

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

特定建築物における
室内空气中化学物質の実態把握のための研究

令和2年度～令和3年度 総括・分担総合研究報告書

研究代表者 小林 健一
令和4(2022)年3月

目 次

I. 総括総合研究報告書	
特定建築物における室内空气中化学物質の実態把握のための研究	・・・1
小林 健一	
II. 分担総合研究報告書	
1. 特定建築物の報告統計	・・・9
鍵 直樹	
2. 国内外における室内空気汚染物質の空気質ガイドラインの動向	・・・15
東 賢一	
3. 全国調査の概要	・・・31
金 勲、東 賢一、樺田 尚樹	
4. 拡散サンプラーを用いる空气中ガス状化学物質の分析	・・・47
内山 茂久、樺田 尚樹、稲葉 洋平	
5. 現場立入調査とアクティブサンプリング	
5-1 化学物質 - カルボニル化合物及び揮発性有機化合物 (VOC)	・・・63
鍵 直樹	
5-2 化学物質 - 2E1H	・・・67
鍵 直樹	
5-3 温度、湿度、CO ₂ 濃度	・・・70
金 勲	
5-4 浮遊粒子状物質	・・・74
金 勲	
6. 特定建築物における室内空气中化学物質の健康リスク評価	・・・77
東 賢一	
7. 建築・設備及び室内環境管理と室内空气中化学物質濃度の関係	・・・91
金 勲	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	・・・109

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

特定建築物における
室内空气中化学物質の実態把握のための研究

令和2～3年度 総括研究報告書

研究代表者 小林 健一

令和2～3年度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)
総括総合研究報告書

特定建築物における室内空气中化学物質の実態把握のための研究

研究代表者 小林 健一 国立保健医療科学院 上席主任研究官

研究要旨

建築物衛生法により特定建築物において測定が義務づけられている物質はホルムアルデヒドのみである。この測定は、新築、大規模模様替え後初めて来る夏期の6～9月に1回のみである。

本研究は、ホルムアルデヒド以外にも室内濃度指針値が設定されている12個別物質及びTVOC (Total Volatile Organic Compounds ; 総揮発性有機化合物) 等の実態調査を行うと共に、その他の化学物質の現状把握及び健康リスク評価による基準のあり方の検討、室内濃度指針値を超える状況が確認された場合はその原因分析と低減措置の手法を提案することを目的とする。

本研究では、

- ①特定建築物の報告統計
 - ②国内外における室内空気汚染物質の空気質ガイドラインの動向
 - ③全国調査の概要
 - ④拡散サンプラーを用いる空气中ガス状化学物質の分析
 - ⑤現場立入調査とアクティブサンプリング
 - ⑥特定建築物における室内空气中化学物質の健康リスク評価
 - ⑦建築・設備及び室内環境管理と室内空气中化学物質濃度の関係
- のようにサブテーマを設けて研究を実施した。

2ヶ年計画として、2020年度は56施設に対して冬期の空気質調査とアンケートを、そのうち29施設を対象に2021年夏期に2回目の測定を実施した。2021年度は更に、新たに手配した建物75施設を対象に夏期・冬期の拡散サンプラーによる空気質調査とアンケート調査を行った。拡散サンプラーによる室内空气中化学物質調査では計242ヶ所のサンプルを回収した。現場立入調査とアクティブサンプリングによる化学物質濃度測定は7物件(11ヶ所)に対して、冬期・夏期実測を行った。

今回の特定建築物を対象とした室内空气中化学物質の全国調査結果より、特定建築物における厚生労働省の13指針物質及びTVOC濃度の実態を把握することができた。また、新しい指針物質として議論されてきた2E1H(2-エチル-1-ヘキサノール)、TX(テキサノール)についても実態を調べることができた。これらの研究成果は、室内空気環境及び健康衛生の改善のため、保健衛生・建築・設備環境を考慮した工学的・衛生学的対策に繋いでいく。

研究組織

研究分担者

樺田 尚樹（産業医科大学）
東 賢一（近畿大学）
鍵 直樹（東京工業大学）
金 勲（国立保健医療科学院）
稲葉 洋平（国立保健医療科学院）

研究協力者

内山 茂久（国立保健医療科学院）
尾崎 貴之（全国ビルメンテナンス協会）

A. 研究目的

建築物衛生法により特定建築物において測定が義務づけられている物質はホルムアルデヒドのみである。さらにこの測定は、ホルムアルデヒドについては、新築または大規模模様替えを行った後、最初に来る6月から9月の間に1回測定する。

本研究は、ホルムアルデヒド以外にも室内濃度指針値が設定されている12個別物質及びTVOC（Total Volatile Organic Compounds；総揮発性有機化合物）等の実態調査を行うと共に、その他の化学物質の現状把握及び健康リスク評価による基準のあり方の検討、室内濃度指針値を超える状況が確認された場合はその原因分析と低減措置の手法を提案することを目的として実施した。

B. 研究方法

2ヶ年の研究として、以下の事項について調査研究を実施した。

B.1 特定建築物の報告統計（分担研究1）

厚生労働省から公表された全国の立ち入り調査のデータを用いた空気環境項目の不適合の最新動向について整理を行った。

B.2 国内外における室内空気汚染物質の空気質ガイドラインの動向（分担研究2）

建築物衛生法の適用範囲の検討のために世界保健機関（WHO）のほか、ドイツ、フランス、カナダにおける室内空気質ガイドラインに関する評価文書、関連学会の資料、関連論文を調査、整理した。

B.3 全国調査の概要（分担研究3）

2020年度は56施設に対して冬期の空気質調査とアンケート、2021年度は75施設に対して夏期・冬期の空気質調査とアンケート調査を行った。拡散サンプラーによる室内空气中化学物質調査では242ヶ所のサンプルを回収した。アンケートでは、建物所在地・用途などの基本情報のほか、内装材の種類、消臭剤・防虫剤の使用有無、室内環境に対する執務者からの苦情の有無、新型コロナウイルス対策、建築物衛生法の環境衛生管理基準項目の測定有無等を設問とした。

B.4 拡散サンプラーを用いる空气中ガス状化学物質の分析（分担研究4）

特定建築物に対してガス状化学物質濃度の測定を4種類の拡散サンプラー（オゾン、カルボニル化合物測定用、VOC測定用、酸性ガス測定用、塩基性ガス測定用）を用いて夏期と冬期に分けて実施した。合計242ヶ所のサンプルを回収できた。

B.5 現場立入調査とアクティブサンプリング（分担研究5）

化学物質濃度の現状、建築物衛生管理状況など把握するため、7物件（11ヶ所）の事務所建築に対して、ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値に示されている物質を中心にアクティブ法を用いて実測調査を行った。

また、事務所室内空气中の2E1H発生特性の実測調査を行うほか、温度、相対湿度、二酸化炭素の連続測定のほか、浮遊粒子状物質の調査を行った。

B.6 特定建築物における室内空气中化学物質の健康リスク評価（分担研究6）

北海道、関東、中部、関西、九州に建つ特定建築物を対象に、2020年度は37件、2021年度夏期は111件、2021年度冬期は75件から取得された室内温湿度ならびに化学物質のデータを用いて統計解析を行った。得られた室内化学物質濃度の統計値と核物質のリスク評価値（RfC）を用い、暴露余裕度（MOE）を算出した。

B.7 建築・設備及び室内環境管理と室内空气中化学物質濃度の関係（分担研究7）

「全国調査の概要（分担研究3）」と「拡散サンプラーを用いる空气中ガス状化学物質の分析（分担研究4）」の結果を踏まえて、建築・設備、室内環境を説明変数、成分濃度を目的変数として有意差検定（Wilcoxon検定）を行った。今回の検定では季節特性は考慮せず、建物及び設備、室内環境要因だけを対象とした。統計解析にはSAS-JMP11を用いて、有意水準5%とした。

C. 研究結果

C.1 特定建築物の報告統計（分担研究1）

建築物衛生法に定められる特定建築物の各環境要素について、二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適率については、いずれも値が高く、上昇する傾向となった。この要因としては、平成15年の建築物衛生法の改正による個別空調方式の建物が特定建築物の適用範囲となったこと、建築物省エネ法の改正などが挙げられる。一方で、浮遊粉塵、一酸化炭素、気流、ホルムアルデヒドに関する不適率は低い値で推移している。なお、新型コロナウイルス感染症の対策の実施から、二酸化炭素濃度および温度に関する不適率についても影響を及ぼしていることが示唆された。

C.2 国内外における室内空気汚染物質の空気質ガイドラインの動向（分担研究2）

WHOは2016年に基準新設に関して優先順

位を4つの区分に分けている。喫緊に再評価若しくは改訂を要する物質（グループ1）から当面再評価が不要な物質（グループ4）を策定している。また、2021年には粒子状物質、オゾン、二酸化窒素、二酸化硫黄、一酸化炭素の空気質ガイドラインが改正された。諸外国においては、ドイツでは64、フランスでは15、カナダでは13の物質若しくは物質群に対して室内空気質ガイドラインが定められていた。

C.3 全国調査の概要（分担研究3）

アンケートの有効回答数は特定建築物126件となった。

空調方式は、個別式空調が48%、中央式と中央・個別併用式は49%となり、ほぼ半々の割合となっている。

また、建築物衛生法に定める環境衛生管理基準項目に対して測定の実施については、6項目の測定は約45~50%に留まった。なお、執務者の苦情要因としては、温度、湿度、気流が挙げられ、それぞれ20%、10%、7%で苦情があった。

においが気になる場所は無いとの回答が74%と最も多く、トイレ10%、執務室5%、廊下4%、共用空間2%、会議室2%の順であった。

生活用品としては、空気清浄機が最も多く、次に消臭剤、スプレー式消臭・消毒剤の使用が多かった。昨今の新型コロナウイルス感染症対策の影響と考えられる。

新型コロナウイルス対策として、最も多く採用されているのはマスク97%、手指衛生80%、テレビ会議74%であった。換気は58%、空気清浄機を38%が挙げていることから、空気環境への関心が高くなっていることが窺われた。

C.4 拡散サンプラーを用いる空气中ガス状化学物質の分析（分担研究4）

242件の特定建築物に対してガス状化学物質濃度を測定したところ、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、ベンゼン、エタノー

ル、2,2,4,6,6-ペンタメチルヘプタンが特異に高濃度を示した建築物が見受けられた。ホルムアルデヒドについては、1施設で160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を示しており、当該建築物ではアセトアルデヒドが100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アセトンが140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、トルエンが61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、d-リモネンが37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を示すなど他の建築物と比較して特異に高濃度であった。また、新型コロナウイルス感染症対策としてエタノール系の消毒剤を使用する頻度が高いため、アセトアルデヒドの生成メカニズムを詳細に検討する必要性もうかがえた。

C.5 現場立入調査とアクティブサンプリング (分担研究5)

ホルムアルデヒドの調査結果によると、建築物衛生法の基準値(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)および厚生労働省指針値(48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)に対して超過する建築物は無かった。一方で、総揮発性有機化合物(TVOC)については暫定目標値(400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を超過する建築物が冬期に1件存在していたが、当該建築物は前年に倉庫を改修して事務所とした建築物であり、新しい内装材料を用いたことで濃度が高くなったと考えられる。

2E1Hについては、タイル地、金属製OAフロア、コンクリート・プラスチック製OAフロア、コンクリートスラブ下地別に2E1H濃度とTVOC濃度を測定したところ、コンクリート下地の建築物において濃度が高い傾向が見受けられた。

冬期測定については、温度は18 $^{\circ}\text{C}$ 以下となる建築が4件あるものの24~25 $^{\circ}\text{C}$ 程度を推移している建築物が多い。相対湿度は40%を超える建築物が1件のみであり、30%程度以下となる建築物が多い。二酸化炭素濃度については、1件のみ1000ppmを超える建築物があるものの、その他の建築物は600ppm程度以下であった。夏期測定については、温度は1件のみ28 $^{\circ}\text{C}$ を超える建築物があるもののその他の建築物は24~27 $^{\circ}\text{C}$ 程度を推移している。相対湿度は

概ね40~60%程度を推移しており、二酸化炭素濃度も概ね1000ppm以下であった。

浮遊粒子状物質については、外気濃度に対する室内濃度の比(IO比)に着目すると、小さな粒径の粒子においてIO比<1が多く、外気由来の粒子が室内では低く維持されている。一方、5 μm や10 μm の大きな粒子ではIO比>1の室内が増加している。大きな粒子は人工的に生成されることが多く、在室者密度が高く室内での活動が多くなると濃度が高くなることがある。

C.6 特定建築物における室内空气中化学物質の健康リスク評価 (分担研究6)

健康リスク評価の結果、冬期夏期ともに、二酸化窒素、塩化水素、ベンゼンのリスクが総じて高かった。また、アクロレイン、1,2-ジクロロエタン、トリクロロエチレン、アセトアルデヒド、トルエン、クロトンアルデヒド、クロロホルムでは、特定の事務所でリスクが高かったが、平均的にはそれほどリスクは高くなかった。その他、炭素数9~18の脂肪族炭化水素は冬期夏期ともに平均的にリスクが高く、ホルムアルデヒドは夏期でリスクが高い傾向にあった。

C.7 建築・設備及び室内環境管理と室内空气中化学物質濃度の関係 (分担研究7)

事務所、宿泊業、店舗における一部化学物質で業種による有意な濃度差が見られた。建築年数については、トルエンやテキサノールにおいては古い建物が高いことがあり、2E1Hは築年数20~30年の建物が40~50年の古い建物より高かった。エチルベンゼンと α -キシレン共に併用式空調が中央式より高く、2E1Hは併用式が中央式及び個別式より高いことが認められた。一方、テキサノールは個別式が中央式より高かった。

室内環境衛生管理項目6項目中、CO₂濃度測定の実施有無を代表因子として検定した結果、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、2E1H、p-ジクロロベンゼン、ドデカンが実施している

施設において濃度が高く、デカンにおいては実施している施設が低い結果となった。

壁材として木質系、ビニルクロス、紙クロスが一部成分に対して有意な濃度差を示した。ビニルクロスと紙クロスは成分濃度の傾向が逆に現れた。塗料やコンクリートむき出しに対して、有意差が認められた成分はなかった。

床材としては、木材・フローリングに対してデカン濃度が低い結果となった。カーペットはヘキサンとドデカン濃度が低く、コンクリート床材はデカンが有意に低かった。P タイルやタイルに対して有意差が認められた成分はなかった。床下地材に対しては、コンクリート OA フロア及びプラスチック OA フロアは 2E1H が高いことが示された。

スプレー式消臭・消毒剤の使用建物はホルムアルデヒド濃度が高く、オゾン発生器はデカンとテキサノール濃度が低かった。芳香剤、次亜塩素酸、空気清浄機は有意差が認められた成分はなかった。においが気になる場所が有り・無しについては、有ると答えた建物ではベンゼン濃度に有意に高いことが示された。

D. まとめ

本研究では、主に特定建築物の環境衛生管理基準項目と不適合の要因、建築・設備概要及び室内環境の管理運用などを調査すると共に、拡散サンプラーによる化学物質濃度測定、現場立入検査を行った。また、化学物質に対する国際的な動向及びリスク基準などを調べ、今回行われた調査結果から特定建築物における空気中化学物質のリスク評価を行った。

1) 建築物衛生法や建築物省エネ法の改正に伴い不適率が上昇する傾向があり、二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適率が高い傾向が続いている。

2) WHO は 2021 年 9 月に空気質ガイドライン

をアップデート（2005 年のガイドラインに対して）した。粒子状物質（PM2.5、PM10）、オゾン、二酸化窒素、二酸化硫黄、一酸化炭素の空気質ガイドラインが最新の科学的知見に基づき改正された。

3) 空調方式は、個別式空調が 48%、中央式と中央・個別併用式は 49%となり、ほぼ半々の割合となっていた。建築物衛生法に定める環境衛生管理基準項目に対して測定の実施については、6 項目の測定は約 45~50%に留まった。なお、執務者の苦情要因としては、温度、湿度、気流が挙げられ、それぞれ 20%、10%、7%で苦情があった。

新型コロナ対策として、最も多く採用されているのはマスク 97%、手指衛生 80%、テレビ会議 74%であった。換気は 58%、空気清浄機を 38%が挙げていることから、空気環境への関心が高くなっていることが視われた。

4) ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、ベンゼン、エタノール、2,2,4,6,6-ペンタメチルヘプタンが特異に高濃度を示した建築物が見受けられた。また、最近では新型コロナウイルス感染症対策としてエタノール系の消毒剤を使用する頻度が高いため、アセトアルデヒドの生成メカニズムを詳細に検討する必要性もうかがえた。

5) ホルムアルデヒド、TVOC、温湿度、二酸化炭素濃度、浮遊粒子状物質を調査し、一部基準値を超過する建築物があったものの、ほとんどの建築物は基準値以下であった。

6) 健康リスク評価の結果、冬期夏期ともに、二酸化窒素、塩化水素、ベンゼンのリスクが総じて高かった。二酸化窒素では、冬期夏期ともに RfC 超過率が 60%を超えていた。塩化水素では冬期の RfC 超過率が 70%を超えていた。ベン

ゼンでは夏期の RfC 超過率が 40%を超えていた。これら 3 つの物質のリスクは突出して高かった。

7) 建物用途、築年数、空調方式、室内環境衛生管理項目の測定の実施有無などが化学物質濃度に影響していることが示唆された。また、室内内装材も化学成分との関係が示唆されたが、特に床下地として使われる OA フロア及びプラスチック OA フロアは 2E1H 濃度が高いことが示された。においが気になる場所があると答えた建物ではベンゼン濃度に有意に高いことが示された。

E. 健康危険情報

該当なし。

F. 研究発表

「Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧」を参照。

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

1. 特許取得 該当なし。

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

特定建築物における
室内空气中化学物質の実態把握のための研究

令和2～3年度 分担総合研究報告書

1. 特定建築物の報告統計

分担研究者 鍵 直樹 東京工業大学環境・社会理工学院 教授

研究要旨

建築物衛生法においては対象となる特定建築物の維持管理手法として、環境衛生管理基準値を定め、測定を行い基準値と比較して、適切な維持管理を行っているところである。近年の特定建築物における現状の把握については、全国の特定建築物の報告データを用いて行うことが可能である。本報告では、これまでの研究結果を踏まえて、厚生労働省から公表された全国の立ち入り調査のデータを用いた空気環境項目の不適率の最新動向について整理を行った。

特定建築物の各環境要素について二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適率の経年変化は、いずれも値が高く、上昇する傾向となった。それぞれが、省エネ法の改正、建築物衛生法の改正、東日本大震災の影響が示唆された。一方、浮遊粉じん、一酸化炭素、気流、ホルムアルデヒドについては、低い不適率で推移している。なお、新型コロナウイルス感染症による建築物衛生への影響として、二酸化炭素濃度の不適率の減少、温度の上昇につながっている可能性が示唆された。

研究協力者

金 勲 国立保健医療科学院
東 賢一 近畿大学医学部
小林健一 国立保健医療科学院

本報告では、これまでの研究結果を踏まえて、厚生労働省から公表された全国の立ち入り調査のデータを用いた全国都道府県の不適率の最新動向について整理を行った。

A. 研究目的

建築物衛生法では対象となる特定建築物の維持管理として、環境衛生管理基準値が表 1-1 のように定められている。なお、2022 年から、一酸化炭素の基準値として 10 ppm 以下であるところが、6 ppm 以下であることと、20 ppm 以下の特例が削除された。さらに温度については、17℃以上が、18℃以上となった。温度、相対湿度、二酸化炭素濃度、一酸化炭素濃度、気流、浮遊粉じんの6項目について2カ月以内ごとに1回測定し、基準値との比較を行うことで、適切な維持管理を行うことになっている。ホルムアルデヒドについては、新築または大規模模様替えを行った後、最初に来る6月から9月の間に1回測定する。近年、温度、相対湿度、二酸化炭素の濃度の不適率が上昇する傾向にあることは本研究の関連研究で既に報告されている^{1,2)}。

表 1-1 空気環境に関する建築物環境衛生管理基準

浮遊粉じんの量	0.15 mg/m ³ 以下
一酸化炭素の含有率	10 ppm 以下 (6 ppm 以下に改正)
二酸化炭素の含有率	1000 ppm 以下
温度	17℃以上 28℃以下 (18℃以上に改正)
相対湿度	40%以上 70%以下
気流	0.5 m/秒以下
ホルムアルデヒドの量	0.1 mg/m ³ 以下 (=0.08 ppm 以下)

B. 研究方法

B.1 空気環境項目別の不適率の経年変化

厚生労働省が各都道府県、保健所設置市、特別区における建築物衛生の実態を把握することを目的とし、毎年集計を行っているもので、独

立行政法人統計情報センターで公表されている。そこで、公表されている全国の建築物の維持管理に関するデータを用いて、基準値に適合しなかった建物の割合、不適率の動向の整理を行うことにより、建築物における環境衛生の実態、不適率の状況について把握することができる。ここで示す建物維持管理のデータは、建築物の維持管理項目ごとの調査件数及び不適件数が集計されている。また、対象期間は平成8年度から令和2年度(1996-2020年度)までで、不適率の推移を見ることができる。なお、建築物の維持管理項目は、帳簿(1項目)、空気環境の調整(16項目)、給水の管理(10項目)、雑用水の管理(9項目)、排水設備(1項目)、清掃(1項目)、防除(1項目)に分けられている。用途は興行場、百貨店、店舗、事務所、学校、旅館、その他と分かれており、それぞれの用途別ごとの不適率の比較をすることができる。これらのデータに基づき、用途別不適率及び不適率の経年変化を集計し、建物維持管理の問題点の抽出を行った。ここでは、空気環境の調整の内、空気環境の測定項目について述べる。

C. 研究結果および考察

C1. 空気環境項目別の不適率の経年変化

図1-1に空気環境7項目(浮遊粉じん、二酸化炭素、一酸化炭素、温度、相対湿度、気流、ホルムアルデヒド)の不適率の経年変化を示す。浮遊粉じん、一酸化炭素、気流、ホルムアルデヒドについては、低い不適率で推移している。一方、二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適率においては、いずれも値が高く、3回の顕著な上昇が見られた。1回目は平成11年度(1996年度)(相対湿度)、2回目は平成15年度(2003年度)(温度、相対湿度、二酸化炭素濃度)、3回目は平成23年度(2011年度)(温度、相対湿度、二酸化炭素濃度)であった。それぞれは省エネ法の改定と建築物衛生法改定の翌年、東日本大震災の年と重なる。省エネのために、設定温度・相対湿度の設定・制御の問題、換気量を削減することなどにより、基準値を逸脱する事例が増加したものと考えられる。また、平成15年度(2003年度)における建築物衛生法の改定により、個別空調方式の建物が特定建築物の適用範

囲となったため、基準値の不適合の件数が増加したことが考えられる。なお、平成25年(2013年度)に相対湿度の不適率が一旦減少に転じているが、その原因として加湿器を設置していない建築物において、相対湿度との比較を行わずによいとの通知が提出されたことも関係すると考えられる。二酸化炭素については、平成29年度(2017年度)までは上昇傾向であったが、その後若干の減少に転じている。また、新型コロナウイルス感染症の流行が始まった令和2年度(2020年度)においては、感染症対策のため換気の増強、窓開け換気の励行を行っていたところである。二酸化炭素濃度の不適率については、前年から若干の低下が見られるとともに、温度については若干の増加に転じていた。換気の増強、窓開け換気の実施により、二酸化炭素濃度を低下させたとともに、特に夏期の空調時の温度が基準値の範囲に収まらなかったことが考えられる。なお、在宅勤務の推進によって、室内の在室者数が減少したことも二酸化炭素濃度の不適率が改善されたことに寄与しているとも考えられる。

図1-2から図1-8に浮遊粉じん、一酸化炭素、二酸化炭素、温度、相対湿度、気流、ホルムアルデヒドの用途別不適率の経年変化を示す。図1-1で示したように、浮遊粉じん、一酸化炭素、気流、ホルムアルデヒドについては、低い不適率を推移しており、用途によって特に特徴はない。ただし、ホルムアルデヒドにおいて、例えば平成27年度(2005年度)の百貨店で高い不適率となっているのは、対象となった30棟と建物件数が少ないことで値が大きく変動したものと考えられる。

図1-4の二酸化炭素については、旅館を除けば、全ての用途で軒並みに上昇し続けている。特に学校と事務所の上昇が著しく、平成8年度(1996年度)の10%程度に比べ、令和元年度(2019年度)は4倍超となった。学校については、学校保健安全法の学校環境衛生基準において、換気の基準として1500ppm以下であることが望ましいとしており、特定建築物となっている学校建築においては、同じ二酸化炭素濃度であっても、基準値が異なっていることも要因として考えられる。旅館において不適率が低い要因としては、計測場所・時間など測定条件に

起因することも考えられる。例えば、宴会場において、宴会の最中に計測がされているかといえば、困難であることが想像される。

図 1-5 の温度については、いずれの用途も上昇傾向にあり、学校、店舗の不適率が特に高い傾向であった。学校については二酸化炭素と同様に学校環境衛生基準に、望ましい基準として 10°C 以上、30°C 以下であるとしていたため、建築物衛生法とは異なっていたことが原因の一つと考えられる。しかしながら、平成 30 年（2018 年）に、17°C 以上、28°C 以下と改正され、建築物衛生法と一旦は同じ値になった。令和元年度（2019 年度）には一旦不敵率に改善の傾向が見られたものの、新型コロナウイルス感染症の対策のため、2020 年度は再度増加したものとも考えられる。

図 1-6 の相対湿度については、どの用途も同様に上昇傾向が見られる。

ホルムアルデヒドについては、基準値として制定された当初から、低い不適率を推移している。住宅においては、気密性の向上による換気の減少、フローリングや壁紙に使用される接着剤などの多用から発生するホルムアルデヒドなどの化学物質の室内濃度が高くなることから、シックハウス症候群、化学物質過敏症の主要原因となっていた。その対応として、厚生労働省から化学物質の指針値を制定、建築基準法によりホルムアルデヒド発散建材の使用制限、24 時間換気設備の設置義務化とともに、発生源である内装材料からの化学物質の発生が少なくなったことで、住宅室内の化学物質濃度が低下している。一方、特定建築物においては、二酸化炭素濃度の基準値より、一定の換気量が確保されていることからホルムアルデヒドの発生量は比較的少ないこともあり、不適率としても低いものとなっていると考えられる³⁾。

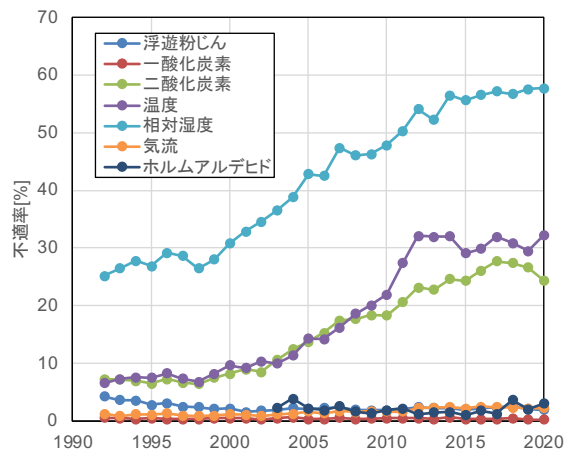


図 1-1 空気環境 7 項目の不敵率の経年変化

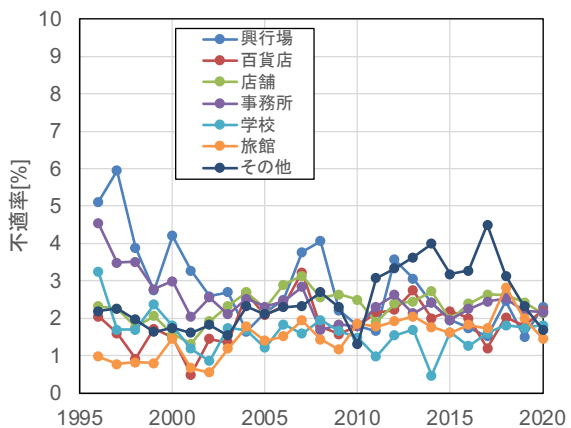


図 1-2 用途別の浮遊粉じん濃度不敵率の経時変化

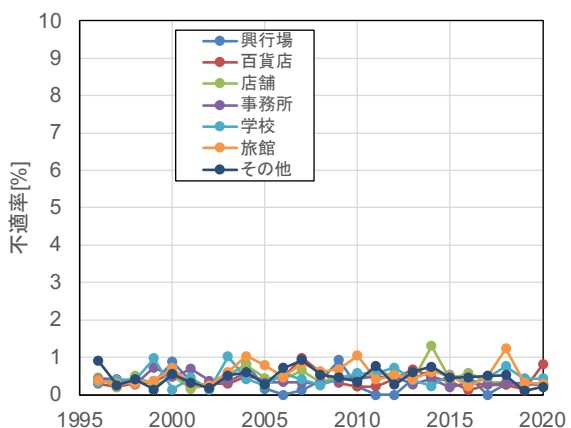


図 1-3 用途別の一酸化炭素濃度不敵率の経時変化

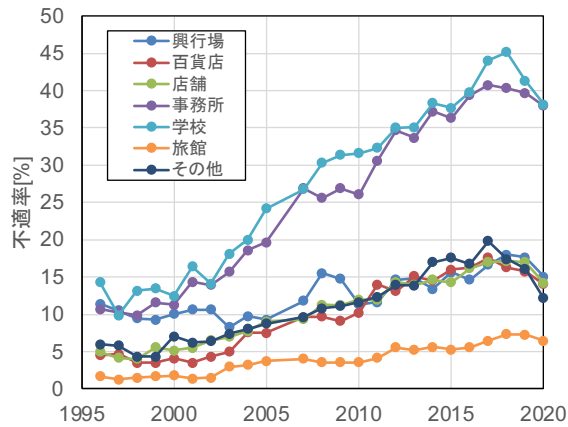


図 1-4 用途別の二酸化炭素濃度不適率の経時変化

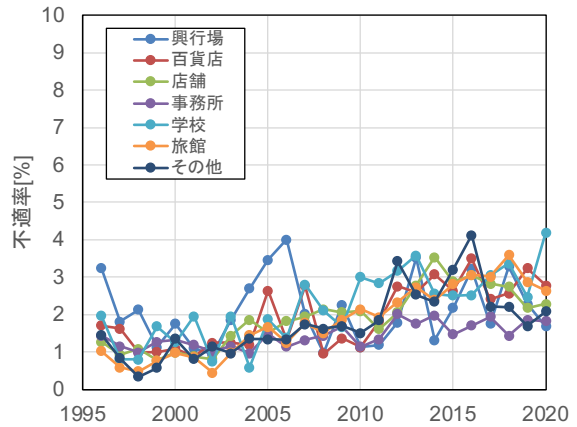


図 1-7 用途別の気流不適率の経時変化

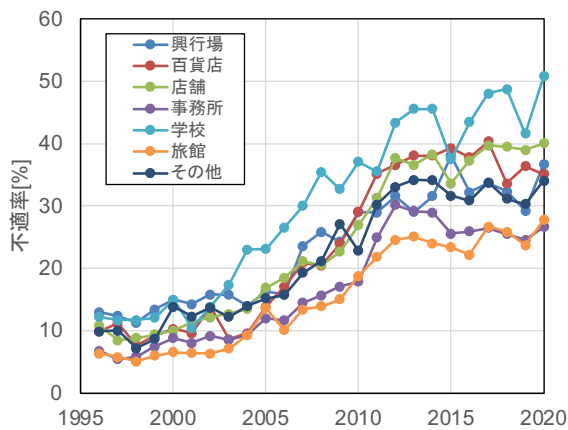


図 1-5 用途別の温度不適率の経時変化

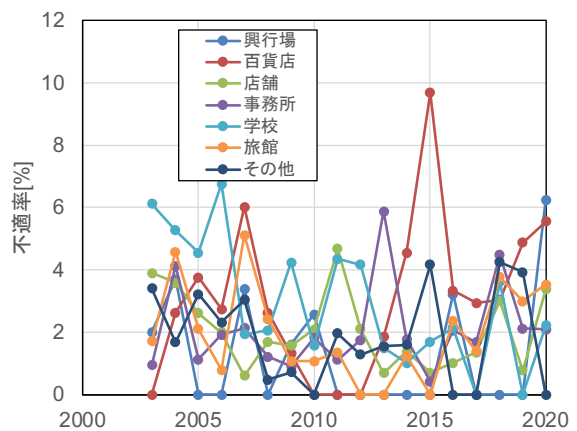


図 1-8 用途別のホルムアルデヒド濃度不適率の経時変化

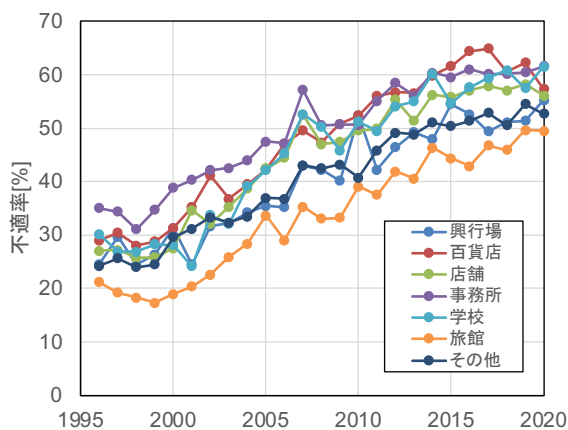


図 1-6 用途別の相対湿度不適率の経時変化

C.3 考察

空気環境項目別の不適率の経年変化より、二酸化炭素濃度、温度、相対湿度については、年々上昇する傾向となり、特に二酸化炭素濃度は換気に関わる項目であることから、室内空気質への影響が懸念される。しかしながら、ホルムアルデヒド濃度については、基準に制定されて以来、低い不適率となっており、換気不足による濃度上昇の傾向は見られない。これには、住宅とは異なりホルムアルデヒドを多量に発生する建材を使っていないこと、ある程度の換気ができていることなどが挙げられる。なお、ホルムアルデヒド以外の化学物質については、二酸化炭素濃度の不適率が高い傾向であることから、換気が十分とは言えず、ホルムアルデヒドとは異なる発生源であれば、室内濃度が高くなる可

能性もある。

D. まとめ

これまでの研究結果を踏まえて、厚生労働省から公表された全国の立ち入り調査のデータを用いた不適率の最新動向について整理を行った。

特定建築物の各環境要素について二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適率においては、いずれも値が高く、上昇する傾向となった。それぞれが、省エネ法の改正、建築物衛生法の改正、東日本大震災の影響が示唆された。また、浮遊粉じん、一酸化炭素、気流、ホルムアルデヒドについては、低い不適率で推移している。なお、新型コロナウイルス感染症の対策の実施から、二酸化炭素濃度及び温度の不適率についても影響を及ぼしていることが示唆された。

E. 参考文献

- 1) 東賢一, 池田耕一, 大澤元毅, 鍵直樹, 柳宇, 斎藤秀樹, 鎌倉良太: 建築物における衛生環境とその維持管理に関する調査解析, 空気調和・衛生工学会論文集, Vol.37, No.179, pp. 19-26, 2012.9
- 2) 林基哉, 金勲, 開原典子, 小林健一, 鍵直樹, 柳宇, 東賢一: 特定建築物における空気環境不適率に関する分析, 日本建築学会環境系論文集, Vol.84 No.765, pp.1011-1018, 2019.11
- 3) 鍵直樹, 池田耕一, 柳宇, 長谷川あゆみ, 藤井修二: パッシブ法による事務所における揮発性有機化合物の実態調査と汚染原因の検討, 日本建築学会環境系論文集, 日本建築学会, Vol.74, No. 638, pp. 501-506, 2009.4

F. 研究発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)

予定なし

2. 国内外における室内空気汚染物質の空気質ガイドラインの動向

分担研究者 東 賢一 近畿大学医学部 准教授
研究協力者 金 勲 国立保健医療科学院 上席主任研究官
研究協力者 小林健一 国立保健医療科学院 上席主任研究官

研究要旨

建築物衛生法では、13物質に対して室内濃度指針値を策定してきたが、2012年以降、一般住宅の実態から室内濃度指針値の追加等に関する検討が成されている。そこで、建築物衛生法の適用範囲の検討のために世界保健機関（WHO）のほか、ドイツ、フランス、カナダにおける室内空気質ガイドラインに関する評価文書、関連学会の資料、関連論文を調査した。

WHOは2016年に基準新設に関して優先順位を4つの区分に分けている。喫緊に再評価若しくは改訂を要する物質（グループ1）から当面再評価が不要な物質（グループ4）を策定している。また、2021年には粒子状物質、オゾン、二酸化窒素、二酸化硫黄、一酸化炭素の空気質ガイドラインが改正された。諸外国においては、ドイツでは64、フランスでは15、カナダでは13の物質若しくは物質群に対して室内空気質ガイドラインが定められていた。

A. 研究目的

建築物衛生法が適用される特定建築物に対しては、建築物環境衛生管理基準として、温度、相対湿度、気流、二酸化炭素、一酸化炭素、浮遊粉じん、ホルムアルデヒドの測定が規定されている。厚生労働省では1997年から2002年までに13物質に対して室内濃度指針値を策定してきたが、2012年以降、一般住宅の実態調査を行い、新たに室内濃度指針値を追加で設定等実施すべきかについて検討がなされている。そこで本研究では、近年における諸外国等での室内空気質ガイドラインの動向についても調査を行い、建築物衛生法における環境衛生管理基準を今後検討するための基礎資料とする。

本研究で得られた成果は、建築物衛生法の適用範囲の検討に資するものであり、今後の建築物衛生行政における施策の立案に寄与するものである。

B. 研究方法

国際機関や諸外国における室内空気質ガイドラインに関する評価文書、関連学会の資料、

関連論文をインターネットおよび文献データベースで調査した。世界保健機関本部（WHO本部）、世界保健機関欧州地域事務局（WHO欧州）、ドイツ、フランス、カナダを主な調査対象国とした。なお、日本の室内濃度指針値の状況もあわせて報告する。

C. 研究結果および考察

日本における室内濃度指針値の状況を表1-1に示す。日本では、1996年に全国230戸の住宅で実施されたホルムアルデヒドの室内濃度の実態調査において、当時、WHO欧州が公表していた室内空気質ガイドライン 0.1 mg/m^3 （0.08 ppm）を超えていた住宅の比率が約25%強であった。この結果を踏まえて、1997年にホルムアルデヒドの室内濃度指針値が策定された。また、1997年から1998年にかけて44の揮発性有機化合物（VOC）の室内濃度に関する全国規模の実態調査が行われ、一部の家屋では室内空気汚染が高いレベルにあることが明らかとなった。そのため厚生労働省は、室内空気汚染の問題に対応するため、2000年から2002年にかけて「シ

ックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会」を開催し、13種類の化学物質に対して室内濃度指針値を策定した。

その後2012年より、関係省庁や関係団体等のシックハウス問題への取り組みに関するヒアリングを行い、並行して諸外国等の室内空気質規制の調査や居住環境におけるVOC等の実態調査を実施した結果を踏まえて初期リスク評価を行った結果、2-エチル-1-ヘキサノール、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールモノイソブチレート（TMPD-MIB）、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールジイソブチレート（TMPD-DIB）に対して室内濃度指針値案が提示され、キシレン、エチルベンゼン、フタル酸ジ-n-ブチル、フタル酸ジ-2-エチルヘキシルの室内濃度指針値改正案が提示された。その後パブリックコメントを経て、キシレン、DnBP、DEHPの室内濃度指針値が2019年1月17日に改正された。

世界保健機関（WHO）の空気質ガイドライン、ドイツ連邦環境庁の室内空気質ガイドライン、フランス環境労働衛生安全庁（ANSES）の室内空気指針値、カナダ保健省の室内空気指針値に関する情報を収集した。各機関のガイドラインを詳細データ欄に表でとりまとめた（表2-1～表2-11）。参考文献については、令和2年度及び令和3年度の分担研究報告書を参照されたい。

WHOは、2010年までに公表を行った空気質ガイドライン、室内空気質ガイドライン以降の動きとして、近年のエビデンスに基づいて、空気質ガイドラインの改訂／新設に関する優先付けを実施し、2016年に公表している。喫緊に再評価（改訂）が必要な物質（グループ1）としては、粒子状物質、オゾン、二酸化窒素、二酸化硫黄、一酸化炭素があげられた。この次に再評価が必要な物質としては（グループ2）、カドミウム、クロム、鉛、ベンゼン、ダイオキシン類、多環芳香族炭化水素があげられた。さらにこの次に再評価が必要な物質としては（グループ3）、ヒ素、マンガン、白金、バナジウム、ブタジエン、トリクロロエチレン、アクリロニトリル、硫化水素、塩化ビニル、トルエン、ニッケルがあげられた。当面再評価が不要な物質としては（グループ4）、水銀、アスベスト、ホル

ムアルデヒド、スチレン、テトラクロロエチレン、二硫化炭素、フッ化物、ポリ塩化ビフェニル、1,2-ジクロロエタン、ジクロロメタンがあげられている。

WHOは2021年9月に空気質ガイドラインをアップデート（2005年のガイドラインに対して）した。粒子状物質（PM_{2.5}、PM₁₀）、オゾン、二酸化窒素、二酸化硫黄、一酸化炭素の空気質ガイドラインが最新の科学的知見に基づき改正された。

粒子状物質と二酸化窒素においては、長期間曝露（年平均値等）では全死亡（不慮の事故を除く）を指標とし、5パーセンタイル値を導出して空気質ガイドラインを設定していた。また、短期間曝露（日平均等）では、1日の全死亡（不慮の事故を除く）を指標とし、年平均値の空気質ガイドラインに合致する日平均濃度の99パーセンタイル値を推算し、その値をもとに空気質ガイドラインを設定していた。

オゾンでもピーク季節のガイドラインについては、全死亡（不慮の事故を除く）を指標とし、5パーセンタイル値を導出して空気質ガイドラインを設定していた。

二酸化硫黄と一酸化炭素では、24時間平均のガイドラインに対して、それぞれ1日の喘息による入院や救急搬送・全死亡（不慮の事故除く）・呼吸器疾患死亡、入院と心筋梗塞による死亡を指標として空気質ガイドラインを設定していた。

諸外国では、ドイツ連邦環境庁は、2021年までに64の物質または物質群に対して室内空気質ガイドラインを定めており、この間、ホルムアルデヒドとトルエンについては再評価も実施している。なお、トルエンの再評価の際に、C₇～C₈のアルキルベンゼンの混合曝露の評価基準として、トルエン、キシレン、エチルベンゼンの各室内濃度指針値に対する各曝露濃度の比を足し算して1未満とすることが示された。これは、この3つの物質が類似した神経毒性を有することから、毒性の相加則が成立すると仮定したことによる。

フランスでは2021年までに15物質、カナダでは、13物質の室内空気指針値を定めている。なお、カナダでは、室内空気指針値が設定されていない物質のリスクを公衆衛生専門家がスク

リーニング評価するための評価値として、室内空気評価値 (Indoor Air Reference Levels: IARLs) を 2018 年 2 月から提供している。この評価値は、これまで 25 物質に対して設定されている。

D. 総括

室内空気質ガイドラインに関する国際動向を把握するために、WHO、ドイツ、フランス、カナダにおける室内空気質ガイドラインの設定状況を調査した。近年の動きとしては、WHO が空気質ガイドラインをアップデートしたことが大きな動きであった。粒子状物質 (PM_{2.5}、PM₁₀)、オゾン、二酸化窒素、二酸化硫黄、一酸化炭素の空気質ガイドラインが最新の科学的知見に基づき改正された。

諸外国では、ドイツ連邦環境庁は、2021 年までに 64 の物質または物質群に対して室内空気質ガイドラインを定めており、この間、ホルムアルデヒドとトルエンについては再評価も実施された。なお、トルエンの再評価の際に、C₇~C₈ のアルキルベンゼンの混合曝露の評価基準として、トルエン、キシレン、エチルベンゼンの各室内濃度指針値に対する各曝露濃度の比を足し算して 1 未満とすることが示された。これは、この 3 つの物質が類似した神経毒性を有することから、毒性の相加則が成立すると仮定したことによる。

フランスでは 2021 年までに 15 物質、カナダでは、13 物質の室内空気指針値が定められた。なお、カナダでは、室内空気指針値が設定されていない物質のリスクを公衆衛生専門家がスクリーニング評価するための評価値として、室内空気評価値 (Indoor Air Reference Levels: IARLs) が 25 物質に対して提供されている。

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 東 賢一. 職域におけるオフィスビルの室内環境に関連する症状とそのリスク要因：いわゆるシックビルディング症候群. 産業医学レビュー 33(3), 263-278, 2021.

- 2) 東 賢一. 世界保健機関 (WHO) による「住宅と健康のガイドライン」. 公衆衛生 Vol 85, No.7, pp. 432-437, 2021.

2. 学会発表

- 1) 東 賢一、鍵 直樹、柳 宇、金 勲、開原典子、林 基哉、大澤元毅. オフィスビル労働者のビル関連症状と室内空気汚染物質との関係に関する縦断調査. 第 93 回日本産業衛生学会, 旭川, 2020 年 5 月 13 日-16 日.
- 2) 東 賢一. リスク評価の考え方. 令和 2 年度空気調和・衛生工学会大会ワークショップ, 福井, 2020 年 9 月 18 日.
- 3) 東 賢一、鍵 直樹、柳 宇、金 勲、中野淳太、長谷川兼一、島崎 大、開原典子、櫻田尚樹、林 基哉、小林健一. 建築物の環境衛生管理の実態に関する全国調査 その 7 ビル関連症状と室内空気質. 第 79 回日本公衆衛生学会総会, 京都, 2020 年 10 月 20-22 日.
- 4) 東 賢一. 世界保健機関 (WHO) による「住宅と健康のガイドライン」. 第 79 回日本公衆衛生学会総会シンポジウム, 京都, 2020 年 10 月 22 日.
- 5) Azuma K, Kagi N, Yanagi U, Kim H, Hasegawa K, Shimazaki D, Kaihara N, Kunugita N, Hayashi M, Kobayashi K, Osawa H. Effects of the total floor area of an air-conditioned office building on building-related symptoms: characteristics of winter and summer. 16th international conference on indoor air quality and climate, Seoul, Korea, November 1-5, 2020.
- 6) Azuma K, Kagi N, Yanagi U, Kim H, Kaihara N, Hayashi M, Osawa H. Effects of suspended particles, chemicals, and airborne microorganisms in indoor air on building-related symptoms: a longitudinal study in air-conditioned office buildings. Healthy Buildings Europe 2021, Oslo, Norway, June 21-23, 2021.
- 7) Azuma K, Kagi N, Yanagi U, Kim H, Hasegawa K, Shimazaki D, Kaihara N, Kunugita N, Hayashi M, Kobayashi K, Osawa H. Effects of the total floor area of an air-conditioned office building on building-related symptoms: associations with thermal conditions and carbon

dioxide. Healthy Buildings America 2021, Honolulu, Hawaii, January 18-20, 2022.

- 8) Azuma K. Indoor air quality and health effects in Japanese modern office buildings. the 33rd International Congress on Occupational Health 2022, Special Session: Indoor air quality in modern office buildings. Global digital congress, Melbourne-Rome, February 6-10, 2022.

3. 書籍

- 1) 東 賢一. 新版生活健康科学第2版：第7章生活環境と健康. 218 頁, 三共出版, 東京, 2022.

