

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、呼吸用保護具が重要であると考えられる。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、平成 30 年度に引き続き、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るとともに、捕集材通過後のガス、蒸気の分析を行った。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わかった。しかしながら、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く、防毒マスク吸収缶でも十分に除去することはできなかった。一方、ガス状物質については、試験した捕集材の中ではホルムアルデヒド用吸収缶が最も捕集効率が高く、防じん機能付きホルムアルデヒド用吸収缶は、発がん物質についても、ほとんど捕集できることが示された。また、活性炭入り防じんマスクは低沸点の VOC はほとんど除去できなかったが、ベンゾ(a)ピレンやニコチンは 98%以上捕集できることが示された。

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）
研究協力者 野口 真
（株式会社 重松製作所）
研究協力者 関口 裕亮
（株式会社 重松製作所）

A. 研究目的
平成 27 年の労働安全衛生法の改正で受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、日本たばこ産業が平成 28 年度まで実施していた「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が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。

そこで平成 30 年度は、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検索するため、粉じん用、ガス、蒸気用それぞれの実験装置を製作し、たばこ煙のフィルタあるいは吸収缶に対する捕集特性を検討した。その結果、粉じんについては、区分 2 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。ただし、臭気については、防じんマスクはほとんど効果がないこともわかった。一方、ガス状物質については、VOC モニターにより出口濃度を測定した結果、ホルムアルデヒド用吸収缶が捕集効率が高いことがわかったが、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。

本年度は、昨年度に引き続き、防じんマスク、防毒マスク用に使用されている捕集材その他のフィルタのたばこ煙に対する粉じんおよびガス状物質の捕集特性を検討するとともに、捕集材通過後の空気を化学分析により測定することにより、フィルタの捕集性能をより詳細に把握し、たばこ煙に適した捕集材を提案することを目的とした。

B. 研究方法

1. 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各種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本研究室で開発した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、さらに活性炭入り防じんマスクを用いて捕集試験を行った。

1.1 粒子状物質の捕集試験

1) たばこ

たばこは、メビウススーパーライトまたはメビウスオリジナル（いずれも日本たばこ産業）を使用した。

2) 試験フィルタ

試験に使用したフィルタおよび吸収缶の種類を表1に示す。いずれも重松製作所製のものを用いた。なお、吸収缶(T2, T/OV, T/FA および CA-ABEK1)は、臭気試験のみに用いた。

3) 装置および方法

試験装置の概略を図1に示す。約68L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(PMP-001, 柴田科学)を用いて流量0.15 L/minで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が、発生部の構造を変更することにより、主流煙のみあるいは副流煙のみをチャンバーに導入することもできる。チャンバーを通過する試験流量は40 L/minとし、走査型電気移動度粒径測定装置(Scanning Mobility Particle Sizer, (SMPS), SMPS3936, TSI)を用いてフィルタBOX通過後の空気中のたばこ煙の粒径分布を測定した。

1.2 臭気試験

表1に示すフィルタ及び吸収缶について、粒子測定と同様に、チャンバー出口の臭気をニオイセンサ(XP-329R R, 新コスモス電機)で測定した。

表1 粉じんおよび臭気試験に使用したフィルタおよび吸収缶の種類

名称	種類	粒子除去能力の有無	臭気除去能力 ^{a)} の有無
DD12-S1-1	使い捨て式防じんマスク	静電フィルタ (固体粒子 対応)	有り
ACF入りDD12A-S1-1		有り	
ACF無しフィルタ(PL1)	ろ過材	メカニカルフィルタ (固体及びオイル粒子 対応)	有り
T2		有り	
T/OV	吸収缶	有機ガス用	無し
T/FA		ホルムアルデヒド用	無し
CA-ABEK1		複合ガス用	無し
CA-V3/OV		有機ガス用	有り

注^{a)} は臭気除去能力を持つことを示す。
○に劣るが臭気除去能力を持つことを示す。
×は臭気除去能力を持たないことを示す。

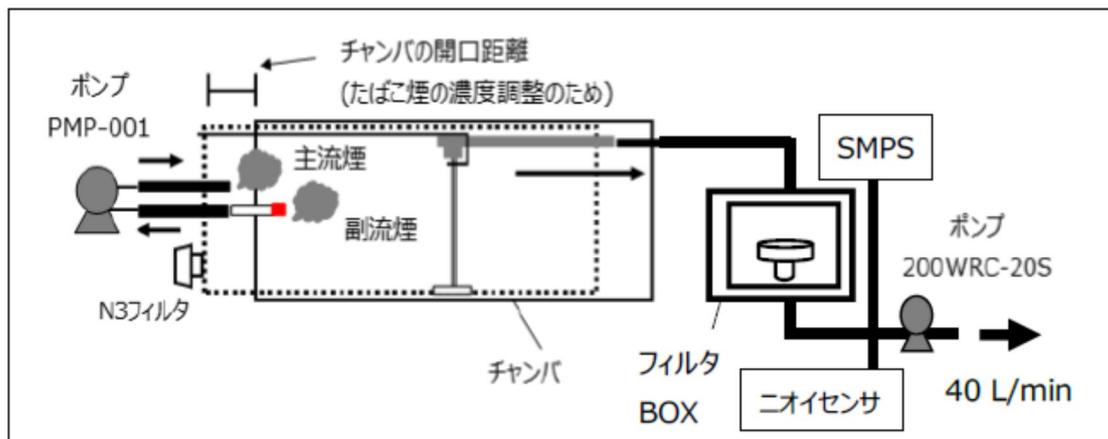


図1 粉じん及び臭気試験装置の概略図

1.2 ガス状物質の捕集試験

試験装置の概略を図2に示す。たばこ煙を発生させるステンレス製のチャンバー(1)、煙を捕集する試験フィルタ部(2,3)、およびガス検出部(リアルタイムモニタ)(4)から構成されている。リアルタイムモニタには、光イオン化検出器を有するPID式VOC濃度計(TIGER, 理研計器)を用いたが、必要に応じて個人用PIDモニター(CUB, 理研計器)も用いた。図2は、リアルタイムモニタにTIGERを用いた場合の図であるが、CUBを用いた場合は、捕集材固定ホルダー(3)とマスフローコントローラ(5)の間にCUBを入れるホルダーを設置し、排気ポンプで排気する気流中にCUBを置き、測定に供した(平成30年度報告書の図2参照)。

