
総説 シンポジウム**環境エアロゾルの現状**

鍵 直 樹

東京工業大学環境・社会理工学院

Environmental aerosol in indoor air

Naoki Kagi

School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology

要約

本報告では、室内エアロゾルの現状として、浮遊粉じんの室内基準値及び大気のPM_{2.5}濃度の基準値について述べ、室内環境においてはPM_{2.5}の基準値についてはないことを示した。事務所用途の建築物室内における浮遊粉じん濃度とPM_{2.5}濃度の実測調査の結果を示すとともに、超微粒子粒径分布の測定を行うことで、室内エアロゾルの粒径別の特徴を示した。さらに居住者の行動がある住宅において、24時間のPM_{2.5}濃度及び粒径別超微粒子濃度の実測調査を行うことにより、住宅における室内エアロゾルの特徴及び室内発生源として調理や線香などの燃焼物の原因があることを示した。(臨床環境 25 : 88-93, 2016)

《キーワード》室内空気質, PM_{2.5}, 超微粒子

Abstract

This paper reported the characteristics of indoor sub-micron aerosols and PM_{2.5} in indoor environment. First, the indoor environmental guideline for suspended particle matter (SPM, less than 10µm) was shown and there is no guideline for indoor PM_{2.5}. Second, the number of size distributions, PM_{2.5} and SPM mass concentrations were measured in 15 large office buildings that were over 3,000m² of total floor areas and had central HVAC systems. As a result, the mass concentration shows a bimodal distribution at around 0.2-0.3µm and 4µm, while the number concentration has a smaller peak at 0.02 to 0.05µm. 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}. Finally, the PM_{2.5} mass concentrations and size distributions were measured in 7 residential homes. In each house, the average of PM_{2.5} concentrations was 10-45µg/m³. And the average of I/O ratio was about 0.5-1.5. The indoor PM_{2.5} concentrations were increased by using a stove, a toaster oven, and candles. Nano-size particles with diameters in the range of 30-50nm were generated by cooking.

(Jpn J Clin Ecol 25 : 88-93, 2016)

受付：平成28年9月30日、採用：平成28年10月1日別刷請求宛先： 鍵 直樹
東京工業大学環境・社会理工学院
〒152-8552 目黒区大岡山2-12-1

《Key words》 Indoor air quality, PM_{2.5}, Ultrafine particle

1. はじめに

一般の室内における浮遊粒子状物質については、特に事務室や公共の建物など不特定多数の居住者が使用するような室内では、建物内における分煙又は禁煙が推し進められたため、たばこ煙による室内空気質の悪化は見られなくなってきた。特に事務所や店舗などある程度大規模な建築物においては、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）により環境衛生管理基準として、1970年代から浮遊粉じん量を質量濃度で0.15mg/m³以下とすることが定められている。結果として、上述の建物における喫煙環境が変化したこと及び空調設備のエアフィルタの高性能化したことにより、浮遊粉じん濃度が劇的に低下している。東京都における立入検査時の室内の浮遊粉じん量の調査¹⁾においても、建築物衛生法が施行された1970年から1977年にかけて、平均濃度で0.1mg/m³を超過し、不適率（基準値0.15mg/m³を超過する建物の割合）は50%を超過していたが、その後年ごとに低下し、近年ではその濃度、不適率も極めて低い値となっているのが現状である。

一方、大気にお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）について基準が定められている。更に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、2009年に1年平均値が15μg/m³であり、かつ、1日平均値が35μg/m³以下であることが制定された。また、表1には、各国・組織のPM_{2.5}に関する大気基準値についてまとめた。しかしながら、建築物室内においては、PM_{2.5}に関する室内環境の基準などはない。室内空気は外気を取り入れて換気を行うため、また室内で微小粒子の発生があれば、大気同様室内もPM_{2.5}は存在する。しかしながら、室内におけるPM_{2.5}に関する知見が少なく、管理を行う上でも健康影響も含めた知見の蓄積が必要である。

