喫煙室及び非喫煙場所における室内空気中たばこ煙由来化学物質濃度の実態調査

大貫 文, 齋藤育江, 多田宇宏, 保坂三継, 中江 大

東京都健康安全研究センター環境保健部 〒169-0073 東京都新宿区百人町3-24-1

Measurements of chemicals related to tobacco smoke in smoking rooms and non-smoking areas

Aya ONUKI, Ikue SAITO, Takahiro TADA, Mitugu HOSAKA and Dai NAKAE

Tokyo Metropolitan Institute of Public Health 3-24-1 Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073, Japan

要 旨

本研究は、平成17年及び平成18年に、東京都内の26オフィスビルにおいて、空気中のたばこ煙由来化学物質濃度を測定した。空気の採取は、(a)喫煙室、(b)喫煙室近傍の非喫煙場所、(c)事務室等の非喫煙室で行った。測定化学物質は、ニコチン、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトン、プロピオンアルデヒド、トルエン、ベンゼン、浮遊粉じん(PM)及び一酸化炭素(CO)であった。

調査の結果、ニコチン濃度の最大値は、(a)267 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、(b)16.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、(c)1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、検出率は(a)100%、(b)38%、(c)4%であった。

非喫煙場所からニコチンが検出された原因としては、たばこ煙が喫煙室から漏れたことや、喫煙者に付着し喫煙室外へ運ばれた可能性等が考えられた。

PM及びCO濃度とニコチン濃度との関連について、喫煙室においては、比較的強い相関が見られ、PM及びCOの濃度を指標として、室内空気の清浄化を図ることが可能と推察された。一方、喫煙室近傍の非喫煙場所においては、喫煙室と異なり相関が弱く、PM及びCOの濃度からニコチン濃度を推測することが困難であることが判明した。

Abstract

We investigated air concentrations of tobacco smoke-related chemicals in 26 office buildings in Tokyo in 2005 and 2006. Measurements were conducted in (a) smoking rooms, (b) non-smoking areas adjoining smoking rooms and (c) non-smoking rooms such as office rooms. Chemical substances analyzed were nicotine, formaldehyde, acetaldehyde, acetone, propionaldehyde, toluene, benzene, carbon monoxide (CO) and particulate matter (PM). The maximum values of nicotine were (a) 267 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, (b) 16.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and (c) 1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and the detection rates were (a) 100%, (b) 38% and (c) 4%, respectively. Reasons why nicotine was detected in the non-smoking areas are attributed to leakage of tobacco smoke from smoking rooms and a transportation of nicotine adhering to smokers. In smoking rooms, the concentrations of PM and CO were positively correlated to that of nicotine, and hence PM and CO concentrations may be useful indicators for the air quality. In contrast, because of their poor correlation in non-smoking areas adjoining the smoking rooms, it may be difficult to estimate a nicotine level by PM and CO concentrations.

Key words: 喫煙室(Smoking Room), 環境たばこ煙(Environmental Tobacco Smoke), ニコチン(Nicotine), 浮遊粉じん(Particulate Matter), 一酸化炭素(Carbon Monoxide)

1. はじめに

平成15年に健康増進法が施行され、その第25条の「受動喫煙の防止」により、多数の者が利用する施設においては、受動喫煙防止措置が必要となった¹⁾。職場においては、厚生労働省が示した「職場における喫煙対策のためのガイドライン」(以下、喫煙対策

ガイドライン)²⁾に即した対策が求められ、全面禁煙か空間分煙が推奨されている。さらに進行し、現在では、世界保健機関(WHO)によるたばこの規制に関する枠組条約の発効(平成17年)³⁾及び受動喫煙防止のための具体的なガイドラインの採択(平成19年)⁴⁾や、厚生労働省による受動喫煙防止に関する検討会の開催(平成20年度)⁵⁾等を経て、受動喫煙対策を原則禁煙で実施するべきものとする考えが支配的

受付: 2011年1月7日(Received: 7 January 2011)

受理: 2011年2月10日(Accepted: 10 February 2011)

