

技術論文

室内環境中 PM_{2.5} の電子線マイクロアナリシス法による
キャラクタリゼーション佐藤 基和^{®1}, 鈴木健一郎¹, 瀧井 貴紀¹, 中野 智¹,
野島 雅², 富安文武乃進³, 二瓶 好正^{1,2}Characterization of PM_{2.5} in the Indoor Environment by an
Electron Probe Microanalysis MethodMotokazu SATO¹, Kenichirou SUZUKI¹, Takanori TAKII¹, Satoshi NAKANO¹,
Masashi NOJIMA², Bunbunoshin TOMIYASU³ and Yoshimasa NIHEI^{1,2}¹ Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science, 2641, Yamazaki, Noda-shi, Chiba 278-8510² Research Institute for Science and Technology, Tokyo University of Science, 2641, Yamazaki, Noda-shi, Chiba 278-8510³ Environmental Science Center, The University of Tokyo, 5-1-5, Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba 277-8581

(Received 19 April 2005, Accepted 19 July 2005)

In this study, we paid attention to minute particles with diameters under 2.5 μm (PM_{2.5}) in suspended particulate matter (SPM) in an indoor environment. We also collected the suspended particles for a short time using a cascade impactor sampling device. This device is designed to have PM_{2.5} cutoff characteristics for the size classification of SPM. The purpose of this study was for the collected particles to obtain detailed information about PM_{2.5} in an indoor environment by a source apportionment based on the individual particle analysis using an electron probe microanalysis (EPMA) method. As a result, we could obtain the shape and components of particulate matter contained in environmental tobacco smoke (ETS). It revealed that ETS particles were distributed mainly in the particle size range of 0.5 ~ 1.5 μm . In addition, they were composed chiefly of the C-based particles whose shapes were spherical or roundish and non-spherical. To use these data, we evaluated the air environments in Kashiwa and Noda city halls in Chiba. The result showed that there was a difference between the two in terms of PM_{2.5}. Especially, there were many ETS particles in Noda city hall. This is related to a smoking place installed in the hall. In contrast, the presence of diesel exhaust particles was confirmed in both Kashiwa and Noda city halls as an influence of the outdoor environment. This is largely affected by Route 16 running in the vicinity of the hall. Consequently, it revealed that the indoor sources could have a significant influence on the air environment in the hall. Also, the outdoor sources had an effect on that environment. We could, therefore, understand the realities of PM_{2.5} in the indoor environment by the individual particle analysis using an EPMA method, which could not be understood by the conventional method.

Keywords : PM_{2.5}; indoor environment; individual particle analysis; EPMA; ETS.¹ 東京理科大学理工学部工業化学科: 278-8510 千葉県野田市山崎 2641² 東京理科大学総合研究所: 278-8510 千葉県野田市山崎 2641³ 東京大学環境安全研究センター: 277-8581 千葉県柏市柏の葉 5-1-5

1 緒 言

近年, 室内空気汚染の問題は, 社会的な注目を集めている。一般に, 室内空気汚染物質はガス状物質と粒子状物質

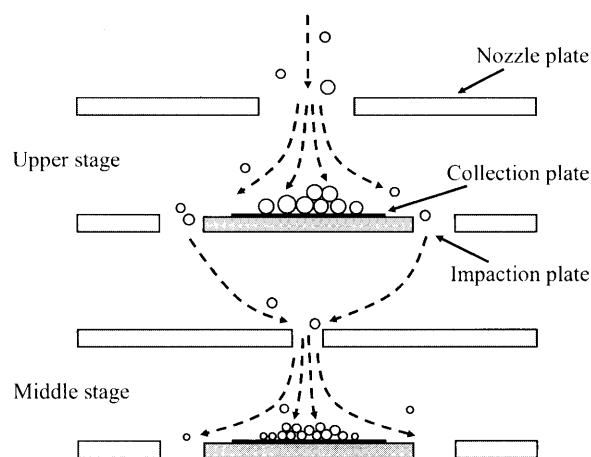


Fig. 1 Cross-section view of the cascade impactor sampling device

Each impactor stage is composed of a nozzle plate and the impactation plate on which a collection plate can be set up. The cut-point diameters of upper and middle stages are respectively 2.5 and 0.5 μm with a nominal flow rate of 3.0 l/min.

の2種に大別される¹⁾。なお、室内において喫煙者の吐き出す呼出煙とたばこの点火部から立ち上る副流煙とが混じり合った総称の環境中たばこ煙 (ETS) は、室内空気汚染の重要な発生源である。ETSに含まれる化学物質は極めて多く、粒子状物質 (ETS 粒子) は、たばこ1本から15~40 mg 発生することが認められている。その他、金属類も微量ながら鉄や銅、亜鉛など24種類が確認されている²⁾。

また、我々は主に一日の大半を自宅や学校、オフィス等の室内で過ごしているため、室内空気に長時間暴露される。更に、近年の新築の建物は気密性が高く、換気が十分でないと汚染物質が滞留・濃縮してしまう傾向にある¹⁾。したがって、室内空気汚染物質は我々の健康に重大な影響を与えている³⁾。

中でも、粒径10 μm 以下の浮遊粒子状物質 (SPM) は、ハーバード大学の6都市調査⁴⁾を含む多くの疫学調査から、肺がんや気管支ぜんそくなど呼吸器系への影響が指摘されている。特に、粒径2.5 μm 以下の微小粒子 ($\text{PM}_{2.5}$) は、有害成分を多く含有するとともに、呼吸器系の深部にまで吸入されることから、その影響度が高い^{4)~6)}。

