## ま と め

DMAとCNCを用いたエアロゾルの粒度分布測定においてステップ法による測定法を見直した。ステップ法では最短20秒間隔で濃度測定を行うことができることがわかった。

さらに、迅速ステップ法と呼ぶ方法を提案した。この迅速ステップ法では粒径0.014から0.373 $\mu\text{m}$ の範囲で29点に分割して粒度分布を測定する場合、210秒で測定を終了する。この方法では単分散エアロゾルではピークが鈍るが、通常のエアロゾルではステップ法と同等の粒度分布を得ることができることを確認した。4分弱の計測時間であればエアフィルタや空気清浄機の捕集性能の計測に十分応用可能である。

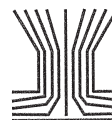
## 謝辞

本研究を始めるにあたり、大阪府立大学先端科学研究所の足立元明博士にDMAを用いた粒度分布解析法について懇切にご教示いただいたことを深く感謝する。

## References

- 1) Knutson, E. O. and Whitby, K. T.: *J. Aerosol Sci.*, **6**, 443-451 (1975)
- 2) Hoppel, W. A.: *ibid.*, **9**, 41-54 (1978)
- 3) Alofs, D. J. and Balakumar, P.: *ibid.*, **13**, 513-527 (1982)
- 4) Kousaka, Y., Okuyama, K. and Adachi, M.: *Aerosol Sci. and Tech.*, **4**, 209-225 (1985)
- 5) Adachi, M., Okuyama, K., Kousaka, Y., Moon, S. W. and Seinfeld, J. H.: *ibid.*, **12**, 225-239 (1990)
- 6) Wang, S. C. and Flagan, R. C.: *ibid.*, **13**, 230-240 (1990)
- 7) Endo, Y., Fukushima, N., Tashiro, S. and Kousaka, Y.: *ibid.*, **26**, 43-50 (1997)
- 8) Russell, L. M., Flagan, R. C. and Seinfeld, J. H.: *ibid.*, **23**, 491-509 (1995)
- 9) Myojo, T.: *Ind. Health*, **35**, 502-507 (1997)

Aerosol Science and Technology 30:30-39 (1999)  
©1999 American Association for Aerosol Research  
Published by Taylor and Francis  
0278-6826/99 \$12.00 + .00



## A Simple Method to Determine the Length Distribution of Fibrous Aerosols

*Toshihiko Myojo*

NATIONAL INSTITUTE OF INDUSTRIAL HEALTH, MINISTRY OF LABOUR, JAPAN  
NAGAO 6-21-1, TAMA, KAWASAKI, 214-8585, JAPAN

# A Simple Method to Determine the Length Distribution of Fibrous Aerosols

*Toshihiko Myojo*

NATIONAL INSTITUTE OF INDUSTRIAL HEALTH, MINISTRY OF LABOUR, JAPAN  
NAGAO 6-21-1, TAMA, KAWASAKI, 214-8585, JAPAN

---

**ABSTRACT.** We present a new method for determining the length distribution of fibrous aerosols based on the theoretical finding that penetration of fibrous particles through a set of wire mesh screens depends only on the ratio between fiber length and the opening size of the mesh. The validity of the method is supported by both Monte Carlo simulation of particle motion through a set of mesh screens and experimental results.

When a log-normal distribution is assumed for the fiber length of a fibrous aerosol, this method is capable of indicating a count median length (CML) range of 5–80  $\mu\text{m}$  using data on penetration through each set of 4 wire mesh screens: 100, 200, 325, 500, 635 mesh and 10  $\mu\text{m}$  screen. The method is less sensitive for the geometric standard deviation  $\sigma_g$  of fiber length distribution than for CML.

---

## INTRODUCTION

Fibrous particles are characterized by their fiber length and fiber diameter. Inhaled fibers are associated with certain lung diseases including asbestosis, mesothelioma, and lung cancer. It has been suggested that fiber length is a primary factor in determining the toxicity of fibers (Pott 1978), but this has not been verified because of the lack of reliable measurement or length-dependent separation techniques for fibers. The fiber length or aspect ratio is a less sensitive indicator of particle motion than fiber diameter and orientation to the direction of flow. The aerodynamic behavior of spheroids under viscous conditions was solved theoretically by Oseen (1927) and described by Fuchs (1964). Cox (1970) presented a direct computation of aerodynamic diameter for a cylinder falling under viscous conditions. Experimental measurement of fiber deposition has been carried out in horizontal

elutriators (Timbrell 1965, Gallily and Eisner 1979, Griffiths and Vaughan 1986, Iles 1990), centrifuges (Stober, Flachsbarth, and Hochrainer 1970), and impactors (Burke and Esmen 1978, Prodi et al. 1982) for a variety of fiber types.

Hochrainer et al. (1978), Griffiths et al. (1985) and Baron et al. (1994) showed that long fibers could be separated from shorter fibers in a special electrical field using their classifiers. Fiber alignment in an electrical field also has been used to detect the fiber component of airborne particles. Lilienfeld et al. (1979) and Lilienfeld (1985) have developed a fibrous aerosol monitor (model FAM-1, MIE Inc., Bedford, MA, USA), although the FAM requires calibration by counting of fibers with a phase-contrast light microscope. A newer model of the FAM called the FM-7400 (MIE Inc., Bedford, MA, USA) uses light scattering to estimate fiber length according to theory developed by Lilienfeld (1987).

Marijnissen et al. (1996) indicate that the FM-7400 data agrees well with SEM measurements. Spurny et al. (1979) considered it most effective to use the effect of interception for classifying the lengths of fibers, and tried to use microsieves with mesh openings ranging from 5  $\mu\text{m}$  from 50  $\mu\text{m}$ . Gentry et al. (1980) measured the collection efficiency of straight-pore (Nuclepore) filters for fibrous aerosols and showed that irrespective of the flow velocity, the collection efficiency was constant.

Myojo and Kohyama (1990), Myojo (1991) and Myojo (1998) used wire mesh screens as length classifiers to obtain samples of short fibers from UICC chrysotile. Wire mesh screens are suitable for collection of long fibers due to the effect of interception, because these have a regular structure, sufficient strength, and high porosity compared with straight-pore filters. In order to classify a significant amount of fibers for biological experiments, cleaning mechanisms for fibers which accumulated on the screens had an important role in these papers, complicating the theoretical analysis of the classification process. However, if we focus on the fiber collection process on clean wire mesh screens, a simple measurement method for the length distribution of fibrous aerosols is suggested using the relationships among fiber length, mesh opening, and penetration of fibrous aerosols through mesh screens.

In this study, the process of fiber collection through wire mesh screens was simulated using a personal computer. The simulation results were then compared with experimental data using three kinds of fibrous aerosols. From our findings, we propose a new method for measuring the count median length of fibrous aerosols.

## SIMULATION

### *Model of Fiber Collection Using Wire Mesh Screens*

Gallily and Cohen (1979), Gallily and Eisner (1979), Gallily et al. (1986), and Foss et al.

(1989) precisely calculated the flight trajectory of fibrous particles near collectors, such as spheres, cylinders or holes. From their results, the collection efficiency was found to be a function of the initial angle of fiber orientation to the direction of flow and of the Stokes number. The collection efficiency depended on the initial orientation, but the correlation between the initial orientation and the collection efficiency was not very strong.

Previous workers have calculated the motion of fibers accurately but have not specifically determined penetration through each screen. To simplify the simulation of penetration through wire mesh screens, the author assumed that the collection of fibrous aerosols could be described as follows. A conceptual diagram is also shown in Figure 1.

1. A model mesh screen without the thickness (i.e.,  $\epsilon = 100\%$ ) is introduced. Therefore flow near the screen is not disturbed by the wires.
2. The fibrous particles are distributed randomly over the infinite front surface of the mesh screen.
3. The fibers interrupted by this model wire mesh screen are all collected identically on a real wire mesh screen.
4. Fiber diameter  $D_f$  is sufficiently small to allow any inertia effects to be ignored and for the fibers to be collected by interception.
5. The collection process is independent at each wire mesh screen. When the penetration of a wire mesh screen is  $P$ , the penetration of  $N$  layers is  $P^N$ .
6. Collected fibers on the screen do not affect later collection process, that is, fiber collection on clean wire mesh screen is simulated.

### *Simulation of Fiber Motion by the Monte Carlo Method*

The fibrous particles passing through the model mesh screen ( $\epsilon = 1$ ) in Figure 2 were simulated using the Monte Carlo technique as follows. The distance  $W$  was chosen as the representative

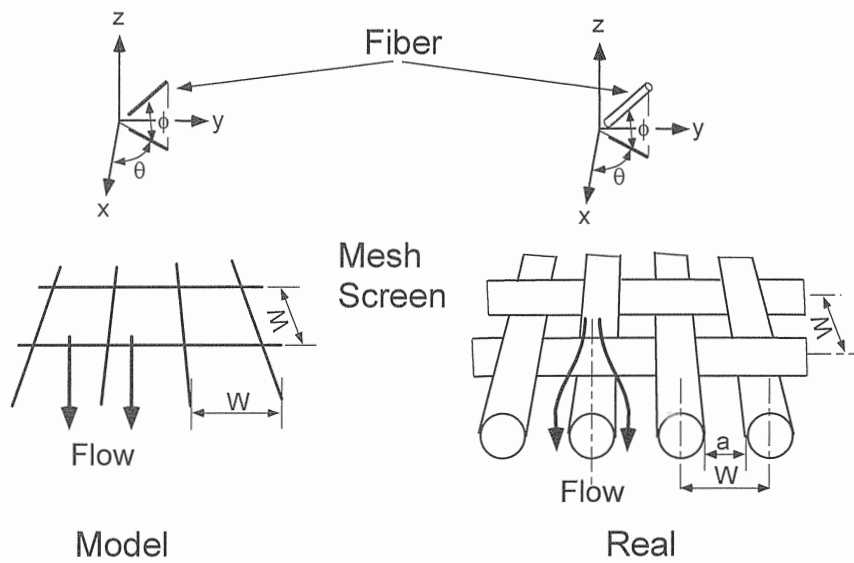


FIGURE 1. Conceptual diagram of fibers introduced into real and model mesh screens.

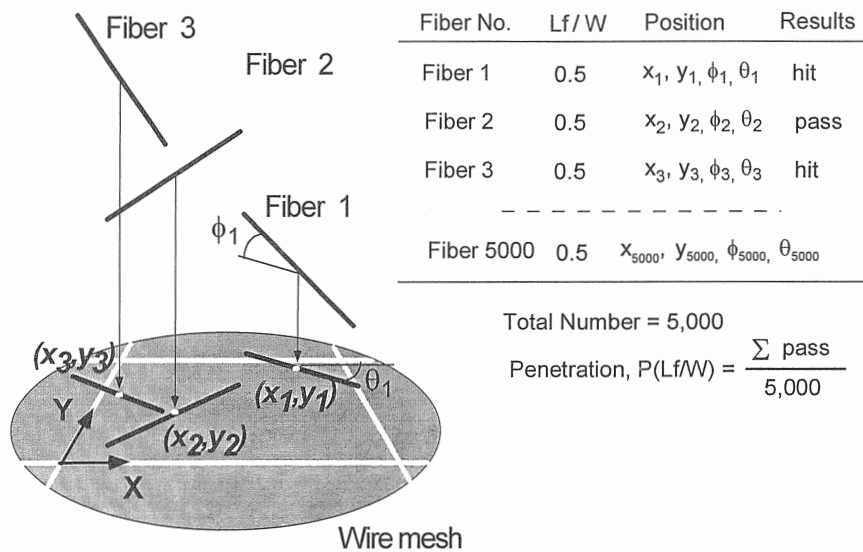


FIGURE 2. Conceptual diagrams of generated fibers at Monte Carlo method. Total number of generated fibers were 5,000 at this study. The position  $(x, y, \theta, \phi)$  of each fiber was given by uniform random numbers.

length of this system. Simulations were carried out for nine sets of dimensionless fiber length  $L_f/W$  ranging from 0.15 to 5.0. The fibers shown in Figure 2 were distributed uniformly and randomly upstream from the mesh surface. The range of distribution was  $0 < x/W < 1$ ,  $0 < y/W < 1$ ,  $0 < \theta < \pi$  and  $0 < \phi < \pi/2$ . Uniform random numbers were generated by the RND function of Quick Basic 4.5 (Microsoft).

Ten kinds of initial value were used as argument of the RND function.

When the projection image of the fiber to the  $X - Y$  plane touched or crossed the model mesh screen, the fiber was assumed to be collected. For a given  $L_f/W$  value, 5000 trials were performed and penetration of the mesh screens,  $P(L_f/W)$  was calculated by counting the fiber numbers at the inlet and outlet of the screen.

### Method for Measuring the Count Median Length of Fibers

Nine values of  $P(L_f/W)$  were obtained by the above simulation method. The simulation results were partly supported by the results of previous experimental studies (Myojo 1991, Myojo 1998). Consequently, it was possible to determine the length distribution of fibrous aerosols using wire mesh screens by the following procedure. The value of the penetration for arbitrary  $L_f/W$  values was calculated from the data for nine simulated values using the Third Spline Interpolation.  $W$  in Table 1 was substituted into  $L_f/W$ . The measured values of  $W$ ,  $a$ , and  $\epsilon$  of the mesh screens used in this study are shown in Table 1. When the fibrous aerosols pass through  $N$  layers of wire mesh screens, the accumulated count of fibers, with lengths ranging from 0 to  $L_f$ , is expressed as below.

$$q(L_f, W) = \int_0^{L_f} P(L_f/W)^N f(L_f) d(\log L_f) \quad (1)$$

When the total count of inlet fibers for the whole range of fiber length is set at unity, the total count of fibers passing through the screens,  $Q(W)$ , is shown by Equation (2).

$$Q(W) = \int_0^{\infty} P(L_f/W)^N f(L_f) d(\log L_f) \quad (2)$$

The logarithmic normal distribution is adopted as  $f(L_f)$ .  $f(L_f)$  is defined by the values of CML and  $\sigma_g$ . Equation (2) can be calculated

by numerical integration. Thus, it is possible to determine the length distribution of fibrous aerosols using the calculated results.

## EXPERIMENTAL METHOD

### Penetration Through Wire Mesh Screens

In order to prove the simulation results, penetration of glass fiber aerosols was measured using four kinds of wire mesh screen. A fluidized bed aerosol generator was used to generate the glass fiber aerosols (Myojo 1983), and the aerosols were passed through  $^{85}\text{Kr}$  neutralizer to neutralize the electrical charge of the particles.

Figure 3 shows the experimental set-up used to obtain the penetration through the wire mesh screens. Mesh screens made of stainless steel wire, shown in Table 1, were used as test filters in this study. Four layers of mesh screens 40 mm in diameter were set up, with a 5-mm gap between the layers. As the gap between the layers is much larger than the fiber size, the collection process at each layer should be independent. An approach velocity of 0.27 m/s was chosen to reduce the effect of inertia. Aerosols at the inlet and outlet of the test filter were sampled by a straight-pore filter (pore size 0.2  $\mu\text{m}$ ) at a flow rate of 16.7  $\text{cm}^3/\text{s}$ .

Since the fiber loading on mesh screens decreased the penetration, our method was only valid for clean mesh screens. Each wire mesh screen was cleaned by distilled water and dried before use. (Deposited fibers on the screens were removed easily by distilled water washing compared with usual sieve cleaning.) The

TABLE 1. Dimensions of wire mesh screen.

| No. | Mesh No.           | $W(\mu\text{m})$ | $a(\mu\text{m})$ | $\epsilon(-)$ |
|-----|--------------------|------------------|------------------|---------------|
| 1   | 100                | 257 ± 12         | 162.4 ± 10.8     | 0.40          |
| 2   | 200                | 129 ± 6.5        | 78.3 ± 6.3       | 0.37          |
| 3   | 325                | 78.9 ± 6.7       | 44.2 ± 5.9       | 0.31          |
| 4   | 500                | 52.0 ± 2.7       | 26.7 ± 2.8       | 0.26          |
| 5   | 635                | 40.1 ± 3.6       | 19.5 ± 2.4       | 0.24          |
| 6   | 10 $\mu\text{m}^*$ | 24.6 ± 0.19      | 10.3 ± 0.15      | 0.18          |

\* = microsieve

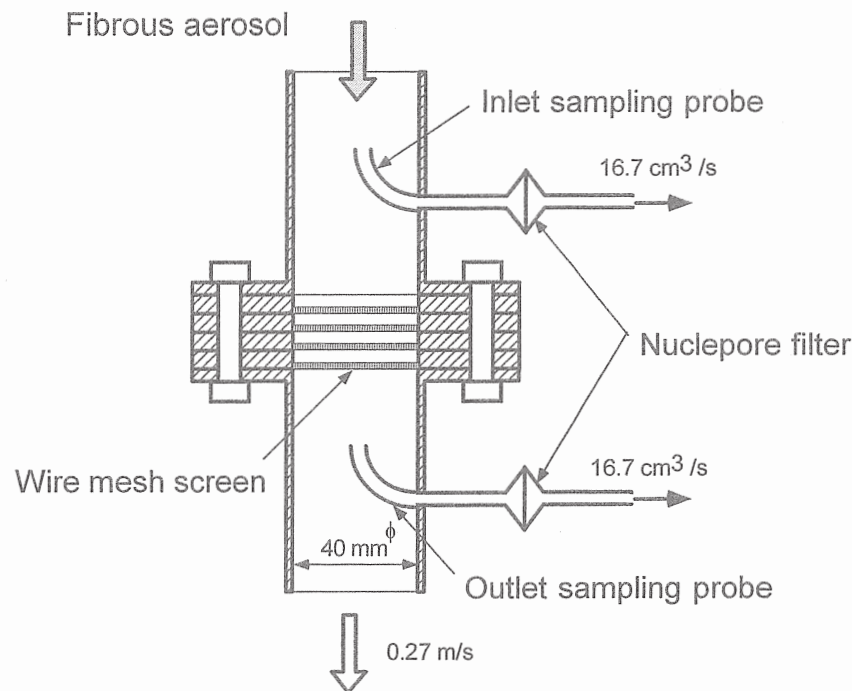


FIGURE 3. Experimental set-up for measurement of penetration of fibrous aerosols through wire mesh screens.

wire mesh screens were reusable after washing and drying.

In order to determine their concentration and size distribution, the fibers collected on the straight-pore filter were counted using a scanning electron microscope (SEM, JEOL JSM 6100, Tokyo, Japan). The number of fibers at the outlet of the mesh screen was then divided by that at the inlet for each size range to obtain the penetration.

#### *Apparatus for Measuring the Fiber Length Distribution*

Figure 4 shows the apparatus specially designed for CML measurement. Wire mesh screens 20 mm in diameter were attached in a brass ring. Four wire mesh screens were set in a container and then installed in a holder. The contact surfaces of the rings and the cartridges were hermetically sealed with silicone rubber rings. The gap between the mesh layers was 6 mm (5 mm brass ring and 1 mm rubber ring). The containers for the wire mesh screens were replaced in turn after each measurement of penetration.

The glass fiber aerosol generated by the fluidized bed, as mentioned above, was used as a test aerosol. In order to prepare different distributions of length, a 50-mesh screen and a 200-mesh screen were inserted upstream from the measuring apparatus.

Amosite aerosol was also generated using a vibrating fluidized bed (Lilienfeld et al. 1979) and neutralized with a  $^{85}\text{Kr}$  source. These three aerosols were introduced to the apparatus to test the measurement method proposed in this study.

A fibrous aerosol monitor FAM-1 (Mie Inc., Bedford, MA, USA) was used to measure the fiber concentration upstream and downstream of the wire mesh screens alternatively. As the flow rate of the FAM was 2 L/min, the approaching velocity of the aerosols in this apparatus was 0.10 m/s.

#### RESULTS AND DISCUSSION

Figure 5 shows the simulation results for the relationship between  $L_f/W$  and  $P$ . The dotted line in the figure indicates  $P$  passing through a single screen layer. The solid line represents



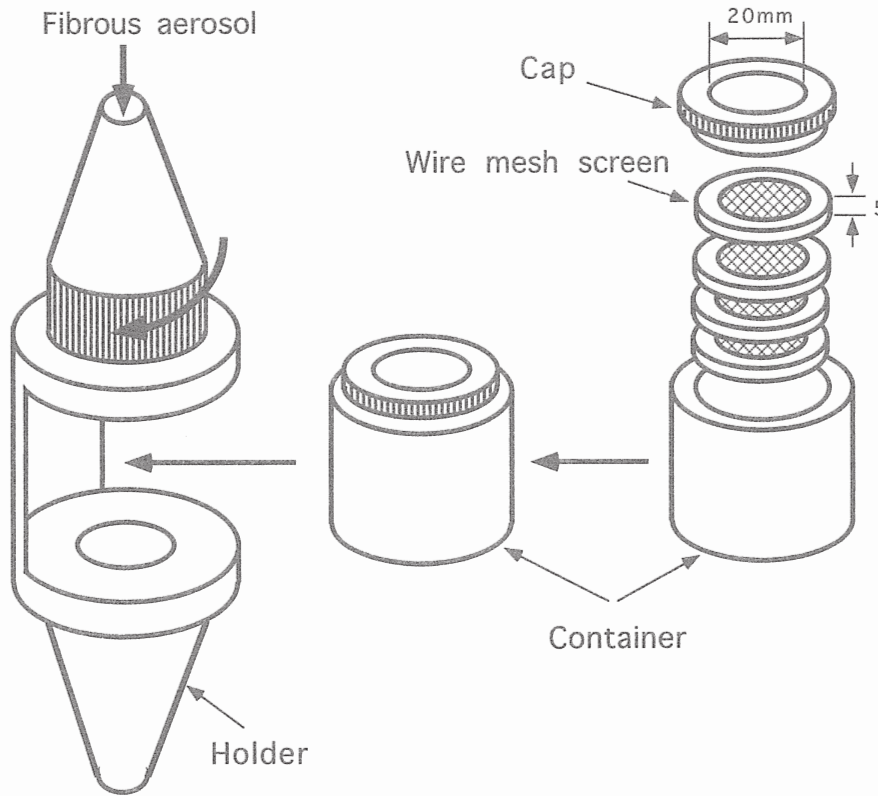


FIGURE 4. Improved apparatus for penetration measurement using a container for the wire mesh screens. Superficial velocity of wire mesh screens was 0.10 m/s at a sampling rate of 2 L/min by FAM-1.

$P$  passing through four layers,  $P^4$ . The experimental penetration is also shown in Figure 5. Four layers of wire mesh screens with different

$W$  values were used in this experiment, and the number of fibers for each range of length was counted.

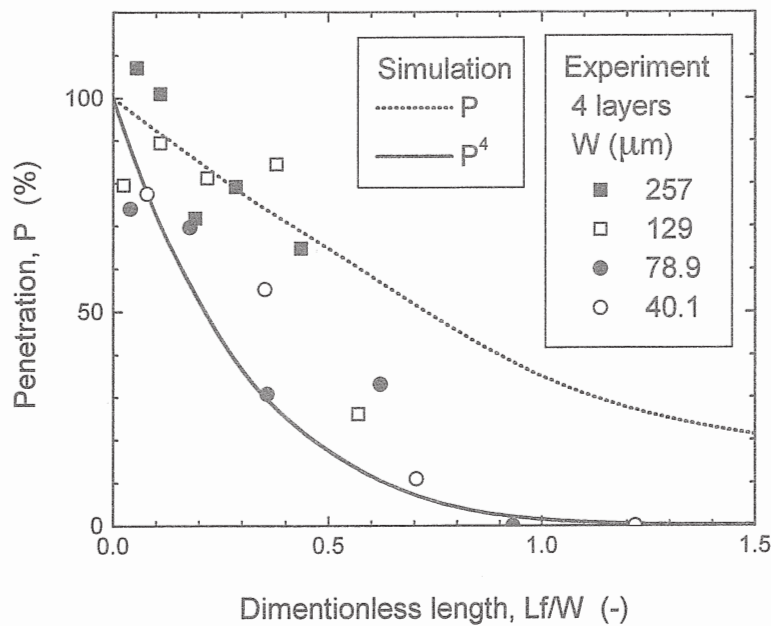


FIGURE 5. Penetration of glass fiber aerosol through mesh screens. Dashed line is the simulated result for one mesh screen. Solid line is for 4 mesh screens.

In the large  $L_f/W$  region, the experimental penetration agreed fairly well with the simulation line,  $P^4$ , but it was scattered because of the low fiber counts. The porosity of these wire mesh screens was fairly small, ranging from 0.4 to 0.23 as shown in Table 1. However, the penetration was not dependent on the porosity, and was only a function of  $L_f/W$ . For small values of  $L_f/W$  (less than 0.3), the experimental results showed higher penetration than the simulation results. This may have been due to the flow field around the wire, which was ignored in the simulation.

According to Cheng et al. (1985), the collection efficiency of a wire mesh screen similar to that used in this work was about 1% for spherical particles 1  $\mu\text{m}$  in diameter. In our preliminary experiments, we obtained a much lower collection efficiency for fibrous aerosols when the flow velocity through the wire mesh screen was set at a value four times greater than that used in this experiment. Therefore, it is suggested that fibrous particles are collected mainly by interception, and that almost all compact particles pass through these wire mesh screens.

$Q(W)$  in Equation (2) was calculated for  $\text{CML} = 5, 10, 20, 40,$  and  $80 \mu\text{m}$  for  $\sigma_g = 1.5, 2.0,$  and  $2.5$ .  $N$  was 4 in this calculation. If necessary, it is possible to calculate a smaller  $\sigma_g$ . However,  $\sigma_g$  for real fibrous aerosols is usually more than 1.5.

Figure 6 shows the calculated relationships between the count median length and  $Q(W)$ . Each line represents the results for each wire mesh screen shown in Table 1. The solid lines in Figure 6 indicate  $\sigma_g = 2.0$ , whereas the dashed and dotted lines indicate  $\sigma_g = 1.5$  and  $2.5$ , respectively. Thus, it is possible to determine the fiber length distribution using the relationship between  $W$  and the measured  $Q(W)$ , as shown in Figure 6.

The length distributions of glass fibers (GF-1 and GF-2) and amosite fibers (AM-1) used for the measurement of penetration are shown in Figure 7. Although the distribution does not show a completely log-normal distribution, CML is 18  $\mu\text{m}$  for GF-1, 11.5  $\mu\text{m}$  for GF-2 and 5.4  $\mu\text{m}$  for AM-1 and  $\sigma_g$  is around 2.0.

