湿式法を用いた空気清浄装置のたばこ煙および臭気除去性能評価(第1報)

野口美由貴¹⁾, 水越厚史²⁾, 前田康博³⁾, 佐伯寅彦³⁾, 湯懷鵬³⁾, 柳沢幸雄⁴⁾¹⁾成蹊大学, ²⁾東京都立産業技術研究センター, ³⁾新菱冷熱工業株式会社, ⁴⁾東京大学

Performance evaluation of air cleaning equipment in terms of ETS (Environmental Tobacco Smoke) and odor removal (Part 1)

Miyuki NOGUCHI¹⁾, Atsushi MIZUKOSHI²⁾, Yasuhiro MAEDA³⁾, Torahiko SAEKI³⁾,Huaipeng TANG³⁾ and Yukio YANAGISAWA⁴⁾¹⁾Faculty of Science and Technology, Seikei University, 3-3-1, Kichijoji-kitamachi, Musashino-shi, Tokyo, 180-8633, Japan²⁾Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute, 2-4-10, Aomi, Kouto-ku, Tokyo, 135-0064, Japan³⁾SHINRYO CORPORATION, 41, Wadai, Tsukuba, Ibaraki, 300-4247, Japan⁴⁾Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, 5-1-5, Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba, 277-8563, Japan

要 旨

既存の空気清浄手法に湿式法による臭気除去ユニットを加えた空気清浄装置(以下開発装置)について、臭気成分であるアセトアルデヒドを含むたばこ煙成分の除去効果をプロトン移動反応質量分析計(PTR-MS)により経時的に評価した。開発装置は、高性能除じんフィルター、活性炭フィルターから成る粉じん・VOC除去ユニット(Particulate and VOC Removal Unit: PVRU)の後段に新たに開発されたアミノ酸を含む薬液(化学吸収液)を用いた湿式の臭気除去ユニット(Odor Removal Unit: ORU)を配している。

実験ではアセトアルデヒドガスあるいはたばこ煙を開発装置に連続的に導入し、装置吸入口、PVRU後、ORU後(装置吹出口)の3点において試料空気中のアセトアルデヒド、たばこ煙成分および臭気濃度を測定し、各ユニットの除去効率を比較した。その結果、PVRU後では浮遊粉じん、ニコチンなど多くの揮発性有機化合物(VOC)の除去効果が認められたが、カルボニル化合物などの含酸素有機化合物と臭気の除去効果は不十分であり、アセトアルデヒドの除去率は時間経過とともに低下した。これに対してORU後ではアセトアルデヒドの95%が除去され、臭気は99%低減した。この効果はのべ400本のたばこ燃焼時まで持続し、薬液のアセトアルデヒド吸収容量は70 mg L⁻¹以上であった。

Abstract

Removal efficiencies of environmental tobacco smoke (ETS) and its odor with newly developed ETS removal equipment were evaluated. The developed equipment consists of two units: Particulate and VOC Removal Unit (PVRU) and Odor Removal Unit (ORU) connected in series. The 1st unit is PVRU for removing suspended particulate matter (SPM) and volatile organic compounds (VOC) composed of two air filters (HEPA: High Efficiency Particulate Air filter and activate charcoal filter). The 2nd unit is ORU for removing acetaldehyde and ETS odor composed of a wet element using chemical absorbent containing amino acids mixture. First, removal experiment of acetaldehyde in air was carried out. In the experiment, we measured acetaldehyde concentration at inlet of PVRU, and outlet of ORU. Removal efficiency of acetaldehyde by the developed equipment was higher than 90%. Next, removal experiment of ETS and its odor was carried out during tobacco smoke generating. We found that SPM and most of VOC except oxygenated compounds were almost completely removed by PVRU. The removal efficiencies of acetaldehyde and odor by PVRU were 80%, 90% respectively, and the removal efficiency of acetaldehyde was decreased with time. But the removal efficiencies of these components after ORU were 95%, 99% respectively. Acetaldehyde is considered to be chemically absorbed by amino acids in the chemical absorbent, and its absorption capacity of acetaldehyde was at least 70 mg L⁻¹. The removal efficiency was confirmed to be maintained after treatment of tobacco smoke of 400 cigarettes.