しかしながら、室内環境中の $\text{PM}_{2.5}$ に関する研究例は少なく、そのほとんどが室内と屋外の粒子濃度に注目した一括分析による質量濃度評価で行われている⁷⁾⁸⁾。なお従来の評価法では、粒子個々の形状や組成などの詳細な情報を獲得できず、室内環境における $\text{PM}_{2.5}$ の実態を完全に把握するまでには至っていない。

一方で、炭素や未燃焼の燃料・潤滑油、硫酸塩、灰分な

どを主たる成分とするディーゼル排出の粒子状物質 (DEP) は、 $\text{PM}_{2.5}$ の主要成分であり、大都市域や道路沿道で $\text{PM}_{2.5}$ への寄与が顕著である⁹⁾。 $\text{PM}_{2.5}$ を含めた SPM の環境基準との適合率を見ると、依然深刻な状況が続いており¹⁰⁾、更なる改善が強く望まれている⁹⁾。

したがって、本研究では公共の施設内において捕集された粒子に対し、電子線マイクロアナリシス (EPMA) 法を用いた粒別起源解析¹¹⁾¹²⁾により、室内環境中の SPM、特に $\text{PM}_{2.5}$ 個々の形状や組成、起源情報などの詳細な情報を獲得することを目的とした。

2 実験

2.1 粒子捕集装置

本実験は、 $\text{PM}_{2.5}$ のカット特性を持つカスケードインパクト型捕集装置 NL-3-2.5c0.5c (東京ダイレック製) を使用した。本粒子捕集装置は、Fig. 1 に示すように、空気動力学的粒径による SPM の慣性力に差を与えることで分級する。なお吸引流量 3.0 l/min の下、上段に粒径 2.5 μm 以上の粗大粒子を、中段に粒径 0.5~2.5 μm の $\text{PM}_{2.5}$ を捕集板上に捕集することができる。また、本捕集装置の分級ノズルの数の関係で、捕集板上には6つの粒子群が、それぞれ正六角形の頂点をとるように捕集される。

そこで、標準粒子と ETS 粒子を用い、本捕集装置の作動確認を行った。

2.1.1 標準粒子の採取 粒径 1.5, 3.0, 5.0 μm の標準粒子 MX-150, MX-300, MX-500 (綜研化学製) を 5 g ずつひょう量し、別のポリエチレン袋に入れた。次いで袋を振り混ぜ、粒径 5.0, 3.0 μm の順にそれぞれ4秒間吸引した後、粒径 1.5 μm の標準粒子を1秒間吸引した。粒子の捕集板には、各段とも銀板を使用した。更に、これら銀板試料に対して、チャージアップを防ぐために膜厚 4 nm 程度の白金を蒸着した。なお蒸着装置は、オートファインコート JFC-1600 (日本電子製) を使用した。

粒径別分析には、電界放射型走査電子顕微鏡 JSM-6500F (日本電子製) を用い、また分析条件として、電子ビームの加速電圧を 15 kV とした。

2.1.2 ETS 粒子の採取 容積 5 l 程度のダンボール箱内に、たばこの副流煙を約1分間充満させ、その煙を4秒間吸引した。吸引時間の設定は、ETS 粒子の捕集板上での凝集防止を考慮した。なお粒子の捕集板には、炭素などの軽元素の組成情報を得る¹³⁾のために、各段とも銀板を使用した。次いで、これら銀板試料に対して、膜厚 4 nm 程度の白金を蒸着した。

粒別分析には、JSM-6500F と、エネルギー分散型 X 線分光器 JED-2200 (日本電子製) で構成された EPMA 装置を用いた。また分析条件として、形状観察では電子ビームの加速電圧を 15 kV とし、一方組成分析では、下地やバツ

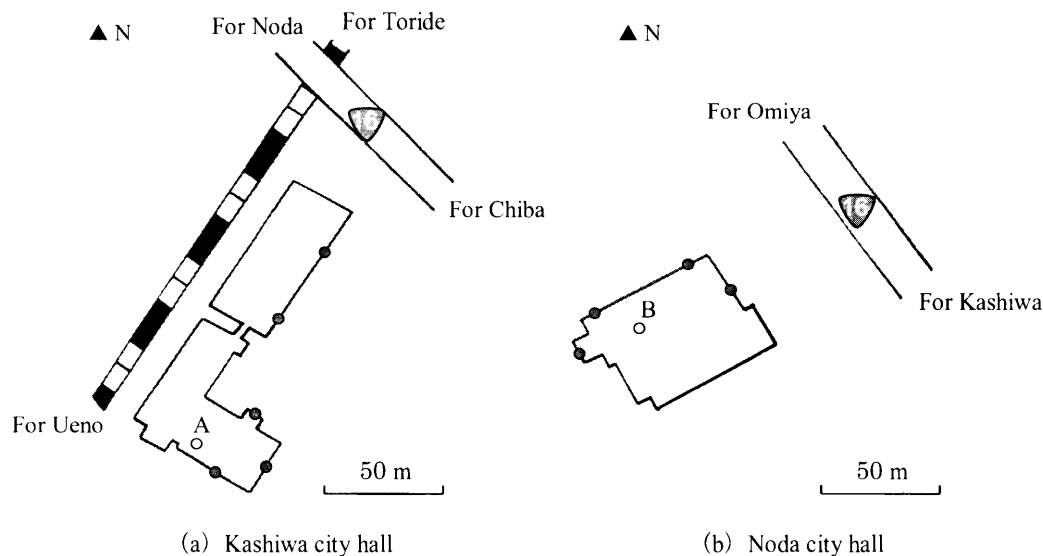


Fig. 2 Sketches of the first floor in Kashiwa and Noda city halls

White and gray marks show the sampling point and door position, respectively, in each hall.

