

カビ汚染が疑われた室内空間における 微生物由来揮発性有機化合物 (MVOC) の濃度

Concentration of Microbial Volatile Organic Compounds in Indoor Air
in Areas Suspected Mold Contamination

武内 伸治 小島 弘幸 小林 智

Shinji TAKEUCHI, Hiroyuki KOJIMA and Satoshi KOBAYASHI

Microbial volatile organic compounds (MVOCs) are chemicals released from microorganisms and speculated to cause deleterious effects on human health in buildings polluted by mold. In this study, we established the analytical method of 22 MVOCs using thermal desorption GC/MS, and measured those MVOCs at eight sampling points in four cases in which mold pollution was suspected in a college (Case 1), an office (Case 2), a laboratory (Case 3), and a lakeside cottage (Case 4). As a result, total MVOCs in the four cases were found to be 12.3~76.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Among the MVOCs tested, 3-octanone was detected at the highest concentrations (26.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in a laboratory in the office. 2-Methyl-1-propanol and 3-methylbutan-2-ol were mainly detected at some sampling points in Cases 1~3. On the other hand, 2-pentylfuran and α -terpineol were predominantly detected in Case 4. The MVOC pattern in each case was unique. These results suggest that several MVOCs exist in indoor air in buildings polluted with mold. Those MVOCs might be the cause of some students complaining of discomfort due to unpleasant odors and health problems in Case 1. Further study of MVOCs in indoor environments is needed in order to elucidate their effects on health.

Key words : volatile organic compound (VOC, 揮発性有機化合物) ; microbial volatile organic compound (MVOC, 微生物が産生する VOCs) ; indoor air (室内空気) ; sick-house syndrome (シックハウス症候群)

緒 言

住宅の高気密化や揮発性化学物質 (VOC) を含む接着剤や合板などの建材の使用により、粘膜刺激や不定愁訴などのシックハウス症候群が頻発し、1990年代には社会問題となった。厚生労働省は、シックハウス症対策として1996~2002年にかけて、13化学物質に対して室内空気中濃度の指針値を順次制定した。さらに建設省による建築基準法改正や住宅メーカーの企業努力なども功を奏し、現時点では新築住宅における化学物質の室内空気中濃度は全体的に大幅な改善が見られている。それでもなお、前述の13物質以外の「未規制化学物質」については、いまだに室内空気汚染による健康被害事例が散発している¹⁾。

一方、室内環境中の微生物も、シックハウス症候群発症の原因因子の一つと考えられており、特にカビについては、室内空気中に浮遊する胞子や住宅内に棲息するカビの種類など、様々な研究がなされてきた²⁾。さらに、微生物が産生する揮発性有機化合物 (MVOC) も未規制化学物質の一群であるが、近年、MVOCがシックハウス症候群やアレルギー疾患の症状の誘発への関与が疑われており、カビ

汚染の指標としても注目されている^{3,4)}。

MVOCの室内空気中濃度は、かつてシックハウス症候群を全国各地で引き起したトルエンやホルムアルデヒドと比較すると、一般的にかなり低いレベルである⁵⁾。ただし、MVOCは総量で8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ という低い濃度レベルを超えるとアレルギー反応を示す人の割合が増加するという記述⁶⁾や、1-オクテン-3-オールの室内空気中濃度がアレルギー性鼻炎の発症率に有意に相関する(性、年齢、喫煙状況などの影響を補正した値)という報告⁷⁾も存在する。

カビから放出されるMVOCの種類や量は、カビの種類、棲息環境、栄養状態、カビの生育段階などによって変化することが指摘されている⁸⁾。このことから、MVOCを室内環境評価に用いるためには、より多くの事例においてMVOCに関する情報を集めていくことが必要である。さらに、MVOC測定はMVOC自体による室内空気の汚染状況を調べる目的だけでなく、建物の躯体内部など室内から見えない部分のカビによる室内空気汚染についても情報を得ることが期待できる⁹⁾。