Key words: 環境たばこ煙(Environmental Tobacco Smoke), 臭気(Odor), アセトアルデヒド(Acetaldehyde), 粉じん・VOC除去ユニット(Particulate and VOC Removal Unit), 臭気除去ユニット(Odor Removal Unit), プロトン移動反応質量分析計(Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry)

受付: 2012年2月29日(Received: 29 February 2012)

受理: 2012年8月9日(Accepted: 9 August 2012)

1. 緒言

空気清浄機の開発では、シックハウス症候群あるいはアレルギーの原因物質である揮発性有機化合物(VOC)やホルムアルデヒド、浮遊粉じんの除去を目的としており、その初期除去効率をもって性能評価が行われてきた^{1,2)}。しかしカルボニル化合物などの含酸素有機化合物は、活性炭による長期除去が難しいことが知られている³⁾。特にたばこ煙のように浮遊粉じんと多種類のVOCやカルボニル化合物を含む場合、浮遊粉じんや一部のVOCについては除去できるもののカルボニル化合物などについては十分な除去が達成できないとの報告がなされている^{4,5)}。

一般に空気清浄機の性能評価では、チャンバー内に装置を設置した後、VOCなどの処理対象物質を導入し、これらの濃度減衰を指標^{6,7)}とする場合が多いが、この場合装置に導入される処理対象物質の濃度は経時的に変化する。これに対し、本研究で採用した装置内を汚染空気が一回通過した際の除去効率(ワンパス除去率)による評価⁸⁾では、空気清浄機に導入される処理対象物質濃度を一定に保ちながら清浄機の空気清浄性能評価を行う。ワンパス除去率による評価では、対象とする各々の物質の除去効果を容易に評価することができ、多段の空気清浄ユニットを組み入れた装置では、ユニット毎の除去効果を知ることができる点で有利であると考えられる。

一方、喫煙による健康影響の問題は、喫煙者だけに留まらず非喫煙者に対しても受動喫煙という形で、

同様の健康影響を与えると考えられており⁹⁾、喫煙者と非喫煙者が共に快適な生活空間を共有しようとするときには、その臭気も課題となる。したがって、たばこ煙除去を目的とする空気清浄機には、たばこ煙に由来する浮遊粉じん、VOCなどのたばこ煙特有の化学物質の除去とたばこ煙の臭気の除去性能が求められる¹⁰⁻¹²⁾。たばこ煙の臭気成分には、アルデヒド類や脂肪酸などの含酸素物質やアンモニア、ピリジンなどの含窒素物質、硫化水素などの含硫黄物質などが挙げられる¹³⁾。たばこ煙の除去効果は浮遊粉じんやニコチンなどに加えカルボニル化合物やアンモニアなどの評価も重要である。そこで本研究では新たに開発されたたばこ煙除去装置(以下開発装置)について、浮遊粉じん、VOC、アセトアルデヒド、アンモニア、臭気の除去性能について評価した。

2. たばこ煙に対するアセトアルデヒドの臭気寄与

厚生労働省の報告では、副流煙中の一酸化炭素や窒素酸化物、タール分その他、20種類の化学物質の含有量について報告されている¹⁴⁾。Table 1に示した化学物質濃度の合計からそれぞれの化学種の濃度割合を計算すると、カルボニル化合物の占める割合はおよそ20%となる。さらにカルボニル化合物の中では銘柄に関わらずホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトンの濃度が高く、その中でもアセトアルデヒドは全カルボニル化合物の40%以上を占める。また、副流煙中の化学成分濃度をその嗅覚閾値¹⁵⁾で

