〈研究論文〉

喫煙による一酸化炭素および粉塵濃度の実験的研究

松木秀明*1・片野秀樹*2・今井優子*3・横山公通*4・中井里史*5・石津嘉昭*6

Experimental study of carbon monoxide and particulate matter level by smoking

Hideaki MATSUKI*1, Hideki KATANO*2, Masako IMAI*3, Hiromichi YOKOYAMA*4,
Satoshi NAKAI*5 and Yoshiaki ISHIZU*6

〈抄録〉

環境中シガレット煙（ETS: Environmental Tobacco Smoke）曝露実態に関する総合的評価のために、ETS マーカーの捕集や計測法の開発が行われている。本研究はその一貫として ETS 中の一酸化炭素（CO: carbon monoxide）および粉塵（PM: particulate matter）を取り上げ、実験室内の発煙実験および某企業における喫煙室での分煙効果について調査した。

発煙実験においては、発煙本数が増加するにつれて、CO 濃度が上昇し、1 本あたりの CO 濃度は 0.51 ppm から 0.63ppm と推定された。某企業の喫煙室における実態調査においては、喫煙室で最高値 3.25ppm が確認された。一方、非喫煙スペースの CO 濃度は 0.3ppm から 0.4ppm でほとんど変化しなかった。喫煙本数と CO 濃度の相関係数は 0.855、PM 濃度との相関係数は 0.915 であった。以上のことから CO および PM 測定は ETS の曝露指標として十分に活用できると考えられる。しかし、室内の CO 発生源は喫煙のみならず、調理器具、暖房器具などが存在する。フイールド調査において、ETS の指標として CO や PM を用いる際は、これらの交絡因子についても考慮すべきである。

Key words：シガレット発煙実験、一酸化炭素濃度、粉塵濃度

Ⅰ．はじめに

喫煙の生体影響については、能動喫煙が喫煙者の呼吸器系、消化器系にも大きな影響を及ぼすことが、多くの報告で明らかとなっている（Doll *et. al*., 1994）。また受動喫煙（Passive Smoking）の問題は1981年、平山の16年間の長期、約26万人の大規模コホート疫学調査（Hirayama, 1981）によって明らかにされて以来、世界中で受動喫煙の研究が実施されてきた。受動喫煙あるいは不随意喫煙（Involuntary Smoking）とは非喫煙者の環境中シガレット煙（ETS: Environmental Tobacco Smoke）に対する不可逆的な曝露とされている。ETS の主要発生源はシガレットの燃焼端でくすぶり、空中に放散される副流煙（SS: Side Stream）であり、残余は未燃焼部を通過して直接喫煙者に吸入された後、吐き出された主流煙（MS: Main Stream）で一部タバコの紙巻部分からの漏出、口腔からの逸出など吸入されなかっ

＊1　東海大学健康科学部看護学科
＊2　東海大学健康科学部看護学科研究員
＊3　東海大学健康科学研究科看護学専攻
＊4　神奈川県立保健福祉大学栄養学科
＊5　横浜国立大学大学院環境情報研究院
＊6　広島国際大学工学部住環境デザイン学科

たMSを含む。これらのSSとMSが環境中の大量の空気と混合希釈されて形成されたものがETSであり、粒子相と蒸気相から成る(US Dept. of Health and Human Service, 1986)。受動喫煙は少なからず人体に影響を与えることは充分考えられるが、ETS曝露実態に関する研究は、あまり多くない。

現在、ETS曝露実態に関する総合的評価のために、ETSマーカーの捕集や計測法の開発が行われているが、これらの成果を受けて、疫学的手法に基づくETS曝露評価のフィールド調査を立案・計画し、曝露実態調査の標準化を図るとともに、データの統計的処理法の統一化を図るなどして、様々な場面、様々な対象者を念頭におく曝露実態を探ることを目指している。

本研究はその一環としてETS中の一酸化炭素（CO: carbon monoxide）および粉塵（PM: particulate matter）を取り上げ、実験室内の発煙実験および某企業における喫煙室での分煙効果について調査した。

II．方　法

1．実験Ⅰ　実験室内におけるシガレット発煙実験

1）使用機材

(1) CO測定器：ガステック社製CMCD-11

(2) データロガー(記録用)：Espec Mic社製、ユニバーサルレコーダー TEU-10

(3) スパンガス：スパン調整用
高千穂化学工業株式会社（CO：26.4ppm、CO_2：1570ppm）

(4) ゼロガス：ゼロ調整用ガス
高千穂化学工業株式会社（O_2：20.8%、N_2：Balance）

(5) 粉塵測定器：SIBATA LD-3K2

(6) 温湿度：ONSET社製HOBO U12によって連続測定

(7) 液化二酸化炭素：巴商会社製、実験室の自然換気回数を測定するために用いた。

2）結果の出力

COデータは、データロガー（TEU-10）に蓄積される。蓄積されたデータは接続ケーブルを介して、パソコンに取り込まれる。なおCO測定間隔は1分間隔で蓄積した。また粉塵計の測定感覚は2分間隔、温湿度は1分間隔とした。なおまた解析は表計算ソフト（Micro Soft社製Excel 2007)、および統計解析ソフトSPSS（ver. 15.0）によって実施した。