本研究では、カビ汚染が疑われる室内空間において、空气中に含まれるMVOCの種類や濃度について知見を得る

ことを目的とした。カビ培養容器内の空気分析により、MVOCは約150物質以上存在すると報告されている¹⁰⁾が、微生物から放出された後に化学変化した二次的生成物や、広く環境中に存在する物質はMVOC測定対象物として適さない。そこで過去の調査研究事例^{7,11,13)}等から選択した22物質について、揮発性化学物質の測定に適した加熱脱着法による測定法を確立した。次にこの手法を用いて、カビ臭が認められる場所や高い湿度に長期間晒される場所など、カビ汚染が疑われる室内空間のMVOC測定を行った。測定対象空間は4事例(①カビ臭による不快感を生徒が訴える専門学校、②環境測定会社のカビ臭がする実験室、③蒸留装置の湯気が充満する実験室の流し下収納、④湖畔のログハウス)であり、合計8カ所で室内空気中のMVOC測定を行った。その結果、それぞれの地点で様々なMVOCが検出されたので、得られた知見について報告する。

方 法

1. 試薬及び器材

MVOC標準品として以下の試薬を用いた。和光純薬(株)製17試薬；2-メチルフラン(2-Methylfuran, >98.0%)、3-メチルフラン(3-Methylfuran, >98.0%)、2-メチル-1-プロパノール(2-Methyl-1-propanol, >98.0%)、2-ペンタノール(2-Pentanol, >97.0%)、1,4-ジオキサン(1,4-Dioxane, >99.5%)、3-メチル-1-ブタノール(3-Methyl-1-butanol, >98.0%)、2-メチル-1-ブタノール((±)-2-Methyl-1-butanol, >98.0%)、イソ酪酸エチル(Ethyl isobutyrate, >98.0%)、二硫化ジメチル(Dimethyl disulfide, >99.0%)、1-ペンタノール(1-Pentanol, >98.0%)、酢酸イソブチル(Isobutyl acetate, >98.0%)、2-ヘキサノン(2-Hexanone, >95.0%)、2-ヘプタノン(2-Heptanone, >98.0%)、1-オクテン-3-オール(1-Octen-3-ol)、3-オクタノン(3-Octanone)、2-ペンチルフラン(2-Pentylfuran)、 α -テルピネオール(α -Terpineol, >98.0%)、関東化学(株)製

1試薬；2-メチル-2-ブタノール(2-Methyl-2-butanol, >98.0%)、東京化成(株)製1試薬；3-オクタノール(3-Octanol)、Alfa Aesar社製2試薬；2-オクテン-1-オール(*trans*-2-Octen-1-ol, >97%)、3-メチル-2-ブタノール(3-Methyl-2-butanol, >98%)、Aldrich社製1試薬；2-イソプロピル-3-メトキシピラジン(2-Isopropyl-3-methoxypyrazine, >97%)。内部標準物質として関東化学(株)製トルエン- d_8 (Toluene- d_8 , >99.5%)を用いた。なお、化学物質番号(No.)と化学物質名(英名)をTable 1に示し、化学構造式をFig. 1に示した。

Table 1 Retention Times and Monitored Ions of the 22 MVOCs

No.	Chemical name	RT (min)	Quantitated Monitored ions	
			ions (m/z)	ions (m/z)
1	2-Methylfuran	13.29	82	53 81
2	3-Methylfuran	13.91	82	53 81
3	2-Methyl-1-propanol	14.85	43	41 42
4	2-Methyl-2-butanol	15.68	59	73 55
5	3-Methyl-2-butanol	18.38	45	55 73
6	2-Pentanol	19.59	45	55 43
7	1,4-Dioxane	21.92	88	58 43
8	3-Methyl-1-butanol	21.99	55	70 42
9	2-Methyl-1-butanol	22.13	57	56 41
10	Ethyl isobutyrate	23.37	43	71 88
11	Dimethyldisulfide	23.61	94	79 45
12	1-Pentanol	23.93	42	55 70
13	Isobutyl acetate	24.29	43	56 73
14	2-Hexanone	25.78	43	58 100
15	2-Heptanone	30.23	43	58 71
16	1-Octen-3-ol	32.91	57	43 72
17	3-Octanol	33.27	59	83 55
18	2-Pentylfuran	33.27	81	82 138
19	3-Octanone	33.33	43	57 99
20	2-Octen-1-ol	35.43	57	55 41
21	2-Isopropyl-3-methoxypyrazine	36.42	137	152 124
22	α -Terpineol	38.89	59	93 121

