T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	事務所ビルにおける室内浮遊微粒子の特性とPM2.5濃度の実態調査
Title(English)	Survey on Indoor Airborne Particle and PM2.5 in Office Buildings
著者(和文)	鍵直樹, 西村直也, 柳宇
Authors(English)	Naoki Kagi, Naoya Nishimura, U Yanagi
出典(和文)	日本建築学会技術報告集, Vol. 18, No. 39, pp. 613-616
Citation(English)	AIJ Journal of Technology and Design, Vol. 18, No. 39, pp. 613-616
発行日 / Pub. date	2012, 6
権利情報	日本建築学会
Relation	https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/18/39/18_613/_article/-char/ja
Note	本文データは学協会の許諾に基づきJ-STAGEから複製したものである

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

日本建築学会技術報告集　第18巻　第39号，613-616，2012年6月
AIJ J. Technol. Des. Vol. 18, No.39, 613-616, Jun., 2012

事務所ビルにおける室内浮遊粒子の特性と $PM_{2.5}$ 濃度の実態調査

SURVEY ON INDOOR AIRBORNE PARTICLE AND $PM_{2.5}$ IN OFFICE BUILDINGS

鍵　直樹 ――＊1　　西村直也 ――＊2
柳　　宇 ――＊3

Naoki KAGI ――＊1　　Naoya NISHIMURA ―＊2
U YANAGI ――＊3

キーワード：
室内空気質，浮遊粒子状物質，$PM_{2.5}$，事務所建築

Keywords:
Indoor air quality, Airborne particle, $PM_{2.5}$, Office building

Characterization and emission of indoor sub-micron aerosols have been of great interest. This study aimed at investigating for characteristics of particle concentrations for size distribution in office buildings. The number of size distributions, $PM_{2.5}$ and SPM (less than 10 μm) mass concentrations were measured in 15 large office buildings that were over 3,000m^2 of total floor areas and had central HVAC systems.
As a result, the mass concentration shows a bimodal distribution at around 0.2-0.3 μm and 4 μm, while the number concentration has a smaller peak at 0.02 to 0.05 μm. The results of other buildings have the same trend of particle size-distributions.
Every mass concentration was relatively low, except for the building, which had smoking area inside. $PM_{2.5}$ ratios ($PM_{2.5}$/SPM conc.) were around 0.8, and therefore SPM forms the greater part of $PM_{2.5}$. The peak of mass concentration distribution around 0.2 μm has a great effect on $PM_{2.5}$ concentrations. The sub-micron particles might penetrate through filter media in HVAC systems from outdoor air.

1．はじめに

室内環境に関する浮遊粉じんの濃度基準値については，「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）」により，浮遊粒子状物質（SPM）の量について建築物環境衛生管理基準として，概ね10μm以下の粒子の重量濃度が「空気1m^{3}につき0.15mg以下」と定められている。この法律では，多数の者が利用・使用し，相当規模を有する事務所，興行場，百貨店などの「特定建築物」を対象として，住宅や病院などは適用範囲外であるが，室内環境における浮遊粉じん濃度の基準値を示している唯一のものである。浮遊粉じん濃度については，近年では建物内での喫煙が大幅に減少し，また空調機やフィルタの進歩により，浮遊粉じんの基準値超過の割合は大幅に減少し，この10年間では2～3%程度の低い水準で推移している[1)]。浮遊粉じん濃度の建築物環境衛生管理基準の制定にあたっては，1960年代に大気汚染物質として取り上げられ，大気中の目標値や大気環境基準が検討され，公害防止計画策定の基本指針における浮遊粉じんの目標値と同様のものを採用したものと考えられている[2)]。

また，外気については工場の排ガスなどを念頭に，環境基本法において大気汚染に係わる環境基準として，浮遊粒子状物質（粒径が10μm以下のもの）について1時間値の1日平均値が0.10mg/m^{3}以下であり，かつ，1時間値が0.20mg/m^{3}以下であることが定められている。近年ディーゼル排ガスなどの微小粒子が健康影響で問題となり，微小粒子状物質（粒径2.5μmの粒子を50%の割合で分離できる分級装置を用いて，より粒径の大きい粒子を除去した後に採取される粒子：$PM_{2.5}$）について，濃度と健康影響との関係が粗大粒子よりも大きいとの報告[3)]がある。そこで，我が国でも一般大気環境において，その科学的知見を蓄積することを目的に，「微小粒子状物質曝露影響調査研究」が行われた[4)]。この知見を基に，$PM_{2.5}$に係わる環境基準として，2009年に1年平均値が15μg/m^{3}であり，かつ，1日平均値が35μg/m^{3}以下であることが制定された。

