

新潟県の住宅における室内化学物質汚染に関する調査研究

F 9 9 G 5 6 5 J 渡辺 澄
 指導教官 赤林 伸一 助教授

1 研究目的

近年、住宅の省エネルギー化や快適性の観点から、住宅の高気密・高断熱化が進んでいる。また、新築住宅を中心に、床材や壁紙、塗料などの新しい建築材料の使用も増加している。これに伴い、新材材や燃焼器具等から発生するホルムアルデヒド(HCHO)や揮発性有機化合物(VOC's)などに代表される化学物質による室内空気汚染が、シックハウス症候群やアレルギー等の原因になっており社会的問題になっている。

本研究では、新潟県内の一戸建て住宅を対象として、室内空気質に関するアンケート調査及び室内における化学物質濃度の実態調査を行い、住まい方やシェルター性能と室内空気質(HCHO 濃度と VOC's 濃度)の関係を明らかにする。また、新築住宅を対象として、室内における化学物質の発生量を定量的に測定し、発生量の時間変化を明らかにする。更に、使用している建材の種類と化学物質の発生量との関係を検討し、住宅設計や換気計画を行う上での基礎資料を蓄積することを目的とする。

2 新築住宅の室内における化学汚染物質発生量に関する実測調査

2.1 調査対象

全対象住宅の概要を表 1 に示す。新潟県内の集合住宅を含む 5 棟の新築住宅を対象とする。一戸建て新築住宅は、全て木造 2 階建ての建物である。また、住宅 D-1 は濃度低減工法施工前、住宅 D-2 は濃度低減工法施工後である。

2.2 測定方法

測定システムを図 1 に示す。VOC's の住宅全体の発生量を明らかにするため、排気ファンにより常時一ヶ所から強制排気し、排気空気中の VOC's の濃度を測定する。排気空気中の VOC's 濃度と排気風量から、住宅全体の VOC's の発生量を算出する。室温の測定には、小型のメモリー付き温湿度計を用い、10 分間隔で記録する。住宅 A での温湿度測定位置は、2 階の洋室と 1 階のリビングの床上 110cm である。排気ファンを運転開始し 8 時間後に測定を開始する。測定中は、窓やドアを閉鎖し室内の間仕切りは全て開放する。排気量は、350m³/h(換気回数 1.55 回/h)であり、この時の室内外圧力差は約 1 mmAq である。TenaxTA を吸着剤として充填し

た捕集管に、サンプリングポンプを用い、100ml/min で 1 時間、合計 6 リットルの排気空気を吸引捕集する。サンプリングは 4 時間毎に行う。調査期間は 1999 年 12 月 21 日からの 7 日間である。

分析は、TenaxTA に吸着した VOC's を加熱脱着装置によって脱着し、ガスクロマトグラフ質量分析器で分離定量を行う。表 2 に、分析対象物質 29 成分を示す。

また、VOC's の放散速度は、(1) 式によって算出する。

$$M = C \times Q \dots (1)$$

M: 放散速度(μg/h)

C: VOC 室内濃度(μg/m³)

Q: 換気量(m³/h)

2.3 住宅 A の測定結果

(1) VOC's 濃度の時間変化

対象住宅 A で測定した化学物質の濃度と室内温度の時間変化を図 2 に示す。また、住宅 A で測定された 29 成分の VOC's の種類別濃度を図 3 に示す。この住宅で最も濃度が高い物質は、-ピネンであり、その濃度は 40 μg/m³ である。-ピネンの濃度は 12 μg/m³、ベンゼンは 1.4 μg/m³、トルエンは 23 μg/m³、スチレン 16 μg/m³、m,p-キシレンは 12 μg/m³

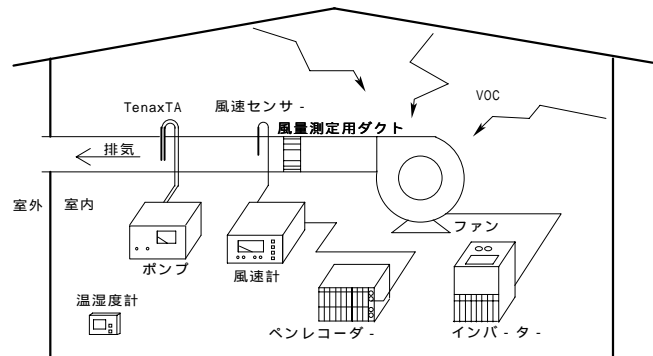


図 1 室内空気質の測定システム

表 1 対象住宅の概要

対象住宅	住宅 A	住宅 B	住宅 C	住宅 D-1 濃度低減工法施工前	住宅 D-2 濃度低減工法施工後
所在地	新潟県新潟市	新潟県新潟市	新潟県新潟市	新潟県新潟市	新潟県新潟市
構造	木造 2 階建	木造 2 階建	木造 2 階建	木造 2 階建	木造 2 階建
延べ床面積 (m ²)	92	134	230	172	172
表面積 (m ²)	255	521	493	704	704
容積 (m ³)	225	400	620	464	464
気密性能(A') (cm ² /m ²)	2.6	6.2	2.5	1.9	1.9
調査期間	1999.12.21 ~ 12.27	2000.3.23 ~ 3.29	2000.4.3 ~ 4.12	2000.10.2 ~ 10.5	2000.10.10 ~ 10.14

g/m³である。化学物質の濃度が、経過時間に伴い低下する傾向が見られる。トルエン、 α -ピネン、 β -ピネンの濃度が相対的に高い。室内温度の上昇に伴い、トルエン、 α -ピネン、 β -ピネンの濃度が増加する。種類毎の濃度では、芳香族炭化水素類の濃度が最も高い。

