

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, 5) two months after handing-over, and 6) one year after handing-over. In stage 6), ventilation performance has been measured by tracer gas method using SF₆ and PFT.

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

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も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木造戸建住宅であり、高気密・高断熱仕様（相当隙間面積 1.0cm²/m²）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。

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³⁾に従って行った。表 8-3 にサンプリング条件、図 8-1 に住宅平面図及び各測定点を示す。

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 1.2m（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 1.2m

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）により分析した。VOCs の測定方法として、VOC-TD 及び VOC-SD（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、24 時間パッシブ測定法により捕集を行った。これを、加熱脱着ーガスクロマトグラフ質量分析法（GC/MS）で分析した。外気の測定は外壁より 2～5m 以内の位置で行った。

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）により分析した。また、VOCs の測定方法として、VOC-ADSEC に 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 で分析した。

8-3-4 換気量

C₆F₆、C₇F₈ を用いた PFT 法³⁾により、壁内と居間、床下と居間の換気量測定を行った。また、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。

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
	天井	なし
	床	
	屋根	グラスウール
	基礎	ポリスチレンフォーム
	土間	

表 8-2 測定日程

	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	ワックス美装前			2002年7月28日～29日
C-3	ワックス美装後			2002年8月3日～4日
C-4	引渡し完了後			2002年9月7日～8日
C-5	引渡し完了2ヵ月後	1) 2) 3) +換気量	有(第3種換気)	2002年11月20日～21日
C-6	引渡し完了1年後		有(第1種換気)	2003年8月5日～6日
C-7	引渡し完了1年後		有(第3種換気)	2003年8月8日～9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 ⁴⁾	VOC-TD 及び VOC-SD	
測定位置	気中濃度：外気、居間、寝室 放散速度：壁、床、天井		
温熱環境	温湿度 成り行き		
測定時間	24h	24h 及び 2h	
分析方法	HPLC	GC/MS	

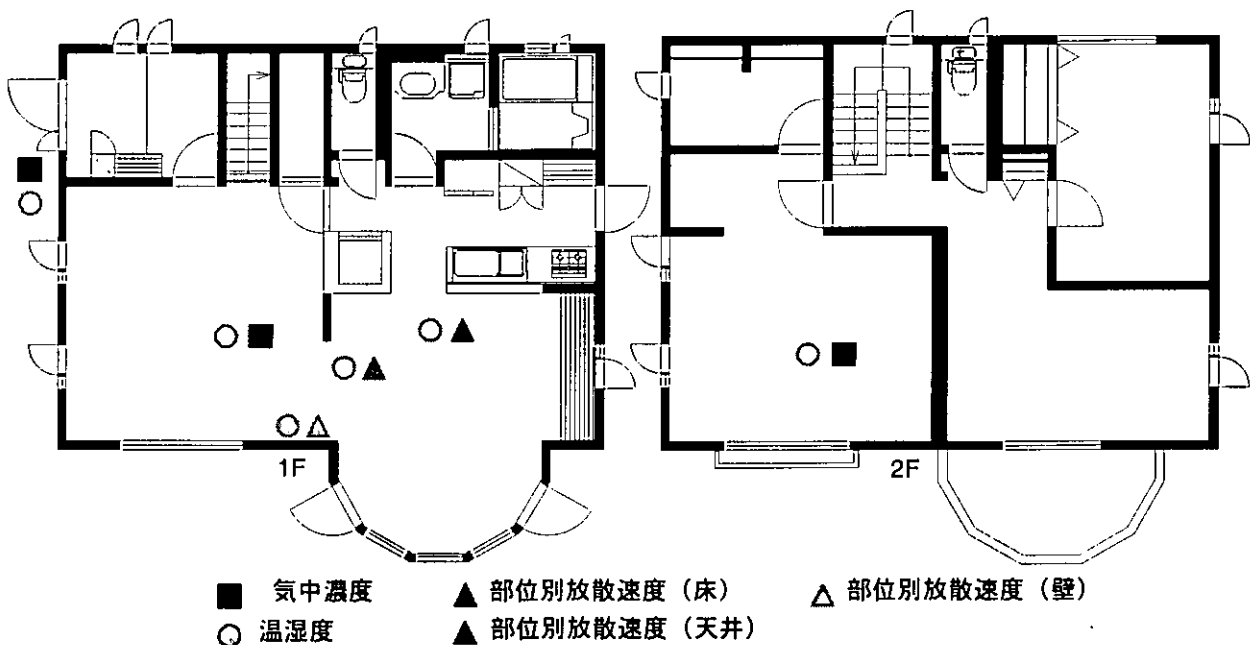


図 8-1 実測位置

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-7の全てにおいて厚生労働省の定める指針値⁹⁾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か

らは指針値を満たした。しかし、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。また、居間と寝室では、寝室の方がより濃度が高くなる傾向がみられた。

測定を1年間にわたり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⁹⁾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。C-1~C-7の全てにおいて指針値を下回る結果となった。

表 8-4 カルボニル化合物気中濃度測定結果

測定場所	C-1		C-2		C-3		C-4		C-5		C-6		C-7	
	F	A	F	A	F	A	F	A	F	A	F	A	F	A
外気	1.7	N.D.	3.9	N.D.	60	N.D.	3.1	22.2	3.5	13.7	4.0	4.0	3.1	12.6
居間	38.0	58.8	19.7	31.0	39.6	45.3	63.8	213.8	35.2	17.0	23.1	23.9	18.4	6.7
寝室	46.7	101.6	18.6	60.1	47.9	57.6	49.5	171.3	47.8	23.1	29.9	26.6	38.8	30.2

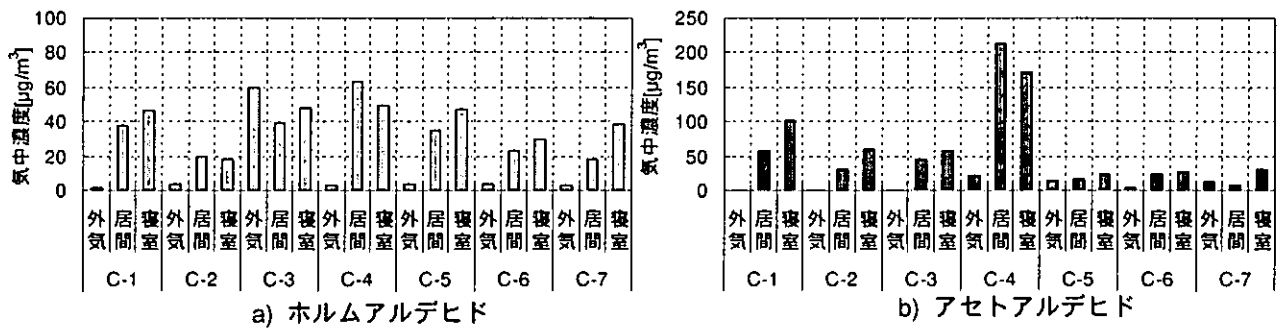


図 8-2 カルボニル化合物気中濃度測定結果

表 8-5 温湿度測定結果

	C-1		C-2		C-3		C-4		C-5		C-6		C-7	
	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]	温度 [°C]	湿度 [%RH]	温度 [°C]	湿度 [%RH]
外気	27.3	83	25.5	69	27.7	80	23.8	94	8.6	83	26.7	87	27.3	89
居間	27.8	73	27.5	67	30.5	68	27.1	75	24.9	43	24.2	75	23.9	85
寝室	29.3	66	28.3	75	32.4	63	27.0	71	26.5	41	25.6	77	23.5	80

表 8-6 25 $^{\circ}\text{C}$ 、50%RH 換算後の気中濃度測定結果

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7
居間	38.0	19.7	39.6	63.8	35.2	23.1	18.4
寝室	46.7	18.6	47.9	49.5	47.8	29.9	38.8

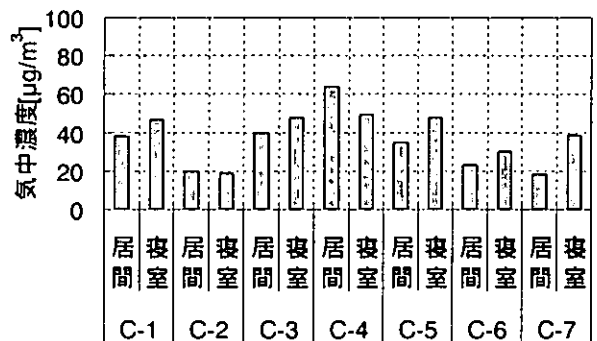


図 8-3 25 $^{\circ}\text{C}$ 、50%RH 換算後の気中濃度測定結果

(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。

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

- 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]

上記式(8-1)を用いて算出したC-6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C-6のホルムアルデヒドは31.3μg/m³であった。これに対して実測値は23.1μg/m³であった。またアセトアルデヒドにおいては、予測値が18.1μg/m³であり、それに対し実測値は23.9μg/m³であった。両物質とも比較的予測値と実測値が近い値を示した。これは、放散源が壁、床、天井のみであることを示している。C-7においては予測値が実測値を大きく上回る結果となった。よって、各部位からの放散が気中濃度に与える影響が小さいと解釈できる。