室内における浮遊粉じんについては，その発生源として従来からタバコ煙，ガス・石油系燃料の室内燃焼，室内に堆積・付着しているものの再飛散，そして大気の侵入などがあった。更に$PM_{2.5}$など微小粒子の発生源としては，大気からの侵入に加え，調理，ろうそく，アロマ，ヘアースプレー・ドライヤー，タバコ煙，ガスストーブなどが，室内空気中の実測，又はチャンバーを用いた発生試験により確認されている[5,6)]。また，コピー機やレーザープリンタなどの情報機器からの発生[7)]も注目されており，発じん源の変化，多様化から，建築物内での粉じんの特性が以前に比べ大幅に変化していることが推察される。しかしながら，室内における$PM_{2.5}$の実態については大気と比較して，粒子の特性も含め濃度などの基礎的な情報が不足しているのが現状である[8,9)]。更に，室内微小粒子の健康影響に関する研究はまだ数が少なく，既往の研究では，超微粒子と小児喘息の関係を検討しているものの，まだ不明な点が多く，データの蓄積が重要であることを述べるまでとなっている[10)]。

そこで本報告では，事務所建築物において浮遊粉じん濃度と$PM_{2.5}$濃度の実測と共に，粒径分布の測定を行うことで，浮遊微粒子の特性について明らかにすることを目的としている。

*1　東京工業大学大学院情報理工学研究科　准教授・博士（工学）
（〒152-8552　東京都目黒区大岡山2-12-1）
*2　芝浦工業大学工学部　准教授・博士（工学）
*3　工学院大学建築学部　教授・博士（工学）

*1　Assoc. Prof., Dept. of Mechanical and Environmental Informatics, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.
*2　Assoc. Prof., College of Engineering, Shibaura Institute of Technology, Dr. Eng.
*3　Prof., School of Architecture, Kogakuin Univ., Dr. Eng.

２．調査方法

本報告では，表 1 に示す全て延床面積 3000m² 以上で，空調システムにエアフィルタを有する特定建築物の事務所の執務室 15 箇所を対象に，2006 年 8 月から 10 月にかけて測定を行った。

粉じん濃度については，粒径 10μm 以下の粒子をインパクタにより分離し，ローボリューム・エアサンプラー法（SIBATA 製 LV-40BR, LV 法；使用フィルタ，テフロンバインドグラスファイバーフィルタ T60A20）で 8 時間捕集したものを，精密天秤で重量を計測することにより，濃度の算出を行った。また，$PM_{2.5}$ については高感度 β 線吸収式大気モニター（柴田科学：BAM-250，β 線法）を用いて行った。β 線法は，低いエネルギーの β 線を物質に照射した場合，その物質の質量に比例して β 線の吸収量が増加する原理を利用する測定方法である。この装置ではろ紙上に粒径 2.5μm を 50%カットできる分級装置で粒子状物質を捕集後，透過 β 線強度を計測することにより $PM_{2.5}$ の質量濃度を測定するものである。更に,ワイドレンジ・パーティクル・スペクトロメーター（MPS 製 1000XP，WPS, 対象粒径 0.01μm～10μm）により，粒径別個数濃度分布も A 建物以外で測定した。WPS では粒径 0.3μm 以下の小粒径側を SMPS（電気移動度分級器）により分級，CPC（凝縮粒子計数器）により計数し，粒径 0.3μm 以上の粒子は光散乱により粒径と個数を検出するものである。いずれも空調時間帯の 8 時間の連続捕集・測定を行っており，測定期間内の平均値で評価することとした。

３．測定結果

3.1 粒径による個数･質量濃度分布

図 1 に WPS によって測定された測定期間中の粒径別の個数濃度及び個数濃度から算出した質量濃度分布について，建築物 C 及び N について示す。横軸が粒径で対数目盛，縦軸が規格化した濃度（個数濃度：dN/dlogDp，質量濃度：dM/dlogDp）である。なお質量濃度については，全ての粒子が粒径や粒子組成に関係なく一様の密度を有している（＝1.0 g/cm³）[11]と仮定して，個数濃度から算出した。