Figure 8 shows the calculated relationships between CML and the penetration of the fibrous

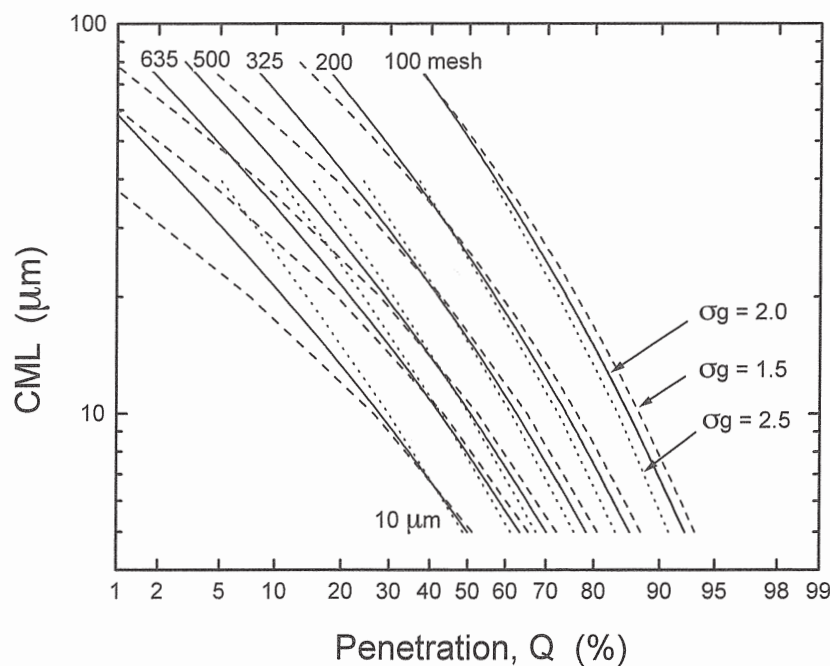


FIGURE 6. Calculated relationship between penetration  $P$  of fibrous aerosols through wire mesh screens and count median length (CML). Solid lines are  $\sigma_g = 2.0$ . Dashed lines and dotted lines are  $\sigma_g = 1.5$  and  $2.5$ .

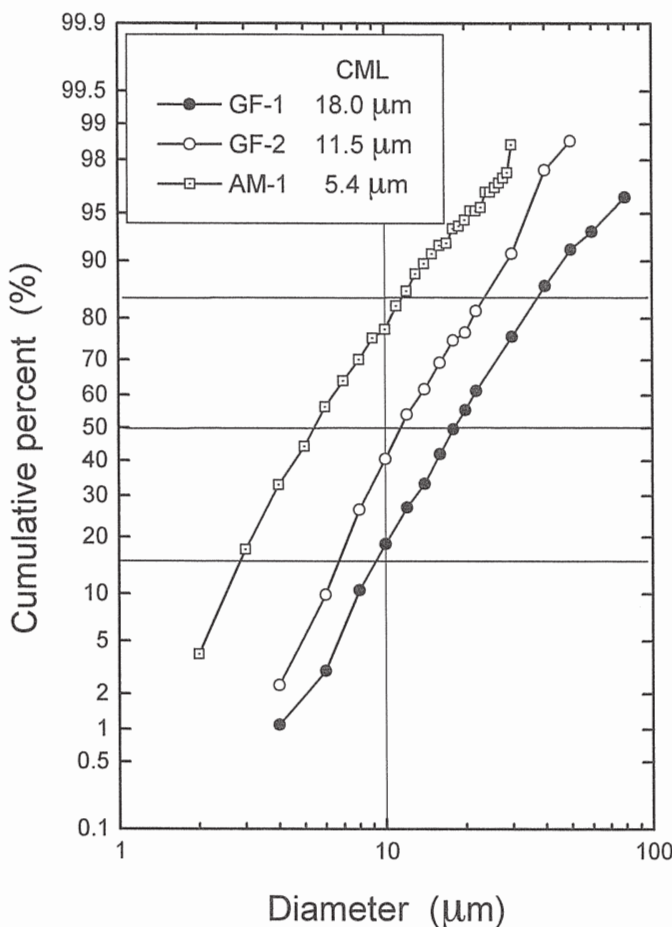


FIGURE 7. Length distribution of the fibrous aerosols used. GF-1 and GF-2 are glass fiber aerosols which have different length distributions. AM-1 is amosite aerosol.

aerosols for  $\sigma_g = 2.0$ . The penetration values measured by FAM-1 are also plotted on each line corresponding to the mesh screens applied in Figure 8. Averaged values and standard deviations of CML measured by our method are  $16.5 \pm 1.6 \mu\text{m}$  for GF-1,  $11.9 \pm 2.2 \mu\text{m}$  for GF-2 and  $6.0 \pm 2.1 \mu\text{m}$  for AM-1. The arrow lines in Figure 8 indicate CML of the three test aerosols measured by SEM, as shown in Figure 7. CML measured by the method proposed in this study was in good agreement with that by the SEM method. The fluctuation of the plotted data in Figure 8 would have been caused by instability of the fibrous aerosol generation.

This method reminds us of the screen-type diffusion battery and its graphical method for obtaining cumulative size distribution. Fuchs et al. (1962) demonstrated bundles of penetration curves for diffusion batteries, assuming that the size distribution had a log-normal distribution,

as in Figure 6. This method may be termed the "Interception Battery".

### CONCLUSION

This study has shown the feasibility of a low-cost method for measuring CML, though more precise calculations of fiber motion and trajectory around mesh wires will be needed for small  $L_f/W$  fibers. If the penetration of a fibrous aerosol passing through wire mesh screens is measured using a suitable optical particle counter, this method gives the CML of the aerosol graphically. The advantages of this method are:

1. Fibers are specifically collected on wire mesh screens unlike compact particles.
2. Wire mesh screens for sieves are available commercially. The size of the mesh openings

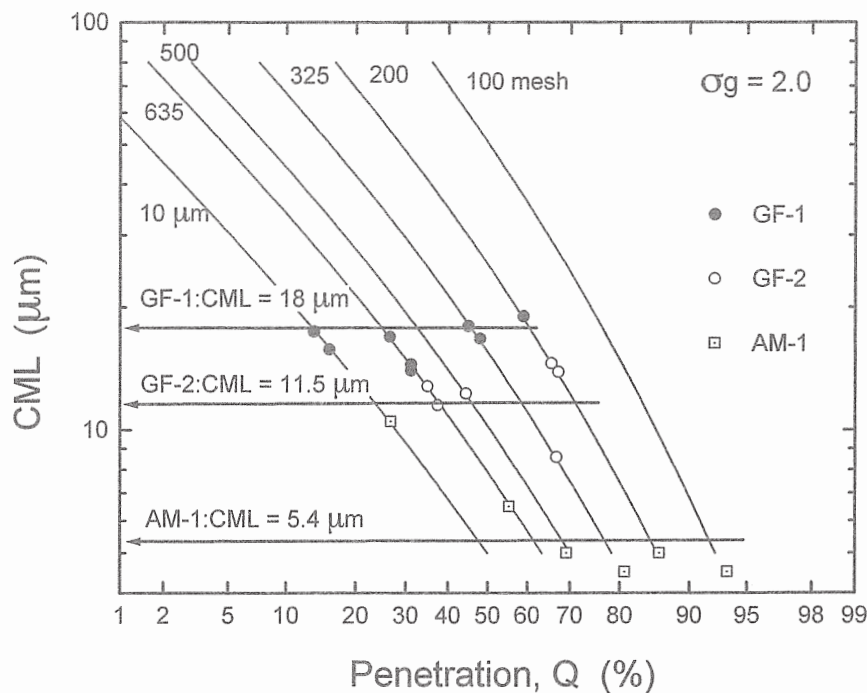


FIGURE 8. Comparison between CML measured by SEM, and that obtained by the method developed in this study. GF-1, GF-2, and AM-1 are the same as in Figure 7.

or wire diameter are regulated by industrial standards.

- This method should be applicable to the length calibration of fibrous aerosol monitors, like the FAM-1 or FAM-7400, as a surrogate for monodisperse fibrous aerosols which can not be obtained easily.

#### NOMENCLATURE

|         |   |
|---------|---|
| $a$     | mesh opening of screen wires ( $\mu\text{m}$ )                  |
| CML     | count median length of fibers ( $\mu\text{m}$ )                 |
| $D_f$   | fiber diameter ( $\mu\text{m}$ )                                |
| $f$     | probability distribution function of fiber length               |
| $L_f$   | fiber length ( $\mu\text{m}$ )                                  |
| $L_f/W$ | dimensionless fiber length or interception parameter (—)        |
| $N$     | number of wire mesh screens (—)                                 |
| $P$     | penetration of fiber through wire mesh screens                  |
| $Q$     | total penetration of fibers for whole range of fiber length (—) |
| $q$     | penetration of fibers defined by Eq. (1) (—)                    |

$W$  distance between the center of the screen wires ( $\mu\text{m}$ )

$X$   $x$  coordinate

$x$   $x$  position of gravity point of fiber

$Y$   $y$  coordinate

$y$   $y$  position of gravity point of fiber

#### GREEK

$\epsilon$  porosity of the mesh screen  
=  $(a/W)^2$  (—)

$\phi$  angle of fiber defined in Fig. 1 (rad)

$\theta$  angle of fiber defined in Fig. 1 (rad)

$\sigma_g$  geometric standard deviation (—)

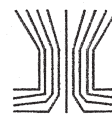
The author thanks Professor Chikao Kanaoka, Kanazawa University for his invaluable discussion through this work.

#### References

- Baron, P. A., Deye, G. J., and Fernback, J. (1994). Length Separation of Fibers, *Aerosol Sci. and Tech.* 21:179–192.
- Burke, W. A., and Esmen, N. A. (1978). The Inertial Behavior of Fibers, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 39:400–405.

- Cheng, Y. S., Yeh, H. C., and Brinsko, K. J. (1985). Use of Wire Screens as a Fan Model Filter, *Aerosol Sci. and Tech.* 4:165–174.
- Cox, R. G. (1970). The Motion of Long Slender Bodies in a Viscous Fluid I: General Theory, *J. Fluid Mech.* 44:791–810.
- Foss, J. M., Frey, M. F., Schamberger, M. R., Peters, J. E., and Leong, K. H. (1989). Collection of Uncharged Prolate Spheroidal Aerosol Particles by Spherical Collectors—I: 2D motion, *J. Aerosol Sci.* 20:515–532.
- Fuchs, N. A., Stechkina, I. B., and Starosselskii, V. I. (1962). On the Determination of Particle Size Distribution in Polydisperse Aerosols by the Diffusion Method, *Br. J. Appl. Phy.* 13:280–281.
- Fuchs, N. A. (1964). *The Mechanics of Aerosols*, 37–46. Oxford, Pergamon Press.
- Gallily, I., and Cohen, A. (1979). On the Orderly Nature of the Motion of Nonspherical Aerosol Particles II. Inertial Collision between Spherical Large Droplet and an Axially Symmetrical Elongated Particle, *J. Colloid and Interface Sci.* 68:338–356.
- Gallily, I., and Eisner, A. D. (1979). On the Orderly Nature of the Motion of Nonspherical Aerosol Particles I. Deposition from a Laminar Flow, *J. Colloid and Interface Sci.* 68:320–337.
- Gallily, I., Schiby, D., Cohen, A. H., Hollander, W., and Schless, D. (1986). On the Inertial Separation of Nonspherical Aerosol Particles from Laminar Flows. I. The Cylindrical Case, *Aerosol Sci. Tech.* 5:267–286.
- Gentry, J. W., Spurny, K. R., Opiela, H., and Weiss, G. (1980). Measurement of Collection Efficiency of Amosite Fibers, *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.* 19:47–52.
- Griffiths, W. D., Kenny, L. C., and Chase, S. T. (1985). The Electrostatic Separation of Fibres and Compact Particles, *Ann. Occup. Hyg.* 16:229–243.
- Griffiths, W. D., and Vaughan, N. P. (1986). The Aerodynamic Behaviour of Cylindrical and Spheroidal Particles when Settling under Gravity, *J. Aerosol Sci.* 17:53–65.
- Hochrainer, D., Zebel, G., and Prodi, V. (1978). Ein Gerät zur Trennung von Fasern und isometrischen Partikeln bei der Probenahme, *Staub-Reinhalt. Luft.* 38:425–429.
- Iles, P. J. (1990). Size Selection of Fibres by Cyclone and Horizontal Elutriator, *J. Aerosol Sci.* 21:745–760.
- Lilienfeld, P. (1985). Rotational Electrodynamics of Airborne Fibers, *J. Aerosol Sci.* 16:315–322.
- Lilienfeld, P. (1987). Light Scattering from Oscillating Fibers at Normal Incidence, *J. Aerosol Sci.* 18:389–400.
- Lilienfeld, P., Elterman, P., and Baron, P. (1979). Development of a Prototype Fibrous Aerosol Monitor, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 40:270–282.
- Marijnissen, J., Lilienfeld, P., and Zhou, Y. (1996). A Laser Monitor for the Fiber Deposition in a Lung Model. *J. Aerosol Sci.* 27, Suppl. 1:S523–S524.
- Myojo, T. (1983). A Fibrous Aerosol Generator Using a Two-Component Fluidized Bed, *Ind. Health* 21:79–89.
- Myojo, T. (1991). The Relationship Between Fiber Length and the Penetration Rate of Fibrous Aerosol Through Wire Mesh Screens—A New Method for Measuring Median Fiber Length (in Japanese), *J. Soc. of Powder Tech.*, Japan 28:495–500.
- Myojo, T. (1998). A Length-Selective Technique for Fibrous Aerosols, In *Advances in Aerosol Gas Filtration*, eds. K. R. Spurny, 481–498. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Myojo, T., and Kohyama, N. (1990). Separation of Asbestos Fibers by Length—Procedure for Obtaining Different-Length Samples for Biological Experiments (in Japanese), *J. Soc. of Powder Tech.*, Japan 27:804–810.
- Oseen, C. W. (1927). *Neuere Methoden und Ergebnisse in der Hydrodynamik*, Leipzig.
- Pott, F. (1978). Some Aspects on the Dosimetry of the Carcinogenic Potency of Asbestos and Other Fibrous Dusts, *Staub Reinhalt. Luft* 38:486–490.
- Prodi, V., Zaiacomo, T.D., Hochrainer, D., and Spurny, K. (1982). Fibre Collection and Measurement with the Inertial Spectrometer, *J. Aerosol Sci.* 13:49–58.
- Spurny, K. R., Stober, W., Opiela, H., and Weiss, G. (1979). Size-selective Preparation of Inorganic Fibers for Biological Experiments, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 40:20–38.
- Stober, W., Flachsbarth, H., and Hochrainer, D. (1970). The Aerodynamic Diameter of Latex Aggregates and Asbestos Fibers. *Staub Reinhalt. Luft.* 30:1–12.
- Timbrell, V. (1965). The Inhalation of Fibrous Dusts, *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 132:255–273.

Received 20 November 1997; accepted 12 August 1998.



## Removal of Aerosols by Bubbling Through Porous Media

*I. E. Agranovski, R. D. Braddock, and T. Myojo*

FACULTY OF ENVIRONMENTAL SCIENCES, GRIFFITH UNIVERSITY,  
QUEENSLAND, 4111, AUSTRALIA (I.E.A., R.D.B.)  
NATIONAL INSTITUTE OF INDUSTRIAL HEALTH, NAGAO, TAMA,  
KAWASAKI, 214-8585, JAPAN (T.M.)

---

**ABSTRACT.** Aerosols can be filtered on fibrous filters with or without the presence of circulating water. The wet filtration leads to the formation of bubbles within the filter as the carrier gas passes through. This provides alternate mechanisms for the removal of aerosols. Experiments are described to investigate the effects of the irrigating fluid and to compare the efficiency of wet and dry filtration. The results indicate a marked increase in efficiency of filtration of the wet filter as compared with the dry filter.

---

### INTRODUCTION

Many types of wet scrubbers are used for the removal of hazardous gases and particulates from the exhaust streams of industrial processes (Mycock et al. 1995; Theodore and Buonicore 1988). These multistage devices, including impingement and orifice scrubbers, packed towers with small packing material, and other lower efficiency scrubbers, are usually designed to handle a wide range of exhaust-stream parameters (Calvert 1984; Bigu et al. 1988). However, the efficiency of such scrubbers is relatively low for fine particles with diameters of the order of 1  $\mu\text{m}$  and smaller (Cooper and Alley 1994; Cheremisinoff 1993). In such cases, additional stages of gas purification for the removal of particular pollutants, for example, filtration, may be required. The

carrier gas commonly passes through a wet scrubber with cyclic irrigation of liquid over the device. This process adjusts the temperature of the carrier gas (usually cooling it), thus condensing vaporous pollutants. It also removes larger solid or liquid particles with a diameter greater than approximately 5  $\mu\text{m}$  (Calvert 1974).

The one wet technique which is currently available for efficient removal of particulate pollutants is a venturi scrubber. Besides highly efficient removal of gaseous pollutants, this device is able to remove particulates with diameters down through 1.0  $\mu\text{m}$  or smaller by collecting them on the liquid mist (Cooper and Alley 1994; Behie and Beckmans 1974). However, even this device can reach a relatively high level of efficiency (> 97%) for particles of 1  $\mu\text{m}$

diameter when the pressure drop across the device is about 8 kPa (Cooper and Alley 1994).

The other method to remove small particles can potentially utilize a bubbling technique. The bubbling technique has been used in filtration and was studied by Remy (1936), Fuchs (1964), and more recently by Valdberg et al. (1993). Fuchs (1964) modelled the main processes of diffusion, interception, and sedimentation involved in filtration by bubbling and gave estimates of the efficiency of absorption by these processes. Valdberg et al. (1993) described two further processes, thermophoresis and dif-fusiophoresis, for particle filtration.

A new technique has been developed for efficient removal of particulate pollutants. A fibrous filter was immersed into the water on the scrubber's plate and the irrigation was supplied. This device utilizes bubble formation in and on the fibrous material to remove fine aerosol particles (Agranovski et al. 1997; Agranovski and Braddock 1995). The efficiency of this combined device was measured for a range of particle sizes and flow rates.

This paper describes the theory underlying the operation and describes experiments to assess the feasibility and efficiency of such a combined device.

## THEORY

During the upward motion of gas bubbles through liquids, air circulation proceeds inside the bubble (Fuchs 1964). For small bubbles with a Reynolds number,  $Re$ , between 1 and 700, the velocity of the circulating gas at the surface of the bubble,  $U_\tau$ , is given approximately by

$$U_\tau = 1.5V_b \sin \theta, \quad (1)$$

where  $V_b$  is the velocity of rise of the bubble and  $\theta$  is a latitude angle measured from zero at the direction of rise.

The aerosol particles are considerably smaller than the bubbles and the interception effect of filtration can be neglected. In this case, the absorption of aerosols in bubbling is due to inertial deposition, sedimentation, and diffusion (Fuchs 1964). Commonly, the efficiency of inertial deposition,  $\eta_i$ , of spherical particles in the Stokes's law region is estimated as the ratio of the number of particles deposited in the filter to the total concentration of particles before filtration. Then,

$$\eta_i = \frac{3V_b d_p^2 \rho_p C}{500 \mu_g d_b^2}. \quad (2)$$

The efficiency for sedimentary deposition,  $\eta_s$ , can also be calculated from the ratio of the force of gravity to the force of the resistance of the gas:

$$\eta_s = \frac{g d_p^2 \rho_p C}{2000 \mu_g d_b V_b}. \quad (3)$$

For the efficiency of diffusion deposition,  $\eta_D$ , Fuchs (1964) showed that

$$\eta_D = 0.03 \sqrt{\frac{D}{V_b d_b^3}}. \quad (4)$$

The above equations for the estimation of  $\eta_s$ ,  $\eta_i$ , and  $\eta_D$  are based on the 1 cm distance traveled by the bubble. For a constant bubble size,  $\eta_s$  is small compared to  $\eta_i$  and  $\eta_D$  and inertial and diffusional effects dominate.

## EXPERIMENTS

### Experimental apparatus

The experimental apparatus used in the investigation is shown in Figure 1. The apparatus consists of an inlet filtration system, an aerosol generator, a filtering device with plate and filter, a monitoring system of aerosol concentration, and a vacuum pump.

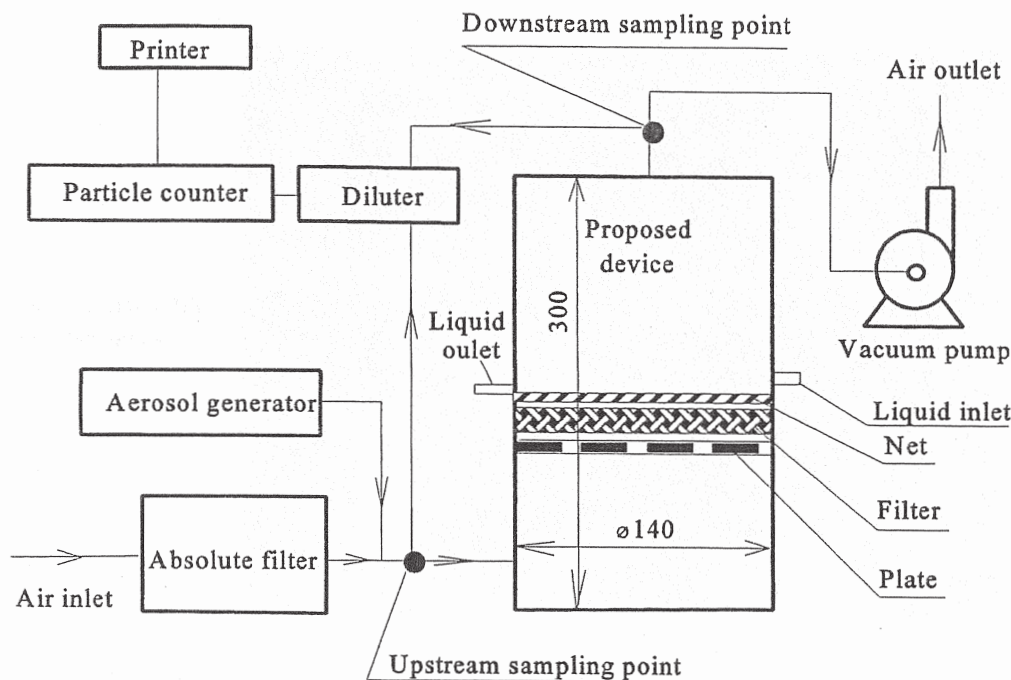


FIGURE 1. Experimental plant showing major components, air flows, and detection system.

The inlet filtration system (HEPA filter) cleaned the input air of extraneous particles. A TOPAS aerosol generator (SLG-250, Germany) was used to generate monodisperse mist particles of Di-ethyl-hexyl-sebacate (DEHS) with diameters in the range 0.3–2.7  $\mu\text{m}$ . After passing through the absolute filter, air was mixed with a stream of aerosol from the generator and directed to the filtering device for purification.

The filtering device, 140 mm in diameter, contained a fibrous filter, supporting sieve plate, and restraining net. The supporting sieve plate with holes of 3 mm diameter (the holes occupied 20% of the total area of the plate) was used to prevent the downfall of the liquid from the filter. To achieve this, the velocity of the gas in the holes of the plate has to be relatively high. On the other hand, the velocity of the gas during the motion through the filter is low enough to prevent the displacement of the liquid from the filter. A 3 mm thick filter was

made of 48  $\mu\text{m}$  diameter polypropylene fibers with a porosity of 89%. A microscale photograph of the filter structure, shown in Figure 2, indicates a random arrangement of the fibers in 3 dimensions. Such a filter usually has a relatively low collection efficiency when used in normal filtration devices; a feature which is supported by the experimental measurements. When used wet, water circulates on and through the porous filter and the thickness of the water layer on the plate is about 10 mm. The restraining net was employed to avoid a displacement of the filter during the process. The vacuum pump drives the system, and a flow meter was also inserted to record flow rates.

Standard isokinetic measurements (Clarke 1998) of upstream and downstream particle concentrations were carried out for monitoring the size distribution of particles before and after passage through the filtration device.



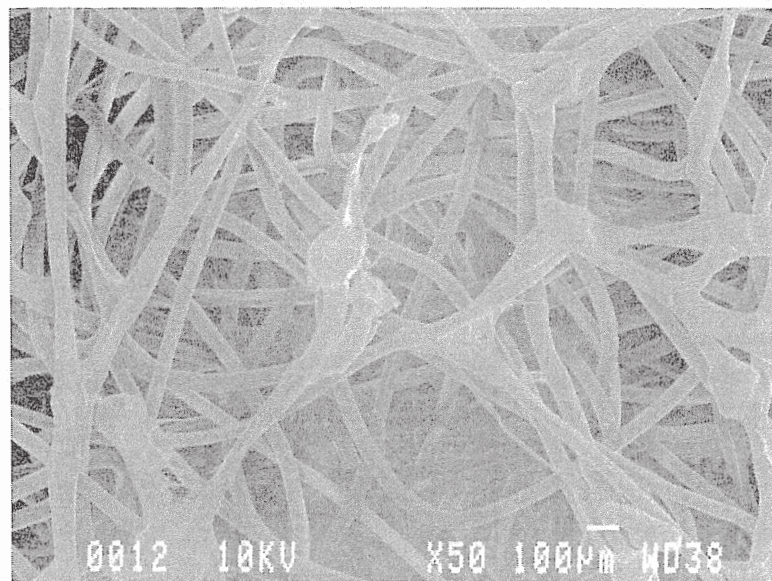


FIGURE 2. Micro-structure of the polypropylene filter.

An Optical Particle Counter (KC-01A, RION, Japan) was used for detecting and counting particles in 5 size ranges between 0.3–5  $\mu\text{m}$ .

#### Experimental procedure

A series of experiments was conducted to measure the efficiencies of the device under a variety of operating conditions and the experimental efficiency  $E$  (%) was calculated using

$$E = 100 \cdot \left( 1 - \frac{C_{\text{out}}}{C_{\text{in}}} \right), \quad (5)$$

where  $C_{\text{out}}$  and  $C_{\text{in}}$  are the measured concentrations of aerosol in the outflow and inflow. The location of sampling points before and after the filtering device is shown in Figure 1.

These experiments included dry and wet regimes, where the irrigating fluid was withheld or supplied on the filter. The experiments were run to identify the efficiency of the new technology (wet regime) and compare it against the standard efficiency of particular filter (dry regime) for aerosol sizes of 0.3, 0.7, 1.3, and 2.7  $\mu\text{m}$  and flow rates of approximately 100, 200, 300, and 450 L/min. These flow rates correspond to

filter face velocities of 0.11, 0.22, 0.33, and 0.5 m/s for the carrier gas.

Pressure-drop measurements were taken across the filtering device for the above experimental program. The temperature and humidity of the carrier gas were kept constant in an air-conditioned room.

The most important parameter with respect to absorption efficiency is the diameter of the bubble (Fuchs 1964; Valdborg et al. 1993; and Jonas and Schütz 1988). An estimate of the average bubble size was made using high-speed photography to take clear and accurate photographs of the bubbles. These were used to measure and estimate the average bubble size for a range of air flow rates. To avoid some optical problems associated with the relatively large circular plant shown in Figure 1, a narrow (2 cm wide), rectangular prototype of the technology had been made and utilized (see Figure 3).