3）実験室内におけるシガレット発煙による測定

実験室内における曝露測定は、東京都北区王子にある日本たばこ産業株式会社分煙試験室を必要な手続きを経て拝借し、換気量一定のもとで、発生量を変化させて、COおよびPMの濃度測定を行った。

本実験実施に際しては設定条件を定めるための予備実験を2008年9月に実施し、本測定は2008年12月18日(木)、19日(金)に行った。実験室の見取り図および測定器の設置場所（場所①および②）を図1に示す。

測定条件は、6m×6m×2.7m(H）の実験室の中央に喫煙ポイントを設定し、自動吸引機に取り付けるシガレットの本数を変化させることで発生量（濃度）を変えた。シガレットはマイルドセブンスーパーライトを使用し、発煙本数は2本、4本、8本、12本とした。シガレットの発煙位置は部屋の中央とした（煙が部屋の四隅に向かって均等に向かうように設置した)。火をつける際はシガレットに接続した自動吸煙装置のポンプを稼働させるが、火がついた後は、ポンプのスイッチを切った。測定中は、扇風機2台を対角線上のコーナーに近いところに設置し稼働させ、室内濃度が十分に均一になるように努めた。

測定に当たっては、30分のバックグラウンド測定、発煙実験、washoutを繰り返して行った。測定手順の詳細を表1に示す。

4）換気回数の測定

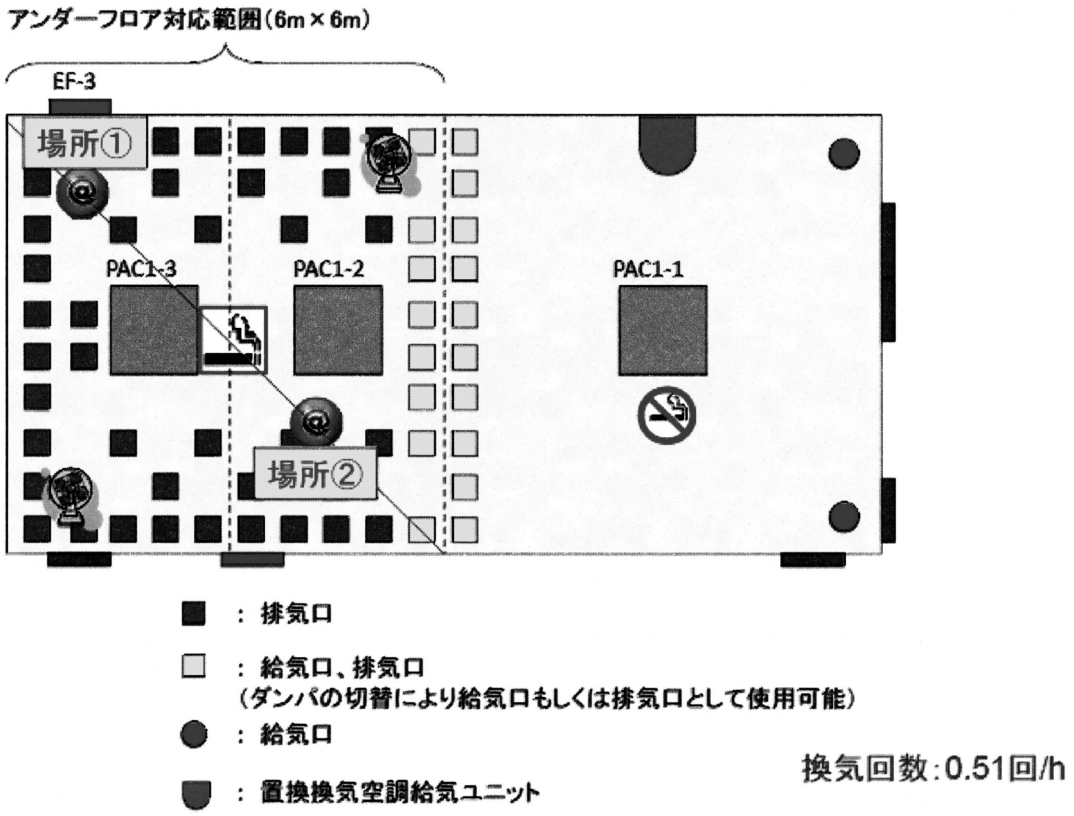
実験室内の自然換気回数を、CO_2を用いて測定した。すなわち、実験室内に適当量のCO_2を供給したのち、扇風機で室内空気をよくかき混ぜて分布を均等にし、室内CO_2の平均濃度を測定した。次に一定時間t（1時間）が経過した後、ふたたび空気をよくかき混ぜて室内CO_2の平均濃度を測定した。なお室温は空調機を利用して24℃に設定した。

