

光散乱式粉じん計の較正係数に関する調査

Investigation of coefficient of calibration in using digital dust counter

J09006-6 阿部 亮太

Abstract

Recently total quantity of air-borne dust in buildings becomes low concentration, and particle diameter of air-borne dust in buildings is become smaller and lighter because of promoting to stop smoking in buildings. Therefore it is obvious that the method of measurement should be reexamined.

In this study, quantity of air-borne dust was measured in several office buildings. The purpose of this study is to grasp the coefficient of calibration in using digital dust counter is grasped and particle size dependence of each dust counter was examined from correlation of the number and the mass concentration.

Keywords 粉じん計 (digital dust counter) 較正係数 (coefficient of calibration) 光散乱式 (light scattering method) 質量濃度 (mass concentration) 個数濃度 (number concentration)

1 背景

近年、建築内での禁煙化の増進などにより、室内空気環境は大幅に改善されている。その一方で2.5 μm 以下の粒子(PM2.5)に代表されるように、問題となる浮遊粉じんの粒径はより小さく、軽くなる方向にある。その為、従来の基準値や測定方法について再検討する必要性が顕在化してきている。現在粉じんの測定に使用されている機器は測定操作が容易で、かつ測定値が短時間で得られる粉じん計が用いられる。測定器の原理は「光散乱方式」「光吸収方式」「圧電天秤方式」など数種類の原理があり、このうちの「光散乱方式」の粉じん計は、高感度で扱い方も簡便で比較的小型、軽量、リアルタイムに測定出来ることから粉じん計としては最も使用されている。光散乱式粉じん計は大気中の浮遊粉じんの質量濃度を散乱光の強弱として間接的に測定するものであり、散乱光が粉じん濃度と比例することを利用し、カウント値(CPM)として積算される。1カウント値はステアリン酸を基準に0.001mg/m³と設定されているが、実空間内での浮遊粉じんとその比重、形、大きさ、色の違いなどを考慮し、較正係数(K値)を乗じることで質量濃度が求められる。現在用いられている粉じん計のK値は、昭和47~48年度及び昭和53~54年度に行われた一連の研究により求められた値であり、粉じん濃度が低濃度化した近年の室内環境における、測定によって得られる値とは異なっている可能性があるという現状にある。

2 目的

現在の室内環境に適した較正係数に関する知見が必要である点に着目し、浮遊粉じんの質量濃度、粒径別個数濃度、その他各種環境条件の測定を行った。特に、光散乱式粉じん計の較正係数の把握を行い、現状に適する較正係数の検討、及び質量濃度と個数濃度の相関から、光散乱式粉じん計の粒径依存性について検討を行うことを目的とする。

表1 測定場所

測定場所	建物名	調査日	時間
港区	A1	2012/7/31	9:40-17:40
文京区	B	2012/8/27	9:40-17:40
千代田区	C	2012/9/4	9:30-17:30
港区	A2	2012/9/6	9:30-17:30
港区	A3	2012/9/10	9:40-17:40
新宿区	D	2012/9/12	9:50-17:50
中央区	E	2012/10/11	9:50-17:50
港区	A4	2012/10/22	9:30-17:30
港区	F	2012/10/25	9:45-17:45

表2 測定項目

使用機器	測定項目	測定方法
DDC	CPM値	1分間の測定を8時間
LV	質量濃度	連続8時間測定
LPC	粒径別個数濃度	流量2.83Lの測定を480回

3 手法

3-1 測定方法

測定は東京都にある事務所ビルの室内外で行われた。測定の概要(調査建物名、調査日、測定時刻等)については、表1に示すとおりである。測定は平日の通常業務が行われている8:00から17:00の時間帯に実施した。測定器機等の設置場所は作業の妨げにならないことに十分考慮し決定している。