#### RESULTS

Photographs of the bubbling process (see Figure 4) were used to identify an average size of bubble. Only bubbles, just released from the filter and located directly on its

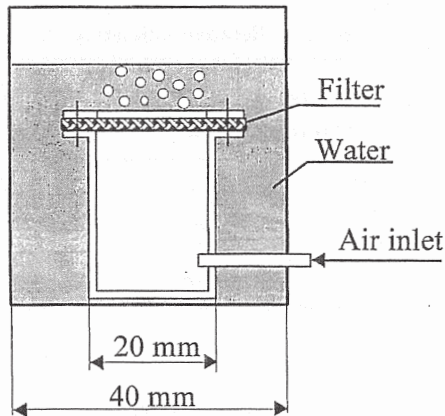


FIGURE 3. Experimental device used for producing bubbles for photographing bubble size.

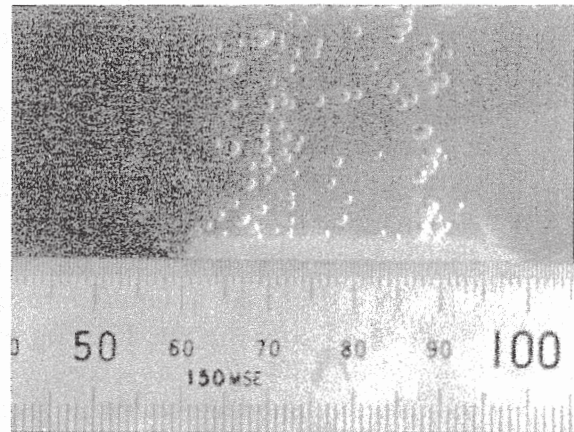


FIGURE 4. Bubble size.

surface, were measured to avoid the influence of coalescence as much as possible. After careful measurement of a large number of bubbles from about 10 photographs, the bubble size for the particular filter was identified as 0.70 mm with  $STD = 0.42$ .

The results for the measured efficiencies of filtration of DEHS particles for various flow rates are shown in Figure 5 for different particle diameters. For the smallest aerosol particle size of  $0.3 \mu\text{m}$ , the efficiencies are all  $< 10\%$  for both wet and dry cases. For the other particle sizes, the

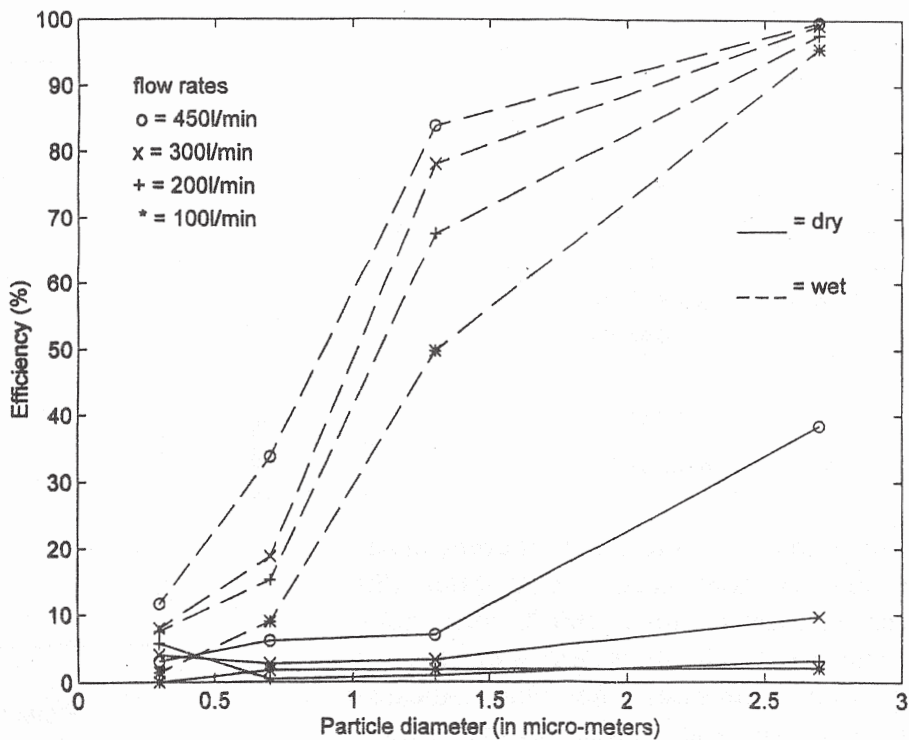


FIGURE 5. The filter efficiency for wet and dry filters for various flow rates.

wet filter performs measurably better than the dry filter, and the wet-filter efficiency increases as the aerosol particle size increases. For the wet filter, there is some spread in the measured efficiency with changes in the flow rate, with the efficiency increasing with flow rate for any other 4 particle sizes. At a liquid-aerosol particle size of  $2.7 \mu\text{m}$ , the wet-filtering efficiencies are all  $> 95\%$ .

The dry filter shows much less variation in the efficiency, particularly with respect to particle size. The dry-filter efficiencies are all  $< 6\%$  for the 3 smaller size categories of  $0.3$ ,  $0.7$ , and  $1.3 \mu\text{m}$ , while it is only the high-flow-rate case which displays much improvement. Indeed, the dry-filter efficiencies show several interchanges in their hierarchy with respect to flow rate at the 4 measured particle sizes. It could also be explained by some inaccuracy of the particle counter which was used for measurements of upstream and downstream concentrations. The reproducibility of results was quite good and variations did not exceed  $2\text{--}3\%$ . Nevertheless, due to a very small difference between upstream and downstream concentrations, even  $2\text{--}3\%$  variations could cause "crossover" of efficiency lines as shown in Figure 5. There are no such hierarchical changes with respect to the wet-filter efficiencies which are always ordered by flow rate.

The relative efficiencies,

$$R = \frac{(\text{wet-filter efficiency})}{(\text{dry-filter efficiency})} \quad (6)$$

are displayed in Table 1 for different particle sizes and flow rates. The dry-filter efficiency at a flow rate of  $100 \text{ L/min}$  and a particle size of  $0.3 \mu\text{m}$  is zero, and hence  $R(100, 0.3)$  is infinite. The table indicates that the wet-filter efficiency is always greater than the dry-filter efficiency and frequently by a high multiple.

TABLE 1. Relative efficiency  $R$ .

| Flow rate<br>(L/min) | Liquid-aerosol particle size ( $\mu\text{m}$ ) |      |      |      |
|----------------------|--|------|------|------|
|                      | 0.3  | 0.7  | 1.3  | 2.7  |
| 100                  | $\infty$                                       | 5.1  | 27.0 | 46.7 |
| 200                  | 1.3  | 33.3 | 69.9 | 31.1 |
| 300                  | 2.0  | 7.0  | 23.9 | 10.3 |
| 450                  | 3.8  | 5.6  | 12.1 | 2.6  |

A pressure drop across the wet and dry filters as a function of flow rate is shown in Figure 6 using a log-log plot. The pressure drop across the dry filter is relatively small compared to that for the immersed filter. Both pressure drops increase with increasing flow rate, indicating greater resistance to the flow. However, the dry filter gives rise to a more rapid rate of increase with respect to flow rate.

To check the influence of the thickness of the liquid layer on the filtering efficiency of the device, a further set of experiments

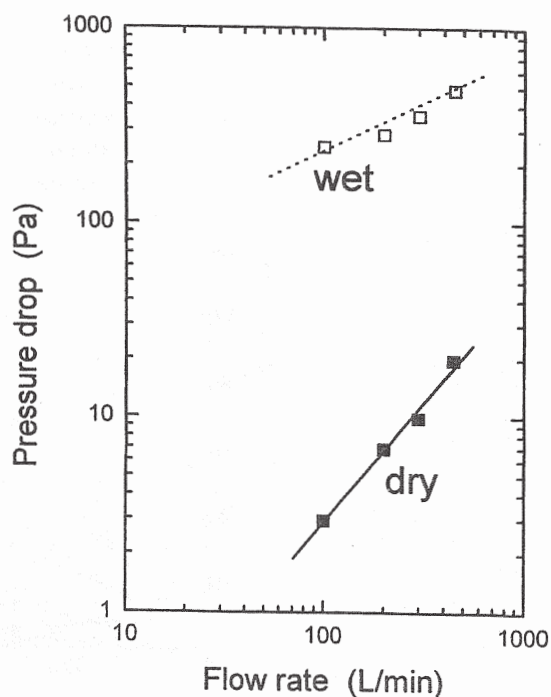


FIGURE 6. Pressure drop across the wet and dry filters.

have been made: (1) the size of the bubble remains at 0.7 mm for the whole range of flow rates, and (2) all mechanisms of filtration are independent and the total efficiency of filtration is estimated as their algebraic sum. Considering the first assumption, we must admit that experimentally, it is almost impossible to measure accurately the diameter of a bubble as a function of a flow rate for the whole range of face velocities. As we discussed before, for higher flow rates, a "coalescence problem" is almost unavoidable, i.e., bubbles are becoming too close to each other and coalesce immediately on the exit from the filter layer. The "constant bubble size" assumption is based on an observation of a number of photos, where sizes of bubbles look reasonably the same for the whole range of velocities. The other information which supports this assumption is that for low flow rates, when the bubble size is still measurable, the variations are not significant, i.e., for the measured bubble size of 0.7 mm, the STD is about 0.42.

Experimentally and theoretically fitted lines for the efficiency are shown in Figure

7. The best fit has been achieved with the following values of  $V_b$ : 2.3 m/s, 3.2 m/s, 3.6 m/s, and 3.9 m/s, for 100 L/min, 200 L/min, 300 L/min, and 450 L/min, respectively. An acceptable agreement between experimental and estimated results for all 4 flow rates has been achieved.

## CONCLUSIONS

A new process of filtration has been developed and studied experimentally. The main benefit of this process is the possibility of increasing the removal efficiency of fine particles from air streams by utilization of devices which have been historically used only for gaseous removal. This is very important because it offers a new wet scrubber technique for highly efficient removal of particulate pollutants from exhaust air streams in industry. The only wet scrubber, which has a comparatively high collection efficiency for removal of particulates and currently is used in industry, is a venturi scrubber. However, even this device reaches a comparable rate of efficiency when the

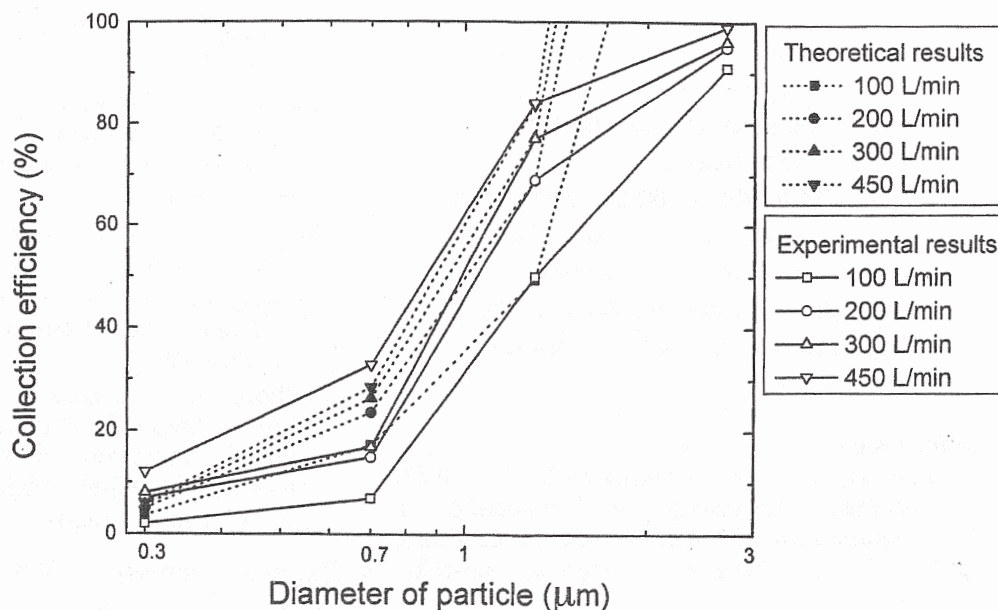


FIGURE 7. Theoretical and experimental efficiencies.

pressure drop across the device is about 30–35 in  $H_2O$ , which corresponds to 7350–8575 Pa (Cooper and Alley 1994). These figures are 25–30 times higher than a pressure drop of our new technology for the similar collection efficiency.

### NOMENCLATURE

- $C$  the Cunningham correction coefficient;  
 $C_{in}, C_{out}$  measured concentrations of aerosol in the input and output flows;  
 $D$  the diffusion coefficient of the particle in air;  
 $d_b$  the diameter of the bubble;  
 $d_p$  the diameter of the particle;  
 $E$  experimental efficiency;  
 $g$  gravity;  
 $R$  coefficient of relative efficiencies;  
 $Re$  Reynolds number;  
 $U_r$  velocity of circulating gas at surface of bubble;  
 $V_b$  the rate of rise of the bubble;  
 $\Delta P$  pressure drop across filter;  
 $\eta_D$  efficiency of diffusional deposition;  
 $\eta_i$  efficiency of inertial deposition;  
 $\eta_s$  efficiency of sedimentary deposition;  
 $\theta$  the angle between the radius vector and the direction of motion of the bubble;  
 $\mu_g$  the dynamic viscosity of the gas;  
 $\rho_p$  the density of the particle.

### References

- Agranovski, I. E., and Braddock, R. D. (1995). Combined Technology for Purification of Aerosols from Exhaust Gases. Proceedings 10th World Clean Air Congress, Helsinki, 1:47.
- Agranovski, I. E., Myojo, T., and Braddock, R. D. (1997). Purification of Aerosol by Bubbling through Porous Media. 15th Annual Conference on Air Cleaning and Contamination Control, Waseda University, Tokyo, Japan, pp. 293–296.
- Behie, S. W., and Beckmans, J. M. (1974). Effects of Water Injection Arrangement on the Performance of Venturi Scrubber, *JAPCA* 24(10):943–945.
- Bigu, J., Grenier, M., and Hardcastle, S. (1988). Effectiveness of a Wet Scrubber in Reducing Radioactive Aerosol and Dust Concentration in Underground Uranium Mines, *American Industrial Hygiene Association Journal* 49(11):572–578.
- Calvert, S. (1974). Engineering design of fine particle scrubbers, *JAPCA*, 24(10):929–934.
- Calvert, S. (1984). Particle Control by Scrubbing. In Handbook of Air Pollution Control Technology, edited by S. Calvert and H. M. Englund. Wiley, New York.
- Cheremisinoff, P. N. (1993). *Air Pollution Control and Design for Industry*, Marcel Dekker Inc., p. 293.
- Clarke, A. G. (1998). *Industrial Air Pollution Monitoring*, Chapman & Hall, London, p. 33.
- Cooper, C. D., and Alley, F. C. (1994). *Air Pollution Control: A Design Approach*, Waveland Press, IL, p. 217.
- Fuchs, N. A. (1964). *The Mechanics of Aerosols* Pergamon Press, pp. 240–245.
- Jonas, R., and Schütz, W. (1988). Motion and Deposition of Particles in Expanding and Osculating Gas Bubbles, *J. Aerosol Sci* 19(6):753–765.
- Mycock, J. C., McKenna, J. D., and Theodore L. (1995). *Handbook of Air Pollution Control Engineering and Technology*, CRC Press, FI pp. 133–171.
- Remy, H. (1936). Sorption of Fogs by Liquids *Tran. Faraday Soc.* 32:1185.
- Theodore, L., and Buonicore, A. J. (1988). *Air Pollution Control Equipment*, CRC Press, FI pp. 101–129.
- Valdberg, A. T., Isianov, L. M., and Ialamov, I (1993). Theoretical Fundamentals of Environmental Protection from Particulate Pollutants, NIOGAS-FILTER, St. Petersburg, pp. 147–155, (in Russian).

Received February 2, 1998; accepted March 2, 1999.

日本労働衛生工学会第34回学会

# 講演抄録集

1994

学会実行委員長 慶応義塾大学医学部  
衛生学 公衆衛生学教室 教授  
桜井 治彦

期 日：平成6年11月29日(火)、30日(水)

会 場：後楽園会館(労災保険会館)

東京都文京区後楽1-7-22

Tel. (03) 3815-8171

日本労働衛生工学会

産業医学総合研究所 ○明星敏彦、杉本光正

東海大学工学部工業化学科 松浦香奈

はじめに 防じんマスクでは肺の力による気流で吸気時に粉じんろ過を行う。したがって、マスクのフィルターは単に捕集効率が高いだけでなく、通気抵抗も低くなければよいフィルターとはいえない。現在の国家検定においては吸気時に流量40L/minで8mmH<sub>2</sub>O以下となっている。高い捕集効率を持つフィルターを作るためには、この通気抵抗値が許す範囲でフィルターの厚みを増せばよい。より本質的なフィルターの能力を示す方法としてこの捕集効率（通過率）と通気抵抗を含んだ性能指標が提案されている。<sup>1)</sup>

本研究では空気力学相当径基準で測定する装置(APS33)を用いて、市販の防じんマスクのろ過捕集効率測定とフィルターの通気抵抗値を測定してこの性能指標を求め、フィルターの現状について考察した。

フィルターの性能指標 繊維の層からなるフィルター内部では気流は層流と考えられ、フィルターの厚みLと通気抵抗 $\Delta P$ の間にはほぼ比例関係が成り立つ。

$$\Delta P = K_1 L \quad (1)$$

ここで $K_1$ は定数でフィルターの充填率などが関係するが同一のフィルターでは同じである。一方フィルターの厚みLと通過率 $P (= 1 - E; E$ は捕集効率)の間には以下の関係がある。

$$P = \exp(-K_2 L) \quad (2)$$

$K_2$ にはフィルターの繊維の持つ捕集の条件（効率、太さ、充填率など）が影響するが、その値は同一のフィルターを使えば同じである。両式からLを除くと

$$K = \ln(1/P) / \Delta P \quad (3)$$

が導出される。この性能指標Kは通過率Pが低いほど、また通気抵抗 $\Delta P$ が低いほど大きな値を示す。つまり性能が良いことを示す。また同一のフィルター素材を用いた場合ではフィルター層厚みにかかわらず同一と予想される。このことからフィルターの通過率と通気抵抗を測定すればこの指標Kを求めることができる。

ろ過捕集効率の測定法 装置の概要は昨年本学会で発表したものと同様である。シリカ粉じんは国家検定と同じ条件で発生、水平エリトリエーターで2 $\mu$ m以上の粒子を除いた後、装置に導入した。試験用の防じんマスクの前後の粉じん濃度をAPSと光散乱型粉じん計を用いて同時に測定するシステムを使用した。光散乱型粉じん計とマスクを設置する箱は過去に国家検定で使用されていた装置から一部取り出して組み込んだ。またマスクの上流と下流を2分半毎に切り替えて濃度の測定を行った。流量は検定と同様に30 L/minに設定した。ここでは取替式のマスクを図の箱内の架台に設置し、フィル

ターを各8個順次取り替えてろ過捕集効率を測定した。通気抵抗は通過率測定の前後で微差圧計を用いて30 L/minでの値を測定した。

測定結果と考察 Fig. 1aに各試料の通過率の測定結果を示した。APSの結果は空気力学径で粒径 $0.9\ \mu\text{m}$ から $2.2\ \mu\text{m}$ までの粒子に対して得られた。同じくFig. 1bに性能指標を同じく粒径毎に示した。使用したフィルターはすべて使い捨て式防じんマスクであり、4種類、各8個の測定結果である。Fig. 1bでは通過率、通気抵抗とも8個の平均値を用いた。

図中の通過率が最も低いのは試料Jであり、Nは3番目であるが、性能指標ではN, Jの順となっておりNは捕集効率の割に通気抵抗の軽いフィルターであることがわかる。しかし、現行の検定規則によれば流量30L/minで捕集効率95%また流量40L/minで通気抵抗 $8\text{mmH}_2\text{O}$ では性能指標は約0.5となり、粒径 $1\ \mu\text{m}$ 以上では4種とも問題はない。

種々の試料を全体としてみると、脱臭用活性炭の添加や使い捨て式マスクを強化するためのパーツなどによって通気抵抗値は上昇するが捕集効率は特段上昇しないため、付加価値のついたフィルターの方が性能指標が低い傾向がある。

まとめ 防じんマスクを選択する場合、各製品の捕集効率、通気抵抗などカタログから得られる値を参考にすることが多い。ここで示した性能指標はカタログの値からも簡単に計算することができ、各社の使用しているフィルターろ過材の性能を比較検討することに役立つと考える。

参考文献 1) Chen, C. C., M. Lehtimaki, and K. Willeke, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 53:566-574 (1992)

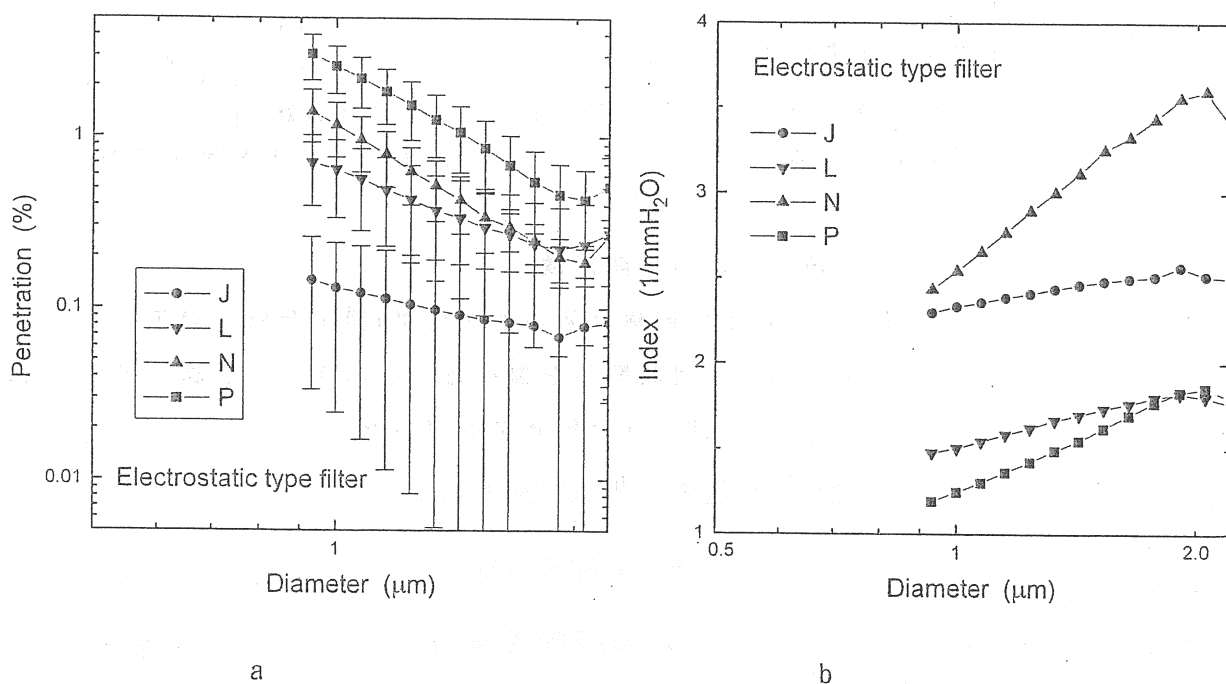


Fig. 1 APSで測定したフィルターの通過率 a と性能指標 b



# 日本労働衛生工学会第35回学会

## 講演抄録集

1995

学会実行委員長 マツダ株式会社  
人事本部副本部長 安全衛生管理部長  
田中昭文

期 日：平成7年11月14日（火）、15日（水）  
会 場：広島厚生年金会館

TEL 082-243-8881

後 援：労働省

協 賛：日本作業環境測定協会

日本産業衛生学会

日本空気清浄学会

人間-生活環境系会議

# 日本労働衛生工学会

## 単分散シリカビーズを用いた防じんマスク用フィルターの捕集効率測定

産業医学総合研究所 ○明星 敏彦、杉本 光正  
東海大学工学部工業化学科 真道 真

はじめに 防じんマスクの国家検定においては石英粉じんを用いてフィルターの性能評価を行っている。規格では $2\mu\text{m}$ 以下の石英粉じんを試験用粉じんと指定しているが、この粉じんの粒度分布は明確に規定されていない。試験用粒子の粒径は捕集効率に大きく影響するため、粒度別の捕集効率を知る必要がある。過去演者らは粉じん粒度分布測定装置（APS33）を用いてこれを測定し、本学会にて発表した。その後、単分散の非晶質シリカ球を入手し、これを気中に分散することにより、単分散のシリカ粉じんを高濃度で発生することができた。本研究ではこの粉じんを用いて防じんマスク用のフィルターの捕集効率を測定した結果を示す。この結果と現在の捕集効率測定法による結果と比較検討した。

**ろ過捕集効率の測定法** 図1に装置の概要を示す。単分散シリカ粒子を分散する装置としてPALAS社製RBG-1000を用いた。この装置は回転ブラシと空気流により乾式で粉体を分散する。さらに小型サイクロンを設置し、分散の不完全な凝集粒子を除去した後、測定部に導入した。単分散シリカ粒子はゾルゲル法で生成された後焼成を加えたもの（株）トクヤマ製粒子について）で特性を表1に示した。通常のシリカ粉じんは国家検定と同じ条件で発生、水平エリトリエーターで $2\mu\text{m}$ 以上の粒子を除いた後、装置に導入した。発生した粉じんは両者とも放射性同位元素を用いて粒子の持つ静電気を除いた。

測定には過去に発表した試験用フィルターの前後の粉じん濃度をエアロゾルパーティクルサイザー（以下APS、TSI社）と光散乱型粉じん計AP-634（柴田科学器械（株））を用いて同時に測定するシステムを使用した。APSでは上流側に1/100の希釈器を用い、マスクの上流と下流を2分毎に切り替えて濃度の測定を行った。流量は検定と同様に $30\text{ L/min}$ に設定した。マスクは図の箱内の架台に設置し、ろ過捕集効率を測定した。

**測定結果と考察** 図2に単分散シリカ粒子のAPSで測定した粒度分布を示した。APSの結果は空気力学径で示される。表1に示すように比重は2から2.2であるため空気力学径は公称粒径と異なるが、幾何標準偏差は1.1以下と単分散の粒子からなることがわかる。発生した濃度も $10\text{mg/m}^3$ 以上あり、今回は発生装置の濃度下限で使用した。

図3は光散乱型粉じん計とAPSで同時に測定したフィルターの通過率を示した。ここでは光散乱型粉じん計はAPSに比べて通過率を低く示す傾向がある。この原因としては光散乱型粉じん計は一部混入している通過率の低い凝集粒子も計測するためと推測される。通過率が0.1%以下（捕集効率99.9%以上）では測定結果は安定しなかった。

図4は光散乱型粉じん計で測定した単分散シリカ粒子と石英の空気力学径と通過率の関係である。試験用石英粉じんについては粒径はない。ここでは石英粉じんの通過率は単分散シリカ粒子の公称粒径が $0.72\mu\text{m}$ と $1.0\mu\text{m}$ の通過率の間であった。6種類のフィルターについて測定した結果でも公称粒