それぞれの測定日は異なっているが，いずれの建物も同様の粒径分布を有しており，個数濃度については，微小粒径側の粒径 20～50nm にピークがあり，粗大粒子側の検出は少ないものとなっていた。一方質量濃度分布では，全ての建物において微小粒径側の粒径 0.2-0.3μm 付近、及び大粒径側で 4μm 前後の 2 箇所にピークが存在することが確認できた。大気中においても同様の粒径分布を示していること，また粒径 0.3μm においては，フィルタの最大透過粒径であることから微小粒径側が外気による影響[12]で，また室内でのタバコ煙などの発じんによっても特定の粒径範囲において濃度が高くなることが要因として考えられる。

3.2 LV 法(SPM)とベータ線吸収法(PM2.5)濃度

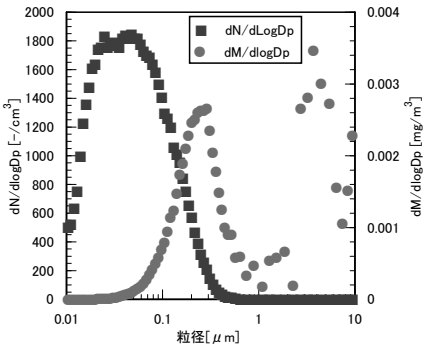
図 2 に各建築物における LV 法による粒径 10μm 以下の粒子濃度，β 線法による $PM_{2.5}$ 濃度及び SPM に対する $PM_{2.5}$ 濃度の比を示す。各測定点での SPM 濃度は，建築物衛生法の環境衛生管理基準値の 0.15mg/m³ を超過する建物はなかった。建築物 K においては，室内において喫煙が可能であったこと，建築物 M については測定室の隣での喫煙が確認されており，タバコ煙の影響によって若干濃度が高くなったものと考えられる。

$PM_{2.5}$ については，単純に大気環境基準と比較するのは議論の余

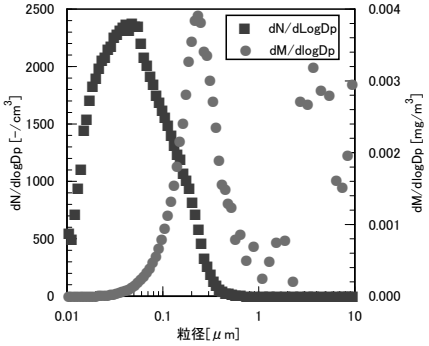
表 1　調査対象建物と関連情報

建物	所在地	延床面積 [m²]	築年数	建物階数	測定階	空調システム[1]	フィルター[2] 前段 後段
A	港区	111,700	31年以上	B3-26F	1F	AHU+FCU	プレフィルタ (60%) 中性能フィルタ(70%)
B	千代田区	111,300	31年以上	B3-9F	6F	AHU	プレフィルタ 電気集じん機(80%)
C	千代田区	77,500	31年以上	B4-9F	B4F	AHU+PAC	不明
D	千代田区	81,900	31年以上	B4-10F	8F	AHU+FCU	ロールフィルタ 電気集じん機
E	千代田区	106,000	31年以上	B4-9F	3F	AHU+FCU	ロールフィルタ 電気集じん機
F	千代田区	34,000	26-30年	B2-11F	7F	AHU+FCU+Fan	プレフィルタ(80%) 中性能フィルタ (90%)
G	千代田区	31,300	5年以下	B4-37F	B1F	AHU+FCU	プレフィルタ(70%) 中性能フィルタ (80%)
H	千代田区	34,000	31年以上	B4-20F	2F	AHU+FCU+Fan	フィルドン (98%)
I	千代田区	109,600	5年以下	B4-30F	B1F	OAHU+FCU	プレフィルタ (65%) 電気集じん機(65%)
J	千代田区	71,100	26-30年	B4-20F	5F	AHU	フィルドン2 (85%) フィルドン1 (78%)
K	港区	128,400	21-25年	B5-31F	B1F	AHU	ロールフィルタ (90%) 電気集じん機(85%)
L	港区	219,200	6-10年	B4-44F	25F	AHU+HEX	プレフィルタ (AHU85,HEX80%)
M	港区	98,500	11-15年	B2-30F	1F	PAC+HEX	ロングライフフィルタ (40%)
N	港区	101,600	26-30年	B1-13F	3F	AHU+FCU	プレフィルタ (95%) 中性能フィルタ (90%)
O	横浜市	392,900	11-15年	B4-70F	15F	AHU+HEX	プレフィルタ 中性能フィルタ (65, 90%)

