

3. 拡散サンプラーを用いる空气中ガス状化学物質の分析

研究分担者 内山茂久（千葉大学），樺田尚樹（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

特定建築物施設内のガス状化学物質濃度を夏期（111施設）と冬期（5施設）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。就業時間の8時間でも十分な分析感度が得られた。また，千葉市内及び近郊の32戸の住宅で化学物質の個人曝露濃度，室内濃度，屋外濃度の調査を行い，その挙動を考察した。32戸の住宅において，屋外濃度はほとんど変わらないが，室内濃度と個人曝露濃度は大きく変動した。アセトアルデヒドの室内濃度が $260\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ を示した住宅の居住者2名の個人曝露濃度はそれぞれ $150\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ， $180\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったが，滞在時間には対応していない濃度である。この住宅は木造戸建て住宅で α -ピネンも最大濃度で検出されたことから，木材が発生源である可能性が示唆される。また，サンプリング期間中に外壁工事が行われていた住宅ではトルエン（ $740\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），テキサノール（ $5100\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），TXIB（ $140\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）等の溶剤の濃度が非常に高くなることがあったが，室内濃度への影響は集合住宅で大きく，木造戸建て住宅では小さいことも分かった。同一住宅に居住している人は滞在時間が長い人ほど曝露濃度が高くなる傾向がみられたが特異に高濃度を示す場合もあった。個人曝露濃度でホルムアルデヒドが $150\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出された人がいたが，同居している人は $18\sim 23\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ と低い値であり，自宅以外で高濃度に曝露したことが考えられる。このように，同一住宅に居住していても個人曝露濃度は異なることが多い。個人曝露量を正確に知り，人へのリスク評価を行うためには本研究で開発したパーソナルサンプラーが極めて有効である。

A. 研究目的

人は絶えず様々な化学物質に晒されている。これらの化学物質の中には，喘息やシックハウス症候群だけではなく，発ガンの要因になる物質も多く存在する。特に，空気は飲料水と異なり人が選択することができず，必然的にその人の周辺の空気を摂取しなければならない。人の健康対策として，室内空気質をモニタリングすることが行われているが，ほとんどの人は居住する住宅に一日中いるわけではない。従って，化学物質が人の健康に及ぼす影響を正確に評価するには個人曝露濃度を測定する必要がある。個人曝露濃度の測定には，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。

本研究では，個人曝露測定用の拡散サンプラーを開発し，2021年8，9月に千葉市及び近郊の32戸の住宅で個人曝露濃度，室内濃度，屋外濃度の調査を行い，化学物質の挙動を考察した。

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. 2~4に示す。

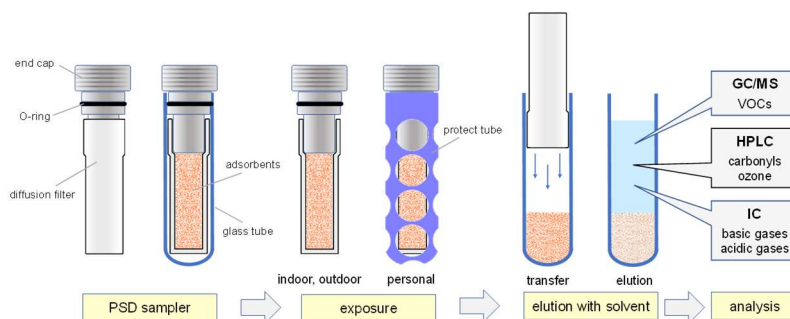


Fig. 1. Measuring gaseous chemical compounds using the PSD sampling device.

捕集方法 (室内, 屋外): 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. 捕集終了時に glass tube を取り付け, アルミ製保存袋に入れる. 室内, 屋外におけるサンプリング風景をそれぞれ Fig. 2, Fig. 3 に示す.

捕集方法 (個人曝露): PSD-sampler の入ったアルミ製保存袋からサンプラーを取り出す. 測定開始時に glass tube を取り外し, 穴の開いたプラスチック製保護チューブを取り付け, 個人曝露濃度測定用のパーソナルサンプラーとした. パーソナルサンプラーは洋服の襟元等にクリップで固定したり, 鞆やリュック等に取り付けたりして使用する. 捕集終了時に保護チューブを取り外し, glass tube を取り付け, アルミ製保存袋に入れる. 個人曝露のサンプリング風景を Fig. 4 に示す.

B.2 分析方法

B.2.1 PSD-BPE/DNPH (オゾン及びカルボニル化合物測定用):

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 はオゾンスクラバーとしても機能し, 破壊を防ぐことができる.

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(DNPH, ホルムアルデヒド, アセトアルデヒド, アセトン, アクロレイン, プロパナール, クロトンアルデヒド, 2-ブタノン, ブタナール, ベンズアルデヒド, *i*-ペンタナール, *n*-ペンタナール, *o*-トルアルデヒド, *p*-トルアルデヒド, ヘキサナール, 2,5-ジメチルベンズアルデヒド, ヘプタナール, オクタナール, 2-ノネナール, ノナナール, デカナール) を HPLC で定量可能である.



Fig. 2. Picture of the measurement of indoor air using PSD samplers.



Fig. 3. Picture of the measurement of outdoor air using PSD samplers.



Fig. 4. Picture of the measurement of personal exposure using PSD personal samplers.

B.2.2 PSD-TEA (酸性ガス測定用拡散サンプラー)

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⁾

捕集を終えたサンプラーの充填剤 TEA-silica 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 のグラジェントモードで分析を行った. なお, サプレッサーには ADRS 600 を使用した. 酢酸イオン, ギ酸イオン, 塩化物イオン, 亜硝酸イオン, 臭化物イオン, 硝酸イオン, 硫酸イオンが分析可能である.