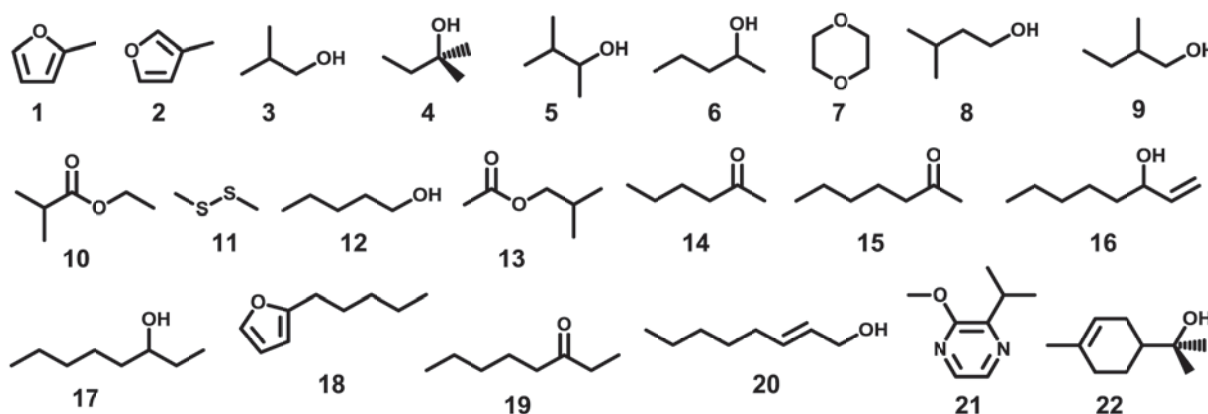


Fig. 1 Chemical Structures of the 22 MVOCs Measured in This Study

Numbers under the chemical structures correspond to those of MVOCs as shown in Table 1.

MVOCの捕集には、ガステック社製GSP-250FTポンプを用い、12または24時間100 mL/minの流速で空気中MVOC採取を行った。MVOC吸着剤として、スペルコ社製TenaxTA(60/80 mesh)及びスペルコ社製Carboxen1000(60/80 mesh)を用いた。空気試料採取空間の温湿度測定には、T&D(株)製おんどりRH TR-72Sを用いた。

2. 測定対象空間

それぞれの測定対象空間については、現場写真をFig. 2に示した。

1) 事例1：専門学校(札幌市、鉄筋コンクリート造、築40年以上)

測定場所：①カビ臭の苦情が出た更衣室、②生徒が臭いによる不快感を訴えた教室、③実験室、④実験室にある暖房使用時に臭いが吹き出すダクトの内部

空気採取日：2011年8月8～9日(24h)

2) 事例2：3階建事業所(札幌市、木造、築30年以上)

測定場所：①カビ臭がする1階作業室、②対照として同建築物内の3階物置

空気採取日：2011年8月24～25日(24h)

3) 事例3：実験室(札幌市、鉄筋コンクリート造、築40年以上)

測定場所：温水廃棄時に湯気が充満する流し下収納

空気採取日：2011年7月21～22日(24h)

4) 事例4：湖畔の平屋建てログハウス(芦別市、木造、築11年、2LDK)

測定場所：居室

空気採取日：2011年8月5～6日(12h)

3. MVOCの定量(加熱脱着法)

空気捕集管は、世古らの報告¹²⁾に従って、ガラス管(89 mm×4 mm i.d.)にTenaxTA 100 mgとCarboxen1000 70 mgを2層に充填したものをを用いた。GSP-250FTポンプに空気捕集管を接続し、室内空気を100 mL/minで30分間採取した。捕集管に吸着したVOCを加熱脱着法により以下の条件で分析を行った。なお、内部標準物質としてトルエン-d₈を用いた。