クグラウンドの影響を考慮し¹³⁾, 加速電圧を 10 kV とした。

2.2 室内空気試料の採取

千葉県柏市庁舎及び野田市庁舎の 1 階フロアで, 両庁舎内の空気試料を採取した。

柏市庁舎では, 2004 年 11 月 22 日の 14 時頃, Fig. 2 (a) に示す A 地点において粒子捕集を行った。一方野田市庁舎では, 2004 年 12 月 24 日の 13 時頃, Fig. 2 (b) に示す B 地点において粒子捕集を行った。なお両庁舎とも, 地面より 1.5 m 程度の高さで 4 分間捕集した。粒子の捕集板には, ナトリウムからカルシウムまでの無機元素の組成情報を得る¹³⁾ために, 各段ともチタン板を使用した。また, 捕集時の天候は両庁舎とも快晴で, 風も微風であった。

次いで, これらチタン板試料を, 直接 EPMA 装置内に導入し, 各段 60 個ずつ, 粒子個々の形状並びに組成の情報を獲得した。なお測定した 60 粒子は, 捕集板上の粒子群の中心に位置する粒子を含むその周辺 60 個とした。また分析条件として, 形状観察では電子ビームの加速電圧を 15 kV とし, 一方組成分析では加速電圧を 10 kV とした。その後, 得られた組成情報をもとにクラスター解析¹⁴⁾を行い, 組成が似た粒子群の X 線スペクトルパターン及び粒子形状より, 粒子の起源を推定した¹¹⁾¹²⁾。

3 結果と考察

3.1 粒子捕集装置の分級能評価

正確な室内環境の測定・評価を行うために, まず本粒子捕集装置の分級能を検討した。

3.1.1 標準粒子による評価 Fig. 3 (a) に, 上・中段の全粒子群における標準粒子の数を粒径別に測定した結果を示す。この結果をもとに, 上段から中段にかけての粒子透過率を, 粒径別に算出した。なお透過率は, 各粒径の上段と中段を合わせた総粒子数を, 吸引された標準粒子の総数 (粒径 1.5 μm で 951 個, 粒径 3.0 μm で 657 個, 粒径 5.0 μm で 95 個) とみなし, 式(1)

$$\text{透過率} = \frac{\text{中段の粒子数}}{\text{上段の粒子数} + \text{中段の粒子数}} \times 100 \quad (1)$$

より求めた。その結果, 標準粒子の透過率は, 粒径 1.5 μm で 94.5%, 粒径 3.0 μm で 29.1%, 粒径 5.0 μm で 2.1% となり, Fig. 3 (b) に示すような粒径別透過率曲線が得られた。

Fig. 3 (b) の曲線において, 粒径 2.5 μm ではほぼ 50% の透過率である。したがって, 50% 分離有効動力学的粒径を 2.5 μm としている本捕集装置は, ほぼ正常に分級捕集されていると認められた。

3.1.2 ETS 粒子による評価 Fig. 4 (a) に, 上・中段の 1 つの粒子群における ETS 粒子を粒径別に測定した結果を示す。この結果, 上段では粒径 2.8~3.0 μm を, 中段では粒径 1.0~1.2 μm を頂点とする山型分布をとっていることが分かった。一方で, ETS 粒子は主に粒径 0.5~1.5 μm の範囲に存在していることが明らかとなった。また Fig. 4 (a) の結果をもとに, 上段から中段にかけての粒子透過率を粒径別に算出したところ, Fig. 4 (b) に示すような粒径別透過率曲線が得られた。

なお Fig. 4 (b) の曲線においても, 粒径 2.5 μm ではほぼ

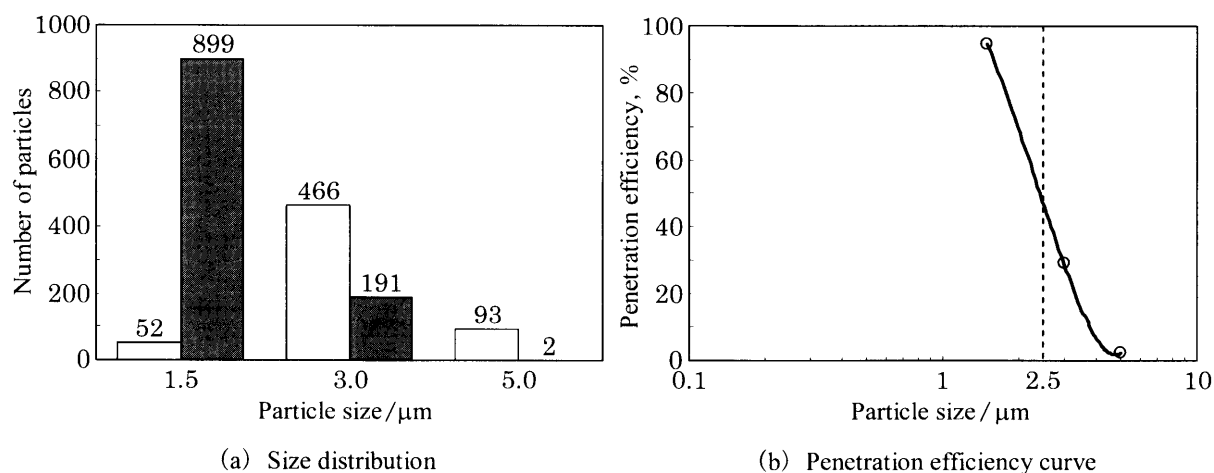


Fig. 3 Size distribution and penetration efficiency curve for the cascade impactor sampling device to use standard particles

White and gray bar graphs show the number of particles collected on the substrates of upper and middle stages, respectively.

