

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 $3.9\sim 3009\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲にあり、平均は $55.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、冬季で $0.6\sim 412\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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。日内平均気温は 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の中の 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
G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）	なし

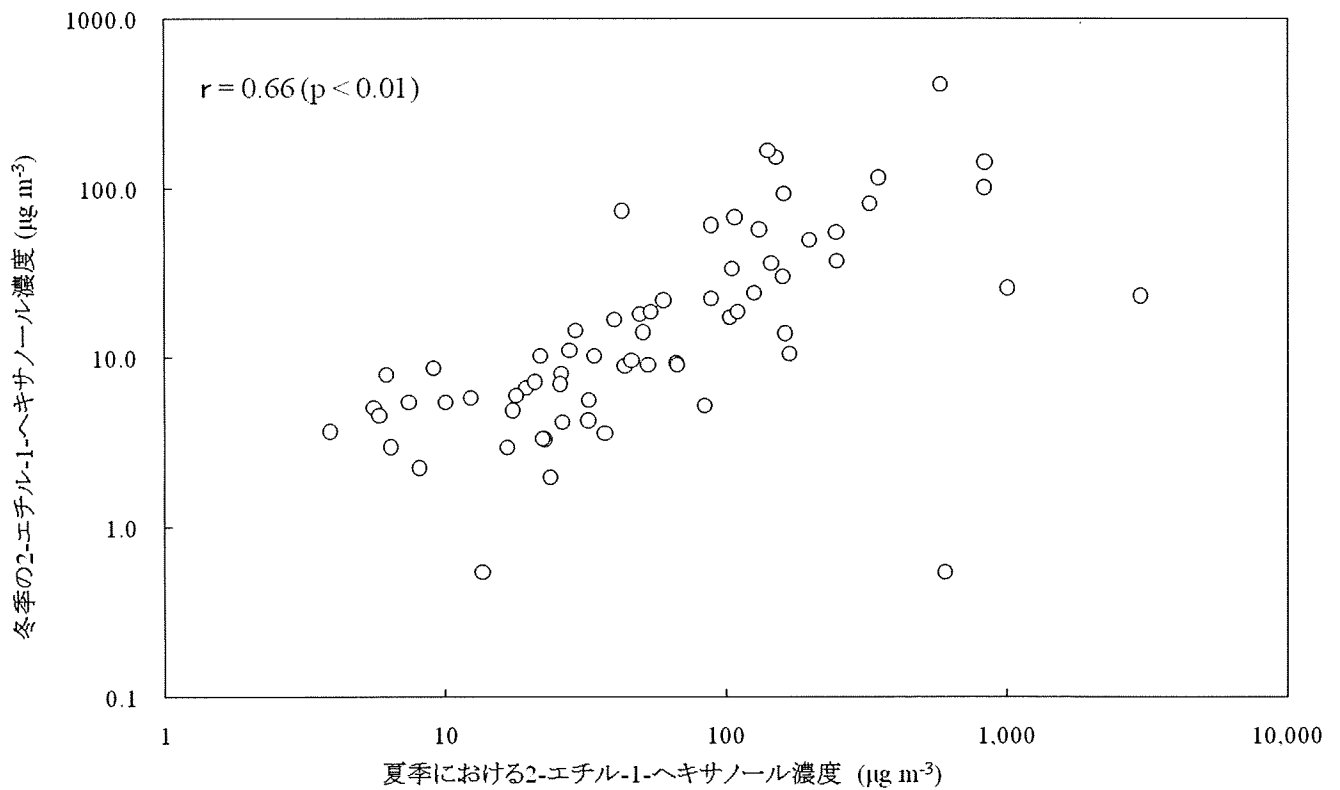


図1 冬季との夏季の室内 2-エチル-1-ヘキサノール濃度の関連

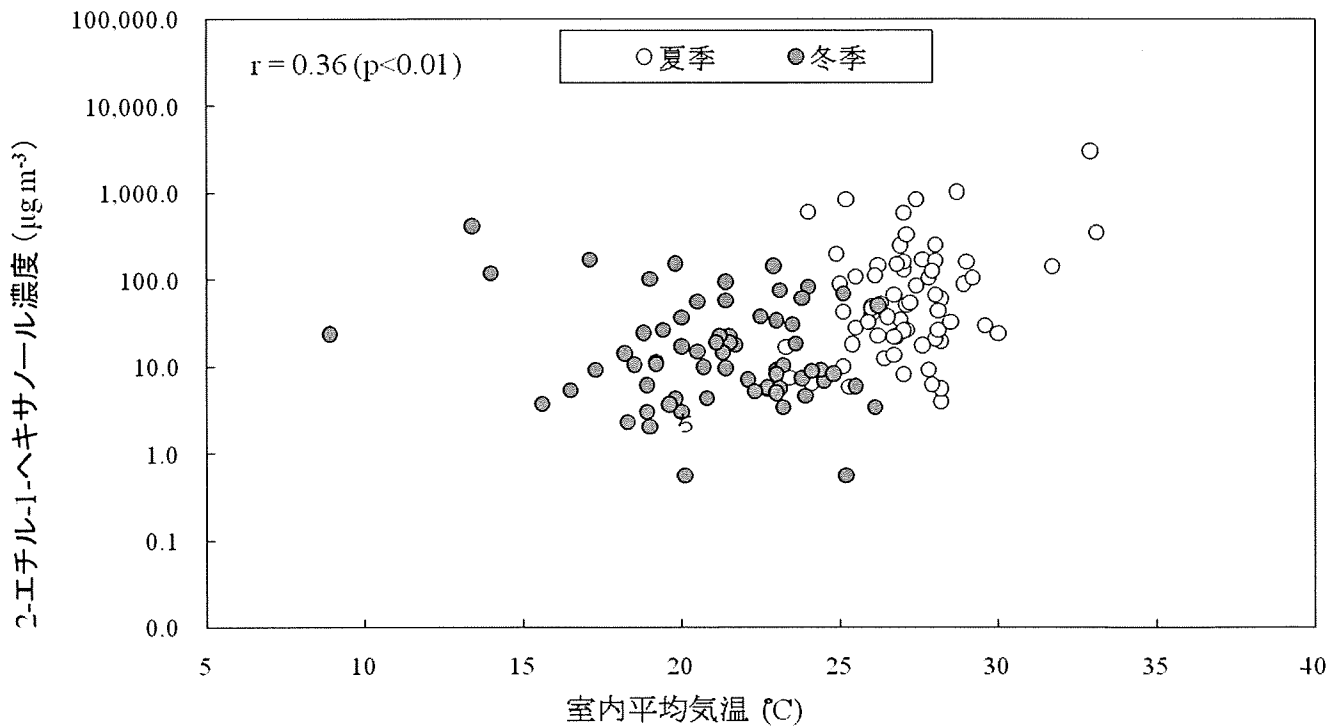


図2 室内平均気温と2-エチル-1-ヘキサノール濃度の関連

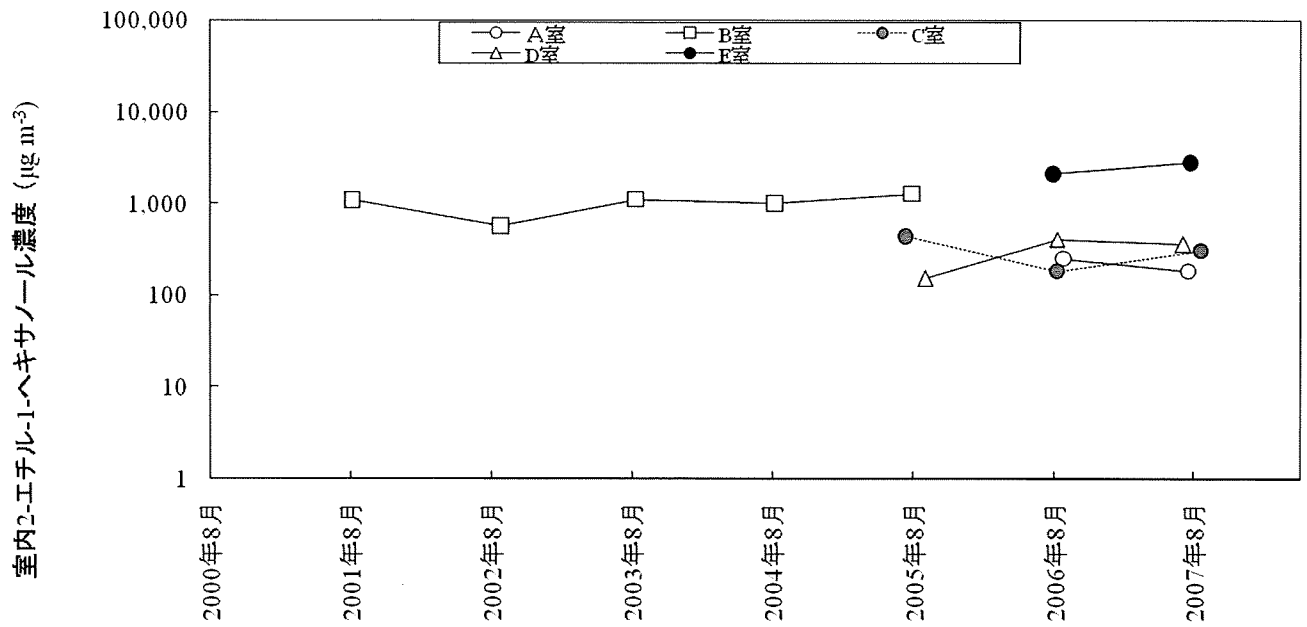


図3 夏季の室内2-エチル-1-ヘキサノールの経年変化

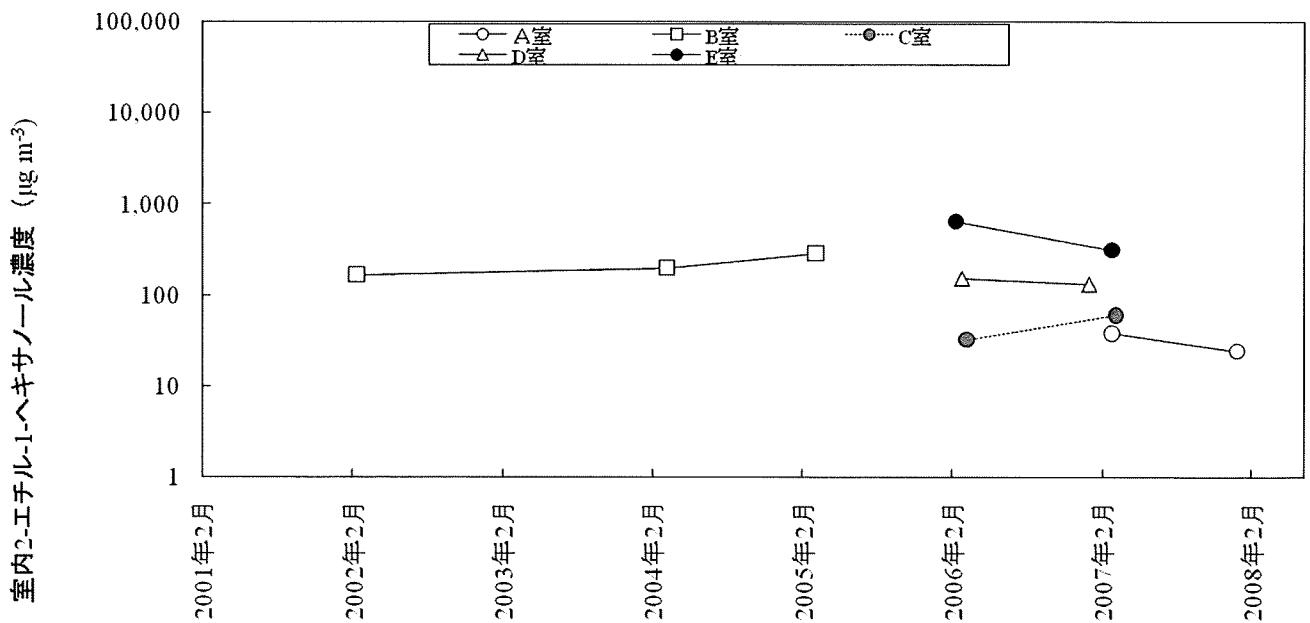


図4 冬季の室内2-エチル-1-ヘキサノールの経年変化

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 ¹⁾ (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)	-	
	クロロジプロモメタン	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

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 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
	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	—	
				1	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

