

環境タバコ煙に関する基礎的研究

Fundamental Investigation of Environment Tobacco Smoke

J04003-8 青木 美穂

Abstract

In recent year, there are many reports that passive smoking by ETS influences human comfort and health. Passive smoking can be not source of smell but also respiratory diseases, lung cancer. ETS has both of particle phase and gas phase, then behavior of ETS is complicated in varying from particle to gas. Therefore, SPM have influenced of indoor air quality by high rate in the ETS was measured.

In this study, characteristics and particle distribution are grasped, especially differences of particle size between side-stream tobacco smoke and main tobacco smoke. And it is suggested that a peak made of quite small particles might exist can be exists. ETS was analyzed in point of both of number concentration and the mass concentration.

Keywords ETS (environment tobacco smoke) 受動喫煙 (passive smoking) 呼吸器官疾患 (respiratory diseases) SPM (Suspended Particle Matter) 副流煙 (side-stream tobacco smoke) 主流煙 (main tobacco smoke)

1. 背景・目的

環境タバコ煙 (Environment Tobacco Smoke ; ETS) が周囲に影響を与える、受動喫煙が問題となっている。受動喫煙はニオイだけでなく、肺がんなど呼吸器官疾患のリスクを高めるとされている。厚生労働省が 2003 年 5 月に発表した「新たな職場環境における喫煙対策のためのガイドライン」には ETS が空気環境に及ぼす影響が示されており、受動喫煙防止の取り決めがなされている。

ETS は 4,000 もの化学物質から構成されており、時間的、空間的に大きく変動する。ETS には粒子相、ガス相があるが、ETS は他のエアロゾル粒子と比べ非常に個数濃度が高く、主流煙中で $10^{13} \sim 10^{17}$ 個/ m^3 の粒子が含まれている。粒子相をなしている液体あるいは固体成分、および蒸気成分が室内や壁面に吸着し、さらに再放散するなど挙動が複雑である。近年の研究により、粒子としてのタバコ煙は粒径 $0.18\mu m$ 程度 ($0.1 \sim 0.3\mu m$) であることが分かっている。実際に現場で計測した例では、タバコ煙の測定範囲はさらに広範囲に及ぶことが予想され、超微粒子域、蒸発中の粒子など測定できていないものがあると思われる。

そこでチャンバー内および実空間での ETS としてのタバコ煙を調査する必要がある。そしてより詳細な挙動解析のため粒子状物質の挙動を調査することは、ETS の複雑な実態の解明につながる。また、ETS 粒子の有効な低減方法を生み出し、確立させることにもなり得る。本研究は、粒子としての環境タバコ煙の把握を目的とする。

2. 環境タバコ煙の実測調査

2-1 測定概要

本研究における測定調査は、環境タバコ煙の基礎的研究を目的として行われた。環境タバコ煙を置きタバコ、主流煙、副流煙の 3 項目に分別し、100L チャンバー、 $8m^3$ 較正用チャンバー、喫煙室を用いて実験した。100L チャンバーは芝浦工業大学豊洲校舎 8 階実験室、較正用チャンバー及び喫煙室は (財) ビル管理教育センターにて実施した。測定概要 (測定日時) を表 1 に示す。

測定・調査項目は、SPM 質量濃度、SPM 個数濃度である。測定は、SPM 質量濃度の測定については LV、PCIS を用い、SPM 個数濃度の測定には LPC 及び SMPS、WPS を用いた。測定機器の設定については表 2 に示す。

