

Table 5 Worksheet of Results from Analysis of the CM4 Cigarettes using the ISO Regimen at National Institute of Public Health

Sample ID	Smoking Regimen	Number of cigarettes per pad	Puff number (combined)	Average puff number (/cig)	Total Particulate Matter (mg/cig)	CO (mg/cig)	Water (mg/cig)	Nicotine (mg/cig)	Tar (mg/cig)
CM401	ISO	5	50	10.0	19.220		2.273	1.029	15.919
CM402	ISO	5	50	10.0	18.988		0.322	1.026	17.640
CM403	ISO	5	49	9.8	19.090		1.478	1.008	16.604
CM404	ISO	5	47	9.4	19.660		0.870	0.984	17.806
CM405	ISO	5	46	9.2	18.592		0.461	0.988	17.143
CM406	ISO	5	50	10.0	19.348		0.731	1.009	17.608
CM407	ISO	5	49	9.8	18.542		0.443	0.924	17.175
CM408	ISO	5	46	9.2	17.532		0.367	0.875	16.289
CM409	ISO	5	46	9.2	17.666		0.408	0.927	16.330
CM410	ISO	5	46	9.2	18.356		0.387	0.932	17.037
CM411	ISO	5	46	9.2	19.556		0.633	0.971	17.951
CM412	ISO	5	49	9.8	20.164		0.593	1.065	18.506
CM413	ISO	5	46	9.2	20.166		0.695	1.019	18.452
CM414	ISO	5	51	10.2	20.164		0.656	1.064	18.444
CM415	ISO	5	47	9.4	19.386		0.569	1.033	17.784
CM416	ISO	5	47	9.4	19.244		1.761	0.981	16.502
CM417	ISO	5	48	9.6	20.480		0.574	1.108	18.799
CM418	ISO	5	49	9.8	18.584		0.505	0.957	17.122
CM419	ISO	5	47	9.4	18.606		0.603	0.997	17.006
CM420	ISO	5	49	9.8	20.002		0.524	1.082	18.395

Table 6 Worksheet of Results from Analysis of the 1R5F Cigarettes using the ISO Regimen at National Institute of Public Health

Sample ID	Smoking Regimen	Number of cigarettes per pad	Puff number (combined)	Average puff number (/cig)	Total Particulate Matter (mg/cig)	CO (mg/cig)	Water (mg/cig)	Nicotine (mg/cig)	Tar (mg/cig)
1R5F01	ISO	5	38	7.6	3.634		0.016	0.122	3.496
1R5F02	ISO	5	36	7.2	2.808		0.000	0.102	2.706
1R5F03	ISO	5	35	7.0	3.320		0.056	0.105	3.158
1R5F04	ISO	5	36	7.2	3.516		0.056	0.112	3.348
1R5F05	ISO	5	35	7.0	2.900		0.060	0.109	2.731
1R5F06	ISO	5	37	7.4	3.458		0.306	0.110	3.042
1R5F07	ISO	5	35	7.0	3.886		0.439	0.125	3.322
1R5F08	ISO	5	36	7.2	2.804		0.032	0.088	2.684
1R5F09	ISO	5	35	7.0	3.276		0.054	0.101	3.121
1R5F10	ISO	5	35	7.0	3.156		0.148	0.096	2.912
1R5F11	ISO	5	35	7.0	3.254		0.013	0.111	3.130
1R5F12	ISO	5	34	6.8	3.354		0.038	0.118	3.198
1R5F13	ISO	5	35	7.0	3.494		0.056	0.119	3.319
1R5F14	ISO	5	36	7.2	2.942		0.088	0.096	2.758
1R5F15	ISO	5	35	7.0	3.114		0.136	0.109	2.869
1R5F16	ISO	5	35	7.0	3.190		0.121	0.107	2.961
1R5F17	ISO	5	36	7.2	3.000		0.036	0.099	2.865
1R5F18	ISO	5	35	7.0	3.628		0.065	0.125	3.438
1R5F19	ISO	5	36	7.2	3.174		0.147	0.108	2.918
1R5F20	ISO	5	35	7.0	3.724		0.040	0.122	3.562
1R5F21	ISO	5	36	7.2	3.782		0.454	0.129	3.200