測定項目は表2に示す。粉じんの質量濃度については、3機種種のデジタル粉じん計(以下DDC)、ローボリュームエアサンプラー(以下LV)、個数濃度についてはレーザーパーティクルカウンタ(以下LPC)を用いて測定を行った。3機種種のDDCについてはここでは各々DDC1、DDC2、DDC3と呼ぶ事とする。それぞれDDCは2台ずつ用いたが、各2台を区別するためDDC1①、DDC1②等と呼ぶ事とする。またLVは各2台ずつ、LPCは1台を用い測定を行った。LVの値は2台の平均した値を用いる事とする。

3-2 分析方法

校正係数の算出を行う。LV、LPC の値から質量濃度と個数濃度の相関関係の検討、及び DDC、LPC の値から粉じん計の粒径依存性の検討を行う。現在デジタル粉じん計の校正係数は $K=1.3$ とされている。なお校正係数の求め方は eq.1 に示される。

4 結果

4-1 校正係数

各測定場所の粉じん計の校正係数を図1から図3に示す。校正係数の算出方法は、eq.1を用いて算出を行った。

DDC1①はA2建物、A3建物、D建物、E建物では現行のK値より小さい結果となったが、それ以外の建物では、現行の値より大きな値を示した。DDC2①はF建物で、DDC2②はD建物、F建物、DDC3①はB建物で、DDC3②はB建物、D建物、A4建物で3以上の値を示した。

機種ごとにK値を平均すると、DDC1は1.34から1.72の値を示し、測定場所による差はあまり見られなかった。DDC2は1.72から3.87、DDC3は2.08から3.64の値を示し、各建物で結果にばらつきが見られた。

粉じん濃度のK値に与える影響について検討する。縦軸に測定値から算出されたK値、横軸にはLV及び、DDCより得られた粉じん濃度を建物毎に図4及び図5に示す。

DDC1①はどの建物においてもLV、DDCの濃度に関係なく1から1.5の値を示し、DDC1②はおおよそ1.5から2の間を示していることから、DDC1は比較的安定した値を示す事が分かる。DDC2はLV、DDCの値が小さいとK値は大きくなり、LV、DDCの値が大きくなると、2前後になることが分かる。DDC3ばらつきがあるが、概ね2-3を示しており、比較的安定している事が確認できるがLVの値が $0.008\text{mg}/\text{m}^3$ 付近で最も低く、その値から離れるに従いK値は高くなる傾向がある。

DDCとLVの示した値の比較を表3に示し、お互いの測定値の相関係数(寄与率の事を相関係数とする)を表4に示す。

DDC1①ではA2建物、A3建物、D建物、E建物はLVより大きい濃度を示しているが、他の建物ではLVで測定した値の方が大きい値を示し、DDC1②は全部の建物でLVの方が高い値を示す結果となった。DDC1の平均では1.28とLVの値の方が大きい濃度を示した。またDDC2、DDC3はどの建物においてもLVの値の方が大きい濃度を示しており、平均するとLVの値の方が2倍以上も大きい濃度を示すことが分かった。DDCとLVは高い相関を示しているにも関わらず、LVとDDCの値に差があり、特にDDC2、DDC3では2倍以上の結果となった。このことから現在用いられている校正係数は現実より小さい値ということが考えられる。

$$K=C/R$$

eq.1

C：ローボリュームエアサンプラ(LV)の濃度 $[\text{mg}/\text{m}^3]$

R：粉じん計(DDC)のカウント数[CPM：Count Per Minute]