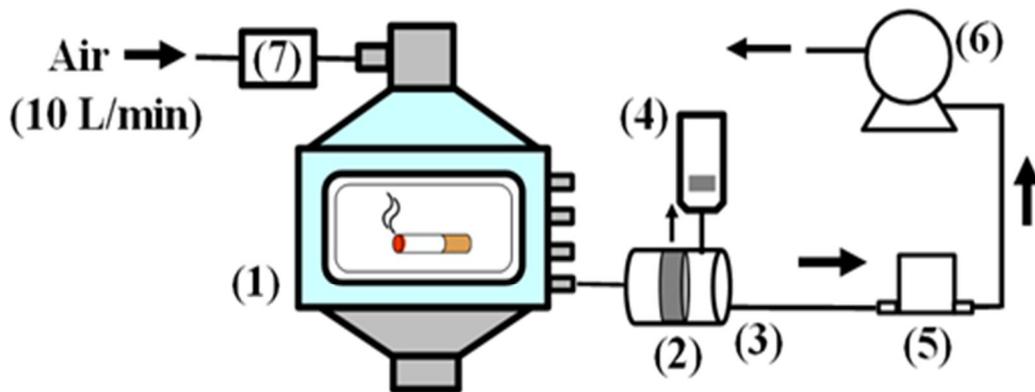
チャンバー(1)内で発生させたたばこ煙を、フィルタ(7)を通した空気と混合、希釈したのち試験用吸引缶あるいは捕集材(2)を入れたホルダー(3)に通じ、これを通過した空気

をリアルタイムモニタ(4)で計測した。一部の試験においては、リアルタイムモニタ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。また、一部の捕集材については、たばこ煙に多く含まれることが報告[3]されている1,2-ブタジエン、イソプレンなど5種類のVOCおよび、代表的な発がん物質であるベンゾ(a)ピレン、さらにたばこ煙の代表物質であるニコチンをガスクロマトグラフ-質量分析計(GC/MS)を用いて分析した。

ガス状物質の捕集試験に用いた捕集材と実験条件を表2に、また捕集材の写真を図3に示す。

(倫理面での配慮)

本研究は人を対象としないため、倫理面の配慮は必要ない。



(1)ステンレス製チャンバー (2)捕集材 (3)固定ホルダー
 (4)リアルタイムモニタ (5)マスフローコントローラ
 (6)ポンプ (7)活性炭およびシリカゲル

図2 ガス状物質捕集試験用実験装置の概略図

表2 ガス状物質捕集試験で用いた捕集材と実験条件

捕集材	リアルタイムモニタ	
	CUB (10.6 eV)	TIGER (11.7 eV)
防臭用マスク(マスキ-MD、興研)		10 L/min
ACF 入り防じんマスク(DD12A-S1-1、重松製作所)		10 L/min
活性炭/セピオライト吸着剤(試作品)	10 L/min	10 L/min
有機ガス用吸収缶(CA-104N /OV、重松製作所)		10 L/min
ホルムアルデヒド用吸収缶(CA-104N /FA2、重松製作所)		10 L/min
ホルムアルデヒド用吸収缶(CA-104N /FA2、重松製作所) + 防じんフィルター(L2B、重松製作所)		10 L/min

