

## 大型家具からの揮発性有機化合物の放散に関する研究

香川 (田中) 聡子, 古田光子\*, 柴辻正喜\*, 神野透人#, 西村哲治

### Volatile Organic Compounds (VOCs) Emitted from Large Furniture

Toshiko Tanaka-Kagawa, Mitsuko Furuta\*, Masayoshi Shibatsuji\*,  
Hideto Jinno# and Tetsuji Nishimura

Indoor air pollution by volatile organic compounds (VOCs), which may cause a hazardous influence on human being such as sick building (sick house) syndrome, has become a serious problem. In this study, VOCs emitted from nine pieces of home furniture, three sets of dining tables, three sets of chest of drawers and three sofas, were analyzed as potential sources of indoor air pollution by large chamber test method (JIS A 1911). Based on the emission rates of total VOC (TVOC), the impacts on the indoor TVOC was estimated by the sample model with a volume of 20 m<sup>3</sup> and ventilation frequency of 0.5 times/h. The estimated TVOC increment values were exceeded the provisional target value for indoor air (400 µg/m<sup>3</sup>) in three sets of dining tables, one set of chest of drawer and one sofa. The estimated increment of formaldehyde were exceeded the guideline value (100 µg/m<sup>3</sup>) in one set of dining table, two sets of chest of drawers and one sofa. These results revealed that VOC emissions from furniture may influence significantly indoor air quality. Also, in this study, to establish the alternative method for large chamber test methods, emission rates from representative three parts of furniture unit were evaluated using the small chamber and emission rate from full-sized furniture was predicted. Emission rates of TVOC and formaldehyde predicted by small chamber test were 3~46% and 6~252% of the data obtained using large chamber test, respectively.

Keywords : indoor air, emission of volatile organic compounds, furniture, large chamber test method

#### 1. はじめに

室内空気中の化学物質に起因すると考えられるいわゆるシックハウス症候群などの健康被害の増加に伴って、建材や家具等の家庭用品から放散される化学物質に大きな関心が寄せられている。このような化学物質に関する安全対策への取り組みとして、化学物質の室内濃度指針値について「シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会 (厚生労働省)」の中間報告書<sup>1)</sup>に基づき、これまでに formaldehyde, toluene 及び xylene 等13物質について室内濃度指針値が策定されている。室内における

化学物質の主要な発生源の一つである建材に関しては、建築基準法の改正によって放散化学物質の低減化策が講じられている<sup>2)</sup>。一方、居住者によって家庭内に持ち込まれる様々な家庭用品には多種多様な化学物質が使用されていることから、室内空気の汚染源としての可能性が指摘されているが、それらの製品から放散される化学物質の室内空気への負荷については情報が限られている。本研究では、平成19年度に実施した試験によって揮発性有機化合物の放散量が高いことが示された<sup>3)</sup>、ダイニングテーブル、タンス、ソファを試験対象とし、製品間のそれぞれ使用材料の類似した異なる3製品、計9製品について先ず大形チャンバー (5.5 m<sup>3</sup>) による放散試験を実施し、総揮発性有機化合物 (TVOC) 量、並びに formaldehyde 及び acetaldehyde 等指針値設定物質を含む64物質を定量した。定量対象化合物以外の未同定物質については、デコンポリューション・シミュラリティー検索等の解析を実施し、暫定的同定を行った。

\* To whom correspondence should be addressed:

Hideto Jinno; Division of Environmental Chemistry, National Institute of Health Sciences, 1-18-1 Kamiyoga, Setagaya-ku, Tokyo 158-8501, Japan; Tel: +81-3-3700-1141 ext. 257; Fax: +81-3-3707-6950; E-mail: jinno@nihs.go.jp

#厚生労働省, Ministry of Health, Labour and Welfare

さらに、多岐にわたる大型家庭用品から放散される化学物質を迅速かつ効率的に把握するための評価法の確立が今後の重要な課題として位置づけられることから、全体からの放散量の把握に加え、上記の製品を素材や加工方法等を考慮して3区分の部品に分割して各部分からの放散量を小形チャンバー法により調査し、その結果から製品個体当たりの放散速度を推計した。

## 2. 実験方法

### 2.1 試験試料

試験試料：ダイニングテーブル、タンス、ソファー3種類の大型家具についてそれぞれ3製品、計9製品を調査対象とした。今回の調査では多種多様な家具類を網羅的に試験することが不可能なため、使用材料、形状、色等の類似する製品について、生産国（製造国）の異なる

製品、及びシックハウス対策として、formaldehydeの放散を抑えた家具に貼付される室内環境配慮マーク等の表示のある製品が含まれるように市販品より選定し購入した。本調査で対象とした試料の概要をTable 1に示す。

