

表 4-3-3 ETS 評価法およびニコチン測定方法の海外規格調査結果

文献タイトル	No	捕集			抽出			測定					
		捕集管	流量	捕集時間	溶媒	溶媒量	抽出時間	内部標準	装置	カラム	注入口	検出器	オープン
	NIOSH 2544	XAD-2	1L/min	60~400min	酢酸エチル	1mL	30min	なし	GC-NPD	バッグド (OV-101)			
	NIOSH 2551	XAD-4	0.1~1L/min	5~600min	酢酸エチル (0.01%トリエチルアミン含)	1mL	30min(超音波抽出)	キノリン(1~5ug添加)	GC-NPD (GC/MSでもよい)	DB-5 30m*0.32mmID*1um	200°C	300°C	60~(20°C/min)-200°C(3min)
Standard test method for Nicotine and 3-Ethynylpyridine in Indoor Air	ASTM D 5075	XAD-4 全体で 120mg (20/40mesh)	≤1.5L/min	最低60min	酢酸エチル (0.01%トリエチルアミン含)	1.25mL	30min(超音波抽出)	キノリン(約10ug添加)	GC-NPD (GC/MSでもよい)	DB-5 30m*0.32mmID*1um	225°C	300°C	50°C(1min)-(10°C/min)-215°C-(20°C/min)-295°C(1min)
Environmental Tobacco Smoke-determination of Vapour Phase nicotine and 3-Ethynylpyridine in air - Gaschromatographic	ISO 18145	XAD-4 全体で 120mg (20/40mesh)	≤1.5L/min	最低60min	酢酸エチル (0.01%トリエチルアミン含)	1.25mL	30min(振とう抽出)	キノリン(約10ug添加)	GC-NPD (GC/MSでもよい)	DB-5 30m*0.32mmID*1um	225°C	300°C	50°C(1min)-(10°C/min)-215°C-(20°C/min)-275°C(2min)

このように、既に ISO18145 として、3-ET およびニコチンをモニター成分とした ETS 評価法についての規格があることが分かった。厚生労働省の報告内容から総合的に考察すると、3-ET は臭気拡散や臭気除去のモニター成分として有用性が伺える。また、ニコチンは特異的成分であるもの、速やかな濃度減衰が起こるとされるが、健康影響を考慮する場合その濃度を無視できない。

そこで本研究では、ISO18145 を基に、分煙法の異なる施設の実測調査を実施し、ガス状成分の分煙効果モニター法としての有用性を評価した。三田国際ビルにて予備調査を行い、分析法の問題点を洗い出した。その後分析法バリデーションを実施し、6 施設 7 条件の測定を行った。測定は ISO18145 に基づく測定のほか、アルデヒド類の捕集・分析も並行し、モニター成分として有効性の伺える成分が他に存在するか調査した。

4.3.2 東京 1 建物における予備調査

各施設における実測調査を実施する前に、東京 1 建物にて予備調査を行った。本予備調査の目的は次の 3 点である。①ISO18145 では、分析機器はガスクロマトグラフ-窒素リン検出器 (GC-NPD) を主体に記載されているが、日本の環境分析機関においてより汎用性の高いガスクロマトグラフ-質量分析計 (GC-MS) による測定法を確立する。②検出感度を勘案したサンプリング時間の検討および設定。③喫煙人数と化学物質濃度の相関の有無。④3-ET およびニコチンの特異性の確認。

(1) サンプリング条件

サンプリングは XAD-4 20/40mesh を 120mg 充填した市販品チューブ (SKC 製およびスペルコ製) を用い、1L/min の流量で捕集を行った。捕集は 1 時間ごとに実施し、また講習会の休憩時間に喫煙者がいる時間帯のみの捕集も行った。いずれの捕集も、喫煙者数をカウントした。この場合喫煙者 1 人がたばこを 2 本喫煙した場合でも 1 名とカウントされている。サンプリング場所は、喫煙スペース、非喫煙スペースおよびこれらと 1 室を隔てた、喫煙スペースとは完全に隔離された実験室にて行った。

(2) 前処理および測定条件

XAD チューブは前段 (入口側) のシリカウール、XAD 樹脂 1 層目、XAD 樹脂 2 層目をそれぞれ別々に取り出し、GC-MS 測定用バイアル瓶に移した。内部標準物質としてキノリン 5 μ g/mL およびガラス吸着防止のための 0.01% トリエチルアミン (TEA) を含む酢酸エチルを 1mL 加え、30 分超音波抽出を行った。その上澄みを GC-MS 測定に供した。測定条件を以下に示す。

尚、3-エテニルピリジンは入手しやすい市販品がないため、ISO と同様に 4-エテニルピリジンをを用いて定量を行った。

装置	GC-MS 6890-5973N (Agilent)			
カラム	DB-5MS 30m×0.25mmID 膜厚 1 μ m			
オープン温度	50°C (1min) - (10°C/min) -215°C - (20°C/min) -300°C (5min)			
注入口温度	230°C			
注入条件	1 μ L スプリットレス			
検出法	選択イオン検出法			
		3-ET	ニコチン	IS
	定量イオン(m/z)	105	84	129
	確認イオン(m/z)	78	162	102

4.3.3 予備調査結果

①GC-MS 法による測定の問題および改善

GC-MS法による3-エテニルピリジンの測定において、前後に分割できない、同一イオンで検出されるピークが確認された。クロマトグラムとしては、山が3つあり、しかし近接しているため分割できない（図4-3-1上段：定量イオン $m/z=105$ のクロマトグラム）。

キャピラリーカラムを用いているため4-と3-エテニルピリジンが分離したものと予測したが、3-エテニルピリジンを輸入手配し確認したところ、微妙に分離はするものの、前後のピークとは異なることがわかった（図4-3-2）。そこでSCANでサンプルを測定して確認したところ、前後のピークはトリメチルベンゼンであることが分かった。

エテニルピリジンの選択イオンは、トリメチルベンゼンにもあり、しかし、 $m/z=78$ のイオンの強度は強くないため、 $m/z=78$ を選択するとエテニルピリジンの位置をトップにしたピークが得られた（図4-3-1下段）。そのため、3-エテニルピリジンの定量はこの方法で解析を実施した。ただし、強度は弱いもののトリメチルベンゼンも同イオンを持つため、影響されて不恰好なピークとなり、また、トリメチルベンゼンが多い場合過大評価になっている。尚、この問題は窒素リンの特異的検出器によるガスクロマトグラフ法では起こらない問題である。

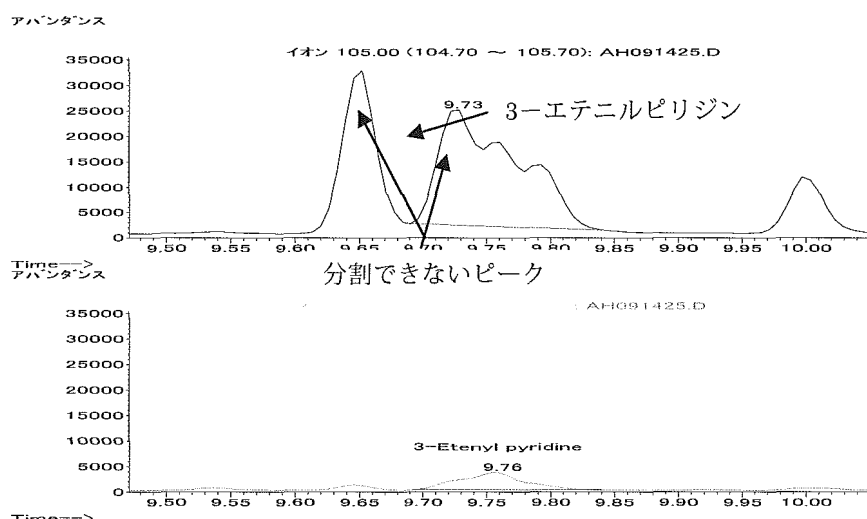


図 4-3-1 上段：定量イオン $m/z=105$ のクロマトグラム下段：定量イオンを 78 にした場合のクロマトグラム。トリメチルアミンの影響を受け、ピークは不恰好だが、エテニルピリジン溶出位置がピークトップとしてクロマトグラムは得られる。

