

# 厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）

## 総括研究報告書

### 受動喫煙を防止するための効果的な呼吸用保護具のフィルターの検討

研究代表者 保利 一（産業医科大学産業保健学部 教授）

研究要旨：清掃作業のため喫煙室等に入って働く作業員や喫煙可能な飲食店等で働く作業員の受動喫煙を防止する方法としては、作業環境管理対策が困難であり、呼吸保護具が重要である。しかしながら、現在使用されている呼吸用保護具がたばこ煙に有効であるか否かは検討されていない。そこで、防じんマスク、防毒マスク、簡易マスクおよび新たに開発した吸着材のたばこ煙に対する捕集特性を調べた。その結果、粉じんについては、現在のRL2、RS2以上の防じんマスク用フィルタであれば、98%以上捕集できることが認められた。ただし、臭気については、防じんマスク用フィルタはほとんど効果がないことがわかった。ガス状物質については、防じんマスクではほとんど捕集できないが、有機ガス用防毒マスク吸収缶は有機物質をかなり捕集できること、また活性炭とセピオライトを7:3で配合した両親媒性吸着材およびホルムアルデヒド用吸収缶では、アルデヒド類やアセトンをほぼ捕集できることが示された。簡易マスクについては、捕集効果はさまざまであったが、活性炭入りのもののなかには、VOCをかなり吸着できるものがあることがわかった。

研究分担者 石田尾 徹  
（産業医科大学産業保健学部 講師）

研究分担者 樋上 光雄  
（産業医科大学産業保健学部 助教）

研究分担者 山本 忍  
（産業医科大学産業保健学部 助教）

研究協力者 山田 比路史  
（株式会社 重松製作所）

動喫煙防止措置が努力義務化されたことにより、事業場では建物内を全面禁煙にするか、または喫煙室等の設置を徹底することが求められるようになった。また、平成30年には健康増進法が改正され、多数の者が利用する施設等の利用者に対しては、原則として喫煙を禁止することとなった。ただし、経営規模が小さい既存の飲食店等については当面は猶予が認められている。

喫煙対策としては、建物内で喫煙を完全に禁止する全面禁煙が究極の対策であり、最も受動喫煙防止の効果は高いが、日本た

#### A. 研究目的

平成27年の労働安全衛生法の改正で受

ばこ産業が実施している「全国たばこ喫煙者率調査」[1]によると、男性の喫煙率は近年下がっているものの、2018年度でもまだ約28%あり、全面禁煙は必ずしも容易ではない事業場は多いことが考えられる。次善の策は、喫煙室等を設置し、空間分煙を実施することである。この場合、非喫煙者のたばこ煙へのばく露は避けられるものの、清掃のため喫煙室に入る作業者はたばこ煙へのばく露が避けられない。また、小規模の飲食店等では、上にも述べたように当面喫煙を可とすることになっているため、このような職場で働く従業員も受動喫煙は避けられない。このように喫煙場所が存在する職場では、非喫煙者も受動喫煙のリスクが常に存在することになる。

このような作業者のたばこ煙へのばく露を低減する方法としては、さまざま考えられるが、喫煙室は部屋全体が発生源と考えられるため、換気等で濃度を低減することはできるものの、作業環境管理上の対策のみで作業者の受動喫煙を防止することは困難である。したがって、作業環境管理対策に加え、作業管理対策として作業者に呼吸用保護具を着用させることが現実的と考えられる。現在、作業現場で使用されている過式の呼吸用保護具には、大きくわけて粉じん用の防じんマスクとガス・蒸気用の防毒マスクがある。防毒マスクには、さらに有機ガス用、アンモニアガス用、酸性ガス用など対象とするガス・蒸気に対応した吸収缶があり、対象物質に合ったものを使用しなければ期待される防護効果は得られない。指定作業場等、有害物を取り扱う労働現場では、あらかじめ使用する物質が決まっているため、マスクの選択は比較的容易である

が、たばこの煙にはガス状、粒子状合わせて数千種類もの化学物質が含まれており[2]、物理・化学的性質もさまざまであるため、防じんフィルター（以下ではフィルターをフィルタと表記する）や吸収缶がこれらを十分に捕集できるか否かの検討はなされておらず、その効果も不明である。

本研究は、既存の呼吸用保護具に用いられている防じんマスク用のフィルタあるいは防毒マスク吸収缶の吸収・吸着材がたばこ煙に対してどのような特性を有しているのかを把握し、たばこ煙に適したフィルタを提案することを目的としたものである。

## B. 研究方法

### 1. 文献調査

たばこ煙の成分については、これまでも多くの報告があるが、呼吸用保護具の防護性能を検討するにあたり、まず、特に重点的に低減する必要のある物質を選定することが重要である。そこで、たばこ煙中の化学物質の種類と濃度、また、化学物質と生体影響に関して文献調査を実施し、その結果に基づき、本研究の対象とする化学物質を決定することとした。

### 2. 実験

たばこ煙は、粒子状物質とガス状物質の混合物である。粒子状物質については防じんマスク用フィルタ、ガス状物質については防毒マスク用吸収缶および活性炭とセピオライトを7:3で混合し成形した両親媒性吸着材を用いて試験を行った。また、飲食店等において接客する労働者を想定し、市販の簡易マスクおよび吸着材の捕集特性についても検討を行った。

## 2.1 粒子状物質の捕集試験

### 1) たばこ

たばこは、わが国で売り上げランキングの上位 3 銘柄（セブンスター・メビウス、マールボロ）を使用して試験を行った。ただし、いずれの粒径分布もほぼ同じであったため、追加の実験はメビウスのみで実施した。

### 2) 試験フィルタ

試験に使用した防じんマスク（重松製作所）を表 1 に示す表中の No.1~4 の防塵フィルタは、取り替え式防じんマスク用でメカニカルフィルタであり、No.5 の防じん麻フィルタは使い捨て式防じんマスクに用いられている静電ろ過材である。

### 3) 装置および方法

試験装置の概略を図 1 に示す。約 68 L の引き出しタイプの衣装ケースを利用したチ

ャンバーの側面にたばこをセットし、吸引ポンプ（MP-Σ30，柴田科学）を用いて外部から空気を吸引および吐出することにより呼吸を模擬し、主流煙と副流煙を発生させた。吸入した主流煙はポンプを介してチャンバー内に戻し、チャンバー内に主流煙 + 副流煙の環境を作った。試験時間は実際の作業を想定して 20 分とし、たばこは 5 分毎に新しいものに交換した。

チャンバー内の空気をデジタル粉じん計（AP-632FM，AP-632 FH，柴田科学）に通じ、各試料前後の粉じん計の指示値から、1 分毎の捕集効率を算出した。試験流量は 40 L/min とした。また、これと並行して、走査型電気移動度粒径測定装置（Scanning Mobility Particle Sizer, (SMPS), SMPS3936, TSI)を用いてたばこ煙の粒径分布を測定した。さらに、実験開始後 1, 5, 10, 20 分後に、チャンバー内の臭気をニオイセンサー（XP-329R，新コスモス電機）で測定した。

表 1 試験に使用した防じんフィルタの種類

No	試料	国検区分	ろ過材取り付け数	備考
1	TW08SF+X3	RL3 (≥99.9%)	2	
2	TW01S+X2	RL2 (≥95.0%)	1	ACF入り
3	TW01S+T2	RL2 (≥95.0%)	1	ACF入り
4	TW01+X1	RL1 (≥80.0%)	1	
5	DD02-S2-2K	DS2 (≥95.0%)	—	使い捨て