注: 1)AHU: 空調機, OAHU: 外調機, FCU: ファンコイルユニット, HEX: 全熱交換機, PAC: パッケージエアコン, EF:排気扇
2)フィルタ捕集効率の表示: 前段・重量法，後段・比色法
3)延床面積及び築年数については，概数を表示している。



a) 建築物 C



b) 建築物 N

図 1　粒径別の個数濃度と質量濃度分布

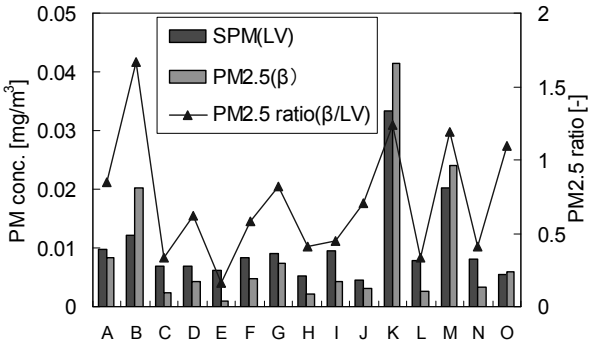


図 2　SPM, $PM_{2.5}$ 濃度及び $PM_{2.5}$ 濃度比

地はあるが，大気環境の 1 日平均基準値(35 μ g/m³)を上回る建物は，喫煙が許されている建築物 K のみであった。また，1 年平均基準値 15 μ g/m³ については，建築物 B, K, M で上回る結果となり，他の建物では 10 μ g/m³ を下回っていた。

$PM_{2.5}$ の割合については，本来ならば粒径区分の狭い $PM_{2.5}$ よりも広い SPM の方が大きな値となるはずであるが，B, K, M 建物では逆転する現象となった。これらは他の建物よりも質量濃度が高い傾向となっている。β 線法による $PM_{2.5}$ の測定については，捕集したサンプルをその場で測定しているのに対し，LV 法による SPM の測定では，捕集後サンプルしたフィルタを温湿度の制御したデシケータ内で養生してから，秤量を行う。よって，タバコ煙など揮発成分が含まれている場合には，フィルタを養生することによって揮発し，重量が低下することにより [13]，濃度の逆転が起こったことが要因の一つと考えられる。

3.3 個数濃度からの変換による測定値との比較

WPS により測定した粒径別個数濃度分布のデータより，SPM 及び $PM_{2.5}$ 濃度を計算上求め，LV 法及び β 線法による測定値との比較を行った。WPS より求める質量濃度は，SPM については粒径 10 μ m 以下の粒子を考慮した計算（図 3a)中の Total）と，インパクタの分離特性を考慮した計算（図 3a)中の SPM)，そして $PM_{2.5}$ については，粒径 2.5 μ m 以下の全粒子を対象として，密度 1g/cm³ を乗じて算出した。

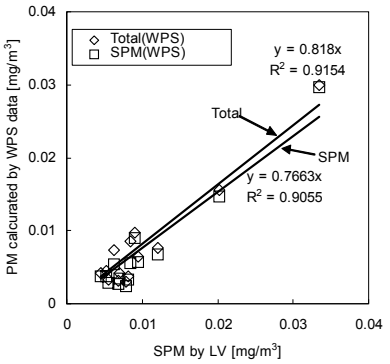
図 3 に LV 法及び β 線法による各濃度の実測値と WPS の粒子個数濃度の実測値より計算から求められた質量濃度を示す。SPM においては，インパクタのカットオフ径の考慮に関わらず，良い相関があった。また，$PM_{2.5}$ についても同様に良い相関にはあるものの，β 線法による値の方が高い傾向となった。これには，質量濃度への変換に用いている微粒子の密度を低く見積もっている可能性があること，フィルタ捕集での揮発性物質による質量減少などの影響で β 線法との値の差が存在し，先の SPM の実測値でも超過した理由とも考えられる。

3.4 粒径分布と $PM_{2.5}$ 濃度

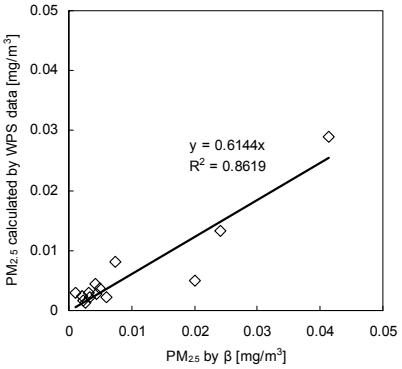
図 4 に WPS により求めた計算上の SPM 濃度，$PM_{2.5}$ 濃度及び SPM に対する $PM_{2.5}$ 濃度の比を示す。図 2 に示した実測値とは若干異なっているが，傾向としては同様となっている。また，当然ながら $PM_{2.5}$ 濃度比が 1 を超過することはなく，0.6 から 1 の間であり，G, K, M 建物は比較的高くなった。浮遊粉じん濃度は，粒径 2.5 μ m 以下の微粒子の質量濃度寄与が大きく，特に質量濃度が比較的高い建物にその傾向があった。建築物 K については室内での喫煙があったため微粒子濃度が高いものと考えられるが，その他の禁煙建物においても，粒径 2.5 μ m 以下の微粒子の室内発生源があるほか，大気からの侵入等が考えられる。