Table 1 Content, threshold and odor unit of secondhand smoke components

Component	Content ¹⁴⁾ ($\mu\text{g cigarette}^{-1}$)	Threshold ¹⁵⁾ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Odor Unit* (-)
Nicotine	4480	79.5	56
Ammonia	6923	1140	6.1
Formaldehyde	423	670	0.6
Acetaldehyde	1789	2.95	607
Acetone	1023	109000	0.0
Acrolein	314	9.00	35
Propionaldehyde	185	2.59	71
Crotonaldehyde	62.7	71.9	1
Methylethylketone	210	1410	0.0
Butylaldehyde	121	2.15	56
1,3-Butadiene	376	555	0.7
Isoprene	2516	146	17.3
Acrylonitrile	104	20800	0.0
Benzene	303	9400	0.0
Toluene	618	1360	0.5

* One cigarette burned in 1 m³ air

除すことにより閾希釈倍数(気中濃度/嗅覚閾値) : Odor Unitを求めると、アセトアルデヒドが最も高くたばこ煙の臭気に寄与していることが示される(Table 1)。したがって、たばこ煙中に微量でありながら嗅覚閾値が低いため臭気の原因となる物質が含まれる事を考慮に入れても、アセトアルデヒドを除去することにより、たばこ煙に起因する臭気を大幅に低減できることが期待される。

3. アミノ酸によるアセトアルデヒド除去

アルデヒドがアミノ酸と化合することによりイミンを生成する反応は、よく知られており¹⁶⁾ホルムアルデヒドの吸着建材では、この手法がよく用いられている。

しかし、この反応は可逆でありイミンの加水分解により容易にもとのアルデヒドが遊離するとされている¹⁶⁾。下記に述べる開発装置で用いられている薬液では、酸化防止剤、キレート剤の存在下で複数のアミノ酸とアルデヒドを反応させることにより、生成物の安定化が図られているため長時間のアセトアルデヒド除去効果を有すると考えられる。

4. 方法

4.1 開発装置の概要

評価した開発装置は、前段に浮遊粉じんを除去するための高性能除じんフィルターとVOCを除去するための活性炭フィルターにより成る粉じん・VOC除去ユニット (Particulate and VOC Removal Unit : PVRU)を、後段にアセトアルデヒドなどの含酸素成分を除去するためのアミノ酸を主成分とした薬液(アミノ酸成分5%)を含浸させたウェットエレメントを有する湿式の臭気除去ユニット (Odor Removal Unit : ORU)を備えている。開発装置の概要をFig. 1に示す。実験では処理風量を $1200 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ とし、ORUでは薬液10 Lを 3 L min^{-1} の流速で循環させた(w/ chemical)。また、対照として純水10 Lを同様に循環させた(w/ no chemical)。

4.2 アセトアルデヒド除去性能の評価

予備実験としてアセトアルデヒドの除去性能を確認するため、ボンベガス(2500 ppm)を室内空気により希釈調製した $250 \mu\text{g m}^{-3} \sim 600 \mu\text{g m}^{-3}$ のアセトアルデヒドを含む試料空気をダクトを介して $1200 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ の風量で開発装置に導入し、Fig. 1に示した①装置吸入口(Inlet of PVRU)および③装置吹出口(Outlet of ORU)でアセトアルデヒド濃度を測定した。

開発装置によるアセトアルデヒドのワンパス除去率は、両測定点(①, ③)のアセトアルデヒド濃度を

Fig.1 Schematic drawing of ETS removal equipment and sampling points

(1)式に代入することにより求めた。

$$\eta(\%) = (C_{\text{inlet}} - C_{\text{outlet}}) / C_{\text{in}} \times 100 \quad (1)$$

