

建築室内における浮遊粉じんの精密測定に関する研究

建設工学専攻(修士課程)
建築環境工学研究

508078-3 ひろいまさと
指導教員 西村直也

1. 背景と目的

現在、浮遊粉じんに関する管理のあり方が見直されつつある。我が国の室内環境の管理基準としては「建築物における衛生的環境の確保に関する法律（通称、建築物衛生法）」があり、これにより浮遊粉じんは、粒径が概ね10 μm 以下の粒子が質量濃度において0.15 mg/m³以下と定められている。近年における室内の浮遊粉じん濃度は、分煙や設備技術の進歩により、建築物衛生法が定められた1970年代に比べ大幅に減少しており、不適率で見ても昭和50年代初頭には6割前後と高い不適率を示していたが、近年では1%程度に止まっている¹⁾。

また、粒径2.5 μm 以下の浮遊粒子状物質(PM_{2.5})の質量濃度と健康影響との関係性が明らかとなり、米国では1997年に環境基準が改訂されている。呼吸器に対する粒子の沈着現象では、0.1 μm 以下の超微粒子が肺の奥まで到達することが明らかとなっており、PM_{1.0}、PM_{0.1}といったより小さい粒子に関する管理も提唱されるようになってきている。健康影響としては粒子の質量、又は表面積が影響するとされているが、その一方で粒径の小さいものの測定には個数濃度が有効であり、質量濃度に加え粒径別個数濃度に関する知見が不可欠である。さらに、現行法に対応した測定器では、浮遊粉じん濃度の低下によって測定が困難になりつつあることや、測定範囲に関しても今後検討する必要があると考えられるなど、問題を抱えている。現実には粒径別個数濃度で測定することが今後多くなると考えられており、質量・面積・個数それぞれの関係を把握しておく必要がある。そこでこれらを繋ぐ単位である密度、特に粒径別の詳細な密度に関する知見も必要となってくる。

本研究は、粒径別密度に関する知見を得ることで、主な測定機器間の関係を定量的に把握し、今後の建築物の環境衛生管理のあり方、特に浮遊粉じんの精密測定のあり方に関して検討を行うことを目的とする。

2. 手法

測定機器の測定原理は様々であり、測定範囲もそれぞれ異なることから、器差を生じることはよく知られているが、これらを定量的に把握したものはほとんどない。

そこでまず粒径別密度を求める。測定には粒径区分の多い測定器を選び、質量濃度は5粒径区分であるPCIS、個数濃度は73粒径区分であるWPSとした。その上で、これまでに当研究室で蓄積してきた実測データを用い、各測定機器間で比較を可能とする係数を求め、それぞれの関係を定量的に把握する。

3. 調査概要

本研究で用いる測定データの調査施設及び測定データを表1に、測定機器及び項目を表2に示す。測定施設は、専ら事務所の用途として用いられる建物を対象とし、平日の空調稼動時に1日8時間の測定を行っている。

4. 粒径別密度の検証

粒径別密度の算出に当たっては、前述の通りPCISとWPSを用いて測定を行い、測定された質量濃度を、同じく測定された個数濃度に各粒径範囲の代表粒径から求められる体積を乗じ、PCIS粒径範囲に換算した値で除すことで求めている。その際、WPSの測定値は、PCISのカットオフ特性を考慮している。また、PCIS及びWPSの測定値は、WPSの粒径範囲をPCISの粒径範囲に補正することで一致するものと仮定する。