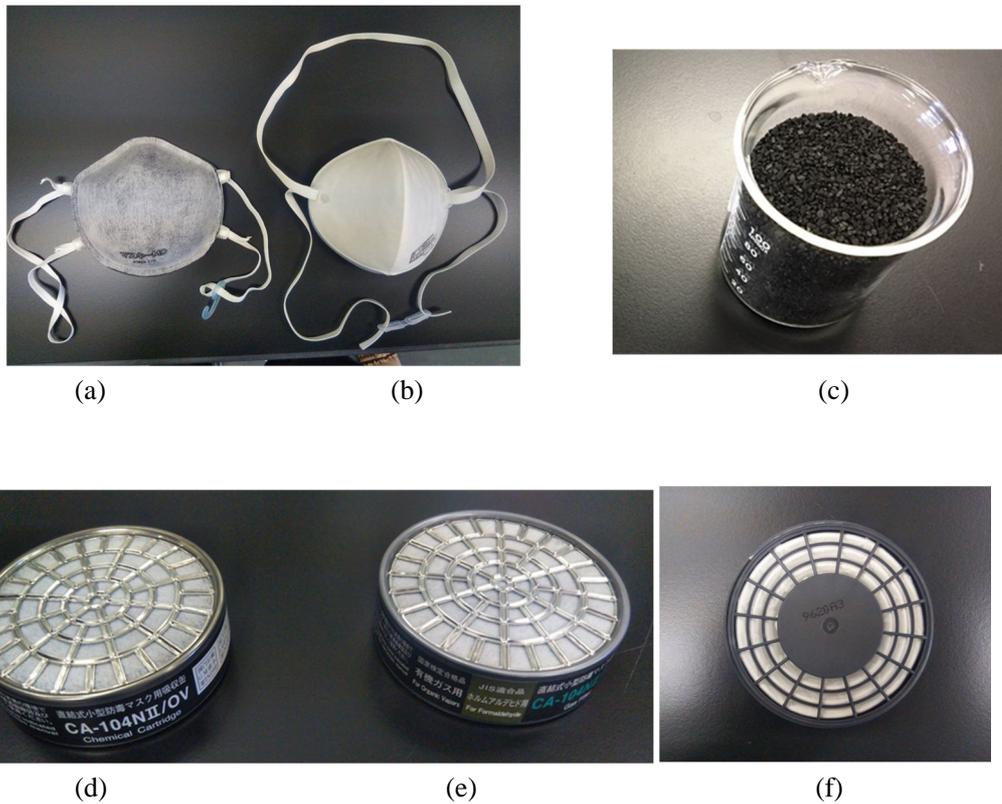


図3 ガス捕集試験に用いた捕集材の写真

- (a) 防臭マスク(マスキーマス), (b) ACF入り防じんマスク(DD12A-S1-1),
 (c) 活性炭/セピオライト吸着材, (d) 有機ガス用吸収缶(CA104NII/OV),
 (e) ホルムアルデヒド用吸収缶(CA104NII/FA), (f) 防じんフィルタ(L2B)

C. 研究結果

1. 粉じんの捕集特性

試験に用いたたばこ煙の SMPS で測定した粒子の粒径ごとの捕集効率を図4に示す。捕集効率は次の式から計算した。

捕集効率 =

$$\frac{\text{環境濃度} - \text{試料通過後の粒子濃度}}{\text{環境濃度}} \times 100$$

図から、防じんフィルタのたばこ煙粒子の捕集効率は、フィルタの種類および粒径によって異なっており、静電フィルタである DD12-S1-1 と DD12A-S1-1 は、粒子径 200

nm 以上の粒子の捕集効率はほぼ 100% であり、それ以下だと捕集効率は低くなったが、メカニカルフィルタである ACF 無しフィルタ(PL1)及び T2 は 40 nm 付近の捕集効率が最も高く、粒径が大きくなると捕集効率が低下する傾向が観察された。図4から、最も捕集効率が低い粒径 = MPPS (Most Penetrating Particle Size) は以下の通りであることがわかった。

DD12-1 及び DD12A-S1-1 : 約 40 nm

ACF 無しフィルタ(PL1)及び T2 : 約 150 nm

CA-V3/OV は、電動ファン付呼吸用保護

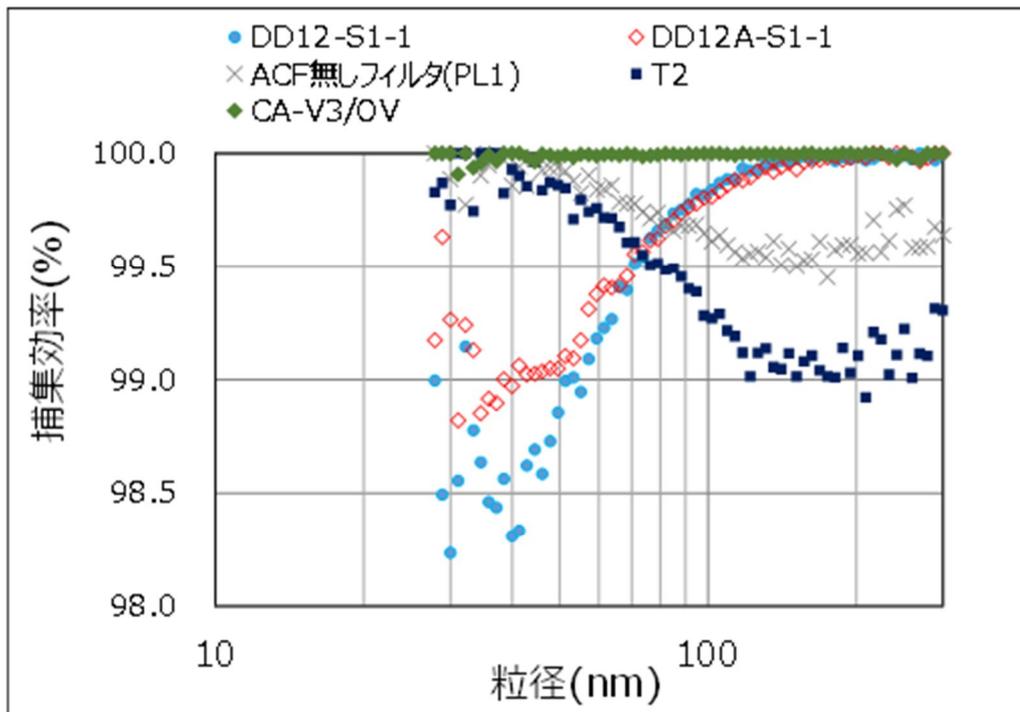


図4 各種フィルタのたばこ煙に対する捕集効率

具(PAPR)用のフィルタであり、フィルタ区分 PL3 (DOP 粒子の捕集効率 99.97%以上) と非常に高い捕集効率を有するフィルタである。たばこ煙に対しても本試験で行った全ての粒径範囲でほぼ 100%の捕集効率が認められた。

2. 臭気測定

ニオイセンサを用いてフィルタ通過後の臭気を経時的に測定した結果を図5に示す。実験開始直後のたばこ煙濃度が一定になる前から測定を開始したため、実験初期は臭気レベルは低く、経時的に上昇している。この中で、DD12A-S1-1は、実験開始時から測定値が高くなっているが、これは、マスク自体に臭気成分が含まれており、たばこ煙を発生させない状態でも、ニオイセンサが反応したためである。たばこ煙に関係なく、ニオイセンサをこのフィルタに近づけただけ