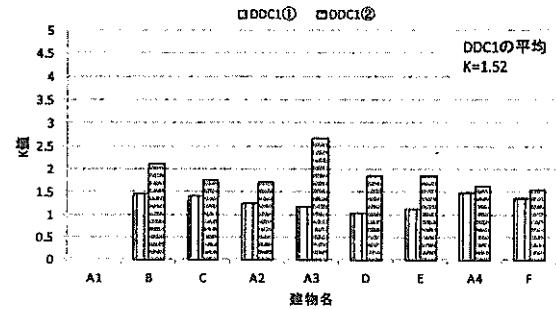


図1 DDC1のK値

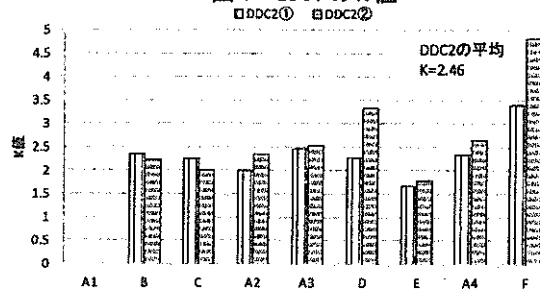


図2 DDC2のK値

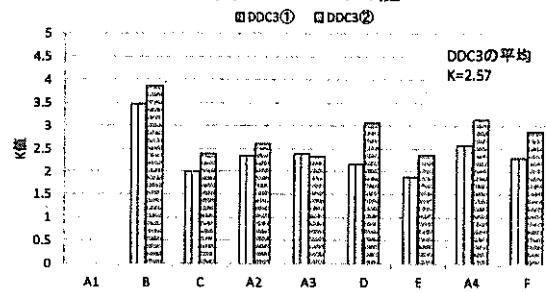


図3 DDC3のK値

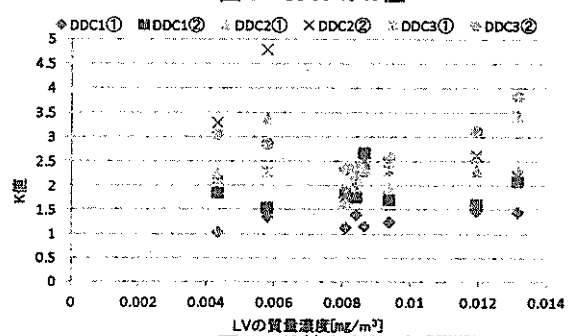


図4 K値とLVの相関関係

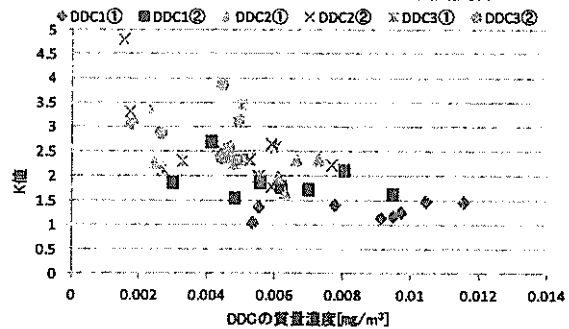


図5 K値とDDCの相関関係

4-2 質量濃度と個数濃度の相関

現在、建築物衛生法では、粉じん濃度が質量濃度により規制されているが、粒径により人体の健康への影響が異なるなど質量濃度だけでは不十分な点がある。これまでの一連の研究では、個数濃度と質量濃度の相関はあまりないとされてきたが、この点について再確認を行うため、まず、粉じんの個数濃度で測定する。LPC と質量濃度の標準測定である LV の相関について検討を行うこととする。

LPC は光散乱相当径で粒径別個数濃度を測定している測定機器であるが、この LPC の 0.3μm から 0.5μm、0.5μm から 1.0μm、1.0μm から 2.0μm、2.0μm から 5.0μm、5.0μm 以上の 5 つの粒径区分でそれぞれ中央径をとり、粒子を球形と見なして個数濃度から質量濃度に変換する。

粒子の直径については LPC の各レンジ幅から幾何平均をとって代表中央径とした。

$$D_{p_i} = \sqrt{dp_i \times dp_{i+1}} \quad \text{eq.1}$$

で求められる。各粒径範囲の質量濃度は、粒子の粒径と代表中央径と密度、個数濃度から次式で表わすことができる。

$$M = \sum_i dM_i = \sum_i \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D_{p_i}}{2} \right)^3 \times \rho \times dN_i \quad \text{eq.2}$$