そこで本報告では、室内におけるPM_{2.5}を代表とする室内エアロゾルの現状について述べる。

2. 室内エアロゾル濃度の現状

室内において従来対象となっていた浮遊粉じんについては、建築物衛生法により粒径10μm以下の粒子が対象となっている。室内における浮遊粉じんの発生源については、室内に堆積・付着しているものの再飛散、たばこ煙、ガス・石油系燃料の室内燃焼、そして大気の侵入などがある。現在は、空調機に装着されているエアフィルタの高性能化による除じん能力の向上、住宅で使用されている空気清浄機の性能の向上及び室内において分煙、禁煙が進んだことにより粉じんの発生が少なくなり、浮遊粉じん濃度が低下の傾向となっている。

室内におけるPM_{2.5}を含む微粒子の発生源につ

表1 各国・組織のPM_{2.5}に関する大気基準値

国・組織	PM _{2.5}	
	日平均	年平均
米国	35 μg/m ³ (24時間平均値の98パーセンタイル値の3年間の平均値)	15 μg/m ³ (日平均値を年算術平均した値の3年平均値)
EU	—	目標値：25 μg/m ³ 2020年からの達成義務値： 20 μg/m ³
WHO	25 μg/m ³	10 μg/m ³
日本	35 μg/m ³	15 μg/m ³

表2 室内のPM_{2.5}濃度の調査例

国	建物	PM _{2.5} 濃度[μg/m ³]	備考
インド	住宅	137.93	道路沿い 都市部 農村部
		173.03	
		135.55	
クウェート	住宅	46-80	台所 寝室
		24-32	
香港	住宅	73.6/66.1(OA)	道路沿い 都市部 農村部
		60.0/38.7(OA)	
		39.6/26.4(OA)	
チェコ	学校	7.6-44.0	昼間、夜間で変わらず
オーストラリア	事務所ビル	8	高性能なフィルタで低減

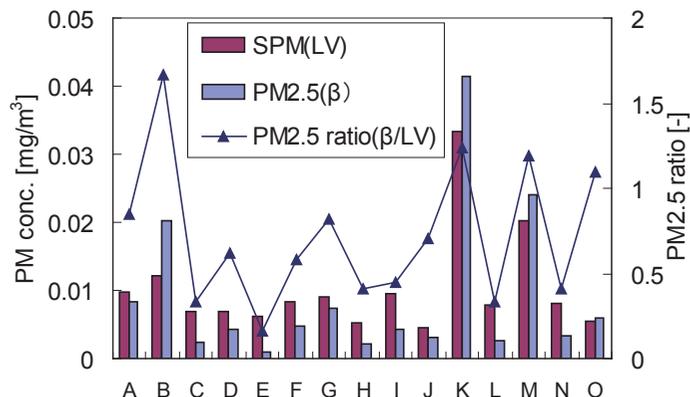


図1 事務所室内における粉じんとPM_{2.5}濃度とその割合⁶⁾

いては、大気への侵入に加え、室内での燃焼物によって発生することが知られている。従来から粉じんの発生源として注目されているものではあるが、調理、ろうそく、アロマ、ヘアスプレー・ドライヤー、タバコ煙、ガスストーブなどがあり、PM_{2.5}とはいえ特別なエアロゾルではない。

室内におけるPM_{2.5}の実態を把握するために、表2には文献調査による室内におけるPM_{2.5}濃度の一覧を示す²⁻⁵⁾。いずれも地域により室内PM_{2.5}濃度も異なり、道路沿い、都心、郊外によりそれぞれの濃度が異なり、周辺外気の影響を受けていることがわかる。また、PM_{2.5}の濃度についても、上述の大気基準値を上回ることがある。大気においては自動車排ガスや工場の排ガス等による影響があると共に、室内において木材などを用いた暖房機器が使用されることが多く、また適切な換気設備がない場合が多いため、室内粒子濃度が高くなるとしている。また、調理による発生も多く、住宅では居間、寝室よりも台所の濃度が高くなっていた。なお、高性能のフィルタを有する建物においては、その室内濃度も低減できることも示されている。