加熱脱着装置付GC/MS装置：パーキンエルマー社製TurboMatrix650ATD、捕集管脱着温度：300°C、スプリット比：10%、捕集管脱着時間：10 min、コールドトラップ温度：4°C、コールドトラップ脱着温度：300°C、コールドトラップ脱着時間：30 min、キャピラリーカラム：Rtx Volatile(0.25 mm i.d.×60 m、膜厚1 μm)、イオン源温度：220°C、キャリアーガス：He 120 kPa、イオン化法：EI、カラム昇温条件：40°C(10 min)→4°C/min→100°C→8°C/min→270°C(8.75 min)。定量はSIM(Selected Ion Monitoring)モードで行った。定量イオンと参照イオンについてはTable 1に示し、MVOC 22物質のトータルイオンクロマトグラムをFig. 3に示した。

結果及び考察

事例1の専門学校におけるMVOC 22物質の合計濃度は、4カ所で12.3～17.8 μg/m³であり、実験室のダクト内部>実験室>教室>更衣室の順序であった(Table 2)。22物質の中で最も高い濃度で検出されたMVOCは、いずれの地点も2-メチル-1-プロパノールであり、測定箇所の濃度の順序は合計濃度のときと同じであった(4.4～8.9 μg/m³, Table 2)。中島らは、2-メチル-1-プロパノールを産生するカビとして、コウジカビ(*Aspergillus flavus*, *A. fumigatus*, *A. ochraceus*)、フザリウム属のカビ(*Fusarium Sacchari*, *F. oxysporum*)、アオカビ(*Penicillium arenicola*)、不完全菌のカビ(*Trichoderma viride*, *T. harzianum*)を報告している¹³⁾。

実験室及び実験室のダクトにおいて他の2カ所(更衣室、教室)よりも空気中濃度が高かったMVOCは、3-メチル-2-ブタノール、1,4-ジオキササン、1-ペンタノールであった(Table 2)。

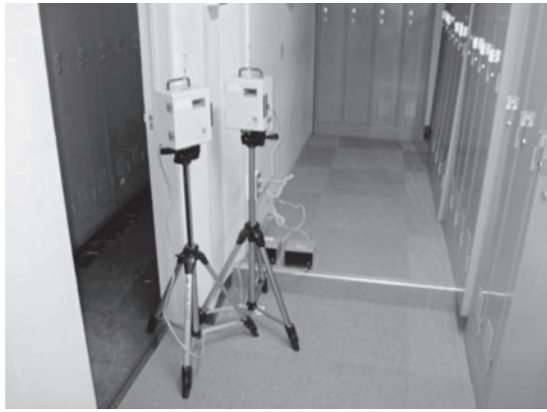
一方、3-オクタノンが更衣室において他の3地点よりも高い濃度で検出された。なお、コウジカビ(*Aspergillus niger*)が3-オクタノンを産生することが、中島らにより報告されている¹³⁾。

事例2の木造事業所では、本研究の4事例で最も高いMVOC合計濃度が検出された(56.3及び76.3 μg/m³, Table 2)。この事業所内の1階実験室では、湿度がほぼ100%に近く、3-オクタノンが本研究では最高の26.5 μg/m³の濃度で検出された(Table 2)。これは事例1で最も濃度が高かった更衣室の約10倍の濃度であり、本研究のMVOC測定結果の中で最も高い濃度である。また、多種のカビが産生することが報告されている1-オクテン-3-オール¹³⁾が4事例中最も高濃度であった(1.1 μg/m³)。1-オクテン-3-オールの室内空気中濃度は、カビの発生状況²⁾やアレルギー性鼻炎の発症率⁷⁾と弱い相関があることが報告されている。

この他に実験室で比較的高濃度であったのは、酢酸イソブチル(8.1 μg/m³, Table 2)であった。ただし、酢酸イソブチルは事例4の湖畔のログハウスでも比較的高濃度で検出された(5.8 μg/m³, Table 2)ことから、木材建築物で濃度が高くなる傾向を有する可能性も考えられる。

反対に、事例2では1階実験室よりも3階の倉庫において高濃度で検出されたMVOCもいくつか存在した。例えば、3-メチル-2-ブタノールは実験室の4倍以上の濃度(17.9 μg/m³)で検出され、1-ペンタノールは実験室の60倍の濃度(6.0 μg/m³)で検出された。さらに、事例1においてダクト内で2-メチル-1-プロパノールが高濃度で検出されたが、本事例ではさらに高濃度で検出された(10.9 μg/m³, Table 2)。