8-4-2 VOCs

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。

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が考えられる。天井、壁に用いられている下地材、内装材は同一であり、さらにクロス用接着剤も壁、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部位別放散速度の違いが見られた。C-3以降のVOCs気中濃度、放散速度は低い値を示し、入居時には指針値を満した空気環境を保っているといえる。

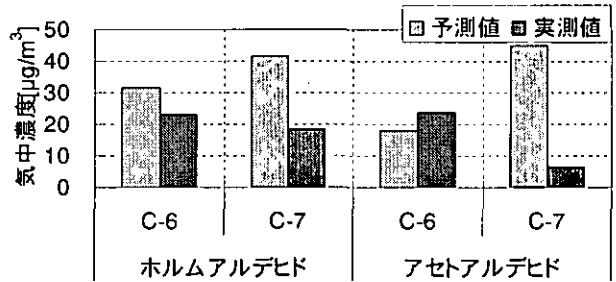
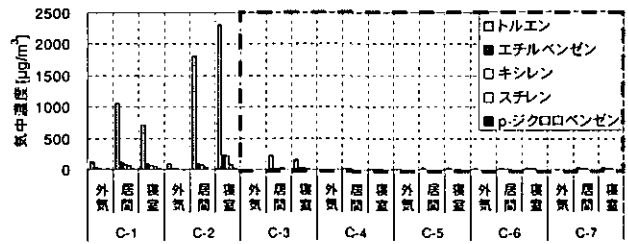


図8-6 予測値と実測値の比較



詳細図

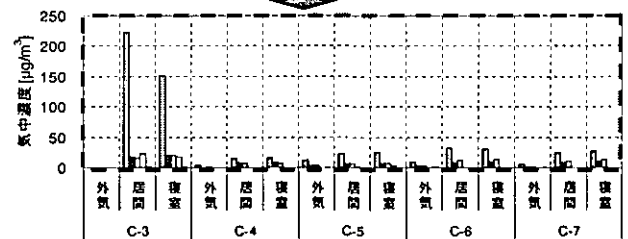


図8-7 VOCs気中濃度測定結果

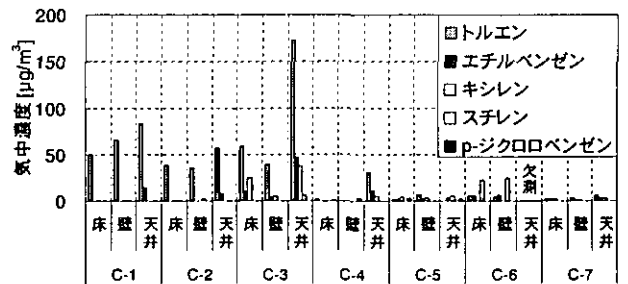


図8-8 VOCs部位別放散速度測定結果

表8-10 予測値と実測値の比較

対象物質		外気濃度 [μg/m ³]	放散量合計 [μg/h]	換気量 [m ³ /h]	予測値 [μg/m ³]	実測値 [μg/m ³]
C-6	ホルムアルデヒド	4.0	1727.5	63.2	31.3	23.1
	アセトアルデヒド	4.0	889.6		18.1	23.9

8-4-3 換気量測定

2003年8月5日から8月11日においてPFT法及び、SF₆をトレーサーガスとして用いた一定濃度法による換気量測定を行った。表8-11に実測日程を示す。

(1) PFT法を用いた換気量測定

本報ではPFT法を用いて、日程Aと日程Bでは壁から流入してくる空気量を調べるために、居間と壁内の空気の交換量測定を行い、日程Cにおいては冬季を模擬し、床暖房を使用した条件における床下と居間での空気交換量測定を行った。計算式は以下の通りである。

$$\begin{aligned} \text{ZONE1} \quad & \text{HX: } Q_{2,1}C_{\text{HX}2} - Q_{1,0}C_{\text{HX}1} - Q_{1,2}C_{\text{HX}1} = 0 \\ & \text{Oc: } Q_{2,1}C_{\text{Oc}2} - Q_{1,0}C_{\text{Oc}1} - Q_{1,2}C_{\text{Oc}1} = -\Sigma\text{MOc} \\ \text{ZONE2} \quad & \text{HX: } Q_{1,2}C_{\text{HX}1} - Q_{2,0}C_{\text{HX}2} - Q_{2,1}C_{\text{HX}2} = -\Sigma\text{MHx} \\ & \text{Oc: } Q_{1,2}C_{\text{Oc}1} - Q_{2,0}C_{\text{Oc}2} - Q_{2,1}C_{\text{Oc}2} = 0 \\ Q_{0,1} &= Q_{1,0} + Q_{1,2} - Q_{2,1} \\ Q_{0,2} &= Q_{2,0} + Q_{2,1} - Q_{1,2} \\ C_{\text{HX}N} &: \text{ZONE N における } C_6F_6 \text{ の気中濃度 } [\mu\text{g}/\text{m}^3] \\ C_{\text{Oc}N} &: \text{ZONE N における } C_7F_8 \text{ の気中濃度 } [\mu\text{g}/\text{m}^3] \\ \text{MHx} &: C_6F_6 \text{ の放散量 } [\mu\text{g}/\text{h}] \quad \text{MOc: } C_7F_8 \text{ の放散量 } [\mu\text{g}/\text{h}] \\ Q_{N,M} &: \text{ZONE N から ZONE M への換気量 } [\text{m}^3/\text{h}] \end{aligned}$$

また、日程A、日程Bでの実測概要を図8-9に、日程Cにおける実測概要を図8-10に示す。そして上記式を用いて計算した空気交換量及び、新鮮外気導入量測定結果を表8-12に示す。

測定結果より、第1種換気では壁からの空気量は7.9m³/h、第3種換気では97.3m³/hであり、第3種換気では壁から入る空気量が増加することが分かった。よって第3種換気では、壁内に残留していた汚染物質がより多く室内に流入してしまう可能性が高い。日程Cでは第1種換気かつ、排気口が床下にあったため、床下から室内への空気流入量は少なくなり、床下からの汚染物質の流入は少ないと思われる。

(2) SF₆を用いた一定濃度法における換気量測定

一定濃度法による測定結果から、以下に示す式より換気量及び換気回数を求める。

$$\begin{aligned} \text{換気量}(\text{m}^3/\text{h}): Q &= F/C & \text{換気回数}(\text{回}/\text{h}): N &= Q/V \\ F: \text{SF}_6 \text{ 発生量}(\text{mg}/\text{h}) & & C: \text{SF}_6 \text{ 濃度}(\text{mg}/\text{m}^3) & \\ V: \text{部屋の容積}(\text{m}^3) & & & \end{aligned}$$

日程C(第1種換気、床暖房使用)の床下は、換気量28.59m³/hとなりPFT法による換気量測定の結果である65.7m³/hと比較すると倍以上の差が見られた。

表 8-11 換気測定日程

	換気の種類	測定日
日程 A	第 1 種換気	2003 年 8 月 5 日
日程 B	第 3 種換気	2003 年 8 月 8 日
日程 C	第 1 種換気 (床暖房使用)	2003 年 8 月 9 日

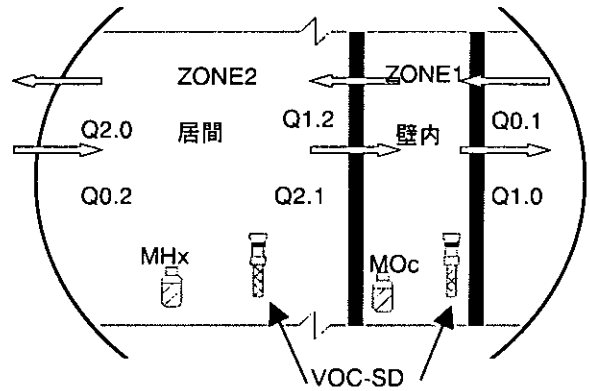


図 8-9 日程 A・B における換気測定概要

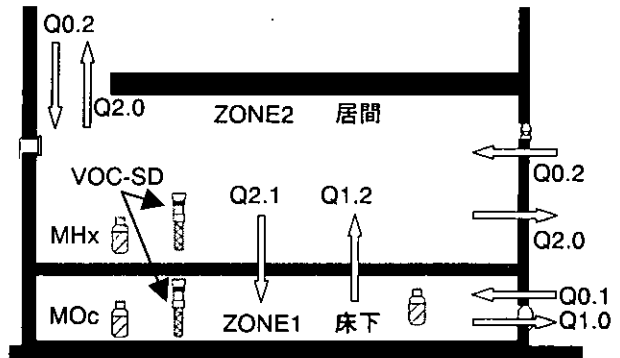


図 8-10 日程 C における換気測定概要

表 8-12 PFT 法による換気測定結果

	換気量(m ³ /h)		
	日程 A	日程 B	日程 C
Q1,2	0.3	12.4	3.0
Q2,1	7.9	97.3	61.1
Q1,0	2.4	0.2	123.9
Q2,0	123.0	954.3	314.3
Q0,1	-5.2	-84.8	65.7
Q0,2	130.6	1039.3	372.4

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、PFT法を用い空気の交換量を測定することにより、各部位から汚染物質流入する可能性を探った。

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が、入居時には指針値を満たした。しかしながら、1年が経過した場合においても、第1種換気から第3種換気に切り替えることにより、少量ながらホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの放散速度が上昇することが分かった。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。気中濃度予測結果について、C-6では両物質とも比較的予測値と実測値が近い値を示した。これは、放散源が壁、床、天井のみであることを示している。C-7においては予測値が実測値を上回る結果となった。よって、各部位からの放散が気中濃度に与える影響が大きい可能性がある。PFT法を用いた空気の交換量測定結果について、第1種換気から第3種換気に切り替えた場合、壁から室内に流入する空気量が増加するため、それと同時に汚染物質が流入する可能性がある。また、 SF_6 を用いた一定濃度法による換気量測定結果と比較した場合2倍以上の差がみられたため、今後PFT法の整合性を確認する必要がある。

【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) 酒井ら, “パッシブ測定法を用いた室内空気質評価 その 5~7”, 日本建築学会学術講演梗概集, 2003, pp887-892.
- 4) 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.
- 5) 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
- 6) 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, pp. 9-14, 1997.
- 7) 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
室内空気質の経年変化と
二次汚染の測定

第9章 新築集合住宅における室内空気質の経年変化と二次汚染の測定

The change in indoor air quality with lapsed time and secondary pollution in newly-built apartment houses

In order to identify the effects of the time elapsed from completion on indoor concentrations of formaldehyde, VOCs and fungi and the mechanism of the secondary pollution caused by the decomposition of formaldehyde, field measurement in apartment houses and chamber experiments were conducted.