表 1 測定概要

		測定日時	
100[L]チャンバー	置きタバコ	高濃度	07.11.16 18:11~20:17
		中濃度	07.11.19 11:46~13:52
		低濃度	07.11.19 14:42~16:48
	主流煙	高濃度	07.11.21 18:07~20:10
		中濃度	07.11.21 20:18~22:24
		低濃度	07.11.22 09:08~11:14
副流煙	高濃度	07.11.22 18:04~20:10	
	中濃度	07.11.22 15:44~17:50	
	低濃度	07.11.26 09:30~11:36	
較正用チャンバー	置きタバコ	高濃度 ①	07.11.29 11:25~13:40
		②	07.12.06 13:05~14:35
		低濃度 ①	07.12.06 10:00~11:21
	主流煙	②	07.12.21 10:45~11:57
		高濃度 ①	07.11.29 14:38~16:38
		②	07.12.06 17:25~18:46
喫煙室	低濃度 ①	07.12.06 16:00~17:12	
	①	07.12.13 10:04~14:04	
	②	07.12.13 14:21~18:21	
	③	07.12.21 13:11~17:11	

表 2 測定機器の設定

測定対象	測定機器	概要	
質量濃度	LV	チャンバー	10.0[L/min]、60分間連続測定
		喫煙室	10.0[L/min]、240分間連続測定
	PCIS	チャンバー	9.0[L/min]、60分間連続測定
		喫煙室	9.0[L/min]、240分間連続測定
個数濃度	SMPS	3分間隔連続測定	
	WPS	3分間隔連続測定	
	LPC	1分間隔連続測定	

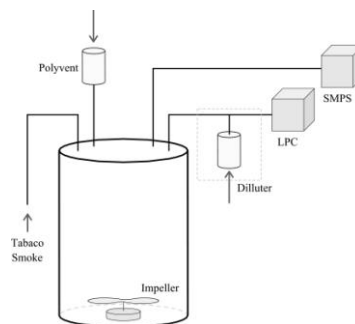


図 1 100L チャンバー 模式図

2-2 測定環境

2007年11月16日から2007年12月21日にかけて、100Lチャンバー、較正用チャンバーを用いた実験を行った。100Lチャンバーの模式図を図1に示す。また喫煙室における実空間での測定を行った。タバコ煙を置きタバコ、主流煙、副流煙の3種類に分別し、それぞれの煙の特性について調査した。実験方法および測定環境の詳細を以下に記す。

①置きタバコ

タバコを灰皿の上に置き、着火、排出された煙をロートで捕集した。SMPSとLPCでチャンバー内の空気を吸引した上で、チャンバー内にロートで捕集した煙を投入した。SMPSの吸引量は、3.3L/min、LPCは2.83L/minである。概要図を図2に示す。ロートの位置は机上から3cmとした。

②主流煙

シュリンジを用いて人工喫煙を模した実験を行った。SMPSとLPCでチャンバー内の空気を吸引した上で、主流煙を100Lチャンバー内に投入し、測定した。概要図を図3に示す。

③副流煙

タバコを点火し、主流煙と同様にシュリンジを用いた人工喫煙を模した実験を行った。シュリンジでタバコ煙を燃焼し、排出した副流煙をロートで捕集し、それをチャンバー内に投入した。概要図を図4に示す。

いずれの実験も、タバコは日本たばこ協会(JT)で標準タバコとして推奨されている、マイルドセブンライトを用いて行った。また着火方法として、一般的な市販の使い捨てガスライターを用いて実験した。

3. 測定結果

今回行った実測結果から、SMPSの各測定環境間の比較を行う。タバコを投入してから15分後の経時変化のグラフを載せ、条件別に比較した。

(a) 置きタバコ高濃度

高濃度の場合、タバコ投入直後の100Lチャンバーにおけるピークの粒径は約100nm、較正用チャンバーでは約70~80nmとなっており、較正用チャンバーの方がピークの粒径が小さい。時間が経過するにつれて、ピークの粒径は近くなり、最終的には約120nmと一致している。30nm以下、300nm以上の粒子個数濃度は0に近い値になっている。また、100Lチャンバー、較正用チャンバーともに10nmに近づくと、少し個数濃度が上昇している。

(b) 置きタバコ低濃度

低濃度では、初め100Lチャンバーにおけるピークの粒径は約110nm、較正用チャンバーは約70nmであった。時間が経過するにつれてピークの粒径は大きくなり、1時間後には100Lチャンバーでは130nm、較正用チャンバーでは90nmとなっている。少し粒径はずれているが、時間をおけば最終的に粒径は一致する可能性がある。20nm以下、200nm以下の粒子個数濃度はほぼ0に近い。