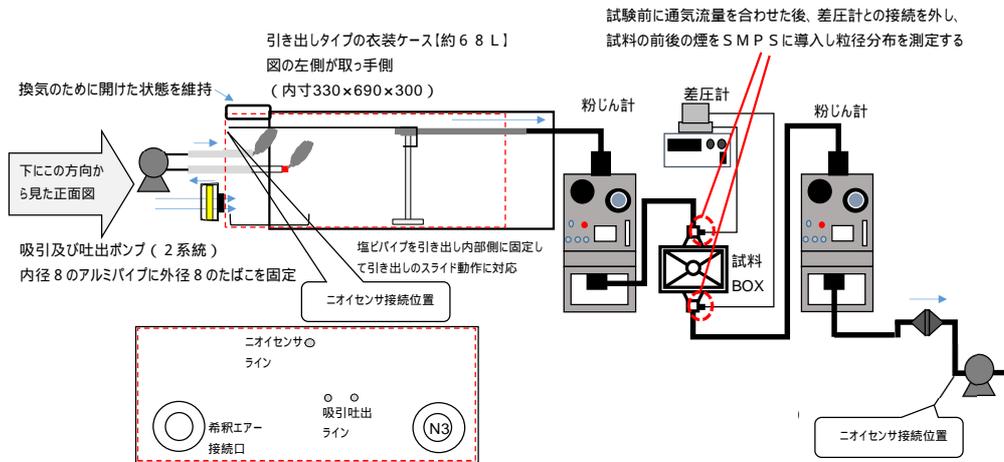


図1 粒子状物質用実験装置の概略

## 2.2 ガス状物質の捕集試験

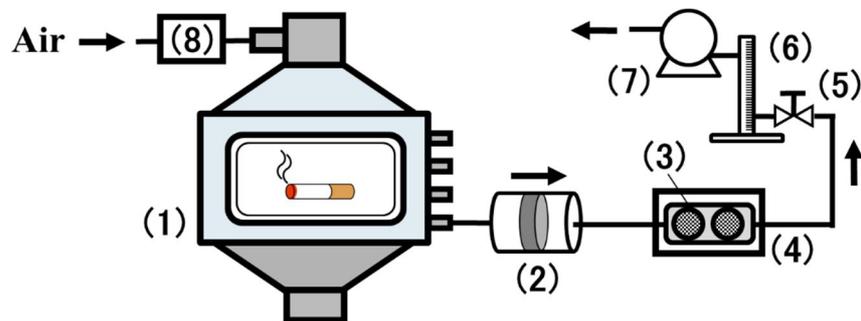
試験装置の概略を図2に示す。装置は、たばこ煙を発生させるステンレス製のチャンパー(1)、煙を捕集する試験フィルタ部(2)、およびガス検出部(リアルタイムモニター)(3)から構成されている。

チャンパー(1)内で発生させたたばこ煙を、フィルタ(8)を通した空気と混合、希釈したのち試験用吸着フィルタ(2)に通じ、これを通過した空気を測定用セル(4)内に置いたリアルタイムモニター(3)で計測した。一部の実験においては、リアルタイムモニターに

加えて出口の空気をサンプリングし、6種類のカルボニル類(アルデヒド類およびアセトン)について、高速液体クロマトグラフ(HPLC)で分析、同定した。

リアルタイムモニターには、光イオン化検出器を有するPID式VOC濃度計(TIGER, 理研計器)、個人用PIDモニター(CUB, 理研計器)および半導体センサーを有する個人ばく露濃度計(XV-389, 新コスモス電機)を用いた。

ガス状物質の捕集試験に用いた吸収缶(捕集材)と実験条件を表2に示す。



(1) ステンレス製チャンパー (2) 吸着フィルタ (3) リアルタイムモニタ (PID)  
(4) 測定用セル (5) バルブ (6) 流量計 (7) ポンプ (8) 活性炭&シリカゲル

図2 ガス状物質測定用実験装置の概略

表 2 本研究で用いた捕集材と実験条件

捕集材	流量 (L/min)		
	CUB	TIGER	HPLC
使い捨て式防じんマスク(DF620, 三光化学)	3		
活性炭入り使い捨て式防じんマスク(DF640, 三光化学)	3		
有機ガス用吸収缶(3001 J-55, 3M)	3	10	10
活性炭/セピオライト(本研究で開発)	3, 10	10	10
ホルムアルデヒド用吸収缶( CA-104N2/FA2 ,重松製作所)	10	10	10

### 2.3 簡易マスクの性能試験

飲食店等の接客業等で使用できるマスクを想定し、簡易マスクがガス状物質をどの程度捕集できるか検討するための実験を計

画した。実験装置の写真を図3に、使用した簡易マスクの種類を表3に、また、活性炭マスク、アドール、ハイパーマスク2の写真を図4に示す。

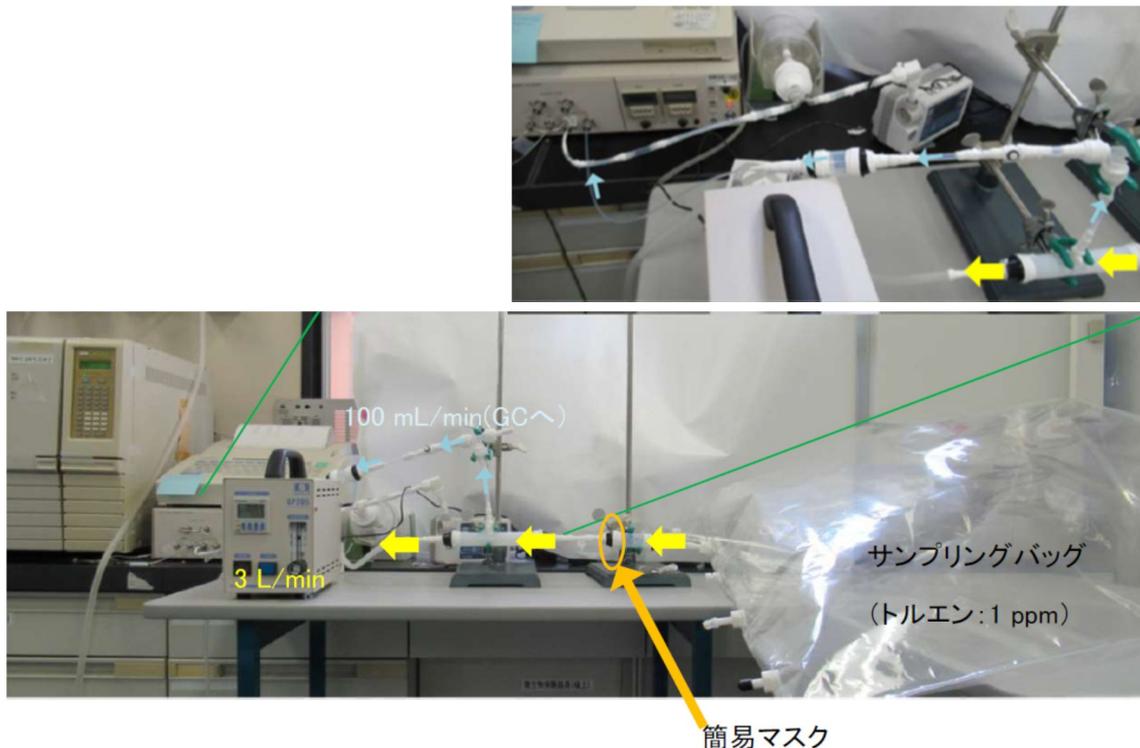


図3 簡易マスクを用いた実験装置

表3 使用した簡易マスク

No	名称	メーカー・型式	備考
1	活性炭マスク	アズワン	ACF55%含有
2	使い捨て式防じんマスク	重松製作所・DD12A-S1-1	ACF 入り
3	使い捨て式防じんマスク	3M・9913-DS1	活性炭入り
4	繊維状活性炭アドール	大阪ガスケミカル	たばこ臭気用
5	ハイパーマスク2	松田商会	ACF 入り