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

1. 日本における室内濃度指針値の動向

表1-1 厚生労働省の室内濃度指針値

化学物質	室内濃度指針値 (µg/m ³)	主な排出源
ホルムアルデヒド	100 (0.08)	合板、接着剤
トルエン	260 (0.07)	接着剤、塗料
キシレン	200 (0.05)*	接着剤、塗料
パラジクロロベンゼン	240 (0.04)	防虫剤
エチルベンゼン	3800 (0.88)	断熱材、塗料、床材
スチレン	220 (0.05)	断熱材、塗料、床材
クロロピリホス	1 (0.00007)※小児 0.1	シロアリ駆除剤
フタル酸ジ-n-ブチル	17 (0.0015)*	軟質塩ビ樹脂、塗料
テトラデカン	330 (0.04)	接着剤、塗料
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	100 (0.0063)*	軟質塩ビ樹脂、塗料
ダイアジノン	0.29 (0.00002)	シロアリ駆除剤
アセトアルデヒド	48 (0.03)	合板、接着剤
フェノブカルブ	33 (0.0038)	シロアリ駆除剤
ノナナール	41 (0.007) 暫定値	合板、接着剤
総揮発性有機化合物 (TVOC)	400 暫定目標値	内装材、家具、家庭用品

* 2019年1月17日改正 () 内は 25°C換算時の体積濃度 ppm

2. 諸外国における室内空気質ガイドラインの動向

表2-1 WHOの2005年グローバルアップデート空気質ガイドライン (大気、室内)

汚染物質	ガイドライン値(µg/m ³)	曝露時間
PM _{2.5}	25	24時間平均値
	10	年間平均値
PM ₁₀	50	24時間平均値
	20	年間平均値
オゾン	100	8時間平均値
二酸化窒素	200	1時間平均値
	40	年間平均値
二酸化硫黄	500	10分間平均値
	20	24時間平均値

表 2-2 WHO 欧州事務局による 2010 年汚染物質に対する個別の室内空気質ガイドライン

汚染物質	ガイドライン	影響指標
ホルムアルデヒド	0.1 mg/m ³ (30 分平均値) いかなる時間帯もこの値を超えないこと ※長期曝露による肺機能への影響、鼻咽頭がんや骨髄性白血病の発症も防止できる	感覚刺激
ベンゼン	ユニットリスク : 6.0×10 ⁻⁶ (μg/m ³) ⁻¹ 17 μg/m ³ (10 ⁻⁴ の発がんリスク) 1.7 μg/m ³ (10 ⁻⁵ の発がんリスク) 0.17 μg/m ³ (10 ⁻⁶ の発がんリスク)	急性骨髄性白血病 遺伝毒性
ナフタレン	10 μg/m ³ (年平均値)	動物実験での炎症や悪性を伴う 気道損傷
二酸化窒素	200 μg/m ³ (1 時間平均値) 40 μg/m ³ (年平均値)	呼吸器症状、気管支収縮、気管支 反応の増加、気道炎症、気道感染 の増加をもたらす免疫防御の低下
一酸化炭素	100 mg/m ³ (15 分値) ※1 日のうちで頻繁にこのレベルを超えないこと 35 mg/m ³ (1 時間値) ※1 日のうちで頻繁にこのレベルを超えないこと 10 mg/m ³ (8 時間値) ※算術平均値 7 mg/m ³ (24 時間値) ※算術平均値	急性曝露時の運動負荷試験での 運動能力の低下、虚血性心疾患の 症状の増加(心電図の ST 変化等)
ラドン	喫煙者のユニットリスク : 15×10 ⁻⁵ (Bq/m ³) ⁻¹ 67 Bq/m ³ (10 ⁻² の発がんリスク) 6.7 Bq/m ³ (10 ⁻³ の発がんリスク) 非喫煙者のユニットリスク : 0.6×10 ⁻⁵ (Bq/m ³) ⁻¹ 1670 Bq/m ³ (10 ⁻² の発がんリスク) 167 Bq/m ³ (10 ⁻³ の発がんリスク) ※安全な曝露レベルは存在しないが健康影響(肺がん)を 最小限にする参照レベルとして 100 Bq/m ³ を推奨	肺がん 白血病や胸郭外気道の癌に関する 示唆的証拠
トリクロロエチレン	ユニットリスク : 4.3×10 ⁻⁷ (μg/m ³) ⁻¹ 230 μg/m ³ (10 ⁻⁴ の発がんリスク) 23 μg/m ³ (10 ⁻⁵ の発がんリスク) 2.3 μg/m ³ (10 ⁻⁶ の発がんリスク)	発がん性(肝臓、腎臓、胆管、非 ホジキンリンパ腫)
テトラクロロエチレン	250 μg/m ³ (年平均値)	神経行動障害、腎機能への影響
ベンゾ-a-ピレン	ユニットリスク : 8.7×10 ⁻⁵ (ng/m ³) ⁻¹ 1.2 ng/m ³ (10 ⁻⁴ の発がんリスク) 0.12 ng/m ³ (10 ⁻⁵ の発がんリスク) 0.012 ng/m ³ (10 ⁻⁶ の発がんリスク)	肺がん

表 2-3 WHO の 2014 年室内燃焼生成物の目標排出基準

物質	器具	目標排出基準
PM _{2.5}	煙突や排気フードを有する器具	0.80 mg/分以下
	排気口のないストーブ、ヒーター、燃料ランプ	0.23 mg/分以下
一酸化炭素	煙突や排気フードを有する器具	0.59 mg/分以下
	排気口のないストーブ、ヒーター、燃料ランプ	0.16 mg/分以下

表 2-4 WHO が空気質ガイドラインを今後アップデートする際のエビデンス評価結果 (2016 年)

<i>Recent evidence justifies re-evaluation</i> (Group 1)	<i>Recent evidence justifies re-evaluation</i> (Group 2)	<i>Recent evidence justifies re-evaluation</i> (Group 3)	<i>Recent evidence does not justify need for re-evaluation</i> (Group 4)
Particulate Matter	Cadmium	Arsenic	Mercury
Ozone	Chromium	Manganese	Asbestos
Nitrogen dioxide	Lead	Platinum	Formaldehyde
Sulfur dioxide	Benzene	Vanadium	Styrene
Carbon monoxide	PCDDs & PCDFs	Butadiene	Tetrachloroethylene
	PAHs*	Trichloroethylene	Carbon disulfide
		Acrylonitrile**	Fluoride
		Hydrogen sulfide	PCBs
		Vinyl chloride	1,2-dichloroethane
		Toluene	Dichloromethane
		Nickel	

表 2-5 WHO の 2021 年空気質ガイドラインアップデート

物質	アセスメントの概要	空気質ガイドライン	キー研究
PM _{2.5}	全死亡（不慮の事故を除く）について、最も低濃度で影響が観察された 5 つの研究の 5 パーセントイル値が 3.0 µg/m ³ (Pinault et al., 2016), 3.2 µg/m ³ (Cakmak et al., 2018), 3.5 µg/m ³ (Pinault et al., 2017), 4.8 µg/m ³ (Villeneuve et al., 2015) and 6.7 µg/m ³ (Weichenthal et al., 2014)であり、これらの平均値が 4.2 µg/m ³ となった。PM _{2.5} の影響がみられなかった Villeneuve et al., 2015 と Weichenthal et al., 2014 を除くと平均値が 4.9 µg/m ³ となった。これらの結果から出発点を 4.2-4.9 µg/m ³ PM _{2.5} とし、年平均値を 5 µg/m ³ としている。	5 µg/m ³ (年平均値)	Pinault et al., 2016、Cakmak et al., 2018、Pinault et al., 2017、Villeneuve et al., 2015、Weichenthal et al., 2014
	1 日の全死亡（不慮の事故を除く）を指標とし、年平均値のガイドライン 5 µg/m ³ に合致する日平均濃度の 99 パーセントイル値を推算し、Liu et al., 2019 のデータから年平均値の 3 倍の値を導出した。	15 µg/m ³ (24 時間平均値)	Liu et al., 2019
PM ₁₀	全死亡（不慮の事故を除く）について、最も低濃度で影響が観察された 5 つの研究の 5 パーセントイル値が 13.7 µg/m ³ (Beelen et al., 2014), 15.0 µg/m ³ (Bentayeb et al., 2015), 15.1 µg/m ³ (Puetz et al., 2008), 15.9 µg/m ³ (Carey et al., 2013) and 16.0	15 µg/m ³ (年平均値)	Beelen et al., 2014、Bentayeb et al., 2015、Puetz et al., 2008、Carey et al., 2013、Hart et al., 2011

	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Hart et al., 2011)であり、これらの平均値が $15.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となった。そこで年平均値を $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ としている。		
	1日の全死亡（不慮の事故を除く）を指標とし、年平均値のガイドライン $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に合致する日平均濃度の99パーセンタイル値を推算し、Liu et al., 2019のデータから年平均値の3倍の値を導出した。	$45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24時間平均値)	Liu et al., 2019
オゾン	全死亡（不慮の事故を除く）について、最も低濃度で影響が観察された3つの研究のピーク季節の5パーセンタイル値が $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Weichenthal, Pinault & Burnett, 2017), $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Cakmak et al., 2018) and $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Di et al., 2017a)であり、これらの平均値が60、または $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となった。そこでピーク季節の8時間平均値を $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ としている。	$60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (8時間平均値、ピーク季節[平均値が高濃度の6ヶ月間])	Weichenthal, Pinault & Burnett, 2017、Cakmak et al., 2018、Di et al., 2017
	全死亡（不慮の事故を除く）を指標とし、6ヶ月のピーク値ガイドライン $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ が年平均値 $48.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に相当すると計算し、日平均値の99パーセンタイルと8時間日最大値への換算を行い、8時間日最大値を $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ としている。	$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (8時間の日最大値)	Vicedo-Cabrera et al. 2020、Turner et al., 2016、de Hoogh et al., 2018
二酸化窒素	全死亡（不慮の事故を除く）について、最も低濃度で影響が観察された5つの研究の5パーセンタイル値が $7.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tonne & Wilkinson, 2013), $8.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in two separate studies (Hart et al., 2011, 2013), $9.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Turner et al., 2016) and $10.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Carey et al., 2013) であり、これらの平均値が $8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となった。そこで年平均値を $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ としている。	$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (年平均値)	Tonne & Wilkinson, 2013、Hart et al., 2011, 2013、Turner et al., 2016、Carey et al., 2013
	1日の全死亡（不慮の事故を除く）を指標とし、年平均値のガイドライン $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に合致する日平均濃度の99パーセンタイル値を推算し、Liu et al., 2019のデータから年平均値の2.5倍の値を導出した。	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24時間平均値)	Liu et al., 2019
		$200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1時間平均値) *	改正なし
二酸化硫黄	1日の喘息による入院や救急搬送、全死亡（不慮の事故除く）、呼吸器疾患死亡	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24時間平均値)	Liu et al., 2019、Zheng et al. 2021、Orellano, Reynoso &

	を指標とし、30 µg/m³の日平均濃度の増加分を算出し、10 µg/m³の年平均濃度に加算して24時間平均値40 µg/m³、または99パーセンタイル値と年平均値との差を4倍と推算して24時間平均値40 µg/m³としている。		Quaranta 2021
		500 µg/m³ (10分平均値) *	改正なし
一酸化炭素	入院と心筋梗塞による死亡を指標とし、中央値1.15 mg/m³を観察された最も低濃度とし、相対リスク1.019を用いて心筋梗塞が5.4%増となる日平均濃度として4 mg/m³を導出している。	4 mg/m³ (24時間平均値)	Lee et al. 2020
		10 mg/m³ (8時間平均値) * 35 mg/m³ (1時間平均値) * 100 mg/m³ (15分平均値) *	改正なし

* 改正されず現状維持とされたガイドライン

表2-6 ドイツ連邦環境庁の室内空気質ガイドライン

物質	指針値 II (mg/m³)	指針値 I (mg/m³)	制定年
ホルムアルデヒド	0.12		1977 2006 再評価
		0.1 (30分間値かつ1日の天井値)	2016 再評価
トルエン	3	0.3	1996 2016 再評価
ペンタクロロフェノール (PCP)	0.001	0.0001	1997
一酸化炭素	60 (30分) 15 (8時間)	6 (30分) 1.5 (8時間)	1997
ジクロロメタン	2 (24時間)	0.2	1997
二酸化窒素	0.350 (30分) 0.06 (1週間)	—	1998
スチレン	0.3	0.03	1998
水銀 (金属蒸気として)	0.00035	0.000035	1999
ジイソシアネート	数値設定なし		2000
リン酸トリス(2-クロロエチル) (TCEP)	0.05	0.005	2002
二環式テルペン (主にα-ピネン)	2	0.2	2003
ナフタレン	0.03	0.01	2013 改訂
C ₉ ~C ₁₄ の低芳香族含量の炭化水素混合物 (アルカン/イソアルカン類)	2	0.2	2005
ダイオキシン様のポリ塩化ビフェニール	5 pg PCB-TEQ/m³		2007
C ₄ ~C ₁₁ の飽和脂肪族非環式アルデヒド類	2	0.1	2009
単環モノテルペン (主にd-リモネン)	10	1	2010

ベンジルアルコール	4	0.4	2010
ベンズアルデヒド	0.2	0.02	2010
トリクロラミン	0.2		2011
環状シロキサン (三量体から六量体)	4 (合計値)	0.4 (合計値)	2011
2-フルアルデヒド	0.1	0.01	2011
フェノール	0.2	0.02	2011
メチルフェノール (クレゾール)	0.05	0.005	2012
C ₉ -C ₁₅ アルキルベンゼン	1	0.1	2012
エチルベンゼン	2	0.2	2012
メチルイソブチルケトン (MIBK)	1	0.1	2013
エチレングリコールメチルエーテル (EGME)	0.2 (0.05 ppm)	0.02	2013
ジエチレングリコールメチルエーテル (DEGME)	6 (1 ppm)	2	2013 暫定
ジエチレングリコールジメチルエーテル (DEGDME)	0.3 (0.06 ppm)	0.03	2013
エチレングリコールエチルエーテル (EGEE)	1 (0.4 ppm)	0.1	2013
エチレングリコールモノエチルエーテルアセテート (EGEEA)	2 (0.4 ppm)	0.2	2013
ジエチレングリコールエチルエーテル (DEGEE)	2 (0.4 ppm)	0.7	2013 暫定
エチレングリコールブチルエーテル (EGBE)	1 (0.3 ppm)	0.1	2013
エチレングリコールブチルエーテルアセテート (EGBEA)	2 (0.3 ppm)	0.2	2013 暫定
ジエチレングリコールブチルエーテル (DEGBE)	1 (0.2 ppm)	0.4	2013 暫定
エチレングリコールヘキシルエーテル (EGHE)	1	0.1	2013
2-プロピレングリコール 1-メチルエーテル (2PG1ME)	10	1	2013
ジプロピレングリコールメチルエーテル (DPGME)	7	2	2013 暫定
2-プロピレングリコール 1-エチルエーテル (2PG1EE)	3	0.3	2013
プロピレングリコール 1-tert-ブチルエーテル (2PG1tBE)	3	0.3	2013
データが不十分なグリコールエステル類	0.05 ppm	0.005 ppm	2013 デフォルト値
2-エチルヘキサノール	1	0.1	2013 暫定
アセトアルデヒド	1	0.1	2013
1-ブタノール	2	0.7	2014
1-メチル-2-ピロリドン (NMP)	1	0.1	2014
酢酸エチル	6	0.6	2014
トリクロロエチレン	20 µg/m ³ (UR 6.4×10 ⁻⁵ (mg/m ³) ⁻¹ , 10 ⁻⁶ risk)		2015
2-ブタノンオキシム (メチルエチルケトキシム)	0.06	0.02	2015
2-クロロプロパン	8	0.8	2015
キシレン	0.8	0.1	2015
C ₇ ~C ₈ のアルキルベンゼン	x/GVtol + y/GVxyl + z/GVeth < 1 ※x,y,z はそれぞれトルエン、キシレン、エチルベンゼンの測定濃度 トルエンの指針値 (GVtol) : 0.3 mg/m ³ キシレンの指針値 (GVxyl) : 0.1 mg/m ³ エチルベンゼンの指針値 (GVeth) : 0.2 mg/m ³		2016
プロピレングリコール	0.6	0.06	2016
テトラクロロエチレン	1.0	0.1	2017
2-フェノキシエタノール	0.1	0.03	2018
1,2-ジクロロエタン	100 万分の 1 の過剰発がんリスクに対応する濃度として 0.37 µg/m ³		2019
二酸化窒素	0.25	0.08	2019

ベンゾチアゾール		0.015 (暫定値)	2019
ベンゼン	100 万分の 1 の過剰発がんリスクに対応する濃度として約 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 10 万分の 1 の過剰発がんリスクに対応する濃度として約 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		2020
メタクリル酸メチル	2.1	1.1	2021
アセトン	160	53	2021
2-プロパノール	45	22	2021
ベンゾ-a-ピレン	100 万分の 1 の過剰発がんリスクに対応する濃度として約 0.033 ng/m^3 10 万分の 1 の過剰発がんリスクに対応する濃度では約 0.33 ng/m^3 指針値としては、ドイツの実態調査から、居間で 0.79 ng/m^3 が 95 パーセンタイル値であったことから、0.8 ng/m^3 を暫定的に勧告		2021
塩化ビニル	100 万分の 1 の過剰発がんリスクに対応する濃度として 2.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 10 万分の 1 の過剰発がんリスクに対応する濃度では 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		2021
一酸化炭素	WHO の空気質ガイドラインに準じる 4 mg/m^3 (24 時間平均値) 10 mg/m^3 (8 時間平均値) 35 mg/m^3 (1 時間平均値) 100 mg/m^3 (15 分平均値)		2021

※指針値 II (RW II) は、既知の毒性および疫学的な科学的知見に基づき定められた値であり、不確実性が考慮されている。RW II を越えていたならば、特に、長時間に在する感受性の高い居住者の健康に有害となる濃度として、即座に濃度低減のための行動を起こすべきと定義されている。指針値 I (RW I) は、長期間曝露したとしても健康影響を引き起こす十分な科学的根拠がない値である。従って、RW I を越えていると、健康上望ましくない平均的な曝露濃度よりも高くなるため、予防のために、RW I と RW II の間の濃度である場合には行動する必要があると定義されている。RW I は、RW II に不確実係数 10 を除いた値、つまり RW II の 10 分の 1 の値が定められている。不確実係数 10 は慣例値を使用している。RW I は、改善の必要性を示す値としての役割を果たすことができる。可能であれば、RW I の達成を目指すのではなく、それ以下の濃度に維持することを目指すべきであるとされている。

表 2-7 ドイツの室内空気中の二酸化炭素のガイダンス値

区分	濃度範囲 (ppm)	衛生的な評価
1	< 1,000	無害
2	1,000~2,000	衛生面の懸念が上昇
3	> 2,000	容認できない

表 2-8 ドイツの総揮発性有機化合物のガイダンス値

区分	濃度範囲 (mg/m^3)	衛生的な評価
1	≤ 0.3	支障なし
2	$> 0.3 \sim 1$	支障なし。ただし、個々の物質やグループ物質ための指針値は超過しないこと
3	$> 1 \sim 3$	衛生面の懸念あり
4	$> 3 \sim 10$	大きな支障あり
5	> 10	容認できない状況

表 2-9 フランスにおける室内空気指針値のまとめ

物質	室内空気指針値 (VGAI*)		制定
ホルムアルデヒド	短期 VGAI (2 時間)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2007 年
	長期 VGAI (1 年以上)	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
一酸化炭素	短期 VGAI		2007 年
	8 時間曝露	10 mg/m^3	
	1 時間曝露	30 mg/m^3	
	30 分曝露	60 mg/m^3	
ベンゼン	15 分曝露	100 mg/m^3	2008 年
	短期 VGAI: 1~14 日間	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	中期 VGAI: 14 日~1 年間	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	長期 VGAI: 一年間以上	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	長期 VGAI: 生涯曝露 リスクレベル= 10^{-6}	0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
ナフタレン	長期 VGAI: 生涯曝露 リスクレベル= 10^{-5}	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2009 年
	長期 VGAI: 一年間以上	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
トリクロロエチレン	中期 VGAI: 14 日~1 年間	800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2009 年
	長期 VGAI: 生涯曝露 リスクレベル= 10^{-6}	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	長期 VGAI: 生涯曝露 リスクレベル= 10^{-5}	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
テトラクロロエチレン	短期 VGAI: 1~14 日間	1380 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2010 年
	長期 VGAI: 一年間以上	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM _{2.5} 、PM ₁₀	VGAI: 無し	—	2010 年
シアン化水素	VGAI: 無し	—	2011 年
二酸化窒素	短期 VGAI: 2 時間	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2013 年
	長期 VGAI: 一年間以上	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
アクロレイン	短期 VGAI: 1 時間	6.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2013 年
	長期 VGAI: 一年間以上	0.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
二酸化炭素	VGAI: 無し	—	2013 年
アセトアルデヒド	短期 VGAI: 1 時間	3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2014 年
	長期 VGAI: 一年間以上	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
エチルベンゼン	短期 VGAI (24 時間)	22 mg/m^3	2016 年
	長期 VGAI (1 年以上)	1.5 mg/m^3	
ホルムアルデヒド	VGAI (1~4 時間)	0.1 mg/m^3	2018 年
トルエン	VGAI (24 時間および年間)	20 mg/m^3	2018 年

表 2-10 カナダにおける室内空気指針値のまとめ

物質	最大ばく露限界	制定年
ホルムアルデヒド	長期 [8 時間] : 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (40ppb) 短期 [1 時間] : 123 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (100 ppb)	2006 年
カビ (細菌)	カナダ保健省は、以下を勧告する。 湿度を制御すること、カビの増殖を防ぐために水で傷ついた住宅の修復をこまめにすること、	2007 年

	住宅用建物の中で繁殖しているカビ（見えないものも含む）を十分に除去すること	
一酸化炭素	長期 [24 時間] : 11.5 mg/m ³ (10 ppm) 短期 [1 時間] : 28.6 mg/m ³ (25 ppm)	2010 年
二酸化窒素	長期 [24 時間] : 100 µg/m ³ (0.05 ppm) 短期 [1 時間] : 480 µg/m ³ (0.25 ppm)	1987 年
ラドン	200 Bq/m ³	2007 年
オゾン	長期 [8 時間] : 40 µg/m ³ (20 ppb)	2010 年
トルエン	長期 [24 時間] : 2.3 mg/m ³ (0.6 ppm) 短期 [8 時間] : 15 mg/m ³ (4.0 ppm)	2011 年
微小粒子状物質 (PM _{2.5})	カナダ保健省は、以下を勧告する。 室内の PM _{2.5} 濃度は可能な限り低く保たなければならない。 室内の主要な排出源に対応するため、料理の際には換気扇を使用し、室内での喫煙は許容しないこと。	2012 年
ナフタレン	長期 [24 時間] : 0.010 mg/m ³ (0.0019 ppm)	2013 年
ベンゼン	カナダ保健省は、以下を勧告する。 ベンゼンの室内濃度を可能な限り低く維持すること	2013 年
アセトアルデヒド	短期間曝露指針値 : 1420 µg/m ³ (1 時間値) 長期間曝露指針値 : 280 µg/m ³ (24 時間値)	2017 年
アクロレイン	短期間曝露指針値 : 38 µg/m ³ (1 時間値) 長期間曝露指針値 : 0.44 µg/m ³ (24 時間値)	2021 年
二酸化炭素	長期間曝露指針値 : 1000 ppm (1800 mg/m ³) (24 時間値)	2021 年

表 2-1-1 カナダにおける室内空気評価値

化学物質	IARL (µg/m ³)	影響		Reference
		発がん	非発がん	
1,3-ブタジエン	1.7	白血病	-	EC/HC (2000)
1,4-ジクロロベンゼン	60	-	鼻腔の変性	ATSDR (2006)
2-ブトキシエタノール	11 000	-	血液学的影響	EC/HC (2002)
2-エトキシエタノール	70	-	生殖影響	CalEPA (2000)
3-クロロプロペン	1	-	神経毒性	US EPA (1991)
アセトン	70 000	-	発達影響	VCCEP (2003)
アクロレイン	0.35	-	気道上皮の変性	CalEPA (2008)
アニリン	1	-	脾臓への影響	US EPA (1990a)
四塩化炭素	1.7	副腎腫瘍	-	US EPA (2010)
クロロホルム	300	-	肝臓と腎臓への影響	CalEPA (2000)
シクロヘキサン	6000	-	発達影響	US EPA (2003a)
ジクロロメタン	600	-	肝臓への影響	US EPA (2011)
エピクロロヒドリン	1	-	鼻腔の変性	US EPA (1994)
エチルベンゼン	2000	-	腎臓、脳下垂体、肝臓への影響	CalEPA (2000)

化学物質	IARL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	影響		Reference
		発がん	非発がん	
酸化エチレン	0.002	リンパ系がん、 乳がん	-	US EPA (2016)
イソプロパノール	7000	-	腎臓の変性	CalEPA (2000)
イソプロピルベンゼン	400	-	腎臓と副腎の変性	US EPA (1997)
メチルエチルケトン	5000	-	発達影響	US EPA (2003b)
メチルイソブチルケトン	3000	-	心奇形	US EPA (2003c)
プロピオンアルデヒド	8	-	嗅上皮の萎縮	US EPA (2008)
酸化プロピレン	2.7	鼻腔がん	-	US EPA (1990b)
スチレン	850	-	神経毒性	ATSDR (2010)
テトラクロロエチレン	40	-	神経毒性	US EPA (2012), ATSDR (2014)
トルエンジイソシアネート	0.008	-	肺機能の低下	CalEPA (2016)
キシレン	100	-	神経毒性	US EPA (2003d)

※室内空気質ガイドラインは、カナダの住宅で頻繁に検出される物質に対して設定されてきたが、その他の物質のリスクを公衆衛生専門家がスクリーニングするための評価値として、室内空気評価値 (Indoor Air Reference Levels: IARLs) を 2018 年 2 月から提供し始めた。この評価値は、カナダの室内空気質ガイドラインの付属データとして位置づけられている。この評価値は、カナダ保健省で独自に導出したものではなく、米国環境保護庁の IRIS、米国カリフォルニア環境保護庁の有害性評価値、米国毒物疾病登録庁 (ATSDR) の最小リスクレベルなどをそのまま用いており、数ヶ月から年単位の長期間曝露に適用される。

References

- ATSDR (2014) Toxicological Profile for Tetrachloroethylene. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Department of Health and Human Services, Atlanta, GA. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp18.pdf>.
- ATSDR (2010) Toxicological Profile for Styrene. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Department of Health and Human Services, Atlanta, GA. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp53.pdf>.
- ATSDR (2006) Toxicological Profile for Dichlorobenzenes. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Department of Health and Human Services, Atlanta, GA. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp10.pdf>.
- CalEPA (2016) Technical Support Document for the Derivation of Noncancer Reference Exposure Levels. Appendix D1 – Toluene Diisocyanate Reference Exposure Levels. California Environmental Protection Agency, Sacramento, CA. <http://oehha.ca.gov/media/downloads/air/report-hot-spots/finaldirelmarch2016.pdf>.
- CalEPA (2015) Appendix L. Air Toxics Hot Spot Program - Guidance manual for Preparation of Health Risk Assessments - OEHHA/ARB Health Values for Use in Hot Spot Facility Risk Assessments. California Environmental Protection Agency, Sacramento, CA. <http://oehha.ca.gov/media/downloads/crn/2015gmappendiceslm.pdf>.
- CalEPA (2014) Appendix D1. Air Toxics Hot Spot Program - Summaries using this version of the hot spots risk assessment guidelines. California Environmental Protection Agency, Sacramento, CA. <http://oehha.ca.gov/media/downloads/crn/appendixd1final.pdf>.
- CalEPA (2011) Appendix B. Air Toxics Hot Spot Program - Chemical-specific summaries of the information used to derive unit risk and cancer potency values. California Environmental Protection Agency, Sacramento, CA. <http://oehha.ca.gov/media/downloads/crn/appendixb.pdf>.
- CalEPA (2008) Appendix D3. Air Toxics Hot Spot Program - Chronic RELs and toxicity summaries using the previous version of the hot spots risk assessment guidelines. California Environmental Protection Agency, Sacramento, CA.

- <http://oehha.ca.gov/media/downloads/crn/appendixd3final.pdf>.
- Environment Canada and Health Canada (EC/HC) (2002) Priority Substances List Assessment Report: 2-Butoxyethanol. En40-215/66E, Minister of Supply and Services Canada, Ottawa, ON.
 - EC/HC (2000) Priority Substances List Assessment Report: 1,3-Butadiene. En40-215/52E, Minister of Supply and Services Canada, Ottawa, ON.
 - US EPA (2016) Evaluation of the Inhalation Carcinogenicity of Ethylene Oxide (CASRN 75-21-8). In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). EPA/635/R-16/350Fa, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/1025tr.pdf.
 - US EPA (2012) Toxicological Review of Tetrachloroethylene (Perchloroethylene) (CAS No. 127-18-4). In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). EPA/635/R-08/011F, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0106tr.pdf.
 - US EPA (2011) Toxicological Review of Dichloromethane (Methylene Chloride). (CAS No. 75-09-2). In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). EPA/635/R-10/003F, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0070tr.pdf.
 - US EPA (2010) Toxicological Review of Carbon Tetrachloride (CAS No. 56-23-5). In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). EPA/635/R-08/005F, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0020tr.pdf
 - US EPA (2008) Toxicological Review of Propionaldehyde (CAS No. 123-38-6). In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). EPA/635/R-08/003F, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/1011tr.pdf.
 - US EPA (2003a) Toxicological Review of Cyclohexane (CAS No. 100-82-7). In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). EPA/635/R-03/008, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/1005tr.pdf.
 - US EPA (2003b) Toxicological Review of Methyl Ethyl Ketone (CAS No. 78-93-3). In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). EPA 635/R-03/009, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0071tr.pdf.
 - US EPA (2003c) Toxicological Review of Methyl Isobutyl Ketone (CAS No. 108-10-1). In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). EPA/635/R-03/002, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0173tr.pdf.
 - US EPA (2003d) Toxicological Review of Xylenes (CAS No. 1330-20-7). In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). EPA/635/R-03/001, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0270tr.pdf.
 - US EPA (1997) Toxicological Review of Cumene (Isopropyl Benzene) (CAS No. 98-82-8). In support of summary information on the integrated risk information system (IRIS). United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0306tr.pdf.
 - US EPA (1994) Toxicological Review of Epichlorohydrin (CASRN 106-89-8). In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0050_summary.pdf.
 - US EPA (1991) Toxicological Review of Allyl chloride (CASRN 107-05-1). In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0387_summary.pdf.
 - US EPA (1990a) Toxicological Review of Aniline (CASRN 62-53-3). In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0350_summary.pdf.

- US EPA (1990b) Toxicological Review of Propylene Oxide (CASRN 75-56-9). In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0403_summary.pdf.
- VCCEP (2003) Acetone (Cas No. 67-64-1). VCCEP Submission. Voluntary Children's Chemical Evaluation Program, Washington, DC. <http://www.tera.org/Peer/VCCEP/Acetone/acevccep.pdf>.

3. 全国調査の概要

分担分担者 金 勲 国立保健医療科学院 上席主任研究官
分担分担者 東 賢一 近畿大学医学部 准教授
分担分担者 樺田 尚樹 産業医科大学 教授

研究要旨

化学物質濃度測定と同時に管理者アンケートを実施し、建物・設備概要、室内環境の維持管理状況、空気衛生管理項目の測定と適合如何、禁煙対策、在室者クレームやにおいなどについて調査した。本測定結果は、最終的に室内空気衛生及び建築・設備運用管理と化学物質濃度の相関を調べ、室内環境改善のための提案の基礎資料とする。

特定建築物を対象にパッシブサンプラーによる空気質調査、及び室内環境と施設管理に関するアンケート調査を行った。アンケートの有効回答数は126件であった。

空調方式は、個別式空調が48%、中央式と中央・個別併用式は49%となり、ほぼ半々の割合となっている。

環境衛生管理基準6項目に関する測定実施の有無に関しては、45～50%程度が実施と回答している。環境測定は特定建築物に対する建築物衛生法の義務となっていることから、テナントとなっている会社（全体の83%）の回答者の一部が測定の実態を把握できていない可能性が考えられる。

空調関連として、空気清浄装置や吹き出し口・還気口のように目に付く部分の汚れに関しては2割程度で汚れが気になると回答していたが、コイルは10%と低く目に見えない部分は認識されていないと推察される。

管理項目で苦情が最も多い項目は温度20%、湿度10%、気流7%で温熱湿度環境に関連していた。

壁材としては、ビニルクロスと紙クロスを合わせると52%と壁紙系が最も多く、次に塗料33%であった。床材としては、9割近くがカーペットと回答している。床の下地としてはOAフロアが49%と最も多く、次いでコンクリート直貼りが38%であった。

生活用品としては、空気清浄機が最も多く、次に消臭剤、スプレー式消臭・消毒剤の使用が多かった。昨今の新型コロナ感染症対策の影響と考えられる。

においが気になる場所は無いとの回答が74%と最も多く、トイレ10%、執務室5%、廊下4%、共用空間2%、会議室2%の順であった。

快不快感では、回答者の40%が不快側を申告しているが、受容度では9割近くが受容できるまたはどちらでもないという肯定側の回答をしていることから、オフィスではにおいの強度が強くないことと、においに関する慣れや我慢に起因するものと考えられる。

新型コロナ対策として、最も多く採用されているのはマスク97%、手指衛生80%、テレビ会議74%であった。消毒／換気／空気清浄機が59%／58%／38%、テレワーク／時差出勤・自転車出勤が39%／35%だった。換気は58%、空気清浄機を38%が挙げていることから、空気環境への関心が高くなっていることが覗かれた。

研究協力者

鍵 直樹 東京工業大学
小林健一 国立保健医療科学院

A. 研究目的

化学物質は人体や人間活動からも発生するが、多くの成分は建築部材や内装材、什器などから発生し、その濃度は室内空調と換気状況に密接

に関連する。

室内空气中化学物質濃度の測定を行う際には、室建築物・設備及び室内環境に関する情報は実態把握のための重要な情報となる。

本研究では、パッシブサンプラーを用いた化学物質濃度測定と同時に建物や施設管理者へのアンケートを実施し、建物・設備概要、室内環境の維持管理状況、空気衛生管理項目の測定と適合如何、禁煙対策、在室者クレームやにおいてについて調査した。

本測定結果は、最終的に室内空気衛生及び建築・設備運用管理と化学物質濃度の相関を調べ、室内環境改善のための提案の基礎資料とする。

B. 研究方法

現場で容易に設置できる空气中化学物質サンプリング用の拡散サンプラーセット 2 本 (VOCs 及びアルデヒド類用) と共にアンケート (建築・設備及び室内環境に関する質問票) を行った。

測定セットは専門の調査会社に調査委託する分と研究者らが手配した特定建築物に直接郵送で送る分、2 通りで行っている。

2020 年度は、56 施設に対して冬期の空気質調査とアンケートを実施した。

2021 年度は新たに 75 施設を選定し夏期及び冬期の 2 回の測定を行った。更に、前年度に調査を行った 56 施設のうち、29 施設は 2021 年度夏期にも 2 回目の測定を実施した。

アンケートでは、建築物の規模や設備の基本情報、温湿度環境、においなどの空気衛生に関する内容について設問した。

具体的には、

- ・所在地域、建物用途、延床面積、建物フロア数、建築年度、所有者と使用形態、周辺環境の情報、事務所の入居階、喫煙対応、空調・給湯設備
- ・内装材及び備品、改修工事の有無と時期、改修の内容
- ・消臭剤、防虫剤など生活用品の使用
- ・室内環境や衛生環境に関する従業員からの苦情

- ・新型コロナ対策
- ・建築物衛生法の環境衛生管理基準項目の測定実施と適合状況
- ・空調設備の維持管理状況、におい場所、におい強度・快適度・受容度などである。

C. 研究結果および考察

アンケートの有効回答数は 2020 年度 n=51、2021 年度 n=75、計 126 であった。

C.1 建物用途と周辺環境

建物用途を図 3-1 に、周辺環境に関する集計結果を図 3-2 に示す。用途としては、事務所 89%、店舗 5%と 9 割近くが事務所であった。他には、宿泊、学校、興行場が 1 件ずつ、またその他が 5 件 (4%) あった。

周辺施設については重複回答可としている。幹線・高速道路が 60%最も多く、次いで工場が 36%、鉄道 17%であった。他は森林 6 件、廃棄物焼却施設 3 件と少数、その他が 8 件であった。

C.2 建物概要

築年数を図 3-3、建物規模 (地上階数) を図 3-4、延床面積を図 3-5、建物の所有と使用形態を図 3-6 に示す。

築年数は 30 年～40 年未満が最も多く 28% (32 件)、20 年～30 年未満が 23% (26 件)、40 年～50 年未満が 16% (18 件)、10 年以上 20 年未満が 15% (17 件)、50 年以上 11% (12 件)、10 年未満の新しい建築物は僅か 8% (7 件) であった。建物準工時期とインテリアや内装材、空間構成などは時代による好みや流行があるため、建築年度や改修時期などによって建材の種類及びそれから発生する化学物質の種類や傾向が異なることから、内装材が室内空気質に与える影響について考慮する必要がある。

延べ床面積は 3000m² 以上 5000 m² 未満が 41% と最も多く、次いで 5000m² 以上 10000 m² 未満が 27%、10000m² 以上 50000 m² 未満が 15% となっている。50000 m² 以上の大型施設も 15% あった。2 件だけ 3000m² 未満と中規模建築が含まれている。

建物の使用形態としては、自社ビルが 15%、

テナント用ビルが 83%、その他が 2%となっている。

C.3 空調方式と禁煙対策

図 3-7 に空調方式を、図 3-8 に喫煙対応を示す。

中央式空調が 30%、個別式 48%、そして中央式と個別式の併用も 19%あった。併用まで中央式に含めると 49%が中央式となり、個別式とほぼ半々の割合となる。

喫煙対応に関しては完全禁煙 79%、完全分煙（喫煙室の分離）17%と、96%が執務空間では禁煙となっている。一方、依然と室内で禁煙可能と答えた建物は 2%あった。

C.4 改修

改修工事に関する内容を図 3-9～図 3-11 に示す。5 年以内に改修工事をしたことがある建物は有効回答数 122 件中 45 件と 37%であった。

改修工事の内容としては、冷暖房設備 21 件＞大型備品の入れ替え 14 件＞壁の貼り替え＝床板張り替え 12 件＞その他 8 件＞改築＝壁や床のペンキ塗り 6 件であった。換気設備の入れ替え 4 件、増築 2 件と少数存在している。

改修の理由としては、従業員数の変化が 36%（16 件）と最も多く、次いで老朽化 33%（15 件）と多い。他には、省エネ 5 件、耐震が 2 件、断熱強化 1 件、その他が 13 件となっている。

C.5 環境衛生管理基準項目の測定と適合

建築物衛生法の環境衛生管理基準項目の測定実施状況を図 3-12 に、適合割合を図 3-13 に示す。建築物衛生法における環境衛生管理基準 6 項目は「浮遊粉じん、CO、CO₂、温度、相対湿度、気流速度」である。

ホルムアルデヒドは新築、大規模改修や模様替えを行った場合、最初に迎える夏季に測定を実施して、その濃度が基準値以下と適合した場合はその後の測定を実施しなくてもよいことになっている。もし、基準濃度超過で不適合となった場合は、改善策を講じた上で翌年の夏季に再測定する。

6 項目に関する測定実施の有無に関しては、45～50%程度が実施したと回答している。特定

建築物に対する建築物衛生法の義務となっている。今回の環境測定に関する実施率が低くなっているのは、テナントとなっている会社（全体の 83%）の回答者の一部が測定の実態を把握できていない可能性がある。

ホルムアルデヒドの測定は 12 件（11%）が行っていた。測定を行っている建物における適合割合としては、相対湿度（83%）及び気流速度（98%）がやや低く、ホルムアルデヒドを含む 5 項目に関しては全て 100%と答えている。

C.6 空調設備の維持管理状況

空調設備の加湿装置能力を図 3-14 に、空調設備の維持管理状況を図 3-15 に示す。

加湿装置の能力を十分・やや十分と答えた割合は 31%、やや不十分・不十分と答えた割合は 21%、どちらとも言えないは 16%、分からないが 32%であった。

空調設備の維持管理状況に関して、汚れがある・よくあると答えた割合は、空調機周辺や空調機械室 18%、空気清浄装置（電気集塵機、エアフィルター）23%、冷却加熱装置のコイル等 10%、吹き出し口や還気口 25%であり、空調関連として目に付く部分の汚れは 2 割程度で汚れを気にしていたが、コイルのように目に見えない部分はその割合が 10%と低く、認識されていないことが推察される。

また、冷却塔設備に関しては、設置されていない建物が 46%（52 件）、設置している施設（60 件）では維持管理が良好とどちらでもないの割合が 42%であったが、分からないが 58%であった。

加湿装置の維持管理に関しては、設置されていないが 25%（28 件）、設置している施設（86 件）では維持管理が良好とどちらとも言えないの割合が 65%、不良 1%、分からないが 34%であった。

C.7 従業員からの苦情

図 3-16 に従業員からの苦情に関する内容を項目別に示す。

苦情が最も多い項目は温度 20%、湿度 10%、気流 7%で温熱環境に関連するものであった。他に臭気 4%、騒音 6%、衛生害虫が 3%、水漏

れ5%、清掃2%であった。廃棄物処理及びその他（衛生全般）への苦情は無かった。

C.8 内装材

内装材は壁、床、床下材と区分して図3-17～図3-19に纏めた。

壁の内装材として単一種目として最も多かったのは塗料36件（33%）であり、次にビニルクロス33件、紙クロス23件となっている。一方、ビニルクロスと紙クロスを合わせると壁紙系が57件（52%）と最も多くなる。他には、木質系壁材6件、塗り壁5件、コンクリートむき出し4件、タイルが3件あった。

床材としては、カーペットが最も多く94件（88%）と大多数を占めている。他に、木材・フローリングが10件（9%）、Pタイル4件、ビニルシート2件、その他が5件と少数存在する。9割近くがカーペットと回答しているが、カーペットタイルもカーペットと認識している可能性が高い。

床下地材は、PVCなどプラスチックの可塑剤成分であるDEHPとコンクリートの水分が反応して2E1Hが生成されることから、調査対象に加えている。コンクリートが39件（38%）、金属製OAフロア24件（23%）、コンクリート製OAフロア14件（14%）、タイル11件（13%）、プラスチック製OAフロア12件（12%）となっている。OAフロアが50件とコンクリート直貼り39件より多い。

C.9 生活用品の使用

図3-20に芳香剤、防虫剤、空気清浄機などの生活用品の使用について纏めた。回答数n=109のうち、空気清浄機が最も多く39%（43件）、次いで消臭剤17%（19件）、スプレー式消臭・消毒剤17%（18件）、除湿剤／防虫剤／芳香剤がそれぞれ4%（4件）、6%（7件）、9%（10件）であった。オゾン発生器／次亜塩素酸は4件／14件となっている。空気清浄機やスプレー式消臭・消毒剤の使用が多いのは昨今の新型コロナ感染症の影響と考えられる。

C.10 におい

最もにおいが気になる場所を図3-21、知覚空

気質に関する評価を図3-22に示す。

気になる場所は無いと回答が74%（92件）と最も多く、トイレ10%、執務室5%、廊下4%、共用空間2%、会議室2%の順であった。

気になるにおいに関する知覚空気質の評価に関しては、有効回答数n=65が得られた。かなり不快・不快・やや不快の不快側の申告が40%、快適側の申告が18%と、快適とどちらでもないを合わせると6割程度は肯定的な評価となっている。

臭気強度に関しては強い・とても強い・極端に強いが8%であり、平均は1.6ととても弱い（1）と弱いにおいの（2）に間の評価となった。

受容度は受け入れられない12%、どちらでもない45%、受け入れられる43%と、9割近くが肯定側の申告をした。快不快度では40%が不快と感じても9割に近い殆どが受容できるまたはどちらでもないという回答しているが、これはにおいの強度が大きくないことや、においに関する慣れと我慢に起因するものと考えられる。

C.11 新型コロナ対策

図3-23に新型コロナの感染防止対策について纏めた。

対策として最も多く採用されているのはマスク97%、手指衛生80%、テレビ会議74%であり、消毒／換気／空気清浄機が59%／58%／38%、テレワーク／時差出勤・自転車出勤が39%／35%だった。換気は58%、空気清浄機を38%が挙げていることから、オフィスでも空気環境への関心が高くなっていることが窺われる。

D. まとめ

特定建築物を対象にパッシブサンプラーによる空気質調査、及び室内環境と施設管理に関するアンケート調査を行った。アンケートの有効回答数は126件であった。

1) 空調方式は、個別式空調が48%、中央式と中央・個別併用式は49%となり、ほぼ半々の割合となっている。

2) 環境衛生管理基準6項目に関する測定実施の有無に関しては、45～50%程度が実施と回答している。環境測定は特定建築物に対する建築物衛生法の義務となっていることから、テナン

トとなっている会社（全体の 83%）の回答者の一部が測定の実態を把握できていない可能性が考えられる。

3) 空調関連として、空気清浄装置や吹き出し口・還気口のように目に付く部分の汚れに関しては 2 割程度で汚れが気になると回答していたが、コイルは 10%と低く目に見えない部分は認識されていないと推察される。

4) 管理項目で苦情が最も多い項目は温度 20%、温度 10%、気流 7%で温熱湿度環境に関連していた。

5) 壁材としては、ビニルクロスと紙クロスを合わせると 52%と壁紙系が最も多く、次に塗料 33%であった。床材としては、9 割近くがカーペットと回答している。床の下地としては OA フロアが 49%と最も多く、次いでコンクリート直貼りが 38%であった。

6) 生活用品としては、空気清浄機が最も多く、次に消臭剤、スプレー式消臭・消毒剤の使用が多かった。昨今の新型コロナウイルス感染症対策の影響と考えられる。

7) においが気になる場所は無いとの回答が 74%と最も多く、トイレ 10%、執務室 5%、廊下 4%、共用空間 2%、会議室 2%の順であった。快不快感では、回答者の 40%が不快側を申告しているが、受容度では 9 割近くが受容できるまたはどちらでもないという肯定側の回答をしていることから、オフィスではにおいの強度が強くないことと、においに関する慣れや我慢に起因するものと考えられる。

8) 新型コロナウイルス対策として、最も多く採用されているのはマスク 97%、手指衛生 80%、テレビ会議 74%であった。消毒／換気／空気清浄機が 59%／58%／38%、テレワーク／時差出勤・自転車出勤が 39%／35%だった。換気は 58%、空気清浄機を 38%が挙げていることから、空気環境への関心が高くなっていることが窺われた。

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況(予定含む)

予定なし

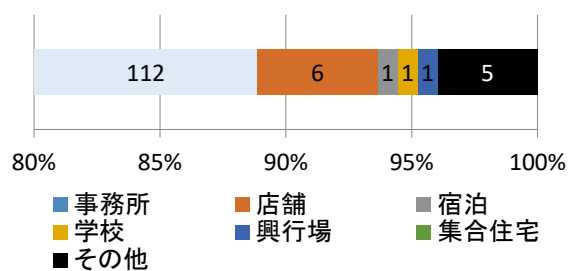


図 3-1 建物用途 (n=126)

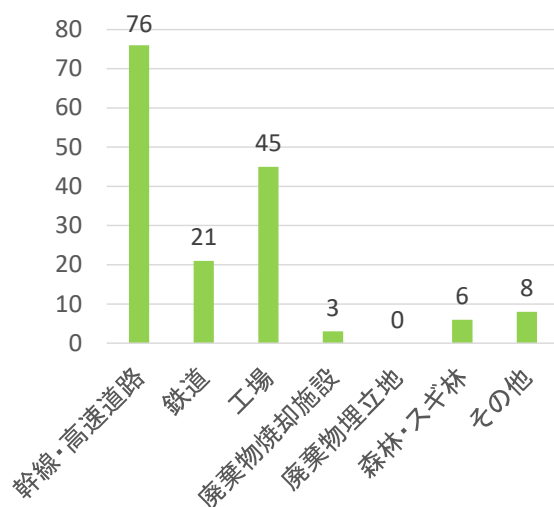


図 3-2 周辺環境と施設 (n=126、重複回答有り)

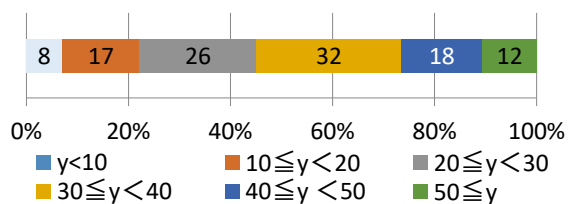


図 3-3 築年数 (n=113)

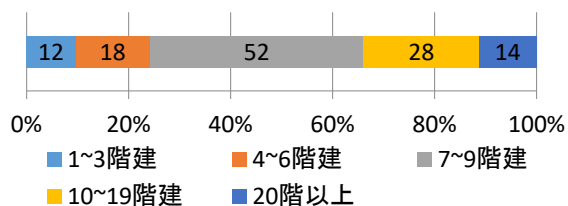


図 3-4 建物階数 (n=123)

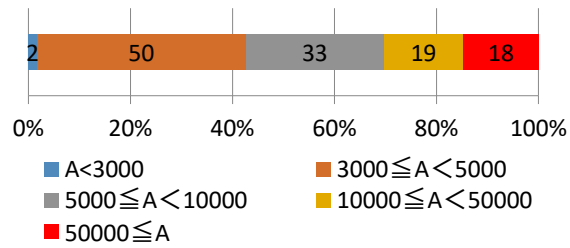


図 3-5 延床面積 (単位 : m²)

