

浮遊粉じん計測時の較正に関する研究

Investigation of calibration measuring air-borne dust

西村研究室 J03049 櫻井 梨絵

Abstract

A calibration coefficient to be necessary at the time of calibration of dust counter changes so that total quantity of air-borne dust in specific buildings becomes the low concentration. Therefore the measurement that used a calibration coefficient to be suitable for recent air environment for is expected.

In this study, quantity of air-borne dust was measured in several office buildings and the present air environment was grasped. And value of a calibration coefficient to be suitable for the present air environment was suggested by comparing a calibration coefficient of a current standard with a calibration coefficient provided by the measurement. In addition, particle size dependence of each dust counter was examined from correlation of the number and the mass concentration.

Keywords : 浮遊粉じん 較正係数 粒径別個数濃度 質量濃度 粒径依存性

1. 背景と目的

戦後の経済発展に伴い、都市に多くのビルが建設され、ビル内で一日の大半を過ごす人々が増加した。人々の活動の場である建物は、健康で衛生的な環境が保持されていなくてはならない。その為、1970年には「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」が制定され、空気については、浮遊粉じん（10 μm以下の粒子）、CO、CO₂、ホルムアルデヒド、気流、温度、相対湿度の全7項目に関して管理基準が定められた。

近年、建築物環境衛生の適正な維持管理や空気清浄技術の向上、及び分煙対策の普及等から、浮遊粉じん量が現在の管理基準値（0.15 mg/m³）に比べ、極めて低濃度となり、測定に更なる精度の高さが要求されるようになった。その為、これまで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。

浮遊粉じん量は重量法により規制され、標準測定法の測定機器（ローボリュームエアサンプラー）があるが、実際の測定には主に粉じん計（相対濃度計）が用いられる。粉じん計の測定値は相対濃度で表され、測定値に質量濃度換算係数（較正係数 K 値）を乗じることで質量濃度が求められる。現在の粉じん計の較正係数（以下 K 値）は、昭和 48 年度及び 54 年度に行われた一連の研究で求められた値であり、粉じん濃度が低濃度となった近年の室内環境の測定により得られる値とは異なってきている。

本研究では、粉じん計の違いによる特性を明らかにし、特に粒径依存性やその光学特性の見地から、機器の較正時に必要となる K 値を導出、現在用いられている値と比較・検討を行い、粉じん量計測法の見直しを行うことを目的とする。

2. 調査・測定項目

特定建築物のうち大都市の事務所ビル 15 箇所の室内を対象に、測定およびアンケート調査を行った（表 1 参照）。

SPM の質量濃度については、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）、ピエゾバランス粉じん計を用いて、SPM の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、温湿度は日記録温湿度計を用いて測定を行った。また、アンケート調査は、建物概要、測定環境、空調設備等について行った（表 2 参照）。

表 1 測定概要

| 調査対象建物名 | 調査場所 | 調査日 | 測定時刻 | 測定日天候 |
|---------|------|------------|-------------|-------|
| A | 東京 | 2006.8.29 | 10:00-18:00 | 晴れ |
| B | 東京 | 2006.9.4 | 10:00-18:00 | 晴れ |
| C | 東京 | 2006.9.6 | 10:00-18:00 | 曇り時々雨 |
| D | 東京 | 2006.9.13 | 9:40-17:45 | 雨 |
| E | 東京 | 2006.9.15 | 9:00-17:00 | 曇り→晴れ |
| F | 東京 | 2006.9.22 | 9:48-18:00 | 曇り |
| G | 東京 | 2006.9.25 | 9:48-18:00 | 晴れ |
| H | 東京 | 2006.9.29 | 9:45-17:45 | 曇り→雨 |
| I | 東京 | 2006.10.3 | 9:45-17:45 | 曇り |
| J | 東京 | 2006.10.10 | 9:45-17:45 | 晴れ |
| K | 東京 | 2006.10.13 | 9:45-17:45 | 曇り |
| L | 東京 | 2006.10.16 | 9:45-17:45 | 晴れ |
| M | 東京 | 2006.10.20 | 9:45-17:45 | 曇り |
| N | 東京 | 2006.10.23 | 9:45-17:45 | 雨 |
| O | 神奈川 | 2006.10.27 | 10:00-18:00 | 曇り時々雨 |

表 2 測定調査項目

| 測定対象 | 概要 |
|---------|--|
| 質量濃度 | デジタル粉じん計 15分間測定を連続8時間 (LD3のみ1分間測定を連続8時間) |
| | ピエゾバランス粉じん計 周波数変化を用いた15分間測定を連続8時間 |
| | ローボリュームエアサンプラー 8時間連続測定 |
| 粒径別個数濃度 | パーティクルカウンター 流量2.83L(1分間)の測定を480回 |
| 温湿度 | 温湿度計 1分間の測定を連続8時間 |
| 人 | 15分間隔で在室者を計測 |
| パソコン | 15分間隔でパソコンのON・OFF台数を計測 |
| 建物概要 | 建築年数、建物延床面積、測定室延床面積、測定室天井高、空調方式、空調運転状況について調査 |
| 測定環境 | 測定室延床面積、平均在室人数、喫煙状況、事務機器について調査 |
| 空調設備 | 測定室設計給気量・外気量、空調方式（運転状況）、フィルタ（効率%）、メンテナンス状態、通常空調・換気時間、換気の種類、設備系統図について調査 |

3. 校正係数の検討

3.1 校正係数について

図1に粉じん計の校正の考え方を示す。浮遊粉じん量の測定に用いる機器は、グラスファイバー紙(0.3 μmのステアリン酸粒子を99.9%以上捕集する性能を有するものに限る)を用いて、相対沈降径が概ね10 μm以下の粉じんを重量法で測定する機器(LV)、又は厚生労働大臣の登録を受けた者により、当該機器を標準として校正された機器(相対濃度計)であることが定められている。

粉じん計(相対濃度計)の校正には、準器とサブ準器が用いられ、準器は、0.3 μm、σ_g=1.41以下のステアリン酸粒子(又は、0.3 μmのポリスチレンラテックス粒子)に対し、LVで得られる値が0.001[mg/m³]のとき、1 [CPM=Count Per Minutes]を示すよう設定される。サブ準器は「粉じん計の原理や仕様の違いにより、校正用粒子に対する感度が準器とは異なるが、同機種においては準器と一定の関係を持ち、この関係を常時監視する目的で使用するもので各機種の粉じん計で特に安定性に優れた測定器」と定められている。つまり、校正用粒子に対する感度が準器とは異なるという点から、機種毎の感度の違いを補正するために、校正係数(以下K値)の値が各機種に対して設定されることになる。

校正は、校正用チャンパーに校正用粒子を発生させ、除じん装置にて1.0 mg/m³の濃度に調節し、準器とサブ準器、粉じん計5台以上を用いて相対感度の設定を行う。また、濃度特性試験としてチャンパー内の校正用粒子濃度を約0.7 mg/m³、0.5 mg/m³、0.3 mg/m³、0.1 mg/m³と調節し、各々の濃度で、準器とサブ準器、粉じん計を併行測定する。各濃度において、準器と粉じん計の測定値を比較し、その差が所定の範囲内であれば校正は完了する。

室内粒子と標準粒子には化学的、物理的性質に差があり、LV(標準測定法)と粉じん計で室内空気を併行測定すると差が生じる。その為、計測値は相対濃度で指示され、相当質量濃度は計測値にK値を乗じて求める。(図2参照)

DDCは粒子に光を照射した際、その散乱光強度から粒子濃度を推定する。この散乱光強度の累積値を相対濃度(CPM)として表示する。基本的に散乱光強度と粒子重量濃度は比例するが、粒子の状態(大きさ、密度など)の影響を受ける。

現在のK値は、ピエゾバランス粉じん計(圧電天秤法)でK=1.0、デジタル粉じん計でK=1.3であるが、近年の特定建築物内における粉じんの低濃度化に伴う質的变化により、K値が変化してきており、現状に適したK値を用いて正しく測定が行われることが求められている。

3.2 校正係数の算出方法

DDCのK値は、eq.3-1により求められる。

$$K=C/R \quad \text{eq.3-1}$$

C: LVで得られた粉じん濃度[mg/m³]

R: DDCのカウント数

[CPM=Count Per Minute]

ピエゾバランス粉じん計 3511型の質量濃度は、eq.3-2より求められる。

$$C'=\Delta H \times (2/T) \times F/10^3 \quad \text{eq.3-2}$$

ΔH: 測定により得られた周波数の差[Hz]

T: 測定時間[minute]

F: 係数

本研究に用いたピエゾバランス粉じん計の係数Fは、A~E建物まではF=3.22、F~O建物はF=3.0である。ピエゾバランス粉じん計のK値は、eq.3-3より求められる。

$$K=C/C' \quad \text{eq.3-3}$$

C: ピエゾバランス粉じん計の質量濃度

[mg/m³]

C': LVで得られた粉じん濃度[mg/m³]

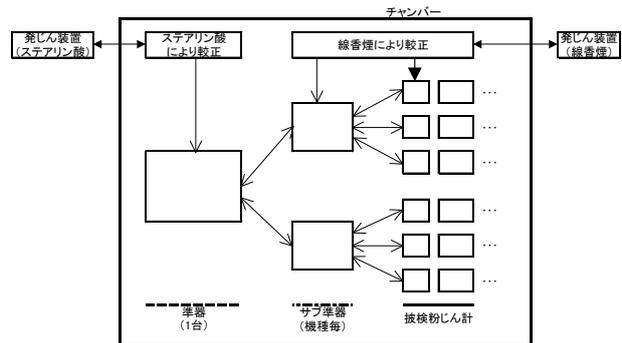


図1 粉じん計の校正

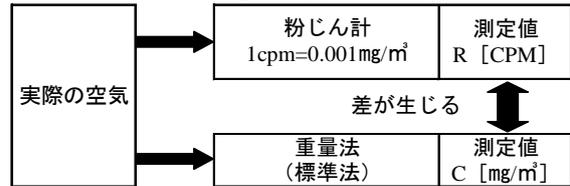


図2 校正係数の考え方

表3 各粉じん計のK値

| | P5① | P5② | 3411① | 3411② | 3411③ | 3421① | 3421② | 3431① | 3431② | LD3① | LD3② | 3511 |
|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 建物A | 2.38 | 2.29 | 0.90 | 0.86 | — | 1.32 | 1.67 | 1.70 | 1.70 | 1.75 | 1.67 | 1.08 |
| 建物B | 3.75 | 3.18 | — | 1.47 | — | — | 2.39 | 2.38 | 2.56 | 2.24 | 2.10 | 0.72 |
| 建物C | 6.08 | 5.29 | 0.70 | 0.74 | — | 3.35 | 3.70 | 2.84 | 3.04 | 2.99 | 2.91 | 0.50 |
| 建物D | — | 4.00 | — | 0.74 | 0.76 | — | 2.86 | 2.26 | 2.17 | 2.15 | 1.69 | 0.42 |
| 建物E | — | 5.62 | — | 0.75 | — | 3.30 | 4.02 | 2.75 | 2.90 | 2.08 | 1.40 | 0.35 |
| 建物F | — | 3.31 | — | 1.09 | — | 2.31 | — | 1.89 | 1.79 | 1.63 | 1.69 | 0.64 |
| 建物G | — | 1.61 | — | 0.82 | — | 1.13 | — | 1.08 | — | 1.14 | — | 0.69 |
| 建物H | — | 2.69 | — | 0.61 | — | 1.67 | — | 1.91 | — | 1.39 | 1.32 | 0.39 |
| 建物I | — | 3.52 | — | 0.50 | — | 2.23 | — | 2.06 | — | 1.94 | 1.99 | 0.67 |
| 建物J | — | 2.32 | — | 0.26 | — | 2.38 | — | 1.37 | — | 0.94 | 1.19 | 0.43 |
| 建物K | — | 1.43 | — | 0.61 | — | 0.94 | — | 0.91 | — | 0.79 | 0.87 | 1.53 |
| 建物L | — | 5.44 | — | 0.78 | — | 3.31 | — | 2.42 | — | 1.35 | 1.74 | 0.75 |
| 建物M | — | 2.17 | — | 1.19 | — | 1.45 | — | 1.33 | — | 1.28 | 1.44 | 0.82 |
| 建物N | — | 5.29 | — | 1.05 | — | 4.02 | — | 2.78 | — | 2.08 | 2.09 | 0.68 |
| 建物O | — | 2.40 | — | 0.44 | — | 2.05 | — | 1.15 | — | 1.22 | 0.96 | 0.51 |

3.3 校正係数の検討

本測定で得られた値をもとに、粉じん計機種毎の K 値を算出し、各測定対象建物や光源による分類から検討を行った。その結果を表 3 に示す。DDC の K 値は多くが 1.3 より高い値を示した。各機種により K 値に差が見られたので、今後は機種毎、計測原理毎に K 値を定める必要があるかもしれない。

ピエゾバランス粉じん計の K 値は、現在の K 値 = 1.0 より低い値が多い。つまり、LV の質量濃度値よりも高い値を示した。ピエゾバランス粉じん計の K 値は、現在の K 値 1.0 よりもほとんどが低い値となったので、基準値を更に低い値にするべきであると言える。

全ての建物における K 値の平均は図 3 に示した通り、DDC で 2.02、ピエゾバランス粉じん計で 0.67 という結果になった。また、光源による K 値の違いは見られなかった。今回用いた DDC の光源は 2 種類あったが、図 4 に示すように、DDC の CPM 値が LV の質量濃度の値よりも低くなってきていると K 値が高くなることが認められる。加えて、粒子濃度が低濃度になると DDC の K 値にはばらつきが見られるようになり、特に 0.010[mg/m³]付近を境に、それより低濃度になると顕著になることが分かった。特に P5 型、3411 型は、低濃度になると K 値のばらつきが大きくなり、低濃度の測定には向いていないと考えられる。(図 5 参照)

また、喫煙建物と禁煙建物では、K 値に差が見られたので、喫煙状況により基準を変える必要があると言える。

4. 粉じん計の粒径依存性の検討

4.1 質量濃度と個数濃度の相関

現在、粉じん濃度は質量濃度により規制されているが、粒径により人体への健康影響が異なり、質量濃度だけでは不十分との説がある。今日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いるが LPC の粒径別個数濃度と LV の質量濃度での相関による再検討を行った。

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り、0.3~0.5 μm、0.5~0.7 μm、0.7~1.0 μm、1.0~2.0 μm、2.0~5.0 μm、5.0 μm 以上の 6 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質量濃度に換算し、検討を行った。

粒径範囲が $d_1 \sim d_2 \mu\text{m}$ であるとき、その中央径(代表径)を

$$d = \sqrt{d_1 + d_2} \quad \text{eq.4-1}$$

として求め、各粒径範囲の質量濃度は、粒子の体積と比重、総個数濃度から

$$M = \frac{4}{3} \times \pi \times \left(\frac{d}{2} \times 10^{-3}\right)^2 \times \gamma \times N \times 10^3 \quad \text{eq.4-2}$$

γ : 比重 [mg/mm³]

N : 総個数濃度 [個/L]

により求めた。

0.3~0.5 μm、0.5~0.7 μm、0.7~1.0 μm、1.0~2.0 μm、2.0~5.0 μm、5.0 μm 以上の 6 つの粒径範

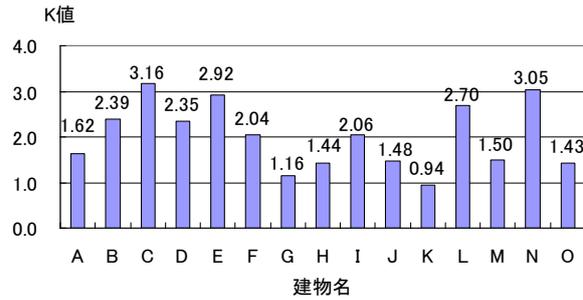


図 3 各建物における K 値の平均

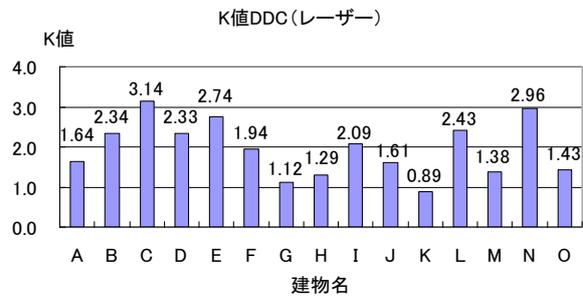
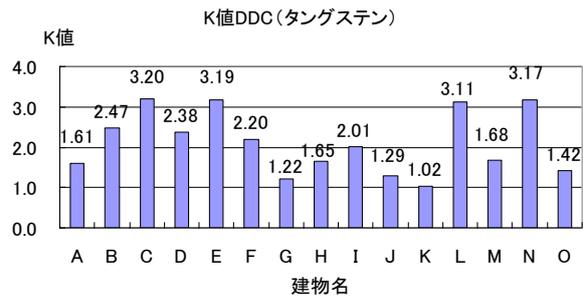


図 4 光源の違いによる K 値の違い

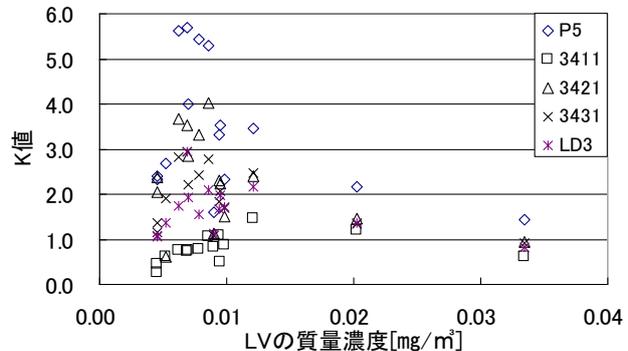


図 5 各粉じん計 K 値と LV 質量濃度
表 4 LPC と LV の相関

| 建物 | LV | LPC | LV/LPC |
|------|--------|--------|--------|
| A | 0.0098 | 0.0047 | 2.08 |
| B | 0.0121 | 0.0041 | 2.93 |
| C | 0.0069 | 0.0022 | 3.08 |
| D | 0.0070 | 0.0014 | 5.11 |
| E | 0.0062 | 0.0012 | 5.06 |
| F | 0.0094 | 0.0018 | 5.13 |
| G | 0.0090 | 0.0033 | 2.76 |
| H | 0.0052 | 0.0022 | 2.40 |
| I | 0.0095 | 0.0023 | 4.06 |
| J | 0.0045 | 0.0014 | 3.31 |
| K | 0.0334 | 0.0053 | 6.34 |
| L | 0.0078 | 0.0020 | 3.94 |
| M | 0.0202 | 0.0045 | 4.50 |
| N | 0.0086 | 0.0019 | 4.47 |
| O | 0.0045 | 0.0010 | 4.48 |
| 平均 | 0.0103 | 0.0026 | 3.92 |
| 相関係数 | | | 0.79 |

囲で求めた質量濃度を総和し、各建物における質量濃度を求めることでLVの質量濃度と比較を行う。

表4に、各建物においてLVで計測された質量濃度とLPCから算出された質量濃度を、また、図6にLPCとLVの相関を示す。相関係数の値が0.79と相関が見られるが、LPCの値がLVの値よりも全て小さい結果となった。また、K建物における質量濃度の値がいずれも大きく、喫煙場所が室内にあることが影響していると考えられる。これまで質量濃度と個数濃度には相関は見られないとされているが、LVの値がLPCの2~6倍の範囲内にあることや、相関係数の値、そして図6からも分かるように、ある程度の相関が認められる。

しかし、本研究で得られたデータ数が少ないことから本当に質量濃度と個数濃度に相関があるとは一概には言えず、今後データの蓄積をした上でその判断が必要であると思われる。

4. 2 粉じん計の粒径依存性の検討

粉じん計の機種毎の粒径依存性を把握するために、粒径毎にDDCのCPM値との比較を行った。その一例を図7に示す。DDCとLPCでは、各機種により相関にはばらつきが見られ、相関があるとは言えない結果となった。ピエゾバランス粉じん計では、高い相関を示したものはなく、LPCの個数濃度との相関関係はないと言える。

粉じん計の粒径依存性は、各機種により相関が見られる粒径範囲が異なり、依存する粒径が異なる結果となった。

P5型では0.3~0.5 μm、3411型は0.5~0.7 μm、3421型は0.3~2.0 μm、3431型は最も相関しているのが0.3~0.5 μmであったが、それ以上の粒径範囲での相関も高く0.3~1.0 μm、LD-3B型は0.7~1.0 μm、3511型は2.0~5.0 μmに対し依存していると考えられる。

5. まとめ

本研究により、次の知見を得た。

- 1)粉じんの低濃度化からDDCのK値は1.3より高い値、ピエゾバランス粉じん計は1.0より低い値へと変化している。
- 2)各機種や建物によりK値は異なるが、光源によるK値の違いは見られない。
- 3)0.010 [mg/m³] 付近を境に、粉じん濃度が低濃度になるとK値のばらつきが顕著になる。
- 4)喫煙状況によりK値に差が認められた。
- 5)LPCの個数濃度とLVの質量濃度の相関関係の可能性が認められた。

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
- ◆調査時のアンケート項目の詳細設定
- ◆K値の改正
- ◆建築物衛生法SPM濃度における粒径別個数濃度についての評価法の構築

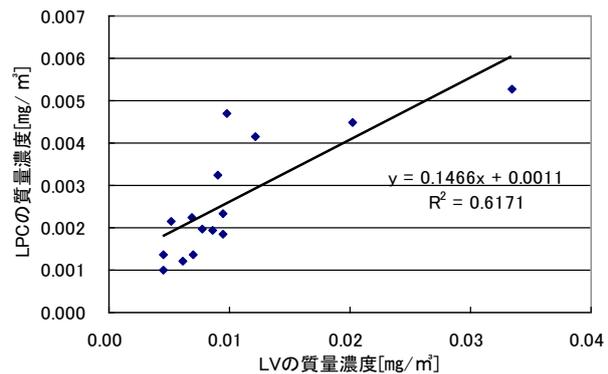


図6 質量濃度と個数濃度の関係

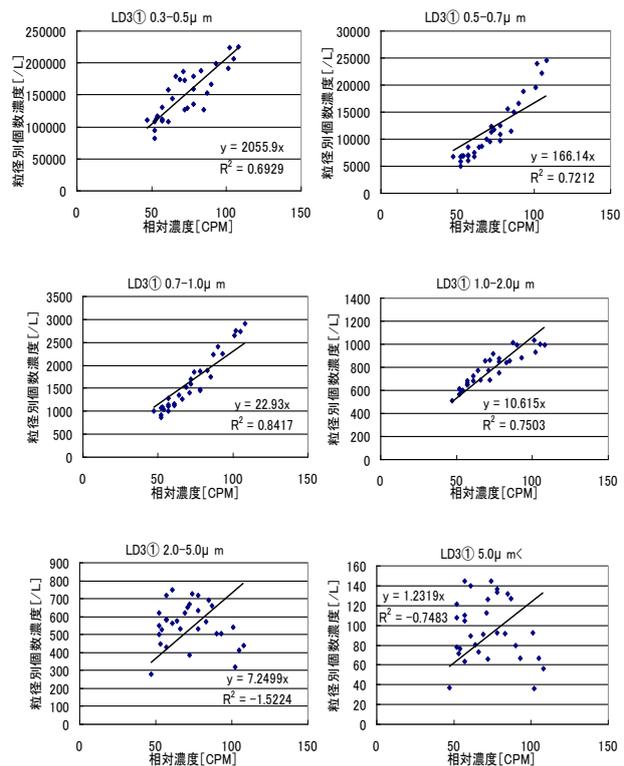


図7 機種毎の質量濃度と個数濃度の関係

【参考文献】

- ・平成17年度厚生労働科学研究費補助金(健康科学総合研究事業)「建築物における環境衛生に関する研究」報告書
- ・日本エアロゾル学会:エアロゾル用語集、京都大学学術出版会、2004.8
- ・William C. Hinds;エアロゾルテクノロジー、井上書院、1985.4
- ・高橋幹二;エアロゾル学の基礎、森北出版、2003.7
- ・社団法人空気清浄協会:空気清浄第40巻 第5号、2003.1

【謝辞】

本研究は、平成18年度厚生労働科学研究費補助金(健康科学総合研究事業)「室内粒子状物質の規制のあり方に関する研究(代表者:鍵直樹)」により行った。記してここに感謝の意を表する。