- M : 質量濃度[mg/m³]
- dM_i : 粒径別質量濃度[mg/m³]
- D_{p_i} : i 番目の代表中央径[m]
- ρ : 密度[g/m³]
- dN_i : 粒径別個数濃度[個/m³]

本調査では、全ての粒子が粒径に関係なく一様に球形であり、密度 ρ は 1.0[g/cm³] (=10⁹[mg/m³]) と仮定する。各建物における LV の質量濃度と LPC から算出された質量濃度を図 6 に示す。B 建物を除いて LPC の値が LV の値よりも全て小さい結果となった。これは、実際には粒子成分の違いで重量が異なる(密度が 1 よりも大きい)はずであるが、粒子成分に関係なく全ての粒子を同一と見なして算出したことによる影響が考えられる。LPC の計測時に光散乱方式で見られる同時計数誤差や粒径範囲の精度などによる誤差、粒径区分の荒さ、粒径 0.3μm 以下の粒子の不検出などが関係している可能性も考えられる。

これまで質量濃度と個数濃度には相関がみられないものとされていたが、LV の値が 0.95 から 2.44 倍の範囲にあることや寄与率が高いことなどから、ある程度の相関が考えられる。

次に各建物における LV の質量濃度と LPC の粒径別個数濃度の測定値を重量換算したものとの相関関係を表 5 に示す。LV と最も相関がとれた粒径は 1.0μm から 2.0μm の粒径で 0.82 となった。次は 2.0μm から 5.0μm の粒径で 0.70 となった。また相関がみられなかった粒径は 0.3μm から 0.5μm と 0.5μm から 1.0μm の粒径で 0.33 と 0.36 となった。

表 3 LV と DDC の測定値の相関(LV/DDC)

	DDC1①	DDC1②	DDC2①	DDC2②	DDC3①	DDC3②
A1	1.32	1.94	2.98	2.92		
B	1.14	1.64	1.81	1.72	2.63	2.97
C	1.08	1.36	1.75	1.53	1.52	1.82
A2	0.96	1.34	1.54	1.78	1.81	2.02
A3	0.91	2.09	1.87	1.96	1.83	1.78
D	0.81	1.45	1.78	2.53	1.62	2.45
E	0.89	1.45	1.28	1.37	1.45	1.83
A4	1.14	1.26	1.80	2.02	1.98	2.43
F	1.05	1.20	2.56	3.80	1.77	2.20
Ave	1.03	1.53	1.93	2.18	1.83	2.19
Ave	1.28		2.06		2.01	

表 4 LV と DDC の測定値の相関係数(平均)

	DDC1①	DDC1②	DDC2①	DDC2②	DDC3①	DDC3②
	0.85	0.79	0.81	0.82	0.58	0.61
Ave	0.82		0.82		0.60	

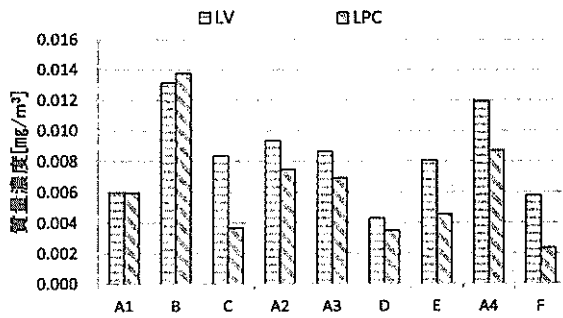


図 6 LV と LPC の質量濃度[mg/m³]

表 5 LV と粒径別個数濃度の相関係数

粒径	0.3-0.5μm	0.5-1.0μm	1.0-2.0μm	2.0-5.0μm	5.0-10.0μm
寄与率	0.33	0.36	0.82	0.70	0.62