活性炭マスク(アズワン)



アドール(大阪ガスケミカル)



ハイパーマスク2  
(松田商会)

図4 実験に用いた簡易マスクの写真

これらのマスクに使用されているフィルタを直径2cmの円形にくり抜き、テフロン製のホルダーに固定した。試験ガスはトルエンとし、濃度1ppmになるようにテドラバッグに調整し、面風速が検定試験と同じになるように流量3L/minでフィルタに

通じた。下流側の蒸気をオートガスサンプラー(GS-5000A, ジーエルサイエンス)で採取し、FID付ガスクロマトグラフ(GC-17A, 島津製作所)で経時的に濃度を測定し、透過曲線を得た。

## C. 研究結果

### 1. たばこ煙の成分

たばこ煙の成分に関しては、数多くの報告がある[3-5]。厚生労働省[3]は、平成 11 - 12 年度に国内で販売されているたばこのうち、消費量の多い銘柄の中から 7 銘柄を選び、標準的および平均的の 2 種類の燃焼条件で発生させたたばこ煙を発生させ、主流煙および副流煙中に含まれる主な化学物質（粉じん、ガス）を調査した。その結果、濃度は銘柄によっても異なるが、粉じん成分としては、ニコチン、タール、ニトロソアミン類、ガス状物質としては、無機ガス（一酸化炭素、NO、NO<sub>2</sub>、シアン化水素など）および、カルボニル類（アセトアルデヒド、ホルムアルデヒド、アセトンなど）その他の有機化合物（イソプレン、トルエン、1,3-ブタジエン、ベンゼンなど）が多く含まれていることを報告している。

伏脇[4]は、2012 年に、喫煙による室内環境汚染と喫煙による室内環境汚染と喫煙および受動喫煙に伴う健康影響に関する知見について整理するとともに、喫煙に関する国際および国内における法規制についてレビューしているが、前述の物質のほか、多環芳香族炭化水素類（ピレン、ベンズ[a]アントラセン、ベンゾ[a]ピレン、ベンズ[a]アントラセン、ベンゾ[b]フルオランテン、ベンゾ[j]フルオランテン、ベンゾ[k]フルオランテン、ジベンズ[a,h]アントラセン、ジベンゾ[a,i]ピレン、インデノ[1,2,3-cd]ピレンなど）、さらにジクロロメタン等が検出されている。これらの物質のほとんどは IARC あるいは日本産業衛生学会の発がん分類で

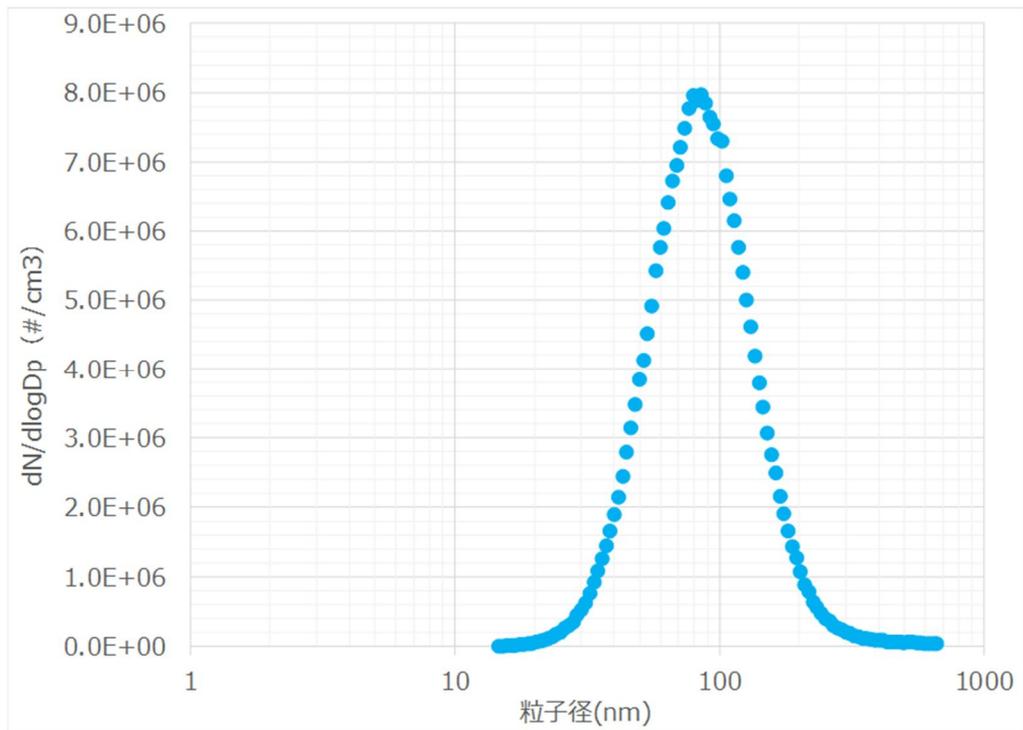
Group 2B 以上に分類されている物質である。このほか、アンモニア、シアン化水素などのガスや、カドミウムや鉛などの重金属類も検出されている[5]。

主流煙と副流煙では、副流煙のほうが有害物質が多く含まれており、その比率は、ニコチン 2.8 倍、ベンゾ[a]ピレン 3.4 倍、ジメチルニトロソアミン 19~129 倍、ジエチルニトロソアミン 2~56 倍、一酸化炭素 4.7 倍、アンモニア 46 倍などと報告されている[6]。

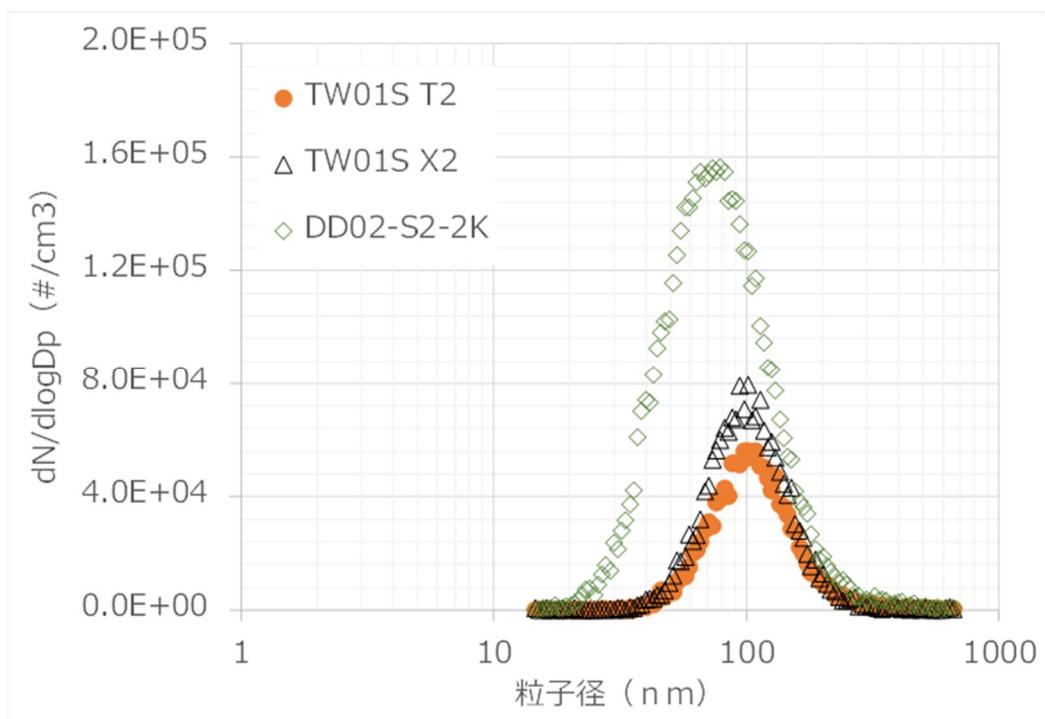
### 2. 粉じんの捕集特性

試験に用いたたばこ煙の SMPS で測定した粒径分布を図 5 に示す。図から、たばこ煙の粉じんの粒径は対数正規分布することが示され、その幾何平均径は約 85 nm であった。捕集材通過後は濃度は下がっているが、粒径分布は大きく変わっていない。ただし、幾何平均径はやや大きくなる傾向があった。