(2) 化学物質と建材の関係

表3に対象住宅Aの建材の仕様を示す。住宅Aは化学物質について細かく配慮された住宅ではなく、フローリングにF1*相当の床材を用い、ワックスを塗布している。ビニルクロスは塩化ビニル製で、更にビニル樹脂用接着剤を使用しており、天井の小巾板は無塗装の無垢材を使用している。また、室内に家具が設置されており、家具からも化学物質が発生していると考えられる。

[* F1：日本農林規格(JAS)による合板で、ホルムアルデヒドの水中放散量が平均値0.5mg/l以下、最大値0.7mg/l以下の合板やフローリングのこと。]

(3) TVOC濃度の時間変化

今回測定した29種類のVOCの時間変化から減衰曲線 $y=Ae^{-kx}$ を導き出し、TVOCの濃度がWHOのガイドライン値(300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を下回るまでの時間を算出する。なお、TVOCの濃度は、29成分のVOCの室内濃度を単純合計して求める。対象住宅Aの近似式によるTVOCの濃度と時間との関係を図4に示す。TVOCの濃度と時間の関係から、近似式 $y=313\exp(-$

$3.6 \times 10^{-3} \times x)$ が得られ、TVOC濃度の時間による減衰の傾向が見られる。また、この近似式より、TVOCの濃度がWHOのガイドライン値(300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を下回るのは、換気回数1.55回/hを保つとき、測定開始時から約12時間後である。

2.4 対象住宅のTVOC濃度の比較

(1) TVOC平均濃度の測定値と換気回数0.5回/hに換算したときのTVOC平均濃度の比較

図5に対象住宅のTVOC平均濃度の測定値と換気回数0.5回/hに換算したときのTVOC平均濃度を示す。測定時での換気回数には、ばらつきがあり、対象住宅のTVOC濃度を比較できないため、換気回数を住宅で一般に行われている換気回数(0.5回/h)に換算し、対象住宅のTVOC濃度の比較を行う。住宅Aは、換気回数0.5回/hに換算時のTVOC濃度が803 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、住宅Bは1299 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、住宅Cは271 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、住宅D-1は1648 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、住宅D-2は1334 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。住宅Cは、室内空気質に配慮して建てられた住宅であり、他の住宅と比較すると相対的に濃度が低く、ガイドライン値を下回っている。住宅Dでは、TVOC濃度が施工前では

表2 対象とするVOCの種類

種類名	物質名	種類名	物質名
アルカン類	ヘキサン	芳香族炭化水素類	ベンゼン
	2,4-ジメチルペンタン		トルエン
	ヘプタン		エチルベンゼン
	オクタン		m,p-キシレン
	ノナン		スチレン
	ウンデカン		o-キシレン
ハロカーボン類	クロロホルム		1,3,5-トリメチルベンゼン
	1,1,1-トリクロロエタン		2-エチルトルエン
	テトラクロロメタン		1,2,4-トリメチルベンゼン
	トリクロロエチレン		1,2,4,5-テトラメチルベンゼン
	1,2-ジクロロプロパン		
	プロモジクロロメタン	テルペン類	-ピネン
	ジブロモクロロメタン	アルデヒド類	ノナナル
	テトラクロロエチレン	ケトン類	4-メチル-2-ペンタノン
	p-ジクロロベンゼン		