Figure 1. Nicotine in Mainstream smoke - CM4 - ISO Regimen

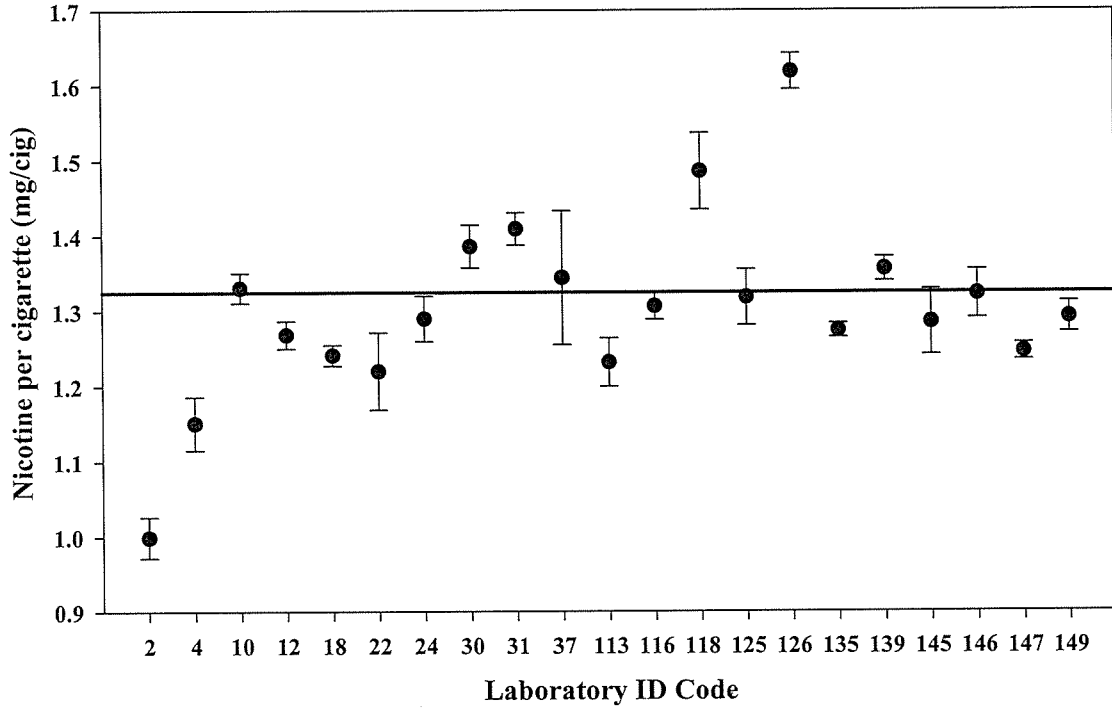


Figure 2. Nicotine in Mainstream smoke - CM4 - Intense Regimen

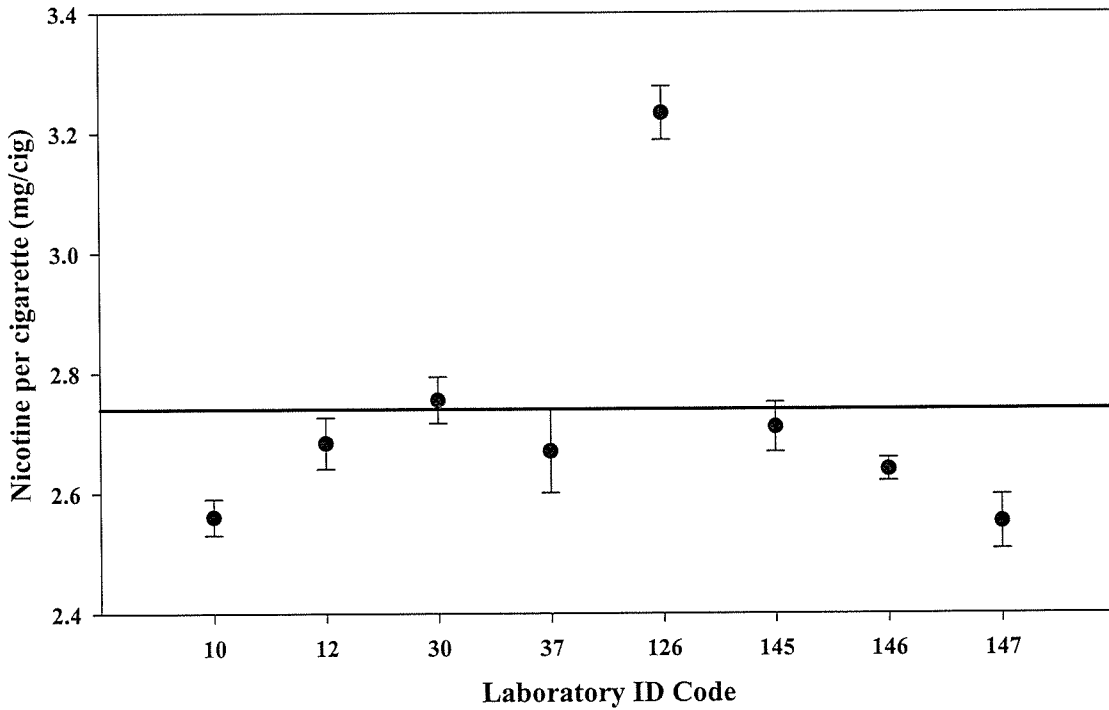


Figure 3. Nicotine in Mainstream smoke - 1R5F - ISO Regimen

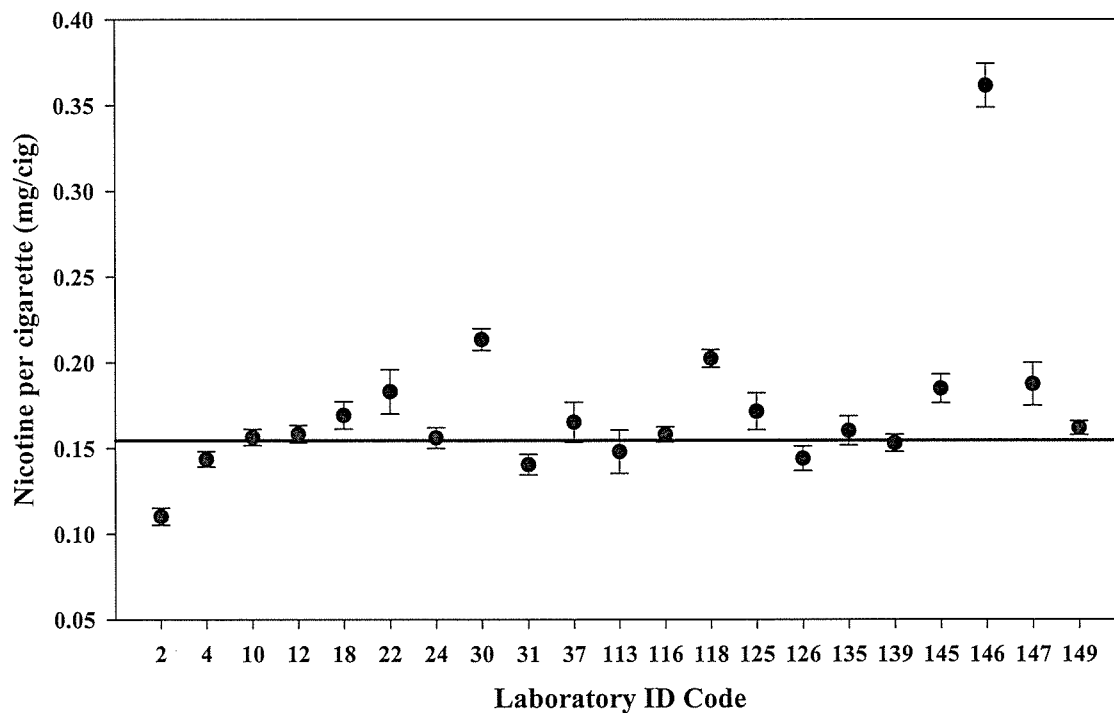


Figure 4. Nicotine in Mainstream smoke - 1R5F - Intense Regimen

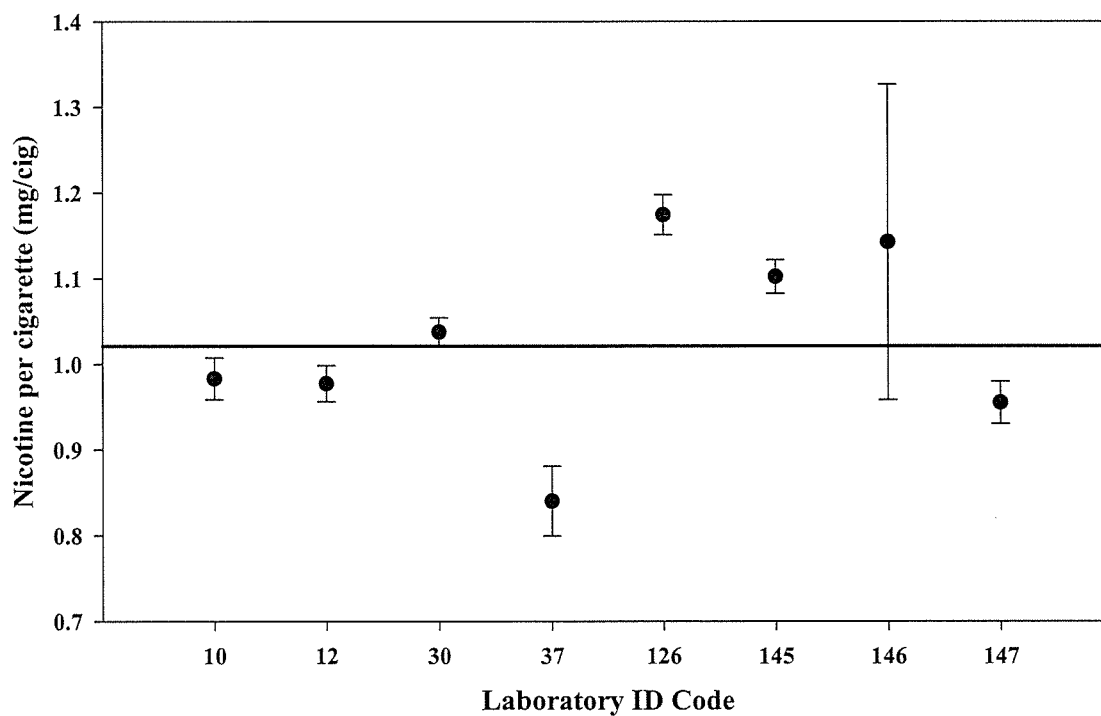


Figure 5. Tar in Mainstream smoke - CM4 - ISO Regimen

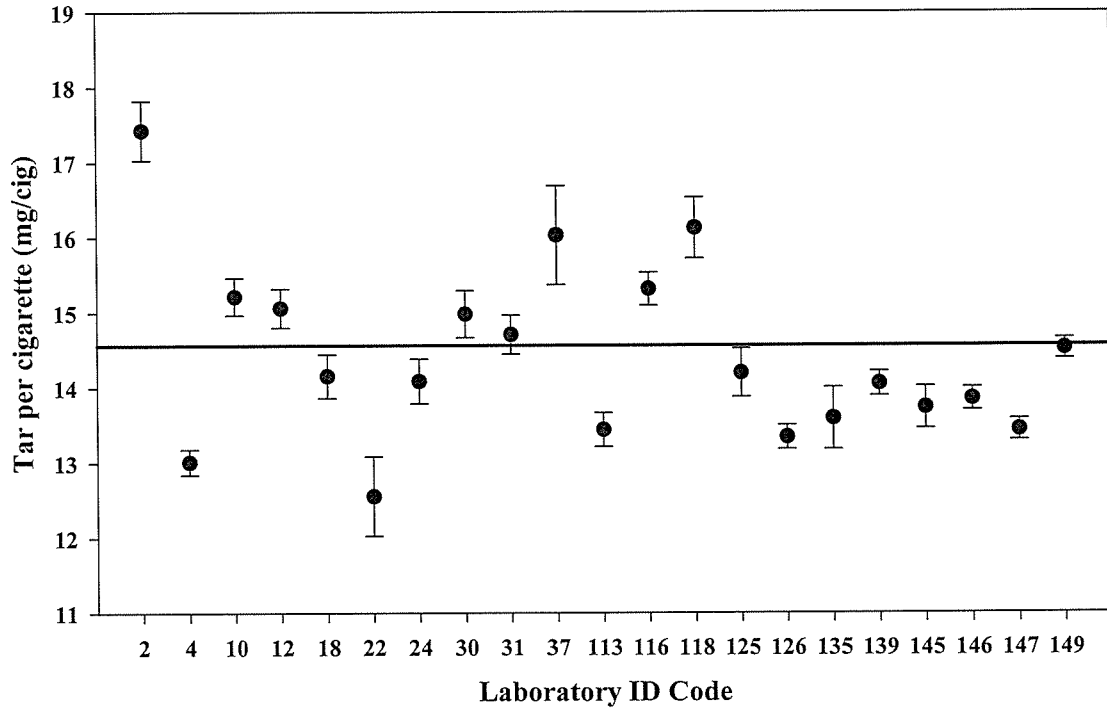


Figure 6. Tar in Mainstream smoke - CM4 - Intense Regimen

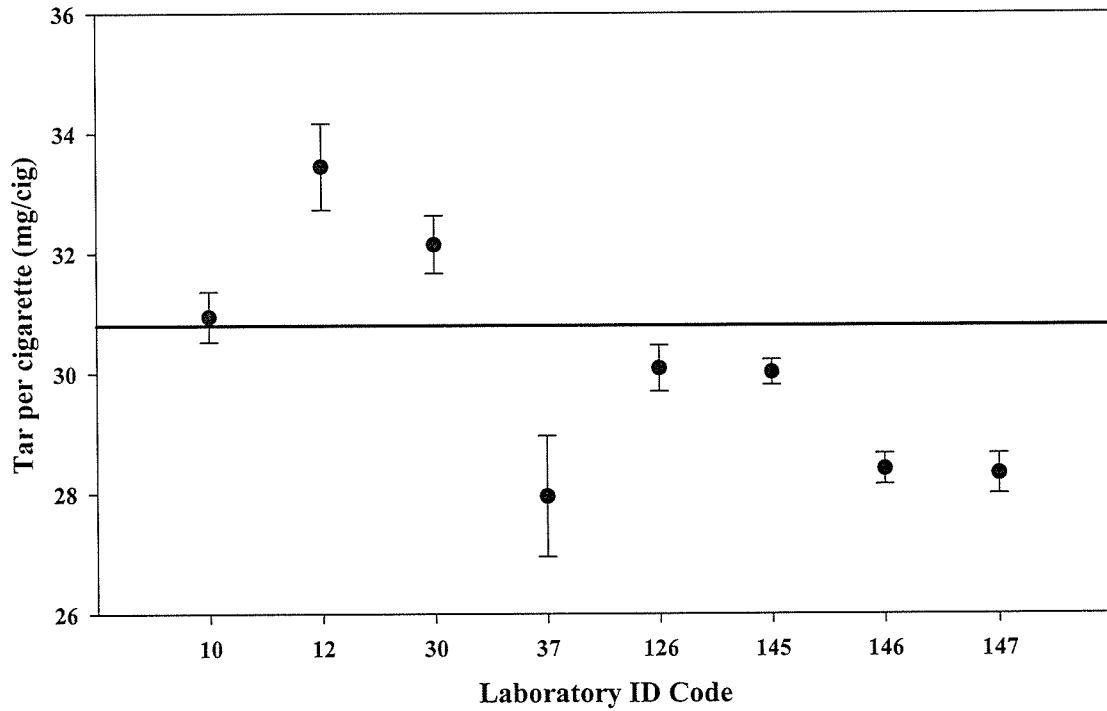


Figure 7. Tar in Mainstream smoke - 1R5F - ISO Regimen

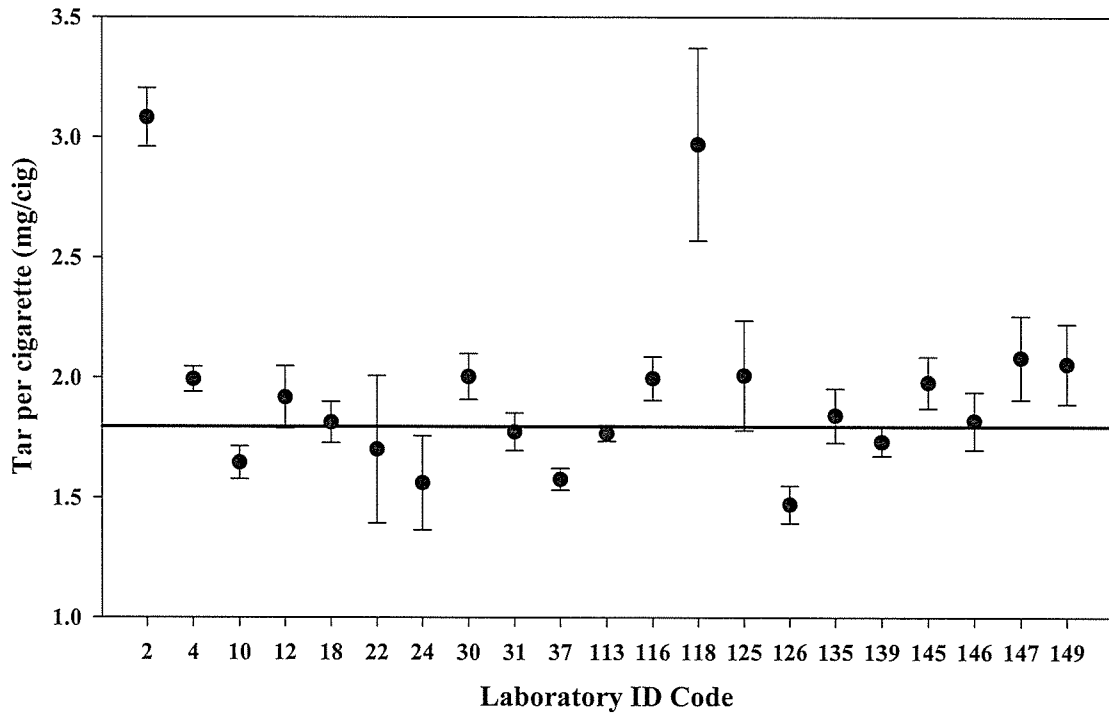


Figure 8. Tar in Mainstream smoke - 1R5F - Intense Regimen

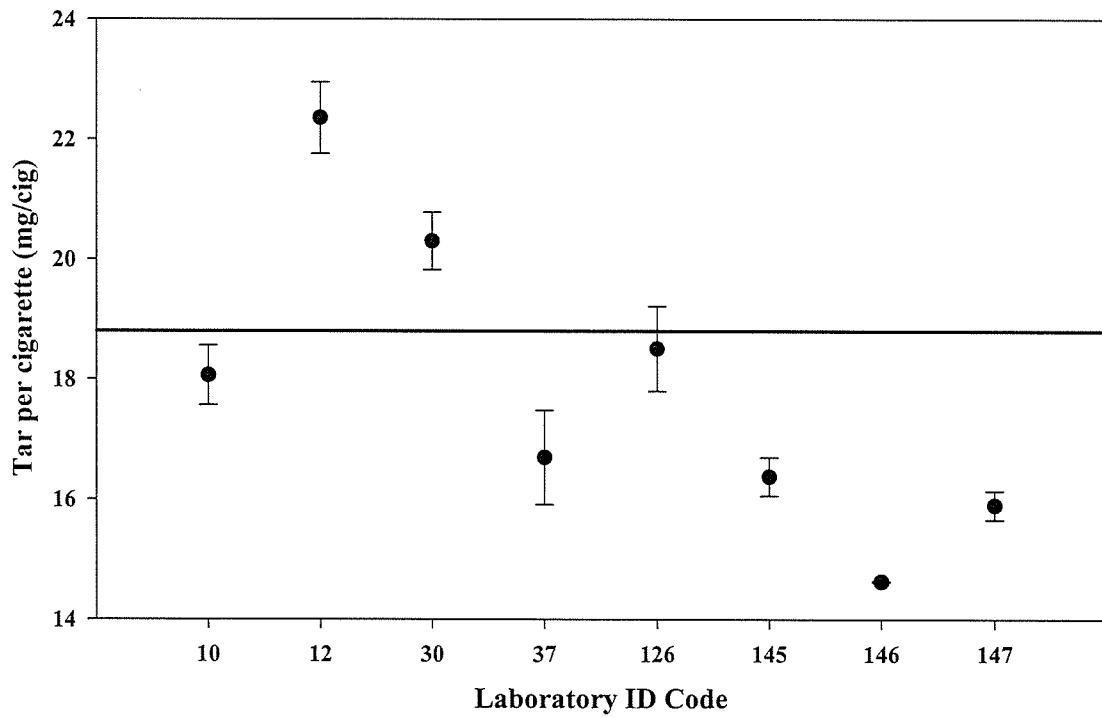


Figure 9. CO in Mainstream smoke - CM4 - ISO Regimen