表1 調査施設及び測定データ

建物	所在地	調査日	空調方式	LPC	WPS	PCIS	DDC	LV
A	東京	2006.08.29	AHU(CAV)	○			○	○
		2007.07.23	FCU	○			○	○
B	東京	2006.09.04	AHU(CAV)	○	○		○	○
C	東京	2006.09.06	AHU(CAV) AC	○	○		○	○
D	東京	2006.09.13	AHU(CAV) FCU	○	○		○	○
E	東京	2006.09.15	AHU(CAV) FCU	○	○		○	○
F	東京	2006.09.22	AHU(CAV) AC FAN	○			○	○
G	東京	2006.09.25	AHU AC	○	○		○	○
H	東京	2006.09.29	AHU(CAV) AC FAN	○	○		○	○
I	東京	2006.10.03	AHU AC FAN	○	○		○	○
J	東京	2006.10.10	AHU(CAV)	○	○		○	○
K	東京	2006.10.13	AHU(CAV)	○	○		○	○
L	東京	2006.10.16	AHU(CAV) HEX	○	○		○	○
M	東京	2006.10.20	AC FCU	○	○		○	○
N	東京	2006.10.23	AHU(VAV) FCU	○	○		○	○
O	神奈川	2006.10.27	AHU(VAV) FCU	○	○		○	○
P-1	東京	2007.07.30 ^{*1}	FCU	○	○	○		
		2009.05.25 ^{*1}	OHU	○	○	○	○	
		2009.06.01 ^{*1}	FAN	○	○	○	○	
P-2	東京	2009.08.17 ^{*1}	PAC			○	○	
		2009.09.01 ^{*1}	OHU(CAV)		○ ^{*2}	○		
		2009.09.15 ^{*1}	FAN		○	○		

●...密度の算出に用いたデータ

*1 記載日を初日として平日5日間測定 *2 三方弁を用いて1回3分×2回の間欠測定

表2 測定機器及び項目

測定項目	測定器	測定原理	測定範囲	測定時間
質量濃度	LV	ろ紙捕集	10[μm]以下	8[h/day]
	DDC	光散乱	0.001~ 10.00[mg/m ³]	1回1分の連続測定
粒径別質量濃度	PCIS	インパクト	0.25[μm]以上	8[h/day]×5[day] 計40[h]
粒径別個数濃度	WPS	電気移動度 光散乱	10~10000[nm]	1回3分の連続測定
	LPC	光散乱	0.3~10.0[μm]	1回1分の連続測定

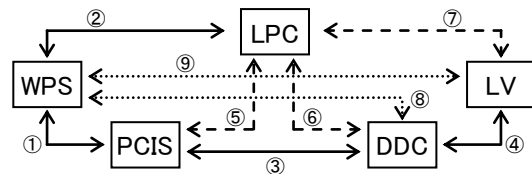


図2 測定機器関係概要図

	LPC質量濃度	LPC個数濃度	体積	①② LPC密度	③ DDC/PCIS換算係数	④ LV/DDC換算係数
⑤ PCIS比較用	=	×	×	×		
⑥ DDC比較用	=	×	×	×	×	
⑦ LV比較用	=	×	×	×	×	×
	WPS質量濃度	WPS個数濃度		WPS密度		
⑧ DDC比較用	=	×	×	×	×	
⑨ LV比較用	=	×	×	×	×	×

図3 換算式の概要図

空調方式の異なる測定箇所複数回測定を行ったが、同様の傾向を示しており、再現性が認められた。また PCIS で捕集された粒子に関して SEM-EDX 分析を行うことで、求めた粒径別密度の妥当性を検討している。算出された粒径別密度を表 3 及び表 4 に示す。なお、LPC 粒径別密度は、WPS 粒径別密度を LPC の粒径範囲別に換算したものである。どの粒径範囲においても 1.0g/cm³ を超える値を示しており、既往の研究において 1.0 g/cm³ 以上になると考えられていたことに一致する。

5. 主な測定機器間の換算係数の検討

検討を行う測定機器は、表 2 に示した通りであるが、測定原理及び測定範囲が異なるため、測定値が異なるのは明らかである。しかし、全ての整合性をとるのは難しく、また実務上容易に使用できる簡便な換算式の提示を目指すため、この値をそのまま用いることとする。