In the rainy season, summer, autumn and winter, temperature, relative humidity, the concentrations of formaldehyde, VOCs and CFU (Colony Forming Unit), as well as formic acid, ozone and nitrogen dioxide were measured in newly-built apartment houses which had the same building materials. Limonene and *p*-dichlorobenzene showed high concentrations. The concentration of formaldehyde did not decrease with the elapsed time. The ratio of formic acid to formaldehyde was high when the concentration of nitrogen dioxide was high.

The chamber experiment was conducted to identify the effects of ultraviolet rays on decomposition of nitrogen dioxide and formaldehyde. The results showed that ultraviolet rays decreased the ratio of formic acid to formaldehyde, although it increased O radical and ozone.

KEYWORD: Apartment house, VOCs, Formaldehyde, Formic acid, Ultraviolet rays, Fungi.

9-1 はじめに

9-1-1 研究目的

室内空気質汚染物質として揮発性有機化合物 (VOCs) やホルムアルデヒド (HCHO) が問題視され濃度測定や発生量を把握するための研究は多く行われている^{1) 2) 3)}しかし、実際の住宅中では建材以外の発生源が多様に存在する。そのため空気汚染の要因を特定することは困難であり、指針値制定以降に施工された住宅について実測調査を行い、実態を把握する必要がある。そこで、既報^{4) 5)}では同一の建材を使用する集合住宅において実測を行い、分散分析を用いて測定対象物質の濃度変化の要因を経時または温湿度、建材、生活様式の3タイプに分類した。

本研究では各物質の経年による期中濃度の変動を明らかにするために既報で測定を行った住宅における実測と、二次汚染について明らかにする事を目的としたチャンバー実験を行った。

9-1-2 ホルムアルデヒドに起因する二次汚染

二次汚染については関根らの研究からホルムアルデヒドの酸化反応により蟻酸の生成が確認されている⁶⁾。蟻酸は皮膚、眼、粘膜に強い刺激があり、蛋白尿、血尿、失明等の人体影響を及ぼす。厚生労働省からの指針値は制定されていないが、作業環境濃度の制限がされていることから、実測を行い実態把握を行う

ことが重要である。

蟻酸の生成プロセスは図9-1に示す反応が考えられる。実測ではホルムアルデヒド、VOCs以外に二酸化窒素 (NO₂)、オゾン (O₃)、蟻酸 (HCOOH)、の測定を行った。また、チャンバー実験を行い、蟻酸の生成プロセスについての検討を行った。

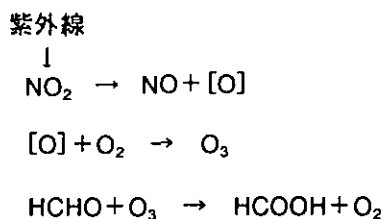


図9-1 蟻酸発生プロセス

9-2 集合住宅実測

9-2-1 目的

前年度の研究で扱った住宅のうち2件を選び、気中濃度の経時変化の検討を行うためのデータの蓄積を行うための実測を行った。



図9-2 実測対象住宅外観

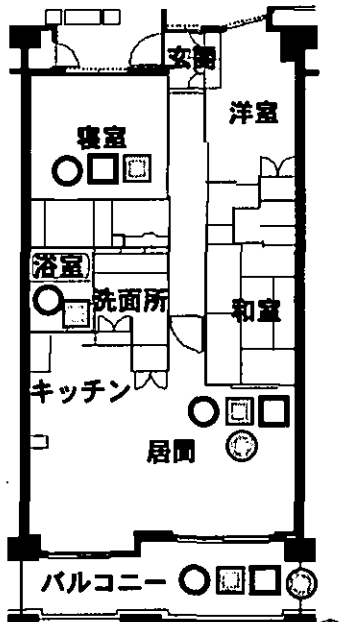
9-2-2 方法

(1) 実測対象住宅及び測定箇所

実測は2002年3月に竣工された駒場にある集合住宅で行った。集合住宅の外観を図9-2に、住宅概要を表9-1に示す。本年度はより詳細な測定を行うために昨年度よりも測定件数を減らして行った。測定を行った2室は間取りが同じであるため、容積、面積、平面図は1室について示している。実測対象住宅は2車線の交通量が中程度の特例都道から、100m程度離れた住宅地にある低ホルムアルデヒド建材を用いた集合住宅である。図9-3に実測対象住宅の平面図及び測定箇所を示す。測定を行ったホルムアルデヒド、VOCs、蟻酸、オゾン、二酸化窒素は同一個所で測定を行った。浮遊真菌は浴室を含む4カ所で行った。

表9-1 住宅概要

	A-1	A-2
構造・タイプ	RC造・マンション	
竣工日	2002年3月	
家族構成	2人	2人
階数	4階/4階	1階/4階
容積[m ³]	238	
面積[m ²]	95	
居間[m ²]	28	
寝室[m ²]	12	
内部仕上げ材	天井	脱塩ビニルクロス
	壁	脱塩ビニルクロス
	床	目地有リフローリング



○ 浮遊真菌測定箇所
 □ 化学物質測定箇所
 ▭ 温湿度測定箇所
 ⊙ 紫外線測定箇所
 図9-3 平面図及び測定箇所

(2) 温湿度測定方法

温湿度の測定は連続記録型温湿度計(サーモレコーダー、ESPEC製)を用いて行った。床上1.2mに設置し、測定開始直前から5分間隔で24時間の測定を行った。サーモレコーダーを図9-4に示す。

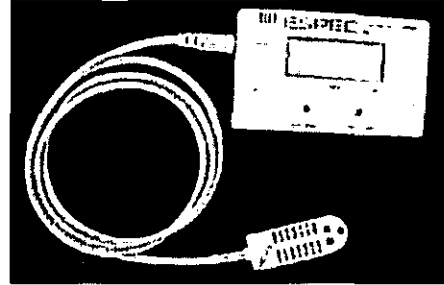


図9-4 サーモレコーダー

(3) VOCs測定方法及び分析方法

VOCsの測定にはVOC-SD(SUPELCO製)を用いて行った。測定は床上1.2mになるように吊り下げ、24時間の捕集を行った。定量分析はガスクロマトグラフィー(島津製作所製)を用いて行った。分析後検量線より各物質のAreaを求めた後、式(9-1, 2)から、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, 3)を用いて気中濃度を求めた。分析条件を表9-2に示す。VOC-SDとガスクロマトグラフィーを図9-5に示す。

$$M = a \times p_0 \times \frac{S_b}{S_a}$$

M: 捕集量[m³] a: 使用溶媒量[mL]
 p₀: 標準液濃度[ppm] S_a: スタンダードのArea
 S_b: 試料のArea

$$C = \frac{M}{d \times t}$$

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

物質名	サンプリング係数
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

$$C = \frac{M \times 273 \times m}{D \times t \times 22.4 \times (273 + t)}$$

C: 濃度[mg/m³] 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]
 D: サンプル係数[m³/h]

物質名	サンプリング係数	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 9-2 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
Injection Temp.	240°C
Carrier Gas	Helium
Flow Rate	2.5mL/min
Injection Volume	1µl
Detector	FID

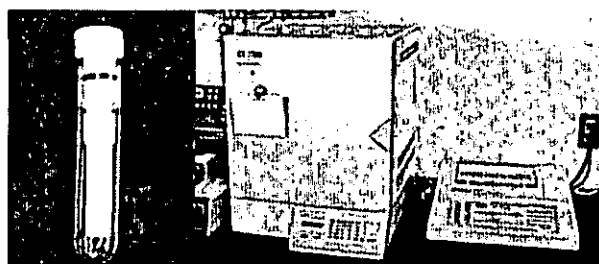


図 9-5 VOC-SD とガスクロマトグラフィー

(4) ホルムアルデヒド測定方法及び分析方法

ホルムアルデヒドの測定には DSD-DNPH(SUPELCO 製)を用いて行った。測定は床上 1.2m になるように吊り下げ、24 時間の捕集を行った。定量分析は高速液体クロマトグラフ(HPLC: 島津製作所製)を用いて行った。分析後検量線より各物質の Area を求めた後、式(9-4, 5)から、気中濃度[µg/m³]を求めた。分析条件を表 9-3 に示す。DSD-DNPH と高速液体クロマトグラフを図 9-6 に示す。