### 2.2 放散試験

#### 2.2.1 大形チャンバー法による放散試験

Table 1に示す製品について、5.5 m<sup>3</sup>チャンバーを使用して大形チャンバー法(JIS A 1911)に準拠して放散試験を実施した。チャンバー内を温度28℃、湿度50%に設定し、換気回数が1時間当たり0.5回になるように純空気を供給した。検体をチャンバー内に設置し24時間後より放散ガスをサンプリングした。アルデヒド類の測定用捕集管としてはGL-Pak mini AERO DNPHを用いた。

**Table 1** The specifications for samples investigated in this study

Sample No.	Sample	Product information	Furniture parts tested by small chamber methods	Parts area in the furniture (m <sup>2</sup> )
1	Dining Table & Chairs#1	◇ made in China	① top plate (the right side)	0.900
			② top plate (the reverse side)	0.900
			③ seat	0.756
2	Dining Table & Chairs#2	◇ made in China ◇ ≥F☆☆☆	① top plate (the right side)	0.960
			② top plate (the reverse side)	0.960
			③ seat	0.846
3	Dining Table & Chairs#3	◇ made in Japan ◇ Indoor environmentally conscious design	① top plate (the right side)	0.900
			② top plate (the reverse side)	0.900
			③ seat	1.055
4	Chest#1	◇ made in China	① drawer front panel	1.024
			② side panel	0.678
			③ drawer bottom panel	1.610
5	Chest#2	◇ made in Japan	① drawer front panel	1.232
			② side panel	1.246
			③ drawer bottom panel	2.013
6	Chest#3	◇ made in Japan ◇ Indoor environmentally conscious design	① drawer front panel	1.224
			② side panel	1.208
			③ drawer bottom panel	2.336
7	Sofa#1	◇ made in China	① seat	0.505
			② urethane foam	1.224*
			③ bottom	0.719
8	Sofa#2	◇ made in Japan	① seat	0.780
			② urethane foam	1.653*
			③ bottom	0.873
9	Sofa#3	◇ made in Japan ◇ Indoor environmentally conscious design	① seat	0.708
			② urethane foam	1.334*
			③ bottom	0.626

An area of the test piece provided small chamber test methods is 0.044 m<sup>2</sup>.

\*The total surface area of seat and bottom

また、VOC測定用としては3層(Tenax TA/Carbograph 1 TD/Carboxen1000)の捕集管 TO-17/2 (Markes) を用いた。尚、アルデヒド類については1000 mL/minの流速で30 Lの放散ガスを、VOCについては100 mL/minの流速で2 Lの放散ガスをサンプリングした。

### 2.2.2 小形チャンバー法による放散試験

大形チャンバー法による放散試験が終了したサンプルについて、それぞれについて Table 1 に記載した3箇所を切り出して試験片を作成し、20 Lチャンバーを使用して小形チャンバー法 (JIS A 1901) に準拠して放散試験を実施した。大形チャンバー法による放散試験と同様にチャンバー内温度は28℃、湿度は50%に設定し、換気回数が1時間当たり0.5回になるように純空気を供給し、検体をチャンバー内に設置し24時間後より放散ガスをサンプリングした。アルデヒド類の測定用捕集管としてはGL-Pak mini AERO DNPHを、また、VOC測定用としてはTO-17/2 (Markes) を用いた。尚、アルデヒド類については167 mL/minの流速で10 Lの放散ガスを、VOCについては167 mL/minの流速で1 Lの放散ガスをサンプリングした。

### 2.3 加熱脱離GC/MS (TD-GC/MS) による個別VOCs及びTVOCの定量

TD-GC/MSによるVOCsの測定は島津製作所製加熱脱着装置 TDTS-2010及びGC/MS-QP-2010を用いて以下に示した条件で行った。

加熱脱着装置付GC/MSの分析条件

加熱脱離 (島津製作所 (株) 製 TDTS-2010)

Desorption : 280℃, 50 mL He/min, 10 min  
Cold Trap Temp : -10℃

GC/MS (島津製作所 (株) 製 GC/MS-QP2010)

Column : Rtx-1 (0.32 mm×60 m, 1 μm)  
Carrier Gas : He, 2.35 mL/min  
Column Temp. : 40℃-5℃/min-250℃  
Interface Temp. : 250℃  
Ion Source Temp. : 200℃  
Scan Range :  $m/z$  35-350

測定対象化合物としては、平成15年度及び平成16年度に国立医薬品食品衛生研究所において実施した「室内空气中の揮発性有機化合物に関する全国調査」の結果より室内空気中で高頻度に検出される化学物質として選定した70種のVOC<sup>3)</sup>のうち、*n*-hexane から *n*-hexadecane の

間の保持時間に溶出される62物質とした。これら物質を2 ng-250 ngの範囲で個別に定量するとともに、トータルイオンクロマトグラムのピーク面積積分値から total VOC (TVOC) 量を算出して toluene 換算値として示した<sup>3)</sup>。デコンボリューション解析には AnalyzerPro (SpectralWorks) を使用し、シミラリティー検索のためのマススペクトルライブラリーとして、NIST 05及びFFNSC GC/MS 香料ライブラリー (島津製作所) を用いた。

