

第 8 章 計画換気を用いた工業化住宅 における室内空気質に関する研究

第 8 章 計画換気を用いた工業化住宅における室内空気質に関する研究

Research on Indoor Air Quality of Industrial House with Designed Ventilation

These days indoor air quality is one of the serious problems for a house according to progress in air tightness, decrease in ventilation rates, introduction of new construction materials, and so on. In this study, indoor Aldehydes, VOCs, and these emission rates from construction materials have measured in an industrial house with designed ventilation to investigate factors influencing on indoor air quality. The measurements have conducted in the several construction stages, 1) after completion of woodwork construction, 2) before wax coating of the floor, 3) after finishing of wax coating, 4) just after handing-over, and 5) two months after handing-over.

KEYWORDS: *Indoor air quality, Aldehydes, VOCs, Transient Behavior*

8-1 はじめに

近年、住宅の気密性の向上及び換気量の減少、新材の導入等にもとない室内空気汚染が問題となっている。これらに対し、厚生労働省による指針値の策定¹⁾、国土交通省による『住宅品質確保の促進等に関する法律』制度²⁾と様々な行政機関において対策案が提示されている。そこで、本研究では、室内空気質に影響を与える要因について検討することを目的とした化学物質の測定を行った結果について報告する。

8-2 測定対象住宅

対象とした住宅は、群馬県館林市に位置する新築木造戸建住宅であり、高气密・高断熱仕様（相当隙間面積 $1.0\text{cm}^2/\text{m}^2$ ）となっている。また、24 時間計画換気設備が設けられている。表 8-1 に表面材の仕様を示す。

表 8-1 住宅概要

属性項目	測定対象住宅	
竣工年月	2002 年 8 月	
構造・工法	木質プレハブ	
断熱材の仕様	外壁	グラスウール
	床	なし
	天井	なし
	屋根	
	基礎	ポリスチレンフォーム
	土間	

8-3 測定概要

2002 年 7 月 13 日～11 月 21 日に、表 8-2 に示す施工段階において空気質の測定を行った。なお、測定は厚生労働省の定める測定手順¹⁾に従って行った。表 8-3 にサンプリング条件、図 8-1 に住宅平面図を示す。

8-3-1 空気温度、相対湿度

Thermo Recorder RS-11 (ESPEC 社製) を各室中央部、高さ 1.2 m (気中濃度)、各部位表面 (部位別放散速度) に設置し、1 分間隔で温湿度の測定を行った。

8-3-2 気中濃度

カルボニル化合物の測定方法として、DSD-DNPH 拡散サンプラー (SUPELCO 社製) を床面より高さ 1.2 m の位置に設置し、外気、居間、寝室のカルボニル化合物を 24 時間パッシブ測定法により捕集を行った。これを高速液体クロマトグラフ (HPLC) により分析を行った。VOCs の測定方法として、パッシブサンプラー-VOC-TD (SUPELCO 社製) をカルボニル化合物と同様の位置に設置し、VOCs を 2 時間パッシブ測定法により捕集を行った。これを、加熱脱着-ガスクロマトグラフ質量分析法 (GC/MS) で分析を行った。外気の測定は外壁より 2～5 m 以内の位置で行った。

表 8-2 測定日程

*第3種換気

施工段階		測定項目	換気の有無*	実測年月日
C-1	木工事完了後	1) 気中濃度 2) 部位別放散速度 3) 温熱環境	無	2002年7月13日~14日
C-2	ワックス美装完了前			2002年7月28日~29日
C-3	ワックス美装完了後			2002年8月3日~4日
C-4	引渡し完了後	1) 2) 3) +換気量	有	2002年9月7日~8日
C-5	引渡し完了2ヶ月後			2002年11月20日~21日

表 8-3 サンプルング条件

項目	カルボニル化合物	VOCs	
		気中濃度	放散速度
捕集管	DSD-DNPH 拡散サンプラー ³⁾	パッシブサンプラー VOC-TD	パッシブサンプラー VOC-SD
測定位置	気中濃度-外気、居間、寝室 放散速度-床、壁、天井		
温熱環境	温湿度-成り行き		
捕集時間 [h]	24	2	24
分析方法	HPLC	GC/MS	

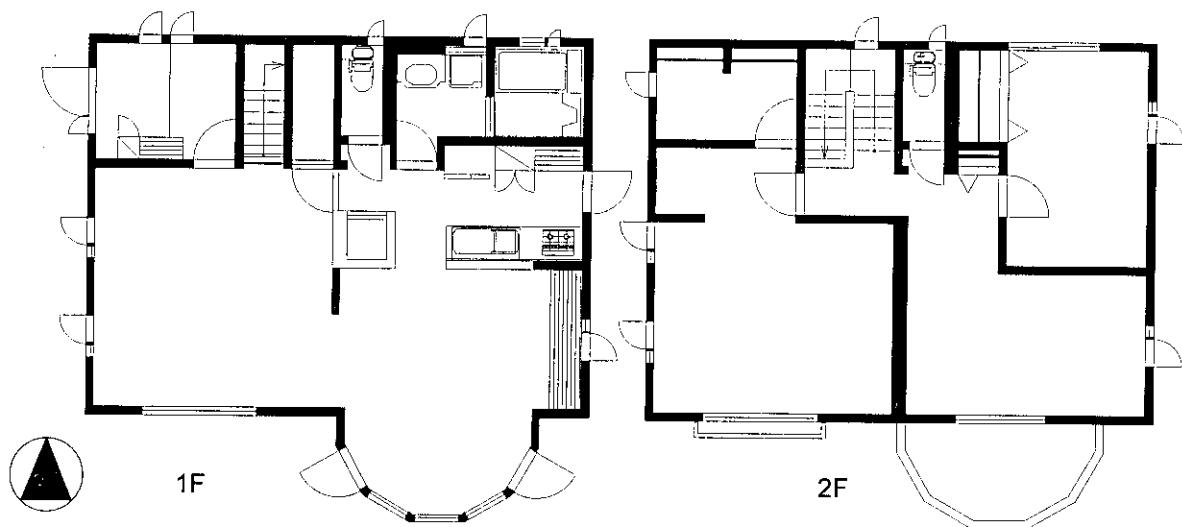


図 8-1 住宅平面図

8-3-3 部位別放散速度

カルボニル化合物の測定方法として、Carbonyl-ADSEC²⁾にDSD-DNPH拡散サンプラーを挿入し、居間の床、壁、天井の部位別に24時間カルボニル化合物の捕集を行った。これを高速液体クロマトグラフ(HPLC)により分析を行った。また、VOCsの測定方法として、VOC-ADSECにパッシブサンプラーVOC-SD(SUPELCO社製)を挿入し、居間の床、壁、天井の部位別に24時間VOCsの捕集を行った。これをGC/MSで分析を行った。

8-3-4 換気量

マルチガスモニターとサンプラードーザー(B&K社製)を用い、室内のSF₆濃度を7ppmとなるように発生量を制御し測定を行った。また同時に室内外の環境条件として内外温度差、外部風速についての測定も行った。

8-4 測定結果

8-4-1 カルボニル化合物

(1) 気中濃度測定

カルボニル化合物気中濃度測定結果を表8-4、図8-2

に示す。また、測定時の平均温湿度を表8-5に示す。測定結果より、ホルムアルデヒドはC-1~C-5の全てにおいて厚生労働省の定める指針値⁴⁾である100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回った。ホルムアルデヒドの外気濃度は室内より低いことから、汚染物質は室内から発生していることがわかる。アセトアルデヒドはある施工段階においては指針値である48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を上回ったが、C-5では指針値を満たした。しかしながら、換気を稼働させた状態での測定(C-4)では濃度が上昇する結果が得られた。これは、換気を稼働させたことによる各部位の隙間からの漏れの影響と考えられる。

測定が、夏季から冬季にかけて行ったため温湿度にばらつきが生じている。そこで、温湿度条件を同一にするため、井上の式⁵⁾を用いて25 $^{\circ}\text{C}$ 、50%RHに換算を行った。表8-6、図8-3に25 $^{\circ}\text{C}$ 、50%RH換算後のホルムアルデヒド気中濃度測定結果を示す。温湿度換算前と同様にC-1~C-5の全てにおいて指針値を下回り、人体の健康には安全な値であると言える。また、換気を稼働させた状態での測定(C-4)では濃度が上昇する結果が得られた。

表 8-4 カルボニル化合物気中濃度測定結果

測定場所	気中濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]									
	C-1		C-2		C-3		C-4		C-5	
	F	A	F	A	F	A	F	A	F	A
外気	1.7	0.0	3.9	0.0	60.0	0.0	3.1	22.2	3.5	13.7
居間	38.0	58.8	19.7	31.0	39.6	45.3	63.8	213.8	35.2	17.0
寝室	46.7	101.6	18.6	60.1	47.9	57.6	49.5	171.3	47.8	23.1