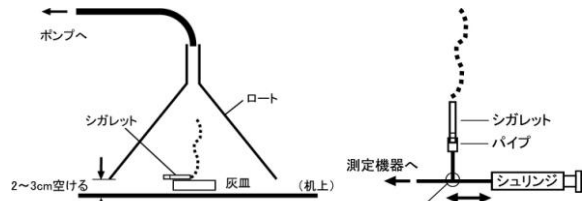


図2 置きタバコ概要図

図3 主流煙概要図

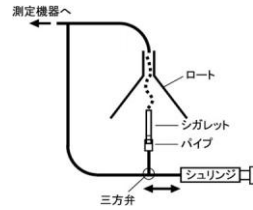
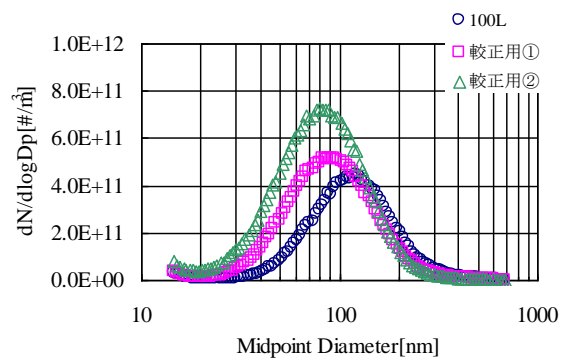


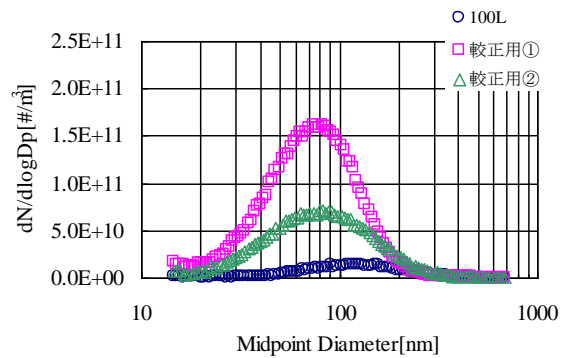
図4 副流煙概要図



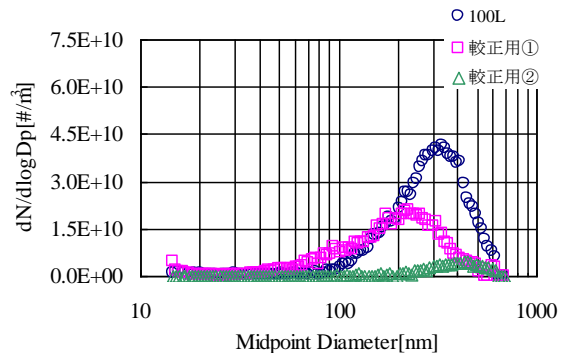
図5 シュリンジポンプ



(a) 置きタバコ 高濃度



(b) 置きタバコ 低濃度



(c) 主流煙 高濃度

図6 粒度分布 測定環境間

(c) 主流煙

100L チャンバー、較正用チャンバーいずれもピークの粒径は大きい。100L チャンバーの粒径のピークは初め約 300nm、較正用チャンバー①では約 220nm、較正用チャンバー②では約 400nm である。時間が経過しても、ピークの粒径の変動は置きタバコとは異なり、あまり見られない。40nm 以下、600nm 以上の粒子数はあまり多くない。10nm に近づくとつれ、粒子数が多少上昇している。

4. 個数濃度と質量濃度の比較

4-1 個数濃度から質量濃度への変換

SMPS 及び WPS の実験結果より、粒子個数濃度を質量濃度に変換し考察を行う。タバコ煙が安定している状態、タバコを投入し完全に燃焼した時間から 15 分経過後における質量濃度の粒度分布を図 7 に示す。