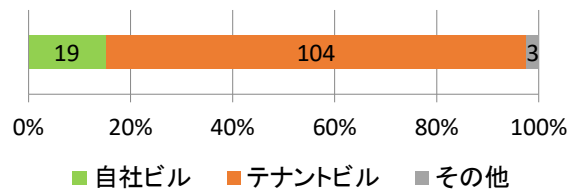


図 3-6 建物の所有と使用形態

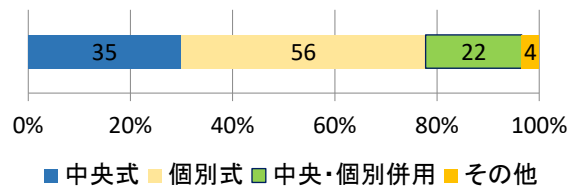


図 3-7 空調方式

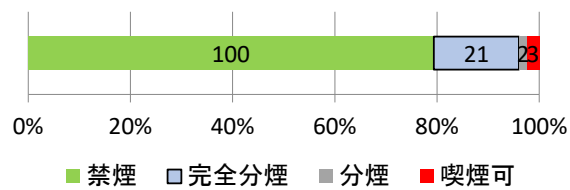


図 3-8 喫煙対応

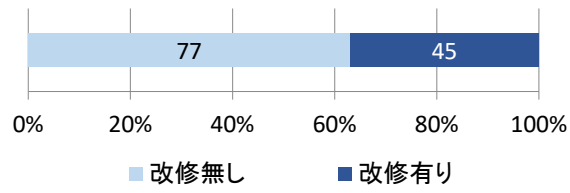


図 3-9 5年以内に改修経験の有無

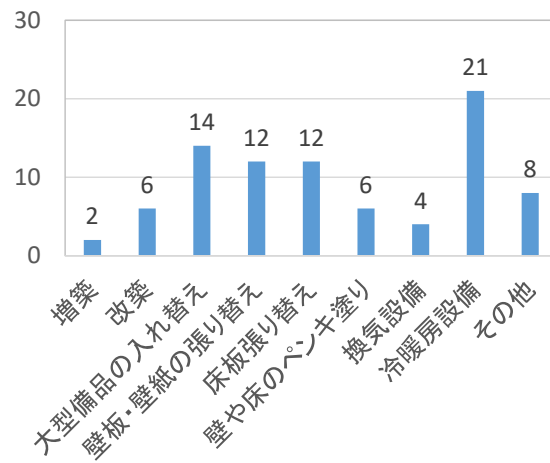


図 3-10 改修工事の内容

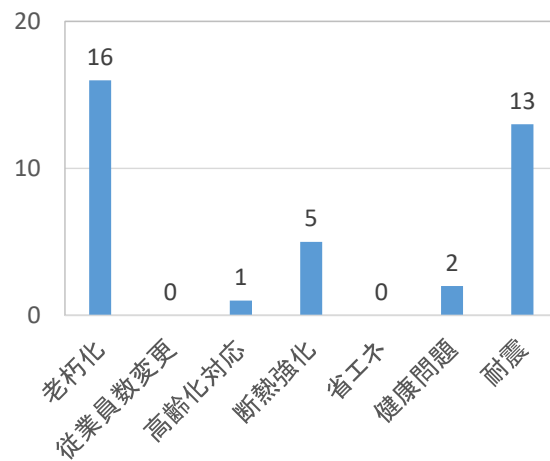


図 3-11 改修工事の理由

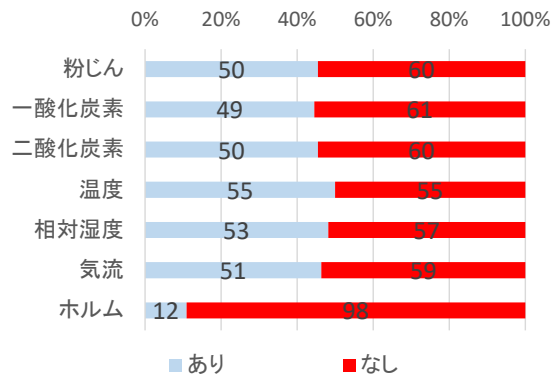


図 3-12 建築物衛生法の環境衛生管理基準項目の測定実施 (n=110)

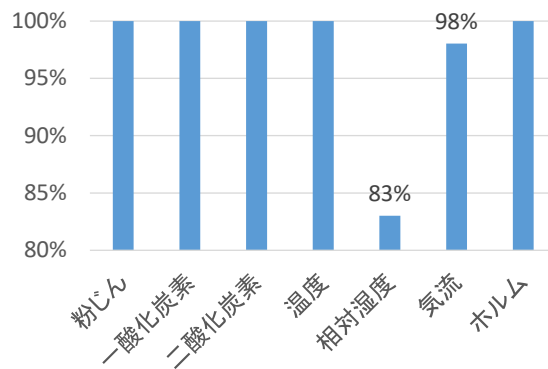


図 3-13 建築物衛生法の環境衛生管理基準項目の適合割合

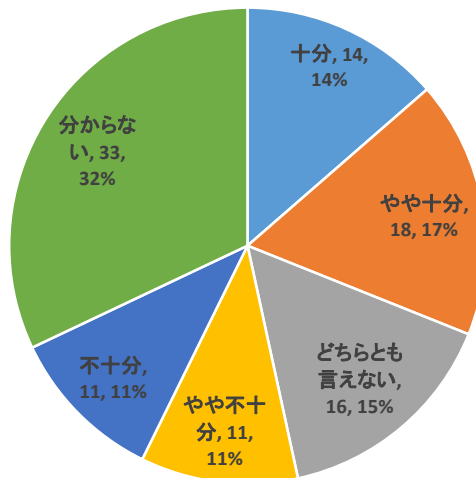
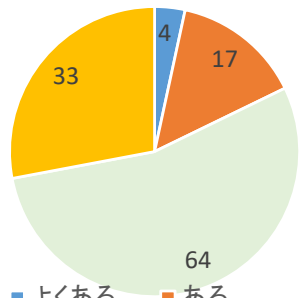
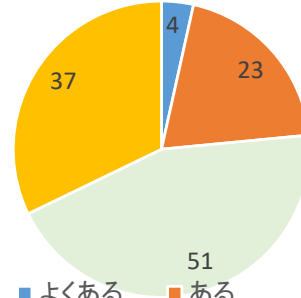


図 3-14 空調の加湿装置の能力 (n=103)



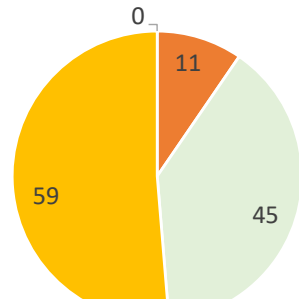
■ よくある ■ ある
■ ない ■ 分からない

1) 空調機周辺や空調機械室の汚れ



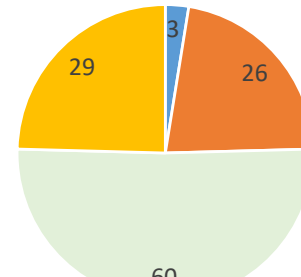
■ よくある ■ ある
■ ない ■ 分からない

2) 空気清浄装置（電気集塵機、エアフィルター）の汚れ



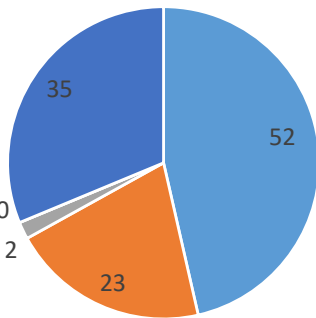
■ よくある ■ ある
■ ない ■ 分からない

3) 冷却・加熱装置のコイル等の汚れ



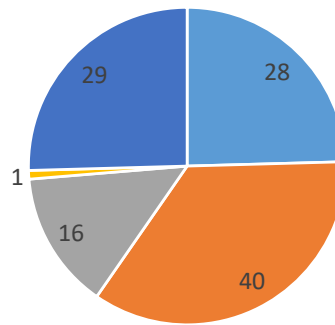
■ よくある ■ ある
■ ない ■ 分からない

4) 吹き出し口や還気口の汚れ



■ 設置していない ■ 良好
■ どちらでもない ■ 不良
■ 分からない

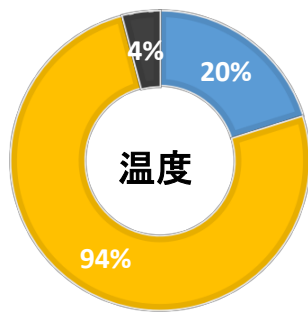
5) 冷却塔の設置状況及び維持管理状況



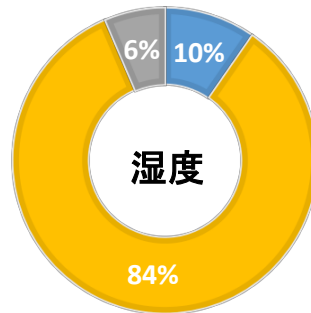
■ 設置していない ■ 良好
■ どちらでもない ■ 不良
■ 分からない

6) 加湿装置の設置及び維持管理状況

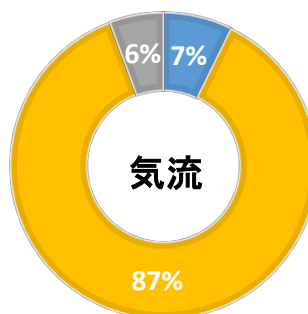
図 3-15 空調設備の維持管理状況



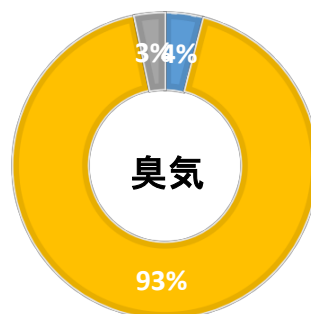
■ある ■ない ■分からない



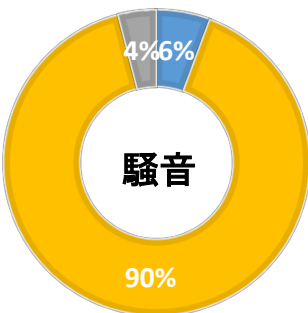
■ある ■ない ■分からない



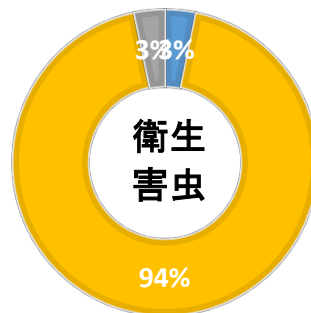
■ある ■ない ■分からない



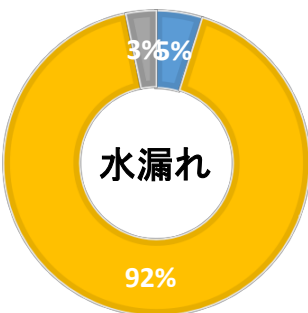
■ある ■ない ■分からない



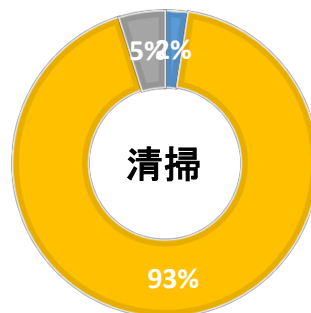
■ある ■ない ■分からない



■ある ■ない ■分からない

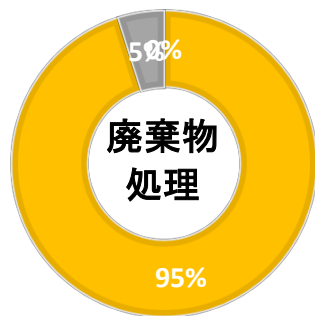


■ある ■ない ■分からない



■ある ■ない ■分からない

図 3-16 従業員からの苦情 (n=124)



■ ある ■ ない ■ 分からない

図 3-16 (続き) 従業員からの苦情 (n=124)

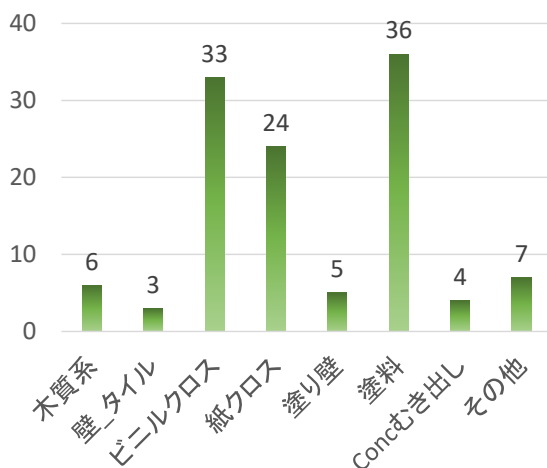


図 3-17 壁の内装材 (n=109、重複回答有り)

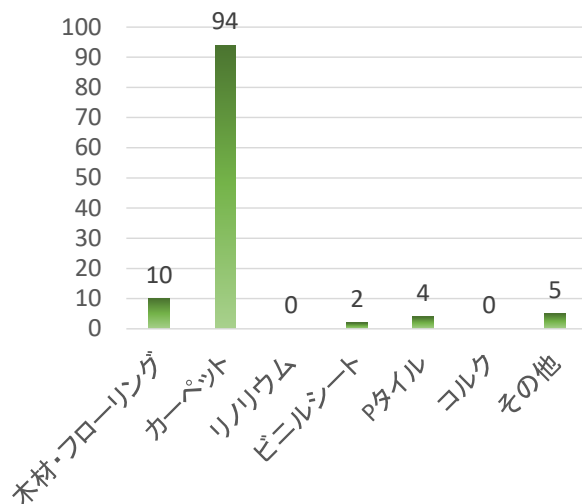


図 3-18 床の内装材 (n=107、重複回答有り)

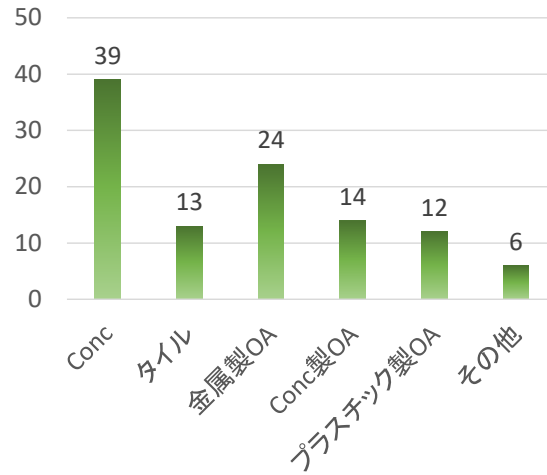


図 3-19 床下材 (n=103、重複回答有り)

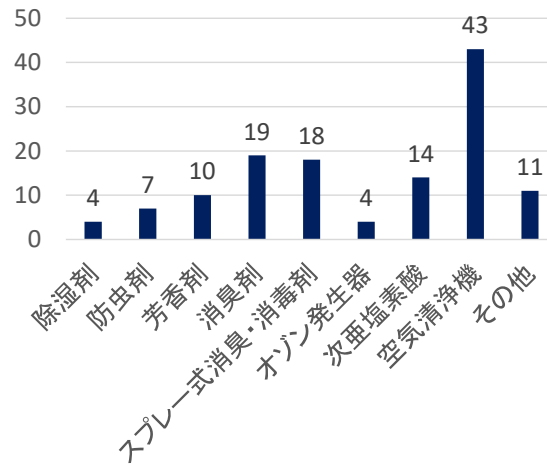


図 3-20 芳香剤、防虫剤などの生活用品の使用 (n=109)

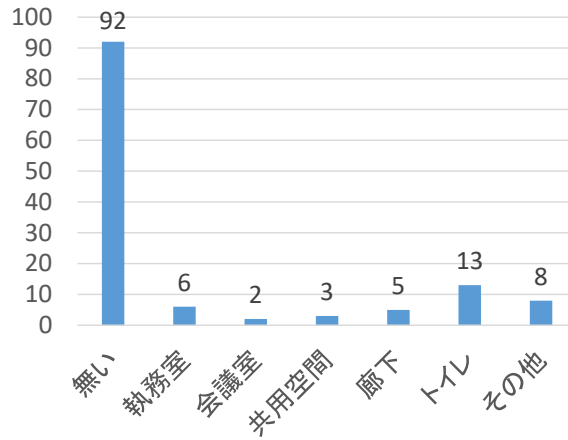
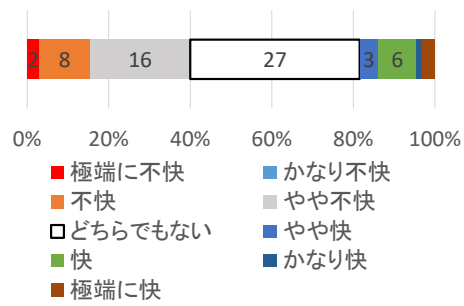
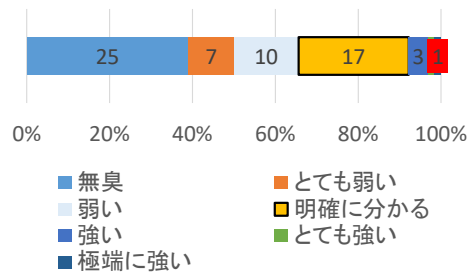


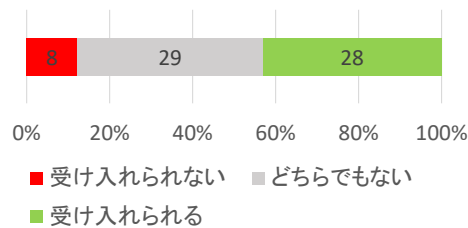
図 3-21 においが気になる場所 (n=125)



a. 快不快度



b. 臭気強度



c. 受容度

図 3-22 気になるにおいに関する評価 (n=65)

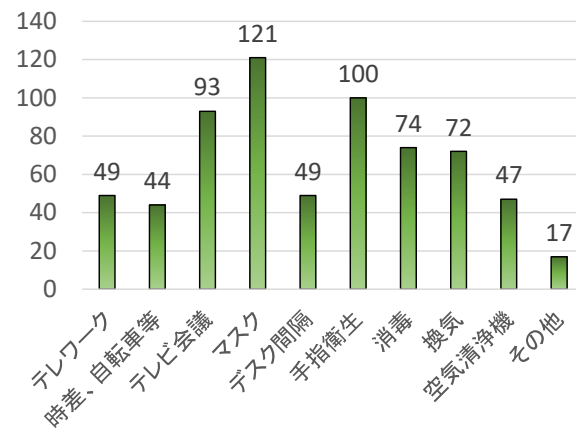


図 3-23 新型コロナウイルス感染症対策 (n=125、重複回答有り)

4. 拡散サンプラーを用いる空气中ガス状化学物質の分析

分担研究者 内山茂久（千葉大学），櫻田尚樹（産業医科大学），稲葉洋平（国立保健医療科学院）
研究協力者 清水萌花，齋藤みのり，坂元宏成，小倉裕直（千葉大学）

研究要旨

特定建築物 242 施設内のガス状化学物質濃度を夏期と冬期に分けて測定した。化学物質の捕集には 4 種類の拡散サンプラー（オゾン、カルボニル化合物測定用、VOC 測定用、酸性ガス測定用、塩基性ガス測定用）を使用した。これらの拡散サンプラーは電源を必要とせず騒音を発生しないのでオフィス環境の測定に適していた。また、就業時間の 8 時間でも十分な分析感度が得られた。特定建築物内の化学物質濃度は、全国における一般住宅より全体的に低い値を示したが、一施設でホルムアルデヒドが $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と非常に高い値を示した。この施設ではアセトアルデヒドも高濃度（ $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）であった。厚生労働省の室内濃度指針値を超過した物質は全 242 施設中、ホルムアルデヒドが 1 施設（0.4%）、アセトアルデヒドが 8 施設（3.3%）、トルエンが 1 施設（0.4%）、TVOC が 4 施設（1.7%）であり、アセトアルデヒドの超過率が高いことが分かった。この他、2,2,4,6,6-ペンタメチルヘプタン（イソドデカン）が推定 $20000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出された。この物質を TVOC として計算すると厚生労働省のガイドライン値（ $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を大幅に超えることになる。これらの施設では、何らかの対策が必要である。今回測定した全物質の中で最も高濃度を示したのはエタノールで最大値は夏期 $1100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、冬期 $9200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。エタノールの毒性は比較的低いが木材とエタノールが接触することで発ガン性のアセトアルデヒドが生成することが報告されているので注意が必要である。最近、新型コロナウイルス感染症対策としてエタノール系の消毒剤を使用する機会が多いので、アセトアルデヒドの生成メカニズムを詳細に検討する必要がある。

A. 研究目的

近年、建材や家庭用品等から発生する化学物質による健康への影響が懸念されている。これらの物質の中には、シックハウス症候群やがんの原因物質ばかりでなく、居住者を不快にする臭気物質も存在する。化学物質の人体への健康影響や発がんリスク、快適性等を検討するためには、精度の高いモニタリングが不可欠である。

室内濃度や個人暴露濃度の測定には、吸引ポンプ等の動力や電力を必要とせず、分子拡散の原理に基づきガス状化学物質を捕集する拡散サンプラーが適している。拡散サンプラーは、小型軽量なため、郵送等による遠隔地での捕集や同時多地点での測定などの利点もある。また、ポンプを用いないので騒音を発生しない。

本研究では各種の拡散サンプラーを用いて、オゾン、アルデヒド類、ケトン類、ギ酸、酢酸、二酸化窒素、二酸化硫黄、アンモニア、揮発性有機化合物（VOCs）を特定建築物（オフィスビル等）で測定し、汚染の実態を調査した。また、施設の種類や生活用品の使用状況などのアンケート調査を同時に実施し、室内空气中の化学物質濃度との関連を考察した。

B. 研究方法

B.1 拡散サンプラー（PSD サンプラー）

構造：拡散サンプラー（Passive Sampling Device, PSD-sampler）は拡散浸透媒体である PSD-diffusion filter、分析時に抽出容器になる glass tube そして、反応吸収剤試薬を含浸させたシリカゲルまたは炭素系吸着剤 Carbon molecular sieves から構成される¹⁻³。PSD-sampler の構造と、測定手順の概要を Fig. 1 に示す。また、実際のサンプリング風景を Fig. 2 に示す。サンプラーの大きさは、直径 1.2 cm、長さ 5.5 cm であり、diffusion filter の吸収剤が接触する有効面積は 3.93 cm^2 、厚さは 1 mm である。反応試薬含浸シリカゲルを diffusion filter より glass tube へ移動させてから溶出操作を行う。溶出液をガスクロマトグラフィー質量分析計で揮発性有機化合物（Volatile Organic Compounds, VOCs）、カルボニル化合物を高速液体クロマトグラフィー、イオン成分をイオンクロマトグラフィーで分析を行う。各種の反応試薬を含浸させたシリカゲルや炭素系吸着剤を使用することにより、VOC、カルボニル化合物、オゾン、酸性ガス、塩基性ガスを選択的に捕集することが可能である。

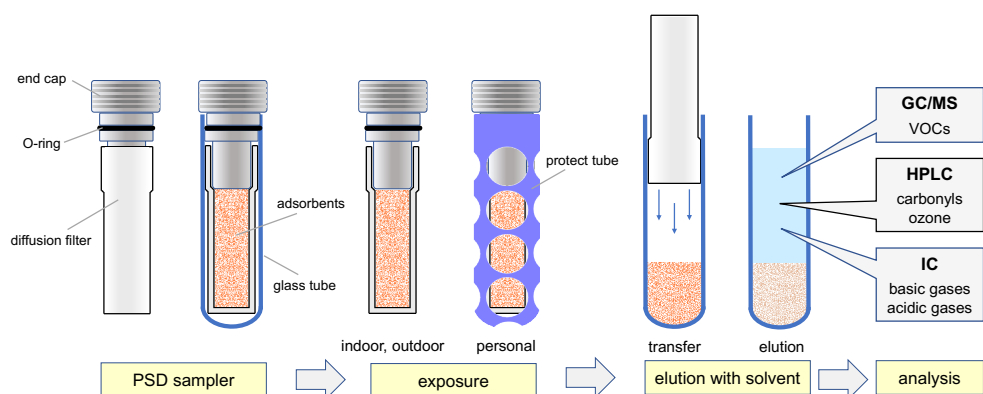


Fig. 1. Measuring gaseous chemical compounds using the PSD sampling device. The collection and the elution steps are conducted by transferring the absorbent from the PSD-diffusion filter to glass tube.

捕集方法: 捕集場所に、太さ 1 mm の糸の一端を固定する。PSD-sampler の入ったアルミ製保存袋からサンプラーを取り出し、拡散フィルター部が床から約 1.5 m になるように糸の先端に取り付ける。捕集開始時にサンプラーを覆っている glass tube を取り外す。(Fig. 2) 捕集終了時に glass tube を取り付け、アルミ製保存袋に入れる。

溶出方法: 捕集後の PSD-sampler をアルミ製保存袋から取り出す。glass tube を取り外した後 end cap を上方向に引き抜き、拡散フィルター内の充填剤を glass tube に移す。glass tube に所定の溶出液を一定量添加し攪拌する。一定時間放置した後、溶出液の分析を行う。

B.1.1 オゾン、カルボニル化合物測定用拡散サンプラー (PSD-BPE/DNPH) ²

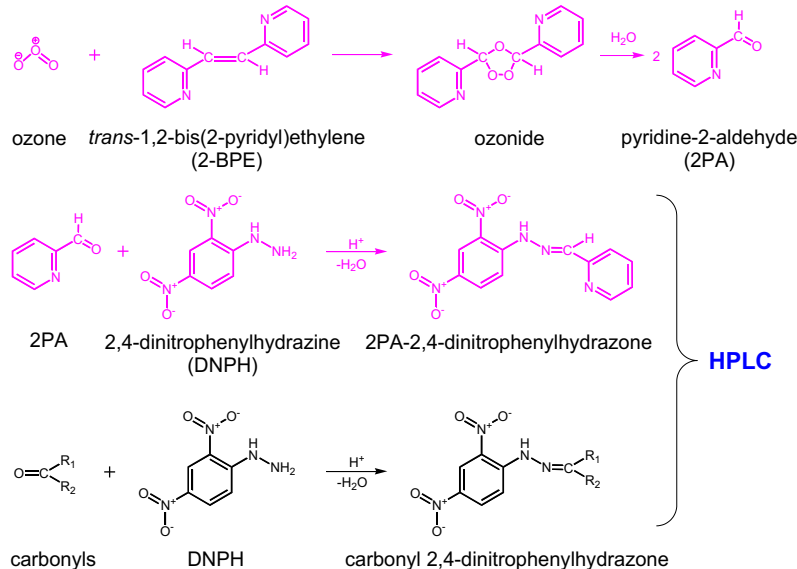
原理: Scheme 1 にオゾンとカルボニル化合物同時測定の概略を示す。空気中のカルボニル化合物は 2,4-ジニトロフェニルヒドラジン (DNPH) と反応してヒドラゾン誘導体を生成する。また、オゾンは *trans*-1,2-ビスピリジルエチレン (BPE) と反応してピリジン-2-アルデヒド (2PA) を生成する⁴⁻⁶⁾。この 2PA を DNPH でヒドラゾン誘導体にして、他のアルデヒド誘導体と共に高速液体クロマトグラフ (HPLC) で分析することにより、オゾンとカルボニル化合物の同時測定が可能になる⁴⁻⁶⁾。また、DNPH 及びアルデヒドのヒドラゾン誘導体はオゾンで破壊されることが報告⁷⁻⁹⁾されているが、DNPH と共存する BPE はオゾン



Fig. 2. Collection of gaseous chemical compounds in indoor air by using four kinds of PSD samplers.

スクラバーとしても機能し、破壊を防ぐことができる。

作製方法: シリカゲル 100 g を水、メタノール、アセトニトリルでよく洗浄した後、BPE (7 g)、



Scheme 1. The simultaneous determination of ozone and carbonyls.

DNPH 塩酸塩 (1 g), リン酸 (1.2 mL) を添加する. 窒素ガス気流中でロータリーエバポレーター (40°C) を用いて減圧乾固させてから密封容器に保存する. この BPE/DNPH 含浸シリカ 270 mg を空の拡散サンプラー (PSD) に充填し PSD-BPE/DNPH とした. PSD-BPE/DNPH はアルミ製保存袋に入れ密閉した.

分析方法: 捕集を終えたサンプラーの充填剤を 5 mL のバイアルに移す. ジメチルスルホキシド/アセトニトリル (25/75) 混合溶液 5 ml で溶出し, HPLC で分析する. この際, DNPH 誘導体の異性化⁴⁻⁶⁾を考慮し, これらの標準溶液にリン酸を 0.1% 添加して異性体比を一定にした後, 分析を行なった. オゾン及び 21 種のカルボニル化合物 (1, DNPH; 2, ホルムアルデヒド; 3, アセトアルデヒド; 4, アセトン; 5, アクロレイン; 6, プロパナール; 7, クロトンアルデヒド; 8, 2-ブタノン; 9, ブタナール; 10, ベンズアルデヒド; 11, *i*-ペンタナール; 12, *n*-ペンタナール; 13, *o*-トルアルデヒド; 14, *p*-トルアルデヒド; 15, ヘキサナール; 16, 2,5-ジメチルベンズアルデヒド; 17, ヘプタナール; 18, オクタナール; 19, 2-ノネナール; 20, ノナナール; 21, デカナール) を HPLC で定量可能である. Fig. 3 に標準溶液と典型的な室内空気, 屋外空気のクロマトグラムを示す.

B.1.2. PSD-TEA (酸性ガス測定用拡散サンプラー)

原理: 大気中の二酸化窒素, 二酸化硫黄, 塩化水素などの酸性ガスはトリエタノールアミン (TEA) と反応し, 対応する陰イオンを生成する. この各種陰イオンをイオンクロマトグラフィー (IC) で分析することにより, 酸性ガスを定性, 定量する⁷⁾.

作製方法: シリカゲル 100 g を純水, アセトニトリルでよく洗浄した後, トリエタノールアミンを 10 ml 添加する. 40°C でロータリーエバポ

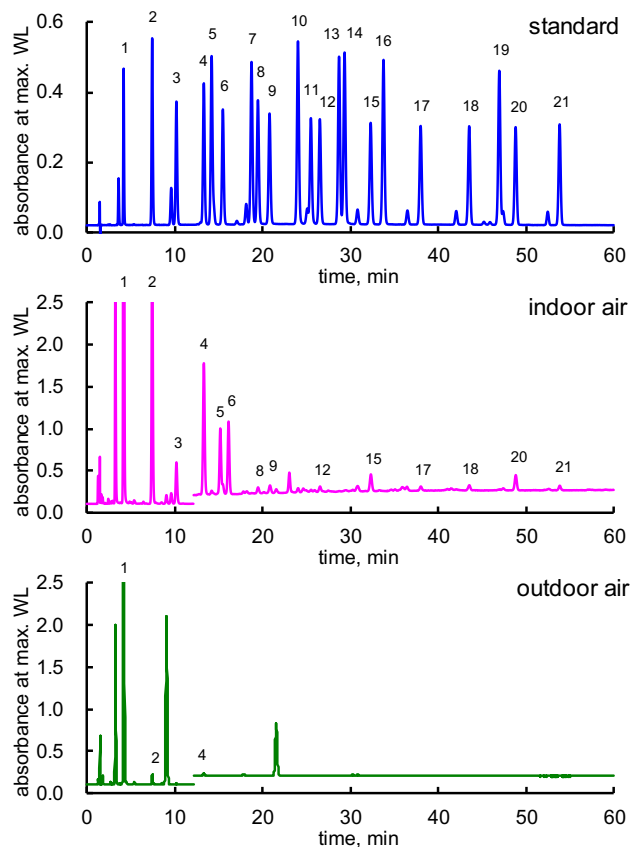
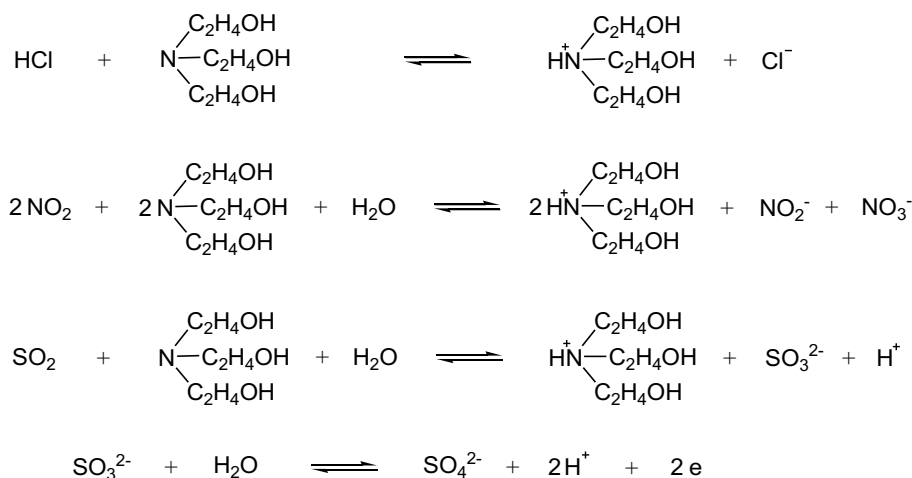


Fig. 3. HPLC chromatographic profiles of carbonyl compounds on standard and sample solutions.

レーターを用いて減圧乾固させてから, 密封容器に保存した. この TEA-silica 250 mg を空の拡散サンプラー (PSD) に充填し PSD-TEA とする. PSD-TEA はアルミ製保存袋に入れ密閉した.

分析方法: 捕集を終えたサンプラーの充填剤を 5 mL のバイアルに移す. 純水 5 ml で溶出した後, 溶出液中の陰イオンをイオンクロマトグラフィー (IC) で定量する. IC の分離カラムには Dionex IonPac AS11-HC を使い, KOH 2 mM→35 mM のグラ



Scheme 2. Reaction of acidic gases with triethanolamine.

ジェントモードで分析を行った。陰イオン標準溶液のクロマトグラムを Fig. 4 に示す。1, 酢酸イオン; 2, ギ酸イオン; 3, 塩化物イオン; 4, 亜硝酸イオン; 5, 臭化物イオン, 6, 硝酸イオン; 7, 硫酸イオンが分析可能である。

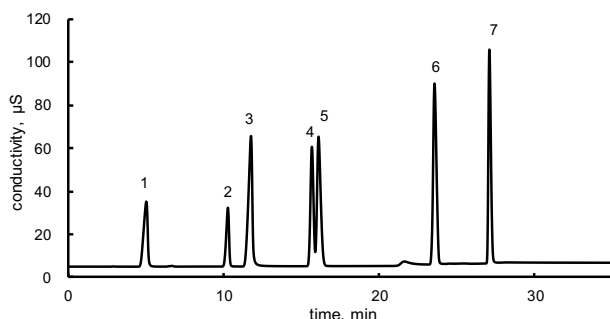
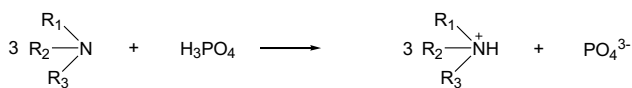


Fig. 4. Chromatographic profile of anion standard solution by ion chromatography.

B1.2.3 PSD-NH₃ (塩基性ガス測定用拡散サンプラー)

原理: 大気中のアンモニアやトリメチルアミンなどの塩基性ガスはリン酸と反応して、対応する陽イオンを生成する。この陽イオンを IC で分析することにより、アンモニアを定性、定量する³。IC の分離カラムには Dionex IonPac CS16 を用い、メタンスルホン酸 30mM のアイソクラティックモードで分析を行った。



Scheme 3. Reaction of amines with phosphoric acid.

作製方法: シリカゲル 100 g を純水, アセトニトリルでよく洗浄した後, リン酸を 5 ml 添加する。40°C でロータリーエバポレーターを用いて減圧乾固させてから, 密封容器に保存した。このリン酸-silica 250 mg を空の拡散サンプラー(PSD)に充填し PSD-PO₄ とする³。PSD-PO₄ はアルミ製保存袋に入れ密閉した。

分析方法: 捕集を終えたサンプラーの充填剤を 5 mL のバイアルに移す。純水 5 ml で溶出した後, 溶出液中の陽イオンを IC で定量する。IC の分離カラムには Dionex IonPac CS6 を用い, メタンスルホン酸 30mM のアイソクラティックモードで分析を行った。陽イオン標準溶液のクロマトグラムを Fig. 5 に示す。陽イオンとして, 1, リチウムイオン; 2, ナトリウムイオン; 3, アンモニウムイオン; 4, カリウムイオン; 5, マグネ

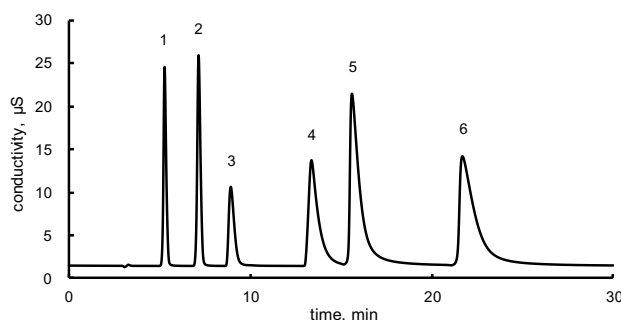


Fig. 5. Chromatographic profile of cation standard solution by ion chromatography.

シウムイオン; 6, カルシウムイオンが分析可能である。

B1.2.4 PSD-CX (VOC 測定用拡散サンプラー)

原理: 大気中の揮発性有機化合物 (Volatile Organic Carbons, VOCs) は炭素系吸着剤 Carbon molecular sieves Carboxen 572 に物理的に吸着する。吸着した VOCs を溶出し, ガスクロマトグラフィー質量分析計 (Gas chromatography / Mass spectrometry, GC/MS) で分析を行う。

分析方法: 捕集を終えた Carboxen 572 粒子を 2 mL バイアルに移し, 二硫化炭素を 1 mL 添加する。内部標準溶液 (0.5 μg/mL トルエン d8 溶液) を 20 μL 添加して攪拌した後, GC/MS で分析を行った。

分離カラムには, ジーエルサイエンス社製 InertCap AQUATIC-2, 60m, 0.25 mm i.d., d = 1.4 μm を使用した。イオン化電圧は 75 eV, イオン源温度は 200°C, トランスファー温度は 200°C, 注入量は 1 μL, スプリット比は 1:10 である。カラムの昇温プログラムを Table 1 に示す。

Table 1. Temperature program of GC/MS

time, min	Column temperature, °C
0	40
6	40
42	250
60	250

定量用のイオン (m/z) は, エタノール, 45; ヘキサン, 57; 2,4 ジメチルペンタン, 57; 2-ブタノン, 43; 酢酸エチル, 43; トリクロロメタン, 83; 2,2,4-トリメチルペンタン, 57; 1,1,1-トリクロロエタン, 97; ヘプタン, 43; カーボンテトラクロライド, 117; 1-ブタノール, 56; ベンゼン, 78; 1,2-ジクロロエタン, トリクロロエチレン, 130; 1,2-ジクロロプロパン, 63; メチルイソブチルケトン, 100; オクタン, 43; トルエン D8, 98; トルエン, 91; 酢酸ブチル, 43; テトラクロロエチレン, 166; ノナ

ン, 57; ジブロモクロロエチレン, 129; エチルベンゼン, 91; 62;*m,p*-キシレン, 91; *o*-キシレン, 91; スチレン, 104; α -ピネン, 93; デカン, 57; 1,3,5-トリメチルベンゼン, 105; 1,2,4-トリメチルベンゼン, 105; 2-エチル-1-ヘキサノール, 83; *d*-リモネン, 93; ウンデカン, 57; 1,2,3-トリメチルベンゼン, 105; *p*-ジクロロベンゼン, 146; ノナナール, 98; ドデカン, 57; 1,2,4,5-テトラメチルベンゼン, 119; デカナール, 112; トリデカン, 57; テトラデカン, 57; ペンタデカン, 57; ヘキサデカン, 57; テキサノール 89 である。

本研究における分析条件での標準試料のクロマトグラムを Fig. 6 に示す。本分析条件で, 44 成分(エタノール, ヘキサン, 2,4 ジメチルペンタン, 2-ブタノン, 酢酸エチル, トリクロロメタン, 2,2,4-トリメチルペンタン, 1,1,1-トリクロロエタン, ヘプタン, カーボンテトラクロライド, 1-ブタノール, ベンゼン, 1,2-ジクロロエタン, トリクロロエチレン, 1,2-ジクロロプロパン, メチルイソブチルケトン, オクタン, トルエン *d*8, トルエン, 酢酸ブチル, テトラクロロエチレン, ノナン, ジブロモクロロエチレン, エチルベンゼン, *m,p*-キシレン, *o*-キシレン, スチレン, α -ピネン, デカン, 1,3,5-トリメチルベンゼン, 1,2,4-トリメチルベンゼン, 2-エチル-1-ヘキサノール, ウンデカン, 1,2,3-トリメチルベンゼン, *p*-ジクロロベンゼン, ノナナール, ドデカン, 1,2,4,5-テトラメチルベンゼン, デカナール, トリデカン, テトラデカン, ペンタデカン, ヘキサデカン, テキサノール) を分析することが可能である。

C 結果と考察

C1 拡散サンプラーの捕集速度(サンプリングレート)

拡散サンプラーの捕集原理

PSD (Passive Sampling Device) サンプラーは分子拡散の原理に基づき化学物質を捕集する器具であるが, 捕集した物質の大気濃度を求めるためには物質ごとに捕集速度(サンプリングレート)を求めておく必要がある。

微量成分が細孔を通り, 気体成分が *x* 方向に拡散する場合のフラックスは Fick の第一則により次式で表わされる。

$$N = -D \frac{dC}{dl} \quad [1]$$

ここで, *N* は気体のフラックス(mol/cm²/s), *D* は気体の拡散係数(cm²/s), *dc/dl* はサンプラーの気

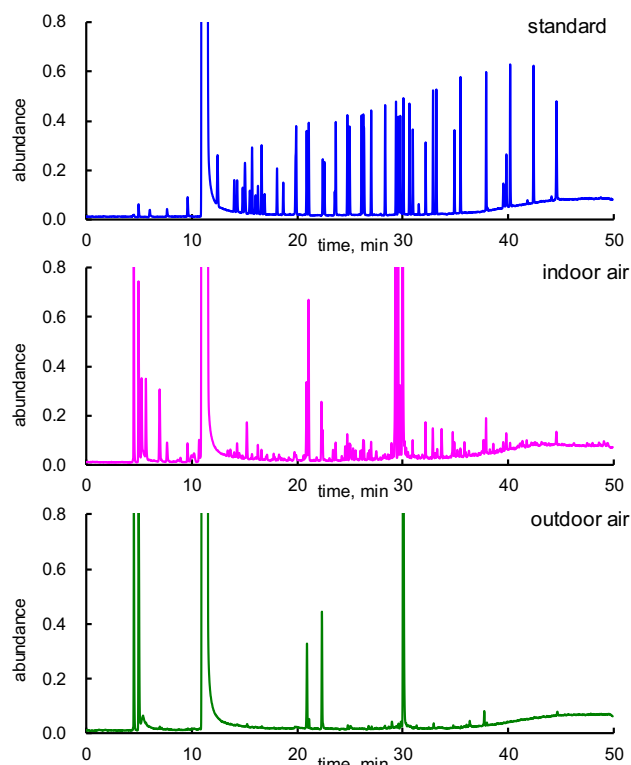


Fig. 6. GC/MS chromatographic profile of VOC mixture standard and sample solutions

体浸透媒体内部における濃度勾配である。捕集剤の吸着・吸収力が十分に強ければ, 気液境膜における気体濃度は 0 になる。したがって, 濃度勾配(*dc/dl*)は(*C/L*)で置き換えることができる。ここで, *C* (ppb)は大気中濃度, *L* (cm)は気体の濃度勾配が成立する気体浸透媒体の厚さである。

[1]式は[2]式で置き換えることができる。

$$N = D \frac{(C - C_0)}{L} \quad [2]$$

PSD サンプラーの捕集速度, *W/t* (mol/s)は *N* に拡散面積 *A* (cm²) を乗じることで求めることができる。

$$\frac{W}{t} = NA = D \frac{A}{L} (C - C_0) \quad [3]$$

ここで, *W* は吸着・吸収した化学物質の量(mol), *t* は捕集期間(h)である。従って, 目的成分の大気濃度(ppb)は次式で計算することができる。

$$C = \left(\frac{L}{DA} \right) \frac{W}{t} = r \frac{W}{t} \quad [4]$$

ここで, *C* は目的成分の空气中濃度(ppb), *r* は比例定数(ppb sec/mol)であり, *r* の逆数 1/*r* がアップテイクレートである。アップテイクレート, *R* を

あらかじめ求めておけば、Wを測定することにより大気中濃度Cを計算することができる。

[6]式からサンプリングレートは分子拡散係数Dに比例する。したがって特定の化学物質の拡散サンプラーのサンプリングレートを実験で求めておけば、各物質の拡散係数からサンプリングレートを計算することができる。拡散係数が未知の場合は次式により算出できる⁸。

$$D_{AB} = \frac{1.00 \times 10^{-3} T^{1.75} (1/M_A + 1/M_B)^{1/2}}{P \left[(\Sigma_V)_A^{1/3} + (\Sigma_V)_B^{1/3} \right]^2} \quad [5]$$

ここで、 D_{AB} (cm²/s)は気体の拡散係数、 P (atm)は大気圧、 T (K)は絶対温度、 M_A と M_B は成分 A と B の分子量である。 Σ_V は原子あるいは分子の diffusion volume であり、それぞれの atomic diffusion volume から算出できる。

拡散サンプラーは温度や圧力により、捕集速度が変化するが、この影響は[5]式から推定することができる。すなわち、[5]式から

$$D_{AB} \propto T^{1.75} \quad [6]$$

$$D_{AB} \propto \frac{1}{P} \quad [7]$$

の関係が得られ、温度・圧力の補正が可能である。

この他、グレアムの法則から各種化学物質の sampling rate を算出することもできる⁹⁾。グレアムの法則により、定温定圧の条件のもとで気体が薄い細孔を通して圧力の低い側へ流出する速度は、その密度Z(したがって分子量M)の平方根に反比例する。

$$D_{gr} \propto \frac{1}{\sqrt{Z}} \propto \frac{1}{\sqrt{M}} \quad [8]$$

したがって、ホルムアルデヒドの拡散係数を M_f とした場合、目的物質の拡散係数 D_{gr} は次の式から算出できる。

$$D_{gr} = D_f \sqrt{\frac{M_f}{M_d}} \quad [9]$$

そして sampling rate (R)は次式から算出できる。

$$R = \frac{D_d}{D_f} R_f \quad [10]$$

tは捕集期間(h)である。従って、目的成分の大気濃度(ppb)は次式で計算することができる。

実験で求めたホルムアルデヒドのサンプリングレート (Fig. 7, 71.9 mL/min) を基に、グレアムの法則により求めた各カルボニル化合物のサンプリングレートを Table 2 示す。また、このサンプリングレートを用いて算出した大気濃度も Table 2 に示す。アクティブサンプリングで算出した大気濃度とほぼ一致している。カルボニル化合物以外の化学物質のサンプリングレートにもグレアムの法則の適用は可能である。

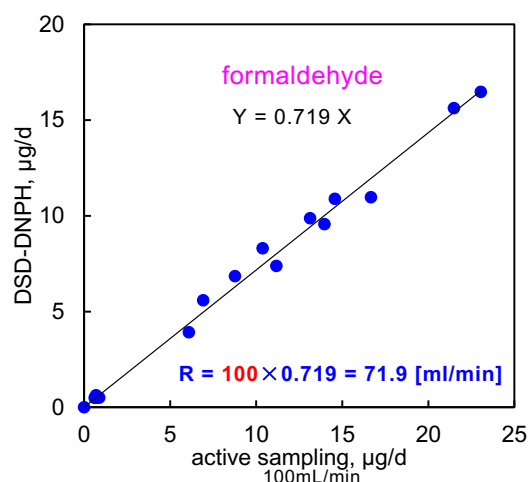


Fig. 7. Relationship between DSD-DNPH method and active sampling method in case formaldehyde.