径が $0.72\mu\text{m}$ と $1.0\mu\text{m}$ の間ないしは $1.0\mu\text{m}$ 以上となる結果が得られた。単分散シリカ粒子はX線回折法により測定した結果、非晶質であり、一方国家検定で用いられる石英は完全な結晶である。また形状も一方は球形、石英粉は粉碎により生じたため不規則な形状をしている。したがって同一成分とはいえ単純に比較できるものではないが、現行の測定方法はこれらのフィルターにとって $1\mu\text{m}$ 前後の粒子で試験をすることに相当する。

**まとめ** 防じんマスクの検定において現在用いられている石英粉じんは粒径 $2\mu\text{m}$ 以下と指定されているが、実際その粒径にかなり幅がある。ここでは単分散シリカ粒子を用いて粒径別のフィルター捕集効率を計測し、現行の測定方法と比較し、粒径の影響を検討した。

表 1 単分散シリカ粒子の特性

|   | 製造者名     | 粒径 ( $\mu\text{m}$ ) | 空気力学径 ( $\mu\text{m}$ ) | 幾何標準偏差 |
|---|----------|----------------------|-------------------------|--------|
| 1 | Merck    | 0.5                  | 0.77                    | 1.10   |
| 2 | (株) トクヤマ | 0.72                 | 1.1                     | 1.06   |
| 3 | (株) トクヤマ | 1.0                  | 1.52                    | 1.08   |
| 4 | (株) トクヤマ | 1.3                  | 1.81                    | 1.05   |

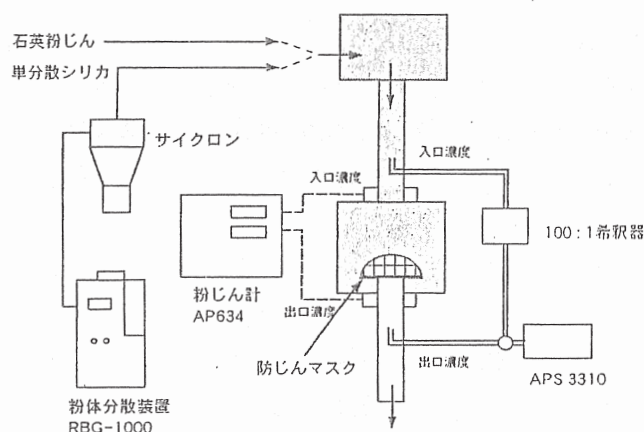


図 1 実験装置の構成

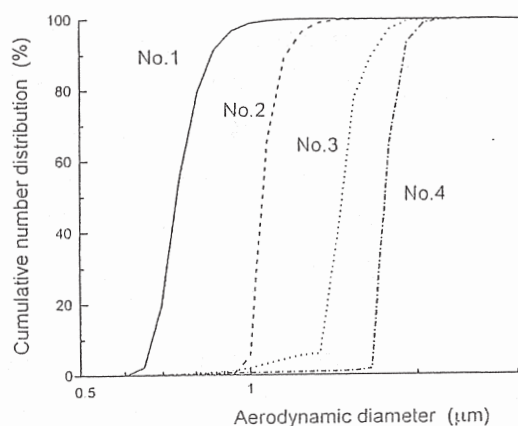


図 2 単分散シリカ粒子の空中分散時の粒度分布 (図中の番号と表1の番号は対応する)

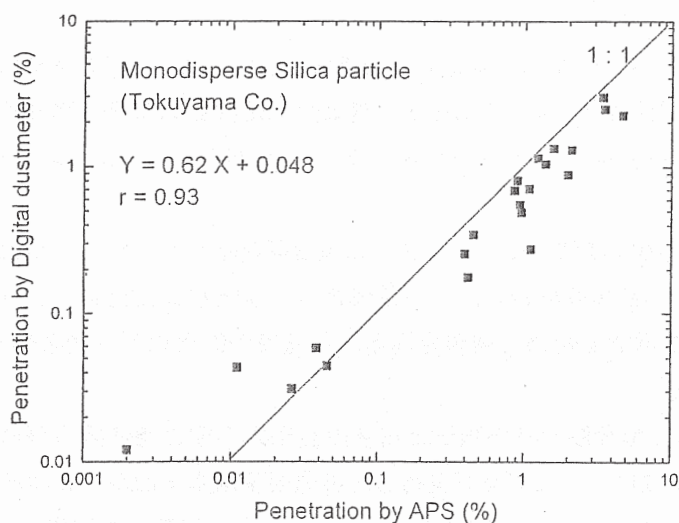


図 3 APSと光散乱型粉じん計で測定したフィルターの通過率

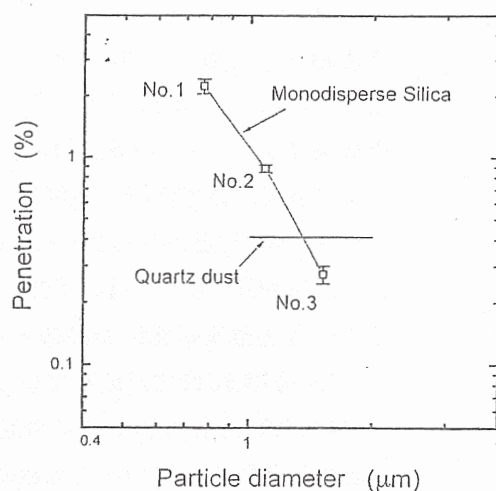


図 4 光散乱型粉じん計で測定した単分散シリカ粒子と石英粉じんのフィルターの通過率 (図中の番号と表1の番号は対応する)

日本労働衛生工学会第37回学会

講演抄録集

1997

学会実行委員長 日本大学工学部 教授  
菅野 宗和

期 日：平成9年11月12日（水）、13日（木）

会 場：日本大学工学部

TEL 0249-56-8600（代表）

FAX 0249-56-8860

後 援：労働省

協 賛：日本作業環境測定協会

日本産業衛生学会

日本空気清浄学会

人間-生活環境系会議

日本労働衛生工学会

(産医研) ○ 明星敏彦

(東海大学工学部) 石塚晶一

はじめに

粉じんの中でも  $1\mu\text{m}$  より小さな粒子からなる微小粉じんは燃焼生成物由来の粉じん、溶接ヒュームなどに含まれ、その生態影響が問題となっている。職場の分煙対策で問題となっているたばこ副流煙などもこれに含まれる。これらの粉じんを測定する方法の一つに、微分型電気移動度分級装置(DMA)を用いて粒径別に分級し、凝縮核計数器(CNC)を粒子濃度測定装置として用いて、粒度別の濃度を測定する方法がある。この組み合わせで  $0.3\mu\text{m}$  以下の粒子にその光学的特性によらず粒径を精密に分級することができる。しかし、計測に時間がかかるなど不便な点も多かった。近年、DMA、CNC の組み合わせによりエアロゾルの粒度分布を短時間で測定する方法は Adachi ら<sup>1)</sup>により開発された迅速なステップモードによる測定法、Wang and Flagan<sup>2)</sup>によるスキッピングモードによる測定法が発表され、実用化されている。これらの方法は通常のステップモードで30 から 60 分近く必要であった粒度分布測定時間を1分近くまで短縮することが可能である。

本研究では、演者らが改良した迅速なステップモードを用いた測定法の応用例として、防じんマスクのフィルターの捕集効率、空気清浄機の捕集性能を本方法で測定した。

実験装置と方法

Fig.1 にフィルター性能評価用装置ないし空気清浄機と DMA と CNC からなる粒度分布測定装置を示す。フィルター性能評価には 10%食塩水を噴霧乾燥して食塩粒子を得て試験用エアロ

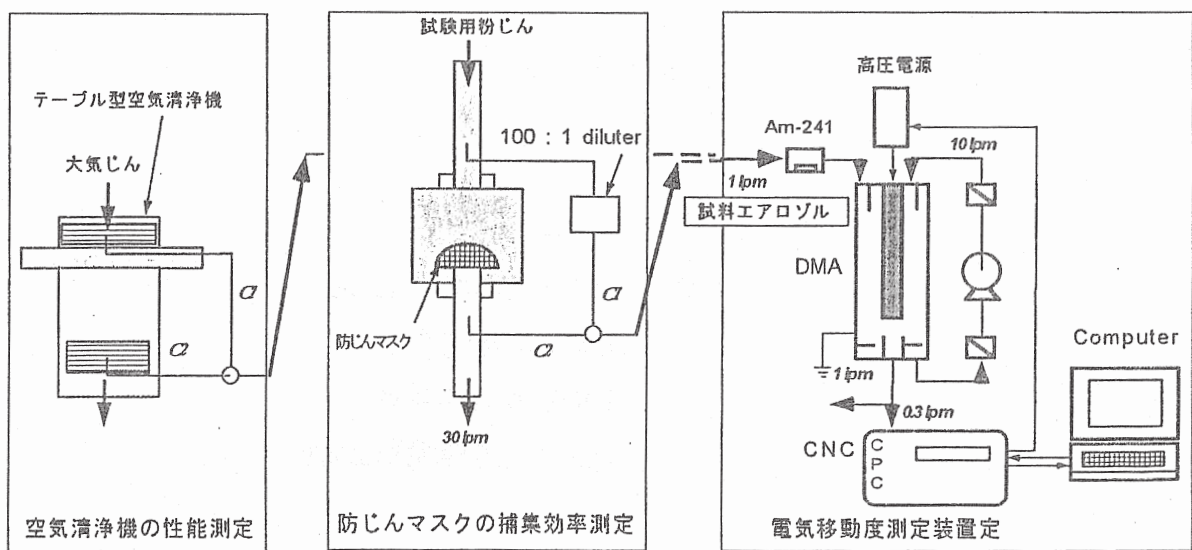


Fig.1 実験装置

ゾルとした。防じんマスク用のフィルターを専用の架台に取り付けて、前後の粉じんの濃度と粒度分布を求めた。空気清浄機の性能測定では空気取り入れ口と出口にサンプリング管を挿入した。

測定部はロッド径 30 mm、内径 50mm、有効ロッド長さ 400mm の二重円筒型の DMA、CNC(TSI model 3022)、高電圧電源およびコンピュータからなる。コンピュータから指示し CNC の D/A 出力にアナログ電圧値を出力し、その電圧を高電圧電源で増幅して DMA に印加する。適当な遅れ時間後 CNC で測定した粒子濃度をコンピュータに取り込む。電圧を順次増加させながら、以上の命令をくり返すプログラムを Quick Basic で作成した。

粒度分布は印加電圧を 1 ステップにつき 6 秒間隔で変化させ、測定時間約 4 分弱のステップモード（迅速ステップモード）の条件で計測した。印加電圧は Adachi らの方法に従い、電気移動度  $Z_p$  で  $1.0 \times 10^{-2}$  から  $3.0 \times 10^{-5} (\text{cm}^2/\text{sV})$  の間を（電圧で 33V から 11300V）30 ステップ設定し、電圧を順次増加させる方向で計測した。粒度分布と総粒子数の解析は同じく Adachi らの方法で行った。本方法の有効測定粒径範囲は  $0.02 \sim 0.3 \mu\text{m}$  である。

### 結果

Fig.2 に防じんマスク用フィルターの漏れ率の測定結果を一例として示す。試験エアロゾルの食塩粒子は幾何平均径  $0.1 \mu\text{m}$ 、幾何標準偏差 1.8 であった。フィルターに食塩粒子が堆積することの影響を見るため 30 分毎に計測した。このフィルターはガラス繊維を素材とし、粒径  $0.2$  から  $0.3 \mu\text{m}$  で最も通過率が高くなりそれより小さな粒子では急速に性能が上昇することがわかる。

喫煙場所に設置されているテーブル型空気清浄機の集塵性能の測定結果を Fig.3 に示す。電気集塵機と思われるこの空気清浄機は  $0.05 \mu\text{m}$  以上の粒子の 80% 以上を捕集するが、それ以下の粒径では性能が低下する。また風量を増加した場合も性能は低下する。ここでは直接風量の測定は行っていない。これらの性能測定にはここで示した電気移動度分級装置以外に測定方法はない。

### 文献

- 1) Adachi, M. et al. (1990) *Aerosol Sci. and Tech.*, 12, 225-239
- 2) Wang, S.C., and R.C. Flagan, (1990) *Aerosol Sci. and Tech.*, 13, 230-240

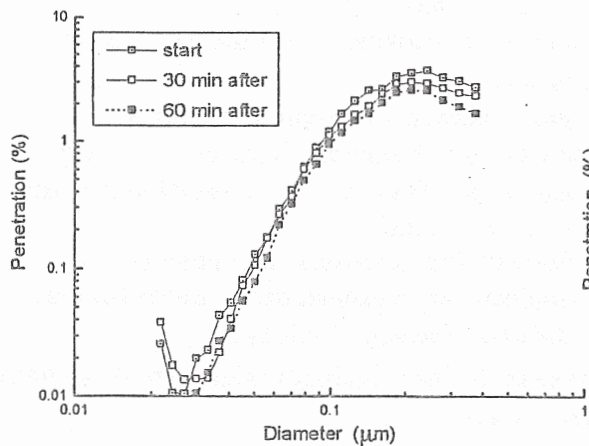


Fig.2 フィルターの粒径別漏れ率

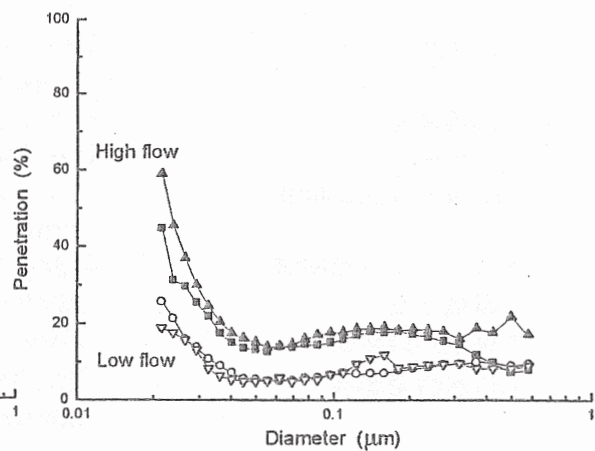


Fig.3 空気清浄機の捕集性能

# 第 12 回

## エアロゾル科学・技術研究討論会

### The 12th Symposium on AEROSOL SCIENCE & TECHNOLOGY

August 23~25, 1995

Hachioji, Japan

#### 日本エアロゾル学会

〒565 豊中市新千里東町1-4-2  
千里ライフサイエンスセンタービル 14階  
(財)日本学会事務センター大阪事務所内

Japan Association of Aerosol Science and Technology  
c/o Center for Academic Societies, Osaka  
14th floor, Senri Life Science Center Bldg., 1-4-2  
Shinsenrihigashi-machi, Toyonaka 565

in association with

- |    |   |   |
|----|---|---|
| 共催 | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 静電気学会</li><li>・ 日本気象学会</li><li>・ 日本空気清浄協会</li><li>・ 日本産業衛生学会</li><li>・ 日本大気電気学会</li><li>・ 日本粉体工業技術協会</li><br/><li>・ 粉体工学会</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>・ Institute of Electrostatics, Japan</li><li>・ The Meteorological Society of Japan</li><li>・ Japan Air Cleaning Association</li><li>・ Japan Association of Industrial Health</li><li>・ The Society of Atmospheric Electricity</li><li>・ The Association of Powder Process Industry and Engineering, Japan</li><li>・ The Society of Powder Technology, Japan</li></ul> |
|----|---|---|

in cooperation with

- |    |  |   |
|----|--|---|
| 協賛 | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 応用物理学会</li><li>・ 化学工学会</li><li>・ 空気調和・衛生工学会</li><br/><li>・ 日本エアロゾル医学会</li><li>・ 大気環境学会</li><li>・ 日本保健物理学会</li><li>・ 日本防菌防黴学会</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>・ The Japan Society of Applied Physics</li><li>・ The Society of Chemical Engineers, Japan</li><li>・ The Society of Heating Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan</li><li>・ Japan Society for Aerosols in Medicine</li><li>・ Japan Society for Atmospheric Environment</li><li>・ Japan Health Physics Society</li><li>・ The Research for Antibacterial and Antifungal Agents, Japan</li></ul> |
|----|--|---|



## Abstract

The distribution of the magnitude and polarity of the charge on airborne silica dust is measured using a semi-automatic method developed by Johnston. Silica dust aerosol is sampled through an electrified elutriator with the flow splitter perpendicular to the electric field direction at the exit end. Aerodynamic Particle Sizer (APS, TSI Inc.) connecting to the elutriator counts the numbers of particles in a selected size range.

The silica dust generated by a dust feeder is usually provided to the national approval test for dust respirators. Most of the silica dust particles are negatively charged. The charge distribution depends on relative humidity.

はじめに 防じんマスクの国家検定規則および J I S T 8 1 6 0 においてはシリカ粉じんを用いてフィルターの性能評価を行っている。これは鉱山などで破碎によって生じる粉じんを念頭においたものと考えられる。しかし、溶接フェームのような粒径のより小さい粉じんに対する保護具の需要も近年高まっている。このようなことから近年欧米では試験粉じんをより粒度の細かい粉じんに変更する傾向にある。現行の規則ではシリカ粉じんの粒度や荷電量の分布といった特性はあまり明確に指定されていない。従って粒子を変更した場合の捕集効率は予測できない。

本研究では実際に防じんマスク試験用に用いられているシリカ粉じんの荷電量を湿度やフィルター通過後の条件下で測定した。

荷電量の測定法 粒子の荷電量ないしそれらの分布を測定する方法としてはミリカンの実験に代表されるような電界中での粒子一個の運動から荷電量を求める方法がよく知られている。この方法はより洗練されて現在もマイクロオーダーの粒子の荷電量を測定するために用いられている。<sup>1,2)</sup>

本研究では Johnston <sup>3)</sup> の提出したマクロ的な測定法を採用した。これは Fig. 1 に示すような平行平板電極と下流において流れを等分に分ける流路系および粒子を計測する測定系からなる。印加電圧と正負それぞれの通過率の関係から図解法（図微分）で電気易動度の分布を求める。これを荷電量に変換する方法をとった。Fig. 1 の系で分離モビリティを  $\mu_0$  とすると

$$V_0 = \pm \frac{bF}{wI\mu_0} \quad (1)$$

ここで  $w$  は電極横幅、 $2b$  は電極間隔、 $l$  は電極長さ、 $F$  は流量である。



2 μmより大きな電気易動度をもつ粒子はすべて電極に捕集される。それ以下でかつμmより大きな電気易動度をもつ粒子は捕集されるかまたは反対の極に引かれていき、すべての粒子は始めにあった上部ないし下部から流出する。それμm以下では電気易動度と初期流入位置による。これらの解析方法は上記Johnston<sup>3)</sup>に詳説されている。粒子の計測は粒子カウンターなど既存の測定装置を用いるので、粒子径の情報は測定装置に依存するが測定方法としては簡便である。

**実験装置** Fig. 1に装置の概要を示す。シリカ粉じんはダストフィーダー（柴田科学器械DF-5）を用い国家検定と同じ条件でシリカ粉じんを発生した。ダストフィーダーはエジェクター方式でシリカ粉を吸引空気輸送する。滞留箱までは10mm銅管を用い途中にガラス製サイクロンを設置している。滞留箱は3m×3m×3m容積27m<sup>3</sup>で粉じん供給流量は約60LPMである。必要により滞留箱壁面に水を流すことにより加湿を行った。その後2μmカットの水平式エリトリエーターで粒子を分粒して測定に用いた。

粒子計測には空気力学相当径基準粒子測定装置(TSI APS33；以下APS33)を用いた。粒子の大きさに応じた光散乱強度を与える従来の粒子カウンターとは異なり、APS33は加速ノズルを飛び出す粒子の速度を測定することにより粒子の空気力学相当径を測定する。本装置の測定粒径範囲は約0.8 μmから30 μmである。サンプリング流量は5LPMであるが、平行平板からは2.5LPMの流量で吸引した。粉じん濃度は約5mg/m<sup>3</sup>と高いので1/100の希釈器(TSI Aerosol Diluter 3302)を用いた。APSは印加電圧のON-OFFを約2分毎に切り替えて濃度の測定を行った。

フィルター下流での粒子の荷電量を測定する場合は過去に国家検定で使用されていたマスク設置用箱を組み込んだ下流からサンプリングを行った。

**測定結果と考察** Fig. 3は結果の一例および解析法を示した図である。始めに2ヶ所の出口での通過率を滑らかな曲線で結んだ後、各印加電圧V<sub>0</sub>で接線を引き、その切片をそれぞれB+(V<sub>0</sub>)、B-(V<sub>0</sub>)を求める。μmから2μmでの頻度M(μm, 2μm)は正負それぞれ以下の式で示される。接線は目測で求めた。

$$A(V_0) = (B+(2V_0) + B-(2V_0))/2 \quad (2)$$

$$M+(μm, 2μm) = B+(V_0) + A(V_0) \quad (3)$$

$$M-(μm, 2μm) = B-(V_0) + A(V_0) \quad (4)$$

以下の図に空気動力学径が1 μmの粒子の各条件での荷電量分布を示した。縦軸は頻度でありMを単位荷電あたりに換算した。Fig. 4(a)は湿度の影響を見たもので、明らかに高湿度で荷電量が減少していることがわかる。また負に帯電している粒子が正に帯電している粒子より2倍以上であることもわかった。シリカ粉じんが負に偏って帯電していることはJohnstonら<sup>4)</sup>の報告にも示されている。一方Fig. 4(b)はフィルター前後での荷電量分布を見たもので、フィルター通過後に荷電量が減少していることがわかる。フィルター通過後では正負の差はほとんどないことがわかる。測定に関してはまだ不完全な点もあり、特に単位荷電量に近い場合の計測が装置構成の関係でできていないが今後この点を改良すればフィルター前後での荷電量分布を系統的に測定できると考える。

#### 引用文献

- 1) Kousaka, Y., Okuyama, K., Adachi, M. and Ebie, K.: J. Chem. Eng. Japan, 14, 54 (1981)
- 2) Masuda, H., Gotoh, K. and Orita, N.: J. Aerosol Res., Japan, 8, 325 (1993)
- 3) Johnston, A. M.: J. Aerosol Sci. 14, 643 (1983)
- 4) Johnston, A. M., Vincent, J. H. and Jones, A. D.: Aerosol Sci. and Tech. 6, 115 (1987)

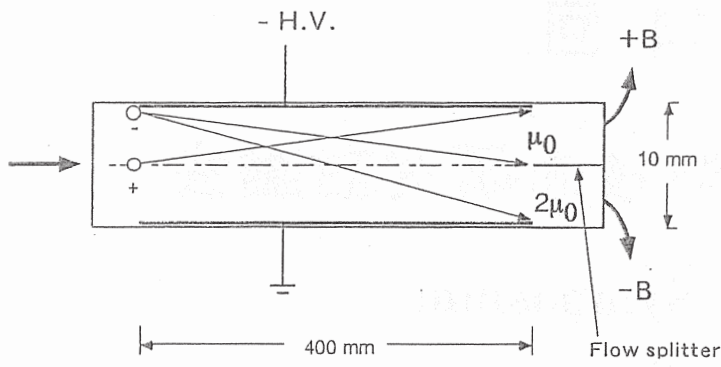


Fig. 1 Schematic cross-section through the split-flow type elutriator.

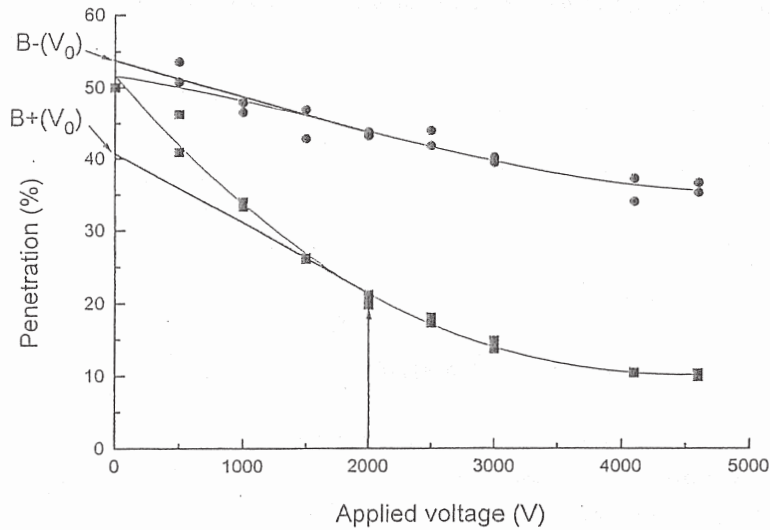


Fig. 3 Penetration of silica dust as a function of applied voltage.

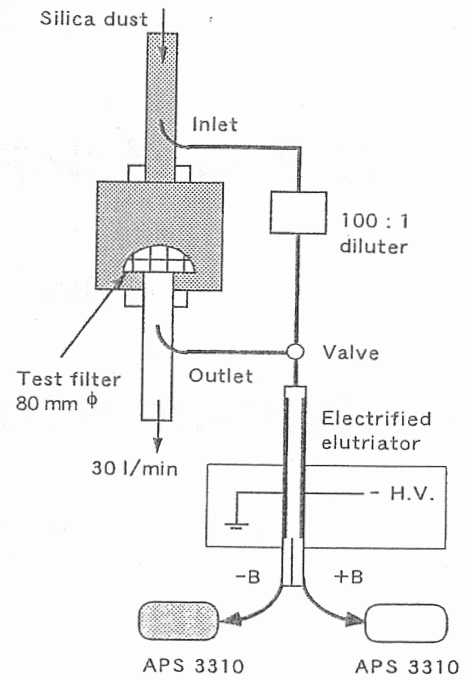
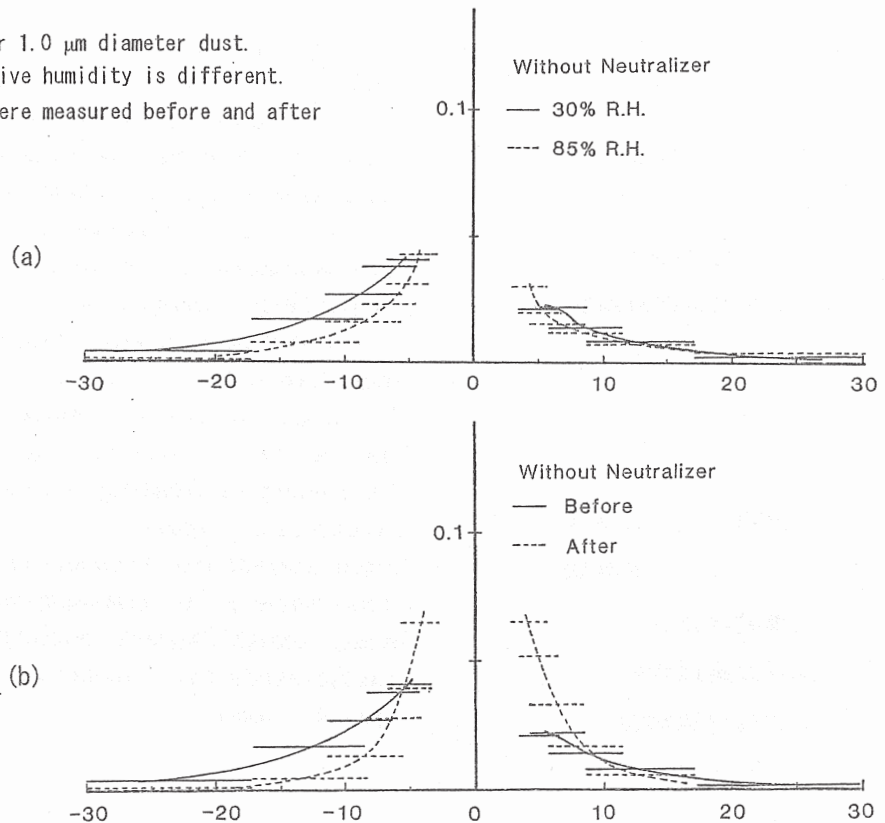


Fig. 2 Experimental apparatus.

