

作業環境測定基準に基づく吸入性粉じんと ロウボリウムサンプラ用多段分粒装置の性能評価

明星敏彦

独立行政法人産業医学総合研究所作業環境計測研究部

抄録：作業環境測定基準に基づく吸入性粉じんとロウボリウムサンプラ用多段分粒装置の性能評価：明星敏彦。独立行政法人産業医学総合研究所作業環境計測研究部—粉じん捕集用に広く用いられているロウボリウムサンプラの粉じん分級装置である水平重力分級装置である多段分粒装置（柴田科学 C-30 型）の静止空間からの粒子の粒径別の分級特性を計測した。この測定結果と装置の理論的な分級特性および作業環境における吸入性粉じんの関係を比較検討した。吸入性粉じんは ISO 7708 を基礎にした特性が新たに作業環境測定基準に導入された。吸入性粉じんとサンプラの特性との偏りを計算した。結果は多段分粒装置を 5 μm 50% カットの条件で用いた場合は過大評価し、4 μm 50% カットの条件で用いた場合は過小評価した。

（産衛誌 2005; 47: 239-245）

キーワード：Respirable dust, Low-volume air sampler, Sampling convention, Aerosol

I. はじめに

作業環境測定基準（厚生労働省告示¹⁾において鉱物性粉じんの測定などに関係する吸入性粉じんの定義が改正された。呼吸で吸い込まれた空気は鼻、口から咽喉部、気管、気管支部を通り、肺胞部に至る。この空気とともに吸引された粉じん粒子はその粒径により異なる部位に沈着する。改正された吸入性粉じんの定義は ISO 7708 (Air quality-Particle size fraction definitions for health-related sampling)²⁾と同一である。ISO 7708 は気中から鼻孔または口を通して吸入される粒子(吸引性粉じん, Inhalable convention), さらに咽頭を越えて肺に向かう

粒子(咽頭通過性粉じん, Thoracic convention), 肺胞まで届く粒子(吸入性粉じん, Respirable convention)について通過率を示している。通過率の値は年齢, 体格, 呼吸器の疾患の有無により異なるが, ISO 7708 では健康な成人とハイリスクグループについて定義されている。

浮遊するすべての粒子の量である総粉じん量に比べて, 頭部を粒径別の分級特性を持つ粉じんサンプラと考え, 大きな粒子は吸引されないと考えるようになった。どのような粒径の粒子まで吸引されるかを模擬人頭のサンプラ, 風洞, 100 μm までの試験粉じんを使用して計測した³⁻⁶⁾。これらの結果を基に ISO 7708 では粒径 d_p の吸引性粉じんは 4 m/s 以下の風速では 1) 式で示される通過率 E_I をもつと規定されている。

$$E_I = 0.5 (1 + e^{-0.06d_p}) \quad 1)$$

この吸引性粉じんサンプラとして, 十分な粒子の取り込み速度を得るため取り込み口をオープンフェイスより絞った形状のサンプラヘッドが市販されている⁷⁾。吸引性粉じんの内, この吸入性粉じんの通過率 E_R は次式で表される¹¹⁾。

$$E_R = 1 - F(x) \quad 2)$$

2) 式には以下を代入する。

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

$$x = \ln(d_p/\Gamma) / \ln(\Sigma)$$

$$\Gamma = 4.25 \mu\text{m}, \Sigma = 1.5$$

吸引された全粒子の内, 肺胞まで到達する吸入性粉じんは 1) 式と 2) 式の積で表される。

$$P(d_p) = E_I \cdot E_R \quad 3)$$

これらの式は新しい作業環境測定基準¹⁾でも示されている。本文では以下これを ISO 吸入性粉じん曲線と呼ぶ。従来, 規定されていた吸入性粉じんは, BMRC

2005年3月26日受付; 2005年8月8日受理

連絡先: 明星敏彦 〒214-8585 川崎市多摩区長尾6-21-1

独立行政法人産業医学総合研究所作業環境計測研究部
(e-mail: myojo@niih.go.jp)