2．実験II　喫煙スペース測定

某企業のリフレッシュルームにおいて、喫煙スペース、非喫煙スペース等の測定ポイントを定め、日常的にどの程度のCOおよびPM濃度が観察されるかを2009年1月20日～1月23日において調査した。

1）測定器は、実験Ⅰで使用した機器、すなわちCO測定器（測定間隔1分)、ユニバーサルレコーダー、PM濃度（測定間隔2分)、温湿度計（測定間隔1分）は同じ機器である。

2）測定場所：某企業リフレッシュルーム内の喫煙スペースおよび非喫煙スペース、喫煙スペースと非喫煙スペースは仕切りで区切られている（図2)。なお喫煙スペースにおける喫煙本数を定時的にカウント

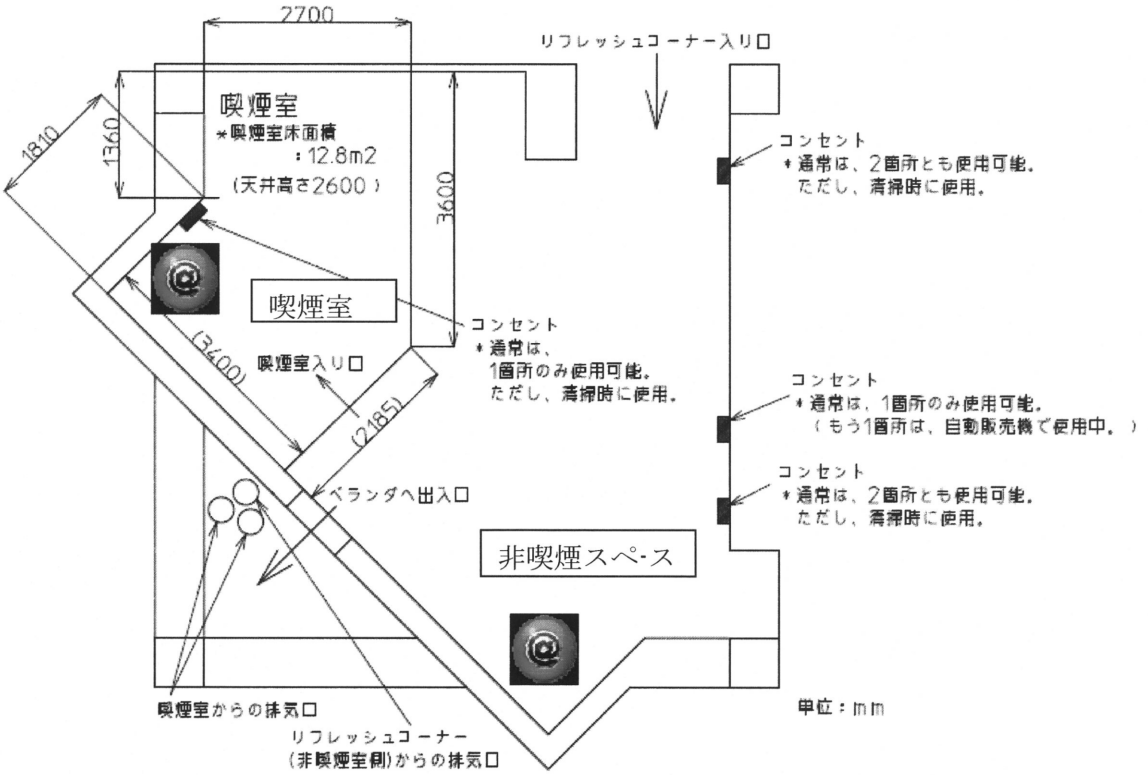


換気設備：有圧換気扇　　1500m³/h（EF-3）
　　排気ファン　　2000～12000m³/h
　　給気ファン　　2000m³/h
空調設備：天カセタイプ　3台（PAC1-1～3）
　　ダクト組込タイプ　1式（アンダーフロア空調・置換換気空調用）