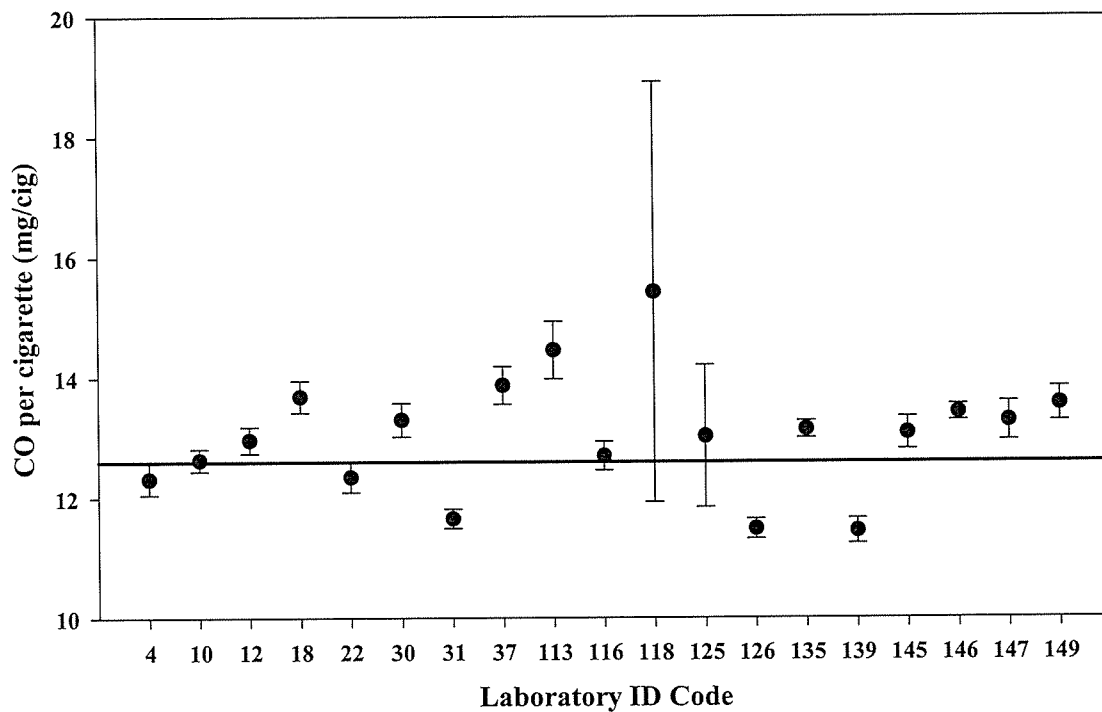


Figure 10. CO in Mainstream smoke - CM4 - Intense Regimen

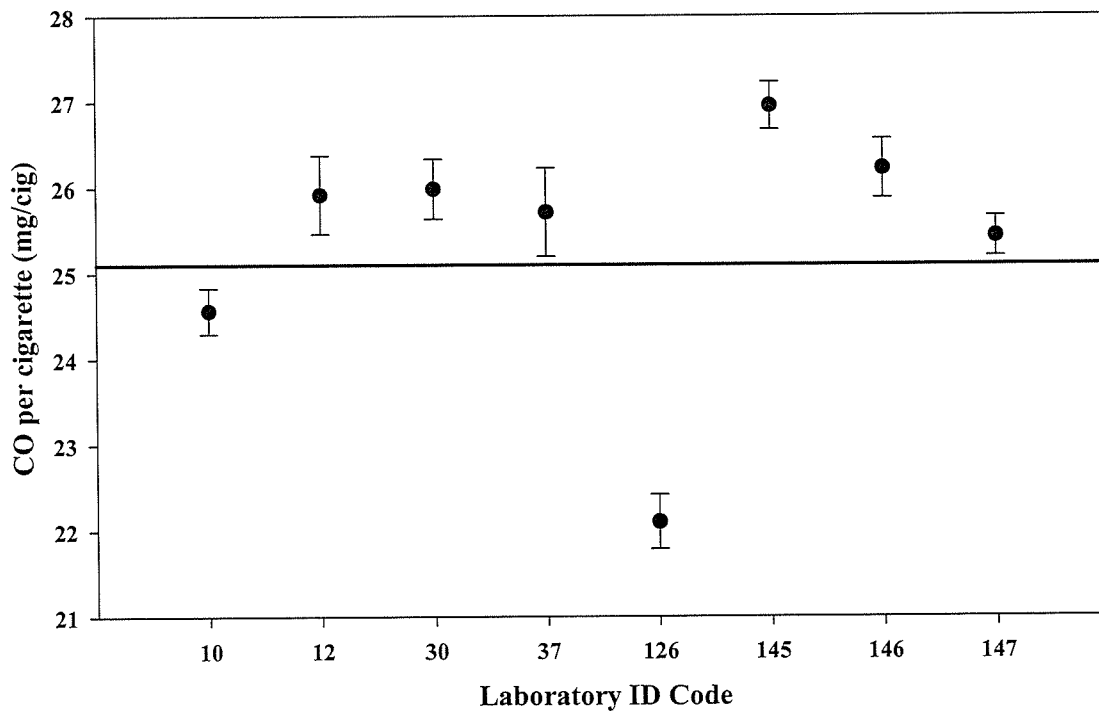


Figure 11. CO in Mainstream smoke - 1R5F - ISO Regimen

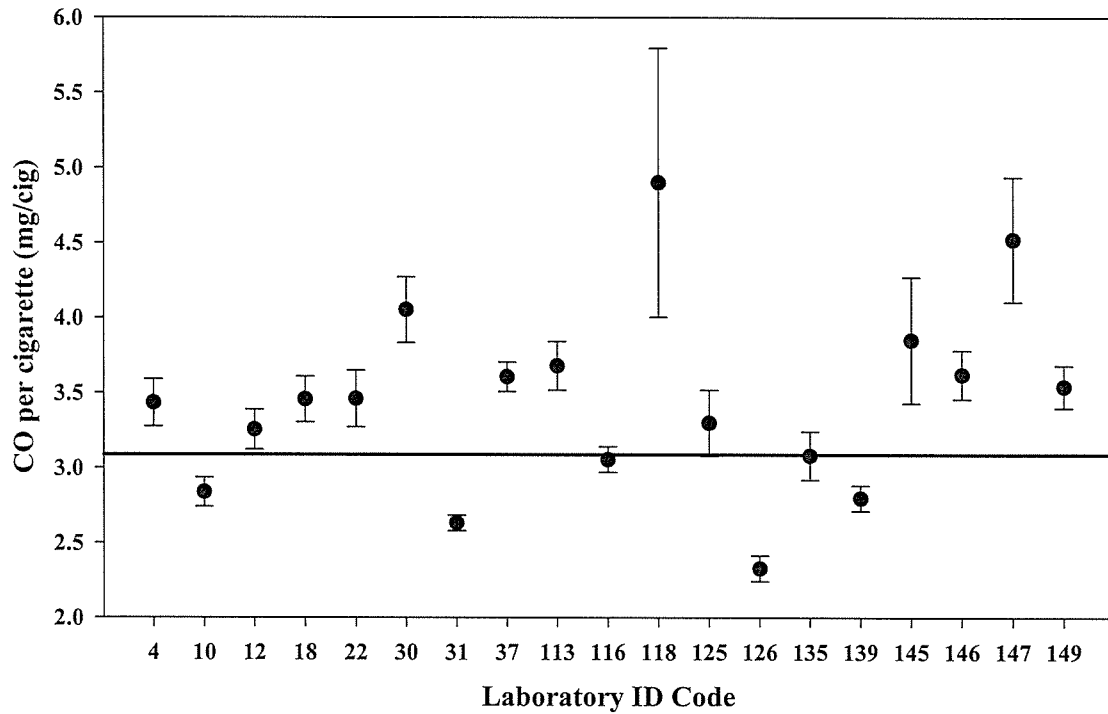


Figure 12. CO in Mainstream smoke - 1R5F - Intense Regimen

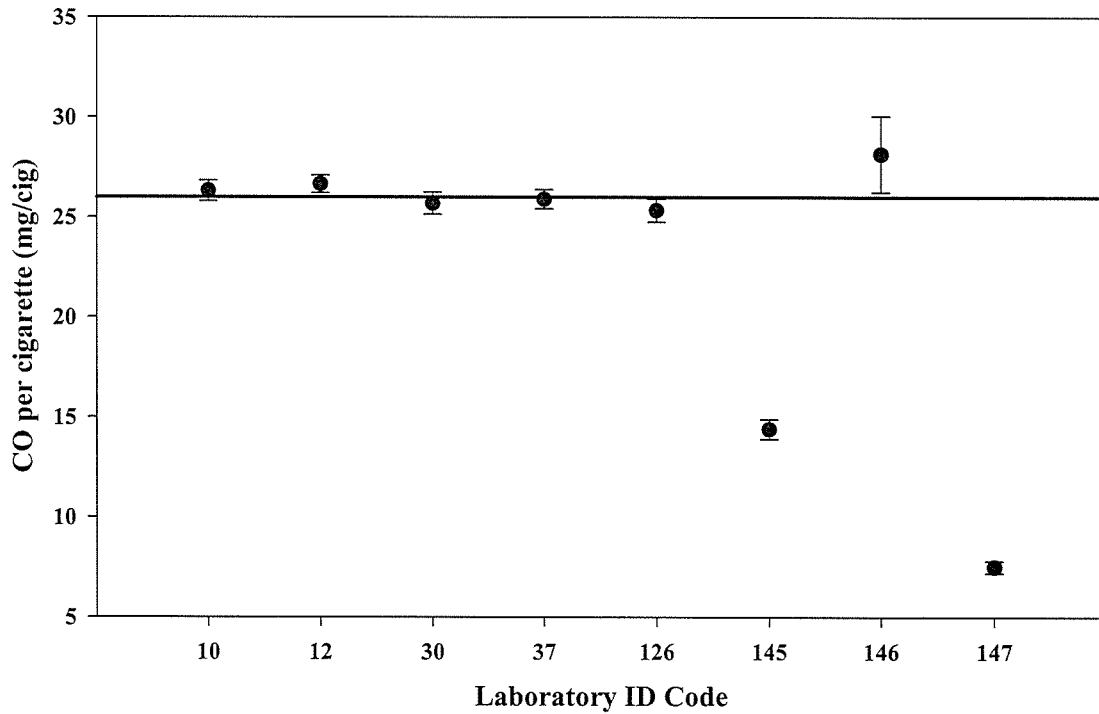


Table 7. Consensus Lab Results

Analyte	Cigarette Tested	Regimen	Number of Results after Removal of Outliers	Mean (mg/cig)	Standard Deviation (mg/cig)	Relative Standard Deviation (%)	Lower Confidence Limit (mg/cig)	Upper Confidence Limit (mg/cig)
Nicotine	CM4	ISO	218	1.32	0.079	6.0	1.31	1.34
		Intense	167	2.75	0.24	8.8	2.71	2.79
	1R5F	ISO	247	0.155	0.023	15.0	0.15	0.16
		Intense	169	0.982	0.14	14.5	0.96	1.00
Tar	CM4	ISO	247	14.6	1.0	7.0	14.4	14.7
		Intense	160	30.8	2.0	6.4	30.5	31.1
	1R5F	ISO	239	1.80	0.24	13.4	1.77	1.83