になった。

しかしながら、実際の受動喫煙対策の状況としては、平成20年度に実施されたアンケート結果によると、70%以上の事業所が「建物内に喫煙室または喫煙コーナーを設置する」手法で分煙対策を採用していた⁶⁾。自社ビルでないことや来客者の問題等を抱える事業所では、今後も全面禁煙の実施が難しいと予想される。

本研究は、以上の状況に鑑み、分煙対策を実施している事業所において、環境たばこ煙(environmental tobacco smoke, ETS)の実態調査を行い、喫煙室及び非喫煙場所のニコチン等化学物質の測定結果から、ETS漏洩の実態やニコチンと他物質との関係等について知見を得た。

2. 実験方法

2.1 測定対象施設

測定対象施設は、平成17年6～10月及び平成18年6～8月において、都内の事業所26施設における喫煙室(a)、喫煙室近傍(b)、非喫煙室(c)各室の合計78室を選定した。各部屋は、オフィスビル内の同階層から選出した。なお、(b)は喫煙室前の廊下など、喫煙室に隣接した非喫煙場所、(c)は喫煙室と離れた事務室とした。

2.2 測定対象物質

測定対象物質は、ETSの指標に用いられることが多いニコチン^{7,8)}の他、主流煙及び副流煙に含まれる⁹⁾ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトン、プロピオンアルデヒド、トルエン、ベンゼンとし、それらの空気中濃度を測定した。

一部施設では、さらに分煙効果判定基準¹⁰⁾で測定項目となっている浮遊粉じん濃度と一酸化炭素濃度を測定した。

2.3 試薬及び捕集管

ニコチン(97%, 和光純薬製)は、10 µg/mLトリエチルアミン含有ジクロロメタンで標準溶液(0.2～2.0 µg/mL)を調製した。トリエチルアミン及びジクロロメタン(残留農薬・PCB試験用)は、和光純薬製を用いた。内部標準物質には、アセナフテン d_{10} (99%, 和光純薬製)を用いた。

アルデヒド／ケトン-DNPH MIX(15成分, SUPELCO製)は、アセトニトリル(高速液体クロマトグラ

フィー用, 関東化学製)で0.5 µg/mLに調製した。テトラヒドロフランは、ナカライテスク製の高速液体クロマトグラフィー用を用いた。

室内大気揮発性有機化合物(以下、VOC)分析用試薬(52成分, SUPELCO製)は、メタノール(残留農薬・PCB試験用, 和光純薬製)で50 µg/mLに調製した。内部標準物質には、トルエン d_8 (ACROS ORGANICS製)を用いた。

ニコチン用捕集管には、アルカリ処理したSep-Pak PLUS PS-2(Waters製)を用いた¹¹⁾。この捕集管に相当する製品は、現在、スペシャルトリートメントXAD-4(SUPELCO製)として市販されている。

アルデヒド類用捕集管にはDSD-DNPH(SUPELCO製)を、VOC用捕集管にはTenaxTA200 mg(SUPELCO製)を充填したステンレス製加熱脱着チューブ(Perkin-Elmer製)を用いた。

2.4 装置

ガスクロマトグラフ／質量分析計(以下、GC/MS)は、ニコチン分析用にHP GC5890/5971A MSD(Agilent製)を、VOC分析用にGC17A/QP5050A(島津製作所製)を用いた。加熱脱着装置は、ATD400(Perkin-Elmer製)を用いた。高速液体クロマトグラフ(以下、HPLC)は、LC-10Aシリーズ(島津製作所製)を用いた。

浮遊粉じん濃度計はデジタル粉じん計LD-3B型(柴田科学製)を、一酸化炭素濃度計はカルボテックCMCD-11(ガステック製)を用いた。

空気採取用ポンプは、MP-Σ30(柴田科学製)を用いた。

2.5 採取及び分析方法

調査施設の勤務日の日中に、ニコチン用捕集管ではアクティブ法により流速0.2 L/minで6時間、アルデヒド類用捕集管及びVOC用捕集管ではパッシブ法により6時間、空気採取を行った。浮遊粉じん濃度及び一酸化炭素濃度については、6時間の間に、10分間以上の測定を一定間隔ごとに2～3回実施し、その平均値を算出した。この時、浮遊粉じん濃度の算出には、K値0.0012 mg/m³/CPMを用いた。