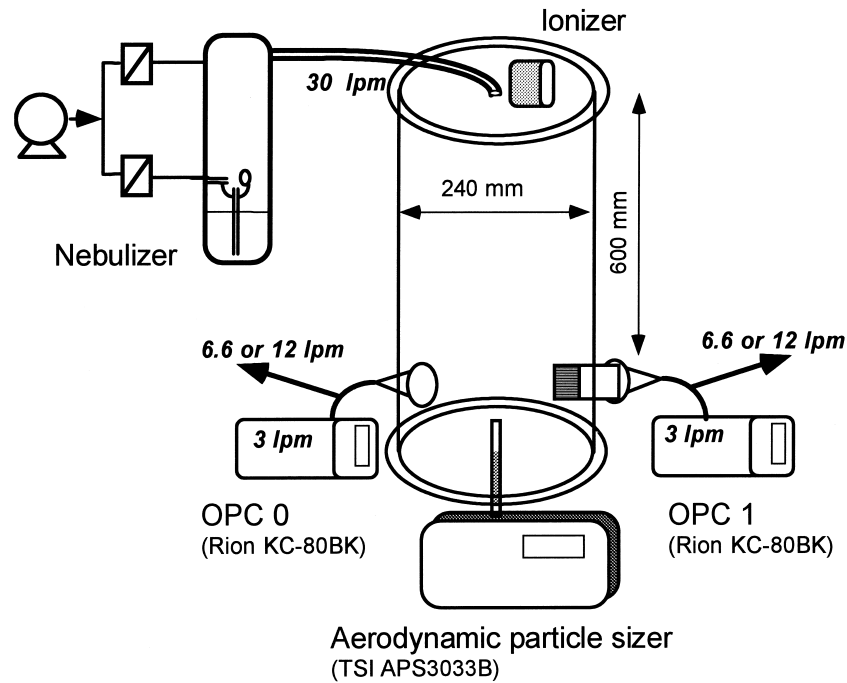


Fig. 1. Experimental apparatus.

の通過率⁸⁾と同一で50%カット径は $5\ \mu\text{m}$ であった⁹⁾。一方、米国の旧ACGIH¹⁰⁾の通過率では50%カット径は $3.5\ \mu\text{m}$ であった。3)式で規定されるISOの吸入性粉じんの分級特性は両者の間で50%カット径は $4.0\ \mu\text{m}$ となっている。

以上の通過率は呼吸器内での粒子の沈着現象から得られたもので、特定の分粒装置を意味していない。そのため粉じん計測のためのサンプラのISO吸入性粉じん曲線への適合性について、これまで多くの研究¹²⁻¹⁹⁾がなされている。しかしながら、諸外国では個人サンプリングの手法が主に使用され、これらのサンプラはほとんどが吸引流量 $3\ \text{l/min}$ 以下であるのに対し、わが国では定置型のロウポリウムサンプラを用いて吸引流量 $10\ \text{l/min}$ 以上で粉じん濃度を測定することが多い²⁰⁾。さらに粉じん測定のためのロウポリウムサンプラのJIS Z8814²¹⁾に粒径別捕集効率の求め方が規定されている。本研究では作業環境測定で広く使用されている水平重力分級の原理を用いる多段型分粒装置についてその通過率を粒径別に計測し、この通過率を基に対数正規分布を仮定した粉じんの通過率を計算し、ISO 7708吸入性粉じんの通過率と比較検討した。

II. 実験装置と方法

数 μm の単分散粒子を発生してエアロゾル化する場合、振動オリフィスエアロゾル発生器がしばしば用いら

れる²²⁾。これは染料を含む水溶液を振動オリフィスで一定の大きさのミストとし、これを乾燥して染料粒子を得るものである。本装置の粒子発生量は少ないので、染料粒子を捕集後、溶出させ濃度を測定することにより、粒径別通過率を求める。他に粒度を調整した粉体を分散することで、高濃度のミクロン粒子エアロゾルを得る場合もある⁷⁾。一方、多分散粒子をエアロゾル化し、これを粒径別に計測することで、粒径別の通過率を求めることが可能である²³⁻²⁵⁾。わが国ではJIS Z8814に単分散ポリスチレンラテックス粒子 (JIS Z890126) に示されている。以下PSL粒子)および光散乱粒子計測装置 (以下OPC) を用いて粒径別の分粒特性を測定する方法が示されている。

Figure 1にJIS Z8814に準じて、本研究で用いた実験装置の全体図を示す。これを用いて、旧測定基準2条2にある粒径別の粉じん透過率を実現する装置として広く使用されていた多段型分粒装置 (柴田科学C-30型) の粒径別の通過率を計測した。単分散のPSL粒子を2回蒸留水に分散し、ネブライザーで噴霧・乾燥して試験粒子エアロゾルとし、乾燥空気を加えて、円筒容器上方から供給した。円筒容器は直径 $24\ \text{cm}$ で長さ $100\ \text{cm}$ であり、上から $60\ \text{cm}$ に試験すべき多段分粒装置と対照となる多段分粒部を取り外したベルマウス型の受け用部品 (フィルタホルダに相当するが、フィルタは挿入していない) を設置した。これらの装置下流にOPC (リオンKC-80BK) を2台設置して、PSL粒子の濃度を並行して計測した。2台のOPCの機差は別途並行測定で確認