		Intense	159	19.0	2.6	13.7	18.6	19.4
CO ^a	CM4	ISO	232	12.6	0.96	7.6	12.5	12.7
		Intense	165	25.1	1.6	6.2	24.8	25.3
	1R5F	ISO	223	3.09	0.50	16.2	3.02	3.15
		Intense	148	26.0	1.4	5.3	25.8	26.2

^a CO = Carbon monoxide

Table 8. Comparison of Relative Standard Deviation achieved using the ISO and Intense Methods for Labs that completed analysis with both methods

Analyte	Cigarette Tested	Regimen	Mean Relative Standard Deviation (%) (N=7)	Corrected Mean Relative Standard Deviation ^a (%) (N=6)
Nicotine	CM4	ISO	4.49	2.88
		Intense	3.77	3.24
	1R5F	ISO	7.66	6.41
		Intense	5.84	4.69
Tar	CM4	ISO	3.64	2.78
		Intense	4.48	3.62
	1R5F	ISO	8.73	9.16
		Intense	6.90	5.99
CO ^b	CM4	ISO	3.25	2.99
		Intense	3.31	2.97
	1R5F	ISO	7.93	8.29
		Intense	5.25	5.32

^a Relative Standard Deviations from one lab were significantly higher than the others. This adjusted value includes all labs except that one.