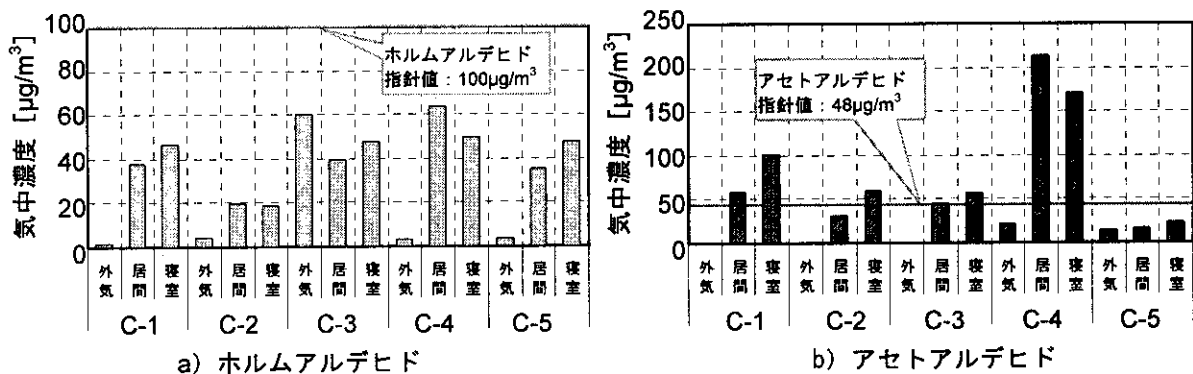


図 8-2 カルボニル化合物気中濃度測定結果

(2) 部位別放散速度測定

カルボニル化合物部位別放散速度測定結果を表 8-7、図 8-4 に示す。また、測定時の各部位の平均温湿度を表 8-8 に示す。測定結果より、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドともに、施工状況が進むに伴い、放散速度が減少する傾向が見られる。部位別に見ると壁、天井では同材料を用いているが結果にばらつきが生じた。アセトアルデヒドは壁、床と比較し天井からの放散が多い結果となった。

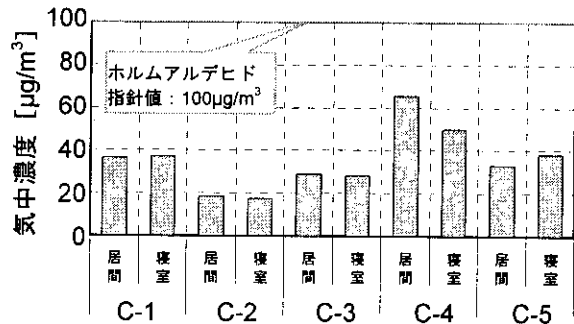


図 8-3 25°C, 50%RH 換算後の気中濃度測定結果

表 8-5 温湿度測定結果

測定場所	C ₁		C ₂		C ₃		C ₄		C ₅	
	温度 [°C]	湿度 [%RH]	温度 [°C]	湿度 [%RH]	温度 [°C]	湿度 [%RH]	温度 [°C]	湿度 [%RH]	温度 [°C]	湿度 [%RH]
外気	27.3	80	25.5	69	27.7	80	23.8	94	8.6	83
居間	27.8	73	27.5	67	30.5	68	27.1	75	24.9	43
寝室	29.3	66	28.3	75	32.4	63	27.0	71	26.5	41

表 8-6 25°C, 50%RH 換算後のホルムアルデヒド気中濃度測定結果

測定場所	気中濃度 [µg/m³]				
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
居間	36.5	18.4	28.9	65.7	32.9
寝室	37.1	17.3	28.4	50.1	38.3

表 8-7 部位別放散速度測定結果

測定場所	部位別放散速度 [µg/m²·h]									
	C ₁		C ₂		C ₃		C ₄		C ₅	
	F	A	F	A	F	A	F	A	F	A
壁	3.0	1.5	32.5	5.0	9.6	39.1	19.1	0.0	4.9	1.7
床	8.5	10.9	20.8	35.2	34.8	55.2	10.6	10.7	5.9	4.3
天井	24.1	53.3	23.6	45.0	28.7	74.6	9.4	21.0	6.4	7.3

表 8-8 各部位周辺の温湿度測定結果

測定場所	C ₁		C ₂		C ₃		C ₄		C ₅	
	温度 [°C]	湿度 [%RH]	温度 [°C]	湿度 [%RH]	温度 [°C]	湿度 [%RH]	温度 [°C]	湿度 [%RH]	温度 [°C]	湿度 [%RH]
外気	28.0	70	27.2	65	30.5	64	26.5	74	23.5	47
居間	27.7	72	27.2	71	30.3	67	26.6	71	23.4	48
寝室	28.4	66	27.4	71	31.3	67	26.9	71	25.1	42

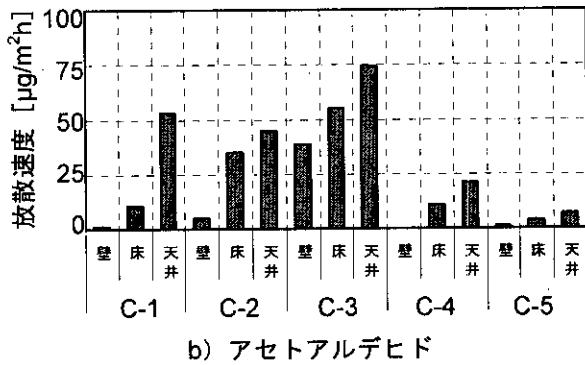
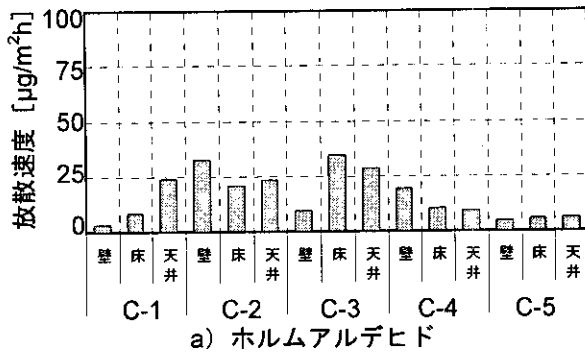


図 8-4 カルボニル化合物部位別放散速度測定結果

また、温湿度依存性があると考えられることから、ホルムアルデヒドの床からの放散速度に関して既存の研究で得られた式⁹⁾を用いて25°Cに換算を行った。表8-9、図8-5に25°C換算後のホルムアルデヒド放散速度測定結果を示す。測定結果より、換算後はC-1からC-3にかけて放散速度が増加し、その後、減少する傾向が見られた。C-3ではワックス美装が施されたため最も高い値になったと思われる。また、全ての施工段階において低い値となった。床材については低ホルムアルデヒド対策がなされていると考えられる。

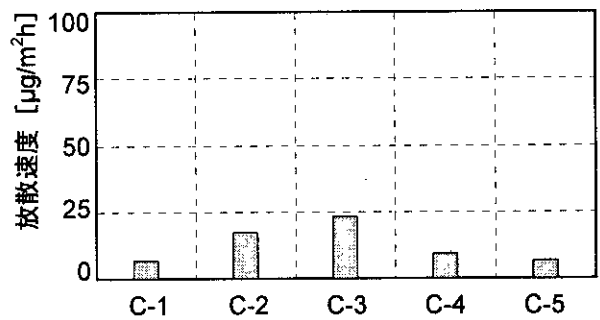


図 8-5 25°C換算後のホルムアルデヒド部位別放散速度測定結果

表 8-9 25°C換算後のホルムアルデヒド部位別放散速度測定結果

測定場所	部位別放散速度 [µg/m²·h]				
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
床	6.9	17.3	23.1	9.4	6.7

(3) 気中濃度予測

吸脱着を考慮しない場合、室内の放散源が壁、床、天井のみであると仮定すると、定常状態における気中濃度は式(8-1)で表すことができる。なお、室内の放散源は壁、床、天井のほかに家具や生活用品などの居住者の持ち込み物からの放散によるものも含まれる。

上記式(8-1)を用いて算出したC-5における予測値と実測値の比較を表8-10、図8-6に示す。測定結果より、式(8-1)を用いて得られたホルムアルデヒドは17.6µg/m³であった。これに対して実測値は35.2µg/m³であった。

$$C = C_0 + \frac{EF_F \times S_F + EF_W \times S_W + EF_C \times S_C}{Q} \quad \dots (8-1)$$

- C: 室内のホルムアルデヒド濃度 [µg/m³]
- C₀: 外気のホルムアルデヒド濃度 [µg/m³]
- EF_F: 床面からのホルムアルデヒド放散速度 [µg/m²·h]
- EF_W: 壁面からのホルムアルデヒド放散速度 [µg/m²·h]
- EF_C: 天井からのホルムアルデヒド放散速度 [µg/m²·h]
- S_F: 床面の表面積 [m²]
- S_W: 壁面の表面積 [m²]
- S_C: 天井面の表面積 [m²]
- Q: 換気量 [m³/h]

このように予測値が実測値の2分の1と異なった理由として、式(8-1)では、化学物質の放散源を壁、床、天井のみと仮定したが、実際には、その他の建材や生活用品等からの放散が考えられるため、実測値が理論値を上回ったことが考えられる。また、アセトアルデヒドに関しては予測値と実測値がほぼ同じ値となり、気中濃度に影響を与える要因は壁、床、天井のみであると考えられる。

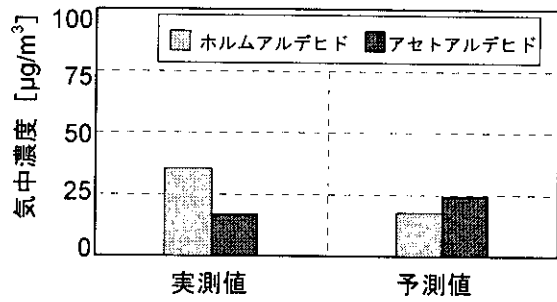


図 8-6 予測値と実測値の比較

表 8-10 予測値と実測値の比較

対象物質		外気濃度 [µg/m³]	放散量合計 [µg/h]	換気量 [m³/h]	予測値 [µg/m³]	実測値 [µg/m³]
C ₅	ホルムアルデヒド	3.5	957.8	68.0	17.6	35.2
	アセトアルデヒド	13.7	726.2		24.4	17.0