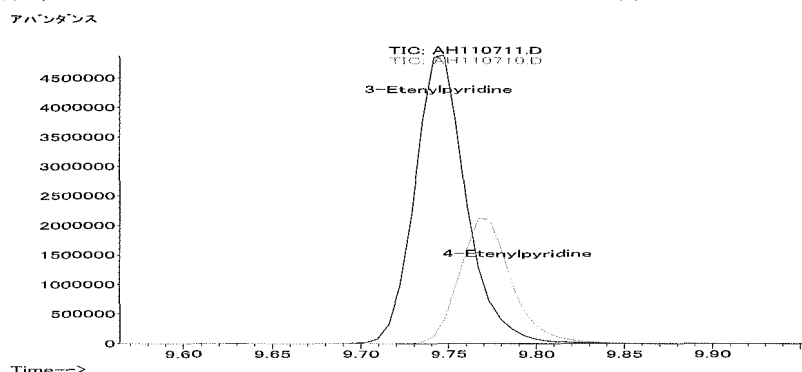


図 4-3-2 3-および 4-エテニルピリジンの溶出位置の比較。2 化合物が共存すると、1 本のピークとなり分離はしない。

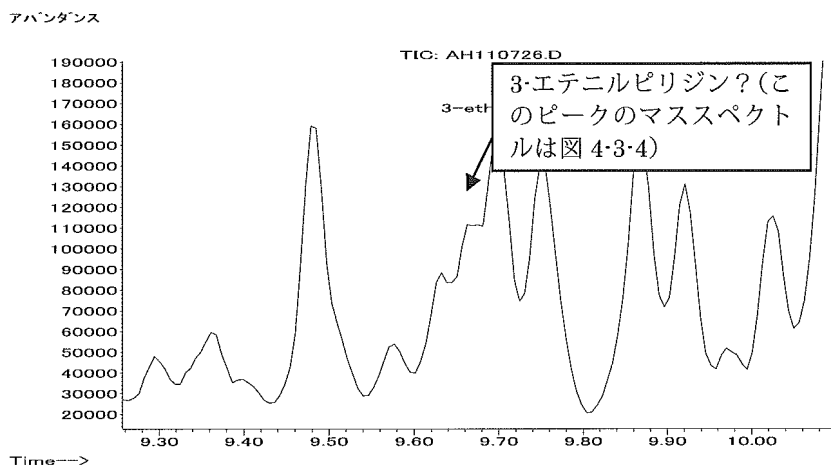


図 4-3-3 喫煙スペースのトータルイオンクロマトグラム拡大図 (SCAN) 紛らわしい位置にピークが現れる。

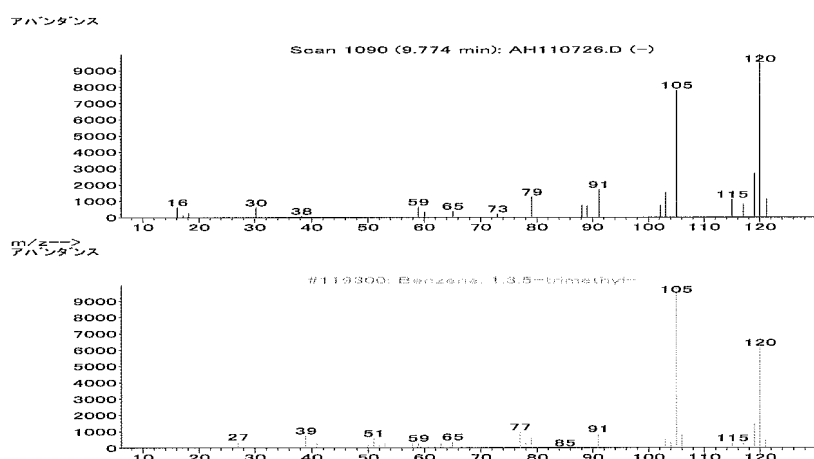


図 4-3-4 喫煙スペースの TIC 中のエテニルピリジン溶出位置ピークのマススペクトル (上段)

およびライブラリー検索結果 (下段)。ピークはトリメチルベンゼン。

そこで、カラムを DB-WAX に変更して分析条件の検討を行ったところ、良好な分離が得られた。

最終的に決定した GC-MS 分析条件を以下に示す。GC-MS 法による測定条件が確立できた。

装置	GC-MS 6890-5973N (Agilent)			
カラム	DB-WAX 30m×0.25mmID 膜厚 0.5 μm			
オープン温度	50°C (1min) - (10°C/min) -215°C - (20°C/min) -240°C(5min)			
注入口温度	230°C			
注入条件	1 μL スプリットレス			
検出法	選択イオン検出法			
	3-ET	ニコチン	IS	
定量イオン(m/z)	105	84	129	
確認イオン(m/z)	78	162	102	