各試料のフィルタ透過前後の粒径分布から、捕集率を測定した結果を表 4 に示す。No.4 を除き、捕集効率は 98% を上回っていた。特に No.1 は区分 RL3 のフィルタであり、「防じんマスクの規格」で 99% 以上を要求されるが、いずれも 99.97% 以上となり、たばこの粉じんはほぼ完全に捕集できることがわかった。No.4 は RL1 のフィルタであり、「防じんマスクの規格」で要求されている捕集効率 0% は十分に上回っていたが、95% には満たなかった。このことから、粉じんについては、DS2 あるいは RL2 以上のフィルタであれば、98% 以上の捕集効率があることが確認された。



(a) フィルタ通過前



(b) フィルタ通過後

図5 防じんフィルタ前後のたばこ煙粉じんの粒径分布

表4 防じんフィルタのたばこ煙粉じんの捕集率

No	試料	捕集効率(%)					
		SMPS		デジタル粉じん計(0.3 $\mu$ m で校正)			
		1-10min	11-20min	全体	1-10min	11-20min	全体
1	TW09SF+X3	99.97	99.98	99.97	99.97	99.97	99.97
2	TW01S+X2	99.50	99.03	99.26	98.36	98.78	98.57
3	TW01S+T2	99.53	99.22	99.37	98.41	98.68	98.55
4	TW01S+X1	94.00	95.01	94.51	90.95	95.70	93.32
5	DD02-S2-2K	97.64	98.69	98.16	98.91	99.18	99.04

表5 ニオイセンサーによる臭気の計測結果

No	試料	ニオイセンサー指示値			
		1 min	6 min	11 min	16 min
		出口	入口	出口	入口
1	TW09SF+X3	410	890	470	920
2	TW01S+X2	360	970	470	930
3	TW01S+T2	460	950	515	960
4	TW01S+X1	480	940	530	950
5	DD02-S2-2K	490	910	525	950

ニオイセンサーによる臭気の測定結果を表5に示す。このニオイセンサーはにおいの検知に半導体センサーを用いている。センサーの感度は必ずしもヒトの感覚に対応したものではないが、臭気の強さの相対的な変化を把握することができる。表5は発生場所付近の入口(図1の )と、ろ過材の後(出口)(図1の )で測定したものであるが、いずれの試験でも数値はほぼ半減していた。ただし、これは、図1の から に至る経路内に吸着されたものも含んでいる。別の実験では、ACF入りのフィルタではフィルタ前後でセンサーの指示値が20~30ポイント程度低下した程度であったことから、防じんマスク用のフィルタではにおい

の低下はほとんど期待できないことがわかった。

### 3. ガス状物質に対する吸収缶および捕集材の特性

国産のたばこ(メビウスオリジナル, JT)から発生した煙中のガス状物質を、使い捨て式防じんマスク、使い捨て式活性炭入り防じんマスク、有機ガス用防毒マスク吸収缶の3種類のフィルタに通じた場合の捕集剤前後のたばこ煙の濃度変化の結果を図6に示す。この図はイオン化電位10.6eVのCUBで濃度をモニターした場合の結果である。

入口濃度は実験開始後約3分間ほぼ0

ppm であったが、その後直線的に上昇し、12 分後頃にピークに達している。最初に濃度が上昇しなかったのは、発生した煙が測定部に達するまでに時間を要したためと考えられる。また、その後は入口のたばこ煙濃度は下がっているが、これは約 10 分程度でたばこが燃え尽きたためである。

使い捨て式防じんマスクは、入口濃度よりもゆるやかに上昇し、入口よりも遅れて 35 分後付近にピークとなる曲線が得られている。使い捨て式活性炭入り防じんマスクも約 30 分後まで緩やかな上昇を示し、その後はやや減少傾向が見られたが、60 分後まで大きな変化はない。また出口濃度も、活性炭を含まない防じんマスクが約 13 ppm まで上昇したのに対し、活性炭入り防じんマスクでは、約 2.5 ppm と低くなっている。これは、防じんフィルタに加えられている活性炭が、ガス・蒸気を吸着したことを示して

いる。最後に有機ガス用防毒マスク吸収缶であるが、これについては、指示値は試験を行った 60 分間では大きく上昇せず、ほぼ 1 ppm 以内に収まっている。防毒マスク用の有機ガス用吸収缶に使用されている吸着剤は活性炭である。活性炭は多くの揮発性有機化合物(VOC)を吸着することが知られている。たばこ煙にはきわめて多数の VOC を含む有機物が含まれており、これらを活性炭が吸着したため、濃度上昇は最も小さかったと考えられる。

以上の結果から、これらの 3 つのフィルタについては、防毒マスクが最も捕集性能が高く、ついで使い捨て式活性炭入り防じんマスク、もっとも捕集性能が低いのは活性炭を含まない使い捨て式の防じんマスクであった。なお、入口と出口のピーク濃度が現れる時間に差が生じていること等については、D(考察)で述べる。

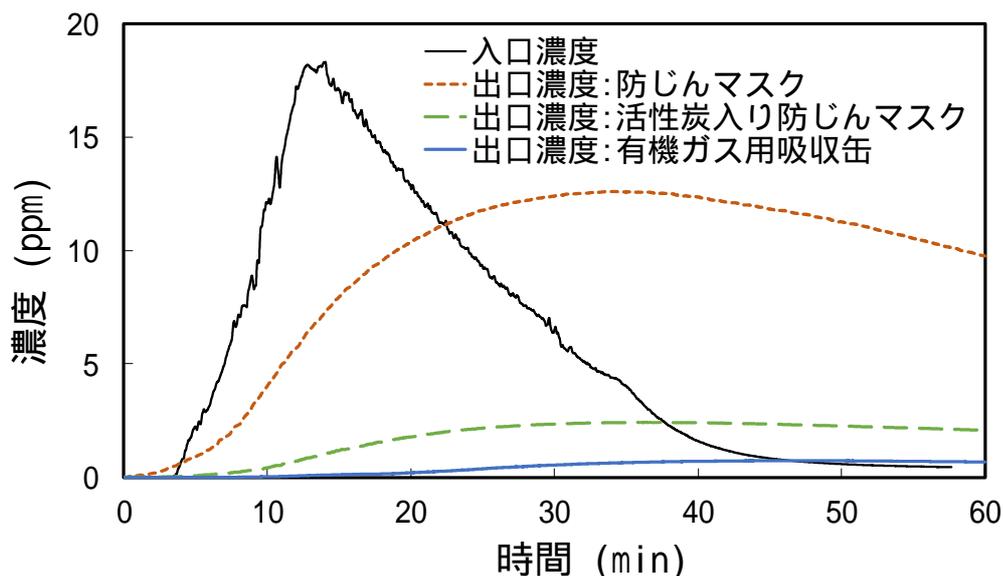


図 6 各捕集材に対するたばこ煙の捕集実験(3 L/min, CUB)