B.2.3 PSD-NH₃ (塩基性ガス測定用拡散サンプラー)

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、アンモニアやトリメチルアミン等を定性、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。

捕集を終えたサンプラーの充填剤を5mLのバイアルに移す。純水5ml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。リチウムイオン、ナトリウムイオン、アンモニウムイオン、カリウムイオン、マグネシウムイオン、カルシウムイオンが分析可能である。

B.2.4 PSD-CX (VOC測定用拡散サンプラー)

大気中の揮発性有機化合物 (Volatile Organic Carbons, VOC) 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を二硫化炭素で溶出し、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。捕集を終えたCarboxen 572粒子を2mLバイアルに移し、二硫化炭素を1mL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で分析を行う。

本研究における分析条件で、46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、シクロヘキサン、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 d8、トルエン、酢酸ブチル、テトラクロロエチレン、ノナン、ジブrom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、TXIB) のVOCを分析することが可能である。

C. 結果と考察

C.1 個人曝露, 室内, 屋外空気室調査 調査の概要

千葉市内及び近郊に所在する住宅32戸の室内と屋外濃度、および居住者の個人曝露濃度を測定した。調査は前述の4種類の拡散サンプラーを用いて、2021年8月、9月に行った。サプリング期間は全て1週間である。調査住宅の概要をTable 1に示す。調査住宅は集合住宅21戸、戸建て住宅11戸、木造家屋14戸、コンクリート住宅18戸であり、室内の測定場所はリビングルームを基本とした。

Table 1. Outlines of the houses investigated in this study.

house	number of residents	house type	structure	room area, m ²	house age, year
No. 1	4	apartment	concrete	12.8	35
No. 2	2	apartment	concrete	13.2	30
No. 3	1	detached	wooden	13.6	22
No. 4	5	detached	concrete	9.6	29
No. 5	1	apartment	concrete	9.6	27
No. 6	4	apartment	concrete	24.0	20
No. 7	1	apartment	concrete	22.5	
No. 8	1	apartment	concrete	9.6	35
No. 9	2	apartment	concrete	9.9	50
No. 10	4	detached	wooden	19.2	21
No. 11	4	detached	wooden	16.0	20
No. 12	3	apartment	concrete		
No. 13	2	apartment	concrete	19.2	32
No. 14	1	apartment	wooden	16.0	10
No. 15	3	detached	wooden	14.4	18
No. 16	1	apartment	concrete		
No. 17		detached	wooden	24.0	50
No. 18	6	apartment	wooden	35.0	25
No. 19	2	apartment	concrete	22.4	16
No. 20	4	apartment	concrete	38.4	17
No. 21	4	apartment	wooden	108	30
No. 22	2	apartment	concrete	10.4	33
No. 23	1	apartment	wooden	12.8	40
No. 24	1	apartment	concrete	12.8	7
No. 25	2	detached	wooden	32.0	15
No. 26	5	apartment	concrete	21.9	12
No. 27	1	detached	wooden	8.0	15
No. 28	3	detached	concrete	26.0	3
No. 29	3	detached	wooden	20.8	21
No. 30	2	detached	wooden	9.6	6
No. 31	2	apartment	concrete	27.2	34
No. 32	1	apartment	wooden	17.6	3

C.2 測定結果

32戸の住宅における室内、屋外濃度、および居住者78人の個人曝露濃度の平均値、パーセントイル値をTable 2に示す。全体的に個人曝露濃度の平均値は室内濃度より低く屋外より高い値であった。また、ノナナール、デカナール、ヘキサン、デカン、エタノールの個人曝露における最大値は室内濃度より極めて高く、住宅以外での曝露が示唆される。

Table 2. Concentrations of gaseous chemical compounds in indoor air, outdoor air, and personal exposure. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