8-4-2 VOCs

(1) 気中濃度測定、放散速度測定

図 8-7 に各測定位置における VOCs 気中濃度測定結果、図 8-8 に VOCs 部位別放散速度測定結果を示す。気中濃度測定結果より、各測定位置においてトルエンを除き指針値を満した。本測定において外気濃度が室内濃度と比較して低い値を示していることから、汚染物質は室内で発生していると考えられる。トルエンは C-2 の居間で 1816.2µg/m³、寝室で 2307.7µg/m³ となり、全ての施工段階において最も高濃度の値を示した。VOCs 放散速度測定結果より、各部位における C-2 の放散速度は C-3 と比較して低い値を示したが、気中濃度で見ると C-2 が C-3 を上回っている。これより C-2 の気中濃度に影響を与える要因として壁、床、天井以外に室内に存在している接着剤および他の施工部材等(図 8-9 参照)と考えられる。また、部位別に見ると天井が壁、床と比較して高い値を示した。天井、壁に用いられている下地材、内装材は同様であり、さらにクロス用接着剤は壁、天井ともに同一のものを使用、また、施工は天井、壁の順に行っているが放散速度には違いが見られた。しかしながら、時間の経過とともに減衰が見られた。C-2 から 6 日後の C-3 の測定において、居間気中濃度は C-2 から 87.8%減(221.4µg/m³)、寝室気中濃度は 93.4%減(151.4µg/m³)となり、厚生労働省の定める指針値 260µg/m³ を下回った。また、C-4 では居間、寝室ともに 20µg/m³ を下回り、入居時には指針値を満した空気環境が確保できていると考えられる。

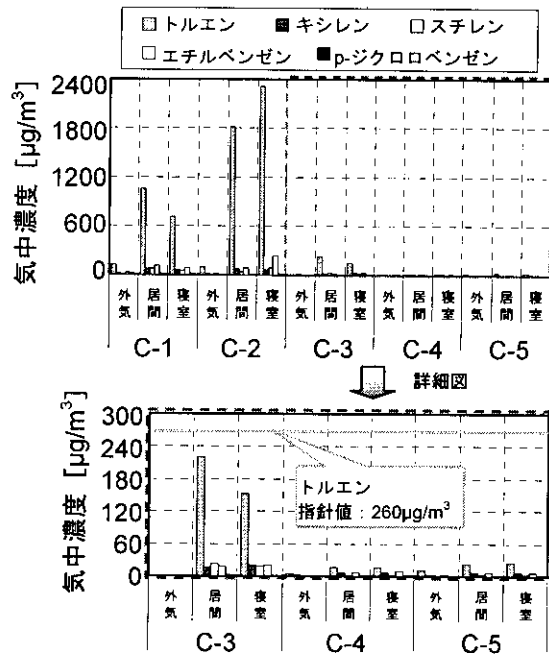


図 8-7 VOCs 気中濃度測定結果

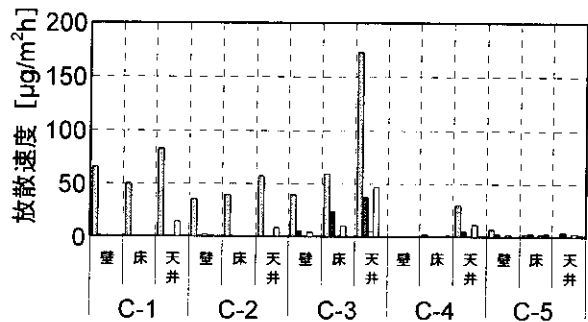


図 8-8 VOCs 部位別放散速度測定結果



図 8-9 C-2 の実測時における現場状況

(2) 気中濃度予測

VOCs の中で、特に高い濃度を示したトルエンについては、ADSEC による実測結果で得られた各測定部位からの放散速度を用いて、気中濃度への影響を考察した。測定時の換気量が $68\text{m}^3/\text{h}$ 、外気濃度が $11.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ であることから、壁、床、天井からの放散量で気中濃度を算出すると以下ようになる。

$$C = C_0 + \frac{M}{Q} = 11.6 + \frac{602.1}{68} = 20.4 \quad [\mu\text{g}/\text{m}^3]$$

トルエン気中濃度実測値は $22.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、理論値とほぼ同じ値となった。このことより、C-5 においては、気中濃度に影響を与える要因は壁、床、天井のみであり、他の部材からの放散は少ないと考えられる。

(3) 換気システムの違いによる空気質の比較

図 8-10 に第 1 種と第 3 種の比較(カルボニル化合物部位別放散速度)、図 8-11 に第 1 種と第 3 種の比較(カルボニル化合物気中濃度)、に図 8-12 に第 1 種と第 3 種の比較 (VOCs 部位別放散速度)、図 8-13 に第 1 種と第 3 種の比較 (VOCs 気中濃度) を示す。比較を行うに当たり第 1 種、第 3 種の換気量を同様にして測定を行った。測定結果より、部位別放散速度は第 1 種と第 3 種を比較するとカルボニル化合物、VOCs とともに全ての部位においてほぼ同様の値となった。ADSEC のセル内は密閉された空間であるため、換気設備の違いによる影響を受けなかったと考えられる。測定結果より、部位別放散速度、気中濃度ともに顕著な差は見られなかった。これは対象とした住宅が、極めて気密性が高かったことが影響していると考えられる。また、換気回数の少ない寝室(第 1 種: 0.20 回/h (寝室換気扇停止)、第 3 種: 0.30 回/h)においては濃度が高めの傾向を示した。

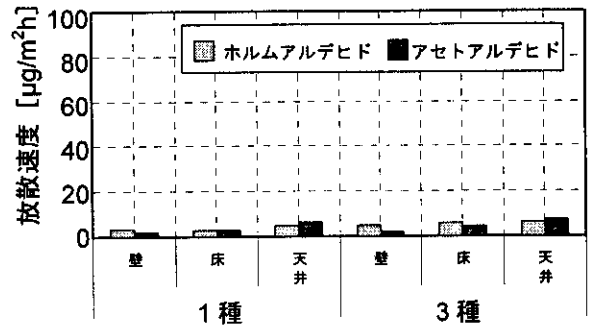


図 8-10 第 1 種と第 3 種の比較 (カルボニル化合物部位別放散速度)

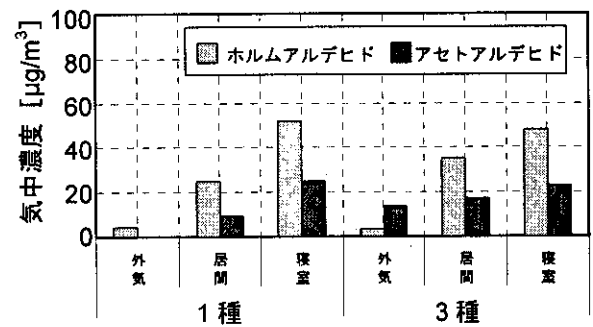


図 8-11 第 1 種と第 3 種の比較 (カルボニル化合物気中濃度)

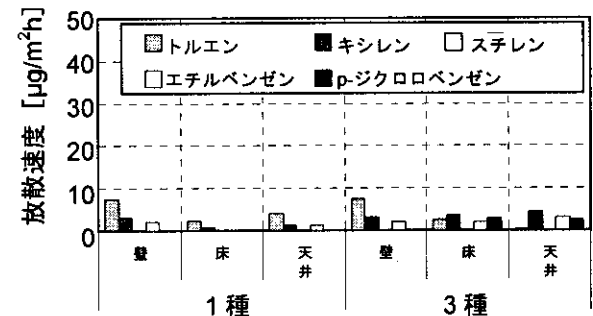


図 8-12 第 1 種と第 3 種の比較 (VOCs 部位別放散速度)

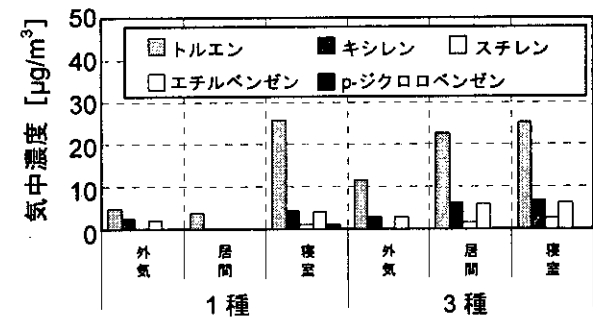


図 8-13 第 1 種と第 3 種の比較 (VOCs 気中濃度)

8-5 まとめ

本研究では、各施工段階において気中濃度に加えADSECを用いて壁、床、天井等の各部位からの放散速度を測定し、室内の気中濃度に影響を与える要因を明らかにすることを目的とした空気質測定を行った。また同時に、換気設備（第1種、第3種）の違いによる空気質の影響についての調査も行った。

その結果、カルボニル化合物気中濃度について、ホルムアルデヒドは全ての施工段階において厚生労働省の指針値を満たしており、低ホルムアルデヒド対策が十分に成されていると考えられる。アセトアルデヒドについては、ある施工段階において指針値を上回った。VOCs 気中濃度について、各施工段階においてトルエンを除き指針値を満たした。トルエンは各部位からの放散速度測定結果と気中濃度測定結果より、気中濃度に影響を与える要因は、本実測を行った壁、床、天井以外に室内に存在している接着剤や施工材等と考えられる。しかしながら、時間の経過とともに減衰が見られ、入居時には指針値 $260\mu\text{g}/\text{m}^3$ を満たした空気環境が保たれていた。実測値と予測値を比較した結果、ホルムアルデヒド気中濃度について、実測値が予測値を上回り、壁、床、天井以外からの放散が気中濃度に影響を与えていると考えられる。アセトアルデヒド、トルエン気中濃度について、実測値と予測値がほぼ同じ値となり、気中濃度に影響を与える要因は壁、床、天井のみであると考えられる。