### 2.4 高速液体クロマトグラフ (HPLC) によるアルデヒド類の定量

DNPH カートリッジ内のカルボニル化合物 DNPH 誘導体は、アセトニトリルを用いて溶解して脱離させ、Agilent 社製 HPLC (HP-1000) を用いて以下に示した条件で行った。

Column : Inertsil ODS-SP (4.6 mm×250 mm)  
Mobile phase : 48:52, acetonitrile : water  
Flow rate. : 1.2 mL/min  
Detection : UV at 360 nm

### 2.5 解析

#### 2.5.1 放散速度

大形チャンバー法による測定結果から次式により各検体について単位試料当たりの放散速度を算出した。

<計算式>

$$EFu = C \times n \times V_L \times U^{-1}$$

EFu : 単位試料当たりの放散速度 (μg/unit/h)  
C : チャンバー内の VOC の濃度 (μg/m<sup>3</sup>)  
= 測定対象物質の質量 (ng)/空気捕集量 (L)  
n : 換気回数 (回/h)  
V<sub>L</sub> : 大形チャンバーの容積 (m<sup>3</sup>)  
U : 試料の個数 (unit)

小形チャンバー法による測定結果から次式により各検体について単位面積当たりの放散速度を算出した。

<計算式>

$$EFa = C \times n \times V_s \times A_{Test}^{-1}$$

EFa : 単位面積当たりの放散速度 (μg/m<sup>2</sup>/h)  
C : チャンバー内の VOC の濃度 (μg/m<sup>3</sup>)  
= 測定対象物質の質量 (ng)/空気捕集量 (L)  
n : 換気回数 (回/h)  
V<sub>s</sub> : 小形チャンバーの容積 (m<sup>3</sup>)  
A<sub>Test</sub> : 試験片の面積 (m<sup>2</sup>)

小形チャンバー法で得られた各部位の放散速度から次式より単位試料当たりの放散速度を推算した。

<計算式>

$$EFu\_e = (EFa① \times A_{Parts}① + EFa② \times A_{Parts}② + EFa③ \times A_{Parts}③) \times U^{-1}$$

EFu\_e : 単位試料当たりの推算放散速度 (µg/unit/h)

EFa : 単位面積当たりの放散速度 (µg/m<sup>2</sup>/h)

A<sub>Parts</sub> : 部位面積 (m<sup>2</sup>)

U : 試料の個数 (unit)

①, ②, ③はそれぞれ各製品の主要部位

### 2.5.2 気中濃度増分予測値

大形チャンバー法による試験結果より次式により気中濃度増分値 ΔC (µg/m<sup>3</sup>) を算出した。

<計算式>

$$\Delta C = (EFu \times U) \times (nR \times VR)^{-1}$$

ΔC : 気中濃度増分予測値 (µg/m<sup>3</sup>)

EFu : 単位試料当たりの放散速度 (µg/unit/h)

U : 試料の個数 (unit)

nR : 室内空気モデル内の換気回数 (0.5 回/h)

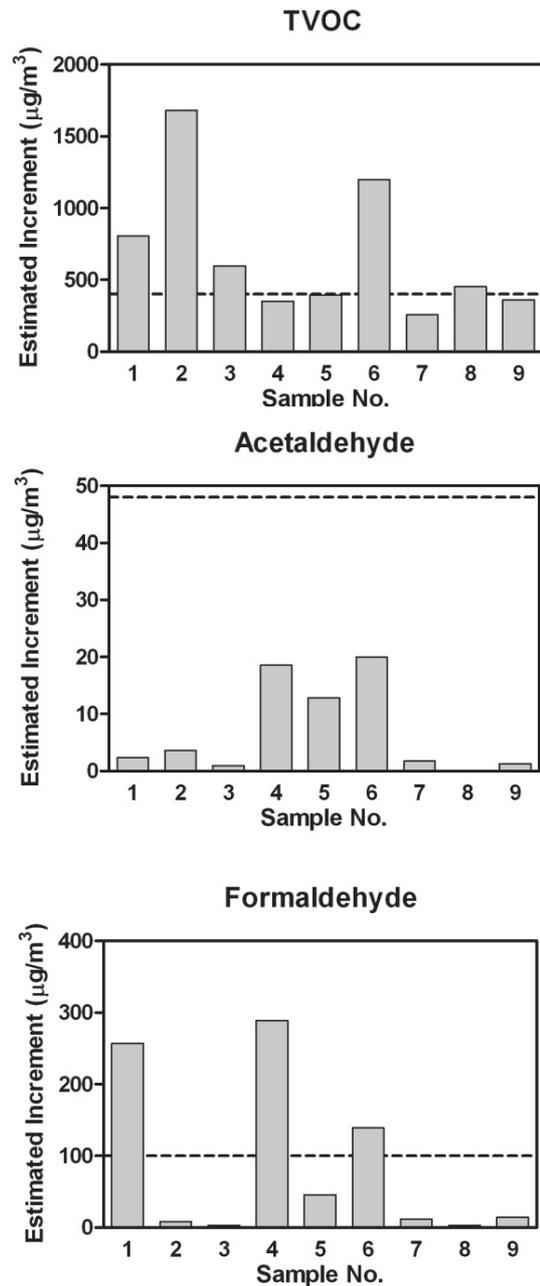
VR : 室内空気モデル内の体積 (20 m<sup>3</sup>)