compounds	Indoor air				Outdoor air				Personal exposure			
	mean	50%ile	95%ile	100%ile	mean	50%ile	95%ile	100%ile	mean	50%ile	95%ile	100%ile
formaldehyde	25	21	64	73	3.4	3.1	7.6	8.5	17	15	31	150
acetaldehyde	28	14	81	260	1.8	1.6	4.6	5.0	21	13	54	180
propanal	2.3	1.5	7.0	10	0.2	0.0	0.4	1.4	1.7	1.2	4.9	8.8
valeraldehyde	2.1	1.6	7.1	11	0.9	0.8	1.8	2.1	1.6	0.9	6.7	19
i-valeraldehyde	0.5	0.4	1.6	2.5	0.2	0.0	0.6	0.8	0.6	0.5	1.8	5.0
hexanal	7.3	4.9	24	50	0.5	0.5	1.7	2.3	5.9	3.6	22	58
heptanal	1.1	0.7	4.1	6.4	0.1	0.0	0.6	1.9	1.0	0.8	3.3	17
octanal	2.1	1.9	4.1	7.9	0.3	0.0	1.2	1.3	2.4	1.8	4.3	35
nonanal	11	11	23	26	1.2	0.7	3.7	7.6	12	9.5	21	170
decanal	4.9	4.2	10	12	0.4	0.0	2.1	3.2	6.7	4.9	11	110
crotonal	0.5	0.3	1.8	4.2	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.3	1.0	2.6
crotonaldehyde	0.3	0.3	0.8	1.1	0.1	0.0	0.4	0.8	0.5	0.3	1.0	13
2-nonenal	0.5	0.0	1.6	2.7	0.0	0.0	0.2	0.5	0.6	0.0	2.2	15
benzaldehyde	1.5	1.4	4.5	4.9	0.1	0.0	0.5	0.7	1.2	1.0	2.7	9.4
o-tolualdehyde	0.3	0.0	0.9	2.1	0.3	0.4	0.8	0.9	0.3	0.0	1.3	1.7
p-tolualdehyde	1.8	0.8	7.7	9.1	0.6	0.5	1.3	1.5	1.3	0.7	3.8	7.3
2,5-DMBA	0.6	0.3	1.9	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.8	1.7	29
acetone	9.5	5.8	25	37	1.2	0.8	2.6	3.8	13	7.8	32	80
2-butanone	0.9	0.8	2.3	2.8	0.1	0.0	0.5	1.6	2.2	0.8	2.6	93
MIBK	4.0	0.2	8.9	94	3.4	0.1	2.2	89	1.7	0.2	1.6	89
total carbonyls	100	82	200	440	15	11	27	96	91	74	210	530
hexane	2.8	1.3	7.6	31	1.4	1.2	3.3	3.7	4.5	1.2	18	100
cyclohexane	1.8	0.8	8.4	18	0.4	0.3	0.9	0.9	2.3	0.7	6.8	64
heptane	0.7	0.6	1.5	1.7	0.3	0.2	0.6	0.8	0.8	0.5	2.6	10
octane	0.8	0.3	4.2	5.5	0.2	0.1	0.3	0.6	1.3	0.5	5.9	15
nonane	3.4	0.4	18	35	0.7	0.3	0.8	9.6	5.2	0.5	38	60
decane	7.7	1.1	32	51	2.9	0.9	15	38	21	2.5	58	610
undecane	1.9	0.5	9.6	14	0.4	0.2	0.8	5.1	3.2	0.6	22	47
dodecane	6.6	1.3	7.5	140	1.1	0.7	3.3	4.6	5.8	3.1	16	110
tridecane	1.8	0.9	5.0	16	0.7	0.5	1.5	3.3	1.7	0.9	5.9	14
tetradecane	27	2.1	69	570	2.1	0.8	9.1	19	14	3.5	30	300
pentadecane	8.4	0.7	22	180	0.4	0.2	1.9	3.3	2.8	0.5	6.1	62
hexadecane	2.0	0.7	8.4	20	1.2	0.3	6.5	7.9	1.2	0.2	4.9	19
benzene	0.7	0.7	1.2	1.5	0.7	0.7	1.3	1.6	0.5	0.5	1.0	1.2
toluene	39	4.3	25	990	30	3.2	7.8	740	18	4.4	20	590
ethylbenzene	2.3	1.2	9.8	16	1.3	0.8	1.7	12	2.9	1.0	9.7	63
o-xylene	0.9	0.4	3.6	4.2	0.4	0.3	0.5	2.8	1.2	0.4	6.6	9.8
m,p-xylene	2.3	1.2	9.2	12	1.1	0.7	1.6	9.0	3.2	1.1	12	40
1,3,5-TMB	0.6	0.2	3.0	7.6	0.4	0.1	0.2	8.4	0.8	0.2	5.1	8.5
1,2,4-TMB	2.4	0.6	10	31	1.6	0.4	0.8	33	2.8	0.6	17	34
1,2,3-TMB	0.5	0.1	2.4	6.4	0.3	0.1	0.2	6.4	0.6	0.1	3.9	8.3
1,2,4,5-TMB	0.2	0.1	0.7	2.3	0.0	0.0	0.1	0.4	0.2	0.1	0.7	1.6
styrene	0.1	0.0	0.5	2.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.3	16
p-dichlorobenzene	10	1.0	36	150	0.9	0.7	3.1	3.8	7.9	1.1	37	65
trichloromethane	0.8	0.4	3.4	3.6	0.4	0.2	2.0	2.6	0.8	0.3	2.4	20
1,2-dichloroethane	0.2	0.1	0.6	0.8	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.6
trichloroethylene	0.3	0.2	0.7	1.3	0.3	0.2	1.0	1.4	0.3	0.2	0.9	3.8
tetrachloroethylene	0.1	0.1	0.2	0.3	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.2	0.2
ethanol	77	39	270	330	1.5	0.6	6.2	7.9	130	81	310	1300
2-ethyl-1-hexanol	2.7	1.3	8.5	15	0.3	0.1	1.4	3.3	2.9	1.0	9.0	64
texanol	1.6	0.2	11	20	180	0.1	26	5100	0.6	0.2	2.5	7.7
ethylacetate	15	6.6	58	71	4.4	2.9	11	12	12	5.8	48	81
butylacetate	6.0	1.5	18	97	0.4	0.3	1.2	2.0	4.6	1.1	25	54
2,2,4-TMP	0.1	0.0	0.4	1.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	1.6
α -pinene	19	2.7	71	320	0.4	0.3	2.1	3.4	7.6	1.2	25	170
d-limonene	16	6.6	63	120	0.2	0.0	0.9	2.0	7.7	3.4	26	53
TXIB	1.7	0.6	4.1	23	5.6	0.2	2.1	140	1.2	0.8	4.1	10
TVOC	180	81	810	1300	240	24.0	580	5300	140	78	520	750
ozone	8.0	4.2	26	29	38	39	63	95	5.2	3.9	15	18
formic acid	15	14	31	35	8.6	7.3	13	36	11	8.8	19	30
acetic acid	65	47	180	200	22	22	37	53	45	36	110	120
hydrogen chloride	0.6	0.5	1.1	1.1	0.7	0.6	1.1	1.8	0.6	0.5	1.1	1.7
nitrogen dioxide	18	12	33	81	12	11	25	30	11	9.0	29	36
total acidic gases	89	77	210	270	39	41	72	90	59	51	150	160
ammonia	4.5	4.6	7.5	7.9	2.0	1.6	4.3	8.0	3.6	3.9	4.3	4.3

C.3 ガイドライン値を超過した物質

C.3.1 アセトアルデヒド

室内, 屋外, 個人曝露における個別のアセトアルデヒド濃度を Table 3 に示す. 調査した全 32 戸中 5 戸の住宅 (No. 1, No. 9, No. 18, No. 25, No. 31) 室内でガイドライン値 ($48\mu\text{g}/\text{m}^3$) を超過した. 個人曝露濃度は No. 1 の住宅において 1 人, No. 9 の住宅で 2 人, No. 25 の住宅で 2 人がガイドライン値を超過した. 特に, 住宅 No. 25 は室内濃度が $260\mu\text{g}/\text{m}^3$ とガイドライン値の 5 倍程度高い値である.