で 300~500 LEVEL 程度の臭気が測定された。

図の環境濃度()は、チャンバー内の濃度変化を表しているが、図から、チャンバー内の濃度が定常になるまで約 100~150 秒程度要することを示している。

DD12-S1-1及びACF無しフィルタ(PL1)は、環境濃度とほぼ同じ値と傾向を示しており、臭気についてはほとんど除去できないことがわかる。DD12A-S1-1とT2は、100秒以降では、臭気は環境濃度よりもやや低くなっており、たばこの臭気を若干捕集していることを示している。T/OV、T/FA、CA-V3/OVおよびCA-ABEK1は、いずれも防毒マスク用吸収缶であり、臭気的大幅な低減が期待されたが、いずれも臭気 LEVEL が環境濃度の 1/2 程度以下にまで低減したものの、依然として検出されており、マスクの種類による違いもほとんど見られなかった。

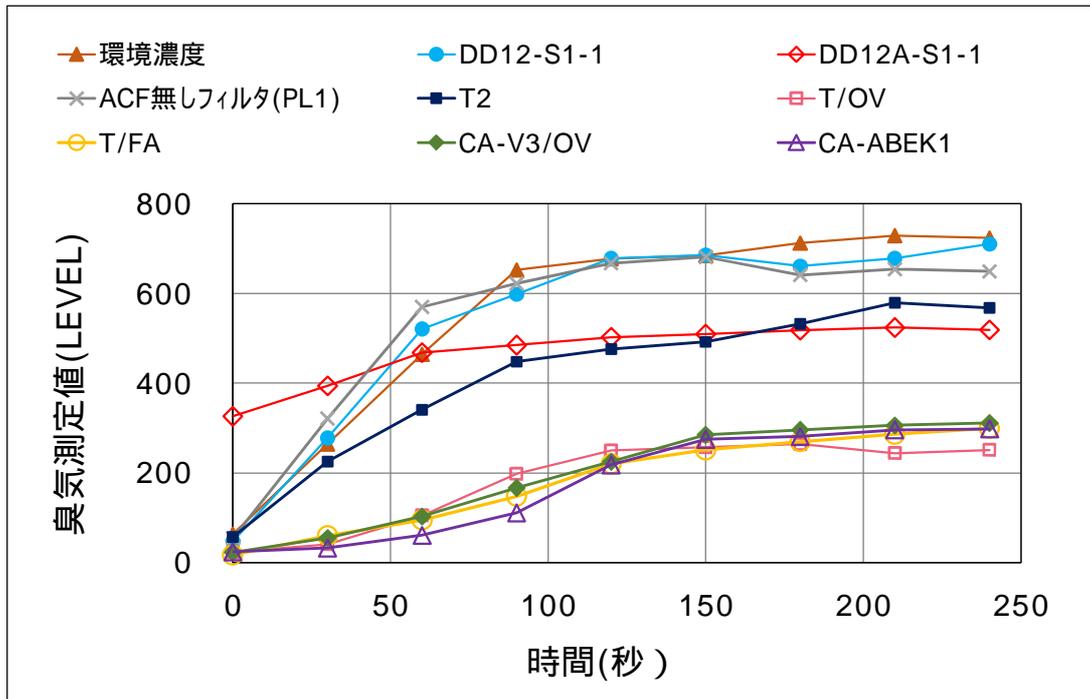


図5 ニオイセンサによる臭気経時変化

3. ガス状物質に対する捕集材の特性

平成30年度の研究において、防じんマスクは、ほとんどガス状物質を捕集できないが、ACF入り防じんマスクはある程度ガス状物質も捕集できることが示された。また、図5から、ACF入り防じんマスクは臭気成分を若干捕集していることがわかった。そこで、全VOCについて、リアルタイムモニタ(TIGER)を用いて、ACF入り使い捨て式防じんマスク(DD12A-S1-1)および労働衛生用ではない防臭用マスク(マスキーMD)について、たばこ煙の捕集特性を調べた。その結果の例を図6に示す。図は、図2に示した装置を使用して流量10 L/minでチャンバー内の空気を吸引し、ACF入り使い捨て式防じんマスク(DD12A-S1-1)と、防臭用マスク(マスキーMD)を用いて得られた結果を比較したものである。両捕集材ともに実験開始後約15分に最大値を示し、その後減

少した。ACFは、たばこに火をつけてから燃えつきるまでの時間にほぼ対応している。この表示濃度の経時変化曲線の下部の面積が検出された煙の量に相当するため、この面積が小さいほどフィルタがたばこ粉じんを捕集していることを示している。図では、DD12A-S1-1の方が防臭用マスクよりもやや小さく、粉じんだけでなく、ガスも若干捕集していることが示された。

また、平成30年度の研究において、さまざまな吸着材(ホルムアルデヒド用吸収缶、両親媒性吸着材および有機ガス用防毒マスク吸収缶)に対するガス状物質の捕集特性を検討した結果、ホルムアルデヒド用吸収缶が最も捕集性能が高いことがわかった。そこで、ホルムアルデヒド用吸収缶(CA104NII/FA2)に防じんフィルタ(L2B)を付けたものについて捕集実験を行い、

