

B. 研究方法

サンプリング期間と調査したビル

冬季と夏季の 2-エチル-1-ヘキサノール濃度の比較

サンプリングは名古屋市内の総床面積が 3,000 m²を超える 56 のビルの 67 室について 2004 年から 2007 年にかけて夏季（7 月から 9 月）と冬季（1 月から 3 月）に行った。2004～2006 年の期間は 1 つのビルについて 1 室、2007 年には 1 つのビルについて 2 室行った。

図 1 は 67 室の特徴を示したものである。これらの部屋は事務所としての使用が最も多かった。これらのビルの築年数の範囲は 0～33 年であり、平均 7.3 年であった。67 室のうち 39 室は鉄筋コンクリートであった。床構造は OA 機器のケーブルを床下に這わせるいわゆるアクセスフロア構造になっているものが主流であった。床材で多かったのはタイルカーペットであった。すべての部屋には強制換気装置とエアコンが取り付けられ、ほとんど部屋で窓の開閉はできない。夏には 67 室中 57 室で強制換気が作動していた。1 日あたりの換気時間は 1.5～24 時間であり、平均 12.9 時間であった。1 日の平均室内気温は 23.3～33.1℃であり、平均で 27.1℃であった。冬季では 67 室中 58 室で強制換気が作動し、換気時間は 1.0～24 時間、平均 13.0 時間であった。1 日の平均室内気温は 8.9～26.2℃であり、平均で 21.1℃であった。夏季の室内温度は冬季よりも有意に高かった ($p < 0.01$)。

2E1H 濃度の経年変化

2E1H 濃度が比較的高かった 5 つのビルで 2 年以上にわたり、夏季、冬季に室内揮発性有機化合物 (VOC) 濃度を測定した。この調査は 1 つのビルについて 1 室行った。図 2 は 2E1H 濃度の経年推移を測定した 5 室の特徴を示した。これらの部屋はすべて室内を使用しているときには強制換気とエアコンが作動していた。換気の状態は調査期間を通じて変わることはなかった。

揮発性有機化合物

2E1H を含めた 45 物質の濃度を測定した (図 3)。45 物質の濃度の合計を総有機化合物濃度 (TVOC)

とした。濃度測定値が検出限界に満たない場合には TVOC の算出には検出限界値の 2 分の 1 を用いた。標準溶液はスペルコ社の T011/IP-6A Aldehyde/Ketone-DNPH、関東化学の VOC 標準溶液、和光化学の特級 2E1H を使用した。温湿度の測定には T&D 社のデータロガー、TR-72S を用いた。

サンプリング、分析方法

カルボニル化合物 (13 種類)

カルボニル化合物はアルデヒド用拡散サンプラー (DSD-DNPH) を用いた。これは 2,4-ジニトロフェニルヒドラジンを含むシリカゲルを詰めたものである。サンプリングは室内中央の床上 1.5m の高さにサンプラーを 24 時間置いて行った。屋外でのサンプリングは同じビル近くの室外で地面から同じ高さで行った。サンプリングは VOC の発生源となりうる物からは離して行った。カルボニル化合物はアセトニトリルで抽出し、高速液体クロマトグラフ (LC-9A 島津製作所) で測定した。使用カラムは Discovery RP-Amide C16 (Sigma-Aldrich 社) で長さ 25mm、内径 4.6mm である。恒温槽は 40℃に保ち、アセトニトリル/蒸留水混合液 (55:45) を 1.0ml/min の流速で流した。

カルボニル化合物以外の揮発性有機化合物

テフロンチューブにカーボンモレキュラーシープ (200mg) を充填した拡散型サンプラーを用いた。このサンプラーを上記のカルボニル化合物用サンプラーの近くに 24 時間設置した。サンプラー内の吸着剤は 7ml のバイアルに移し、2ml の二硫化炭素を加え、振とうした後 2 時間放置、3000 回転 10 分間の遠心を行い、この上清 1ml に 5 μ l の内部標準物質 (トルエン d8) を加え、ガスクロマトグラフ質量分析計 (5980Series II/5671A, Hewlett Packard) で分析した。カラムはジーエルサイエンス社製 NB-1 (60m \times 0.25mm i. d. 膜厚 1.5 μ m) を使用した。カラムオープンの温度は 45℃を 5 分間維持した後、毎分 10℃で昇音し、300℃を 7 分間保った。最初に 32 の VOC 測定のため、ヘリウムの流量を 0.9ml/min とし選択イオンモードで測定、次に総イオンモードで測定した¹⁸⁾。拡散サンプラーの 2E1H のサンプリングレートは 23.2ml/min であった。

統計解析

検出限界の算出は最小濃度の標準溶液の反応の標準偏差の10倍とした。分析当日にその都度算出し、その日の最大値をその日の検出限界とした。濃度の分布はほぼ対数正規分布であるので平均濃度は幾何平均値を用いた。測定値が検出限界に満たない場合、幾何平均の算出には検出限界値の2分の1を用いた。季節による違い、強制換気の有無による違いなど2群の比較にはスチューデントのtテストを用いた。部屋の特徴に伴う2E1Hの比較、主要なVOC濃度の夏と冬の比は一元配置の分散分析を用いた。2E1H濃度の夏と冬の関連の評価はスピアマンの順位相関係数を用いた。

（倫理面への配慮）

本研究はヒトを対象としたものではなく、倫理面の配慮を必要とする研究に該当しない。

C. 研究結果

夏季と冬季の2E1H濃度

表3は夏季と冬季の2E1H及び45のVOCの検出率と気中濃度の平均値である。45のVOCのうち、8物質は90%の部屋で夏、冬ともに検出された。これらは2E1H、トルエン、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、エチルベンゼン、キシレン、プロピオンアルデヒド、アセトンである。以後これらを主要VOCと呼ぶこととする。2E1Hは夏季にはすべての部屋で、冬季には97%の部屋で検出された。

夏季では2E1Hは最も濃度が大きいVOCであり、これに続くのがホルムアルデヒド、アセトン、トルエン、アセトアルデヒドであった。冬季にはトルエンが最も濃度が高く、アセトンがこれに続いた。2E1Hは3番目に高い濃度であった。濃度は夏季で3.9~3009 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲にあり、平均は55.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、冬季で0.6~412 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、平均は13.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。夏、冬ともに各部屋間の2E1H濃度の違いは他のVOCよりも大きかった。夏季では2E1Hは67室のうち、5室で厚労省室内濃度の指針値の400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えていた。冬季に指針値を超えていたのは1室のみであった。

本調査では夏冬ともに測定したVOCはいずれも指針値を下回っていた。ただし、ホルムアルデヒ

ドは夏季の測定値が67室中1室でのみ、指針値の100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えていた。主要VOCのうち、2E1H、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、プロピオンアルデヒドの濃度は冬季に比べ、夏季が有意に高かった($p<0.01$)。

図4は主要VOCの冬季濃度に対する夏季濃度の比の幾何平均値を示している。最も高かったのは2E1Hで3.8、続いてホルムアルデヒドの2.4であった。一方、他の主要VOC6物質では2.0を超えなかった。対照的に屋外での値が最大であったのはホルムアルデヒドの1.9であった。

図1は57のビルの67室における室内2E1H濃度の夏季と冬季の関連を示している。2E1H濃度を対数変換すると夏季の濃度は冬季の濃度に有意な相関を示した($r=0.66$, $p<0.01$)。対照的にこのような相関関係は他の主要VOCではみられなかった。

気中2E1H濃度と室内要因

表5は気中2E1H濃度と室内要因の関係を示している。2E1H幾何平均濃度は夏季、冬季ともにホールが最も高く、図書館がこれに続いていた。夏季の2E1Hが最も高かったのは事務室で1,011 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、店舗で834 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、教室で141 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ホールで3,006 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。同様に冬季での最大濃度は事務室で153 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、店舗で102 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、教室で168 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、図書館で144 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ホールで412 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

室内2E1H濃度を規定する1つの要因はビルの築年数であった。築5年未満の室内では5年以上のものに比べ、有意に高かった(夏季 $p<0.01$ 、冬季 $p<0.05$)。その他の要因、たとえばビルの構造、床材、床の構造、エアコンのタイプ、強制換気の作動状況などは2E1Hの濃度との関連はみられなかった。

図2は対数変換した室内2E1H濃度と夏季、冬季の一日平均濃度の相関を示している。室内2E1H濃度は室内温度の上昇とともに有意に増加した。

追跡調査による2E1H濃度の経年推移

図3、4は2001年から2008年までの間に行った追跡調査で観察された5室の2E1H濃度の夏季、冬季の変動を示している。夏季におけるA室の

2E1H 濃度の平均値（一日の平均室内気温）は 216 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (28.2°C)、B 室は 1,006 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C 室で 307 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (29.6°C)、D 室で 304 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (26.9°C)、E 室で 2,441 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (27.1°C) だった。すべての室内で夏季の高濃度、冬季に低濃度という明らかな季節変動があった。追跡期間を通じて 2E1H 濃度が減少する傾向は認められなかった。

D. 考察

先行研究との比較

表 6 は先行報告の室内 2E1H 濃度をまとめたものである。数編の報告がみられるが、いずれも季節に関する検討は行われず、測定した室数も少ない。本研究における室内 2E1H 濃度は他の報告よりも高い。唯一の例外は Putus らによるものである。我々はこれまでの報告で季節に伴う変化を考慮してこなかったため、室内 2E1H 濃度をいくらか過小評価したかも知れない。我々は以前、都市部の住宅の室内の塩素系揮発性有機化合物、二酸化窒素、ホルムアルデヒド濃度がスウェーデンにおけるそれらよりも高いことを報告した。これらの結果は我が国における室内 2E1H 濃度は欧米よりも高いことを示している。我々が知る限り、本研究は多数の大規模ビルの室内 2E1H 濃度の季節変動、経年変化を観察した初めての報告である。