3. 室内エアロゾルの特徴

我が国における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、粒径分布の特徴を検討した実測調査⁶⁾がある。図1に各建築物における粒径10μm以下の浮遊粉じん濃度、β線法によるPM_{2.5}濃度及び浮遊粉じんに対するPM_{2.5}

濃度の比を示す。各測定点での浮遊粉じん濃度は、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、たばこ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地はあるが、大気環境の1日平均基準値(35μg/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15μg/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10μg/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}よりも広い浮遊粉じん濃度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。これは質量を測定する方式によるものであり、これらは他の建物よりも質量濃度が高く、異なる室内粒子の組成による検出効率の違いによるものと考えられる。

図2に上記実測建物における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、2箇所の建築物について示す。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(=1.0g/cm³)と仮定して、個数濃度から算出した。いずれの建物も同様の粒径分布を有しており、個数

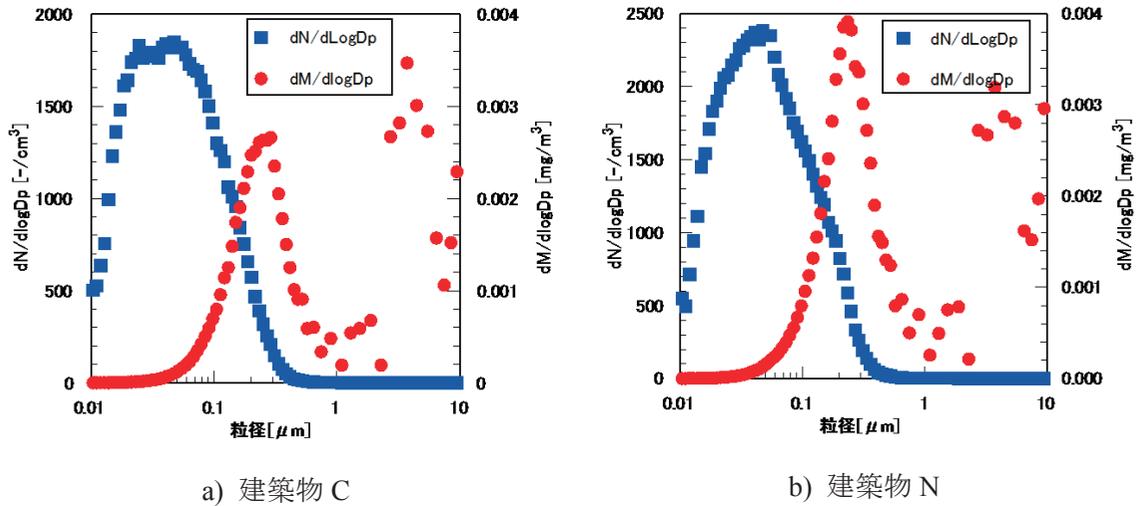


図2 事務所室内における粒径別の個数濃度と質量濃度分布⁶⁾

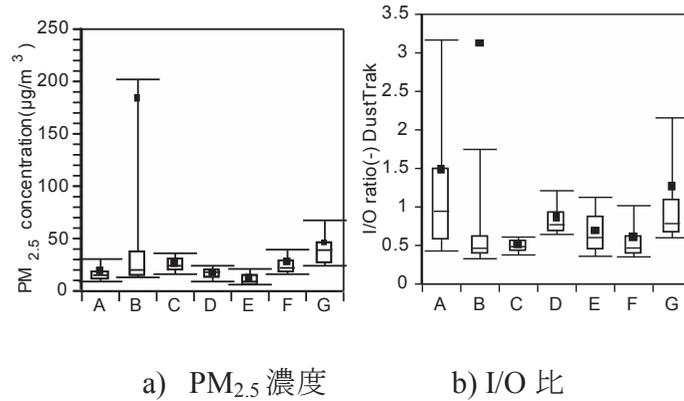


図3 7件の住宅におけるPM_{2.5}濃度とI/O比

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0.2-0.3 μm 付近、及び大粒径側で4 μm 前後の2箇所にて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から、大気からの室内に侵入していることが示唆されるものである。