【参考文献】

- 1) 室内空気中化学物質採取方法と測定方法, 厚生労働省報道発表資料
- 2) 青木龍介, 阿久津太一, 熊谷一清, 田辺新一, 建材から発生するアルデヒド類のパッシブ測定法 (ADSEC) の開発, その 1-ADSEC の概要と捕集時間の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.719-720, 2000
- 3) 内山茂久, 金子敏郎, 田辺新一, 長谷川修司, 分子拡散サンプラーDSD-DNPH による大気中カルボニル化合物の測定, 千葉市環境保健研究所年報, pp.106-113, 1999.6
- 4) シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会 中間報告書 厚生労働省報道発表資料
- 5) 井上明夫, ホルムアルデヒド気中濃度のガイドライン対策, 木材工業 Vol.52, No1, pp9-14, 1997
- 6) 松本仁, 青木龍介, 阿久津太一, 熊谷一清, 田辺新一, 建材から発生するアルデヒド類のパッシブ測定法 (ADSEC) の開発, その 3-サンプラー挿入時間及び放散速度に与える周囲温度の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.851-852, 2001

第9章 新築集合住宅における
室内気中濃度の経時変化と
生活様式による変動の測定

第9章 新築集合住宅における室内気中濃度の経時変化と生活様式による変動の測定

The Indoor Air Measurement of a Change with Lapsed Time and Life Style in Newly-Built Apartment Houses

The purpose of this study is to identify the causality explaining indoor concentrations of formaldehyde, VOCs and fungi which have significant health effects. In the rainy season (July), summer (August), autumn (October) and winter (December) measurements were carried out in newly- built three apartment complexes. In each complex the same building materials were used. Temperature, relative humidity, concentrations of formaldehyde, VOCs and CFU (Colony Forming Unit), were measured and questionnaire surveys were conducted. The concentrations of formaldehyde and VOCs were measured by passive samplers. Formaldehydes, acetaldehyde, benzene, toluene, ethylbenzene, *o*-, *m*-, *p*-xylene, *p*-dichlorobenzene, styrene and limonene were analyzed.

The concentration of formaldehyde did not decrease with the elapsed time within 6 months. However for toluene and limonene which were mainly emitted from building materials, the emission rates decreased with the elapsed time. A high CFU was detected in some apartments and no negative correlation was found between the concentration of formaldehyde and airborne fungi and between the concentrations of VOCs and airborne fungi.

KEYWORD: Newly- built apartment house, VOC, Formaldehyde, Fungi, Questionnaire

9-1 はじめに

9-1-1 研究背景

室内空気汚染（シックハウス）の原因である化学物質については現状把握や対策方法など多くの研究が行われている¹⁻³⁾。14物質については厚生労働省から指針値⁴⁾が発表されているので、指針値公表以降に施工された住宅について実測、検討を行う必要がある。また、塩津ら⁵⁾はホルムアルデヒドが与える真菌への抑制効果についての研究を行っているが、VOCsと真菌濃度の関係について研究を行った研究は多くない。山口ら⁶⁾は、家具・電化製品搬入前後で化学物質濃度が上昇すると述べている。しかし、建築物内での実測では発生源が複数存在するケースが多く、発生源を特定することは非常に困難である。

そこで本研究は発生原因の特定を行うために同一の建材を使用している集合住宅で実測を行った。また、測定を行った住宅は厚生労働省の指針値公表以降の新築を対象とした。

9-1-2 本研究の目的

本研究では発生原因が複雑である化学物質の測定を、棟内では同一の建材や接着剤などを使用していると考えられる新築の集合住宅で行い、VOCs濃度とホルムアルデヒド濃度の季節変化による影響

を把握し、発生由来の考察を行うことを目的とする。また、居住者の生活スタイルの違いによる化学物質の気中濃度の変動を検討するためにアンケート調査も並行して行った。

また、化学物質の気中濃度と真菌との比較を行うために空中浮遊真菌濃度の測定を行った。

9-2 測定方法

9-2-1 実測対象住宅

実測はまだ夏を経過していない2002年秋期以降に建設された集住宅で行った。図9-1に各住宅の外観を、表9-1に各住宅の概要を示す。各棟共目黒区駒場にある集合住宅でA棟・B棟は街道から100mほど奥に入った場所にあり、C棟は同じ街道に面した形で建っている。また、A棟は低ホルムアルデヒド仕様建材を使用している。



図9-1 実測対象住宅外観

9-2-2 測定方法

各測定の行程表を図9-2に、測定点の例を図9-3に示す。化学物質測定中は居住者の実際の暴露量を調べるために開口部の開閉の規制などは行わなかった。測定を行った化学物質は表9-2に示す指針値の内、●の付いた物質について分析を行った。

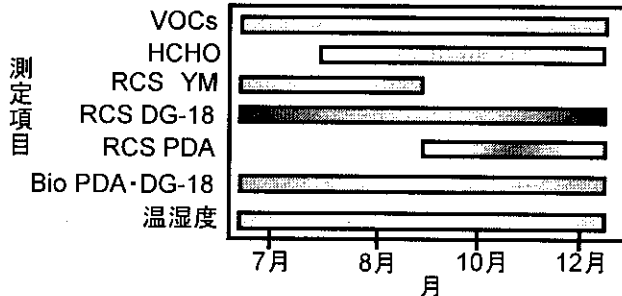


図9-2 実測行程表

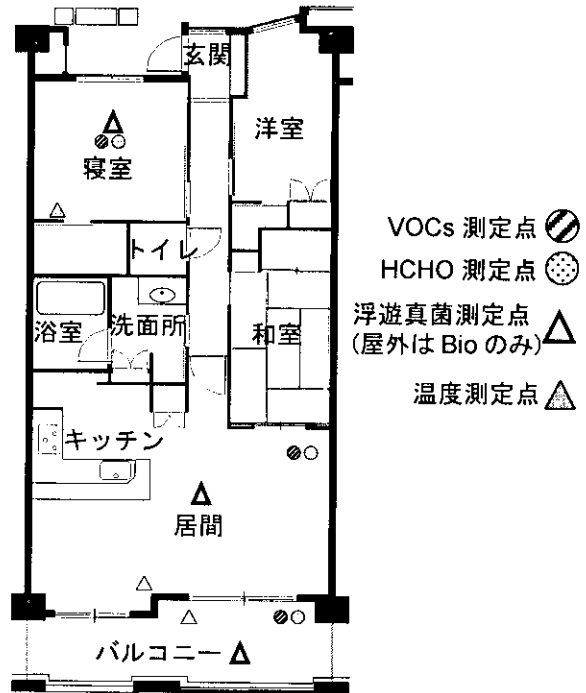


図9-3 測定点例 (A-1 邸)

表9-1 測定住宅概要

	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	C-1	
構造・タイプ	RC造・マンション				RC造・アパート		RC造・マンション	
竣工日	2002.3.				2002.5.		2002.3.	
家族構成	2人	2人	1人	4人	2人	3人	1人	
階数	4階/4階	1階/4階	1階/4階	1階/4階	1階/3階	2階/3階	3階/5階	
容積 [m ³]	238	238	190	238	156	156	31	
面積 [m ²]	95	95	76	95	71	71	14	
居間 [m ²]	28	28	25	24	22	26	9	
寝室 [m ²]	12	12	10	9	8	9	-	
仕上げ材	天井	脱塩ビニルクロス				ビニルクロス		ビニルクロス
	壁	脱塩ビニルクロス				ビニルクロス		ビニルクロス
	床	目地有フローリング				目地有フローリング (B-1のみ+畳)		目地有フローリング

表9-2 化学物質の指針値

	化学物質名	指針値 [μg/m ³]	設定日	使用用途
●	トルエン	260	2000.6.26	油性ニス、合成化学品の溶剤
●	キシレン	870	2000.6.26	油性ペイント、アクリル樹脂塗料
●	p-ジクロロベンゼン	240	2000.6.26	脱臭剤、防虫剤、殺虫剤、農薬
●	エチルベンゼン	3800	2000.12.15	希釈剤、溶剤、有機合成中間体
●	スチレン	220	2000.12.15	合成樹脂塗料、合成ゴム (SBR)
	クロルピリホス	1 (小児の場合は0.1)	2000.12.15	農薬、シロアリ駆除、有機燐殺虫剤
	フタル酸ジ-n-ブチル	220	2000.12.15	塩化ビニル、酢酸ビニルなどの可塑性
	テトラデカン	330	2001.7.5	塗料などの溶剤、灯油の揮発成分
	フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	120	2001.7.5	壁紙、床材、電線被覆などの可塑性
	ダイアジノン	0.29	2001.7.5	有機燐系殺虫剤、防蟻剤
●	フェノブカルブ	33	2000.12.15	防蟻剤 (市販品カプセル化で揮発防止)
●	ベンゼン	3		抽出剤、合成樹脂、ガソリン
●	リモネン	30		石鹼、化粧品、入浴剤用香料の調査
	ホルムアルデヒド	100	1997.6.13	木材保存剤 (現場施工用)、接着剤
	アセトアルデヒド	48	2002.1.22	防カビ剤、接着剤、防腐剤、喫煙
	TVOC	400 (暫定目標値)	2000.12.15	