Table 2. Concentrations of carbonyl compounds measured by PSD-DNPH and active sampling. Active sampling was performed at 100 mL/min and sampling duration is 24 h.

compounds	PSD-DNPH		active sapling	
	R (mL/min)	conc. (µg/m ³)	R (mL/min)	conc. (µg/m ³)
formaldehyde	71.9	27	100	27
acetaldehyde	59.4	24	100	25
acetone	51.7	31	100	32
formaldehyde	71.9	27	100	27
acetaldehyde	59.4	24	100	25
acetone	51.7	31	100	32
acrolein	52.6	0.2	100	0.3
propanal	51.7	1.9	100	1.9
crotonaldehyde	47.1	0.3	100	0.2
2-butanone	46.4	13	100	14
butyraldehyde	46.4	2.0	100	2.0
cyclohexanone	39.8	2.4	100	1.9
benzaldehyde	38.2	2.7	100	2.3
isopentanal	42.5	0.6	100	0.4
pentanal	42.5	2.1	100	1.8
o-tolualdehyde	35.9	3.2	100	2.7
m,p-tolualdehyde	35.9	1.7	100	0.9
hexanal	39.4	7.0	100	7.7
2,5-DMBA	34.0	1.3	100	0.7
heptanal	36.9	1.1	100	1.5
octanal	34.8	1.1	100	1.6
nonanal	33.0	4.8	100	4.8
decanal	31.5	1.0	100	1.2

C2. 特定建築物内化学物質濃度の測定結果

特定建築物内の化学物質濃度を前述した4種類の拡散サンプラーを用いて分析した。調査は夏期と冬期に分けて行い、冬期の調査は、2020年12月14日～2021年4月6日(W1, 56施設)および2022年1月20日～2022年2月14日(W2, 75施設)、夏期の調査は2021年8月20日～2021年9月30日(S, 111施設)の計242施設で実施した。なお、捕集時間は就業時間を基本とし8時間程度である。

それぞれの期間におけるカルボニル化合物濃度、VOC、無機成分の平均値、パーセンタイル値(50%ile, 95%ile, 100%ile)をTable 3に示す。

C.2.1 特異に高濃度を示した物質

ホルムアルデヒド

全体的に夏期の方が冬期より濃度が高い傾向であるが、冬期(W1)の一施設でホルムアルデヒドが160 µg/m³と非常に高い値を示した。この施設ではアセトアルデヒド(100 µg/m³)、アセトン(140 µg/m³)、トルエン(61 µg/m³)、d-リモネン(37 µg/m³)、などが他の施設に比べ特異に高濃度であった。

アセトアルデヒド

冬期(W1)の一施設でアセトアルデヒドが200 µg/m³と非常に高い値を示した。他のVOC、カルボニル化合物濃度も他の施設に比べやや高い傾向にある。

ベンゼン

冬期(W1)の一施設でベンゼンが24 µg/m³と非常に高い値を示した。令和2年度の環境大気濃度(0.79 µg/m³)⁹の30倍、環境基準値の約3倍の値である。施設内に発生源があり注意が必要である。

エタノール

エタノール濃度の平均値は、夏期(S)1100 µg/m³、冬期(W2)9200 µg/m³であり、全物質を通して最も高い値を示した。

国立医薬品食品衛生研究所(国衛研, NIHS)が2001年、2002年、2003年に実施した一般住宅における冬期を中心とした全国調査¹⁰によると、エタノール濃度平均値はそれぞれ1600 µg/m³、890 µg/m³、490 µg/m³であった。また最大濃度も、それぞれ15000 µg/m³、19000 µg/m³、4900 µg/m³を示し、最も濃度が高い物質である。今回調査した特定建築物においても一般住宅同様最も濃度が高い物質である。木材とエタノールが接触することでアセトアルデヒドが生成することが報告¹¹されているので注意が必要である。

2,2,4,6,6-ペンタメチルヘプタン(パーメチル99)

当初、夏期(S)の一施設でデカンが20000 µg/m³と定量された。しかし、GC/MSのスペクトルを

精査すると、デカンではなく2,2,4,6,6-ペンタメチルヘプタン(イソドデカン)であることが明らかになった。標準溶液にこの物質が含まれていなかったため正確な定量はできないが、ドデカンの異性体であり同じ分子式、分子量であることを考慮すると20000 µg/m³に近い濃度であることが示唆される。イソドデカンをTVOCに含めると20000 µg/m³以上になり、ガイドライン値を大幅に超過することになる。

C.2.2 室内濃度指針値、環境基準値

厚生労働省が室内濃度指針値を策定している物質として、ホルムアルデヒド(FA)、アセトアルデヒド(AA)、トルエン(TL)、キシレン(XY)、エチルベンゼン(EB)、スチレン(ST)、パラジクロロベンゼン(PDB)、テトラデカン(TD)、総揮発性有機化合物(TVOC)、環境省が環境基準値を策定している物質として、ベンゼン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、オキシダント(オゾン)、二酸化窒素、環境省が悪臭防止法に基づき規制基準を策定している物質として、アンモニア(NH₃)の濃度を夏期、冬期それぞれTable 4～6に示す。それぞれの物質の指針値、基準値は以下の通りである。

ホルムアルデヒド	100 µg/m ³
アセトアルデヒド	48 µg/m ³
トルエン	260 µg/m ³
キシレン	200 µg/m ³
エチルベンゼン	3800 µg/m ³
スチレン	220 µg/m ³
パラジクロロベンゼン	240 µg/m ³
テトラデカン	330 µg/m ³
総揮発性有機化合物 TVOC	400 µg/m ³
2-エチル-1-ヘキサノール	(案) 130 µg/m ³
テキサノール	(案) 240 µg/m ³
ベンゼン	3 µg/m ³
トリクロロエチレン	130 µg/m ³
テトラクロロエチレン	200 µg/m ³
オキシダント(オゾン)	(60 ppb) 120 µg/m ³
二酸化窒素	(40 ppb) 77 µg/m ³
アンモニア(NH ₃)	(1000 ppb) 709 µg/m ³

これらの物質の中で厚生労働省の室内濃度指針値を超過した物質は全242施設中、ホルムアルデヒドが1施設(160 µg/m³)、アセトアルデヒドが8施設(48, 48, 53, 55, 62, 81, 100, 200 µg/m³)、トルエンが1施設(400 µg/m³)、TVOCが4施設(440, 640, 680, 800 µg/m³)であり、アセトアルデヒドの超過率が高いことが分かった。

C.2.3 一般住宅との比較

NIHSは2001年～2003年に一般住宅における冬期を中心とした全国調査^{7,10}を行っている。また、国立保健医療科学院(NIPH)では2012年～2014年の夏期と冬期に日本全国602戸の一般住宅で化学物質濃度の調査を行っている¹²。今回行った特定建築物とこれら全国調査との比較をTable 7に示す。全体的に、一般住宅より特定建築物の方が化学物質濃度が低いことが分かった。

オゾンは外気濃度が圧倒的に高く、屋内に流入したオゾンは急激に分解するため、屋内のオゾン濃度は換気の指標になる。特定建築物のオゾン濃度（夏期 $14\mu\text{g}/\text{m}^3$ 冬期 $8.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）が一般住宅（夏期 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 冬期 $1.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）より高いことは、換気が多く行われていたことを表している。そのため化学物質濃度が低くなったことが推測される。

D. 結論

本研究では特定建築物 242 施設内のガス状化学物質濃度を夏期と冬期に分けて測定し、汚染物質の実態を明らかにした。

化学物質の捕集には 4 種類の拡散サンプラー（オゾン、カルボニル化合物測定用 PSD-BPE/DNPH, VOC 測定用 PSD-CX, 酸性ガス測定用 PSD-TEA, 塩基性ガス測定用 PSD-PO4）を使用した。これらの拡散サンプラーは電源を必要とせず騒音を発生しないので就業時間におけるオフィス環境の測定に適していた。

今回測定した物質の中で厚生労働省の室内濃度指針値を超過した物質は全 242 施設中、ホルムアルデヒドが 1 施設 ($160\mu\text{g}/\text{m}^3$)、アセトアルデヒドが 8 施設 (48, 48, 53, 55, 62, 81, 100, $200\mu\text{g}/\text{m}^3$)、トルエンが 1 施設 ($400\mu\text{g}/\text{m}^3$)、TVOC が 4 施設 (440, 640, 680, $800\mu\text{g}/\text{m}^3$) であり、アセトアルデヒドの超過率が高いことが分かった。

今回測定した全部質の中で最も高濃度を示したのはエタノールで最大値は夏期 $1100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、冬期 $9200\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。エタノールの毒性は比較的低いと木材とエタノールが接触することで発ガン性のアセトアルデヒドが生成することが報告されているので注意が必要である。最近、新型コロナウイルス感染症対策としてエタノール系の消毒剤を使用する機会が多いので、アセトアルデヒドの生成メカニズムを詳細に検討する必要がある。

E. 参考文献

1. Uchiyama, S.; Aoyagi, S.; Ando, M., Evaluation of a diffusive sampler for measurement of carbonyl compounds in air. *Atmospheric Environment* **2004**, *38*, (37), 6319-6326.
2. Uchiyama, S.; Inaba, Y.; Kunugita, N., A diffusive sampling device for simultaneous determination of ozone and carbonyls. *Analytica Chimica Acta* **2011**, *691*, (1-2), 119-124.
3. Yamada, T.; Uchiyama, S.; Inaba, Y.; Kunugita, N.; Nakagome, H.; Seto, H., A diffusive sampling device for measurement of ammonia in air. *Atmospheric Environment* **2012**, *54*, (0), 629-633.
4. Uchiyama, S.; Ando, M.; Aoyagi, S., Isomerization of aldehyde-2,4-dinitrophenylhydrazone derivatives and validation of high-performance liquid chromatographic analysis. *J. Chromatogr. A* **2003**, *996*, (1-2), 95-102.
5. Uchiyama, S.; Matsushima, E.; Aoyagi, S.; Ando, M., Measurement of acid-catalyzed isomerization of unsaturated aldehyde-2,4-dinitrophenylhydrazone derivatives by high-performance liquid chromatography analysis. *Anal. Chim. Acta* **2004**, *523*, (2), 157-163.
6. Behforouz, M.; Bolan, J. L.; Flynt, M. S., 2,4-Dinitrophenylhydrazones - a Modified Method for the Preparation of These Derivatives and an Explanation of Previous Conflicting Results. *Journal of Organic Chemistry* **1985**, *50*, (8), 1186-1189.
7. Uchiyama, S.; Tomizawa, T.; Tokoro, A.; Aoki, M.; Hishiki, M.; Yamada, T.; Tanaka, R.; Sakamoto, H.; Yoshida, T.; Bekki, K.; Inaba, Y.; Nakagome, H.; Kunugita, N., Gaseous chemical compounds in indoor and outdoor air of 602 houses throughout Japan in winter and summer. *Environmental Research* **2015**, *137*, (0), 364-372.
8. Fuller, E. N.; Ensley, K.; Giddings, J. C., Diffusion of halogenated hydrocarbons in helium. The effect of structure on collision cross sections. *The Journal of Physical Chemistry* **1969**, *73*, (11), 3679-3685.
9. 環境省, 令和 2 年度 有害大気汚染物質モニタリング調査結果報告書.
10. 安藤正典, 化学物質過敏症等室内空气中化学物質に係わる疾病と総化学物質の存在量の検討と要因解明に関する研究 厚生労働科学研究費補助金 健康安全総合研究経費 がん予防等健康科学総合研究, 研究報告書 200301361A, 2003.
11. Tohmura, S.-i.; Ishikawa, A.; Miyamoto, K.; Inoue, A., Acetaldehyde emission from wood induced by the addition of ethanol. *Journal of Wood Science* **2012**, *58*, (1), 57-63.

12. 樺田尚樹, シックハウス症候群の発生予防・症状軽減のための室内環境の実態調査と改善対策に関する研究 厚生労働科学研究費補助金 健康安全確保総合研究 健康安全・危機管理対策総合研究研, 究報告書 H23-健危-一般-010, 2013.

indoor air on personal exposures, *Healthy Buildings America* 2021, January 2022.

坂元宏成; 内山茂久 Determination of Carbonyl Compounds in Air Using Hydroquinone Coated Frits for Ozone Removal 日本化学会第 100 春季年会, 2020 年 3 月

坂元宏成; 内山茂久 ヒドロキシベンゼンをコーティングしたポリエチレン焼結フィルターによるオゾン除去 第 61 回大気環境学会年会, 2020 年 9 月

坂元宏成; 佐藤綾菜; 内山茂久; Win-Yu AUNG; Tin-Tin WIN-SHWE; 稲葉洋平; 樺田尚樹; 牛山明 解剖学教室におけるホルムアルデヒド個人曝露量の測定 第 79 回日本公衆衛生学会総会, 2020 年 10 月

小山真緒; 内山茂久; 野口真由美; 坂元宏成; 稲葉洋平; 牛山明 室内環境に存在する化学物質の挙動と居住者の曝露評価 2020 年室内環境学会学術大会, 2020 年 12 月, 福島

坂元宏成; 内山茂久; 佐藤綾菜; 稲葉洋平; 牛山明 有害化学物質の個人曝露濃度を与える室内濃度の影響 2020 年室内環境学会学術大会, 2020 年 12 月, 福島

坂元宏成; 内山茂久; 磯部 友彦; 樺田尚樹; 小倉 裕直; 中山 祥嗣 室内空間各所における化学物質濃度と個人曝露に与える影響 第 79 回日本公衆衛生学会総会, 2021 年 6 月

F. 研究発表

1. 論文発表

Win-Yu Aung, Hironari Sakamoto, Ayana Sato, Ei-Ei-Pan-Nu Yi, Zaw-Lin Thein, Myint-San Nwe, Nanda Shein, Htin Linn, Shigehisa Uchiyama, Naoki Kunugita, Tin-Tin Win-Shwe, and Ohn Mar: Indoor Formaldehyde Concentration, Personal Formaldehyde Exposure and Clinical Symptoms during Anatomy Dissection Sessions, University of Medicine 1, Yangon, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18 (2), 712-728.

Hironari Sakamoto, Shigehisa Uchiyama, Tomohiko Isobe, Naoki Kunugita, Hironao Ogura, Shoji F. Nakayama: Spatial Variations of Indoor Air Chemicals in an Apartment Unit and Personal Exposure of Residents, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18 (21), 11511-11521.

Hironari Sakamoto, Shigehisa Uchiyama, Moka Shimidzu, Hironao Ogura: Simple Ozone Scrubber Using a Glass Fiber Filter Impregnated with Hydroquinone for the Quantitative Analysis of Ambient Air Samples, *Analytical Sciences*, 2021, 37, 1713-1718.

2. 学会発表

Hironari Sakamoto, Shigehisa Uchiyama, Tomohiko Isobe, Naoki Kunugita, Hironao Ogura, Shoji F. Nakayama: Influence of chemical compounds in

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)

予定なし

Table 3. Concentrations of chemical compounds in the office buildings. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

compounds	Winter (W1, n = 56) Dec. 2020 to Apr. 2021				Summer (S, n = 111) Aug. 2021 to Sep. 2021				Winter (W2, n = 75) Jan. 2022 to Feb. 2022			
	mean	50%ile	95%ile	100%ile	mean	50%ile	95%ile	100%ile	mean	50%ile	90%ile	100%ile
formaldehyde	11	6.7	20	160	13	12	25	60	6.9	6.3	12	21
acetaldehyde	15	5.6	60	200	11	8.0	30	62	8.0	6.6	22	27
propanal	6.1	4.5	16	46	2.1	n.d.	7.4	23	0.7	n.d.	4.0	12
valeraldehyde	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
i-valeraldehyde	0.1	n.d.	n.d.	4.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
hexanal	0.4	n.d.	n.d.	21	0.3	n.d.	n.d.	15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
heptanal	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
octanal	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
nonanal	0.7	n.d.	n.d.	23	0.7	n.d.	n.d.	38	0.2	n.d.	n.d.	15
decanal	0.3	n.d.	n.d.	15	0.2	n.d.	n.d.	19	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
acrolein	0.2	n.d.	n.d.	9.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
crotonaldehyde	0.6	n.d.	n.d.	6	0.2	n.d.	n.d.	6.2	n.d.	n.d.	n.d.	1.8
2-nonenal	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
benzaldehyde	0.2	n.d.	n.d.	5.4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
o-tolualdehyde	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
p-tolualdehyde	0.2	n.d.	n.d.	8.6	n.d.	n.d.	n.d.	4.1	n.d.	n.d.	n.d.	2.2
2,5-DMBA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
acetone	16	8.0	85	140	12	9.7	23	66	13	11	23	60
2-butanone	2.3	n.d.	15	34	n.d.	n.d.	n.d.	2.6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MIBK	0.1	n.d.	0.4	3.2	0.2	n.d.	0.6	1.6	n.d.	n.d.	n.d.	1.2
total carbonyls	53	27	170	480	40	33	66	240	29	26	53	85
hexane	15	7.1	27	270	5.2	2.7	11	200	5.0	4.2	12	29
cyclohexane	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.3	n.d.	4.5	66	2.6	0.7	5.3	61
heptane	0.8	0.3	2.5	3.8	0.5	n.d.	2.9	12	1.9	0.4	2.3	99
octane	0.5	0.3	1.5	7.2	1.0	n.d.	3.5	8.8	0.8	0.6	2.2	6.2
nonane	1.9	0.6	3.8	35	0.6	n.d.	2.0	39	1.0	0.5	2.7	29
decane	17	1.9	13	740	15	14	29	35	13	9.6	28	84
undecane	2.3	1.5	4.3	23	1.2	0.6	3.7	32	1.4	0.7	6.4	20
dodecane	9.1	9.2	19	25	5.4	3.5	16	78	7.7	6.3	14	57
tridecane	7.6	6.7	15	42	4.5	1.8	7.1	140	2.6	2.3	5.2	12
tetradecane	9.5	9.1	20	32	9.4	6.5	20	110	11	10	20	28
pentadecane	3.1	1.5	15	21	0.1	n.d.	0.6	3.6	0.3	0.3	0.7	1.8
hexadecane	3.9	3.1	9.1	15	0.4	n.d.	2.0	4.5	1.0	1.0	1.8	3.5
benzene	1.6	0.9	3.0	24	1.6	1.2	3.0	5.0	0.9	0.8	1.8	3.1
toluene	16	5.0	40	400	8.7	5.9	19	130	5.5	4.5	12	21
ethylbenzene	4.8	1.3	15	70	1.9	1.6	5.6	11	1.2	0.9	3.4	4.8
o-xylene	1.5	0.6	6.5	9.6	0.6	0.4	2.3	5.5	0.6	0.4	1.2	5.4
m,p-xylene	4.4	2.0	18	35	1.9	1.5	5.3	12	1.4	1.0	3.2	10
1,3,5-TMB	0.3	0.1	1.4	3.0	0.3	n.d.	1.6	3.8	0.3	0.2	0.8	2.4
1,2,4-TMB	1.3	0.7	4.6	9.9	1.2	0.6	4.4	15	1.2	0.8	3.6	9.9
1,2,3-TMB	0.3	n.d.	1.2	3.1	0.2	n.d.	0.8	8.9	0.3	0.2	0.8	2.5
1,2,4,5-TMB	0.2	n.d.	0.9	1.6	0.1	n.d.	n.d.	15	0.1	n.d.	0.3	1.4
styrene	0.1	n.d.	0.1	2.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.1	1.1
p-DCB	2.7	0.4	5.2	100	0.9	0.6	2.2	14	0.9	0.5	3.7	4.8
trichloromethane	0.7	0.3	2.5	13	0.7	n.d.	1.5	41	0.4	0.4	0.7	0.9
tetrachloromethane	0.2	n.d.	0.6	2.5	n.d.	n.d.	n.d.	2.2	0.2	n.d.	0.8	1.1
dibromochloromethane	n.d.	n.d.	n.d.	1.5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,2-dichloroethane	0.1	n.d.	0.5	2	n.d.	n.d.	n.d.	1.8	n.d.	n.d.	n.d.	2.3
1,1,1-TCE	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
trichloroethylene	0.3	n.d.	1.3	1.8	0.2	n.d.	1.7	2.9	0.8	n.d.	1.0	4.4
tetrachloroethylene	0.1	n.d.	0.2	1.5	n.d.	n.d.	n.d.	3.3	0.1	n.d.	0.5	0.8
ethanol	—	—	—	—	1100	540	3200	18000	3000	2600	7000	9200
2-ethyl-1-hexanol	3.3	1.8	11	16	4.3	1.9	20	33	0.6	n.d.	3.2	4.7
texanol	2	1.6	5.3	15	3.0	2.9	7.2	14	2.5	1.9	4.1	22
ethylacetate	5.1	3.5	14	32	5.1	3.5	13	46	3.9	2.6	9.2	27
butylacetate	1.6	0.5	5.2	25	0.6	n.d.	2.7	12	1.7	1.4	3.1	5.9
2,2,4-TMP	0.1	n.d.	0.3	2.3	n.d.	n.d.	n.d.	3.1	n.d.	n.d.	0.1	1.3
α -pinene	0.4	n.d.	1.5	6.2	n.d.	n.d.	n.d.	1.5	0.2	0.2	0.6	1.0
d-limonene	4.4	1.8	18	57	1.7	n.d.	3.4	94	8.6	2.2	14	390
TVOC	130	83	380	800	160	130	370	730	140	120	260	680
ozone	6.2	4.1	16	33	14	11	24	48	8.2	7.8	12	20
formic acid	—	—	—	—	20	20	30	49	13	12	22	27
acetic acid	—	—	—	—	89	89	140	250	39	32	79	93
hydrogen chloride	—	—	—	—	8.7	5.5	14	90	18	16	30	59
nitrogen dioxide	—	—	—	—	15	14	25	64	15	12	26	110
total acidic gases	—	—	—	—	130	130	240	450	85	72	180	290
ammonia	—	—	—	—	12	12	17	24	3.6	3.2	6.1	7.8

Table 4. Concentrations of chemical compounds for which guideline or standard values are specified. (W1, µg/m³)

name	FA	AA	TD	TL	EB	XY	ST	pDCB	EH	TX	TVOC	BZ	TrCE	TeCE	O ₃	NO ₂	NH ₃
W1-1	15	48	16	8.9	2.3	5.7	n.d.	0.3	16	2.2	140	2.3	n.d.	n.d.	0.9	—	—
W1-2	18	53	16	8.7	2.3	5.5	n.d.	0.3	15	1.6	130	1.8	n.d.	n.d.	0.9	—	—
W1-3	8.2	9.8	7.2	6.8	1.4	4.4	n.d.	0.8	4.2	2.4	130	0.7	n.d.	n.d.	0.5	—	—
W1-4	6.7	4.6	11	4.0	1.0	2.7	n.d.	n.d.	1.1	2.9	70	0.7	n.d.	n.d.	1.3	—	—
W1-5	9.0	8.3	7.7	4.6	1.0	2.7	n.d.	100	4.5	2.1	180	1.0	0.8	1.5	2.0	—	—
W1-6	5.9	5.3	9.1	3.0	0.8	2.1	n.d.	n.d.	0.8	1.1	78	0.7	n.d.	n.d.	1.5	—	—
W1-7	6.5	4.1	9.0	5.3	1.2	2.3	n.d.	0.3	1.6	1.8	78	0.8	n.d.	n.d.	0.6	—	—
W1-8	11	6.3	21	1.8	0.5	1.9	n.d.	n.d.	n.d.	1.4	92	1.1	n.d.	n.d.	4.9	—	—
W1-9	21	10	6.9	3.7	3.9	6.2	n.d.	2.8	0.9	1.4	81	0.9	n.d.	n.d.	2.7	—	—
W1-10	7.7	5.6	17	2.4	0.9	1.7	n.d.	n.d.	2.2	1.5	84	0.6	n.d.	n.d.	3.2	—	—
W1-11	7.2	2.8	5.5	5.5	1.2	3.1	n.d.	0.3	n.d.	2.3	120	0.4	n.d.	n.d.	0.9	—	—
W1-12	1.7		5.8	0.4	0.8	1.2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	39	n.d.	n.d.	n.d.	0.2	—	—
W1-13	160	100	17	61	6.0	15	n.d.	5.1	2.8	5.8	270	10	n.d.	1.4	7.2	—	—
W1-14	12	23	14	18	3.3	7.3	n.d.	0.5	3.4	2.0	130	2.0	1.6	n.d.	0.1	—	—
W1-15	20	31		7.0	2.1	3.1	n.d.	0.4	0.9	n.d.	32	1.9	n.d.	n.d.	2.8	—	—
W1-16	13	11	1.3	9.7	4.2	16	n.d.	6.1	4.2	n.d.	440	1.2	n.d.	n.d.	8.3	—	—
W1-17	42	200	32	33	6.1	22	2.0	2.1	7.4	4.0	360	24	n.d.	n.d.	3.1	—	—
W1-18	13	81	14	5.9	1.3	4.1	n.d.	n.d.	1.6	1.8	70	2.6	n.d.	n.d.	3.4	—	—
W1-19	11	5.5	4.9	2.9	0.5	1.5	n.d.	n.d.	n.d.	2.6	54	0.9	n.d.	n.d.	1.8	—	—
W1-20	3.7	4.6	13	3.2	0.8	1.3	n.d.	0.2	1.3	1.3	57	1.1	n.d.	n.d.	9.6	—	—
W1-21	4.1	5.5	16	7.5	0.6	1.8	n.d.	0.2	2.3	1.2	100	1.1	n.d.	n.d.	5.2	—	—
W1-22	4.9	7.1	3.6	5.1	1.2	1.3	n.d.	0.7	1.6	2.2	79	1.0	0.1	n.d.	3.2	—	—
W1-23	8.2	7.1	21	6.9	1.5	2.2	n.d.	1.2	1.7	0.9	150	0.9	1	n.d.	3.4	—	—
W1-24	5.1	5.7	13	17	2.2	7.4	n.d.	0.5	0.6	2.5	120	4.1	n.d.	n.d.	8.1	—	—
W1-25	10	7.0	16	4.6	1.1	1.8	n.d.	0.8	2.2	1.3	95	0.5	n.d.	n.d.	11	—	—
W1-26	12	17	13	5.8	2.7	3.4	n.d.	0.9	n.d.	1.6	110	1.6	0.4	0.7	4.8	—	—
W1-27	14	8.1	15	20	34	29	0.1	1.7	2.6	4.9	180	0.8	n.d.	n.d.	2.9	—	—
W1-28	7.4	6.1	14	6.8	1.2	2.2	n.d.	0.5	1.5	1.4	94	1.0	0.4	n.d.	4.6	—	—
W1-29	7.9	5.3	19	11	1.9	2.9	n.d.	0.2	2.0	2.7	140	1.0	n.d.	n.d.	4.0	—	—
W1-30	1.4	1.8	1.4	2.5	0.9	1.2	n.d.	0.2	1.2	n.d.	24	1.3	n.d.	n.d.	4.6	—	—
W1-31	1.7	3.3	13	6.7	2.2	3.0	n.d.	0.6	7.9	0.5	97	0.6	n.d.	n.d.	0.9	—	—
W1-32	2.3	3.6	0.9	7.5	1.7	1.7	n.d.	n.d.	1.7	n.d.	34	1.1	1.0	n.d.	1.5	—	—
W1-33	2.3	3.7	15	400	70	45	0.5	n.d.	1.6	3.6	640	1.8	1.8	n.d.	1.6	—	—
W1-34	3.2	6.4	14	100	61	38	0.2	0.3	1.3	n.d.	320	1.5	1.8	n.d.	3.7	—	—
W1-35	2.3	2.8	0.7	1.5	0.6	0.4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	11	0.4	n.d.	n.d.	4.5	—	—
W1-36	2.1	1.8	2.6	1.9	0.7	0.9	n.d.	n.d.	7.6	1.8	43	0.5	n.d.	n.d.	9.4	—	—
W1-37	3.0	2.6	1.8	6.1	2.1	2.6	n.d.	0.6	4.2	n.d.	58	0.5	n.d.	n.d.	3.0	—	—
W1-38	1.9	1.6	0.9	1.8	3.2	2.5	n.d.	n.d.	0.5	n.d.	20	0.5	n.d.	n.d.	11	—	—
W1-39	1.8	3.0	1.3	4.5	4.1	3.8	n.d.	4.0	0.9	0.3	49	0.5	0.4	n.d.	4.2	—	—
W1-40	2.4	2.7	0.5	2.5	0.8	1.1	n.d.	n.d.	11	n.d.	28	0.6	1.1	n.d.	3.9	—	—
W1-41	3.1	2.8	2.4	2.7	0.9	1.1	n.d.	n.d.	11	2.5	66	0.8	0.8	n.d.	3.1	—	—
W1-42	2.5	2.7	3.0	2.5	0.8	1.0	n.d.	0.2	12	2.0	65	0.7	0.8	n.d.	2.2	—	—
W1-43	2.6	2.0	13	4.5	4.1	21	0.1	0.9	5.2	2.0	120	0.4	n.d.	n.d.	4.6	—	—
W1-44	4.8	3.8	18	3.6	2.6	14	n.d.	0.6	5.4	1.2	130	0.8	0.5	n.d.	25	—	—
W1-45	7.3	4.7	17	4.8	1.1	2.8	n.d.	0.4	3.2	1.0	82	0.7	n.d.	n.d.	10	—	—
W1-46	4.2	3.0	16	1.8	0.8	1.2	n.d.	0.5	0.8	1.4	71	0.4	n.d.	n.d.	27	—	—
W1-47	11	7.8	1.1	5.0	1.0	1.2	n.d.	1.1	8.0	n.d.	40	0.9	0.6	n.d.	14	—	—
W1-48	6.3	8.1	1.9	22	8.5	7.7	n.d.	0.9	1.4	15	140	1.1	1.2	n.d.	9.3	—	—
W1-49	6.7	6.7	2.9	10	2.9	3.1	n.d.	0.7	1.6	5.2	70	0.7	0.2	n.d.	12	—	—
W1-50	12	11	1.6	3.2	0.9	1.3	n.d.	1.1	2.2	1.2	40	0.8	n.d.	n.d.	4.9	—	—
W1-51	7.9	7.9	1.1	9.9	2.5	2.7	n.d.	0.5	1.9	7.1	64	0.9	0.8	n.d.	12	—	—
W1-52	4.7	6.3	18	7.9	2.4	4.2	n.d.	0.2	1.3	1.0	100	1.6	0.5	n.d.	12	—	—
W1-53	5.1	3.4	2.7	1.9	0.7	0.8	n.d.	0.1	2.0	2.1	53	0.3	n.d.	n.d.	12	—	—
W1-54	5.1	4.0	17	2.5	0.7	1.4	n.d.	0.3	2.6	1.6	86	0.3	0.3	n.d.	6.5	—	—
W1-55	12	7.4	2.7	3.6	1.2	2.2	n.d.	0.5	1.0	4.4	800	0.4	0.3	n.d.	33	—	—
W1-56	7.5	29	1.3	2.1	0.9	1.5	n.d.	5.7	3.1	0.7	48	0.5	0.4	n.d.	12	—	—

FA, formaldehyde; AA, acetaldehyde; TD, tetradecane; TL, toluene; EB, ethylbenzene; XY, xylenes; ST, styrene; *p*-dichlorobenzene, PDC; EH, ethylbenzene; TX, texanol; TVOC, total volatile organic compounds; BZ, benzene; TrCE, trichloroethylene; TeCE, tetrachloroethylene; O₃, ozone; NO₂, nitrogen dioxide; NH₃, ammonia

Table 5. Concentrations of chemical compounds for which guideline or standard values are specified. (S, µg/m³)

name	FA	AA	TD	TL	EB	XY	ST	PDC	EH	TX	TVOC	BZ	TrCE	TeCE	O ₃	NO ₂	NH ₃
S-1	16	7.4	4.3	6.9	0.9	1.2	n.d.	0.7	3.6	3.0	49	2.3	n.d.	n.d.	13	5.5	8.3
S-2	13	19	2.6	14	2.1	2.5	n.d.	1.0	29	2.3	97	3.5	n.d.	n.d.	8.9	20	11
S-3	16	26	9.3	12	5.4	6.8	n.d.	1.3	33	4.1	110	3.0	n.d.	n.d.	7.9	7.4	23
S-4	24	11	4.1	16	1.5	2.2	n.d.	0.5	4.8	3.1	94	2.3	1.7	n.d.	8.2	9.8	13
S-5	7.1	8.0	6.5	8.5	2.4	3.1	n.d.	2.2	5.3	6.0	56	2.5	n.d.	n.d.	9.1	15	15
S-6	12	10	3.9	21	2.1	2.7	n.d.	1.9	3.1	2.4	71	2.9	1.0	n.d.	19	16	14
S-7	6.5	12	6.8	5.1	1.3	1.3	n.d.	1.5	9.0	1.7	44	2.2	n.d.	n.d.	11	13	12
S-8	13	5.2	2.4	2.7	1.1	1.7	n.d.	n.d.	4.8	6.6	38	2.3	n.d.	n.d.	8.3	4.7	16
S-9	11	8.3	1.7	4.7	1.9	2.1	n.d.	1.3	2.9	1.8	39	3.1	n.d.	n.d.	19	18	11
S-10	13	48	3.7	9.5	2.6	3.7	n.d.	1.6	9.5	1.3	99	3.1	n.d.	n.d.	5.6	17	14
S-11	9.9	19	2.6	9.9	2.4	3.1	n.d.	1.2	12	1.6	72	3.3	n.d.	n.d.	6.2	13	13
S-12	9.4	7.1	4.1	6.5	2.7	2.7	n.d.	0.8	1.1	4.2	51	1.9	n.d.	3.3	5.1	37	12
S-13	33	17	10	10	3.9	4.5	n.d.	1.6	22	4.4	100	2.0	n.d.	n.d.	6.1	8.8	21
S-14	11	5.4	2.8	7.1	1.3	2.7	n.d.	n.d.	2.4	4.1	40	2.2	n.d.	n.d.	7.5	14	9.4
S-15	21	7.2	1.8	4.9	1.8	3.0	n.d.	1.1	1.5	0.8	47	1.8	n.d.	n.d.	7.9	27	14
S-16	5.2	20	4.4	6.0	1.7	2.5	n.d.	0.6	1.8	3.2	44	2.9	n.d.	n.d.	6.1	27	10
S-17	11	13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	30	2.2	n.d.	n.d.	8.7	14	12
S-18	13	4.7	5.1	4.8	1.2	1.6	n.d.	1.5	3.5	2.9	38	1.9	n.d.	n.d.	8.8	64	18
S-19	10	7.7	1.0	7.2	2.5	2.9	n.d.	0.3	3.1	14	51	1.7	n.d.	n.d.	4.3	7.8	11
S-20	16	6.4	4.1	5.0	0.7	1.3	n.d.	n.d.	20	3.8	56	1.7	n.d.	n.d.	7.7	5.4	12
S-21	12	7.5	3.1	4.2	1.0	0.1	n.d.	n.d.	1.6	0.9	31	2.2	n.d.	n.d.	8.7	26	13
S-22	48	55	5.2	14	3.2	3.4	n.d.	0.8	6.2	4.5	200	2.5	n.d.	n.d.	7.1	16	15
S-23	13	4.0	3.5	7.3	1.3	4.0	n.d.	0.4	2.7	1.5	37	1.9	n.d.	n.d.	5.3	4.2	10
S-24	11	6.6	2.2	9.1	11	15	n.d.	1.8	8.7	5.2	81	2.0	n.d.	n.d.	10	17	12
S-25	11	8.4	3.2	3.8	0.7	1.7	n.d.	1.2	2.5	1.4	35	2.2	n.d.	n.d.	11	9.2	12
S-26	14	9.3	5.2	19	5.2	10	n.d.	0.8	1.9	3.0	69	2.4	n.d.	n.d.	8.0	14	17
S-27	13	7.6	4.9	3.4	0.7	1.1	n.d.	0.4	2.2	1.7	33	1.1	n.d.	n.d.	8.7	8.4	12
S-28	13	7.6	2.2	5.9	2.2	2.8	n.d.	1.7	2.3	2.6	49	1.7	n.d.	n.d.	16	13	14
S-29	7.5	5.8	5.9	4.2	0.7	1.3	n.d.	0.6	8.8	5.1	39	2.0	n.d.	n.d.	4.2	18	7.5
S-30	11	6.2	16	2.2	4.8	8.7	n.d.	n.d.	2.2	1.9	39	1.5	n.d.	n.d.	6.2	9.9	11
S-31	13	7.6	3.4	4.3	1.4	2.5	n.d.	0.9	6.8	2.1	43	2.2	n.d.	n.d.	9.1	11	17
S-32	7.4	4.9	2.2	4.4	1.6	1.9	n.d.	1.2	0.5	1.2	29	1.6	n.d.	n.d.	14	25	12
S-33	16	6.6	3.2	6.1	2.5	4.5	n.d.	0.8	2.4	4.6	49	2.2	n.d.	n.d.	8.6	8.5	14
S-34	16	9.1	2.8	7.6	1.5	3.7	n.d.	0.3	4.7	1.4	48	2.3	n.d.	n.d.	9.6	14	14
S-35	16	17	2.1	8.2	1.3	1.8	n.d.	1.3	7.0	3.0	73	1.7	n.d.	n.d.	8.0	13	13
S-36	19	5.6	4.2	7.1	1.3	1.6	n.d.	1.2	4.1	3.2	140	1.8	n.d.	n.d.	11	4.1	15
S-37	17	19	4.6	6.5	2.1	2.9	n.d.	0.9	14	1.3	69	2.4	n.d.	n.d.	18	20	11
S-38	12	9.3	4.9	7.1	1.0	1.5	n.d.	2.1	2.6	3.0	42	1.9	n.d.	n.d.	6.5	23	15
S-39	12	3.4	2.1	5.0	1.6	1.8	n.d.	0.9	3.0	1.0	34	2.0	n.d.	n.d.	48	9.0	15
S-40	7.4	8.2	4.2	6.3	2.5	4.4	n.d.	n.d.	4.4	4.3	43	1.9	n.d.	n.d.	10	3.4	16
S-41	7.6	7.1	4.8	4.5	0.9	1.3	n.d.	0.7	3.7	0.4	29	1.0	n.d.	n.d.	11	9.2	
S-42	18	8.6	2.1	6.7	1.3	1.6	n.d.	0.8	14	2.9	68	2.1	0.5	n.d.	23	6.3	15
S-43	8.2	4.0	0.9	2.6	0.9	1.6	n.d.	n.d.	1.9	6.6	31	2.3	n.d.	n.d.	13	21	8.4
S-44	15	14	6.7	4.1	1.6	2.6	n.d.	n.d.	4.3	4.1	53	2.3	n.d.	n.d.	11	14	11
S-45	9.9	4.9	19	4.6	2.0	8.6	n.d.	n.d.	3.0	12	45	0.8	n.d.	n.d.	25	7.2	8.6
S-46	9	10	14	5.3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4.3	38	1.1	n.d.	n.d.	10	6.6	8.3
S-47	10	9.8	13	8.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	36	1.6	n.d.	n.d.	23	21	10
S-48	6.5	3.9	17	2.6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	16	1.1	n.d.	n.d.	46	17	8.8
S-49	14	13	12	5.7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	5.0	43	1.3	n.d.	n.d.	10	11	8.5
S-50	12	9.1	6.5	8.2	4.6	3.2	n.d.	0.7	n.d.	n.d.	43	0.8	n.d.	n.d.	12	21	6.3
S-51	8.2	9.5	14	5.1	1.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	5.8	44	0.8	n.d.	n.d.	11	10	6.2
S-52	4.6	8.1	14	2.8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	16	0.8	n.d.	n.d.	15	9.7	21
S-53	12	9.1	12	1.5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7.1	33	1.0	n.d.	n.d.	17	7.4	8.5
S-54	5.9	4.8	11	1.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	14	1.1	n.d.	n.d.	9.7	7.6	5.5
S-55	13	8.8	5.3	4.4	1.4	1.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	31	0.4	n.d.	n.d.	13	8.3	3.8
S-56	7.7	6.6	15	12	1.9	1.8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	37	0.6	n.d.	n.d.	6.6	18	9.5
S-57	13	6.6	10	5.3	1.6	2.5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	34	1.0	n.d.	n.d.	26	15	16
S-58	25	20	9.1	6.4	2.1	2.2	n.d.	n.d.	n.d.	5.3	71	0.9	n.d.	n.d.	13	21	18
S-59	18	31	23	3.5	n.d.	n.d.	n.d.	0.6	10	n.d.	74	0.9	n.d.	n.d.	12	9.0	13
S-60	14	6.0	14	2.9	0.8	0.4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	27	1.0	n.d.	n.d.	12	10	10
S-61	8.5	5.8	13	6.3	1.9	2.5	n.d.	0.8	n.d.	n.d.	30	0.9	n.d.	n.d.	24	18	11
S-62	12	12	16	4.5	2.6	2.3	n.d.	n.d.	n.d.	5.5	42	0.7	n.d.	n.d.	4.6	17	14
S-63	11	28	17	6.8	2.3	2.3	n.d.	n.d.	n.d.	5.5	63	1.2	n.d.	n.d.	9.4	11	8.0
S-64	9.3	12	13	4.9	2.4	5.1	n.d.	n.d.	n.d.	3.3	40	0.7	n.d.	n.d.	6.8	4.1	11
S-65	5.5	3.4	13	4.5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.8	23	0.8	n.d.	n.d.	28	15	6.6
S-66	58	44	24	8.9	3.7	5.2	n.d.	n.d.	11	7.1	140	1.1	n.d.	n.d.	12	31	24
S-67	13	12	8.6	2.6	2.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4.0	35	0.8	n.d.	n.d.	7.8	10	7.5
S-68	8.9	7.0	14	2.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4.4	24	0.8	n.d.	n.d.	12	6.0	7.9
S-69	8.4	6.5	21	2.6	n.d.	n.d.	n.d.	1.1	n.d.	4.1	27	0.9	n.d.	n.d.	17	28	8.7
S-70	13	6.1	16	6.5	n.d.	0.9	n.d.	1.1	17	n.d.	55	1.0	n.d.	n.d.	14	31	12
S-71	9.1	10	12	7.3	1.3	2.1	n.d.	0.7	n.d.	n.d.	37	0.6	n.d.	n.d.	7.9	19	8.7
S-72	14	9.4	15	2.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	27	0.8	n.d.	n.d.	12	6.8	n.d.
S-73	14	9.3	16	10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.7	40	1.0	n.d.	n.d.	10	7.9	13

name	FA	AA	TD	TL	EB	XY	ST	PDC	EH	TX	TVOC	BZ	TrCE	TeCE	O ₃	NO ₂	NH ₃
S-74	8.0	9.7	21	19	n.d.	n.d.	n.d.	0.9	n.d.	3.8	51	1.0	n.d.	n.d.	14	13	13
S-75	8.8	8.0	13	3.8	n.d.	n.d.	n.d.	1.0	n.d.	n.d.	24	0.9	n.d.	n.d.	22	21	12
S-76	14	6.3	9.4	5.4	n.d.	n.d.	n.d.	2.2	n.d.	n.d.	36	0.8	n.d.	n.d.	38	16	13
S-77	14	6.3	6.2	4.6	2.0	n.d.	n.d.	0.5	n.d.	3.2	38	0.8	n.d.	n.d.	45	14	10
S-78	14	6.7	5.4	4.5	1.3	n.d.	n.d.	0.4	n.d.	n.d.	35	0.8	n.d.	n.d.	40	14	14
S-79	13	14	26	10	2.2	2.3	n.d.	2.1	1.8	3.7	65	3.1	0.7	n.d.	48	19	15
S-80	12	6.4	6.4	6.0	1.1	1.3	n.d.	0.9	3.9	3.4	39	2.0	n.d.	n.d.	14	7.6	9.1
S-81	18	16	6.4	9.5	3.2	2.5	n.d.	0.7	2.3	2.4	61	1.5	n.d.	n.d.	13	20	11
S-82	18	26	110	6.1	1.8	1.8	n.d.	5.1	4.2	2.1	77	2.9	n.d.	n.d.	17	11	19
S-83	9.3	3.8	3.1	4.2	1.1	1.9	n.d.	n.d.	n.d.	3.1	30	2.4	n.d.	n.d.	22	14	12
S-84	60	62	10	72	5.6	7.0	n.d.	14	28	7.3	340	5.0	2.0	n.d.	15	46	23
S-85	17	12	4.4	7.9	2.0	2.4	n.d.	8.2	3.1	2.5	78	2.5	1.0	n.d.	14	18	15
S-86	25	8.5	3.2	4.1	7.3	7.8	n.d.	2.0	6.8	5.3	70	1.9	n.d.	n.d.	7	8.6	15
S-87	21	13	3.6	9.2	2.8	3.3	n.d.	1.6	3.9	2.3	72	2.6	n.d.	n.d.	16	24	20
S-88	17	17	8.0	130	5.7	11	n.d.	0.8	12	5.9	270	2.2	n.d.	n.d.	5.3	9.2	11
S-89	9.8	4.3	15	5.0	1.8	1.7	n.d.	1.5	9.2	n.d.	39	0.8	n.d.	n.d.	11	27	14
S-90	6.6	7.6	8.7	7.8	3.6	3.4	n.d.	n.d.	n.d.	10	45	0.9	n.d.	n.d.	13	10	12
S-91	5.6	4.1	5.2	3.8	1.4	1.2	n.d.	n.d.	n.d.	8.4	30	0.7	n.d.	n.d.	6.9	5.5	9.1
S-92	7.0	5.2	9.4	2.5	1.1	1.2	n.d.	1.0	n.d.	13	45	0.8	n.d.	n.d.	12	9.9	14
S-93	11	36	5.5	7.9	2.9	2.6	n.d.	0.9	n.d.	n.d.	68	1.0	n.d.	n.d.	13	13	16
S-94	11	14	13	7.8	2.4	2.0	n.d.	0.3	n.d.	4.3	53	0.9	n.d.	n.d.	14	15	9.5
S-95	10	8.1	5.9	16	8.0	5.7	n.d.	1.3	n.d.	n.d.	62	0.9	n.d.	n.d.	15	21	6.9
S-96	9.9	3.8	13	3.5	1.1	0.9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	23	0.5	n.d.	n.d.	18	16	7.7
S-97	6.4	5.2	14	3.6	1.7	1.7	n.d.	0.7	5.2	n.d.	33	0.9	n.d.	n.d.	24	9.1	9.1
S-98	8.7	6.6	7.5	5.7	1.2	1.4	n.d.	0.5	n.d.	2.8	36	1.0	n.d.	n.d.	22	18	14
S-99	12	5.8	9.6	2.7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	11	n.d.	37	0.8	n.d.	n.d.	24	7.3	6.3
S-100	6.1	2.1	12	7.5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.7	22	0.8	n.d.	n.d.	35	11	8.6
S-101	6.0	3.0	5.1	57	4.6	4.3	n.d.	n.d.	n.d.	4.0	100	0.6	1.7	n.d.	8.4	23	12
S-102	8.0	13	7.7	27	6.9	4.7	n.d.	n.d.	n.d.	2.3	83	1.2	2.9	n.d.	11	32	8.7
S-103	8.0	4.6	5.3	3.4	0.9	0.7	n.d.	n.d.	n.d.	5.1	34	0.6	n.d.	n.d.	5.2	19	6.5
S-104	2.4	2.1	8.2	1.4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.9	21	0.9	n.d.	n.d.	18	9.2	9.0
S-105	3.9	5.2	14	6.6	6.2	6.0	n.d.	2.6	n.d.	3.7	84	0.8	2.7	n.d.	13	24	9.4
S-106	8.7	5.8	7.6	5.4	1.5	2.2	n.d.	n.d.	22	2.5	57	1.9	n.d.	n.d.	6.4	8.8	6.2
S-107	8.5	5.9	5.2	4.9	1.7	1.6	n.d.	n.d.	16	1.6	50	1.0	2.4	n.d.	11	14	6.3
S-108	6.6	4.7	7.1	5.8	1.7	1.8	n.d.	n.d.	21	1.9	53	0.9	1.9	n.d.	14	14	6.9
S-109	10	5.9	15	7.2	n.d.	n.d.	n.d.	0.7	n.d.	n.d.	30	0.8	n.d.	n.d.	11	15	4.9
S-110	16	19	4.6	8.9	1.6	3.5	n.d.	0.4	0.7	1.1	57	0.3	n.d.	n.d.	9.2	9.9	5.3
S-111	12	12	19	11	5.1	17	n.d.	3.4	6.5	6.1	93	0.3	n.d.	n.d.	9.1	5.7	17

FA, formaldehyde; AA, acetaldehyde; TD, tetradecane; TL, toluene; EB, ethylbenzene; XY, xylenes; ST, styrene; *p*-dichlorobenzene, PDC; EH, ethylbenzene; TX, texanol; TVOC, total volatile organic compounds; BZ, benzene; TrCE, trichloroethylene; TeCE, tetrachloroethylene; O₃, ozone; NO₂, nitrogen dioxide; NH₃, ammonia