^b CO = Carbon monoxide

Table 9. Comparison of mean levels obtained on linear and rotary smoking machines with lab results treated as independent measurements

Analyte	Cigarette Tested	Regimen	Machine Type	Number of Results	Mean (mg/cig)	Lower Confidence Limit (mg/cig)	Upper Confidence Limit (mg/cig)	T ^a -value	P ^b
Nicotine	CM4	ISO	Linear	200	1.34	1.32	1.37	5.92	<0.001
			Rotary	63	1.26	1.25	1.28		
		Intense	Linear	150	2.78	2.74	2.82	5.25	<0.001
			Rotary	25	2.63	2.59	2.67		
	1R5F	ISO	Linear	201	0.15	0.15	0.16	-3.64	<0.001
			Rotary	61	0.18	0.17	0.20		
		Intense	Linear	149	1.00	0.98	1.02	-1.7	0.1
			Rotary	22	1.04	1.00	1.08		
Tar	CM4	ISO	Linear	200	15.1	14.9	15.3	11.6	<0.001
			Rotary	63	13.7	13.5	13.9		
		Intense	Linear	150	30.9	30.5	31.3	6.92	<0.001
			Rotary	25	29.0	28.7	29.4		
	1R5F	ISO	Linear	201	1.90	1.84	1.97	1.15	0.25
			Rotary	61	1.85	1.79	1.91		
		Intense	Linear	149	19.0	18.8	19.6	12.9	<0.001
			Rotary	22	16.0	15.7	16.3		
CO	CM4	ISO	Linear	180	12.4	12.3	12.6	-6.31	<0.001
			Rotary	53	13.2	13.0	13.4		
		Intense	Linear	150	24.9	24.6	25.1	-6.3	<0.001
			Rotary	25	26.2	25.9	26.5		
	1R5F	ISO	Linear	180	3.02	2.94	3.10	-7.92	<0.001
			Rotary	51	3.58	3.47	3.69		
		Intense	Linear	149	26.0	25.7	26.2	21.3	0.1
			Rotary	22	12.5	9.8	15.2		

海上自衛隊における分煙効果に関する研究
—自衛隊関連施設でのニコチンおよび多環芳香族炭化水素の測定—

分担研究者 遠藤 治 国立保健医療科学院

研究要旨

がんリスクの予防に利用可能な曝露マーカーに関する研究の一環として、分煙効果を評価するための基礎資料を得ることを目的として、自衛隊関連施設でのニコチンおよび多環芳香族炭化水素の測定を行った。空気試料は、パーソナルミニポンプを用いて24時間石英繊維フィルター上に捕集した。空気捕集は、分煙を実施している自衛隊病院2施設、護衛艦、及び潜水艦に設置されている喫煙所並びに複数個所の非喫煙区域において、4~5回繰り返し行った。試料中のニコチン、及び代表的な発がん物質であるベンゾ[a]ピレンを含む8種類の多環芳香族炭化水素類 (PAH) を、それぞれ GC/MS、及び HPLC/分光蛍光検出法を用いて濃度測定を行った。その結果、いずれの自衛隊関連施設においても、喫煙区画におけるニコチン及び PAH の濃度の方が、非喫煙区画における濃度よりも、有意に高い結果が得られた。また喫煙所内及び喫煙所入口のニコチン濃度にも有意差が認められた。これらの結果から、ニコチンは喫煙による空気汚染の現実的な指標として有用であることが明らかとなった。また、自衛隊病院2施設と比較して、護衛艦・潜水艦の分煙対策の方が効果的に行われていることが測定された。

A. 研究目的

喫煙による健康影響に関する社会的関心が集まる中で、自らの意思とは関係なく、環境タバコ煙 (Environment Tobacco Smoke, 以下 ETS と略) を吸入する受動喫煙による非喫煙者の健康影響が報告されている¹⁾。この観点から、平成12年に「21世紀における国民健康づくり運動」(健康日本21)で公共の場及び職場における分煙の徹底が目標として掲げられ、平成15年に施行された健康増進法の中で、多数の人が利用する施設の管理者は受動喫煙防止対策を講じることが努力義務化された。さらに、医療施設においては日本医療機能評価機構による認定制度が開始されたため、急速に館内禁煙や敷地内禁煙が進んでいる。

一方、海上自衛隊においては、男性の喫煙率が63.1%²⁾と日本男性の平均47.4%³⁾を大きく上回っている。そのため、海上自衛隊では多くの施設や艦艇において分煙対策を実施しているが、現在

実施されている分煙対策の実効性に関しては必ずしも正確な評価がなされていないのが現状である。

ニコチンは100%が喫煙由来であるため、喫煙の指標として様々な研究報告が行われている^{4~8)}ものの、空気中でガス状と粒子状で存在し、ガス状のニコチンは、発生直後から壁面への吸着などによる減衰が大きいという物性の問題や、分析操作が煩雑で迅速性に欠けるといった技術的な問題なども指摘されてきた⁹⁾。しかし、ニコチンは発生直後であれば、非常に良い判定指標の物質になること、さらにタバコタール中の代表的な発がん関連物質である多環芳香族炭化水素 (以下 PAH と略) をあわせて測定すれば、空気中のタバコの煙による空気汚染を正確に評価できると考えた。そこで、タバコから発生するニコチンと PAH を測定し空気汚染の実態調査を行うことによって、海上自衛隊でより効果的な分煙対策を実施するための基礎資料を得ることを目的とした。

B. 研究方法

(1) 試薬類

標準試料：ニコチン（試薬特級、東京化成製）5 mg をメタノール（残留農薬・PCB 試験用、和光純薬工業製）5 ml で希釈し、1 mg/ml の原液を調整した。PAH の 8 種については、Pyrene、Benz[*a*]anthracene 及び Benzo[*a*]pyrene は和光純薬工業製、Benzo[*k*]fluorathene、Benzo[*b*]chrysene は Koch-light Laboratory 製、Dibenz[*a,h*]anthracene は L.Light Laboratory 製、Benzo[*ghi*]perylene は Aldrich 製、Dibenzo[*a,e*]pyrene は Chemicals Procurement Laboratory 製を用いた。これら約 5 mg を精秤し、ジメチルスルホキシド 10 ml（蛍光分析用、和光純薬工業製）に溶解し、標準原液とした。これらを順次アセトニトリル（残留農薬試験用、国産化学製）で希釈して、1 ng/ml 程度の濃度の標準溶液を調整した。

内部標準試料：イソキノリン（試薬特級、東京化成製）5 mg をエタノール（残留農薬・PCB 試験用、和光純薬工業製）5 ml で希釈し、1 mg/ml の原液を調整した。その後、5%エタノール水溶液で 1000 倍に希釈し、1 µg/ml の抽出溶媒を調整した。抽出溶媒：水酸化ナトリウム（試薬 1 級、和光純薬工業製）40 g を精製水 100 ml に溶解した（10 N 水酸化ナトリウム水溶液）。その他、*n*-ヘプタン（環境分析用、和光純薬工業製）、アセトニトリル（残留農薬・PCB 試験用、和光純薬工業製）を使用した。

HPLC 用溶媒：アセトニトリル（高速液体クロマトグラフィー用、国産化学製）を使用した。

捕集用フィルター：硫酸水素ナトリウム（試薬特級、国産化学製）の 4%水溶液を直径 25mm の石英繊維フィルター（pallflex 2500QAT-UP）に含浸させ、ガス状のニコチン捕集用フィルターを作成した。

(2) 器具及び装置

捕集用器具：パーソナルミニポンプ（柴田科学㈱製 Σ300）を使用した。

抽出用装置：ボルテックスミキサー（Science Industry 社製）、超音波発生装置（日本精機製作

所製）及び遠心分離機（日立製作所製）を使用した。

(3) 空気試料の捕集

空気試料捕集対象施設は、自衛隊病院 2 施設、護衛艦及び潜水艦とした。これらの施設は実施方法に若干の相違はあるものの、いずれも分煙を実施している。上記施設内における分煙状況を明らかにするため、それぞれ喫煙区画及び非喫煙区画数箇所です約 1.5m の高さで空気捕集を実施した。すなわち、