ただし $\eta(\%)$: ワンパス除去率, C_{inlet} : 装置吸入口濃度, C_{outlet} : 装置吹出口濃度

4.3 たばこ煙成分除去性能の評価

たばこ煙成分の除去性能を評価するため、たばこ5本または10本を連続的に同時燃焼させることにより調製したたばこ煙を含む試料空気を全量ダクトを介して1200 m³ h⁻¹の風量で開発装置に直接導入した。測定点は①装置吸入口(Inlet of PVRU), ②活性炭フィルター後(Outlet of PVRU), ③装置吹出口(Outlet of ORU)としPVRUによる除去成分およびその効率とORUによる除去成分およびその効率とを比較した。PVRUによるワンパス除去率(η_I)およびPVRU+ORUによるワンパス除去率(η_{II})は次式により求めた。

$$\eta_I(\%) = (C_{①} - C_{②}) / C_{①} \times 100 \quad (2)$$

$$\eta_{II}(\%) = (C_{①} - C_{③}) / C_{①} \times 100 \quad (3)$$

ただし $C_{①}$: 装置吸入口の濃度, $C_{②}$: 活性炭フィルター後の濃度, $C_{③}$: 装置吹出口の濃度

さらに、ORUに薬液を含浸させた場合と純水を含浸した場合のたばこ煙除去効率を比較し、薬液の除去性能を確認した。また、高負荷条件下における本装置のたばこ煙除去性能を評価するため、たばこ10本をのべ400本になるまで連続的に同時燃焼させ、ORUに純水を含浸させた場合と薬液を含浸させた場合について、装置吹出口のVOCおよびアセトアルデヒド濃度を連続測定し両者を比較した。

4.4 評価項目および分析方法

評価に用いる項目は、浮遊粉じん、VOC、カルボニル化合物、アンモニア、臭気とし、サンプリングポイント①②③にて試料空気を採取し測定を行った。各成分の測定方法を以下に示す。

・浮遊粉じん濃度の測定

①装置吸入口および③装置吹出口において、連続的に浮遊粉じん濃度を測定した。

使用機器

デジタル粉じん計(柴田科学製:LD-3B)

測定範囲 0.001~10.0 mg m⁻³

測定感度 1 CPM = 0.001 mg m⁻³

測定精度 校正粒子に対して±10%

・VOCおよびカルボニル化合物濃度の測定

①装置吸入口, ②活性炭フィルター後, ③装置吹出口においてVOCおよびカルボニル化合物濃度を測定した。

<VOC>

サンプリング条件

TenaxTAを充填した加熱脱着チューブに100 mL min⁻¹の流速でポンプを用いて30分間捕集

分析機器

加熱脱着GC/MS(Agilent Technologies製 6890N/5973Network GERSTEL Master)

定量下限値 2 μg m⁻³

<カルボニル化合物>

サンプリング条件

DNPHカートリッジ(ジューエルサイエンス製 InertSep mini AERO)に1.5 L min⁻¹の流速でポンプを用いて30分間捕集した後アセトニトリル(キシダ化学製 HPLC用)で抽出

分析機器

HPLC(Agilent Technologies製 1100 Series)

定量下限値 1 μg m⁻³

また、各測定点における有機化合物濃度をプロトン移動反応質量分析計(IONICON製PTR-MS)を用いて、SCANモード(単位質量あたり積算時間100 mS)により質量数21から220まで順次連続測定した。PTR-MSは、従来の捕集剤及び機器分析では検出が困難な含酸素物質も含む広範なVOCを高感度で分析できる装置である。PTR-MSでは、水よりもプロトン親和性の高い物質(R)がドリフトチューブ内で水由来のH₃O⁺と反応し(陽子移動反応), RH⁺として質量分析計で検出される。

H₃O⁺イオンの濃度[H₃O⁺]は[R]に比べて大過剰であるため、陽子移動反応は擬一次反応とみなすことができる。したがってRH⁺イオンの濃度[RH⁺]は以下の式(4)で表すことができる。ただし、 k は陽子移動反応速度定数 2.0×10^{-9} [cm³ s⁻¹], t はH₃O⁺イオンとの反応時間[s]である。

$$[\text{RH}^+] = [\text{R}]_0(1 - e^{-k[\text{H}_3\text{O}^+]_t}) \approx [\text{H}_3\text{O}^+]_0[\text{R}]_0 \cdot kt \quad (4)$$