1.0μm 以上の粒径で相対的に相関が取れていると考えられ、それ以下の粒径の小さな粒子では相関がとれていないことがわかる。

今回の結果より質量濃度と個数濃度はある程度相関が取れていること、また粒径の小さな粒子は質量濃度とは相関を取れていないことが確認できた。ゆえに質量濃度はある程度の大きさの粉じんの影響は受けるものの、粒径の小さい粒子には影響されにくいことが考えられる。室内の粉じん濃度の測定は、個数濃度の測定も独立して行わなければ粒径の小さい粒子の実際把握はできないと考えられる。

4-3 粉じん計の粒径依存性の検討

LPC から得られる 5 つの粒径範囲の粒径別個数濃度と光散乱式粉じん計(DDC1、DDC2、DDC3)から得られる質量濃度について相関が見られるかを検討し、その関係から粉じん計がどの粒径に依存しているかを考察する。DDC1、DDC2 は建物ごとに、15 分毎の測定値の平均値と相関関係をとっているが、DDC3 は測定値が累積値として測定されるため、建物間での相関関係をとっている。各粉じん計の粒径別の寄与率を建物毎に表 6 に示し、平均を表 7 に示す。寄与率の高いものを濃く色を付け表示する。

粒径依存性については、LPC の 5 つの粒径範囲の中で最も相関がみられる範囲から検討することとする。

各機種種の寄与率を粒径ごとに平均すると、DDC1 で最も相関の取れている粒径は 1.0μm から 2.0μm で 0.75、DDC2

では最も相関が取れている粒径は1.0 μm から2.0 μm で0.73、DDC3で最も相関が取れている粒径は0.3 μm から0.5 μm で0.83となった。DDC1、DDC2は相対的に相関する粒径が似ていることが考えられ、1.0 μm から2.0 μm の粒径の粒子の依存していることが考えられる。またDDC3は粒径が小さくなるほど相関が取れていて、0.3 μm から0.5 μm の粒径の粒子に依存していることが考えられる。特に3機種とも5.0 μm 以上では相関があまりとれていないことから、大きい粒径の粒子はDDCの測定値への影響が小さいと考えられる。

次に小さい粒径で相関が取れている建物と大きい粒径で相関が取れている建物に分け、その建物の個数濃度、質量濃度を表8、表9に示す。LPCは各粒径ごとに、DDCは機種ごとに濃度の高い建物に色付けをした。

C建物、A2建物、A3建物、E建物では0.3 μm から0.5 μm 、0.5 μm から1.0 μm の粒子が他の建物より多く、1.0 μm から2.0 μm 、2.0 μm から5.0 μm 、5.0 μm 以上の粒子が他の建物より少ないことが分かる。また、A1建物、B建物、A3建物では5.0 μm 以上の粒子が他の建物より多く、B建物、A4建物は1.0 μm から2.0 μm 、2.0 μm から5.0 μm の粒子も他の建物より多いことが分かる。また、D建物、F建物は全粒径区分で個数濃度が他の建物より薄いことが分かる。これより個数濃度の高い粒径の粒子ほど質量濃度との相関性が高くなることが考えられる。また各粉じん計の粒径依存の高い粒子が多い程、その粉じん計で示される値が大きくなることが考えられる。

5 まとめ

本研究により、次の知見を得た。

- 1) DDCのK値は1.3より高い値へと変化している可能性がみられる。
- 2) LPCの個数濃度とLVの質量濃度の一定の相関関係の可能性が認められた。
- 4) 各粉じん計の粒径依存の高い粒子はDDC1、DDC2は1.0 μm から2.0 μm 、3442は0.3 μm から0.5 μm であることが確認できた。
- 3) 各粉じん計の粒径依存の高い粒子が多い程、その粉じん計の示す値が大きくなることが考えられる。

6 今後の課題

今後の課題を以下に示す。

- ◆測定データの収集
- ◆各粉じん計とWPSとの検討
- ◆質量濃度における粒径別個数濃度についての評価

【参考文献】

- 1) 上野祐司：建築物における衛生的環境の確保に関する法律(建築物衛生法)における浮遊粉じん測定について、日本エアゾル学会,p341-245(2008)