一方、2-メチル-1-ブタノールが他の事例よりも多く検出され、その濃度は実験室と倉庫で同程度(7.4及び7.5 μg/m³)であった。なお、コウジカビ(*Aspergillus*



a) Locker room in the college



b) Classroom in the college



c) Laboratory in the college



d) Heating duct in the lab. in the college



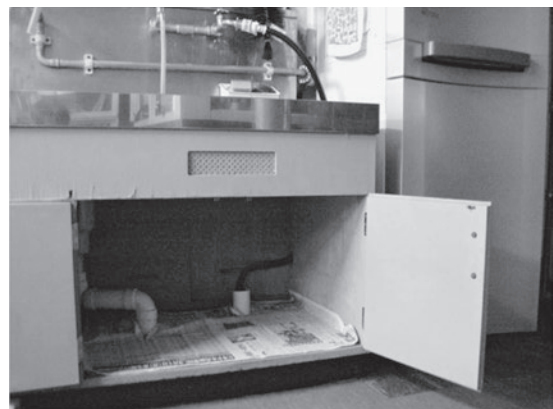
e) Laboratory in the company



f) Storage room in the company



g) Play room in the lakeside cottage



h) Storage space under sink in the laboratory

Fig. 2 Photographs of Sampling Points

Table 2 MVOC Concentrations in Indoor Air and Sampling Conditions at the Sampling Points ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No.	Chemical name	College				Company			Laboratory		Lakeside cottage
		B1F Locker room	2F Classroom	3F Laboratory	3F Heating duct in the laboratory	1F Laboratory	3F Storage room	3F Storage space under sink	1F Play room		
1	2-Methylfuran	<0.1	<0.1	0.1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.3		
2	3-Methylfuran	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	<0.1	0.1		
3	2-Methyl-1-propanol	4.4	4.9	6.6	8.9	2.2	10.9	3.4	<0.1		
4	2-Methyl-2-butanol	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	0.4	<0.1	<0.1	<0.1		
5	3-Methyl-2-butanol	1.5	1.4	3.1	3.0	3.8	17.9	11.1	<0.1		
6	2-Pentanol	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	<0.1		
7	1,4-Dioxane	0.2	0.3	0.5	0.5	0.8	0.6	0.3	<0.1		
8	3-Methyl-1-butanol	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	<0.1	0.4	<0.1		
9	2-Methyl-1-butanol	1.5	1.3	<0.1	<0.1	7.4	7.5	0.1	<0.1		
10	Ethyl isobutyrate	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
11	Dimethyldisulfide	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.6	0.3	0.1	<0.1		
12	1-Pentanol	1.1	1.0	1.6	1.8	0.1	6.0	0.4	1.1		
13	Isobutyl acetate	0.4	0.3	0.3	0.4	8.1	4.9	0.1	5.6		
14	2-Hexanone	0.3	0.2	0.2	0.2	<0.1	0.1	0.1	<0.1		
15	2-Heptanone	1.6	1.5	1.3	1.4	0.2	5.6	0.3	3.4		
16	1-Octen-3-ol	0.4	0.1	0.3	0.3	1.1	0.3	0.2	0.9		
17	3-Octanol	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
18	2-Pentylfuran	<0.1	<0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	2.4		
19	3-Octanone	2.7	0.7	0.5	0.5	26.5	16.7	0.1	5.8		
20	2-Octen-1-ol	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	3.6	4.7	0.7	<0.1		
21	2-Isopropyl-3-methoxy-pyrazine	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.1	<0.1	0.1		
22	α -Terpineol	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.1	0.2	5.5		
Total		14.5	12.3	14.9	17.8	56.3	76.3	17.8	25.1		
Sampling dates		2011. 8. 8-9				2011. 8. 24-25			2011. 7. 21-22		2011. 8. 5-6
Average temperature (°C)		25.9	32.0	31.2	31.7	22.4	27.4	27.1	26.5		
Average humidity (%)		44	50	52	51	98	49	49	71		

Indoor air was passed through a sampling tube equipped with a two-stage sorbent (TenaxTA and Carboxen 1000)¹² at a flow rate of 100 mL/min for 24h (12h in the lakeside cottage). The captured MVOCs were analyzed by GC/MS equipped with a thermal desorbing system.