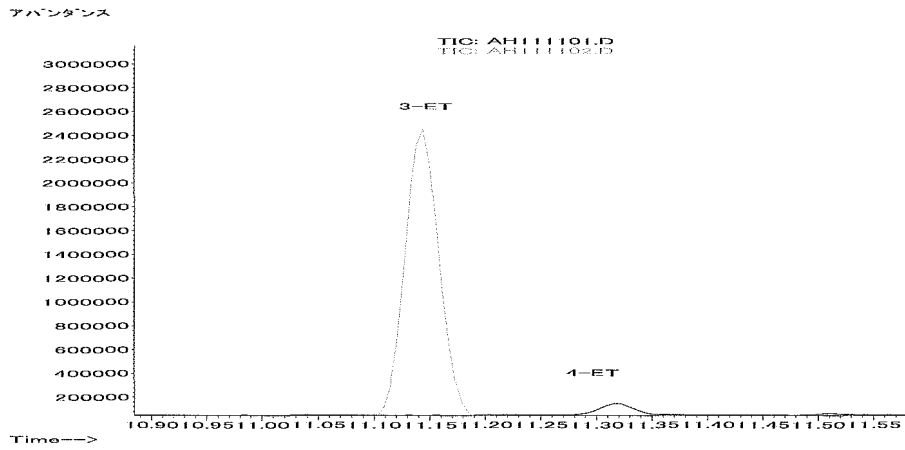


図 4-3-5 DB-WAX を用いた場合の 3-ET と 4-ET の溶出位置
完全に分離するため、各々の定量が必要となる。

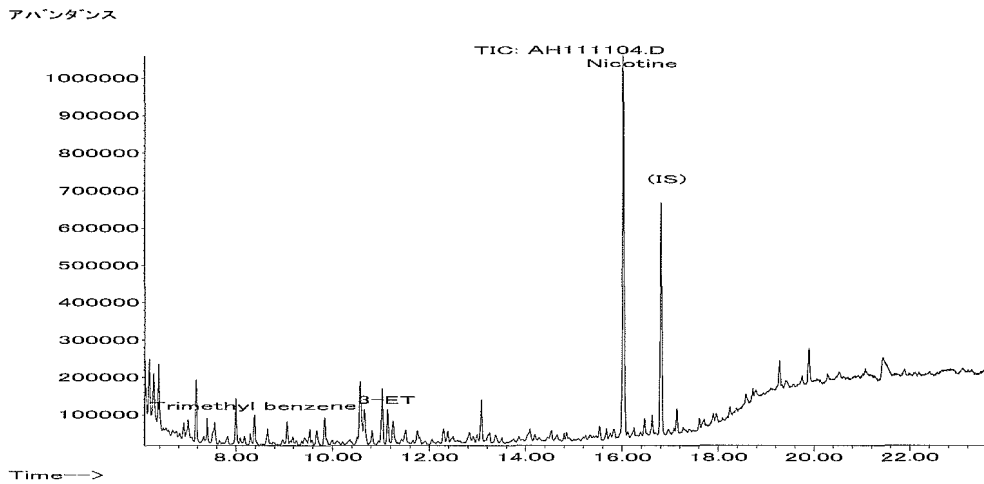


図 4-3-6 DB-WAX を用いた場合の、喫煙室捕集物の分離状況
トリメチルベンゼン, その他の HC, ベンズアルデヒドとも完全に分離が可能であった。

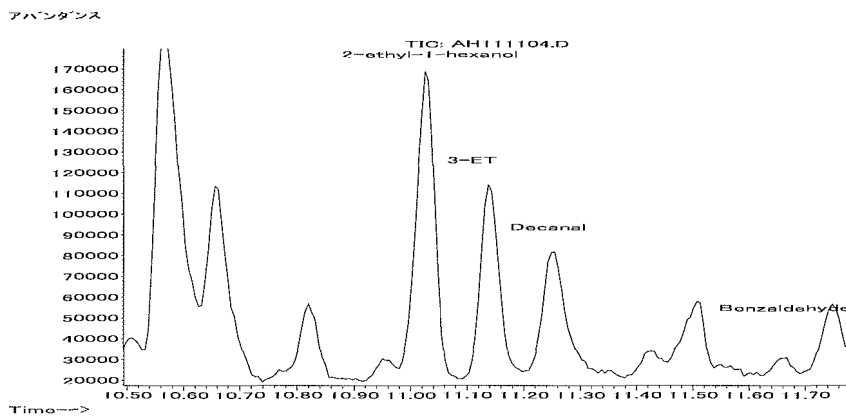


図 4-3-7 3-ET 溶出位置付近の拡大図

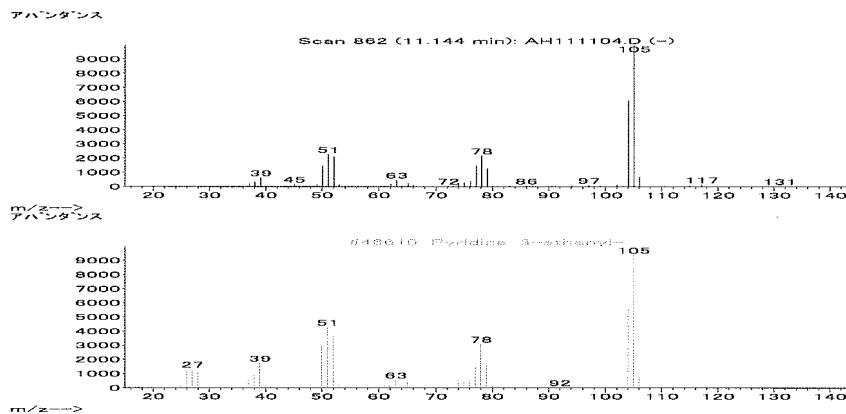


図 4-3-8 3-ET ピークのマススペクトルとライブラリー中のマススペクトル比較

②検出感度を勘案したサンプリング時間の検討および設定

本分析条件における 3-ET とニコチンの定量下限は、 $0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であるが、特に非喫煙スペースの測定では定量下限付近の検出となることが見受けられた。分煙効果の高い施設では、濃度は下回ると予測され、実測調査では準備/後片付けの時間以外可能な限り捕集することとし、11:00~15:00 の 4 時間の捕集は必須とした。

③喫煙人数と化学物質濃度の相関の有無

表 4-3-4 に各測定場所における 3-ET の測定結果、表 4-3-5 にニコチンの測定結果を示す。また、図 9 に各測定場所における 3-ET の濃度と喫煙者数の関係を、図 10 に各測定場所におけるニコチンの濃度と喫煙者数の関係を示す。

1 時間ごとに捕集した条件では、喫煙人数との間に 0.5 前後の相関係数が得られたが、喫煙者がいる時間帯のみ（休憩時間 10 分の間など）捕集した条件では相関係数が低かった。いずれにしても明確な相関があるとは言えない結果であった。喫煙人数のカウントでは 1 本のみ喫煙の場合、複数本喫煙の場合を識別できないためと考えられる。従って、実測調査では可能な場合喫煙本数をカウントすることとした。

④3-ET およびニコチンの特異性の確認

表 4-3-4 および表 4-3-5 から、1 室を隔て、喫煙所からは完全に隔離された実験室では、3-ET とニコチンのいずれも検出されないことがわかり、3-ET およびニコチンはたばこに由来する特異的な物質であることが確認できた。

表 4-3-4 各測定場所における 3-ET の測定結果

測定時間帯	喫煙者数	空気中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			測定時間帯	喫煙者数	空気中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 喫煙スペース(喫煙者のいる時間帯のみ)		
		喫煙スペース(1hr捕集)	非喫煙スペース(1hr捕集)	実験室(1hr捕集)					
10:00~11:00	N=1	0	2.34	2.20	<1	10:55~11:00	N=1	12	10.3
10:00~11:00	N=2	0	2.77	2.10	<1	10:55~11:00	N=2	12	10.0
11:00~12:00	N=1	12	2.99	1.36	<1	13:55~14:00	N=1	18	5.26
11:00~12:00	N=2	12	1.37	1.68	<1	13:55~14:00	N=2	18	5.24
12:00~13:00	N=1	30	5.28	3.56	1.20	14:40~15:00	N=1	22	5.93
12:00~13:00	N=2	30	5.18	3.85	<1	14:40~15:00	N=2	22	5.26
13:00~14:00	N=1	14	2.21	2.11	<1	15:40~15:55	N=1	26	<1
13:00~14:00	N=2	14	2.20	2.33	<1	15:40~15:55	N=2	26	8.06
14:00~15:00	N=1	33	3.12	2.42	<1	16:35~14:45	N=1	5	3.80
14:00~15:00	N=2	33	3.16	3.16	<1	16:35~14:45	N=2	5	2.65
15:00~16:00	N=1	26	3.00	2.37	<1	16:45~17:00	N=1	4	3.25
15:00~16:00	N=2	26	3.22	2.60	<1	16:45~17:00	N=2	4	3.50
16:00~17:00	N=1	9	<1	2.07	<1				
16:00~17:00	N=2	9	2.09	2.06	<1				

表 4-3-5 各測定場所におけるニコチンの測定結果

測定時間帯	喫煙者数	空気中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			測定時間帯	喫煙者数	空気中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 喫煙スペース(喫煙者のいる時間帯のみ)		
		喫煙スペース(1hr捕集)	非喫煙スペース(1hr捕集)	実験室(1hr捕集)					
10:00~11:00	N=1	0	13.9	6.63	<1	10:55~11:00	N=1	12	48.4
10:00~11:00	N=2	0	11.7	7.05	<1	10:55~11:00	N=2	12	45.8
11:00~12:00	N=1	12	10.7	2.74	<1	13:55~14:00	N=1	18	26.7
11:00~12:00	N=2	12	10.3	3.66	<1	13:55~14:00	N=2	18	29.0
12:00~13:00	N=1	30	26.6	19.2	<1	14:40~15:00	N=1	22	25.0
12:00~13:00	N=2	30	29.4	20.3	<1	14:40~15:00	N=2	22	25.3
13:00~14:00	N=1	14	11.9	8.23	<1	15:40~15:55	N=1	26	35.2
13:00~14:00	N=2	14	14.8	9.17	<1	15:40~15:55	N=2	26	38.6
14:00~15:00	N=1	33	18.9	15.0	<1	16:35~14:45	N=1	5	14.0
14:00~15:00	N=2	33	19.0	16.8	<1	16:35~14:45	N=2	5	14.9
15:00~16:00	N=1	26	18.5	10.1	<1	16:45~17:00	N=1	4	13.9
15:00~16:00	N=2	26	15.8	12.4	<1	16:45~17:00	N=2	4	11.8
16:00~17:00	N=1	9	<1	7.41	<1				
16:00~17:00	N=2	9	12.8	8.14	<1				