夏季、冬季の空气中 2E1H 濃度

夏季と冬季の比較

2E1H は夏季で最も高く、冬季で 3 番目に高い VOC であった。高濃度が検出された 2E1H、ホルムアルデヒド、アセトン、トルエンなどの VOC は我々のこれまでの報告と同様であった。夏季の室内 2E1H 濃度の幾何平均は冬季の濃度よりも有意に高かった。夏季における室内の高気温と 2E1H の高い幾何平均濃度は室内温度が 2E1H 濃度に影響を及ぼしていることを示唆している。Reiser らはサンプル数は少ないものの、室内 2E1H 濃度は夏季には冬季よりも高くなることを示した。これは我々の研究と一致する所見である。各室で夏季と冬季の室内 2E1H 濃度の間に正の有意な ($p < 0.01$) 相関がみられたことは室内に 2E1H の発生源が存在し、その濃度が年間を通じて高いことを示唆している。

室内、室外の 2E1H 濃度の比較

夏季、冬季ともに室内 2E1H 濃度は室外に比べて有意に高かった ($p < 0.01$)。室内、室外 2E1H 濃度の間には相関関係はなかった。2E1H は主に室内の発生源から発散していることを示唆している。また、我々のこれまでの調査結果を支持するものでもある。

調査した各室の 2E1H 濃度の比較

部屋によって 2E1H 濃度は大きく異なっていた。少数の部屋で、日本の室内指針値、TVOC の 400 g/m^3 を超える高濃度の 2E1H を検出した。一方、それらの部屋を有する同じビル、さらに他のビルでは低濃度を検出した。冬季の室内 2E1H 濃度が夏季と有意な相関を示したことは 2E1H の発生源が室内の発生源、とくに床からの放散によっていることを示唆している。

日本では 2E1H は可塑剤、合成潤滑剤、海面活性剤の原料として大量に使用されている。しかし、建材自体に使用されているわけではない。多くの研究では 2E1H はプラスチックの床から発生していると推測している。また、2E1H の放散の原因はビルの床を覆っている塩化ビニル含有建材からのフタル酸エステルの分解であろうとしている。また、床からの放散量の方がはるかに大きいものの、床に使用されている接着剤の 2-エチルヘキシル基を含む化合物の加水分解について言及しているものもある。

空气中 2E1H 濃度と室内要因

室内 2E1H 濃度に影響を及ぼす要因は平均気温、築年数、強制換気である。日平均気温は 2E1H の室内汚染レベルの季節性変化と関連している。この点は現在の仮説、すなわち DEHP のアルカリ加水分解などの化学反応が 2E1H 放散に関わっていることを支持している。

空气中 2E1H 濃度はビルの築年数に有意に関連していることが観察された。我々は以前の報告の中で新築ビルの室内の 2E1H のよる汚染レベルが一般に築年数の経過と共に減少することを報告した。しかし、今回の追跡調査ではこのような現象はみられなかった。コンクリート中の水分含有と加水分解の関連など他の要因についてもさら

に研究を進める必要がある。

本研究では室内 2E1H 濃度は夏季、冬季の濃度と比べると換気状態にほとんど影響を受けていなかった。換気条件はほとんどの部屋で年間を通じて同じだからである。自然換気の役割は極めて小さい。ほとんどのビルでは強制換気システムが用いられ、ほとんどの部屋では窓は閉め切りになっている。機械的強制換気は一時的に室内 2E1H 濃度を下げるのに有効であることがわかっている。

2E1H を産生する細菌、真菌に関する報告が少数ある。Horn らは室内 2E1H 汚染の主要な原因は微生物と可塑剤との相互作用によるとしている。Nalli らは微生物による可塑剤の分解が室内 2E1H 発生の発生源であることを示している。Wälidér らは湿度の高いビルで高濃度の 2E1H が検出されたことを報告している。彼らは 2E1H の増加は湿度上昇に伴う塩化ビニル床材中の DEHP のアルカリ加水分解を示すサインであると指摘している。我々は粉体セメントペースト表面に DEHP を加えた翌日から大量の 2E1H がセメントペーストから放散することを観察している¹⁴⁾。

追跡調査による室内 2E1H 濃度の経年変化

追跡調査による室内 2E1H 濃度がわずかに下降していることは注目すべきである。我々は以前、築数年後に高濃度の 2E1H が観察されたケースを報告した。我々は上記のようにセメントペーストへの DEHP の添加により長期にわたって 2E1H が発生することを観察しているが、これは室内 2E1H が DEHP の分解によるものであることを支持するものである。Salthammer はポリ塩化ビニルに含まれる物質から 2E1H を最初に発生させるのは DEHP であると述べている。水分を有するアルカリ条件で DEHP は加水分解によって 2E1H とフタル酸モノ 2-エチルヘキシルと 0-フタル酸が発生する。以前の研究で報告したように DEHP のアルカリ加水分解は床材の裏面とコンクリート表面との間に生じる。時にコンクリートが床材を敷く際に乾燥が不十分でコンクリート内に極端な高水分と高 pH が残る場合がある。このような状態ではポリ塩化ビニルに含まれる可塑剤が分解して 2E1H を発生させる。DEHP はポリ塩化ビニルの可塑剤として広

く使用されており、ポリ塩化ビニル材料の 40 % を占めることがある。塩化ビニルのフローリングは DEHP が床材にとどまり、コンクリート中の水分と高い pH が保たれた場合には長期にわたり、2E1H が発生すると考えられている。このことは 2E1H の発生は新築ビルだけでなく、古いビルについても問題になり、2E1H の発生が長期間問題になることを示唆している。

今回観察されたように 2E1H 濃度が夏季、冬季ともに築年数の新しいビルで古いビルに比べて有意に高かったことはこのような長期にわたる床材からの 2E1H の発生に関する仮説に疑問を投げかけている。2E1H は建物の完成後に減少はするものの、他の VOC に比べ、減少の速度が遅い可能性がある。本研究では追跡調査をおこなった部屋の数が少ないため、長期的な室内 2E1H 濃度減少傾向の有無をさらに検討することが必要である。

部屋別の 2E1H 濃度には大きなばらつきがみられた。これは 2E1H による汚染には床材のタイプ、水分と高い pH などの組み合わせが必要であることを示している。これらの条件を満たす部屋の数が最近増加している可能性もある。これらの要因と 2E1H 発生の関連にはさらに研究が必要である。

本研究の限界

本研究は 2E1H の季節による変化と経年的な推移を観察したが、結果の解釈にあたり、いくつかの限界が存在する。

本研究の対象となったビルは無作為に選んだわけではなく、調査の範囲は名古屋市に限られているため、我が国におけるビル室内 2E1H 汚染の季節性変化を代表するものではない。さらに室内 2E1H 濃度には大きなばらつきがあるが、一つのビルについて 1~2 室のみ測定している。Eklund らは同一ビル内でも測定する空間によって VOC のレベルが大きく異なることを報告している。したがって我々の調査結果は各ビルにあるすべての部屋の 2E1H による平均的な室内汚染を必ずしも示すものではない。一方で調査対象は健康問題の発生や室内汚染などの情報に基づいて選ばれたものでもない。機械的強制換気は一時的に室内 2E1H 濃度を下げるのに有効であるが、調査した各室の換気装置の作動状況に関する情報は不十分

である。我々は強制換気装置の作動時間は得ているが、測定装置がなく、実際の換気効率は得られなかった。

これらの限界はあるが、我々は 2E1H が規模の大きいビルでの主要な室内汚染物質であり、経年的には緩やかな減少傾向がみられることを明らかにした。また、2E1H の濃度は夏季に明らかに上昇し、冬季には明らかに減少した。

E. 結論

本研究は名古屋市における多数の大規模ビルの室内 2E1H 濃度の季節に伴う変化と経年的な推移に関する新しいデータを示した。2E1H は大規模ビルにおける室内空気中の主要な化合物であった。濃度の幾何平均値は夏季($55.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$)には冬季($13.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$)よりも有意に高く、室内の温度が 2E1H の放散に影響を及ぼしていることが示唆された。室内 2E1H 濃度は夏季に上昇し、冬季に低下したが、経年推移は緩やかな低下傾向を認めたことは注目すべきである。これらの結果は部屋に使用されている床材に含まれる DEHP のアルカリ加水分解に影響を及ぼすいくつかの要因によって 2E1H の放散は季節的な変動を持ちながら継続することを示している。

F. 研究発表

1. 論文発表

Tomoto T, Moriyoshi A, Sakai K, Shibata E, Kamijima M. Identification of the sources of organic compounds that decalcify cement concrete and generate alcohols and ammonia gases. *Building and Environment* 2009;44:2000-2005

Kimata A, Kondo T, Ueyama J, Yamamoto K, Mochizuki A, Asai K, Takagi K, Okamura A, Wang D, Kamijima M, Fukaya Y, Shibata E, Goto M, Saoto I.

Relationship between urinary pesticide metabolites and pest control operation among occupational pesticide sprayers.

J. Occup. Health 2009;51:100-105

Kimata A, Kondo T, Ueyama J, Yamamoto K, Yoshitake J, Takagi K, Suzuki K, Inoue T, Ito Y, Hamajima N, Kamijima M, Gotoh M, Shibata E. Comparison of urinary concentrations of 3-phenoxybenzoic acid among general residents in rural and suburban areas and employees of pest control firms. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 2009;82:1173-1178.