空気中のニコチン濃度は、10 µg/mLトリエチルアミン含有ジクロロメタン5 mLで捕集管から抽出した後、内部標準物質のアセナフテン d_{10} を添加し、GC/MSで分析した¹¹⁾。GC/MS分析条件は、カラム：

HP-Ultra1 (12 m×0.2 mm i.d., 0.33 µm film), キャリアーガス：ヘリウム40 kPa(定圧モード), 注入口温度：250℃, スプリットレス注入法, オープン温度：70℃ (2 min) -10℃/min-170℃-20℃/min-250℃ (2 min), SIMモード, 定量用イオン及び確認用イオンはm/z 162及びm/z 133, 84を用いた。定量下限値は, 1.0 µg/m³であった。

アルデヒド類及びVOCの空气中濃度については, 厚生労働省の標準的測定法¹²⁾に準じて分析を行った。すなわち, アルデヒド類は, アセトニトリル 5 mLで捕集管から抽出した後, HPLCに導入し, 吸光光度計で分析した¹³⁾。HPLC分析条件は, カラム：ZO-RBAX Bonus RP(250 mm×4.6 mm i.d., 5 µm), カラム温度：40℃, 移動相：アセトニトリル60:水40:テトラヒドロフラン0.1, 流速：1.0 mL/min, 検出波長：360 nmで, 定量下限値は3.0～40 µg/m³であった。また, VOCは, 捕集管に内部標準物質のトルエン_d8を添加し, 加熱脱着装置によりGC/MSに導入して分析した¹⁴⁾。分析条件は, 加熱脱着装置が, 一次脱着：230℃ (5 min), 脱着流量：50 mL/min, 二次トラップ：TenaxTA (10℃), 二次脱着：230℃ (3 min), スプリット比：1:6, トランスファライン温度：200℃, バルブ温度：120℃であった。GC/MSは, カラム：DB-1 (30 m×0.25 mm i.d., 1 µm film), キャリアーガス：ヘリウム50 kPa(定圧モード), 注入口温度：200℃, スプリットレス注入法,

オープン温度：40℃ (3 min) -12℃/min-220℃ (2 min) -20℃/min-300℃ (1 min), SCANモード (m/z 45-350)であった。定量下限値は, 3.0～3.7 µg/m³であった。

3. 結果

3.1 空气中濃度統計値

喫煙室, 喫煙室近傍及び非喫煙室における化学物質濃度と, 空気環境基準値の超過割合はTable 1に示した。ニコチン等7化学物質は26施設, 浮遊粉じん及び一酸化炭素は14施設で測定した。なお, ニコチンの基準値としては, ノルウェーにおけるガイドライン値を用いた⁸⁾。ノルウェーでは2つの濃度を設定しており, 本研究ではそのうち「喫煙可能なレストラン等の禁煙エリア」における濃度(10 µg/m³)を喫煙室に, 「喫煙可能な室内空間」における濃度(1 µg/m³)を非喫煙場所に適用した。

測定した全ての物質濃度は, 喫煙室で高く, 喫煙室近傍及び非喫煙室で低かった。

喫煙室における最大濃度が200 µg/m³以上検出された物質は, ニコチン(267 µg/m³), アセトアルデヒド(278 µg/m³)及びアセトン(211 µg/m³)であった。

喫煙室近傍でのニコチン濃度最大値は16.7 µg/m³で, これは本研究で測定した喫煙室の内の4ヶ所(ニコチン濃度5.1～16.1 µg/m³)よりも高い濃度であった。

Table 1 Air concentrations of smoking-related chemicals in office buildings classified by the sampling site category