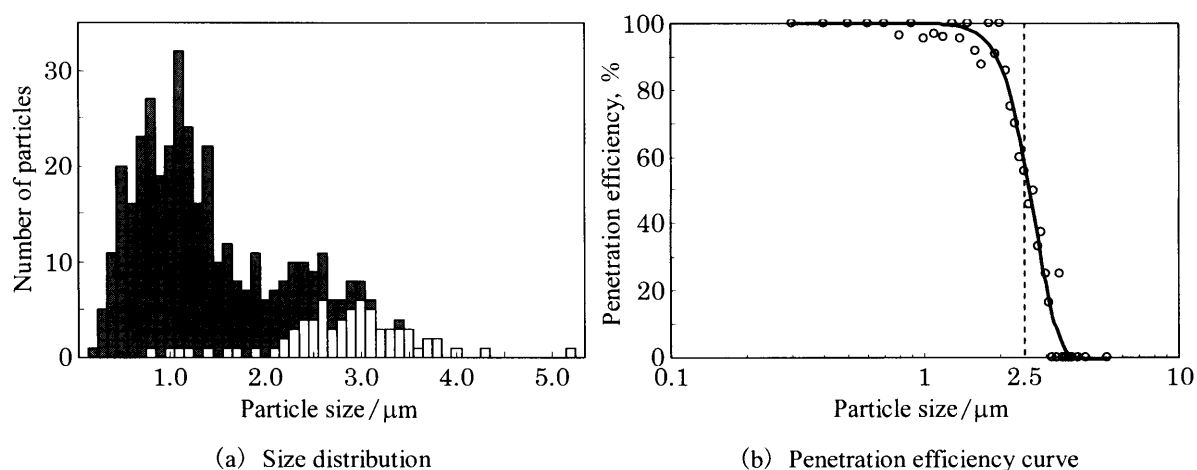


Fig. 4 Size distribution and penetration efficiency curve for the cascade impactor sampling device to use ETS particles

White and gray bar graphs show the number of particles collected on the substrates of upper and middle stages, respectively.

50% の透過率である。したがって、本捕集装置の特徴である粒径 $2.5\ \mu\text{m}$ の粒子を 50% カットオフさせる分級は、ほぼ正常に行われていると認められた。

3・2 室内空気試料への適用

3・2・1 ETS 粒子の測定 ETS 粒子の走査電子顕微鏡 (SEM) 像並びに粒別 X 線スペクトルパターンを調べた。その結果、ETS 粒子のほとんどは、Fig. 5 (a)・(b) に示すような球形もしくは丸みを帯びた非球形の形状で、炭素を主成分とする粒子であった。なお、次項で議論している通り、DEP とは形状が大きく異なる。また ETS 粒子の中には、電子ビームによって変形してしまう熱に弱い粒子も

存在していた。更に、Fig. 5 (c) に示すような鉄や銅、亜鉛などの金属類を含む粒子もわずかに存在していることが明らかとなった。

3・2・2 室内空気試料の測定・評価 これまでに得られたデータをもとに、実環境中の $\text{PM}_{2.5}$ に適用した。

Table 1・2 に、柏市庁舎及び野田市庁舎内における粒別試料の測定結果を示す。両庁舎の試料とも、測定粒子を 6 つのクラスター (C1～C6) に大きく分類することができた。なお、劉らが行った道路沿道と地下鉄道での SPM 粒別起源解析の結果⁽¹¹⁾⁽¹²⁾を判断基準とし、粒子の起源を推定した。Fig. 6・7 には、各クラスターに含まれる代表的な粒子の SEM 像並びに粒別 X 線スペクトルパターンを示

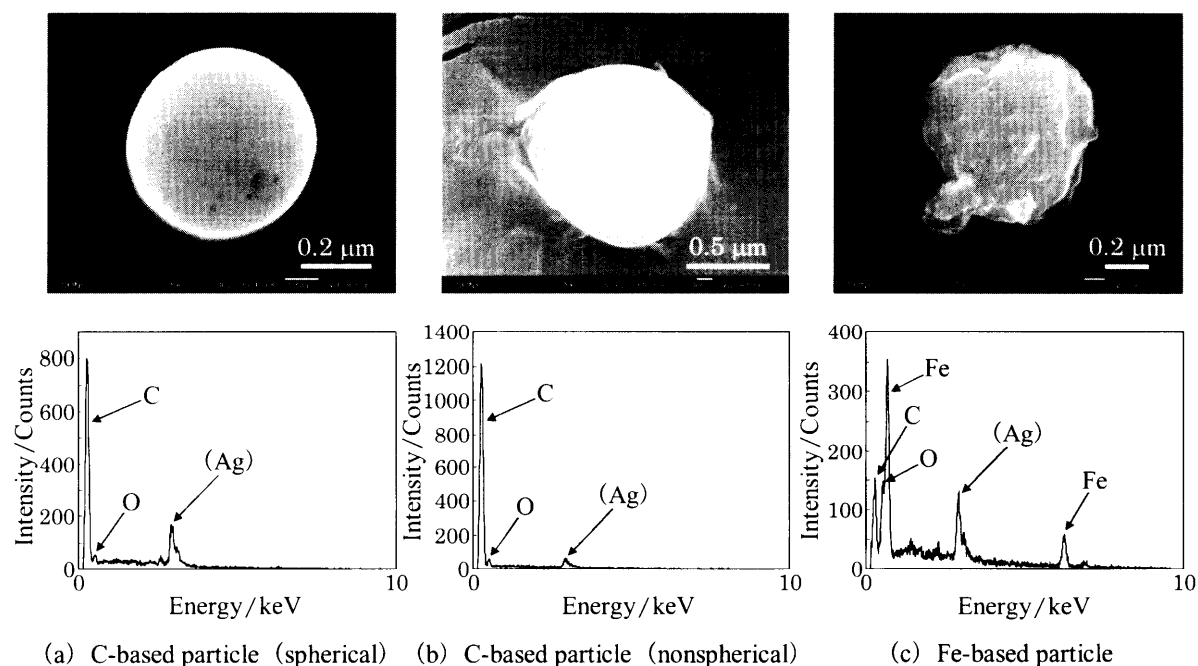


Fig. 5 Scanning electron microscopy images and X-ray spectrum patterns of the ETS particles

The accelerating voltages of electron beam in shape observation and components analysis were respectively 15 and 10 kV.