Sakai K, Kamijima M, Shibata E, Ohno H, Nakajima T. Annual transition and seasonal variation of indoor air pollution levels of 2-ethyl-1-hexanol in large-scale buildings in Nagoya, Japan. *J Environ Monit* 2009;11:2068-2076

Ueyama J, Satoh T, Kondo T, Takagi K, Shibata E, Goto M, Kimata A, Saito I, Hasegawa T, Wakusawa S, Kamijima M. beta-Glucuronidase activity is a sensitive biomarker to assess low-level organophosphorus insecticide exposure. *Toxicol Lett.* 2009 Dec 18. (in press)

2. 学会発表

Shibata E, Kubota H, Sakai K, Kamijima M, Hisanaga N. Exposure to asbestos among construction workers after the banning asbestos-containing-materials in Japan. 20th Korea•Japan•China Joint Conference on Occupational Health. 2009.8.27-29 Seoul, Korea

Kamijima M, Sakai K, Shibata E. A trial to mitigate sick building syndrome occurring among school teachers. 20th Korea-Japan-China Joint Conference on Occupational Health. 2009.8.27-29 Seoul, Korea

上島通浩、柴田英治、酒井潔. 職場におけるシックビル症候群の対策効果の検討 平成 21 年度日本産業衛生学会東海地方会学会 2009.11 名古屋

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

柴田英治、久保田均、酒井潔. 石綿製造使用禁止 後の建設作業者の石綿取扱状況 平成 21 年度日 本産業衛生学会東海地方会学会 2009. 11 名古 屋	1. 特許取得 なし 2. 実用新案登録 なし 3. その他 なし
G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）	なし