ここで比較及び換算の基本的なルールを示す。測定機器間で比較をする際は、質量濃度測定器間では単に質量濃度の比率を換算係数として求め、これを用いる。個数濃度測定器間では、LPC 粒径範囲での個数濃度の比率を換算係数として求め、これを用いる。また、質量濃度測定器と個数濃度測定器とを比較する場合は、今回求めた粒径別密度を用い、LPC に関しては LPC 粒径範囲に換算した粒径別密度を用いることとする。なお、各粒径別密度は PCIS を基準として求めているため、LPC 及び WPS と DDC 及び LV の間で比較をする場合は、PCIS と DDC 及び DDC と LV 間の換算係数を乗じる必要がある。より直接的に質量濃度及び個数濃度測定器間で比較をすることも出来るが、今後粒径別個数濃度による測定が普及するであろうことを考慮した場合、密度の概念を含む換算方法の検討を行うことの方が重要であると考え、今回の換算方法としている。関係の概要を図 2 に示す。

換算係数の算出には表 1 に示した測定データを用いている。換算式の概要を図 3 に、各換算式、密度、換算係数及び補正係数を式 1 から式 6 まで及び表 3 から表 8 までに示す。ここで補正係数とは、換算を繰り返す中で生じた誤差を補正するための係数であり、換算値が比較対象にある測定器の実測値に一致すべきであると仮定する際に、最小二乗法による回帰直線から求められる値となっている。

換算例として WPS 及び LPC と DDC 及び LV の換算及び補正有りとの換算及び補正無しとの比較を図 4 に示す。どの場合においても回帰直線は、今回示した換算方法で換算及び補正を行った場合の方が、既往の研究で用いられていた密度を 1.0 g/cm³ として求めた場合（換算及び補正無し）に比べ傾きが 1.0、切片が原点に近く、測定機器間での比較が容易に出来ることがわかる。

6. まとめ及び今後の課題

粒径別密度に関する知見を得ると共に、精度よく測定機器間で比較を可能とする方法を示した。これにより粒径別個数濃度を測定する LPC を用いた場合でも、DDC を用いた場合の測定値に換算することができ、粒径別個数濃度に関する知見を蓄積しながらも現行法の基準値に対応した測定を行うことが可能となった。

今回示した換算式及び係数は事務所建築のみについてであるが、本成果が今後の管理のあり方を検討する上で、何かしらの参考となることを望む。

【参考文献】

- 1) 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
- 2) W.E.Wilson：The U.S. Environmental Protection Agency promulgates new standards for fine particles、大気環境学会誌、33、A67-A76、1998
- 3) Chandan Misra et al.：Development and evaluation of a personal cascade impactor、Journal of Aerosol Science、33、2002
- 4) 根本智之：室内浮遊粉じんの個数濃度と質量濃度の関係に関する考察、第 26 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集、2008.4

$$M'_{caseX} = \frac{1}{\tau_{caseX}} (M_{caseX} - \sigma_{caseX}) \quad \dots \text{式 1}$$

$$\textcircled{5} M_{LPC_PCIS} = \sum_{n=1}^6 \left\{ \alpha_i \times \rho_{LPCi} \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{Dp_i}{2} \right)^3 \times dN_{LPCi} \right\} \quad \dots \text{式 2}$$

$$\textcircled{6} M_{LPC_DDC} = \gamma \times \sum_{n=1}^6 \left\{ \alpha_i \times \rho_{LPCi} \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{Dp_i}{2} \right)^3 \times dN_{LPCi} \right\} \quad \dots \text{式 3}$$

$$\textcircled{7} M_{LPC_LV} = \beta \times \gamma \times \sum_{n=1}^6 \left\{ \alpha_i \times \rho_{LPCi} \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{Dp_i}{2} \right)^3 \times dN_{LPCi} \right\} \quad \dots \text{式 4}$$

$$\textcircled{8} M_{WPS_DDC} = \beta \times \sum_{n=1}^5 \left\{ \rho_{WPSi} \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{Dp_i}{2} \right)^3 \times dN_{WPSi} \right\} \quad \dots \text{式 5}$$

$$\textcircled{9} M_{WPS_LV} = \beta \times \gamma \times \sum_{n=1}^5 \left\{ \rho_{WPSi} \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{Dp_i}{2} \right)^3 \times dN_{WPSi} \right\} \quad \dots \text{式 6}$$