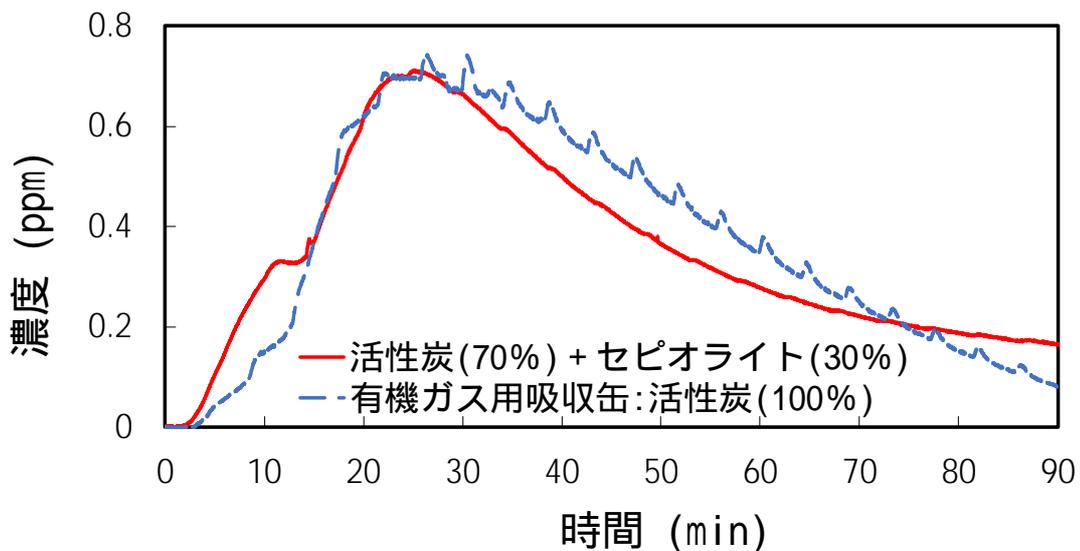


図7 両親媒性吸着材(活性炭 70% , セピオライト 30%)とホルムアルデヒド用吸収缶の吸着材の捕集特性の比較 .

次に、モニターには同じ CUB を用いて、新たに開発した両親媒性吸着剤(活性炭:セピオライト=7:3)と、有機ガス用吸収缶用に用いられている活性炭を比較した結果を図7に示す。両者の透過曲線の形状はほぼ一致しており、活性炭等とセピオライトの混合物と防毒マスクに使用されている活性炭では顕著な違いはみられなかった。

図8は、モニターに TIGER (イオン化電位 11.7eV) を用いて、活性炭+セピオライトの両親媒性吸着材と、ホルムアルデヒド用吸収缶の透過曲線を比較したものである。両親媒性吸着材は実験開始数分後に出口濃度は上昇を始めたが、約10分後に一度濃度上昇が緩やかになり、その後約20分後からまた上昇して約35分後に約4ppmでピークに達した。その後は図7と同様、経時的に低下した。一方、ホルムアルデヒド用吸収缶は出口濃度のピークの時間が11分後付近と両親媒性吸着材よりも早くなっている。また、ホルムアルデヒド用吸着剤は、両親媒性吸

着材のように途中で濃度上昇が緩やかになるような現象は現れず、約11分までほぼ直線的に濃度は上昇し、ピーク濃度が約3ppmとなったあと、減少を開始し、約50分でほぼ0ppmにまで減少している。このホルムアルデヒド用吸収缶において最大濃度となった時間は、たばこが燃え尽きた時間とほぼ一致している。

図9は、ホルムアルデヒド用吸着材、両親媒性吸着材および有機ガス用吸着材について、TIGER を用いて測定を行った結果である。ホルムアルデヒド用吸収缶を通過したたばこ煙のガスは、約15分後にピークに達した後、減少しているが、活性炭/セピオライト両親媒性吸着材および有機ガス用吸収缶については、濃度が上昇しピーク達した後、いったん減少し、さらに大きなピークが現れるという二峰性の透過曲線が得られた。また、濃度の最大値は、活性炭/セピオライト両親媒性吸着材が最も高く、次いで有機ガス用吸収缶、ホルムアルデヒド用吸収缶

の順であった。

活性炭/セピオライト両親媒性吸着材およびホルムアルデヒド吸収缶について、6種類のカルボニル類について、HPLCにより入口濃度と出口濃度を比較した結果を表6に示す。入口、すなわち、フィルタを通す

前のたばこ煙からは、アセトアルデヒド、ホルムアルデヒドおよびアセトンが比較的高濃度で検出された。しかし、フィルタを通した後の空気からはホルムアルデヒドが0.2~0.3 ppb 検出されたのみで、他のカルボニル類は検出されなかった。

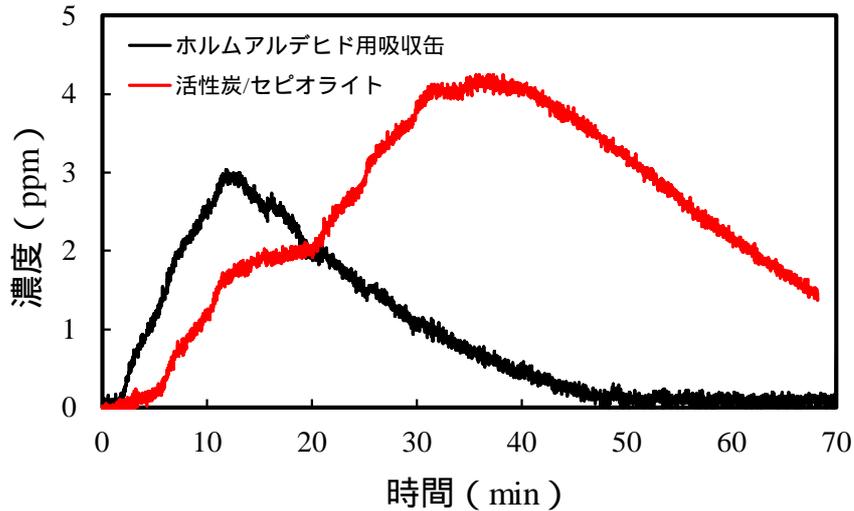


図8 TIGER を用いた場合のホルムアルデヒド用吸収缶と両親媒性吸着材の透過曲線の比較。

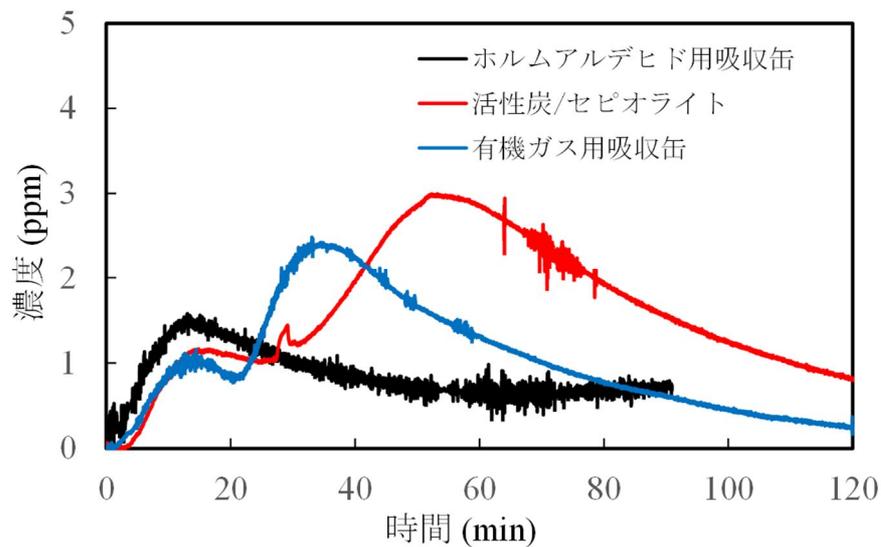


図9 ホルムアルデヒド用吸着材、両親媒性吸着材および有機ガス用吸着材に対するたばこ煙の透過曲線（TIGER を用いて測定を行った結果）

表6 捕集材前後におけるアルデヒドおよびケトン類の HPLC による分析結果

物質名	活性炭/セピオライト		ホルムアルデヒド用吸収缶	
	入口濃度 [ppb]	出口濃度 [ppb]	入口濃度 [ppb]	出口濃度 [ppb]
ホルムアルデヒド	671.08	0.29	886.32	0.21
アセトアルデヒド	3124.70	—	3215.30	—
アセトン	714.18	—	566.02	—
プロパノールアルデヒド	142.82	—	138.53	—
クロトンアルデヒド	42.05	—	38.50	—
N-ブチルアルデヒド	32.35	—	36.58	—

