

平成14年度農林水産省補助事業  
住宅使用地域材性能把握事業

## 住宅使用地域材性能把握事業報告書

(室内空気環境に関する性能把握事業報告書)

平成15年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター



## ・はじめに

我が国では森林資源が成熟し、地域材の供給力が増加している中で、その利用促進が重要な課題であり、住宅分野での需要開発が重要な課題となっている。平成12年度から施行された建築基準法では性能規定化により構造安全性や防火安全性等について一定の性能を満たせばどのような建築方法でも可能となった。そのためには、建築基準法で仕様が例示されたもの以外の材料等を用いる場合は、自ら安全性を実証する必要があるが、地域材利用の主な担い手である中小の大工・工務店の多くは、構造計算や防火安全計算の経験に乏しく、その対応に苦慮しているのが現状である。木造住宅の中に地域材を利用することを促進するためには的確な性能を把握することが極めて重要な課題となっている。

一方、最近ではシックハウス症候群として社会的関心事項となっている住宅居室内に放散される揮発性化合物については、厚生労働省の室内濃度指針値や建築基準法の室内汚染対策としての使用規制措置等が公表され、室内汚染防止対策を早急に進めることが必要な状況となっている。このような中で、住宅居室空間に使用される材料である木材からも天然の化学物質が放散されており、地域材の利用を推進するためにはこれらの性能を早急に把握することが重要な課題となっている。

本事業では、地域材を住宅居室内に用いた状況下での揮発性化合物の発生状況を把握するために、地域材を用いた新築住宅内や居室モデル内の揮発性化合物の種類や放散量を測定し、地域材の使用状況と揮発性化合物の放散量との関係を把握することとした。

本事業を実施するに当たり、多忙な中、精力的に検討・執筆いただいた各委員、ご協力いただいた関係団体等に対し、厚く御礼申し上げます。

平成15年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター  
理事長 岡 勝 男



平成14年度 住宅使用地域材性能把握事業  
室内空気環境に関する性能把握事業報告書

目 次

・事業目的	1
・実施概要	2
・実施内容	
第1部 新築住宅における化学物質の室内気中濃度	3
1. 目的	3
2. 調査方法	3
2.1 調査住宅	3
2.2 温湿度及び換気回数の測定	4
2.3 カルボニル化合物気中濃度等の測定	4
2.4 揮発性有機化合物（VOC）気中濃度の測定	6
3. 結果および考察	12
3.1 測定室の内装仕様と特徴	12
3.2 測定室の温湿度と換気回数	12
3.3 カルボニル化合物気中濃度	13
3.3.1 測定居室内の気中濃度	13
3.3.2 工法の違いと気中濃度	16
3.3.3 木質材料使用率と気中濃度	17
3.3.4 気中濃度に及ぼす換気の影響	17
3.3.5 捕集法による気中濃度の比較	17
3.4 VOC気中濃度測定結果および考察	18
3.4.1 測定室および外気の温湿度	18
3.4.2 測定結果の概要	18
3.4.3 住宅の工法、種類、内装による比較	18
3.4.4 TVOCに対する各化合物の比率	19
3.4.5 室内濃度指針値と実際の気中濃度	19
4. まとめ	49
4.1 カルボニル化合物	49
4.2 VOC類	49

第2部 ムク材モデル居室におけるVOC類の放散挙動	50
Ⅰ. ムク材張りモデル居室内のVOC類の放散量測定	50
1. 目的	50
2. 実験方法	50
2.1 モデル居室の仕様	50
2.1.1 建物概要	50
2.1.2 内部仕上げ	50
2.2 気中濃度測定方法	50
2.2.1 試料空気捕集方法	50
2.2.2 捕集管	51
2.3 分析方法および気中濃度の換算	51
2.3.1 カルボニル化合物	51
2.3.2 VOC	52
2.4 換気回数の測定	52
2.5 測定スケジュール	52
3. 結果および考察	58
3.1 各施工段階におけるVOC類気中濃度	58
3.1.1 カルボニル化合物気中濃度	58
3.1.2 VOC気中濃度	58
3.2 VOC類気中濃度の経時変化	58
3.2.1 カルボニル化合物気中濃度の経時変化	58
3.2.2 VOC気中濃度の経時変化	59
Ⅱ. 小型チャンバー法による内装材からのVOC類放散量測定	69
1. 目的	69
2. 実験方法	69
2.1 供試材	69
2.2 試験方法	69
2.2.1 試料空気の捕集システム	69
2.2.2 試験体	70
2.2.3 測定条件および測定時間	70
2.2.4 分析方法および気中濃度の換算	71
3. 結果および考察	75
3.1 各内装材からのVOC類の放散	75
3.2 モデル居室におけるVOC類気中濃度との比較	75

## ・事業目的

近年、住宅居室内に揮発性化合物類が放散され、健康被害を与えているとしてシックハウス症候群が社会的問題となっている。厚生労働省では揮発性化合物として13物質の室内濃度指針及び総揮発性有機化合物の暫定基準値を指定している。また、国土交通省では、建築基準法を改定し、ホルムアルデヒドの使用規制並びにクロルピリホスの使用禁止措置を公表し、今後毒性が判明したものから順次規制対象とする方向で進んでいる。

一方、地域で使用されている木材については、ホルムアルデヒド等のケトン類とともに木材の揮発性成分である $\alpha$ -ピネン等のテルペン類を天然物質として含有しており、従来天然のテルペン類は健康に有効と言われていたが、総揮発性有機化合物としての総量規制の対象となれば使用制限の対象となる恐れがある。そこで、本事業では、住宅居室内に地域材等を使用した場合の揮発性化合物の放散量を測定し、地域材の使用状況と揮発性化合物の放散量との関係を把握することを目的として調査を行うこととした。

本事業を実施するために、学識経験者、関連業界などによる下記委員会を設置し、事業計画及び試験結果の成果の検討を行った。

### 平成14年度、住宅使用地域材性能把握委員会 (室内空気環境に関する性能把握事業)

(敬称略、順不同)

委員長	吉田 彌明	静岡大学農学部森林資源科学科、教授
委員	渡辺 拓	静岡大学農学部人間環境科学科、助教授
"	井上 明生	独立行政法人森林総合研究所、積層接着研究室長
"	田村 彰	(財)日本合板検査会、研究室長
"	神沼 俊夫	(社)木造住宅産業協会
"	三善 和夫	(社)木造住宅産業協会(年度途中で交代)
"	清野 明	(社)ツーバイフォー建築協会
"	中村 孝	(社)プレハブ建築協会
事務局	西村 勝美	(財)日本住宅・木材技術センター、研究開発部長
"	山田 誠	(財)日本住宅・木材技術センター研究開発部、部長代理
"	杉山 慎吾	(財)日本住宅・木材技術センター研究開発部、技術主任

## ・実施概要

内装に木材や木質材料を用いている新築木造住宅を対象として、竣工直後に居室内の空気質を測定した。測定住宅は、新築後1年経過した在来軸組工法住宅6戸、新築在来軸組工法住宅34戸（ログハウス1戸を含む）、枠組壁工法住宅6戸、木質系プレハブ工法住宅6戸の計52戸について、カルボニル化合物及び揮発性有機化合物（VOC）の気中濃度測定を行った。各測定住戸については、内装仕様を調査し、木材・木質系材料の使用率と気中濃度との関係を調査した。

その結果、竣工直後の新築住宅では、ホルムアルデヒド濃度の平均値は指針値とほぼ同程度であったが、アセトアルデヒド濃度の平均値は指針値を上回っていた。木質材料の使用量との関係では、木質材料使用率が大きくなるほどホルムアルデヒド濃度が低くなる傾向を示していた。

また、国産材の板材などを建物内装に用いた場合の樹種ごとの放散化学種、放散量、時間経過に伴う放散量の推移などについての資料が乏しいことから、モデル居室の内装に国産材であるスギ等を張り、室内換気量と時間経過による放散量の推移を測定した。その結果、内装施工後7日目にカルボニル化合物、VOCともほぼ最大値を示してその後低下するが、ホルムアルデヒドに関しては外気温の上昇に伴って放散量が増加する傾向が認められた。

## キーワード

木質内装、国産材、新築住宅、在来軸組工法、枠組壁工法、木質プレハブ工法、モデル居室、カルボニル化合物、揮発性有機化合物（VOC類）、気中濃度測定、時間経過と放散量推移



## 第1部 新築住宅における化学物質の室内気中濃度

### 1. 目的

本調査においては、現在の一般的な住宅のホルムアルデヒドをはじめとするカルボニル化合物及び揮発性有機化合物（VOC類）の気中濃度レベルを明らかにするために、新築の木質系住宅において竣工直後の住宅居室を対象に放散されるカルボニル化合物及びVOC類の測定を行った。測定に際しては、建築工法や内装の木材使用量等の仕様、換気回数、試料空気の捕集法等が室内空気のカルボニル化合物やVOC類濃度にどのように影響するかを検討した。

### 2. 調査方法

#### 2.1 測定住宅

カルボニル化合物及びVOC類の気中濃度測定を行った木造建築物は、静岡県および愛知県において2001年6月、7月、9月に新設された在来軸組工法住宅6戸と、2002年7月から9月までに新設された在来軸組工法住宅34戸（ログハウス1戸を含む）、枠組壁工法住宅6戸、工業化住宅6戸の計52戸の木質系住宅であった。このうちの10戸の住宅について、アクティブサンプリング法（以下ポンプ法）とは別に、パッシブサンプリング法（以下パッシブ法）でも試料空気を捕集し、さらに7戸の住宅については、換気回数を測定した。住宅の測定スケジュールを表2-1に示す。なお、測定は住宅の竣工から入居までの間に行い、1戸については建築段階においても測定を行った。

表2-1 測定室数の内訳

工法	居間	寝室	計
在来軸組工法	40	39	79
	5(4)	1(1)	6
枠組壁工法	6	6	12
	1(1)	1(1)	2
工業化	6	6	12
	2	0	2
計	52	51	103
	8	2	10

Note：上段ポンプ法、下段パッシブ法、括弧内は換気回数の測定数である。

すべての測定住宅は、室内空気の濃度が平衡になった状態（定常）において測定を行うために次の準備をした。原則として前日の夕方に住戸のすべてを15～30分開放した後、窓及び扉等の開口部を完全に閉鎖し、8時間以上密閉状態を保持した。この場合、キッチンの戸棚、クローゼット等の備え付け品の扉は開放した。常時換

気システムを採用している住宅では、作動状態としこれを維持した。すべての測定が終了するまで可能な限りこの状態を保持した。

## 2.2 温湿度及び換気回数の測定

試料空気の捕集開始から終了まで、測定室内の温湿度を測定した。試料空気捕集位置と同じ高さ、床より1.2mの位置に設置した温湿度センサRSH-1010と、デジタル自記温湿度計THERMORECODER RS-10（ともにタバイエスペック(株)製）によって1分ごとの気温と相対湿度を記録した。

換気回数の測定は「屋内換気量測定法（炭酸ガス法）」(JIS A 1406)に準拠して行った。ポンベより炭酸ガス（以下CO<sub>2</sub>）を放出し、濃度分布が均一になるまで扇風機等で攪拌したのち、環境（CO<sub>2</sub>）測定器KNS-360MとデータロガーDS-64K1（ともにコーナー札幌株式会社製）でCO<sub>2</sub>濃度の減少を測定し、次式によって換気量を求めた。

$$Q = 2.303 \frac{V}{t} \log_{10} \frac{C_1 - C_0}{C_t - C_0}$$

ここに、 $Q$ ：給気量（m<sup>3</sup>/h）

$V$ ：その室の気積（m<sup>3</sup>）

$t$ ：測定開始時刻からその測定までの経過時間（h）

$C_1$ ：測定開始時刻（ $t=0$ ）における室内空気中のCO<sub>2</sub>濃度（m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>）

$C_t$ ： $t$ 時間後における室内空気中のCO<sub>2</sub>濃度（m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>）

$C_0$ ：給気中のCO<sub>2</sub>濃度（m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>）

上記の式より算出した換気量（m<sup>3</sup>/h）をその居室の気積（m<sup>3</sup>）で除して、換気回数（回/h）とした。

## 2.3 カルボニル化合物気中濃度等の測定方法

測定は、室内では居間（リビング、ダイニングリビング又はダイニングキッチン）と寝室（もしくは子供部屋など）、及び外気の3ヶ所で行った。捕集位置は室内では、部屋の中央付近の少なくとも壁から1m以上離れた高さ1.2mの位置とした。室外にあっては、外壁及び空調給排気口から2m以上離れた、室内の測定と同等の高さのところを設定した。室内については各測定室とも2回ずつ行い、その平均値を測定値とした。室内空気中のカルボニル化合物を捕集管内の2,4-Dinitrophenylhydrazine (DNPH) と反応させて、安定した誘導体として固相に吸着させた後、速やかに保存用袋に入れ冷蔵保存した。以下①、②に各捕集方法の詳細を記す。

### ① ポンプ法

捕集管にはSep-Pak DNPH-Silica cartridge（以下DNPH-Silica）(Waters社製)を採用した。室内と外気の3ヶ所について設定した位置にDNPH-Silicaを設置し、シリコンチューブを介してエアポンプによって室内空気を強制吸引した。2001年度の測定では、ポンプSIBATA MODEL VS-500（柴田科学(株)製）を用い、流速約1L/minで30分

間、試料空気を吸引し、ガスメーターDRY TEST GAS METER DC-1A (株シナガワ製) を用いて捕集量を測定した。2002年度については、マスフローコントローラ、ポンプ、ガスメーターの機能を有し、デジタルカウンターで捕集量を制御できる高性能サンプリングポンプADPUMP (W) (有)アドテック製) によって、捕集量を10Lに設定し流速0.4L/minで約25分間試料を捕集した。なお、捕集の際はSep-Pak Ozone Scrubber (Waters社製) をDNPH-Silicaの直前に装着して、オゾンおよび水分等の影響を除去した。

## ② パッシブ法

捕集管にはDNPHポンプ法と同程度の感度と高い精度を持つとされる拡散型サンプラーDSD-DNPH (SUPELCO, Sigma-Aldrich社製) を採用した。室内の1ヶ所のみについて設定した位置にDSD-DNPH設置し、半日から一日室内空気に暴露して試料を捕集した。捕集量は、ホルムアルデヒドのアクティブサンプリング (100ml/min) との捕集量対比グラフの傾きの逆数から決定された捕集速度に捕集時間を乗じて求めた。表2-2に今回分析したホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物の、分子量や捕集速度等を示す。

持ち帰った捕集管は直ち (冷暗所に5℃以下で保管して1週間以内) に、アセトニトリルで溶出させ、全量5mlとして測定試料溶液を調整した。これを高速液体クロマトグラフィー (以下HPLC) LC-vp series (株島津製作所製) に試料溶液を導入しカルボニル化合物濃度を分析した。分析条件を表2-3に示す。定量にはアルデヒド・ケトン DNPH誘導体混合試料ERA-028 (RADIANT INTERNATIONAL製) 15µg/mlを100倍に希釈した溶液 (0.15µg/ml) を標準溶液として用いた。この際、ポンプ法では測定に使用した捕集管と同様に持ち運んだ栓をしたままのDNPH-Silicaからトラベルブランク、パッシブ法では未使用のDSD-DNPHから操作ブランクを、それぞれ一連の分析操作より求めた。カルボニル化合物気中濃度を算出した式を、以下①、②にそれぞれ示す。

### ① ポンプ法の濃度算出式

$$C = \frac{(As - Ab) \times c \times D \times E}{A_{std} \times V}$$

ここに、C: カルボニル化合物の試料空気中濃度 (mg/m<sup>3</sup>)

As: 測定試料溶液のエリア面積

Ab: ブランク試験溶液のエリア面積

A<sub>std</sub>: 標準溶液のエリア面積

c: 毎回校正の標準溶液濃度 (µg/ml)

D: 希釈係数 (この場合は1)

E: 溶出液量 (この場合は5ml)

V: 試料空気捕集量 (L)

補足すると、(As-Ab) / A<sub>std</sub> × cEから捕集された正味のカルボニル化合物の質量を求め、Vで除して気中濃度とした。

## ② パッシブ法の濃度算出式

$$C = \frac{(A_s - A_b) \times c \times D \times E}{A_{std} \times f \times (273+t) / (273+25) \times 60h} \times 1000$$

ここに、 $C$ ：カルボニル化合物の試料空気中濃度 ( $\mu\text{g/L} = \text{mg/m}^3$ )

$A_s$ ：測定試料溶液のエリア面積

$A_b$ ：ブランク試験溶液のエリア面積

$A_{std}$ ：標準溶液のエリア面積

$c$ ：毎回校正の標準溶液濃度 ( $\mu\text{g/ml}$ )

$D$ ：希釈係数 (この場合は1)

$E$ ：溶出液量 (この場合は5ml)

$f$ ：25℃における捕集速度(ml/min)

$t$ ：捕集時の平均気温 (℃)

$h$ ：捕集時間  $h$  (hr)

補足すると、 $f \times (273+t) / (273+25)$  はシャルルの法則から求めた測定時の気温における捕集速度を意味し、 $\times 1000$  (ml/L) により単位補正を行った。

また、気中濃度は必要に応じて次式によって単位を体積比濃度に換算した。

$$ppmv = \frac{C_i}{M_i} \times 22.4 \times \frac{273+t}{273}$$

ここに、 $ppmv$ ：体積比濃度 (ppm= $\mu\text{l/L}$ )

$C_i$ ：気中濃度 ( $\text{mg/m}^3$ )

$M_i$ ：分子量 (g)

$t$ ：捕集時の平均気温 (℃)

## 2.4 VOC気中濃度の測定方法

### 2.4.1 捕集方法

測定には、定流量ポンプにて一定時間、活性炭等を詰めた吸着管に試料空気を吸引し、目的物質を吸着捕集するアクティブサンプリング法（ポンプ法）を用いた。測定には、マスフローコントローラ、ポンプ、ガスメーターの機能を有し、デジタルカウンターで捕集量を制御できる高性能サンプリングポンプADPUNP(W)（(有)アドテック製）を使用し、これにシリコンチューブを介して捕集管を取り付け測定を行った。エアポンプで空気を吸引し、捕集管にVOCを吸着させ、マスフローコントローラで流速を0.1L/min、ガスメーターで捕集量を3.2Lとした。サンプリング時間はおよそ30分間であった。

捕集管にはガラスあるいはステンレス管内に多孔性のポリマービーズを充填させたTenaxTA管(60/80mesh, 200mg充填)を用い、捕集を行う際には、TenaxTA管の先にオゾンや水分等の影響を避けるために、Sep-Pak Ozone Scrubber(Waters製)を装着させた。なお、捕集管は持ち運びの際または分析前まで冷却状態とした。

## 2.4.2 分析方法

試料の分析には、加熱脱着-GC/MS(ガスクロマトグラフ-質量分析)法を用いた。吸着管に吸着させた物質を試料濃縮装置(ATD-400)にて加熱脱着し、コールドトラップで捕集、濃縮後、再度加熱してガス体試料としてGC/MS(PERKIN ELTER社製、HP-6890+HP-5973B)に導入し、物質の定量を行った。検出された物質の同定には52成分標準物質として、Japanese Indoor Air Standards Mix(SUPELCO)を使用し、これによって作成された検量線を元に物質の重量を求めた。分析条件については表2-4に示した。

52成分(本報告では、o, m, p-キシレンを一つのキシレンとしたため、50物質とした)定量値以外はその検出ピークをすべてトルエンとして換算し、これをその他のVOCとした。また、分子量がヘキサンからヘキサデカンまでのVOCとその他のVOCを足し合わせたものをTVOC(揮発性有機化合物総量)とした。

## 2.4.3 VOC気中濃度の算出と温度補正

分析によって得られた重量から、各物質の気中濃度を次式により求めた。

$$C = (A_s - A_t) / V$$

C : 気中濃度 (ng/L =  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

A<sub>s</sub> : サンプル中の対象物質の重量 (ng)

A<sub>t</sub> : ブランク中の対象物質の重量 (ng)

V : 空気の捕集量 (3.2L)

$$CA = 22.4 \times C_2 / M \times (273 + t) / 273$$

CA : 体積比濃度 (ppmv)

C<sub>2</sub> : 気中濃度 (mg/m<sup>3</sup>)

M : 分子量 (g)

t : 試料捕集時の平均気温 (°C)

さらに、ガイドライン値より、次式にて25°Cに温度補正を行った。

$$CT = CA \times (273 + 25) / (273 + t)$$

表 2 - 1 (1) 新築住宅の気中濃度測定スケジュール

建物 記号	調査 月日	所在地	工法	DNPH	DSD- DNPH	換気 回数	備考
615N	2001/6/15	清水市	在来軸組工法	+			
620N	2001/6/20	清水市	在来軸組工法	+			
626N1	2001/6/26	清水市	在来軸組工法	+			
626N2	2001/6/26	清水市	在来軸組工法	+			
724N	2001/7/24	清水市	在来軸組工法	+			
912K	2001/9/12	清水市	在来軸組工法	+			居間のみ
705Y	2002/7/5	清水市	在来軸組工法	+		+	
718F	2002/7/18	藤枝市	在来軸組工法	+	+	+	
719F	2002/7/19	静岡市	在来軸組工法	+	+	+	
724I	2002/7/24	蒲原町	在来軸組工法	+			
725M1	2002/7/25	藤枝市	在来軸組工法	+			
725M2	2002/7/25	藤枝市	在来軸組工法	+		+	※※※
726S	2002/7/26	島田市	工業化住宅	-			※
731F	2002/7/31	静岡市	在来軸組工法	+	+	+	
80111	2002/8/1	磐田郡浅羽町	在来軸組工法	+			
80112	2002/8/1	二俣町	在来軸組工法	+			
805Y	2002/8/5	島田市	在来軸組工法	+			
806Y	2002/8/6	静岡市	在来軸組工法	+			
808M	2002/8/8	愛知県豊橋市	在来軸組工法	-			※
808W	2002/8/8	清水市	枠組壁工法	+			
809M	2002/8/9	愛知県岡崎市	在来軸組工法	+			
817Y	2002/8/17	浜松市	在来軸組工法	-			※
819Y	2002/8/19	清水市	在来軸組工法	+			※※※
820F	2002/8/20	榛原郡吉田町	在来軸組工法	+	+	+	※※
821M	2002/8/21	掛川市	在来軸組工法	+			
823W	2002/8/23	浜松市	枠組壁工法	+			

Note :

※ 測定前や測定中に室を仕切る戸が開いており定常における測定ができなかったもの

※※ パッシブ法、換気回数の測定を寝室において行ったもの

※※※ 測定した居間が寝室と同じか階上にあつたもの

表 2 - 1 (2) 新築住宅の気中濃度測定スケジュール

建物 記号	調査 月日	所在地	工法	DNPH	DSD- DNPH	換気 回数	備考
826S	2002/8/26	静岡市	工業化住宅	+			※※※
827F	2002/8/27	清水市	在来軸組工法	+			
828I	2002/8/28	榛原郡吉田町	在来軸組工法	-			※
905Y	2002/9/5	田方郡函南町	在来軸組工法	+	+		
905W	2002/9/5	袋井市	枠組壁工法	+	-		※
906M	2002/9/6	富士宮市	在来軸組工法	+	+		建築段階
906I	2002/9/6	磐田郡福出町	在来軸組工法	+			
909W1	2002/9/9	焼津市	枠組壁工法	+	+	+	※※
909W2	2002/9/9	沼津市	枠組壁工法	+			
911M	2002/9/11	浜北市	在来軸組工法	+			
913M	2002/9/13	富士宮市	在来軸組工法	+			=906M
914S	2002/9/14	庵原郡由比町	工業化住宅	-			※
916S	2002/9/16	清水市	工業化住宅	-			※
916F	2002/9/16	小笠郡大東町	在来軸組工法	+			
918Y	2002/9/18	静岡市	在来軸組工法	+			※※※
919L	2002/9/19	清水市	工業化住宅	+	+		
919M	2002/9/19	愛知県豊橋市	在来軸組工法	+			
924F	2002/9/24	浜松市	在来軸組工法	+			
924LH	2002/9/24	静岡市	ログハウス	+	-		※
925F	2002/9/25	静岡市	在来軸組工法	+			
926L	2002/9/26	浜松市	工業化住宅	+			
926M	2002/9/26	浜松市	在来軸組工法	+			
927W	2002/9/27	静岡市	枠組壁工法	-			※
927F	2002/9/27	清水市	在来軸組工法	-			※
928F	2002/9/28	藤枝市	在来軸組工法	+			
930F	2002/9/30	掛川市	在来軸組工法	-			※

Note :

※ 測定前や測定中に室を仕切る戸が開いており定常における測定ができなかったもの

※※ パッシブ法、換気回数の測定を寝室において行ったもの

※※※ 測定した居間が寝室と同じか階上にあったもの

表 2 - 2 標準試料に含まれるカルボニル化合物

化合物名	組成式	分子量	沸点 (°C)	捕集速度 (ml/分)
ホルムアルデヒド	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	30.03	-21~-19.2	71.6
アセトアルデヒド	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	44.05	20.8~21	59.4
アセトン	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O	58.08	56.2~56.5	51.7
アクロレイン	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	56.06	52.5~52.7	52.6
プロピオアルデヒド	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58.08	47.5~49	51.7
クロトアルデヒド	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O	70.09	104	47.1
2-ブタノン	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	72.11	79.6	46.4
メタアクロレイン	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O	70.09	79~81.4	47.1
n-ブチルアルデヒド	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	72.11	74.7~74.8	46.4
ベンズアルデヒド	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	106.12	178~179	38.2
バレルアルデヒド	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	86.13	102~104	42.5
m-トルアルデヒド	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	120.15	198~199	35.9
ヘキサアルデヒド	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	100.16	129~131	39.4

注：ホルムアルデヒドの捕集速度(Sampling rate)はアクティブサンプリング法の71.9ml/分の通気量に相当し、他のカルボニル化合物の捕集速度は Graham の法則に基づき、ホルムアルデヒドとの相対拡散速度比から計算により求められている。



表 2 - 3 HPLC分析条件

カラム	ZORBAX Bonus-RP (4.6×150mm)
移動相	Acetonitrile:Water = 4:6 (gradient)
	0-5min 4:6
	5-25min 4:6 → 6:4
	25-40min 6:4
流量	1.2mL/min
試料導入量	20 μg/mL
検出器	Ultraviolet 360nm
オープン温度	40°C
分析時間	40min

表 2 - 4 GC/MS分析条件

カラム	HP-VOC 0.32mm×60m (ft 1.8 μm)
キャリアーガス	ヘリウム
カラム温度	35°C - 95°C (15°C/分) - 100°C (2.5°C/分) 250°C (5°C/分)
I/F温度	300°C

### 3. 結果および考察

#### 3.1 測定室の内装仕様と特徴

工法別の居間、寝室の測定数を表3-1に示す。ポンプ法による測定室数は在来軸組工法住宅では居間40室、寝室39室で、枠組壁工法住宅と工業化住宅では居間、寝室ともに6室であった。パッシブ法については在来軸組工法住宅では居間5室と寝室1室で、枠組壁工法住宅では居間と寝室1室ずつ、そして工業化住宅では居間のみの2室で測定を行った。居間と寝室の測定室数についての差はほとんどなかった。

測定室内の様子を写真3-1～写真3-3に示す。測定室はその内装仕上げ仕様から3区分に分類することができ、内装に使用されているムク材を含む木質材料の使用量（面積）を、全室内表面積に対する割合（%）で表したものを（以下木質材料使用率）により分類した。木質材料使用率の区分を表3-2に示す。写真3-1は区分A（木質材料使用率20%以下）、写真3-2は区分B（同20%以上、50%以下）、写真3-3は区分B（同50%以上）である。測定室数では木質材料使用率が最も低い区分Aが79室、次いで最もふんだんに使用している区分Cが17室、区分Bは7室であった。静岡大学農学部が2000年度に行った調査結果と比較すると、区分Aに対する割合で、区分Cは増加、区分Bは減少していると言え、本調査の測定室における木質材料使用率については2000年度調査と異なるが、これは木質材料使用率が気中濃度に及ぼす影響を見るために、測定住宅を選定した結果であった。そのため、区分Aにはログハウスや、内装のほとんどをムクの杉板で施工した住宅があった。また、区分Bにあっても、壁を天然素材で施工してあるものがほとんどであった。測定住宅の工法による、測定室内の内装仕上げ仕様の違いについて、有為な差は認められなかった。

#### 3.2 測定室の温湿度と換気回数

全測定室、居間、寝室及び外気における気温と相対湿度の平均値、最大値、最小値、そして2002年の測定における7月～9月の月間平均値を表3-3に示す。室内における測定時の気温の平均は29.9℃、相対湿度の平均値は64.1%であった。測定室の気温は20.7℃～38.4℃、相対湿度は45.6%～77.5%の範囲であった。

気温は、月間平均でみると7月と8月は、32.0℃と32.3℃であり差がなかったが、9月には27.4℃となり約5℃低くなった。また、最大値と最小値を示したのはともに9月の測定室で、その差が20℃近くあった。室内と外気の測定値はその傾向がよく一致し、居間と寝室では寝室の方が1℃程度高くなった。これはほとんどの測定住宅で居間が1階に、寝室が2階にあったためである。相対湿度は、月間平均でみると、梅雨の影響をうけてか7月が69.8%で一番高く、8月と9月は62.2%と62.3%であり差がなかった。対して外気は測定日に雨天の日が多かった9月が67.3%で最も高く、この点からも住宅の高気密性が確認できた。

換気回数を測定した住宅の換気回数は、平均値0.58回/hrで、0.15回/hr～1.72回/hrの範囲に亘った。しかし、この内1.72回/hrを示した1室は測定室内に階段があり、換気回数も他の測定値の2倍～3倍であったため、CO<sub>2</sub>の濃度が均一になっていなかった。

た可能性が推定される。そこで、この1室の結果を除き、再評価すると、住宅の換気回数は平均で0.38回/hr、最大0.86回/hr、最小0.15回/hrであった。これは過去の静岡県内の調査と比較すると若干の増加が見られた。理由としては24時間換気システムなどで気密性を保ちながらも、換気回数が確保された住宅が増えたことがあげられる。換気回数測定室のカルボニル化合物気中濃度測定時の温湿度条件は、28.4℃ 35.1℃、55.1% 77.5%であり、平均値は気温31.5℃、相対湿度68.7%であった。室内の温湿度と換気回数の関係については、換気回数測定数が6戸と少ないが、天候、特に風や雨ほどに影響するものではないと考えられる。

### 3.3 カルボニル化合物気中濃度

#### 3.3.1 測定居室内の気中濃度

室内の全測定室、居間、寝室及び外気における13種のカルボニル化合物の気中濃度の実測値を図3-1～図3-5に示す。全測定室の平均で見ると、特にその放散が目立っていたのはホルムアルデヒド、厚生労働省指針値0.03ppmが策定されたばかりのアセトアルデヒド、アセトン、2-ブタノン、ベンズアルデヒドおよびヘキサアルデヒドであった。次いでプロピオンアルデヒド、クロトンアルデヒドなども確認できるが、クロマトグラムで幅広いピークを形成しており、リテンションタイムが近い前後の未同定の物質と混同する恐れがあるため、参考値の扱いにとした。これらのアルデヒド類は、いずれもアルデヒド特有のホルマリン様の刺激臭と眼や皮膚に対する刺激性が特徴である。測定時期別に見ると、02年7月平均値ではアセトアルデヒドが0.3ppm以上の高濃度を示したのをはじめ、ホルムアルデヒドが指針値の2倍程度、ほとんどの物質が観測され、毒性の強いアクロレインも0.01ppm以下であるが確認できた。8月、9月の平均値もホルムアルデヒドが指針値を超え、その他では、アセトアルデヒドとアセトンが、ホルムアルデヒドと同等かそれ以上の気中濃度を示した。2001年に行った既往の静岡県内の測定結果では気温のあまり高くない6月、9月の測定が6戸中5戸を占めたため、その平均値は若干低いものの平均値で指針値をクリアしていなかった。このことは既往の報告にあるように、ホルムアルデヒド濃度は温湿度の季節変動に大きく依存している事を表す結果となった。

ホルムアルデヒドとともにアセトアルデヒドについても厚生労働省により指針値が策定されており、実態調査の結果からもその高い気中濃度が確認されたホルムアルデヒドとアセトアルデヒドについてまとめることとした。

参考：

2002年1月22日に指針値が策定されたアセトアルデヒドは、沸点約21℃、刺激臭のある無色の液体で、WHOでは、厳密にはホルムアルデヒドとともに、超揮発性有機化合物（VVOC）に分類される。国際がん研究機関（IARC）によると2B「発ガン性の可能性がある物質」とされ、同じく2A「発ガン性の可能性が高い物質」に分類され、実質的なグレーゾーンにあるホルムアルデヒドよりも軽度に取り扱われている。厚生労働省の取り組みによると、明確な発ガン性に関する調査結果は得られておらず、指針値は閾値のある発ガン性以外の毒性を指標に、ラットの経気道暴露の耐容一日摂取量から設定されたものである。

室内の全測定室、居間、寝室及び外気におけるホルムアルデヒド濃度及びアセトアルデヒド濃度の平均値、最大値、最小値、そして2002年の測定における7月9月の月間平均値を表3-4、表3-5に示す。室内のホルムアルデヒド濃度の平均値は、0.118ppmで指針値は上回ったが、静岡大学で2000年度の実施した調査結果の0.170ppmのよりも下回る傾向を示した。外気の測定値で特に問題となる値は見られなかった。次に、室内のアセトアルデヒド濃度の平均値は0.171ppmで指針値の6倍強にも及んだ。また、外気のアセトアルデヒド濃度の最大値が0.059ppmとなり、指針値を上回った。

測定時期別に見ると、ホルムアルデヒド濃度の2002年7、8月の平均値はそれぞれ0.157ppmと0.153ppmで指針値の2倍弱、2001年と2002年9月の平均値はそれぞれ0.087ppmと0.089ppmで指針値0.08ppmを若干上回った。これは測定時期による室内気温の変化とよく一致する結果であった。ホルムアルデヒド濃度に対する温湿度の季節変動の影響は非常に大きく、夏季には高濃度、冬季には低濃度となることが様々な報告で指摘され、本実態調査でも同様の結果となった。

居間と寝室で比較すると、ホルムアルデヒド濃度は同程度、アセトアルデヒド濃度は寝室の方が高いという傾向が見られた。ここで、居間と寝室の特徴のうち、もっとも大きな違いがキッチンの有無である。キッチンや建具の中には、材料の切断面が露になったまま使われているものもあり、材料の製造に使用された接着剤からホルムアルデヒドが放散される可能性が考えられる。したがって、居間の方がホルムアルデヒドの放散源は多く存在していると考えられる。しかしながら、居間と寝室のホルムアルデヒド濃度はほぼ等くなった。この場合も季節変動による変化と同様に、より高温である寝室で気中濃度が高くなったと考えられる。アセトアルデヒドについて、現時点では放散源となる材料等を特定できる状況にはないが、その沸点は約21℃で一般的な生活状態で想定される室内の気温でも、その濃度は十分左右されると推測される。寝室でより高いアセトアルデヒド濃度が観測されたという本調査結果からも、ホルムアルデヒド同様に気中濃度に対する温度の影響は大きいものと考えられる。この他、居間に比べて寝室の濃度を高める原因として考えられるのは、暖められた空気とともにホルムアルデヒドも高いところへ上昇したという