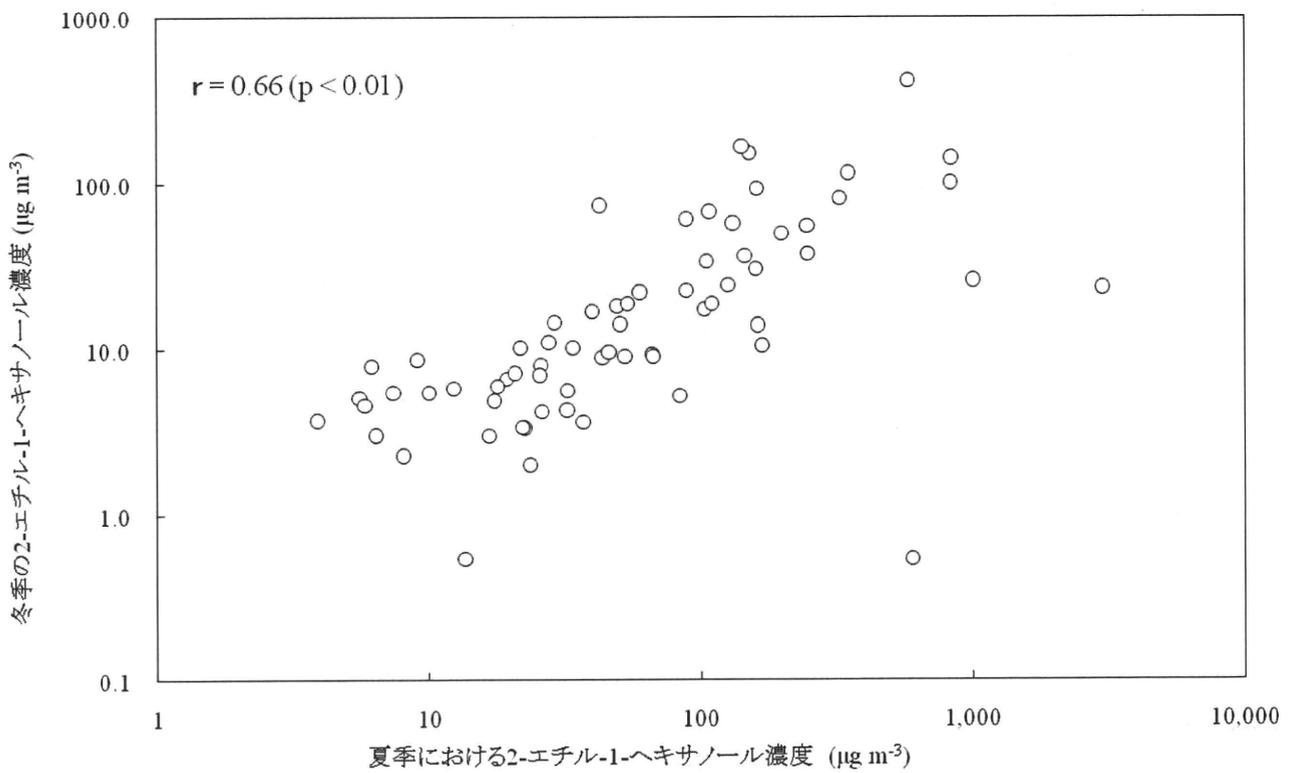


図1 冬季との夏季の室内 2-エチル-1-ヘキサノール濃度の関連

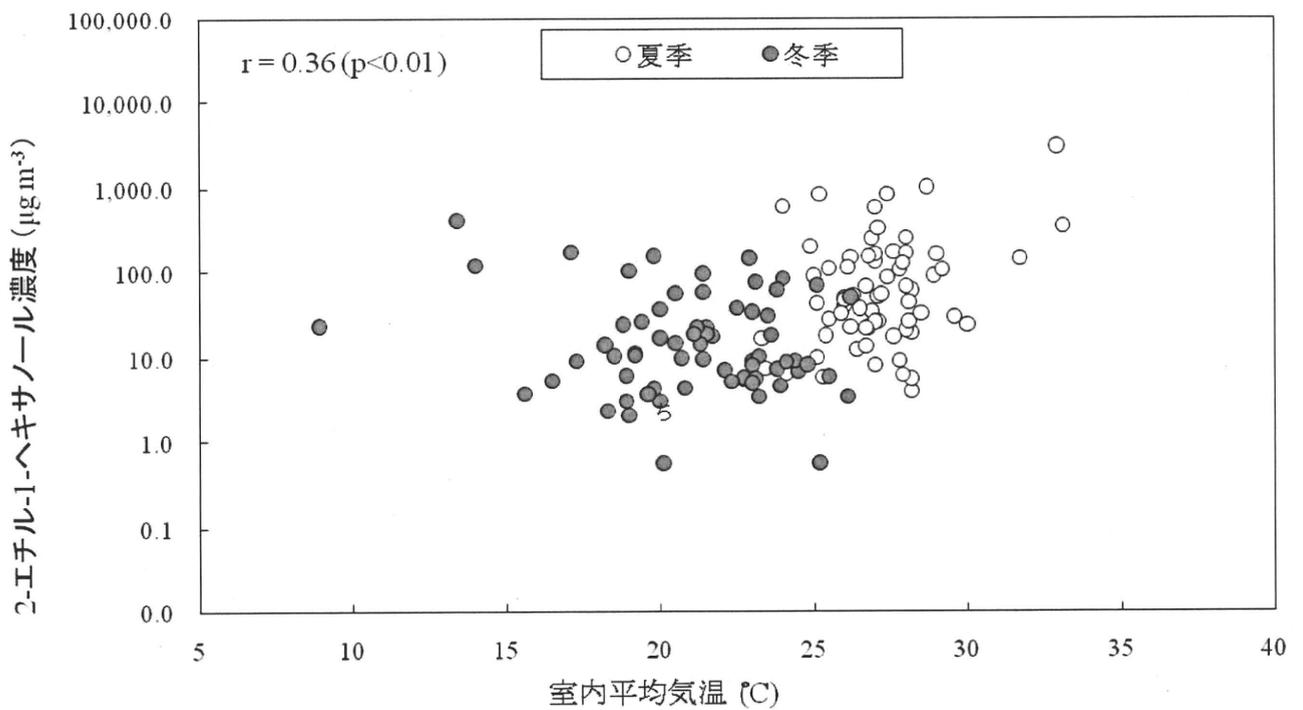


図2 室内平均気温と2-エチル-1-ヘキサノール濃度の関連

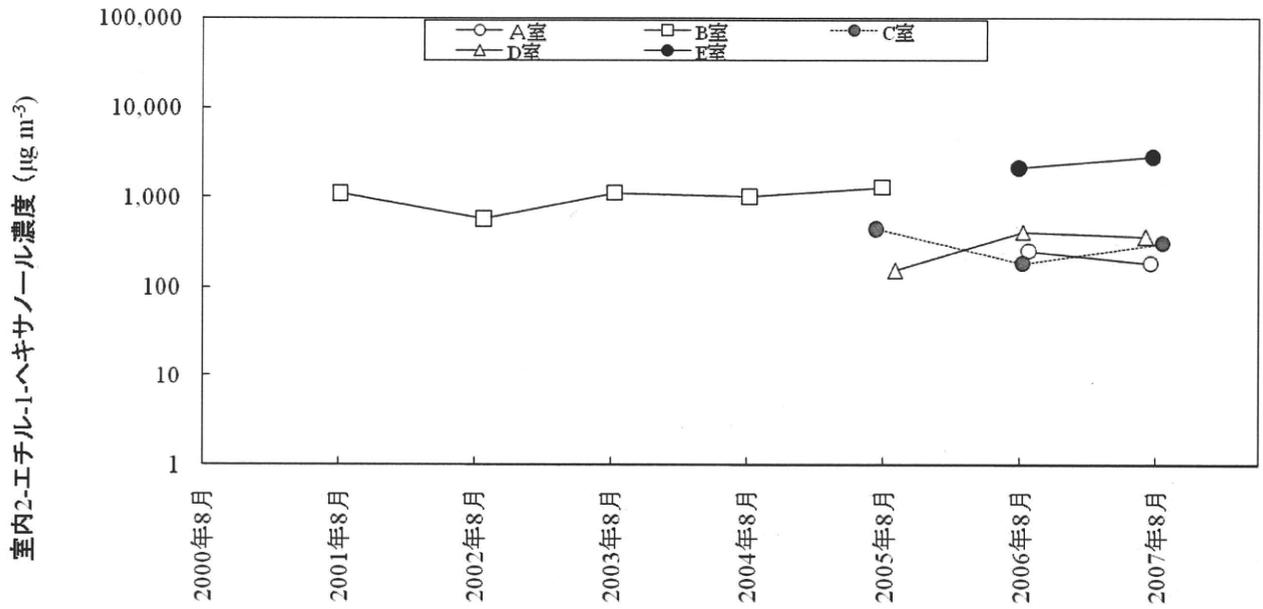


図3 夏季の室内2-エチル-1-ヘキサノールの経年変化

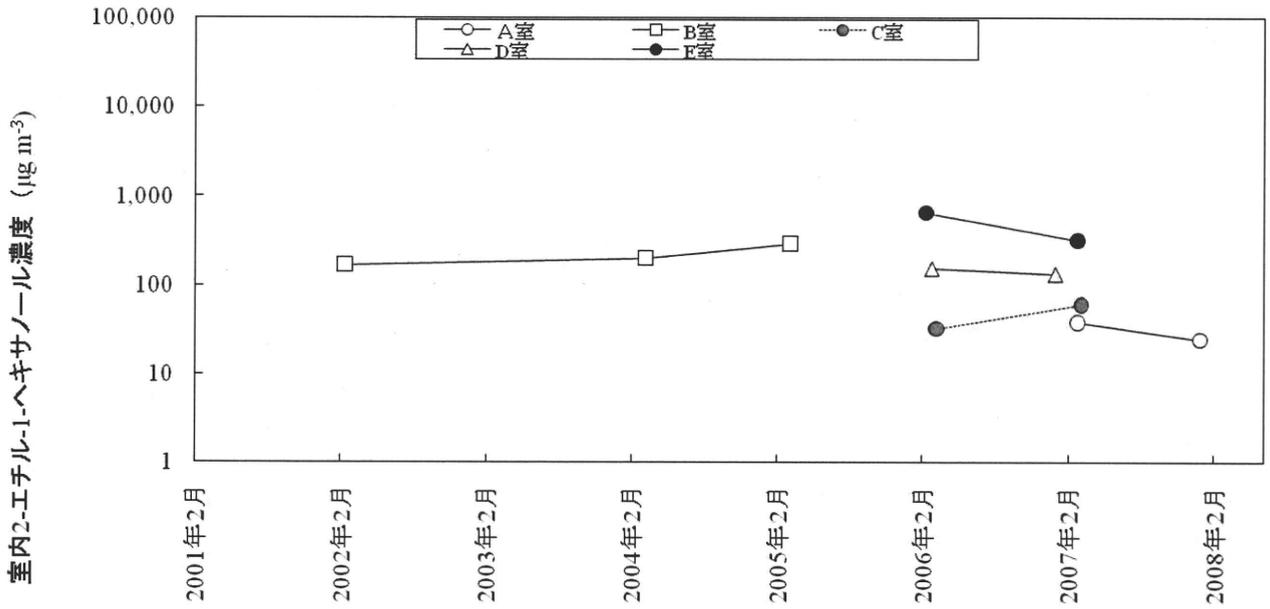


図4 冬季の室内2-エチル-1-ヘキサノールの経年変化

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

表 1 冬季・夏季の室内揮発性有機化合物濃度を測定した 67 室の特徴

要因	内容
用途 ¹⁾	事務室 (53), 店舗 (7), 教室 (3), 図書室 (2), 集会場 (2)
築年数 (年) ²⁾	7.3 ± 8.5
床面積 (m ²) ²⁾	1,451 ± 3,757
ビルの構造 ¹⁾	鉄筋コンクリート造 (39), 鉄骨造 (16), 鉄骨鉄筋コンクリート造
床構造 ¹⁾	二重床 (40), 通常床 (26), コンクリート(フローリングなし) (1)
床の材質 ¹⁾	カーペット (43), ビニル製タイル (17), ビニルシート (6), コンク
換気システム ¹⁾	機械I (67)
空調システム ¹⁾	中央空調 (19), フロア別空調 (13), 部屋別空調 (35)
一日当たりの機械換気時間 (時間)	夏季: 12.9 ± 5.7 (57), 冬季 13.0 ± 5.6 (58)
一日当たりの空調作動時間 (時間)	夏季: 12.0 ± 4.5 (63), 冬季: 12.1 ± 4.7 (62)
平均室内気温 (°C) ¹⁾²⁾	夏季: 27.1 ± 1.8 (67), 冬季: 21.1 ± 3.1 (67)
平均室外気温 (°C) ¹⁾²⁾	夏季: 28.9 ± 3.1 (67), 冬季: 7.9 ± 2.9 (67)

1) ()は室数 2) 算術平均 ± 標準偏差

3) ()内は機械換気、空調が作動していた室数

表 2 揮発性有機化合物濃度の経年変化を観察した ビルとその部屋の属性

建物 (室)	ビル				部屋						
	竣工 年	主要な 用途	総床面積 (m ²)	ビルの構造	用途	床面積 (m ²)	床構造	床の材質	換気 方法 ¹⁾	空調 方式 ¹⁾	調査期間
A	1993	事務所	15,825	鉄筋コンクリート	事務室	793.6	二重床	ビニルタイル	機械	中央	2年(夏2回, 冬2回)
B	1998	学校	7,287	鉄筋コンクリート	教室	16.2	通常	ビニルシート	機械	部屋別	4.5年(夏5回, 冬3回)
C	2004	学校	3,313	鉄筋コンクリート	図書室	182.0	通常	カーペット	機械	部屋別	2.5年(夏3回, 冬2回)
D	2005	学校	23,772	鉄骨鉄筋コンクリート	事務室	172.0	二重床	カーペット	機械	部屋別	2.5年(夏3回, 冬2回)
E	2005	事務所	34,478	鉄筋コンクリート	会議室	79.8	通常	カーペット	機械	部屋別	2年(夏2回, 冬2回)

1) 換気・空調は各部屋使用時に作動

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
 分担研究報告書

表 3 対象となったビルの気中揮発性有機化合物濃度
 (夏季：室内 67 サンプル、屋外 55 サンプル。冬季：室内 67 サンプル、屋外 56 サンプル)