アセトアルデヒドの室内濃度が $260\mu\text{g}/\text{m}^3$ の最大値を示した住宅 (No. 25) における室内濃度, 屋外濃度, 個人曝露濃度の詳細を Table 4 に示す. この住宅のアセトアルデヒド屋外濃度が $1.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ であるので住宅内に大きな発生源があることが分かる. 室内の α -ピネン濃度 ($320\mu\text{g}/\text{m}^3$) も非常に高く, 木材が多く使用されている住宅である. エタノールの室内濃度 ($330\mu\text{g}/\text{m}^3$) が比較的高いが, 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⁸されているので, 大量に使われている木材が発生源の可能性はある.

居住者 2 名 (P-1, P-2) の在宅時間がそれぞれ 149, 146 時間であるので, 住宅滞在率はそれぞれ 0.89, 0.87 である. この値にアセトアルデヒド室内濃度を乗じると, P-1, P-2 の推定曝露量は, それぞれ $230\mu\text{g}/\text{m}^3$, $220\mu\text{g}/\text{m}^3$ になり, 実測値 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$, $180\mu\text{g}/\text{m}^3$ より高い値である. 室内空気の測定はリビングルームで行われたが, 住宅内各部屋で化学物質濃度が大きく変化することが報告されている⁹. この住宅は 2 階建て戸建て住宅で床面積が 130m^2 と比較的大きいので各部屋で化学物質濃度は大きく異なることが推測される. コロナウィルス感染対策として測定期間中 (2021 年 8 月 29 日~9 月 5 日) 2 人の居住者は外出を控えていたため住宅内での曝露が多いはずであるが, リビングルームだけの測定では, 個人曝露濃度を推定することはできない.

また, 屋外で 2,2,4-トリメチルペンタン-1,3-ジオールモノイソブチレート (テキサノール) と 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 (TXIB) がそれぞれ $5100\mu\text{g}/\text{m}^3$, $140\mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出された. これらの物質はエステル系有機溶剤で水系塗料の造膜助剤などに使用されているが, この住宅の外壁塗装がサンプリング中に行われていたため屋外濃度が高くなったと考えられる.

Table 3. Concentrations of **acetaldehyde** in indoor air, outdoor air, and personal exposure. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

house	I	O	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
No. 1	49	2.0	31	50	30			
No. 2	11	2.1	9.0	11				
No. 3	18	1.1	9.8					
No. 4	14	2.0	14	12	30	16	15	
No. 5	5.6	1.5	4.1					
No. 6	1.5	4.0	4.1	3.6	5.1	8.8		
No. 7	9.8	1.2	12					
No. 8	14	4.3	13					
No. 9	100	4.8	88	64				
No. 10	38	2.0		30	25	24		
No. 11	24	1.9	22	19	16	12		
No. 12	25	2.0	10	36	21			
No. 13	9.8	2.1	9.4	6.5				
No. 14	20	5.0	17					
No. 15	23	1.1	22	18	27			
No. 16	17	1.6	14					
No. 17	7.9							
No. 18	60	0.6	34	30	29	22	11	7.3
No. 19	1.4	0.7	12	0.2				
No. 20	9.5	2.4	12	7.4	7.7	7.8		
No. 21	4.2	1.1	3.8	8.0	3.8	3.6		
No. 22	14	1.8	12	16				
No. 23	4.5	1.1	13					
No. 24	7.2	1.5	16					
No. 25	260	1.0	150	180				
No. 26	3.3	1.6	4.9	7.5	5.7	3.6	1.5	
No. 27	13	2.6	11					
No. 28	15	2.3	11	16	12			
No. 29	16	0.5	11	14	18			
No. 30	47	0.4	32	35				
No. 31	51	1.0	29	30				
No. 32	9.6	1.3	7.8					

Table 4. Concentrations of chemical compounds in indoor air, outdoor air, and personal exposure. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) **No. 25**

staying / sampling time compounds	168h		149h/168h	146h/168h
	indoor air	outdoor air	P-1	P-2
formaldehyde	27	8.5	22	15
acetaldehyde	260	1.0	150	180
propanal	10	0.0	6.2	6.1
valeraldehyde	10	0.5	7.0	6.8
hexanal	37	0.9	23	21
nonanal	25	7.6	18	20
acrolein	4.2	0.0	1.7	1.3
acetone	22	0.8	19	26
total carbonyls	440	20	280	310
tetradecane	4.6	3.9	1.9	21
toluene	37	1.9	21	19
ethylbenzene	15	0.9	8.7	7.9
ethanol	330	0.4	100	240
texanol	20	5100	6.3	5.7
ethylacetate	49	1.0	28	27
butylacetate	97	0.2	54	50
α -pinene	320	0.3	170	160
d-limonene	59	0.1	31	28
TXIB	2.7	140	0.5	1.5
TVOC	660	5300	350	360
ozone	2.2	38.4	2.3	2.3
acetic acid	200	20	100	100

