

室内空気中の揮発性有機化合物濃度について

村上 恭子 鈴木 憲* 松渕 亜希子

室内空気中の揮発性有機化合物濃度をアクティブ採取法及びパッシブ採取法により捕集し測定した。その結果、41 物質中 32 物質において両法の捕集量に高い相関がみられ、簡易に捕集できるパッシブ採取法によるサンプリングの有効性を確認できた。調査した 9 家屋 43 地点のうち新築家屋の入居前に気密状態で捕集した 2 地点でトルエンの指針値を超えた。また 14 地点で総揮発性有機化合物濃度 (TVOC) の暫定目標値を超えた。TVOC が暫定目標値を超えて検出した原因は、新築家屋の入居前に塗料落としに使用したクリーナー由来のトルエン、酢酸エチル及び酢酸ブチル、建材からの α -ピネン類、家具類からのトリメチルベンゼン類、暖房器具からのノナン、ドデカン等脂肪族炭化水素類が高濃度に検出されたためである。

1. はじめに

最近の室内環境は、冷暖房器具の使用や高気密、高断熱及び新建材の使用により快適で便利になっているが、その反面「シックハウス症候群」や「化学物質過敏症」等の室内環境汚染問題を引き起こしているといわれている。これらの問題に対処するため、国の取り組みも活発になっており、厚生労働省はこれまでに 14 項目の化学物質について、室内濃度指針値及び暫定指針値を設定した¹⁾。国土交通省では、平成 15 年 7 月から建築基準法を改正²⁾し、ホルムアルデヒドに関する建材の使用制限や換気設備の義務づけ等が施行された。これらの低減化対策が進んでいる状況下、当所では、平成 14 年度から、室内空気中の汚染物質に関する調査を実施してきた。ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド及びその他のアルデヒド類等に関する調査結果は既に報告³⁾した。平成 16 年度は主に揮発性有機化合物 (以下 VOC とする) について調査を行ったので、今回は、その結果について報告する。

2. 方法

2.1 調査対象家屋

調査対象は 9 家屋 43 地点で、その詳細を表 1 に示した。なお、築 7 年の 3 家屋は、国立衛生試験所 (現国立医薬品食品研究所) による「暴露評価研究」(平成 9 年実施) において VOC 濃度調査を実施した家屋である。

2.2 調査期間

調査は、平成 16 年 3 月～平成 17 年 4 月に行った。春期として 3～4 月、夏期として 7～9 月に主に実施した。

2.3 調査項目

測定項目は、トルエン、キシレン、エチルベンゼン等 41 物質 (表 2) 及び二酸化窒素である。この他に室内及び外気の温度、湿度、気圧を測定した。また、建築構造、生活状況、健康状況等のアンケート調査を行った。生活状況については、換気時間、暖房機器及びエアコン使用時間等の記録を調査対象家屋の居住者に依頼した。

2.4 試料捕集方法

2.4.1 VOC41物質

試料の捕集方法にはアクティブ採取法及びパッシブ採取法がある。アクティブ採取法は厚生労働省により示された標準的な方法¹⁾である。

新築住宅の入居前におけるサンプリングは、全ての窓を 30 分間解放後、閉めて気密状態に 5 時間保持しアクティブ採取法⁴⁾で捕集した。ミニポンプ MP-30 (SIBATA) を用いて、VOC 捕集管 (ORBO-91T:SUPELCO) に 0.5 L/分の条件で 1 時間 (約 30 L) 通気させた。

居住住宅におけるサンプリングは、通常的生活状態でアクティブ採取法及びパッシブ採取法¹⁾で捕集した。アクティブ採取法は、VOC 捕集管 (ORBO-91T:SUPELCO) に 0.1 L/分で 24 時間 (約

144 L)通気させた。パッシブ採取法は、VOC 捕集管(VOC-SD:SUPELCO)を24時間暴露させた。

外気は、新築住宅の入居前及び居住住宅ともそれぞれ室内空気と同様にアクティブ採取法或いはパッシブ採取法により行った。

2.4.2 二酸化窒素

柳沢ら⁴⁾が生活環境中二酸化窒素濃度測定の際に用いたパーソナルサンプラー法で行い、二酸化窒素フィルターパッチ(アドバンテック)を装着したパーソナルサンプラーを24時間暴露させた。