Fig. 4 Charge distributions for 1.0 μm diameter dust.  
 (a) In this case, relative humidity is different.  
 (b) The distributions were measured before and after a fibrous filter.



# 第 14 回

## エアロゾル科学・技術研究討論会

### The 14th Symposium on AEROSOL SCIENCE & TECHNOLOGY

August 21~23, 1997

Kitakyushu, Japan

日本エアロゾル学会

〒565 豊中市新千里東町1-4-2  
千里ライフサイエンスセンタービル 14階  
(財)日本学会事務センター大阪事務所内

Japan Association of Aerosol Science and Technology  
c/o Center for Academic Societies, Osaka  
14th floor, Senri Life Science Center Bldg., 1-4-2  
Shinsenrihigashi-machi, Toyonaka 565

共催 ・ 静電気学会

・ 日本気象学会

・ 日本空気清浄協会

・ 日本産業衛生学会

・ 日本大気電気学会

・ 日本粉体工業技術協会

・ 粉体工学会

協賛 ・ 応用物理学会

・ 化学工学会

・ 空気調和・衛生工学会

・ 日本エアロゾル医学会

・ 大気環境学会

・ 日本保健物理学会

・ 日本防菌防黴学会

in association with

・ Institute of Electrostatics, Japan

・ The Meteorological Society of Japan

・ Japan Air Cleaning Association

・ Japan Association of Industrial Health

・ The Society of Atmospheric Electricity

・ The Association of Powder Process Industry and  
Engineering, Japan

・ The Society of Powder Technology, Japan

in cooperation with

・ The Japan Society of Applied Physics

・ The Society of Chemical Engineers, Japan

・ The Society of Heating Air-Conditioning and Sanitary  
Engineers of Japan

・ Japan Society for Aerosols in Medicine

・ Japan Society for Atmospheric Environment

・ Japan Health Physics Society

・ The Research for Antibacterial and Antifungal  
Agents, Japan



## Abstract

To accelerate measurement of particle size distributions using differential mobility classifier DMA, a computer-controlled fast stepping mode was developed. For each 6 s, the electric field was changed in discrete steps to select particles in a given mobility. By this method, 30 mobility measurements have been made in 200 seconds using DMA with a condensation nuclei counter CNC.

The performance of filters for dust respirators was evaluated by this system. Maximum penetration of glass fiber filter showed at around 0.2  $\mu\text{m}$  in diameter but the penetration of electrostatic filter showed at 0.05  $\mu\text{m}$  in diameter.

## はじめに

微分型電気移動度分級装置(DMA)を用い、単分散粒子からなるエアロゾルを得て、フィルターの捕集効率を求める方法は広く行われている。通常、凝縮核計数器(CNC)を粒子濃度測定装置として用いる。この組み合わせで 0.3  $\mu\text{m}$  以下の粒子に対して粒度別の捕集効率を精密に得ることができる。しかし、計測に時間がかかる、DMA 出口でのエアロゾル流量が少ない、フィルター通過流量に制限があるなど不便な点も多い。

DMA、CNC の組み合わせによりエアロゾルの粒度分布を短時間で測定する方法も Adachi<sup>1)</sup>により開発された迅速なステップモードによる測定法、Wang and Flagan<sup>2)</sup>によるスキヤニングモードによる測定法、スキヤニングモードでより高速化した Endo<sup>3)</sup>の方法が発表され、実用化されている。これらの方法は通常のステップモードで 30 から 60 分近く必要であった粒度分布測定時間を 1 分近くまで短縮することが可能となってきた。フィルターの捕集効率は粒子

の堆積とともに変化するが、数分の測定時間であれば粒子カウンター(OPC)などと同等の結果を得ることができる。またこの場合、測定範囲のすべての捕集効率を 1 度で求めることができる利点もある。

本研究では防じんマスクのフィルターの捕集効率を得るため、ステップモードをコンピュータプログラムで迅速に行い、通常のステップモードと同様に粒度分布を得ることが可能であることを確認後、フィルター前後の濃度と粒度分布から粒径別の捕集効率を得た。

## 実験装置と方法

Fig.1 にフィルター性能評価用装置と DMA と CNC からなる粒度分布測定装置を示す。試験用粉じん発生装置は柴田科学器械工業製の PG-N 型を使用し、10%食塩水を噴霧乾燥して食塩粒子を得た。使用したフィルターは防じんマスク用のフィルターで専用の架台に取り付けて用いた。

Toshihiko MYOJO

National Institute of Industrial Health, Tama, Kawasaki, 214, Japan

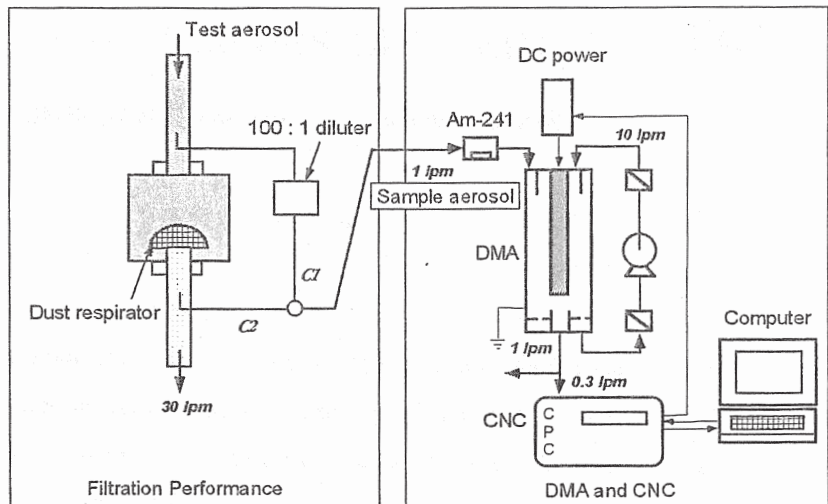


Fig.1 Experimental apparatus.

上流側の濃度が高いので 100 分の 1 希釈装置を用いて希釈後、粒度分布測定装置に導入した。測定部はロッド径 30、内径 50mm、有効ロッド長さ 400mm の二重円筒型の DMA、CNC(TSI model 3022)、高電圧電源およびコンピュータからなる。コンピュータから指示し CNC の D/A 出力にアナログ電圧値を出力し、その電圧を高電圧電源で増幅して DMA に印加する。適当な遅れ時間後 CNC で測定した粒子濃度をコンピュータに取り込む。電圧を順次増加させながら、以上の命令をくり返すプログラムを Quick Basic で作成した。

印加電圧を 1 ステップにつき 6 秒間隔で変化させ、約 4 分弱ですべて計測するという迅速なステップモード（迅速ステップモード）を試みた。本方法では 1 ステップを 6 秒とし、系の遅れ時間を 12 秒とした。この遅れ時間は通常のステップモードによる測定結果と比較することにより決定した。有効ロッド長さ 400mm の通過時間は Fig.1 に示す条件では 2.7 秒である。印加電圧は Adachi らの方法に従い、電気移動度  $Z_p$  で  $1.0 \times 10^{-2}$  から  $3.0 \times 10^{-5} (\text{cm}^2/\text{sV})$  の間を（電圧で 33V から 11300V）30 ステップ設定し、電圧を順次増加させる方向で計測した。この方法により Fig.1 に示すフィルター前後の濃度と粒度分布から粒径別の捕集効率を得た。粒度分布と総粒子数の解析は同じく Adachi らの方法で行った。

### 結果と考察

Fig.2 に  $0.10 \mu\text{m}$  のポリスチレンラテックス (PSL) 粒子を計測した測定結果を示す。ここでは測定粒径を  $0.013$  から  $0.43 \mu\text{m}$  まで計算している。 $0.1 \mu\text{m}$  付近のピークが PSL の粒子を示し、それ以下の粒子は粒子を分散している液に由来すると思われる。迅速ステップモードと従来のステップモード（1 ステップ 20 秒）は同じ粒度分布を示すが、迅速ステップモードの方ではピークが鈍ることがわかる。ステップモードは 1 ステップ 60 秒と 1 ステップ 20 秒とで大きな違いは見られなかったが、1 ステップ 20 秒でも測定には 10 分以上必要である。迅速ステップモードでは 3 分 30 秒の測定間隔で実質  $0.02$  から  $0.3 \mu\text{m}$  の粒径範囲について測定が可能である。

Fig.3 と Fig.4 にフィルターの捕集効率の測定結果を示す。試験エアロゾルとして、食塩水を噴霧乾燥することにより得られた幾何平均径  $0.1 \mu\text{m}$ 、幾何標準偏差 1.8 の食塩粒子を用いた。両図ともフィルターに食塩粒子が堆積することの影響を見るため 30 分毎に計測した。Fig.4 はガラス繊維を素材とするフィルターで粒径  $0.2$  から  $0.3 \mu\text{m}$  で最も通過率が高くなりそれより小さな粒子では急速に性能が上昇することがわかる。

Fig.4 は防じんマスクでよく用いられる静電気を帯びたフィルターの捕集性能を示している。粒径  $0.05\mu\text{m}$  付近で最も通過率が高くなり、ガラス繊維をベースとするフィルターとかなり異なる傾向があることがわかる。数種類のフィルターを計測した結果、一般に静電気式のフィルターは通過率の粒径依存性はガラス繊維フィルターに比べ少ないことがわかった。

#### まとめ

本研究で示したような多分散の試験エアロゾルを直接用いてフィルターの捕集効率を DMA、CNC で測定する方法は簡便で測定時間も短く実用的である。また 2 個以上の荷電の起きる可能性のあるサブミクロン領域では単分散粒子を分離後、計測するより高い精度を期待できる。本方法では粒径の測定精度、遅れ時間の意味の検討など今後課題も残っている。

#### 文献

- 1) Adachi, M., K. Okuyama, Y. Kousaka, S.W. Moon and J.H. Seinfeld, (1990) *Aerosol Sci. and Tech.*, **12**, 225-239
- 2) Wang, S.C., and R.C. Flagan, (1990) *Aerosol Sci. and Tech.*, **13**, 230-240
- 3) Endo, Y., N. Fukusima, S. Tashiro and Y. Kousaka, (1997) *Aerosol Sci. and Tech.*, **26**, 43-50

Fig. 4 Penetration of an electrostatic filter for dust respirator

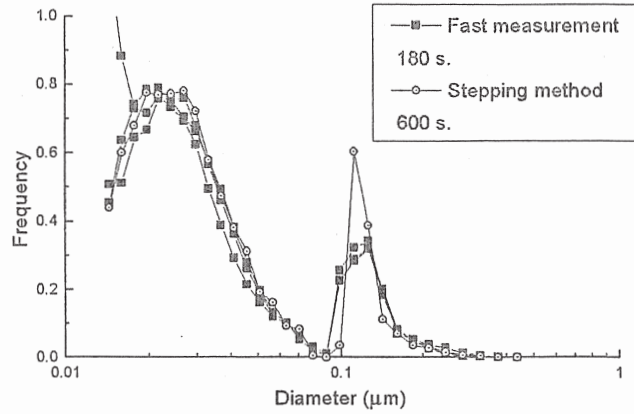


Fig.2 Size distribution of  $0.1\mu\text{m}$  PSL particles

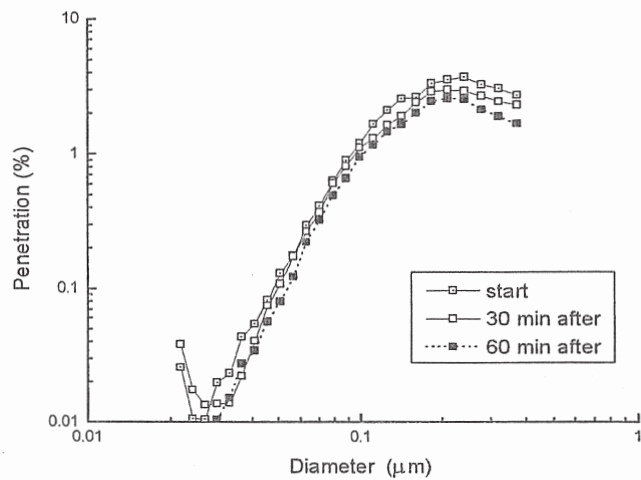
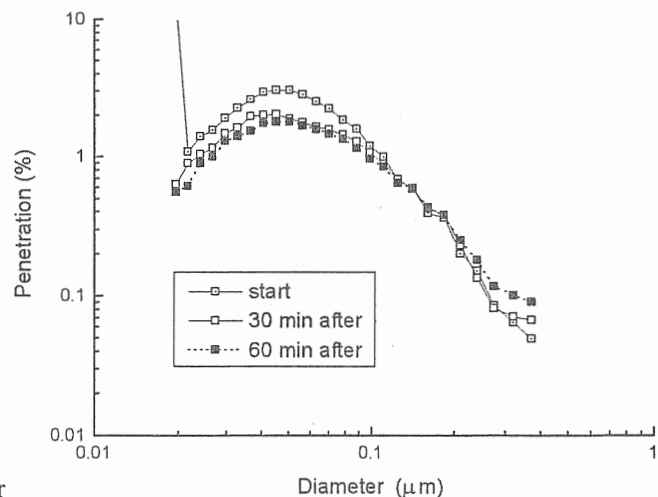


Fig.3 Penetration of a glass fiber filter for dust respirator.



# 防じんマスク等に係る検討会報告書

平成12年4月

防じんマスク等に係る検討会

防じんマスク等に係る検討会メンバー名簿

- 木村 菊二 (財)労働科学研究所 名誉研究員
- (座長)
- 興 重治 中央労働災害防止協会 技術支援部付技術顧問
- 笹生 稔 スリーエムヘルスケア株式会社  
安全衛生製品事業部 技術部長
- 重松 開三郎 株式会社重松製作所 取締役会長
- 高橋 孝治 (社)日本塗装工業会 常務理事
- 野崎 亘右 興研株式会社 常務取締役
- 松村 芳美 (社)産業安全技術協会
- 明星 敏彦 産業医学総合研究所 人間工学特性研究部  
主任研究官
- 山中 昇 川口鋳物工業協同組合 技術顧問

(五十音順)



## 防じんマスク等に係る検討会の検討経過について

平成12年

1月24日 第1回検討会

- ① 労働安全衛生法における防じんマスク等の型式検定について
- ② 防じんマスク等を必要とする業務等について
- ③ 我が国及び諸外国における防じんマスク等の規格等について
- ④ 防じんマスク等の規格の見直しに係る意見聴取について
- ⑤ 防じんマスク等の規格の見直し等に係る基本的な考え方について
- ⑥ 防じんマスク等の規格の見直しの方向について
- ⑦ その他

2月17日 第2回検討会

- ① 防じんマスクの規格の見直しについて
- ② 防毒マスクの規格の見直しについて
- ③ 防じんマスク等の表示等について
- ④ 防じんマスク等の選択・使用等について
- ⑤ その他

3月14日 第3回検討会

- ① 防じんマスクの規格の見直しについて
- ② 防毒マスクの規格の見直しについて
- ③ 防じんマスクの選択・使用等について
- ④ 防毒マスクの選択・使用等について
- ⑤ その他

4月13日 第4回検討会

- ① 防じんマスクの選択・使用等について
- ② 防毒マスクの選択・使用等について
- ③ 防じんマスク等に係る検討会報告書について
- ④ その他

## 目 次

|                               | ページ |
|-------------------------------|-----|
| 1 趣旨・目的 .....                 | 1   |
| 2 防じんマスク等の規格の見直しに係る方向 .....   | 2   |
| 2-1 防じんマスク .....              | 2   |
| (1) 種類等について .....             | 2   |
| (2) 形状について .....              | 3   |
| (3) 強度に係る試験について .....         | 3   |
| (4) 構造について .....              | 4   |
| (5) 性能試験について .....            | 4   |
| (6) 表示等について .....             | 8   |
| (7) 検定設備について .....            | 8   |
| (8) 型式検定合格標章について .....        | 9   |
| (9) 型式検定の際の面体等の提出個数について ..... | 9   |
| 2-2 防毒マスク .....               | 10  |
| (1) 適用範囲、種類等について .....        | 10  |
| (2) 強度に係る試験について .....         | 10  |
| (3) 構造について .....              | 11  |
| (4) 性能試験について .....            | 11  |
| (5) 表示等について .....             | 13  |
| (6) 検定設備について .....            | 13  |
| (7) 型式検定合格標章について .....        | 14  |
| (8) 型式検定の際の面体等の提出個数について ..... | 14  |

|     |                       |    |
|-----|-----------------------|----|
| 3   | 防じんマスク等の選択、使用等について    | 15 |
| 3-1 | 防じんマスクの選択、使用等について     | 15 |
|     | (1) 事業者が実施する事項        | 15 |
|     | ① 防じんマスクの性能           | 15 |
|     | ② 防じんマスクの選択に当たっての留意事項 | 15 |
|     | ③ 防じんマスクの使用に当たっての留意事項 | 17 |
|     | ④ 防じんマスクの保守管理上の留意事項   | 18 |
|     | (2) 製造者等が実施する事項       | 19 |
| 3-2 | 防毒マスクの選択、使用等について      | 21 |
|     | (1) 事業者が実施する事項        | 21 |
|     | ① 防毒マスクの性能            | 21 |
|     | ② 防毒マスクの選択に当たっての留意事項  | 21 |
|     | ③ 防毒マスクの使用に当たっての留意事項  | 24 |
|     | ④ 防毒マスクの保守管理上の留意事項    | 26 |
|     | (2) 製造者等が実施する事項       | 27 |
|     | 資料                    | 29 |

## 1 趣旨・目的

防じんマスク及び防毒マスク（以下「防じんマスク等」という。）は、有害物等を取り扱う等一定の作業に労働者を従事させる場合に、有害物等による労働者へのばく露を防止するための有効な手段である。

そのため、防じんマスク等については、労働安全衛生法に基づき型式検定を行い、労働大臣が定める防じんマスク等の規格に適合したものでなければ、譲渡し、貸与してはならないよう規定されている。

防じんマスク等の規格については、技術革新の進展等による防じんマスク等の性能の向上に伴い見直しを行ってきたところであるが、現行規格に改正されてから、かなりの年数が経過しており、防じんマスク等の性能試験方法等の国際整合性を図るとともに、現在の技術に見合った防じんマスク等の性能を確保することが必要となっている。

このため、本検討会において、

- ① 技術の進展、材料の進歩等による性能の向上に伴い、防じんマスク等の性能基準等を見直すこと。
- ② 防じんマスク等の性能試験方法については、原則として国際的整合を図るとともに、新たな性能試験方法に基づく性能基準を定めること。

なお、見直しに際しては、労働者の生命と健康を確保するという観点から、日本人の身体的特徴など日本の特殊事情を考慮すること。

- ③ 作業の態様、有害物等の発散の態様等を考慮した防じんマスク等の種類等の区分を設けること。
  - ④ 有害物等からのばく露を的確に防止するためには、作業の態様、有害物等の発散の態様等を考慮した防じんマスク等の適切な選択・使用等の基準を示すこと。
- を基本方針として、学識経験者、メーカー、ユーザーの各代表者から、防じんマスク等の規格の見直しに係る方向について及び防じんマスク等の選択、使用等について意見をいただくこととしたものである。

## 2 防じんマスク等の規格の見直しに係る方向

防じんマスク及び防毒マスクの規格の見直しについての検討事項及びその方向は、次のとおりである。

### 2-1 防じんマスク

#### (1) 種類等について

##### ① 種類について

防じんマスクの種類は、取替え式防じんマスク及び使い捨て式防じんマスクがあり、取替え式防じんマスクについては、隔離式防じんマスク及び直結式防じんマスクに形状により区分されており、これらについては、それぞれの種類に応じて必要な構造、性能等が異なり、また、それぞれの種類に応じて型式検定に合格した防じんマスクがあるため、現行のままの区分とする。

##### ② 粒子捕集効率等による区分の設定について

現在の粒子捕集効率試験に用いられている石英粒子は主に鉱物性粉じんを想定して採用されているものであるが、国際的には塩化ナトリウム粒子を用いることが主流であり、また、現行より粒径が小さい試験粒子を用い、粒子捕集効率の高い複数の基準を設けることで、作業の態様、有害物等の発散の態様等を考慮した適切な防じんマスクの選択・使用をすることができる。そのため、粒子捕集効率により複数の区分を設けることとする。そのときには、吸気抵抗試験及び排気抵抗試験における基準にも配慮する必要がある。

また、粉じん等にオイルミスト等が混在している作業環境で使用される防じんマスクについても性能を確保することとする。

#### ア 試験粒子について

粒子捕集効率試験における試験粒子としては、我が国では石英粒子を用いているが、国際的には塩化ナトリウム粒子を用いており、さらに、これに加え油分を含む液体粒子が存在する作業環境で使用される防じんマスクのために、試験粒子にフタル酸ジオクチル（以下「DOP」という。）やパラフィンの粒子を用いている。

このため、我が国においても、試験方法の国際整合性ととも試験性能の向上を図るため、試験粒子を石英粒子に替えて塩化ナトリウム粒子を用いて試験を実施することとする。

また、粉じん等にオイルミスト等が混在している作業環境で使用される防じんマスクの性能を確保するため、試験粒子に一定の純度等が確保しやすい、DOP粒子を用いて試験を実施することとする。

#### イ 粒子捕集効率等による区分について

作業の態様、有害物等の発散の態様等を考慮し、防じんマスクの種類、粒子捕集効率試験の試験粒子の種類及び粒子捕集効率により、次のように区分する。

なお、これまでの石英粒子における95%の粒子捕集効率は、塩化ナトリウム粒子における80%の粒子捕集効率にほぼ相当する。

(7) 取替え式防じんマスクの場合

塩化ナトリウム粒子とDOP粒子の試験粒子ごとに、それぞれ80%以上、95%以上及び99.9%以上の粒子捕集効率の3区分

(イ) 使い捨て式防じんマスクの場合

塩化ナトリウム粒子とDOP粒子の試験粒子ごとに、それぞれ80%以上、95%以上及び99.9%以上の粒子捕集効率の3区分

なお、粒子捕集効率が高い高性能の防じんマスクにおいては、顔面との密着性を確保することは重要である。そのため、取扱説明書等には、防じんマスクの粒子捕集効率の区分に応じた適用範囲や使用用途、密着性を検査する方法を記載するとともに、使い捨て式防じんマスクにあってはさらに漏れ率を記載すること。

また、使い捨て式防じんマスクにあっては、特に高い密着性が要求される有害性の高いものを取り扱う作業については、使用できないこととし、この旨を取扱説明書等に記載すること。

(2) 形状について

吸気弁については、取替え式防じんマスクの形状に関する要件であり、呼気中の湿気等がろ過に与える影響を考慮すると、現行のままの規定とする。

なお、今後、取替え式防じんマスクの吸気弁については、排気弁も含め必要性を検討することが必要である。また、これとともに吸気弁をなくした場合におけるろ過材の性能を確保する方法等についても検討することが必要である。

(3) 強度に係る試験について

① しめひも取付部分及びしめひもの引張荷重について

面体の材料の弾力性の向上等により、装着時に強く締めることなく密着性を保つことが可能となってきた。また、しめひも取付部分及びしめひもの破断等がないことを確認するものであるため、引張荷重を次のとおりとする。

ア 全面形の面体を有する取替え式防じんマスクの場合

50ニュートン

イ 半面形の面体を有する取替え式防じんマスクの場合

25ニュートン

ウ 使い捨て式防じんマスクの場合

10ニュートン

② 連結管取付部及び連結管の引張荷重について

連結管取付部及び連結管の破断等がないことを確保することは重要であるため、引張荷重は現行のまま（又は100ニュートン）とする。

#### (4) 構造

##### ① 密着性の確認について

防じんマスクを着用したときには、面体と顔面との間に漏れがないようにすることが重要である。

密着性の良否を確認する方法としては次のような方法がある。

##### ア 取替え式防じんマスクの場合

防じんマスク内を陰圧（吸気）又は陽圧（呼気）にすることにより確認する方法がある。

##### イ 使い捨て式防じんマスクの場合

サッカリン等を用いて確認する方法等がある。

##### ② 使い捨て式防じんマスクにおける型くずれについて

使い捨て式防じんマスクについては、面体及びろ過材が一体となったものであるため、面体と顔面の接触する部分のみだけでなく、面体及びろ過材が型くずれすることにより性能への影響があり得るため、現行のままの規定とする。

##### ③ 使い捨て式防じんマスクの漏れ率及びぬれ抵抗について

個々の作業者の顔面への密着性は、防じんマスクの接顔部の形状と作業者の顔面の形状との相互関係や防じんマスクの着用の方法により異なるため、漏れ率の結果を用いて一概に判断することが難しいが、当該結果のデータを参考にするとともに、顔面への密着性の良否を確認することにより、防じんマスクの選択・使用を適切に行うことが重要である。そのため、使い捨て式防じんマスクの漏れ率及びぬれ抵抗値については、現行のままの規定とする。

##### ④ しめひもの長さの調整等について

面体への適切な密着性を確保するには、しめひもの長さを調節し、防じんマスクの面体と作業者の顔面への密着性を確保することが重要である。そのため、しめひもの長さを容易に調整できることが必要である。ただし、使い捨て式防じんマスクについては、後頭部において固定することにより、顔面との密着性を確保できるものについてはこの限りでない。

また、適切な密着性を確保するためには、防じんマスクの位置がずれないようにしめひもでしっかり固定する必要があるため、耳にかけることなく、後頭部において固定する必要がある。

#### (5) 性能試験について

性能試験については、国際的な整合性等を図るとともに、新たな性能試験方法に基づく性能基準を定めることとする。なお、試験基準については、日本人の身体的特徴など日本の特殊事情を考慮することとする。

そのため、粒子捕集効率試験については、試験粒子を石英粒子に代えて塩化ナトリウム粒子又はDOP粒子とし、排気弁の動的漏れ率試験については、当該試験に替え

て排気弁の基本的な特性を表している排気弁の作動気密試験を実施することとし、新たに、呼気における二酸化炭素濃度の上昇を把握するための二酸化炭素濃度上昇試験を実施する。