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

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]

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

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 9-3 分析条件

送液ポンプ	島津製作所製送液ユニット LC-6A
検出器	島津製作所製 UV 検出器 SPD-6A
分離カラム	GL Science 社製 Intertsil ODS-80A 4.6×150mm
分離液	アセトニトリル/水=45/55
流量	1.5mL/min
カラム温度	40°C
注入量	0.5µg/mL
吸収測定波長	360nm

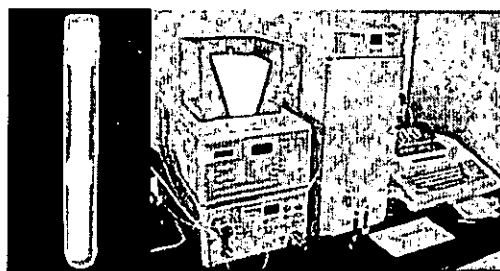


図 9-6 DSD-DNPH と高速液体クロマトグラフ

(5) 蟻酸測定方法及び分析方法

蟻酸測定に用いるパッシブサンプラーは市販されていない。そこで塚原らが提案した TEA-Dish 法を用いて測定を行った⁸⁾。TEA-Dish 法に用いる補修材は 90mm のセルローズ濾紙(ADVANTEC 製)に 10%TEA (トリエタノールアミン)を 1mL 含浸させた後、ドライオーブン(Drying Oven DO-450: iuchi 製)を用いて 65°C 10 分間乾燥させて作成した。測定は床上 1.2m に設置し、24 時間の捕集を行った。ただし、屋外に設置する場合は風速による影響が考えられるので、図 9-7 に示すような百葉箱を作成し、内部にサンプラーを設置して測定を行った。定量分析には図 9-8 に示すイオンクロマトグラフィー(ICS-90, DIONEX 製)を用いて行った。分析条件を表 9-4 に示す。サンプリング係数はアクティブサンプラーとパッシブサンプラーを近い位置に設置し、24 時間捕集後、式(9-6)、(9-7)から求めた値を用いた。気中濃度は Standard 液から得られた検量線から捕集量を得て、式(9-8)を用いて求めた。

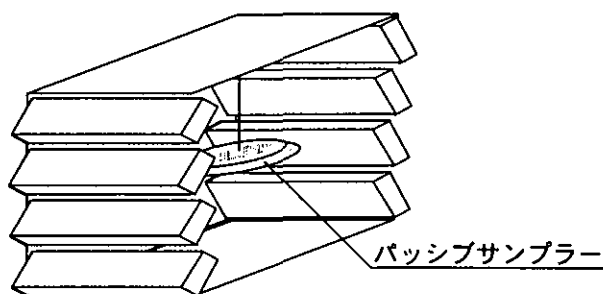


図 9-7 屋外設置方法

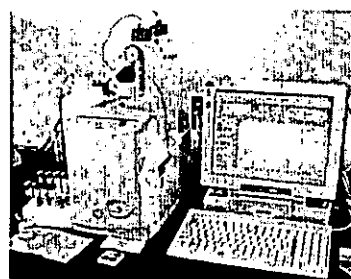


図 9-8 イオンクロマトグラフ

表 9-4 分析条件

カラム	DIONEX 製 Ion Pack AS-9-HC Analytical (4x250mm) Product No.51786
溶離液	Na ₂ CO ₃ , 5mM
除去液	H ₂ SO ₄ , 15mM
流量	1.0mL/min
抽出液	蒸留水 10mL
導入量	25μL

$$C_{fa} = \frac{a'}{a} \times v + V \quad \dots (9-6)$$

C_{fa} : 蟻酸濃度 [mg/m³] a' : 試料の Peak 面積
 a : Standard 溶液の Peak 面積 v : 抽出量 [mL]
 V : 試料空気採取量 [mg/m³]

$$D = C_p / C_{fa} \quad \dots (9-7)$$

D : サンプル係数 [m³/h]
 w_p : パッシブサンプラーの時間当り捕集量 [mg/h]
 C_{fa} : アクティブサンプラーの蟻酸濃度 [mg/m³]

$$C' = \frac{m}{D \times t} \quad \dots (9-8)$$

C' : 濃度 [mg/m³] D : サンプル係数 [m³/h]
 m : 捕集量 [μg] t : サンプル時間 [h]

(6) 二酸化窒素、オゾン測定方法及び分析方法

二酸化窒素とオゾンの測定には短期曝露用サンプラー(小川商会製)を用いて行った。測定は床上 1.2m に設置し、24 時間の捕集を行った。二酸化窒素の定量分析は比色分析法により吸光光度計(UV mini 1240、島津製作所製)を用いた。濾紙から蒸留水 8mL で抽出を行った後発色試液(スルファル・NEDA 溶液)2mL を加えて Standard 液から求めた検量線を用いて捕集量を得る。その後、式(9-9, 10)を用いて、気中濃度を得た。オゾンの定量分析はイオンクロマトグラフィーを用いて行った。分析条件は表 9-4 を参照されたい。Area を得た後検量線から捕集量を得た後式(9-11)を用いて気中濃度を求めた。図 9-9 に短期曝露型パッシブサンプラーを、図 9-10 に吸光光度計を示す。

$$C = \alpha_{NO_2} \times \frac{W_{NO_2}}{t} \quad \dots (9-9)$$

C : NO₂ 濃度 [ppm]
 α_{NO_2} : 大気中濃度換算係数 [min/mg] (56 とした)
 t : 曝露時間 [min] W_{NO_2} : 捕集された NO₂ 量 [μg]

$$C' = \frac{C \times 273 \times M}{22.4 \times (273 + \theta)} \quad \dots (9-10)$$

C' : NO₂ 濃度 [mg/m³] M : 分子量
 θ : 測定中の温度 [°C]

$$C = \alpha_{O_3} \times \frac{W_{O_3}}{t} \quad \dots (9-11)$$

C : O₃ 濃度 [ppm]
 α_{O_3} : 大気中濃度換算係数 [min/mg]
 W_{O_3} : 捕集された O₃ 量 [μg] t : 曝露時間 [min]

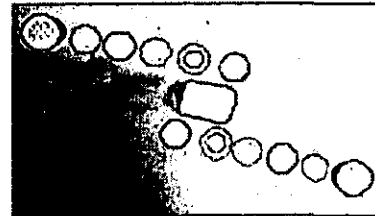


図 9-9 短期曝露用パッシブサンプラー

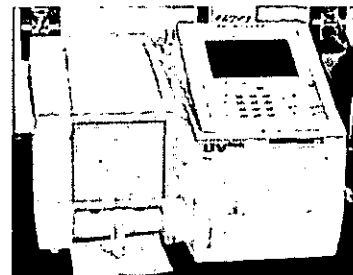


図 9-10 吸光光度計

(7) 紫外線測定方法及び分析方法

紫外線の測定は紫外線強度計(UM-10、コニカミノルタ製)を用いた。測定は床面に設置して行った。紫外線強度計を図 9-11 に示す。

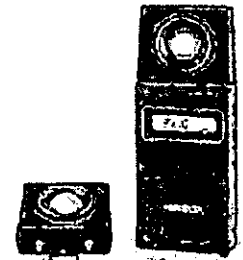


図 9-11 紫外線強度計

(8) 浮遊真菌測定方法及び分析方法

浮遊真菌の測定は BioSamp(ミドリ安全社製)を用いて行った。培地は 90mm シャーレと DG-18 培地を用い、床上 1.2m に設置して、400L(4 分間、100L/min)の捕集を行った。測定終了後シャーレを密封し、インキュベーター(SANYO 製)を用いて 4 日間培養後目視でカウントを行った。BioSamp を図 9-12 に示す。

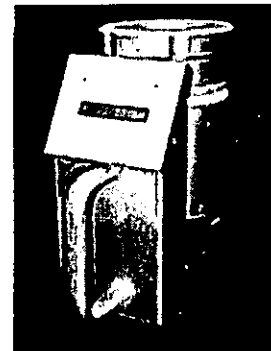


図 9-12 BioSamp

9-2-3 結果

(1) 温湿度

温湿度の測定結果を図9-13に示す。温度は概ね差がないが、相対湿度はA-1邸よりA-2邸の方が概ね高かった。

(2) VOCs

表9-5に実測結果を示す。ベンゼン、エチルベンゼン、キシレン、スチレンはほとんど検出されなかった。主に検出されたのはトルエン、p-ジクロロベンゼン、リ

モネンの3物質であった。これは、昨年の結果から生活様式の違いにより、測定値に差があった物質であり、本年でも同様の傾向が見られた。気中濃度はA-1邸が全ての物質について高く、p-ジクロロベンゼンは最大で厚生労働省の指針値の4.3倍、リモネンはWHOのテンペン類の指針値の7.5倍と非常に高い濃度であった。3物質について測定値が昨年度よりも低い。これは、測定結果を居住者に掲示したところ、どちらの住宅も化学物質の発生が予想される製品の使用を抑えていたのでその影響であると考えられる。

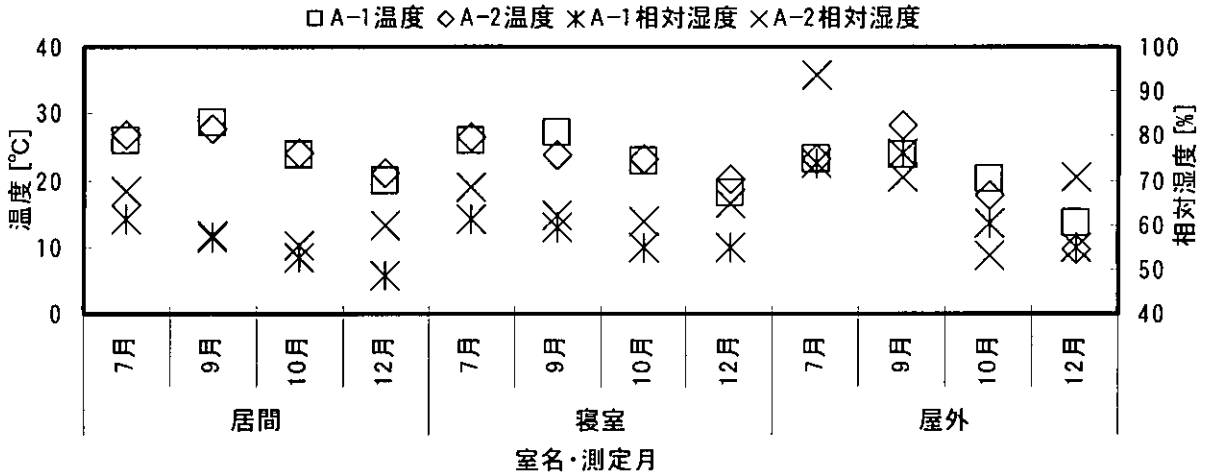


図9-13 温湿度測定結果

表9-5 VOCs測定結果

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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^{*1}	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^{*2}
A-1	居間	7月	N.D.	67	N.D.	N.D.	60	556	172
		9月	N.D.	70	N.D.	N.D.	N.D.	323	95
		10月	N.D.	31	N.D.	N.D.	N.D.	244	60
		12月	N.D.	68	N.D.	N.D.	N.D.	438	165
	寝室	7月	N.D.	78	14	N.D.	79	1026	225
		9月	N.D.	87	N.D.	N.D.	N.D.	582	131
		10月	N.D.	31	N.D.	N.D.	N.D.	245	56
		12月	N.D.	63	N.D.	N.D.	N.D.	514	166
	屋外	7月	15	14	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
		9月	N.D.	32	N.D.	N.D.	N.D.	42	N.D.
		10月	N.D.	15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
		12月	N.D.	45	N.D.	N.D.	N.D.	33	N.D.
A-2	居間	7月	N.D.	24	N.D.	N.D.	N.D.	55	20
		9月	N.D.	34	N.D.	N.D.	N.D.	109	N.D.
		10月	N.D.	25	N.D.	N.D.	N.D.	96	N.D.
		12月	N.D.	35	N.D.	N.D.	N.D.	316	54
	寝室	7月	N.D.	13	N.D.	N.D.	N.D.	49	N.D.
		9月	N.D.	53	N.D.	N.D.	N.D.	207	49
		10月	N.D.	23	N.D.	N.D.	N.D.	106	N.D.
		12月	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	679	68
	屋外	7月	N.D.	17	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
		9月	N.D.	18	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
		10月	N.D.	20	N.D.	N.D.	N.D.	31	N.D.
		12月	N.D.	37	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ガイドライン VOC に関する基準

■: ガイドラインを超えた測定値

(3) ホルムアルデヒド

測定結果を図9-14に示す。A-1邸、A-2邸とも厚生労働省指針値の100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ は超えなかった。ホルムアルデヒドの発生量は温湿度により影響を受ける事が分かっているので式(9-12)に示す井上の式⁷⁾により濃

$$C_0 = C \times \frac{1.09^{(t-t_0)}}{1+0.01(H-H_0)} \quad \dots (9-12)$$

- C_0 : 補正気中濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- C : 実測気中濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- t_0 : 補正温度 [$^{\circ}\text{C}$] (=25 $^{\circ}\text{C}$)
- t : 実測平均温度 [$^{\circ}\text{C}$]
- H_0 : 補正相対湿度 [%] (50%)
- H : 実測平均相対湿度 [%]

—◇— A-1居間 —□— A-1寝室 —△— A-1屋外 —×— A-2居間 —*— A-2寝室 —+— A-2屋外

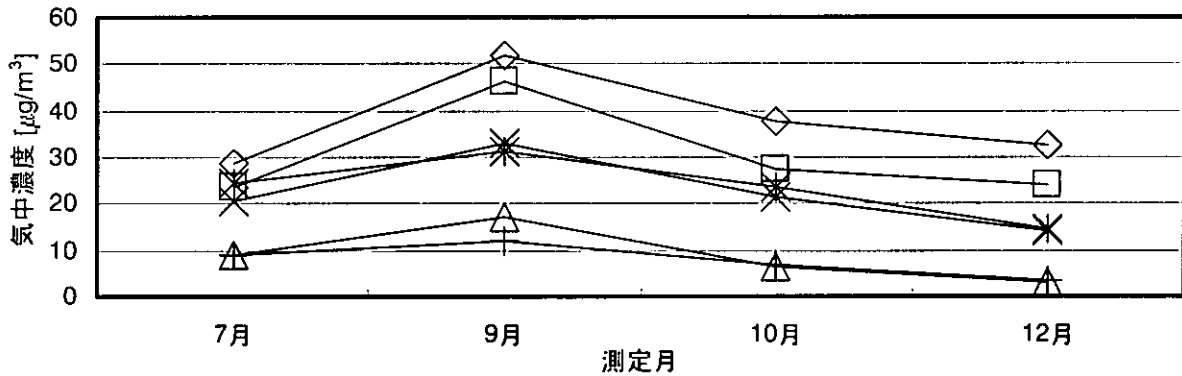


図9-14 ホルムアルデヒド測定結果

—◇— A-1居間 —□— A-1寝室 —△— A-1屋外 —×— A-2居間 —*— A-2寝室 —+— A-2屋外

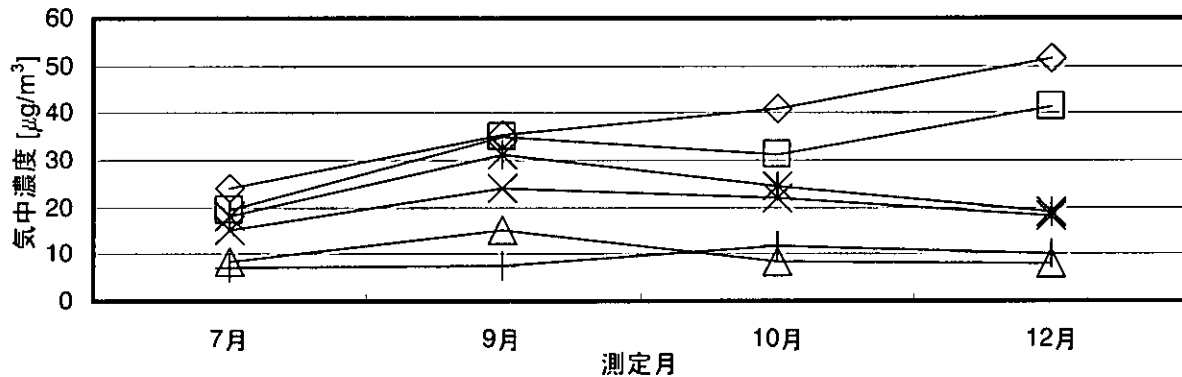


図9-15 ホルムアルデヒド補正結果

—◇— A-1居間 —□— A-1寝室 —△— A-1屋外 —×— A-2居間 —*— A-2寝室 —+— A-2屋外

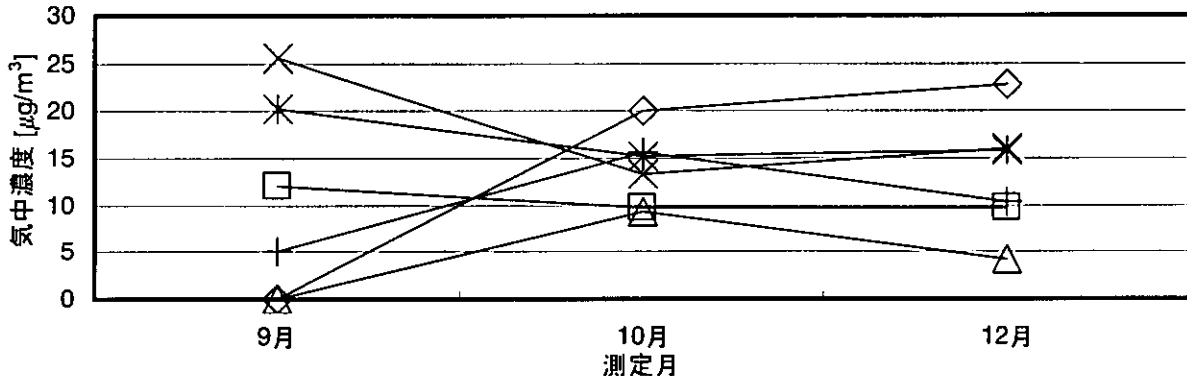


図9-16 蟻酸測定結果

度の補正を行った。補正結果を図9-15に示す。測定月間で分散分析を行ったが、有意差は得られなかったことから経時による気中濃度の変動は小さかったと言える。

(4) 蟻酸

蟻酸の測定は9月から行った。測定結果を図9-16に示す。9月のA-1邸居間、屋外はブランクの値が気中濃度より高く測定値が0以下であったので、欠測とした。A-2邸では居間と寝室の測定値はほとんど変わらなかったが、A-1邸では日射しの入射する南側の居間の方が北側の寝室よりも高かった。