		Nicotine	FA	AA	Acetone	PA	Toluene	Benzen	PM	CO
		µg/m ³							mg/m ³	ppm
(a) Smoking room	Median	63.0	66.2	113	65.6	12.9	50.5	19.2	0.24	1.9
	Maximum	267	171	278	211	32.7	125	58.5	1.07	6.1
	Minimum	5.1	20.0	20.1	<40	<3.0	22.3	6.2	0.03	0.60
(b) Non-smoking area adjoining smoking room	Median	<1.0	22.0	18.4	<40	3.5	25.6	4.9	0.02	0.85
	Maximum	16.7	52.4	67.4	89.4	8.6	56.9	11.5	0.07	1.7
	Minimum	<1.0	12.6	<8.7	<40	<3.0	13.5	<3.0	0.004	0.43
(c) Non-smoking room	Median	<1.0	23.3	14.1	<40	<3.0	23.5	3.5	—	—
	Maximum	1.2	48.5	59.1	75.0	7.3	55.8	11.4	—	—
	Minimum	<1.0	13.2	<8.7	<40	<3.0	10.0	<3.0	—	—
Percentage of rooms exceed the guideline value (%)	(a)	92	35	88	—	—	0	100	71	0
	(b)	38	0	8	—	—	0	77	0	0
	(c)	4	0	4	—	—	0	69	—	—
Guideline value		10 or 1.0 ⁸⁾	100 ¹²⁾	48 ¹²⁾			260 ¹²⁾	3.0 ¹⁵⁾	0.15 ²⁾	10 ²⁾

FA : Formaldehyde, AA : Acetaldehyde, PA : Propionaldehyde, PM : Particulate matter, CO : Carbon monoxide
- : Not measured or unable to calculate

喫煙室(a)と非喫煙場所(b, c)との間で、濃度中央値の差が大きかった物質は、ニコチン(63倍以上)、アセトアルデヒド(6~8倍)、プロピオンアルデヒド(4倍)、ベンゼン(4~5倍)及び浮遊粉じん(10倍)であった。

喫煙室近傍と非喫煙室を比較すると、ニコチンの検出率、最大濃度について明確な差が見られ、ともに喫煙室近傍の方が約10倍高かった。

喫煙室において、喫煙対策ガイドラインの基準値²⁾を超えたものは浮遊粉じん濃度であり、超過率は71%であった。その他、ニコチンは92%の施設が基準値(10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を超過、ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドはそれぞれ35%及び88%の施設で室内空气中化学物質濃度の指針値¹²⁾を超過した。ベンゼンは、全ての施設で大気汚染に係る環境基準値(一年平均3.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)¹⁵⁾を超過した。

非喫煙場所(b, c)においては、ニコチン(1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、アセトアルデヒド及びベンゼンで各基準値を超過するケースが見られた。それぞれの超過率は、喫煙室近傍(b)で38%、8%及び77%、非喫煙室(c)で4%、4%及び69%であった。

3.2 ニコチンとその他の化学物質との関係

喫煙室及び喫煙室近傍におけるニコチン濃度と他の化学物質濃度との相関係数をTable 2に、喫煙室における相関図をFig. 1に、喫煙室近傍の場合をFig. 2に示した。なお、喫煙室近傍のアセトンにつ

Table 2 Correlation coefficients between air concentrations of nicotine and other chemicals

	Smoking room	Non-smoking area adjoining to smoking room	
Formaldehyde	0.822**	0.407*	n=26
Acetaldehyde	0.866**	0.737**	
Acetone	0.825**	-	
Propionaldehyde	0.861**	0.668**	
Toluene	0.837**	0.457*	
Benzene	0.823**	0.574**	
Particulate matter	0.645*	0.301	n=14
Carbon monoxide	0.780**	0.666**	

* $p<0.05$, ** $p<0.01$

いては、検出率が15%と低かったため、Table 2から除いた。また、相関係数及び相関図を求める際、定量下限値未満の濃度については、定量下限値の1/2の値を代入した。