図１　発煙実験室の概要

表１　発煙実験の測定手順

内容	測定時間等	備考
１．バックグラウンド測定（１）	30分間	＊濃度算出に際しては、第一濃度レベルはバックグラウンド測定（１）と（２）を、第２濃度レベルはバックグラウンド測定（２）と（３）を考慮して算出する。
２．第１濃度レベル測定（１回目）	１時間	＊１日目は２本燃焼、２日目は４本燃焼 ＊測定を開始（ポンプを稼働）した後に、タバコに火をつけ、ただちに試験室から退出する（以下同様）。
３．Washout	30分間	CO および粉塵計にて濃度減衰を確認
４．第１濃度レベル測定（２回目）	１時間	＊１日目は２本燃焼、２日目は４本燃焼
５．Washout	30分間	
６．バックグラウンド測定（２）	30分間	
７．第２濃度レベル測定（１回目）	１時間	＊１日目は８本燃焼、２日目は12本燃焼
８．Washout	30分間	
９．第２濃度レベル測定（２回目）	１時間	＊１日目は８本燃焼、２日目は12本燃焼
10．Washout	30分間	
11．バックグラウンド測定（３）	30分間	



：　測定点
空気試乗記処理風量：50m³/min
換気量　：　25m³/min

図2　喫煙スペースの概要

した。

Ⅲ．結　果

1．実験室内におけるシガレット発煙実験

1）室温の変化

図3に発煙実験初日（2008年12月18日）の実験室内の温度変化を示す。Washout時に室温が低下する傾向が認められたが、測定時間中の概ね室温は一定であった。また測定室内の室温変動は認められなかった。2日目の温度変化もほぼ同様であった。

2）シガレット発煙実験によるCOおよびPM濃度の変化

図4にシガレット発煙2本と8本の発煙実験における室内のCO濃度（ppm）の変化を示す。測定場所による濃度の違いはほとんど認められず、発煙本数の違いによって濃度が変化することが認められた。また、本実験において2本と4本の発煙本数が比較的少ない場合には、CO平均濃度に差異は認められなかったが、発煙本数が8本、12本では、平均濃度の増加が観察された。なお発煙本数1本あたりのCO濃度は0.51ppmから0.63ppmと推定された。

図5にシガレット発煙2本と8本の発煙実験におけるPM濃度（cpm）の変化を示す。PM濃度もCO濃度と同様に、測定場所による濃度の違いは認められず、発煙本数の違いによって濃度値が変化することが認められた。図4のCO濃度変化と比較すると、COの方が発煙時に濃度が上昇した後の濃度減衰が遅い傾向であったが、PMとCOの濃度変動はほぼ同じであった。

3）実験室内の換気回数

換気量V（m³/h）または換気回数（E）は次式により求めた（日本薬学会、2000）。

$$V = 2.303 \times \frac{VR}{t} \times \log \frac{C_1 - C_0}{C_t - C_0} \quad \cdots\cdots\text{式1}$$

