

厚生労働行政推進調査事業費 補助金 (化学物質リスク研究事業)
総合研究報告書

室内空気汚染化学物質の標準試験法の開発・規格化および国際規制状況に関する研究

総揮発性有機化合物 (TVOC) の在り方に関する研究

研究分担者 神野 透人 名城大学薬学部 教授

要旨：【令和 3 年度】26 軒の居住住宅で室内空気を採取し、間欠サンプリング法による TVOC 実態調査を実施した。その結果、TVOC 濃度の中央値 $443 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、TVOC 暫定目標値の超過率 58%という値が得られた。これらの値は、厚生労働省／国立医薬品食品衛生研究所による従前からの全国実態調査で報告されている TVOC 濃度、超過率と概ね一致していた。各住宅の TVOC 濃度と Peak 数の間に有意な正の相関が認められたことから、室内空間の VOCs の種類が増加するような状況（生活様式）が TVOC 濃度増大の要因となっている可能性が示唆された。一方で、1 種類の VOC が TVOC の 25%以上を占める住宅が 35%存在しており、TVOC 測定による VOCs の同定は TVOC の効率的な低減、言い換えれば、室内空気質の向上に有効であると考えられる。

【令和 4 年度】本研究では、2020 年度に国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部第一室が 90 軒の住居を対象に実施した全国実態調査の測定結果をデコンボリューション解析し、近年の室内空気中で検出される VOCs (Volatile Organic Compounds) の特徴付けを行った。TVOC (Total VOC) の中央値は $229 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、暫定目標値 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過した割合は 25.3%であった。また、比較的高頻度、高濃度で検出される特徴的な化合物群として、指針値策定（候補）化合物の他に、脂肪族炭化水素類 (27.4%)、テルペン類 (16.9%)、環状シロキサン類 (15.0%) が特定された。本研究では、デコンボリューション解析結果を基に、TVOC を測定する際に定量の対象とする VOCs のリスト、いわゆる必須 VOC リストの提案も併せて行った。

【令和 5 年度】本研究では、TVOC (総揮発性有機化合物, Total Volatile Organic Compounds) の在り方について、健康リスク評価指標としての有効性と、室内空気中の未評価化学物質スクリーニング法としての有用性の 2 つの観点から検討を行った。

文献調査では、種々の VOC 混合物である TVOC による直接的かつ定量的な健康影響を検討した論文を見出すことはできなかった。また、吸入曝露による無毒性量等（環境省「化学物質の環境リスク評価」）の比較において、 4×10^6 倍もの差異が認められることから推察されるように、組成の異なる混合物による生体影響を物質量の総和のみで比較することは難しく、現状においても、TVOC を健康リスクに関連付けることは困難であると考えられる。その一方で、TVOC 試験法で得られる室内濃度指針値未策定 VOC に関する情報は、推定 MOE (Margin of Exposure) の導出も含め、スクリーニングとして極めて有用である。この 20 年間で得られた一義的な TVOC 試験法による全国調査結果を踏まえると、 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の目標値を変更する必要はないものと考えられる。

研究協力者：香川 聡子（横浜薬科大学）、酒井信夫（国立医薬品食品衛生研究所）、田原麻衣子（国立医薬品食品衛生研究所）、岡本誉士典（名城大学薬学部）、青木 明（名城大学薬学部）、森 葉子（国立研究開発法人 国立環境研究所）、亀谷 春香（名城大学薬学部）、井上 凌子（名城大学薬学部）、尾嶋 朱莉（名城大学薬学部）、金山 理恵（名城大学薬学部）、湯浅 竜斗（名城大学薬学部）、水田 佑香（名城大学薬学部）、青木 望実（名城大学薬学部）、東 珠希（名城大学薬学部）、大嶋 直浩（国立医薬品食品衛生研究所）、高木 規峰野（国立医薬品食品衛生研究所）、埴岡 伸光（横浜薬科大学）、大河原 晋（横浜薬科大学）、磯部 隆史（横浜薬科大学）

A. 目的

現在、室内空気中の 13 物質について健康影響に基づく室内濃度指針値が定められており、その他に、室内空気質の総体的な指標として、総揮発性有機化合物（TVOC, Total Volatile Organic Compounds）に暫定目標値が設けられている。TVOC という室内空気質にかかる総体的指標を直ちに健康影響と結びつけることは困難であるが、設定から 20 年が経過した現時点での意義を、暫定目標値 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の妥当性も含めて、改めて検証する必要がある。

TVOC は、沸点が 50 ないし 100°C から 240 ないし 260°C の範囲にある揮発性有機化合物（Volatile Organic Compounds, VOCs）の総和であり、空気質の総体的な指標である。TVOC は、日本産業規格（JIS A 1965:2015）では「Tenax TA でサンプリングした場合の、水素炎イオン化検出器または質量分析計を用いて無極性のキャピラリーカラムで *n*-Hexane と *n*-Hexadecane の範囲で溶出・検出

される、クロマトグラムピーク面積の合計をトルエン相当量に換算した値」と定義されているが、測定値がサンプリング方法や分析方法に依存するため、指針値あるいは（暫定）目標値を設定する際には、標準作業手順書（SOP, Standard Operating Procedures）としての試験法策定が必要不可欠である。我が国では室内空気中の TVOC の暫定目標値として $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ が設けられており、「シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会 中間報告書－第 4 回及び第 5 回のまとめ」の中で分析方法の概要が示されている。しかしながら、現在に至るまで、厳密には SOP/試験法は定められておらず、個別に定量すべき VOCs、すなわち「(いわゆる) 必須 VOCs リスト」の策定と併せて長年にわたる懸案事項となっている。

令和 3 年度の研究では、先行研究（H30-化学-指定 002: 室内空気環境汚染化学物質の標準試験法の策定およびリスク低減化に関する研究）において開発した「間欠サンプリング法」を用いて、居住住宅の居間を対象に室内空気中の TVOC の調査を実施し、TVOC を構成する揮発性有機化合物（VOC）の解析を実施し、TVOC の室内空気質指標としての有用性について考察を行った。

令和 4 年度の研究では、国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部第一室の酒井信夫室長らが 2020 年度に実施した全国実態調査で得られた TVOC クロマトグラムについてデコンポリューション解析を適用し、最近の VOCs 検出状況について特徴付けを行った。

令和 5 年度の研究では、TVOC の在り方について、健康リスク指標としての有効性と、室内空気中の未評価化学物質スクリーニング法としての有用性の 2 つの観点から検討を行った。

B. 実験方法

【令和3年度】

B-1 試薬

Methanol は、残留農薬・PCB 試験用 Methanol 5000 (富士フイルム和光純薬) を使用した。Indoor Air Standard (50 Components, 100 µg/mL) は Merck から、Toluene-d8 は富士フイルム和光純薬から購入した。

B-2 室内空気の採取

名城大学薬学部の在学生の自宅を対象に、26軒の居住住宅で室内空気を採取した。室内空気中の揮発性有機化合物のサンプリングには、Tenax TA を充填した不活性処理ステンレス吸着管 (Camsco) を用いた。Tenax TA 吸着管をパーソナルミニポンプ PMP-001 型 (柴田科学) に接続し、「10 mL/min の流速で6分間作動-24分間休止」のサイクルを48回繰り返す間欠サンプリング法で2880 mL の室内空気を吸引した。24時間にわたるサンプリング中は、吸着管の吸気側に PEEK 細管を接続し、揮発性有機化合物の拡散による汚染を防止した。

B-3 TD-GC/MS による TVOC 測定

TD 装置は Shimadzu TD-30、GC/MS は Shimadzu GCMS-TQ8030 を使用し、下記の条件で分析を行った。

<TD>

加熱脱離温度：280°C

加熱脱離時間：8 min

ガス流量：50 mL/min, He

Trap 冷却温度：-20°C

Trap 加熱温度：280°C

Trap 加熱時間：5 min

バルブ温度：250°C

トランスファーライン温度：250°C

スプリット比：10

<GC>

キャリアガス：He, 40 cm/sec (線速度一定)

カラム：RESTEK Rtx-1ms (60 m x 0.32 mm, 1 µm)

オープン昇温：40°C-5°C/min-280°C (7 min)