した。OPCは吸引流量が3 l/minであり、必要な流量は追加の真空ポンプで吸引し、全流量は流量校正装置 (SKC DryCal) で確認した。底部の空気力学径測定装置 (エアロダイナミックサイザー TSI APS33, 以下APS) は供給されたPSL粒子が複数粒子で凝集していないことを確認するために使用した。装置はクリーンルーム内に設置し、円筒容器上部、多段分級装置周辺、下部に隙間を設け、全体として少し負圧で周囲から清浄空気が漏れ込む状態で運転した。

多段分粒装置による測定は、流量を規定の15 l/minの他に、50%カット径が4 μmとなる9.6 l/minでも並行測定を行った。多段分粒装置の詳細は既に示されているが²⁰⁾、以下の式は、粒子の水平重力沈降分級の理論通過率から導出されたものである。

$$\begin{aligned}
 P(d_p) &= 1 - \frac{d_p^2}{d_{p0}^2} & (d_p \leq d_{p0}) \\
 p(d_p) &= 0 & (d_p \geq d_{p0}) \\
 d_{p0} &= \left(\frac{18\eta F}{\rho g L W N} \right)^{0.5}
 \end{aligned} \tag{4}$$

ここでFは流量、ηは空気の粘度、L、W、Nは多段分粒装置の長さ、幅、段数を示す。d_{p0}は100%捕集される粒径で、計算上7.07 μmとなるように上式を用いてその大きさと流量が決定されている。本文では以下これをBMRC曲線と呼ぶ。また50%カット径が4 μmとなる場合にはd_{p0}は5.66 μmとなる。本文では以下これを4 μm BMRC曲線と呼ぶ。

試験用エアロゾルは単分散のPSL粒子を2回蒸留水に分散、これをガラス製ネブライザーで噴霧乾燥してエアロゾルを得た。ここではネブライザーの噴霧流量を15 l/minまた希釈流量を15 l/min、噴霧圧力を0.045 MPaとして運転した。試験粒子は容器の上から下へ平均流速1 cm/minで流れる。直流式除電器 (KD-110, 春日電気) により両極イオン雰囲気中にエアロゾル粒子を通過させることで粒子の除電を試みた。粒径1~7 μmの7種類のPSL粒子を使用して、それぞれの粒径ごとに別個に上記の方法でエアロゾル発生させた。本研究で使用したPSL粒子の粒径をTable 1に示した。表は各PSL粒子の公称粒径と測定の不確かさからくる公称値の範囲 (Uncertainty) を示している。過去にはPSL粒子の公称値と実測値にかなりの相違があることが指摘されていたが、現在は標準粒子の粒径に関する品質管理のシステム (PSL粒子のメーカーと産業技術総合研究所計測標準研究部門や米国国立標準技術研究所の間で標準粒子の粒径のトレーサビリティを保証するシステム) が整備されている。

OPCはエアロゾルをノズルから細く測定部に導入し、

Table 1. PSL particles used in this study

No.	Manufacturer	Name	Nominal value	
			d _p (μm)	U* (μm)
A	JSR	SC-127-S	1.274	0.029
B	JSR	SS-022-P	2.047	0.046
C	JSR	SS-032-P	3.210	0.072
D	Duke	4204A	4.000	0.033
E	JSR	SS-052-P	5.125	0.115
F	Duke	4206A	5.990	0.045
G	JSR	SS-072-P	7.123	0.160

*: Uncertainty of nominal diameter.

これに光を照射して粒子からの散乱光を検出器で受光し、この検出器の信号を電気信号に変換することにより、粒子数と粒径を得る装置である。散乱光はパルス状で、その強度は粒子の大きさに対応し、その数は粒子の数に対応する。使用したOPCは粒径別に5チャンネルに、それぞれ0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 μm以上の粒子数を積算する機能を持つ半導体レーザー型OPCである。測定した粒子の大きさを判別するための電気信号の閾値(電圧)はメーカーによって校正・設定されている。粒径分別機能の校正には本研究で用いたような単分散PSL粒子を用いて校正し²⁷⁾、トレーサビリティ証明書が付属している。校正粒子と同じPSL粒子を使用すれば、表示される粒径は同一である。ただし、2台のOPCを用いる場合は装置間の若干の機差は存在し、5つの閾値毎に機差を考慮する必要がある。