Table 1 Results of a source apportionment based on the individual particle analysis (Kashiwa city hall)

Cluster	Estimated source (X-ray spectrum pattern ^{a)})	Number of particles			Ratio of particles, %
		Upper stage	Middle stage	Total	
C1	Soil particle (C, <u>O</u> , Na, Mg, Al, <u>Si</u> , Ca, Fe)	31	7	38	31.7 ± 5.1
C2	DEP (<u>C</u> , O)	0	10	10	8.3 ± 2.6
C3	ETS particle (<u>C</u> , O)	0	1	1	0.8 ± 0.8
C4	Fe-based particle (C, <u>O</u> , Al, Si, S, Ca, <u>Fe</u>)	5	24	29	24.1 ± 4.5
C5	Na-based particle (C, O, <u>Na</u> , S)	0	8	8	6.7 ± 2.4
C6	Ca-based particle (C, O, Mg, <u>Ca</u>)	8	6	14	11.7 ± 3.1
	The others	16	4	20	16.7 ± 3.7
	Total	60	60	120	100

a) Underlined component means the relatively strong peak.

す。また、全 120 粒子に対する個数寄与率は、計数分析での系統誤差を踏まえた分析不確かさ¹⁵⁾を考慮している。

Table 1・2 から、土壌鉱物粒子の寄与率が柏市庁舎では 31.7%、一方野田市庁舎でも 36.7% と、両庁舎において最も高い値であった。また、これらの粒子は両庁舎とも主に上段の捕集板上に捕集されていた。これは、本粒子捕集装置の分級能がほぼ正常であると確認されているため、土壌鉱物粒子を粗大粒子と考えてよく、機械的分散により発生する自然起源の粒子⁵⁾であるがゆえ、当然の結果と言える。同時に、これら土壌鉱物粒子は屋外に発生源を有す

るため、庁舎内の空気環境は屋外の影響を受けている可能性があると考えられる。

そこで、屋外の発生源から受ける影響について、DEP の存在を調べた。Table 1・2 から、その寄与率は柏市庁舎では 8.3%、一方野田市庁舎では 12.5% であった。なお、道路沿道に多い DEP の粒径分布や化学成分の詳細は、車両の種類や走行条件、使用する燃料・潤滑油、排気浄化装置の有無や種類などによって顕著に異なると報告されている⁹⁾。測定した DEP のほとんどは、粒径 50 nm 程度の微小な真球状粒子が凝集した形状を有し、炭素を主成分とし

Table 2 Results of a source apportionment based on the individual particle analysis (Noda city hall)

Cluster	Estimated source (X-ray spectrum pattern ^{a)})	Number of particles			Ratio of particles, %
		Upper stage	Middle stage	Total	
C1	Soil particle (C, <u>O</u> , Na, Mg, Al, <u>Si</u> , Ca, Fe)	37	7	44	36.7 ± 5.5
C2	DEP (<u>C</u> , O)	0	15	15	12.5 ± 3.2
C3	ETS particle (<u>C</u> , O)	0	11	11	9.2 ± 2.8
C4	Fe-based particle (C, <u>O</u> , Al, Si, S, Ca, <u>Fe</u>)	4	12	16	13.3 ± 3.3
C5	Na-based particle (C, O, <u>Na</u> , S)	0	3	3	2.5 ± 1.4
C6	Ca-based particle (C, O, Mg, <u>Ca</u>)	6	2	8	6.7 ± 2.4
	The others	13	10	23	19.1 ± 4.0
	Total	60	60	120	100

a) Underlined component means the relatively strong peak.