インターフェイス温度：250°C

<MS>

イオン源温度：200°C

測定モード：Q3 Scan

Scan Range：m/z 40 – 500, 10 Hz

B-3 Deconvolution 解析

GC/MS クロマトグラムの Deconvolution 解析には、AnalyzerPro ver. 6.0.0.246 (SpectralWorks) を使用した。

【令和4年度】

国立医薬品食品衛生研究所から提供された Shimadzu 形式の GC/MS データについて、Analyzer Pro ver. 6.0.0.246 (SpectralWorks) を用いてデコンボリューション解析を行った。主な解析パラメーターは以下の通り設定した。

Minimum Ions: 8

Area Threshold: 1000

Height Threshold: 0%

Width Threshold: 0.05

Resolution: Very Low

Fronting: 0%

Tailing: 0%

Signal to Noise: 10

Gaussian Smooth: 7

化合物の推定には、マススペクトルライブラリーとして NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library (NIST 17) を用いた。

【令和5年度】

TVOC の在り方について、健康リスク評価指標としての有効性と、室内空気中の未評価化学物質スクリーニング法としての有用性の2つの観点から、以下4項目について検討を行った。

1. TVOC 分析法
2. 健康リスク指標としてのTVOCについて
3. 暫定目標値 400 µg/m³の妥当性について
4. 未評価化学物質スクリーニングとしてのTVOC

C. 結果と考察

【令和3年度】

冬期にサンプリングした居住住宅 26 軒の居間空気中の TVOC を定量した結果、中央値は 443 µg/m³ (最小値 43 µg/m³– 最大値 1951 µg/m³)、平均値は 585 µg/m³ であり、15 軒 (58%) が TVOC 暫定目標値 400 µg/m³ を超過していた。図 1 に TVOC の濃度分布をバイオリンプロットとして示した。

表 1 は各試料の GC-MS クロマトグラムについて、*n*-Hexane から *n*-Hexadecane の保持時間の間に溶出する Peak の数、ならびに各 Peak の Toluene 換算濃度が TVOC 値の 80% 相当に達する最少 Peak 数をまとめたものである。図 2 に示したように、各試料の Peak 数と TVOC 濃度の間には有意な相関 ($p < 0.01$, $r = 0.9156$) が認められ、回帰直線 ($Y = 9.1X - 142.5$) の傾き 9.1 µg/m³ は、1 成分 (Component) あたりの TVOC への寄与を示していると考えられる。

一方、各試料について、最も高い Toluene 換算濃度で検出された Component が TVOC 濃度に占める割合を算出すると、表 1 にまとめたように、5% から 51% まで、10 倍もの差異が認められた。最高濃度の 1 つの Component が TVOC に占める割合が >25% の試料は、No.1、4、7、10、13、15、19、22 および 25 の 9 試料であった。これらのうち、Decamethylcyclopentasiloxane が 5 試料 (No.10、13、19、22 および 25)、D-Limonene が 2 試料 (No.4 および 7) であり、これらの成分を含有する家庭用品、もしくは化粧品が主要な VOCs の発生源/放散源となっている可能性が示唆された。また、最高濃度の 1 つの Component が TVOC に占める割合が

<10% の試料は、No.5、8、9、12、14、16、23、24 および 26 の 9 試料であった。これらのうち、Nonane あるいは Decan などの脂肪族炭化水素が最高濃度の Component であったものが 6 試料 (No.5、8、12、14、23 および 24) があった。これらの試料の GC/MS クロマトグラムの特徴として、多数の脂肪族炭化水素類がクラスターを形成しており、灯油等の化石燃料の燃焼が主たる原因であることが示唆される結果が得られた。

室内空気中の TVOC など、多種多様な Component で構成される試料を分析する場合、分離能の高いキャピラリーカラムであっても不分離 Peak を生じるおそれがある。そこで、VOC 同定精度の向上を目的として、擬似的な Peak 分離手法である Deconvolution 解析を行った。その結果、表 2 に示したように、脂肪族炭化水素類の他に、芳香族炭化水素類、環状シロキサン、香料 (テルペン類) などが主要な TVOC 構成成分であることが明らかとなった。

【令和4年度】

本研究でデコンボリューション解析を行った 2020 年度全国調査 (調査住居数 90) では、TVOC の中央値は 229 µg/m³、平均値は 321 µg/m³、最大値は 1960 µg/m³ であり、暫定目標値 400 µg/m³ を超過した住居は 19 件 (超過率 25.3%) であった。ほぼ同等の結果が 112 の住居を対象に実施した 2016 年の全国調査でも得られており、そこでは中央値は 229 µg/m³、平均値は 331 µg/m³、最大値 4270 µg/m³ であり、TVOC 暫定目標値の超過率は 23.6% であった (data not shown)。一方、第 18 回シックハウス検討会で提示された 2012 年および 2013 年度夏季実態調査では、居間の TVOC 濃度の中央値はそれぞれ 260 µg/m³ および 240 µg/m³、暫定目標値超過率はそれぞれ 30%、37% と報告されている。これらの結果は、10 年近くを経たのちも、TVOC として評価した室内空気質に顕

著な変化はみられないことを示している。

次に、デコンポリューション解析によって同定された一群の VOCs について、特徴付けを行った。まず、各住居の TVOC 構成成分を濃度の高いものから順に積算し、各住居の TVOC 値の 50% を占める主要な VOCs を一覧表として示した (表 1)。化合物群としては、図 3 の円グラフに示したように、脂肪族炭化水素類が 28.2% を占め、次いで脂肪族アルデヒド類が 12.2%、指針値策定 (候補) 化合物が 11.8%、テルペン類が 11.3%、環状シロキサン類が 10.2% の順であった。一方、各住居において TVOC 暫定目標値 ($400 \mu\text{g}/\text{m}^3$) の 10% 以上、すなわち $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の濃度で検出された VOCs をまとめたものが表 2 である。化合物群としては、図 4 に示したように、脂肪族炭化水素類が 27.4% を占め、次いでテルペン類 (16.9%)、環状シロキサン類 (15.0%)、指針値策定 (候補) 化合物 (9.0%) が比較的高い濃度で検出される VOCs として特定された。

2013 年度の夏季に国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部第一室が実施した全国調査では、検出頻度の高い TVOC 構成成分 (検出濃度 $5 \mu\text{g Toluene}/\text{m}^3$ 以上) として、脂肪族アルデヒド類 (Nonanal, 61%、Hexanal, 33%)、2-Ethyl-1-hexanol (48%、今回は指針値策定 (候補) 化合物として分類)、環状シロキサン類 (Decamethyl Cyclopentasiloxane, 37%) およびグリコール類 (Propylene Glycol, 13%、1,3-Butanediol, 10%) が同定されている。(https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-11121000-Iyakushokuhinkyoku-Soumuka/0000040622.pdf および https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-11121000-Iyakushokuhinkyoku-Soumuka/0000141173.pdf)

2020 年度の全国実態調査結果にもとづいて、比較的高頻度で検出され、かつ検出濃度も比較的高い、以下の 36 化合物を”必須

VOC“として定性/定量の対象とすることを提案する。

Target VOCs (11) : Toluene, *o*-Xylene, *m*-Xylene, *p*-Xylene, Ethylbenzene, Styrene, 1,4-Dichlorobenzene, Tridecane, 2-Ethyl-1-hexanol, 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol
Monoisobutyrate, 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol Diisobutyrate

***n*-Alkanes (11)** : *n*-Hexane, *n*-Heptane, *n*-Octane, *n*-Nonane, *n*-Decane, *n*-Undecane, *n*-Dodecane, *n*-Tridecane, *n*-Tetradecane, *n*-Pentadecane, *n*-Hexadecane

Aliphatic Aldehydes (2) : Heptanal, Decanal

Glycols and Glycol Ethers (4): 1,3-Butanediol, Propylene Glycol 1-Monomethyl Ether, Dipropylene Glycol, Dipropylene Glycol Monomethyl Ether

Terpenes (3) : α -Pinene, Menthol, D-Limonene

Cyclic Siloxanes (2) : Octamethylcyclotetrasiloxane, Decamethylcyclopentasiloxane

