

における、壁から発生してくるラドンガス濃度の経時変動を示したものである。ほとんど換気(空気の入れ替わり)がない状況であるため、ラドンガス濃度は上がり続け、2日半後には、飽和状態に達する。しかしながら、そのような状況で、窓を開けると濃度は直ちに0に近い状況まで下がることがわかる。すなわち、換気の効果は絶大であるといえる。

これまで述べてきた換気は、「希釈換気」と呼ばれるもので、室内に発生したたばこ煙のような汚染物質は、室内に拡散することを前提にしているものである。一方、汚染物質が拡散する前に換気フードのようなもので補足し室外に排気してしまえば、少ない換気量で効果的に室内空気を清浄に保つことができるので、きわめて有効な方法である。このような換気方法を「局所換気」と呼び、最も典型的な例が、厨房の換気である。厨房のように、汚染の発生源が、定まったところに固定されているときは効果的である。発生源が定まらなかったり、時には移動したりするたばこ煙の場合には、適用しにくい方法とも考えられるが、逆に考えれば、たばこ煙という移動発生源を、フードの下に位置させることができれば極めて好都合ともいえるため、今後の分煙対策の一つとして、考えられる方法である。

#### ⑤まとめ

室内空気汚染物質の除去手段としては、以下の4つに分けられる。

ア) 汚染発生源を除去、隔離する方法

イ) 発生源の性質を変え、無害化する方法

ウ) 空気清浄機等によって汚染物質を除去する方法

エ) 換気による方法

ア)は、最も根本的で理想的な方法であるが、いつでも適用可能とは限らない。

イ)の方法は、たばこ煙汚染除去には適用できない。

ウ)の方法は、たばこ煙中の粒子状物質の除去には効果があるが、ガス状物質については有効な除去はなされていない。なお、最近、活性炭や光触媒等を利用した一部のガス状物質を除去できるタイプの空気清浄機が出回ってきているが、その効果は未だ不十分である。

エ)の方法は、最も消極的に見える方法であるが、あらゆる場合に適用可能な実用性の高い方法である。局所換気システムと組み合わせると特に効果的である。

#### (3) 評価のための測定項目の選定

分煙対策が効果的に行なわれているかどうかを判断するためには、喫煙場所や非喫煙場所の室内空気環境中の喫煙由来物質の濃度を測定することにより定量的な評価を行うことが必要である。

そのためには、測定対象項目を選定する必要がある。前述したようにたばこ煙中には多くの化学物質が存在するが、ここで言う測定対象項目は、あくまで分煙対策の評価を行うための適切な指標となるもので直接的に生体に悪影響を及ぼす物質の測定を行う

ものではない。

測定対象項目を選定するに当たって、米国の国立科学アカデミー (NAS, national academy of sciences, 1990) により示されている環境たばこ煙 (ETS, Environment Tobacco Smoke) の暴露評価のマーカーの満足すべき要件が参考となる。以下に、環境たばこ煙 (以下 ETS と略) の暴露評価のマーカーの満足すべき要件の 4 項目を示した。

- I. ETS に特異的であること (たばこ以外に当該化学物質の発生源がない)
- II. 喫煙率が低くても室内で容易に検知できること (発生濃度が低くても検出できる)
- III. 発生割合が、たばこの種類 (銘柄) に大きく依存しないこと (多くの銘柄からほぼ同じ割合で発生する)
- IV. ほかの ETS 構成物質と一定の割合にあること (他の化学物質濃度がある程度推測できる)

また、既存の文献から室内環境濃度への ETS の寄与率 (当該物質の喫煙場所の空气中濃度に対するたばこ煙から発生した当該物質の割合) を表 14 にまとめた。ニコチンは 100% が ETS 由来であり、特異性の点で非常に有効なマーカーである。その次が吸入性浮遊粉塵 (RSP) で寄与率は 50% であるが測定・分析が比較的容易であるためマーカーとしての価値もある。その他の化学物質は寄与率が低く、他の要因による寄与があり、特異性に欠けるためマーカーとしてはあまり有効ではないと考えられる。

表 14 室内環境濃度への ETS からの寄与率 <sup>1)</sup>

一酸化炭素	15%
アンモニア	3%
ホルムアルデヒド	5%
オゾン	0%
窒素酸化物	12%
吸入性浮遊粉塵 (RSP)	50%
メタン系炭化水素	5%
塩素化炭化水素	0%
ベンゼン	35%
二酸化硫黄	20%
ニコチン	100%
ベンツピレン	5%
微生物、細菌等	0%

吸入性浮遊粉塵 (RSP) の寄与率は 50% であるが、さらにその寄与率を高めるためにたばこ煙中のタール成分などの不揮発成分に注目をして、吸入性浮遊粉塵 (RSP) を適

当な溶媒に抽出した後、その紫外波長分析成分や蛍光分析成分などの値を測定項目とした UV-PM (ultraviolet particulate matter)、F-PM (fluorescent particulate matter)、Sol-PM (solanesol particulate matter) がマーカーとして注目されている。