理由や、寝室に移動する際に居間を通らざるを得ない住宅もあり、居間の扉を開放する時間が若干長くなった等の人為的な原因があげられる。

居間、寝室および外気におけるホルムアルデヒド気中濃度の実測値の累積頻度を図3-6に示す。測定した住宅における居間のホルムアルデヒド濃度は、0.029～0.484ppmの範囲にあり、居間の全平均値は0.118ppm、中央値は0.090ppmであった。厚生労働省指針値以下の濃度を示した居間は約40%で、前回調査を大きく上回った。寝室のホルムアルデヒド濃度は、0.023～0.312ppmの範囲にあり、寝室の全平均値は0.118ppm、中央値は0.098ppmであった。指針値以下を示したのは40%で、前回調査から倍増した。次いで、室内および外気におけるアセトアルデヒド気中濃度の累積頻度を表3-7に示す。居間におけるアセトアルデヒド濃度は、0.009～0.657ppmの範囲にあり、居間の全平均値は0.154ppm、中央値は0.090ppmであった。寝室におけるアセトアルデヒド濃度は0.016～0.934ppmの範囲にあり、寝室の全平均値は0.187ppm、中央値は0.116ppmであった。厚生労働省指針値以下の気中濃度を示したのは、居間で15%、寝室で16%であった。

新たに指針値が設けられたアセトアルデヒドについては、室内においてホルムアルデヒド濃度よりも高濃度で存在しているという実態が明らかとなった。居間、寝室および外気におけるホルムアルデヒド気中濃度実測値の度数分布を図3-8に、アセトアルデヒド気中濃度実測値の度数分布を図3-9に示す。ホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの気中濃度は同じような分布を示しており、居間、寝室とも指針値の前後に一番大きなピークが存在し、居間だけは高い濃度でもう一つのピークを示していた。

ホルムアルデヒドはじめとする一部の非常に揮発性の高い有機化合物は、放散量が温湿度に強く影響される。ホルムアルデヒド気中濃度は温度が1℃上昇するごとに1.09倍になるとされており、厚生労働省ガイドラインでは室温が20℃に満たない場合においては、井上らに提案された次式で補正することが推奨されている。

$$Ct = C \times 1.09^{(20-t)} \times 100 / (50+rh)$$

ここに、 $Ct$ ：温度20℃、湿度50%の条件による補正值 (ppm)

$t$ ：試料捕集時の平均気温 (℃)

$rh$ ：試料捕集時の平均相対湿度 (%)

わが国では省エネルギーの基準として、夏季の室内温度を28℃以上とするのが一つの目安となっている。本研究では夏季に冷房設備稼働させた状態を想定し、現在、国土交通省が検討している建築基準法改訂の動きなどを勘案して、温度28℃、湿度50%の条件にカルボニル化合物気中濃度を補正した。気中濃度の補正值は、ホルムアルデヒド以外のカルボニル化合物はシャルルの法則で、ホルムアルデヒドは先に記した式をもとに導いた次式で換算した。

$$Ct = C \times 1.09^{(28-t)} \times 100 / (50+rh)$$

ここに、 $Ct$ ：温度28℃、湿度50%の条件による補正值 (ppm)

$C$ ：室内気中濃度調査より得た測定値 (ppm)

厚生労働省ガイドラインの基準とする温度は23℃又は25℃とも言われているが、いまだ継続して検討が行われているところである。気中濃度 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を23℃で換算したのが体積比濃度の指針値0.08ppmであるが、これを28℃における体積比濃度に換算した場合にはおよそ0.081ppmになり1000分の1程度大きくなる。本研究では、この変化はその他の要因による諸条件を考慮した場合、非常に微少な変化であり、体積比濃度0.08ppmを基準とし判断することに問題はないものとし、これ以降は補正値を気中濃度として考察することとした。

室内の全測定室、居間、寝室及び外気における13種のカルボニル化合物の気中濃度を図3-10～図3-14に示す。ホルムアルデヒド気中濃度の補正値が、実測値ほど目立たなくなったのと対照的に、アセトアルデヒド気中濃度の補正値が高いままである。測定時期ごとにアセトアルデヒド濃度の挙動を見ると、変化のほとんどないアセトンにくらべてその気中濃度は、測定時の気温が高かった2002年8、9月で高く、気温の上がらなかった2001年および2002年9月で低かった。ホルムアルデヒド気中濃度は補正値でみると、季節変動による差が目立たなくなっており、今後はアセトアルデヒドについても温度の影響を強くうけていることが考えられ、温度による補正式を検討する必要があると考えられる。

28℃、50%RHに補正したホルムアルデヒド濃度及び28℃に体積補正したアセトアルデヒド濃度の累積度数を図3-15、図3-16に示す。また、室内の全測定室、居間、寝室及び外気における補正したホルムアルデヒド濃度及びアセトアルデヒド濃度の平均値、最大値、最小値、並びに2002年の測定における7月～9月の月間平均値を表3-6、表3-7に示す。室内におけるホルムアルデヒド濃度の平均値は0.084ppmという結果となり、厚生労働省指針値0.08ppmをわずかに上回った。室内におけるすべての補正された測定値が低下しており、気中濃度に差があった2002年8、9月と、2001年および2002年9月との差は最大0.070ppmあったところが、0.035ppmと1/2にまで小さくなった。一方、アセトアルデヒド濃度は補正による測定値の変化は微少な変化にとどまり、測定時の気温が28℃前後であった2001年および2002年9月の測定は、当然ながら補正されてもほぼ変化がなかった。28℃、50%RHに補正したホルムアルデヒド濃度及び28℃に体積補正したアセトアルデヒド濃度の度数分布を図3-17、図3-18に示す。ホルムアルデヒド濃度は、ほぼ正規分布を示しており、大半が厚生労働省指針値付近にあった。アセトアルデヒド濃度の度数分布はほとんど変化が見られなかった。

### 3.3.2 工法の違いと気中濃度

在来軸組工法住宅、枠組壁工法住宅及び工業化住宅のホルムアルデヒド濃度とアセトアルデヒド濃度を図3-19に示す。

測定住宅数は異なるものの、ホルムアルデヒド濃度の最大値では在来軸組工法、工業化、枠組壁工法の順になった。最小値ではどれもそれほど違いはなかった。平均値では最大値と同様の傾向を示したが、内装仕上げ仕様の影響のほうがはるかに

大きいと考えられるため、明らかな因果関係は認められないと考えられる。アセトアルデヒド濃度は在来軸組工法で高く、工業化住宅では低いという結果であった。

### 3.3.3 木質材料使用率と気中濃度

図3-20に木質材料使用率とホルムアルデヒド気中濃度補正值との関係を示す。この結果でも工法による違いと同様に、使用率が増加しても気中濃度には大きな変化は認められなかった。使用率20%以上のものはムク材を使用しているものが多く、木質材料の使用量が増加したからと言って単純に気中濃度は上がらなかったと考えられる。、図3-21に木質材料使用率とアセトアルデヒド気中濃度補正值との関係を示す。アセトアルデヒド濃度は木質材料使用率が増加するにつれて減少する傾向が見られた。

### 3.3.4 気中濃度に及ぼす換気の影響

新築住宅の換気回数とホルムアルデヒド気中濃度との関係を図3-22に示す。測定を行った住宅の換気回数は1時間あたり平均0.38回と現在の住宅が非常に高气密であることが明らかになった。この測定住宅には24時間換気システムを備えた住宅も含まれていた。すべて異なる住宅であり、内装仕様も同一でないため換気回数と気中濃度との関係には、傾向は認められなかった。

### 3.3.5 捕集法による気中濃度の比較

DNPH-Silicaを用いたポンプ法とDSD-DNPHを用いたパッシブ法によるカルボニル化合物気中濃度の温度実測値の値を表3-8、温度補正值を表3-9に示す。実測値についてのパッシブ法に対するポンプ法の比率は0.302~2.236の範囲にあり、13物質の平均は1.270であった。ホルムアルデヒドに関する比率は1.492であった。補正值についてのパッシブ法に対するポンプ法の比率は0.285~2.208の範囲にあり、13物質の平均は1.243であった。ホルムアルデヒドに関する比率は1.275であった。

図3-23にポンプ法とパッシブ法における28℃、50%RHに補正したホルムアルデヒド濃度の相関、図3-24に他のカルボニル化合物を代表して28℃に補正したアセトアルデヒド濃度の相関を示す。ホルムアルデヒドでは1.2倍、アセトアルデヒドでは約1倍となり、正の比例関係が確認できるが、測定値は非常にばらつきが大きく相関性は認められなかった。

### 3.4 VOC気中濃度測定結果および考察

#### 3.4.1 測定室および外気の温湿度

測定室および外気における気温と相対湿度の平均値、最大値、最小値を表3-3に示した。なお、11月においては測定が1回で、居間の温度は22.5℃、相対湿度43.7%、外気は温度13.2℃、相対湿度40.6%であった。居間の温湿度及び外気の温湿度の状況を図3-25に示す。

#### 3.4.2 測定結果の概要

全測定結果におけるそれぞれのVOC類ごとの分子量および全データを平均した気中濃度（25℃で補正した場合）の最大値、最小値、平均値、中央値、その物質の検出されたデータ数について表3-10に示した。対象としたVOC類は、脂肪族炭化水素13物質、芳香族炭化水素12物質、テルペン類3物質、ハロゲン化炭化水素11物質、エステル類2物質、ケトン類5物質、アルコール類4物質の計50物質であり、それに加え、その他のVOCおよびTVOCの値も示した。分子量は最小でエタノールの45から、最大でヘキサデカンの226であり、気中濃度の単位はppmv（容積率）で示した。

検出データ数より、39軒中37軒以上検出された物質が29種類、2軒以下しか検出されなかった物質が6種類（このうち、1,1,1-トリクロロエタン、ブロモジクロロエタン、ジブロモクロロエタンは一回も検出されなかった。）あり、検出される化学物質には傾向があるということが言えた。また化学分類的に比較すると、ハロゲン化炭化水素で極めて検出数が少ないことが分かった。

各々の物質の気中濃度より、平均値で見ると、高い順に $\alpha$ -ピネンで0.196ppm、トルエンで0.107ppm、酢酸エチルで0.066ppmであった。脂肪族炭化水素では、ヘプタンからドデカンまでが多く検出されている。エチルベンゼン等のベンゼン類も含め、これらは主にワックスや油性のニス、ペイントなどの仕上げ剤から放散されていると考えられるため、新築時での放散量が多いと考えられる。芳香族炭化水素では、トルエン、キシレン、スチレン、エチルベンゼンで放散量が高い。特にトルエン、キシレンは、塗料や様々な接着剤など多用されているため、放散量も高かったと考えられる。エステル類の酢酸エチルは、接着剤に使用されているため、濃度が高かったと考えられる。

#### 3.4.3 住宅の工法、種類、内装による比較

住宅の工法については、軸組工法住宅、工業化住宅、枠組壁工法住宅の3工法とVOC類の種類について、それぞれ結果をグラフに示した。図3-26には軸組工法住宅の室内気中濃度の結果を示した。エタノール、 $\alpha$ -ピネン、トルエン、スチレン、エステル類等で濃度が高い傾向がある。図3-27に示した工業化住宅の室内気中濃度の結果では、トルエン、リモネン、1,2,4-トリメチルベンゼン等で濃度が高くなっているが、サンプルは2軒しかなく、両者でばらつきがあるため、傾向はつ



かみにくかった。図3-28に示した枠組壁工法住宅の室内気中濃度の結果では、 $\alpha$ -ピネン、トルエン、キシレン等で濃度が高い傾向がある。これらの結果から、工法ごとにも、多少の傾向はあるといえる。

次に種類・内装による比較として、木材が多用されている住宅(M1~14、LH)と現在の典型的な軸組工法(I1~5、F1~5、F1~4)の二つに分類してその傾向を見た。木材を多用している住宅では、図3-29に示したように、 $\alpha$ -ピネン、リモネンで放散量が高い。また、トルエン、メチルエチルケトン、酢酸エチル、ドデカンなどでの放散量も多い。木を多用しているわりには、酢酸エチルの放散量は典型的な軸組工法に比べ高くなく、ペイントやニス等の仕上げ剤由来のメチルエチルケトン、ドデカンで放散量が多い。

現在の典型的な軸組工法では、図3-30に示すように、エタノール、 $\alpha$ -ピネン、トルエンで放散量が高いが、木材多用した住宅に比べ、スチレン、エステル類の放散量が高いことが言える。エタノール、酢酸エチルは接着剤由来であると考えられるため、特に合板由来ではないかと考えられる。また、スチレンは、断熱材や畳から放散されているといわれており、特に住宅によっては、畳からのにおいのきつい住宅もあったため、畳が原因とも考えられる。

#### 3.4.4 TVOCに対する各化合物の比率

測定データを化学分類ごとに合計し、TVOCに対してどれだけの比率を占めるかを図3-31に示す(尚このデータは、TVOCも含め25℃に温度補正したものをを用いた)。この図より、その他のVOCの比率が圧倒的に高く、約60%を占めており、続いてテルペン類、芳香族炭化水素が約11%、脂肪族炭化水素が約6%、エステル類、ケトン類が約5%、ハロゲン化炭化水素が0.5%であった。その他のVOCに関しては、最も高い比率となっているが、あくまでこれは便宜上50物質以外の全てのピークをトルエン換算としたものであるため、実際どれほどの分子量を持つ物質が含まれているかは不明である。木材由来とされるテルペン類では、わずか3物質であるにもかかわらずその他のVOCに次いで高い比率となった。今回の測定では、木材を多く使用した住宅が多かったためと考えられる。仮に、木材由来のVOCをテルペン類のみとした場合、住宅由来のVOCの9割は、人工的な物質からの放散であると考えられる。また、ハロゲン化炭化水素では極めて低い比率となった。

#### 3.4.5 室内濃度指針値と実際の気中濃度

厚生労働省において、室内濃度指針値の定まった7物質とTVOCに関して実際の気中濃度(25℃補正した場合)と比較した結果を以下に記す。また、それらの概要を表3-11に示した。

図3-32にトルエンの気中濃度測定データを示す。表3-11に示すトルエンの指針値は0.07ppm(260 $\mu$ g)であるのに対して、実際の測定では、平均値0.107ppm、最大値0.371ppm、最小値0.013ppmであり、26の測定室で指針値を上回る結果となっ

た。トルエンは、今回の測定において、放散量の大きかった物質の一つであり、どの住宅においても検出された。

図3-33にキシレンの気中濃度測定データを示す。表3-11に示すキシレンの指針値は0.20ppmであるのに対し、実際の測定では、平均値0.030ppm、最大値0.241ppm、最小値0.002ppmであり、指針値を上回る住宅は一軒だけであった。

図3-34にp-ジクロロベンゼンの気中濃度測定データを示す。表3-11に示すp-ジクロロベンゼンの指針値は0.04ppmであるのに対して、実際の測定では、平均値0.0007ppm、最大値0.0036ppm、最小値0ppmであり、どの測定住宅においても指針値を大きく下回っていた。p-ジクロロベンゼンは、主に芳香剤や防虫剤に使用されるものであるため、新築時よりも入居後濃度が高くなると考えられる。

図3-35にエチルベンゼンの気中濃度測定データを示す。表3-11に示すエチルベンゼンの指針値は0.88ppmであるのに対して、実際の測定では、平均値0.023ppm、最大値0.148ppm、最小値0.001ppmであり、どの測定住宅においても指針値を大きく下回っていた。

図3-36にスチレンの気中濃度測定データを示す。表3-11に示すスチレンの指針値は0.05ppmであるのに対して、実際の測定では、平均値0.027ppm、最大値0.146ppm、最小値0.0004ppmであり、平均値では下回っているものの、指針値を上回っている住宅が8軒あった。スチレンは、断熱材や畳から放散されると考えられる。

図3-37にテトラデカンの気中濃度測定データを示す。表3-11に示すテトラデカンの指針値は0.04ppmであるのに対して、実際の測定では、平均値0.008ppm、最大値0.036ppm、最小値0.0008ppmであり、測定住宅のほとんどが指針値より一桁少ない値であった。

図3-38にノナナールの気中濃度測定データを示す。表3-11に示したノナナールの暫定目標値は0.007ppmであるのに対して、実際の測定では、平均値0.015ppm、最大値0.167ppm、最小値0.002ppmであり、21軒で指針値を上回り、さらに2~8倍の濃度の住宅が9軒、20倍以上の濃度の住宅が1軒あった。

図3-39にTVOCの気中濃度測定データ（単位は $\mu\text{g}/\text{m}^3$ とした）を示す。TVOCの暫定目標値は新築住宅では $1000\mu\text{g}/\text{m}^3$ であるのに対して、実際の測定を行った竣工直後の住宅では平均値 $8788\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最大値 $31127\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最小値 $2074\mu\text{g}/\text{m}^3$ あり、暫定値を下回る住宅は一つもなく、多いところでは、指針値に比較して、30倍以上の放散が見られる住宅もあった。しかしこの場合温度補正を行っていないため、温度の影響を考慮しない形での比較となったが、測定時に最も気温の低かった日でも $4722\mu\text{g}/\text{m}^3$ という値となり、指針値を超える結果となった。

以上の結果から、指針値を超える物質はトルエン、ノナナール、TVOCの3物質であった。また、今回の測定において、p-ジクロロベンゼンを除いたその他住宅由来と考えられるスチレン、キシレン等は、TVOCの高い新築時でも比較的低い濃度で存在することが認められた。

TVOCに関してみると、今回の測定は気温の高い夏期に集中的に行ったため、

測定の結果は、それぞれの住宅における放散量の最大値と考えられる。TVOC濃度に及ぼす換気の効果については、例えば一日に8時間の換気を行った場合、内装工事完了後から一週間で急激に減少することが示されている。よって、引渡し前に十分な換気を行うことによって、時間経過とともに、VOCs放散は減少していくと考えられる。

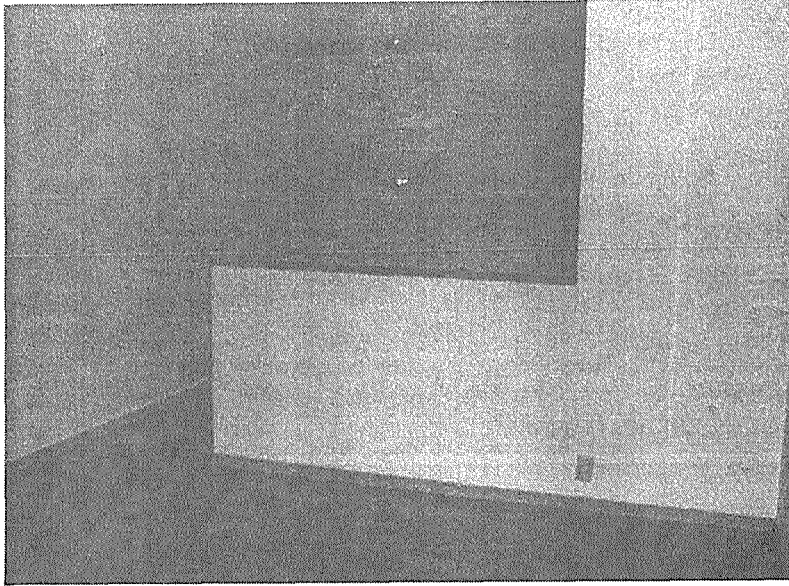


写真 3 - 1  
室内状況  
木質率：20%以下  
床：木質仕上げ

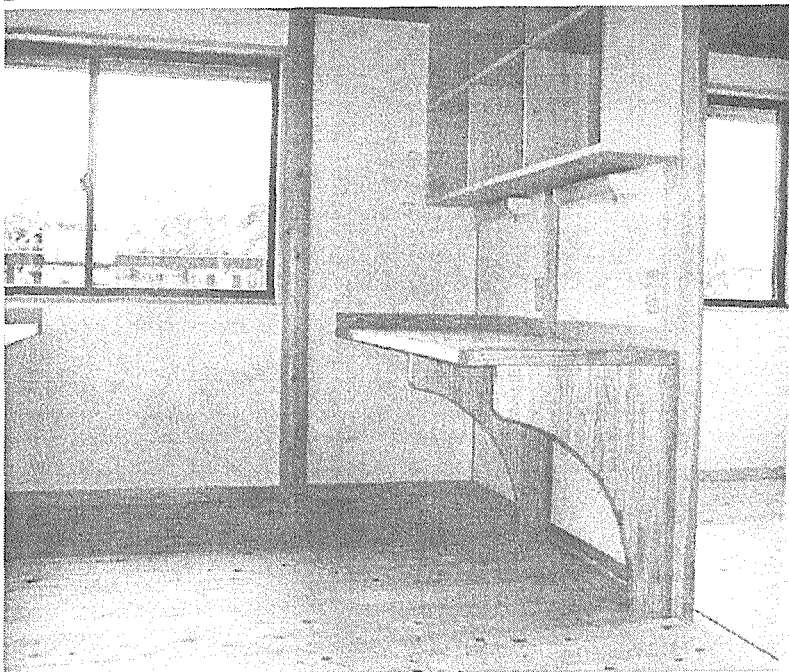


写真 3 - 2  
室内状況  
木質率：20～50%

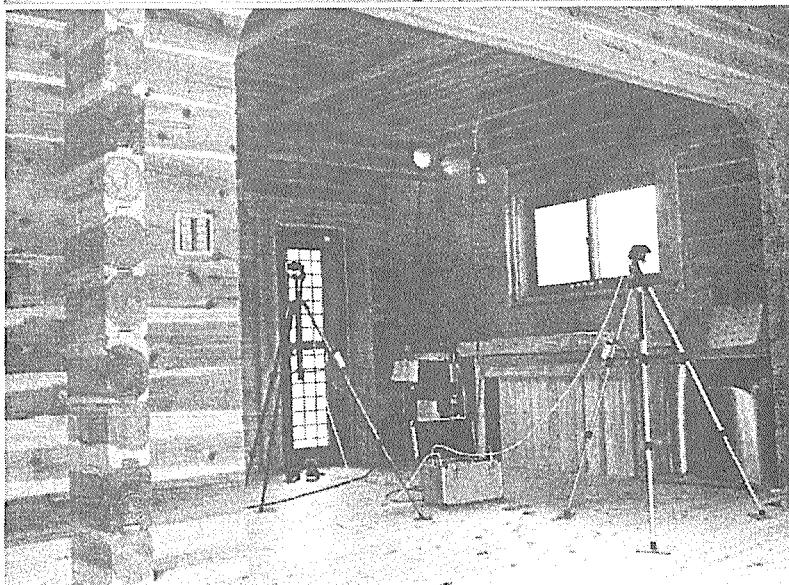


写真 3 - 3  
室内状況  
ログハウス建物内部  
木質率：50%以上

表 3 - 1 測定室数の内訳

工法	居間	寝室	計
在来軸組工法	40	39	79
	5(4)	1(1)	6
枠組壁工法	6	6	12
	1(1)	1(1)	2
工業化	6	6	12
	2	0	2
計	52	51	103
	8	2	10

Note : 上段ポンプ法、下段パッシブ法、括弧内は換気回数の測定数である。

表 3 - 2 木質材料使用率の区分

区分	使用率	内容
A (79室)	20%	ほぼ床のみに木質材料を使用した場合がこれに相当する。測定住宅の中でも最も多く、床に木質複合フローリング、壁・天井クロス貼りが典型的な仕様である。
B (7室)	50% 以下	床と壁または天井の一部に木質材料を使用した場合。Aの腰壁を木質材料で施工したもの等がこれに相当する。
C (17室)	50% 以上	床、壁、天井にふんだんに木質材料を使用した場合。Bの柱・梁表し、屋根裏のが露出したものもこれに相当する。この場合、実質使用率は75%を超える場合がほとんどである。

Note : 括弧内はその区分に該当した測定室数

表 3 - 3 各測定場所における測定室の温湿度

気温 (°C)	室内	居間	寝室	外気
平均値	29.9	29.4	30.3	29.0
最大値	38.4	36.6	38.4	38.1
最小値	20.7	20.7	21.0	18.4
01年平均	30.7	29.8	31.8	29.2
7月平均	32.0	31.4	32.5	32.8
8月平均	32.3	31.8	32.7	32.6
9月平均	27.4	27.0	27.7	25.3
相対湿度 (%)				
平均値	64.1	67.3	62.6	61.4
最大値	77.5	77.5	75.3	97.0
最小値	45.6	47.6	45.6	36.5
01年平均	68.3	70.9	65.2	64.4
7月平均	69.8	71.2	68.4	59.8
8月平均	62.2	63.4	61.0	54.2
9月平均	62.3	63.5	61.1	67.3

表 3 - 4 各測定場所におけるホルムアルデヒド気中濃度 (ppm)

	室内	居間	寝室	外気
平均値	0.118	0.118	0.118	0.007
最大値	0.484	0.484	0.312	0.015
最小値	0.023	0.029	0.023	0.000
01年平均	0.087	0.084	0.090	0.011
7月平均	0.157	0.196	0.118	0.007
8月平均	0.153	0.145	0.160	0.007
9月平均	0.089	0.083	0.095	0.007

表 3 - 5 各測定場所におけるアセトアルデヒド気中濃度 (ppm)

	室内	居間	寝室	外気
平均値	0.171	0.154	0.187	0.006
最大値	0.934	0.657	0.934	0.059
最小値	0.009	0.009	0.016	0.000
01年平均	0.096	0.074	0.122	0.022
7月平均	0.322	0.308	0.336	0.006
8月平均	0.185	0.176	0.195	0.004
9月平均	0.126	0.108	0.144	0.003

表3-6 ホルムアルデヒド気中濃度補正值(ppm)

	室内	居間	寝室	外気
平均値	0.084	0.082	0.085	0.006
最大値	0.310	0.252	0.310	0.017
最小値	0.019	0.021	0.019	0.000
01年平均	0.060	0.058	0.063	0.007
7月平均	0.090	0.111	0.069	0.004
8月平均	0.095	0.091	0.100	0.004
9月平均	0.079	0.072	0.086	0.007

Note : 28°C、50%RHに補正

表3-7 アセトアルデヒド気中濃度補正值(ppm)

	室内	居間	寝室	外気
平均値	0.169	0.153	0.185	0.006
最大値	0.921	0.648	0.921	0.058
最小値	0.009	0.009	0.016	0.000
01年平均	0.095	0.073	0.121	0.022
7月平均	0.318	0.304	0.333	0.006
8月平均	0.183	0.174	0.192	0.004
9月平均	0.126	0.108	0.144	0.003

Note : 28°Cに補正

表3-8 ポンプ法とパッシブ法における実測値の比較

カルボニル化合物名	ポンプ法	パッシブ法	ポンプ/パッシブ比
	(ppm)		
ホルムアルデヒド	0.117	0.079	1.492
アセトアルデヒド	0.247	0.197	1.258
アセトン	0.154	0.078	1.978
アクロレイン	0.000	0.001	0.302
プロピオアルデヒド	0.009	0.030	0.288
クロトアルデヒド	0.012	0.005	2.236
2-ブタノン	0.059	0.036	1.628
メタアクロレイン	0.001	0.001	0.447
n-ブチルアルデヒド	0.006	0.005	1.221
ベンズアルデヒド	0.050	0.034	1.477
バレルアルデヒド	0.018	0.010	1.767
m-トルアルデヒド	0.015	0.011	1.403
ヘキサアルデヒド	0.038	0.038	1.018
ポンプ/パッシブ比の平均			1.270

表 3 - 9 ポンプ法とパッシブ法の補正值の比較

カルボニル化合物名	ポンプ法	パッシブ法	ポンプ/パッシブ比
	平均値 (ppm)		
ホルムアルデヒド	0.072	0.057	1.275
アセトアルデヒド	0.244	0.195	1.253
アセトン	0.151	0.077	1.961
アクロレイン	0.000	0.001	0.296
プロピオアルデヒド	0.009	0.030	0.285
クロトアルデヒド	0.012	0.005	2.208
2-ブタノン	0.058	0.036	1.606
メタアクロレイン	0.001	0.001	0.442
n-ブチルアルデヒド	0.005	0.005	1.208
ベンズアルデヒド	0.049	0.034	1.462
バレルアルデヒド	0.018	0.010	1.761
m-トルアルデヒド	0.014	0.010	1.389
ヘキサアルデヒド	0.038	0.037	1.010
ポンプ/パッシブ比の平均			1.243



表3-10 VOC全測定結果概要

番号	化学的分類	物質名	分子量	室内濃度測定値(ppbv)				検出データ数 (39軒中)
				最大値	最小値	平均値	中央値	
1	脂肪族炭化水素	ヘキサン	86	0.019	-0.024	0.002	0.001	34/39
2		2,4-ジメチルペンタン	100	0.001	-0.038	-0.001	0.000	6/39
3		イソ-オクタン	114	0.011	0.000	0.001	0.001	30/39
4		ヘプタン	100	0.112	0.000	0.005	0.001	38/39
5		オクタン	114	0.015	0.003	0.007	0.006	39/39
6		ノナン	128	0.033	0.000	0.005	0.004	38/39
8		デカン	142	0.109	0.013	0.039	0.030	39/39
9		ウンデカン	156	0.104	0.001	0.018	0.010	39/39
9		ドデカン	170	0.166	0.012	0.045	0.032	39/39
10		トリデカン	184	0.045	-0.004	0.004	0.001	37/39
11		テトラデカン	198	0.036	0.001	0.008	0.005	39/39
12		ペンタデカン	212	0.002	0.000	0.000	0.000	31/39
13		ヘキサデカン	226	0.005	-0.002	0.001	0.000	38/39
14	芳香族炭化水素	ベンゼン	78	0.007	-0.002	0.001	0.001	33/39
15		トルエン	92	0.371	0.013	0.107	0.089	39/39
16		エチルベンゼン	106	0.148	0.001	0.023	0.011	39/39
17		キシレン	106	0.241	0.002	0.030	0.015	39/39
18		スチレン	104	0.145	0.000	0.027	0.013	39/39
19		3-エチルトルエン	120	0.086	0.000	0.013	0.007	39/39
20		4-エチルトルエン	120	0.082	0.000	0.006	0.001	27/39
20		1,3,5-トリメチルベンゼン	120	0.041	0.000	0.005	0.003	35/39
21		2-エチルトルエン	120	0.027	0.000	0.005	0.003	38/39
23		1,2,4-トリメチルベンゼン	120	0.161	0.000	0.021	0.013	39/39
24		1,2,3-トリメチルベンゼン	120	0.031	0.000	0.004	0.002	36/39
25	1,2,4,5-テトラメチルベンゼン	134	0.005	0.000	0.001	0.001	31/39	
26	テルペン類	$\alpha$ -ピネン	136	0.482	0.006	0.196	0.191	39/39
27		$\beta$ -ピネン	136	0.031	0.000	0.011	0.010	39/39
28		リモネン	136	0.138	-0.001	0.038	0.030	39/39
29	ハロゲン化炭化水素	ジクロロメタン	85	0.208	-0.002	0.009	0.000	25/39
30		クロロフォルム	119.5	0.001	0.000	0.000	0.000	11/39
31		1,1,1-トリクロロメタン	133.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0/39
32		1,2-ジクロロメタン	99	0.003	0.000	0.000	0.000	5/39
33		四塩化炭素	154	0.000	0.000	0.000	0.000	1/39
34		トリクロロエタン	131.5	0.000	0.000	0.000	0.000	7/39
35		1,2-ジクロロプロパン	113	0.001	0.000	0.000	0.000	2/39
36		ブromジクロロメタン	163	0.000	0.000	0.000	0.000	0/39
37		ジブromジクロロメタン	208.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0/39
38		テトラクロロメタン	168	0.000	0.000	0.000	0.000	1/39
39		p-ジクロロベンゼン	147	0.004	0.000	0.001	0.001	38/39
40	エステル類	酢酸エチル	88	0.211	0.004	0.065	0.052	39/39
41		酢酸ブチル	116	0.202	0.001	0.032	0.011	39/39
42	ケトン類	アセトン	58	0.052	0.002	0.023	0.020	39/39
43		メチルエチルケトン	72	0.242	0.003	0.041	0.028	39/39
44		メチルイソブチルケトン	100	0.052	0.000	0.011	0.007	39/39
45		ノナナール	142	0.167	0.002	0.015	0.007	39/39
46		デカナール	156	0.073	0.000	0.007	0.002	33/39
47	アルコール類	エタノール	45	1.242	-1.530	-0.017	0.023	39/39
48		2-プロパノール	60	0.028	0.000	0.004	0.003	39/39
49		1-プロパノール	60	0.002	0.000	0.000	0.000	28/39
50		1-ブタノール	74	0.112	-0.010	0.018	0.010	39/39
	その他のVOC	その他VOC(Toluene換算)	92	6.792	-0.212	1.317	1.017	39/39
	揮発性有機化合物総量	TVOC		7.965	0.319	2.147	1.655	38/38

表 3-11 室内濃度指針値が示されている物質の実測値との比較

物質名	指針値	室内気中濃度 (ppm)		
		最大値	最小値	平均値
トルエン	0.07ppm	0.371	0.013	0.107
キシレン	0.02ppm	0.241	0.002	0.03
p-ジクロロベンゼン	0.04ppm	0.0036	0	0.0007
エチルベンゼン	0.88ppm	0.148	0.001	0.023
スチレン	0.05ppm	0.146	0	0.027
テトラデカン	0.04ppm	0.036	0.0008	0.008
ナナナール	0.007ppm	0.167	0.002	0.015
TVOC	1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	31127	2074	8788