2.5 分析方法

2.5.1 VOC41物質

空気を通気あるいは暴露させたVOC捕集管中の活性炭を4 mLの蓋付き試料瓶に取り、予め0.5 µg/mLの濃度でトルエン-d₈(和光純薬工業)を添加した二硫化炭素(作業環境測定用:和光純薬工業)2 mLを用いて捕集した化学物質を溶出した⁵⁾。これを分析試料として、表3に示す測定条件でVOCをガスクロマトグラフ/質量分析計により測定した。VOC41物質を定量するための検量線は、混合標準液(室内空気測定用VOC混合標準原液45種 Mix:関東化学株式会社)をトルエン-d₈を添加した二硫化炭素で希釈して0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0 µg/mLの混合調製標準液を作成し、これらをそれぞれ測定して求めた。ただし、*m*-キシレン、*p*-キシレンは、ピークを分離できないために合計値として定量した。

定量下限値は、最低濃度の混合調製標準液の5回繰り返し測定値の10σとしたが、操作ブランク値が10σより高い値の場合には操作ブランク値とした。

2.5.2 二酸化窒素

24時間暴露させた二酸化窒素フィルターパッチを柳沢ら⁴⁾の方法と同じく試験管に入れ、これに発色液10 mLを加えて波長545nmで吸光度を測定した。室内空気中二酸化窒素濃度は次式によって算出した。

$$f \text{ NO}_2 \text{ (ppb)} = 55 (I - I_0)$$

$f\text{NO}_2$: 日平均二酸化窒素濃度

I : 暴露後の吸光度

I_0 : ブランクの吸光度

2.6 温度、湿度及び気圧

温度と湿度は30分間隔で24時間自動記憶測定(佐藤記憶計 SK-200TH)し、気圧は試料の捕集開始時と終了時に測定(気圧計 SUNOH SAL7030)した。

2.7 測定値の比較

2.7.1 採取法

アクティブ採取法及びパッシブ採取法で捕集された化学物質の捕集量を比較して捕集速度を求め、パッシブ採取法による捕集係数を算出した。

2.7.2 新築家屋の入居前後

新築家屋の入居前後に検出された化学物質を比較し経時推移を調査した。

2.7.3 季節と築年数

検出された化学物質を分類し、夏期と春期、新築と築7年の家屋の測定値の違いについて検討した。各々の比較は各測定値の中央値を用いて、マン-ホイットニーのU検定により行った。

3. 結果

3.1 アクティブ採取法とパッシブ採取法の比較

アクティブ採取法は、ポンプを使用するため同時に捕集できる数や居住住宅での捕集に制約がある。また、アクティブ採取法の代替としてパッシブ採取法が汎用されているが、メーカーから示された捕集係数が作業環境許容濃度付近で求められているため、室内環境濃度付近における両法の相関は必ずしも高くないとの報告⁶⁾がある。そこでアクティブ採取法を実施した家屋でパッシブ採取法も同時に行って捕集係数を求めた。その結果、41物質中32物質で、両法での捕集量間に相関係数0.791以上の高い相関(表4)を示した。相関が低かったのは、トリクロロエチレン、クロロホルム、1,2-ジクロロプロパン、四塩化炭素、クロモジブロモメタン、1,2,3-トリメチルベンゼン、ペンタデカン、ヘキサデカン、デカナールの9物質であった。そこで解析には、アクティブ採取法とパッシブ採取法の両法を実施した家屋の室内VOC濃度は、アクティブ採取法の結果を採用した。パッシブ採取法のみでサンプリングを実施した一部の家屋及び外気は、求めた捕集係数から32物質の室内濃度を算出した。

3.2 指針値設定項目について

VOC41 項目のうち、室内空気濃度の指針値はトルエン、エチルベンゼン、o/m/p-キシレン、スチレン、p-ジクロロベンゼン、テトラデカンに、暫定指針値はノナナールに、暫定目標値は総揮発性有機化合物に設定されている。本調査での指針値等設定項目の全測定地点における検出率は、トルエン(89.7%)、エチルベンゼン(63.8%)、o/m/p-キシレン(87.9%)、スチレン(84.5%)、p-ジクロロベンゼン(87.9%)、テトラデカン(55.8%)、ノナナール(35.8%)であった。

調査した新築家屋(家屋 A,B,C,D)の入居前後及び外気における指針値等設定項目の統計値を表5に示した。検出された各物質は、幅広い濃度範囲を示した。最大値/最小値は入居前のトルエンで約120、入居後のp-ジクロロベンゼンでは約360を示し、住宅により汚染状況は異なっていた。また、トルエンが入居前の1家屋2地点(居間2460 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、寝室1650 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)において指針値を超えて検出された。さらに、VOC発生源が室内中に起因するかを推定するため、室内濃度と外気濃度を中央値で比較した値(I/O)を入居前後で比較した。その結果、I/Oはほとんどの指針値等設定項目において2以上を示した。トルエン、エチルベンゼン、o/m/p-キシレン、p-ジクロロベンゼンのI/Oは入居前が高値を示し、スチレン、テトラデカン、ノナナールのI/Oは入居後が高値を示した。