ニコチンは空気中でガス状と粒子状で存在し、ガス状のニコチンは、発生直後から壁などへの吸着による減衰が激しいためマーカーの要件Ⅳを満たさないが、比較的発生直後であれば良いマーカーとなる。

その他、CO、CO<sub>2</sub>、VOC については ETS のマーカーとして良好であるという報告はほとんど見られなかった。

文献のレビューを行った結果、環境たばこ煙 (ETS) の分煙効果を評価するための測定項目として挙げられたものを表 15 にまとめた。

このうち、特異性という点からはニコチン濃度、RSP 濃度 (吸入性浮遊粉じん)、UV-PM 濃度 (RSP の紫外波長分析成分)、F-PM 濃度 (RSP の蛍光波長分析成分)、Sol-PM 濃度 (RSP の紫外波長分析成分) の他、3-EP (3-Etenylpyridine) 濃度が有効と考えられる。

表 15 環境たばこ煙 (ETS) 評価のための測定項目等の文献レビューのまとめ ( 3 ) ~ 10)) 文献番号

	測定項目	測定方法	分析方法	備考
海外	RSP	ろ過捕集	重量分析	
	ニコチン	固体捕集	ガスクロマトグラフ (NPD 検出器)	
	一酸化炭素	CO 測定器	直読	
	二酸化炭素	CO <sub>2</sub> 測定器	直読	
	UV-PM	ろ過捕集	液体クロマトグラフ (UV 検出器)	RSP 試料利用
	F-PM	ろ過捕集	液体クロマトグラフ (蛍光検出器)	RSP 試料利用
	Sol-PM	ろ過捕集	液体クロマトグラフ (UV 検出器)	RSP 試料利用
	3-EP	固体捕集	ガスクロマトグラフ	文献が少ない
国内	RSP	粉塵計	直読 / 換算値	
	一酸化炭素	検知管	直読	

なお、RSP 濃度は、ETS 以外の粉じんの影響も受けるため他の測定項目との相関が必ずしも良くないが、化学的な処理等がされない単純な量 (ろ過捕集一重量分析) であるため一つの比較値としての意味から測定項目とすべきであろう。

さらに、3-EP 濃度は、文献が少ないが、他の測定項目との相関がよいとされているため測定項目として有効と思われるが、今後の検討が必要である。

また、測定・分析の点からは UV-PM 濃度、F-PM 濃度、Sol-PM 濃度、3-EP 濃度に

については、特殊な測定器具や液体クロマトグラムなど高価な分析装置の他、専門的な技術も必要になるため容易に行うことはできない。またニコチンは、発生直後から急速に環境中濃度が減衰すること、分析にガスクロマトグラムを用いることから、評価のマーカ―として利用するには難点が残る。一方、測定・分析の簡便さの点では既に事務所内の粉じん濃度を測定するために使用されている光散乱方式を用いた粉塵計による RSP 濃度の測定が有効な方法である。

全く開放された屋外の公共の場における測定による評価に関する文献は見られなかった。

### 3. 現在の基準

喫煙対策の方法として、全面禁煙、空間分煙、時間分煙などがあるが、喫煙対策の評価方法には、喫煙場所や禁煙場所の状況調査、アンケートによる意識調査、空気環境の測定などがある。分煙対策を行う際には、喫煙区域と禁煙区域が共存しているため、特にたばこ煙による空気環境への影響を評価するための測定が必要となる。

公共の場所における分煙対策については「公共の場所の分煙のあり方検討会報告書」(厚生省 平成8年3月)の中で分煙方法の具体的内容として空間分煙と分煙手法の組合せによって次の4つに分類しているが、評価基準は示していない。

A: 喫煙場所を完全に分割された空間とする。

B: 喫煙場所を設置し、分煙機器(環境たばこ煙を屋外に排出する機器、空気清浄器、喫煙場所を他の区域と分割する機器やその複合体)により環境たばこ煙が完全に流れ出ないようにする。

C: 喫煙場所を設置し、分煙機器を用いて環境たばこ煙を軽減する。

D: 喫煙場所を設置するが、分煙機器は使用しない。

一方、職場としての事務所においては事務所衛生基準規則(労働安全衛生法)において室内空気的环境基準として一酸化炭素濃度、炭酸ガス濃度についてそれぞれ50ppm、5000ppmと定められている。また、中央管理方式の空気調和施設等のある事務所においては供給空気の清浄度の基準として浮遊粉じん濃度、一酸化炭素濃度、炭酸ガス濃度についてそれぞれ0.15mg/m<sup>3</sup>以下、10ppm以下、1000ppm以下と定められている。

また、ビル衛生管理法では、中央管理方式の空気調和設備、あるいは機械換気設備を設けている場合は、浮遊粉じん濃度、一酸化炭素濃度、炭酸ガス濃度の基準値は、それぞれ0.15mg/m<sup>3</sup>、10ppm、1000ppm以下、また気流については冷風の人体に対する影響を考慮して0.5m/s以下と定められている。