同じ終末沈降速度を持つ密度ρ_pが1 g/cm³の球形粒子の粒径を、対象粒子の空気力学相当径と定義している。空気力学相当径を計測する装置としてAPSを使用した。これはノズルを飛び出したエアロゾル粒子が2本のレーザービームを通過した時に出す散乱光を受光器で2個のパルス信号に変換し、その飛行時間を計測することにより粒子の質量を求める装置である²⁸⁾。APSは粒径範囲0.5~25 μmを56チャンネルに分割・測定し、ミクロンサイズの粒子計測に適している。APSはOPC以上の性能を持つが、国内で使用されることが少なく、規定もないのでここでは補助的に使用した。

III. 結果と考察

1. 標準粒子を用いた多段分粒装置の通過率測定結果

Figure 2にAPSによる測定の1例を示す。2枚の図は、7.123 μm PSL粒子の粉じんの同じ測定データを個数基準(A)と質量基準(B)で示したものである。質量基準平均径は7.7 μmとPSL粒子公称値より少し大きな値を示していた。大量発生を目指すために、かなり高濃度のPSL粒子懸濁液を噴霧しているが、図からは複数のPSL粒子からなる凝集体は観察されず、ほとんどが単

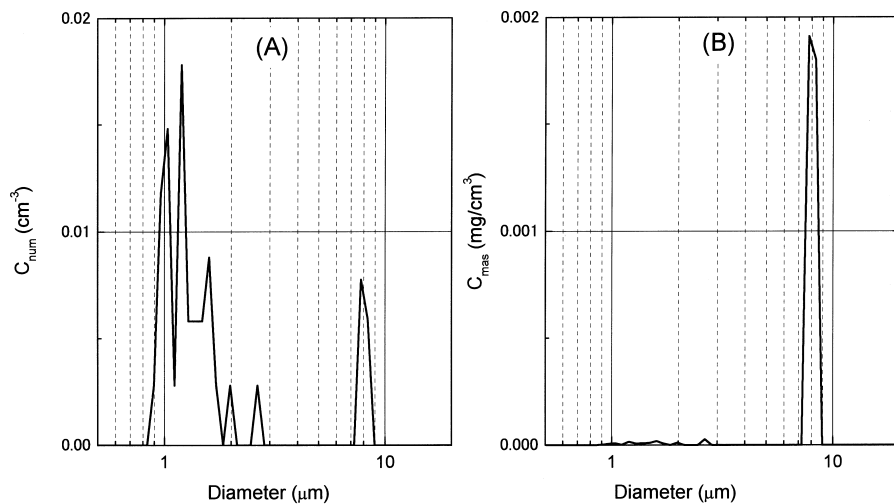


Fig. 2. Size distribution of PSL particles (nominal diameter: $7.123 \mu\text{m}$) by Aerodynamic Particle Sizer (APS33, TSI Inc.)
(A): number distribution, (B): mass distribution.

Table 2. Parallel test results of two OPCs used in this study

PSL particles	Ratio (P_0/P_1)		Size range	Average Conc.* (particles/3 l)
	Average	STD		
$1.274 \mu\text{m}$	106.4%	0.9%	$> 0.5 \mu\text{m}$	64,817
$2.047 \mu\text{m}$	102.2%	2.3%	$> 1 \mu\text{m}$	3,499
$3.210 \mu\text{m}$	99.9%	4.8%	$> 2 \mu\text{m}$	702.9
$5.125 \mu\text{m}$	108.3%	13.1%	$> 2 \mu\text{m}$	217.7

*: PSL particle concentration changed for each run.

粒子からなることがわかる。図 (A) では $1.0 \mu\text{m}$ 程度の粒子も存在していることがわかる。これは懸濁液中の不純物が噴霧蒸発して生成するもので、PSL 粒子ではない。これらの粒子は OPC の測定範囲を選択することで排除することができる。

2台の OPC の併行測定試験 (機差試験) の結果を Table 2 に示す。OPC の計測は 1 分間計測, 30 秒間休みを 10 回くり返した。表は 2 台の濃度比の平均と標準偏差およびそのときの粒子濃度を示す。結果として, 入口濃度を測定している装置の方が数%高い濃度を示す場合があった。前述のように信号の電氣的な閾値がそれぞれ設定されており, 粒径によって機差が異なることが考えられる。これは通過率が高い場合 (粒径の小さい場合) には相対的に影響を受ける。しかし, 測定した $5 \mu\text{m}$ 以上の粒子では下流濃度が低いいため影響は少ない。 $1.274 \mu\text{m}$ PSL 粒子については 100% 通過を計算補正して示した。Table 2 に示すように $3.210 \mu\text{m}$ PSL 粒子以上では, 平均の機差よりも標準偏差の方が大きく, 通過率に与える影響も少ないので補正は加えていない。