Table 6. Concentrations of chemical compounds for which guideline or standard values are specified

name	FA	AA	TD	TL	EB	XY	ST	PDC	EH	TX	TVOC	BZ	TrCE	TeCE	O ₃	NO ₂	NH ₃
W2-1	5.9	4.5	6.9	2.4	0.3	0.6	n.d.	0.5	0.9	2.0	87	0.4	n.d.	n.d.	15	n.d.	2.7
W2-2	5.1	6.3	1.6	7.2	1.9	2.4	n.d.	1.4	n.d.	1.6	91	0.9	0.5	n.d.	6.2	7.3	1.9
W2-3	3.8	6.3	2.4	1.6	0.3	0.9	n.d.	0.3	0.7	1.9	59	0.5	n.d.	n.d.	4.6	22	2.5
W2-4	7.4	5.1	15	4.9	0.4	1.0	n.d.	0.5	0.8	2.3	200	0.8	44	n.d.	9.0	11	3.9
W2-5	11	7.3	15	2.9	0.7	1.0	n.d.	0.3	n.d.	1.7	120	0.7	0.3	n.d.	13	14	2.7
W2-6	5.8	27	11	7.0	1.3	2.8	n.d.	4.1	n.d.	2.2	260	1.7	0.6	n.d.	3.4	20	5.8
W2-7	3.5	7.0	13	7.6	2.5	2.6	n.d.	0.4	0.2	1.9	130	1.0	0.7	n.d.	6.3	24	3.4
W2-8	11	23	8.2	9.1	2.1	2.6	n.d.	4.0	3.4	1.5	190	1.1	1.0	0.5	7.8	16	5.8
W2-9	3.5	3.8	11	2.5	0.4	0.8	n.d.	0.3	n.d.	1.6	67	0.8	n.d.	n.d.	12	4.5	2.3
W2-10	14	12	2.9	5.4	4.8	5.0	n.d.	1.3	3.2	1.8	170	0.8	n.d.	n.d.	4.7	3.0	6.3
W2-11	6.6	13	13	8.2	1.7	2.3	n.d.	1.3	n.d.	1.0	150	1.3	1.0	n.d.	3.7	23	n.d.
W2-12	5.6	6.5	n.d.	6.6	0.9	1.3	n.d.	0.2	n.d.	2.3	71	0.7	0.5	n.d.	4.4	10	0.9
W2-13	9.6	16	11	3.4	0.7	1.5	n.d.	0.2	n.d.	3.1	170	0.2	n.d.	n.d.	5.4	14	3.6
W2-14	6.5	4.2	5.6	2.9	0.6	2.1	n.d.	0.4	n.d.	1.9	67	1.2	n.d.	n.d.	5.2	40	2.1
W2-15	7.0	23	8.2	3.6	0.4	0.8	n.d.	1.2	n.d.	1.6	120	0.7	n.d.	n.d.	13	14	3.7
W2-16	8.4	8.5	14	2.0	0.7	1.5	n.d.	0.4	n.d.	2.5	110	0.6	n.d.	n.d.	11	8.9	3.2
W2-17	3.9	4.7	9.0	2.4	0.7	1.0	n.d.	0.5	n.d.	1.3	82	0.6	0.7	n.d.	9.3	7.9	2.2
W2-18	7.1	11	9.4	2.6	0.5	0.7	n.d.	0.5	3.6	1.2	110	0.7	n.d.	n.d.	11	11	4.8
W2-19	4.3	4.9	9.9	2.9	0.8	0.8	n.d.	1.6	n.d.	1.3	71	0.5	n.d.	n.d.	16	11	4.1
W2-20	10	9.7	7.4	9.6	1.8	4.9	n.d.	0.3	0.8	2.1	170	1.0	n.d.	n.d.	3.9	32	6.4
W2-21	11	6.8	22	3.2	1.3	1.5	n.d.	0.2	n.d.	1.9	150	0.9	n.d.	n.d.	8.1	5.3	5.1
W2-22	7.6	7.0	13	9.9	1.3	1.7	n.d.	1.3	n.d.	2.5	130	1.2	1.6	n.d.	9.1	23	5.3
W2-23	5.2	4.4	1.2	3.6	0.9	1.3	n.d.	0.4	n.d.	1.4	84	0.9	n.d.	n.d.	9.0	17	2.1
W2-24	13	10	18	10	2.1	2.5	n.d.	0.5	n.d.	2.9	680	1.2	n.d.	n.d.	7.8	4.7	3.0
W2-25	6.1	5.8	2.0	6.8	1.4	1.9	n.d.	0.5	n.d.	22	160	0.9	0.5	n.d.	9.5	18	4.2
W2-26	6.7	4.1	9.4	2.4	0.4	0.9	n.d.	0.5	n.d.	1.2	81	1.0	0.3	n.d.	7.7	14	1.8
W2-27	5.7	11	7.0	2.5	0.4	0.6	n.d.	n.d.	0.8	1.6	87	0.9	n.d.	n.d.	7.1	1.0	2.0
W2-28	7.0	9.8	7.4	20	3.1	4.1	n.d.	1.7	0.7	2.0	260	1.8	0.9	n.d.	6.0	27	2.2
W2-29	9.0	6.3	2.1	12	3.3	4.5	0.7	1.9	0.5	2.2	110	1.2	n.d.	n.d.	6.6	2.8	2.9
W2-30	8.0	8.3	15	6.7	1.0	1.2	n.d.	4.4	2.0	1.9	130	0.8	0.5	n.d.	7.6	19	5.9
W2-31	6.6	3.9	18	5.8	1.4	2.5	n.d.	0.7	n.d.	1.8	140	0.9	0.3	0.4	7.2	23	3.0
W2-32	4.0	4.2	5.7	2.9	0.5	0.7	n.d.	0.1	n.d.	0.6	70	0.8	n.d.	0.3	13	6.8	1.8
W2-33	8.6	9.1	13	11	4.4	4.2	n.d.	1.4	0.8	2.3	180	2.9	n.d.	n.d.	9.7	42	6.0
W2-34	8.2	9.8	4.5	1.2	0.3	0.6	n.d.	0.3	n.d.	1.5	97	0.6	n.d.	n.d.	8.8	4.5	4.3
W2-35	6.3	4.6	12	3.3	0.7	0.9	n.d.	0.4	n.d.	1.1	88	1.0	n.d.	n.d.	9.4	5.1	1.3
W2-36	8.3	11	7.3	2.0	0.6	1.2	n.d.	2.6	0.5	2.0	130	0.5	n.d.	n.d.	8.6	7.5	6.1
W2-37	9.9	21	3.5	6.6	2.7	3.6	n.d.	1.9	2.2	2.1	160	1.4	0.5	n.d.	6.0	14	6.9
W2-38	6.2	5.1	3.2	7.1	1.8	2.5	n.d.	0.6	n.d.	1.0	88	1.4	n.d.	n.d.	11	19	2.9
W2-39	7.3	7.3	14	3.7	0.5	1.8	n.d.	2.1	n.d.	1.3	120	1.1	n.d.	n.d.	6.0	4.3	2.7
W2-40	4.2	4.7	9.3	1.9	0.4	0.9	n.d.	1.8	n.d.	1.4	150	1.0	n.d.	n.d.	11	4.2	2.1
W2-41	8.6	6.4	6.8	4.5	0.7	1.0	n.d.	1.4	0.6	2.1	100	0.7	n.d.	n.d.	9.7	8.9	6.1
W2-42	5.2	5.5	9.2	2.2	0.8	1.2	n.d.	0.4	n.d.	1.3	82	0.9	n.d.	n.d.	8.0	14	4.0
W2-43	8.6	4.9	15	1.0	0.3	0.9	n.d.	n.d.	n.d.	8.7	110	0.5	n.d.	n.d.	13	6.8	3.6
W2-44	2.6	3.9	20	3.6	0.7	1.1	n.d.	0.2	0.8	2.5	100	n.d.	n.d.	n.d.	7.5	11	1.5
W2-45	8.7	19	17	8.6	1.7	2.5	1.1	2.2	n.d.	2.7	240	1.8	n.d.	0.3	6.9	13	7.8
W2-46	2.5	1.9	8.4	7.7	1.4	1.3	n.d.	4.8	0.7	1.1	88	0.7	n.d.	n.d.	9.5	13	2.6
W2-47	5.7	8.6	9.4	6.9	3.5	3.3	n.d.	0.6	0.9	19	180	0.2	0.4	n.d.	4.9	24	3.7
W2-48	5.0	7.5	19	5.5	1.1	1.5	n.d.	2.1	1.7	3.1	160	0.5	0.5	n.d.	7.6	14	4.7
W2-49	4.2	7.1	13	11	3.4	4.1	n.d.	0.6	3.7	2.6	130	1.1	1.3	n.d.	7.1	32	2.3
W2-50	4.0	3.8	12	1.4	0.4	0.7	n.d.	0.6	n.d.	2.0	120	0.3	n.d.	0.8	9.4	9.1	3.3
W2-51	7.4	6.8	11	4.4	3.2	15	0.1	n.d.	2.4	1.7	260	1.3	n.d.	n.d.	9.3	18	2.8
W2-52	21	22	11	21	0.9	1.9	n.d.	0.6	n.d.	4.8	380	3.1	n.d.	n.d.	4.2	23	6.1
W2-53	4.1	4.0	8.7	4.6	0.7	1.0	n.d.	0.8	2.3	2.9	70	0.2	n.d.	n.d.	10	8.9	2.1
W2-54	4.6	4.4	9.8	4.6	1.1	1.5	n.d.	0.5	2.1	2.9	76	0.8	0.8	n.d.	7.0	20	2.6
W2-55	7.0	9.2	10	5.9	1.0	1.7	n.d.	1.2	1.0	1.4	110	0.7	0.6	n.d.	4.7	12	2.9
W2-56	7.9	7.8	20	3.3	1.1	1.5	n.d.	0.4	0.7	2.0	130	0.3	n.d.	n.d.	7.2	29	4.5
W2-57	4.1	6.2	15	2.6	0.6	0.8	n.d.	3.6	n.d.	1.8	100	n.d.	n.d.	n.d.	8.8	5.6	3.8
W2-58	5.9	6.0	9.8	3.3	0.5	0.8	n.d.	0.2	n.d.	1.5	120	1.8	n.d.	n.d.	9.6	12	3.5
W2-59	19	11	13	8.0	2.7	5.4	0.3	0.3	0.9	2.6	270	2.1	0.8	n.d.	4.9	110	2.4
W2-60	5.9	8.9	14	6.7	2.0	2.1	n.d.	0.4	n.d.	2.7	140	0.6	0.5	n.d.	9.6	18	6.6
W2-61	6.3	4.7	14	2.3	0.8	1.2	n.d.	0.2	n.d.	2.2	110	0.4	n.d.	n.d.	6.4	5.6	2.6
W2-62	3.7	3.5	9.2	3.3	0.7	1.3	n.d.	0.7	n.d.	2.7	97	0.9	n.d.	n.d.	3.3	6.4	2.8
W2-63	6.3	6.6	9.3	12	2.1	2.6	n.d.	0.5	n.d.	2.5	150	0.7	0.4	n.d.	3.8	21	3.6
W2-64	6.2	5.5	13	4.2	1.1	1.8	n.d.	0.7	n.d.	1.3	96	1.3	0.2	n.d.	4.7	5.1	2.5
W2-65	4.5	1.8	5.7	2.8	0.5	0.8	n.d.	n.d.	n.d.	0.6	65	1.4	n.d.	n.d.	20	30	2.0
W2-66	7.1	6.8	26	6.9	1.7	2.5	n.d.	0.6	4.7	2.0	150	0.8	0.8	0.6	8.1	22	n.d.
W2-67	4.7	4.4	13	3.3	0.6	0.9	n.d.	0.5	n.d.	1.5	81	0.5	0.6	0.5	7.4	9.6	3.7
W2-68	5.6	6.4	16	7.6	1.4	1.7	n.d.	0.4	n.d.	1.6	120	0.6	1.2	n.d.	9.5	24	6.2
W2-69	6.6	7.1	13	2.3	0.6	1.1	n.d.	n.d.	n.d.	1.3	110	1.1	0.3	n.d.	9.0	6.1	3.9
W2-70	4.0	5.0	5.9	1.2	0.3	0.6	n.d.	0.1	n.d.	1.0	68	0.7	n.d.	n.d.	5.4	2.8	1.6
W2-71	6.9	9.3	18	6.8	0.8	3.2	n.d.	0.5	n.d.	2.3	170	1.1	n.d.	n.d.	3.2	4.2	7.1
W2-72	4.9	3.1	5.8	1.0	0.3	0.6	n.d.	0.2	n.d.	2.6	79	0.6	n.d.	n.d.	15	12	3.8
W2-73	4.5	3.2	0.8	5.5	1.4	1.5	n.d.	0.3	n.d.	1.4	69	0.8	0.6	n.d.	9.6	19	1.9
W2-74	6.2	11	15	11	0.5	1.1	n.d.	0.8	2.7	2.1	190	0.8	n.d.	n.d.	4.9	8.2	4.4
W2-75	6.9	6.8	28	9.8	1.1	1.7	n.d.	0.6	1.0	3.8	140	0.7	n.d.	0.8	7.2	11	2.5

Table 7. Concentrations of chemical compounds in office building and general housing. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

compounds	Office building on the proposed study						NIPH				NIHS	
	Winter Dec. 2020 to Apr. 2021		Summer Aug. 2021 to Sep. 2021		Winter Jan. 2022 to Feb. 2022		Summer 2012 - 2014		Winter 2012 - 2014		Winter Oct. 2002 to Mar. 2003	
	mean	max.	mean	max.	mean	max.	mean	max.	mean	max.	mean	max.
formaldehyde	11	160	13	60	6.9	21	34	220	13	58	27	120
acetaldehyde	15	200	11	62	8.0	27	19	210	21	230	24	150
propanal	6.1	46	2.1	23	0.7	12	7.4	37	4.1	62	1.9	18
valeraldehyde	n.d.	n.d.	n.d.	3.9	n.d.	n.d.	1.9	35	0.8	11	2.1	12
i-valeraldehyde	0.1	4.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.1	4.6	0.5	9.3	0.6	2.9
hexanal	0.4	21	0.3	15	n.d.	n.d.	7.0	110	3.2	23	7.0	63
heptanal	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.7	7.6	0.8	9.3	1.1	29
octanal	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.6	13	1.0	7.5	1.1	15
nonanal	0.7	23	0.7	38	0.2	15	12	37	4.3	33	4.8	28
decanal	0.3	15	0.2	19	n.d.	n.d.	3.7	15	1.4	32	2.0	120
acrolein	0.2	9.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.9	4.8	0.8	8.5	0.2	0.9
crotonaldehyde	0.6	6.0	0.2	6.2	n.d.	1.8	0.2	18	0.5	18	0.3	34
2-nonenal	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.3	3.4	0.6	5.2	n.d.	n.d.
benzaldehyde	0.2	5.4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.3	16	0.8	25	2.7	50
o-tolualdehyde	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.2	13	0.8	61	3.2	250
p-tolualdehyde	0.2	8.6	n.d.	4.1	n.d.	2.2	1.9	15	1.0	120	1.7	6.1
2,5-DMBA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.6	19	0.9	11	1.3	17
acetone	16	140	12	66	13	60	22	490	27	2500	31	270
2-butanone	2.3	34	n.d.	2.6	n.d.	n.d.	1.7	99	1.3	23	13	210
MIBK	0.1	3.2	0.2	1.6	n.d.	1.2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
total carbonyls	53	n.d.	40	n.d.	29	n.d.	120	n.d.	84	n.d.	130	n.d.
hexane	15	270	5.2	200	5.0	29	3.5	240	2.8	160	29	1400
cyclohexane	n.d.	n.d.	1.3	66	2.6	61	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	5.4	100
heptane	0.8	3.8	0.5	12	1.9	99	2.0	68	3.9	250	4.9	38
octane	0.5	7.2	1.0	8.8	0.8	6.2	2.0	110	2.8	110	16	280
nonane	1.9	35	0.6	39	1.0	29	6.6	540	11	460	21	410
decane	17	740	15	35	13	84	7.8	320	13	420	31	1300
undecane	2.3	23	1.2	32	1.4	20	18	310	19	580	20	710
dodecane	9.1	25	5.4	78	7.7	57	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	10	250
tridecane	7.6	42	4.5	140	2.6	12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4.1	130
tetradecane	9.5	32	9.4	110	11	28	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.1	57
pentadecane	3.1	21	0.1	3.6	0.3	1.8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.2	8.7
hexadecane	3.9	15	0.4	4.5	1.0	3.5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.5	4.0
benzene	1.6	24	1.6	5.0	0.9	3.1	1.3	14	2.3	19	3.3	62
toluene	16	400	8.7	130	5.5	21	12	330	9.6	370	56	1100
ethylbenzene	4.8	70	1.9	11	1.2	4.8	5.8	180	5.3	710	13	480
o-xylene	1.5	9.6	0.6	5.5	0.6	5.4	2.6	77	3.4	120	7.5	120
m,p-xylene	4.4	35	1.9	12	1.4	10	4.4	240	8.2	430	18	570
1,3,5-TMB	0.3	3.0	0.3	3.8	0.3	2.4	1.2	45	1.9	49	3.3	50
1,2,4-TMB	1.3	9.9	1.2	15	1.2	9.9	4.0	150	6.4	190	12	180
1,2,3-TMB	0.3	3.1	0.2	8.9	0.3	2.5	0.9	31	1.7	46	3.4	55
1,2,4,5-TMB	0.2	1.6	0.1	15	0.1	1.4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.0	19
styrene	0.1	2.0	n.d.	n.d.	n.d.	1.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4.2	98
p-dichlorobenzene	2.7	100	0.9	14	0.9	4.8	120	13000	31	2100	57	1000
trichloromethane	0.7	13	0.7	41	0.4	0.9	0.7	16	0.7	16	0.7	5.4
CCl ₄	0.2	2.5	n.d.	2.2	0.2	1.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.6	0.1
DBCM	n.d.	1.5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	6.7	0.1	12	0.1	1.9
1,2-dichloroethane	0.1	2.0	n.d.	1.8	n.d.	2.3	0.2	11	n.d.	9.4	0.1	0.3
1,1,1-TCE	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.2	40	0.1	26	0.4	9.1
trichloroethylene	0.3	1.8	0.2	2.9	0.8	44	n.d.	1.9	0.1	2.5	1.2	23
tetrachloroethylene	0.1	1.5	n.d.	3.3	0.1	0.8	0.2	18	0.4	45	0.9	34
ethanol	n.d.	n.d.	1100	18000	3000	9200	—	—	—	—	890	19000
2-ethyl-1-hexanol	3.3	16	4.3	33	0.6	4.7	—	—	—	—	0.6	8.8
texanol	2.0	15	3.0	14	2.5	22	—	—	—	—	0.9	12
ethylacetate	5.1	32	5.1	46	3.9	27	8.5	650	5.4	780	8.6	230
butylacetate	1.6	25	0.6	12	1.7	5.9	6.2	410	3.8	220	4.0	210
2,2,4-TMP	0.1	2.3	n.d.	3.1	n.d.	1.3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.4	4.1
α -pinene	0.4	6.2	n.d.	1.5	0.2	1.0	30	1900	5.6	180	86	1000
d-limonene	4.4	57	1.7	94	8.6	390	17	260	24	440	20	150
total VOCs	130	800	340	21000	140	680	250	—	160	—	450	—
ozone	6.2	33	14	48	8.2	20	10	62	1.7	27	n.d.	n.d.
formic acid	—	—	20	49	13	27	28	240	54	440	n.d.	n.d.
acetic acid	—	—	89	250	39	93	130	840	93	330	n.d.	n.d.
hydrogen chloride	—	—	8.7	90	18	59	1.9	150	2.7	150	n.d.	n.d.
nitrogen dioxide	—	—	15	64	15	110	13	99	220	2000	71	590
ammonia	—	—	12	24	3.6	7.8	37	590	16	350	n.d.	n.d.

5. 現場立入調査とアクティブサンプリング

分担研究者 鍵 直樹 東京工業大学環境・社会理工学院 教授
分担研究者 金 勲 国立保健医療科学院 上席主任研究官

研究要旨

建築物環境衛生管理基準におけるホルムアルデヒドの基準値は、 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ である。シックハウスに関連してホルムアルデヒドを含む13物質が厚生労働省により濃度指針値が、TVOCについては暫定目標値が定められているが、建築物衛生法においてホルムアルデヒド以外は基準値にはなっていない。特定建築物では、建築物環境衛生管理基準により二酸化炭素濃度を基準に適切な換気が行われていることが確認できることや、室内の化学物質発生源が住宅ほど多くないこと、設計換気量が住宅より多いことから化学物質濃度は低いと考えられている。その他の物質として、2-エチル-1-ヘキサノール（2E1H）は、コンクリートなどの下地に施工した塩ビ建材や接着剤に含まれる可塑剤のフタル酸ジエチルヘキシル（DEHP）がコンクリートに含まれるアルカリ水溶液によって加水分解されることで生成し、発生することが示されている。

そこで、事務所建築物における化学物質濃度の現状を把握するため、ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値に示されている物質を中心にアクティブ法を用いて実測調査を行った。さらに事務所室内空気中の2E1H発生特性を実測調査によって明らかにした。また、並行して温度、湿度、 CO_2 濃度、浮遊微粒子濃度の測定を行った。

結果として、基準値であるホルムアルデヒドおよび指針値に挙げられている化学物質については、濃度を超過する建物はなかった。TVOC濃度については、暫定目標値を超過する建物が冬期に1件存在したが、この建物は前年に倉庫を改修して事務所とした建物で、比較的新しい内装材料により濃度が若干高くなったものと考えられる。ただし、指針値物質については、いずれも低い濃度であった。また、2E1Hの事務所建築物における実態調査では、TVOCに占める2E1Hの値が高い建物があり、特にコンクリートが下地の建物において高い傾向となった。

室内温度は冬期 $24.6 \pm 0.9^\circ\text{C}$ 、 $26.0 \pm 1.3^\circ\text{C}$ と安定していた。相対湿度は冬期は $32 \pm 9\%$ で40%以上を維持しているところは1施設のみ、他の建物は全て30%未満となっていた。40%以上の物件は外調機と無給水加湿器を併設している個別式空調であった。一方、中央式空調を導入している物件であっても40%を下回っており、空調方式による違いというよりは、空調運転による立ち上がりや測定時刻などの影響も考慮する必要がある。夏期は $51 \pm 9\%$ と建築物衛生法の管理基準40～70%を満足していた。

CO_2 濃度では冬期・夏期を問わず1件（建物B）だけ1000ppm近傍で運用されていたが、全体的には室内濃度600ppm台と良好な環境で維持されていた。個別式空調より中央式空調の室内 CO_2 濃度が低く観察された。

個数濃度の積算値として、外気（OA）が室内濃度（IA）より高い傾向が見られた。室内濃度は外気よりは低くなっているが、外気濃度に追従して増減しており、外気の影響を受けている。個数濃度は粒径が小さな粒子の濃度が高く、大きな粒径の粒子濃度は低い、典型的な濃度分布を示している。冬期測定では室内発生粒子の除去性能は中央式が優れている可能性が推察されたが、夏期実測からは空調方式による明確な違いは見られなかった。

5-1 化学物質-カルボニル化合物及び揮発性有機化合物 (VOC)

A. 研究目的

建築物環境衛生管理基準におけるホルムアルデヒドの基準値は、 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ である。シックハウスに関連して表 5-1-1 のようにホルムアルデヒドを含む 13 物質が厚生労働省により濃度指針値が、TVOC については暫定目標値が定められているが、建築物衛生法においてホルムアルデヒド以外は基準値にはなっていない。特定建築物では、建築物環境衛生管理基準により二酸化炭素濃度を基準に適切な換気が行われていることが確認できることや、室内の化学物質発生源が住宅ほど多くないこと、設計換気量が住宅より多いことから化学物質濃度は低いと考えられている。

ここでは、事務所建築物における化学物質濃度の現状を把握するため、ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値に示されている物質を中心にアクティブ法を用いて実測調査を行った。

表 5-1-1 化学物質の濃度指針値

揮発性有機化合物	室内濃度指針値
ホルムアルデヒド	$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08 ppm)
アセトアルデヒド	$48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03 ppm)
トルエン	$260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppm)
キシレン	$200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 ppm)
エチルベンゼン	$3800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.88 ppm)
スチレン	$220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 ppm)
パラジクロロベンゼン	$240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm)
テトラデカン	$330 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm)
クロルピリホス	$1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppb) 小児の場合 $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.007 ppb)
フェノブカルブ	$33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.8 ppb)
ダイアジノン	$0.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02 ppb)
フタル酸ジ-n-ブチル	$17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1.5 ppb)
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (6.3 ppb)
TVOC (暫定目標値)	$400 \mu\text{g}/\text{m}^3$

B. 研究方法

B.1 調査対象

対象とした建築物は表 5-1-2 に示す建築物 A から G の大阪府、東京都、埼玉県にある事務所建築物である。建築物 A 及び G については、同じ建築物内で居室 3 箇所を測定対象としたが、その他は各建物 1 箇所のみとなる。2021 年 3 月の暖房期及び 2021 年 10 月の冷房期に同じ建物において行った。

表 5-1-2 空气中化学物質の測定概要

ID	測定日	地域	空調方式
A_1	2021/3/18	大阪	個別
A_2	2021/10/14		
A_3			
B	2021/3/18 2021/10/14	大阪	個別
C	2021/3/18 2021/10/14	大阪	個別
D	2021/3/19 2021/10/15	大阪	中央
E	2021/3/23 2021/10/5	東京	中央
F	2021/3/23 2021/10/5	東京	中央
G_1	2021/3/25	埼玉	中央
G_2	2021/10/8		
G_3			

B.2 調査方法

建築物衛生法によるホルムアルデヒドの測定については、2・4-ジニトロフェニルヒドラジン (DNPH) 捕集—高速液体クロマトグラフ法により測定する機器、4-アミノ-3-ヒドラジノ-5-メルカプト-1・2・4-トリアゾール (AHMT) 法により測定する機器又は厚生労働大臣が別に指定する測定器とされている。

厚生労働省による通知「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」によれば、ホルムアルデヒド濃度の指針値制定にあたっては、一般的な人達における明らかな刺激感覚を防ぐことを指標として、30 分平均値で $0.1 \text{mg}/\text{m}^3$ を指針値とすることが適当である、

としている。

建築物衛生法においても、ホルムアルデヒド測定タイミングを、新築、増築、大規模の修繕又は大規模の模様替えを完了し、その使用を開始した時点から直近の6月1日から9月30日までの間に1回と規定している。これは、ホルムアルデヒドの発生が新しい建材から多く発生すること、温度上昇に伴って多く発生することを意識したものである。なお、ホルムアルデヒドの量の測定結果が管理基準を超過した場合は、空気調和設備又は機械換気設備を調整し、外気導入量を増加させるなど、室内空気におけるホルムアルデヒドの量の低減策に努める必要がある。さらに、翌年の測定期間中に1回、再度、当該測定を実施することが必要となる。

測定時間についての規定はないものの、上述のように30分平均値で 0.1 mg/m^3 を指針値としていることから、30分の平均値が求められると考えられる。厚生労働大臣が別に指定する測定器においても、30分のサンプリング時間での測定値の一致を求めている。ただし、特定建築物などの室内においては、空調条件が定常であれば、室内濃度は定常状態となっているものと考えられる時点でのサンプリングを行うことを考慮することが重要である。

ここでは、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドなどのカルボニル化合物については、DNPHカートリッジを用いて30L捕集(30min at 1.0L/min)を行い、HPLCにより12成分の定量分析を行った。トルエンなどVOCsについては、Tenax-TA充填捕集管を用いて9L捕集(30min at 300 mL/min)し、GC/MSにより45成分の定量を行った。なお、TVOCの算出には、C6(ヘキサン)からC16(ヘキサデカン)に検出したピークをトルエン換算して算出した。

表 5-1-2 空气中化学物質の測定概要

測定項目	内容
アルデヒド類	DNPH カートリッジ 30L (at 1.0L/min) 溶媒抽出-HPLC
VOCs	Tenax-TA 9L (at 300 mL/min)

C. 研究結果及び考察

各測定点における化学物質濃度を冬期について表 5-1-3、夏期について表 5-1-4 に示す。

アルデヒド類であるホルムアルデヒド、アセトアルデヒドは建築物衛生法の基準値 $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ 及び厚生労働省指針値 $48 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ に対し指針値を超過する室はなかった。室内濃度が外気濃度よりやや高くなっているが、普段の室内濃度レベルであり、室内に高放散の汚染源は存在しないと考えられる。

VOCs の中からも厚生労働省指針値を超過する物件はなく、冬期にTVOC暫定目標値を上回る物件が1件あった。

厚生労働省で指針値が定められている13物質中、室内の建材からの発生源としてトルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、テトラデカンが検出されたが、濃度としては低い水準であり、厚生労働省指針値を超えた物質はなかった。また、室内の持ち込みとなる防虫剤から発生するパラジクロロベンゼンについても冬期に検出はされているが、指針値よりは低い値であった。夏期には検出限界以下であった。

TVOCも暫定目標値 $400 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ を大きく超える結果はなく、冬期に超過した建物Cについては、この前年に倉庫を改修して事務所とした建物で、比較的新しい内装材料により濃度が若干高くなったものと考えられる。ただし、指針値物質については、いずれも低い濃度であった。また、その後の夏期の冷房期においては、TVOC濃度も低濃度となった。

D. まとめ

事務所建築物における化学物質濃度の現状を把握するため、ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値に示されている物質を中心にアクティブ法を用いて実測調査を行った。

結果として、基準値であるホルムアルデヒドおよび化学物質の指針値については、濃度を超過する建物はなかった。TVOC濃度については、暫定目標値を超過する建物が冬期に1件存在したが、この建物は前年に倉庫を改修して事務所とした建物で、比較的新しい内装材料により濃

表 5-1-3 冬期の室内化学物質濃度の結果

ID	A 1	A 2	A 3	B	C	D	E	F	G 1	G 2	G 3	mean
ホルムアルデヒド	7.3	7.3	7.8	9.3	5.3	6.2	3.5	8.3	7.8	10.0	5.8	7.2
アセトアルデヒド	8.2	7.5	8.2	12.7	7.2	8.7	8.3	8.7	6.3	7.3	5.8	8.1
トルエン	13.6	5.7	16.1	16.6	26.3	21.9	12.3	10.3	13.7	14.0	8.9	14.5
エチルベンゼン	5.4	2.1	6.8	6.0	16.2	8.1	4.4	4.5	3.1	2.2	2.0	5.5
キシレン	6.2	2.6	6.8	5.8	11.9	11.4	6.7	4.4	3.5	1.9	1.7	5.7
スチレン	4.5	1.5	5.4	3.1	n.d.	8.1	n.d.	n.d.	0.8	0.3	0.4	3.0
p-ジクロロベンゼン	1.4	n.d.	3.8	2.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.2	0.8	1.4	1.8
テトラデカン	2.6	8.2	4.0	4.1	5.3	6.2	3.1	n.d.	0.9	n.d.	n.d.	4.3
TVOC	275.2	222.6	376.7	261.5	440.2	281.3	156.8	178.3	86.1	80.5	111.5	224.6

表 5-1-4 夏期の室内化学物質濃度の結果

ID	A 1	A 2	A 3	B	C	D	E	F	G 1	G 2	G 3	mean
ホルムアルデヒド	6.3	6.8	8.2	11.2	7.8	10.7	9.3	11.8	12.3	15.7	16.0	10.6
アセトアルデヒド	6.5	7.0	7.8	30.8	9.2	8.8	10.0	16.2	6.0	6.3	5.8	10.4
トルエン	4.6	5.9	5.1	6.1	7.5	14.2	20.2	10.8	3.4	3.1	3.3	7.7
エチルベンゼン	1.8	2.0	1.9	2.6	6.6	3.1	8.5	4.4	1.6	1.5	1.5	3.2
キシレン	2.1	2.2	2.6	3.8	4.7	3.3	8.5	2.8	1.4	n.d.	n.d.	3.5
スチレン	1.7	2.1	1.8	2.0	2.6	2.7	4.5	2.0	n.d.	n.d.	n.d.	2.4
p-ジクロロベンゼン	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0
テトラデカン	2.0	3.4	2.1	0.9	4.1	1.6	n.d.	n.d.	n.d.	1.2	1.4	2.1
TVOC	113.9	133.6	114.7	115.7	142.1	91.1	114.2	118.7	31.1	39.1	34.2	95.3

度が若干高くなったものと考えられる。ただし、指針値物質については、いずれも低い濃度であり、その後の夏期の測定では暫定目標値以下となっていた。

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

5-2 化学物質-2E1H

A. 研究目的

建築物衛生法においては、揮発性有機化合物 (VOC) の中でもホルムアルデヒドのみ基準値としている。厚生労働省ではホルムアルデヒドも含め 13 物質の指針値を示している。その他の物質として、2-エチル-1-ヘキサノール (2E1H) は、塩ビ建材や接着剤、塗料などの建材から発生し、眼、皮膚への刺激、中枢神経系などに影響を与え、健康被害をもたらすことが指摘されている¹⁾。また、2E1H は特異臭があるため、建物内での悪臭の原因にもなり得る。これまで 2E1H は室内では未規制であったが、多くの建物で検出されるようになり、中には高濃度で検出される室内も存在することから、厚生労働省は 2017 年 4 月に、2E1H を揮発性有機化合物の室内濃度に関する指針値に追加する改定案を示し、指針値を 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と定める予定であった²⁾。しかし、2018 年 12 月の第 23 回シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会において、対策を講ずるにあたり科学的知見のさらなる収集が必要であり、また技術的観点から実効性に疑義のある値が提案されている可能性があるとの意見や、国際動向も踏まえて、指針値案は見直されることになった³⁾。

建材からの 2E1H 発生には、一次発生と二次発生が知られている。一次発生は建材の製造中に含有された 2E1H が発生することを示す。二次発生は、コンクリートなどの下地に施工した塩ビ建材や接着剤に含まれる可塑剤のフタル酸ジエチルヘキシル (DEHP) がコンクリートに含まれるアルカリ水溶液によって加水分解されることで 2E1H を生成し、発生することを示す。タイルカーペットや塩化ビニルがコンクリート下地に直接敷かれている部屋では、2E1H の濃度が高いと報告されており⁴⁾、室内の 2E1H 濃度が高い原因として二次発生を挙げているものが多く、コンクリート下地の含水率に着目した研究が多くなされている。

本報告では、事務所室内空气中の 2E1H 発生特性を実測調査によって明らかにする。

B. 研究方法

事務所室内における化学物質の実態、特に

2E1H の状況を 2018 年から 2020 年の夏期と冬期に東京・埼玉・神奈川・大阪・福岡の表 5-2-1 に示す 17 軒 35 室の事務所建築物室内の調査を行った。E01～E05, E07～E12, A01～A03, W01～W03, F01～F04 は夏期と冬期に測定しており、その他の建物では夏期か冬期のどちらかで測定している。各部屋とも床にタイルカーペットが敷かれており、床の下地はタイル地、コンクリートスラブ、金属製・コンクリート製・プラスチック製 OA フロアの 5 種類に分類した。

VOC の捕集には、Tenax 捕集材を用いたアクティブサンプリング法により行った。捕集は対象室内の机上で行い、300 mL/min. で 30 分間、合計 9 L とした。分析には、加熱脱着装置により GC/MS に導入して行った。なお、TVOC の算出には、C6 (ヘキサン) から C16 (ヘキサデカン) に検出したピークをトルエン換算して算出した。

表 5-2-1 事務所建築物の実測調査における調査対象室の概要

Location	Building ID	Sampling places	Floor material	Summer	Winter	
Tokyo	E01	-	Concrete	○	○	
		1F		○	○	
	E02	2F	OA (Steel)	○	○	
		3F		○	○	
	E03	-	Tile	○	○	
	E04	-	Concrete	○	○	
	E05	-	OA (Steel)	○	○	
	E06	1F	OA (Plastic)	○	-	
		2F		○	-	
	E07	-	Tile	○	○	
	E08	-	OA (Steel)	○	○	
	E09	-	Tile	○	○	
	Saitama	E10	-	OA (Plastic)	○	○
			-	OA (Plastic)	○	○
Kanagawa	E11	-	OA (Plastic)	○	○	
	E12	-	Concrete	○	○	
	E13	-	OA (Steel)	-	○	
	E14	-	OA (Steel)	-	○	
	T01	-	OA (Steel)	-	○	
	T02	roomA	Tile	-	○	
		roomB		-	○	
T03	1F	Concrete	-	○		
	5F	OA (Steel)	-	○		
T04	-	OA (Steel)	-	○		
T05	-	OA (Concrete)	-	○		
T06	-	Concrete	○	-		
T07	-	Concrete	○	-		
Aichi	K01	-	Concrete	○	-	
	A01	-	Tile	○	○	
	A02	-	Concrete	○	○	
Osaka	A03	-	OA (Plastic)	○	○	
	W01	-	Tile	○	○	
	W02	-	Concrete	○	○	
Fukuoka	W03	-	Tile	○	○	
	O01	-	Concrete	○	-	
	O02	-	OA (Plastic)	○	-	
Fukuoka	F01	-	Concrete	○	○	
	F02	-	Concrete	○	○	
	F03	-	Concrete	○	○	
	F04	-	OA (Steel)	○	○	

C. 研究結果および考察

C.1 事務所建築物における 2E1H の実態

図 5-2-1 にタイル地の建物での 2E1H 濃度を示す。タイル地の建物では、2E1H 濃度の低い建物が多い。しかし、夏期の W01 と E09 では総揮発性有機化合物 (TVOC) 濃度が厚生労働省による暫定目標値 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えており、2E1H 以外の VOC が空気質に影響しているものである。タイル地の建物は改装によって竣工当初に施工されたタイル地の上にタイルカーペットをそのまま貼り付けている建物である。そのため、下地となるタイルの種類が建物によって違うことで床材から発生する物質が異なっていると考えられる。

図 5-2-2、図 5-2-3 に金属製 OA フロア及びコンクリート製・プラスチック製 OA フロアの建物での 2E1H 濃度を示す。コンクリート製 OA フロアの T05 の $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ が最も高い濃度を示しており、金属製・プラスチック製 OA フロアでは低い傾向にあった。

図 5-2-4 にコンクリートスラブが下地の建物での 2E1H 濃度を示す。コンクリートスラブが下地の建物では、2E1H 濃度が高い傾向にあった。特に夏期の K01、E01 では $139 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と調査した建物のなかでも高濃度で検出された。また、夏期においては TVOC に占める 2E1H の濃度も高い。

床仕様別の 2E1H 濃度を図 5-2-5 に示す。コンクリートスラブが下地の建物は、他の建物と比べても 2E1H の濃度が高い傾向であることが明らかになった。特に、金属製 OA フロアとコンクリートスラブが下地の建物との濃度には有意な差があった。

また、床仕様別の TVOC 濃度に占める 2E1H 濃度をまとめたものを図 5-2-6 に示す。TVOC 中の 2E1H 濃度の割合もコンクリートが下地の建物において高い傾向がある。既往研究⁸⁾において、2E1H の嗅覚閾値は $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、TVOC に対する割合が 45~64% の付近から 2E1H の臭気を感じると示唆されている。コンクリートスラブが下地の事務所室内ではそれらの値を超える建物もいくつか存在していることから、コンクリート下地が事務所の室内環境に影響を与えていることが示唆された。これはコンクリート

下地による加水分解により、二次発生していることが高濃度の原因であると推測される。

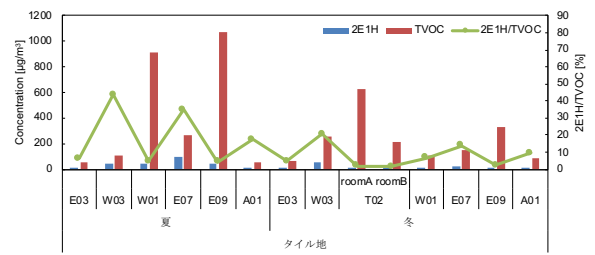


図 5-2-1 タイル地の室内 2E1H 濃度と TVOC 濃度

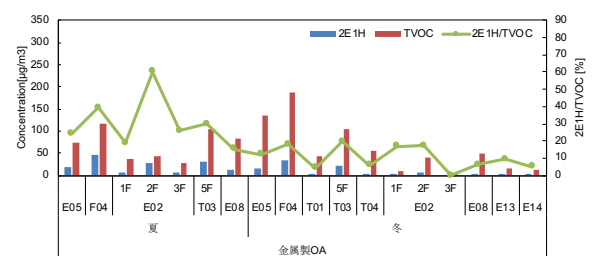


図 5-2-2 金属製 OA フロアの室内 2E1H 濃度と TVOC 濃度

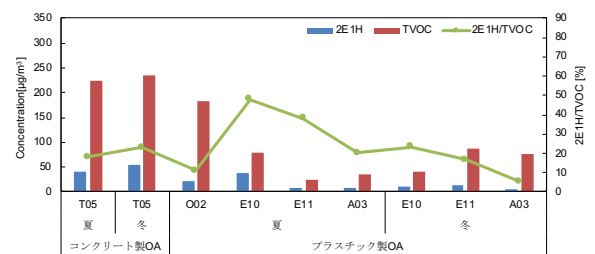


図 5-2-3 コンクリート・プラスチック製 OA フロアの室内 2E1H 濃度と TVOC 濃度

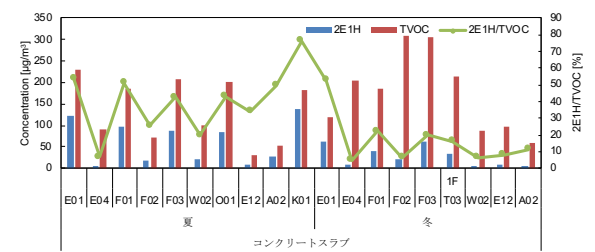


図 5-2-4 コンクリートスラブ下地の室内 2E1H 濃度と TVOC 濃度

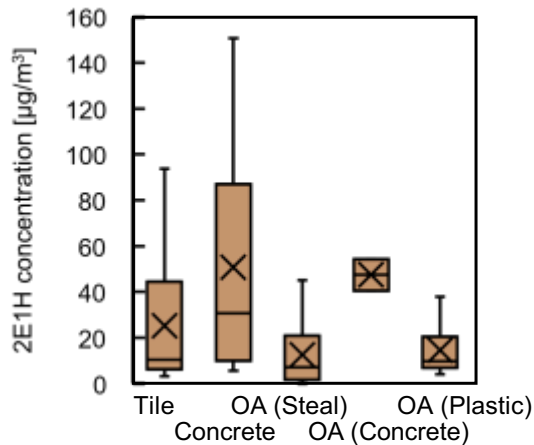


図 5-2-5 床仕様別の室内 2E1H 濃度

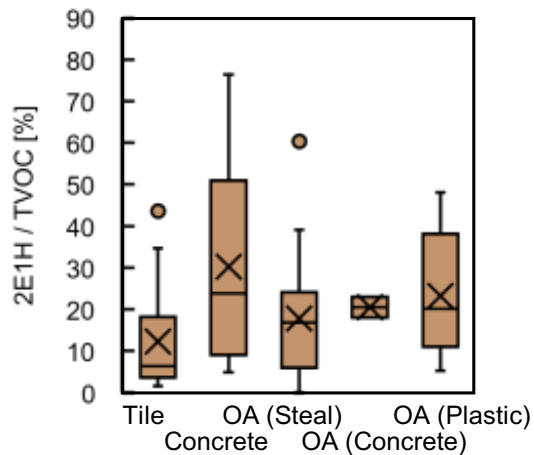


図 5-2-6 床仕様別の TVOC に占める 2E1H の割合

C.2 考察

事務所建築物において室内化学物質濃度の実測調査を行ったところ、TVOC に占める 2E1H の割合が比較的高い建物が多く存在し、主要成分が 2E1H となっていることを表している。2E1H の発生源として、接着剤やカーペットの下地材が考えられるが、その他にもコンクリート中に含まれる水分により、カーペット裏地の塩ビ材料との二次生成も要因としてあり、室内の温度、湿度などの影響により、新築建物でなくとも濃度が高くなる可能性もあり、引き続き注視する必要がある。

D. まとめ

事務所室内空気中の 2E1H 発生特性を実測調

査によって明らかにした。2E1H の事務所建築物における実態調査では、TVOC に占める 2E1H の値が高い建物があり、特にコンクリートが下地の建物において高い傾向となった。

E. 参考文献

- 1) 東賢一, 池田耕一, 久留飛克明, 中川雅至, 長谷川あゆみ, 森有紀子, 山田裕巳: 建築に使われる化学物質事典, 株式会社風土社, 2006.5.1
- 2) 厚生労働省 医薬・生活衛生局医薬品審査管理課化学物質安全対策室: 第 21 回シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会 議事録, 2017.

<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000166151.htm>
1 (参照: 2021.1.28)

- 3) 厚生労働省 医薬・生活衛生局医薬品審査管理課化学物質安全対策室(2018): 第 23 回シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会 議事録,

https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000166151_00002.html (参照: 2021.1.28)

- 4) 上島通浩, 柴田英治, 酒井潔, 大野浩之, 石原伸哉, 山田哲也, 竹内康浩, 那須民江: 2-エチル-1-ヘキサノールによる室内空気汚染 室内濃度, 発生源, 自覚症状について, 日本公衛誌 52(12), pp. 1021-1031, 2005

- 5) 鍵直樹, 池田耕一, 柳宇, 長谷川あゆみ, 藤井修二: パッシブ法による事務所における揮発性有機化合物の実態調査と汚染原因の検討, 日本建築学会環境系論文集, 日本建築学会, Vol.74, No. 638, pp. 501-506, 2009.4

- 6) 勘坂弘子: におい問題事例の原因と対策, 第 31 回におい・かおり環境学会, pp. 276-285, 2019

F. 研究発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)

予定なし

5-3 温度、湿度、CO₂濃度

A. 研究目的

建築物衛生法では CO₂ 濃度 1000ppm を換気の管理基準としている。CO₂ の有害性による人体影響からではなく外気導入による室内 CO₂ 希釈と排出効果を換気基準として定めたものである。人間活動が行われる空間では人体の呼吸、暖房器具、調理器具の燃焼から必ず CO₂ が発生するため、換気が足りない場合は CO₂ 濃度が上昇し、適切な換気が行われていれば CO₂ 濃度も一定レベル以下に維持できる。更に、建材や人体、人間活動から発生する化学物質、におい、粒子状物質など他の空気汚染物質もコントロールできる。

2017 年現在、相対湿度の不適合率は 55%以上、温度 30%以上、CO₂ は 30%に近接し、上昇傾向が続いている¹⁾。近年、地球環境保全や省エネ傾向により相対湿度、温度、CO₂ 濃度にて不適合が顕著に表れ、全国平均として CO₂ 濃度の不適合率は 30%近いと報告されている²⁾。

原因としては建築物衛生法の改正 (H14)、幾度に渡る省エネ法の改定 (H15、H17、H25、H29)、東日本大震災 (H23) による節電要求などに加え、社会的な要因以外にも設備の管理・運用上の問題、省コスト、立入検査や報告徴収の方法、定点測定の代表性など明らかになっていない問題があることを指摘されている²⁾³⁾。

本研究は特定建築物における室内空气中化学物質濃度の実態調査であるが、空気濃度は換気と直結するため、換気の把握を行う必要がある。そこで、立入による化学物質のアクティブサンプリング測定と同時に温度、湿度、CO₂ 濃度の測定を行った。

B. 研究方法

現場測定は 2021 年 3 月 (暖房期) 及び 2021 年 10 月 (冷房期) にて実施した。温度・湿度・CO₂ 用の連続測定小型センサー (T&D TR-76Ui) を空気サンプリング場所に設置、5 分間隔で 30 分以上測定し、その中から設置後から 5~10 分以上経過した安定している 30 分間のデータを抽出して使用した。但し、建物 G では 1 日連続測定ができたため勤務時間帯の 10:00~17:00 のデータを採用した。

C. 測定結果

図 5-3-1 に CO₂ 濃度、図 5-3-2 に温度、図 5-3-3 に相対湿度の集計グラフを示す。また、表 5-3-1 には各項目の平均値を集計した。

C.1 CO₂

冬期の外気 CO₂ 濃度平均は 427±11ppm、室内濃度は 662±146ppm、夏期は外気 445±27ppm、対象物件全体の室内濃度平均は 622±167ppm と季節毎の大きな違いは見られなかった。

B の室内濃度だけ平均が 1000ppm を若干超え、管理基準値付近で推移していたが、他の測定対象では 439~777ppm と低いレベルで管理されていた。全体的に良好な状態で維持管理されていた。冬期測定では、個別式と中央式空調の差が見られた。

個別式である A、B、C は冬期 715ppm、夏期 745ppm だったのに対し、中央式空調である D、E、F は冬期 574ppm、夏期 551ppm と低い濃度で運用されていた。G は中央式空調であるが、測定当日窓開け換気を行っていたことから外気と同レベルの濃度となっている。

CO₂ 濃度は在室者密度と換気量のバランスで決まり、空調設計によって換気量が変わるため、CO₂ 濃度が低いからよい設計とは限らないが、低い濃度で管理されていることは室内空気汚染因子によるリスク低減の面では好ましい。

C.2 温度

冬期の室内温度は 24~25°C程度、夏期は 24~27°C (G は窓開け換気のため除く) と安定していた。全物件の室内温度平均は冬期 24.6±0.9°C、夏期全体平均は 26.0±1.3°Cである。

同一物件である A は 3ヶ所共に冬期 24°C、夏期 26°C付近で非常に安定している。G は夏期の平均温度が 27~28.3°Cとやや高めとなっているが、窓開け換気による影響である。

A、B、C は個別式空調、D、E、F (G は中央式であるが窓開け換気を行っていたことから除く) 中央式空調であるが、空調方式による室内温度の違いは見られなかった。

C.3 相対湿度

冬期の外気における相対湿度は全測定点で

40%を下回り、Aの外気が平均36%と最も高くFの外気は20%を下回り最も低かった。室内の湿度平均は $32\pm 9\%$ と、40%以上を維持しているところはAのみであり、Fは36%と40%付近で維持されていた。Aは外調機と無給水加湿器が設置されており、湿度管理をしっかり念頭に置いた設計となっている。他の建物は全て30%未満となっており、冬期の加湿不足が確認された。

D、E、Fの3施設は中央式空調が入っているが40%には満たず、Fが40%に近い湿度となっていた。こちらは、D、Eは午前9時の実測であり、Fは11時過ぎの測定だったため、相対湿度が低く観察された要因としては空調の立ち上がりに時間がかかっていることも考慮しなければならない。B、Cは外気の絶対湿度(水蒸気量)より室内の絶対湿度が高いことから、空調加湿やその他加湿要因(人体、個別加湿器など)による加湿は行われているものの、加湿量は足りていない。

夏期の外気は全測定点で34~59%、室内では44~62%と良好な湿度環境となっていた。まだ冷房運転がされている10月であり、外気の湿度も低くないことが影響していると考えられる。室内の湿度平均は $51\pm 9\%$ と、夏期測定では建築物衛生法の管理基準40~70%に不適な物件はなかった。

A、B、Cは個別式空調、D、E、F、Gは中央式空調であり、空調方式に係わらず冷房期の湿度管理に問題はなかった。Gは測定時間が業務時間帯全体と長かったこと、コロナ禍での感染防止のため窓開け換気を行っていたこと、から湿度変動が見られているがその幅は大きくなかった。

D. 結論

冬期測定からは、 $12^{\circ}\text{C}\sim 22^{\circ}\text{C}$ の外気温度に対して室内温度は $24\sim 25^{\circ}\text{C}$ 程度で安定していた。測定対象全体の室内温度平均は $24.6\pm 0.9^{\circ}\text{C}$ であった。相対湿度平均は $32\pm 9\%$ で、40%以上を維持しているところは1件のみ、他の建物は全て30%未満となっていた。中央式空調を導入している物件であっても40%を下回っていたが、空調運転開始間もない時間帯に測定を行っていることから空調運転による立ち上がりまで時間が

かかることが原因である可能性も考えられた。CO₂濃度では1件(建物B)だけ1000ppm近傍で運用されていたが、全体的には外気CO₂濃度平均427ppmに対し、室内濃度は662ppmと良好な環境で維持されていた。冬期測定では、個別式空調より中央式空調の室内CO₂濃度が低く観察された。

夏期測定からは、 $22.0^{\circ}\text{C}\sim 30.6^{\circ}\text{C}$ の外気温度に対して、窓開け換気物件を除くと室内温度は $24.3\sim 26.6^{\circ}\text{C}$ と安定していた。測定対象全体の室内温度平均は $26.0\pm 1.3^{\circ}\text{C}$ であった。空調方式による温度環境の差は見られなかった。室内湿度平均は $51\pm 9\%$ で対象建物全てが建築物衛生法の管理基準40~70%を満足していた。空調方式に係わらず冷房期の湿度管理には問題なかった。CO₂濃度は1件(建物B)だけ1000ppm近傍で推移していたが、全体的には外気CO₂濃度平均445ppmに対し、室内は622ppmと良好な環境で維持されていた。今回の測定対象でも、個別式空調より中央式空調の室内CO₂濃度がやや低く観察された。

夏期の測定においても、個別式空調より中央式空調の室内CO₂濃度が低く観察された。

E. 参考文献

- 1) 金勲、東賢一、鍵直樹、柳宇 他、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「中規模建築物における衛生管理の実態と特定建築物の適用に関する研究」(研究代表者:小林健一)、3.事務所建築物におけるCO₂濃度の全国実態調査-Phase2 調査-、平成29年~令和元年度総括・分担総合研究報告書、2020.3
- 2) 林基哉、金勲、開原典子、小林健一、鍵直樹、柳宇、東賢一、特定建築物における空気環境不適率に関する分析、日本建築学会環境系論文集、Vol.84 No.765、2019.11、pp.1011-1018.
- 3) 金勲、林基哉、開原典子、小林健一、柳宇、鍵直樹、東賢一、長谷川兼一、中野淳太、李時桓、事務所建築の室内空気環境管理に関する調査 その3 冷暖房期における二酸化炭素濃度の実態、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2019.9、pp.53-56.