- ①喫煙区画＝各施設の喫煙所内部
 - ②境界＝喫煙場所出入口の非喫煙所側
 - ③非喫煙区画＝ETS の影響が少ないと考えられる屋内
 - ④大気＝ETS の影響が少ないと考えられる屋外
- の 3 箇所は必須とし、自衛隊病院においては外気由来の汚染物質について比較検討することを念頭に

④大気＝ETS の影響が少ないと考えられる屋外においても同時捕集を行った。

上記の測定地点において、パーソナルミニポンプを 2 台用い、同時に 2 試料の空気捕集を行った。捕集ヘッドのテフロン製フィルターホルダーには直径 25mm の石英繊維フィルター（pallflex 2500QAT-UP）3 枚を装着した。すなわち、吸気側 1 段目は粒子状物質捕集用フィルター、第 2 段目、3 段目の 2 枚はガス状ニコチン捕集用に硫酸水素ナトリウムを含浸させたフィルターを用いた。捕集装置の概要ならびに捕集風景を図 1 に示す。空気吸引速度は 1.0 L/min とし、空気試料を 24 時間、4~5 回捕集した。捕集試料はできるだけ冷暗所にて保管し、抽出操作に供するまで、できるだけ低温（3°C；捕集直後→-80°C）に保管した。粒子状物質を捕集した吸気側 1 段目のフィルターは半分に切断し、一方をニコチン分析に、もう一方を PAH 分析に供した。

(4) ニコチン分析

Hammond (1987 年) らの方法⁴⁾に従い、まず添加回収実験を行った。供試フィルターにイソキノリン 1 µg/ml（5%エタノール水溶液）を 2 ml を加え、30 秒間ボルテックスミキサーにて振盪した。その後、10 N 水酸化ナトリウム水溶液、*n*-ヘプタン 0.5 ml を加え 30 秒間ボルテックスミキ

サーで振盪抽出した。さらに抽出液の上澄み液を少量の硫酸ナトリウムで脱水した後分析を行った。ニコチン分析の概要と条件を図 2 (左) に示す。分析対象としたニコチンの検出下限値 (SD < 3 かつ S/N 比 > 3 となる GC/MS 濃度) は 1.75 ng/ml、定量下限値 (SD < 10 かつ S/N 比 > 10 となる GC/MS 濃度) は 5.85 ng/ml であった。ニコチンの添加回収率は、吸気側 1 段目のフィルターに相当する粒子状物質を付加した硫酸水素ナトリウムを含浸していないフィルターで回収率 91%、変動係数 3.4%、吸気側 2,3 段目のフィルターに相当する粒子状物質を付加していない硫酸水素ナトリウムを含浸したフィルターで回収率 88%、変動係数 4.0% であった。

良好な添加回収率が得られたため、続いて予備実験として、実際の喫煙所にて空気捕集をして分析を行った。本捕集方法により第 2 段目までのフィルターではほぼ全量が捕集されることが判ったので、第 1 段目の定量値が第 2 段目のそれを下回る場合にのみ第 3 段目のフィルターを分析することとした。

(5) PAH 分析

田辺らの方法¹⁰⁾に従い粒子状物質が付着している第 1 段目のフィルターの半分にアセトニトリルを 2 ml 加え、超音波発生装置内で 15 分間抽出した。その抽出液を 3000rpm で 15 分遠心分離をかけ、その上澄み液を HPLC/分光蛍光検出法を用いて PAH を分析した。PAH 分析の概要と条件を図 2 (右) に示す。分析対象とした 8 種類の各 PAH をその略称、定量下限値 (SD < 10 かつ S/N 比 > 10 となる測定物質の濃度) と共に表 1 に示す。統計解析：平均値の差の検定は、測定値に対数正規性が認められたので、測定値を対数変換した後 t-検定 (両側検定 有意水準 $p = 0.05$) により行った。基本統計量の算出に際し、測定値が検出下限未満となったものは 0.0001、定量下限値未満のものは定量下限値の 1/2 を代入した。

C. 研究結果

(1) 自衛隊病院

自衛隊病院 A、B の 2 施設における各測定地点の見取り図を図 3、4 に図示する。自衛隊病院 A

においては喫煙区画への出入り口が 2 箇所あるため、両方の出入り口で測定を行い、それぞれ境界 I、境界 II とした。

表 2 に自衛隊病院 A におけるニコチン及び PAH 濃度測定結果の概要 (平均、標準偏差、変動係数、最大値、最小値) を示す。BbC (喫煙区画以外) 及び dBaeP は、測定値がすべて定量下限値未満となったため、平均値の欄に括弧付きで 1.0 L/min で 24 時間空気捕集をした場合の定量下限値を表示し、それ以外は空欄とした。また、大気 of Py、BaA、BkF、BaP、dBahA 及び BghiP の 6 物質のように、最小値が検出はされたものの定量下限値未満であった場合には、当該物質の定量下限値の前に “<” を付した (以下、他の 3 つの施設に関しても、同様にニコチン及び PAH 濃度測定結果の概要を示した)。表 2 から、定量下限値未満の試料が多い一部 PAH では変動係数が大きくなっているものもあるが、ニコチンや代表的な発がん物質である BaP では比較的定量性の良好な結果が得られ、測定地点間の濃度比較に使用できることが判った。

図 5 に自衛隊病院 A の各地点におけるニコチン濃度 (左) 及び BaP 濃度 (右) の平均及び標準偏差を対数表示にて図示した。併せて各測定値間の主な有意差検定結果 ($p < 0.05$) も示してある。図 5 から、一階屋外にある半閉鎖型空間の喫煙区画のニコチン濃度は、平均で $12.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ あり、他のいずれの地点の平均値より高いことが認められた。境界 I は $1.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (喫煙区画の 1/6 の濃度)、境界 II は $0.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (同様に 1/40 の濃度) であり、各々喫煙区画との間に有意差が認められた ($p < 0.001$)。また、境界 I 及び境界 II と非喫煙区画の間でも有意差が認められた ($p < 0.001$)。一方 BaP 濃度は、喫煙所内部と大気及び非喫煙区画との間に有意差が認められなかった。

自衛隊病院 B の測定地点別のニコチン及び PAH 濃度測定結果の概要を表 3 に示す。表 3 から、2 階屋外の喫煙区画のニコチン濃度は、平均で $1.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ あり、他のいずれの地点の平均値より有意に高かった ($p < 0.001$)。また、自衛隊病院 A では回収吸殻の平均が 588 本でニコチン濃度が $12.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ だったのに対し、自衛隊病院 B で

は吸殻の平均が 243 本（自衛隊病院 A の 1/2 の本数）で、ニコチン濃度は $1.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （自衛隊病院 A の 1/10 の濃度）となった。一方、BaP も含めて PAH は測定地点間の差異が自衛隊病院 A ほど明瞭ではなかった。

（2）護衛艦

今回調査を実施した護衛艦においては、前部洗面所と後部の洗面所 2 箇所が喫煙所に設定されている。このうち後部洗面所を喫煙区画、そこから前部へつながる防水扉の外側を境界、同じ甲板上の居住区を非喫煙区画として空気測定を行った。表 4 に護衛艦におけるニコチン及び PAH 濃度測定結果の概要を示す。ニコチンは定量性の良好な結果が得られ、測定地点間の濃度比較に使用できることが判った。しかし、境界及び非喫煙区画において、BaA、BaP、dBahA、BbC、BghiP 及び dBaeP は、測定値のほとんどが定量下限値未満となり、変動係数が大きくなっているものもあった。BaP に関しては、境界と非喫煙区画の定量性が低かったため、ここでは BkF を用いて測定地点間の濃度比較を行うこととした。

護衛艦におけるニコチンの濃度は、後部洗面所に設けられた閉鎖型空間の喫煙区画の平均で $25.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、他のいずれの地点よりも有意に高かった ($p < 0.001$)。また、境界は $0.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （喫煙区画の 1/60 の濃度）であった。また、境界と非喫煙区画の間にもかなり明確な有意差が認められ ($p < 0.001$)、非喫煙区画は $0.025 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （喫煙区画の 1/1000 の濃度）であった。また、BkF 濃度に関しても、喫煙区画と境界、及び喫煙区画と非喫煙区画の間に有意な差が認められた ($p < 0.05$)。境界と非喫煙区画において有意差はないが、非喫煙区画は $0.04 \text{ ng}/\text{m}^3$ で境界の $0.06 \text{ ng}/\text{m}^3$ よりも低かった。

（3）潜水艦

今回調査を実施した潜水艦においては、後部の密閉区画が喫煙所に設定されている。この区画の内部を喫煙区画、そこから前部へつながる防水扉の外側を境界、同じ甲板上の ETS の影響の少ないと考えられる区画を非喫煙区画として空気測定を行った。表 5 に潜水艦におけるニコチン及び PAH 濃度測定結果の概要を示す。表 5 から、護衛

艦同様、ニコチンについては定量性の良好な結果が得られ、測定地点間の濃度比較に使用できることが判った。一方、境界と非喫煙区画における BaP、dBahA、BbC、BghiP 及び dBaeP は、測定値のほとんどが定量下限値未満となったため、護衛艦同様 BkF を用いて測定地点間の濃度比較を行うこととした。