Figure 3 に BMRC 曲線と $4 \mu\text{m}$ BMRC 曲線および 3) 式で表される ISO 吸入性粉じん曲線を示す。各点は, 1

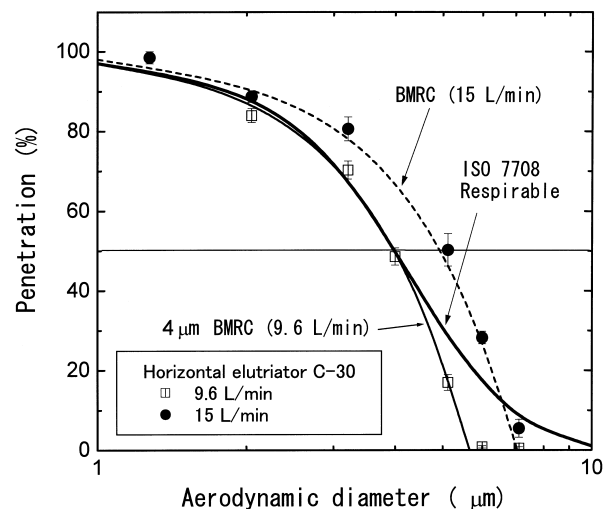


Fig. 3. Penetration of horizontal elutriator sampler. Theoretical curves and measured data.

分間測定を 10 回行って得た通過率の平均と分散を示している。2つの BMRC 曲線は流量 15 l/min と 9.6 l/min にそれぞれ対応するので, この流量について多段型分粒装置を用い, PSL 粒子の通過率を測定した結果も粒径

毎に示した。実測結果は、それぞれのBMRC曲線と非常によい一致を示している。図からこの多段型分粒装置を15 l/minで運転した場合、改正前の作業環境測定基準¹⁾を満たしていることが確認された。静止空間からの粉じんサンプリングにおいて多段型分粒装置はBMRC曲線とよい一致を示すことは英国の炭坑で用いられる同種のサンプリング装置(MRE113A)でも既に示されている²⁹⁾。しかし、この装置は吸引流量が2.5 l/minと多くない。また装置に流入する粒子が速度を持つ場合はより大きな粒子を取り込むことが指摘されている。粒子通過率からはイオナイザの効果は明確には見えなかった。

2. 粉じん粒度分布を仮定した捕集量の計算結果

ISO吸入性粉じんの通過率曲線は粒子の呼吸器内での沈着を基準にしており、特定の分粒装置の特性を基にしていない。Fig.3に示すように2つのBMRC曲線は実験的に確認され、多段型分粒装置を用い9.6 l/minで捕集すれば50%カット径4 μmを満たしていた。広い粒度分布を持つ粉じんについて、これらの分級特性はどの程度ISO吸入性粉じん曲線と一致するかを予測した方法と結果を以下に示す。

粉じんの粒度分布では対数正規分布を当てはめることが多い。対数正規分布の密度関数 $f(dp)$ は次の式で表される。

$$f(x) = \frac{1}{\log \sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\log dp - \log dp_{50})^2}{2 \log^2 \sigma}} \quad (5)$$

この式を用いると正規分布と同様に質量基準幾何平均径 dp_{50} と幾何標準偏差 σ の2つの値によって粒度分布を表わすことができる。幾何標準偏差は最小値が1でこれは単分散であり、現実には1.5から2.5程度である。粒子の通過率 $P(dp)$ を上述のISOの吸入性粒子と2つのBMRC曲線と仮定し、 dp_{50} と σ の値を適宜代入すると、分粒装置前の濃度を1とする装置後の濃度 W を求めることができる。

$$W = \int_0^{\infty} P(dp) f(dp) d(\log dp) \quad (6)$$

実験的に多分散粒子での濃度測定をする代わりに、計算機を用いて濃度の推定を行った。適当な粒度分布を持つ粉じんがこれらの分粒装置を通過した場合の粉じんの重量比を6)式を用いて計算した。計算には粉じん粒度分布として5)式を仮定し、 dp_{50} で0.5, 1, 3, 5, 8, 10, 12 μm, 幾何標準偏差 σ で1.0, 1.3, 1.7, 2.0, 2.5, 3.0で行った。6)式の通過率 $P(dp)$ はFig.3に示した3種類について、3次スプライン補間法を用いて任意の粒径での値を代入し、数値積分を行った³⁰⁾。ここで使用