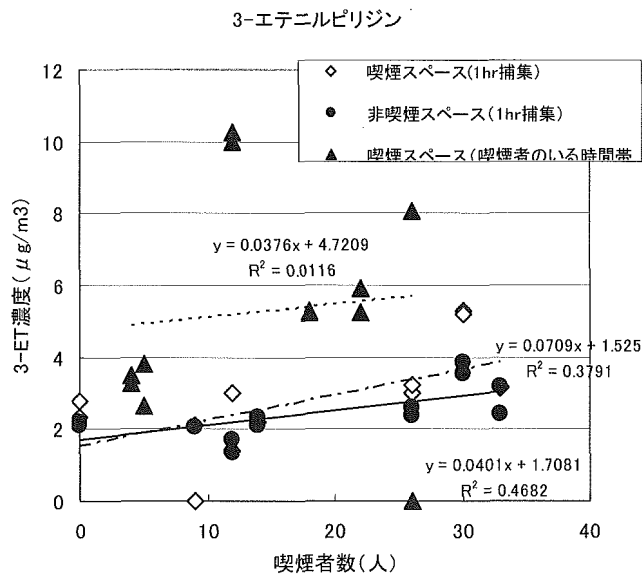


図 4-3-9 各測定場所における 3-ET の濃度と喫煙者数の関係

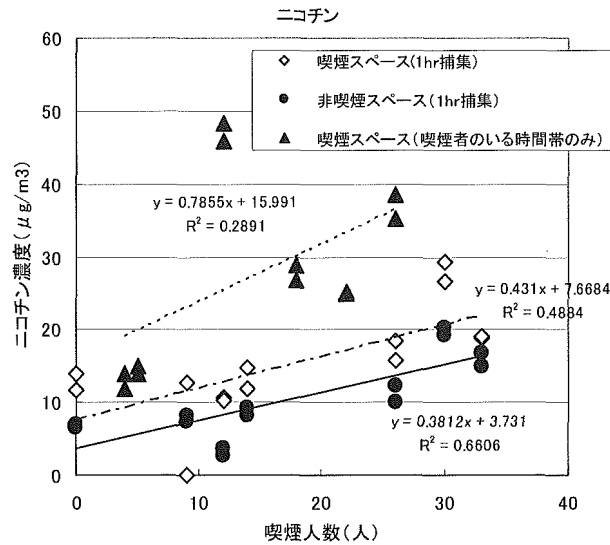


図 4-3-10 各測定場所におけるニコチンの濃度と喫煙者数の関係

4.3.4 3-ET およびニコチン分析法の回収率および回収率の保存日数依存性の確認

ISO18145 には、3-ET およびニコチンは回収率が捕集後抽出までの保管時間に依存するため、負荷量を変化させた吸着管を一定日数保管し、回収率の変化から補正係数を求める記載がある。それに従い添加回収試験および回収率の保存日数依存性を確認した。

(1) 添加回収試験

XAD-4 チューブに 3-ET を $0.9 \mu\text{g}$ 、ニコチンを $2 \mu\text{g}$ 添加した試料を 5 本作成し、保存せずに即日前処理および分析を行った。結果を表 4-3-6 に示す。80-100% の良好な回収率が得られた。

表 4-3-6 添加回収試験結果

No.	試料名	3-エテニルピリジン				ニコチン			
		添加量 (μg)	回収量 (μg)	3層合計量 (μg)	回収率(%)	添加量 (μg)	回収量 (μg)	3層合計量 (μg)	回収率(%)
1	捕集層	0.88	0.717589	0.7176	81.5	2.078	1.820961	1.8210	87.6
	ウール		0				0		
	バックアップ層		0				0		
2	捕集層	0.88	0.894157	0.8942	101.6	2.078	1.982841	1.9828	95.4
	ウール		0				0		
	バックアップ層		0				0		
3	捕集層	0.88	0.852247	0.8522	96.8	2.078	1.883843	1.8838	90.7
	ウール		0				0		
	バックアップ層		0				0		
4	捕集層	0.88	0.800453	0.8005	91.0	2.078	1.714065	1.7878	86.0
	ウール		0				0.073759		
	バックアップ層		0				0		
5	捕集層	0.88	0.767809	0.7678	87.3	2.078	1.722671	1.7227	82.9
	ウール		0				0		
	バックアップ層		0				0		

(2) 回収率の保存日数依存性

ISO18145 に従い、XAD-4 チューブの溶封を切ったブランクチューブを 5 本×4 バッチ、

3-ET を 0.04 μg 、ニコチンを 0.1 μg 添加したチューブ、3-ET を 0.08 μg 、ニコチンを 0.2 μg 添加したチューブ、3-ET を 0.2 μg 、ニコチンを 0.5 μg 添加したチューブをそれぞれ 5 本 \times 4 バッチ準備した。これらのチューブを 5 $^{\circ}\text{C}$ の冷蔵庫内で保管し、7、10、20、30 日目にそれぞれの添加条件のチューブを 5 本取り出し、分析した。

測定結果を表 4-3-7 に示す。ISO18145 に従い、3-ET の脱着率と検出量との関係をプロットしたものを図 4-3-11 に、ニコチンについて図 4-3-12 に示す。依存性がない場合、同じ回収率の線上に点が並ぶ。若干のばらつきはあるものの、保存日数に相関は認められなかった。保存日数と脱着率の関係をプロットしたものを図 4-3-13 及び図 4-3-14 に示す。3-ET、ニコチンともに安定していることが分かった。従って、実測調査の捕集資料は、抽出までの保存日数補正は行わず。7~30 日保存したすべての回収率の平均 (3-ET : 86%、ニコチン : 77%) の回収率を用いて一律回収率補正することとした。

尚、ブランクサンプルから 3-ET は検出されなかったが、ニコチンは若干検出されるバッチが認められた。3-ET は検量線最低濃度から定量下限は 0.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ とした。ニコチンは検出されたブランクの標準偏差の 10 倍から、定量下限を 0.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ とした

表 4-3-7 回収率の保存日数依存性確認試験結果

保存日数		3-エテニルピリジン			ニコチン			
		添加量 (μg)	3層合計量 (μg)	回収率(%)	添加量 (μg)	3層合計量 (μg)	ブランク 差引き(μg)	回収率(%)
7days	1set	0.0440	0.0361	82	0.1039	0.0913	0.0720	69
	2set	0.0880	0.0720	82	0.2078	0.1744	0.1552	75
	3set	0.2200	0.1804	82	0.5195	0.3939	0.3747	72
10days	1set	0.0440	0.0388	88	0.1039	0.0907	0.0770	74
	2set	0.0880	0.0720	82	0.2078	0.1682	0.1545	74
	3set	0.2200	0.1820	83	0.5195	0.4206	0.4069	78
20days	1set	0.0440	0.0394	89	0.1039	0.0888	0.0793	76
	2set	0.0880	0.0772	88	0.2078	0.1686	0.1591	77
	3set	0.2200	0.1837	84	0.5195	0.4122	0.4026	78
30days	1set	0.0440	0.0443	101	0.1039	0.0910	0.0891	86
	2set	0.0880	0.0801	91	0.2078	0.1661	0.1643	79
	3set	0.2200	0.1905	87	0.5195	0.4356	0.4338	83
総平均			86				77	