3.2.1 喫煙室

Table 2より、ニコチンと他6化学物質の空气中濃度は、相関係数が $r=0.822\sim0.866$ でいずれも有意な相関が見られた($p<0.01$)。アセトアルデヒドは、最も相関が高く($r=0.866$)、ニコチン濃度と同程度の濃度が検出されることが分かった(Fig. 1)。

一方、ニコチンと浮遊粉じん及び一酸化炭素の空气中濃度については、相関係数が上記の6化学物質よりも低く($r=0.645$ 及び 0.780)、回帰直線から外れるプロットが複数見られた。

Fig.1 Correlations between air concentrations of nicotine and chemicals measured in smoking room

Fig.2 Correlations between air concentrations of nicotine and chemicals measured in non-smoking area adjoining smoking room

3.2.2 喫煙室近傍

ニコチンとアセトアルデヒド($r=0.737$)、プロピオンアルデヒド($r=0.668$)及び一酸化炭素($r=0.666$)の空气中濃度の相関は比較的高かった(Table 2)。しかし、喫煙室近傍におけるニコチン濃度の90%以上は $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、ニコチン濃度 $0\sim 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の結果のみで再解析を行ったところ、ニコチンと上記3物質の相関は大きく低下した($r=0.226\sim 0.511$, Fig. 2)。

3.3 喫煙室内ETSがその近傍に及ぼす影響

3.3.1 漏洩率

喫煙室から喫煙室近傍へのETS漏洩を評価するため、ニコチン濃度を指標に、次式によって漏洩率を定義し求めた。

漏洩率(%) = 喫煙室近傍のニコチン濃度 / 喫煙室のニコチン濃度 $\times 100$

定量下限値未満のニコチン濃度は、定量下限値の1/2の $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を代入して試算した。

その結果、漏洩率の範囲は $0.2\sim 30.7\%$ 、中央値は 1.5% であった。ほとんどの施設は 5% 未満であり、漏洩率が 5% 以上で実際にニコチンが定量下限値以上検出された喫煙室近傍は5施設であった。これら5施設の分煙状況について、2施設は部屋の一部に喫煙室を設置しており、それらにおける喫煙場所との境界は「衝立のみ」及び「扉がない」という状況であった(漏洩率 18.7% 及び 8.8%)。残り3施設については、状況が不明であった。

3.3.2 化学物質濃度の相関

各物質の濃度について、喫煙室と喫煙室近傍間の相関係数をTable 3に示した。アセトンについては、喫煙室近傍の検出率が 15% と低かったため、Table

3から除いた。

解析の結果、ニコチン濃度の相関は $r=0.172$ で最も弱く、比較的強い一酸化炭素濃度でも $r=0.553$ であり、喫煙室の化学物質濃度から喫煙室近傍の濃度を推測することは困難であるものと判明した。

3.4 ETS漏洩の原因の推測

喫煙室近傍でニコチンを検出した事例については、その原因を推測した。なお、次に示した2事例においては、喫煙室が部屋の一部でなく、完全区画された他の部屋に設置されていた。

3.4.1 事例1：喫煙室内の高濃度ニコチン

本事例では、境界の気流が喫煙室方向へ風速 0.2 m/s 以上、喫煙室近傍の浮遊粉じん及び一酸化炭素濃度が基準値以下で、喫煙対策ガイドラインの基準を満たしていた。しかし、喫煙室におけるニコチン濃度は $267 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、これは本調査で得られた濃度の最大値であった。漏洩率は 0.9% と平均的であったが、喫煙室近傍からはニコチンが $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出された。したがって、本事例では、喫煙室のニコチンが高濃度であったため、近傍に漏洩したものと推察された。

3.4.2 事例2：流出気流による漏洩

本事例では、喫煙室のニコチン濃度が $207 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、喫煙室近傍が $1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、漏洩率が 0.6% で、事例1と同様に喫煙室内ニコチン濃度が高い事例であった。しかしながら、本事例では、喫煙室の扉を開けた時に $0.05\sim 0.13 \text{ m/s}$ 程度の流出気流が見られた。したがって、本事例における漏洩には、この流出気流によるETSの漏れも影響したものと考えられた。