分類	化合物	検出率 (%)				濃度 (μg m ⁻³)				指針値 ²⁾		
		夏季		冬季		夏季		冬季				
		室内	屋外	室内	屋外	室内 ¹⁾	屋外 ¹⁾	室内 ¹⁾	屋外			
飽和炭化水素	ヘキサン	51	33	45	36	2.5 (1.8)	**	1.9 (1.3)	2.6 (2.1)	**	2.0 (1.3)	-
	ヘプタン	39	11	37	16	1.0 (2.2)	**	0.7 (1.6)	1.0 (2.1)	+	0.8 (1.5)	-
	オクタン	27	11	13	0	1.5 (2.4)	+	1.2 (1.5)	1.2 (1.6)	+	1.1 (1.0)	-
	ノナン	45	22	48	36	1.7 (1.8)	**	1.3 (1.3)	1.6 (1.7)	+	1.3 (1.3)	-
	デカン	64	22	57	30	4.6 (2.3)	**	2.4 (1.6)	4.4 (2.3)	**	2.8 (1.8)	-
	ウンデカン	63	18	54	21	5.2 (3.4)	**	1.8 (1.9)	3.3 (2.7)	**	1.7 (1.7)	-
	2,4-ジメチルヘプタン	1	0	1	0	0.9 (1.0)		0.9 (1.0)	0.9 (1.2)		0.9 (1.0)	-
芳香族炭化水素	ベンゼン	81	73	88	80	1.4 (2.7)		1.0 (2.8)	1.7 (2.6)		1.3 (2.8)	-
	トルエン	100	100	100	100	19.2 (2.1)	**	10.4 (1.6)	19.7 (2.0)	**	12.8 (1.8)	260
	エチルベンゼン	100	96	99	88	6.0 (2.0)	**	2.8 (1.7)	5.1 (1.9)	**	3.1 (2.0)	3800
	キシレン	99	91	100	93	9.7 (2.2)	**	4.2 (1.6)	8.3 (1.9)	**	4.9 (1.7)	870
	スチレン	46	4	36	14	2.1 (2.3)	**	1.1 (1.3)	1.6 (2.0)	**	1.2 (1.5)	220
	1,3,5-トリメチルベンゼン	54	33	40	32	1.4 (1.9)	**	1.0 (1.2)	1.3 (1.6)	**	1.1 (1.3)	-
	1,2,4-トリメチルベンゼン	81	56	84	57	4.0 (2.7)	**	1.8 (1.8)	3.1 (2.1)	**	1.8 (1.8)	-
	1,2,3-トリメチルベンゼン	52	33	36	32	1.7 (1.9)	* **	1.3 (1.3)	1.4 (1.5)	**	1.2 (1.2)	-
	テルペン類	α-ピネン	61	29	39	21	2.5 (3.9)	**	1.4 (1.5)	1.9 (3.1)	+	1.4 (1.4)
リモネン		72	13	70	25	3.0 (3.0)	**	1.1 (1.5)	2.8 (2.9)	**	1.2 (1.6)	-
塩化炭化水素	トリクロロエチレン	34	33	49	54	0.9 (1.8)		0.9 (1.5)	1.0 (1.7)		1.0 (1.6)	-
	テトラクロロエチレン	10	5	16	13	0.7 (1.4)		0.6 (1.2)	0.7 (1.6)		0.7 (1.3)	-
	クロホルム	24	13	21	11	1.2 (1.8)	+	1.0 (1.2)	1.1 (1.5)		1.0 (1.2)	-
	1,1,1-トリクロロエタン	12	7	6	4	1.2 (1.1)		1.2 (1.1)	1.2 (1.1)		1.2 (1.1)	-
	1,2-ジクロロエタン	10	0	1	0	0.6 (1.1)		0.6 (1.0)	0.6 (1.1)		0.6 (1.0)	-
	1,2-ジクロロプロパン	3	0	3	0	1.1 (1.1)		1.1 (1.0)	1.2 (1.2)		1.1 (1.0)	-
	四塩化炭素	18	20	19	20	1.0 (1.3)		1.0 (1.4)	1.0 (1.3)		1.0 (1.3)	-
	クロロジブロモメタン	1	0	0	0	1.0 (1.0)		1.0 (1.0)	1.0 (1.0)		1.0 (1.0)	-
	パラジクロロベンゼン	75	27	70	30	5.0 (3.4)	**	1.5 (1.6)	4.2 (3.4)	**	1.7 (1.7)	240
	エステル類	酢酸エチル	46	18	48	18	4.0 (2.7)	**	2.2 (1.6)	3.4 (2.2)	**	2.1 (1.5)
酢酸ブチル		85	51	66	39	6.0 (3.5)	** **	2.3 (1.7)	3.5 (2.6)	**	2.1 (1.7)	-
アルコール類	ブタノール	94	31	82	29	9.9 (2.7)	** **	1.0 (1.5)	3.4 (3.0)	**	1.0 (1.6)	-
	2-エチル-1-ヘキサノール	100	40	97	36	55.4 (4.1)	** **	1.0 (2.2)	13.7 (3.8)	**	0.8 (1.9)	-
ケトン類	アセトン	97	80	97	82	22.3 (3.0)	**	3.2 (2.7)	16.0 (2.7)	**	3.7 (2.6)	-
	メチルエチルケトン	63	36	46	29	3.1 (2.3)	* **	1.9 (1.8)	2.2 (2.0)	+	1.7 (1.6)	-
	メチルイソブチルケトン	48	13	33	13	1.6 (2.2)	* **	1.0 (1.3)	1.3 (1.8)	**	1.0 (1.3)	-
アルデヒド類	ホルムアルデヒド	100	100	100	96	28.8 (1.7)	** **	4.1 (1.6)	12.2 (1.8)	**	2.1 (2.5)	100
	アセトアルデヒド	100	98	100	96	12.5 (1.7)	** **	2.0 (1.9)	7.1 (1.7)	**	1.8 (2.0)	48
	アクロレイン	0	0	0	0	0.4 (1.0)		0.4 (1.0)	0.4 (1.0)		0.4 (1.0)	-
	プロピオンアルデヒド	100	65	96	45	2.3 (1.8)	** **	0.5 (1.5)	1.4 (1.8)	**	0.4 (1.5)	-
	クロトンアルデヒド	12	18	9	20	0.3 (1.4)		0.3 (1.5)	0.3 (1.8)		0.3 (1.8)	-
	ブチルアルデヒド	93	60	85	25	2.7 (2.0)	** **	0.7 (1.7)	1.2 (2.2)	**	0.5 (1.4)	-
	ベンズアルデヒド	81	16	51	11	4.4 (2.3)	** **	1.6 (1.4)	2.3 (1.9)	**	1.5 (1.2)	-
	イソバレールアルデヒド	10	0	0	4	0.8 (1.3)		0.7 (1.0)	0.7 (1.0)		0.7 (1.0)	-
	バレールアルデヒド	78	7	33	2	1.6 (2.1)	** **	0.8 (1.3)	0.8 (1.5)	+	0.7 (1.1)	-
	トルアルデヒド	42	7	13	5	2.7 (1.9)	** **	1.8 (1.1)	1.9 (1.3)		1.8 (1.1)	-
	ヘキサアルデヒド	81	7	66	2	4.4 (2.7)	** **	1.1 (1.2)	2.3 (2.1)	**	1.1 (1.0)	-
2,5-ジメチルベンズアルデヒド	6	0	1	0	1.0 (1.1)		1.0 (1.0)	1.0 (1.1)		1.0 (1.0)	-	
総揮発性有機化合物濃度 (TVOC)		100	100	100	100	352 (2.1)	** **	80.5 (1.2)	204 (1.8)	**	83.1 (1.3)	400

1) 幾何平均 (幾何標準偏差), *: p < 0.05, **: p < 0.01, 冬季と比較, +: p < 0.05, ++: p < 0.01, 屋外と比較

2) 厚生労働省が策定した室内濃度指針値と揮発性有機化合物濃度測定手順による

表 4 主な揮発性有機化合物濃度の夏季・冬季比
 (室内 67 サンプル、屋外 55 サンプル)

揮発性有機化合物 ¹⁾	濃度比 (夏季/冬季)			
	室内空気		屋外空気	
	幾何平均 (幾何標準偏差)	最小-最大	幾何平均 (幾何標準偏差)	最小-最大
2-エチル-1-ヘキサノール	3.8 (2.7)	0.58 – 128	1.1 (1.5)	0.45 – 7.2
ホルムアルデヒド	2.4 (1.9)	0.57 – 12.6	1.9 (2.3)	0.28 – 17.1
アセトアルデヒド	1.8 (2.0) **	0.48 – 11.3	1.1 (2.0)	0.12 – 4.8
プロピオンアルデヒド	1.5 (1.9) **	0.26 – 6.2	1.0 (1.1)	0.67 – 1.6
アセトン	1.4 (1.9) **	0.35 – 5.1	0.90 (2.0)	0.11 – 6.8
キシレン	1.2 (1.9) **, ++	0.19 – 6.1	0.89 (1.5)	0.31 – 4.3
エチルベンゼン	1.2 (2.0) **, ++	0.12 – 4.6	0.87 (1.7)	0.18 – 4.9
トルエン	0.97 (2.1) **, ++, \$	0.09 – 8.4	0.83 (2.1)	0.06 – 6.5

1) 夏季、冬季ともらに検出率が90%を超えた揮発性有機化合物

** : p < 0.01, 2-エチル-1-ヘキサノールとの比較, ++ : p < 0.01, ホルムアルデヒドとの比較, \$: p < 0.01, アセトアルデヒドとの比較

表 5 室内要因別夏季・冬季室内 2-エチル-1-ヘキサノール濃度

要因	部屋数	2-エチル-1-ヘキサノール濃度 ($\mu\text{g m}^{-3}$) 1)		
		夏	冬	
用途	事務室	53	49.4 (3.24)	13.4 (3.18)
	店舗	7	47.0 (7.86)	13.6 (3.78)
	教室	3	29.2 (4.28)	15.8 (8.87)
	図書室	2	265 (5.09)	27.6 (10.3)
	集会ホール	2	1321 (3.20)	98.4 (7.58)
構造	鉄筋コンクリート	39	49.1 (4.19)	12.0 (3.44)
	鉄骨	16	111 (3.89)	24.9 (4.62)
	鉄骨鉄筋コンクリート	12	33.6 (3.30)	9.3 (3.26)
築年数 (年)	< 5	34	92.3 (4.81)	20.1 (4.71)
	5 ≤	33	33.1 (2.79)	9.1 (2.50)
床材質	カーペット	43	63.1 (4.28)	15.7 (4.05)
	ビニルシート	6	47.3 (3.48)	15.0 (3.43)
	ビニルタイル	17	50.3 (3.76)	9.9 (3.28)
	コンクリート	1	3.9	3.7
床構造	二重床	40	64.0 (3.65)	17.2 (3.63)
	通常の床	26	49.7 (4.64)	10.0 (3.85)
	コンクリート (フローリングなし)	1	3.9	3.7
空調システム	中央換気	19	43.3 (3.35)	14.0 (3.86)
	フロア別空調	13	47.3 (6.71)	11.9 (2.28)
	部屋別空調	35	67.8 (3.78)	14.1 (4.44)
機械換気	作動	57	50.1 (4.01)	11.9 (3.50)
	非作動	10	102 (4.47)	31.7 (4.86)

1) 幾何平均 (幾何標準偏差)

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
 分担研究報告書

表 6 室内 2-エチル-1-ヘキサノール汚染に関するこれまでの報告のまとめ

著者 (発表年)	対象	調査期間	調査 ビル数	室数		2-エチル-1-ヘキサノール ($\mu\text{g m}^{-3}$)		備考
				室内	屋外	室内	屋外	
本研究	大規模 ビル	6-7月 2004-2007年	56	67	56	55.4 (4.1) ¹⁾	1.0 (2.2) ¹⁾	
		1-3月 2004-2007年	56	67	56	13.7 (3.8) ¹⁾	0.8 (1.9) ¹⁾	
Sakai, et al (2006)	被居住 ビル	2002年6月- 2004年10月	42	42	41	16.5 (5.4) ¹⁾	1.9 (2.2) ¹⁾	
Kamijima, et al (2005)	大学	2002年8月-	1	5	1	25.0-1,183	ND	シックビル症候群が疑 われる患者が発生した ビル
	大学	2002年9月	1	2	1	4.8, 6.2	ND	シックビル症候群患者 が発生しなかったビル
Putus (2004)	学校	1999年春	1	1	0	1556	—	フローリング剥離後
				1	0	347	—	フローリング完全除去後
Reiser (2002)	大学	2000年1月	1	3	0	4-5	—	
				3	0	10-17	—	
Norback, et al (2000)	病院	1997年 1-2月	4	8	0	12 (2-32) ²⁾	—	高湿度を示すサインあり
				8	0	<1 (<1 - <1) ²⁾	—	高湿度を示すサインなし
Folin (1996)	集合住宅	—	10	—	—	7-30	—	

1) 幾何平均 (幾何標準偏差) 2) 算術平均 (範囲), ND 検出限界未満.