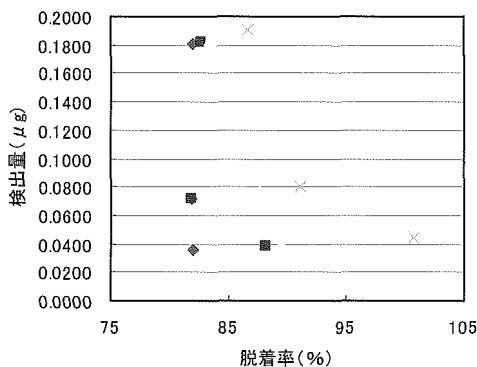


図 4-3-11 3-ET 脱着率と検出量の関係

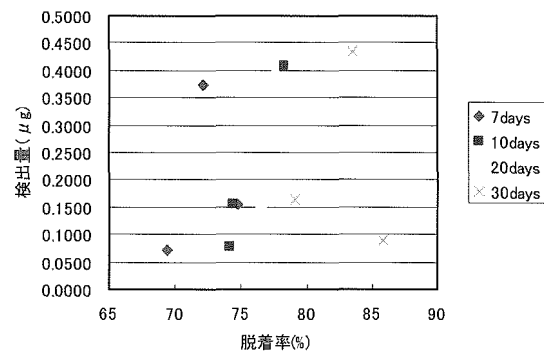


図 4-3-12 ニコチン脱着率と検出量の関係

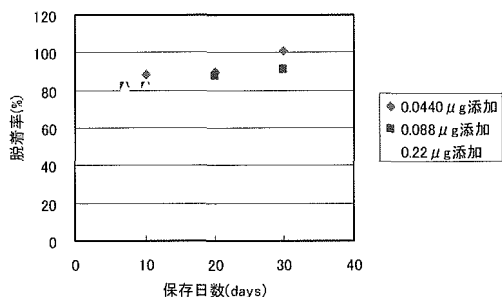


図 4-3-13 保存日数と 3-ET 脱着率の関係

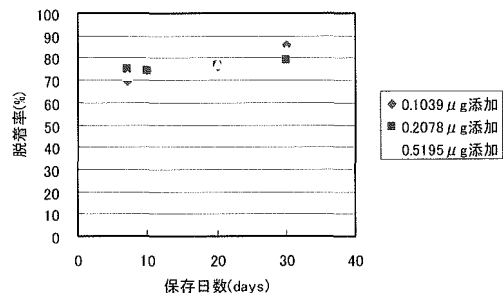


図 4-3-14 保存日数とニコチン脱着率の関係

4.3.5 各施設の実測調査

各施設の実測調査条件は、M 建物での予備調査結果を反映し、次の条件で実施した。

(1) 3-ET およびニコチンのサンプリング条件

サンプリングは XAD-4 20/40mesh を 120mg 充填した市販品チューブ (SKC 製およびスペルコ製) を用い、1L/min の流量で捕集を行った。捕集は可能な限りの時間を捕集することとし、11:00~15:00 の 4 時間の捕集は必須とした。また、講習会などにより喫煙者が集中する休憩時間がある施設では、喫煙者がいる時間帯のみの捕集も行った。いずれの施設も、灰皿内の吸殻の計測により喫煙本数カウントした。但し、清掃業者による清掃で定期的に吸殻が廃棄される施設もあり、そのような場合は計測なしとした。

サンプリングは、喫煙室内および喫煙室から 5m 離れた非喫煙場所の 2 箇所で行った。

(2) 3-ET およびニコチンの前処理および分析条件

XAD チューブは前段 (入口側) のシリカウール、XAD 樹脂 1 層目、XAD 樹脂 2 層目をそれぞれ別々に取り出し、GC-MS 測定用バイアル瓶に移した。内部標準物質としてキノリン 5 μg/mL およびガラス吸着防止のための 0.01% トリエチルアミン (TEA) を含む酢酸エチルを 1mL 加え、30 分超音波抽出を行った。その上澄みを GC-MS 測定に供した。測定条件を以下に示す。

尚、3-エテニルピリジンは入手しやすい市販品がないため、ISO と同様に 4-エテニルピリジンを用いて定量を行った。

装置	GC-MS 6890-5973N (Agilent)		
カラム	DB-WAX 30m×0.25mmID 膜厚 0.5 μm		
オープン温度	50°C (1min) - (10°C/min) -215°C- (20°C/min) -240°C(5min)		
注入口温度	230°C		
注入条件	1 μL スプリットレス		
検出法	選択イオン検出法		
	3-ET	ニコチン	IS
定量イオン(m/z)	105	84	129
確認イオン(m/z)	78	162	102

(3) アルデヒド類のサンプリング条件

サンプリングは DNPH カートリッジ (ジーエルサイエンス製 AERO DNPH) を用い、0.5L/min の流量で捕集を行った。捕集は可能な限りの時間を捕集することとし、11:

00～15：00 の 4 時間の捕集は必須とした。また、DNPH はアクロレインと誘導化反応が悪いことが知られており、アクロレインは良好に反応する誘導化剤である CNET (O-(4-cyano-25-ethoxybenzyl)hydroxylamine) を用いた CNET-A カートリッジ (住化分析センター製) で採取した。

サンプリングは、喫煙室内および喫煙室から 5m 離れた非喫煙場所の 2 箇所で行った。

(4) アルデヒド類の前処理および分析条件

DNPH カートリッジ, CNET カートリッジはアセトニトリルで溶出し 5mL とし, HPLC 測定に供した。測定条件は次のとおりである。

<アルデヒド-DNPH 誘導体の分析条件>

装置	LC-10AVP (島津製作所)
カラム	Discovery RP Amide C16 25cm×4.6mm φ, 5 μ m
移動相	アセトニトリル/水 40/60 - (40min) -100/0 リニアグラジエント
移動相流量	1mL/min
オープン温度	40℃
検出器	フォトダイオードアレイ検出器
検出波長	360nm

<アルデヒド-CNET 誘導体の分析条件>

装置	LC-10AVP (島津製作所)
カラム	Discovery RP Amide C16 25cm×4.6mm φ, 5 μ m
移動相	アセトニトリル/水 45/55 アイソクラティック
移動相流量	1mL/min
オープン温度	40℃
検出器	フォトダイオードアレイ検出器
検出波長	240nm

4.3.6 各施設の実測調査結果および考察

(1) 3-ET およびニコチンの測定結果

各施設の 3-ET およびニコチンの測定結果を表 4-3-8 に示す。喫煙本数の計測できた施設について、喫煙本数と空气中濃度の関係を喫煙室内と非喫煙場所それぞれについてプロットしたものを図 4-3-15,4-3-16 に示す。この関係は喫煙室の容積, 換気の状態, たばこの銘柄等様々な要素に左右されるものと思われるが, 喫煙室内の結果では相関係数は低い。3-ET, ニコチン共に喫煙本数が増えれば濃度も増加している傾向が見られた。非喫煙場所では相関は得られていないが, 喫煙室の密閉状況が各施設異なっているためその様子をよく反映した結果と思われる。

B 建物では講習の休憩時間喫煙者がいる時間帯のみのサンプリングも行った。測定結果を表 4-3-9 に示す。また, 喫煙本数と空气中濃度の関係を喫煙室内と非喫煙場所それぞれについてプロットしたものを図 4-3-17,4-3-18 に示す。喫煙本数と空气中濃度に相関は見られず, 濃度は飽和しているようにも見受けられる。4.3.3 項の予備調査結果 (喫煙人数との関係) を勘案すると, 一定の時間平均として測定を行った場合は喫煙人数や本数と空气中濃度の相関がある程度得られるが, 喫煙者がいる時間のみのスポット測定では傾向が得

られないことが分かった。

3-ET とニコチンの測定結果について、喫煙室と非喫煙場所の測定結果を式 1 を用いて「漏れ出し率」として評価した結果を表 4-3-10 に示す。この表には、予備調査の結果も含めて記載している。

$$\text{漏れ出し率(\%)} = \text{非喫煙場所濃度} \times 100 / \text{喫煙室内濃度} \quad (\text{式 1})$$

概ね分煙状況をよく反映した結果と思われる。ほとんどの施設においてニコチンの漏れ出し率が 3-ET より低くなっている。これはニコチンの速やかな酸化や壁面・粒子への付着による減衰などが考えられるが、モデル実験による実証や減少の把握が必要である。