Aromatic Hydrocarbons (2) : 1,2,4-Trimethylbenzene, 1-Ethyl-3-methylbenzene

Others (1) : Ethyl Acetate

【令和 5 年度】

1. TVOC 分析法

TVOC に対応する国内の公的な分析法として、JIS A 1965:2015「室内及び試験チャンバー内空气中揮発性有機化合物の Tenax TA®吸着剤を用いたポンプサンプリング、加熱脱離及び MS 又は MS-FID を用いたガスクロマトグラフィーによる定量」がある。この分析法は、室内空气中の VOC を Tenax TA 吸着管に捕集し、加熱脱離-ガスクロマトグラフ-質量分析計で測定する方法である。JIS A 1965:2015 は、厚生労働省が定める TVOC の室内濃度暫定目標値の試験法としても準用可能な分析法ではあるが、居住住宅への適用に際して、解決すべき重大な問題が存在する。

JIS A 1965:2015 では、適切なサンプリング流量の範囲は 50 mL/min～200 mL/min とされている。一方、厚生労働省の VOC 試験法では、居住住宅の場合日常生活を営みながら室内空気を 24 時間採取することが求められおり、JIS A 1965:2015 で推奨される流速で採取した場合、採取量は 72 L～288 L になる。TVOC の分析においては、その定義上、*n*-Hexane から *n*-Hexadecane までの VOC を定量的に捕集する必要がある。しかし、JIS A 1965:2015 に例示されているように、Tenax TA®吸着剤 200 mg を充てんした一般的な吸着管で、破過を生じることなく *n*-Hexane を捕集できる保持容量は 6.4 L、安全試料採取量 (Safe Sampling Volume) は 3.2 L であり、24 時間採取することを想定した場合には、流速を 2 mL/min 程度までさげる必要がある。このような超低流速で作動する市販のポンプが限られていること、超低流速で採取する際に問題となる拡散現象による吸着管の汚染を防止する必要があること、などの問題があり、室内空气中 TVOC 試験法を策定する上での障害となっていた。今般、厚生労働行政推進調査事業 (化学物質リスク研究事業)「室内空気汚染化学物質の標準試験法の開発・規格化および国際規制状況に関する研究」(研究代表者 酒井信夫) の成果として、研究分担者 香川聡子らによって、室内空气中の TVOC 試験法が日本薬学会衛生試験法・注解 2020 追補 2024 に掲載されたことから、今後は、分析化学的な妥当性が保証された TVOC データの蓄積が期待される。

2. 健康リスク指標としての TVOC について

PubMed を Keyword Total Volatile Organic Compounds/TVOC(s)/Total VOC(s) で検索した結果、951 件の論文が該当した。年次推移では、2017 年の 36 件から 2023 年には 124 件へと大幅に増加しており、学術的に TVOC に対する関心が高まっていることが

伺える (図 1)。

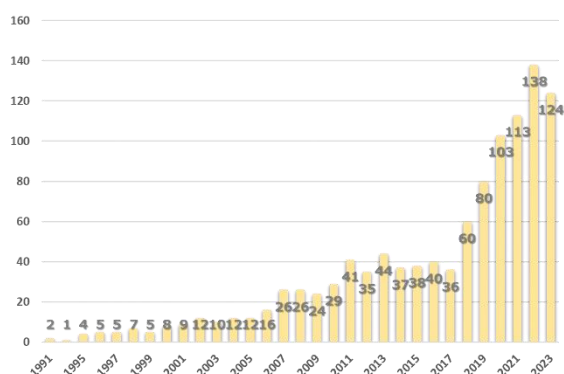


図 1 TVOC に対する学術的な関心度の推移

しかしながら、個々の TVOC 構成成分の健康影響を考察した論文や、疫学的な調査で TVOC 濃度とある種の健康リスクに関連が認められたとする論文はいくつか存在したものの、総体としての TVOC による直接的な健康影響を検討した論文を見出すことはできなかった。したがって、20 年前と同様に、現状においても TVOC を健康影響に関連付けることは困難であると考えられる。以下に、文献等の検討結果の概要を記した。

[文献調査結果の概要]

Salthammer (2022) は TVOC に関する最近の総説の中で、「TVOC は毒性に基づくパラメータではないことから、限られたスクリーニング目的にしか適さないことが早くから認識されていた。そのため、TVOC を健康や臭気に関連する問題に適用することはできない」と記している。我が国でも 2000 年代に同様の指摘がなされており、田辺 (2005) は厚生労働科学研究 (H17-特別-031) 統括報告書において、TVOC と健康影響の関連について考察し、「TVOC は空気の汚れの指標として一定の役割はあるが、健康影響とは切り離して考えるべきである」と述べている。

ここでは、Salthammer (2022) の総説で言及されている論文を中心に、健康リスク指標としての TVOC について考察を行った。

Andersson et al. (1997) は、VOC/TVOC と健康に関する 120 報の論文の中から、曝露と健康影響の両方のデータを含む 67 報の論文を Review し、VOC による室内空気汚染は一般の居住環境における健康影響や快適性を損なう原因である可能性が高いと結論づけた。しかし、一方で、「建築物における健康影響や快適性のリスク指標としての TVOC に関しては、学術論文で結論は得られておらず、現在のところ、TVOC の限界値やガイドラインを設定するための科学的根拠は不十分である」と結論づけている。

Mølhave et al. (1986) は、62 人の健康な被験者に、チャンバー内で、異なる濃度の 22 種類の VOC 混合物を 2.75 時間曝露した。VOC 混合物 (Mølhave-mixture) の組成は、芳香族炭化水素類約 36%、エステル類が 36%、脂肪および環状炭化水素類 14%、その他ケトン類、アルコール類、ジクロロエタンおよび α -ピネンであった。目、鼻および喉の刺激性の評価では、 5 mg/m^3 と 25 mg/m^3 (濃度はいずれもトルエン換算値) で曝露量と急性影響との間に有意な相関が認められた。

Otto et al. (1990)、Otto et al. (1992) および Hudnell et al. (1992) は、66 人の若い男性を対象にして、VOC 混合物濃度 0 mg/m^3 および 25 mg/m^3 で Mølhave et al. (1986) の追試を行った。被験者は、 25 mg/m^3 で強い不快な臭い、頭痛、全身的な不快感を訴えたが、神経行動学的な試験では影響は認められなかった。しかし、Hudnell et al. (1992) は、刺激やその他の症状は臭気強度と単純な関係にはないと結論づけ、混合物中の VOC が相加的に作用して三叉神経を刺激する可能性を指摘した。

Kjærgaard ら (1991) は Mølhave et al. (1986) の研究を拡張し、21 人の健康な被験

者と健 14 人のシックハウス症候群患者の反応を比較した。どちらのグループでも反応がみられたものの、シックハウス症候群患者でより顕著な傾向が認められた。

Mølhave (1991) は、自らの研究を基に、VOC への曝露について以下のような用量反応関係を導いた： $<0.20 \text{ mg/m}^3$ 未満 (快適性の範囲)、 $0.2\sim 3.0 \text{ mg/m}^3$ (多因子曝露の範囲)、 $3.0\sim 25 \text{ mg/m}^3$ (不快性の範囲)、 25 mg/m^3 超 (有害曝露の範囲)。

Gminski et al. (2011a, 2011b) は、 48m^3 のチャンバー内で、24 人の健康な被験者に TVOC 濃度が約 0.1 mg/m^3 、 5 mg/m^3 、 7 mg/m^3 または 9 mg/m^3 の空気を 2 時間曝露させたが、感覚過敏や肺への影響はみられなかった。

Junge et al. (2021) は、動物実験モデルと前向きコホート研究で、木材から放散するテルペン類やアルデヒド類の喘息への影響を調査した。マウスを TVOC 濃度 3 mg/m^3 から 18 mg/m^3 の空気に曝露しても、気道炎症に有意な影響は認められなかった。また、疫学的な調査結果を基に、木材関連 VOC の混合物は、10 歳までの小児の早期喘鳴/喘息発症に影響は与えないことを示した。