— : 記載なし

特定建築物における揮発性有機化合物による室内空気汚染

研究分担者 柴田 英治 愛知医科大学医学部衛生学講座 教授

研究要旨

目的 建築物衛生法の環境衛生管理基準に「ホルムアルデヒド (HCHO) の量」が追加された 2002 年以降に竣工した特定建築物における揮発性有機化合物 (VOC)、特に未規制 VOC である 2-エチル-1-ヘキサノール (2E1H) による室内空気汚染の実態を明らかにする。

方法 調査対象建物は 2003 年から 2007 年までの 5 年間に名古屋市の半数の区内で届出のあった全特定建築物 98 ビルであった。竣工後 1 年以内に届出のあった 61 ビル中 57 ビル (93%) の 175 室で空気環境調査を行った。VOC 濃度は 24 時間パッシブサンプリング・高速液体クロマトグラフ法 (13 物質) またはガスクロマトグラフ-質量分析法 (32 物質) で測定した。

結果 HCHO 濃度は全室内で管理基準 ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) を下回っていた。室内濃度指針値が設定されているトルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレン、*p*-ジクロロベンゼンならびにアセトアルデヒドの各濃度も大半の室内で指針値未満であり、指針値を超過していた場合の原因も室内に持ち込まれた物品であると推定された。2E1H は 99% の室内で検出され、57 ビル中 4 ビルではその一部の室内で 2E1H 単独の濃度によって総揮発性有機化合物 (TVOC) の暫定目標値 ($400 \mu\text{g}/\text{m}^3$) を超えていた。同時期に竣工後 1 年以内に届出のあったと推定される全国の特定建築物約 4400 ビル中 310 ビル (7%) で、2E1H 濃度が TVOC 暫定目標値を超える部屋を有する可能性があった。

結論 2003 年以降に竣工した特定建築物での VOC による室内空気汚染レベルは低いと考えられたが、一部の特定建築物では TVOC 暫定目標値を超える 2E1H 濃度が観察された。2E1H はシックビルディング症候群の原因となることが疑われる物質であり、建物の躯体や建材などの組合せによって竣工後に二次的に発生する可能性があるため、室内空気汚染物質のひとつとして今後注目すべきである。

研究協力者

酒井 潔、大野浩之

名古屋市衛生研究所 主任研究員

上島通浩 名古屋市立大学大学院環境保健学
教授

建築物衛生法の対象外であった一般住宅で SBS と同様な症状を訴える人々が急増し、シックハウス症候群として社会問題となった。

住宅での室内空気汚染対策として、2000 年にホルムアルデヒド (HCHO)、トルエン、キシレンおよび *p*-ジクロロベンゼンの室内濃度指針値が設定され、2002 年までに 13 物質の室内濃度指針値が設定された³⁾。2002 年の建築基準法改正では、シックハウス対策として HCHO を放散する建材の使用制限や 24 時間機械換気設備の設置が義務付けられた。その結果、2000 年度から 2005 年度の間で新築住宅（竣工後 1 年以内の住宅）での揮発性有機化合物 (VOC) 濃度は低減化傾向にあり、VOC による室内空気汚染の改善が進んだ。特定建築物での室内空気汚染に対しては、2003 年から建物使用開始時などにおける HCHO 濃度の測定が義務化された。室内濃度指針値が設定されている HCHO を含む VOC に関して、特定建築物での室内空気汚染の実態に関する調査は行われているが、調査結果の評価には対象となった建物の選択基準や調査季節、築後年数の影

A. 研究目的

1970 年代の二度のオイルショック後のビルでは、省エネ対策として建物の気密化や外気導入量の削減が進められた。その結果、1970～80 年代になると欧米では居住者の間に不定愁訴を訴える人が増加し、シックビルディング症候群 (SBS) として認知されるようになった。わが国では 1970 年に制定された建築物における衛生的環境の確保に関する法律（建築物衛生法）によって、特定建築物では二酸化炭素などの室内空気質の維持が義務付けられていた。そのために一定の外気導入量が確保されていたために、欧米とは異なって SBS などの室内空気汚染問題の顕著な発生をみることはなかったとされる。しかし、1990 年代以降になると、住宅の省エネ対策の進展に伴って住宅の気密性や断熱性の向上が進み、

響を考慮する必要がある。

わが国でシックハウス対策の念頭に置かれている VOC は、1997-98 年に旧厚生省が住宅を対象に実施した全国調査で測定された約 40 物質とプラスチック可塑剤および殺虫剤が主であるが、これら以外にも健康影響に関して重要性の高い VOC の存在する可能性がある。著者らは、室内濃度指針値が未設定でかつ測定されることがほとんどなかった 2-エチル-1-ヘキサノール(2E1H)に注目してきた。勤務先の建物の新築とともに、粘膜刺激症状及び中枢神経系症状を主症状とする化学物質過敏症を発症した大学教員の症例を検討した際、症状が強く出現する部屋では 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える 2E1H が検出され、その部屋を使用する患者を含む複数の教職員に咳や目、鼻、咽頭の刺激感、悪心などの症状がみられることを明らかにした。2E1H による著しい室内空気汚染がみられた建物と築後 30 年以上経過して 2E1H 濃度が低い建物の在室者の自覚症状を比較した結果、鼻、のど、下気道の症状を有する者は前者のみでみられた。欧米では、2E1H はカーペット、コンピュータ、塩化ビニル製品を放散源とする室内空気汚染物質として認識されており、喘息症状¹⁷⁾や鼻・眼の症状との関連が指摘されている。また、2E1H が高濃度の室内では、皮膚、眼、呼吸器官などの粘膜が刺激される可能性がある。欧米では 2E1H による室内空気汚染の実態調査報告がすでにある。しかし、わが国では 2E1H の室内濃度指針値は設定されておらず、旧厚生省が行った住宅での VOC による室内空気汚染実態の全国調査¹⁰⁾での調査対象物質にも含まれていなかったために、通常測定されていない。著者らは 2E1H によって発症したことが疑われる SBS の症例を 2002 年に報告したが、それ以降も、2E1H による室内空気汚染の実態報告は我々の報告を含めて非常に限られている。

本研究の目的は、HCHO 濃度測定が義務付けられた後の 2003 年から 2007 年に名古屋市半数の区内で竣工した全ての特定建築物を対象として、VOC、特に未規制 VOC である 2E1H による室内空気汚染の実態を明らかにするこ

とである。

B. 研究方法

1. 調査対象および調査時期

(1) 調査対象施設

調査地域は名古屋市のほぼ北半分を占めており、その面積は全市の 50%、人口では 54% を占める (2008 年) が、名古屋市内の特定建築物の 39% が集中する中区を含まないために、2007 年度末での対象地域内の特定建築物届出ビル数は名古屋市内全体の 40% である。調査対象建物は 2003 年から 2007 年に届出のあった全特定建築物で、原則として竣工後 1 年以内に調査した。表 1 に調査年別の特定建築物届出数と空気環境測定を実施したビル数を示した。届出ビル総数は 98 ビルで、同期間での名古屋市の届出ビル総数 238 ビルの 41% であった。竣工後 1 年以内の届出ビル数は 61 ビルであり、そのうちの 57 ビル (93%) で空気環境調査を行った。未調査の 4 ビルの内訳は事務所 2 ビル (2003 年竣工、3177 m^2 および 4524 m^2) と旅館 2 ビル (2004 年竣工・3903 m^2 、2007 年竣工・5128 m^2) であった。竣工後 1 年を超えて届出のあった特定建築物数は同期間での届出ビル総数の 38% であった。これは、2002 年の建築物衛生法改正に伴って、従来は特定建築物から除外されていた 10% 除外規定適用建築物 (事務所などの特定用途以外に使用される面積が 10% を超えていた建築物) に新たに届出義務が生じた。その結果、2003 年 4 月以降これらの届出が徐々に行われるようになったが、それらは竣工後 1 年を超えていたためである。

(2) 調査場所

HCHO 濃度の測定は各階の任意の部屋で行うことになっているが、今回はできるだけ多くの階を選び、その階の任意の居室でサンプリングを行った。室内の測定位置は原則として部屋の中央付近であり、外気は調査建物からの排気の影響を受けないと考えられる場所とした。それぞれ床 (地) 上 75~120cm で試料空気をサンプリングした。

(3) 調査時期 (季節)

空気環境調査を実施した季節とビル数は、春季 13 ビル 41 室、夏季 16 ビル 59 室、秋季 10 ビル 27 室、冬季 18 ビル 48 室であった。建築物衛生法で測定が義務付けられている HCHO 濃度の測定時期（6 月～9 月）に調査したビル数は 22 ビルであった。