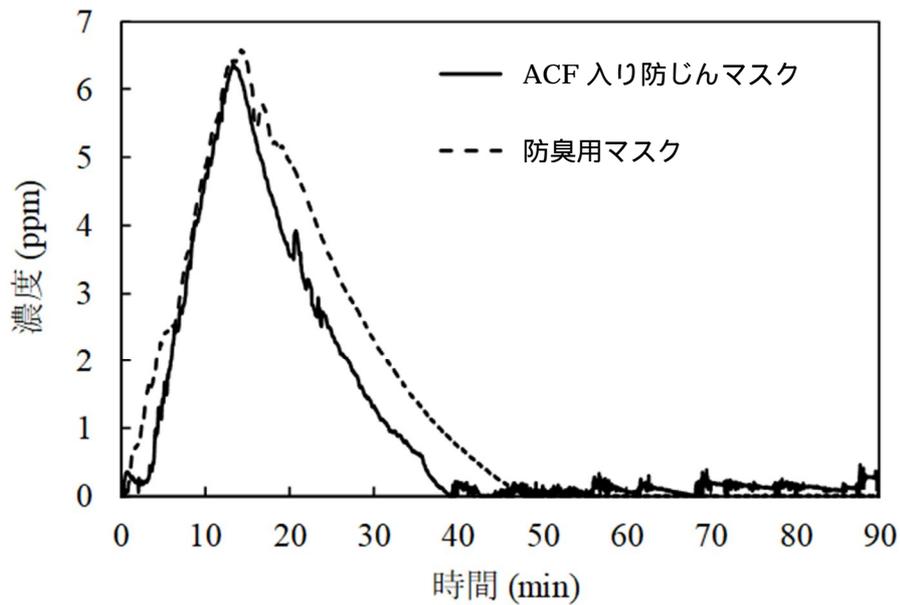


図 14 ACF 入り防じんマスク (DD12A-S1-1) と防臭用マスク (マスキー-MD) のたばこ煙に対する捕集実験結果 (10 L/min、TIGER)

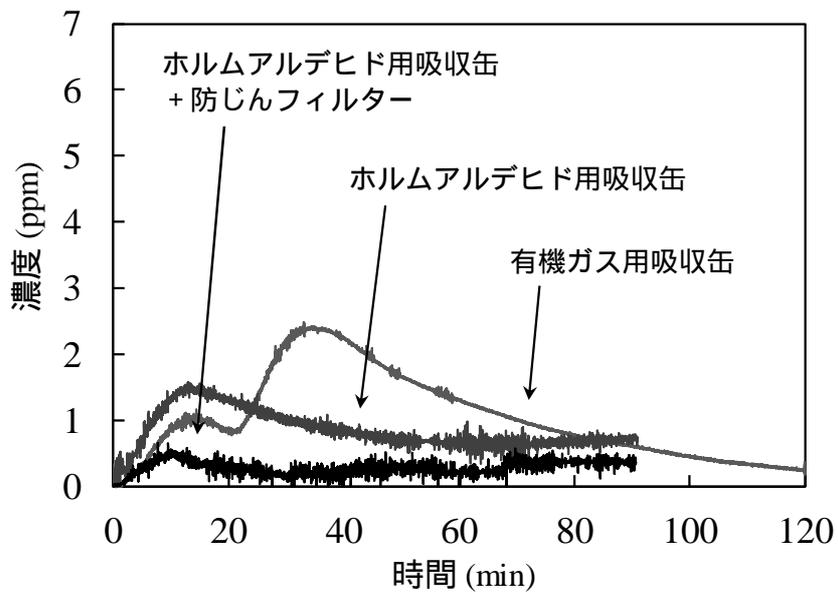


図 7 ホルムアルデヒド用吸収缶のたばこ煙捕集実験結果。(10 L/min, TIGER)

TIGER を用いて防じんフィルタをつけない場合との比較を行った。結果を図 7 に示す。防じんフィルタを併用したホルムアルデヒド用吸収缶は約 10 分で最大値を示し、その後減少したが、0 にはならず、40 分後付近

以降ではやや上昇する傾向がみられた。この傾向は防じん機能なしの場合も同様であり、有機ガス用吸収缶の場合とは異なる傾向を示している。防じんフィルタの有無に着目すると、表示濃度の面積は防じんフィ

ルタ併用の方が吸収缶単体よりも小さくなっており、防じんフィルタもある程度ガス状成分を捕集していることがわかった。

4. 化学分析結果

4.1 アルデヒド類の分析

表3に、活性炭/セピオライトを7:3で混合した両親媒性吸着剤とホルムアルデヒド用吸収缶に対するアルデヒド類の捕集特性について調べた結果を示す。これは、昨年度に行った結果であるが、報告書に掲載し

た表に一部誤りがあったため、再計算を行った。また、それぞれの物質の定量下限値を付記した。

表から、ホルムアルデヒド用吸収缶、活性炭/セピオライト両親媒性吸着剤とも、捕集材通過後の空気からホルムアルデヒドが若干検出されているが、それ以外の物質は定量下限未満であり、ホルムアルデヒド用吸収缶はもちろん、両親媒性吸着剤でもほぼ完全にアルデヒド類が捕集できていることがわかった。

表3 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	2.91	886.32	2.05
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	—

- : 定量下限値 (ホルムアルデヒド: 1.2 ppb、アセトアルデヒド: 7.6 ppb、アセトン: 2.2 ppb、プロピオンアルデヒド: 1.2 ppb、クロトンアルデヒド: 1.5 ppb、N-ブチルアルデヒド: 1.6 ppb) 未満

4.2 VOC その他の物質

ACF 入り使い捨て式防じんマスク (DD12A-S1-1) および防じんフィルタを併用したホルムアルデヒド用吸収缶 (CA104NII/FA2 + L2B) について、捕集前後の5種類の揮発性有機化合物 (VOC) (1,3-ブタジエン, イソプレン, アクリロニトリル, ベンゼンおよびトルエン), ベンゾ[a]ピレンおよびニコチンのGC/MSによる分析結果を表4に示す。表中(*)で示した入口濃度の値 (推定値) は、先行研究[3]から得られた1本のたばこから発生する副流煙中の化学

物質量を、ACF入り防じんマスクの実験のときの捕集空気量で除して求めた気中濃度の推定値(平均値)である。入口濃度の実測値は推定値と比べいずれも低くなっていた。

ACF入り防じんマスクでは、VOCについてはいずれも出口濃度と入口濃度(実測値)は同程度となっており、ほとんど捕集できないことがわかった。また、ベンゾ[a]ピレンの出口濃度は、入口濃度に対して約50分の1、ニコチンの出口濃度は定量下限値未満であった。防じんフィルタを併用したホルムアルデヒド用吸収缶では、イソプレン、ベ