3.3 総揮発性有機化合物とその他の VOC

本調査では、各地点毎に測定したVOC41物質の濃度の合計量を総揮発性有機化合物(TVOC)として扱うこととした。TVOCの暫定目標値(400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を超えた家屋の化学物質分類濃度を図1に示した。TVOCが暫定目標値を超えた家屋は、新築入居前の家屋B,C,Dで6地点、新築入居後の家屋B,Dで5地点、改築後2.5年の家屋Fで2地点及び築7年の家屋Gで1地点の合計14地点となり全測定地点の約1/3に達した。

入居前の家屋Cから芳香族炭化水素類とエステル類、入居前後の家屋Dからテルペン類、家屋F及び家屋Gから脂肪族炭化水素類と芳香族炭化水素類が高濃度に検出された。また、室内の全測定地点(n=34)において検出された化学

物質の分類名別統計値を表6に示した。TVOCに対する濃度比率は、脂肪族炭化水素類と芳香族炭化水素類の合計値で70%を占めた。その他、テルペン類、アルコール類、エステル類と続き脂肪族有機ハロゲン化合物とアルデヒド・ケトン類は1.3%及び1.7%であった。

3.4 経時推移

平成16年夏期以降に新築し入居前測定を行った家屋(A,B,C,D)について、入居1ヵ月後(夏期)と3~6ヵ月後(暖房使用時期)のVOC濃度を継続調査した。新築家屋C,DのVOC濃度の推移を図2と図3に示した。入居前の家屋Cから高濃度に検出されたトルエン(2460 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、酢酸エチル(421 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、酢酸ブチル(466 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)は、入居後1ヵ月で低レベル(トルエン29.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、酢酸エチル5.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、酢酸ブチル1.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)となった。一方、家屋Dでは、 α -ピネン(1268 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、トルエン(246 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、リモネン(99.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)が検出され、入居2ヵ月後も α -ピネンが高濃度(412 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を示した。

築7年の家屋G,H,I(サンプル採取は当センターが担当し、測定は国立衛生試験所が担当)についても夏期と春期にVOC測定を行った。平成9年の新築入居時に家屋G,H,Iで比較的高濃度に検出された項目は、トルエン(72.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、o/m/p-キシレン(90.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、リモネン及びp-ジクロロベンゼン(109 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)等であった。さらに7年後の夏期はp-ジクロロベンゼン(44.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)の他は低濃度であった。しかし、図4に示したように家屋Gにおいて、春期にはオクタン(99.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、ノナン(232 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、デカン(170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、ウンデカン(99.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)等の脂肪族炭化水素類(合計774 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)及びo/m/p-キシレン(121 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、1,2,3-,1,2,4-, 1,3,5-トリメチルベンゼン(116 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、トルエン(67.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)等の芳香族炭化水素類(合計346 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)が高濃度に検出された。

3.5 季節の影響

測定した全家屋において検出された化学物質を分類し、夏期と春期で比較した結果を表7に示した。TVOCにおいて夏期と春期をマン・ホイットニーのU検定を行った結果、春期と夏期には有意差が認められなかった。同様に脂肪族炭化水素類、芳香族炭化水素類及びテルペン類についてU検

定を行った。その結果、脂肪族炭化水素類においてのみ春期が有意 ($p < 0.05$) に夏期より高かった。脂肪族炭化水素類は暖房器具の使用により室内に検出される可能性がある⁷⁾。そこで、VOC の測定と同時に行った二酸化窒素と脂肪族炭化水素類の関連⁸⁾をみた。その結果、開放型の暖房器具 (ファンヒーター) を使用した家屋において二酸化窒素が高く検出される傾向がみられた。しかし、二酸化窒素と脂肪族炭化水素類に相関は認められなかった。

3.6 指針値設定前後の化学物質分類別濃度の比較

平成9年秋期 (VOC の指針値設定前) に VOC を測定した新築家屋4地点と平成16年度 (指針値設定後及び建築基準法改正後) に新築された家屋12地点において、入居後6ヶ月以内に検出された化学物質の分類別濃度を比較して表8に示した。TVOC において設定前と設定後をマンローホイットニーのU検定を行った結果、設定前と設定後には有意差が認められなかった。同様に化学物質の分類別にU検定を行った結果、設定前は脂肪族炭化水素類が、設定後はテルペン類が有意 ($p < 0.05$) に高かった。