さらにイオン検出器で測定されたそれぞれのイオンカウント $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{count}}$ 、 $[\text{RH}^+]_{\text{count}}$ は各イオン濃度と比例するので、最終的に測定物質の濃度 $[\text{R}]$ は、 H_3O^+ イオンの透過率を $Tr(\text{H}_3\text{O}^+)$ 、測定物質 R の透過率を $Tr(\text{RH}^+)$ 、ドリフトチューブの温度を T_{drift} 、ドリフトチューブの圧力を $P_{\text{drift}}(\text{Pa})$ 、アボガドロ数を N_A とすると、式(5)で示されるppbV単位での体積混合比で表すことができる。

$$[\text{R}]_0 = \frac{[\text{RH}^+]_{\text{count}} \cdot Tr(\text{H}_3\text{O}^+)}{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{count}} \cdot Tr(\text{RH}^+) \cdot kt} \times \left[\frac{8.314 \times T_{\text{drift}}}{N_A \times P_{\text{drift}} \times 1 \times 10^{-6}} \right] \times 10^9 \quad (5)$$

したがって、各測定点における試料空気をPTR-MSによって測定し、式(1)(2)(3)に代入することにより、たばこ煙に含まれるほぼ全てのVOCの除去性能を評価できると考えられる。

・アンモニア濃度の測定

①装置吸入口、②活性炭フィルター後、③装置吹出口においてアンモニア濃度を測定した。
(外部分析機関委託)

定量方法

ホウ酸溶液吸収インドフェノール青吸光度法

定量下限値 10 $\mu\text{g m}^{-3}$

・一酸化炭素の測定

①装置吸入口および③装置吹出口において、一酸化炭素濃度を測定した。

使用機器

定電位電解測定計測器(柴田科学製 COX-2)

測定範囲 0~50 ppm

最小目盛 0.1 ppm

測定精度 $\pm 5\%$

・臭気の測定

①装置吸入口、②活性炭フィルター後、③装置吹出口において臭気濃度を測定した。(外部分析機関委託)

測定方法 三点比較式臭袋法¹⁷⁾(排出口法)

5. 結果および考察

5.1 アセトアルデヒド単独ガスの除去性能

開発装置にアセトアルデヒドガスを導入した際の①装置吸入口および③装置吹出口におけるアセトアルデヒド濃度をTable 2に示す。なお濃度測定は、装置の吸入口および吹出口それぞれの右、中央、左で行い、平均したものを各部位の測定値とした。

各測点においてアセトアルデヒド濃度を測定し、①装置吸入口および③装置吹出口のアセトアルデヒドの平均濃度から(1)式を用いてアセトアルデヒド除去率を計算したところ、導入されたアセトアルデヒド濃度に関わらず開発装置による除去率はおおよそ95%であり、③装置吹出口の濃度は、いずれも室内濃度指針値である48 $\mu\text{g m}^{-3}$ 以下であった。

厚生労働省の報告によれば、副流煙中に含まれるアセトアルデヒドは1本当たりおおよそ1600~1900 μg とされる¹⁰⁾。本実験では最高363 $\mu\text{g m}^{-3}$ のアセトアルデヒドガスを1200 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ の風量で開発装置により処理し、19 $\mu\text{g m}^{-3}$ まで低減することが可能であったことから、毎分約7 mgのアセトアルデヒドを除去できる性能を持つと考えられる。これは、たばこの燃焼時間を5 min cigarette⁻¹とすれば、おおよそ毎分19本分のたばこ煙を処理できる性能に当たる。以上の結果から本装置は厚生労働省による室内濃度指針値である48 $\mu\text{g m}^{-3}$ の7.6倍の濃度のアセトアルデヒドガス、または19本の同時喫煙があった場合に発生するアセトアルデヒドを1200 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ の風量で導入した場合でも95%のアセトアルデヒドを除去する性能を有するものと考えられた。

Table 2 Acetaldehyde concentrations at inlet of PVRU, outlet of ORU and removal efficiency

Inlet ($\mu\text{g m}^{-3}$)				Outlet ($\mu\text{g m}^{-3}$)				Removal efficiency (%)
Right	Center	Left	Ave.	Right	Center	Left	Ave.	
131	148	134	138	6	11	7	8	94%
226	279	256	254	9	16	11	12	95%
310	404	376	363	11	29	15	19	95%