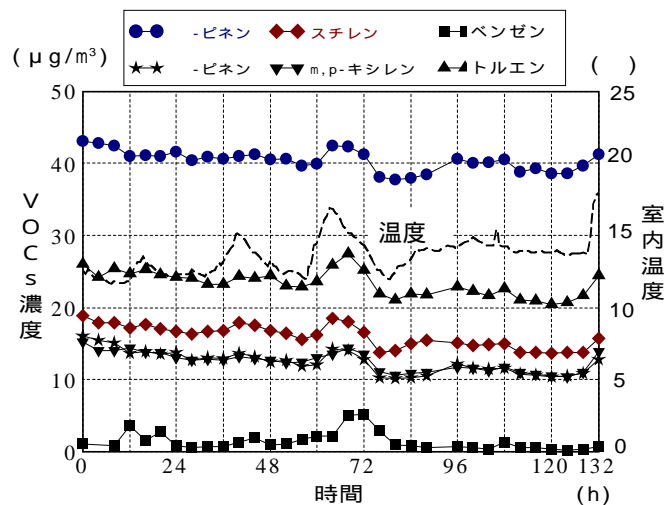


図2 住宅Aの α -ピネン、 β -ピネン、スチレン、m,p-キシレン、ベンゼン、トルエンの濃度と温度変化

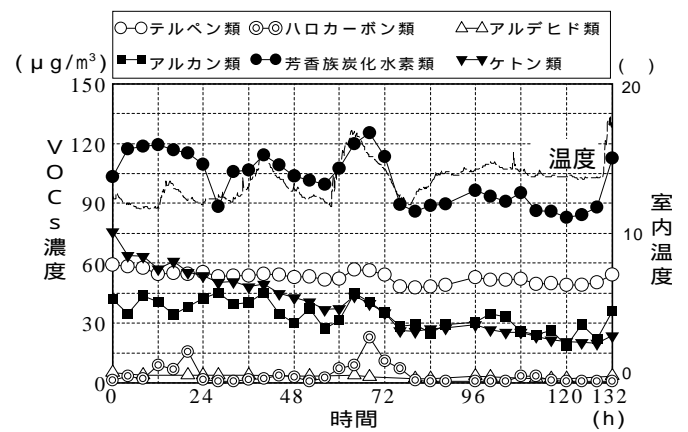


図3 住宅Aのテルペン類、アルカン類、ハロカーボン類、芳香族炭化水素類、アルデヒド類、ケトン類の濃度

表3 対象住宅Aの建材の仕様

建材	床	F1相当の合板 (樹脂性ワックス)
	壁	ビニルクロス プasterボード下地
	天井	小巾板(塗装無) プasterボード下地

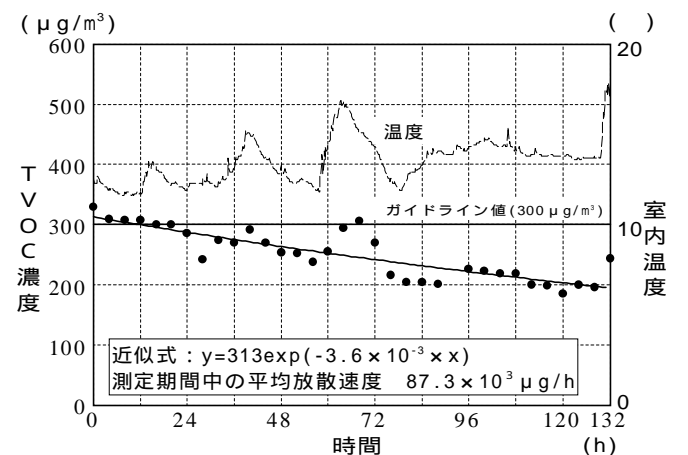


図4 住宅AのTVOC濃度

1648 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、施工後は1334 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、低下しているものの、他の住宅と比較して相対的に濃度が高い。

(2) 対象住宅内表面積当たりのTVOCの放散速度の比較

図6に対象住宅内表面積当たりのTVOCの放散速度を示す。住宅Cは室内空気質に配慮して建てられた住宅であるため、他の住宅と比較して放散速度が小さい。住宅A、B及び住宅Dの放散速度は同程度で、0.4 $\text{mg}/\text{h}\cdot\text{m}^2$ ~ 0.5 $\text{mg}/\text{h}\cdot\text{m}^2$ である。また、WHOのガイドライン値(300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を下回るまでに必要な必要換気量は、住宅Aでは換気回数1.3回/h(300 m^3/h)、住宅Bでは2.2回/h(867 m^3/h)、住宅Cは0.5回/h(280 m^3/h)、住宅D-1は2.7回/h(1240 m^3/h)、住宅D-2は2.2回/h(1000 m^3/h)である。

2.5 集合住宅14室を対象とした化学物質濃度の測定結果

(1) 対象集合住宅の概要
対象とする集合住宅の概要を表4に示す。新潟市内の鉄筋コンクリート造12階建ての集合住宅内14室を対象とする。フローリングにはF1相当の床材を用いており、床の塩化ビニルシートの接着剤には、エポキシ樹脂系2液形接着剤を使用している。また、壁と天井板は、プラスターボード下地にビニールクロスを使用している。

(2) 平均温度とホルムアルデヒド濃度の関係
各室の平均室温とホルムアルデヒド濃度の関係を図7に示す。室温が上昇すると、ホルムアルデヒド濃度も高くなる傾向が見られ、室温が1上がると、ホルムアルデヒド濃度は約0.03ppm高くなる。

(3) 平均温度とTVOC濃度の関係

各室の平均室温とTVOC濃度の関係を図8に示す。ホルムアルデヒドと同様に、室温が上昇するとTVOC濃度も高くなる傾向が見られる。また、トルエンとスチレンの濃度が比較的高いため、全ての測定室におけるTVOC濃度はガイドライン値(0.3 mg/m^3)を大きく上回っている。室温が1上がると、TVOC濃度は約14 mg/m^3 高くなる。

表4 対象集合住宅の概要

所在地		新潟県新潟市			
構造		鉄筋コンクリート造12階建て			
測定した階		1・6・7・8・12Fの各2室	3F	4Fの2室	10F
延べ床面積(m^2)		56, 65	42	42, 46	56
室容積(m^3)		151, 176	113	113, 124	151
測定期間		2000.9.25 ~ 9.29			
建材	床	合板フロア(エポキシ樹脂系二液形接着剤)			
	壁	プラスターボード下地、ビニールクロス張り			
	天井	プラスターボード下地、ビニールクロス張り			