（4）調査対象建物および室内の属性

表 2 に調査した特定建築物の属性を主な用途別にまとめた。測定した部屋数は 175 室であった。1 ビル当たりの総階数（地上階数と地下階数の和）の平均（範囲）は 8.2（1～53）階であったのに対して、測定実施部屋（階）数の平均（範囲）は 3.1（1～8）室で、1 ビル当たりの測定実施階数の総階数に対する割合は 38%であった。ひとつの階で複数地点測定した場合は平均値をその階の測定値とした。竣工から測定までの月数の平均（範囲）は 5.3（0～18）月であり、調査時に 1 年以内であったビル数は 52 ビル（91%）であった。

測定した全部屋に換気装置および空調装置が設置されていたが、実使用時間が不明な場合があったので、測定時間中での使用の有無で分類した。測定時間中に換気装置が運転されたことのある部屋は 153 室（87%）であった。1 つの部屋で複数地点測定した場合は、それらの平均値をその部屋の測定値とした。主な用途は事務室 65 室、売場 64 室および教室 20 室であった。調査時の竣工後月数の平均は 5.0 月であり、調査時の月数は築後 3 月以内が 54 室、築後 4～6 月が 66 室、築後 7～12 月が 41 室、築後 12 月超が 14 室で最長は築後 18 月であった。

2. 調査項目および調査方法

（1）揮発性有機化合物 45 物質

表 3 に示す VOC45 種類を測定した。カルボニル化合物 13 物質は DSD-DNPH パッシブサンプラー（Supelco）で 24 時間サンプリングした後、高速液体クロマトグラフ分析法で定量分析した。その他の VOC 32 物質は高性能パッシブサンプラー VOC-SD（Supelco）で 24 時間サンプリングした後、ガスクロマトグラフ質量分析法で定量分析した。2E1H 濃度の計算はアクティブサンプリング法との並行測定に

よって得られたサンプリングレート（23.2 mL / 分）を使用した。

VOC の定量下限値は、下記の方法で算出した値のうち、より大きな数値を採用した。①ロットごとにサンプラー 5 個の操作ブランクテストを行い、ブランク値の標準偏差を 10 倍した値、②検量線作成時の最低濃度（200 ng / ml）の標準液を 5 回繰り返し分析して得られた濃度の標準偏差を 10 倍した値。定量下限値は測定日によって異なっていたので、本研究ではその最大値を採用した。

また、木質材料からの HCHO の放散は温度上昇によって促進されるので、同一室内でも季節によって HCHO 濃度が異なることが予想された。そこで、建築物衛生法で定められた HCHO 濃度の測定期間である 6 月から 9 月以外の時期の測定値は、下記の井上の式を用いて、6 月から 9 月の室温の平均値（26.0℃）での気中濃度に換算して建築物環境衛生管理基準（100 μg / m³）と比較した。

$$C_t = C_{23} \times 1.09^{(t-23)}$$

C_t : 気温 t ℃での気中濃度（μg / m³）

C_{23} : 気温 23℃での気中濃度（μg / m³）

（2）気温および湿度

Thermo Recorder TR-72S（ティアンドデイ）をパッシブサンプラーの近くに設置して 15 分間隔で測定した。

（3）建物および室内環境要因

建物：表 2 に示した項目

室内：①用途、②在室人数、③床面積、④換気方式、⑤空調方式、⑥設定換気量、⑦外気導入率、⑧在室時間、⑨換気時間、⑩空調時間、⑪窓等の開放時間

上記の環境要因は保健所職員が建築物維持管理担当者から聴取または直接確認した。

3. 統計学的方法

VOC の各濃度の分布は対数正規分布型に近かったので、濃度の平均値は幾何平均値で算出した。定量下限値未満の場合は、定量下限値の 2 分の 1 を測定値とした。室内用途間、季節間および築後月数間の平均値の差の検定は一元配置分散分析で、対比較は Scheffé の方法で行った。換気の有無による平均値の差

の検定は t 検定で行った。統計解析ソフトは HALBOU7（シミック株）を用いた。

（倫理面への配慮）

本研究はヒトを対象としたものではなく、倫理面の配慮を必要とする研究に該当しない。

C. 研究結果と考察

1. VOC による室内空気汚染実態

(1) HCHO による汚染実態

表 4 に気温補正を行った HCHO 濃度を季節別および築後月数別にまとめた。HCHO は全室内で検出された。特定建築物の非使用時間帯の HCHO 濃度は使用時間帯より高くなる傾向があるので、24 時間平均値である今回の測定値は建築物環境衛生管理基準に従った 30 分測定値と比較して過大評価している可能性があったが、全室内で管理基準 ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) を下回っていた。

HCHO 濃度の幾何平均値は季節間で有意差があり ($p < 0.01$)、夏季が最も高く、冬季が最も低かった。合板を用いた HCHO 放散量測定の実験では、温度が高くなると気中濃度が増加することが確認されている。特定建築物でも気温上昇によって内装材などからの HCHO 放散が促進されることが示唆された。

(2) HCHO 以外の VOC による汚染実態

室内空気中には多種類の VOC が存在し、その室内濃度は外気濃度より高いことが報告されている。表 3 に VOC45 種類の室内・外気濃度および濃度の内外比を室内での検出割合の降順に示した。今回の調査で室内濃度指針値が設定されていたトルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレン、*p*-ジクロロベンゼン、アセトアルデヒドのうち、ショッピングモールでのスイーツ類の販売店付近の 1 ケ所でアセトアルデヒド濃度 ($86 \mu\text{g}/\text{m}^3$) が室内濃度指針値を超えていた以外は、いずれも室内濃度指針値未満であった。

室内での検出割合が 90%以上であったのは、トルエン、アセトアルデヒド、2E1H、キシレン、エチルベンゼン、プロピオンアルデヒド、アセトンの 7 物質であった。本研究ではこれ

ら 7 種類の VOC に HCHO を加えた 8 物質を主要 VOC としてこれ以後の解析対象とした。室内濃度の幾何平均値はトルエンが最も高く、次いでアセトン、HCHO、2E1H、キシレンの順であった。これは、著者らの既存の特定建築物での結果とほぼ同じであった。室内濃度と外気濃度が同程度の VOC も多数あったが、いずれも検出割合が低く、室内での発生源の有無の判断は困難であった。

D. 結論

2003 年からの 5 年間に名古屋市内の半数の区内で竣工した全ての特定建築物を対象として VOC による室内空気汚染の実態を調査した結果、2002 年に測定が義務付けられた HCHO を含む VOC 濃度は大半の室内で指針値を下回っていた。一方、未規制 VOC である 2E1H は 99%の室内で検出され、少数の特定建築物の一部の室内では TVOC 暫定目標値を超える 2E1H 濃度が確認された。この結果を全国の特定建築物に外挿すると、2003 年度からの 5 年間に竣工して 2E1H 濃度が TVOC 暫定目標値を超える部屋を有する特定建築物が全国で少なくとも 310 ビル程度増加した可能性があった。2E1H は SBS の発症の原因となることが疑われる物質であること、建物の竣工後に放散が始まる可能性があること、さらにこの物質の放散が始まると長期間にわたって放散が続くことから、今後注目していく必要がある。

E. 研究発表

1. 論文発表

Li W, Shibata E, Zhou Z, Ichihara S, Wang H, Wang Q, Li J, Zhang L, Wakai K, Takeuchi Y, Ding X, Ichihara G. Dose-dependent neurologic abnormalities in workers exposed to 1-bromopropane. J Occup Environ Med 2010 ;52:769-777

酒井潔、上島通浩、柴田英治、大野浩之、那須民江 特定建築物における揮発性有機化合物による室内空気汚染 2002 年建築物衛生法改正後の実態と残された問題点 日本公衛

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

誌 2010;57:825-834

上島通浩、酒井潔、伊藤由起、榎原毅、柴田英治 シックハウス症候群・化学物質過敏症への対応 現代医学 2010;58:29-37

2. 学会発表

柴田英治、酒井潔、上島通浩、那須民江. ビルの床下構造と室内汚染揮発性有機化合物質、2-エチル-1-ヘキサノール濃度との関連 第80回日本衛生学会学術総会（仙台）2010.5.9-11 日衛誌・351・2010年

酒井潔、上島通浩、柴田英治、大野浩之、那須民江. 2-エチル-1-ヘキサノールによる室内

空気汚染に及ぼすビル内床下構造の影響
平成 22 年度室内環境学会学術大会（横浜）
2010.12.9-10

F. 知的財産権の出願・登録状況

（予定を含む。）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

表1 名古屋市および今回の調査地域における特定建築物届出ビル数

調査年	名古屋市		今回の調査地域					
	届出ビル数	竣工後1年以内の届出ビル数	届出ビル数	竣工後1年以内の届出ビル数	名古屋市の届出ビル数に占める割合(%)		竣工後1年以内に届出があつて測定を実施したビル数	竣工後1年以内に届出があつて測定を実施したビルの割合(%)
					届出ビル数	竣工後1年以内の届出ビル数		
(A)	(B)	(C)	(D)	(C/A)	(D/B)	(E)	(E/D)	
2003	82	31	31	10	38	32	10	100
2004	46	31	20	13	43	42	11	85
2005	41	32	17	12	41	38	11	92
2006	37	32	16	14	43	44	14	100
2007	32	29	14	12	44	41	11	92
全体	238	155	98	61	41	39	57	93