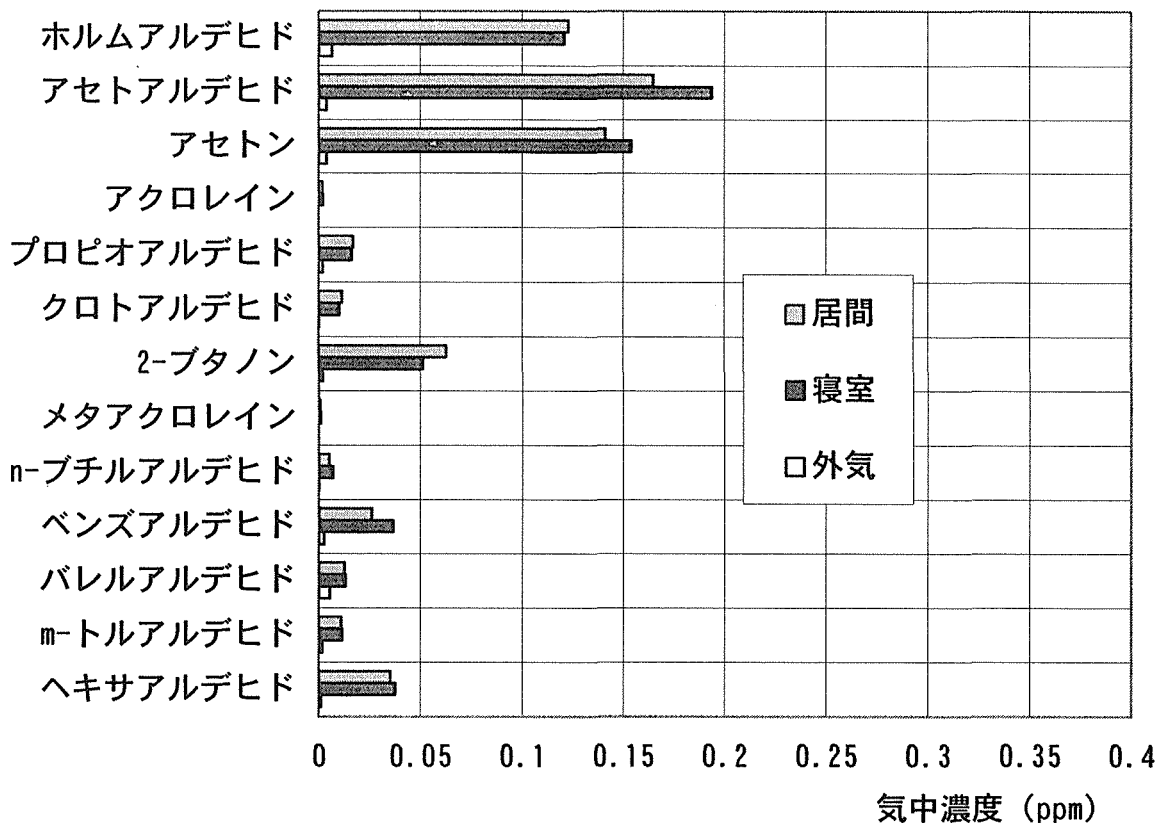


図3-1 カルボニル化合物の室内気中濃度（実測値全平均）

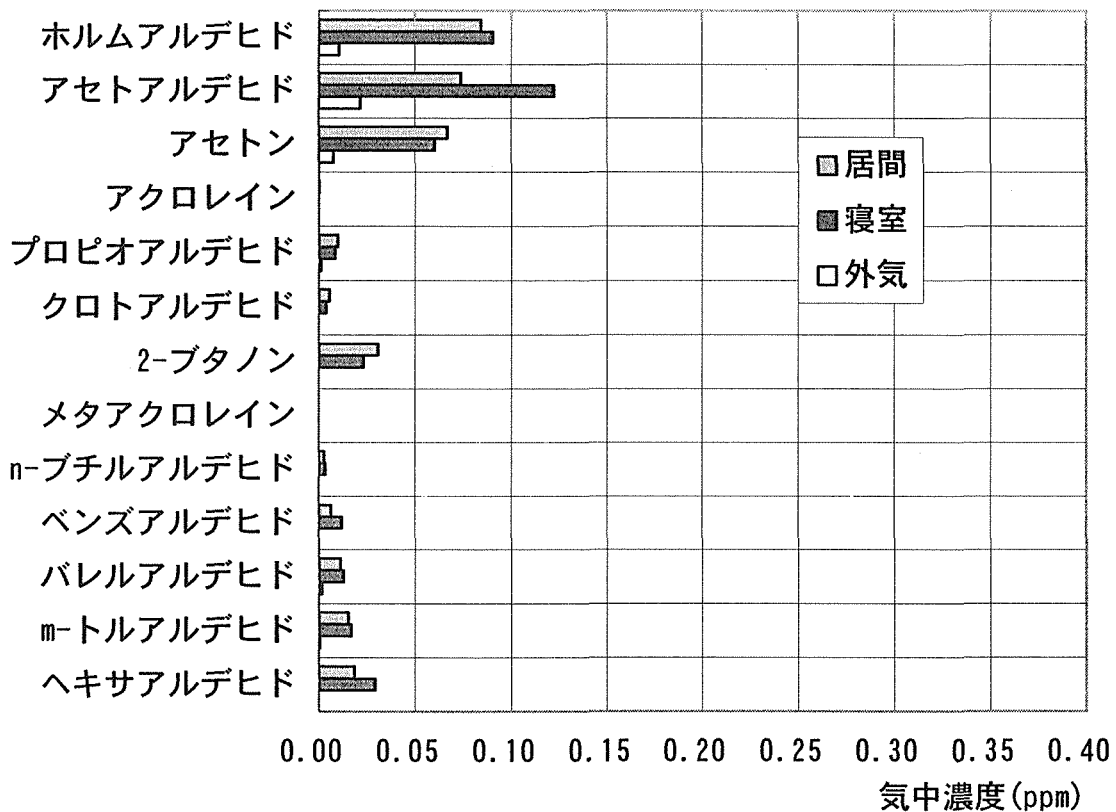


図3-2 カルボニル化合物の室内気中濃度（01年実測値平均）

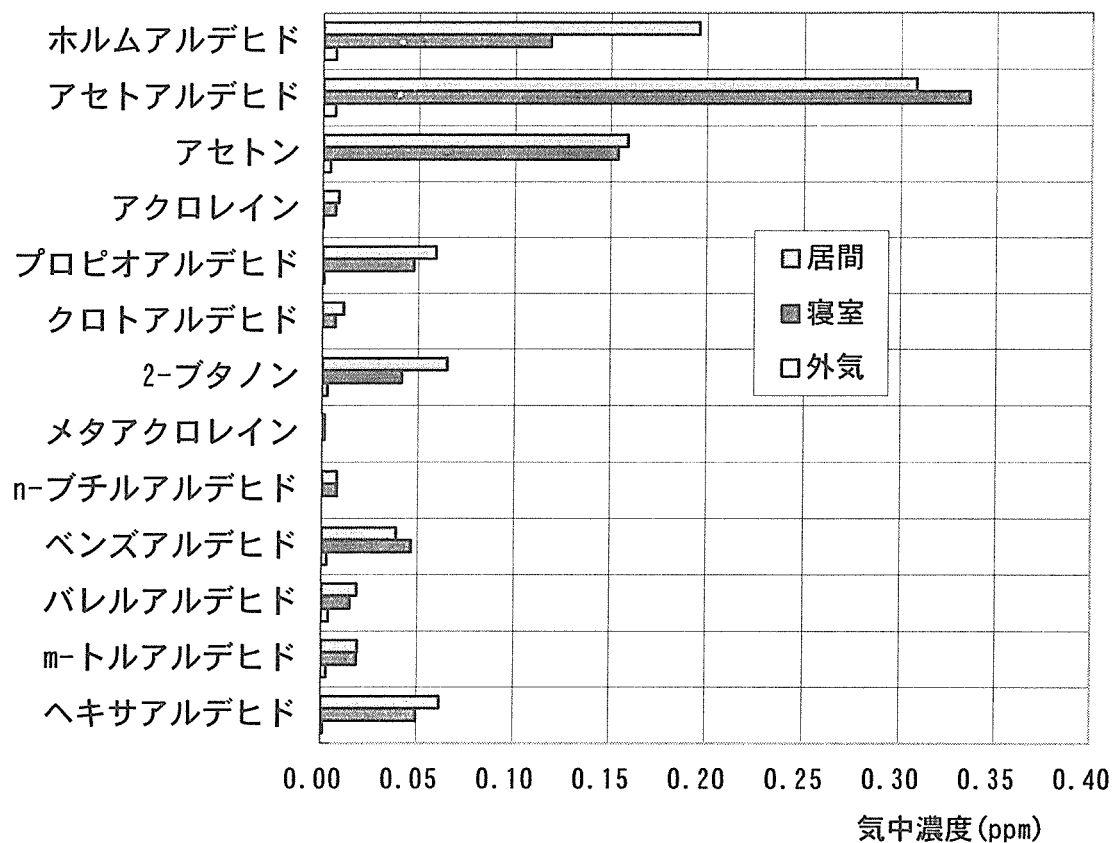


図3-3 カルボニル化合物の室内気中濃度（7月実測値平均）

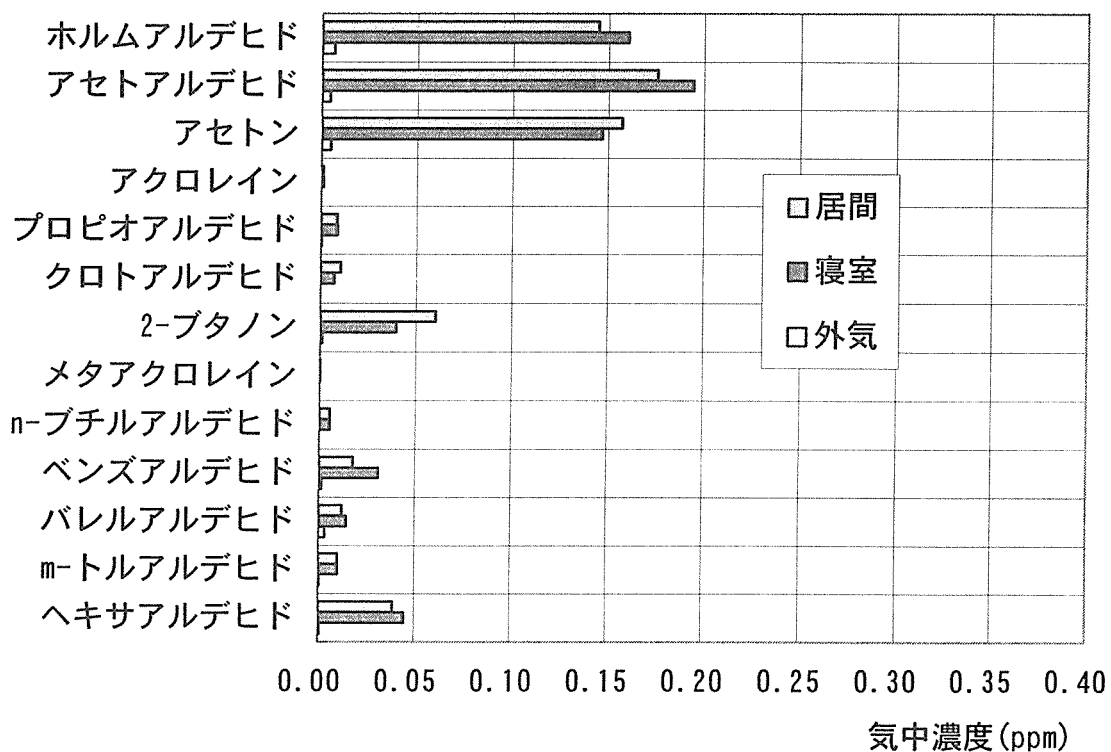


図3-4 カルボニル化合物の室内気中濃度（8月実測値平均）

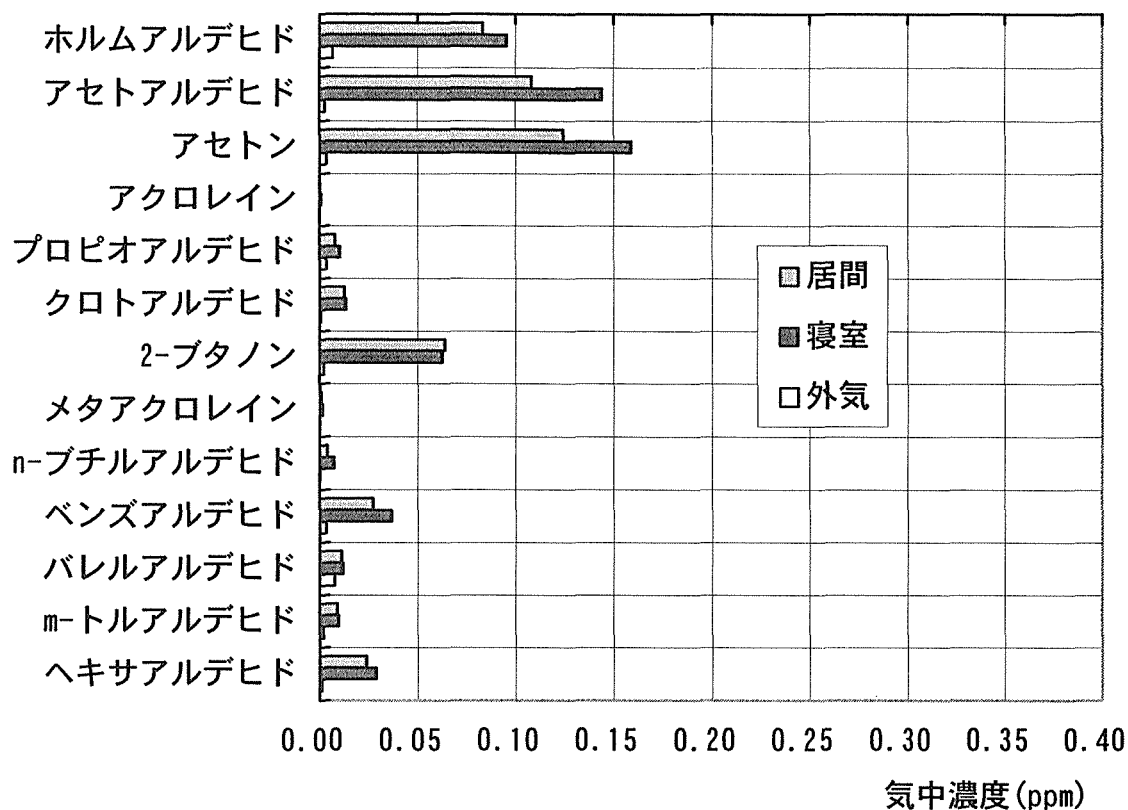
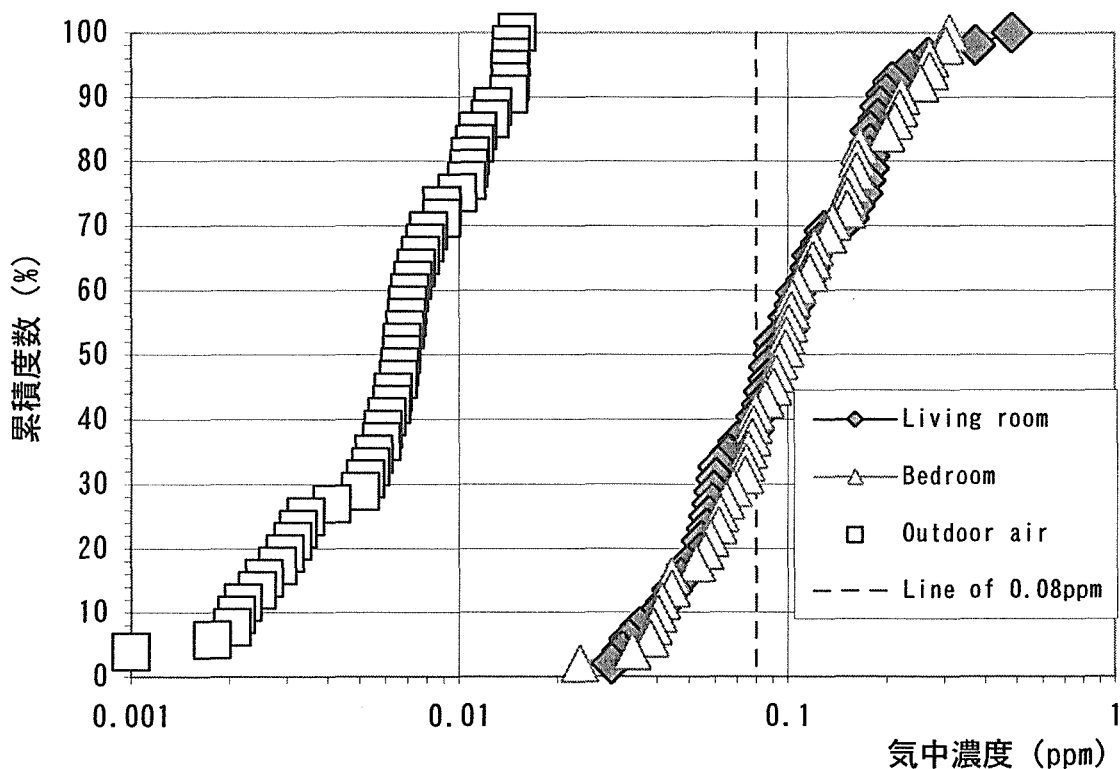
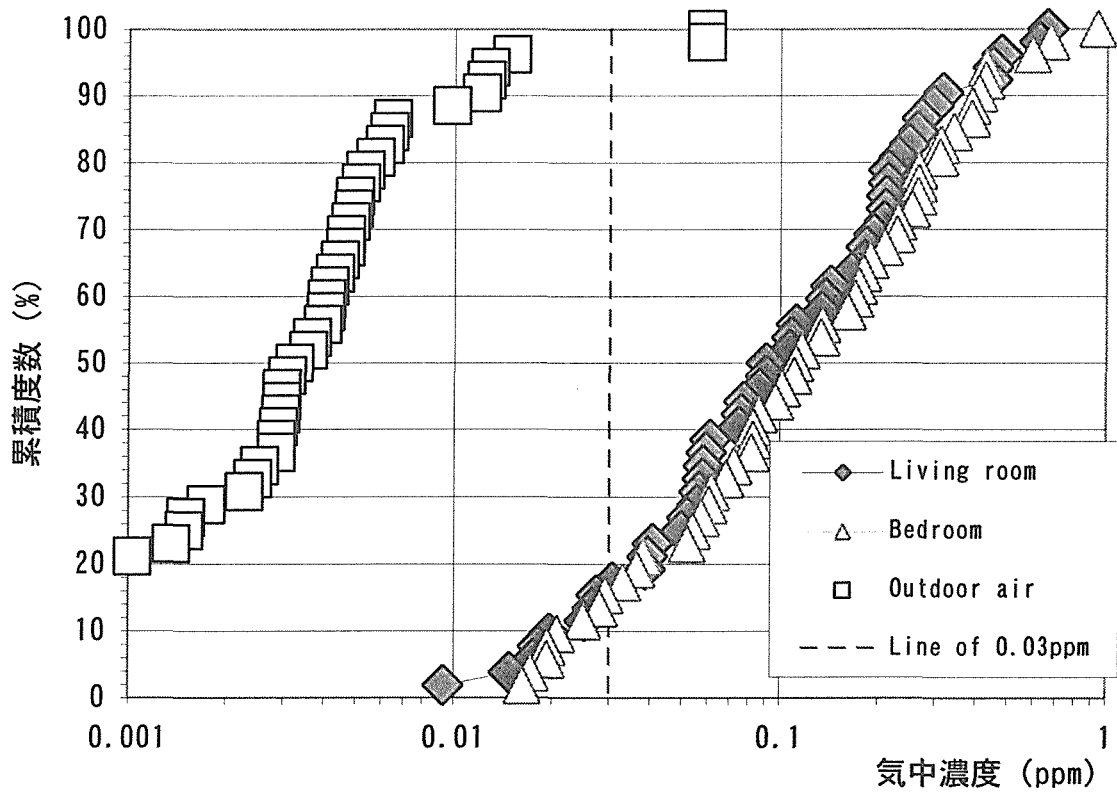


図3-5 カルボニル化合物の室内気中濃度 (9月実測値平均)



Note: 破線は厚生労働省ガイドライン指針値

図3-6 ホルムアルデヒド気中濃度累積度数(実測値)



Note : 破線は厚生労働省ガイドライン指針値

図 3 - 7 アセトアルデヒド気中濃度累積度数 (なりゆき)

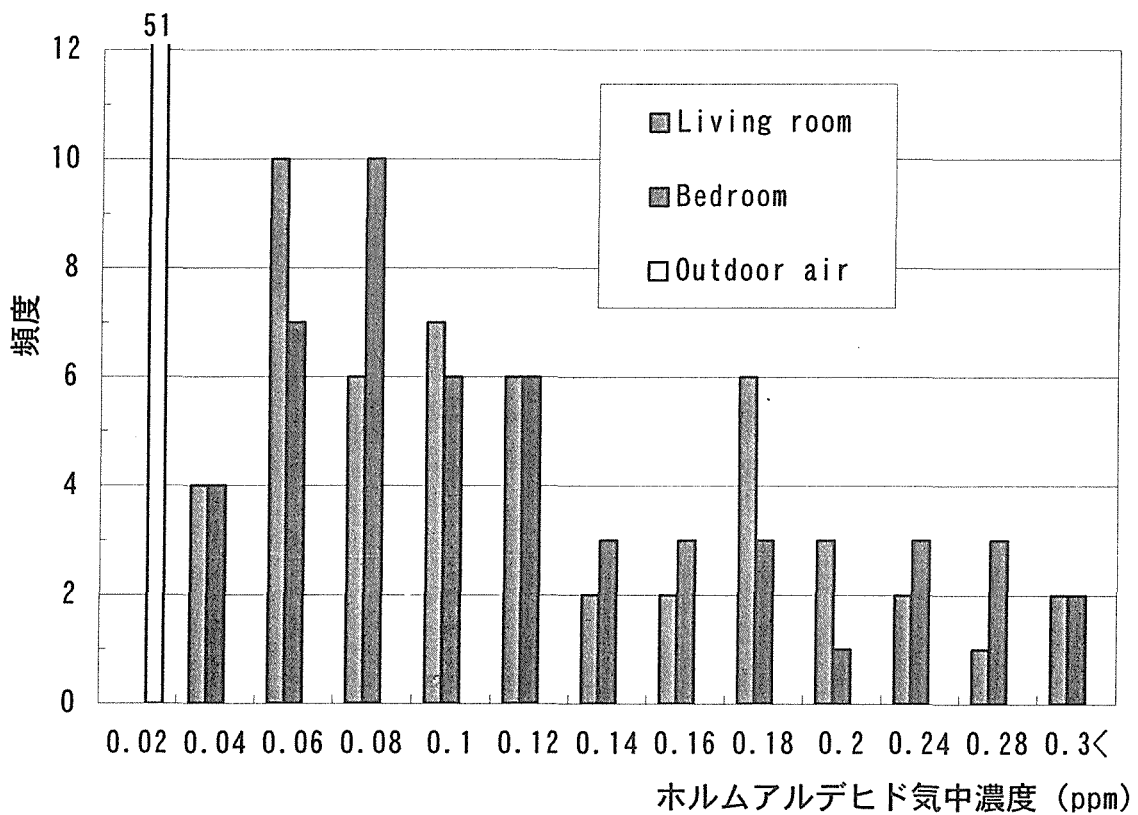


図 3 - 8 ホルムアルデヒド気中濃度の度数分布 (なりゆき)

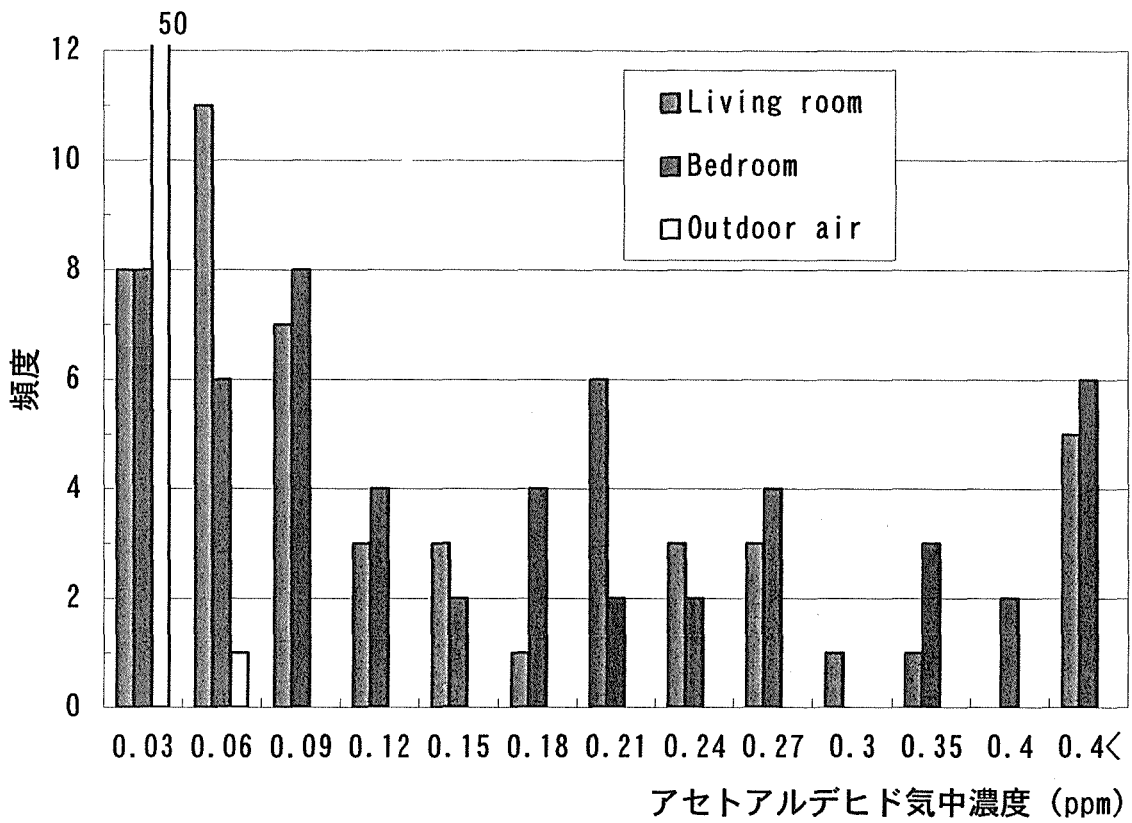


図3-9 アセトアルデヒド気中濃度度数分布(なりゆき)

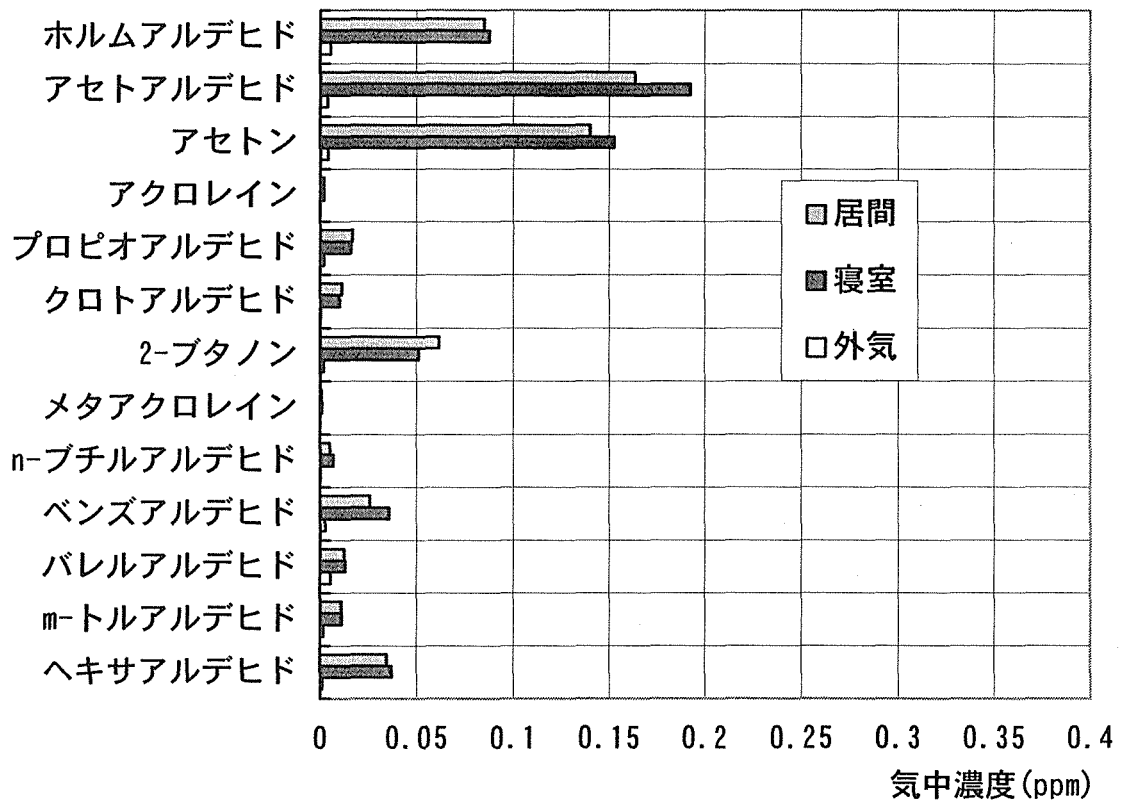


図3-10 カルボニル化合物の室内濃度(全補正值平均)

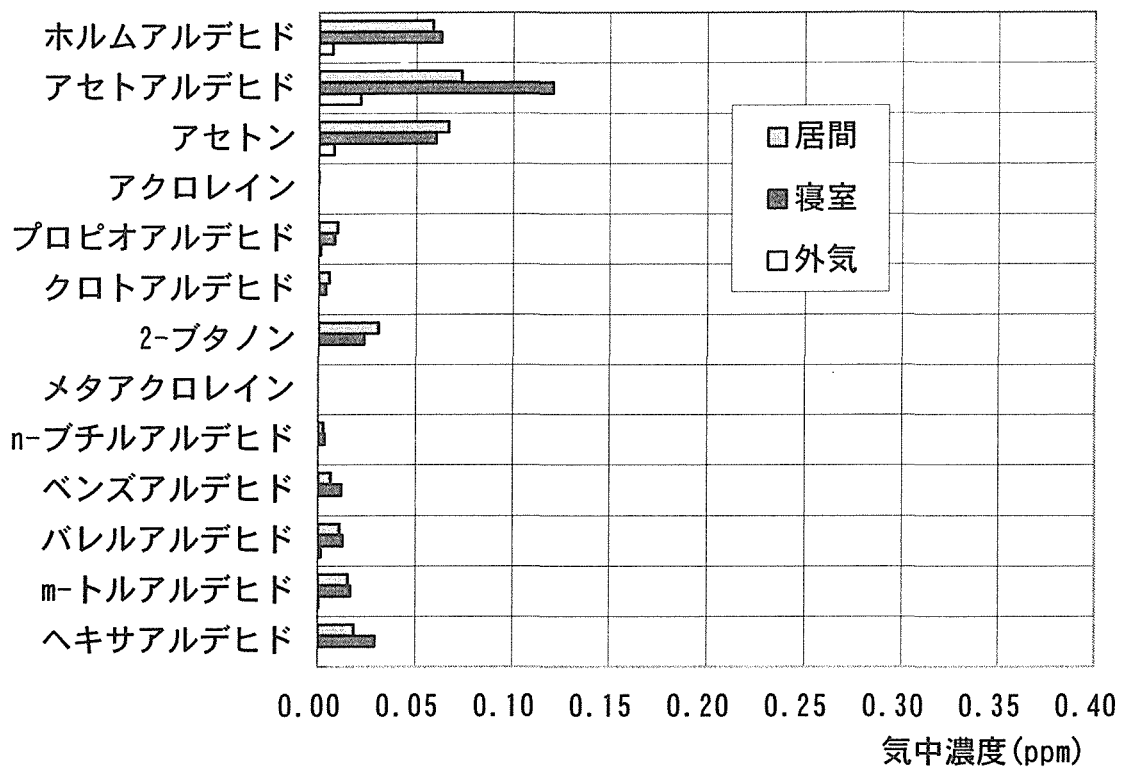


図3-11 カルボニル化合物の室内濃度 (01年補正值平均)

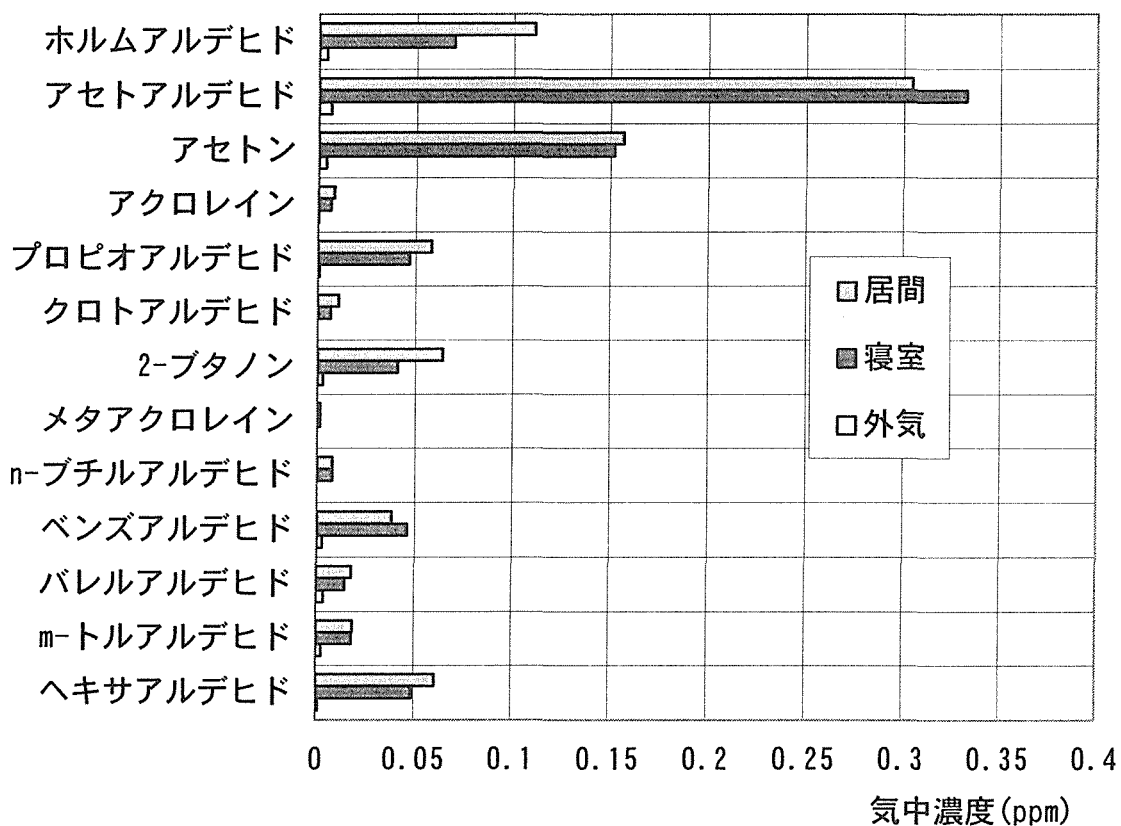


図3-12 カルボニル化合物の室内濃度 (7月補正值平均)