## 3. 結果と考察

### 3.1 大形チャンバー法による放散試験

今回の調査では、ダイニングテーブル (椅子付き)、タンス及びソファを対象として、それぞれ3銘柄ずつの計9製品について大形チャンバー法による放散試験を実施し、アルデヒド類及び揮発性有機化合物の放散量を評価した。Fig. 1に、容積20m<sup>3</sup>、換気回数0.5回/hの部屋に各試料を設置した場合のTVOC及びアルデヒド類の気中濃度増分予測値を示す。formaldehydeに関して、気中濃度増分予測値が室内濃度指針値 (100 µg/m<sup>3</sup>) を超えた製品は、ダイニングテーブルが3製品中1製品、タンスが3製品中2製品であり、ソファは全て指針値を大きく下回った (Fig. 1)。また、acetaldehyde についてはいずれの製品群でも指針値 (48 µg/m<sup>3</sup>) を超えるものは存在しなかった (Fig. 1)。一方、TVOCについてはダイニングテーブル全3製品、タンス1製品、ソファ1製品で気中濃度増分予測値が400 µg/m<sup>3</sup>を超過し、それ以外の製品についても予測値は全て暫定目標値の50%を超えていた (Fig. 1)。個別に定量した62物質の放散速度及び気中濃度増分予測値をそれぞれ Table 2 及び Table 3 に示す。本調査で対象としたいずれの製品からも toluene, ethylbenzene, xylene,

styrene が比較的放散速度の高い化合物として検出されたほか、ダイニングテーブル#1からは可塑剤であるTXIB、ダイニングテーブル#3、タンス#1及びタンス#3からは butyl acetate が主要な放散化合物として検出された。また、タンス#3からの放散化学物質として α-pinene や代替溶剤として用いられる cyclohexane 及び methylcyclohexane が顕著な放散速度を示した。



**Fig.1** The estimated increment evaluated from emission rate of TVOC and aldehydes from furniture. Emission rate of these compounds was measured by large chamber test method. Broken lines; The guideline values for indoor air concentration set up by Ministry of Health, Labour and Welfare (µg/m<sup>3</sup>)