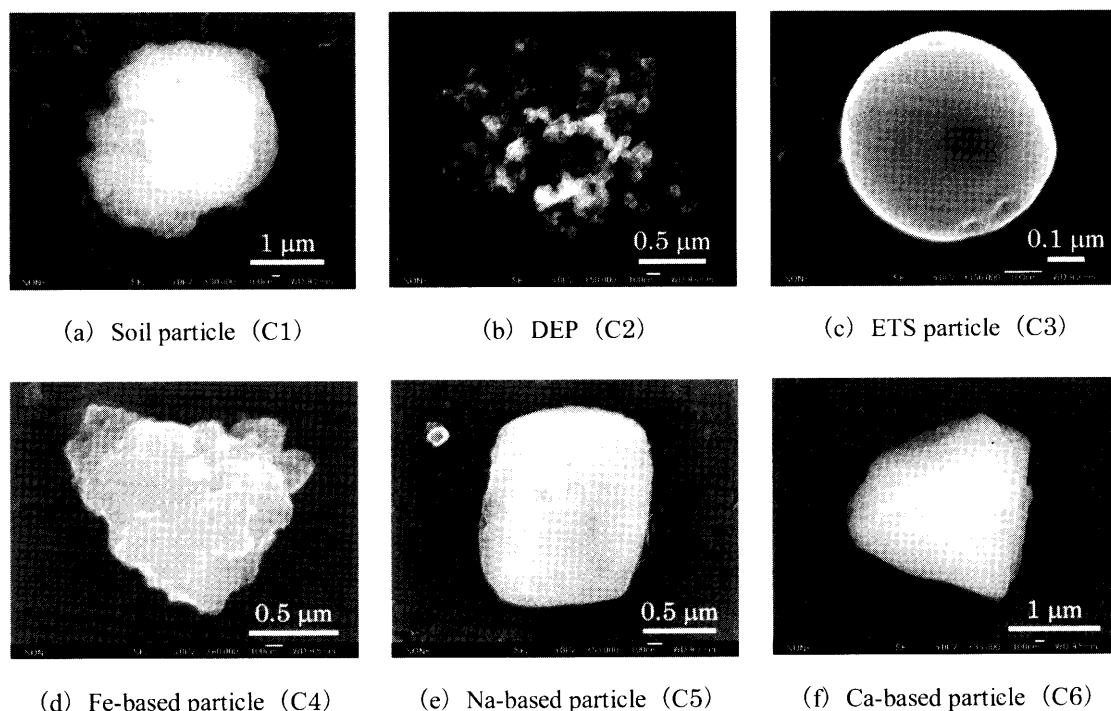


Fig. 6 Scanning electron microscopy images of the typical particles

(a)~(f) correspond to C1~C6 in Table 1, 2. The accelerating voltage of electron beam was 15 kV.

ていた。またこれらの凝集粒子は、両庁舎とも中段の捕集板上のみに捕集されていたことから、PM_{2.5}に属すると考えられる。なお、両庁舎とも付近を国道16号線が走っており、捕集時の交通量は、柏市庁舎では5分間に293台の自動車（ディーゼル車33%）が通過した。一方野田市庁舎では、5分間に226台の自動車（ディーゼル車34%）が通過した。環境省の発表によれば、国道16号線沿道にある国設野田自動車交通環境測定所は、自動車排出ガス測定局の中で、2003年度に全国で6番目に高いSPM濃度を

示している。したがって、両庁舎内のDEPの存在は国道16号線からの寄与が大きく、外気が庁舎内に侵入し、滞留していたと考えられる。

炭素を主成分とする粒子として、本研究において注目しているETS粒子も、その存在を確認することができた。これらETS粒子は、両庁舎とも中段の捕集板上のみに捕集されていたことから、基礎データ通りに、主に粒径0.5~1.5 μmの範囲に存在しているPM_{2.5}であることが分かった。なお、職場における喫煙対策については、労働省

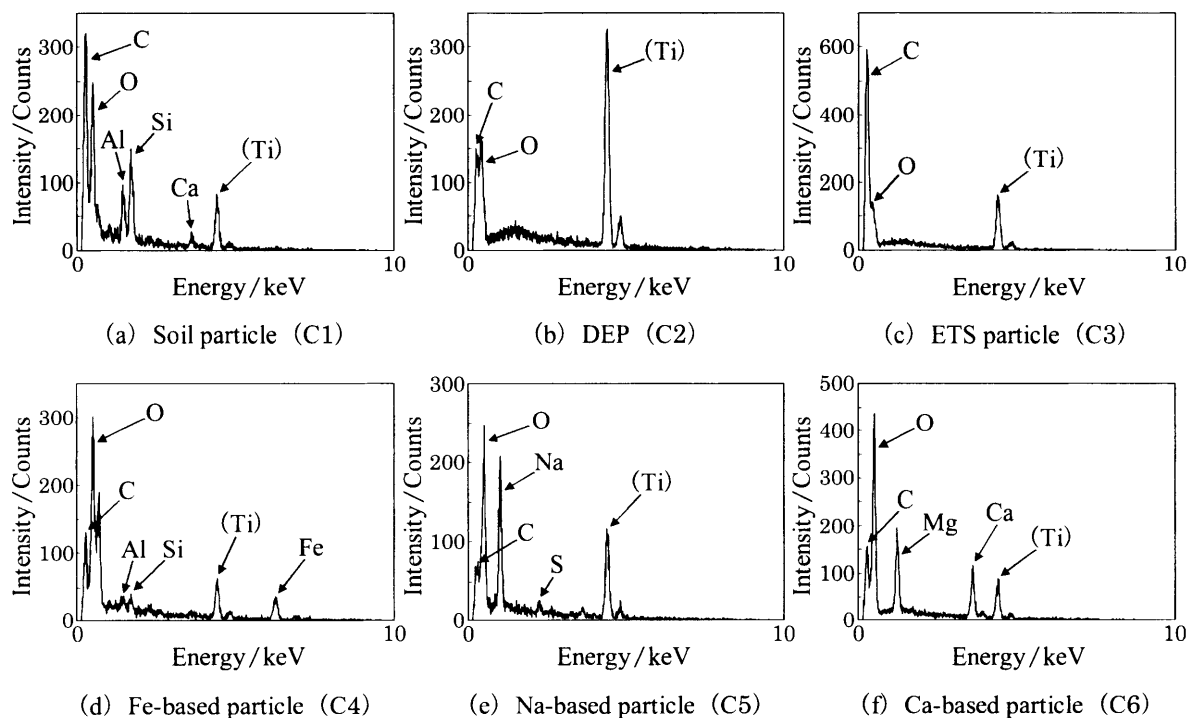


Fig. 7 X-ray spectrum patterns of the typical particles

(a)~(f) correspond to C1~C6 in Table 1, 2. The accelerating voltage of electron beam was 10 kV.