4. 考察

受動喫煙防止対策には、他人のたばこ煙にさらされないこと、つまり非喫煙場所の空気が喫煙により汚染されないことが必要である。しかしながら、本研究では、喫煙室に隣接する非喫煙場所の 38% からニコチンが検出された。受動喫煙によるETS濃度に安全なレベルはなく⁴⁾、そのため、受動喫煙を防止するためには、分煙対策を確実に実行する必要がある。そのためには、喫煙室近傍におけるETSの漏れを正確に把握しなくてはならない。空气中的ETSを把握するためにはニコチンのようなETSに特異的な物質の濃度を測定する必要があるが、ニコチン濃度測定には専用のサンプラーや分析機器が必要である。

Table 3 Correlation coefficients between smoking room and non-smoking area adjoining smoking room for air concentrations of smoking-related chemicals

Nicotine	0.172	$n=26$
Formaldehyde	0.258	
Acetaldehyde	0.262	
Propionaldehyde	0.235	
Toluene	0.287	
Benzene	0.165	
Particulate matter	0.297	$n=14$
Carbon monoxide	0.553*	

* $p<0.05$

そこで、本研究では、ニコチン濃度の他に、簡易測定が可能な浮遊粉じん及び一酸化炭素の濃度を測定し、それらが分煙効果判定の指標として、どの程度有効かについて評価を試みた。デジタル測定器及び検知管で測定した浮遊粉じん濃度及び一酸化炭素濃度について、喫煙室近傍におけるニコチン濃度との解析を行った結果、一酸化炭素濃度については、比較的高い相関が得られた($r=0.666$)。しかし、データの90%が集中するニコチンの低濃度域($0\sim10\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$)では、相関が低くなることが判明した($r=0.226$)。したがって、ETSが高濃度に漏れている場合には喫煙室近傍における一酸化炭素濃度で分煙効果の判定が可能だが、漏れが少ない場合にはニコチン濃度によって判定する必要があると考えられた。

喫煙室内の状況については、ETS由来化学物質濃度が非常に高く、各基準値^{2,8,12,15)}を超えた喫煙室は、浮遊粉じん71%、ベンゼン100%、ニコチン92%、アセトアルデヒド88%、ホルムアルデヒド35%であった。喫煙室における喫煙対策については、浮遊粉じん濃度及び一酸化炭素濃度を測定している事業所が10%未満に過ぎないとの報告⁶⁾がある。したがって、喫煙室内の化学物質濃度が高い原因の一つには、空気環境測定の実施率が低く、施設管理者が現状を把握していないことが考えられた。事例から分かるように、喫煙室内のETS関連物質濃度が非常に高い場合には、喫煙室近傍がETSに汚染される可能性が高くなる。分煙対策を実現するためには、喫煙室の空気環境測定を行い、実態を把握しながら空氣の清浄化を進める必要がある。

喫煙室清浄化の指標として、本研究では、浮遊粉じん及び一酸化炭素濃度について、有効性の評価を試みた。その結果、両物質濃度ともニコチン濃度との相関が比較的高く、清浄化の指標になり得るものと考えられた。このことについては、前述の喫煙室近傍の場合と異なり、喫煙による浮遊粉じん及び一酸化炭素の発生が圧倒的に多いため、ETSの影響を反映し易いものと推察された。なお、回帰直線から外れたケースが複数見られたが(Fig. 1)、これは浮遊粉じん濃度及び一酸化炭素濃度の測定値が10分間程度の測定を2~3回行った平均値であったことが原因の一つであり、測定方法をニコチンと同様の連続採取して平均値を算出する方法に変更することで、相関が改善する可能性が高いと考えられた¹⁶⁾。すなわち、喫煙室においては、連続測定した浮遊粉じん