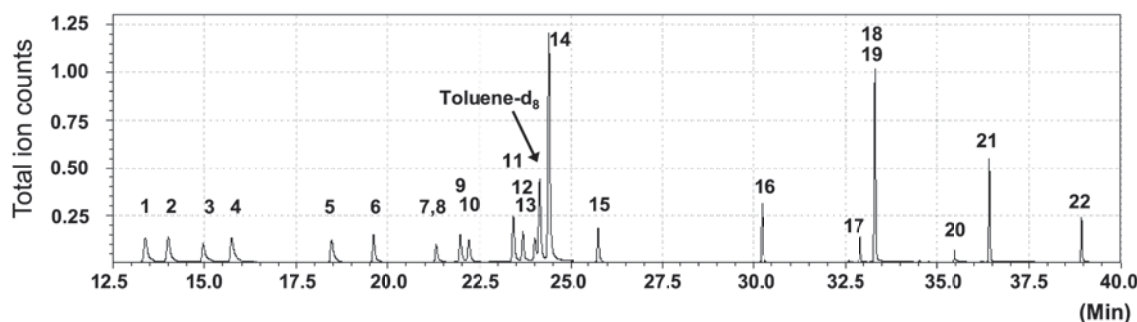


Fig. 3 Total Ion Chromatograms Obtained by GC/MS for the 22 MVOCs
Numbers in the chromatogram express MVOCs as shown in Table 1.

ochraceus) やフザリウム属のカビ (*Fusarium Sacchari*, *F. oxysporum*) が2-メチル-1-ブタノールを産生することが報告されている¹³⁾。またカナダでの研究では、カビの発生状況と2-メチル-1-ブタノール濃度に弱い相関があることが報告されている³⁾。

事例3の温水の湯気がこもるシンク下の収納のMVOC測定の結果、最も高濃度で検出されたのは、3-メチル-2-ブタノールと2-メチル-1-プロパノールであった (11.1及び3.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Table 2)。これら2物質の濃度が高い点では事例2の倉庫の結果に似ているが、その他のMVOC濃度がいずれも低い点では大きく異なっている。3-メチル-1-ブタノールは0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と濃度は低いものの、4事例の中で一番高い濃度を示した。3-メチル-1-ブタノールも2-メチル-1-プロパノールと同様に多種類のカビにより産生されることが報告されている¹³⁾。

事例4の湖畔のログハウスの測定結果から、他の事例と比較して高濃度で検出されたMVOCとして、2-ペンチルフラン、 α -テルピネオールが挙げられる (2.4及び5.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Table 2)。アオカビ (*Penicillium arenicola*)、不完全菌のカビ (*Cladosporium cladosporioides*) が2-ペンチルフランを産生すること及び、コウジカビ (*Aspergillus niger*) が α -テルピネオールを産生することが報告されている¹³⁾。ただし、 α -テルピネオールについては、木材の精油成分由来の可能性も十分に考えられる。

カビによる室内空気汚染が疑われた4事例において、22 MVOCの合計は12.3~76.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、個々事例におけるMVOCの濃度パターンは大きく異なっていた。MVOCの合計値は、厚生労働省の総揮発性有機化合物 (TVOC) の暫定目標値 (400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) を大きく下回っていたが、MVOCやカビ自体の健康影響を考慮すると、この目標値のみでは評価することはできない。例えば、MVOC総量で8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上でアレルギー反応を示す人の割合が増加し、30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるとほとんどの人がアレルギー反応を示すという記述⁹⁾もあることから、低い濃度レベルでもMVOCについては注意が必要と考える。事例1は、臭いによる不快感や健康影響が生じた事例であったが、本研究で検出されたMVOCが原因である可能性は否

定できない。以上のことから、今後の更なるMVOC測定事例の積み重ねにより、MVOC濃度と健康影響、あるいはカビ汚染状況との関わりを明らかにすることが必要である。またMVOC測定を用いて室内の微生物汚染状況をより詳細に評価することが可能になると考える。