(1) 温湿度

温湿度計（サーモレコーダー、ESPEC社製）を使用して測定を行った。居間・寝室・屋外（ベランダ）でセンサー部分が床上1.2mになるように設置し、実測日より1週間前から実測終了時まで5分間隔で連続測定した。図9-4にサーモレコーダーを示す。

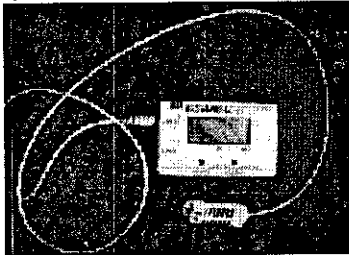


図9-4 サーモレコーダー

(2) VOCs

パッシブサンプラーVOC-SD（SUPELCO社製）を使用し、床上1.2mになるように天井から吊るし、測定を行った。測定期間は24時間とし、測定後ガスクロマトグラフィー（島津製作所製）を用いてAreaを求めた後、式(9-1)・(9-2)より気中濃度[μg/m³]を求めた。ただし、ベンゼン・パラジクロロベンゼン・リモネンについては式(9-1)・(9-3)を用いて気中濃度[μg/m³]を求めた。図9-5にパッシブサンプラーVOC-SDを、図9-6にガスクロマトグラフを、表9-3に分析条件を示す。

$$M = a \times \rho_0 \times \frac{S_b}{S_a} \quad \dots (9-1)$$

M: 捕集量 [m³] a: 使用溶媒量 [mL]
 ρ₀: 標準液濃度 [ppm] S_a: スタンダードのArea
 S_b: 試料のArea

$$C = \frac{M}{d \times t} \quad \dots (9-2)$$

C: 濃度 [mg/m³] k: サンプル係数 [m³/h]
 t: サンプル時間 [h] d: 密度 [mg/m³]

物質名	サンプリング係数 k
トルエン	2.5
エチルベンゼン	1.9
m,p-キシレン	2.1
スチレン	2.2
o-キシレン	1.9

$$C = \frac{M \times 273 \times m}{D \times t \times 22.4 \times (273 + s)} \quad \dots (9-3)$$

C: 濃度 [mg/m³] D: サンプル係数 [m³/h]
 t: サンプル時間 [h] m: 各物質の分子量
 s: 実測時の平均温度 [°C]

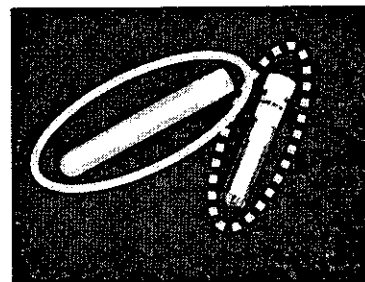
物質名	サンプリング係数 D	分子量
ベンゼン	2.5	78.1
p-ジクロロベンゼン	1.9	147
リモネン	2.1	136.24

表 9-3 VOCs 分析条件

GC	SHIMAZU GC-1700
Column	SPB-1. 0.25mm × 60m
Column Temp	10min 4°C/min 60°C → 60°C → 200°C
Carrier Gas	240°C
Flow Rate	helium
Injection Volume	2.5mL/min
Detector	FID

(3) ホルムアルデヒド

図9-5に示すDSD-DNPH拡散サンプラー（SUPELCO社製）を使用し、床上1.2mになるように天井から吊るし、測定を行った。測定期間は24時間とし、測定後図9-6に示す高速液体クロマトグラフ（HPLC：島津製作所製）を用いてAreaを求めた後、式(9-4)・(9-5)より気中濃度[μg/m³]を求めた。表9-4にHPLCの構成及び分析条件を示す。



○ : VOC-SD
 ○ : DSD-DNPH

図9-5 各パッシブサンプラー



図9-6 各分析器

$$M = \frac{B \times b}{a} \quad \dots (9-4)$$

M: 捕集量 [μg] B: 試料のArea
 a: 検量線の傾き b: アセトニトリルの量 [mL]

$$L = \frac{M}{f \times \frac{273+s}{273+25} \times g \times t} \times K \quad \dots (9-5)$$

L: 濃度 [mg/m³] f: 換算係数 (=71.90)
 s: 実測時の平均温度 [°C] g: 60 [min/h]
 t: 捕集時間 [h] K: 10⁶ [mL/m³]

表 9-4 HPLC の構成及び分析条件

送役ポンプ	日立製作所 Intelligent Pump L-6000
検出器	日立製作所 Photo Diode Array Detector L-3000
分離カラム	SIGMA-ALDRICH Japan 製 SUPELCO 製 SUPELCOSIL™LC18.5µm 4.6mmID×25cm
溶離液	アセトニトリル/水=60/40
流量	1.5mL/min
カラム温度	40℃
注入量	50µL
吸光度測定 波長	360nm

(4) 浮遊真菌

エアサンプラーは Bio サンプラー (ミドリ安全社製、100L/min, 80L, 90 mm シャーレ: PDA 培地・DG-18 培地)、RCS サンプラー (high flow/standard: Biotest 社製、100L/min/80L/min、80L、アガーストリップ: YM 培地・PDA 培地・DG-18 培地) の3種類を使用した。吸引口の上面が床上 1.2m になるように設置した後、試料を採取した。サンプリング終了後、密封して恒温室で 4 日間培養した (培養時の平均温度 24.5±1.1℃)。培養後、培地上の全コロニーを肉眼でカウントした。図 9-7 に Bio サンプラー・RCS サンプラー (high flow・standard) を示す。

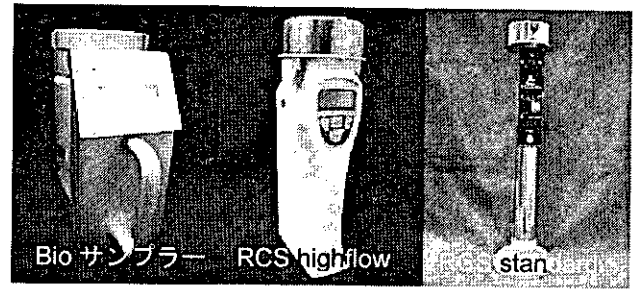


図 9-7 各エアサンプラー

(5) アンケート

住居の周辺環境・ライフスタイルを調査する為にアンケート調査を行った。初回実測時に周辺環境とライフスタイルを複合した質問用紙を配布し、2 回目以降はライフスタイルの質問のみを行った。質問用紙は配布後、パッシブサンプラーの回収時に一緒に回収を行った。表 9-5 に質問を行った項目を示す。

9-3 結果

9-3-1 温湿度

測定結果を図 9-8, 9-9 に示す。

9-3-2 VOCs

表 9-6, 9-7, 9-8 に VOCs の測定結果を示す。物質名の下に厚生労働省発表の指針値を示す。ただし、*1・*2 については表下部に示す通りである。

表 9-5 アンケート質問項目

	カテゴリー	質問項目	回答方法
初回測定時の質問	シックハウスに対する意識	シックハウスという言葉を知っているか、シックハウスという言葉を知いつから知っているか、どんな対策をとったか、どこを換気したか、ベイクアウトをしたか	Yes or No
	周辺環境について	近隣の交通量、農地・森林の有無、ゴミ集積場までの距離、除草剤散布の有無	Yes or No
	住居について	構造、築年数、防蟻処理の有無、居住人数、ペットの有無	記述
	日常・測定中の居間・寝室について	部屋の広さ、床・壁・天井の仕上げ材、製造後 2 ヶ月以内の木製・プラスチック製の家具の有無、押入れ・ピアノの有無、窓の方位、清掃用具の種類、掃除頻度、床ワックス、意識的な換気の有無、タバコの喫煙・飲酒の頻度、殺虫剤・防虫剤・消臭剤・芳香剤・化粧品の使用の有無	Yes or No または 記述
二回目以降の質問	住居について	2 ヶ月以内の防蟻処理の有無	Yes or No
	日常での居間・寝室について	製造後 2 ヶ月以内の木製・プラスチック製の家具の有無、清掃用具、掃除頻度、床ワックス、意識的な換気の有無、タバコの喫煙・飲酒の頻度、殺虫剤・防虫剤・消臭剤・芳香剤の使用の有無	Yes or No または 記述
	測定中の居間・寝室について	在室人数、エアコン・扇風機・換気設備・空気清浄機・燃焼器具の使用の有無、換気時間、タバコの喫煙・飲酒の頻度、清掃用具、殺虫剤・化粧品・有機系溶剤の使用の有無	Yes or No または 記述

第9章 新築集合住宅における室内気中濃度の経時変化と生活様式による変動の測定

特に基準値を越えた物質はベンゼン・*p*-ジクロロベンゼン・リモネンであった。*p*-ジクロロベンゼンは特に高い濃度が検出された時期・箇所があるが、秋期・冬期において高濃度である場合は衣替えを行い、防虫剤が屋内に流出したため、高濃度になったと考えられる。また、リモネンは化粧品・芳香剤・消臭剤などが厚生労働省のホームページに記載されている。一部の住宅でアンケートにおいて化粧品・

芳香剤・消臭剤の使用が認められた上でリモネンが高濃度になった住宅もあったが、全住宅におけるアンケート結果とリモネンの気中濃度との相関は低かった。また、トルエンは概ね指針値を下回っているが、夏期におけるA棟では指針値に近い値が検出されており、B・C棟・屋外では濃度が低いことからA棟の建材から発生していると考えられる。