職場における喫煙対策については「職場における喫煙対策のためのガイドライン」<sup>1)</sup>(労働省 平成8年2月)の中で、全面禁煙、時間分煙、空間分煙の3つの方法のうち空間分煙を進めることが適切であるとされている。また、たばこの煙が職場の空気環境に及ぼしている影響を把握するため、事務所衛生基準規則に準じて、空気環境の測定を行い、浮遊粉じん、一酸化炭素の濃度がそれぞれ0.15mg/m<sup>3</sup>、10ppmの基準値以下となるよう必要な措置を講ずることとされている。

## 4. 新しい分煙効果の判定基準

### 1 有効な分煙の評価法について

分煙は非喫煙者の受動喫煙による健康への影響を排除・減少させるのが大きな目的の一つであるが、同時に喫煙者のために、喫煙場所もビル衛生管理法、事務所衛生基準規則の基準を超えない、良好な空気環境に保持することも重要であり、分煙効果を評価するためには、その両者を評価しなければならない。また、受動喫煙を防止しても、屋外に環境たばこ煙を排出する場合には、大気環境を損なう恐れもある。従って分煙の評価法の観点として以下の2つの条件が考えられる。

\* 判定条件1 受動喫煙を防止する。

\* 判定条件2 受動喫煙を防止するとともに、きれいな大気環境を保持する。

判定条件1は、受動喫煙の防止を第一に考えた場合、判定条件2は、受動喫煙の防止だけではなく、大気環境全体を視野に入れた分煙対策と言える。後者の方が理想的ではあるが、費用の面や屋外の分煙対策では困難を伴うことが多いので、判定条件2を考慮しつつ、判定条件1を当面の目標としてもよい。以下に、両者の分煙効果の判定基準を示す。

なお、以下にいう喫煙場所は、隔離された喫煙室、あるいは非喫煙場所との境界が家具、パーティション、カーテンを用いるなど、何らかの方法で仕切られている場所を、あるべき姿として想定している。したがって、非喫煙場所と境界のない喫煙席や喫煙コーナーを喫煙場所としている場合は、喫煙場所と非喫煙場所の最も適切と思われる境界を決める必要がある。

#### ● 判定条件1(受動喫煙を防止する)の場合

##### 1) 屋内における有効な分煙の条件

(1) 喫煙場所から非喫煙場所に環境たばこ煙成分(粒子状物質及びガス状物質)が漏れ出ないこと(非喫煙者の受動喫煙防止)

(2) 喫煙場所における空気環境を良好な状態に保つこと(喫煙者の受動喫煙の軽減)

##### a 屋外への排気装置による喫煙場所の場合

###### (a) 喫煙場所と非喫煙場所との境界における分煙効果の判定基準

① デジタル粉じん計を用いて、経時的に浮遊粉じんの濃度の変化を測定し、漏れ状態を確認すること。すなわち非喫煙場所の粉じん濃度が喫煙によって増加しないこと(強制排気の場合はガス状物質も粒子状物質と同様に排気されるので、粒子状物質の測定のみで代表できる)

② 非喫煙場所から喫煙場所方向に一定の空気の流れ(0.2 m/s 以上)があること

###### (b) 喫煙場所における分煙効果の判定基準

① デジタル粉じん計を用いて測定した時間平均浮遊粉じんの濃度が 0.15

mg/m<sup>3</sup>以下に保たれていること

② 検知管を用いて測定した一酸化炭素濃度が 10 ppm 以下であること

b 空気清浄機による喫煙場所の場合

(a) 喫煙場所と非喫煙場所との境界における分煙効果の判定基準

① デジタル粉じん計を用いて、経時的に浮遊粉じんの濃度の変化を測定し漏れ状態を確認すること。すなわち非喫煙場所の粉じん濃度が喫煙によって増加しないこと

② 非喫煙場所から喫煙場所方向に一定の空気の流れ(0.2 m / s 以上)があること

③ ガス状成分について適切な方法で濃度を測定し、漏れ状態を確認すること(現在、適切な評価対象となるガス状成分および測定手法は確立されていない)

(b) 喫煙場所における分煙効果の判定基準

① デジタル粉じん計を用いて測定した時間平均浮遊粉じんの濃度が 0.15 mg/m<sup>3</sup> 以下に保たれていること

② 検知管を用いて測定した一酸化炭素濃度が 10 ppm 以下であること

③ ガス状成分について適切な方法で濃度を測定し、その値がある一定値以下であること(現在、適切な評価対象となるガス状成分および測定手法は確立されていない)

● 判定条件2(受動喫煙を防止するとともにきれいな大気環境を保持する)の場合

1) 屋内における有効な分煙の条件

(1) 喫煙場所から非喫煙場所に環境たばこ煙成分(粒子状物質及びガス状物質)が漏れ出ないこと(非喫煙者の受動喫煙防止)

(2) 喫煙場所における空気環境を良好な状態に保つこと(喫煙者の受動喫煙の軽減)