4．考察

建築物室内における $PM_{2.5}$ については，従来建築物衛生法で管理されていた粒径 10 μ m 以下の粒子を対象とした粉じん濃度と比較しても，寄与が大きいことが分かった。室内の粒径別の質量濃度については，微小側の粒径 0.3 μ m 付近，及び大粒径側で 4 μ m の 2 箇所にピークが存在していることから，微小粒子側のピークが $PM_{2.5}$ 濃度に寄与しているものである。



a) SPM 濃度との比較



b) $PM_{2.5}$ 濃度との比較

図 3　SPM 及び $PM_{2.5}$ 濃度と WPS による計算上の濃度の比較

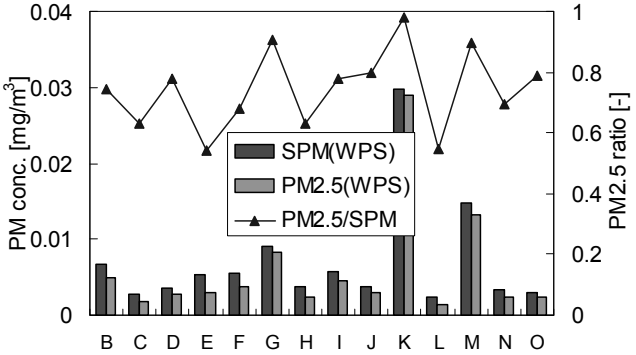


図 4　WPS により計算した SPM, $PM_{2.5}$ 濃度及び $PM_{2.5}$ 濃度比

室内における微小粒子の発生源は，外気の侵入と共に様々な発生源がある [5-7]。空調機を有する特定建築物においては，図 5 に示すような空調機において，外気処理及び環気空気の浮遊粉じん浄化のために，エアフィルタが装着されている。前述の実測建築物とは別の建物において，図 5 に示したような空調機内の中性能フィルタ上流（*P1*）及び下流（*P2*）において，WPS により空調機を通過する空気の粒径別個数濃度の計測を行い，フィルタによる透過特性の検討を行った。なお，中性能フィルタは事務所ビルの空調機に使用され，比色法で 60%程度以上の捕集効率を持つもので，主に $PM_{2.5}$ よりも比較的粗大な粒子を捕集することを目的としたものである。また今回の測定点からは，粗じんフィルタ，中性能フィルタの他に，コイル，加湿器への粒子の捕捉の影響を考慮していることになる。

その結果を図 6 に示す。粒径 0.1μm 前後の微小粒子の透過率が高く，フィルタの捕集理論[14]と同様にそれよりも粗大側及び微小側については透過率が低くなる傾向となった。更に，浮遊粉じんは，換気による排出，ダクトや室内表面での沈着，空気中での凝集などにより，粒径ごとに浮遊の特性が異なってくる。既往の研究[15]においても指摘されているように，$PM_{2.5}$の濃度に寄与する粒径 0.1μm 前後の微小粒子が空気中において除去されずに多く浮遊することにより，建築物室内の浮遊粉じん濃度は，大気環境と同様に $PM_{2.5}$の寄与が大きくなる要因となっているものと考えられる。

5．まとめ

15 箇所の事務所建物室内において，浮遊粉じん濃度と $PM_{2.5}$濃度及び粒径別個数濃度の測定を行い，室内浮遊粉じんの特性について検討した。

1)粒径 10μm 以下の SPM については建築物衛生法の環境衛生管理基準値を超過することはなかったが，$PM_{2.5}$については大気環境の 1 日平均基準値(35μg/m^3)を上回る建物が，喫煙が許されている建築物であった。また，1 年平均基準値 15μg/m^{3}については，2 箇所の建築物で上回る結果となり，10μg/m^{3}を下回る箇所が多かった。