3.7 アンケート調査

3.7.1 健康調査

新築家屋の4家族6人が入居前からアトピーやアレルギー症状を訴えていたが、入居6ヶ月後に悪化した人はみられず、むしろ、改善傾向がみられた。しかし、築7年の家屋Gの住人に入居6年後から健康上の影響 (咳とアレルギー) がみられた。

3.7.2 換気、暖房器具及び調理器具

「建築基準法」改正で換気設備の義務付けがなされたことにより、平成15～16年度に新築された家屋は換気システムが年間を通して作動し概ね換気が十分であった。しかし、春期に脂肪族炭化水素類や芳香族炭化水素類が高濃度に検出された築7年の家屋Gでは、春期の暖房使用時期に換気が不十分であった。

暖房の主流は、FF式ストーブとファンヒーター及び床暖房であり、その他ハロゲンヒーター、温水コンベクター等の使用もみられた。

調理器具では、室内に化学物質を放出するガスコンロに変わってIHヒーターが使用されるところがあった。

3.7.3 その他

生活状況をみると、芳香剤や消臭剤の使用が確認された。また、入居後に家具等の新規購入の有無を調査した結果、築7年の家屋Gにおいて調査期間内に大型の中古家具 (クローゼット) の購入報告があった。

4. 考察

アクティブ採取法とパッシブ採取法で高い相関が得られた化学物質は41物質中32物質であり、相関が低かったのは9物質であった。この9物質の合計濃度は、アクティブ採取法ではTVOC濃度に対して濃度比率が低かったことから、パッシブ採取法の場合も同様にTVOC濃度への影響が少ないと推測した。このことから、スクリーニング検査としての室内空気捕集は、パッシブ採取法でのサンプリングが可能と判断した。

今回調査した新築入居後の家屋において、トルエン、エチルベンゼン、*o*/*m*/*p*-キシレン、スチレンはI/Oが高く、室内に発生源があることが確認された。これらの化学物質による健康への影響を懸念して厚生労働省は平成12年6月に指針値及び暫定指針値等を設定し、順次追加している。*p*-ジクロロベンゼンは全国調査の結果では新築・中古の別なく高濃度に検出されている。本調査でも入居後に*p*-ジクロロベンゼンが高濃度を示した家屋があった。しかし、入居後に室内濃度の中央値が低い値であったため、I/Oが低くなり、その結果として入居前のI/Oが相対的に高い傾向を示したと考えられる。

入居前の家屋Cからトルエン、酢酸エチル、酢酸ブチルが高濃度に検出されたのは、測定日に清掃業者が入り清掃直後であったことが原因と推測された。清掃業者に確認したところ、塗料落としに使用したクリーナーにトルエン・酢酸エチル・酢酸ブチル (60～70% : 10～20% : 10～20%) が含有していることが判明した。この家屋から検出された前記物質の室内濃度は、トルエン (2460 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、酢酸エチル (421 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、酢酸ブチル (466 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) で、その比率 (73.5 : 12.6 : 13.9) はクリーナーとよく一致した。この種

のクリーナーは、新築家屋の洗浄剤として繁用されるため、出来れば仕上げ洗浄直後の入居は避けて、十分換気後に入居するべきである。

家屋 D は、フローリングの居間と建具類に木材を豊富に使用し気密性の高い住宅であるため、 α -ピネンが高濃度に検出されたと考えられる。今回の調査で使用した VOC 捕集管 (ORBO-91T:Supelco) はこれまで繁用されていた VOC 捕集管 (ORBO-101+ORBO-91L:Supelco) を改良⁹⁾してスチレン、 α -ピネンの回収率を向上させたタイプであるため α -ピネンを高濃度に捕集できたと思われる。

家屋 C で検出された物質は揮発性で一時的に使用した物質であるため、24 時間換気システムの作動により急激に濃度の低下がみられた。家屋 D は、建材由来の物質であるため徐々に低下していくものと思われる。 α -ピネンやリモネン等のテルペン類は木造の新築家屋に高濃度に検出される物質¹⁰⁾である。また、森林浴によるリフレッシュ効果等フィトンチットとして健康によいと言われている。その一方で、慢性接触暴露では皮膚、粘膜の刺激発疹等がみられる物質¹¹⁾といわれている。そのため、乳幼児、高齢者、病人等への健康影響も懸念され早期に十分な説明が待たれている。

トルエン等の室内濃度指針値が設定され、建築基準法改正後に新築された家屋における TVOC 濃度は、設定前の新築家屋に比して有意差を確認できず、低減化対策の効果は把握できなかった。その原因として測定試料数が少ない、芳香族炭化水素類は短期間で急速に濃度が減少する¹²⁾、脂肪族炭化水素類濃度は暖房等の生活因子の影響を受ける⁷⁾等が考えられる。