濃度及び一酸化炭素濃度を指標にニコチン濃度を把握でき、室内清浄化の指標に利用できると考えた。そこで、これら2物質について、喫煙室内濃度がどの程度であれば、喫煙室近傍のニコチン濃度が基準値を超えない、つまり $1\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満になるかを試算した。喫煙室近傍のニコチン濃度は、喫煙室からの漏洩率によって決定される。本研究における漏洩率中央値が1.5%であったことから、平均的なニコチン漏洩率を1%と仮定すると、喫煙室内ニコチン濃度が $100\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満であれば、喫煙室近傍のニコチン濃度は $1\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満となる。Fig. 1の回帰直線より、喫煙室のニコチン濃度が $100\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ の時の浮遊粉じん濃度及び一酸化炭素濃度は、それぞれ、約 $0.3\text{ mg}/\text{m}^3$ 及び約3 ppmと算出された。したがって、喫煙室の浮遊粉じん濃度を $0.3\text{ mg}/\text{m}^3$ 以下、一酸化炭素濃度を3 ppm以下に保つことで、喫煙室近傍のニコチン濃度を基準値以下に抑えることができるものと考えた。

次に、非喫煙室において、ニコチン、アセトアルデヒド及びベンゼンの濃度が基準値を超過した事例について、その原因を考察した。ニコチン濃度が超過した事例では、喫煙室近傍へのニコチンの漏洩率が1.7%で、これは平均的な値と考えられた。加えて、喫煙室近傍の浮遊粉じん濃度、一酸化炭素濃度及び境界の気流等は喫煙対策ガイドラインの基準を満たしており、分煙対策を十分に実施していた施設であったと推測された。一方、ニコチン等のETSは、室内の壁や床の表面、喫煙者の衣服や皮膚等に付着し、再放散や化学変化を起こすことが報告されており¹⁷⁾、本研究での見られた事例においても、ニコチンが喫煙者の衣服等に付着し、非喫煙室へ持ち込まれた可能性が考えられた。これは、受動喫煙の一つであるthirdhand smokeと呼ばれる現象であり、受動喫煙防止対策において考慮すべき暴露経路である。一方、アセトアルデヒド濃度が超過した事例では、非喫煙室のアセトアルデヒド濃度が喫煙室近傍より1.6倍高かったのに対して、ニコチン濃度は、喫煙室近傍で $1.0\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、非喫煙室で非検出であった。したがって、非喫煙室における高いアセトアルデヒド濃度は、喫煙によるものではなく、他の要因、例えば建材や内装材に由来したものである可能性が考えられた¹⁸⁾。また、非喫煙場所の69~77%でベンゼン濃度が基準値を超えた原因については、喫煙室近傍でベンゼン濃度が基準値以上になった施設でのニ

コチン検出率が45%(9/20)で、基準値未満の施設における検出率17%(1/6)より高かったことから、ETS漏洩によるものと考えられた。その他には、喫煙室近傍及び非喫煙室のベンゼン濃度がともに高い施設が複数見られたことから、オフィスの什器・文具等からベンゼンが発生した可能性¹⁹⁾や、自動車の排気ガス等外気要因に由来した可能性も考えられた。

5. まとめ

本研究は、健康増進法の施行2～3年後の平成17～18年に、分煙対策を実施している26事業所において、喫煙室及び非喫煙場所の空气中ETS由来化学物質濃度を測定した。その結果、喫煙室近傍の38%からニコチンが検出され、ニコチン濃度の最大値は16.7 µg/m³で、分煙対策が十分でない現状が判明した。

喫煙室においては、ニコチン、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド及びベンゼンなどの化学物質濃度が各々の基準値を超過し、また浮遊粉じんについても71%で喫煙対策ガイドラインの基準値を超えた。