した通過率はスプライン補間法を用いなくても計算可能であるが、実測などで粒径別の通過率が得られる場合にも本方法は応用可能である。

Figure 4は計算方法を示したもので、例として $dp_{50} = 5 \mu\text{m}$, $\sigma = 2.0$ の粒度分布の粉じん(図中の実線で面積は1)がISO吸入性粉じんの通過率(図中の点線)をもつ分粒装置を通過した後の粒子の量を6)式から数値積分で計算した。この値をそれぞれの分粒装置について計算し、ISOの吸入性粉じんを仮定した場合の粉じん量を基準に比率を求めた。例の粒度分布の場合、計算上、ISO吸入性粉じんでは0.38(図中の斜線の面積)、BMRCでは0.45であり、両者の比は1.16であった。

Figure 5は15 l/minで多段分粒装置を運転した場合と、ISOの吸入性粉じん量の比(ISO基準)を等高線として示したもので、バイアスマップと呼ばれている³¹⁾。図中のxは先に計算した dp_{50} と σ の組み合わせを示し

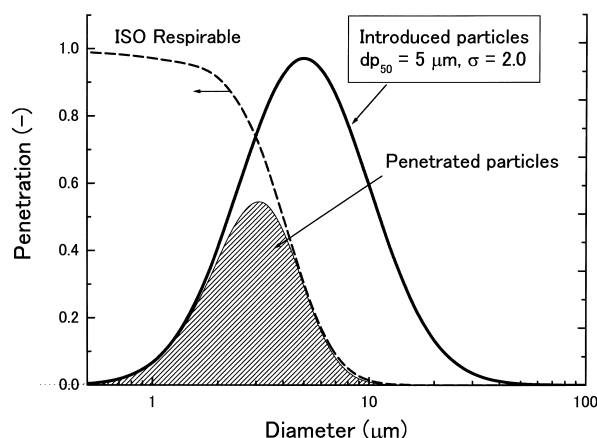


Fig. 4. Penetration and ratio of inlet particles and outlet particles through the sampler.

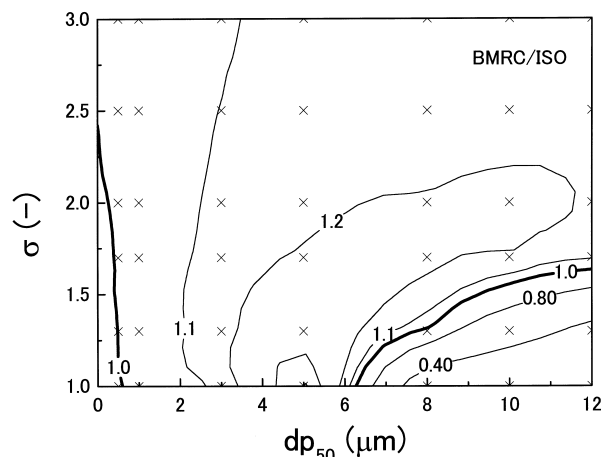


Fig. 5. Calculated bias map of BMRC/ISO. Symbols "x" in the figure show the conditions for bias calculation and the contour was drawn by Microcal Origin ver.6.1.

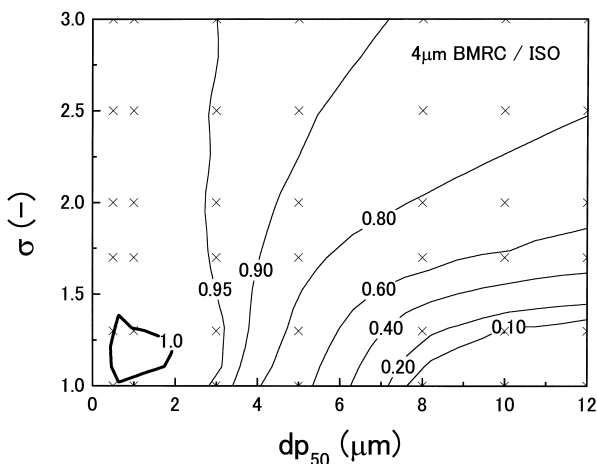


Fig. 6. Calculated bias map of 4 μm BMRC/ISO. Symbols "x" in the figure show the conditions for bias calculation and the contour was drawn by Microcal Origin ver.6.1.