性能試験及びその基準については、次のとおりである。

#### ① 粒子捕集効率試験

##### ア 試験粒子の大きさ及び濃度について

試験粒子の径及び濃度については、作業環境での粒子状物質の発生状況、形態、大きさ等を考慮し、次のようにすることとする。

なお、粒径分布の中央値については、粒子数を基準にした中央値とする。

##### (1) 塩化ナトリウム粒子の場合

粒径：粒径分布の中央値が $0.06\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下で、幾何標準偏差が $1.8$ 以下

濃度： $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以下で、その変動が $\pm 15\%$ 以下

##### (2) DOP粒子の場合

粒径：粒径分布の中央値が $0.15\mu\text{m}$ 以上 $0.25\mu\text{m}$ 以下で、幾何標準偏差が $1.6$ 以下

濃度： $100\text{mg}/\text{m}^3$ 以下で、その変動が $\pm 15\%$ 以下

##### イ 試験流量

試験流量については、作業者の労働強度に関係しており、そのため、我が国では作業中の労働者が定常的に必要とする呼吸量が毎分 $16\sim 35\text{L}$ であることから毎分 $30\text{L}$ の定常流による試験を実施している。しかし、欧米では呼吸パターンを考慮し、呼吸の脈動による最大呼吸速度での性能を規定している。

試験流量と粒子捕集効率の関係は、一般的には試験流量が大きいときに粒子捕集効率が低い値となる。

また、防じんマスク装着時の呼吸パターンの記録においては、脈動は必ずしも正弦波ではなく、ピーク時において正弦波より低くなる傾向がある。

このことから、安全性の観点から呼吸による最大呼吸速度での性能を規定することとし、そのときの流量を毎分 $85\text{L}$ の定常流とする。

##### ウ 試験粒子の濃度の測定

防じんマスク通過前及び通過後の試験粒子の濃度の測定は、粒径等の性状等から試験粒子を検出し易い散乱光方式による濃度測定器により連続測定することとする。

##### エ 粒子捕集効率の判定

現在の粒子捕集効率試験においては初期値における基準となっているが、欧米では初期値から所定の粉じんが堆積するまでの間の捕集効率が判定の基準となっている。

試験粒子の堆積によるろ過材の捕集効率の低下があり得るため、試験粒子が一定の量供給されるまでの捕集効率の変化を測定し、その経過において捕集効率が所定の値以上であることを確認することが有効である。



市販の粒子捕集効率試験の結果、試験粒子が塩化ナトリウムの場合には100 mg 供給するまでの経過において、フタル酸ジオクチルの場合には200 mg 供給するまでの経過において、捕集効率の最低値が見られることが多いことから、それぞれ供給するまでの経過における最も低い値による判定とする。

オ 粒子捕集効率の基準

粒子捕集効率の基準は、次のとおりとする。

| 種 類         | 区 分        | 粒子捕集効率<br>(パーセント) |
|-------------|------------|-------------------|
|             | 取替え式防じんマスク |                   |
|             | RS2、RL2    | 95.0以上            |
|             | RS3、RL3    | 99.9以上            |
| 使い捨て式防じんマスク | DS1、DL1    | 80.0以上            |
|             | DS2、DL2    | 95.0以上            |
|             | DS3、DL3    | 99.9以上            |

DOP粒子により検定された防じんマスクは、塩化ナトリウム粒子により検定された防じんマスクの用途を包含するが、その逆はできない。

なお、「R」とは取替え式防じんマスクを、「D」とは使い捨て式防じんマスクを意味し、「S」とは試験粒子が塩化ナトリウム粒子であること、「L」とはフタル酸ジオクチル(DOP)粒子であることを意味する。

また、「1」とは粒子捕集効率が80.0%以上であること、「2」とは粒子捕集効率が95.0%以上であること、「3」とは粒子捕集効率が99.9%以上であることを表わしている。

## ② 吸気抵抗試験及び排気抵抗試験

### ア 試験流量

試験流量については、一定の範囲で吸気抵抗及び排気抵抗にほぼ比例しており、毎分40Lは一つの条件である。そのため、現行のままの試験流量とする。

### イ 吸気抵抗及び排気抵抗の基準

吸気抵抗及び排気抵抗の基準においては、粒子捕集効率の区分に応じた基準を設けることとする。なお、数値の決定に際しては、防じんマスクの構造及び性能の向上とともに日本人の身体的特徴等を考慮する。

吸気抵抗及び排気抵抗の基準は、次のとおりとする。

| 種 類                         | 区 分        | 吸気抵抗<br>(パスカル)   | 排気抵抗<br>(パスカル)  |
|-----------------------------|------------|------------------|-----------------|
|                             | 取替え式防じんマスク | RS1、RL1          | 70以下            |
| RS2、RL2                     |            | 80以下             | 70以下            |
| RS3、RL3                     |            | 160以下            | 80以下            |
| 使い捨て式防じんマスク<br>(排気弁を有しないもの) | DS1、DL1    | 60以下<br>(45以下)   | 60以下<br>(45以下)  |
|                             | DS2、DL2    | 70以下<br>(50以下)   | 70以下<br>(50以下)  |
|                             | DS3、DL3    | 150以下<br>(100以下) | 80以下<br>(100以下) |

## ③ 排気弁の作動性能等の試験

現在、排気弁の作動性能に関する試験としては、我が国の防じんマスクの規格及びEUの規格では動的漏れ率試験、我が国の防毒マスクの規格では作動気密試験又は米国の規格では作動気密試験に類似の試験を実施している。

動的漏れ率と作動気密性は弁の異なる特性を測定していることから、両者に相関関係は認められない。また、排気弁の動的漏れ率試験は、人間の呼吸に近い状態でその性能を判定する必要があることから実施されていたが、排気弁の種類による差が明確にでなかったこと等から、当該試験に代えて、排気弁の基本的な特性を表している排気弁の作動気密試験を行うこととする。試験の実施方法及びその基準については、防毒マスクの規格における基準と同様とする。

## ④ 面体の二酸化炭素濃度上昇試験

### ア 二酸化炭素濃度上昇試験

面体の死積については、防じんマスクの規格の構造要件において、「死積が著しく大きいものでないこと。」となっており、明確な判断基準がない。そのため、防じんマスクによっては、ノーズカップがなく死積が大きいため、作業環境と比

べ防じんマスクの内側の二酸化炭素濃度が上昇することがある。

そのため、吸気中の二酸化炭素濃度を把握する二酸化炭素濃度上昇試験を実施することとする。

試験方法については、試験用人頭の顔面部に防じんマスクを装着させ、次の試験条件等で、人工肺により吸排気させながら排気における二酸化炭素の濃度上昇が一定となるまで測定することとする。

試験条件：摂氏25℃±5℃以下

試験流量：2.0L/回±0.1L以下の正弦波で、15回/分を人工肺により吸排気

二酸化炭素濃度：排気による空気は、5%の二酸化炭素濃度を含有

#### イ 二酸化炭素濃度上昇の基準

二酸化炭素濃度上昇試験の基準は、欧州において設けており、防じんマスクを装着した状態での吸気における二酸化炭素濃度と装着していない状態での呼気における二酸化炭素濃度の差が、1.0%以下であることとしており、同様の基準とする。

### (6) 表示等について

#### ① 表示等について

防じんマスクについては、型式検定に合格した防じんマスク等を使用するとともに、作業環境の状態、作業内容にあった防じんマスクを選択、使用することが重要である。

そのため、従来の表示等の内容に加え、作業の態様、有害物等の発散の態様等を考慮した複数の粒子捕集効率等の区分を設けることから、「使用の範囲」において、粒子捕集効率の区分に応じた適用範囲、使用用途等防じんマスクの位置づけを明らかにすることとする。なお、使い捨て防じんマスクにあつては、特に高い密着性が要求される有害性の高いものを取り扱う作業については使用できない旨を記載すること。「使用上の注意事項」においても、製造者等における基準等として粒子捕集効率、吸気抵抗、排気抵抗、死積、重量等性能に関することを記載することが重要である。密着性試験の方法についても記載することとする。

なお、死積については二酸化炭素濃度上昇試験値から求めた値を記入する。

#### ② 吸気抵抗上昇値の測定方法について

吸気抵抗上昇値については、試験粒子を石英粒子に代えて塩化ナトリウム粒子とし、塩化ナトリウム粒子が防じんマスクに100mg堆積したときの試験流量が40Lの吸気抵抗を測定する。

### (7) 検定設備について

防じんマスクについては、型式検定を受けようとする者が一定の設備を有すること等とされており、防じんマスクの型式に必要な検査設備は次のとおりとする。

- ① 粒子捕集効率測定設備（試験粒子が塩化ナトリウム粒子である設備と試験粒子がDOP粒子である設備とがある。）
- ② 通気抵抗試験設備
- ③ 排気弁の作動気密試験設備（使い捨て式防じんマスクで排気弁を有しないものを除く。）
- ④ 二酸化炭素濃度上昇値試験設備
- ⑤ 漏れ率試験設備（使い捨て式防じんマスクのみ。）
- ⑥ むれ抵抗試験設備（使い捨て式防じんマスクのみ。）

(8) 型式検定合格標章について

労働衛生保護具用型式検定合格標章は、防じんマスクの種類区分により標記の方法が定められている。

今般、防じんマスクについては防じんマスクの種類並びに粒子捕集効率試験での試験粒子及びその基準により区分されるため、これら区分が明確となるよう表示を見直す必要がある。

(9) 型式検定の際の面体等の提出個数について

型式検定試験の方法等を見直しにともない、新規に防じんマスクの型式検定を受ける際に提出する面体等の個数等についても見直しを行う必要がある。

## 2-2 防毒マスク

### (1) 適用範囲、種類等について

#### ① 適用範囲について

防毒マスクの適用範囲については、ハロゲンガス用、有機ガス用、一酸化炭素用、アンモニア用、亜硫酸ガス用（亜硫酸・いおう用を除く。）、亜硫酸・いおう用の6種類があり、新たに有害物質の種類を加えるには、十分な基礎データ及び試験ガスの発生方法、検査技術等の確立が必要であるため、今後の知見の蓄積を待って検討を進めることが適当であり、現行のままの区分とする。

また、複数のガスに有効な複合タイプの防毒マスクについては、同一の防毒マスク又は吸収缶に対して同時に複数のガスの種類の検定を受けることができることとなっていることから、新たに設ける必要はなく、現行のままの規定とする。

#### ② 粉じんを捕集する防毒マスクについて

防毒マスクを使用する作業等には、粉じんと有害物質が混在する作業環境等があるため、粉じんを捕集する防毒マスクの種類を設けることとする。そのため、フィルタの粒子捕集効率は防じんマスクの規格と同様の試験方法によって実施し、その基準は塩化ナトリウム粒子とDOP粒子の試験粒子ごとに、それぞれ80%以上、95%以上及び99.9%以上の粒子捕集効率の3区分とする。

なお、亜硫酸・いおう用の区分を亜硫酸ガス用とし、亜硫酸ガスといおうを併せて捕集する場合には、粉じんを捕集するものを使用すれば足りるため、亜硫酸・いおう用の区分を削除する。

また、粉じんを捕集する防毒マスクについては、吸気抵抗及び排気抵抗に配慮する必要がある。

#### ③ 種類について

防毒マスクの種類は、隔離式防毒マスク、直結式防毒マスク及び直結式小型防毒マスクに区分されており、これらについては、それぞれの種類に応じて必要な構造、性能等が異なる。また、それぞれの種類に応じて型式検定に合格した防毒マスクがあるため、現行のままの区分とする。当該防毒マスクに関して、性能基準を検討し、適用範囲を見直すには、十分な基礎データ等が必要であり、今後の知見の蓄積を待って検討を進める必要がある。

### (2) 強度に係る試験について

#### ① しめひも取付部分及びしめひもの引張荷重について

面体の材料の弾力性の向上等により、装着時に強く締めることなく密着性を保つことが可能となってきた。また、しめひも取付部分及びしめひもの破断等がないことを確認するものであるため、引張荷重を次のとおりとする。

ア 全面形の面体を有する防毒マスクの場合

50ニュートン

イ 半面形の面体を有する防毒マスクの場合  
25ニュートン

② 連結管取付部及び連結管の引張荷重について

連結管取付部及び連結管の破断等がないことを確保することは重要であるため、引張荷重は現行のまま（又は100ニュートン）とする。

(3) 構造について

① 密着性の確認について

防毒マスクを着用したときには、面体と顔面との間に漏れがないようにすることが重要であり、そのため、使用者が顔面との密着性を容易に確認できるような構造とすることを規定する。そのときの確認方法としては、マスク内を陰圧（吸気）又は陽圧（呼気）にすることにより確認する方法がある。

② 粉じんを捕集する防毒マスクについて

粉じんを捕集する防毒マスクについては、吸収缶におけるフィルタの構造を規定し、その条件として、吸収缶の内側又は外側に具備することとする。

なお、亜硫酸・いおう用防毒マスクにおけるフィルタの規定は削除する。

(4) 性能試験について

性能試験については、国際的な整合性等を図るとともに、新たな性能試験方法に基づく性能基準を定めることとする。

そのため、防毒マスク（吸収缶を除く。）については、新たに、呼気における二酸化炭素濃度の上昇を把握するための二酸化炭素濃度上昇試験を実施するとともに、吸収缶については、粉じんを捕集する防毒マスクの吸収缶のフィルタの粒子捕集効率試験を実施する。

性能試験及びその基準については、次のとおりである。

① 防毒マスク（吸収缶を除く。）

ア 面体の二酸化炭素濃度上昇試験

2-1「防じんマスク」の(5)の④と同様とする。

② 吸収缶

ア 粉じんを捕集する防毒マスクにおける吸収缶のフィルタの粒子捕集効率試験

吸収缶のフィルタの粒子捕集効率試験方法については、2-1「防じんマスク」の(5)の①の防じんマスクの粒子捕集効率試験方法と同様に実施する。

粒子捕集効率の基準は、次のとおりとする。

| 区分                | S1、L1  | S2、L2  | S3、L3  |
|-------------------|--------|--------|--------|
| 粒子捕集効率<br>(パーセント) | 80.0以上 | 95.0以上 | 99.9以上 |

DOP粒子により検定されたフィルタは、塩化ナトリウム粒子により検定された吸収缶のフィルタの用途を包含するが、その逆はできない。

なお、「S」とは、試験粒子が塩化ナトリウム粒子であること、「L」とはフタル酸ジオクチル（DOP）粒子であることを意味し、「1」とは粒子捕集効率が80.0%以上であること、「2」とは粒子捕集効率が95.0%以上であること、「3」とは粒子捕集効率が99.9%以上であることを表わしている。

## イ 通気抵抗

粉じんを捕集する防毒マスクの吸収缶の通気抵抗の基準については、吸収缶のフィルタの通気抵抗（粒子捕集効率の区分に応じた基準）と現行の防毒マスクの規格の吸収缶の通気抵抗を考慮しながら設定することとする。なお、数値の決定に際しては、防毒マスクの性能の向上とともに日本人の身体的特徴等を考慮する。

通気抵抗の基準は、防毒マスクの種類及びフィルタの有無に応じて次のとおりとする。

(パスカル)

|            | 一酸化炭素用        |               |               |           |
|------------|---------------|---------------|---------------|-----------|
|            | フィルタのあるもの     |               |               | フィルタのないもの |
|            | 捕集効率<br>80.0% | 捕集効率<br>95.0% | 捕集効率<br>99.9% |           |
| 隔離式防毒マスク   | 310 以下        | 320 以下        | 400 以下        | 280 以下    |
| 直結式防毒マスク   | —             | —             | —             | —         |
| 直結式小型防毒マスク | —             | —             | —             | —         |

(パスカル)

|            | 一酸化炭素用以外のもの   |               |               |           |
|------------|---------------|---------------|---------------|-----------|
|            | フィルタのあるもの     |               |               | フィルタのないもの |
|            | 捕集効率<br>80.0% | 捕集効率<br>95.0% | 捕集効率<br>99.9% |           |
| 隔離式防毒マスク   | 310 以下        | 320 以下        | 400 以下        | 250 以下    |
| 直結式防毒マスク   | 280 以下        | 290 以下        | 370 以下        | 220 以下    |
| 直結式小型防毒マスク | 280 以下        | 290 以下        | 370 以下        | 220 以下    |

## ウ 吸収缶の除毒能力試験

吸収缶の除毒能力試験において、試験ガスの濃度の測定方法については、ガス分析計による場合とガス吸収法による場合があるが、当該測定方法については、除毒能力試験の基準の濃度の±10%以下の正確さで測定できるものであることとする。

また、現在の防毒マスクの規格において、試験粒子に試験煙含有空気を用いて粉じん捕集効率の測定を実施している方法及びその基準については削除する。

### (5) 表示等について

#### ① 表示等について

防毒マスクについては、型式検定に合格した防毒マスク等を使用するとともに、作業環境の状態、作業内容にあった防毒マスクを選択、使用することが重要である。

そのため、従来の表示等の内容に加え、防毒マスク（吸収缶を除く。）に添付される印刷物の記載事項における「使用上の注意事項」において、製造者等における基準等として吸気抵抗、排気抵抗、死積、重量等性能に関することを記載することが重要である。そのときの死積については二酸化炭素濃度上昇試験値から求めた値を記入する。また、粉じんを捕集する防毒マスクの区分を設定するため、吸収缶に添付される印刷物の記載事項として、粉じんを捕集する防毒マスクの吸収缶について吸気抵抗上昇値を追加するとともに、「使用の範囲」において、適用範囲、使用用途等防毒マスクの位置づけ等を明らかにすることとする。「使用上の注意事項」においても、製造者等における基準等として除毒能力、通気抵抗、粒子捕集効率（粉じんを捕集する防毒マスクに限る。）、重量、未使用吸収缶の保存期限等性能に関することを記載することが重要である。密着性試験の方法についても記載することとする。

吸収缶の外部の側面の色等については、亜硫酸・いおう用を削除し、また、吸収缶に粉じんを捕集するフィルタがある場合には、その部分に白線を入れることとする。

#### ② フィルタの吸気抵抗上昇値の測定方法について

粉じんを捕集する防毒マスクの吸収缶のフィルタの吸気抵抗上昇値については、2-1「防じんマスク」の(6)の②と同様に測定することとする。

### (6) 検定設備について

防毒マスクについては、型式検定を受けようとする者が一定の設備を有すること等とされており、防毒マスクの型式に必要な検査設備は次のとおりとする。

- ① 面体の気密試験設備
- ② 通気抵抗試験設備
- ③ 排気弁の作動気密試験設備
- ④ 二酸化炭素濃度上昇値試験設備
- ⑤ 吸収缶の気密試験設備



⑥ 除毒能力試験設備

⑦ 粒子捕集効率測定設備（粉じんを吸入する防毒マスクに限る。試験粒子が塩化ナトリウム粒子である設備と試験粒子がDOP粒子である設備とがある。）

(7) 型式検定合格標章について

労働衛生保護具用型式検定合格標章は、防毒マスクの種類区分により標記の方法が定められている。

今般、防毒マスクについては、防毒マスク（吸収缶を除く。）の種類とともに吸収缶の適用ガスの種類、フィルタの有無並びにフィルタの粒子捕集効率試験の試験粒子及びその基準により区分されるため、これら区分が明確となるよう表示を見直す必要がある。

(8) 型式検定の際の面体等の提出個数について

型式検定試験の方法等を見直しにともない、新規に防毒マスクの型式検定を受ける際に提出する面体等の個数等についても見直しを行う必要がある。

### 3 防じんマスク等の選択、使用等について

#### 3-1 防じんマスクの選択、使用等について

防じんマスクは、空気中に浮遊する粒子状物質（以下「粉じん等」という。）の吸入による健康障害を防止するために有効な対策である。しかし、いかに優れた防じんマスクでも、その選択、使用等が適正でなければ、その効果を発揮することが困難である。そのため、次の事項を実施すること。

##### (1) 事業者が実施する事項

事業者は、次の事項を実施することが重要であること。

- 事業者は、衛生管理者、作業主任者等の労働衛生に関する知識、経験を有する者のうちから、各作業場ごとに防じんマスクを管理する保護具着用管理責任者を指名し、防じんマスクの適正な着用、取扱方法について必要な指導を行わせるとともに、防じんマスクの適正な保守管理に当たらせること。
- 事業者は、防じんマスクを着用する労働者に対し、当該防じんマスクの取扱説明書、ガイドブック、パンフレット等（以下「取扱説明書等」という。）に基づき、防じんマスクの適切な着用方法、使用方法及び顔面と面体の密着性の確認方法について十分な教育や訓練を行うこと。

なお、防じんマスクの選択、使用等に当たっては、以下の事項について留意すること。

##### ① 防じんマスクの性能

防じんマスクの性能は、一般的に次のとおりであること。

###### ア 粒子捕集効率

粒子捕集効率が高いほど、粒径の小さい粉じん等をよく捕集できること。なお、粒子捕集効率試験の試験粒子が液体の場合のものにあつては、粉じん等とともに、オイルミスト等が混在するときに有効であること。

###### イ 吸気抵抗及び排気抵抗

吸気抵抗及び排気抵抗が低いほど呼吸が楽にできること。

###### ウ 吸気抵抗上昇値

吸気抵抗上昇値が高いほど目詰まりが早く、早く息苦しくなること。

##### ② 防じんマスクの選択に当たつての留意事項

防じんマスクの選択に当たっては、次の事項に留意すること。

- ア 防じんマスクは、機械等検定規則（昭和47年労働省令第45号）第14条の規定に基づき面体及びろ過材ごと（使い捨て式防じんマスクにあつては面体ごと）に

付されている検定合格標章により型式検定合格品であることを確認すること。

イ 次に掲げる粉じん等の種類、作業内容、作業強度等の作業条件、作業環境中の粉じん等の発散状況、作業時のばく露の危険性の程度等を考慮の上、防じんマスクの性能が記載されている取扱説明書等を参考にし、当該作業に適した防じんマスクを選ぶこと。

(ア) 別紙を参考に、粉じん等の種類、作業環境中の粉じん等の発散状況、作業時のばく露の危険性の程度等を考慮し、その危険性の程度に応じて適切な区分の防じんマスクを選ぶこと。

なお、使い捨て式防じんマスクにあつては、特に高い密着性が要求される有害性の高いものを取り扱う作業については、使用しないこと。

(イ) 作業環境中に粉じん等に混じってオイルミスト等が存在する場合にあつては、液体の試験粒子を用いた粒子捕集効率試験に合格した防じんマスク（R L 1、R L 2、R L 3、D L 1、D L 2及びD L 3）を使用すること。

(ロ) 作業内容、作業強度等を考慮して、防じんマスクの重量、吸気抵抗、排気抵抗等が当該作業に適したものを選ぶこと。作業強度が強い場合にあつては、吸気抵抗及び排気抵抗ができるだけ低いものを選ぶこと。

(ハ) ろ過材の使用限度時間は、作業環境中の粉じん等の種類、粒径、発散状況及び濃度に影響を受けるため、これら要因を考慮して選択すること。吸気抵抗上昇値が高いものほど使用限度時間は短くなること。

また、防じんマスクは、一般に粉じん等を捕集するに従って吸気抵抗が高くなるが、ろ過材の性質によっては、オイルミスト等を捕集すると、吸気抵抗値が変化せずに急激に粒子捕集効率等が低下するものもあるので、吸気抵抗上昇値のみをもって使用限度の判断基準にしないこと。

ウ 防じんマスクの顔面への密着性の確認

粒子捕集効率の高い防じんマスクであっても、着用者の顔面と防じんマスクの面体との密着が十分でなく漏れがあると粉じんの吸入を防ぐ効果が低下するため、防じんマスクの面体は、着用者の顔面にあつた形状及び寸法の接顔部を有するものを選択すること。特に、粒子捕集効率が高くなるほど密着性を確保する必要があること。そのため、次に示す手順又はこれと同等以上の方法により、各着用者に顔面への密着性の良否を確認させること。

(ア) 取替え式防じんマスクの場合

(i) 作業時に着用する場合と同じように、防じんマスクを着用する。なお、保護帽、保護めがね等の着用が必要な作業にあつては、保護帽、保護めがね等も同時に着用する。

(ii) 防じんマスクの面体を顔面に押しつけないように、フィットチェッカー等を用いて吸気口（排気口）をふさぐ。

(iii) 息を吸って（吐いて）、防じんマスクの面体と顔面との隙間から空気が面体

内に漏れ込まず（面体内から流出せず）、面体が顔面に吸い付けられる（面体内の圧力が顔面にかかる）かどうかを確認する。

(イ) 使い捨て式防じんマスクの場合

使い捨て式防じんマスクの取扱説明書に記載されている漏れ率のデータを参考とし、個々の着用者に合った大きさ、形状のものを選択する。

なお、大気中の粉じん、塩化ナトリウムエアロゾル、サッカリンエアロゾル等を用いて密着性の良否を確認する装置もあるので、これらを可能な限り利用し、良好な密着性を確保すること。

③ 防じんマスクの使用に当たっての留意事項

防じんマスクの使用に当たっては、次の事項に留意すること。

ア 防じんマスクは、酸素濃度18%未満の場所では使用してはならないこと。このような場所では送気マスク等を使用すること。

また、防じんマスク（防臭の機能を有しているものを含む。）は、有害なガスが存在する場所においては使用してはならないこと。このような場所では防毒マスク又は送気マスク等を使用すること。

イ 防じんマスクを適正に使用するため、防じんマスクを着用する前には、その都度、次の事項について点検を行うこと。

(ア) 面体、吸気弁、排気弁、しめひも等に破損、き裂、著しい変形がないこと。

(イ) 排気弁と弁座の間及び吸気弁に粉じん等が付着していないこと。

なお、吸気弁に粉じん等が付着している場合には、相当の漏込みが考えられるので、密着性、ろ過材の良否、排気弁の気密性等を十分にチェックすること。

(ウ) 吸気弁及び排気弁が適切に固定され、気密性が保たれていること。

(エ) ろ過材が適切に取り付けられていること。

(オ) ろ過材が破損したり、穴があいていないこと。

(カ) ろ過材から異臭が出ていないこと。

(キ) 予備の防じんマスク、ろ過材を用意しておくこと。

ウ 防じんマスクを適正に使用するため、顔面と面体の接顔部の位置、しめひもの位置及び締め方等を適切にすること。また、しめひもについては、耳にかけることなく、後頭部において固定すること。

着用後、防じんマスクへの漏込みがないことをフィットチェッカー等を用いて確認すること。

エ 次のような防じんマスクの着用は、面体の接顔部から面体内部へ粉じん等が漏れ込むおそれがあるため、行わないこと。

(ア) タオル等を当てた上から防じんマスクを使用すること。

(イ) 面体の接顔部に「接顔メリヤス」等を使用すること。ただし、防じんマスクの

着用により皮膚に湿疹等を起こすおそれがある場合で、かつ、面体と顔面との密着性が良好であるときは、この限りでないこと。

(ウ) 着用者のひげ、もみあげ、前髪等が面体の接顔部と面体の間に入り込んだり、排気弁の作動を妨害するような状態で防じんマスクを使用すること。

オ 防じんマスクの使用中に息苦しさを感じた場合には、ろ過材を交換すること。

なお、使い捨て式防じんマスクにあつては、当該マスクに表示されている使用限度時間に達した場合又は使用限度時間内であっても、作業に支障をきたすような息苦しさを感じたり、著しい型くずれを生じた場合には廃棄すること。