### 3. 簡易マスクによるトルエンの捕集特性

小規模飲食店等での利用も考え、労働衛生用ではない市販の活性炭入り使い捨て防じんマスクおよび活性炭を用いた簡易マスクのフィルタがどの程度 VOC の捕集能力があるか、たばこ煙中の含有率が比較的高かったトルエンを用いて透過率で検討した結果を図 10 に示す。この図が示すように、簡易マスクの透過率はさまざまである。アズワン(表3のNo.1のマスク)は活性炭入りであるが、ほとんど吸着されず、最初から

80~90%の透過率であった。アドール(表3のNo.4のマスク)の透過率は40~60%程度であった。3Mの活性炭入り使い捨て防じんマスク(表3のNo.3のマスク)は80%以上の防護能力があり、重松製作所のACF入り使い捨て式防じんマスク(表3のNo.2のマスク)とハイパーマスク(表3のNo.5)のマスクの透過率は、ほぼ0%で、100%の除毒能力と言える。ただし、重松製作所のACF入り使い捨て式防じんマスクは、約30分で透過が始まった。

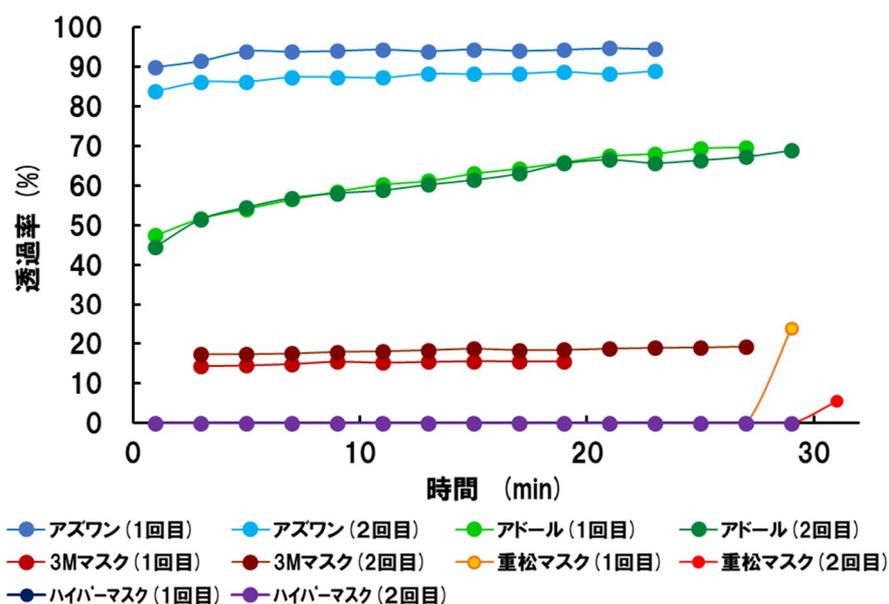


図10 簡易マスクによるトルエンに対する透過率の経時変化

#### D. 考察

たばこの煙には、数千種類ともいわれる化学物質が含まれていると言われており、発がん物質もベンゼンや多環芳香族炭化水素類やニトロソアミン類など数多く検出されている[3-5]。日本産業衛生学会[7]は、2010年に「タバコ煙」として、発がん性分類の第1群に分類している。このため、喫煙対策は重要な課題であり、特に受動喫煙防止は喫煙の課題となっている。わが国では、平成4年の労働安全衛生法の改正により「快適職場づくり」が事業者の努力義務となり、この規定の適切かつ有効な実施を図るため公表された、いわゆる「快適職場指針」の中の第2の「快適な職場環境の形成のために事業者が講ずべき措置の内容に関する事項」の空気環境の項に「必要に応じ作業場内に喫煙場所を指定する等の喫煙対策を講ずること」ということが規定された。その後、平成8年に「職場における喫煙対策のためのガイドライン」が公表され、喫煙対策の方法としては、全面禁煙、空間分煙、時間分煙があるが、当時の社会的状況を鑑みると、空間分煙が現実的で受け入れやすいことから、喫煙室等の設置を推奨することとされた。その後、このガイドラインは、WHO たばこ枠組み条約の採択や、健康増進法の施行に伴い、平成15年5月に全面的に見直されたが、空間分煙で対策を行う場合、受動喫煙を確実に防止する観点から、非喫煙場所にたばこの煙が漏れない喫煙室の設置を推奨することとされた。平成27年6月に労働安全衛生法の一部を改正する法律が施行され、受動喫煙防止が法的に努力義務化された。さらに、平成30年には、健康増進法の一部を改正する法律が公布され、望まない受動喫

煙の防止を図るため、多数の者が利用する施設等の区分に応じ、当該施設等の一定の場所を除き喫煙を禁止することとなった。

厚生労働省は、毎年、労働安全衛生調査を実施しているが、平成29年度の調査[8]では、喫煙対策に取り組んでいる事業場は全体の85.4%であった。大企業ほど取り組みの割合は高くなっており、1000人以上の事業場では97.8%あったが、10~29人の事業場では82.9%と低くなっている。敷地内を含め全面禁煙としている事業所は13.6%、建物内を禁煙としている事業所は35%と、ほぼ半分の事業所で建物内は禁煙としているが、300人以上の規模の事業部所では、約50%が、喫煙室等を設けて空間分煙を実施している。

空間分煙は、喫煙者、非喫煙者とも受け入れやすく、現実的な対策と考えられるが、喫煙室を設置すると、喫煙室の清掃作業を行う必要があり、その作業のために喫煙室に入る作業者は常に受動喫煙のリスクが存在する。喫煙室は部屋全体がたばこ煙の発生源であり、作業環境対策には限界がある。したがって、清掃作業に従事する作業者に対する喫煙対策は重要である。また、健康増進法では、中小の既存特定飲食提供施設については禁煙が猶予され、標識を掲示することにより喫煙可能となっている。このため、このような飲食店等で働く従業員は、客が吸うたばこによる受動喫煙のリスクが存在する。

このような喫煙室や小規模飲食店における作業者の受動喫煙のリスクを低減するには、作業環境管理対策では限界があり、個人用保護具、すなわち、呼吸用保護具の使用が現実的と考えられる。そこで、本研究では、

これらの作業における作業者の受動喫煙を防止するために効果的な呼吸用保護具について検討することとした。

たばこの煙にはきわめて多くの化学物質が含まれているが、大きく分けて粒子状物質(粉じん)とガス状物質(ガス・蒸気)がある。このため、呼吸用保護具も防じんと防毒の機能が必要になる。そこで、本研究では、防じんマスク用のフィルタと防毒マスクに使用される吸着材について試験をすることとした。また、有機溶剤作業等で使用される防毒マスクは飲食店等で従業員が使用するには外観上ふさわしくないとと思われるので、使い捨て式の簡易マスクで対応できれば普及する可能性がある。そこで、簡易マスクでどの程度たばこの煙が除去できるのかについても検討することとした。