**Table 2** Emission rate of 62 volatile organic compounds from furniture measured by large chamber test method

	Emission Rate (µg/unit/h)								
	Sample No.								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>n</i> -Hexane									
Chloroform		45.6							
2,4-Dimethylpentane/Methylcyclopentane									
Methylcyclopentane/2,4-Dimethylpentane									
1,1,1-Trichloroethane									
1-Butanol		249.0	38.7	62.7		97.5	16.1	10.5	18.4
Benzene									
1-Methoxy-2-propanol		145.0	34.2	20.7		31.6			11.6
Carbon tetrachloride									
Cyclohexane						480.2			
2-Methylhexane		4.7							
3-Methylhexane									
Trichloroethylene									22.5
2,2,4-Trimethylpentane									
<i>n</i> -Heptane									
Methylisobutylketone	16.3	15.8	39.5	15.2	13.7				33.5
Methylcyclohexane				8.8	8.9	1864.8			
Isobutyl acetate	11.7		161.1		2.8				
Toluene*	835.3	522.7	101.9	123.9	127.8	558.2	440.6	1009.9	872.9
1,4-Dimethylcyclohexane									
Butyl acetate	137.6		706.2	233.9	116.2	601.9	25.6	56.4	149.9
<i>n</i> -Octane								7.7	
Tetrachloroethylene			4.1						3.6
1,4-Dimethylcyclohexane									
Ethylbenzene*	92.6	746.2	44.0	82.0	21.8	32.9	21.2	5.4	25.0
<i>m, p</i> -Xylene*	72.1	815.9	44.5	78.0	59.3	26.8	31.4	4.7	24.8
2-Methyloctane							20.4		
3-Methyloctane									
Styrene*	5.7	141.2	34.1	127.2	98.5		11.1	7.4	11.4
<i>o</i> -Xylene*	29.8	513.6	35.0	33.9	27.8	7.4	14.8		9.9
<i>n</i> -Nonane		18.3						14.8	4.7
Isopropylbenzene	3.6	100.6	2.8		3.0	10.1			
3,5-Dimethyloctane									
$\alpha$ -Pinene		179.6		3.4	25.8	1849.0			33.9
<i>n</i> -Propylbenzene	24.8	238.6			22.6	29.7			
(+/-)-Camphene						80.2			
Phenol			41.7	18.3	8.1		7.9	19.2	16.4
1,3,5-Trimethylbenzene	32.1	137.2		4.6	18.0	75.5			
2-Methylnonane								13.4	
$\alpha$ -Methylstyrene									
2-Ethyltoluene	34.9	169.0		3.2	24.5	69.5			
$\beta$ -Pinene					5.4	32.5			3.3
2-Pentylfuran	4.0			12.0	2.6				
1,2,4-Trimethylbenzene	233.8		8.5	16.0	130.0	394.3	4.3		12.3
<i>n</i> -Decane								204.3	29.0
1,4-Dichlorobenzene									
3-Carene		24.1			2.9	382.9			3.9
1,2,3-Trimethylbenzene	54.4	113.3	5.7	4.7	23.1	117.4			
Limonene			4.5			186.1			3.4
1-Methyl-3-propylbenzene	14.0	15.9	2.8		5.4	15.9			
<i>n</i> -Butylbenzene					1.7				
<i>n</i> -Undecane		9.2	3.3			5.3	7.0	85.4	20.2
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	13.6	18.3	22.8		4.5	47.1			
1,3,5-Trichlorobenzene									
Camphor		3.6		5.2	5.5	36.2		4.8	
Naphthalene	15.9	56.5	12.8	3.7	5.8	79.5		2.8	
<i>n</i> -Dodecane	11.8	11.8	4.6	2.2	1.9	10.1	32.4	174.0	40.4
<i>n</i> -Tridecane	35.2	10.8	8.1	4.2		8.5	49.0	6.1	3.7
<i>n</i> -Tetradecane	49.0	10.8	11.4	4.1	6.1	8.2	24.4	71.9	56.5
<i>n</i> -Pentadecane	31.4	5.2	5.8	4.2	5.0	2.2	6.8		
TXIB	478.4	42.7	14.3	14.1	77.4	17.3	12.1	12.9	247.4
<i>n</i> -Hexadecane	10.7	2.9	3.9	4.5	7.2	8.3	5.4	3.9	7.8

A blank cells: Values were under the limit of quantitation (2.8 µg/unit/h).

\*: The compounds for which the guideline values have been set by the Ministry of Health, Labour and Welfare.