潜水艦におけるニコチン濃度は、閉鎖型空間となっている喫煙区画の平均は $9.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、他の艦内いずれの地点よりも有意に高かった ($p < 0.001$)。また、境界では $0.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （喫煙区画の 1/120 の濃度）であった。一方、非喫煙区画は $0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、境界との間には有意差が認められなかった。

また、BkF 濃度に関しても、喫煙区画の濃度が高く、他のいずれの地点よりも有意に高かった ($p < 0.05$)。さらに、潜水艦の喫煙区画の BkF や BaP の濃度は、他の 3 施設の喫煙区画と比較してほぼ同程度であったが、Py と BaA の濃度は数倍程度大きい値であった。

D. 考察

今回の測定から、いずれの 4 つの施設においても喫煙区画の喫煙による空気汚染が示唆された。

自衛隊病院 A においては、喫煙所を屋外に設けているため、ある程度効果的な分煙ができていますが、渡り廊下に喫煙区画の若干のニコチンが流入していることが示唆された。今回の測定結果から推定される流入量は、喫煙区画のニコチン濃度の 17% であり、この渡り廊下を病院職員ばかりでなく一般患者も利用していることも考え合わせると、改善の余地があると考えられる。なお、境界 II は非常用扉であるため滅多に開閉されないのに対し、境界 I は往来に利用されている出入口となっており、このような扉の開閉の頻度が、境界 I と境界 II のニコチン濃度差に反映されたものと考えられる。

一方、喫煙区画内部では喫煙に由来する BaP 汚染が示唆されるものの、境界も含め非喫煙区画への汚染はニコチンほど明瞭ではないことが判った。分煙の効果の指標として BaP が、ニコチンほど明瞭にならなかった理由は明確ではないが、BaP の

汚染源は喫煙以外にも車の排気ガスや調理等があり、一般空気中に広く存在する¹¹⁾ことが考えられる。つまり、ETSとしてのBaPの室内環境濃度への寄与率は5%程度と低く¹²⁾、特異性に欠けたことが一因であると考えられる。さらに、今回測定した大気中のBaP濃度は5日間の平均で0.14 ng/m³となっており、東京都環境局の報告値¹³⁾(平成16年の区部の1年平均値は0.22 ng/m³、世田谷区世田谷は0.18 ng/m³)と同程度か若干低い値であったが、大気浮遊粒子中のBaP濃度は、日間変動や季節間変動がある¹⁴⁾ため、今回の測定値は妥当な値であると考えた。

自衛隊病院Bにおいては、回収吸殻が自衛隊病院Aの1/2の量だったのに対し、喫煙区画内のニコチン濃度は1/10となった。このことから、自衛隊病院Aが半閉鎖型の喫煙所であるのに対し、自衛隊病院Bは屋外階段で開放系の空間であるため、ニコチンなどの汚染空気が大気に拡散しやすいことが示唆された。また、喫煙区画と境界のニコチン濃度に有意差が認められた($p < 0.001$)が、境界は0.33 µg/m³(喫煙区画の1/4の濃度)であった。このことから、自衛隊病院Bでは、ある程度効果的な分煙ができているものの、喫煙区画の汚染空気の25%が流入していることが示唆された。これは、既存の空間を利用し、気流などの条件をあまり考慮していないためと考えられる。このような汚染を改善するためにはさらなる調査が必要であるが、常に非喫煙区画から喫煙区画に向けて風が流れる場所に喫煙場所を設置したり、人工的に気流を作りその風量を調整することも分煙の効果を上げる一助になると考えられる⁹⁾。

護衛艦においては、自衛隊病院2施設よりもニコチン濃度の希釈率が高く、効果的な分煙が行われていることが示唆された。これは、艦内換気により発生する前から後ろへの気流が奏効していると考えられる。換気により強制的に随時新鮮な空気が取り入れられるために、分煙がより一層効果的になっているためと推察された。しかしながら、喫煙区画として利用されている洗面所は、多数の隊員が利用する場所であり、非喫煙者の受動喫煙の機会が増えることを考え合わせると、改善の余地があると考えられる。

また、BkF濃度からも、ニコチンと同様に喫煙区画の喫煙による空気汚染が示唆された。一方で、護衛艦において喫煙区画以外のPAHの多くが定量下限値未満であった原因は必ずしも明らかではないが、航海中の5日間に空気捕集を行ったため、自衛隊病院で示唆された自動車排気ガス等の喫煙以外の発生源の影響を受けにくい環境にあったことも一因と考えられた。

潜水艦においては、今回測定した施設の中でもっともニコチン濃度の希釈率が高く、効果的な分煙が行われていることが示唆された。前述の護衛艦とこの潜水艦の希釈率の差は、行動態様によって防水扉の開閉の割合がそれぞれ異なることによる密閉性の差があらわれたと推察される。

またPAHに関しては、ディーゼル自動車から排出されるPAH汚染の寄与率調査で、Py >> BaP ~ BghiPの順であったとの報告がある¹⁵⁾。BaAに関しては不明であるが、PyとBaAの測定濃度がBkFやBaPより数倍大きい値であった理由は、ディーゼルエンジンの影響と推測することができる。また、BaAはIARCの発がん分類で、BaPと同じくグループ2A(おそらく発がん性である)に分類されている。喫煙区画は潜水艦の動力源であるディーゼルエンジンの排気ガスの影響が大きいことを考え合わせると、潜水艦のような密閉性の高い環境では、喫煙所の設定などに改善の余地があると考えられた。

E. 結論

(1) 自衛隊病院2施設と比較して、護衛艦・潜水艦の分煙対策の方が効果的に行われていた。これらを決定する要因として、施設内における喫煙区画の設置場所や、構造、喫煙区画の密閉性、気流の影響などが示唆された。

(2) 空気中に存在する粒子状ニコチンとガス状のニコチンを、定量性よく正確に測定することで分煙効果を評価する指標として有用であることを確認した。

(3) PAHは、ニコチンと比較した場合喫煙による寄与率は大きくないものの、化石燃料の燃焼や、調理などによる発生も含めて発がん関連物質の指標と考えられる。したがって、本研究で実施した

ように、ニコチンと組み合わせて測定することにより分煙効果を評価する上で補助的だが重要な指標となることが示唆された。

[引用文献]

- 1) 喫煙と健康問題に関する検討会報告書：喫煙と健康. 保健同人社, 東京, 2002.
- 2) 片山泰之, 他：八戸航空基地における禁煙推進デーの実施, 防衛衛生 47:309~33, 2000.
- 3) 厚生労働省：国民栄養調査 平成 12 年.
- 4) Hammond S. K. et al: A diffusion monitor to measure exposure to passive smoking. *Environmental Science & Technology* 21: 494~7. 1987.
- 5) Baek S-O et al: Characterization of trace organic compounds associated with aged and diluted sidestream tobacco smoke in a controlled atmosphere-volatile organic compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Atmos Environ* 38: 6583~6599. 2004.
- 6) Wu W. et al: Determination of Nicotine and Other Minor Alkaloids in International Cigarettes by Solid-Phase Microextraction and Gas Chromatography/Mass Spectrometry. *Anal Chem* 74: 4878~4884. 2002.
- 7) Huali Y. et al: Trace Analysis of Nicotine in Indoor Air by a SPME Method. *Bull Environ Contam. Toxicol.* 68: 485~489. 2002.
- 8) Song S. et al :Supercritical Fluid Extraction and Gas Chromatography/Mass Spectrometry for the Analysis of Tobacco-Specific Nitrosamines in Cigarettes. *Anal Chem* 71: 1303~1308. 1999.
- 9) 厚生労働省：分煙効果判定基準策定検討会報告書.
(<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2002/06/h0607-3.html>).
- 10) 田辺潔, 他：カラム濃縮・高速液体クロマトグラフフィー-分光蛍光法による極微量空気浮遊粒子中の PAH の分析, 大気汚染学会誌 22 : 334~9, 1987.
- 11) 松下秀鶴:大気中発がん物質のレビュー 多環芳香族炭化水素 多環芳香族炭化水素の発生 (環境庁 S). 大気中発がん物質のレビュー 昭和 54 年度 多環芳香族炭化水素 31 : 31~59, 1980.
- 12) Holcomb L. C. et al: The impact of ventilation on indoor air quality; Environmental tobacco smoke as a point source. proceeding of the annual meeting, air & waste management association 8: 1~19. 1991.
- 13) 東京都環境局公式ウェブサイト「東京の環境」(<http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/kansi/yugaitaiki/yugai.htm>).
- 14) 後藤純雄, 他：大気浮遊粉じんの変異原性の終日変動, 大気汚染学会誌 17: 295~303, 1982.
- 15) 堀重雄, 他：ディーゼルエンジンの各種走行条件における PAH 排出特性について, 自動車技術会学術講演会前刷集 73: 15~8, 2001.