○個数濃度から質量濃度への変換方法

以下の式を用いて、個数濃度から質量濃度に変換する。

$$M = \sum_i^n dM_i = \sum_i^n \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D_{pi}}{2} \right)^3 \times \rho \times dN_i \quad \text{eq.1}$$

なお、全ての粒子が一樣に球体であり、かつ密度 ρ (比重) が $1.0\text{g/cm}^3 (=1.0 \times 10^9 \text{mg/cm}^3)$ であるという仮定条件のもとで算出する。また、 dN_i 、 dM_i はそれぞれ粒径毎の (i) の個数濃度および質量濃度であるが、規準化濃度ではない。

4-2 SMPS と WPS の比較・考察

(a) 置きタバコ

SMPS より WPS の方が質量濃度が高く、ピークの粒径における濃度は WPS が SMPS の約 4.5 倍となっている。SMPS の方が WPS よりピークの粒径は小さく、約 130nm あたりである。SMPS と WPS の一致点は SMPS の測定範囲上限である、700nm あたりであり、それ以上の粒径になると濃度は 0 に近くなる。

(b) 主流煙

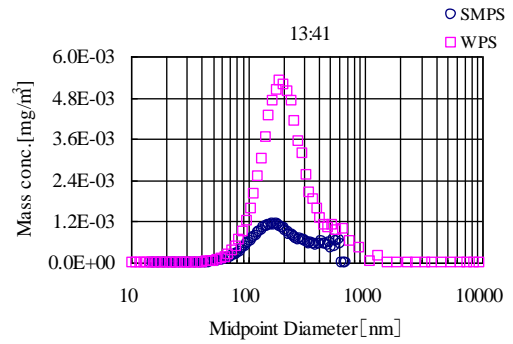
置きタバコと同様、SMPS より WPS の方が質量濃度が高い。ピークにおける濃度は、高濃度、低濃度ともに WPS が SMPS の約 10 倍以上である。ピークの粒径は SMPS では約 600nm であるが、WPS では約 900nm と大きく異なっている。

(c) 喫煙室

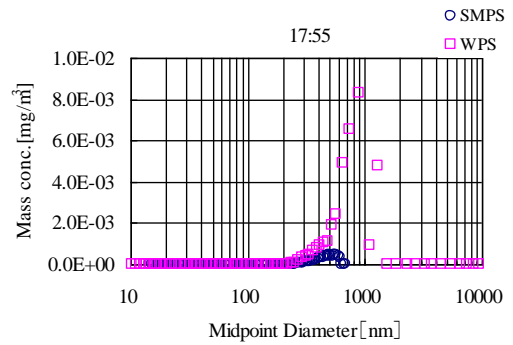
質量濃度に大きく差があるが、ピークの粒径は約 300nm と一致している。50nm 以下の粒子は質量濃度が 0 に近い値である。SMPS は測定範囲上限が 700nm と WPS の測定範囲より狭いため、途中でグラフが切れているが、WPS より質量濃度は 1000nm 近くまでであることが分かる。10000nm に近づくとつれ、質量濃度は若干上昇している。これは、粒径が大きいもの程質量が大きくなることの影響していると考えられる。

4-3 SMPS、WPS、LV、PCIS の比較

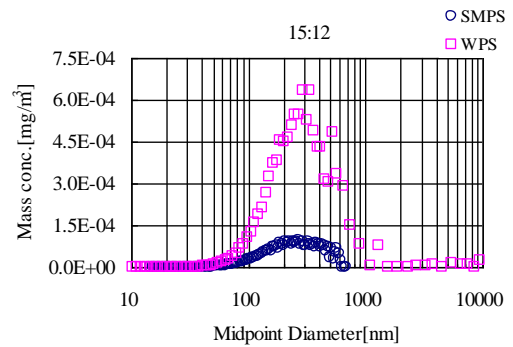
SMPS と WPS の実験結果を質量濃度に変換し、LV と PCIS との比較を行う。表 3 に各機器の総質量濃度を示す。