ている。等高線図は Origin Ver. 6.1 (Microcal Software Inc., MA, USA) で計算・作図した。図で 1.0 の線は両者の示す濃度が同じことを意味し、ほとんどの粒度分布で、15 l/min で多段分粒装置を運転した場合の方が 10% 程度濃度を高く見積もる。この結果は Soderholm³²⁾ の計算結果ともほぼ一致している。

これに対して Fig. 6 は 9.6 l/min で多段分粒装置を運転した場合と ISO 吸入性粉じん量の比 (ISO 基準) のバイアスマップである。結果は粒度分布によって異なり 90% から 10% まで減少し、幾何平均径が大きい粉じんについてその濃度を過小評価する。幾何標準偏差が大きい粉じんについてはその傾向は緩和される。この原因は Fig. 3 でわかるように、9.6 l/min で多段分粒装置を運転した場合は ISO 吸入性粉じんと仮定した場合に対して 4 μm より小さい粒子ではほぼ同じ通過率を示すのに対して、4 μm より大きな粒子では ISO 吸入性粉じんの方が大きな粒子を取り込む割合が高いためである。

わが国におけるロウボリウムエアサンプラの使用目的のほとんどが粉じん相対濃度計の質量濃度換算係数 (K 値) の決定である。光散乱方式の粉じん計では 1 μm 以下の粒子の質量基準の感度は 1 μm 以上の粒子よりかなり高い。したがって、多くの場合には新しい吸入性粉じん分粒装置でサンプリングすると粉じん計の指示値は以前と同じでも得られる質量濃度は旧型の分粒装置に比べ低くなると予測される。

一方、広く認められている 1 μm 以下の粒子の肺胞部での沈着率は実際には 40% 以下であり³³⁾、1 μm 以上の粒子と重みが異なることになる。粉じん測定の場合、ISO 吸入性粉じんのように入 1 μm 以下の粒子の通過率を 100% 近くに設定していることは望ましくないことが指摘されている³⁴⁾。

本研究で示したように吸入性粉じんの分級特性を BMRC 曲線のままで曝露評価を行うことは見かけ上安全側であるが、欧米諸国において ISO 吸入性粉じんを採用しており、健康影響のデータ互換性の面からは ISO 吸入性粉じんに変更することは妥当と考える。そのためにはサンプリングに用いられる装置の分粒特性と、そのバイアスマップを検討しなければならない。ISO 吸入性粉じん曲線との一致の程度についても今後検討されなければならない。

IV. まとめ

- 1) ロウボリウムエアサンプラで広く用いられている多段分粒装置は重力沈降の理論通過率に従う分粒特性を示すことを確認した。
- 2) 多段分粒装置を 50% カット径 4 μm で運転すると ISO 吸入性粉じんに比べ、粉じん濃度を過小評価することがわかった。
- 3) 多段分粒装置のみならず一般にサイクロンやインパクタの原理を用いる分粒装置では ISO 吸入性粉じんよりも急峻な分級特性を示すので、分粒特性をどの程度合わせるかという基準策定が必要である。
- 4) 通過率曲線の異なる分粒装置は粉じんの平均径と偏差によって異なる濃度を与えるので、これを評価するバイアスマップが各装置について必要である。

文 献

- 1) 厚生労働省告示第 368 号 平成 16 年 10 月 1 日。2004。
- 2) ISO 7708 Air quality—Particle size fraction definitions for health-related sampling, 1995.
- 3) Ogden TL, Birkett JL. The human head as a dust sampler. In: Walton WH, eds. Inhaled Particles IV. Oxford: Pergamon Press, 1977: 93-105.
- 4) Ogden TL, Birkett JL. An inhalable-dust sampler for measuring the hazard from total airborne particulate. Ann Occup Hyg 1978; 21: 41-50.
- 5) Vincent JH, Mark D. Application of blunt sampler theory to the definition and measurement of inhalable dust. In: Walton WH, eds. Inhaled Particles V. Oxford: Pergamon Press, 1982: 3-19.
- 6) Armbruster L, Breuer H. Investigations into defining inhalable dust. In: Walton WH, eds. Inhaled Particles V. Oxford: Pergamon Press, 1982: 21-32.
- 7) Vincent JH, Mark D. Entry characteristics of practical workplace aerosol samplers in relation to the ISO recommendations. Ann Occup Hyg 1990; 34: 249-262.
- 8) Orenstein, AJ. Recommendations adopted by the Pneumoconiosis conference. In: Proc Pneumoconiosis conference, Johannesburg. London: J and A Churchill Ltd, 1960: 610-621.