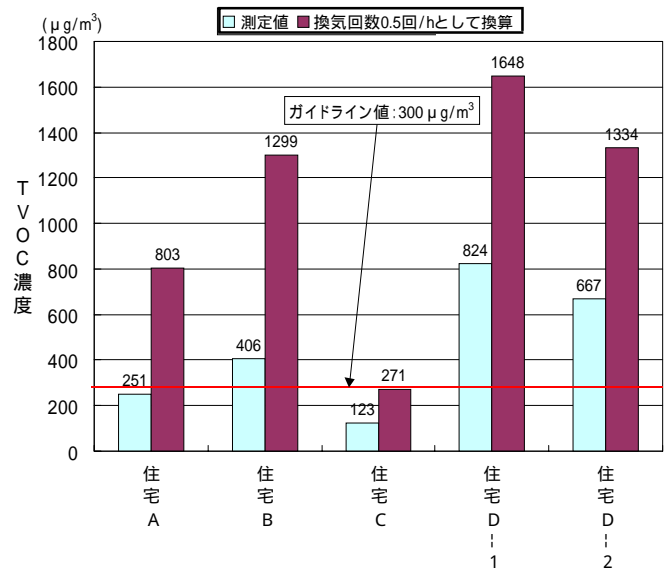


図5 対象住宅のTVOC平均濃度

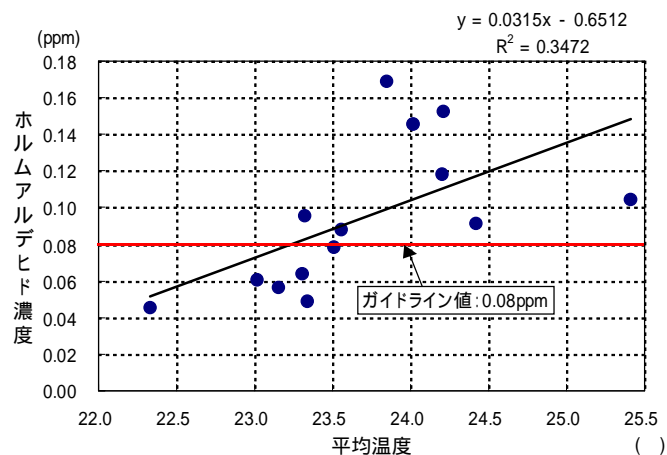


図7 平均温度とホルムアルデヒド濃度の関係

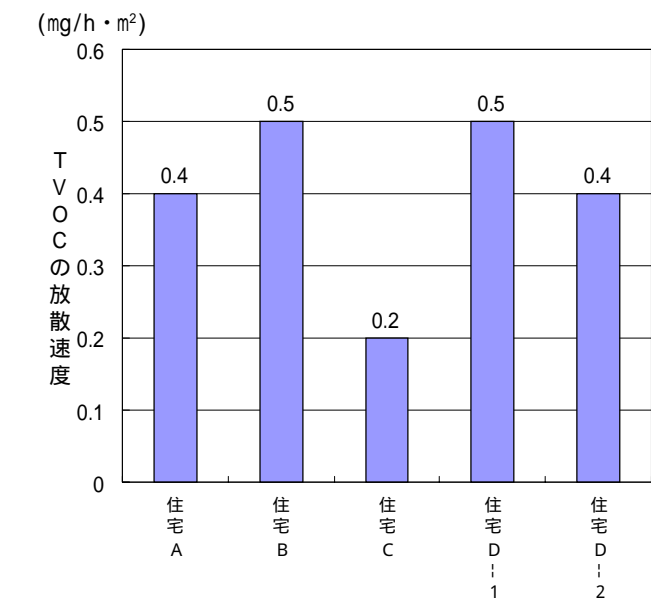


図6 対象住宅内表面積当たりのTVOCの放散速度

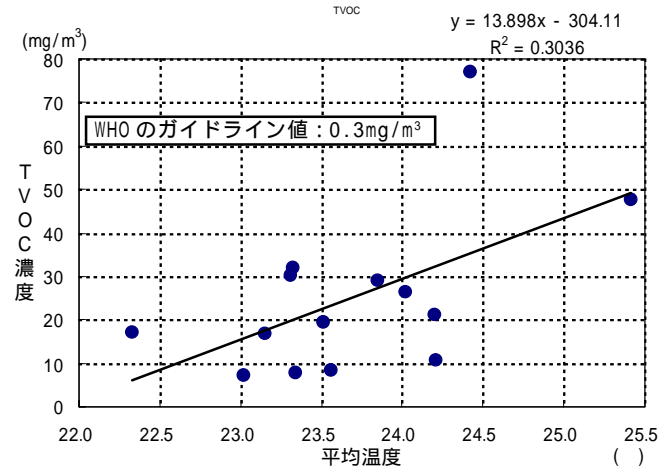


図8 平均温度とTVOC濃度の関係

3 居住時の室内化学物質濃度に関する実態調査

3.1 調査対象住宅

新潟県各地域の一戸建て木造独立住宅 104 戸を対象とする。

3.2 測定概要

対象住宅の居間の床上高さ 1.1m のホルムアルデヒド濃度及び VOC 's 濃度を測定する。測定概要を表 5 に示す。サンプリングは、ホルムアルデヒドでは DNPH シリカカートリッジ(Waters Sep-Pak XPosure Aldehyde Sampler)を使用し、VOC 's では有機ガスモニター(3M 3500 Organic Vapor Monitor)を使用し、各々約 1 週間室内で暴露する。ホルムアルデヒド濃度の分析は、DNPH シリカカートリッジをアセトニトリル(5ml)で抽出し、高速液体クロマトグラフで分析する。また、有機ガスモニターは二硫化炭素で溶媒抽出(1.5ml)し、ガスクロマトグラフ質量分析器で高感度分析(SIM 分析)し、VOC12 成分の室内濃度を算出する。ホルムアルデヒド濃度及び VOC 's 濃度の測定は 1999 年 1 月～ 4 月及び 7 月～ 8 月、2000 年 1 月～ 4 月に行った。