**Table 3** Estimated increment of 62 volatile organic compounds caused by furniture

	Estimated Increment ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )								
	Sample No.								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>n</i> -Hexane									
Chloroform		4.6							
2,4-Dimethylpentane/Methylcyclopentane									
Methylcyclopentane/2,4-Dimethylpentane									
1,1,1-Trichloroethane									
1-Butanol		24.9	3.9	6.3		9.7	1.6	1.0	1.8
Benzene									
1-Methoxy-2-propanol		14.5	3.4	2.1		3.2			1.2
Carbon tetrachloride									
Cyclohexane						48.0			
2-Methylhexane		0.5							
3-Methylhexane									
Trichloroethylene									2.2
2,2,4-Trimethylpentane									
<i>n</i> -Heptane									
Methylisobutylketone	1.6	1.6	3.9	1.5	1.4				3.3
Methylcyclohexane				0.9	0.9	186.5			
Isobutyl acetate	1.2		16.1		0.3				
Toluene* ( $260 \text{ mg}/\text{m}^3$ )	83.5	52.3	10.2	12.4	12.8	55.8	44.1	101.0	87.3
1,4-Dimethylcyclohexane									
Butyl acetate	13.8		70.6	23.4	11.6	60.2	2.6	5.6	15.0
<i>n</i> -Octane								0.8	
Tetrachloroethylene			0.4						0.4
1,4-Dimethylcyclohexane									
Ethylbenzene* ( $3800 \text{ mg}/\text{m}^3$ )	9.3	74.6	4.4	8.2	2.2	3.3	2.1	0.5	2.5
<i>m, p</i> -Xylene* ( $870 \text{ mg}/\text{m}^3$ )	7.2	81.6	4.5	7.8	5.9	2.7	3.1	0.5	2.5
2-Methyloctane							2.0		
3-Methyloctane									
Styrene* ( $220 \text{ mg}/\text{m}^3$ )	0.6	14.1	3.4	12.7	9.9		1.1	0.7	1.1
<i>o</i> -Xylene* ( $870 \text{ mg}/\text{m}^3$ )	3.0	51.4	3.5	3.4	2.8	0.7	1.5		1.0
<i>n</i> -Nonane		1.8						1.5	0.5
Isopropylbenzene	0.4	10.1	0.3		0.3	1.0			
3,5-Dimethyloctane									
$\alpha$ -Pinene		18.0		0.3	2.6	184.9			3.4
<i>n</i> -Propylbenzene	2.5	23.9			2.3	3.0			
(+/-)-Camphene						8.0			
Phenol			4.2	1.8	0.8		0.8	1.9	1.6
1,3,5-Trimethylbenzene	3.2	13.7		0.5	1.8	7.5			
2-Methylnonane								1.3	
$\alpha$ -Methylstyrene									
2-Ethyltoluene	3.5	16.9		0.3	2.5	7.0			
$\beta$ -Pinene					0.5	3.2			0.3
2-Pentylfuran	0.4			1.2	0.3				
1,2,4-Trimethylbenzene	23.4		0.9	1.6	13.0	39.4	0.4		1.2
<i>n</i> -Decane								20.4	2.9
1,4-Dichlorobenzene									
3-Carene		2.4			0.3	38.3			0.4
1,2,3-Trimethylbenzene	5.4	11.3	0.6	0.5	2.3	11.7			
Limonene			0.5			18.6			0.3
1-Methyl-3-propylbenzene	1.4	1.6	0.3		0.5	1.6			
<i>n</i> -Butylbenzene					0.2				
<i>n</i> -Undecane		0.9	0.3			0.5	0.7	8.5	2.0
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	1.4	1.8	2.3		0.5	4.7			
1,3,5-Trichlorobenzene									
Camphor		0.4		0.5	0.6	3.6		0.5	
Naphthalene	1.6	5.7	1.3	0.4	0.6	8.0		0.3	
<i>n</i> -Dodecane	1.2	1.2	0.5	0.2	0.2	1.0	3.2	17.4	4.0
<i>n</i> -Tridecane	3.5	1.1	0.8	0.4		0.8	4.9	0.6	0.4
<i>n</i> -Tetradecane	4.9	1.1	1.1	0.4	0.6	0.8	2.4	7.2	5.7
<i>n</i> -Pentadecane	3.1	0.5	0.6	0.4	0.5	0.2	0.7		
TXIB	47.8	4.3	1.4	1.4	7.7	1.7	1.2	1.3	24.7
<i>n</i> -Hexadecane	1.1	0.3	0.4	0.4	0.7	0.8	0.5	0.4	0.8

A blank cells: Values were under the limit of quantitation ( $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

\*: The compounds for which the guideline values have been set by the Ministry of Health, Labour and Welfare.

The values in parentheses signify the guidelines for indoor air.

<sup>1)</sup>: as Xylene

**Table 4** The tentatively identified compounds emitted from furniture

Sample No.	Rt <sup>1)</sup> (min)	Components	Estimated increment (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>2)</sup>
1	5.187	2-Methyl-1-propanol	197
	5.843	Unknown1 (Acetic acid)	121
	8.727	Toluene	93
	12.940	2-Butoxyethanol	52
	33.463	Unknown (2-Methylpropanoic acid anhydride)	52
	16.277	1,3,5-Trimethylbenzene	24
	9.327	Hexanal	17
	3.823	Methyl acetate	14
	10.497	4-Hydroxy-4-methyl-2-pentanone	13
	31.387	2,4,6-Tris (1,1-dimethylethyl)-4-methylcyclohexa-2,5-dien-1-one	13
	9.877	Butyl acetate	12
	11.747	Ethylbenzene	11
	5.867	3,4-Dimethyldihydrofuran-2,5-dione	10
	2	11.460	Unknown (1-Methoxy-2-propyl acetate)
16.277		Unknown (1,3,5-Trimethylbenzene)	154
9.870		Butyl acetate	151
12.020		Xylene	87
12.250		Cyclohexanone	86
12.607		2-Ethoxyethyl acetate	85
11.740		Ethylbenzene	73
11.463		Unknown (1-Methoxy-2-propyl acetate)	72
12.813		Xylene	53
29.540		Longifolene	52
8.717		Toluene	51
6.870		Acetic acid	48
15.143		1-Ethyl-2-methylbenzene	39
4.913		Unknown (Dimethyl carbonate)	37
14.903		Propylbenzene	24
15.770		1-Ethyl-2-methylbenzene	16
14.607		3,6,6-Trimethylbicyclo [3.1.1] hept-2-ene	15
5.870		1-Butanol	14
12.630		Styrene	14
29.747		Caryophyllene	13
15.403	1,3,5-Trimethylbenzene	13	
13.900	(1-Methylethyl)-benzene	10	
3	11.450	1-Methoxy-2-propyl acetate	282
	12.237	Cyclohexanone	88
	9.867	Butyl acetate	61
	11.453	Unknown (1-Methoxy-2-propyl acetate)	29
	8.403	N,N-Dimethylformamide	24
	4.803	Acetic acid	16
	8.687	2-Methylpropyl acetate	14
	16.023	Tetramethylbutanedinitrile	11
	8.727	Toluene	10
4	4.860	Acetic acid	181
	9.313	Hexanal	65
	12.593	2-Ethoxyethyl acetate	62
	29.540	Longifolene	23
	9.863	Butyl acetate	21
	4.917	Ethyl acetate	13
	12.630	Styrene	12
	8.727	Toluene	12
	6.487	Pentanal	12
	5.190	2-Methyl-1-propanol	11

