

北海道内の居住住宅における 室内空气中揮発性有機化合物（VOCs）の実態調査

Survey of Volatile Organic Compounds (VOCs)
of Living Houses in Indoor Air in Hokkaido

千葉 真弘 大泉 詩織 兼俊 明夫

Masahiro CHIBA, Shiori OIZUMI and Akio KANETOSHI

Key words : volatile organic compound (揮発性有機化合物) ; indoor air (室内空気) ; Hokkaido (北海道)

室内環境学会によると、室内環境問題はダニ、ウイルス及び花粉等の「生物的要素」、音、温熱及び放射線等の「物理的要素」、臭い、粒子状物質及び揮発性有機化合物（VOCs）等の「化学的要素」に大きく分類され、化学的要素はその時代の社会的・経済的な背景が反映されやすいとしている¹⁾。一例として、室内空气中的化学物質により健康被害が引き起こされるシックハウス症候群が社会問題となり、厚生労働省は平成9年から14年にかけて13種の化学物質に対して室内濃度指針値を策定した²⁻⁵⁾。その結果、近年では、指針値策定からの時間経過に伴い、指針値策定物質が検出される事例は減少したものの、代替物質等の未規制化学物質の検出事例が散見されるようになり⁶⁻⁹⁾、シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会（シックハウス検討会）において、新たなVOCsの指針値化も検討されている¹⁰⁾。本研究では、この化学的要素のうち固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法¹¹⁾で分析を行うVOCsに着目し、指針値策定及び指針値化が検討されている物質に加え、同時に分析可能な未規制のVOCsについて、令和4年7月から令和5年10月にかけて道内の居住住宅における室内空气中の存在実態を調査したので報告する。

方 法

1. 調査対象物質

調査対象物質は、指針値策定物質のうち固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法で分析を行う6物質²⁻⁴⁾に加え、指針値化が検討されている2-エチル-1-ヘキサノール、2,2,4-トリメチルペンタン-1,3-ジオールモノイソブチラート（TMPD-MIB）及び2,2,4-トリメチルペンタン-1,3-ジオールジイソブチラート（TMPD-DIB）¹⁰⁾、ならびに水性塗料や家庭用品等に由来すると考えられる未規制の揮発性有機化合物を含めた計52物質とした（表1）。

2. 試薬

指針値策定物質とその他の揮発性有機化合物は、Merck社製の室内大気基準（100 µg/mL、95%メタノール溶液）及び48成分屋内空気標準物質（1,000 µg/mL、95%メタノール溶液）の混合標準溶液を使用した。指針値策定検討物質は、富士フイルム和光純薬(株)製2-エチル-1-ヘキサノール（特級）、Alfa Aesar製TMPD-MIB及びMerck社製TMPD-DIBをそれぞれ用いた。グリコールエーテル類の標準品として、エチレングリコールモノフェニルエーテル、プロピレングリコール及びプロピレングリコールモノメチルエーテルは富士フイルム和光純薬(株)製特級を、プロピレングリコールモノブチルエーテル、プロピレングリコールモノメチルエーテルアセテート及びジプロピレングリコールモノブチルエーテルは富士フイルム和光純薬(株)製一級を、プロピレングリコールモノエチルエーテルアセテートは富士フイルム和光純薬(株)製化学用を用いた。また、ジプロピレングリコールモノメチルエーテルは東京化成工業(株)製EPグレードを、プロピレングリコールモノエチルエーテルは東京化成工業(株)製を、その他のグリコールエーテル類は東京化成工業(株)製GRグレードを用いた。環状シロキサン類の標準品は、東京化成工業(株)製ドデカメチルシクロヘキサシロキサン（GRグレード）、富士フイルム和光純薬(株)製オクタメチルシクロテトラシロキサン（化学用）及びドデカメチルシクロペンタシロキサンをそれぞれ用いた。トルエン-*d*₈（内部標準物質）は、高千穂化学工業(株)製トルエン-*d*₈ガス（1 ppm、バランスガス：窒素）を用いた。メタノールは関東化学(株)製または富士フイルム和光純薬(株)製の残留農薬・PCB測定用5,000倍濃縮検定品を用いた。