$$E = \frac{V}{VR} \quad \cdots\cdots\text{式2}$$

〈喫煙室の自然換気回数〉

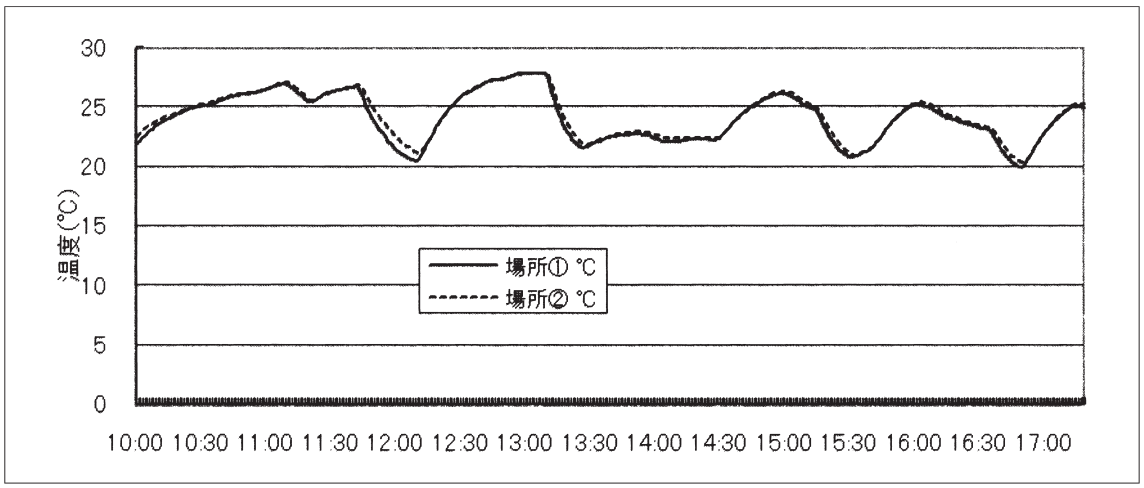


図３　実験室内の温度変化（2008年12月18日）

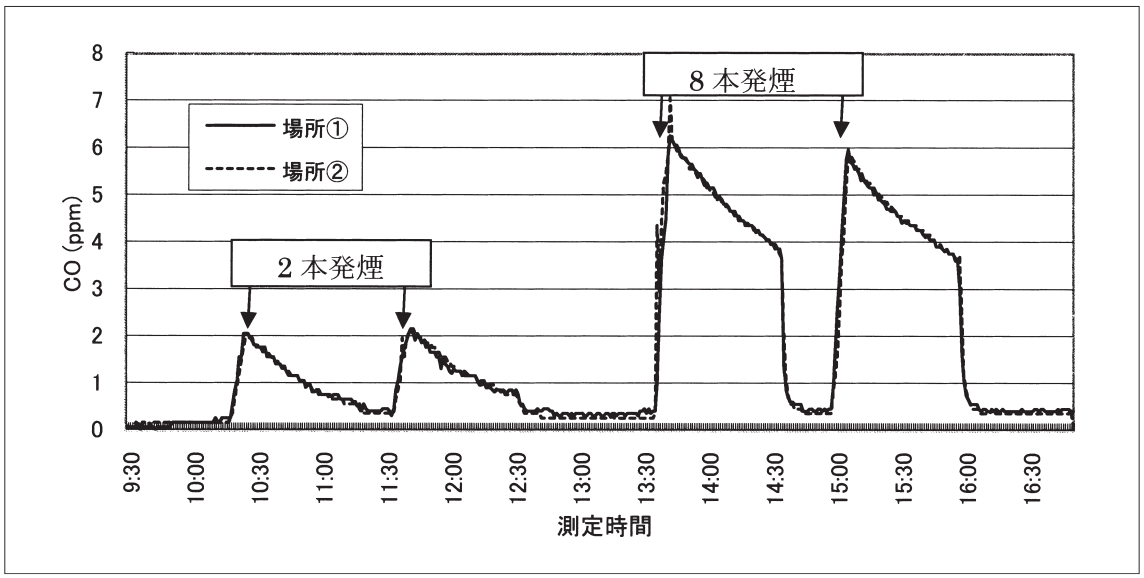


図４　シガレット発煙実験における CO 濃度の変化

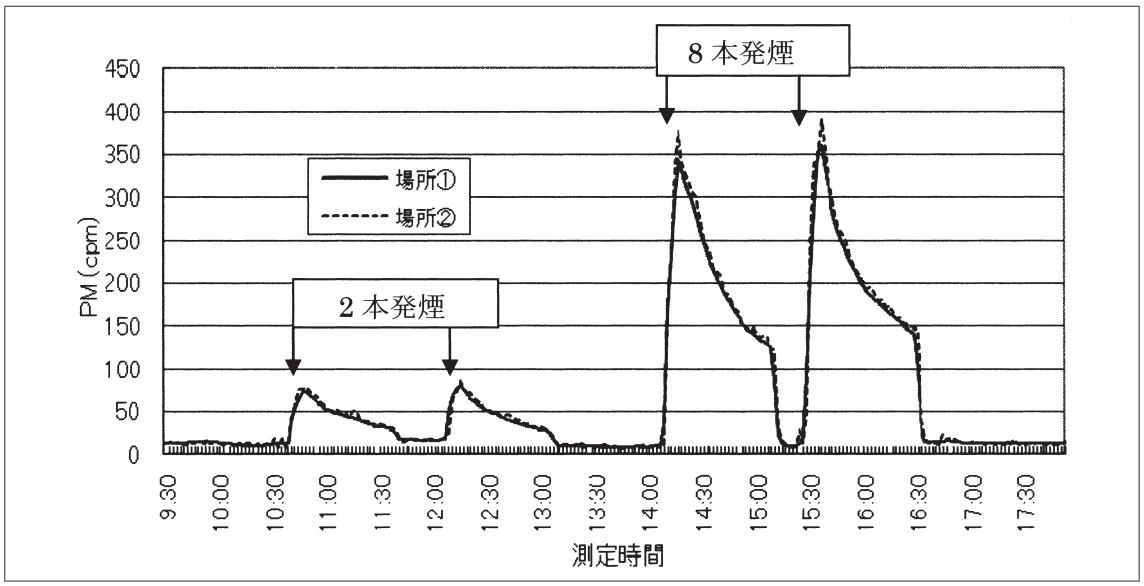


図５　シガレット発煙による粉塵濃度の変化

V： 換気量（m^3/h）

VR：室容積（m^3）：6m×6m×2.7m＝97.2m^3

t： 測定開始時刻から次の測定時刻までの経過時間

h： 1時間

C_1： 測定開始時刻（t＝0）における室内空気のCO_2濃度は3844ppmであった。

C_0： 実験室の外部から入ってくる空気のCO_2濃度は、438ppmであった。

Ct： t(1)時間後の室内空気の平均CO_2濃度は2480ppmであり、

これらを式1および式2に代入すると

E： 換気回数（回/h）＝0.51回/h

と算出された。

2．某企業における喫煙・非喫煙スペースにおける実験

図6に喫煙・非喫煙スペースにおけるCO濃度の変化を示す。この企業は各個人の判断で、仕事の合間の喫煙を承認しており、喫煙時間は決まっていない。そのため、喫煙スペースにおいては、朝9時の仕事の開始からCO濃度は断続的に変化し、11時付近および13時にCO濃度のピークが認められ、12時57分には最高値3.25ppmが確認された。一方、非喫煙スペースのCO濃度は0ppmから0.18ppmでほとんど変化せず、ほぼ一定の値を示した。