5	6.147	Acetic acid	111
	29.770	Caryophyllene	43
	5.880	1-Butanol	15
	5.200	2-Methyl-1-propanol	14
	16.287	1,3,5-Trimethyl-benzene	13
	8.740	Toluene	12
	3.833	Methyl acetate	11
	9.890	Butyl acetate	10
6	11.433	Unknown (1-Methoxy-2-propyl acetate)	157
	14.597	$\alpha$ -Pinene	156
	4.783	Acetic acid	141
	15.223	3-Methoxybutyl acetate	106
	7.767	Methylcyclohexane	104
	4.907	Ethyl Acetate	67
	8.720	Toluene	50
	9.853	Butyl acetate	48
	16.257	1,3,5-Trimethylbenzene	35
	17.093	3-Carene	33
	27.733	3-Hydroxy-2,2,4-trimethylpentyl isobutyrate	29
	3.823	Methyl acetate	28
	17.627	d-Limonene	24
	12.913	2-Butoxyethanol	22
	27.297	(1-Hydroxy-2,4,4-trimethylpentan-3-yl) 2-methylpropanoate	21
	18.180	Unknown (2,3-Dimethoxy-2-methylbutane)	20
	13.183	3-Methoxy-3-methylbutanol	15
	32.047	d-Cadinene	14
15.127	1-Ethyl-2-methylbenzene	13	
29.493	$\alpha$ -Gurjunene	11	
29.740	Caryophyllene	10	
7	8.710	Toluene	40
	29.530	Longifolene	27
	12.230	Cyclohexanone	24
	31.373	2,4,6-Tris (1,1-dimethylethyl)-4-methylcyclohexa-2,5-dien-1-one	14
8	12.233	Cyclohexanone	192
	8.720	Toluene	95
	16.690	Decane	25
	23.047	Dodecane	22
	19.953	Undecane	10
9	3.867	Methylenechloride	187
	12.250	Cyclohexanone	101
	8.737	Toluene	76
	4.577	2-Butanone	55
	31.400	2,4,6-Tris (1,1-dimethylethyl)-4-methylcyclohexa-2,5-dien-1-one	25
	8.650	N,N-dimethylformamide	20
	33.477	Unknown (2-Methylpropanoic acid anhydride)	16
	11.460	1-Methoxy-2-propyl acetate	15
9.883	Butyl acetate	11	

The compounds emitted from furniture were identified tentatively by TD-GC/MS and deconvolution analysis. The table showed the compounds of the estimated increment that exceeded 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

<sup>1)</sup> Retention time

<sup>2)</sup>  $\mu\text{g}$  as toluene equivalent

最も高い TVOC の放散が認められたダイニングテーブルは formaldehyde 対策 (F☆☆☆クラス以上の材料を使用) に加えて「有機溶剤対策 (トルエン, キシレ

ン, エチルベンゼンなど有害な有機溶剤をほとんど含まない非トルエン・キシレン塗料 (社団法人・日本塗料工業会の呼称) を使用) 」, 「VOC 対策 (厚生労働省が定め

たいくつかの有害物質の空气中濃度指針値をクリアできるように、該当物質を含む原材料をほとんど使用していない」と表示されているにもかかわらず、他製品と比較しても toluene, xylene 及び ethylbenzene の放散速度が高く (Table 2, Table 3), 家具の品質表示の妥当性を再考する必要があると考えられる。また、デコンポリューション解析の結果から暫定的に同定された化合物として、定量対象化合物以外に、2-butoxyethanol や 2-ethoxyethyl acetate のようなグリコールエーテル類が検出された (Table 4)。グリコールエーテル類は塗料や印刷インキ等の溶剤、界面活性剤、化粧品原料等とし

て多用されており、ある種のグリコールエーテル類には動物実験において多量摂取による生殖毒性や中枢神経系に対する影響も報告されていることから、室内環境中での暴露実態を把握することが重要であろう。

### 3.2 小形チャンバー法による放散試験

今回の調査では、大形チャンバー法による放散試験終了後に主要な 3 部位について小形チャンバー法による放散試験を行い、小形チャンバー法を用いて実際の大型家具からの放散化学物質及び放散速度を予測出来るか否かについて評価した。Table 5 は TVOC 及びアルデヒド