(a) 較正用チャンバー 置きタバコ



(b) 較正用チャンバー 主流煙



(c) 喫煙室

図 7 粒度分布 質量濃度/SMPS、WPS

表 3 SMPS、WPS、LV、PCIS 質量濃度

測定項目		質量濃度 [mg/m³]				
		SMPS	WPS	LV	PCIS	
較正用チャンバー	副流煙	高濃度②	0.74	1.39	0.60	0.15
		低濃度①	0.12	0.28	0.13	—
	主流煙	高濃度②	0.12	0.40	0.14	—
		低濃度①	0.03	0.16	0.13	—
喫煙室	①	0.19	—	0.06	0.07	
	②	0.17	0.53	0.06	0.05	
	③	0.22	1.03	0.08	0.09	

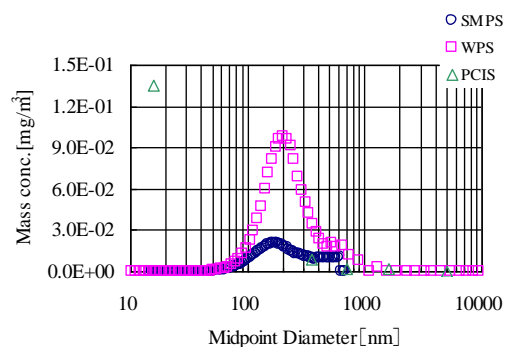


図 8 粒度分布 総質量濃度/SMPS、WPS、PCIS

置きタバコにおける SMPS と LV の値を比較すると、高濃度では $0.14\text{mg}/\text{m}^3$ 、低濃度①では同値、低濃度②では $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ と比較的近い値になっている。一方、WPS は SMPS と LV と比べて約 2 倍以上の値である。また PCIS は他の機器より大きく下回る結果となった。

主流煙を見てみると、高濃度では他の測定機器に比べ LV の値が $0.95\text{mg}/\text{m}^3$ と大きくなっている。低濃度では、WPS の値が一番高い。SMPS は $0.03\text{mg}/\text{m}^3$ と低い。

喫煙室では、LV と PCIS は $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ とほぼ同じ値で関連性が見られる。それと比較すると、SMPS と WPS は値が大きく、SMPS は約 3 倍、WPS は約 9~11 倍である。

4-4 総質量濃度による SMPS、WPS、PCIS の比較

各測定機器の総質量濃度の粒度分布を図 8 に、PCIS に合わせた粒径範囲別総質量濃度を図 9 に示し比較した。なお、PCIS は代表径に直して図に表した。

(a) 置きタバコ

図 8 より、SMPS と WPS を比較すると 60nm 以下の粒子の質量濃度は一致しているが、それ以上は大きく値が異なっている。ピークの粒径は少しずれており、SMPS の方が WPS より小さい粒径である。ピークの質量濃度は、WPS が SMPS の約 4 倍と高い。

図 9(a) より、粒度分布と同様に WPS の方が SMPS より高い値になっている。PCIS は SMPS、WPS と比較すると、全体的に低い値になっている。各粒径毎に PCIS と SMPS、WPS の比をみると、一定性はなくばらつきがある。

(b) 主流煙

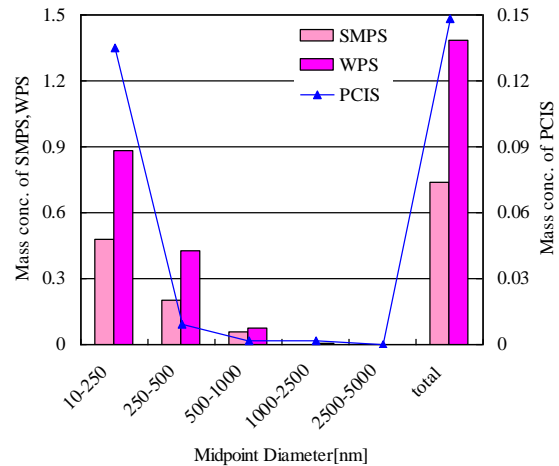
図 9(b) より、WPS の方が SMPS より高い数値であることが分かる。PCIS は全ての粒径範囲で SMPS を、 250nm 以下の範囲で WPS を上回った結果となった。PCIS が 250nm 以下の粒径範囲で SMPS、WPS より質量濃度が高い理由としては、何らかの原因で実際より高くなってしまった、もしくは 10nm 以下の粒子が多く存在する可能性が想定される。Total では、WPS が SMPS の約 5 倍、PCIS の約 2 倍となっている。SMPS が他の機器より低い値であるのは、主流煙の粒子は粒径が大きい、SMPS の測定範囲上限である 700nm では測定できなかったためである。