図7に喫煙・非喫煙スペースにおけるPM濃度の変化を示す。喫煙スペースにおいてはCO濃度の変化と同様に9時の仕事の開始からPM濃度は断続的に変化し、11時付近、13時付近、15時付近にPM濃度のピークが認められた。

最大値は12時43分の766cpmであった。しかし、非喫煙スペースのPM濃度は最大値20cpm、最小値2cpmであり変動は小さく、ほぼ一定の値を示した。

図8に定時的にカウントした喫煙本数とその時間帯のCOおよびPMの平均濃度の関係を示す。喫煙本数とCO濃度の相関係数は0.855、また喫煙本数とPM濃度

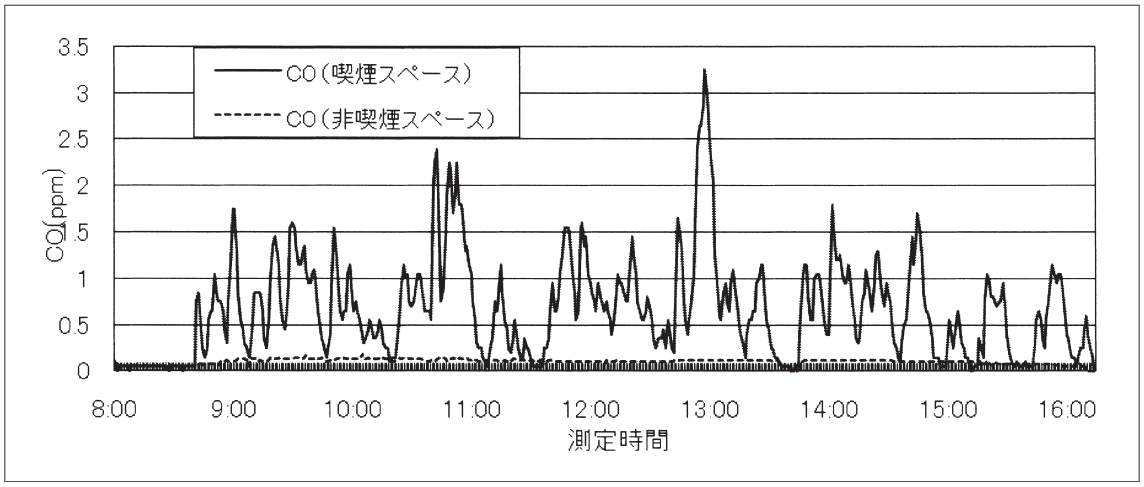


図6　喫煙スペース・非喫煙スペースにおける一酸化炭素濃度の変化

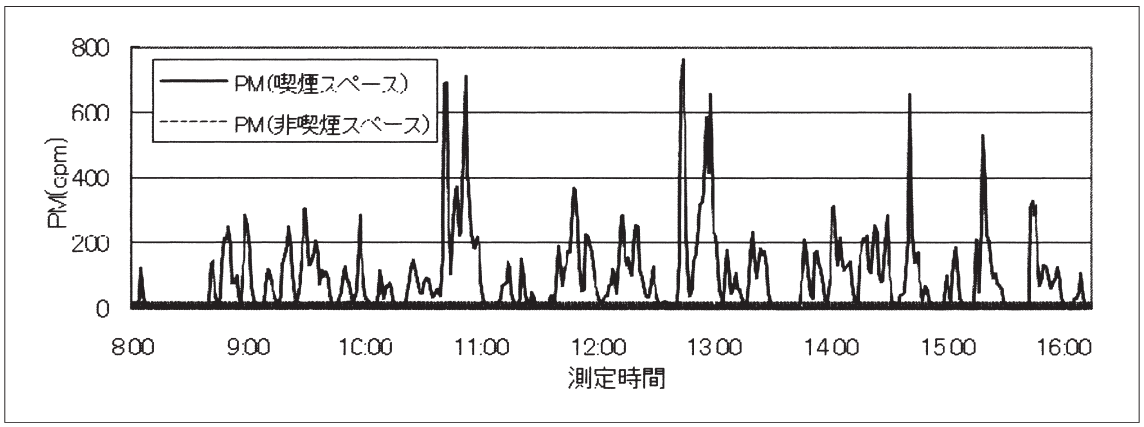


図7　喫煙スペース・非喫煙スペースにおける粉塵濃度の変化

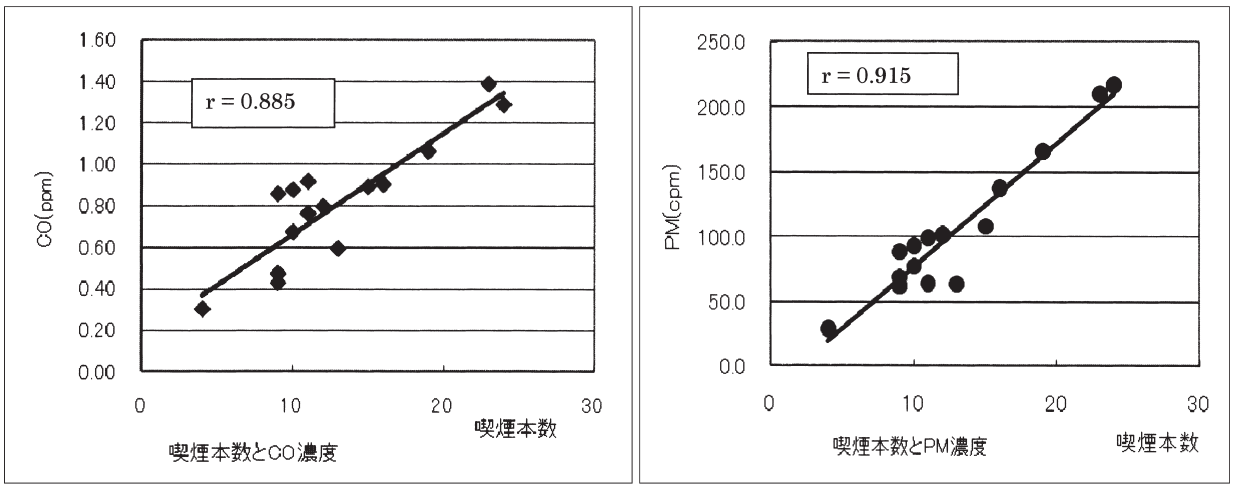


図８　喫煙スペースにおける喫煙本数と CO および PM の関係

の相関係数は 0.915 を示した。

Ⅳ. 考　察

本研究は、ETS 曝露実態に関し、総合的評価の ETS マーカーの捕集や計測・分析法検討の一環として、ETS 中の CO および PM を取り上げ、実験室内の発煙実験および某企業における喫煙室での分煙効果について調査した。

実験室内のシガレット発煙実験において、発煙本数の違いによって濃度が変化することが認められた。また、本実験において２本と４本の発煙本数が比較的少ない場合には、CO 平均濃度に大きな差異は認められなかったが、発煙本数が８本、12本では、平均濃度の増加が観察された。

また PM 濃度についても、同様に発煙本数が増加するにつれ平均濃度の増加が観察された。