なお、居住者が普段暴露されている室内における化学物質濃度を測定するため、窓の開閉や暖房の運転状況は特に定めず、居住者の方に普段通りの生活をするようお願いした。

3.3 アンケート調査

住まい方と室内化学物質濃度の関係を明らかにするため、アンケート調査票を各住戸に配布、回収する。アンケート調査票の質問内容を表 6 に示す。内容は、室内空気環境に対する意識、室内のほこりの有無、掃除

表 5 化学物質の測定概要

対象物質	ホルムアルデヒド	VOC
パッシブサンプラー	Waters製Sep-pak Xposure Aldehyde Sampler	3M 有機ガスモニター No.3500
位置	対象住宅の居間床上1.1m	
暴露時間	約24時間及び約1週間	約1週間
調査戸数	88	54
測定方法	パッシブサンプラーに含まれる化学物質をアセトニトリルにより溶媒抽出し高速液体クロマトグラフにより分析する。	パッシブサンプラーに含まれる化学物質を二硫化炭素により溶媒抽出しガスクロマトグラフ質量分析計により分析する。

表 6 アンケートの質問内容

空気環境に対する意識	
・室内空気汚染の意識	・室内のほこりの量
生活環境について	
・掃除の頻度	・掃除用具の種類
・タバコの喫煙状況	・香水の使用状況
・整髪料の使用状況	・化粧品の使用状況
・ワックスの使用状況	・殺虫剤の使用状況
・殺虫剤の種類	・農薬の保有の有無
・芳香剤の使用状況	・ペットの有無
・室内観葉植物の有無	・家電製品の有無
健康状態について	
・現在の健康状態	・健康状態の変化
・アレルギーの有無	・アトピーの有無
シックハウスについて	
・シックハウス等に関する知識	・室内空気に対する配慮

の頻度、タバコの喫煙状況、殺虫剤の使用状況、シックハウス等に関する知識、室内空気汚染に対する配慮などである。

3.4 アンケート調査による居住者意識の実態

(1) 室内空気質の良否

図 9 に室内空気質の良否を示す。「家の中にいて、空気が悪いと感じる場合がありますか」という設問に対して、「空気が悪いと感じる時がある」と答えた住宅は全体の 36.9% である。空気質が悪いと感じる要因を図 10 に示す。「感じたことがある」と答えた住宅で悪いと感じる原因は、タバコの臭いが最も多く、次に調理の臭い、ストーブの臭い、ペットの臭いなどである。

(2) 室内のほこりの有無

図 11 に室内のほこりの有無を示す。「かなりほこりがある」と答えた住宅は全体の 3.8%、「ややほこりがある」が 26.0%、「普通である」が 48.1% であり、約 3 割の住宅が室内にほこりがあると意識している。