(現厚生労働省)が1996年に策定したガイドラインの中で、全面禁煙と時間分煙、空間分煙の3つの方法のうち空間分煙を進めることが適切であるとされている¹⁶⁾。そして、公共の場所においても分煙を実施する施設が増えてきており、柏市庁舎では全面禁煙を、野田市庁舎では空間分煙を行っている。Table 1・2から、ETS粒子は、その寄与率が柏市庁舎では0.8%であったのに対し、野田市庁舎では9.2%と、野田市庁舎内において数多く存在していた。これより、野田市庁舎のみ施設内に設けられた喫煙所から、ETSが流れ出てしまっているものと考えられる。したがって、庁舎内の空気環境は、喫煙の影響を顕著に受けていることが明らかとなった。

次に、鉄を主成分とする粒子に関して検討した。Table 1・2から、その寄与率は柏市庁舎では24.1%、一方野田市庁舎でも13.3%と、両庁舎において土壌鉱物粒子に次ぐ高い値であった。またこれらの粒子は、両庁舎とも主に中段の捕集板上に捕集されていたことから、DEPやETS粒子と同様に、PM_{2.5}に属すると考えられる。なお測定した鉄主成分粒子は、Fig. 8に示すように、様々な形状を有し、かつ組成が異なっていた。中には、複合粒子¹⁷⁾も存在していた。つまり、これら鉄を主成分とする粒子は、複数の発生源によるものと推測される。屋外における鉄粒子の重要な発生源としては、鉄道車両の車輪と線路あるいはパンタグラフと送電線との摩擦により生じる、鉄道起源¹²⁾¹⁷⁾によるものが挙げられる。なお、柏市庁舎のみ付近をJR

常磐線が走っており、交通量は5分間に4本の電車が通過している。したがって、鉄主成分粒子がより多く存在していた柏市庁舎内の空気環境は、JR常磐線の影響を受けているものと考えられる。

その他、ナトリウムを主成分とする粒子の存在も確認することができた。Table 1・2から、その寄与率は柏市庁舎では6.7%、一方野田市庁舎では2.5%であった。また、測定したナトリウム主成分粒子の特徴として、電子ビームによって変形してしまう、熱に弱い傾向が見られた。これらナトリウムを主成分とする粒子は、屋外環境に関する過去の研究において報告されていないため、室内環境特有の粒子と考えられる。

また、カルシウムを主成分とする粒子も両庁舎内において数多く存在していた。Table 1・2から、その寄与率は柏市庁舎では11.7%、一方野田市庁舎では6.7%であった。なお、これらの粒子は電子ビームによる変形は起こらなかった。これらカルシウムを主成分とする粒子も、室内環境特有の粒子と考えられるが、今回のデータのみでは発生源を特定することは困難である。

その他はすべてわずかに存在していたもので、塩素を主成分とする海塩粒子や硫黄を主成分とする建材粒子などが確認された。また、アルミニウムとケイ素を主成分とするフライアッシュ並びに、銅や鉛などの重金属類を主成分とする粒子も存在していた。

以上より、庁舎内外には数多くのSPM発生源が存在し

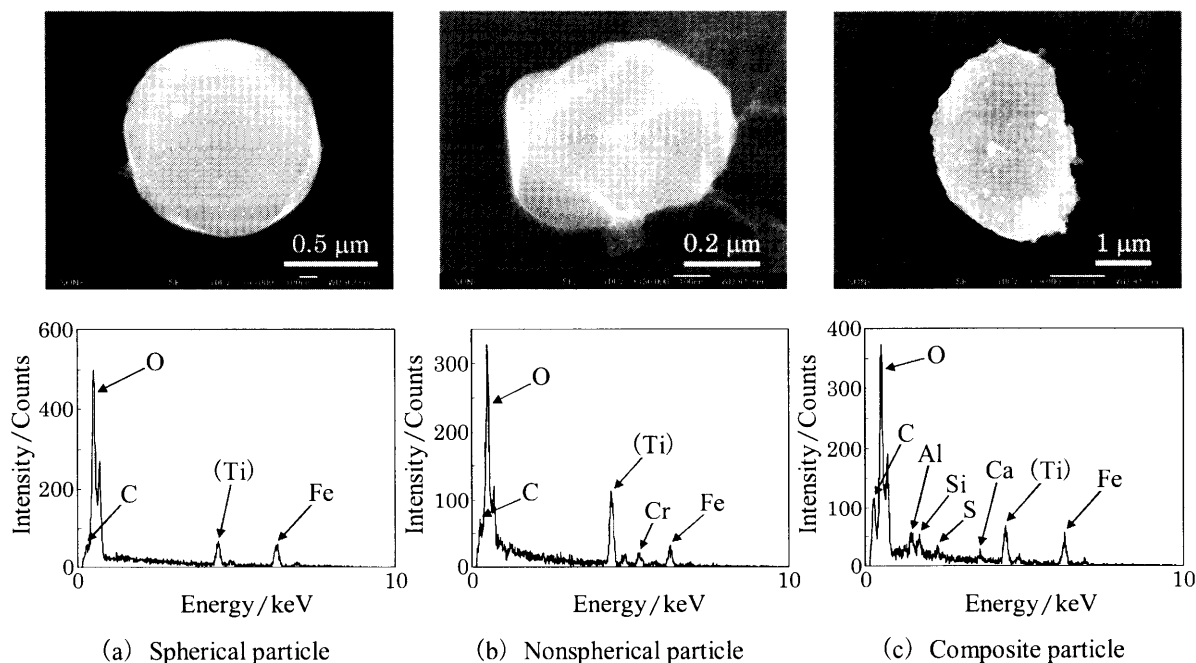


Fig. 8 Scanning electron microscopy images and X-ray spectrum patterns of the Fe-based particles

The accelerating voltages of electron beam in shape observation and components analysis were respectively 15 and 10 kV.