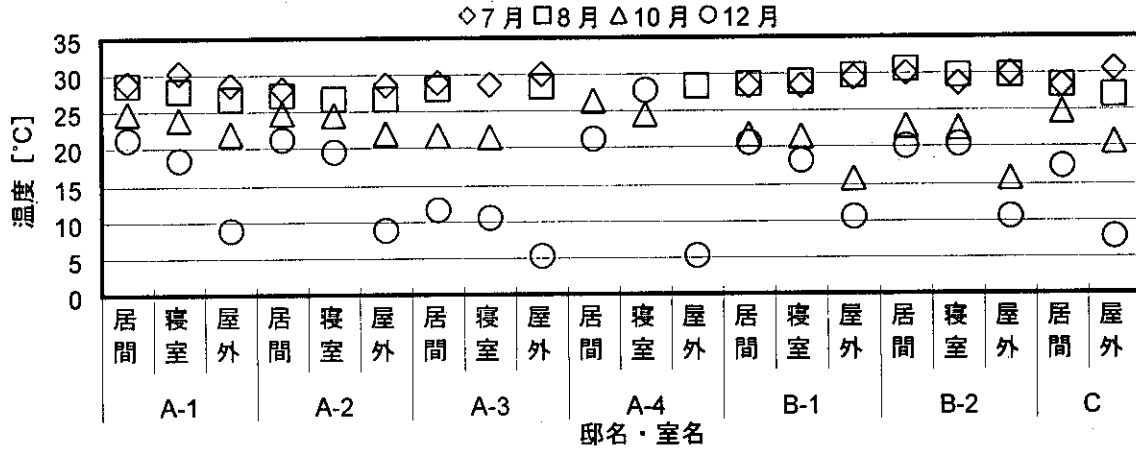


図 9-8 温度測定結果

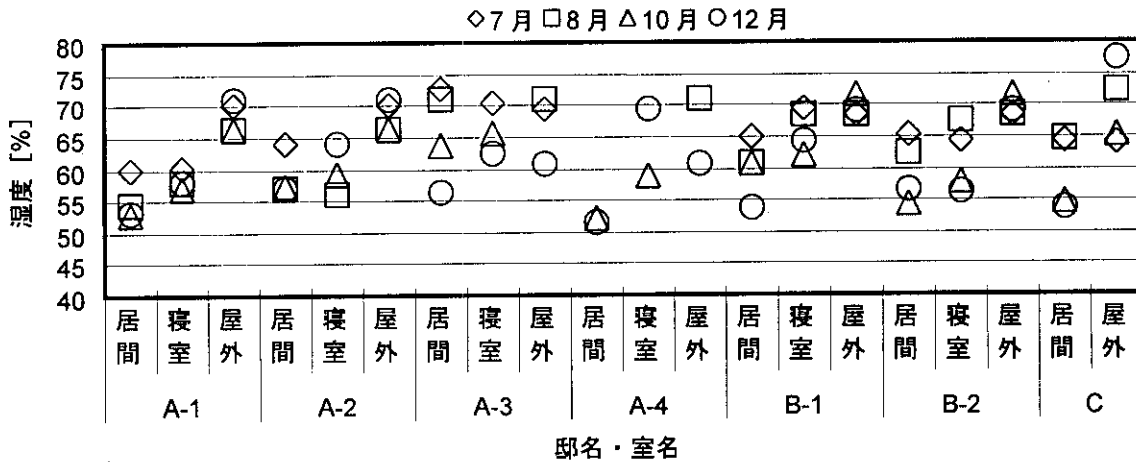


図 9-9 湿度測定結果

表 9-6 VOCs 測定結果 (A-1 邸)

邸名	室名	測定月	ベンゼン	トルエン	エチルベンゼン	キシレン	スチレン	<i>p</i> -ジクロロベンゼン	リモネン
			3 ^{*1}	260	3800	870	220	240	30 ^{*2}
A-1	居間	7月	9	249	15	17	19	141	109
		8月	N.D.	17	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	135
		10月	24	203	23	36	14	69	153
		12月	11	134	25	40	N.D.	76	95
	寝室	7月	8	149	8	N.D.	N.D.	39	50
		8月	N.D.	89	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	22
		10月	18	203	20	10	14	91	20
		12月	10	133	27	21	N.D.	85	96
	屋外	8月	N.D.	34	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
		10月	N.D.	38	N.D.	N.D.	N.D.	6	N.D.
		12月	10	57	N.D.	N.D.	N.D.	36	N.D.

*1: 環境省大気環境基準値 *2: WHO テルペン類における室内空気のガイドライン VOCに関する基準より

第9章 新築集合住宅における室内気中濃度の経時変化と生活様式による変動の測定

表 9-7 VOCs 測定結果 (A-2 邸 A-3, A-4, B-1, B-2 邸)

邸名	室名	測定月	ベンゼン	トルエン	エチル ベンゼン	キシレン	スチレン	p-ジクロロ ベンゼン	リモネン	
			3 ^{*1}	260	3800	870	220	240	30 ^{*2}	
A-2	居間	7月	N.D.	207	20	32	33	474	117	
		8月	N.D.	79	N.D.	N.D.	N.D.	154	37	
		10月	N.D.	384	34	63	41	1431	379	
		12月	9	168	19	23	34	617	161	
	寝室	7月	欠測	257	24	23	29	欠測	欠測	
		8月	N.D.	17	N.D.	N.D.	N.D.	373	44	
		10月	16	422	36	63	45	1762	428	
		12月	N.D.	127	12	N.D.	16	640	132	
	屋外	8月	N.D.	34	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
		10月	N.D.	38	N.D.	N.D.	N.D.	6	N.D.	
		12月	10	58	N.D.	N.D.	N.D.	40	N.D.	
		7月	N.D.	239	53	72	45	1504	298	
A-3	居間	8月	7	56	11	N.D.	N.D.	397	107	
		10月	10	103	14	8	N.D.	343	231	
		12月	8	76	13	N.D.	N.D.	91	68	
		7月	N.D.	224	49	61	44	2279	312	
	寝室	8月	欠測	65	18	63	15	欠測	欠測	
		10月	12	85	13	N.D.	N.D.	338	238	
		12月	9	77	13	N.D.	N.D.	98	74	
		8月	10	35	N.D.	N.D.	N.D.	45	N.D.	
	屋外	10月	9	27	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
		12月	11	71	11	N.D.	N.D.	27	N.D.	
		8月	欠測	239	30	55	38	欠測	欠測	
		10月	9	73	10	N.D.	N.D.	53	65	
A-4	居間	12月	12	150	30	43	30	77	84	
		8月	欠測	260	33	60	25	欠測	欠測	
		10月	17	164	18	41	N.D.	96	150	
		12月	9	129	23	33	19	62	78	
	寝室	8月	10	35	N.D.	N.D.	N.D.	45	N.D.	
		10月	9	27	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
		12月	11	45	9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
		7月	8	78	40	83	N.D.	191	49	
	B-1	居間	8月	8	98	28	44	N.D.	134	55
			10月	N.D.	132	27	51	N.D.	203	85
			12月	N.D.	74	11	N.D.	N.D.	323	49
			7月	N.D.	67	33	72	N.D.	193	43
寝室		8月	13	113	38	76	N.D.	273	74	
		10月	N.D.	69	14	9	N.D.	124	49	
		12月	10	80	15	N.D.	N.D.	419	46	
		8月	13	113	N.D.	N.D.	N.D.	41	N.D.	
屋外		10月	N.D.	18	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
		12月	11	66	9	N.D.	N.D.	43	N.D.	
		7月	7	26	N.D.	N.D.	N.D.	103	N.D.	
		8月	N.D.	53	15	N.D.	N.D.	236	32	
B-2	居間	10月	N.D.	86	18	N.D.	N.D.	81	39	
		12月	8	60	13	N.D.	N.D.	119	26	
		7月	8	33	17	N.D.	N.D.	173	33	
		8月	10	65	20	N.D.	N.D.	328	53	
	寝室	10月	N.D.	51	12	N.D.	N.D.	66	34	
		12月	9	65	13	N.D.	N.D.	132	32	
		8月	13	113	N.D.	N.D.	N.D.	41	N.D.	
		10月	N.D.	18	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	屋外	12月	11	63	9	N.D.	N.D.	41	N.D.	

*1: 環境省大気環境基準値 *2: WHO テルペン類における室内空気のガイドライン VOCに関する基準より

表 9-8 VOCs 測定結果 (C 邸)

邸名	室名	測定月	ベンゼン	トルエン	エチル ベンゼン	キシレン	スチレン	p-ジクロロ ベンゼン	リモネン
			3 ^{*1}	260	3800	870	220	240	30 ^{*2}
C	居間	7月	N.D.	30	26	80	N.D.	83	23
		8月	10	41	12	N.D.	N.D.	41	N.D.
		10月	N.D.	29	10	N.D.	N.D.	35	16
		12月	N.D.	25	N.D.	N.D.	N.D.	37	16
	屋外	8月	14	63	16	20	N.D.	49	N.D.
		10月	18	63	13	N.D.	N.D.	47	N.D.
		12月	N.D.	30	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

*1: 環境省大気環境基準値 *2: WHO テルペン類における室内空気のガイドライン VOCに関する基準より
 9-3-3 ホルムアルデヒド 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回っている事が分かった。

測定結果を図 9-10 に示す。夏期における B-1 邸の居間でのみ指針値の 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を越えていた。全体的に B 棟の室は A・C 棟に比べて気中濃度が高かった。