(3) 屋外へ排気する際には、建物周辺の大気環境を汚染しないように、適切な処理をしてから排気すること(周辺住民の受動喫煙防止及び環境の保全)

a. 屋外への排気装置による喫煙場所の場合

(a) 喫煙場所と非喫煙場所との境界における分煙効果の判定基準

① デジタル粉じん計を用いて、経時的に浮遊粉じんの濃度の変化を測定し、漏れ状態を確認すること。すなわち非喫煙場所の粉じん濃度が喫煙によって増加しないこと

② 非喫煙場所から喫煙場所方向に一定の空気の流れ(0.2 m / s 以上)があること

(b) 喫煙場所における分煙効果の判定基準

- ① デジタル粉じん計を用いて測定した時間平均浮遊粉じんの濃度が 0.15 mg/ m<sup>3</sup> 以下に保たれていること
  - ② 検知管を用いて測定した一酸化炭素濃度が 10 ppm 以下であること
- (c) 屋外排気装置周辺の大気の判定基準
- ① 大気的环境基準が設定されている浮遊粒子状物質濃度の1時間値が 0.2mg/m<sup>3</sup> を超えないこと
  - ② 大気的环境基準が設定されているガス状物質のうち、1時間値があるもの (二酸化硫黄:0.1ppm、オキシダント:0.06ppm) は、その濃度を超えないこと
- b. 空気清浄機による喫煙場所の場合
- (a) 喫煙場所と非喫煙場所との境界における分煙効果の判定基準
- ① デジタル粉じん計を用いて、経時的に浮遊粉じんの濃度の変化を測定し、漏れ状態を確認すること。すなわち非喫煙場所の粉じん濃度が喫煙によって増加しないこと
  - ② 非喫煙場所から喫煙場所方向に一定の空気の流れ(0.2 m/ s)があること
  - ③ ガス状成分について適切な方法で濃度を測定し、漏れ状態を確認すること(現在、適切な評価対象となるガス状成分および測定手法は確立されていない)
- (b) 喫煙場所における分煙効果の判定基準
- ① デジタル粉じん計を用いて測定した時間平均浮遊粉じんの濃度が 0.15 mg/ m<sup>3</sup> 以下に保たれていること
  - ② 検知管を用いて測定した一酸化炭素濃度が 10ppm 以下であること
  - ③ ガス状成分について適切な方法で濃度を測定し、その値がある一定値以下であること(現在、適切な評価対象となるガス状成分および測定手法は確立されていない)

分煙効果をより高め、かつその効果を評価するためのまとめと今後の課題は以下の通りである。今後さらに調査・研究が行われ、より優れた分煙方法及びその効果判定基準が作成されることを望むものである。

- 1) 屋内に設置された現有の空気清浄機は、環境たばこ煙中の粒子状物質の除去については有効な機器があるが、ガス状成分の除去については不十分であるため、その使用にあたっては、喫煙場所の換気に特段の配慮が必要である。
- 2) 受動喫煙防止の観点からは、屋内に設置された喫煙場所の空気は屋外に排気する方法を推進することが最も有効である。
- 3) 受動喫煙防止及びきれいな空気環境を保持する観点から、環境たばこ煙成分をすべて処理できる空気清浄機の機能強化が求められるが、現在においてたばこ煙成分すべてを処理できるものはないのが現状であり、より有効なガス状物質を除去できる適切な機器の開発が今後の課題である。



4)環境たばこ煙の適切な指標となるガス状成分の除去率を定量できる手法を確立する必要がある。

表 1

Example of sidestream cigarette smoke deliveries<sup>1</sup>

Constituent	Reference	Kentucky reference <sup>2</sup> mg per cig.	Commercial reference mg per cig.	reference
Condensate			36-67	
Total particulate matter		16.9	16-36	
Nicotine		5.6	5.7-11.2	
Carbon monoxide		54	41-67	
Carbon dioxide		474		
Nitrogen oxides		0.9		
Ammonia		9.1		
Formaldehyde		0.7		
Acetaldehyde		4.2		
Acrolein		1.3	1.4	
Propionaldehyde		0.9		
Benzene		0.3	0.4	
Toluene		0.8	1.3	
Pyrrole		0.4		
Pyridine		0.3		
Limonene		0.3	<0.1-0.4	
Neophytadiene			0.1-0.2	
Isoprene		2.5	6.1	
nC <sub>27</sub> -nC <sub>33</sub>		0.2-0.8		
Acetonitrile		1.0	0.8	3
Acrylonitrile		0.2		
Hydrogen cyanide		53	17	3
Phenol			44-371	
o-Cresol			24-98	
m+p-Cresol			59-299	
Catechol			46-189	
Hydroquinone			26-256	
Naphthalene			53-177	
Phenanthrene			2.4	
Anthracene			0.7	
Fluoranthene			0.7	
Pyrene			0.5	
Benz(a)anthracene		0.2	0.2	
Benzo(a)pyrene		0.1	0.1	
NNN	4	0.2	1.7	
NNK	4	0.4	0.4	
NAT	4	0.1		
NAB	4	<0.1		
DMNA	4	0.3	0.7-1.0	
EMNA	4		<0.1	
DENA	4		<0.1-0.1	
NPYR	4	0.2	0.2-0.4	
2-Naphtylamine			<0.1-1	5
4-Aminobiphenyl			<0.1-0.2	5

1 Table reprinted from Guerin et al. (1992) who compiled data from Browne et al. (1990); Brunnemann et al. (1977,1978); Chortyk and Schlotzhauer (1989); Grimmer et al. (1987); Guerin(1991); Higgins et al.(1987); Johnson et al.(1973); O'Neill et al.(1987); R.J.Reynoldes (1988); Rickert et al. (1984); Sakuma et al. (1983,1984a,b); and Norman et al. (1983); Full references are given in Guerin et al. (1992).