表2 調査した特定建築物の属性

主な用途	ビル数	総床面積(m ²)	建物構造 ¹⁾			1ビル当りの総階数(階) ²⁾	1ビル当りの測定実施部屋数(階) ²⁾	竣工後から測定までの月数(月) ²⁾
			RC	S	SRC			
事務所	20	32,618 (3,201-193,451)	4	7	9	14.7 (4-53)	2.6 (1-8)	4.9 (0-17)
百貨店	12	25,511 (3,222-82,391)	1	6	5	3.2 (1-6)	2.8 (2-5)	7.5 (1-16)
店舗	11	25,977 (3,577-154,288)	2	7	2	4.4 (1-13)	3.3 (1-8)	4.5 (1-18)
学校	11	13,497 (8,366-24,388)	5	4	2	6.8 (3-14)	4.2 (2-6)	4.0 (0-9)
遊技場	2	18,252 (17,973-18,531)	0	2	0	4.0 (3-5)	2.5 (2-3)	9.5 (6-13)
興行場	1	19,759	0	1	0	5	3	3
全体	57	25,421 (3,201-193,451)	12	27	18	8.2 (1-53)	3.1 (1-8)	5.3 (0-18)

1) RC:鉄筋コンクリート造、S:鉄骨造、SRC:鉄骨鉄筋コンクリート造、2) 平均(範囲)

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

表3 揮発性有機化合物の検出割合、室内・外気濃度および濃度の内外比

揮発性有機化合物	検出割合(%)		空气中濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				空气中濃度の内外比 ¹⁾
	室内	外気	室内 ¹⁾	外気 ¹⁾	定量下限値	室内濃度 指針値	
トルエン	100	100	24.5 (2.2)	11.7 (1.8)	1.4	260	2.2 (2.2)
ホルムアルデヒド	100	100	15.2 (2.0)	3.6 (1.8)	0.7	100	4.2 (2.4)
アセトアルデヒド	100	98	8.3 (1.8)	1.9 (1.8)	0.5	48	4.5 (2.1)
2-エチル-1-ヘキサノール	99	49	13.5 (4.0)	2.1 (1.4)	1.8	-	6.6 (3.7)
キシレン	99	89	10.9 (2.0)	5.8 (1.6)	3.6	870	1.9 (2.0)
エチルベンゼン	99	95	6.5 (2.0)	3.4 (1.7)	1.6	3800	1.9 (1.9)
プロピオンアルデヒド	97	60	1.8 (1.7)	0.9 (1.0)	0.9	-	2.0 (1.7)
アセトン	94	79	21.9 (2.4)	7.0 (1.5)	2.9	-	3.1 (2.3)
ブチルアルデヒド	89	47	2.1 (1.7)	1.4 (1.2)	1.3	-	1.5 (1.6)
n-ブタノール	86	30	6.0 (2.7)	1.8 (1.4)	1.5	-	3.5 (2.5)
ベンゼン	85	77	2.0 (1.6)	1.9 (1.6)	1.2	-	1.1 (1.5)
1,2,4-トリメチルベンゼン	84	68	4.4 (2.2)	2.7 (1.4)	2.0	-	1.6 (2.1)
ヘキサアルデヒド	82	7	5.1 (1.8)	3.0 (1.1)	3.0	-	1.7 (1.8)
ベンズアルデヒド	78	28	6.3 (1.5)	4.8 (1.1)	2.3	-	1.3 (1.5)
酢酸ブチル	77	51	6.5 (2.5)	3.3 (1.3)	2.9	-	2.0 (2.4)
n-ウンデカン	76	28	9.0 (2.4)	4.6 (1.4)	4.1	-	2.0 (2.4)
酢酸エチル	74	30	9.0 (2.7)	4.5 (1.8)	3.8	-	1.9 (2.9)
トルアルデヒド	73	49	4.4 (1.5)	3.7 (1.0)	3.7	-	1.2 (1.5)
スチレン	69	23	3.7 (2.0)	2.4 (1.4)	2.1	220	1.6 (1.9)
p-ジクロロベンゼン	69	28	3.7 (1.8)	2.6 (1.2)	2.4	240	1.4 (1.8)
リモネン	67	28	4.0 (1.9)	2.5 (1.1)	2.4	-	1.6 (1.9)
α -ピネン	66	30	3.9 (2.2)	2.6 (1.0)	2.6	-	1.5 (2.2)
n-ヘキサン	61	53	4.2 (2.0)	3.6 (1.1)	3.5	-	1.2 (1.9)
メチルイソブチルケトン	61	23	3.1 (1.7)	2.3 (1.2)	2.2	-	1.3 (1.6)
n-ノナン	59	30	2.9 (1.6)	2.4 (1.1)	2.3	-	1.2 (1.6)
メチルエチルケトン	58	26	4.4 (2.2)	2.9 (1.3)	2.6	-	1.5 (2.1)
バレアルアルデヒド	57	5	1.8 (1.5)	1.4 (1.0)	1.4	-	1.3 (1.5)
n-デカン	53	21	10.1 (1.6)	8.5 (1.2)	4.1	-	1.2 (1.6)
n-ヘプタン	50	21	1.5 (1.5)	1.3 (1.1)	1.3	-	1.2 (1.5)
1,2,3-トリメチルベンゼン	45	28	2.6 (1.4)	2.3 (1.1)	2.3	-	1.1 (1.4)
1,3,5-トリメチルベンゼン	43	25	2.3 (1.5)	2.0 (1.0)	1.9	-	1.2 (1.5)
トリクロロエチレン	35	35	1.5 (1.4)	1.5 (1.3)	1.4	-	1.0 (1.3)
クロロホルム	25	14	2.6 (1.1)	2.5 (1.0)	2.5	-	1.0 (1.1)
n-オクタン	19	9	2.4 (1.1)	2.2 (1.2)	2.1	-	1.1 (1.4)
四塩化炭素	14	16	1.8 (1.1)	1.8 (1.1)	1.8	-	1.0 (1.1)
クロトンアルデヒド	12	18	1.3 (1.2)	1.2 (1.0)	1.2	-	1.0 (1.2)
テトラクロロエチレン	11	5	1.8 (1.6)	1.8 (1.2)	1.7	-	1.0 (1.6)
イソバレアルアルデヒド	11	0	1.4 (1.2)	1.4 (1.0)	1.4	-	1.0 (1.2)
2,5-ジメチルベンズアルデヒド	10	7	3.9 (1.1)	3.9 (1.2)	3.8	-	1.0 (1.1)
1,2-ジクロロエタン	9	4	1.8 (1.1)	1.8 (1.0)	1.8	-	1.0 (1.1)
2,4-ジメチルペンタン	7	4	1.9 (1.3)	1.8 (1.0)	1.8	-	1.0 (1.3)
1,1,1-トリクロロエタン	6	9	2.4 (1.0)	2.4 (1.0)	2.4	-	1.0 (1.0)
1,2-ジクロロプロパン	4	5	2.3 (1.3)	2.2 (1.0)	2.2	-	1.0 (1.3)
クロロジプロモetan	1	0	2.0 (1.0)	2.0 (1.0)	2.0	-	1.0 (1.0)
アクロレイン	0	0	0.8 (1.0)	0.8 (1.0)	0.8	-	1.0 (1.0)
総揮発性有機化合物	-	-	311 (1.8)	140 (1.2)	0.0	400 ²⁾	2.2 (1.8)

調査室数:175室、外気57箇所 1) 幾何平均(幾何標準偏差), 2) 室内濃度暫定目標値

表4 6月から9月の平均気温による濃度補正後の季節別ホルムアルデヒド濃度

		室数	温度補正後のホルムアルデヒド濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹⁾	
			幾何平均(幾何標準偏差)	最小-最大
季節	春季	41	16.2 (1.5)**	5 - 33
	夏季	59	25.5 (1.7)	8 - 94
	秋季	27	17.6 (1.6)*	6 - 42
	冬季	48	13.4 (1.7)**	4 - 47
築後月数 (月)	1 - 3	54	20.7 (1.6)**	8 - 94
	4 - 6	66	19.0 (1.8) ⁺	4 - 81
	7 - 12	41	13.9 (1.5)	6 - 32
	13 -	14	19.3 (1.7)	5 - 47
全体		175	18.1 (1.7)	4 - 94

1) 6~9月以外の測定日は6~9月の室温の平均値(26.0°C)での気中濃度として換算した(文献番号:28)。

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, 夏季と比較して、+: $p < 0.05$, ++: $p < 0.01$, 築後7-12月と比較して(一元配置分散分析後、Shefféの多重比較による)

表5 主な室内用途とその揮発性有機化合物濃度

揮発性有機化合物	空气中濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹⁾		
	事務室	売場	教室
トルエン	21.8 (1.7)	40.0 (2.2)**	12.2 (1.4)**++
ホルムアルデヒド	16.8 (1.8)	13.3 (2.1)*	12.2 (1.9)
アセトアルデヒド	8.6 (1.6)	8.2 (1.8)	6.5 (1.8)
2-エチル-1-ヘキサノール	19.5 (3.7)	8.7 (2.7)**	8.4 (4.3)
キシレン	9.7 (1.7)	13.6 (2.1)*	6.9 (1.7)**
エチルベンゼン	6.1 (1.8)	7.9 (2.2)	4.3 (1.8)**
プロピオンアルデヒド	1.8 (1.6)	1.8 (1.7)	1.5 (1.7)
アセトン	20.5 (2.3)	21.2 (1.9)	37.0 (4.6)
室内気温 ²⁾	25.0±2.4	23.1±3.3**	23.2±4.9
築後月数 ²⁾	4.0±4.4	5.8±4.4	3.6±2.2
室数	65	64	20

1) 幾何平均(幾何標準偏差), 2) 算術平均±標準偏差

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$ 事務室と比較して、++: $p < 0.01$ 売場と比較して(一元配置分散分析後、Shefféの多重比較による)