#### ④ 防じんマスクの保守管理上の留意事項

防じんマスクの保守管理に当たっては、次の事項に留意すること。

ア 防じんマスクを適正に使用するため、予備の防じんマスク、ろ過材その他の部品を常時備え付け、適時交換して使用できるようにすること。

イ 防じんマスクを常に有効かつ清潔に保持するため、使用後は粉じん等、湿気の少ない場所で、面体、吸気弁、排気弁、しめひも等の破損、き裂、変形等の状況及びろ過材の固定不良、破損等の状況を点検するとともに、防じんマスクの各部を次に示す方法により手入れを行うこと。ただし、取扱説明書等に特別な手入れ方法が記載されている場合には、その方法に従うこと。

(ア) 面体、吸気弁、排気弁、しめひも等

乾燥した布片又は湿った布片で、付着した粉じん、汗等を取り除くこと。

また、汚れが著しいときは、ろ過材を取り外した上で面体を中性洗剤等により水洗すること。

(イ) ろ過材

よく乾燥させ、ろ過材上に付着した粉じん等が飛散しない程度に軽くたたいて粉じん等を払い落とすこと。

ただし、ひ素、クロム等の有害性が高い粉じん等に対して使用したろ過材については、1度使用するごとに廃棄すること。

なお、ろ過材上に付着した粉じん等を圧縮空気等で吹き飛ばしたり、ろ過材を強くたたくなどの方法によるろ過材の手入れは、ろ過材を破損させるほか、粉じん等を再び飛散させることとなるので行わないこと。

また、ろ過材には水洗して再使用できるものと、水洗いすると性能が著しく低下したり破損したりするものがあるので、取扱説明書等の記載内容を確認し、水洗が可能な旨の記載があるもの以外は水洗いしてはならないこと。

(ウ) その他

取扱説明書に記載されている防じんマスクの性能は、ろ過材が新品のときのものであり、一度使用したろ過材を手入れして再使用（水洗して再使用することを

含む。) する場合は、新品のときより粒子捕集効率が低下していないこと及び吸気抵抗値が上昇していないことを確認して使用すること。

ウ 「イ」の点検等により、次のいずれかに該当する場合には防じんマスクの部品を交換し、又は防じんマスクを廃棄すること。

(ア) ろ過材については、破損した場合、穴があいた場合又は著しく変形を生じた場合

(イ) 面体、吸気弁、排気弁等について、破損、き裂、著しい変形を生じた場合、又は粘着性が認められた場合

(ウ) しめひもについて、破損した場合又は弾力性が失われ、伸縮不良の状態が認められた場合

(エ) 使い捨て防じんマスクにあつては、使用限度時間に達した場合又は使用限度時間内であっても、作業に支障をきたすような息苦しさを感じたり、著しい型くずれを生じた場合

エ 「イ」の後、直射日光の当たらない場所に湿気の少ない清潔な専用の場所を設け、管理状況が容易に確認できるように保管すること。保管に当たっては、積み重ね、折り曲げ等により面体、連結管、しめひも等について、き裂、変形等の異常を生じないように保管すること。

オ 使用済みのろ過材及び使い捨て式防じんマスクにあつては、付着した粉じん等が再飛散しないように容器又は袋に詰めた状態で廃棄すること。

## (2) 製造者等が実施する事項

防じんマスクの製造者等は、次の事項を実施することが重要であること。

- 防じんマスクの製造者等は、防じんマスクの販売に際し、防じんマスクの選択、使用等に関する情報の提供及びその具体的な指導をすること。
- 防じんマスクの製造者等は、防じんマスクの選択、使用等について、不適切な状態を把握した場合には、その是正について指導すること。

別紙

| 粉じん等の種類及び作業名  | 使用すべきマスクの区分  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 放射性物質がこぼれたとき等による汚染のおそれがある区域内の作業又は緊急作業</li> <li>○ ダイオキシン類のばく露のおそれのある作業</li> <li>○ その他上記作業に準ずる作業</li> </ul>  | <p>(オイルミスト等が混在しない場合)</p> <p>RS3<br/>RL3</p> <p>(オイルミスト等が混在する場合)</p> <p>RL3</p>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 金属のヒューム（溶接ヒュームを含む。）を発生する場所における作業</li> <li>○ 管理濃度が<math>0.1\text{mg}/\text{m}^3</math>以下の物質の粉じん等を発生する場所における作業</li> <li>○ その他上記作業に準ずる作業</li> </ul> | <p>(オイルミスト等が混在しない場合)</p> <p>RS2, RS3<br/>DS2, DS3<br/>RL2, RL3<br/>DL2, DL3</p> <p>(オイルミスト等が混在する場合)</p> <p>RL2, RL3<br/>DL2, DL3</p>                               |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 上記以外の粉じん作業</li> </ul>  | <p>(オイルミスト等が混在しない場合)</p> <p>RS1, RS2, RS3<br/>DS1, DS2, DS3<br/>RL1, RL2, RL3<br/>DL1, DL2, DL3</p> <p>(オイルミスト等が混在する場合)</p> <p>RL1, RL2, RL3<br/>DL1, DL2, DL3</p> |

注1) 防じんマスクは酸素濃度18%未満の場所では使用しないこと。このような場所では送気マスク等を使用すること。

2) 防じんマスク（防臭の機能を有しているものを含む。）は、有害なガスが存在する場所においては使用しないこと。このような場所では防毒マスク又は送気マスク等を使用すること。

### 3-2 防毒マスクの選択、使用等について

防毒マスクは、有毒なガス、蒸気等の吸入による健康障害又は急性中毒を防止するために有効な対策である。しかし、いかに優れた防毒マスクでも、その選択、使用等が適正でなければ、その効果を発揮することが困難である。そのため、次の事項を実施すること。

#### (1) 事業者が実施する事項

事業者は、次の事項を実施することが重要であること。

- 事業者は、衛生管理者、作業主任者等の労働衛生に関する知識、経験を有する者のうちから、各作業場ごとに防毒マスクを管理する保護具着用管理責任者を指名し、防毒マスクの適正な着用、取扱方法について必要な指導を行わせるとともに、防毒マスクの適正な保守管理に当たらせること。
- 事業者は、防毒マスクを着用する労働者に対し、当該防毒マスクの取扱説明書、ガイドブック、パンフレット等（以下「取扱説明書等」という。）に基づき、防毒マスクの適切な着用方法、使用方法及び顔面と面体の密着性の確認方法について十分な教育や訓練を行うこと。

なお、防毒マスクの選択、使用等に当たっては、以下の事項について留意すること。

#### ① 防毒マスクの性能

防毒マスクの性能は、一般的に次のとおりであること。

##### ア 除毒能力

吸収缶の除毒能力の数値が大きいほど、ガス及び蒸気に対する除毒性能を維持する時間が長いこと。

##### イ 粒子捕集効率

粒子捕集効率が高いほど、粒径の小さい粒子状物質（以下「粉じん等」という。）をよく捕集できること。なお、粒子捕集効率試験の試験粒子が液体の場合のものにあつては、粉じん等とともにオイルミスト等が混在するとき有効であること。

##### ウ 吸気抵抗及び排気抵抗

吸気抵抗及び排気抵抗が低いほど呼吸が楽にできること。

##### エ 吸気抵抗上昇値

吸気抵抗上昇値が高いほど目詰まりが早く、早く息苦しくなること。

#### ② 防毒マスクの選択に当たっての留意事項

防毒マスクの選択に当たっては、次の事項に留意すること。

- ア 防毒マスクは、機械等検定規則（昭和47年労働省令第45号）第14条の規定に基づき吸収缶（ハロゲンガス用、有機ガス用、一酸化炭素用、アンモニア用、亜硫酸ガス用のものに限る。）及び面体ごとに付されている検定合格標章により型式検定合格品であることを確認すること。



イ 次に掲げる有害物質(防毒マスクの規格第1条の表下欄に掲げる有害物質をいう。以下同じ。)の種類、作業内容、作業強度等の作業条件、作業環境中の有害物質の発散状況、作業時のばく露の危険性の程度等を考慮の上、防毒マスクの性能が記載されている取扱説明書等を参考にし、当該作業に適した防毒マスクを選ぶこと。

(7) 作業内容、作業強度等を考慮し、防毒マスクの重量、吸気抵抗、排気抵抗等が当該作業に適しているものを選ぶこと。作業強度が強い場合にあっては、吸気抵抗及び排気抵抗ができるだけ低いものを選ぶこと。

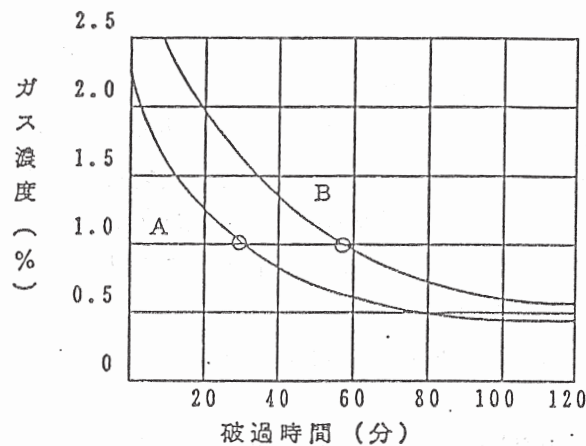
(4) 作業環境中の有害物質の種類、濃度及び粉じん等の有無に応じて、次の事項に留意して、面体及び吸収缶の種類を選ぶこと。

(i) 作業環境中の有害物質の種類、発散状況、濃度、作業時のばく露の危険性の程度を着用者に理解させること。

(ii) 作業環境中の有害物質の濃度に対して除毒能力に十分な余裕のあるものであること。

なお、除毒能力の高低の判断方法としては、防毒マスク及び防毒マスク用吸収缶に添付されている破過曲線図から、一定のガス濃度に対する破過時間(吸収缶が除毒能力を喪失するまでの時間)の長短を比較する方法があること。

例えば、次の図に示す吸収缶A及び同Bの破過曲線図では、ガス濃度1%の場合を比べると、破過時間はAが30分、Bが55分となり、Aに比べてBの除毒能力が高いことがわかること。



(9) 有機ガス用防毒マスクの吸収缶は、有機ガスの種類により「防毒マスクの規格」第7条に規定される除毒能力試験の試験用ガスと異なる破過時間を示す場合があること。

特に、メタノール、ジクロロメタン、二硫化炭素、アセトンについては、試験用ガスに比べて破過時間が著しく短くなるものが多いので注意すること。

(10) 使用する環境の温度、湿度によっては、吸収缶の破過時間が短くなる場合があること。

有機ガス用防毒マスクの吸収缶は、環境の温度、湿度が高いほど破過時間が短

くなる傾向があり、沸点の低い物質ほど、その傾向が顕著であること。また、一酸化炭素用防毒マスクの吸収缶は、環境の湿度が高いほど破過時間が短くなる傾向があること。

- (オ) 防毒マスクの吸収缶の破過時間を推定する必要があるときには、当該吸収缶を製造するメーカー等に照会すること。
- (カ) ガス又は蒸気状の有害物質が粉じん等と混在している作業環境の場合には、粉じん等を捕集するフィルタを有する吸収缶（以下「フィルタ付き吸収缶」という。）を選択すること。
- (キ) フィルタ付き吸収缶は、作業環境中の粉じん等の種類、発散状況、作業時のばく露の危険性の程度等を考慮し、その程度に応じて適切な区分のものを選ぶこと。なお、作業環境中に粉じん等に混じってオイルミスト等が存在する場合にあっては、液体の試験粒子を用いた粒子捕集効率試験に合格したフィルタ付き吸収缶（L1、L2及びL3）を使用すること。

捕集する作業環境中の粉じん等の種類、粒径、発散状況及び濃度が使用限度時間に影響するので、これらの要因を考慮して選択すること。フィルタ付き吸収缶の取扱説明書等には、吸気抵抗上昇値が記載されているが、これが高いものほど使用限度時間は短くなること。

フィルタ付き吸収缶は、一般に粉じん等を捕集するに従って吸気抵抗が高くなるが、フィルタの性質によっては、オイルミスト等を捕集すると、吸気抵抗が変化せずに急激に粒子捕集効率が低下するものがあるので、吸気抵抗上昇値のみをもって使用限度の判断基準にしないこと。

また、フィルタ付き吸収缶は、吸収缶の破過時間又はフィルタの目詰まりによる吸気抵抗の上昇により、使用限度時間が決まることに留意すること。

- (ク) 2種類以上の有害物質が混在する作業環境中で防毒マスクを使用する場合には、次によること。
  - (i) 作業環境に混在する2種類以上の有害物質について合格した吸収缶を選定すること。
  - (ii) この場合の吸収缶の破過時間については、当該吸収缶を製造するメーカー等に照会すること。

#### ウ 防毒マスクの顔面への密着性の確認

着用者の顔面と防毒マスクの面体との密着が十分でなく漏れがあると有害物質の吸入を防ぐ効果が低下するため、防毒マスクの面体は、着用者の顔面にあった形状及び寸法の接顔部を有するものを選択すること。そのため、次に示す手順又はこれと同等以上の方法により、各着用者に顔面への密着性の良否を確認させること。

- (ア) 作業時に着用する場合と同じように、防毒マスクを着用する。なお、保護帽、保護めがね等の着用が必要な作業にあっては、保護帽、保護めがね等も同時に着用する。
- (イ) 防毒マスクの面体を顔面に押しつけないように、フィットチェッカー等を用いて吸気口（排気口）をふさぐ。

(ウ) 息を吸って(吐いて)、防毒マスクの面体と顔面との隙間から空気が面体内に漏れ込まず(面体内から流出せず)、面体が顔面に吸い付けられる(面体内の圧力が顔面にかかる)かどうかを確認する。

### ③ 防毒マスクの使用に当たっての留意事項

防毒マスクの使用に当たっては、次の事項に留意すること。

ア 防毒マスクは、酸素濃度18%未満の場所では使用してはならないこと。このような場所では送気マスク等を使用すること。

また、粉じん等と有害物質が混在する作業環境においてはフィルタ付き吸収缶を装着した防毒マスクを使用すること。

なお、作業環境中に粉じん等に混じってオイルミスト等が存在する場合にあっては、液体の試験粒子を用いた粒子捕集効率試験に合格したフィルタ付き吸収缶(L1,L2及びL3)を使用すること。

イ 防毒マスクを着用しての作業は、通常より呼吸器系等に負荷がかかることから、呼吸器系等に疾患がある者については、防毒マスクを着用しての作業が適切であるか否かについて、産業医等に確認すること。

ウ 防毒マスクを適正に使用するため、防毒マスクを着用する前には、その都度、次の事項について点検を行うこと。

(ア) 面体、吸気弁、排気弁、しめひも等に破損、き裂、著しい変形がないこと。

(イ) 排気弁と弁座の間及び吸気弁に有害物質が付着していないこと。

なお、吸気弁に有害物質が付着している場合には、相当の漏込みが考えられるので、密着性の良否、排気弁の気密性等を十分にチェックすること。

(ウ) 吸気弁及び排気弁が適切に固定され、気密性が保たれていること。

(エ) 吸収缶が適切に取り付けられていること。

(オ) 吸収缶に水が侵入したり、破損又は変形していないこと。

(カ) 吸収缶から異臭が出ていないこと。

(キ) フィルタが外付けのフィルタ付き吸収缶にあっては、フィルタが適切に取り付けられていること。

(ク) 未使用の吸収缶にあっては、メーカーが指定する保存期限を超えていないこと。

(ケ) 予備の防毒マスク、吸収缶を用意しておくこと。

エ 防毒マスクの使用時間について、当該防毒マスクの取扱説明書等及び破過曲線図、メーカーへの照会結果等を参考にして、作業場所における空気中の有害物質の濃度、作業場所の温度や湿度に対して余裕のある使用限度時間をあらかじめ設定し、その設定時間を限度に防毒マスクを使用すること。

また、防毒マスク及び防毒マスク用吸収缶に添付されている使用時間記録カードには、使用した時間を必ず記録し、使用限度時間を超えて使用しないこと。

なお、従来から行われている防毒マスクの使用中に臭気等を感知した場合を使用限度時間の到来として吸収缶の交換時期とする方法は、有害物質の臭気等を感知できる濃度がばく露限界より著しく小さい物質である次の物質に限り行っても差し支えないこと。

- アセトン（果実臭）
- クレゾール（クレゾール臭）
- 酢酸イソブチル（エステル臭）
- 酢酸イソプロピル（果実臭）
- 酢酸エチル（マニキュア臭）
- 酢酸ブチル（バナナ臭）
- 酢酸プロピル（エステル臭）
- スチレン（甘い刺激臭）
- 1-ブタノール（アルコール臭）
- 2-ブタノール（アルコール臭）
- メチルイソブチルケトン（甘い刺激臭）
- メチルエチルケトン（甘い刺激臭）

オ 防毒マスクの使用中に有害物質の臭気等を感知した場合は、直ちに着用状態の確認を行わせ、必要に応じて吸収缶を交換させること。

カ 一度使用した吸収缶は、破過曲線図、使用時間記録カード等により、十分な除毒能力が残存していることを確認できるものについてのみ、再使用させて差し支えないこと。

ただし、メタノール、二硫化炭素等脱着しやすい有害物質に対して使用した吸収缶は、吸収缶の吸着剤に吸着された有害物質が時間と共に吸着剤から微量ずつ脱着して面体側に漏れ出してくることがあるため、再使用させないこと。

キ 防毒マスクを適正に使用するため、顔面と面体の接顔部の位置、しめひもの位置及び締め方等を適切にすること。着用後、防毒マスクへの漏込みがないことをフィットチェッカー等を用いて確認すること。

ク 次のような防毒マスクの着用は、面体の接顔部から面体内部へ有害物質が漏れ込むおそれがあるため、行わないこと。

- (ア) タオル等を当てた上から防毒マスクを使用すること。
- (イ) 面体の接顔部に「接顔メリヤス」等を使用すること。
- (ウ) 着用者のひげ、もみあげ、前髪等が面体の接顔部と面体の間に入り込んだり、排気弁の作動を妨害するような状態で防毒マスクを使用すること。

ケ 防じんマスクの使用が義務付けられている業務であって防毒マスクの使用が必要な場合には、フィルタ付き吸収缶を装着した防毒マスクを使用させること。

また、吹付け塗装作業等のように、防じんマスクの使用の義務付けがない業務であっても、有機溶剤の蒸気と塗料の粒子等の粉じんとが混在している場合については、同様に、フィルタ付き吸収缶を装着した防毒マスクを使用させること。

なお、粉じんに混じってオイルミスト等が存在する場合には液体の試験粒子を用いた粒子捕集効率試験に合格したフィルタ付き吸収缶（L1,L2 及び L3）を装着した防毒マスクを使用する必要があること。

#### ④ 防毒マスクの保守管理上の留意事項

防毒マスクの保守管理に当たっては、次の事項に留意すること。

ア 防毒マスクを適正に使用するため、予備の防毒マスク、吸収缶その他の部品を常時備え付け、適時交換して使用できるようにすること。

イ 防毒マスクを常に有効かつ清潔に保持するため、使用後は有害物質、湿気の少ない場所で、面体、吸気弁、排気弁、しめひも等の破損、き裂、変形等の状況及び吸収缶の固定不良、破損等の状況を点検するとともに、防毒マスクの各部を次に示す方法により手入れを行うこと。ただし、取扱説明書等に特別な手入れ方法が記載されている場合は、その方法に従うこと。

(ア) 面体、吸気弁、排気弁、しめひも等

乾燥した布片又は湿った布片で、付着した有害物質、汗等を取り除くこと。

また、汚れが著しいときは、吸収缶を取り外した上で面体を中性洗剤等により水洗すること。

(イ) 吸収缶

吸収缶に充填されている活性炭等は吸湿又は乾燥により能力が低下するものが多いため、使用直前まで開封しないこと。

また、使用後は上栓及び下栓を閉めて保管すること。栓がないものにあつては、密封できる容器又は袋に入れて保管すること。

ウ 「イ」の点検等により、次のいずれかに該当する場合には防毒マスクの部品を交換するか、又は防毒マスクを廃棄すること。

(ア) 吸収缶について、破損、著しい変形が認められた場合又はあらかじめ設定した使用限度時間に達した場合

(イ) 面体、吸気弁、排気弁等について、破損、き裂、著しい変形を生じた場合又は粘着性が認められた場合

(ウ) しめひもについて、破損が認められた場合又は弾性が失われ伸縮不良の状態が認められた場合

エ 「イ」の後、直射日光の当たらない場所に湿気の少ない清潔な専用の場所を設け、管理状況が容易に確認できるように保管すること。保管に当たっては、積み重ね、折り曲げ等により面体、連結管、しめひも等について、き裂、変形等の異常を生じ

ないように保管すること。

なお、一度使用した吸収缶を保管すると残存破過時間が破過曲線図によって推定した時間より、著しく短くなる場合があるので注意が必要であること。

オ 使用済みの吸収缶の廃棄にあつては、吸収剤に吸着された有害物質が遊離し、又は吸収剤が吸収缶外に飛散しないように容器又は袋に詰めた状態で廃棄すること。

## (2) 製造者等が実施する事項

防毒マスクの製造者等は、次の事項を実施することが重要であること。

- ① 防毒マスクの製造者等は、防毒マスクの販売に際し、防毒マスクの選択、使用等に関する情報の提供及びその具体的な指導をすること。
- ② 防毒マスクの製造者等は、防毒マスクの選択、使用等について、不適切な状態を把握した場合には、その是正について指導すること。



(号外)  
大蔵省印刷局発行

目次

〔省 令〕

○労働安全衛生規則及び機械等検定規則の一部を改正する省令(労働三八)

〔告 示〕

○防じんマスクの規格及び防毒マスクの規格の一部を改正する告示(労働八八)

○浄化槽の型式の認定をした件(建設一八五五)

〔公 告〕

諸事項

官庁

押収物還付関係

裁判所

公示催告、破産、免責、会社更生関係

係

特殊法人等

日本放送協会落札者等の公示関係

地方公共団体

公債抽せん(東京都)、公債償還(東京都)

関係

五 六 九 七 二 一

会社その他  
会社決算公告

三 五

省

令

○労働省令第三十八号

労働安全衛生法(昭和四十七年法律第五十七号)第四十四条の二第一項から第三項まで及び第五項並びに労働安全衛生法施行令(昭和四十七年政令第三百十八号)第十三条第六号の規定に基づき、並びに同法を実施するため、労働安全衛生規則及び機械等検定規則の一部を改正する省令を次のように定める。

平成十二年九月十一日

労働大臣 吉川 芳男

労働安全衛生規則及び機械等検定規則の一部を改正する省令

(労働安全衛生規則の一部改正)

第一条 労働安全衛生規則(昭和四十七年労働省令第三十二号)の一部を次のように改正する。

第二十六条第三号中「亜硫酸・いおう用防毒マスクを含む。」を削る。

(機械等検定規則の一部改正)

第二条 機械等検定規則(昭和四十七年労働省令第四十五号)の一部を次のように改正する。

第八条第二項中、「死積試験設備、排気弁の動的漏れ率測定設備」を、「二酸化炭素濃度上昇値試験設備、排気弁の作動気密試験設備」に、「面体の気密試験設備又は排気弁の作動気密試験設備」を、「又は面体の気密試験設備」に改める。

第十四条中「吸収缶」の下に「防じん機能を有する防毒マスクに具備されるものであつて、ろ過材が分離できるものにあつては、ろ過材を分離した吸収缶及びろ過材」を加える。

別表第一令第十三条第五号に掲げる機械等の項を次のように改める。

| 令第十三条第五号に掲げる機械等 |    | 取替え式のもの                | ろ過材     | 現品 | 五  |
|-----------------|----|------------------------|---------|----|----|
| 排気弁及び弁座         | 現品 | 排気弁及び弁座                | 排気弁及び弁座 | 現品 | 十二 |
| 排気弁及び弁座         | 現品 | 排気弁及び弁座(排気弁を有するものに限る。) |         |    | 三  |

別表第一令第十三条第六号に掲げる機械等の項を次のように改める。

| 令第十三条第六号に掲げる機械等      |    | 吸収缶以外の部分が型式検定に合格した型式の機械等の吸収缶以外の部分と同一であるもの | その他のもの | 現品 | 一   |
|----------------------|----|---|--------|----|-----|
| 吸収缶(防じん機能を有するものを除く。) | 現品 | 吸収缶(防じん機能を有するものに限る。)                      | 現品     | 現品 | 十五  |
| 吸収缶(防じん機能を有するものに限る。) | 現品 | 吸収缶(防じん機能を有するものに限る。)                      | 現品     | 現品 | 二十三 |
| 吸収缶(防じん機能を有するものを除く。) | 現品 | 吸収缶(防じん機能を有するものを除く。)                      | 現品     | 現品 | 四   |
| 吸収缶(防じん機能を有するものに限る。) | 現品 | 吸収缶(防じん機能を有するものに限る。)                      | 現品     | 現品 | 十三  |
| 排気弁及び弁座              | 現品 | 排気弁及び弁座                                   | 現品     | 現品 | 二十  |
| 排気弁及び弁座              | 現品 | 排気弁及び弁座                                   | 現品     | 現品 | 三   |

別表第二令第十三条第五号に掲げる機械等の項設備の欄を次のように改める。

- 一 二酸化炭素濃度上昇値試験設備
- 二 粒子捕集効率測定設備
- 三 通気抵抗試験設備
- 四 排気弁を有するものにあつては、排気弁の作動気密試験設備
- 五 使い捨て式のものにあつては、漏れ率試験設備及びぬれ抵抗試験設備

別表第二令第十三条第六号に掲げる機械等の項設備の欄を次のように改める。

- 一 二酸化炭素濃度上昇値試験設備
- 二 面体の気密試験設備
- 三 通気抵抗試験設備
- 四 排気弁の作動気密試験設備
- 五 吸収缶の気密試験設備
- 六 除毒能力試験設備
- 七 防じん機能を有するものにあつては、粒子捕集効率測定設備

|          |          |    |   |   |
|----------|----------|----|---|---|
| 様式第八号(中) | 型式検定合格番号 | 区分 | を | 型 |
|          |          |    |   |   |

様式第十一号(甲備考)中「(昭58)」を「(平12)」に改め、同様式(甲備考)①中「表示する」を「また、その性能により、RS1、RS2、RS3、RL1、RL2、RL3、DS1、DS2、DS3、DL1、DL2又はDL3と表示する」に改め、同様式(甲備考)②中「表示する」を「防じん機能を有する防毒マスクにあつては、その性能によりS1、S2、S3、L1、L2又はL3と表示する」に改め、同様式(甲備考)③中「吸収缶」を「吸収缶(ろ過材が分離できるものにあつては、ろ過材を分離した吸収缶及びろ過材)用」に改め、同様式(甲備考)④中「吸収缶」の次に「(防じん機能を有する防毒マスクに具備されるものであつて、ろ過材が分離できるものにあつては、ろ過材を分離した吸収缶及びろ過材)」を加へる。