2 Filter IR4F unless otherwise specified.

3 Nonfilter IRI.

4 *N*-nitrosomonicotine (NNN),4-Methylnitrosoamino-1-(3-pyridinyl)-1-butanone(NNK),*N*-nitrosoanatabine (NAT),*N*-nitrosoanavasine (NAB),dimethylnitrosamine (DMNA),ethylmethylnitrosamine (EMNA),diethylnitrosamine (DENA),*N*-nitrosopyrrolidine(NPYR).

5 Calculated from NRC,1986,SS/MS ratio

表 2 Concentrations of biologically active agents in nonfilter cigarette mainstream smoke

Smoke constituent	Concentration/cigarette
Total particulate matter	15-40 mg
Carbon monoxide	10-23 mg
Nicotine	1.0-2.3 mg
Acetaldehyde	0.5-1.2 mg
Acetic acid	0.1-1.0 mg
Acetone	100-250 µg
Methanol	90-180 µg
Nitrogen oxides	100-600 µg
Formic acid	80-600 µg
Hydrogen cyanide	400-500 µg
Hydroquinone	110-300 µg
Catechol	100-360 µg
Ammonia	50-130 µg
Benzene	20-50 µg
Acrolein	60-100 µg
Phenol	60-140 µg
Croton aldehyde	10-20 µg
Formaldehyde	70-100 µg
Pyridine	16-40 µg
3-Methylpyridine	20-36 µg
2-Cresol	14-30 µg
3- and 4-Cresol	40-80 µg
3- and 4-Methylcatechol	31-45 µg
Carbazole	1 µg
2-Nitropropane	0.2-2.2 µg
<i>N</i> -Nitrosornicotine	200-3000 ng
4-(Methylnitrosamino)-1- $\beta$ -pyridyl)-1-butanone	80-770 ng
<i>N</i> -Nitrosanabasine	0-150 ng
<i>N</i> -Nitrosodethanolamine	0-36 ng
<i>N</i> -Nitrosopyrrolidine	0-110 ng
<i>N</i> -Nitrosodimethylamine	2-20 ng
<i>N</i> -Nitrosomethylthylamine	0-2.7 ng
<i>N</i> -Nitrosodethylamine	0-2.8 ng
<i>N</i> -Nitrosodi- <i>n</i> -propylamine	0-1 ng
<i>N</i> -Nitrosodi- <i>n</i> -butylamine	0-3 ng
<i>N</i> -Nitrosopiperidine	0-9 ng
Hydrazine	32-43 ng
Urethane	20-38 ng
Vinyl chloride	1.3-16 ng
Benz $\alpha$ anthracene	20-70 ng
Benz $\beta$ fluoranthene	4-22 ng
Benz $\gamma$ fluoranthene	6-21 ng
Benz $\kappa$ fluoranthene	6-12 ng
Benz $\epsilon$ pyrene	20-40 ng
Dibenz $a,h$ anthracene	4 ng
Dibenz $a,i$ pyrene	1.7-3.2 ng
Indeno[1,2,3- <i>c</i> ]pyrene	4-20 ng
5-Methylchrysene	0.6 ng
Dibenz $a,j$ acridine	2.7 ng
Dibenz $a,h$ acridine	0.1 ng
7H-Dibenz $c,g$ perbazole	0.7 ng
2-Naphthylamine	1.7-22 ng
4-Aminobiphenyl	2.4-4.6 ng
<i>ortho</i> -Toluidine	32-160 ng
Maleic anhydride	Present
2,3-Dimethylmaleic anhydride	Present
Succinic anhydride	Present
Coumarin	Present

表3 Concentrations of some polynuclear aromatic hydrocarbons and heterocyclic compounds in tobacco smoke (with references<sup>a</sup>)