表 4-3-8 各施設の測定結果

調査ビル		喫煙本数	3-エテニルピリジン ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		ニコチン ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
			喫煙室内	喫煙室外	喫煙室内	喫煙室外
B建物(喫煙室不使用日)	N=1	0	0.00	計測せず	0.04	計測せず
	N=2	0	0.02	計測せず	0.05	計測せず
B建物(喫煙室使用日)	N=1	221	1.0	0.09	8.5	0.13
	N=2	221	0.88	0.09	6.8	0.09
C建物	N=1	139	4.3	0.27	44	0.37
	N=2	139	3.9	0.28	39	0.39
D建物	N=1	85	0.97	0.44	5.0	1.4
	N=2	85	1.0	0.46	4.8	1.5
E建物	N=1	11	1.5	0.51	4.3	0.37
	N=2	11	1.3	0.53	3.9	0.36
M建物(本調査)	N=1	324	2.1	0.59	14	1.1
	N=2	322	2.1	0.59	17	1.7

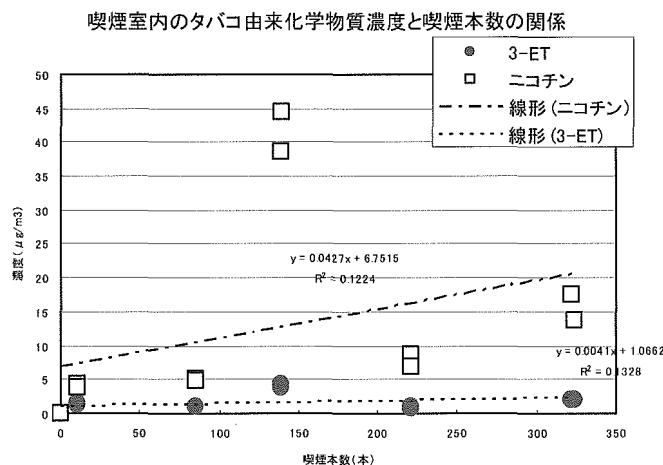


図 4-3-15 喫煙室内のタバコ由来化学物質濃度と喫煙本数の関係

非喫煙場所のタバコ由来化学物質濃度と喫煙本数の関係

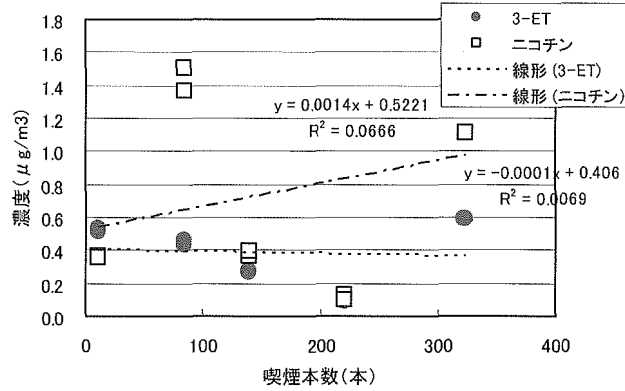


図 4-3-16 非喫煙場所のタバコ由来化学物質濃度と喫煙本数の関係

表 4-3-9 B 建物 喫煙者がいる時間帯のみの測定結果

測定時間帯		喫煙本数	空气中濃度 (μg/m ³)	
			3-エチルピリジン	ニコチン
9:20-9:30	N=1	62	3.8	32
	N=2	62	3.3	27
10:35-10:45	N=1	33	5.5	46
	N=2	33	3.9	28
11:40-12:30	N=1	46	1.9	14
	N=2	46	1.4	11
13:38-13:45	N=1	30	5.4	49
	N=2	30	4.3	33
15:30-15:40	N=1	23	4.6	38
	N=2	23	3.5	25

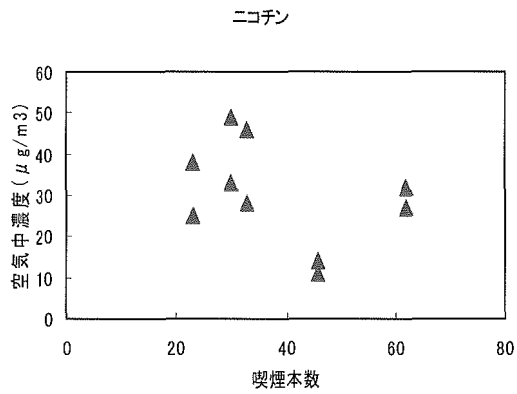
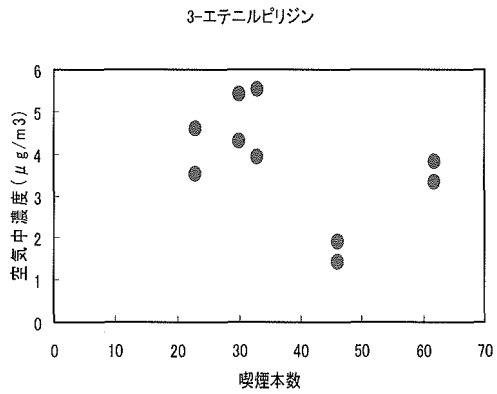


図 4-3-17 喫煙本数と 3-ET の空气中濃度の関係 (喫煙者がいる時間帯のみ)

図 4-3-18 喫煙本数とニコチンの空气中濃度の関係 (喫煙者がいる時間帯のみ)

表 4-3-10 喫煙室/非喫煙場所検出濃度の比率によるガス状物質漏れ出し率の評価結果

測定時間帯		喫煙者数	3-エテニルピリジン			ニコチン		
			空気中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	平均 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	漏れ出し率(%)	空気中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	平均($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	漏れ出し率(%)
東京1建物 10:00~11:00	喫煙室	N=1	2.3	2.6	84	14	13	53
	喫煙室	N=2	2.8			12		
	喫煙室外	N=1	2.2	6.6		6.8		
	喫煙室外	N=2	2.1	7.1				
東京1建物 11:00~12:00	喫煙室	N=1	3.0	2.2	70	11	10	31
	喫煙室	N=2	1.4			10		
	喫煙室外	N=1	1.4	1.5		2.7	3.2	
	喫煙室外	N=2	1.7			3.7		
東京1建物 12:00~13:00	喫煙室	N=1	5.3	5.2	71	27	28	71
	喫煙室	N=2	5.2			29		
	喫煙室外	N=1	3.6	3.7		19	20	
	喫煙室外	N=2	3.8			20		
東京1建物 13:00~14:00	喫煙室	N=1	2.2	2.2	101	12	13	65
	喫煙室	N=2	2.2			15		
	喫煙室外	N=1	2.1	2.2		8.2	8.7	
	喫煙室外	N=2	2.3			9.2		
東京1建物 14:00~15:00	喫煙室	N=1	3.1	3.1	89	19	19	84
	喫煙室	N=2	3.2			19		
	喫煙室外	N=1	2.4	2.8		15	16	
	喫煙室外	N=2	3.2			17		
東京1建物 15:00~16:00	喫煙室	N=1	3.0	3.1	80	18	17	66
	喫煙室	N=2	3.2			16		
	喫煙室外	N=1	2.4	2.5		10	11	
	喫煙室外	N=2	2.6			12		
東京1建物 16:00~17:00	喫煙室	N=1	<1.0	2.1	99	<1.0	13	61
	喫煙室	N=2	2.1			13		
	喫煙室外	N=1	2.1	2.1		7.4	7.8	
	喫煙室外	N=2	2.1			8.1		
平均	-	-	-	-	85	-	-	61
A建物	喫煙室	N=1	0.86	0.91	4	2.1	2.2	0
	喫煙室	N=2	0.96			2.2		
	廊下	N=1	0.04	0.04		0.0	0.0	
	廊下	N=2	0.04			0.0		
B建物(喫煙室不使用日)	喫煙室	N=1	0.00	0.01	-	0.04	0.04	-
	喫煙室	N=2	0.02			0.05		
B建物(喫煙室使用日)	喫煙室	N=1	1.0	0.94	9	8.5	7.7	3
	喫煙室	N=2	0.88			6.8		
	喫煙室外	N=1	0.09	0.09		0.13	0.19	
	喫煙室外	N=2	0.09			0.09		
C建物	喫煙室	N=1	4.3	4.1	7	44	42	1
	喫煙室	N=2	3.9			39		
	喫煙室外	N=1	0.27	0.27		0.37	0.38	
	喫煙室外	N=2	0.28			0.39		
D建物	喫煙室	N=1	0.97	1.0	45	5.0	4.9	29
	喫煙室	N=2	1.0			4.8		
	喫煙室外	N=1	0.44	0.45		1.4	1.4	
	喫煙室外	N=2	0.46			1.5		
E建物	喫煙室	N=1	1.5	1.4	38	4.3	4.1	9
	喫煙室	N=2	1.3			3.9		
	喫煙室外	N=1	0.51	0.52		0.37	0.36	
	喫煙室外	N=2	0.53			0.36		
	喫煙時間帯	N=1	2.3	2.2	12	11		
	喫煙時間帯	N=2	2.1		10			
東京1建物(本調査)	喫煙室	N=1	2.1	2.1	27	14	15	9
	喫煙室	N=2	2.1			17		
	喫煙室外	N=1	0.59	0.59		1.1	1.4	
	喫煙室外	N=2	0.59			1.7		