E. 参考文献

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

F. 研究発表

なし

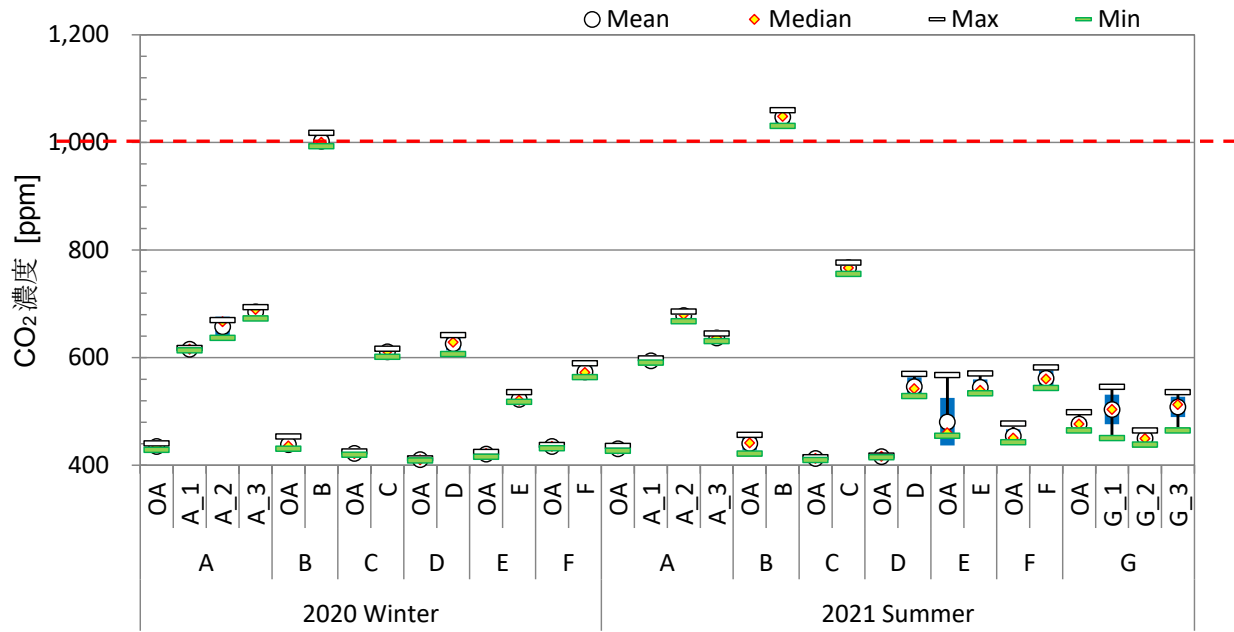


図 5-3-1 CO₂ 濃度測定結果

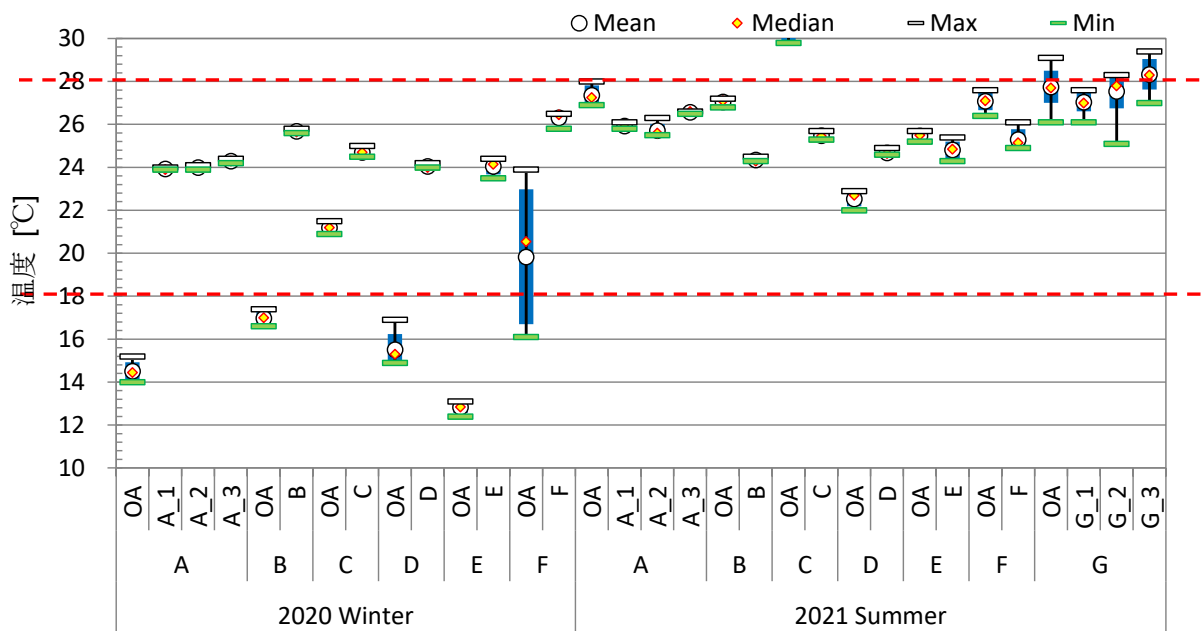


図 5-3-2 温度測定結果

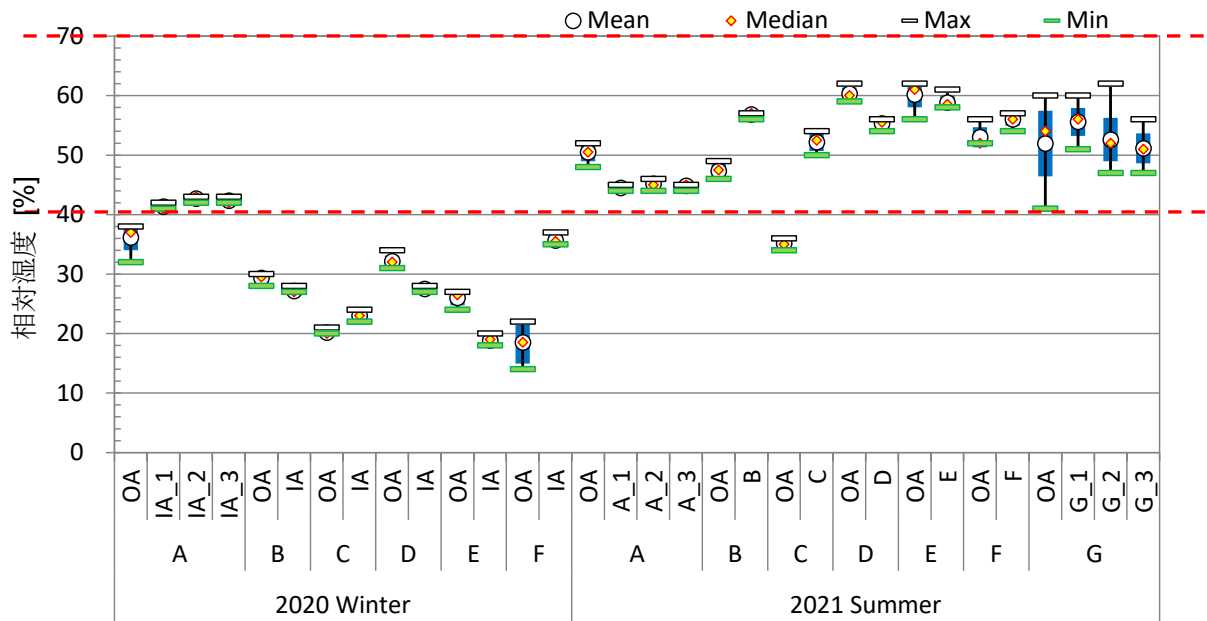


図 5-3-3 相対湿度測定結果

表 5-3-1 CO₂濃度、温度、相対湿度の測定結果集計

2020 Winter	CO ₂ [ppm]		Temp [°C]		RH [%]	
	OA	IA	OA	IA	OA	IA
Mean	427	662	16.8	24.6	27	32
S.D.	11	146	3.2	0.9	7	9
2021 Summer	CO ₂ [ppm]		Temp [°C]		RH [%]	
	OA	IA	OA	IA	OA	IA
Mean	445	622	26.8	26.0	51	52
S.D.	27	167	2.3	1.3	9	5

5-4 浮遊粒子状物質

A. 研究目的

建築物衛生法における浮遊粒子に関する室内基準は、浮遊粉じん濃度 0.15 mg/m^3 以下と設定されている。ここでの浮遊粉じんは粒径 $10 \mu\text{m}$ 以下の粒子となるが粉じん計のカットオフ径に関する定義の違いから PM10 とは少し異なる。また、大気環境基準は PM2.5 の 1 年平均が $15 \mu\text{g/m}^3$ 以下、1 日平均が $35 \mu\text{g/m}^3$ と設定されている¹⁾が、室内基準は存在しない。

平成 28 年度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)「建築物環境衛生管理に係る行政監視等に関する研究」²⁾では、特定建築物における室内 PM2.5 濃度は $2 \sim 30 \mu\text{g/m}^3$ 程度と、大気環境基準である「1 日平均値が $35 \mu\text{g/m}^3$ 以下」を下回っていた。I/O 比(室内濃度と外気濃度の比=室内濃度/外気濃度)については、同一建物内の濃度は概ね同様の値を示しており室内での発生源のほか、浮遊粒子の粒径分布、空調方式の種類より検討することで、空調機フィルターの特性が関係しているとしている³⁾。

また、令和元年度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)「中規模建築物における衛生管理の実態と特定建築物の適用に関する研究」⁴⁾では、室内 PM2.5 濃度の測定の結果、全ての室内において大気の基準値の「1 日平均値が $35 \mu\text{g/m}^3$ 以下」を下回る結果となった。I/O 比については、概ね I/O 比が 1 を下回っていた。建築規模、空調方式別に室内 PM2.5 濃度、I/O 比を比較すると、中央方式の空調機を有する建築物の方が低い値であることを示している。

本研究では、特定建築物における室内浮遊粒子状物質(Suspended Particulate Matter)濃度の実測を行うことで、建築物における浮遊粒子状物質濃度のデータの蓄積と実態把握、そして空調方式の違いによる室内 PM 濃度の差などの比較を行い、その特徴について検討する。

B. 研究方法

粒径別浮遊粒子濃度は Particle Counter (Kanomax Model 3889) を用いて、6 粒径 (0.3、0.5、1.0、3.0、5.0、 $10 \mu\text{m}$) に対する個数濃度の測定を行った。

2.83 L/min で 1 分間の計測を 15 分間連続で行い、濃度が安定していると考えられる開始から 4 分～13 分までの 10 分間のデータを平均して用いた。

C. 測定結果

図 5-4-1 に室内浮遊粒子の個数濃度積算値を、表 5-4-1 に粒径別 IO 比(室内濃度/外気濃度)の集計結果を示す。

C.1 個数濃度

個数濃度の積算値として、外気(OA)が室内濃度(IA)より高い傾向が見られる。室内濃度は外気よりは低くなっているが、外気濃度に追従して増減しており、外気の影響を受けている。個数濃度は粒径が小さな粒子の濃度が高く、大きな粒径の粒子濃度は低い、典型的な濃度分布を示している。

A、B、C は個別式空調であり、夏期の C 以外は外気より有意に低くなっていることから、「外調機+換気装置+PAC」と外調機の中性能フィルターによる粒子浄化能力を有していると見られる。C は外気と同レベルの PM 濃度を示しており、外気導入時の PM 低減が行われず、更に室内発生分が加算されていると見られる。

D、E、F、G は中央式空調が入っており、D、E、F は外気より有意に低い粒子濃度を示している。G は窓開け換気を行っていたため外気影響が大きく、粒子濃度の低減が大きくなかった。

C.2 IO 比

IO 比としては、小さな粒径の粒子において IO 比 < 1 が多く、外気由来の粒子が室内では低く維持されている。一方、 $5 \mu\text{m}$ や $10 \mu\text{m}$ の大きな粒子では IO 比 > 1 の室内が増加している。大きな粒子は人工的に生成されることが多く、在室者密度が高く室内での活動が多くなると濃度が高くなることがある。

冬期 B の粒径 5.0 、 $10 \mu\text{m}$ 粒子の IO 比 8.3、3.6 に対して、D、E、F は $5.0 \mu\text{m}$ は IO 比 ≈ 1 、 $10 \mu\text{m}$ は IO 比 $> 2 \sim 3$ で推移していたことから、室内発生粒子の除去性能は中央式がよりよい可能性が推察された。

夏期実測では、0.3、0.5、1.0、3.0、 $5.0 \mu\text{m}$ までは全測定個所で IO 比 < 1 と外気由来の粒子が

室内では低く維持されているが、10 μ m では IO 比>1 が A_2、D の 2ヶ所で観測された。

粒径 0.3、0.5 μ m の小さな粒子では平均 IO 比 =0.6、粒径 1.0、3.0、5.0 μ m では IO 比 0.3~0.4 とより低くなっていた。粒径に対する空調システムや室内環境での低減効率による違いものと考えられる。大きな粒子は人工的に生成されることが多く、5.0 μ m や 10 μ m の比較的大きな粒子の IO 比が高い室内 (A_2、D) は在室者密度が高いか他に室内発生分が多いと推測される。

冬期測定からは、粒子の除去性能は中央式がよりよい可能性が示唆されたが、夏期の実測結果からは空調方式による明確な違いは見出せなかった。

D. 結論

個数濃度の積算値として、外気 (OA) が室内濃度 (IA) より高い傾向が見られる。室内濃度は外気よりは低くなっているが、外気濃度に追従して増減しており、外気の影響を受けている。個数濃度は粒径が小さな粒子の濃度が高く、大きな粒径の粒子濃度は低い、典型的な濃度分布を示している。

A、B、C は個別式空調であり、夏期の C 以外は外気より有意に低くなっていることから、「外調機+換気装置+PAC」と外調機の中性能フィルターによる粒子浄化能力を有していると思われる。C は外気と同レベルの PM 濃度を示しており、外気導入時の PM 低減が行われず、更に室内発生分が加算されていると見られる。

D、E、F、G は中央式空調が入っており、D、E、F は外気より有意に低い粒子濃度を示している。G は窓開け換気を行っていたため外気影響が大きく、粒子濃度の低減が大きくなかった。

IO 比としては、小さな粒径の粒子において IO 比<1 が多く、外気由来の粒子が室内では低く維持されている。一方、5 μ m や 10 μ m の大きな粒子では IO 比>1 の室内が増加している。大きな粒子は人工的に生成されることが多く、在室者密度が高く室内での活動が多くなると濃度が高くなる可能性がある。

冬期測定からは室内発生粒子の除去性能は中央式がよりよい可能性が推察されたが、夏期実測からは空調方式による明確な違いは見出せ

なかった。

E. 参考文献

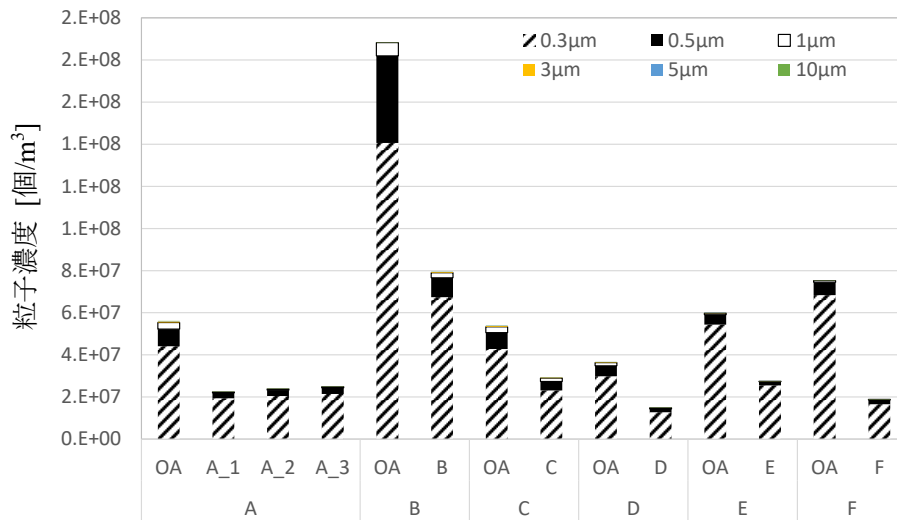
- 1) 環境省：微小粒子状物質健康影響評価検討会報告書：粒子状物質の特性について、2008
- 2) 大澤元毅ほか：建築物環境衛生管理に係る行政監視等に関する研究、平成 28 年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）、2017.3
- 3) 鍵直樹：事務所建築物における PM2.5 濃度の実態と室内外濃度比、空気清浄、54(4)、258-262、2016
- 4) 小林健一、金勲、鍵直樹ほか：中規模建築物における衛生管理の実態と特定建築物の適用に関する研究、令和元年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）、2020.3

F. 研究発表

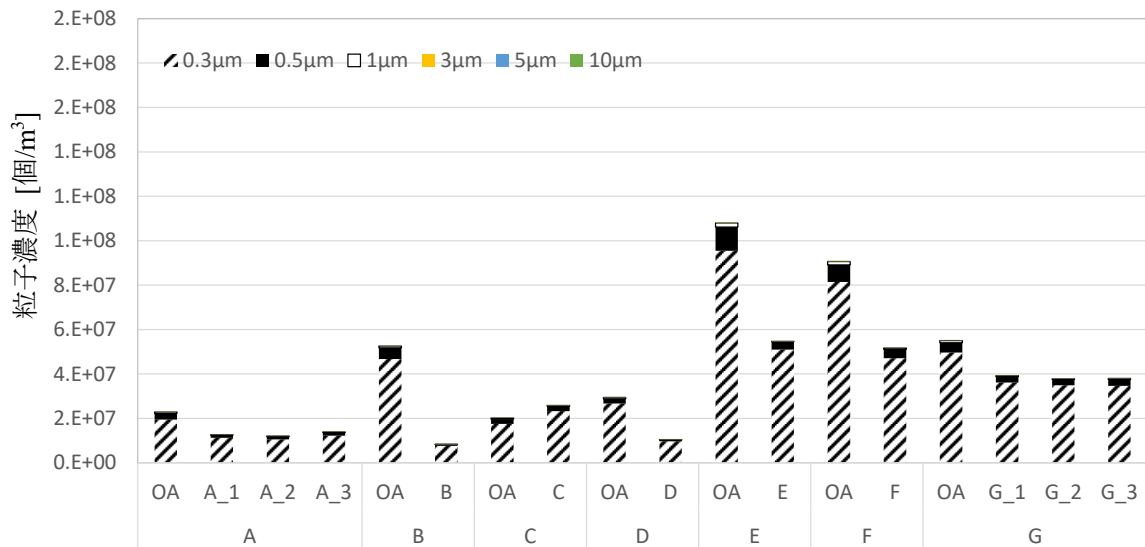
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし



a) 2020年 冬期



b) 2021年 夏期

図 5-4-1 室内浮遊粒子の個数濃度積算値

表 5-4-1 粒径別 IO 比 (室内濃度/外気濃度)

2020 Winter	A_1	A_2	A_3	B	C	D	E	F	Mean	S.D.	Max	Median	Min			
0.3um	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.2	0.5	0.1	0.6	0.5	0.2			
0.5um	0.4	0.4	0.5	0.2	0.5	0.3	0.4	0.3	0.4	0.1	0.5	0.4	0.2			
1.0um	0.2	0.2	0.2	0.3	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.6	0.3	0.2			
3.0um	0.1	0.1	0.1	2.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	2.6	0.5	0.1			
5.0um	0.1	0.1	0.1	8.3	0.5	1.0	0.9	1.1	1.5	2.8	8.3	0.7	0.1			
10.0um	0.2	0.1	0.2	3.6	0.3	3.1	2.5	2.1	1.5	1.5	3.6	1.2	0.1			
2021 Summer	A_1	A_2	A_3	B	C	D	E	F	G_1	G_2	G_3	Mean	S.D.	Max	Median	Min
0.3um	0.6	0.6	0.6	0.2	1.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.3	1.4	0.6	0.2
0.5um	0.5	0.5	0.6	0.1	1.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.6	0.3	1.1	0.5	0.1
1.0um	0.3	0.3	0.3	0.1	0.8	0.2	0.1	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.2	0.8	0.3	0.1
3.0um	0.2	0.3	0.2	0.1	0.6	0.4	0.1	0.4	0.3	0.1	0.4	0.3	0.2	0.6	0.3	0.1
5.0um	0.2	0.6	0.3	0.2	0.5	0.6	0.1	0.4	0.3	0.1	0.4	0.3	0.2	0.6	0.3	0.1
10.0um	0.4	1.0	0.6	0.6	0.8	1.8	0.4	0.6	0.5	0.2	0.6	0.7	0.4	1.8	0.6	0.2

令和2～3年度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）
分担総合研究報告書

6. 特定建築物における室内空气中化学物質の健康リスク評価

分担研究者	東 賢一	近畿大学医学部 准教授
研究協力者	金 勲	国立保健医療科学院 上席主任研究官
研究協力者	稲葉洋平	国立保健医療科学院 上席主任研究官
研究協力者	鍵 直樹	東京工業大学情報理工学研究科 教授
研究協力者	内山茂久	国立保健医療科学院生活環境研究部
研究協力者	小林健一	国立保健医療科学院 上席主任研究官
研究協力者	尾崎貴之	(公社) 全国ビルメンテナンス協会

研究要旨

本調査では、建築物衛生法の適用範囲の検討のために、企業の経営者が完全在宅勤務ではなく、モニター調査に協力いただける北海道、関東、中部、関西、九州に建つ特定建築物を対象に、2020年度は37件、2021年度夏期は111件、2021年度冬期は75件から室内温湿度ならびに化学物質のデータを採取した。得られた室内化学物質濃度の統計値と核物質のリスク評価値（RfC）を用い、暴露余裕度（MOE）を算出した。

健康リスク評価の結果、冬期夏期ともに、二酸化窒素、塩化水素、ベンゼンのリスクが総じて高かった。また、アクロレイン、1,2-ジクロロエタン、トリクロロエチレン、アセトアルデヒド、トルエン、クロトンアルデヒド、クロロホルムでは、特定の事務所でリスクが高かったが、平均的にはそれほどリスクは高くなかった。その他、炭素数9～18の脂肪族炭化水素は冬期夏期ともに平均的にリスクが高く、ホルムアルデヒドは夏期でリスクが高い傾向にあった。

A. 研究目的

建築物衛生法が適用される特定建築物に対しては、建築物環境衛生管理基準として、温度、相対湿度、気流、二酸化炭素、一酸化炭素、浮遊粉じん、ホルムアルデヒドの測定が規定されている。厚生労働省では1997年から2002年までに13物質に対して室内濃度指針値を策定してきたが、2012年以降、一般住宅の実態調査を行い、新たに室内濃度指針値を追加で設定等実施すべきかについて検討がなされている。そこで本研究では、特定建築物における室内空気汚染化学物質の実態調査と健康リスク評価を行った。

本研究で得られた成果は、建築物衛生法の適用範囲の検討に資するものであり、今後の建築物衛生行政における施策の立案に寄与するものである。

B. 研究方法

B.1 研究デザイン

近年、インターネットの普及に伴い、インターネットを利用した質問調査方法が普及し、喘息やアレルギー疾患の有病率の疫学調査でも利用されるようになってきていた。本分担研究者も、インターネットを利用した化学物質高感受性や循環器疾患に関する疫学調査で学術成果をあげてきた。インターネット調査においても、調査協力者に対して材料やサンプルを送付し、室内環境の調査が可能である。

令和2年度の冬期調査では、インターネットを利用した質問調査および室内空気の採取を行った。また、調査件数を確保するにあたり、自記式調査票と空気採取管等を調査協力候補者へ送付および回収する手法も併用した。それにあたっては、公益社団法人全国ビルメンテナンス協会等の協力を得た。なお、インターネット調

査では、特定建築物に入居する調査協力事務所の確保数が乏しかったことから、令和3年度は、被験者代行業を業務とするモニター調査会社に依頼して協力事務所の確保を行った。本研究は、人体から採取された試料を用いない観察研究である。

B.2 調査対象と調査手順

令和2年度は、既存のインターネット調査会社である株式会社マクロミルに委託し、そのモニター会員を調査対象とした。ここは、インターネット調査会社としては国内最大手であり、約120万人のモニターを有する。

調査にあたっては、1) 成人で男女を問わない、2) 北海道、関東、中部、関西、九州に居住、3) 会社の経営者（代表取締役等）または自営業者の3条件をもとに、マクロミルのモニターの中から525,646名を抽出した。そして、これらのモニターに対して、1) 会社の経営者（代表取締役等）または自営業者で会社に出社している方（完全在宅勤務ではない）、2) モニター調査（空気の採取と温湿度記録、管理者用アンケート調査）に協力いただける事務所の勤務者数が4名以上、3) 厚生労働省の建築物衛生法が適用される建物内に所在する事務所、4) 事務所が北海道、関東、中部、関西、九州に所在、5) 事務所の空気採取およびアンケートに協力可能の基本5項目を事前にスクリーニング調査した。なお、地域別に北海道10事務所、関東20事務所、中部10事務所、関西10事務所、九州10事務所（なお、予定の地域別内訳にならなかった場合、合計数が可能な限り目標数に近づくように割り付ける）の合計60事務所を今年度の調査目標数とした。事前スクリーニング調査は、2020年11月27日～12月2日かけて実施した。

続いて本調査として、事前スクリーニング調査で抽出した協力者に対して、管理者用アンケート調査と事務所の空気採取と温湿度記録の依頼を行った。管理者用アンケートの調査票は、平成23～令和元年度の建築物衛生に関する厚労科研で使用した調査票¹⁾⁵⁾をもとに作成した。空気の採取と温湿度の記録は、事務所に出社される任意の1日で、事務所での就業時間が8時間以上となる日（例：9時～17時）に実施する

よう依頼した。アンケート調査、空気採取、温湿度記録は2020年12月14日～2021年1月15日に実施した。また、調査件数を確保するにあたり、自記式調査票と空気採取管等を調査協力候補者へ送付し回収した。

令和3年度の夏期は、令和2年度に直接調査依頼を行った事務所に対して再度調査依頼を行った。また、令和3年度夏期、冬期において、株式会社エイジェックに75件の調査事務所の確保を依頼した。調査では、管理者用アンケート調査と事務所の空気採取と温湿度記録の依頼を行った。管理者用アンケートの調査票は、平成23～令和元年度の建築物衛生に関する厚労科研で使用した調査票¹⁾⁵⁾をもとに作成した。空気の採取と温湿度の記録は、事務所に出社される任意の1日で、事務所での就業時間が8時間以上となる日（例：9時～17時）に実施するよう依頼した。夏期の調査は2021年8月20日～2021年9月30日に実施した。冬期の調査は、2022年1月20日～2022年2月14日に実施した

B.3 測定および分析項目

室内の温度と湿度の測定を行った。また、68の化学物質の分析を行った。分析結果の詳細は、他の分担研究報告書を参照されたい。

B.4 健康リスク評価方法

調査で得られた室内濃度の統計値（算術平均値、中央値、最大値）に対して、各物質の非発がんリスク評価値（RfC）を導出した。発がん物質については、ユニットリスク（UR）から、日本の環境基準で用いられている10万分の1の過剰発がんリスク時のリスク評価値をRfCとして用いた。RfCに対して室内濃度を割り算して曝露余裕度（MOE）を算出し、健康リスクの程度を評価した。これらのリスク評価値は、国際機関及び各国の関係省庁等が公表している評価文書をもとに、最も信頼性のあると思われる亜急性毒性、慢性毒性または生殖発生毒性の無毒性量または最小毒性量を判断し、断続曝露から連続曝露への換算、デフォルトで用いられる曝露期間、最小毒性量、種差及び個体差に関する不確実係数から導出した。ユニットリスクは、

国際がん研究機関の発がん性分類でグループ 1 かつ発がんリスク評価が必要と判断される物質について、国際機関及び各国の関係省庁が公表しているユニットリスクを用いた。

MOE が 1 未満であればリスク A (ハイリスク)、MOE が 1 以上 10 未満であればリスク B (調査等要検討)、MOE が 10 以上であればリスク C (静観) と判定できる。これらのリスク評価方法は、著者らが既往研究⁶⁾⁸⁾で行ったものである。

(倫理面での配慮)

本調査は、国立保健医療科学院研究倫理審査委員会の承認(課題名:特定建築物における室内空気中科学物質濃度の拡散サンプラーによる全国調査:NIPH-IBRA#12310)を得て実施した。

C. 研究結果および考察

2020 年度において、マクロミルのモニターに対する事前スクリーニング調査の結果、92 件の調査協力可能者が得られたが、そのうち電話で特定建築物であるかどうかや、事務所室内での空気採取が可能かどうかなどを再度確認した結果、調査協力可能者数は 18 件(北海道 2 事務所、関東 7 事務所、中部 2 事務所、関西 7 事務所)となった。従って、調査協力者数を確保するために、平成 29 年度から令和元年度の建築物衛生に関する厚労科研の調査で協力を得た特定建築物等に対して、直接協力依頼を実施し、合計 37 件から協力を得た。

2021 年度夏期では、直接調査協力依頼を行った事務所から 36 件、エイジェックのモニターから 75 件の試料を得た。2021 年度冬期では、エイジェックのモニターから 75 件の試料を得た。健康リスク評価を行うにあたっては、冬期と夏期でそれぞれ統合し、2020 年度～2021 年度冬期で 130 件、2021 年度夏期で 111 件とした。

表 6-1 及び 6-2 に有害性評価結果と非発がんリスク評価値及びユニットリスクを示す。調査を行った 68 物質のうち、7 物質については、非発がんリスク評価値やユニットリスクが得られず有害性評価ができなかった。また、夏期の 3 物質については分析結果が得られなかった。

これらの評価値に対して、2020 年度から 2021

年度にかけて冬期及び夏期に実施した全国調査で得られた室内濃度の統計値(算術平均値、中央値、最大値)に対して、各物質のリスク評価値(RfC)を用い、曝露余裕度(MOE)を算出した。また、各事務所での測定値が RfC を超えている割合(RfC 超過率)を冬期及び夏期で算出した。冬期の結果を表 6-3、夏期の結果を表 6-4、健康リスク評価結果のまとめを表 6-5 に示す。

健康リスク評価の結果、冬期夏期ともに、二酸化窒素、塩化水素、ベンゼンのリスクが総じて高かった。二酸化窒素では、冬期夏期ともに RfC 超過率が 60% を超えていた。塩化水素では冬期の RfC 超過率が 70% を超えていた。ベンゼンでは夏期の RfC 超過率が 40% を超えていた。これら 3 つの物質のリスクは突出して高かった。

アクロレイン、1,2-ジクロロエタン、トリクロロエチレン、アセトアルデヒド、トルエン、クロトンアルデヒド、クロロホルムでは、最大値のリスクが高かった(A 判定)。しかしながら、平均的にはそれほど高いリスクではなく(C 判定)、特定の事務所において高濃度であったことが原因と考えられた。

炭素数 9~18 の脂肪族炭化水素は冬期夏期ともに平均的にリスクが高く、ホルムアルデヒドは特に夏期でリスクが高い傾向(B 判定)にあった。その他、平均的にリスクが高い傾向にあったのは、冬期夏期のオゾン、冬期のエタノール、夏期の酢酸であった。

D. 総括

特定建築物における室内空気汚染化学物質の実態調査について、2020 年度～2021 年度冬期で 130 件、2021 年度夏期で 111 件における 68 物質の室内濃度測定結果に対して健康リスク評価を行った。その結果、冬期夏期ともに、二酸化窒素、塩化水素、ベンゼンのリスクが総じて高かった。アクロレイン、1,2-ジクロロエタン、トリクロロエチレン、アセトアルデヒド、トルエン、クロトンアルデヒド、クロロホルムでは、特定の事務所ではリスクが高かったが、平均的にはそれほどリスクは高くなかった。炭素数 9~18 の脂肪族炭化水素は冬期夏期ともに平均的にリスクが高く、ホルムアルデヒドは夏期でリ

スクが高い傾向にあった。その他、平均的にリスクが高い傾向にあったのは、冬期夏期のオゾン、冬期のエタノール、夏期の酢酸であった。

E. 参考文献

- 1) 大澤元毅ら. 建築物環境衛生管理及び管理基準の今後のあり方に関する研究, 平成 25 年度総合研究報告書, 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合事業, 2014 年 3 月.
- 2) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Prevalence and risk factors associated with nonspecific building-related symptoms in office employees in Japan: relationships between work environment, Indoor Air Quality, and occupational stress. *Indoor Air* 25:499–511, 2015.
- 3) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Evaluating prevalence and risk factors of building-related symptoms among office workers: Seasonal characteristics of symptoms and psychosocial and physical environmental factors. *Environmental Health and Preventive Medicine* 22(114), 38, 2017. doi:10.1186/s12199-017-0645-4.
- 4) 大澤元毅ら. 建築物環境衛生管理に係る行政監視等に関する研究, 平成 28 年度総合研究報告書, 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合事業, 2017 年 3 月.
- 5) 小林健一ら. 中規模建築物における衛生管理の実態と特定建築物の適用に関する研究, 令和元年度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, 2020 年 3 月.
- 6) 樺田尚樹ら. シックハウス症候群の発生予防・症状軽減のための室内環境の実態調査と改善対策に関する研究, 平成 25 年度総合研究報告書, 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合事業, 2014 年 3 月.
- 7) Azuma, K., Uchiyama, I., Ikeda, K. The Risk Screening for Indoor Air Pollution Chemicals in Japan. *Risk Analysis* 27(6): 1623–1638, 2007.
- 8) Azuma K, Uchiyama I, Uchiyama S, Kunugita N. Assessment of inhalation exposure to indoor

air pollutants: screening for health risks of multiple pollutants in Japanese dwellings. *Environ Res* 145:39–49, 2016.

F. 研究発表

1. 論文発表
 - 1) 東 賢一. 職域におけるオフィスビルの室内環境に関連する症状とそのリスク要因: いわゆるシックビルディング症候群. *産業医学レビュー* 33(3), 263–278, 2021.
 - 2) 東 賢一. 世界保健機関 (WHO) による「住宅と健康のガイドライン」. *公衆衛生* Vol 85, No.7, pp. 432–437, 2021.
2. 学会発表
 - 1) 東 賢一、鍵 直樹、柳 宇、金 勲、開原典子、林 基哉、大澤元毅. オフィスビル労働者のビル関連症状と室内空気汚染物質との関係に関する縦断調査. 第 93 回日本産業衛生学会, 旭川, 2020 年 5 月 13 日–16 日.
 - 2) 東 賢一. リスク評価の考え方. 令和 2 年度空気調和・衛生工学会大会ワークショップ, 福井, 2020 年 9 月 18 日.
 - 3) 東 賢一、鍵 直樹、柳 宇、金 勲、中野淳太、長谷川兼一、島崎 大、開原典子、樺田尚樹、林 基哉、小林健一. 建築物の環境衛生管理の実態に関する全国調査 その 7 ビル関連症状と室内空気質. 第 79 回日本公衆衛生学会総会, 京都, 2020 年 10 月 20–22 日.
 - 4) 東 賢一. 世界保健機関 (WHO) による「住宅と健康のガイドライン」. 第 79 回日本公衆衛生学会総会シンポジウム, 京都, 2020 年 10 月 22 日.
 - 5) Azuma K, Kagi N, Yanagi U, Kim H, Hasegawa K, Shimazaki D, Kaihara N, Kunugita N, Hayashi M, Kobayashi K, Osawa H. Effects of the total floor area of an air-conditioned office building on building-related symptoms: characteristics of winter and summer. 16th international conference on indoor air quality and climate, Seoul, Korea, November 1–5, 2020.
 - 6) Azuma K, Kagi N, Yanagi U, Kim H, Kaihara N, Hayashi M, Osawa H. Effects of suspended particles, chemicals, and airborne

microorganisms in indoor air on building-related symptoms: a longitudinal study in air-conditioned office buildings. Healthy Buildings Europe 2021, Oslo, Norway, June 21-23, 2021.

- 7) Azuma K, Kagi N, Yanagi U, Kim H, Hasegawa K, Shimazaki D, Kaihara N, Kunugita N, Hayashi M, Kobayashi K, Osawa H. Effects of the total floor area of an air-conditioned office building on building-related symptoms: associations with thermal conditions and carbon dioxide. Healthy Buildings America 2021, Honolulu, Hawaii, January 18-20, 2022.
- 8) Azuma K. Indoor air quality and health effects in Japanese modern office buildings. the 33rd International Congress on Occupational Health 2022, Special Session: Indoor air quality in modern office buildings. Global digital congress, Melbourne-Rome, February 6-10, 2022.

3. 書籍

- 1) 東 賢一. 新版生活健康科学第2版: 第7章生活環境と健康. 218頁, 三共出版, 東京, 2022.

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)

予定なし

＜特定建築物における室内空気汚染化学物質の実態調査と健康リスク評価結果＞

表6-1 有害性評価結果と非発がんリスク評価値およびユニットリスク、リスク評価値 (RfC)

化学物質	指標	吸入 毒性量 mg/m ³	経口 毒性量 mg/kg/day	動物種	曝露条件		エンドポイント	UF					ユニットリ スク 値 (μg/m ³) ⁻¹	リスク評価 値 μg/m ³	出典
					経路	時/日		日/週	UF1 Li-N	UF2 試験 種差	UF3 個体	UF4			
ホルムアルデヒド	NOAEL	0.6	-	ヒト	4.0	10週間	10条件	1	1	1	5	5	100	WHO Europe (2010)	
アセトアルデヒド	NOAEL	90	-	ヒト	6.0	5.0	13週間	5	1	2.5	10	125	120	Dorman et al (2008a), MOE (2020)	
プロピオンアルデヒド	LOAEL	357	-	マウス	6.0	7.0	52日	10	6	2.5	10	1500	60	Union Carbide (1993), USEPA(2008)	
バニルアルデヒド	LOAEL	363	-	マウス	6.0	5.0	13週	10	2	2.5	10	500	130	Union Carbide Corporation (1979, 1980), IRK (2009)	
ヘキサナール	LOAEL	363	-	マウス	6.0	5.0	13週	10	2	2.5	10	500	130	Union Carbide Corporation (1979, 1980), IRK (2009)	
ヘプタナール	LOAEL	363	-	マウス	6.0	5.0	13週	10	2	2.5	10	500	130	Union Carbide Corporation (1979, 1980), IRK (2009)	
オクタナール	LOAEL	363	-	マウス	6.0	5.0	13週	10	2	2.5	10	500	130	Union Carbide Corporation (1979, 1980), IRK (2009)	
ノナナール	LOAEL	363	-	マウス	6.0	5.0	13週	10	2	2.5	10	500	130	Union Carbide Corporation (1979, 1980), IRK (2009)	
デカナール	LOAEL	363	-	マウス	6.0	5.0	13週	10	2	2.5	10	500	130	Union Carbide Corporation (1979, 1980), IRK (2009)	
アクロレイン	NOAEL	0.46	-	マウス	6.0	5.0	13週	10	2	2.5	10	50	1.6	Dorman (2008b), Health Canada (2021)	
クロトンアルデヒド	LOAEL	8.6	-	マウス	6.0	5.0	104週	10	1	2.5	10	250	6.1	MOE (2015)	
2-ネオナール	LOAEL	363	-	マウス	6.0	5.0	13週	10	2	2.5	10	500	130	Union Carbide Corporation (1979, 1980), IRK (2009)	
ペンタアルデヒド	LOAEL	2170	-	マウス	6.0	7.0	14日	10	6	10	10	6000	90	MOE (2003)	
o-トルエン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
m-トルエン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
p-トルエン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2,5-ジメチルベンズアルデヒド	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
アセトン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
メチルエチルケトン	NOAEL	5300	-	マウス	6.0	7.0	6-17日	1	1	10	10	100	13250	NTP (1988), IRK(2021)	
メチルイソブチルケトン	NOAEL	2978	-	マウス	7.0	6-15日	6-15日	1	1	10	10	100	8686	MOE (2008)	
シクロヘキサン	NOAEL	1845	-	マウス	6.0	5.0	2年間	10	1	10	10	1000	329	Stout (2008), NTP (2007)	
n-ヘキサン	NOAEL	1720	-	マウス	6.0	5.0	90日	1	2	10	10	200	1536	ECB (2004)	
n-ヘプタン	LOAEL	204	-	ヒト	8.0	5.0	6.2年	10	1	1	10	100	486	MOE (2002)	
n-オクタン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2,2,4-トリメチルペンタン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
n-オクタン	NOAEL	138	-	マウス	6.0	5.0	2年間	1	1	10	10	100	246	NTP (2004), USEPA (2009)	
n-ノンタン	NOAEL	138	-	マウス	6.0	5.0	2年間	1	1	10	10	100	246	NTP (2004), USEPA (2009)	
n-デカン	NOAEL	138	-	マウス	6.0	5.0	2年間	1	1	10	10	100	246	NTP (2004), USEPA (2009)	
n-ウンデカン	NOAEL	138	-	マウス	6.0	5.0	2年間	1	1	10	10	100	246	NTP (2004), USEPA (2009)	
n-ドデカン	NOAEL	138	-	マウス	6.0	5.0	2年間	1	1	10	10	100	246	NTP (2004), USEPA (2009)	
n-トリデカン	NOAEL	138	-	マウス	6.0	5.0	2年間	1	1	10	10	100	246	NTP (2004), USEPA (2009)	
n-テトラデカン	NOAEL	138	-	マウス	6.0	5.0	2年間	1	1	10	10	100	246	NTP (2004), USEPA (2009)	
n-ペンタデカン	NOAEL	138	-	マウス	6.0	5.0	2年間	1	1	10	10	100	246	NTP (2004), USEPA (2009)	
n-ヘキサデカン	NOAEL	138	-	マウス	6.0	5.0	2年間	1	1	10	10	100	246	NTP (2004), USEPA (2009)	

ECHA. Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter. R8: Characterisation of dose[concentration]-response for human health, Version: 2.1, 201
 LOAELの場合は近年3を採用することが多いが、変性が生じたことから安全サイドに10を採用
 試験期間はECHAのクライテリアを採用。ヒトの長時間曝露は係数10を採用。
 種差はECHAのクライテリアを採用、高所影響として気運への影響は2.5を採用

表6-2 有害性評価結果と非発がんリスク評価値およびユニットリスク、リスク評価値 (RfC)