Polynuclear aromatic compound	Cigarette main-stream smoke ( $\mu\text{g}/100$ cigarettes)	Cigarette side-stream smoke ( $\mu\text{g}/100$ cigarettes)	Cigarette smoke-polluted environments ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	Cigar smoke ( $\mu\text{g}/100$ g)	Pipe smoke ( $\mu\text{g}/100$ g)
<i>Polynuclear aromatic hydrocarbons</i>					
Anthanthrene	0.2-2.2 (7,23)	3.9 (7)	0.5 (8, 19)		
Anthracene	2.3-23.5 (20,22,23)			11.9 (3)	110.0 (3)
Benzo[a]anthracene	0.4-7.6 (1,20,22,23,28)			2.5-3.9 (13)	
Benzo[b]fluoranthene	0.4-2.2 (11,20,23)				
Benzo[f]fluoranthene	0.6-2.1 (11,22)				
Benzo[k]fluoranthene	0.6-1.2 (21,23)				
Benzo[ghi]fluoranthene	0.1-0.4 (34,36)				
Benzo[a]fluorene	4.1-18.4 (1,7,22)	75 (7)	39 (8)		
Benzo[b]fluorene	2 (11)				
Benzo[ghi]perylene	0.3-3.9 (7,11,22)	9.8 (7)	5.9-17 (8,19)		
Benzo[c]phenanthrene	present (30)				
Benzo[a]pyrene	0.5-7.8 (11,14,17,20,23,24,28,32,33)	2.5-19.9 (7,27)	2.8-760 (5,6,26)	1.8-5.1 (3,13,14)	8.5 (3)
Benzo[e]pyrene	0.2-2.5 (7,20,22,23)	13.5 (7)	3-18 (8,19)		
Chrysene	0.6-9.6(1,4,10,11,20,22,23)				
Coronene	0.1 (30)		0.5-2.8 (19)		
Dibenzo[a,c]anthracene	present (30)				
Dibenzo[a,h]anthracene	0.4 (11)				
Dibenzo[a,i]anthracene	1.1 (7)	4.1 (7)	6 (8)		
Dibenzo[a,e]pyrene	present (30)				
Dibenzo[a,h]pyrene	present (30)				
Dibenzo[a,f]pyrene	0.17-0.32 (25)				
Dibenzo[a,l]pyrene	present (33)				
Fluoranthene	1-27.2(7,16,20,22,29,33)	126 (7)	99 (8)	20.1 (3)	
Fluorene	present (9,31)				
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.4-2.0 (1,38)				
1-Methylchrysene	0.3 (10)				
2-Methylchrysene	0.12 (10)				
3-Methylchrysene	0.61 (10)				
4-Methylchrysene	present (31)				
5-Methylchrysene	0.06 (10)				
6-Methylchrysene	0.7 (10)				
2-Methylfluoranthene	present (22)				
3-Methylfluoranthene	present (22)				
Perylene	0.3-0.5 (23,30)	3.9 (7)	0.1-11(8,19)		
Phenanthrene	8.5-62.4 (20,22,23)				
Pyrene	5-27 (2,4,7,20,22,23,25,29,33)	39-101 (7,21)	2-66 (8,19)	115 (3)	
Triphenylene	present (30)			17.6 (3)	75.5 (3)
<i>Heterocyclic compounds</i>					
Carbazole	100 (15)				
Dibenzo[a,h]acridine	0.01 (35)				
Dibenzo[a,j]acridine	0.27 (35)				
7H-Dibenzo[c,g]carbazole	0.07 (35)				
Benzo[c]fluorene	present (12,30)				
Dimethylphenanthrene <sup>b</sup>	present (30)				
1-Methylphenanthrene	3.2 (22)				

<sup>a</sup>References: (1) Ayres & Thornton (1965); (2) Bonnet & Neukomm (1956); (3) Campbell & Lindsey (1957); (4) Ellington *et al.* (1978); (5) Elliot & Rowe (1975); (6) Galuskinová (1964); (7) Grimmer *et al.* (1977a); (8) Grimmer *et al.* (1977b); (9) Grob & Voellmin (1970); (10) Hecht *et al.* (1974); (11) Hoffmann & Wynder (1960); (12) Hoffmann & Wynder (1971); (13) Hoffmann & Wynder (1972a); (14) Hoffmann *et al.* (1963); (15) Hoffmann *et al.* (1968); (16) Hoffmann *et al.* (1972); (17) Hoffmann *et al.* (1974); (18) Hoffmann *et al.* (1975); (19) Just *et al.* (1972); (20) Kiryu & Kuratsune (1966); (21) Kotin & Falk (1960); (22) Lee, M.L. *et al.* (1976); (23) Masuda & Kuratsune (1972); (24) Müller, K.H. *et al.* (1964); (25) Müller, R. *et al.* (1967); (26) Perry (1973); (27) Pyriki (1963); (28) Rathkamp *et al.* (1973); (29) Seveston *et al.* (1979); (30) Snook *et al.* (1977); (31) Snook *et al.* (1978); (32) US Department of Health & Human Services (1982); (33) Van Duuren (1958a); (34) Van Duuren (1958b); (35) Van Duuren *et al.* (1960); (36) Wynder & Hoffmann (1959); (37) Wynder & Hoffmann (1961a); (38) Wynder & Hoffmann (1963)

<sup>b</sup>Unspecified isomer

表4 Concentrations of some phenols in tobacco smoke (with references<sup>a</sup>)