某企業における喫煙室での測定については、喫煙スペースの CO 濃度および PM 濃度は、非喫煙スペースに比べてかなり高く、この喫煙室の分煙効果があるものと推定される。また喫煙本数と CO 濃度の相関係数は 0.855、喫煙本数と PM 濃度の相関係数は 0.915 を示したことから、CO および PM は ETS の曝露指標として適切なものと考えられる。

シガレット喫煙の発生源について、標準たばこ１本あたりの CO 発生量は、主流煙（MS: Main stream）11.3 mg、副流煙（SS: Side Stream）54.1mg とされており（Jenkins *et. al*., 1992）。SS 中の CO は MS 中の CO の約 4.8 倍である。また、アメリカ Surgeon General の報告（USDHEW, 1979）によれば、シガレット１本当たり（標準喫煙状態：１分間に１度２秒間吸煙し、吸い殻の長さ 23mm を残す）の主流煙と副流煙の CO は MS,SS 各々 1000～20000μg/cig. と 25000～50000μg/cig. とされている（U.S.Dept. of Health and Human Service.（1998）。また SS/MS の比を比べると2.5であり、SS が MS より多く排出されている。シガレット喫煙の CO の主な発生源が副流煙中の CO であることからも、CO 測定は ETS の曝露指標として十分に活用できると考えられる。

受動喫煙対策については様々な取り組みがなされているが、神奈川県は2009年３月31日に神奈川県公共的施設における受動喫煙防止条例を公布した（神奈川県、2009）。この条例は2010年４月１日に施行される予定の条例であるが、条例の目的は、不特定多数の者が出入りすることができる公共的な空間における受動喫煙による健康影響を防止することである。受動喫煙の防止を目的とする条例としては、全国の地方公共団体で初めて制定された。