3. 分析方法

捕集管はMerck社製Tenax TA（60/80メッシュ）の

表1 調査対象物質

○指針値策定物質 (6物質)	○環状シロキサン類 (3物質)
トルエン	オクタメチルシクロテトラシロキサン
キシレン (o, m, p-キシレン)	デカメチルシクロペンタシロキサン
エチルベンゼン	ドデカメチルシクロヘキサシロキサン
スチレン	○その他の揮発性有機化合物 (21物質)
パラジクロロベンゼン	テトラクロロエチレン
テトラデカン	1,2-ジクロロプロパン
○指針値策定検討物質 (3物質)	ジブロモクロロメタン
2-エチル-1-ヘキサノール	2-エチルトルエン
2,2,4-トリメチルペンタン-1,3-ジオールモノイソブチラート (TMPD-MIB)	3-エチルトルエン
2,2,4-トリメチルペンタン-1,3-ジオールジイソブチラート (TMPD-DIB)	4-エチルトルエン
○グリコールエーテル類 (19物質)	1,2,3-トリメチルベンゼン
エチレングリコールモノエチルエーテル	1,2,4-トリメチルベンゼン
エチレングリコールモノブチルエーテル	1,3,5-トリメチルベンゼン
エチレングリコールモノフェニルエーテル	1,2,4,5-テトラメチルベンゼン
エチレングリコールモノメチルエーテルアセテート	酢酸ブチル
エチレングリコールモノエチルエーテルアセテート	4-メチル-2-ペンタノン
プロピレングリコール	ヘプタン
プロピレングリコールモノメチルエーテル	オクタン
プロピレングリコールモノエチルエーテル	ノナン
プロピレングリコールモノブチルエーテル	デカン
プロピレングリコールモノメチルエーテルアセテート	ウンデカン
プロピレングリコールモノエチルエーテルアセテート	ドデカン
3-メトキシ-3-メチルブタノール	トリデカン
ジブロピレングリコールモノメチルエーテル	ペンタデカン
ジブロピレングリコールモノブチルエーテル	ヘキサデカン
ジエチレングリコールモノメチルエーテル	
ジエチレングリコールモノエチルエーテル	
ジエチレングリコールモノブチルエーテル	
ジエチレングリコールモノエチルエーテルアセテート	
ジエチレングリコールモノブチルエーテルアセテート	

表2 分析条件

○TD 条件	
装置	パーキンエルマー製 Turbomatrix 650 ATD
内部標準物質	トルエン- d_8 (自動添加)
デソープ温度	250℃
デソープ時間	10 min
デソープ流量	50 mL/min
キャリアガス	ヘリウム (1 mL/min)
2次トラップ冷却温度	-20℃
2次トラップ加熱温度	250℃
ライン温度	240℃
バルブ温度	240℃
注入モード	再捕集モード (スプリット比 1:19、導入量 5%)
○GC-MS 条件	
装置	島津製作所製 GCMS-QP2010 Plus
カラム	Restek 製 Rtx-1 (0.32 mm × 60 m、膜厚 1 μm)
昇温条件	40℃ → (5℃/min) → 280℃ (4 min)
イオン源温度	200℃
インターフェース温度	250℃
イオン化法	EI
測定モード	SCAN / SIM 同時測定 (解析は SIM)

ガラスチューブを用いた。分析は、室内空气中化学物質の測定マニュアル (統合版) における「3.2 第2法 固相吸着-加熱脱離-ガスクロマトグラフィー/質量分析法」の平常実態把握法¹¹⁾に基づいて行った (ただし2重測定は行っていない)。分析機器の条件は表2に示したとおりである。

定量下限値は 6.9 μg/m³ とし、標準液におけるピークの S/N 比が 10 以上であることを確認した。実態調査は令和4年7月から令和5年10月にかけて実施し、札幌観光協会のホームページ¹²⁾を参考に春季を4月～5月、夏季を6月～8月、秋季を9月～10月及び冬季を11月～3月とした。

表3 令和4年度の実態調査結果 (μg/m³)