Phenolic compound	Cigarette mainstream smoke - nonfilter (µg/cigarette)	Cigarette sidestream smoke (µg/cigarette)	Cigar smoke (µg/cigar)
<i>Phenols</i>			
Phenol	9-161 (5,6,9,11)	603 (phenols) (7)	35-110 (5,8)
<i>o</i> -Cresol	7-26 (5,6,11)		4-20 (5,8)
<i>m</i> - and <i>p</i> -Cresol	22-82 (5,6,11)		17-90 (5,8)
Xylenols	5-9 (5,11)		1-17 (5,8)
2-, 3- and 4-Vinylphenols	Present (6)		
Ethylphenols	9-28 (5,11)		7-27 (5,8)
2-Methoxyphenol (Guaiacol)	13 (6)		
4-Vinylguaiacol	11 (6)		
1-Naphthol	0.27 (2)		
2-Naphthol	0.54 (2)		
2-Methoxy-4-(2-propenyl)phenol (Eugenol)	2-4 (3,11)		
2-Methoxy-4-propenylphenol (Isoeugenol)	3-15 (3,11)		
Coniferyl alcohol (3'-Hydroxyisoeugenol)	1 (6)		
<i>Di- and trihydroxybenzenes</i>			
Catechol	21-502 (1,4,6,10,11)	88-212 (1)	140-362 (1)
3- and 4-Methylcatechol	32-46 (1,6)		
4-Ethylcatechol	10-46 (1,6)		
4-Vinylcatechol	84 (6)		
Resorcinol	8-80 (2,11)		
Hydroquinone	88-155 (6,11)		
1,3-Dimethoxypropylgallol	Present (11)		

<sup>a</sup>References: (1) Brunnemann *et al.* (1976b); (2) Commins & Lindsey (1956); (3) Grob & Voellmin (1970); (4) Guerin & Olerich (1976); (5) Hoffmann & Wynder (1972a); (6) Ishiguro *et al.* (1976); (7) Neurath & Ehmke (1964a); (8) Osman *et al.* (1953); (9) Spears (1963); (10) Waltz *et al.* (1965); Wynder & Hoffmann (1967)

表5 Concentrations of free fatty acids in cigarette smoke<sup>a</sup>

Acid	Tobacco burned (µg/g)				
	Oriental	Flue-cured	Maryland	Burley	Blend <sup>b</sup>
Palmitic	284	197	107	55	152
Stearic	90	74	43	33	75
Oleic	108	39	32	21	58
Linoleic	146	113	52	50	96
Linolenic	329	310	66	52	240
Total (mg)	0.96	0.73	0.30	0.21	0.62
Wet TPM <sup>c</sup> (mg)	37.2	37.6	26.4	20.1	32.3
% Fatty acids in wet TPM	2.6	1.95	1.14	1.05	1.9

<sup>a</sup>From Hoffmann and Wozniwodzki (1968). Cigarettes were 85 mm long without filter tips.

<sup>b</sup>US commercial cigarette

<sup>c</sup>TPM, total particulate matter

表6 Concentrations of aromatic amines in cigarette smoke (ng/cigarette)<sup>a</sup>

Aromatic amine	Mainstream smoke		Sidestream smoke
	US 85-mm nonfilter	French 70-mm nonfilter	French 70-mm nonfilter
Aniline	102	364	10 800
<i>ortho</i> -Toluidine	32.2	162	3 030
<i>meta</i> -Toluidine	15.3	30.4	2 080
<i>para</i> -Toluidine	13.5	33.8	1 730
2-Ethylaniline + 2,6-dimethylaniline	14.9	54.2	1 240
2,5-Dimethylaniline	19.1	87.2	2 370
3-Ethylaniline + 2,4-dimethylaniline	14.0	56.7	1 200
4-Ethylaniline + 2,3-dimethylaniline	7.8	27.3	494
1-Naphthylamine	4.3	2.5	103
2-Naphthylamine	1.0	1.7	67
2-Aminobiphenyl	1.8	3.0	110
3-Aminobiphenyl	2.7	5.0	132
4-Aminobiphenyl	2.4	4.6	143
2-Methyl-1-naphthylamine	5.8	3.6	117

<sup>a</sup>From Patrianakos and Hoffmann (1979)

表7 Concentrations of major pyridines and pyrazines in mainstream cigarette smoke ( $\mu\text{g}/\text{cigarette}$ )

Compound	US nonfilter <sup>a</sup>	US filter <sup>a</sup>	US filter <sup>a</sup>	Japanese presumably nonfilter <sup>b</sup>
	85 mm	85 mm	85 mm	70 mm
Pyridine	32.4	21.4	28.7	21.7
2-Picoline	12.3	12.1	11.5	11.0
3-Picoline	24.1	9.8	15.7	36.1
4-Picoline				6.7
2,6-Lutidine	1.4	1.0	1.1	12.8
2,5-Lutidine	3.9	2.7	3.0	2.7 <sup>c</sup>
2,4-Lutidine	1.7	1.1	1.1	5.8
3-Vinylpyridine <sup>d</sup>	23.3	7.0	14.9	14.0
2-Methylpyrazine	2.2	1.6	0.9	4.9
2,3-Dimethylpyrazine	0.4	0.4	0.2	-