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 影山志保、中島大介、山本貴士、峯木茂、遠藤治、高木敬彦、光崎研一、後藤純雄. 植物質土壌改良剤の変異原性検索. *環境化学* 16: 43-49. 2006
- 2) 大森清美、中島大介、江副優香、森康明、伏脇祐一、遠藤治、武田健、後藤純雄. 粒径別に分級採取した空気浮遊粒子の発がんプロモーション活性. *環境化学* 16: 119-123. 2006.
- 3) Endo O, Koyano M, Watanabe I, Sugita K, Yamashita N, Nakajima D, Goto S. Perfluorooctane sulfonate (PFOS) and Perfluorooctanoic acid (PFOA) levels in urban airborne particles - Long term trends in Tokyo in the 1980s, 1990s and 2000s. *Organohalogen Compounds* 26:

2035-2036. 2006.

- 4) 藤田博子、池田浩丈、米倉明、遠藤治、鈴木元. 海上自衛隊における分煙効果に関する研究—自衛隊関連施設でのニコチンおよび多環芳香族炭化水素の測定—. 防衛衛生 (投稿中)

2. 学会発表

- 1) Endo O, Koyano M, Watanabe I, Sugita K, Yamashita N, Nakajima D, Goto S. Perfluorooctane sulfonate (PFOS) and Perfluorooctanoic acid (PFOA) levels in urban airborne particles - Long term trends in Tokyo in the 1980s, 1990s and 2000s. 26th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, 2006 August, Oslo.
- 2) Endo O, Kamoshita M, Kosaka K, Asami M, Aizawa T, Suzuki G. Mutagenicity of chlorination by-products of butamifos. 第35回日本環境変異原学会大会 2006年11月, 堺.
- 3) 松本真理子、杉田和俊、小谷野道子、遠藤治、後藤純雄、鈴木元. ニコチン分析に用いるGC/MSカラムの比較検討. 平成18年度室内環境学会総会・研究発表会, 2006年11月, 東京.
- 4) 川上由紀子、中島大介、杉田和俊、峯木茂、白石不二雄、鈴木規之、高木敬彦、遠藤治、後藤純雄. 半揮発性 PAH 類抽出溶液の濃縮法について. 平成18年度室内環境学会総会・研究発表会, 2006年11月, 東京.

G. 知的財産権の出願・登録状況

なし

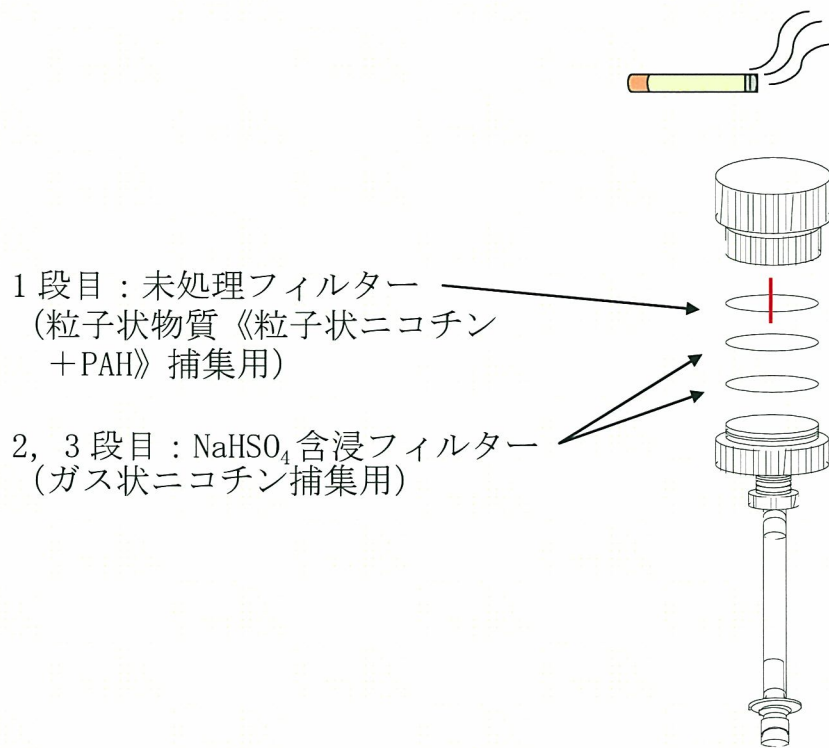


図1 捕集装置の概要ならびに捕集風景

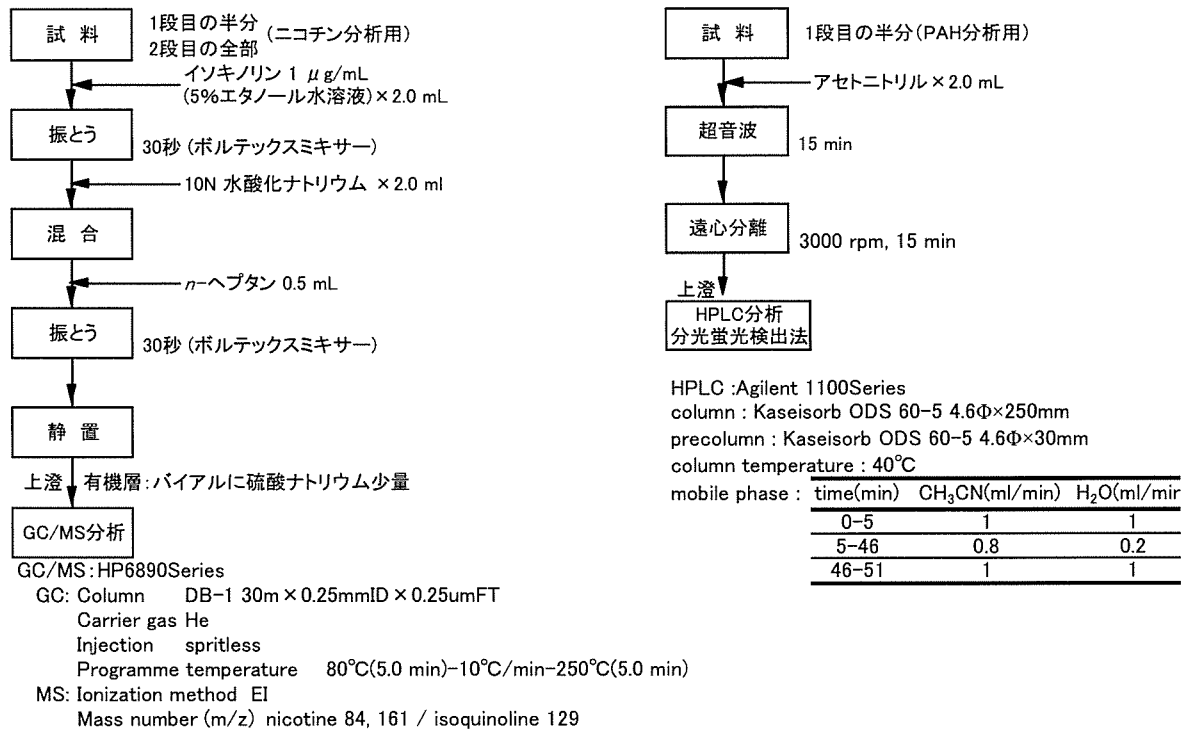
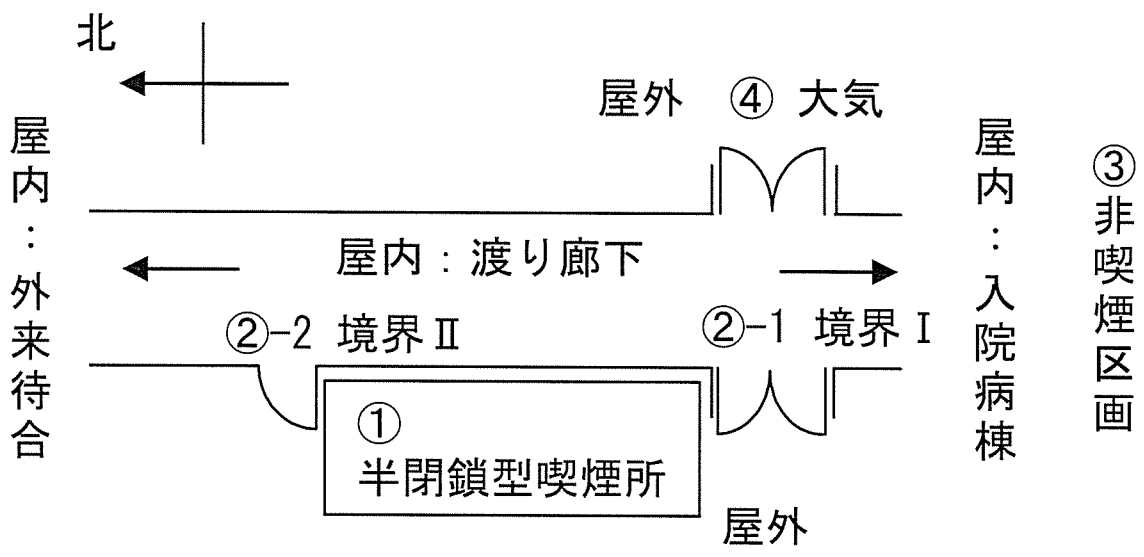


図2 分析の概要と条件 ニコチン (左) と PAH (右)



①喫煙区画 ②-1境界Ⅰ ②-2境界Ⅱ ③非喫煙区画 ④大気

図3 自衛隊病院Aの見取り図