以上のように、建築物室内のPM_{2.5}濃度については、外気の影響を受けること、PM_{2.5}については、粒径0.2-0.3 μm 付近の微小粒子が多くを占めていることがわかった。

4. 住宅における室内エアロゾルの特徴

既往の研究⁷⁾に、7件の住宅において、24時間内に室内で居住者の活動がある状況で、室内外のPM_{2.5}濃度、粒径別濃度の実測調査を行ったものがある。図3に各住宅における24時間でのPM_{2.5}濃度及びI/O比(室内濃度(I)/室外濃度(O)比)の箱ひげ図を示す。各住宅の平均濃度は住宅Bを除き10-45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、室内活動により一時的に50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える住宅があった。I/O比は、通常時1以下であったが、平均値では住宅Bを除いて0.5-1.5であった。住宅Bは終日I/O比が低かったものの、やかんの空焚きがあり極端な濃度上昇が起きたため、高い値となった。

住宅A, Eでは、1日の濃度変動が他の住宅と

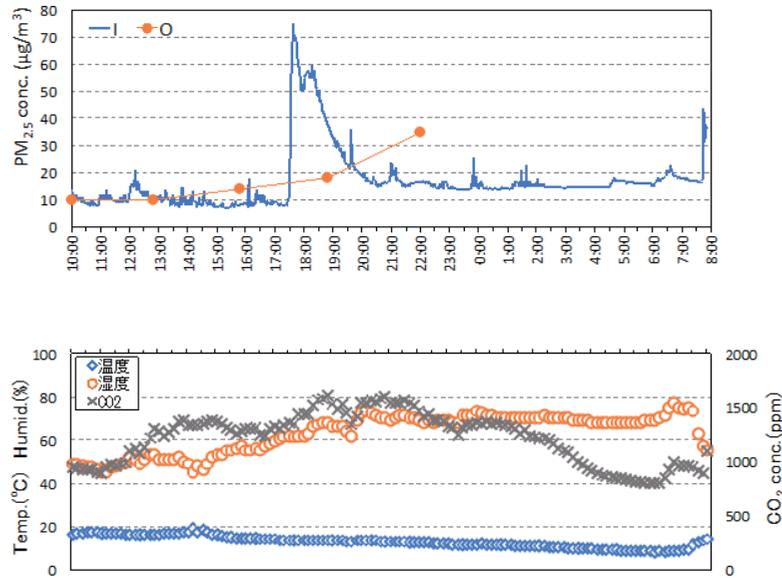


図4 住宅AにおけるPM_{2.5}濃度，温湿度，CO₂濃度の経時変化

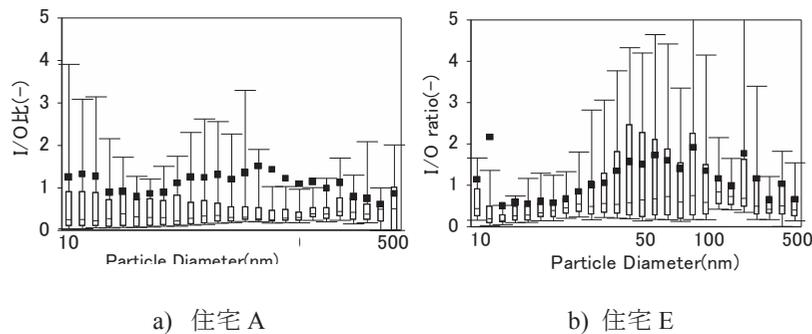


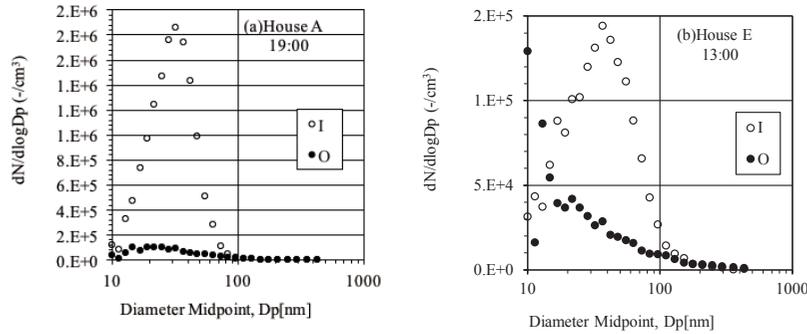
図5 住宅A及びEにおける粒径別I/O比

比べて特徴的であった。図4に住宅Aでの室内外PM_{2.5}濃度経時変化と温湿度，CO₂濃度を示す。17時から19時の間，台所にてガスコンロによる調理が行われており，それに伴うPM_{2.5}濃度とCO₂濃度の上昇が確認された。住宅Eでは，調理による濃度上昇は比較的小さかったが，隣室にてろうそくと線香を使用したため，濃度の上昇が観察された。図5に住宅A，Eにおける粒径別I/O比を示す。平均値のピークは粒径50nm付近となり，室内活動による一時的な濃度上昇がこの粒径の粒子の発生で起こっていたことが考えられる。図6に各住宅における調理時の室内外粒径分布を示す。住宅Aではガスコンロ，住宅Eではオーブントースターを使用していた。どちらも室内では粒

径30-50nm付近にピークを持ち，外気と異なる粒径分布となった。このことから，調理により粒径30-50nmの粒子が多く発生していたことが示唆された。よって，住宅における室内エアロゾルの特徴として，粒径100nm以下の超微粒子についても，外気からの侵入とともに調理など居住者の活動により発生する微粒子が室内エアロゾルを形成していることがわかる。

5. まとめ

本報告では，室内エアロゾルの現状について，建築物衛生法により粒径10µm以下の浮遊粉じんの環境管理基準値があるものの，PM_{2.5}については室内にはまだないことを述べ，事務所建築物と



a) ガスコンロ使用

b) オーブントースター使用

図6 調理時における室内粒径別個数濃度分布

住宅における実測調査結果について示した。