表4 たばこ煙の捕集実験における VOC その他の GC/MS による分析結果

物質名	発生源		活性炭入り 防じんマスク	HEPA フィルター 用吸収缶 + 防じんフィルター
	入口濃度* (ppb)	入口濃度 (ppb)	出口濃度 (ppb)	出口濃度 (ppb)
1,3-ブタジエン	823	115	270	-
イソプレン	4884	500	550	0.35
アクリロニトリル	224	20	65	-
ベンゼン	465	60	55	0.10
トルエン	791	65	49	1.70
ベンゾ[a]ピレン	183 ng/m ³	120 ng/m ³	1.8 ng/m ³	-
ニコチン	1182	207	-	-

*: 文献値[3]と捕集空気量から推定した値、-: 定量下限値 (1,3-ブタジエン: 0.1 ppb、アクリロニトリル: 0.1 ppb、ベンゾ[a]ピレン: 0.5 ng/m³、ニコチン: 0.125 ppb) 未満

ンゼンおよびトルエンの3種類の物質がわずかな濃度であるが検出された。それ以外のもは定量下限値未満であった。

D. 考察

有害物を取り扱う作業では、作業環境測定を実施し、その管理状態に基づいて作業環境を改善し、維持することが求められる。しかしながら、喫煙室等や、喫煙を可能とする飲食店等(以下喫煙室等)においては、室内がたばこ煙の発生源であるため、作業環境管理のみで労働者のばく露を防止することは困難である。このような作業場で、労働者の受動喫煙を防止する方法としては、保護具による対策が考えられるが、たばこの煙には数千種類ともいわれる多種多様な化学物質が含まれていることが知られており[2]、現在市販されている各種防じん、防毒マスク用のフィルタが、たばこ煙に対して有効であるか否かの検討はなされていなかった。そこで、平成30年度から、このよう

な喫煙室等において保護具用フィルタの有効性を調べるため、防じんマスク用フィルタ、防毒マスク用吸収缶のほか、本研究室で新たに開発した疎水性と親水性の両性質を有する両親媒性吸着剤、さらに労働衛生用ではない市販の簡易マスクについても捕集特性などを調査することとした。たばこ煙からは、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の発がん物質も数多く検出されている[3-7]。日本産業衛生学会[8]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。そこで、本研究では、いくつかの発がん物質についても捕集特性を調べることにした。

まず、防じんマスクのたばこ煙の捕集効率であるが、平成30年度の研究から、RL2以上の防じんマスクフィルタであれば、粒子状物質を98%以上除去することがわかっている。本年度は、いくつかの静電フィルタとメカニカルフィルタについて、粒子径と捕集効率の関係についてさらに調査した。

図4から、捕集効率はすべて98%以上を確保しているが、DD12-S1-1およびDD12A-S1-1とT2およびPL1は、粒径別の捕集効率に違いがみられる。DD12-S1-1とDD12A-S1-1はいずれも区分DS1の静電フィルタでありACF無しフィルタ(PL1)とT2はPL1あるいはRL2のメカニカルフィルタである。区分上はACF無しフィルタ(PL1)とT2の方が捕集効率は高いが、粒子径70~80nm付近以下の捕集効率は99.5%以上と高いものの、それより大きな粒径では捕集効率は低下し、DD12-S1-1やDD12A-S1-1よりも低くなった。これは、メカニカルフィルタと静電フィルタの捕集原理の違いによるものと考えられる。

平成30年度の研究成果より、たばこ煙粉じんの粒径分布は85nm付近をピークとした対数正規分布であることがわかっており、各フィルタの捕集効率は粒径分布によって異なるものの、図4の結果からは、CA-V3/OV以外の4つのフィルタについては、たばこ煙に対する捕集性能はトータルで考えると大きく変わらないと考えられる。CA-V3/OVは、電動ファン付き呼吸用保護具に用いられる防じんフィルタ付きの有機ガス用吸収缶であり、防じん機能も優れているため、たばこ煙の粒子のばく露防止には有効であると考えられる。

ニオイセンサによる臭気測定の結果では、試験した8種類のフィルタの性能は大きく3つに区分されることがわかる。すなわち、

DD12-S1-1, ACF無しフィルタ(PL1)
D12A-S1-1, T2

T/OV, T/FA, CA-V3/OV, CA-ABEK1
の3グループである。

DD12-S1-1とACF無しフィルタ(PL1)は、

いずれも活性炭素などの吸着材が入っていない防じんフィルタであり、ガスの吸着能力は期待できない。実際、図5では、この2つを通した後の臭気は、フィルタを通さずに測定した環境濃度とほとんど一致しており、これらのフィルタは臭気には効果がないことがわかる。

これに対し、DD12A-S1-1とT2も防じんフィルタであるが、これらは活性炭素繊維(ACF)が入っているため、ある程度臭気も除去できることが期待される。図5では、確かにDD12A-S1-1やT2に比較すると臭気強度は1~2割程度低くなっていたが、この程度の低下では、作業者が低下を実感できるほどのにおいの除去はできていないと考えられる。

残りの4つのフィルタ(T/OV, T/FA, CA-V3/OVおよびCA-ABEK1)はいずれも防毒マスク用吸収缶である。T/OVは有機ガス用、T/FAはホルムアルデヒドガス用、CA-ABEK1は複合用の吸収缶であり、CA-V3/OVは有機ガス用吸収缶に防じんフィルタをつけたものである。いずれも有機溶剤やホルムアルデヒドなどのガス、蒸気に有効な吸収缶であり、たばこ煙中の揮発性成分もある程度捕集し、除去できると考えられるが、図5に示すように臭気測定値のレベルは他のフィルタよりも低くなっているものの、定常状態でも、環境濃度の1/2程度にとどまっている。また、有機ガス用、ホルムアルデヒドガス用、複合ガス用ともほぼ同じ値を示しており、吸収缶の種類による差は認められなかった。これらの防毒マスク用吸収缶は、国家検定を満たす除去能力を有しており、吸収缶に対応したガスであれば、このような短時間に破過することは