喫煙室内のETS関連物質濃度が高い場合は、喫煙室の外でETSが検出される可能性が高く、喫煙室の清浄化を進めることが必要であった。

分煙効果判定の指標として、非喫煙場所においてはETSに特異的なニコチン濃度が必要であるが、喫煙室においてはニコチン濃度との高い相関性から、浮遊粉じん及び一酸化炭素濃度を用いることができると判断した。すなわち、喫煙室から喫煙室近傍へのニコチン漏洩率を1%と仮定した結果、喫煙室内のそれぞれ濃度を0.3 mg/m³及び3 ppm以下に保つことで、喫煙室近傍でのニコチン濃度を基準値以下に抑えられる可能性があると考えられた。

謝辞

本研究は、東京都福祉保健局地域保健部環境水道課ビル衛生検査係(当時)及び都保健所の協力によって実施されたものである。

引用文献

- 1) 厚生労働省：受動喫煙防止対策について、健発第0430003号，H15年4月30日。
- 2) 厚生労働省：職場における喫煙対策のためのガイドライン，基発第0509001号，H15年5月9日。
- 3) WHO Framework Convention on Tobacco Control: WHO Framework Convention on Tobacco

Control, entered into force on 27 February 2005.

- 4) WHO Framework Convention on Tobacco Control: Guidelines on protection from exposure to tobacco smoke, 4 July 2007.
- 5) 厚生労働省：受動喫煙防止対策のあり方に関する検討会報告書，H21年3月24日。
- 6) 中央労働災害防止協会：平成20年度「職場における喫煙対策の実施状況について」アンケート調査結果報告書，平成21年3月。
- 7) WHO Regional Office for Europe: Air Quality Guideline for Europe, WHO Regional Publications, European Series, No. 91, p201-205, 2000.
- 8) National Institute of Public Health: Guideline for Indoor Air in Norway- A practical Approach. 1999.
- 9) 厚生労働省：平成11-12年度 たばこ煙の成分分析について(概要)，<http://www.mhlw.go.jp/topics/tobacco/houkoku/seibun.html> (2011年2月10日アクセス可能)
- 10) 厚生労働省：分煙効果判定基準策定検討会報告書，平成14年6月。
- 11) Ikue Saito and Hiroshi Seto: Measurement of Nicotine in indoor air Collected by Alkaline-coated Solid Phase Cartridge Followed by GC-MS Analysis, *J. Health Sci.*, 53(1), 53-59(2007).
- 12) 厚生労働省：室内空气中化学物質の室内濃度指針値及び標準的測定方法等について，医薬発第0207002号，平成14年2月7日。
- 13) 大貫 文，斎藤育江，瀬戸 博，上原眞一，鈴木孝人：新築住宅におけるホルムアルデヒド及び揮発性有機化合物濃度の年次推移－室内濃度指針値との関係－，東京衛研年報，53，p206-210(2002)。
- 14) 大貫 文，斎藤育江，瀬戸 博，上村 尚：水性フローポリッシュ(ワックス)清掃による室内空气中VOC濃度の変化，東京健安研年報，56，p259-263(2005)。
- 15) 環境省：ベンゼン等による大気汚染に係る環境基準について，環境庁告示4号，H9年2月4日。
- 16) Gabriele Bolte, Dieter Heitmann, Mandy Kiranoglu, Rudolf Schierl, Juergen Diemer, Wolfgang Koerner and Hermann Fromme: Exposure to environmental tobacco smoke in German restaurants, pubs and discotheques, *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, 18, 262-271(2008).

- 17) Mohamad Sleiman, Lara A. Gundel, James F. Pankow, Peyton Jacob III, Brett C. Singer and Hugo Destaillats: Formation of carcinogens indoors by surface-mediated reactions of nicotine with nitrous acid, leading to potential thirdhand smoke hazards, *PNAS*, 107(15), 6576-6581(2010).
- 18) 中西準子, 篠原直秀, 納屋聖人: 詳細リスク評価シリーズ11アセトアルデヒド, NEDO技術開発機構・産業技術総合研究所化学物質リスク管理研究センター編, 丸善, p121-152(2007).
- 19) 東 賢一, 池田耕一, 久留飛克明, 中川雅至, 長谷川あゆみ, 森有紀子, 山田裕巳: 建築に使われる化学物質事典, 風土社, p318-319(2006).