まず、粉じんであるが、「防じんマスクの規格」で期待されているDS2あるいはRL2以上のフィルタであれば、たばこ煙について98%以上の捕集効率があることが確認されたため、このクラスの防じんフィルタを有する呼吸用保護具が有効であることが考えられた。ただし、顔面と面体の隙間からの漏れこみは避けられないので、防護係数を考慮すると、同程度の捕集効率のフィルタを有する電動ファン付き呼吸用保護具の使用も考えられる。

防じんマスクは、粒子状物質を捕集するものであり、ガス状物質は基本的には透過するが、粒子状物質の中に臭気の原因となる物質が存在すれば、臭気もある程度低減される可能性がある。そこで、ニオイセンサーを用いてフィルタ前後の臭気を計測した結果、フィルタの上流と下流では若干下流側の方が低くなっており、多少は防じんフ

ィルタでも臭気成分を除去できる可能性は示されたが、実用的には無視される範囲にとどまっている。したがって、防じんフィルタのみでは、たばこ煙への対応は不十分であることが確認された。

ガス状物質に対しては、通常防毒マスクが使用される。防毒マスクの使用に当たっては、対象ガスに合った吸収缶を選択することが重要である。本研究では、臭いを伴う多くの化学物質が有機物質あることを考慮し、有機ガス用吸収缶についてまず検討することとした。有機ガス用吸収缶には、捕集剤として活性炭が充填されている。活性炭は、多くの有機溶剤の蒸気等の除去に効果があるが、極性の高い物質については、吸着容量が小さいことがわかっている。Nelsonら[9]は、活性炭が充填された防毒マスク用の吸収缶に対する121種類の有機溶剤蒸気の吸着特性について調べた結果、極性が高く、低沸点の溶剤については吸着容量が小さく破過時間が短いこと、特にメタノールや塩化メチルについては極端に短いことが示された。アルデヒド類についても活性炭のみでは吸着量は小さいことが考えられる。そこで、本研究では、有機ガス用吸収缶使用されている活性炭のほか、文献調査の結果からアルデヒド類が検出されていることを考慮し、ホルムアルデヒド用吸収缶、さらに極性の高い物質にも対応するため、活性炭とセピオライトを7:3で混合した吸着材についても検討することとした。

前にも述べたように、たばこ煙には多種多様の化学物質が含まれているが、本年度は、吸着材のたばこ煙に対する大まかな捕集性能を把握するため、吸着材前後のガス、蒸気の変化をリアルタイムモニターにより

モニタリングすることとした。リアルタイムモニターは、センサーの種類によって物質に対する感度が大きく異なる[10,11]ため、現在のところ化学物質を同定し、定量することは困難であるが、多くのモニターにはデータロガーが付いているため、相対的な濃度変化を経時的に調べるには適していると考えられる。特にたばこ煙の場合、フィルタを通して新たに物質が生成することは考えにくいいため、簡便にフィルタの効果を調べるには有用であると考えられる。

本研究では、PID(光イオン化検出器)を内蔵した2種類のモニターおよび、半導体式のモニターについて検討したが、PIDセンサーの方が汎用性があったため、主としてPIDセンサーを有するモニターを用いて調べることとした。PIDセンサーは、UVランプから照射された紫外光で対象ガス分子が電離して生じるイオン電流を測定することにより、対象物質の濃度を計測する装置である。ただし、分子がイオン化されるエネルギー(イオン化電位)よりも照射した光のエネルギーのほうが小さければ、分子はイオン化しないので計測できない。市販の標準的なPIDモニターのセンサーには、10.6eVのイオン化電位を持つランプが内蔵されているが、これでは、たばこ煙に比較的多く含まれているホルムアルデヒド(イオン化電位 10.87eV)は検出できないことになる。そこで、本研究では、10.6eVのイオン化電位を持つモニター(CUB)のほかに、11.7eVのイオン化電位を有するモニター(TIGER)を用いて検討することとした。

まず、CUB(イオン化電位 10.6 eV)のモニターを用いて3種類のフィルタに対する捕集特性を調べた結果、図6に示すように粉

じんを除去するだけの防じんマスクはほとんど効果がなかったが、活性炭フィルタはかなり濃度を低減化できることがわかった。吸着材が活性炭である有機ガス用吸収缶はこれら3つのフィルタで最も効果的であることは確認できたが、わずかに濃度の上昇が見られており、吸着性能については、さらに検討する必要があると考えられる。

なお、入口濃度は約13分をピークに減少しているのに対し、使い捨て式防じんマスクは、入口濃度よりもゆるやかに上昇し、入口よりも遅れて35分後付近にピークとなる曲線が得られている。ピークの時間に遅れがあるのは、入口と出口の測定点の間に吸着材が入ったセルを置いているため、これを通過する時間だけ時間遅れが生じること、また、セル内で煙が混合されるため、濃度変化が緩やかになるためと考えられる。出口濃度の最大値は、入口濃度よりも低くなっているが、これは、防じんフィルタがガス成分を吸着したというよりも、入口と出口の間で空気が混合され、平均化したことが大きいと考えられる。このことは、入口濃度が下がっても出口濃度は大きく下がっておらず、約20分後で濃度が逆転していることから推測できる。さらに、一定流量で流しているため、図の透過曲線の下側の面積に流量を乗じたものが全発生量に相当する。この値は、吸着がなければ入口と出口で等しいはずであるが、使い捨て式防じんマスクでは、出口濃度から得られた値の方が、入口濃度から得られた値よりも大きくなっていて収支がとれていない。これは、吸着セルおよび配管内にいったん煙が吸着したあと、徐々に脱着したことや、防じんマスクのフィルタに付着したガスが、時間とともに脱

着したこと等が原因として考えられる。したがって、より精度良く測定するためには、時間遅れを小さくする方法として、捕集部の容積を小さくする、吸着し難い材料を使用するなど、吸着の影響を小さくする工夫が必要になると考えられる。このような問題点はあるものの、基本的な特性は本装置で検討できると考え、以下の検討についても本装置を用いて行った。

図7は、同じ装置を用いて、活性炭とセピオライトを混合した両親媒性吸着材と有機ガス用吸収缶の捕集特性(透過濃度で評価)を比較したものである。入口濃度は、図6と同様であるが、濃度のスケールが大きく異なるため、図では省略している。図から、両者の透過曲線はほぼ一致しており、両親媒性吸着材と有機ガス用防毒マスク吸収缶に使用されている活性炭はほぼ同程度の捕集率を示すことが考えられる。ただし、これはあくまでPIDを内蔵したモニターの指示値であり、物質ごとの感度補正は行っていないので、ガス状物質の各々の成分が同程度に捕集されているとは限らない。さらに、詳しく検討するためには、GC/MSなどを用いて測定する必要がある。

図8は、TIGER(イオン化電位 11.7 eV)を用いて、ホルムアルデヒド用吸収缶と両親媒性吸着材の透過曲線を比較したものである。活性炭/セピオライトの両親媒性吸着材の透過曲線は、図7と異なり二峰性となっている。また、縦軸の濃度の値も図7に比較して図8が高くなっている。この理由は、図7が 10.6 eV のセンサーを有するモニターを用いたのに対し、図8が 11.7 eV のセンサーを有するモニターを用いたことによると考えられる。すなわち、図7では、イオン