我が国で実施された最近の研究として、Tamura et al. (2023) は、実験室ハウス (LH) 60 分間過ごした被験者 149 人が LH 内の室内空気質 (IAQ) を評価した。建築物関連症状 (BRS) のリスクと暫定目標値レベル ($400 \mu\text{g/m}^3$) の TVOC との間に有意な関係が認められた (オッズ比: 2.94、95%信頼区間: 1.18-7.35)。さらに、TVOC レベルが $400 \mu\text{g/m}^3$ 未満の空間では、臭気強度と BRS のリスクとの間に有意な関係がみられた (オッズ比: 6.06、95%信頼区間: 1.21-30.44)。これらの結果から、著者らは、TVOC レベルが低く、臭気強度が低い空間では BRS のリスクは有意に低く、空気中の化学物質の濃度と臭気強度を下げることで IAQ を改善し、BRS を予防できる可能性がある」と結論

づけている。

これらの論文は、同一組成の VOC 混合物については、濃度依存的な健康影響が認められる場合があるものの、依然として、組成が異なる TVOC を毒性と直接関連付けることは困難であることを示している。興味深い最近の報告として、Takaguchi et al. (2024) は、我が国の 154 軒の室内空気中の VOCs を調査し、VOC 組成を基にクラスター解析を行った。階層的クラスタリング分析で得られた 6 つの特徴的なクラスターのうち、p-ジクロロベンゼンが VOC 合計量の 42~72% を占めるクラスターと咳症状との間に有意な関連があることを見出している。

References

- K. Andersson, J. V. Bakke, O. Bjørseth, C.-G. Bornehag, G. Clausen, J. K. Honglo, M. Kjellman, S. Kjærgaard, F. Levy, L. Mølhave, S. Skerfving, J. Sundell (1997) TVOC and health in non-industrial indoor environments: report from a nordic scientific consensus meeting at längholmen in Stockholm. *Indoor Air*, **7**: 78-91
- R. Gminski, R. Marutzky, S. Kevekordes, F. Fuhrmann, W. Bürger, D. Hauschke, W. Ebner, V. Mersch-Sundermann (2011a) Chemosensory irritations and pulmonary effects of acute exposure to emissions from oriented strand boards. *Human and Experimental Toxicology*, **30**: 1204-1221
- R. Gminski, R. Marutzky, S. Kevekordes, F. Fuhrmann, W. Bürger, D. Hauschke, W. Ebner, V. Mersch-Sundermann (2011b) Sensory irritations and pulmonary effects in human volunteers following short-term exposure to pinewood emissions. *Journal of Wood Science*, **57**: 436-445
- H.K. Hudnell, D.A. Otto, D.E. House, L. Mølhave (1992) Exposure of humans to a volatile organic mixture II. Sensory. *Archives of Environmental Health*, **47**: 31-38
- K.M. Junge, L. Buchenauer, E. Elter, K. Butter, T. Kohajda, G. Herberth, S. Röder, M. Borte, W. Kiess, M. von Bergen, J.C. Simon, U.E. Rolle-Kampczyk, I. Lehmann, R. Gminski, M. Ohlmeyer, T. Polte (2021) Wood emissions and asthma development: Results from an experimental mouse model and a prospective cohort study. *Environment International*, **151**: 106449
- S.K. Kjærgaard, L. Mølhave, O.F. Pedersen (1991) Human reactions to a mixture of indoor air volatile organic compounds. *Atmospheric Environment Part A General Topics*, **25**: 1417-1426
- L. Mølhave, B. Bach, O.F. Pedersen (1986) Human reactions to low concentrations of volatile organic compounds. *Environment International*, **12**: 167-175
- L. Mølhave (1991) Volatile organic compounds, indoor air quality and health. *Indoor Air*, **1**: 357-376
- D. Otto, L. Mølhave, G. Rose, H.K. Hudnell, D. House (1990) Neurobehavioral and sensory irritant effects of controlled exposure to a complex mixture of volatile organic compounds. *Neurotoxicology and Teratology*, **12**: 649-652
- D.A. Otto, H.K. Hudnell, D.E. House, L. Mølhave, W. Counts (1992) Exposure of Humans to a Volatile Organic Mixture I. Behavioral Assessment. *Archives of Environmental Health*, **47**: 23-30
- T. Salthammer (2022) TVOC - Revisited. *Environment International*, **167**: 107440
- K. Takaguchi, H. Nakaoka, K. Tsumura, A. Eguchi, K. Shimatani, Y. Nakayama, T. Matsushita, T. Ishizaka, A. Kawashima, C. Mori a, N. Suzuki (2024) The association between clustering based on composition of volatile organic compound in indoor air and building-related symptoms. *Science of The Total Environment*, **917**: 170197
- 田辺 新一 (2005) 総揮発性有機化合物 (TVOC) に関する研究, 平成 17 年度厚生労働科学研究補助金 (厚生労働科学特別研究事業) 総括報告書
- K. Tsumura, H. Nakaoka, N. Suzuki, K. Takaguchi, Y. Nakayama, K. Shimatani, C. Mori (2023) Is indoor environment a risk factor of building-related symptoms? *PLoS ONE* **18**: e0279757

環境省が取り纏めた「化学物質の環境リスク評価」(<https://www.env.go.jp/chemi/risk/index.html>)において、沸点が 50-260°C の範囲で、吸入曝露の「無毒性量等」が導出されている 106 化合物を選定し、「無毒性量等」の分布を検討した結果では、0.0002 mg/m³ から 870 mg/m³ まで、実に 4×10⁶ 倍もの差異が認められ、「無毒性量等」が 1 以上 10 mg/m³ の VOC が最も多く 34 化合物、次いで 0.1 以上 1 mg/m³ 未満が 28 化合物であった (図 2)。このように、毒性の強さが大きく異なる一群の化合物による健康リスクを、質量分析計のイオン強度の和で表現することは、将来にわたっても実質的に困難であると考えられる。

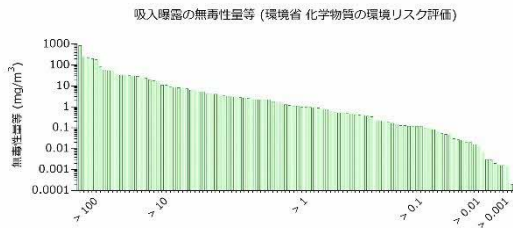


図2 吸入曝露の無毒性量等の分布

3. 暫定目標値 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の妥当性について

国立医薬品食品衛生研究所が実施した2012、2013、2016 および 2020 年度全国調査の結果では、TVOC の中央値は 229~260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲であり、暫定目標値を超過した家屋の割合は 20 ないし 40%と報告されている。

- 2012 年： 居間 中央値 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
暫定目標値超過率 30%
- 2013 年： 居間 中央値 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
暫定目標値超過率 37%
- (2013 年無作為： 居間 中央値 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
暫定目標値超過率 31%)
- 2016 年度：居間 中央値 229 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
暫定目標値超過率 24%
- 2020 年度：居間 中央値 229 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
暫定目標値超過率 25%

現行の TVOC 暫定目標値は、SIM 法で個別定量した揮発性有機化合物 (VOC) 41 物質の中央値の総和 153 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を基に、いくつかの仮定を適用して得られた推定値 306 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ から設定されたものである。Scan 法による TVOC 分析法で得られた目標値ではないことから、「暫定」とされたものと推察される。

一方、上記の全国調査の TVOC 中央値は、

日本薬学会環境・衛生部会で衛生試験法として公定法化された標準法で採取・測定されたものであり、わが国の室内空気中の TVOC の現状を正確に反映していると言える。各年度の TVOC 中央値(229~260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) は、暫定目標値設定時の TVOC 推定値 (306 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) の 75%程度であり、20-40%程度の家屋が暫定目標値を超過していた。国立医薬品食品衛生研究所の精力的な TVOC 試験法に則った全国調査により、暫定目標値が設定された時点と現在で室内の TVOC の状況には大きな変化はなく、400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の目標値を変更する必要はないものと考えられる。

4. 未評価化学物質スクリーニングとしての TVOC

上述した「無毒性量等」が 1 mg/m^3 を超える 56 化合物については、室内空気中濃度が概ね 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であれば、100 以上の MOE (Margin of Exposure) が確保されていることとなり、「現時点では詳細な評価あるいは情報収集を実施する必要はない」と判定される。

参考：環境省 健康リスク評価

有害性に閾値があると考えられる場合には、無毒性量等を予測最大曝露量(又は予測最大曝露濃度)で除した値 (MOE) を求めて判定する。

MOE (判定)