考えられない。したがって、たばこ煙には、防毒マスクの吸収缶で除去される成分もあるが、全く除去されず透過してしまう成分もあることが考えられる。

なお、DD12A-S1-1は、図5に示すように実験開始時から臭気レベルが高かったが、これは、前にも述べた通り、マスク自体に臭気成分が含まれているためである。このニオイセンサの原理は半導体式ガスセンサであり、たばこ煙の成分だけではなく、多くの揮発性成分に非選択的に反応すると考えられる。また、ニオイセンサの指示値とヒトの鼻の感覚とは必ずしも一致しない。したがって、ニオイセンサの指示値は臭気強度のひとつの指標と考えるべきであり、たばこの煙の除去の指針として使用するにはなお問題が残ると考えられる。

ACF入り防じんマスク(DD12A-S1-1)と防臭用マスク(マスキーMD)のガス状物質の捕集性能を比較した結果、表示濃度の面積は、DD12A-S1-1の方がマスキーMDよりも若干小さかった(図6)。この理由としては、マスキーMDは防じん用フィルタではないが、DD12A-S1-1はDS1の防じんフィルタを用いているため、粒子の捕集効率がマスキーMDよりも高く、捕集された粒子にガス状化学物質の一部が吸着したため、ガスの捕集がやや大きくなっていた可能性が考えられる。

図7において、ホルムアルデヒド用吸収缶および防じんフィルタを併用したホルムアルデヒド用吸収缶については、いずれも濃度が最大値を示した後減少したが、ゼロにはならず、ある程度時間が経過するとやや濃度が増加する傾向がみられた。チャンパー内のたばこ煙は経時的に確実に減少し

ていることから、たばこ煙以外のガスをTIGERが検出している可能性がある。そこで、ホルムアルデヒド吸収缶について、副流煙を含まない清浄空気を通じ、ブランクを確認する実験を行った。防じんフィルタをつけた場合とつけない場合について、流量10 L/minで清浄空気を送り、出口濃度をTIGERを用いて測定した。結果を図8および図9に示している。図より、ブランク実験では、たばこ煙を用いていないにもかかわらず、指示値は経時的に上昇しており、TIGERが何らかのガスを検出していることがわかる。ホルムアルデヒド用吸収缶はホルムアルデヒドと反応し、固定させるための添加物が活性炭に含まれている。この添加物または添加物との化学反応に起因して発生する物質をリアルタイムモニタが検出したことが考えられる。実測値からブランクの値を差し引けばたばこ煙中のガス状物質が求まるが、図9の場合、この値は0 ppmに近づいていくことが推測される。

図6から、ACF入り防じんマスク(DD12A-S1-1)がガス状成分をある程度捕集することが考えられたため、DD12A-S1-1でたばこ煙を捕集したあとの出口の空気をサンプリングし、VOCその他の分析を行った。その結果は表4に示した通りであるが、ここで測定したVOCのうち、比較的沸点のVOCである1,3-ブタジエン、イソプレン、アクリロニトリル、ベンゼン、トルエンについては、入口濃度と出口濃度が同程度であったことから、これらのVOCは捕集材にはほとんど捕集されずに通過したと考えられる。一方、沸点が高く揮発性の低いベンゾ[a]ピレンおよびニコチンは、98%以上除去できていると考えられる。