結 語

MVOC 22物質の加熱脱着法を用いた測定法を確立し、カビによる室内空気汚染が疑われる4事例8測定地点において、室内空气中MVOCの測定を行った。MVOC濃度の合計は12.3~76.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、各事例において高濃度で検出されるMVOCの種類は異なっており、多くのMVOCを測定することが室内環境の微生物汚染評価に繋がることが期待された。いずれのMVOCが健康影響に関与するかを明らかにすることと共に、より多種類の室内空气中MVOCの測定についても、今後の更なる研究が必要と考える。

本研究は平成22年度より開始された一般研究「室内空气中微生物由来VOC (MVOC) の分析法の開発と問題住宅における実態調査」の一環として行われたことを付記する。終りに臨み、本調査研究にご協力頂いた方々に深謝いたします。

文 献

- 1) 小林 智, 武内伸治, 小島弘幸, 高橋哲夫, 神 和夫, 秋津裕志, 伊佐治信一: 水性塗料成分1-メチル-2-ピロリドン及びテキサノールによる新築小学校の室内空気汚染. 室内環境, 13, 39-54 (2010)
- 2) 濱田信夫: 室内塵中のカビの歴史の変遷, 室内環境, 9, 132-133 (2006)
- 3) Schleibinger H, Laussmann D, Bornehag CG, Eis D, Rueden H: Microbial volatile organic compounds in the air of moldy and mold-free indoor environments. Indoor Air, 18, 113-124 (2008)
- 4) Täubel M, Sulyok M, Vishwanath V, Bloom E, Turunen M, Järvi K, Kauhanen E, Krska R, Hyvärinen A, Larsson L, Nevalainen A: Co-occurrence of toxic bacterial and fungal secondary metabolites in moisture-

- damaged indoor environments. *Indoor Air*, **21**, 368-375 (2011)
- 5) Ryan TJ, Beaucham C : Dominant microbial volatile organic compounds in 23 US homes. *Chemosphere*, **90**, 977-985 (2013)
 - 6) 浅野勝佳, 陰地義樹, 小川里恵, 中島大介, 影山志保, 白石不二雄, 高鳥浩介, 後藤純雄 : キャニスター捕集・マイクロパージトラップGC/MSによるMVOC測定とカビ汚染調査方法の検討. *室内環境*, **13**, 212-213 (2010)
 - 7) Araki A, Kanazawa A, Kawai T, Eitaki Y, Morimoto K, Nakayama K, Shibata E, Tanaka M, Takigawa T, Yoshimura T, Chikara H, Saijo Y, Kishi R : The relationship between exposure to microbial volatile organic compound and allergy prevalence in single-family homes. *Sci. Total Environ.*, **423**, 18-26 (2012)
 - 8) 水野 優, 伊藤一秀, 熊谷一清 : 室内環境中の微生物発育速度・MVOC放散のモデリングと数値予測手法の開発(その3) 5種類の真菌を対象としたMVOC放散量の測定. *室内環境*, **8**, 206-207 (2005)
 - 9) LeBouf RF, Schuckers SA, Rossner A : Preliminary assessment of a model to predict mold contamination based on microbial volatile organic compound profiles. *Sci. Total Environ.*, **408**, 3648-3653 (2010)
 - 10) Fiedler K, Schütz E, Geh S : Detection of microbial volatile organic compounds (MVOCs) produced by moulds on various materials. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, **204**, 111-121 (2001)
 - 11) Wessén B, Schoeps K-O : Microbial volatile organic compounds—What substances can be found in sick buildings? *Analyst*, **121**, 1203-1205 (1996)
 - 12) 世古民雄, 白倉浩一, 恩田宣彦 : 空気中の揮発性有機化合物分析における熱脱着法の吸着剤TenaxTA/Carboxen1000の特性. *分析化学*, **52**, 1215-1220 (2003)
 - 13) 中島大介, 石井瑠理, 影山志保, 峯木 茂, 陰地義樹, 諸岡信久, 後藤純雄 : 室内に生育する微生物から発生する揮発性有機化合物(MVOC)の検出法. *室内環境*, **9**, 276-277 (2004)