(2) アルデヒド類の測定結果

各施設におけるアルデヒド類の測定結果を表 4-3-11 に示す。各施設に共通して喫煙場所の方が有意に高濃度となるケースは確認できなかった。アクロレイン, メタアクロレイン, イソバレルアルデヒド, バレルアルデヒドといった臭気の強い物質が検出されたことは興味深い, 人体に由来することも考えられる。また, 喫煙場所/非喫煙場所間の濃度比も小さく, 特異性という点でたばこ臭気の漏れ出しを評価するモニター成分とはし難いと考えられる。

(竹田菊男, 長谷川あゆみ)

表 4-3-11 アルデヒド類の測定結果

調査場所	調査箇所	測定結果($\mu\text{g}/\text{m}^3$)													
		ホルムアルデヒド	アセトアルデヒド	アセトン	アクロレイン*	アクロレイン	プロピオンアルデヒド	クロトンアルデヒド	メタアクリレン	2-ブタノン	ブタナール	ベンズアルデヒド	イソバレルアルデヒド	バレルアルデヒド	ヘキサナール
A建物	喫煙未使用	3.3	2.0	4.5	0.80	0.79	0.30	0.04	0.75	0.27	0.26	1.2	<0.20	0.51	0.99
	喫煙	7.7	12	14	0.21	3.9	1.6	0.24	3.3	0.47	1.7	2.1	0.48	0.85	5.3
	非喫煙	3.6	4.5	11	<0.20	1.2	0.36	0.11	2.0	0.44	0.31	1.6	<0.20	0.47	1.4
B建物	喫煙	11	17	17	1.0	4.8	1.7	0.75	5.2	1.3	3.2	2.5	0.59	0.58	5.8
	非喫煙	10	6.6	19	<0.20	1.4	0.78	0.70	3.8	0.80	0.92	1.7	0.07	0.68	1.7
	喫煙	14	33	31	0.23	7.5	3.1	1.1	7.5	0.91	3.4	4.4	1.3	1.3	15
C建物	非喫煙	5.0	5.9	17	<0.20	1.5	0.34	0.65	3.1	0.40	0.91	2.1	0.0	1.1	2.1
	喫煙	6.3	9.6	11	<0.20	2.8	1.2	0.76	4.7	0.14	0.97	1.6	0.42	0.61	2.8
	非喫煙	7.1	9.1	14	<0.20	2.0	1.1	0.77	4.5	0.68	1.6	1.8	0.26	0.61	2.4
E建物	喫煙	12	18	141	<0.20	3.7	2.1	1.2	7.0	1.0	3.0	2.8	0.55	0.78	4.3
	非喫煙	8.0	12	39	<0.20	2.7	1.6	1.1	5.8	0.89	2.0	2.1	0.29	0.73	2.9
	喫煙	15	20	19	<0.20	-	2.6	0.46	4.3	400	4.4	2.8	1.1	1.2	8.9
東京11建物(本調査)	非喫煙	7.0	4.4	12	0.27	-	1.0	0.33	2.2	170	1.9	1.3	0.30	0.51	2.8

*は CNET による測定結果

<参考文献>

- 1) 厚生労働省健康局総務課生活習慣病対策室健康情報管理係；平成 11-12 年度 たばこ煙の成分分析について（概要）（たばこと健康に関する情報ページより）
- 2) 厚生労働省 分煙効果判定基準策定検討会報告書（2002）
- 3) Brett C. et al., Gas-phase organics in environmental tobacco smoke.1. Effects of smoking rate, ventilation, and fumishing level on emission factors ; Environ. Sci. Technol.2002,36,846-853
- 4) Yan S. et al., Determination of 14 polycyclic aromatic hydrocarbons in mainstream smoke from domestic cigarettes ; Environ.Sci.Technol.2005,39,471-478
- 5) Richard J. et al., Indoor chemistry: Ozone and volatile organic compounds found in tobacco smoke ; Environ. Sci. Technol. 2001, 35, 2758-2764
- 6) 厚生労働省労働基準局安全衛生部労働衛生課環境改善室；新たな職場における喫煙対策のためのガイドラインの策定について（2003）
- 7) Young M. K. et al., Concentrations and sources of VOCs in urban domestic and public microenvironments ; Envieron. Sci. Technol. 200, 35, 997-1004

4.4 大学における分煙区画と濃度の実態

2003 年 5 月に施行された健康増進法により、受動喫煙防止の措置が施設管理者に義務付けられた。これを受けて大学でも、喫煙場所の設置と分煙区画が設けられたが、その空気汚染の実態については、報告例が少ない状況にある。

そこで本節では、金沢にある大学の建物内部に設けられた分煙空間について、喫煙場所との仕切りの状態の相違によるタイプ分けを行い、タイプごとに分煙空間の粉じん濃度の測定を実施して、その実態把握と両者の比較検討を行ったので以下に報告する。

4.4.1 分煙区画の形態種類と測定濃度

本節で対象とした大学には約 40 箇所の喫煙場所が設けられているが、その大半は屋外に設置されており、今回、測定の対象となった建物内部の喫煙場所・分煙空間は 9 箇所である。

これら 9 箇所を、分煙区画の仕切りが壁またはドア等となっている閉鎖型の A タイプと、仕切り部分にドアなどが無い開放型の B タイプの 2 タイプに分けたところ、A タイプは 4 箇所、B タイプは 5 箇所であった。測定に用いた機材を表 4-4-1 に、タイプ分けした測定場所の様子（写真）を表 4-4-2 に整理している。

2005 年 8 月～2006 年 1 月にかけて実施した濃度測定の結果を図 4-4-1 および 4-4-2 に示す。図 4-4-1 はレーザーパーティクルカウンターによる個数濃度、また、図 4-4-2 はピエゾバランス粉塵計およびデジタル粉塵計による質量濃度のグラフであり、喫煙者の有無に従い表示している。

全体として、仕切りのある A タイプの方が、仕切りのない B タイプよりも高い数値となっていることが読み取れる。これを確認するため、表 4-4-3 に示す A,B タイプにおいて測定した粒子濃度平均値を基準とした各濃度の比率を作成した。A タイプと B タイプの比較では、ピエゾバランスによる喫煙者ありの質量濃度でほぼ同様の数値となっている以外は、

デジタル粉塵計とレーザーパーティクルカウンターの全粒径でAタイプにおける濃度がBタイプを上回っている。

また、レーザーパーティクルカウンターによる個数濃度をみると、例えば $0.3\mu\text{m}$ 以上の喫煙者ありのケースでは、AタイプとBタイプの差は2倍程度であるが、 $5.0\mu\text{m}$ 以上になるとその差は8倍程度へ拡大しており、大粒径になるほど分煙区画のタイプの差が顕著となった。