- 9) 日本産業衛生学会許容濃度委員会. 許容濃度等の勧告 (2004年度). 産衛誌 2004; 46: 130.
- 10) 2002 TLVs and BEIs, ACGIH 2002: 73-76.
- 11) Soderholm SC. Proposed international conventions for particle size-selective sampling. *Ann Occup Hyg* 1989; 33: 301-320.
- 12) Kenny LC. Developments in workplace aerosol sampling, A review. *Analyst* 1996; 121: 1233-1239.
- 13) Harper M. Measurement and monitoring of airborne particles—Techniques and regulations. In: Battle TP, Henein H, eds. *Processing and handling of powders and dusts*. USA: The Minerals, Metals and Materials Society, 1997: 79-91.
- 14) Gautam M, Sreenath A. Performance of a respirable multi-inlet cyclone sampler. *J Aerosol Sci* 1997; 28: 1265-1281.
- 15) Baron PA. Personal aerosol sampler design: A review. *Appl Occup Environ Hyg* 1998; 13: 313-320.
- 16) Koch W, Dunkhorst W, Lodding H. Design and performance of a new personal aerosol monitor. *Aerosol Sci Technol* 1999; 31: 231-246.
- 17) Gorner P, Wrobel R, Micka V, Skoda V, Denis J, Fabries JF. Study of fifteen respirable aerosol samplers used in occupational hygiene. *Ann Occup Hyg* 2001; 45: 43-54.
- 18) 鈴木治彦, 小西叔人, 長原瑞江, ほか. 各種分粒装置の比較試験結果. 第43回日本労働衛生工学会抄録集, 2003; 22-23.
- 19) 入江寛文, 名古屋俊士, 小山博巳, ほか. 4mm50%カット分粒装置付ハイボリウムエアサンブラの質量濃度等価試験に関する研究. 第44回日本労働衛生工学会抄録集, 2004; 36-37.
- 20) 作業環境測定ガイドブック1. 鉱物性粉じん関係. 労働省安全衛生部環境改善室編, 第4版1998.
- 21) 日本工業規格JIS Z8814 ロウボリウムエアサンブラ 1994.
- 22) Berglund RN, Liu BYH. Generation of monodisperse aerosol standards. *Environ Sci Technol* 1973; 7: 147-153.
- 23) Carsey TP. LISA: A new aerosol generation system for sampler evaluation. *Am Ind Hyg Assoc J* 1987; 48: 710-717.
- 24) Kenny LC, Liden G. A technique for assessing size-selective dust samplers using the APS and polydisperse test aerosols. *J Aerosol Sci* 1991; 22: 91-101.
- 25) Chen CC, Lai CY, Shih TS, Hwang JS. Laboratory performance comparison of respirable samplers. *Am Ind Hyg Assoc J* 1999; 60: 601-611.
- 26) 日本工業規格JIS Z8901 試験用粉体及び試験用粒子, 1995.
- 27) 日本工業規格JIS B9921 光散乱式自動粒子計数器, 1997.
- 28) Baron PA. Calibration and use of the Aerodynamic Particle Sizer (APS3300). *Aerosol Sci Technol* 1986; 5: 55-69.
- 29) Liden G, Kenny LC. Comparison of measured respirable dust sampler penetration curves with sampling conventions. *Ann Occup Hyg* 1991; 35: 485-504.
- 30) Myojo T. A simple method to determine the length distribution of fibrous aerosols. *Aerosol Sci Technol* 1999; 30: 30-39.
- 31) Liden G, Kenny LC. The performance of respirable dust samplers: Sampler bias, precision and inaccuracy. *Ann Occup Hyg* 1992; 36: 1-22.
- 32) Soderholm SC. Correction. *Ann Occup Hyg* 1991; 35: 357-358.
- 33) Heyder J, Gebhart J, Rudolph G, Schiller CF, Stahlhofen W. Deposition of particles in the human respiratory tract in the size range 0.005-15 μm . *J Aerosol Sci* 1986; 17: 811-825.
- 34) Hewett P. Limitations in the use of particle size-selective sampling criteria in occupation epidemiology. *Appl Occup Environ Hyg* 1991; 6: 290-300.

Assessment of Measured Respirable Dust Sampler Penetration and the Sampling Convention for Work Environment Measurement

Toshihiko MYOJO

Department of Work Environment Evaluation, National Institute of Industrial Health, Nagao 6-21-1, Tama, Kawasaki 214-8585, Japan

Abstract: The relationship between dust size and penetration for a static horizontal elutriator (Sibata C-30) was measured in calm air. The elutriator as a low-volume air sampler is widely used as a dust size classifier in work environment measurements. The actual penetrations were compared with the theoretical models of the sampler and with sampling convention for respirable dust in work environment measurement. The sampling convention was recently introduced into the Japanese standard for work

environment measurement and is based on the ISO 7708 respirable dust convention. The bias of sampled masses from the respirable dust was calculated for two flow rates of the sampler, i.e., 50% cut sizes of 4 μm and 5 μm , from measured penetration curves. The bias of the sampler was overestimated in the 5 μm , 50% cut condition and underestimated in the 4 μm , 50% cut condition for most workplace sampling situations. (*San Ei Shi* 2005; 47: 239-245)