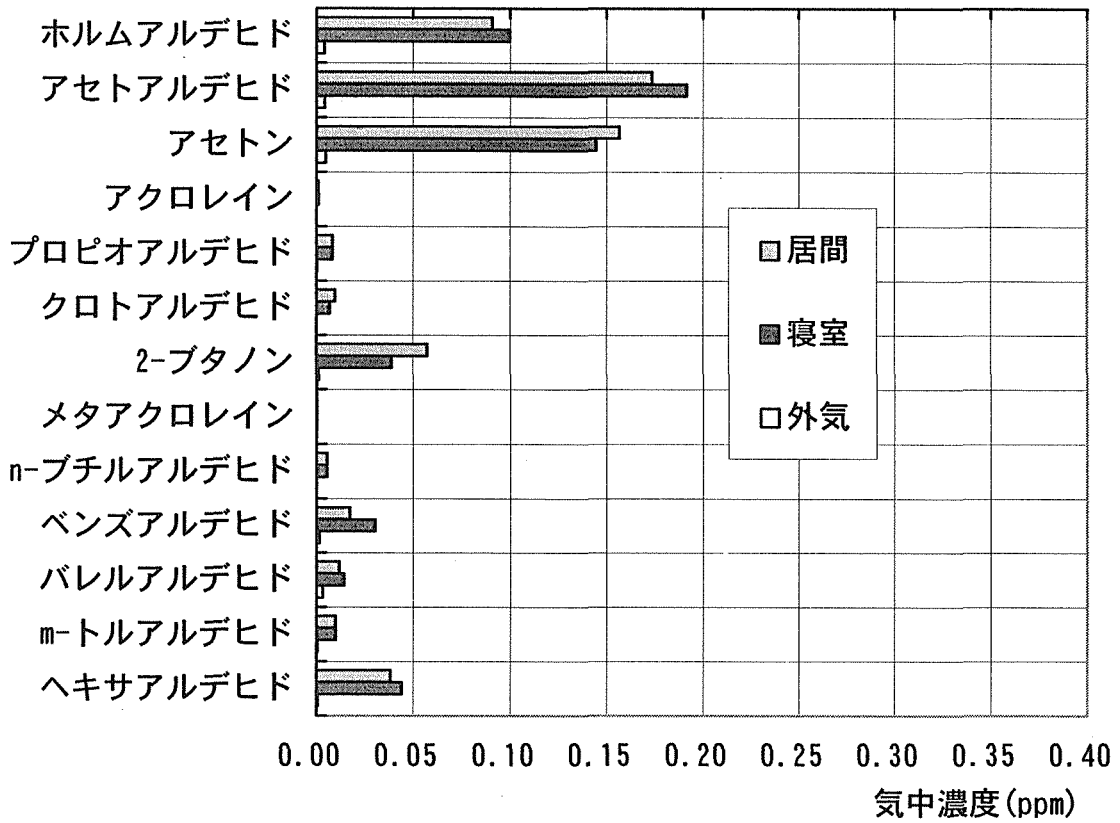


図3-13 カルボニル化合物の室内濃度（8月補正值平均）

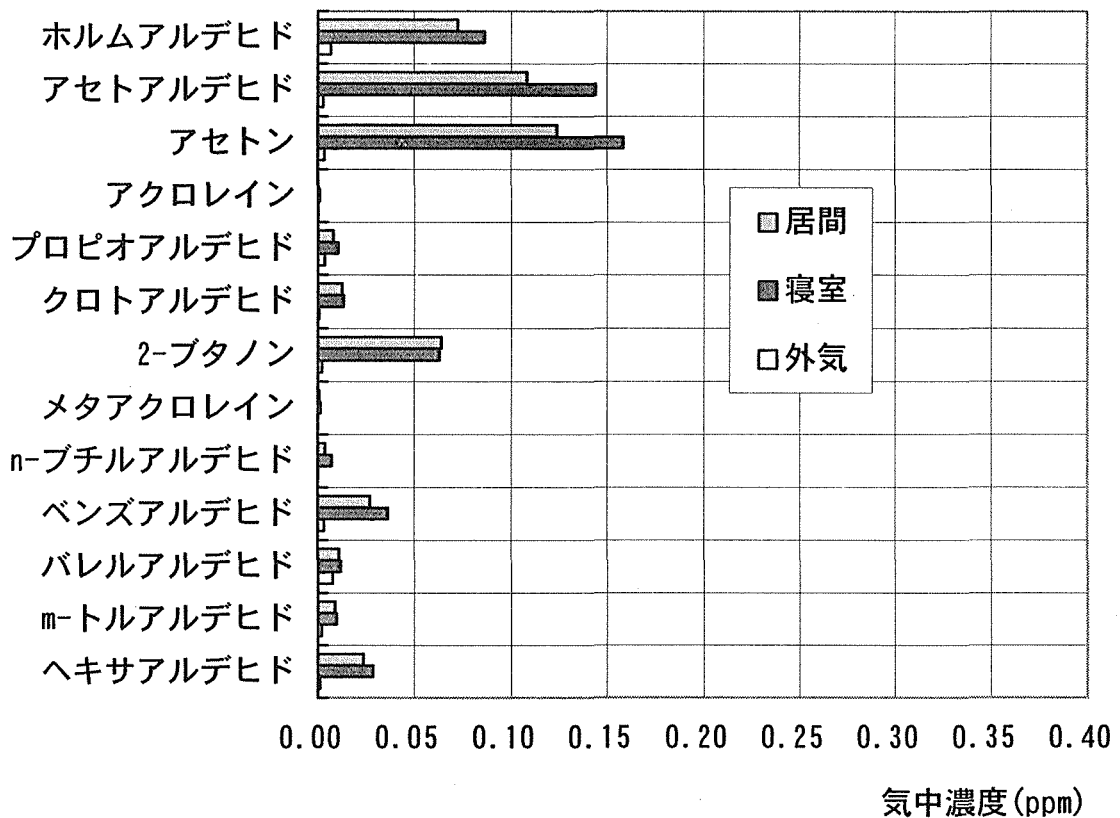
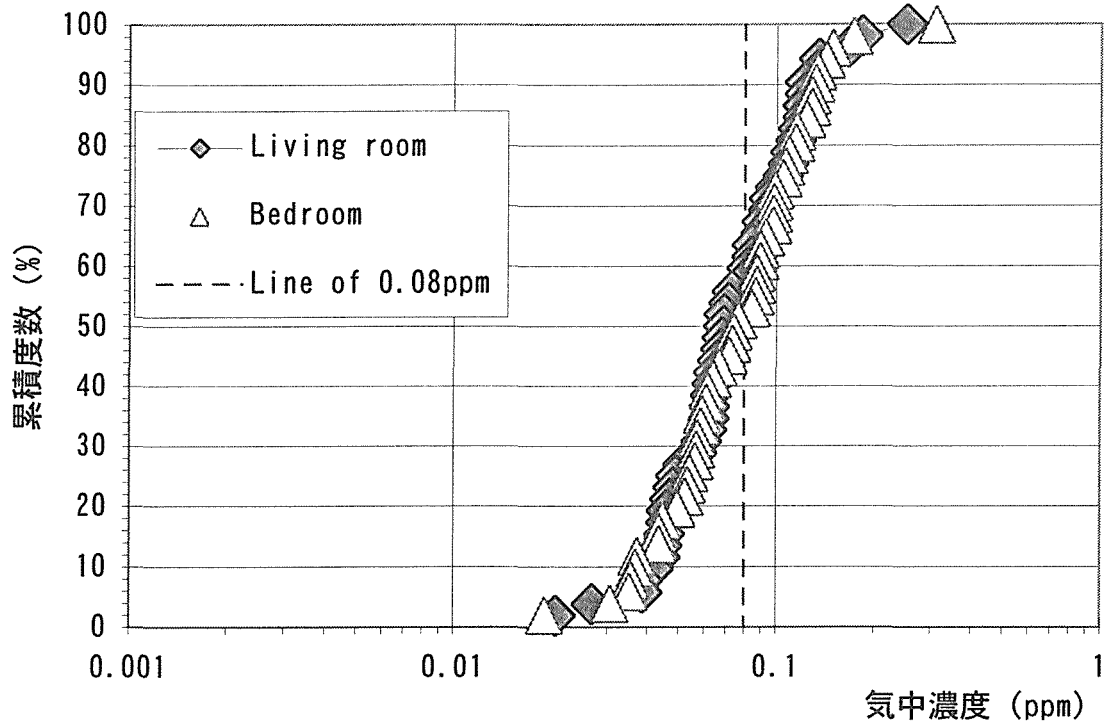
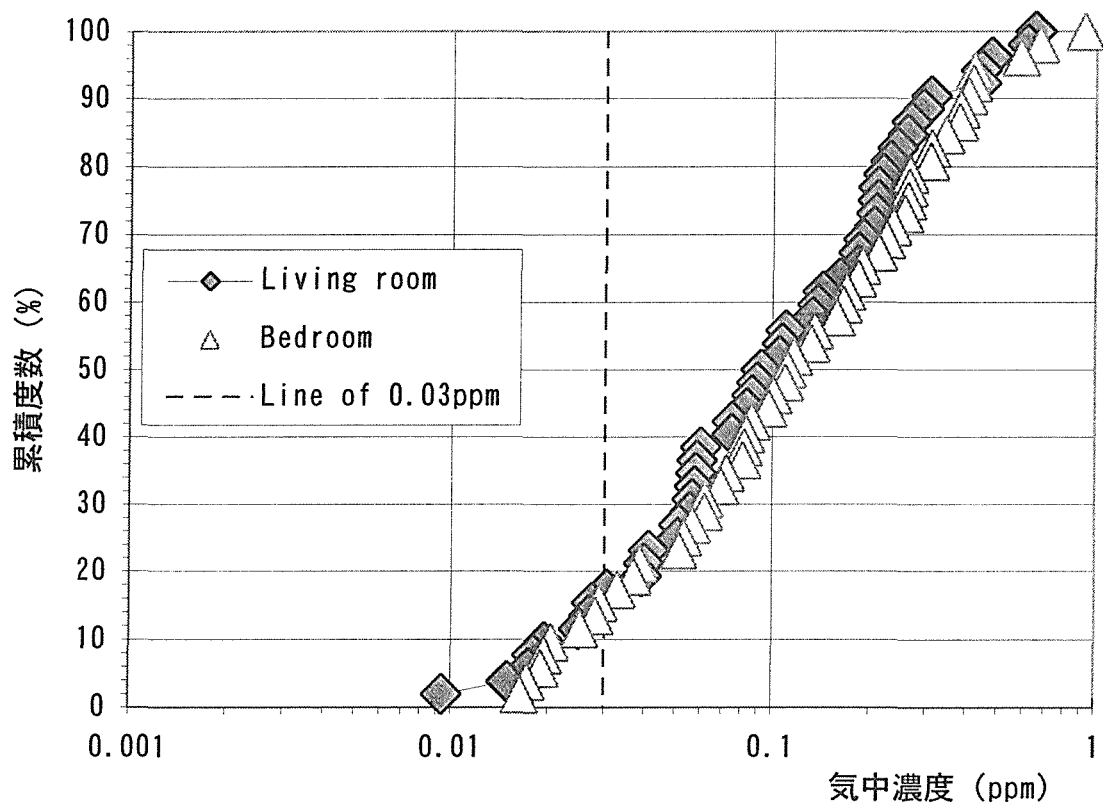


図3-14 カルボニル化合物の室内濃度（9月補正值平均）



Note : 破線は厚生労働省ガイドライン指針値

図 3 - 15 ホルムアルデヒド気中濃度累積度数 (補正值)



Note : 破線は厚生労働省ガイドライン指針値

図 3 - 16 アセトアルデヒド気中濃度累積度数 (補正值)

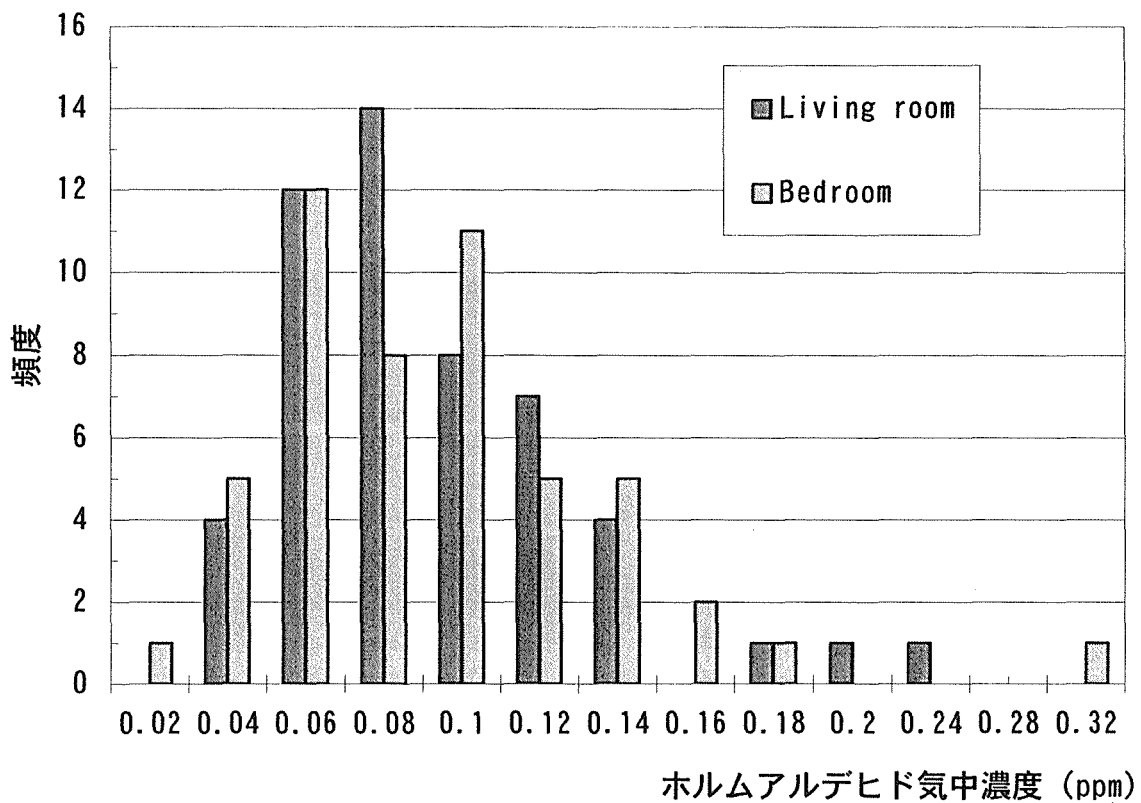


図3-17 ホルムアルデヒド気中濃度度数分布 (補正值)

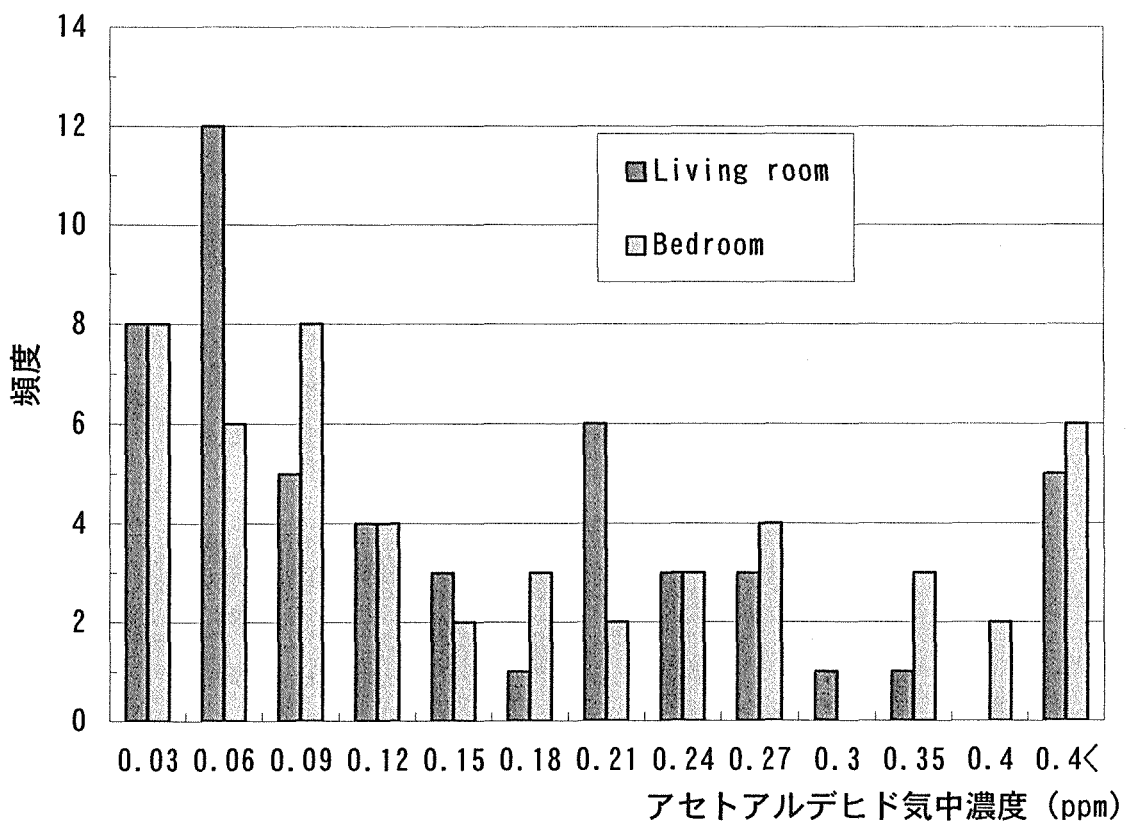
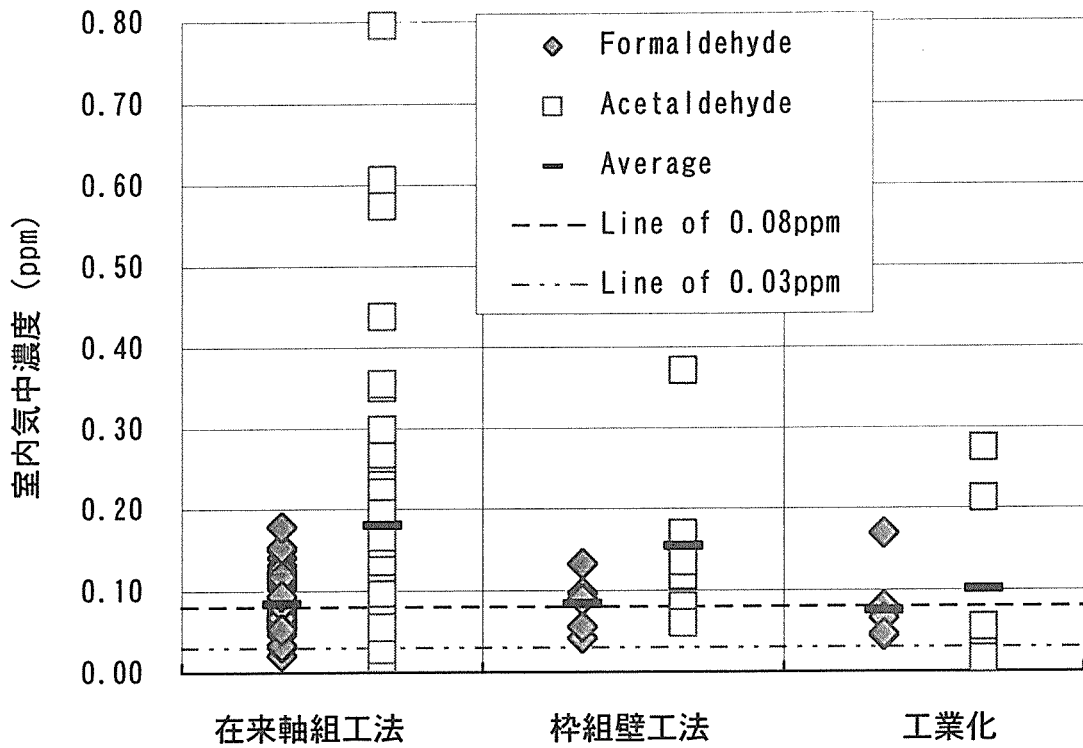
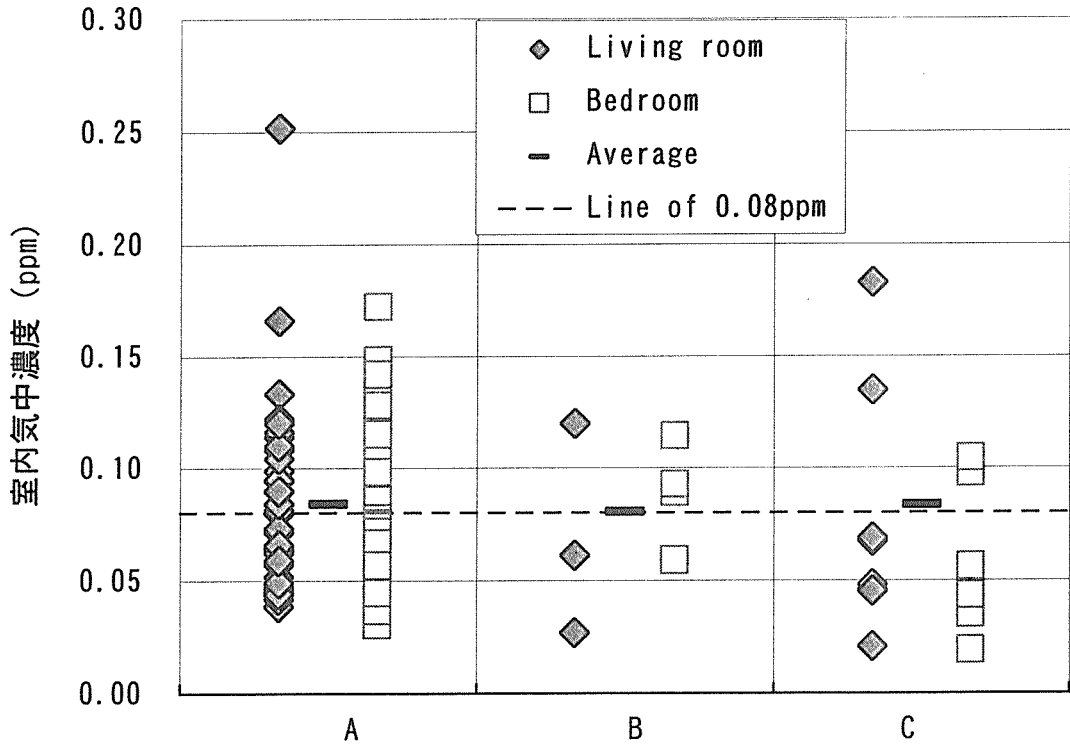


図3-18 アセトアルデヒド気中濃度度数分布 (補正值)



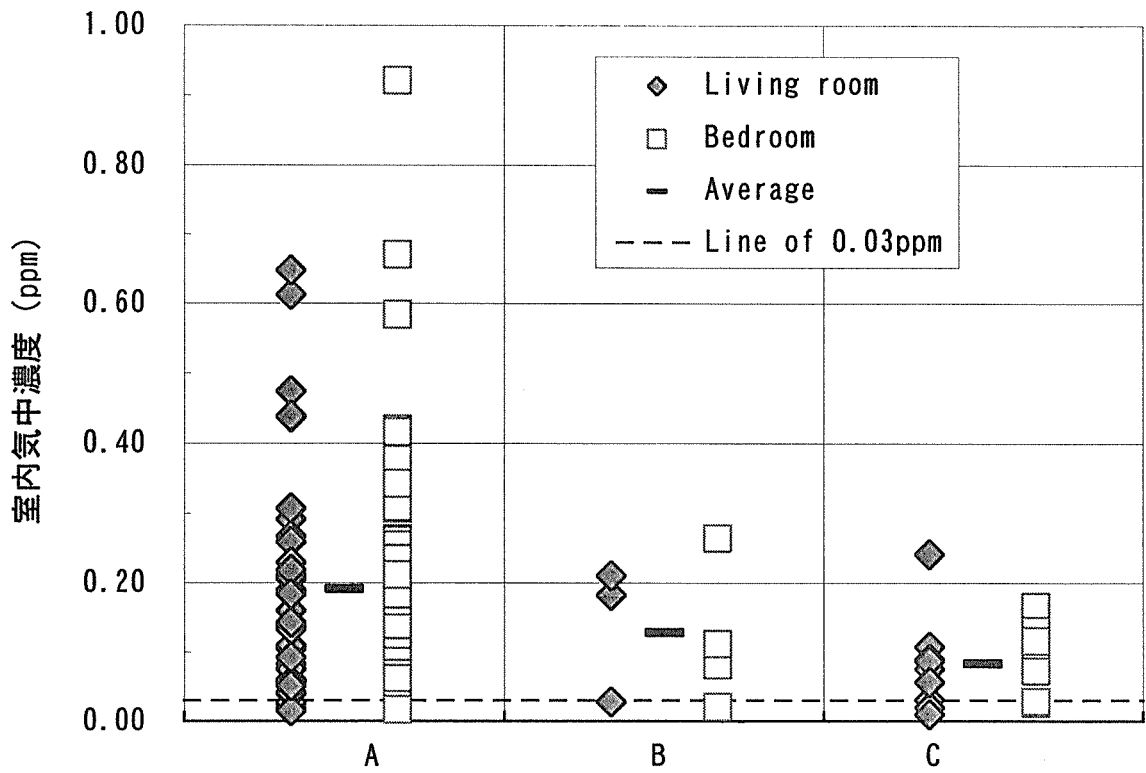
Note: 気中濃度は28°C、50%RHに補正

図3-19 各種工法と室内ホルムアルデヒド濃度及びアセトアルデヒド濃度の関係



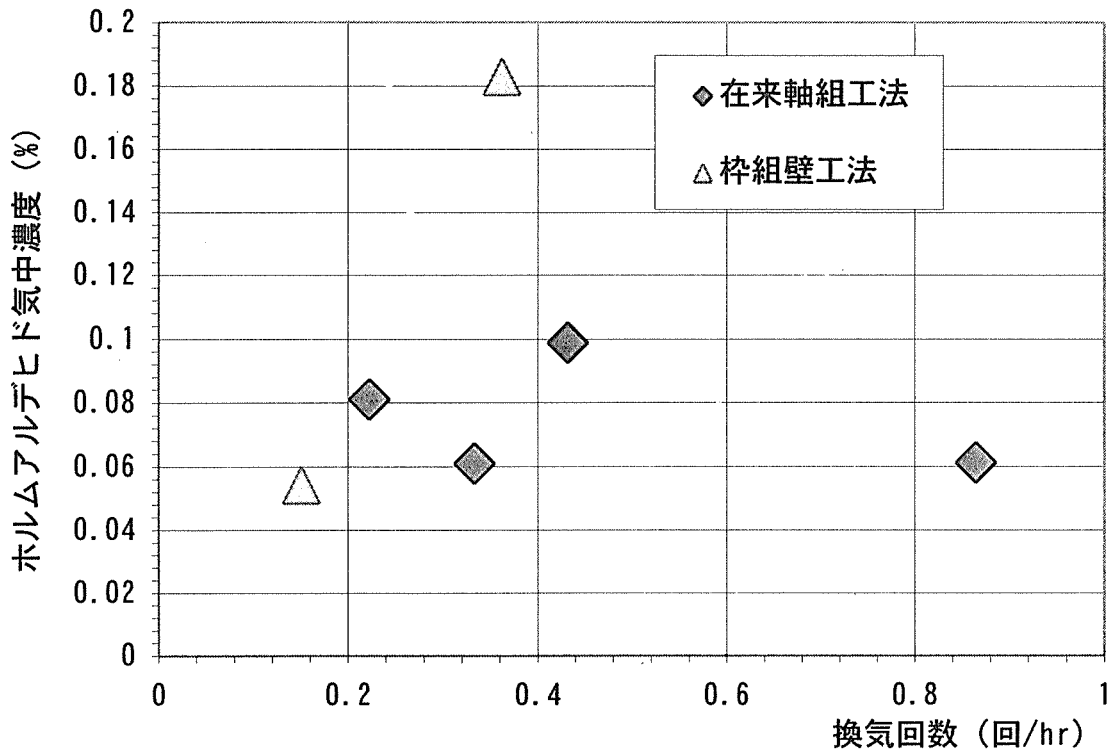
Note: 気中濃度は28°C、50%RHに補正

図3-20 木質材料使用率とホルムアルデヒド気中濃度



Note : 気中濃度は28℃、50%RHに補正

図 3 - 21 木質材料使用率とアセトアルデヒド気中濃度



Note : 気中濃度は28℃、50%RHに補正

図 3 - 22 換気回数とホルムアルデヒド気中濃度

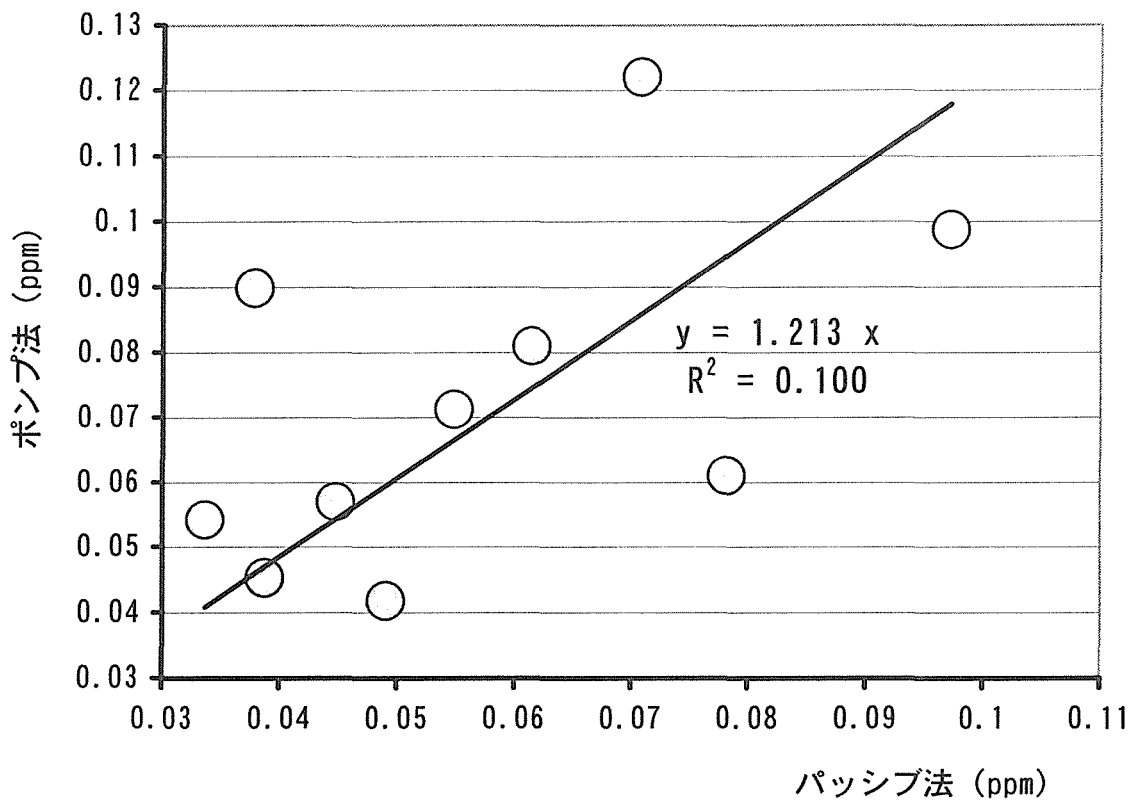


図 3 - 23 ポンプ法とパッシブ法におけるホルムアルデヒド濃度の相関 (補正值)

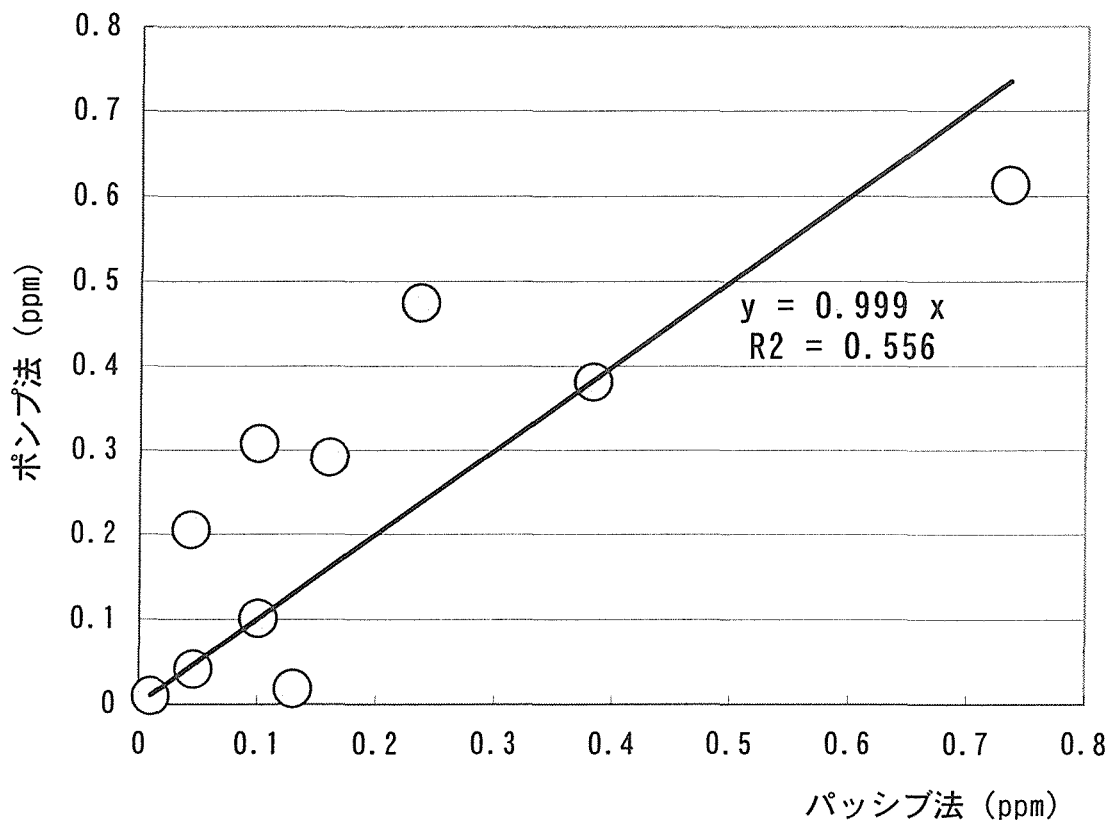


図 3 - 24 ポンプ法とパッシブ法におけるアセトアルデヒド濃度の相関 (補正值)

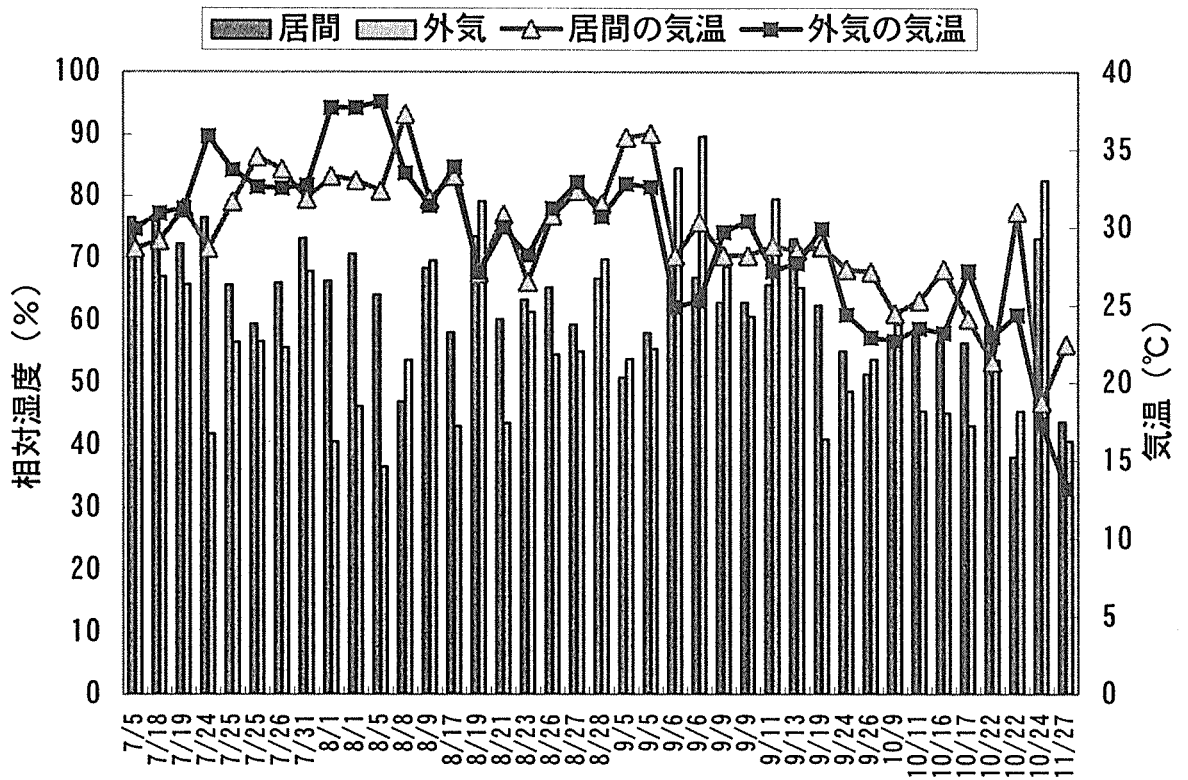


図3-25 測定時の気温と相対湿度(2002年7月~11月)