C.3.2 ホルムアルデヒド

室内、屋外、個人曝露における個別のホルムアルデヒド濃度を Table 5 に示す。調査した全 32 戸中ホルムアルデヒド濃度が厚労省のガイドライン値（100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を超過した住宅は無かったが、住宅 No. 17, 18 で個人曝露濃度が 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の高濃度を示した居住者がいた。

室内濃度、屋外濃度、個人曝露濃度の詳細を Table 6 に示す。この住宅での調査条件は特殊であり、2 戸の住宅 No. 17, No. 18 に 6 人（P1～P6）が居住し、一部は両住宅を行き来していた。調査期間中（168 時間）の住宅 No. 17/ No. 18 滞在時間（h）は 24.5/101, 36.5/84.8, 41.5/95.0, 0/80, 127/0, 112/0 である。また、滞在率はそれぞれ、0.15/0.60, 0.22/0.50, 0.25/0.57, 0/0.48, 0.76/0, 0.67/0 である。住宅 No. 18 のホルムアルデヒド濃度は住宅 No. 17 の 2 倍程度高い 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を、アセトアルデヒドもガイドライン値を上回る 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を示した。同一家族であっても住人 P-4 を除き、住宅 No. 18 の滞在時間が長い人ほどこれらの曝露濃度が高くなっている。

P-4 のホルムアルデヒド濃度は 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、調査した中で最も高い濃度を示した。住人 P-4 は住宅 No. 18 に 80 時間滞在し、それ以外の 88 時間は自宅以外で過ごしていたことから、住宅 No. 17, No. 18 以外、職場等で高濃度のホルムアルデヒドに晒されたことが分かる。

Table 5. Concentrations of formaldehyde in indoor air, outdoor air, and personal exposure. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

house	I	O	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
No. 1	30	3.2	16	23	17			
No. 2	12	3.2	6.2	7.4				
No. 3	21	1.1	12					
No. 4	9.6	4.7	20	7.3	15	10	13	
No. 5	31	3.1	15					
No. 6	5.7	7.8	5.3	6.1	8.8	16		
No. 7	73	2.9	13					
No. 8	22	6.2	17					
No. 9	22	4.4	14	16				
No. 10	20	3.2		18	16	13		
No. 11	14	3.1	24	9.6	9.5	7.9		
No. 12	43	3.0	22	28	23			
No. 13	13	4.1	9.6	12				
No. 14	21	8.5	15					
No. 15	32	2.6	20	16	17			
No. 16	32	2.3	26					
No. 17	21							
No. 18	42	1.3	21	18	23	150	16	11
No. 19	8.7	3.1	9.5	0.1				
No. 20	12	2.8	12	8.3	8.9	10		
No. 21	14	4.0	9.0	16	8.8	9		
No. 22	10	3.1	6.8	47				
No. 23	10	2.4	11					
No. 24	64	1.9	35					
No. 25	27	8.5	22	15				
No. 26	7.4	2.7	7.3	53	14	5.7	5.7	
No. 27	8.1	2.0	5.8					
No. 28	21	2.4	9.5	16	12			
No. 29	25	1.4	14	24	17			
No. 30	30	3.1	16	21				
No. 31	64	2.2	25	37				
No. 32	29	2.5	15					

Table 6. Concentrations of chemical compounds in indoor air, outdoor air, and personal exposure. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) No. 17,18

compounds	Indoor	Indoor	Outdoor	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
	No. 17	No. 18		24.5/101h	36.5/84.8h	41.5/95h	0/80h	127/0h	112/0h
formaldehyde	21	42	1.3	21	18	23	150	16	11
acetaldehyde	7.9	60	0.6	34	30	29	22	11	7.3
propanal	0.8	1.8	0.0	1.3	1.2	1.3	1.4	0.8	0.9
valeraldehyde	0.6	1.9	0.9	0.4	2.0	3.8	2.1	0.4	0.4
hexanal	2.2	4.9	0.0	3.8	3.9	3.9	7.3	2.4	3.0
nonanal	6.5	15	0.0	15	13	10	13	7.2	12
acrolein	0.3	0.6	0.0	0.5	0.4	0.4	0.9	0.0	0.0
acetone	5.6	29	2.4	22	20	32	4.2	7.8	5.9
total carbonyls	51	180	5.8	120	100	120	210	57	50
tetradecane	1.7	3.7	0.0	2.0	3.1	6.5	3.7	2.1	7.8
toluene	2.9	4.5	1.7	3.2	2.9	6.7	4.5	3.1	1.7
ethylbenzene	1.8	1.6	0.4	0.9	0.9	11	1.2	0.8	0.6
ethanol	7.6	69	0.6	58	88	78	310	45	65
texanol	0.4	0.3	0.0	0.2	0.1	0.6	0.3	0.1	0.1
ethylacetate	1.7	33	1.6	12	13	11	15	1.3	1.1
butylacetate	0.6	6.8	0.0	2.7	2.5	4.2	1.9	0.8	0.6
α -pinene	4.1	2.7	0.1	1.5	1.7	1.6	1.1	1.7	1.7
d-limonene	4.1	19	0.0	6.6	4.9	5.7	3.4	1.8	2.1
TXIB	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
TVOC	78	240	9.4	98	87	140	89	39	40
ozone	3.8	2.8	39	4.1	4.0	2.7	5.6	3.0	2.5
acetic acid	29	58	22	35	38	45	52		

C.3.3 トルエン

トルエンの室内濃度 (990 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 屋外濃度 (740 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 個人曝露濃度 (590, 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) が非常に高く, 厚労省のガイドライン値 (260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) を大きく超える住宅 (No. 9) が確認された. 室内, 屋外, 個人曝露における個別のトルエン濃度を Table 7 に示す. また, この住宅における室内濃度, 屋外濃度, 個人曝露濃度の詳細を Table 8 に示す.