2)SPM，$PM_{2.5}$と WPS による計算上の濃度については，良い相関にはあるものの，計算上の濃度の方が低い値の傾向となった。この違いについては，粒子の密度などの条件や測定方法によるものと考えられる。

3)SPM 中の $PM_{2.5}$の占める割合は大気中と同様に室内も大きく，粒径 0.2-0.3μm にピークを有する微小粒子の寄与によるものである。中性能フィルタの粒径別の透過率から，また空気中での浮遊粉じんの挙動から，室内空気中における $PM_{2.5}$の特性について検討を行った。

謝辞

本研究は、(財)ビル管理教育センター平成 18 年度調査研究事業「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）」より行った。記してここに感謝の意を表する。

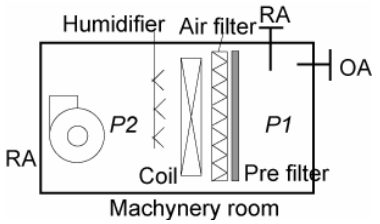


図 5　空調機における浮遊粉じんの測定点

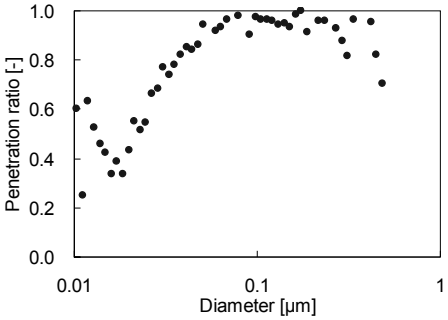


図 6　中性能エアフィルタの粒子透過率の実測値

参考文献

1) 池田耕一，大澤元毅，鍵直樹，柳宇，東賢一，斎藤秀樹，鎌倉良太：建築物における衛生環境と建物維持管理の実態に関する調査，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp.1215-1218，2010.8

2)東賢一：建築物環境衛生管理基準の設定根拠の検証について，保健文化賞記念基金事業に基づく建築物環境衛生管理に関する指定調査研究平成 22 年度研究報告書，2011.3

3) W.E. Wilson: The U.S. Environmental Protection Agency promulgates　new standards for fine particles，大気汚染学会誌，33，A67-A76，1998

4)環境省：微小粒子状物質曝露影響調査報告書，2007.7

5) T. Hussein, T. Glytsos, J. Ondracek, P. Dohanyosova, V. Zdimal, K. Hameri, M. Lazaridis, J. Smolik, M. Kulmala: Particle size characterization and emission rates during indoor activities in a house, Atmospheric Environment, 40, 4285-4307, 2006.

6) A, Afshari, U. Matson and L.E. Ekberg: Characterization of indoor sources of fine and ultrafine particles: a study conducted in a full-scale chamber, Indoor Air, 15, 141-150, 2005

7) N. Kagi, S. Fujii, Y. Horiba, N. Namiki, Y. Ohtani, H. Emi, H. Tamura and Y.S. Kim: Indoor air quality for chemical and ultrafine particle contaminants from printers, Building and Environment, 42, 5, 1949-1954, 2007.

8) J.D. Yanosky, P.L. Williams, D.L. MacIntosh: A comparison of two direct-reading aerosol monitors with the federal reference method for PM2.5 in indoor air, Atmospheric Environment, 36, pp.107-133, 2002.

9) P. Monkkonen, P. Pai, A. Maynard, K.E.J. Lehtinen, K. Hameir, P. Rechkemmer, G. Ramachandran, B. Prasad, M. Kulmala: Fine particle number and mass concentration measurements in urban Indian households, Science of the Total Environment, 347, pp. 131-147, 2005.

10) S.Weichenthal, A. Dufresne and C. Infante-Rivard: Indoor ultrafine particles and childhood asthma: exploring a potential public health concern, Indoor Air, 17, 81-91, 2007.

11) 高橋幹二：エアロゾル学の基礎，森北出版，2003.7

12) W.W. Nazaroff: Indoor particle dynamics, Indoor Air, 14 (Suppl.7), pp.175-183, 2004.

13) B.J. Turpin, P. Saxena, E. Andrews: Measuring and simulating particulate organics in the atmosphere: problems and prospects, Atmospheric Environment, 34, pp. 2983-3013, 2000.

14)ウィリアム C.ハインズ：エアロゾルテクノロジー，井上書院，pp.159-181，1985

15) C. Chen, B. Zhao: Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor, Atmospheric Environment, 45, pp. 275-288, 2011.

[2011 年 10 月 20 日原稿受理　2011 年 11 月 30 日採用決定]