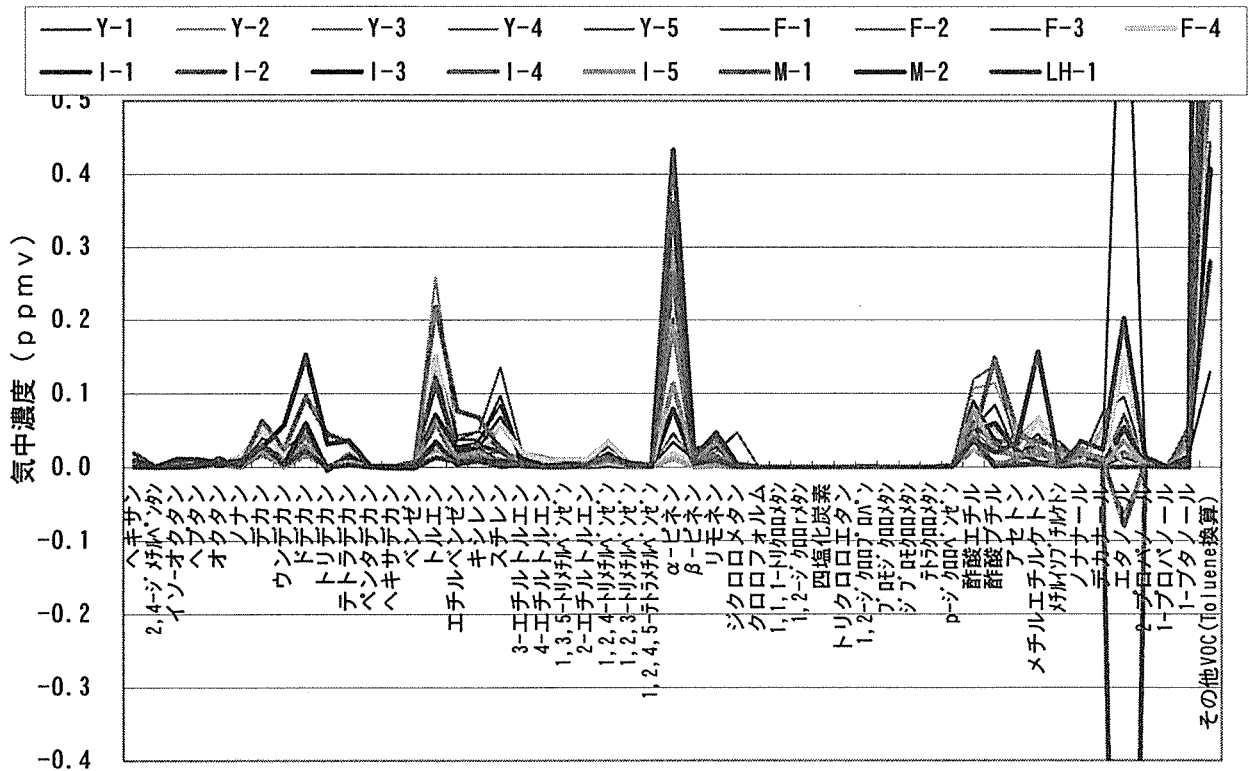


図3-26 軸組工法における室内気中濃度

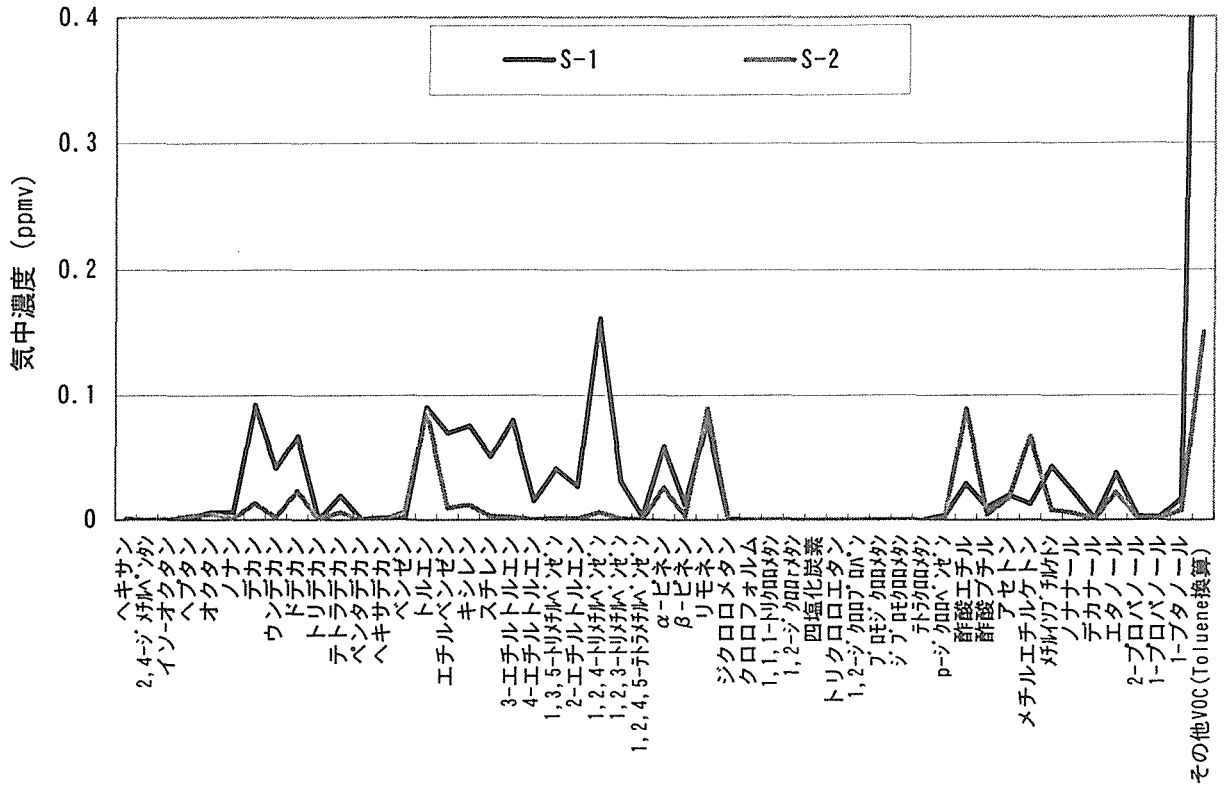


図 3 - 27 工業化住宅における室内気中濃度

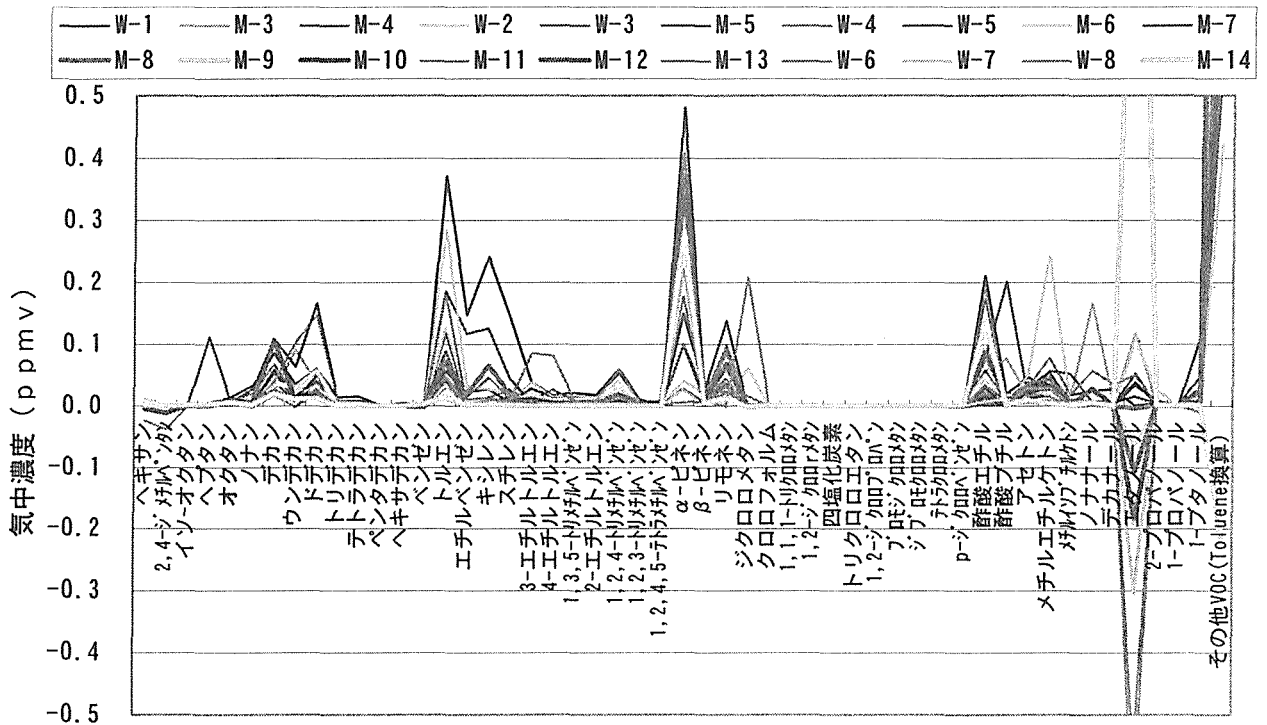


図 3 - 28 枠組壁工法における室内気中濃度



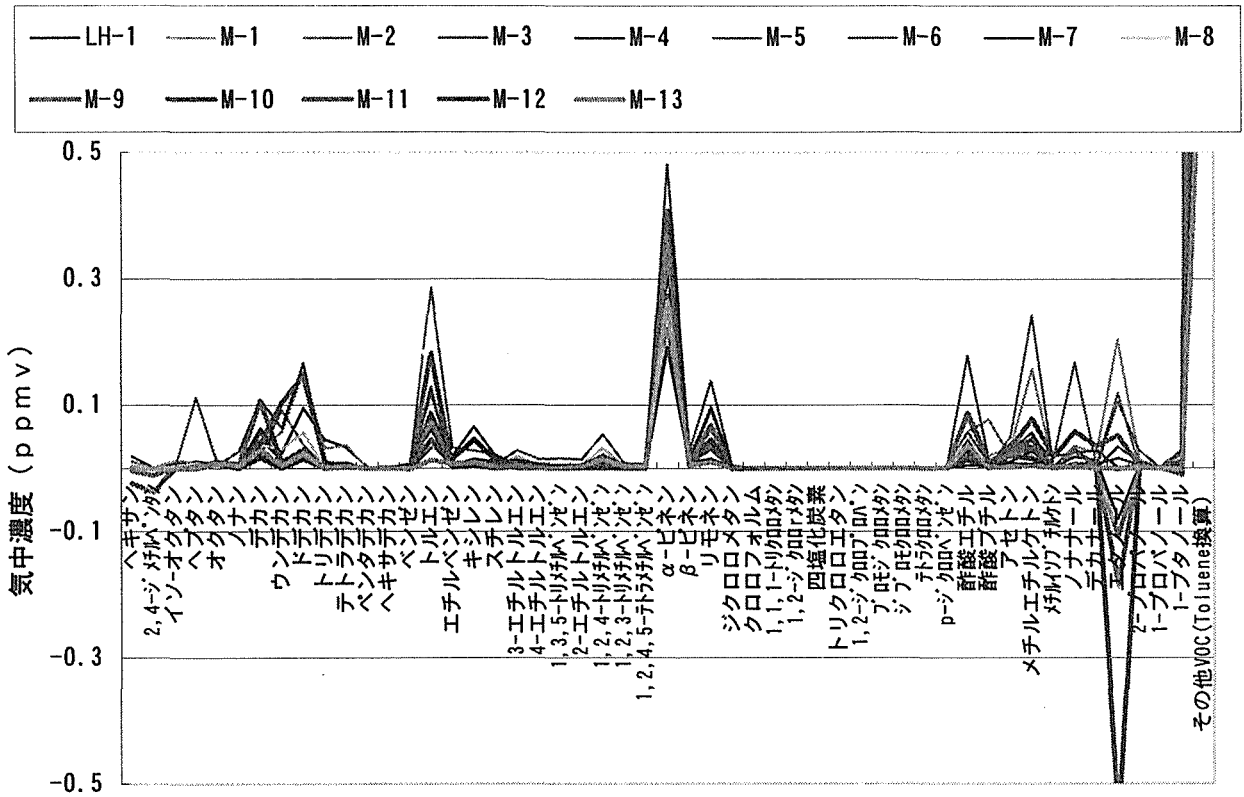


図3-29 木材を多用した住宅の気中濃度

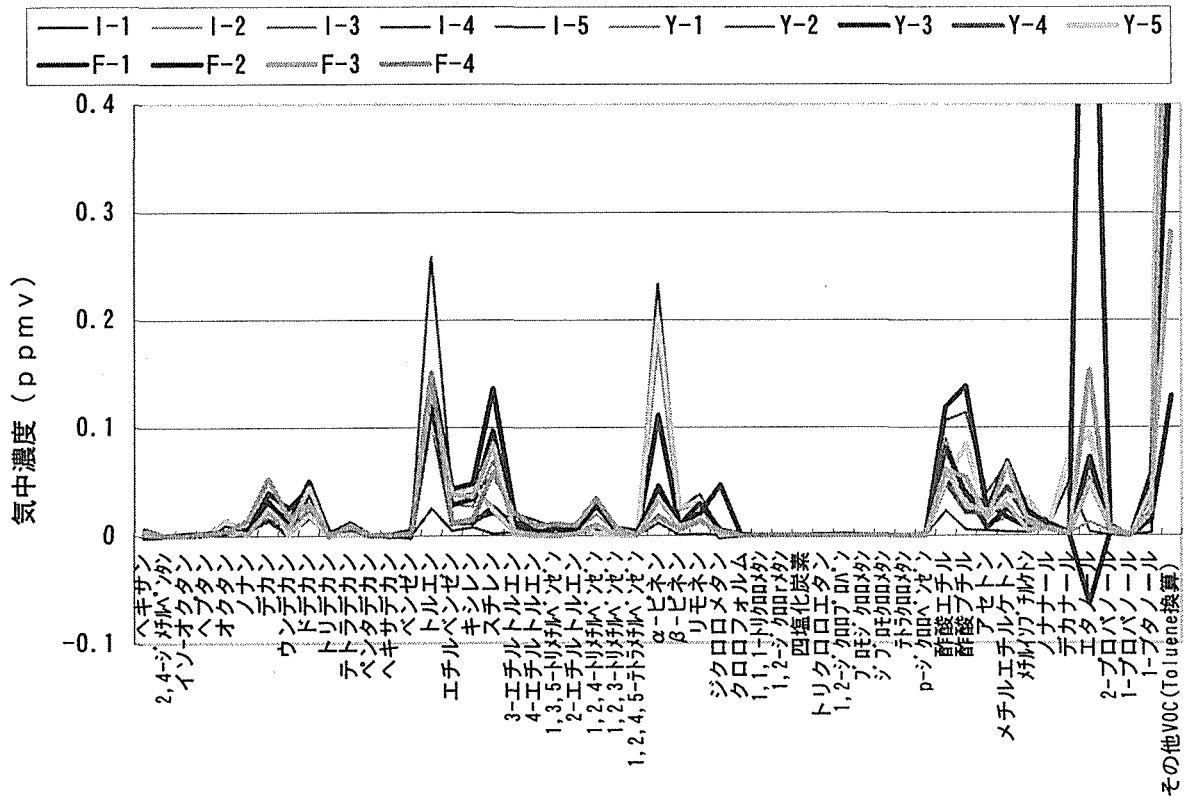


図3-30 典型的な在来軸組工法住宅の気中濃度

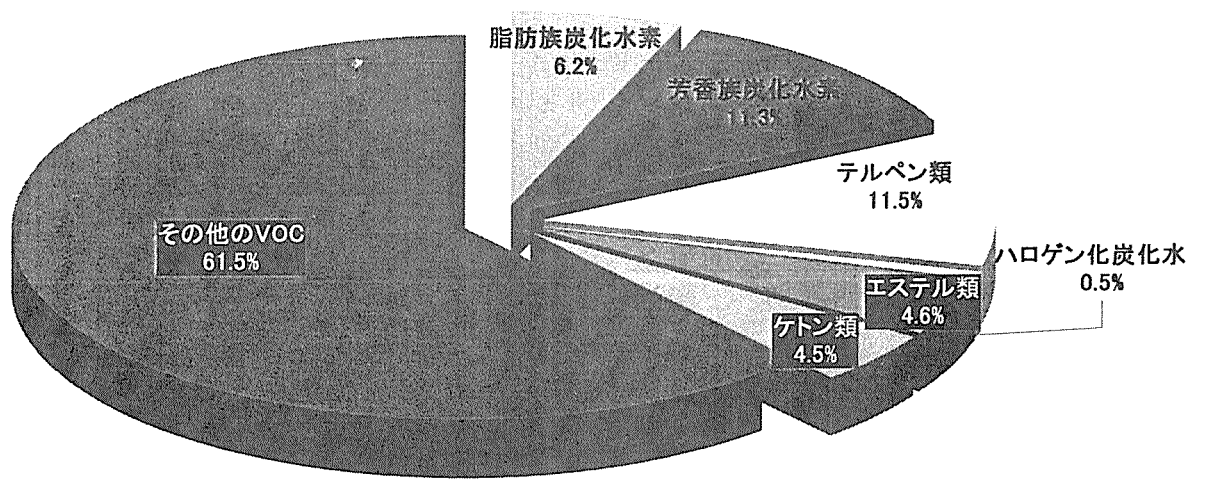


図 3 - 31 TVOCに対する比率

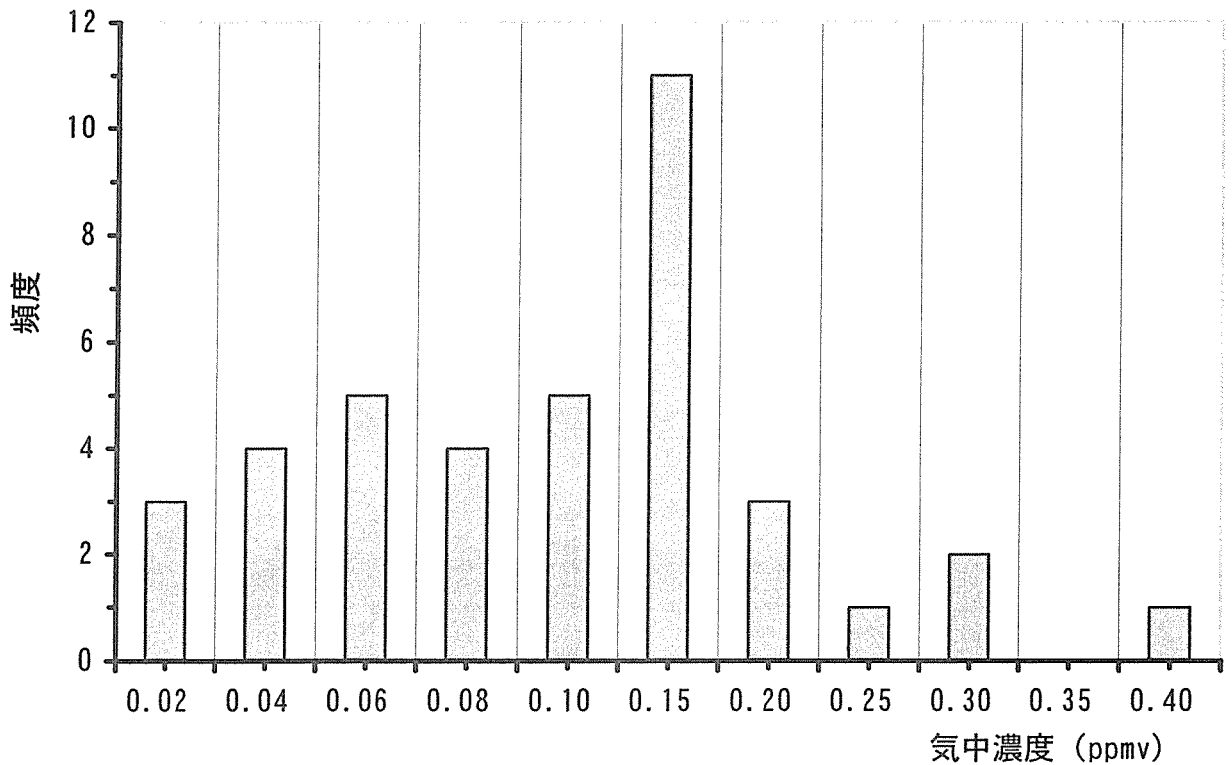


図 3 - 32 トルエン気中濃度度数分布

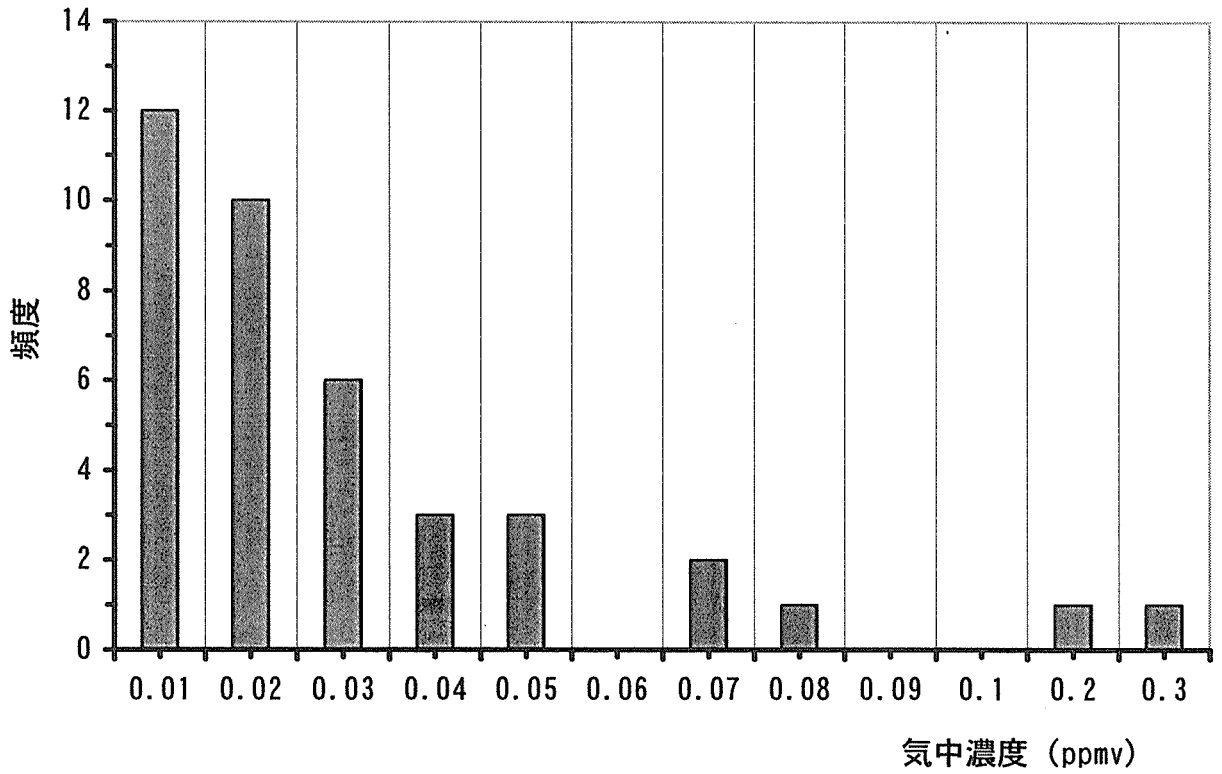


図 3 - 33 キシレン気中濃度度数分布

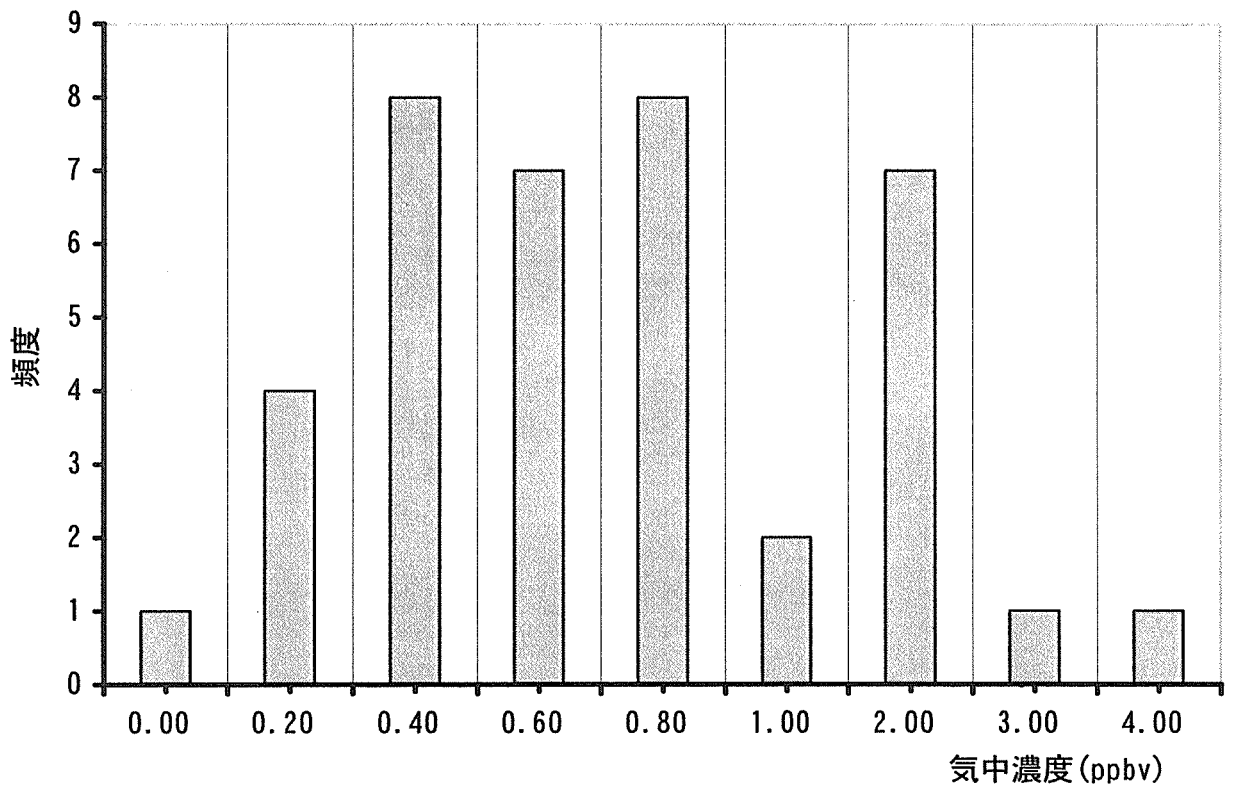


図 3 - 34 p-ジクロロベンゼン気中濃度度数分布

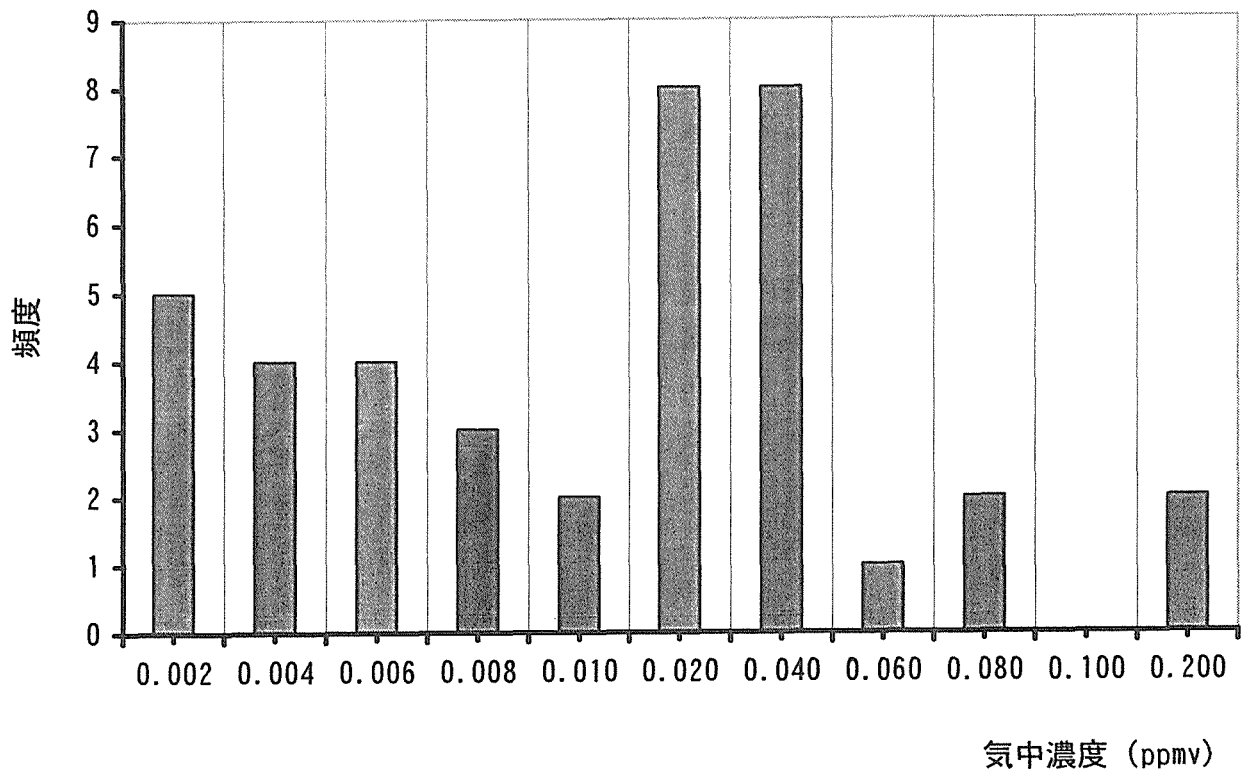


図 3 - 35 エチルベンゼン気中濃度度数分布

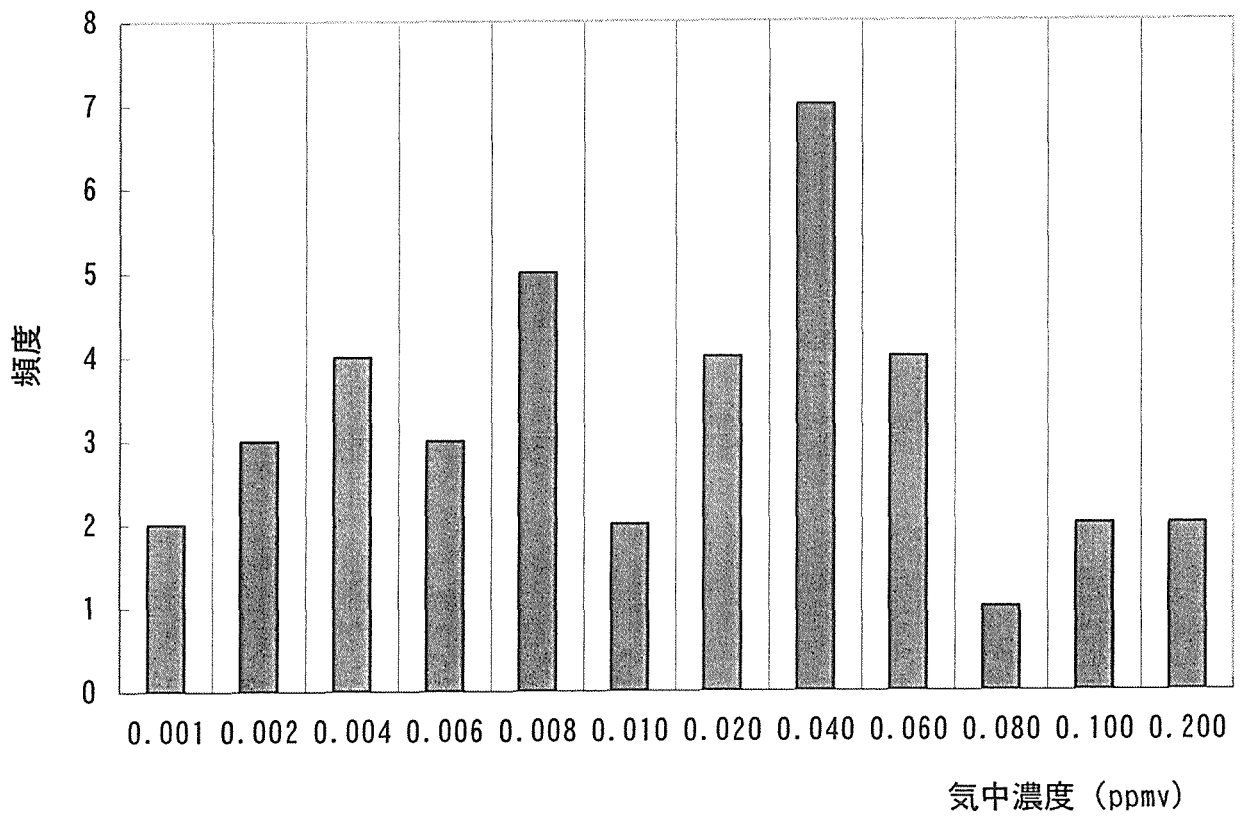


図 3 - 36 スチレン気中濃度度数分布

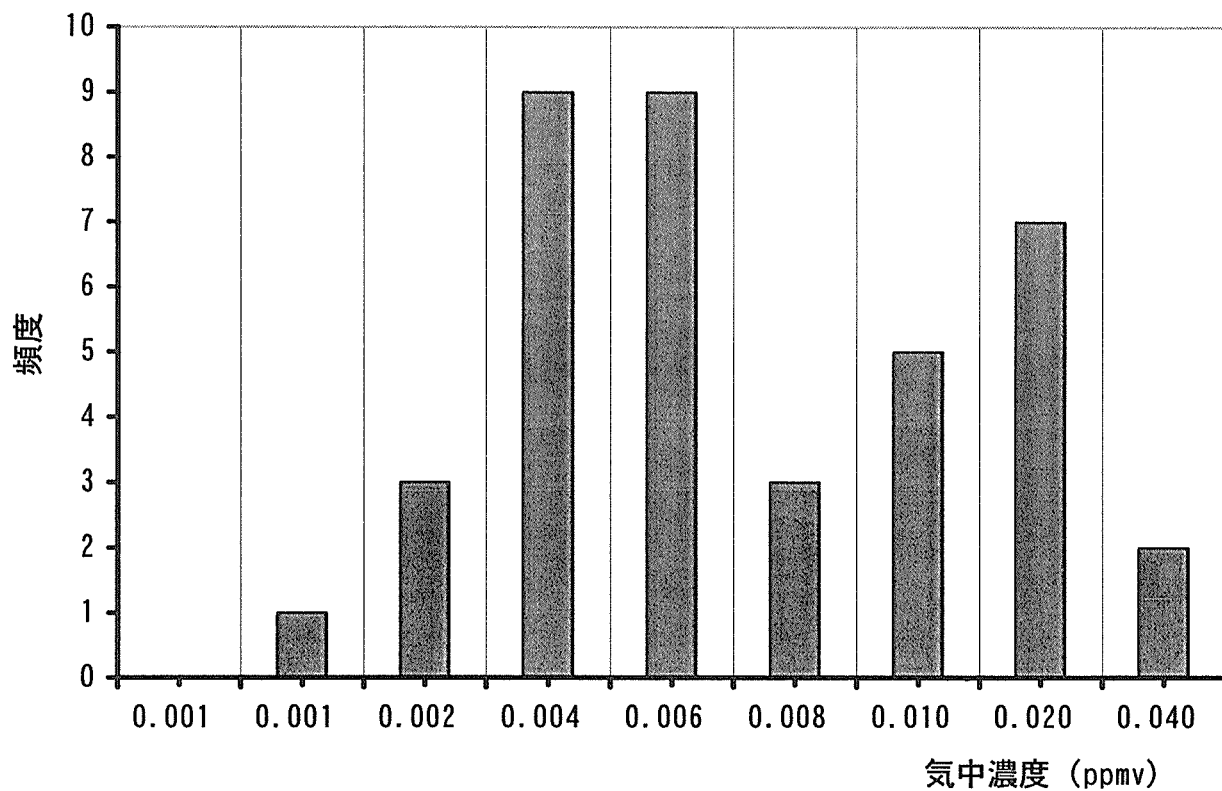


図3-37 テトラデカン気中濃度度数分布

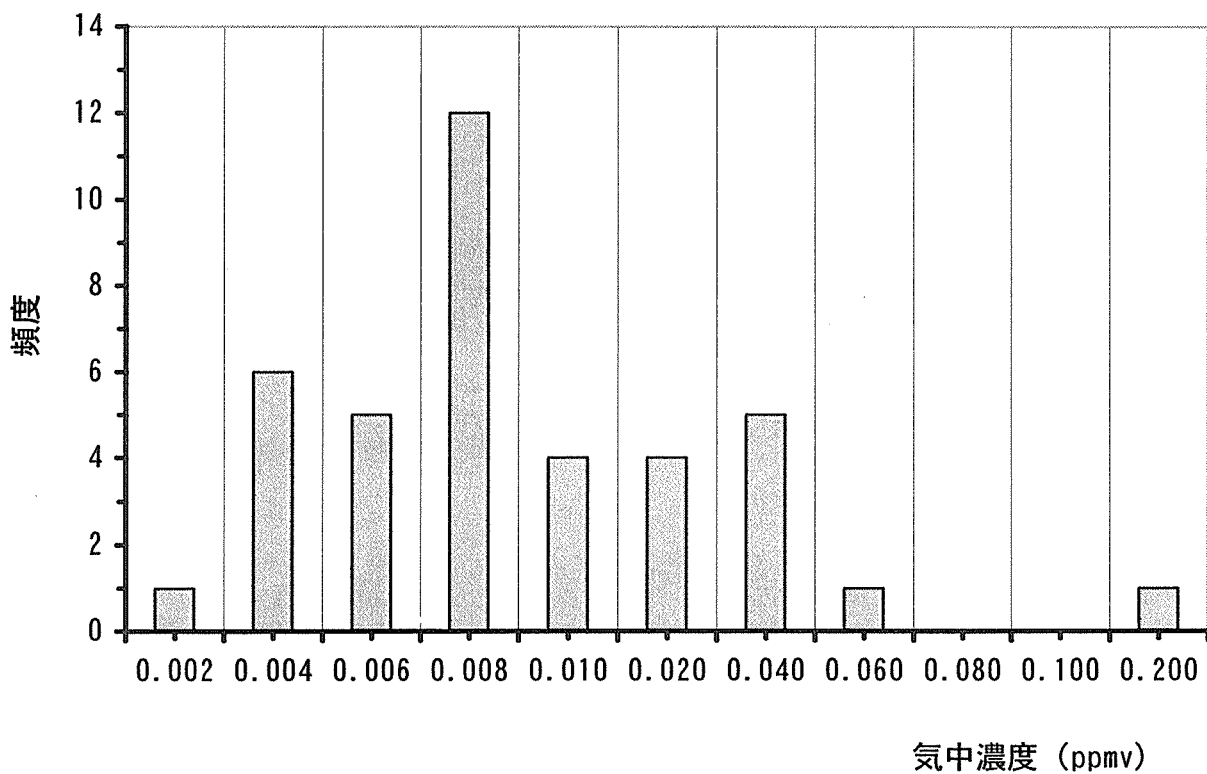


図3-38 ノナナル気中濃度度数分布

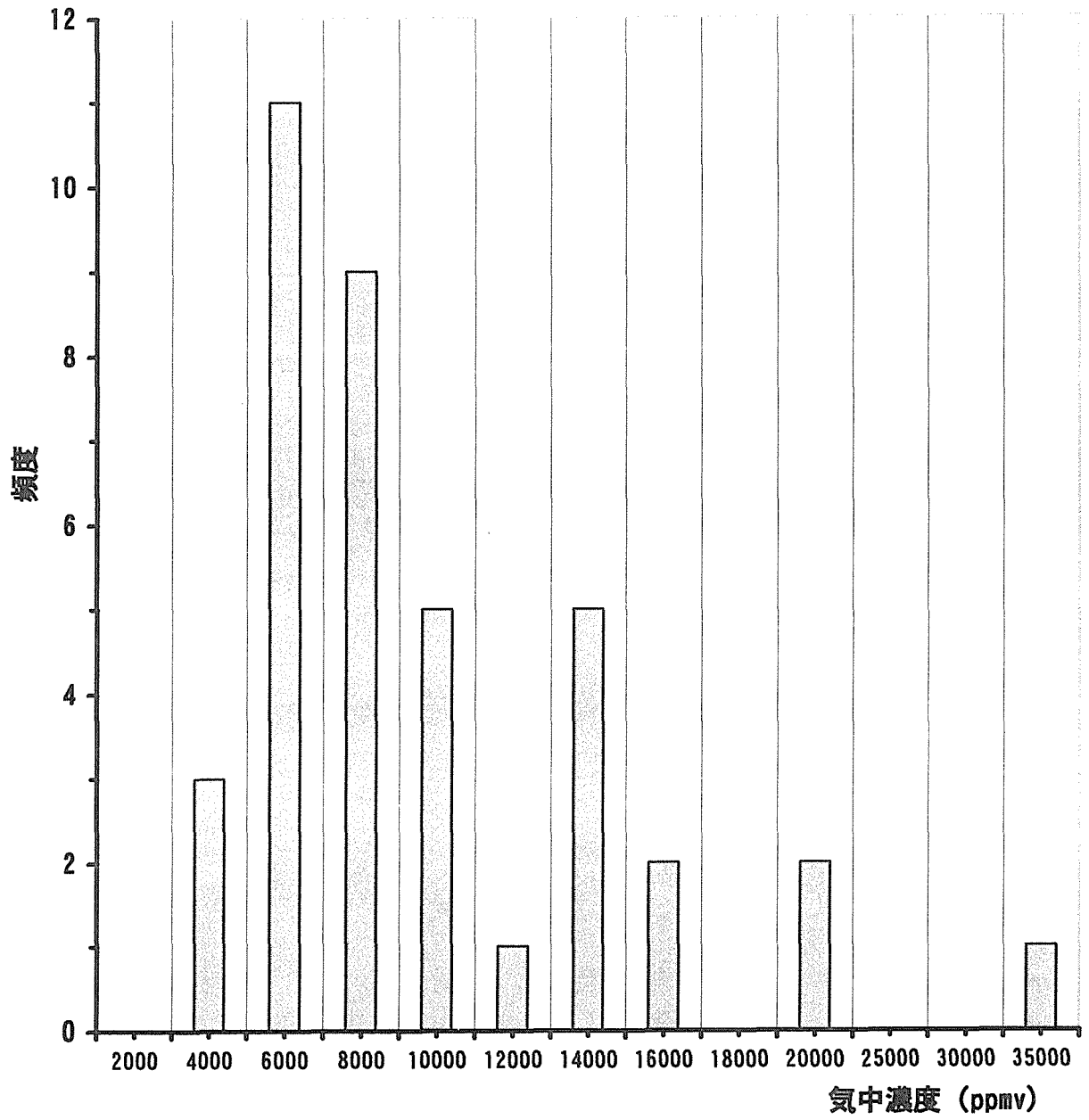


図 3 - 39 TVOC 気中濃度度数分布

## 4. まとめ

### 4.1 カルボニル化合物

木質材料より放散されたカルボニル化合物の室内気中濃度について、新築住宅における気中濃度の実態調査と各種放散試験法による木質材料の放散能について実験を行い、以下のことが明らかになった。

- 1) 新築木造住宅のホルムアルデヒド気中濃度は平均0.118ppmで、2000年に静岡県内の住宅で測定した前回調査を大きく下回り、室内気中濃度の低下が進んでいることが明らかになった。これは測定時の温度なりゆきによるものだが、温湿度補正後は0.084ppmで指針値とほぼ変わらない値にまで低減していた。
- 2) アセトアルデヒドの室内気中濃度は平均0.171ppmで指針値を6倍弱上回っていた。ホルムアルデヒドと同じ様に、温湿度が放散量に影響を及ぼしていると考えられる。
- 3) ホルムアルデヒドで厚生省指針値以下の気中濃度を示した住宅は、全体の約二分の一であった。
- 4) 今回の測定において、工法の違いによるホルムアルデヒド気中濃度の差異は認められなかった。また、木質材料が多く使用されるほど気中濃度は低下するが、気中濃度は使用された材料の放散能に大きく左右されるため、材料の選定が重要と考えられる。
- 5) 今回測定を行った住宅は、換気回数が0.38回/hrと非常に機密性が高い住宅であった。

### 4.2 VOC類

- 1) 今回測定を行った新築住宅において、放散量の多かった物質は、 $\alpha$ -ピネンで0.196ppm、トルエンで0.107ppm、酢酸エチルで0.066ppmであった。ほぼ、どの住宅でも検出された物質は29種類あり、一度も検出されなかった物質が3種類あった。
- 2) 内装木質材料使用量との比較では、木材を多用した住宅では、木材由来の $\alpha$ -ピネン、リモネンの放散量が多く、典型的な軸組工法に比較し酢酸エチルの放散量は少なかった。典型的な軸組工法では、スチレン、エステル類が目立って放散量が高かった。スチエンは、畳や断熱材、エステル類は、接着剤由来ではないかと考えられる。
- 3) TVOCに対する各化合物の比率を比較すると、テルペン類、芳香族炭化水素で高く、ハロゲン化炭化水素で極めて低い比率であった。
- 4) 指針値の示されている物質では、トルエン、ノナール、TVOCで指針値を上回る結果となった。特にTVOCに関しては、気温の高い夏季に集中的に測定を行ったため、測定の結果は放散量の最大値と考えら、時間経過とともに減少していくと考えられる。

## 第2部 ムク材モデル居室におけるVOC類の放散挙動

内装材にムクの木材を用いた場合に、VOC類の時間経過に伴う放散量の推移は、実際の建物では家具などを設置するために継続して計測することが困難である。そこで、モデル居室を用い、VOC類放散量の経時変化を測定することとした。また、モデル居室内に張った内装材について、チャンバー法によりVOC類放散量の経時変化を測定し、モデル居室内の測定結果と比較することとした。

### 1 ムク材張りモデル居室内のVOC類の放散量測定

#### 1. 目的

内装に国産材のスギを張り、室内におけるVOC類の放散種、放散量、経時変化を把握するため、モデル居室を用いて測定を行った。

#### 2. 実験方法

##### 2.1 モデル居室の仕様

本実験に使用したモデル居室の仕様等に関する概要は以下の通りである。

モデル居室のある建物は築20数年経過しており、工法は木造軸組工法である。モデル居室の平面図、写真をそれぞれ図2-1、写真2-1に示す。

##### 2.1.1 建物概要

所在地 静岡大学構内

モデル居室床面積 13.25m<sup>2</sup>

天井高 2370mm

室容積 31.4m<sup>3</sup>

開口部面積 窓 2.7 m<sup>2</sup>

##### 2.1.2 内部仕上げ

モデル居室内装の施工は段階的に、2002年4月26日から5月13日にかけて行った。各内装の施工日及び内部仕上げを表2-1、表2-2に示した。

#### 2.2 気中濃度測定方法

居室内の気中濃度の測定は、窓を30分間開放し換気を行い、その後閉鎖して8時間以上密閉状態を保った後に行った。外気の影響を考慮し、同時に外気の測定を行った。

##### 2.2.1 試料空気捕集方法

空気中のVOC類をポンプ法で捕集した。

室内の壁から1m以上離れた高さ1.2mの位置に捕集管を固定し、捕集管からシリコンチューブを介してエアポンプ（ADPUMP:ADTEC CORPORATION製）を用いて強制的に室内空気を吸引した。捕集の際はオゾンスクラバ（Sep-Pak Ozone Scrubber: Waters社製）を捕集管の直前に装着して、オゾン及び水分等を除去した。同時に捕集管と同じ高さにサーモセンサー（タバイエスペック社製）を取り付け、サーモレコーダー（RS-11: タバイエスペック社製）にて測定開始から測定終了までの室内空気



の温湿度を測定し、1分毎に記録した。なお、試料空気の捕集に際し、密栓した捕集管を捕集操作を除き、測定に使用した捕集管と同様に持ち運んだものをトラベルブランクとした。

空気捕集は室内では一方から1 m以上離れた2箇所、外気はモデル居室の外壁から2 m以上離れた場所、1箇所を測定した。

測定条件を表2-3に示した。また測定の様子を写真2-2に示した。

## 2.2.2 捕集管

### (1) DNPHシリカカートリッジ (Short type Waters社製)

カルボニル化合物の捕集に用いた。2,4-ジニトロフェニルヒドラジン (DNPH) をコーティングしたシリカゲルが充填されており、カルボニル化合物類の捕集に際し、DNPHの誘導体化反応を利用して捕集を行う。

### (2) Tenax-TA (SUPELCO社製)

VOCの捕集に用いた。2,6-ジフェニレンオキサイド構造の非多孔性耐熱性樹脂であり、最高使用温度は350℃である。表面積は約18~35m<sup>2</sup>/gで、揮発性物質や半揮発性物質の捕集に用いられる。水やアルコールに対して親和性が小さく空気中でも影響を受けにくい吸着材である。ただし、低沸点のVOCは捕集できない。Tenax-TAの吸着管にはガラス製、ステンレス製のものがあり、実験の用途によって使い分ける必要があるが、本実験では影響が認められなかったためガラス製、ステンレス製の両方を用いた。

## 2.3 分析方法及び気中濃度の換算

### 2.3.1 カルボニル化合物

カルボニル化合物の分析には高速液体クロマトグラフィ (HPLC) (島津製作所LC-10Avpシリーズ) を用いた。アセトニトリル3mLを捕集済のDNPHシリカカートリッジに注入して溶出を行い、全量が5mLになるようにアセトニトリルで希釈を行った。調製された試料溶液は表2-4の条件で分析した。カルボニル化合物の定量にはアルデヒド・ケトン-DNPH誘導体13成分混合溶液 (GLサイエンス社製) 15μg/mLを100倍希釈した溶液 (0.15μg/mL) を標準溶液として用いた。なおDNPHシリカカートリッジはブランクのばらつきが大きいので、カートリッジのLot No. ごとにブランク試験を行った。

HPLCの分析結果より、サンプルのカルボニル化合物濃度は以下の式によって算出した。

$$C = \frac{A_s - A_b}{A_{std}} \times C_{std} \times \frac{L_s}{V_s}$$

C : 気中濃度 [mg/m<sup>3</sup>]

A<sub>s</sub> : サンプルエリア面積

A<sub>b</sub> : トラベルブランクエリア面積

A<sub>std</sub> : 標準物質エリア面積

C<sub>std</sub> : 標準物質溶液濃度 [μg/mL]

Ls : 溶出液量 [mL]

Vs : サンプリング空気体積 [L]

### 2.3.2 VOC

5月1日から6月10日の測定分は(財)合板検査会及び(独)森林総合研究所に、7月8日以降は(株)茨城環境技術センター及び(独)森林総合研究所に依頼し分析を行った。VOCの分析には加熱脱着-GC/MSを用いた。各研究機関の分析条件は表2-5に示した。

合板検査会では、検出された物質はJapanese Indoor Air Standards Mix. (SUPELCO社製)52成分標準物質のマススペクトル及びリテンションタイムの比較により定量を行った。

森林総合研究所では、検出された物質の同定は、リテンションタイムとの比較及びライブラリー (Chemfinder.com) 検索で行った。

茨城環境技術センターでは、検出された各測定対象物質の定量用質量数とピーク面積を求め、そのピーク面積の比からあらかじめ作成した検量線を用いて、注入した試料中の各測定対象物質の重量を求めた。

未定量のテルペン類に関しては、 $\alpha$ -ピネン重量に換算した値で求めた。

### 2.4 換気回数の測定

炭酸ガス法 (JIS A 1406) に準拠して行った。ポンベよりCO<sub>2</sub>を放出し、濃度分布が均一になるように扇風機等で攪拌した。その後環境測定器KNS-360M ((株)コーナー札幌社製) とデータロガーDS-64K1 ((株)コーナー札幌社製) で濃度の減衰を測定した。次式によりモデル居室の換気回数を求めた。

$$n = \frac{2.303}{t} \times \log_{10} \frac{C_1 - C_0}{C_t - C_0}$$

n : 換気回数 (回/h)

t : 測定開始時刻からその測定までの経過時間 (h)

C<sub>1</sub> : 測定開始時刻 (t=0) における室内空気中のCO<sub>2</sub>濃度

C<sub>t</sub> : t時間後における室内空気中のCO<sub>2</sub>濃度

C<sub>0</sub> : 給気中のCO<sub>2</sub>濃度

換気回数の測定は、VOC類の気中濃度の測定直後に行い、一般的な住宅の換気回数0.5回/hを目安に、開口部を調節した。

### 2.5 測定スケジュール

測定は表2-6に示すようにサッシ施工後から各内装施工後に実施し、内装施工完了後は1日後、3日後、7日後、14日後、28日後、56日後、92日後、112日後、182日後に行った。

表 2 - 1 内装施工日

日付	施工経過状況
2002/4/26	サッシ施工
2002/5/8	床下地施工
2002/5/10	床施工
2002/5/13	壁施工

表 2 - 2 内装仕上げ

天井	石膏ボード張り	