- 10 未満 (詳細な評価を行う候補と考えられる)
- 10 以上 100 未満 (情報収集に努める必要があると考えられる)
- 100 以上 (現時点では作業は必要ないと考えられる)

衛生試験法・注解に記載された TVOC 試験法では、各構成成分について 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の濃度から定量的な評価が可能であり、室

室内空气中の化学物質にかかる情報収集や詳細な評価の必要性を判定するのに十分な検出感度を備えている。すなわち、TVOC 測定と同時に未評価化学物質のスクリーニングを実施できる点が、総合的な室内空気質指標としての TVOC の付加価値であると言えよう。

D. 結論

【令和 3 年度】

本研究では、26 軒の居住住宅で室内空気を採取し、TVOC にかかる実態調査を実施した。その結果、TVOC 濃度の中央値 443 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、TVOC 暫定目標値の超過率 58%という値が得られた。これらの値は、厚生労働省／国立医薬品食品衛生研究所による従前からの全国実態調査で報告されている TVOC 濃度、超過率と概ね一致していた。

今回の調査では、各住宅の TVOC 濃度と Peak 数の間に有意な正の相関が認められたことから、室内空間の VOCs の種類が増加するような状況（生活様式）、例えば VOCs 放散源となり得る家庭用品等の使用数の増加が TVOC 濃度増大の要因となっているものと考えられる。一方で、1 種類の VOC が TVOC の 25%以上を占める住宅が 35%存在したことは、TVOC 測定による VOCs の同定が TVOC の効率的な低減、言い換えれば、室内空気質の向上に有効であることを示している。

【令和 4 年度】

本研究では、2020 年度に国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部第一室が実施した全国実態調査の測定結果をデコンボリューション解析し、近年の室内空气中で検出される VOCs の特徴付けを行った。

TVOC の中央値は 229 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、平均値は 321 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最大値は 1960 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、暫定目標値 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過率は 25.3%であった。2012 年および 2013 年の度夏季実態調査の

結果（居間の TVOC 濃度の中央値：それぞれ 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、暫定目標値超過率：それぞれ 30%、37%）と比較すると、10 年近くを経たのちも、TVOC として評価した室内空気質に顕著な変化はみられない、という結果となった。

また、比較的高頻度、高濃度で検出される特徴的な化合物群として、指針値策定（候補）化合物の他に、脂肪族炭化水素類（27.4%）、テルペン類（16.9%）、環状シロキサン類（15.0%）が特定された。これらの化合物群については 2013 年度夏季の調査と比較して顕著な差異は認められないが、Glycol Ether 類の検出事例が若干増加傾向にある。

本研究では、これらの解析結果を基に、TVOC を測定する際に定量の対象とする VOCs のリスト、いわゆる必須 VOC リストの提案も併せて行った。主要な 36 VOCs の定量を行うことで、TVOC の測定精度がより一層向上することが期待される。

【令和 5 年度】

本研究では、TVOC の在り方について、健康リスク評価指標としての有効性と、室内空气中の未評価化学物質スクリーニング法としての有用性の 2 つの観点から検討を行った。その結果、文献調査では、種々の VOC 混合物である TVOC による直接的かつ定量的な健康影響を検討した論文を見出すことはできず、現状では TVOC を健康リスクに関連付けることは困難であると考えられる。その一方で、TVOC の測定で得られる未評価化学物質に関する情報は、当該物質の既存の有害性情報から MOE 推定値を導出することも可能であり、室内空気質をスクリーニングするために極めて有用である。この 20 年間で一義的な TVOC 試験法による全国調査結果が得られていることも踏まえると、400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の目標値を変更する必要はないものと考えられる。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 森 葉子, 植田康次, 櫻井有紀, 青木 明, 岡本誉士典, 神野透人: 小型インピンジャーを用いる通気法による食品中シアン化合物の分析, 食品衛生学雑誌, 62, 162-165 (2021)
- 2) Mori Y, Tanaka-Kagawa T, Tahara M, Kawakami T, Aoki A, Okamoto Y, Isobe T, Ohkawara S, Hanioka N, Azuma K, Sakai S, Jinno H., Species differences in activation of TRPA1 by resin additive-related chemicals relevant to indoor air quality. *J Toxicol Sci.* 2023;48(1):37-45. doi: 10.2131/jts.48.37.
- 3) Mori Y, Aoki A, Okamoto Y, Isobe T, Ohkawara S, Hanioka N, Tanaka-Kagawa T, Jinno H. Species-Specific Activation of Transient Receptor Potential Ankyrin 1 by Phthalic Acid Monoesters. *Biol Pharm Bull.* 2022, 45: 1839-1846.

2. 学会発表

- 1) 高橋 直也, 中嶋 康一郎, 大河原 晋, 河村 伊久雄, 三浦 伸彦, 森 葉子, 磯部 隆史, 埴岡 伸光, 神野 透人, 香川 (田中) 聡子: Matrix metalloproteinases のヒト気管および肺組織における発現 個体差, 第 48 回日本毒性学会学術年会, 神戸, 2021 年 7 月
- 2) 森 葉子, 楠木 麻菜美, 加藤 水基, 青木 明, 岡本 誉士典, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 香川 (田中) 聡子, 神野 透人: 花生姜抽出物による TRPA1 を介したマウス腸管内分泌細胞株 STC-1 の GLP-1 分泌促進, フォーラム 2021 衛生薬学・環境トキシコロ

ジー, 船橋, 2021 年 9 月

- 3) 森 葉子, 青木 明, 岡本 誉士典, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 香川 (田中) 聡子, 神野 透人: フタル酸エステル類による TRPA1 活性化の種差, 日本薬学会第 142 年会, 名古屋, 2022 年
- 4) 酒井 信夫, 田原 麻衣子, 大島 直浩, 大貫 文, 斎藤 育江, 千葉 真弘, 大泉 詩織, 田中 礼子, 山之内 孝, 遠藤 治, 鳥羽 陽, 中島 大介, 藤森 英治, 神野 透人, 香川(田中) 聡子: 衛生試験法・注解 2020 追補 2022 空気試験法・空気試験法: 揮発性有機化合物・捕集剤による乾式採取(アクティブ法) - 加熱脱着 - ガスクロマトグラフィー/質量分析法による定量(新規), 日本薬学会第 142 年会, 名古屋, 2022 年 3 月
- 5) 小池 加那子, 中嶋 康一郎, 河村 伊久雄, 三浦 伸彦, 森 葉子, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 神野 透人, 香川 (田中) 聡子: Vitamin D 代謝酵素のヒト組織における発現とその個体差, 第 49 回日本毒性学会学術年会, 札幌, 2022 年 6 月
- 6) 森 葉子, 青木 明, 岡本 誉士典, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 香川 (田中) 聡子, 神野 透人: フタル酸エステル類の動物種特異的な生体影響に関する研究: TRPA1 活性化の種差を生じるタンパク質構造の解明, フォーラム 2022 衛生薬学・環境トキシコロジー, 熊本, 2022 年 9 月
- 7) 堤 亜里紗, 小林 叶奈, 河村 伊久雄, 三浦 伸彦, 森 葉子, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 神野 透人, 香川 (田中) 聡子: SARS-CoV-2 感染に関与する生体内因子のヒト気道組織中での発現とその個体差, フォーラム 2022 衛生薬学・環境トキシコロジー, 熊本, 2022 年 9 月
- 8) 香川 (田中) 聡子, 酒井信夫, 神野 透