(5) 二酸化窒素

二酸化窒素の測定は9月から行った。測定結果を図9-17に示す。10月A-1邸寝室は欠測であった。両室共に室内の気中濃度より屋外の方が高かったことから二酸化窒素は屋外由来であることが言える。環境庁告示の1日平均の環境基準値は0.06ppmであるが、全ての値は基準値を下回っていた。

に示す。10月のA-2屋外以外、12月の居間、屋外以外は検出限界以下の値であった。

(7) 浮遊真菌

測定結果を図9-19に示す。A-2よりA-1の方が浮遊真菌濃度は高かった。特に浴室が高く、12月でもHighであった。全体的に培地を問わず12月の浮遊真菌濃度が高い傾向にあるが、理由は分からなかった。

(6) オゾン

オゾンの測定は9月から行った。測定結果を図9-18

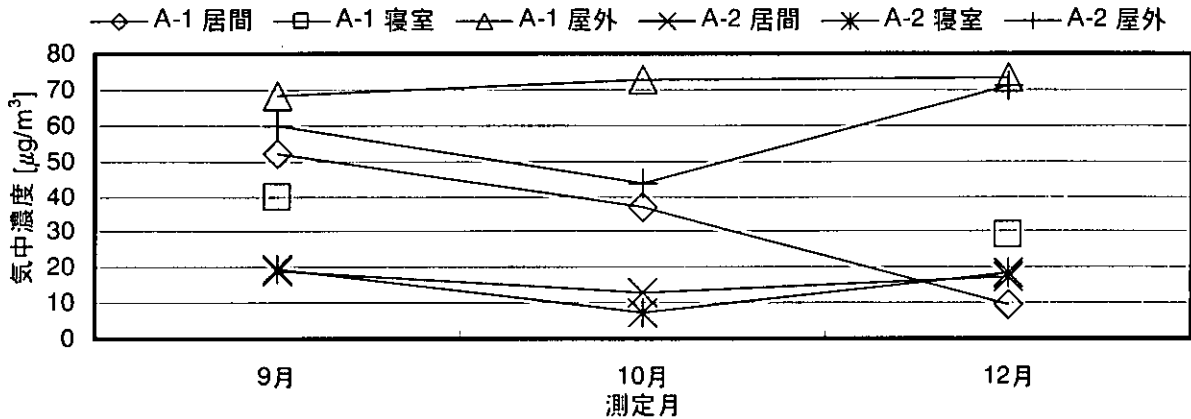


図 9-17 NO₂測定結果

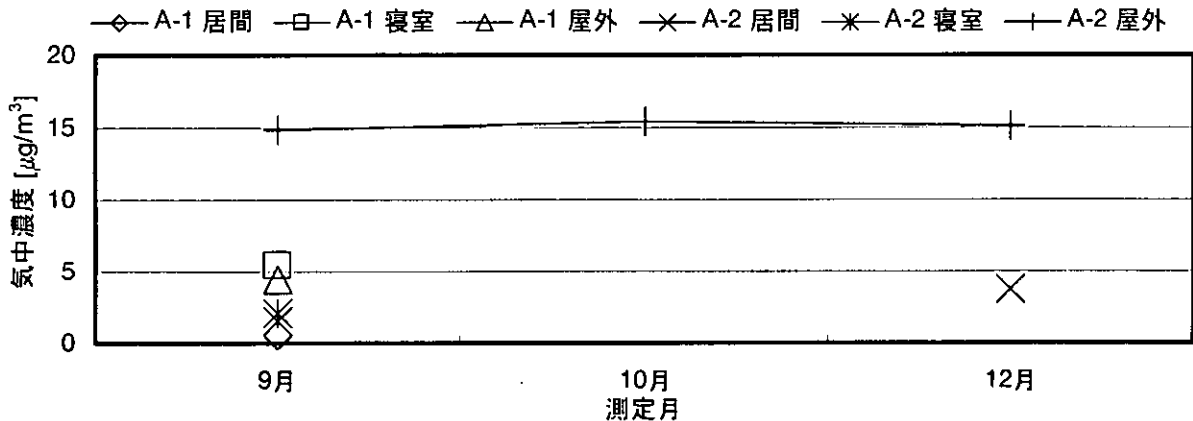
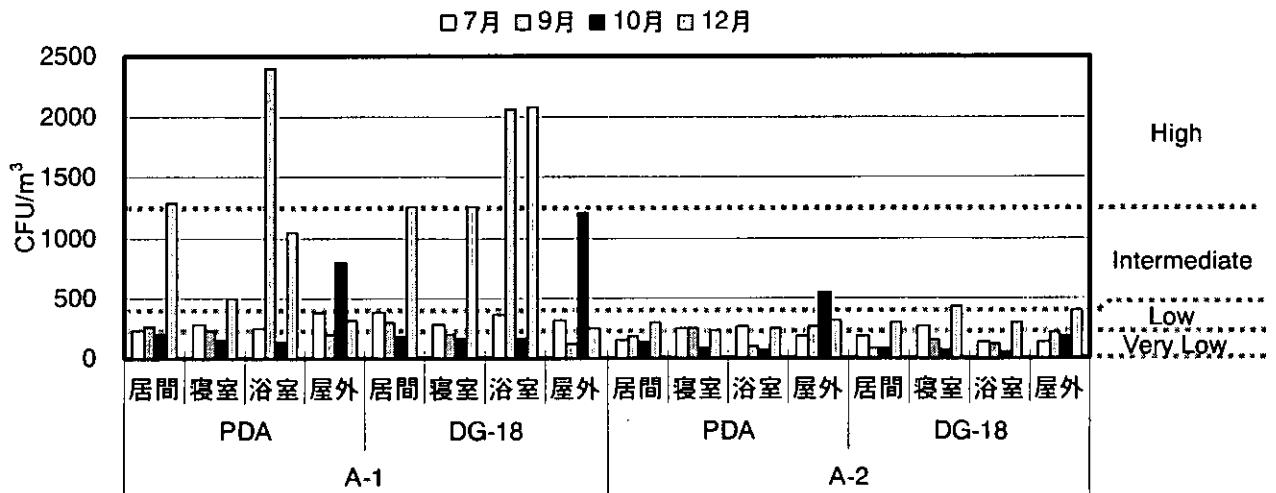


図 9-18 O₃測定結果



室名・使用培地・邸名

図 9-19 浮遊真菌測定結果

9-2-4 考察

オゾンは欠測が多く、本項では評価は行わなかった。ホルムアルデヒド、蟻酸、二酸化窒素について検討を行った結果を示す。

(1) ホルムアルデヒドと蟻酸の変動

図9-20にホルムアルデヒドと蟻酸の変動を示す。各室とも両物質は似た挙動をしていることから、ホルムアルデヒドの気中濃度が高い室では蟻酸が多く生成され、ホルムアルデヒドの気中濃度が低い場所では蟻酸の生成が少ない。このことからホルムアルデヒドは蟻酸の前駆物質であることが言える。表9-6にHCOOH/HCHO比を示す。月間で分散分析を行った結果、有意差は得られなかったが、9月<10月<12月である傾向が見られた。この結果から夏季よりも冬季に蟻酸は多く生成されることが分かった。

表 9-6 HCOOH/HCHO

		9月	10月	12月
A-1	居間	-	0.530	0.708
	寝室	0.259	0.352	0.406
	屋外	-	1.489	1.402
A-2	居間	0.774	0.617	1.128
	寝室	0.647	0.648	1.105
	屋外	0.416	2.345	3.227

(2) HCOOH/HCHO 比と NO₂ の挙動

図9-21にX軸に二酸化窒素の気中濃度を、Y軸にHCOOH/HCHO比をプロットした図を示す。二酸化窒素の気中濃度が高いと蟻酸がホルムアルデヒドよりも多くなる傾向が見られた。

9-2-5 実測結果のまとめ

実測結果から以下の知見を得た。

- ①VOCs は主にトルエン、p-ジクロロベンゼン、リモネンが検出され、p-ジクロロベンゼン、リモネンについて昨年の分散分析の結果と同様に生活様式の違いによる影響が見られた。
- ②ホルムアルデヒドは実測値では指針値を超えず、濃度換算の結果経時による影響は見られなかった。
- ③蟻酸はA-1 邸において北側の室より南側の室で気中濃度が高くなる傾向が見られた。
- ④二酸化窒素、オゾンではパッシブサンプラーの性能に問題が見られ、欠測が多く見られた。また、二酸化窒素については屋外由来であることが確認された。
- ⑤実空間においてホルムアルデヒドが蟻酸の前駆物質であることが確認され、蟻酸は夏季より冬季に多く生成されることが分かった。
- ⑥二酸化窒素の気中濃度が高いと蟻酸がホルムアルデヒドよりも多くなる傾向が見られた。