床	アカマツ合板下地張り	接着剤：API使用 FCO
	ナラフローリング仕上げ	
壁	石膏ボード下地	
	胴縁打ち	
	スギ・システムパネル張り	
開口部	アルミサッシ	シリコーン系 シーリング材使用

表 2 - 3 測定条件

測定物質	カルボニル化合物	VOC
捕集管	DNPH-Silicaカートリッジ	Tenax-TA
流速	0.4L/min	0.1L/min
吸引量	10L	3.2L

表 2 - 4 HPLCの分析条件

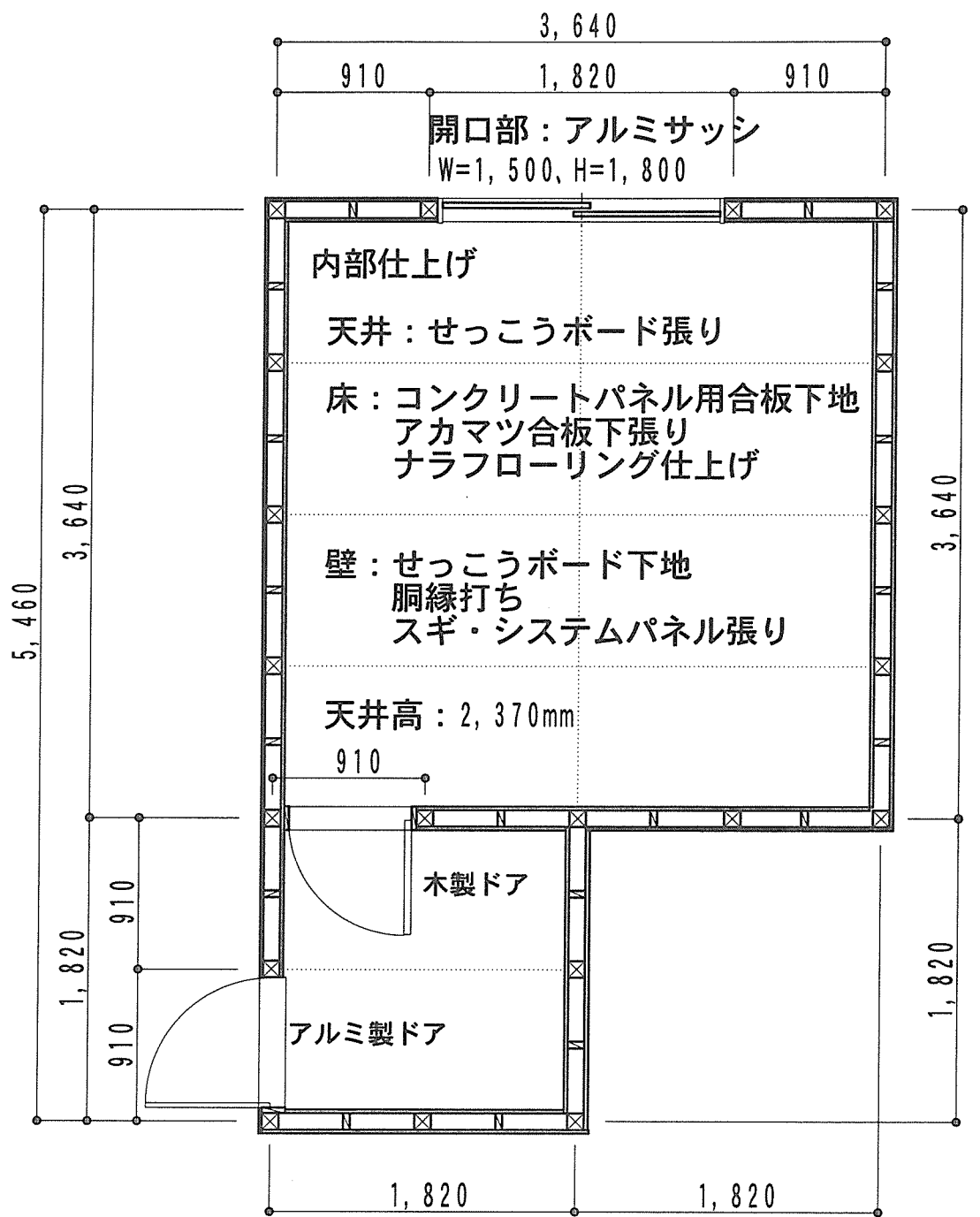
カラム	ZERBAX-RP(4.6×150mm)
移動層	アセトニトリル/蒸留水=4：6(0～5min) / 6：4(5～25min) / 6：4(25～40min), gradient
検出器	UV 360nm
流速	1.2mL/min
オープン温度	40℃
分析時間	40min
注入量	20mL

表 2-5 加熱脱着-GC/MSの分析条件

(株) 茨城環境技術センター			
加熱導入装置			
使用機器	ATD-400		
ディソープ温度 (時間)	300°C (15min)		
2次脱着温度 (時間)	27°C→300°C (15min)		
GC/MS			
使用機器	HP-6809+HP-5973B		
カラム	HP-VOC 0.32φ ×60m f.t 1.8μm		
オープン温度	初期温度 35°C		
	初期時間 2min		
	昇温速度 (°C/min)	最終温度 (°C)	最終時間 (min)
	15.0	95	0
2.5	100	0	
5.0	250	1	
測定モード	SCAN法		
(財) 合板検査会			
加熱導入装置			
使用機器	TD-1		
ディソープ温度 (時間)	290°C (10min)		
2次脱着温度 (時間)	-20°C→290°C (10min)		
GC/MS			
使用機器	GC-MS QP5050A		
カラム	DB-1 0.32φ ×60m		
オープン温度	初期温度 40°C		
	初期時間 2min		
	昇温速度 (°C/min)	最終温度 (°C)	最終時間 (min)
	10.0	135	0
20.0	220	0	
40.0	250	10	
測定モード	SCAN法		
(独) 森林総合研究所			
加熱導入装置			
使用機器	ATD-400		
ディソープ温度 (時間)	200°C (15min)		
2次脱着温度 (時間)	-30°C→200°C (15min)		
GC/MS			
使用機器	HP-6809		
カラム	HP-19091N-133 0.25φ ×30m f.t 0.25μm		
オープン温度	初期温度 40°C		
	初期時間 3min		
	昇温速度 (°C/min)	最終温度 (°C)	最終時間 (min)
	3.0	180	3
4.0	240	15	
0.0	255	0.5	
測定モード	SCAN法		

表 2 - 6 測定日

日付	施工経過状況
2002/5/1	サッシ施工後
2002/5/9	床下地施工後
2002/5/11	床施工後
2002/5/14	壁施工後(内装施工完了1日後)
2002/5/16	内装施工完了3日後
2002/5/20	内装施工完了7日後
2002/5/27	内装施工完了14日後
2002/6/10	内装施工完了28日後
2002/7/8	内装施工完了56日後
2002/8/13	内装施工完了92日後
2002/9/2	内装施工完了112日後
2002/11/11	内装施工完了182日後



単位：mm

図 2-1 居室モデル、平面図

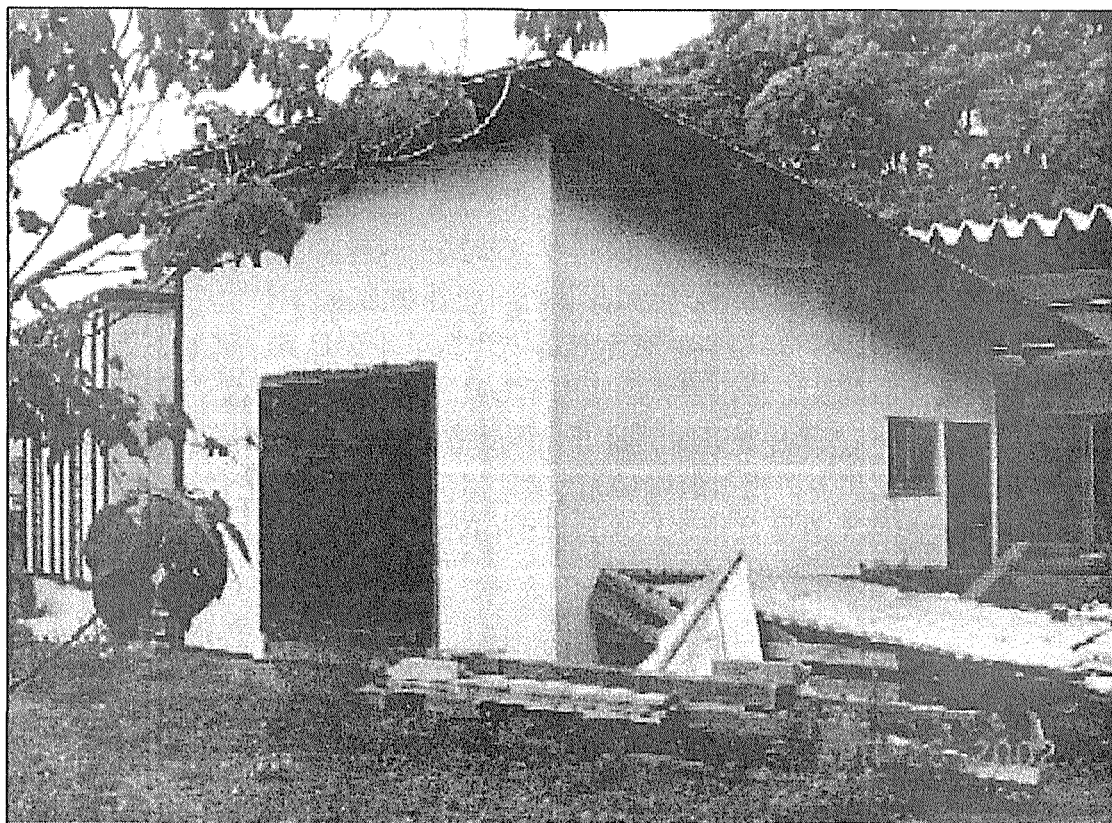


写真 2 - 1  
モデル居室外観

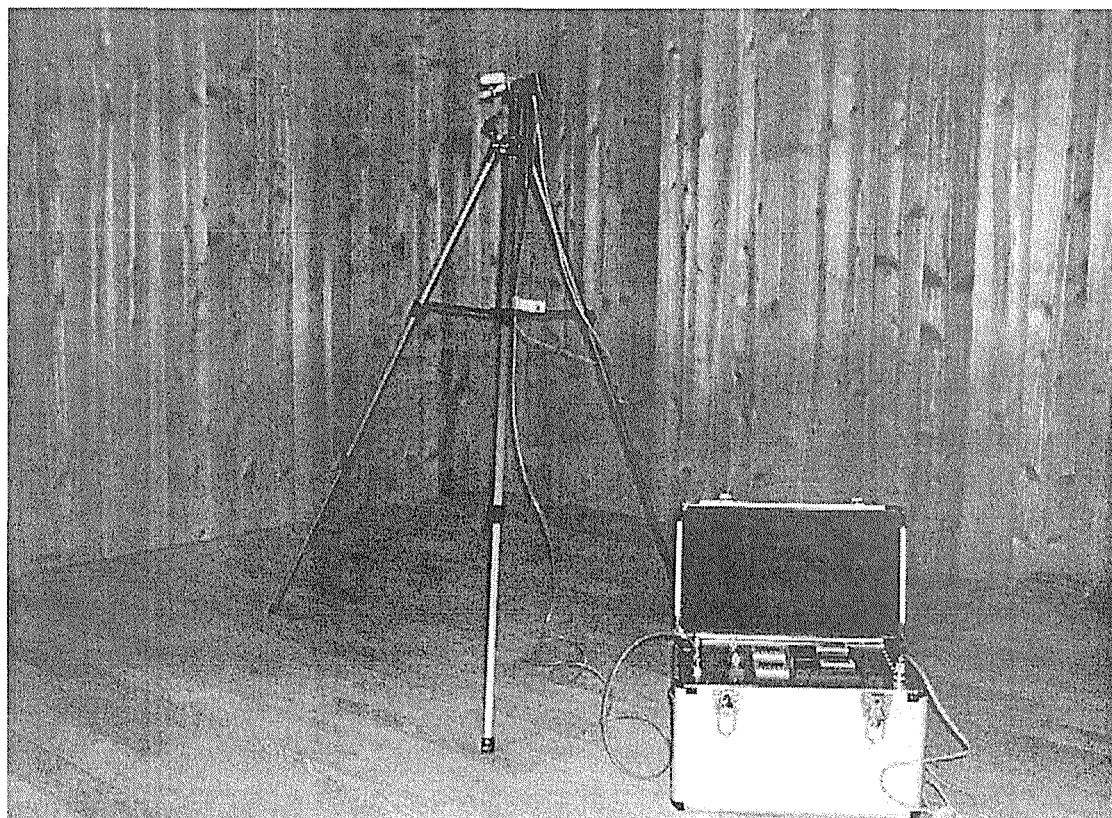


写真 2 - 2  
居室内測定状況

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 各施工段階におけるVOC類気中濃度

##### 3.1.1 カルボニル化合物気中濃度

各施工段階におけるカルボニル化合物の気中濃度を表3-1に示した。サッシ施工後にメチルエチルケトンの放散が多く見られた。これはHPLCで分析した際に、シーリング材に用いたボンドシリコンコーク（コニシ（株）製）が硬化時に発するメチルエチルケトオキシムのピークと誤認した可能性がある。

図3-1は厚生労働省が指針値を示したホルムアルデヒド、アセトアルデヒドについて気中濃度、温湿度、及び換気回数を示したものである。

ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの両物質とも壁材施工後の放散が最も高かった。ホルムアルデヒドの指針値は $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アセトアルデヒドは $48\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、どちらも指針値を超える値は示さなかったもののそれに近い高い値であった。これは壁材からの放散が原因と考えられる。しかし、温度の影響を受けやすいため、気温の上昇も原因のひとつと考えられる。

##### 3.1.2 VOC気中濃度

各測定日のVOC気中濃度を表3-2に示し、特に高い気中濃度を示したテルペン類気中濃度の測定結果を図3-2に示した。なお、 $\alpha$ -ピネン、 $\beta$ -ピネン、リモネンを除く未定量のテルペン類を、その他のテルペン類として $\alpha$ -ピネンに換算して示した。

$\alpha$ -ピネンの気中濃度が高い値を示し、床下地材施工後と壁材施工後には $1300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の気中濃度を示した。この値は厚生労働省の示したTVOC暫定値 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ を大きく超える値であった。 $\beta$ -ピネンとリモネンについても放散が見られたが、 $\alpha$ -ピネンに比べると低い値であった。

壁材施工後にその他のテルペン類が $5,000\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える値を示したが、そのうちスギが放散源と推定される $\beta$ -カジネンが最も多く放散しており全体の4分の1を占めていた。

#### 3.2 VOC類気中濃度の経時変化

##### 3.2.1 カルボニル化合物気中濃度の経時変化

殆どのカルボニル化合物の気中濃度は完成1日後に比べ完成3日後に低減したが、表3-3に示すように完成7日後には再び増大した。

指針値設定物質のホルムアルデヒドとアセトアルデヒドについて気中濃度、温湿度、及び換気回数の測定結果を図3-3に示した。ホルムアルデヒド気中濃度は完成3日後から気温の上昇とともに増大し、最も気温の高かった112日後に $90\mu\text{g}/\text{m}^3$ を記録し、その後182日後には、気温の低下も相まって大きく低減し、 $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ となっている。ホルムアルデヒドの気中濃度低減の原因はエージング効果よりも、温度の影響が大きいと考えられる。一方、アセトアルデヒドは完成時には $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ の気中濃度を示したが、14日後から減少し、その後は $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 近くで推移している。



### 3.2.2 VOC気中濃度の経時変化

表3-4にVOC気中濃度の変化状況を示す。カルボニル化合物と同様に、殆どのVOCが完成7日後に最大値を示した。TVOC値についても7日後が最も高く、施工直後よりもある程度時間が経過したほうがVOCの放散が高いことが認められた。

図3-2と同様にテルペン類の気中濃度の経時変化、温湿度、及び換気回数を図3-4及び図3-5に示す。

図3-4では、 $\alpha$ -ピネン気中濃度は完成7日後に $5,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える値を示したが、その後は急激に低減し、112日後には殆ど放散が見られなくなっている。 $\beta$ -ピネン、リモネンも完成7日後に最大値を示したが、その後は低減し、 $\alpha$ -ピネン同様112日後には殆ど放散が見られなくなった。

図3-5に示すその他のテルペン類については完成7日後にピーク値の $15,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ をとるがその後は急激に低減し、完成118日後には殆ど放散がみられなくなった。しかし、完成56日後まで厚生労働省の示したTVOCの暫定目標値 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を大きく上回る値を示した。

表 3 - 1 モデル居室におけるカルボニル化合物気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

	サッシ施工後	床施工後	床下地施工後	壁施工後
ホルムアルデヒド	29	34	24	44
アセトアルデヒド	18	36	21	81
アセトン	42	150	44	104
アクロレイン	0	0	0	0
プロピオアルデヒド	0	14	3	7
クロトアルデヒド	388	96	95	123
メチルエチルケトン	2073	539	521	719
メタアクロレイン	0	0	0	0
n-ブチルアルデヒド	0	11	0	7
ベンズアルデヒド	0	23	0	6
バレルアルデヒド	0	39	0	15
m-トルアルデヒド	10	43	0	0
ヘキサアルデヒド	0	148	28	43

表3-2 モデル居室における各施工段階のVOC気中濃度[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

化合物名	族別	サッシ施工後	床下地施工後	床施工後	壁施工後	
ヘキサン	脂肪族炭化水素類	27	21	14	39	
2,4-ジメチルペンタン		0	1	2	5	
イソオクタン		0	1	0	0	
ヘプタン		2	12	9	22	
オクタン		21	9	13	40	
ノナン		1	0	0	1	
デカン		84	1	46	136	
ウンデカン		0	0	0	1	
ドデカン		77	0	37	175	
トリデカン		0	0	0	1	
テトラデカン		8	0	3	27	
ペンタデカン		0	0	0	0	
ヘキサデカン		0	0	0	5	
ベンゼン		芳香族炭化水素類	0	0	0	1
トルエン			4	2	1	4
エチルベンゼン	1		1	1	2	
m,p-キシレン	1		1	0	2	
o-キシレン	0		1	0	2	
スチレン	1		0	0	1	
3-エチルトルエン	0		0	0	1	
4-エチルトルエン	0		0	0	1	
1,3,5-トリメチルベンゼン	0		0	0	1	
2-エチルトルエン	0		0	0	0	
1,2,4-トリメチルベンゼン	0		0	0	1	
1,2,3-トリメチルベンゼン	0		0	0	1	
1,2,4,5-テトラメチルベンゼン	0		0	0	0	
$\alpha$ -ピネン	テルペン類		20	1311	588	1315
$\beta$ -ピネン			0	105	46	148
リモネン		6	11	15	17	
ジクロロメタン	ハロゲン類	0	0	0	0	
クロロフォルム		12	1	4	4	
1,1,1-トリクロロエタン		0	0	0	0	
1,2-ジクロロエタン		0	0	0	0	
四塩化炭素		1	1	1	1	
トリクロロエタン		0	1	1	1	
1,2-ジクロロプロパン		0	0	0	0	
テトラクロロエタン		0	0	0	0	
p-ジクロロベンゼン		1	0	1	2	
酢酸エチル		エステル類	3	7	182	71
酢酸ブチル	2		0	1	2	
エタノール	アルコール類	0	0	0	0	
2-プロパノール		14	8	0	0	
1-プロパノール		1	0	1	2	
1-ブタノール		4	2	1	6	
TVOC[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		1823	3552	3069	5889	