<sup>a</sup>From Brunnemann *et al.* (1978)

<sup>b</sup>From Sakuma *et al.* (1984a,b)

<sup>c</sup>2,3-Lutidine

<sup>d</sup>+ 3,4-lutidine in US cigarettes

表8 Concentrations of *N*-nitrosamines in cigarette smoke (ng/cigarette)<sup>a</sup>

Nitrosamine	Burley tobacco	Flue-cured tobacco	French black tobacco	Commercial cigarettes	
				Nonfilter	Filter
<i>N</i> -Nitrosodimethylamine	11-180	0.5-13.2	29-143	2-20	0.1-17
<i>N</i> -Nitrosomethylethylamine	9.1-13	> 0.1	2.7-12	ND-2.7	ND-2.5
<i>N</i> -Nitrosodiethylamine	4-25	ND-1.8	0.6-6	ND-2.8	ND-7.6
<i>N</i> -Nitrosodi- <i>n</i> -propylamine	ND	ND	ND	ND-1.0 <sup>b</sup>	ND
<i>N</i> -Nitrosodi- <i>n</i> -butylamine	ND	ND	ND	ND-3 <sup>b</sup>	ND
<i>N</i> -Nitrosopyrrolidine	52-76	6.2	25-110	ND-110	1.5-30
<i>N</i> -Nitrosopiperidine	9	ND	ND	ND-9 <sup>b</sup>	ND
<i>N</i> -Nitrosodiethanolamine	2-90	ND	ND	36	24
<i>N</i> -Nitrosoanatabine	3700	620	590	120-950	310
4-(Methylnitrosamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanone	320	420	220	80-770	150
<i>N</i> -Nitrosoanatabine	4600	410	200	140-990	370
<i>N</i> -Nitrosoanabasine			ND-150		

<sup>a</sup>From Hoffmann *et al.* (1984a); ND, not detected

<sup>b</sup>Reported only in isolated instances

表9 Concentrations of metals in cigarette smoke  
with references<sup>a)</sup>

Metal	µg/Cigarette	
Na	1.3	(3)
K	70	(3)
Cs	0.0002	(3)
Mg	0.070	(3)
Sc	0.0014	(3)
La	0.0018	(3)
Cr	0.004-0.069	(1,3)
Mn	0.003	(3)
Fe	0.042	(3)
Co	0.0002	(3)
Ni	0.0-0.51	(1,2,3,4,5)
Cu	0.19	(3)
Ag	0.0012	(3)
Au	0.00002	(3)
Zn	0.12-1.21	(1,3,4)
Cd	0.007-0.35	(1,3,4,5)
Hg	0.004	(3)
Al	0.22	(3)
Pb	0.017-0.98	(1,3,4)
As	0.012-0.022	(1,3)
Sb	0.052	(3)
Bi	0.004	(3)
Se	0.001-0.063	(1,3)
Tc	0.006	(3)

<sup>a)</sup>References: (1) Jenkins, R.A. (1985); (2) National Research Council (1975); (3) Norman (1977); Pettinelli & Carugno (1978); (5) Bache *et al.* (1986)

表 10 Concentrations of agricultural chemicals in tobacco smoke

Chemical	Concentration ( $\mu\text{g}/\text{cigarette}$ ) <sup>a</sup>	Thermal decomposition products ( $\mu\text{g}/\text{cigarette}$ )	Reference
Captan (IARC, 1983a)	<0.4-33.7 (2.7%)		Yamasaki, Y. & Tomaru (1976)
Carbaryl (IARC, 1976c)	Traces (1%)		Stedman (1968)
<i>para, para</i> -DDT (IARC, 1974c)	0.71-1.2 (9-12.4%)	DDE (0.2; 29%) <i>trans</i> -4,4'-Dichlorodibenzene (0.3-1.73)	Hoffmann <i>et al.</i> (1969); Thorntenson & Dorough (1976)
<i>para, para</i> -DDD (IARC, 1974c)	1.7-2.5 (10-18%)	1-Chloro-2,2-bis( <i>para</i> - chlorophenyl)ethylene (0.81)	Hoffmann <i>et al.</i> (1969); Thorntenson & Dorough (1976)
<i>ortho, para</i> -DDT (IARC, 1974c)	0.2-0.72 (0.1%)		Hoffmann <i>et al.</i> (1969); Thorntenson & Dorough (1976)
<i>ortho, para</i> -DDD (IARC, 1974c)	0.40-1.0 (0.2-11.6%)		Hoffmann <i>et al.</i> (1969)
Endrin (IARC, 1974c)	(18-30%)		Stedman (1968)
Malathion (IARC, 1983b)	(~9%)		Hengy & Thirion (1970)
Maleic hydrazide (IARC, 1974b)	<0.1-2.1 (1.25-10.3%)		Chopra <i>et al.</i> (1982); Liu & Hoffmann (1973)
Thiodan (endosulphan)	SS (0-1.4; 0-3.3%) Present		Chopra <i>et al.</i> (1978)

<sup>a</sup>Numbers in parentheses, transfer from tobacco into smoke