ホルムアルデヒドは温度と湿度の影響を受ける事が知られているため井上の式により補正を行う。井上の式⁷⁾を式 (9-6) に示す。補正を行った結果を図 9-11 に示す。これから、全棟・全室とも指針値の

$$C_0 = C \times \frac{1.09^{(t_0 - t)}}{1 + 0.01(H - H_0)} \quad \dots (9-6)$$

C: 実測時気中濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

C₀: 補正後気中濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

t: 実測時平均温度 [$^{\circ}\text{C}$]

t₀: 補正温度 (=25 $^{\circ}\text{C}$)

H: 実測時相対湿度 [%]

H₀: 補正相対湿度 [%]

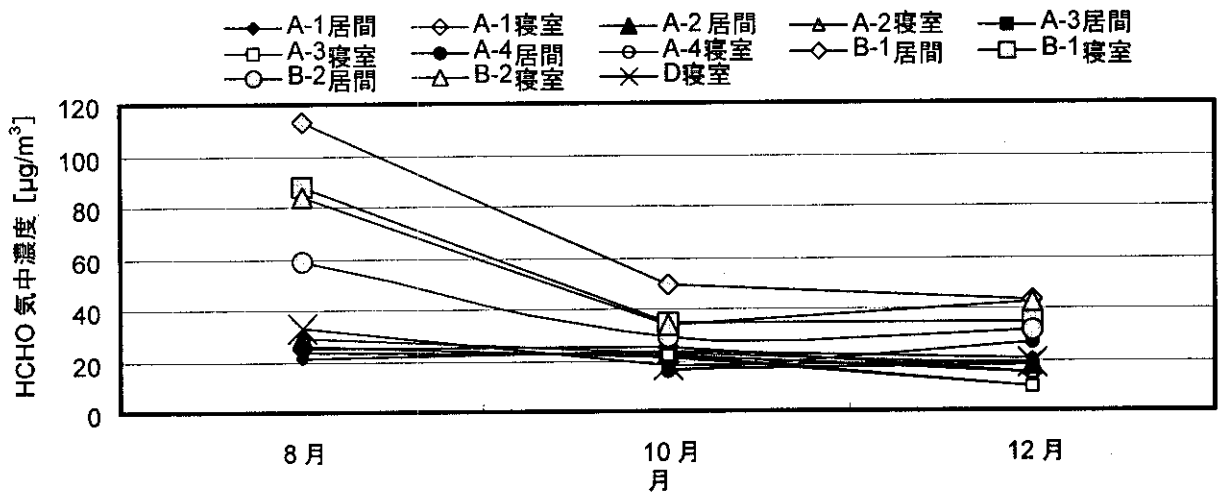


図 9-10 ホルムアルデヒド実測結果

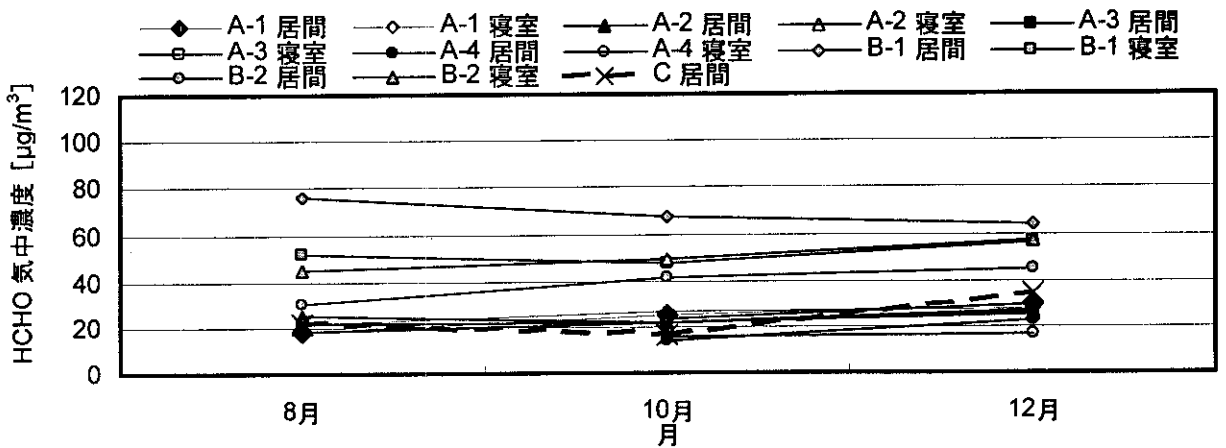


図 9-11 ホルムアルデヒド補正結果

9-3-4 浮遊真菌

本実測では他で検討を行うために実測期間中 RCS サンプラーの培地を YM アガーストリップから PDA アガーストリップに変更したため、本報では Bio サンプラーについての結果を記載する。図 9-12 に PDA 培地における実測結果を、図 9-13 に DG-18 培地における実測結果を示す。

全体的に値は低いですが、B-1 邸のみ他の棟・室より 4 倍以上の CFU 値が検出された。また、A 棟は駒場公

園が隣接しているにもかかわらず屋外の CFU 値は低かった。これは若干であるが B-1 邸の温度が他の棟・室より高かったためであると考えられる。また、CFU/L の値とアンケート調査結果とは相関が得られなかった。

本実測においては PDA 培地と DG-18 培地の相関は 0.81 と高かったが、これは B-1 邸における CFU 数が特別高かったため、培地の比較を行うには多様な濃度の個所におけるデータが必要である。