5.2 たばこ煙の除去性能

Fig. 2にたばこ10本を同時に自然燃焼させた際の①装置吸入口、②活性炭フィルター後、③装置吹出口(臭気除去ユニットに純水を含浸させた場合と薬液を含浸させた場合)の試料空气中VOCをPTR-MSにより測定した結果を示す。

吸入口のスペクトル(① Inlet of PVRU)に示した通り、たばこ煙には多種類のVOCが含まれており、中でもmass 45(アセトアルデヒドの分子量+1)に示されるアセトアルデヒドの含有率が高い。さらに活性炭フィルター後のスペクトル(② Outlet of PVRU)から、たばこ煙中のVOCは分子量の大きい物質を中心にPVRUにより除去されることが示された。しかし低分子量含酸素物質であるアセトアルデヒドの除去性能は十分ではなく、室内濃度指針値である30 ppb(48 $\mu\text{g m}^{-3}$)を大きく上回った。次に後段に設置されたORUに純水を含浸させたもの(③ Outlet of ORU, w/ no chemical)では、アセトアルデヒドが親水性であり、水に容易に溶解することから除去が可

能であると考えられたが、短時間でアセトアルデヒドの水への溶解が飽和に達してしまうため、顕著な除去効果はみられなかった。これに対して薬液を含浸させた場合(③Outlet of ORU, w/ chemical)では、アセトアルデヒド濃度は20 ppb以下まで低減された。

Fig. 3にPTR-MSを用いて順次サンプリングポイント(①, ②, ③)を切り替えて測定したトルエン(上図)およびアセトアルデヒド(下図)の濃度とその経時変化を示す。

Fig. 3に示された②活性炭フィルター後の濃度より、トルエン濃度はPVRUによって大きく低減されたが、PVRU後のアセトアルデヒド濃度は吸入口よりは低減されるものの室内濃度指針値にまでは至らず、経時的に上昇した。③装置吹出口に示される後段のORUでは純水を含浸させた場合(w/ no chemical)アセトアルデヒドはほとんど除去されなかったが、薬液を含浸させた場合(w/ chemical)では大きく低減された。さらにORU(w/ chemical)で試料空気を処理することにより二次生成したと考え

Fig.2 PTR-MS spectrums at Inlet of ①PVRU (Particle and VOC Removal Unit), ②Outlet of PVRU and ③Outlet of ORU (Odor Removal Unit).

w/ no chemical : using water at ORU, w/ chemical: using chemical liquid at OR

Fig.3 Concentrations of toluene (above) and acetaldehyde (bellow) at Inlet of ①PVRU (Particle and VOC Removal Unit), ②Outlet of PVRU and ③Outlet of ORU (Odor Removal Unit). Number of burning cigarettes was 10.
w/ no chemical : using water at ORU, w/ chemical: using chemical liquid at ORU

られる新たな物質は検出されなかった。

以上の結果から、試料空気中のアセトアルデヒドは単に水溶液中に溶解しているだけではなく、薬液に含まれるアミノ酸との化学結合により安定な物質として溶解しており、これにより長時間のアセトアルデヒド除去性能を維持できたものと考えられる。たばこ5本および10本同時燃焼させた際のトルエンのPVRUによるワンパス除去率を式(2)から、PVRUおよびORUによるワンパス除去率を式(3)から求めた結果をFig. 4に示す。また同様にアセトアルデヒドのワンパス除去率をFig. 5に示す。

Fig. 4に示した通りトルエンでは、PVRUにより90%以上が除去されることが示された。一方、アセトアルデヒドではPVRUによる5本燃焼時、10本燃焼時の初期除去率： η_I がそれぞれ84%、80%、その