この住宅は5階建ての集合住宅2階であるが, 測定期間中, 大規模な改修工事 (外壁塗装) が行われていた. そのため, トルエンの屋内外濃度が高くなったことが考えられる. 測定時期が夏期ということもあり, 住宅の窓を開放することが多かったため, 室内濃度 (990 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) と屋外濃度 (740 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) に大きな差が生じなかったと思われる. トルエンと同様に 1,2,4-トリメチルベンゼン (室内 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 屋外 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 酢酸エチル (室内 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 屋外 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), テキサノール (室内 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 屋外 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) も室内と屋内の差は小さい. これらの物質が溶剤として外壁工事に使用されていたことが考えられる. この外壁工事のために, TVOC もガイドライン値 (400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) を大きく超える値 (室内 1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 屋外 910 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 個人 750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 520 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) となった.

居住者2名 (P-1, P-2) の在宅時間がそれぞれ 138, 108 時間であるので, 住宅滞在率はそれぞれ 0.79, 0.64 である. この値をトルエンの室内濃度に乗じると, P-1, P-2 の推定曝露量は, それぞれ 780 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 640 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ になり, 実測値 590 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ より高い値となった.

測定期間中アセトアルデヒドの室内濃度 (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) もガイドライン値を超過しているが, 屋外濃度 (4.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) は低く, 団地の改修工事が原因とは考えられない. 居住者2名 (P-1, P-2) の在宅時間がそれぞれ 138, 108 時間であるので, 住宅滞在率はそれぞれ 0.79, 0.64 である. この値をアセトアルデヒドの室内濃度に乗じると, P-1, P-2 の推定曝露量は, それぞれ 79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ になり, 実測値 82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と同等の値となる. 住宅内にアセトアルデヒドの発生源があることが示唆される.

Table 7. Concentrations of **toluene** in indoor air, outdoor air, and personal exposure. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

house	I	O	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
No. 1	4.5	3.8	3.8	4.5	4.8			
No. 2	4.9	5.5	4.7	3.2				
No. 3	1.8	1.7	1.8					
No. 4	7.9	7.7	5.3	5.0	11	5.8	4.2	
No. 5	1.9	2.1	1.3					
No. 6	1.6	2.7	2.3	2.0	2.1	4.0		
No. 7	3.9	2.5	4.8					
No. 8	3.5	2.8	3.0					
No. 9	990	740	590	400				
No. 10	3.6	2.7	3.8	2.6	2.8	3.0		
No. 11	8.0	7.8	6.4	6.0	4.6	5.5		
No. 12	5.3	2.7	2.2	5.0	4.6			
No. 13	4.1	3.1	2.7	5.9				
No. 14	4.5	4.9	3.6					
No. 15	4.9	1.7	4.6	4.6	6.6			
No. 16	4.0	1.8	11					
No. 17	2.9							
No. 18	4.5	1.7	3.2	2.9	6.7	4.5	3.1	1.7
No. 19	3.5	3.2	4.2	0.0				
No. 20	3.2	3.8	2.9	3.1	3.5	3.0		
No. 21	4.1	3.2	4.0	4.6	3.4	3.3		
No. 22	5.5	5.2	4.0					
No. 23	1.9	2.1	2.7					
No. 24	2.6	2.0	5.4					
No. 25	37	1.9	21	19				
No. 26	2.9	3.0	4.4	2.9	3.4	4.0	2.1	
No. 27	3.5	2.4	2.8					
No. 28	7.5	7.1	11	7.5	4.6			
No. 29	10	3.2	7.1	4.5	9.1			
No. 30	9.5	5.4	7.6	4.8				
No. 31	7.2	0.6	7.9	3.0				
No. 32	4.6	3.6	3.6					

Table 8. Concentrations of chemical compounds in indoor air, outdoor air, and personal exposure. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) **No. 9**

staying / sampling time compounds	168h	168h	132h/168h	108h/168h
	indoor air	outdoor air	P-1	P-2
formaldehyde	22	4.4	14	16
acetaldehyde	100	4.8	88	64
propanal	3.1	0.4	2.3	3.1
valeraldehyde	2.8	0.8	1.5	2.3
hexanal	8.4	1.4	5.2	6.6
nonanal	12	1.3	8.4	8.1
acrolein	0.4	0.0	0.4	0.4
acetone	18	0.6	30	24
total carbonyls	24	10	15	16
tetradecane	6.0	0.2	6.3	2.9
toluene	990	740	590	400
ethylbenzene	16	12	9.1	7.2
ethanol	330	1.7	410	300
texanol	17	40	7.7	6.1
ethylacetate	21	12	13	11
butylacetate	1.3	2.0	1.1	0.7
α -pinene	3.1	0.3	1.8	2.0
<i>d</i> -limonene	38	0.8	21	15
TXIB	23	0.0	10	4.6
TVOC	1300	910	750	520
ozone	2.2	60	3.3	4.6
acetic acid	69	53	47	56

C.3.4 テトラデカン

住宅 No. 1 のテトラデカンの室内濃度 ($570 \mu\text{g}/\text{m}^3$) が非常に高くガイドライン値 ($330 \mu\text{g}/\text{m}^3$) を超過した。室内, 屋外, 個人曝露における個別のトルエン濃度を Table 9 に示す。また, この住宅 (No. 1) における室内濃度, 屋外濃度, 個人曝露濃度の詳細を Table 10 に示す。