**Table 5** Emission rate of TVOC and aldehydes from furniture estimated small chamber test methods

Sample No.	Emission Rate per Furniture Unit <sup>1)</sup> (A)	Emission Rate per Representative Parts Area <sup>2)</sup>			Estimated Emission Rate <sup>3)</sup> (B)	((B)/(A)) × 100 <sup>4)</sup>
		①	②	③		
<b>TVOC</b>						
1	8060	127	186	47	318	4
2	16818	3240	4628	265	7777	46
3	5973	668	789	113	1430	24
4	3520	619	33	30	705	20
5	3958	693	69	9	958	24
6	11966	2603	1357	68	1800	15
7	2584	55	92	8	146	6
8	4539	72	68	2	169	4
9	3604	35	74	3	125	3
<b>Acetaldehyde</b>						
1	24	<5	<5	<5	—	—
2	36	80	133	<5	205	564
3	10	45	69	<5	103	1067
4	186	7	14	7	28	15
5	128	30	13	<5	53	42
6	200	<5	44	<5	53	26
7	18	<5	<5	<5	—	—
8	<7	<5	<5	<5	—	—
9	13	<5	<5	<5	—	—
<b>Formaldehyde</b>						
1	2570	143	79	9	206	8
2	85	89	134	<5	215	252
3	33	<5	<5	<5	—	—
4	2890	5	48	78	163	6
5	457	115	<5	40	222	49
6	1390	<5	16	171	420	30
7	119	<5	10	<5	12	10
8	27	<5	<5	<5	—	—
9	143	<5	<5	61	38	27

<sup>1)</sup>: Emission rate per furniture unit (µg toluene eq/unit·h; TVOC, µg/unit·h; aldehydes) was evaluated by a large chamber test method.

<sup>2)</sup>: Emission rate per representative area of furniture (µg/unit·h; TVOC, µg/m<sup>2</sup>·h; aldehydes) was evaluated by a small chamber test method.

<sup>3)</sup>: Estimated emission rate (µg toluene eq/unit·h; TVOC, µg/unit·h; aldehydes) was calculated from representative parts area and its emission rate evaluated by small chamber test method.

<sup>4)</sup>: Percentage (%) of estimated emission rate to actual measurement value of emission rate.

類について、小形チャンバー法により測定した主要部位の放散速度と製品の各部位の面積を基に単位製品あたりの放散速度を予測し、この予測値を大形チャンバー法で測定した放散速度に対する割合(%)で示したものである。その結果、小形チャンバー法による放散速度の予測値は、TVOCについては大形チャンバー法の3~46%、formaldehydeについては6~252%、acetaldehydeについては15~1067%であり、9製品中2製品を除き全て大形チャンバーによる測定値の方が小形チャンバー法による予測値に比べて大きい値となった(Table 5)。

小形チャンバー法は、シックハウス対策のために建材・施工剤からの汚染物質の放散量を測定する方法として規格化された方法であり、実際に鈴木らは木製家具等に使用される木質材料からのホルムアルデヒドの放散量について大形チャンバー法による放散試験の結果と、小形チャンバーによる測定結果に高い相関性のあることを報告している<sup>5)</sup>。しかし、複数の素材及び接着・施工剤から構成される構造の複雑な家庭用品について小形チャンバー法により精度の高い予測方法を確立するためには、製品内で局所的に使用される可能性のある部材、例えば接着剤等が化学物質の放散源となっている場合を想定し、1製品について小形チャンバー法で測定する箇所を増やすことが望ましいが、費用対効果の観点から問題が多い。また、小形チャンバー法を適用するには製品を平面として所定の大きさに裁断することが必要であり、小形チャンバー法を適用できる製品中の部位は極めて限られる。今後、大型家具をはじめとする様々な家庭用品からの放散化学物質並びにその放散速度を評価するための簡便かつ迅速な方法を確立する必要があると考えられる。

## 謝 辞

本研究は、平成20年度厚生労働省化学物質安全対策費(家庭用品等試験検査費)により行われた。

## 参考文献

- 1) シックハウス(室内空気汚染)対策:厚生労働省・医薬食品局化学物質安全対策室・化学物質の安全対策ホームページ(<http://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/seikatu/kagaku/>)
- 2) 建築基準法に基づくシックハウス対策について:国土交通省・建築行政ホームページ(<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/sickhouse.html>)
- 3) Tanaka-Kagawa, T., Jinno, H., Furukawa, Y., Nishimura, T.: Volatile organic compounds (VOCs) emitted from furniture and electrical appliances. *Bull. Natl. Inst. Health Sci.*, **128**, 71-77 (2010)
- 4) 神野透人ら:家庭用品から放散される揮発性有機化合物の測定方法に関する研究.平成17年度厚生労働科学研究費補助金・化学物質リスク研究事業分担研究報告書(2006)
- 5) 鈴木昌樹,朝倉靖弘,石井 誠:大形チャンバー法による木製家具からのホルムアルデヒド放散量測定.日本建築学会環境系論文集, **615**, 39-44 (2007)