M'_{caseX} : 補正質量濃度 [mg/m³] M_{caseX} : 質量濃度 [mg/m³]

σ_{caseX} : 補正係数 [mg/m³] τ_{caseX} : 補正係数 [-]

M_{LPC_PCIS} : PCIS 比較用 LPC 質量濃度 [mg/m³]

M_{LPC_DDC} : DDC 比較用 LPC 質量濃度 [mg/m³]

M_{LPC_LV} : LV 比較用 LPC 質量濃度 [mg/m³]

M_{WPS_DDC} : DDC 比較用 WPS 質量濃度 [mg/m³]

M_{WPS_LV} : LV 比較用 WPS 質量濃度 [mg/m³]

dN_i : 粒径別個数濃度 [# / m³]

Dp_i : 代表粒径 (幾何平均) [μm] ρ_{WPSi} : WPS 密度 [g/cm³]

ρ_{LPCi} : LPC 密度 [g/cm³] α_i : WPS/LPC 換算係数 [-]

β : DDC/PCIS 換算係数 [-] γ : LV/DDC 換算係数 [-]

表 3 WPS 密度

[μm]	記号	ρ_{WPS} [mg/m ³]
<0.25	ρ_{WPS1}	3.42
0.25-0.50	ρ_{WPS2}	1.38
0.50-1.00	ρ_{WPS3}	1.24
1.00-2.50	ρ_{WPS4}	2.66
2.50<	ρ_{WPS5}	1.36

表 4 LPC 密度

[μm]	記号	ρ_{LPC} [mg/m ³]
0.30-0.50	ρ_{LPC1}	1.38
0.50-0.70	ρ_{LPC2}	1.24
0.70-1.00	ρ_{LPC3}	1.24
1.00-2.00	ρ_{LPC4}	2.66
2.00-5.00	ρ_{LPC5}	1.68
5.00-10.0	ρ_{LPC6}	1.36

表 5 WPS/LPC 換算係数

[μm]	記号	換算係数 [-]
0.30-0.50	α_1	1.31
0.50-0.70	α_2	1.51
0.70-1.00	α_3	2.04
1.00-2.00	α_4	0.95
2.00-5.00	α_5	0.48
5.00-10.0	α_6	0.34

表 6 DDC/PCIS 換算係数

記号	換算係数 [-]
β	0.729

表 7 LV/DDC 換算係数

記号	換算係数 [-]
γ	1.3207

表 8 補正係数

	M_{caseX}	σ_{caseX} [mg/m ³]	τ_{caseX} [-]
M'_{caseX}	M'_{LPC_DDC}	M_{LPC_DDC}	0.0003 0.5298
	M'_{LPC_LV}	M_{LPC_LV}	-0.0003 0.7200
	M'_{WPS_DDC}	M_{WPS_DDC}	-0.0001 1.3012
	M'_{WPS_LV}	M_{WPS_LV}	-0.0017 1.6134

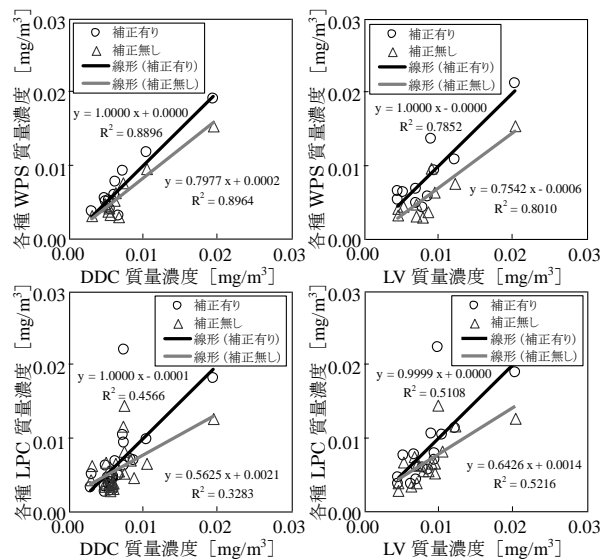


図 4 換算及び補正有りとの換算及び補正無しとの比較