この住宅では, この時期にアースノーマット (電子式液体蚊取り) を使用していたことから, これが発生源と思われる。そこで, アースノーマットの液体を取り出し, 二硫化炭素で 10000 倍に希釈した後, GC/MS で分析を行った。住宅 No. 1 とアースノーマットの希釈溶液の GC/MS クロマトグラムを Fig. 5 に示す。アースノーマットの液体にはテトラデカンが含まれ, ここから放散することが分かった⁹。No. 2 の住宅も $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の比較的高い値を示したが, この住宅では電子式液体蚊取りを使っていなかった。他の発生源が考えられる。

居住者 3 名 (P-1, P-2, P-3) の在宅時間がそれぞれ 122, 163, 126 時間であるので, 住宅滞在率はそれぞれ 0.7, 0.94, 0.73 である。この値をテトラデカンの室内濃度 $570 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に乗じると, P-1, P-2, P-3 の推定曝露量は, それぞれ $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $540 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $540 \mu\text{g}/\text{m}^3$ になり, 実測値 $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ より高い値である。電子式液体蚊取りは一か所に置かれていたため居住者が滞在する部屋に曝露濃度は影響されると考えられる。

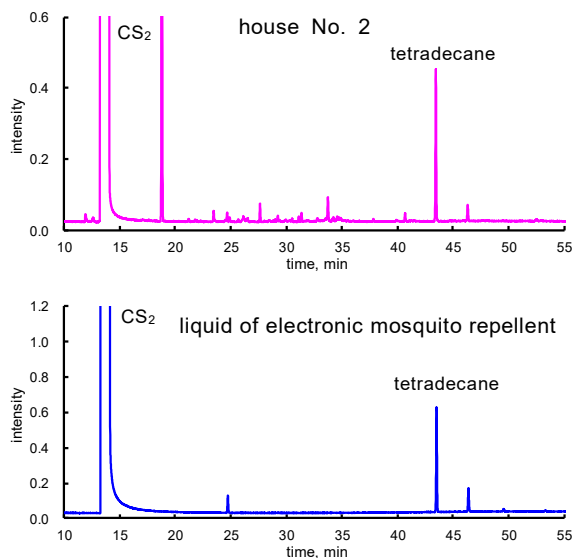


Fig.5. GC/MS chromatographic profile of VOCs in indoor air of house No. 1 (upper panel) and obtained from liquid of Earth No matto (lower panel).

Table 9. Concentrations of tetradecane in indoor air, outdoor air, and personal exposure. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

house	I	O	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
No. 1	570	3.2	230	300	100			
No. 2	83	10	29	34				
No. 3	6.7	1.0	5.9					
No. 4	2.1	1.1	3.8	3.6	3.7	3.5	4.2	
No. 5	51		16					
No. 6	1.7	130	3.3	3.1	2.8	11		
No. 7	1.9	0.6	4.7					
No. 8	1.9	0.0	16					
No. 9	6.0	0.2	6.3	2.9				
No. 10	1.6	1.9	2.9	4.8	4.4	1.8		
No. 11	1.0	0.4	1.4	1.8	1.3	1.1		
No. 12	2.1	0.5	4.6	2.1	3.0			
No. 13	3.0	1.7	1.1	2.1				
No. 14	3.4	1.3	5.9					
No. 15	2.3	0.3	3.8	8.0	3.9			
No. 16	1.1		0.8					
No. 17	1.7							
No. 18	3.7	0.0	2.0	3.1	6.5	3.7	2.1	7.8
No. 19	0.3	0.8	3.5	0.3				
No. 20	29	2.6	9.3	12	19	17		
No. 21	4.5	1.2	0.2	3.3		0.6		
No. 22	0.6	0.4	1.3					
No. 23	0.6		0.5					
No. 24	0.5		1.9					
No. 25	4.6	3.9	1.9	20				
No. 26	0.6	1.5	0.8	0.5	3.1	0.4	0.2	
No. 27	25	19	23					
No. 28	3.2	1.9	3.7	1.7	2.8			
No. 29	1.5	6.7	2.3	4.6	6.9			
No. 30	7.6		7.3	9.8				
No. 31	1.8	0.1	0.2	0.3				
No. 32	1.2	0.9	2.8					

Table 10. Concentrations of chemical compounds in indoor air, outdoor air, and personal exposure. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) No. 1

staying / sampling time compounds	168h	168h	122/173h	163/173h	126/173h
	indoor air	outdoor air	P-1	P-2	P-3
formaldehyde	30	3.2	16	23	17
acetaldehyde	49	2.0	31	50	30
propanal	4.6	0.2	2.6	4.4	3.6
valeraldehyde	1.6	0.8	0.0	1.3	1.9
hexanal	5.9	0.9	3.1	5.1	5.3
nonanal	9.8	1.4	5.6	9.8	11
acrolein	0.3	0.0	0.4	0.5	0.4
acetone	13	0.6	13	16	16
total carbonyls	130	12	78	120	100
tetradecane	570	3.2	230	300	100
toluene	4.5	3.8	3.8	4.5	4.8
ethylbenzene	1.8	1.2	1.2	1.7	1.3
ethanol	200	0.6	180	270	160
texanol	2.2	0.0	1.0	1.1	0.5
ethylacetate	71	1.5	43	60	5.5
butylacetate	5.0	0.8	2.7	4.2	1.1
α -pinene	4.1	0.4	2.6	3.4	4.7
d-limonene	32	0.0	17	25	13
TXIB	1.4	0.0	0.8	1.1	1.4
TVOC	960	25	560	530	210
ozone	2.3	21	2.6	2.4	3.7
acetic acid	36	15	23	25	28

C.4 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、夏期の調査は2021年8月20日～2021年9月30日(S, 111施設)、冬期の調査は、2022年1月20日～2022年2月14日(W2, 75施設)の計186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 11に示す。