化電位が 10.6 eV 未満の物質しか検出されないのに対し、図8では検出される物質の範囲が広がったため、濃度の指示値も高くなったものと考えられる。透過曲線が二峰性になる傾向は図9でもみられる。図9は、有機ガス用吸収缶の結果も併せて示しているが、ホルムアルデヒド用吸収缶以外は同様に二峰性の曲線が得られている。この原因としては、混合有機溶剤の吸着で見られる置換脱着の影響と考えられる[12]。すなわち、いったん吸着された比較的親和性の弱い物質が相対的に親和性の強い物質により置換されて脱着するため、最初は親和性の低い成分が破過し、その後しばらくすると、これにあとから破過した親和性の強い成分が加わることにより、見かけの濃度が高くなったと考えられる。一方、ホルムアルデヒド用吸収缶は、二峰性になっていないが、これは、ホルムアルデヒドの捕集に化学吸着を利用しているため、置換脱着が起こりにくかったことが考えられる。

リアルタイムモニターは反応したすべての物質の総和として表示されるため、個々の物質の濃度は計測できない。そこで、6種類のカルボニル類(アルデヒド類およびアセトン)について、DNPHカートリッジに捕集し、HPLCにより濃度を測定した結果、表6に示すように、入口ではすべての物質が検出されたが、出口では、活性炭/セピオライトの両親媒性吸着材、ホルムアルデヒド用吸収缶ともホルムアルデヒドのみが微量検出されただけで、他のカルボニル類は検出されなかった。図8、図9では数ppmの物質が検出されているが、これらのなかにアルデヒド類はほとんど含まれていないことになるので、モニターで検出された信

号の成分については、今後、GC/MS 等を用いてさらに調べる必要がある。

飲食店等での使用を考えて、活性炭を使用した使い捨て式防じんマスクあるいは簡易マスクおよび繊維状活性炭(ACF)を用いてトルエン蒸気に対する捕集特性を調べたが、ほとんど捕集しないものから、ほぼ100%捕集できるものまでさまざまであった。DD12A-S-1(表3のNo.2)とハイパーマスク2(同No.5)は30分間はほぼ100%の捕集ができていたが、同じ活性炭を含有するマスクでも80%以上透過するマスクもあり、実用的に問題があるものが多いことがわかった。アドール(同No.4)は圧力損失が小さく、軽い活性炭素繊維であり、1層では、捕集は不十分であったが、多層化することにより、捕集率は向上する可能性がある。

#### E. 結論

たばこ煙中の粉じんについては、市販の防じんマスク用フィルタでほとんど除去できるが、臭気については期待できないこと、また、ガス状物質のうち、アルデヒド類はホルムアルデヒド用防毒マスク吸収缶および活性炭/セピオライト両親媒性吸着材には吸着されるが、処理できないVOC類も依然として存在することがわかった。これらの物質については、引き続きGC/MS等を用いて詳細に検討する必要がある。また、たばこ煙中に含まれる化学物質の濃度だけでなく、においの除去も重要である。そこで令和元年度は、特に臭気に着目してフィルタ類をさらに検討するとともに、実際の作業現場を想定し、実用的な提案に向けた検討を行う予定である。

#### 参考文献

1. 日本たばこ産業(株)(2018): 2018年「全国たばこ喫煙者率調査」。日本たばこ産業。  
[https://www.jti.co.jp/investors/library/press\\_releases/2018/0730\\_01.html](https://www.jti.co.jp/investors/library/press_releases/2018/0730_01.html) (2019年5月3日アクセス)
2. 中央労働災害防止協会(編): やさしい空気環境へ。中央労働災害防止協会
3. 厚生労働省(2010): 平成11-12年度たばこ煙の成分分析について(概要)。  
<https://www.mhlw.go.jp/topics/tobacco/hokoku/seibun.html>. (2019年5月20日アクセス)
4. 伏脇裕一(2012): 喫煙による室内環境汚染と健康影響。安全工学 51(5), 297-304
5. Eldridge A, Betson TR, Vinicius Gama M, McAdam K (2015): Variation in tobacco and mainstream smoke toxicant yields from selected commercial cigarette products. Regulatory Toxicology and Pharmacology 71: 409-427
6. (公財)健康・体力づくり事業財団: 最新たばこ情報 主流煙と副流煙。  
<http://www.health-net.or.jp/tobacco/risk/rs120000.html>  
(2019年5月25日アクセス)
7. 日本産業衛生学会(2010): 発がん物質暫定物質の提案理由、タバコ煙、許容濃度等の勧告(2010年度)。産業衛生学雑誌 52: 258
8. 厚生労働省(2018): 受動喫煙防止対策に関する事項。平成29年「労働安全衛生調査(実態調査)」の概況。厚生労働省, pp11-13。

9. Nelson GO, Harder CA(1974): Respirator cartridge efficiency studies: V. Effect of solvent vapor. Am Ind Hyg Assoc J 35:391-410.
10. Hori H, Ishimatsu S, Fueta Y, Hinoue M, Ishidao T(2013): Characteristics of a real time monitor using the interference enhanced reflection method for organic vapors. J UOEH 35: 267-272.
11. Hori H, Ishimatsu S, Fueta Y, Hinoue M, Ishidao T (2015): Comparison of sensor characteristics of realtime monitors for organic vapors. J Occup Health 57: 13-19.
12. 保利 一, 田中勇武, 秋山 高(1985): 活性炭固定層における混合有機溶剤蒸気の破過時間の簡易推算法. 日本化学会誌 1985: 2087-2093.

## F. 健康危険情報

たばこ煙には数多くの化学物質が含まれており, 発がん性物質も多く含まれている。(C.1. 参照)

日本産業衛生学会:「タバコ煙」を発がん性分類第1群に分類

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

- 1) 真如 一彬, 石田尾 徹, 山本 忍, 樋上光雄, 石松 維世, 笛田 由紀子, 保利一(2019): 受動喫煙を防止するための効果的な吸着フィルターおよび吸着剤の検討. 産業衛生学雑誌, 61 (臨時増刊号): 442.
- 2) 中村 麻里夢, 石田尾 徹, 山本 忍, 樋上光雄, 石松 維世, 笛田 由紀子, 保利一(2019): 受動喫煙を防止するため

の効果的な呼吸用保護具の吸着剤の検討. 産業医科大学雑誌 41(1):121

- 3) 塚本 梨奈, 石田尾 徹, 山本 忍, 樋上光雄, 石松 維世, 笛田 由紀子, 保利一(2019): 有機溶剤蒸気に対する両親媒性吸着材(セピオライト/活性炭)の捕集特性の検討. 産業医科大学雑誌 41(1):121

### 2. 学会発表

- 1) 中村 麻里夢, 石田尾 徹, 山本 忍, 樋上光雄, 石松 維世, 笛田 由紀子, 保利一(2018): 受動喫煙を防止するための効果的な呼吸用保護具の吸着剤の検討. 第36回産業医科大学学会, 北九州. 2018年10月
- 2) 中村 麻里夢, 石田尾 徹, 山本 忍, 樋上光雄, 石松 維世, 笛田 由紀子, 保利一(2019): 受動喫煙を防止するための効果的な呼吸用保護具の吸着剤の検討. 第36回産業医科大学学会, 北九州. 2018年10月
- 3) 保利一(2018): 労働環境における工学的対策の変遷と今後の展望 2. 専門家の立場から. 第58回日本労働衛生工学会, 第39回日本作業環境測定研究発表会, 富山, 2018年11月
- 4) 真如 一彬, 石田尾 徹, 山本 忍, 樋上光雄, 石松 維世, 笛田 由紀子, 保利一(2019): 受動喫煙を防止するための効果的な吸着フィルターおよび吸着剤の検討. 第92回日本産業衛生学会, 名古屋, 2019年5月

H. 知的財産権の出願・登録状況  
なし