(c) 喫煙室

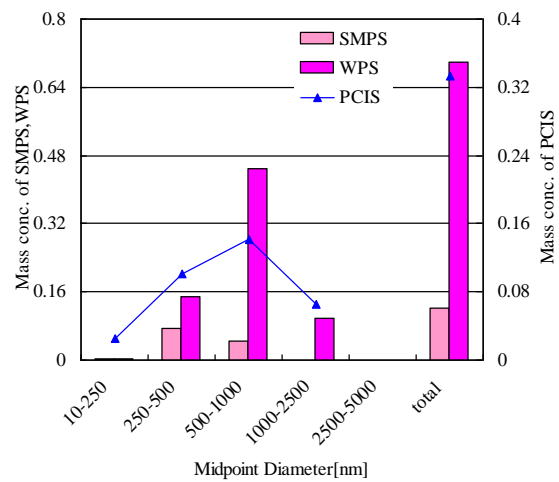
図 9(c) より WPS が SMPS より高い数値となっている。各粒径毎の比に一定性はなくばらつきがある。PCIS は他の機器と比較すると、 250nm 以下の粒子を多くカウントしている。トータルは WPS が高く、PCIS の約 13 倍の値である。

5. まとめ

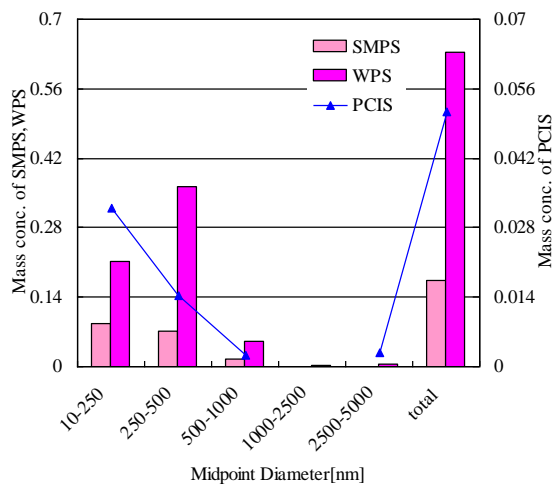
今回の調査により、ETS は副流煙では約 100nm 、主流煙では約 300nm の粒子が多く、副流煙と主流煙が混合した喫煙室では副流煙の影響を大きく受けていることが判明した。また、 10nm 以下の粒子にピークが存在する可能性があることが分かった。今後の課題としては、測定方法の改良、測定機器の機種差の解明、個数濃度と質量濃度の関係性の把握が挙げられる。また、測定データの蓄積も挙げられる。



(a) 置きタバコ



(b) 主流煙



(c) 喫煙室

図 9 総質量濃度 / SMPS、WPS、PCIS

【参考文献】

- 厚生労働省 労働基準局：新たな職場環境における喫煙対策のためのガイドライン、2003.05.09
- 浅井琢也：喫煙環境改善技術に関する基礎的研究、粉体工学会誌、粉体工学会、37、p897-898、2000.12.10
- 財団法人 労働科学研究所：室内汚染物質に関する調査報告タバコ粉じんに関する基礎的調査と事務所における発じん実態調査、2001.01
- 中島好香：事務所ビルにおける分煙方法別 IAQ 実態調査、芝浦工業大学学士論文、2005