今回の調査で TVOC が 14 地点で暫定目標値を超えた。指針値及び暫定指針値設定項目については、健康上の影響が危惧されて設定されたものである。しかし、TVOC の暫定目標値 ($400 \mu\text{g}/\text{m}^3$) は健康への影響が明らかになっているわけではなく、通常望ましい値として設定された値である。このため、厚生労働省から「新築家屋の入居前及び入居後間もない時期の TVOC に関しては測定時期や検出された物質の由来を確認した上で評価すること」との通知¹³⁾が示されている。この点を考慮して今回の調査結果を評価すると、改築後 2 年以上の家屋 F と築 7 年の

家屋 G が問題となる。家屋 F 及び家屋 G は春期に TVOC が高く特に脂肪族炭化水素類が高濃度に検出された。その原因は、アンケート調査から、石油ファンヒーターを長時間使用し換気不足によるためと考えられた。このように春期は夏期より脂肪族炭化水素類が有意に高いことが確認された。同様の結果が平成 9～10 年に実施された厚生省「居住環境内における揮発性有機化合物の全国実態調査」の報告¹⁴⁾でも得られている。

このような点から、当県では暖房器具を使用する期間が長いため、24 時間換気システムの設備のない家屋では、窓の開閉や換気扇の使用により、十分な換気を心掛けることが望ましい。また、家屋 G は新築時にほとんど検出されなかった芳香族炭化水素類のキシレンやトリメチルベンゼンも高濃度に検出された。トリメチルベンゼン類は主にワックス、油性ニスに多用されている¹⁵⁾ことから家具に由来するものと考えられる。アンケートからも夏期調査後に大型中古クローゼットの購入が確認されており、住人に入居 6 年後から健康上の影響がみられていて大変憂慮される。これら高濃度に検出された項目中で、健康への影響が確認された物質については、今後も指針値の設定が予想される。しかし、その以前に化学物質を使用しない建材の普及が先決である。同時に入居後に室内汚染化学物質が増加しないように生活状況に十分留意する必要がある。

5. まとめ

アクティブ採取法及びパッシブ採取法の補集量間に高い相関を示した 32 物質の捕集係数を求めることができた。また、スクリーニング検査としての室内空気捕集は、簡易に捕集できるパッシブ採取法が有効であることを確認できた。

本調査で、指針値及び暫定目標値を超えたのは、9 家屋 43 地点中トルエンで 2 地点、TVOC で 14 地点あった。トルエンが指針値を超えた原因は新築入居前の家屋で塗料落としに使ったクリーナー由来と判明した。TVOC が暫定目標値を超えた原因は、建材、家具及び暖房器具から α -ピネン、トリメチルベンゼン類、脂肪族炭化水素類等の化学物質が高濃度に検出されたためである。

また、指針値設定前の新築家屋は脂肪族炭化水素が、設定後はテルペン類が有意 ($p < 0.05$) に高かった。しかし、TVOCの有意差は確認できず低減化対策の効果は把握できなかった。

この他、脂肪族炭化水素濃度は、夏期より春季に高い傾向がみられ、暖房器具の使用と換気不足が原因と考えられた。

6. 謝辞

本調査にご協力頂いた対象家屋の皆様に深謝申し上げます。

参考文献

- 1)室内空气中化学物質の室内濃度指針値及び標準的測定方法について。厚生労働省,2002年2月
- 2)建築基準法 第二十八条の二,2002
- 3)村上恭子、他。室内空气中ホルムアルデヒド等濃度について。秋田県衛生科学研究所, 2004,49.32-40
- 4)柳沢幸雄、西村肇。生活環境中濃度測定用 NO_2 パーソナル・サンプラー。大気汚染学会誌,1980,15(8): 316 ~ 323
- 5)三浦通利、他。化学物質による室内空気汚染に関する調査研究。岩手県環境保健研究センター年報, 2002;2:66-69
- 6)杉原全信、他。パッシブサンプラーによる測定値の信頼性。室内環境学会誌 7.2004;10:226 ~ 227
- 7)吉田俊明,他。住居内空气中ホルムアルデヒド及び揮発性有機化合物濃度の季節変動。大阪府立公衆衛生研究所方,2001; 39:31-48
- 8)宮崎竹二。暖房による室内空気汚染変遷。生活衛生。49.2005;6:343-350
- 9)浅井佳祐、他。日本分析化学会第52年会。2003,9,23
- 10)安藤正典。室内空気汚染と化学物質。化学工業日報 社,2002; 222-224
- 11)安藤正典。室内空気汚染と化学物質。化学工業日報 社,2002; 1210-1211
- 12)斉藤育江,他。住宅のホルムアルデヒド及び揮発性有機化合物濃度の経時変化。東京都立衛生研究所年報,1999;50:235-239
- 13)厚生省生活衛生局長通知。室内空气中化学物質の室内濃度指針値及び総揮発性有機化合物の室内濃度暫定目標値等について。生衛発第1852号、2000年2月22日
- 14)厚生省「居住環境内における揮発性有機化合物の全国実態調査報告」1997 ~ 1998
- 15)田中正宣。化学物質汚染の基本課題としての揮発性炭化水素類問題(3)生体活性内酵素との反応に関連したメチルベンゼン類の生体影響と室内汚染問題。生活衛生。49.2005;1:3-23