通常の認識とは逆に、仕切りのない分煙空間の濃度が低く、一方、仕切りのある分煙空間の濃度が高くなった訳であるが、この原因としては、仕切りのない喫煙スペースでは予め大きな換気量が確保されたものと思われるが、仕切りのある喫煙スペースでは仕切りの存在を過信して喫煙空間の換気設計に問題が生じていると考えられる。次項では、A3の測定箇所を例に、さらに実測データの分析を行った。

表 4-4-1 測定機材

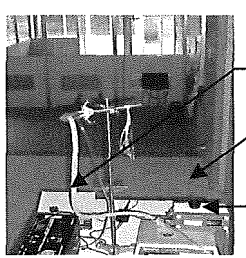





	①	②	③	
器具名	レーザーパーティクルカウンター	ヒコバシバランス粉塵計	光拡散式デジタル粉塵計	
製造元	日本カノマックス	日本カノマックス	日本カノマックス	
型番	TF-500	3511	3431	
測定範囲	$0.3\mu\text{m}$, $0.5\mu\text{m}$, $1.0\mu\text{m}$, $3.0\mu\text{m}$, $5.0\mu\text{m}$	$0\sim 10\text{mg}/\text{m}^3$	$0.001\sim 3.999\text{mg}/\text{m}^3$	
測定時間	1分～	2分～	1分～	

表 4-4-2 測定場所一覧

			分煙空間				喫煙空間		
			外観	空間の様子	仕切り	空間の様子	灰皿	座席	換気
仕切りあり	A1	5号館			 パーティション、引き戸 2箇所。	 換気扇 空気清浄機。 使用時間制限。	 3台×4箇所	 4台	 窓 6機。 天井 3機。 床 1機。 床面のガラリ風速 0.2m/s 以上。
	A2	17号館 東側			 パーティション、ドア1箇所。	 換気扇	 4台×1箇所	 3台	 窓 1機。 床面のガラリ風速 0.2m/s 以上。
	A3	17号館 西側			 パーティション、ドア1箇所。	 換気扇	 3台×1箇所	 3台	 窓 1機。 床面のガラリ風速 0.2m/s 以上。
	A4	23号館 1階			 パーティション、ドア1箇所。	 使用時間制限。	 4台×1箇所	 16箇所	 天井 1機 壁 2箇所
仕切りなし	B1	7号館			 一部で仕切り。常に開放。	 空気清浄機。 使用時間制限。	 3台×4箇所	 座席なし	 天井1機 床 3機
	B2	12号館			 常に開放。	 空気清浄機。	 1台×4箇所	 3台	 天井 2機 床 1機
	B3	LC ラウンジ			 常に開放。	 空気清浄機。 使用時間制限。	 1台×4箇所	 座席なし	 床 1機
	B4	6号館 1階			 常に開放。	 空気清浄機。 使用時間制限。	 2台×1箇所	 16箇所	 床 1機
	B5	6号館 中 2階			 常に開放。	 使用時間制限。	 1台×1箇所	 7台	 壁 1箇所 窓 2箇所

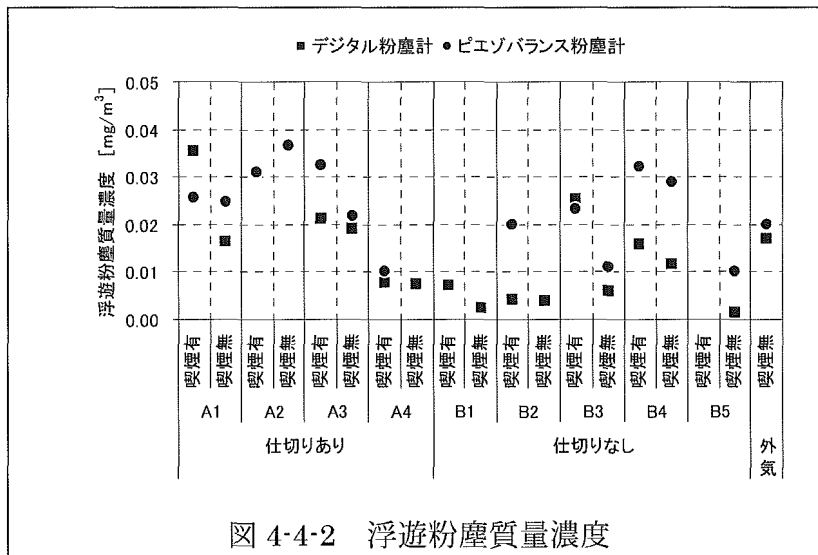
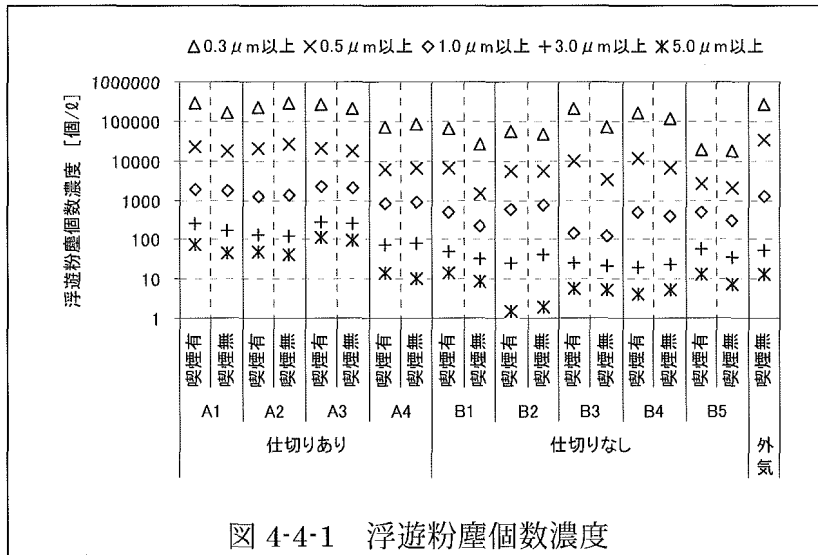


表 4-4-3 粉じん濃度平均値とタイプ別比率

		Aタイプ		Bタイプ		平均		
デジタル粉塵計 [mg/m³]	喫煙者有	0.021 (1.58)	0.013 (0.97)	0.017	—			
	喫煙者無	0.014 (1.06)	0.005 (0.38)	0.010	—			
	平均	0.018	0.009	0.014 (1.00)				
ピエゾバランス粉塵計 [mg/m³]	喫煙者有	0.025 (1.05)	0.025 (1.07)	0.025	—			
	喫煙者無	0.028 (1.17)	0.017 (0.71)	0.022	—			
	平均	0.026	0.021	0.024 (1.00)				
レーザー パーティクル カウンター [個/ℓ]	0.3 μm以上	喫煙者有	216714 (1.56)	102848 (0.74)	159781	—		
		喫煙者無	180160 (1.30)	55218 (0.40)	117889	—		
		平均	198437	79033	138735 (1.00)			
	0.5 μm以上	喫煙者有	17115 (1.52)	6990 (0.62)	12053	—		
		喫煙者無	17206 (1.53)	3767 (0.33)	10487	—		
		平均	17161	5379	11270 (1.00)			
	1.0 μm以上	喫煙者有	1497 (1.60)	434 (0.46)	965	—		
		喫煙者無	1467 (1.56)	356 (0.38)	911	—		
		平均	1482	395	938 (1.00)			
3.0 μm以上	喫煙者有	188 (1.86)	36 (0.36)	112	—			
	喫煙者無	151 (1.49)	30 (0.30)	90	—			
	平均	170	33	101 (1.00)				
5.0 μm以上	喫煙者有	61 (2.02)	8 (0.26)	35	—			
	喫煙者無	47 (1.53)	6 (0.19)	26	—			
	平均	54	7	30 (1.00)				

【(比率)≥1.00】
となっているケース