C.4.1 特異に高濃度を示した物質

エタノール

エタノール濃度の平均値は、夏期(S) 1100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、冬期(W2) 9200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、890 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、490 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。また最大濃度も、それぞれ15000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、19000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、4900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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⁸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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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.4.2 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(NH_3)の濃度を夏期、冬期それぞれTable 12～14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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
アセトアルデヒド	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
トルエン	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
キシレン	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
エチルベンゼン	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
スチレン	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
パラジクロロベンゼン	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
テトラデカン	330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
総揮発性有機化合物 TVOC	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2-エチル-1-ヘキサノール	(案) 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
デキサノール	(案) 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ベンゼン	3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
トリクロロエチレン	130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
テトラクロロエチレン	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
オキシダント(オゾン)	(60 ppb) 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
二酸化窒素	(40 ppb) 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
アンモニア(NH_3)	(1000 ppb) 709 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

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186施設の中で、アセトアルデヒドが3施設(48, 55, 62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)であった。

C.4.3 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^{7,11}。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⁷。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186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。調査に使用した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。

ガス状化学物質の室内濃度と滞在時間から個人曝露量を推定することは困難であった。また、同一住宅に居住していても個人曝露濃度は異なることも明らかになった。個人曝露量を正確に知り、人へのリスク評価を行うためには本研究で開発したパーソナルサンプラーが極めて有効である。

Table 11. Concentrations of chemical compounds in the office buildings. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

compounds	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	90%ile	100%ile
formaldehyde	13	12	25	60	6.9	6.3	12	21
acetaldehyde	11	8.0	30	62	8.0	6.6	22	27
propanal	2.1	n.d.	7.4	23	0.7	n.d.	4.0	12
valeraldehyde	n.d.	n.d.	n.d.	3.9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
i-valeraldehyde	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
hexanal	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.
octanal	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
nonanal	0.7	n.d.	n.d.	38	0.2	n.d.	n.d.	15
decanal	0.2	n.d.	n.d.	19	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
acrolein	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
crotonaldehyde	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.
benzaldehyde	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.
p-tolualdehyde	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.
acetone	12	9.7	23	66	13	11	23	60
2-butanone	n.d.	n.d.	n.d.	2.6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MIBK	0.2	n.d.	0.6	1.6	n.d.	n.d.	n.d.	1.2
total carbonyls	40	33	66	240	29	26	53	85
hexane	5.2	2.7	11	200	5.0	4.2	12	29
cyclohexane	1.3	n.d.	4.5	66	2.6	0.7	5.3	61
heptane	0.5	n.d.	2.9	12	1.9	0.4	2.3	99
octane	1.0	n.d.	3.5	8.8	0.8	0.6	2.2	6.2
nonane	0.6	n.d.	2.0	39	1.0	0.5	2.7	29
decane	15	14	29	35	13	9.6	28	84
undecane	1.2	0.6	3.7	32	1.4	0.7	6.4	20
dodecane	5.4	3.5	16	78	7.7	6.3	14	57
tridecane	4.5	1.8	7.1	140	2.6	2.3	5.2	12
tetradecane	9.4	6.5	20	110	11	10	20	28
pentadecane	0.1	n.d.	0.6	3.6	0.3	0.3	0.7	1.8
hexadecane	0.4	n.d.	2.0	4.5	1.0	1.0	1.8	3.5
benzene	1.6	1.2	3.0	5.0	0.9	0.8	1.8	3.1
toluene	8.7	5.9	19	130	5.5	4.5	12	21
ethylbenzene	1.9	1.6	5.6	11	1.2	0.9	3.4	4.8
o-xylene	0.6	0.4	2.3	5.5	0.6	0.4	1.2	5.4
m,p-xylene	1.9	1.5	5.3	12	1.4	1.0	3.2	10
1,3,5-TMB	0.3	n.d.	1.6	3.8	0.3	0.2	0.8	2.4
1,2,4-TMB	1.2	0.6	4.4	15	1.2	0.8	3.6	9.9
1,2,3-TMB	0.2	n.d.	0.8	8.9	0.3	0.2	0.8	2.5
1,2,4,5-TMB	0.1	n.d.	n.d.	15	0.1	n.d.	0.3	1.4
styrene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.1	1.1
p-DCB	0.9	0.6	2.2	14	0.9	0.5	3.7	4.8
trichloromethane	0.7	n.d.	1.5	41	0.4	0.4	0.7	0.9
tetrachloromethane	n.d.	n.d.	n.d.	2.2	0.2	n.d.	0.8	1.1
dibromochloromethane	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,2-dichloroethane	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.
trichloroethylene	0.2	n.d.	1.7	2.9	0.8	n.d.	1.0	44
tetrachloroethylene	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	4.3	1.9	20	33	0.6	n.d.	3.2	4.7
texanol	3.0	2.9	7.2	14	2.5	1.9	4.1	22
ethylacetate	5.1	3.5	13	46	3.9	2.6	9.2	27
butylacetate	0.6	n.d.	2.7	12	1.7	1.4	3.1	5.9
2,2,4-TMP	n.d.	n.d.	n.d.	3.1	n.d.	n.d.	0.1	1.3
α -pinene	n.d.	n.d.	n.d.	1.5	0.2	0.2	0.6	1.0
d-limonene	1.7	n.d.	3.4	94	8.6	2.2	14	390
TVOC	160	130	370	730	140	120	260	680
ozone	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 12. 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	15
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

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

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. 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.
9. Sakamoto, H.; Uchiyama, S.; Isobe, T.; Kunugita, N.; Ogura, H.; Nakayama, S. F., 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.
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. 櫻田尚樹, 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, 究報告書 H23-健危-一般-010, 2013.

F. 本研究に関する研究発表

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 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; 櫻田尚樹; 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を与える影響 第 79 回日本公衆衛生学会総会，2021 年 6 月

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし