

光散乱式粉じん計の較正に関する研究

—実験値と理論値の比較・検証—

建設工学専攻

建築環境工学研究

ME20012 家住 憲司

指導教員 西村 直也

1. 研究背景・目的

日本では、建物内の良質な空気環境は、建築物衛生法により「空気中の浮遊粉じん量（Suspended Particulate Matter,以下SPM）は0.15mg/m³以下」と定められている。現在の建物内のSPMは大幅に低下しており、浮遊粉じんの測定機器はより高い精度が求められる。

浮遊粉じんの測定法は同法律により、LV(Low Volume Air Sampler,以下LV)を用いた重量法が基本的な測定法として規定されている。しかし、この測定法は長時間の測定を要する他、ろ紙の扱いには熟練した技術、秤量に用いる電子天秤には非常に高精度なものが求められるため、LVを用いた重量法は実用的ではない。そのため、実際の現場では操作が容易でかつ短時間で測定が可能なフォトメーター(Photometer,以下PM)が使用される場合が多い。このPMは、粉じんの大きさ、形状、反射率、比重などがほぼ一定の場合、吸引した粉じんにレーザーを照射することによって生じる散乱光の強度が質量濃度に比例して変化する原理を利用することで、1分間のカウント値(count per minute,以下cpm)として測定され、実空間内での浮遊粉じんととの密度や形などの違いを考慮し較正係数Kを乗じることで質量濃度を求めることがJIS B 8813において決められている。そのため、この測定法は相対濃度法と呼ばれている。PMの較正において、基準とされているのは粒子径0.3 μm 、幾何標準偏差 $\sigma_g=1.4$ 以下のステアリン酸粒子(以下SA0.3)である。しかし、このステアリン酸粒子を基準とした較正は議論の余地があるとされている。また、微粒子における光散乱には、Mie散乱とRayleigh散乱、幾何学的散乱があり、それぞれ対象となる粒子径が異なる。微粒子の光散乱現象に関するパラメータとして入射光の波長 $\lambda[\mu\text{m}]$ と粒子径 $d[\mu\text{m}]$ で定義される粒径パラメータ $\alpha(\alpha=\pi d/\lambda)$ があり粒径パラメータ $\alpha \approx 1$ の時Mie散乱を生じる。主にPMの測定領域となる粒子径はMie散乱領域の粒子である。一般的に、この範囲での粒度分布の形状は、対数正規分布に近似されるとされているが、理論的根拠はない。

本研究では、SA0.3の他、粒子径1.0 μm のステアリン酸粒子(以下SA1.0)、試験用粒子として用いられるISO 12103-1 アリゾナダスト(以下AD)、JIS Z 8901 関東ローム(以下KL)を使い較正を行った既往の研究¹⁾に対し、実験値と理論値の比較・検証を行う。

2. 手法

SA0.3、SA1.0、AD、KLの各較正粒子の実測結果による粒度分布を対数正規分布として近似する。近似した粒度分布と実測結果による粒度分布において、生じる散乱光強度をそれぞれ計算し、PMの感度に換算することで、機種ごとの較正係数K'を疑似的に求める。求めた較正係数K'を用い、既往の研究による

較正係数K'を理論的な面から比較、検証を行う。散乱光強度の計算には、scatterlib²⁾にてオープンソースとして公開されているBarber and HillのMie散乱の計算プログラムを用いる。検証に用いる散乱角度は実測に使用した2社のPMのうち、A社が135°、B社が90°を採用しているため、この2つの散乱角度の散乱光強度の値を使用する。また、入射光の波長に関しては、2社のPMが共に採用している赤色レーザーの0.780 μm の他、同じく赤色レーザーの0.635 μm 、緑色レーザーの0.532 μm の計3パターンで計算を行う。各較正粒子の屈折率は、SA0.3およびSA1.0に関しては参考文献より引用³⁾、ADおよびKLに関しては、屈折率が不明なため、それぞれの構成物質の屈折率と含有率から平均的に算出した値を用いる⁴⁾。各較正粒子の実測結果(既往研究)による粒度分布を図1に、各較正粒子の幾何平均 $\mu_g[\mu\text{m}]$ と幾何標準偏差 σ_g を表1に、屈折率を表2に、算出した較正係数K'を表3に示す。

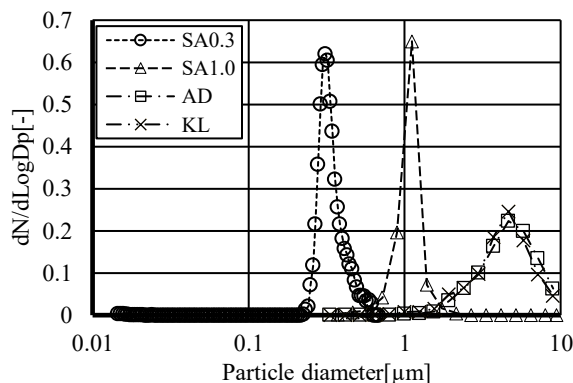


図1 各較正用粒子の粒度分布

表1 各較正粒子の粒度分布の内訳

| | $\mu_g[\mu\text{m}]$ | σ_g |
|-------|----------------------|------------|
| SA0.3 | 0.328 | 1.028 |
| SA1.0 | 1.03 | 1.028 |
| AD | 5.078 | 1.298 |
| KL | 5.708 | 1.368 |

表2 採用した各較正粒子の屈折率

| | Real Index | Imaginary Index |
|-------|------------|-----------------|
| SA0.3 | 1.432 | 0.000375 |
| SA1.0 | 1.432 | 0.000375 |
| AD | 1.775 | 0.001 |
| KL | 1.908 | 0.006 |

表3 算出した較正係数K' (波長0.780 μm)

| | PM(A) | PM(B) |
|-------|-------|-------|
| SA0.3 | 1.000 | 1.000 |
| SA1.0 | 2.449 | 1.806 |
| AD | 1.597 | 1.993 |
| KL | 1.788 | 1.926 |

3. 比較・検証結果

波長 0.780[μm]において算出した較正係数 K' を適用した較正結果を図2、図3、表4、表5に、既往の研究¹⁾による較正結果を表6に示す。図2,3ともに縦軸に算出した較正係数 K' を適用した場合の質量濃度、横軸にLVによる質量濃度測定結果を示している。各近似曲線の傾き、その逆数 K' は1に近いほど望ましい結果といえる。はじめに、対数正規分布近似を用いた較正結果である図2,表4について既往研究と比較すると、SA0.3に関しては、傾きが0.581となり、既往研究と近い結果となった。このことから、SA0.3の散乱光強度計算は概ね妥当な結果と言える。SA1.0に関しては傾きが0.971となり、最も1に近い結果となったが、既往研究とは差が生まれる結果となった。AD、KLに関しては、傾きがそれぞれ0.300、0.456となり、既往研究と大きな差が生まれる結果となり、較正用粒子としては望ましい結果とはならなかった。次に、実測結果の粒度分布を用いた較正結果である図3、表5について既往研究と比較すると、SA0.3に関しては基準としているため、対数正規分布の場合と同様の結果となった。SA1.0、ADに関しては、傾きがそれぞれ0.812、0.605となり、既往研究と大きな差が生まれる結果となった。最後に、KLに関しては、傾きが1.034、相関係数0.813と既往研究に非常に近い結果となった。

以上の結果から、対数正規分布近似による較正結果では、SA0.3以外のSA1.0,AD,KLが既往研究とは大きく差が生まれる結果となった。また、実際の粒度分布による較正結果での差に関しては、近似したモデルと実際の粒度分布に差が生まれていたことが較正結果に大きく影響したと考えられる。次に、実際の粒度分布を用いた較正結果では、SA1.0、ADに関しては既往研究と差が生まれる結果となったが、KLに関しては既往研究と非常に近い結果となり、較正用粒子として望ましい結果が得られた。

4. まとめ

本研究では、各較正粒子について散乱光特性の面から既往研究との比較・検証を行い、KLが較正用粒子として望ましいといえる結果を示した。対数正規分布近似した粒度分布と実測による粒度分布による結果の差に関しては、近似したモデルと実際の粒度分布に差が生まれたことで、較正結果に影響が出たと考えられる。現在、粒度分布は対数正規分布近似するとされているが、理論的根拠が存在しないため、議論の余地があると考えられる。

今後の課題として、SA1.0については、SA1.0の粒度分布においてピークであった1.0[μm]付近の測定範囲が大きく、詳細な測定ができなかったことが散乱光強度計算に大きく影響を与えた要因と考えられる。そのため、SA1.0の分布において詳細な測定が求められる。また、ADに関しては屈折率が不明であり、含有率から平均的に算出した値を用いているため、議論の余地が存在すると考えられる

参考文献

- 1) 西村直也・斎藤敦子: “光散乱式粉じん計の較正に関する研究” 芝浦工業大学 日本建築衛生管理教育センター
- 2) “scatterlib” <http://scatterlib.wikidot.com> , (参照 2019.8)
- 3) B.M.CRAIG: “Refractive indices of some saturated and monoethenoid fatty acids and methyl esters”, 1953
- 4) 山下憲一・川田憲男: “JIS Z 8901試験用粉体及び試験用粒子に定める試験用粉体1の粒径分布測定” 粉体工学会

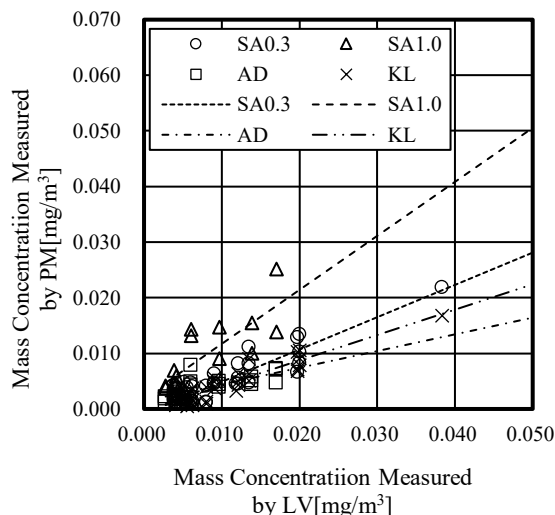


図2 対数正規分布近似による各較正粒子の感度分布

表4 各較正粒子の感度と K' 値

| | SA0.3 | SA1.0 | AD | KL |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| Gradient. | 0.581 | 0.971 | 0.300 | 0.456 |
| R ² | 0.837 | 0.637 | 0.575 | 0.854 |
| K' | 1.723 | 1.030 | 3.331 | 2.193 |

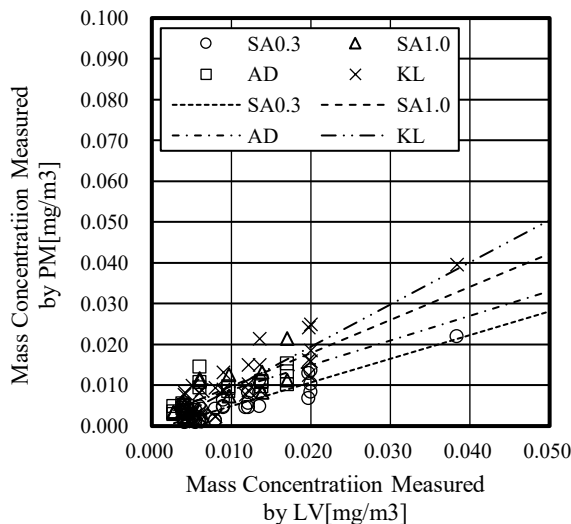


図3 実際の粒度分布による各較正粒子の感度分布

表5 既往研究による各較正粒子の感度と K' 値

| | SA0.3 | SA1.0 | AD | KL |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| Gradient. | 0.581 | 0.812 | 0.605 | 1.034 |
| R ² | 0.837 | 0.622 | 0.624 | 0.813 |
| K' | 1.723 | 1.231 | 1.652 | 0.967 |

表6 既往研究による各較正粒子の感度と K' 値

| | SA0.3 | SA1.0 | AD | KL |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| Gradient. | 0.518 | 0.335 | 1.566 | 1.068 |
| R ² | 0.823 | 0.890 | 0.467 | 0.840 |
| K' | 1.931 | 2.985 | 0.639 | 0.936 |