(3) 掃除の頻度と使用する洗剤の種類

掃除の頻度を図 12 に示す。「毎日掃除をする」と答えた住宅が全体の

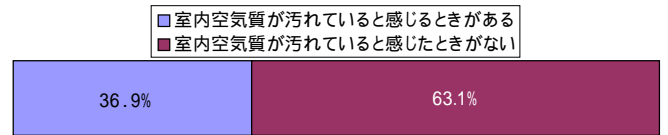


図 9 室内空気質の良否

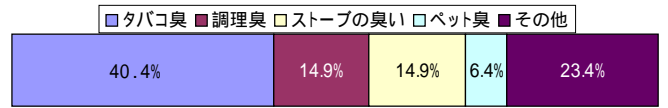


図 10 空気質が悪いと感じる要因

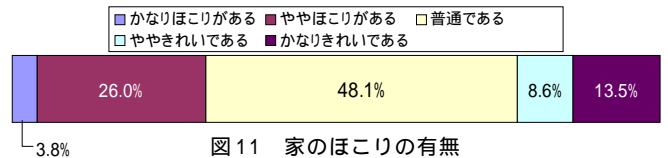


図 11 家のほこりの有無

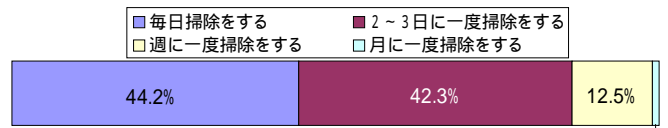


図 12 掃除の頻度

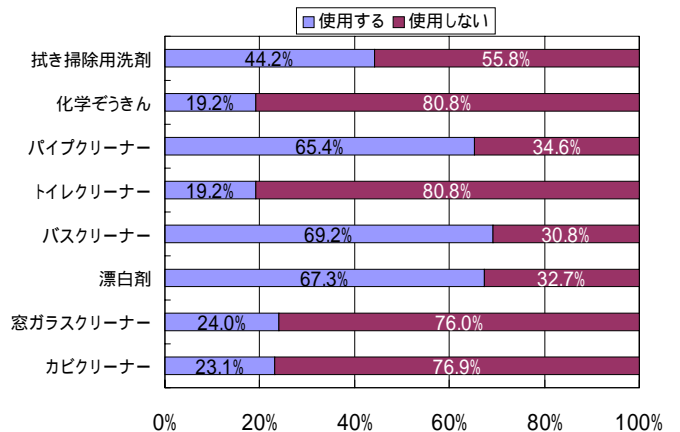


図 13 掃除で使用する洗剤の種類

44.2%、「2～3日に一度掃除をする」が42.3%、「週に一度掃除をする」が12.5%である。図13に使用する掃除用洗剤の種類を示す。パスクリーナ、漂白剤、パイプクリーナは約7割の住宅で使用されている。一方、化学ぞうきんやトイレクリーナ、カビクリーナ、窓ガラスクリーナは約2割と使用される頻度が比較的低い。

(4) 殺虫剤の使用頻度

図14に殺虫剤の使用頻度を示す。「頻繁に使用する」と答えた住宅は全体の1.9%、「たまに使用する」と答えた住宅は12.5%、「普通」が14.5%、「まれに使用する」が12.5%、「ほとんど使わない」が47.1%であり、6割近くの住宅が殺虫剤をまれにしか使用していないことが分かる。使用している殺虫剤の種類を図15に示す。スプレー式殺虫剤は全体の

48.9%、衣類用防虫剤は47.8%の住宅で使用されており、約半数の住宅で使用されていることが分かる。一方、エサ式ゴキブリ駆除や吊し型殺虫剤、粘着式ゴキブリ駆除は殆どの住宅で使用されていない。

(5) 夏季における窓の開閉状況

図16に夏季における窓の開閉状況を示す。「常に開いている」が19.0%、「ほとんど開いている」が32.8%、「やや開いている」が15.5%、「普通」が17.2%となっており、約8割の住宅で、窓を開ける習慣があると言える。

3.5 居住時の室内化学物質濃度の実態調査

(1) ホルムアルデヒド濃度の累積頻度

居間で約1週間暴露したDNPHシリカカートリッジから求めた全住戸のホルムアルデヒド濃度の累積頻度を図17に示す。厚生省のホルムアルデヒド濃度のガイドライン値(0.08ppm)を超える濃度が、全体の約3割の住宅で測定されている。