後時間経過とともに除去率が低下し、30分後では5本燃焼時で60%、10本燃焼時で30%であった。さらに後段のORUによる除去を加えた除去率： η_{II} は、PVRU+純水含浸ORU(w/ no chemical)では、30分後に5本燃焼時で80%、10本燃焼時で40%まで除去率が低下した。これに対してPVRU+薬液含浸ORU(w/ chemical)では、5本燃焼時10本燃焼時ともに30分後でも90%以上の除去率を維持した。したがって、アセトアルデヒドの活性炭フィルターへの吸着量は、時間経過とともに低下するものと考えられる。後段のORUでは、純水含浸では活性炭フィルター通過空気の処理を行ってもアセトアルデヒドの除去効果は短時間しか持続しなかったが、薬液含浸の場合長時間除去効果が持続した。したがってORUによるアセトアルデヒド除去効果は、水への溶解だけでは

Fig.4 Toluene removal efficiency at ② Outlet of PVRU (Particle and VOC Removal Unit), η_I and ③ Outlet of ORU (Odor Removal Unit), η_{II} .
w/ no chemical : using water at ORU, w/ chemical: using chemical liquid at ORU

Fig.5 Acetaldehyde removal efficiency at ② Outlet of PVRU (Particle and VOC Removal Unit), η_I and ③ Outlet of ORU (Odor Removal Unit), η_{II} .
w/ no chemical : using water at ORU, w/ chemical: using chemical liquid at ORU

Fig.6 Long term endurance test of removal efficiency.
w/ no chemical : using water at ORU,
w/ chemical : using chemical liquid at ORU

Fig.7 Removal efficiency of ETS by PVRU (Particle and VOC Removal Unit) and ORU (Odor Removal Unit).

W: using water at ORU, C: using chemical liquid at ORU

なく薬液中のアミノ酸との化学結合による化学吸着による効果であると考えられる。

さらに、開発装置によるたばこ煙除去性能の高負荷耐久性を確認するため、たばこの同時10本燃焼を計400本(約4時間)になるまで継続し、装置吹出口のアセトアルデヒドおよびトルエン濃度の経時変化をPTR-MSによって測定した。結果をFig.6に示す。

Fig. 6より、開発装置のトルエンの除去率はORUに純水を含浸させた場合、薬液を含浸させた場合ともに90%以上を持続した。一方アセトアルデヒドの除去率はORUに純水を含浸させた場合は徐々に低下し、400本燃焼後では50%以下となったが、ORUに薬液を含浸させた場合は、400本燃焼後でも約90%の除去率を持続した。したがって本実験で用いた薬液10 Lでは、たばこ煙400本、アセトアルデヒドに換算しておよそ700 mgを化学吸着していることから、本薬液のアセトアルデヒド吸着容量は70 mg L⁻¹以上であると考えられる。

次に主なたばこ煙成分であるTVOC、ニコチン、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アンモニア、酢酸の成分分析および臭気測定から求めたPVRUおよびORUによるたばこ成分除去率をFig. 7に示す。

Fig. 7よりニコチンを始めVOCの多くはPVRUによりほとんど除去されたが、アセトアルデヒド、アンモニアは十分除去することができず、薬液を含浸させたORUを通過させることにより95%以上除去されることが成分分析によっても示された。また、臭気も薬液を含浸させたORUを通過させることによ

り99%低減することが示された。

以上の結果からPVRU+ORU(w/ chemical)を備えた開発装置では、活性炭フィルターでは除去できないアセトアルデヒド、アンモニア等の臭気物質の除去が可能であることが示された。ただし活性炭フィルターに保持されたこれらの成分は、時間経過に伴い吸着速度が遅くなり、結果的に吸着容量を超えるためPVRUを通過する空気中の濃度が上昇し、薬液の除去性能を超える量がORUに導入される可能性がある。よって開発装置を長期間運転する場合には、PVRUからこれらの成分の脱離を行うかPVRUの交換をする必要があると考えられる。

6. 結論

除じんフィルターおよび活性炭フィルターを用いた既存の空気清浄手法(PVRU)に加え、臭気成分の除去を目的としたアミノ酸を主成分とする薬液(化学吸収液)による臭気除去ユニット(ORU)を備えた新たな空気清浄装置(開発装置)について、アセトアルデヒド、たばこ煙の除去性能を調査したところ以下の知見を得た。