表1 調査対象家屋の概要と空気捕集地点

調査対象家屋				空気捕集地点			
築年数	集合家屋	戸建家屋	計	居間	寝室	外気	計
新築(6ヶ月内)	家屋A	家屋B、C、D	4	13(9)	9(5)	7(2)	29(16)
築1～2年	－	家屋E	1	3(3)	2(2)	1(1)	6(6)
改築2.5年	－	家屋F	1	3(3)	3(3)	1(1)	7(7)
築7年	家屋G	家屋H、I	3	1(4)	0(4)	－	1(8)
計	2	7	9	20(19)	14(14)	9(4)	43(37)

()内の数値はパッシブ採取法実施数。

表2 測定項目

化学物質の分類名	化合物質名
脂肪族炭化水素類	ヘキサン、ヘプタン、オクタン、ノナン、デカン、ウンデカン、ドデカン、トリデカン、テトラデカン、ペンタデカン、ヘキサデカン、イソオクタン、2,4-ジメチルペンタン
芳香族炭化水素類	ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、m,p-キシレン、o-キシレン、スチレン、1,2,3-,1,2,4-,1,3,5-トリメチルベンゼン、1,2,4,5-テトラメチルベンゼン
テルペン類	α -ピネン、リモネン
脂肪族有機ハロゲン化合物	1,2-ジクロロエタン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、クロロホルム、1,1,1-トリクロロエタン、1,2-ジクロロプロパン、1,4-ジクロロベンゼン、四塩化炭素、クロモジブロモメタン
エステル類	酢酸エチル、酢酸ブチル
アルデヒド・ケトン類	ブタノン、MIBK、ノナナール、デカナール
アルコール類	1-ブタノール

表3 測定条件

機種／検出部	HP6890(GC)／5973N(MS)
カラム	EQUITY TM -1 (SUPELCO) 0.25mmi.d.×60m×1.0 μ m
カラム温度	40℃(5分)－8℃/分－300℃(3分)
カラム圧力	14.5 psi
注入口温度	250℃
イオン源温度	230℃
キャリアガス	He
試料注入法	スプリット法(1:10)
注入量	2 μ l
検出法	SIM検出法

表4 アクティブ採取法とパッシブ採取法の相関係数
及びパッシブ採取法の捕集係数

化学物質 分類名	化合物名	相関係数	例数	捕集係数 (ng/(ppb×h))
芳香族炭 化水 素類	ベンゼン	0.956	24	9.24
	トルエン	0.953	24	10.6
	エチルベンゼン	0.946	24	10.3
	m,p-キシレン	0.989	24	9.21
	o-キシレン	0.995	24	9.60
	スチレン	0.826	24	6.83
	1,3,5-トリメチルベンゼン	0.791	23	12.2
	1,2,4-トリメチルベンゼン	0.855	23	15.2
	1,2,4,5-トリメチルベンゼン	0.955	24	12.7
脂肪族炭 化水 素類	ヘキサン	0.991	24	9.77
	2,4-ジメチルペンタン	0.924	24	15.7
	ヘプタン	0.998	24	9.92
	オクタン	0.990	24	7.50
	イソオクタン	0.859	24	18.1
	ノナン	0.994	24	9.02
	デカン	0.990	24	9.29
	ウンデカン	0.996	22	10.1
	ドデカン	0.981	24	12.1
	トリデカン	0.904	24	4.89
	テトラデカン	0.876	22	2.11
エステル類	酢酸エチル	0.939	24	18.7
	酢酸ブチル	0.935	23	10.0
アルデヒド 及び ケトン類	ブタノン	0.826	20	9.16
	メチルイソブチルケトン	0.954	19	12.4
	ノナナール	0.856	20	12.9
アルコール類	1-ブタノール	0.910	22	13.8
脂肪族有 機ハロゲン 化合物	1,2-ジクロロエタン	0.882	24	12.4
	1,1,1-トリクロロエタン	0.940	24	28.6
	テトラクロロエチレン	0.990	22	31.4
	1,4-ジクロロベンゼン	0.998	24	16.2
テルペン類	リモネン	0.986	19	11.1
	α-ピネン	0.976	24	12.9