表6 各粉じん計の粒径別個数濃度の相関係数

建物	機種	0.3-0.5 μm	0.5-1.0 μm	1.0-2.0 μm	2.0-5.0 μm	5.0-10.0 μm
A1	DDC1	0.09	0.35	0.49	0.48	0.48
	DDC2	0.01	0.35	0.47	0.47	0.43
B	DDC1	0.16	0.55	0.65	0.77	0.66
	DDC2	0.39	0.59	0.76	0.64	0.55
C	DDC1	0.85	0.92	0.67	0.05	0.16
	DDC2	0.83	0.93	0.67	0.02	0.22
A2	DDC1	0.34	0.52	0.78	0.50	0.41
	DDC2	0.88	0.92	0.74	0.44	0.36
A3	DDC1	0.88	0.91	0.92	0.43	0.24
	DDC2	0.92	0.91	0.89	0.37	0.18
D	DDC1	0.61	0.74	0.65	0.53	0.52
	DDC2	0.59	0.71	0.59	0.47	0.46
E	DDC1	0.68	0.85	0.72	0.28	0.05
	DDC2	0.71	0.91	0.71	0.19	0.01
A4	DDC1	0.17	0.28	0.84	0.75	0.72
	DDC2	0.23	0.30	0.65	0.54	0.48
F	DDC1	0.66	0.74	0.81	0.77	0.21
	DDC2	0.71	0.63	0.90	0.80	0.14

表7 各粉じん計の粒径別個数濃度の相関係数(平均)

	0.3-0.5 μm	0.5-1.0 μm	1.0-2.0 μm	2.0-5.0 μm	5.0-10.0 μm
DDC1	0.55	0.69	0.75	0.51	0.38
DDC2	0.58	0.72	0.73	0.44	0.31
DDC3	0.83	0.73	0.26	0.15	0.15

表8 粒径別個数濃度[個/L]

建物	0.3-0.5 μm	0.5-1.0 μm	1.0-2.0 μm	2.0-5.0 μm	5.0-10.0 μm
C	2.E+08	1.E+07	1.E+06	4.E+05	5.E+04
A2	2.E+08	1.E+07	1.E+06	4.E+05	8.E+04
A3	2.E+08	1.E+07	1.E+06	5.E+05	1.E+05
E	2.E+08	1.E+07	1.E+06	4.E+05	6.E+04
A1	4.E+07	3.E+06	9.E+05	5.E+05	9.E+04
B	1.E+08	9.E+06	2.E+06	1.E+06	2.E+05
A4	2.E+08	8.E+06	1.E+06	7.E+05	1.E+05
D	9.E+07	4.E+06	7.E+05	3.E+05	6.E+04
F	1.E+08	6.E+06	7.E+05	3.E+05	4.E+04

表9 粉じんの質量濃度[mg/m³]

	DDC1	DDC2	DDC3
C	0.0069	0.0051	0.0051
A2	0.0083	0.0057	0.0049
A3	0.0068	0.0045	0.0048
E	0.0073	0.0061	0.0050
A1	0.0038	0.0020	
B	0.0098	0.0075	0.0047
A4	0.0099	0.0062	0.0055
D	0.0042	0.0021	0.0022
F	0.0052	0.0019	0.0029

- 2) 平成18-19年度(財)ビル管理教育センター調査研究事業：室内浮遊粒子状物質の規制のありに関する調査研究総合報告書、財団法人ビル管理教育センター、2009.3
- 3) 新版建築物の環境衛生管理編集委員会：新版建築物の環境衛生管理上巻、財団法人ビル管理教育センター、2009.4
- 4) 桜井理絵：浮遊粉じん計測時の校正に関する研究、芝浦工業大学学士論文、2007.3

【謝辞】

本調査は(財)ビル管理教育センター「室内粉じんの校正係数に関する調査研究」により行いました。研究員鎌倉良太様、平山勝久様には研究全般にわたり多大なる協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。