ており、庁舎内の空気環境はそれらの影響を受けていることが明らかとなった。

4 結 言

本研究では、室内空気汚染の重要な発生源である ETS に注目し、EPMA 法を用いて本粒子捕集装置の分級能を、そして柏市庁舎及び野田市庁舎内の空気環境を評価した。その結果、一括分析による質量濃度評価では得られない室内環境における $PM_{2.5}$ 個々の詳細な情報を取得することができた。

本捕集装置は、標準粒子と ETS 粒子を用いて評価したところ、ほぼ正常な分級能が確認された。同時に、ETS 粒子は主に粒径 $0.5 \sim 1.5 \mu m$ の範囲に存在していることが分かった。また、ETS 粒子は主に球形もしくは丸みを帯びた非球形の形状で、炭素を主成分とする粒子で構成されていることが明らかとなった。

これらのデータをもとに、両庁舎内の空気環境を評価したところ、 $PM_{2.5}$ に関して、庁舎間に違いが生じていた。特に、ETS 粒子が野田市庁舎内において数多く存在していた。これは、庁舎内に設けられた喫煙所が関係していると推測される。一方屋外の影響として、両庁舎内において、DEP の存在を確認することができた。これは、庁舎付近を走っている国道 16 号線が大きく影響していると考えられる。また、鉄を主成分とする粒子が柏市庁舎内において数多く存在していた。これは、庁舎付近を走っている JR 常磐線が影響していると推測される。

したがって、庁舎内の空気環境は、たばこ等の室内発生源の影響を顕著に受けている可能性があると同時に、屋外発生源の影響も受けていることが明らかとなった。

また、庁舎内の空気環境は $PM_{2.5}$ を中心に特徴付けられていたため、室内環境における $PM_{2.5}$ の実態を更に把握することが重要であると考えられる。

(2005 年 5 月、第 66 回分析化学討論会において一部発表)

文 献

- 1) 池田耕一：“室内空気汚染のメカニズム”，(1999)，(鹿島出版会)。
- 2) R. A. Wadden, P. A. Scheff: “*Indoor Air Pollution*”, p. 13 (1982), (J. Wiley & Sons, New York)。
- 3) 室内空気質健康影響研究会編：“室内空気質と健康影響”，p. 101 (2004)，(ぎょうせい)。
- 4) D. W. Dockery, C. A. Pope, X. Xu, J. D. Spengler, J. H. Ware, M. E. Fay, B. D. Ferris, F. E. Speizer: *New Engl. J. Med.*, **329**, 1753 (1993)。
- 5) 横山栄二，内山巖雄：“大気中微小粒子の環境・健康影響—わが国の現状と諸外国の取組み状況”，p. 16 (2000)，(日本環境衛生センター)。
- 6) 笠原三紀夫：環境科学会誌，**32**, 96 (2002)。
- 7) L. Morawska, C. He, J. Hitchins, D. Gilbert, S. Parappukkaran: *Atmospheric Environment*, **35**, 3463 (2001)。
- 8) Y. Zhu, W. C. Hinds, M. Krudysz, T. Kuhn, J. Froines, C. Sioutas: *J. Aerosol Science*, **36**, 303 (2005)。
- 9) 大気環境学会 特別講演会：“自動車排出の DEP，ナノ粒子に関する研究の現状と課題”，(2004. 7. 5)。
- 10) 環境省総合環境政策局編：“環境統計集 (平成 16 年版)”，p. 122 (2004)，(ぎょうせい)。

- 11) 劉 国林, 尾張真則, 二瓶好正, 山田秀行, 鈴木周一: 環境科学会誌, **4**, 237 (1991).
- 12) 劉 国林, 富安文武乃進, 尾張真則, 二瓶好正, 杉本伸行, 内山俊一: 環境科学会誌, **7**, 53 (1994).
- 13) 木ノ内嗣郎: “EPMA 電子プローブ・マイクロアナライザー”, (2001), (技術書院).
- 14) 西田英郎, 佐藤嗣二: “実例クラスター解析”, (1992), (内田老鶴圃).
- 15) 日本適合性認定協会化学分野技術委員会編: “JAB NOTE 1 不確かさの求め方 (化学試験分野)”, (1999), (日本適合性認定協会).
- 16) 労働省安全衛生部編: “やさしい空気環境へー職場における喫煙対策推進マニュアル”, (1996), (中央労働災害防止協会).
- 17) 鈴木健一郎, 富安文武乃進, 二瓶好正: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **53**, 7 (2004).

要 旨

本研究では, 室内環境における粒径 2.5 μm 以下の微小粒子 (PM_{2.5}) に着目した. そして, カスケードインパクター型捕集装置で短時間に捕集された粒子に対し, 電子線マイクロアナリシス法を用いた粒別起源解析により, 室内環境中の PM_{2.5} に関する詳細な情報を取得することを目的とした. その結果, 環境中たばこ煙に含まれる粒子状物質 (ETS 粒子) の形状並びに組成の情報を獲得できた. これらのデータをもとに, 柏市庁舎及び野田市庁舎内の空気環境を評価したところ, PM_{2.5} に関して, 庁舎間に違いが生じていた. 特に, ETS 粒子に関する結果より, 庁舎内の空気環境は, 室内発生源の影響を顕著に受けている可能性があることが明らかとなった. 一方, ディーゼル排気粒子に関する結果より, 屋外発生源の影響も受けていることが分かった. したがって, この手法により, 室内環境における PM_{2.5} の実態を新たに把握することができた.