表5 新築家屋(A,B,C,D)の入居前後及び外気におけるVOC濃度

測定地点 物質名	入居前(n=8)			入居後(n=14)			外気(n=9)		指針値*
	Min.~Max.	Med.	I/O	Min.~Max.	Med.	I/O	Min.~Max.	Med.	
トルエン	20.2~2460	127	96	6.4~57.7	15.9	12	<1.8~14.3	1.3	260
エチルベンゼン	<0.6~57.7	7.7	13	1.1~18.7	4.3	7.2	<0.6~1.1	<0.6	3800
o/m/p-キシレン	4.8~58.6	16.5	16	2.5~21.2	8.6	8.6	<1.6~16.1	1.0	870
スチレン	0.7~2.3	1.5	15	0.4~14.7	1.9	19	<0.1~0.3	<0.1	220
p-ジクロロベンゼン	0.8~3.7	1.2	3.0	0.2~72.8	0.4	1.0	<0.1~1.3	0.4	240
テトラデカン	6.4~10.2	7.4	2.0	<3.7~25.5	13.1	3.5	<3.7	<3.7	330
ノナナール	<3.1~13.7	4.8	1.5	<3.1~16.6	5.7	1.8	<3.1~7.4	<3.1	41
総揮発性有機化合物	242~3500	1290	92	81.0~676	255	18	9.7~65.3	14	400

単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

*: ノナナールは暫定指針値、総揮発性有機化合物は暫定目標値を示す。

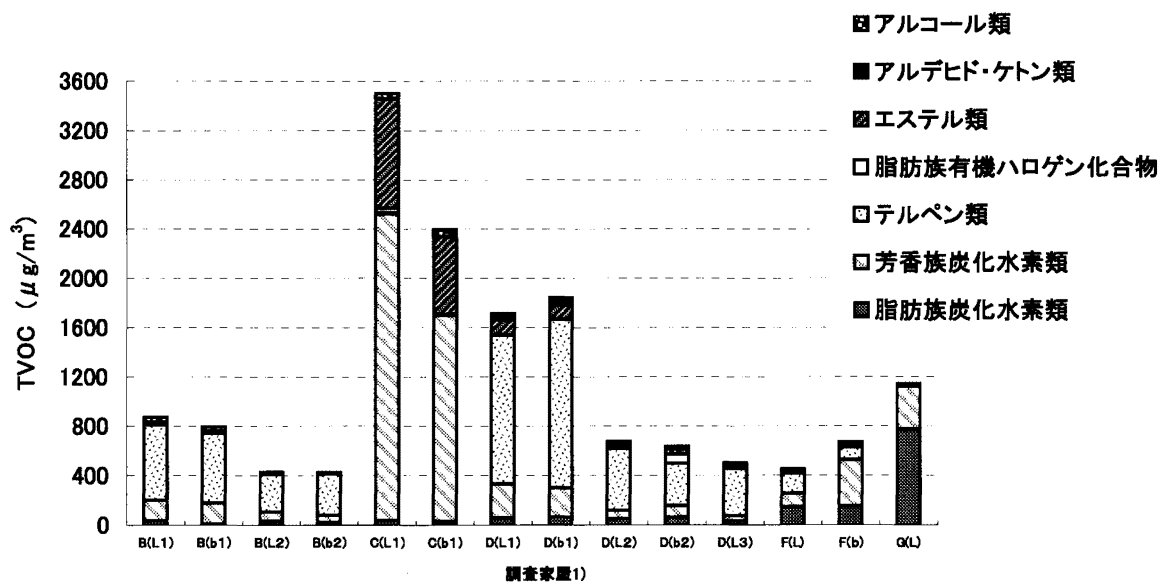


表6 検出された化学物質の分類名別統計値

化学物質分類名	Min.	Max.	Med.	濃度比率(%)
脂肪族炭化水素類	0.87	775	55.6	38.5
芳香族炭化水素類	1.37	2480	46.4	32.1
テルペン類	0.29	1370	22.3	15.4
脂肪族有機ハロゲン化合物	0.30	200	2.42	1.7
エステル類	N.D	888	6.75	4.7
アルデヒド・ケトン類	N.D	44.6	1.85	1.3
アルコール類	N.D	74.4	9.22	6.4
総揮発性有機化合物	5.43	3500	231	100