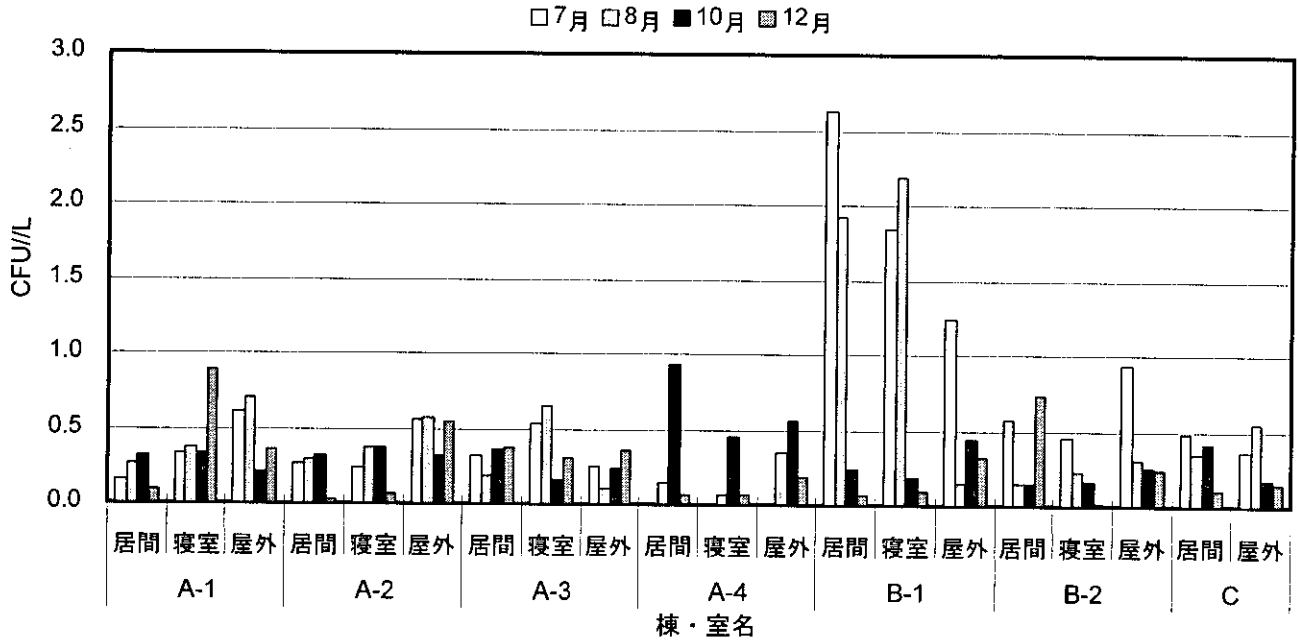


図 9-12 PDA 培地実測結果

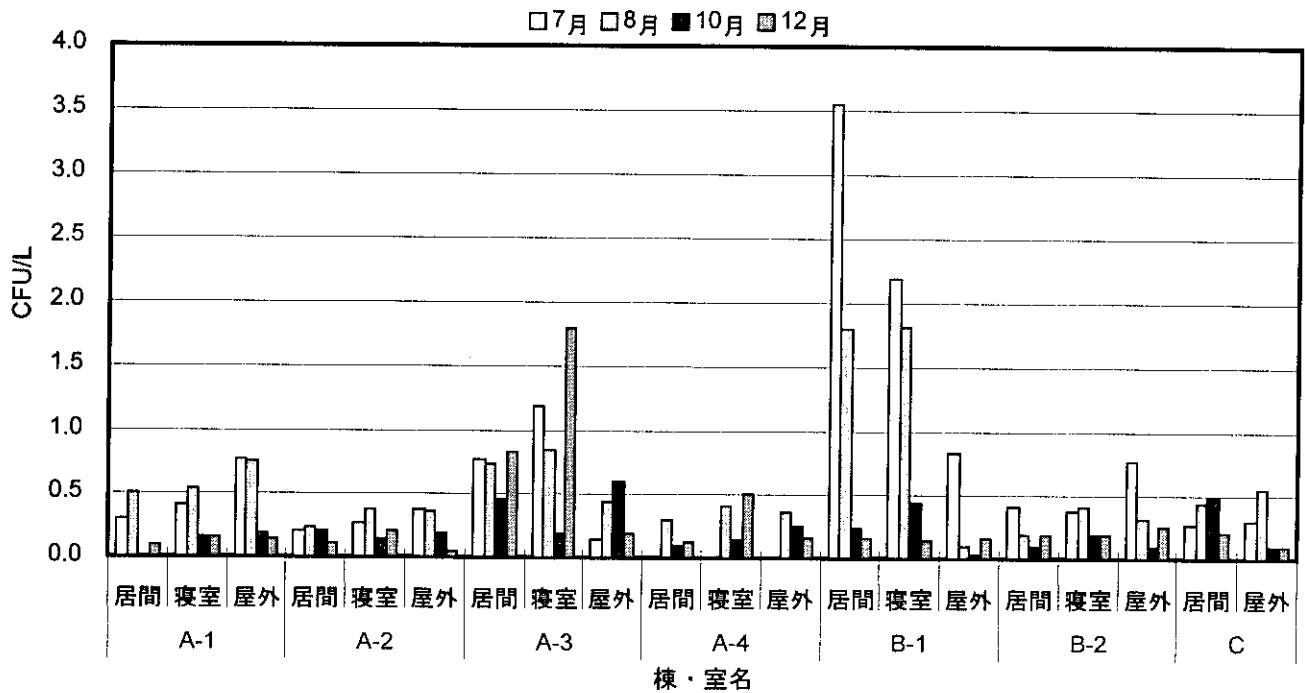


図 9-13 DG-18 培地実測結果

9-4 考察

9-4-1 分散分析

濃度への影響の要因を調べるために分散分析を行った。表9-9, 10中の1は月別で分散分析を行い、影響する要因は温湿度の影響か経時による濃度の変化であると言える。2は棟間での結果で建材の違いによる影響と言える。3は棟内で分散分析を行った結果で換気量・在室人数などを含む生活様式の違いによる影響である。

(1) VOCs

表9-9に高濃度が認められたベンゼン・トルエン・*p*-ジクロロベンゼン・リモネンの4物質に対して分散分析を行った結果を示す。

ベンゼンではいずれの要因でも有意な差が確認されず、分散分析からは気中濃度に影響を与える要因の特定はできなかった。トルエン・リモネンではA棟における生活様式の影響以外の要因で5%の有意差が確認されたが、要因の特定ができなかった。*p*-ジクロロベンゼンではA棟内でのみ1%の有意差が確認された。これら*p*-ジクロロベンゼンの気中濃度は生活様式の違いによって変動することが確認された。しかし、今回行ったアンケート調査の結果と*p*-ジクロロベンゼンの気中濃度の間では大きな相関が得られなかった。

(2) ホルムアルデヒド

表9-10に補正を行ったホルムアルデヒドの気中濃

度について分散分析を行った結果を示す。ただし、1の影響については温湿度の補正を行っているので経時の影響のみとする。

経時による影響では有意な差は見られなかった。建材の違いによる影響では1%の有意差が確認された。生活様式の違いではA棟、B棟共に5%の有意差が見られた。しかし、アンケート調査の結果とホルムアルデヒドの気中濃度の間では大きな相関が得られなかった。これからホルムアルデヒドの気中濃度には建材による影響が一番大きいことが確認された。

9-4-2 物質間の相関

表9-11に化学物質間の相関を示す。表中で灰色に網掛けされた部分が0.8以上の相関が見られた個所である。キシレンとエチルベンゼン、スチレンとトルエン、*p*-ジクロロベンゼンとスチレンの間において0.9以上の強い相関が見られた。これらは発生源が同一である可能性があると言える。

9-4-3 化学物質と真菌の相関

表9-12に化学物質と真菌における相関を示す。表中で灰色の網掛けした部分は比較的相関係数の高かったものを示す。ホルムアルデヒドは真菌の成長を抑制すると言われているが、負の相関は見られなかった。また、他の化学物質でも真菌と負の相関が見られたものはなく、また、相関係数も低かった。

表9-9 VOCs分散分析結果

** : 1%有意 * : 5%有意

	要因	影響	ベンゼン	トルエン	<i>p</i> -ジクロロベンゼン	リモネン
1	8月 vs 10月 vs 12月	温湿度 or 経時		*		*
2	A棟 vs B棟	建材		*		*
3	A棟内	生活様式			**	
	B棟内			*	*	

表9-10 ホルムアルデヒド分散分析結果

** : 1%有意 * : 5%有意

	要因	影響	ホルムアルデヒド			
1	8月 vs 10月 vs 12月	経時				
2	A棟 vs B棟	建材			**	
3	A棟内	生活様式			**	
	B棟内				*	

表9-11 化学物質間の相関

	トルエン	エチルベンゼン	キシレン	スチレン	<i>p</i> -ジクロロベンゼン	リモネン	ホルムアルデヒド
ベンゼン	0.53	0.50	0.36	-0.33	0.20	0.29	0.59
トルエン		0.86	0.78	0.91	0.71	0.76	0.35
エチルベンゼン			0.95	0.83	0.81	0.82	-0.45
キシレン				0.75	0.67	0.69	0.48
スチレン					0.81	0.81	-0.45
<i>p</i> -ジクロロベンゼン						0.95	0.72
リモネン							0.68

9-5 まとめ

本研究を行った結果以下の知見を得た。

- 1) VOCsは新築の集合住宅では、エチルベンゼン・キシレン・スチレンは指針値と比較して20%以下の濃度であったが、ベンゼン・トルエン・*p*-ジクロロベンゼン・リモネンの4物質について気中濃度が高濃度になる傾向にあるのでこれら4物質については今後も調査を行う必要がある。
 - 2) ホルムアルデヒドは、分散分析より同じ住棟でも住宅間に有意差が見られた。今後は建材以外の影響が気中濃度に影響を与えているか検討を行う必要がある。
 - 3) キシレンとエチルベンゼン、スチレンとトルエン、*p*-ジクロロベンゼンとスチレンの間において高い相関が得られた。これらは発生源が同じであると考えられた。
 - 4) エチルベンゼン、キシレン、ホルムアルデヒドの3物質において真菌と正の相関が認められた。これらの化学物質では真菌抑制効果は認められなかった。今後さらにデータ数を増やした上で検討を行う必要があると言える。
 - 5) 今回行ったアンケート調査結果と化学物質の気中濃度の間に明らかな関係は見られなかった。
- 【参考文献】**
- 1) 東実千代ら「戸建て住宅におけるホルムアルデヒドおよび揮発性有機化合物濃度の継続的実測調査」日本建築学会計画系論文集, 第552号, 29-35, 2002.2.
 - 2) 池田耕一ら「住宅における化学物質汚染に関する実測調査-その2 パッシブサンプリング法における室温の影響」日本建築学会大会学術講演梗概集, 741-742, 2000.9. (東北)
 - 3) 黒木勝一ら「ホルムアルデヒド,VOC 対策からみた建築材料の基礎知識と開発動向」空気調和・衛生工学会 第77巻 第1号 39-44
 - 4) 厚生労働省ホームページ
<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2002/02/h0208-3.html>
 - 5) 塩津ら「ホルムアルデヒド対策を行った単身者用マンションにおけるカビ発生の実態について」日本建築学会学術講演梗概集, 895-896, 2002.8. (北陸)
 - 6) 山口紀宏ら「木造戸建実験住宅におけるアルデヒド類・VOCsの実測調査」日本建築学会大会学術講演梗概集, 911-912 2001年9月
 - 7) 井上明生「ホルムアルデヒド気中濃度のガイドライン対策」木材工業 vol.152, No.1, pp.9~14, 1997
 - 8) 内山茂久ら「分子拡散型サンプラーによる大気中カルボニル化合物の測定」千葉市環境保健研究所年報(第4号)、1997年、pp.62-66
 - 9) 「屋外作業等における有害物質等への曝露低減化のための濃度測定講習会テキスト(パッシブサンプラーの具体的使用方法)」社団法人 日本作業環境測定協会、pp.1-7
 - 10) 関根嘉香ら「溶媒脱離型パッシブサンプラーによる空気中 VOCs 濃度の測定方法」日本環境化学会機関誌「環境化学」Vol.12 NO.4, pp.847-8543
 - 11) 長谷川麻子ら「住宅内ホルムアルデヒド(HCHO)汚染の現場計測方法に関する研究」日本建築学会計画系論文集, 第531号 pp.53-58, 2000年5月
 - 12) 塚原弘泰ら「トリエタノールアミン濾紙を用いるホルムアルデヒド放散量新簡易測定法の検討」空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 2001年、pp.663-667
 - 13) 田辺新一ら「新築住宅における VOCs とホルムアルデヒドに関する実測」総括報告書, 平成13年度, 厚生科学研究補助金, pp.109-116, 2002
 - 14) 内山茂久ら「屋内・屋外環境における揮発性有機化合物の挙動」千葉市環境保健研究所年報(第5号), 1998年, pp.89-96
 - 15) 大村道雄ら「学校建築物の空気環境新築小学校教室内の空気中化学物質濃度調査」室内環境学会誌, 平成14年度 室内環境学会総会梗概集, pp.138-141
 - 16) 朴俊錫ら「真菌由来の揮発性有機化合物による空気調和機汚染に関する研究 その2 複合真菌からの化学物質と空気調和機汚染の関係」日本建築学会大会学術講演梗概集, 2001年, pp.955-956
 - 17) 野崎淳夫ら「ホルムアルデヒド、揮発性有機化合物による室内空気質汚染に関する研究(その1)」日本建築学会大会学術講演梗概集, 1996年, pp.757-758
 - 18) 朴俊錫ら「光触媒による室内化学物質除去—その1 老人ホームにおける実測調査—」日本建築学会大会学術講演梗概集, 2000年, pp.867-868