	住宅A 住宅B		住宅C 住宅D		住宅E 住宅F		住宅G 住宅H		住宅I 住宅J		住宅K 住宅L		指針値
	夏季		秋季				冬季						
○指針値策定物質													
トルエン	nd	nd	nd	nd	nd	111	29	nd	7	41	nd	15	260
エチルベンゼン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	13	nd	nd	29	nd	nd	370
キシレン (o, m, p-キシレン)* ¹	nd	nd	nd	nd	nd	nd	49	nd	nd	145	nd	11	200
スチレン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	220
パラジクロロベンゼン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7	nd	nd	240
テトラデカン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	19	nd	nd	15	nd	nd	330
○指針値策定検討物質													指針値案
2-エチル-1-ヘキサノール	nd	nd	11	8	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	130* ²
TMPD-MIB	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	240* ²
TMPD-DIB	nd	nd	nd	7	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	100* ²
○グリコールエーテル類													
プロピレングリコールモノメチルエーテル	nd	nd	nd	nd	38	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
プロピレングリコール	8	28	nd	nd	13	nd	18	nd	nd	nd	nd	7	
プロピレングリコールモノメチルエーテルアセート	nd	nd	nd	nd	nd	nd	22	nd	nd	nd	nd	nd	
3-メトキシ-3-メチルブタノール	nd	nd	nd	nd	7	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7	
ジプロピレングリコールモノメチルエーテル	nd	nd	nd	nd	nd	nd	14	nd	nd	nd	nd	nd	
○環状シロキサン類													
デカメチルシクロペンタシロキサン	131	nd	12	23	nd	76	41	127	8	11	9	173	
○その他の揮発性有機化合物													
ヘプタン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	8	nd	nd	30	nd	nd	
酢酸ブチル	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	13	66	8	nd	
オクタン	8	nd	nd	nd	nd	nd	43	nd	nd	84	nd	12	
ノナン	13	nd	nd	nd	nd	nd	109	nd	nd	158	nd	25	
α-ピネン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	8	nd	nd	nd	nd	nd	
3-エチルトルエン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	15	nd	nd	62	nd	7	
4-エチルトルエン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9	nd	nd	42	nd	nd	
1,3,5-トリメチルベンゼン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7	nd	nd	29	nd	nd	
2-エチルトルエン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	11	nd	nd	41	nd	nd	
1,2,4-トリメチルベンゼン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	21	nd	nd	96	nd	8	
デカン	11	nd	nd	nd	nd	11	74	nd	nd	153	nd	17	
1,2,3-トリメチルベンゼン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	28	nd	nd	
ウンデカン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	44	nd	nd	127	nd	11	
ドデカン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	34	nd	nd	95	nd	7	
トリデカン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	43	nd	nd	44	nd	nd	

nd：定量下限値 (6.9 μg/m³) 未満

*¹：キシレンとしての合計値*²：検討指針値案の値

結 果

実態調査の結果を表3及び4に示す。なお、住宅及び検出された物質については延べ数で表記する。調査の結果、指針値策定物質は10住宅、指針値策定検討物質は5住宅で確認されたが、すべての住宅で指針値及び策定検討指針値案未満であった。グリコールエーテル類は、令和4年度には5住宅で5物質、令和5年度には6住宅で4物質が、また環状シロキサン類は、令和4年度には10住宅で、

令和5年度には4住宅で1物質が確認された。その他のVOCsが確認された住宅は、令和4年度は7住宅（15物質）、令和5年度は6住宅（10物質）であった。令和4年度冬季の調査において指針値策定物質を含む20物質が確認された住宅Jの季節変動を調査した結果は、春季8物質、夏季0物質、秋季9物質であった（表5）。

最後に本研究を行うにあたり、実態調査における試料採取にご協力を頂きました関係諸氏に深謝いたします。

表4 令和5年度の実態調査結果 (μg/m³)

	住宅M 住宅N 住宅J 住宅O				住宅P 住宅Q 住宅R 住宅J				住宅J 住宅S 住宅T			指針値
	春季				夏季				秋季			
○指針値策定物質												
トルエン	nd	nd	nd	nd	14	nd	10	nd	7	nd	nd	260
エチルベンゼン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	370
キシレン (o, m, p-キシレン)* ¹	nd	nd	9	nd	nd	nd	nd	nd	8	nd	nd	200
スチレン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	220
パラジクロロベンゼン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	185	240
テトラデカン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	330
○指針値策定検討物質												指針値案
2-エチル-1-ヘキサノール	nd	nd	nd	nd	8	nd	nd	nd	nd	nd	19	130* ²
TMPD-MIB	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	22	nd	240* ²
TMPD-DIB	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	100* ²
○グリコールエーテル類												
プロピレングリコールモノメチルエーテル	nd	nd	nd	nd	nd	260	nd	nd	nd	nd	19	
プロピレングリコール	nd	9	9	nd	20	52	7	nd	nd	nd	10	
3-メトキシ-3-メチルブタノール	nd	8	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
ジプロピレングリコールモノメチルエーテル	nd	13	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
○環状シロキサン類												
デカメチルシクロペンタシロキサン	64	nd	7	26	nd	nd	54	nd	nd	nd	nd	
○その他の揮発性有機化合物												
ヘプタン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10	nd	nd	
オクタン	nd	nd	9	nd	nd	8	nd	nd	16	nd	nd	
テトラクロロエチレン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	24	nd	nd	
ノナン	nd	12	25	nd	7	17	nd	nd	38	nd	nd	
α-ピネン	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	103	nd	
1,2,4-トリメチルベンゼン	nd	nd	12	nd	nd	nd	nd	nd	8	nd	nd	
デカン	nd	43	27	nd	nd	8	nd	nd	27	nd	nd	
ウンデカン	nd	35	21	nd	nd	nd	nd	nd	17	nd	nd	
ドデカン	nd	nd	14	nd	nd	nd	nd	nd	14	nd	nd	
トリデカン	nd	nd	9	nd	nd	nd	nd	nd	8	nd	nd	