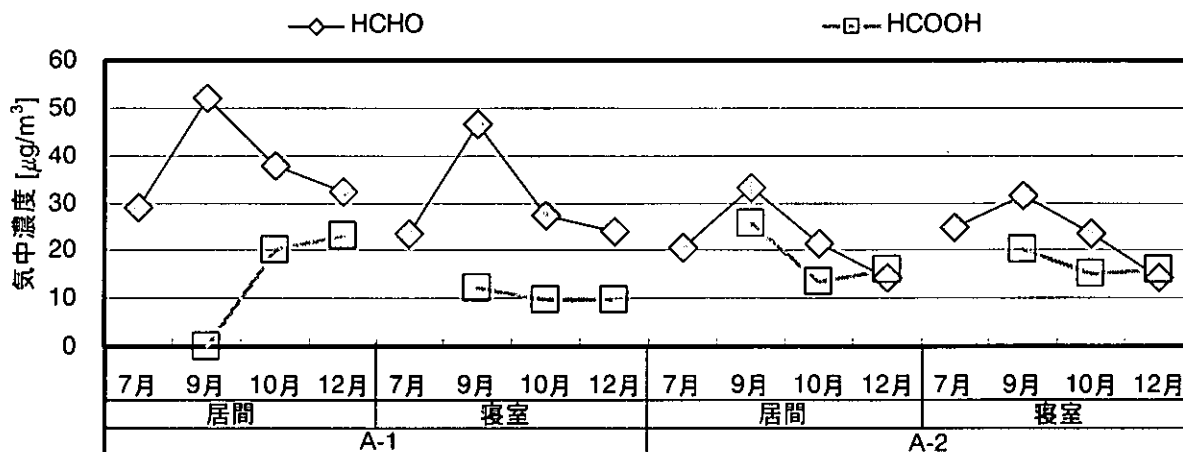


図 9-20 ホルムアルデヒドと蟻酸の変動

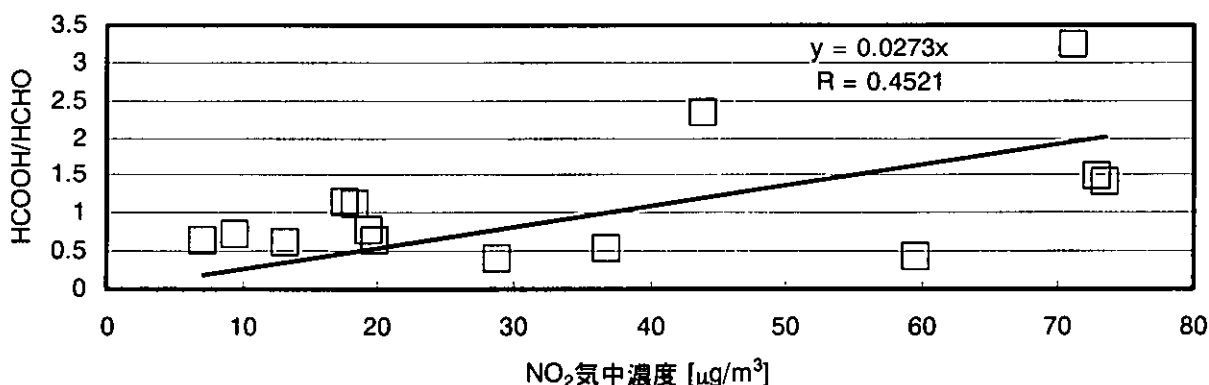


図 9-21 NO₂ と HCOOH/HCHO の挙動

9-3 チャンバー実験

9-3-1 目的

実測から見られたホルムアルデヒドと蟻酸、オゾン
の関係と図 9-1 に示した二酸化窒素の紫外線による光
化学反応から始まる蟻酸の生成プロセスの検討を行
うためにチャンバー実験を行うことを目的とした。

9-3-2 方法

チャンバー実験はまず二酸化窒素のみをチャンバ
ーに導入し、紫外線ランプを点灯し、二酸化窒素の分
解によるオゾンの発生量が紫外線強度の違いにより
変動するか実験を行った。次にホルムアルデヒドと二
酸化窒素をチャンバーに導入し、紫外線ランプを点灯
し、紫外線強度を変動させることで蟻酸の発生量が変
動するか、実験を行った。実験条件を表 9-7 に示す。

(1) チャンバー実験装置概要

図 9-22 にチャンバー実験装置の模式図を示す。ホル
ムアルデヒドは HCHO 溶液を用いて発生させた。二酸
化窒素はパーミエーションチューブを用いて発生させ
た。ホルムアルデヒドと二酸化窒素の発生風景を図
9-23 に示す。

(2) 二酸化窒素捕集方法及び分析方法

二酸化窒素はヤコブス・ホックイザー法を用いて捕
集を行った。捕集後は吸収液に過酸化水素溶液 1mL、
スルファニルアミド溶液 10mL、0.1%NEDA 溶液を加
え、吸光度計を用いて吸光度 (ABS) を得、式 (9-12、
13、14) を用いて気中濃度を求めた。

表 9-7 実験条件

条件	備考
換気回数	N=1 [0.333L/min]
ウォーミングアップ	3 時間
ウォーターバス温度	30°C
HCHO 導入温度	0.4ppm
NO ₂ 導入温度	0.1ppm
チャンバー内容積	20L
温湿度	サーモレコーダー
内部攪拌用ファン	あり
紫外線ランプ	EFD15BLB 東芝ライテック株式会社
紫外線ランプ調光	UV カットシートを用いて 0, 1.3, 6.2, 37.4, 300, 834 μW/cm ² の 6 段階

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} \times T \times 10^{-3} \quad \dots (9-12)$$

V : 試料空気量 [m³]
F₁ : 試料開始時の流量 [L/min]
F₂ : 試料開始後の流量 [L/min]
T : 採取時間 [min]

$$C'_{NO_2} = \frac{(L/a) \times 10}{V \times 0.35} \quad \dots (9-13)$$

C'_{NO₂} : NO₂ 気中濃度 [μgNO₂/m³]
L : 試料の ABS a : 検量線の傾き
V : 試料空気量 [L]

$$C_{NO_2} = C'_{NO_2} \times 5.32 \times 10^{-4} \quad \dots (9-14)$$

C_{NO₂} : 体積濃度 [ppm]

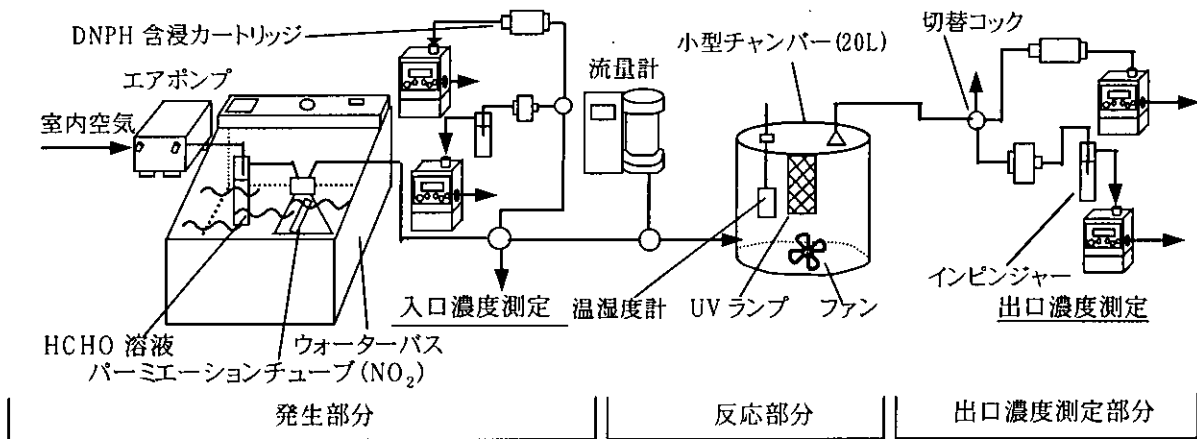


図 9-22 チャンバー実験装置

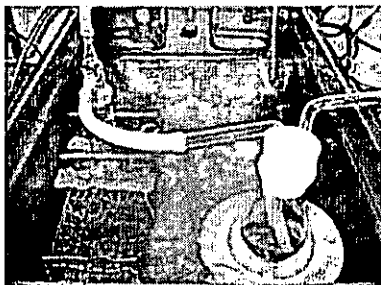


図 9-23 発生風景

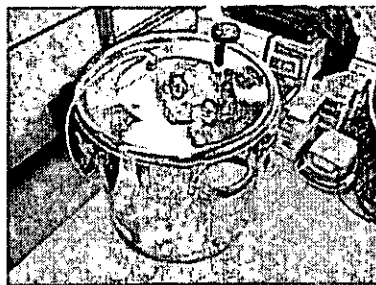


図 9-24 チャンバー外観

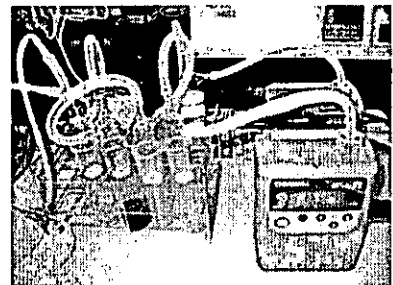


図 9-25 捕集風景

(3) オゾン捕集方法及び分析方法

捕集は中性ヨウ化カリウム法を用いて行った。捕集後、吸光光度計を用いてABSの測定を行い、式(9-15, 16, 17)を用いて気中濃度を求めた。

$$N = A/a \quad \dots (9-15)$$

N : 試料中のヨウ素濃度 [eq/L]