附 則

- 1 この省令は、平成十二年十一月十五日から施行する。
- 2 この省令の施行の日(以下「施行日」という。)前の申請に係る防じんマスク(労働安全衛生法施行令第十三条第五号の防じんマスクをいう。以下同じ。)又は防毒マスク(労働安全衛生法施行令第十三条第六号の防毒マスクをいう。以下同じ。)の型式についての労働安全衛生法第四十四条の第二項又は第二項の検定(以下「型式検定」という。)があつて、施行日において結果についての処分がなされてないものについては、第二条の規定による改正後の機械等検定規則(以下「新規則」という。)(第八条第二項、別表第一及び別表第二の規定にかかわらず、なお従前の例による。
- 3 施行日前に型式検定に合格した型式の防じんマスク若しくは防毒マスク又は前項に規定する型式検定に合格した型式の防じんマスク又は防毒マスクは、新規則第八条に規定する基準による型式検定に合格した型式の防じんマスク又は防毒マスクとみなす。
- 4 第二条の規定による改正前の機械等検定規則(以下「旧規則」という。)(第九条の規定により交付された型式検定合格証で、前項の規定により新規則第八条に規定する基準による型式検定に合格し

た型式の防じんマスク又は防毒マスクとみなされた型式の防じんマスク又は防毒マスクに交付されたものは、新規則第九条の規定により交付された型式検定合格証とみなす。

5 旧規則第十四条の規定により付された型式検定合格標準で、附則第三項の規定により新規則第八条に規定する基準による型式検定に合格した型式の防じんマスク又は防毒マスクとみなされた型式の防じんマスク又は防毒マスクに付されたものは、新規則第十四条の規定により付された型式検定合格標準とみなす。

告

示

○労働省告示第八十八号

労働安全衛生法(昭和四十七年法律第五十七号)第四十二条の規定に基づき、防じんマスクの規格及び防毒マスクの規格の一部を改正する告示を次のように定める。

平成十二年九月十一日 労働大臣 吉川 芳男

防じんマスクの規格及び防毒マスクの規格の一部を改正する告示

- 1 防じんマスクの規格(昭和六十三年労働省告示第十九号)の一部を次のように改正する。
  - 第一条に次の一項を加える。
  - 3 防じんマスクは、その性能により、取替え式防じんマスクにあつてはRS1、RS2、RS3、RL1、RL2及びRL3に、使い捨て式防じんマスクにあつてはDS1、DS2、DS3、DL1、DL2及びDL3に区分するものとする。
- 2 第三条の表示しめひも取付部分及びしめひもの項中「九八ニュートン」を「五〇ニュートン」に、「四九ニュートン」を「二五ニュートン」に改める。
- 3 第五条の表示しめひもの項条件の欄を次のように改める。

一 適当な長さ及び弾力性を有すること。

二 長さを容易に調節することができること。ただし、使い捨て式防じんマスクにあつては、顔面への密着性が保持できるときには、この限りでない。

第六条の表を次のように改める。

| 試 験 方 法   | 条 件  |
|---|--|
| <p>(粒子捕集効率試験)</p> <p>次の各号に掲げる試験粒子の種類に応じて、試験粒子の濃度を測定し、次の式により粒子捕集効率を算定する。なお、粒径分布の中央値については、粒子数を基準にした中央値とする。</p> $\text{粒子捕集効率} = \frac{\text{通過前の試験粒子の濃度} - \text{通過後の試験粒子の濃度}}{\text{通過前の試験粒子の濃度}} \times 100$ <p>(マイクロマン毎立方メートル) (ミロクワンム毎立方メートル) (ミロクワンム毎立方メートル)</p> | <p>試験粒子が塩化ナトリウムの場合</p> <p>粒子捕集効率が、常に次の表の上欄に掲げる防じんマスクの種類に比べて、それぞれ同表の下欄に掲げる値以上であること。</p> |



二 試験粒子がフタル酸ジオクチルの場合

が一八以下であつて、かつ、塩化ナトリウム濃度が一立方メートル当たり五〇ミリグラム以下であつた場合、フタル酸ジオクチルの濃度を測定する。その変動がプラスマイナス一五パーセント以下の場合、フタル酸ジオクチルの濃度を測定する。その変動がプラスマイナス一五パーセント以下の場合、フタル酸ジオクチルの濃度を測定する。その変動がプラスマイナス一五パーセント以下の場合、フタル酸ジオクチルの濃度を測定する。

粒子捕集効率測定器に装着した防じんマスクの内側へ、フタル酸ジオクチル含有空気（フタル酸ジオクチルのミストの粒径分布の中央値が〇・一五マイクロメートル以上〇・二五マイクロメートル以下であつて、その幾何標準偏差が一・六以下であつて、かつ、フタル酸ジオクチルの濃度が一立方メートル当たり一〇ミリグラム以下であつて、その変動がプラスマイナス一五パーセント以下であつて、かつ、フタル酸ジオクチルの濃度を測定する。

(吸気抵抗試験)  
 通気抵抗試験器に装着した防じんマスクの内側へ空気を毎分四〇リットルの流量で通じた場合における内外の圧力差(以下この表において「吸気抵抗」という)を測定する。

二 試験粒子がフタル酸ジオクチルの場合

| 種類            | 取替え防じんマスク |       |       |
|---------------|-----------|-------|-------|
|               | R S 一     | R S 二 | R S 三 |
| 粒子捕集効率(パーセント) | 八〇・〇      | 九五・〇  | 九九・九  |

粒子捕集効率、次に次の表の上欄に掲げる防じんマスクの種類に応じて、それぞれ同表の下欄に掲げる値以上であること

| 種類            | 取替え防じんマスク |       |       |
|---------------|-----------|-------|-------|
|               | R L 一     | R L 二 | R L 三 |
| 粒子捕集効率(パーセント) | 八〇・〇      | 九五・〇  | 九九・九  |

吸気抵抗が、次の表の上欄に掲げる防じんマスクの種類に応じて、それぞれ同表の下欄に掲げる値以下であること

| 種類         | 取替え防じんマスク |       |       |
|------------|-----------|-------|-------|
|            | L R 一     | L R 二 | L R 三 |
| 吸気抵抗(パスカル) | 七〇        | 八〇    | 一六〇   |

(排気抵抗試験)

通気抵抗試験器に装着した防じんマスクの外側へ空気を毎分四〇リットルの流量で通じた場合における内外の圧力差(以下この表において「排気抵抗」という)を測定する。

二 試験粒子がフタル酸ジオクチルの場合

| 種類         | 使用防じんマスク |       |       |
|------------|----------|-------|-------|
|            | L D 一    | L D 二 | L D 三 |
| 排気抵抗(パスカル) | 六〇       | 七〇    | 一五〇   |

排気抵抗が、次の表の上欄に掲げる防じんマスクの種類に応じて、それぞれ同表の下欄に掲げる値以下であること

| 種類         | 取替え防じんマスク |       |       |
|------------|-----------|-------|-------|
|            | L R 一     | L R 二 | L R 三 |
| 排気抵抗(パスカル) | 七〇        | 七〇    | 八〇    |

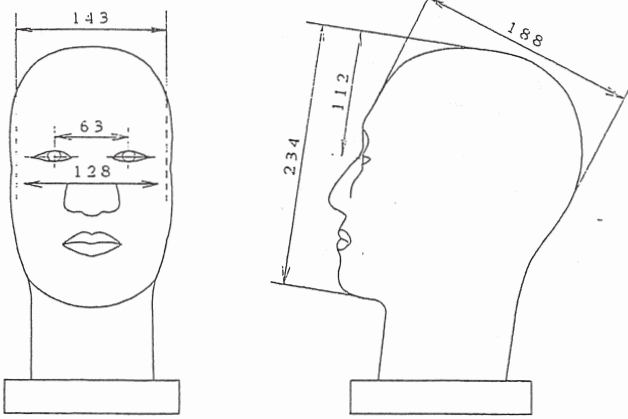
(排気弁の作動気密試験)(排気弁を有する防じんマスクに限る)

気密試験器に排気弁を装着し、空気を毎分一リットルの流量で吸引して排気弁の閉鎖による内部の減圧状態を調べ、次に内部の圧力を外部の圧力より一四七〇パスカル以下させて放置し、内部の圧力が常圧に戻るまでの時間を測定する。この場合において、気密試験器の内容積は、五〇立方センチメートルとする。

(二酸化炭素濃度上昇値試験)

撰氏二五度プラスマイナス五度の室内において、次の図に示す寸法の試験用人頭(以下「試験用人頭」という)の顔面部に防じんマスクを装着した状態及び装着しない状態で、人工肺により一回当たり二・〇リットルプラスマイナス〇・一リットルの正弦波形の空気(呼気における空気にあつては、二酸化炭素の濃度が五・〇パーセントのものとする)を毎分一五回、試験用人頭を通じて吸排気させながら、二酸化炭素濃度測定器により吸気における二酸化炭素の濃度(以下この表において「二酸化炭素濃度」という)が一定となるまで測定する。

試験用人頭図(単位 ミリメートル)



- 一 空気を吸引した場合に直ちに内部が減圧すること。
- 二 内部の圧力が常圧に戻るまでの時間が一五秒以上であること。

防じんマスクを装着した状態における二酸化炭素濃度と防じんマスクを装着しない状態における二酸化炭素濃度の差が、一・〇パーセント以下の値であること。

第七条第二項中第三号を削り、第四号を第三号とし、第五号を第四号とし、第六号を第五号とし、同項に次の一号を加える。

六 着用者自身はその顔面と面体との密着性の良否を容易に検査する方法  
第七条第三項中「死積」及び「算定又は」を削り、同項第一号を削り、同項第二号中「粉じん捕集効率測定器」を「粒子捕集効率測定器」に、「石英粉じん含有空気を毎分四〇リットルの流量で」

を「塩化ナトリウム含有空気を」に、「石英粉じんが」を「塩化ナトリウムが」に改め、「圧力差を」の下に「毎分四〇リットルの流量で」を加え、同号を同項第一号とし、同項第三号を同項第二号とし、同項第四号中「次の図に示す寸法の」を削り、同号の図を削り、同号を同項第三号とする。  
第二 防毒マスクの規格(平成二年労働省告示第六十八号)の一部を次のように改正する。  
第一条の表以外の部分中「有害物質」を「有害物質(これらのものと混在する粉じんを含む。)」に改め、同条の表中

|                                     |                    |
|-------------------------------------|--------------------|
| 亜硫酸ガス用防毒マスク(亜硫酸・いおう用防毒マスクを除く。以下同じ。) | 亜硫酸ガス              |
| 亜硫酸・いおう用防毒マスク                       | 亜硫酸ガス及びいおうの蒸気又は粉じん |

を  
に改める。

第二条に次の一項を加える。

3 防毒マスクは、防じん機能を有するものと有しないものに区分するものとし、防じん機能を有する防毒マスクにあつては、その性能によりS一、S二、S三、L一、L二及びL三に区分するものとする。

第三条第三号中「フィルター」を「ろ過材」に改める。

第四条の表しめひも取付部分及びしめひもの項中「九八ニュートン」を「五〇ニュートン」に、「四九ニュートン」を「二五ニュートン」に改める。

第五条第二号中「漏気せず、かつ」を削り、同条に次の一号を加える。

七 着用者自身はその顔面と面体との密着性の良否を随時容易に検査できるものであること。

第六条の表吸収の項条件の欄中第二号を次のように改める。

二 防じん機能を有する防毒マスクにあつては、粉じんを捕集するためのろ過材を具備していること。

第七条第一項の表中

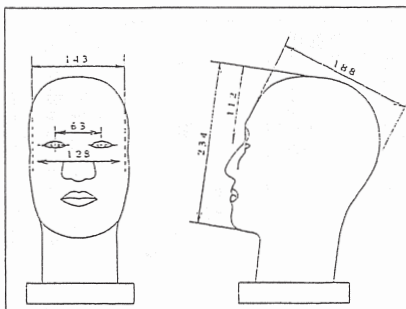
|   |   |
|---|---|
| (排気弁の作動気密試験)<br>気密試験器に排気弁を装着し、空気を毎分一リットルの流量で吸引して排気弁の閉鎖による内部の減圧状態を調べ、次に内部の圧力を外部の圧力より一四七〇パスカル以下させて放置し、内部の圧力が常圧に戻るまでの時間を測定する。この場合において、気密試験器の内容積は、五〇立方センチメートルとする。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>一 空気を吸引した場合に直ちに内部が減圧すること。</li> <li>二 内部の圧力が常圧に戻るまでの時間が一五秒以上であること。</li> </ul> |
|---|---|

を

|   |   |
|---|---|
| (排気弁の作動気密試験)<br>気密試験器に排気弁を装着し、空気を毎分一リットルの流量で吸引して排気弁の閉鎖による内部の減圧状態を調べ、次に内部の圧力を外部の圧力より一四七〇パスカル | <ul style="list-style-type: none"> <li>一 空気を吸引した場合に直ちに内部が減圧すること。</li> <li>二 内部の圧力が常圧に戻るまでの時間が一五秒以上であること。</li> </ul> |
|---|---|

|   |  |
|---|--|
| (気密試験)<br>吸収缶の内部に空気を一四七〇パスカルに達するまで送気し、漏気の有無を調べる。                              | 試 験 方 法  |
|   | 条 件  |
| (通気抵抗試験)<br>通気抵抗試験器に吸収缶(吸気弁を備えた吸収缶)をついては、吸気弁を含むを装着し、空気を毎分四〇リットルの流量で通し、吸収缶の内外の | 圧力差が、当該吸収缶を使用する防毒マスクの種類及び防じん機能の有無に応じて、次の表に掲げる値以下であること。 |

第七条第二項の表を次のように改める。



試験用人頭図(単位 ミリメートル)

(二酸化炭素濃度上昇値試験)  
 低下させて放置し、内部の圧力が常圧に戻るまでの時間を測定する。この場合において、気密試験器の内容積は、五〇立方センチメートルとする。

○一リットルの正弦波形の空気(呼吸気における空気が五・〇パーセントのものとする)を毎分一五回、試験用人頭を通じて吸排気させながら、二酸化炭素濃度測定器により吸気における二酸化炭素濃度(以下この表において「二酸化炭素濃度」という)が一定となるまで測定する。

防毒マスクを装着した状態における二酸化炭素濃度と防毒マスクを装着した状態における二酸化炭素濃度の差が、一・〇パーセント以下の値であること。

に改める。

圧力差を測定する。

| 備考<br>この表において、単位はパスカルとする。 | のものを外以用素炭化酸一        |        |        |        | 用素炭化酸一              |        |        |                    | 区分<br>マスクの種類 |
|---------------------------|---------------------|--------|--------|--------|---------------------|--------|--------|--------------------|--------------|
|                           | のものを有能に防            |        |        |        | のものを有能に防            |        |        |                    |              |
|                           | い有機防<br>もし能<br>のなをん | 三Lび及三S | 二Lび及二S | 一Lび及一S | い有機防<br>もし能<br>のなをん | 三Lび及三S | 二Lび及二S | 一Lび及一S             |              |
| 二五〇                       | 四〇〇                 | 三二〇    | 三一〇    | 二八〇    | 四〇〇                 | 三二〇    | 三一〇    | 防隔離<br>スク毒マ式       |              |
| 二二〇                       | 三七〇                 | 二九〇    | 二八〇    |        |                     |        |        | 防直結<br>スク毒マ式       |              |
| 二二〇                       | 三七〇                 | 二九〇    | 二八〇    |        |                     |        |        | ク毒小直<br>マ型結<br>ス防式 |              |

(除毒能力試験)

次の表の上欄に掲げる吸収缶の種類に応じて、それぞれの上欄に掲げる試験ガス含有空気、それぞれの上欄に掲げる試験ガスの流量、試験ガスの濃度を次の各号において、試験温度は二〇度、試験湿度は五〇パーセントとする。  
 プラスマイナスイナス五パーセントとする。  
 ガス分析計による場合  
 一 ガス分析計による場合  
 吸収缶を通過した試験ガス含有空気をガス分析計に通じ、試験ガスの濃度を測定する。  
 二 ガス吸収法による場合  
 吸収缶を通過した試験ガス含有空気を、捕集液を入れた捕集管に通じ、当該試験ガス含有空気中の試験ガスを捕集して濃度を測定する。

| 種 類                | 試験ガス含有空気 |           |
|--------------------|----------|-----------|
|                    | 試験ガスの種類  | 濃 度       |
| ハロゲンガス用の隔離式防除毒用吸収缶 | 塩素       | 二〇・五パーセント |
| ハロゲンガス用の直結式防除毒用吸収缶 | 塩素       | 二〇・三パーセント |
| ハロゲンガス用の直結式防除毒用吸収缶 | 塩素       | 二〇・二パーセント |
| 有機ガス用の隔離式防除毒用吸収缶   | シクロヘキサン  | 二〇・五パーセント |
| 有機ガス用の直結式防除毒用吸収缶   | シクロヘキサン  | 二〇・三パーセント |
| 酸化炭素用の隔離式防除毒用吸収缶   | 一酸化炭素    | 二〇・〇パーセント |

次の表の上欄に掲げる吸収缶の種類に応じて、それぞれの上欄に掲げる試験ガス含有空気、それぞれの上欄に掲げる試験ガスの流量、試験ガスの濃度を次の各号において、試験温度は二〇度、試験湿度は五〇パーセントとする。  
 プラスマイナスイナス五パーセントとする。  
 ガス分析計による場合  
 一 ガス分析計による場合  
 吸収缶を通過した試験ガス含有空気をガス分析計に通じ、試験ガスの濃度を測定する。  
 二 ガス吸収法による場合  
 吸収缶を通過した試験ガス含有空気を、捕集液を入れた捕集管に通じ、当該試験ガス含有空気中の試験ガスを捕集して濃度を測定する。

| 種 類                | 濃 度   |       | 時間 (分) |
|--------------------|-------|-------|--------|
|                    | p.p.m | p.p.m |        |
| ハロゲンガス用の隔離式防除毒用吸収缶 | 一     | 六〇    | 一五     |
| ハロゲンガス用の直結式防除毒用吸収缶 | 一     | 四〇    | 一〇〇    |
| 有機ガス用の隔離式防除毒用吸収缶   | 五     | 一八〇   | 一〇〇    |
| 有機ガス用の直結式防除毒用吸収缶   | 五     | 一八〇   | 一〇〇    |
| 酸化炭素用の隔離式防除毒用吸収缶   | 五〇    | 四〇    | 一〇〇    |
| 酸化炭素用の直結式防除毒用吸収缶   | 五〇    | 四〇    | 一〇〇    |

| 試験ガス               | 濃度 (p.p.m) | 時間 (分) | 備考                               |
|--------------------|------------|--------|----------------------------------|
| アンモニウム用の隔離式防除毒用吸収缶 | 二・〇パーセント   | 一五     | 備考 この表において、p.p.m とは百万分の一の容積比をいう。 |
| アンモニウム用の直結式防除毒用吸収缶 | 二・〇パーセント   | 一〇     |                                  |
| アンモニウム用の隔離式防除毒用吸収缶 | 一・〇パーセント   | 一五     |                                  |
| アンモニウム用の直結式防除毒用吸収缶 | 一・〇パーセント   | 一〇     |                                  |
| 亜硫酸ガス用の隔離式防除毒用吸収缶  | 五          | 一五     |                                  |
| 亜硫酸ガス用の直結式防除毒用吸収缶  | 五          | 一〇     |                                  |

(粒子捕集効率試験)  
 防じん機能を有する防除毒用吸収缶に於ては、次の各号に掲げる試験粒子の種類に応じて、試験粒子の濃度を測定し、次の式により粒子捕集効率を算定する。なお、粒径分布の中央値については、粒子数を基準にした中央値とする。

$$\text{粒子捕集効率} = \left( \frac{\text{通過前の試験粒子の濃度} - \text{通過後の試験粒子の濃度}}{\text{通過前の試験粒子の濃度}} \right) \times 100$$

(一) 試験粒子が塩化ナトリウムの場合  
 粒子捕集効率測定器に装着した吸収缶の内側に、塩化ナトリウム含有空気(塩化ナトリウム)の粒径分布の中央値が0.5μm以下であるものを試験粒子とし、試験粒子の濃度を測定する。

(二) 試験粒子が塩化ナトリウムの場合  
 試験粒子が塩化ナトリウムの場合、吸収缶の内側に、塩化ナトリウム含有空気(塩化ナトリウム)の粒径分布の中央値が0.5μm以下であるものを試験粒子とし、試験粒子の濃度を測定する。

(三) 試験粒子が塩化ナトリウムの場合  
 試験粒子が塩化ナトリウムの場合、吸収缶の内側に、塩化ナトリウム含有空気(塩化ナトリウム)の粒径分布の中央値が0.5μm以下であるものを試験粒子とし、試験粒子の濃度を測定する。

| 区分  | 粒子捕集効率 (パーセント) |
|-----|----------------|
| S-1 | 八〇・〇           |
| S-2 | 九五・〇           |
| S-3 | 九九・九           |

二 試験粒子がフタル酸ジオクチルの場合  
 粒子捕集効率測定器に装着した吸収缶の内側へフタル酸ジオクチル含有空気、フタル酸ジオクチルのミストの粒径分布の中央値が〇・一五マイクロメートル以上〇・二五マイクロメートル以下で、その幾何標準偏差が一・六以下であつて、かつ、フタル酸ジオクチルの濃度が一方方メートル当たり一〇〇ミリグラム以下で、その変動がプラスマイナス一五パーセント以下のものをいう。)を毎分八五リットルの流量で通じ、吸収缶に供給されるフタル酸ジオクチルが二〇〇ミリグラムに達するまでの経過において、吸収缶通過前及び通過後のフタル酸ジオクチルの濃度を散乱光方式によるフタル酸ジオクチル濃度測定器により連続的に測定する。

二 試験粒子がフタル酸ジオクチルの場合  
 粒子捕集効率、常に次の表の上欄に掲げる吸収缶の種類に依じて、それぞれ同表の下欄に掲げる値以上であること。

| 区分 | 粒子捕集効率 (パーセント) |
|----|----------------|
| 区一 | 八〇・〇           |
| 区二 | 九五・〇           |
| 区三 | 九九・九           |

第八条第一項中第四号を削り、第五号を第四号とし、同条第二項を削り、同条第三項中「吸収缶の下に」防じん機能を有する防毒マスクに具備されるものであつて、ろ過材が分離できるものであつては、ろ過材を分離した吸収缶及びろ過材」を加え、同項を同条第二項とし、同条第四項に次の二号を加える。

- 六 吸気抵抗上昇値(防じん機能を有する防毒マスクに限る。)
- 七 着用者自身がその面体との密着性の良否を容易に検査する方法

第八条第四項を同条第三項とし、同項の次に次の一項を加える。  
 4 前項第六号の吸気抵抗上昇値は、粒子捕集効率測定器に装着した吸収缶へ塩化ナトリウム含有空気を通じ、吸収缶に塩化ナトリウムが一〇〇ミリグラム捕集されたときの内外の圧力差を毎分四〇リットルの流量で測定するものとする。

第八条第五項の表中

|                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| 亜硫酸・いおう用防毒マスク用の吸収缶 | 白色及び黄赤色(二層に分けること) |
|--------------------|-------------------|

備考 防じん機能を有する防毒マスクにあつては、吸収缶のろ過材がある部分に白線を入れる。に改める。

附 則

- 1 この告示は、平成十二年十一月十五日から適用する。
- 2 平成十二年十一月十五日以前の申請に係る防じんマスク又は防毒マスクの型式についての労働安全衛生法第四十四条の二の検定の基準となる規格については、なお従前の例による。

〇建設省告示第八百五十五号  
 浄化槽法(昭和五十八年法律第四十三号)第十三条第一項の規定に基づき、平成十二年六月十四日付けをもちつた次のように工場におおて設置される浄化槽の型名を認定したので、同法第十九条の規定に基づき告示する。

平成十二年九月十一日

建設大臣 林 寛十

昭和55年建設省告示第1292号(以下「告示」という。)第1第1号：分離接触ばつ気方式(合併処理)

| 製造者の住所・氏名           | 代表取締役 | 工場所在地及び名称                    |
|---------------------|-------|------------------------------|
| 北海道札幌市白石区中央1条5-3-15 | 北爪 正勝 | 新潟県新井市大字飛田字三反田1191 隼ソーダ新潟工場  |
|                     |       | 宮城県栗原郡若柳町武蔵字袋田沢15-43 若柳化成工業㈱ |
|                     |       | 栃木県上都賀郡栗野町大字久野669番地 K・T化工    |
|                     |       | 北海道北広島市北の里341-4 ヲルカフジ産業㈱     |

| 認定番号      | 浄化槽の名称              |
|-----------|---------------------|
| 00-1D-002 | 小型合併浄化槽北勝BOX II-14型 |
| 002-1     | " 16型               |
| 002-2     | " 21型               |
| 002-3     | " 26型               |
| 002-4     | " 30型               |

工場所在地及び名称  
 宮城県桃生郡河北町留地字植手105 隼コバヤシ製作所  
 栃木県上都賀郡足尾町4447 足尾化学工業㈱  
 北海道千歳市上長都939-2 三立化工機㈱千歳工場  
 北海道北広島市北の里341-4 ヲルカフジ産業㈱

| 認定番号      | 浄化槽の名称               |
|-----------|----------------------|
| 00-1D-003 | 小型合併浄化槽北勝mini II-31型 |
| 003-1     | " 32型                |
| 003-2     | " 33型                |
| 003-3     | " 34型                |
| 003-4     | " 35型                |
| 003-5     | " 36型                |
| 003-6     | " 38型                |
| 003-7     | " 40型                |
| 003-8     | " 42型                |
| 003-9     | " 44型                |
| 003-10    | " 46型                |
| 003-11    | " 48型                |
| 003-12    | " 50型                |

告示第1第1号：分離接触ばつ気方式(合併処理)

| 製造者の住所・氏名        | 代表取締役 | 工場所在地及び名称                    | 認定番号      | 浄化槽の名称            |
|------------------|-------|------------------------------|-----------|-------------------|
| 群馬県高崎市倉賀野町2863番地 | 金子 進  | 群馬県高崎市倉賀野町2863番地 隼ソーダ        | 00-1D-004 | ゾーダ浄化槽BOX III-13型 |
|                  |       | 新潟県新井市大字飛田字三反田1191 隼ソーダ新潟工場  | 004-1     | " 15型             |
|                  |       | 宮城県栗原郡若柳町武蔵字袋田沢15-43 若柳化成工業㈱ | 004-2     | " 20型             |
|                  |       | 栃木県上都賀郡栗野町大字久野669番地 K・T化工    | 004-3     | " 25型             |
|                  |       | 北海道千歳市上長都939-2 三立化工機㈱千歳工場    | 004-4     | " 29型             |