- 人：室内空气中総揮発性有機化合物 (TVOC) に関する最新の動向, 第 63 回大気環境学会年会, 室内環境分科会, 大阪, 2022 年 9 月
- 9) 高橋 直也, 中嶋 康一郎, 河村 伊久雄, 三浦 伸彦, 森 葉子, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 神野 透人, 香川 (田中) 聡子: 気道過敏性に関与する生体内因子のヒト気道組織中での発現と個体差, 第 66 回日本薬学会関東支部大会, 横浜, 2022 年 9 月
- 10) 中嶋 康一郎, 高橋 直也, 河村 伊久雄, 三浦 伸彦, 森 葉子, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 神野 透人, 香川 (田中) 聡子: GLP-1 受容体のヒト組織における発現とその個体差, 第 66 回日本薬学会関東支部大会, 横浜, 2022 年 9 月
- 11) 小池 加那子, 中嶋 康一郎, 河村 伊久雄, 三浦 伸彦, 森 葉子, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 神野 透人, 香川 (田中) 聡子: ヒト組織における Vitamin D 代謝酵素及び VDR の発現と個体差, 第 66 回日本薬学会関東支部大会, 横浜, 2022 年 9 月
- 12) 小林 叶奈, 堤 亜里紗, 河村 伊久雄, 三浦 伸彦, 森 葉子, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 神野 透人, 香川 (田中) 聡子: SARS-CoV-2 感染に関与する生体内因子のヒト組織中での発現とその個体差, 第 66 回日本薬学会関東支部大会, 横浜, 2022 年 9 月
- 13) 森 葉子, 香川 (田中) 聡子, 田原 麻衣子, 河上 強志, 青木 明, 岡本 誉士典, 磯部 隆史, 大河原 晋, 埴岡 伸光, 東 賢一, 酒井 信夫, 神野 透人: 2-Ethyl-1-hexanol、Texanol および TXIB による侵害刺激の種差に関する研究、2022 年室内環境学会学術大会, 東京, 2022 年 12 月
- 14) 中向井 璃奈, 浦島 桃香, 森 葉子, 磯部 隆史, 大河原 晋, 河村 伊久雄, 三浦 伸彦, 北川 康行, 埴岡 伸光, 神野 透人, 香川 (田中) 聡子: Isothiazolinone 系抗菌薬によるヒト TRPA1 活性化の *in silico* 分子機構解析, 日本薬学会第 143 年会, 札幌, 2023 年 3 月
- 15) 大貫 文, 田原 麻衣子, 酒井 信夫, 高木 規峰野, 田中 礼子, 村木 沙織, 斎藤 育江, 千葉 真弘, 大泉 詩織, 大野 浩之, 若山 貴成, 鈴木 浩, 鳥羽 陽, 中島 大介, 藤森 英治, 香川 (田中) 聡子, 神野 透人: 空気試験法: フタル酸ジ-*n*-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシル: 固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法による定量 (新規), 日本薬学会第 144 年会, 横浜, 2024 年 3 月
- 16) 香川 (田中) 聡子, 森 葉子, 田原 麻衣子, 大河原 晋, 磯部 隆史, 大貫 文, 鈴木 浩, 鳥羽 陽, 中島 大介, 藤森 英治, 埴岡 伸光, 酒井 信夫, 神野 透人: 空気試験法: 総揮発性有機化合物 (新規), 日本薬学会第 144 年会, 横浜, 2024 年 3 月

3. 著書

- 1) 香川 聡子, 遠藤 治, 斎藤 育江, 酒井 信夫, 神野 透人, 鳥羽 陽, 中島 大介, 藤森 英治: 有機物質 / 揮発性有機化合物 / 固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法による定量 (新規), 公益社団法人日本薬学会環境・衛生部会, 衛生試験法・注解 2020 追補 2022, 公益社団法人日本薬学会環境衛生部会発行, 東京, p.13-17, 2022.
- 2) 神野 透人, 大貫 文, 香川 聡子, 酒井 信夫, 鈴木 浩, 鳥羽 陽, 中島 大介, 藤森 英治: 空気試験法 / 有機化

合物 / 揮発性有機化合物 / 総揮発性有機化合物 (新規), 公益社団法人日本薬学会環境衛生部会・試験法出版委員会編, 日本薬学会編衛生試験法・注解 2020・追補 2024, 公益社団法人日本薬学会環境衛生部会発行, 東京, p.8-12, 2024.

- 3) 神野 透人, 大貫 文, 香川 聡子, 酒井 信夫, 鈴木 浩, 鳥羽 陽, 中島 大介, 藤森 英治: 空気試験法 / 有機化合物 / フタル酸ジ-n-ブチルおよびフタル酸ジ-2-エチルヘキシル・固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー・質量分析法による定量 (新規), 公益社団法人日本薬学会環境衛生部会・試験法出版委員会編, 日本薬学会編衛生試験法・注解 2020・追補 2024, 公益社団法人日本薬学会環境衛生部会発行, 東京, p.13-17, 2024.

2. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

特許取得

なし

実用新案登録

なし

【令和3年度】結果図表

居住住宅26軒（居間）のTVOC濃度分布

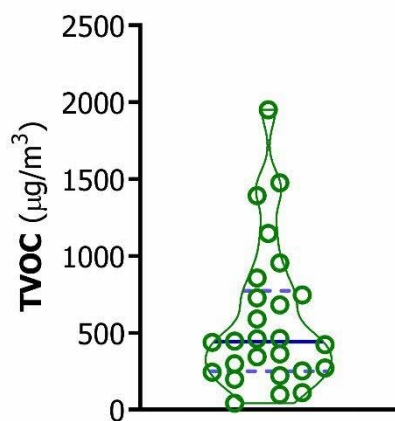


図1 居住住宅のTVOC濃度分布

Peak数とTVOC濃度の相関

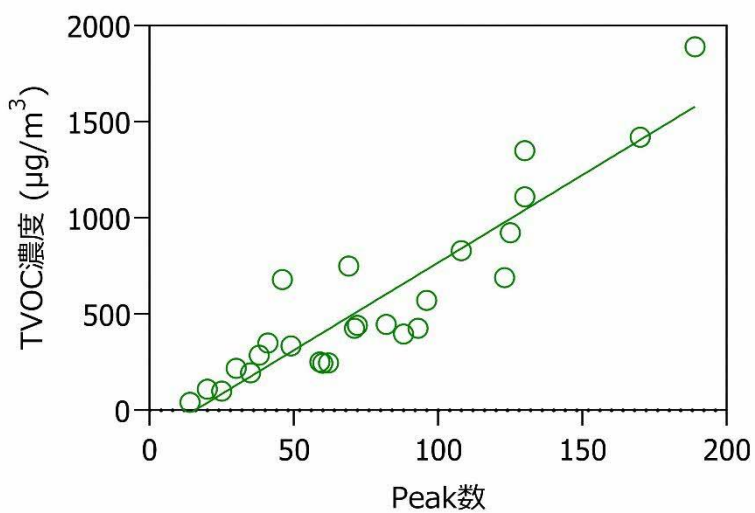


図2 TVOC構成成分数（Peak数）とTVOC濃度の相関

表1 室内空気中のTVOC濃度とその構成成分数、および主要VOC成分

Sample	TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TVOCを構成するPeak数	TVOCの80%を占める最少のPeak数	TVOCに占める割合が最も高いComponent	TVOCに占める割合 (%)
No.1	427	71	31	2,2,4,6-Pentamethylheptane	31
No.2	195	35	17	D-Limonene	11
No.3	252	59	30	D-Limonene	15
No.4	1350	130	36	D-Limonene	44
No.5	247	62	34	Decane	7
No.6	924	125	44	Decamethylcyclopentasiloxane	20
No.7	750	69	17	D-Limonene	38
No.8	1110	130	49	Nonane	9
No.9	1890	189	79	Decamethylcyclopentasiloxane	5
No.10	219	30	11	Decamethylcyclopentasiloxane	51
No.11	43	14	9	Decanal	21
No.12	573	96	43	Nonane	6
No.13	351	41	13	Decamethylcyclopentasiloxane	41
No.14	245	60	34	Decane	9
No.15	335	49	18	α -Pinene	26
No.16	428	93	59	3-Methoxy-3-methylbutanol	8
No.17	448	82	35	1,8-Cineol	20
No.18	100	25	14	D-Limonene	17
No.19	111	20	8	Decamethylcyclopentasiloxane	41
No.20	442	72	29	2,2,6-Trimethyl-Octane	19
No.21	830	108	42	Decamethylcyclopentasiloxane	15
No.22	288	38	13	Decamethylcyclopentasiloxane	48
No.23	690	123	53	Nonane	6
No.24	1420	170	65	Nonane	7
No.25	680	46	9	Decamethylcyclopentasiloxane	36
No.26	398	88	45	Dichlorobenzene	9