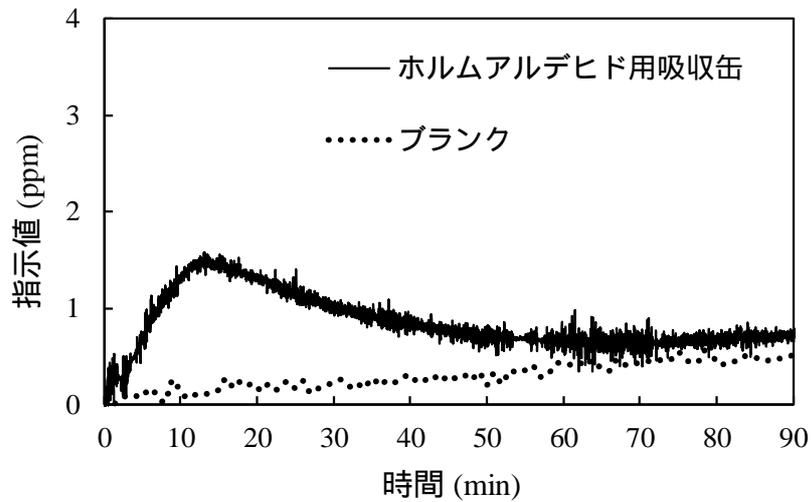


図8 ホルムアルデヒド用吸収缶におけるブランク値の測定

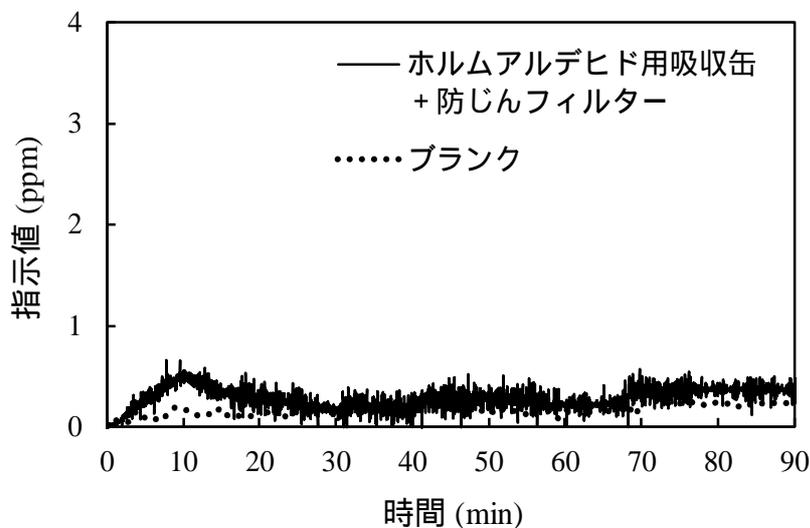


図9 防じんフィルタ付きホルムアルデヒド用吸収缶におけるブランク値の測定

なお、表4中の「入口濃度*」は、たばこから発生する副流煙中の化学物質量の報告値を、本実験における活性炭入り防じんマスクの実験で吸引した捕集空気量と同じ値で除して求めた気中濃度の計算値(平均値)であり、両者の条件はほぼ同じであるが、GC/MS で得られた実測値は、いずれも計算値よりも低くなっていた。この原因として

は、本実験では、チャンバー内に発生させ、拡散した煙を含む空気をポンプで吸引捕集しているため、サンプラーに捕集される前に、チャンバー等の壁面にVOCが吸着あるいは付着したこと、捕集剤による捕集量や捕集条件の違いもあると考えられること、さらに、計算に用いたたばこ煙の成分のデータが、平成11-12年度に行われた調査[9]

に基づくものであるが、その後 20 年経過しており、たばこ煙中の化学物質量が低減した可能性があることなどが考えられる。いずれにしても、表 4 の入口濃度の実験値と出口濃度は同じ条件で得られたものであるため、直接比較が可能である。したがって、活性炭入り防じんマスクは、低沸点の VOC については効果的な除去は期待できないが、ベンゾ[a]ピレンおよびニコチンは 98% 以上除去できると考えられる。これらの結果から、何も対策せずに作業を行うより、活性炭入りのものであれば、使い捨てマスクでも着用して作業を行う方が受動喫煙のリスクを下げることができると考えられる。

本研究では、たばこ特異的ニトロソアミン類(tobacco-specific *N*'-nitrosamines; TSNAs)の測定を行うことができなかった。TSNAs には、*N*-ニトロソノルニコチン(NNN)、*N*-ニトロソアナタピン(NAT)、*N*-ニトロソアナバシン(NAB)、4-(メチルニトロソアミノ)-1-(3-ピリジル)-1-ブタノン(NNK)がある。特に、NNN は IARC の発がん性分類グループ 1、NNK はグループ 2B に勧告されている物質である。これらの物質は、高速液体クロマトグラフィー/タンデム質量分析計(LC-MS/MS)を用いて測定する方法が報告されている[10]が、本研究ではそこまではできなかった。しかしながら、TSNAs は、ヒトの肺腺癌に関係があることが報告されているため、今後、捕集材前後の TSNAs 濃度を測定する必要があると考える。

E. 結論

平成 30 年度に引き続き、たばこ煙中の粉じんおよびガス状物質を捕集できる保護具の捕集材について検討を行った。たばこ煙

の粉じんは防じんマスク用フィルタでほとんど除去でき、VOC も若干捕集できることがわかった。しかし、臭気については、防じんマスクではほとんど期待できないこと、防毒マスクでも 50% 程度の除去効果しかないことがわかった。ガス状物質については、防じんフィルタをつけたホルムアルデヒド用防毒マスク吸収缶が発がん物質を含め、最も捕集性能がよいが、使い捨て式防じんマスクでも、ニコチンや発がん物質であるベンゾ[a]ピレンはほとんど捕集できることがわかった。

以上のことから、たばこ煙の臭気についてはなお課題が残るが、健康影響の面からは、喫煙室等では防じんフィルタをつけたホルムアルデヒド用防毒マスクが、また、飲食店等では、活性炭入り使い捨て式防じんマスクが利用可能であると考えられる。

参考文献

1. 日本たばこ産業株式会社(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 (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/houkoku/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. 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
7. (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>
(2020年5月25日アクセス)
8. 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
9. 厚生労働省(2019): 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.
10. 杉山晃一, 稲葉洋平, 大久保忠利, 内山茂久, 高木敬彦, 櫻田尚樹(2012): 国産たばこ主流煙中たばこ特異的ニトロソアミン類の異なる捕集法を用いた測定. *日本衛生学雑誌* 67: 423-430

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) 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(2020): 受動喫煙を防止するための捕集材の検討. *産業医科大学雑誌* 42(1): 129.

2. 学会発表

- 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. 第92回日本産業衛生学会, 名古屋, 2019年5月
- 2) 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捕集材の検討. 第37回産業医科大学学会, 北九州. 2019年10月
- 3) 真如 一彬, 石田尾 徹, 山本 忍, 樋上光雄, 保利一(2019): 受動喫煙を防止するための捕集材の検討. 第59回日本労働衛生工学会・第40回日本作業環境測定研究発表会, 郡山, 2019年11月.
- 4) 保利一, 真如一彬, 石田尾徹, 山本忍, 樋上光雄(2019): 受動喫煙防止のため

の効果的な呼吸用保護具のフィルターの検討 .2019 年度呼吸保護に関する研究発表会 , 東京 . 2019 年 11 月

- 5) 保利 一、真如一彬、山本 忍、樋上光雄 , 石田尾 徹 (2020): 受動喫煙を防止するための呼吸用保護具のフィルタ

ーの検討 . 第 93 回日本産業衛生学会 , 旭川 , 2020 年 5 月

- H . 知的財産権の出願・登録状況
なし