(2) ホルムアルデヒド濃度と隙間の相当開口面積の関係

ホルムアルデヒド濃度と対象住宅の隙間の相当開口面積(A')の関

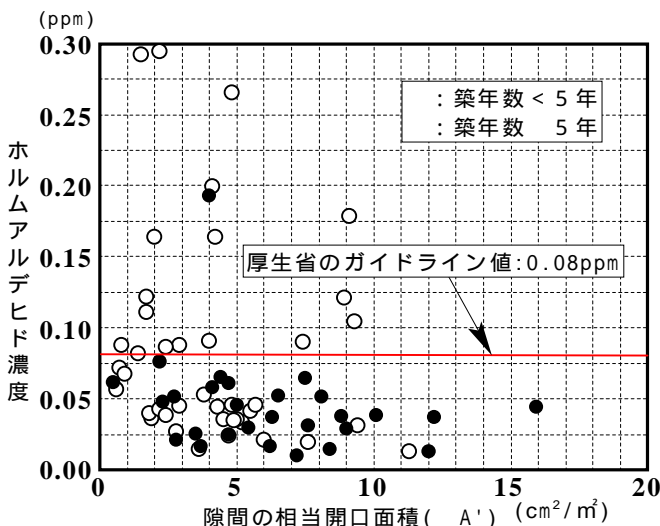


図18 築年数、相当開口面積とホルムアルデヒド濃度の関係

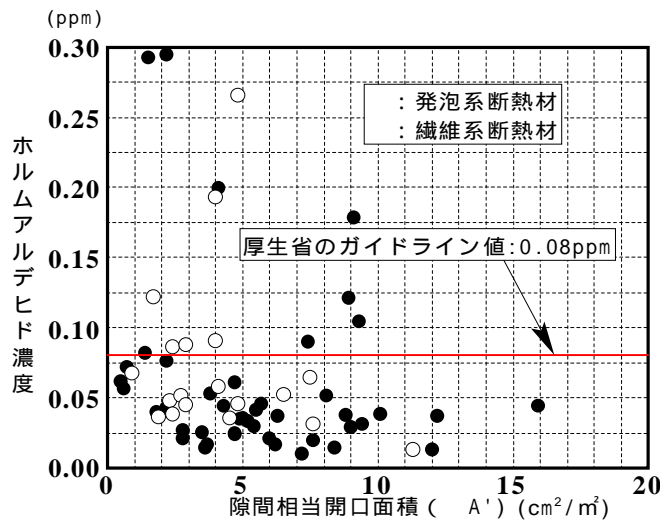


図19 断熱材の種類、相当開口面積とホルムアルデヒド濃度の関係

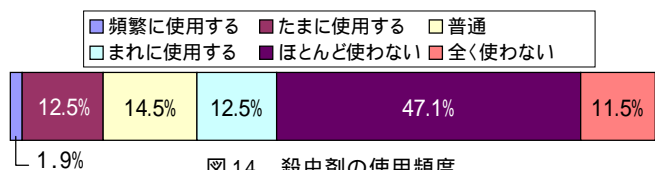


図14 殺虫剤の使用頻度

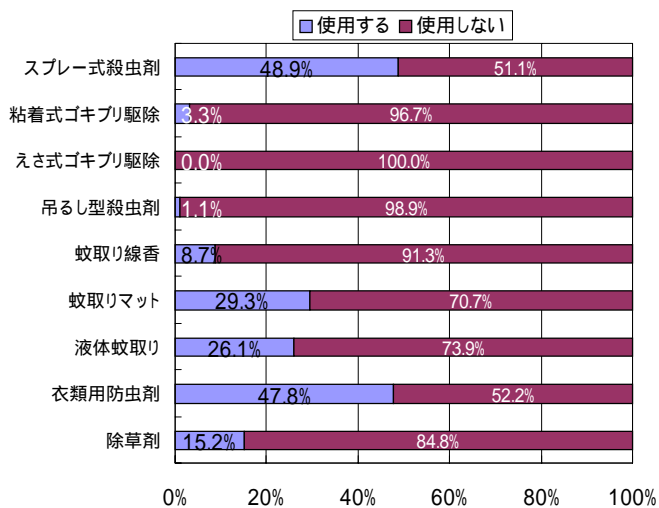


図15 殺虫剤の種類

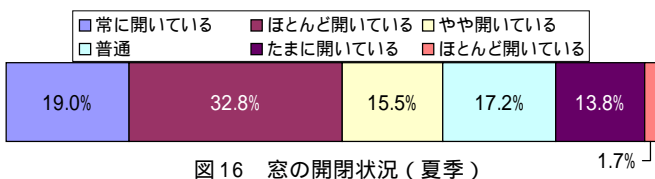


図16 窓の開閉状況(夏季)

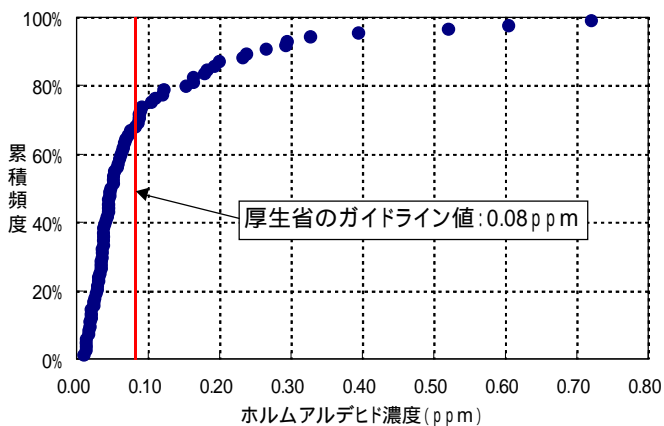


図17 ホルムアルデヒド濃度の累積頻度

係を図 18 に示す。築年数 5 年以上の住宅及び隙間の相当開口面積(A) が大きい住宅では、相対的にホルムアルデヒド濃度が低い傾向がある。

(3) 断熱材の種類、隙間の相当開口面積と

ホルムアルデヒド濃度の関係

図 19 に断熱材の種類、隙間の相当開口面積とホルムアルデヒド濃度の関係を示す。発泡系断熱材を使用している住宅の方が隙間の相当開口面積が小さい傾向がある。断熱材の種類とホルムアルデヒド濃度には明確な相関はみられない。

(4) ワックスの使用の有無とトルエン濃度の関係

居間で約 1 週間暴露した有機ガスモニタによって測定した室内空気、トルエン濃度とワックスの使用の有無の関係を図 20 に示す。WHO のガイドライン値(6.64ppb)を超えている住宅は全体の約 6 割である。最近ワックスを使用した住宅の方が、使用していない住宅よりも同じ累積頻度の時のトルエン濃度が高い。最近ワックスを使用していない住宅では約 6 割の住宅がガイドライン値を上回っているのに対して、最近ワックスを使用した住宅の約 7 割がガイドライン値を上回っている。また、厚生省のトルエンのガイドライン値(70ppb)を超えている住宅はない。

(5) パラジクロロベンゼン濃度とスプレー式殺虫剤の

使用状況の関係

居間で約 1 週間暴露した有機ガスモニタによって測定した、パラジクロロベンゼンの濃度とスプレー式殺虫剤の使用有無の関係を図 21 に示す。殺虫剤を使用している住宅の方が、使用していない住宅よりも同じ