表2 デコンボリューション解析で同定された主なTVOC構成成分

Sample	RT	Area	Library Match	CAS #	Classification
No. 1	15.850	7300330	Heptane, 4-ethyl-2,2,6,6-tetramethyl-	62108-31-0	脂肪族炭化水素
	8.755	2308817	Toluene-D8	2037-26-5	
	12.917	1491513	Nonane	111-84-2	脂肪族炭化水素
	21.210	825341	Tridecane	629-50-5	脂肪族炭化水素
	18.597	775852	Undecane	1120-21-4	脂肪族炭化水素
No. 2	8.757	2878985	Toluene-D8	2037-26-5	
	16.688	1526129	D-Limonene	5989-27-5	香料
	20.432	1191562	Dihydroterpineol	21129-27-1	香料
No. 3	8.757	2799557	Toluene-D8	2037-26-5	
	16.687	2445600	D-Limonene	5989-27-5	香料
No. 4	16.700	23314456	D-Limonene	5989-27-5	香料
	16.705	4252758	(Unknown)		
	8.752	2925658	Toluene-D8	2037-26-5	
	15.817	2728517	Decane	124-18-5	脂肪族炭化水素
	12.913	2663248	Nonane	111-84-2	脂肪族炭化水素
	9.993	1592301	Octane	111-65-9	脂肪族炭化水素
	21.205	1499497	Dodecane	112-40-3	脂肪族炭化水素
	18.592	1404526	Undecane	1120-21-4	脂肪族炭化水素
16.690	1152777	(Unknown)		脂肪族炭化水素	
No. 5	8.747	3146196	Toluene-D8	2037-26-5	
No. 6	20.048	8690982	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	541-02-6	環状シロキサン
	16.682	4660561	D-Limonene	5989-27-5	香料
	8.750	3122193	Toluene-D8	2037-26-5	
	15.817	2607164	Decane	124-18-5	脂肪族炭化水素
	12.912	2247940	Nonane	111-84-2	脂肪族炭化水素
	20.062	1714700	(Unknown)		
	18.592	1595349	Undecane	1120-21-4	脂肪族炭化水素
	15.902	1301163	Benzene, 1,3-dichloro-	541-73-1	防虫剤
21.203	1131056	Dodecane	112-40-3	脂肪族炭化水素	
No. 7	16.688	17975697	D-Limonene	5989-27-5	香料
	20.053	8012851	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	541-02-6	環状シロキサン
	8.755	3206087	Toluene-D8	2037-26-5	
	9.843	1575911	Acetic acid, butyl ester	123-86-4	エステル類
No. 8	12.917	5957926	Nonane	111-84-2	脂肪族炭化水素
	15.822	3934080	Decane	124-18-5	脂肪族炭化水素
	9.997	2649363	Octane	111-65-9	脂肪族炭化水素
	8.755	2376603	Toluene-D8	2037-26-5	
	18.593	2095397	Undecane	1120-21-4	脂肪族炭化水素
	11.818	1880394	Benzene, 1,3-dimethyl-	108-38-3	芳香族炭化水素
	8.865	1744606	Toluene	108-88-3	芳香族炭化水素
	14.107	1408285	(1R)-(+)- α -Pinene	7785-70-8	香料
	15.513	1401047	Mesitylene	108-67-8	芳香族炭化水素
	7.317	1348622	Heptane	142-82-5	脂肪族炭化水素
	21.208	1306612	Dodecane	112-40-3	脂肪族炭化水素
	12.122	1268874	Octane, 3-methyl-	2216-33-3	脂肪族炭化水素
	11.900	1243392	Octane, 3,4,5,6-tetramethyl-	62185-21-1	脂肪族炭化水素

	16.683	1170742	D-Limonene	5989-27-5	香料
	7.987	1054029	Cyclohexane, methyl-	108-87-2	脂肪族炭化水素
	12.528	961558	p-Xylene	106-42-3	芳香族炭化水素
	14.533	890713	Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	611-14-3	芳香族炭化水素
	14.755	842290			
No. 9	15.823	5485952	Decane	124-18-5	脂肪族炭化水素
	12.918	5246650	Nonane	111-84-2	脂肪族炭化水素
	20.057	4174679	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	541-02-6	脂肪族炭化水素
	8.757	2946092	Toluene-D8	2037-26-5	
	18.597	2841895	Undecane	1120-21-4	脂肪族炭化水素
	7.315	2825222	Heptane	142-82-5	脂肪族炭化水素
	11.920	2662016	(Unknown)		
	16.687	2434712	D-Limonene	5989-27-5	香料
	23.507	2114473	Cyclohexanol, 2=(1,1-dimethylethyl)-, ac	20298-70-8	香料
	8.867	2009639	Toluene	108-88-3	芳香族炭化水素
	21.212	1931836	Dodecane	112-40-3	脂肪族炭化水素
	15.518	1781781	Mesitylene	108-67-8	芳香族炭化水素
	9.998	1776624	Octane	111-65-9	脂肪族炭化水素
	5.148	1760165	Ethyl Acetate	141-78-6	エステル類
	11.823	1529425	o-Xylene	95-47-6	芳香族炭化水素
	10.840	1267264	1,3-Butanediol	107-88-0	その他溶剤
	25.967	1108049	Tridecane	629-50-5	脂肪族炭化水素
	14.538	1049959	Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	611-14-3	芳香族炭化水素
	12.125	1015249	Octane, 3-methyl-	2216-33-3	脂肪族炭化水素
No. 10	20.057	6632449	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	541-02-6	環状シロキサン
	8.758	2935808	Toluene-D8	2037-26-5	
No. 11	8.758	2648188	Toluene-D8	2037-26-5	
No. 12	8.758	2619944	Toluene-D8	2037-26-5	
	12.920	2159490	Nonane	111-84-2	脂肪族炭化水素
	10.842	1483080	1,3-Butanediol	107-88-0	その他溶剤
	15.825	1266685	Undecane	1120-21-4	脂肪族炭化水素
	20.058	1179907	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	541-02-6	環状シロキサン
	10.000	1057671	Octane	111-65-9	脂肪族炭化水素
	21.212	973905	Dodecane	112-40-3	脂肪族炭化水素
	5.217	972048	n-Hexane	110-54-3	脂肪族炭化水素
	14.037	883923	Benzaldehyde	100-52-7	アルデヒド類
No. 13	20.058	8402150	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	541-02-6	環状シロキサン
	8.758	2873667	Toluene-D8	2037-26-5	
	16.687	2366003	D-Limonene	5989-27-5	香料
No. 14	8.750	2868999	Toluene-D8	2037-26-5	
	15.817	1115686	Decane	124-18-5	脂肪族炭化水素
No. 15	14.098	5403609	(1R)-(+)- α -Pinene	7785-70-8	香料
	8.748	2995292	Toluene-D8	2037-26-5	
	20.047	2376379	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	541-02-6	環状シロキサン
	16.233	1678825	3-Carene	13466-78-9	香料
No. 16	8.747	2621488	Toluene-D8	2037-26-5	
	12.797	2160414	3-Methoxy-3-methylbutanol	56539-66-3	その他溶剤
	17.152	1025747	Octane, 3,5-dimethyl-	15869-93-9	脂肪族炭化水素