- ① 開発装置によって139 $\mu\text{g m}^{-3}$ ~347 $\mu\text{g m}^{-3}$ のアセトアルデヒドを含む試料空気を1200 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ の風量で処理したところ、ワンパス除去率およそ95%を達成した。
- ② 開発装置によってたばこ煙(5本同時連続燃焼または10本同時連続燃焼)を1200 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ の風量で処理したところ、ワンパス除去率として粉じん、

ニコチン等主なたばこ煙成分についてはほぼ100%、アセトアルデヒド95%、アンモニア98%を達成した。またこの時の臭気濃度低下率は99%であった。さらにこの性能は、たばこ10本同時連続燃焼を400本まで行った時点でもほぼ持続した。

- ③ 活性炭フィルター通過後のアセトアルデヒド濃度測定により、PVRUのみによるアセトアルデヒド除去率は経時的に低下したことから、アセトアルデヒドは短時間のうちに活性炭フィルターへの吸着量が減少したことが示された。
- ④ たばこ煙を開発装置によって処理した試料空気をPTR-MSによって測定したところ、処理に伴う二次的な生成物は検出されなかった。

引用文献

- 1) JIS C 9615-1995, 空気清浄機 日本工業規格.
- 2) JACA No.15-1980, ガス除去用空気清浄装置設置基準 社団法人日本空気清浄協会.
- 3) 林敏昭, 汲田幹夫, 大谷吉生: 添着活性炭のアセトアルデヒド吸着性能の劣化, 化学工学論文集, 32, 72-78(2006).
- 4) 大谷吉生: たばこ煙のろ過, 喫煙科学研究の歩み—1996年から2005年—受動喫煙, 喫煙科学研究財団, (2007).
- 5) 八太 豊: 喫煙現場における分煙と空気清浄, エアロゾル研究, 23, 246-251(2008).
- 6) 野崎敦夫, 清澤裕美, 吉澤 晋: 家庭用空気清浄機の汚染物質除去性能と室内濃度予測に関する研究(その1)環境タバコ煙に対する除去効果, 日本建築学会環境系論文集, 576, 37-42(2004).
- 7) 南野 脩, 三原章裕, 品田宜輝: 小型空気清浄機の性能評価とその応用に関する研究 第1報—浮遊粉じん除去性能に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, 69, 49-59(1998).
- 8) JIS B 9901-1997 ガス除去フィルタ性能試験方法 日本工業規格.
- 9) 内山巖雄: 受動喫煙対策について, 空気調和・衛生工学, 78, 19-23(2004).
- 10) 宮崎竹二: 喫煙環境中におけるアセトアルデヒド, ホルムアルデヒド濃度, 生活衛生, 48, 181-190(2004).
- 11) 長谷川あゆみ: タバコ由来の化学物質による喫煙の分煙効果の評価について, SCAS NEWS, 2007-II, 3-5(2007).
- 12) Otani Y., Namiki N., Yun C.-M., Emi H.: Simultaneous removal of particulate and gaseous cigarette smoke components by corona discharge, *Proc. of 7th Int Conf on Indoor Air Qualith and Climate*, Nagoya, 4, 51-56 (1996).
- 13) 島津製作所, タバコ臭の評価 島津アプリケーションニュース, No.F34 (2005).
- 14) 厚生労働省, 平成11—12年度たばこ煙の成分分析について(概要).
<http://www.mhlw.go.jp/topics/tobacco/houkoku/seibun.html>
- 15) 永田好男, 竹内教文: 三点比較式臭袋法による臭気物質の閾値測定結果, 日環セ所報, 17, 77-89(1990).
- 16) Pine S. H. : *Organic Chemistry*, 5th Ed., McGraw-Hill, p.248 (1987).
- 17) 岩崎好陽: 新訂 臭気の嗅覚測定法 三点比較式臭袋法測定マニュアル, 社団法人におい・かおり環境協会, 54-98(2005).