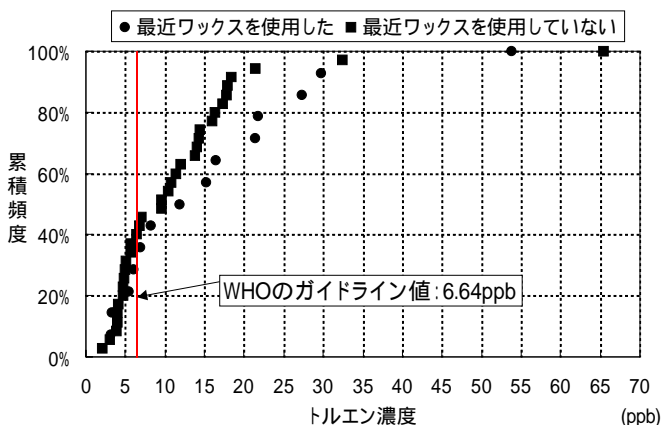


図 20 ワックスの使用の有無とトルエン濃度との関係

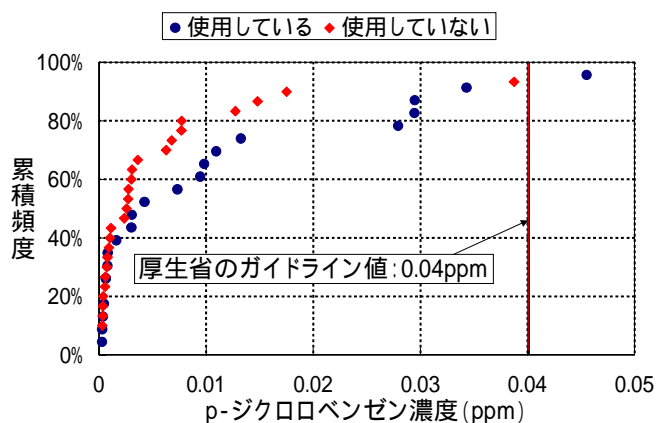


図 21 スプレー式殺虫剤の使用の有無とパラジクロロベンゼン濃度の関係

累積頻度の時に高い。累積頻度 60% の場合には、使用していない場合は約 3ppb、使用している場合は約 10ppb と使用している住宅の濃度が高い傾向がある。最近のスプレー式殺虫剤にはパラジクロロベンゼンの含有量は低いと言われているが、殺虫剤を使用していない住宅は、ほとんど殺虫剤を使用しないが、殺虫剤を使用する住宅は様々な殺虫剤を使用することが多いと考えられ、このことが影響していると推察される。

(6) 窓の開閉状況と TVOC 濃度の関係

居間で約 1 週間暴露した有機ガスモニタによって測定した室内空気の TVOC 濃度と窓の開閉状況の関係を図 22 に示す。WHO のガイドライン値(0.3mg/m³)を超えている住宅は全体の約 1 割である。ガイドライン値を上回っている 5 件中 4 件は、比較的窓を閉める傾向の高い住宅である。窓をほとんど閉める住宅の方が、頻繁に開けている住宅よりも同じ累積頻度の時に高い濃度を示す。

4 まとめ

5 棟の新築住宅を比較すると、どの住宅も新築でありながら、建材や工法によって、発生する化学物質の種類や量が異なっている。しかし、5 棟全てに共通して - ビネンが最も大量に検出された。これは、建材として用いられた合板から多く発生しており、全ての住宅で大量に使用されているためであると考えられる。

新築住宅で検出された VOC の濃度を種類別で見ると、全ての住宅において、テルペン類が WHO のガイドライン値(30 μg/m³)を超えている。テルペン類には、- ビネン、- ビネンが属しており、その濃度が比較的高いためであると考えられる。

測定期間中、各新築住宅での TVOC 濃度は減衰の傾向が異なる。新築住宅では、室内温度の上昇に伴い、VOC の濃度も増加し、室内温度と VOC の濃度には相関関係がみられる。

新築住宅でも建材や工法によって放散速度が異なるため、WHO のガイドライン値(300 μg/m³)を下回るまでの必要換気量は住宅によって異なる。

築年数 5 年以下の住宅で隙間相当開口面積が小さい住宅では、ホルムアルデヒド濃度が高くなる傾向がみられる。

トルエン濃度は、ワックスを使用している住宅の方が、使用していない住宅よりも高い傾向を示す。

パラジクロロベンゼンの濃度は、殺虫剤を使用している住宅の方が使用していない住宅よりも、同じ累積頻度の時に高い濃度を示す。

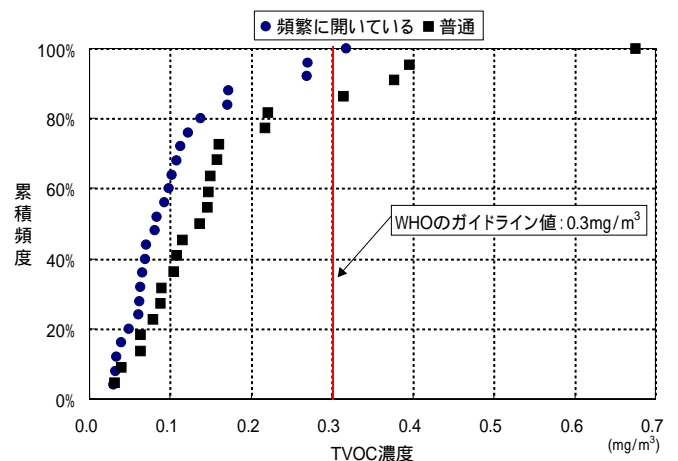


図 22 窓の開閉状況と TVOC 濃度との関係 (夏季)