化学物質	指標	吸入 毒性量 mg/m ³	経口 毒性量 mg/kg/day	曝露条件		経路	時/日	日/週	期間	エンドポイント	UF				ユニットリ スク 値 (μg/m ³) ⁻¹	リスク評価 値 (μg/m ³)	出典
				動物種	動物種						UF1 L-N	UF2 試験 期間	UF3 種差	UF4 個体 差			
ベンゼン	NOEL	-	-	ヒト	吸入	-	-	-	-	骨髄白血球	-	-	-	6.0E-06	1.7	WHO (2010)	
トルエン	LOAEL	332	-	ヒト	吸入	8.0	5.0	平均5.7年	5	神経行動機能への影響	10	3	1	300	260	Foo et al (1990,1993), Na et al (1992), MHLW (2000), WHO Europe (2000)	
o-キシレン	LOAEL	61	-	ヒト	吸入	8.0	5.0	7年	10	中枢神経の自覚症状(慢性)の神経毒性影響に関する知見の不足	10	3	1	300	200	Uchida et al (1993), MHLW (2019), ATSDR (2007)	
m,p-キシレン	LOAEL	61	-	ヒト	吸入	8.0	5.0	7年	10	中枢神経の自覚症状(慢性)の神経毒性影響に関する知見の不足	10	3	1	300	200	Uchida et al (1993), MHLW (2019), ATSDR (2007)	
エチルベンゼン	NOEL	868	-	ラット	吸入	6.0	6.0	13週	10	聴覚毒性(コルチ器の外有毛細胞の減少)	10	2	2.5	10	372	Gagnaire et al (2007), IRK (2012)	
1,3-ジメチルベンゼン	NOEL	123	-	ラット	吸入	6.0	5.0	13週間	1	神経行動学的影響、気管支周囲の変性	1	2	10	10	110	Korsak et al (1996, 2000a,b), USEPA (2016a)	
1,2,4-トリメチルベンゼン	NOEL	123	-	ラット	吸入	6.0	5.0	14週間	1	神経行動学的影響、気管支周囲の変性	1	2	10	10	110	Korsak et al (1996, 2000a,b), USEPA (2016a)	
1,2,3-トリメチルベンゼン	NOEL	123	-	ラット	吸入	6.0	5.0	15週間	1	神経行動学的影響、気管支周囲の変性	1	2	10	10	110	Korsak et al (1996, 2000a,b), USEPA (2016a)	
1,2,4,5-テトラメチルベンゼン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
スチレン	NOAEL	17	-	ヒト	吸入	8.0	5.0	6.2年	5	色素異常(IARCがグループ2A)に分類、重大発癌5)	5	1	1	10	81	Kishi et al (2001), Benignus et al (2005)	
クロロホルム	NOAEL	25	-	マウス	吸入	6.0	5.0	2年間	10	鼻腔の骨肥厚、嗅上皮の上皮化生	10	1	2.5	10	18	MOE (2006)	
四塩化炭素	NOEL	6.1	-	ラット	吸入	7.0	5.0	90日	1	肝細胞毒性	1	2	10	10	6.4	WHO (1999)	
クロロシクロヘキサネ	NOEL	384	-	30ラット	経口	-	5.0	13週	1	肝細胞の空洞化変性	1	2	10	10	357	MOE (2009), USEPA (1991a)	
1,1,1-トリクロロエタン	NOEL	384	-	ラット	吸入	24.0	7.0	3ヶ月	1	神経障害(GFA-蛋白の増加)	1	2	10	10	1920	ATSDR (2006a)	
1,2-ジクロロエタン	NOEL	69.3	-	ラット	吸入	6.0	5.0	13週	1	乳腺の腫がんと、膵腫、線維腫	1	2	10	10	1.6	MOE (2006)	
1,2-ジクロロプロパン	NOEL	200	-	ラット	吸入	6.0	5.0	13週	10	鼻腔の呼吸粘膜の過形成	10	2	2.5	10	25	MOE (2004), USEPA (1991b)	
トリクロロエチレン	NOEL	102	-	ラット	吸入	8.0	5.0	10年間	10	腎臓への影響	10	1	1	10	250	WHO (2010)	
テトラクロロエチレン	NOEL	120	-	ラット、マウス	吸入	6.0	5.0	2年間	1	雌ラットの嗅上皮の変性、雄マウスの精巣の虚質沈着	1	1	10	10	214	Also et al (2005), JBRC (1995), ATSDR (2006b)	
1,4-ジクロロベンゼン	NOEL	950	-	ヒト	吸入	8.0	5.0	長期	1	肝臓がん	1	1	1	10	22619	DFG (1999, 2018)	
エタノール	NOEL	150	-	ラット	吸入	6.0	5.0	3ヶ月	1	運動協調性障害	1	2	10	10	134	Korsak et al (1994)	
1-ブタノール	NOEL	116.5	-	マウス	吸入	8.0	5.0	3か月	10	嗅上皮への影響	10	2	2.5	10	55	Miyake et al (2016)	
2-エチル-1-ヘキサノール	NOEL	-	-	100ラット	経口	-	7.0	15日, 51日	1	体重増加の抑制、肝細胞肥大を伴った肝臓重量増	1	6	10	10	556	O' Donoghue et al (1984), Eastman (1992)	
TMPPD-MIB	NOEL	225	-	30ラット	経口	-	7.0	44, 53日間	1	肝臓重量の増加	1	6	10	10	167	厚生省監修化学物質毒性試験報告書 (1995)	
α-ピネン	NOEL	450	-	ヒト	吸入	2.0	-	2時間	1	眼、鼻、喉の刺激	1	10	1	100	2250	Falk et al (1990)	
β-ピネン	NOEL	1280	-	ラット	吸入	6.0	5.0	13週	1	肺活動低下	1	10	1	100	4500	Falk-Flippson et al (1993)	
酢酸エチル	NOEL	700	-	ラット	吸入	-	-	4時間	10	体重増加の抑制、嗅上皮の変性	10	2	10	1000	114	Christoph et al (2003), Hansen (1996)	
酢酸-n-ブチル	NOEL	60	-	ラット、マウス	吸入	6.0	5.0	2-13週	1	気道の刺激、呼吸困難	1	2	10	10	700	Iregren et al (1993), ACGIH (2016)	
酢酸	NOEL	25	-	ラット	吸入	8.0	5.0	-	1	嗅上皮の変性	1	2	2.5	10	214	ECB (2000)	
塩化水素	NOEL	15	-	ラット	吸入	6.0	5.0	128週	10	上気道の刺激、慢性気管支炎への影響	10	1	1	10	595	ACGIH (2013)	
二酸化窒素	NOEL	13.6	-	ヒト	吸入	8.0	5.0	平均12.2年	1	鼻粘膜の上皮や扁平の過形成	1	1	1	10	10.7	USEPA (1995), OEHHHA (2000)	
アンモニア	NOEL	-	-	ヒト	吸入	8.0	5.0	平均12.2年	1	全死亡(不慮の事故を除く)	1	1	1	10	10	324	USEPA (2016b)
オゾン	NOEL	-	-	ヒト	吸入	-	-	-	1	全死亡(不慮の事故を除く)	1	1	1	1	60	WHO (2021)	

ECHA Guidance on information requirements and chemical safety assessment, Chapter R8: Characterisation of dose[concentration]-response for human health, Version: 2.1, 201
 LOAELの場合は近年3年を採用することが多いが、変性が生じたことから安全サイトには10を採用
 試験期間はECHAのクライテリアを採用。ヒトの短時間曝露は係数10を使用。
 種差はECHAのクライテリアを採用、局所影響として気道への影響は2.5を採用

表6-3 2020年度冬期及び2021年度冬期連結の健康リスク評価結果

	N	室内濃度(µg/m ³)			MOE			RfC
		平均値	中央値	最大値	平均値	中央値	最大値	超過率
ホルムアルデヒド	130	8.4	6.4	155.7	11.9	15.6	0.64	0.8%
アセトアルデヒド	130	10.6	6.3	198.8	11.3	19.0	0.60	0.8%
プロピオンアルデヒド	130	2.7	0.0	22.9	22.4	60000.0	2.6	0.0%
n-ペンタナール	130	0.0	0.0	0.0	130000.0	130000.0	130000.0	0.0%
i-ペンタナール	130	0.1	0.0	4.1	2353.4	130000.0	32.0	0.0%
ヘキサナール	130	0.2	0.0	20.5	826.2	130000.0	6.4	0.0%
ヘプタナール	130	0.0	0.0	0.0	130000.0	130000.0	130000.0	0.0%
オクタナール	130	0.0	0.0	0.0	130000.0	130000.0	130000.0	0.0%
ノナール	130	0.4	0.0	23.0	324.8	130000.0	5.6	0.0%
デカナール	130	0.1	0.0	14.5	1165.8	130000.0	9.0	0.0%
アクロレイン	130	0.1	0.0	9.1	16.1	1600.0	0.18	1.5%
クロトンアルデヒド	130	0.3	0.0	6.0	21.6	6100.0	1.02	0.0%
2-ノネナール	130	0.0	0.0	0.0	130000.0	130000.0	130000.0	0.0%
ベンズアルデヒド	130	0.1	0.0	5.4	1200.0	90000.0	16.6	0.0%
o-トルアルデヒド	130	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-
p-トルアルデヒド	130	0.1	0.0	8.6	-	-	-	-
2,5-ジメチルベンズアルデヒド	130	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-
アセトン	130	13.6	10.3	143.5	971.2	1291.2	92.3	0.0%
メチルエチルケトン	130	1.0	0.0	33.7	8864.9	8686000.0	257.9	0.0%
メチルイソブチルケトン	130	0.1	0.0	3.2	5305.1	329000.0	103.4	0.0%
シクロヘキサン	75	2.6	0.7	61.2	598.9	2064.4	25.1	0.0%
n-ヘキサン	130	9.1	4.6	272.9	53.4	104.7	1.8	0.0%
n-ヘプタン	130	1.4	0.4	98.8	-	-	-	-
2,4-ジメチルペンタン	55	0.2	0.0	11.0	-	-	-	-
2,2,4-トリメチルペンタン	130	0.1	0.0	2.3	-	-	-	-
n-オクタン	130	0.7	0.5	7.2	353.0	479.2	34.0	0.0%
n-ノナン	130	1.4	0.5	35.3	177.3	460.9	7.0	0.0%
n-デカン	130	14.7	5.7	741.4	16.7	42.8	0.33	0.8%
n-ウンデカン	130	1.8	1.1	23.4	139.5	229.3	10.5	0.0%
n-ドデカン	130	8.3	8.2	57.4	29.8	30.2	4.3	0.0%
n-トリデカン	130	4.7	3.0	41.8	52.4	81.2	5.9	0.0%
n-テトラデカン	130	10.1	9.9	31.5	24.3	24.9	7.8	0.0%
n-ペンタデカン	130	1.5	0.4	20.7	161.6	586.6	11.9	0.0%
n-ヘキサデカン	130	2.3	1.3	14.5	109.2	195.2	17.0	0.0%
ベンゼン	130	1.2	0.8	24.0	1.4	2.1	0.07	10.8%
トルエン	130	10.1	4.6	397.1	25.8	56.1	0.65	0.8%
o-キシレン	130	1.0	0.5	9.6	207.2	390.4	20.9	0.0%
m,p-キシレン	130	2.7	1.3	35.2	75.2	158.5	5.7	0.0%
エチルベンゼン	130	2.8	1.1	70.2	134.7	339.4	5.3	0.0%
1,3,5-トリメチルベンゼン	130	0.3	0.2	3.0	352.1	656.4	36.1	0.0%
1,2,4-トリメチルベンゼン	130	1.2	0.7	9.9	88.6	147.7	11.1	0.0%
1,2,3-トリメチルベンゼン	130	0.3	0.2	3.1	399.3	590.2	35.7	0.0%
1,2,4,5-テトラメチルベンゼン	130	0.1	0.0	1.6	-	-	-	-
スチレン	130	0.0	0.0	2.0	1979.1	81000.0	39.9	0.0%
クロロホルム	130	0.5	0.4	12.7	36.6	46.5	1.4	0.0%
四塩化炭素	130	0.2	0.0	2.5	34.0	6400.0	2.6	0.0%
クロロジプロモメタン	130	0.0	0.0	1.5	30870.3	357000.0	237.5	0.0%
1,1,1-トリクロロエタン	130	0.0	0.0	0.0	55324816.7	1920000.0	425575.5	0.0%
1,2-ジクロロエタン	130	0.1	0.0	2.3	31.5	1600.0	0.68	1.5%
1,2-ジクロロプロパン	55	0.1	0.0	3.7	371.2	25000.0	6.7	0.0%
トリクロロエチレン	130	0.6	0.0	43.9	37.6	23000.0	0.52	0.8%
テトラクロロエチレン	130	0.1	0.0	1.5	4173.1	250000.0	168.6	0.0%
1,4-ジクロロベンゼン	130	1.7	0.5	103.5	127.5	443.7	2.1	0.0%
エタノール	75	3042.9	2645.9	9238.4	7.4	8.5	2.4	0.0%
1-ブタノール	55	0.7	0.2	9.3	195.6	748.4	14.4	0.0%
2-エチル-1-ヘキサノール	130	1.7	0.8	14.8	33.3	67.2	3.7	0.0%
TMPD-MIB	130	2.3	1.8	22.1	241.9	306.0	25.2	0.0%
TMPD-DIB	75	3.8	2.4	15.4	43.9	68.4	10.9	0.0%
α-ピネン	130	0.3	0.2	6.2	7391.2	14670.8	361.6	0.0%
d-リモネン	130	6.7	2.2	393.4	675.1	2076.0	11.4	0.0%
酢酸エチル	130	4.4	2.8	31.5	25.7	40.4	3.6	0.0%
酢酸-n-ブチル	130	1.6	1.3	24.9	434.8	557.3	28.1	0.0%
ギ酸	75	13.3	11.8	27.4	16.1	18.1	7.8	0.0%
酢酸	75	39.0	32.2	93.1	15.3	18.5	6.4	0.0%
塩化水素	75	17.6	15.7	59.0	0.61	0.68	0.18	72.0%
二酸化窒素	75	15.3	12.2	114.8	0.65	0.82	0.09	61.3%
アンモニア	74	3.6	3.2	7.8	90.3	99.8	41.8	0.0%
オゾン	130	7.4	7.1	32.9	8.1	8.5	1.8	0.0%

表6-4 2021年度夏期の健康リスク評価結果

	N	室内濃度(μg/m ³)			MOE			RfC 超過率
		平均値	中央値	最大値	平均値	中央値	最大値	
ホルムアルデヒド	111	12.9	11.5	60.0	7.7	8.7	1.7	0.0%
アセトアルデヒド	111	11.1	8.0	61.7	10.8	15.0	1.9	0.0%
プロピオンアルデヒド	111	2.1	0.0	23.1	28.7	60000.0	2.6	0.0%
n-ペンタナール	111	0.0	0.0	3.9	3679.7	130000.0	33.2	0.0%
i-ペンタナール	111	0.0	0.0	0.0	130000.0	130000.0	130000.0	0.0%
ヘキサナール	111	0.3	0.0	15.2	499.5	130000.0	8.6	0.0%
ヘプタナール	111	0.0	0.0	0.0	130000.0	130000.0	130000.0	0.0%
オクタナール	111	0.0	0.0	0.0	130000.0	130000.0	130000.0	0.0%
ノナナール	111	0.7	0.0	38.3	192.1	130000.0	3.4	0.0%
デカナール	111	0.2	0.0	19.2	749.8	130000.0	6.8	0.0%
アクロレイン	111	0.0	0.0	0.0	1600.0	1600.0	1600.0	0.0%
クロトンアルデヒド	111	0.2	0.0	6.2	36.9	6100.0	0.98	0.9%
2-ノネナール	111	0.0	0.0	0.0	130000.0	130000.0	130000.0	0.0%
ベンズアルデヒド	111	0.0	0.0	0.0	90000.0	90000.0	90000.0	0.0%
o-トルアルデヒド	111	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-
p-トルアルデヒド	111	0.0	0.0	4.1	-	-	-	-
2,5-ジメチルベンズアルデヒド	111	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-
アセトン	111	12.4	9.7	66.1	1067.5	1362.5	200.4	0.0%
メチルエチルケトン	111	0.0	0.0	2.6	228552.8	8686000.0	3326.8	0.0%
メチルイソブチルケトン	111	0.2	0.0	1.6	1762.6	329000.0	204.0	0.0%
シクロヘキサン	111	1.3	0.0	65.6	1182.7	1536000.0	23.4	0.0%
n-ヘキサン	111	5.2	2.7	198.8	93.6	180.8	2.4	0.0%
n-ヘプタン	111	0.5	0.0	11.9	-	-	-	-
2,4-ジメチルペンタン	-	-	-	-	-	-	-	-
2,2,4-トリメチルペンタン	111	0.0	0.0	3.1	-	-	-	-
n-オクタン	111	1.0	0.0	8.8	243.6	246000.0	27.8	0.0%
n-ノナン	111	0.6	0.0	38.5	428.1	246000.0	6.4	0.0%
n-デカン	111	195.9	13.7	20061.1	1.3	18.0	0.012	0.9%
n-ウンデカン	111	1.2	0.6	31.5	207.5	423.6	7.8	0.0%
n-ドデカン	111	5.4	3.5	77.7	45.5	69.4	3.2	0.0%
n-トリデカン	111	4.5	1.8	135.0	54.6	133.5	1.8	0.0%
n-テトラデカン	111	9.4	6.5	109.8	26.2	38.0	2.2	0.0%
n-ペンタデカン	111	0.1	0.0	3.6	1695.8	246000.0	68.0	0.0%
n-ヘキサデカン	111	0.4	0.0	4.5	578.8	246000.0	54.6	0.0%
ベンゼン	111	1.6	1.2	5.0	1.1	1.4	0.34	41.4%
トルエン	111	8.7	5.9	125.6	29.9	44.1	2.1	0.0%
o-キシレン	111	0.6	0.4	5.5	310.8	517.3	36.1	0.0%
m,p-キシレン	111	1.9	1.5	12.1	106.8	131.2	16.6	0.0%
エチルベンゼン	111	1.9	1.6	10.6	192.4	234.3	35.0	0.0%
1,3,5-トリメチルベンゼン	111	0.3	0.0	3.8	343.6	110000.0	28.9	0.0%
1,2,4-トリメチルベンゼン	111	1.2	0.6	15.4	92.7	198.4	7.1	0.0%
1,2,3-トリメチルベンゼン	111	0.2	0.0	8.9	603.8	110000.0	12.4	0.0%
1,2,4,5-テトラメチルベンゼン	111	0.1	0.0	14.6	-	-	-	-
スチレン	111	0.0	0.0	0.0	81000.0	81000.0	81000.0	0.0%
クロロホルム	111	0.7	0.0	41.2	25.1	18000.0	0.44	0.9%
四塩化炭素	111	0.0	0.0	2.2	320.9	6400.0	2.9	0.0%
クロロジプロモetan	111	0.0	0.0	0.0	357000.0	357000.0	357000.0	0.0%
1,1,1-トリクロロエタン	111	0.0	0.0	0.0	1920000.0	1920000.0	1920000.0	0.0%
1,2-ジクロロエタン	111	0.0	0.0	1.8	66.0	1600.0	0.89	0.9%
1,2-ジクロロプロパン	-	-	-	-	-	-	-	-
トリクロロエチレン	111	0.2	0.0	2.9	138.0	23000.0	7.9	0.0%
テトラクロロエチレン	111	0.0	0.0	3.3	8536.3	250000.0	76.9	0.0%
1,4-ジクロロベンゼン	111	0.9	0.6	13.5	246.5	383.3	15.8	0.0%
エタノール	111	1078.0	538.1	17711.1	21.0	42.0	1.3	0.0%
1-ブタノール	-	-	-	-	-	-	-	-
2-エチル-1-ヘキサノール	111	4.3	1.9	33.2	12.6	28.3	1.7	0.0%
TMPD-MIB	111	3.0	2.9	14.1	183.4	194.1	39.5	0.0%
TMPD-DIB	111	6.3	0.0	146.6	26.4	167000.0	1.1	0.0%
α-ピネン	111	0.0	0.0	1.5	54947.2	2250000.0	1486.1	0.0%
d-リモネン	111	1.7	0.0	94.2	2647.9	4500000.0	47.8	0.0%
酢酸エチル	111	5.1	3.5	46.1	22.1	33.0	2.5	0.0%
酢酸-n-ブチル	111	0.6	0.0	12.1	1145.6	700000.0	58.0	0.0%
ギ酸	111	20.3	19.7	49.3	10.5	10.9	4.3	0.0%
酢酸	111	88.6	89.1	251.8	6.7	6.7	2.4	0.0%
塩化水素	111	8.7	5.5	89.5	1.2	1.9	0.12	14.4%
二酸化窒素	111	14.9	13.5	63.6	0.67	0.74	0.16	64.9%
アンモニア	110	11.8	11.5	23.5	27.5	28.2	13.8	0.0%
オゾン	111	13.9	11.4	48.4	4.3	5.3	1.2	0.0%

表6-5 健康リスク評価のまとめ

	2021年度夏期					2020年度冬期及び2021年度冬期連結				
	N	MOE			RfC 超過率	N	MOE			RfC 超過率
		平均値	中央値	最大値			平均値	中央値	最大値	
二酸化窒素	111	0.67	0.74	0.16	64.9%	75	0.65	0.82	0.09	61.3%
塩化水素	111	1.2	1.9	0.12	14.4%	75	0.61	0.68	0.18	72.0%
ベンゼン	111	1.1	1.4	0.34	41.4%	130	1.4	2.1	0.07	10.8%
アクロレイン	111	1600.0	1600.0	1600.0	0.0%	130	16.1	1600.0	0.18	1.5%
1,2-ジクロロエタン	111	66.0	1600.0	0.89	0.9%	130	31.5	1600.0	0.68	1.5%
n-デカン	111	1.3	18.0	0.012	0.9%	130	16.7	42.8	0.33	0.8%
トリクロロエチレン	111	138.0	23000.0	7.9	0.0%	130	37.6	23000.0	0.52	0.8%
アセトアルデヒド	111	10.8	15.0	1.9	0.0%	130	11.3	19.0	0.60	0.8%
ホルムアルデヒド	111	7.7	8.7	1.7	0.0%	130	11.9	15.6	0.64	0.8%
トルエン	111	29.9	44.1	2.1	0.0%	130	25.8	56.1	0.65	0.8%
クロトンアルデヒド	111	36.9	6100.0	0.98	0.9%	130	21.6	6100.0	1.02	0.0%
クロロホルム	111	25.1	18000.0	0.44	0.9%	130	36.6	46.5	1.4	0.0%
n-ヘキサン	111	93.6	180.8	2.4	0.0%	130	53.4	104.7	1.8	0.0%
オゾン	111	4.3	5.3	1.2	0.0%	130	8.1	8.5	1.8	0.0%
1,4-ジクロロベンゼン	111	246.5	383.3	15.8	0.0%	130	127.5	443.7	2.1	0.0%
エタノール	111	21.0	42.0	1.3	0.0%	75	7.4	8.5	2.4	0.0%
四塩化炭素	111	320.9	6400.0	2.9	0.0%	130	34.0	6400.0	2.6	0.0%
プロピオンアルデヒド	111	28.7	60000.0	2.6	0.0%	130	22.4	60000.0	2.6	0.0%
酢酸エチル	111	22.1	33.0	2.5	0.0%	130	25.7	40.4	3.6	0.0%
2-エチル-1-ヘキサノール	111	12.6	28.3	1.7	0.0%	130	33.3	67.2	3.7	0.0%
n-ドデカン	111	45.5	69.4	3.2	0.0%	130	29.8	30.2	4.3	0.0%
エチルベンゼン	111	192.4	234.3	35.0	0.0%	130	134.7	339.4	5.3	0.0%
ノナナール	111	192.1	130000.0	3.4	0.0%	130	324.8	130000.0	5.6	0.0%
m,p-キシレン	111	106.8	131.2	16.6	0.0%	130	75.2	158.5	5.7	0.0%
n-トリデカン	111	54.6	133.5	1.8	0.0%	130	52.4	81.2	5.9	0.0%
ヘキサナール	111	499.5	130000.0	8.6	0.0%	130	826.2	130000.0	6.4	0.0%
酢酸	111	6.7	6.7	2.4	0.0%	75	15.3	18.5	6.4	0.0%
1,2-ジクロロプロパン	-	-	-	-	-	55	371.2	25000.0	6.7	0.0%
n-ノナン	111	428.1	246000.0	6.4	0.0%	130	177.3	460.9	7.0	0.0%
n-テトラデカン	111	26.2	38.0	2.2	0.0%	130	24.3	24.9	7.8	0.0%
ギ酸	111	10.5	10.9	4.3	0.0%	75	16.1	18.1	7.8	0.0%
デカナール	111	749.8	130000.0	6.8	0.0%	130	1165.8	130000.0	9.0	0.0%
n-ウンデカン	111	207.5	423.6	7.8	0.0%	130	139.5	229.3	10.5	0.0%
TMPD-DIB	111	26.4	167000.0	1.1	0.0%	75	43.9	68.4	10.9	0.0%
1,2,4-トリメチルベンゼン	111	92.7	198.4	7.1	0.0%	130	88.6	147.7	11.1	0.0%
アンモニア	110	27.5	28.2	13.8	0.0%	74	90.3	99.8	41.8	0.0%
d-リモネン	111	2647.9	4500000.0	47.8	0.0%	130	675.1	2076.0	11.4	0.0%
n-ペンタデカン	111	1695.8	246000.0	68.0	0.0%	130	161.6	586.6	11.9	0.0%
1-ブタノール	-	-	-	-	-	55	195.6	748.4	14.4	0.0%
ベンズアルデヒド	111	90000.0	90000.0	90000.0	0.0%	130	1200.0	90000.0	16.6	0.0%
n-ヘキサデカン	111	578.8	246000.0	54.6	0.0%	130	109.2	195.2	17.0	0.0%
o-キシレン	111	310.8	517.3	36.1	0.0%	130	207.2	390.4	20.9	0.0%
シクロヘキサン	111	1182.7	1536000.0	23.4	0.0%	75	598.9	2064.4	25.1	0.0%
TMPD-MIB	111	183.4	194.1	39.5	0.0%	130	241.9	306.0	25.2	0.0%
酢酸-n-ブチル	111	1145.6	70000.0	58.0	0.0%	130	434.8	557.3	28.1	0.0%
i-ペンタナール	111	130000.0	130000.0	130000.0	0.0%	130	2353.4	130000.0	32.0	0.0%
n-オクタナール	111	243.6	246000.0	27.8	0.0%	130	353.0	479.2	34.0	0.0%
1,2,3-トリメチルベンゼン	111	603.8	110000.0	12.4	0.0%	130	399.3	590.2	35.7	0.0%
1,3,5-トリメチルベンゼン	111	343.6	110000.0	28.9	0.0%	130	352.1	656.4	36.1	0.0%
スチレン	111	81000.0	81000.0	81000.0	0.0%	130	1979.1	81000.0	39.9	0.0%
アセトン	111	1067.5	1362.5	200.4	0.0%	130	971.2	1291.2	92.3	0.0%
メチルイソブチルケトン	111	1762.6	329000.0	204.0	0.0%	130	5305.1	329000.0	103.4	0.0%
テトラクロロエチレン	111	8536.3	250000.0	76.9	0.0%	130	4173.1	250000.0	168.6	0.0%
クロジプロモメタン	111	357000.0	357000.0	357000.0	0.0%	130	30870.3	357000.0	237.5	0.0%
メチルエチルケトン	111	228552.8	8686000.0	3326.8	0.0%	130	8864.9	8686000.0	257.9	0.0%
α-ピネン	111	54947.2	2250000.0	1486.1	0.0%	130	7391.2	14670.8	361.6	0.0%
n-ペンタナール	111	3679.7	130000.0	33.2	0.0%	130	130000.0	130000.0	130000.0	0.0%
ヘプタナール	111	130000.0	130000.0	130000.0	0.0%	130	130000.0	130000.0	130000.0	0.0%
オクタナール	111	130000.0	130000.0	130000.0	0.0%	130	130000.0	130000.0	130000.0	0.0%
2-ノネナール	111	130000.0	130000.0	130000.0	0.0%	130	130000.0	130000.0	130000.0	0.0%
1,1,1-トリクロロエタン	111	1920000.0	1920000.0	1920000.0	0.0%	130	55324816.7	1920000.0	425575.5	0.0%
o-トルアルデヒド	111	-	-	-	0.0%	130	-	-	-	0.0%
p-トルアルデヒド	111	-	-	-	0.0%	130	-	-	-	0.0%
2,5-ジメチルベンズアルデヒド	111	-	-	-	0.0%	130	-	-	-	0.0%
n-ヘプタン	111	-	-	-	0.0%	130	-	-	-	0.0%
2,4-ジメチルペンタン	-	-	-	-	-	55	-	-	-	0.0%
2,2,4-トリメチルペンタン	111	-	-	-	0.0%	130	-	-	-	0.0%
1,2,4,5-テトラメチルベンゼン	111	-	-	-	0.0%	130	-	-	-	0.0%
C4~C11の飽和脂肪族非環式アルデヒド	111	113.5	130000.0	3.4	0.0%	130	179.5	130000.0	3.0	0.0%
C9~C18の脂肪族炭化水素	111	1.1	8.4	0.012	1.8%	130	5.4	6.9	0.3	0.8%
キシレン	111	79.5	108.4	11.7	0.0%	130	55.2	113.5	4.5	0.0%
トリメチルベンゼン	111	65.2	187.2	3.9	0.0%	130	60.1	101.6	6.9	0.0%

参考文献

- ACGIH (2013). TLVs® and BEIs® based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices: Acetic acid. 7th Edition, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati.
- ACGIH (2016) Guide to Occupational Exposure Values, BUTYL ACETATES, ALL ISOMERS. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati.
- Aiso S, Takeuchi T, Arito H, et al. (2005). Carcinogenicity and chronic toxicity in mice and rats exposed by inhalation to para-dichlorobenzene for two years. *J Vet Med Sci* 67(10):1019-1029.
- ATSDR (2006a). Toxicological profile for 1,1,1-trichloroethane. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta.
- ATSDR (2006b) TOXICOLOGICAL PROFILE FOR DICHLOROBENZENES. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta.
- ATSDR (2007). Toxicological profile for xylene. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta.
- Benignus VA, Geller AM, Boyes WK, et al. (2005). Human neurobehavioral effects of long-term exposure to styrene: A meta-analysis. *Environ Health Perspect* 113:532-538.
- Christoph GR, Hansen JF, Leung HW. (2003). Subchronic inhalation neurotoxicity studies of ethyl acetate in rats. *Neurotoxicology*. 24: 861-874.
- DFG (1999). MAK Value Documentation, Ethanol. Vol. 12, 129-165
- DFG (2018). The MAK Collection for Occupational Health and Safety 2018: Ethanol. Vol 3, No 4, 1869-1878
- Dorman DC, Struve MF, Wong BA, Gross EA, Parkinson C, Willson GA, Tan YM, Campbell JL, Teeguarden JG, Clewell HJ 3rd, Andersen ME. (2008a). Derivation of an inhalation reference concentration based upon olfactory neuronal loss in male rats following subchronic acetaldehyde inhalation. *Inhal Toxicol* 20:245-256.
- Dorman DC, Struve MF, Wong BA, Marshall MW, Gross EA, Willson GA (2008b). Respiratory tract responses in male rats following subchronic acrolein inhalation. *Inhalation Toxicology*, 20(3): 205–216.
- Eastman (1992). Propanoic Acid, 2-Methyl-, Monoester with 2,2,4-Trimethyl-1,3-Pentanediol, Synonym: Texanol Ester-Alcohol, Combined Repeated Dose and Reproductive/Developmental Toxicity Study in the rat, Unpublished Eastman Kodak Report TX-92-57.
- ECB (2000). Formic acid. IUCLID Dataset, European Commission, European Chemicals Bureau.
- ECB (2004). Cyclohexane. European Union Risk assessment Report, European Chemicals Bureau, Vol. 41.
- ECHA (2012). Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R8: Characterisation of dose[concentration]-response for human health, Version: 2.1, 2012. Available at: <https://echa.europa.eu/guidance-documents/guidance-on-information-requirements-and-chemical-safety-assessment>. Access at 10 February 2017.
- Falk A, Gullstrand E, Löf A, Wigaeus-Hjelm E. (1990). Liquid/air partition coefficients of four terpenes. *Br J Ind Med*. 47: 62-64.
- Falk-Filipsson A, Löf A, Hagberg M, Hjelm EW, Wang Z. (1993). d-limonene exposure to humans by inhalation: uptake, distribution, elimination, and effects on the pulmonary function. *J Toxicol Environ Health*. 38: 77-88.
- Foo SC, Jeyaratnam J, Koh D. (1990). Chronic neurobehavioural effects of toluene. *Br J Ind Med*. 147: 480-484.
- Foo SC, Ngim CH, Salleh I, Jeyaratnam J, Boey KW. (1993). Neurobehavioral effects in occupational chemical exposure. *Environ Res*. 60: 267-273.
- Gagnaire, F., C. Langlais, S. Grossmann et al. (2007). Ototoxicity in rats exposed to ethylbenzene and to two

- technical xylene vapours for 13 weeks. *Arch. Toxicol.* 81(2):127–143.
- Hansen JF. (1996). 90-day inhalation toxicity study with ethyl acetate in rats. Haskell Laboratory for toxicology and industrial medicine, E.I. du Pont de Nemours and Company. NTIS/OTS0558575.
- Health Canada (2021) Residential Indoor Air Quality Guidelines: Acrolein. Pub. 200446, Health Canada, Ottawa.
- Iregren A, Löf A, Toomingas A, Wang Z. (1993). Irritation effects from experimental exposure to n-butyl acetate. *Am J Ind Med.* 24: 727-742.
- IRK (Innenraumlufthygiene-Kommission) (2012). Richtwerte für Ethylbenzol in der Innenraumluft. *Bundesgesundheitsbl* 55: 1192–1200.
- IRK (Innenraumlufthygiene-Kommission) (2021). Richtwerte für Aceton in der Innenraumluft, Mitteilung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR). *Bundesgesundheitsbl* 64:1184–1192.
- IRK (Innenraumlufthygiene-Kommission) (2009). Richtwerte für gesättigte azyklische aliphatische C4- bis C11-Aldehyde in der Innenraumluft. *Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz.* 52, 650-659.
- JBCR (1995). p-ジクロロベンゼンのラット及びマウスを用いた吸入によるがん原性試験報告書. 試験番号 ラット/0158; マウス/0159, 日本バイオアッセイ研究センター
- Kishi R, Eguchi T, Yuasa J, Katakura Y, Arata Y, Harabuchi I, Kawai T, Masuchi A. (2001). Effects of low-level occupational exposure to styrene on color vision: dose relation with a urinary metabolite. *Environ Res.* 85: 25-30.
- Korsak Z, Rydzyński K. (1996). Neurotoxic effects of acute and subchronic inhalation exposure to trimethylbenzene isomers (pseudocumene, mesitylene, hemimellitene) in rats. *Int J Occup Med Environ Health.* 9: 341-349.
- Korsak Z, Stetkiewicz J, Majcherek W, Stetkiewicz I, Jajte J, Rydzyński K. (2000a). Sub-chronic inhalation toxicity of 1,2,4-trimethylbenzene (pseudocumene) in rats. *Int J Occup Med Environ Health.* 13: 155-164.
- Korsak Z, Stetkiewicz J, Majcherek W, Stetkiewicz I, Jajte J, Rydzyński K. (2000b). Subchronic inhalation toxicity of 1,2,3-trimethylbenzene (hemimellitene) in rats. *Int J Occup Med Environ Health.* 13: 223-232.
- Korsak Z., Wisniewska-Knypl J., Swiercz R. (1994). Toxic effects of subchronic combined exposure to n-butyl alcohol and m-xylene in rats. *Int J Occup Med Environ Health,* 7 155-166, 1994
- MHLW (2000). Committee on sick house syndrome: indoor air pollution, summary on the discussions at the 1st and 3rd meetings, progress report No. 1, 26 June, Ministry of Health, Labour and Welfare, Tokyo
- MHLW (2019). Committee on sick house syndrome: indoor air pollution, summary on the discussions until the 23rd meetings, progress report, 17 January, Ministry of Health, Labour and Welfare, Tokyo
- Miyake M, Ito Y, Sawada M, Sakai K, Suzuki H, Sakamoto T, Sawamoto K, Kamijima M. (2016). Subchronic inhalation exposure to 2-ethyl-1-hexanol impairs the mouse olfactory bulb via injury and subsequent repair of the nasal olfactory epithelium. *Arch Toxicol.* 90: 1949-1958.
- MOE (2002). Environmental risk assessment of chemicals. Vol. 1, Ministry of the Environment, Tokyo. (in Japanese)
- MOE (2003). Environmental risk assessment of chemicals. Vol. 2, Ministry of the Environment, Tokyo. (in Japanese)
- MOE (2004). Environmental risk assessment of chemicals. Vol. 3, Ministry of the Environment, Tokyo. (in Japanese)
- MOE (2005). Environmental risk assessment of chemicals. Vol. 4, Ministry of the Environment, Tokyo. (in Japanese)
- MOE (2006). Future policy for countermeasures against hazardous ambient air pollutants, eighth report: air quality guideline for chloroform, 1,2-dichloroethane and 1,3-butadiene. Ministry of the Environment, Tokyo.

- (in Japanese)
- MOE (2008). Environmental risk assessment of chemicals. Vol. 6, Ministry of the Environment, Tokyo. (in Japanese)
- MOE (2009). Environmental risk assessment of chemicals. Vol. 7, Ministry of the Environment, Tokyo. (in Japanese)
- MOE (2015). Environmental risk assessment of chemicals. Vol. 13, Ministry of the Environment, Tokyo. (in Japanese)
- MOE (2020). Health risk assessment of acetaldehyde. Ministry of the Environment, Tokyo. (in Japanese)
- Ng TP, Foo SC, Yoong T. (1992). Risk of spontaneous abortion in workers exposed to toluene. *Br J Ind Med.* 49: 804-808.
- NTP (1988). Inhalation Developmental Toxicity Studies: Acetone (CAS No. 67-64-1) in Mice and Rats. <https://ntp.niehs.nih.gov/publications/abstracts/dev/ter87036/ter87036.html>
- NTP (2004). Toxicology and carcinogenesis studies of Stoddard Solvent IIC (CAS No. 64742-88-7) in F344/N rats and B6C3F1 mice (inhalation studies). NTP TR 519.
- NTP (2007). Technical Report on the Toxicology and Carcinogenesis Studies of Methyl Isobutyl Ketone (CAS No. 108-10-1) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (inhalations studies). NTP TR 538
- O'Donoghue, J.L. Eastman Kodak Company Reports, TX-84-35 (1984). (unpublished study) cited in OECD SIDS: TEXANOL CASN: 25265-77-4.
- OEHHA (2000). Air toxics hot spots program, risk assessment guidelines part III, Technical support document for the determination of noncancer chronic reference exposure levels. Office of Environmental Health Hazard Assessment, California Environmental Protection Agency, Oakland, CA.
- Stout MD, Herbert RA, Kissling GE, Suarez F, Roycroft JH, Chhabra RS, Bucher JR. (2008). Toxicity and carcinogenicity of methyl isobutyl ketone in F344N rats and B6C3F1 mice following 2-year inhalation exposure. *Toxicology.* 244: 209-219.
- Uchida Y, Nakatsuka H, Ukai H, Watanabe T, Liu YT, Huang MY, Wang YL, Zhu FZ, Yin H, Ikeda M. (1993). Symptoms and signs in workers exposed predominantly to xylenes. *Int Arch Occup Environ Health.* 64: 597-605.
- Union Carbide (1993). Propionaldehyde: combined repeated-exposure and reproductive/developmental toxicity study in rats with cover letter dated 041493. Submitted under TSCA Section 8D; EPA Document No. 86-930000198; NTIS No. OTS0538178.
- Union Carbide Corporation (1979). Unpublished study. Carnegie-Mellon Institute of Research Report 42-50., dated June 11, 1979.
- Union Carbide Corporation (1980). Unpublished study. Butyraldehyde. Twelve-Week Vapor Inhalation Study in Rats Bushy Run Research Center Report 43-61, dated September 17, 1980.
- USEPA (1991a). Dibromochloromethane. Chemical Assessment Summary, Integrated Risk Information System. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- USEPA (1991b). 1,2-Dichloropropane. Chemical Assessment Summary, Integrated Risk Information System. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- USEPA (1995). Hydrogen chloride. Summary information on the integrated risk information system. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- USEPA (2009). Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values for Complex Mixtures of Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- USEPA (2016a). Toxicological Review of Trimethylbenzenes, EPA/635/R-16/161Fa, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

- USEPA (2016b). Toxicological review of ammonia noncancer inhalation executive summary, the integrated risk information system (IRIS). EPA/635/R-16/163Fc, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- USEPA (2008). Toxicological review of propionaldehyde: in support of summary information on the integrated risk information system (IRIS). EPA/635/R-08/003F, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- WHO (1999). Carbon tetrachloride. Environmental Health Criteria 208, World Health Organization, Geneva.
- WHO (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization, Geneva.
- WHO Europe (2000). Air Quality Guidelines for Europe, second Edition. WHO Regional Publications, European Series, No. 91, World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen.
- WHO Europe (2010). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen.
- 厚生省 (1995). 化学物質毒性試験報告 Vol. 2、厚生省生活衛生局企画課生活化学安全対策室監修、化学物質点検推進委員会発行、pp. 229-252.

令和2～3年度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）
分担総合研究報告書

7. 建築・設備及び室内環境管理と室内空气中化学物質濃度の関係

分担分担者 金 勲 国立保健医療科学院 上席主任研究官

研究要旨

本章ではアンケートから得られた建築・設備情報、運用管理、室内環境などとパッシブサンプラーを用いた室内空气中化学物質濃度との有意差検定を行った。

空気質測定は建物としては131施設、サンプラー測定としては235件となる。アンケートの有効回答は計126施設であった。

結果、ホルムアルデヒドは宿泊が事務所や店舗より高く、エチルベンゼンやキシレンも宿泊が高い傾向を示した。建築年数はトルエンやテキサノールにおいては古い建物が高いことがあり、2E1Hは築年数20～30年の建物が40～50年より高かった。

エチルベンゼンとo-キシレン共に併用式が中央式より高く、2E1Hは併用式が中央式及び個別式より高いことが認められた。一方、テキサノールは個別式が中央式より高かった。

喫煙対応においては、ホルムアルデヒド、2E1H及びドデカンともに室内全面禁煙が完全分煙（別室）より高かった。室内環境衛生管理項目6項目中、CO₂濃度測定の実施有無を代表因子として検定した結果、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、2E1H、p-ジクロロベンゼン、ドデカンが実施している施設において濃度が高く、デカンにおいては実施している施設が低い結果となった。

温度及び湿度への苦情に対しては、有り・無し間に有意な濃度差が認められた成分はなかった。臭気への苦情は、ヘキサンにおいて無しが有りより高く、テトラデカンに対しては無しが有りより高かった。

壁材として木質系、ビニルクロス、紙クロスが一部成分に対して有意な濃度差を示した。ビニルクロスと紙クロスは成分濃度の傾向が逆に現れた。塗料やコンクリートむき出しに対して、有意差が認められた成分はなかった。床材としては、木材・フローリングに対してデカン濃度が低い結果となった。カーペットはヘキサンとドデカン濃度が低く、コンクリート床材はデカンが有意に低かった。Pタイルやタイルに対して有意差が認められた成分はなかった。コンクリートOAフロア及びプラスチックOAフロアは2E1Hが高いことが示された。

スプレー式消臭・消毒剤の使用建物はホルムアルデヒド濃度が高く、オゾン発生器はデカンとテキサノール濃度が低かった。芳香剤、次亜塩素酸、空気清浄機は有意差が認められた成分はなかった。においが気になる場所が有り・無しについては、有ると答えた建物ではベンゼン濃度に有意に高いことが示された。

研究協力者

樫田 尚樹（産業医科大学）

東 賢一（近畿大学）

鍵 直樹（東京工業大学）

A. 研究目的

化学物質は人体や人間活動からも発生するが、多くの成分は建築部材や内装材、什器などから発生し、その濃度は室内空調と換気状況に密接に関連する。

そのため、室内空気中の化学物質濃度の測定と調査では、建築物・設備及び室内環境に関する情報が重要である。

本研究では、パッシブサンプラーを用いた化学物質濃度測定を行っている。加えて、建物や施設管理者にアンケートを依頼し、建物と設備概要、室内環境の維持管理状況、空気衛生管理項目の測定と適合如何、禁煙対策、在室者からの苦情やにおいなどについて調査した。

本項では、アンケートから得られた建築・設備情報、運用管理、室内環境などと化学物質濃度との相関を調べ、室内環境のなかで問題になりうる要素を探索する。

B. 研究方法

現場で容易に設置できる空气中化学物質サンプラー用の拡散サンプラーセット 2 本 (VOCs 及びアルデヒド類用) と共にアンケート (建築・設備及び室内環境に関する質問票) を行った。

測定セットは専門の調査会社に調査委託する分と研究者らが手配した特定建築物に直接郵送で送る分、2 通りで行った。

2020 年度は、56 施設に対して冬期の空気質調査とアンケートを実施した。更に、この 56 施設のうち、29 施設に対しては 2021 年度夏期にも 2 回目の測定を実施した。

2021 年度は新たに 75 施設を選定し夏期及び冬期の 2 回の測定を行った。

アンケートでは、建築物の規模や設備の基本情報、温湿度環境、においなどの空気衛生に関する内容について設問した。

具体的な内容としては、

- ・所在地域、建物用途、延床面積、建物フロア数、建築年度、所有者と使用形態、周辺環境の情報、事務所の入居階、喫煙対応、空調・給湯設備
- ・内装材及び備品、改修工事の有無と時期、改修の内容
- ・消臭剤、防虫剤など生活用品の使用
- ・室内環境や衛生環境に関する従業員からの苦情
- ・新型コロナ対策
- ・建築物衛生法の環境衛生管理基準項目の測定実施と適合状況
- ・空調設備の維持管理状況、におう場所、におい強度・快適度・受容度などである。

建築・設備、室内環境を説明変数、成分濃度を目的変数として有意差検定 (Wilcoxon 検定) を行った。統計解析には SAS-JMP11 を用いて、有意水準 5% とした。

結果では、有意差が認められた内容のみ解説対象とする。また、今回の検定では季節特性は考慮せず、建物及び設備、室内環境要因だけを対象とした。

C. 結果

パッシブサンプラーによる空気質調査は、2020 年度冬期 56 件、2021 年夏期 104 件 (2020 年度実施物件 29 件 + 75 件)、2021 年冬期 75 件と建物としては 131 施設、サンプラー測定としては 235 件となる。

サンプラー測定の際にはアンケートも一緒に依頼している。有効回答は 2020 年度 n=51 施設、2021 年度 n=75 施設、計 126 施設であった。

C.1 建物属性と空气中濃度との関係

図 7-1 に建物用途と化学物質濃度の有意差検定結果を、図 7-2 には築年数との関係を示す。

建物用途は「1.事務所、2.店舗、3.宿泊、4.学校、5.興行場、6.集合住宅、7.その他」としている。ホルムアルデヒドに関しては、宿泊が事務所及び店舗より有意に高い。アセトアルデヒドはその他が事務所より、ヘキサンに関しては店舗が事務所より高い結果となった。エチルベンゼンは宿泊が、事務所と店舗より高く、その他よりは低い結果となった。キシレンに関しては宿泊が事務所及び店舗より高かった。デカンは店舗が事務所より有意に高かった。

建築年数は「1 : $y < 10$ 、2 : $10 \leq y < 20$ 、3 : $20 \leq y < 30$ 、4 : $30 \leq y < 40$ 、5 : $40 \leq y < 50$ 、6 : $50 \leq y < 60$ 、7 : $60 \leq y < 70$ 、8 : $70 \leq y < 80$ 、9 : $80 \leq y$ 」と区分し、濃度との相関を調べた。トルエンは $40 \leq y < 50$ が 2 : $10 \leq y < 20$ 及び 3 : $20 \leq y < 30$ より高く、デカンについては 5 : $40 \leq y < 50$ が 1 : $y < 10$ 及び 3 : $20 \leq y < 30$ より高い。2E1H においては、3 : $20 \leq y < 30$ が 5 : $40 \leq y < 50$ より高い。テキサノールは 7 : $60 \leq y < 70$ が 3 : $20 \leq y < 30$ 及び 6 : $50 \leq y < 60$ より有意に高い結果を示した。

C.2 設備

図 7-3 に空調方式と化学物質濃度との解析結果を示す。

空調方式は「1 : 中央式、2 : 個別式、3 : 中央・個別併用、4 : その他」としている。エチルベンゼンと *o*-キシレン共に併用式が中央式より高く、2E1H は併用式が中央式及び個別式より高いことが認められた。一方、テキサノールは個別式が中央式より有意に高い結果となった。

C.3 喫煙対応

図 7-4 に喫煙対応について示した。喫煙に関しては「1 : 禁煙、2 : 完全分煙（別室）、3 : 分煙、4 : 喫煙可能」と聞いている。

ホルムアルデヒド、2E1H 及びドデカンともに禁煙が完全分煙（別室）より高かった。

C.4 室内環境衛生管理項目の測定

図 7-5 に CO₂ 測定実施の有無との関係、図 7-6 にホルムアルデヒド測定実施の有無との解析結果を示す。

ホルムアルデヒドを除く室内環境衛生管理項目 6 項目については定期測定として同時に測定を行うことが基本であるため実施有無の設問に対しては殆ど同じ回答が得られている。

そのため、換気の指標となる CO₂ 濃度測定の実施有無と定期測定項目ではないホルムアルデヒド測定の実施有無と化学物質濃度との有意差検定を行った。

CO₂ 測定実施に対しては、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、2E1H、*p*-ジクロロベンゼン、ドデカンが実施している施設が実施していない施設より物質濃度が高く、デカンにおいては実施している施設が低い結果となった。

ホルムアルデヒドの測定実施は、実施しているところではホルムアルデヒド、ヘキサン、*p*-ジクロロベンゼンが有意に高かった。ホルムアルデヒドの測定実施は、新築、大規模改修など新しい内装になっているため、化学物質濃度が高く出ることと推察される。

C.5 在室者からの苦情

図 7-7 に温度への苦情、図 7-8 に湿度への苦情、図 7-9 に臭気への苦情について示した。

温度及び湿度への苦情においては、あり、無しの中に有意な濃度差が認められた成分はなかった。ただ、あるか無いか「分からない」と回答した施設がホルムアルデヒドやアセトア

ルデヒドなど一部物質が低い結果となっている。臭気への苦情は、ヘキサンに対して無しがありより高く、テトラデカンに対しては無しがありより、またわからないがありより高かった。ホルムアルデヒドに対しては、わからないがあり・無しより低い濃度を示している。

C.6 内装材

図 7-10 に壁材—木質系、図 7-11 には壁材—ビニルクロス、図 7-12 には壁材—紙クロスとの関連性を示した。

壁材として木質系を使っている建物は使っていない建物よりエチルベンゼン、キシレン、p-ジクロロベンゼンが高い濃度を示した。ビニルクロスはヘキサン、エチルベンゼン、キシレンが高く、デカンは低い結果となった。紙クロスはビニルクロスとは逆に、ヘキサン、エチルベンゼン、キシレン、ドデカン共に低い結果となっている。

塗料やコンクリートむき出しに対して、有意差が認められた成分はなかった。

図 7-13 は床材—木材・フローリング、図 7-14 は床材—カーペット、図 7-15 は床材—コンクリートに関する結果である。

床材としては、木材・フローリングに対してデカン濃度が低い結果となった。カーペット使用建物ではヘキサンとドデカン濃度が低くなっていた。床材をコンクリートと答えた施設では、デカンは有意に低かった。P タイルやタイルに対して有意差が認められた成分はなかった。

図 7-16 に床下地—金属製 OA フロア、図 7-17 には床下地—コンクリート OA フロア、図 7-18 には床下地—プラスチック OA フロアについて有意差が認められた成分を示す。

金属製 OA フロアはキシレンとドデカンが低く、コンクリート OA フロアは 2E1H が高い。プラスチック OA フロアはデカン及びテトラ

デカンは低く、2E1H は高いことが示された。

C.7 生活用品及びにおい

図 7-19 にはスプレー式消臭・消毒剤、図 7-20 にはオゾン発生器について示した。

スプレー式消臭・消毒剤の使用はホルムアルデヒド濃度が高く、オゾン発生器はデカンとテキサノール濃度が低い結果となっている。他に、芳香剤、次亜塩素酸、空気清浄機は有意差が認められた成分はなかった。

図 7-21 にはにおいが気になる場所がある・無しについての解析結果を示す。あると答えた建物ではベンゼン濃度に有意に高いことが示された。

D. まとめ

アンケートから得られた建築・設備情報、運用管理、室内環境などとパッシブサンプラーを用いた室内空気中化学物質濃度との有意差検定を行った。

1) ホルムアルデヒドは宿泊が事務所や店舗より高く、エチルベンゼンやキシレンも宿泊が高い傾向を示した。

2) 建築年数はトルエンにおいては 40~50 年の建物が 10~30 年の建物より濃度が高く、2E1H においては $20 \leq y < 30$ が $40 \leq y < 50$ より高く、テキサノールは $60 \leq y < 70$ の古い建物が $3 : 20 \leq y < 30$ 及び $50 \leq y < 60$ より有意に高い結果となった。

3) エチルベンゼンと o-キシレン共に併用式が中央式より高く、2E1H は併用式が中央式及び個別式より高いことが認められた。一方、テキサノールは個別式が中央式より高かった。

4) 喫煙対応においては、ホルムアルデヒド、2E1H 及びドデカンともに室内全面禁煙が完全分煙（別室）より高かった。

5) 室内環境衛生管理項目 6 項目については定期測定として同時に測定を行うことが基本で

あるため CO₂ 濃度測定の実施を代表項目として検定した。トルエン、エチルベンゼン、キシレン、2E1H、p-ジクロロベンゼン、ドデカンが実施している施設が実施していない施設より物質濃度が高く、デカンにおいては実施している施設が低い結果となった。

6) 温度及び湿度への苦情においては、有り・無しの間には有意な濃度差が認められた成分はなかった。有るか無いか「分からない」と回答した施設がホルムアルデヒドやアセトアルデヒドなど一部物質が低い結果となっている。

臭気への苦情は、ヘキサンにおいて無しが有りより高く、テトラデカンに対しては無しが有りより高かった。

7) 壁材として木質系、ビニルクロス、紙クロスが一部成分に対して有意な濃度差を示した。ビニルクロス、紙クロスは成分濃度の傾向が逆に現れた。塗料やコンクリートむき出しに対して、有意差が認められた成分はなかった。

床材としては、木材・フローリングに対してデカン濃度が低い結果となった。カーペットはヘキサンとドデカン濃度が低く、コンクリート床材はデカンが有意に低かった。P タイルやタイルに対して有意差が認められた成分はなかった。コンクリート OA フロア及びプラスチック OA フロアは2E1Hが高いことが示された。

8) スプレー式消臭・消毒剤の使用はホルムアルデヒド濃度が高く、オゾン発生器はデカンとテキサノール濃度が低かった。芳香剤、次亜塩素酸、空気清浄機は有意差が認められた成分はなかった。

9) においが気になる場所が有り・無しについては、有ると答えた建物ではベンゼン濃度に有意に高いことが示された。

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-		
						Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界
3	1	82.5675	41.53844	1.98774	0.0468*	9.7000	0.2000	20.50000
7	1	37.9103	20.60638	1.83973	0.0658	3.5000	-0.3000	6.70000
4	1	17.5875	58.30913	0.30163	0.7629	1.0000	.	.
2	1	9.3469	20.60622	0.45360	0.6501	0.6000	-2.2000	3.60000
3	2	5.1944	2.59272	2.00347	0.0451*	11.1000	.	.
7	2	2.8889	2.51271	1.14971	0.2503	3.2000	-2.2000	7.40000
7	4	1.1111	3.18174	0.34922	0.7269	3.3000	.	.
7	5	0.9167	2.58683	0.35436	0.7231	4.7500	.	.
4	2	0.0000	3.19142	0.00000	1.0000	-1.4000	.	.
5	2	0.0000	2.59272	0.00000	1.0000	-0.2500	.	.
5	4	0.0000	1.22474	0.00000	1.0000	-0.8000	.	.
4	3	-0.7500	1.22474	-0.61237	0.5403	-10.5500	.	.
5	3	-1.5000	1.29099	-1.16190	0.2453	-11.3500	.	.
7	3	-3.3611	2.58683	-1.29932	0.1938	-7.1500	.	.
5	1	-11.6150	41.53838	-0.27962	0.7798	-0.9000	-10.1000	7.80000

ホルムアルデヒド

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-		
						Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界
7	1	42.6128	20.60619	2.06796	0.0386*	3.60000	0.2000	9.80000
4	1	27.1350	58.30888	0.46537	0.6417	1.40000	.	.
3	1	27.0175	41.53812	0.65043	0.5154	1.40000	-10.9000	5.00000
2	1	10.7983	20.60607	0.52404	0.6003	0.60000	-1.8000	2.80000
5	1	7.5750	41.53814	0.18236	0.8553	0.65000	-11.0000	9.60000
7	2	3.5556	2.51401	1.41429	0.1573	2.80000	-1.7000	19.60000
3	2	1.5278	2.58091	0.59195	0.5539	0.85000	.	.
4	2	1.1111	3.17202	0.35028	0.7261	0.70000	.	.
7	3	0.9167	2.59272	0.35355	0.7237	2.40000	.	.
7	5	0.9167	2.59272	0.35355	0.7237	3.25000	.	.
7	4	0.5556	3.18174	0.17461	0.8614	2.40000	.	.
4	3	0.0000	1.22474	0.00000	1.0000	8.882e-16	.	.
5	3	0.0000	1.29099	0.00000	1.0000	0.90000	.	.
5	4	0.0000	1.22474	0.00000	1.0000	0.90000	.	.
5	2	-0.3056	2.58091	-0.11839	0.9058	-0.60000	.	.