	20.417	952631	Cyclohexanol, 1-methyl-4-(1-methylethy	21129-27-1	脂肪族炭化水素
	17.488	920687	Octane, 2,2,6-trimethyl-	62016-28-8	脂肪族炭化水素
No. 17	16.710	4553818	1,8-Cineole	470-82-6	香料
	15.895	3175940	Benzene, 1,3-dichloro-	541-73-1	防虫剤
	8.748	2629427	Toluene-D8	2037-26-5	
No. 18	8.747	2980516	Toluene-D8	2037-26-5	
No. 19	20.048	2557878	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	541-02-6	環状シロキサン
	8.745	1545152	Toluene-D8	2037-26-5	
	5.208	521793	n-Hexane	110-54-3	脂肪族炭化水素
No. 20	14.852	5226796	Octane, 2,2,6-trimethyl-	62016-28-8	脂肪族炭化水素
	8.743	2378894	Toluene-D8	2037-26-5	
	15.242	1009784	Hexane, 2,2,3-trimethyl-	16747-25-4	脂肪族炭化水素
	16.630	978700	Decane, 2,2-dimethyl-	17302-37-3	脂肪族炭化水素
	16.675	972130	D-Limonene	5989-27-5	香料
No. 21	20.052	6968964	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	541-02-6	環状シロキサン
	12.912	3547376	Nonane	111-84-2	脂肪族炭化水素
	8.750	2286360	Toluene-D8	2037-26-5	
	9.992	2029222	Octane	111-65-9	脂肪族炭化水素
	8.860	1673385	Toluene	108-88-3	芳香族炭化水素
	15.817	1581022	Decane	124-18-5	脂肪族炭化水素
	11.815	1345696	p-Xylene	106-42-3	芳香族炭化水素
	7.308	1190448	Heptane	142-82-5	脂肪族炭化水素
	7.987	976578	Cyclohexane, methyl-	108-87-2	脂肪族炭化水素
	12.117	829164	Octane, 3-methyl-	2216-33-3	脂肪族炭化水素
No. 22	20.052	8090524	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	541-02-6	環状シロキサン
	8.752	2707647	Toluene-D8	2037-26-5	
	17.697	909703	Tetrasiloxane, decamethyl-	141-62-8	環状シロキサン
No. 23	12.912	2721093	Nonane	111-84-2	脂肪族炭化水素
	8.752	2567610	Toluene-D8	2037-26-5	
	15.817	1804878	Undecane	1120-21-4	脂肪族炭化水素
	20.052	1595037	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	541-02-6	環状シロキサン
	18.592	1341661	Undecane	1120-21-4	脂肪族炭化水素
	9.992	1282717	Octane	111-65-9	脂肪族炭化水素
	21.205	1182768	Dodecane	112-40-3	脂肪族炭化水素
	8.862	924967	Toluene	108-88-3	芳香族炭化水素
No. 24	12.913	6229338	Nonane	111-84-2	脂肪族炭化水素
	15.817	4711071	Decane	124-18-5	脂肪族炭化水素
	18.590	2806587	Undecane	1120-21-4	脂肪族炭化水素
	8.750	2426212	Toluene-D8	2037-26-5	
	9.990	2227454	Octane	111-65-9	脂肪族炭化水素
	11.817	2176317	p-Xylene	106-42-3	芳香族炭化水素
	21.203	2089332	Dodecane	112-40-3	脂肪族炭化水素
	16.680	1677488	D-Limonene	5989-27-5	香料
	15.512	1500376	Mesitylene	108-67-8	芳香族炭化水素
	14.528	1290009	Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	620-14-4	芳香族炭化水素
	12.117	1225216	Octane, 3-methyl-	2216-33-3	脂肪族炭化水素
	8.858	1141473	Toluene	108-88-3	芳香族炭化水素
	20.048	1075090	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	541-02-6	環状シロキサン

	11.893	1016248	Heptane, 2,3-dimethyl-	3074-71-3	脂肪族炭化水素
	14.752	984803	(Unkown)		
	12.523	966245	p-Xylene	106-42-3	芳香族炭化水素
	15.082	853650	Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	611-14-3	芳香族炭化水素
	13.965	840668	Octane, 2,6-dimethyl-	2051-30-1	脂肪族炭化水素
	23.655	819008	Tridecane	629-50-5	脂肪族炭化水素
No. 25	14.098	11287057	(1R)-(+)- α -Pinene	7785-70-8	香料
	20.055	7261732	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	541-02-6	環状シロキサン
	20.040	2781069	(Unkown)		
	8.747	2424585	Toluene-D8	2037-26-5	
	16.678	1411584	D-Limonene	5989-27-5	香料
No. 26	8.745	2143595	Toluene-D8	2037-26-5	
	15.893	1897309	Benzene, 1,3-dichloro-	541-73-1	防虫剤
	15.810	1506600	Decane	124-18-5	脂肪族炭化水素
	12.905	1432174	Nonane	111-84-2	脂肪族炭化水素
	21.197	976466	Dodecane	112-40-3	脂肪族炭化水素
	18.582	920693	Undecane	1120-21-4	脂肪族炭化水素

【令和 4 年度】結果図表

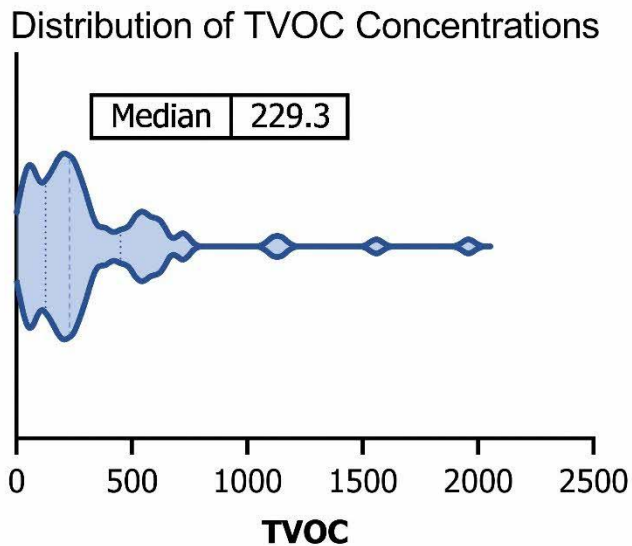


図 1 居住住宅の TVOC 濃度分布（2020 年度全国調査）

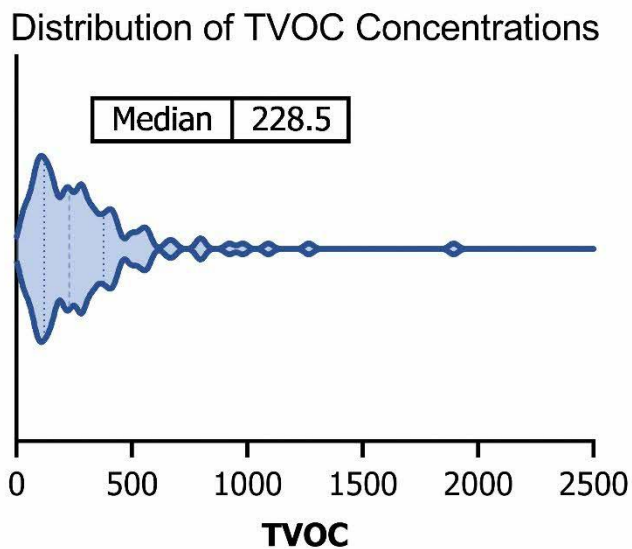


図 2 居住住宅の TVOC 濃度分布（2016 年度全国調査）

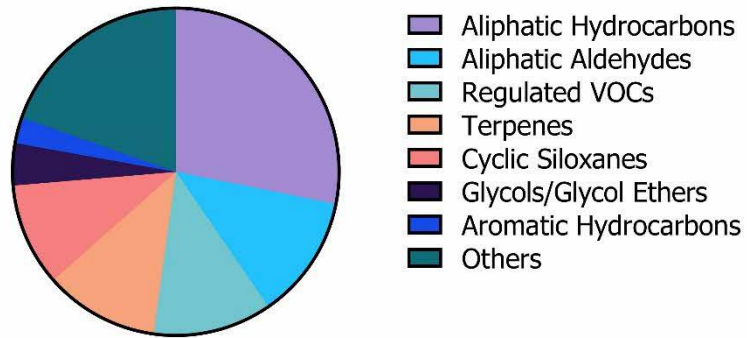


図3 TVOC 構成成分の割合
(各住居の TVOC 値の 50%を占める主要な VOCs)

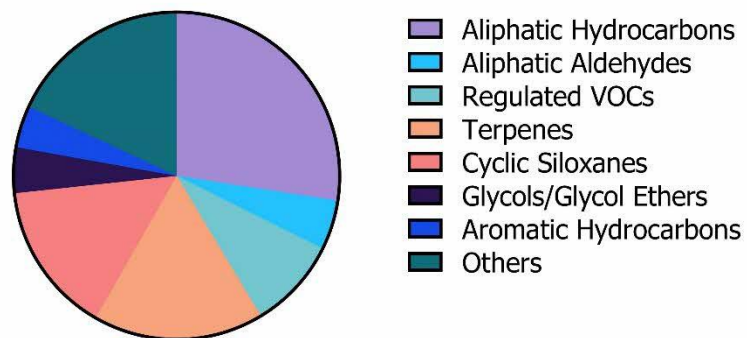


図4 TVOC 構成成分の割合
(40 µg/m³ 以上の濃度で検出された VOCs)

【令和5年度】結果図表

本文中に示す。