表3-3 モデル居室におけるカルボニル化合物気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

	完成1日後	完成3日後	完成7日後	完成14日後	完成28日後	完成56日後	完成92日後	完成112日後	完成182日後
ホルムアルデヒド	44	28	42	54	70	64	71	90	41
アセトアルデヒド	81	63	107	48	48	37	40	41	9
アセトン	104	71	100	59	108	105	75	85	32
アクロレイン	0	0	0	37	0	0	0	0	0
プロピオアルデヒド	7	0	9	0	4	8	6	7	0
クロトアルデヒド	123	62	100	12	12	0	0	0	0
メチルエチルケトン	719	366	568	86	73	24	12	15	12
メタアクロレイン	0	0	0	79	0	0	0	0	0
n-ブチルアルデヒド	7	0	4	0	0	0	10	0	0
ベンズアルデヒド	6	0	5	8	8	23	26	5	0
バレルアルデヒド	15	0	8	5	5	15	21	14	0
m-トルアルデヒド	0	0	0	7	8	13	29	22	0
ヘキサアルデヒド	43	31	38	16	38	50	55	62	11

表3-4 モデル居室におけるVOC気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	族別	完成1日後	完成3日後	完成7日後	完成14日後	完成28日後	完成56日後	完成92日後	完成112日後	完成182日後
ヘキサン	脂 肪 族 炭 化 水 素 類	39	61	400	99	282	84	9	0	6
2,4-ジメチルペンタン		5	3	75	14	15	0	0	0	0
イソオクタン		0	31	66	127	174	44	8	26	19
ヘプタン		22	48	534	326	292	0	8	0	14
オクタン		40	67	356	287	266	72	30	14	58
ノナン		1	2	10	5	5	5	2	0	0
デカン		136	72	292	263	288	344	176	71	181
ウンデカン		1	1	7	6	7	0	0	5	0
ドデカン		175	99	562	517	642	386	387	84	272
トリデカン		1	0	3	3	3	3	0	0	3
テトラデカン		27	8	50	54	73	167	113	11	50
ペンタデカン		0	1	3	3	3	3	0	0	0
ヘキサデカン		5	1	8	7	9	27	8	0	4
ヘンゼン		1	5	20	53	33	63	5	4	19
トルエン		4	5	41	125	54	66	283	21	50
エチルベンゼン	2	3	13	9	26	0	0	5	4	
m,p-キシレン	2	2	10	13	7	19	9	0	7	
o-キシレン	2	2	8	35	9	20	9	0	2	
スチレン	1	1	10	8	177	16	5	0	0	
3-エチルトルエン	1	3	9	9	8	11	2	0	0	
4-エチルトルエン	1	1	5	4	4	0	0	0	0	
1,3,5-トリメチルベンゼン	1	2	6	6	6	5	0	0	0	
2-エチルトルエン	0	1	4	4	12	6	0	0	0	
1,2,4-トリメチルベンゼン	1	4	12	13	0	16	4	2	0	
1,2,3-トリメチルベンゼン	1	1	4	3	3	0	0	0	0	
1,2,4,5-テトラメチルベンゼン	0	0	1	1	1	0	0	0	0	
$\alpha$ -ピネン	1315	1362	5226	1633	1479	1526	373	36	142	
$\beta$ -ピネン	148	179	646	244	214	228	51	5	23	
リモネン	17	27	184	56	83	47	31	0	9	
ジクロロメタン	0	0	49	32	114	3	0	0	0	
クロロホルム	4	5	46	12	22	5	0	0	4	
1,1,1-トリクロロエタン	0	0	1	1	1	0	0	0	0	
1,2-ジクロロエタン	0	0	4	2	2	0	0	0	0	
四塩化炭素	1	2	6	3	5	0	0	0	0	
トリクロロエタン	1	1	7	8	7	0	0	0	0	
1,2-ジクロロプロパン	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
テトラクロロエタン	0	1	4	2	3	0	0	0	0	
p-ジクロロベンゼン	2	5	10	11	9	2	2	0	4	
酢酸エチル	71	1485	5071	4617	4314	2251	839	139	2310	
酢酸ブチル	2	2	7	6	6	35	6	2	13	
エタノール	0	1	1	1	2	513	(42)	120	61	
2-プロパノール	0	5	230	115	499	21	2	0	0	
1-プロパノール	2	3	9	7	1	0	0	0	0	
1-ブタノール	6	5	36	8	22	0	4	0	5	
TVOC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	5889	7431	31937	14047	13731	13136	5739	(662)	6046	

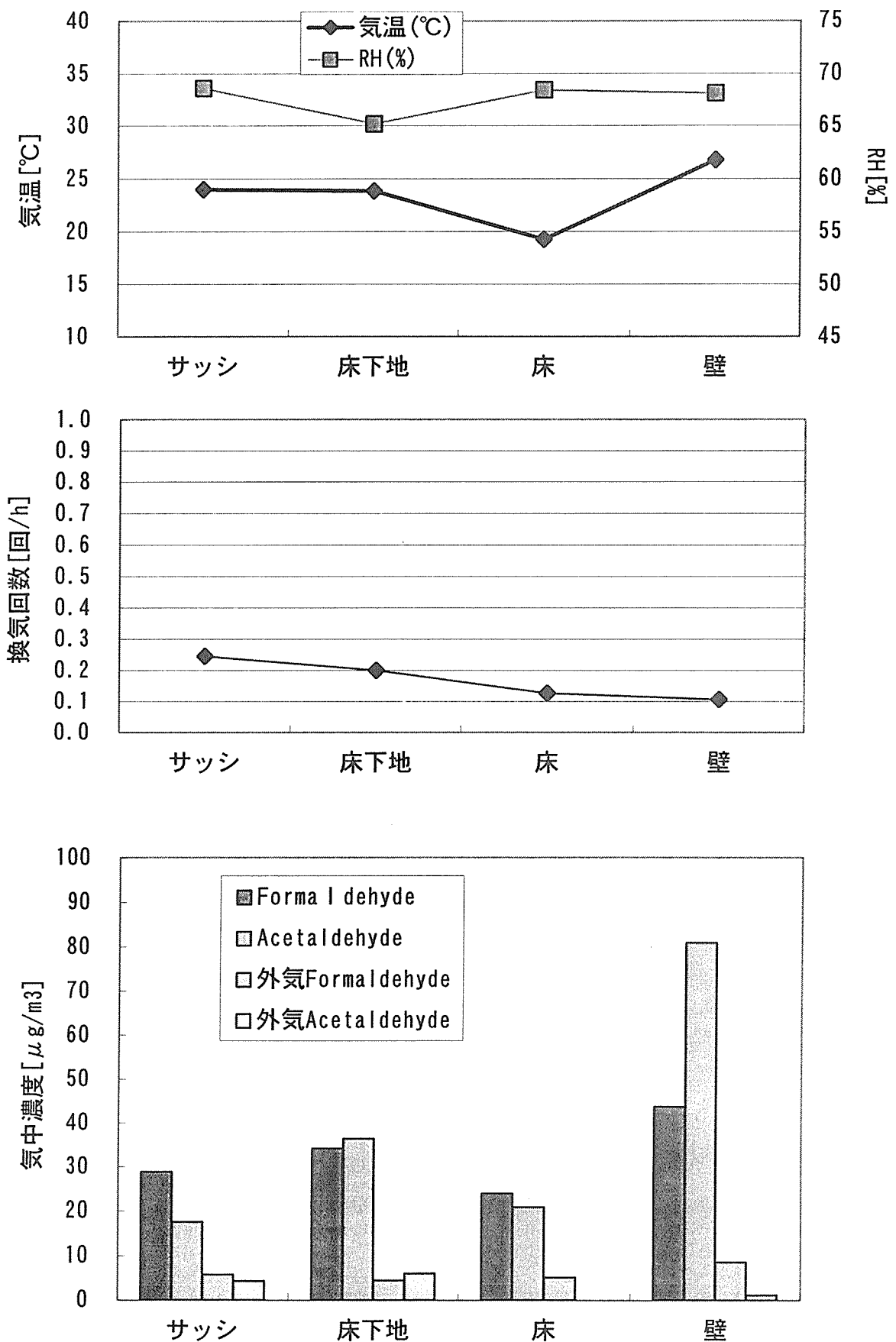


図 3 - 1 各施工段階におけるカルボニル化合物気中濃度、温湿度、換気回数

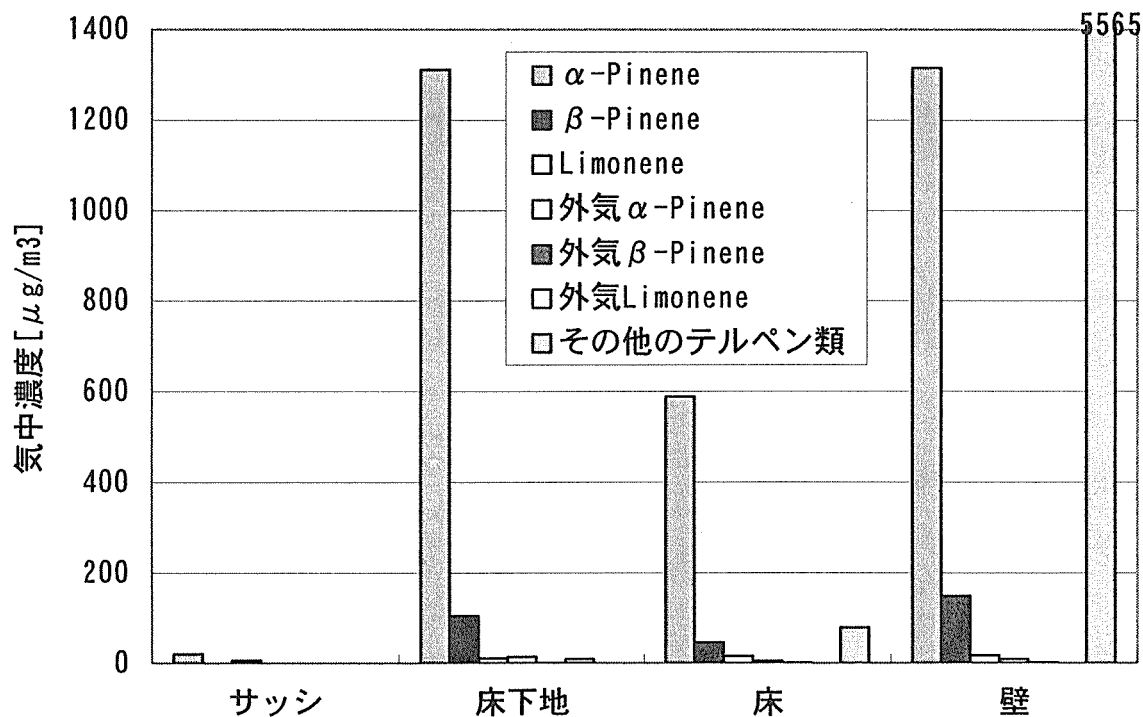
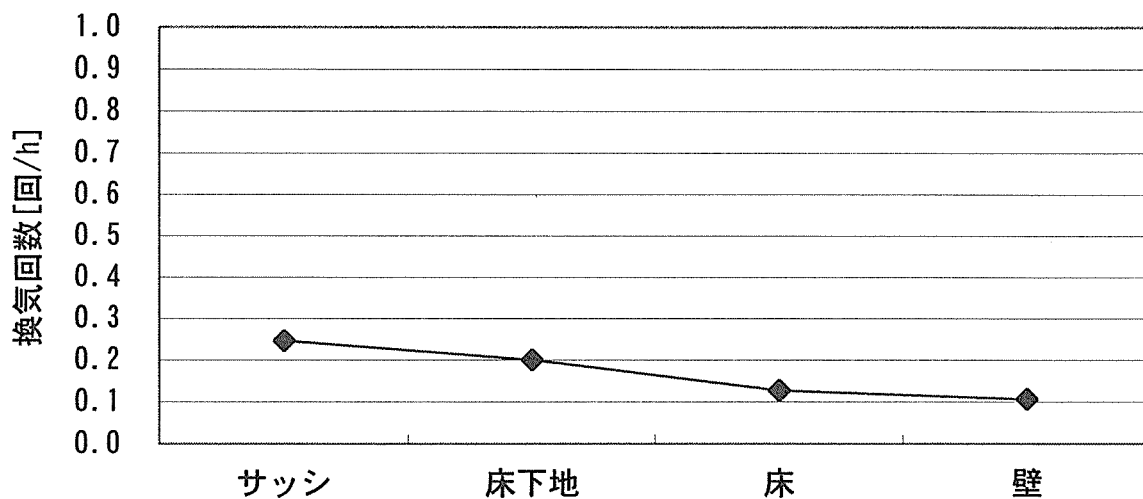
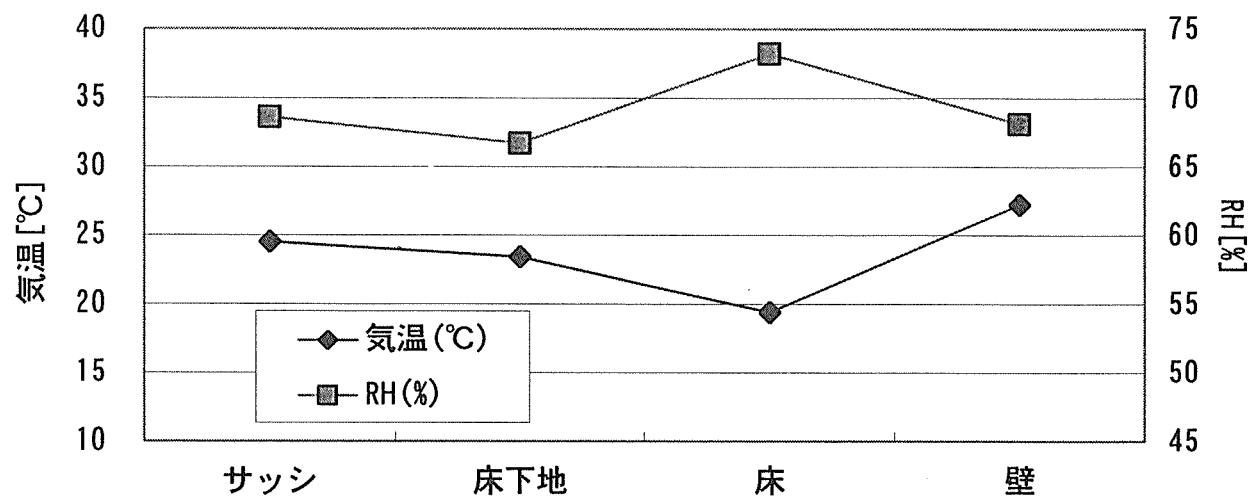


図3-2 各施工段階におけるVOC気中濃度、温湿度、換気回数

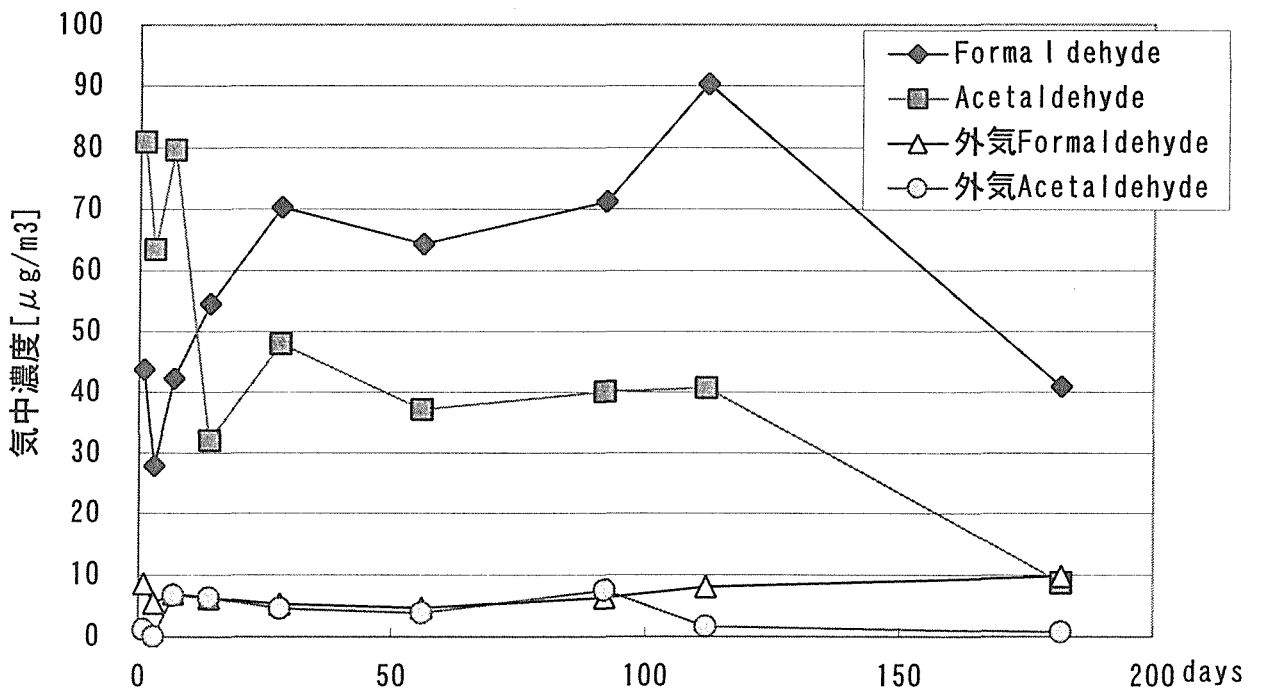
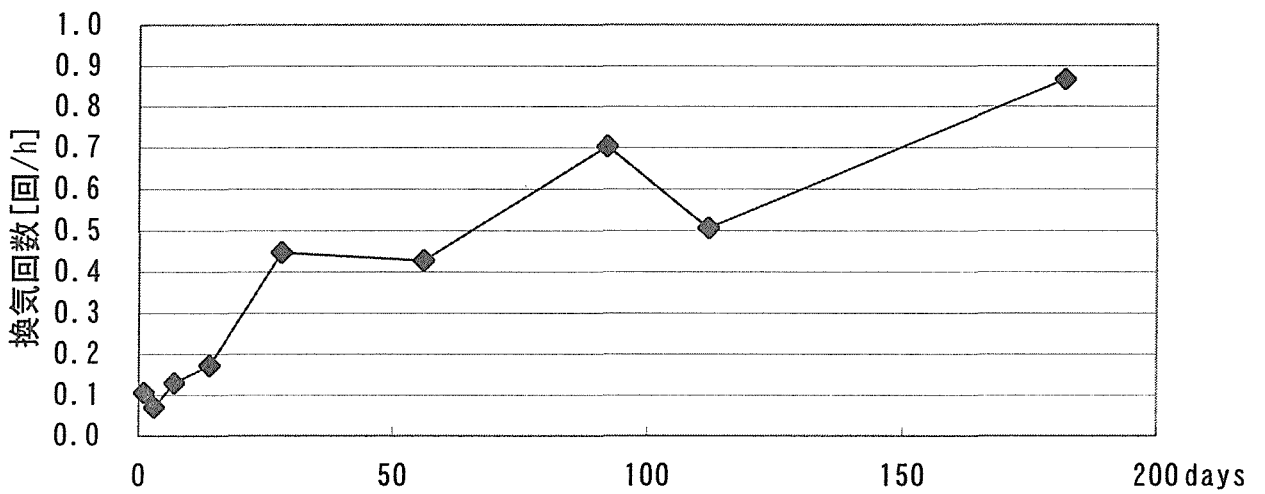
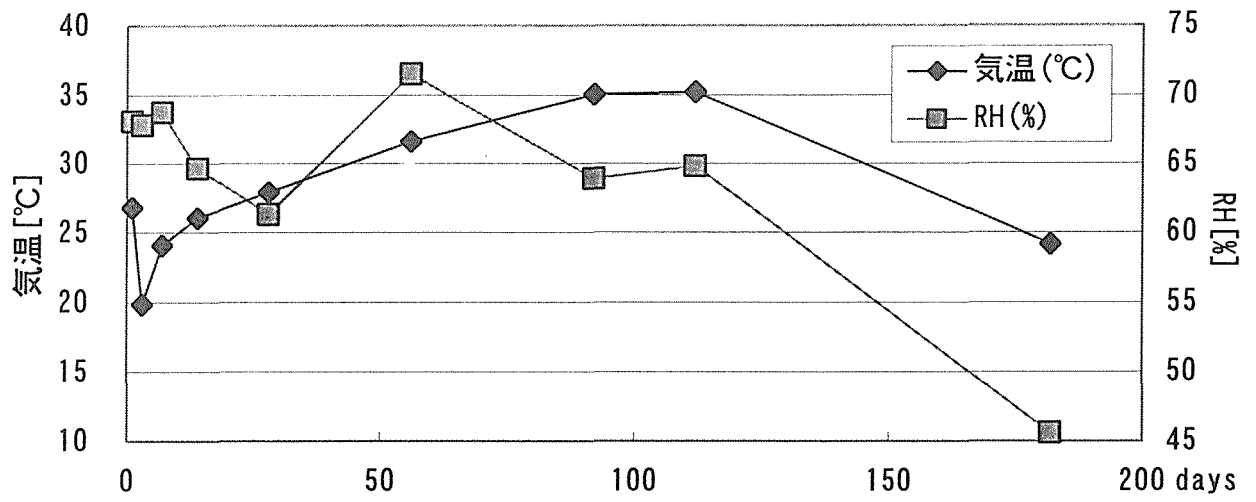


図3-3 モデル居室、カルボニル化合物気中濃度、温湿度、換気回数の経時変化



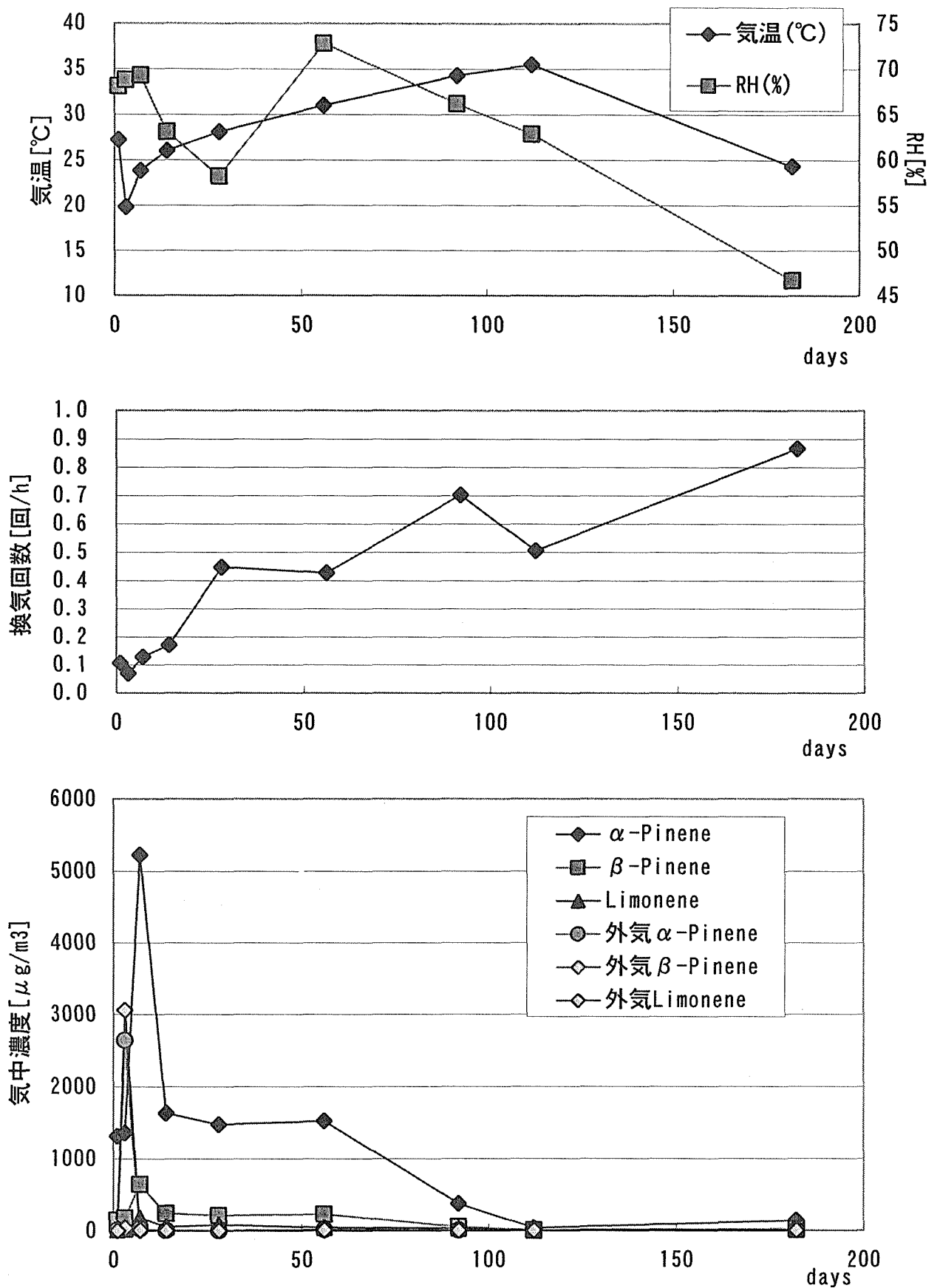


図3-4 モデル居室、VOC気中濃度、温湿度、換気回数の経時変化

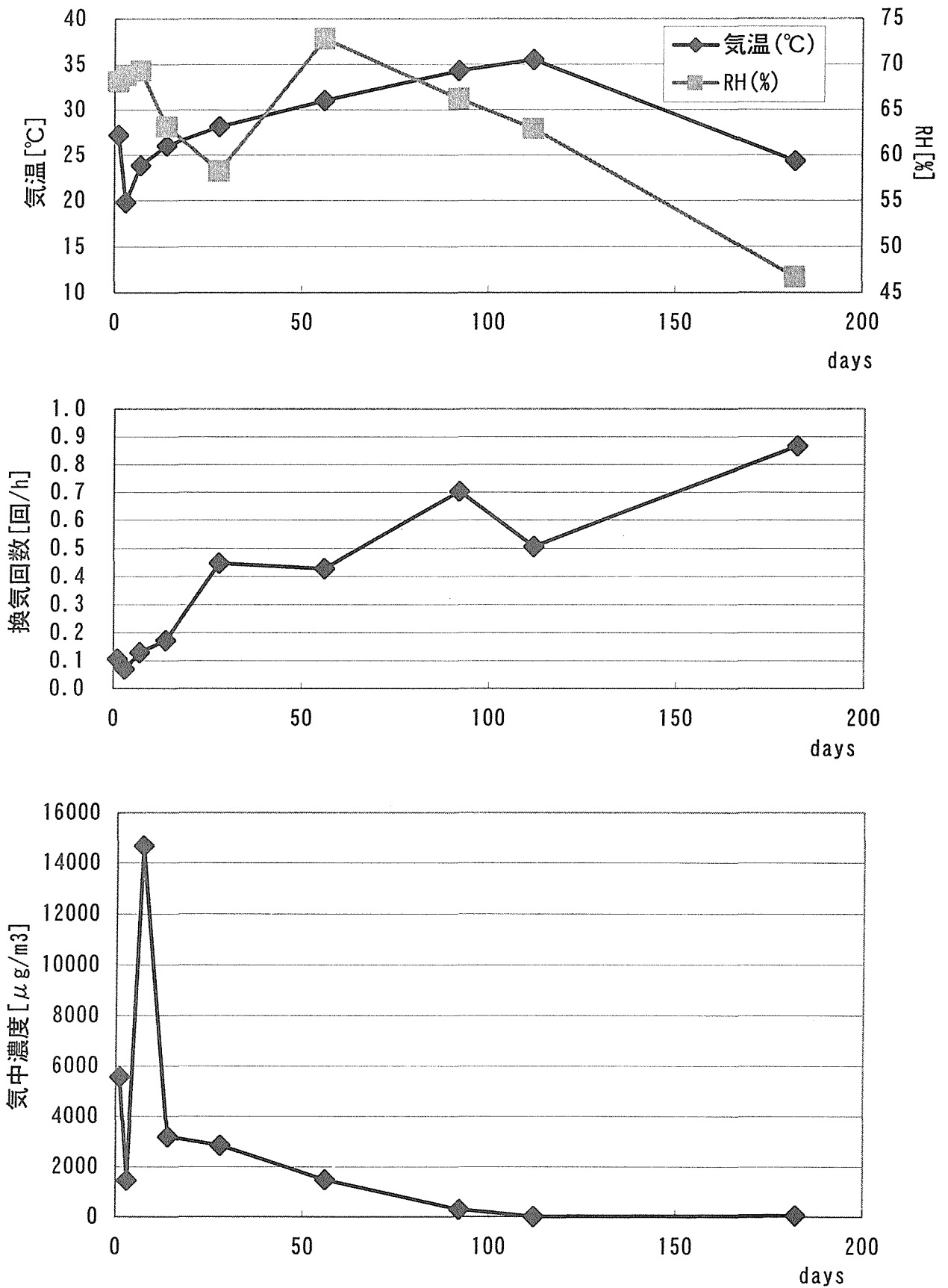


図3-5 モデル居室、その他のテルペン類気中濃度、温湿度、換気回数の経時変化

## II 小型チャンバー法による内装材からのVOC類放散量測定

### 1. 目的

モデル居室に用いた材料からの放散特性を把握するため、小形チャンバー法によってVOC類の測定を行った。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試材

モデル居室の床下地材に用いた欧州アカマツの構造用合板、床仕上げ材に用いたナラフローリング、壁材に用いたスギ材の計3種類の内装材（含水率8～14%）を供試材料とした。

床下地材は合板工場で作成してからすぐに試験体を作成した。床材はモデル居室に施工後残った材を1ヶ月ほどダンボール箱にいれ、モデル居室入り口で保管し、試験体を作成した。壁材はモデル居室に施工後残った材を1ヶ月間ほど梱包せずに、モデル居室入り口に保管し試験体を作成した。

#### 2.2 試験方法

##### 2.2.1 試料空気の捕集システム

本試験では、ADPACシステムを使用し、ASTMあるいはISOに準拠した小型チャンバー法に準じて測定を行った。小型チャンバー法は、温湿度、換気回数を一定に保った一定容積の空間内に、一定の暴露面積をもつ試験材料を設置し、一定期間毎にその空間の空気を捕集し、その中に含まれるVOC類の測定を行う方法である。

##### (1) 放散試験チャンバー（ADPACシステム）

ADPACシステムは、ステンレス（SUS 304）製の20L容円筒形タンク（チャンバー）とエアーコントロールユニットとで構成されている。試料空気の捕集は外付けのサンプリングポンプによって行う。図2-1にADPACシステムの模式図を示す。シリカゲルを通し、除湿した空気を空気清浄機に送り込む。送り込まれた空気はエアーコントロールユニット内で2系統に分かれる。一方は何も通さないドライな空気、もう一方は蒸留水の入ったバブリングタンクに送り込まれ、加湿されたウェットな空気となる。それぞれの空気は、ミキシングタンクに送り込まれ、ここで一定の水分を持った空気に調整される。ミキシングタンク内の空気は温湿度計（タバイエスペック社製 RS-11）によって温湿度を確認する。調整された空気は20Lチャンバー内に送り込まれ、エアーコントロールユニット内に装備された換気用ポンプで空気をパージし、一定温湿度の空気チャンバー内を換気する。

##### (2) シールボックス

シールボックス（ステンレス製）は測定する表面のみが暴露されるようにした試験体保持装置である。テフロンパッキン付のシールボックス内に試験体を固定し、表面以外の5面からの放散を完全に防ぎ、シールボックスごとチャンバー内に設置する。シールボックスを用いることにより試料の表面積を試料設置率に合わせて一

定にすることができる。本研究ではシールボックスを1つ用いて行ったので試料設置率は $1.1\text{m}^2/\text{m}^3$ である。

### (3) 清浄空気

チャンバー内の汚染を防ぐために、超清浄空気供給装置（新菱エコビジネス社製 ADclean）を用いて、清浄空気をチャンバー内に通気した。

### (4) 温湿度計

チャンバー内の温湿度確認のために用いた。センサーはミキシングタンク内に取り付け、ミキシングタンク内部の空気を温湿度計（タバイエスペック社製 RS-11）によって測定した。測定終了後、パソコンでデータを取り込み、換気時及びサンプリング時の温湿度を確認した。

### (5) 高温乾燥器

使用するチャンバーは、試験時に吸着した物質によって汚染される。これを除去するために、高温乾燥器を用い、 $260^\circ\text{C}$ で加熱洗浄した。加熱洗浄前に水でチャンバーを洗浄して汚染物を除去し、乾燥時に起きる汚染物の焦げ付きを防いだ。

### (6) 恒温器

チャンバー、ミキシングタンクを恒温器内に設置することで温度を制御した。

## 2.2.2 試験体

試験材をシールボックス内に設置できるパネルサイズ（ $167\text{mm}\times 167\text{mm}$ ）に切り落とし（ツーピースからなる材は突きつけ）、暴露面を $1\text{mm}$ ほど削り新鮮な面を露出させた。

これをアルミホイルで梱包し、 $20^\circ\text{C}$ 、 $65\% \text{RH}$ で1週間以上養生した。

## 2.2.3 測定条件および測定時間

チャンバーの環境条件は、ASTM規格に準拠し、試料負荷率は試験体に適切だと思われる $1.1\text{m}^2/\text{m}^3$ で行った。これらの試験条件を表2-1に示す。試験に先立ち $20\text{L}$ チャンバーの水洗いを行い、高温乾燥器で $260^\circ\text{C}$ まで昇温させ、チャンバーのクリーニングを行った。クリーニング後、恒温器内にチャンバーを設置し、20時間以上にわたってチャンバー内温湿度、換気回数が安定するまで換気した。その後バックグラウンド濃度を測定した。バックグラウンド濃度測定後に、シールボックスに取り付けた試験体を設置した（写真2-1）。本研究では、試験体設置24時間後、72時間後、7日後、14日後、28日後に捕集管を設置してサンプリングを行った。

測定用捕集管は、カルボニル化合物の捕集にはDNPHシリカカートリッジを、VOC類の捕集にはTenax-TAを用いた。特に、最適流量が $0.1\text{mL}/\text{min}$ のTenax-TAはサンプリング時の換気回数を $0.5$ 回/hに維持するために、サンプリングポンプでは $0.1\text{mL}/\text{min}$ を捕集し、残り $0.067\text{mL}/\text{min}$ を換気用ポンプでパージした。

分析はDNPHシリカカートリッジはHPLC、Tenax-TAは加熱脱着-GC/MSによって行った。

## 2.2.4 分析方法および気中濃度の換算

### (1) カルボニル化合物

分析方法については「I ムク材張りモデル居室内のVOC類の放散量測定 2.3.1」と同様である。

HPLCの分析結果より、サンプルのカルボニル化合物濃度は以下の式によって算出した。

$$C_1 = \frac{A_s - A_b}{A_{std}} \times C_{std} \times \frac{L_s}{V_s}$$

$C_1$  : 気中濃度 [mg/m<sup>3</sup>]