A : 試料の ABS

a : 検量線の傾き

$$M = N \times 1.224 \times 10^5 \quad \dots (9-16)$$

M : O_3 捕集量 [μL]

$$C_{ox} = M/V \quad \dots (9-17)$$

C_{ox} : 体積濃度 [ppm]

V : 試料空気採取量 [L]

(4) 蟻酸捕集方法及び分析方法

蟻酸は 1mM-KOH 溶液を用いて捕集を行った。捕集後吸収液をイオンクロマトグラフィーを用いて定量分析を行い、Area を得た後、式(9-18)を用いて気中濃度を求めた。

(5) ホルムアルデヒド捕集方法及び分析方法

捕集は DNPH アクティブサンプラーを用いて行った。捕集後アセトニトリル 10mL で抽出を行い、イオンクロマトグラフィーを用いて定量分析を行い、Area を得た後、式(9-18)を用いて気中濃度を求めた。

$$C_{fa} = \frac{a'}{a} \times v/V \quad \dots (9-18)$$

C_{fa} : 蟻酸濃度 [mg/m^3] a : 試料の Area

a' : Standard 溶液の Area v : 抽出量 [mL]

V : 試料空気採取量 [L]

9-3-3 結果

実験結果を以下に示す。ただし、体積濃度の換算式が未知であるため、本結果のみ ppb で示す。

(1) オゾン発生量実験

図 9-26 に実験結果を示す。紫外線強度が $30\mu W/cm^2$ までは両物質とも増加した。しかし、 $300\mu W/cm^2$ 以降では減少傾向であった。このことから紫外線強度の範囲により、反応の傾向が変わることが分かった。

(2) 蟻酸発生量実験

図 9-27 に実験結果を示す。紫外線強度が増加すると蟻酸の発生量が減少する傾向が見られた。

9-3-4 チャンバー実験のまとめ

紫外線強度により、光化学反応に違いが見られた。実験結果から、紫外線によりオゾンの発生量は増加するが、ホルムアルデヒドの酸化反応は紫外線により抑制される事が分かった。

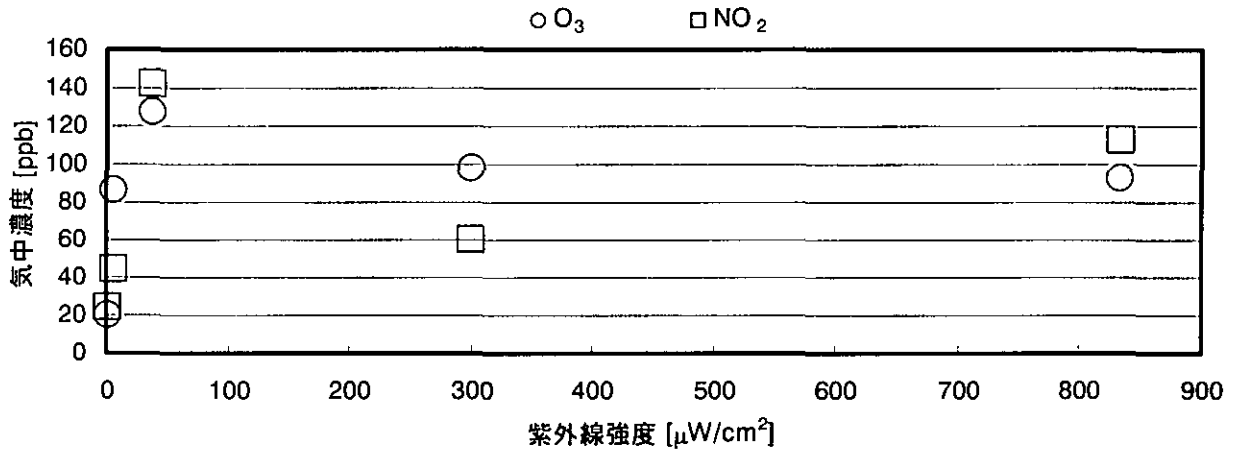


図 9-26 O₃ 発生量実験結果

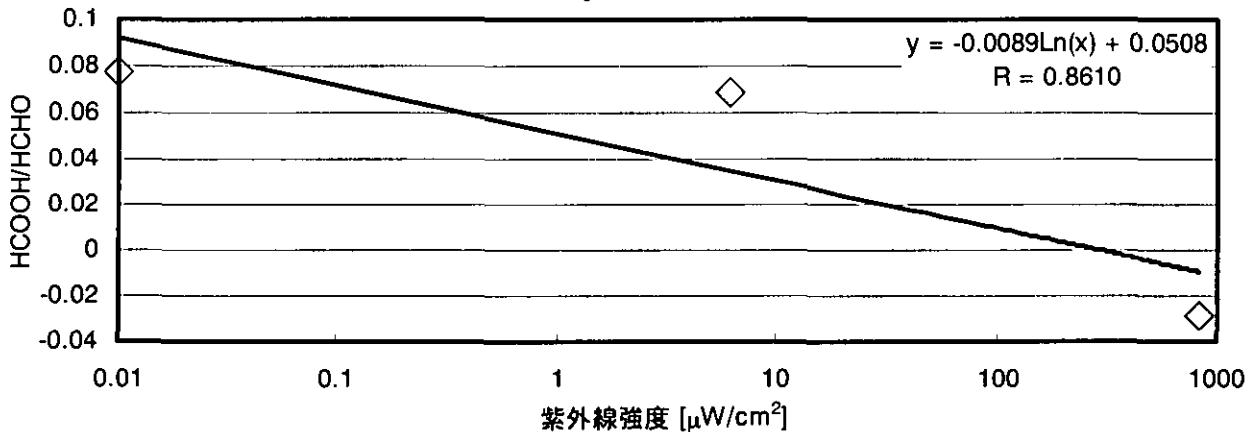


図 9-27 蟻酸発生量実験結果

9-4 結論

本研究より以下の知見を得た。

実測結果から

- ① VOCs は前年度に生活由来と示された物質が検出された。
- ② ホルムアルデヒドは指針値は超えなかったが経時による減衰は見られなかった。
- ③ ホルムアルデヒドが蟻酸の前駆物質であることが確認され、蟻酸は夏季より冬季に多く生成された。
- ④ 二酸化窒素の気中濃度が高いと蟻酸がホルムアルデヒドよりも多くなる傾向が見られた。このことから、二酸化窒素がラジカルの生成に関与し、その結果ホルムアルデヒドから蟻酸が生成されると言える。
- ⑤ 浮遊真菌は住宅による差が見られた。

チャンバー実験から

- ⑥ 紫外線は強度範囲により光化学反応に違いが生じることが分かった。
- ⑦ 紫外線強度が強くなると蟻酸の発生が抑制された結果が得られたため、ホルムアルデヒドの酸化反応は紫外線の弱い場所で起こっていることが分かった。

【参考文献】

- 1) 東ら, “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・衛生工学第77巻, 第1号, 39-44
- 4) 岡垣ら, “集合住宅の空気質に関する実測研究 日本建築学会学術講演梗概集, 2003.9, pp.877-878
- 5) Daisuke Okagaki et al. Measurements of indoor concentrations of aldehydes, VOCs and fungi in newly built apartment houses in Tokyo, *Healthy Buildings 2003*, pp.148-153
- 6) 関根ら, “室内空気汚染対策技術の開発(その7)室内ギ酸濃度に及ぼす換気の影響 日本建築学会学術講演梗概集, 2001.9
- 7) 関根嘉香, “新都市ハウジング協会公演会試料
- 8) 塚原ら, “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
- 9) 山口ら, “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, 2001年9月, 911-912

- 10) 野崎ら, “ホルムアルデヒド、揮発性有機化合物による室内空気汚染に関する研究 その1 日本建築学会学術講演梗概集, 1996年, pp.757-758
- 11) 野崎ら, “ホルムアルデヒド、揮発性有機化合物による室内空気汚染に関する研究 その2 日本建築学会学術講演梗概集, 1997年, pp.781-782
- 12) 布施ら, “集合住宅における建築的対応による揮発性有機化合物、ホルムアルデヒドの低減と濃度予測に関する検討 日本建築大会計画系論文集, 第522号 1999年8月, pp.53-59
- 13) 田中ら, “建材からの揮発性有機化合物放散速度測定に関する研究(その8 電化製品からの化学物質放散速度測定及びオゾンによる二次放散), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 2002.9
- 14) 朴ら, “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 日本建築学会学術講演梗概集, 2000年, pp.867-868
- 15) 石川哲, “化学物質過敏症ってどんな病気 合同出版
- 16) 田辺新一, “室内化学汚染-シックハウスの常識と対策 講談社現代新書
- 17) 朴ら, “住宅における揮発性有機化合物と建材からの発生ガスによる影響に関する実測調査 日本建築学会計画系論文集, 第509号 1998.7, pp.27-32

第 10 章 住宅内における室内空気質 及びダニ生息密度実態調査