主な内容は、「公共的施設」を、施設の性質によって「第１種施設」（病院、学校、劇場、官公庁など）と「第２種施設」（飲食店、ホテル・旅館、カラオケボックスなど）に区分する。「第１種施設」は禁煙とし、「第２種施設」は禁煙又は分煙を選択するなどである。また、この条例では、罰則規則があり、 喫煙禁止区域での喫煙には２万円以下、施設管理者の義務違反には５万円以下の科料を科すとされている。

今後、分煙対策を推進するためには、ETS の曝露状況を科学的に測定する必要がある。本調査で行った CO 測定、PM 測定は連続測定が可能であり、ETS 曝露指標として有効であると考えられる。

しかし、CO の発生源は喫煙のみならず、調理器具や、瞬間湯沸かし器などの不完全燃焼も存在する。また

PM についてシガレット煙以外の発生源は十分に考えられる。現実的問題として CO 単独あるいは PM 単独で、ETS 曝露量を推定することは不可能であり、他のシガレット煙特有の指標、例えば空気中のニコチン濃度 (Eisner *et. al*., 2001)、3-エテニルピリジン濃度（Vainiotalo *et. al*., 2001：秋山等、2008)、VOC（石津等、2008)、カルボニル化合物（野口等、2008）の測定などと組み合わせて測定することが考えられる、その際、CO 測定器の重さは 2 kg、PM 測定器の重さは 1 kg とやや重く、他の測定器（エアーサンプラーなど）と共に個人が携帯し、ETS の個人曝露量を測定するためには問題が残る。

現在、室内空気汚染物質の規制に関しては、大規模な職場に限り、建築物衛生法により浮遊粒子状物質、CO の管理値が定められているが、一般住宅に対する法的規制はない。快適で健康な室内環境を達成するため一層の努力が望まれる。

謝　辞

本研究の一部は、喫煙科学研究財団からの研究助成を頂いた。

参考文献

秋山幸雄、嵐谷奎一、石津嘉昭、松木秀明 (2008)：空気中 ETS の指標としてのニコチンおよび 3-エテニルピリジンの分析。第49回大気環境学会年会要旨集．297.

Doll R., Peto R., Wheatley K. (1994): Mortality in relation to smoking 40 years' observation on male British doctors. Brit Med J. 309: 901-911.

Eisner MD., Katz PP., Yelin EH., Hammond SK., Blanc PD. (2001): Measurement of environmental tobacco smoke exposure among adults with asthma. Environ Health Perspect. 109, 809-814.

Hirayama T (1981): Non-smoking wives of heavy smokers have a higher risk of lung cancer. A study from Japan. Brit Med J. 282: 183-185.

石津嘉昭、石津淑子 (2008)：ニコチンと VOC の一括測定、第25回エアゾル化学・技術研究討論会講演要旨集、155-156.

Jenkins RA., Guerin MR., Tomkins BA. (1992): The chemistry of environmental tobacco smoke, composition and measurement. Lewis Publishers Inc. 47.

神奈川県 (2009)：神奈川県公報　号外第14号　平成21年 3 月31日.

日本薬学会編 (2000)：衛生試験法・注解2000　金原出版株式会社　1096.

野口美由貴、水越厚史、山下喬子、熊谷一清、柳沢幸雄 (2008)：DPNH カートリッジによる空気中カルボニル化合物のパッシブサンプリング法、第49回大気環境学会年会要旨集．295.

US Department of Health and Human Service. (1986): The Health consequence of involuntary smoking. A report of the Surgeon General. US Government Printing Office. Washington DC. 359.

US Department of Health and Human Service. (1998): Cigar; Health Effects and Trends. NIH. 232.

Vainiotalo S., Vaarnrinta R., Tornaeus J., Aremo N., Hase T., Peltonen K. (2001): Passive monitoring method for 3-ethenylpyridine: a marker for environmental tobacco smoke; Environ Sci Technol. 35, 1818-1822.

Abstract

For evaluation of the Environmental Tobacco Smoke (ETS) exposure level, it has been performed that improvement of sampling method and analysis of an ETS marker. This study investigated carbon monoxide (CO) and particulate matter (PM) level in ETS in a laboratory, and a separation of facilities for smokers and nonsmokers effect in a smoking room in a certain company. As a number of cigarettes smoked increased, CO and the PM level increased. CO level per 1 cigarette was estimated with 0.63ppm from 0.51ppm. By investigation in a smoking room of a certain company, CO peak value 3.25ppm were detected in a smoking room. On the other hand, the CO level of non-smoking area observed from 0ppm to 0.18ppm. Correlation coefficient between the number of cigarettes smoked and CO and PM level was 0.855, and 0.915, respectively. It was thought that CO and PM measurement can inflect for an exposition index of ETS level. In our life circle, outbreak source of CO and PM produces a cooking device and a heater as well as smoking. Therefore, we should consider it about these confounding factors when we use CO and PM for an index of ETS in field survey.

Key words: Cigarette smoke experiment, Carbon monoxide, Particulate matter.