アセトアルデヒド

Wilcoxon検定		ペアごとのノンパラメトリックな比較						
q*	Alpha	Hodges-						
1.95996	0.05							
水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界
4	1	90.4500	58.30439	1.55134	0.1208	12.6500	.	.
2	1	59.3328	20.60473	2.87957	0.0040*	3.7000	1.3000	7.300000
3	1	53.5300	41.53502	1.28879	0.1975	2.4000	-7.3000	5.900000
5	1	33.5825	41.53497	0.80854	0.4188	1.1000	-8.8000	4.700000
4	2	3.3333	3.18174	1.04765	0.2948	9.6000	.	.
4	3	0.7500	1.22474	0.61237	0.5403	10.4500	.	.
7	1	-0.1161	20.60471	-0.00564	0.9955	0.0000	-2.6000	2.200000
5	4	-0.7500	1.22474	-0.61237	0.5403	-11.6000	.	.
3	2	-0.9167	2.58683	-0.35436	0.7231	-0.6500	.	.
5	3	-1.5000	1.29099	-1.16190	0.2453	-1.1500	.	.
5	2	-1.5278	2.58683	-0.59060	0.5548	-2.0000	.	.
7	5	-1.5278	2.58683	-0.59060	0.5548	-1.0000	.	.
7	3	-2.1389	2.58683	-0.82684	0.4083	-2.6000	.	.
7	4	-4.4444	3.18174	-1.39686	0.1625	-12.6000	.	.
7	2	-4.5556	2.50881	-1.81582	0.0694	-3.5000	-12.4000	0.300000

図 7-1 建物用途と化学物質濃度

ヘキサン

(1 事務所、2 店舗、3 宿泊、4 学校、5 興行場、6 集合住宅、7 その他)

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-		
						Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界
3	1	98.2225	41.49982	2.36682	0.0179*	7.3000	4.70000	33.30000
2	1	11.3208	20.58802	0.54987	0.5824	0.2000	-0.50000	1.00000
5	1	5.8075	41.49922	0.13994	0.8887	0.1000	-2.50000	1.60000
3	2	5.1944	2.58683	2.00804	0.0446*	18.8000	.	.
7	1	4.9347	20.58719	0.23970	0.8106	0.1000	-0.70000	0.90000
7	4	1.1111	3.19142	0.34816	0.7277	0.5000	.	.
5	2	0.0000	2.57499	0.00000	1.0000	0.0000	.	.
5	4	0.0000	1.22474	0.00000	1.0000	0.5000	.	.
7	5	0.0000	2.59272	0.00000	1.0000	-0.1000	.	.
4	3	-0.7500	1.22474	-0.61237	0.5403	-19.6000	.	.
7	2	-1.0000	2.51401	-0.39777	0.6908	-0.2000	-1.30000	1.30000
4	2	-1.1111	3.18174	-0.34922	0.7269	-0.9000	.	.
5	3	-1.5000	1.29099	-1.16190	0.2453	-19.1000	.	.
7	3	-5.1944	2.59272	-2.00347	0.0451*	-18.0500	.	.
4	1	-19.0950	58.25357	-0.32779	0.7431	-0.3000	.	.

エチルベンゼン

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-		
						Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界
3	1	94.1825	41.50107	2.26940	0.0232*	5.4000	2.80000	22.40000
4	1	44.2200	58.25564	0.75907	0.4478	0.8000	.	.
2	1	23.0481	20.58795	1.11949	0.2629	0.4000	-0.30000	1.10000
3	2	5.1944	2.58683	2.00804	0.0446*	12.3000	.	.
7	1	4.5283	20.58740	0.21996	0.8259	0.1000	-0.70000	0.90000
4	2	2.2222	3.18174	0.69843	0.4849	0.2000	.	.
7	5	1.5278	2.56905	0.59469	0.5521	0.2000	.	.
4	3	-0.7500	1.22474	-0.61237	0.5403	-12.1000	.	.
5	4	-0.7500	1.22474	-0.61237	0.5403	-0.9500	.	.
5	3	-1.5000	1.29099	-1.16190	0.2453	-13.0500	.	.
7	2	-2.2222	2.51011	-0.88531	0.3760	-0.3000	-1.50000	1.00000
7	4	-2.2222	3.15250	-0.70491	0.4809	-0.5000	.	.
5	2	-3.0556	2.58091	-1.18390	0.2365	-0.6000	.	.
7	3	-4.5833	2.56905	-1.78406	0.0744	-8.1500	.	.
5	1	-19.6950	41.50060	-0.47457	0.6351	-0.3000	-3.30000	0.90000

m, p -キシレン

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-		
						Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界
3	1	94.6875	41.32707	2.29117	0.0220*	2.40000	1.30000	5.600000
5	1	30.8050	41.32419	0.74545	0.4560	0.20000	-0.90000	0.600000
4	1	25.1250	58.00660	0.43314	0.6649	0.20000	.	.
2	1	23.3383	20.50448	1.13821	0.2550	0.20000	-0.10000	0.400000
7	1	10.2758	20.49834	0.50130	0.6162	0.10000	-0.20000	0.400000
3	2	5.1944	2.58683	2.00804	0.0446*	3.40000	.	.
4	2	0.0000	3.15250	0.00000	1.0000	0.00000	.	.
5	2	0.0000	2.58091	0.00000	1.0000	-0.05000	.	.
5	4	0.0000	1.22474	0.00000	1.0000	0.05000	.	.
4	3	-0.7500	1.22474	-0.61237	0.5403	-3.50000	.	.
7	2	-1.2222	2.50359	-0.48819	0.6254	-0.10000	-0.60000	0.500000
5	3	-1.5000	1.29099	-1.16190	0.2453	-3.45000	.	.
7	5	-1.5278	2.56309	-0.59607	0.5511	-0.15000	.	.
7	4	-1.6667	3.16228	-0.52705	0.5982	-0.10000	.	.
7	3	-4.5833	2.58091	-1.77586	0.0758	-2.25000	.	.

o-キシレン

図 7-1 (続き 1) 建物用途と化学物質濃度

(1 事務所、2 店舗、3 宿泊、4 学校、5 興行場、6 集合住宅、7 その他)

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann		
						下側信頼限界	上側信頼限界	
7	1	13.2947	20.60691	0.64516	0.5188	1.90000	-4.90000	13.300
7	4	4.4444	3.19142	1.39262	0.1637	9.10000	.	.
7	2	4.1111	2.51531	1.63443	0.1022	7.50000	-1.40000	731.600
7	3	3.3611	2.59272	1.29636	0.1949	8.30000	.	.
7	5	2.1389	2.59272	0.82496	0.4094	6.40000	.	.
5	4	0.7500	1.22474	0.61237	0.5403	4.35000	.	.
5	3	0.5000	1.29099	0.38730	0.6985	2.00000	.	.
4	3	0.0000	1.22474	0.00000	1.0000	-2.35000	.	.
5	2	0.0000	2.58683	0.00000	1.0000	0.50000	.	.
3	2	-0.3056	2.59272	-0.11785	0.9062	-1.40000	.	.
4	2	-2.2222	3.19142	-0.69631	0.4862	-3.00000	.	.
5	1	-41.6625	41.53957	-1.00296	0.3159	-4.90000	-19.50000	5.200
2	1	-48.7086	20.60682	-2.36371	0.0181*	-5.45000	-10.30000	-0.800
3	1	-64.3875	41.53954	-1.55003	0.1211	-6.85000	-21.60000	3.100
4	1	-83.9175	58.31075	-1.43914	0.1501	-8.75000	.	.

エチルベンゼン

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann		
						下側信頼限界	上側信頼限界	
2	1	51.4372	19.84833	2.59151	0.0096*	2.20000	0.30000	2.800000
4	1	48.7425	55.97702	0.87076	0.3839	1.25000	.	.
3	1	8.3325	39.84332	0.20913	0.8343	0.00000	-4.80000	4.300000
7	1	6.8506	19.82165	0.34561	0.7296	0.00000	-0.90000	1.200000
7	5	1.8333	2.56309	0.71528	0.4744	0.60000	.	.
4	3	0.0000	1.22474	0.00000	1.0000	0.25000	.	.
5	3	0.0000	1.22474	0.00000	1.0000	-1.45000	.	.
7	3	0.0000	2.56905	0.00000	1.0000	0.00000	.	.
4	2	-0.5556	3.18174	-0.17461	0.8614	-0.40000	.	.
3	2	-0.6111	2.58683	-0.23624	0.8132	-2.25000	.	.
5	4	-0.7500	1.22474	-0.61237	0.5403	-1.70000	.	.
7	4	-2.2222	3.18174	-0.69843	0.4849	-1.00000	.	.
5	2	-4.2778	2.58683	-1.65368	0.0982	-2.25000	.	.
7	2	-5.1111	2.51141	-2.03515	0.0418*	-1.60000	-4.30000	0.000000
5	1	-23.9875	39.84327	-0.60205	0.5471	-0.15000	-5.20000	1.400000

m, p -キシレン

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann		
						下側信頼限界	上側信頼限界	
4	1	99.9975	57.69337	1.73326	0.0830	103.000	.	.
3	1	80.0425	41.10625	1.94721	0.0515	1.350	-0.10000	2.000000
7	1	43.1933	20.41024	2.11626	0.0343*	0.500	0.00000	2.000000
2	1	24.9058	20.39137	1.22139	0.2219	0.300	-0.20000	0.900000
5	1	23.2300	41.10497	0.56514	0.5720	0.200	-1.30000	2.100000
3	2	4.5833	2.56309	1.78820	0.0737	0.800	.	.
4	2	4.4444	3.17202	1.40114	0.1612	102.500	.	.
7	2	1.5556	2.50881	0.62004	0.5352	0.300	-0.70000	3.400000
7	5	1.5278	2.58683	0.59060	0.5548	0.350	.	.
5	2	0.9167	2.58091	0.35517	0.7225	0.300	.	.
4	3	0.7500	1.22474	0.61237	0.5403	101.650	.	.
5	3	0.0000	1.29099	0.00000	1.0000	-0.700	.	.
5	4	-0.7500	1.22474	-0.61237	0.5403	-102.350	.	.
7	3	-1.5278	2.58683	-0.59060	0.5548	-0.750	.	.
7	4	-4.4444	3.18174	-1.39686	0.1625	-102.300	.	.

p-ジクロロベンゼン

図 7-1 (続き 2) 建物用途と化学物質濃度

(1 事務所、2 店舗、3 宿泊、4 学校、5 興行場、6 集合住宅、7 その他)

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Hodges-		Lehmann		
				Z	p値	下側信頼限界	上側信頼限界	
7	3	18.2609	10.10582	1.80697	0.0708	3.55000	-1.300	7.400000
7	4	15.7759	12.55584	1.25646	0.2090	3.20000	-7.600	7.500000
5	2	11.0625	4.48723	2.46533	0.0137*	2.10000	0.400	4.400000
5	3	10.6508	5.21503	2.04233	0.0411*	1.50000	0.100	3.400000
7	2	10.4722	6.23750	1.67891	0.0932	4.50000	-3.000	8.100000
5	1	8.2143	4.29842	1.91100	0.0560	2.20000	0.000	4.900000
4	2	8.1960	5.74881	1.42569	0.1540	1.00000	-0.400	2.600000
5	4	7.8798	5.75174	1.36999	0.1707	1.20000	-0.500	3.000000
4	1	6.7389	6.23042	1.08162	0.2794	0.90000	-1.100	3.000000
7	1	5.4286	3.59099	1.51172	0.1306	3.70000	-2.500	9.500000
7	5	5.3125	7.25493	0.73226	0.4640	2.25000	-50.900	7.000000
7	6	5.2778	4.40959	1.19689	0.2314	3.30000	-117.800	8.900000
3	2	4.7021	5.14158	0.91452	0.3604	0.60000	-0.700	2.000000
6	2	4.5370	3.99600	1.13539	0.2562	1.30000	-0.800	3.400000
4	3	4.0540	5.95449	0.68083	0.4960	0.40000	-0.800	1.800000
3	1	3.3075	5.32801	0.62077	0.5348	0.40000	-1.400	2.300000
6	1	2.4762	3.34100	0.74115	0.4586	1.10000	-1.300	4.000000
6	3	2.4348	5.17430	0.47055	0.6380	0.60000	-1.300	2.600000
6	4	0.3640	5.95677	0.06110	0.9513	0.10000	-1.900	2.200000
9	1	0.0000	4.61668	0.00000	1.0000	-0.15000	.	.
9	2	0.0000	8.37348	0.00000	1.0000	0.30000	.	.
2	1	-0.3796	3.94282	-0.09628	0.9233	-0.10000	-2.400	1.800000
9	7	-0.7500	1.22474	-0.61237	0.5403	-4.25000	.	.
9	6	-1.5833	5.78152	-0.27386	0.7842	-1.35000	.	.
9	3	-3.5761	13.85033	-0.25820	0.7963	-0.60000	.	.
6	5	-3.9063	4.29377	-0.90975	0.3630	-1.05000	-3.500	1.500000
9	4	-4.5776	17.31414	-0.26438	0.7915	-0.80000	.	.
9	5	-4.6406	9.81536	-0.47279	0.6364	-2.20000	.	.

トルエン

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Hodges-		Lehmann		
				Z	p値	下側信頼限界	上側信頼限界	
5	3	11.5516	5.21605	2.21463	0.0268*	4.35000	0.600	8.300000
5	1	9.2924	4.30081	2.16062	0.0307*	5.65000	0.500	11.200000
5	4	8.3890	5.75248	1.45833	0.1447	2.80000	-1.100	6.900000
4	1	7.6256	6.23092	1.22384	0.2210	2.35000	-1.400	6.500000
6	3	6.7633	5.17596	1.30667	0.1913	3.80000	-1.700	8.800000
4	3	6.1199	5.95556	1.02760	0.3041	1.20000	-1.300	4.200000
6	1	4.6984	3.34100	1.40629	0.1596	4.80000	-1.700	12.200000
6	4	4.5134	5.95775	0.75757	0.4487	1.85000	-3.100	7.100000
5	2	4.0972	4.48789	0.91295	0.3613	2.25000	-3.300	7.300000
2	1	3.0370	3.94454	0.76993	0.4413	1.80000	-3.300	11.600000
3	1	2.9814	5.33001	0.55935	0.5759	0.60000	-2.100	4.700000
6	2	2.1296	3.99600	0.53294	0.5941	1.05000	-6.200	7.100000
4	2	0.0000	5.74985	0.00000	1.0000	0.00000	-5.300	4.400000
7	1	0.0000	3.59629	0.00000	1.0000	0.30000	-18.300	16.700000
9	7	0.0000	1.06066	0.00000	1.0000	-7.80000	.	.
7	3	-0.7826	10.11186	-0.07740	0.9383	-0.35000	-15.500	15.100000
6	5	-1.6059	4.29439	-0.37395	0.7084	-0.85000	-6.200	4.800000
3	2	-2.2335	5.14356	-0.43423	0.6641	-0.90000	-6.900	3.000000
7	4	-2.3276	12.55898	-0.18533	0.8530	-1.40000	-19.800	14.800000
7	6	-2.7778	4.40627	-0.63041	0.5284	-4.15000	-26.700	15.600000
7	2	-2.9537	6.23827	-0.47348	0.6359	-1.75000	-740.000	15.700000
7	5	-4.2500	7.25715	-0.58563	0.5581	-4.50000	-24.800	13.700000
9	1	-5.8929	4.62497	-1.27414	0.2026	-6.75000	.	.
9	6	-8.4444	5.77644	-1.46188	0.1438	-12.45000	.	.
9	2	-10.3704	8.37463	-1.23831	0.2156	-6.90000	.	.
9	5	-13.9219	9.81864	-1.41790	0.1562	-11.75000	.	.
9	3	-18.9022	13.85874	-1.36392	0.1726	-7.30000	.	.
9	4	-22.8879	17.32122	-1.32138	0.1864	-8.25000	.	.

デカン

図 7-2 築年数と化学物質濃度

(1 : $y < 10$ 、 2 : $10 \leq y < 20$ 、 3 : $20 \leq y < 30$ 、 4 : $30 \leq y < 40$ 、 5 : $40 \leq y < 50$

6 : $50 \leq y < 60$ 、 7 : $60 \leq y < 70$ 、 8 : $70 \leq y < 80$ 、 9 : $80 \leq y$)

水準 - 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-		
					Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界
9 4	23.9052	16.65033	1.43572	0.1511	3.75000	.	.
9 3	10.7283	13.62844	0.78720	0.4312	2.55000	.	.
9 5	9.7969	9.23949	1.06033	0.2890	4.25000	.	.
9 6	6.8611	5.63252	1.21812	0.2232	3.70000	.	.
9 2	6.2222	8.12083	0.76621	0.4436	3.30000	.	.
9 1	3.7500	4.58758	0.81742	0.4137	2.70000	.	.
3 2	3.3209	5.02592	0.66075	0.5088	0.00000	-0.5000	1.700000
6 5	3.2118	4.07934	0.78734	0.4311	0.00000	-0.2000	1.100000
6 4	1.2375	5.73072	0.21595	0.8290	0.00000	-0.7000	0.700000
9 7	0.7500	1.22474	0.61237	0.5403	3.55000	.	.
3 1	0.5590	5.24369	0.10661	0.9151	0.00000	-1.6000	1.700000
7 5	0.2656	6.78718	0.03914	0.9688	0.00000	-8.2000	1.900000
6 2	-1.2963	3.86659	-0.33526	0.7374	0.00000	-1.8000	0.700000
7 6	-1.6667	4.26464	-0.39081	0.6959	-0.05000	-16.9000	1.900000
2 1	-1.8439	3.84762	-0.47923	0.6318	0.00000	-2.0000	1.300000
6 1	-2.1587	3.27382	-0.65939	0.5096	-0.35000	-2.2000	0.700000
7 1	-2.5714	3.54562	-0.72524	0.4683	-0.70000	-19.9000	1.900000
7 2	-2.6852	6.01602	-0.44634	0.6554	-0.25000	-9.2000	1.900000
5 4	-3.9763	5.47353	-0.72646	0.4676	0.00000	-0.7000	0.000000
4 2	-4.4237	5.52724	-0.80034	0.4235	0.00000	-1.3000	0.000000
7 4	-4.6552	12.03735	-0.38673	0.6990	0.00000	-5.3000	1.900000
5 2	-5.0532	4.26735	-1.18416	0.2363	0.00000	-1.8000	0.000000
6 3	-5.3720	5.06914	-1.05974	0.2893	-0.30000	-2.2000	0.100000
4 1	-6.3842	6.02441	-1.05973	0.2893	-0.60000	-2.0000	0.200000
5 1	-6.4688	4.11952	-1.57027	0.1164	-0.75000	-2.2000	0.000000
7 3	-7.8261	9.92068	-0.78887	0.4302	-0.80000	-13.5000	1.900000
4 3	-10.5052	5.78324	-1.81650	0.0693	-0.60000	-1.7000	0.000000
5 3	-10.6773	5.04912	-2.11469	0.0345*	-0.80000	-2.2000	0.000000

2E1H

水準 - 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-		
					Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界
7 4	20.9483	12.54868	1.66936	0.0950	2.95000	-1.70000	5.900000
7 3	20.8696	10.08328	2.06972	0.0385*	3.25000	0.10000	6.200000
7 5	13.0156	7.22547	1.80135	0.0716	3.60000	-1.00000	7.100000
7 2	12.0833	6.19430	1.95072	0.0511	4.20000	-0.50000	7.100000
4 2	11.0999	5.73924	1.93404	0.0531	0.80000	0.00000	1.600000
4 3	10.7781	5.94933	1.81165	0.0700	0.50000	0.00000	1.100000
7 6	9.1667	4.39963	2.08351	0.0372*	3.90000	-1.60000	7.100000
9 3	7.6630	13.81621	0.55464	0.5791	0.50000	.	.
7 1	6.0000	3.59365	1.66961	0.0950	3.15000	-9.10000	7.100000
5 3	4.1596	5.20277	0.79951	0.4240	0.30000	-0.60000	1.000000
5 2	4.0289	4.45722	0.90391	0.3660	0.40000	-0.50000	1.500000
3 2	3.4090	5.12707	0.66491	0.5061	0.20000	-0.50000	1.000000
9 2	2.5926	8.30786	0.31206	0.7550	0.50000	.	.
4 1	2.3941	6.22651	0.38450	0.7006	0.10000	-0.70000	1.200000
6 3	2.0483	5.16522	0.39656	0.6917	0.20000	-0.80000	1.000000
6 2	2.0370	3.97303	0.51272	0.6081	0.30000	-0.90000	1.300000
9 1	0.5357	4.60839	0.11625	0.9075	0.10000	.	.
5 1	0.0513	4.28859	0.01197	0.9904	0.00000	-1.40000	1.100000
9 6	0.0000	5.76628	0.00000	1.0000	-0.10000	.	.
9 7	-0.7500	1.22474	-0.61237	0.5403	-3.60000	.	.
6 1	-0.8889	3.33794	-0.26630	0.7900	-0.10000	-1.60000	0.800000
6 5	-1.2153	4.27578	-0.28422	0.7762	0.00000	-1.40000	0.800000
9 4	-1.5259	17.30679	-0.08817	0.9297	-0.20000	.	.
9 5	-1.5469	9.77094	-0.15831	0.8742	-0.15000	.	.
2 1	-4.1759	3.92783	-1.06316	0.2877	-0.50000	-1.80000	0.500000
5 4	-4.4127	5.74428	-0.76819	0.4424	-0.30000	-1.30000	0.600000
3 1	-5.4969	5.31845	-1.03355	0.3013	-0.30000	-1.00000	0.300000
6 4	-5.8602	5.95180	-0.98460	0.3248	-0.40000	-1.50000	0.400000

テキサノール

図 7-2 (続き) 築年数と化学物質濃度

(1 : $y < 10$ 、 2 : $10 \leq y < 20$ 、 3 : $20 \leq y < 30$ 、 4 : $30 \leq y < 40$ 、 5 : $40 \leq y < 50$
 6 : $50 \leq y < 60$ 、 7 : $60 \leq y < 70$ 、 8 : $70 \leq y < 80$ 、 9 : $80 \leq y$)

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann			エチルベンゼン
						下側信頼限界	上側信頼限界		
3	1	12.7628	6.00302	2.12606	0.0335*	0.500000	0.00000	0.900000	
3	2	11.6347	7.54243	1.54257	0.1229	0.300000	-0.10000	0.800000	
不明	1	7.2222	13.55921	0.53264	0.5943	0.300000	-1.80000	1.700000	
不明	2	6.6327	20.70614	0.32032	0.7487	0.250000	-3.50000	1.600000	
2	1	6.4671	7.52110	0.85986	0.3899	0.200000	-0.20000	0.500000	
不明	4	1.6071	2.14954	0.74767	0.4547	0.900000	.	.	
不明	3	-0.2635	8.26597	-0.03188	0.9746	0.000000	-4.00000	1.400000	
4	1	-5.2381	8.09323	-0.64722	0.5175	-0.400000	-1.20000	0.500000	
4	3	-8.5792	5.28901	-1.62207	0.1048	-0.800000	-1.80000	0.200000	
4	2	-13.0867	11.90351	-1.09940	0.2716	-0.500000	-1.40000	0.400000	

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann			o-キシレン
						下側信頼限界	上側信頼限界		
不明	2	16.0714	20.62190	0.77934	0.4358	0.200000	-1.20000	0.6000000	
3	1	15.9803	5.98247	2.67118	0.0076*	0.200000	0.10000	0.4000000	
3	2	13.7941	7.51819	1.83477	0.0665	0.200000	0.00000	0.3000000	
不明	1	12.6389	13.49456	0.93659	0.3490	0.300000	-0.50000	0.7000000	
2	1	9.7920	7.48782	1.30772	0.1910	0.100000	0.00000	0.2000000	
不明	4	2.8929	2.17740	1.32858	0.1840	0.300000	.	.	
不明	3	-0.5270	8.24581	-0.06391	0.9490	0.000000	-3.80000	0.6000000	
4	1	-5.3175	8.05084	-0.66049	0.5089	-0.100000	-0.40000	0.2000000	
4	3	-9.1737	5.27611	-1.73873	0.0821	-0.300000	-0.70000	0.1000000	
4	2	-12.4745	11.85314	-1.05242	0.2926	-0.200000	-0.50000	0.1000000	

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann			2E1H
						下側信頼限界	上側信頼限界		
不明	2	30.1020	19.93903	1.50970	0.1311	3.40000	-6.10000	4.800000	
不明	1	21.9246	13.13727	1.66889	0.0951	3.35000	-4.60000	4.800000	
3	2	14.4643	7.34057	1.97046	0.0488*	0.80000	0.00000	1.800000	
3	1	11.7546	5.87816	1.99971	0.0455*	0.80000	0.00000	1.800000	
不明	3	8.9595	8.22476	1.08933	0.2760	1.90000	-8.80000	4.800000	
不明	4	2.8929	2.15887	1.33999	0.1802	3.15000	.	.	
2	1	1.0040	7.23880	0.13869	0.8897	0.00000	0.00000	0.200000	
4	1	-1.0317	7.81383	-0.13204	0.8950	0.00000	-1.50000	1.600000	
4	2	-1.8367	11.43571	-0.16061	0.8724	0.00000	-1.90000	1.600000	
4	3	-6.7104	5.23966	-1.28070	0.2003	-0.80000	-3.10000	0.500000	

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann			テトラデカン
						下側信頼限界	上側信頼限界		
4	2	22.0408	11.91364	1.85005	0.0643	5.20000	-0.3000	10.20000	
4	1	18.2540	8.10722	2.25157	0.0243*	6.10000	1.0000	11.80000	
4	3	10.9575	5.29367	2.06993	0.0385*	6.60000	0.2000	13.40000	
2	1	7.3668	7.52811	0.97857	0.3278	1.00000	-0.9000	2.90000	
3	1	-1.9091	6.00825	-0.31774	0.7507	-0.40000	-2.8000	1.90000	
不明	4	-3.5357	2.19578	-1.61024	0.1073	-9.35000	.	.	
不明	3	-4.4797	8.27603	-0.54129	0.5883	-1.75000	-15.6000	6.40000	
3	2	-9.0285	7.54682	-1.19634	0.2316	-1.20000	-3.7000	0.80000	
不明	1	-9.2857	13.57837	-0.68386	0.4941	-2.60000	-12.5000	6.40000	
不明	2	-20.6633	20.72007	-0.99726	0.3186	-4.05000	-14.5000	5.30000	

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann			テキサノール
						下側信頼限界	上側信頼限界		
2	1	17.2109	7.51803	2.28928	0.0221*	0.60000	0.00000	1.100000	
不明	1	11.6071	13.53809	0.85737	0.3912	1.50000	-2.80000	6.600000	
3	1	11.2184	5.99468	1.87139	0.0613	0.60000	0.00000	1.200000	
不明	2	10.7143	20.70334	0.51751	0.6048	0.85000	-4.00000	5.500000	
不明	3	4.4797	8.26471	0.54203	0.5878	1.45000	-3.70000	6.600000	
不明	4	2.2500	2.18661	1.02899	0.3035	2.50000	.	.	
3	2	0.0186	7.53997	0.00247	0.9980	0.00000	-0.70000	0.700000	
4	1	-6.5873	8.07872	-0.81539	0.4148	-0.40000	-1.60000	0.900000	
4	3	-8.0695	5.28078	-1.52809	0.1265	-1.10000	-2.50000	0.400000	
4	2	-19.8980	11.90144	-1.67190	0.0945	-1.05000	-2.30000	0.200000	

図 7-3 空調方式

(1 : 中央式、2 : 個別式、3 : 中央・個別併用、4 : その他)

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	
ホルムアルデヒド									
4	1	31.1751	50.51132	0.61719	0.5371	1.50000	.	.	
4	2	15.3659	11.19656	1.37237	0.1699	2.80000	.	.	
4	3	1.8750	1.58114	1.18585	0.2357	2.80000	.	.	
3	2	-3.9787	6.09088	-0.65322	0.5136	0.00000	-2.30000	0	
2	1	-30.2953	10.57845	-2.86387	0.0042*	-0.60000	-1.30000	0	
3	1	-39.1144	25.83947	-1.51375	0.1301	-0.80000	-4.20000	0	
2E1H									
4	1	31.1751	50.51132	0.61719	0.5371	1.50000	.	.	
4	2	15.3659	11.19656	1.37237	0.1699	2.80000	.	.	
4	3	1.8750	1.58114	1.18585	0.2357	2.80000	.	.	
3	2	-3.9787	6.09088	-0.65322	0.5136	0.00000	-2.30000	0	
2	1	-30.2953	10.57845	-2.86387	0.0042*	-0.60000	-1.30000	0	
3	1	-39.1144	25.83947	-1.51375	0.1301	-0.80000	-4.20000	0	
ドデカン									
4	1	68.3842	51.65230	1.32393	0.1855	7.3000	.	.	
4	2	16.3902	12.37069	1.32493	0.1852	9.3000	.	.	
4	3	0.6250	1.76777	0.35355	0.7237	10.0000	.	.	
3	2	-0.6860	6.85055	-0.10013	0.9202	0.0000	-7.20000	5.500000	
3	1	-19.8129	26.47926	-0.74824	0.4543	-2.0000	-7.90000	4.600000	
2	1	-21.7940	10.92442	-1.99498	0.0460*	-1.6000	-3.40000	0.000000	

図 7-4 禁煙対応

(1 : 禁煙、2 : 完全分煙 (別室)、3 : 分煙、4 : 喫煙可能)

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	
トルエン									
1	0	19.15300	8.047858	2.379888	0.0173*	1.200000	0.2000000	2.200000	
エチルベンゼン									
1	0	24.71765	8.041523	3.073752	0.0021*	0.5000000	0.2000000	0.8000000	
m, p-キシレン									
1	0	20.04334	8.041946	2.492350	0.0127*	0.4000000	0.1000000	0.8000000	
o-キシレン									
1	0	21.59084	8.010530	2.695308	0.0070*	0.2000000	0	0.3000000	
ドデカン									
1	0	-16.4714	8.048450	-2.04653	0.0407*	-1.90000	-4.30000	-0.100000	
2E1H									
1	0	27.46287	7.847642	3.499507	0.0005*	0.9000000	0.1000000	1.700000	
p-ジクロロベンゼン									
1	0	26.61493	7.974591	3.337466	0.0008*	0.3000000	0.1000000	0.5000000	
ドデカン									
1	0	16.37597	8.044363	2.035708	0.0418*	1.300000	0	2.800000	

図 7-5 CO₂ 測定実施の有無と化学物質濃度

(0 : 無し、1 : あり)

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	ホルムアルデヒド
1	0	27.93850	13.68992	2.040809	0.0413*	3.000000	0.1000000	6.100000	

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	ヘキサン
1	0	29.16522	13.68924	2.130522	0.0331*	2.300000	0.2000000	4.600000	

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	D-ジクロロベンゼン
1	0	33.73475	13.56474	2.486943	0.0129*	0.5000000	0.1000000	0.9000000	

図 7-6 ホルムアルデヒド測定実施の有無と化学物質濃度
(0 : 無し、1 : あり)

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	ホルムアルデヒド
2	1	9.2372	10.43887	0.88489	0.3762	0.60000	-0.80000	2.30000	
3	1	-14.9810	5.33153	-2.80988	0.0050*	-3.10000	-5.60000	-1.10000	
3	2	-51.3512	16.68035	-3.07855	0.0021*	-3.70000	-6.60000	-1.30000	

図 7-7 温度への苦情
(1 : あり、2 : 無し、3 : わからない)

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	ホルムアルデヒド
2	1	-9.9155	13.26292	-0.74761	0.4547	-0.80000	-2.90000	1.20000	
3	1	-12.0369	3.64936	-3.29837	0.0010*	-4.10000	-6.70000	-1.70000	
3	2	-48.8759	14.86900	-3.28710	0.0010*	-3.30000	-5.40000	-1.40000	

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	アセトアルデヒド
2	1	-5.0979	13.26280	-0.38438	0.7007	-0.30000	-2.00000	1.40000	
3	1	-8.7983	3.65036	-2.41026	0.0159*	-2.00000	-4.00000	-0.40000	
3	2	-33.3662	14.86885	-2.24403	0.0248*	-1.80000	-3.70000	-0.20000	

図 7-8 湿度への苦情
(1 : あり、2 : 無し、3 : わからない)

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	ホルムアルデヒド
2	1	20.7326	19.78031	1.04814	0.2946	1.50000	-1.20000	4.60000	
3	1	-5.2875	2.53098	-2.08911	0.0367*	-2.00000	-6.70000	-0.10000	
3	2	-69.2767	21.80186	-3.17756	0.0015*	-4.10000	-6.90000	-1.60000	

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	ヘキサン
2	1	55.7943	19.77880	2.82091	0.0048*	2.30000	0.60000	4.200000	
3	1	1.0125	2.52444	0.40108	0.6884	0.65000	-1.50000	2.900000	
3	2	-34.7034	21.80045	-1.59186	0.1114	-1.80000	-4.10000	0.400000	

水準	- 水準	スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	テトラデカン
2	1	43.66965	19.78062	2.207699	0.0273*	3.850000	0.40000	7.70000	
3	2	22.09577	21.80219	1.013466	0.3108	2.700000	-2.40000	7.20000	
3	1	6.18750	2.53229	2.443439	0.0145*	7.300000	1.10000	12.00000	

図 7-9 臭気への苦情
(1 : あり、2 : 無し、3 : わからない)

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	エチルベンゼン
1	0	57.57367	19.05067	3.022133	0.0025*	1.700000	0.7000000	2.700000	

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	m,p キシレン
1	0	63.05133	19.04996	3.309787	0.0009*	1.600000	0.8000000	2.500000	

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	o キシレン
1	0	58.33122	18.96817	3.075216	0.0021*	0.7000000	0.3000000	1.000000	

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	p-ジクロロベンゼン
1	0	43.99607	18.86663	2.331952	0.0197*	0.8000000	0.1000000	1.900000	

図 7-10 壁材—木質系
(0 : 無し、1 : あり)

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	ヘキサン
1	0	25.58937	9.175878	2.788765	0.0053*	1.700000	0.5000000	3.200000	

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	エチルベンゼン
1	0	24.18573	9.168272	2.637982	0.0083*	0.5000000	0.1000000	0.9000000	

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	m, p キシレン
1	0	30.92049	9.167931	3.372679	0.0007*	0.7000000	0.3000000	1.000000	

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	o キシレン
1	0	26.11573	9.128566	2.860880	0.0042*	0.2000000	0.1000000	0.4000000	

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	デカン
1	0	-24.9010	9.176897	-2.71345	0.0067*	-3.40000	-5.90000	-0.9000000	

図 7-11 壁材—ビニルクロス
(0 : 無し、1 : あり)

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	ヘキサン
1	0	-21.2139	9.828493	-2.15841	0.0309*	-1.10000	-2.40000	-0.100000	

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	エチルベンゼン
1	0	-25.2399	9.820346	-2.57016	0.0102*	-0.500000	-0.800000	-0.100000	

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	m, p キシレン
1	0	-28.8943	9.819980	-2.94239	0.0033*	-0.500000	-0.900000	-0.200000	

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	o キシレン
1	0	-22.2823	9.777816	-2.27887	0.0227*	-0.200000	-0.300000	0	

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	ドデカン
1	0	-26.3858	9.820091	-2.68692	0.0072*	-2.00000	-3.70000	-0.500000	

図 7-12 壁材—紙クロス
(0 : 無し、1 : あり)

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	デカン
1	0	-35.6997	18.13942	-1.96807	0.0491*	-4.10000	-9.10000	0	

図 7-13 床材—木材・フローリング
(0 : 無し、1 : あり)

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	ヘキサシ
1	0	-34.9185	13.19054	-2.64724	0.0081*	-2.40000	-4.90000	-0.600000	

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	ドデカン
1	0	-44.3454	13.17927	-3.36478	0.0008*	-4.70000	-7.10000	-2.00000	

図 7-14 床材—カーペット
(0 : 無し、1 : あり)

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	デカン
1	0	-22.3513	8.647628	-2.58467	0.0097*	-3.10000	-5.50000	-0.700000	

図 7-15 床下地—コンクリート
(0 : 無し、1 : あり)

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	m, p キシレン
1	0	-21.2706	9.499204	-2.23920	0.0251*	-0.400000	-0.800000	0	

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	ドデカン
1	0	-18.7929	9.499311	-1.97834	0.0479*	-1.50000	-3.10000	0	

図 7-16 床下地—金属製 OA フロア
(0 : 無し、1 : あり)

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	2E1H
1	0	32.28563	11.68945	2.761947	0.0057*	1.200000	0	2.800000	

図 7-17 床下地—コンクリート OA フロア
(0 : 無し、1 : あり)

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	デカン
1	0	-36.2543	12.91145	-2.80792	0.0050*	-4.65000	-8.00000	-1.30000	

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	2E1H
1	0	30.80413	12.38708	2.486794	0.0129*	1.400000	0	2.400000	

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	テトラデカン
1	0	-40.0748	12.91127	-3.10386	0.0019*	-4.00000	-7.00000	-1.40000	

図 7-18 床下地—プラスチック OA フロア
(0 : 無し、1 : あり)

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	ホルムアルデヒド
1	0	25.84966	11.25156	2.297429	0.0216*	2.200000	0.3000000	4.400000	

図 7-19 スプレー式消臭・消毒剤
(0 : 無し、1 : あり)

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	デカン
1	0	-60.7745	25.30958	-2.40124	0.0163*	-6.80000	-13.8000	-1.00000	

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	テキサノール
1	0	-53.3830	25.27485	-2.11210	0.0347*	-1.30000	-2.60000	0	

図 7-20 オゾン発生器
(0 : 無し、1 : あり)

水準 - 水準		スコア平均の差	差の標準誤差	Z	p値	Hodges-Lehmann	下側信頼限界	上側信頼限界	ベンゼン
1	0	29.15409	9.773824	2.982875	0.0029*	0.2000000	0.1000000	0.4000000	

図 7-21 においが気になる場所がある
(0 : 無し、1 : あり)

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

特定建築物における
室内空气中化学物質の実態把握のための研究

令和2年度～令和3年度

研究成果の刊行に関する一覧

「2020 年度」

(1) 論文

- 1) 鍵直樹, 東賢一, 金勲, 柳宇, 長谷川兼一: 様々な湿度条件による 2-エチル-1-ヘキサノールの建材発生特性の実験的検討, 第 85 巻, 第 777 号, 日本建築学会環境系論文集, pp. 811-817, 2020.11. DOI <https://doi.org/10.3130/aije.85.811>
- 2) 東 賢一. 職域におけるオフィスビルの室内環境に関連する症状とそのリスク要因: いわゆるシックビルディング症候群. 産業医学レビュー 33(3), 263-278, 2021.

(2) 学会発表

- 1) 東 賢一、鍵 直樹、柳 宇、金 勲、開原典子、林 基哉、大澤元毅. オフィスビル労働者のビル関連症状と室内空気汚染物質との関係に関する縦断調査. 第 93 回日本産業衛生学会, 旭川, 2020 年 5 月 13 日-16 日.
- 2) Naoki Kagi, Ami Tsuchiko, Kenichi Azuma, Hoon Kim, U Yanagi: Field study of 2-ethyl-1-hexanol in office buildings and the effect of sub-floor materials on the emission characteristics, The 16th Conference of the International Society of Indoor Air Quality & Climate, ABS-0566, pp. 1932-1933, 2020.11.2-4, online
- 3) 東 賢一. リスク評価の考え方. 令和 2 年度空気調和・衛生工学会大会ワークショップ, 福井, 2020 年 9 月 18 日.
- 4) 東 賢一、鍵 直樹、柳 宇、金 勲、中野淳太、長谷川兼一、島崎 大、開原典子、樺田尚樹、林 基哉、小林健一. 建築物の環境衛生管理の実態に関する全国調査 その 7 ビル関連症状と室内空気質. 第 79 回日本公衆衛生学会総会, 京都, 2020 年 10 月 20-22 日.
- 5) 東 賢一. 世界保健機関 (WHO) による「住宅と健康のガイドライン」. 第 79 回日本公衆衛生学会総会シンポジウム, 京都, 2020 年 10 月 22 日.
- 6) Azuma K, Kagi N, Yanagi U, Kim H, Hasegawa K, Shimazaki D, Kaihara N, Kunugita N, Hayashi M, Kobayashi K, Osawa H. Effects of the total floor area of an air-conditioned office building on building-related symptoms: characteristics of winter and summer. 16th international conference on indoor air quality and climate, Seoul, Korea, November 1-5, 2020.

「2021 年度」

(1) 論文

- 1) 東 賢一. 世界保健機関 (WHO) による「住宅と健康のガイドライン」. 公衆衛生 Vol 85, No.7, pp. 432-437, 2021.

(2) 総説・著書

1) 東 賢一. 新版生活健康科学第2版：第7章生活環境と健康. 218頁, 三共出版, 東京, 2022.

(3) 学会発表

1) Azuma K, Kagi N, Yanagi U, Kim H, Kaihara N, Hayashi M, Osawa H. Effects of suspended particles, chemicals, and airborne microorganisms in indoor air on building-related symptoms: a longitudinal study in air-conditioned office buildings. Healthy Buildings Europe 2021, Oslo, Norway, June 21-23, 2021.

2) Azuma K, Kagi N, Yanagi U, Kim H, Hasegawa K, Shimazaki D, Kaihara N, Kunugita N, Hayashi M, Kobayashi K, Osawa H. Effects of the total floor area of an air-conditioned office building on building-related symptoms: associations with thermal conditions and carbon dioxide. Healthy Buildings America 2021, Honolulu, Hawaii, January 18-20, 2022.

3) Azuma K. Indoor air quality and health effects in Japanese modern office buildings. the 33rd International Congress on Occupational Health 2022, Special Session: Indoor air quality in modern office buildings. Global digital congress, Melbourne-Rome, February 6-10, 2022.

—以上—