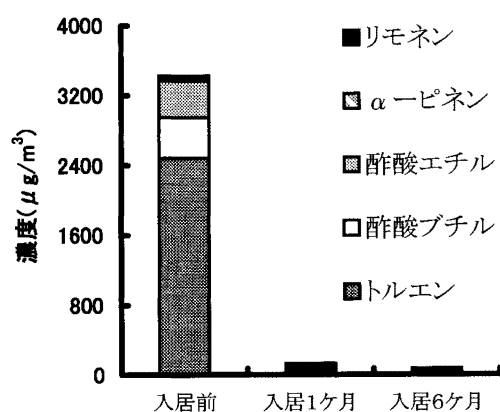
単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

図2 新築家屋CのVOC濃度推移

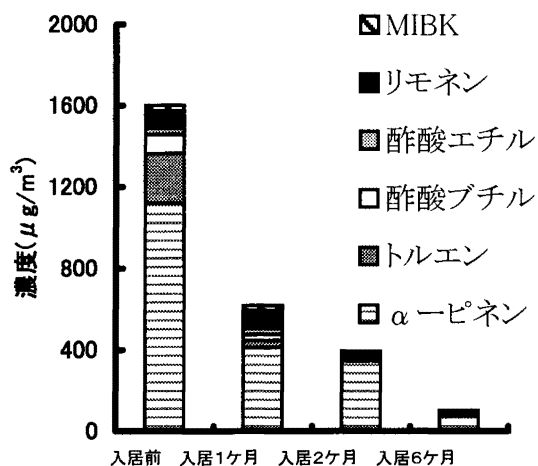


図3 新築家屋DのVOC濃度推移

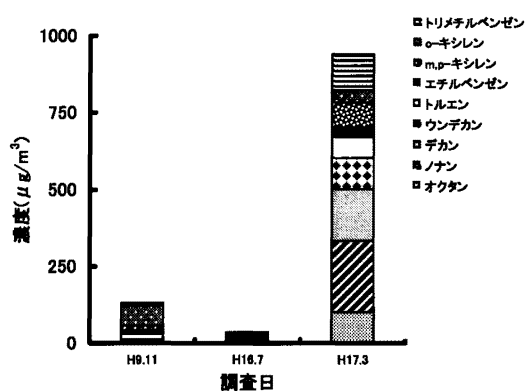


図4 築7年(家屋G)のVOC濃度推移

表7 季節による測定化学物質分類別比較

季節 化学物質分類名	夏 期 (n=17)		春 期 (n=21)		マンホイットニー のU検定
	Min.～Max.	Med.	Min.～Max.	Med.	
脂肪族炭化水素類	0.9 ～ 154	33.4	2.8 ～ 775	60.1	p < 0.05
芳香族炭化水素類	1.5 ～ 374	39.6	1.4 ～ 347	36.7	ns.
テルペン類	0.8 ～ 502	46.8	0.3 ～ 158	19.9	ns.
脂肪族有機ハロゲン化合物	0.5 ～ 75.1	6.7	0.3 ～ 30.3	1.7	ns.
エステル類	ND ～ 37.2	6.6	0.1 ～ 24.8	4.9	ns.
アルデヒド・ケトン類	ND ～ 16.2	3.5	0.2 ～ 5.8	1.1	ns.
アルコール類	ND ～ 36.1	9.8	ND ～ 74.4	8.7	ns.
総揮発性有機化合物	16.1 ～ 676	243	5.4 ～ 1144	161	ns.

単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

表8 指針値設定前後の新築家屋における化学物質分類別の比較

新築家屋 化学物質分類名	設定前 (n=4)		設定後 (n=12)		マンホイットニー のU検定
	Min.～Max.	Med.	Min.～Max.	Med.	
脂肪族炭化水素類	11.1～156	89.8	3.3～141	43.7	p < 0.05
芳香族炭化水素類	21.1～877	202	13.0～76.0	43.8	ns.
テルペン類	1.8～15.0	3.4	19.9～502	63.7	p < 0.05
脂肪族有機ハロゲン化合物	14.7～199	94.9	0.5～32.6	3.4	ns.
エステル類	1.0～14.3	7.3	2.0～27.0	6.1	ns.
アルデヒド・ケトン類	2.8～36.1	10.6	0.4～13.9	2.9	ns.
アルコール類	ND～33.9	6.2	ND～36.1	9.3	ns.
総揮発性有機化合物	54.3～1200	481	81.0～676	255	ns.

単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$