nd：定量下限値 (6.9 μg/m³) 未満

*¹：キシレンとしての合計値*²：検討指針値案の値

表5 住宅Jにおける季節変動 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	冬季	春季	夏季	秋季	指針値
○指針値策定物質					
トルエン	41	nd	nd	nd	260
エチルベンゼン	29	nd	nd	nd	370
キシレン (<i>o</i> , <i>m</i> , <i>p</i> -キシレン) ^{*1}	145	nd	nd	nd	200
スチレン	nd	nd	nd	nd	220
パラジクロロベンゼン	7	nd	nd	nd	240
テトラデカン	15	nd	nd	nd	330
○指針値策定検討物質					指針値案
2-エチル-1-ヘキサノール	nd	nd	nd	nd	130 ^{*2}
TMPD-MIB	nd	nd	nd	nd	240 ^{*2}
TMPD-DIB	nd	nd	nd	nd	100 ^{*2}
○グリコールエーテル類					
プロピレングリコール	nd	9	nd	nd	
○環状シロキサン類					
デカメチルシクロペンタシロキサン	11	nd	nd	nd	
○その他の揮発性有機化合物					
ヘプタン	30	nd	nd	10	
酢酸ブチル	66	nd	nd	nd	
オクタン	84	9	nd	16	
テトラクロロエチレン	nd	nd	nd	24	
ノナン	158	25	nd	38	
3-エチルトルエン	62	nd	nd	nd	
4-エチルトルエン	42	nd	nd	nd	
1,3,5-トリメチルベンゼン	29	nd	nd	nd	
2-エチルトルエン	41	nd	nd	nd	
1,2,4-トリメチルベンゼン	96	12	nd	8	
デカン	153	27	nd	27	
1,2,3-トリメチルベンゼン	28	nd	nd	nd	
ウンデカン	127	21	nd	17	
ドデカン	95	14	nd	14	
トリデカン	44	9	nd	8	

nd：定量下限値 ($6.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 未満

*1：キシレンとしての合計値

*2：検討指針値案の値

文 献

- 1) 一般社団法人室内環境学会編：室内環境の事典，朝倉書店，東京，2023
- 2) 厚生省生活衛生局長通知生衛発第1093号「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」，平成12年6月30日
- 3) 厚生省生活衛生局長通知生衛発第1852号「室内空气中化学物質の室内濃度指針値及び総揮発性有機化合物の室内濃度暫定目標値等について」，平成12年12月22日
- 4) 厚生労働省医薬局長通知医薬発第828号「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等について」，平成13年7月25日
- 5) 厚生労働省医薬局長通知医薬発第0207002号「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等について」，平成14年2月7日
- 6) 小林 智，武内伸治，小島弘幸，高橋哲夫，神 和夫，秋津裕志，伊佐治信一：水性塗料成分1-メチル-2-ピロリドン及びテキサノールによる新築小学校の室内空気汚染，室内環境，**13**(1)，39-54 (2010)
- 7) 溝内重和，市場正良，宮島 徹，兒玉宏樹，高椋利幸，染谷 孝，上野大介：小学校室内環境における未規制 VOCs 濃度の現状把握，室内環境，**17**(2)，69-79 (2014)
- 8) 斎藤育江，大貫 文，戸高恵美子，中岡宏子，森 千里，保坂三継，小縣昭夫：近年の室内空気汚染問題について：未規制物質による健康リスク，日本リスク研究学会誌，**21**(2)，91-100 (2011)
- 9) 小林 智：未規制化学物質による室内空気汚染の事例—汚染物質及び発生源の探索と低減化対策—，環境技術，**41**(4)，206-211 (2012)
- 10) 第21回シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討

会：資料 1-1「室内空気汚染に係るガイドライン案について一室内濃度に関する指針値案」，平成 29 年 4 月 19 日
11) 厚生労働省医薬局医薬品審査管理課長通知医薬審発 0117 第 4 号「室内空气中化学物質の測定マニュアル（統合版）

について」，令和 7 年 1 月 17 日
12) 札幌観光協会ホームページ：四季の楽しみ方，<https://www.sapporo.travel/info/about/season/>（確認：2025 年 7 月 16 日）