事務所建築物における $PM_{2.5}$ 濃度については、大気環境の1日平均基準値 ($35\mu\text{g}/\text{m}^3$) を上回る建物が、喫煙が許されている建築物であったこと、浮遊粉じん中の $PM_{2.5}$ の占める割合は、大気中と同様に室内も大きく、粒径20-30nm にピークを有する微小粒子の寄与によることである特徴を示した。

また、住宅における実測調査から、各住宅での室内平均 $PM_{2.5}$ 濃度は $10\text{-}45\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、I/O 比の平均値は0.5-1.5程度であった。またこの調査により、 $PM_{2.5}$ の室内発生源として、ガスコンロ、オーブントースター、ろうそく、線香等が確認され、調理により粒径30-50nm 付近の粒子が発生していることを示した。

参考文献

- 1) (財)ビル管理教育センター. 建築物における環境衛生に関する研究. 平成16年度厚生労働科学研究費補助金報告書: 10, 2005
- 2) Massey D, J. Masih J, et al. Indoor/outdoor relationship of fine particles less than $2.5\mu\text{m}$ ($PM_{2.5}$) in residential homes locations in central Indian region. *Building and Environment* 44: 2037-2045, 2009.
- 3) Yassin MF, AlThaqeb BEY, et al. Assessment of indoor $PM_{2.5}$ in different residential environment. *Atmospheric Environment* 56: 65-68, 2012
- 4) Cao JJ, Lee SC, et al. Indoor/outdoor relationships

for $PM_{2.5}$ and associated carbonaceous pollutants at residential homes in Hong Kong - case study. *Indoor Air* 15: 197-204, 2005

- 5) Branis M, Rezacová P, et al. The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM_{10} , $PM_{2.5}$, and PM_1 in a classroom. *Environmental Research* 99: 143-149, 2005.
- 6) 鍵直樹, 柳宇, 他. 事務所ビルにおける室内浮遊微粒子の特性と $PM_{2.5}$ 濃度の実態調査, 日本建築学会技術報告集 18: 613-616, 2012年6月
- 7) 鍵直樹, 相川真未, 他. 住宅における室内微粒子の実態調査, 平成26年室内環境学会学術大会講演要旨集: 244-245, 2014年12月