$A_s$  : サンプルエリア面積

$A_b$  : バックグラウンドエリア面積

$A_{std}$  : 標準物質エリア面積

$C_{std}$  : 標準物質溶液濃度 [μg/mL]

$L_s$  : 溶出液量 [mL]

$V_s$  : サンプル空気体積 [L]

更に算出した気中濃度を、次式によりモデル居室での設置率における気中濃度に換算した。各材の設置率を表2-2に示す。

$$C_2 = C_1 \times \frac{R}{r}$$

$C_2$  : モデル居室における設置率に換算した気中濃度

$R$  : モデル居室における設置率

$r$  : チャンバーにおける供試材の設置率

### (2) VOC

VOCの分析は（独）森林総合研究所と（株）茨城環境技術センターに依頼して行った。分析条件は「I ムク材張りモデル居室内のVOC類の放散量測定 2.3.2」と同様である。

カルボニル化合物と同様に、算出した気中濃度をモデル居室での設置率における気中濃度に換算した。床下地材の未定量のテルペン類に関しては、α-ピネン重量に換算した値で求めた。

表 2 - 1 試験条件

チャンバー容積	20L
試料設置率	1.1m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
温度	25±1℃
湿度	50±4%RH
換気回数	0.5±0.05回/h
換気流量	0.167L/min

表 2 - 2 モデル居室における各材の設置率

	設置率 [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]
床下地材	0.42
床材	0.42
壁材	0.89

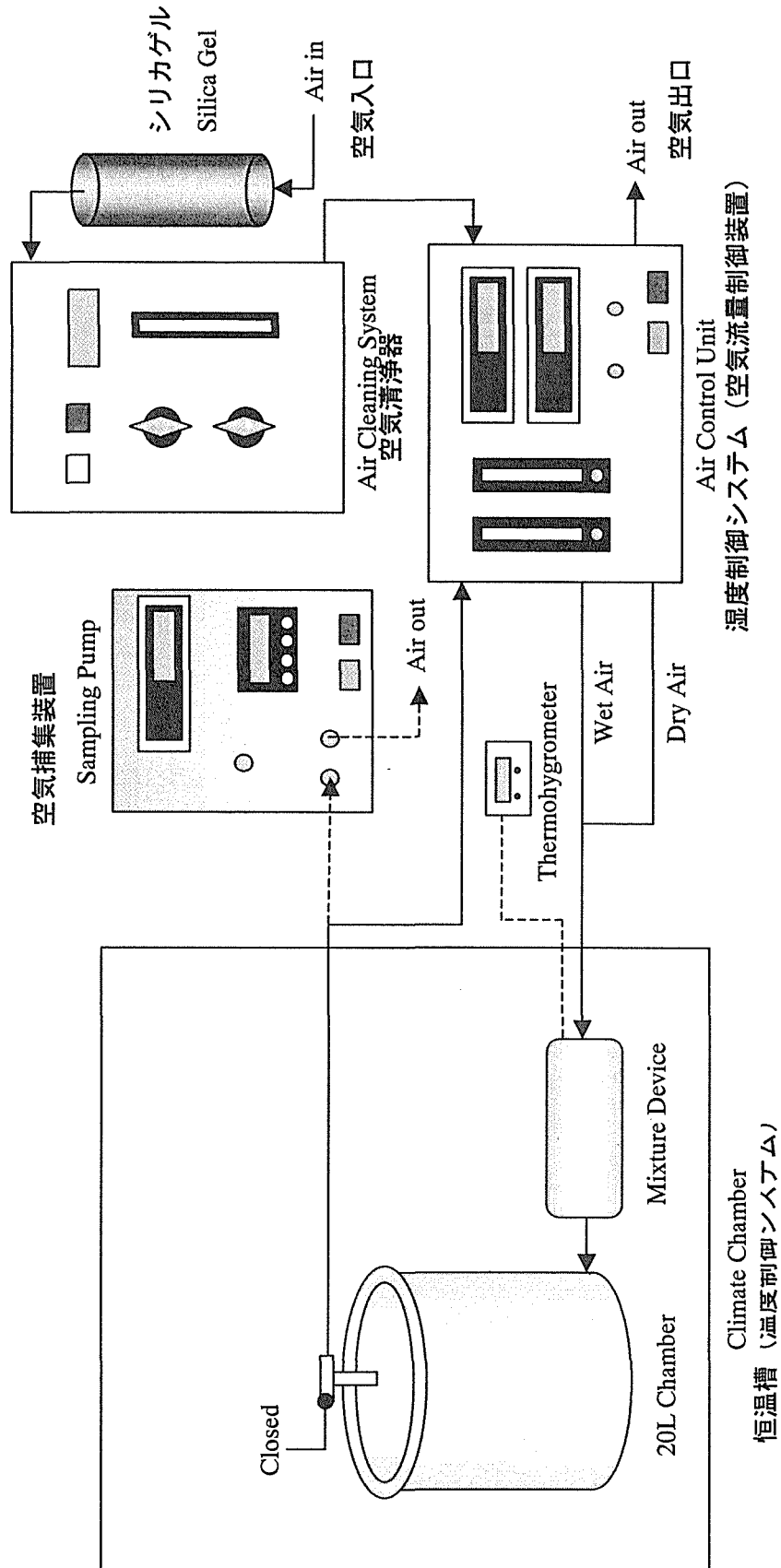
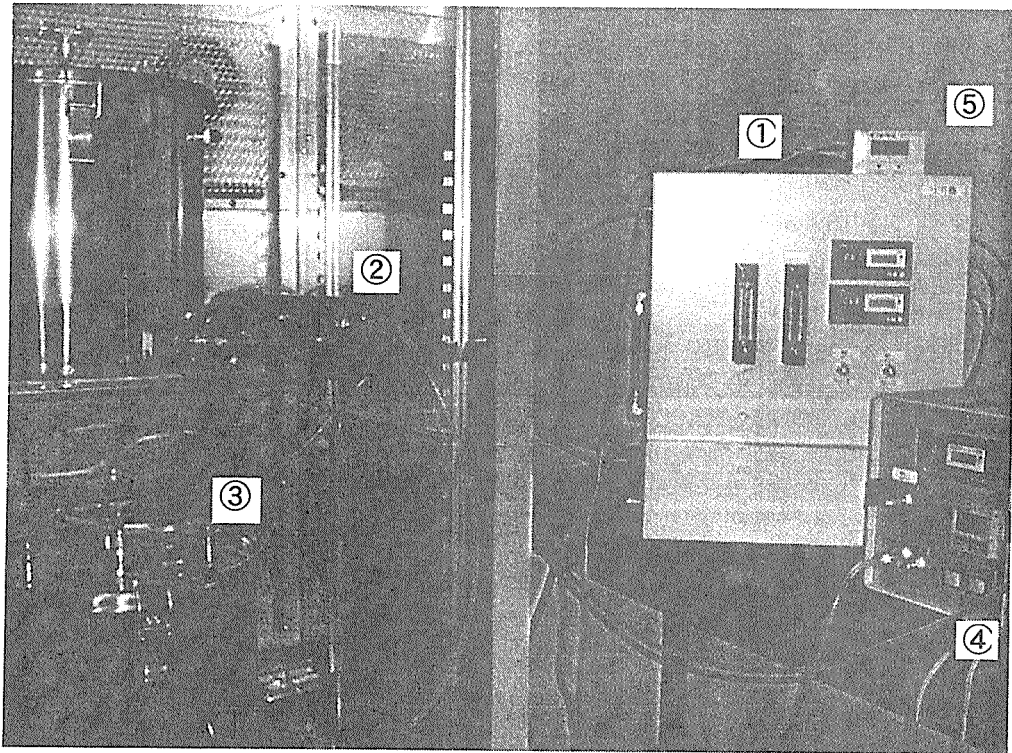
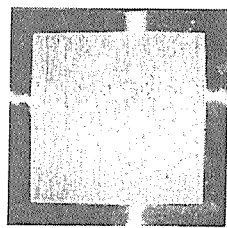


図2-1 アドパックスシステムの概要



### アドパックシステム ( ADPAC SYSTEM)

- ① 空気調整ユニット(Air control unit)
- ② 混合器(Mixture device)
- ③ 20Lステンレスチャンバー( chamber)
- ④ サンプリングポンプ( Sampling pump)
- ⑤ 温湿度計(Thermohygrometer)



シールボックス(Sealing box)  
露出面 : 147mm×147mm

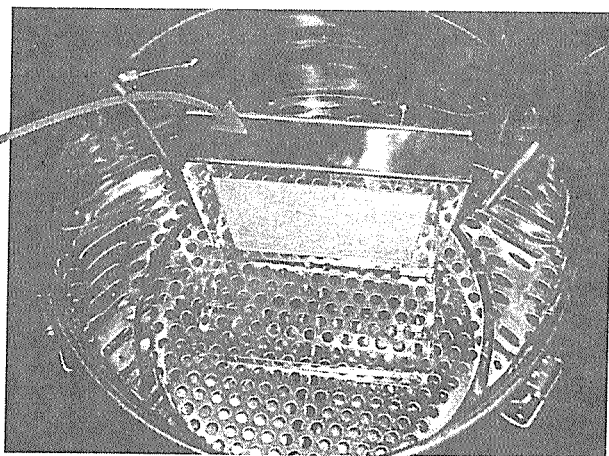


写真2-1 アドパックシステムと試験片の設置状況



### 3. 結果及び考察

#### 3.1 各内装材からのVOC類の放散

モデル居室内装に使用した材から放散するカルボニル化合物及びVOCの放散速度、気中濃度を表3-1～表3-6に示す。また、主なVOC類の放散量を図3-1～図3-3に示す。気中濃度はモデル居室の結果と比較するため、各材のモデル居室での設置率に換算した値を示した。

合板である床下地材からはホルムアルデヒド、 $\beta$ -ピネンが多く放散していた。特に $\alpha$ -ピネンの気中濃度が $750\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える値を示した(図3-1)。一方、ムク材である床材、壁材からはどの物質も殆ど放散が見られなかった。(図3-2、図3-3)

床材からはその他のテルペン類の放散が見られなかった。

壁材から放散するその他のテルペン類は $\alpha$ -ピネン換算できなかつたため、放散化学種を表3-7に示す。

#### 3.2 モデル居室におけるVOC類気中濃度との比較

モデル居室の各内装施工段階においては、床下地材及び壁材施工後にVOC類の放散が多く見られた。チャンバー試験の結果と比較してみると、床下地材からは多く放散していたが、壁材からの放散は殆ど見られなかった。この原因として、床下地材、床材、壁材それぞれの保管方法が異なることが考えられる。モデル居室における試験結果より、温湿度の影響を受けにくいVOCsは、完成14日後以降気中濃度が大きく低減しており、約1ヶ月間梱包されていない状態であれば、VOC類が多く放散してしまうと考えられる。

表3-1 床下地材から放散するカルボニル化合物(気中濃度はモデル居室における設置率に換算したもの)

	24時間後		72時間後		7日後		14日後		28日後	
	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]
ホルムアルデヒド	76	90	63	76	61	72	55	65	44	52
アセトアルデヒド	17	21	12	14	10	11	8	9	4	5
アセトン	49	58	36	43	31	37	23	28	15	18
アクロレイン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
プロピオアルデヒド	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0
クロトアルデヒド	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
メチルエチルケトン	1	2	1	1	0	0	3	4	6	7
メタクロレイン	0	0	0	0	0	0	0	0	10	12
n-ブチルアルデヒド	0	0	0	0	0	0	41	49	7	8
ベンズアルデヒド	6	7	9	11	10	12	4	5	4	5
バレールアルデヒド	8	9	7	8	12	14	7	9	6	7
m-トルアルデヒド	10	12	10	12	19	23	9	11	8	10
ヘキサアルデヒド	36	43	31	37	35	42	33	39	23	28

表3-2 床材から放散するカルボニル化合物(気中濃度はモデル居室における設置率に換算したもの)

	24時間後		72時間後		7日後		14日後		28日後	
	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]
ホルムアルデヒド	1	1	(0)	(0)	1	1	0	0	(0)	(0)
アセトアルデヒド	15	18	3	4	5	6	0	0	(1)	(2)
アセトン	5	7	2	3	2	2	(1)	(1)	(1)	(1)
アクロレイン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
プロピオアルデヒド	4	5	0	0	3	3	0	0	0	0
クロトアルデヒド	0	0	(2)	(2)	(2)	(2)	(1)	(1)	(2)	(2)
メチルエチルケトン	(3)	(4)	(6)	(7)	(2)	(3)	(7)	(8)	(11)	(13)
メタクロレイン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n-ブチルアルデヒド	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ベンズアルデヒド	(2)	(3)	0	0	(2)	(3)	(2)	(3)	0	0
バレールアルデヒド	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3
m-トルアルデヒド	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ヘキサアルデヒド	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表3-3 壁材から放散するカルボニル化合物(気中濃度はモデル居室における設置率に換算したもの)

	24時間後			72時間後			7日後			14日後			28日後		
	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]
ホルムアルデヒド	4	2	2	3	2	1.4	3	1.4	1	2	1	1	3	1	2
アセトアルデヒド	(0)	(0)	1	1	1	1.2	2	1.2	(1)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
アセトン	(4)	(2)	(7)	(7)	(4)	(4.1)	(7)	(4.1)	(7)	4	2	2	(15)	(9)	(9)
アクロレイン	(23)	(13)	(28)	(28)	(16)	(15.7)	(28)	(15.7)	(28)	(38)	(21)	(21)	(35)	(20)	(20)
プロピオアルデヒド	13	7	8	8	4	3.2	6	3.2	0	0	0	0	0	0	0
クロトアルデヒド	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0
メチルエチルケトン	(3)	(2)	1	1	1	2.2	4	2.2	(4)	(4)	(2)	(2)	3	2	2
メタアクロレイン	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0
n-ブチルアルデヒド	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0
ベンズアルデヒド	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0	4	2	2
バレルアルデヒド	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0
m-トルアルデヒド	(9)	(5)	(9)	(9)	(5)	(2.2)	(4)	(2.2)	(11)	(11)	(6)	(6)	(10)	(6)	(6)
ヘキサアルデヒド	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0

表3-4 床下地材から放散するVOC(気中濃度はモデル居室における設置率に換算したもの)

族別	24H後		72H後		7日後		14日後		28日後	
	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ]
脂肪族炭化水素類	ヘキサン	2	(8)	(10)	(9)	(10)	(7)	(7)	(9)	5
	2,4-ジメチルペンタン	(3)	(6)	(7)	(5)	(6)	(6)	(7)	(6)	(7)
	イソ-オクタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ヘプタン	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	オクタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ノナン	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	デカン	1	1	0	0	0	0	0	0	(0)
	ウンデカン	0	0	0	1	0	0	0	1	0
	ドデカン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	トリデカン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	テトラデカン	0	0	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	ペンタデカン	0	0	0	0	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	ヘキサデカン	0	0	0	0	0	0	0	0	(0)
	ベンゼン	0	0	(0)	(0)	0	0	0	0	0
	トルエン	4	4	(4)	(5)	(3)	(4)	(3)	(4)	1
	エチルベンゼン	1	1	(0)	(0)	0	0	0	0	(2)
	キシレン	1	1	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	スチレン	1	2	1	1	1	1	2	3	(1)
	3-エチルトルエン	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	4-エチルトルエン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
芳香族炭化水素類	1,3,5-トリメチルベンゼン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-エチルトルエン	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	1,2,4-トリメチルベンゼン	0	0	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
	1,2,3-トリメチルベンゼン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,2,4,5-テトラメチルベンゼン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\alpha$ -ピネン	771	917	426	507	233	277	146	174	76
	$\beta$ -ピネン	50	59	31	37	21	25	13	16	7
	リモネン	13	15	4	4	3	3	2	2	(0)
	ジクロロメタン	0	0	0	0	(0)	(0)	0	1	1
	クロロフォルム	8	10	(0)	(0)	2	2	3	3	3
ハロゲン類	1,1,1-トリクロロエタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,2-ジクロロエタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	四塩化炭素	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	トリクロロエタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,2-ジクロロプロパン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	テトラクロロエタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	p-ジクロロベンゼン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	酢酸エチル	0	1	(0)	(0)	(0)	(0)	0	0	(0)
	酢酸ブチル	(2)	(2)	(3)	(3)	(2)	(3)	(2)	(3)	(2)
	エタノール	16	19	15	17	16	20	15	18	10
エステル類	2-ブロパノール	5	(6)	(5)	(6)	(0)	(0)	4	4	6
	1-ブロパノール	1	1	2	2	2	2	2	2	1
	1-ブタノール	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-ブタノール	0	0	1	1	1	1	1	1	0
	TVOC( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1216	1448	678	807	461	549	372	443	232

表3-5 床材から放散するVOC(気中濃度はモデル居室における設置率に換算したもの)

族別	24H後		72H後		7日後		14日後		28日後	
	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	気中濃度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	放散速度 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]
脂肪族炭化水素類	ヘキサン	(0)	0	0	0	(0)	(0)	(0)	0	0
	2,4-ジメチルペンタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	イソ-オクタン	2	2	2	2	1	3	1	0	0
	ヘプタン	1	1	1	1	1	2	1	1	1
	オクタン	4	4	4	4	5	6	3	4	0
	ノナン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	デカン	16	20	19	22	20	24	19	23	0
	ウンデカン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ドデカン	36	43	35	42	41	49	34	41	1
	トリデカン	0	0	2	2	3	3	0	0	0
	テトラデカン	7	8	7	9	7	8	6	8	1
	ペンタデカン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ヘキサデカン	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	ヘプセン	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	トルエン	(0)	(1)	0	0	0	(1)	(1)	(1)	19
	エチルベンゼン	(1)	(1)	(1)	(1)	(0)	(0)	(1)	(1)	0
	キシレン	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	0
	スチレン	(10)	(12)	(9)	(10)	(4)	(4)	(11)	(14)	(4)
芳香族炭化水素類	3-エチルトルエン	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	4-エチルトルエン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,3,5-トリメチルベンゼン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-エチルトルエン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,2,4-トリメチルベンゼン	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	1,2,3-トリメチルベンゼン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,2,4,5-テトラメチルベンゼン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\alpha$ -ピネン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\beta$ -ピネン	0	0	0	0	0	0	0	0	9
	リモネン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ジクロロメタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	クロロホルム	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ハロゲン類	1,1,1-トリクロロエタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,2-ジクロロエタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	四塩化炭素	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	トリクロロエタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,2-ジクロロプロパン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	テトラクロロエタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	p-ジクロロベンゼン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	酢酸エチル	158	188	106	126	124	147	69	82	2
	酢酸ブチル	0	1	0	1	0	1	0	0	0
	エタノール	54	64	40	48	34	41	59	70	10
アルコール類	2-プロパノール	0	0	0	0	(1)	(1)	(1)	(1)	(0)
	1-プロパノール	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-ブタノール	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TVOC ( $\mu\text{g}/\text{l}$ )	257	305	228	272	328	391	265	315	138

表3-6 壁材から放散するVOC(気中濃度はモデル居室における設置率に換算したもの)

族別	24H後			72H後			7日後			14日後			28日後		
	気中濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]	放散速度 [μg/m <sup>2</sup> ・h]	放散速度 [μg/m <sup>2</sup> ・h]	気中濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]	放散速度 [μg/m <sup>2</sup> ・h]	放散速度 [μg/m <sup>2</sup> ・h]	気中濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]	放散速度 [μg/m <sup>2</sup> ・h]	放散速度 [μg/m <sup>2</sup> ・h]	気中濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]	放散速度 [μg/m <sup>2</sup> ・h]	放散速度 [μg/m <sup>2</sup> ・h]	気中濃度 [μg/m <sup>3</sup> ]	放散速度 [μg/m <sup>2</sup> ・h]	放散速度 [μg/m <sup>2</sup> ・h]
脂 肪 族 炭 化 水 素 類	ヘキサン	1	1	3	2	2	2	1	20	11	8	5	0	0	0
	2,4-ジメチルペンタン	0	0	26	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	イソ-オクタン	(4)	(2)	(4)	(2)	(4)	(4)	(2)	(4)	(4)	(4)	(2)	(4)	(4)	(2)
	ヘプタン	(2)	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)	(1)	(2)	(2)	(1)	(2)	(2)	(2)	(1)
	オクタン	(10)	(6)	(10)	(6)	(10)	(10)	(6)	(10)	(10)	(6)	(10)	(6)	(10)	(6)
	ノナン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	デカン	(33)	(19)	(33)	(19)	(33)	(33)	(19)	(33)	(33)	(19)	(33)	(19)	(33)	(19)
	ウンデカン	(24)	(13)	(24)	(13)	(24)	(24)	(13)	(24)	(24)	(13)	(24)	(13)	(24)	(13)
	ドデカン	(19)	(11)	(19)	(11)	(19)	(19)	(11)	(19)	(19)	(11)	(19)	(11)	(19)	(11)
	トリデカン	(3)	(2)	(3)	(1)	(3)	(3)	(2)	(3)	(3)	(2)	(3)	(2)	(3)	(2)
	テトラデカン	(1)	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)	(1)	(2)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)
	ペンタデカン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ヘキサデカン	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	ベンゼン	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
	トルエン	0	0	7	4	3	3	2	(1)	(1)	(0)	(1)	(0)	(1)	(0)
	エチルベンゼン	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	キシレン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	スチレン	0	0	3	2	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(1)	(1)	(1)
	3-エチルトルエン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4-エチルトルエン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,3,5-トリメチルベンゼン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2-エチルトルエン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,2,4-トリメチルベンゼン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,2,3-トリメチルベンゼン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,2,4,5-テトラメチルベンゼン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
α-ピネン	3	1	6	3	9	9	5	1	1	1	1	0	0	0	
β-ピネン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
リモネン	(0)	(0)	4	2	6	4	4	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	
ジクロロメタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
クロロフォルム	3	2	0	0	1	1	0	0	4	2	3	1	0	0	
1,1,1-トリクロロエタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,2-ジクロロエタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
四塩化炭素	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
トリクロロエタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,2-ジクロロプロパン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
テトラクロロエタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
p-ジクロロベンゼン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
酢酸エチル	(358)	(201)	(357)	(201)	(358)	(201)	(358)	(201)	(349)	(196)	(354)	(199)	(354)	(199)	
酢酸ブチル	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	
エタノール	(5)	(3)	7	4	(5)	(3)	(5)	(3)	(5)	(3)	(5)	(3)	(5)	(3)	
2-プロパノール	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1-プロパノール	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1-ブタノール	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TVOC (μg/l)	6060	3405	4844	2121	3344	1879	2403	1350	1626	914					

表 3 - 7 壁材から放散するテルペン類

$\alpha$ -Pinene
$\beta$ -Pinene
Limonene
$\alpha$ -Cubebene
Copaene
Caryophyllene
$\alpha$ -Caryophyllene
1H-Cyclopenta[1,3]cyclopropa[1,2]b
Naphthalene, 1,2,4a,5,6,8a-hexahyd
$\alpha$ -Amorphene
Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahyd
Naphthalene, 1,2,3,4,4a,7-hexahyd
Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1
Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-oct
Naphthalene, 1,2-dihydro-1,1,6-tri

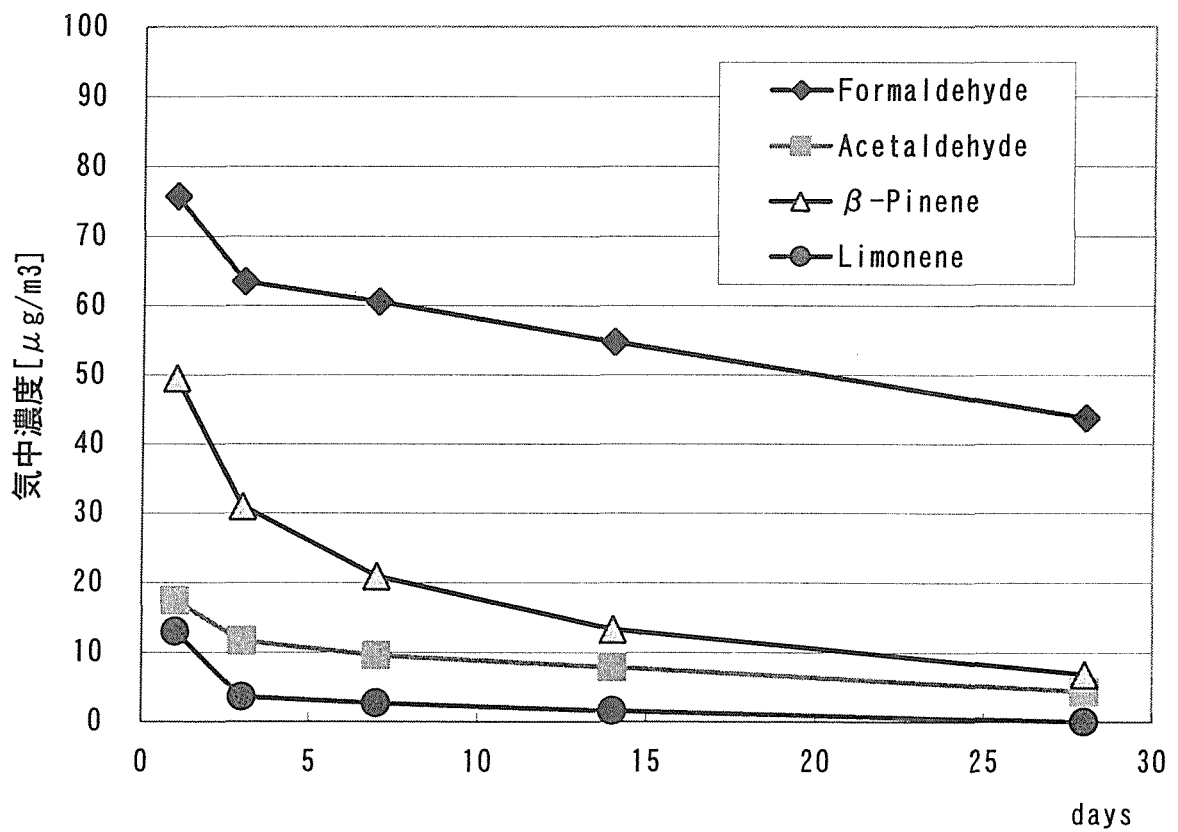
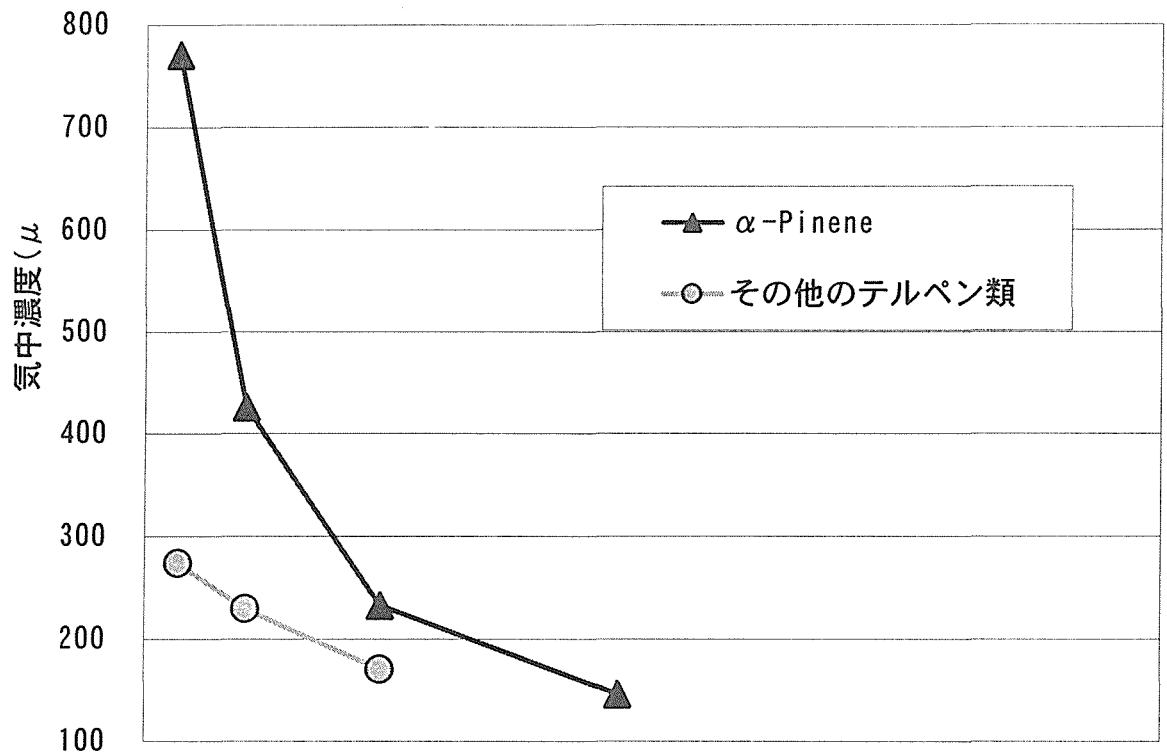


図3-1 床下地材からのVOC放散



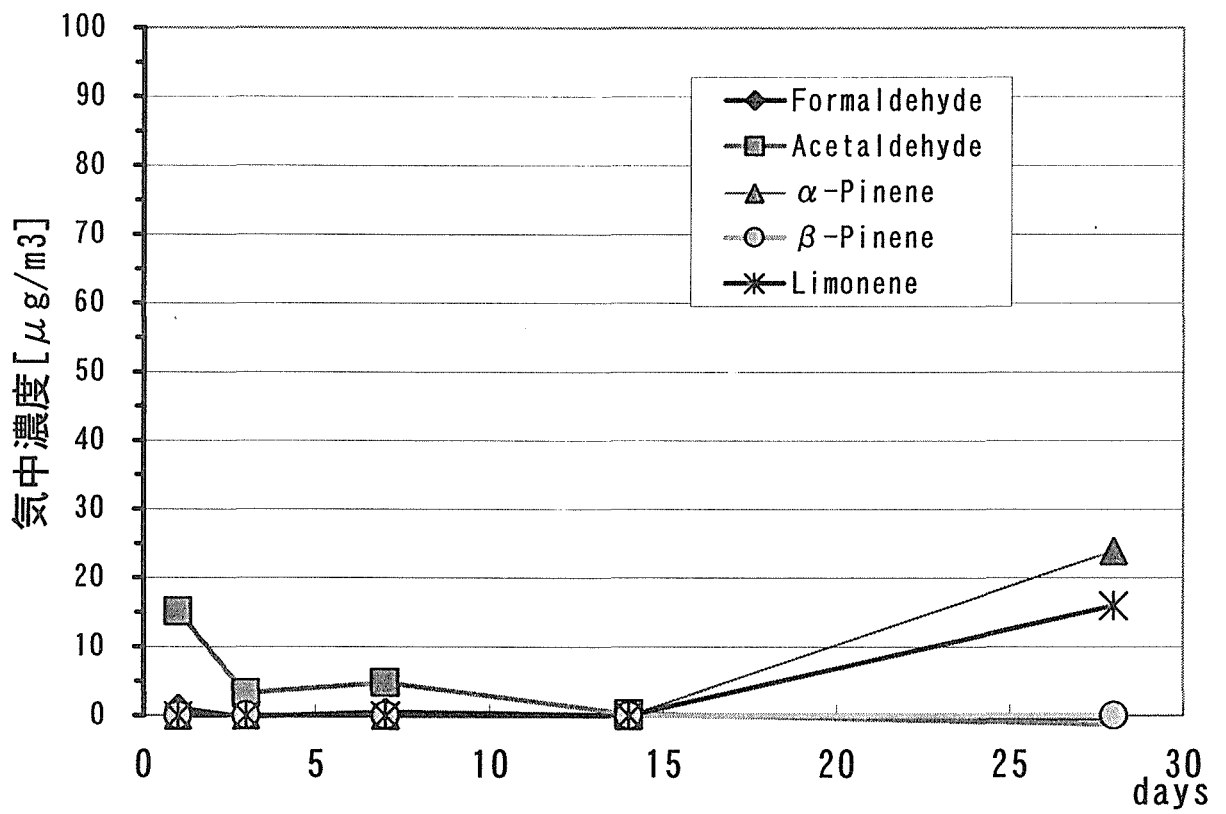


図3-2 床材からのVOC類放散

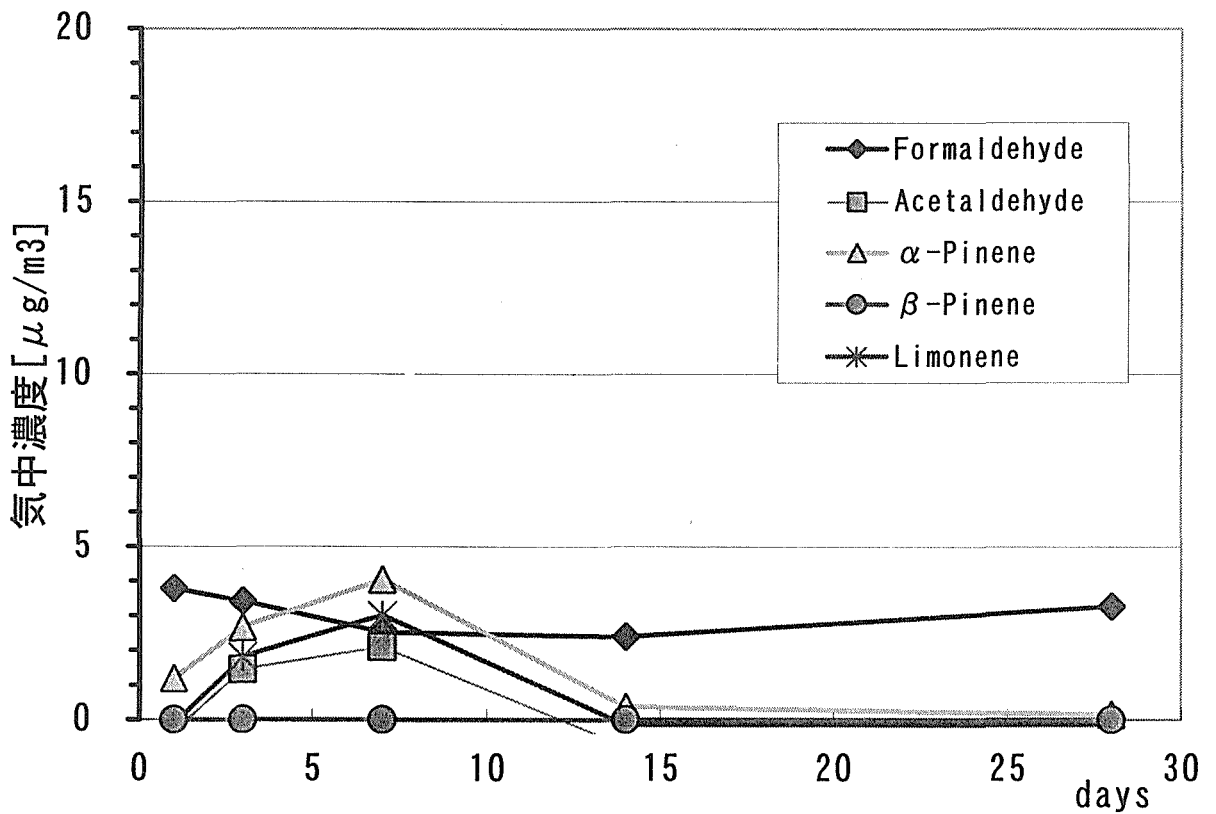


図3-3 壁材からのVOC類放散